

DIN EN 60862-2



ICS 31.160

Ersatz für
DIN EN 60862-2:2003-06
Siehe Anwendungsbeginn

**Oberflächenwellenfilter (OFW-Filter) mit bewerteter Qualität –
Teil 2: Leitfaden für die Anwendung
(IEC 60862-2:2012);
Deutsche Fassung EN 60862-2:2012**

Surface acoustic wave (SAW) filters of assessed quality –
Part 2: Guidelines for the use
(IEC 60862-2:2012);
German version EN 60862-2:2012

Filtres à ondes acoustiques de surface (OAS) sous assurance de la qualité –
Partie 2: Lignes directrices d'utilisation
(CEI 60862-2:2012);
Version allemande EN 60862-2:2012

Gesamtumfang 60 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2012-06-11 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2013-01-01.

Für DIN EN 60862-2:2003-06 gilt eine Übergangsfrist bis zum 2015-06-11.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 60862-2:2009-05.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 642 „Piezoelektrische Bauteile zur Frequenzstabilisierung und -selektion“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 49 „Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60862-2:2003-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 3 „Begriffe“ wurde gestrichen und ist in die nächste Ausgabe von DIN EN 60862-1 aufzunehmen.
- b) Im Abschnitt über OFW-Transversalfilter wurden gefächerte IDT-Filter und RSPUDT-Filter ergänzt. Als Varianten der SPUDT wurden auch DART, DWSF und EWC ergänzt.
- c) Der Abschnitt über gekoppelte Resonatorfilter wurde um die Brückenschaltung ergänzt.
- d) Neuere Substratwerkstoffe werden beschrieben.
- e) Ergänzt wurde ein Abschnitt über die Verpackung von SAW-Filtern.

Frühere Ausgaben

DIN IEC 60862-2:1992-07
DIN EN 60862-2:2003-06

Oberflächenwellenfilter (OFW-Filter) mit bewerteter Qualität –
Teil 2: Leitfaden für die Anwendung
(IEC 60862-2:2012)

Surface acoustic wave (SAW) filters of
assessed quality –
Part 2: Guidelines for the use
(IEC 60862-2:2012)

Filtres à ondes acoustiques de surface (OAS)
sous assurance de la qualité –
Partie 2: Lignes directrices d'utilisation
(CEI 60862-2:2012)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2012-06-11 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2012 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60862-2:2012 D

Vorwort

Der Text des Dokuments 49/933/CDV, zukünftige 3. Ausgabe der IEC 60862-2, erarbeitet vom IEC/TC 49 „Piezoelectric, dielectric and electrostatic devices and associated materials for frequency control, selection and detection“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 60862-2:2012 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2013-03-11
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2015-06-11

Dieses Dokument ersetzt EN 60862-2:2002.

EN 60862-2:2012 enthält die folgenden wesentlichen technischen Änderungen gegenüber EN 60862-2:2002:

- Abschnitt 3 „Begriffe“ wurde gestrichen und ist in die nächste Ausgabe von DIN EN 60862-1 aufzunehmen;
- Im Abschnitt über OFW-Transversalfilter wurden gefächerte IDT-Filter und RSPUDT-Filter ergänzt. Als Varianten der SPUDT wurden auch DART, DWSF und EWC ergänzt;
- Der Abschnitt über gekoppelte Resonatorfilter wurde um die Brückenschaltung ergänzt;
- Neuere Substratwerkstoffe werden beschrieben;
- Ergänzt wurde ein Abschnitt über die Verpackung von SAW-Filtern.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60862-2:2012 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60862 Reihe	ANMERKUNG	Harmonisiert als Reihe EN 60862 (nicht modifiziert).
IEC 60862-1:2003	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60862-1:2003 (nicht modifiziert).
IEC 61019-2:2005	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61019-2:2005 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Technische Einführung	7
4 Grundlagen der OFW-Transversalfilter	8
4.1 Übertragungseigenschaften	8
4.2 Wichtungsverfahren	9
4.3 Filteranordnungen und ihre allgemeinen Kennwerte	12
5 Grundlagen der OFW-Resonatorfilter	28
5.1 Klassifizierung von OFW-Resonatorfiltern	28
5.2 Ketten- und Brückenfilter	29
5.3 Gekoppelte Resonatorfilter	34
5.4 Resonatorfilter mit Interdigitalwandlern vom Gruppentyp (IIDT)	43
6 Leitfaden für die Anwendung	44
6.1 Substratmaterialien und ihre Eigenschaften	44
6.2 Anwendung in elektronischen Schaltungen	49
6.3 Verfügbarkeit und Grenzen	50
6.4 Eingangspegel	51
6.5 Gehäuse von OFW-Filtern	52
7 Praktische Hinweise	54
7.1 Allgemeines	54
7.2 Übersprechsignale	54
7.3 Impedanzanpassung	54
7.4 Verschiedenes	55
8 Bestellverfahren	55
Literaturhinweise	58
Bild 1 – Übertragungsfunktion eines OFW-Filters	9
Bild 2 – Anwendbare Frequenzbereiche und relative Bandbreite von OFW-Filtern und anderen Filterarten	10
Bild 3 – Schematische Darstellung des Signalfusses in einem Transversalfilter	10
Bild 4 – Grundlegende Anordnung eines OFW-Transversalfilters	10
Bild 5 – Übertragungsfunktion des in Bild 4 dargestellten OFW-Transversalfilters; f_0 ist die Mittenfrequenz und N ist die Anzahl der Fingerpaare des IDT	11
Bild 6 – Überlappungswichtung durch Variation der Fingerüberlappung	11
Bild 7 – Ausdünnungswichtung durch selektives Entfernen von Fingern	11
Bild 8 – Reihenwichtung durch Aufteilung der Finger in einzelne kapazitiv gekoppelte Elemente	11

	Seite
Bild 9 – Mehrfachfinger-Anordnung	12
Bild 10 – Übliche Übertragungsfunktion eines OFW-ZF-Filters für eine Funkübertragungseinrichtung (Nennfrequenz 70 MHz)	15
Bild 11 – Übliche Übertragungsfunktion eines frequenzunsymmetrischen OFW-Filters (Nennfrequenz 58,75 MHz für Fernseh-ZF-Anwendungen).....	16
Bild 12 – Drei-Wandler-OFW-Filter	16
Bild 13 – Übliche Übertragungsfunktion eines 900-MHz-OFW-Filters für Telekommunikationsanwendungen (Mobilfunk)	17
Bild 14 – Schematische Darstellung eines IIDT-(Mehrfach-IDT-)Filters.....	17
Bild 15 – Unidirektionaler Mehrphasenwandler	18
Bild 16 – Unidirektionale Einphasenwandler	19
Bild 17 – Übertragungsfunktion eines Filters mit unidirektionalen Mehrphasenwandlern	19
Bild 18 – Übertragungsfunktion eines Filters mit unidirektionalen Einphasenwandlern.....	20
Bild 19 – IDT-Filter mit sich verjüngender Struktur.....	20
Bild 20 – Übertragungsfunktion eines 140-MHz-IDT-Filters mit sich verjüngender Struktur	21
Bild 21 – Verschiedene Anordnungen von Reflektorfiltern	23
Bild 22 – Z-Weg-Filter	23
Bild 23 – Zweispur-Reflektorfilter	24
Bild 24 – Auf SPUDT beruhendes Zweispur-Reflektorfilter	24
Bild 25 – Frequenzgang eines Z-Weg-Filters	25
Bild 26 – Frequenzgang eines Zweispur-Reflektorfilters	25
Bild 27 – Frequenzgang eines auf SPUDT beruhendem Reflektorfilters	26
Bild 28 – Teil einer DART-Elektrode in einem RSPUDT-Filter	26
Bild 29 – Verteilung von innerer Reflexion und Empfang im RSPUDT-Filter	27
Bild 30 – Frequenzgang und Zeitverhalten eines 456-MHz-RSPUDT-Filters	28
Bild 31 – Struktur von Ketten- und Brückenfiltern.....	31
Bild 32 – Ersatzschaltung von Grundgliedern für Ketten- und Brückenfilter	32
Bild 33 – Elektrodenanordnung eines Kettenfilters.....	32
Bild 34 – Grundprinzip von Ketten und Brückenfiltern	33
Bild 35 – Übliche Übertragungsfunktionen eines Kettenfilters für den 1,5-GHz-Bereich	34
Bild 36 – OFW-Energieverteilung und Ersatzschaltung eines Resonatorfilters mit Transversalkopplung	36
Bild 37 – Übliche Übertragungsfunktionen eines Resonatorfilters mit Transversalkopplung.....	37
Bild 38 – Grundsätzliche Anordnung und OFW-Energieverteilung eines Resonatorfilters mit Longitudinalkopplung.....	38
Bild 39 – Übliche Übertragungsfunktionen eines Resonatorfilters mit Longitudinalkopplung	39
Bild 40 – Anordnung eines symmetrischen Resonatorfilters mit Transversalkopplung	40
Bild 41 – Übertragungsverhalten eines symmetrischen Resonatorfilters mit Transversalkopplung	40
Bild 42 – Anordnung eines symmetrischen Resonatorfilters mit Longitudinalkopplung.....	41
Bild 43 – Übliche Übertragungsfunktionen eines symmetrischen Resonatorfilters mit Longitudinalkopplung.....	43

	Seite
Bild 44 – Schematische Darstellung eines IIDT-Resonatorfilters.....	44
Bild 45 – Übertragungsfunktion eines IIDT-Resonatorfilters für den 820-MHz-Bereich	44
Bild 46 – Kleinste theoretische Umwandlungsverluste für verschiedene Substrate	46
Bild 47 – Beziehung zwischen relativer Bandbreite und Einfügungsdämpfung verschiedener OFW-Filter mit der Bandbreite für übliche Anwendungsfälle praktischer OFW-Filter	50
Bild 48 – Durch TTE oder Übersprechsignale verursachte Welligkeit in der Durchlasscharakteristik eines OFW-Filters: $\delta f = 1/(2t)$ für das TTE und $\delta f = 1/t$ für Übersprechsignale, wobei t die Verzögerung des OFW-Hauptsignals ist.....	51
Bild 49 – Beispiel für ein OFW-Filter im Metallgehäuse	52
Bild 50 – Beispiel für ein OFW-Filter im Keramikgehäuse	53
Bild 51 – Beispiel für ein OFW-Filter im Kunstharzgehäuse	53
Bild 52 – Beispiel für ein OFW-Filter im CSP-Gehäuse	53
 Tabelle 1 – Eigenschaften von üblichen Einkristall-Substratmaterialien.....	 48
Tabelle 2 – Eigenschaften von üblichen Dünnschicht-Substratmaterialien	48
Tabelle 3 – Eigenschaften von üblichen Keramik-Substratmaterialien	48

Einleitung

Diese Norm entspricht dem allgemein von Anwendern und Herstellern geäußerten Wunsch nach einem Leitfaden für die Anwendung von OFW-Filtern, der es ermöglicht, die Vorteile dieser Filter auf die bestmögliche Weise zu nutzen. Aus diesem Grund werden in diesem Leitfaden allgemeine und grundlegende Eigenschaften erläutert.

OFW-Filter zeichnen sich durch eine kleine Baugröße, ein geringes Gewicht, Abgleichfreiheit, hohe Stabilität und hohe Zuverlässigkeit aus. OFW-Filter bieten gegenüber Quarzfiltern und Keramikfiltern neue Eigenschaften und neue Anwendungsmöglichkeiten. Ursprünglich verstand man unter dem Begriff OFW-Filter Transversalfilter mit zwei Interdigitalwandlern (IDT). Obwohl OFW-Transversalfilter eine relativ hohe Grunddämpfung aufweisen, stellen sie Bauelemente mit ausgezeichneten Amplituden- und Phasenkennwerten dar. Es liegen viele Studien zur Reduzierung der Grunddämpfung vor, z. B. zur Resonatorfilter-Anordnung, zu unidirektionalen Interdigitalwandlern (UDT) und zu Interdigitalwandlern vom Gruppentyp (IIDT-Wandler). Zurzeit sind zahlreiche Arten von OFW-Filtern mit niedriger Grunddämpfung für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle bis zum Gigahertz-Bereich verfügbar.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60862 enthält praktische Hinweise für die Anwendung von OFW-Filtern in der Telekommunikation, in Messgeräten, in Radar-Systemen und in Konsumprodukten. Zu allgemeinen Angaben, Normwerten und Prüfbedingungen sollte auf IEC 60862-1 Bezug genommen werden.

OFW-Filter werden heute auf breiter Basis in einer Vielfalt von Anwendungen, z. B. in Fernseh-ZF-Stufen, Satelliten-Übertragungssystemen, Lichtwellenleiter-Übertragungssystemen, im Mobilfunk usw., eingesetzt. Obwohl diese Filter unterschiedlichen Anforderungen genügen, können sie zum größten Teil in wenige grundlegende Klassen eingeteilt werden.

Der Anwendungsbereich dieses Teils von IEC 60862 umfasst eine große Anzahl verschiedener Filteranordnungen mit einem Arbeitsfrequenzbereich von etwa 10 MHz bis 3 GHz und einer relativen Bandbreite zwischen 0,02 % und 50 % der Mittenfrequenz.

Es ist nicht das Ziel dieses Leitfadens, die Theorie zu erklären oder zu versuchen, alle Möglichkeiten zu behandeln, die sich in praktischen Fällen ergeben können. Dieser Leitfaden soll vielmehr die Aufmerksamkeit auf einige grundlegende Fragen lenken, die der Anwender berücksichtigen sollte, bevor er ein OFW-Filter für eine neue Anwendung bestellt. Der Anwender soll dadurch vor einem unbefriedigenden Ergebnis bewahrt werden.

Genormte Festlegungen nach IEC 60862 sowie nationale Festlegungen oder von Herstellern herausgegebene Bauartspezifikationen geben die verfügbaren Kombinationen von Nennfrequenz, Durchlassbandbreite, Welligkeit, Formfaktor, Abschlussimpedanz usw. an. Diese Angaben wurden zusammengestellt und umfassen einen weiten Bereich von OFW-Filtern mit genormten Eigenschaften. Es kann nicht genügend betont werden, dass der Anwender, sofern möglich, OFW-Filter mit genormten Eigenschaften auswählen sollte, auch wenn die Verwendung von Standardfiltern geringfügige Änderungen seiner Schaltung nach sich ziehen kann. Dies gilt insbesondere für die Auswahl der Nennfrequenz.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

Keine Dokumente.

3 Technische Einführung

Der Anwender ist in erster Linie daran interessiert, dass die Filtereigenschaften bestimmten Anforderungen genügen. Die Auswahl von Anpassungsnetzwerken und OFW-Filtern, die diese Anforderungen erfüllen, sollte zwischen Anwender und Hersteller vereinbart werden.

Filtereigenschaften werden gewöhnlich, wie in Bild 1 dargestellt, durch die Einfügungsdämpfung und die Gruppenlaufzeit als Funktion der Frequenz beschrieben. Ein genormtes Verfahren zur Messung der Einfügungsdämpfung und der Gruppenlaufzeit wird in IEC 60862-1:2003, 4.5.2, beschrieben. In einigen Anwendungen sind auch andere Eigenschaften, wie z. B. die Phasenverzerrung, von Bedeutung.

Die Kennwerte für den Verlauf der Einfügungsdämpfung werden durch die Angabe der Nennfrequenz, der kleinsten oder der höchsten Einfügungsdämpfung, der Durchlassbereich-Welligkeit sowie des Formfaktors näher festgelegt. Die Spezifikation ist zwischen der niedrigsten und der höchsten Temperatur des festgelegten Betriebstemperaturbereiches sowie vor und nach Umgebungsprüfungen einzuhalten.

OFW-Filter werden grob in zwei Arten eingeteilt, und zwar in Transversalfilter und Resonatorfilter. Bei den Transversalfiltern unterscheidet man fünf weitere Arten, und zwar bidirektionale IDT-Filter, unidirektionale IDT-Filter, IDT-Filter mit sich verjüngender Struktur, Reflektorfilter und RSPUDT-Filter (resonante

unidirektionale Einphasenwandler-Filter). Bei den Resonatorfiltern werden drei Arten unterschieden, und zwar Ketten- und Brückenfilter, gekoppelte Resonatorfilter und IIDT-Resonatorfilter. Die Grundlagen der OFW-Transversalfilter und der OFW-Resonatorfilter werden in Abschnitt 4 bzw. Abschnitt 5 dieser Norm beschrieben. In Bild 2 werden der Einsatzfrequenzbereich und die relative Bandbreite von OFW-Filtern im Vergleich mit Keramikfiltern, Quarzfiltern, dielektrischen Filtern, Spulenfiltern und Streifenleiterfiltern dargestellt.

4 Grundlagen der OFW-Transversalfilter

4.1 Übertragungseigenschaften

Es folgt eine kurze Beschreibung der OFW-Filter, die dem nicht fachkundigen Anwender das Verständnis der Besonderheiten und der Funktionsprinzipien der OFW-Filter erleichtern soll. OFW-Filter arbeiten mit einer Oberflächenwelle, üblicherweise der sogenannten Rayleigh-Welle. Die mechanische Energie, die von der Welle transportiert wird, ist in einer Oberflächenschicht mit der Tiefe einer Wellenlänge konzentriert. Die Welle breitet sich entlang der Oberfläche von Festkörpern mit einer Geschwindigkeit von 10^3 m/s bis 10^4 m/s aus und eröffnet die Möglichkeit, mit OFW-Filtern Filterfunktionen im VHF- und UHF-Bereich zu realisieren. OFW-Filter besitzen eine planare Struktur mit Elektroden auf der Oberfläche eines piezoelektrischen Substrates, wobei die Elektroden in geeigneter Weise als Mittel zur Umwandlung zwischen Oberflächenwellen und elektrischen Signalen angeordnet sind.

Bild 3 zeigt den Signalfluss durch ein Transversalfilter. Das Filter besteht aus N Anzapfungen, die durch Verzögerungsstrecken D_n getrennt sind. Jede Anzapfung ist mit einem Koeffizienten A_n gewichtet. Die Filterfunktion wird dadurch erreicht, dass das Signal durch eine Anzahl von Verzögerungsstrecken gesendet wird und die verzögerten Signale addiert werden. Die Verzögerungsstrecken entsprechen den Positionen der IDT-Finger auf dem Substrat. Die Koeffizienten entsprechen der Wichtung der IDT-Finger. Die Übertragungsfunktion des Filters $H(f)$ bei der Frequenz f erhält man durch eine diskrete Fourier-Transformation, wie in der folgenden Gleichung (1) beschrieben.

$$H(f) = \sum_{n=1}^N A_n \exp(-j 2 \pi f T_n) \quad T_n = \sum_{i=1}^n D_i \quad (1)$$

Dabei ist T_n die Gesamtverzögerung der n -ten Anzapfung.

Die Amplitude und die Phase eines Transversalfilters werden durch zwei Variablensätze bestimmt: die Wichtungskoeffizienten A_n und die Verzögerungen D_n der Anzapfungen.

Ein OFW-Transversalfilter enthält im Wesentlichen zwei Wandler auf einem piezoelektrischen Substrat, wie in Bild 4 dargestellt. Legt man ein elektrisches Signal an den Eingangs-IDT, so wird aufgrund des piezoelektrischen Effekts eine Oberflächenwelle angeregt, die sich entlang der Oberfläche des Substrates nach beiden Seiten ausbreitet. Die Oberflächenwelle wird am Ausgangs-IDT wiederum in ein elektrisches Signal umgewandelt. Ist die räumliche IDT-Periode konstant $2d$, dann wird der höchste Wirkungsgrad der Umwandlung bei der Frequenz erreicht, bei der die Oberflächenwelle synchron mit einer HF-Signal-Periode genau eine Wandler-Periode zurücklegt. Die Mittenfrequenz f_0 eines IDT ergibt sich aus der Synchronisationsbedingung:

$$2df_0 = v_s \quad (2)$$

Dabei ist v_s die OFW-Geschwindigkeit.

Sind die beiden Wandler eines OFW-Transversalfilters identisch, ergibt sich die in Bild 5 dargestellte Übertragungsfunktion. Die Übertragungsfunktion $T(f)$ ist näherungsweise:

$$T(f) = \left(\frac{\sin x}{x} \right)^2 \quad (3)$$

Dabei ist:

$$x = \frac{N\pi(f - f_0)}{f_0} \text{ und}$$

N die Anzahl der Fingerpaare.

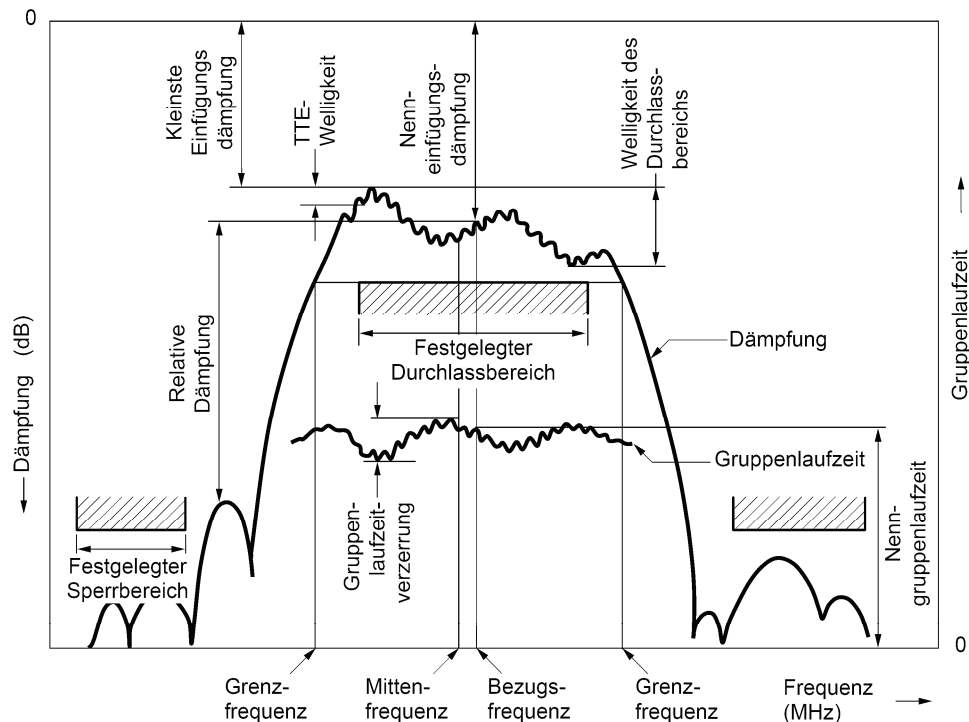


Bild 1 – Übertragungsfunktion eines OFW-Filters

4.2 Wichtungsverfahren

Ein IDT verhält sich wie ein Transversalfilter mit N Anzapfungen für die Wichtung. Es können mehrere Wichtungsverfahren angewendet werden, z. B. die Überlappungs-, Ausdünnungs- oder Reihenwichtung.

a) Überlappungswichtung

Am häufigsten werden zur Erzielung einer Wichtung überlappungsgewichtete Wandler, wie in Bild 6 gezeigt, verwendet. Oberflächenwellen werden nur in den Überlappungsbereichen zwischen benachbarten Fingern unterschiedlicher Polarität angeregt oder empfangen.

b) Ausdünnungswichtung

Die gewünschte Wichtungsfunktion wird durch selektives Entfernen von Fingern, wie in Bild 7 dargestellt, erreicht.

c) Reihenwichtung

Die Wichtung wird durch eine kapazitive Spannungsteilung an den in einzelne Elemente aufgeteilten Fingerpaaren, wie in Bild 8 gezeigt, erreicht.

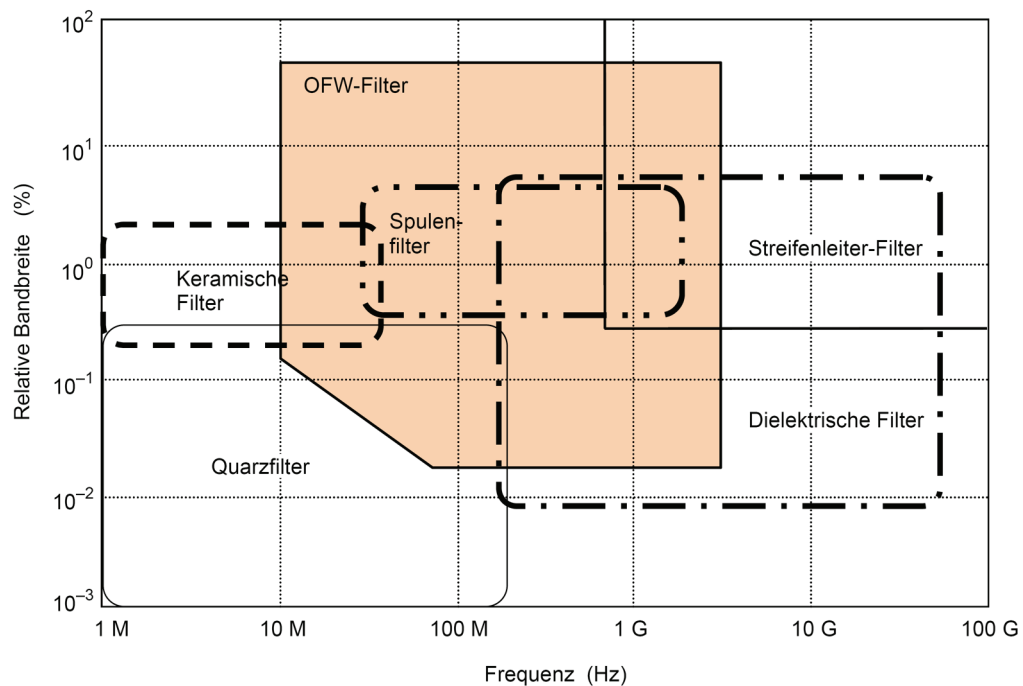


Bild 2 – Anwendbare Frequenzbereiche und relative Bandbreite von OFW-Filtern und anderen Filterarten

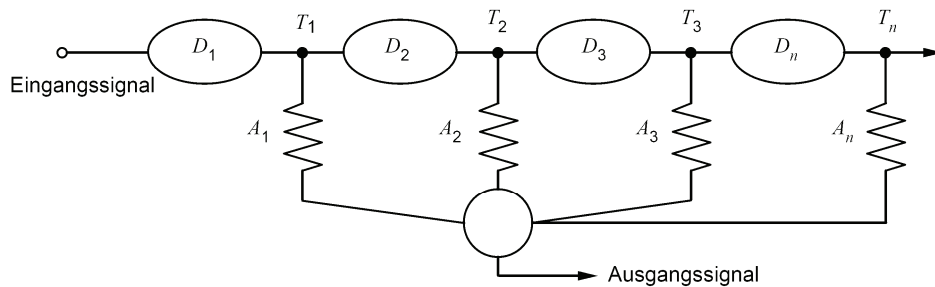


Bild 3 – Schematische Darstellung des Signalfusses in einem Transversalfilter

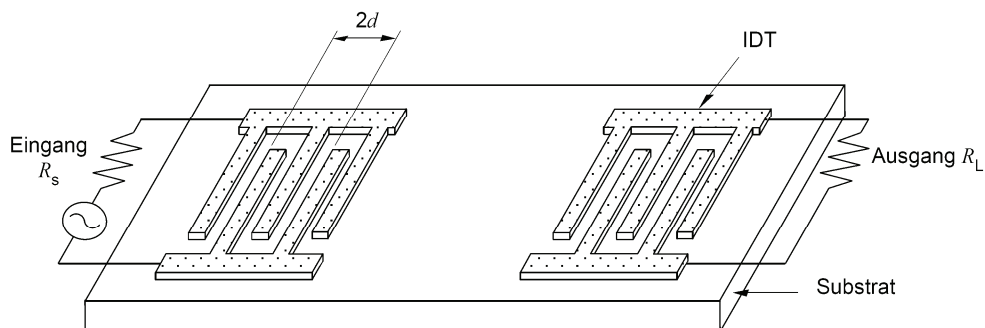


Bild 4 – Grundlegende Anordnung eines OFW-Transversalfilters

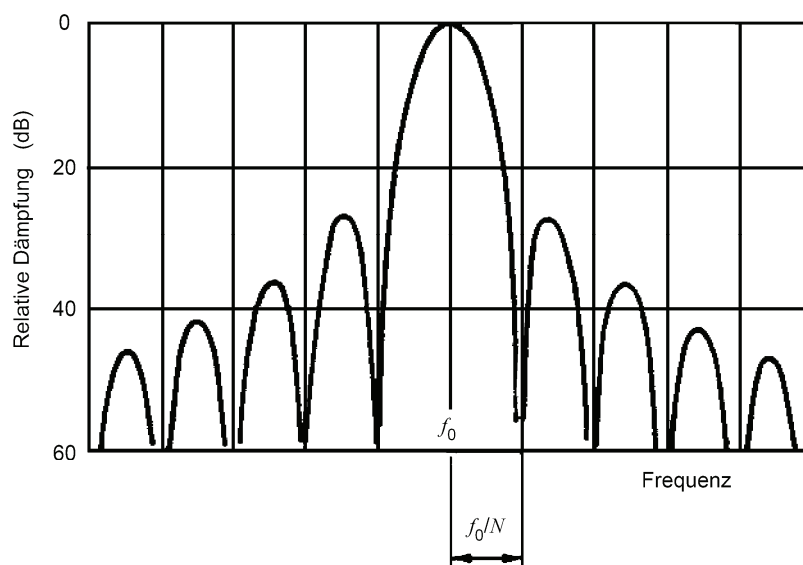


**Bild 5 – Übertragungsfunktion des in Bild 4 dargestellten OFW-Transversalfilters;
 f_0 ist die Mittenfrequenz und N ist die Anzahl der Fingerpaare des IDT**



Bild 6 – Überlappungswichtung durch Variation der Fingerüberlappung



Bild 7 – Ausdünnungswichtung durch selektives Entfernen von Fingern

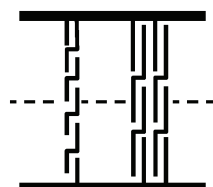


Bild 8 – Reihenwichtung durch Aufteilung der Finger in einzelne kapazitiv gekoppelte Elemente

4.3 Filteranordnungen und ihre allgemeinen Kennwerte

4.3.1 Allgemeines

In einigen Fällen wird eine Mehrfachfinger-Anordnung nach Bild 9 anstelle der Einfachfinger-Anordnung nach Bild 4 angewendet, um OFW-Reflexionen an den Metallfingern zu verringern. Bei dieser Geometrie löschen sich die an Stoßstellen der akustischen Impedanz auftretenden Reflexionen in jedem Fingerpaar gegenseitig aus. Diese Anordnung der Finger ist gegenwärtig bei OFW-Filtern für Fernseh-ZF-Stufen usw. weit verbreitet.

Gewöhnliche IDTs zeigen bidirektionales Verhalten. Diese bidirektionalen IDTs senden und empfangen Oberflächenwellen (OFW) in bzw. aus zwei Richtungen. So wandelt z. B. ein Sende-IDT ein elektrisches Signal in eine OFW um. Die OFW breitet sich in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung mit gleicher Intensität aus. Ein Empfangs-IDT empfängt beide Wellen mit dem gleichen Wirkungsgrad. Das bedeutet, dass die Bidirektionalitätsverluste im Sende-IDT und im Empfangs-IDT jeweils etwa 3 dB betragen. Deshalb haben bidirektionale Zwei-Wandler-Filter grundsätzlich einen Bidirektionalitätsverlust und eine Grunddämpfung von 6 dB. Darüber hinaus wird bei diesen gewöhnlichen OFW-Filtern bei Anpassung der Impedanzen des Sende- bzw. des Empfangs-IDT an die Außenbeschaltung als Begleiterscheinung der Bidirektionalität durch das Tripeltransitecho (TTE) eine starke Durchlassbereich-Welligkeit hervorgerufen.

Zur Verringerung der bidirektionalen Verluste und des Tripeltransitechos (TTE) werden in OFW-Transversalfiltern Mehrfach-IDT-Filter vom Gruppentyp (IIDT-Filter) (einschließlich Drei-Wandler-OFW-Filter) und weitere unidirektionale IDT-Filter (einschließlich gefächerte IDT-Filter) verwendet.

Als eine Art der Transversalfilter können zusätzlich Reflektorfilter aufgenommen werden (siehe Bilder 21 und 22). Dabei wird die Gittertechnik vielfach als Reflektor angewendet, welcher die OFW-Ausbreitungsrichtung mit geringfügiger Beeinflussung des Reflexionsfrequenzganges verändert. Bei den Reflektorfiltern kommen nicht nur deren eigene, aus den Wandlern abgeleitete Transversalfilter-Eigenschaften, sondern auch die Reflexionsfrequenzgänge des Reflektors in verschiedenen Gitteraufbauarten zur Anwendung, um die Übertragungsfunktion des Filters aktiv zu beeinflussen und um die Chiplänge durch Faltung der OFW-Ausbreitung zu verringern. Die Untersuchungen dieser verschiedenen Reflektorfilter haben zu neuen Filtertechnologien geführt, die als resonante unidirektionale Einphasenwandler-Filter (RSPUDT-Filter) bezeichnet werden.

Im Folgenden wird eine kurze Zusammenfassung der Anordnungen, der Wirkprinzipien und/oder Kennwerte verschiedener Arten von OFW-Filtern angegeben.

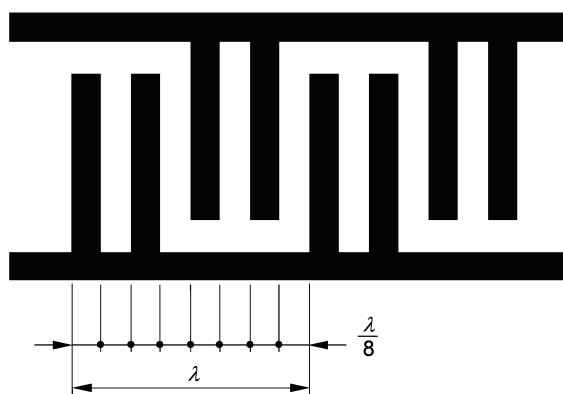


Bild 9 – Mehrfachfinger-Anordnung

4.3.2 Bidirektionale IDT-Filter

4.3.2.1 Bidirektionale Zwei-Wandler-Filter

In einem gewöhnlichen bidirektionalen Zwei-Wandler-IDT-Filter nach Bild 4 wird das TTE zulasten der Einfügungsdämpfung durch Fehlanpassung der IDTs an die Außenbeschaltung auf einen ausreichend kleinen Wert reduziert.

a) Frequenzsymmetrische Bandpässe (Bandfilter)

Die Mittenfrequenz und die Bandbreite eines IDT werden durch die Periode der Finger bzw. die Anzahl der Fingerpaare bestimmt. Als Phasencharakteristik ergibt sich eine proportional zur Frequenz ansteigende Phasenverschiebung. Die Gruppenlaufzeit ist deshalb im Durchlassbereich konstant. Eine übliche Anwendung eines frequenzsymmetrischen Bandfilters ist das ZF-Filter in einer Funkübertragungseinrichtung. Als Systemanforderung sind eine lineare Phasencharakteristik und eine gleichmäßige Amplitudencharakteristik im Durchlassbereich zu bevorzugen. Bild 10 zeigt einen typischen Frequenzgang eines OFW-Filters mit der Nennfrequenz 70,0 MHz. Es gibt auch OFW-Filter mit höheren Nennfrequenzen und höherer Trennschärfe.

b) Frequenzunsymmetrische Bandfilter

Die Amplituden- und Phasencharakteristiken von OFW-Transversalfiltern können unabhängig voneinander entworfen werden. Mit hoch entwickelten Entwurfstechniken lassen sich hinsichtlich der Bezugsfrequenz asymmetrische Durchlassbereichs-, Sperrbereichs- und/oder Gruppenlaufzeitcharakteristiken realisieren. OFW-Filter für Fernseh-ZF-Stufen zeigen eine unsymmetrische Übertragungsfunktion, wie in Bild 11 dargestellt.

c) Andere Filter-Klassen

Es wurden auch Kammfilter vorgeschlagen, die ebenfalls verfügbar sind. Angepasste OFW-Filter werden in modernen nichtmilitärischen Systemen mit Bandspreizung (en: Spread Spectrum – SS) eingesetzt, z. B. in drahtlosen lokalen Netzwerken (LAN) usw. Für moderne Nachrichtenübertragungssysteme wurden OFW-Filter mit Nyquist-Charakteristik entwickelt.

4.3.2.2 OFW-Filter mit Mehrfach-Interdigitalwandlern/Interdigitalwandlern vom Gruppentyp (IIDT)

Mehrfach-IDT- oder IIDT-Filter wurden aus den Drei-Wandler-Filtern aufgrund der steigenden Forderung nach verlustarmer Filterung entwickelt. Im Folgenden wird deshalb eine kurze Erläuterung zu Drei-Wandler-Filtern gegeben.

a) Drei-Wandler-Filter

Ein OFW-Filter dieses Typs enthält zwei identische Empfangs-IDTs, die symmetrisch um den mittleren Sende-IDT angeordnet sind, wie in Bild 12 dargestellt. Wenn der symmetrisch ausgeführte mittlere Wandler angepasst und auf die Mittenfrequenz abgeglichen ist, werden die beiden gegeneinander gerichteten Oberflächenwellen vollständig absorbiert; das stellt den zur Erzeugung der beiden Oberflächenwellen durch einen abgestimmten und angepassten Wandler inversen Prozess dar. Gleichzeitig kann durch Abstimmen auf die Mittenfrequenz und Anpassen der beiden miteinander verbundenen Empfangswandler die Einfügungsdämpfung auf 3 dB verbessert und das TTE eliminiert werden. In Bild 13 ist eine typische Übertragungsfunktion eines Drei-Wandler-Filters für den 900-MHz-Bereich dargestellt.

Dieses Funktionsprinzip wird auch auf Mehrfach-IDT-Filter ausgedehnt.

b) OFW-Filter mit Mehrfach-Interdigitalwandlern/Interdigitalwandlern vom Gruppentyp

Mehrfach-IDT- oder IIDT-Filter bestehen aus Eingangs-IDTs, die in Bezug auf die Ausgangs-IDTs kammartig ineinander angeordnet sind. Das in Bild 14 schematisch dargestellte Filter enthält $(N + 1)$ Eingangswandler und N Ausgangswandler. Durch diese Anordnung wird der bidirektionale 6-dB-Verlust des Zwei-Wandler-Filters auf einen wesentlich kleineren Wert reduziert, und bei Anpassung der Eingangs- und Ausgangstore an die Außenbeschaltung wird das Tripeltransitecho eliminiert.

Wenn die Eingangs- und Ausgangswandler abgestimmt und an die Außenbeschaltung angepasst sind, wird die Einfügungsdämpfung des in Bild 14 dargestellten Filters auf den verbleibenden, durch die am weitesten außen liegenden Eingangswandler verursachten bidirektionalen Verlust reduziert, der zur Anzahl der Wandler wie folgt umgekehrt proportional ist:

$$10 \log \frac{N+1}{N} \quad \text{dB}$$

4.3.3 Unidirektionales IDT-(UDT-)Filter

4.3.3.1 Anordnung

Sowohl die geringe Einfügedämpfung als auch die ausgezeichneten Übertragungseigenschaften unidirektionaler Filter beruhen auf der Richtungsabhängigkeit der Oberflächenwellenausbreitung. Die Filter weisen eine ideale Einfügedämpfung von unter 1 dB auf, und Amplituden- und Phasencharakteristik können unabhängig voneinander geregelt werden. Sie werden grob in zwei Klassen eingeteilt. Zur ersten Klasse gehört der unidirektionale Mehrphasenwandler, der mit elektrischen Feldern unterschiedlicher Phasendifferenzen betrieben wird. Zur zweiten Klasse gehört der unidirektionale Einphasenwandler, der an einem Feld gleicher Phase betrieben wird.

a) Unidirektionale Mehrphasenwandler

Für diese Klasse sind dreiphasige unidirektionale Mehrphasenwandler und unidirektionale Wandler vom Gruppentyp repräsentativ. Die Unidirektionalität der dreiphasigen Wandler beruht auf einer Phasendifferenz der angelegten Spannungen von jeweils 120° . In diesem Fall muss jedoch eine dritte Elektrode mit einer Isolierbrücke über eine der anderen Elektroden geführt werden, wodurch das Filter nicht mehr exakt flächig und weniger zuverlässig ist.

Der in Bild 15 dargestellte unidirektionale Wandler vom Gruppentyp ist geeignet, die gerade erwähnten Nachteile zu vermeiden. Der unidirektionale Wandler mit nur wenigen Elektrodenpaaren, die mit einer elektrischen Phasenverschiebung von 90° erregt werden, wird als eine Gruppe betrachtet. Viele Gruppen können dann kollinear angeordnet werden, dabei wird das Signal jeder Gruppe zu den Signalen der anderen Gruppen phasengleich addiert, wodurch sich ein Filter mit geringer Einfügedämpfung ergibt. Bei diesem Wandlertyp können auch herkömmliche Wichtungverfahren angewandt werden.

b) Unidirektionale Einphasenwandler (SPUDTs)

Bei den unidirektionalen Einphasenwandlern (SPUDTs) werden Reflexionen innerhalb des Wandlers ausgenutzt, um unidirektionales Verhalten zu erzeugen. Die grundlegende Anordnung unidirektionaler Wandler mit Reflexion an potentialfreien Innenelektroden, die als unidirektionale Wandler mit potentialfreien Elektroden (en: floating electrode unidirectional transducer – FEUDT) bezeichnet werden, wird in den Bildern 16a) bis 16c) schematisch dargestellt. Der Wandler nach Bild 16a) weist unidirektionales Verhalten auf, weil potentialfreie, untereinander nicht verbundene Metallstreifen in der Mitte zwischen den positiven und negativen Elektroden mit einem Offset angeordnet sind. Ähnliche Anordnungen von potentialfreien kurzen Metallstreifen sowie deren Kombinationen werden in Bild 16b) bzw. Bild 16c) dargestellt. Weitere SPUDTs, bei denen die interne Reflexion nicht durch eine Innenelektrode genutzt wird, sind in Bild 16d) und Bild 16e) dargestellt. Die Anordnung in Bild 16d) wird als Wandler mit verteilter akustischer Reflexion (en: distributed acoustic reflective transducer – DART) und die in Bild 16e) als Anordnung mit Mehrfachfingern unterschiedlicher Breite (en: different width split finger – DWSF) bezeichnet. Ähnliche Wandler wie DART werden als elektrodenbreitengesteuerte (en: electrode width controlled – EWC) SPUDTs bezeichnet, und der Unterschied zwischen DART und EWC liegt nur in der Breite der breiteren Finger. Sie beträgt $\frac{3}{8} \lambda$ bei DART und $\frac{1}{4} \lambda$ bei EWC. DWSF beruht auf dem herkömmlichen Mehrfachfinger-Wandler. Bei DWSF sind die Breite des einen Fingers eines Mehrfachfinger-Paares und die Breite eines anderen Fingers des Paares unterschiedlich, aber die Periode des Paares bleibt bei einer halben Wellenlänge. Dadurch bekommt diese Anordnung ein unidirektionales Verhalten.

4.3.3.2 Wirkungsweise

a) Unidirektionale Mehrphasenwandler

Bei unidirektionalen Mehrphasenwandlern beträgt der Phasenunterschied zwischen der von den Sendelektroden erregten Welle (Zuführung des elektrischen Feldes über ein 90° -Phasendrehglied nach Bild 15) und der von den Reflektoren erregten Welle innerhalb einer Gruppe in Vorwärtsrichtung null (gleichphasig) und in der Gegenrichtung 180° (gegenphasig). Einfache, experimentell ermittelte Filteranordnungen weisen bei einer Mittenfrequenz von 99,2 MHz eine Grunddämpfung von 1,0 dB und einen Durchlassbereich-Welligkeit von unter 0,2 dB auf. Der Wandler hat in diesem Fall 4 Elektrodenpaare und 11 Elektrodengruppen. Es wurden ein LiNbO_3 -Einkristall, 128° gedrehter Y-Schnitt, X-Keimplatte und ein 50- Ω -Koaxialkabel als OFW-Ausbreitungsmedium bzw. ein 90° -Phasenschieber verwendet.

Die experimentell ermittelte Dämpfungs-Frequenz-Charakteristik eines 70-MHz-OFW-Filters für die ZF-Stufe einer zellularen, digitalen Landfunkstelle ist in Bild 17 dargestellt. Der Eingangswandler besteht in diesem Fall aus einem unidirektionalen Mehrphasenwandler ohne Überlappungswicklung, während der Ausgangswandler ein bidirektionaler Wandler mit Überlappungswicklung ist. Diese Wandler befinden sich auf einem Substrat aus einem LiNbO_3 -Einkristall, 128° gedrehter Y-Schnitt, X-Keimplatte. Dieses Filter weist im Frequenzbereich von $(70 \pm 1,6)$ MHz, eine Einfügungsdämpfung von 8 dB und eine Durchlassbereich-Welligkeit von $0,2 \text{ dB}_{\text{Spitze-Spitze}}$ auf.

b) Unidirektionale Einphasenwandler

Aufgrund einer bilateralen Asymmetrie der inneren Struktur des Wandlers beträgt bei unidirektionalen Einphasenwandlern der Phasenunterschied zwischen den erregten Wellen und den reflektierten Wellen in Vorwärtsrichtung null (gleichphasig) und in der Gegenrichtung 180° (gegenphasig). Zur Erzeugung der Asymmetrie verwendet man Massenbelastung, Reflektorfeld, Änderungen des elektromechanischen Kopplungsfaktors und Reflexionen an der potentialfreien Innenelektrode. Die Wandler werden in einem photolithographischen Prozessschritt hergestellt und benötigen kein äußeres Phasendrehglied. In Bild 18 wird das experimentelle Ergebnis eines unidirektionalen Einphasenwandlers nach Bild 16c) mit potentialfreien, kurzen, nicht miteinander verbundenen inneren Elektroden dargestellt. Ein Abgleich wird ermöglicht, indem jedem Wandler die Querinduktivität einer Drahtwindung von 200 nH parallel geschaltet wird. Die erzielte Einfügungsdämpfung beträgt 2,3 dB bei 97,3 MHz. Die Bandbreite des Filters beträgt etwa 3,0 %.

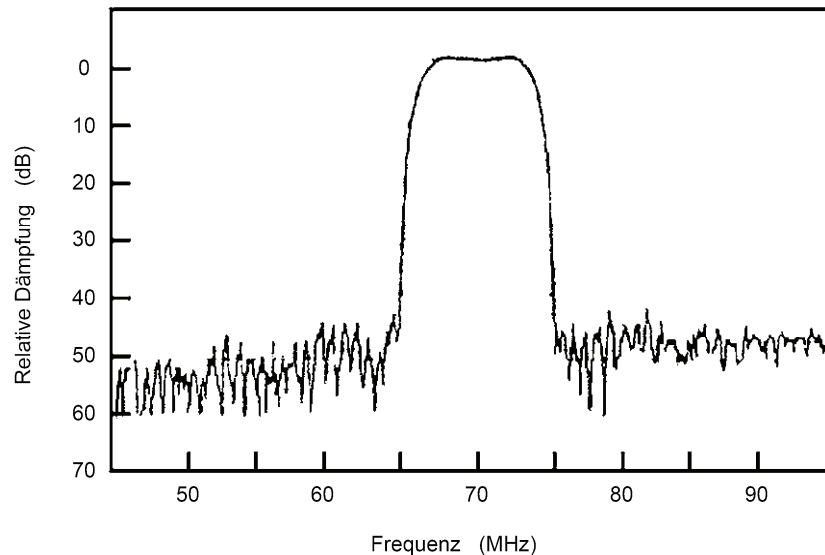


Bild 10 – Übliche Übertragungsfunktion eines OFW-ZF-Filters für eine Funkübertragungseinrichtung (Nennfrequenz 70 MHz)

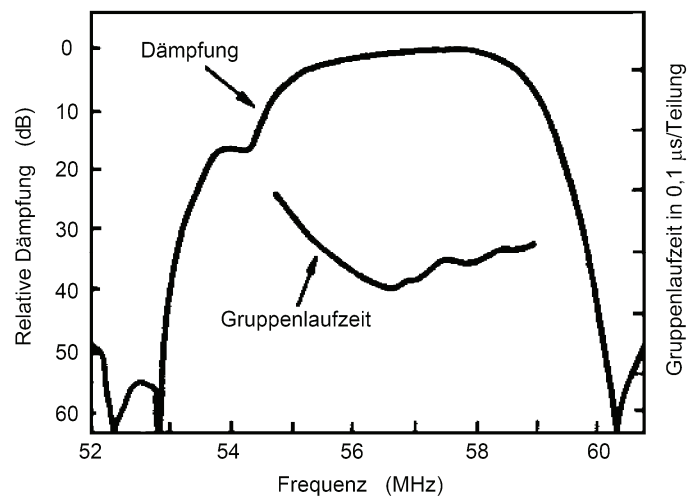


**Bild 11 – Übliche Übertragungsfunktion eines frequenzunsymmetrischen OFW-Filters
(Nennfrequenz 58,75 MHz für Fernseh-ZF-Anwendungen)**

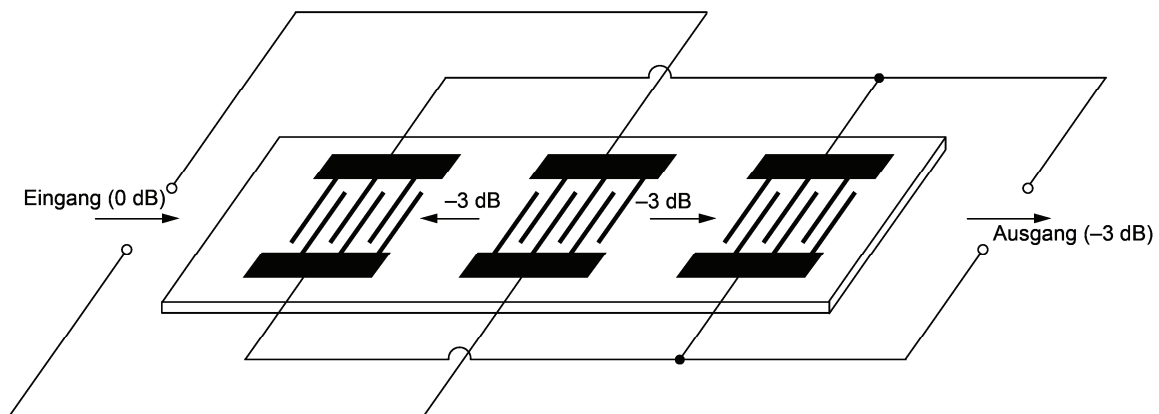


Bild 12 – Drei-Wandler-OFW-Filter