

Preselektor für das FiFi-SDR

Dr. E.-GÜNTER SCHWEPPE – DK5DN

Die Empfangsmöglichkeiten des beliebten FiFi-SDR lassen sich durch einen Preselektor weiter verbessern. Um mit wenigen umschaltbaren Filtern auszukommen, müssen diese eine hohe Flankensteilheit aufweisen. Das erfordert ein ausgeklügeltes Filterkonzept sowie hochwertige SMD-Bauelemente. Der Nachbau wird durch einen FA-Bausatz mit vorbestückter Platine unterstützt.

Der im FiFi-SDR [1] eingesetzte Quadraturmischer arbeitet nach dem Abtastprinzip. Dadurch sind prinzipiell auch auf Mehrfachen der eingestellten Empfangsfrequenz f_e Signale hörbar. Aufgrund des symmetrischen Aufbaus ist eine Unterdrückung der gradzahligen Vielfachen der Empfangsfrequenz ausreichend gegeben. So weist der eingesetzte Mischer eine Dämpfung von typisch 40 dB bei $2f_e$ auf. Bei ungradzahligen Vielfachen von f_e ist diese Dämpfung jedoch unzureichend.

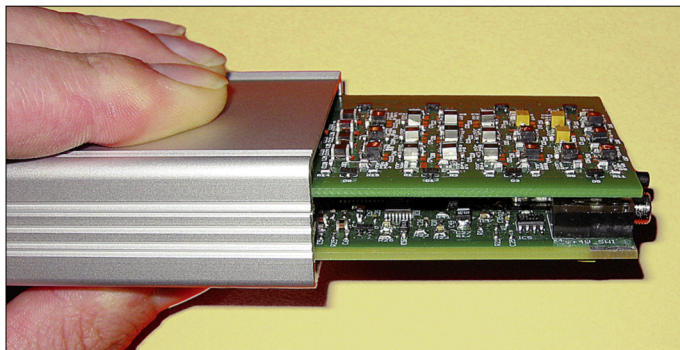


Bild 1:
FiFi-SDR (unten) und
Preselektor (oben)
im gemeinsamen
Gehäuse

Fotos: DF3DCB,
Screenshots: DK5DN

Bei $3f_e$ sind dies typischerweise nur noch rund 9 dB. Aus diesem Grund macht sich auf Lang-, Mittel- und Kurzwelle ein störender Mehrbereichsempfang bemerkbar, wenn sich auf den ungradzahligen Vielfachen der Empfangsfrequenzen starke Sender tummeln. Um diese Mehrfachempfangsstellen zu unterdrücken, ist ein Preselektor erforderlich, der die unerwünschten Empfangsfrequenzen vom Mischer fernhält.

Um die Anzahl der Filter auf ein praktisches Maß zu reduzieren (der Preselektor sollte mit in das vorhandene Gehäuse des FiFi-SDR passen), wurden Tiefpassfilter entworfen, die ab $3f_e$ eine Dämpfung von 60 dB aufweisen. Den Frequenzplan der Tiefpassfilter soll folgendes Beispiel er-

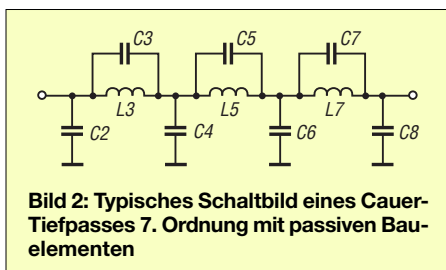


Bild 2: Typisches Schaltbild eines Cauer-Tiefpasses 7. Ordnung mit passiven Bauelementen

läutern: Die oberste Empfangsfrequenz auf KW bestimmt die Grenzfrequenz des 1. Filters mit $f_{g1} = 30$ MHz. Ein reales Filter mit praktikablem Aufwand kann eine Dämpfung von 60 dB bei $f_{s1} = 1,2f_{g1} = 36$ MHz erreichen, somit ist mit diesem Tiefpassfilter eine untere störungsfreie Empfangsfrequenz von $f_{s1}/3 = 12$ MHz möglich. Das nächste Filter muss demnach eine Grenzfrequenz von $f_{g2} = 12$ MHz aufweisen. Mit dem gleichen Filteraufwand lässt sich eine Sperrfrequenz von $f_{s2} =$

$1,2f_{g2} = 14,4$ MHz erreichen, was zu einer unteren Empfangsfrequenz von $f_{s2}/3 = 4,8$ MHz führt. Nach diesem Schema lässt sich der in Tabelle 1 gezeigte Frequenzplan erstellen.

Um die dazu notwendige Steilheit der Filterflanken zu gewährleisten, wurden siebenpolige Cauer-Filter mit einer Welligkeit (engl. *ripple*) im Durchlassbereich von $a_r = 1$ dB gewählt, die bei der notwendigen Sperrfrequenz f_s bereits eine Dämpfung von 60 dB aufweisen. Der Schaltplan für ein solches Filter ist in Bild 2 zu erkennen.

■ Zusammenwirken mit dem SDR

Über die Erweiterungspins des FiFi-SDRs lassen sich diese Filter zwischen dem Vorverstärker mit T3 (BF862) und T2 (BFR

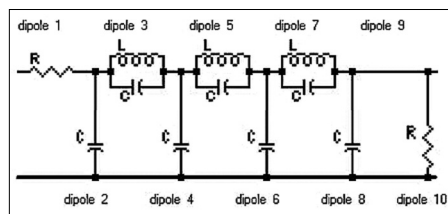


Bild 3: Schaltbild des Cauer-Tiefpassfilters im Programm „Filter Design and Analysis“

193) und der Phasenumkehrstufe T5 (BFR 193) einschleifen – vgl. [1]. Als ein sinnvolles Impedanzniveau des Filters an dieser Stelle wurde 150Ω gewählt, dazu ist bei T2 ein Kollektorwiderstand R14 von 150Ω notwendig. Das auf der SDR-Platine befindliche Tiefpassfilter muss dazu entfernt werden, wozu vier SMD-Teile auszulöten sind.

Tabelle 1: Frequenzplan der Tiefpassfilter für das FiFi-SDR

Tiefpass	f_u /MHz	f_g /MHz	f_s /MHz
1	12	30	36
2	4,8	12	14,4
3	1,92	4,8	5,76
4	0,768	1,92	2,3
5	0,307	0,768	0,922
6	0,123	0,307	0,367
7	0,050	0,123	0,148

Das SDR stellt an der Erweiterungs-Schnittstelle außer dem empfangenen Signal auch Steuersignale zur automatischen Umschaltung eines Preselektors zur Verfügung. Die Pins 5 bis 8 der Schnittstelle X6 können je nach Frequenz mit beliebigen Bitmustern belegt werden. Die Programmierung der Ausgabe der Pins kann in einfacher Form mithilfe des Konfigurations-Tools von PEOFKO durchgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit stellt das Kommandozeilen-Programm *rockprog* [2] dar. Die programmierten Bitmuster werden mit dem Binärdekoder 74HC138 ausgewertet und dienen so zur Ansteuerung der entsprechenden Schaltdioden BAW56. Der Schaltplan des Preselektors ist aus den Bildern 5 bis 7 ersichtlich, wobei wegen der identischen Strukturen in Bild 5 lediglich ein Tiefpassfilter abgebildet ist.

■ FiFi-SDR empfängt noch mehr

Die Nebenempfangsstellen bei den ungradzahligen Vielfachen der eingestellten Empfangsfrequenz, die beim Empfang bis 30 MHz störend wirken und durch den Einsatz der Tiefpassfilter ausreichend unterdrückt werden, kann man sich oberhalb der KW auch geschickt zunutze machen. Durch eine obere Verarbeitungsfrequenz von etwa 120 MHz des im SDR eingesetzten CPLD ist eine höhere Empfangsfrequenz als $178 \text{ MHz} / 4 = 44,5$ MHz primär nicht zu erreichen. Durch Unterabtastung (engl. *undersampling*) lassen sich jedoch höhere Frequenzen empfangen. Deshalb befindet sich zusätzlich zu den o. g. Tiefpassfiltern auf dem Preselektor noch ein Hochpass mit einer Grenzfrequenz von 30 MHz. Bei Empfangsfrequenzen zwischen 30 MHz und 90 MHz wird der Synthesizer auf dem SDR-Board auf $4/3$ der Empfangsfrequenz eingestellt und bei Empfangsfrequenzen zwischen 90 MHz und 150 MHz auf $4/5 f_e$. Der

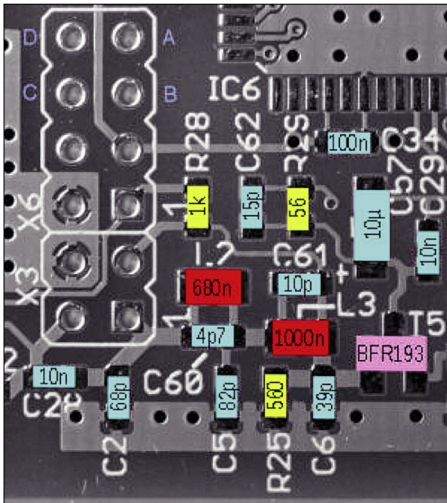


Bild 4: Lage der Bauteile auf der SDR-Platine, die einer Modifikation unterliegen

Mischverlust bei der Unterabtastung mit 1/3 beträgt 9,7 dB, bei einer Abtastung mit 1/5 sind es dagegen schon 14 dB. Diese Verluste sollten bei Empfangsversuchen durch extern vorgeschaltete Vorverstärker (VV) ausgeglichen werden. Ebenso ist es sinnvoll, diese VVs durch Bandpassfilter zu ergänzen, um Nebenempfangsstellen auszuschließen.

Zur Unterscheidung dieser zusätzlichen Empfangsbereiche, die u.a. das 6-m- und das 2-m-Band einschließen, dient die externe Schnittstelle auf dem Preselektor-Board in Form des Klinkensteckers X1, *CI-V Interface*.

Der Name ist für diese Anwendung etwas irreführend – in einer ersten Version war angedacht, hierüber die komplette Frequenzinformation im CI-V-Format zu übertragen. Tabelle 2 gibt Auskunft über die Zuordnung.

■ Umbauten am FiFi-SDR

Für die Zusammenarbeit mit dem Preselektor sind am FiFi-SDR einige kleine Modifikationen notwendig:

- Nachbestückung von X3, X6,
- Auslöten von C6, C28, C61, L3,
- Firmware-Update,
- Ausführen der Datei *pres_def.bat* zur Definition der Filter-Umschaltunkte mittels *rockprog0.exe*.

Folgende Teile werden mit Preselektor nicht mehr benötigt, müssen aber nicht zwangsläufig entfernt werden: C2, C5, C60, L2.

Tabelle 2: Empfangsbereiche		
Frequenzbereich [MHz]	Pegel an X1 Pin2 (open Collector)	Pegel an X1 Pin5
0...30	L	L (0 V)
30...90	H	L (0 V)
90...150	H	H (3,3 V)

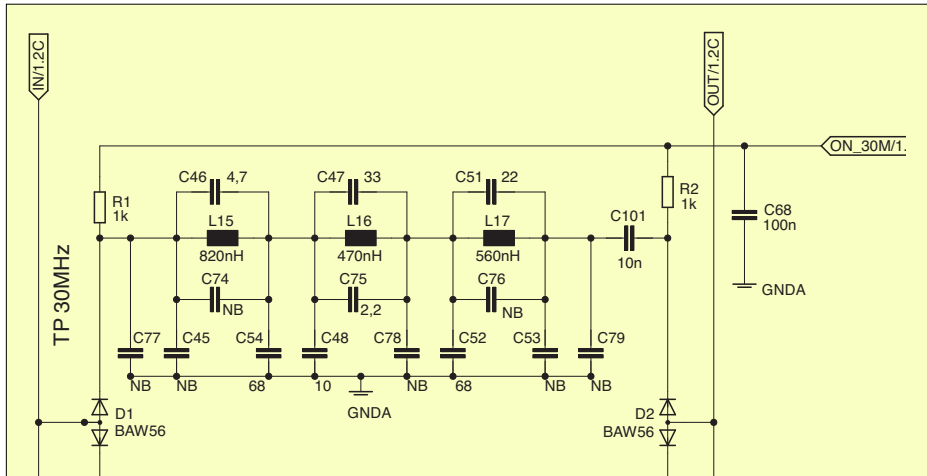


Bild 5: Tiefpassfilter für 30 MHz; die anderen sind strukturell identisch.

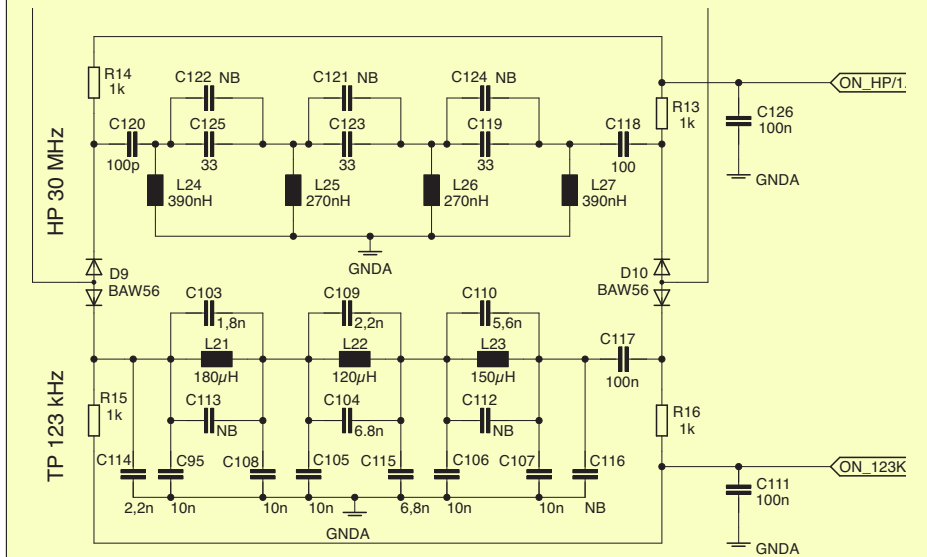


Bild 6: Tiefpassfilter für 123 kHz sowie Hochpassfilter für 30 MHz; Letzteres wird benötigt, um Empfangsbereiche oberhalb 30 MHz zu erschließen, s. Text.

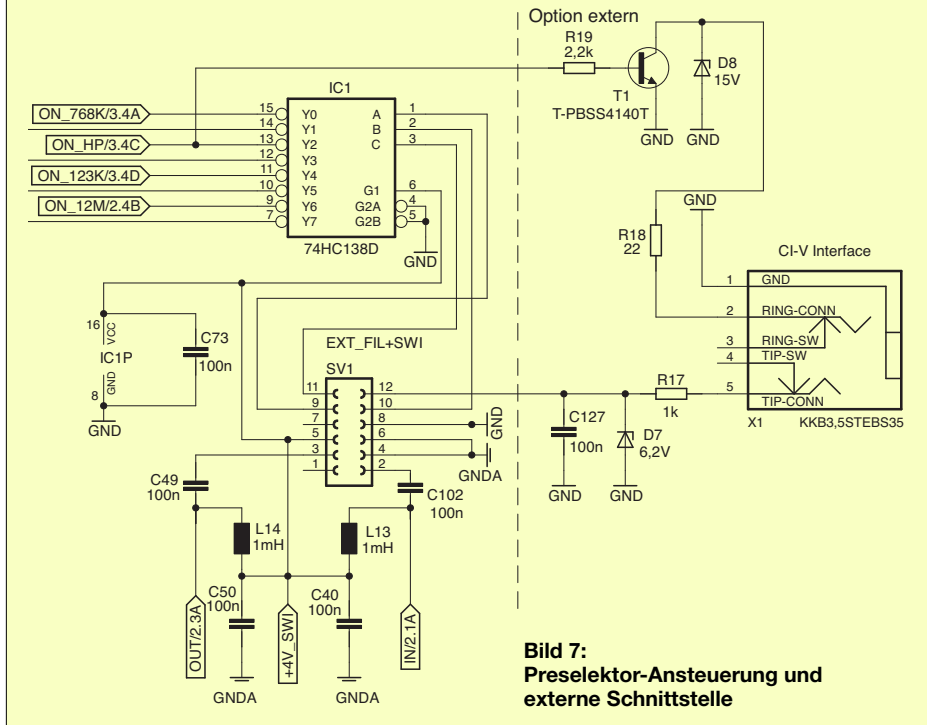


Bild 7: Preselektor-Ansteuerung und externe Schnittstelle

■ Erfahrungen

Der Preselektor wurde anlässlich des Fichten-Fielddays 2011 in Lennestadt aufgebaut; eine solche Platine ist auf S. 1013 zu sehen. Alle Platinen konnten letztlich erfolgreich getestet den stolzen Bastlern übergeben werden. Neben den üblichen Fehlbestückungen, die besonders bei den unbeschrifteten SMD-Kondensatoren zu längerem Fehlersuchen und Neubestückung der entsprechenden Filterkondensatoren führten, gab es bei der Bestückung der 1-mH-Induktivitäten Probleme.

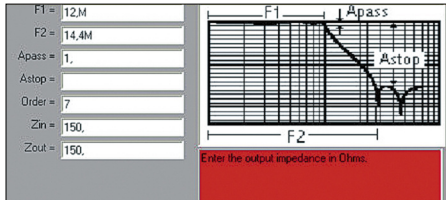


Bild 8: AAE-Eingabemaske für die Filterparameter, hier 12-MHz-Tiefpass

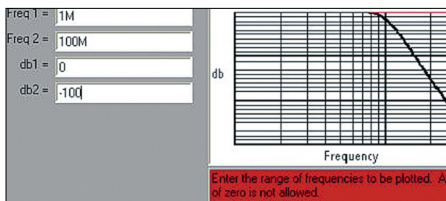


Bild 9: Eingabemaske für die Parameter des Plots der Filterkurve

Hierbei führte die Handlötung mit zu viel Lot zu einem Kurzschluss der Wicklungen auf der Unterseite. Ergebnis war eine zu hohe Dämpfung bei niedrigen Frequenzen. Mithilfe eines Ohmmeters lässt sich aber schnell die fehlerhafte Induktivität ausmachen: 28 Ω sollte die Messung zeigen, bei zu kleinen Werten liegt dann ein Kurzschluss vor. Bei dem voraussichtlich ab Mitte Oktober 2011 beim FA-Leserservice lieferbaren Bausatz *BX-PRES* sind sämtliche SMD-Bauelemente vorbestückt.

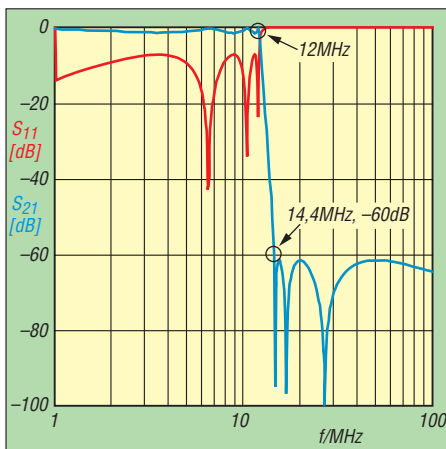


Bild 10: Simulierter Frequenzgang (1...100 MHz, log.) des 12-MHz-Tiefpassfilters nach AAE, blau: Durchgangsverhalten, rot: Eingangsangpassung

■ Filterentwurf

Abschließend sei für Interessenten noch das Vorgehen beim Filterentwurf beschrieben. Die einzelnen Cauer-Tiefpassfilter wurden mit dem frei nutzbaren Programm *Filter Design and Analysis* von AAE [3] entworfen.

Nach Start des Programms ist der Menüpunkt *Design* aufzurufen und als Filtertyp *Elliptic* (Cauer) zu wählen. Daraufhin erscheint ein Auswahlmenü über die Filterart, bei dem man *Low-Pass* anwählt. In die dann folgende Eingabemaske lassen sich nun die Filterparameter wie Grenzfrequenz *F1*, Sperrfrequenz *F2*, Welligkeit im Durchlassbereich *Apass*, Filtergrad *Order* sowie die Ein- und Ausgangsimpedanz (*Zin*, *Zout*) eingeben, s. Bild 8. Nach Bestätigung der Werte mit *Enter* kann im folgenden Menüpunkt noch für alle Spulen eine gemeinsame Güte angegeben werden. Für einen ersten Entwurf reicht hier *lossless*.

Nach Bestätigung mit *Enter* kann weiterhin noch ein Name für den Entwurf vergeben werden. Danach erhält man das Schaltbild mit den Bauteilwerten für das Filter (Bilder 3 und 9). Einen Plot der Filterkurve liefern die Menüpunkte *Analyze* und *Power effective gain*. Hier müssen noch gemäß Bild 9 für den Plot die Start- und Stoppfrequenzen sowie die Grenzen der dB-Werte eingegeben werden. Bild 10 zeigt den Frequenzgang des Filters mit den Entwurfsgrößen nach AAE; zusätzlich lässt sich auch die Eingangsangpassung des Filters mit einblenden.

Die Bauteilwerte nach dem Filterentwurf lassen sich, was die Spulen angeht, so nicht mit SMD-Bauteilen realisieren. Hier kommen nur handelsübliche Werte aus der E12-Reihe infrage, was eine Änderung der Spulenwerte auf L3: 1,96 μH \rightarrow 1,8 μH , L5: 1,282 μH \rightarrow 1,2 μH und L7: 1,453 μH \rightarrow 1,5 μH nach sich zog. Um die Resonanzfrequenzen der Sperrkreise damit nicht zu

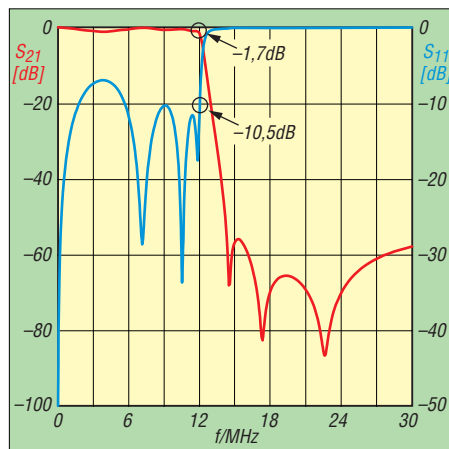


Bild 11: Mit RFSim99 simulierter Frequenzgang (0...30 MHz, lin.) des 12-MHz-Tiefpassfilters, rot: Durchgangsverhalten, blau: Eingangsangpassung

verschieben, sind auch Modifikationen der Kondensatorwerte C3, C5 und C7 notwendig. Es empfiehlt sich, eine Simulation mit den geänderten Bauteilwerten noch einmal durchzuführen, um die Auswirkungen beurteilen zu können. Besonders bei den höherfrequenten Filtern darf man auch die Schaltkapazitäten der Ein- und Ausgangsbeschaltung nicht außer Acht lassen.

Meist kommt man um weitere Modifikationen der Kondensatorwerte nicht herum, bis man die Eckwerte des Filters getroffen hat. Im Layoutentwurf ist deshalb für jeden Kondensator auch eine Parallelschaltung vorgesehen. Bild 11 zeigt den mit RFSim99 [4] simulierten Frequenzgang des 12-MHz-Tiefpassfilters nach obigen Modifikationen. Hier sind in die Simulation gleich die Güteparameter und die Eigenresonanzfrequenzen der verwendeten SMD-Induktivitäten der Größe 1210 mit eingeflossen.

Schließlich zeigt Bild 12 den tatsächlich gemessenen Frequenzgang, zwischen X2 und *DIFF A/2.1C* (Bild 5 in [1]) gemessen. Die Abweichungen zur Simulation kommen in erster Linie deswegen zu Stande, weil es ein Übersprechen zwischen X3.2 und X3.3 gibt. Die rote Kurve zeigt das Durchgangsverhalten ohne Filter (!) und liefert die Erklärung.

schweppe@fh-swf.de

Literatur und URL

- [1] Schade, S., DL1DRS u. a.: Fichten-Fieldday-Projekt FiFi-SDR. FUNKAMATEUR 59 (2010) H. 11, S. 1159–1163
- [2] OV Lennestadt: Rockprog. <http://o28.sischa.net/fifisdr/trac/wiki/rockprog>
- [3] Heckt, N.: AAE Filter Design and Analysis, V4.5. www.aade.com/filter32/download.htm
- [4] Bolch, P.: RFSim 99 – ein Freewareprogramm zur HF-Schaltungssimulation. FUNKAMATEUR 50 (2001) H. 1, S. 33–35, H. 2, S. 159–161; Software auf FA-Jahrgangs-CD 2001 sowie auf der CD-ROM in: Hegewald, W., DL2RD (Hrsg.): Software für Funkamateure (2). Box 73 Amateurfunkservice GmbH, Berlin 2006, FA-Leserservice: X-9346

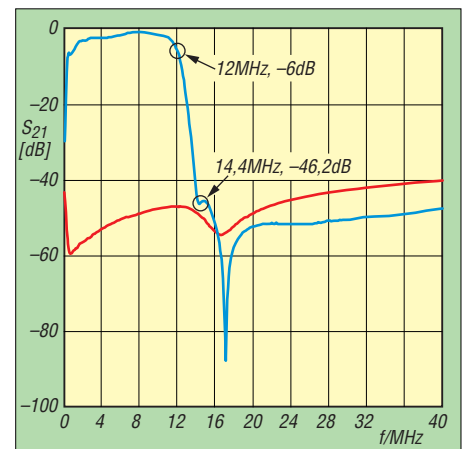


Bild 12: Gemessenes Durchgangsverhalten (0...40 MHz, lin.) des 12-MHz-Tiefpassfilters in Blau; rot: Durchgang (Übersprechen) ohne Filter