

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 37 (1946)
Heft: 12

Artikel: Moderne Modulations-Systeme
Autor: Güttinger, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057334>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

trop peu nombreuses à cet égard, pour pouvoir en tirer des conclusions générales.

Il faut espérer qu'en poursuivant les mesures et en perfectionnant sans cesse les dispositifs de mesure,

on arrivera à se faire une idée claire et complète des propriétés de la foudre.

Adresse de l'auteur:

Dr. K. Berger, Versuchsingenieur der FKH, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Moderne Modulations-Systeme

Vortrag, gehalten an der 9. Hochfrequenztagung des SEV vom 27. September 1945 in Yverdon,
von P. Güttinger, Baden

621.396.619.1

Die Entwicklung der Hochfrequenz-Technik auf dem Gebiete der kürzesten Wellen hat in verschiedener Hinsicht ganz neue Möglichkeiten eröffnet. So werden auch Modulationsarten aktuell, welche breite Frequenzbänder beanspruchen: Die Frequenz- und die Zeitmodulation. Mit diesen neuen Modulationsverfahren ist es möglich, die Störeinflüsse weitgehend zu eliminieren. Ausser den beiden erwähnten Verfahren sind noch zahlreiche kombinierte Modulationsarten möglich, wie dies in einer Uebersicht gezeigt wird.

Le développement de la technique de l'haute fréquence dans le domaine des ondes les plus courtes a ouvert des perspectives d'application tout à fait nouvelles et diverses. Ainsi des procédés de modulation exigeant une large bande de fréquence, tels que la modulation de fréquence et la modulation de temps, deviennent actuels. Ces nouveaux procédés de modulation ont l'avantage d'éliminer les effets des perturbations dans de grandes limites. De nombreux autres systèmes combinés de modulation sont mentionnés.

Eine rein harmonische Sinuswelle gleicht gewissermassen einem unbehauenen Stein. Beide sind nicht in einem Zustand, uns eine Aeusserung, eine Mitteilung an andere Menschen zu vermitteln. Um mit Hilfe hochfrequenter Wellen Nachrichten, Musik oder Bilder zu übertragen, müssen wir die Schwingungen entsprechend den Variationen der Ton- oder Bildspannung verändern. Diese zeitliche Veränderung der elektrischen Schwingungen bezeichnet man als *Modulation*.

Eine Gruppe frequenzbenachbarter Wellen (Fig. 1), die bei einer modulierten Uebertragung auftreten, lässt sich mathematisch durch den Ausdruck

$$A(t) \sin \{\Omega_0 t + \Psi(t)\}$$

darstellen. Die Funktion $A(t)$ bezeichnet man als *Amplitude*. Ω_0 ist die *Trägerfrequenz* (Kreisfrequenz) der Wellengruppe und wird als zeitlich konstant vorausgesetzt. $\Psi(t)$ nennt man die *Phase*, welche ihrerseits eine Funktion der Zeit sein kann.

Unsere Nachricht können wir nun in der Weise übertragen, dass wir entweder die Amplituden- oder die Phasenfunktion in eine Beziehung zur ursprünglichen Tonspannung bringen. So erhalten wir zunächst zwei *direkte Modulationsarten*: Die *Amplituden-* und die *Phasenmodulation*.

Die Amplitudenmodulation (AM) wird durch die zeitliche Variation der Funktion $A(t)$ dargestellt. Bei der Phasenmodulation steht die modulierende Spannung in linearer Proportion zur Phasenfunktion $\Psi(t)$.

Jeder Frequenzgruppe, die in Fig. 1 dargestellt ist, lässt sich ausser der Phasenmodulation auch eine

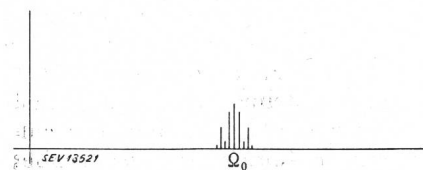


Fig. 1.

Frequenzen-Gruppe

Frequenzmodulation zuordnen. Die «Momentanfrequenz» der Wellengruppe ist durch die zeitliche Ableitung des Sinusarguments, d. h. durch

$$\frac{d}{dt} \{\Omega_0 t + \Psi(t)\} = \Omega_0 + \frac{d\Psi}{dt}$$

gegeben. Bei Frequenzmodulation ist daher die Ton- oder Bildspannung der Grösse $\frac{d\Psi}{dt}$ proportional.

Neben diesen sogenannten direkten werden auch *indirekte Modulationsarten* verwendet, bei denen die Niederfrequenz-Spannung vor dem Modulationsprozess einer nichtlinearen Umwandlung unterworfen wird. Dazu gehören beispielsweise alle möglichen Arten der Impulsmodulation, im speziellen auch die Zeitmodulation. Diese besteht darin, dass die Ton- oder Bildspannung zuerst in breite- oder lagemodierte Impulse konstanter Amplitude umgewandelt wird, welche dann zur Tastung der hochfrequenten Amplitude oder Frequenz verwendet werden.

Von den unzähligen Modulationsmöglichkeiten sollen im Rahmen dieses Referates nur zwei der bekanntesten näher besprochen werden: *Die Frequenzmodulation* (FM) und *die Zeitmodulation* (ZM).

Die Frequenzmodulation

Es ist eigentlich merkwürdig, dass die grossen Vorteile der FM erst verhältnismässig spät erkannt wurden und ihre praktische Verwertung fanden. Der Hauptgrund ist, dass die Ultrakurzwellen-Technik eine Entwicklung neueren Datums ist. Daneben darf aber auch ein rein psychologischer Grund nicht übersehen werden: Die FM war bei AM-Sendungen eine meist unerwünschte Erscheinung, welche man dort mit allen Mitteln unterdrücken musste.

Nachdem besonders in der amerikanischen Literatur jahrelang über die Brauchbarkeit der FM hin und her diskutiert wurde, gelang es 1935 Prof. Armstrong nach anfänglich grossen Schwierigkeiten, die bedeutenden Vorteile dieser Modulationsart, besonders hinsichtlich Störfreiheit, eindeutig nachzuweisen. Seither hat die FM-Technik und neuestens auch der FM-Rundfunk in Amerika einen grossen Aufschwung genommen. Später haben sich auch einzelne europäische Firmen und Verwaltungen dafür interessiert. Wir haben uns schon vor dem Krieg mit der FM-Forschung beschäftigt und konnten un-

sere Erfahrungen mit Erfolg in mehreren Aufträgen verwerten. Mit der intensiven Entwicklung der drahtlosen Mehrkanalübertragung hat das Interesse für die FM einen neuen Impuls erhalten, da sie gerade auf diesem Gebiet besondere Vorteile bietet.

Der FM-Sender

Die Modulation der Frequenz muss am Entstehungsort selber, d. h. im Oszillatorkreis, vorgenommen werden (Fig. 2).

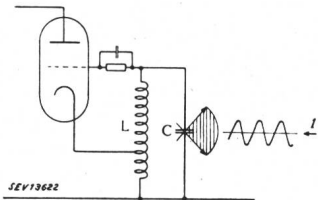


Fig. 2.
Frequenzmodulierter Oszillator
U Modulations-Spannung

Die frequenzbestimmenden Reaktanzen (Kapazität, Induktivität oder beide gleichzeitig) werden im Takt der modulierenden Spannung geändert. Es gibt sehr einfache Verfahren, um die Kapazität oder die Induktivität zu modulieren. Z. B. könnte eine kleine Parallelkapazität direkt durch die mechanischen Schwingungen eines Mikrophons gesteuert werden. Die Erfahrung zeigt aber, dass die Frequenzkonstanz des Ruhepunktes ganz ungenügend wäre. Wenn sich bei einer Trägerwelle von 3 m die Kapazität von 50 pF nur um 1/10 pF ändert, wandert die Trägerfrequenz schon um 100 kHz auf die Seite. Angesichts dieser grossen Empfindlichkeit ist man allgemein dazu übergegangen, den Oszillatorkreis durch ein separates Reaktanzrohr zu steuern. Dieses Verfahren hat den Vorteil, eine viel bessere Stabilität der Trägerfrequenz (d. h. der Ruhfrequenz) zu gewährleisten.

Die *Eigenfrequenz* des Oszillatorkreises pendelt infolge der Frequenzmodulation um einen mittleren Wert Ω_0 (Fig. 3). Die maximale Kreisfrequenzabweichung ω_h ist dabei genau definiert. Bei sinusförmiger Modulationsspannung bezeichnet man den Wert $\frac{\omega}{2\pi}$ als *Frequenzhub*.

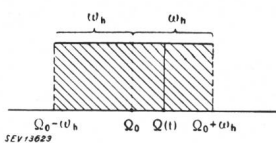


Fig. 3.
Frequenz-Modulation
 Ω_0 Träger-(Ruhe-)Frequenz
 $\Omega(t)$ «Momentanfrequenz»
 $\frac{\omega_h}{2\pi}$ Frequenzhub

Da die Frequenzwanderung in der Regel nicht sprunghaft erfolgt, würde man eigentlich bei FM ein kontinuierliches Frequenzspektrum erwarten. Dies ist jedoch nicht der Fall; das Spektrum besteht aus diskreten Frequenzen und zudem treten Komponenten auf, welche weiter vom Träger weg liegen als es dem Frequenzhub entsprechen würde (Fig. 4). Um diesen scheinbaren Widerspruch abzuklären, müssen wir zunächst das Wesen eines «Frequenzspektrums» näher betrachten. Ein Spektrum nehmen wir mit einem möglichst schmalen Filter auf, dessen Symmetriefrequenz beliebig verschoben werden kann. Da die zu messende Frequenz veränderlich ist, müssen die Einschwingvorgänge in diesem schmalen Messfilter entsprechend berücksichtigt werden. Theorie und Messung zeigen, dass das Filter nur an diskreten Stellen eine Spannung abgibt, und zwar auch ausser-

halb des Bereichs, der von der «Momentanfrequenz» Ω durchlaufen wird.

Wie Fig. 4 zeigt, ist das *Frequenzband* bei FM wesentlich breiter als bei AM. Moduliert man mit einem reinen Sinuston, so treten bei AM nur zwei Seitenbandfrequenzen auf, bei FM hingegen erhält man sehr viele Komponenten.

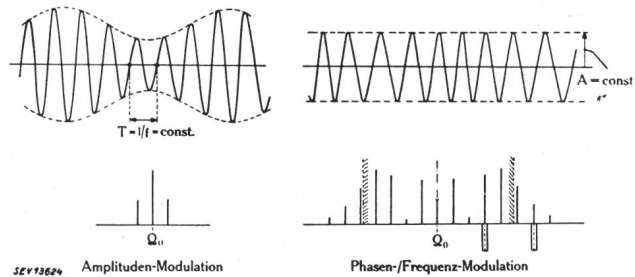


Fig. 4.
Seitenband-Spektren

Da das Frequenzspektrum bei der Phasen- und Frequenzmodulation in der Regel eine viel grössere Bandbreite erfordert, als es bei der AM der Fall ist, muss ihre Anwendung fast ausschliesslich auf den Ultrakurzwellen-Bereich beschränkt werden. Bei Sprachübertragung arbeitet man beispielsweise mit einer Bandbreite von etwa 50 kHz, bei Musikübertragung mit 100...150 kHz.

Die *Phasenmodulation* wird im Vergleich zur FM verhältnismässig wenig angewendet, weil die Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Frequenzbandes bei FM besser ist und auch die Störverhältnisse günstiger sind. Besonders bei tiefen Modulationsfrequenzen ist der Frequenzhub bei Phasenmodulation klein (Fig. 5).

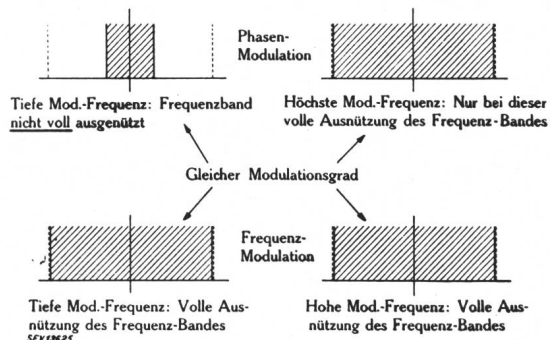


Fig. 5.
Vergleich der Phasen- mit der Frequenz-Modulation

Störungen

Wer sich mit FM praktisch beschäftigt, wird bald feststellen, dass die Probleme, besonders, wenn aussergewöhnlich hohe Anforderungen an die Qualität einer Uebertragung gestellt werden, bedeutend vielgestaltiger, aber auch interessanter sind als bei AM. In vielen Fällen kann eine gründliche theoretische Vorbereitung einer Aufgabe zeitraubende und kostspielige praktische Versuche wesentlich abkürzen.

Bei der Beurteilung der Uebertragungsqualität sind vor allem zwei Faktoren entscheidend:

1. Der Einfluss von *Fremdstörungen*, wozu ich auch das Rauschen zähle.

2. Der Einfluss *linearer* und *nichtlinearer Verzerrungen*.

Die Vorteile der FM hinsichtlich Störanfälligkeit beruhen darauf, dass (bei genügend grossem Frequenzhub) die Phase viel weniger gestört wird als die Amplitude, wie es in Fig. 6 veranschaulicht ist.

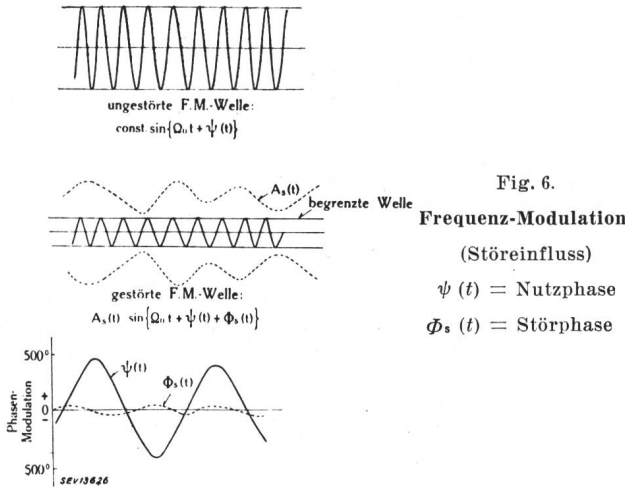


Fig. 6.

Da sich die Störung vor allem in der Amplitude und nur zu wenigen Prozenten in der Phase, resp. Frequenz auswirkt, kann der Störeinfluss zum grössten Teil reduziert werden, wenn wir die Amplitude wieder auf einen konstanten Wert bringen. Diese Aufgabe besorgt im FM-Empfänger der *Amplitudenbegrenzer*.

Dass die Phase und damit auch die Frequenzmodulation verhältnismässig wenig störanfällig sind, soll an Hand eines einfachen Vektordiagrammes gezeigt werden (Fig. 7).

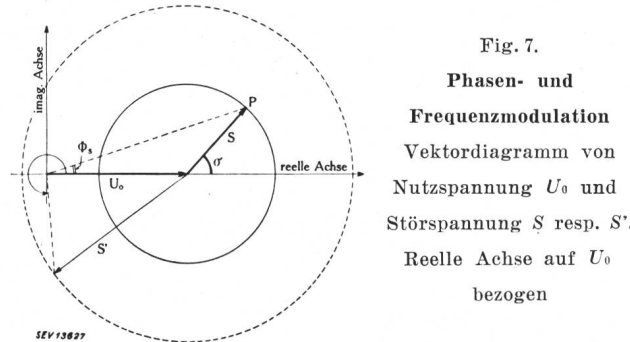


Fig. 7.

Phasen- und Frequenzmodulation Vektordiagramm von Nutzspannung U_0 und Störspannung S resp. S' . Reelle Achse auf U_0 bezogen

Der Winkel σ ist zeitlich veränderlich, so dass der Punkt P bei konstanter Störspannung sich auf einem Kreise bewegt. Der Winkel ϕ_s gibt dabei direkt die Störphase an. Wenn nun die Störspannung kleiner ist als die Nutzspannung, so kann dieser Störwinkel ϕ_s den Wert $\pm 90^\circ$ nicht überschreiten. Der Phasenschub des Nutzsenders aber kann einige 360° betragen. Dies gilt insbesondere auch, wenn U_0 nur wenig grösser ist als S . In dieser Tatsache liegt der tiefere Grund für die günstigen Störverhältnisse bei der Phasen- und damit auch bei der Frequenz-Modulation.

Wir können aber auch aus unserem Vektordiagramm ablesen, dass sich die Verhältnisse sofort umkehren, wenn die Störung nur etwas stärker wird als die Nutzspannung (Fall $S' > U_0$).

Es erklärt sich auch, dass beim Empfang zweier frequenzbenachbarter Sender der schwächere «totgedrückt» wird und sich in der Regel lediglich in Zischgeräuschen höherer Frequenzlage bemerkbar macht. Bei Versuchen mit einer unserer ersten FM-Anlagen konnten wir feststellen, dass ein Amplitudenunterschied von 10% genügt, damit der stärkere Sender allein gut und verständlich hörbar ist.

Von grosser Wichtigkeit für die Empfindlichkeit eines Empfängers ist der Einfluss der *Rauschspannungen*. Da besonders bei kontinuierlichen Störspektren die FM spezielle Vorteile bietet, lässt sich der Rauschpegel bei gleicher Senderleistung gegenüber AM ganz beträchtlich reduzieren. Diese Verbesserung liegt in der Grössenordnung von mindestens 20 db.

Man kommt also bei gleichem Störpegel bei FM mit viel kleineren Sendeleistungen aus als bei AM, wodurch Anschaffungs- und Betriebskosten für die Sendeanlagen erheblich kleiner werden.

Dieses Resultat ist zwar insofern merkwürdig, als man bei der grossen Bandbreite kaum eine Verbesserung der Rauschverhältnisse erwarten würde. Es lässt sich aber zeigen, dass in jedem Moment nur ein kleiner Teil der von den Filtern durchgelassenen Stör-energie zu hörbaren Störungen führt.

Die Rechnung zeigt ferner, dass besonders bei kontinuierlichen Störspektren die Qualität der Amplitudenbegrenzung von grossem Einfluss ist. Eine nicht ideale Begrenzer-Charakteristik ist in Fig. 8 dargestellt.

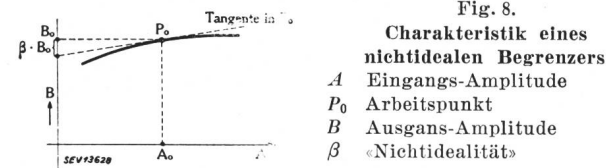


Fig. 8.

Charakteristik eines nichtidealen Begrenzers
 A Eingangs-Amplitude
 P_0 Arbeitspunkt
 B Ausgangs-Amplitude
 β «Nichtidealität»

Um eine grösstmögliche Unempfindlichkeit gegen Fremdstörungen zu erreichen, ist auch noch auf eine genaue symmetrische Einstellung des Diskriminators im Empfänger zu achten (Fig. 9).

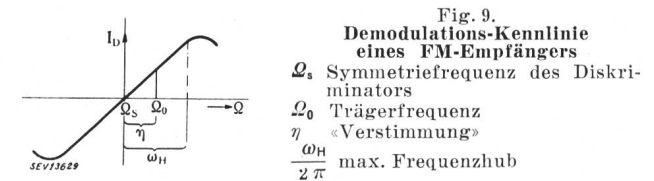


Fig. 9.

Demodulations-Kennlinie eines FM-Empfängers
 Ω_s Symmetriefrequenz des Diskriminators
 Ω_0 Trägerfrequenz
 η «Verstimmung»
 $\frac{\omega_H}{2\pi}$ max. Frequenzhub

Wenn die Trägerfrequenz gegenüber der Symmetriefrequenz Ω_s des Diskriminators abweicht, errechnet sich das Verhältnis des Störfaktors S zu demjenigen bei idealer Einstellung S_i zu:

$$\frac{S}{S_i} = \sqrt{1 + \frac{3 \omega_H^2}{\omega_g^2} \cdot \beta^2 \left\{ \frac{1}{2} + \frac{\eta^2}{\omega_H^2} \right\}}$$

Für $\beta = 0,2$, $\eta = 0,5 \cdot \omega_H$ und $\omega_H = 5 \cdot \omega_g$ (ω_g = höchste Tonfrequenz) beträgt beispielsweise die Zunahme des Störfaktors 80 %!

Praktische Anwendungen

Infolge der günstigen Störverhältnisse genügen bei FM-Verbindungen viel kleinere Sendeleistungen als bei AM. Für guten AM-Empfang benötigt man eine

Feldstärke von ca. $350 \mu\text{V}/\text{m}$, während bei FM eine solche von etwa $20 \mu\text{V}/\text{m}$ genügt. Die FM ist daher besonders geeignet für fahrbare und feste Anlagen, die für Polizei, Feuerwehr und Luftschutz in Frage kommen.

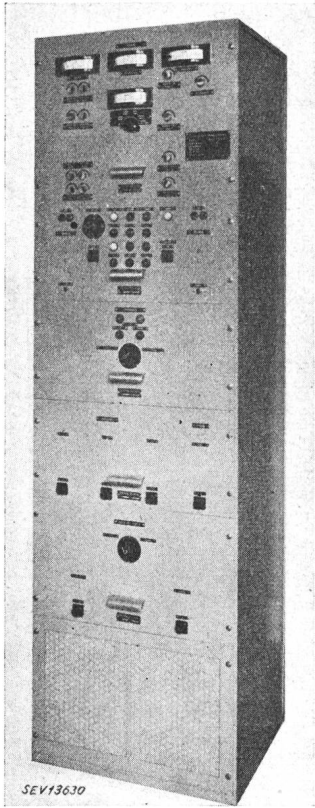


Fig. 10.
150-Watt-FM-Sender
für die Kantonspolizei
Zürich

In Fig. 10 ist ein 150-W-Sender dargestellt, der für die Kantonspolizei Zürich geliefert wurde. Mit einem zweiten derartigen Sender sollen demnächst Aus-



Fig. 11.
FM-Funkstation
in einem Löschboot der Basler Feuerwehr

breitungsmessungen durchgeführt werden. Fig. 11 zeigt eine Anlage für die Feuerwehr.

Bei Sichtverbindungen können die Senderleistungen noch um mindestens eine Größenordnung redu-

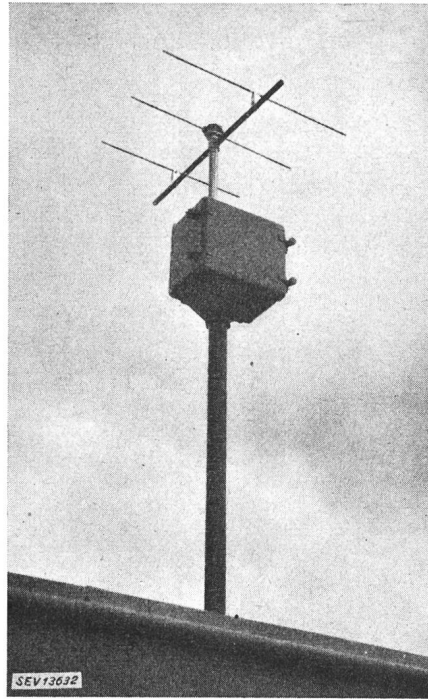


Fig. 12.
Richtstrahl-Antenne
vereinfachte Ausführung

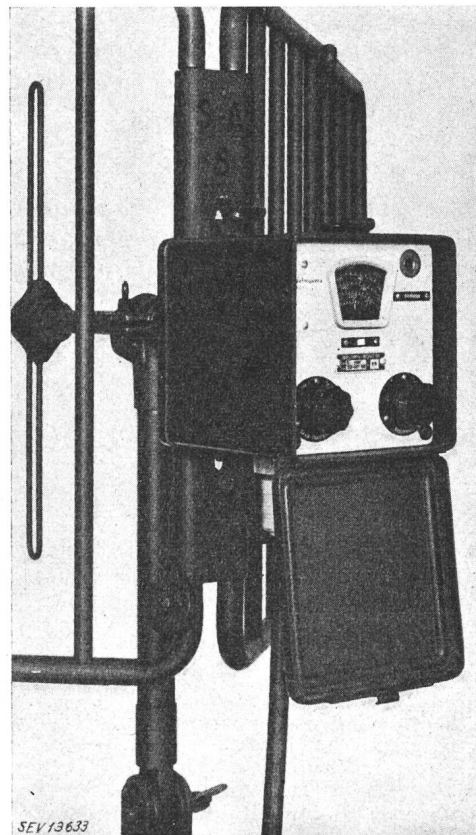


Fig. 13.
Richtstrahl-Antenne
mit direkt angehängtem FM-Sender

ziert werden, wobei wir die Bündelungsfähigkeit der Ultrakurzwellen ausnützen. Dies führt uns zur *Richtstrahltechnik*, die bei den dm-Wellen-Stationen zur Anwendung kam. Aeussere Störungen und die bei

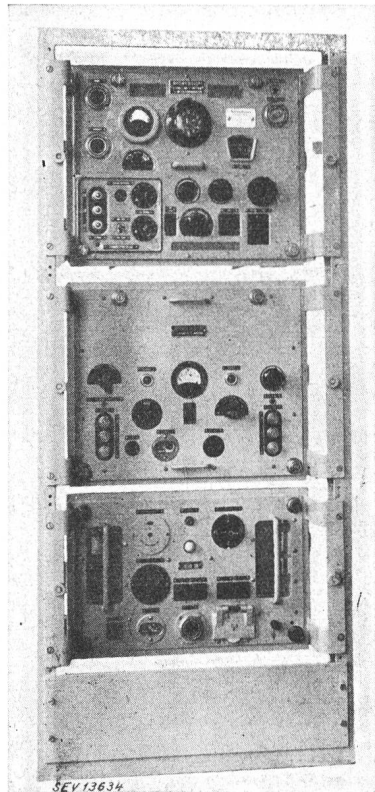


Fig. 14.
FM-Empfangsstation für dm-Wellen
oben: Empfänger
Mitte: Wahlzusatz-Gerät
unten: Gleichrichter

FM besonders unangenehmen Interferenzeffekte können bei Richtstrahlverbindungen vermieden werden. Fig. 12, 13 und 14 zeigen Antennen, Sender und Empfänger von dm-Wellen-Anlagen.

Die Zeitmodulation

Sicher ist heute die FM eines der aktuellsten Probleme. Aber auch andere Möglichkeiten werden geprüft. Die Zeitmodulation (ZM) beispielsweise be-

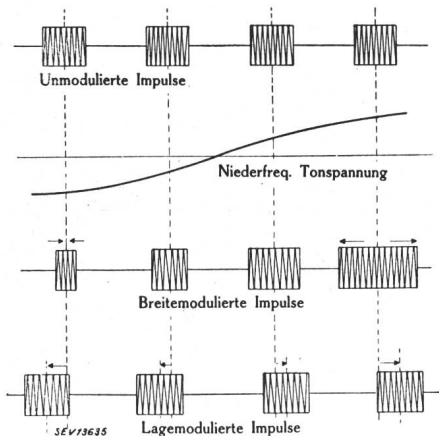


Fig. 15.
Zeit-Modulation

steht darin, dass hochfrequente Impulspakete variabler zeitlicher Länge oder variabler Verzögerung emittiert werden. Die Impulslänge oder die Verzögerungszeit steht in der Regel in linearer Beziehung

zum «momentanen» Wert der Modulationsspannung, wobei man unter «momentan» allerdings verschiedenes verstehen kann. Fig. 15 zeigt zwei Möglichkeiten der ZM, welche man übrigens in sehr zutreffender Weise als «telegraphierte» Sprache oder Musik bezeichnen kann.

Theorie und Versuche zeigen, dass die *Impulsfrequenz* ein Mehrfaches der höchsten Tonfrequenz sein muss. Bei der Sprachübertragung benützten wir etwa 10 000...15 000 Impulse/s, bei Musik 30 000...50 000 Impulse/s.

Die Vorteile der ZM liegen vor allem in der *geringen Störanfälligkeit der Impulskanten*. Wenn diese Kanten absolut «scharf» sind, wird ihre Lage auch durch verhältnismässig grosse Störungen nicht verändert (Fig. 16). Durch Amplitudenbegrenzung im Empfänger können die Störeinflüsse weitgehend unschädlich gemacht werden. Bei idealen Impulsen liesse sich sogar völlige Störfreiung erzielen, sofern die Störungen infolge der grossen Bandbreite nicht zu gross würden. Gerade die Uebertragung so scharfer

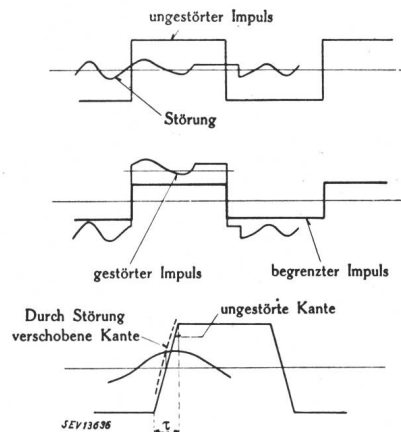


Fig. 16.
Zeit-Modulation

Kanten bedingt aber sehr breite Frequenzbänder, die in der Praxis beschnitten werden müssen. Dies hat zur Folge, dass man weniger steile Flanken erhält. Während der «Flankenzeit» τ bewirkt dann die Störung eine geringe Verschiebung der Kante.

Aehnlich wie bei FM kommt die Störung jedoch nicht in dem Masse zur Geltung, wie es den Amplitudenverhältnissen entsprechen würde. Man erzielt auch bei begrenztem Frequenzband eine erhebliche Störverminderung.

Als besondere Vorteile der ZM gegenüber der FM ist zunächst ihre Unempfindlichkeit gegen Schwankungen der Trägerfrequenz zu nennen. Dann aber eignet sich die ZM auch besonders gut zur Modulation von dm- und cm-Wellen, und zwar gerade dort, wo bei AM und FM Schwierigkeiten auftreten.

Eine Hauptaufgabe der ZM-Entwicklung liegt in der Umwandlung der Tonspannung in die modulierten Impulse. Man findet in der Patentliteratur verschiedene Verfahren, darunter elektro-optische, rein elektrische und solche mit Kathodenstrahlröhren. Ein originelles Verfahren wurde im Institut für Hochfrequenztechnik an der ETH Zürich (Prof. Dr.

F. Tank) von den Herren Zwislocki¹⁾ und Campovino angewendet, bei dem die Erzeugung der Impulse einfach durch Superposition der sinusförmigen Impulsfrequenz und deren zweiter Harmonischer erfolgt. In Baden wurde nach einem Vorschlag von Guanella ein Verfahren entwickelt, welches speziell für Richtstrahl-Uebertragungen geeignet ist. Es gestattet eine besonders einfache und saubere Demodulation, wobei man mit einer verhältnismässig niedrigen Impulsfrequenz auskommt.

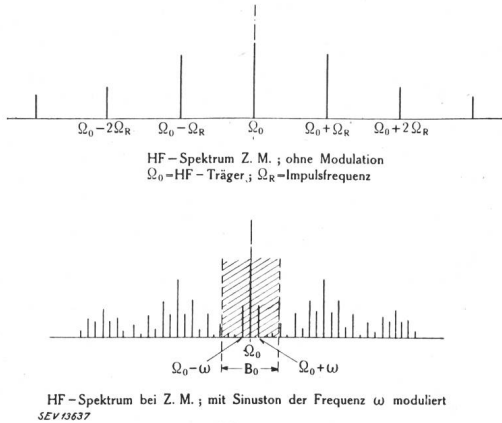


Fig. 17.
Zeit-Modulation

Fig. 17 zeigt eine Darstellung der Seitenbandfrequenzen bei ZM, im unmodulierten und, unten, im modulierten Zustand. Durch die Modulation bilden die Seitenbänder der Impulsfrequenzen eine Feinstruktur. Will man eine einfache Demodulation verwenden, so muss man mit der Frequenzgruppe in der Nähe des Trägers allein operieren können. Die Schwierigkeit liegt aber darin, dass Kombinationstöne der benachbarten Frequenzgruppe in diesen Nutzbereich B_0 fallen. Mit unserem Verfahren ist es gelungen, diese Störtöne weitgehend zu reduzieren,

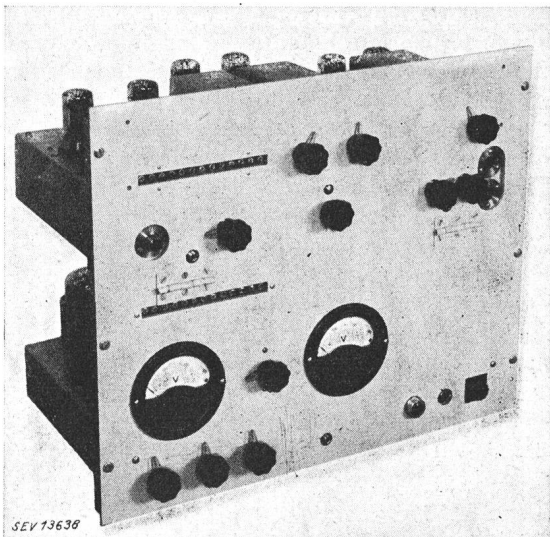


Fig. 18.
Zeit-Modulationsgerät
zur Umwandlung der Niederfrequenzspannung in modulierte Tastimpulse
(Laborausführung)

¹⁾ Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 15, S. 459...460, u. Nr. 17, S. 533...534.

indem ihre Amplituden in der Umgebung der Trägerfrequenz stark abfallen.

Fig. 18 zeigt ein neueres ZM-Gerät mit Umschaltung von Betrieb mit breitemodulierten auf Betrieb mit lage-(phasen-)modulierten Impulsen. Durch eine besondere Gegentakt-ZM kann der Klirrfaktor für den ganzen Uebertragungsweg (bei 90prozentiger Aussteuerung) unter 1% gehalten werden, wobei sich die Wiedergabe durch ihre Natürlichkeit auszeichnet.

Uebersicht

Am Anfang dieses Aufsatzes wurde bereits zwischen «direkten» und «indirekten» Modulationssystemen unterschieden.

Zu den direkten Systemen werden alle diejenigen gezählt, bei denen die Niederfrequenzspannung, die z. B. das Mikrophon abgibt, ohne vorherige nicht-lineare Umwandlung direkt auf die Amplitude oder die Phase einwirkt. Unter diese Hauptgruppe fallen auch alle diejenigen Verfahren, bei denen die ursprüngliche Niederfrequenzspannung vor dem Modulationsprozess einer linearen Veränderung unterworfen wird. Darunter versteht man einen Vorgang, welcher lediglich die Amplituden und Phasen der einzelnen Niederfrequenzkomponenten verändert,

Zusammenstellung einiger Modulationssysteme

Tabelle I

	Nr.	Umwandlung der NF	Modulation der HF	Bemerkungen
direkte Modulationssysteme	1	keine od. lineare	AM	heute meist verwendetes Verfahren, Störungen stark unterworfen.
	2	keine od. lineare	FM	weniger empfindlich gegen Störungen, benötigt grosses Frequenzband, wird deswegen bei Ultrakurzwellenübertragung angewendet.
indirekte Modulationssysteme	3	AM	AM	Verfahren für Mehrkanalanlagen, die NF-Umwandlung bezweckt die Frequenzverschiebung der einzelnen Kanäle.
	4	PM od. FM	AM	Verfahren für Bildfunk nach Ilberg und Schröter, durch Hudec verbessert.
	5	IM	AM	Mehrkanalsysteme (Zeitmultiplex), die Ton- oder Bildspannung wird z. B. in lage- oder breitemodulierte Tastimpulse umgeformt («Amplitudentastung»).
	6	AM	FM	neueres Verfahren für Mehrkanalanlagen, verbesserte Stör- und Nebensprechdämpfung (gegenüber System 3).
	7	PM od. FM	FM	in der Praxis noch wenig angewendetes Verfahren, in einigen Patenten zu finden.
	8	IM	FM	dieses Verfahren kann auch als «Frequenzastung» bezeichnet werden (gegenüber System 5).

NF Niederfrequenz. HF Hochfrequenz. AM Amplituden-Modulation. PM Phasen-Modulation. FM Frequenz-Modulation. IM Impuls-Modulation.

hingegen keine neuen Frequenzen erzeugt. Es werden beispielsweise die hohen Frequenzen im Interesse besserer Störverhältnisse senderseitig angehoben, wobei der Empfänger durch einen gegenläufigen Frequenzgang dafür zu sorgen hat, dass die Uebertragung möglichst naturgetreu bleibt.

Bei den indirekten Modulationsverfahren wird die niederfrequente Spannung vor der Modulation durch einen nichtlinearen Prozess umgewandelt, wobei die HF-modulierende Spannung neue Frequenzen aufweist, welche in der ursprünglichen Ton- oder Bildspannung nicht enthalten waren. Diese Umwandlung wird in der Regel unter Verwendung einer oder mehrerer Hilfsfrequenzen durchgeführt. Die so veränderte Modulationsspannung kann dann ent-

weder die hochfrequente Amplitude, Frequenz oder Phase direkt steuern.

Von den zahlreichen Möglichkeiten, welche eine allgemeine Klassifikation umfassen müsste, sollen nur einige herausgegriffen werden (Tab. I).

Sämtliche beschriebenen Modulationsarten lassen sich grundsätzlich als hochfrequente Zwei- oder Einseitenband-Uebertragung ausführen. Betrachtet man die Einseitenband-Uebertragung als besonderes Modulationssystem und nicht nur als eine andere Uebertragungsart, so wäre diese als neuer Oberbegriff in unsere Klassifikation aufzunehmen.

Adresse des Autors:

Dr. P. Güttinger, A.-G., Brown, Boveri & Cie., Baden.

Rechtliche Bemerkungen zur Haftpflicht der Wasserrechtskonzessionäre

Von B. Wettstein, Zürich

347.51 : 333.93

Der Verfasser prüft die Frage, ob den Inhabern von Wasserrechtskonzessionen eine gegenüber dem Bundeszivilrecht verschärfte Haftung für Schädigungen Dritter auferlegt werden kann. Ferner wird versucht, die Abgrenzung zwischen Haftpflicht- und Expropriationsrecht genauer zu ziehen.

L'auteur étudie s'il est possible d'imposer aux concessionnaires de droits d'eau une responsabilité civile pour les dommages aux tiers plus forte que celle prévue par le droit civil fédéral. Il essaye ensuite de préciser la limite entre les cas où intervient la responsabilité civile et ceux qui sont régis par le droit d'expropriation.

I.

In den kantonalen Wasserrechtsgesetzen¹⁾ und in Wasserrechtskonzessionen²⁾ treffen wir häufig auf die Bestimmung, dass der Beliehene für alle Schäden, den Dritte durch Bau und Betrieb des Werkes erleiden, aufzukommen habe. Diese Vorschriften erscheinen auf den ersten Blick klar und eindeutig. Es wird niemand daran Anstoss nehmen, dass ein Konzessionär haftbar gemacht wird für die schädigenden Folgen von Aenderungen im Grundwasserspiegel³⁾, oder für Beschädigungen, die während des Baues an Unternehmungen Dritter entstehen⁴⁾.

In der praktischen Anwendung dieser Haftpflichtbestimmungen haben sich nun aber erhebliche Schwierigkeiten ergeben. Die Praxis der Gerichte ist nicht eindeutig, und auch in der Theorie werden verschiedene Ansichten verfochten. Gestützt auf die zitierten Haftpflichtbestimmungen sind auch verschiedentlich gegen Wasserrechtinhaber übersetzte Forderungen gestellt worden. So hat sich die A.-G. Kraftwerke Wäggitäl mit Recht dagegen zur Wehr gesetzt, dass sie für das Ausbleiben weiterer Kiesanschwemmungen im Obersee verantwortlich gemacht werde⁵⁾, und die Stadt Zürich hat bei der Erteilung der Konzession Wettingen die Aufnahme so weit gehender Haftpflichtbestimmungen ablehnen wollen⁶⁾. Es stehen auch neuerdings wieder Fälle

zur Diskussion, in denen Wasserwerkbesitzer für Ueberschwemmungsschäden verantwortlich gemacht werden, die in ihrem Unterwassergebiet entstanden sind. Auch die Fischer pflegen für alle Beeinträchtigungen des Fischbestandes die Kraftwerke haftbar zu machen.

Es dürfte sich daher rechtfertigen, die eingangs zitierten Haftpflichtbestimmungen für die Wasserrechtskonzessionäre einer nähern Betrachtung zu unterziehen.

Was daran in erster Linie auffällt, ist die Tatsache, dass sie eine sogenannte Kausalhaftung einführen, gestützt auf welche der Konzessionär alle Schäden zu ersetzen hat, die in ursächlichem Zusammenhang mit Bau und Betrieb seiner Anlagen stehen. Ein Verschulden des Haftpflichtigen muss nicht gegeben sein, wie dies im Zivilrecht nach OR Art. 41 ff. vorgeschrieben wird. Die Haftpflicht des Konzessionärs ist auch strenger, als diejenige des Gebäude- und Werkeigentümers nach OR Art. 58, der nur für die Folgen fehlerhafter Anlagen oder mangelhaften Unterhaltes einzustehen hat. Eine gleich strenge Haftpflicht besteht nur für die Inhaber besonders gefährlicher Betriebe (Eisenbahnen, elektrische Anlagen) oder besonders gefährlicher Betätigungen (Automobil und Flugzeug). Die Wasserkraftwerke können wohl kaum zu diesen besonders gefährlichen Betrieben gezählt werden. Eine solche Anlage bedeutet nicht — wie beispielsweise eine Eisenbahn — durch ihren blossen Bestand eine Gefahr für die Umwelt. Es wurde meines Wissens auch noch nie versucht, eine solche Betriebsgefahr zur Begründung der Kausalhaftung ins Treffen zu führen. Rechtspolitisch bestünde also kaum eine Veranlassung, die Wasserkraftwerke — soweit nicht deren elektrischer Teil in Frage kommt — der strengen Kausalhaftung zu unterwerfen. Die Haft-

¹⁾ Zürich § 73, Uri Art. 13, Tessin Art. 12, weniger weitgehend Luzern § 35 und Obwalden Art. 45.

²⁾ Klingnau Art. 40, Wettingen Art. 39, Wäggitäl § 11 u. a.

³⁾ BGE 42 II 522.

⁴⁾ BGE 49 I 387.

⁵⁾ BGE 53 II 445.

⁶⁾ Buser, J.: Die ausservertragliche Entschädigungspflicht der Elektrizitätswerke nach eidgenössischem und aargauischem Recht. Schweiz. Zbl. f. Staats- u. Gemeindeverw. Bd. 31(1930), Nr. 21, S. 545...552, u. Nr. 22, S. 577...583.