

Welcher Filtertyp ist der richtige für meine Anwendung?

Diese Frage beantwortet der Grundlagenbeitrag recht informativ, indem er die meisten aktuellen Filterdesign-Möglichkeiten näher vorstellt.

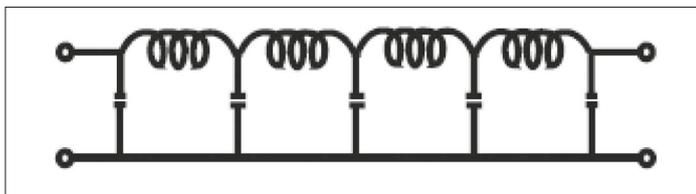


Bild 1: Schaltbild für ein Tiefpassfilter

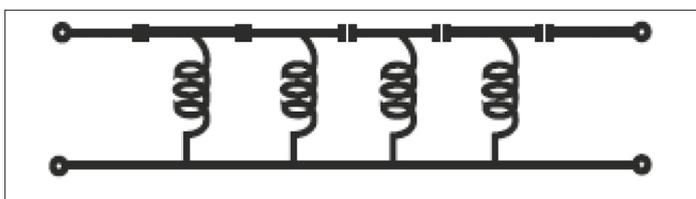


Bild 2: Schaltbild für ein Hochpassfilter

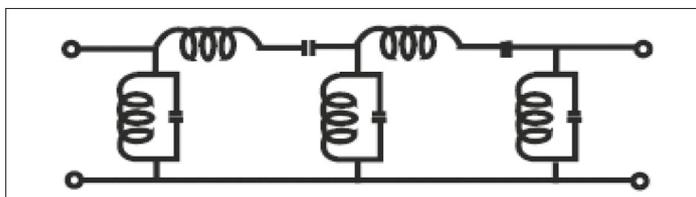


Bild 3: Schaltbild für ein Bandpassfilter

Hochfrequenz- und Mikrowellengeräte haben sich schnell weiterentwickelt, um höhere Frequenzen und Leistungen in kleineren und leichteren Gehäusen zu geringeren Kosten zu nutzen. HF-Filter sind notwendig, um unerwünschte Signale in Geräten für die drahtlose Kommunikation, wie Satelliten-, Radar- und Rundfunkanwendungen, sowohl in Sende- als auch in Empfangsmodulen zu blockieren. Doch welches Filter ist das richtige für Ihre künftige Anwendung?

Diskrete Filter

sind am längsten bekannt. Auch heute noch werden sie gefertigt und eingesetzt aufgrund ihrer weitläufigen Anpassungsfähigkeit. Die Bilder 1 bis 3 zeigen Grundstrukturen. Bandpass, Tiefpass, Hochpass oder Band-

sperrere können eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen und dabei ein gutes Gleichgewicht zwischen Frequenzbereich (5 MHz bis 10 GHz), Durchgangsdämpfung und Steilheit der Filterflanken erreichen. Dementsprechend finden sie sich in Sende-/Empfangsmodulen, Aufwärts-/Abwärtswandlern, zur Instrumentierung, in Satellitenkommunikation, Radar- und Rundfunkanwendungen.

Ein besonderer Vorteil der diskreten Filter ist die Flexibilität der Bandbreiten, denn diese Filter können sehr schmal oder sehr breit sein (bis minimal <0,5% Bandbreite). Dies ermöglicht es ihnen, eine Präzisionsleistung zu erzielen, wenn geringe Größe und Zuverlässigkeit entscheidend sind. Eine solche Anwendung ist das Combat Navigation and Identification (CNI) System in Militärflugzeugen, wo diskrete Filter integrierten Avioniksystemen der neuen Generation helfen, mehrere kritische Funktionen gleichzeitig zu erfüllen - von der Identifizierung von Freund oder Feind und Präzisionsnavigation bis hin zu verschiedenen Sprach- und Datenübertragungen.

Diskrete Filter, auch bekannt als Lumped-Element- oder Chip- und-Draht-Topologien, enthalten diskrete Spulen und Kondensatoren. Die Filter-Designs nutzen die Resonanzen von Kondensator- und Induktor-Paarungen, um Pole und Nullstellen im Frequenzbereich zu erzeugen und um die gewünschte Filterantwort zu simulieren. Die Werte dieser Komponenten werden so gewählt, dass die Pole und Nullstellen strategisch so ausfallen, dass der gewünschte Frequenzgang des Filters erreicht wird. Die Bilder 4 bis 6 stellen ein solches Filter näher vor.

Ein vereinfachtes Beispiel für ein Ersatzschaltbild mit gemeinsamen Polen und Nullstellen ist Bild 7 dargestellt. Die Resonanzfrequenz für diese Schaltungen wird durch die Werte der Induktivität und des Kondensators gemäß der bekannte Thomsonschen Gleichung bestimmt. Die Filterentwickler platzieren die Resonanzstrukturen in ihren Entwürfen in geeigneter Weise, um die gewünschte Filterantwort zu erreichen.

Die Vielseitigkeit des Einsatzes von Resonanzstrukturen ermöglicht viele Anwendungen für die diskreten Filter-Designs. Möglich sind Filter von nahe DC bis hin zum X-Band. Die obere Frequenzgrenze ergibt sich in erster Linie aus der Verfügbarkeit und Toleranz von Bauteilen mit sehr kleinen Werten (pH oder fF bzw. nH), die auch effizient sind (dissipative Verluste). Daher sind Anwendungen, die sich gut für diskrete Filter-Designs eignen Kommunikation, Radar und Oberwellenfilterung für Frequenzquellen oder Frequenzmischung. Die Entwürfe können für raue Umgebungen geeignet sein, wie z.B. Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt mit Verfahren zur Reduzierung der Vibrationsempfindlichkeit. Diese Filter eignen sich für kommerzielle, industrielle, militärische und Raumfahrtanwendungen.

Hohlraumfilter (Cavity Filters)

kommen zum Einsatz, wenn der Platz keine Rolle spielt und extrem niedrige Verluste, scharfe Selektivität und hohe Leistung Prioritäten sind. Bild 8 zeigt ein Beispiel. Hohlraum-Designs sind fast so vielseitig wie diskrete Filter: Hoch- und Tiefpässe können für Anwendungen mit geringer PIM und geringen Verlusten in hängenden Stripline-Topologien realisiert werden, während

Quelle:

White Paper:

RF Filter Topologies,

Understanding the

Performance Aspects of

Different Filter Topologie,

4.4.2022

by Sean Adams and

Mike Schweyer

Smiths Interconnect,

Salisbury, MD United States

frei übersetzt von FS

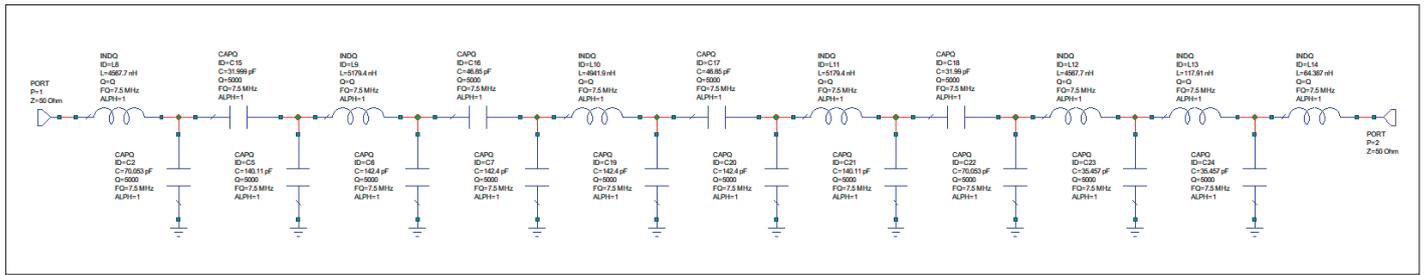


Bild 4: Schaltung eines diskreten Bandpassfilters



Bild 5: Ausführung eines diskreten Bandpassfilters

Bandpass- und Bandsperrfilter entweder mit dielektrischen Resonatoren, Metall-, Metallkoaxial- oder Hohlleitertopologien realisiert werden können.

Darüber hinaus bieten sie variable Bandbreiten (< 0,5% bis > 66%), extrem niedrige Verluste und ausgezeichnete Temperaturstabilität. Dies macht sie attraktiv für eine Vielzahl von Anwendungen im Bereich von 30 MHz bis 80 GHz von der militärischen und kommerziellen Luft- und Raumfahrt und unbemannten Luftfahrzeugen bis hin zu Weitverkehrsnetzen.

Ihre Eignung für Kilowatt-Durchsatz in Verbindung mit der Fähigkeit zur Massenproduktion und niedrigen Kosten haben sie in letzter Zeit in den Vordergrund gerückt durch die Satellitenkommunikation. Infolgedessen waren sie der Filtertyp der Wahl für die neuen bodengestützten Antennenstationen, die nahtlose, superschnelle und genaue Übergaben zwischen LEO-Satelliten (Low Earth Orbit) bewerkstelligen.

Die Hohlraumfilter gibt es als Koaxialfilter, die aus einem Innen- und Außenleiter bestehen, als Hohlleiter aus Metall, der nur aus einem Außenleiter besteht,

und als Dielektrikum, bei dem die Felder meist in einem hochdielektrischen keramischen Material enthalten sind.

Die Theorie ist bei allen Konstruktionen ähnlich: Es wird eine elektromagnetische Welle erzeugt, die in den Leitern unterstützt oder eingeschränkt wird. Die Abmessungen der Leiter bestimmen die Randbedingungen, insbesondere die Resonanz. Die Frequenz dieser Resonanz wird als Hauptmode bezeichnet.

Sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld können transversale Moden sein, bei denen das gesamte Feld in der x-y-Ebene liegt und keine z-Komponente hat. Wenn das elektrische Feld einer Welle transversal ist, wird sie als transversaler elektrischer Modus (TE) bezeichnet. Wenn das magne-

tische Feld transversal ist, wird die Welle als transversale magnetische Welle (TM) bezeichnet. Wenn sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld transversal sind, wird die Welle als transversaler elektromagnetischer Modus (TEM) bezeichnet. Koaxiale Konstruktionen können die TEM-Welle unterstützen, aber ein einzelner Leiter ist nicht in der Lage, einen TEM-Modus zu unterstützen.

Es gibt mehrere ganzzahlige Lösungen von Moden, die innerhalb einer bestehenden Geometrie existieren können, und diese Moden werden durch einen tiefgestellten Index des elektrischen oder magnetischen Feldes gekennzeichnet. Ein wichtiger Modus für diese Resonanzstrukturen ist beispielsweise der TE_{10} -Modus. Dieser Modus hat die niedrigste Grenzfrequenz

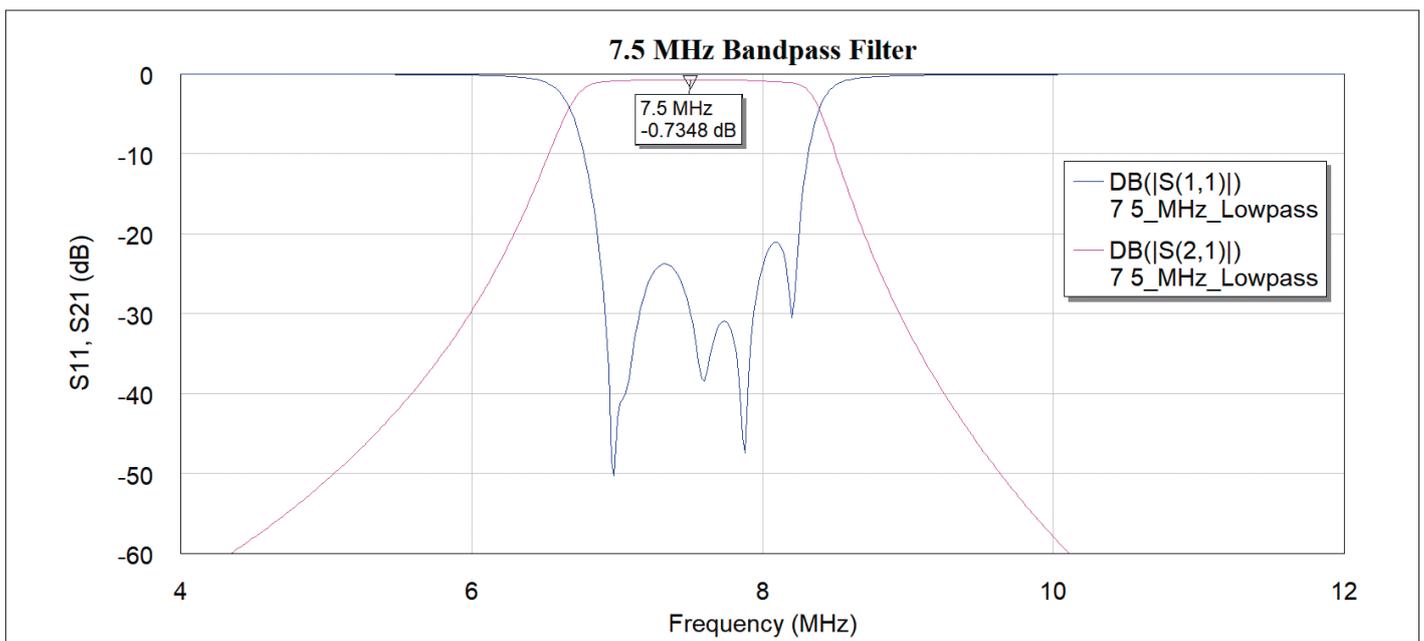


Bild 6: Frequenzgang und Anpassungsverlauf

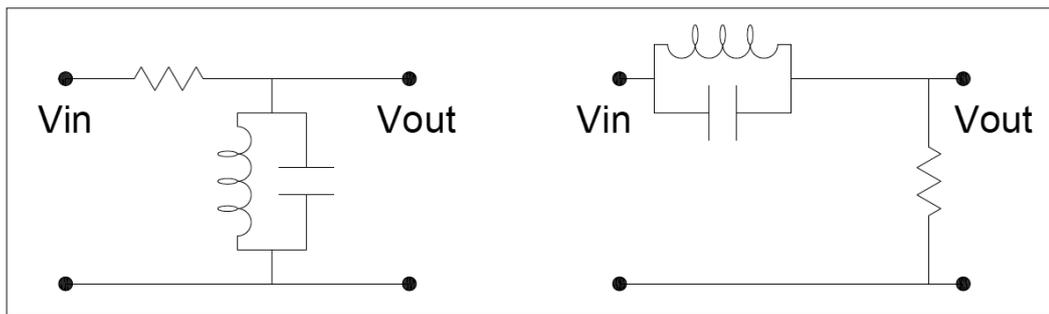


Bild 7: Struktur für Bandpass- (links) und Bandstopfilter (rechts)

und ermöglicht niederfrequente Resonanzen innerhalb des Hohlraumfilters.

Es ist wichtig zu wissen, dass die in diesen Filtern verwendeten Leiter eine sehr hohe Leitfähigkeit haben, die für den geringen Verlust und die Fähigkeit, hohe Leistungen in diesen Filtern zu transportieren, verantwortlich ist. Da die Theorie jedoch auf die physikalischen Grenzen der elektromagnetischen Wellen innerhalb des Mediums basiert, sind die Abmessungen in der Regel sehr groß.

Die typischen Anwendungen für diese Art von Filtern sind Systeme, bei denen geringe Verluste wichtig sind. Beispiele hierfür sind Sender in Kommunikations- und Radarsystemen, die in der Regel eine hohe Leistung für verbesserte Reichweite einsetzen. Satellitenempfänger sind eine weitere Anwendung für diese

Art von Filtern, um die Reichweite der Kommunikation mit Bodenstationen zu verbessern.

Keramische Filter

können die richtige Lösung sein, wenn die Leistung weniger kritisch, aber der Preis ein entscheidender Faktor ist, da sie eine gute, zuverlässige Leistung zu geringeren Kosten bieten. Außerdem sind sie in der Regel schnell auf den Markt zu bringen, da sie eine kurze Entwicklungsphase haben. Bild 9 zeigt ein Produkt. Sie eignen sich daher für die kommerzielle Kommunikation, wo ein harter Wettbewerb ein ständiges „Überbieten“ erfordert. Eine besondere Anwendung, bei der sie sich durchgesetzt haben, ist die Drohnen-Industrie.

Die keramischen Stäbe oder Resonatoren werden mithilfe einer Kopplungslatine kapazi-

tiv gekoppelt, die in der Regel mit einer doppelseitigen Leiterplatte hergestellt wird, die das Ansprechverhalten des Filters steuert. Auf der Kopplungslatine können verschiedene dielektrische Materialien verwendet werden, um die Leistung des Filters bei der gewählten Betriebsfrequenz zu verbessern.

Die größte Einschränkung bei diesem Filtertyp ist die Belastbarkeit, die in der Regel unter 1 W CW liegt und wahrscheinlich nicht mit den künftigen technologischen Anforderungen mithalten kann. Für Anwendungen mit geringer Leistung, wie z.B. in der Luftfahrtkommunikation für Identify Friend or Foe (IFF), bietet die hohe Güte der Resonatoren eine verlustarme und wirtschaftliche Lösung für die HF-Filterung. Außerdem können Keramikfilter hermetisch versiegelt werden, um hochzuverlässige Anwendungen im Verteidigungs- und Raumfahrtmarkt zu unterstützen.

Planare Filter

sind ebenfalls relativ klein, s. Bild 10. Mithilfe der Dünnschichtverarbeitung können diese Filter sogar nur 0,1“ x 0,1“ groß sein und bieten gleichzeitig eine hohe Unterdrückung (>30 dB) mit geringer Einfügedämpfung und einer Belastbarkeit von bis zu 20 W.

Die am häufigsten verwendete planare Topologie ist die Microstrip-Topologie, bei der eine Massefläche auf der Unterseite des Filters und Metallstreifen auf der Oberseite zusammen mit den Übertragungsleitungen die Abstimmung mit der Grund-

platte bilden. Die Microstrip-Designs erlauben kompakte Filter mit dem Vorteil, dass die Grundplatte auch als Wärmesenke für die Mikrowellenenergie dient. Die Microstrip-Übertragungsleitungen können auch als Ersatzschaltungen mit konzentrierten Elementen approximiert werden, um das Filterverhalten zu bestimmen.

Zusammen mit ihrer Eignung für die Pick-and-Place-Montage sind planare Filter die ideale Wahl für oberflächenmontierte Entwürfe, bei denen nur wenig Platz zur Verfügung steht, wie z.B. bei gedruckten Leiterplatten. Sie verbessern außerdem alle Leistungsmessungen in geschalteten Filterbänken durch ihre Fähigkeit, Übergänge zwischen Schaltungen und ihre interne Kanalisierung zu eliminieren. Dies macht sie zu einer beliebten Wahl für Verteidigungsanwendungen wie Radarwarnempfänger, Empfänger für Signal- und Kommunikationsaufklärung (SIGINT und COMINT) sowie Rundfunk- und Satellitenkommunikationssystemen.

Durchbrüche bei den Werkstoffen erweitern die Substratoptionen, die wiederum die Fähigkeiten von Planarfiltern erweitern. Außerdem können optimierte Designs, die bei anderen Filtertypen nur schwer zu erreichen sind, wie fraktale Geometrien, Dualmode- und Spurline-Tiefpässe, realisiert werden. Diese kontinuierlichen Leistungssteigerungen in Verbindung mit ihrer Größe, geringen mechanischen Komplexität und der kostengünstigen Replizierbarkeit werden planare Filter eine zunehmende Rolle in Kommunikationsmärkten wie 5G-Netzwerken und LEO-Satellitenkonstellationen eröffnen. ◀



Bild 8: Hohlraumfilter

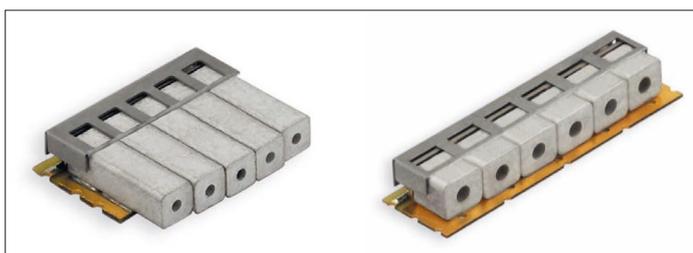


Bild 9: Keramische Filter



Bild 10: Planare Filter