



Gunthard Kraus, DG 8 GB

Rückenwind aus Bulgarien für HF-Entwickler (bei 5,8 GHz)

1. Was ist los?

Wer - wie ich - die Obergrenze seiner „Tüfteleien“ immer höher schiebt (... bei mir sind es im Augenblick 5,8 GHz...), der stößt sehr schnell an eine „arge Bremse“, nämlich an das Problem der verlustarmen Leiterplatten.

Das preisgünstige FR4-Material zeigt da sehr schnell „die Zähne“ und man kann sich - abgesehen von Anwendungen, wo man das einfach über mehr Verstärkung ausgleichen kann - nur durch ausgeklügelte Tricks (z.B. Guided Coplanar Waveguides mit sehr kleinem Luftspalt anstelle von Mikrostreifen-Leitungen) eine Zeit lang helfen. Die optimale Lösung sind natürlich hochwertige und trotzdem nicht zu teure Platinenwerkstoffe und an erster Stelle ist da ROGERS RO4003 zu nennen.

ABER:

Diese Leiterplatten sind grundsätzlich erst Mal nicht mit Fotolack beschichtet, die Beschaffung kleiner Mengen ist in der

Zwischenzeit fast unmöglich geworden und so bleibt (wegen der meist kleinen Strukturen oder den geringen Leiterbreiten) nur die professionelle Fertigung. Die entsprechenden Leiterplatten-Hersteller sind im Normalfall sehr kooperativ (wenn sie das Material an Lager haben), aber der Geldbeutel wird dabei sicher nicht geschont. Selbst für eine einzelne 30 mm x 50 mm große Platine berappt man schnell mal 200 Euro! (... und wehe wenn diese Rechnung nach der Bezahlung in falsche Hände gerät!)

Umso größer war die Überraschung und die Freude, als mir Georg, DK4SE, folgende Mail schickte: *Gunthard, ich bin zufällig über etwas gestolpert, das beinahe zu gut ist, um wahr zu sein:*

<https://www.micron20.com/en/orders/calculator-production>

Hier gibt es beispielsweise 5 Leiterplatten, doppelseitig und durchkontaktiert, 50 mm x 100 mm ROGERS 4003 mit 0,5 mm Materialstärke für € 38,- zuzüglich

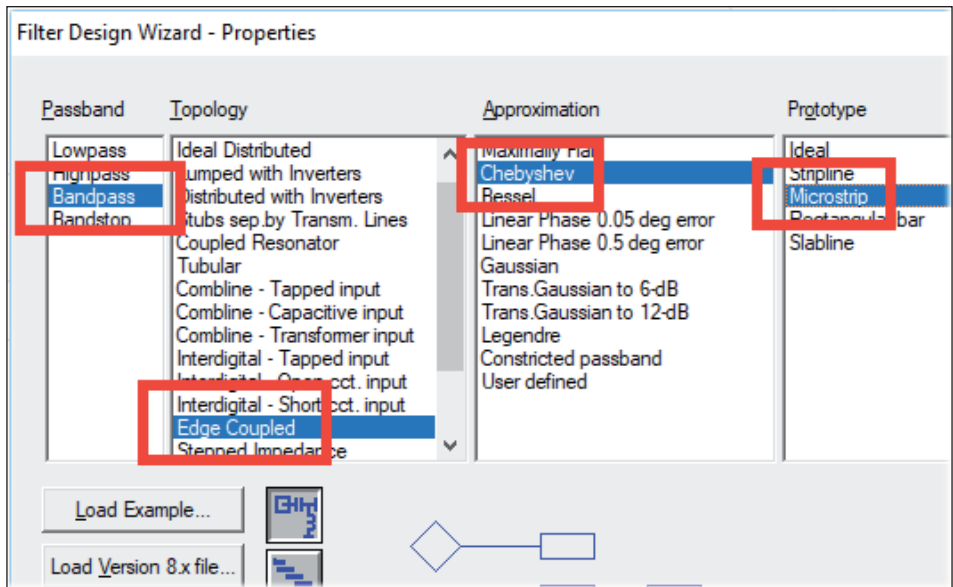


Bild 1: Zuerst muss die Filterstruktur genau vorgegeben werden

Porto. Dieser Hersteller macht sogar ein einzelnes Board für € 17,-. Das ist bisher der mit Abstand preiswerteste Lieferant für HF-Platinen - wenn es denn wahr ist!

Das muss natürlich auf der Stelle ausprobiert werden. Also zuerst die deutsche Homepage der Firma aufsuchen (<https://micron20.com/de>). Dort erfährt man, dass Rogers RO4003C nur mit einer Dicke von 0,5 mm und mit 18 µm Kupferauflage vorhanden ist. Also wurde der gerade in Arbeit befindliche 5,8 GHz-Bandpass sofort auf dieses Material umgestellt und sein Layout überarbeitet.

Das Gerber-File ging nach Bulgarien zu „micron20“, verbunden mit einer Bestellung über drei Leiterplatten. Bezahlt wurde über einen bekannten Online-Zahlungsdienstleister (P...) und bereits nach

10 Arbeitstagen lieferte der Paketdienst die Lieferung mit den fertigen Platinen bei mir ab.

Sofort wurde eines der drei Leiterplatten-Exemplare (im blanken Zustand bestellt) erst versilbert, dann in sein vorgesehene Alu-Gehäuse eingepasst und nach dem Anbringen der SMA-Buchsen an Ein- und Ausgang dem vektoriiellen Netzwerk-Analysator übergeben.

Das Ergebnis wird später verraten - zuerst kommt der Entwurf und die Simulation. So kann man hinterher Entwurf und Messung vergleichen.

Ach ja:

Der tatsächlich angewiesene Betrag war € 44 Euro, wobei hier € 17 Fracht von Bulgarien nach Tettngang enthalten sind. Nun wird sich zeigen, ob sich diese Ausgabe

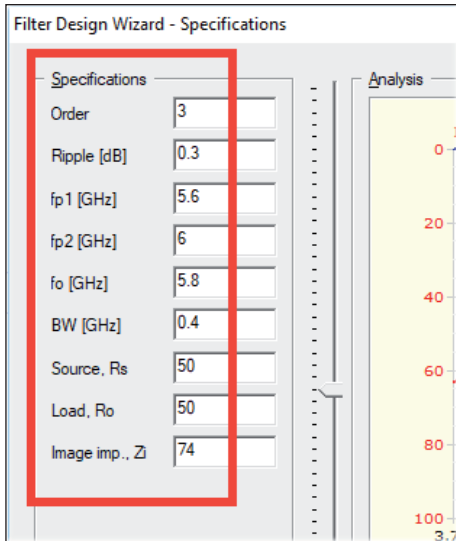


Bild 2: Bitte alle Filtereigenschaften sorgfältig eintragen!

im Passband: 0,3 dB
 Platinenwerkstoff: ROGERS RO4003
 mit 20 mil = 0,508 mm Dicke,
 auf beiden Seiten mit Kupfer (18 µm)
 beschichtet
 Dielektrizitätskonstante ϵ_r : 3,55
 Verlustfaktor tand
 bei $f = 6$ GHz 0,0024
 Deckelabstand
 im Gehäuse 13 mm

Mit diesen Werten und dem ANSOFT DESIGNER SV ist der Entwurf eine feine und leichte Sache (aber diese Software kann man sich nur noch von meiner Homepage holen [1]):

Die nötigen Einstellungen nach dem Start des Filtercalculators (hinter der „Project“-Taste) zeigt **Bild 1**.

gelohnt hat.

2. Bandpass-Entwurf für 5,8 GHz mit dem ANSOFT DESIGNER SV

So ein Entwurf beginnt stets mit dem Pflichtenheft und folgende Daten werden dazu vorgegeben:

- Mittenfrequenz: 5,8 GHz
- Bandbreite B: 400 MHz
- Filtergrad N: 3
- Zulässiges Ripple

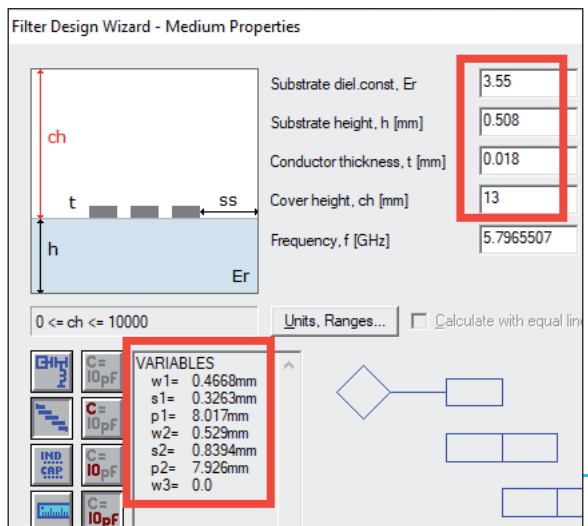


Bild 3: Für die Platinen- und Werkstoffdaten (rechts oben) finden sich links unten die zugehörigen mechanischen Abmessungen der Leitungspaare; Paar 1 und 3 sind natürlich identisch

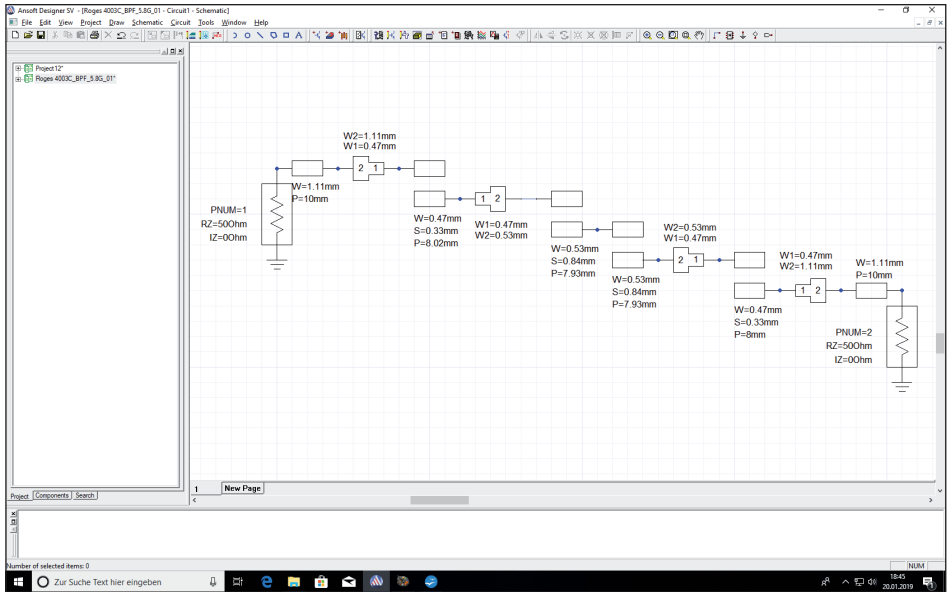


Bild 4: Das ist die komplette Filterschaltung für die Simulation, ergänzt um die Steps

Alle vom Pflichtenheft übernommenen Vorgaben finden sich in **Bild 2**.

Die Abmessungen der gekoppelten Streifenleitungen für das Layout liefert schließlich **Bild 3**.

So schnell und einfach geht das.

Aber die Arbeit beginnt erst jetzt richtig mit dem Übertragen der Daten in ein Layout für die Simulation. Hier muss man zuerst darauf achten, das Leitungsmodell mit „Open Ends“ zu verwenden. Für die Zuleitungen mit $Z = 50 \Omega$ schreibt der Leitungscalculator eine Breite von 1,11 mm vor und zwischen Leitungen mit unterschiedlichen Breiten müssen „Steps“ eingefügt werden. So kommt man zu **Bild 4** mit den Originaldaten des ANSOFT DESIGNERS und den Simulationsergebnissen in **Bild 5**.

Da geht die eigentliche Arbeit los, denn nur durch leichte Korrekturen der Leitungsdaten „von Hand“ bringt man die Kurven in die gewünschte Form. Die endgültige und in eine Platine umgesetzte Schaltung zeigt **Bild 6** nach der etwas mühevollen Überarbeitung.

Einen Vergleich der Leiterbahn-Abmessungen vor und nach der Optimierung enthält **Tabelle 1**.

Man sieht, dass Leiterbreiten und Spaltbreiten („Gaps“) beibehalten werden konnten und die Feinkorrektur wegen der Open End Extensions sowie der Störungen durch die Steps allein über eine Variation der Leitungslängen möglich war.

Die **Bilder 7, 8** und **9** dienen zum Vergleich von Wunsch und Wirklichkeit. Da



Bild 5: So verhält sich diese Schaltung, was noch viel Arbeit bedeutet

kann man nur „Donnerwetter“ sagen und sich freuen, wie gut das geklappt hat. Maßgeblich ist neben der Genauigkeit der ANSOFT DESIGNER-Simulation natürlich die hohe Präzision der „micron20“-Fertigung. Die eigene Erfahrung sagt, dass das nur möglich ist, wenn bei den zugelassenen Toleranzen eindeutig der Hundertstel-Millimeter eingehalten wurde.

Aber zur Wirklichkeit gehört auch der Aufbau des fertigen Bausteins und dazu ist noch Einiges zu sagen.

Leitungspaar-Nummer	Leiterbreite	Leiterlänge	Spaltbreite
1 und 3	Vorher 0,47 mm	Vorher 8,02 mm	Vorher 0,33 mm
	jetzt 0,47mm	jetzt 7,82mm	jetzt 0,33 mm
	Vorher 0,53 mm	Vorher 7,93 mm,	Vorher 0,84 mm
2	jetzt 0,53 mm	jetzt 7,79 mm	jetzt 0,84 mm

Tabelle 1: Vergleich der Leiterbahnbreiten, -Längen und Spaltbreiten

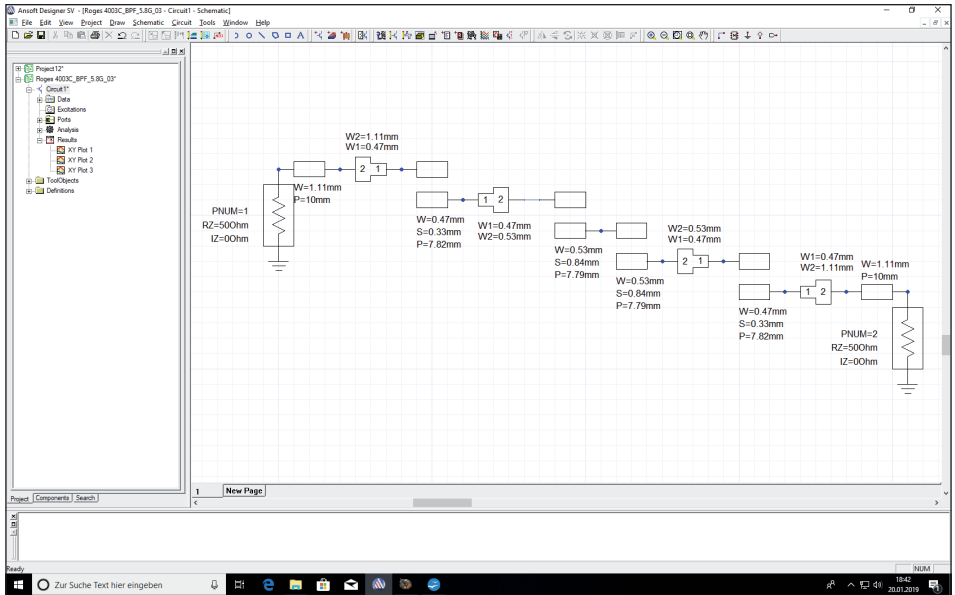


Bild 6: Das Ergebnis der Feinarbeit beim Layout...

3. Details der praktischen Ausführung

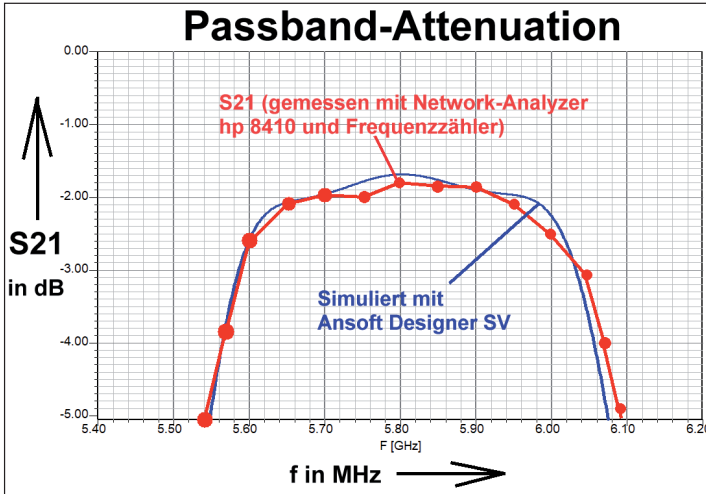
Bei 5,8 GHz gilt es natürlich auf Details zu achten, die im Kurzwellenbereich keine große Rolle spielen.

Dazu wirft man einen Blick auf **Bild 10**:

- a. Die blank angelieferten Leiterbahnen werden mit Anreibe-Versilberung behandelt, denn die Eindringtiefe des Stromes wird da oben nur noch in Tausendstel Millimetern gemessen und da tut er sich mit einer Silber-Oberfläche leichter.
- b. Für die SMA-Buchsen an Ein- und Ausgang wählt man eine Ausführung mit einem Mittelleiter von 0,635 mm und flachen zusätzlich den Übergang von

ihm zur Mikrostreifen-Leitung mit 1,11 mm Breite vorsichtig mit einer feinen und kleinen Feile unter 45 Grad ab. Der Mittelleiter ist zusätzlich mit Teflon (Außendurchmesser: 2,2 mm) umgeben. Eine solche 2,2 mm-Bohrung muss in die Gehäusewand und das Teflon korrekt mit der Innenseite der Wand abschließen. Nur so schafft man einen reflexionsarmen Übergang von der Buchse zur Streifenleitung

- c. Das Alugehäuse war für SMA-Buchsen mit einem Mittelleiter-Durchmesser von 1,27 mm vorgesehen und so saß die Zentrierung der Bohrung in der Wand um 0,65 mm zu hoch. Also muss man sich eine Alu-Platte von 0,6 mm Dicke mit der Laubsäge herstellen und unter die Leiterplatte legen. Dann berührt der Mittelleiter wieder gerade die Streifenleitung und



*Bild 7:
...und man sieht,
dass sich die Mühe
im Passband
gelohnt hat*

kann mit wenig Zinn angelötet werden.

d. Wer sich die Weitabselektion ab 7 GHz in Bild 8 genauer ansieht, erkennt

den Einfluss der dort auftretenden unerwünschten Effekte (wie Gehäuseresonanzen, Strahlungskopplungen usw). Wenn man das beseitigen möchte, muss

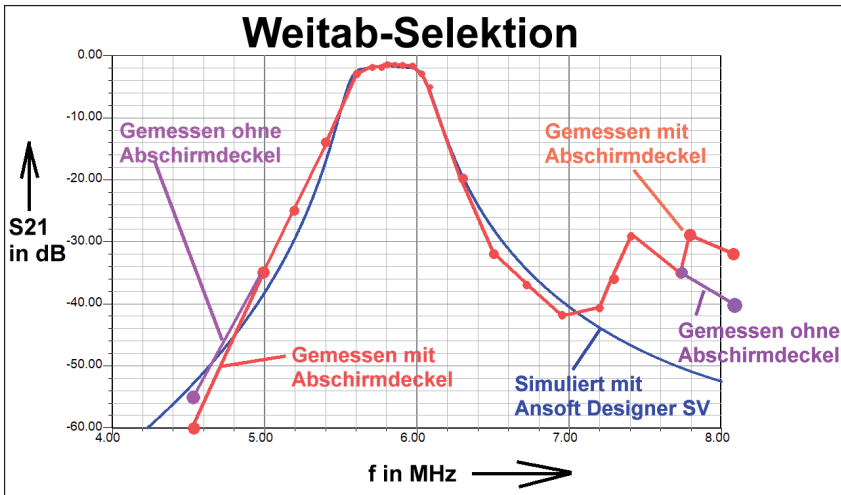


Bild 8: Bei der Weitabselektion machen sich leider die Einflüsse der Gehäusekonstruktion unangenehm bemerkbar (siehe Text)

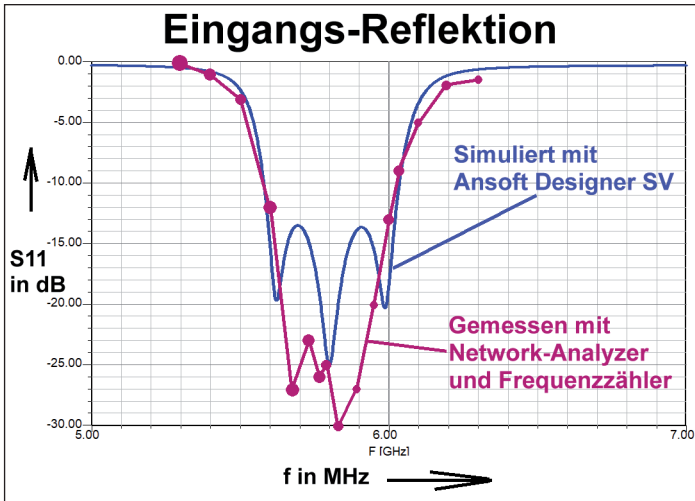


Bild 9:
Mit der Eingangs-
reflektion S11 kann
man sehr zufrieden
sein

wieder leitender Schaumstoff als Dämpfungsmaterial auf die Unterseite des Deckels geklebt werden, der den freien Raum oberhalb der Platine bis zur Hälfte ausfüllt (...also eine Dicke von 6 bis 7 mm hat).

4. Zusammenfassung

„Hut ab und nochmals Dankeschön“ gehört bei einem solchen Ergebnis in Richtung Bulgarien gesagt. Und nun ist weder Verzweigung noch eine

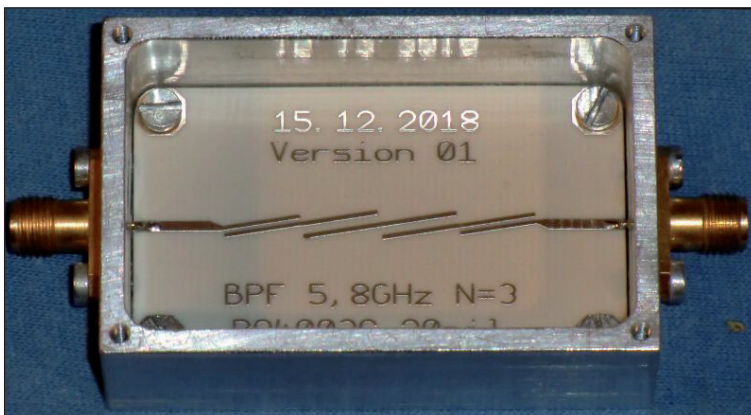


Bild 10: Das ist Freude, wenn dieser Punkt erreicht ist! (...zu den Details - siehe Text)



verzweifelte Suche nach Geld (= in der Politik als „Reptilienfond“ bezeichnet) mehr nötig, wenn ein Entwurf nicht genau hinhaut und deshalb eine Überarbeitung mit neuem Layout nötig ist. Zusätzlich noch einen besonderen Dank an Georg, DK4SE, der als „Internet-Wühlmaus“ erst alles ins Rollen gebracht und damit den Erfolg ermöglicht hat.

5. Quellen:

Die ANSOFT DESIGNER SV-Software findet man kostenlos auf der Homepage von Autor Gunthard Kraus:
www.gunthard-kraus.de

Homepage von micron20:
<https://micron20.com/de>



