

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 69 (1991)

Heft: 2

Artikel: 30-GHz-Hochleitungswanderfeldröhrenverstärker = Amplificateur de haute puissance à tubes à ondes progressives à 30 GHz

Autor: Hecht, Johannes

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876278>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 28.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

30-GHz-Hochleistungswanderfeldröhrenverstärker

Amplificateur de haute puissance à tubes à ondes progressives à 30 GHz

Johannes HECHT, Ulm

1 Einleitung

Um bei hohen Frequenzen hohe Sendeleistungen zu erzeugen, wie dies in Satellitenbodenstationen erforderlich ist, werden Wanderfeldröhrenverstärker eingesetzt. Typische Arbeitsbereiche für Wanderfeldröhren sind Frequenzen von 1...60 GHz mit Spitzenausgangsleistungen zwischen 10 W und 100 kW. Typische Einsatzgebiete sind Satelliten, Richtfunkstrecken, Satellitenbodenstationen, Radaranlagen und Breitbandanwendungen.

Der 30-GHz-Verstärker VTL 30020 von AEG wird in einer Versuchs-Satellitenbodenstation der Schweizerischen PTT in Bern verwendet [1]. Sein Frequenzbereich deckt jenen der Satelliten Kopernikus, Olympus sowie Superbird ab. Der Verstärker besteht aus zwei Hauptbaugruppen: dem Netzgerät NTL 30020 und der Wanderfeldröhre TL 30020.

2 Netzgerät

Das Netzgerät NTL 30020 liefert die für den Betrieb der Wanderfeldröhre benötigten Hochspannungen. Die Ausgangsspannungen werden aus der gleichgerichteten Netzspannung über Mittelfrequenzumformer mit nachgeschalteten Spannungsvervielfachern und Siebgliedern erzeugt. Die Istwerte werden über Hochvolt-Spannungsteiler bzw. magnetisch gekoppelte Gleichspannungsmesswert-Übertrager erfasst.

Zusätzlich ist eine Steuer- und Überwachungslogik eingebaut, die einen für Personal und Gerät sicheren Betrieb garantiert. Sie überwacht vor allem die wichtigsten Wanderfeldröhrenparameter und schützt das Gerät im Falle von Fehlern oder Störungen vor Selbstzerstörung. Zusätzlich werden einige wichtige Funktionen im Apparatgehäuse an der Antenne (Feedbox) überwacht.

Das Netzgerät kann sowohl manuell als auch über Fernsteuerung (Computer) betrieben werden. Die jeweiligen Betriebszustände und allenfalls aufgetretenen Störungen werden gespeichert, über Leuchtdioden an der Frontplatte angezeigt und an eine externe übergeordnete Steuerung gemeldet. Weiterhin werden die wichtigsten Spannungen und Ströme der Wanderfeldröhre sowie die Hochfrequenzausgangsleistung angezeigt.

Die Stromversorgung ist so ausgelegt, dass die Röhre mit einem bis zu 13 Meter langen Kabel angeschlossen werden kann. So kann das Netzgerät aus Zuverlässigkeitsgründen und wegen der besseren Zugänglichkeit in

1 Introduction

Pour obtenir des puissances d'émission élevées à des fréquences élevées, tel que cela est nécessaire dans les stations terriennes pour communication par satellites, on utilise des amplificateurs à tubes à ondes progressives. Les plages de travail typiques des tubes à ondes progressives se situent dans les fréquences de 1...60 GHz avec des puissances de sortie de pointe entre 10 W et 100 kW. Les domaines d'application typiques se rencontrent dans les satellites, les sections de transmission à faisceaux dirigés, les stations terriennes, les installations de radar et les transmissions à large bande.

L'amplificateur à 30 GHz VTL 30020 de la maison AEG est utilisé dans une station terrienne d'essai de l'Entreprise des PTT suisses à Berne [1]. Sa bande de fréquences couvre celles des satellites Kopernikus, Olympus et Superbird. L'amplificateur est constitué de deux éléments principaux: le dispositif d'alimentation NTL 30020 et le tube à ondes progressives TL 30020.

2 Dispositif d'alimentation

Le dispositif d'alimentation NTL 30020 délivre les hautes tensions nécessaires à l'exploitation du tube à ondes progressives. Les tensions de sortie sont obtenues à partir de la tension du réseau redressée appliquée à un translateur moyenne fréquence suivi d'un multiplicateur de tension et d'éléments de filtrage. Les valeurs réelles de la tension sont saisies par l'intermédiaire d'un diviseur de haute tension, respectivement par le biais d'un translateur de valeurs de mesure de tension continue couplé magnétiquement.

Le dispositif contient en outre une logique de commande et de surveillance qui assure la sécurité d'exploitation et celle du personnel. Cette logique surveille en premier lieu les paramètres les plus importants du tube à ondes progressives et protège l'appareil contre l'auto-destruction en cas d'erreurs ou de dérangements. En outre, quelques fonctions importantes dans le boîtier d'appareils à l'antenne (Feedbox) sont également surveillées.

Le dispositif d'alimentation peut être exploité manuellement ou par le biais d'une télécommande (ordinateur). Les états d'exploitation et les dérangements qui se sont éventuellement produits sont mémorisés, affichés par diodes lumineuses à la plaque frontale de l'appareil

einem Gebäude aufgestellt werden. Bei der PTT-Station konnte die Röhre dank dem langen Kabel und der besonderen Röhrenkonstruktion direkt in der Antennen-feedbox im Freien untergebracht werden. Wegen der hohen Dämpfungsverluste in den Hohlleitern bei 30 GHz ist diese direkte Montage der Wanderfeldröhre auf der Antenne ein wesentlicher Vorteil.

Das Netzgerät ist schon vom Entwurf her auf hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer ausgelegt. Sollte trotzdem eine Störung auftreten, so lassen sich die meisten Fehler durch einen einfachen Tausch von Baugruppen beheben. Die wichtigsten Betriebsdaten sind:

- Umgebungstemperatur +5 °C... +40 °C
- Lagertemperatur -50 °C... +70 °C
- Luftfeuchtigkeit maximal 85 %
- Kühlluftmenge etwa 250 m³/h
- Verlustleistung etwa 400 W
- Höchste Hochspannung 18 kV

3 Wanderfeldröhre

Das zu übertragende Signal wird in der Wanderfeldröhre verstärkt. *Figur 1* zeigt in einer Schnittzeichnung die Hauptuntergruppen der Röhre TL 30020.

Die Elektronenkanone (im Bild rechts) ist weitgehend baugleich mit Elektronenkanonen von Wanderfeldröhren der AEG, die auf Satelliten zum Einsatz kommen. Für diese Programme garantiert der Hersteller eine Lebensdauer von über sieben Jahren. In der Elektronenkanone wird ein Elektronenstrahl erzeugt, der die Verzögerungsleitung durchläuft und im Auffänger bei einem reduzierten Potential wieder aufgefangen wird. Diese Baugruppen sind so konzipiert, dass die Röhre mit geringen Änderungen für künftige Systeme mit noch höherer Ausgangsleistung gebaut werden kann.

4 Verzögerungsleitung

In der Verzögerungsleitung findet die eigentliche Verstärkung des Hochfrequenz-Signals (HF) statt. In der Eingangssektion wird der Elektronenstrahl durch das HF-Signal geschwindigkeitsmoduliert. Der modulierte Elektronenstrahl induziert in der Ausgangssektion das verstärkte HF-Signal.

et annoncés à un dispositif de commande hiérarchiquement supérieur. Les valeurs les plus importantes des tensions et courants du tube à ondes progressives, ainsi que la puissance de sortie en haute fréquence continuent à être affichées.

Le dispositif d'alimentation est conçu de telle manière que le tube peut lui être raccordé par un câble dont la longueur est de 13 m au maximum. Ainsi, pour des raisons de fiabilité et de meilleure accessibilité, le dispositif d'alimentation peut être installé dans un bâtiment. En ce qui concerne la station des PTT, et grâce au long câble utilisé ainsi qu'à la construction du tube, le dispositif d'alimentation a pu être monté à l'extérieur directement dans le boîtier d'appareils de l'antenne. Cette façon de procéder représente un avantage important, étant donné les valeurs élevées d'atténuation rencontrées dans les guides d'ondes.

Dès le projet, le dispositif d'alimentation a été conçu pour une fiabilité élevée et une grande durée de vie. Si malgré cela, un dérangement devait apparaître, la plupart des défauts pourraient être supprimés par le simple remplacement d'éléments interchangeables. Les caractéristiques d'exploitation les plus importantes sont les suivantes:

- Température ambiante +5 °C... +40 °C
- Température de stockage -50 °C... +70 °C
- Humidité de l'air maximum 85 %
- Débit d'air de refroidissement env. 250 m³/h
- Puissance dissipée env. 400 W
- Haute tension maximale 18 kV

3 Tube à ondes progressives

Le signal à transmettre est amplifié dans le tube à ondes progressives. La *figure 1* montre une coupe des principaux sous-groupes du tube TL 30020.

Le canon à électrons (à droite dans l'image) est dans une large mesure de construction identique aux canons à électrons des tubes à ondes progressives AEG utilisés dans les satellites. Pour ces programmes de fabrication, le constructeur garantit une durée de vie supérieure à sept ans. Le canon à électrons produit un faisceau d'électrons qui traverse la ligne à retard et qui est récupéré, à un potentiel inférieur, par le collecteur. Ces élé-

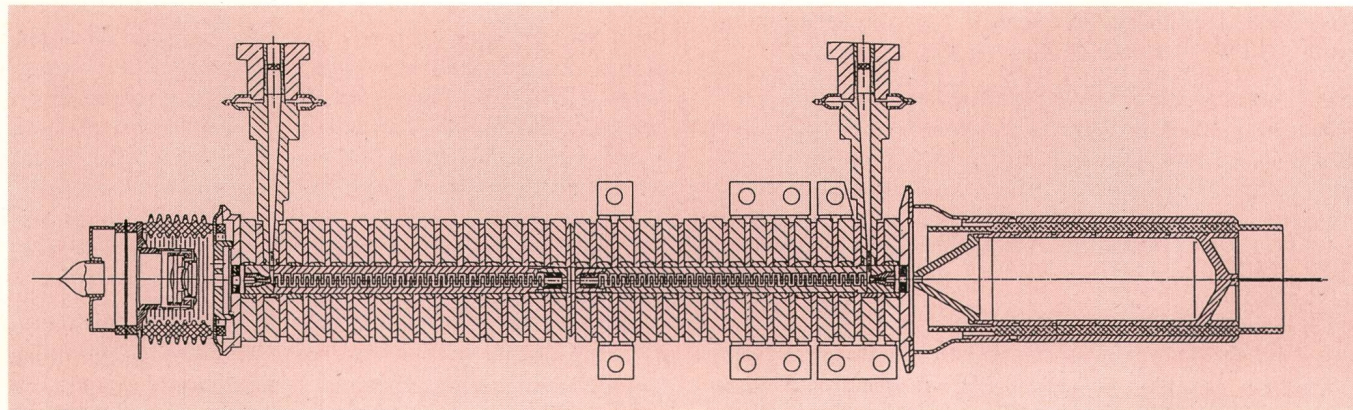


Fig. 1 Schnittbild der Wanderfeldröhre für Ka-Band – Coupe du tube à ondes progressives pour la bande Ka

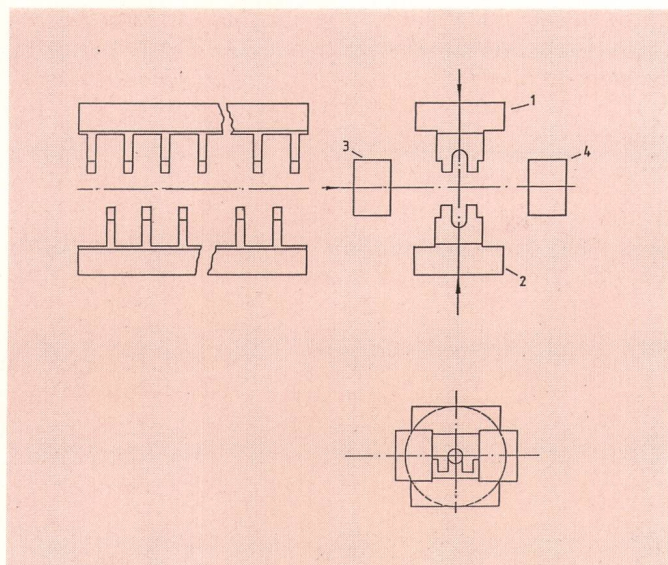


Fig. 2 Prinzipieller Aufbau der Doppelkamm-Verzögerungsleitung – Construction de principe de la ligne à retard en double peigne

- 1 Oberkamm – Peigne supérieur
- 2 Unterkamm – Peigne inférieur
- 3, 4 Seitenleisten – Bandes latérales

Um eine gute Wechselwirkung zwischen Elektronenstrahl und Hochfrequenz zu erreichen, müssen die jeweiligen Ausbreitungsgeschwindigkeiten längs der Verzögerungsleitung etwa gleich sein. Das heisst, die Ausbreitungsgeschwindigkeit des HF-Signals muss auf die Geschwindigkeit der Elektronen verzögert werden. Diese Verzögerung wird häufig durch eine wendelförmige Struktur (Helix) erreicht, wie dies beispielsweise bei Wanderfeldröhrenverstärkern im Ku-Band (11...14 GHz) in der Regel der Fall ist. Bei der doppelten Frequenz, d.h. im Ka-Band (20...30 GHz), lässt sich die Helix-Verzögerungsleitung jedoch nur bedingt verwenden. Auf Grund der hohen Frequenz werden die Abmessungen sehr klein und die erforderlichen Herstellungsgenauigkeiten sehr gross.

Die hohe thermische Belastung dieser kleinen Strukturen verhindern, bei heutigem Stand der Technik, im Ka-Band den Bau von Helixröhren mit grösserer Leistung.

Für wendelförmige Verzögerungsleitungen kann zur Zeit 100 Watt bei 30 GHz als technischer Stand betrachtet werden. Höhere Leistungen wurden bisher mit Wanderfeldröhren erzielt, deren Verzögerungsleitung aus aneinandergereihten, gekoppelten Resonatoren (Coupled Cavity) besteht. Diese Röhren haben im allgemeinen einen verhältnismässig welligen Verstärkungsgang in Funktion der Frequenz durch massliche Streuung in den gekoppelten Resonatoren.

Für die TL 30020 wird eine neuartige Verzögerungsleitung, die Doppelkammstruktur (Fig. 2), verwendet. Diese Doppelkammleitung beruht auch auf dem Prinzip der gekoppelten Resonatoren, ist aber mit weniger Aufwand viel genauer herzustellen. Die neue Verzögerungsleitung von AEG wurde erstmals in Wanderfeldröhren für Inter-Satellitenverbindungen bei 60 GHz eingesetzt. Seitdem wird sie für eine ganze Familie von Röhren verwendet, etwa für 1-kW-Pulsröhren bei 35 GHz, 10-W-Dauerstrich-

ments sind conçus de manière à ce qu'il soit possible de construire sans grandes modifications des systèmes futurs dont la puissance de sortie soit encore plus élevée.

4 Ligne à retard

L'amplification du signal haute fréquence (HF) se produit dans la ligne à retard. A l'entrée de celle-ci, le faisceau d'électrons est modulé en vitesse par le signal HF. Le faisceau d'électrons modulé induit le signal HF amplifié à la sortie de la ligne.

Pour obtenir une bonne interaction entre le faisceau d'électrons et la haute fréquence, les vitesses de propagation respectives le long de la ligne à retard doivent être à peu près les mêmes. Cela signifie que la vitesse de propagation du signal HF doit être réduite à la valeur de la vitesse de propagation des électrons. Cette réduction est souvent obtenue grâce à une structure en hélice comme cela est le cas en règle générale dans les amplificateurs à tubes à ondes progressives de la bande Ku (11...14 GHz), par exemple. A la fréquence double, c'est-à-dire dans la bande Ka (20...30 GHz), la ligne à retard en hélice ne peut être utilisée que sous certaines conditions. Etant donné les fréquences élevées, les dimensions de l'hélice deviennent très réduites et la précision de fabrication exigée est d'autant plus élevée.

La charge thermique élevée de ces structures de faibles dimensions empêche, dans l'état actuel de la technique, la construction de tubes à hélice de puissance relativement élevée utilisables dans la bande Ka.

En ce qui concerne les lignes à retard hélicoïdales, on peut considérer qu'une puissance de 100 W à 30 GHz sont les valeurs atteignables dans l'état actuel de la technique. Des puissances supérieures ont été obtenues jusqu'ici par des tubes à ondes progressives dont la ligne à retard était constituée par des résonateurs couplés disposés à la suite les uns des autres (Coupled Cavity). Ces tubes présentent en général une courbe d'amplifications assez ondulée en fonction de la fréquence, étant donné la dispersion modérée dans les résonateurs couplés.

Dans le tube TL 30020, on utilise un nouveau genre de ligne à retard dont la structure est en double peigne (fig. 2). Cette ligne en double peigne repose sur le principe des résonateurs couplés. Elle peut cependant être fabriquée de manière beaucoup plus précise avec des moyens plus simples. La nouvelle ligne à retard de la maison AEG a été utilisée pour la première fois dans des tubes à ondes progressives pour des lignes intersatellites à 60 GHz. Depuis lors, elle est utilisée dans toute une famille de tubes, par exemple dans les tubes à impulsions de 1 kW à 35 GHz, dans les tubes de 10 W à composante continue du courant pour 60 GHz ou dans les tubes utilisés par l'Entreprise des PTT pour 200 W à composante continue du courant, à 30 GHz.

5 Refroidissement

Tous ces tubes sont refroidis par des ailettes. Ce mode de refroidissement simple, la grande robustesse des tubes, tant du point de vue mécanique que thermique,

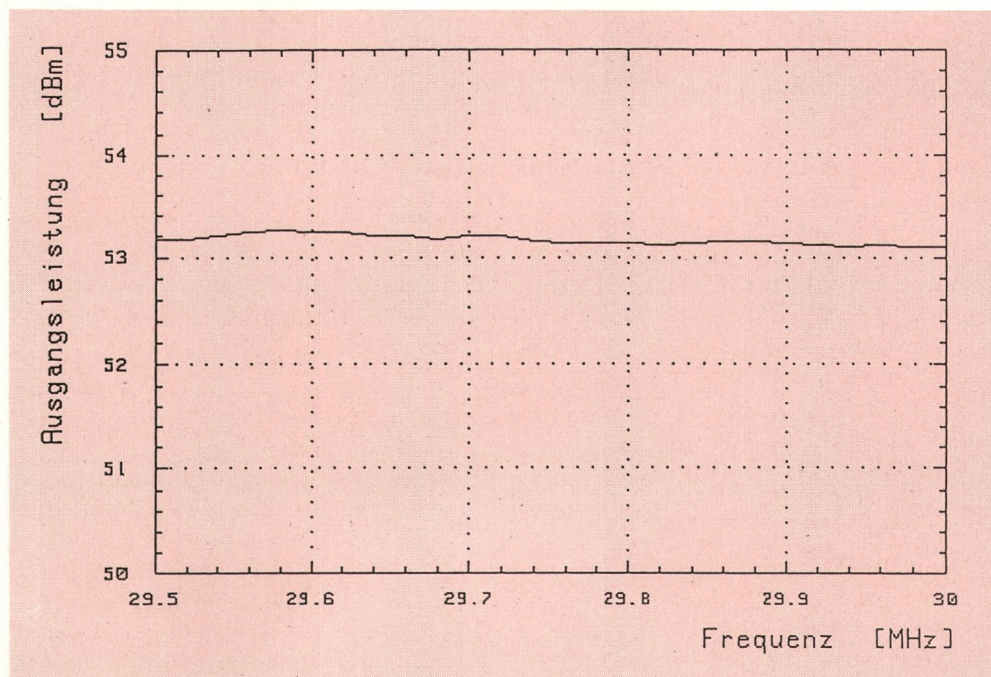


Fig. 3 Typische Mess-
ergebnisse der
TL 30020 im Fre-
quenzbereich Koper-
nikus – Résultats de
mesure typiques
pour le tube TL
30020 utilisé dans la
bande de fré-
quences du satellite
Kopernikus
Ausgangsleistung –
Puissance de sortie
[dBm]
Frequenz – Fré-
quence [MHz]

röhren bei 60 GHz oder die bei den PTT-Betrieben einge-
setzte Röhre für 200 Watt Dauerstrich bei 30 GHz.

5 Kühlung

Alle diese Röhren sind plattengekühlt. Diese einfache
Kühlung, die grosse mechanische und thermische Ro-
bustheit der Röhren sowie die verhältnismässig kleinen
Abmessungen sind wesentliche Vorteile beim Einbau in
eine Antennenfeedbox.

Die wichtigsten Leistungsdaten der TL 30020 lauten:

– Frequenzbereich	27,9 ... 30 GHz
– Ausgangsleistung	200 W
– Verstärkung	42 dB

ainsi que leurs dimensions relativement réduites repré-
sentent des avantages importants lorsqu'il faut les monter
dans le boîtier d'appareils d'une antenne.

Les caractéristiques principales du tube TL 30020 sont
les suivantes:

– Plage de fréquences	27,9 ... 30 GHz
– Puissance de sortie	200 W
– Coefficient d'amplification	42 dB
– Variation d'amplification dans la bande	inférieure à 3 dB
– Ondulation	–20 dB

Les figures 3 et 4 montrent des courbes d'amplification
typiques en fonction de la fréquence.

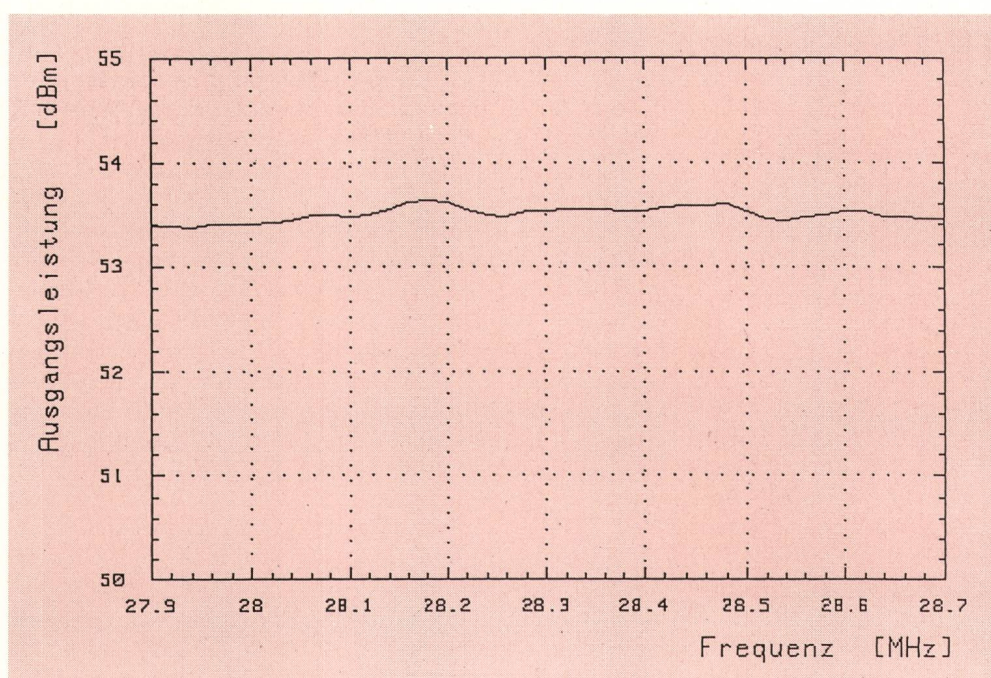


Fig. 4 Typische Mess-
ergebnisse der
TL 30020 im Fre-
quenzbereich Olym-
pus – Résultats de
mesure typiques
pour le tube TL
30020 utilisé dans la
bande de fré-
quences du satellite
Olympus
Ausgangsleistung –
Puissance de sortie
[dBm]
Frequenz – Fré-
quence [MHz]

- Verstärkungsänderung im Band kleiner als 3 dB
- Oberwelle – 20 dB

Figuren 3 und 4 zeigen typische Kurven des Amplitudenfrequenzgangs.

Diese Röhre könnte für künftige Systeme so optimiert werden, dass Ausgangsleistungen von bis zu 400 W erreicht werden.

6 Schlussbemerkung

In der Versuchsanlage der Schweizerischen PTT kommt zum ersten Mal in einer Satellitenbodenstation eine Wanderfeldröhre mit einer Doppelkammstruktur-Verzögerungsleitung zum Einsatz. Diese neuartige Verzögerungsleitung erlaubt auch für hohe Frequenzen den Bau von leistungsstarken, robusten und kostengünstigen Wanderfeldröhrenverstärkern. Die Ausgangsleistung der hier eingesetzten Röhre lässt sich mit Helix-Wanderfeldröhren nicht erreichen.

Adresse des Autors:

AEG

Adresse de l'auteur:

Geschäftsbereich Opto- und
Vakuumelektronik
Söflinger Strasse 100
D-7900 Ulm

Ce tube pourrait être optimisé pour des systèmes futurs et permettrait d'atteindre des puissances de sortie jusqu'à 400 W.

6 Conclusions

Dans l'installation d'essai des PTT suisses, on a utilisé pour la première fois dans une station terrienne un tube à ondes progressives équipé d'une ligne à retard dont la structure est en double peigne. L'utilisation de cette ligne à retard d'un nouveau genre permet la construction, pour des fréquences élevées également, d'amplificateurs à tubes à ondes progressives de grande puissance, robuste et bon marché. La puissance de sortie obtenue avec ce genre de tubes ne pourrait pas être atteinte avec des tubes à ligne à retard hélicoïdale.

Bibliographie

- [1] Schlaubitz A. Die Satellitenbodenstation der PTT für Versuche und Messungen im Frequenzband von 20/30 GHz. Bern, Techn. Mitt. PTT, 68 (1990) 9, S. 342.

Zusammenfassung

30-GHz-Hochleistungswanderfeldröhrenverstärker

Die Generaldirektion PTT hat kürzlich eine 20/30-GHz-Satellitenbodenstation zu Forschungszwecken in Betrieb genommen [1]. Der in dieser Station eingesetzte Wanderfeldröhrenverstärker und die Röhre werden näher beschrieben. In der Röhre wird eine neuartige Verzögerungsleitung mit Doppelkammstruktur eingesetzt, um die bei den verwendeten Frequenzen mit den herkömmlichen Konstruktionen verbundenen Nachteile zu überwinden.

Résumé

Amplificateur de haute puissance avec tubes à ondes progressives à 30 GHz

Depuis peu la direction générale des PTT a mis en service une station terrienne pour satellites 20/30 GHz à des fins de recherche [1]. L'auteur décrit en détail l'amplificateur et le tube à ondes progressives TOP. Le tube est construit autour d'une nouvelle ligne à retard utilisant une structure à chambre double de manière à éviter les problèmes liés à une conception conventionnelle aux fréquences élevées en question.

Riassunto

Amplificatori di tubi a onde progressive a 30 GHz

Recentemente la direzione generale delle PTT ha messo in esercizio per scopi sperimentali una stazione terrestre per satellite a 20/30 GHz [1]. L'autore descrive l'amplificatore di tubi a onde progressive e il tubo impiegati in questa stazione. Nel tubo viene installato un nuovo tipo di circuito d'interazione con struttura a doppio pettine che permette di evitare i problemi che si hanno con le costruzioni tradizionali quando le frequenze sono così elevate.

Summary

High Power Travelling Wave Tube Amplifier at 30 GHz

An experimental satellite earth station operating in the 20/30 GHz range has been committed recently at the Swiss PTT R&D Laboratories [1]. The travelling wave tube amplifier used in this station and the tube itself are described more closely. The tube is built around a novel delay line using a double-chamber structure in order to avoid the problems related to conventional designs at such high frequencies.