

# Verzögerungsleitungen für das Pal-Farbfernsehensystem

# Be 72

2 Blätter

## 1 Aufbau und Arten von Verzögerungsleitungen

Für das Pal-Farbfernsehen ist es notwendig das Farbsignalsignal um die Dauer einer Zeile, also um etwa 64 µs zu verzögern. Bei der Auswahl einer dafür bestimmten Verzögerungsanordnung ist zusätzlich zu berücksichtigen, daß ein Frequenzband von etwa 3,4...5,2 MHz zu übertragen ist.

Zur Auswahl stehen im Prinzip drei Gruppen von Verzögerungsleitungen: die elektromagnetischen Leitungen (1.1), die Allpässe (1.2) und die Schalleitungen, akustische Leitungen (1.3).

### 1.1 Elektromagnetische Leitung

Zu den elektromagnetischen Leitungen gehören:

#### 1.1.1 Laufzeitketten aus konzentrierten Blindwiderständen (Bild 1a)

Die Werte für die Induktivitäten und Kapazitäten können in erster Näherung wie folgt, bestimmt werden:

$$C = t_v / Z \quad L = t_v \cdot Z$$

$t_v$  = Verzögerungszeit für ein Einzelglied  $Z$  = Wellenwiderstand

#### 1.1.2 Leitungen mit verteilten Kapazitäten und Induktivitäten (Bild 2)

Sie stellen den Übergang von den Leitungen mit konzentrierten Elementen zum Laufzeitkabel dar und sind wie folgt aufgebaut (siehe auch FtA Be 71):

Über das tragende Isolierrohr ist längs ein Kupferfolienstreifen gelegt, der mit Masse verbunden wird. Darüber liegt eine Isolierung und über diese ist schließlich die Zylinder- spule gewickelt. Für die verteilte Kapazität bildet also die Folie den einen, die Spule den zweiten Belag.

#### 1.1.3 Das Laufzeitkabel

Da bei den bisher genannten Leitungen nur geringe Verzögerungszeiten bis zu wenigen Mikrosekunden mit tragbarem Aufwand erreicht werden können, müssen sie für die Anwendung im Laufzeitdecoder ausscheiden.

Für die im Farbpfänger ebenfalls notwendige Verzögerung des Leuchtdichtesignals zum Zwecke des Laufzeit- gleichnisses an das Farbsignalsignal sind sie jedoch durchaus brauchbar, da hier nur eine Verzögerungszeit von etwa 0,7 µs benötigt wird (s. FtA Be 71).

### 1.2 Allpässe

Es handelt sich dabei um Brückenschaltungen, bei denen die Blindwiderstände in den Brückenzweigen reziprok zueinander sind (Bild 2). Ein durchgerechnetes Beispiel für einen Allpaß mit einer Laufzeit von 0,5 µs bis etwa 2 MHz befindet sich in Telefonken-Zeitung, Jg. 38 (1965), Heft 1, Seite 32: Die Verzögerung durch Allpässe (W. Bruch und G. Mahler).

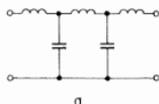
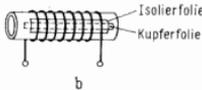


Bild 1a. Leitung mit konzentrierten Blindwiderständen

Bild 1b. Leitung mit verteilten Kapazitäten und Induktivitäten



### 1.3 Schalleitungen, akustische Leitungen

Man kann deshalb nur eine Verzögerungsanordnung benutzen, bei der die elektrische Schwingung in eine Ultraschallschwingung umgewandelt wird, da deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit je nach Material etwa zwischen 1 und 5 km/s liegt. Damit ergeben sich hinreichend kurze realisierbare Leitungslängen. Dabei wird das zu verzögernde elektrische Signal durch einen geeigneten elektromechanischen Wandler in ein Ultraschallsignal umgewandelt. Nach einer bestimmten Wegstrecke, die der Verzögerungszeit entspricht, wird die akustische Welle durch einen gleichartigen elektromechanischen Wandler in ein elektrisches Signal zurückverwandelt. Als verzögerndes Medium verwendet man allgemein eine den gegebenen Bedingungen angepaßte Glasroste.

Dagegen haben Verzögerungsleitungen, bei denen ein magnetostruktives Material als verzögerndes Medium dient, in diesem Anwendungsfall keine Rolle gespielt. Ihre Arbeitsweise wird deshalb nur kurz beschrieben.

#### 1.3.1 Magnetostruktive Verzögerungsleitungen

Wie Bild 3 zeigt, wird das Eingangssignal der über den Draht aus magnetostruktivem Material geschobenen Spule Sp 1 zugeführt. Unter Einwirkung des magnetischen Wechsel- feldes werden die magnetischen Dipole aus ihren Vorzugs- richtungen herausgedreht. Es entstehen mechanische Span- nungen, die ihrerseits zu einer (reversiblen) Ausdehnung oder Zusammenziehung im Material führen.

Diese mechanischen Veränderungen pflanzen sich als lon- gitudinale Schwingungen längs des Drahtes fort. Gleichzeitig bedeutet eine solche Verformung aber eine Änderung des magnetischen Flusses im magnetostruktiven Stab, so daß nun – umgekehrt zu der Betriebsweise auf der Eingangsseite – die Dichtewellen im Material Ströme in der Ausgangsspule Sp 2 hervorrufen.

Für den einwandfreien Betrieb einer Drahtverzögerungs- leitung sind noch zwei Punkte wichtig.

Um Störungen durch Reflexionen zu verhindern, d. h. zu vermeiden, daß ein auf der Eingangsseite eingespeistes Signal mehrmals unter der Ausgangsspule vorbeiläuft, wird das Signal an den Drahtenden durch Absorption – Abschluß mit dem Schallwellen-Widerstand – vernichtet.

Die im Material entstehende Verformung ist von der Strom- richtung unabhängig und nur von deren Amplitude abhängig, d. h. die Kraft, die die Verformung (Dilatation) hervorruft, ist in erster Näherung proportional dem Quadrat der Ein- gangsspannung (Bild 4). Man kann eine annähernd lineare Kennlinie erhalten, wenn man das magnetostruktive Material vormagnetisiert (durch ein magnetisches Gleichfeld).

Geeignete Materialien sind: Nickel-Eisen-Legierung, Eisen- Kobalt-Legierung und Nickel.

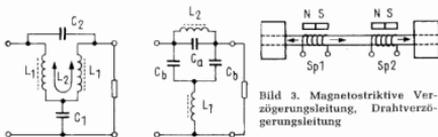
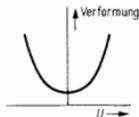


Bild 3. Magnetostruktive Verzögerungsleitung, Drahtverzögerungsleitung

▲ Bild 2. Aufbau von Allpässen

Bild 4. ▶

Abhängigkeit zwischen Verformung x magnetischer Feldstärke (angelegter Spannung)



## 2 Glasverzögerungsleitungen

### 2.1 Prinzipieller Aufbau der Glasverzögerungsleitungen

Das Verzögerungsmedium ist ein Bleisilikatglas. Von besonderer Bedeutung bei der Auswahl der Glasorte ist der Temperaturkoeffizient, denn bei dem Pal-Verfahren werden an die Konstanz der Verzögerungszeit sehr hohe Anforderungen gestellt (FA Fs 14, Abschnitt 7.3).

Für die notwendige Umwandlung elektrische Schwingung  $\rightarrow$  Schallsschwingung, nutzt man in diesem Fall den piezoelektrischen Effekt aus. Bei Anlegen eines elektrischen Feldes an einen piezokeramischen Wandler, entsteht eine (elastische, reversible) Materialverformung. Wie bei den unter 1.2.1 erwähnten magnetostruktiven Wandlern ist auch der piezoelektrische Effekt umkehrbar, d. h. eine Materialverformung erzeugt ein Feld im Wandler. Dadurch entsteht an den Wandlerelektroden auf der Ausgangsseite der Leitung eine Spannung.

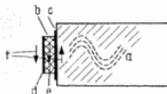


Bild 5. Anordnung des keramischen Wandlers auf dem Glaskörper: a = Glas, b = Scherschwinger, c = innere Elektrode und Löttschicht, d = äußere Elektrode, e = Polarisationsrichtung, f = aus Signalspannung gewonnenes Kräftepaar; es erzeugt die Transversal- oder Scherschwingung

Die Signalspannung wird dem Wandler über Elektroden zugeführt, die auf zwei einander gegenüberliegenden Flächen aufmetallisiert sind. Um die erzeugte mechanische Schwingung in das Glas einzukoppeln, ist schließlich noch der Wandler auf das Glas aufzulöten (sehr dünne Löttschicht) (Bild 5).

### 2.2 Transversal- oder Longitudinalwellen

Die elektrische Schwingung kann durch den Wandler in eine longitudinale Schallwelle – die Schwingung erfolgt in der Ausbreitungsrichtung – oder in eine Scherwelle/Transversalwelle – die Schwingung erfolgt senkrecht zur Ausbreitungsrichtung – umgewandelt werden.

Gewöhnlich arbeitet man mit der Transversalwelle (T-Welle). Ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist kleiner, d. h. die Länge des Schallstrahles im Verzögerungsmedium wird für eine gegebene Verzögerungszeit kürzer. Bei einer Longitudinalwelle (L-Welle) muß man außerdem damit rechnen, daß an Reflexionsstellen die Energie teils als L-Welle, teils als T-Welle reflektiert wird. Das kann aber wegen der unterschiedlichen Geschwindigkeit der beiden Schwingungsformen (Moden) zu Störspannungen (Echos) am Ausgang führen.

Natürlich besteht auch bei T-Wellen eine solche unerwünschte Aufspaltung in eine T- und eine L-Welle, aber nur in begrenzten Fällen und vornehmlich bei größeren Einfallswinkeln. Die Störung (Echo) entsteht dann, wenn die Longitudinalschwingung bei weiteren Reflexionen, wenigstens teilweise, in eine T-Welle zurückverwandelt wird.

Aus zwei Gründen arbeitet man allgemein mit T-Wellen: geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit und geringere Gefahr der Aufspaltung in eine andere Schwingungsform.

Der Wandler (Scherschwinger) wird so polarisiert, daß die Schallwelle senkrecht zur Einfallsebene schwingt (Bild 5).

### 2.3 Scherschwinger

#### 2.3.1 Elektrostriktion und Piezoeffekt

Unter Elektrostriktion [1] versteht man die elastische Deformation, die ein Dielektrikum im elektrischen Feld erfährt, ebenso wie die Umkehrung, d. h. das Entstehen einer Ladung auf den Anschlußelektroden bei Deformation eines Dielektrikums. Dabei können gleichgroße und gleichgerichtete Feldstärken je nach Stoffart entweder eine Verkürzung oder Dehnung hervorrufen. In jedem Fall ist aber die mechanische Längenänderung eine gerade Funktion der Feldstärke.

$$x = g_1 \cdot E^2 + g_2 \cdot E^4 \dots \quad (\text{bei kleinen Feldstärken})$$

Die Änderung der Länge bleibt also gleich bei Umpolung der Spannung.

Bei großen Feldstärken treten durch Hysterese und Remanenz Abweichungen auf. Dort gilt dann aber der quadratische Zusammenhang zwischen mechanischer Veränderung und dielektrischer Verschiebung.

Elektrostriktion tritt bei allen Substanzen auf, seien sie kristallin, amorph oder flüssig. Der Piezoeffekt tritt dagegen nur bei Kristallen auf, die eine oder mehrere polare Achsen aufweisen. In diesem Fall entsteht bei mechanischer Belastung zunächst eine Abstandsveränderung zwischen den Gitterbausteinen und als Folge davon ein geändertes, durch Ladung und Abstand bestimmtes Dipolmoment. Können sich diese einzelnen Dipolmomente nicht gegenseitig kompensieren, bildet sich auf der Oberfläche des Kristalls eine Ladung [2].

Bei dem Piezoeffekt besteht eine nichtgerade Funktion zwischen Deformation und Feldstärke, d. h. also in erster Näherung ein linearer Zusammenhang

$$x = A_1 \cdot E + A_2 \cdot E^3 + \dots$$

Diesen beschriebenen Piezoeffekt zeigen z. B.: Quarz, Turmalin, Rochelsesal (Seignettesalz).

Daneben haben heute in zunehmendem Maße polykristalline Stoffe an Bedeutung gewonnen, z. B. Barium-Titanat Blei-Zirkonat-Titanat. Der Vorteil liegt in der leichten Herstellung. Der Wandler muß nicht wie bei einem Einkristall (Quarz) nach den Achsen orientiert geschnitten werden. Diese Stoffe zeigen den Piezoeffekt aber nur dann, wenn sie im Fertigungsprozeß einer elektrischen Vorpolarisierung unterworfen wurden [3]. Man erhält dann ebenfalls einen annähernd linearen Zusammenhang zwischen Längenänderung und Feldstärke (analog der Magnetostruktion mit Vormagnetisierung).

Für diese (polykristallinen) Materialien verwendet man häufig unter Bezug auf das Herstellungsverfahren den Namen „Piezokeramik“.

#### 2.3.2 Piezokeramik

Die aus Blei-Titanat-Zirkonat oder Barium-Titanat bestehenden Massen, werden zu einem Brei verarbeitet, durch Pressen vorgeformt und anschließend gesintert (etwa 1300 °C). Darauf folgt das maßgerechte Schleifen und das Polarisieren. Letzteres ist erforderlich, da diese „keramischen“ Formstücke zunächst noch keinen Piezoeffekt zeigen. Diese Eigenschaft erhält man vielmehr erst durch das Polarisieren. Dazu werden die Formstücke bei hoher Temperatur in ein starkes elektrisches Gleichfeld gebracht. Anschließend läßt man sie e kalten. Das Gleichfeld bleibt aber bestehen. Die beim Abkühlen entstehenden Dipolmomente der einzelnen Kristalle würden ohne dieses Gleichfeld völlig unregelmäßig angeordnet sein, und ihre Felder würden sich gegenseitig aufheben. Sie werden aber durch das Polarisierfeld gerichtet und in dieser Lage gehalten, bis der Abkühlvorgang beendet ist. Eine Vorzugsrichtung, ein resultierendes Dipolmoment ist „eingefroren“.

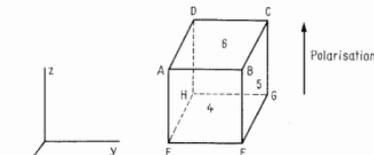


Bild 6. Bezeichnung der Achsrichtungen und der Flächen bei einem piezoelektrischen Wandler:

Fläche 4  $\triangleq$  ABFE      Fläche 4'  $\triangleq$  DCGH  
Fläche 5  $\triangleq$  BCGF      Fläche 5'  $\triangleq$  ADHE  
Fläche 6  $\triangleq$  ABCD      Fläche 6'  $\triangleq$  EFGH

Mit Hilfe von Bild 6 läßt sich folgendes über die gegenseitige Zuordnung von Polarisierung, außen angelegter Spannung und Materialverformung sagen.

a) **Polarisation:** Soll der keramische Wandler in z-Richtung polarisiert sein, sind Elektroden an den Flächen 6,6' anzubringen, und die Polarisationshilfsspannung ist dort anzulegen.

b) **Longitudinalwelle:** Ist der Wandler in z-Richtung polarisiert und wird auch die Signalspannung an die Elektroden auf den Flächen 6,6' angelegt, so tritt eine Longitudinalwelle in z-Richtung auf.

c) **Schermelle, Transversalmelle:** Diese Welle erhält man, wenn der Wandler in z-Richtung polarisiert ist und die Signalspannung senkrecht dazu angelegt wird und zwar:

Signalspannung in x-Richtung ergibt Scherung der Flächen 5,5',

Signalspannung in y-Richtung ergibt Scherung der Flächen 4,4' (Bild 7).

**2.4 Leitungen mit und ohne Reflexion**

Bild 8 zeigt verschiedene Ausführungsformen der Glasleitung. Sinn und Zweck des Übergangs von der Glasleitung (Bild 8a) zu den Reflexionsleitungen ist ein doppelter.

a) Man kann eine Reflexionsleitung sehr genau auf die erforderliche Verzögerungszeit einschleifen. Ein genaues Verschleifen des Glaskörpers allein reicht nicht aus, um die an das fertige Produkt gestellten engen Toleranzforderungen bezüglich der Laufzeit einhalten zu können. Die Streuungen der Wandler sowie die durch das Anflöten sich ergebenden Streuungen sind größer als die zugelassene Toleranz. Man verwendet deshalb bei der Stableitung eine abgleichbare Zusatzverzögerungsleitung (siehe FTA Fs 14, Bild 16). Bei der Reflexionsleitung kann nun das endgültige Abgleichen an der fertigen Leitung vernommen werden, indem an einer Reflexionsstelle (z. B. Bild 8b, Fläche a) solange abgeschliffen wird, bis der Laufzeitsollwert erreicht ist.

b) Durch das Zusammenfallen des Ultraschallweges verringern sich die Abmessungen des Glaskörpers. Andererseits ist aber darauf zu achten, daß bei Mehrfachreflexion keine unzulässigen hohen Spannungen (Echos) entstehen. Durch geeignete Formgebung des Glaskörpers lassen sich bei den Leitungen mit einer, drei und fünf Reflexionsstellen nachgewiesenermaßen die Echobedingungen einhalten.

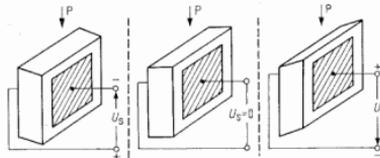
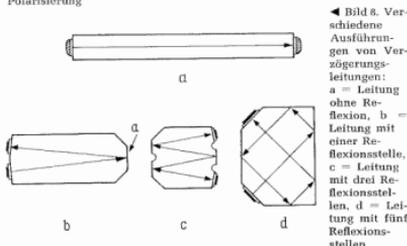


Bild 7. Entstehende Scherung der Flächen 4,4' durch in y-Richtung erzeugtes elektrisches Feld und die in z-Richtung vorgenommene Polarisierung



▲ Bild 8. Verschiedene Ausführungsformen von Verzögerungsleitungen: a = Leitung ohne Reflexion, b = Leitung mit einer Reflexionsstelle, c = Leitung mit drei Reflexionsstellen, d = Leitung mit fünf Reflexionsstellen

**2.5 Leitungen mit eingebauten Spulen**

Die Leitung wird am Ein- und Ausgang über Spulen mit der übrigen Schaltung des Pal-Decoders verbunden (Bild 9).

Die Eingangsspule dient der Abstimmung des Leitungseingangs auf die Farbträgerfrequenz oder, anders ausgedrückt, der breitbandigen Kompensation der Scherschwingerkapazität. Sie ist gleichzeitig als Übertrager ausgeführt, um den niedrigen Eingangswiderstand der Leitung (z. B. 60 Ω) heraufzutransformieren (z. B. auf 1 kΩ). Gespeist wird diese Schwingkreisspule dann direkt aus dem Kollektorkreis des Treibertransistors.

Auf der Ausgangsseite befindet sich ein bifilar gewickelter Übertrager (ü = 1 : 2). Dem Mittelabgriff wird das unverzögerte Signal zugeführt. Der eine Ausgang liefert die (B - Y), der andere die (R - Y)-Komponente des Farbträgersignals.

Der Einbau dieser Spulen in die Verzögerungsleitung bringt folgende Vorteile:

Die Spulen werden in der Fertigung abgeklippt, es ist also nur noch ein Nachstimmen, bedingt durch geringe Abweichungen in den Bauelementen im Gerät, erforderlich.

Das Übersetzungsverhältnis im Eingangsbüchselement ist auf den optimalen Wert (ü = 1 : 4) gebracht.

Die Symmetrie im Ausgangsbüchselement in Bezug auf Amplitude und Phase ist von vornherein berücksichtigt.

**3 Notwendige Eigenschaften der Pal-Verzögerungsleitung**

**3.1 Die Verzögerungszeit**

Nach FTA Fs 14 gelten folgende Festlegungen:

- Farbträgerfrequenz  $f_{HT} = 4\,433\,618,75\text{ Hz}$
- Verzögerungszeit  $t = 63,943\text{ µs}$
- Phasenverzögerung = 283,5 Schwingungen

denn von den beiden Möglichkeiten, das Farbartsignal muß in der Verzögerungsleitung um entweder ein ganzzahliges Vielfaches von  $2\pi$  rad oder ein ganzzahliges Vielfaches von  $\pi$  rad in der Phase gedreht werden, hat man die zweite gewählt.

Die Phasenlaufzeit  $t_{ph}$  für die Farbträgerfrequenz  $f_{HT}$  beträgt (siehe auch FTA Vs 02, Abschnitt 2.5):

$$t_{ph} = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{283,5 \cdot 2\pi}{2\pi \cdot f_{HT}} = 63,943\text{ µs} \quad (1)$$

**3.2 Durchlaufkurve**

Für eine gute Farbfernsehübertragung muß für das Farbartsignal eine Bandbreite von 1,8 MHz zur Verfügung stehen. Der geforderte Durchlaufbereich würde sich demnach von 5,33...5,53 MHz erstrecken. Meist bevorzugt man aber eine schwach unsymmetrische Durchlaufkurve (3,4...5,2 MHz), da der obere Frequenzbereich wegen des bei 5,5 MHz liegenden

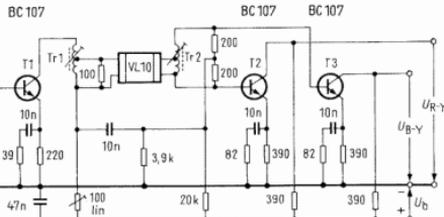


Bild 9. Beispiel einer Decoderschaltung mit der Verzögerungsleitung VL 10 [7]. Tr 1: Eingangstransformator für die VL 10, Übersetzung 4 : 1, ausgangsseitige Induktivität einstellbar 1,9 µH...3,1 µH. Tr 2: Ausgangstransformator für die VL 10, Bifilarwicklung, eingangsseitige Induktivität einstellbar 1,9 µH...3,1 µH

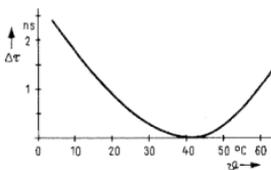


Bild 10. Änderung der Phasenlaufzeit  $\Delta\tau$  mit der Temperatur  $\theta$  [°C] für eine Verzögerungsleitung VI. 10

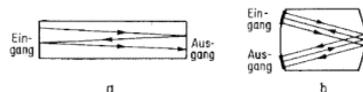


Bild 11. Entstehung des 3-r-Echos an einer Stableitung (a) und an einer Reflexionsleitung (b)

Tonträgers stärker beschnitten wird. Die Bandgrenzen sind wie üblich durch einen Abfall von 3 dB gegenüber der Bandmitte festgelegt.

### 3.3 Fehlerquellen und zulässige Toleranzen

#### 3.3.1 Phasenfehler

Die in Abschnitt 3.1 berechnete Phasenlaufzeit muß innerhalb einer sehr engen Toleranz eingehalten werden. Im allgemeinen fordert man, daß  $t_{ph} = 69,943 \mu s$  auf  $\pm 5$  ns eingehalten wird. Ausgedrückt in Winkelgrad bedeuten diese 5 ns ungefähr  $8^\circ$ , denn es gilt (nach Gleichung 1):

$$\frac{5 \text{ ns}}{69,943 \mu s} = \frac{8^\circ}{283,5 \cdot 360^\circ}$$

Das bedeutet eine Genauigkeit von  $1/19.000$ . Diese Bedingung muß bei Temperaturänderungen zwischen 20 und  $50^\circ \text{C}$  und innerhalb der Alterung erfüllt werden.

Ein Beispiel für die Änderung der Phasenlaufzeit mit der Temperatur zeigt Bild 10. Man gewinnt ein solches gutes Ergebnis durch eine spezielle Wahl der Glassorte und durch (teilweise) Kompensation der beiden Temperaturabhängigkeiten, nämlich der des Glases und der des Scherschwingers.

#### 3.3.2 Amplitudenfehler

Darunter werden Fehler in Amplitudenabgleich des Decoders verstanden. Das bedeutet, der hinter der Verzögerungsleitung liegenden Matrix werden das verzögerte und das unverzögerte (direkte) Signal mit unterschiedlichen Amplituden zugeführt. Infolge der besonderen Eigenschaften des Pal-Verfahrens sind Amplitudenfehler, sogar in Höhe von 20...30 %, nicht kritisch.

#### 3.3.3 Echo, störende Reflexionen

##### 3.3.3.1 Die verschiedenen Echos und ihre Entstehung

Das am meisten bekannte Echo ist das 3-r-Echo. Es entsteht durch zweimalige Reflexion (am Ausgang und am Eingang der Leitung) und überlagert sich direkt dem Ausgangssignal (Bild 11).

Das 2-r-Echo kommt durch Reflexion am Ausgang zustande und wirkt auf den Eingang der Leitung (Bild 12). Ob es zu berücksichtigen ist, hängt von der Schaltung ab (Bild 13).

Außer diesen beiden können sich noch andere Echos bilden, insbesondere wenn der Schallweg nicht, wie in der Stableitung geradlinig, sondern gefaltet ist. Man faßt alle diese Störungen (abgesehen von dem zuerst erwähnten 3-r-Echo) unter dem Namen „Sonstige Echos“ zusammen.

Bild 12. Entstehung des 2-r-Echos bei einer Reflexionsleitung

Zwei Möglichkeiten für die Abnahme des unverzögerten, direkten Signals am Eingang der Leitung: bei Abnahme an A kein Einfluß des 2-r-Echos, aber Phasenschwankungen zwischen  $U_0$  und  $U_1$  gehen in den gesamten Phasengang ein, bei Abnahme an B direkte Relation zwischen Eingangsspannung der Leitung und der des direkten Kanals, aber 2-r-Störungen können dadurch direkt in den unverzögerten Kanal und somit auf die Ausgangsspannung gelangen

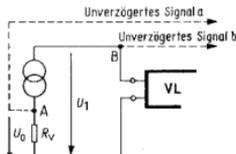


Bild 13.

#### 3.3.3.2 Begrenzung des Echos

Dafür sind ein paar Tatsachen wichtig: Von der in das Glas eingespeisten Energie entweicht nur ein sehr geringer Teil in die umgebende Luft. Das hängt damit zusammen, daß Luft einen wesentlich niedrigeren Schallwellenwiderstand als Glas hat. Außerdem können sich Scherwellungen in Luft nicht ausbreiten. An den Begrenzungsflächen (Glas/Luft) werden auftretende Schallstrahlen reflektiert.

Die Schallwelle wird im Glas gedämpft. Je länger also der Schallstrahl ist (2-r- oder 3-r-Echo z. B.), um so stärker ist die Dämpfung.

Der Ultraschallstrahl ist kein schmales Strahlenbündel, sondern mehr oder weniger aufgefächert. Das hängt mit der Größe der Scherschwingerfläche im Verhältnis zu den Leitungsabmessungen zusammen. Infolge dieser Divergenz sind die Störsignale höherer Ordnung stark geschwächt und diffus gestreut.

Diese Echos können sowohl den Amplituden- als auch den Phasenverlauf stören. Sie müssen deshalb durch technologische Maßnahmen begrenzt werden. Dafür gilt folgende Regel:

• Echostörabstand, bezogen auf die Ausgangsspannung der Leitung

3-r-Echo	min. 22 dB
Sonstige Echos	min. 27 dB

## 4 Interessante Daten für Glas-Verzögerungsleitungen

Schallgeschwindigkeit im Glas  $\approx 2650$  m/s (für Transversalwelle)

Notwendige Weglänge des Schallstrahls  $\approx 17$  cm

Der Scherschwinger hat eine relativ hohe Kapazität, wegen der hohen Dielektrizitätskonstante

$\epsilon \approx 550$  C (bei VL 10) = 500 pF (gemessen bei Farbrägerfrequenz)

Eingangswiderstand (VL 10) R = 50  $\Omega$  (gemessen bei Farbrägerfrequenz)

Dicke des Scherschwingerscheibchens (VL 10)  $\approx 0,25$  mm

Komponenten des Glasgemisches: Si O<sub>2</sub>, Pb O, K<sub>2</sub> O

#### Literatur

- [1] Sovč, W.: Über elektrostriktive Keramik. Stomag-Nachrichten 33, Dezember 1961, Seite 861.
- [2] Störk, K.: Piezoelektrische Keramik. Stomag-Nachrichten 40, April 1967, Seite 1096.
- [3] Roake, E.: Keramische Wandler für Verzögerungsleitungen. Stomag-Nachrichten 40, April 1967, Seite 1101.
- [4] Brocklesby, C. F., und Palfreeman, I. S.: Ultraschall-Verzögerungsleitungen und ihre Anwendung im Fernsehen. Philips Technische Rundschau 26, 1965, Nr. 4/5, Seite 89.
- [5] Probst, H.: Fortschritte in der Gestaltung von Verzögerungsleitungen für Pal- und Secam-Farbfernsehmultiplexer. Int. Elektronische Rundschau 23 (1969), Heft 4, Seite 87...90.
- [6] Söllner, H.: Die Verzögerungsleitung VL 11 im PAL-Decoder. Laborbericht AEG-Telefunken B 1/E-Schaltungen, 21. 2. 1968.
- [7] AEG-Telefunken, Taschenbuch für Röhren-Halbleiter-Bauteile 1970. Technischer Anhang, Seite 64.
- [8] FIA Fs 14, Blatt 3, Abschnitt 7. FUNKSCHAU 1967, Heft 11.