

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: 45 (1967)

Heft: 3

Artikel: Informationsübertragung auf Kurzwellen = Transmission d'informations sur ondes courtes

Autor: Laett, Harry A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874854>

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: 03.05.2026

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

Informationsübertragung auf Kurzwellen¹

Transmission d'informations sur ondes courtes²

Harry A. LAETT, Bern

621.396:621.394

Zusammenfassung. Trotz Nachrichtensatelliten und Tiefseekabeln ist die Kurzwelle noch hauptsächlich Träger interkontinentaler Nachrichten-Übermittlungssysteme. Deren technische Parameter werden auf Grund der Frequenzknappheit dauernd verschärft. Praktische Systeme nähern sich somit immer mehr dem Shannonschen Grenzwert. An Hand von praktischen Systemen wird der heutige Stand der modernen Kurzwellen-Übertragungstechnik, insbesondere für Nachrichten digitaler Natur, festgehalten.

Résumé. Malgré les satellites de télécommunications et les câbles sous-marins, les ondes courtes sont encore le plus important moyen de transmission pour les liaisons intercontinentales. Etant donnée la pénurie de fréquences, les paramètres techniques des ondes courtes doivent remplir des conditions toujours plus sévères. Les méthodes rationnelles se rapprochent donc de plus en plus de la valeur-limite de Shannon. Se basant sur les systèmes utilisés en pratique, l'auteur fait le point de l'état actuel de la technique moderne de transmission par ondes courtes, spécialement en ce qui concerne les informations de caractère digital.

Trasmissione di dati su onde corte

Riassunto. Malgrado i satelliti per le telecomunicazioni ed i cavi sottomarini transoceanici, il sistema predominante per la trasmissione intercontinentale di dati rimane quello su onde corte. La mancanza di frequenze disponibili rende però sempre più rigidi i suoi parametri tecnici. I sistemi pratici si avvicinano perciò sempre più ai valori estremi di Shannon. Con l'ausilio di sistemi pratici e con particolare riferimento ai dati di natura digitale viene fatto il punto alla situazione attuale nella moderna tecnica della trasmissione di dati su onde corte.

Auf den ersten Blick erscheint es altmodisch und fast wirklichkeitsfremd, im Zeitalter von Satelliten, PCM und Laser wesentlich Neues über Kurzwellenverbindungen berichten zu wollen. Und doch liegen die Verhältnisse derart, dass heute noch weitaus der überwiegende Teil des interkontinentalen – und teilweise auch internationalen – kommerziellen Verkehrs sich im Frequenzbereich zwischen 3 und 30 MHz abwickelt.

Auf Grund der Gattung der zu übertragenden Meldungen und des im allgemeinen beträchtlichen Zeitunterschiedes an den Endstationen ist der Grossteil des Nachrichtenflusses diskreter beziehungsweise digitaler Natur und reicht von der Hand-Morsebetriebsart bis zu schnellen Datenübertragungen. Für die folgenden Betrachtungen stehen daher die Probleme der festen (Punkt-Punkt) Dienste im Vordergrund, welche sowohl im zivilen wie im militärischen Anwendungsbereich an erster Stelle stehen. Gänzlich unberücksichtigt sollen dabei Fragen des KW-Rundspruches (ohnehin Spielball im Machtkampf von Politik und Starkstromtechnik) und der beidseitig beweglichen Dienste bleiben.

Ziel dieses Aufsatzes ist es, einen Überblick über diejenigen Mittel zu geben, die heute bei KW-Verbindungen Anwendung finden und mithelfen, mit dem immer knapper werdenden Rohstoff «Frequenz» ein Maximum an Übertragungsfluss anzubieten. Dabei muss aus der Fülle von Anwendungen nur Einzelnes herausgegriffen werden; die Auswahl selbst ist daher willkürlich und subjektiv.

1. Gütemassstäbe

Das Bedürfnis, Übertragungssysteme nach einem Gütekriterium objektiv zu beurteilen ist so alt wie die vergleichende Systemtheorie selbst. Es blieb jedoch Shannon vorbehalten, die früher nur «erahnten» Beziehungen in eine geschlossene mathematische Form zu bringen. Die im

Au premier abord, il peut sembler désuet et peu conforme à la réalité de vouloir relater quelque nouveauté au sujet des liaisons sur ondes courtes, à l'ère des satellites, PCM et Laser. Et pourtant, il est de fait qu'aujourd'hui encore la très grande majorité du trafic commercial intercontinental – et partiellement même le continental – se déroule dans les bandes de fréquences comprises entre 3 et 30 MHz.

Etant données la nature des messages à transmettre et, en particulier, les considérables différences d'heures entre stations terminales, la plus grande partie du flux d'informations a un caractère discret, respectivement digital, et s'étend de la télégraphie manuelle en morse jusqu'aux rapides transmissions de données. En ce qui concerne la suite de cet exposé, les problèmes des services fixes (point à point) seront traités en premier lieu, problèmes primordiaux aussi bien dans leurs applications civiles que militaires. Nous tiendrons à dessein de côté les questions relatives à la radiodiffusion sur ondes courtes (vrai pion dans le combat de puissance que se livrent la politique et la technique en courant fort) et aux services mobiles.

Le but de cet article est de donner une vue d'ensemble des moyens appliqués aujourd'hui aux liaisons à ondes courtes pour contribuer à offrir, à l'aide de cette matière première «fréquence» de plus en plus rare, un flux maximum de transmission. Mais on ne peut que tirer certains éléments de l'abondance des applications, donc le choix lui-même en devient arbitraire et subjectif.

1. Critères de qualité

La nécessité de juger objectivement les systèmes de transmission selon un critère de qualité est aussi vieille que la théorie comparative des systèmes. Il faut cependant reconnaître à Shannon d'avoir su rendre sous une forme mathématique claire les relations qui n'étaient que «souponnées» avant lui. Dans un système général de transmis-

¹ Vortrag, gehalten an der 29. Hochfrequenztagung des SEV vom 27. Oktober 1966 in Luzern (Nachdruck aus dem SEV-Bulletin).

² Traduction d'un exposé, donné à la 29^e Journée de la haute fréquence de l'ASE à Lucerne, le 27 octobre 1966.

allgemeinen Übertragungsmodell mit der Bandbreite ΔF und den Signal- und Geräuschleistungen S und N pro Zeiteinheit höchstens übertragbare Information C ist

$$C = \Delta F \text{Id} \left(\frac{S + N}{N} \right) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

Die durch eine Informationsquelle angebotene Informationsrate H kann somit auf einem Übertragungskanal der Kapazität C solange mit beliebig wenig Fehlern übermittelt werden als $H < C$ ist. Bei $H > C$ wird dies unmöglich. Wesentlich für die Annäherung von H an C ist die Signalaufbereitung, womit die Eigenschaften der (Informations-)Quelle beziehungsweise Senke an diejenigen des Übertragungskanals «angepasst» werden. Im Begriff «Aufbereitung» sind also alle Operationen, wie Kodieren, Speichern, Verwerten, Modulieren, Verstärken usw., enthalten. Entsprechendes gilt für die Auswertung. Da es sich bei diesen Zusammenhängen um statistische Aussagen handelt, wird im allgemeinen eine Erhöhung von H mit vermehrter Speicherung verbunden sein.

Neben einem rein technisch-spektralen Gütemassstab wird für praktische Anwendungen unweigerlich auch der wirtschaftliche Aufwand seinen Einfluss geltend machen. Wie so oft in der Technik laufen die beiden Gütemassstäbe gegeneinander, und für eine bestimmte Anwendung muss daher ein Kompromiss getroffen werden. Da aber durch die zunehmende Beanspruchung des radioelektrischen Spektrums – neue Länder und neue Verkehrsbedürfnisse rufen nach neuen, direkten Verbindungen – der Rohstoff «Frequenz» einer immer grösseren Nachfrage zu genügen hat, wird auch der zumutbare Preis erhöht (Fig. 1). Das heisst also, dass es möglich beziehungsweise notwendig wird, den Aufwand der für eine Verbindung notwendigen technischen Hilfsmittel zu erhöhen. Wer nicht gewillt ist, einen höheren Preis zu bezahlen, läuft Gefahr, seine Ver-

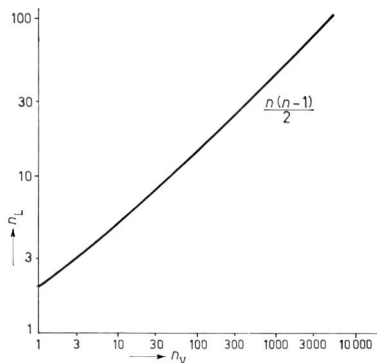


Fig. 1
Verbindungsbedarf. Die benötigte Anzahl Verbindungen zwischen n -Stellen wächst quadratisch mit deren Anzahl; n_L Anzahl Länder; n_V Anzahl Verbindungen
Besoin en liaisons. Le nombre de liaisons nécessaires entre n points augmente au carré de leur nombre. n_L nombre de pays; n_V nombre de liaisons

sion de largeur de bande ΔF , et considérant un signal de puissance S et un bruit de puissance N , le maximum d'information transmissible par unité de temps C est

$$C = \Delta F \text{Id} \left(\frac{S + N}{N} \right) \text{ bits par seconde}$$

La quote-part d'information H offerte par une source d'information peut donc être transmise sur un canal de capacité C avec un nombre arbitrairement limité d'erreurs, en tant que $H < C$. Si $H > C$, cela devient impossible. Pour que H puisse se rapprocher de C , le codage et la modulation du signal sont importants, en ce sens que les propriétés de la source (d'information), respectivement le destinataire, soient «adaptés» au canal de transmission. Par «codage et modulation», on entend donc toutes les opérations telles que codage, mise en mémoire, évaluation, modulation, amplification, etc. Il en est de même pour le dépouillement. Puisqu'il s'agit de données statistiques en ce qui concerne ces relations, une augmentation de H sera, entre autres, dépendante d'une mise en mémoire plus grande.

Pour les applications pratiques, à part un critère de qualité technique purement spectral, le rendement économique verra infailliblement prévaloir son influence. Comme si souvent dans la technique, ces deux facteurs vont à contresens et, pour une application particulière, il faut donc trouver un compromis. Mais, par l'augmentation de la mise à contribution toujours plus considérable du spectre des ondes radioélectriques – les pays neufs et de nouvelles exigences du trafic réclament toujours plus de liaisons directes – la matière première «fréquence» doit satisfaire à une demande toujours plus grande, donc le prix exigé s'élève d'autant plus (fig. 1). En d'autres termes, il sera possible, et même indispensable d'augmenter les frais des moyens techniques nécessaires à une liaison. Celui qui ne veut pas payer un prix plus élevé court le risque de ne plus pouvoir exploiter sa liaison dans les conditions souhaitables.

Parmi les différents paramètres qui déterminent de façon péremptoire la capacité de transmission, les possibilités de variation sont, en règle générale, très limitées.

Largeur de bande ΔF

La largeur de bande pratiquement utilisable diminue avec le nombre de liaisons. Contrairement à certains procédés de la technique haute fréquence, les systèmes à large bande ne sont pas indiqués dans la gamme des ondes courtes, à cause de leur mode de propagation (évanouissement sélectif, «multipattes»).

Bruit (souffle) N

Les limites normales du bruit sont aggravées par certaines influences techniques (perturbations, non-observation des attributions de fréquences) (fig. 2).

bindung nicht mehr im wünschbaren Rahmen betreiben zu können.

Von den verschiedenen Parametern, die das Angebot an Übertragungskapazität wesentlich bestimmen, sind die Variationsmöglichkeiten generell sehr beschränkt:

Bandbreite ΔF

Die praktisch ausnützbare Bandbreite sinkt mit der Anzahl Verbindungen. Im Gegensatz zu gewissen Verfahren der Höchstfrequenztechnik sind Breitbandssysteme im KW-Bereich aus ausbreitungstechnischen Gründen (zeitlich variable Mehrwegeausbreitung) ungeeignet.

Geräusch (Rauschen) N

Die natürlichen Grenzen des Rauschens werden durch technische Beeinflussungen (Störungen, Nichteinhaltung von Zuteilungen) noch verschlechtert (Fig. 2).

Signalleistung S

Die Erhöhung der Signalleistung war für lange Zeit das Idealheilmittel und wird heute im Rundspruch noch gerne benützt, da eine Einflussnahme auf die Empfängerseite nur sehr schwer möglich ist. Für kommerzielle Anwendungen – und das spricht für die Einsicht auf internationaler Ebene – ist eine Leistungserhöhung im allgemeinen nur von sekundärer Bedeutung. Die wirksamste Steigerung der Leistungsfähigkeit eines Übertragungssystems liegt daher in der Verbesserung der Anpassung der Quelle beziehungsweise Senke an den Kanal selbst, beträgt doch zum Beispiel die Shannonsche Übertragungskapazität eines F1 (Frequenzumtastung)-Kanals mit 400 Hz Schub bereits bei einem Störabstand von nur 12 dB schon 4000 bit/s. Solche Verbindungen werden aber heute noch in grosser Zahl mit nur 200 Bd oder weniger beaufschlagt!

2. Frequenzstabilität und Ausbreitung

Die Shannonsche Beziehung lehrt, dass die Übertragungskapazität der Bandbreite direkt proportional ist. Umgekehrt stellt also jede Unsicherheit in der Frequenz einen Verlust an Übertragungskapazität dar. Die sendemässige Festhaltung der Frequenz auf 1 Hz ist heute kein technisches Problem mehr (entspricht 10^{-7} bei 10 MHz), und zwar weder für Treffsicherheit noch für zeitliche Variationen. In Send- und Empfangsstationen findet man daher in zunehmendem Masse hochstabile Mutteroszillatoren mit angeschlossenen Frequenzdekaden.

Ungeachtet der Frequenzstabilität eines Senders wird die augenblicklich empfangene Frequenz vom Sollwert abweichen, da die elektromagnetische Dichte der Ionosphäre dauernden Schwankungen unterworfen ist. Durch den dabei entstehenden Doppler-Effekt treten Frequenzverschiebungen auf, die Werte bis zu einigen Hz erreichen können. Jede Verbindung weist daher eine wahrscheinlichste Laufzeit-

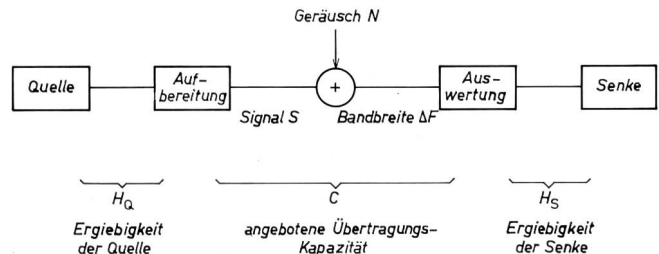


Fig. 2

Allgemeines Übertragungssystem. Der durch Geräusch verseuchte Übertragungsweg wird durch Aufbereitungs- oder Auswertestationen an Informationsquelle beziehungsweise Senke angepasst. Im allgemeinen Fall enthält die Aufbereitungsapparatur alle für die statistische Anpassung notwendigen Ausrüstungen (Speicher, Umwandler, Coder, Verstärker, Sender usw.)

Système fondamental de transmission. Le parcours de transmission perturbé par le bruit est adapté à la source d'information, respectivement au destinataire, par des stations de préparation, respectivement d'analyse. En général, l'appareillage de préparation contient tous les équipements nécessaires à l'adaptation statistique (mémorisateur, convertisseur, codeur, amplificateur, émetteur, etc.)

Quelle – source

Senke – destinataire

Geräusch – bruit

Aufbereitung – codage et modulation

Auswertung – décodage et démodulation

Signal – signal

Bandbreite – largeur de bande

Ergiebigkeit der Quelle – débit de la source

Ergiebigkeit der Senke – débit au destinataire

angebotene Übertragungskapazität – capacité de transmission offerte

Puissance du signal S

L'augmentation de la puissance du signal représente pendant longtemps le moyen idéal et, aujourd'hui encore, est encore souvent utilisée en radiodiffusion, car une intervention du côté récepteur n'est que très difficilement possible. En ce qui concerne les applications commerciales – et ceci est valable sur le plan international – une augmentation de la puissance n'a qu'une signification secondaire. Par conséquent, l'augmentation la plus efficace de la capacité de rendement d'un système de transmission réside dans l'amélioration de l'adaptation de la source, respectivement du destinataire, au canal lui-même, cependant la capacité de transmission selon Shannon d'un canal F1 (manipulation par déplacement de fréquence) avec une déviation de 400 Hz est déjà de 4000 bits/sec pour un rapport signal-bruit de 12 dB seulement. De telles liaisons existent en grand nombre aujourd'hui encore, ne travaillant qu'à 200 Bd ou moins!

2. Stabilité de fréquence et propagation

La relation de Shannon nous indique que la capacité de transmission est directement proportionnelle à la largeur de bande. Donc, inversement, chaque instabilité dans la fréquence provoque une perte de cette capacité de trans-

differenz auf, deren Grösse bei der Bestimmung von Modulationsparametern in Rechnung gestellt werden kann.

Das statistische Verhalten der kleinen Veränderungen der Ionosphäre – und damit der (vektoriellen) Empfangsfeldstärke – gestattet die Anwendung des Prinzips des Mehrfachempfanges (diversity), womit die Schwankungsbreite der Schwunderscheinungen erheblich reduziert werden kann. Die meisten modernen Punkt-Punkt-Verbindungen verwenden das Raum- oder Polarisationsprinzip, während Mehrfachfrequenzempfang aus naheliegenden Gründen nicht erwünscht ist.

3. Kohärente und inkohärente Systeme

Die Informationstheorie lehrt, dass jede à-priori-Kennntnis gewisser Eigenschaften des Empfangssignals als eine Minderforderung an das Entscheidungsvermögen des Empfängers aufgefasst werden kann. So wie Frequenzstabilität mithilft, das Empfangssignal richtig zu interpretieren, so erleichtern auch Kenntnisse des zeitlichen Verlaufs dessen Interpretation. Eine bit-synchrone Übertragung ist deshalb zwangsläufig besser als sogenannter Start-Stop-Betrieb; der kohärente Empfänger verfügt mithin über à-priori-Kennntnis der Phasenbeziehung des Elementarsignals. Die daraus resultierende Verbesserung besteht, bei gleichbleibendem Geräuschabstand, in einer Halbierung der Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Die Gewährleistung des Synchronismus während Schreibpausen erfolgt durch informationsfreie Regelzeichen.

4. Frequenzbelegung

Im internationalen Frequenzhaushalt spielt neben einer bestimmten Frequenzbeanspruchung auch deren (zeitliche) Belegung eine wesentliche Rolle. Die wenigsten Kurzwellenfrequenzen sind während 24 h im Tag und in der gleichen Richtung belegt. Auch ist es auf Grund der Ausbreitungseigenschaften ohne weiteres angängig, die gleiche Frequenz mehrmals, geographisch verteilt zu verwenden. Es gibt also, je länger je weniger, fest und permanent zugeteilte Frequenzkanäle; diese werden im Laufe eines Tages zeitlich und geographisch verschiedenen Verbindungen zugeordnet. Gleichzeitig wird auch vorausgesetzt, dass sowohl sende- als auch empfangsseitig *Richtantennen* zum Einsatz gelangen, die bestimmte Minimaleigenschaften nicht unterschreiten. Die Berücksichtigung aller dieser Faktoren erlaubt eine mehrfache und gleichzeitige Ausnützung derselben Frequenzen durch verschiedene Benützerstaaten, ruft aber nach einem straffen und wirkungsvollen Instrument der Frequenzbewirtschaftung (frequency management). Innerhalb der UIT (Internationale Fernmeldeunion) übernimmt diese Aufgabe das IFRB (International Frequency Registration Board), das zur Lösung dieser Aufgabe sich zweckmässigerweise eines Computers bedient. Bis zu dessen

mission. Du côté émission, aujourd'hui ce n'est plus un problème que de maintenir la fréquence à 1 Hz près (ce qui correspond à 10^{-7} à 10 MHz), aussi bien pour la précision que pour les variations temporelles. Dans les stations de réception et d'émission, nous trouvons donc de plus en plus d'oscillateurs centraux auxquels sont associées des décades de fréquences.

Abstraction faite de la stabilité de fréquence d'un émetteur, la fréquence instantanée reçue variera par rapport à la valeur nominale, car la densité électromagnétique de l'ionosphère est soumise à des fluctuations constantes. De par l'effet Doppler qui en résulte, il se produit des déplacements de fréquence pouvant atteindre quelques hertz. C'est pourquoi chaque liaison est sujette à une différence de temps de propagation, dont la valeur peut éventuellement jouer un rôle lors de la détermination des paramètres de modulation.

Le comportement statistique des petites variations de l'ionosphère – et donc l'intensité (vectorielle) du champ de réception – permet l'application du principe de la réception en diversité (diversity), grâce auquel la largeur de fluctuation des phénomènes d'évanouissement peut être fortement réduite. La plupart des liaisons modernes point à point applique le principe de la diversité d'espace ou de polarisation, alors que la réception en diversité de fréquence n'est pas souhaitée pour des raisons évidentes.

3. Systèmes cohérents et incohérents

La théorie de l'information nous apprend que chaque connaissance a priori de certaines propriétés du signal de réception peut être considérée comme une exigence réduite pour le pouvoir de décision du récepteur. De même que la stabilité de fréquence contribue à interpréter correctement le signal de réception, de même des connaissances de son allure dans le temps en facilitent l'interprétation. Une transmission bit-synchrone est donc indiscutablement meilleure qu'une transmission arythmique, puisque le récepteur cohérent peut ainsi disposer d'une connaissance a priori de la relation de phase du signal original. L'amélioration qui en résulte consiste, pour un même rapport signal/bruit, en une probabilité d'erreur de bits plus faible de 50%. Au cours des pauses d'information de la source, le synchronisme est assuré par des signaux de remplissage non actifs.

4. Occupation des fréquences

Dans l'attribution internationale des fréquences, non seulement leur mise à contribution, mais encore leur période d'utilisation jouent un rôle important. Une minorité de fréquences de la bande des ondes courtes sont employées vingt-quatre heures par jour dans la même direction. A

Verwendung zu einer Simulation braucht es jedoch noch einen weiten Schritt, und zwar sowohl in technischer als auch besonders in organisatorischer Hinsicht. Dessen ungeachtet muss man sich vergegenwärtigen, dass allein die Kenntnis der Gesamtheit der Benutzeransprüche an das Spektrum eine wirkliche Optimierung des Frequenzhaushaltes, beispielsweise mittels linearer Programme, ermöglichen kann.

Dagegen hat sich der Gleichfrequenzbetrieb auf verschiedenen Verbindungen bereits schon gut bewährt: in beiden Richtungen einer Duplexverbindung wird auf der gleichen Frequenz gesendet. Die Entkopplung zwischen Sender und Empfänger an den beiden Enden geschieht dabei durch die Ausnutzung von Antennenrichtwirkung und «toter Zone» (die eigene Empfangsstation liegt ausserhalb des Nahfeldes und innerhalb der [ersten] Ionosphärenreflexion des eigenen Senders; 30...150 km).

5. Übermittlungszeit

Im Shannonschen Sinne gute Signalaufbereitungsverfahren (Code) verlangen eine Berücksichtigung der statistischen Symbolhäufigkeit: für wahrscheinliche Zeichen werden demgemäss einfache und kurze, für unwahrscheinliche (seltene) Zeichen zusammengesetzte und lange Codekombinationen gewählt. Das Morsealphabet ist hiezu das klassische Beispiel und dokumentiert auch sehr deutlich, wie bei konstanter Sendegeschwindigkeit (C) der Informationsfluss (H) schwankt. Offenbar muss also die Aufbereitung auch Speicherfunktionen erfüllen (zum Beispiel geschriebene Vorlage des Morse-Telegraphisten). Die Annäherung von H an C wird im allgemeinen immer grössere Speicherzeiten erfordern, was in vielen Fällen zu unzulänglichen Laufzeiten und/oder technischem Aufwand führt.

Demgegenüber lässt auch der nichtstationäre Charakter der Eigenschaften der KW-Ausbreitung die Verwendung von Speichern umso wünschbarer erscheinen, als damit bei momentan guten Bedingungen (groses S/N) rasch gesendet werden kann (groses C) und umgekehrt bei schlechten Verhältnissen (kleines S/N) nur langsam (kleines C). Solche adaptive oder Lernsysteme sind also auch auf das Vorhandensein eines sendeseitigen Informationsvorrates angewiesen.

Berücksichtigt man die technologischen Lösungsmöglichkeiten von Speichern, so erkennt man unschwer, dass deren Anwendung hauptsächlich in Verbindung mit digital vorliegender Information in Frage kommt; Telegraphie und Datenübertragung sind hiezu beinahe ideale Anwendungsbeispiele.

6. Ausmerzen von Übermittlungsfehlern

Fehler in der Übertragung bedeuten Informationsverluste, die tunlichst zu vermeiden sind (ganz besonders dann,

cause des caractéristiques de la propagation ionosphérique, il est sans autres possible d'employer plusieurs fois la même fréquence grâce à une répartition géographique. Il y a donc de moins en moins de canaux de fréquences attribués de façon fixe et permanente; ces derniers, au cours de la même journée, sont utilisés par des liaisons diverses soit temporellement, soit géographiquement. Simultanément, il est aussi exigé que – tant pour l'émission que pour la réception – on utilise des *antennes directionnelles* ne dépassant pas des caractéristiques minimales déterminées. En tenant compte de tous ces facteurs, on parvient à un emploi multiple et simultané des mêmes fréquences par différents Etats. Cela demande un organe de contrôle sévère et efficace du contingentement des fréquences (frequency management). Au sein de l'UIT (Union internationale des télécommunications), cette tâche revient au Comité international d'enregistrement des fréquences (IFRB: International Frequency Registration Board) lequel, pour résoudre au mieux ces problèmes, utilise une calculatrice électronique. Mais jusqu'à son utilisation pour une simulation, il y a encore un autre pas à franchir, non seulement au point de vue technique, mais au point de vue de l'organisation. Cela mis à part, nous devons considérer que seule la connaissance de la totalité des revendications des utilisateurs concernant le spectre des fréquences rendra possible une réelle rationalisation de l'usage de ce spectre, par exemple grâce à un programme linéaire.

Par contre, l'exploitation simultanée de fréquences identiques a déjà été réalisée de façon satisfaisante pour différentes liaisons: dans les deux directions d'une liaison duplex, on émet sur la même fréquence. Le découplage entre émetteur et récepteur aux deux extrémités est obtenu par l'emploi de l'effet directionnel des antennes et de la «zone de silence» (à chaque extrémité de la liaison, la station réceptrice se trouve hors du champ de rayonnement local de la station émettrice et avant la première réflexion ionosphérique).

5. Rythme de transmission

Selon la théorie de Shannon, les procédés d'un bon codage et d'une bonne modulation exigent de tenir compte de la répartition statistique des symboles: pour les signaux revenant fréquemment, on choisira donc des combinaisons de code simples et courtes, et des longues et compliquées pour les signaux improbables (plus rares).

A cet égard, l'alphabet morse en est l'exemple classique et indique très clairement comment, pour une vitesse constante d'émission (C), le flux d'information (H) varie. Donc le codage et la modulation doivent également remplir des fonctions de mémorisation (par exemple le texte soumis au télégraphiste). Le rapprochement de H à C demandera, entre autres, des temps de mémorisation de plus en plus

wenn die Übertragung im Auftrage eines Dritten gegen Entgelt erfolgt). Dass Fehler sich auf dem Weg zwischen Sender und Empfänger einschleichen, lässt sich nicht vermeiden. Sie dürfen hingegen nicht an den «Endverbraucher» weitergegeben werden: das Übertragungssystem muss Fehler als solche erkennen und entsprechende Korrekturmaßnahmen auslösen.

Bereits das einfache Modell des Handtelegraphisten lässt die Systematik der Fehlerkorrektur erkennen:

- a) Lernfähigkeit. Die Sendegeschwindigkeit wird den momentanen Geräuschverhältnissen angepasst;
- b) Bei schlechten Verhältnissen wird buchstaben-, wort- oder meldungsweise wiederholt;
- c) Durch Rückfrage wird festgestellt, ob eine empfangene Meldung durch die Senke als sinnvoll interpretiert wurde;
- d) Der Telegrammkopf enthält Angaben über die Anzahl der zu übermittelnden Zeichen, entsprechend einem primitiven parity check;
- e) Aus dem (Klar-)Text nicht ohne weiteres erkennbare Zusammenhänge (Zahlen, Abkürzungen usw.) werden am Telegrammende wiederholt (Kollation).

Fehlererkennung und -korrektur geht somit immer zu Lasten von Übertragungskapazität, benötigt somit Redundanz. Für eine Systematik jedoch wesentlich ist die Tatsache, ob für die Fehlerkorrektur die Mitwirkung eines Rückwegkanals notwendig ist oder nicht. Das klassische Beispiel eines Fehlerkorrektursystems mit automatischer Wiederholung (ARQ) sind die sogenannten TOR (teleprinting over radio)-Verbindungen. Das nicht-redundante 5-Schritt-Fernschreibalphabet (32 Kombinationen) wird durch 2 bits ergänzt, die auf der Empfangsseite eine (beschränkte) Fehlererkennung erlauben. Auf dem simultanen (Duplexverbindung) Rückkanal wird die Wiederholung einer bestimmten, bereits gesendeten Gruppe von Zeichen verlangt und zwar solange, bis auf der Empfangsseite eine genügend grosse Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit des Textes feststeht: bei konstanter Sendegeschwindigkeit stockt der Informationsfluss.

ARQ-Verbindungen bewähren sich heute auf der ganzen Welt überall dann, wenn das Verkehrsvolumen eine gewisse, untere Grenze überschreitet und in beiden Richtungen der Duplex-Verbindung ungefähr gleich ist. Oft treffen diese Voraussetzungen jedoch nicht zu, so dass lediglich eine Simplex-, gegebenenfalls eine Halbduplex-Verbindung zur Verfügung steht. In einem solchen Falle stellt sich das Problem einer Vorwärts-Fehlerkorrektur. Vorerst wurde versucht, durch modulo-2 Längs- und Quersummenbildung (parity check) dieses Ziel zu erreichen. Diese Codes sind jedoch bei den besonders im Kurzwellengebiet typischen paketmässigen Störungen (bursts; Übergangswahrscheinlichkeit $p_{ij} > p$, das heisst die Fehlerwahrscheinlichkeit eines Elementes ist grösser, wenn bereits das vorangehende

longs, ce qui provoque dans beaucoup de cas des délais appréciables et/ou des complications d'ordre technique.

Par contre, le caractère non stationnaire des propriétés de propagation des ondes courtes laisse apparaître l'utilisation de mémoires d'autant plus souhaitable que, lors de conditions momentanément bonnes (S/N élevé), on peut émettre rapidement (C élevé) et, inversement, par mauvaises conditions (S/N faible), on émet lentement (C faible). De tels systèmes souples ou adaptifs sont donc dépendants d'une réserve d'informations à transmettre. Si l'on considère les solutions technologiques possibles des mémoires, on s'aperçoit sans peine que leur application entre principalement en ligne de compte pour transmettre des informations présentées sous forme digitale; la télégraphie et la transmission de données représentent presque l'idéal des exemples d'application.

6. Diminution des erreurs de transmission

Les erreurs de transmission signifient pertes d'information qui doivent être évitées autant que possible (surtout si la transmission est effectuée pour le compte d'un tiers et contre paiement). On ne peut pas éviter que des erreurs s'introduisent pendant le parcours entre l'émetteur et le récepteur. Par contre, il ne faut pas qu'elles soient acheminées jusqu'au destinataire: le système de transmission doit déceler les erreurs en tant que telles et déclencher des mesures correctrices adéquates.

Déjà le simple système de la télégraphie manuelle laisse entrevoir la méthode de correction des erreurs:

1. Capacité d'adaptation. La vitesse de transmission est adaptée à la valeur momentanée du bruit.
2. Par mauvaises conditions, les lettres, les mots ou les messages sont répétés.
3. Par rétrodemande, on détermine si un message reçu a été correctement interprété par le destinataire.
4. L'en-tête du télégramme contient des indications relatives au nombre de mots à transmettre, ce qui correspond à un contrôle primitif de parité.
5. Les reconstitutions du texte (clair) que l'on ne pourrait établir par déduction (chiffres, abréviations, etc.) sont répétées à la fin du télégramme (collationnement).

La détection et la correction des erreurs se font au détriment de la capacité de transmission, donc nécessitent une redondance. En ce qui concerne la systématique, le fait important est de savoir si, pour la correction des erreurs, il est indispensable ou non de faire appel à un canal de retour. Les liaisons TOR (teleprinting over radio) représentent l'exemple classique d'un système de correction d'erreurs par répétition automatique (ARQ). L'alphabet téléimprimeur non redondant à 5 unités (32 combinaisons) est complété par 2 bits permettant, du côté réception, une

gestört war) nur schwach wirksam und schaltungsmässig recht aufwendig. Deren Korrekturfähigkeit, bezogen auf die Redundanz, im Gegensatz zur Erkennungsfähigkeit, ist klein. Sie werden übertroffen durch die erst in jüngster Zeit im Zusammenhang mit Aufgaben der militärischen Logistik entwickelten Faltungscodes, mit denen in Simplexverbindungen der Shannonsche Grenzwert bereits recht gut angenähert werden kann (bei typischen Endfehlerwahrscheinlichkeiten von $< 10^{-9}$). Es steht ausser Zweifel, dass vorwärtskorrigierende Systeme in zunehmendem Masse überall dort Eingang finden werden, wo:

- Sender und Empfänger am gleichen Orte sich befinden und damit ein gleichzeitiger Betrieb unmöglich ist (zum Beispiel Schiffe);
- Quelle und Senke an einem Ende einer Duplex-Verbindung nur schwer gekoppelt werden können;
- Minimaler apparativer Aufwand gefordert wird (zum Beispiel mobile Anlagen, militärische Anwendungen).

7. Massnahmen auf der Empfangsseite

Alle bisher beschriebenen Massnahmen zur Reduktion von Übertragungsfehlern beginnen zu versagen, wenn der Geräuschabstand am Empfänger einen Mindestwert unterschreitet oder wenn durch die Einwirkung von anderen Emissionen die Verbindung gestört wird. In solchen Fällen besteht das Bedürfnis, lieber den Informationsfluss zu unterbrechen, als der Senke Information anzubieten, die wahrscheinlich erheblich falsch ist (Mehrfachfehler, Transpositionen, lange «Bursts» usw.). Derartige, abnormale Zustände verlangen generell organisatorische Abhilfemassnahmen; lediglich bei Rückkopplungssystemen (ARQ) besteht die Möglichkeit einer «prophylaktischen» Repetition.

Wie bei vielen Anwendungen der Technik versucht man auch bei KW-Verbindungen, die Qualität der Übertragung so unabhängig wie möglich vom technisch-betrieblichen Routinekönnen eines Operators zu machen. Man nähert sich der Alternativphilosophie: gute Verbindung oder keine Verbindung. Ganz besonders gerechtfertigt ist dieses Prinzip dann, wenn Maschinen beziehungsweise technische Einrichtungen miteinander verkehren, zum Beispiel Telex, wo Übersee-Fernämter im Eingriff sind (Fig. 3). Hier wird die dauernde Überwachung einer Verbindung mittels TOR-Anlagen, ergänzt durch eine Kontrolle der Empfangsqualität beziehungsweise des Inhaltes des Zwischenspeichers, benutzt, um bei Ungenügen der Verbindungsqualität die Zentrale, gegebenenfalls sogar ein im Gange sich befindliches Fernschreibgespräch, zu sperren.

Offenbar ist das Mass der Empfangsgüte die (bit-)Fehlerwahrscheinlichkeit des Signals. Diese Fehlerwahrscheinlichkeit kann wesentlich vermindert werden durch die Verwendung eines Nullzonen-Detektors. Ein solcher Detektor

détectio (limitée) des erreurs. Sur le canal de retour simultané (liaison duplex) s'effectue la demande de répétition d'un groupe déterminé de signaux déjà émis et ceci jusqu'à ce que, du côté réception, il existe une probabilité suffisamment grande que le caractère soit correct: pour une vitesse de transmission constante, le flux d'information est bloqué.

Dans le monde entier, les liaisons ARQ se justifient aujourd'hui partout où le volume de trafic dépasse une certaine limite inférieure et est à peu près le même dans les deux directions de la liaison duplex. Souvent ces conditions ne sont pas présentes, de sorte que l'on ne dispose que d'une liaison simplex, éventuellement semi-duplex. Dans ce cas se pose le problème de la correction prématurée des erreurs. On s'est efforcé tout d'abord d'y parvenir par formation de totaux longitudinaux et transversaux en modulo-2 (parity check). Cependant ce code n'est que faiblement efficace et demande passablement de commutations surtout sur ondes courtes, où les perturbations par évanouissement sont typiques («bursts»; probabilité d'erreur de transposition $p_{ij} < p$, c'est-à-dire que la probabilité d'erreur d'un élément est plus grande si le précédent a déjà été perturbé). Contrairement à sa capacité de détection, du point de vue de la redondance sa capacité de correction est faible. Ces codes sont dépassés par les codes convolutionnels qui viennent d'apparaître et furent développés en relation avec les besoins de la logistique militaire. Avec ces codes, la valeur limite de Shannon peut être approchée d'assez près dans les liaisons simplex, avec des probabilités d'erreurs terminales typiques de $< 10^{-9}$. Il est hors de doute que les systèmes à correction vers l'avant seront de plus en plus appliqués partout où

- les émetteurs et récepteurs se trouvent au même endroit et que, par conséquent, une exploitation simultanée est impossible (par exemple sur les navires);
- la source et le destinataire à l'extrémité d'une liaison duplex ne peuvent que difficilement être couplés;
- un équipement minimum est exigé (par exemple installations mobiles, applications militaires).

7. Mesures à prendre du côté réception

Toutes les mesures décrites jusqu'ici et destinées à réduire les erreurs de transmission deviennent inefficaces dès que le rapport signal/bruit, à la réception, tombe en dessous d'un certain minimum, respectivement lorsque la liaison est perturbée par l'influence d'autres émissions. Dans de tels cas, la nécessité se présente d'interrompre plutôt le flux d'information que d'offrir au destinataire une information qui sera très vraisemblablement fautive (erreurs multiples, transpositions, longs «bursts», etc.). De telles circonstances anormales demandent généralement des

weist zwischen den zwei eindeutigen, binären Bereichen eine Übergangszone auf, innerhalb der das Signal weder als 1 noch als 0 interpretiert wird. Das ganze Zeichen wird als unzuverlässig betrachtet und erzwingt eine Repetition. In 50% aller Fälle wäre diese Repetition – a posteriori – somit unnötig. Die resultierende Verbesserung der Reinheit des empfangenen Signals beträgt rund zwei Größenordnungen, ohne dass dadurch – besonders im Fall von Zweifachempfang – der Wirkungsgrad der Verbindung bei (normalisierten) Geräuschabständen von > 10 dB wesentlich beeinflusst wird. Durch derartige Massnahmen erreicht die Zeichenfehlerrate einer Radioverbindung Werte, die in der gleichen Größenordnung wie jene der peripheren Geräte (zum Beispiel Fernschreiber) liegen.

Auch an der apparativen Seite ist der Fortschritt der Technik nicht spurlos vorbeigegangen. Der Vielzahl der Parameter wegen seien die wesentlichsten Verbesserungen hier nur kurz aufgeführt:

- Dimensionierung der Antenne mit Berücksichtigung des dominierenden Einfallswinkels;
- Genügende Vorselektion und Erhöhung der Kreuzmodulationsfestigkeit (die letztere Forderung erheischt bei transistorisierten Schaltungen besondere Massnahmen);
- Stabilisierung des Überlagerungszosillators, gegebenenfalls durch Unterteilerschaltungen;
- Selektivitätseigenschaften unabhängig von der Alterung und thermischen Schwankungen unterliegenden Komponenten. Deshalb Trennung von Verstärkung und Selektion;
- Reduktion der Diskriminatorschwelle bei FM-Systemen (beispielsweise FM-Rückkopplung);
- Verbesserung der Demodulationseigenschaften (Korrelationsdemodulation; «integrate-and-dump»);
- Zeit- und Amplituden-Abtastung (time and amplitude slots);
- Optimierung der Post-Demodulationsfilter;
- Mehrfachempfang (diversity);
- Variable, gesteuerte Entzerrung des Übertragungsweges (DEFT: digital error-free transmission).

Jede dieser Möglichkeiten im einzelnen zu behandeln verbietet der Rahmen dieser Arbeit; hingegen sollen einige ausgewählte Beispiele bestehender Systeme zeigen, in welchem Masse heute bereits praktisch die theoretischen Erkenntnisse verwertet worden sind.

8. Praktische Beispiele

8.1. Frequenzumtastung für Telegraphie

Die Theorie der Frequenzmodulation erwartet, oberhalb eines gewissen Schwellwertes, eine Geräuschverminderung

mesures d'organisation adéquates, seuls les systèmes à réaction vers l'arrière (ARQ) offrent la possibilité d'une répétition «prophylactique». Comme dans beaucoup d'applications de la technique, on tente également, dans les liaisons à ondes courtes, de rendre la qualité de la transmission aussi indépendante que possible de la routine du personnel d'exploitation. On a alors cette alternative: une bonne liaison ou pas de liaison. Ce principe est tout particulièrement justifié lorsque les machines, respectivement des installations techniques, sont en communication, par exemple le télex, avec des centraux transcontinentaux (fig. 3). Ici la surveillance constante d'une liaison est assurée par des équipements TOR, complétés par un contrôle de la qualité de réception afin que, si la qualité de la liaison est insuffisante, le central puisse interrompre même une conversation télex.

La mesure de la qualité de réception est manifestement la probabilité d'erreur (de bit) du signal. Cette probabilité peut être grandement amoindrie par l'emploi d'un détecteur à seuils définis. Un tel détecteur reconnaît entre les deux états binaires évidents une zone de transition à l'intérieur de laquelle le signal ne peut être interprété ni par 1, ni par 0. Le signal tout entier est considéré comme douteux et exige une répétition. Dans 50% des cas, cette répétition serait donc a posteriori superflue. L'amélioration résultant

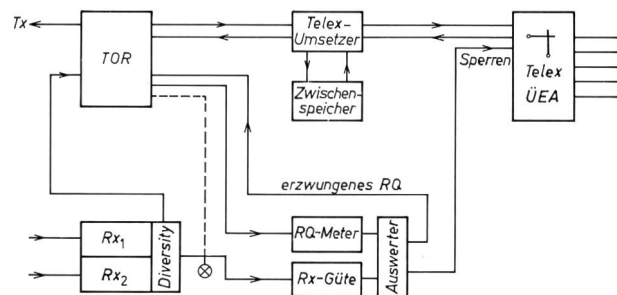


Fig. 3
Radiotelex. Das im Zuge einer geschützten Radiotelexverbindung verwendete TOR mit zugehörigem Zwischenspeicher sperrt bei Sinken der Empfangsqualität (Transpositions-wahrscheinlichkeit) beziehungsweise des Übertragungsvermögens (Häufigkeit von Repetitionen) die Ausgangsleitungen des Übersee-Endamtes. Tx Sender – émetteur; Rx₁ Empfänger 1 – récepteur 1; Rx₂ Empfänger 2 – récepteur 2

Radiotelex. Le TOR, utilisé pour une liaison télex radioélectrique protégée, par sa mémoire intermédiaire associée bloque les lignes de sortie du central télex d'outre-mer lorsque la qualité de réception diminue (probabilité de transposition), respectivement lorsque la capacité de transmission s'affaiblit (répétitions trop fréquentes)

TOR – équipement terminal de correction d'erreurs

Telex Umsetzer – convertisseur télex

Telex Überseeamt – central télex d'outre-mer

Zwischenspeicher – mémoire intermédiaire

erzwungenes RQ – répétition forcée

RQ-Meter – RQ-mètre

RX-Güte – qualité de réception

Auswerter – évaluateur

nach der Demodulation proportional zum Modulationsindex. Auf Grund der Mehrwegeausbreitung (Selektivfading) wird die Korrelation der zwei (binären) Tastfrequenzen aber zunehmend schlechter, so dass für den optimalen Schub eine obere Grenze gilt. Sie beträgt:

$$s \approx 0,85 c$$

s Schub (Hz)
c Telegraphiegeschwindigkeit (Bd)

Für die im internationalen TOR-Betrieb häufig anzutreffende Tastgeschwindigkeit von etwa 100 Bd liegt der entsprechende Schubwert also bei rund 80 Hz; der Kanalarasterabstand wurde international zweckmässigerweise auf 170 Hz festgelegt.

8.2. Zweitton-Verfahren

Der bereits erwähnte, durch Selektivfading entstehende Nachteil der grosszuschubigen Frequenzumastverfahren lässt sich in einen Vorteil verwandeln, sofern die Korrelation zwischen den beiden Tastfrequenzen im Empfänger erzwungen wird (komplementäre Tastung). Dabei werden die Beiträge entsprechend der augenblicklichen Selektivfadinglage gewogen (Assessor) und bei widersprüchlicher Auswertung ein Fehlersignal ausgelöst. Bei derartigen Zweitonsystemen (Fig. 4) beträgt der optimale Schub (Differenz zwischen 0- und 1-Frequenz) die Hälfte des Reziprokwertes des wahrscheinlichsten Laufzeitunterschiedes zwischen Sende- und Empfangsort. So erreicht man, dass der Schwächung (180° Phasendifferenz) des einen Tones im Mittel eine Stärkung (in Phase) des anderen entspricht.

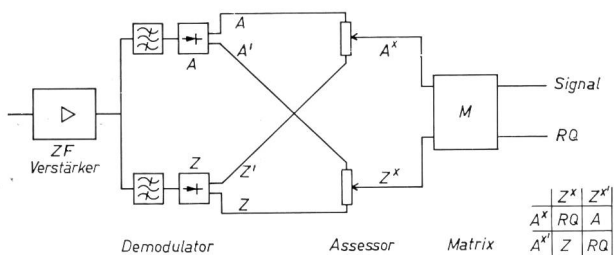


Fig. 4 Zweitton-Empfang. Die beiden einem Frequenzumastsystem (F1) zugeordneten Arbeits- und Ruhfrequenzen werden einzeln als A1-Signale demoduliert und anschliessend logisch ausgewertet. Bei widersprüchlichem Resultat erfolgt RQ-Auslösung
Réception à deux tons. Les deux fréquences de travail et de repos attribuées à un système de manipulation de fréquences (F1) sont démodulées séparément en tant que signaux A1 et ensuite analysés logiquement. En cas de résultat contradictoire, une retro-demande est déclenchée

ZF Verstärker – amplificateur MF
Demodulator – démodulateur
Signal – signal
Assessor – évaluateur à pondération
Matrix – matrice

de la propreté du signal reçu comporte en gros deux ordres de grandeur sans que par cela – surtout dans la réception en dual – le degré d'efficacité de la liaison soit grandement influencé pour des rapports (normalisés) signal/bruit > 10 dB. Grâce à de telles mesures, le taux d'erreur de signaux d'une liaison radio atteint des valeurs du même ordre de grandeur que celles des appareils périphériques (téléscripteurs par exemple).

Le progrès de la technique se répercute également du côté de l'appareillage. A cause du grand nombre de paramètres, seules les améliorations les plus importantes seront citées:

- Dimensionnement de l'antenne en tenant compte de l'angle d'attaque dominant.
- Présélection suffisante et augmentation de l'insensibilité à l'intermodulation (cette dernière condition nécessite des mesures particulières pour les circuits à transistors).
- Stabilisation de l'oscillateur de transposition, éventuellement par des circuits diviseurs.
- Sélectivité indépendante du vieillissement et des variations thermiques des composantes. Donc, séparation de l'amplification et de la sélectivité.
- Réduction du seuil du discriminateur pour les systèmes FM (par exemple: contre-réaction FM).
- Amélioration des caractéristiques de démodulation (démodulation par corrélation; «integrate-and-dump»).
- Exploration en temps et en amplitude (time and amplitude slots).
- Optimisation des filtres de postdémodulation.
- Réception diversity.
- Correction variable et dirigée de la distorsion due à la transmission (DEFT: digital error-free transmission).

Traiter chacune de ces possibilités dépasserait le cadre de cet article; par contre quelques exemples tirés des systèmes en usage pourraient nous montrer dans quelle mesure les connaissances théoriques ont aujourd'hui déjà été mises en pratique.

8. Exemples pratiques

8.1. Manipulation de fréquence pour la télégraphie

La théorie de la modulation de fréquence indique que l'on peut s'attendre, au-dessus d'une certaine valeur-limite, à une diminution du bruit après la démodulation, proportionnelle à l'indice de modulation. Sur la base de la propagation à plusieurs trajets (évanouissement sélectif), la corrélation des deux fréquences (binaires) de manipulation devient de plus en plus mauvaise, de sorte qu'une valeur supérieure existe pour le déplacement optimal. Elle est de

$$s \approx 0,85 c$$

s = déplacement (Hz)
c = vitesse de la télégraphie (Bd)

9. Schmalband-Kleinstsender

Kürzlich wurden in den USA Versuche mit einem KW-Miniatursender unternommen, mit folgenden wesentlichsten Daten:

Leistung $\frac{1}{10}$ W
 Abmessungen etwa Zigarettenschachtelgrösse
 Betriebsart A1
 Tastgeschwindigkeit . . $\frac{1}{10}$ Bd

Es sollen dabei Distanzen bis 2000 km überbrückt worden sein, wobei auf der Empfangsseite ein verhältnismässig grosser Aufwand getrieben werden muss, um die Doppler-Frequenzverschiebungen der Ionosphärenausbreitung unschädlich zu machen. Das $\frac{1}{5}$ Hz breite Empfängerspaltfilter wird um ± 2 Hz um die nominelle Sendefrequenz gewobbelt und damit die im kürzesten Falle 10 s langen Sendezichen abgetastet.

10. Autospec

Einen typischen Vertreter eines vorwärtskorrigierenden Systems bildet das von *Marconi* entwickelte Autospec-Verfahren. Die im 5er-Code in Start-Stop-Form angebotene Information wird während der ersten Hälfte eines Zeichenzyklus (rund 150 ms) ausgesandt. Die Dauer eines Elementes wird daher von 20 auf 15 ms, entsprechend etwa 67 Bd, reduziert. Die zweiten 75 ms werden zur Übertragung von 5 zusätzlichen Redundanzbit verwendet, deren Bildung durch einfache modulo-2-Addition erfolgt. Empfangsseitig werden aus den ersten fünf Elementen durch dieselben arithmetischen Operationen die 5 Redundanzbit errechnet und mit den 5 empfangenen Redundanzbit verglichen. Bei Übereinstimmung wird das Zeichen auf die Leitung beziehungsweise an den Drucker freigegeben; bei Nichtübereinstimmung kann bei einfachen Fehlern dieser korrigiert werden. Mehrfachfehler werden als solche ihrerseits erkannt und entweder als Fehlersignal oder als Zwischenraum ausgedruckt. An einem Beispiel lässt sich die Wirkungsweise der Fehlererkennung und -korrektur gut erkennen:

<i>L</i>	Buchstaben	<i>U</i>
01001	CCITT Nr. 2	11100
0	mod-2 Summe	1
10110	Parityzeichen	11100
0100110110	10er-Zeichen	1110011100
0100110110	Sendung	1110011100
	Empfang	
100110110	richtig	1110011100
0	mod-2 Summe der ersten 5 Elemente	1
10110	Parity errechnet	11100
00000	Vergleich mit letzten 5 Elementen	00000
→ <i>L</i>	Drucker	→ <i>U</i>

A la vitesse de manipulation de 100 Bd environ employée très fréquemment dans le trafic TOR international, cette valeur de déplacement se situe aux environs de 80 Hz; l'espacement entre canaux a été opportunément fixé à 170 Hz (recommandation internationale).

8.2. Système à deux tons

Le procédé de manipulation de fréquence à grand déplacement mentionné plus haut voit l'inconvénient produit par l'évanouissement sélectif se transformer en un avantage en tant que la corrélation entre les deux fréquences de manipulation est reconstituée dans le récepteur (manipulation complémentaire). Ce faisant, les montants correspondant à la situation momentanée de l'évanouissement sélectif sont évalués (Assessor) et un signal d'erreur est déclenché en cas d'indication contradictoire. Pour de tels systèmes à deux tons (*fig. 4*), le déplacement optimum (différence entre la fréquence 0 et 1) est la moitié de la valeur réciproque de temps de propagation le plus probable entre le lieu d'émission et le lieu de réception. On arrive alors à ce que l'atténuation (différence de phase de 180°) de l'un des tons corresponde à la plus grande amplitude de l'autre (en phase).

9. Emetteur miniaturisé à bande étroite

Récemment, on a procédé aux Etats-Unis à des essais d'un émetteur miniature à ondes courtes dont les données principales sont:

puissance $\frac{1}{10}$ de watt
 dimensions grandeur d'un paquet de cigarettes environ
 modulation A1
 vitesse de manipulation $\frac{1}{10}$ Bd

On devrait obtenir une portée de près de 2000 km, tout en prenant d'assez grandes précautions du côté réception afin de rendre inopérants les déplacements de fréquence Doppler dus à la propagation ionosphérique. Le filtre de réception très étroit, d'une largeur de $\frac{1}{5}$ Hz, est wobulé de ± 2 Hz par rapport à la fréquence d'émission nominale et ainsi on échantillonne les signaux d'émission longs de 10 secondes au minimum.

10. Autospec

Le procédé Autospec, développé par *Marconi*, représente l'exemple typique d'un système à correction vers l'avant. L'information présentée sous forme d'un code arithmique à 5 unités est émise pendant la première moitié d'un cycle de signal (environ 150 ms). Ainsi la durée d'un élément est réduite de 20 à 15 ms, ce qui correspond environ à 67 Bd. Les deuxièmes 75 ms sont employées pour l'émission de 5 bits de redondance supplémentaires, dont la formation

↓				↓
0110110110	1 Fehler			1110011000
1	mod-2 Summe der ersten 5 Elemente			1
01101	Parity errechnet			11100
11011	Vergleich mit letzten 5 Elementen			00100
	(4 Einsen: 1-5)			
	(4 Nullen: 6-10)			
01001	Korrektur			11100
↓↓				↓ ↓
0010110110	Doppelfehler			1010011110
0	mod-2 Summe der ersten 5 Elemente			0
11010	Parity errechnet			01011
01100	Vergleich mit letzten 5 Elementen			10101
	(ungenügende Anzahl 0, bzw. 1)			
→ *	Drucker			→ *

Trotz des recht hohen Aufwandes (5 Redundanzbit) können nur einfache Fehler korrigiert werden; doppelte oder höhere Fehler werden lediglich signalisiert. Die Hamming'sche Theorie jedoch lehrt, dass die gleiche Korrekturmöglichkeit bereits mit 3 Zusatzbits erreicht werden kann. Für Anwendungen gilt es also abzuwägen, ob der geringe apparative Aufwand (Seefunk) bei Autospec die unverhältnismässig erhöhte Sendegeschwindigkeit aufwiegt.

Grundsätzlich ähnlich sind die in jüngerer Zeit in USA eingeführten unter den etwas lose geprägten Bezeichnungen «time diversity» oder «time differential» bekannten Verfahren. Bei diesen Systemen werden der Paketstruktur des Geräusches wegen (bursts) die einzelnen Teile eines Codewortes über möglichst grosse Zeitintervalle verteilt (einige Sekunden). Entsprechend steigen aber auch die Speicherbedürfnisse auf Seiten der Signalaufbereitung und -auswertung.

11. Integrate and dump

Die untere Grenze für die Bandbreite von Empfangs-(Rausch)-filtern wird im allgemeinen durch das damit verbundene Einschwingverhalten bestimmt. Filter mit hoher Kreisgüte Q brauchen lange, bis sich das Signal vom Eingang zum Ausgang voll auswirkt. Je länger aber gewartet wird, desto rauschunempfindlicher wird der Empfänger. Die Nutzung von langen Integrationszeiten scheitert aber bei herkömmlichen Schaltungen an der Forderung nach dem optimalen Abtastintervall (Leselücke, Bit-Übersprechen). Wird jedoch die Demodulation abwechslungsweise im synchronen Bit-Rhythmus zwischen zwei Auswerteschaltungen umgetastet, so können beide Forderungen unabhängig voneinander erfüllt werden.

Wichtig ist dabei, dass die Integration immer mit gleichem Anfangswert verläuft, weshalb die Filter nach jeder Ablesung geerdet oder entladen (dump) werden (Fig. 5).

Bei grossem Informationsfluss werden der Ausbreitungseigenschaften wegen mehrere verhältnismässig langsamere Einzelkanäle im Frequenzmultiplex zusammengefasst, wobei

est effectuée par simple addition modulo-2. Du côté réception, les 5 bits de redondance sont déduits des premiers 5 éléments, par les mêmes opérations arithmétiques, et comparés aux 5 bits de redondance reçus. En cas de coïncidence, le signal est libéré et envoyé sur le circuit, respectivement l'appareil imprimeur; s'il y a non-concordance en cas d'erreur simple, le signal peut être corrigé. D'autre part, les erreurs multiples sont reconnues comme telles et imprimées soit comme signal d'erreur, soit comme «espace». A l'aide d'un exemple, on peut facilement se représenter le processus de détection et de correction des erreurs:

L	Lettres	U
01001	CCITT n° 2	11100
0	somme mod-2	1
10110	signal de parité	11100
0100110110	signal à 10 unités	1110011100
0100110110	émission	1110011100
Réception		
0100110110	correcte	1110011100
0	somme mod-2 des 5 premiers éléments	1
10110	parité établie	11100
00000	comparaison avec les 5 derniers éléments	00000
→ L	appareil imprimeur	→ U
↓		↓
0110110110	erreur simple	1110011000
1	somme mod-2 des 5 premiers éléments	1
01101	parité établie	11100
11011	comparaison avec les 5 derniers éléments	00100
	(4 fois un: 1-5)	
	(4 zéros: 6-10)	
01001	correction	11100
↓↓		↓ ↓
0010110110	erreur double	1010011110
0	somme mod-2 des 5 premiers éléments	0
11010	parité établie	01011
01100	comparaison avec les 5 derniers éléments	10101
	(nombre insuffisant de zéros,	
	respectivement de uns)	
→ *	appareil imprimeur	→ *

Malgré cette somme relativement élevée de 5 bits de redondance, seules des erreurs simples peuvent être corrigées, les erreurs doubles, ou plus, ne sont que signalées. Pourtant, selon la théorie de Hamming, la même possibilité de correction doit déjà être atteinte avec 3 bits. En cas d'application, il vaut la peine d'évaluer si l'encombrement relativement faible des appareils Autospec justifie la vitesse de transmission augmentée (radio maritime).

Les procédés récemment introduits aux Etats-Unis, sous les dénominations quelque peu vagues de «time diversity» ou «time differential», obéissent aux mêmes principes. Dans ces systèmes, et à cause de l'apparition du bruit structure en «paquets», chaque partie d'une combinaison de code est répartie sur un intervalle de temps aussi gra

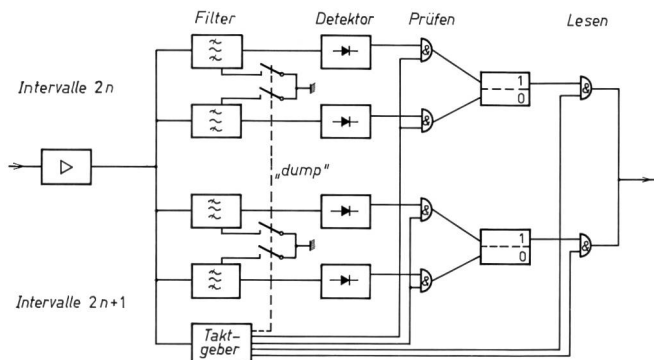


Fig. 5
Integrate and dump. Das F1-Signal am Eingang wird im synchronen Bit-Rhythmus abwechselnd an das obere und untere Filterpaar geleitet, wo eine Empfangsfilterung mit hoher Kreisgüte erfolgt. Anschließend werden die Filterausgänge abgelesen und das so gewonnene Resultat logisch verwertet. Zur Konstanzhaltung der Anfangsbedingungen werden die Filter in den Zwischenzeiten entladen

Integrate and dump. Le signal F1, à l'entrée, est conduit en rythme synchrone avec les bits alternativement à la paire de filtres supérieurs et inférieurs, où s'effectue un filtrage de la réception d'un facteur de qualité Q élevé. Ensuite la lecture s'effectue à la sortie des filtres et le résultat obtenu est analysé logiquement. Pour maintenir constantes les conditions initiales, les filtres sont déchargés pendant les périodes intermédiaires

Intervalle – Intervalle

Filter – filtre

Detektor – détecteur

Prüfen – échantillonnage

Lesen – lecture

Taktgeber – générateur de synchronisation

auf Grund der Orthogonalität (Synchronismus) der Kanalsignale unter sich der gegenseitige Abstand der Filter sehr klein gemacht werden kann. Frequenzmultiplex erweist sich der geringen Korrelationsbandbreite wegen eben als wirkungsvoller als Zeitmultiplex, bei dem ein und dasselbe (schnelle) Signal ein weites Frequenzgebiet beansprucht.

12. Korrelation und Entzerrung

Bei der Suche nach immer leistungsfähigeren Übertragungssystemen stellen die zeitlich veränderlichen Übertragungsbedingungen der Ausbreitung durch die Ionosphäre eine grosse Erschwerung dar. Diese zeitlichen Veränderungen erfolgen jedoch im Vergleich zu normalen Modulationsänderungen recht langsam; so ist beispielsweise die Phasenstabilität für Intervalle in der Grössenordnung 50 ms gut, während sie über längere Zeiten (etwa $\frac{1}{2}$ s) schlecht ist.

So verwendet zum Beispiel das Kineplexsystem der Collins (i.a. White Fox Netz der Nato im Nordseeraum) für die Übertragung ein Frequenzmultiplexraster mehrerer, mit 100 phasenmodulierter (zwei- oder mehrwertige) Einzelsignale, denen ein Referenzträger mitgegeben wird, um im

que possible (quelques secondes). Mais, par conséquence, les facultés de mémorisation doivent être augmentées pour la modulation et le codage des signaux.

11. Integrate and dump

La limite inférieure de la largeur de bande des filtres du récepteur est déterminée entre autres par le régime transitoire qui lui est lié. Les filtres ayant un facteur de qualité Q élevé nécessitent un temps de transfert élevé. Plus ce temps de transfert est long, moins le récepteur est sensible au bruit. L'emploi de longues périodes d'intégration se heurte, avec des circuits traditionnels, aux exigences d'intervalle optimum d'échantillonnage (lacunes dans la lecture, diaphonie de bits). Cependant, si la démodulation est inversée à tour de rôle entre deux circuits analyseurs en synchronisation avec le rythme des bits, ces deux exigences peuvent être remplies indépendamment l'une de l'autre. Ce faisant, il est important que l'intégration se déroule toujours avec la même valeur initiale, donc que les filtres soient mis à terre, respectivement déchargés (dump) après chaque lecture (fig. 5).

Si le flux d'information est volumineux, et à cause des caractéristiques de la propagation, plusieurs canaux isolés à débit relativement lent sont assemblés en multiplexage par répartition en fréquence, donc sur la base de l'orthogonalité (synchronisme) des signaux des canaux, l'espacement réciproque des filtres peut être rendu très petit. A cause de sa faible largeur de bande de corrélation, le multiplexage en répartition de fréquence s'avère plus efficace que le multiplexage en répartition de temps, car, avec ce dernier, un seul et même signal (rapide) exige un spectre de fréquences plus large.

12. Corrélation et correction de la distorsion

Lors de la recherche de systèmes de transmission de plus en plus poussés, les difficultés sont aggravées par les conditions de propagation ionosphérique, les paramètres de transmission variant dans le temps. Ces fluctuations sont relativement lentes si on les compare aux changements normaux de modulation; par exemple la stabilité de phase est bonne pour des intervalles d'un ordre de grandeur de 50 ms, alors qu'elle est mauvaise pour des périodes plus longues (environ $\frac{1}{2}$ s).

Ainsi, par exemple, le système Kineplex de Collins (entre autres le réseau White Fox de l'OTAN dans la mer du Nord) consiste en l'émission d'un entrelacement de multiplexage en répartition de fréquence de plusieurs canaux à 100 Bd modulés en phase (canaux doubles ou multiples, auxquels une porteuse de référence est ajoutée pour rendre possible, à la réception, la démodulation par comparaison

Empfänger durch Phasenvergleich die Demodulation zu ermöglichen. Da der Referenzträger im Mittel gleichen oder ähnlichen Verzerrungen wie die Modulationskanäle unterworfen ist, wird die (Kreuz-)Korrelation davon nicht beeinflusst und erlaubt somit eine recht sichere Demodulation.

Einen weiteren Schritt geht das DEFT-System der *General Dynamics*, indem zwischen je zwei phasenmodulierten Kanälen ein Referenzträger mitgesendet und damit die Korrelationsbandbreite noch weiter verringert wird. Werden dann noch zusätzlich in den synchronen Bitfluss zu bestimmten Zeiten Referenzsymbole eingeblendet (a-priori-Kennntnis), so verfügt der Empfänger über hinreichend Information, um dauernd die Verzerrungen des Übertragungsweges zu entzerren. Derartige Anlagen übertragen innerhalb des normalisierten 3-kHz-Bandes (300...3000 Hz) 3600 bit/s Dateninformation über Distanzen von mehr als 10 000 km für das Raumfahrtprogramm der USA.

13. Kompandersystem für Radiotelephonie

Die bei Telefonieverbindungen auftretenden grossen Pegelschwankungen, selbst innerhalb desselben Gespräches, fallen umso stärker ins Gewicht, je schlechter der Geräuschabstand der Leitung ist. Bei drahtgebundenen Verbindungen mit hohem Geräuschpegel (zum Beispiel Elektrizitätswerk-Telephonie, Freileitungen) wird daher gerne zur Qualitätsverbesserung das Prinzip der Volumenkompression und nachfolgender Expansion – kurz Kompander – verwendet. Auf der Sendeseite werden die Pegelschwankungen (Dynamik) um einen bestimmten Grad verkleinert, so dass die Leitung im Mittel höher angesteuert werden kann. Empfangsseitig besorgt der Expander die inverse Operation. Voraussetzung für das richtige Funktionieren derartiger Systeme bildet die Stabilität der Übertragungsdämpfung (Fig. 6). Jede Änderung derselben wird im Empfänger mit dem Expansionsfaktor vervielfacht.

Bei KW-Verbindungen, die aus Frequenzökonomiegründen mit Einseitenband-Amplitudenmodulation arbeiten, ist aber gerade eine Konstanz der Übertragungsdämpfung aus Ausbreitungsgründen nur schwierig zu erreichen (Restfehler der Schwundregelung). Das Lincompex-System (Fig. 7) schafft hier Abhilfe, indem der Momentanwert des Pegels mit Hilfe eines in der Frequenz modulierten, dem Sprachband überlagerten Hilfsträgers mitübertragen wird. Als FM-Signal ist die Pegelinformation amplitudenunabhängig und steuert somit den dem Expander angebotenen Sprachpegel entsprechend den Verhältnissen der Sendeseite.

14. Ausblick

Die vorstehenden Ausführungen hatten die Aufgabe, den heutigen Stand der kommerziellen KW-Technik zu beleuchten und gleichzeitig zu zeigen, in welcher starkem Masse

de phases. Etant donné que, en moyenne, la porteuse de référence est soumise aux mêmes distorsions ou à des distorsions semblables à celles des canaux de modulation, l'(auto)corrélacion n'en est pas influencée et permet donc une démodulation relativement sûre.

Le système DEFT de la *General Dynamics* représente encore un progrès: une porteuse de référence est émise simultanément entre deux canaux modulés en phase, et, par là, la largeur de bande de corrélation est encore plus restreinte. Si, en plus du flux de bits synchrones, des symboles de référence sont inclus à des moments déterminés (connaissance a priori), le récepteur dispose d'une information largement suffisante pour corriger constamment les distorsions provoquées par le parcours de propagation. De tels équipements transmettent dans la bande normalisée de 3 kHz (300...3000 Hz) des informations de données à 3600 bit/sec à des distances dépassant 10 000 km, pour le programme de navigation spatiale des Etats-Unis.

13. Système à compression pour la radiotéléphonie

Les grandes variations de niveau apparaissant dans les liaisons en téléphonie, même au cours d'une conversation, sont d'autant plus importantes que le rapport signal/bruit diminue. Pour les liaisons par fil avec un bruit élevé (par exemple téléphonie sur lignes à haute tension, lignes aériennes), on emploie fréquemment, afin d'augmenter la qualité, le principe de la compression de volume suivie d'expansion, dénommé «compression-expansion». Du côté émission, les variations de niveau (dynamique) sont comprimées d'une certaine valeur, de sorte que la ligne puisse être attaquée d'une façon plus régulière (fig. 6). Du côté

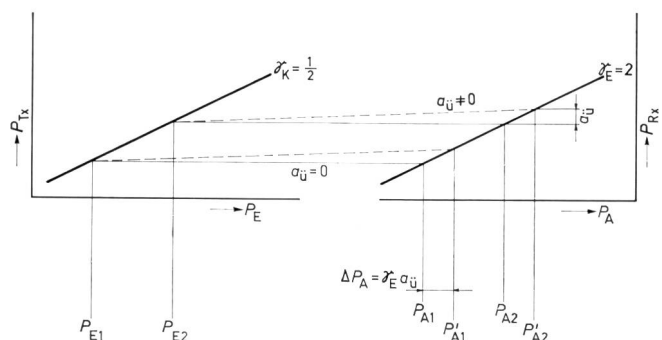


Fig. 6 Übertragungsdämpfung in Kompandern. Ist die Übertragungsdämpfung $a_u = 0$ (horizontale Verbindungslinien), so sind den Eingangspegeln P_{E1} und P_{E2} die Ausgangspegel P_{A1} und P_{A2} zugeordnet. Jede Abweichung der Übertragungsdämpfung von Null ($a_u \neq 0$) wird bei der Expansion um den Faktor γ_E vergrössert. Si l'atténuation de transmission dans les compresseurs-expandeurs $a_u = 0$ (lignes horizontales pleines), les niveaux de sortie P_{A1} et P_{A2} sont proportionnels aux niveaux d'entrée P_{E1} et P_{E2} . Chaque déviation de l'atténuation de transmission à partir de zéro ($a_u \neq 0$) sera augmentée du facteur γ_E lors de l'expansion.

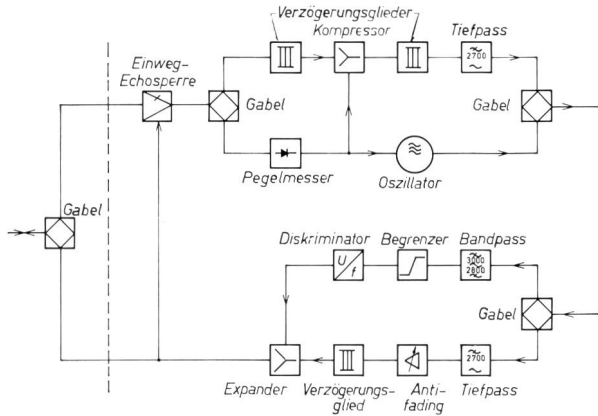


Fig. 7
Lincompex. Der sendeseitig bei der Kompression ermittelte Pegel wird mit Hilfe eines FM-Hilfsträgers dem Empfänger zugeführt. Damit kann das dem Expander zugeführte Signal zur Steuerung der Expansion unabhängig von Schwankungen der Übertragungsdämpfung gemacht werden
 Lincompex. Le niveau obtenu par compression à l'émission est signalé au récepteur au moyen d'une porteuse auxiliaire FM. Ainsi le signal fourni à l'expander pour la commande de l'expansion est rendu indépendant de l'atténuation de transmission

die Übertragung von Information in digitaler Form informationstheoretische Erkenntnisse auswertet. Die Bedürfnisse an Verbindungen sind mit der Entstehung neuer Länder gewaltig gewachsen und müssen zum grossen Teil im gleichen Spektralabschnitt untergebracht werden, da trotz Nachrichtensatelliten und Tiefseekabeln aus wirtschaftlichen, Sicherheits- und Flexibilitätsgründen die Kurzwellen ihre Bedeutung behaupten wird. Von den verschiedenen Parametern, die zu Gunsten einer Verbesserung der Übertragungskapazität der Kurzwellen wirken, ist jene des «Frequency Management» wohl der wirkungsvollste, aber auch in der Praxis am schwierigsten durchführbare. Hingegen dürfte die zunehmende Nachfrage hier zu einer erhöhten Einsicht hinsichtlich Angebot führen. Steht doch die rein verwaltungsmässige Formulierung der Shannonschen Beziehung bereits schon im Artikel 45 des internationalen Fernmeldevertrages von 1959:

«Die Ordentlichen und Ausserordentlichen Mitglieder halten es für wünschenswert, die Anzahl der verwendeten Frequenzen und die Breite des verwendeten Teils des Spektrums so weit zu beschränken, wie unerlässlich ist, um den Betrieb der notwendigen Dienste in befriedigender Weise zu gewährleisten.»

Adresse des Autors: H. A. Laett, Chefindgenieur der Radio-Schweiz AG, 3000 Bern.

réception, l'expandeur accomplit la fonction inverse. La condition primordiale pour le fonctionnement correct de tels systèmes est constituée par la stabilité de l'atténuation de la transmission, dont chaque fluctuation est multipliée dans le récepteur par le facteur d'expansion.

Mais, en ce qui concerne les liaisons sur ondes courtes, travaillant pour des raisons d'économie de fréquences en modulation d'amplitude à bande latérale unique, il est difficile d'arriver à un équivalent de transmission constant, à cause de la propagation (résidus du réglage du contrôle automatique de gain). Le système Lincompex (fig. 7) est ici très utile, car la valeur instantanée du niveau est émise simultanément à l'aide d'une porteuse auxiliaire, modulée en fréquence et superposée à la bande vocale. En tant que signal FM, l'information de niveau est donc indépendante de l'amplitude et pilote ainsi, par l'intermédiaire de l'expandeur, le niveau de la parole pour correspondre aux rapports du côté émission.

14. Perspective

Le but de ces propos était d'exposer l'état actuel de la technique commerciale en ondes courtes et en même temps de montrer dans quelle forte mesure la transmission d'informations sous forme digitale fait usage des connaissances de la théorie de l'information. Avec l'apparition de pays neufs, les besoins de liaisons ont fortement augmenté et doivent être logés dans le même secteur spectral car, malgré satellites et câbles sous-marins, les ondes courtes garderont toute leur importance, pour des raisons de rentabilité, de sécurité et de flexibilité. Parmi les différents paramètres qui conditionnent l'amélioration de la capacité de transmission des ondes courtes, celui du contrôle de l'utilisation logique des fréquences (Frequency Management) est bien le plus efficace, mais aussi le plus difficile à mettre en pratique. Cependant la demande de plus en plus forte devrait provoquer vraisemblablement un examen approfondi de toutes les possibilités offertes, car la version purement administrative de la relation de Shannon figure déjà à l'article 45 de la Convention internationale des télécommunications de 1959:

«Les membres et les membres associés reconnaissent souhaitable que le nombre de fréquences et l'espace du spectre utilisés soient limités au minimum indispensable pour assurer de manière satisfaisante le fonctionnement des services nécessaires.»