

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: 38 (1960)

Heft: 4

Artikel: Ein systemtheoretischer Beitrag zum Problem der optimalen Gestaltung der Nyquistflanke beim Fernsehen = Contribution au problème de la forme optimum du flanc de Nyquist en télévision

Autor: Bernath, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874605>

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: 14.05.2025

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

K. BERNATH, Bern

Ein systemtheoretischer Beitrag zum Problem der optimalen Gestaltung der Nyquistflanke beim Fernsehen

Contribution au problème de la forme optimum du flanc de Nyquist en télévision

621.397.018.782.4

Zusammenfassung. Es werden nach der Theorie von Bode für eine Reihe von idealisierten, allpassfreien Empfänger-Zwischenfrequenzfiltern die inhärenten Gruppenlaufzeitfehler ermittelt. Dabei zeigt sich, dass hinsichtlich der im Bereich der tiefen bis mittleren Modulationsfrequenzen auftretenden Laufzeitfehler für die Nyquistflanke eine optimale Neigung angegeben werden kann, die bei 5 MHz Videobandbreite einem Nyquistflankenbereich von etwa $\pm 1,75$ MHz entspricht. Breitbandige Systeme mit steiler Nyquistflanke weisen im genannten Intervall besonders grosse Laufzeitverzerrungen auf. Die theoretischen Resultate stehen in gutem Einklang mit experimentellen Ergebnissen.

Résumé. Les distorsions inhérentes au temps de propagation de groupe sont obtenues en partant de la théorie de Bode, pour une série de filtres de bande moyenne fréquence à phase minimum. Il apparaît que pour les fréquences de modulations moyennes et basses une inclinaison optimum du flanc de Nyquist, comprise entre $\pm 1,75$ Mc/s pour un système à 5 Mc/s de bande passante, peut être définie. La distorsion du temps de propagation de groupe de fréquence pour un système à large bande et à flanc de Nyquist abrupt est particulièrement prononcée. Les résultats expérimentaux obtenus confirment la théorie.

Beim Fernsehen wird zum Zwecke der Frequenzbandeinsparung allgemein vom Prinzip der Restseitenbandübertragung nach Nyquist [1] Gebrauch gemacht. Dieses Verfahren, das im folgenden als bekannt vorausgesetzt wird, weist indessen gegenüber der gewöhnlichen Zweiseitenbandübertragung einige Nachteile auf. Die wichtigsten sind:

1. Inhärente Nachteile:

- a) Modulationsverzerrungen bei Enveloppendemodulation;
- b) Geringerer Rauschabstand.

2. Apparativ bedingte Nachteile:

- a) Ungünstiger Verlauf der Sender- und Empfänger-Gruppenlaufzeit bei tieferen Modulationsfrequenzen;
- b) Kritische Empfängerabstimmung.

Während über Modulationsverzerrungen eine umfangreiche Fachliteratur vorliegt (s. Bibliographie im Anhang), ist der Fragenkomplex der Laufzeitverzerrungen bisher in systemtheoretischer Hinsicht

Dans le but de réduire la largeur de bande nécessaire en télévision, la transmission est faite selon le principe de Nyquist à bande latérale partiellement supprimée. Cette méthode, supposée connue, présente néanmoins quelques inconvénients par rapport au système où les deux bandes latérales sont transmises. Les principaux inconvénients sont:

1. Propres au système:

- a) Distorsions du signal vidéo provoquées par la démodulation asynchrone;
- b) Faible facteur de bruit.

2. Dépendants des équipements:

- a) Réponse défavorable du temps de propagation de groupe aux basses fréquences pour les émetteurs et les récepteurs;
- b) Alignement critique des récepteurs.

On trouve une abondante littérature sur les questions de distorsion de la modulation (voir bibliographie), alors que la question complexe des distorsions du temps de propagation n'a été que peu

kaum eingehend behandelt worden. Die Fachwelt neigt indessen heute dazu, den Laufzeitverzerrungen bei Systemvergleichen etwas vermehrte Beachtung zu schenken, und zwar u. a. aus folgenden Gründen:

1. Mitberücksichtigung bildstatistischer Gegebenheiten

Die Modulationsverzerrungen sind nur bei den bildstatistisch eher seltenen grossen Signalsprüngen deutlich nachweisbar; die Laufzeitverzerrungen dagegen treten – ihrer linearen Natur entsprechend – auch bei kleineren Signalsprüngen, wie sie in Fernsehbildern häufig vorkommen, in Erscheinung.

2. Verzicht auf Laufzeitvorkorrektur

Nach den jüngsten Empfehlungen des CCIR* (Los Angeles 1959) darf die sendeseitige Vorkorrektur des linearen Anteils der Empfängerlaufzeitfehler in der unteren Hälfte des videofrequenten Durchlassbandes höchstens die Hälfte der dem allpassfreien Zwischenfrequenzfilter anhaftenden Laufzeitverzerrungen betragen.

Ohne die grundsätzliche Bedeutung des gesamten Problemkomplexes herabmindern zu wollen, sei hier noch erwähnt, dass in der Praxis des Heimfernsehens sowohl die Modulationsverzerrungen als auch die Laufzeitverzerrungen die Bildgüte im allgemeinen nur verhältnismässig wenig beeinflussen. Dies gilt sowohl für das Schwarzweissfernsehen als auch für das Farbfernsehen nach dem NTSC-Verfahren.

Systemtheoretische Untersuchung

In Fig. 1 sind für 6 verschiedene Fernschnormen in der idealisierten Form sechsteiliger Streckenzüge Empfängerdämpfungscharakteristiken aufgetragen. Diagramm A enthält ausserdem das Toleranzschema eines Nyquistmessempfängers; man erkennt, dass sich der entsprechende Streckenzug, vom Sperrbereich abgesehen, annähernd in dieses einfügen lässt. Die Bildträgerzwischenfrequenz F_B wurde zu 38,9 MHz angenommen. (Die tatsächlichen Dämpfungsscharakteristiken haben einen spiegelbildlichen Abszissenverlauf, was aber im vorliegenden Zusammenhang ohne Bedeutung ist.)

Unter der Voraussetzung, dass die skizzierten Dämpfungskurven durch allpassfreie Netzwerke erzeugt werden, lässt sich nun bekanntlich nach der Theorie von Bode [14] zu jedem Dämpfungsstreckenzug eine zugehörige Phasen- bzw. Gruppenlaufzeitcharakteristik ermitteln. Der Gang der Rechnung ist im Anhang skizziert.

Die Frage, wie weitgehend die oben getroffenen Annahmen in der Praxis erfüllt sind, scheint uns im vorliegenden Zusammenhang, wo es ja in erster Linie um einen *Systemvergleich* gehen soll, nicht von primärer Bedeutung zu sein.

Das Ergebnis der Untersuchung ist in Fig. 1 in Form korrespondierender Gruppenlaufzeitkurven aufgetragen. Die Gesamtlaufzeit setzt sich je aus zwei Teillaufzeiten zusammen, die von den beiden Band-

traitée jusqu'à ce jour. Les milieux techniques spécialisés tendent cependant à considérer avec plus d'attention les problèmes des distorsions du temps de propagation de groupe lors de comparaison de différents systèmes, entre autres pour les raisons suivantes:

1. Considération de la répartition statistique du contenu image

Les distorsions de modulation sont vérifiables distinctement lors de grosses variations d'amplitude, par ailleurs statistiquement très rares. Par contre les distorsions de temps de propagation de groupe-fréquence se font remarquer (de par leur nature linéaire) aussi pour de faibles variations d'amplitude, telles qu'il s'en présente le plus souvent dans le contenu d'images télévisées.

2. Correction de temps de propagation de groupe

Selon les recommandations du CCIR (Los Angeles, 1959) la précorrection à l'émetteur des parties linéaires des distorsions de temps de propagation, dans la moitié inférieure de la bande passante vidéo (des récepteurs), peut être au maximum la moitié des distorsions apportées par des filtres de fréquence intermédiaires à phase minimum.

Sans vouloir diminuer l'importance de ce problème complexe, il s'est révélé dans la pratique, que la qualité de l'image des récepteurs domestiques n'est que peu influencée par les distorsions de modulation et de temps de propagation, aussi bien pour le noir-blanc que pour la télévision en couleur selon le système NTSC.

Recherches théoriques sur le système Nyquist

La figure 1 montre sous une forme idéalisée en 6 segments la courbe d'atténuation de récepteurs pour 6 diverses normes. Au diagramme A est indiquée la courbe de tolérance pour un récepteur de mesure *Nyquist*. On constate que la courbe correspondante, mis à part les domaines atténués, est comprise dans ces tolérances. La fréquence intermédiaire (F_B) a été fixée à 38,9 Mc/s. En admettant que les courbes d'atténuation indiquées soient produites par des filtres de bande à phase minimum, on peut calculer en partant de la théorie de *Bode*, pour chaque segment de la courbe, la caractéristique de temps de propagation. Le processus de calcul est esquissé en annexe.

En pratique et pour le cas qui nous intéresse (comparaison de systèmes), il n'est pas d'importance primordiale de connaître comment cette hypothèse peut être réalisée. Les résultats des recherches sont indiqués à la figure 1 sous la forme d'une courbe de temps de propagation de groupe-fréquence.

Cette courbe est la résultante des résultats correspondants aux deux extrémités de la bande passante (la courbe en pointillé correspond à la limitation de la bande par le flanc de *Nyquist*). La variation absolue

* Comité Consultatif International des Radiocommunications.

begrenzungen herrühren. (Die gestrichelte Kurve entspricht der Bandbegrenzung durch die Nyquistflanke.) Links von den Diagrammen ist der sich aus dem Zusammenwirken der beiden Teillaufzeitkurven bei tiefen und mittleren Modulationsfrequenzen ergebende maximale Gruppenlaufzeitunterschied eingetragen, und zwar sowohl absolut (in ns) als auch relativ, d. h. in Bildpunkteinheiten (Bp.) des jeweiligen Systems.

Aus den Kurven lässt sich folgendes entnehmen:

1. Die durch die obere und untere Bandbegrenzung verursachten Gruppenlaufzeitfehler greifen weit in den Durchlassbereich hinein. Es ist deshalb bei Systemuntersuchungen, die den Nyquistflankenbereich betreffen, nicht zulässig, lediglich die (gestrichelten) Laufzeitkurven der Nyquistflanken selber miteinander zu vergleichen.
2. Systeme mit verhältnismässig steiler Nyquistflanke weisen im Bereich der tiefen bis mittleren Modulationsfrequenzen besonders grosse Laufzeitunterschiede auf.
3. Bei vorgegebenen Dämpfungen im Sperrbereich und vorgegebener konstanter Steilheit des Dämpfungsanstiegs am oberen Bandende lässt sich für jede Bandbreite eine optimale Steilheit der Nyquistflanke angeben, bei welcher sich im Bereich der tiefen bis mittleren Modulationsfrequenzen die Laufzeitfehler in erster Näherung aufheben. Bei einer Videodurchlassbreite von 5 MHz entspricht diese einem Nyquistflankenbereich von rund $\pm 1,75$ MHz (annähernd Fall C in Fig. 1).

Laborversuche

In Ergänzung zu den Berechnungen wurden die Fälle A, C und D in Fig. 1 auch experimentell etwas näher untersucht. Dabei ergab sich eine ziemlich gute Übereinstimmung der theoretischen und praktischen Ergebnisse, obschon die gemessenen Dämpfungscharakteristiken im Sperrbereich nur sehr angenähert den der Rechnung zugrunde gelegten Streckenzügen entsprachen.

Anhang

Skizzierung des Rechengangs

Betrag und Phase eines allpassfreien Netzwerkes sind nach Bode [14] durch folgende Beziehung miteinander verknüpft:

$$b(u) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{da(u)}{du} \ln \operatorname{Ctg} \frac{|u|}{2} \right] du,$$

wobei

$u = \ln \frac{F}{F_0}$, normierte Frequenz (logarithmische Skala),

$a(u)$ = Dämpfungsverlauf [Neper],

$b(u)$ = Phasenverlauf [Bogengrade].

Bei Annäherung der Dämpfungscharakteristik durch einen Streckenzug vereinfacht sich die Rechnung erheblich, da dann auf tabellierte Funktionswerte zurückgegriffen werden kann [14, 25]. Die log-

maximum du temps de propagation pour le système envisagé, entre les basses et les moyennes fréquences de modulation, est indiquée sur le diagramme en ns et en valeurs relatives (points d'image Bp.)

On peut déduire des courbes:

1. La limitation de la bande passante (bas et haut de la bande considérée) introduit une distorsion du temps de propagation de groupe-fréquence dans la partie linéaire. De ce fait, on ne peut pas comparer entre deux systèmes l'erreur du temps de propagation de groupe-fréquence propre au flanc de *Nyquist* (courbe en trait pointillé).
2. Les systèmes ayant des flancs de *Nyquist* relativement abrupts contiennent, dans le domaine des basses et moyennes fréquences de modulation, des différences de temps de propagation de groupe-fréquence particulièrement prononcées.
3. Pour certaines valeurs d'atténuation de la partie de coupure et des formes données pour la partie supérieure du haut de la bande considérée, il est possible de définir une pente du flanc de *Nyquist* pour laquelle les erreurs de temps de propagation de groupe-fréquence des basses et moyennes fréquences se compensent. Pour une bande passante vidéo de 5 Mc/s, la pente du flanc de *Nyquist* est dans ce cas de $\pm 1,75$ Mc/s (approximativement cas C, figure 1).

Résultats pratiques

Le calcul pour les cas A, C et D (figure 1) a été complété par des essais expérimentaux. Les résultats obtenus ont démontrés une assez bonne correspondance avec la théorie, bien que les caractéristiques d'atténuation de la partie de coupure ne s'apparentent que très approximativement aux valeurs théoriques admises pour le calcul.

Annexe

Esquisse de la méthode de calcul

Le coefficient d'atténuation et la phase d'un filtre passe-bande à phase minimum sont liés entre eux selon Bode par la relation suivante:

$$b(u) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{da(u)}{du} \ln \operatorname{Ctg} \frac{|u|}{2} \right] du,$$

ou

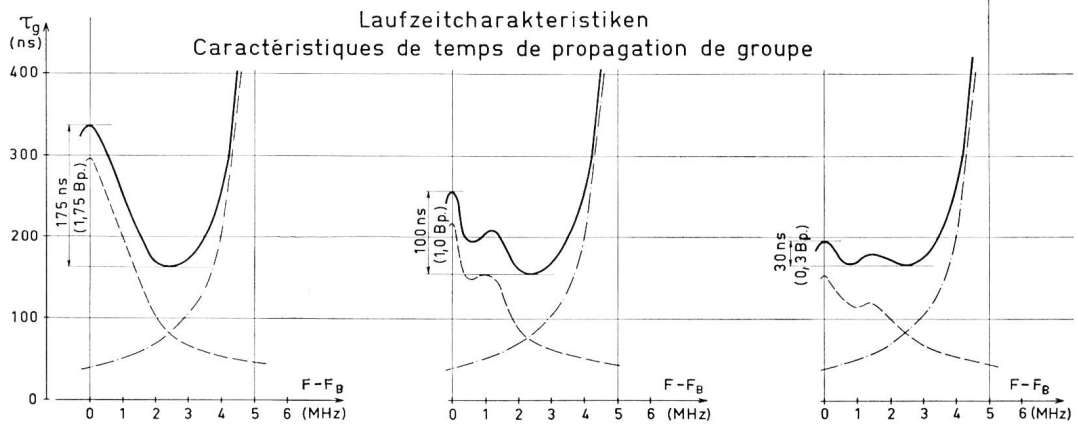
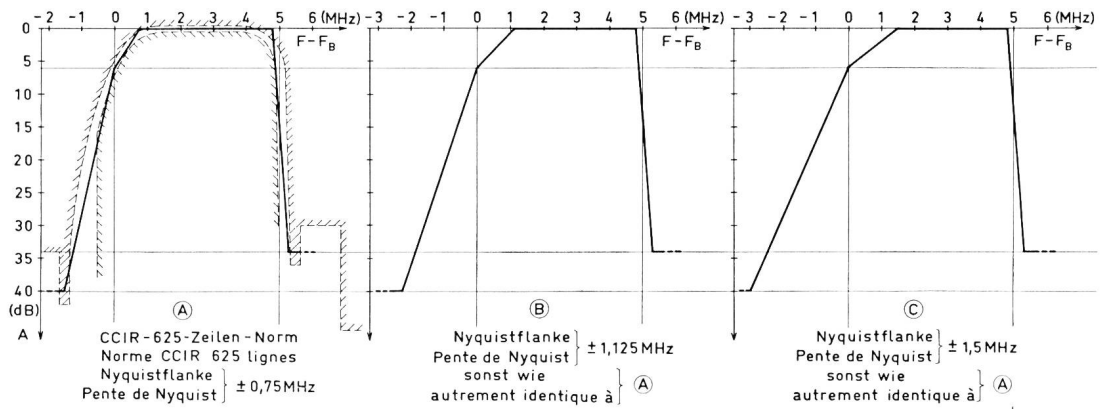
$u = \ln \frac{F}{F_0}$, fréquence normalisée, (échelle logarithmique)

$a(u)$ = Caractéristique de l'atténuation (népers)

$b(u)$ = Caractéristique de déphasage (radians)

L'approximation de la courbe d'atténuation par un segment rectiligne simplifie notablement le calcul; les valeurs de la fonction peuvent être tirées d'un tableau [14, 25]. L'échelle logarithmique des fré-

Dämpfungscharakteristiken Caractéristiques d'affaiblissement



Dämpfungscharakteristiken Caractéristiques d'affaiblissement

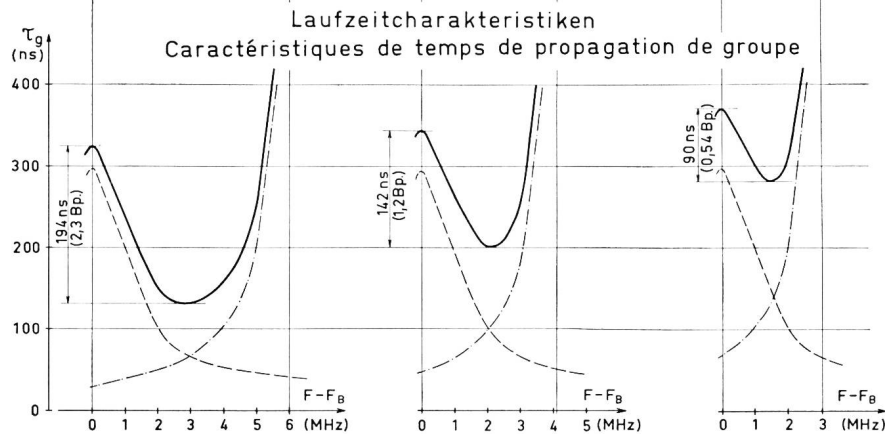
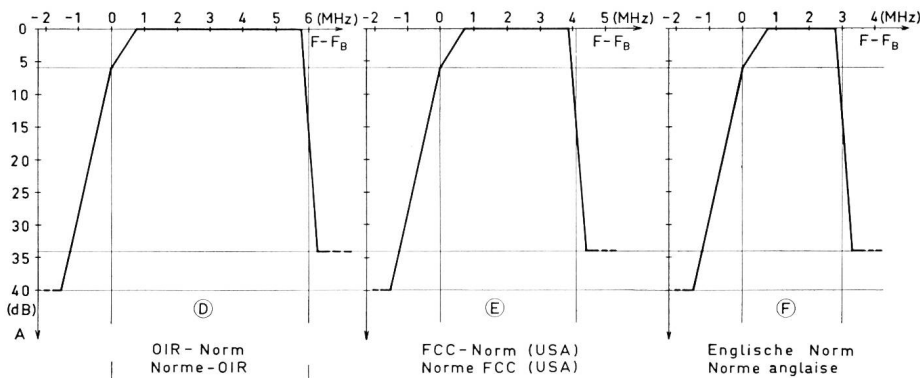


Fig. 1.

Theoretischer Verlauf der Gruppenlaufzeit τ_g bei idealisierten, allpass-freien Empfängerzwischenfrequenzfiltern. (Zwischenfrequenz des Bildträgers $F_B = 38,9\text{ MHz}$).

Courbes théoriques du temps de propagation de groupe fréquence τ_g pour des filtres de bande à phase minimum (Fréquence intermédiaire correspondant à la porteuse vision $F_B = 38,9\text{ Mc/s}$).

arithmische Frequenzskala geht bei den vorliegenden, relativ sehr steilen Dämpfungsanstiegen praktisch in eine lineare Skala über. Die Gruppenlaufzeit τ_g wird zweckmässig mit Hilfe der Beziehung

$$\tau_g(\omega) = \frac{db(\omega)}{d\omega} = \tau_b(\omega) + \omega \frac{d\tau_b(\omega)}{d\omega}$$

auf rechnerisch-graphischem Wege aus der Phasenkurve $b(\omega)$ über die Phasenlaufzeitkurve $\tau_b(\omega) = \frac{b(\omega)}{\omega}$ abgeleitet (Unsicherheit bei sorgfältigem Vorgehen $< \pm 5\%$).

quences est pratiquement linéaire vu la pente très raide de la courbe d'atténuation. Le temps de propagation de groupe peut être calculé au moyen de la fonction

$$\tau_g(\omega) = \frac{db(\omega)}{d\omega} = \tau_b(\omega) + \omega \frac{d\tau_b(\omega)}{d\omega}$$

et des courbes de phase $b(\omega)$ et de temps de propagation de phase $\tau_b(\omega) = \frac{b(\omega)}{\omega}$.

Bibliographie

- [1] Nyquist, H. Certain Topics in Telegraph Transmission Theory. Trans. A.I.E.E., April 1928, p. 617.
- [2] Poch, W. I., and D. W. Epstein. Partial Suppression of One Sideband in Television Reception. Proc. I.R.E. **25** (1937), 15.
- [3] Eckersley, P. P. Asymmetric Sideband Broadcasting. J.I.E.E. **77** (1935), 517; J.I.E.E. **83** (1938), 36; Proc. I.R.E. **26** (1938), 1041.
- [4] Urtel, R. Bemerkungen zum Einseitenbandbetrieb im Fernsehen. Telefunken, Juli 1939.
- [5] Hollywood, J. M. Single Sideband Filter Theory with Television Applications. Proc. I.R.E. **27** (1939), 457.
- [6] Goldman, S. Television Detail and Selective Sideband Transmission. Proc. I.R.E. **27** (1939), 725.
- [7] Nergaard, L. S. A theoretical Analysis of Single-Sideband Operation of Television Transmitters. Proc. I.R.E. **27** (1939), 666.
- [8] Koomans, N. Asymmetric Sideband Broadcasting. Proc. I.R.E. **27** (1939), 687.
- [9] Nyquist, H., and K. W. Pfleger. Effect of the Quadrature Component in Single Sideband Transmission. Bell System Tech. J., Jan. 1940, p. 63.
- [10] Kell, R. D., and G. L. Fredendall. Selective Sideband Transmission in Television. R.C.A. Rev. **4** (1940), 425.
- [11] Kallmann, H. E., R. E. Spencer, and C. P. Singer. Transient Response of Single-Sideband Systems. Proc. I.R.E. **28** (1940), 557.
- [12] Wheeler, H. A. The Solution of Unsymmetrical Sideband Problems with the Aid of the Zero frequency Carrier. Proc. I.R.E. **29** (1941), 446.
- [13] Cherry, E. C. The transmission Characteristics of Asymmetric Sideband Communication Networks. Part 1: J.I.E.E. **89** (1942), 19; Part 2: J.I.E.E. **90** (1943), 75.
- [14] Bode, H. W. Network Analysis and Feedback Amplifier Design. New York 1945.
- [15] Goldman, S. Frequency Analysis, Modulation and Noise. New York 1948.
- [16] Cherry, C. Pulses and Transients in Communication Circuits. London 1949.
- [17] Kirschstein, F., und G. Krawinkel. Fernsehtechnik. Zürich 1952, 216.
- [18] Skwirzynski, J. K. The Response of a Vestigial Sideband System to a «Sine-squared» Step Transition, Marconi Rev. **16** (1953), 8.
- [19] Murakami, T., and R. W. Sonnenfeldt. Transient Response of Detectors in Symmetric and Asymmetric Sideband Systems. R.C.A. Rev. **16** (1955), 580.
- [20] Griese, H. J. Möglichkeiten zur Entzerrung der Restseitenbandübertragung des Fernsehens. F.T.Z. **8** (1955), 94.
- [21] van Weel, A. Some Remarks on the Radio Frequency Phase and Amplitude Characteristics of Television Receivers. J. Brit. I.R.E. **16** (1956), 271.
- [22] Bünemann, D., und W. Händler. Der Schwarzweißsprung bei der Restseitenband-Fernsehübertragung. A.E.Ü. **10** (1956), 457.
- [23] van Weel, A. Phasenlinearität von Fernsehempfängern. Philips' Techn. Rundschau **17** (1956), 277.
- [24] Maurice, R. D. A. Comparison of Four Television Standards. Electronic & Radio Engineer **34** (1957), 416.
- [25] Fetzer, V. Einschwingvorgänge in der Nachrichtentechnik. München/Berlin 1958.
- [26] Bruun, G., and O. Funch. The Relation between Amplitude and Phase in Television Band Filter Amplifiers. Ingeniøren (Dansk) **2** (1958), 139.
- [27] Bourassin, L. Les Systèmes de Télévision à Bandes Latérales Asymétriques. Onde Electr. **34** (1954), 897, 1020.