



**Daten**

Verstärkung: 12..13dB

Empfindlichkeit: 0,8dB

Bandbreite: 1-40MHz, breitbandig

Regelbereich der Dämpfung, AGC: 0-20dB

Betriebsspannung 12...15VDC, Strom 17mA

Verwendete Ringkerne

TR1: 6+4 Wdg. Ferrit-Ringkern, grau, FT23-77, AL420

TR2: 15+3 Wdg. Ferrit-Ringkern, FT23-77, AL420

Z in: Rückflußdämpfung=22dB, Stehwellenverhältnis=1,17

Z out: Rückflußdämpfung&gt;35dB, Stehwellenverhältnis=1,03

R1: auf einen Stromverbrauch von  $I_D=17\text{mA}$  einstellen (100...120Ohm)

R2: ca. 2,7kOhm

Ausgangs Anpassung (Z out):

R2 so wählen (2..4kOhm, testen!), dass die Spannung am Ausgang mit einem Scope gemessen auf die Hälfte abfällt, wenn der offene Ausgang mit 50Ohm abgeschlossen wird.

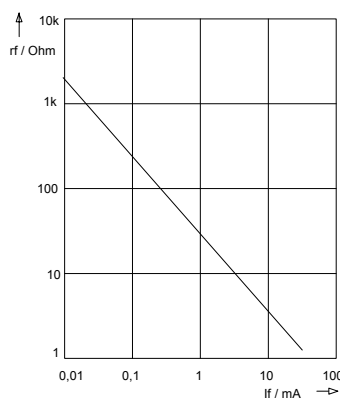
Rückwärtsentkopplung: &gt;40dB (verursacht durch T2 in Gateschaltung)

IM<sub>3</sub>-Festigkeit:Bei AGC=0dB:  $IP_3=+21\text{dBm}$ Bei AGC=20dB:  $IP_3=+27\text{dBm}$ 

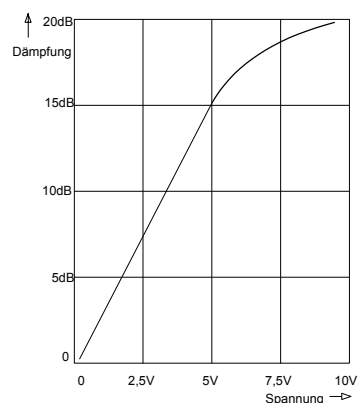
1dB-Kompression bei: +6dBm bei AGC=0

**Regelung, AGC**

Die Regelung der Kaskodenschaltung übernimmt eine Pin-Diode, BA479, zwischen Drain von T1 und Gate von T2, die ihren Durchgangswiderstand in Abhängigkeit des eingepprägten Regelstroms verändert (**Bild 1**). Bei 0 mA Regelstrom ist die Pin-Diode hochohmig (>10 kΩ) und beeinflusst die Verstärkung nicht. Bei 10mA Diodenstrom (10 Volt) sinkt ihr Widerstand auf etwa 5 Ω ab und die maximale Dämpfung der Stufe ist erreicht. Die Arbeitspunkte beider FET's werden durch den Regelvorgang nicht verändert. Der Regelungsbereich der Schaltung mit PIN-Diode beträgt 20 dB (**Bild 2**).



Durchlaßwiderstand ( $r_f$ ) einer PIN-Diode  
in Abhängigkeit vom Durchlaßstrom ( $I_f$ )



Dämpfungsverlauf (dB) in Abhängigkeit der Regelspannung (V)

**Bild 2: PIN-Dioden Regelung in der Kaskodenschaltung**

### 1.1) TR1 und TR2

Windungen gleichmäßig über den Ring verteilen!

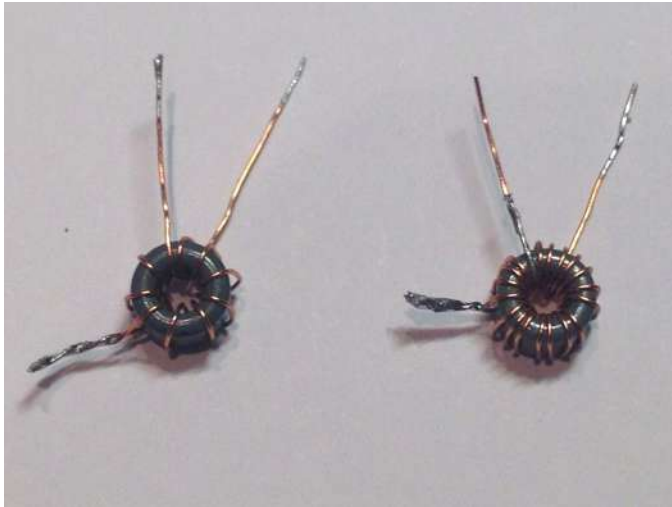


Bild 3: TR1 (links), TR2 (rechts), Ringkern FT 23-77

### 1.2) Verstärkung, Übertragungsfunktion der Kaskodenschaltung

Im Frequenzbereich 1-20MHz beträgt die breitbandige Verstärkung ca. 12...13dB, bei gewählter Dämpfung von 0dB (AGC=0V). Bei Dämpfung von 20dB (AGC=10V). beträgt die Durchgangsverstärkung -7dB. Die Messung der gewobbelten Übertragungskurve in **Bild 4** erfolgt mit einem Spektrumanalysator plus Tracking-Generator.

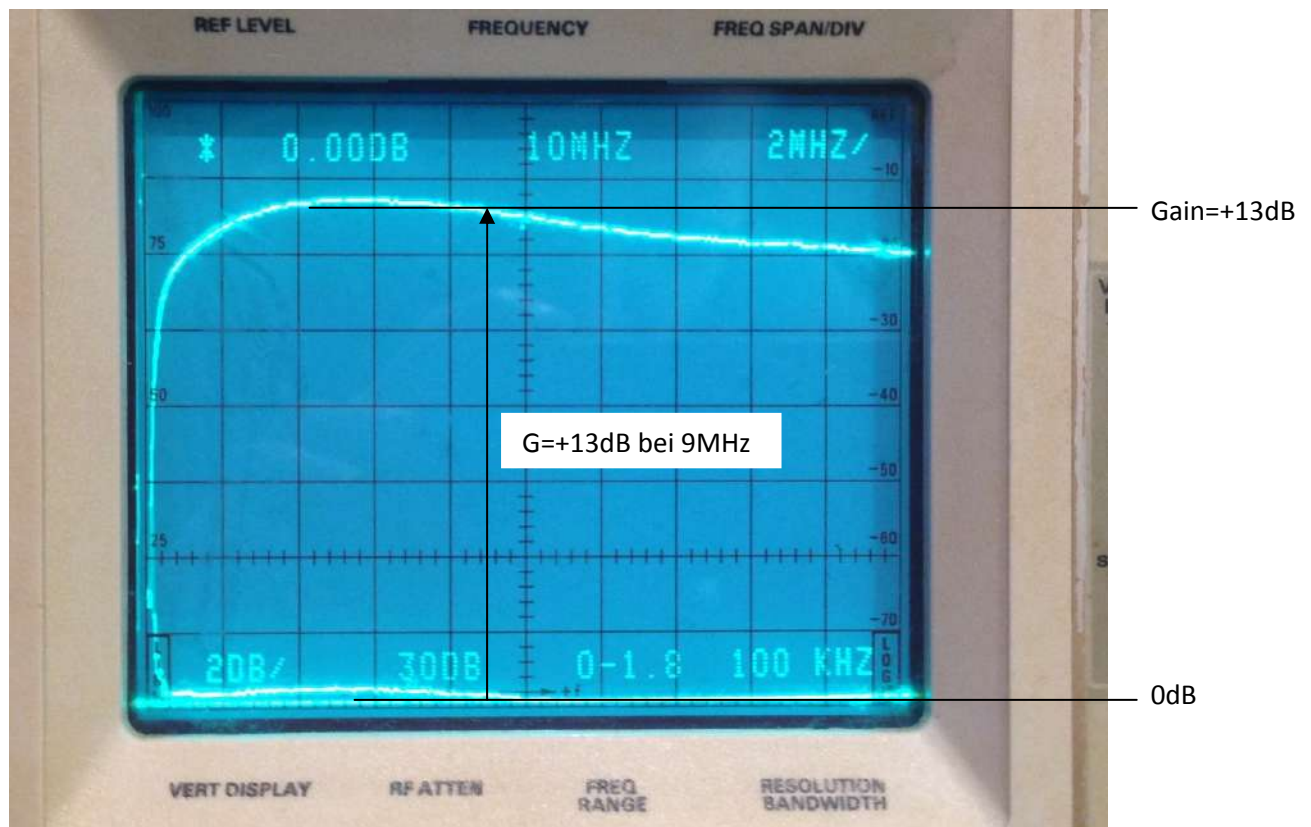
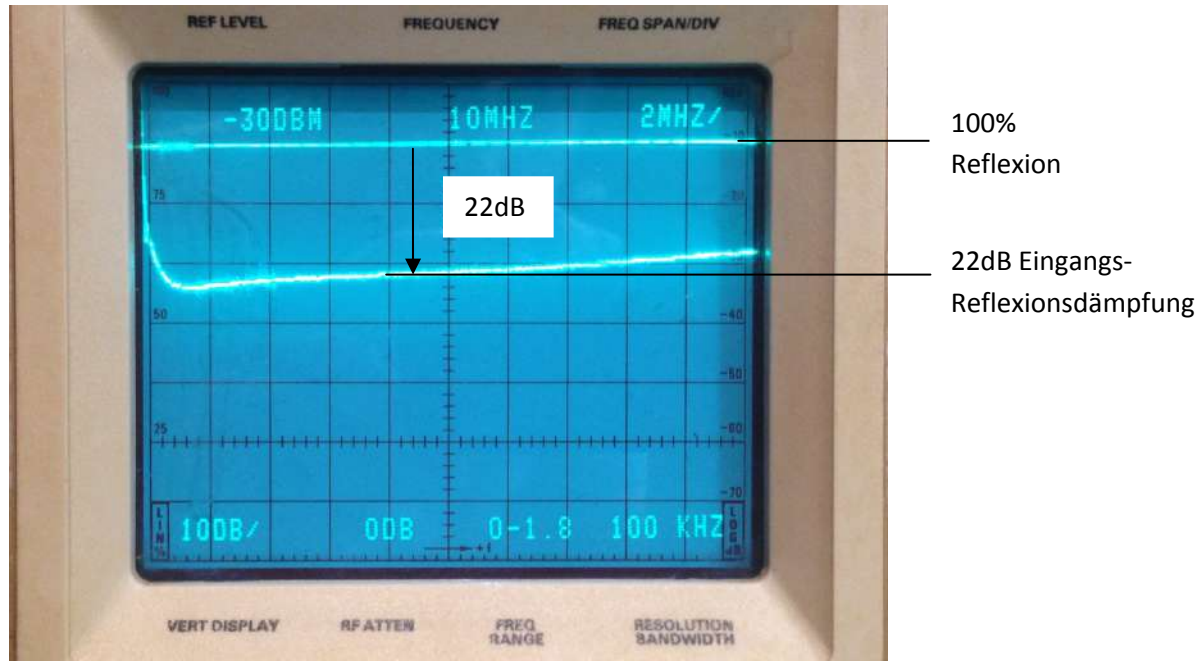


Bild 4: Übertragungskurve 0-20MHz, Verstärkung=13dB bei 9 MHz

### 1.3) Zin, Eingangsanpassung an $Z=50\ \Omega$

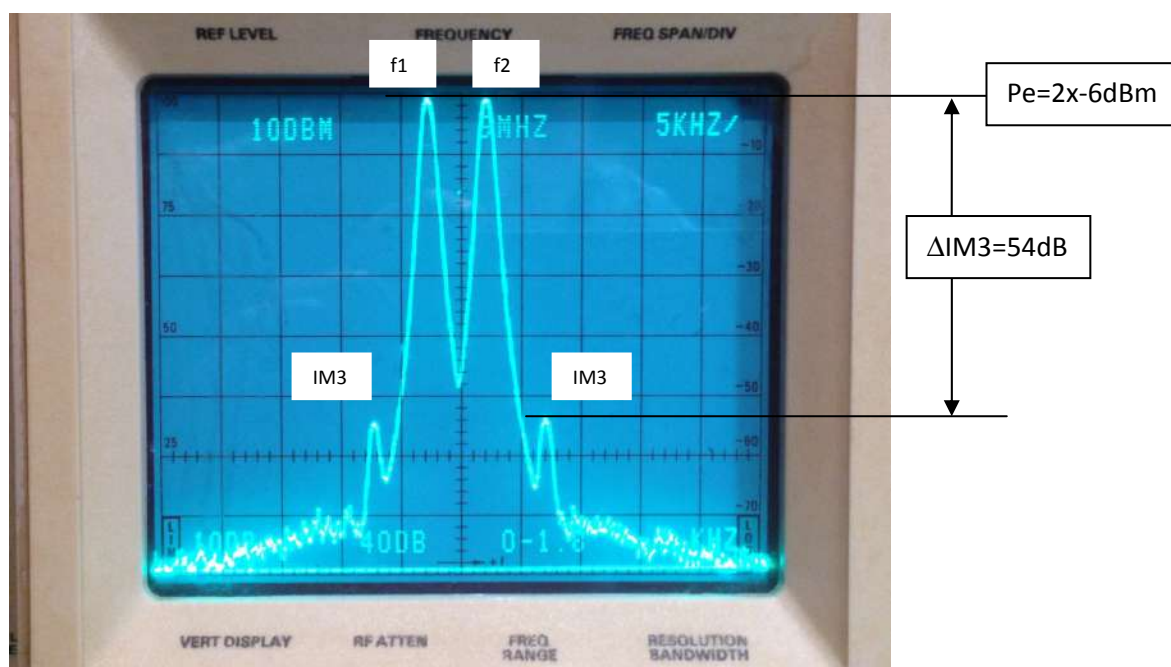
Die Messung der Anpassung des Verstärkers an  $Z=50\ \Omega$  erfolgt mit Hilfe einer VSWR-Brücke, einem Spektrumanalysator und Tracking-Generator. **Bild 5** zeigt die gewobbelte Rückflußdämpfung (Anpassung) von 0...20MHz mit einem Messergebnis von 22dB bei 9MHz.



**Bild 5: Gewobbelte Eingangs-Rückflußdämpfung 22dB bei 9MHz, SWR=1,17**

### 1.4) Intermodulation, $IP_3$ , Intercept-Point

Die verwendete Schaltung erreicht einen  $IP_3$  von +21dBm bei AGC=0. Zwei Eingangssignale  $P_e$  von jeweils -6 dBm lassen am Ausgang des Verstärkers  $IM_3$ -Produkte mit 54 dBc Abstand entstehen.



**Bild 6: Intermodulation am Ausgang des ZF-Verstärkers,  $P_e = 2 \times -6\text{dBm}$ ,  $IM_3=54\text{dBc}$  bei AGC=0**

Daraus folgt ein Intercept-Point dritter Ordnung von

- Eingangsfrequenzen:  $f_1 = 9\text{MHz}$ ,  $f_2 = 9,005\text{MHz}$
- Eingangspegel:  $P_{e_{f_1}}$ ,  $P_{e_{f_2}} = 2 \times 6\text{dBm}$ , Ausgangspegel:  $P_{a_{f_1}}$ ,  $P_{a_{f_2}}: 2 \times 8\text{dBm}$

$$IP_3 = (\Delta IM_3/2) + P_e = (54\text{dB}/2) - 6\text{dBm} = +21\text{dBm}$$

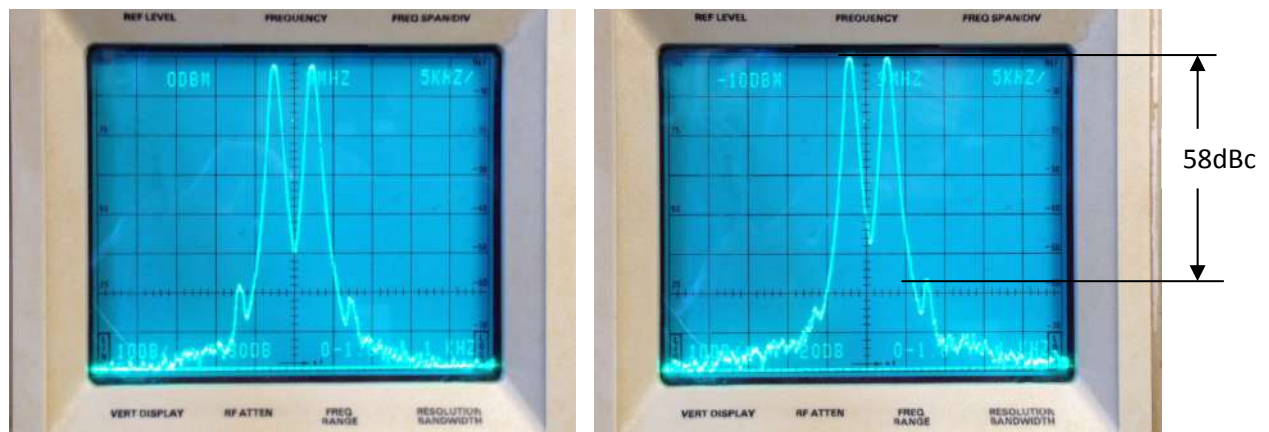
Der Klirrfaktor (Signalverzerrung) innerhalb der ZF beträgt demnach  $<1\%$ .

### IP3 mit aktiver AGC

Bei eingestellter AGC (Dämpfung) von 10 bzw. 20dB entsteht ein Intermodulationsspektrum nach **Bild 7**. Der Abstand der Nutzprodukte zu den Störprodukten 3. Ordnung beträgt 58dBc.

Daraus berechnet sich der  $IP_3$  zu:

$$IP_3 = \Delta IM_3/2 + P_e = 58\text{dB}/2 - 6\text{dBm} = +23\text{dBm}$$

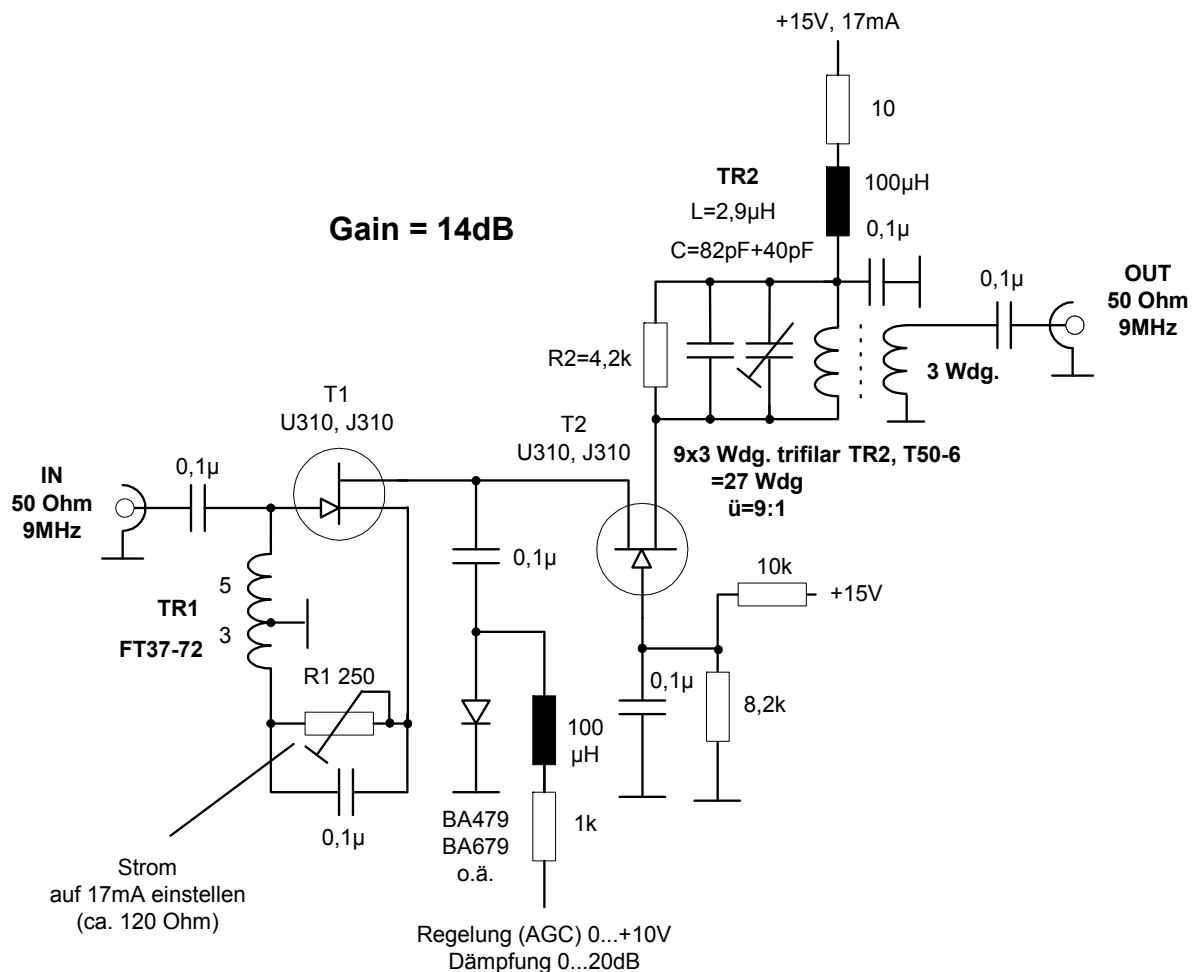


**Bild 7: Intermodulation des ZF-Verstärkers bei AGC=10dB (links) und AGC=20dB (rechts)**

Die Intermodulation des Verstärkers ändert (verschlechtert) sich demnach durch die AGC-Regelung der Pin-Diode nicht.

## 2.) Selektiver, regelbarer ZF-Verstärker hoher Dynamik

Wird als Ausgangsübertrager TR2 ein Eisenpulverkern mit geringer Permeabilität verwendet, lässt sich die geringe Induktivität des Ringkerns über einen Kondensator auf Resonanzfrequenz abgleichen (**Bild 8**). Bei einem Ringkern T50-6 ergibt sich bei 27 Windungen eine Induktivität von ca.  $2,9\mu\text{H}$ , die mit einem Kondensator (Trimmer) von ca.  $110\text{pF}$  auf 9 MHz Resonanz gebracht wird. Die Verstärkung der Kaskodenschaltung erhöht sich dadurch von zuvor 13dB (breitbandig) auf 14..15 dB (selektiv).



**Bild 8: Selektiver, regelbarer ZF-Verstärker mit hoher Dynamik, ZF-Frequenz 9MHz +/-150kHz**

### Daten

Verstärkung: 14dB

Rauschzahl: 0,8dB

Frequenz: 9 MHz (mit C auf Resonanzfrequenz abgleichen)

Bandbreite: +/-150kHz

Regelbereich/Dämpfung: 0...20dB

Betriebsspannung: 12...15VDC, Strom ca. 17mA



### Verwendete Ringkerne

TR1: Kern FT37-72, FT37-77, Ferrit-Kern, AL=880, 5+3 Windungen

TR2: Kern T50-6, AL=4, Eisenpulver-Kern, primär 27 Wdg., sekundär 3 Wdg.

R1: auf einen ID von ca. 17mA einstellen

R2: ca. 4,7kOhm

Z in: Rückflußdämpfung=20dB; VSWR= 1,22; Reflexionsfaktor=0,1

Z out: Rückflußdämpfung>30dB; VSWR= 1,06; Reflexionsfaktor=0,03

Einstellung der Ausgangsanpassung (Z out):

R2 so wählen, dass die Spannung am Ausgang mit einem Scope gemessen auf die Hälfte abfällt, wenn der offene Ausgang mit 50 Ohm abgeschlossen wird.

Rückwärtsentkopplung: >40dB (verursacht durch T2 in Gateschaltung)

IM<sub>3</sub>-Festigkeit:

Bei AGC=0dB: IM<sub>3</sub>=+18dBm

Bei AGC=20dB: IM<sub>3</sub>=+26dBm

1dB-Kompression: +3dBm

Berechnungen von Ausgangsübertrager TR2:

$$\ddot{u}=27/3=9$$

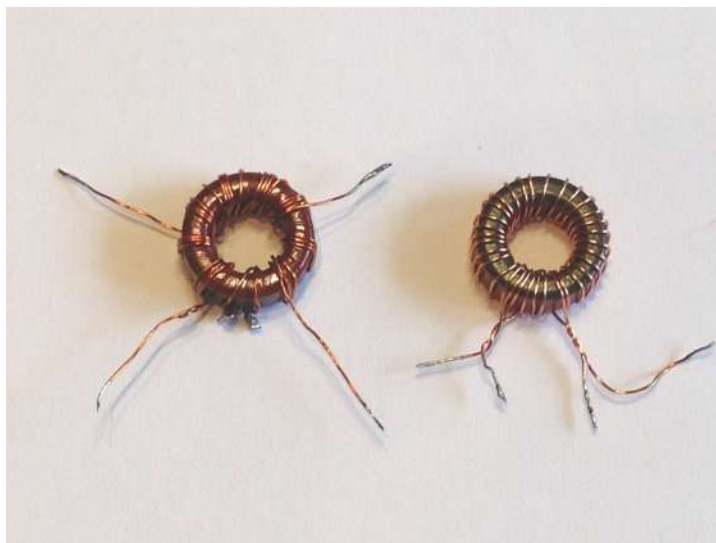
$$Z_{in} = \ddot{u}^2 \times Z_{out} = 81 \times 50 \text{ Ohm} = 4050 \text{ Ohm}$$

$$L = N^2 \times AL = 729 \times 4 = 2,92\mu\text{H}$$

$$C = 25330 / f^2 \times L = 107\text{pF}$$

### 2.1) Wicklung des Ringkerns im Ausgangsschwingkreis

Als Ringkern im Ausgang wird ein Eisenpulverkern mit geringer Permeabilität verwendet, wie z.B. ein T50-6. In **Bild 9** wurde der Kern (links) trifilar 3x9:3 bewickelt und rechts mit primär 27 Windungen zu sekundär 3 Windungen, ergibt in beiden Fällen ein Verhältnis von 9:1.



**Bild 9:** TR2, T50-6, trifilar mit 9x3:3=27:3 (links) oder mit einmaliger Wicklung 27:3 (rechts)

## 2.2) Übertragungsfunktion der Kaskodenstufe, Verstärkung

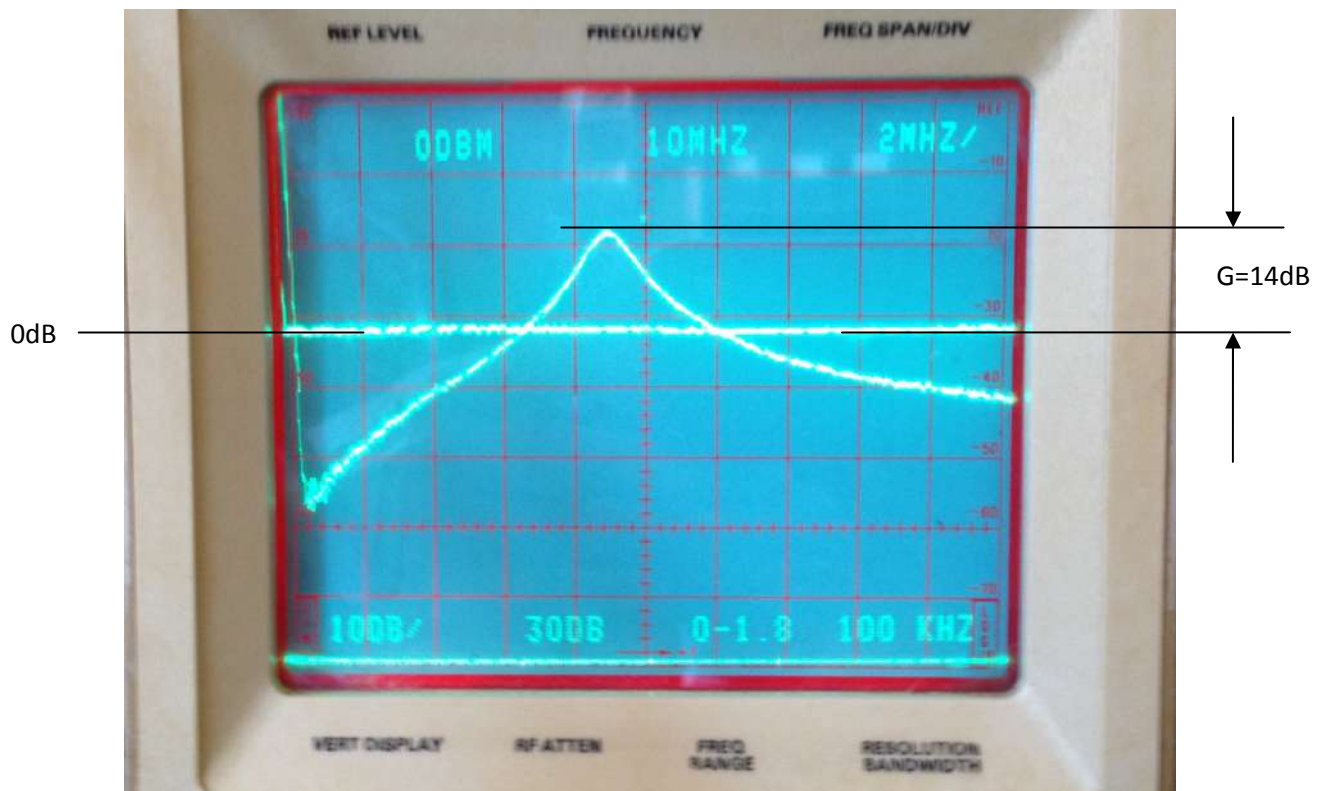


Bild 10: Übertragungskurve 0-20MHz, Verstärkung=14dB bei 9 MHz, Skalierung 10dB/Div

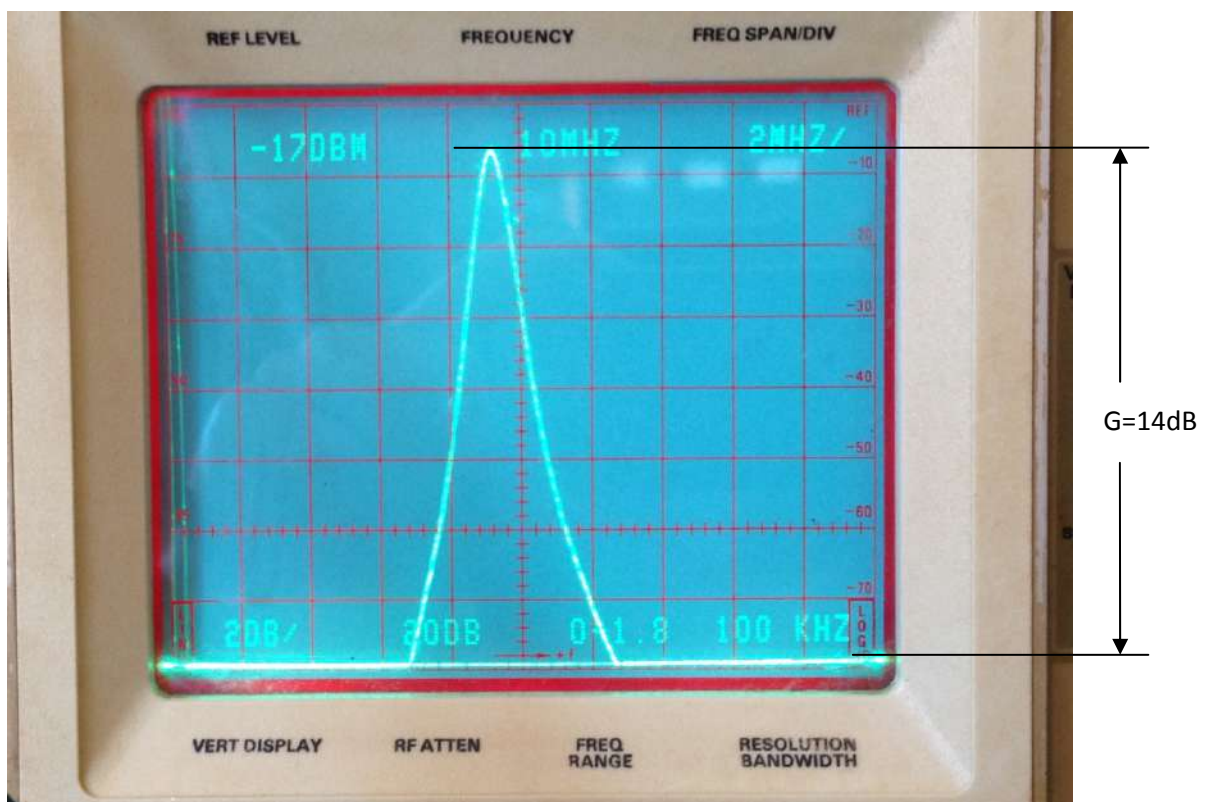


Bild 11: Gleiche Kurve wie in Bild 4, aber mit Skalierung von 2dB/Div



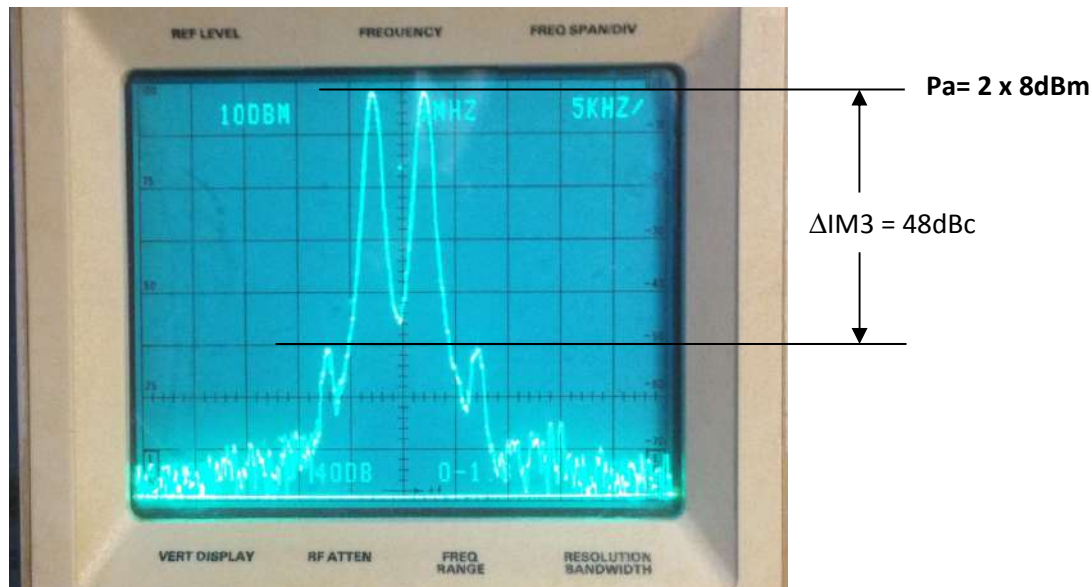
### 2.3) Intermodulation des selektiver Verstärkers

Die Messung der Intermodulation zeigt **Bild 12**. Zwei Nutzsignale ( $f_1$ ,  $f_2$ ) mit Eingangspegeln von jeweils -6dBm erzeugen IM3-Produkte in einem Abstand von 38dBc. Die Verstärkung beträgt 14dB und die AGC ist auf 0dB (0 Volt) eingestellt.

- Eingangsfrequenzen:  $f_1=9\text{MHz}$ ,  $f_2=9,005\text{MHz}$

- Eingangsleistungen:  $P_{e f_1}$ ,  $P_{e f_2} = 2 \times -6\text{dBm}$ , Ausgangsleistung:  $P_{a f_1}$ ,  $P_{a f_2} = 2 \times 8\text{dBm}$

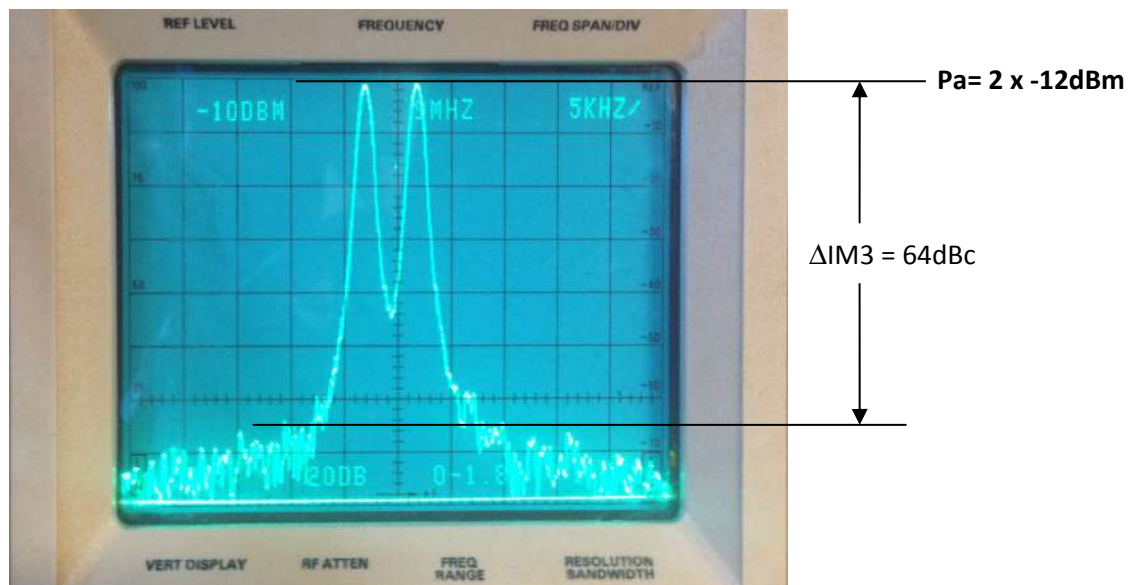
$$IP_3 = \Delta IM_3/2 + P_e = (48\text{dBc}/2) - 6\text{dBm} = +18\text{dBm}$$



**Bild 12:** Intermodulation am Ausgang des ZF-Verstärkers bei  $P_e = 2 \times -6\text{dBm}$ , AGC=0dB

**Bild 13** zeigt das gleiche Signal, aber mit maximal eingestellter AGC von 20dB Dämpfung. Die IM-Produkte verschwinden jetzt fast im Rauschen, sind kaum noch messbar.

$$IP_3 = \Delta IM_3/2 + P_e = 64\text{dB}/2 - 6\text{dBm} = +26\text{dBm}$$



**Bild 13:** Intermodulation am Ausgang des ZF-Verstärkers mit AGC=20dB

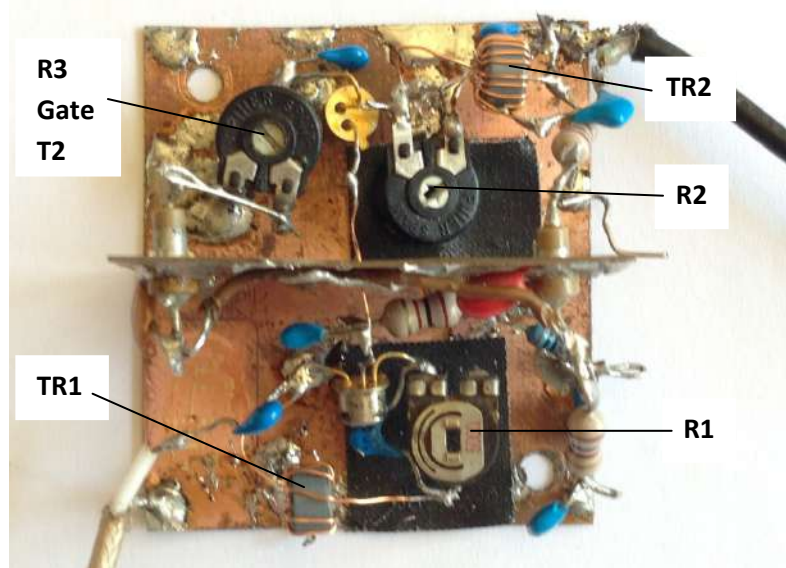
**Ergebnis:**

Bezogen auf Intermodulationsfestigkeit erreicht die breitbandige Kaskodenschaltung einen etwas höheren  $IP_3$ , als die schmalbandige (selektive) Kaskodenschaltung mit Schwingkreis im Ausgang.

$IP_3$  Breitbandverstärker = +21dBm,  $IP_3$  Schmalbandverstärker = +18dBm

**Testaufbau, FET-Kaskodenschaltung, regelbarer ZF-Verstärker**

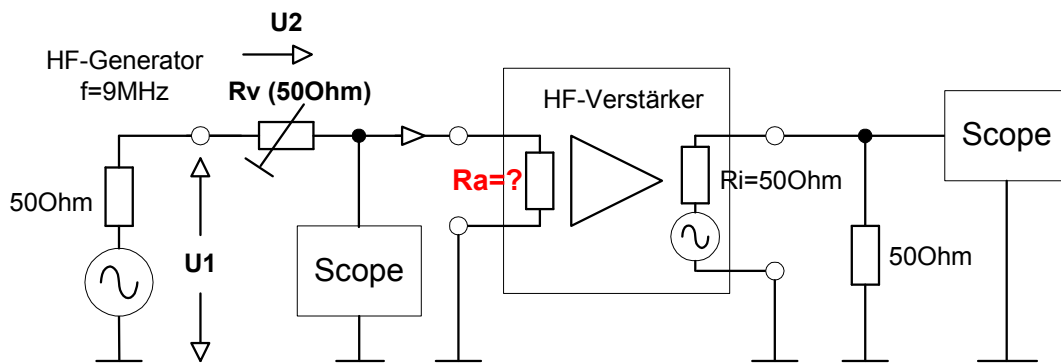
Einen Experimentieraufbau zeigt **Bild 14**. Der Aufbau des Verstärkers ist unkritisch. Lediglich bei der selektiven Ausführung, die etwas höherer Verstärkung arbeitet, sollten beim zweiten FET die Anschlüsse so kurz wie möglich sein, da sonst wilde Schwingungen bei 400MHz auftauchen können.



**Bild 14: offener Testaufbau, Verstärker, breitbandig**

**Literatur**

- **Low Noise AGC-Controlled IF Amplifier**  
Radio Communication May 1985
- **Rauscharmer regelbarer ZF-Verstärker**  
CQ DL 1/98
- **Großsignalfestes und empfindliches HF-Eingangsteil von 0,1-500MHz**  
QC DL 7/8 2000  
[https://dc4ku.darc.de/HF\\_Eingangsteil.pdf](https://dc4ku.darc.de/HF_Eingangsteil.pdf)
- **Dynamischer ZF-Verstärker für SSB, AM und FM**  
Funkamateure 10-12/2000, 1/2001  
[https://dc4ku.darc.de/Dynamischer\\_ZF\\_Verstaerker.pdf](https://dc4ku.darc.de/Dynamischer_ZF_Verstaerker.pdf)
- **Messung von Eingangs- und Ausgangswiderstand**  
<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-EingangsAusgangsWiderstand.htm>

**Appendix:****Messung der Eingangsimpedanz eines HF-Verstärkers**

$$R_a = R_v \cdot \frac{U_2}{U_1 - U_2}$$

Spannungsmessung am Eingang oder Ausgang des HF-Verstärkers:

$U_1$  = Generatorspannung

$R_v$  = Vorwiderstand (bei Anpassung: 50Ohm)

$U_2$  = Spannung am Vorwiderstand

$R_a$  = Der zu berechnende Eingangswiderstand (die Eingangsimpedanz)

**Wenn die Spannung  $U_2$  der halbe Wert von  $U_1$  ist, dann ist der gemessene Widerstandswert  $R_v$  gleich dem Eingangswiderstand  $R_a$ .**

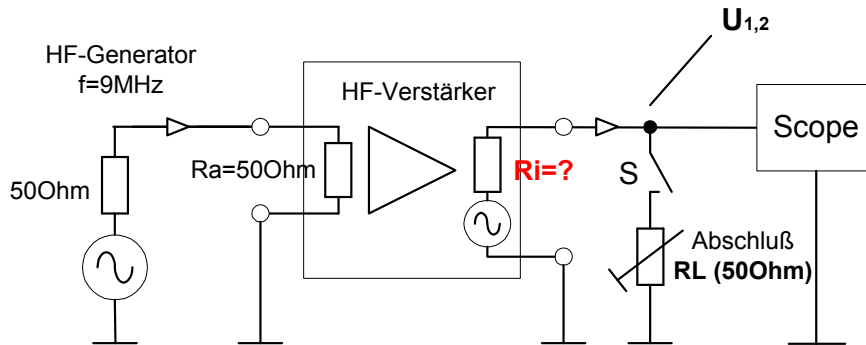
Beispiel:

Messwert  $U_1=200\text{mV}$ , Messwert  $U_2=100\text{mV}$ ,  $R_v=50\text{Ohm}$ ,  $R_a=?$

$R_a = 50\text{Ohm} \times 100\text{mV} / (200\text{mV} - 100\text{mV}) = 50\text{Ohm}$

Der Eingangswiderstand beträgt 50Ohm

## Messung der Ausgangsimpedanz eines HF-Verstärkers



$$R_i = R_L \cdot \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

Spannungsmessung am Ausgang des HF-Verstärkers:

$U_1$  = Leerlaufspannung (bei  $R_L = \infty \Omega$ , also ohne  $R_L$ , wenn Schalter S offen)

$R_L$  = Lastwiderstand (bei Anpassung 50Ohm)

$U_2$  = Spannung mit Lastwiderstand  $R_L$

$R_i$  = Der zu berechnende Ausgangswiderstand (die Ausgangsimpedanz)

**Wenn die Spannung  $U_2$  der halbe Wert von  $U_1$  ist, dann ist der Ausgangswiderstand  $R_i$  gleich dem Widerstand  $R_L$ .**

Beispiel:

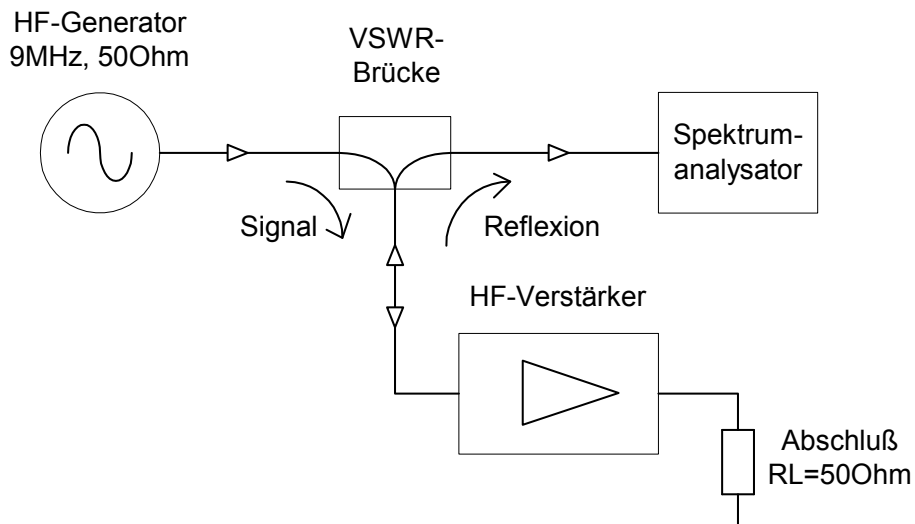
Messwert  $U_1=200\text{mV}$ , Messwert  $U_2=100\text{mV}$ ,  $R_L=50\text{Ohm}$ ,  $R_i=?$

$R_i=50\text{Ohm} \times (200\text{mV}/100\text{mV}-1) = 50\text{Ohm}$

Der Ausgangswiderstand beträgt 50Ohm

Wer über eine SWR-Messbrücke verfügt, kann die Eingangsanpassung auch über die Rückflußdämpfung messen:

### Messung der Eingangsanpassung eines HF-Verstärkers



Das Maß der Eingangsanpassung des Verstärkers an  $R=50\Omega$  wird als Rückflusdämpfung (dB) über der Frequenz am Spektrumanalysator angezeigt.

Eine Rückflusdämpfung von 20dB entspricht einem Reflexionsfaktor von 0,1 und einem Stehwellenverhältnis (VSWR) von 1,22.