Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

Band: 12 (1934)

Heft: 6

Artikel: Trägerwellen- und Einseitenband-Modulation = Modulation sur onde porteuse et sur une seule bande latérale

Autor: Metzler, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-873539

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: 05.12.2025

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

Trägerwellen- und Einseitenband-Modulation.

Mit der raschen Entwicklung des Rundspruchs in den letzten Jahren sind auch seine Raumbedürfnisse in dem vornehmlich in Frage kommenden Wellenband 200—2000 m bedeutend gewachsen. Bereits die Prager Wellenverteilung hatte mit bedeutenden Schwierigkeiten zu kämpfen, um wenigstens den Hauptforderungen nach Wellenzuteilung gerecht zu werden. Die Luzerner Konferenz sah sich vor einer fast unlösbaren Aufgabe, und jede künftige Wellenkonferenz kann ohne vorherige Erweiterung der Rundspruchbänder unmöglich zu positiven Ergebnissen führen.

In dieser Erkenntnis und in Anbetracht der Tatsache, dass Konzessionen, die man von den am 200- bis 2000-m-Band mitinteressierten Verkehrsdiensten schon wiederholt verlangte, erfahrungsgemäss abgewiesen werden, wurden im Schosse internationaler technischer Institutionen (U. I. R., C. C. I. R.) verschiedene Möglichkeiten erwogen zur Beschränkung des Frequenzbandes, das ein normal modulierter Rundspruchsender beansprucht. Insbesondere beschäftigte man sich mit der Möglichkeit, durch Unterdrückung eines Seitenbandes mehr Raum zu gewinnen, bzw. die verfügbaren Wellenbänder besser auszunützen. Die Frage 21 des C. C. I. R. 2 lautete:

Utilisation pour la radiodiffusion du système d'émission comportant l'onde porteuse et une seule bande latérale (single side band and carrier wave).

Die schweizerische Verwaltung beabsichtigte ursprünglich als Beitrag zu dieser Frage eine praktische Untersuchung, d. h. Emissionen mit Trägerwelle und einem Seitenband, über einen Lokalsender durchzuführen. Verschiedene Gründe gestatteten es nicht, diese Untersuchung noch vor dem Zusammentritt des C. C. I. R. 3 vorzunehmen.

Nachstehend geben wir einige theoretische Ueberlegungen zu der gestellten Frage.

Betrachten wir eine modulierte Schwingung von der Form

$$i = (1 + k \sin pt) \sin \omega t$$

Diese kombinierte Schwingung lässt sich bekanntlich darstellen durch die Summe von drei einfachen Schwingungen.

$$(1) \quad i = \sin \omega t - \frac{k}{2} \cos (\omega + p)\, t + \frac{k}{2} \cos (\omega - p)\, t$$

Der erste Term bedeutet die Trägerwelle, die beiden nachfolgenden das obere bzw. untere Seitenband. Streichen wir entsprechend dem vorliegenden Problem den einen Seitenbandterm, so erhalten wir für die resultierende Schwingung einen zweigliedrigen Ausdruck. Die mathematische Weiterentwicklung zur Bestimmung von Amplitude und Frequenz der resultierenden Schwingung ist möglich, lässt aber in ihren einzelnen Phasen die unmittelbare physikalische Vorstellung vermissen.

Die im folgenden gewählte Darstellung führt zu einem physikalisch anschaulichen Resultat, das für eine rechnerische Weiterentwicklung als Ausgang benützt werden kann.

Modulation sur onde porteuse et sur une seule bande latérale.

Avec le développement rapide de la radiodiffusion au cours de ces dernières années, la nécessité de trouver de nouveaux canaux pour loger le nombre de stations voulues dans les bandes de 200 à 2000 mètres entrant en considération est devenue toujours plus impérieuse. A la conférence de Prague déjà, on eut à lutter avec de grandes difficultés pour arriver à réaliser un plan de répartition tant soit peu équitable. La conférence de Lucerne s'est trouvée devant un problème presqu'insoluble et aucune des prochaines conférences ne pourra arriver à un résultat positif sans un élargissement préalable des bandes de fréquences réservées à la radiodiffusion.

Vu ce qui précède et en raison du refus catégorique des services co-intéressés aux bandes de 200—2000 mètres de consentir aux concessions maintes fois demandées, on a examiné au sein des institutions techniques internationales (U. I. R., C. C. I. R.) les différentes solutions qui permettraient de réduire la bande de fréquences couverte par un poste de radiodiffusion modulé normalement. En particulier, on s'est occupé de la possibilité de gagner de la place en supprimant l'une des bandes latérales, ce qui revient à dire d'utiliser plus rationnellement les bandes de fréquences à disposition. La question 21 du C. C. I. R. avait la teneur suivante:

Utilisation pour la radiodiffusion du système d'émission comportant l'onde porteuse et une seule bande latérale (single side band and carrier wave).

Pour se prononcer au sujet de cette question, l'administration suisse envisageait tout d'abord de faire quelques essais pratiques, c'est-à-dire de procéder à des émissions avec un poste local travaillant avec l'onde porteuse et une seule bande latérale. Pour diverses raisons, ces essais n'ont pu être exécutés avant la 3e réunion du C. C. I. R.

On trouvera par contre ci-dessous quelques considérations théoriques relatives à cette question.

Envisageons une oscillation modulée de la forme:

$$i = (1 + k \sin pt) \sin \omega t$$

Comme on le sait, cette oscillation composée peut se représenter par la somme de 3 oscillations simples.

$$(1) \quad i = \sin \omega t - \frac{k}{2} \cos (\omega + p)\, t + \frac{k}{2} \cos (\omega - p)\, t$$

Le premier terme représente l'onde porteuse et les deux derniers expriment respectivement l'un la bande latérale supérieure et l'autre l'inférieure. Si, conformément à la question posée, nous supprimons l'un des termes de la bande latérale, nous obtenons pour l'oscillation résultante une expression à deux termes. Le développement mathématique en vue de déterminer l'amplitude et la fréquence de l'oscillation résultante est possible, mais, au point de vue physique, ne permet pas dans ses différentes phases de s'en faire une image nette.

La solution choisie dans la suite permet d'obtenir un résultat démontrable en physique et qui peut

Die im besonderen uns beschäftigende Frage lautet: Welche Formänderungen erfährt die Hüllkurve der H. F.-Schwingung, wenn ein Seitenband weggelassen wird?

Die Seitenbandfrequenzen ergeben sich geometrisch, wenn wir die harmonische Schwingung, die der Punkt M auf dem Leitstrahl OP ausführt, in bekannter Weise durch zwei mit der Winkelgeschwindigkeit p in entgegengesetztem Sinne um T rotierende Vektoren von der Grösse $\frac{k}{2}$ entstehen lassen. Die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Vektoren bezogen auf O sind $\omega + p$ bzw $\omega - p$ (vgl. (1)). Die reine Amplitudenmodulation ist geometrisch klar ersichtlich.

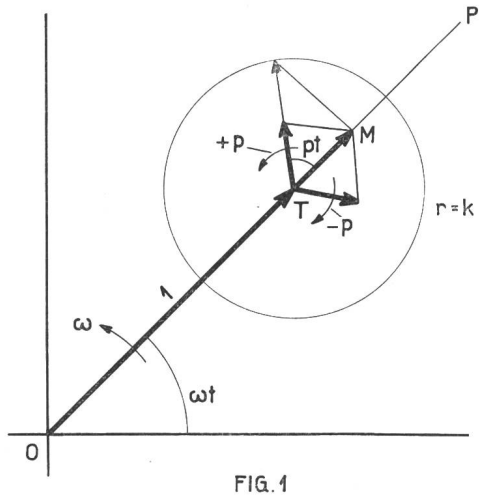

FIG. 1

Streichen wir im Sinne unserer Aufgabe einen Seitenbandterm in Gleichung 1, so entspricht dies in der vorstehenden geometrischen Darstellung dem Weglassen eines Vektors $\frac{k}{2}$ (Fig. 2). Die neu entstandenen Modulationsbedingungen des Vektors 1 sollen nun untersucht werden. Zunächst erkennt man unabhängig vom Zwischenverlauf, dass die Amplitude der modulierten Schwingung sich nun mehr in den Grenzen $1 + \frac{k}{2}$ und $1 - \frac{k}{2}$ bewegt gegen $1 + k$ und $1 - k$ mit beiden Seitenbandvektoren. Der Modulationsgrad ist auf $\frac{k}{2}$ gesunken.

In Figur 2 bedeutet k den auf den doppelten Wert gebrachten verbleibenden Seitenbandvektor.

Aus der Betrachtung dieser Figur ergibt sich, dass die Spitze des resultierenden Vektors nicht mehr eine einfache harmonische Schwingung auf dem Leitstrahl OP ausführt, sondern einen Kreis mit dem Halbmesser k um T beschreibt.

Zu der nicht mehr harmonischen *Amplitudenmodulation* gesellt sich eine *Phasenmodulation*. Die Amplitude A ergibt sich zu

$$(2) \quad A = \sqrt{1 + k^2 + 2\,k \cos pt}$$

Für die Phase ψ erhält man:

$$(3) \quad \sin \psi = \frac{k \cdot \sin pt}{A}$$

servir de base à des développements mathématiques ultérieurs.

La question à laquelle il faut répondre est la suivante: Quelles modifications de forme subit l'enveloppe de l'oscillation haute fréquence lorsqu'une des bandes latérales est supprimée?

On obtient géométriquement les fréquences des bandes latérales en représentant, comme on le sait, l'oscillation harmonique que le point *M* exécute sur la directrice OP par deux vecteurs de dimensions $\frac{k}{2}$ tournant en sens inverse autour du point T à la vitesse angulaire p. Les vitesses angulaires des deux vecteurs par rapport au point O sont $\omega + p$ resp. $\omega - p$ (voir (1)). La modulation par amplitude pure se reconnaît très clairement.

Si, conformément à notre problème, nous supprimons dans l'équation 1, l'un des termes de bande latérale, ceci revient à laisser de côté l'un des vecteurs $\frac{k}{2}$ dans notre développement géométrique (fig. 2). Nous voulons maintenant étudier quelles sont les nouvelles conditions de modulation du vecteur 1. On reconnaît tout d'abord, abstraction faite de ce qui se passe entre deux, que l'amplitude de l'oscillation modulée se maintient dans les limites $1 + \frac{k}{2}$ et $1 - \frac{k}{2}$ contre $1 + k$ et $1 - k$ avec les vecteurs des deux bandes latérales. Le degré de modulation est ainsi tombé à $\frac{k}{2}$.

Dans la figure 2, k représente le vecteur de la bande latérale restante porté à sa double valeur.

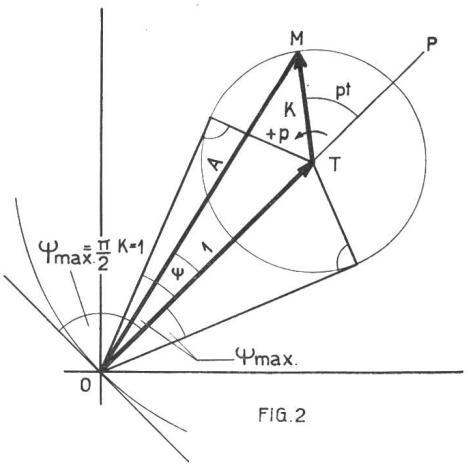

FIG. 2

L'examen de cette figure nous montre que la pointe du vecteur résultant ne décrit plus une harmonique simple sur la directrice OP, mais qu'elle trace un cercle de diamètre k autour du point T. *A la modulation d'amplitude* se joint une *modulation de phase*. L'amplitude A devient

$$(2) \quad A = \sqrt{1 + k^2 + 2\,k \cos pt}$$

Pour la phase ψ on obtient

$$(3) \quad \sin \psi = \frac{k \cdot \sin pt}{A}$$

und als Gesamtausdruck für die modulierte Schwingung

$$(4) \qquad i = A \cdot \sin(\omega + \psi)\, t$$

Darin sind A und ψ Funktionen der Zeit. Da $k \leqq 1$; $1 + k^2 \geqq 2\,k$, ist die Wurzel jederzeit reell. Zur Entwicklung in eine Binominalreihe schreiben wir (2) in die Form $A = \sqrt{(1+k)^2 - 2\,k\,(1 - \cos pt)}$

Wir erhalten sodann

et comme expression finale pour l'oscillation modulée

$$(4) \qquad i = A \cdot \sin(\omega + \psi)\, t$$

où A et ψ sont fonctions du temps. Etant donné que $k \leqq 1$; $1 + k^2 \geqq 2\,k$, la racine est réelle. Pour le développement par le théorème du binôme, nous écrirons (2) sous la forme

$$A = \sqrt{(1+k)^2 - 2\,k\,(1 - \cos pt)}$$

Nous obtiendrons ensuite

$$(5) \quad A = 1 + k - \frac{k\,(1-\cos pt)}{1+k} - \frac{k^2\,(1-\cos pt)^2}{2\,(1+k)^3} - \frac{k^3\,(1-\cos pt)^3}{2\,(1+k)^5} - \frac{5\,k^4\,(1-\cos pt)^4}{8\,(1+k)^7} - \frac{7\,k^5\,(1-\cos pt)^5}{8\,(1+k)^9} -$$

$$- \frac{21\,k^6\,(1-\cos pt)^6}{16\,(1+k)^{11}} - \frac{33\,k^7\,(1-\cos pt)^7}{16\,(1+k)^{13}} - \frac{429\,k^8\,(1-\cos pt)^8}{128 \cdot (1+k)^{15}} - \frac{715\,k^9\,(1-\cos pt)^9}{128\,(1+k)^{17}} -$$

$$- \frac{2431\,k^{10}\,(1-\cos pt)^{10}}{256\,(1+k)^{19}} - \frac{4199\,k^{11}\,(1-\cos pt)^{11}}{256\,(1+k)^{21}} - \frac{29393\,k^{12}\,(1-\cos pt)^{12}}{1024\,(1+k)^{23}} - \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Die Reihe konvergiert für k-Werte in der Nähe von 1 langsam und erfordert Berücksichtigung vieler Glieder. Die cos-Glieder höherer Potenz sind nun unter Zuhilfenahme bekannter trigonometrischer Beziehungen in solche 1. Ordnung umzuwandeln. Nach Frequenzen geordnet, ergibt sich dann nach Entwicklung der 7 ersten cos-Glieder von (5).

La série converge lentement et exige l'emploi de nombreux termes, surtout pour les valeurs de k dans le voisinage de l'unité 1. Les membres cosinus à exposants élevés doivent être ramenés au 1er degré à l'aide des relations trigonométriques usuelles. Ordonnés suivant leur fréquence, les 7 premiers membres en cos de (5) donnent après développement:

$$(6) \quad A = 1 + k - \frac{k}{1+k} - \frac{3\,k^2}{4\,(1+k)^3} - \frac{5\,k^3}{4\,(1+k)^5} - \frac{175\,k^4}{64\,(1+k)^7} - \frac{441\,k^5}{64\,(1+k)^9} - \frac{4851\,k^6}{256\,(1+k)^{11}} - \frac{14157\,k^7}{256\,(1+k)^{13}}$$

$$+ \left(\frac{k}{1+k} + \frac{k^2}{(1+k)^3} + \frac{15\,k^3}{8\,(1+k)^5} + \frac{35\,k^4}{8\,(1+k)^7} + \frac{735\,k^5}{64\,(1+k)^9} + \frac{2079\,k^6}{64\,(1+k)^{11}} + \frac{99099\,k^7}{1024\,(1+k)^{13}}\right) \cdot \cos pt.$$

$$- \left(\frac{k^2}{4\,(1+k)^3} + \frac{3\,k^3}{4\,(1+k)^5} + \frac{35\,k^4}{16\,(1+k)^7} + \frac{105\,k^5}{16\,(1+k)^9} + \frac{10395\,k^6}{512\,(1+k)^{11}} + \frac{33033\,k^7}{512\,(1+k)^{13}}\right) \cdot \cos 2\,pt.$$

$$+ \left(\frac{k^3}{8\,(1+k)^5} + \frac{5\,k^4}{8\,(1+k)^7} + \frac{315 \cdot k^5}{128\,(1+k)^9} + \frac{1155 \cdot k^6}{128\,(1+k)^{11}} + \frac{33033\,k^7}{1024\,(1+k)^{13}}\right) \cdot \cos 3\,pt.$$

$$- \left(\frac{5\,k^4}{64\,(1+k)^7} + \frac{35\,k^5}{64\,(1+k)^9} + \frac{693\,k^6}{256\,(1+k)^{11}} + \frac{3003\,k^7}{256\,(1+k)^{13}}\right) \cdot \cos 4\,pt.$$

$$+ \left(\frac{7\,k^5}{128\,(1+k)^9} + \frac{63\,k^6}{128\,(1+k)^{11}} + \frac{3003\,k^7}{1024\,(1+k)^{13}}\right) \cdot \cos 5\,pt.$$

$$- \left(\frac{21\,k^6}{512\,(1+k)^{11}} + \frac{231\,k^7}{512\,(1+k)^{13}}\right) \cdot \cos 6\,pt.$$

$$+ \frac{33\,k^7}{1024\,(1+k)^{13}} \cdot \cos 7\,pt.$$

Nach Auswertung von (6) für $k = 0{,}5$ erhalten wir:

En faisant $k = 0{,}5$ dans (6), nous obtenons

$$A = 1{,}069312 + 0{,}47333 \cdot \cos pt - 0{,}05042 \cdot \cos 2\,pt + 0{,}00925 \cos 3\,pt - 0{,}00167 \cdot \cos 4\,pt$$
$$+ 0{,}00023 \cdot \cos 5\,pt - 0{,}000025 \cdot \cos 6\,pt + 0{,}000001 \cdot \cos 7\,pt.$$

Für $pt = \pi$ werden sämtliche cos-Glieder negativ. Der Anfangsterm, um die Summe aller cos-Koeffizienten vermindert, ergibt

$$A_{min} = 0{,}53438$$

anstatt 0,5, wie dies aus $1 - k = 0{,}5$ ohne weiteres hervorgeht.

Die Differenz ist der beschränkten Anzahl der berücksichtigten Glieder zuzuschreiben. Für $k = 0{,}5$ erhalten wir so angenähert einen Klirrfaktor der Amplitude A von

Pour $pt = \pi$ tous les membres cosinus deviennent négatifs. Le premier terme diminué de la somme des coefficients de tous les cosinus donne

$$A_{min} = 0{,}53438$$

au lieu de 0,5 comme il ressort sans autre de $1 - k = 0{,}5$.

La différence provient du petit nombre de membres pris en considération. Pour $k = 0{,}5$ nous recevons approximativement un coefficient de distorsion non linéaire de l'amplitude A de

$$x = \frac{\sqrt{\sum_{H=2}^{7} A_H^2}}{A_G} = \frac{\sqrt{0{,}0026303}}{0{,}47333\ldots} = \frac{0{,}051286}{0{,}47333\ldots} = 0{,}10835 = 10{,}84\ \%$$

Nach (6) erhält man entsprechend für

		A berechnet	A Sollwert
k = 0,1 einen Klirrfaktor von	2,47 %	0,900006	0,9
k = 1,0 „ „ „	13,64 %	0,419	0

Die Abweichung der aus 7 Gliedern errechneten Minimalamplitude vom Sollwert gibt einen Anhaltspunkt für die Genauigkeit des betreffenden Klirrfaktors. Man ersieht sofort die gute Uebereinstimmung bei kleinem k und darf auch den Schluss ziehen, dass der für k = 0,5 errechnete Klirrfaktor schon merklich unter dem praktisch auftretenden Wert liegt. Der berechnete Klirrfaktor 13,64% für k = 1,0 ist bestimmt ganz erheblich kleiner als der in Wirklichkeit auftretende. Obschon gerade der k = 1 Wert grosses Interesse geboten hätte, musste der zeitraubenden Rechnung wegen auf eine weitere Ausdehnung der Reihe verzichtet werden.

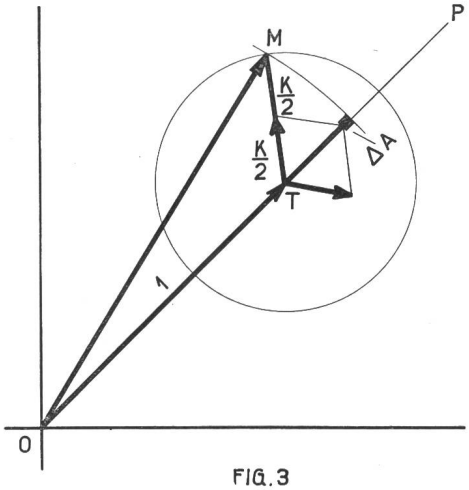

FIG. 3

D'après (6), nous recevons donc pour

		A valeur calculée	A valeur réelle
k = 0,1 un coefficient de distorsion non linéaire de	2,47 %	0,900006	0,9
k = 1,0 un coefficient de distorsion non linéaire de	13,64 %	0,419	0

La différence entre l'amplitude minimum résultant du calcul à l'aide de 7 membres et la valeur réelle nous donne un point de repère pour l'exactitude du coefficient de distorsion non linéraire correspondant. On remarque tout de suite la concordance parfaite pour un petit k et l'on peut admettre que le coefficient de distorsion non linéaire calculé pour k = 0,5 sera passablement plus faible que la valeur obtenue en pratique. Le coefficient de distorsion non linéaire calculé et atteignant 13,64% pour k = 1, est aussurément beaucoup plus petit que celui que l'on observe en réalité. Bien que la valeur k = 1 aurait précisément présenté un grand intérêt, on a dû renoncer à pousser plus loin le développement qui aurait été très laborieux et qui aurait exigé un travail considérable.

Les fig. 3 et 4 donnent une image frappante de la distorsion que l'enveloppe de l'oscillation subit sous différentes profondeurs de modulation.

Il nous reste encore à examiner l'influence de la modulation par phase (4).

Nous nous bornerons ici à faire quelques réflexions de principe pour rappeler les quelques travaux y relatifs ci-après:

Carson P. I. R. E. 10 1922
Salinger ENT, vol. 6 1929
Heilmann ENT, vol. 7 1930
Roder P. I. R. E. 19 1931

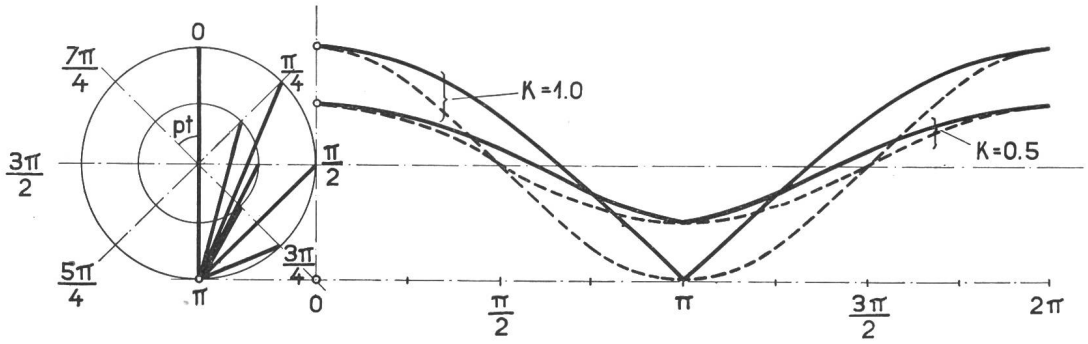

FIG. 4

Fig. 3 und 4 vermitteln ein anschauliches Bild der Verzerrung, welche die Hüllkurve bei verschiedenen Modulationsgraden erfährt.

Es bleibt nun noch der Einfluss der Phasenmodulation (4) zu untersuchen.

Wir beschränken uns hier auf einige grundsätzliche Ueberlegungen und verweisen im übrigen auf diesbezügliche Arbeiten:

Une antenne apériodique donne (voir Roder l. c.) au détecteur de réception une tension proportionnelle à l'intensité du champ. Par contre, la tension redressée à la sortie du détecteur ne dépend que de l'enveloppe de l'oscillation haute fréquence. Que le détecteur soit linéaire ou non linéaire, ceci n'a aucune influence. Etant donné que la modulation par phase ne modifie pas l'amplitude de l'en-

Carson P. I. R. E. 10 1922
Salinger ENT, Bd. 6 1929
Heilmann ENT, Bd. 7 1930
Roder P. I. R. E. 19 1931

Eine aperiodische Antenne (vgl. Roder l. c.) ergibt am Empfangsdetektor eine Spannung proportional der Feldstärke. Die gleichgerichtete Spannung am Ausgang des Detektors ist aber nur abhängig von der Hochfrequenzhüllkurve. Ob der Detektor linear oder sogenannt quadratisch ist, tut hier nichts zur Sache. Da Phasenmodulation die Amplitude der Hüllkurve nicht verändert, kann ein gewöhnlicher Amplitudendetektor, wie er in Empfangsgeräten allgemein verwendet wird, Schwankungen der H.-F.-Phase an und für sich nicht anzeigen. Phasenmodulation lässt sich ähnlich wie Amplitudenmodulation darstellen als ein Produkt von Trägerwelle und Seitenbändern mit dem Unterschied, dass bei dieser die Amplitude der H. F.-Hüllkurve sich ändert, bei jener nur die H. F.-Phase. Die Amplituden der Seitenbänder bei Phasenmodulation können durch Entwicklung aus Besselfunktionen erhalten werden. Schon bei Phasenmodulation mit einer einzigen Frequenz ist die Zahl der auftretenden Seitenbänder unbegrenzt. Eine Störung im Frequenzband benachbarter Sender scheint unvermeidlich. Diese Tatsache ist als weiteres ungünstiges Moment gegen Emissionen mit Träger und einem Seitenband anzuführen. Ein Bandfilterempfänger wird übrigens Phasenmodulation durch die verzerrte H. F.-Hüllkurve anzeigen, da namentlich für höhere Modulationsfrequenzen wegen „side band cut off" die Voraussetzungen des aperiodischen Empfangssystems nicht einmal annähernd mehr bestehen. Aehnliche Erscheinungen müssen auch bei Empfängertypen mit geringer Dämpfung der H. F.-Kreise auftreten.

Die vorstehenden Ergebnisse sind auch von Interesse für den Empfang im Nahschwundgebiet eines Senders, wo bekanntlich häufig Verzerrungen auftreten. Diese Erscheinungen haben ihren Ursprung hauptsächlich im Teilschwund der Trägerwelle oder eines Seitenbandes. Trägerschwund bewirkt einen scheinbar erhöhten Modulationsgrad, der bei ganz ausgelöschter Trägerfeldstärke zur vollständigen Zerstörung des Tonbildes (mit Frequenzverdopplung) führt. Seitenbandschwund ergibt, wie wir oben gesehen haben, eine erhebliche Amplitudenverzerrung mit Phasenmodulation, deren Effekt mit zu den bekannten Verzerrungen im Nahschwundgebiet zählt.

Zusammenfassung. Beim Senden mit Trägerwelle und einem Seitenband entsteht eine nicht lineare, mit dem Modulationsgrad rasch zunehmende Verzerrung der Hochfrequenz-Hüllkurve. Gleichzeitig tritt Phasenmodulation der Trägerschwingung auf. Für kommerzielle Telephonie mit geringer Frequenzbandbreite (fc $\sim$ 2700) und zugelassener, nicht linearer Verzerrung von 10% kann das System bei einem Modulationsgrad kleiner als 50% genügen. Seine Anwendung für Rundspruchzwecke setzt ganz geringe Modulationsgrade (unter 20%) voraus. Dies aber ergibt aus bekannten Gründen eine schlechte Ausnützung der Sendeanlage. Höhere Modulationsgrade führen rasch zur Zerstörung der Tonqualität.

E. Metzler.

veloppe, un simple détecteur d'amplitude comme on l'utilise dans les postes radiorécepteurs ne peut donc pas déceler la modulation par phase en haute fréquence. La modulation par phase, ainsi que la modulation par amplitude peuvent être représentées comme une résultante d'une onde porteuse et des bandes latérales avec la différence que, pour la dernière, l'amplitude de l'enveloppe de l'oscillation à haute fréquence varie, alors que pour la première seule la phase en haute fréquence est modifiée. Les amplitudes des bandes latérales peuvent avec la modulation par phase être obtenues par développement des fonctions de Bessel. Pour une modulation par phase avec une seule fréquence déjà, le nombre des bandes latérales est illimité. Des perturbations dans la bande de fréquences des postes voisins semblent inévitables. Ce fait doit être regardé comme un nouveau moment défavorable pour les émissions avec onde porteuse et une bande latérale. Un récepteur avec filtre de bande indiquera d'ailleurs la modulation par phase par les déformations de l'enveloppe de l'oscillation à haute fréquence, car, pour les hautes fréquences notamment, les conditions du récepteur apériodique ne sont pas remplies à cause du „side band cut off". Des phénomènes analogues doivent aussi se produire dans les récepteurs à circuit à haute fréquence peu amortis.

Les résultats ci-dessus présentent également de l'intérêt pour la réception d'un poste émetteur dans la zone où commencent à se manifester les phénomènes d'évanouissement et où la réception est souvent affectée de distorsion. Ces phénomènes sont principalement dus à la disparition partielle de l'onde porteuse ou d'une bande latérale. L'affaiblissement de l'onde porteuse se manifeste par un degré de modulation apparemment élevé qui, si l'onde porteuse est complètement évanouie, peut tout à fait détruire l'image du son (avec doublement de la fréquence). La disparition d'une bande de fréquences produit, comme on l'a vu plus haut, une distorsion sensible de l'amplitude avec modulation par phase. Ces effets coopèrent à produire la distorsion bien connue dans la zone où commencent à se manifester les phénomènes d'évanouissement (Nahschwundzone).

Résumé. Une émission avec onde porteuse et une seule bande latérale est affectée d'une distorsion non linéaire de l'enveloppe de l'oscillation H. F. et qui croît rapidement avec le degré de modulation. Il se produit en même temps une modulation par phase de l'onde porteuse. Pour la téléphonie commerciale qui n'exige qu'une bande de fréquences étroite (fc $\sim$ 2700 c/s) et qui peut supporter une distorsion non linéaire allant jusqu'à 10%, le système peut être taxé de suffisant, pourvu que le taux de modulation n'excède pas 50%. Si on l'applique à la radiodiffusion, il faut se contenter d'une modulation peu profonde de l'ordre de 20%. Mais alors l'efficacité de l'installation devient tout à fait précaire. Un taux de modulation plus élevé causerait une forte dépréciation de la qualité du son.

E. Metzler.