

Mit den neuen, voll mit Halbleitern bestückten UKW-Sendern der Typenreihe NU erfüllt Rohde & Schwarz die jüngsten Forderungen des internationalen Marktes nach erhöhter Betriebssicherheit, erhöhter Servicefreundlichkeit, Konvektionskühlung, geringem Energieverbrauch und Flexibilität des Sendersystems. Durch Kaskadieren und Parallelschalten der einzelnen Systembausteine — Steuersender, 500-W-Verstärker, Spannungsregler und Einschaltsteuerung — lassen sich Anlagen bis 3 kW Leistung und mit verschiedenen Reservekonzepten zusammenstellen.

Volltransistorisierte VHF-FM-Hörfunksender mit 0,5 bis 3 kW Ausgangsleistung



BILD 1 Endprüfung der volltransistorisierten VHF-FM-Sender im R&S-Fertigungswerk Memmingen.

Foto 27 560/1

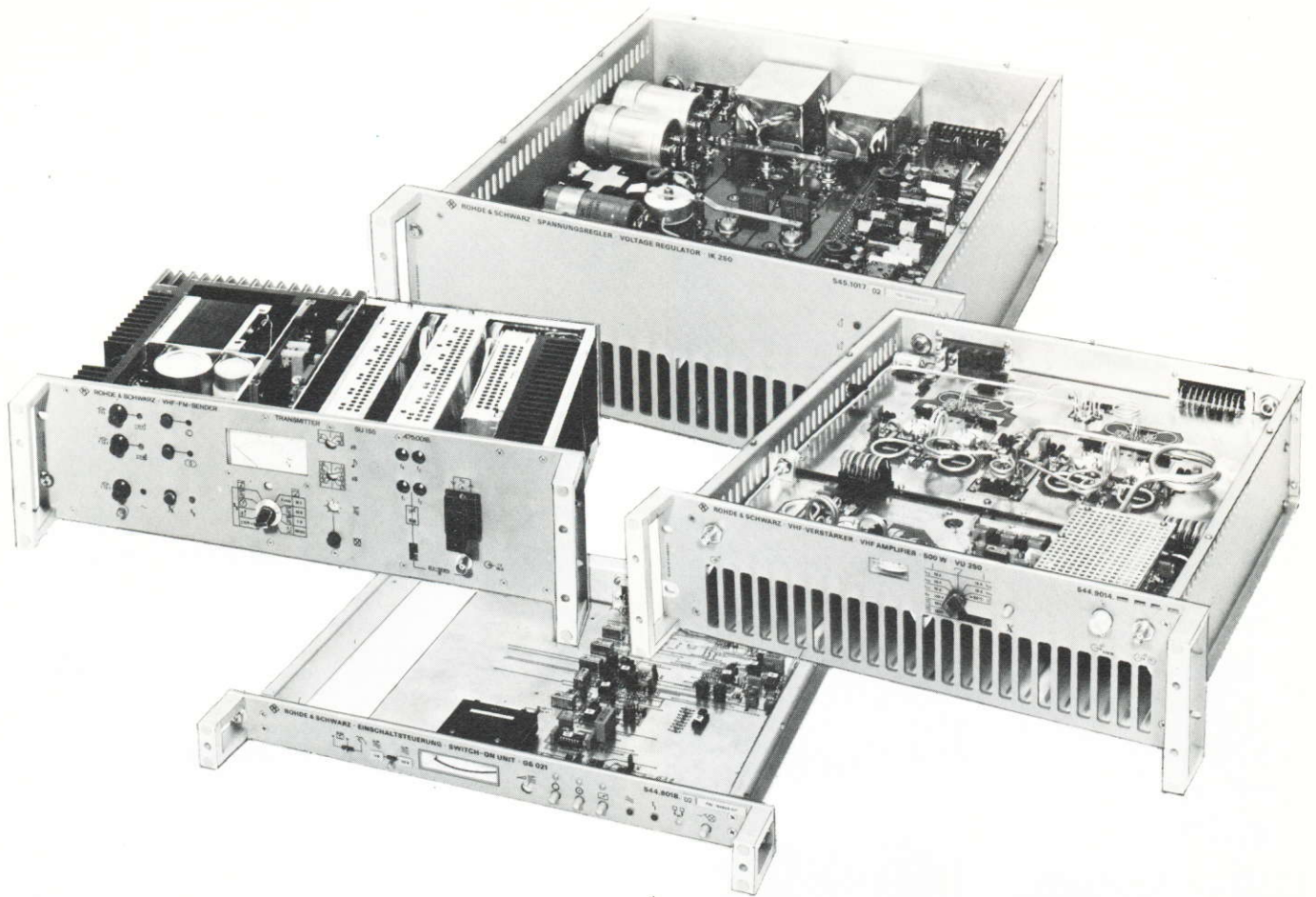


BILD 2 Bausteine der VHF-FM-Hörfunksender: Steuersender SU 155, Einschaltsteuerung GS 021, 500-W-VHF-Verstärker VU 250 und Spannungsregler IK 250.

Fotos 23 380/27 243/27 228/27 223

Kürzlich ist bei Rohde & Schwarz die Großserienproduktion der neuen volltransistorierten 500-W-VHF-Verstärkerbausteine angelaufen, die mit dem bewährten Steuersender SU 155 zu UKW-Sendersystemen bis 3 kW Ausgangsleistung kombiniert werden können (BILD 1).

Aufbau

Während die Vorteile eines Baukastensystems für den Anwender im wesentlichen im einfachen Service und der Ersatzteilhaltung liegen, bestehen sie für den Hersteller in der Möglichkeit, sich schnell an die unterschiedlichen Erfordernisse des Marktes anzupassen und rationell und preisgünstig zu fertigen, was wiederum dem Kunden zugute kommt. Das Baukastensystem der Rohde & Schwarz-UKW-Sender geht von vier Grundeinheiten aus und läßt sich bis zu Leistungen von einigen kW erweitern; innerhalb einer Leistungsklasse gestattet es verschiedene Modifikationen. Die Grundmoduln für die Sender mit 500 W, 1 kW, 1,5 kW, 2 kW und 3 kW Ausgangsleistung sind (BILD 2):

- 50-W-Steuersender SU 155,
- 500-W-Verstärker VU 250,
- Spannungsregler IK 250,
- Einschaltsteuerung GS 021.

Aus diesen Moduln und einem Netzgerät (Netztransformator mit Gleichrichtung) entstehen die Sendertypen 500 W — in einem halben 19-Zoll-Kastengestell —, 1 kW und 1,5 kW — in einem Kastengestell — in ihrer Grundauführung ohne

Reserve für Steuersender und Netzgerät. Durch Parallelschalten jeweils zweier dieser Grundauführungen über den Leistungskoppler BV 323 für 2×500 W (BILD 3) beziehungsweise BV 333 für 2×1 kW und $2 \times 1,5$ kW, erhält man die Versionen 1 kW, 2 kW und 3 kW mit passiver Steuersenderreserve, Netzgeräteredundanz und Rückschaltbarkeit auf 2×50 % Leistung, das heißt, bei den Sendern ab 1 kW Leistung besteht die Möglichkeit, durch einfaches Umstecken der Verkabelung von der Frontseite aus von einem Programm mit 100 % Leistung auf zwei Programme mit 50 % Leistung überzugehen. Bei allen Sendertypen können — zum Beispiel zu Wartungszwecken — Verstärkermoduln aus dem Leistungsverbund genommen, auf eine künstliche Antenne geführt und unab-

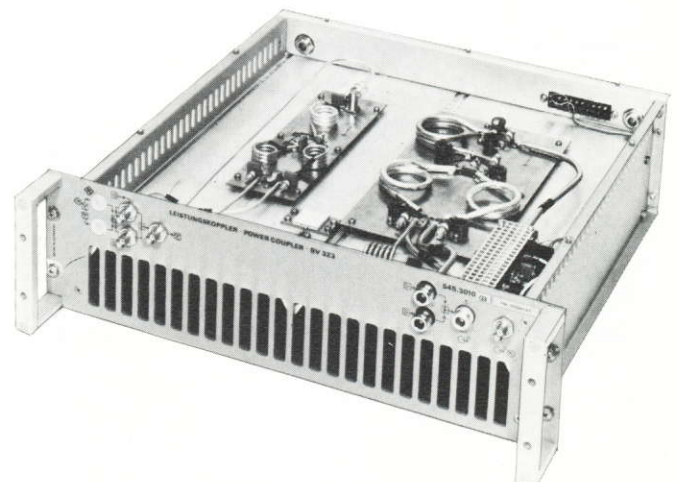


BILD 3 Leistungskoppler BV 323 zum Parallelschalten von zwei 500-W-Sendern.

Foto 27 233

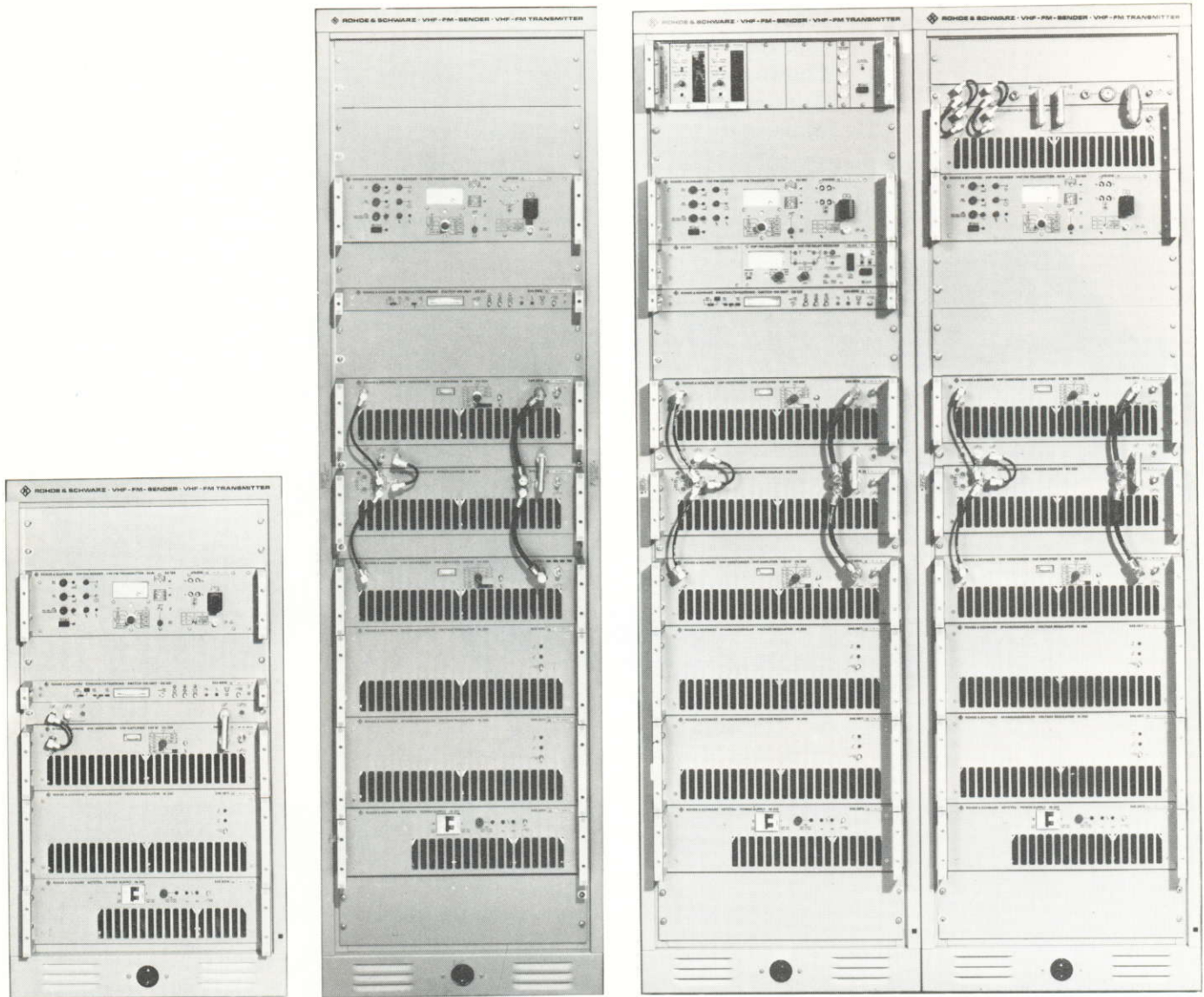


BILD 4 500-W-VHF-FM-Sender NU 251, 1-kW-Sender NU 311 und 2-kW-Sender mit passiver Steuersenderreserve NU 321 A1.

Fotos 27 573/27 216/27 570

hängig aus- und eingeschaltet werden, während das laufende Programm mit der Restleistung unter Umgehung der entsprechenden Koppereinrichtung zur Antenne geführt wird. Die TABELLE im blauen Kasten gibt eine Übersicht über die verschiedenen Sendertypen, ihre Versorgung und Abmessungen, und BILD 4 zeigt einige Beispiele kompletter Sendergestelle.

Auf Grund des Überwachungskonzeptes — Selbstkontrolle der Grundmoduln — ist die Einschaltsteuerung für alle Sendertypen gleich. Sie leitet lediglich die Ein- und Ausschaltbefehle an die Anlage weiter, registriert deren Störungsmeldungen sowie die Ausgangsleistung, und sie ist die Sammelstelle für Kommandos und Meldungen von und nach „Fern“.

RF-Leistung	Typenbezeichnung		Netzspannung		19-Zoll-Gestelle	
	Grundausführung	Ausführung mit passiver Steuersenderreserve und Rückschaltung auf 2 x 50 % Leistung	ein- bzw. zweiphasig 110/120/ 220/240 V	drei-phasig 220/380 V	40 Einheiten hoch Anzahl	Tiefe
0,5 kW	NU 251		●		1/2	700 mm
1 kW	NU 311	NU 311 A1	●		1	700 mm
1,5 kW	NU 315	NU 315 A1 (Rückschaltung auf 2 x 500 W)		●	1	800 mm
2 kW	NU 321	NU 321 A1 (NU 321 A2)	●	(●) aus NU 331	2 (2)	700 mm (800 mm)
3 kW	NU 331	NU 331 A1		●	2	800 mm

Ein **Anlagensystem für mehrere (n) Hörfunkprogramme** kann entsprechend den speziellen Gegebenheiten auf verschiedene Weise realisiert werden:

- n Einzelsender in Grundauführung (Totalausfall eines Programms nur bei Steuersenderausfall oder Netzgeräteausfall möglich),
- n Einzelsender mit passiver Steuersenderreserve und Netzgeräteredundanz sowie Rückschaltmöglichkeit auf zwei Programme mit 50 % der Nennleistung (kein Totalausfall eines Programms, „Worst case“ — 25 % der Nennleistung),
- n Einzelsender in Grundauführung, die im Störfall von einem Reservesender — mit oder ohne Steuersender- und Netzgeräteredundanz — automatisch abgelöst werden: (n + 1)-Technik,
- n Einzelsender in Grundauführung in passiver Reserve,
- für größere Leistungen ergeben auch Kombinationen von Röhren- und Halbleitersendern wirtschaftliche Lösungen.

Bei sämtlichen Sendertypen ist Platz vorgesehen für Betriebsgeräte wie Stereocoder, FM-Demodulatoren oder Ballem Empfänger — je nach Kundenwunsch. Selbstverständlich ist auch Betrieb mit Amplitudenmodulation möglich. Für das ganze Typenspektrum gelten die bekannt hervorragenden Qualitätsdaten des Steuersenders SU 155, die auch bei Anlagen mit großen Leistungen nur unwesentlich beeinflußt werden. Die Sender sind mechanisch und elektrisch so aufgebaut, daß sie vom Kunden selbst montiert und in Betrieb genommen werden können.

Eigenschaften

Betriebssicherheit

Wesentlich zur Erhöhung der Betriebssicherheit der neuen volltransistorisierten FM-Sender gegenüber Röhrensendern trägt das Fehlen von Verschleißteilen bei, zu denen neben den Röhren auch die Lüfter gehören. Weiter führt ein rationelles Steuerungs- und Überwachungskonzept neben geringem Bauelementeaufwand und Platinen mit geringer Packungsdichte zu einfachen und übersichtlichen Gestellverdrahtungen (BILD 5) und damit zu einer äußerst geringen Störanfälligkeit. Dieses Konzept basiert auf der Forderung, Totalausfälle auszuschließen und gliedert sich in die Überwachung der senderexternen Bedingungen — Stehwellenverhältnis der Antenne, Umgebungstemperatur und Netzspannungsschwankungen — und in die senderinternen Bedingungen — Transistorausfall, Einschubstörung und Fehler in der Stromversorgung.

In beiden Fällen liefert der Sender die Leistung, die unter den gegebenen Bedingungen noch möglich ist. So steht die volle Leistung bis zu einem Stehwellenverhältnis von 1,5 und einer Umgebungstemperatur von +45 °C zur Verfügung; darüber reagieren die Sender mit einer entsprechenden Leistungsreduzierung. Außerdem sind die Sender sicher gegen Kurzschluß und Leerlauf der Ausgangsleitung. Senderintern überwachen sich die einzelnen Systembausteine (Spannungsregler, Netzgerät) selbst und veranlassen im Störfall die eigene Abschaltung. Durch die Redundanz der Sendeanlagen führt dies nur zu einer Leistungsverminderung, ebenso wie der Ausfall eines RF-Leistungstransistors. Die verbleibende Leistung N errechnet sich nach der Formel

$$N = N_0 \frac{(n - m)^2}{n^2}$$
 mit N_0 Nennleistung, n Anzahl aller Endtransistoren, m Anzahl der ausgefallenen Endtransistoren.

Servicefreundlichkeit

Durch die für alle Leistungsklassen der neuen FM-Sender gleichen Systembausteine ergibt sich für Wartung und Wiederinstandsetzung eine Reihe von Vorzügen, die von der Fehlereingrenzung durch Tausch von Einschüben, Vereinfachung in der Reparatur durch wenige Gerätetypen bis hin zu einer wirtschaftlichen Ersatzteilhaltung reichen. Sämtliche Geräte und Baugruppen sind einzeln abgleichbar und wegen der integrierten Überwachung und Störungsanzeige auch separat prüfbar. Ein Nachgleichen oder Nachjustieren im Anlagenverband ist nicht notwendig.

Der Ausgang des Steuersenders SU 155, die Ein- und Ausgänge der 500-W-Verstärkereinheiten und die Ein- und Ausgänge der Einrichtungen zum Leistungsparallelschalten sind an die Frontseite des Sendergestells geführt. Dort werden die entsprechenden RF-Verbindungen mit Kabeln hergestellt.

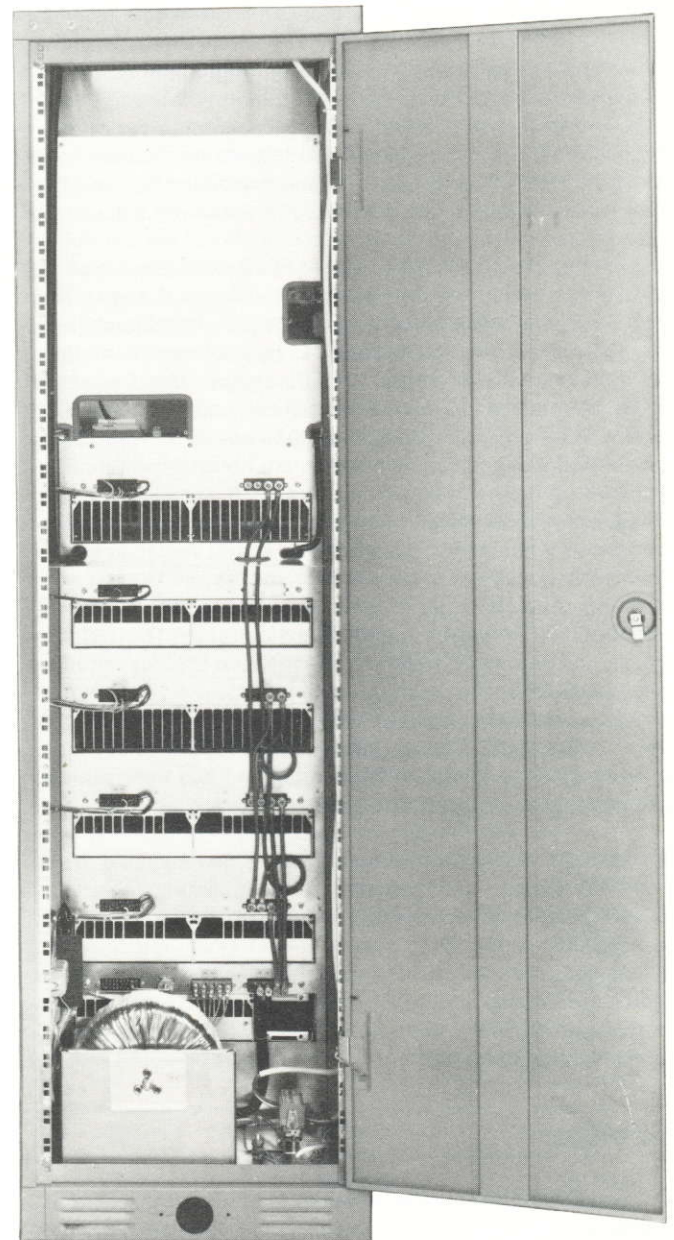


BILD 5 Rückansicht eines 1-kW-Senders mit Abluftkamin und Gestellverdrahtung. Foto 27218

Damit können im Service- oder Reparaturfall einzelne Verstärker zu Meßzwecken bequem auf eine künstliche Antenne geschaltet werden, während die Sendeanlage mit verminderter Leistung weiter das Programm abstrahlt.

Den Grundmoduln zugeordnete Störungsanzeigen und ein separates Instrument für jeden 500-W-Verstärker (Transistorspannung, Transistorströme, Vorlauf- und Rücklaufspannung am Verstärkerausgang, Übertemperatur) helfen, eventuelle Störungen rasch einzugrenzen. Richtkoppler-Meßstellen am Steuersender, an den Verstärkermoduln und am Senderausgang erleichtern das Überprüfen der Qualitätsdaten. Besonders zu erwähnen ist die leichte Auswechselbarkeit der Leistungstransistoren ohne Löt- und Nachgleicherbeit.

Energieverbrauch

Ein wesentlicher Faktor für eine ganze Reihe von Problemen, angefangen von den Betriebskosten über den konstruktiven Aufwand an Kühlmitteln, die Anlagengröße, die Wärmebelastung der Betriebsräume bis hin zu den Sperrschichttemperaturen der Leistungshalbleiter und der damit zusammenhängenden Betriebszuverlässigkeit, ist die Leistungsaufnahme beziehungsweise der Wirkungsgrad einer Sendeanlage.

Beim Entwurf der Schaltung der 500-W-Verstärker VU 250 wurden unter dem Gesichtspunkt der Verlustminimierung besonders einfache, das heißt verlustarme Transformationsschaltungen am Ein- und Ausgang der Leistungstransistoren sowie einfache Hybridschaltungen zur Zusammenführung der einzelnen Transistorleistungen gewählt, und, was wohl am wichtigsten ist, ein Leistungstransistor mit möglichst hohem Kollektorwirkungsgrad. Üblicherweise wird in Datenblättern von Leistungstransistoren der Kollektorwirkungsgrad angegeben, der aber beim Vergleich verschiedener Typen bezüglich der Verlustleistung ein verfälschtes Bild liefert, wenn nicht die Verstärkung mit einbezogen wird. So ergeben sich beispielsweise die gleichen Verlustleistungen bei einem Transistor mit einem Kollektorwirkungsgrad von 90 % und einer Verstärkung von 6 dB und einem solchen mit einem Kollektorwirkungsgrad von 80 % und einer Verstärkung von 10 dB. Die klassischen Theorien zur Bestimmung des Wirkungsgrades, wie man sie von den Röhren-Leistungsverstärkern kennt, versagen beim Transistor-Leistungsverstärker. Hier können nur Computer-Analysen Aufschluß geben über die entstehenden Spannungsverläufe und Verlustleistungen in den einzelnen Transistorzonen und den damit zusammenhängenden Streßbelastungen. So fiel die Wahl des Leistungstransistors auf einen Typ, der einen Kollektorwirkungsgrad von 80 % bei einer Verstärkung von 10 dB erreicht. Die bei der verwendeten Betriebsart auftretende geringe Transistorbeanspruchung und Sperrschichttemperatur lassen eine hohe Lebensdauer erwarten.

Für einen guten Gesamtwirkungsgrad sorgen auch die jedem 500-W-Verstärker VU 250 zugeordneten Spannungsregler IK 250 (pulsbreitenmodulierte Schaltregler) mit ihrem Wirkungsgrad von über 85 % zusammen mit einem reichlich dimensionierten Netzgleichrichter mit Ringkerntransformator. Durch die Einstellung der RF-Leistung über die Höhe der Versorgungsspannung behält die Anlage auch den optimalen Wirkungsgrad bei Reduzierung der Ausgangsleistung.

Kühlung

Die neuen Halbleitersender arbeiten mit reiner Konvektionskühlung. Im Gegensatz zu Röhrensendern, bei denen die Verlustwärme an das Kühlmedium (Luft oder Wasser) mit relativ hoher Übertemperatur abgegeben und mit hoher Geschwin-

digkeit geführt abtransportiert werden kann, ist bei Halbleitersendern wegen der geringen Differenz zwischen Umgebungs- und Kühlkörpertemperatur und der relativ kleinen Luftgeschwindigkeit durch die Konvektion ein gewisser Aufwand an Kühlkörpern notwendig. Man kommt deswegen zu vergleichsweise größeren Anlagen.

Zur optimalen Raumausnutzung in Verbindung mit bewährter Einschubtechnik hat Rohde & Schwarz für die volltransistorierten FM-Sender ein neuartiges Kühlsystem entwickelt, das trotz der horizontal angeordneten Kühlkörper der verschiedenen Einschübe durch Ausnutzung des Kamineffektes zu einem sehr wirkungsvollen Wärmetransport führt. Die Kühlluft strömt hierbei von der Frontseite her parallel durch die einzelnen Einschubkühlkörper und wird über einen gemeinsamen Abluftkamin in der Gestellrückseite an die Umgebung weitergeleitet (siehe Bild 5). Besonders vorteilhaft bei dieser Art der Kühlung ist, daß wie bei vertikalen Kühlkörpern die Strömungsgeschwindigkeit und damit die Kühlwirkung mit wachsender Temperaturdifferenz zunimmt. Weiter zeichnet sich dieses System dadurch aus, daß die bei Konvektionskühlung ungefilterte Kühlluft nur mit den Kühlkörpern an der Unterseite der Einschübe in Berührung kommt und keine Verschmutzung in den Geräten hervorruft und daß keine Temperaturüberhöhungen an den Außenseiten der Sender entstehen.

Dieses Kühlsystem erlaubt es auch, die Zu- und Abluft der Sender über Luftschächte zu transportieren. In diesen Fällen erhalten die Sender Glastüren an den Frontseiten und werden mit entsprechenden Lüftern betrieben.

Helmut Bauer

KURZDATEN VHF-FM-HÖRFUNK-SENDER

Frequenzbereich	87,5...108 MHz (4 oder 12 Quarze)
RF-Leistung	0,5/1/1,5/2/3 kW
Netzspannung	110/120/220/240 V ein- bzw. zweiphasig 220/380 V dreiphasig
Nenntemperaturbereich	— 5... + 45 °C
FM-Fremdspannungsabstand bei Monobetrieb	≥ 68 dB (typisch 72 dB)
bei Stereobetrieb	≥ 66 dB (typisch 68 dB)
FM-Geräuschspannungsabstand bei Monobetrieb	≥ 70 dB (typisch 74 dB)
bei Stereobetrieb	≥ 66 dB (typisch 70 dB)
AM-Fremdspannungsabstand	≥ 60 dB
AM-Geräuschspannungsabstand	≥ 70 dB
Übersprechdämpfung zwischen l und r	≥ 45 dB (100 Hz...5 kHz)
Wirkungsgrad	≈ 45 %

NÄHERES LESERDIENST KENNZIFFER 86/4