

4° Trimestre de 1994

COMUNICACIONES ELÉCTRICAS



Tema central: Comunicaciones por microondas y por satélite

ALCATEL

Comunicaciones Eléctricas, revista técnica trimestral de Alcatel, presenta las investigaciones conseguidas por las compañías Alcatel en todo el mundo. *Comunicaciones Eléctricas* se edita actualmente en cinco idiomas y su distribución es universal.

Comité editorial

Peter Radley
Presidente

Giorgio Tolusso
Research & Technology

Dominique Brouard
Alcatel Cable

Rossella Daverio
Relaciones Corporativas y Publicidad

Denis Derville
Alcatel Business Systems

Edmond Osstyn
Alcatel Network Systems

Werner Schmidt
Patentes

Editores

Jérôme de Vitry
Editor Coordinator, Alcatel Radio Transmission Systems

Rossella Daverio
Editora-Jefe (ad interim)

Catherine Camus
Adjunta a la Editora-Jefe y Editora, Revue des Télécommunications, París

Rod Hazell
Editor, Electrical Communication, Londres

Andreas Ortelt
Editor, Elektrisches Nachrichtenwesen, Stuttgart

Gustavo Arroyo
Editor, Comunicaciones Eléctricas, Madrid

Egisto Corradini
Editor, Prospettive di Telecomunicazioni, Milán

Las direcciones de los editores figuran en la última página de este número.

En esta publicación no se hace ninguna mención a derechos relativos a marcas o nombres comerciales que puedan afectar a algunos de los términos o símbolos utilizados. La ausencia de dicha mención no implica, sin embargo, la falta de protección sobre esos términos o símbolos.

Directora de la Publicación : Rossella Daverio
Revista técnica trimestral, editada por Alcatel Alsthom Publications S.A., con un capital de 250 000 Francos franceses

Domicilio social : 12, rue de la Baume, 75008 París, Francia

Depósito Legal : RCS París B 349 910 521

Accionista principal : Samag : 99,76%

Registro Legal : 4º trimestre de 1994

ISSN : 1242-0573

Imprime : Atelier Hugueniot,
275, rue Pierre et Marie Curie, 73490 La Ravoire, Francia

Tirada : 5 800 ejemplares

© Alcatel Alsthom Publications

COMUNICACIONES ELÉCTRICAS

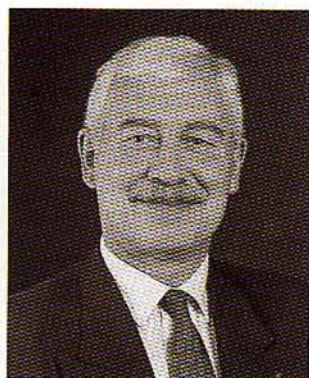
4º Trimestre de 1994

Comunicaciones por microondas y por satélite

- 306 **Europa y la sociedad de la información: ¿Hay vida multimedia después del informe Bangemann?**
F. Petit
- 312 **Presentación: Una segunda juventud para la transmisión de radio**
D. Ferraro
- 314 **Transmisión por ondas milimétricas**
G. Colombo, T. Podolak
- 319 **Transmisión por microondas SDH - tecnologías básicas, productos y aplicaciones de redes**
M. Nannicini, M. Peruyero, Y.-Y. Lebre
- 326 **Tecnologías básicas en las comunicaciones por microondas**
G. Bianconi, M. Carpe, P. Salas
- 333 **Diseño de MMIC y proceso en AsGa**
G.P. Donzelli, B. Rattay
- 339 **La radio de microondas en los Estados Unidos**
D. Kimzey, T. Barron
- 346 **TDMAX y FASTCOM - Nuevos sistemas por satélite para comunicaciones residenciales y corporativas**
J. Couet
- 353 **Sistema de telefonía tierra-aire TFTS**
G. Campet
- 359 **Nueva generación de productos de transmisiones hertzianas terrestres y espaciales para redes militares**
M. Darmon, E. Le Roux
- 365 **Antenas para satélites de comunicaciones**
G. Duret
- 371 **Aportación de las nuevas tecnologías en los repetidores de satélites**
G. Floury, J.-L. Cazaux
- 377 **Tecnologías de encapsulado para equipamiento en satélite**
A. Coello-Vera
- 384 **Notas de investigación**
- 386 **Últimas patentes**
- 390 **Abreviaturas de este número**
- En este número**



Europa y la sociedad de la información: ¿hay vida multimedia después del Informe Bangemann?



François Petit

Introducción

Mucho tiempo antes de que las autopistas electrónicas estuviesen de moda, Alcatel ya creía firmemente en el multimedia. Durante los últimos cinco años, la compañía ha gastado algo así como 1,5 mil

La Cumbre Europea, en diciembre de 1993, solicitó la preparación de un informe sobre la sociedad de la información para la reunión que se había fijado para el siguiente mes de junio en Corfú. Con este objeto, un grupo de relevantes personalidades se reunió y deliberó sobre el tema bajo la presidencia de Martin Bangemann, comisario de Industria de la Unión Europea. Para el mes de mayo, el grupo había preparado un informe titulado: "Europa y la sociedad global de la información", normalmente conocido como el "Informe Bangemann", que hacía recomendaciones específicas de iniciativas a considerar por parte de la Unión Europea para conducir a Europa hasta la Sociedad de la Información.

millones de ecus en la investigación y desarrollo del ATM y otras importantes tecnologías de banda ancha. A esto se añade lo que han hecho otros suministradores europeos, con lo que la cantidad total gastada en Europa en el desarrollo de las futuras redes multimedia ronda los 5 mil millones de ecus. Por consiguiente, Alcatel y el resto de suministradores europeos están no sólo interesados sino autorizados para hacer conocer su puntos de vista sobre el informe realizado por un grupo de relevantes personalidades para la cumbre de la Unión Europea celebrada en Corfú en junio de 1994, y sobre cómo debería ponerse en práctica.

El postulado clave de este informe, normalmente conocido como el "Informe Bangemann", es: "Necesitamos superautopistas electrónicas europeas; por tanto, tenemos que liberalizar".

En tanto que no hay problema respecto a la primera parte de esta declaración, la segunda parte levanta al menos tres preguntas que no se tratan -o en el mejor de los casos superficialmente- en el informe. Primera: ¿cómo la plena liberalización (el libre juego de fuerzas en un mercado completamente desregulado) puede conciliarse con el objetivo fundamental de la Unión Europea, que es crear un mercado único homogéneo?

La segunda pregunta es: ¿cómo pueden asegurarse condiciones de acceso al mercado bien equilibradas? Esto afecta tanto a los competidores extranjeros en un mercado europeo más liberalizado como a los competidores europeos en los

correspondientes mercados extranjeros.

En tercer lugar, ¿qué se entiende exactamente por "liberalización"? ¿Es absolutamente cierto que cualquier forma de liberalización es la más adecuada para fomentar el desarrollo del multimedia en Europa y fortalecer la competitividad de su industria en el mercado mundial?

La liberalización y el mercado único

Está muy claro que implantando e impulsando más allá la liberalización existe el riesgo de incrementar la fragmentación del mercado, puesto que la mayor competencia normalmente origina un mercado más fragmentado. Y si esto ocurriera, Europa estaría en el riesgo de no disfrutar de la economía de escala disponible en otros lugares. Por tanto, una mayor liberalización debe ser contrapesada por medidas que impidan que el mercado europeo multimedia se rompa en demasiados pequeños pedazos.

El primer paso es detener la fragmentación normativa del mercado europeo, es decir, una situación donde las normas que gobiernan la operación de las autopistas varían enormemente de unos a otros estados miembros.

Aunque en Corfú se decidió no acelerar la liberalización en Europa, esto no significa que no sea necesario agilizar la definición de la nueva estructura reguladora. Cualquier estado miembro que quisiera anticipar la implantación

general de las superautopistas electrónicas debería poder hacerlo dentro de una estructura ya definida en común que permaneciera estable a largo plazo. La Comisión Europea ya lo ha entendido así y Alcatel apoya el plan de acción que a este respecto se publicó el pasado julio.

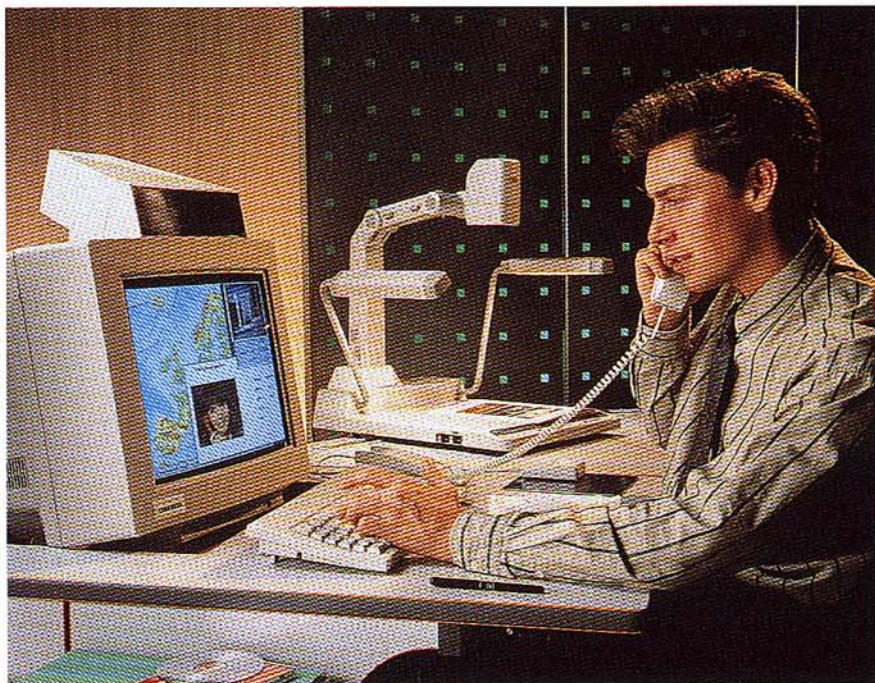
El paso número dos es evitar la fragmentación técnica. En el mercado más orientado hacia la competencia que se contempla, la actual política de estandarización -caracterizada por el uso obligatorio de un estándar para cada aplicación (p. ej., los servicios móviles GSM)- no puede mantenerse por más tiempo. Por otro lado, reducir el alcance de la estandarización -como se sugiere en el Informe Bange-mann- a un interfaz para interconectividad conduciría a una multiplicación de sistemas y de tecnologías y a impedir la repetición del éxito del GSM en el dominio del multimedia.

Con objeto de evitar la fragmentación del mercado sin impedir la innovación y el progreso técnico, una solución podría ser estandarizar no sólo una tecnología sino una pequeña selección de tecnologías a partir de la cual la elección sería libre pero preceptiva. En otras palabras, las licencias para nuevas redes y servicios se otorgarían bajo la condición de que el licenciataria respetase el uso obligatorio de una tecnología acorde con la etiqueta "Estándar europeo".

Paralelamente, debería revisarse la totalidad del proceso de elaboración de estándares. Pueden establecerse prioridades más orientadas al mercado, disminuirse las exigencias de especificaciones de detalle, acelerarse su lanzamiento y fortalecerse el papel de la industria en el proceso.

Reciprocidad en las condiciones de acceso al mercado

Si a un equipo de fútbol no se le permitiese jugar en la mitad del



campo de sus oponentes tendría un verdadero problema para marcar goles y estaría claramente destinado a la derrota. Lo que es de evidente sentido común en el deporte también es de una lógica irrefragable para la competición en el sector de las telecomunicaciones y el multimedia, y su vital importancia no ha escapado al Informe Bangemann. Pero precisamente la parte referida a la apropiada salvaguardia contra esta situación es corta y vaga.

Los recientes intentos fallidos de exportar a mercados extranjeros las normas europeas de acceso transparente han demostrado no ser el enfoque apropiado. Lamentablemente, Europa tiene que avanzar por el otro lado del camino. Es vital no repetir el error cometido con el artículo 29 (ahora 36) de la Directiva Pública de la Unión Europea, que es tan débil que Europa ha sido incapaz de conseguir acceso recíproco a los mercados norteamericano y japonés, a pesar de los esfuerzos de sus negociadores.

Europa tiene que ser más fuerte y realista. Debe calibrar el acceso

a su mercado en paridad con las condiciones que otros países ofrecen a la industria europea. Para asegurar que esto ocurra parecen imperativas dos medidas. En primer lugar, debería restringirse la propiedad no europea en operadores europeos de telecomunicaciones. Estados Unidos, Canadá y Japón tienen leyes que impiden a los accionistas extranjeros poseer más del 25% de los operadores de telecomunicaciones. Europa debe instituir inmediatamente leyes similares que se eliminarán cuando sus socios extranjeros eliminen las suyas.

En segundo lugar, la Directiva Pública debe ser revisada -el sector de telecomunicaciones en Europa ya se encuentra muy liberalizado y llegará a encontrarse completamente liberalizado con la implantación de las recomendaciones del Informe Bangemann. Todos los competidores ya son, o pronto lo serán, compañías privadas. La razón básica para la Directiva Pública por tanto se ha desvanecido.

Además, la directiva europea no tiene equivalente en ninguna de

las regiones de sus principales países socios comerciales. Por lo tanto, puede ser una conclusión valiente y directa -aunque iconoclasta- afirmar que la Directiva Pública debería ser abolida.

De hecho, mantener la directiva como está no sólo sería injustificado sino que situaría en desventaja a la industria de telecomunicaciones europea. Ello obligaría a los operadores europeos a revelar públicamente sus estrategias y servir en bandeja a los suministradores de equipos extranjeros el acceso al mercado europeo.

Asimismo, la eliminación de la Directiva Pública debería realizarse de una sola vez -los operadores de telecomunicaciones históricos tendrían que ser liberados de las exigencias de la directiva al mismo tiempo que lo son los nuevos operadores. Algunas veces se ha respondido que la discriminación entre diferentes operadores puede proteger contra posibles abusos que provengan de posiciones dominantes. Pero tal detallado procedimiento de compras no puede ser de ninguna manera (y no hay lugar) un instrumento de protección, y por tanto este argumento no puede considerarse válido.

El Informe Bangemann y el Plan de Acción de la Comisión han propuesto acertadamente la revisión de toda la estructura normativa, con objeto de adaptarla a la nueva situación. Por lo tanto, es sorprendente que en ellos se mencionen todas las regulaciones excepto la que es más característica del pasado. La Directiva Pública, como mínimo, debería ser reconsiderada.

De todas formas, la pregunta más importante, o al menos la más delicada, sobre el Informe Bangemann es: ¿qué se entiende realmente por las palabras "liberalización" y "competición" aconsejadas en el informe como la solución para el desarrollo de las superautopistas multimedia en Europa?

Liberalización de qué y por qué motivo

Durante los pasados cien años, los países desarrollados se han esforzado en proporcionar a la gente el viejo y sencillo servicio telefónico - el equivalente al Volkswagen Escarabajo en telecomunicaciones. Y ahora un número de voces en los Estados Unidos, Japón y Europa reivindican que mañana por la

mañana cada alumno en la escuela, cada enfermera en el hospital, todo funcionario público u oficinista o toda persona discapacitada deberían tener un Rolls Royce. Estas voces también dicen que es una pena que no haya más Rolls Royces hoy, porque todas las tecnologías necesarias para fabricarlos existen ya. La única razón de su escasez, dicen, es su excesivo precio y por lo tanto la razón es hacer que los precios bajen. Esto es a lo que se llama "liberalización y competición".

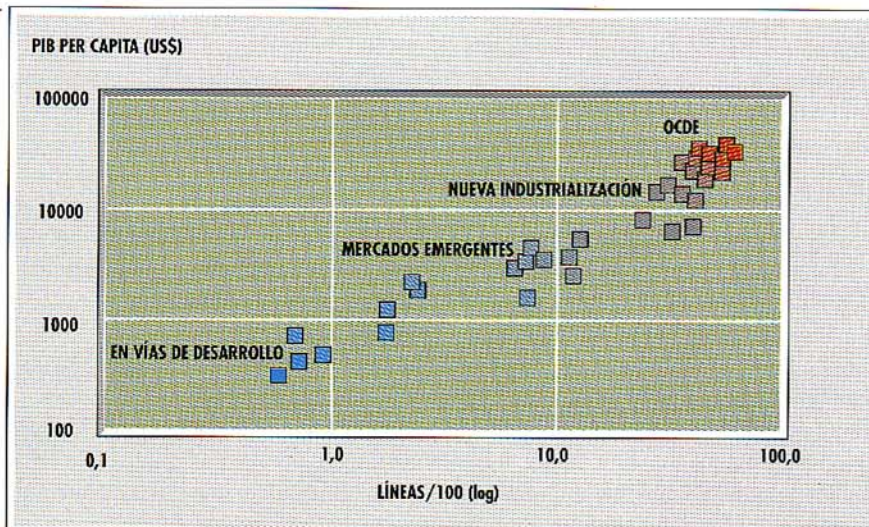
De todas formas, aunque la industria de la automoción es muy competitiva, todavía existen muy pocos propietarios de Rolls Royces. Por lo tanto, ¿es absolutamente cierto que la competición pura -el sencillo juego de las fuerzas mercantiles en un mercado libre- es suficiente para promover el desarrollo del Rolls Royce de la telecomunicaciones que es el multimedia?

La pregunta no es ni trivial ni puramente académica: ir más lejos y acelerar la liberalización de las telecomunicaciones en Europa sólo merece la pena si la competición por sí sola tuviese un ingrediente mágico que ayudara a la televisión interactiva y a los servicios multimedia a desarrollarse rápidamente. Si no lo hace y el único resultado son desventajas - como hacer más difícil a los países menos desarrollados de Europa el ofrecer servicio telefónico universal y enormes pérdidas adicionales de empleo en los operadores europeos (como en Estados Unidos) con objeto de incrementar más allá su competitividad- la liberalización ciertamente sería más perjudicial que beneficiosa.

Una mirada a los hechos

En el Reino Unido, los operadores de televisión por cable poseen total libertad para ofrecer servicios de televisión interactivos. También

Figura 1 - Líneas telefónicas por cada 100 habitantes en comparación con el PIB per cápita, en datos de 1992, con hipotéticas etapas de desarrollo económico. (Fuente: UIT, estimaciones de Baring Securities)



tienen el poder financiero para hacerlo así, porque algunos de sus principales accionistas son poderosas compañías norteamericanas. No obstante, ¡aún no hay televisión interactiva en el Reino Unido! Igualmente, en Estados Unidos AT&T, MCI, Sprint y los operadores de televisión por cable no están en contra de entrar en el campo de los servicios de video interactivo, pero esto tampoco ha sucedido allí todavía.

Por tanto, hasta ahora no hay evidencia de que levantar las restricciones reguladoras sea la solución per sé y de que pueda existir una buena razón para hacerlo.

A un visitante que regresó a España después de una serie de años se le preguntó qué cambios había notado. Respondió que el más acusado era el número y tamaño de los coches. Es un hecho que el desarrollo del número de automóviles por habitante se encuentra estrechamente relacionado con las leyes económicas generales, así como el número de líneas telefónicas por habitante se encuentra estrechamente relacionado con el PNB per cápita. También lo están las suscripciones a televisión por cable o el gasto en servicios informáticos de negocios, videojuegos, telecompra, etc.

Pero, ¿por medio de qué milagro el multimedia, que es más o menos un matrimonio de todos estos ingredientes, dentro de un entorno competitivo orientado al mercado se desarrollará mediante una regla distinta; una regla que no esté relacionada con el PNB per cápita? Por lo tanto, la cuestión es: ¿qué hay que hacer para ayudar a que el multimedia se desarrolle más rápidamente que a su ritmo natural -relacionado con el PNB per cápita-, con el propósito de asegurarse de que las desventajas mencionadas más arriba -particularmente el desempleo- se verán más que compensadas por los beneficios esperados por el nuevo modelo liberal aconsejado por el

PAÍS	1991	% DE LA UE 1992	1993
LOS 12 DE LA UE	100	100	100
BELGICA	107.4	109.6	111.8
DINAMARCA	109.7	106.8	113.3
ALEMANIA	105.7	107.6	107.5
- ANTIGUA	123.5	123.4	121.4
- NUEVA	34.1	42.6	49.1
GRECIA	48.8	50.2	50.9
ESPAÑA	79.8	77.6	73.9
FRANCIA	114.9	113.1	116.3
IRLANDA	74.1	76.9	85.5
ITALIA	106.0	105.4	102.0
LUXEMBURGO	130.9	132.1	136.8
HOLANDA	103.9	102.8	106.7
PORTUGAL	65.5	67.5	64.5
REINO UNIDO	98.3	98.9	99.4
ESTADOS UNIDOS	141.1	144.2	149.6
JAPON	118.4	120.1	119.5

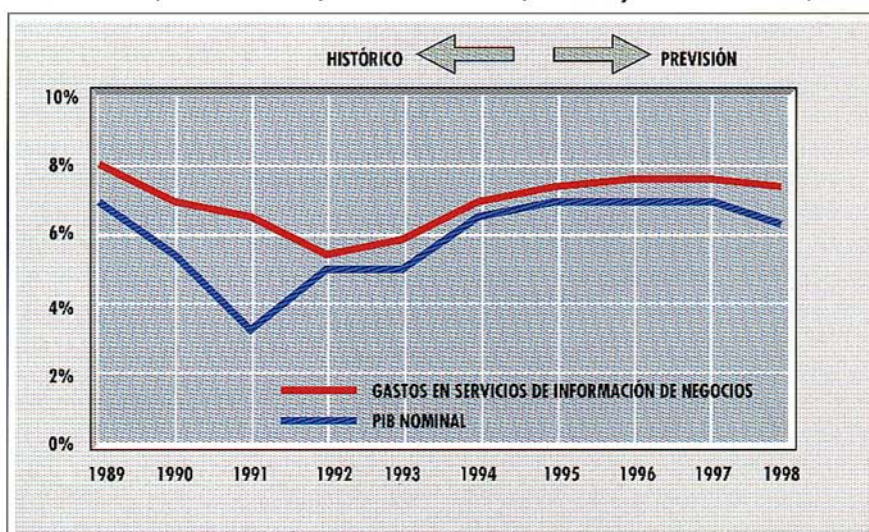
Tabla 1 - Producto nacional bruto por habitante, de 1991 a 1993, según el poder adquisitivo. (Fuente: Europolitique)

AÑO	COMUNICACIONES TELEFONICAS	EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES	TOTAL
1981	1077300	157500	1234800
1982	1071800	149300	1221100
1983	956000	139000	1095000
1984	953000	145300	1098300
1985	915400	142300	1057700
1986	883600	127600	1011200
1987	905300	118600	1023900
1988	908300	117100	1025400
1989	857600	102800	960400
1990	879400	95100	974500
1991	891600	122200*	1013800
1992	886500	112600	999100
1993	872100	150700	97800
CAMBIO 1984-92	-205200	-51800	-257000

Tabla 2 - Empleo en telecomunicaciones. (Fuente: Oficina de Estadísticas Laborales, Empleo y Salarios de Estados Unidos, varios años).

*El criterio (código SIC) para fabricantes de telecomunicación europeos se redefinió en 1990 y en consecuencia los datos no son comparables de manera exacta. Esto explica el aparente incremento del empleo en fabricación de telecomunicaciones de 1990 a 1991

Figura 2 - Gasto en servicios de información de negocios y crecimiento nominal del PIB; 1989 a 1998. (Fuentes: Veronis, Suhler & Associates, Wilkofsky Gruen Associates)





Miembros del Grupo de máximo nivel sobre la Sociedad de la Información

Informe Bangemann? Esta cuestión ha de estudiarse en profundidad y resulta útil echar primero una mirada sobre lo que está ocurriendo en Estados Unidos.

¿El de EEUU es el enfoque acertado?

En Estados Unidos existe un proyecto -similar al de la Sociedad Europea de la Información- denominado Iniciativa Nacional de Infraestructura (NII). Hay además una serie de proyectos de ley sujetos a discusión en el Senado que tratan sobre la NII y que tienen aproximadamente tres tendencias en común.

La primera es eliminar las normativas dispares: por ejemplo, hoy AT&T es completamente libre de ofrecer servicio telefónico local en EEUU, en tanto que a las compañías operadoras regionales Bell

(RBOC) se les impide ofrecer servicios de larga distancia. Además, AT&T, otros operadores de larga distancia y las compañías de cable son completamente libres de ofrecer servicios de televisión, en tanto que a las RBOC se les prohíbe hacerlo así en virtud del modificado fallo final del juez Greene. El primer paso, común a todos estos borradores de proyectos de ley es abolir estas disposiciones dispares, con lo que todos podrían participar. Por consiguiente, se ha pensado, por ejemplo, permitir a los RBOC ofrecer servicios de larga distancia, televisión interactiva, etc., y también fabricar equipos de telecomunicaciones.

Pero esto no significa que a todos y cada uno de ellos se les permitirá hacer todo y de la forma en que quieran. La segunda tendencia común es, una vez libres de las disposiciones asimétricas, redefinir

las reglas del juego. Y esto se hará de acuerdo con un sencillo principio clave: salvaguardar el interés de los clientes en la competición.

Finalmente, el tercer principio es establecer una exacta paridad reguladora entre los operadores telefónicos locales y las compañías de cable.

De todas formas, en el proceso de convertir estos recomendables principios en leyes, algunos de los proyectos proponen disposiciones de naturaleza bastante extremista: a las RBOC no se les permitirá aliarse con un operador de cable dentro de una misma área geográfica; las RBOC deben acometer nuevos negocios en servicios de videocomunicaciones a través de subsidiarias independientes y no deben subsidiarlas desde sus operaciones actuales; para evitar cruces de subsidios más sutiles, a las nuevas filiales no se les permitirá avalar recursos del mercado financiero con los fondos de sus compañías matrices; en general, todas las relaciones entre la compañía matriz y sus filiales deberían mantenerse a distancia. En justa paridad, para ser leal, una compañía de televisión por cable que desee ofrecer servicios de telecomunicaciones en su área también tendrá que hacerlo a través de una subsidiaria separada, sin cruces de subsidios, apoyo financiero de la compañía matriz, etc.

Por tanto, las nuevas reglas del juego probablemente quedarán como sigue: a todos se les permitirá realizar todo lo nuevo, en la medida en que lo hagan como si estuvieran empezando desde el principio. Para volver a la analogía con la industria de la automoción, es algo así como si se decreta que se necesitan nuevos fabricantes de Rolls Royces pero a los fabricantes de automóviles existentes se les impide o prohíbe utilizar su experiencia, sus fábricas, su capacidad financiera, etc.

¿Es "empezar desde el principio" realmente la mejor forma de

promover el desarrollo de las superautopistas? ¿No hay otras formas de salvaguardia contra posibles posiciones dominantes que impedir a los grandes jugadores participar?

¿Qué debería ocurrir en Europa?

En cualquier caso, probablemente ésta no es la solución que Europa debería adoptar, porque empezar desde el principio significa que el negocio de las superautopistas se desarrollaría como mucho a su ritmo natural. La economía europea se está rezagando respecto a la estadounidense. Si es acertado relacionar el desarrollo de las telecomunicaciones y la televisión con el PNB per cápita, adoptar el mismo esquema regulador en Europa que en Estados Unidos significaría que Europa habría decidido quedarse por detrás del desarrollo multimedia en los EEUU.

Por tanto, Europa tiene que diseñar una estructura reguladora más creativa, más proactiva, con mayores incentivos que el de establecer un campo de juego nivelado reduciendo a los grandes jugadores al tamaño de los pequeños o, todavía peor, prohibiendo al mayor inversor potencial y a la compañía más dinámica entrar en el campo, como ha sucedido en el caso del Reino Unido. Y, casualmente, nin-

guno de los proyectos de ley propuestos en EEUU incluyen a AT&T ni la obligan a crear subsidiarias independientes para fabricación, servicio local o actividades de videocomunicaciones, a pesar de su posición dominante de operador.

De todas formas, el Informe Bangemann tiene muchos puntos positivos. Por mencionar sólo unos pocos:

- "La única cuestión es si la Sociedad de la Información será una creación estratégica para el conjunto de la Unión o una amalgama de iniciativas de los estados miembros más fragmentada y mucho menos eficaz".
- "Sólo la escala del mercado interno es suficiente para justificar y atraer la financiación requerida para las redes de información transeuropeas de alto rendimiento".
- "Existe una clara necesidad de perfilar nuevas leyes de juego lo antes posible. El mercado estará entonces en posición de anticipar la nueva estructura".
- "La apertura del mercado europeo debería encontrar contrapartida en los mercados y regiones del mundo. Es de suma importancia para Europa que se den los pasos adecuados para generar igualdad de acceso".
- "Las áreas de la sociedad de la

información están sujetas a una intensa presión globalizadora. Si es conveniente, debería usarse la noción de un mercado global más que de una Unión amplia para valorar aspectos de competencia como fuerzas de mercado, joint-ventures y alianzas".

- "Una intensa competencia no producirá por sí sola -o lo hará muy despacio- la masa crítica con fuerza para impulsar nuevas inversiones en nuevas redes y servicios".
- "Las iniciativas en forma de aplicaciones experimentales son los medios más eficaces para debilitar la demanda y la oferta... Para ser verdaderamente efectivas, estas aplicaciones han de ser lanzadas al campo comercial real, preferiblemente a gran escala".

Todas estas ideas han sido largamente aconsejadas por Alcatel y la industria europea de telecomunicaciones. El informe también viene a refrendar otra idea: las tecnologías de la información y las comunicaciones son las claves facilitadoras de la sociedad de la información del mañana. Ciertamente, la industria de telecomunicaciones europeas no está en desacuerdo y sí preparada para salir al encuentro de este reto.



François Petit

Vicepresidente de Estrategia y Desarrollo Corporativo
Asistente ejecutivo senior al Comité de Gestión de Alcatel



Presentación - Una segunda juventud para la transmisión de radio

D. Ferraro

Alcatel Radio Transmission Systems, Milán, Italia

Las actividades de la transmisión de radio se han desarrollado significativamente en los últimos años, y seguirán haciéndolo así en el futuro. Diferentes cambios han traído una dramática evolución del entorno de las telecomunicaciones, notablemente unida a la liberalización y a los nuevos servicios, así como al continuo progreso de las técnicas y tecnologías en casi todos los campos de la transmisión de radio.

Al igual que en el entorno de las telecomunicaciones, algunas nuevas tendencias básicas están impactando en las actividades de la transmisión de radio. La primera está asociada a los cambiantes requisitos del mercado y a la emergencia de nuevos servicios. En particular, los servicios de comunicaciones móviles, y la comunicación y transmisión de datos por satélite están trayendo nuevas aplicaciones para los productos y técnicas de la transmisión de radio.

Una segunda tendencia básica en el entorno está ligada con la dramática y acelerada velocidad de la liberalización y la privatización. En muchos países se están estableciendo continuamente nuevos operadores y están emergiendo poderosas necesidades de los clientes

privados. La necesidad de transmisión de estos nuevos clientes está siendo servida, idealmente, por técnicas de radio gracias a su flexibilidad, rapidez y facilidad de instalación, y su bajo coste.

Por último, una continua tendencia básica en la industria de las telecomunicaciones es la sostenida demanda de infraestructuras de telecomunicaciones, en particular en el sudeste asiático y en la América latina. En tales zonas, por razones económicas y geográficas, la transmisión por satélite y por microondas son frecuentemente el medio elegido.

Con estas nuevas tendencias en el entorno, la transmisión de radio está sufriendo cambios importantes. Aplicaciones tradicionales, como los enlaces por satélite internacionales o la red de microondas a larga distancia en los países industrializados, están siendo sustituidas por la transmisión por fibra óptica; al tiempo, nuevas aplicaciones y mercados se están desarrollando rápidamente, con un renovado crecimiento de las actividades.

En paralelo con estas nuevas tendencias en el entorno, la actividad de transmisión de radio se aprovecha también de las impor-

tantes innovaciones técnicas y tecnológicas, muchas de las cuales permiten nuevos campos de aplicación para los equipos de comunicaciones por satélite y por microondas, y el lograr ventajas competitivas sobre otros medios de transmisión.

En este número, se cubren con detalle la mayoría de las evoluciones técnicas y tecnológicas en el campo de las comunicaciones por satélite y por microondas. Se resumen en tres tendencias básicas.

Creciente nivel de integración - Todos las clases de productos de transmisión de radio se aprovechan de la creciente velocidad de integración. En los campos de proceso de señal y modulación/demodulación, el muy alto nivel de integración de los ASIC (circuitos integrados de aplicación específica) permite una importante reducción en los requisitos de tamaño, coste y energía, junto al crecimiento de las prestaciones, especialmente en el campo de las técnicas de contra-medidas digitales. Igualmente, la parte de radiofrecuencia de los equipos se ve fuertemente impactada por la disponibilidad de circuitos integrados de arseniuro de galio (AsGa) realizados como

MMIC (circuitos integrados monolíticos de microondas). Dichos circuitos incorporan decenas de funciones, anteriormente realizadas por componentes discretos, en unos pocos milímetros cuadrados de AsGa.

Longitudes de ondas milimétricas - Durante largo tiempo, las comunicaciones por satélite y por microondas se limitaron a SHF (frecuencias super elevadas), hasta 20 GHz (longitud de onda de 1,5 cm). Las nuevas tecnologías y componentes han ampliado su campo de aplicación, permitiendo el funcionamiento hasta 60 GHz (longitud de onda de 5 mm). Esta evolución proporciona un significativo espectro adicional para las aplicaciones de transmisión de radio, y una huida de las congestionadas bandas de las bajas frecuencias.

Gestión de red y control del software - La operación y mantenimiento es una creciente actividad de todos los operadores. Junto a otras actividades de telecomunicaciones, el campo de la transmisión de radio está evolucionando rápidamente hacia una gestión de red integrada, que simplifique las tareas de operación y mantenimiento de la red. Igualmente, la creciente capacidad para controlar y configurar a distancia importantes funciones del equipo permite la reducción en los costes del tiempo de vida del equipo de transmisión de radio. Los productos de transmisión de radio, y en particular el equipo de microondas, se están convirtiendo en una parte integrada de la nueva red de transmisión síncrona con la implantación de las normas SDH o SONET.

Enfrentada a la rápida velocidad de cambios en el entorno del mercado y a la acelerada evolución técnica y tecnológica, la actividad de transmisión de radio, a la que hace pocos años se le cuestionaba su futuro, está viviendo ahora una especie de renacimiento

que le está trayendo una segunda juventud.

Domenico Ferraro, titulado en ingeniería eléctrica, comenzó su carrera con Alcatel Face en 1961, donde ha desempeñado diferentes cargos de responsabilidad creciente en diferentes sectores de la compañía. En 1975, fue nombrado director de la división de telefonía y al año siguiente de la división de conmutación de Face Standard. En 1985, es manager del grupo de telecomunicaciones y, en el mismo año, es nombrado director general de Alcatel Face. Desde noviembre de 1991 ha sido Director de Alcatel Italia, compañía formada por la unión de Alcatel Face y Alcatel Telettra. En marzo de 1994, el Sr. Ferraro fue nombrado presidente de Alcatel Radio Transmission Systems que integra las actividades de radiotransmisión de Alcatel, para aplicaciones civiles y militares. El Sr. Ferraro está también en el Comité Ejecutivo de Alcatel y en otros órganos internacionales de la empresa.

Transmisión por ondas milimétricas

G. Colombo Alcatel Radio Transmission Systems, Vimercate, Italia
T. Podolak Alcatel Radio Transmission Systems, Nanterre, Francia

Introducción

La transmisión por ondas milimétricas es adecuada para una serie de aplicaciones de radioenlaces, ya que ofrece soluciones para bajas y medias distancias en un producto compacto que puede instalarse y mantenerse fácil y rápidamente.

Estas aplicaciones son tanto para las densas redes de telecomunicaciones de áreas urbanas, como para redes privadas. La transmisión por ondas milimétricas también se presta a la instalación de servicios temporales de telecomunicaciones y a la restauración de servicios en caso de catástrofe.

Alcatel ha desarrollado una familia de radioenlaces digitales operativos en frecuencias de 23 a 58 GHz, que corresponden a longitudes de onda de entre 11 y 5 mm. Todos ellos cumplen los estándares internacionales de telecomunicaciones para satisfacer la demanda en todo mundo. Se ha empleado tecnología madura, para diseños militares y civiles, basada en altos volúmenes de producción.

Aplicaciones de red

Este artículo presenta el trabajo realizado en Alcatel en el desarrollo de radioenlaces comerciales de ondas milimétricas (MMW) en respuesta al reciente crecimiento de la demanda de transmisión digital de baja capacidad en entornos urbanos.

El análisis ha mostrado que los radioenlaces MMW son susceptibles de aplicación extensiva en el mercado de redes celulares más que en otros mercados como acceso público y redes privadas, debido al gran número de enlaces digitales de baja capacidad implicados, ofreciendo ventajas sobre líneas alquila-

das y una mayor libertad en la elección del enclave de las estaciones transceptoras (BTS). La BTS es la infraestructura de acceso al usuario del sistema celular y, en la arquitectura de esta red, se encuentra asociada a una célula.

Con la liberalización de ondas en Europa, se ha introducido la competencia para este tipo de servicio, por lo que numerosos operadores tienen sus propias redes instaladas con una cobertura completa, multiplicando el número de enclaves BTS. Además, el uso de la banda de 1,8 GHz para el nuevo sistema celular (DCS 1800 estándar, una solución complementaria para comunicaciones móviles), reduce el tamaño de la célula, con un incremento correspondiente del número de BTS, especialmente en las densas áreas urbanas. Por lo tanto, aparte de los numerosos problemas relativos a la instalación física de las BTS en el entorno urbano, las soluciones técnicas y el coste de las conexiones digitales de las BTS a las estaciones controladoras de base (BSC) constituye el mayor capítulo.

Para concluir el análisis, en lo que concierne a la capacidad de transporte, la necesidad de 2, 2x2 y 4x2 Mbit/s corresponde al mayor tamaño de este mercado relativo a la transmisión MMW.

Para propósitos de operación y mantenimiento la capacidad para soportar interfaces TMN, principalmente Qx y f de acuerdo con las recomendaciones del UIT, está claramente indicada.

Cuestiones de espectro

Con la reciente explosión del mundo "sin hilos", y en particular de las redes celulares digitales, la racionalización

del espectro para servicios fijos de 1 a 60 GHz se ha convertido en materia urgente.

Uno de los principales temas de WARC'92 fue la asignación de bandas de alta frecuencia entre 1 y 3 GHz para los nuevos sistemas digitales terrenos móviles, como GSM, DCS 1800, PMR, PCN/PCS, DECT y TETRA, y para sistemas móviles aeronáuticos. Por lo tanto, los servicios fijos tienen que liberar algunas de sus tradicionales frecuencias de banda para colocarse en bandas desde un límite mínimo de 3 GHz y generalmente hasta 23 GHz.

En los últimos tres años, la necesidad de nuevas bandas de frecuencias ha creado la demanda de definición por el CCIR de un nuevo ordenamiento de canales a frecuencias más altas y de estandarización de los correspondientes sistemas de alcance visual, siendo estos estándares elaborados por ETSI para los países de la CEPT.

Durante este período, se han identificado y asignado numerosas bandas, que van desde 24,25 hasta 58 GHz. ETSI ha descrito las especificaciones formales y la mayoría de ellas se encuentran en fase de aprobación.

El mercado se inició en el Reino Unido, donde se instaló una primera generación de sistemas digitales punto multipunto MMW para los operadores de PCN (estándar DCS 1800).

Principalmente, en el grupo de trabajo de gestión de frecuencias del comité europeo de radiocomunicaciones (ERC) de la CEPT, se acordó a principios de 1994, en el contexto de la DSI (investigación detallada del espectro), redefinir con urgencia las bandas de 20 a 30 GHz, con el fin de armonizar su uso en toda Europa. Estas bandas de frecuencia son muy útiles en zonas climáticas con alto índice de precipita-

ciones, especialmente en el sur de Europa, donde se permiten similares longitudes de salto de onda que las bandas de 38 GHz en el norte de Europa. Estas bandas también representan un nuevo recurso de espectro en aquellos países donde la banda de 23 GHz ya está congestionada.

WARC'92 asignó la banda de 21,4 a 22,0 GHz al servicio de difusión por satélite y la banda de 24,25 a 25,25 GHz a los servicios fijos. El espectro por encima de 25,25 GHz ya se encontraba asignado a los servicios fijos, por lo que los dispositivos de gestión de canal de frecuencia dividen la banda de 24,25 a 29,5 GHz en dos bandas de 24,5 a 25,5 y de 27,5 a 29,5 GHz, con una separación de frecuencias fijas de ida y vuelta.

Parámetros de sistema

Mediante el cálculo del presupuesto de enlaces en zonas geográficas CCIR con diferentes índices de pluviometría puede mostrarse que un producto en una banda de frecuencia simple no puede ofrecer el servicio esperado, en tanto que la familia MMW completa, al incluir la gama total de bandas, concede la flexibilidad para proporcionar una transmisión fiable sobre variadas zonas geográficas y para distintos saltos de longitud de onda.

Esta familia debería tener una frecuencia de 24,5 a 58 GHz, pero incluso se pueden utilizar productos microondas similares por debajo de los 3 GHz si fuera necesario. Esto ha conducido a Alcatel a desarrollar una completa gama de radioenlaces digitales microondas y de ondas milimétricas, a través de dos familias de productos, Alcatel 9400LL y 9400UL (larga distancia y baja capacidad urbana).

Uno de los requisitos de diseño básicos es fijar la indisponibilidad del enlace.

Hoy no existe una precisa especificación de UIT para indisponibilidad del enlace en los terminales locales en una red compartida, en tanto que para transporte a larga distancia (la referencia es 27.500 km) la indisponibilidad está fijada en el orden de 0,1%, alrede-

dor de diez horas por año.

Por lo tanto, para los fabricantes de enlaces de terminales locales dentro de redes compartidas puede ser un objetivo razonable fijarla en el orden de 0,01%, alrededor de una hora por año.

Los cálculos de Alcatel están basados en una indisponibilidad del 0,005% ó alrededor de media hora por año, para cumplir los más exigentes requisitos impuestos en la actualidad por numerosos operadores (*Figura 1*). En la figura, las curvas se han calculado para una temperatura en el aire de 25°C y un 60% de humedad relativa; la absorción de gas y el debilitamiento de la propagación por aire se han tenido también en cuenta.

Arquitectura y configuraciones

La familia de radioenlaces digitales Alcatel 9400UL (baja capacidad urbana) actualmente está compuesta de una gama de productos que operan a 13, 15, 18, 23 y 38 GHz. La elección de frecuencias y el establecimiento de antenas está referido a la frecuencia local establecida y a la distancia a cubrir. La familia de productos se basa en una arquitectura común en tres unidades distintas:

- unidad interior (IDU)
- unidad exterior (ODU)
- antena

La IDU puede instalarse en un bastidor estándar de 19 pulgadas para instalaciones típicas y existe una versión de sobremesa para aplicaciones privadas. Las dos versiones IDU implementadas han sido:

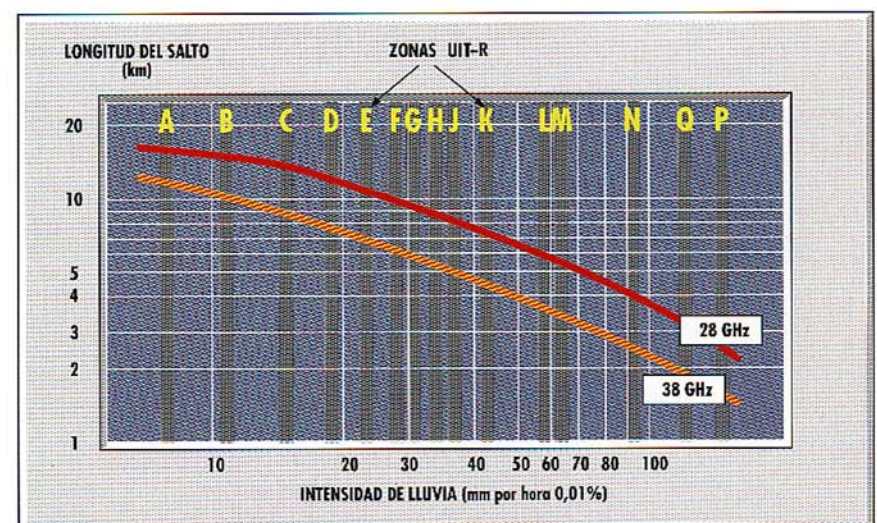
- 1+0 no expandible
- 1+0 convertible a 1+1

Las diferentes configuraciones de 1+1 permiten la posición de reserva; heterofrecuencia y operaciones de polarización cruzada. La *Figura 2* muestra el diagrama de bloque de la IDU (1+1).

La ODU contiene el transceptor, que opera entre -33 y +50°C. Está montado sobre el soporte de antena, cerca de la antena para minimizar las pérdidas de interconexión. La *Figura 3* muestra el diagrama de bloques del ODU Alcatel 9438UL. Para las versiones 1+1 se han usado dos ODU por estación terminal y están conectados a una de las antenas (13, 15, 18 y 23 GHz) ó a las dos (38 GHz). La *Tabla 1* muestra las versiones y configuraciones del producto de 38 GHz.

Las antenas parabólicas de alta eficiencia se han diseñado de acuerdo con los estándares de equipamiento del ETSI para minimizar los problemas de interferencias. En el caso del Alcatel 9438UL (38 GHz), para reducir las pérdidas y atenuación, se ha realizado una interconexión directa desde la ODU a

Figura 1 - Indisponibilidades (0,005% del tiempo) con antenas de 38/35,2 dBi para 38/28 GHz



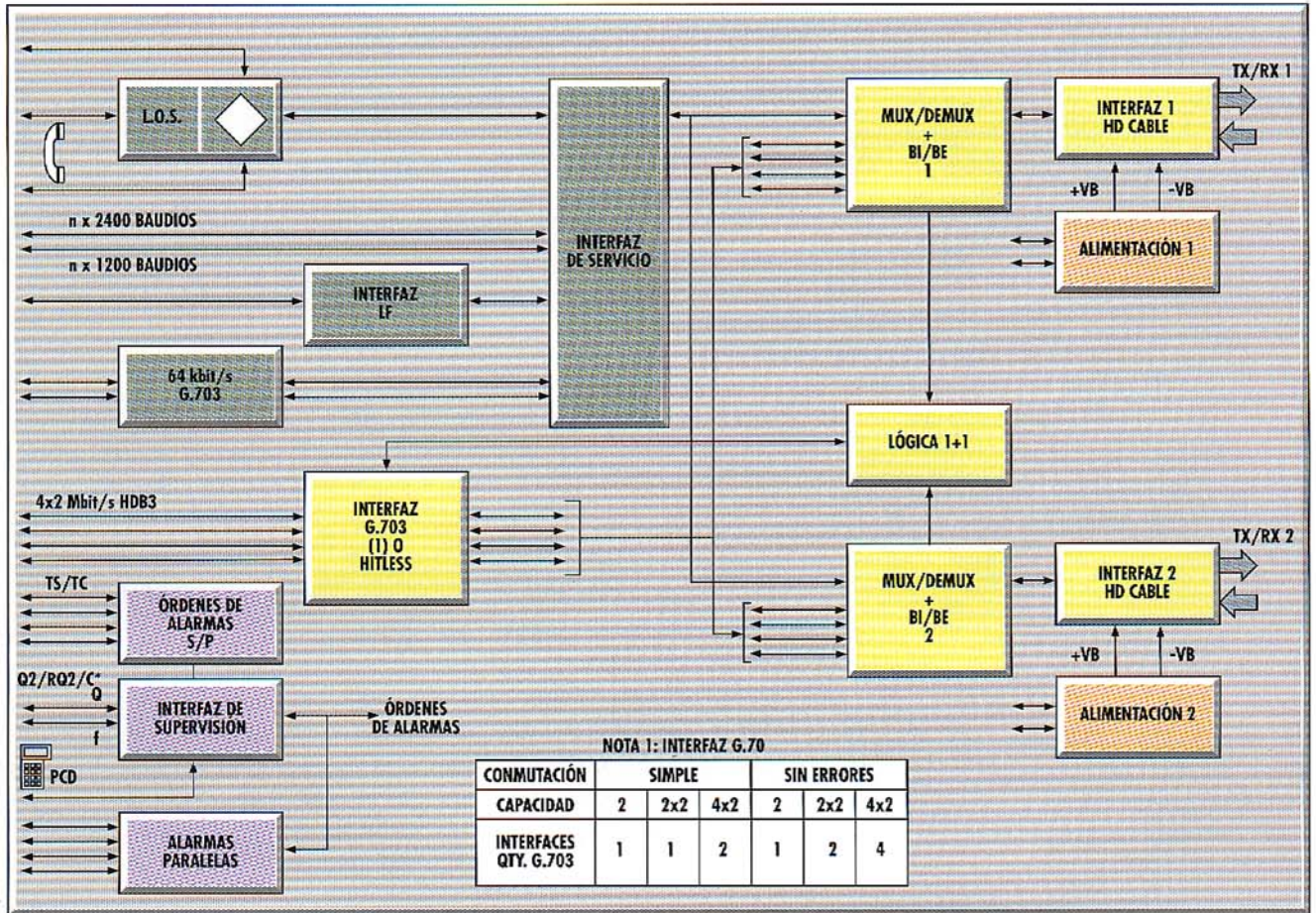
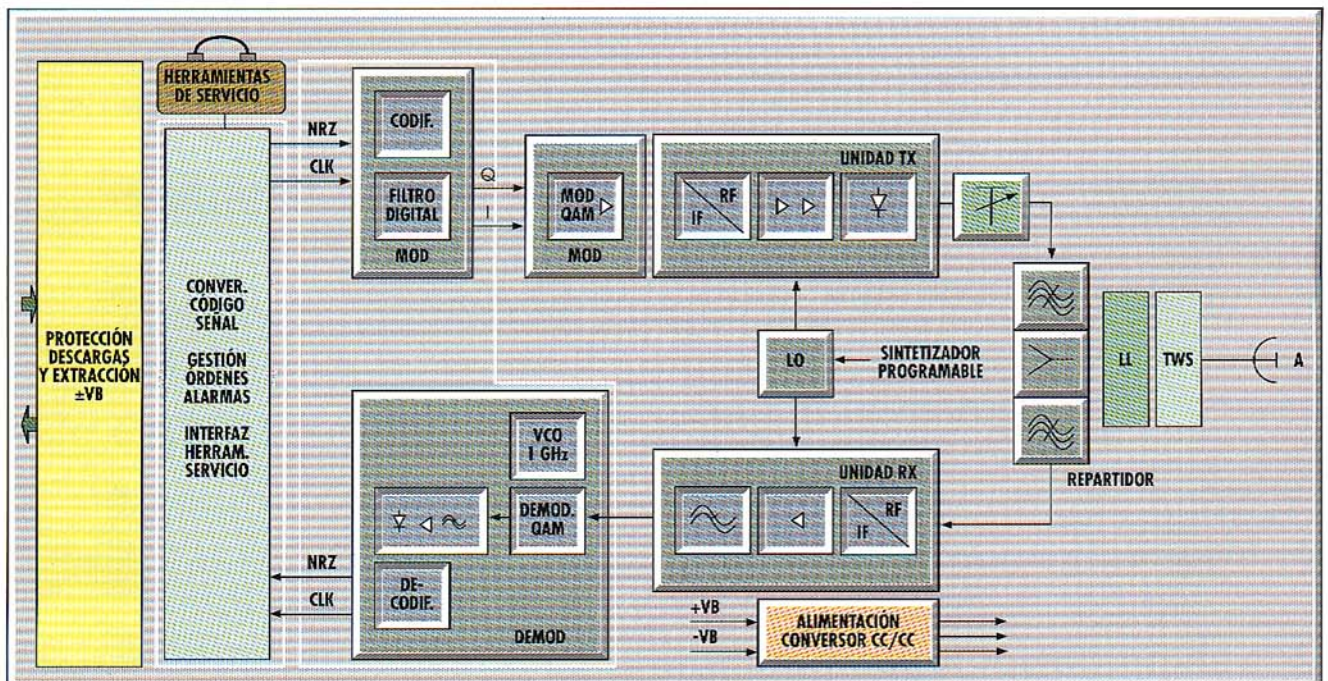


Figura 2 - Diagrama de bloques de IDU

Figura 3 - Diagrama de bloques de ODU (Interfaz de Datos de Operador)



la antena. La montura polar dispone de 360° de azimut y ± 20 grados de elevación del posicionamiento de la antena, con ajuste grueso y fino, así como montaje a izquierda o derecha, para cumplir las necesidades de montaje en áreas urbanas. Una bolsa de herramientas de instalación, directamente incorporada a la ODU, permite un fácil y preciso alineamiento de la longitud de onda por parte de los técnicos.

IDU y ODU se encuentran interconectadas por dos cables coaxiales estándar. La IDU proporciona información de supervisión incorporada (UIT G.821) así como un interfaz hombre-máquina vía unidad portátil para supervisar el estado del terminal. La IDU provee también, en base a las recomendaciones del UIT, una arquitectura TMN. Se soportan los interfaces Q2 y f, lo cual permite la interconexión al sistema Alcatel 1300 NX TMN.

Tecnología de equipo

Una descripción del producto de 38 GHz, el que mejor representa a la familia completa, ilustra el concepto de "producción en stock" para tiempos de envío reducido. En línea con las más avanzadas tecnologías, mediante un equipamiento cuidadosamente estudiado se reduce el número de versiones y se hace posible una reconfiguración económica de una a otra versión por medio de la adición, reemplazamiento de componentes o simplemente resintonización. Los puntos claves de esta solución son los siguientes:

- estructura del sistema simple con pequeño número de componentes MMW
- IC y dispositivos ASIC (IC de aplicación específica) monolíticos MMW para mejorar el rendimiento y reducir costes
- acercamiento modular a las bandas milimétricas, haciéndose posible la repetición de uso de circuitos
- integración de la unidad de módem con la unidad de transceptor

En la sección de transmisión se utiliza una IF de 1 GHz más un desplazamiento de frecuencias de 1,260 GHz. La IF se convierte a 39 GHz utilizando una SSB (banda lateral simple) mezcladora, realizada en sustrato de alúmina, y posteriormente amplificada por un amplificador de potencia monolítico IC MMW. Para unir el enlace a la antena se utiliza un diplexor de guía de ondas con cinco filtros de resonancia.

En el lado del receptor se utiliza un mezclador DBS (banda lateral doble), con la misma tecnología Alcatel que la del mezclador SSB, para convertir la señal entrante a una IF receptora fija IF de 1 GHz. La función de amplificación y filtrado del ASIC compacto es seguida por una demodulación digital.

Ambos mezcladores Tx y Rx son operados en modo subarmónico y se utiliza un oscilador local de 18,5 GHz, con las siguientes ventajas:

- sólo un oscilador local para Tx y Rx, con una importante reducción de coste
- filtros repartidores de gran ancho de

- banda, con menores pérdidas, capacitando al operador para cambiar de forma remota el canal de operación RF dentro de su ancho de banda
- optimización del proceso de modulación y demodulación para frecuencias fijas
- alto aislamiento LO a RF mediante mezcla subarmónica

Para la elección de modulación en la banda de 38 GHz se considera suficiente una modulación a dos niveles incluso con el estándar ETSI. Sin embargo, para la banda de 28 GHz es necesaria una modulación a cuatro niveles. Con el fin de conseguir una acercamiento común al sistema se decidió utilizar modulación a cuatro niveles en todos los casos. Como el comportamiento umbral del sistema para 4FSK es considerablemente inferior a otros esquemas más eficientes de modulación a cuatro niveles, se consideraron varias alternativas, incluidas 4PSK, 4QAM y 4MSK. Entre estas posibilidades se eligió 4QAM, al ofrecer la mejor combinación entre los siguientes parámetros:

- eficiencia de espectro (8 Mbit/s en la trama de canal RF de 7 MHz)
- ahorro de potencia transmitida debido a la reducción de retroceso
- ahorro por la ganancia de potencia de amplificación producida por las salidas de mayor elevación de potencia que pueden conseguirse con los mismos niveles de intermodulación
- mejora del nivel portadora-ruido (C/N) en el demodulador.

Tabla 1 - Versiones y configuraciones del producto de 38 GHz

Configuración de sistema	Equipo de interior	Equipo de exterior	Antenas
1+0 sin redundancia	1 equipo sin conmutación automática	1 equipo	1 antena con polarización simple V o H
HST 1+1 con redundancia	1 equipo sin conmutación automática	2 equipos a la misma frecuencia	2 antenas con polarización simple V o H
HET 1+1 con redundancia	1 equipo sin conmutación automática	2 equipos a diferente frecuencia	2 antenas con polarización simple V o H
XP 1+1	1 equipo sin conmutación automática	2 equipos a la misma frecuencia	2 antenas con polarización simple una V y otra H

En la banda de 28 GHz, cuando se considera la futura expansión del sistema a velocidades de datos medias (16x2 Mbit/s, 21x2 Mbit/s ó STM0), una modulación a cuatro niveles permite un considerable ahorro de potencia en comparación con la de 16 niveles y tiene menor complejidad y coste.

La mayoría de la parte de RF del sistema se encuentra implementada en tecnología de microbanda, fácil de fabricar y con un relativo bajo coste. También es un factor importante la disponibilidad de modelado de software interno. Los IC MMW monolíticos obvian cualquier problema de toma de tierra y no se utiliza sintonización de RF de los circuitos microbanda. En estos circuitos microbanda de 0,254 mm se utiliza alúmina (ϵ_r 9,9), adecuada para su uso hasta 60 GHz.

Los amplificadores de potencia monolíticos se utilizan en la sección de transmisión para un buen comportamiento y bajo coste; estos dispositivos se basan en tecnología de FET de 0,25 micras. Cada chip consiste en cinco FET; uno simple se utiliza en la entrada y la señal es entonces dividida mediante un acoplador Lange en dos brazos, cada uno con dos FET en serie. Un segundo acoplador Lange se utiliza a continuación para recombinar la señal. El uso de un acoplador Lange en el puerto de salida asegura una buena adaptación de salida. El uso de los IC monolíticos MMW, con empaquetamiento herméticamente sellado, se presentó como un factor clave en la producción.

Para fabricar los filtros repartidores requeridos a 38 GHz, la guía de ondas se eligió en función de su baja pérdida intrínseca. Los filtros de metal de plano de eje longitudinal insertados (filtros inductivos posteriores) se identificaron como los más adecuados debido a su simplicidad, facilidad de ensamblaje y adecuación a grandes volúmenes de producción.

Después de este trabajo se diseñó un diplexor guía de ondas para eliminar la necesidad de un circulador y el resultado es una estructura compacta. Durante la producción se añade una estructura de compensación de temperatura.

Conclusiones

Mediante una cuidadosa consideración de la amplia gama de escenarios de aplicación dentro de una variedad de entornos de operación, la elección de soluciones tecnológicas eficientes y económicas y la aplicación de buenos principios de diseño industrial, Alcatel ha producido una gama de radioenlaces de comunicación por ondas milimétricas de alta eficiencia que ofrecen soluciones flexibles y económicas a corto y largo plazo. Los altos índices de disponibilidad en combinación con la instalación rápida y de bajo coste hacen de estos enlaces una alternativa de alta tecnología privilegiada para las líneas cableadas, en especial para los mercados de redes corporativas y celulares.

Bibliografía

1. ETSI standards: ETS 300 197-38 GHz, 1993.
2. A. Morini, T. Rozzi, D. De Angelis, W. Gulloch: "A novel matched diplexer configuration in E-plane technology", IEEE MTT-S, Atlanta, 1993
3. T. Podolak, G. Colombo: "2nd generation of millimetrewave point-to-point digital systems", ECRR 1993, Proceedings IEE, pág. 307
4. G. Donzelli, F. Vidimari: "Componentes basados en arseniuro de galio para la industria de telecomunicaciones", Comunicaciones Eléctricas, primer trimestre de 1993, págs. 76-83
5. W. Gulloch, M. Politi, R. Nobili, M. Amati, G. Colombo: "Development of a commercial 38 GHz communication link", IEEE MTT-S, Atlanta, 1993
6. T. Podolak: "Alcatel 9400UL nouvelle famille de fasceaux urbains"; Commutation & Transmission, número 2, 1994

Giovanni Colombo nació en Cisano Bergamasco, Italia, en 1953. Obtuvo el título de ingeniero de electrónica por la Universidad Politécnica de Milán en 1983, año en el que

ingresó en Telettra. Trabajó en el Laboratorio de Radio hasta que en 1985 se incorporó al proyecto de la División Celular Móvil diseñando las secciones de control digital para la parte móvil del sistema analógico celular 450 MHz de SIP. Participó con CSELT (laboratorios SIP) e ITALTEL en la realización de un enlace móvil BTS de pruebas para GSM, y se integró en el grupo de estandarización GSM. En 1989 pasó algún tiempo en Francia colaborando con Telettra y Matra Comunicaciones para realizar los BTS y BSC del GSM. En 1991 se incorporó a Planificación de Sistemas Avanzados en la sede central de Telettra, dirigiendo el análisis de integración de redes (RTPC, GSM y satélite). Actualmente es responsable del desarrollo de productos milimétricos dentro de la unidad de I+D de Alcatel Radio Transmission Systems.

Thierry Podolak nació en París en 1964. Se graduó por la Escuela Politécnica en 1987 y recibió el título de ingeniero eléctrico de telecomunicaciones por el ENST de París en 1989. Después de un período con HP (laboratorios de Standford), se incorporó a Alcatel y trabajó en las especificaciones del sistema telefónico tierra-aire (TFTS). En 1992 se responsabilizó, como jefe de producto, de los sistemas microondas urbanos. En la actualidad es jefe del segmento de microondas de baja y mediana capacidad en Alcatel Radio Transmission Systems.

Transmisión por microondas SDH - tecnologías básicas, productos y aplicaciones de redes

M Nannicini Alcatel Radio Transmission Systems, Vimercate, Italia
M. Peruyero Alcatel Radio Transmission Systems, Nanterre, Francia
Y. Y. Lebre Alcatel Radio Transmission Systems, Nanterre, Francia

Introducción

La jerarquía digital síncrona (SDH) definida en las recomendaciones G.707, G.708 y G.709 del UIT-T se desarrolló para proporcionar las ventajas del acceso directo a todos los niveles jerárquicos sin multiplexar o demultiplexar, facilitando así la inserción/extracción y las conexiones de tributarios, redes de transmisión flexibles, estandarización de interfaces de línea y un entorno multi-proveedor. Otras ventajas adicionales son la unificación de la inserción de canales auxiliares por medio de taras estándar en la trama, y la capacidad de proporcionar una gestión de red automática centralizada (TMN) tal como se define en la recomendación M.3010.

Los sistemas de fibra óptica son claramente el medio de transmisión principal en el entorno SDH. Esto se debe a la facilidad de transmitir hasta el nivel jerárquico SDH más alto (STM-16, equivalente a 2,4 Gbit/s) y a la posibilidad de integrar las taras de la trama en los equipos multiplexores, en los de transconexión o en los de inserción/extracción.

De todos modos, a pesar de las ventajas de la fibra óptica, existen situaciones de red en donde la transmisión vía radio juega aún un papel importante. Los sistemas de radio se pueden utilizar en terrenos accidentados y pueden proporcionar redes de larga distancia en entornos de geografía complicada. Son sistemas robustos, que se mantienen en caso de desastre. Hoy en día, la necesidad de una respuesta rápida a la demanda creciente de capacidad digital para los enlaces de red de los servicios de radio celular, y para la red de acceso en general, y la posibilidad de una alternativa a la fibra óptica en la implementación de nuevas topologías de red basadas en SDH, todo ello abre perspectivas a la

aplicación a gran escala de los sistemas radio.

Alcatel ha desarrollado un nuevo sistema de transmisión radio digital (DRRS), que es completamente compatible con los equipos de fibra óptica SDH, de modo que tiene todas las ventajas que se han mencionado antes y ofrece al cliente un sistema de transmisión totalmente integrado.

Las recomendaciones internacionales ayudan a alcanzar esta integración definiendo, por ejemplo, nuevos objetivos de prestaciones extremo a extremo adecuados tanto para portadoras de fibra como de radio (G.826); la Rec. 750 del UIT-R especifica las arquitecturas y aspectos funcionales de sistemas de transmisión radio estrictamente ligados a las características generales; las funciones de equipos multiplexores síncronos se especifican en G.781, G.782 y G.783; la gestión de los equipos y redes SDH se especifican en G.784.

Con el fin de satisfacer todos los requisitos de SDH y las necesidades particulares del medio de transmisión radio, se han adoptado soluciones tecnológicas sofisticadas.

Aplicación de red radio SDH

El DRRS SDH se puede utilizar en las siguientes configuraciones de red (*Figura 1*):

1. Uso de las bandas de radiofrecuencia para transmitir señales STM-1 y sub-STM-1 por enlaces medios o cortos en áreas urbanas
2. La interconexión entre nodos (uniones) junto a ADM (multiplexores de inserción/extracción)
3. La extensión de abonados con ADM en un lado y multiplexor flexible de

abonado en el otro lado, o generalmente en la red de acceso

4. Creación o destrucción de anillos SDH
5. Enlaces de protección multimedia
6. Enlaces espúreos de anillo STM-1 principalmente para capacidad sub-STM-1
7. Uso tradicional como red principal en la red troncal.

Es interesante resaltar que, en términos generales, en los países más industrializados el radio de microondas, aunque juega un papel reducido (complementario a los sistemas de fibra óptica) en la red troncal, ha adquirido una nueva e importante posición en el área urbana, donde la "radio de baja capacidad" tradicional no siempre es suficiente para hacer frente a todas las necesidades de tráfico, ya que a menudo se requieren, para entornos de oficina, sistemas de capacidad media/alta totalmente integrados en el nuevo entorno SDH.

De todos modos, la situación es diferente en los países en desarrollo. En este caso, el radio de microondas de gran alcance ofrece todavía una solución rápida y económica para sistemas de comunicación caracterizados por necesidades de capacidad más baja.

Algunos puntos clave para la integración con éxito del DRRS en la red síncrona son el plan existente de asignación de frecuencias y la reutilización de infraestructuras, el uso de un mínimo de bytes de la tara específicos del medio, y la total compatibilidad con las facilidades TMN de SDH. En la implementación del tipo de red especificado anteriormente se usan tanto estaciones terminales como estaciones regeneradoras. En las estaciones terminales se termina la tara de multiplexación (MSOH) y se realiza una adaptación de la sección con un proceso

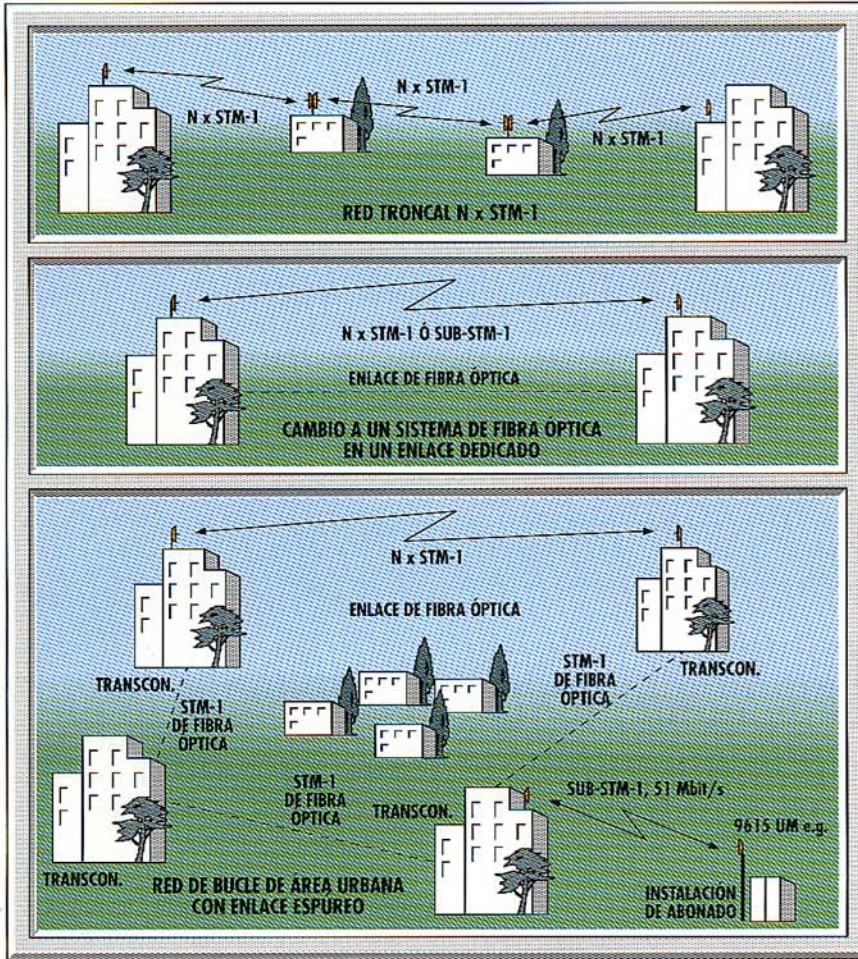


Figura 1 - Aplicaciones de red radio SDH

de punteros, mientras que en las estaciones regeneradoras se accede a la RSOH y, opcionalmente, a la MSOH (sin corromper la supervisión de errores B2).

Se proporcionan canales auxiliares usando los bytes SOH, con acceso por parte de una variedad de interfaces de usuario (canal de datos de 64 Kbit/s, canal

de datos asíncrono, canal de frecuencia de voz, etc.). Se puede insertar/extrair tráfico adicional a 2 Mbit/s, tanto dentro como fuera de la trama SDH, dependiendo de la implementación. Se garantiza la conexión con el sistema de gestión de red con los canales de comunicación de datos insertados, contruidos con los bits D1-D12.

Figura 2 - Comparación de los SOH en señales STM-1 y sub-STM-1

SUB-STM-1 OH				STM-1 OH																	
A1	A2	C1	RSOH	A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1	NU	NU	A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1	NU	NU
B1	E1	F1		D1	NU	NU	D2	NU	NU	D3	NU	NU	B1	NU	NU	E1	NU	NU	F1	NU	NU
D1	D2	D3		H1	H1	H1	H2	H2	H2	H3	H3	H3	D1	NU	NU	D2	NU	NU	D3	NU	NU
H1	H1	H1	MSOH	B2	B2	B2	K1	NU	NU	K2	NU	NU	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H3	H3	H3
B2	K1	K2		D4	NU	NU	D5	NU	NU	D6	NU	NU	B2	B2	B2	K1	NU	NU	K2	NU	NU
D4	D5	D6		D7	NU	NU	D8	NU	NU	D9	NU	NU	D4	NU	NU	D5	NU	NU	D6	NU	NU
D7	D8	D9		D10	NU	NU	D11	NU	NU	D12	NU	NU	D7	NU	NU	D8	NU	NU	D9	NU	NU
D10	D11	D12		Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2	NU	NU	D10	NU	NU	D11	NU	NU	D12	NU	NU
Z1	Z2	E2		Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2	NU	NU	Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2	NU	NU

NU = BYTES NO USADOS (PARA USO NACIONAL, FUTURA NORMALIZACIÓN INTERNACIONAL, USO ESPECÍFICO DEL MEDIO)

Todos los canales auxiliares, el de tráfico adicional y los de comunicación de datos insertados, se transmiten en configuraciones 1+1 como protección contra fallos y desvanecimientos.

Aplicaciones como el back-up del cable de fibra óptica o el cierre del anillo óptico pueden necesitar una capacidad de transmisión global de hasta 622 Mbit/s ó incluso 2,4 Gbit/s. Esto requiere un aumento de la eficiencia espectral, que se logra doblando la capacidad del ancho de banda de RF mediante técnicas de reutilización de frecuencias.

Capacidad de transmisión e interfaz radio SDH

Para satisfacer la necesidad de una red de transmisión totalmente integrada, el DRRS SDH soporta las siguientes interfaces de señal de usuario:

- STM-1: óptica G.957
- STM-1: eléctrica G.708
- 34,368 Mbit/s: eléctrica G.703
- 44,736 Mbit/s: eléctrica G.703
- 6,312 Mbit/s: eléctrica G.703
- 2,048 Mbit/s: eléctrica G.703
- 1,544 Mbit/s: eléctrica G.703

El interfaz STM-1 normalmente proporciona una señal estándar de 155 Mbit/s a carga total, pero puede tener también una señal de 155 Mbit/s a carga parcial, lo que permite al DRRS transportar sólo un tercio de la señal STM-1 con la tara necesaria (sub-STM-1). Esto puede ser adecuado para transmisiones a 51 Mbit/s, con tráfico plesiócrono correspondiente a 21 x 2 Mbit/s, 34 Mbit/s ó 44 Mbit/s, lo que da lugar a un ahorro en coste, en uso del espectro radio y en consumo, y a una posible reducción de la complejidad de la modulación.

Es posible conectar un DRRS a un interfaz sub-STM-1 a 51,80 Mbit/s. Este interfaz es aplicable en el punto de referencia del sistema radio para el caso del sub-STM-1 (RRRP), pero no en el interfaz del nodo de red (NNI).

La estructura de la tara de sección (SOH) para el sub-STM-1 se deriva de la SOH del STM-1, ver Figura 2, donde sólo se utilizan aquellas columnas sin

bytes de uso nacional (NU).

Para utilizar un DRRS en el transporte de módulos STM-N, el interfaz de señal de usuario puede ser un interfaz STM-N. Inmediatamente después del interfaz, la señal STM-N se demultiplexa, para ser transmitida en el medio radio como varios flujos paralelos a 155 Mbit/s.

Bloques funcionales de microondas SDH

El DRRS SDH tiene los siguientes bloques funcionales:

- SPI: interfaz físico SDH
- RST: terminación de la sección de regeneración
- MST: terminación de la sección de multiplexación
- MSP: protección de la sección de multiplexación
- SA: adaptación de sección
- RPS: conmutación radio de protección
- RPI: interfaz físico radio
- RF: ramificación
- SEMF: función de gestión del equipo síncrono
- MCF: función de comunicación de mensajes

La implementación de Alcatel de estos bloques funcionales es la siguiente:

- Transceptor radio (con diversidad de espacio y opciones ATPC) Tx, Rx (RPI)
- Modulador/demodulador (con inserción/extracción de SOH) MOD, DEM (RPI)
- Conmutación de protección automática APSE (*hitless*, ampliable a 7+1 ú 11+1) (RPS)
- Canales de servicio SERV (uso de los bytes SOH, protección 1+1, varios interfaces de usuario: EOW, canal de VF, codireccional a 64 Kbit/s, N x 1200 baudios, 2 x 2400 baudios, 4800 baudios, 9600 baudios) (MST/RST)
- Adaptación de la sección de radio RSA (interfaz SDH con proceso de punteros, sincronización, terminación de los bytes SOH) (SPI/MTS)
- Controlador de gestión de equipos EC (interfaz F, interfaz QBx, gestión de canal DCC) (SEMF/MCF)

La **Figura 3** muestra un diagrama de bloques típico de una sección de conmutación *hitless* multilínea de radio SDH.

En el caso de una señal n x STM-1 procedente de una fibra óptica, las radios SDH necesitan n+1 frecuencias y transceptores para implementar la protección radio por diversidad de frecuencias, usando un canal de reserva. Mientras el canal de reserva no esté realizand

do funciones de protección, puede transmitir tráfico ocasional.

Conmutación de protección radio

La protección de la sección multiplexora (MSP) definida en la recomendación G.782 de la UIT-T no es la adecuada para contrarrestar el desvanecimiento, ya que en los sistemas de microondas es obligatorio un tiempo de conmutación más rápido, unos 10 ms en vez de los 50 ms especificados para la MSP, y se necesitan criterios de conmutación sensibles a la propagación (aviso inmediato) para realizar el cambio de canal antes de que en el lado receptor se tengan errores o pérdidas de sincronismo. Estos criterios de conmutación deben procesarse en cada etapa radio, incluyendo los regeneradores.

Por ello se deben implementar dos niveles separados de protección:

- protección de red como la que realiza MSP
- conmutación de protección radio (RPS) como funcionalidad específica del equipo radio SDH.

RPS se implementa de forma que sea transparente a la protección de red. Para lograr esto, la comunicación entre el lado transmisor y el lado receptor se hace mediante información de conmutación

Figura 3 - Diagrama de bloques de la sección de conmutación *hitless* radio SDH

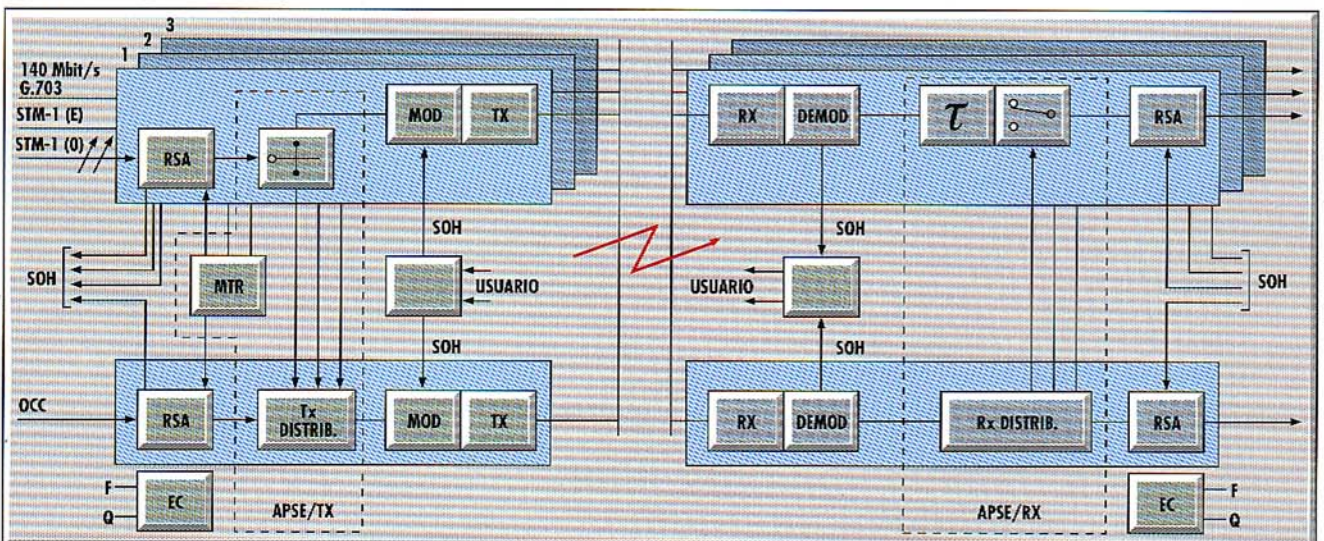




Foto A - Estación terminal, SDH 155 Mbit/s, 128 QAM, 3+1

digital (DSI), que se basa en un protocolo dedicado y se transmite en un canal de servicio de datos usando el byte específico del medio MSU 2.3 de SOH.

El sistema de microondas no toca los bytes K1 y K2 ni su protocolo, y quedan para la protección de la red.

La efectividad de RPS se basa en el conmutador *hitless*, que requiere que las tramas entrantes estén primero sincronizadas y alineadas en el lado transmisor y luego alineadas dinámicamente siguiendo los cambios debidos a desvanecimientos en el lado receptor, antes de la conmutación.

Para lograr esto, todos los flujos entrantes se sincronizan en trama en el lado transmisor por medio de un patrón de tiempo común (MTR), que puede ser proporcionado por una señal STM-1, ó por una fuente externa de 2 Mbit/s, ó por un oscilador local de alta estabilidad. En la unidad distribidora de transmisión se lleva a cabo un alineamiento fino a nivel de bit.

En el lado receptor hay un ajuste del retardo estático para compensar las diferencias estáticas en el camino de las señales, y otro alineamiento dinámico para compensar la variación en el tiempo de propagación debida al desvanecimiento por trayecto múltiple; el alineamiento dinámico explota una estrategia basada tanto en comparación de bits como en comparación de palabras del alineamiento de tramas SDH.

En algunas aplicaciones a frecuencias muy altas (p. ej., 18 GHz) no es obligatoria la característica *hitless*.

RPS también asegura la RPI contra fallos.

Son posibles configuraciones 1+1 y N+1; la configuración 1+1 es más simple porque no requiere el alineamiento de la

señal en el lado transmisor, o el intercambio de DSI entre los lados transmisor y receptor. Además, mientras que el tiempo de conmutación garantizado para la configuración N+1 es menor de 10 ms, para la configuración 1+1 se pueden lograr tiempos de conmutación menores de 1 ms.

Principales problemas técnicos y sus correspondientes soluciones

Los requisitos de SDH en microondas han introducido algunos problemas técnicos debidos a la creciente velocidad de 155 Mbit/s, a la posibilidad de reutilizar frecuencias, al cumplimiento de los objetivos de prestaciones de la Rec. G.826 comunes a los sistemas de fibra óptica, generalmente más restrictivos que los de la Rec. G.821, a la necesidad de una eficiente supervisión de la calidad, al soporte de interfaces adecuados para la TMN, y a la integridad del puntero de la trama SDH.

La respuesta tecnológica a estas restricciones se puede resumir de la siguiente manera:

- con canales de 40 MHz el formato de la modulación pasa de 16 QAM a 32 QAM
- con canales de aproximadamente 30 MHz el formato de modulación pasa de 64 QAM a 128 QAM
- en ambos casos se consigue duplicar la eficiencia espectral (es decir, 2 x STM-1 por cada canal de RF) mediante un cancelador de interferencias por polarización cruzada
- con técnicas de corrección de errores que evolucionan desde los métodos FEC (corrección de errores hacia adelante), operando en la secuencia de bits previa a la modulación, a las técnicas de modulación codificada, como por ejemplo TCM (modulación codificada trellis) y MLCM (modulación codificada multinivel)
- para contrarrestar la distorsión del canal de transmisión debido a los desvanecimientos de trayecto múltiple, se han implementado ecualizadores en banda base totalmente digitales muy potentes. En el pasado los

sistemas 64 QAM PDH usaban ecualizadores digitales de 7 etapas, los sistemas SDH usan ecualizadores digitales de hasta 17 etapas, con una importante reducción del área de caracterización de hasta el 30% y un consiguiente aumento de la tolerancia a desvanecimientos selectivos

- las técnicas de diversidad tradicionales se han mejorado mediante combinadores de BER mínimo para diversidad en el espacio, y eficaces criterios de aviso inmediato para diversidad de frecuencias
- procesado de errores B1 y B2, antes y después de la conmutación radio de protección
- control automático de la potencia de transmisión (ATPC) adoptado para evitar interferencias y mejorar la linealidad reduciendo el error de fondo
- implementación del entrelazado de bit para eliminar la corrupción puntual, que de otro modo podría aparecer con BER de 10^{-4} ó 10^{-5} .

Tecnologías clave

La transición a SDH de los sistemas radio no sería una realidad hoy en día sin la importante contribución de la evolución de las tecnologías básicas.

Esto es particularmente cierto en las innovaciones de las distintas funciones implicadas en la modulación de alto nivel, por ejemplo:

- las técnicas de codificación que han mejorado significativamente el umbral y la ganancia del sistema (código multinivel con decisión blanda y decodificador de Viterbi). Esta técnica de codificación implica una ganancia para una señal modulada 128 QAM de aproximadamente 2,5 dB con un BER de 10^{-3} y de 5 dB con un BER de 10^{-5} , produciendo un efecto equivalente en las curvas de BER y en la ganancia del sistema
- los filtros digitales para una conformación de señal optimizada, implementados con un elevado número de etapas (34 en el lado de transmisión, 17 en el de recepción) que permiten un bajo factor de atenuación progre-

- siva (se ha reducido de 0,35 a 0,15) necesario para la reutilización de frecuencias del 2 x STM-1
- los ecualizadores en el dominio del tiempo adaptativos y totalmente digitales, que constituyen una medida muy efectiva contra el desvanecimiento selectivo
 - los dispositivos de aviso inmediato que mejoran las prestaciones de conmutación. Estos avisos se generan en el receptor midiendo la distorsión en banda, y en el demodulador basándose en la evaluación del error cuadrático medio y en la detección de errores en el proceso de decodificación
 - los dispositivos XPIC (canceladores de interferencias por polarización cruzada) que permiten duplicar la capacidad mediante la reutilización de frecuencias y la polarización cruzada. De hecho los XPIC se caracterizan por un factor de mejora de la polarización cruzada (XPIF) de aproximadamente 20 dB, que deben sumarse a la discriminación polar cruzada relativa a la antena
 - los circuitos relacionados con acceso SOH, que controlan las taras previstas en las jerarquías SDH.

Todas estas funciones, esenciales en el diseño de sistemas SDH requieren, para su implementación, un alto nivel de integración y de miniaturización y así conseguir, entre otros beneficios, una velocidad mayor y una funcionalidad más amplia. Esto es factible gracias al progreso de los ASIC (circuitos integrados de aplicación específica), que tienen actualmente una complejidad de diseño media, en tecnología CMOS, del orden de 50000 puertas y una complejidad de pico de 150000 puertas.

Otras ventajas adicionales del uso de los ASIC son sus características sumamente consistentes, su restringida gama de prestaciones, su alta calidad de producción, su reducido consumo y su mayor fiabilidad.

Los ASIC no constituyen, sin embargo, el único área de innovación. También se han realizado esfuerzos de optimización en tecnologías de microondas con la intención de mejorar el diseño de los componentes de microondas reduciendo

sus dimensiones mecánicas y su consumo y mejorando, al mismo tiempo, su fiabilidad, sus prestaciones eléctricas y su coste; ello ha conducido al uso de MES-FET (transistores de efecto de campo metal-semiconductor) y de MMIC (circuitos integrados de microondas monolíticos) con circuitos híbridos.

Gestión de sistemas SDH de radio digital

Siguiendo las recomendaciones G.784 y G.783 del UIT-T, en una TMN los NE SDH se comunican con el OS (sistema de operación) para:

- la gestión de fallos
- la gestión de prestaciones
- la gestión de configuración
- la gestión de la seguridad
- la gestión de tarificación

El SEMF convierte los datos y determinadas alarmas en mensajes orientados a objeto para su transmisión, a través de la MCF (función de comunicación de mensajes), en los interfaces Qecc y/o Qx (*Figura 4*).

La transferencia de la información de gestión del SDH a la subred de transmisión radio emplea canales de control insertados (ECC), a través del interfaz Qecc. El interfaz Qecc está presente en todos los NE y usa una pila de protocolos de acuerdo con la Rec. G.784 del UIT-T.

El encaminamiento ECC se lleva a cabo, como en los sistemas de línea SDH, según el enlace radio termine una sección de multiplexación o constituya una sección de regeneración.

El interfaz Qx con el OS, capaz de realizar las funciones de gestión del elemento (EMF) y de gestión de red (NMF), se usa cuando un DRR-NE actúa como elemento de red pasarela (GNE) para una subred SDH. En este caso el interfaz Qx, con protocolo B2 ó B3, está disponible (opcionalmente) en los NE del RRT (terminal de transmisión radio).

Cada NE se equipa con un interfaz f que proporciona al NE facilidades de control local con un terminal de operación local (ECT).

Gestión de prestaciones

La supervisión de las prestaciones se lleva a cabo usando código BIP-X.

Los bloques funcionales RPI y RPS, como en los PDH-DRR, proporcionan la siguiente información específica de radio:

- nivel de potencia transmitido
- nivel de señal recibido obtenido del control de voltaje de la cadena de amplificación del receptor
- número de peticiones para usar el canal libre y número de asignaciones perdidas.

Gestión de fallos

De acuerdo con el modelo funcional, los fallos y las alarmas de mantenimiento necesarias para gestionar el equipo SDH-DRR se pueden dividir en dos categorías:

- alarmas STM
- alarmas específicas de la parte radio.

En cuanto a las alarmas STM, los parámetros relevantes son los comunes con otros equipos SDH (ADM, MUX, LTE, etc.), siendo el conjunto mínimo de alarmas específicas de la parte radio el siguiente:

Alarma del estado del transmisor: Este parámetro indica si el nivel de potencia del transmisor está o no dentro del rango especificado por el sistema bajo control. Esta alarma existe incluso cuando se usa ATPC (control automático de potencia transmitida).

Cuando la reducción de potencia se debe a un fallo del oscilador local aparece la correspondiente alarma.

Alarma del estado del receptor: La alarma del estado del receptor es la indicación de que el nivel de señal RF recibido ha descendido por debajo del valor que produce un BER de 10^{-3} o peor.

Fallo del modulador: Indica un fallo en el funcionamiento del modulador: en el mezclador (cifrado), en el nivel de portadora, en el FEC, etc.

Fallo del demodulador: Indica un fallo en el funcionamiento del demodulador: en

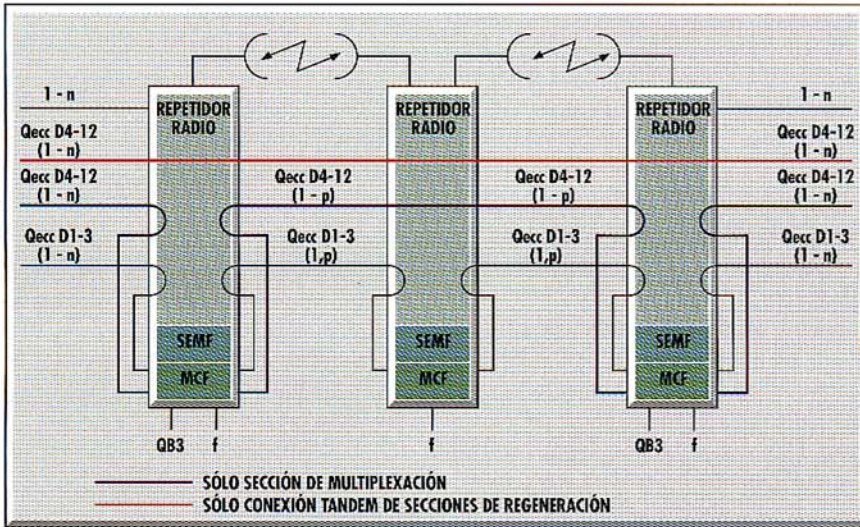


Figura 4 – Configuraciones de enlaces de los sistemas radio N x STM-1

- filtrado del fichero de trazas
- configuración del discriminador de eventos
- configuración de las protecciones.

Gestión de la seguridad

Únicamente podrán acceder a las funciones de gestión los usuarios validados. Un usuario tiene el acceso restringido a aquellos recursos y funciones a los que necesita acceder. El acceso se controla por una palabra de paso y el perfil del usuario.

Al usuario de seguridad se le permite definir los perfiles de usuario y controlar las violaciones de seguridad.

Gestión de tarificación

Este parámetro proporciona un conjunto de funciones que permiten medir el uso del servicio de red y determinar el coste de dicho uso.

Productos de microondas SDH de Alcatel

El escenario de los sistemas de radio de microondas de los noventa no está completo si se considera únicamente el mercado relativo a los PTO tradicionales y se omiten fenómenos tan importantes como la liberalización, la privatización y la globalización, que están introduciendo en el mercado nuevos clientes con diferentes requisitos y que están modificando también las posturas de los clientes tradicionales.

La competencia entre operadores de redes públicas fijas y/o móviles y la apertura del espectro radio para su utilización por usuarios privados amplía el mercado de los sistemas radio de microondas.

Como consecuencia de estas consideraciones Alcatel ha desarrollado una familia completa de sistemas de microondas SDH (Figura 5) de acuerdo con los siguientes criterios:

- cumplir los requisitos de los estándares SDH y TMN
- competitividad con los productos PDH

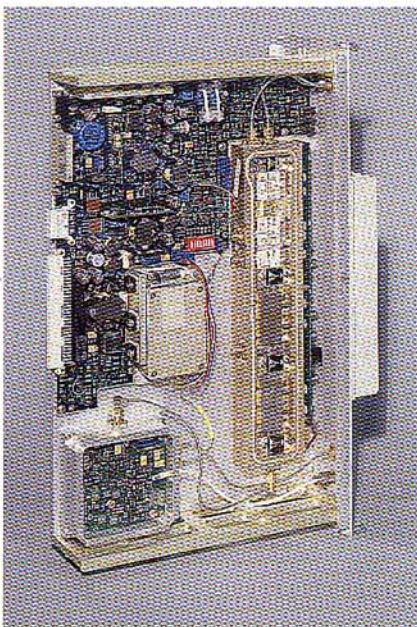


Foto B – Transmisor con amplificación de potencia

el descifrador, en la recuperación de portadora, en el FEC, etc.

Alarma del estado de la RPS (conmutación radio de protección): Indica una deficiencia o un erróneo funcionamiento en la función de conmutación de protección (hardware y software).

Gestión de configuración

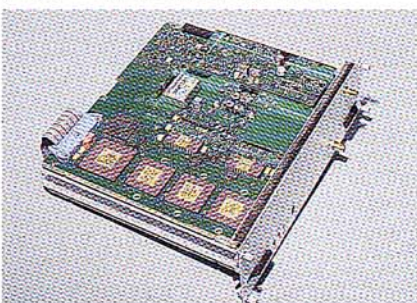
Proporciona funciones que controlan y recogen datos que tienen importancia en:

- la configuración de las entidades NE
- las funciones de administración de los NE
- la gestión de la base de datos de los NE
- el control y el estado de los NE.

En los NE de SDH-DRR las principales áreas involucradas en dichas funciones son las mismas que en los multiplexores SDH o en los equipos de inserción/extracción:

- configuración del origen de tiempos
- configuración de la carga útil
- configuración de las conexiones
- configuración de los puertos de entrada/salida
- configuración del acceso a la tara
- configuración del ECC
- severidad de las alarmas
- umbrales

Foto C – Demodulador 32 QAM



- capacidad de los sistemas SDH para operar temporalmente como PDH
- integración de microondas con otros medios de transmisión.

La familia de los sistemas de microondas SDH se ha diseñado para capacidades STM-1 y sub-STM-1, cubriendo tanto aplicaciones de gran alcance como enlaces urbanos. Se logra una mayor flexibilidad, especialmente en los enlaces urbanos, al ofrecer la posibilidad de usar el equipo de radio en configuraciones tanto de interiores como de exteriores.

Se ha cuidado especialmente la capacidad de ofrecer múltiples interfaces de usuario intercambiables implementados por tarjetas de expansión que proporcionan canales multifuncionales tanto para el tráfico principal como para el auxiliar.

Bibliografía

- 1 UIT-T; G.782; Tipos y características generales de los equipos multiplexores SDH
- 2 UIT-T; G.783; Características de los bloques de los equipos multiplexores SDH
- 3 UIT-T; G.784; Gestión SDH
- 4 UIT-T; M.3010; Principios de la red de gestión de telecomunicaciones (TMN)
- 5 UIT-T; G.821; Comportamiento ante errores
- 6 UIT-T; G.826; Comportamiento ante errores
- 7 UIT-R; RCC-750; Arquitecturas y aspectos funcionales de sistemas radio para redes basadas en SDH
- 8 UIT-T; G.707 Velocidad de bit SDH
- 9 UIT-T; G709; NNI para SDH
- 10 UIT-T; G.709; Estructura de la multiplexación síncrona
- 11 UIT-T; G.703; Características físico-eléctricas de los interfaces digitales jerárquicos

Maurizio Nannicini nació en Grosseto, Italia, en 1950. Obtuvo la titulación de ingeniero electrónico en la Universidad de Pisa. Tras un año como profesor, ingresó en Telettra en 1979 como diseñador de circuitos radio. En 1984 fue nombrado responsable del laboratorio de circuitos radio IF, y desde 1986 dirige el laboratorio de firmware y circuitos en banda base, que, desde 1992, incluye también las actividades de diseño de sistemas de microondas y de pruebas de integración; durante este periodo ha participado en el desarrollo de sistemas supervisores para equipos radio digitales. El Sr. Nannicini se encarga actualmente de la gestión de proyectos de sistemas microondas SDH.

Michel Peruyero nació en Lorient, Francia, en 1959. Se graduó en L'Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et de Radioélectricité de Grenoble en 1983. Ingresó en Alcatel Radio Transmission Systems donde participó en el desarrollo de sistemas de soporte para enlaces digitales de microondas. El Sr. Peruyero se encuentra actualmente en Alcatel Radio Transmission Systems en Nanterre, Francia, donde es jefe de la línea de producto de gestión de redes.

Yann-Yves Lebret nació en Lille, Francia, en 1956. Se graduó en L'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers y en L'Ecole Supérieure d'Electricité. Ingresó en Alcatel Radio Transmission Systems en 1982 como diseñador de modems a 140 Mbit/s. En 1985 fue nombrado jefe de diseño de la nueva familia a 8 y 34 Mbit/s (9420 y 9470 LM). En 1991 se convirtió en jefe de proyecto adjunto para la nueva generación de equipos de microondas SDH de Alcatel.

BANDA DE RF (GHz)	CAPACIDAD MÁXIMA (Mbit/s)	
	2 x 21 34 SUB-STM-1	140 STM-1 2 x STM-1
2	9620LM	9639LH
2u	9626LM	9640LH
4		9647LH
4u		9662LH
6		9667LH
6u	9667LM	9668LH
7	9674LM	9674LH
8	9684LM	9681LH
11		9611LH
13	9613UM	9613UH
14/15	9615UM	
18	9618UM	9618UH

■ 32 QAM ● 128 QAM

Figura 5 - Sistemas radio SDH de Alcatel

Tecnologías básicas en las comunicaciones por microondas

G. Bianconi Alcatel Radio Transmission Systems, Vimercate, Italia
M. Carpe Alcatel Radio Transmission Systems, Nanterre, Francia
P. Salas Alcatel Network Systems, Richardson, Texas. EE.UU

Introducción

La creciente liberalización de las telecomunicaciones a nivel mundial, con la reciente introducción de los sistemas SDH (jerarquía digital síncrona), ha supuesto para los suministradores de equipos de radio problemas de adaptación a un mercado cada vez más exigente, llevándoles urgentemente hacia el desarrollo de productos más competitivos en términos de coste y prestaciones.

Dentro de este esfuerzo, la última evolución de los dispositivos digitales VLSI (integración de escala muy alta) está jugando un papel fundamental.

Muchas soluciones innovadoras, que afectan tanto a conceptos hardware como software, han sido posibles gracias a disponer de ASIC (circuitos integrados de aplicación específica) con frecuencias de operación de hasta 100 MHz y



Figura 1 - Canalización intercalada y reutilizada

algunos centenares de miles de puertas en un chip de pocos centímetros cuadrados.

De estas soluciones se describen brevemente en este artículo algunas de las más prometedoras, como la reutilización de la frecuencia, la modulación codificada, y los combinadores de señales de diversidad.

Su potencialidad e importantes aplicaciones representan bastante

bien el actual estado del arte alcanzado por la técnica de los radioenlaces digitales, y resaltan algo de las futuras evoluciones.

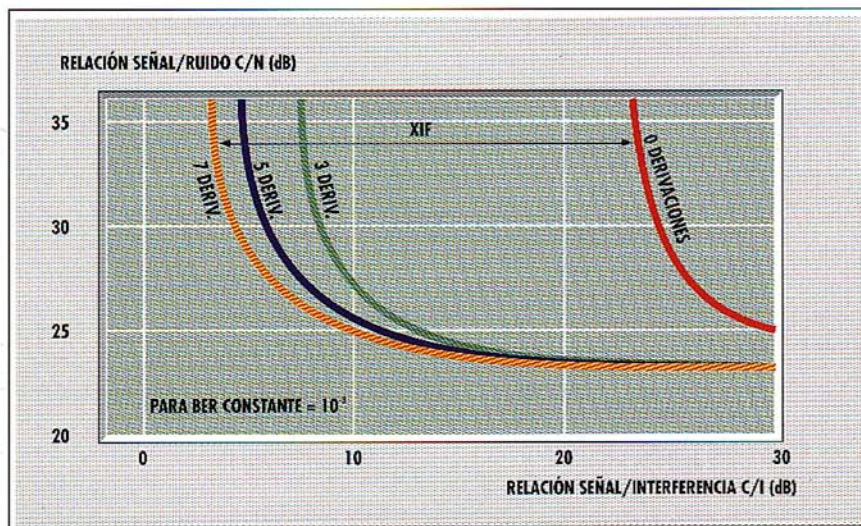
Técnica de reutilización de frecuencias

La reutilización de frecuencias ha sido considerada por Alcatel como un método eficaz para alcanzar el objetivo de doblar la capacidad actual de transmisión radio con un plan de multiplexación normalizado, en las bandas de frecuencia por debajo de 12 GHz, sin pérdidas en las prestaciones y utilizando la infraestructura existente.

La idea básica consiste en la transmisión simultánea de dos señales en la misma banda de frecuencias, una en la polarización horizontal y la otra en la vertical de una única antena (Figura 1). Sin embargo, en la práctica, la interferencia de reciprocidad, debida a la imperfecta discriminación de la polarización cruzada (XPD) entre los dos canales, se suma a la interferencia intersimbólica generada por la dispersión de canal, lo que da lugar a serios problemas en la detección, tanto como para no tener una transmisión fiable.

Para contrarrestar tanto la interferencia de polarización cruzada como la interferencia intersimbólica en un enlace de doble polarización, Alcatel ha estudiado y desarrollado una técnica de proceso digital muy eficaz, que emplea una combinación ecualizador/cancelador (XPIC - cancelador de interferencia de polarización cru-

Figura 2 - Mejora del factor de polarización cruzada para un BER = 10⁻³



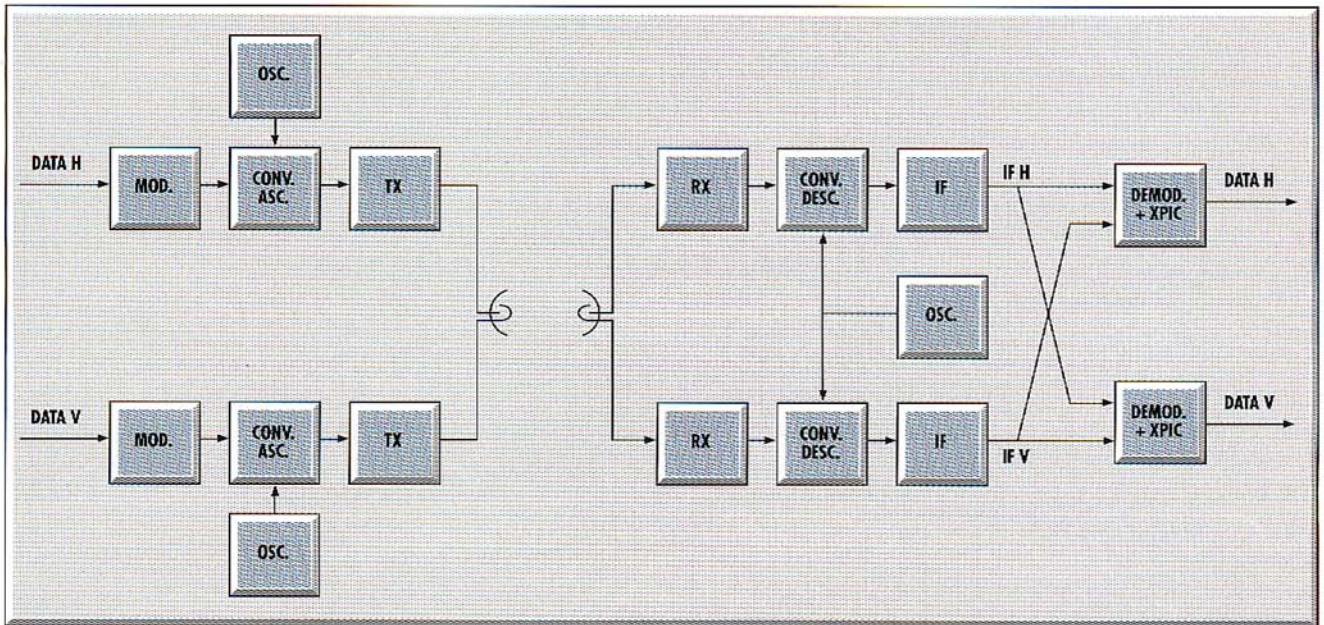


Figura 3 - Arquitectura del sistema de reutilización de frecuencias

zada) "totalmente digitalizada" implantada por medio de filtros transversales espaciados en baudios adaptables [1, 2].

La capacidad de reducción de la interferencia de polarización cruzada (XPI) de este cancelador/ecualizador se muestra en la **Figura 2**; se ve que implantando un cancelador de solo 7 derivaciones se alcanza un factor de mejora de polarización cruzada (XIF) de unos 20 dB.

Implantación hardware del sistema de reutilización de frecuencias

El sistema de reutilización de frecuencias propuesto por Alcatel, con una familia de radios SDH de largo alcance de alta capacidad (96xx LH), utiliza los nuevos desarrollos de modems de 32 y 128 QAM, para espaciamentos de canal de 40 y de alrededor de 30 MHz respectivamente. Ambos modems están normalizados y la reutilización de frecuencias solo necesita la inserción de una unidad opcional XPIC en el sub-bastidor del receptor.

El modulador va equipado con un filtro de 17 derivaciones y atenuación progresiva preajustable hasta 0,2, para lograr la suficiente discriminación entre canales de polarización cruzada contiguos.

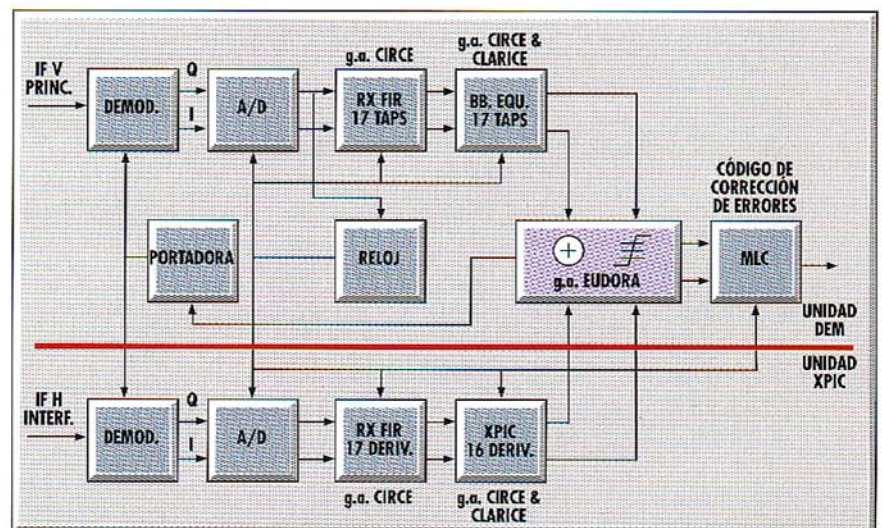
Los transceptores siguen siendo los convencionales; con la única limitación de usar un único oscilador local para los receptores de los dos canales V y H (**Figura 3**).

La demodulación coherente de las dos señales de polarización cruzada, la principal y la de interferencias, se realiza, respectivamente,

en el DEM y en la unidad XPIC (**Figura 4**) mediante la misma portadora de referencia.

Las señales de banda base resultantes, tras el filtrado de ruido/forma de onda y la conversión analógica-digital se procesan por separado en dos filtros transversales adaptables (17 derivaciones para el ecualizador y 16 para el XPIC), cuyo resultado se suma con la fase adecuada para reducir la distorsión simbólica y la interfe-

Figura 4 - Demodulador y unidad XPIC



rencia de polarización cruzada.

Las prestaciones globales se mejoran usando un código de corrección de errores (ver más adelante).

El procesamiento de la señal se basa en tres ASIC distintos: CIRCE, EUDORA y CLARICE de 43, 17 y 14 Kpuertas respectivamente.

El primero implanta las funciones de filtro receptor y emisor de espaciados en baudios, de ecualizador de banda base adaptable y de cancelador XPI; el segundo realiza las funciones de sumar las señales provenientes del ecualizador y del cancelador, el control automático de ganancia, y el cálculo de error ciego. El tercero contiene el algoritmo de modificación de derivaciones.

Las medidas en prototipo han confirmado los resultados teóricos presentados en la *Figura 2*, y resaltan la buena capacidad de readquisición de sincronismo incluso con un XPD tan bajo como 3 dB.

Resultados de las pruebas del XPIC

La pruebas se realizaron sobre un sistema de 32 QAM de polarización cruzada de 140 Mbit/s a una fre-

cuencia común (4 GHz/baudio) en funcionamiento sobre un trayecto de 60 km en el norte de Italia [3]. La configuración del sistema fue elegida para comparar las prestaciones de dos pares de demoduladores, con y sin XPIC, en ambas polarizaciones, y las de un modem de 16 QAM de 140 Mbit/s normalizado, sin reutilización de frecuencias funcionando sobre el mismo camino. Las pruebas comenzaron en Agosto de 1991 y los resultados se refieren a un primer periodo de aproximadamente seis meses. El debilitamiento de la propagación fue particularmente significativo durante los meses de invierno, cuando se observaron valores de hasta 20 dB en dispersión dentro de la banda y fuertes reducciones de hasta 0 dB en XPD. La eficacia del XPIC se demostró por el hecho de que los demoduladores con XPIC solo estaban indisponibles cuando se alcanzaba el umbral del ruido térmico o la dispersión crítica dentro de la banda, siendo la contribución del XPI despreciable.

La *Figura 5* muestra el porcentaje de segundos con BER > 10⁻⁵ para los cinco sistemas, registrados durante cuatro periodos de aproximadamente un mes. Es interesante comprobar que tanto el 32 QAM con XPIC como el 16 QAM

presentan un rendimiento similar, confirmando por tanto la posibilidad de duplicar la capacidad de transmisión de los enlaces existentes manteniendo la misma infraestructura; la mejora en los tiempos de indisponibilidad mostrada por los dispositivos XPIC está en el rango de 3 a 11.

Modulación codificada

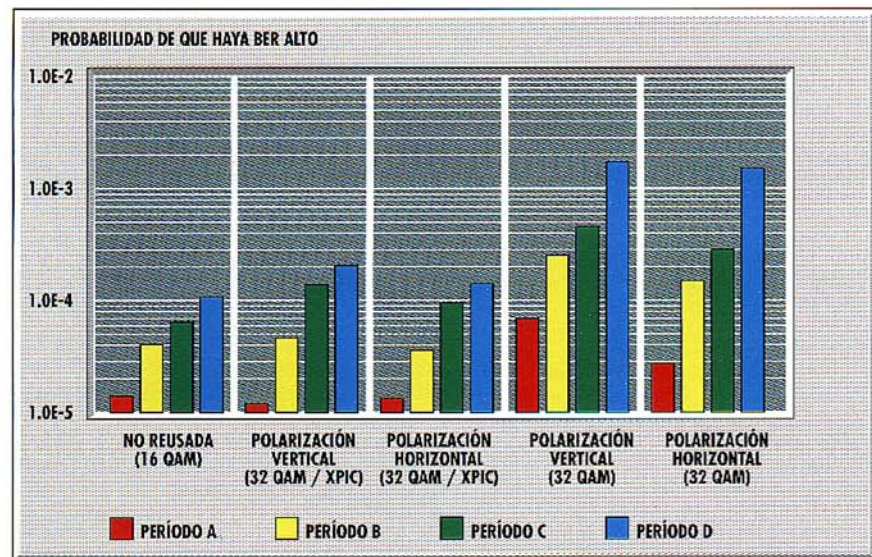
Mientras que los ecualizadores adaptables y la diversificación espacio/frecuencia son buenas técnicas contra el desvanecimiento, el uso de códigos de corrección de errores (ECC) es una técnica normalizada para contrarrestar el ruido. El efecto del ECC es la reducción de los requisitos de energía de los sistemas de transmisión, porque así se mejora el umbral del ruido térmico. Para realizar esto, el codificador introduce una redundancia dentro de la señal aumentando el tamaño del alfabeto de modulación: en la comunicación por radio digital ello da como resultado una expansión de la constelación de señales.

La expansión del conjunto de señales evita el incrementar la anchura de banda de la transmisión, siendo por tanto una técnica realmente atractiva para canales de banda limitada pero da lugar a que los símbolos transmitidos se encuentren más cercanos que en los sistemas no codificados: por ello la consecuente reducción de inmunidad al ruido se debe compensar mediante códigos de alta ganancia.

El proceso de codificación se realiza dividiendo la constelación de la señal en subconjuntos de puntos con una distancia euclidiana creciente; la elección entre subconjuntos de la menor distancia euclidiana está protegida por codificación.

Esta técnica que una codificación y modulación se denomina *modulación codificada*.

Figura 5 - Resultados de las pruebas experimentales



Modulación codificada de multinivel

Los diferentes esquemas de modulación codificada dependen de la elección de los códigos que se empleen. Si se utiliza un simple código convolucional se obtiene modulación codificada Trellis (TCM) [4].

Otro esquema de modulación codificada, propuesto por Imai e Hirakawa [5], emplea un conjunto de códigos binarios y hace un uso más eficaz de la redundancia asignando más códigos redundantes, de ganancia creciente, a los puntos de distancia euclidiana decreciente.

Este esquema de codificación, llamado codificación multinivel (MLC), ha sido adoptado por Alcatel debido a su buena capacidad para la corrección de errores e intrínseca flexibilidad, ya que ello permite, variando la redundancia, un óptimo equilibrio entre la anchura de banda y la ganancia de codificación para diferentes velocidades y sistemas de modulación QAM, de 4 a 256 estados [6].

La complejidad del hardware se ha reducido significativamente empleando códigos convolucionales binarios perforados, que permiten la generación de una velocidad variable, y por lo tanto una redundancia variable, con un único codificador.

La decodificación software se realiza mediante el bien conocido algoritmo de Viterbi; se ha preferido un método de *decodificación multi-etapa* en vez del más común MLD (decodificación de máxima probabilidad), por su menor complejidad.

Básicamente, se han eliminado mediante una adecuada técnica de intercalado los problemas debidos a las largas ráfagas de errores, que pueden aparecer cuando se usan decodificadores Viterbi, y que son especialmente peligrosos para la sincronización de trama en los sistemas SDH.

Implantación hardware de MLC

La total implantación de un MLC, para modems de 4 a 256 QAM, ha necesitado que se desarrollen dos ASIC (MOBY y DICK). Estos dispositivos se han diseñado en tecnología HCMOS de 0,7 micras, con un tamaño de 43 y 80 Kpuertas respectivamente, en un encapsulado MQFP de 160 pines, con una frecuencia de símbolos operativa máxima cercana a 43 MHz.

MOBY realiza la decodificación de decisión software Viterbi para códigos convolucionales perforados de 64 estados de velocidades 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8, la supervisión de las prestaciones, e incorpora un circuito de sincronización rápida.

DICK realiza la codificación e integración multinivel en la parte transmisora y la decodificación multietapa en la parte receptora. Además, contiene otras funciones necesarias como la de adaptación de velocidades, la de aleatorización y desaleatorización, y la de intercalación y desintercalación.

Evaluación de las prestaciones

La **Figura 6** presenta, para un sistema de 128 QAM, una comparación de las técnicas ECC más comunes: TCM, MLC, y un código de bloque de error triple (BCH) convencional.

MLC y TCM presentan prestaciones similares cerca del umbral (3 dB de ganancia sobre el sistema no codificado con un BER = 10^{-3}), pero un MLC permite una ganancia de código asintótica 1,8 dB mayor que la obtenida con un TCM de igual velocidad. Otra característica importante de los MLC es su excelente prestación en términos de porcentaje de bloques con error, parámetro recientemente introducido por el UIT-T (Rec. G826) para evaluar el tiempo de indisponibilidad y la calidad objetiva de un enlace de radio.

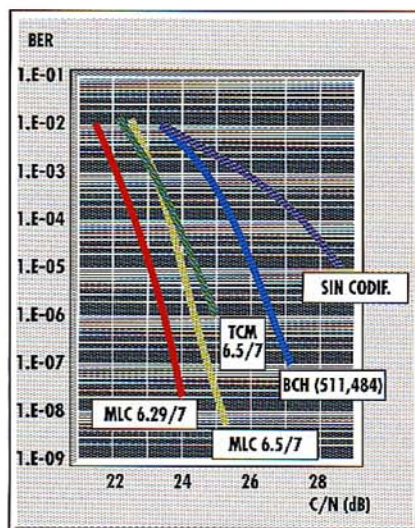


Figura 6 - Comparación del BER en sistemas de 128 QAM

Ambas técnicas, MLC y TCM, han sido desarrolladas por Alcatel e introducidas como facilidad normalizada en todos los equipos de radio SDH.

Las aplicaciones TCM para radios SONET de baja a mediana capacidad desarrolladas por Alcatel Network Systems para el mercado de Estados Unidos han demostrado que cumplen los extremadamente exigentes requisitos de la FCC (Federal Communications Commission) a un coste competitivo (ver más adelante). El MLC se utiliza actualmente en los sistemas SDH de reutilización de frecuencias.

Combinador de banda base

Alcatel ha propuesto la reutilización de frecuencias y la modulación codificada como técnicas eficaces para mejorar la eficiencia espectral y el umbral de ruido térmico respectivamente. Sin embargo, en enlaces de radio digitales de alta capacidad, una causa importante de problemas es el desvanecimiento por trayecto múltiple. La medidas más usuales que se toman para limitar el tiempo de indisponibilidad causado por este fenómeno, al no ser la ecualización adap-

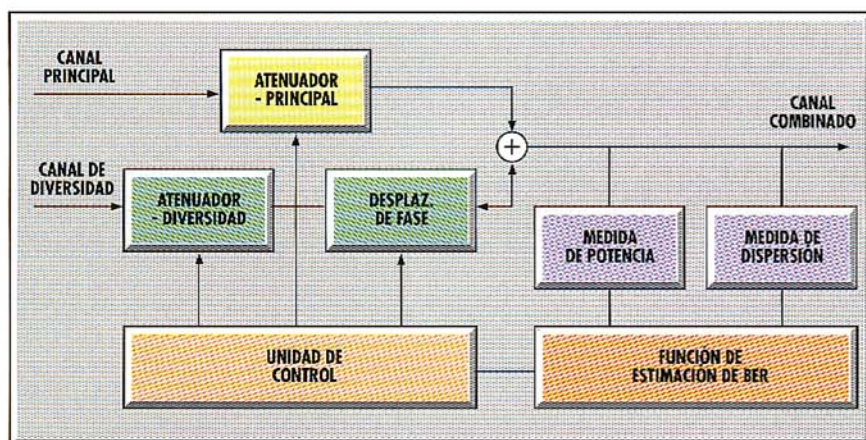


Figura 7 - Combinador de BER mínimo

table suficiente, es la diversificación de frecuencia y espacio.

La diversificación de espacio se basa en la recepción simultánea de las señales transmitidas con dos antenas verticalmente separadas. Su efectividad depende de si las antenas están espacialmente bien separadas y si la correlación entre los campos recibidos es baja, entonces combinando adecuadamente las dos señales se obtiene una tercera con características menos degradadas.

En los últimos años, se propusieron diversas estrategias de combinación, que seguían básicamente los criterios de la potencia máxima (MP) y de la mínima dispersión en banda (MIBD).

Ambos métodos, sin embargo, tienen algunas limitaciones, de hecho, sus algoritmos de combinación tienden a optimizar solo la potencia de la señal o la dispersión en banda, mientras que la calidad de la transmisión depende de ambas.

Para superar estos problemas Alcatel ha propuesto una nueva estrategia de combinación que tiene en cuenta los criterios MP y MIBD simultáneamente e intenta alcanzar un compromiso óptimo entre ellos, asumiendo la tasa de errores binarios como una medida de la calidad de la transmisión [7].

La estrategia de combinación resultante (*combinación de BER mínimo*) se basa en una estima-

ción del BER como una función de la potencia de la señal y de la dispersión en banda; la amplitud y fase relativa de los dos canales se ajustan consecutivamente para obtener una condición de BER mínimo y, por ello, la mejor calidad de transmisión compatible con las condiciones del canal (*Figura 7*).

Todas las radios Alcatel 96xx HL están equipadas con un combinador de BER mínimo que supera en 3 ó 4 veces a otras estrategias convencionales.

Los anteriores combinadores manejan señales IF ó RF y no son adecuados en implantaciones digitales. Sin embargo, la creciente capacidad de la tecnología actual invita a la introducción de combinadores basados en proceso digital.

Consecuentemente, soportada por un trabajo teórico [8, 9], Alcatel ha emprendido el desarrollo de un combinador de banda base que proporciona excelentes prestaciones en tiempo de indisponibilidad y que puede ser fácilmente implantado siguiendo un método totalmente digital. Es importante destacar que una importante ventaja potencial del combinador de banda base, respecto a las soluciones IF ó RF, es que puede ser provechosamente empleado en sistemas de diversificación de frecuencias.

Esta capacidad, que podría representar una alternativa válida a las técnicas existentes de conmutación automática, nos permite

imaginar interesantes desarrollos futuros con impacto significativo en los sistemas de diversificación de enlaces de radio multicanal.

Visión general de las tecnologías de comunicaciones por microondas en Estados Unidos

ANSI (Alcatel Network Systems Inc.) adoptó el esquema de modulación 128 TCM-4D Alcatel Telspace para la radio SONET en desarrollo. La radio SONET debe poner una capacidad STSI (51,84 Mbit/s) junto a nuevas funciones generales de radio en un canal de 10 MHz. La radio SONET MDR-4000s de ANS incluye las siguientes velocidades:

- Carga útil: 51,840 Mbit/s
- DS1 de camino: 1,544 Mbit/s
- Relleno OW/AUX/DS1: 0,384 Mbit/s
- Codificación Reed Solomon: 1,024 Mbit/s
- **Velocidad total:** 54,792 Mbit/s

La radio SONET MDR-4000s cumple con los requisitos de espectro de FCC para un canal de 10 MHz, con una anchura de banda de transmisión del filtro de banda base de 0,2 y una modulación de 128 TCM-4D. Adicionalmente, no hay degradación de la ganancia del sistema en los actuales radios asíncronos de 64 QAM basadas en DS3. Esto es especialmente importante para una transición de redes asíncronas a síncronas.

Además, con el nuevo plan de canal de banda estrecha del FCC, publicada en Diciembre de 1993, se vio que existían posibilidades interesantes (y altamente competitivas) si la modulación TCM-4D se ampliaba a las radios de baja capacidad de ANSI. La radio de la serie de conversión directa MDR-6000 se estaba desarrollando en el momen-

Modulación	Eficiencia espectral	C/N crítico @10 ⁻⁶ BER	Potencia TX (Ref 64 QAM)	Ganancia del sistema (Ref 64 QAM)
25 QPRS	3 bit/s/Hz	22,3 dB	+0,4 dB	+2,9 dB
16 QAM	4 bit/s/Hz	20,5 dB	+1,2dB	+5,5 dB
32 TCM	4,5 bit/s/Hz	19,5 dB	+1,4 dB	+6,7 dB
49 QPRS	5 bits/s/Hz	24,6 dB	-1,2 dB	-1,0 dB
64 QAM (Ref)*	6 bit/s/Hz	24,8 dB	0,0 dB	0,0 dB
128 TCM	6,5 bit/s/Hz	25,0 dB	+0,5 dB	+0,3 dB
128 QAM*	7bit/s/Hz	28,5 dB	+0,5 dB	-3,7 dB
256QAM*	8 bit/s/Hz	31,2 dB	-1,0 dB	-7,4 dB
512QAM*	9 bit/s/Hz	35,0 dB	-2,0 dB	-10,2 dB

*incluida una ganancia por codificación con corrección de errores hacia delante de 1,8 dB.

Tabla 1 - Comparación de distintos sistemas de modulación

to de la aparición de las nuevas normas. Esta radio había sido originalmente pensada como una radio de 64 QAM para velocidades de datos de 2DS1, 4DS1, 8DS1, 12DS1 y 16DS1. Los productos de baja capacidad de la competencia utilizaban 25 QPRS (Quadrature Partial Response System) ó 49 QPRS. Se decidió que la 32 TCM-4D permitiría introducir la radio 2DS1 en los nuevos canales de 1,25 MHz con una ganancia del sistema mucho mejor que las de las radios de 25 QPRS de la competencia, y que la 128 TCM-4D permitiría introducir la radio 4DS1 dentro del mismo espectro de 1,25 MHz, lo cual es el doble de capacidad de canal que cualquier otro producto de radio de baja capacidad de la competencia en el mercado de Estados Unidos.

La **Tabla 1** resume las ventajas relativas del TCM-ID respecto a los esquemas normalizados QAM y QPRS en uso. Tanto el C/N del umbral de recepción como una función del tipo de modulación como el retorno del transmisor debido a la potencia de pico-media de la constelación se tienen en cuenta para este análisis.

Para implantar el 32/128 TCM 4D en las radios de baja capacidad de la serie MDR-6000 y el 128 TCM-

4D en la radio SONET MDR-4000s, hubo una unión de tecnologías entre ANSI y Alcatel Telspace. Se utilizaron ASIC demoduladores de Alcatel Telspace (PENELOPE/ ULYSSE - TDE, TELEMAC/ ANDREW - decodificador de Viterbi) en los demoduladores de ANSI. PENELOPE, ULYSSE y ANDREW se reencapsularon de encapsulados cerámicos PGA en encapsulado PLCC. Como solo el 128 TCM-4D es legal para las radios de 155 Mbit/s en EE.UU., no fueron necesarias las características de disipación de calor de los encapsulados cerámicos PGA requeridas para 155 Mbit/s en 32 TCM. Reencapsulando estos dispositivos en encapsulados PLCC, el coste de estos ASIC se redujo en más de la mitad.

Los filtros digitales transmisores y receptores de ANSI se utilizan en el modulador y demodulador de la radio SONET MDR-4000s y en las radios de la baja capacidad de la serie MDR-6000. Estos filtros son filtros digitales de 24 derivaciones con coeficientes fijos. Los filtros están emparejados y cada uno de ellos proporciona una forma de raíz cuadrada del coseno con una atenuación progresiva de 0,2. La atenuación de banda suprimida de cada filtro es mayor de

50 dB. Estos filtros acomodan tasas de símbolos entre 100 kHz y 30 MHz. Debido a que los coeficientes de los filtros son fijos, sus derivaciones están implantadas sin utilizar multiplicadores. Los coeficientes se representan por un código *canonic signed-digit* (CSD), de forma que los números se representan como sumas de distintas potencias de dos. Se utiliza un algoritmo para maximizar el número de ceros de cada coeficiente. El número máximo de bits CSD distintos de cero en los dos diseños de ANSI es cuatro. La circuitería se minimiza porque el proceso de multiplicación en los filtros digitales de ANSI se reemplaza por operaciones de desplazamiento y suma, y también porque los valores de los coeficientes son simétricos con relación a la derivación central. La disipación de energía resultante para estos filtros digitales es típicamente de medio vatio a velocidades de hasta 30 MHz.

Para la radio de baja capacidad MDR-600, la tecnología de modems totalmente digital permitió a ANSI tener una radio en donde la capacidad, la anchura de banda y el tipo de modulación (32/128 TCM) se puede modificar cambiando simplemente una pequeña placa del oscilador de cristal en las placas impresas del interfaz de transmisión y recepción.

La exitosa unión realizada por Alcatel de las tecnologías europea y americana dio como resultado unos costes de desarrollo significativamente menores, un diseño eficiente y un producto (MDR-6000) con una eficacia espectral más alta y una mayor ganancia del sistema que los productos de la competencia en Estados Unidos.

Conclusiones

El proceso de señal digital, basado en la tecnología VLSI, ha encontrado buenas aplicaciones en los sistemas de comunicación de radio

por microondas. Funciones sofisticadas, anteriormente inimaginables, debido a su complejidad y coste, se pueden obtener hoy en día por medio de dispositivos compactos y relativamente baratos. Los filtros digitales, los ecualizadores en el dominio temporal, y los códigos de corrección de errores, con sus superiores prestaciones, no solamente han mejorado la calidad del equipo sino que han influido también las soluciones de los enlaces con mejores prestaciones y resultados globales.

Es importante destacar como la introducción de la modulación codificada en las radios SONET de baja capacidad en EE.UU., por medio de la integración de las tecnologías europea y americana ha proporcionado una solución de bajo coste que es más eficaz en términos de ganancia del sistema y explotación de la frecuencia, que los actuales productos de la competencia.

Finalmente, el impacto de las técnicas DSP en las arquitecturas de los sistemas de radio se ha manifestado, por ejemplo, en el uso de canceladores de polarización cruzada y combinadores de banda base: el potencial de tales dispositivos, cuya implantación depende enteramente de los recientes desarrollos de ASIC, resalta el papel que han de jugar las tecnologías digitales VLSI en la futura evolución de los sistemas y equipos de radio.

Bibliografía

- 1 M Borgne: A New Class of Adaptive Cross Polarization Interference Cancellers for Digital Radio Systems, IEEE Trans. JSAC, Vol. SAC-5 Abril 1987, págs 484-492
- 2 F. Guglielmi, A. Spalvieri, C. Luselu, U. Mengali: Performance evaluation of baseband cross-polar cancellers; ECRR'89, Padua, Italia
- 3 U. Casiraghi, L. Saini, P. Vitali: 140 Mb/s 32 QAM crosspolarized co-

frequency trial results, JCC 1992, Chicago EE.UU.

- 4 G. Ungerboeck. Channel coding with multilevel/phase signals, IEEE Trans. Inf. Theory, VOL. IT-28, págs 56-57, Enero 1992
- 5 H. Imai, S. Hirakawa: A new multilevel coding method using error correction codes; IEEE Trans. Inf. Theory, VOL.IT, págs 371-377, 1977
- 6 P. Cremonesi, R. Pellizoni, A. Spalvieri, E. Biglieri: An adjustable-rate multilevel coded modulation system: analysis and implementation, European Trans. Telecomm. Vol 4, N°3, Mayo-Junio 1993
- 7 R. Nobili, F. Rasa, D.Sormani: A new IF Combining Strategy for Space Diversity Digital Radio Links, 2nd ECRR, págs 235-242, Padua, Abril 1989
- 8 A. D'Andrea, M. Mariano, U. Mengali, A. Spalvieri: MMSE Baseband Combiner for Microwave Digital Radio: 2nd ECRR, págs. 235-242, Padua, Abril 1989
- 9 F. Guglielmi, C. Luschi, A. Spalvieri: Blind Algorithms for joint recovery and baseband combining in digital radio; 4th ECRR, Edimburgo, Octubre 1993

Giovanni Bianconi obtuvo el título de ingeniero electrónico en la Universidad de Bolonia, Italia, en 1968. Entró el siguiente año en Telettra S.p.A, Vimercate, Italia, donde se dedicó inicialmente a estudios teóricos de sistemas de modulación digital, y seguidamente a un proyecto de equipo de radio PSK, como ingeniero de desarrollo. En 1975 recibió la responsabilidad del laboratorio de modems, contribuyendo al desarrollo de un modem QAM multinivel para sistemas plesiócronicos de mediana y alta capacidad. En 1986 pasó a ser director de Investigación y Desarrollo de la división de Radio de Telettra y es actualmente responsable de los laboratorios de radio por microondas de Alcatel Radio Transmission Systems.

Phil Salas es actualmente director de ingeniería de microondas de Alcatel Network Systems. Trabajó en Collins Radio desde 1973, siendo sucesivamente ingeniero de desarrollo (analógico, digital y RF), ingeniero de proyecto de radio, responsable del grupo de desarrollo del producto y director responsable de todos los desarrollos de radio de Alcatel Network Systems. El Sr. Salas obtuvo su BSEE en Virginia Tech. en 1972, y su MSEE en Southern Methodist University en 1974. En 1984, el Sr. Salas fue nombrado "Rockwell Engineer of the Year" por su liderazgo en el desarrollo de una radio analógica de alta capacidad para el mercado de los operadores de red americanos.

Michel Carpe es actualmente director de Investigación y Desarrollo de Alcatel Telspace en Nanterre y responsable de los laboratorios de proceso de señal de Alcatel Radio Transmission Systems. Entró en Thomson-CSF en 1966 y trabajó en sistemas analógicos de alta capacidad y seguidamente en el equipo de relés del proyecto de la radio digital de alta capacidad QPSK. Posteriormente, dirigió el desarrollo de equipos militares, y en 1978, tuvo la responsabilidad del Troposcatter System Laboratory. En 1984, fue vicedirector de producción encargado del desarrollo del CAD/CAM. Desde 1986, es director técnico del departamento de transmisiones militares de Alcatel Radio Transmission Systems.

Diseño de MMIC y proceso en AsGa

G. P. Donzelli Alcatel Radio Transmission Systems, Vimercate, Italia
B. Rattay Alcatel Radio Transmission Systems, Nanterre, Francia

Introducción

El estado del arte de los MMIC (circuitos integrados monolíticos de microondas) suele aparecer frecuentemente como muy sencillo. Es cierto que, excluyendo la circuitería digital sobre el circuito, el número de componentes activos rara vez alcanza las pocas decenas, mientras que la mayor parte del área del circuito es ocupada por elementos pasivos. Sin embargo las apariencias engañan, y es bien sabido que el diseño y la optimización de los circuitos MMIC para grandes cantidades es difícil [1].

La *Figura 1* muestra un procedimiento típico de desarrollo; la conveniencia y la adecuación de usar una solución monolítica se decide sobre la base de las especificaciones a cumplir.

A fin de tener en cuenta a los elementos parásitos intrínsecos, los circuitos individuales MMIC deben ser modelados por circuitos equivalentes, utilizando los medios de diseño asistidos por ordenador (CAD). El modelado teórico exhaustivo no siempre alcanza la precisión requerida, y los circuitos equivalentes se determinan a menudo con ajustes semiempíricos a partir de medidas en microondas realizadas sobre un gran número de componentes de diversos valores y medidas. Sin embargo, este procedimiento en sí mismo presenta puntos débiles específicos como se verá más adelante.

Cuando se completa el diseño específico del prototipo se realiza la primera distribución física de componentes (*lay-out*), seguida por una comprobación del rendimiento alcanzado. Se da una especial importancia a la minimización del área ocupada por el circuito por razones de coste. La difi-

cultad de modelar con precisión algunos de los componentes, obliga al diseñador a realizar medidas experimentales sobre estructuras de prueba de proceso que están incluidas habitualmente en una subestructura específica del chip. Se pueden requerir procedimientos iterativos, e incluso cambios en las especificaciones, a fin de cumplir la combinación de requisitos de prestaciones, trazado físico y rendimiento.

Herramientas de diseño

Los dispositivos activos juegan un papel de importancia fundamental en el diseño de los MMIC porque determinan en gran manera el rendimiento del circuito y su fiabilidad [2 a 7]. En la literatura están disponibles dos tipos básicos de modelo para estos dispositivos activos: físicos y de comportamiento [8, 9]. El modelo de comportamiento, donde el circuito equivalente queda determinado por procedimientos de ajuste, no permite ninguna optimización sobre el circuito o sobre el rendimiento. El modelo físico no presenta esta limitación porque los dispositivos se caracterizan mediante modelos físicos, lo que proporciona la unión entre los parámetros de proceso y las prestaciones del circuito.

En opinión de los autores, la principal ventaja del modelo físico sobre el modelo de comportamiento es que permite conseguir una optimización más fiable del circuito en cuanto a su rendimiento, a pesar de que el modelo físico no permite la adaptación de la tecnología al circuito, a menudo demasiado caro y complejo. Por otra parte, de la amplia variedad de modelos físicos desarrollados en el pasado [8], solamente los modelos analíticos se pue-

den incorporar a los simuladores de circuitos utilizados en el diseño y simulación de MMIC por razón de limitación de la capacidad de cómputo, incluso a pesar de ser mucho más lentos que los modelos de comportamiento. Son particularmente críticos en términos de esfuerzo de cómputo la optimización en el dominio del tiempo o balance armónico y el diseño centrado orientado al rendimiento en los circuitos no lineales. Más aún, el estado del arte de los modelos físicos muestran otros puntos débiles. Así por ejemplo no hay disponibilidad de descripciones con base física de los fenómenos de trampas en el sustrato o superficie, que determinan la dispersión con la frecuencia de la transconductancia y de la conductancia de salida del FET (transistor de efecto campo), que deben ser tenidos en cuenta al utilizar parámetros empíricos.

No hay disponibilidad de un modelado contrastado y totalmente desarrollado que tenga en cuenta la temperatura del dispositivo y el presupuesto térmico. Sólo recientemente han aparecido algunos esfuerzos iniciales para resolver estos problemas [10].

Nuestra experiencia en el desarrollo de MMIC muestra que, para obtener una buena precisión de los resultados, se debe dedicar el modelo, o su ajuste, a una única aplicación (p. ej., DC, o prestaciones con intermodulación y gran señal, o cálculo de rendimiento, etc.).

El desarrollo de los circuitos MMIC de potencia adolece de una impedancia térmica creciente del dispositivo debido al mayor grosor de sustrato requerido (típicamente unas 100 μm en lugar de las 20 μm a 30 μm del dispositivo único), de la reducida posibilidad de "ajuste" del MMIC, y de la fragilidad

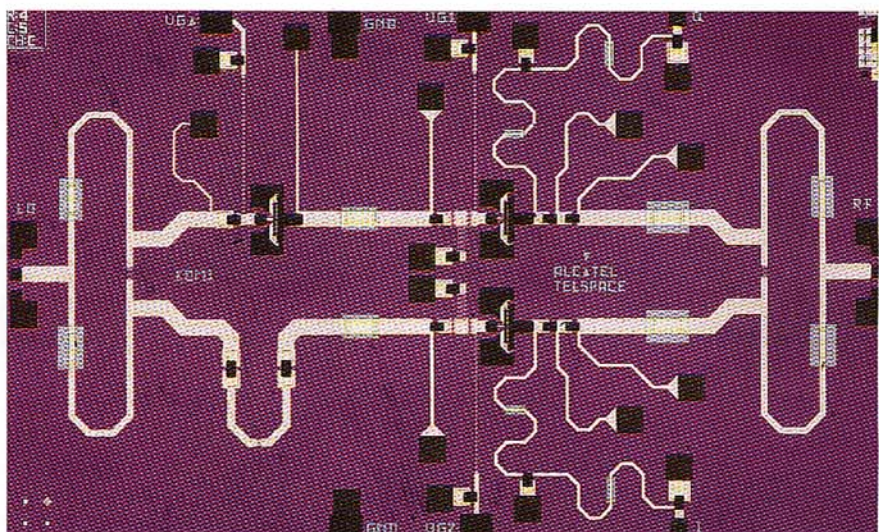
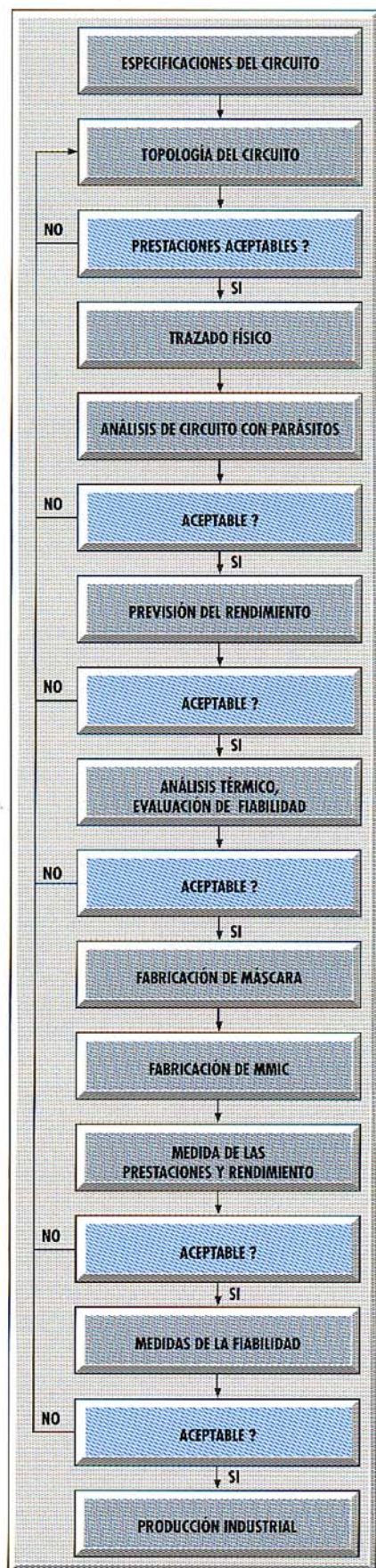


Foto "Le SQUARE des photographes" n°4368-24

Foto A - Demodulador I/Q 17,7-23,7 GHz

de los métodos de diseño disponibles para el diseño práctico de circuitos integrados de microondas de potencia.

En cuanto a los circuitos pasivos se refiere, se han conseguido notables avances en el modelado eléctrico con disponibilidad de simuladores electromagnéticos con varios niveles de complejidad. En particular se ha demostrado [11] que estos simuladores pueden predecir de forma válida, los efectos de acoplo electromagnético entre varios componentes pasivos, que se utiliza ampliamente en las distribuciones físicas de los MMIC, donde las herramientas estándar de simulación de circuitos proporcionan resultados no satisfactorios [12].

Ejemplos de estas estructuras proporcionan las líneas de transmisión en paralelo (*stubs*), las líneas en meandro, las inductancias en espiral de varias formas y las discontinuidades coplanares en guías de onda.

Los inconvenientes de los simuladores electromagnéticos al estado del arte radican en sus limitaciones intrínsecas de modelado exclusivo de las redes pasivas y su alta intensidad de cómputo, lo que evita su utilización en la optimización de circuitos en bucle y en el cálculo de rendimiento tipo Monte Carlo (solución estocástica).

Circuitos de pequeña señal y no lineales

En los últimos cinco años, los circuitos lineales de bajo nivel, especialmente los amplificadores de bajo ruido, de baja señal y de ganancia variable (LNA, LLA, VGA), han constituido la primera generación de MMIC desarrollados con éxito en los laboratorios de Alcatel. Los amplificadores ofrecen una mayor fiabilidad que los circuitos híbridos estándar de microondas y no requieren, prácticamente, ninguna ajuste posterior. Además, estos pequeños circuitos proporcionan habitualmente prestaciones de banda ancha en varias bandas de frecuencia y pueden operar a frecuencias superiores a los 30 GHz en la banda Ka. Los procesos utilizados son el MESFET (transistor de efecto campo metal semiconductor), el HEMT de 0,25 µm (transistor de alta movilidad electrónica), y el P-HEMT de 0,2 µm.

Más recientemente, en el moderno diseño de sistemas se ha hecho evidente la necesidad de circuitos MMIC no lineales y más complejos tales como los mezcladores (con conversión descendente), moduladores y demoduladores I/Q (en fase y cuadratura), osciladores y VCO (osciladores controlados por voltaje). En este tipo de circuitos es obligatoria una caracterización completa del dispositivo no lineal, basada por ejemplo en medidas I/V

Figura 1 - Diagrama de flujo para desarrollo de MMIC

(corriente/voltaje) pulsadas combinadas con medidas de parámetros S estándar con polarización múltiple [13]. Estos datos pueden ser introducidos posteriormente en un tipo de simulador no lineal de "balance armónico", como HP-EESOF LIBRA, HP-MDS, ó COMPACT-HARMONICA, o en un simulador "en el dominio del tiempo", como MICROWAVE SPICE de HP-EESOF. La concordancia entre las características medidas y simuladas para cualquier diseño no lineal está directamente vinculada a la precisión del modelo desarrollado y por lo tanto al esfuerzo de modelado.

Durante 1991-92 se diseñaron con un proceso HEMT de $0,25 \mu\text{m}$ y se caracterizaron totalmente dos demoduladores I/Q (in-phase/quadrature) funcionando en la banda K (17,7 a 23,7 GHz) y en la banda Ku (12,7 a 15,5 GHz). El objetivo era dar a estos diseños una flexibilidad óptima de modo que pudieran utilizarse también como moduladores o como mezcladores con conversión descendente y rechazo de imagen con un acoplador externo de IF (frecuencia intermedia). Se ha conseguido una pérdida de conversión de RF a cualquiera de las dos salidas menor de 11 dB con una entrada IP3 (punto de intercepción de tercer orden) mejor que 17 dBm con una potencia del LO (oscilador local) de 14 dBm [14]. Un trazado físico típico se muestra en la *Foto A*.

Desde entonces, las nuevas directrices han sido conseguir un mayor nivel de integración, con un menor coste debido a la reducción del número de chips y de microencapsulados para cualquier bloque funcional del sistema. Utilizando el proceso MESFET de cuatro pulgadas y $0,5 \mu\text{m}$ de Triquint, tres mezcladores de conversión ascendente en las bandas C, X y Ku integran en un mismo circuito una estructura simple balanceada de dos células mezcladoras de FET sin polarizar, altamente lineales, junto a desfases pasivos de LO, un divisor activo de IF con gran ancho de banda y un amplificador de salida RF de dos etapas. El tamaño total del circuito es inferior a 11 mm^2 , y un análisis teórico

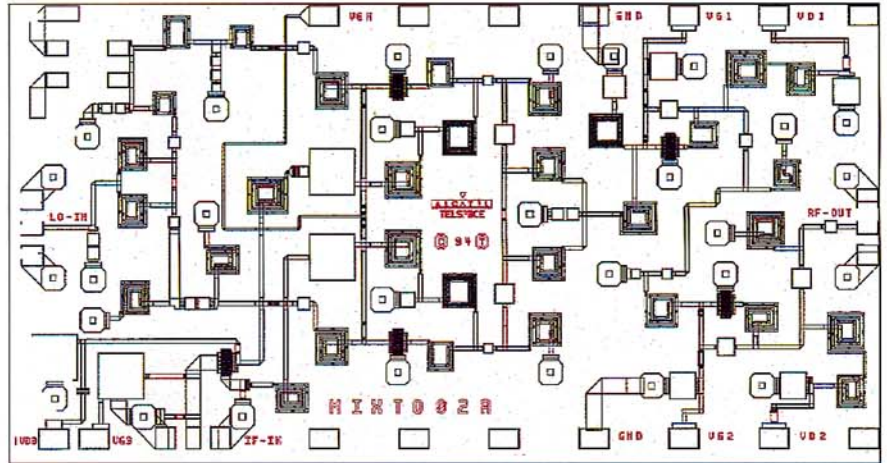


Figura 2 - Mezclador integrado para Banda C

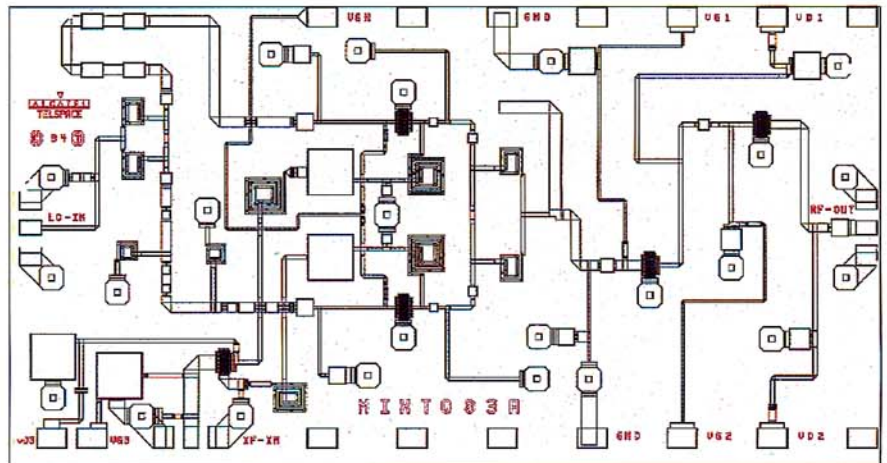


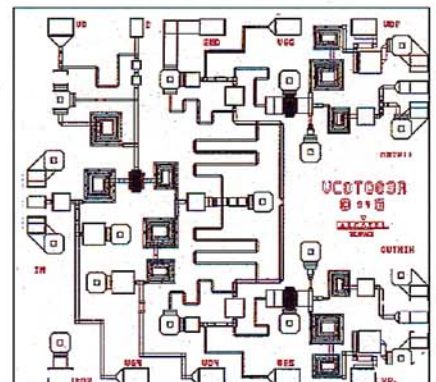
Figura 3 - Mezclador integrado para Banda Ku

del rendimiento muestra unos resultados del mismo orden que los obtenidos con diseños de amplificadores convencionales. En las *Figuras 2 y 3* se describen diseños de MMIC, bien basados en elementos discretos en las frecuencias inferiores (por debajo de la banda Ku) o en stubs en paralelo y en líneas de transmisión como en los circuitos híbridos convencionales de microondas.

Incluso los diseños de osciladores y de VCO se han hecho más predecibles debido a que se pueden analizar sus condiciones de arranque por medio de simuladores en el dominio del tiempo del tipo *spice*. Se han introducido dos nuevas generaciones de VCO en MMIC que eliminan el ajuste requerido por los VCO híbridos: un chip combina los VCO en banda C y en banda S y el otro opera en la banda Ku.

El diseño incluye etapas de separación (*buffers*) en las salidas principal y del PLL (circuito de bucle enclavado en fase). Estos MMIC se aprovechan de un circuito varactor externo de silicio conectado a la fuente del FET, que

Figura 4 - Oscilador controlado por voltaje en la banda C/X



oscila a fin de proporcionar un margen de ajuste de algunos MHz con una pendiente bastante constante de 1 MHz/V. El circuito en banda C/X solamente necesita el correspondiente resonador dieléctrico acoplado a una línea de 50 ohmios para resonar a la frecuencia requerida. El trazado físico del circuito de banda C/X se muestra en la **Figura 4**.

MMIC de potencia

Durante los últimos años ha habido un progreso significativo en los MMIC de potencia, cubriendo una gran variedad de aplicaciones. En particular, se han diseñado y fabricado amplificadores

de potencia MMIC en grandes cantidades para transmisores comerciales y militares, en donde se requiere una gran potencia y alta eficiencia de forma consistente[15]. Además los circuitos MMIC de potencia que utilizan tecnología de MESFET son atractivos en términos de coste, peso, fiabilidad y alimentación de bajo voltaje, y a la vez, tienen la capacidad de sustituir la tecnología híbrida MIC existente en diferentes sistemas y recrearse con la introducción de nuevos conceptos [16].

Se han propuesto diferentes tipos de topología básica de circuitos para diseño de amplificadores MMIC: con *adaptación reactiva* (redes de entrada/salida sin pérdidas), *realimentada*

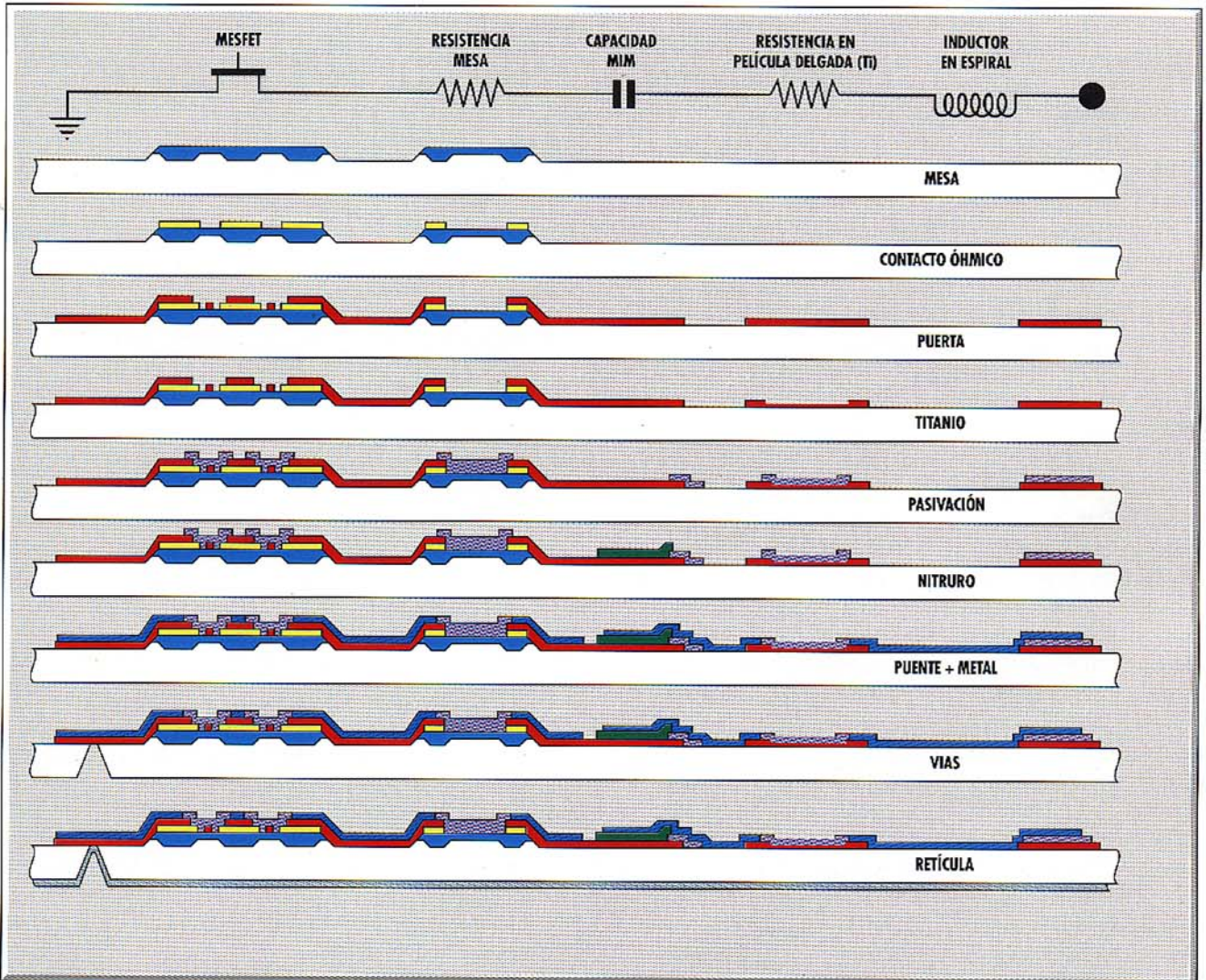
y *distribuida*.

La adaptación reactiva utiliza habitualmente la división y combinación de potencia, lo que conduce a grandes áreas de circuito.

Los amplificadores del tipo realimentados son especialmente convenientes en la región de bajas frecuencias donde el tamaño de los circuitos de los elementos discretos o distribuidos es mayor. Una ventaja de esta solución es que la tolerancia de los proceso es inherentemente mayor.

Para conseguir anchuras de banda muy grandes, se necesita el tipo de amplificador distribuido, en donde el coeficiente de atenuación de la línea de puerta constituye el límite principal del número máximo de dispositivos

Figura 5 - Proceso de fabricación de MMIC



FET utilizables por etapa. Para reducir esta atenuación se intercala habitualmente un condensador en serie entre la puerta de cada FET y la entrada de la línea de transmisión artificial, lo que permite una potencia de salida consistente y mejora la eficiencia del amplificador de potencia distribuido; una ganancia típica por etapa es de 5 a 6 dB. La eficiencia de la potencia y la capacidad de manejo de la potencia por unidad de área son relativamente bajas, mientras que la tolerancia de proceso es buena.

Para alcanzar unas buenas prestaciones del circuito en términos de potencia de salida, ganancia, eficiencia en potencia, anchura de banda y distorsión hay que llegar a características específicas de la tecnología:

- mayor voltaje de ruptura de FET
- ganancia en potencia de FET constante con gran variación de la amplitud en la señal
- topología horizontal optimizada de los FET interdigitados como un compromiso entre el comportamiento térmico, la atenuación de puerta, la relación de fase múltiple, y la densidad de potencia.

La fabricación de amplificadores de potencia tipo MMIC, utilizando el proceso de fundición, implica la identificación y la resolución de un gran número de problemas aparte de los relacionados con la tecnología, como las medidas, los modelos, el diseño y la fiabilidad [17].

El proceso se basa en una puerta de longitud de $0,6 \mu\text{m}$ en tecnología MESFET de modo empobrecido (depletion mode), utilizando una capa enterrada tipo p de carbón debajo de la capa activa de silicio implantado (Figura 5). En la Tabla 1 se proporcionan cifras de prestaciones típicas.

En la Foto B se muestra un amplificador de potencia de banda ancha MMIC de 1 W. Este amplificador de potencia de dos etapas con salida única, que opera en clase A, cubre un 67% de la banda de frecuencia comprendida entre los 4 y los 8 GHz, con una

Corriente de saturación I_{dss}	230mA/mm
Voltaje V_p de estrangulamiento	-3 V
Transconductancia G_m	115ms/mm
Voltaje de ruptura V_{bkgd} ($I_g=1\text{mA/mm}$)	16 V
Máxima potencia de salida con 1 dB de compresión	0.45 W/mm
Ganancia asociada	12,5 dB a 5 GHz, 9 dB a 7,5 GHz
Mejora en la eficiencia de potencia	40% at 7,5 GHz

Tabla 1 - Prestaciones en CC y en microondas del proceso del fabricante

potencia de salida de 30 dBm y con compresión de 1 dB, una ganancia lineal de 12 dB con ± 1 dB de rizado en la ganancia, y reemplazará a la tecnología FET discreta en las etapas de potencia de los transceptores de microondas utilizados en los sistemas de radioenlaces.

Un modelado preciso para pequeña y gran señal, junto a medidas de carga variable (*load-pull*) han sido esenciales para la caracterización de un diseño óptimo de amplificador. Los contornos de carga variable (representaciones tipo carta de Smith de los valores de impedancia que los MESFET deben ver en su salida para óptima potencia) han sido deducidos a partir de medidas sobre circuito con un conjunto de pruebas semiautomáticas que han acelerado el procedimiento de caracterización.

Para la operación con gran señal, del que se informa en el manual de proceso [18], se pueden utilizar simuladores eléctricos con balance armónico comercialmente disponibles, que se han obtenido de los parámetros S sobre oblea y de medidas en CC y carga variable.

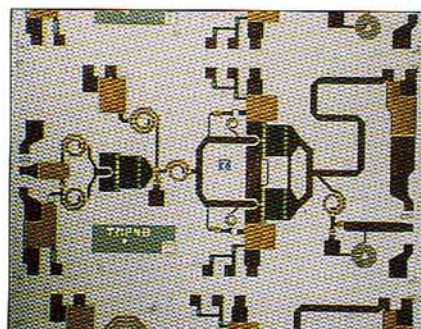
Este modelo, que se emplea en la simulación de circuitos de potencia, permite predecir la potencia de salida con cualquier compresión de ganancia, en cualquier frecuencia (dentro de la banda válida) y para cualquier carga de salida; siendo por ello una herramienta envidiable para la síntesis de la carga óptima de salida en el caso del diseño en banda ancha. Ha sido validado con dispositivos individuales y con circuitos completos hasta 8 GHz, y se espera que funcionen hasta 12 GHz.

Aplicaciones con MMIC en comunicaciones por microondas

Un gran número de circuitos MMIC de uso general están disponibles hoy en día en el mercado a precios relativamente bajos. Sin embargo, la optimización de sus prestaciones en banda ancha puede resultar inadecuada para algunas aplicaciones al estado del arte. En tales casos los MMIC pueden ser adaptados a un sistema dado para optimizar sus prestaciones a la banda de frecuencia deseada. El coste del circuito queda determinado entonces por la cantidad fabricada del mismo y puede ser relativamente alto. Una manera de abaratar el coste por circuito consiste en producir una especificación común para varias aplicaciones. Además los MMIC ofrecen mayor fiabilidad, menor tamaño y no requieren ajustes individuales en la fase de producción.

La mayor parte de los circuitos que se han utilizado en equipos de radio por microondas en los últimos años han sido bastante simples, tales como LNA y LLA así como amplificadores de

Foto B - Amplificador de potencia MMIC de 1 W en Banda C



potencia media y amplificadores de alrededor de 1 vatio.

La próxima generación de tales equipos, incluso a corto plazo, tendrá que contar cada vez más con amplificadores MMIC y utilizar funciones pasivas como atenuadores digitales y analógicos o desfasadores para mantenerse competitivos. Alcatel y otros suministradores de equipo de radio tendrán que comenzar la integración de MMIC más complejos como mezcladores, moduladores y demoduladores en fase y cuadratura, VCO estándar y multiplicadores y divisores de frecuencia, cuya factibilidad ya ha sido probada.

Conclusiones

Las decisiones sobre el diseño y proceso de los MMIC se han analizado en Alcatel tomando como referencia MMIC específicos tales como los circuitos de bajo ruido, no lineales y de potencia. La próxima generación de equipos de radio por microondas tendrá que incorporar MMIC de AsGa de forma más intensa para conseguir un mayor nivel de integración, un alto volumen de producción y un menor coste. Lo que queda claro para los mercados potenciales es que los circuitos de AsGa se utilizarán como complemento de las funciones de los circuitos de silicio y que las dos tecnologías deberán coexistir en la mayoría de las áreas de aplicación de alta frecuencia.

Referencias

- 1 E. D. Cohen: MIMIC Program - Key to Affordable MMICs for DoD Systems; 1988, IEEE Micr. and mm-wave Monol. Circ. Symp. Dig
- 2 S. S. Bharj: Manufacturing and Cost Analysis GaAs MMIC for Phased Array Radar T/R Modules; Agosto. 1987, Micr. Syst. News, vol. 17, págs. 32-34
- 3 P. H. Ladbrooke: Statistical Design for Yield in MMICs; 1988, Proc. Milit. Micr. Conf., págs. 386-390
- 4 P. H. Ladbrooke: GaAs Yield Forecasting from Processing Spreads; Agosto 1987, Micr. Jour., págs. 133-141
- 5 E. M. Bastida y G. P. Donzelli: An Experimentally Based Systematic Approach for Yield and Reliability Evaluation in GaAs MMICs; 1990, Proc. GaAs Appl. Symp., pág. 290-301
- 6 E. M. Bastida y M. Pagani: A New Method for MMIC Parametric Yield Realistic Evaluations; 1992, Proc. GaAs Appl. Symp
- 7 A. Rode: Reliability Yield and Cost Considerations for MMICs; 1988, MTT-S Symp. Workshop Records
- 8 F. Filicon et al: Physics Based Electron Device Modeling and Computer Aided MMIC Design; 1992, IEEE Trans. MTT, vol. 40, pág. 1333-1352
- 9 R. R. Pantoja et al: A Large-Signal Physical MESFET Model for Computer Aided Design and Its Applications; 1989, IEEE Trans. MTT, vol. 37, págs. 2039-2045
- 10 V. Rizoli et al.: Simultaneous Thermal and Electrical Analysis of Nonlinear Microwave Circuits, 1992, IEEE Trans MTT, vol. 10, págs. 1446-1455
- 11 M. Goldfarb y A. Platzker: The Effects of Electromagnetic Coupling on MMIC Design 1991. Int. Jour. Micr. and mm-wave CAD, vol. 1, págs. 38-47
- 12 R. A. Pucel: MMICs Modeling and CAD. Where We Go from Here?: 1986, Proc. 16th, EUMC, pág. 61-70
- 13 B. Rattay, M. Hubner, J. P. Teyssier y R. Quere: Accurate HEMT modeling for non-linear simulation. Proc. 22nd Europ. Micr. Conf., págs. 1201-1205
- 14 M. Hubner y B. Rattay: K- and Ku-Band MMICs for Radio Link Conununications; IEEE GaAs 94 Proc. celebrado en Turín (Italia), págs. 59-62
- 15 J. L. Walker: High power GaAs FET amplifiers: Artech House ed., en Boston, USA, 1993
- 16 E. M. Bastida, G. P. Donzelli y M. Pagani: Efficient development of mass producible MMIC circuits; IEEE Trans. MTT vol. 46, págs. 1364-1373, Julio 1992
- 17 E. M. Bastida, G. P. Donzelli, F. Magistrali y M. Pagani: Design, yield and reliability issues in mass producible MMICs; Proc. 23rd Europ. Micr. Conf., págs. 19-25, Madrid, España, Sept. 1993
- 18 Manual de diseño para MMICs de potencia y lineales; Alcatel-Telettra ed., Vimercate (Italia), 1993

Giampiero Donzelli nació en Milán en 1949. Se graduó en Físicas (especialidad de Electrónica) en la Universidad de Milán en 1975. Desde entonces ha estado trabajando en el campo de la investigación en MESFET de AsGa y tecnología MMIC en los laboratorios CISE. Se incorporó a Telettra en 1983 y cofundó la actividad en la tecnología de AsGa siendo responsable de laboratorio de Dispositivos. Actualmente está a cargo del I+D en circuitos discretos de AsGa y componentes MMIC en el área de proceso de AsGa de Alcatel Telettra.

Bernard Rattay nació en 1964 en Mülheim/Ruhr. Se graduó en 1989 en Ingeniería Electrónica en la Escuela Universitaria de Ingeniería de Lille y se incorporó ese mismo año a Alcatel Telspace. Comenzó a trabajar en el departamento de desarrollo de microondas en sistemas repetidores por radio y estuvo principalmente involucrado en el diseño de osciladores y PLL hasta los 20 GHz. A partir de 1991 el Sr. Rattay ha estado con LEMMIC, donde ha iniciado el modelado de MESFET/HEMT/P-HEMT no lineales y ha continuado desde entonces trabajando en el diseño de circuitos MMIC.

La radio de microondas en los Estados Unidos

D. Kimzey, T. Barron

Alcatel Network Systems, Richardson, Texas, EEUU

Introducción

El presente artículo describe los diferentes segmentos del mercado de la radio de microondas punto a punto en los Estados Unidos y cómo han evolucionado hasta su situación actual. Se contempla el aspecto regulador, destacando los recientes cambios introducidos por la norma FCC y su impacto en los usuarios y suministradores de radio de microondas. Asimismo se presenta un examen detallado de las tendencias actuales de la radio de microondas en los Estados Unidos. Ello incluye las necesidades de evolución de los diferentes sectores de mercado y su efecto sobre los requisitos en cuanto a características del producto de la radio de microondas, como banda de frecuencias, capacidad y gestión de red.

Segmentos del mercado

Existen tres segmentos diferenciados en el mercado de la radio de microondas de los Estados Unidos que en conjunto suponen cerca de 400 millones de dólares en ventas anuales de equipos de radio de microondas. Globalmente considerado, el mercado se encuentra en ligero declive, debido a que la radio está siendo desplazada por la fibra óptica. No obstante existen algunos sectores en crecimiento.

El segmento de mercado de los "operadores clásicos" consta de proveedores de servicios de comunicaciones como son las compañías Bell, de compañías telefónicas independientes como General Telephone, de compañías celulares y de empresas de servicios de larga distancia como AT&T, MCI y Sprint.

El segmento de mercado "privado" engloba todos los sistemas de comunicaciones propiedad de compañías privadas que los emplean para sus propias necesi-

dades internas. Históricamente, las compañías ferroviarias, de servicios y de gasoductos representan la mayor parte del mercado privado. Los gobiernos estatales y locales también se consideran parte de este segmento de mercado, ya que sus sistemas de comunicaciones de propiedad privada normalmente les facilitan servicios para su propio uso.

El gobierno federal conforma el tercer segmento de mercado en los EEUU. Este segmento agrupa bases militares y agencias federales como la Administración Federal de Aviación (FAA) y el Departamento de Energía (DOE). La *Figura 1* muestra el tamaño relativo de cada uno de estos sectores de mercado en términos de compras de radio de microondas.

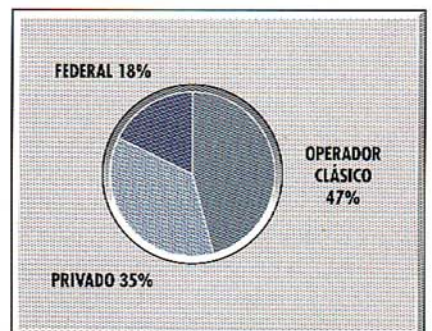
Mercado de los "operadores clásicos"

El mercado de los operadores clásicos históricamente estaba formado por el sistema Bell y por AT&T, así como por cientos de compañías operadoras independientes (IOC), más pequeñas. Normalmente las IOC suministraban servicio telefónico local a pequeñas ciudades y áreas rurales y proporcionaban interconexión dentro del sistema Bell, de mayor dimensión, que atendía a la mayoría de EEUU. Por su parte, AT&T proporcionaba equipamiento y servicio de larga distancia al sistema Bell. Como resultado de un decreto "antitrust" de 1984, AT&T se convirtió en una entidad separada de Bell y pasó a focalizarse en dos aspectos del negocio de las telecomunicaciones: proporcionar servicios de larga distancia en calidad de operador de conmutación (IXC) y fabricar equipos como centrales de conmutación, sistemas de transmisión, teléfonos y ordenadores. MCI (otro IXC) jugó un importante papel al obtener habilitación legal como IXC para competir con AT&T.

El Sistema Bell se fragmentó entonces en siete "compañías operadoras regionales Bell" (RBOC ó BOC). Estas BOC, junto con las IOC antes mencionadas, también se denominan "operadoras de conmutación local" (LEC). Es una realidad que cuando se habla del mercado de las telecomunicaciones en EEUU se produce un auténtico bombardeo de siglas, como LEC, IOC e IXC. Además, los "proveedores de acceso competitivo" (CAP) están empezando a competir con los BOC en el mercado de centrales telefónicas.

AT&T fue pionera en las comunicaciones por radio de microondas en los Estados Unidos en el año 1940. Utilizó radio de microondas analógica de alta capacidad de 4 GHz en lugar de hilo de cobre, como un medio económico de cubrir grandes distancias y proveer comunicaciones sobre terreno accidentado. AT&T convirtió en digitales estos sistemas de radio microondas analógicos durante las décadas de los setenta y ochenta debido al mejor comportamiento de lo digital en cuanto a calidad, capacidad y facilidad de interfaz con las estaciones centrales, que también se convirtieron progresivamente para señal digital. Hoy, en los Estados Unidos prácticamente toda la radio de microondas que

Figura 1 - Segmentación del mercado de la radio de microondas en 1994



utilizan los operadores clásicos es digital. Todos los grupos descritos más arriba (BOC, IXC, etc.) anualmente adquieren equipos de radio de microondas por valor aproximado de 70 millones de dólares, si bien este montante está viéndose reducido cada año debido al incremento en el uso de fibra óptica.

Las compañías celulares se han convertido en el área de más rápido crecimiento dentro del segmento de los operadores clásicos en EEUU. La cobertura celular ha crecido desde prácticamente cero en 1984 hasta los cerca de 20 millones de abonados actuales. Los proveedores de servicios de comunicaciones personales (PCS) ahora están posicionándose para conseguir este tipo de crecimiento, aunque las compañías celulares salen al encuentro de esta competencia en posición de cabeza y luchan por convertirse en los proveedores de PCS preferidos. Las compañías celulares compran cada año alrededor de 120 millones de dólares en equipos de radio de microondas y constituyen el mayor grupo de usuarios dentro del segmento de mercado de los operadores clásicos. Desde un primer momento han instalado radio digital, debido a la necesidad de un interfaz directo con las centrales de conmutación digital. Se prevé que la demanda de radio de microondas por parte de la industria celular se mantenga aproximadamente en el mismo nivel durante los próximos años. Los suministradores de servicio celular normalmente prefieren ubicar el equipo de radio dentro de una caseta en la base de la torre y llevar la guía de ondas hasta la antena. Estos usuarios de radio desean evitar el escalar las torres a la hora de realizar cualquier tipo de mantenimiento. Sin embargo, la configuración de radio ideal es un sistema completamente interno instalado en un bastidor estándar de 19 pulgadas.

Mercado privado

El mercado privado para la radio de microondas en EEUU consta principalmente de compañías que disponen de capacidad propia en telecomunicaciones. Históricamente, se ha tratado de compañías de gasoductos, de servicios y ferroviarias. Estas entidades poseen vías que

cruzan todo el país, lo que les convierte en usuarios ideales de la radio de microondas como un medio económico para comunicaciones internas. Estos sistemas, que proliferaron en los sesenta y setenta, normalmente eran analógicos. Además, la capacidad de transmisión requerida era tan baja que unos pocos canales de voz normalmente cubrían los requerimientos y no se necesitaban sistemas de modulación más complejos.

La base de los sistemas de transmisión microondas instalada en el mercado privado ha crecido de manera estable a lo largo de los años hasta el punto de que ahora hay más de 20.000 trayectos en operación, la mayoría analógicos. La mayor parte de los usuarios privados que hoy instalan sistemas de microondas eligen la modulación digital. La excepción es aquel usuario que amplía un sistema analógico existente o aquel que simplemente no requiere capacidad como para que se justifique la compra de la radio digital. Muchos usuarios privados hoy convertirían sus sistemas analógicos en digitales si no fuera por el enorme coste de esta transición.

El mercado privado estadounidense supone cerca de 140 millones de dólares anuales en ventas de equipos de radio de microondas y se espera que crezca en la medida que más usuarios privados dejen libres las bandas de frecuencia de 2 GHz para abrir camino a proveedores de PCS (cuestión que se aborda más tarde en este artículo) y conviertan sus sistemas de analógicos en digitales. El segmento privado incluye las compras que por valor de cerca de 40 millones de dólares anuales realizan los gobiernos estatales y locales. Este grupo consta de entidades como agencias y administraciones de ciudades y municipios. Sus necesidades de equipamiento son bastante parecidas a las del resto del mercado privado.

Mercado federal

El segmento del mercado federal está formado por bases militares, que normalmente adquieren pequeños sistemas de radio microondas, y agencias federales, que por lo usual instalan grandes sistemas de radio. Agencias federales como FAA y DOE son los mayores usuarios de radio

de microondas en el sector de mercado federal. DOE supervisa varios sistemas de generación de potencia y transmisión en todo el país y normalmente necesita grandes sistemas de radio de microondas. La demanda de equipos de radio de microondas del mercado federal asciende a cerca de 70 millones de dólares cada año. Las futuras oportunidades para la radio en este segmento de mercado consistirán en convertir en digitales los sistemas de radio analógicos existentes.

Contexto normativo

Bandas de 2 GHz reservadas para PCS

El cambio normativo más dramático para la radio de microondas en los últimos años en Estados Unidos tuvo lugar en 1992. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), en el Aviso de Propuesta de Cambio de Norma (NPRM) 92-9, reservó la mayor parte de las secciones punto a punto de las bandas de frecuencia de 2 GHz a las "tecnologías emergentes" o PCS. La mayor parte de la base de radio de microondas instalada en el segmento del mercado privado y una parte significativa del sector de mercado de los operadores clásicos operan dentro de las bandas de frecuencia de 2 GHz afectada. Esto significa que durante los próximos cinco a diez años una gran cantidad de usuarios tendrán que dejar libres las bandas de frecuencia de 2 GHz y ubicarse en otras bandas, o facilidades alternativas, a medida que los suministradores de PCS vayan necesitando esas frecuencias. Por consiguiente, las nuevas instalaciones de radio de microondas tenderán a evitar las bandas de frecuencia de 2 GHz en favor de frecuencias más altas. La **Figura 2** muestra el impacto de este cambio normativo en la asignación de bandas de frecuencia.

Este cambio en la legislación podría resultar costoso a los actuales usuarios de radio de microondas de 2 GHz aunque la norma NPRM 92-9 incluye cláusulas que especifican que los proveedores de PCS que desplacen a usuarios existentes han de indemnizarles en concepto del coste de la transición. Muchos usuarios actuales tratarán de utilizar esta oportunidad para hacer evolucionar sus siste-

mas a digitales. El grado en que un usuario existente se vea compensado por un proveedor de PCS probablemente será objeto de negociación en los próximos años a medida que los proveedores de PCS sean más numerosos y poderosos. De cualquier forma, los operadores de PCS estarán más que dispuestos a pagar esta compensación, considerando cómo de dispuestos han estado a pagar por el espectro PCC (cuestión tratada más adelante en este artículo).

La nueva asignación de canales de la FCC

El problema técnico clave creado por los cambios de la normativa de canales en la banda de 2 GHz era la indisponibilidad de canalización de ancho de banda estrecho en las bandas de altas frecuencias para acoplar a los usuarios que abandonen las bandas de 2 GHz. Alcatel Network Systems creó nuevos planes de canalización para todas las bandas de frecuencia de 4 a 11 GHz y los sometió a la aprobación de la FCC para su adopción. Después de amplio debate público, la FCC adoptó una versión modificada del plan de Alcatel, efectiva en enero de 1994. La Figura 2 muestra las antiguas y

nuevas canalizaciones. Además de crear mayores posibilidades de elección de ancho de banda dentro de cada banda de frecuencia, el nuevo plan combina las bandas de frecuencia del mercado privado con las del mercado de los operadores clásicos. Esto era de especial ayuda para el mercado privado, que sólo tenía acceso a anchos de banda de canal más estrechos, capaces de transportar no más de 45 Mbit/s. El mercado privado necesita anchos de banda de canal de más de 30 MHz para transportar 135 Mbit/s ahora que la transmisión de datos es cada vez más importante y ahora que muchas compañías privadas están vendiendo exceso de capacidad a otros usuarios privados.

Además de la recalculación de las bandas frecuencia de entre 2 y 11 GHz, la FCC adoptó normas más rigurosas en cuanto a eficiencia del espectro para estas bandas, con efectividad a partir del primero de junio de 1997. Estas normas especifican las velocidades de datos o las capacidades de transmisión mínimas de cada una de las bandas de frecuencia para asegurar que el espectro de RF no se desperdicia a causa de sistemas de modulación ineficaces. Aunque los requerimientos de eficiencia varían lige-

ramente de una a otra banda, el efecto neto es que cualquier equipo de radio de microondas adquirido después del primero de junio de 1997 tendrá que ser como mínimo espectralmente tan eficiente como la radio que utilice la técnica de modulación de 64 QAM.

Derechos de uso del espectro

En los Estados Unidos actualmente no se grava a los usuarios de radio microondas por el derecho de uso del espectro de RF. Este año el gobierno estadounidense ha debatido la introducción de derechos de uso del espectro para incrementar la recaudación de impuestos. El debate no obtuvo mucho impulso en parte porque los ingresos así obtenidos no se utilizarían para apoyar a la FCC, sino en gastos federales no relacionados. Asimismo, los usuarios del espectro obviamente lucharían contra estos impuestos. La perspectiva de los derechos por el uso del espectro es otra razón por la que los usuarios están interesados en maximizar la eficiencia espectral de sus sistemas de radio. Aunque en la actualidad no se han decretado, los derechos por el uso del espectro continúan siendo una alternativa viable como medio para incrementar

Figura 2 - Antiguos y nuevos planes de la FCC en canalización

BANDA DE FRECUENCIA (MHz)	ANTES DE ENERO DE 1994		DESPUES DE ENERO DE 1994	
	USUARIOS BÁSICOS	ANCHURA DE BANDA DE CANAL RF (MHz)	USUARIOS PRIMARIOS	ANCHURA DE BANDA DE CANAL RF (MHz)
1850 - 1990	PRIVADO	5, 10	PCS	IGUAL + PCS *
2110-2130 Y 2160-2180	OPERADOR NORMAL	1.6, 3.2, 3.5, 3.6	PCS	IGUAL + PCS *
2130-2150 Y 2180-2200	PRIVADO	0.8, 1.6	PCS	IGUAL + PCS *
3700-4200	OPERADOR NORMAL	20	PRIVADO Y OPERADOR NORMAL	20
5925-6425	OPERADOR NORMAL	30	PRIVADO Y OPERADOR NORMAL	0.4, 0.8, 1.25, 2.5, 3.75, 5, 10, 20, 30
6525-6875	PRIVADO	5, 10	PRIVADO Y OPERADOR NORMAL	0.4, 0.8, 1.25, 2.5, 3.75, 5, 10, 20, 30
10550-10680	PRIVADO Y OPERADOR NORMAL	1.25, 2.5, 3.75	PRIVADO Y OPERADOR NORMAL	0.4, 0.8, 1.25, 2.5, 3.75, 5
10700-11700	OPERADOR NORMAL	40	PRIVADO Y OPERADOR NORMAL	0.4, 0.8, 1.25, 2.5, 3.75, 5, 10, 20, 30, 40

* LA CANALIZACIÓN PCS NO ESTÁ AÚN CONSOLIDADA, PERO SE INTENTA QUE CONSISTA EN ANCHURAS DE BANDA DE CANAL DE 1,25 MHz, 5 MHz Y 10 MHz

la recaudación de impuestos. De todas formas la Oficina de Administración Territorial del Gobierno de los Estados Unidos probablemente incrementará los derechos por el uso de las instalaciones y torres de microondas instaladas en territorio de propiedad federal. Ello afecta a unos 1.500 usuarios de microondas y probablemente se basará en la densidad de población atendida por cada enclave de microondas.

Licencias para 38 GHz

La FCC todavía está trabajando en las normas de concesión de licencias para radioenlaces de 38 GHz. Muchos usuarios futuros de la radio de 38 GHz ya se han repartido la frecuencia de grandes partes del espectro anticipándose al uso de frecuencias de 38 GHz por los PCS. Muchos de estos "usuarios" de hecho son especuladores que desean "capturar" el espectro y lucrarse vendiéndolo después a los verdaderos usuarios, una vez que los PCS se extiendan. La FCC está estudiando cómo tratar esta cuestión, y también considerando si conceder una licencia para cada trayecto como se hace para las bandas de baja frecuencia o conceder una licencia válida dentro de una área geográfica en una determinada frecuencia o permitir al usuario operar en distintas frecuencias dentro de esa área.

Subastas del espectro PCS

Por primera vez en la historia de Estados Unidos la FCC sacó a concurso el espectro de RF en julio de 1994, para el uso de los PCS. La subasta alcanzó los 617 millones de dólares para diez licencias de PCS de banda estrecha. Bastantes compañías pagaron cada una de ellas 80 millones de dólares por dos canales de PCS de 50 kHz, superando enormemente las estimaciones previas. Con esta demostración de lo deseosas que estas compañías están en participar en el negocio de los PCS inalámbricos, se espera que esta industria ejerza una enorme fuerza de mercado en la regulación, tecnología y demanda de consumo. Ello podría originar en los próximos diez años un crecimiento de la industria PCS que incluso podría superar la tasa de cre-

cimiento del 35% anual alcanzada por la industria celular durante los últimos diez años. La nueva ronda de subastas está fijada para finales de 1994. Este concurso cubrirá la asignación de la banda ancha y se prevé que genere miles de millones de dólares de ingresos para el Gobierno de los Estados Unidos.

Tendencias de la radio en EEUU

A excepción del posible efecto negativo que la reasignación de los 2 GHz va a tener en los actuales usuarios de radio de 2 GHz, los cambios normativos descritos anteriormente tienden a ejercer un impacto positivo en el uso de la radio de microondas en los Estados Unidos. Los usuarios de radio disponen de más bandas de frecuencia y anchos de banda de canal que antes. La industria celular aún está creciendo un 30% cada año y se confía en que la industria PCS despegue. Además, el mercado privado está empezando a entrar en nuevas áreas de las telecomunicaciones. La fuerza del mercado libre tiende a ser la fuerza impulsora más significativa de las tendencias en telecomunicaciones que hoy se configuran. Esto fomenta un incremento en la competencia entre los suministradores de equipos y abre el abanico de opciones tecnológicas disponibles para los proveedores de servicios.

Crecimiento del mercado privado

El mercado privado está experimentando un incremento de la demanda para la banda de RF. Ello se debe a dos circunstancias: en primer lugar, las industrias del mercado privado poseen sistemas de telecomunicaciones tan extensos que están descubriendo que pueden vender el exceso de capacidad para compensar los gastos de provisión y mantenimiento de sus sistemas. En segundo lugar, a los usuarios del mercado privado se les están planteando mayores necesidades de capacidad de transmisión de datos. Estas dos necesidades no sólo promueven la instalación de mayor capacidad, sino que también impulsan a los usuarios de radio privada a convertir sus sistemas analógicos en digitales. Por ejemplo, los

doce canales de voz analógicos necesarios para transmitir un volumen de datos a 64 Kbit/s se pueden sustituir por un simple canal de voz digital. Por estas razones, a muchos usuarios de radio privados les gustaría instalar sistemas de radio de 135 Mbit/s. Además, los interfaces digitales también facilitan la interconexión de los sistemas privados con la red pública de conmutación digital.

La poderosa industria de servicios está intentando que se promulgue una legislación que le permita participar en la "superautopista de la información" del país. Las compañías de servicios están particularmente bien situadas para jugar un importante papel en la transmisión de datos bidireccional, debido a los poderosos sistemas de transmisión que atraviesan el país y entran virtualmente en todos los hogares y oficinas. De hecho muchas compañías de servicios demandan radio compatible con SNET, versión norteamericana de SDH. No conocen en detalle cómo utilizarán la radio SNET, pero están instalando redes síncronas de fibra óptica y quieren asegurar la transmisión de datos sin restricciones por radio de sus redes futuras.

Tanto en el mercado privado como en el federal, los usuarios de radio están interesados en convertir sus sistemas analógicos en digitales. Las compañías con una gran base analógica instalada prevén la conversión a digital de manera escalonada en vez de hacerlo en una sola vez, debido al alto coste inicial que supone la adquisición de nuevos equipos. Se prevé que las ventas de radio al mercado privado aumenten un 7% anual durante los próximos cinco años.

Tendencias en la capacidad de radio

Aunque el sector del mercado privado está experimentando una necesidad creciente de sistemas de radio de alta capacidad por las razones arriba expuestas, este mercado también tiene una necesidad creciente de sistemas de radio de baja capacidad debido a que la mayor parte de los sistemas analógicos instalados transportan menos de 96 canales de voz, correspondientes a 4 DS1 (4 x 1,544 Mbit/s). Existe una situación similar en la industria celular, el participante que predomina

en el sector de mercado de los operadores clásicos. Aunque la industria celular está instalando más y más sistemas 3 DS3 (3 x 45 Mbit/s) para adaptarse a las crecientes demandas de capacidad en áreas urbanas, el verdadero crecimiento celular se está produciendo en las áreas rurales, donde se necesita una radio de baja capacidad. Cuando un operador celular aumenta la cobertura en áreas de servicio rural (RSA) mediante ramificaciones para prestar cobertura a otra pequeña ciudad o alcanzar otra autopista, normalmente las necesidades se pueden cubrir con un sistema de radio de 4 DS1, y a menudo con un sistema de radio de 2 DS1. Habría más demanda de sistemas de radio de 1 DS1 si estuviesen más disponibles y fuesen más económicos.

Por estas razones en los Estados Unidos existe una ligera tendencia hacia menor capacidad digital. La **Figura 3** compara los cambios en la demanda de capacidad de 1992 a 1993. La demanda de sistemas de radio de 4 DS1 y 8 DS1 creció desde un 49% en 1992 a un 56% en 1993. Si hubiera habido radios digitales de menor capacidad, como las de 2 DS1, con un coste más competitivo respecto a las radios analógicas, este desplazamiento incluso habría sido más pronunciado. No sólo un mayor número de usuarios de radio habrían instalado la radio de baja capacidad digital, sino que incluso más operadores celulares habrían comprado radio digital en lugar de utilizar líneas alquiladas a los operadores de conmutación locales.

Requisitos de disponibilidad de trayectos

Muchos proveedores de servicios tienen en cuenta el criterio de disponibilidad de trayectos al evaluar la fiabilidad de las trayectorias de radio y de las líneas alquiladas. Muchos operadores clásicos diseñan sus trayectos de sistemas de radio protegidos para una disponibilidad del 99,999%, o alrededor de cinco minutos de indisponibilidad de servicio por año. Estos proveedores de servicios a menudo se alarman cuando descubren que los operadores de conmutación locales, a quienes alquilan líneas DS1, normalmente tienen un índice de disponibilidad del 98% para líneas alquiladas. ¡Ello supone casi 10.500 minutos de indisponibilidad

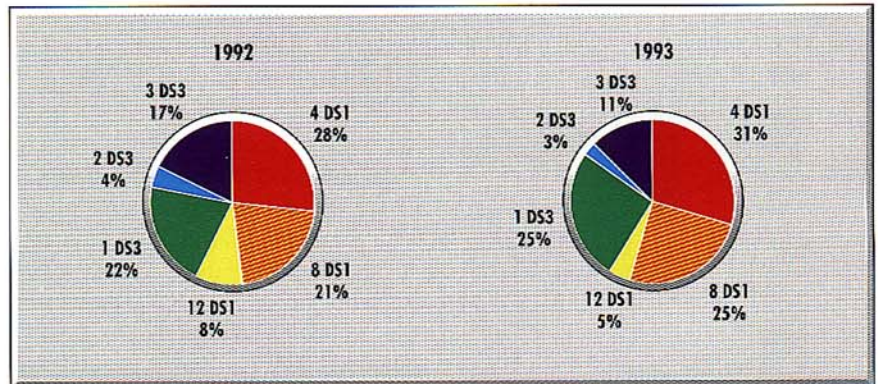


Figura 3 - Tendencias en capacidad digital

al año!, lo que equivale a 175 horas o casi siete días al año. En Estados Unidos, algunos operadores celulares de hecho están pasando de líneas alquiladas a radio de microondas basándose en esto.

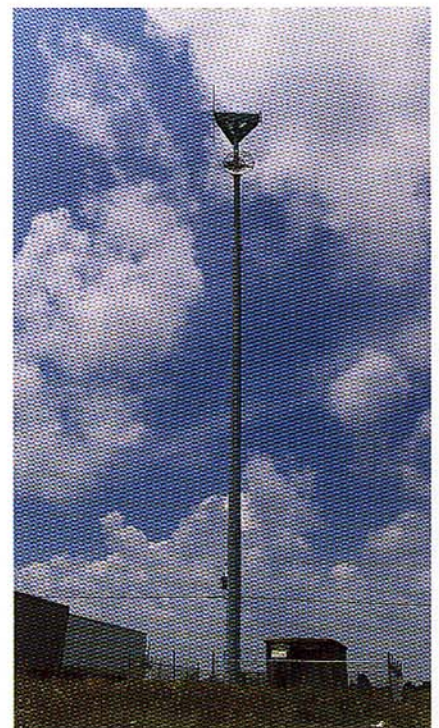
Otra aplicación práctica del criterio de fiabilidad del trayecto atañe a la selección de la banda de frecuencia. Se habla mucho sobre el uso de la banda de 38 GHz para enlaces PCS y enlaces celulares cortos. De todas formas, los proveedores celulares experimentados cada vez están menos dispuestos a instalar enlaces de radio de microondas que operen en frecuencias por encima de los 10,5 GHz debido al efecto de atenuación de la lluvia. Para trayectos de menos de una milla, los 38 GHz probablemente funcionarían bien, pero para los más habituales trayectos cortos de tres o cuatro millas los enlaces de 38 GHz no proporcionan la deseada disponibilidad del 99,999% con la que cuentan la mayoría de los sistemas diseñados por los operadores clásicos.

Una comparación típica de estas dos bandas de frecuencia para el área de Dallas en Texas, tomando una capacidad de 4 DS1, antenas de dos pies de diámetro y requisitos de disponibilidad del 99,999%, nos da una longitud de trayecto máxima de cinco millas a 10,5 GHz y de sólo una milla a 38 GHz. De todas formas, en el mundo real de los compromisos, los operadores de servicios pueden estar dispuestos a admitir una menor disponibilidad de los enlaces de 38 GHz si el coste fuese significativamente menor que el de los equipos de 10,5 GHz. La mayoría de los posibles operadores de PCS reclaman que el precio de la radio habría de

situarse en unos 10.000 dólares por enlace no protegido para que sea competitiva en coste con las líneas alquiladas.

Como consecuencia de ello, la demanda de radio de baja capacidad de 10,5 GHz ha crecido de manera sostenida durante los últimos tres años en tanto que la demanda de radio de 18 GHz ha bajado y la demanda de radio de 23 GHz casi ha desaparecido por completo durante el mismo período. Como la

Foto A - Típica instalación de celda de baja capacidad con plato de microondas en torre, utilizada para tráfico de retorno a la estación de conmutación de la transmisión de voz. Todo el equipo de radio se encuentra alojado en la caseta en la base de la torre



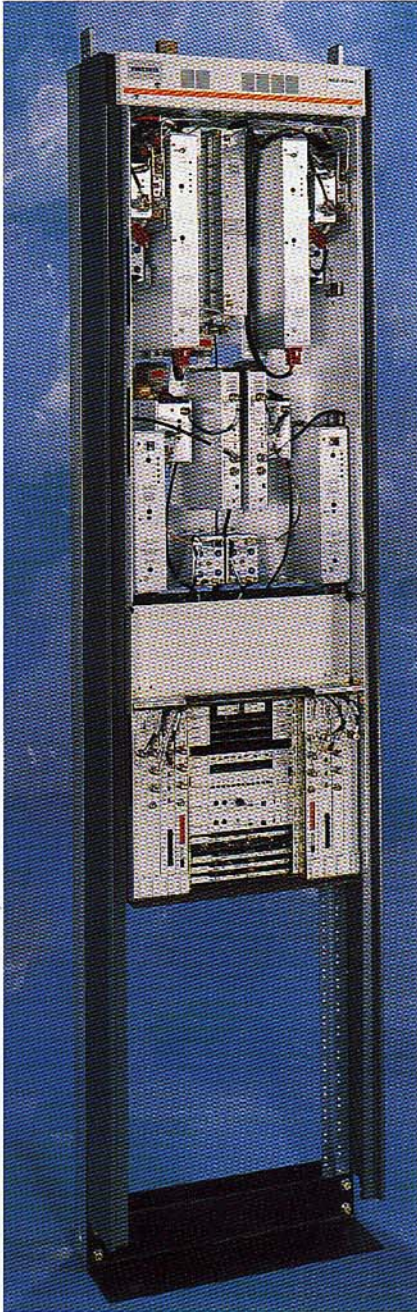


Foto B - Radio digital de microondas de alta capacidad Alcatel MDR-4306e con la cubierta frontal abierta. Esta radio transporta tres DS3 (3 x 45 Mbit/s) en la banda de 6 GHz y está montada en una tarjeta estándar de 19 pulgadas

"explosión celular" tiene lugar en áreas urbanas y las compañías celulares se posicionan para competir con las compañías de PCS emergentes, la demanda de radio de 10,5 GHz continuará elevándose. En determinadas áreas de alta densidad donde la pequeña dimensión de las células permite trayectos de radio de micro-

ondas de menos de dos millas, probablemente se producirá una demanda de productos de 38 GHz.

Mantenimiento y diagnosis de sistemas

Con la industria de telecomunicaciones cada vez más dirigida por los costes, está decreciendo la competencia técnica en cuanto a personal de mantenimiento. Esto significa que cada vez se encomienda más a los propios productos de radio que realicen el autodiagnóstico e informen de los fallos a los enclaves distantes. No sólo los equipos de radio han de ser más amigables para el usuario en términos de ajuste, análisis de fallos y sustitución de módulos, sino que los sistemas de gestión de red cada vez se convierten en más importantes para los proveedores de servicios. Los sistemas de gestión de red ahora han de ser capaces de informar a las estaciones centrales de supervisión las medidas de rendimiento y las alarmas de fallos para cada terminal radio de la red.

Factores de entrega de los equipos

Los proveedores de servicios de telecomunicación tienen una creciente gama de opciones disponibles para seleccionar los equipos de transmisión. En este contexto, cobran creciente importancia factores distintos al del rendimiento del equipo. El plazo de entrega, el tiempo que tarda un suministrador en entregar el equipo solicitado se está convirtiendo en más crítico. Hace unos años, los operadores aceptaban plazos de entrega de doce a veintiséis semanas. Hoy no es así. Ahora seis u ocho semanas se consideran un tiempo de entrega prolongado. Para algunos productos, como la pequeña radio urbana operativa en bandas de alta frecuencia, normalmente se solicitan plazos de entrega de menos de cuatro semanas. Ello se ve impulsado en gran medida por las compañías celulares con necesidad de un rápido despliegue. Algunas veces éste es el criterio dominante al elegir a un suministrador de equipos.

Radio SONET

La expansión de las redes ópticas síncronas (SONET) en los Estados Unidos ha

creado la necesidad de una radio compatible con SONET para transportar el tráfico SONET y actuar como un elemento de la red SONET. SONET es el estándar norteamericano de jerarquía digital síncrona. La jerarquía SONET utiliza una señal de 52 Mbit/s conocida como STS-1 como elemento básico.

- *Mercado de los operadores clásicos*
Excepto para la industria celular, la mayoría del mercado de los operadores clásicos está migrando a SONET. Cuando estos usuarios incorporan la radio de microondas a sus sistemas SONET, quieren asegurarse de que la radio sea compatible en red con SONET. Los proveedores de servicios estadounidenses están muy interesados en la administración, mantenimiento y provisión de operaciones (OAM&P), lo que también se conoce como capacidades de gestión de redes de telecomunicaciones (TNM) de SONET. Los operadores quieren asegurarse de que la radio de sus sistemas sea compatible con estas necesidades y que pueden lograr también otras ventajas de SONET, como inventariado remoto, aprovisionamiento y supervisión de rendimiento.
- *Mercado privado*
Sorprendentemente, el mercado privado también está interesado en la radio SONET. Aunque la mayoría de usuarios privados no entienden verdaderamente los beneficios e inconvenientes de una red SONET ven como otros sistemas de telecomunicaciones están migrando a SONET. Por tanto, desean asegurarse de que el equipamiento de radio que adquieren ahora será compatible con las redes del futuro, que ellos ven como basadas en SONET. Algunos usuarios privados encontrarán que el estándar SONET es demasiado complejo y caro para sus necesidades y por tanto continuarán instalando sistemas de radio plesiócrona.

- *Interfaz radio*

Los usuarios de radio SONET que se prevén en los Estados Unidos necesitarán la radio para actuar como inter-

faz a velocidades STS-1 (52 Mbit/s) y soportar capacidades de transporte de uno, dos ó tres STS-1. Inicialmente la radio será requerida a menudo para actuar como interfaz con la jerarquía digital plesiócrona existente a velocidad DS3 (45 Mbit/s), compatible con la actual capacidad de transporte de radio de uno, dos ó tres DS3. Los usuarios de radio convertirán sus radios de interfaz DS3 a interfaz STS-1 cuando sus redes así lo establezcan. La radio debería hacer esta transición de la forma más sencilla posible, en un cambio por tramos o mediante software.

Los interfaces ópticos serán cada vez más importantes. El interfaz óptico básico requerido será OC3, aunque también existe alguna apetencia de puertos OC1. Será deseable alcance óptico tanto corto como intermedio. El alcance intermedio debería permitir una conexión directa del tramo de fibra de corta o media longitud a la instalación de radio.

Los multiplex tributarios virtuales e integrales (VT mux) que caracterizan el modo de terminal, el modo de inserción/extracción y las características de protección completa del anillo se convertirán en claves del éxito. Esto proporcionará a los usuarios de radio acceso a los niveles DS1 (1,544 Mbit/s) ó DS0 (64 Kbit/s). El acceso a este nivel por cada base de instalación es extremadamente importante para este segmento de mercado. Muchos usuarios privados ven en la radio SONET la resolución de los problemas que se presenten en tramos difíciles en contraposición a otras topologías de anillo de fibra óptica. Proporcionar un soporte de anillo completo y sin costuras dentro de una red de fibra óptica será un papel importante para la radio cuando se enfrenten obstáculos difíciles en el terreno.

Aunque ocasionalmente vemos un cierto interés del cliente, no parece que sea necesario o que llegue a convertirse en dominante un interfaz eléctrico STS3, de 155 Mbit/s. Se preferirá el interfaz óptico OC3 incluso para conexiones en interiores de ofi-

cinas donde puedan utilizarse tramos ópticos de corto alcance y bajo coste.

Conclusiones

El mercado de microondas en los Estados Unidos, que es de 400 millones de dólares anuales, se encuentra en ligero declive debido al despliegue de la fibra óptica en el mercado de los operadores clásicos. De todas formas, se espera que la industria celular continúe creciendo en índices sostenidos y demande anualmente alrededor de 120 millones de dólares en equipos de radio de microondas. Además, se prevé que la demanda de radio de microondas por parte del mercado privado crezca a un índice anual del 7% aproximadamente, a partir de su actual nivel de 140 millones de dólares por año. Ello se ve impulsado por la normativa de la FCC, que obliga a los actuales usuarios de las bandas de 2 GHz a dejarlas libres para los PCS, así como por el deseo del mercado privado de convertir sus sistemas de radio analógicos instalados en digitales. La industria de PCS ahora se encuentra en su infancia en los Estados Unidos y es difícil prever cómo se desarrollará, desde el momento en que muchas clases de proveedores de servicios están disputándose este mercado, incluidas compañías de televisión por cable, compañías de servicios, compañías de radiobúsqueda, principiantes en PCS y la industria celular en general. Los servicios de comunicaciones personales (PCS) representan un posible y definitivo paso adelante en la demanda de la radio de microondas.

Dave Kimzey es Director senior de Productos de Radio de Alcatel Network Systems en Richardson, Texas. Tiene responsabilidades de producto y gestión de negocio para todos los productos de radio de microondas de Alcatel en los Estados Unidos. Ha permanecido dieciocho años en el área de negocio de microondas dentro de Alcatel y Rockwell Internacional. El Sr. Kimzey es graduado en Ingeniería Eléctrica y máster en gestión por la Universidad de Texas en Dallas.

Tim Barron es manager de producto de Alcatel Network Systems en Richardson, Texas. Ha trabajado para Alcatel y Rockwell Internacional durante diez años en gestión e ingeniería de producto. Con anterioridad ocupó puestos de ingeniería en Motorola y General Dynamics. Obtuvo su titulación en 1981 en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Luisiana y es máster en empresas desde 1989 por la Universidad Metodista del Sur.

TDMAX y FASTCOM - Nuevos sistemas por satélite para comunicaciones residenciales y corporativas

J. Couet

Alcatel Radio Transmission Systems, Nanterre, Francia

Introducción

Un número cada vez más creciente de satélites geoestacionarios cubren cada punto de la tierra. La liberalización y la tecnología favorecen el desarrollo de las comunicaciones entre localidades distantes, incluso dentro del territorio de un único país. Para las corporaciones, las conexiones internacionales directas se han convertido en una característica esencial de su estrategia comercial de mercado. Las necesidades varían desde la telefonía estándar hasta las comunicaciones de datos a alta velocidad; desde las configuraciones en estrella que conectan localidades distantes con una oficina o ciudad central, hasta las conexiones en forma de malla entre localidades.

Para responder a una demanda creciente de infraestructuras nuevas y de rápido despliegue, Alcatel está desarrollando una nueva generación de sistemas de comunicaciones por satélite que se complementan entre sí en términos de capacidad y arquitectura. Estos dos sistemas proporcionan *acceso múltiple asignado a demanda (DAMA)*, asignando la capacidad del satélite solo cuando se requiera.

Topología de redes de satélites y tecnologías asociadas

Existen tres arquitecturas típicas:

- redes punto a punto
- redes en estrella
- redes en malla.

Las conexiones punto a punto se usan a menudo para enlazar grandes ciudades o para las comunicaciones entre oficinas distantes de una empresa. En el pri-

mer caso, los enlaces están soportados por portadoras de datos de alta velocidad, típicamente de 8 a 45 Mbit/s, aunque Alcatel ha desarrollado unos nuevos esquemas de modulación 8PSK con modulación codificada trellis, que permite la transmisión de hasta 155 Mbit/s en un único repetidor. Tales sistemas se han instalado en grandes estaciones terrenas (pasarelas internacionales). En el segundo caso, pequeñas estaciones de satélites se instalan directamente en las instalaciones del usuario y las comunicaciones se llevan a cabo mediante portadoras de ruta estrecha a unas velocidades mucho menores, típicamente a 64 ó 128 kbit/s.

En ambos casos las comunicaciones de voz se comprimen de tal manera que el equivalente a 64 kbit/s lleva de 4 a 8 canales de voz. En las grandes estaciones, los sistemas de compresión usan el estándar de Intelsat (IESS 501) para el *equipo de multiplicación de circuito digital (DCME)*, que permite en un único enlace de 2 Mbit/s una media de 150 comunicaciones de voz. Dichas estaciones usan de 10 a 100 modems, amplificadores de alta potencia (3 kW) y antenas grandes (de 16 a 21 m. de diámetro).

En los sistemas privados pequeños, los codificadores multiplexadores de datos de voz comprimen y expanden de 4 a 8 canales de voz sobre una portadora de 64 kbit/s; tales estaciones suelen usar pequeñas radios integradas que transmiten al satélite de 2 a 5 W y antenas de 2,4 m. de diámetro. Por ello, se pueden considerar como *terminales de apertura muy pequeña (VSAT)*.

Las redes en estrellas se usan comúnmente en conexiones de ruta estrecha para enlazar pueblos con una ciudad principal, o sucursales con la

oficina central. Una estación central, denominada *hub*, recibe y transmite todas las señales a las estaciones remotas y usa una gran antena para recibir todas sus señales. Por razones económicas obvias, las estaciones remotas tienen que ser tan pequeñas como sea posible: VSAT. Como sus antenas son demasiado pequeñas para recibir la señal emitida por otra VSAT no se pueden comunicar entre sí directamente. De hecho, la señal solo puede ser recibida por la estación *hub*, cuya gran antena suministrará la suficiente ganancia como para elevar la señal por encima del umbral de ruido.

Existen dos aplicaciones principales de redes en estrella con VSAT:

- las comunicaciones orientadas a datos
- las comunicaciones de voz y multiservicios.

En las aplicaciones de transacciones de datos, las estaciones VSAT se conectan con el equipo terminal de datos del usuario; los procesadores de VSAT se conectan con el protocolo de datos del usuario adaptándolo para transmitir al satélite de manera que sólo se transmita la información necesaria. Las estaciones VSAT *engañan* a los protocolos del usuario cuando, por ejemplo, los terminales de usuario están usando SDLC ó X.25; ni los *indicadores*, ni las *secuencias de sondeo*, se transmiten al satélite hasta que se genere un mensaje real desde o hacia el equipo de usuario. El acceso al satélite se adapta para las comunicaciones de datos pero no es eficiente en las aplicaciones de telefonía: los flujos de salida (desde el hub a las estaciones remotas) multiplexan la información sobre *canales multiplexados por divi-*

sión en el tiempo (canales TDM), mientras que la información entrante se soporta mediante canales de contención, es decir mediante *acceso múltiple por división en el tiempo* ALOHA (TDMA), compartiendo de 20 a 50 estaciones un único canal de 128/64 kbit/s.

En aplicaciones de voz o multiservicio, la cantidad de información que hay que llevar al satélite en cualquier comunicación es mucho mayor que la de una típica comunicación transaccional. Por esta razón, el acceso se realiza en el modo *un único canal por portadora* (SCPC), donde cada comunicación se lleva cabo por un par de portadoras del satélite a 8 ó 64 kbit/s.

Para optimizar el ancho de banda del satélite se utilizan técnicas de compresión de voz con una gran variedad de principios de codificación, el *MIC diferencial adaptativo* (ADPCM) a 32 kbit/s del UIT-T G.721 ó las transmisiones con calidad interurbana a 16 kbit/s, por ejemplo la *predicción lineal de códigos* (CELP) G.728, e incluso por debajo de 8 kbit/s en aplicaciones privadas.

En cuanto a las redes en malla, la elección del esquema de transmisión

depende de la capacidad de la red. Para aplicaciones de ruta estrecha es preferible la técnica SCPC. Aquí, las estaciones que están conectadas entre sí se necesitan equipar con una antena cuya ganancia sea suficiente como para recibir las señales emitidas por las otras estaciones. Incluso aquellas que necesiten grandes antenas, con satélites modernos de alta potencia (especialmente en la banda Ku) se pueden calificar como estaciones VSAT.

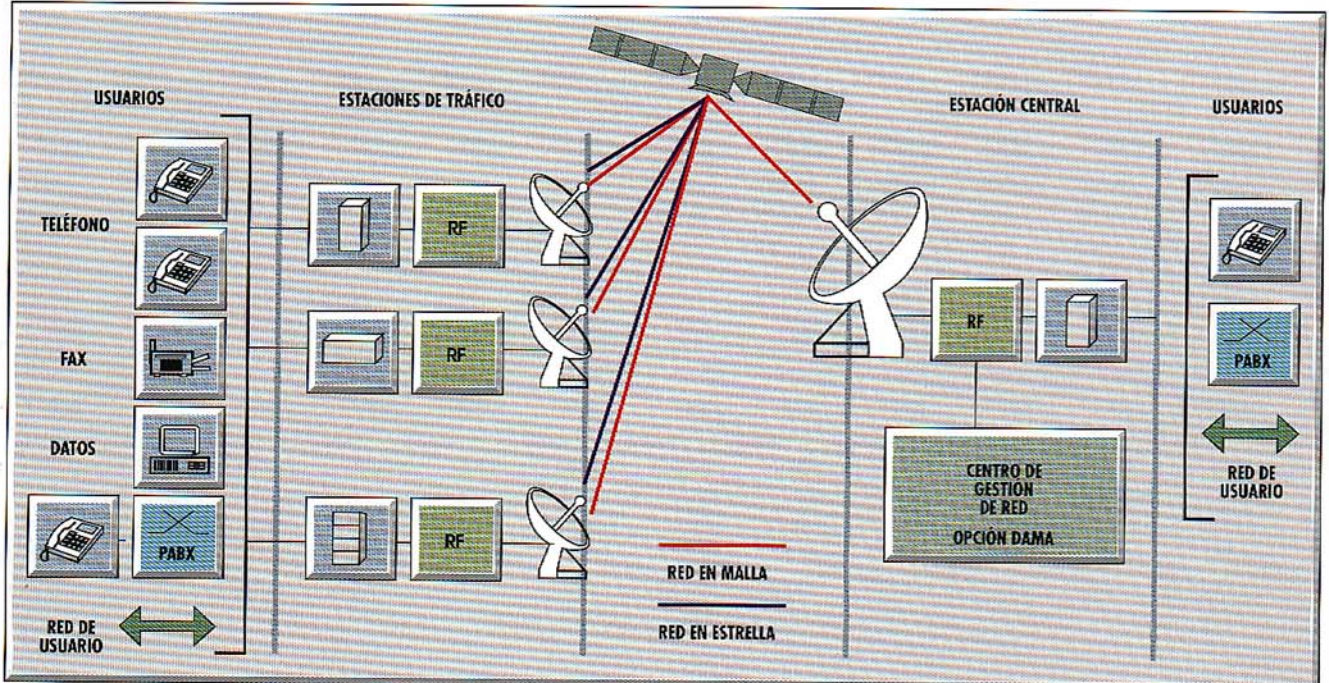
Cuando el caudal medio entre localidades conectadas supera los diez canales de voz, el uso de las técnicas SCPC se hace caro ya que se necesita un modem SCPC por cada conexión. Es más efectiva una tecnología que requiera un único modem de velocidad mayor, que pueda saltar de un destino a otro, por ejemplo una técnica TDMA pura. Tales sistemas usan antenas de tamaño mediano (típicamente de 3 a 4 m) y transmiten la información en ráfagas de datos a alta velocidad (de 3 a 60 Mbit/s). Todas las ráfagas, transmitidas temporalmente por varias estaciones, llegan secuencialmente y sin colisiones al satélite. Los terminales usan interfaces de voz y datos para

conectarse al equipo de usuario (teléfono o datos) y un modem de ráfagas de alta velocidad para comunicarse con el satélite. Se usan sistemas de compresión de voz para aumentar el número de comunicaciones que se puedan transportar sobre el ancho de banda del satélite.

FASTCOM, sistemas de ruta estrecha en estrella y en malla

El sistema FASTCOM está destinado a las aplicaciones de ruta estrecha, y en especial para telefonía rural o comunicaciones corporativas que conectan grupos de estaciones remotas. Una red FASTCOM puede incluir un gran número de estaciones remotas iguales (desde unas pocas hasta un millar) y un Centro de Control de Red (NCC), desde el cual se gestionan todas las estaciones remotas y se procesan las secuencias de llamada y las peticiones de asignación de canal. El diseño de las estaciones remotas hace un uso masivo de procesadores de señal y técnicas de compresión de voz para conseguir estaciones VSAT de bajo coste y para compartir tan efectivamente

Figura 1 - Arquitectura de una red FASTCOM



como sea posible el recurso común: el segmento de espacio del satélite (*Figura 1*).

Principios de funcionamiento

La flexibilidad es un factor clave en las aplicaciones de ruta estrecha. El sistema FASTCOM se puede usar en dos modos compatibles diferentes:

- *canal Múltiple por portadora (MCPC)*, en donde varios usuarios (canales de datos o de voz) se multiplexan sobre una única portadora, compartiendo así un único modem. Esta configuración es ideal para configuraciones pequeñas y de arranque. En este modo la asignación de canales es fija, todos los canales se envían a la misma estación de destino y la portadora está activa tan pronto como el usuario toma la línea (módulo de interfaz terrestre -TIM- activo).
- *un único canal por portadora (SCPC)*, en donde cada interfaz de usuario se asocia con un modem SCPC y una portadora. Tales configuraciones se usan para redes desarrolladas y/o redes en malla. Pueden coexistir dos modos de asignación de canal, fijo y dinámico:
 - a) *acceso múltiple permanente asignado (PAMA)*. Las frecuencias están preasignadas. Este es el modo preferido en las fases de arranque y en las redes de pequeño tamaño por su simplicidad inherente y bajo coste. Es también el modo usado en el MCPC.
 - b) *acceso múltiple asignado a demanda (DAMA)*, en el cual los canales SCPC del satélite se asignan y se liberan dinámicamente sobre la base de las llamadas. Se reserva en el satélite un *pool* de frecuencias portadoras de canal que se asignan a un enlace bajo petición, y que solo se mantienen mientras dura la llamada. No solo el modo DAMA ofrece un uso más eficiente del ancho de banda del satélite, sino que también ayuda a minimizar el número requerido de

modems en las estaciones (en el hub para las redes en estrella y en todas las estaciones para las redes en malla), especialmente cuando las estaciones se conectan a una PBX o a un conmutador público.

Canales

En el sistema FASTCOM se usan dos tipos de canales:

- Los canales de tráfico se usan para transportar voz o información de datos del usuario. La voz se comprime y codifica a una velocidad seleccionada por el operador del sistema, 64 kbit/s (MIC), 32 kbit/s (ADPCM), 16 kbit/s (CELP) ó incluso 8 Kbit/s. En las velocidades por debajo de 32 kbit/s, la transmisión de datos en banda de fax se demodula en los TIM, y se convierten en un flujo continuo (p. ej.; 9,6 kbit/s) dentro de la trama de canales SCPC, regenerándose la señal de fax o de datos en el otro extremo de la conexión. En las transmisiones de fax, el equipo TIM emula el protocolo T30 de UIT-T, de tal manera que cada fax "ve" otro fax. Para transmisiones de datos a alta velocidad se dispone también de un modo de 16/32/64 Kbit/s.
- Los canales de señalización se usan para transportar mensajes de control que vienen y van entre el NCC y las estaciones remotas. En los canales de señalización van dos clases diferentes de mensajes: los administrativos y los de procesamiento de llamadas. Los mensajes del sistema NCC se multiplexan sobre al menos una portadora TDM continua que opera a 32 ó 64 kbit/s. Los canales entrantes son portadoras TDMA que usan las estaciones remotas para enviar mensajes de señalización al NCC (suele haber un TDM para 200 a 400 estaciones y un TDMA para 50 a 100 estaciones).

Estructura de las estaciones de tráfico

Cada estación de tráfico consta de tres componentes principales:

- terminal de tráfico, cuyo tamaño depende de la capacidad requerida
- equipo transceptor, incluidos amplificadores y convertidores ascendentes/descendentes. Para pequeñas estaciones, este equipo se monta en el exterior sobre la antena (VSAT)
- sistema de antena, cuyo diámetro depende directamente de la arquitectura de la red (en estrella o en malla), de la capacidad de la estación y del repetidor del satélite.

Como el sistema FASTCOM puede operar en MCPC ó SCPC, las mismas funciones hardware básicas se pueden configurar con uno u otro solo con conectar las placas impresas apropiadas en las ranuras del bastidor del terminal (*Figura 3*). Esto ofrece una sencilla facilidad de actualización, con la posibilidad de instalar inicialmente una red con una mínima inversión y de expandir luego cada estación hacia a un sistema SCPC completo, solo cuando las necesidades de tráfico lo requieran. Los dos modos pueden asimismo coexistir dentro de la misma red o estación.

Modo SCPC

Una estación SCPC incluye dos tipos de funciones:

- las unidades de canal que constan de un modem (MDM) y un módulo de interfaz terrestre (TIM)
- una unidad de control y señalización que consta de un modem de señalización asociado a un procesador de control y señalización (SCP).

Los TIM ofrecen un interfaz a una variedad de sistemas de usuario: centralitas privadas (PBX), centralitas públicas (centrales locales), pares de hilos para la conexión directa de un teléfono o una PBX pequeña, terminales de datos (p. ej.; RS232, 422), etc. Cuando se utiliza la compresión de voz en el sistema, la señalización telefónica en banda (p. ej.; R2, Q23) se puede pasar por la compresión y regenerarse en el TIM de

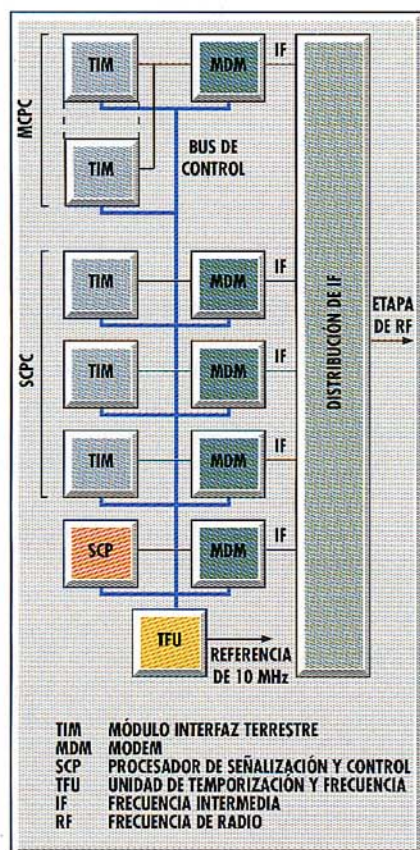


Figura 2 - Modos SCPC, MCPC

destino. Esta característica permite la transmisión de señalización telefónica en banda entre dos conmutadores distantes, una vez que el sistema ha establecido la conexión entre ellas.

Los modems del sistema FASTCOM son versátiles, su velocidad es seleccionable y el mismo hardware puede funcionar en cualquiera de los modos siguientes: TDMA, TDM continuo, flujo y ráfagas (voz o datos a alta velocidad). Los modems se pueden configurar para trabajar en BPSK ó QPSK, tienen corrección de error hacia adelante seleccionable (1/2, 3/4, 7/8), y pueden operar desde 8 hasta 96 kbit/s.

Modo MCPC

Varios usuarios comparten la misma portadora y, por ello, el mismo modem. Una estación MCPC incluye:

- al menos un modem, sobre el cual se multiplexan varios TIM. Por

ejemplo, un único modem a 96 kbit/s puede manejar las siguientes configuraciones de módulos TIM: seis TIM todos con codificación telefónica a 16 kbit/s ó seis TIM, cuatro con codificación telefónica a 16 kbit/s y dos para transmisión de datos a 9,6 kbit/s

- módulo de control con el procesador de control y señalización.

Los terminales de tráfico SCPC y/o MCPC existen en una variedad de configuraciones, y especialmente para:

- configuraciones de bajo coste y con única portadora: el terminal de tráfico está alojado en un bastidor pequeño, el cual puede funcionar en modo SCPC con un interfaz de usuario o en MCPC hasta con cuatro interfaces de usuario (cuatro usuarios ó cuatro conexiones)
- SCPC ó MCPC multicanales, en donde los terminales de tráfico usan bastidores estándar de 19 pulgadas:

a) En aplicaciones de pequeña capacidad, el terminal de tráfico está integrado en un armario *interior* y ofrece una capacidad máxima de 10 (MCPC) ó 6 (SCPC) canales telefónicos o de datos.

b) En aplicaciones de capacidad media que ofrecen 13 canales SCPC ó 22 MCPC, el terminal puede montarse en un pequeño armario exterior. Esta configuración también soporta una pequeña central rural (versión adaptada de Alcatel 4300) con unos pocos cientos de líneas.

c) En alta capacidad, las configuraciones se montan en armarios interiores estándar de 19 pulgadas.

El sistema TDMAX

El sistema TDMAX está destinado a redes telefónicas públicas y a redes privadas que requieren enlaces ocasionales o permanentes a una red en malla; los valores típicos van desde seis hasta un centenar de estaciones.

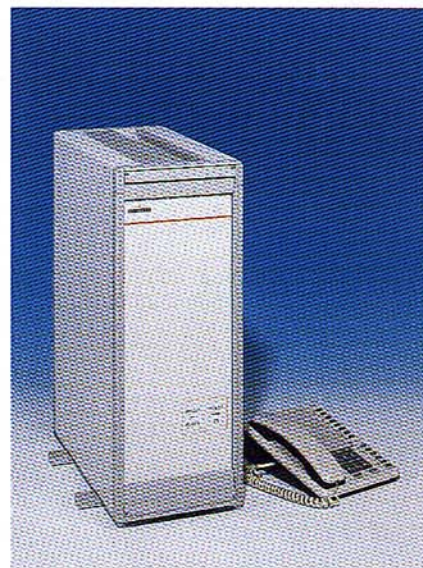


Foto A - Terminal de portadora única

Equipado con una gran variedad de módulos TIM, el sistema es compatible con todos los interfaces telefónicos o digitales estándar y usa diferentes sistemas de compresión de voz desde ADPCM a 32 kbit/s hasta 8 kbit/s.

Un sistema TDMAX incluye un centro de control de red (NCC), desde el cual se pueden controlar y supervisar las estaciones de tráfico. El NCC puede cambiar el destino de los enlaces, aportar nuevas conexiones al servicio, y aumentar o disminuir la capacidad de cualquier conexión sin intervención del operador en los nodos remotos. El tráfico de red se puede reconfigurar "instantáneamente" mediante órdenes del operador del NCC. Adicionalmen-

Foto B - Conmutador y terminal de multiportadora rural

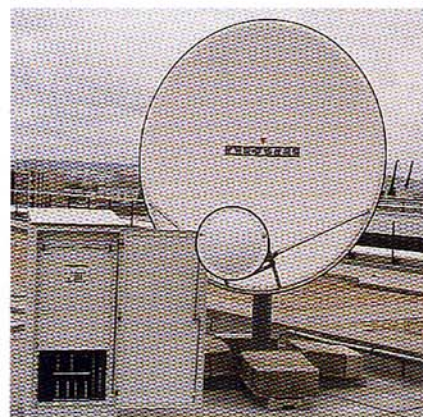


Foto "Le SQUARE des photographes" n°4342405

te, el NCC ofrece una facilidad DAMA llamada a llamada. De este modo, el equipo de usuario informa al sistema por la señalización telefónica (del destino de la llamada) y el TDMAX enruta la llamada al destino deseado.

Principios de funcionamiento

El sistema TDMAX usa acceso múltiple por división en el tiempo. Para una sincronización precisa, se emite desde las estaciones de "referencia" una señal de temporización de referencia a todas las estaciones (*Figura 3*); todas las estaciones usan esta señal para sincronizar sus transmisiones. Cuando una estación tiene datos que enviar a otra estación, los empaqueta en una ráfaga de alta velocidad que transmite sobre la misma frecuencia en el momento relativo a la señal de temporización de referencia. Como este momento es conocido por todas las otras estaciones, al igual que el mapa detallado de todas las ráfagas (*plan de tiempos de ráfagas*) transmitidas por cualquier estación, la estación de destino puede recoger la ráfaga. El tiempo entre dos ráfagas sucesivas transmitidas por cualquier estación lo puede usar otra estación para transmitir sus

propias ráfagas. El resultado es una trama de ráfagas secuenciales sobre la misma frecuencia delimitada por las "señales de temporización de referencia", es decir las ráfagas de referencia. En el diseño del TDMAX, este principio es aplicable en el funcionamiento de varias portadoras TDMAX en paralelo. Todas las tramas son sincrónicas, y las estaciones se "escuchan" las unas a las otras saltando de una frecuencia a otra para capturar la ráfaga que contiene información de su interés.

Arquitectura de red

Una red TDMAX consta de tres elementos:

- estaciones de tráfico: aportan las conexiones con los usuarios; constan de uno o mas terminales de tráfico (TT). Cada terminal de tráfico pueden establecer conexiones con los otros
- estaciones de referencia/tráfico: estas estaciones tienen un equipo especial usado para transmitir la señal de temporización de referencia utilizada en la sincronización de toda la red. Para una mejor disponibilidad del sistema, se reco-

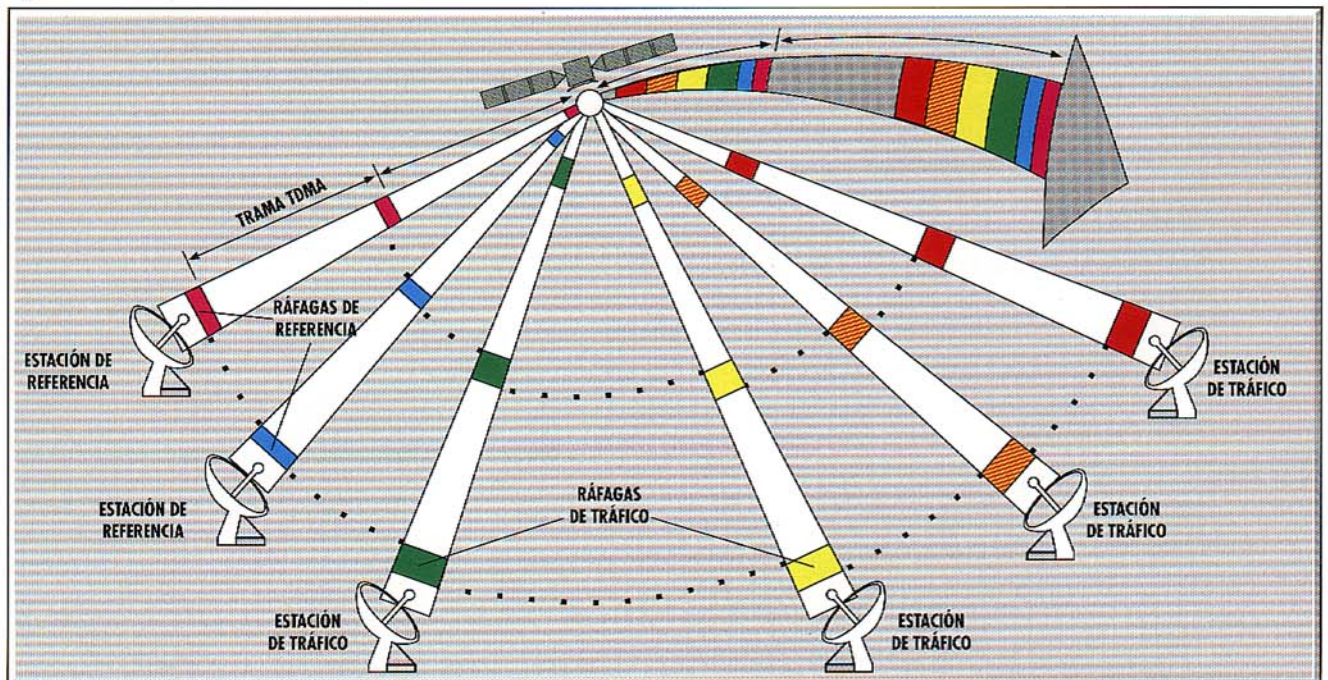
mienda usar dos estaciones de referencia en cualquier sistema (redundancia geográfica)

- centro de control de red: el NCC consta de un sistema de computador redundante, que genera mensajes de asignación de canales (ráfagas) a las estaciones de tráfico a través de las estaciones de referencia, y mensajes administrativos, como introducción o eliminación de estaciones, información de sincronismo, gestión del plan de tiempos, etc., a todas las estaciones (de tráfico o de referencia). El NCC se conecta directamente a la(s) estación(es) de referencia a través de enlaces X.25.

Estructura de las estaciones TDMAX

Cada estación está equipada con una antena empotrada con su equipo transceptor. El equipo funciona en las bandas C ó Ku; convierte las señales de frecuencia intermedia (IF) en frecuencias del satélite, y viceversa. Para un determinado tamaño de la antena, la potencia de transmisión requerida depende directamente de la velocidad TDMA y del satélite (de 16 a 25 W en la banda Ku).

Figura 3 - Sistema TDMAX



El terminal de tráfico se conecta a la radio en IF (70 MHz) y consta de:

- un modem TDMA, que transmite y recibe ráfagas de IF desde y hacia el satélite. Puede funcionar a diferentes velocidades y usa diferentes esquemas FEC. Los modems TDMA funcionan en QPSK: La **Tabla 1** muestra las velocidades estándar soportadas por un modem. Además, para funcionamiento con frecuencia múltiple, un modem puede saltar hasta 15 frecuencias Rx entre un máximo de diez IF de 70 MHz.
- un equipo de lógica común (CLE) que genera, decodifica todas las ráfagas de información provenientes del modem y del equipo TIM, y procesa todos los mensajes de control que vienen en las ráfagas de referencia. También contiene un equipo multiplexor/demultiplexor que monta y desmonta las ráfagas de datos entre el modem TDMA y los módulos TIM
- equipo TIM, que hace de interfaz con los equipos de usuario (teléfono o datos). Existen diferentes tipos de TIM:
 - a) para aplicaciones de telefonía y datos en banda, existe un interfaz de ruta estrecha que, como los TIM del FASTCOM, ofrece conexión 2/4 hilos, cancelación de eco y compresión/descompresión de voz, y emulación de transmisión de fax. En las conexiones T1 ó E1 de 2 Mbit/s, un TIM T1/E1 es capaz de extraer canales temporales activos y ofrecer funciones de transconexión entre cualquier otro TIM T1/E1 dentro de la red
 - b) interfaces de datos que van desde el simple *modo síncrono*

digital directo (DDS) que opera de 2,4 kbit/s hasta 64 kbit/s, a interfaces ATM que funcionan sobre celdas ATM a 34 kbit/s. Aquí además, solo las celdas activas son transmitidas hacia el satélite.

Configuraciones hardware

Los terminales TDMAX van en diferentes bastidores según los requisitos. Varían desde un simple terminal compacto contenido en un bastidor 6U a un terminal de tráfico totalmente redundante con 40 TIM.

Sistemas NCC y DAMA

Base del sistema común

Tanto FASTCOM como TDMAX usan el mismo equipamiento del control de red. Este sistema es tradicionalmente redundante para grandes configuraciones y consta de:

- un procesador de tiempo real redundante que usa el ordenador central del PBX Alcatel 4300. Este procesador se encarga del proceso en tiempo real de la llamada, del enrutamiento, de la frecuencia (SCPC), y/o de las funciones de gestión de trama (TDMA) necesarias para asignar los recursos del satélite en aplicaciones DAMA llamada a llamada
- un sistema redundante de gestión de red usado para tareas administrativas. Este sistema soporta el interfaz hombre-máquina (HP Openview), registra todos los eventos de la red y almacena información estadística como:
 - a) estado de las estaciones remotas
 - b) estado del equipo del NCC
 - c) alarmas, fecha, hora, ID del equipo
 - d) perfil de las llamadas: TIM, modem y estación de origen; TIM, modem y estación de destino; información sobre marcación (cuando se suministre); canales usados; causa de la liberación; hora de la llamada; duración, etc.

Configuraciones NCC del TDMAX y FASTCOM

El NCC del TDMAX para configuraciones redundantes consta del equipo descrito anteriormente, y se enlaza al equipo terminal de referencia a través de enlaces X.25. Para las redes pequeñas está en desarrollo una configuración no redundante más simple que usa un único sistema que incorpora las funciones de proceso de llamada y las funciones administrativas en una única máquina.

El NCC del FASTCOM usa la misma configuración que el de TDMAX. La principal diferencia radica en el hecho de que el equipo de referencia se reemplaza por un equipo redundante de terminal de señalización central (CST). Este presenta un interfaz hacia las portadoras TDM/TDMA que soporta todas las funciones de señalización desde y hacia el NCC. Se comunica con el NCC a través de enlaces X.25 (**Figura 4**).

Un único NCC puede soportar un sistema FASTCOM y un sistema TDMAX. Las redes TDMA y SCPC

Tabla 1 - Velocidades estándar para modems TDMA

Velocidad TDMA Mbit/s	6,144	6,144	12,228	12,228	24,576	24,576	49,152	49,152	61,44	61,44
FEC	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4
Velocidad de información	3,072	4,608	6,144	9,216	12,228	18,432	24,576	36,864	30,720	46,08

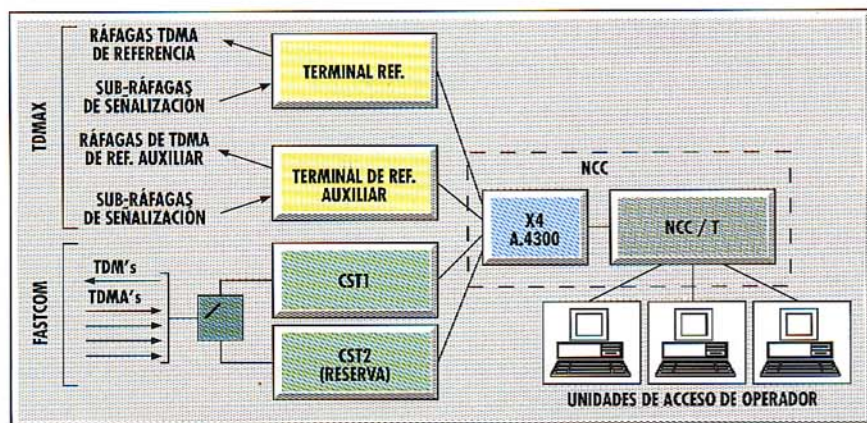


Figura 4 - NCC redundante TDMAX/FASTCOM

están controladas por el mismo equipo mediante terminales de operador dedicados.

Principios del proceso de llamadas

Los sistemas FASTCOM y TDMAX tienen diferentes portadoras de señalización para conectar permanentemente el NCC y las estaciones remotas. El FASTCOM usa los canales TDM/TDMA; el TDMAX usa los campos de señalización en las ráfagas TDMA (subráfagas).

En ambos sistemas se aplica el mismo principio básico para el proceso de llamadas. Cualquier "petición de llamada" se detecta a través de una señal de toma en uno de los TIM (en E+M de 2/4 hilos o en los bits "a.b" en una conexión E1 de 2 Mbit/s), el TIM contactado devuelve una señal de "envío" y espera a que la señal de marcación le sea enviada por el equipo originante (conmutador público, PBX, casilla telefónica, extensión telefónica privada, etc.). La señalización llega en varios formatos dependiendo del estándar telefónico local y del tipo de equipo de usuario conectado al TIM. Por esta razón, el TIM se configura para un tipo determinado de señalización, por ejemplo Q23, Q25, #5, R2, etc. Dependiendo del protocolo, el TIM recogerá toda o parte de la secuencia de marcación, la suficiente como para determinar por donde tiene que entrar la llamada. La estación de tráfico llamante enviará un mensaje de "petición de llamada" al NCC junto con

información de la marcación, el NCC validará la llamada y, asumiendo que la llamada está preparada para seguir, enviará un mensaje de "asignación de canal" a los dos extremos de la llamada. Las dos estaciones de tráfico, a su vez, activarán su canal y comprobarán que se ha establecido el canal. La estación de tráfico destino pondrá una "toma" (o ring) en el equipo de usuario de destino, el cual devolverá una señal de "envío" con lo que el usuario iniciador enviará el resto de la información de marcación o entrará en fase de conversación.

La liberación de la llamada se efectúa al liberarse cualquier extremo de la comunicación; cuando se termina una llamada se genera un mensaje de "desconexión" en el otro extremo (señalización en banda) y los mensajes se envían al NCC.

Conclusión

TDMAX y FASTCOM son dos importantes facilidades que Alcatel Telspace ofrece especialmente adaptadas a redes de satélite residenciales y corporativas de alta capacidad. Se complementan entre ellas en términos de capacidad, es decir de 8 kbit/s a interfaces ATM de 34 Mbit/s, redes en estrella y en malla. Aún siendo las dos tecnologías bastante diferentes en acceso y capacidad, se ha hecho un máximo esfuerzo para optimizar cualquier sinergia potencial entre los dos productos: a nivel de módulos de interfaz

terrestre, donde la codificación de voz, fax y flujos de datos usan los mismos principios básicos; a nivel mecánico, donde los chasis, interfaces de usuario y formatos de placas son comunes; pero incluso a nivel del proceso de señalización telefónica distribuida, y se usa la misma plataforma y el mismo entorno en el sistema NCC común, y donde el mismo NCC puede eventualmente gestionar dos sistemas independientes de manera simultánea.

Jacques Couet nació en París en 1946. Se graduó en física (1969) y en electrónica cuántica (1972) por la universidad de París. En 1972 se incorporó a Thomson CSF en el departamento de Aviónica para trabajar en sistemas de generación de frecuencia RADAR. Más tarde lideró el laboratorio de sistemas en el departamento de Radiotelefonía, y fue director de Raleigh Operation (NC USA) para Thomson CSF Inc. Se incorporó a Alcatel Radio Transmission Systems en 1986, donde está actualmente a cargo de las actividades relacionadas con el segmento de estaciones terrestres.

Sistema de telefonía tierra-aire TFTS

G. Campet

Alcatel Radio Transmission Systems, Nanterre, Francia

Introducción

Las llamadas telefónicas procedentes de un vuelo París-Atenas, Londres-Copenhague o cualquier otro son cada vez más corrientes en Europa gracias a la implantación de una infraestructura terrestre de teléfono para aviones, basada en la norma TFTS (Terrestrial Flight Telephone System) y cuyos equipos han sido diseñados y realizados por Alcatel Telspace.

Los progresos realizados en el campo de las telecomunicaciones tienden a hacer que la utilización del teléfono y de los medios de comunicación modernos sea algo común. El teléfono en los aviones apareció en el transcurso del último decenio, principalmente en EE.UU., con diversos sistemas analógicos o digitales no normalizados. El nuevo TFTS, ya disponible, representa una nueva generación de sistemas que utilizan un enlace radioeléctrico directo entre los aviones y las estaciones terrestres. Gracias a su

aspecto normativo único, el TFTS está siendo adoptado en la mayoría de los continentes y, así, se puede implantar un servicio telefónico sin fronteras a bordo de los aviones.

La norma TFTS

La norma TFTS es un desarrollo esencial para las comunicaciones con los aviones. Es resultado de las especificaciones ETS 300 326 elaboradas por ETSI para responder a la voluntad común de los operadores de telecomunicaciones y de las compañías aéreas europeas, de establecer una norma única en Europa. ETSI ha especificado las características del sistema, los parámetros del interfaz radio y las funciones del sistema de estaciones terrestres.

Esta actividad ha sido completada por el trabajo de European Airlines Engineering Committee (EAEC) relativo a la

definición de la dimensión, instalación y función del equipo TFTS embarcado a bordo de los aviones.

Por otra parte, la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (WARC), en marzo de 1992, asignó al TFTS las bandas de frecuencias 1670-1675 MHz (tierra hacia avión) y 1800-1805 MHz (avión hacia tierra). Por último, en 1993, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) recomendó la utilización de la norma TFTS definida por el ETSI para realizar los servicios de comunicación con los pasajeros de los aviones. Así es como el sistema TFTS, diseñado originalmente por y para los europeos, se ha convertido en el sistema normalizado en el mundo para este tipo de servicio, ya que, gracias a la unicidad de su norma, permite asegurar una real compatibilidad de los servicios entre las diferentes regiones del mundo en donde está instalado. Consecuentemente, se limitan las inversiones destinadas al equipamiento de los aviones y aumentan los ingresos de los operadores. La adopción progresiva del TFTS por los operadores y las compañías aéreas de Oriente Medio, Asia, Australia, África y América se inscribe dentro de este planteamiento.

La norma TFTS define los componentes de un sistema capaz de suministrar y gestionar todos los servicios relacionados con las comunicaciones tierra-aire tales como la telefonía (*Foto A*), el telefax, la transmisión de datos (*Foto B*), la mensajería y los servicios de valor añadido. Para estos servicios hay que definir, desde su fase de diseño, cierto número de requisitos que debe cumplir el sistema:

- admitir una fuerte densidad de usuarios con una calidad de servicio y un tráfico comparable a las de las comunicaciones terrestres,

Foto A - Aparato telefónico de cabina con lector de tarjetas de crédito



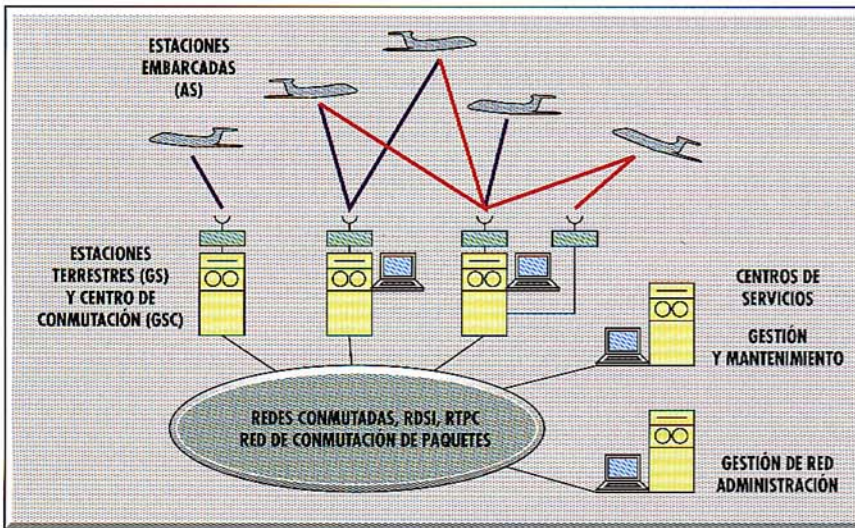


Figura 1 – Organización del sistema TFTS

- aportar posibilidades de telefonía personal evolucionada para adaptar la norma a la evolución de los servicios de red fija,
- ofrecer posibilidades de nuevos servicios como, por ejemplo, la transmisión de parámetros técnicos destinados a los organismos de control aéreos o a las compañías aéreas,
- adaptarse con gran flexibilidad a las evoluciones del tráfico, limitando al mismo tiempo las inversiones iniciales.

El sistema celular TFTS

La arquitectura general del TFTS asocia la *estación embarcada*, la *estación terrestre*, el *centro de conmutación* y los *centros de servicios*. Todos estos elementos se comunican entre sí por medio de interfaces normalizados. Cada estación terrestre utiliza un grupo de frecuencias y, con su zona de cobertura, define una *célula* del sistema global. Esta célula está rodeada por células adyacentes que utilizan grupos de frecuencias

Foto B – Servicio de transmisión de datos



diferentes y cuyas zonas de cobertura se superponen ligeramente. La *Figura 1* presenta el conjunto de elementos que componen el sistema. La *Figura 2* representa esquemáticamente las relaciones entre los diferentes elementos.

Composición del sistema TFTS

La *estación embarcada* a bordo del avión (AS) comprende los equipos del TFTS, es decir, los equipos radioeléctricos y los que pueden ser comunes a diferentes sistemas (equipos de cabina y equipos terminales, tales como aparato telefónico con lector de tarjeta de crédito, telefax y terminal de transmisión de datos)

La función de la *estación terrestre* (GS) es proporcionar una cobertura radioeléctrica en una zona geográfica determinada, denominada *célula* y asegurar los enlaces con las estaciones embarcadas situadas en esta zona. Pueden utilizarse tres tipos de estación según la posición del avión:

- una estación de fuerte potencia, utilizada por los aviones en altitud de crucero, situados a una distancia de la estación que puede superar los 350 km
- una estación de mediana potencia para las zonas de acercamiento a los aeropuertos (alcance del orden de 50 km)
- una estación de aeropuerto utilizada por los aviones situados en las zonas de aeropuerto y en tierra (alcance de algunos kilómetros).

Cada estación va equipada de una cantidad de emisores y receptores según el tráfico previsto, a los que se asignan frecuencias preestablecidas.

Los *centros de conmutación* (GSC) aseguran el interfaz entre las estaciones terrestres y las redes fijas. Cada centro de conmutación controla una o varias estaciones terrestres. Las principales funciones de los centros de conmutación son el establecimiento y la liberación de las comunicaciones entre aviones y red terrestre, la transferencia intercelular de las comunicaciones de un avión en función de sus desplazamientos, la identificación de los aviones solicitantes, la vigilancia de las estaciones y el almacena-

miento en memoria de las informaciones sobre las llamadas tratadas. Cada centro también controla el funcionamiento de los equipos y el interfaz con los centros de servicios.

Las tareas vinculadas a la gestión y a la explotación de la red se reparten en tres tipos de centros: centro de explotación y de mantenimiento, centro de gestión de red y centro de administración. Estos centros están conectados a los centros de conmutación, de los que se hacen cargo, por medio de la red de conmutación por paquetes X.25. Según las necesidades de explotación y de gestión, estas conexiones pueden ser permanentes o temporales. Cuando un centro no está conectado, las informaciones que le están destinadas (alarmas, resultado de medida, tickets de llamada, etc.), se memorizan en el centro de conmutación y se transmiten al centro destinatario cuando este último se conecta y efectúa la petición de transferencia.

Los centros de explotación y de mantenimiento son regionales y proporcionan al explotador las informaciones necesarias para la supervisión y el control de los elementos que constituyen un sistema de estaciones terrestres compuesto por centros de conmutación y estaciones terrestres. Por ejemplo, permiten recibir las alarmas de las estaciones, así como conocer su estado, ordenar la parada y la puesta en marcha de ciertos equipos y modificar ciertos datos de configuración.

El centro de gestión de la red proporciona una visión global sobre el funcionamiento y la utilización de esta última y permite configurar y adaptar sus recursos a medida que evolucionan las necesidades.

El centro de administración recibe todas las informaciones necesarias para la gestión administrativa y financiera del sistema. Conjuntamente con el centro de gestión de la red, asegura el enlace con las compañías aéreas y sus pasajeros para proporcionarles todas las informaciones útiles sobre el funcionamiento y la tarificación.

Interfaces del sistema TFTS

Las bandas de frecuencias utilizadas por el TFTS fueron definidas por la WARC en

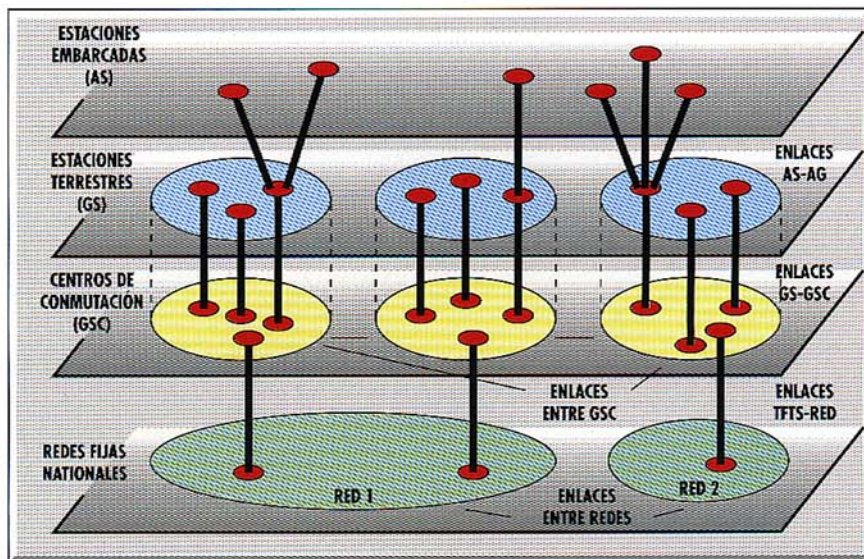


Figura 2 - Arquitectura de la red TFTS

1992. Las bandas atribuidas fueron la de 1670 a 1675 MHz en el sentido tierra-avión y la de 1800 a 1805 MHz en el sentido avión-tierra. La modulación utilizada es del tipo modulación de fase. Se transmite una señal binaria a una velocidad de 44,2 kbit/s, en multiplexado temporal, de tierra hacia el avión y por multiplexado temporal de acceso múltiple, del avión hacia tierra. De este modo, una estación terrestre puede comunicarse con varios aviones en la misma frecuencia, mientras que un avión sólo puede comunicarse con una estación terrestre. Compartiendo el tren binario, las transmisiones se realizan a velocidades binarias entre 2400 y 9600 bit/s.

Actualmente, el sistema permite transmitir la voz codificada a 9600 bit/s a razón de cuatro canales por portadora. La utilización ulterior de codecs a 4800 bit/s permitirá pasar a ocho canales de voz por portadora.

El interfaz entre la estación terrestre y el centro de conmutación está constituido por enlaces a 64 kbit/s utilizados para encaminar la señalización y el tráfico (voz, telefax o datos). El centro de conmutación ofrece un interfaz de tráfico con la red telefónica (RDSI ó RTPC) adaptado a la red a la que está conectado. La señalización de servicio entre los centros de conmutación es encaminada por la red de transmisión de datos de conmutación por paquetes. El interfaz de radio digital aporta numerosas ventajas

respecto al de un sistema analógico. Las técnicas digitales de codificación de la voz y de multiplexado permiten obtener una mayor eficacia espectral. Una gestión precisa de los recursos de radio y de los mecanismos de cambio de célula, asociada a amplias posibilidades de reutilización de las frecuencias en una red celular extensible, también contribuye a aumentar el número de usuarios en una región determinada.

El TFTS tiene la capacidad de ofrecer una gran variedad de servicios vinculados a las transmisiones de datos y, debido a la codificación de la voz, las conversaciones telefónicas se transmiten con total confidencialidad.

Explotación del sistema TFTS

Las principales características de explotación son la situación geográfica, la reutilización de frecuencias y la adaptación al tráfico.

La elección de la implantación geográfica de las estaciones requiere un estudio detallado, ya que determina la utilización práctica de las estaciones y de las frecuencias. En regiones de gran tráfico, un aumento del recubrimiento de las zonas de cobertura permite un tráfico global más importante.

La reutilización de las frecuencias se deriva de la característica precedente. La definición de un modelo de reparto geográfico permite esta reutilización. La adaptación de las estaciones al tráfico se

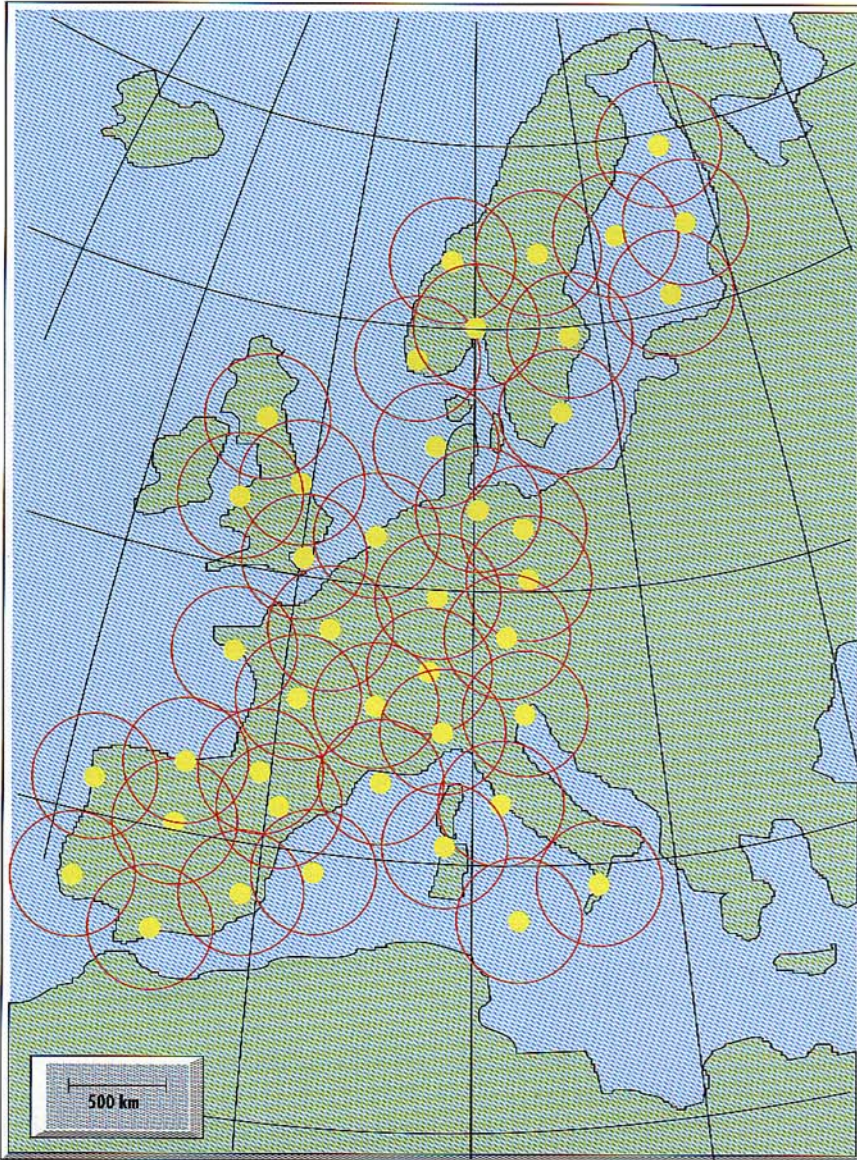


Figura 3 - Implantación de las estaciones TFTS en el Oeste de Europa

realiza en función del número de frecuencias que cada una de las estaciones va a utilizar. Dado que el diseño de las estaciones es modular, esta operación puede realizarse sin dificultad a medida de las necesidades.

La implantación de la red TFTS en Europa ha seguido dos etapas. La etapa de experimentación comprendía un número limitado de aviones y seis sistemas de estaciones terrestres implantadas en varios países europeos: Francia, Reino Unido, Suecia e Italia. Estaba destinada esencialmente a probar el sistema en condiciones reales de utilización y a validar los diferentes parámetros y protocolos. La segunda etapa tiene como objeti-

vo la implantación progresiva de unas cuarenta estaciones en toda Europa Occidental (Figura 3). Se han previsto extensiones del sistema TFTS aumentando el número de frecuencias, utilizadas por cada una de las estaciones para incrementar su capacidad, y extendiendo la zona de cobertura en cierto número de direcciones en donde su utilización pueda ser interesante: Europa Oriental, Magreb y Oriente Medio.

La realización Alcatel 9810

La solución llevada a la práctica por Alcatel para la realización del sistema de

estaciones terrestres respeta los interfaces normalizados definidos por ETSI y, además, permite disponer de una gran flexibilidad de adaptación de los equipos a las redes públicas nacionales y a los diferentes tipos de estaciones deseadas. Las cualidades esenciales de este sistema son el dimensionado del procesador, la flexibilidad de explotación y el desarrollo modular. La elección del procesador para implantar el sistema de gestión de las estaciones terrestres permite realizar GSC en base a autoconmutadores privados.

Además, estos equipos, aunque de tamaño reducido, tienen una capacidad de tratamiento lo suficiente como para garantizar la extensión del servicio TFTS, así como el tratamiento de los servicios complementarios de telefax y de transmisión de datos. La función de conmutación y de conexión a la red, inicialmente asociada al computador de GSC, puede ser separada y realizada mediante un PABX perteneciente a la red local. En este caso, este PABX debería disponer de interfaces propios a la red conmutada pública y del interfaz entre PABX (QSIG) para interconectarse con el procesador TFTS del GSC. La arquitectura de la estación terrestre ha sido diseñada para poder aumentar el número de portadoras y de canales, adaptándose al crecimiento del tráfico y al aumento del número de aviones equipados del TFTS. En efecto, cuando se implanta un servicio de este tipo, es importante disponer del número de estaciones suficiente para asegurar la cobertura geográfica de las principales rutas aéreas, mientras que la capacidad de cada estación puede ser limitada en una primera fase.

La estación terrestre

Basándose en la arquitectura funcional del TFTS, la estación terrestre (GS) gestiona el enlace radio con el avión y está conectada al GSC. Emite permanentemente hacia el conjunto de los aviones, en una frecuencia determinada. La trama digital está constituida por 4 u 8 canales de transmisión independientes (canales de voz codificados a 9600 ó 4800 bit/s) implicando a uno o varios aviones (*ver Tabla*). En el otro sentido, estos mismos aviones emiten en acceso múltiple con

reparto en el tiempo (TDMA), por turnos en el intervalo de tiempo que les ha sido asignado. Desde el punto de vista del tráfico, una estación puede gestionar un importante número de canales, mientras que, en principio, los aviones sólo están equipados para un canal radioeléctrico y, por lo tanto, cuatro (u ocho) usuarios en el mismo instante. La cobertura TFTS está constituida por células de varias dimensiones. Cuando el avión vuela a una altitud elevada (de 4500 a 13000 m), la zona cubierta por una sola estación puede ser muy grande (más de 350 km) y los emisores deben ser potentes (20 W). Estas zonas son denominadas "en ruta". Para los aviones que están a una altitud menor, o en despegue o en aterrizaje, las necesidades son menores, ya que la zona a cubrir se sitúa en torno a los aeropuertos. La zona cubierta puede reducirse a 45 km y la potencia de los emisores puede ser diez veces menor. Por último, pequeñas células situadas en los aeropuertos permiten asegurar el enlace con los aviones en tierra, cuando la visibilidad es posible y si el tráfico justifica su instalación.

Sin embargo, durante las primeras etapas de la implantación del servicio, una misma estación puede asegurar las comunicaciones con los aviones en todas las fases de vuelo, desde la tierra hasta la altitud de crucero, pero con la condición de que el emplazamiento de esta estación sea elegido adecuadamente cerca de los aeropuertos y en un emplazamiento despejado de eventuales obstáculos.

La estación terrestre permite:

- establecer el enlace radio con los aviones: transmisión y recepción radiofrecuencia, modulación y demodulación, codificación y decodificación, realización de la trama en la emisión y tratamiento de los intervalos de tiempo en la recepción,
- medir los parámetros del enlace: nivel de señal recibido, calidad del enlace y posición de los paquetes,
- controlar la potencia y el sincronismo de la estación embarcada,
- efectuar la compresión y la descompresión de las señales de voz (codificación y decodificación de la voz a 9600 bit/s en sincronismo con la tra-

Banda de frecuencia

sentido tierra-aire	1670-1675 Mhz
sentido aire-tierra	1800-1805 Mhz

Modo de transmisión

sentido tierra-aire	multiplexado con reparto en el tiempo
sentido aire-tierra	acceso múltiple con reparto en el tiempo
Número de portadoras radioeléctricas en la banda de frecuencia indicada	164
Espaciamento entre portadoras radioeléctricas	30,30 kHz
Capacidad telefónica por portadora radioeléctrica	4 canales a 9600 bit/s con transcodificador de voz extensión prevista 8 canales a 4800 bit/s
Radio de la zona de cobertura por portadora radioeléctrica	variable hasta 400 km
Antena para estación "en ruta"	omnidireccional
Interfaz con las redes terrestres	RTPC con señalización de abonados analógica o digital RTDPC X25 para señalización entre GSC y enlaces con centros soportes de servicios.

Principales características del sistema de estaciones terrestres

- gestionar los enlaces de señalización con las estaciones embarcadas y el centro de conmutación (GSC),
- gestionar los recursos radio: asignación, supervisión y liberación de los intervalos de tiempo de la trama para los canales de tráfico y los canales de control en función de las informacio-

nes procedentes, ya sea de las estaciones embarcadas, del GSC, o bien de la propia estación terrestre.

La estación terrestre consta de cinco unidades principales: la unidad radio de emisión-recepción, la unidad de trama (FRU) la unidad de transcodificación o de tráfico (TRU), la unidad de control (CRU), y la

Foto C - Operación a distancia de los sistemas de estaciones terrestres

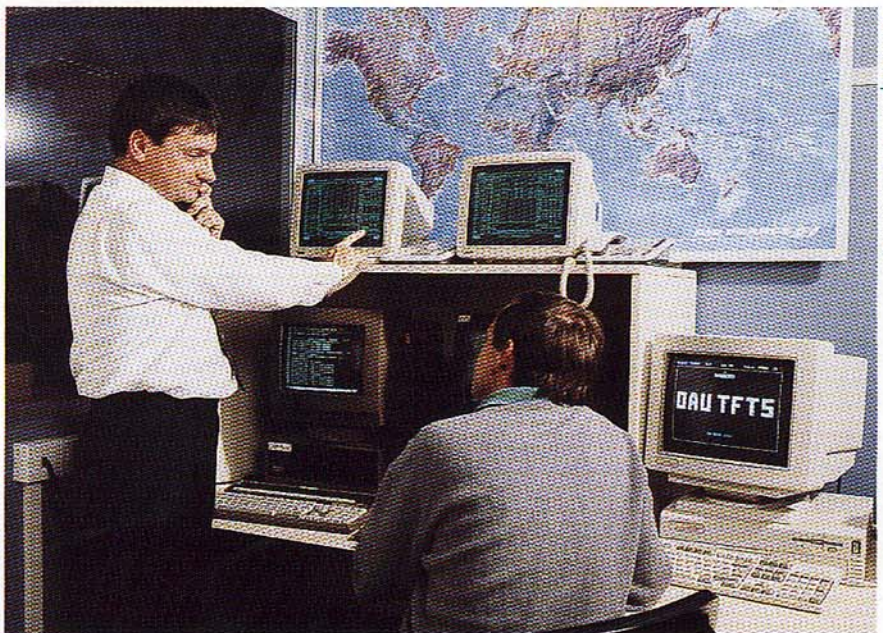


Foto Jacques Pierre n° 4368-63

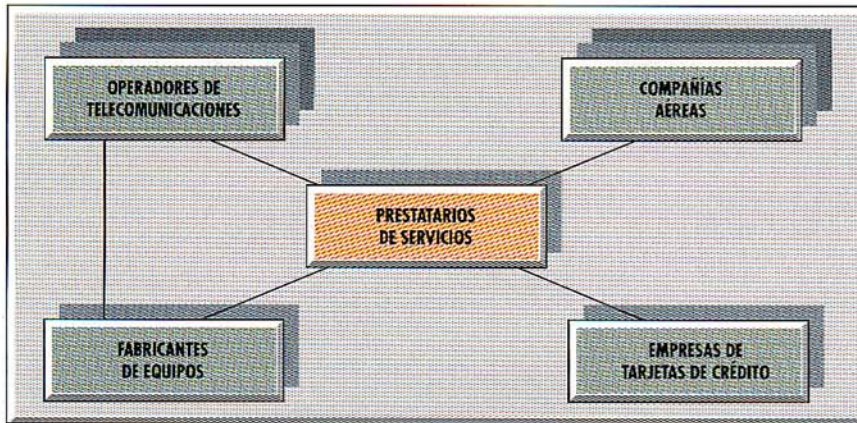


Figura 4 – Los actores del servicio

unidad de tiempo y de frecuencia (TFU). La unidad radio, la unidad de trama y la unidad de tráfico están asociadas a un número equivalente de canales radioeléctricos. En cambio, la unidad de control y la unidad de tiempo son comunes a cuatro canales de la misma estación.

La referencia de tiempo para sincronizar la trama es aportada por la estación terrestre al equipo embarcado. La aplicación del proceso de transferencia entre células, cuando un avión alcanza el límite de cobertura de una estación terrestre, se basa en cierto número de criterios, entre ellos la evaluación de la distancia del avión a las diversas estaciones. La evaluación de esta distancia se obtiene por medio del equipo embarcado que va provisto de un receptor particular cuya función es analizar secuencialmente todas las portadoras recibidas de las diferentes estaciones terrestres.

La medida del tiempo de propagación de las señales recibidas de las diversas estaciones terrestres permite evaluar las distancias entre ellas y el avión, con la condición de que se disponga de una referencia de tiempo común a todas ellas. Esta referencia de tiempo se obtienen de las señales de sincronización recibidas de un satélite GPS (Global Positioning System).

El centro de conmutación

El centro de conmutación (GSC) del sistema TFTS permite el acceso a las redes públicas para el encaminamiento del tráfico y la telegestión. Está enlazado a uno o varios GS mediante enlaces fijos utilizados para la señalización y el encamina-

miento del tráfico. Está conectado a la RTPC para el establecimiento de los enlaces de tráfico, ya sean directos (llamada de un avión hacia la red), o bien por reencaminamiento entre GSC. Cada GSC dispone de un acceso a la red de conmutación de paquetes (Transpac en Francia) para la señalización entre GSC y los enlaces de telegestión.

El GSC efectúa los cambios de protocolo necesarios para adaptar el protocolo TFTS (entre el avión y el GSC) al de la red pública con la que está conectado. El GSC efectúa la recogida y transmisión de las informaciones de telegestión. Almacena en memoria las informaciones de gestión que elabora o recibe de los demás equipos de la red y después las transmite hacia los centros especializados. Estas informaciones servirán para la facturación, la supervisión del funcionamiento y la adaptación del número de equipos a las necesidades.

Por último, el GSC permite que los operadores del centro de explotación efectúen las operaciones de telemantenimiento (*Foto C*).

Organización del servicio

La implantación del servicio TFTS en Europa ha podido realizarse gracias a la voluntad de cierto número de entidades complementarias o competidoras, convirtiéndose cada una de ellas en un actor que permite la organización del servicio (*Figura 4*).

- Alcatel Telspace diseña y fabrica los sistemas de estaciones terrestres

(incluyendo los centros de conmutación). Sus clientes son principalmente los operadores de telecomunicaciones.

- Los operadores de telecomunicaciones ofrecen a los prestatarios de servicios una cobertura del espacio aéreo y les venden el tiempo (*airtime*) de utilización de sus estaciones.
- Los prestatarios de servicios invierten en los equipos embarcados a bordo de los aviones, compran el *airtime*, ofrecen los servicios a bordo (teléfono, transmisión de datos, servicios de valor añadido, etc.) y facturan los servicios a los pasajeros.
- Los fabricantes de equipos embarcados venden sus equipos a los prestatarios de servicios.
- Las compañías aéreas se asocian por contrato con los prestatarios de servicios.

Conclusión

En la época en que se generalizan las comunicaciones con los móviles, el TFTS se ha impuesto como un sistema normalizado de comunicación con aviones. Su diseño, adaptado a zonas geográficas de gran tráfico aéreo, le destina primeramente a Europa y al Sudeste asiático. La norma TFTS, creada por ETSI y recomendada por UIT, se ha convertido en la norma que, adoptada en varias regiones del mundo, permitirá una real compatibilidad de servicio que, de este modo, limite las inversiones en los aviones y aporte a los operadores nuevas perspectivas de ingresos.

Gérard Campet nació en París en 1946. Recibió el diploma del Institut Supérieur d'Electronique de París en 1968 y del Institut d'Administration des Entreprises en 1975. A partir de 1970, trabajó en Thomson y después en Alcatel en el campo de los haces hertzianos, en investigación y desarrollo y después en los proyectos. Responsable de los proyectos de exportación y después jefe de producto de haces hertzianos de gran capacidad, se dedica al TFTS desde 1990. Actualmente es responsable del programa y de la comercialización del TFTS para Alcatel Radio Transmissions Systems.

Nueva generación de productos de transmisiones hertzianas terrestres y espaciales para redes militares

M. Darmon, E. Le Roux

Alcatel Radio Transmission Systems, Nanterre, Francia

Introducción

Las transmisiones hertzianas, espaciales, de enlace directo o de difusión troposférica representan una parte primordial de los sistemas de telecomunicaciones militares. Con una completa gama de equipos, Alcatel Telspace está en condiciones de responder al conjunto de las necesidades de transmisiones hertzianas militares. Así, el ejército francés ha adquirido productos de nueva generación, como AFH 701, AFH 450 M, AFH 990 y una familia completa de estaciones terrestres.

Conformes a las normas militares aplicables, estos equipos han sido especialmente diseñados para asegurar una buena calidad de transmisión a pesar de las perturbaciones potenciales, para resistir a las agresiones exteriores (climáticas, mecánicas y de guerra electrónica) y permitir una explotación sencilla y eficaz, así como un mantenimiento optimizado.

El haz hertziano táctico de enlace directo AFH 701

El AFH 701 (*Foto A*) diseñado para enlaces tácticos o móviles directos, se utiliza en el campo de batalla y responde a las más estrictas normas de entorno (*Tabla 1*). Sus principales características se describen en la *Tabla 2*.

La facilidad de explotación, la resistencia a la guerra electrónica, así como la gestión y el control a distancia, permiten afirmar que el AFH 701 está mejor adaptado que sus competidores a una red

importante o a una utilización muy táctica.

Facilidad de explotación

Un haz hertziano táctico se debe poder aplicar y utilizar por personal poco especializado y en número limitado.

El AFH 701 se gestiona desde un aparato telefónico portátil provisto de teclas de mando y una visualización para el diálogo hombre-máquina. Este diálogo se efectúa en lenguaje claro. El aparato telefónico, portátil hasta 200 m, también permite acceder al canal de servicio.

El desplazamiento del aparato telefónico de mando es primordial al menos por tres razones:

- El desplazamiento del mando permite situar el equipo en

cualquier lugar (sobre el techo del vehículo, bajo el asiento, lejos del pie del mástil de la antena) pudiendo ser utilizado confortablemente (p. ej., desde el asiento del vehículo).

- La visualización del aparato telefónico portátil indica la potencia recibida. Enganchando este aparato telefónico al mástil de la antena, en el momento del direccionamiento, la misma persona puede a la vez apuntar al mástil y verificar el campo electromagnético recibido.
- Bajo el fuego del enemigo, la antena y sus alrededores son la partes más expuestas de un haz hertziano. Por tanto, los operadores del haz, que están siempre cerca de la antena, se encuentran en peligro. La posi-

Foto A - El AFH 701

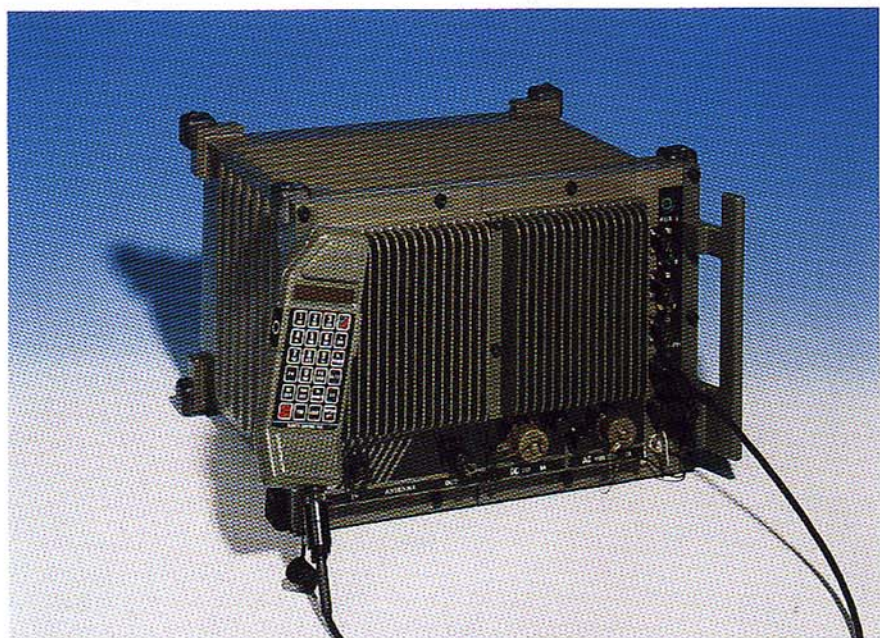


Foto "Le SQUARE des photographes" n° 4342-401

Funcionamiento	- 40°C + 55°C	Método 502.1*
Almacenamiento	- 55°C + 70°C	Método 502.1*
Humedad (en funcionamiento)	95%	Método 507.1*
Niebla salina	Resistencia 96 horas a 35° CC	Método 501*
Inmersión/Lluvia	Estanco (1 metro bajo el agua 2 horas)	Método 510.1*
Altitud (en funcionamiento)	4 000 m (12 000 pies)	Método 504.1*
Vibraciones	1-2 Hz, 16 mm cresta a cresta 2-55 Hz 2.54 mm cresta a cresta 5-5-17 Hz 1,5 g 20-150 Hz 2 g	(*)
Choques	2 choques en las 6 direcciones 30g/11ms	Método 516.2*
Sacudidas	4 000 sacudidas, 6 direcciones 25 g/6 ms	

Tabla 1 - Normas de entorno del AFH 701 (* MIL/STD 810 E)

bilidad de desplazar el aparato telefónico de mando hasta 200 m permite que los usuarios realicen su tarea de gestión con toda seguridad.

Resistencia a la guerra electrónica

El AFH 701 ofrece soluciones técnicas originales para luchar contra la guerra electrónica. Se han identificado cinco clases de amenazas:

- detección, identificación, localización,
- escucha,

- intrusión, decepción,
- interferencias,
- destrucción.

El AFH 701 posee defensas contra cada una de estas amenazas. No obstante, se ha subrayado la discreción, ya que sin detección no es posible la escucha, la intrusión, la interferencia, ni la destrucción.

Para la *discreción*, además de las técnicas de ampliación del espectro detalladas a continuación, el punto fuerte del AFH 701 se basa en un umbral de recepción especialmente bajo (para un alcance

Tabla 2 - Características eléctricas del AFH 701

Bandas de frecuencia:	610-960 MHz (Banda II) 1350-1850 MHz (Banda III)
Velocidades:	256, 512, 1024 y 2048 kbit/s
Modulación:	2-FSK
Consumo:	140 W (típico)
Potencia emitida máxima:	(Banda II), 6.5 W (típico)
Regulación automática de la potencia emitida por pasos de 5 dB	
Factor de ruido:	5,5 dB
Umbral de recepción (10-4, 256 kbit/s):	101 dBm

igual, el AFH 701 puede permitirse el emitir a menor potencia y, por tanto, es más discreto) y en una potencia emitida autoadaptativa.

Frente a la *escucha*, el AFH 701 permite cifrar, no solo la señal en la entrada del haz hertziano, sino también el conjunto de la trama constituida por la señal útil y los canales de servicios y de gestión, mediante un equipo exterior.

Contra la *intrusión*, y en particular la captura de un equipo por el enemigo y su utilización en la red, el AFH 701 posee una contraseña indispensable para poder efectuar cualquier operación en el equipo. No obstante, la mejor protección reside una vez más en su aparato telefónico portátil y separable, ya que sin él el AFH 701 no es utilizable.

Frente a las *interferencias*, la principal defensa es la ampliación del espectro asociado a la búsqueda de canal libre.

Contra la *destrucción*, evidentemente el AFH 701 no está protegido contra un disparo de misil. En cambio, el aparato telefónico portátil permite proteger al personal.

Facilidad de utilización en red

Como el AFH 701 se puede utilizar formando parte de la red táctica Alcatel 101, se integra más fácilmente en una red táctica sofisticada. En particular, dispone de un sistema de gestión a distancia desde un PC militarizado situado en cualquier punto de la red. Este sistema puede ser asociado con la gestión global de la red. Alcatel Telspace también dispone de software integrado en una estación de gestión a distancia que, por sus funciones, ayudan al despliegue de la red:

- visualización de la red y del terreno,
- ayuda a la elección de los emplazamientos,
- visualización del perfil de los enlaces,

- cálculo del balance de los enlaces,
- cálculo de los planes de frecuencia.

El haz hertziano de infraestructura AFH 450 M/Alcatel 202

Presentación general

La familia de haces hertzianos Alcatel 202 (AFH 450 M), para enlaces de infraestructura directos, ha sido diseñada para cubrir una amplia gama de campos de aplicación que se van desde las redes de seguridad (policía, gendarmería) hasta las redes estratégicas. Las velocidades propuestas satisfacen las necesidades de gran capacidad de la red de tránsito, así como las de mediana capacidad de los enlaces de conexión.

Alcatel 202, al tiempo que asegura una calidad de servicio conforme a las últimas normas internacionales, proporciona a sus usuarios importantes ventajas gracias a:

- su gran flexibilidad, que facilita el diseño de la red,
- su facilidad de mantenimiento y su resistencia a las agresiones que garantizan a los operadores una mayor disponibilidad del servicio,
- una gran capacidad de evolución que permite enfrentarse a las modificaciones de las necesidades.

Optimización de la red

Las incidencias positivas de la utilización del Alcatel 202 se traducen primeramente en una mayor libertad para determinar el grafo de transmisión. En efecto, Alcatel 202 dispone de diferentes dispositivos destinados a efectuar largos saltos de transmisión:

- una potencia de emisión elevada en la versión de base que puede aumentarse utilizando un amplificador de potencia adicional

- un ecualizador autoadaptativo que permite luchar contra los desvanecimientos selectivos.

También se han aportado soluciones a la congestión espectral:

- la posibilidad de teledirigir la frecuencia del canal,
- la reducción de las interferencias empleando un APLC (regulación automática de potencia emitida),
- posibilidad de aumentar la eficacia espectral pasando de una modulación de cuatro fases a una modulación de 16 estados.

Por último, a nivel del sistema, Alcatel 202 también posee un interfaz de gestión evolucionado (estados, alarmas, informaciones G821 y telemandos) que garantiza su compatibilidad con las exigencias de la red de gestión de telecomunicaciones (TMN).

Flexibilidad, capacidad de evolución

Debido a la elección de los interfaces y a la modularidad real de su arquitectura, el Alcatel 202 /AFH 450 M (**Foto B**) permite modificar fácilmente:

- la frecuencia: bandas 4,4-5 GHz, 7,1-7,7 GHz, 7,1-8 GHz
- la velocidad: 8+2 ó 34+2 Mbit/s
- la configuración de las conexiones: 1+1 HSB, 1+1 diversidad de frecuencia, diversidad de espacio, de uno a cuatro accesos antena.

De este modo, el explotador puede hacer evolucionar la red en función de los cambios del tráfico o de nuevas asignaciones de frecuencias, sin poner en tela de juicio la elección inicial de la familia Alcatel 202.

Resistencia a las interferencias

La protección contra las interferencias del enlace se obtiene combinando tres tipos de medidas:

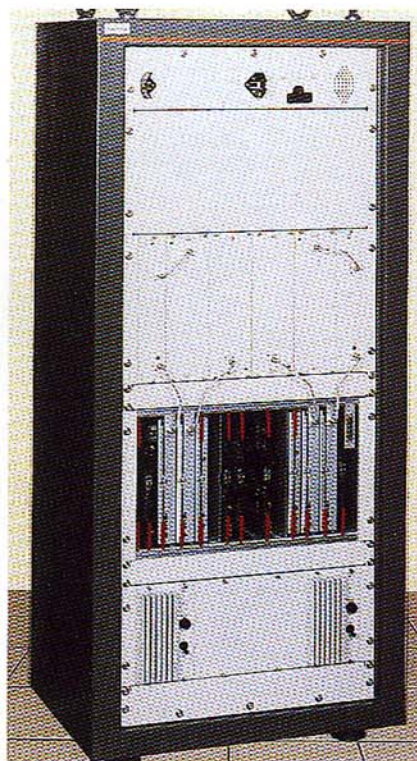


Foto B - Terminal AFH 450 M

- un funcionamiento en diversidad de frecuencias o, mejor aún, de banda de frecuencias (5-7/8 GHz),
- APLC, que a partir de un criterio de tasa de error, reacciona aumentando la potencia emitida para contrarrestar los efectos de las interferencias.
- por último, la trama está protegida por la utilización de un código corrector de errores especial y un dispositivo de sincronización interna.

Facilidad de mantenimiento

Se ha conseguido reducir el número de placas de recambio gracias a:

- una homogeneidad del parque de equipos que se traduce en un gran número de módulos comunes a las diferentes versiones,
- el carácter multifrecuencia del producto que no requiere un preajuste para cada canal de la banda de frecuencias.

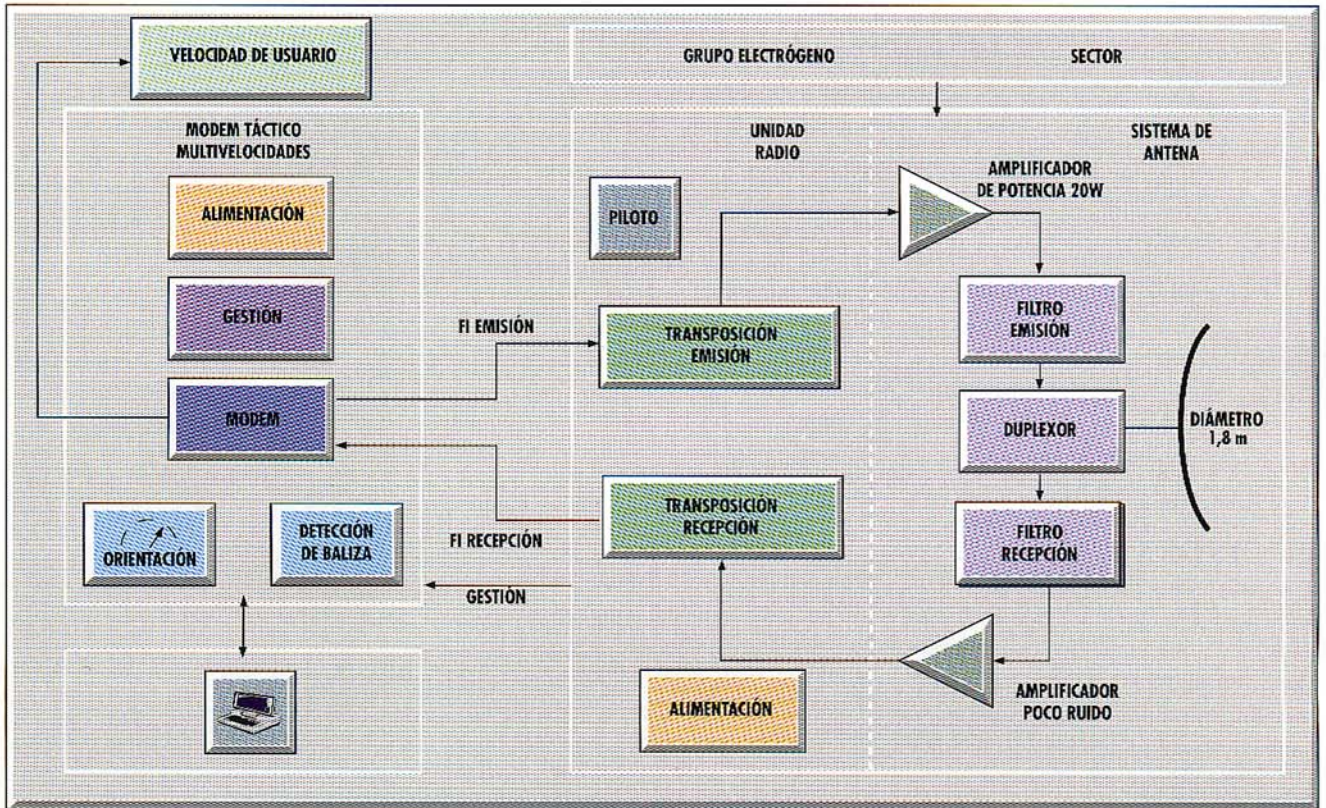


Figura 1 - La estación Alcatel 732: una unidad módem y un sistema "antena+radio"

Foto C - El Alcatel 732



Por último, se ha facilitado la reparación, a nivel del terminal, mediante el diagnóstico que aporta el módulo de gestión y pruebas integradas, y a nivel de módulo, por la autonomía que proporcionan los microcontroladores y la posibilidad de conectar un terminal de bolsillo.

AFH 990 para enlaces de difusión troposférica, táctica, móvil o de infraestructura

Presentación general

La difusión troposférica se utiliza desde hace varias decenas de años para enlaces largos sin repetidores y, de este modo, se puede realizar un enlace entre 300 y 420 km en un solo salto, con la condición de que la topología sea favorable y la infraestructura adecuada. Las aplicaciones de este tipo de transmisión son numerosas y variadas:

civiles o militares, fijas, móviles o tácticas.

El nuevo haz hertziano AFH 990 de Alcatel Telspace es un equipo digital diseñado para realizar enlaces fijos, móviles o tácticos, en difusión troposférica o por difracción en la banda de frecuencia normalizada 4,4-5 GHz. Transmite a velocidades que van de 256 kbit/s a 2 x 2048 kbit/s y en un importante número de canales auxiliares digitales y analógicos. El módem autoadaptativo del AFH 990 permite evitar problemas de interferencias entre símbolos (ISI) a estas velocidades, y transmitir hasta 2 x 2048 kbit/s con una calidad satisfactoria, mientras que los terminales troposféricos convencionales estaban limitados a 1024 kbit/s, e incluso a 512 kbit/s en ciertos climas, por los fenómenos de desvanecimientos selectivos.

Las ventajas del AFH 990 se pueden agrupar en cuatro grandes clases:

- *Ergonomía*: facilidad de configuración, flexibilidad de empleo y facilidad de gestión industrial.
- *Aplicación táctica*: adaptación a estaciones troposféricas muy móviles y tácticas, de altas prestaciones.
- *Aplicación de infraestructura*: enlace de calidad incluso a alta velocidad (4 Mbit/s).
- *Guerra electrónica*: protecciones contra las amenazas de guerra electrónica.

Descripción técnica

El equipo se presenta en forma de un bastidor de 19" de 110 cm de altura, muy semejante al AFH 450 M (ver Foto B). Este bastidor está constituido por tres soportes en los que los módulos se enchufan verticalmente para que sean accesibles por la parte frontal. Por tanto, puede fijarse contra una pared y el tiempo de cambio estándar del módulo sigue siendo muy breve. Los tres soportes corresponden a las funciones hiperfrecuencia (soporte específico a la gama de frecuencia utilizada), al tratamiento en banda de base (incluyendo el módem autoadaptativo) y a las alimentaciones. La construcción está reforzada para permitir su transporte en vehículo por cualquier tipo de terreno.

Demodulación diferencial autoadaptativa: la presencia de interferencias entre símbolos precisa un módem adaptativo que utilice una modulación de fase continua y una demodulación diferencial autoadaptativa, patente de Alcatel Telspace. Esta técnica presenta las siguientes ventajas:

- el espectro emitido se reduce considerablemente por una modulación directa del sintetizador de emisión
- la demodulación diferencial no precisa sofisticados circuitos de recuperación de portadora.

Temperatura operación	-25° C < T < +55° C
almacenamiento	-40° C < T < +70° C
Resistencia al viento operación	60 km/h
supervivencia	120 km/h
Inmersión/Lluvia	Estando (1 metro bajo el agua 2 horas)
EMC, choques, sacudidas, vibraciones	conforme a las normas GAM EG 13 y MIL-STD-810E transporte todo terreno por aire, mar, tierra
EIRP	53 dBW (amplif. 20 W)
Modulación	BPSK/QPSK
Codificación	FEC 1/2 (decodificación de Viterbi)
Interfaz terrestre	entramado IBS para velocidades de $n \times 64$ kbit/s
Velocidades de usuario	$n \times 64$ kbit/s 9,6 - 16 - 19,2 - 32 kbit/s normas EUROCOM D1 ó X21, V35, etc.
Canal de servicio	200 bit/s multiplexado 100 bit/s para una velocidad de 64 kbit/s
G/T	17 dB/k
C/N ₀ (BER < 10 ⁻⁵)	60,3 dBHz (para una velocidad de 256 kbit/s)

Tabla 3 - Características del Alcatel 732

Esta demodulación es menos sensible que la coherente, al ruido de fase del oscilador local y sobre todo a los saltos de fase debidos a la propagación

- la demodulación diferencial asociada a una ecualización autoadaptativa es aún posible con una elevada interferencia entre símbolos.

Facilidades de utilización: el AFH 990 es totalmente gobernado por un microterminal portátil provisto de:

- un teclado de mandos (gestión de los parámetros y diálogo hombre-máquina)
- una pantalla de visualización (visualización de los parámetros y de las alarmas)
- un micrófono y un auricular para el canal de servicio analógico.

Un lenguaje hombre/máquina claro permite definir precisamente la configuración del equipo (velocidad, frecuencia, interfaz, diversidad, potencia de salida, etc.) y tener acceso a los datos importantes del enlace (potencia recibida, tasa de errores, frecuencias perturbadas, etc.). En caso de avería, una prueba integrada, dirigida por microprocesador, permite diagnosticar con precisión el módulo defectuoso.

La potencia de salida puede ser ajustada manual o automáticamente por el equipo en función de la atenuación instantánea del enlace (la potencia de salida tiene una dinámica de 10 dB entre uno y 0,1 W). Cuando el equipo va asociado a un amplificador externo suficientemente lineal (típicamente entre 100 W y 1 kW), esta dinámica de potencia adaptativa también se encuentra a la salida de este último.

La familia de estaciones terrestres tácticas Alcatel 732

La estación táctica Alcatel 732 (*Foto C* y *Figura 1*) se deriva de la estación terrestre Vehículo Ligero (VL) del programa francés Syracuse II.

Funciona en banda X, C ó Ku. Permite realizar enlaces de hasta 256 kbit/s e incluso, en ciertas condiciones de balance de enlace y de cobertura de satélite, de hasta 2048 kbit/s. Su arquitectura física se inscribe totalmente en el concepto modular de la familia VL de Syracuse II, a saber:

- unidades desembarcables y apilables,
- portador estandarizado (en particular P4 corto),
- puesta en operación sencilla y rápida.

La misión de la estación consiste en asegurar, utilizando un satélite equipado de un transpondedor en banda X (Telecom II, Skynet, OTAN, Hispasat, DSCS, etc.), o bien en banda C ó Ku, un servicio de telecomunicación del tipo:

- emisión y recepción de circuitos (fonía, datos ó TTY a 2,4, 4,8, 9,6, 16 ó 32 kbit/s),
- emisión y recepción de circuitos digitales multiplexados a velocidades de 64 a 2048 kbit/s (casi siempre limitados a 256 kbit/s por la capacidad del satélite) que realizan el interfaz por el lado usuario según la norma Eurocom D1 ó cualquier otro tipo de interfaz normalizado (X21, V35, etc.),
- emisión y recepción de circuitos digitales multiplexados a una velocidad de 2 Mbit/s, que realizan el interfaz por el lado usuario según la norma G.703 de UIT-T, cuando la disponibilidad del transpondedor lo permite.

Características generales

El interfaz del operador es un PC portátil táctico (terminal de explotación). Todas las unidades Alcatel 732 responden a las exigencias de entorno de un equipo táctico, en particular en materia de estanqueidad y temperatura de funcionamiento (*Tabla 3*).

Todas las unidades son apilables. La unidad del módem táctico multivelocidad puede ser desplazada a distancia (por ejemplo, por fibra óptica). Todos los accesos están disponibles en la cara frontal de las diferentes unidades.

El peso total es inferior a 150 kg y el consumo es inferior a 380 VA.

El sistema de antena/radio realiza el interfaz entre el satélite y el subsistema de transmisión y comprende:

- una antena de banda ancha capaz de funcionar en la banda de emisión y en la banda de recepción (p. ej., en banda X: 7,25-7,75 GHz y 7,9-8,4 GHz): reflector fragmentable 1,8 m,
- un equipo de filtrado y amplificador de bajo ruido en recepción,
- un subconjunto de filtrado amplificador de potencia en emisión,
- una función de transposición de frecuencia de emisión/recepción.

La antena va fijada en un trípode equipado de articulaciones que permiten realizar la orientación en dirección del satélite con suficiente precisión.

La gestión de la estación se efectúa con un terminal de explotación que permite gestionar y supervisar los equipos (alarmas, diagnóstico, etc.) y configurar la estación.

Conclusión

La fiabilidad y la seguridad de las telecomunicaciones en el teatro de operaciones exigen la utilización de equipos que exploten el estado del desarrollo actual de las técnicas disponibles para resistir a las tentativas de interferencias, detección, escucha e intrusión por el enemigo. Además, estos equipos deben ser mecánica y eléctricamente resistentes y poder ser desplegados rápidamente en el entorno hostil de un campo de batalla. Los productos descritos, puestos a punto teniendo en cuenta las necesidades del usuario militar, cumplan estos requisitos.

Marc Darmon nació en París, Francia, en 1964. Es diplomado de la Ecole Polytechnique (Palaiseau, Francia) y de Telecom Paris (Francia). Se incorporó a Alcatel Telspace en 1988 como ingeniero de estudios, especializado en tratamiento digital de señal para contra-contra-medidas-electrónicas. Actualmente es responsable de la línea de productos de comunicaciones tácticas.

Eric Le Roux nació en Francia en 1955. Es diplomado de la Ecole Supérieure d'Electricité y de la universidad de Paris Panthéon Sorbona. Se incorporó a Alcatel Radio Transmission Systems en 1981 como ingeniero de estudios y después fue jefe del Servicio antenas e hiperfrecuencias. Después de haber sido jefe de productos de haces hertzianos militares de infraestructura, es actualmente responsable de pruebas en el centro de Nanterre.

Antenas para satélites de comunicaciones

G. Duret

Alcatel Espace, Toulouse, Francia

Introducción

La experiencia en el campo de la tecnología de antenas tiene una importancia vital en el trabajo de desarrollo de los nuevos sistemas de comunicaciones espaciales.

En dos décadas, Alcatel Espace ha adquirido una considerable destreza en el campo de las antenas de microondas para los sistemas de comunicaciones por satélite. Todos los recursos necesarios para las facilidades de diseño, fabricación y prueba se han instalado en la nueva planta de Toulouse y se utilizan eficazmente.

A lo largo de los años se ha conseguido un amplio know-how y experiencia en análisis teórico, diseño, fabricación y pruebas. Ello incluye el completo análisis y síntesis de redes de alimentación múltiple y de concentración del haz, la redes de antenas activas, la síntesis y análisis de redes de concentración del haz y de elementos radiantes, la predicción del modelo de radiación, la prueba del multiplicador y del producto de intermodulación pasiva, avanzadas redes de concentración del haz metálicas y compactas, y tecnologías compuestas y pruebas automatizadas.

La demanda de continuas mejoras del sistema pone fuertes requisitos en el rendimiento de las antenas, tales como coberturas conformadas de alta eficacia, alta discriminación de polarización y muy poco peso. Esto, junto a la capacidad del haz y la polarización orientada, la reconfigurabilidad y la capacidad de multihaz, hace que el trabajo de I+D en antenas sea un importante reto del futuro.

Este artículo presenta una selección de las actividades del departamento de antenas de Alcatel Espace; otras muchas se encuentran en curso.

Antenas pasivas

Antenas de haz múltiple para EUTELSAT 2

La tecnología de comunicación por satélite de haz múltiple conformado está siendo muy prometedora al mejorar el coste y la capacidad de transmisión del sistema de comunicaciones EUTELSAT 2, lo que ha sido un elemento determinante para apostar por ella. La recepción y la transmisión están aseguradas por dos antenas de doble polarización que utilizan grandes reflectores cuadrículados parabólicos dobles (**Foto A**).

La antena Este asegura las funciones de recepción y transmisión:

- recibe los canales de comunicaciones
- transmite hasta ocho canales de comunicaciones ó de TV.

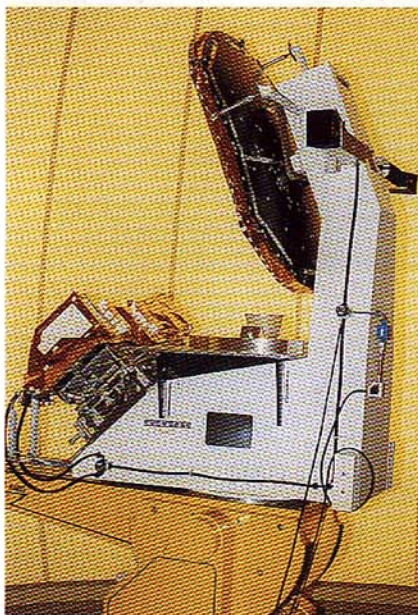
Cada alimentador múltiple Este de 21 bocinas, que utiliza una red de conformación de haz divisor de potencia en el eje longitudinal, incluye un conmutador electromecánico que se activa por telecomando para seleccionar tanto la configuración de ganancia media (cobertura total de Europa) como la de ganancia alta (cobertura zoom) (**Foto B**).

La antena Oeste transmite hasta por 14 canales. Cada alimentador múltiple Oeste incluye dos conmutadores electromecánicos

(para las bandas de 10/11 GHz y de 12 GHz) que, que al igual que en la antena Este, se activan por telecomando para seleccionar tanto la configuración de ganancia media como la de ganancia alta.

La facilidad de diseño más crítica fue la provisión de las funciones de transmisión y recepción en una única antena ya que la operación en banda ancha prohíbe el uso de componentes sensibles a la frecuencia y además deben evitarse los componentes híbridos para prevenir una respuesta pobre de frecuencia de la red de concentración del haz (BFN), lo que hace necesario el uso de unidades perfectamente probadas. Además, el alto nivel de la potencia de transmisión requiere un cuidadoso diseño, ensamblaje y prueba para eliminar los productos pasivos de intermodulación (IMP) en las seña-

Foto A - Antena Tx/Rx de EUTELSAT 2



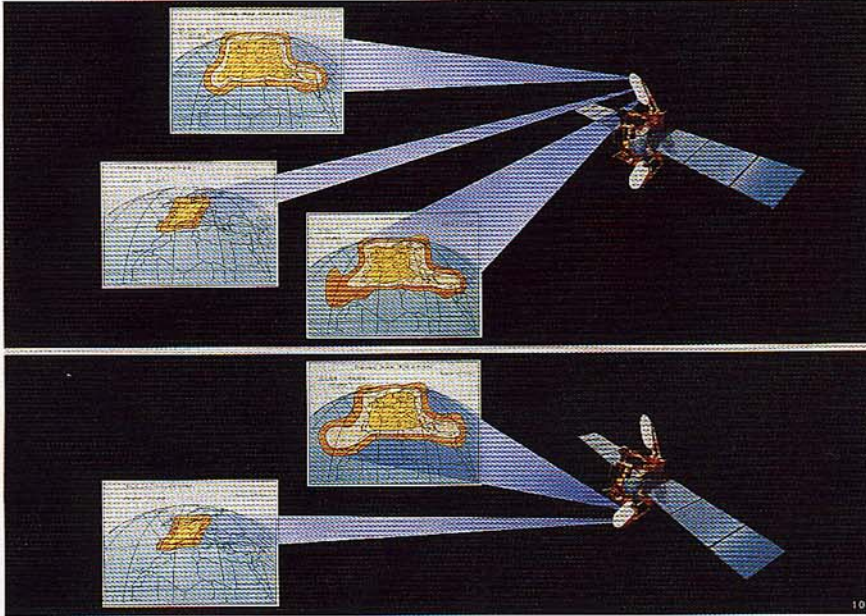


Foto B - Coberturas de la antena de EUTELSAT 2

les recibidas y en el multipactor.

Se diseñaron reflectores cuadrículados dobles para asegurar una discriminación de polarización para bajos niveles (-9 dB) de más de 34 dB polarización en el máximo de ganancia en la cobertura.

Foto C - Antena gregoriana Rx FM6 de EUTELSAT 2

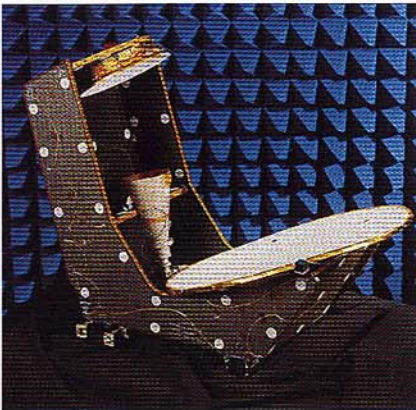


Foto D - Antena Rx en banda-C de ARABSAT 2



Una avanzada tecnología de control térmico, que utiliza una pantalla dicroica, reduce los picos y gradientes de temperatura para una buena estabilidad del perfil del reflector en vuelo y, por tanto, de las bajas distorsiones termoelásticas de cobertura.

Se fabricaron un total de diez antenas y veinte alimentadores múltiples para los cinco primeros vehículos espaciales EUTELSAT 2, cuatro de los cuales están actualmente en funcionamiento.

Para el modelo de vuelo FM6, se modificó el campo de antenas. La función de recepción se hizo con una antena gregoriana muy compacta (Foto C). La alta pureza de la polarización se obtuvo con una geometría compensada de reflector perfilado doble (condiciones MITSUGUSH). Una antena clásica de doble reflector cuadrículado transmite 2 x 8 canales de 70 W. Se empleó una nueva tecnología 'sin IMP' en una BFN compacta para ahorrar masa en los dos alimentadores múltiples (8 bocinas).

Antena de haz perfilado para TURKSAT
TURKSAT es el primer satélite turco de comunicaciones comerciales

residenciales. El lanzamiento sin éxito del modelo de vuelo FM1 a comienzos de 1994 fue seguido por otro con éxito del FM2 en agosto de 1994. El satélite suministra servicios de comunicaciones multihaz en la banda-Ku para Turquía y otras partes de Europa.

Los alimentadores múltiples simples que utilizan la avanzada y compacta tecnología 'sin IMP' de redes de conformación del haz se usan para diplexar las funciones de transmisión y recepción. Como este programa era muy competitivo, se utilizaron reflectores parabólicos cuadrículados recurrentes dobles EUTELSAT 2 para reducir los costes.

Antenas de haz múltiple perfilado para ARABSAT 2

La segunda generación de satélites ARABSAT 2 está en desarrollo, y previsto su lanzamiento para 1996. Suministran servicios de comunicaciones en banda-Ku y en banda-C con tres antenas diferentes:

- una antena doble transmisora-receptora en banda-Ku con polarización lineal
- una antena doble transmisora en banda-C con polarización circular
- una antena doble receptora en banda-C con polarización circular (Foto D).

La nueva tecnología de reflectores perfilados se utiliza en todas las antenas de ARABSAT 2. Se obtienen coberturas altamente perfiladas para los países árabes con simples reflectores alimentadores de bocinas ondulados con perfiles superficiales de baja distorsión (unas decenas de longitud de onda) si se compara con los parabólicos.

Antenas multimisión para TELECOM 2
Alcatel Espace ha diseñado un avanzado sistema de antenas

(Foto E) que suministra cobertura global, de haz perfilado y de punto orientable según la misión a realizar.

La cobertura global de recepción de 6 GHz se asegura mediante una bocina cónica que opera en polarización doble circular ortogonal.

Las antenas puntuales y semi-globales de alta ganancia transmiten hasta canales de 11 W en dos tipos de cobertura:

- semiglobal para Francia continental, isla de la Reunión, Antillas, Guyana y St. Pierre y Miquelon con un EIRP de 33,9 dBW ISO
- puntual para Francia continental, Antillas, Guyana y St. Pierre y Miquelon con un EIRP de más de 40 dBW ISO.

La antena está formada por:

- un reflector desplegable de 2,2 m con una capa delgada de fibra de carbono endurecida que suministra una apuntación precisa y una masa óptima
- un alimentador múltiple que opera en polarización simple ó doble con diez elementos de radiación compactos excitados por dos divisores de potencia de cinta.

Una antena de transmisión-recepción, en banda-Ku, montada sobre el panel de cara a la Tierra del vehículo espacial, asegura una cobertura elíptica linealmente copolarizada, centrada sobre Francia. Dos alimentadores primarios alimentan a un reflector cuadrado doble. La explotación simultánea de once canales de 36 MHz mediante la reutilización de frecuencias es posible por la discriminación de polarización sobre todas las bandas de transmisión (12,5-12,75 GHz) y de recepción (14-14,25 GHz).

Los repetidores de 8/7 GHz, previstos para la seguridad de las

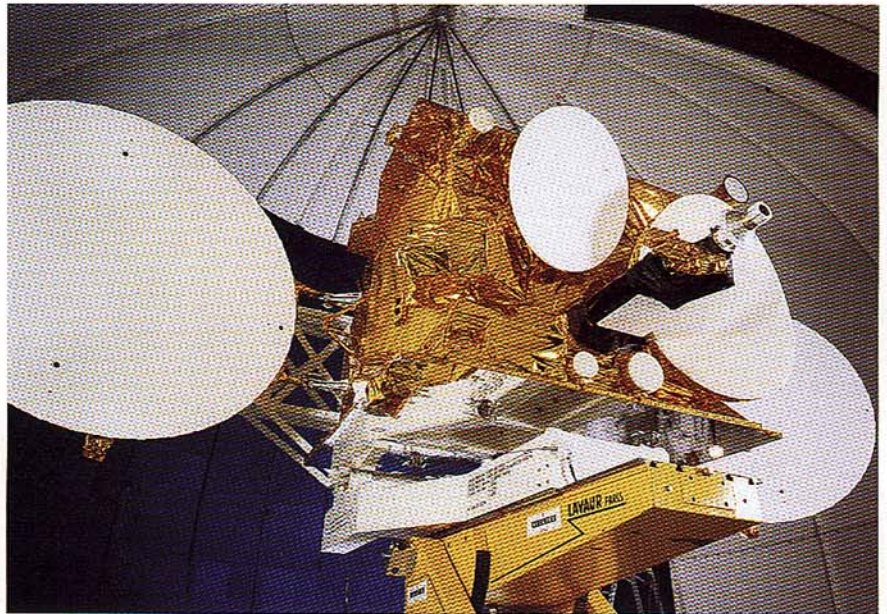


Foto E - Configuración de la antena de TELECOM 2

comunicaciones del Gobierno, necesitan cuatro antenas.

Dos bocinas diferentes para transmisión y recepción funcionan en polarización circular ortogonal sobre coberturas globales.

Una antena de transmisión/recepción de alta ganancia utiliza un reflector orientable que permite la colocación de su zona del haz de cobertura sobre la cara visible de la Tierra. El reflector se puede orientar por telecomando con incrementos de una centésima de grado, mediante un mecanismo apuntador de 2 ejes.

Montada en el panel Oeste del satélite, una antena de alta ganancia de transmisión/recepción da una cobertura de haz perfilado sobre parte de Europa. El reflector desplegable (de 2,2 m de diámetro) es una capa delgada de fibra de carbono endurecida alimentada por un alimentador múltiple con una red de concentración del haz.

Antenas activas

Aunque la ingeniería de antenas tiene una historia de cerca de 60 años, es casi seguro decir que las antenas microcinta forman una

de las áreas más innovadoras del actual trabajo sobre antenas, especialmente en las aplicaciones espaciales.

En gran parte, se ha llegado al desarrollo de antenas microcinta por los requisitos de sistema para las antenas con bajo perfil, poco peso, bajo coste, fácil integración en redes de antenas o con circuitos integrados de microondas ó diversidad de polarización. Las desventajas de las configuraciones originales de antenas microcinta incluyen su estrechez de ancho de banda, las radiaciones espúreas del alimentador, su pobre pureza de polarización, su limitada capacidad de potencia y sus problemas de tolerancia.

Gran parte del trabajo de desarrollo de Alcatel Espace en antenas microcinta se ha dirigido a evitar esos problemas, y así satisfacer los requisitos cada vez más rigurosos de los sistemas espaciales. Este esfuerzo ha dado lugar al desarrollo de originales configuraciones específicas para antenas microcinta y al desarrollo de modelos analíticos precisos y versátiles que solucionan las limitaciones inherentes a las antenas microcinta, tanto en su diseño

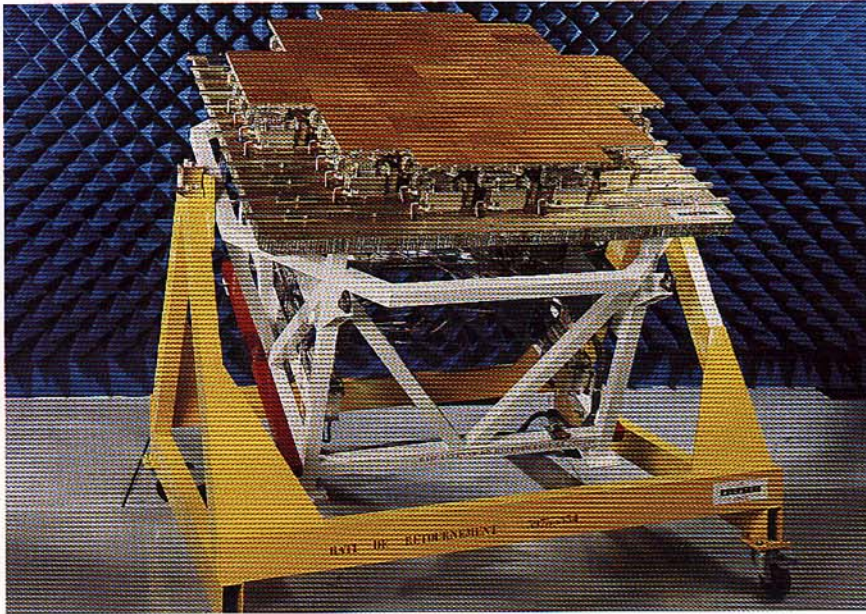


Foto F - Antena activa Tx en banda-Ku

como en la optimización de la arquitectura de antenas activas.

Antena activa en banda-Ku totalmente reconfigurable

Teniendo en cuenta los futuros sistemas de comunicación por satélite, Alcatel Espace está gestionando un programa tecnológico preparatorio para una carga útil totalmente reconfigurable. El subsistema de antenas desarrollado se instalará en el STENTOR, satélite experimental francés.

La misión básica suministra dieciséis haces simultáneos independientes, circulares ó contorneados, para las operaciones de enlace descendente y ascendente. El objetivo de este programa tecnológico es validar sobre modelos de demostración representativos las tecnologías y procesos más críticos, así como el diseño completo de arquitecturas de antenas activas.

Dos redes de antenas diferentes de radiación directa (DRA), una para el enlace descendente (Tx, 10,95 a 12,75 GHz) y otra para el ascendente (Rx, 14 a 14,5 GHz), se instalan en el panel de cara a la Tierra de un satélite estándar de 2000 kg.

La antena Tx (Foto F) se basa en:

- un panel de radiación de 64 radiadores de elementos apilados de doble polaridad con una discriminación de polarización de más de 34 dB en toda la cobertura de cada haz
- una sección de salida de alto nivel con 128 amplificadores de potencia de estado sólido de 5 W (SSPA) y filtros
- dos redes de concentración del haz, una para polarización, de ocho entradas y 64 salidas con una sección divisora de potencia, módulos activos (desplazadores de fase y atenuadores), una sección combinadora de potencia y placas asociadas de control y mando.

La configuración de la antena Rx es similar a la de la antena Tx en términos de arquitectura, número de radiadores y número de puntos de control.

Todos los programas necesarios de calificación espaciales están en curso, especialmente los de:

- los módulos activos de alta potencia para los que la arqui-

- tectura ha tenido en cuenta las limitaciones de control térmico
- el conexionado, que tiene que asegurar una completa compatibilidad electromagnética entre todos los componentes
- la estructura estratificada compuesta con conductos caloríficos integrados.

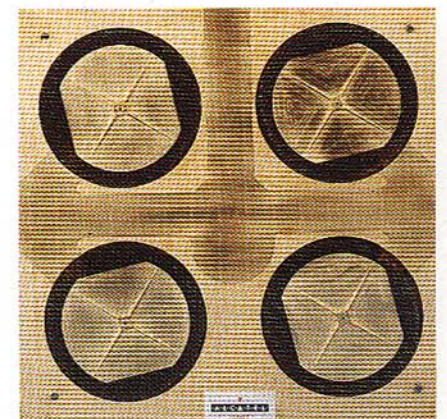
Se han integrado las dos antenas de transmisión y recepción. Actualmente están en curso la calibración y las pruebas, y muestra la capacidad de Alcatel Espace para diseñar y fabricar antenas activas altamente integradas con elementos radiadores al estado-del-arte, y tecnologías MMIC y BFN.

Antenas de comunicaciones móviles de alta flexibilidad

Las comunicaciones móviles se encuentran en evolución. Muchos de los sistemas competitivos utilizan sistemas geoestacionarios (INMARSAT, EMS, ITALSAT, etc.) y satélites de órbita terrestre baja (MSAT, IRIDIUM, GLOBALSTAR, SYCOMORE, etc.).

El funcionamiento en banda-L se aprovecha de las antenas activas suministrando todos los haces necesarios para cubrir la Tierra. El alto EIRP de la red de antenas de transmisión se comparte entre un haz de cobertura hemisférica y haces puntuales de alta ganancia

Foto G - Subred de antenas compuesta en banda-L



(hasta 24). Se requiere un gran aislamiento espacial entre haces para permitir la reutilización de frecuencias y el aislamiento con otros satélites que trabajen en la misma banda de frecuencia. Pero el más importante requisito a cumplir es la capacidad de intercambio de EIRP entre cada haz para hacer frente a las incertidumbres y variaciones de tráfico a lo largo del tiempo de vida del satélite.

Alcatel Espace ha diseñado y estudiado redes de antenas de radiación directa ó redes de antenas focales alimentadas por antenas reflectoras. Se ha puesto particular atención en el diseño de subredes de antenas de elemento para minimizar el producto de intermodulación pasivo (PIM). Se han medido niveles PIM muy bajos (menores de -140 dBc) de 7º orden y se encontrado estabilidad en el banda de temperatura de operación (-100°C a +120°C), tanto sobre una subred de antenas totalmente de aluminio soldado con láser como sobre una subred de antenas compuesta por carbono reforzado con polieterimido (PEI) (*Foto G*).

Antenas activas de teledirigida por la carga útil

Las necesidades futuras de los sistemas de observación de la Tierra por satélite requerirán la teledirigida de datos de alta velocidad por la carga útil y por tanto de antenas de alta ganancia sobre una cobertura de ángulo de medio cono de 60°. Alca-

Foto I - Antena de retransmisión de datos en banda-S

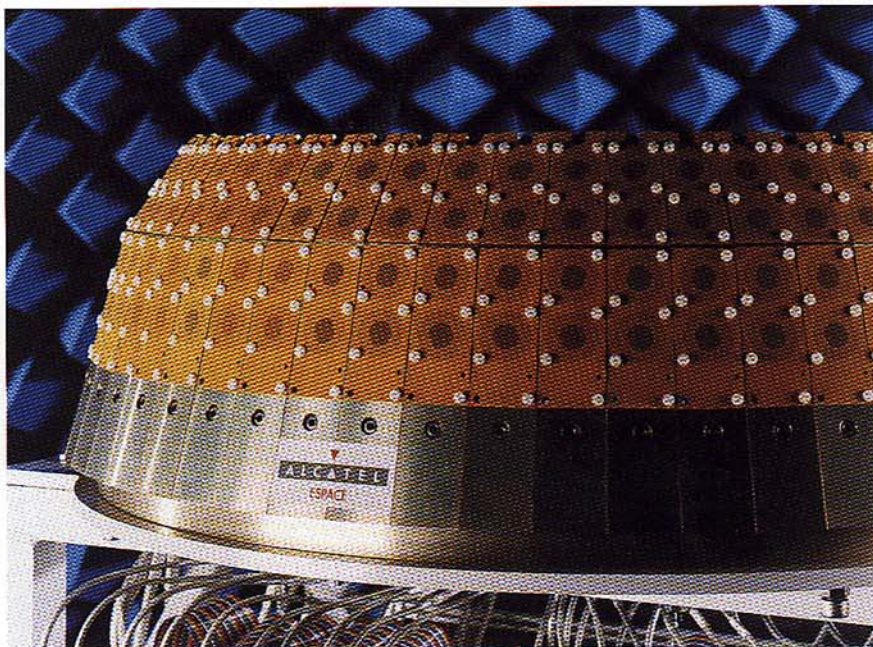
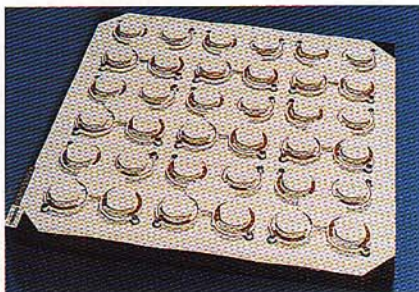


Foto H - Antena activa de teledirigida por la carga útil

tel Espace ha investigado un nuevo concepto de antena activa para asegurar un EIRP de isoflujo constante sobre la Tierra. Una red de antenas de radiación directa de perfil cónico (*Foto H*) suministra una exploración uniforme en elevación y en acimut solamente por control de la fase y por conmutación encendido/apagado del amplificador.

Este concepto se adapta adecuadamente a la cobertura cónica y su diseño se ajusta fácilmente a los requisitos de la misión espacial:

- flexibilidad en la definición de la zona angular
- directividad controlable y por ello del rendimiento del EIRP y del G/T
- alta fiabilidad y fácil reconfigurabilidad.

Los modos de múltiples portadoras y de múltiple haz son posibles sin cambios en el concepto. Alcatel Espace ha validado un DRA no-planar; ha construido y probado una elegante maqueta eléctrica en la banda-X utilizando un nuevo elemento que radia en polarización circular en banda ancha.

Antenas para satélite de retransmisión de datos

Alcatel Espace ha diseñado una antena, que transmite en banda-S, para comunicaciones entre un satélite geostacionario de retransmisión de datos (DRS) y usuarios de órbitas terrestres bajas. Un haz orientable explorado en un campo de visión de 10º se obtiene con una antena activa instalada en un lateral del vehículo espacial.

Se fabricó y probó un modelo de calificación en dentro del programa experimental ARTEMIS (*Foto I*). Para reducir los riesgos de desarrollo, se diseñaron unos elementos de aluminio para radiar en polarización circular sobre aproximadamente un 4% de ancho de banda de frecuencia. Esta tecnología puede resistir el margen de temperaturas de operación con un simple control térmico (pintura blanca sin conductos caloríficos) y se puede instalar fácilmente en una estructura mecánica compuesta de fibra de carbono.

Conclusiones

Este breve repaso de las actividades realizadas y en curso muestra

una importante evolución en las antenas para satélites de comunicaciones.

Los reflectores perfilados simplifican radicalmente las antenas pasivas, pero todavía se limitan a la simple operación de cobertura nacional. Se necesitan nuevos desarrollos para asociar reflectores perfilados y múltiples alimentadores de múltiples de doble entrada para proporcionar la capacidad de reconfigurabilidad a las misiones complejas. Estos alimentadores múltiples utilizarán las nuevas tecnologías de redes compactas de concentración del haz.

El nuevo concepto de antena gregoriana ultra-compacta trabajará con un haz elíptico, el cual se puede dirigir a cualquier punto de la Tierra con una posible orientación de la elipse sin cambiar la orientación de la polarización.

Respecto a las nuevas generaciones de satélites, las antenas activas con elementos de radiación proporcionan hoy el mejor compromiso de integración entre elementos de radiación y elementos activos, especialmente con los avances en electrónica monolítica. No tienen un rendimiento radioeléctrico adecuado, pero su bajo coste de fabricación, su baja masa en cualquier superficie y su fácil integración con módulos monolíticos son importantes ventajas de las antenas activas de elementos. El mundo espacial tiene un gran reto con el uso de las antenas activas; hoy no existen antenas activas reales para vuelos espaciales de comunicaciones civiles. Los requisitos futuros a cumplir son:

- rigurosos requisitos operacionales: reconfigurabilidad, flexibilidad, intercambio de tráfico, degradación mínima de la fiabilidad
- componentes y módulos con tecnologías espaciales cualificadas: módulos monolíticos de alta eficiencia en RF, ASIC para gestión eléctrica, telecomando

y telemetría, elementos de microcinta, pantallas térmica, mecanismo de despliegue de masa baja y estructuras mecánicas compuestas

- ambiciosos programas tecnológicos: validación del diseño y de las herramientas de prueba, microconductos caloríficos, materiales superconductores y distribución óptica
- arquitectura del vehículo espacial revisada para conseguir la carga útil más integrada con la antena activa, orientación hacia el satélite por adaptabilidad de antena, nueva estructura mecánica del vehículo espacial.

En el futuro, las antenas activas se desarrollarán primero para operaciones móviles y militares, a continuación en misiones fijas (especialmente en las bandas C y Ku), siguiendo el progreso general de la tecnología espacial.

Reconocimiento

El autor agradece a France Telecom, al Centre National d'Etudes Spatiales y a la Agencia Europea del Espacio por prestar su soporte a las actividades de antenas espaciales de Alcatel Espace. El autor agradece también a todos los miembros del departamento de antenas espaciales de Alcatel Espace por suministrar valiosa información y fotografías.

Gilles Duret nació en Ambert, Francia, en 1953. Estudió microondas en la universidad de Clermont Ferrand donde obtuvo un PhD en 1978. Después de trabajar 18 meses para Thomson CSF en la División de radares de superficies en el desarrollo de sintetizadores de frecuencia avanzados, entró en Alcatel Espace donde fue responsable del desarrollo de productos de antenas pasivas y especialmente de antenas de reflectores cuadrículados dobles para los programas de comunicación de exportación. El Dr. Duret, que está a cargo del I+D

de antenas, es actualmente manager del departamento de antenas espaciales de Alcatel Espace.

Aportación de las nuevas tecnologías en los repetidores de satélites

G. Flourey, J.-L. Cazaux
Alcatel-Espace, Toulouse, Francia

Introducción

La arquitectura de la carga útil de la práctica totalidad de los satélites de telecomunicaciones, actualmente operacionales, se basa en el principio de los "canales transparentes": cada canal o repetidor representa, para un usuario terrestre, una parte de los recursos en banda de frecuencia y potencia radiada del satélite. Las prestaciones radioeléctricas de este canal son tales que puede ser utilizado para la gama más amplia posible de señales transmitidas: televisión analógica o digital, multiplex telefónicos de gran capacidad, sistemas de multipotadoras de tipo VSAT (Very Small Aperture Terminal), etc. La digitalización de las señales de telecomunicación, ampliamente extendida en las redes terrestres, no se ha impuesto aún en la estructura de las cargas útiles. Esto se debe a una razón principal: la duración de vida cada vez mayor de los satélites geoestacionarios (más de 15 años en la actualidad) obliga a conservar un máximo de flexibilidad en la evolución de las misiones y servicios en curso de explotación.

Aunque numerosos estudios y satélites experimentales recurran actualmente a los principios de tratamiento a bordo (demodulación, regeneración, encaminamiento, etc.) y que estos mismos principios parezcan ser en el futuro indisolubles de las nuevas posibilidades de difusión autorizadas por las antenas activas (ver artículo de G. Duret en este número), el mercado comercial de los satélites de telecomunicaciones todavía estará dominado durante varios años por las arquitecturas convencionales. No obstante, gracias a las nuevas tecnologías, las arquitecturas convencionales disponen de un importante potencial de evolución que vamos a detallar a lo largo de este artículo.

Arquitecturas actuales de los repetidores transparentes

Todas las cargas útiles actuales se basan en una arquitectura general ilustrada en la **Figura 1**. Esta arquitectura prevé un desglose funcional según los principales equipamientos de un

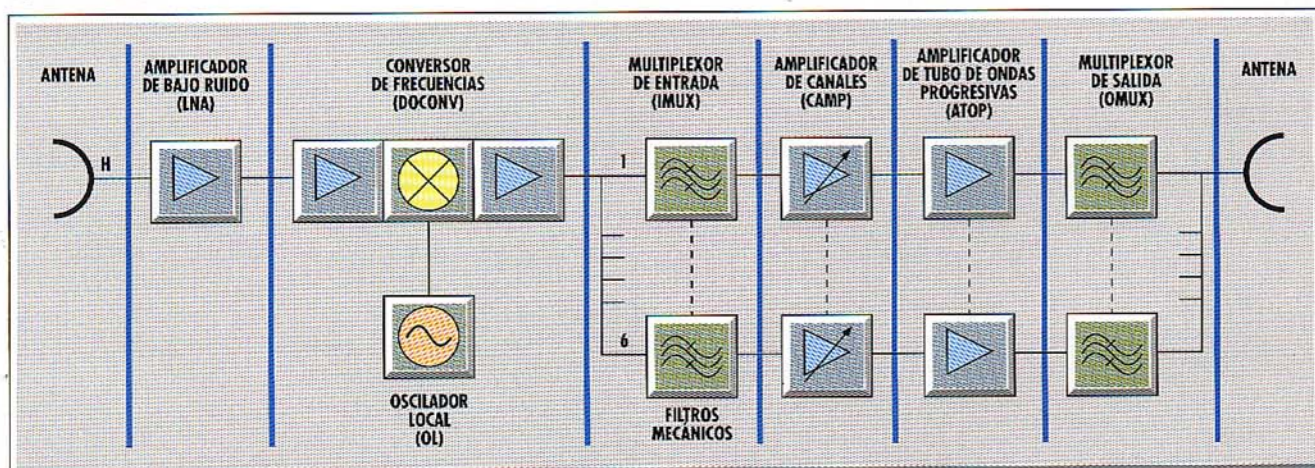
repetidor que exponemos a continuación:

- los amplificadores de bajo ruido (LNA),
- los convertidores de frecuencia (DOCONV) y sus osciladores locales (LO),
- los filtros de canalización recepción (IMUX),
- los amplificadores de canales de bajo nivel de señal (CAMP),
- los amplificadores de potencia (tubos de ondas progresivas o amplificadores transistorizados)
- los filtros de potencia de remultiplexado (OMUX).

Las principales configuraciones de satélites se basan en variantes que se diferencian por:

- el número de coberturas geográficas y de acceso a antenas
- las bandas de frecuencias utilizadas: C, Ku, Ka, etc.
- el número de frecuencias de transposición (de 1 a 5 actualmente)
- el número de canales (de 8 a 24)

Figura 1 - Arquitectura de la carga útil



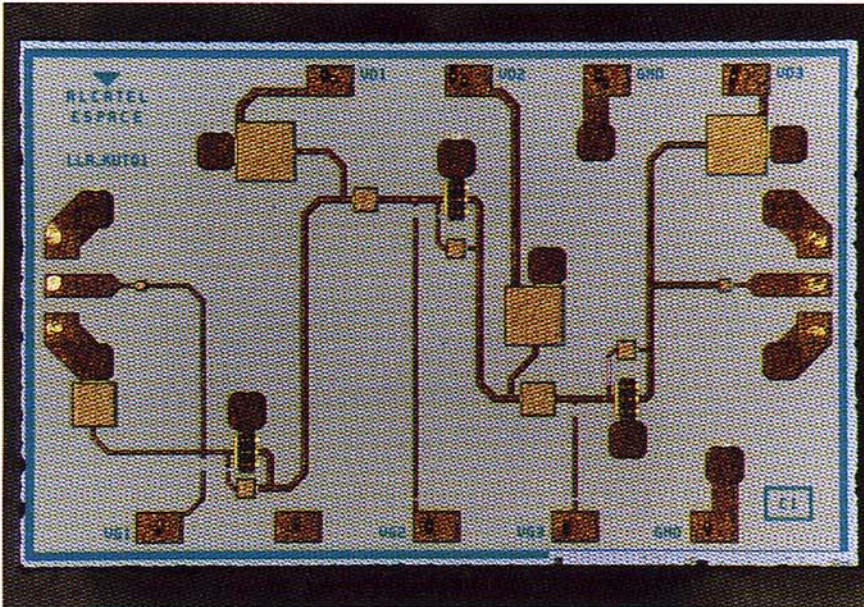


Foto A - Amplificador de bajo nivel en banda Ku

ruido, de los convertidores de frecuencia y de los amplificadores de canales de las últimas generaciones de equipos activos. Se han obtenido reducciones de masa muy significativas, con una relación de 2 a 3, respecto a la generación precedente y todo ello esencialmente gracias a dos categorías de componentes clave:

- los MMIC (*Monolithic Microwave Integrated Circuit*) sobre semiconductores de arseniuro de galio para las funciones hiperfrecuencias,
- los ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) sobre semiconductores de silicio para las funciones de bajas frecuencias analógicas o digitales.

- las matrices de conmutación que aseguran la interconectividad de los canales entre bandas de frecuencia diferentes (como en INTELSAT 8 A por ejemplo).

Los anillos de redundancia (conmutadores hiperfrecuencias en guía de ondas o coaxiales) constituyen una parte considerable de la masa y del volumen de una carga útil integrada.

En el campo de las hiperfrecuencias, los MMIC han originado cambios considerables que abordaremos a continuación.

Por último señalemos que, para responder a los objetivos de duración de misión requeridos en todo satélite, la mayoría de los equipos del mismo tipo van provistos de redundancias calculadas en función de su propia fiabilidad.

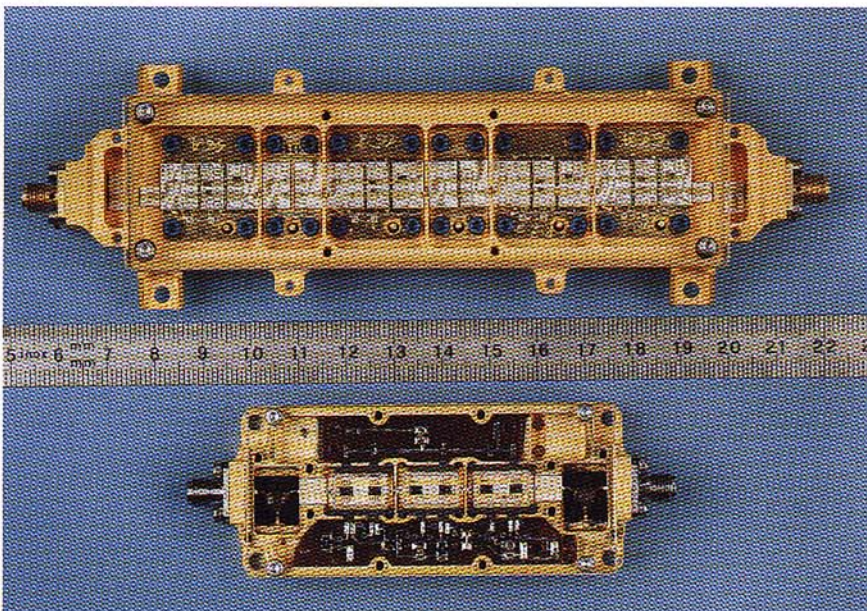
Evolución tecnológica de los componentes hiperfrecuencias

Los esfuerzos tecnológicos se han dedicado especialmente a la miniaturización de los amplificadores de bajo

MMIC: miniaturización de los equipos

Esta generación de funciones monolíticas permite integrar en el sustrato semiconductor no sólo los componentes activos (transistores, diodos) sino también una gama de componentes pasivos (resistencias, condensadores e inductancias) necesarios para los circuitos de adaptación y de polarización. Con una funcionalidad idéntica, se ha ganado en el tamaño de la superficie ocupada, por ejemplo, por el circuito de un amplificador de tres etapas de ganancia (de unos centímetros cuadrados a unos milímetros cuadrados). La Foto A muestra este amplificador de 18 dB de ganancia en banda Ku que ocupa una superficie de 3,5 x 2 mm².

Foto B - CAMP Ku: comparación híbrido/MMIC



El impacto de estos componentes es determinante en la reducción del volumen y de la masa de los equipos hiperfrecuencias, como se observa en la Foto B, que permite comparar la antigua generación híbrida hiperfrecuencia de chips de tecnología discreta de los CAMP, y la nueva, compuesta por 6 chips MMIC (amplificadores, atenuadores, corrector de planeidad).

El peso respectivo de los dos amplificadores es de 180 y 45 gr. La reducción de masa en todo el equipo,

incluyendo las funciones de alimentación, telemando y teledida, es evidentemente menos espectacular, pero no obstante alcanza un factor de dos de 550 a 250 gr. A finales de 1993, Alcatel Espace suministró los primeros modelos de vuelo de este equipo para el satélite AMOS, al término de un programa completo de cualificación espacial de los chips MMIC (fabricados por la sociedad americana Triquint) y la transferencia y cableado de estos chips en un nuevo tipo de módulo híbrido "microencapsulado".

En la actualidad se están produciendo varios nuevos equipos, CAMP y linealizadores, para los satélites II, Arabsat, Télécom 2D y HOT BIRD PLUS, que muestran la madurez de esta tecnología, así como el dominio de los procedimientos industriales asociados. Se está generalizando su aplicación en equipos más complejos como los convertidores de frecuencia, provistos de circuitos tales como mezcladores y osciladores cuyas prestaciones sólo pueden ser simuladas con modelos y software adaptados a los circuitos no lineales.

Ya se ha realizado y probado con éxito una primera maqueta en banda Ku (*Foto C*). Su masa es de 440 gr frente a los 1550 gr de los convertidores de la generación precedente. Esta reducción puede mejorarse aún más, ya que la maqueta no utiliza los mezcladores y osciladores MMIC disponibles hoy en día.

En la actualidad, los beneficios previstos por la reducción de masa y de volumen de los equipos que utilizan tecnologías MMIC se han conseguido ampliamente. Estos beneficios no se pueden disociar de la evolución del planteamiento industrial que se ha impuesto y que detallamos más adelante.

Ventajas industriales y exigencias de uso de los MMIC

Además de las reducciones de masa, se derivan otras dos ventajas importantes de la utilización de los MMIC, que tienen una incidencia directa en los costes de los equipamientos.

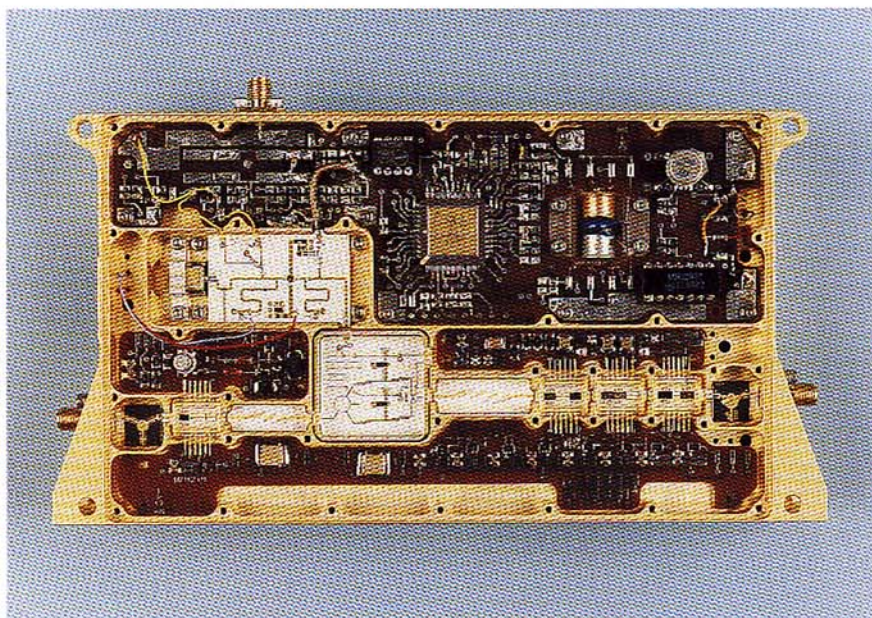


Foto C - Convertidor de frecuencia MMIC en banda Ku

- la práctica supresión de los ajustes de hiperfrecuencias,
- la simplificación de las operaciones de fabricación en subconjuntos, que requieren menos cableado y menos ensamblaje de piezas elementales.

El primer aspecto resulta del hecho de que las prestaciones de un chip, incluso complejo, se establecen en el momento del diseño y no es posible ninguna intervención ulterior en el chip fabricado.

Esto implica medios de simulación evolucionados y, sobre todo, el tener en cuenta todos los parámetros de desvío de los procedimientos del fabricante que tengan un impacto en las prestaciones eléctricas. El diseño debe prever estos desvíos inevitables, de forma que los componentes suministrados respondan a las gamas de prestaciones que requiere la utilización para la que están destinados. Cualquier otro planteamiento conduciría a rendimientos de fabricación inaceptables.

Un segundo aspecto industrial resulta de la especificidad de los productos obtenidos, así como del plazo necesario para su diseño y realización. Actualmente transcurren más de nueve meses entre la definición de una función MMIC, el fin de la realización y

la prueba de un primer lote de placas: las prestaciones que se obtienen al término de esta primera realización no son, casi nunca, totalmente satisfactorias y justifican un segundo ciclo. Por tanto, es impensable estudiar nuevas funciones en el marco de un proyecto de satélite que requiera el suministro de equipos modelos de vuelo en 12 meses, e incluso menos. En consecuencia, hay que anticipar estas necesidades mediante un programa de investigación y desarrollo coordinado con una política de productos que tenga como objetivo definir, mucho antes de la fase de desarrollo, una biblioteca de componentes lo más estandarizados posible para la gama de aplicaciones más amplia posible.

Alcatel Espace sigue esta vía desde hace dos años y ya dispone de una gama de "ladrillos de base" para productos de telecomunicación.

Perspectivas para los MMIC

Los excelentes resultados de la primera cualificación espacial de la tecnología MMIC, junto a las ventajas industriales irrefutables en términos de costes y prestaciones, hace que su utilización sea inevitable en las futuras generaciones de equipos.

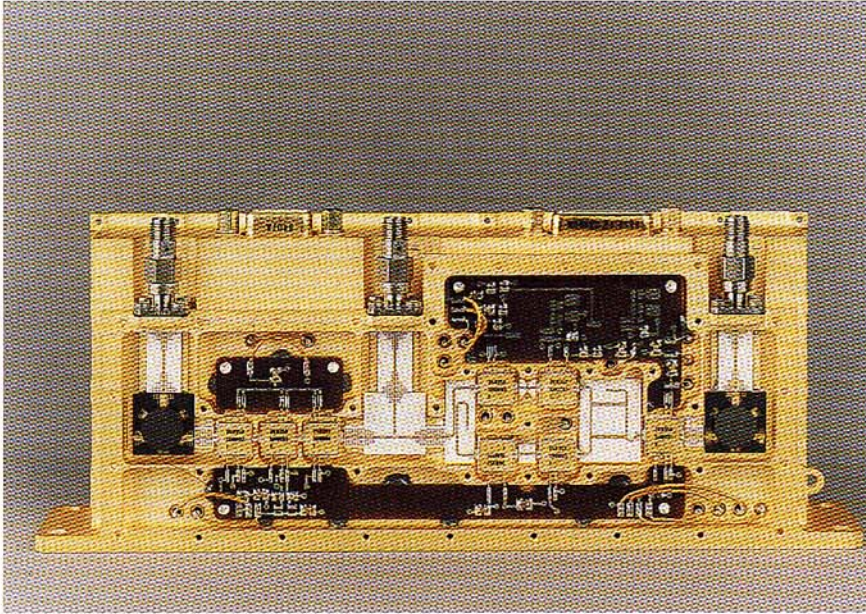


Foto D - CAMP linealizador en banda C

Esto será aún más evidente en los próximos sistemas, en particular en las antenas activas, cuya propia factibilidad pasa incluso por el grado de integración accesible de este modo y cuyo coste depende de los centenares o miles de módulos que se fabriquen.

¿Cuál será la evolución de esta tecnología respecto a las primeras generaciones de chips que describimos aquí? Esta evolución va a ser guiada por dos parámetros fundamentales:

- *El nivel de integración funcional accesible en una misma superficie de semiconductor:* el futuro consiste en diseñar circuitos más complejos que los existentes que contengan muchos chips especializados, aumentando la densidad de integración de los componentes de base activos y pasivos en un mismo sustrato. Entonces será preciso desarrollar nuevo software para simular y dominar los acoplamientos electromagnéticos resultantes de este nivel de integración.
- *La automatización de las transferencias y del cableado de chips en su soporte:* el enfoque más prometedor actualmente parece ser la tecnología "flip chip" (chip soldado "invertido" en su soporte de interconexión) que se desarrollará

simultáneamente al diseño de circuitos "coplanares" para circuitos hiperfrecuencias.

Este nuevo concepto, que se opone a la tecnología "microstrip" actual, presenta la ventaja industrial de simplificar las operaciones finales en placa de AsGa, y en consecuencia reducir su coste. Este nuevo paso hacia una integración muy avanzada de las funciones hiperfrecuencias asociado a nuevas evoluciones tecnológicas como los MCM (Multichip Modules), (ver artículo de A. Coello-Vera en este número), permite considerar la realización de equipos completos en forma de un solo macrohíbrido. Es probable que en esta etapa aparezcan módulos funcionales por "subsistemas" a nivel de la carga útil, que pongan en tela de juicio los desgloses actuales por equipos. En la última parte de este artículo se describen algunos de los ejes de la evolución de las posibles arquitecturas.

Evolución de los amplificadores de potencia

Más del 95% de la energía eléctrica que se dedica actualmente a una car-

ga útil de telecomunicaciones es consumida por las secciones de potencia de salida. Por tanto, se comprende que en la optimización de los recursos energéticos, se hayan concentrado todos los esfuerzos en tres campos principales: *el aumento de rendimiento de los amplificadores hiperfrecuencias* de tubos de ondas progresivas o en estado sólido, *el aumento de rendimiento de los convertidores de alimentación* bus primario tensiones secundarias y *la disminución de las pérdidas de inserción en hiperfrecuencia* en los filtros de multiplexado de salida, diplexores y fuentes de antenas.

Amplificador de tubos de ondas progresivas (TWTA)

Este tipo de amplificador es el único utilizable cuando la potencia requerida es superior a 50 W en banda C y, por tanto, a fortiori, en banda Ku, en donde los niveles exigidos se extienden de 80 a 120 W. Cuatro constructores se reparten el mercado espacial (Hugues, AEG, NEC y Thomson) e invierten en una evolución tecnológica permanente para mejorar el rendimiento.

Para un futuro próximo se prevén nuevas generaciones de tubos con colectores optimizados que permitan conseguir rendimientos eléctricos del 65%, para potencias de 100 W en banda Ku. También se prevé una disminución de la ganancia de estos tubos, de 55 a 35 dB, lo que debería reducir su masa y su volumen: la diferencia de ganancia será traspasada a los amplificadores de bajo nivel en estado sólido, eventualmente provistos de circuitos linealizadores de hiperfrecuencias. Este tipo de circuito linealizador permite, según las señales transmitidas en el canal y el nivel de intermodulación pretendido, trabajar lo más cerca posible de la potencia de saturación del tubo y, en consecuencia, también en este caso, optimizar el rendimiento eléctrico global.

La *Foto D* muestra el amplificador de canal con linealizador en banda C desarrollado en el marco del programa Arabsat.

Amplificadores en estado sólido (SSPA)

Pese al handicap irreductible de rendimiento respecto a su equivalente tubo, este tipo de amplificadores se impone poco a poco en las cargas útiles debido a sus ventajas en masa y en coste.

Las prestaciones de estos amplificadores, muy utilizados en banda C en los satélites de tipo INTELSAT hasta niveles de potencia de 40 W y rendimientos del orden del 30%, se mejoran progresivamente gracias a las nuevas tecnologías de componentes de potencia para alcanzar la banda X y en un futuro próximo la banda Ku.

Alcatel Espace desarrolla actualmente, con la ayuda de contratos de estudios de France Télécom, una nueva generación de amplificadores en banda C que utiliza componentes MMIC para las etapas de bajo nivel y linealizadores, y una nueva tecnología híbrida de potencia a base de transistores de tecnología discreta (MESFET: metal semiconductor field effect transistor) para las etapas de salida (**Foto E**).

El rendimiento eléctrico en potencia añadida alcanzado actualmente en estos modelos de 12 W es de un 45% (transistores Mitsubishi y Fujitsu).

Se están efectuando caracterizaciones en nuevas generaciones de transistores PHEMT (Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor) de fabricantes norteamericanos (Raytheon, Martin Marietta, etc.) que deberían permitir aumentar este rendimiento en un 10%.

Convertidores de alimentación

La conversión de energía del bus primario y de la plataforma satélite, no regulada de 36 a 42 V ó cada vez mas frecuentemente regulada a 50 ó 100 V, debe efectuarse con la menor pérdida de energía posible, ya sea para tubos que requieran tensiones secundarias de unos 3000 V ó para amplificadores en estado sólido que funcionan entre 8 y 10 V. Los progresos conseguidos gracias a nuevos componentes de corte (MOS HEXFET - hexagonal field effect transistor) y a las reducciones de las pérdidas en los bobinados, permiten

superar normalmente el 90% del rendimiento de conversión de energía eléctrica.

Estos nuevos productos son desarrollados por dos filiales de Alcatel Espace:

- Alcatel Denmark realiza los convertidores para SSPA (Alcatel Denmark suministra además los modelos de vuelo de los satélites INMARSAT 3),
- Alcatel ETCA Belgique suministra los convertidores para tubos de ondas progresivas.

Multiplexores de salida

Los filtros de los canales que se encuentran después de los amplificadores de potencia son elementos particularmente críticos de una carga útil: su gran disipación térmica (temperaturas de funcionamiento cercanas a 100°C) conlleva severas exigencias sobre el dimensionamiento del control térmico de la plataforma satélite, situación que se agrava con el aumento de potencia de los canales. (>100 W en banda Ku). Las tecnologías actuales de filtros con cavidades cilíndricas multimodos en *invar* no permiten prácticamente descender por debajo del dB de pérdidas de inserción, lo que equivale a una disipación del 25% de la potencia de hiperfrecuencia tan costosamente adquirida.

Dado que las pérdidas de inserción en los filtros actuales son esencialmente óhmicas, podemos esperar reducirlas en gran medida mediante materiales supraconductores. Esto forma parte de un asunto de investigación entre Alcatel Espace y los laboratorios de Alcatel Corporate Research Center de Marcoussis. Ya se han realizado filtros en banda Ku con películas supraconductoras de YBaCuO de baja temperatura (<77°K). No obstante, habrá que esperar para llegar a una aplicación comercial de materiales o películas a más alta temperatura, compatibles, en el espacio, con sistemas de criogenia pasiva. Para los filtros de potencia, habrá que descender a pérdidas residuales muy reducidas (del orden de

5/100 de dB) para sacar partido de estos sistemas pasivos. Actualmente se investigan las mejores topologías de filtros en términos de volumen.

Evolución de las arquitecturas de las cargas útiles

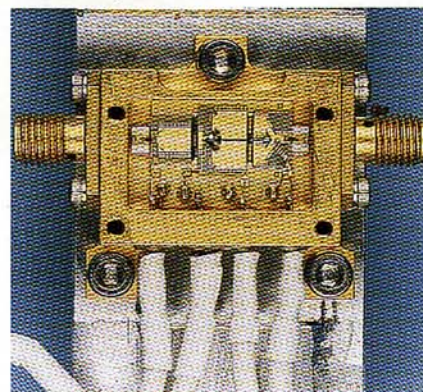
Hemos mostrado cómo el actual progreso en los componentes de hiperfrecuencias y sus tecnologías de hibridación permite reducir la masa y el volumen de los equipos que se producen en la actualidad y considerar integraciones funcionales de nivel superior para la futura generación.

Por otra parte, las constantes reducciones del plazo de suministro de los equipos y de las cargas útiles impuestas por el mercado, hacen que se prevean nuevas etapas de estandarización funcional, mucho más allá de las bibliotecas de componentes utilizadas hoy en día.

Este nuevo enfoque funcional deberá permitir, a costa, eventualmente, de una mayor complejidad electrónica, liberarse del plan de frecuencias, dato fundamental de un programa de satélite, que muy a menudo se fija demasiado tarde, después del inicio de los estudios.

La frecuencia central de recepción, la anchura de banda y la frecuencia de transposición son los tres parámetros principales de un canal que condicionan el estudio eléctrico y mecánico de los filtros de entrada/salida y el aprovisionamiento del cuarzo de los oscila-

Foto E - Amplificador híbrido de potencia de dos etapas en banda C



dores locales de transposición, cuyos plazos son difícilmente comprimibles.

Dos nuevas técnicas, aún no utilizadas en las cargas útiles, pueden modificar estas limitaciones:

- los filtros de ondas acústicas de superficie (SAW),
- los osciladores de síntesis de frecuencia.

Por sus elevadas pérdidas de inserción (≈ 35 dB), los filtros SAW sólo son aplicables al filtrado de entrada y en arquitecturas de equipamiento que precisen una doble transposición de frecuencia (canalización en frecuencia intermedia). La **Figura 2** muestra el tipo de respuesta de frecuencia obtenida para un filtro de canal de 39 MHz centrado en una frecuencia de 320 MHz (diseño Alcatel AME SPACE).

Por tanto, con estas técnicas, es posible prever nuevos esquemas de repetidores totalmente configurables en frecuencia y anchuras de canales, mediante osciladores sintetizados que cubran la totalidad de las sub-bandas asignadas, así como bancos de filtros SAW que respondan a las anchuras de canales utilizadas normalmente (36, 54, 72, 112 MHz).

Debido a su nivel de estandarización, un equipo como éste, basado en

la noción de canal integrado, podría ser fabricado y probado antes del programa, y configurado y entregado en un plazo mínimo para una aplicación determinada. Una estructura de este tipo reduciría considerablemente la complejidad de los anillos de redundancia.

Así pues, se están llevando a cabo estudios sobre nuevos sistemas, así como investigaciones sobre los componentes de base, que permiten esperar ganancias de masa considerables a nivel de toda la carga útil.

Conclusión

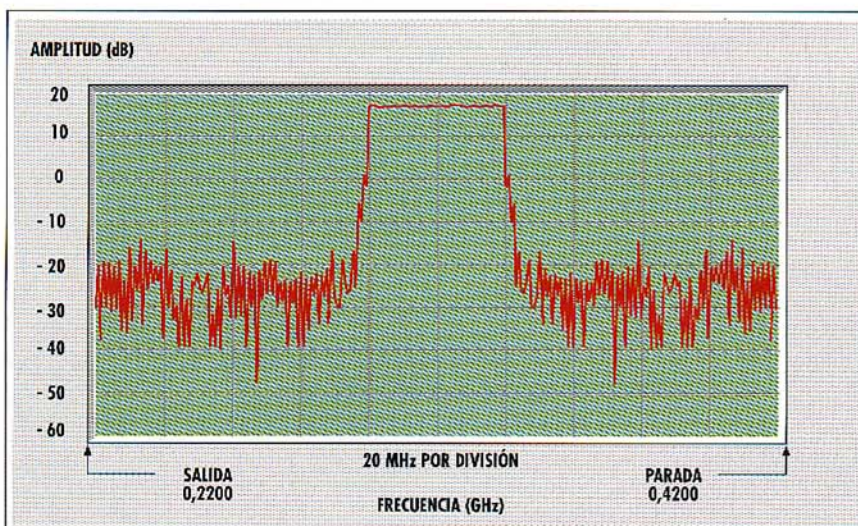
Las evoluciones técnicas y tecnológicas ya registradas, o previstas a corto plazo, están revolucionando las cargas útiles para satélites de telecomunicaciones. Dichas evoluciones conducen, o conducirán, indiscutiblemente, a una miniaturización espectacular que permitirá diseñar sistemas más complejos y más flexibles, ya que serán más fácilmente reconfigurables. Esta miniaturización también tiene la ventaja de ser compatible con una importante estandarización de las funciones electrónicas de equipos diferentes. La presión constante del mercado para que se reduzca el plazo industrial se benefi-

ciará de esta estandarización, ya que se podrá disponer con antelación de los "ladrillos de base" de los equipos de un programa de satélite. Por último, destaquemos que esta revolución no ha hecho más que empezar, sabiendo ya que este nivel de integración avanzado puede volver a poner totalmente en tela de juicio los desgloses tradicionales en los equipos de una carga útil.

Gerard Floury nació en 1944 en Lavaveix Les Mines, Francia. Obtuvo una licenciatura de física en la Faculté des Sciences de Marseille, Francia, en 1965 y un diploma de ingeniero en el ENSEEIH de Toulouse en 1967. Este mismo año se incorporó al laboratorio de radioelectricidad de la sociedad TRT/Philips, en donde trabajó sucesivamente en sistemas de radiocomunicaciones militares para submarinos y navíos de superficie, emisores de televisión y, después, en emisores-receptores de haces hertzianos de telefonía y televisión. En 1988 se incorporó a Alcatel Espace en Toulouse en donde es, desde entonces, responsable de la línea de productos de repetidores de satélites.

Jean-Louis Cazaux nació en 1960 en Tarbes, Francia. Cursó estudios de física y electrónica hasta obtener el título de doctor del INSA de Toulouse en 1985. De 1982 a 1986 trabajó en LAAS-CNRS, Toulouse en el modelado y en las aplicaciones de los MESFET de AsGa con perfil de dopaje no uniforme. En 1987, realizó un postdoctorado en la Universidad de Michigan, en Ann Arbor, EE.UU., con investigaciones sobre el diseño de MMIC basado en HEMT. En 1988, se incorpora a Alcatel Espace, Toulouse como diseñador de MMIC y después como responsable de los estudios de módulos para antenas activas de radares espaciales. En la actualidad se encarga de la coordinación de los estudios hiperfrecuencias en el seno del departamento de repetidores y participa activamente en la introducción de los MMIC en los equipos de Alcatel Espace.

Figura 2 - Respuesta de filtro de canal SAW en frecuencia intermedia



Tecnologías de encapsulado para equipamiento en satélite

A. Coello-Vera

Alcatel Espace, Toulouse, Francia

Introducción

Las tecnologías de encapsulado juegan un papel clave en los equipos para satélites. Estas tecnologías son determinantes para las prestaciones generales como ocurre con cualquier subsistema electrónico, ya sea de telecomunicaciones, ordenadores, automoción, etc. Los factores clave, como la velocidad, anchura de banda, operación en alta frecuencia, disipación de energía y compatibilidad electromagnética están condicionados por la elección de las tecnologías de encapsulado e interconexión.

Sin embargo dichas tecnologías tienen aún una importancia mayor para los satélites. Esto es debido a que la masa, volumen y la fiabilidad que son muy dependientes de las tecnologías de encapsulado e interconexión son extremadamente importantes en el espacio. Masa y volumen tienen su recompensa en los satélites. Reduciendo la masa del subsistema podemos utilizar menores lanzaderas (por lo tanto más baratas), o más habitualmente, mediante la reducción de masa y volumen de equipo se puede dotar a un satélite dado con prestaciones extra. Algunas de estas posibilidades podrían consistir, por ejemplo, en incorporar más canales para funciones adicionales o más combustible para alargar la vida útil del mismo. Hay que tener en cuenta que durante la vida de un satélite las correcciones orbitales (debido a la magnitud de las fuerzas perturbadoras gravitacionales del sol y de la luna puede suceder que el plano de la órbita gire con una velocidad de casi un grado por año) pueden requerir hasta 20 kg de combustible por tonelada de satélite, y en la mayor parte de los

casos constituye el mayor factor limitativo de la vida útil de los satélites geoestacionarios. Una cifra de mérito habitualmente utilizada indica un ahorro de 50 K\$ por cada kilo de equipo de carga útil eliminado. Esto significa que a la hora de seleccionar los materiales y los procesos, la solución tecnológica de menor coste (en el sentido habitual de otros sectores tecnológicos) no proporciona necesariamente el mínimo coste global, puesto que la reducción en peso y volumen son igualmente importantes.

Es bien conocido que la fiabilidad tiene una importancia máxima para cualquier vehículo espacial. Esto se debe principalmente al hecho de que los satélites no pueden repararse una vez que están en su órbita. Un satélite geoestacionario tiene una vida típica de quince años y todo el equipo a bordo debe funcionar sin fallos durante ese periodo de tiempo. El encapsulado y la interconexión son críticos dentro de ese objetivo de fiabilidad, ya que un fallo de una conexión eléctrica es la causa más común de un fallo en el equipo.

Aceleración estática	20-30 g
Aceleración dinámica de baja frecuencia	10-12 g
Vibración aleatoria	30 g RMS
Choque	1000 g

Tabla 1 - Parámetros típicos de lanzamiento

Condiciones del entorno espacial

La elección de las tecnologías de encapsulado e interconexión para equipos espaciales no solo está restringida por las condiciones y requisitos de funcionamiento en órbita sino también por la necesidad de sobrevivir a la manipulación en tierra y a las condiciones del lanzamiento.

Durante la ascensión del vehículo de lanzamiento, la nave tiene que sufrir unas condiciones bastante severas de vibración mecánica y acústica donde los niveles más importantes se alcanzan durante la elevación, encendido y apagado de motores, separación y expulsión de los principales propulsores auxiliares, y la separación entre el satélite y el vehículo. La **Tabla 1** nos

Tabla 2 - Parámetros típicos en el espacio

	Satélites geoestacionarios (altitud 36000 km)	Satélites de baja órbita (altitud 200 a 900 km)
Radiación UV	10-1400 Wm ⁻² µm ⁻¹	10-1400 Wm ⁻² µm ⁻¹
Oxígeno atómico	Despreciable	3,3x10 ¹⁶ - 3,3x10 ²⁰ átomos/cm ²
Radiación	Dosis total 50 MRAD	Dosis total 1 MRAD
Vacío	<10 ⁻¹³ Torr	<10 ⁻¹⁰ Torr
Temperatura	-170°C < T < +150°C	-100°C < T < +100°C
Ciclos térmicos	500 a 1000 por año	5000 por año

muestra los parámetros típicos aplicables al equipo en esta fase de lanzamiento. Los factores restrictivos debidos al entorno espacial se resumen en la **Tabla 2**.

Las consecuencias de la radiación UV y del oxígeno atómico se pueden observar principalmente en los materiales expuestos en el exterior del satélite. La radiación UV degrada las características mecánicas y termoópticas mientras que el oxígeno atómico favorece la degradación y la corrosión a través de re combinaciones preferentes con metales y polímeros. El equipo de carga útil se ve muy poco afectado, salvo en las antenas activas donde se puede tener alguna circuitería electrónica en el exterior de la cápsula del satélite.

La radiación puede provenir de diferentes fuentes:

- electrones y protones de los cinturones de Van Allen
- protones de alta energía e iones pesados procedentes de erupciones solares
- rayos cósmicos.

El límite de radiación para un satélite depende de la órbita y de las fechas, y tiene que ser calculado para cada caso en particular. Los efectos de la radiación afectan principalmente a los componentes electrónicos utilizados en el satélite, aunque los materiales orgánicos exteriores al satélite también pueden verse afectados en sus características mecánicas y termoópticas.

Las condiciones de vacío son de gran importancia en la elección de los materiales de encapsulado. La extracción de los gases de los materiales no metálicos puede originar alteraciones de las dimensiones y los compuestos gaseosos extraídos pueden a su vez condensarse y contaminar a las superficies expuestas. La Agencia Espacial Europea tiene unos criterios muy bien definidos (ESA PSS 01-702) y todos los materiales usados deben cumplir los requisitos tal como se detalla en la norma PSS.

Sólo pueden existir intercambios térmicos por radiación. El equilibrio

térmico es el resultado entre la radiación incidente (radiación solar directa más radiación solar reflejada por la tierra) y la radiación térmica emitida por el satélite al espacio exterior. Una característica especial de los equipos espaciales es que todo el calor tiene que ser evacuado solamente por conducción (hasta una superficie exterior desde donde se radia). Los límites de la temperatura que se muestran en la **Tabla 2** son los del entorno espacial y se refieren a las partes no protegidas del satélite. Los satélites incorporan técnicas de control térmico que hacen que la temperatura del entorno vista por el equipo de carga útil sea mucho menos exigente: $-10^{\circ}\text{C} < T < +55^{\circ}\text{C}$.

La Agencia Espacial Europea, a través de sus documentos PSS, ha definido claramente los requisitos y procedimientos de prueba para materiales y procesos utilizados en equipos espaciales. Esta reglamentación PSS se basa a menudo en los MIL STD.

Equipos para satélites

Los satélites tradicionales de telecomunicaciones eran "mudos" reflectores que podían recibir, amplificar y transmitir una señal de microondas. Por lo tanto la mayor parte del equipo implicaba generalmente circuitos de microondas con su fuente de alimentación asociada y su acondicionamiento. Las tecnologías de encapsulado consistían principalmente en encapsulados para microondas. Los modernos satélites son mucho más complejos y utilizan circuitos digitales de VLSI para incorporar funciones de órdenes y de control a la mayoría de los circuitos de microondas. La conmutación y el proceso de señal a bordo aumentan la complejidad de las funciones digitales que se pueden encontrar en los satélites de telecomunicación. Las tecnologías de encapsulado e interconexión deben tener en cuenta la naturaleza mixta de las señales en los equipos a fin de optimizar simultáneamente las partes digitales y de microondas.

Los satélites de observación tienen una enorme necesidad de almacena-

miento masivo de imágenes y pueden o bien remitir los datos sin procesar a tierra o realizar algunas tareas previas de proceso de imágenes. El almacenamiento masivo ha sido asegurado en el pasado mediante almacenamiento magnético que es a la vez voluminoso y poco fiable. La tendencia hoy en día es la de utilizar circuitos de memoria de alta densidad para fabricar equipos de almacenamiento masivo de estado sólido. Esta aplicación ofrece un enorme desafío en cuanto a encapsulado e interconexión, ya que, por ejemplo, un equipo típico de 30 Gbit necesitaría 30000 chips de 1 Mbit, ó 7500 chips de 4 Mbit, ó 1875 chips de 16 Mbit que es la mayor densidad de memoria disponible por circuito hoy en día. Además hay alrededor de unos 300 ASIC de control y algunas otras placas digitales.

Los procesadores de a bordo se están convirtiendo también en un equipamiento importante a medida que la complejidad de los satélites aumenta, pero en general las funciones digitales no pueden utilizar las tecnologías CMOS más avanzadas debido a los requisitos de inmunidad frente a la radiación. Los microprocesadores y los ASIC para aplicaciones espaciales necesitan utilizar tecnologías tolerantes a la radiación o resistentes a la misma, lo que limita la elección de suministradores.

Las antenas pueden ser pasivas o activas. Las antenas pasivas reflectoras y los alimentadores constituyen el mayor estímulo para el desarrollo de materiales. Compuestos, metales y aleaciones así como tratamientos superficiales constituyen las principales áreas de trabajo. Por otra parte, las antenas activas son subsistemas electrónicos de tecnologías mixtas y de señales mixtas incluyendo los elementos radiantes (*Fotos F a I* en "Antenas para satélites de comunicaciones" de G. Duret en este número).

Tecnologías

Es evidente partiendo de las anteriores descripciones que el equipamiento para satélites implica subsistemas alta-

mente complejos que incluyen señales de microondas (de uno a 60 GHz), funciones digitales, almacenamiento masivo, acondicionamiento de la potencia y antenas. Deben encapsularse e interconectarse con el mínimo peso y volumen posible y con una garantía de hasta 15 años de vida útil.

Las tecnologías calificadas existentes en Alcatel Espace incluyen:

- montaje superficial (incluyendo encapsulados con terminales de alta densidad) y tecnologías de película gruesa para funciones digitales
- MHIC de película delgada (circuitos integrados híbridos de microondas), incluyendo MMIC para funciones de microondas.

Estas tecnologías se ilustran en el artículo "Aportación de las nuevas tecnologías en los repetidores de satélites" por G. Flourey y J.L. Cazaux en este número. Aquí se presentan otros dos ejemplos: módulos de transmisión-recepción para equipos de tecnología mixta y señales mixtas y módulos de memoria para equipos digitales de alta densidad.

Módulos de transmisión-recepción

Las redes activas de antenas están reemplazando gradualmente a las antenas convencionales en los sistemas ubicados en tierra y en el espacio en dos áreas principales de aplicación: el radar y las telecomunicaciones. En el terreno de las telecomunicaciones, las redes activas de antenas tienen un gran potencial para proporcionar cobertura reconfigurable de la antena durante el tiempo de vida de la misión, y/o para suministrar comunicaciones de altas prestaciones con estaciones fijas o móviles.

En el terreno del radar, una de las aplicaciones más prometedoras es el radar de apertura sintética (SAR) para ubicación en el espacio. Actualmente estos radares están siendo desarrollados, en especial para sistemas de supervisión del medio ambiente.

En el corazón del sistema de antenas activas está el módulo transmisor-

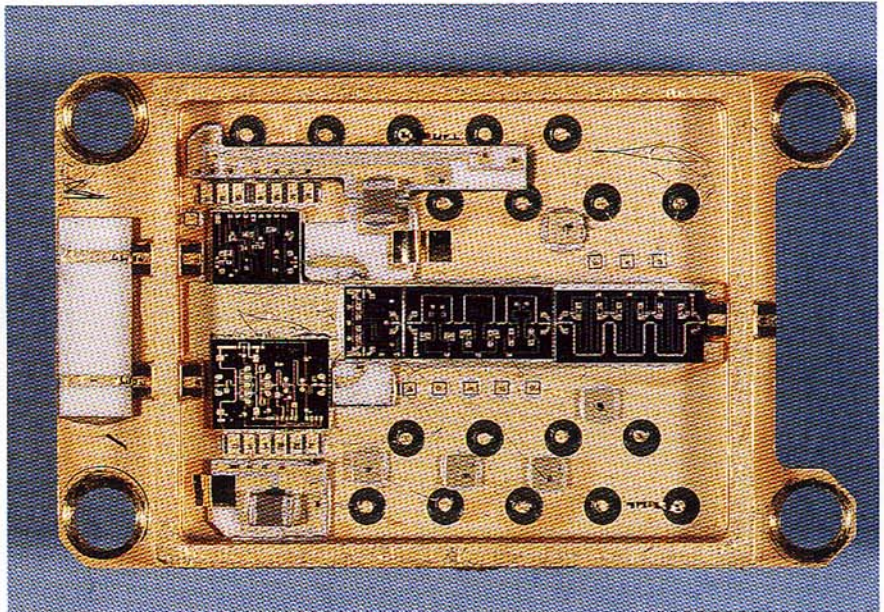


Foto A - Vista de un módulo hermético de microondas abierto

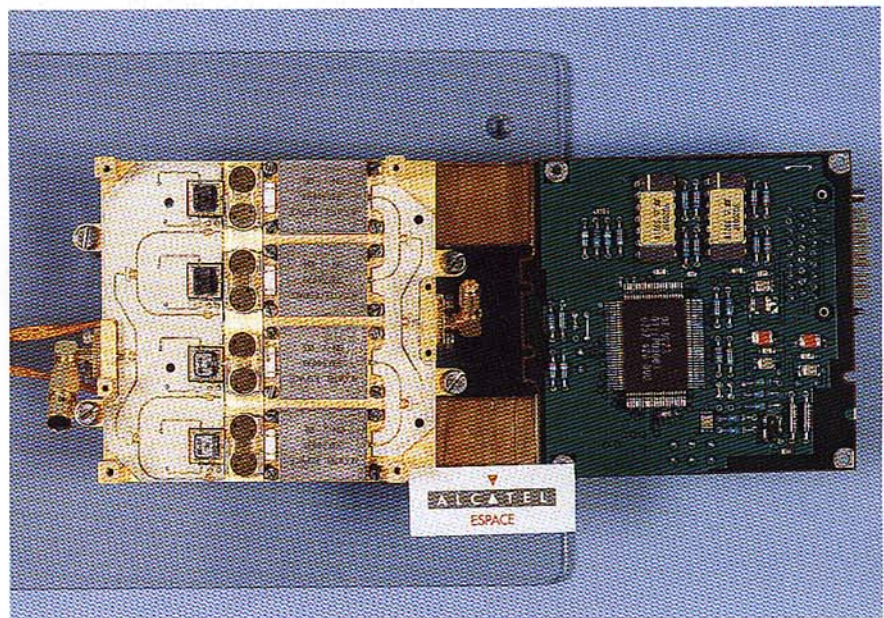


Foto B - Módulo transmisor-receptor para un radar ubicado en el espacio

receptor (T/R). Un sistema de antenas activas para un SAR puede incorporar desde unos pocos centenares de estos módulos hasta algunos millares. Estos módulos T/R realizan el procesamiento básico de la señal de microondas para la formación del haz, incluyendo el desplazamiento controlado de la fase, la amplificación de ganancia controlada en los caminos de transmisión y de recepción, la conmutación de la polarización y la conmutación entre transmisión/recepción. Debido a la complejidad de este

procesado de señal y a la necesidad del control independiente de un gran número de módulos T/R, se necesita un tipo de inteligencia distribuida en el sistema. Esto se consigue habitualmente añadiendo una unidad de proceso digital a las unidades funcionales de microondas, que recibe las órdenes digitales de una unidad de proceso central, las convierte en señales analógicas o digitales para el control de las unidades funcionales de microondas, realiza las funciones de conmutación de las fuentes de

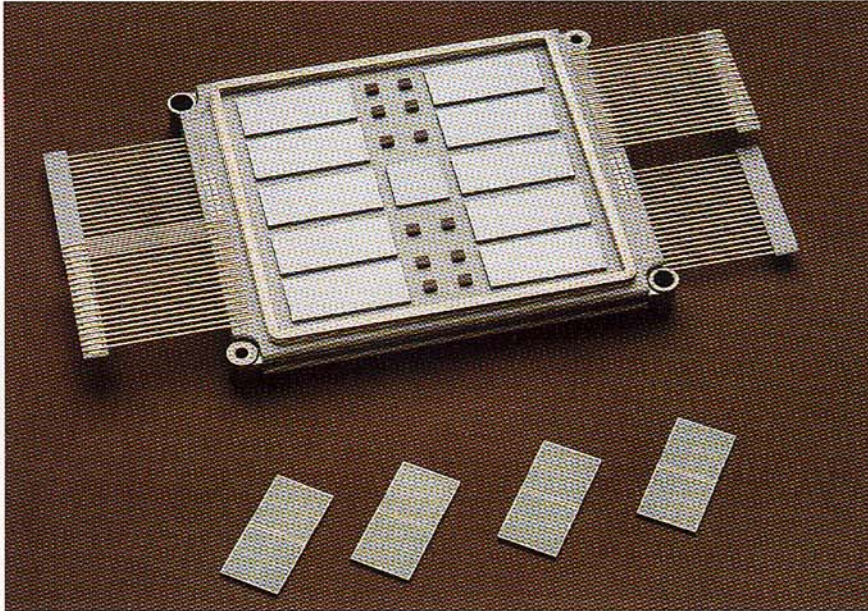


Foto C - Módulo de memoria multichip Alcatel-IBM

alimentación y también realiza las funciones de diagnóstico y de supervisión para informar a la unidad de proceso central en un formato digital.

Para cualquier sistema ubicado en el espacio, uno de los objetivos más importantes de diseño es la minimización de las dimensiones y del peso. En el caso de módulos T/R este objetivo tiene un énfasis espacial debido a:

- que las dimensiones laterales máximas de los módulos T/R deben limitarse a una fracción de la longitud de onda de la señal de microondas, que es también el paso entre elementos radiantes de la antena sobre los que se montan habitualmente los módulos.
- que por el gran número de módulos T/R, la máxima reducción del peso se debe conseguir a nivel de módulo a fin de alcanzar un peso de antena compatible con las posibilidades de la disposición de los satélites dentro del vehículo lanzador y del propio vehículo.

A fin de conseguir estos objetivos, Alcatel Espace ha desarrollado circuitos avanzados MMIC en AsGa para las unidades de proceso en microondas a la vez que circuitos a la medida en tecnologías CMOS y BI-CMOS para las

unidades de proceso digital. Estos desarrollos por sí mismos no pueden alcanzar la miniaturización suficiente del módulo de T/R. También ha sido necesario desarrollar tecnologías de encapsulado avanzado para las unidades funcionales de órdenes y de microondas. Para el proyecto Radar-2000, por ejemplo, los cinco circuitos MMIC a la medida que constituyen la unidad funcional de microondas, están encapsulados en una cápsula MCM hermética de 25 x 13 x 3 mm (peso 5 g) como se muestra en la Foto A. En este MCM hay dos requisitos tecnológicos que constituyen un desafío: la separación entre circuitos MMIC de AsGa ($\approx 100 \mu\text{m}$) y la precisión en su posicionamiento ($\approx 20 \mu\text{m}$). Cuatro unidades funcionales de microondas y una unidad de órdenes/control/alimentación/calibración están encapsuladas en un módulo múltiple (de cuatro componentes) de 72 x 65 x 13 mm y de 136 gr de peso (Foto B).

A pesar de este logro tan notable, se prevé que se necesitan todavía mayores reducciones en tamaño y peso en la próxima generación de SAR ubicadas en el espacio. Esta necesidad está motivada por las siguientes tendencias:

- los SAR avanzados incluirán funcionalidades adicionales (p. ej.;

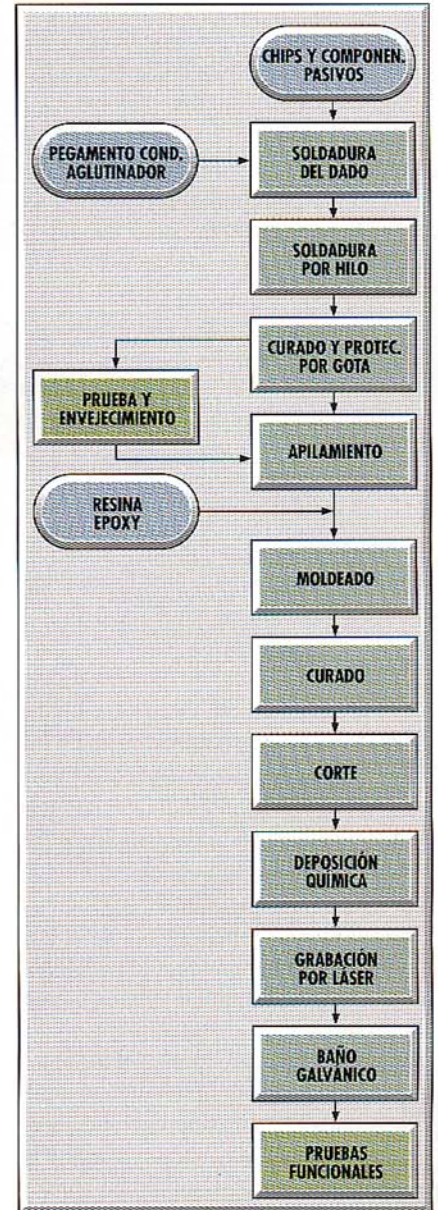


Figura 1 - Diagrama de flujo para fabricación para apilamientos en 3-D

SAR con frecuencia dual, capacidad en banda C y en banda X y en el mismo instrumento)

- la próxima generación de SAR puede incluir un mayor número de módulos T/R (aproximadamente unos 20000) que permitirán una mejora del presupuesto eléctrico del radar.

Por ello, es necesario desarrollar tecnologías de encapsulado e interconexión que permitan la integración de funciones digitales de microondas a

nivel 1: módulos multichip híbridos ó MCM. Hoy en día la integración MCM es la mejor elección, ya que la integración monolítica completa de estos sistemas de microondas de señales mixtas todavía está bastante lejana. Estos MCM de tecnología mixta y con señales mixtas son un impulso tecnológico importante de los equipos de satélites.

Módulos de memoria

Debido al gran número de circuitos utilizados para los sistemas de almacenamiento masivo es necesaria una tecnología de encapsulado de muy alta densidad. Los módulos multichip con soldadura de los chips boca abajo (*flip-chip*) proporcionan el mejor compromiso de todas las tecnologías actuales. Alcatel Espace ha formado equipo con IBM para desarrollar memorias MCM para aplicaciones espaciales (*Foto C*) [1]. Utiliza un sustrato multicapa recocido a alta temperatura (HTCC) sobre el que se han montado diez chips de 16 Mbit de memoria DRAM y un ASIC con tecnología *flip-chip*. Dos de estos sustratos se han colocado espalda con espalda dentro de un encapsulado hermético a fin de obtener un módulo de memoria de 320 Mbit.

Considerando las necesidades del futuro, aún se necesitan tecnologías de mayor densidad. Tras montar los chips muy cerca unos de los otros en dos dimensiones, el siguiente paso lógico es el de apilarlos en la tercera dimensión. Después de un cuidadoso análisis de las tecnologías disponibles de apilamiento, Alcatel Espace decidió comprar una licencia de una tecnología patentada por Thomson-CSF [2]. Esta tecnología consiste en un proceso de interconexión tridimensional que proporciona un denso empaquetamiento de circuitos sin encapsular, permite apilar circuitos diversos, no requiere ningún proceso especial de los circuitos y permite un trazado de interconexión a la medida. El diagrama de flujo de la fabricación se muestra en la *Figura 1*.

El proceso comienza con la soldadura por hilo; no se requiere ningún

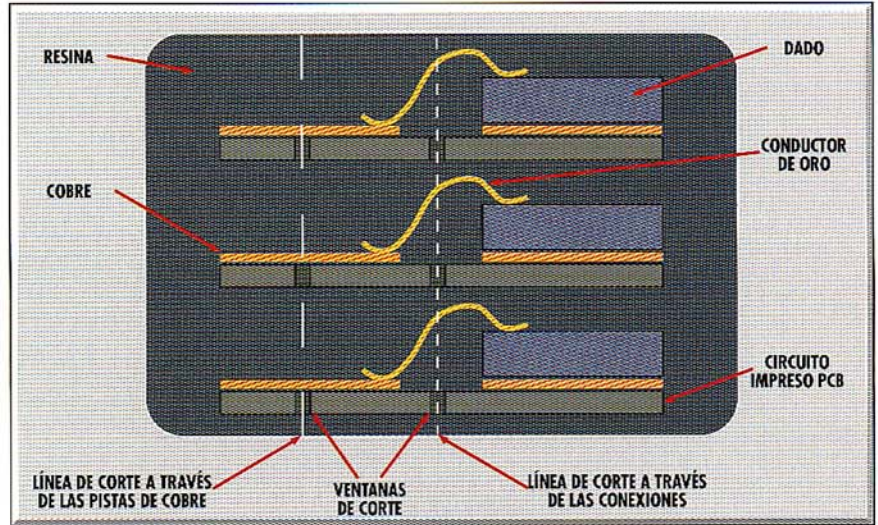


Figura 2 - Diagrama de corte de un apilamiento moldeado en 3-D

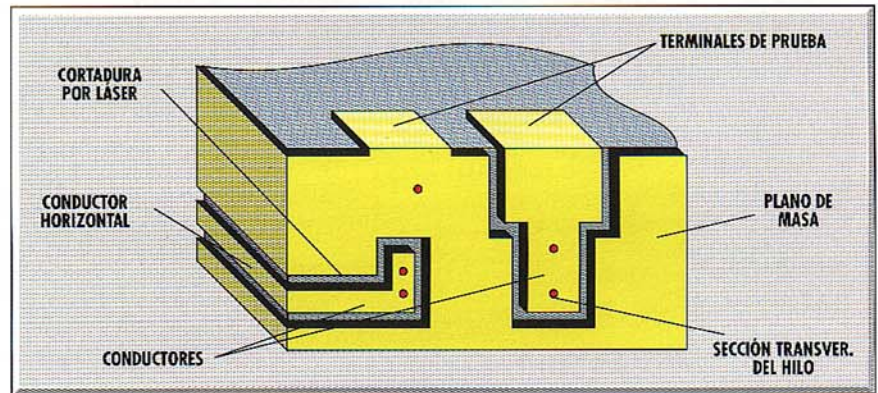
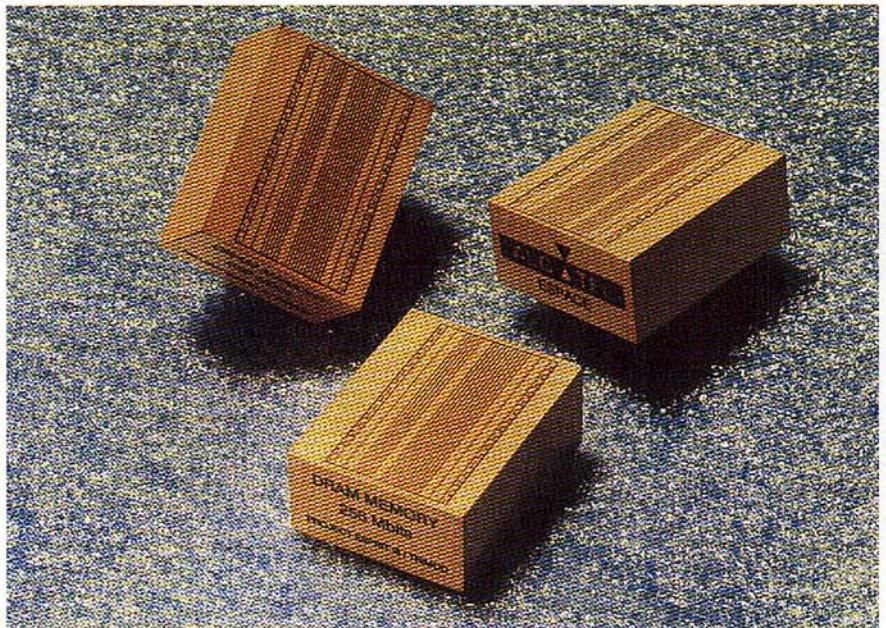


Figura 3 - Configuración de una cara de un apilamiento en 3-D

Foto D - Apilamiento de memoria en 3-D - 256 Mbit en un volumen de 4.0 cm³



	Peso	Volumen	Densidad Gbit/litro	Densidad Gbit/kg	Coste
Tecnología MCM-C actual	18 kg	15 litros	2	1,6	1
SSMM utilizando apilamiento en 3-D	4 kg	5 litros	6	7,5	0,6

Tabla 3 - Mejora estimada al utilizar apilamiento en 3-D para un equipo de memoria de estado sólido de 30 Gbit

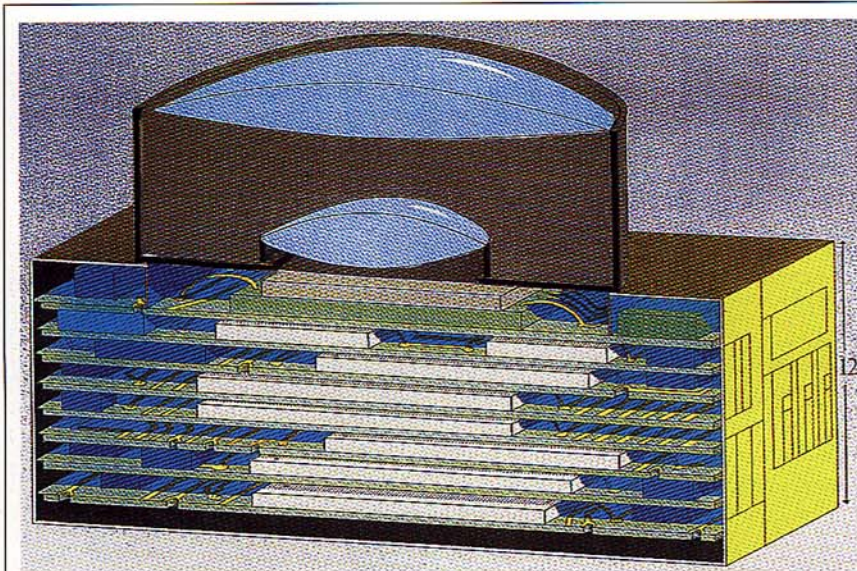


Foto E - Cámara integrada y sistema de compresión JPEG realizado en un MCM de 3-D

Un complejo microsistema, que usa una tecnología de módulos multichip ultradensos, ha sido desarrollado por el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Sheffield, Inglaterra. El módulo tridimensional integra un sistema heterogéneo que consta de una cámara de vídeo de grises y de un sistema de compresión JPEG. El módulo mide 19,5 x 14,5 x 12 mm e incorpora nueve chips de silicio y cuarenta componentes discretos (26 condensadores, 11 resistencias y 3 transistores) en ocho capas:

- 1 Cámara de grises
- 2 Convertidor analógico-digital y registro FIFO
- 3 Procesador transputer de 16-bits INMOS T225
- 4 SRAM de 32k x 8
- 5 SRAM de 32k x 8
- 6 Procesador transputer de 16-bits INMOS T225
- 7 Procesador transputer de 32-bits INMOS T425
- 8 Procesador transputer de 16-bits INMOS T225

La figura muestra una sección transversal del módulo con los componentes de superficie y chips montados sobre substratos y apilados verticalmente. La conexión entre los substratos se hace fuera de la estructura. Se muestra una lente montada sobre el módulo.

proceso adicional de las obleas. Se diseña y se compra un portacircuitos metalizado, PCB o cinta TAB para cada tipo de dado (circuito sin encapsular). Se sueldan los hilos desde las áreas reservadas del dado a las terminaciones de cobre del portacircuitos. Este proceso tiene muchas de las ventajas de la soldadura por TAB (soldadura automática por cinta), incluyendo las pruebas a nivel de dado, la posibilidad de envejecimiento por calor (*burn-in*) y un posicionamiento preciso de los componentes en la fase de ensamblado, mediante la utilización de los orificios de alineamiento de la cinta. Después de la soldadura y de la protección por gota, los circuitos se prueban eléctricamente y posteriormente se prueban de nuevo, si fuera necesario, una vez envejecidos por calor.

Los circuitos ya están disponibles para apilarlos. Los portacircuitos del tipo de circuito-sobre-cinta (*chip-on-tape*) se apilan unos sobre otros y se introducen en un molde con resina aislante de epoxy. Los orificios de alineamiento de la cinta ayudan a conseguir un alineamiento muy preciso. Posteriormente, se procede a curar el bloque resultante.

Después del proceso de curado del bloque, se recorta éste hasta formar un cubo, recortando la resina sobrante en lugares bien definidos. El proceso de recorte se puede ejecutar con una sierra de diamante o con alguna otra herramienta mecánica adecuada. El corte ideal se produce muy cerca del borde del dado más grande (suponiendo que se han apilado diversos tipos de chips) e intersecciona con los hilos de oro, obteniéndose un cubo de epoxy con la secciones transversales de los hilos de oro expuestos en las caras laterales del cubo. Cuando los circuitos son pequeños, y para las capas con dispositivos pasivos únicamente, la sierra corta a través de los conductores de cobre sobre el portacircuitos y su sección rectangular transversal aparece en el lado del cubo (**Figura 2**).

Se metaliza el cubo entero utilizando un proceso similar a la metalización a través de las vías de interconexión de las placas de circuito impreso. Pri-

meramente se deposita níquel por procedimientos químicos sobre todas las caras del cubo. Después del procedimiento de grabado por láser, se depositan electroquímicamente cobre, níquel y oro. El grabado del patrón de interconexión sobre las caras del cubo se genera mediante corte por láser. Un láser controlado por ordenador, que utiliza datos suministrados por el CAD, corta el metal y deja unas hendiduras que aíslan eléctricamente a los conductores del plano de masa. El perfil de corte se diseña para interseccionar con la sección transversal de los conductores sobre las caras del cubo tal como aparece en la **Figura 3**.

El cubo puede probarse eléctricamente y envejecerse por calor, pudiéndose montar sobre un sustrato por diversos procedimientos. Un método consiste en la fijación por montaje superficial utilizando zonas de soldadura definidas en la parte inferior del cubo que poseen engrosamientos de material soldable. Se suelda el cubo por calentamiento alineándolo con las pistas del sustrato, o también se puede soldar un marco con terminales a la parte inferior del cubo mediante láser. Otro procedimiento consiste en la fijación por circuito sobre sustrato, donde el cubo se inserta en un agujero en el sustrato y permanece en su sitio mediante conjuntos de disipadores de calor. Desde la superficie superior del cubo se sueldan y tienden hilos a las terminaciones de la placa de circuito impreso.

Alcatel Espace ha participado junto a Thomson-CSF y otros socios en el proyecto ESPRIT-TRIMOD. En este proyecto de dos años, que acaba en julio de 1994, se demostró la solidez y la fiabilidad de esta tecnología de apilamiento. La pila de tres dimensiones es solamente un encapsulado plástico, y las características específicas de sus interconexiones en 3-D son muy fiables.

Dentro del proyecto TRIMOD, Alcatel Espace ha realizado un cubo de memoria con una capacidad de 256 Mbit que incorpora circuitos de memoria DRAM de 16 Mbit (**Foto D**). El módulo que utiliza chips apilados mide 19 X 19,5 X 11 mm lo que repre-

senta un volumen total de 4,0 cm³, alcanzando una densidad de memoria por unidad de volumen de 64 Gbit por litro. Ésta es la mayor densidad de memoria de estado sólido de la que se tiene noticia hasta hoy día.

Cuando se utilicen estos módulos tridimensionales, los futuros sistemas con memoria masiva descubrirán unas ventajas significativas, como se puede ver en la **Tabla 3**.

Conclusiones

Las tecnologías de mayor densidad jugarán un papel significativo en la reducción de costes y en el incremento de las capacidades funcionales de los equipos de la próxima generación de satélites. El sector espacial tendrá que apresurarse en el aprovechamiento de las tecnologías introducidas por otros sectores de la electrónica. Las tecnologías de apilamiento en 3-D parecen muy prometedoras para este fin. La **Foto E** muestra un último ejemplo de las posibilidades del apilamiento en tres dimensiones. Es una cámara completa de vídeo que también ha sido desarrollada dentro del proyecto ESPRIT-TRIMOD por la Universidad de Sheffield. Ilustra las verdaderas posibilidades de los microsistemas/multichips de la tecnología de apilamiento de Thomson-CSF.

Agradecimientos

El autor agradece el continuo soporte del Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) para el desarrollo de las tecnologías en Alcatel Espace. La ayuda de la CEE al desarrollo de la tecnología de apilamiento tridimensional ha contribuido al amplio reconocimiento que goza hoy en día. El autor agradece también a los miembros del servicio tecnológico por haber suministrado una valiosa información y fotografías.

Referencias

- 1 A. Coello-Vera y otros: High-Performance Solid State Mass Memory Modules Proc., Advanced Research Workshop NATO MCM-C de 1994, Cheeca Lodge, Florida Keys, EE.UU. Co-patrocinado por ISHM
- 2 C. Val y M. Leroy: The 3D Interconnection - Application for Mass Memories and Microprocessors, Proc. de la Conferencia de 1991 ISHM págs. 62-67, Orlando, Florida. Nov 1991

Agustín Coello-Vera nació 1949 en San Sebastián de la Gomera, España. Se graduó en Físicas (MA) y obtuvo los grados de MS y PhD en Electrical Engineering and Computer Science en la Universidad de California en Santa Bárbara. Trabajó como investigador para el Instituto Quantum de Santa Bárbara en diseño de SONAR y proceso de imágenes, y también en células solares de silicio para la ETSI de Telecomunicación de Madrid. Posteriormente se incorporó a la compañía de semiconductores TRW en Los Ángeles para trabajar en el diseño de dispositivos de RF. Más tarde se integró en Thomson Semiconductores en Tours, Francia como jefe de ingeniería de dispositivos RF y posteriormente como jefe de fabricación de obleas. En 1986 se incorporó a IIT Standard Eléctrica como jefe de diseño de VLSI. En 1989 se trasladó a Alcatel Espace en Toulouse, Francia, donde actualmente ocupa el puesto de jefe de servicio tecnológico.

Notas de investigación

Breve repaso de algunos de los logros de los laboratorios de los centros de investigación de Alcatel en todo el mundo

Supercondensadores para aplicaciones de telecomunicaciones

Los supercondensadores se encuentran entre las baterías y los condensadores normales. Para el mismo volumen, la capacitancia de los supercondensadores es cien veces la de los condensadores de dieléctrico convencionales. Su potencia específica es hasta cien veces las de las baterías, aunque su densidad de energía es de veinte a cincuenta veces menor. El tiempo de vida esperado es mucho mayor que el de los generadores electroquímicos y comparable al de los componentes pasivos.

Teniendo en cuenta estas características, el supercondensador puede ser considerado como una parte integral de cualquier tren de energía para funciones como almacenamiento de energía primario, filtrado, y energía de ráfagas en sistemas alimentados por baterías, encontrando una variedad de aplicaciones tanto en equipos de telecomunicación fijos como portátiles. Así como ejemplo, los radiotéfonos digitales celulares portátiles necesitan baterías con alta capacidad de energía y potencia. En la práctica, la capacidad energética de las nuevas baterías, tales como las de litio-carbono o níquel-metal-hídrido, es menor que las de níquel-cadmio. Una solución interesante es la unión de un supercondensador directamente en paralelo con la batería para compensar su impedancia e incrementar los recursos de energía de pico de la fuente durante la transmisión.

Transmisión de solitones multiplexados por división de longitud de onda a 10 Gbit/s

Los solitones son pulsos estables que se propagan sin distorsión a través de fibras monomodo, debido a una perfecta compensación entre los efectos de dispersión y los no lineales. Los solitones se usarán en los futuros sistemas transoceánicos como el dígito elemental para codificar numéricamente la información. En los sistemas prácticos, las pérdidas en la fibra se compensarán con amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA) espaciados de forma regular, para mantener el efecto solitón en todo el enlace.

Una de las principales ventajas es que, al contrario que el formato NRZ (sin retorno a cero), los solitones de diferentes canales de un sistema WDM no interactúan; esta propiedad abre el camino para incrementar la capacidad del sistema.

Recientemente, se ha obtenido el funcionamiento sin errores de dos canales WDM de 5 Gbit/s en distancias transoceánicas usando la propagación por solitones. Para disminuir la interacción entre la señal y el ruido generado por los amplificadores ópticos, se han empleado con éxito los nuevos filtros fotorretráctivos en línea, directamente escritos sobre el núcleo de la fibra. Los solitones generados por un modulador de electroabsorción tenían una amplitud de 40 ps y se lanzaron dentro de un bucle amplificado que simulaba los sistemas de transmisión a larga distancia mediante la recirculación de pulsos múltiples.

Recuperación del reloj totalmente óptica para regeneración de solitones y demultiplexación temporal

En los sistemas de transmisión a alta velocidad, la recuperación del reloj es una función clave requerida en al menos dos importantes técnicas de proceso, la demultiplexación temporal y la regeneración de solitones mediante modulación síncrona. La demultiplexación temporal requiere naturalmente una referencia de tiempos para la selección de canales. Los sistemas de solitones están básicamente limitados por el jitter temporal, y se puede alcanzar la retemporización aplicando una modulación sinusoidal a los pulsos de solitones, ello también presupone una referencia de tiempos. Para superar las limitaciones de anchura de banda electrónica se están investigando nuevas técnicas optoelectrónicas y totalmente ópticas. La recuperación de reloj totalmente óptica mediante FM en modo bloqueado de un láser de fibra se ha demostrado con éxito en el centro de investigación de Alcatel. El modulador consta de 10 km de fibra. Una secuencia pseudo-aleatoria a 5 Gbit/s induce un desplazamiento de fase por el efecto Kerr, el cual sincroniza el pulso que circula en la cavidad del láser. Se ha observado la tolerancia a largas secuencias de ceros (p. ej., 32). Este método tiene una velocidad de proceso potencial de 50 Gbit/s.

Generación de pulsos de solitones para sistemas transoceánicos de alta capacidad

La generación de pulsos de 40 a 10 ps para la transmisión de solitones a larga distancia a velocidades de 5 a 20 Gbit/s se puede lograr mediante la modulación sinusoidal de componentes semiconductores y la modulación de intensidad del tren de pulsos para la codificación de datos. Las dos principales técnicas que se han investigado en el mundo durante los dos últimos años son:

- conmutación de la ganancia de un diodo láser seguida por la compresión de pulsos a través de una fibra dispersiva
- modulación de la intensidad de una emisión de luz de onda continua a través de un modulador de electro-absorción.

Ambas técnicas se han comparado en el centro de investigación de Alcatel en pruebas de transmisión a 5 Gbit/s sobre distancias transoceánicas. Las características de los pulsos, como el producto tiempo-anchura de banda, relación de extinción y jitter de frecuencia y tiempo, se han optimizado ajustando las entradas eléctricas a los componentes. Se han obtenido tasas de errores binarios menores de 10^{-9} tras 10000 km de propagación, para ambas fuentes. La mejor fuente de solitones se determinará en pruebas de transmisión WDM (multiplexación por división de la longitud de onda) de 4 x 5 Gbit/s, que están en curso en el centro de investigación de Alcatel.

Módulos multichip con antenas planares para comunicaciones de corto alcance de 38 GHz

Se han realizado pequeños módulos transmisores/receptores para comunicaciones de corto alcance a longitudes de onda milimétricas, que incorporan una antena polar de elementos de 7 x 7 mm. Toda la sección de RF, consistente en un amplificador de AsGa, un oscilador controlado por tensión, un duplexor y la antena, está ubicada un módulo multichip herméticamente sellado de sólo 25 x 35 x 5 mm. Con una potencia de salida de 15 mW a 38 GHz, se puede alcanzar una distancia de hasta 200 m con una excelente cifra de ruido. Un IF de 2 GHz con una anchura de banda de 20 MHz permite la transmisión de voz o de video. Las principales áreas de aplicación previstas son las redes de área local basadas en radio, la transferencia de datos sin hilos para sistemas automáticos de carretera y logística.

Generación de señales de 2,5 Gbit/s sin chirp

Las futuras redes ópticas de alta capacidad necesitarán convertidores de longitud de onda totalmente ópticos como elementos funcionales básicos. Una de las claves es el bajo chirp, que se puede lograr con un nuevo tipo de convertidor de longitud de onda de interferómetro Mach-Zehnder (MZI). Alcatel ha realizado los primeros convertidores de longitud de onda MZI integrados monolíticamente aplicables en una ventana de 50 nm en el margen de 1550 nm. Estos dispositivos muestran una fuerte mejora de la calidad de la señal al reducirse el chirp y mejorarse la relación de extinción respecto a la señal entrante. Se ha demostrado con una medida de la tasa de errores binarios (BER) tras una transmisión a larga distancia de datos de 2,5 Gbit/s (PRBS de 27-1). Mientras la señal de entrada no convertida muestra una penalidad de dispersión de 0,8 dB con un BER = 10^{-10} después de 100 km de una fibra monomodo estándar, la señal de salida convertida muestra una penalidad menor de 0,2 dB en la misma distancia. Incluso para 198 km de fibra estándar, la penalidad es de sólo 0,5 dB.

Últimas solicitudes de patentes

Solicitudes de patentes recientemente registradas por Compañías del grupo Alcatel (la lista no incluye patentes equivalentes en otros países).

Esta lista puede incluir solicitudes de Modelos de utilidad. Para EE.UU. y Suiza en lugar de solicitudes de patentes, se incluyen patentes concedidas. Esta solicitudes/patentes pueden solicitarse a las correspondientes oficinas nacionales de Patentes.

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
SOLICITUDES DE PATENTES AUSTRALIANAS:		
The Electrical Coupling Connector Element Assembly	D.L. Van Emmerik	84 46
TV/VF Splitter	B.F. Orr	82 25
Coin Validation Process	N. Jamons	90 95
Current Control Circuit	M.D. Wild, R.C.S. Fox	88 69
Foldback Current Limiting of a Telephone Line Switch	K.A. Crowe	82 35
SOLICITUDES DE PATENTES FRANCESAS:		
Procédé de contrôle de la polarité d'un signal numérique et circuits intégrés mettant en œuvre ce procédé	V. Andrieu	93 03 209
Récepteur numérique à fréquence intermédiaire et procédé de filtrage en bande de base mis en œuvre dans ce récepteur	F. Gourgue	93 02 948
Tête optique pour système de communication à fibre optique	E. Grad, T. Thouvenot, R. Meilleur	93 02 112
Dispositif de calage de phase de chacun des paquets d'un signal numérique à modulation de phase, comprenant un module de correction pilote par une information fournie successivement par deux circuits distincts de calcul, et récepteur correspondant	M. Kimiavi	93 00 051
Source semi-conductrice d'impulsions optiques à commutation de gain et système de transmission à soliton	E. Brun, J. Chesnoy, J.P. Hamaide, D. Lesterlin	93 00 473
Dispositif de gestion de mémoire tampon de cellules	M. Henrion	93 03 763
Nœud de commutation asynchrone distribuant dynamiquement des cellules vers des sorties constituant un groupe dit irrégulier	M. Henrion	93 03 763
Structure rayonnante à directivité variable	G. Ragueneat, M. Gomez-Henry	93 03 502
Procédé de gestion des erreurs de transmission entre une station de base et un transcodeur dans un système de radiocommunication numérique, station de base et transcodeur correspondants	B.P. Dupuy, L. Cruchant, A. Jarvis, J.P. Poirault	93 02 309
Procédé pour allouer un intervalle de temps au sein d'une trame à un mobile accédant à une cellule de communication et station émetrice-réceptrice de base mettant en œuvre ce procédé	P. Dupuy	93 02 472
Procédé de contrôle de puissance du paquet d'accès émis par un mobile dans un système de radiocommunication et système mettant en œuvre ce procédé	F. Gourgue	93 02 701
Système de traitement de signalisation pour ensemble support de mode circuit d'une installation de télécommunications	R. Gass, C. Cordonnier	93 00 236
Réseau de commutation asynchrone pour cœur d'installation de communication	R. Gass	93 02 221
Procédé d'ajustement optimal de trames de parole et station d'émission/réception de base mettant en œuvre ce procédé	B.P. Dupuy	92 14 370
Dispositif de synchronisation pour un terminal de radiocommunication	F. Pinault	92 15 019
Dispositif de recherche d'une connexion entre un terminal et un système de radiocommunication	F. Pinault, C. Jouin	92 15 202
Dispositif de recherche de connexion d'un terminal à un réseau d'un système de radiocommunication comprenant plusieurs réseaux	F. Pinault, C. Jouin	92 15 203
Procédé de contrôle automatique de gain pour un récepteur à accès multiple à répartition dans le temps et dispositif pour sa mise en œuvre	F. Gourgue	92 15 615
Emetteur radio portable	C. Grangeat, F. Moisson-Franckhauser, M. Maignan	92 15 267
Nœud de commutation asynchrone distribuant dynamiquement des cellules vers des sorties constituant un groupe dit irrégulier	M. Henrion	93 03 764

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Mécanisme de filtrage de règles de production et moteur d'inférence pour système expert comportant un tel mécanisme	O. Paillet	93 05 834
Composant d'optique intégré et procédé d'élaboration d'un tel composant	M. Cornebois, P. Darbon, D. Tregoaat	93 06 229
Dispositif de rephasage d'un signal numérique transmis suivant une transmission synchrone et susceptible d'être affecté de gigue	S. Garando	93 06 230
Dispositif de détection de mot unique module en BPSK adapté à un modem analogique fonctionnant en mode TDMA et procédé de détection mis en œuvre dans un tel dispositif	P. Sehier, Y. Lepape	92 07 905
Dispositif support extractible pour équipement électronique	A. Bezieres, J.C. Villain	93 06 428
Procédé d'entrelacement d'une séquence d'éléments de données et dispositif d'entrelacement correspondant	F. Gourgue, F. de Seze	93 06 574
Sélection d'un satellite de rattachement	V. Kumar	93 06 793
Installation de radio-téléphonie à terminaux mobiles avec liaisons par satellite	A. Chiodini	93 06 792
Paquet de signalisation pour un système de communication	A. Chiodini, V. Kumar, J.M. Thienpont	93 06 792
Station de base d'un réseau cellulaire de type GSM, et procédé d'échange de données entre cette station de base et un mobile évoluant dans le réseau	P. Dupuy	93 06 426
Procédé de transfert intercellulaire, ou handover, entre deux cellules d'un réseau GSM	P. Dupuy	93 05 833
Dispositif de synchronisation pour un terminal de radiocommunication	F. Pinault	93 04 255
Multiplexeur n entrées/1 sortie, du type recevant en entrée n signaux d'horloge de même fréquence et déphasés les uns par rapport aux autres	G. Chartie, P. Albouy	93 03 769
Alignement de signaux générés par un ASIC	P. Albouy, G. Chartie	93 03 768
Installation de détection de fuites pour le contrôle d'étanchéité d'emballages scellés	B. Seigeot	93 04 191
Boucle à verrouillage de phase rapide	A. Gohn, M. Thomas	93 05 445
Câble électrique coaxial souple de tenue au feu améliorée	F.X. Guillaumond	93 04 756
Câble utilisable dans le domaine des télécommunications	L. Robert, F. Heliodore, S. Galaj, A. Le Mehaute	93 05 582
Dispositif d'interrogation et d'analyse d'un réseau de capteurs interférométriques de mesure en lumière polarisée	S. Teral, J. Boby	93 03 907
Dispositif de mesure interférométrique en lumière polarisée	S. Teral, A. Calsat	93 03 908
Boîtier hybride (MCM) hermétique superposable pour circuit intégré et son procédé d'assemblage	P. Audart, M. Masgrangeas	93 06 228
Procédé et dispositif pour le montage et le blocage en position angulaire d'une station de détection, fixe, mais orientable, pour système de localisation de personnes et/ou d'objets dans une zone surveillée	G. Thomas, L. Brignol, F. Christien, P. Virion	93 04 523
Dispositif de limitation de courant du type placé entre une carte électronique et des moyens d'alimentation	D. Peron, F. De Hauteclouque	93 06 361
Système de poursuite destiné à estimer l'erreur de pointage d'une antenne hyperfréquence	A. Kamouni, J.P. Blot, A. Bourgeois, C. Hunot, P. Dutriaux	93 05 835
Bloc guide-cartes	C. Ciret, C. Hugel	93 04 524
Système et procédé de transmission à solitons	O. Audouin, J.P. Hamaide	93 00 856
Centre satellite à technologie mixte photonique-électronique pour raccorder des lignes d'abonnés optiques à un réseau de télécommunication à mode de transfert asynchrone	J.B. Jacob, J.M. Gabriagues	93 01 844

SOLICITUDES DE PATENTES ALEMANAS:

Elektrisches Leiterseil für Hochspannungsfreileitungen	G. Hög, L. Lannen	43 10 301
Nachrichtenkabel	P. Deläge, U. Koch, P. Zamzow, K. Nothofer	43 05 635
Verzweigungseinrichtung	R. Girbig, P. Zamzow	43 09 538
Elektrisches Datenübertragungselement	K. Lehan, G. Thönneßen	43 07 807
Elektromagnetisches Schwingsystem	H.W. Martens, W. Klebl, R. Brünn	43 06 523
Verteiler zur Übertragung optischer Signale	M. Davies, A. Kämper, W. Stieb	43 07 155
System zum Abbuchen von Straßenbenutzungsgebühren	W. Beier, E. Ehlert	43 07 214
Farbfaxgerät	H. Heil	43 03 543
Verfahren und Vorrichtung für eine farbechte Bildübertragung	M. Böhm	43 05 883

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Optischer Mikrowellen-Generator	H. Schmuck	43 01 031
Mikrowellenoszillator	R. Heidemann	43 05 254
Verfahren zur Herstellung eines kaskadierten optischen Raumschalters und nach diesem Verfahren hergestellter kaskadierter optischer Raumschalter	M. Schilling	43 04 993
Chipkarte	K.A. Turban	43 07 122
Telekommunikationseinrichtung	R. Huzenlaub, G. Landwehr	43 06 198
Sprachgesteuerte Fernsprecheinrichtung	D. Kopp, S. Dvorak, T. Hörmann	43 06 200
Tragbares Sprachmodul	D. Kopp, S. Dvorak	43 06 199
Telekommunikationsvorrichtung in Kraftfahrzeugen	B.X. Weis, H. Schlesinger	43 01 816
Mehrstufiger faseroptischer Verstärker	B. Junginger	43 05 838
Anordnung und Verfahren zur leitungsgebundenen digitalen Nachrichtenübertragung	M. Still, C. Ziaedin	43 05 256
Verfahren zum Verbessern der akustischen Rückhördämpfung von elektroakustischen Anlagen	M. Walker, P. Heitkämper	43 05 256
Faseroptischer Verstärker	B. Junginger, R. Fritschi, H. Krimmel	43 15 846
Anordnung zur Überwachung von in einer Faserstrecke geführten Lichtes	R. Rossberg	43 13 795
Verfahren zur digitalen Nachrichtenübertragung	D. Stuhmann	43 12 631
Schnittstellenanordnung für den Anschluß von Basisstationen an eine Nebenstellenanlage	A. Veloso, K. Geywitz, J. Endler, H.J. Adolphi	43 15 621
Geräuschreduktion zur Spracherkennung	M.G. Trompf	43 09 985
Teilnehmergerät für Bildfernsprechen	B. Heine	43 10 677
Bildanrufbeantworter	D. Kopp, D. Müller	43 16 168
Videokonferenzsystem	C. Vogt	43 10 991
Netzwerkssystem und Netzwerkdienst	K.A. Turban	43 10 992
Aktiv modengekoppelter Faserlaser	T. Pfeiffer	43 17 667
Optischer Hybrid-Schalter	P. Kersten, K.D. Matthies	43 12 568
Optoelektronisches Halbleiterbauelement	E. Zielinski, G. Weiser	43 13 488
Verfahren zur Herstellung einer Lichtwellenleiterkopplung	P. Kersten, K.D. Matthies, W. Wischmann, J. Koppenborg	43 09 279
Anordnung zur leitungsgebundenen digitalen Nachrichtenübertragung	M. Still, Z. Chababadi	43 13 340
Optische Reduktion nicht linearer Amplitudenverzerrungen	H. Bülow, J. Otterbach	43 10 254
Verbindung zwischen einem Sender und/oder Empfänger sowie einer Antenne	U. Meier	43 15 847
Empfangsanordnung zum Empfang mit Antennendiversity	W. Beier, K. Wolf	43 10 256
Verfahren zur Anruflenkung und Fernmeldeendgeräte dafür	M. Wizgall, A. Kuttner	43 14 113
Verfahren und Systemkomponenten zur Ermittlung des Aufenthaltsortes eines Teilnehmers in einem Kommunikationssystem	M. Wilhelm	43 16 091
Mobilfunknetz mit Guthabenkonten	B. Klotz	43 12 362
Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung zur Signalübertragung zwischen zwei Endstellen	F. Schauer, A. Neuner	43 14 648
Permanente Kupplung zwischen zwei Wellen	F. Prexler, D. Sabanes-Bove	43 12 687
In seinen Dimensionen rückstellbarer rohrförmiger Gegenstand	F. Grajewski, J.C. Nelson	43 25 318
Steckverbinder	P. Rohrman, A. Weiss	43 11 912
Koaxiales Hochfrequenzkabel	G. Hög, P. Zamzow	43 11 913
Abstrahlendes Hochfrequenzkabel mit Lichtwellenleiter	P. Rohrman, A. Weiss	43 11 915
Vorrichtung und Verfahren zum Erhitzen eines langgestreckten Glaskörpers	H.J. Lysson, F. Lisse	43 14 638
Verfahren zur Herstellung längswasserdichter Kabel	W. Klebl, G. Titze	43 17 497
Verfahren zur reversierenden Verseilung von Verseilelementen	R. Düwelhenke, D. Lieder	43 15 227
Vorrichtung zur reversierenden Verseilung von Verseilelementen	R. Ghieltsch	43 17 496
Erdungsverschluß für ein elektrisches Kabel	M. Baesch	93 07 958
Anordnung zum Durchverbinden eines Phasenseiles	S. Scholz, H. Lehmkuhl	93 05 807
Vorrichtung mit schwenkbarer Videokamera	C. Garcia-Victoria	93 05 373
Biegekoppler mit Detektor	H. Bülow	93 06 907
Verfahren zur digitalen Nachrichtenübertragung	J. Huber, R. Fischer	43 16 547
Verfahren zur Gleisfreimeldung mittels Achszählung mit automatischer Zählfehlerkorrektur	K. Mindel	43 14 559

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Verfahren und Schaltungsanordnung zur Reservierung von Zeitschlitten bei serieller Datenübertragung	E. Foth	43 14 790
Vermittlungssystem	L. George, H.J. Matt	43 14 791
Optisches Fernmeldeortsnetz und optische Teilnehmervermittlungsstelle	D. Böttle, S. Wahl, U. Bigalk, G. Veith	43 04 346
Optischer Koppler	R. Rossberg, R. Fritschi, J. Otterbach, R. Heidemann	43 10 291
Verfahren zur Herstellung einer Verstärkungs-Lichtwellenleiter-Vorform	D. Weber	43 06 933

SOLICITUDES DE PATENTES ITALIANAS:

Metodo per monitorare un'area geografica attraverso l'uso di un satellite, e satellite e stazione di controllo adatti a funzionare secondo lo stesso

Capsula piezoceramica per apparecchi telefonici

Laser a semiconduttore a bassa corrente di soglia e relativo processo di costruzione

Metodo per stimare il pitch di un segnale acustico di parlato e sistema per il riconoscimento del parlato impiegante lo stesso

Metodo automatico per implementazione di curve intonative di messaggi vocali codificati con tecniche che permettono l'assegnazione del pitch

C. Maggio	MI93A000043
A. D'Avolio, L. Pesenti	MI93U000154
S. Pellegrino, M. Del Giudice, F. Vidimari	MI93A000253
B.G. Di Ronza	MI93A000169
G. Abbattisita, G. Tambone	MI93A000044

PATENTES ESPAÑOLAS:

Procedimiento y dispositivo para la lectura de teclados

Sistema de rectificación para convertidores conmutados de tensión no resonantes

F.J. Ruiz Merino	2040172
J.M. Gras Treviño	2040171

PATENTES AMERICANAS:

Laser Bias and Modulation Circuit

Method For Implementing A Data Communication Protocol Stack

A Constant Current And Constant Voltage Regulating Circuit For Common-Gate Or Common-Base Transistor Devices

Ring Network Overhead Handling Method

Metallic Access in a Fiber Remote Terminal

Absorber Tuning Block Retainer Apparatus

Method and Apparatus for Translating Differently-Sized Virtual Tributaries Organized According to a Synchronous Optical Network (SONET) Standard

M.R. Slawson, J.J. Stiscia	5 268 916
A.J. Mazzola	5 278 834
L. Jinich, T.V. Nguyen, R.D. Balusek	5 298 869
D.G. Dempsey, J.A. Crossett	5 282 200
R.M. Czerwiec	5 283 678
M. Brian, L. McPherson, W. Weber	5 275 371
M.E. Afify, A.W. Moore, C.M. Hurlocker	5 291 485

SOLICITUDES DE PATENTES EUROPEAS:

Power Supply Shunt Regulator

Synchronizing Circuit

Processing, Serializing and Synchronizing Device

Processor Arrangement

Memory Storage Method and Control Device

Transistor Arrangement

Mobile Communication Network

Desynchroniser and Use of Same

C. Delepaut	93 103 448
J.K.I. De Laender, P. Meylemans, J.B.S. Ceuteric	93 200 225
J.C.I. De Leander, P. Meylemans	93 200 442
D.P. Van der Elst	93 200 074
P.G. Dobbelaere	93 200 662
J.G.A. Verkinderen, E.L.M. Willocx	93 200 091
L.A.A. Vercauteren	93 870 041
P. Roobrouck	93 200 023

Abreviaturas de este número

ADM	multiplexores de inserción/extracción	IMP3	punto de intermodulación de tercer orden
ADPCM	MIC diferencial adaptativo	IMUX	filtros de canalización recepción
ANSI	Alcatel Network Systems Inc.	IOC	compañías operadoras independientes
ASIC	Application Specific Integrated Circuit	IXC	operador de conmutación
ASIC	circuito integrado de aplicación específica	LEC	operadoras de conmutación local
ATPC	control automático de la potencia de transmisión	LLA	amplificadores de baja señal
BCH	código de bloque de error triple	LNA	amplificadores de bajo ruido
BFN	red de concentración del haz	LO	oscilador local
BOC	compañías operadoras regionales Bell	MCF	función de comunicación de mensajes
BSC	estaciones controladoras de base	MCM	Multichip Modules
BTS	estaciones transceptoras	MCPC	canal Múltiple por portadora
C/N	nivel portadora-ruido	MDM	modem
CAD	diseño asistidos por ordenador	MESFET	transistor de efecto campo metal semiconductor
CAMP	amplificadores de canales de bajo nivel de señal	MIBD	mínima dispersión en banda
CAMR	Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones	MLC	codificación multinivel
CAP	proveedores de acceso competitivo	MLCM	modulación codificada multinivel
CELP	predicción lineal de códigos	MLD	decodificación de máxima probabilidad
CLE	equipo de lógica común	MMIC	circuitos integrados monolíticos de microondas
CNES	Centro Nacional de Estudios Espaciales	MMW	ondas milimétricas
CRU	unidad de control	MP	potencia máxima
CSD	canonic signed-digit	MSOH	tara de multiplexación
CST	terminal de señalización central	MSP	protección de la sección de multiplexación
DAMA	acceso múltiple asignado a demanda	MST	terminación de la sección de multiplexación
DBS	banda lateral doble	MTR	patrón de tiempo común
DCME	equipo de multiplicación de circuito digital	NCC	Centro de Control de Red
DDS	modo síncrono digital directo	NMF	gestión de red
DOCONV	convertidores de frecuencia	NPRM	Aviso de Propuesta de Cambio de Norma
DOE	Departamento de Energía	NU	uso nacional
DRA	antenas de radiación directa	OAM&P	administración, mantenimiento y provisión de operaciones
DRRS	sistema de transmisión radio digital	ODU	unidad exterior
DRS	satélite geoestacionario de retransmisión de datos	OMUX	filtros de potencia de remultiplexado
DSI	información de conmutación digital	OS	sistema de operación
DSI	investigación detallada del espectro	PAMA	acceso múltiple permanentemente asignado
EAEC	Europa Airlines Engineering Committee	PCS	servicios de comunicaciones personales
ECC	canales de control insertados	PEI	polieterimido
ECC	códigos de corrección de errores	PHEMT	Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor
ECT	terminal de operador local	PIM	intermodulación pasivo
EMF	funciones de gestión del elemento	QPRS	Quadrature Partial Response System
ERC	comité europeo de radiocomunicaciones	RBOC	compañías operadoras regionales Bell
ESA	Agencia Espacial Europea	RF	ramificación
FAA	Administración Federal de Aviación	RPI	interfaz físico radio
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones	RPS	conmutación radio de protección
FCC	Federal Communications Commission	RRT	terminal de transmisión radio
FET	transistor de efecto campo	RST	terminación de la sección de regeneración
FRU	unidad de trama	SA	adaptación de sección
GNE	elemento de red pasarela	SAR	radar de apertura sintética
GPS	Global Positioning System	SAW	filtros de ondas acústicas de superficie
GSC	centros de conmutación	SCP	procesador de control y señalización
GTI	módulo de gestión y pruebas integradas	SCPC	único canal por portadora
HEMT	transistor de alta movilidad electrónica	SDH	jerarquía digital síncrona
HEXFET	hexagonal field effect transistor	SEMF	función de gestión del equipo síncrono
IDU	unidad interior	SOH	tara de sección
IES	interferencias entre símbolos	SPI	interfaz físico SDH
IESS 501	estándar de Intelsat	SSB	banda lateral simple
IF	frecuencia intermedia		
IMP	productos pasivos de intermodulación		

SSPA	amplificador de potencia de estado sólido
T/R	módulo transmisor-receptor
TAB	soldadura automática por cinta
TCM	modulación codificada Trellis
TDM	multiplexados por división en el tiempo
TDMA	acceso múltiple con reparto en el tiempo
TFTS	Terrestrial Flight Telephone System
TFU	unidad de tiempo y de frecuencia
TIM	módulo de interfaz terrestre
TMN	red de gestión de telecomunicaciones
TNM	gestión de redes de telecomunicaciones
TRU	unidad de transcodificación o de tráfico
TT	terminales de tráfico
UIT	Unión internacional de Telecomunicaciones
VCO	osciladores controlados por voltaje
VGA	amplificadores de ganancia variable
VL	Vehículo Ligero
VLSI	integración de escala muy alta
VSAT	terminales de apertura muy pequeña
XIF	factor de mejora de polarización cruzada
XPD	discriminación de la polarización cruzada
XPI	interferencia de polarización cruzada
XPIC	canceladores de interferencias por polarización cruzada
XPIF	polarización cruzada

Oficinas editoriales

Cualquier asunto relativo a las distintas ediciones de *Electrical Communication* se debe dirigir al editor adecuado (las peticiones de suscripciones se deben enviar por fax o por correo):

Edición inglesa :

Rod Hazell
Electrical Communication
ALCATEL BUSINESS SYSTEMS
Great Eastern Enterprise
3 Millharbour
Londres E14 9XP
Gran Bretaña
Tel.: (44) 71.293.13.19
Fax.:(44) 71.293.13.85

Edición alemana :

Andreas Ortelt
Elektrisches Nachrichtenwesen
ALCATEL SEL AG
Department ZOE/FP
70430 Stuttgart
Alemania
Tel.: (49) 711.821.446.9
Fax: (49) 711.821.460.55

Edición francesa :

Catherine Camus
Revue des Télécommunications
ALCATEL
54, rue La Boétie
75382 Paris Cédex 08
Francia
Tel.: (33-1) 40.76.13.48
Fax: (33-1) 40.76.14.26

Edición española :

Gustavo Arroyo
Comunicaciones Eléctricas
ALCATEL STANDARD ELECTRICA
Ramírez de Prado 5
28045 Madrid
España
Tel.: (34-1) 467.30.00 ext. 1857
Fax: (34-1) 468.78.32

Edición italiana :

Egisto Corradini
Prospettive di Telecomunicazioni
ALCATEL ITALIA, Div. Alcatel Telettra
Via Trento, 30
20059 Vimercate (MI)
Italia
Tel.: (39-39) 686.3072
Fax: (39-39) 608.1483

Sandro Frigerio
Tel.: (39) 2.80.52.434
Fax: (39) 2.72.01.08.62

At ISS '95 in Berlin...



XV
International
Switching
Symposium
Berlin
April, 23 - 28
1995

*Welcome
to
Berlin*

ISS '95 will focus on:

... you have a unique opportunity to get new and comprehensive insights into the ever fascinating and dramatically-changing world of modern telecommunications. More than 3000 experts from all over the world will be expected in Berlin, the capital of unified Germany.

- Broadband ISDN
- Mobile Networks
- Corporate Networks
- Access Networks and Technologies
- Network Evolution Strategies
- Network Intelligence
- Network Management
- Multimedia Communication
- System Architecture and Technologies
- Software Technologies

Request your
ISS Advance Program now:

ISS '95 Office

c/o **VDE**

Stresemannallee 15
60596 Frankfurt / M.
Federal Republic of Germany

Tel. +49 - 69 - 630 82 02

Fax +49 - 69 - 631 29 25

Name · _____

Company · _____

Street · _____

City/State · _____

Phone · _____

Fax · _____

Diseño de MMIC y proceso en AsGa

Donzelli, G.P.; Rattay, B.

Los circuitos integrados monolíticos de microondas tendrán un fuerte impacto en el diseño de los futuros sistemas de microondas debido a su prometedora perspectiva de bajo coste potencial para gran volumen de producción, fiabilidad mejorada y reproducibilidad. El artículo proporciona una visión general del diseño de MMIC y del proceso en AsGa con especial énfasis en los circuitos de bajo ruido, los no lineales y los de potencia para uso en comunicaciones por microondas. También se describen algunos de estos circuitos desarrollados por Alcatel y sus aplicaciones.

En este número**Comunicaciones Eléctricas****4º trimestre de 1994**

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 314— 318

Transmisión por ondas milimétricas

Colombo, G.; Podolak, T.

La banda de RF entre 3400 MHz y 105 GHz a menudo se denomina banda de microondas o banda milimétrica. Los radioenlaces fijos ocupan gran parte de la banda. Otros usos son la radionavegación (radar), muchos tipos de transmisión por satélite y la radioastronomía. El reciente crecimiento de la demanda de transmisión digital de baja capacidad en entornos urbanos conduce a los citados radioenlaces a compartir estos recursos. Las redes privadas y celulares constituyen los principales mercados de interés debido al elevado número de conexiones de baja capacidad que se necesitan. Ello exige productos de radio que sean una solución compacta de bajo coste, fácil de instalar y gestionar, en comparación con otros medios de transmisión. Alcatel ha desarrollado una familia de radioenlaces digitales a longitudes de onda milimétricas, conforme a los estándares internacionales, para complementar los sistemas microondas de baja capacidad para larga distancia ya instalados en países de todo el mundo.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 339 — 345

La radio de microondas en los Estados Unidos

Kimzey, D.; Barron, T.

Estados Unidos tiene tres segmentos de mercado para los radioenlaces de microondas punto a punto: operadores como Bell, compañías privadas como autopistas, gasoductos y servicios y organizaciones estatales como FAA y DOE. Los autores resaltan las características de cada uno de estos tres mercados y describen el impacto del cambiante entorno regulador sobre ellos. Se exploran tendencias como el crecimiento del mercado privado, los variables requisitos de capacidad, la fiabilidad de los enlaces y los aspectos de compatibilidad de mantenimiento de SONET.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 319 — 325

Transmisión por microondas SDH - tecnologías básicas, productos y aplicaciones de redes

Nannicini, M.; Peruyero, M.; Lebret, Y.Y.

El artículo describe el impacto de la SDH (jerarquía digital síncrona) en los sistemas de transmisión por microondas, centrándose en las aplicaciones de red, la capacidad de transmisión, los problemas técnicos y las soluciones tecnológicas más importantes, y el diagrama de bloques funcionales. Se analiza el aspecto de la inserción de radio SDH en el entorno de la TMN y finalmente se presentan los productos radio-SDH de Alcatel.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 346 — 352

TDMAX y FASTCOM - Nuevos sistemas por satélite para comunicaciones residenciales y corporativas

Couet, J.

El artículo presenta dos nuevos sistemas por satélite desarrollados por Alcatel Telspace: TDMAX y FASTCOM. Estos dos nuevos sistemas conllevan diferentes capacidades de red, pero se complementan entre sí. El primero de ellos está más adaptado para redes en malla de mediana o gran capacidad, mientras el segundo está más orientado a la telefonía o datos de ruta estrecha, por ejemplo: telefonía rural, o comunicaciones corporativas de ruta estrecha. Ambos sistemas hacen un uso intensivo de las técnicas de procesamiento digital, usan sistemas de compresión de voz de alta calidad y su desarrollo se ha aprovechado del nivel alto de sinergia a nivel del sistema de control de red y de interfaces terrestres.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 326— 332

Tecnologías básicas en las comunicaciones por microondas

Bianconi, G.; Carpe, M.; Salas, P.

Este artículo resalta el papel de los últimos desarrollos en el proceso de señales digitales y tecnologías VLSI en el diseño de las nuevas familias de sistemas de comunicación de radio por microondas. La implantación de soluciones innovadoras, que han sido posibles gracias a la disponibilidad de ASIC con frecuencias de operación de hasta alrededor de 100 MHz y cientos de miles de puertas en un simple chip, son presentadas y debatidas junto con sus aplicaciones más relevantes. Entre ellas, se hace un especial énfasis en la reutilización de frecuencias, la modulación codificada y los combinadores de señales. La introducción de la modulación codificada en las radios SONET de baja capacidad se presenta como la solución definitiva para cumplir los exigentes requisitos de la FCC, en términos de eficacia del espectro y ganancia del sistema a unos precios competitivos.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 353— 358

Sistema de telefonía tierra-aire TFTS

Campel, G.

Este artículo describe el TFTS, nuevo sistema celular de teléfono destinado a los pasajeros de los aviones. El TFTS utiliza enlaces directos entre los aviones y las estaciones terrestres regularmente distribuidas. La norma TFTS, definida por el ETSI para aplicaciones en Europa, está siendo adoptada progresivamente en otras regiones del mundo. Alcatel Telspace, que ha participado desde el principio en el establecimiento de las especificaciones TFTS, es actualmente el proveedor de sistemas de estaciones terrestres de los más importantes operadores de telecomunicaciones.

MMIC design and GaAs foundry

Donzelli, G. P.; Rattay, B.

Monolithic microwave integrated circuits will have a strong impact on the design of future microwave systems due to their promising attributes of potential low cost for high volume production, improved reliability and reproducibility. The article gives an overview of MMIC design and GaAs foundry with particular emphasis to low-noise, non-linear and power circuits for use in microwave communications. Some of the circuits developed in Alcatel and their main applications are also described.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 339-345

Microwave radio in the United States

Kimzey, D.; Barron, T.

The United States has three distinct market segments for point-to-point microwave radio links: common carriers such as Bell, private companies such as railroad, pipeline and utilities, and federal organizations such as the FAA and DOE. The authors outline the characteristics of each of these three markets and describe the impact of the changing regulatory environment upon them. Trends are explored, including growth in the private market, changing capacity requirements, link reliability and maintenance. SONET compatibility issues are discussed.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 314-318

Millimetric wave transmission

Colombo, G.; Podolak, T.

The RF band between 3400 MHz and 105 GHz is often referred to as the microwave band or the millimetric band. Fixed radio links take up large parts of the band. Other users are radio navigation (radar), many kinds of satellite transmission and radio astronomy. The recent growth of the demand for digital transmission at low capacity in the urban environment leads to such radio links taking a share of this resource. Private and cellular networks are the main markets of interest due to the large numbers of such low capacity connections needed. This implies radio products as a compact low cost solution, easy to install and manage, compared to other transmission media. Alcatel has developed a family of digital radio links at millimetric wavelengths, conforming to international telecommunication standards, to complement the long haul low capacity microwave systems already installed in countries throughout the world.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 346-352

TDMAX and FASTCOM - new satellite systems for domestic and corporate communications

Couet, J.

This article presents two new satellite systems developed by Alcatel Telspace: TDMAX and Fastcom. These two systems address different network capacity, but complement each other. The first one is more tailored toward medium or large capacity intercity meshed networks, while the other is more oriented toward thin route data or telephony, e.g.: rural telephony, or thin route corporate communications. Both systems make an intensive use of digital processing techniques, use high quality voice compression systems, and their development has benefited from a high level of synergy at the level of the network control system, and terrestrial interfaces.

Electrical Communication 4th Quarter 1994 pp. 319-325

SDH microwave transmission - network application, key technologies and products

Nannicini, M.; Peruyero, M.; Lebret, Y. Y.

The article describes the impact of SDH (synchronous digital hierarchy) on microwave transmission systems, focusing on network applications, transmission capacity, the most important technical issues and technological solutions, and the functional block diagram. The aspect of SDH radio insertion in the TMN environment is analyzed and finally the Alcatel SDH microwave products are presented.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 353-358

The TFTS air-to-ground telephone system

Campet, G.

This article describes the TFTS, a new cellular telephone system for use by aircraft passengers. The TFTS uses direct links between aircraft and evenly distributed ground stations. The TFTS standard defined by the ETSI for applications in Europe is being adopted in other regions of the world. Alcatel Telspace, which participated from the beginning in the establishment of the TFTS specifications, supplies today ground station systems to major telecommunications operators.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 326-332

Key technologies for microwave communications

Bianconi, G.; Carpe, M.; Salas, P.

The paper highlights the role of the latest developments of Digital Signal Processing and VLSI technologies in the design of the new families of microwave radio communication systems. Implementation of innovative solutions, that have become affordable thanks to the availability of ASICs with operating frequency up to about 100 MHz and some hundred thousand gates in a single chip, are here presented and discussed together with the relevant application. Among them, particular emphasis is given to Frequency Reuse, Coded Modulation and Signal Combiners. The introduction of Coded Modulation in US SONET low capacity radios is shown to represent a straightforward solution to meet the stringent FCC requirements, in terms of spectrum efficiency and system gain, at competitive cost.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 359 — 364

Nueva generación de productos de transmisiones hertzianas terrestres y espaciales para redes militares

Darmon, M.; Le Roux, E.

Alcatel está en condiciones de proponer un conjunto de productos hertzianos de transmisión militar para su aplicación en redes tácticas (haz hertziano táctico de enlace directo o de difusión troposférica, estación terrestre táctica) o en red de infraestructura, estratégica, paramilitar o de seguridad (haz hertziano de infraestructura de enlace directo o de difusión troposférica, estación terrestre). Todos estos productos, de nueva generación, han sido adquiridos por el ejército francés.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 371 — 376

Aportación de las nuevas tecnologías en los repetidores de satélites

Floury, G.; Cazaux, J.L.

Capacidad de transmisión y potencia radiada incrementadas para una masa y un consumo de energía determinados, éste es el reto de los diseñadores de carga útil para satélites de telecomunicaciones. A este desafío técnico se ha añadido más recientemente, como consecuencia de la madurez industrial de las telecomunicaciones espaciales, así como de las necesidades de los operadores de rentabilizar rápidamente las inversiones en programas, una presión continua sobre la reducción de los plazos de realización de satélites. Esta nueva exigencia conduce progresivamente a una evolución de los productos, así como de los métodos de diseño y a una estandarización cada vez mayor, asociadas, por supuesto, a una búsqueda permanente de competitividad. Este artículo analiza las evoluciones técnicas y tecnológicas, presentes y futuras, que pueden participar en estas optimizaciones y consolidar la competitividad de los productos y sistemas Alcatel en este campo.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 365 — 370

Antenas para satélites de comunicaciones

Duret, G.

El artículo da una visión de las actividades en antenas espaciales en Alcatel Espace. Las actividades del Departamento de Antenas Espaciales en el campo de los satélites de comunicaciones cubren los últimos veinte años, y están relacionadas con siete programas internacionales, europeos y nacionales, que ilustran la evolución de las especificaciones y de los productos asociados, relativos a la tendencia de las misiones hacia una mayor complejidad y a un mejor uso del espectro de frecuencias. Los tópicos que se presentan aquí se limitan a las comunicaciones por antena, aunque se han hecho muchos otros trabajos para antenas de observación.

Comunicaciones Eléctricas, 4º trimestre 1994, págs. 377 — 383

Tecnologías de encapsulado para equipamiento en satélite

Coello-Vera, A.

Las tecnologías de encapsulado e interconexión (ICT) juegan un papel clave en el equipamiento de satélites. Aparte de su bien conocida influencia en factores clave tales como la velocidad, anchura de banda y fiabilidad, etc.. Estas tecnologías son de la máxima importancia para determinar el peso, volumen y fiabilidad de los equipos de los satélites. El autor aporta algunos ejemplos de las tecnologías al estado del arte utilizadas y presenta algunas tendencias significativas de las futuras realizaciones.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 371-376

Benefits of new technologies in satellite transponders

Floury, G.; Cazaux, J.-L.

The challenge for communication satellite payload designers is to achieve increased transmission capacity and radiated power for a given mass and power consumption. Continuous pressure for satellite production time reduction recently added to this technical challenge, as a result of the industrial maturity of space communications and the operators' needs for quick returns on investments in programmes. This new constraint gradually leads to an evolution of the products and design methods and to more and more extensive standardization, along with continuous search for competitiveness. This article reviews the current and future technical and technological advances which may contribute to such optimizations and improve the competitiveness of Alcatel products and systems in this field.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 359-364

A new generation of terrestrial and satellite microwave communication products for military networks

Darmon, M.; Le Roux, E.

Alcatel offers a comprehensive range of military microwave transmission products for tactical network applications (line-of-sight or troposcatter tactical microwave radios, and tactical earth stations) or backbone, strategic, paramilitary or security network applications (line-of-sight or troposcatter backbone microwave links, and earth stations). All these new-generation products have been procured by the French armed forces.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 377-383

Packaging technologies for satellite equipment

Coello-Vera, A.

Interconnection and Packaging Technologies (ICTs) play a key role for satellite equipment. In addition to their well known influence in key features such as speed, bandwidth, high frequency, etc., ICTs are paramount in determining the weight, volume and reliability of satellite equipment. The author gives some state-of-the-art examples of technologies used and presents some significant trends for future realizations.

Electrical Communication 4th Quarter 1994, pp. 365-370

Antennas for communication satellites

Duret, G.

This article gives an overview of space antenna activities at Alcatel Espace. The Space Antenna Department activities in the field of communication satellites cover the past twenty years; they concern seven national, European and international programmes, which illustrate the evolution of the specifications and associated products, related to the trend of the missions towards more complexity and a better use of the frequency spectrum. The topics presented here are limited to communication antennas, although many others works have also been actively carried out for observation antennas.