

Akustische Oberflächenwellen

Be 75

2 Blätter

1 Einleitung

Die erste Untersuchung über das Entstehen und die Ausbreitung von Wellen auf elastischen Oberflächen wurde von Lord Rayleigh 1885 beschrieben. Er zeigte damit, daß auf der Oberfläche von festen Körpern sich in gleicher Weise Wellen bilden und ausbreiten können, wie das von den Flüssigkeiten her allgemein bekannt ist.

Erst im letzten Jahrzehnt stieg das Interesse an den akustischen Oberflächenwellen (AOW) sprunghaft an, nachdem Materialien mit hinreichend kleinen Übertragungsverlusten und geeignete Wandler zur Anregung solcher AOW gefunden waren. Heute interessiert man sich auf den verschiedensten Gebieten für die technische Verwendung der AOW; z. B. Zf-Filter in Fernsehempfängern, Optimalfilter für die Radartechnik, Richtkoppler, Verzögerungsleitungen, Frequenzdiskriminatoren, Filter zur Pulsdehnung und Pulskompression.

2 Die physikalischen Eigenschaften der AOW

2.1 Rayleigh-Welle

Von den verschiedenen möglichen Schwingungsformen interessiert in der praktischen Anwendung allein die Rayleigh-Welle. Nur sie wird hier betrachtet. Es handelt sich dabei um Wellen, die sich längs einer an ein Gas oder an ein Vakuum grenzenden Oberfläche fortplanzen, und in der die Teilchen sich auf einer rückläufig gerichteten Ellipse (rückläufig, in Oberflächennähe) bewegen (Bild 1 und 2).

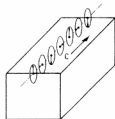


Bild 1. Schematische Darstellung der Fortpflanzung der Rayleighwelle an der Oberfläche. Bewegung der Teilchen auf einer rückläufigen Ellipse

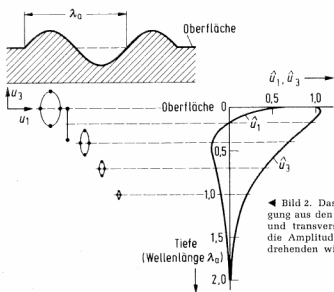


Bild 2. Das Entstehen der elliptischen Bewegung aus den zwei Teilbewegungen (longitudinal und transversal). Mit wachsender Tiefe nimmt die Amplitude schnell ab (aus einer rückwärtsdrehenden wird eine vorwärtsdrehende Ellipse)

Diese Bewegung kann in zwei Komponenten, u_1 und u_3 , zerlegt werden: eine Scherbewegung, senkrecht zur Oberfläche und senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung (transversale Komponente) (Bild 3) und eine Longitudinalbewegung in Fortpflanzungsrichtung (in Richtung der Wellennormale) (Bild 4).

Beide Bewegungen sind, wie Bild 2 zeigt, räumlich in der Phase um 90° gegeneinander versetzt. Die Scherbewegung dringt nur ein bis zwei Wellenlängen in das Material ein. Bild 5 zeigt die Teilchenbewegung der Rayleigh-Welle, also

die Überlagerung der beiden Bewegungen, der Scher- und Longitudinalbewegung.

Für die Teilchenbewegung gelten die Gleichungen:

$$u_1 = \hat{u}_1 \cos(kx_1 - v_R \cdot t) \quad (1)$$

Longitudinalbewegung

x_1 Fortpflanzungsrichtung, v_R Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Rayleigh-Welle

$$u_3 = \hat{u}_3 \sin(kx_1 - v_R \cdot t) \quad (2)$$

Transversalbewegung

x_3 Bewegung senkrecht zur Oberfläche

Für den Zeitpunkt $t = 0$, bzw. $v_R t = 2\pi$ ergibt sich eine Momentaufnahme, die die räumliche Teilchenlage zeigt.

$$u_1 = \hat{u}_1 \cos kx_1$$

$$u_3 = \hat{u}_3 \sin kx_1$$

In isotropen¹⁾ Materialien erfolgen die Lageveränderungen der Partikel in einer Ebene, die durch die Richtung der Fortpflanzung und durch die Oberflächennormale bestimmt ist (Bild 1). In anisotropen Materialien sind die Verhältnisse wesentlich komplizierter. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit hängt von der Fortpflanzungsrichtung ab. Fortpflanzungsrichtung (Wellennormale) und Energiefortpflanzung können in einem Winkel zueinander stehen (Beugung, Diffraktion). Normalerweise wählt man den Kristallschnitt (die Orientierung) so, daß die Richtung des Energieflusses mit der Fortpflanzung zusammenfällt.

Allerdings ist diese Beugung bei den AOW nicht von so großem Einfluß wie bei Wellen, die sich innen im Medium ausbreiten, da ja bei den AOW eine Streuung des Strahls nur in der dünnen oberflächennähe erfolgen kann.

2.2 Die Ausbreitungsgeschwindigkeit

Der wesentliche Unterschied und zugleich der besondere Vorteil der AOW liegt in der im Vergleich zu den elektromagnetischen Wellen wesentlich kleineren Ausbreitungsgeschwindigkeit (gilt generell für alle akustischen Wellen).

¹⁾ Isotropie: Die physikalischen Eigenschaften eines Stoffes sind nicht richtungsabhängig.

Anisotropie: Mindestens eine vektorielle Eigenschaft ist richtungsabhängig.

Bild 3. Die Verschiebung der Teilchen unter Einwirkung der transversalen Komponente; im Bild oben: die Teilchen in Ruhelage

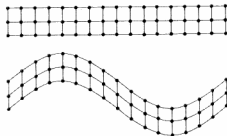


Bild 4. Die Verschiebung der Teilchen unter Einfluß der longitudinalen Komponente; im Bild oben: die O geben die Ruhelage, die Pfeile die Auslenkungsrichtung an

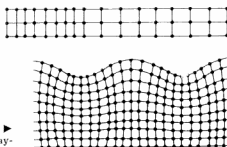


Bild 5. Die Teilchenbewegung der Rayleigh-Welle (nach Viktorov-Plenum, New York, 1967)

Fortpflanzungsrichtung →

Diese ist um etwa den Faktor 10^5 kleiner als bei den elektromagnetischen Wellen, folglich ist auch die „elastische“ Wellenlänge um den gleichen Faktor kleiner. Man kann mit einer mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeit von 3×10^5 cm/s rechnen. Um also – bei einer Verzögerungsleitung – eine Verzögerung von $3 \mu\text{s}$ zu erreichen, ist bei den elektromagnetischen Wellen eine Leitungslänge von 1 km, bei den AOW von 1 cm erforderlich.

Ferner ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der AOW um rund 10% kleiner als die von Wellen, welche das Medium in seinem ganzen Querschnitt durchsetzen. Das hängt damit zusammen, daß die Elastizität (Steifigkeit) des Mediums an der Oberfläche etwas kleiner als im Innern ist.

2.3 Welle auf dünne Oberflächenschicht begrenzt

Ein weiterer Vorteil der AOW ist, wie der Name sagt, daß die Energie in einer dünnen Schicht längs der Oberfläche transportiert wird. Die Schwingung kann also leicht an der Oberfläche längs des Ausbreitungsweges angepaßt werden.

Das erfordert aber auch eine, besonders bei hohen Frequenzen, sorgfältig behandelte Oberfläche. Rauigkeiten, Inhomogenitäten führen zu Streuungen, Reflexionen, also zu zusätzlicher Dämpfung.

2.4 Keine Dispersion

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist nicht von der Frequenz abhängig. Ein Frequenzgemisch (Impuls) wird während der Ausbreitung im Material nicht spektral zerlegt. Es tritt keine Dispersion auf. Man vergleiche damit die Dispersion der Lichtwellen. Darunter versteht man die Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und damit des Brechungsindex von der Lichtwellenlänge. Man bezeichnet mit Dispersion die Fähigkeit von Medien oder optischen Systemen Licht verschiedener Wellenlängen zu trennen.

2.5 Die Ausbreitungsverluste

Die Ausbreitungsverluste bei einem gut geeigneten Kristallmaterial (Quarz, Lithiumniobat) betragen nur etwa einige Zehntel dB/µs. Sie steigen mit dem Quadrat der Frequenz an. Bei 1 GHz erhält man:

für Quarz 4,1 dB/µs \triangleq (bei $v_R = 3 \times 10^5$ cm/s) 13,5 dB/cm für LiNbO₃ 1,6 dB/µs \triangleq (bei $v_R = 3 \times 10^5$ cm/s) 5 dB/cm

Für polykristallines Material (PZT-Keramik/Blei-Zirkonat-Titanat) liegt die Dämpfung wesentlich höher, so daß es nur bis etwa 20 MHz verwendbar ist. Bei 37 MHz liegt der Dämpfungswert für PZT bei etwa 6 dB/µs.

Im Fernfeld nimmt die Intensität mit $1/r$ ab (r = Abstand vom Ausgangspunkt). Bei Wellen, die den gesamten Querschnitt des Mediums ausfüllen, erfolgt dagegen die Abnahme mit $1/r^2$.

2.6 Vergleich mit piezoelektrischen Schwingern

Bei den piezoelektrischen Schwingern ist das gesamte Volumen an der mechanischen Bewegung beteiligt. Demzufolge ist auch die Resonanzfrequenz durch die Abmessung des Bauelements in der für die Schwingungsform charakteristischen Richtung gegeben (z. B. durch die Dicke beim Dickenschwinger). Sie bestimmt auch die obere Frequenzgrenze, da mit Rücksicht auf Halterung, Festigkeit, Genauigkeit der Herstellung gewisse Mindestmaße nicht unterschritten werden dürfen.

Der Vorteil der AOW besteht nun gerade darin, daß sich ihr Anwendungsbereich zu weit höheren Frequenzen ausdehnen läßt. Da nur der Oberflächenbereich genutzt wird, ist das übrige Volumen für den Ausbreitungsvorgang uninteressant. Festigkeits- und Halterungsprobleme treten also nicht auf.

3 Die Anregung der AOW

3.1 Materialien mit piezoelektrischen Eigenschaften

Unter Anregung wird die Umwandlung der elektromagnetischen Energie in akustische verstanden. Betrachtet wird der in der Praxis hauptsächlich interessierende Fall, daß das

Medium (das Substrat) piezoelektrische Eigenschaften hat. In diesem Fall werden die AOW durch elektrische Felder begleitet, die sich sowohl innerhalb wie außerhalb des Mediums ausbreiten. Diese sind von besonderer Bedeutung sowohl für die Umwandlung von elektromagnetischer Energie in akustische wie umgekehrt.

Als piezoelektrische Materialien kommen in Frage:

- Quarze,
- Lithiumniobat (LiNbO₃), sehr hoher elektromechanischer Kopplungsfaktor,
- Cadmiumsulfid (CdS), Zinkoxid (ZnO), Galliumarsenid (GaAs)
- PZT-Keramik (Blei-Zirkonat-Titanat) hoher Kopplungsfaktor, wie bei LiNbO₃, aber größere Dämpfung (siehe Tabelle).

Tabelle 1

Tabelle der geeigneten Materialien und ihre Eigenschaften

Material	Schnitt	Ausbreitungsrichtung	Ausbreitungsgeschw. $\times 10^5$ cm/s	Dämpfung dB/µs b. 1 GHz	K^2 %	Verzögerung µs/cm
LiNbO ₃	Y	Z	3,40	1,6	4,5	2,9
Quarz	Y	Z	3,2	4,1	0,22	3,1
Bi ₁₂ GeO ₂₀	(110)	($\bar{1}10$)	1,6	1,4	1,4	6,3
CdS	X	Z	1,7	—	0,62	5,8
ZnO	X	Z	2,7	—	1,10	3,7
PZT	1)	1)	2,2	6 bei 37 MHz	2,4	4,6

1) Senkrecht zur Oberfläche polarisiert, Ausbreitung innerhalb der Oberfläche beliebig.
K = elektromechanischer Kopplungsfaktor.

3.2 Interdigitale Wandler

Die Anregung erfolgt mit Hilfe von interdigitalen Wandlern (Bild 6a). Das sind kammartige, leitende Strukturen. Sie werden mit fotolithografischen Verfahren auf der Oberfläche aufgebracht (Schichtstärke 100...300 nm, Material Gold, Aluminium).

Wird an die beiden Kämme eine Wechselspannung angelegt, entsteht im Material eine Feldverteilung, wie in Bild 6b dargestellt. Man kann dieses Feld in zwei Komponenten auflösen, eine senkrecht, die andere parallel zur Oberfläche gerichtet. Sie sind um 90° (räumlich) gegeneinander versetzt (Bild 6b). Mit ihnen lassen sich also die zwei Komponenten einer Rayleigh-Welle anregen.

Für Resonanz gilt (Bild 6a): Der Abstand d von Fingermitte zu Fingermitte muß gleich der halben mechanischen Wellenlänge sein.

$$d = \lambda_o/2$$

$$f_o = v_R/\lambda_o = v_R/d$$

3.3 Die Abmessungen des interdigitalen Wandlers (idW) (interdigital transducer)

Maßgebend für die Eigenschaften des idW sind: die Anzahl der Fingerpaare N (in Bild 6a: N = 3).

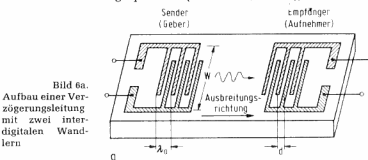


Bild 6a. Aufbau einer Verzögerungsleitung mit zwei interdigitalen Wandlern

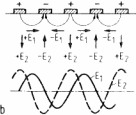


Bild 6b. Die Feldverteilung im piezoelektrischen Material aufgrund der an den Fingern des Wandlers liegenden Spannung

die Länge der Finger bzw. deren gegenseitige Überlappung, der mittlere Abstand zweier benachbarter Finger $= \lambda/2$, die Fingerbreite, meist gleich der Lichten Weite zwischen zwei Fingern $= \lambda/4$.

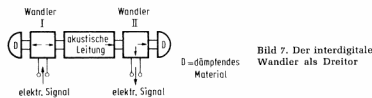
Mit dem üblichen fotolithographischen Verfahren lassen sich Fingerbreiten von $1,5 \mu\text{m}$ realisieren. Das heißt, eine Wellenlänge benötigt $6 \mu\text{m}$. Das ergibt bei einer Ausbreitungsgeschwindigkeit der AOW von im Mittel $3 \cdot 10^8 \text{ cm/s}$ eine obere Frequenzgrenze von 500 MHz. Für höhere Frequenzen, schmalere Finger muß mit Zerstäubung durch einen Elektronen- oder Laserstrahl gearbeitet werden. Damit kann der Arbeitsbereich bis zu einigen GHz ausgedehnt werden.

3.4 Die räumliche Zuordnung zwischen dem idW und den Kristallachsen

Wegen der anisotropen Eigenschaften der piezoelektrischen Materialien ist die Wahl des Kristallschnittes und die Anordnung des idW auf dem Substrat entscheidend für eine wirksame Umsetzung der angelegten elektrischen Leistung in akustische. Das bedeutet: Der Kristallschnitt muß so gelegt sein, daß die zwei rechtwinklig zueinander stehenden Komponenten des elektrischen Feldes gut mit den zwei Komponenten der AOW (Bilder 1 und 2) gekoppelt sind.

3.5 Der interdigitale Wandler ein Dreier

Wie Bild 7 zeigt, stellen die elektromechanischen Wandler I und II je ein Dreier dar, zwei akustische Tore und ein elektrisches Tor. Vom Wandler läuft also eine AOW senkrecht zu

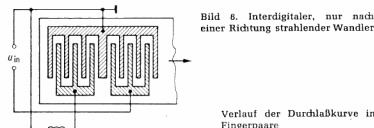


den Fingern des idW nach beiden Seiten. Die Ausbreitung ist nur nach einer Richtung gewünscht (Bild 3). Die in entgegengesetzter Richtung laufende Welle wird am Substrat reflektiert und kann Störungen hervorrufen, sie muß also durch ein geeignetes Material (Wachs) weggedämpft werden. Das bedeutet, daß in diesem Teil von vornherein 50% der zugeführten Leistung (3 dB) verlorengehen. Es ist einzusehen, daß der gleiche Verlust am Ausgangswandler entsteht, so daß der Gesamtverlust 6 dB beträgt. Um diese Verluste zu vermeiden, sind Wandler entwickelt worden, die die AOW nur in eine Richtung abstrahlen (Bild 8). Sie bestehen aus zwei einander gleichen Wanderteilen. Der linke Teil arbeitet als Reflektor. Die mechanischen Wellen, die im rechten Teil erregt werden und nach links wandern, werden reflektiert und phasenrichtig der gewünschten Wellenbewegung (nach rechts) hinzuaddiert. Die Lastinduktivität des Reflektors wird auf optimale Reflexion abgestimmt.

4 Anwendungsmöglichkeiten

4.1 Verzögerungsleitung

Die Anwendung der AOW, um ein Signal zu verzögern, liegt auf der Hand. Den Aufbau einer festen Verzögerungsleitung zeigt Bild 6a. Zum Vergleich sei auf die Pal-Verzögerungsleitung hingewiesen, bei der durch Scherschwinger, die an einen Glasstab angelötet sind, eine Transversalwelle in ihn eingekoppelt bzw. aus ihm ausgekoppelt wird. Hier füllt



die Scherwelle den ganzen Querschnitt des Übertragungsweges aus (s. EAB, Bd. 3, Bl. Be 72).

Die Verzögerungszeit bei einer Leitung mit AOW ist aus dem Abstand der beiden idW und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Rayleigh-Welle v_R zu errechnen. Die Durchlaßkurve wird in erster Linie durch die Eigenschaften der beiden idW bestimmt. Maßgebend ist dabei das inverse Fourier-Integral, das bei der Transformation vom Frequenzbereich in den Zeitbereich auftritt (s. EAB, Bd. 11, Bl. 4.11 und Bd. 7, Bl. A12, Abschn. Flächenstrahl) und das sich hier in der Form $\sin x/x$ ausdrückt (s. Abschnitt 4.2).

Bei in den erwähnten Glasverzögerungsleitungen müssen auch bei den AOW-Leitungen u. U. Maßnahmen gegen störende Echos, insbesondere das 3-r-Echo (triple-transit-signal), vornehmlich bei niedriger Leitungsdämpfung, vorgesehen werden.

4.2 Filter

AOW-Filter sind im wesentlichen für den Frequenzbereich 100 MHz bis zu einigen GHz interessant. Sie können aber auch bei niedrigeren Frequenzen angewandt werden, insbesondere wenn man den Vorteil ausnutzen will, auf Induktivitäten verzichten zu können. Der dabei auftretende Übertragungsverlust (im Durchschnitt 20 dB) ist dann unkritisch, wenn genügend Verstärkung zur Verfügung steht (wie normalerweise bei Zf-Stufen), um ihn auszugleichen, ohne daß die Übertragungsqualität leidet.

Während sich bei LC-Filtern oder Hohlraumresonatoren die Filtereigenschaften durch die Energiespeicherung im LC-Kreis oder im Hohlraum ergeben, wird bei einem AOW-Filter die Energie an der Oberfläche des Mediums gespeichert. Betrachtet man – von anderen Möglichkeiten des Filteraufbaus abgesehen – hier die eines AOW-Elements mit zwei idW, so sind eben beide über die Oberflächenwellen miteinander gekoppelt. Für die idW, die im wesentlichen die Durchlaßkurve bestimmen, gibt es prinzipiell zwei Ausführungsformen.

a) idW mit konstanten Fingerabständen und konstanter Überlappung (Bild 9).

In diesem Fall sind die Übertragungseigenschaften in erster Näherung gegeben durch:

$$\left(\frac{\sin x}{x} \right)^2$$

mit $x = N \cdot \pi \cdot (f - f_0)/f_0$

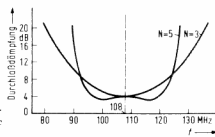
$N =$ Fingerpaare

$f_0 =$ Resonanzfrequenz (Abschnitt 3.2)

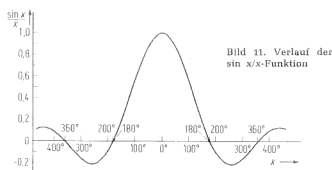
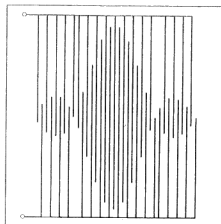
Daraus folgt, daß die Zahl der Fingerpaare den Verlauf der Durchlaßkurve wesentlich bestimmt (Bild 10). Den Verlauf der Funktion $\sin x/x$ zeigt Bild 11 (EAB, Bd. 7, Bl. Mth 22/1a). Die Breite des Wandlers w (Bild 6a) beeinflusst die Kapazität und ermöglicht die Anpassung an den Generator-Innenwiderstand oder den Lastwiderstand.

b) idW mit konstanten Fingerabständen, aber mit unterschiedlicher Überlappung.

Von dieser Maßnahme macht man Gebrauch, wenn z. B. eine Filterkurve mit großer Flankensteilheit und konstanter Amplitude im Durchlaßbereich (also eine angenähert rechteckförmige Übertragungscharakteristik) gewünscht wird. In diesem Fall bleiben Fingerbreiten und -abstände über den Wandler konstant, aber die Einhüllende der Fingerüberlappung folgt der $\sin x/x$ -Funktion (Bild 12).



Abhängigkeit von der Zahl der Fingerpaare

Bild 11. Verlauf der $\sin x/x$ -Funktion

Impulsdehnung und -kompression mit dispersiven Wandlern

Bild 12. Interdigitaler Wandler mit unterschiedlicher Überlappung

4.3 Frequenzdiskriminator

Bei einem Frequenzdiskriminator benützt man einen idW, bei dem die Abstände von Fingerpaar zu Fingerpaar stetig anwachsen. Da nur dann eine wirksame Umsetzung von elektrischer in mechanische Leistung erfolgt, wenn die erregende Frequenz gleich der akustischen Resonanzfrequenz ist, ist ein solcher idW für die Frequenzen des Übertragungsbereiches an räumlich verschiedenen Stellen empfindlich. Das entsprechende gilt für die Empfangsseite. Ist nun ein Diskriminator, wie in Bild 13 gezeigt, aufgebaut – Umsetzung der tiefen Frequenzen an den Stellen S_1 und E_1 , der hohen Frequenzen bei S_2 und E_2 –, so ist die Laufzeit für tiefe Frequenzen wesentlich größer als für hohe; (in einem Beispiel [4] 2,5 μ s für 325 MHz, 12,5 μ s für 175 MHz). Die Frequenzmessung geschieht demzufolge so, daß man auf einer Oszillografenöhre den Senderimpuls sowie gleichzeitig den Empfängerimpuls schreibt und den zeitlichen Abstand mißt. Natürlich kann auch ein digitaler Zeitzähler durch den Senderimpuls gestartet und durch den Empfängerimpuls stillgesetzt werden.

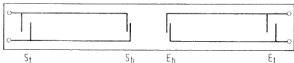


Bild 13. Frequenzdiskriminator mit Wandlern, bei denen die Fingerabstände sich stetig ändern

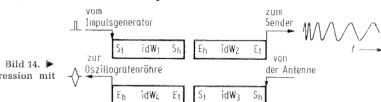
4.4 Impulsdehnung und -kompression

In der Radartechnik benötigt man für hohe Bildauflösung sehr kurze Impulse. Zur Überbrückung großer Entfernungen muß dann die Impulsleistung, d. h. die Senderspitzenleistung sehr hoch sein. Das ist unwirtschaftlich. Man benützt deshalb z. B. ein Verfahren (chirp radar), bei dem längere Impulse niedrigerer Pegels, die frequenzmoduliert sind, ausgestrahlt werden. Das verbessert das Tastverhältnis bzw. das Verhältnis Spitzenleistung zu mittlerer Senderleistung. Die reflektierten Impulse müssen allerdings dann komprimiert werden, um die für die Bildauflösung erforderlichen nachschärfen Impulse zu erhalten.

Das kann z. B. mit AOW-Bauelementen auf folgende Weise erreicht werden: Ein hinreichend leistungsstarker Impuls wird an einen idW gelegt, bei dem die Abstände von Fingerpaar zu Fingerpaar sich stetig vergrößern. Jedes Fingerpaar erzeugt dann eine andere AOW. In der Anordnung nach

Bild 14 erhält man am Ausgang von idW₂ ein frequenzmoduliertes Signal, bei dem die tiefen Komponenten zeitlich den hohen Komponenten folgen. Das reflektierte Signal, das in gleicher Weise aufgebaut ist, wird einem spiegelbildlich (oder konjugiert) ausgelegtem idW-Paar zugeführt. Hier benötigen die hohen Frequenzkomponenten eine höhere Laufzeit als die tiefen. Bei richtigem Abgleich wird der im Sendekanal erzeugte Laufzeitunterschied zwischen den hohen und tiefen Frequenzen im Empfangskanal exakt kompensiert, so daß am Ausgang von idW₄ alle Komponenten sich gleichzeitig überlagern und so einen scharfen Ausgangsimpuls bilden.

Wandler, wie sie hier verwendet werden, bezeichnet man (s. Abschn. 2.4), als dispersiv.



5 Zusammenfassung

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist klein, das führt zu kleinen Abmessungen.

Kleine Ausbreitungsgeschwindigkeit, niedrige Dämpfung, breitbandige Wandler bedeuten hohe Speicherfähigkeit.

Die Informationen sind in der Oberfläche gespeichert, leichter Zugriff.

Zum Aufbau von AOW-Bauelementen benötigt man planare Strukturen, wie sie von der Halbleitertechnik her bekannt sind.

Die Funktion der AOW-Bauelemente ist weitgehend durch die Wandler bestimmt. Dementsprechend ist die Maßhaltigkeit der Maske (für den fotografischen Prozeß) für die Genauigkeit des Einzelstücks und die Reproduzierbarkeit in der Massenfertigung verantwortlich.

Die AOW wird nicht von elektrischen und magnetischen Feldern beeinflusst. Sie ist – bei geeigneten Materialien – gegen Temperaturschwankungen ziemlich unempfindlich.

Es wird eine hohe Genauigkeit in der Herstellung verlangt, da keine Abgleichmöglichkeit vorhanden ist.

Die Oberfläche muß „optisch“ plan und homogen sein, um Streuungen, Reflexionen zu vermeiden.

Die Grenzen liegen:

im Preis, wegen der hohen technologischen Forderungen;

in der oberen Frequenzgrenze; die Strukturen werden zu klein, damit steigt die absolute Genauigkeitsforderung;

ferner steigen die Umwandlungsverluste wegen steigender Bahnwiderstände in den Strukturen;

in den Ausbreitungsverlusten.

Literatur

- [1] Bains, J. D., und Paige, E. G. S.: Surface-acoustic-wave components, devices and applications. IEE Reviews Bd. 120, Nr. 30 R, Okt. 1973.
- [2] Terstegge, H.: Akustische Oberflächenwellen und ihr Einsatz in einem neuartigen Filterelement. Int. Elektronische Rundschau, Heft 11, 1970, S. 279.
- [3] Terstegge, H.: Bauelemente mit akustischen Oberflächenwellen. Funk-Technik, Heft 15, 1970, S. 551.
- [4] Gundolfo, D. A., Grasse, C. L., O'Clock, G. D.: Designers guide to: Acoustic surface waves. EDN, 20. 9. 1973, S. 46.
- [5] De Klerk, J.: Elastic surface waves. Physics Today, Nov. 1972, S. 32.
- [6] Tränkle, E.: Der Oberflächenwellen-Effekt und seine Anwendung bei Filtern und Ultraschall-Verzögerungsleitungen. NTZ, Heft 9, 1970, S. 436.
- [7] Smith, W. R., Garard, H. M., Collins, J. H., Reeder, T. M., Shaw, H. J.: Design of surface wave delay lines with interdigital transducers. IEEE Transactions on microwave theory and techniques, Vol. MTT-17, Nr. 11, Nov. 69, S. 865 und 856.
- [8] White, R. M.: Surface elastic waves. Proceedings of the IEEE, Vol. 58, Nr. 8, Aug. 70, S. 1236.
- [9] Klein, T. J., Mariani, E. A.: Surface wave devices. Techniques and Applications. Research and Development Technical Report, Ecom – 4124, Jun. 73.
- [10] Lüders, M.: Erzeugung und Autokorrelation von PSK-Signalen mit akustischen Oberflächenwellenleitungen. NTZ, Heft 12, 1973, S. 523.
- [11] Collins, J. H., Hagon, P. J.: Surface wave delay lines. ... Electronica, Jan. 19, 1970, S. 110.