

Abblockungswirkung unterschiedlichster Kondensatoren im Vergleich

Oft steht man vor der Frage: Welche Abblockungsmaßnahmen sind ausreichend und welche Bauteile eignen sich dazu?

Es geht mir hauptsächlich um die Abblockung von Stromversorgungsspannungen, aber gelegentlich sind auch Steuerleitungen oder NF-Eingänge gegen HF abzublocken.

Abblockzweck:

- Betriebsspannung säubern (Oszillatoren)
- Verschleppung von Signalen verhindern (von der ZF zur HF oder zwischen den Stufen)
- Einkopplungen von unerwünschten Signalen vermindern (HF auf Steuerleitungen oder in NF - Eingänge)
- Selbsterregung oder Modulation verhindern
- Gegenkopplung von Verstärkerstufen (Emitterkondensator)

Die üblichste Art ist das Abblocken mit Kondensatoren gegen Masse. Wechselspannungen werden damit praktisch „kurzgeschlossen“. Das XC eines Kondensators errechnet sich nach:

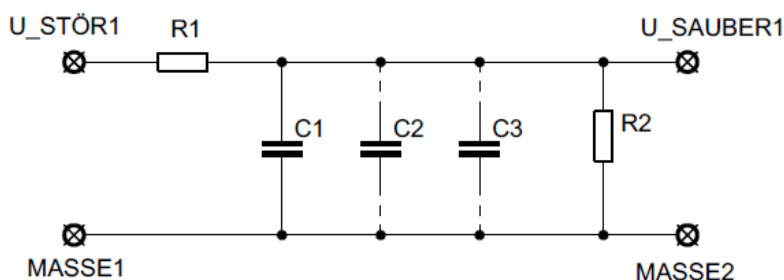
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \quad \pi = 3,14 \quad f = \text{Frequenz in Hz, } C = \text{Kapazität in Farad}$$

Je größer die Frequenz oder die Kapazität, desto kleiner das XC und umso besser die Abblockwirkung. Soweit die Theorie. In der Praxis spielen neben der eigentlichen Kapazität besonders die Anschlüsse und die Herstellungstechnologien der Kondensatoren die entscheidende Rolle, wie gut ein Kondensator, besonders bei hohen Frequenzen, seinen Zweck erfüllt.

Gerade die Eigeninduktivität eines C's macht uns zu schaffen. Wenn man bedenkt, dass pro mm Anschlussdraht etwa 1 nH Induktivität anfallen wird klar, dass diese Zuleitungsinduktivität zusammen mit der eigentlichen Kapazität des Kondensators ein schöner Serienschwingkreis entsteht. Das kann man sich in manchen Schaltungen (z. Bsp. In Selektivverstärkern) auch zu Nutze machen, aber wir möchten meistens eine breitbandige Abblockung erreichen.

Unterhalb der Eigenresonanz ist der Kondensator kapazitiv, darüber gewinnt zunehmend der induktive Anteil an Bedeutung. Aber keine Panik: der Betrag von Z bleibt zu größer werdenden Frequenzen meistens (in gewissen Grenzen) klein genug, um noch etwas Abblockwirkung zu erhalten! Lediglich bei bedrahteten Bauteilen mit recht lang gelassenen Anschlüssen kann das XL dann doch stören. Fazit: Wenn also bedrahtet, dann wirklich nur mit kurzen Anschlüssen!

Bedingt durch ihre kleine Bauform haben SMD Kondensatoren eine sehr geringe Eigeninduktivität von unter 1 nH und werden gerade deshalb gerne genommen. In den Herstellerdatenblättern wird die Eigenresonanz i.d.R. auch ausgewiesen. Sehr empfehlenswert ist ein kostenloses Tool, welches die Firma MURATA bereitstellt [1]. Damit kann man die Ersatzschaltbilddaten für die



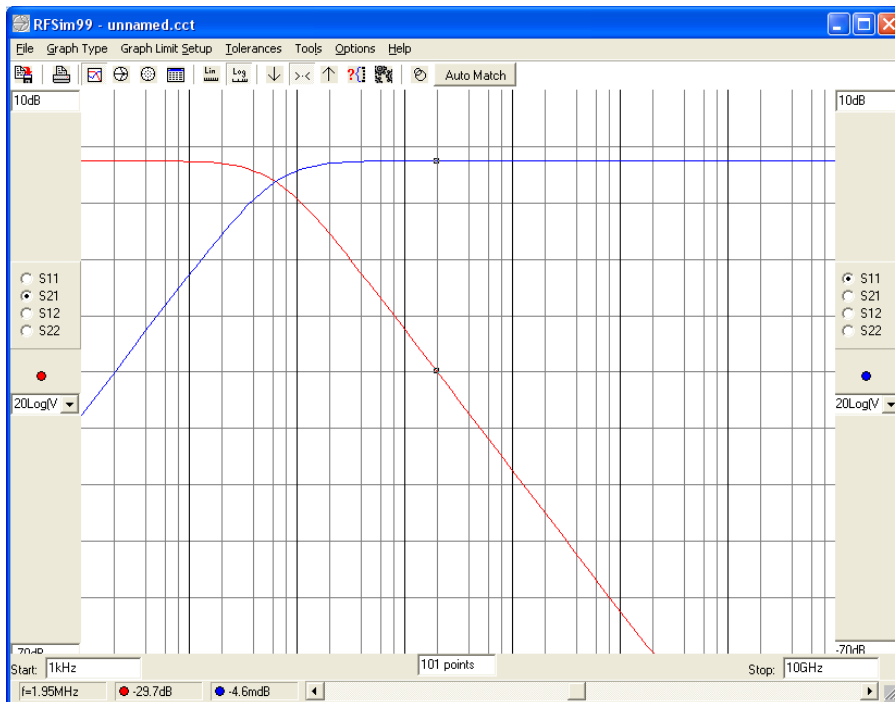
unterschiedlichsten Kondensatorwerte und Baureihen wunderbar sehen und sogar grafisch als S11 oder S21 darstellen.

Wie habe ich die unterschiedlichsten Bauformen und Kondensatorwerte auf ihre Abblockwirkung untersucht?

Zunächst betrachte ich die Stromversorgungsleitung als Vierpol oder Zweitor: Auf der einen Seite haben wir einen Eingang, auf dem beispielweise die Betriebsspannung liegt, der eine ungewollte Störspannung überlagert ist. Auf dem andern Port soll unsere Spannung möglichst etwas sauberer zur nächsten Stufe übergeben werden. Zwar ist die Betrachtung nicht ganz genau, denn es gehört in die Betrachtung noch der Innenwiderstand der „Störquelle“. Die „Störspannungsquelle“ kann aber auch die Schaltung selber sein die gerade versorgt wird. Ein Oszillator oder eine Verstärkerstufe würden ihre Signale auch auf der Versorgungsleitung weiterleiten, wenn sie HF-mäßig nicht abblockt (kalt) ist!

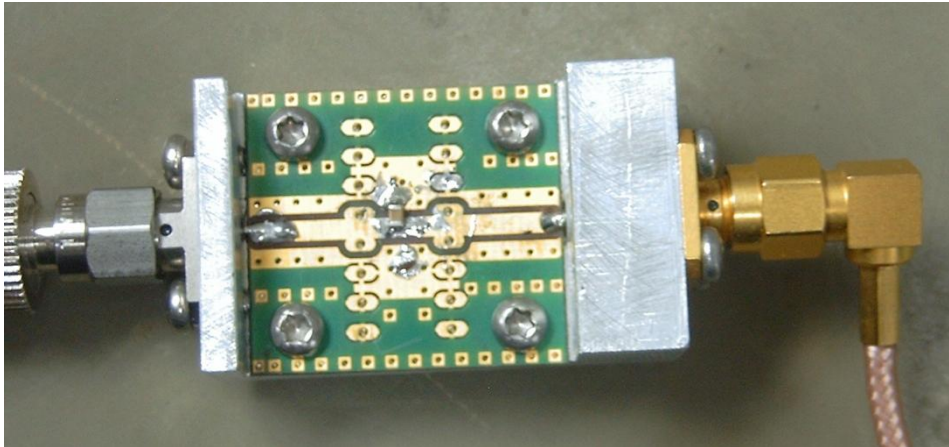
R1 verkörpert den Innenwiderstand des Generators, R2 ist der Eingangswiderstand des Messindikators. Die Kondensatoren bilden mit ihrem frequenzabhängigen XC einen Spannungsteiler. Ohne Kondensatoren bildet R1 und R2 auch einen Spannungsteiler, und da beide Widerstände mit je 50Ω gleich groß sind (in der HF-Messtechnik wird alles auf 50Ω bezogen), würde sich die halbe Störspannung als U_{Sauber1} ergeben. Das ist mein aus 0 dB angesetzter Bezugspunkt. Jeder R2 parallelgeschaltete Widerstand, in unserem Fall als XC, verkleinert die Ausgangs(stör)spannung. Die Störspannung wird also um so mehr gedämpft, je größer die Kapazität und somit je kleiner XC ist. Das Messgerät zeigt die Dämpfung als logarithmisches Verhältnismaß in dB an.

Eine Dämpfung von 20 dB ($Z = 2,8 \Omega$) würde 1/10 der ehemaligen Störspannung bedeuten, 40 dB (entsprechend $Z = 0,2 \Omega$) dann schon 1/100. Je nach Anwendung sollte eine Stördämpfung von etwa 30 dB (1/32) (was einem Z von $0,8 \Omega$ entspräche) angestrebt werden. Das ist aber kein „Dogma“ sondern nur eine Empfehlung von mir. Bei tiefen Frequenzen schafft man dies ohnehin schwer, bei mittleren Frequenzen bekommt man locker diese Dämpfung und bei sehr hohen Frequenzen wird es wieder schwieriger, da dann das XL der Kondensatoren störend wird.

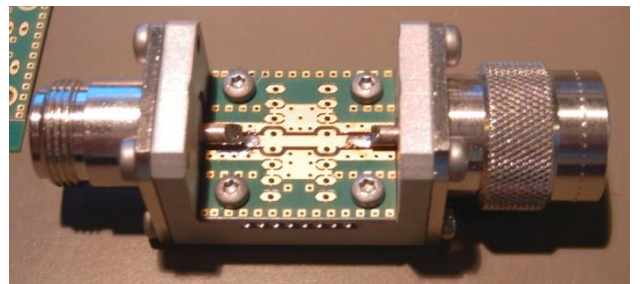
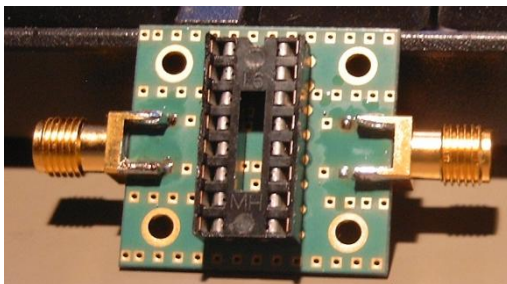


Im Idealfall würden wir folgenden Dämpfungsverlauf erhalten (100 nF in einem 50Ω System):

Bei den vergleichenden Messungen geht es weniger um die absoluten Dämpfungswerte, sondern hauptsächlich um eine vergleichbare Gegenüberstellung der Wirkung unter gleichbleibenden Bedingungen. Ich habe die Messung als S21 (Durchgangsdämpfung) in einem 50 Ohm System durchgeführt. Diese Messung ist nicht an ein spezielles Gerät gebunden, wie bei mir einem Networkanalyzer ZVR von Rohde und Schwarz. Jeder kann sie auch mit ähnlichen Geräten nachempfinden. Im einfachsten Fall reicht ein abstimmbarer Generator als Signalquelle und ein Pegelmesser (Oszi, Milliwattmeter oder Empfänger mit S-Meter) aus. Komfortabler wäre gar der NWT oder ein VNWA, wie sie hier bereits vorgestellt wurden.



Messadapter mit SMA für S21 Messungen



Weitere Varianten des Messadapters: Mit Fassung für bedrahtete Teile und mit N-Amaturen

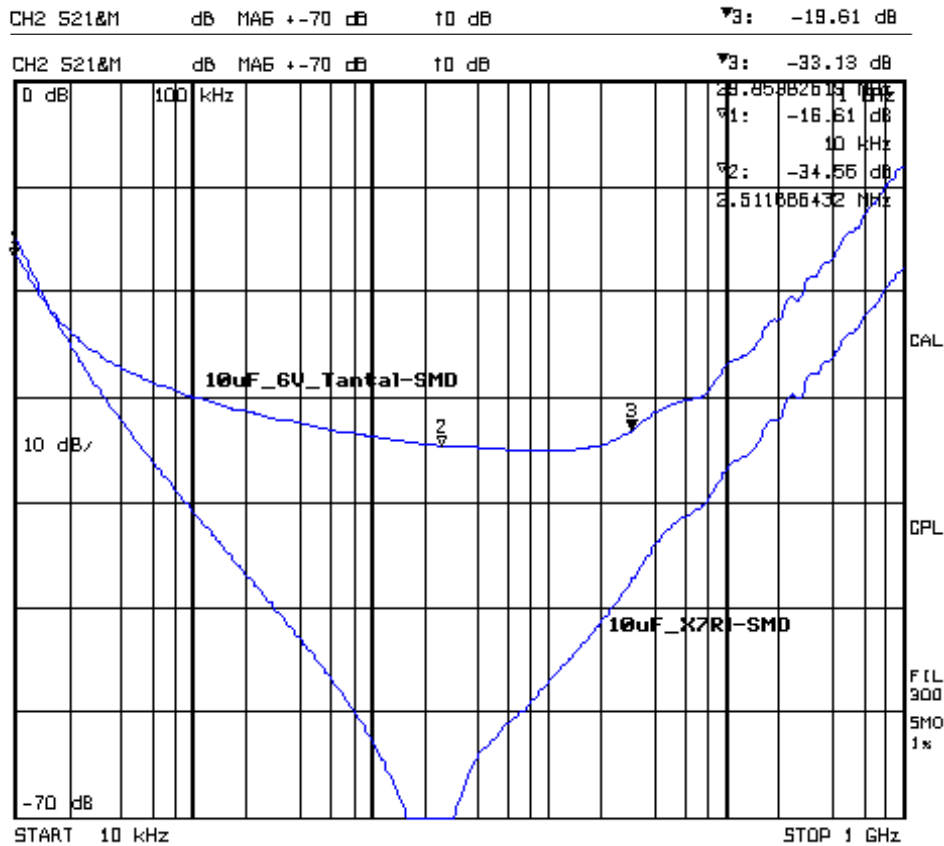
Der besseren Darstellung halber wurden manche Messungen sowohl mit logarithmischer als auch linearer Frequenzachse dargestellt. Bei der logarithmischen Darstellung erkennt man den Dämpfungsverlauf besonders bei tiefen Frequenzen wesentlich genauer.

Die Anregung zu meinen Messungen habe ich in [2] und [3] gefunden. Hier sind jeweils weitere sehr schöne Messungen aufgezeigt! Wertvolle ergänzende Linktipps [4] ... [8] hat dankenswerterweise Dr. Eric Hecker (sicher aus dem QRP-Forum bekannt) beigesteuert.

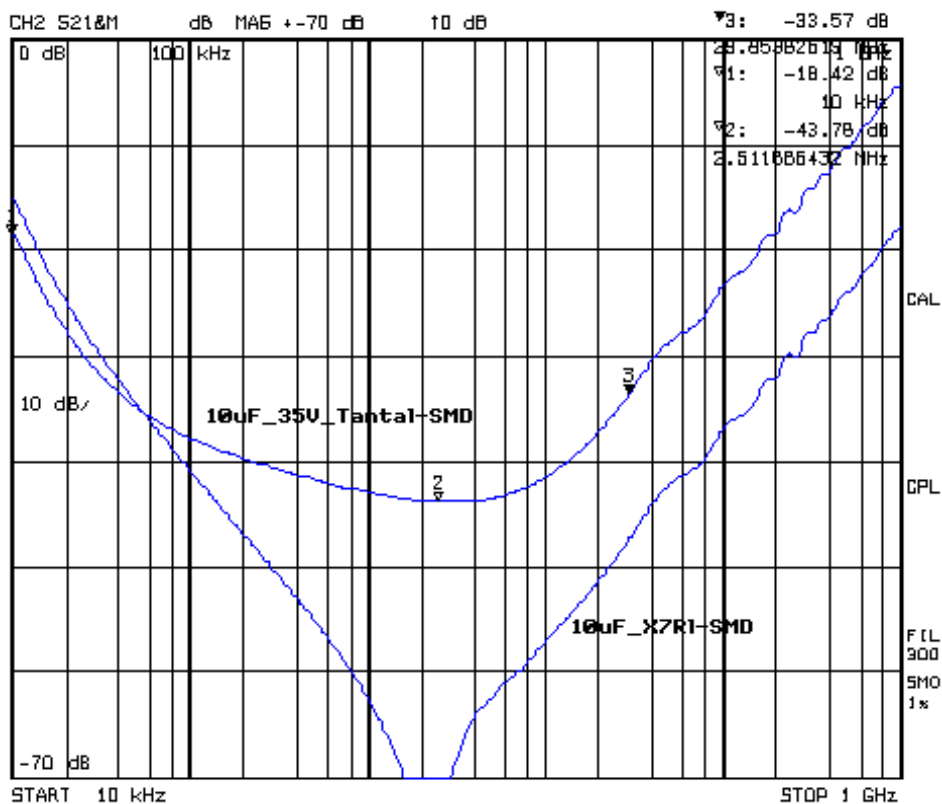
Im englischen Sprachgebrauch wird übrigens immer von Bypassing gesprochen.

Doch nun zu den Messungen. Jeder kann sich die Diagramme in Ruhe ansehen und wird hoffentlich die für sich optimalen Abblocklösungen finden.

QRP Treffen Waldsassen 2011
 Abblockungswirkung unterschiedlicher Kondensatoren – Dietmar, DL2BZE

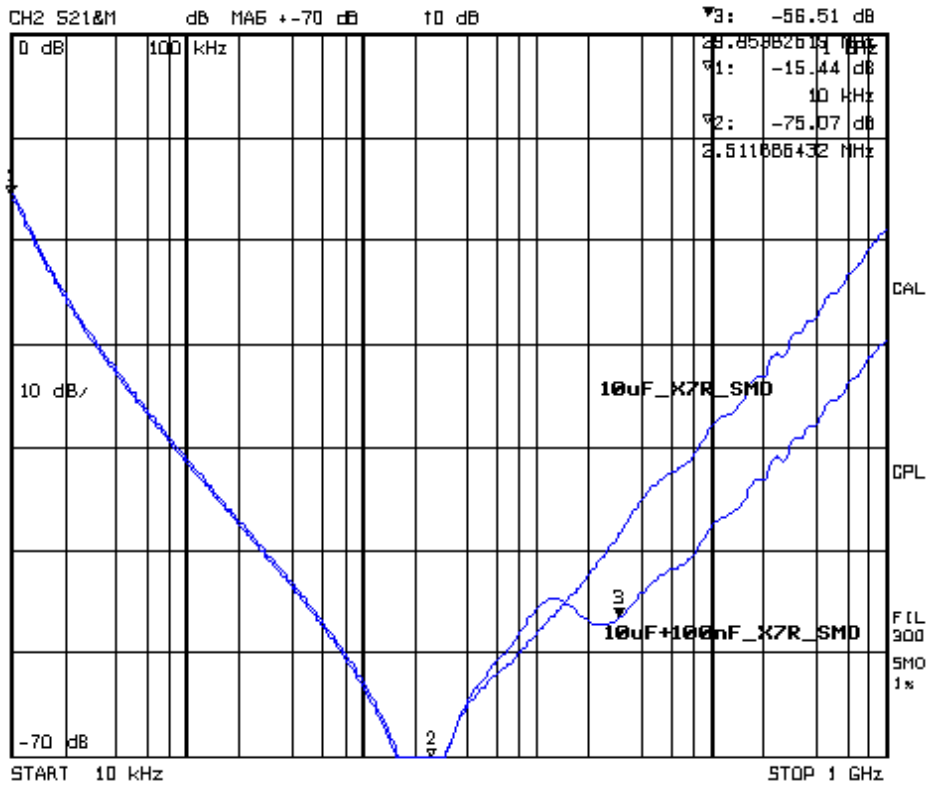


Hier wird ein 10 µF 6 V SMD Tantal verwendet. Dieser ist zwar besser als ein Elko aber nicht ganz so gut wie der 35 V SMD Tantal!

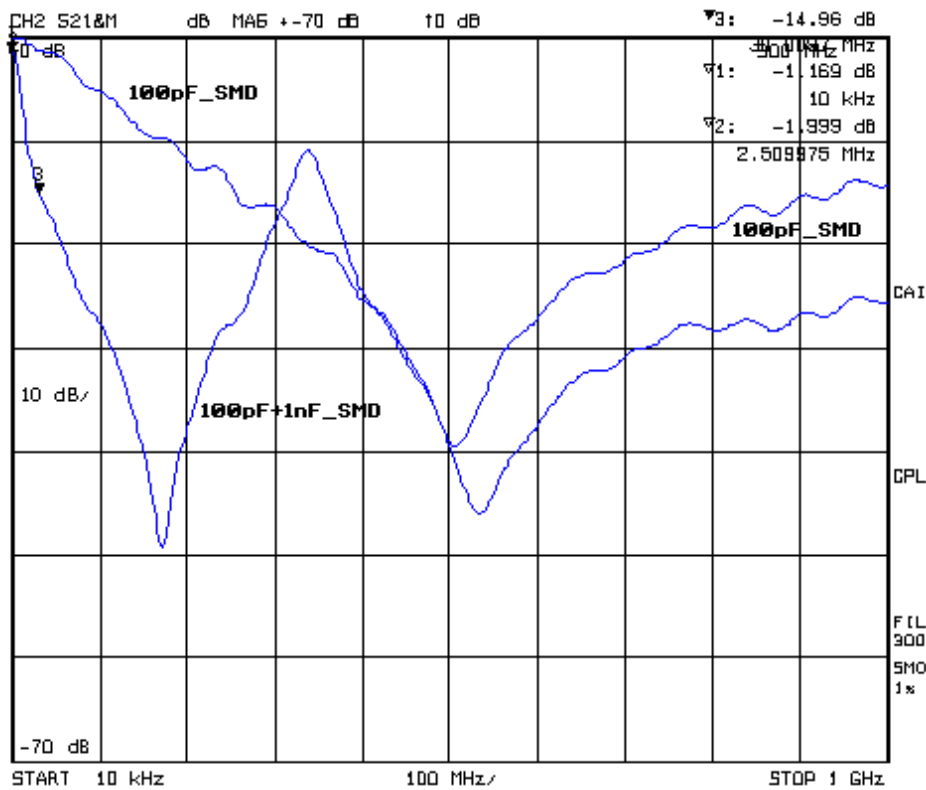


Gleiche Messung nur mit einem 35 V SMD Tantal. Dieser ist bei tiefen und mittleren Frequenzen wesentlich besser als der 6 V Tantal.

QRP Treffen Waldsassen 2011
 Abblockungswirkung unterschiedlicher Kondensatoren – Dietmar, DL2BZE



Dem „Wunderteil“ 10 µF SMD Keramik wurde noch ein 100 nF SMD zugeschaltet, was oberhalb 15 MHz deutlich etwas bringt.



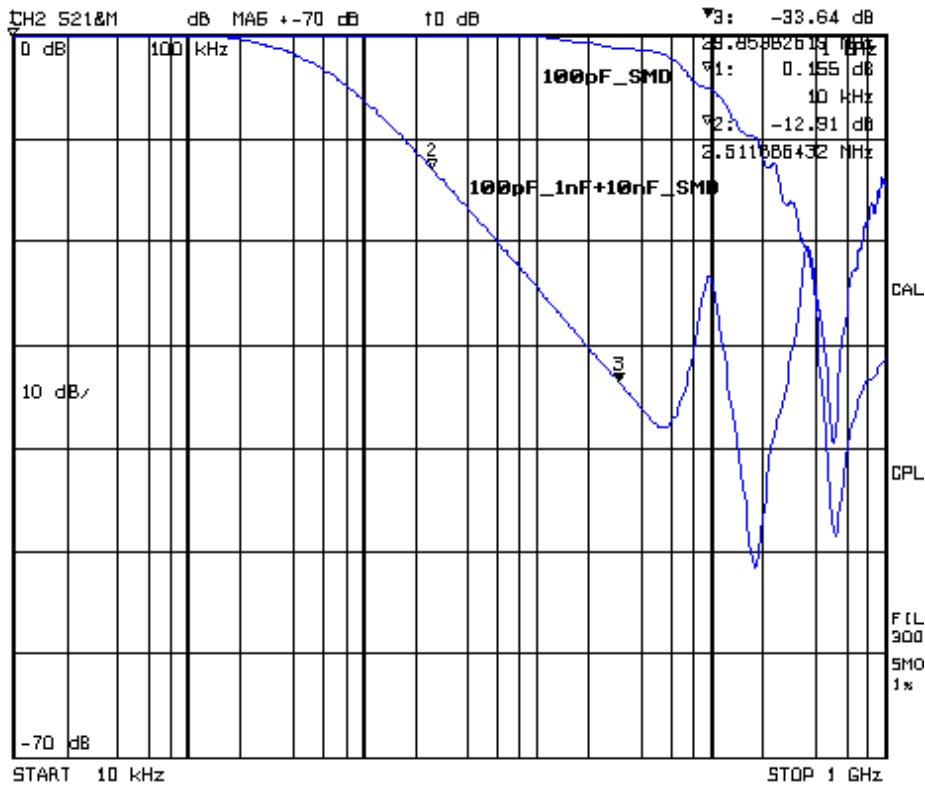
Diesmal mit **linearer** Frequenzachse:

100 pF (Eigenresonanz bei 500 MHz) obere Kurve

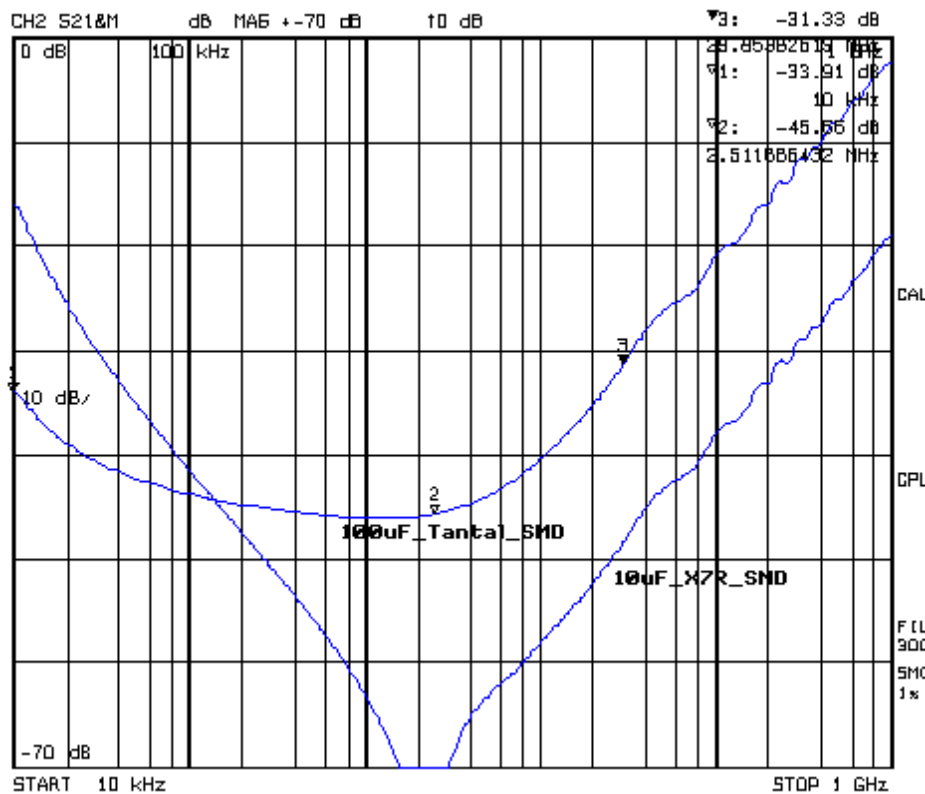
100 pF + 1 nF zusammen.

Die Eigenresonanz des 1 nF liegt bei 180 MHz untere Kurve

QRP Treffen Waldsassen 2011
 Abblockungswirkung unterschiedlicher Kondensatoren – Dietmar, DL2BZE



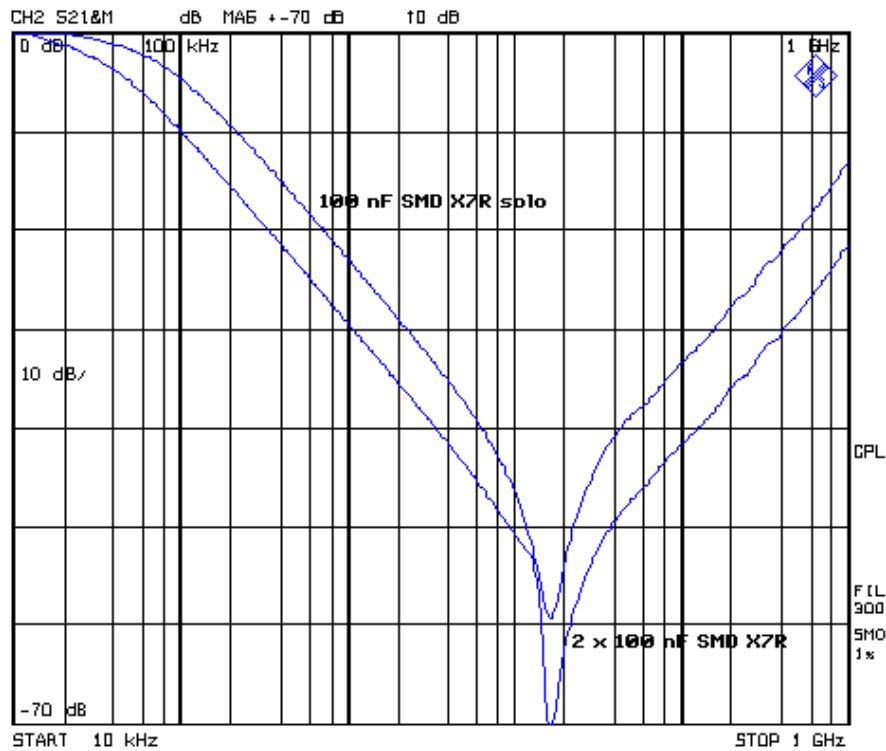
Was bringt eine Kombination von drei gestaffelten Werten? Zwar tiefe Dips aber es gäbe bessere Kombinationen! Vor allem fehlt etwas für tiefere Frequenzen! Ein einzelner Kondensator würde sich in einem Selektivverstärker gut machen: 100 pF (obere Messlinie) bei 500 MHz-schöner Dip.



Ein 100 μ F SMD Tantal alleine blockt bis über 30 MHz hervorragend ab!

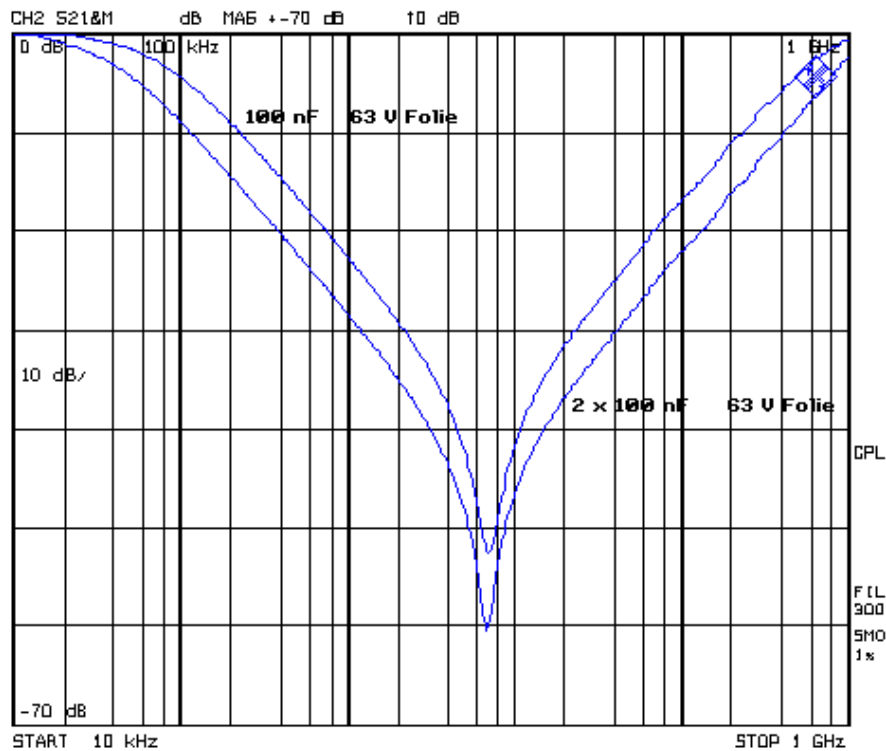
Vergleicht man 100 μ F SMD-Elko (nicht dargestellt) gegen SMD Tantal -> der Tantal ist eindeutig „besser“

QRP Treffen Waldsassen 2011
 Abblockungswirkung unterschiedlicher Kondensatoren – Dietmar, DL2BZE



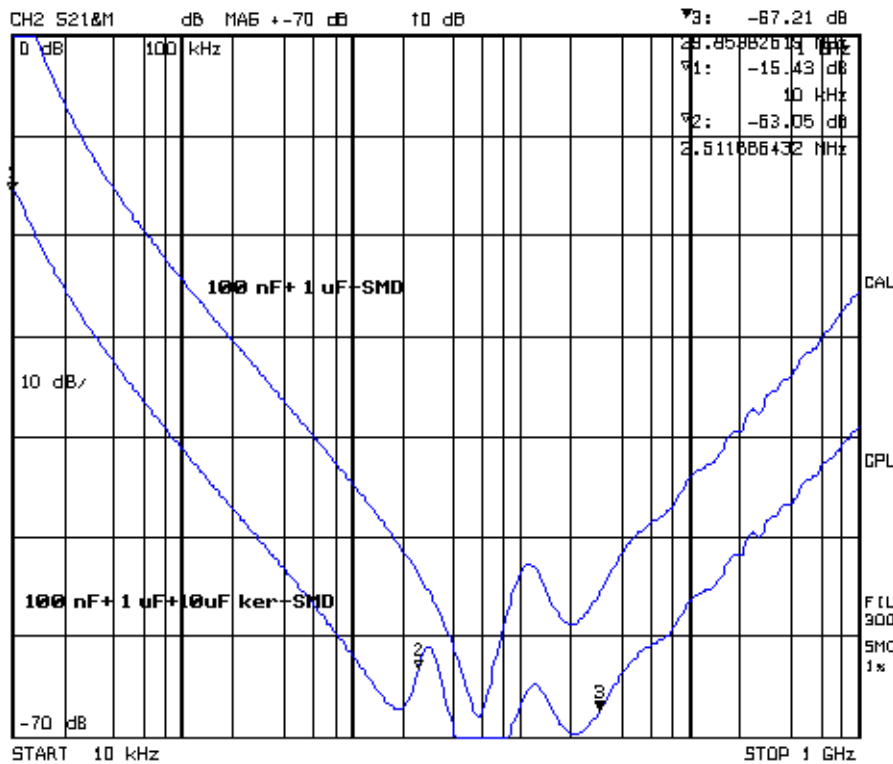
Der *Klassiker* schlechthin:
 100 nF als SMD bringt
 zwischen 2,2 und 160 MHz
 besser -30 dB gegenüber

2 x 100 nF was von 1 MHz
 ... 400 MHz bereits mehr
 als 30 dB Dämpfung schafft.

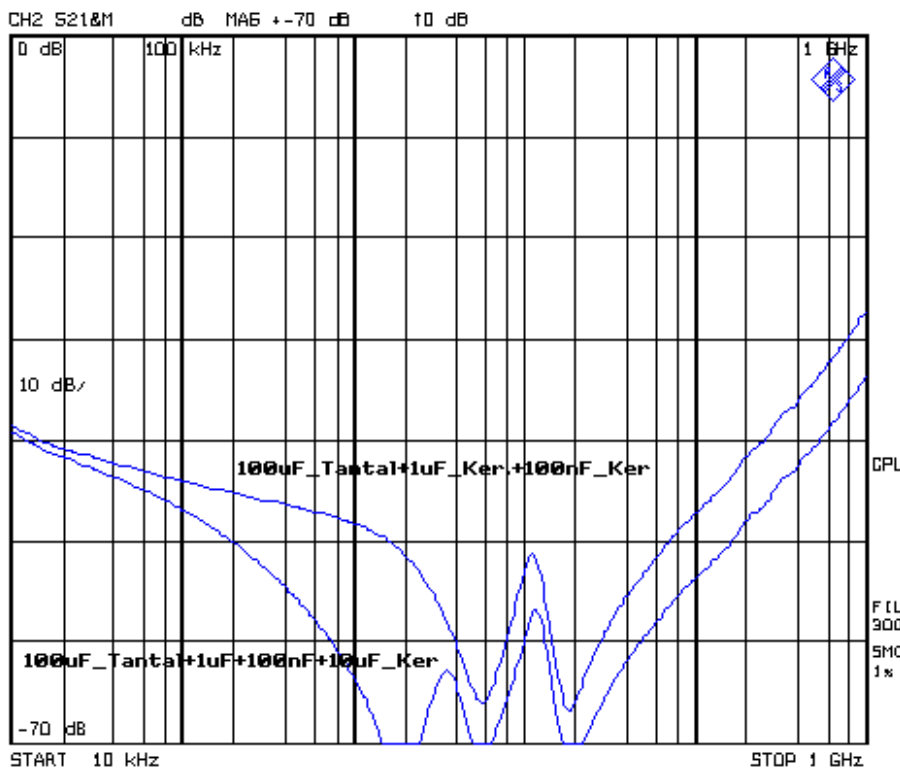


Hier der Vergleich zu
 Foliekondensatoren (3x7x8
 mm) mit 4 mm
 Anschlüssen. Die
 Resonanzfrequenz liegt
 tiefer, der „Dip“ ist 10 dB
 kleiner. Bei hohen
 Frequenzen etwa 15 dB
 schlechter!

Obere Kurve 1 x 100 nF
 Untere Kurve 2 x 100 nF



Der zusätzliche 10 µF SMD X7R bringt noch mal richtig was an Abblockung!



Meine „Super Abblockung“:

Oben:

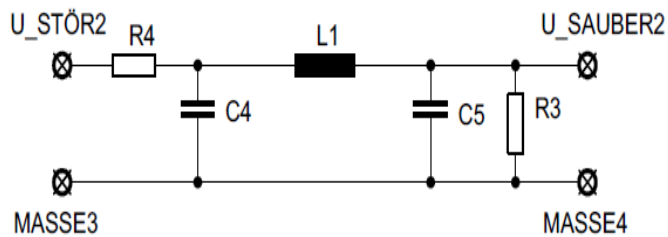
100 µF (Tantal) + 1 µF + 100 nF (SMD)

Unten:

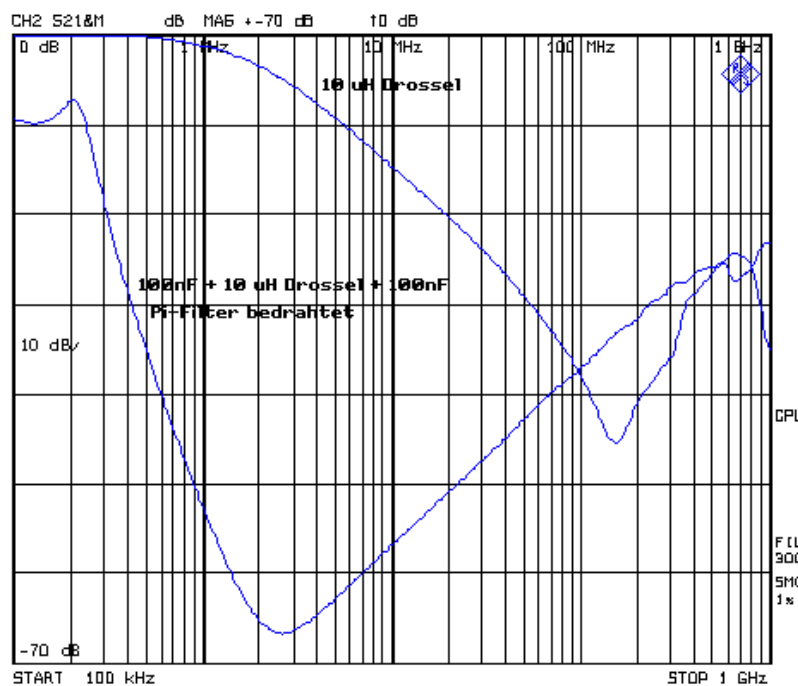
100 µF (Tantal) + 10 µF + 1 µF + 100 nF (SMD),

die Resonanzfrequenzen bleiben und es kam noch die für den 10 µF Keramik-C hinzu.

Abschließend noch eine Darstellung wie sich eine Drossel auswirkt. Hier habe ich bedrahtete Bauteile genommen, die Drosseln hatten allerdings nur einige μH . Eine Drossel bewirkt zumindest im mittleren Frequenzbereich eine dramatische Verbesserung in Hinblick auf die Sperrwirkung. Aber auch Drosseln haben die unangenehme Eigenschaft eine Eigenresonanz – nur diesmal als



Parallelresonanz – zu besitzen. Für breitbandige Abblockungen ist daher immer ratsam, eine Kombination aus mehreren Pi-Gliedern (C-L-C-L-C ...) einzusetzen. Zwar gilt hier ausnahmsweise: „Viel hilft viel“ – dennoch braucht man es nicht zu übertreiben.



Die obere Kurve zeigt eine 10 μH einzeln Drossel mit 150 MHz Eigenresonanz.

Ergänzt man die Drossel mit 100 nF Kondensatoren zu einem Pi-Filter wird die Abblockung zwischen 30 kHz und 230 MHz schon super gut.

Die Messbeispiele helfen sicherlich, je nach Anwendungsfall, eine geeignete Abblockung zu finden.

An dieser Stelle sei meinen Bastelfreunden Eric, Horst (DJ6EV) Andreas (DH7AZ) Jörn (DK7JB) für ihre wertvollen Hinweise und meinem Arbeitgeber, der Firma Schwarzbeck Mess Elektronik für die Laborbenutzung gedankt!

Vy 73 und viel Erfolg und Spaß beim Basteln

Dietmar, DL2BZE DL2BZE@swschwedt.de

Lesestoff:

- [1] http://www.murata.com/products/design_support/mcsil/index.html
- [2] <http://www.cliftonlaboratories.com/bypassing.htm>
- [3] <http://www.wetterlin.org/sam/BypassTests.pdf>
- [4] http://n2pk.com/VNA/n2pk_vna_pt_1_ver_c.pdf S.3
- [5] EMRFD, Kapitel 2.28ff, Wes Hayward
- [6] <http://focus.ti.com/lit/an/sloa069/sloa069.pdf>
- [7] <http://www.intersil.com/data/an/an1325.pdf>
- [8] http://fetweb.ju.edu.jp/staff/Mechatronics/LShareef/Trans_files/bypasscaps.pdf