

# Die Verzögerungsspule für Farbfernsehgeräte<sup>1)</sup>

# Be 71

2 Blätter

## 1 Einleitung

Bei allen Farbfernseh-Übertragungsverfahren, die heute verwendet werden, setzt sich das Video-(FBAS-)Signal aus einem sogenannten Helligkeits- oder Luminanzsignal und einem sogenannten Farbart- oder Chrominanzsignal zusammen. Das Luminanzsignal entspricht dabei nahezu vollkommen dem gewöhnlichen Schwarzweißsignal, damit eine Farb-sendung auch von Schwarzweißgeräten empfangen werden kann (Kompatibilität). Es hat deshalb auch die gleiche Bandbreite (z. B. 5 MHz).

Ein Farbfernsehgerät muß andererseits in der Lage sein, eine Schwarzweißsendung zu empfangen und wiederzugeben (Rekompatibilität); die Kanalverteilung muß deshalb für Schwarzweiß- und Farbsendungen identisch sein. Da ein Kanal aber bereits vollständig vom Spektrum des Schwarzweiß- und des Tonsignals besetzt ist, bedeutet dies, daß das Chrominanzsignal innerhalb des Frequenzbereiches des Luminanzsignals liegen muß. Dies wird durch ein besonderes Verfahren (sogenannte Frequenzverräkmmung) ermöglicht (siehe auch FTA Fs 11, Abschn. 3).

Im Interesse einer möglichst geringen gegenseitigen Beeinflussung wird das Chrominanzsignal an die obere Frequenzgrenze gelegt. Außerdem erhält es eine kleine Bandbreite (etwa 1 MHz). Diese Bandbegrenzung ist zulässig, weil das menschliche Auge für Farbtonänderungen ein geringeres Auflösungsvermögen besitzt als für Helligkeitsunterschiede.

Die unterschiedlichen Bandbreiten haben zur Folge, daß im Farbfernsehempfänger ein Laufzeitausgleich zwischen den beiden Signalen vorgenommen werden muß.

Betrachten wir dazu den Fall, daß ein Farbsprung übertragen werden soll (Bild 1a). Das Frequenzspektrum einer Sprungfunktion erstreckt sich theoretisch über alle Frequenzen. Ein Übertragungssystem hat jedoch immer eine endliche Grenzfrequenz  $f_g$ , so daß je nach Lage von  $f_g$  ein

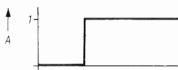
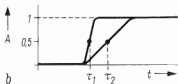


Bild 1. Zum Sprungverhalten von Tiefpaßsystemen mit verschiedener Grenzfrequenz  $f_g$



mehr oder weniger großer Anteil des Frequenzspektrums abgeschnitten wird. Bei der Übertragung von Fernsehbildern haben wir es mit einem Tiefpaßsystem zu tun, d. h. daß alle Frequenzen oberhalb von  $f_g$  unterdrückt werden. Gerade diese hohen Frequenzen aber bestimmen die Steilheit eines Sprunges. Je tiefer  $f_g$  liegt, desto mehr Frequenzen werden abgeschnitten und desto langsamer erfolgt der Übergang. Bild 1b zeigt die Verhältnisse. Für das breitbandige Luminanzsignal (0...5 MHz) ergibt sich ein relativ steiler Übergang, für das schmalbandige Chrominanzsignal (0...1 MHz) ein relativ flacher.

Das Auge empfindet die beiden Übergänge als übereinstimmend, wenn die beiden 50-%-Punkte zusammenfallen. Das bedeutet, daß das Luminanzsignal um  $(\tau_2 - \tau_1)$  verzögert werden muß. Weitergehende Betrachtungen findet man bei [1].

<sup>1)</sup> Auch Y-Verzögerungsleitung genannt.

## 2 Verzögerungszeit $\tau_2 - \tau_1$

Eine exakte Berechnung der Verzögerungszeit ist nicht möglich, da diese nicht nur von den Grenzfrequenzen, sondern auch von den Laufzeiten in Transistoren, im Zf-Verstärker und im Farbartverstärker abhängt. Allerdings kann man sich leicht überlegen, in welcher Größenordnung die Verzögerungszeit liegt.

Nach Küpfmüller [2] beträgt die Einschwingzeit eines idealen Tiefpaßsystems:

$$\tau = \frac{1}{2 f_g}$$

Damit ergibt sich

$$\text{für } f_{g1} = 5 \text{ MHz: } \tau_1 = 100 \text{ ns}$$

$$\text{für } f_{g2} = 1 \text{ MHz: } \tau_{21} = 500 \text{ ns}$$

Der Wert  $f_{g2} = 1 \text{ MHz}$  entspricht der Farbfernsehnorm; er ist überwiegend ein theoretischer Wert, der in der Praxis nicht erreicht wird. Durch die Serienschaltung mehrerer schmalbandiger Gebilde (Chrominanz-Bandfilterverstärker, 64-us-Verzögerungsleitung für Farbe, Synchrondemodulatoren) ergibt sich eine Bandbreite, die in der Größenordnung von 800 kHz liegt. Es erscheint deshalb sinnvoller mit  $f_{g2} = 800 \text{ kHz}$  zu rechnen. Man erhält damit:  $\tau_{21} = 625 \text{ ns}$ .

Zu berücksichtigen ist ferner die Laufzeit in jeder Verstärkerstufe. Jeder Transistor hat eine bestimmte Schaltzeit. Da die Zahl der Stufen im Chrominanzteil größer ist als im Y-Kanal, tritt hier eine zusätzliche Verzögerung des Farbartsignals auf.

Schließlich entsteht eine weitere Verzögerung durch den Gruppenlaufzeitgang im Zf-Verstärker eines Farbfernsehgerätes. Bild 2 zeigt die für den Farbmultiplexer gültige Sollkurve. Ihr Verlauf – bei den hohen Frequenzen – ist durch

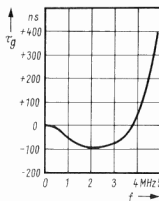


Bild 2. Gruppenlaufzeitgang im Zf-Verstärker eines Farbfernsehempfängers

den starken Abfall der Zf-Durchlaßkurve zur Frequenz des Trägers hin bestimmt. Dieser Laufzeitgang wird sendeseitig nur teilweise vorentzerrt. Es bleibt also ein restlicher Laufzeitunterschied zwischen Bild- und Farbtträger.

Die Summe der Laufzeiten in Transistoren und im Zf-Verstärker liegt in der Größenordnung von  $\tau_{22} \approx 150 \text{ ns}$ , so daß sich

$$\tau_2 = \tau_{21} + \tau_{22} = 775 \text{ ns}$$

ergibt.

Es ist dann:

$$\tau_2 - \tau_1 = 775 \text{ ns} - 100 \text{ ns} = 675 \text{ ns}$$

Die Werte, die in der Praxis vorkommen, liegen zwischen 600 ns und 800 ns.

Die Verzögerungszeit des Luminanzsignals sollte nicht mehr als  $\pm 50$  ns vom richtigen Wert abweichen, da sonst der Laufzeitunterschied störend in Erscheinung tritt.

Geht man von einer Farbbildröhre A 66–120 X aus, bei der die Zeilen eine Länge von etwa 50 cm haben, so entspricht  $1 \mu s \approx 1$  cm, da die Zeit für den Hinlauf etwa 54 ns beträgt. 50 ns entsprechen deshalb einer Verschiebung des Farbsignals gegen das Helligkeitssignal von  $\approx 0,5$  mm, was nicht mehr als störend empfunden wird.

### 3 Verzögerung mit Hilfe von Allpässen oder Verzögerungsleitungen (Verzögerungskabel)

Allpässe und Verzögerungsleitungen sollen hier nur der Vollständigkeit wegen erwähnt werden. Sie sind empfindlicher praktisch vollkommen von der Verzögerungsspule verdrängt.

Allpässe haben zwar die folgenden Vorteile:

- a) Einfacher Abschluß, da Wellenwiderstand reell,
- b) Wellenwiderstand in weiten Grenzen wählbar,
- c) geringe Dämpfung.

Sie haben aber den Nachteil, daß der Bauelementeaufwand mit wachsender Grenzfrequenz und Laufzeit stark zunimmt. Die Abgleicharbeit wird langwierig, und die Kosten werden damit für die Empfänger-technik zu hoch. Allpässe sind deshalb nur für Codiergeräte geeignet. Über die Dimensionierung von Allpässen siehe [1], [3].

Verzögerungsleitungen bestehen aus einem biegsamen, magnetisierbaren Kern, der die spezifische Laufzeit und den Wellenwiderstand erhöht. Der Kern trägt den eng aufgewickelten Innenleiter, über dem sich wiederum eine Schicht verlustarmen Isoliermaterials befindet. Der Außenleiter besteht aus einer Lage paralleler Drähte, die mit großer Schlaglänge (Ganghöhe) versetzt sind, d. h. sie laufen nahezu parallel zur Kabelachse. Darüber befindet sich ein widerstandsfähiger Kunststoffmantel.

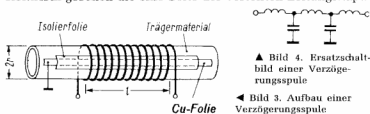
Verzögerungskabel gibt es mit verschiedenen Wellenwiderständen (1,5...4 k $\Omega$ ) und verschiedenen spezifischen Laufzeiten (0,26...3,3  $\mu s/m$ ). Wegen der kontinuierlich verteilten Induktivitäten und Kapazitäten haben sie keine ausgeprägte Grenzfrequenz. Die Dämpfung nimmt mit steigender Frequenz zu. Als Nachteil ist zu sagen, daß wegen der Fertigungstoleranzen die Laufzeit nicht durch Abschneiden einer vorher bestimmten Kabellänge, sondern durch Probieren einzustellen ist. Das Abmanteln und Anschließen des Kabels nimmt viel Zeit in Anspruch und hebt die Kosten.

Einfach und billig ist dagegen die Verzögerungsspule, die heute ausschließlich verwendet wird und auf die deshalb näher eingegangen wird.

## 4 Verzögerungsspule

### 4.1 Grundlagen

Die Verzögerungsspule lehnt sich aufbaumäßig sehr nahe an das Laufzeitkabel an. Im Gegensatz zu diesem ist sie jedoch nicht flexibel. Bild 3 zeigt den einfachen Aufbau einer Verzögerungsspule. Als Trägermaterial wird ein Isolierrohr verwendet, das z. B. aus Hartpapier bestehen kann. Auf diesem Rohr befindet sich ein schmaler Streifen Cu-Folie. Diese Folie wird in der Schaltung auf Masse gelegt. Sie stellt elektrisch gesehen die eine Seite der verteilten Leitungskapazität dar,



zität dar, während die andere Belegung durch die Wicklung selbst gebildet wird (Bild 4).

Über der Cu-Folie befindet sich eine dünne verlustarme Isolierfolie, die als Dielektrikum wirkt und einen Kurzschluß zwischen Wicklung und Massebelag (Cu-Folie) verhindert. Auf diese Isolierfolie wird dann eine einlagige Zylinderspule mit dünnem CuL-Draht ( $< 0,1$  mm) gewickelt.

Die Verwendung eines dünnen Drahtes hat zwei Gründe:

a) Die mechanische Länge wird um so kürzer, je dünner der verwendete Draht ist, und

b) die Zunahme des ohmschen Widerstandes der Leitung durch Skineneffekt wird dadurch wirksam vermieden. Sofern die Eindringtiefe bei hohen Frequenzen größer ist als der Drahtradius, unterscheidet sich der Drahtwiderstand bei hohen Frequenzen kaum von dem bei tiefen.

Die Theorie der Verzögerungsspule stimmt mit der Leitungstheorie überein. Hier wie dort gilt für den komplexen Wellenwiderstand:

$$Z = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad (1)$$

und für den komplexen Übertragungsfaktor:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} \quad (2)$$

Näheres dazu in [4]. Darin sind:

- $R'$  = Widerstandsbelag je cm Leitungslänge
- $L'$  = Induktivitätsbelag je cm Leitungslänge
- $G'$  = Ableitungsbelag je cm Leitungslänge
- $C'$  = Kapazitätsbelag je cm Leitungslänge
- $\alpha$  = Dämpfungskonstante
- $\beta$  = Phasenkonstante

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines Signals ist:

$$v = \frac{\omega}{\beta} \quad (3)$$

und die Zeit, die ein Signal braucht, um eine Verzögerungsspule der Länge  $l$  zu durchlaufen:

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{\beta l}{\omega} \quad (4)$$

Nimmt man die Verzögerungsspule als verlustfrei an, also  $R' = 0$  und  $G' = 0$ , so wird aus Gl. (4):

$$\tau = \sqrt{LC'} \cdot l = \frac{L_0}{L'} \cdot \sqrt{LC'} = \frac{C_0}{C'} \cdot \sqrt{LC'} \quad (5)$$

wobei  $L_0$  = Gesamtinduktivität =  $l \cdot L'$

$C_0$  = Gesamtkapazität =  $l \cdot C'$

Mit 
$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad (6)$$
 wird aus (5) 
$$\tau = \frac{L_0}{Z} = C_0 \cdot Z \quad (6)$$

Die Induktivität  $L_0$  kann aus den Abmessungen und den Wickeldaten der Spule berechnet werden. Es gilt:

$$L_0 = \mu_0 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{N^2}{l} (\sqrt{F} + r^2 - r) \quad (7)$$

$N$  = Windungszahl

Für  $r \ll l$  ergibt sich daraus:

$$L_0 \approx \mu_0 \cdot \pi \cdot N^2 \cdot \frac{r^2}{l} \quad (8)$$

[siehe auch FtA Ind. 21/22].

Bei vorgegebenem Wellenwiderstand  $Z$  und einer gewünschten Laufzeit  $\tau$  kann  $L_0$  aus Gl. (6) berechnet werden,

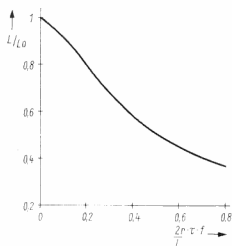


Bild 5. Die Abnahme der Induktivität einer Verzögerungsspule in Abhängigkeit der Spulenabmessungen, der Laufzeit  $\tau$  und der Frequenz  $f$

und bei gegebenen Spulenabmessungen  $r$  und  $l$  ergibt sich aus (8) die Windungszahl  $N$ . Die Kapazität  $C_0$  wird am besten empirisch ermittelt.

In der Praxis sind nun aber noch weitere Einflußgrößen zu berücksichtigen. Das hängt damit zusammen, daß in der Verzögerungsspule Amplituden- und Phasenverzerrungen auftreten. Die Amplitudenverzerrungen entstehen durch den Skin-Effekt, der mit steigender Frequenz zunimmt. Sie können, wie schon erwähnt, durch Verwendung eines dünnen Drahtes vermindert werden. Man erreicht durch diese Maßnahme eine konstante Dämpfung für alle Frequenzen. Andererseits darf der ohmsche Widerstand dadurch nicht zu groß werden, da sonst bei tiefen Frequenzen Phasenverzerrungen des Signals auftreten (RC-Glied-Wirkung). Entstehende Phasenverzerrungen haben noch zwei weitere Gründe. Im Videofrequenzbereich (einige MHz) tritt mit steigender Frequenz eine Abnahme der Leitungsinduktivität auf. Das rührt daher, daß bei höheren Frequenzen in benachbarten Windungen der Leitung verschiedenphasige Ströme fließen. Die Abnahme der Induktivität wurde berechnet und ist in [5] wiedergegeben. Bild 5 zeigt das Ergebnis dieser Berechnungen.

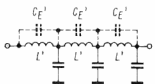


Bild 6. Ersatzschaltbild einer Verzögerungsspule mit Eigenkapazität bzw. Kompensationsstreifen

Nach Gl. 5 bedeutet eine abnehmende Induktivität eine abnehmende Verzögerungszeit, d. h. daß die hohen Frequenzen früher am Ausgang der Verzögerungsspule ankommen als die tiefen. Sie rufen vor dem übertragenen Hauptimpuls Oszillationen hervor.

Bei noch höheren Frequenzen treten durch die Eigenkapazität der Verzögerungsspule (Bild 6) weitere Verzerrungen auf. Wegen der Eigenkapazität  $C_E'$  muß  $L'$  durch

$$L' = \frac{L}{1 - \omega^2 L' C_E'} \quad (9)$$

ersetzt werden. Aus Gl. 9 ersieht man, daß  $L'$  mit wachsender Frequenz zunimmt, bis die Verzögerungsspule bei

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L' C_E'}}$$

ihre Eigenresonanz erreicht und dann als Kapazität wirkt. Interessant ist nun, daß die Phasenverzerrungen infolge der Eigenkapazität  $C_E'$  gerade den Verzerrungen durch Induktivitätsabnahme entgegenwirken<sup>2)</sup>. Allerdings sind sie in dem hier interessierenden Frequenzbereich (0...5 MHz) noch so gering, daß sie praktisch noch nicht in Erscheinung treten.

Bei kompensierten Verzögerungsspulen wird dieser Effekt durch künstliche Erhöhung der Eigenkapazität ausgenutzt. Darauf wird später noch eingegangen.

#### 4.2 Verschiedene Ausführungsformen [s. [6]]

Realisierbare Wellenwiderstände für Verzögerungsspulen liegen in der Größenordnung von einigen hundert  $\Omega$  bis zu einigen  $k\Omega$ . Die untere Grenze ist gegeben durch  $L$  und  $C$ , die bei gegebenen mechanischen Abmessungen erreichbar sind, während die obere Grenze durch steigende Anpassungsschwierigkeiten mit steigendem Wellenwiderstand vorgegeben ist.

Ein sinnvoller Wellenwiderstand liegt in der Größenordnung von 1,5...2,5  $k\Omega$ . Dabei wird der Signalquelle wenig Leistung entnommen, und die Spule kann unmittelbar in den Kollektor- oder Anodenkreis einer Verstärkerstufe geschaltet werden.

Um die in dem Abschnitt 4.1 angegebenen Phasenverzerrungen zu vermeiden, wurden verschiedene Bauformen angegeben. Die in Bild 7 gezeigte Form vermeidet die Kopplung von Windungen mit verschiedenphasigen Strömen dadurch, daß die Verzögerungsspule in viele Einzelspulen mit wenigen Windungen aufgeteilt wird. In jeder Windung einer Teilspule hat der Strom die gleiche Phase, so daß für alle Frequenzen ein nahezu konstanter Induktivitätsbelag und damit eine konstante Gruppenlaufzeit erreicht wird.

Durch die Unterteilung in einzelne Teilspulen tritt an jedem Übergang von einer Teilspule zur anderen ein kleines Echo auf. Die Summe dieses Echos ruft auf dem Signal eine Störung hervor, die um so feiner und weniger störend ist, je kürzer die Teilspulen sind.

Durch die starke Unterteilung der Verzögerungsspule nimmt die mechanische Länge einer derartigen Verzögerungsspule zu. Außerdem sind die Kosten wegen der Wickeltechnik

<sup>2)</sup> Wie Gl. 9 zeigt, kann die Abnahme von  $L'$  – bei Verkleinerung von  $L'$  – durch Erhöhen von  $C_E'$  ganz oder teilweise kompensiert werden.

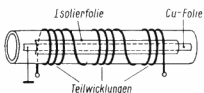


Bild 7. Verzögerungsspule, bestehend aus vielen Teilspulen. Man erreicht damit eine gleichmäßige Verkopplung der Windungen

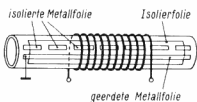


Bild 8. Kompensierte Verzögerungsspule

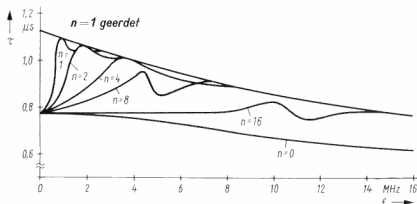


Bild 9. Die Auswirkung der Zahl  $n$  der Kompensationsstreifen auf die Laufzeitentzug (nach Kallmann)

relativ hoch, so daß diese Leitung in Farbfernsehgeräten nicht benutzt wird. Sie wird jedoch z. B. in selbsttriggernden Oszillografen verwendet.

Andere Bauformen nutzen den Kompensationseffekt der Eigenkapazität aus. Nach einem Vorschlag von Kallmann werden an einer Verzögerungsspule nicht geerdete Metallfolien angebracht (Bild 8). Für diese Spule gilt ebenfalls das Ersatzschaltbild aus Bild 6. Bild 9 zeigt, wie durch diese isolierten Metallfolien die Laufzeit gebeeht wird. Bringt man eine zusätzliche Folie von der Größe des geerdeten Kapazitätsbelages an und erdet diese ebenfalls, so ergibt sich die Laufzeitkurve, die mit  $n = 1$  geerdet bezeichnet ist. Durch diese Folie wird der Kapazitätsbelag praktisch verdoppelt, so daß die Laufzeit um  $\sqrt{2}$  ansteigt. Ebenso wie für  $n = 0$  (keine Kompensationsstreifen) nimmt die Laufzeit mit der Frequenz ab. Bleibt die Metallfolie ungeerdet, so ergibt sich die Kurve, die mit  $n = 1$  bezeichnet ist. Für  $n = 16$  ergibt sich bei 8 MHz eine konstante Laufzeit.

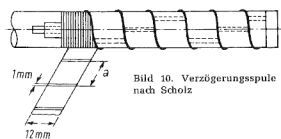


Bild 10. Verzögerungsspule in der Ausführung nach Scholz

Eine relativ einfache Art, die Metallfolien anzubringen, wird in [7] angegeben. Bild 10 zeigt die Ausführung. Auf ein Klebeband, z. B. Tesafilm, werden in gleichmäßigen Abständen  $a$  Metallfolien geklebt, und dieses Band wird dann um die Verzögerungsspule gelegt. Die Wirkung der Kompensations-

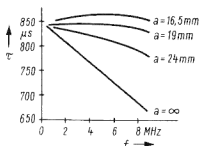


Bild 11. Laufzeit in Abhängigkeit der Frequenz  $f$ . Parameter ist der Abstand  $a$  der Kompensationsstreifen voneinander

streifen ist aus Bild 11 ersichtlich. Für  $a = 19$  mm erhält man eine konstante Laufzeit bei 6 MHz, während für  $a = \infty$ , d. h. ohne Kompensationsstreifen, die Laufzeit stetig abfällt.

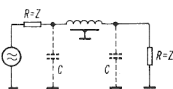
Eine weitere Variante wird heute in vielen Fernsehgeräten verwendet. Sie unterscheidet sich von den bisher beschriebenen Verzögerungsspulen dadurch, daß über Kapazitätsbelag und Isolierfolie eine Zylinderspule mit einem geringen seitlichen Kreuzschlag<sup>3)</sup> gewickelt wird. Weil nun die Windungen zum Teil übereinander liegen, erhält man eine bessere Verkopplung zwischen den Windungen und außerdem eine zusätzliche Eigenkapazität, so daß jetzt weitere Kompensationsmittel entfallen können.

### 4.3 Die Verzögerungsspule in der Schaltung

Für eine gute Bildqualität ist es unerlässlich, daß die Laufzeitspule exakt abgeschlossen wird, da sonst Echostörungen auftreten. Das bedeutet, daß nach  $2\tau \approx 1,6$  cm bei  $\tau = 800$  ns ein weiteres Bild auftritt. Dieses zweite Bild ist frequenzabhängig, da eine Fehlanpassung der Leitung meist erst bei höheren Frequenzen auftritt. In erster Linie wird die Fehlanpassung durch kapazitive Belastung (Schaltkapazitäten) der Spule verursacht (Bild 12).

Diese Schaltkapazitäten werden am einfachsten durch ein T-Glied kompensiert, das auch den Wellenwiderstand  $Z$  der

Bild 12. Die Verzögerungsspule muß beidseitig mit ihrem Wellenwiderstand  $Z = R$  abgeschlossen werden. Die Schaltkapazitäten  $C$  verursachen dennoch eine Fehlanpassung



Spule haben muß. Damit erhält man die Schaltung nach Bild 13. Der Wellenwiderstand des T-Gliedes ist

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C/2}} \quad (10)$$

und daraus

$$L = \frac{Z^2 \cdot C}{2} \quad (11)$$

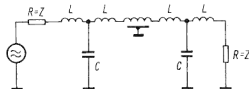


Bild 13. Verzögerungsspule mit beidseitigem Abschluss und kompensierter Schaltkapazität

Die spulenseitigen Induktivitäten  $L$  können direkt mit der Verzögerungsspule auf das Trägermaterial gewickelt werden.

Eine weitere Schwierigkeit für die Anpassung tritt dadurch auf, daß die Windungen der Spule um so weniger mit anderen Windungen magnetisch verkopplert sind, je näher sie am Rand der Spule liegen. In diesen Bereichen nehmen also der Induktivitätsbelag der Verzögerungsspule und damit auch ihr Wellenwiderstand ab. Man begegnet diesem Effekt, indem man den Kapazitätsbelag ebenfalls verringert. Es wurde auch vorgeschlagen, konische Ferritkörper in das Trägerrohr einzuführen, um damit den Induktivitätsbelag konstant zu halten. Allerdings wird davon kein Gebrauch gemacht.

Einen Schaltungsausgang aus einem Y-Verstärker mit Verzögerungsspule zeigt Bild 14. Man erkennt die beiderseitige Anpassung mit  $Z = R$  und außerdem auf der Ausgangsseite

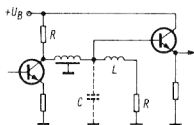


Bild 14. Verzögerungsspule in der Schaltung

die Induktivität  $L$  des T-Gliedes. Auf die eingangsseitige Anpassung mit einem T-Glied wird hier verzichtet, da durch den exakten Abschluss am Ausgang der Verzögerungsspule keine Echos mehr an ihrem Eingang auftreten.

### Literatur

- [1] Bruch, W., und Mahler, G.: Laufzeitausgleich in Codern und Decodern der Farbfernsehtechnik. Telefunken-Zeitung, Jahrgang 38, 1965, Heft 1.
- [2] Köpfmüller, K.: Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtentechnik. S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1952, Seite 43 f.
- [3] Ulrich, E., und Piloty, H.: Über den Entwurf von Allpässen, Tiefpässen und Bandpässen mit einer im Tschebyscheffschen Sinne approximierten konstanten Gruppenlaufzeit. A.E.O. Band 14 (1960), Heft 10, Seite 453 bis 467.
- [4] Meinke/Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik. Abschn. C: Hochfrequenzleitungen.
- [5] Blumett, J. P., und Rubel, J. H.: Video delay lines. Proceedings of the I.R.E. 35 (1947), Seite 1580...1584.
- [6] Kallmann, Heinz E.: Equalized Delay Lines, Proceedings of the I.R.E. 34 (1946), Seite 646...657.
- [7] Scholz, W.: Verzögerungsleitungen für den Laufzeitausgleich in Farbfernseh-Codier- und Decodergeräten. Radio Mentor 30 (1964), Heft 2, Seite 111...114.

<sup>3)</sup> Das bedeutet eine Kreuzwicklungsspule, die mit einem kontinuierlichen Versdub gewickelt wird.