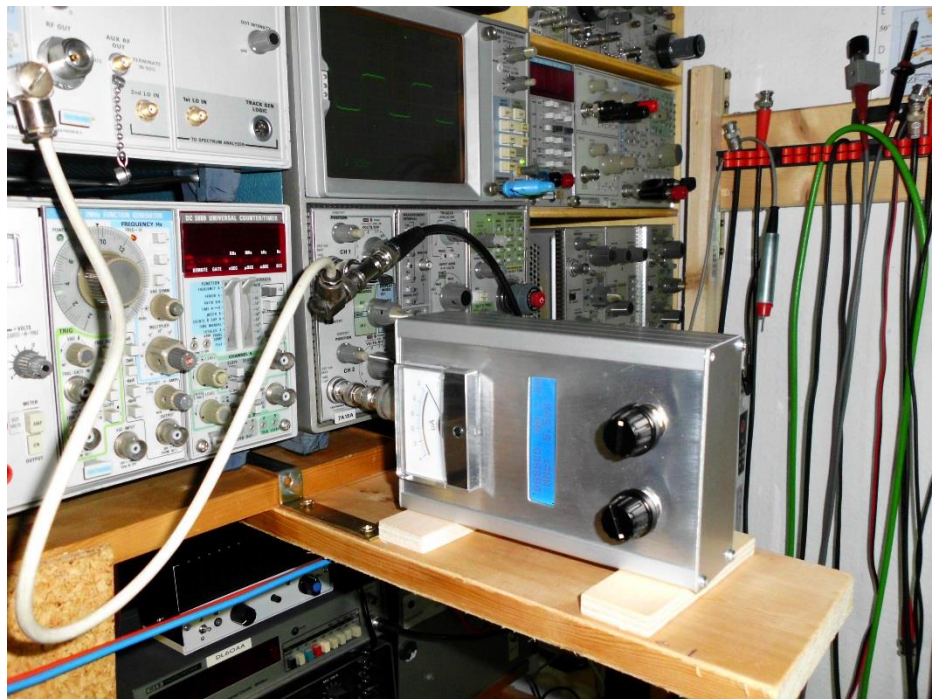
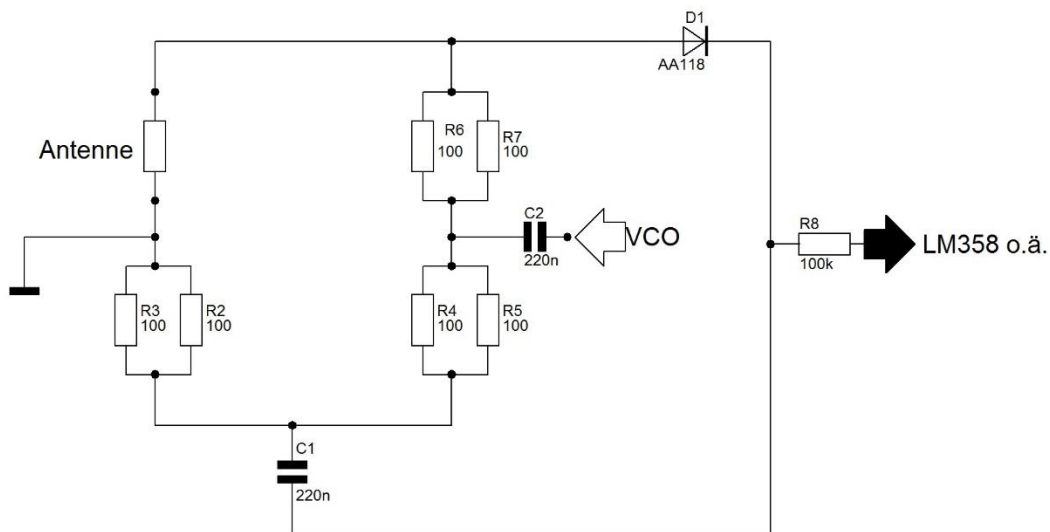


## H39-Workshop Projekt SWR-Meter mit Arduino und AD9851 (zusammengestellt von DL6OAA)

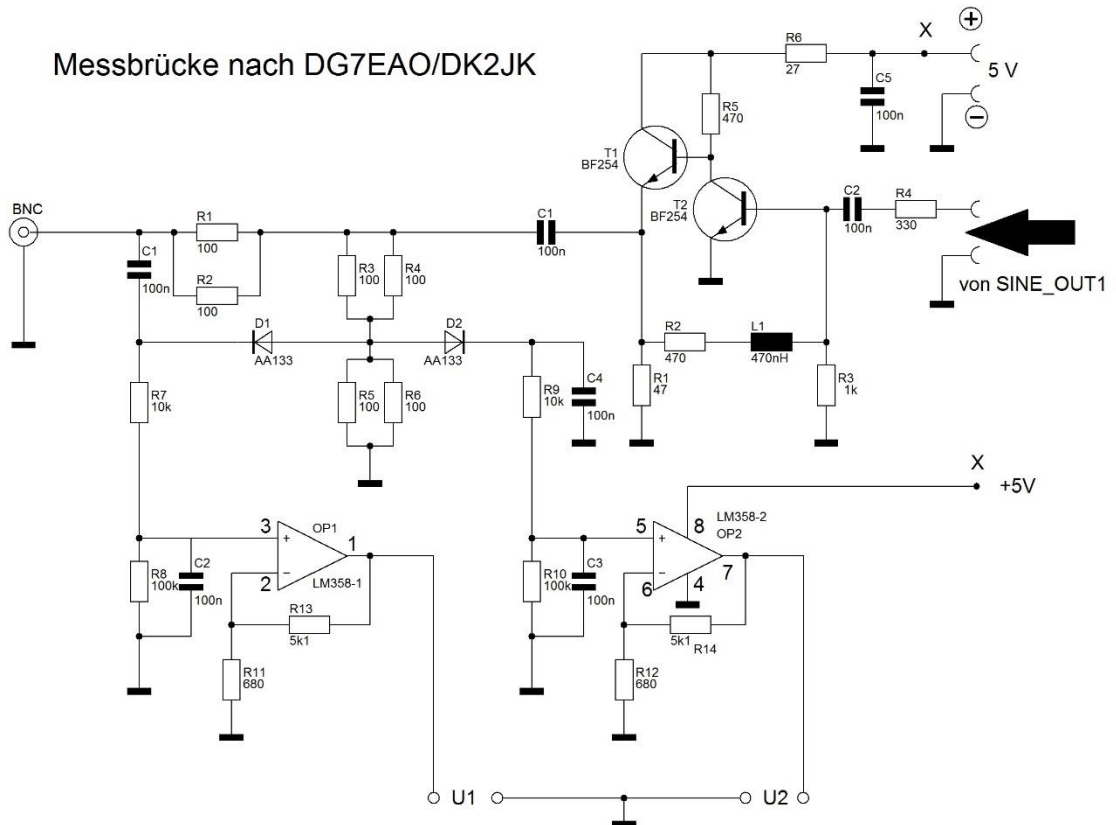
Anmerkung: Ich nenne den Antennenanalysator lieber SWR-Meter, weil nur der SWR-Verlauf über eine Frequenzspanne ermittelt werden kann – komplexe Komponenten (Phasenverschiebung, komplexer Reflexionsfaktor, Impedanz etc.) können nicht erfasst werden.

Beispiel Messbrücke: Antennenanalysator AA30 von DG8SCD

### Messbrücke AA30 (nach DG8SCD)

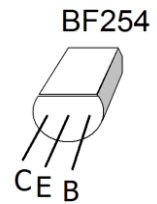


## Erweiterte Schaltung (DG7EAO/DK2JK) nach einer Idee von K6BEZ:

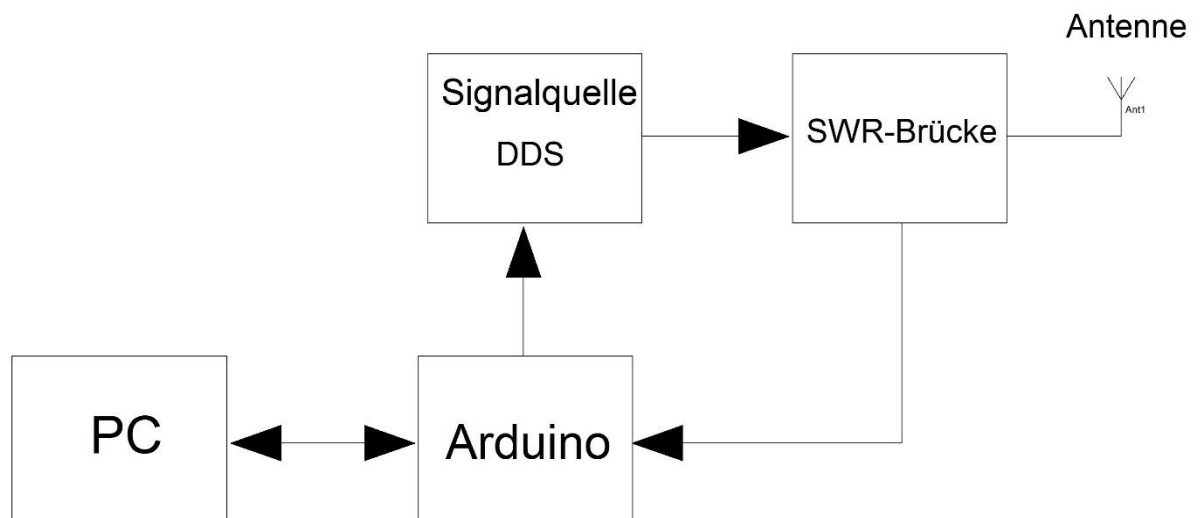


Zusatzschaltung (Verstärkung für  $DDS_{out}$  sinnvoll; statt BCY59 BF254 verwenden):

Das Funktionsschema des SWR-Meters:

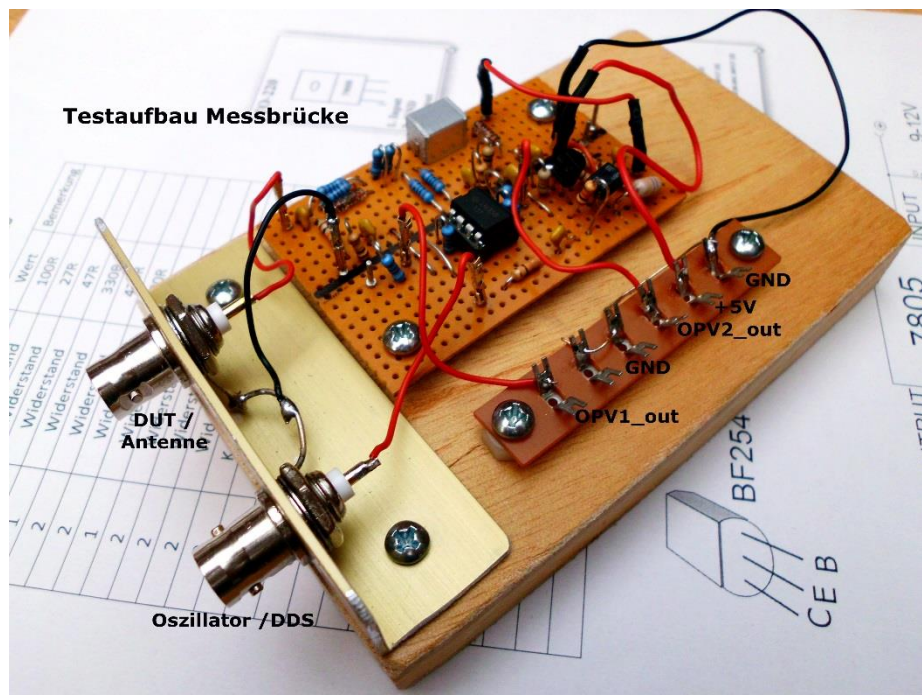


## Antennenanalysator(VSWR) Funktionsschema

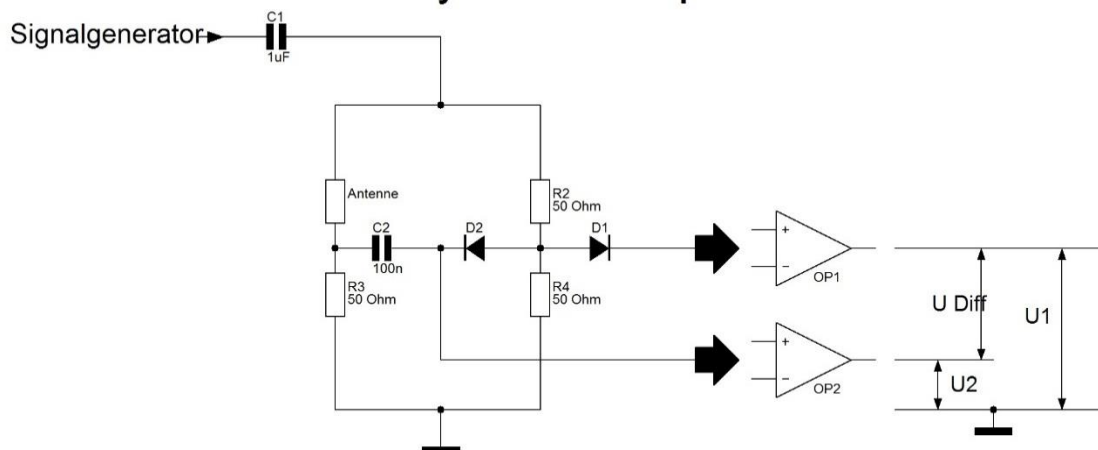


Das Arduino-Modul sendet in Kombination mit der PC-Software die Daten für einen Frequenz-Sweep z.B. 1 .. 30 MHz an das DDS-Modul. Der Signalausgang wird mit der Antenne verbunden. Gleichzeitig wird über eine ohmsche SWR-Brücke das Verhältnis des Realteils  $Z$  der Antenne (Messwiderstand) und  $50\ \Omega$  über das Spannungsverhältnis  $U_1/U_2$  ermittelt und durch die PC-Software ausgewertet. Das Verhältnis des Messwiderstandes zu dem Wert  $50\ \Omega$  ist gleich dem Stehwellenverhältnis.

Die PC-Software zeichnet eine Frequenzkurve mit den errechneten SWR-Werten. Mit dieser Messung ist es möglich, die optimale Anpassung von selbstgebaute Antennen zu ermitteln. Die SWR Werte geben einen guten Anhaltspunkt über den Frequenzverlauf. Allerdings sind es keine genauen Absolut-Werte. Zum Experimentieren mit Antennen reicht die Auflösung aber völlig aus. Man kann vielleicht noch die Messkurve der verwendeten Germanium-Dioden linearisieren (siehe Schaltung DK2JK) und dadurch die Genauigkeit der SWR-Werte erhöhen. Auf die sog. Resonanzpunkte hat dies keine Auswirkung.



## Antennenanalyser: Prinzip Messbrücke



Wenn die Antenne in Resonanz ist und einen Wirkwiderstand von  $50 \Omega$  hat, fließt durch D2 kein Strom, d.h. an PIN3 des OP1 (Schaltung oben) liegt keine Spannung an, der Ausgang PIN1 wird 0V. Somit nimmt  $U_{\text{diff}}$  einen Maximalwert an, in allen anderen Fällen fließt ein Querstrom über D2 und C2 und die Spannungsdifferenz zwischen U1 und U2 wird kleiner.  $U_{\text{diff}}$  ist also ein Maß für den Reflexionsfaktor bzw. das SWR.

Welche Parameter interessieren bei der Antennenanalyse?

Systemimpedanz  $Z$  in  $\Omega$ ; **VSWR** – Stehwellenverhältnis; Reflexionsfaktor  $|\Gamma|$  (0....1); reflektierte Leistung in % (**%refl PWR**); Leistung am Lastabschluss in % (**%Output PWR**); Rückflusdämpfung in dB (**return loss**); Verlust durch Fehlanpassung in dB (**mismatch**);

Der Begriff **Reflexionsfaktor** bezieht sich auf ein **Spannungsverhältnis**

$$\text{Reflexionsfaktor } |\Gamma| = \frac{U_{\text{ref}}}{U_{\text{in}}}$$

Der Begriff **Rückflusdämpfung** bezieht sich auf ein **Leistungsverhältnis**

Im Zusammenhang mit dem Reflexionsfaktor  $\Gamma$  (Gamma) - dieser entspricht dem Streuparameter  $S_{11}$  - ist das SWR gegeben als

$$\text{SWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + |s_{11}|}{1 - |s_{11}|}$$

bzw. der Reflexionsfaktor  $\Gamma$  ergibt sich somit als

$$|\Gamma| = \frac{\text{SWR} - 1}{\text{SWR} + 1}$$

Der Betrag des Reflexionsfaktors  $\Gamma$  wird häufig auch durch rho ( $\rho$ ,  $\varrho$ ) angegeben.

Kleine Beispielrechnung:

Ein TX sendet 100W über ein 50-Ohm-Kabel an eine Antenne. Durch Fehlanpassung wird die Hälfte der Leistung reflektiert. Wie groß sind Reflexionsfaktor und SWR?

$$100 \text{ W an } 50 \Omega \text{ ergibt eine Spannung } U_{\text{eff}} = \sqrt{P * R} = \sqrt{100 * 50} = 70,7 \text{ V}$$

$$50 \text{ W an } 50 \Omega \text{ ergibt eine Spannung von } U_{\text{eff}} = \sqrt{2500} = 50 \text{ V}$$

$$\text{somit ist der Reflexionsfaktor } |\Gamma| = \frac{U_{\text{ref}}}{U_{\text{in}}} = \frac{50 \text{ V}}{70,7 \text{ V}} = 0,707$$

$$\text{und das SWR} = \frac{1+0,707}{1-0,707} = \frac{1,707}{0,293} = 5,8$$

Viel einfacher geht es natürlich mit einer Excel-Tabelle – hier der SWR-Kalkulator von DK7MB: <https://www.charly16.de/swr-rechner.html>

| SWR_C16.XLS Freeware ohne Gewähr DK7MR 2014_09_08 |           |                                                     |                |                |               |                            |                             |           |
|---------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|
| Stehwellenverhältnis                              |           |                                                     |                |                |               |                            |                             |           |
| Systemimpedanz<br>Z [Ohm] =                       | 50        | (S) Messung mit angeschlossener Last (z.B. Antenne) |                |                |               |                            |                             |           |
| SWR                                               | rho       | refl. PWR [%]                                       | ret. loss [dB] | Output PWR [%] | Mismatch [dB] | bei Last [Ohm]<br>/ oder \ | (!) Kabel-<br>dämpfung [dB] |           |
| 1                                                 | 0         | 0                                                   | inf.           | 100            | 0             | 50                         | 50                          | inf.      |
| 1.5                                               | 0.2       | 4                                                   | 13.9794        | 96             | -0.177288     | 33.333333                  | 75                          | 6.9897    |
| 3                                                 | 0.5       | 25                                                  | 6.0205999      | 75             | -1.249387     | 16.666667                  | 150                         | 3.0103    |
| 5                                                 | 0.6666667 | 44.444444                                           | 3.5218252      | 55.555556      | -2.552725     | 10                         | 250                         | 1.7609126 |
| 10                                                | 0.8181818 | 66.942149                                           | 1.7430035      | 33.057851      | -4.807254     | 5                          | 500                         | 0.8715018 |
| 1                                                 | 0         | 0                                                   | inf.           | 100            | 0             | 50                         | 50                          | inf.      |
| 1.2222222                                         | 0.1       | 1                                                   | 20             | 99             | -0.043648     | 40.909091                  | 61.111111                   | 10        |
| 1.8571429                                         | 0.3       | 9                                                   | 10.457575      | 91             | -0.409586     | 26.923077                  | 92.857143                   | 5.2287875 |
| 12.3333333                                        | 0.85      | 72.25                                               | 1.4116215      | 27.75          | -5.56737      | 4.0540541                  | 616.66667                   | 0.7058107 |
| inf.                                              | 1         | 100                                                 | 0              | 0              | - inf.        | 0                          | inf.                        | 0         |
| 1.4189795                                         | 0.1732051 | 3                                                   | 15.228787      | 97             | -0.132283     | 35.23659                   | 70.948977                   | 7.6143937 |
| 1.9925                                            | 0.3316625 | 11                                                  | 9.5860731      | 89             | -0.5061       | 25.094103                  | 99.624998                   | 4.7930366 |
| 3                                                 | 0.5       | 25                                                  | 6.0205999      | 75             | -1.249387     | 16.666667                  | 150                         | 3.0103    |
| 5.8284271                                         | 0.7071068 | 50                                                  | 3.0103         | 50             | -3.0103       | 8.5786438                  | 291.42136                   | 1.50515   |
| 17.944272                                         | 0.8944272 | 80                                                  | 0.9691001      | 20             | -6.9897       | 2.7864045                  | 897.2136                    | 0.4845501 |
| 1.020202                                          | 0.01      | 0.01                                                | 40             | 99.99          | -0.000434     | 49.009901                  | 51.010101                   | 20        |
| 1.1055263                                         | 0.0501187 | 0.2511886                                           | 26             | 99.748811      | -0.010923     | 45.227328                  | 55.276314                   | 13        |
| 1.4985203                                         | 0.1995262 | 3.9810717                                           | 14             | 96.018928      | -0.176431     | 33.366247                  | 74.926017                   | 7         |
| 1.9249506                                         | 0.3162278 | 10                                                  | 10             | 90             | -0.457575     | 25.974693                  | 96.24753                    | 5         |
| 5.8480436                                         | 0.7079458 | 50.118723                                           | 3              | 49.881277      | -3.020624     | 8.5498679                  | 292.40218                   | 1.5       |

## Reflexionsdämpfung (RL = Return Loss)

Ein Maß für die Effizienz der Leistungsübertragung von einem Kabel zu einer Last ist die Reflexionsdämpfung  $RL$ . Das Verhältnis zwischen der vorlaufenden Leistung  $P_{in}$  (power incident) und der reflektierten Leistung  $P_{ref}$  (power reflected) beschreibt das Ausmaß der Fehlanpassung. Je grösser das Leistungsverhältnis  $P_{in} / P_{ref}$  ist, umso besser ist die Last an die Quelle angepasst. In dB ausgedrückt ist die Reflexionsdämpfung wie folgt definiert:

$$RL = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{in}}{P_{ref}} \right) [dB]$$

Der **Reflexionsfaktor**  $RC$  (Reflection Coefficient) in dB unterscheidet sich nur im Vorzeichen von der Reflexionsdämpfung  $RL$  in dB.

$$RL = 10 \log_{10} \left| \frac{1}{\Gamma^2} \right| [dB] = -20 \log_{10} |\Gamma| [dB] = -RC [dB] = -S_{11} [dB]$$



Noch eine wichtige Tatsache in der Funkpraxis (für SWR 1:1 Fanatiker):

**Für Kurzwellenverbindungen fallen Verluste unterhalb von 1dB kaum ins Gewicht. Die Anpassungsverluste übersteigen 1dB erst ab einem SWR >2,66 !!**

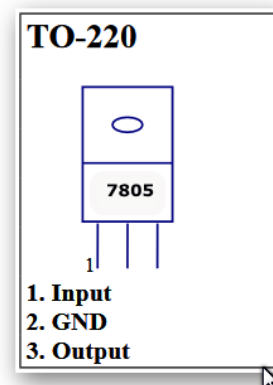
$$ML = -10 \log_{10} \left( 1 - \left( 10^{\frac{-RL[dB]}{20}} \right)^2 \right) [dB] \quad ML = -10 \log_{10} (1 - \Gamma^2) [dB]$$

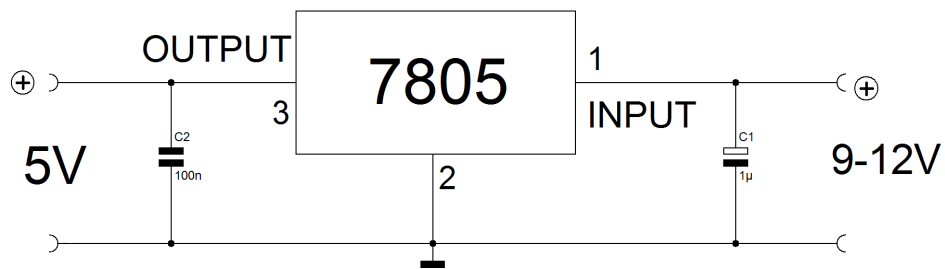
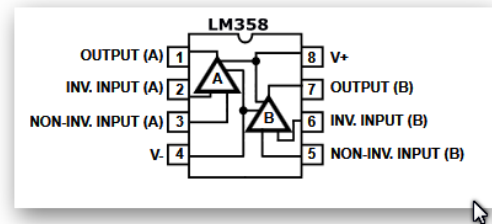
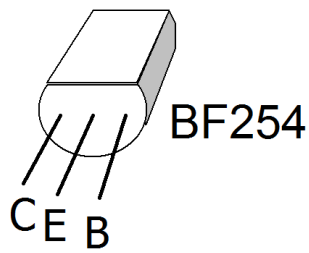
$$ML = -10 \log_{10} \left[ 1 - \left( \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2 \right] [dB]$$

Nun genug der Theorie – jetzt wird gebaut und programmiert....

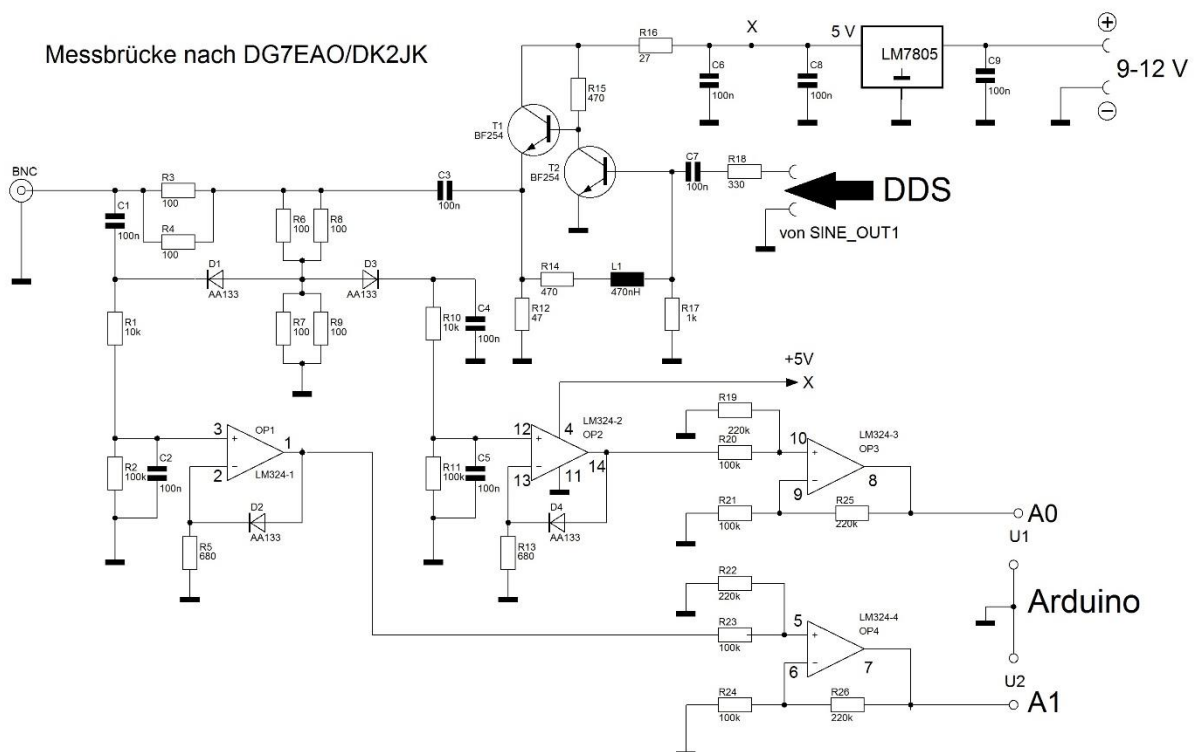
### Bauteileliste Projekt SWR-Messbrücke

| Anzahl | Bauteil         | Wert  | Bemerkung |
|--------|-----------------|-------|-----------|
| 6      | Widerstand      | 100R  |           |
| 1      | Widerstand      | 27R   |           |
| 1      | Widerstand      | 47R   |           |
| 1      | Widerstand      | 330R  |           |
| 2      | Widerstand      | 470R  |           |
| 2      | Widerstand      | 680R  |           |
| 1      | Widerstand      | 1k    |           |
| 2      | Widerstand      | 5k1   |           |
| 2      | Widerstand      | 10k   |           |
| 2      | Widerstand      | 100k  |           |
| 3      | Kondensator     | 10nF  |           |
| 7      | Kondensator     | 100nF |           |
| 1      | Kondensator     | 1uF   |           |
| 0      | Kondensator     | 10uF  |           |
| 1      | Induktivität    | 470nH |           |
| 2      | Transistor      | BF254 |           |
| 4      | Diode           | AA133 |           |
| 1      | IC              | LM358 |           |
| 1      | IC              | 7805  |           |
| 1      | Streifenplatine |       |           |
| 1      | DIL 8           |       |           |
|        |                 |       |           |
|        |                 |       |           |

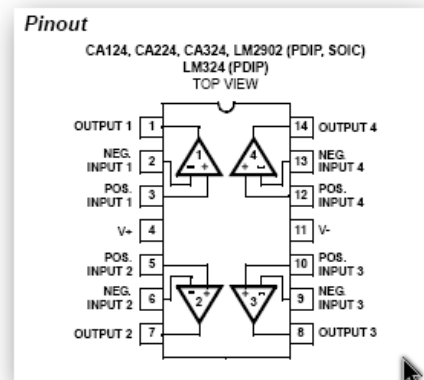




Um die Messkurven der verwendeten Germaniumdioden zu linearisieren, schlägt DK2JK folgende Schaltung vor:



Jeder Messkanal besteht aus einer Spitzenwertgleichrichtung mit nachfolgendem logarithmischem Verstärker, welcher mit der gleichen Diode bestückt ist wie der Gleichrichter, so wird die nichtlineare Kennlinie des Spitzenwertgleichrichters kompensiert. Der zweite OP verstärkt das Signal auf ca. 500mV am Eingang des Analog-Digital-Wandlers des Mikrocontrollers. Um bei den kleinen Spannungen im mV - Bereich die Offsetfehler klein zu halten, sind die OPs möglichst symmetrisch beschaltet. Als OP genügt ein LM324, der bei + 5Volt und 0-Volt-Versorgung Ausgangsspannungen von 0 Volt bis ca. 3 Volt Ausgangsspannung liefert.



### **Stückliste Messbrücke mit LM324**

BNC = BNC-Buchse

C1 = 100n

C2 = 100n

C3 = 100n

C4 = 100n

C5 = 100n

C6 = 100n

C7 = 100n

D1 = AA133

D2 = AA133

D3 = AA133

D4 = AA133

L1 = 470nH

OP1 = LM324-1

OP2 = LM324-2

OP3 = LM324-3

OP4 = LM324-4

R1 = 10k

R2 = 100k

R3 = 100

R4 = 100

R5 = 680

R6 = 100

R7 = 100

R8 = 100

R9 = 100

R10 = 10k

R11 = 100k

R12 = 47

R13 = 680

R14 = 470

R15 = 470

R16 = 27

R17 = 1k

R18 = 330

R19 = 220k

R20 = 100k

R21 = 100k

R22 = 220k

R23 = 100k

R24 = 100k

R25 = 220k

R26 = 220k

T1 = BF254

T2 = BF254



Quellen:

<https://studylibde.com/doc/8487253/%E2%80%9EAntennenanalyser%E2%80%9C-mit-arduino---von-dk2jk>

<http://www.dg7eao.de/arduino/antennen-analysator/>

[http://dk2jk.darc.de/arduino/antennenanalyser/prototyp\\_m4/beschreibung.pdf](http://dk2jk.darc.de/arduino/antennenanalyser/prototyp_m4/beschreibung.pdf)

<https://rfantennas.wordpress.com/2013/08/22/swr-reflexionsdampfung-und-reflexionsfaktor/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Reflexionsfaktor>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Stehwellenverh%C3%A4ltnis>