

Die Übertragungstechnischen Eigenschaften einer Bodenstationsantenne für Satellitenverbindungen = Les propriétés de transmission d'une antenne pour télécommunications par satellites d'une station terrienne

Autor(en): Huegli, Peter

Objektyp: Article

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

Band (Jahr): 52 (1974)

Heft 3

PDF erstellt am: 26.09.2024

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874749>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die übertragungstechnischen Eigenschaften einer Bodenstationsantenne für Satellitenverbindungen

Les propriétés de transmission d'une antenne pour télécommunications par satellites d'une station terrienne

Peter HUEGLI, Bern

621.372.833:621.396.677.833.1
621.396.71.091.22:621.396.934:621.391.883.2

Zusammenfassung. Der Empfangsteil einer Satelliten-Bodenstation ist charakterisiert durch den Qualitätsfaktor G/T. Dieser wird anhand der Theorie und der Antenne der schweizerischen Bodenstation in Leuk diskutiert. Ferner ist die Wirkungsweise dieser Antenne bezüglich Nachrichtenübertragung und automatischer Nachführung beschrieben.

Résumé. Le facteur de qualité G/T caractérise l'ensemble de réception d'une station terrienne pour satellites. Au vu de considérations théoriques et compte tenu de l'antenne de la station terrienne suisse de Loèche, l'auteur traite divers aspects de ce facteur. De plus, il décrit l'antenne à l'égard de la transmission d'informations et du pointage automatique.

Le caratteristiche tecniche di trasmissione dell'antenna di una stazione terrestre per comunicazioni via satelliti

Riassunto. L'equipaggiamento di ricezione di una stazione terrestre per comunicazioni via satelliti è caratterizzato dal fattore di merito G/T. Detto fattore vien esaminato in base alla teoria e sulla scorta dell'antenna della stazione terrestre svizzera di Leuk. Inoltre, si descrive come l'antenna trasmette i segnali e come funziona il sistema d'autopuntamento.

1. Einleitung

Die heute verwendeten Nachrichtensatelliten im Intelsat-Netz sind Mikrowellen-Relaisstationen in geostationären Umlaufbahnen. Sie empfangen Funksignale im Frequenzbereich 5,925...6,425 GHz, setzen diese um in den Bereich 3,7...4,2 GHz und senden sie verstärkt zur Erde zurück. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen können Antennengewinn und Sendeleistung beim Satelliten nicht beliebig hoch gewählt werden. Der notwendige Aufwand für ein leistungsfähiges Nachrichtensystem hat demzufolge auf der Bodenstation zu erfolgen.

Die gebräuchlichen Hochleistungssender und rauscharmen Vorverstärker erfordern eine Antenne für simultanen Sende- und Empfangsbetrieb, die zudem einen hohen Gewinn und eine niedrige Rauschtemperatur aufweist. Dies ist gleichbedeutend mit grosser wirksamer Antennenfläche und kleinen Nebenzipfeln sowie geringen ohmschen Verlusten.

Rotationssymmetrische Reflektoren sind bezüglich Herstellung sowie statischem und dynamischem Verhalten vorteilhaft gegenüber unsymmetrischen Konstruktionen. Bei einem Antennendurchmesser von rund 30 m lässt sich mit vertretbarem Aufwand eine genügend gute Richtwirkung erreichen.

Figur 13 zeigt die Wirkungsweise einer Cassegrain-Antenne mit Hornreflektorspeisung, wie sie in Leuk verwendet wird.

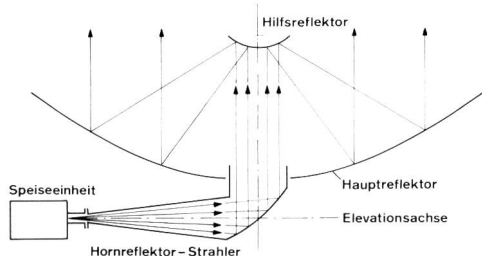


Fig. 13 Funktionsweise einer Cassegrain-Antenne mit Hornreflektor als Primärstrahler — Principe d'une antenne Cassegrain avec cornet en tant que source primaire

Hornreflektor-Strahler — Cornet, source primaire
Speiseeinheit — Ensemble d'alimentation
Elevationsachse — Axe d'élévation
Hauptreflektor — Réflecteur principal
Hilfsreflektor — Réflecteur auxiliaire

1. Introduction

Les satellites de télécommunications utilisés actuellement dans le réseau Intelsat sont des transpondeurs à micro-ondes gravitant en orbites géostationnaires. Ils reçoivent les signaux radioélectriques dans le plage de 5,925...6,425 GHz et les réémettent vers la terre dans la bande de 3,7...4,2 GHz, après les avoir amplifiés. Pour des raisons techniques et économiques, il n'est pas possible de choisir à volonté le gain d'antenne et la puissance d'émission du satellite. Par conséquent, toutes les mesures garantissant un système de télécommunication à hautes performances doivent être entreprises au niveau de la station terrienne.

Les amplificateurs de puissance et les préamplificateurs à faible bruit usuels exigent une antenne permettant un service d'émission et de réception simultané et possédant, de plus, un gain élevé et une faible température de bruit. Par définition, cela signifie une grande surface d'antenne active et des lobes latéraux réduits ainsi que de faibles pertes ohmiques.

Les réflecteurs représentant une surface de révolution symétrique sont une solution plus favorable, en ce qui concerne la fabrication ainsi que le comportement statique et dynamique, que les constructions asymétriques. Une antenne mesurant 30 m de diamètre permet d'obtenir un effet directif suffisant à un coût raisonnable. La figure 13 montre le fonctionnement d'une antenne Cassegrain alimentée par cornet, telle qu'elle est utilisée à Loèche.

2. Le facteur de qualité

La qualité d'un ensemble de réception est caractérisée par le rapport signal/bruit, proportionnel au quotient du gain d'antenne G divisé par la température de bruit du système T. Cette dernière est la somme de la température de bruit de l'antenne T_A et de la température de bruit du récepteur T_E.

$$\frac{S}{N} \sim \frac{G}{T} = \frac{G}{T_A + T_E} \quad (1)$$

2.1 Le gain d'antenne

En se référant à un radiateur sphérique, on peut définir le gain d'antenne par l'expression

$$G = \eta \cdot 4 \cdot \pi \cdot A / \lambda^2 \quad (2)$$

2. Der Qualitätsfaktor

Die Qualität eines Empfangssystemes ist charakterisiert durch das Signal-Rausch-Verhältnis, das proportional des Antennengewinnes G zur Systemrauschtemperatur T ist. Diese ist die Summe aus Antennenrauschtemperatur T_A und Empfängerrauschtemperatur T_E .

$$\frac{S}{N} \sim \frac{G}{T} = \frac{G}{T_A + T_E} \quad (1)$$

2.1 Der Antennengewinn

Die Definition des Antennengewinnes, bezogen auf den Kugelstrahler lautet

$$G = \eta \cdot 4 \cdot \pi \cdot A / \lambda^2 \quad (2)$$

Es sind dabei η = Wirkungsgrad, A = Antennenöffnungsfläche und λ = Wellenlänge. Klassische Richtfunkantennen weisen einen Wirkungsgrad von 0,5...0,6 auf. Die Gewinnreduktion rührt hauptsächlich von der nicht gleichförmigen Ausleuchtung der Antennenöffnungsfläche durch das Primärstrahlensystem her [1]. Durch entsprechende Formkorrektur an Hilfs- und Hauptreflektor bei Cassegrain-Antennen kann eine gleichmässige Flächenbelegung und damit ein erhöhter Wirkungsgrad erreicht werden [2]. Es ist dabei allerdings darauf zu achten, dass nicht durch starke Überstrahlung des Hauptreflektors ein unzulässiger Anstieg der Antennenrauschtemperatur verursacht wird. Der Wirkungsgrad beträgt bei der Antenne in Leuk etwa 0,82.

2.2 Die Antennenrauschtemperatur

Die Rauschtemperatur einer Antenne kann wie folgt definiert werden

$$T_A = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \int_{\Omega=0}^{4\pi} T(\Omega) \cdot G(\Omega) \cdot d\Omega \quad (3)$$

$T(\Omega)$ bedeutet die Strahlungstemperatur und $G(\Omega)$ den Antennengewinn in Richtung Ω .

Die Strahlungstemperatur des Himmels beträgt bei 4 GHz ca. 3°K. Luftfeuchtigkeit, Regentropfen und die Ausdehnung der durchstrahlten atmosphärischen Schichten erhöhen diesen Rauschbeitrag. Diskrete Himmelskörper können beträchtliche Rauschquellen darstellen (Sonne 6000°K, Mond 16°K, Cassiopeia A 14,3°K) [3]. Die Erde wirkt allgemein für Mikrowellen absorbierend, ihre Strahlungstemperatur beträgt entsprechend etwa 240°K. Auf den Boden gerichtete Nebenzipfel können also erhebliche Rauschanteile aufnehmen.

Leitungsverluste zwischen Antenne und Vorverstärker erzeugen je 0,1 dB einen zusätzlichen Rauschanteil von etwa 7°K. Die Cassegrain-Antenne hat nun den Vorteil, dass ihr Speisepunkt hinter dem Hauptreflektor liegt, so dass der Empfangsverstärker direkt an der Antenne angeschlossen werden kann.

2.3 Messungen

Figur 14 zeigt das Prinzip des verwendeten Messaufbaues. Damit lassen sich Qualitätsfaktor Q , Systemrauschtemperatur T und Empfängerrauschtemperatur T_E direkt bestimmen. Antennengewinn G und Antennenrauschtemperatur T_A können anhand der Gleichung (1) berechnet werden.

Die beiden Abschlusswiderstände unterschiedlicher Temperatur und der Radiostern liefern die Bezugsgrößen für

pour les grandeurs η = rendement, A = surface d'ouverture de l'antenne et λ = longueur d'onde. Les antennes directives classiques ont un rendement de 0,5...0,6. La perte de gain est principalement due à l'illumination irrégulière de la surface d'ouverture d'antenne par la source de rayonnement primaire [1]. Par des corrections de forme du réflecteur auxiliaire et du réflecteur principal des antennes Cassegrain, il est possible d'obtenir un éclairage de surface uniforme et, partant, d'améliorer le rendement [2]. Ce faisant, il faut cependant prendre garde de ne pas provoquer une augmentation inadmissible de la température de bruit d'antenne par une irradiation excessive du réflecteur principal. Le rendement de l'antenne de Loèche est de 0,82 environ.

2.2 La température du bruit de l'antenne

La température de bruit d'une antenne peut être définie ainsi qu'il suit:

$$T_A = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \int_{\Omega=0}^{4\pi} T(\Omega) \cdot G(\Omega) \cdot d\Omega \quad (3)$$

$T(\Omega)$ étant la température de rayonnement et $G(\Omega)$ le gain d'antenne en direction Ω .

A 4 GHz, la température de rayonnement du ciel est d'environ 3°K. L'humidité de l'air, les gouttes de pluie et les couches atmosphériques par lesquelles passe le rayonnement augmentent le facteur de bruit. Les corps célestes représentent des sources de bruit parfois considérables (le soleil 6000°K, la lune 16°K, Cassiopee A 14,3°K) [3]. D'une manière générale, la terre a tendance à absorber les micro-ondes et sa température de rayonnement est, en conséquence, de quelque 240°K. Dirigés vers le sol, les lobes latéraux peuvent capter des composantes de bruit parfois considérables.

Une composante de bruit supplémentaire d'environ 7°K est engendrée par les pertes de 0,1 dB qui se produisent dans les guides d'ondes entre l'antenne et le préamplificateur. Toutefois, l'antenne Cassegrain offre l'avantage d'avoir son point d'alimentation derrière le réflecteur principal, si bien que l'amplificateur de réception peut être fixé directement à l'antenne.

2.3 Mesures

La figure 14 montre le dispositif de mesure mis en œuvre. Il permet de déterminer directement le facteur de qualité Q , la température de bruit du système T et la température de

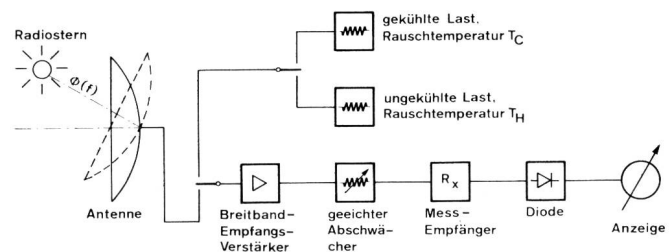


Fig. 14
Messprinzip bei G/T-Messungen — Principe de mesure du rapport G/T

Radiostern — Radio-étoile
Antenne — Antenne
Breitband-Empfangsverstärker — Amplificateur de réception à large bande
Geeichteter Abschwächer — Atténuateur étalonné
Mess-Empfänger — Récepteur de mesure
Diode — Diode
Anzeige — Indication
Ungekühlte Last, Rauschtemperatur T_H — Charge non refroidie, température de bruit T_H
Gekühlte Last, Rauschtemperatur T_C — Charge refroidie, température de bruit T_C

die Auswertung der Messwerte. Gemessen werden nur Verhältnisse von Rauschleistungen am Ausgang des Breitband-Empfangssystems mit Hilfe eines geeichten Abschwächers [4].

Für die Auswertung gelten folgende Zusammenhänge:

$$Q = 10 \log \frac{G}{T} = \left(10 \log \frac{8 \cdot \pi \cdot k \cdot (y-1)}{\Phi(f) \cdot \lambda^2} \right) + K1 + K2 \quad (4)$$

$$T_E = (T_H - y_1 T_C) / (y_1 - 1) \quad (5)$$

$$T = y_2 (T_E + T_C) \quad (6)$$

wobei:

- k = Boltzmannsche Konstante
- $\Phi(f)$ = Strahlungsleistungsdichte des Radiosterns
- $K1$ = Faktor in dB, abhängig vom Verhältnis Antennenstrahlbreite zu scheinbarem Durchmesser des Radiosterns
- $K2$ = Faktor in dB, atmosphärische Absorption berücksichtigend. $K2 = 0,036/\sin$ Elevation
- y = $\frac{\text{Rauschleistung mit Antenne auf Radiostern gerichtet}}{\text{Rauschleistung mit Antenne neben Radiostern}}$
- y_1 = $\frac{\text{Rauschleistung mit ungekühlter Last}}{\text{Rauschleistung mit gekühlter Last}}$
- y_2 = $\frac{\text{Rauschleistung mit Antenne}}{\text{Rauschleistung mit gekühlter Last}}$

Die Tabelle 1 enthält eine Aufstellung der erwarteten und der gemessenen Werte für die Antenne der Bodenstation in Leuk

3. Die zusammengesetzte Speiseeinheit

In der zusammengesetzten Speiseeinheit werden Sende- und Empfangssignale zusammengeführt, die gewünschten Polarisierungen erzeugt und Fehlersignale zur Antennenachführung ausgekoppelt. Die Figur 15 zeigt das Blockdiagramm der Speiseeinheit.

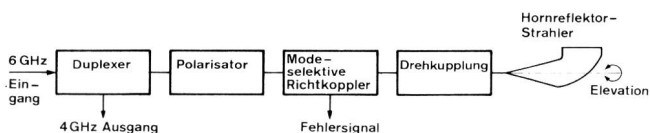


Fig. 15
Blockschema der zusammengesetzten Speiseeinheit — Schéma simplifié de l'unité d'alimentation

- 6-GHz-Eingang — Entrée 6 GHz
- Duplexer — Duplexeur
- 4-GHz-Ausgang — Sortie 4 GHz
- Polarisator — Polariseur
- Modeselektive Richtkoppler — Coupleurs de mode sélectifs
- Fehlersignal — Signal d'erreur
- Drehkupplung — Accouplement rotatif
- Hornreflektor-Strahler — Cornet, source primaire
- Elevation — Elévation

Im Duplexer werden die für Sender und Empfänger getrennten Rechteckhohlleiteranschlüsse in einen gemeinsamen Rundhohlleiter überführt. In diesem sind beide Signale in Form von orthogonal angeordneten, linear polarisierten Grundwellen vorhanden.

Der nachfolgende Polarisator hat die Aufgabe, die lineare in eine zirkulare Polarisation umzuwandeln oder je nach Bedarf, die Richtung der linearen Polarisation in die gewünschte Ebene zu drehen. Er besteht aus zwei gleichen drehbaren Rundhohlleiterstücken, die in der Längsachse eine dielektrische Platte enthalten. Jedes Teilstück bewirkt,

bruit du récepteur T_E . Grâce à l'équation (1), il est possible de calculer le gain d'antenne G et la température de bruit d'antenne T_A .

Les deux résistances terminales à températures différentes et la radio-étoile fournissent les grandeurs de référence nécessaires à l'analyse des mesures. On ne mesure que les rapports des puissances de bruit à la sortie de l'ensemble de réception à large bande à l'aide d'un atténuateur étalonné [4].

Les rapports suivants servent à l'analyse:

$$Q = 10 \log \frac{G}{T} = \left(10 \log \frac{8 \cdot \pi \cdot k \cdot (y-1)}{\Phi(f) \cdot \lambda^2} \right) + K1 + K2 \quad (4)$$

$$T_E = (T_H - y_1 T_C) / (y_1 - 1) \quad (5)$$

$$T = y_2 (T_E + T_C) \quad (6)$$

dans lesquels

- k = constante de Boltzmann
- $\Phi(f)$ = densité de puissance rayonnée de la radio-étoile
- $K1$ = facteur en dB dépendant du rapport entre la largeur de rayonnement de l'antenne et le diamètre apparent de la radio-étoile
- $K2$ = facteur en dB où il est tenu compte de l'absorption atmosphérique
- y = $\frac{\text{puissance de bruit avec antenne dirigée sur la radio-étoile}}{\text{puissance de bruit avec antenne non pointée sur la radio-étoile}}$
- y_1 = $\frac{\text{puissance de bruit avec charge non refroidie}}{\text{puissance de bruit avec charge refroidie}}$
- y_2 = $\frac{\text{puissance de bruit avec antenne}}{\text{puissance de bruit avec charge refroidie}}$

Le tableau 1 contient une énumération des valeurs supprimées et des valeurs mesurées concernant l'antenne de la station terrestre de Loèche.

3. L'ensemble d'alimentation combiné

L'ensemble d'alimentation combiné sert à réunir les signaux d'émission et les signaux de réception, à produire la polarisation désirée et à découpler les signaux d'erreur servant au pointage de l'antenne. Le schéma de principe de la figure 15 montre l'ensemble d'alimentation.

Au niveau du duplexeur, les guides d'ondes à section rectangulaire de l'émetteur et du récepteur sont conduits à un guide d'ondes circulaire commun. Dans ce dernier, les deux signaux existent sous forme d'ondes de base à polarisation linéaire et à configuration orthogonale.

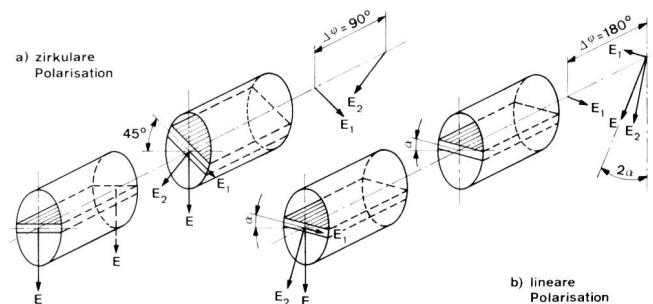


Fig. 16
Funktionsweise des Polarisators — Principe de fonctionnement du polariseur

- a) Zirkulare Polarisation — Polarisation circulaire
- b) Lineare Polarisation — Polarisation linéaire

Tabelle I. Erwartete und gemessene Werte der Antenne in Leuk

Frequenz	3700	4000	4200	MHz
1. Antennengewinn				
Verluste infolge				
— Ausleuchtung des Hauptreflektors	—0,24	—0,24	—0,24	dB
— Ueberstrahlung des Hauptreflektors	—0,08	—0,08	—0,08	dB
— Ueberstrahlung des Hilfsreflektors	—0,15	—0,15	—0,15	dB
— Abschattung und Streustrahlung	—0,30	—0,30	—0,30	dB
— Oberflächenungenauigkeit und Phasenfehler	—0,19	—0,20	—0,21	dB
— Anteil falscher Polarisation	—0,04	—0,04	—0,04	dB
— Ohmsche Verluste in Speiseeinheit	—0,18	—0,18	—0,18	dB
Total Verluste	—1,18	—1,19	—1,20	dB
Antennengewinn verlustloser Antenne ($\eta_l = 1$)	61,18	61,86	62,28	dB
Erwarteter Antennengewinn G	60,0	60,7	61,1	dB
Gemessener Antennengewinn G	60,3	60,9	61,4	dB
2. Antennenrauschtemperatur (5° Elevation)				
Rauschteile infolge				
— Antennenhauptstrahl (Himmel)	23,8	23,1	22,7	°K
— Ueberstrahlung des Haupt- und Hilfsreflektors	4,0	3,9	3,8	°K
— Abschattung und Streustrahlung	6,1	5,9	5,8	°K
— Oberflächenungenauigkeit, Phase, Polarisation	2,9	2,8	2,8	°K
— Ohmsche Verluste in Speiseeinheit	12,2	12,2	12,2	°K
Erwartete Antennenrauschtemperatur T_A	49,0	47,9	47,3	°K
Gemessene Antennenrauschtemperatur T_A	41,1	39,5	38,1	°K
3. Qualitätsfaktor (5° Elevation)				
Empfängerrauschtemperatur T_E	17,4	16,5	17,9	°K
Systemrauschtemperatur $T = T_A + T_E$	58,5	56,0	56,0	°K
10 log T	17,7	17,5	17,5	dB/°K
Qualitätsfaktor: G/T zulässiger Minimalwert	40,0	40,7	41,1	dB/°K
Qualitätsfaktor: G/T gemessener Wert	42,6	43,4	43,9	dB/°K

Tableau I. Valeurs supputées et valeurs mesurées des caractéristiques de l'antenne de Loèche

Fréquence	3700	4000	4200	MHz
1. Gain de l'antenne				
Pertes par:				
— Illumination du réflecteur principal	—0,24	—0,24	—0,24	dB
— Excès d'alimentation du réflecteur principal	—0,08	—0,08	—0,08	dB
— Excès d'alimentation du réflecteur auxiliaire	—0,15	—0,15	—0,15	dB
— Effet d'ombre et rayonnement de dispersion	—0,30	—0,30	—0,30	dB
— Imprécision de surface et défaut de phase	—0,19	—0,20	—0,21	dB
— Composante de polarisation erronée	—0,04	—0,04	—0,04	dB
— Pertes ohmiques dans l'ensemble d'alimentation	—0,18	—0,18	—0,18	dB
Pertes totales	—1,18	—1,19	—1,20	dB
Gain d'une antenne sans pertes ($\eta_l = 1$)	61,18	61,86	62,28	dB
Gain d'antenne supputé G	60,0	60,7	61,1	dB
Gain d'antenne mesuré G	60,3	60,9	61,4	dB
2. Température de bruit de l'antenne (élévation 5°)				
Composantes de bruit dues à:				
— Lobe principal de l'antenne (dirigé vers le ciel)	23,8	23,1	22,7	°K
— Excès d'alimentation des réflecteurs principal et auxiliaire	4,0	3,9	3,8	°K
— Effet d'ombre et rayonnement de dispersion	6,1	5,9	5,8	°K
— Imprécision de surface, phase, polarisation	2,9	2,8	2,8	°K
— Pertes ohmiques dans l'ensemble d'alimentation	12,2	12,2	12,2	°K
Température de bruit supputée de l'antenne T_A	49,0	47,9	47,3	°K
Température de bruit mesurée de l'antenne T_A	41,1	39,5	38,1	°K
3. Facteur de qualité (élévation 5°)				
Température de bruit du récepteur T_E	17,4	16,5	17,9	°K
Température de bruit du système $T = T_A + T_E$	58,5	56,0	56,0	°K
10 log T	17,7	17,5	17,5	dB/°K
Facteur de qualité G/T, valeur minimale admissible	40,0	40,7	41,1	dB/°K
Facteur de qualité G/T, valeur mesurée	42,6	43,4	43,9	dB/°K

dass ein elektrischer Vektor in der Plattenebene, gegenüber einem senkrecht dazu stehenden, in seiner Phase um 90° verschoben wird [5].

Die Figuren 16a und 16b zeigen, wie mit dieser Anordnung die eingangs gestellten Aufgaben gelöst werden. Die Länge der Teilstücke ist so gewählt, dass die 90° -Phasenverschiebung bei 4 GHz und 6 GHz mit umgekehrtem Vorzeichen geschieht. Dadurch entstehen bei zirkularer Polarisation gegenläufige Drehrichtungen, was den Anforderungen entspricht.

4. Die automatische Antennennachführung

Es ist bis jetzt noch nicht möglich, oder zumindest unwirtschaftlich, einen geostationären Satelliten so zu plazieren, dass seine Bahnschwankungen innerhalb der Hauptstrahlungskeule einer Bodenstationsantenne von etwa $0,15^\circ$ liegen. Die Antenne in Leuk wird deshalb von einem automatischen Nachführsystem gesteuert, dessen Fehlersignal durch die Antenne selbst erzeugt wird [6].

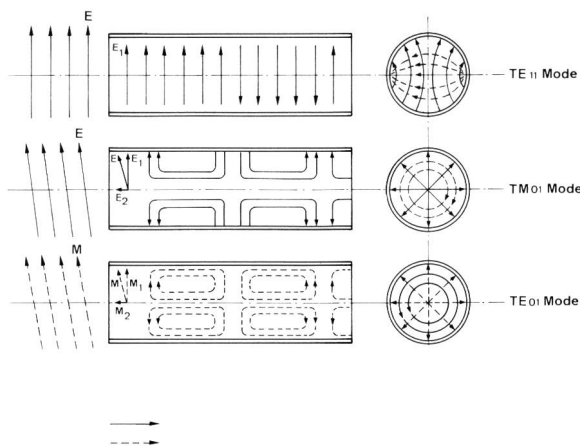


Fig. 17
Anregungsart und Verlauf von Wellentypen im Rundhohlleiter — Mode d'excitation et progression des différents types d'ondes dans un guide d'ondes circulaire

- TE₁₁-Mode — Mode TE₁₁
- TM₀₁-Mode — Mode TM₀₁
- TE₀₁-Mode — Mode TE₀₁
- Elektrischer Vektor
- - - -> Magnetischer Vektor
- E₁ Komponente TE₁₁-Mode — Komponente des Modus TE₁₁
- E₂ Komponente TM₀₁-Mode — Komponente des Modus TM₀₁
- M₂ Komponente TE₀₁-Mode — Komponente des Modus TE₀₁

Man benützt dazu die Tatsache, dass im Rundhohlleiter der Speiseeinheit ausser dem Grundmode noch höhere Wellentypen angeregt werden, sobald die einfallende ebene Wellenfront nicht mehr parallel zur Antennenöffnungsebene verläuft, wie dies Figur 17 zeigt. Diese Anteile werden mit modeselektiven Kopplern herausgeführt. Es entsteht somit ein Fehlersignal, dessen Amplitude ein Mass für die Grösse der Winkelablage darstellt. Der Phasenvergleich des Fehlersignales mit einem aus der Grundwelle gebildeten Referenzsignal gibt an, in welcher Richtung eine Winkelablage vorhanden ist. Daraus entstehen für die Azimut- und Elevationsachse getrennte Korrekturspannungen, deren Polarität die Drehrichtung der Antriebsmotoren bestimmt (Fig. 18). Die Nachführgenauigkeit beträgt etwa $0,01^\circ$.

Die Fehlersignalkoppler sind bezüglich Elevationsachse feststehend montiert. Ihr Koordinatensystem ist also gegenüber dem der Antennen-Hauptstrahlungsrichtung um den Elevationswinkel gedreht. Ein Phasenschieber im Referenz-

Le polariseur monté en aval a pour tâche de transformer la polarisation linéaire en polarisation circulaire ou, suivant le besoin, à orienter la polarisation linéaire dans le plan voulu. Le polariseur consiste en deux segments de guides d'ondes circulaires rotatifs, pourvus d'une plaque diélectrique dans l'axe longitudinal. Chaque segment agit de manière qu'un vecteur électrique situé sur le plan de la plaque se trouve déphasé de 90° par rapport à un vecteur qui lui est perpendiculaire [5].

Les figures 16a et 16b montrent comment ce dispositif permet de résoudre les tâches énumérées plus haut. On choisit la longueur des segments de façon que le déphasage de 90° à 4 GHz ait une polarité inverse de celle à 6 GHz. Il en résulte, lorsque la polarisation est circulaire, des mouvements de rotation en sens inverse, ce qui répond aux exigences.

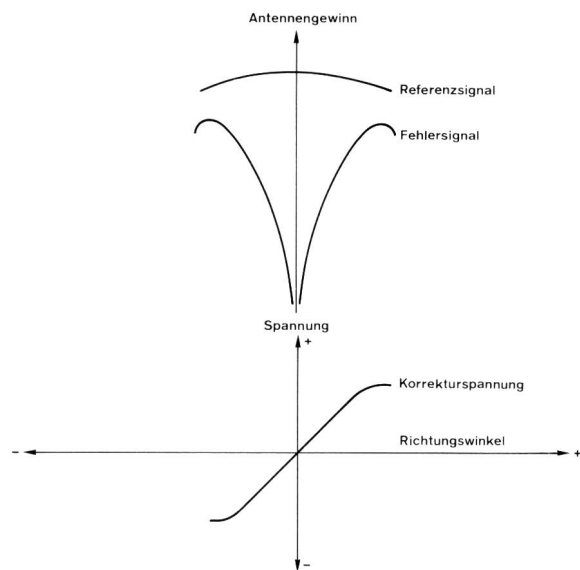


Fig. 18
Fehlersignal und Korrekturspannung für die Antennennachführung — Signal d'erreur et tension de correction pour le pointage d'antenne

- Antennengewinn — Gain d'antenne
- Referenzsignal — Signal de référence
- Fehlersignal — Signal d'erreur
- Spannung — Tension
- Korrekturspannung — Tension de correction
- Richtungswinkel — Angle de pointage

4. Le pointage automatique d'antenne

Pour l'instant, il n'est pas encore possible, ou du moins irréaliste, de placer un satellite géostationnaire de telle sorte que ses variations d'orbite se situent à l'intérieur du lobe de rayonnement principal de $0,15^\circ$ environ d'une antenne de station terrestre. Par conséquent, l'antenne de Loèche est orientée par un système de pointage automatique, commandé par un signal d'erreur provenant de l'antenne elle-même [6].

A cet effet, on tire profit du fait que, mis à part le mode de base, d'autres types d'ondes d'un ordre supérieur sont excités dans le guide d'ondes de l'ensemble d'alimentation, dès que le front d'ondes incident n'est plus parallèle au plan d'ouverture de l'antenne, ainsi que le montre la figure 17. Ces composantes sont détectées par des coupleurs de modes sélectifs. Ce processus permet de recueillir un signal d'erreur dont l'amplitude varie en fonction de l'écart de pointage. La comparaison des phases du signal d'erreur et d'un signal de référence formé à partir de l'onde de base permet de déterminer la direction de l'écart angulaire. Il en résulte

signal, angetrieben durch die Elevationsachse, führt die notwendige Koordinatentransformation durch. *Figur 19* zeigt das Prinzip des gesamten Regelkreises und *Figur 20* das Hauptstrahlungsdiagramm der Antenne.

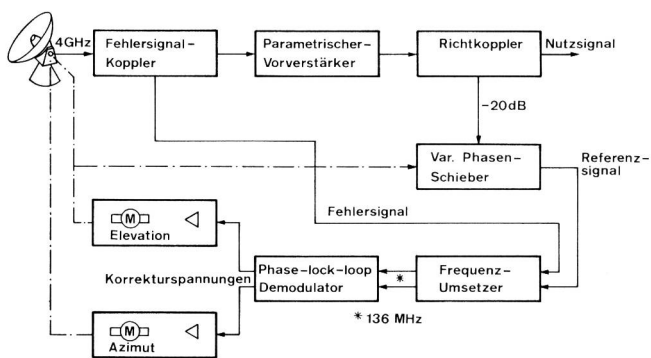


Fig. 19
Blockschema des Regelkreises zur Antennennachführung — Schéma simplifié du circuit de réglage pour le pointage d'antenne

Fehlersignal-Koppler — Coupleur de signal d'erreur
 Parametrischer Vorverstärker — Préamplificateur paramétrique
 Richtkoppler — Coupleur directif
 Var(iabler) Phasenschieber — Déphaseur variable
 Referenzsignal — Signal de référence
 Fehlersignal — Signal d'erreur
 Nutzsinal — Signal utile
 Frequenzumsetzer — Changeur de fréquence
 Phase-lock-loop Demodulator — Démodulateur de boucle de phase
 Korrekturspannungen — Tensions de correction
 Elevation — Elévation
 Azimut — Azimut

Bibliographie

- [1] Silver S. Microwave Theorie and Design, chapter 6. Mc Graw-Hill 1965.
- [2] Debrunner W.E. Antennen mit nichtparabolischen Reflektoren. Techn. Mitt. PTT 1967, Nr. 5, S. 223 ff.
- [3] Heilmann A. Antennen III, Hochschultaschenbücher. B.I. Mannheim 1970.
- [4] CCIR-Dokument, Vol. IV (2) New Delhi 1970.
- [5] Fox A.G. An adjustable Wave-Guide Phase Changer. Proc. of the IRE, December 1947.
- [6] Cook J.S., Lowell R. The Autotrack System. Bell Syst. Tech. J. 42 July 1963.

des tensions de correction séparées pour l'axe d'azimut et l'axe d'élévation, tensions dont les polarités déterminent le sens de rotation des moteurs d'entraînement (*figure 18*). La précision de pointage est de l'ordre de $0,01^\circ$.

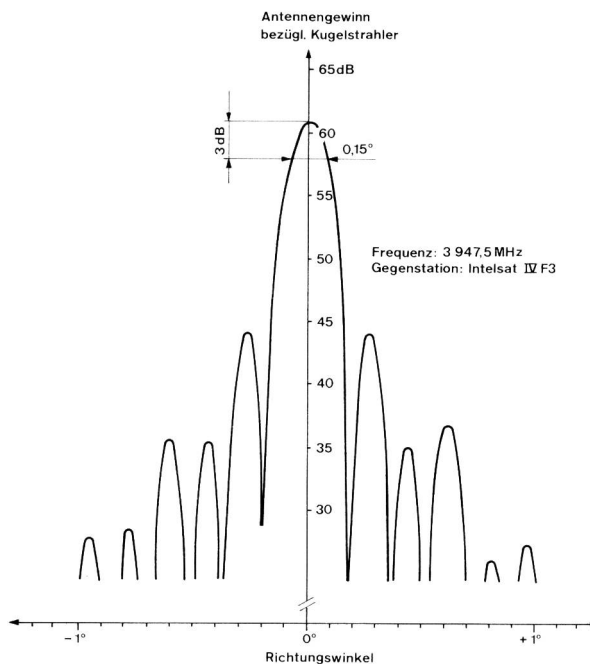


Fig. 20
Hauptstrahlungsdiagramm der Antenne in Leuk — Diagramme de rayonnement principal de l'antenne à Loèche

Antennengewinn bezüglich Kugelstrahler — Gain d'antenne par rapport à une antenne isotrope
 Frequenz 3947,5 MHz — Fréquence 3947,5 MHz
 Gegenstation — Station opposée Intelsat IV F3
 Richtungswinkel — Angle de pointage

Par rapport à l'axe d'élévation, les coupleurs de signal d'erreur sont montés de manière fixe. Dès lors, leur système de coordonnées diffère en proportion de l'angle d'élévation de la direction de rayonnement principal de l'antenne. La transformation de coordonnées nécessaire est assurée par un déphaseur monté dans le circuit du signal de référence et actionné par l'axe d'élévation. La *figure 19* montre le principe de l'ensemble du circuit de régulation et la *figure 20*, le diagramme de rayonnement principal de l'antenne.