Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = 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 Telegrafenbetriebe

Band: 37 (1959)

Heft: 10

Artikel: Dimensionierung von Laufzeit-Entzerrern nach dem Analogieverfahren

Autor: Bernath, K. / Binz, B. / Salvetti, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875470

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: 06.01.2026

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

K. BERNATH, B. BINZ und E. SALVETTI, Bern

Dimensionierung von Laufzeit-Entzerrern nach dem Analogieverfahren

621.372.553:621.397

Zusammenfassung. *Nach kurzem Eintreten auf die netzwerktheoretischen Aspekte des Allpassproblems werden praktische Dimensionierungsverfahren für Laufzeit-Entzerrer angegeben. Anschliessend wird näher auf das Analogieverfahren eingegangen und eine Apparatur beschrieben, mittels welcher nach diesem Prinzip in einfacher und übersichtlicher Weise Laufzeitkorrekturnetzwerke für Fernsehzwecke entworfen werden können. Das praktische Vorgehen wird an einem Beispiel erläutert.*

Résumé. *Après un bref aperçu des aspects théoriques du problème, les auteurs indiquent quelques procédés pratiques de dimensionnement des réseaux compensateurs de phase. Ils décrivent ensuite plus en détail le procédé par analogie, ainsi qu'un appareillage permettant de projeter de manière simple et claire des réseaux compensateurs de phase pour la télévision. Le procédé pratique est expliqué par un exemple.*

Einleitung

In der Nachrichtentechnik, insbesondere beim Fernsehen, stellt sich in jüngerer Zeit in steigendem Masse die Aufgabe, vorgegebene Übertragungsvierpole laufzeitmässig zu entzerren* [9...14].

Obschon die Laufzeitfehler beim Fernsehen vorwiegend durch trägerfrequente Schaltungsteile verursacht werden, genügen hier meist videofrequente Vor- oder Nachkorrekturen; dies um so mehr, als die Laufzeit ohnehin häufig langfristig kleineren zeitlichen Schwankungen unterworfen ist.

Von Korrekturnetzwerken dieser Art wird normalerweise verlangt, dass sie einen reellen, frequenzunabhängigen Wellenwiderstand aufweisen und dass sie nur den Phasengang (die Laufzeit), nicht aber den Amplitudengang des zu entzerrenden Vierpols beeinflussen. Diese Forderungen werden durch Allpässe in Form von Kreuzgliedern mit verlustlosen, frequenzreziproken Zweipolen in den Längs- und Diagonalzweigen erfüllt [1...4, 8].

Nach der Netzwerktheorie kann der komplexe Übertragungsfaktor eines beliebigen Allpasses in die Form

$$w(p) = \frac{\mathfrak{U}\,\text{Ausg.}}{\mathfrak{U}\,\text{Eing.}} = \prod_{i=1}^{n} \frac{p - p_i}{p + p_i}$$

gebracht werden [3, 8], was einer Kettenschaltung von n «Elementarallpässen» gleichkommt.

Figur 1 zeigt die grundsätzliche Pol-Nullstellen-Konfiguration eines Allpasses in der komplexen Frequenzebene. Man erkennt, dass die Pole und Nullstellen symmetrisch zur imaginären Achse angeordnet sind. Jedes dieser Pol-Nullstellen-Paare entspricht, zusammen mit dem konjugiert komplexen Paar, einem Elementarallpass. Bei reellem p_i liegt ein Sonderfall vor.

Tabelle I vermittelt Näheres über den allgemeinen Elementarallpass und dessen Sonderfall; Figur 2 zeigt äquivalente Schaltungen in Form überbrückter T-Glieder.

* Unter «Laufzeit» wird im folgenden die Ableitung der Phase nach der Kreisfrequenz ω verstanden (Gruppenlaufzeit). Streng genommen ist diese bei Systemen mit Tiefpasscharakter kein hinreichendes Kriterium für verzerrungsfreie Uebertragung (15).

Dimensionierungsverfahren für Laufzeit-Entzerrer

Die laufzeitmässige Entzerrung von Übertragungsvierpolen durch Kettenschalten von Allpässen stellt ein ziemlich schwieriges Problem der Netzwerksynthese dar, für welches keine explizite Lösung angegeben werden kann. Alle praktischen Dimensionierungsverfahren sind Näherungsverfahren. Sie lassen sich in drei Gruppen einteilen:

Experimentelle Verfahren

Dem zu entzerrenden Vierpol werden variable, geeichte Allpässe vor- oder nachgeschaltet, die empirisch so lange verändert werden, bis der günstigste Einschwingvorgang (die flachste Laufzeit) resultiert [5];

Numerische oder graphische Verfahren

Die vorgegebene Laufzeitkurve des Korrekturnetzwerkes wird durch Superposition (numerisch oder

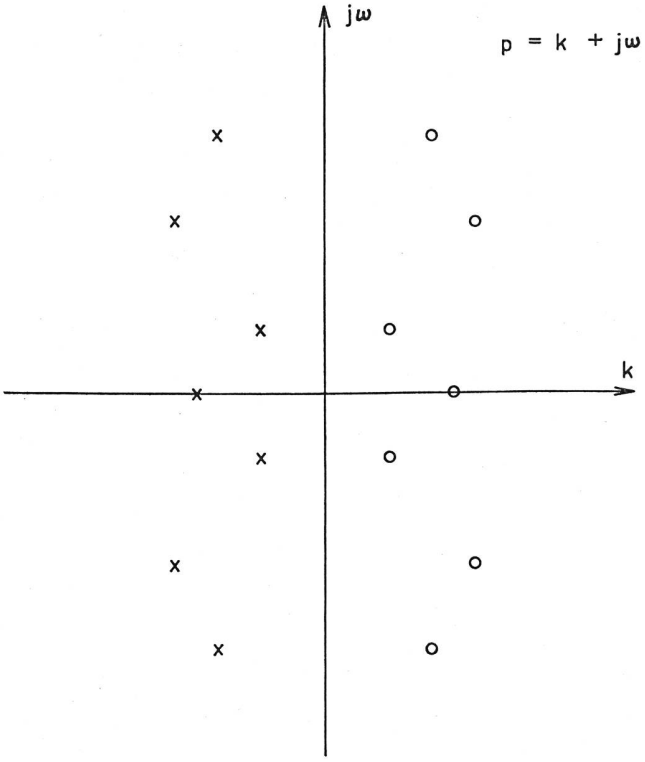
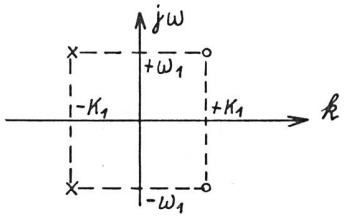
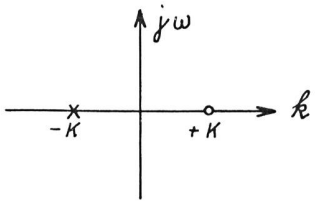
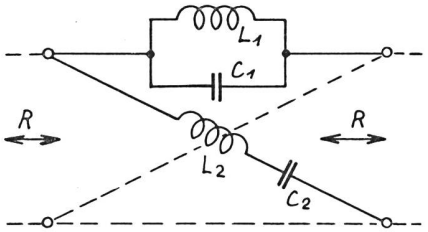
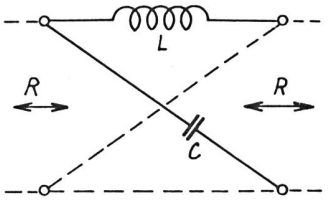
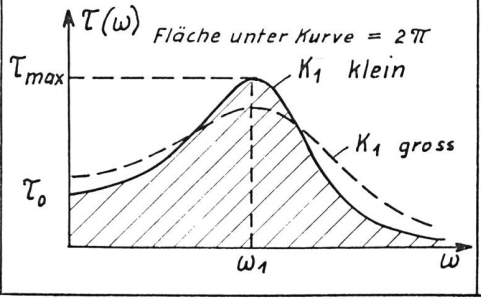
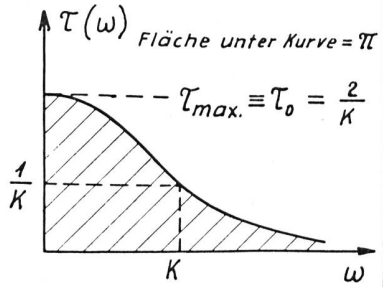


Fig. 1. Pol-Nullstellen-Konfiguration eines Allpasses in der komplexen Frequenzebene

Tabelle I. Angaben über Elementarallpässe

	Allgemeiner Elementarallpass	Spezialfall $(\omega_1 = 0)$
Komplexer Uebertragungsfaktor	$w(p) = \frac{p-(K_1+j\omega_1)}{p+(K_1+j\omega_1)} \cdot \frac{p-(K_1-j\omega_1)}{p+(K_1-j\omega_1)}$	$w(p) = \frac{p-K}{p+K}$
Pol-Nullstellen-konfiguration in der komplexen Ebene		
Schaltung		
Ausgangsgrössen (Normaler Dimensionierungsfall)	$R;\ K_1;\ \omega_1$	$R;\ K$
Bestimmungs-gleichungen für Schaltelemente	$\omega_0^2 = \omega_1^2 + K_1^2$ $L_1 = \frac{2RK_1}{\omega_0^2};\ C_1 = \frac{1}{2RK_1}$ $L_2 = R^2 C_1;\ C_2 = \frac{L_1}{R^2}$ $\left(\text{Probe: } \omega_0^2 = \frac{1}{L_1 C_1} = \frac{1}{L_2 C_2}\right)$	$L = \frac{R}{K}$ $C = \frac{L}{R^2}$
Laufzeit	$\tau(\omega) = \frac{2}{K_1}\left[\frac{1}{1+\left(\frac{\omega-\omega_1}{K_1}\right)^2} + \frac{1}{1+\left(\frac{\omega+\omega_1}{K_1}\right)^2}\right]$	$\tau(\omega) = \frac{2}{K} \cdot \frac{1}{1+\left(\frac{\omega}{K}\right)^2}$
Laufzeitmaximum	$\tau_{max.} \cong \tau\Big\vert_{\omega=\omega_1} = \frac{2}{K_1}\left[1 + \frac{1}{1+4\left(\frac{\omega_1}{K_1}\right)^2}\right]$	$\tau_{max.} \equiv \tau_0 = \frac{2}{K}$
Laufzeit für $\omega \to 0$	$\tau_0 = \frac{4}{K_1}\left[\frac{1}{1+\left(\frac{\omega_1}{K_1}\right)^2}\right]$	
Laufzeit für $\omega \to \infty$	$\tau_\infty = 0$	$\tau_\infty = 0$
Verlauf der Laufzeit		

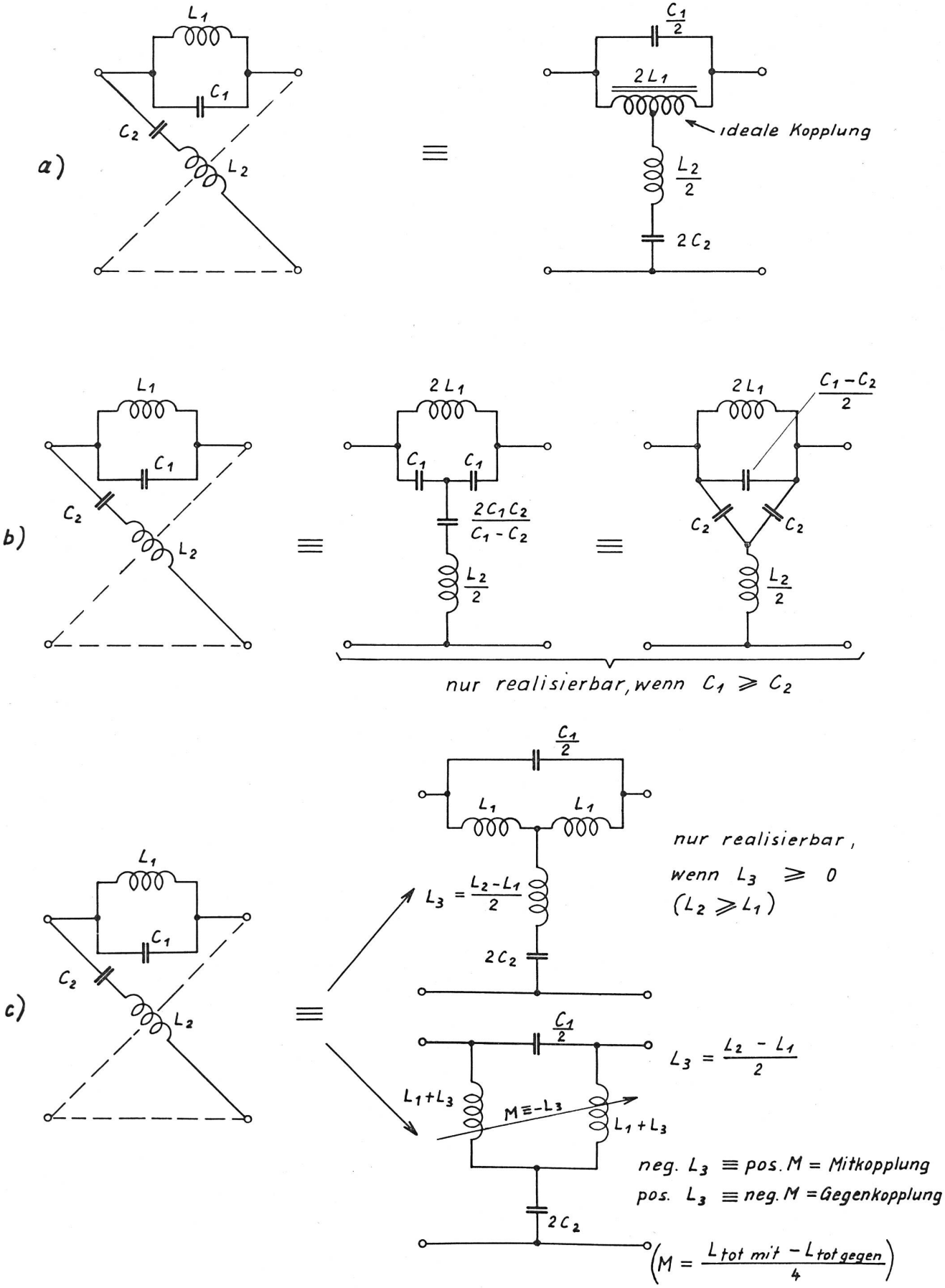


Fig. 2. Äquivalente Allpass-Schaltungen

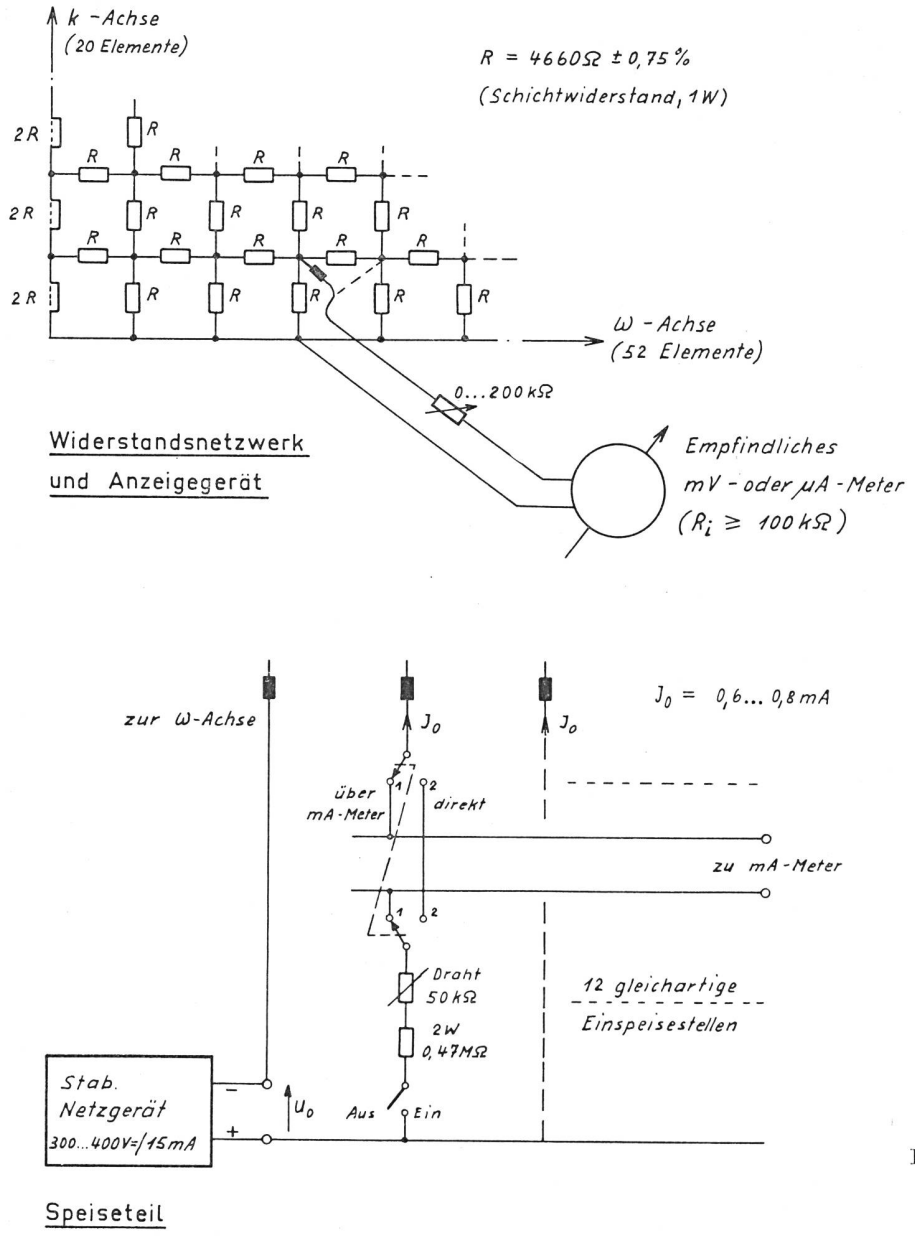


Fig. 3. Aufbau des Analogiegeräts

graphisch) katalogisierter Elementarallpass-Laufzeitkurven approximiert [4, 7]. (In jüngster Zeit werden hierfür mit Erfolg elektronische Rechenautomaten eingesetzt);

Analogieverfahren

Das Analogieverfahren basiert auf Ähnlichkeitsgesetzen, die formal zwischen dem komplexen Übertragungsfaktor und der ebenen Strömung bestehen [8, 9]. –

Die beiden letztgenannten Verfahren setzen naturgemäss voraus, dass die Frequenzabhängigkeit der Laufzeit des zu entzerrenden Vierpols über den ganzen Übertragungsbereich bekannt ist. Meist interessiert dabei nur der *relative* Verlauf.

Auf die besonderen Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden soll hier im einzelnen nicht eingegangen werden. Das Analogieverfahren dürfte, grob betrachtet, bezüglich Aufwand an Zeit und Mitteln, Flexibilität und Genauigkeit der erzielbaren Ergebnisse etwa halbwegs zwischen den beiden andern Verfahren liegen. Es zeichnet sich durch grosse Anschaulichkeit aus.

Das Analogieverfahren

Grundlagen

Der Übertragungsfaktor eines Allpasses ist, als analytische Funktion, durch Zahl und Lage der Pole und Nullstellen in der komplexen Ebene bis auf eine (hier weiter nicht interessierende) multiplikative Konstante vollständig gegeben. In analoger Weise ist eine ebene Strömung, als analytische Funktion, durch Zahl und Lage der den Normalstrom J_0 führenden Quellen und Senken vollständig bestimmt. Mehrfache Pole und Nullstellen entsprechen Quellen und Senken mehrfacher Ergiebigkeit. Die Laufzeit

des Allpasses ist proportional zur reellen Feldstärkekomponente auf der ω-Achse, d. h. zur Komponente senkrecht zur ω-Achse [3, 8, 9].

Realisierung des Strömungsfeldes

Das Strömungsfeld wurde in unserem Fall durch ein zweidimensionales gleichstromgespiesenes elektrisches Widerstandsnetz verwirklicht. Dank der Symmetrieeigenschaften des Pol-Nullstellen-Diagramms genügt es, einen Quadranten der komplexen Ebene nachzubilden. Dadurch hält sich die Zahl der benötigten Widerstandselemente in verhältnismässig bescheidenen Grenzen (2000 Widerstände dürften für die meisten fernsehtechnischen Anwendungen ausreichen, wenn gelegentliches Interpolieren in Kauf genommen wird). Als Netzwerkelemente lassen sich bei niedriger Belastung gewöhnliche handelsübliche Schicht- oder Massewiderstände verwenden, die innerhalb einer Fabrikationsserie oft recht kleine Widerstandsunterschiede aufweisen (zulässige Abweichungen etwa $\pm$ 1%).

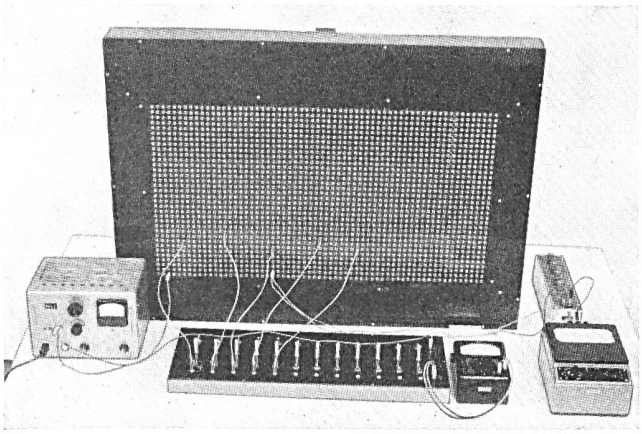


Fig. 4. Aufbau der Messanordnung
(Das obere Drittel der Netzwerkbuchsen sind nicht angeschlossene Reservebuchsen)

Figur 3 zeigt schematisch die Schaltung des Widerstandsnetzes sowie des zugehörigen Speise- und Anzeigeteils, Figur 4 den äusseren Aufbau der Messanordnung. Zwölf voneinander unabhängige Stromquellen erlauben die Nachbildung von Korrekturnetzwerken, die aus bis zu 12 verschiedenen hintereinandergeschalteten Elementarallpässen bestehen können. Für den Sonderfall $\omega_1 = 0$, der sich bei fernsehtechnischen Anwendungen kaum einstellt, ist der Einspeisestrom zu halbieren (Netzwerk gemäss *Tabelle I*, Kolonne 3). Die Feldstärke entlang der ω-Achse wird durch Messen des Spannungsabfalls über den angrenzenden Widerstandselementen ermittelt; als Anzeigegerät kann ein höchstempfindliches Drehspulinstrument mit Vorwiderstand oder ein empfindliches Röhrenvoltmeter verwendet werden.

Praktisches Vorgehen

Der Gang der Dimensionierung richtet sich im einzelnen nach der gestellten Aufgabe. Meist kann wie folgt vorgegangen werden:

a) Wahl der in *beiden* Koordinatenrichtungen gültigen Netzwerkeichkonstanten (praktische Masseinheit: MHz/Widerstandseinheit);

b) Ermittlung der Laufzeit-Eichkonstanten auf Grund eines durchgerechneten Beispiels (praktische Messeinheit: ns/Skt. des Anzeigegerätes). Bei geeigneter Wahl der Netzwerkparameter ($\omega_1 \geqslant 3\ K_1$) ergibt die in *Tabelle I* aufgeführte Näherungsformel einen hinreichend genauen Wert für das Laufzeitmaximum;

c) Erste empirische Festlegung der Stromeinspeisestellen auf Grund der vorgegebenen, zu approximierenden Laufzeitkurve;

d) Ermittlung der Laufzeit τ in Funktion der Frequenz;

e) Versuch, die ermittelte Laufzeitkurve durch Verschieben in τ-Richtung in das Toleranzschema der zu approximierenden Laufzeitkurve einzupassen. (Dabei wird vorausgesetzt, dass der Grundlaufzeit des Allpasses keine Bedeutung zukommt, was beim Fernsehen fast immer zutrifft);

f) Änderung von Zahl und Lage der Stromeinspeisestellen im Sinne einer besseren Einpassung der Laufzeit in das vorgegebene Toleranzschema;

g) Wiederholen der Arbeitsgänge d, e und f, bis sich die gemessene Laufzeitkurve bei einem Minimum von Einspeisestellen vollständig in das Toleranzschema einfügen lässt. (Falls sich die Netzwerkstruktur als zu grob erweist, muss interpoliert werden);

h) Ermittlung der Netzwerkelemente aus den ω_i- und K_i-Werten;

i) Aufbau und Abgleich des Entzerrers.

Anwendungsbeispiel

Aufgabe

Ein Fernseh-Nyquistmessdemodulator, dessen Laufzeitkurve aus Figur 5 hervorgeht, sei laufzeitmässig zu entzerren (Videofrequente Nachkorrektur). Die restlichen Laufzeitfehler sollen im Frequenzbereich von 0,2 bis 4,5 MHz innerhalb eines Toleranzbandes von 50 ns Breite liegen. Der Wellenwiderstand des Allpasses soll 75 Ω betragen.

Eichung der Apparatur

Zunächst wird die Netzwerkeichkonstante N festgelegt; N = 0,125 MHz/Widerstandseinheit.

Zur Ermittlung der Laufzeiteichkonstanten E wählen wir einen einzelnen Einspeisepunkt mit den Koordinaten $\omega_1 = 4\ K_1 = 8\ \pi \cdot 10^6\ s^{-1}$. Für den entsprechenden Elementarallpass ergibt sich nach der in Tabelle I angegebenen Beziehung als Laufzeitmaximum $\tau_{max} \cong 0{,}323 \cdot 10^{-6}$ s. Nun wird der Ausschlag des Anzeigegerätes auf der Koordinate des Einspeisepunktes mit Hilfe eines variablen Vorwiderstandes auf einen geeigneten Wert, zum Beispiel 32,3 Skalenteile, eingeregelt (E = 10 ns/Skt.).

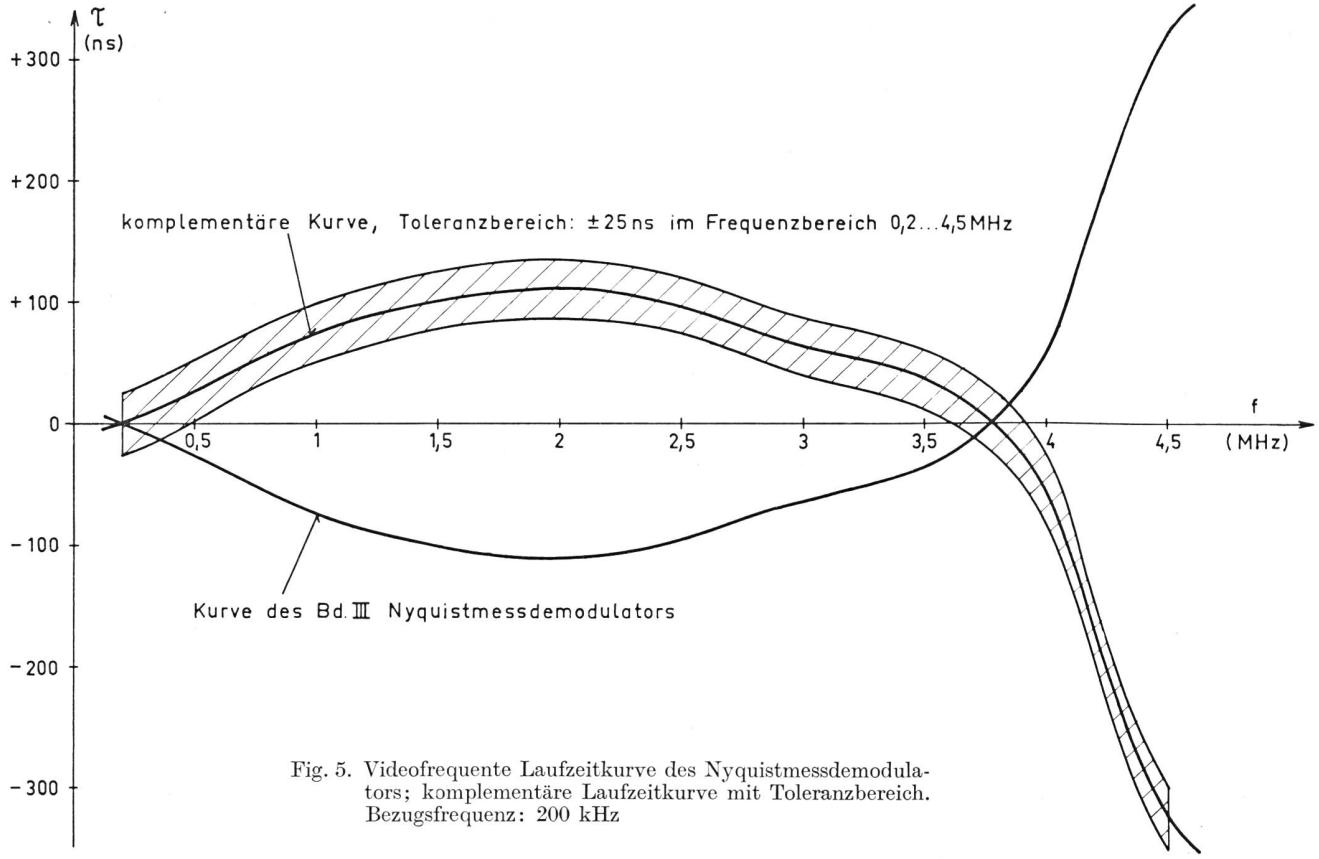


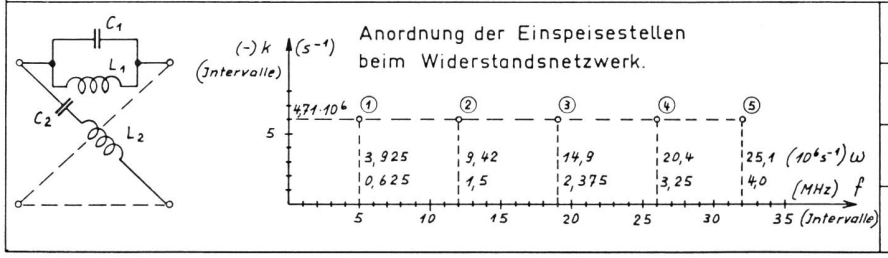
Fig. 5. Videofrequente Laufzeitkurve des Nyquistmessdemodulators; komplementäre Laufzeitkurve mit Toleranzbereich. Bezugsfrequenz: 200 kHz

Realisierung des Entzerrers

Der Iterationsprozess führte im vorliegenden Fall bei bescheidenem Zeitaufwand auf 5 kettengeschaltete Elementarallpässe, die als Brückenschaltungen realisiert wurden (Fig. 6). Figur 7 zeigt die gemessene und die theoretische, das heisst mit Hilfe des Strömungsfeldes ermittelte Gesamtlaufzeitkurve des Entzerrers. Beide Kurven liegen innerhalb der vorgegebenen Toleranzen. Der Amplitudengang des Entzerrers geht aus Figur 8 hervor. Der steile Dämpfungsan-

Ausgangswerte

Elementarallpass Nr.	①	②	③	④	⑤
C_1	1415	1415	1415	1415	1415
L_1	18,79	6,37	2,893	1,612	1,083
C_2	3340	1132	514	287	192,5
L_2	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95



Schaltschema

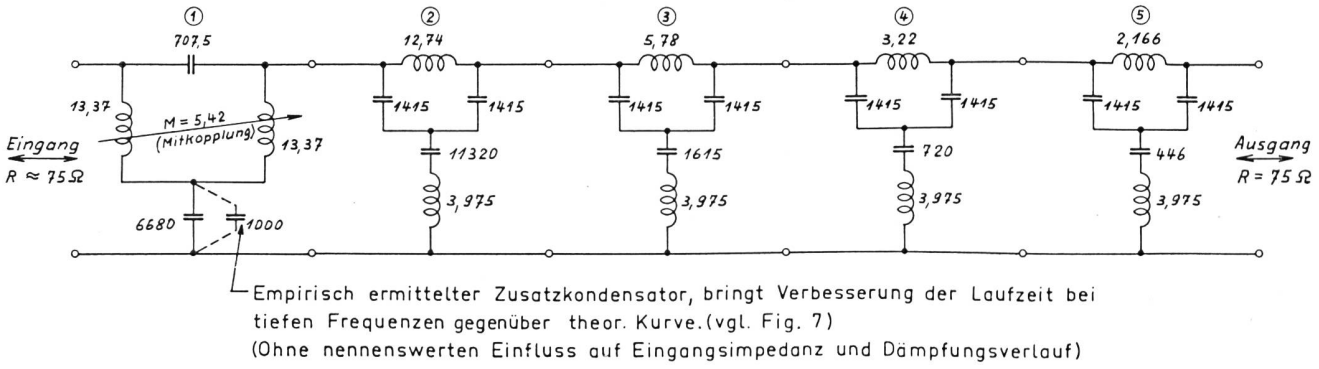


Fig. 6. Dimensionierungsdaten und Schaltschema des Entzerrers (Angaben in μH, pF)

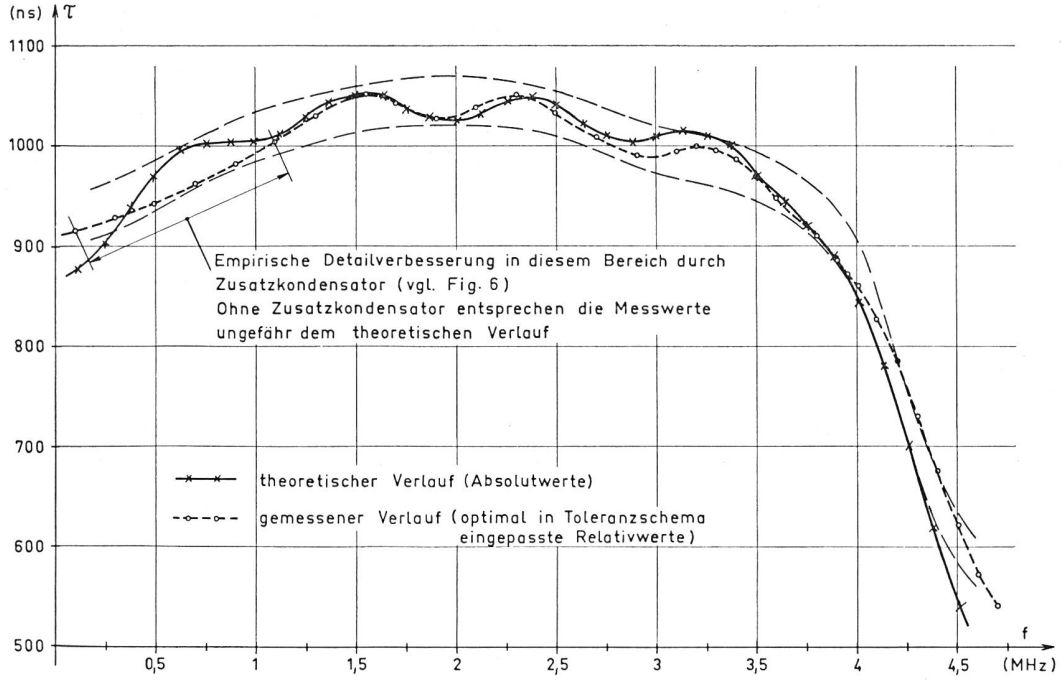


Fig. 7.
Gesamtlaufzeitkurven des Entzerrers

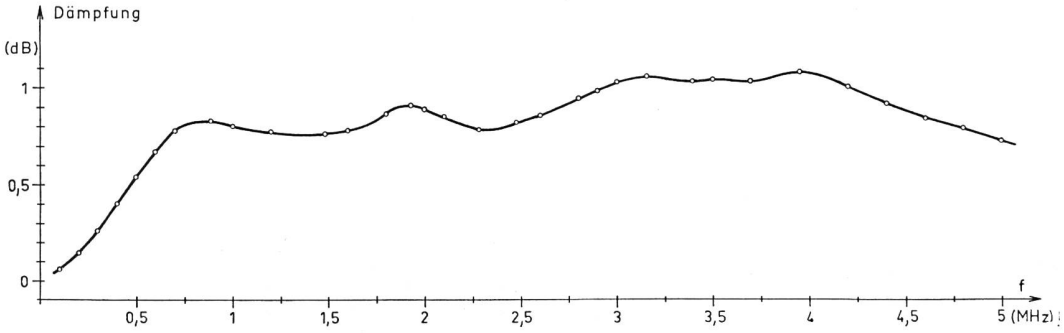


Fig. 8.
Gesamtdämpfungsverlauf des Laufzeitentzerrers (Messwerte)

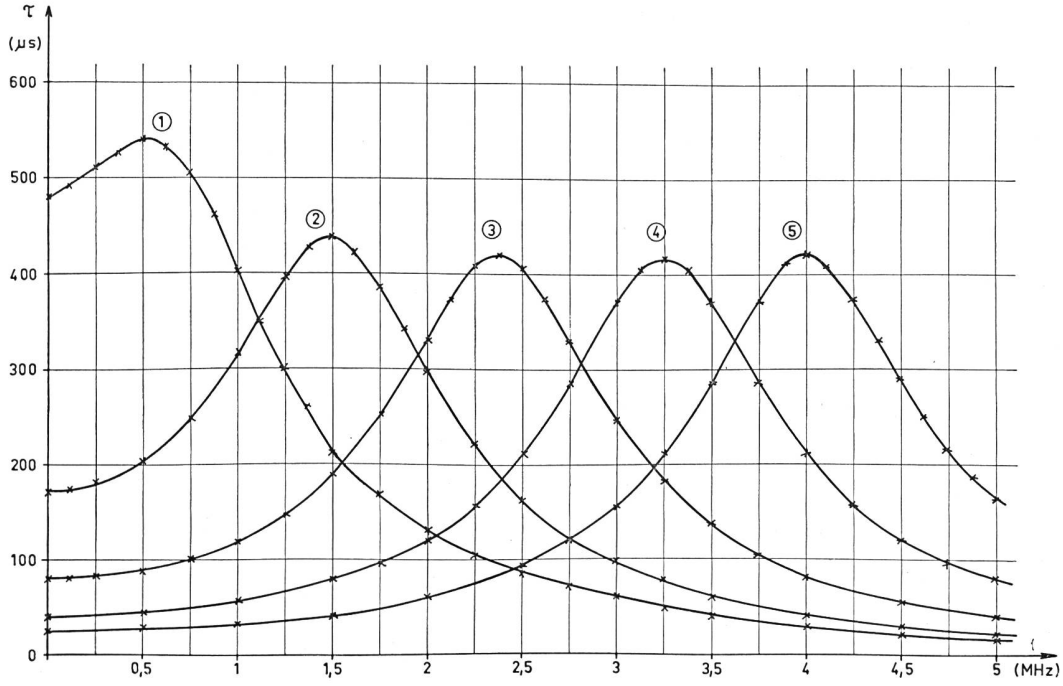
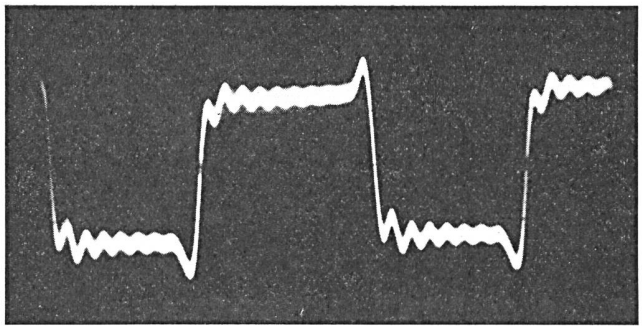
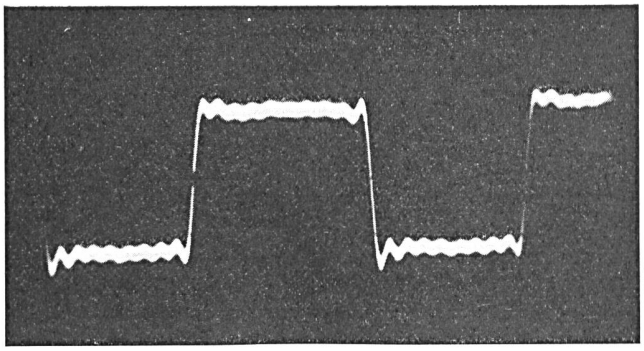


Fig. 9.
Teillaufzeitkurven der 5 Elementarpässe des Entzerrers (theoretische Werte)





Einschwingvorgang des Nyquistmessdemodulators (250-kHz-Rechteckwechsel, Senderaussteuerung 70/50%)
Fig. 10: ohne Entzerrer; Fig. 11: mit nachgeschaltetem Entzerrer

stieg bei tieferen Frequenzen ist in erster Linie auf die bescheidene Güte der verwendeten Spulen zurückzuführen (Q = 50...100) [17]. In Figur 9 sind die theoretischen Teillaufzeitkurven der einzelnen Elementarallpässe aufgetragen, deren Kenntnis die Abgleicharbeit wesentlich erleichtert.

Figuren 10 und 11 zeigen den Einschwingvorgang des Nyquistmessdemodulators mit und ohne nachgeschaltetem Laufzeitentzerrer. Man erkennt, dass das entzerrte Gerät ein annähernd ideales Tiefpassverhalten zeigt. Der praktische Aufbau des Entzerrers geht aus Figur 12 hervor. Durch vorzugsweise Verwendung streufeldarmer Ferrittopfkerne und ausgewählter, fester Glimmerkondensatoren (Parallelschalten von zwei bis drei Stücken) liess sich ein kompakter Aufbau erzielen (äussere Geräteabmessungen 50×50×125 mm). Die verhältnismässig kleinen Induktivitätswerte erforderten eine streuinduktivitätsarme Verdrahtung.

Die Abgleicharbeit wurde in drei Schritten durchgeführt:

a) Vorabgleich der Induktivitäten und Kapazitäten,
b) Abgleich der einzelnen Allpässe,
c) Feinabgleich des gesamten Entzerrers.

Für die unter b und c aufgeführten Arbeiten stand ein Präzisions-Dämpfungs- und Laufzeitmessplatz zur Verfügung. (Das Mitbeobachten des Dämpfungsverlaufs erleichtert die Durchführung des Feinabgleichs wesentlich, da kleinere Abgleichfehler vor allem die Betragscharakteristik beeinflussen.)

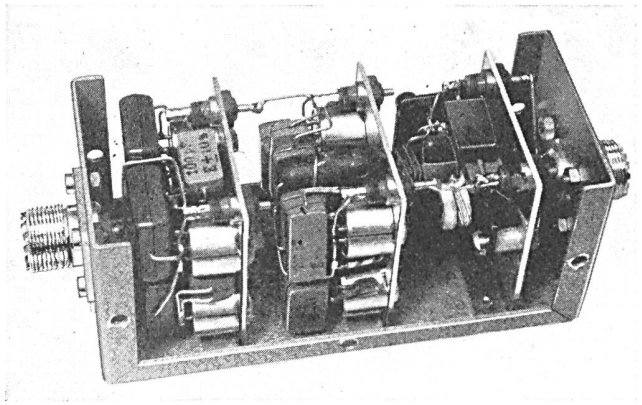


Fig. 12. Aufbau des Entzerrers (Schutzdeckel entfernt)

Schlussbemerkung

Die Analogiemethode ist für die Behandlung vieler Laufzeitentzerrungsaufgaben auf dem Fernsehsektor hervorragend geeignet. Dank ihrer Anschaulichkeit ist auch wenig geübtes Personal nach kurzer Einführungszeit in der Lage, selbständige Dimensionierungsarbeit zu leisten. Es ist zu hoffen, dass diesem Verfahren künftig vermehrte Beachtung geschenkt wird, wozu die vorliegende Arbeit anregen will.

Bibliographie

[1] *Mead S. P.*, Phase Distortion and Phase Distortion Correction. Bell Syst. Techn. J. **7** (1928), 195...224.

[2] *Wallot, J.*, Einführung in die Theorie der Schwachstromtechnik, Berlin 1940, § 350.

[3] *Bode, H. W.*, Network Analysis and Feedback Amplifier Design. New York 1945, 236...242.

[4] *Küpfmüller, K.*, Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung. Zürich 1949, 182...185.

[5] *Nuttall, T. C.*, Some Aspects of Television Circuit Technique: Phase Correction and Gamma Correction. Bull. SEV **40** (1949), 615...619.

[6] *Kell R. D.* and *Fredendall G. L.*, Standardization of the Transient Reponse of Television Transmitters. RCA Rev. **6** (1949...1950), 51...68.

[7] *Allnatt, J. W.*, The Delay Equalization of the London-Birmingham Television Cable System. Proc. I.E.E. **99** (1952), 338...349.

[8] *Peters, J.*, Einschwingvorgänge, Gegenkopplung, Stabilität. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1954, 8...12; 17...19.

[9] *Fredendall, G. L.*, Delay Equalization in Color Television. Proc. I.R.E. **42** (1954), 258...262.

[10] *Fink, D. G.*, Color Television Standards. New York 1955, 111...116.

[11] *van Weel, A.*, Phasenlinearität von Fernsehempfängern. Philips Technische Rundschau. **17** (1956), 277...316.

[12] *Bünemann, D.* und *Händler, W.*, Der Schwarzweißsprung bei der Restseitenband-Fernseh-Übertragung. A.E.Ü. **10** (1956), 457...466.

[13] Generaldirektion PTT, Bern. Pflichtenheft für Fernseh-Bild und Tonsender. April 1958.

[14] *Bauer, J.*, Vielkanalsysteme längs koaxialer Kabel. Techn. Mitt." PTT, 1958, Nr. 11, S. 423...435.

[15] *Kirschstein, F.*, *Krieger, H.*, Über die Bedeutung von Phasen- und Gruppenlaufzeit. Nachrichtentechnische Zeitschrift. **11** (1958), 57...60.

[16] *Fetzer, V.*, Einschwingvorgänge in der Nachrichtentechnik. München 1958, 177...186.

[17] *van Iterson, P. W. L.*, Video Correction Equipment. Philips Telecomm. Rev. **20** (1959), 117...125.