

Inhaltsverzeichnis

I.	Quarz.....	2
1.)	Ersatzschaltbild	2
2.)	Messaufbau.....	2
3.)	Messung.....	2
4.)	Berechnung.....	3
a.)	Berechnung 3 Oberton.....	3
b.)	Berechnung $f_{s0}/3$ Grundton	3
5.)	Anhang	4
a.)	Parallelresonanz	4
b.)	Resonanzstellen	4
II.	Schwingkreis (Bandpass).....	5
1.)	Messaufbau.....	5
2.)	Messung.....	5
3.)	Berechnung.....	5
4.)	Anhang	6
a.)	Resonanzfrequenz f_0	6
b.)	3dB Bandbreite	6
III.	Verstärker (selektiv).....	7
1.)	Messaufbau.....	7
2.)	Messung.....	7
3.)	Berechnung.....	8
4.)	Anhang	9
a.)	Resonanzfrequenz f_0	9
5.)	LT-Spice Simulation	9
a.)	ohne Kondensator C_E	9
b.)	mit Kondensator C_E	10
c.)	beide Schaltungen im Vergleich.....	11
IV.	Anhang	12

I. Quarz

1.) Ersatzschaltbild

Im Schaltbild sind die Komponenten eines Quarz dargestellt. Der Quarz hat durch seine Bauform zwei Resonanzfrequenzen, wie im Schaltbild zu erkennen Serienresonanz (L_s, C_s, R_s) und Parallelresonanz ($C_0 // (L_s, C_s, R_s)$). Durch den Kondensator C_L am Ausgang kann die Schwingfrequenz zwischen den beiden Resonanzfrequenzen verschoben werden. Jeder Quarz hat zudem eine Einschwingdauer die bei bestimmten Anwendungen zu berücksichtigen ist.

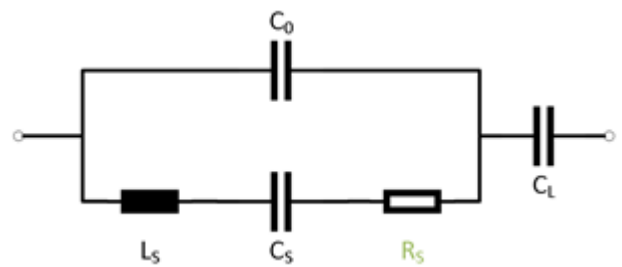


Abb.: 1: Ersatzschaltbild eines Quarzkristalls

Ober/Untertonberechnung

$$f_{no} = f_0 * (2m + 1) \quad f_{nu} = \frac{f_0}{(2m + 1)}$$

2.) Messaufbau.

Die Messung des Quarzes erfolgt an einem 50Ω Messplatz ($R_0=R_L=50\Omega$). Die gemessene Güte Q_{Mess} ist daher noch in Q_0 umzurechnen. Es ist eine Güte größer 100000 zu erwarten.

Quarz: Hirschmann 276032 KVG A296

$$Q_{Mess} = \frac{f_{s0}}{B_{3dB}} \quad a_{lin} = 10^{-\frac{a/dB}{20}}$$

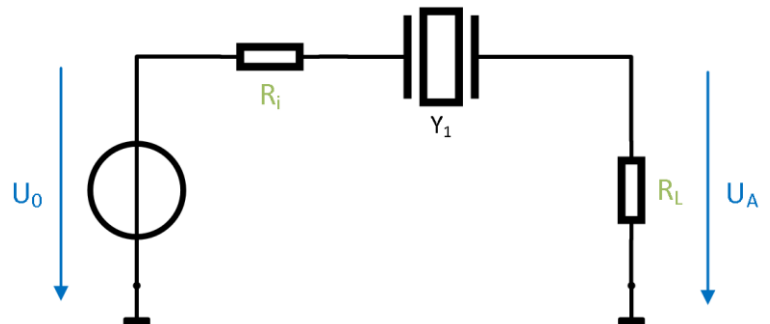


Abb.: 2: Schaltungsaufbau

3.) Messung

Messdaten:

Ton	f_{s0}	f_p	B_{3dB}	a_{dB}	a_{lin}
3 Oberton	7,999929 MHz	8,002251 MHz	98,226 Hz	-0,958 dB	0,89577
1 Grundton	2,680105 MHz	2,686935 MHz	91,284 Hz	-0,248 dB	0,97185

4.) Berechnung

a.) Berechnung 3 Oberton

$$Q_{MESS} = \frac{f_{S0}}{B_{3db}} = \frac{7,999929 * 10^6 Hz}{98,266 Hz} = 81410,96$$

$$Q_0 = \frac{Q_{MESS}}{1 - a_{lin}} = \frac{81410,96}{1 - 0,89577} = 781070$$

$$R_S = \frac{100 * (1 - a_{lin})}{a_{lin}} = \frac{100 * (1 - 0,89577)}{0,89577} = 11,6 \Omega$$

$$L_S = \frac{Q_0 * R_S}{2 * \pi * f_{S0}} = \frac{781070 * 11,6 \Omega}{2 * \pi * 7,999929 * 10^6 Hz} = 180 mH$$

$$C_S = \frac{1}{2 * \pi * f_{S0} * R_S * Q_0} = \frac{1}{2 * \pi * 7,999929 * 10^6 Hz * 781070 * 11,6 \Omega} = 2,196 fF$$

$$C_0 = \frac{C_S * f_{S0}}{2 * (f_p * f_{S0})} = \frac{2,196 * 10^{-15} F * 7,999929 * 10^6 Hz}{2 * (8,002251 - 7,999929) * 10^6 Hz} = 3,7825 pF$$

b.) Berechnung $f_{S0}/3$ Grundton

$$Q_{MESS} = \frac{f_{S0}}{B_{3db}} = \frac{2,680105 * 10^6 Hz}{91,284 Hz} = 29360,74$$

$$Q_0 = \frac{Q_{MESS}}{1 - a_{lin}} = \frac{29360,74}{1 - 0,97185} = 1042986$$

$$R_S = \frac{100 * (1 - a_{lin})}{a_{lin}} = \frac{100 * (1 - 0,97185)}{0,97185} = 2,9 \Omega$$

$$L_S = \frac{Q_0 * R_S}{2 * \pi * f_{S0}} = \frac{1042986 * 2,9 \Omega}{2 * \pi * 2,680105 * 10^6 Hz} = 179,4 mH$$

$$C_S = \frac{1}{2 * \pi * f_{S0} * R_S * Q_0} = \frac{1}{2 * \pi * 2,680105 * 10^6 Hz * 1042986 * 2,9 \Omega} = 19,66 fF$$

$$C_0 = \frac{C_S * f_{S0}}{2 * (f_p * f_{S0})} = \frac{19,66 * 10^{-15} F * 2,680105 * 10^6 Hz}{2 * (2,686935 - 2,680105) * 10^6 Hz} = 3,8567 pF$$

WICHTIG Die Kapazität C_0 sollt sowohl beim Grundton sowie dem Oberton gleich sein. Dies ist ein Maß dafür wie genau die Messung durchgeführt wurde. Sind die Ergebnisse weit voneinander entfernt, so ist die Messung ungenau bzw. es ist während der Messung ein Fehler aufgetreten.

5.) Anhang

a.) Parallelresonanz

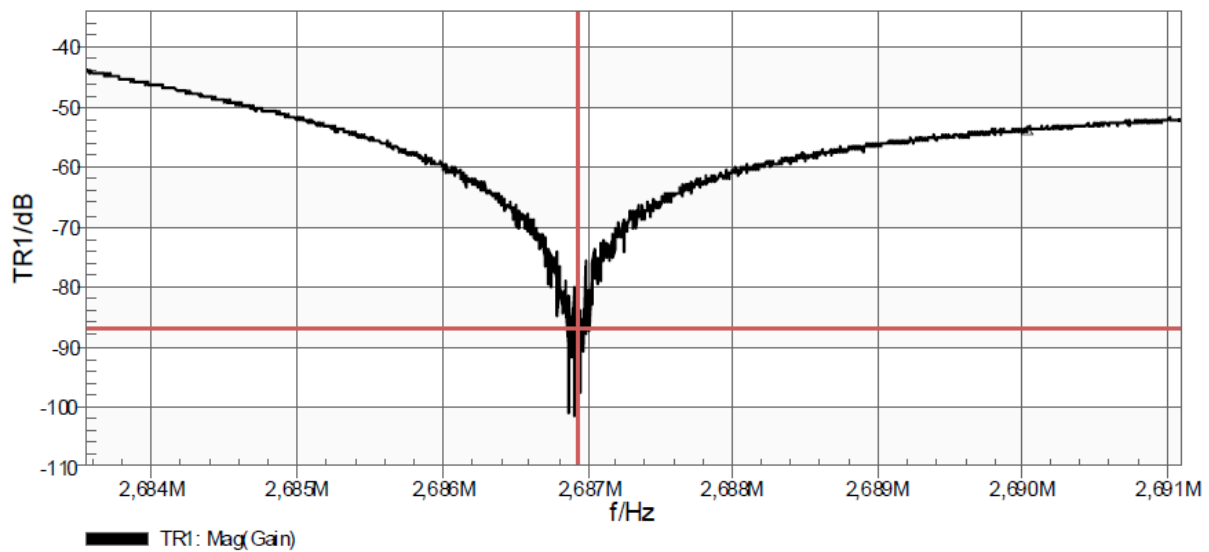


Abb.: 3: Parallelresonanzstellen

WICHTIG Aufgrund der vielen Resonanzstellen ist es schwierig die passende Stelle der Parallelresonanz f_p herauszufiltern. Eine Methode kann sein den Messpunkt ungefähr auf die tiefste Stelle zu schieben.

b.) Resonanzstellen

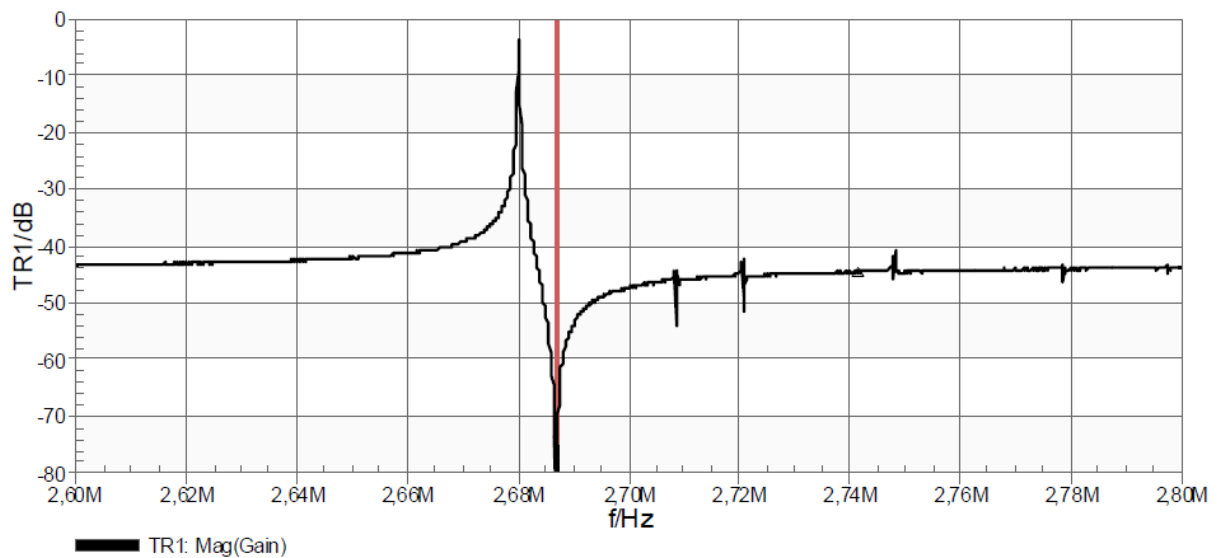


Abb.: 4: Messung Bode 100 Resonanzstellen

In dem Diagramm sind nach der Frequenz f_p kleine Schwingungen zu erkennen. Diese werden auch als parasitäre Resonanzfrequenzen bezeichnet und sind bei jedem Quarz vorhanden. Die Gefahr besteht darin das an diesen Stellen ein Einschwingvorgang stattfinden kann.

II. Schwingkreis (Bandpass)

1.) Messaufbau.

Die Messung des Schwingkreises erfolgt an einem 50Ω Messplatz ($R_0=R_L=50\Omega$). Die gemessene Güte Q_{Mess} ist daher noch in Q_0 umzurechnen. Der Widerstand der Schaltung wird durch die Kapazitäten C_T hochtransformiert.

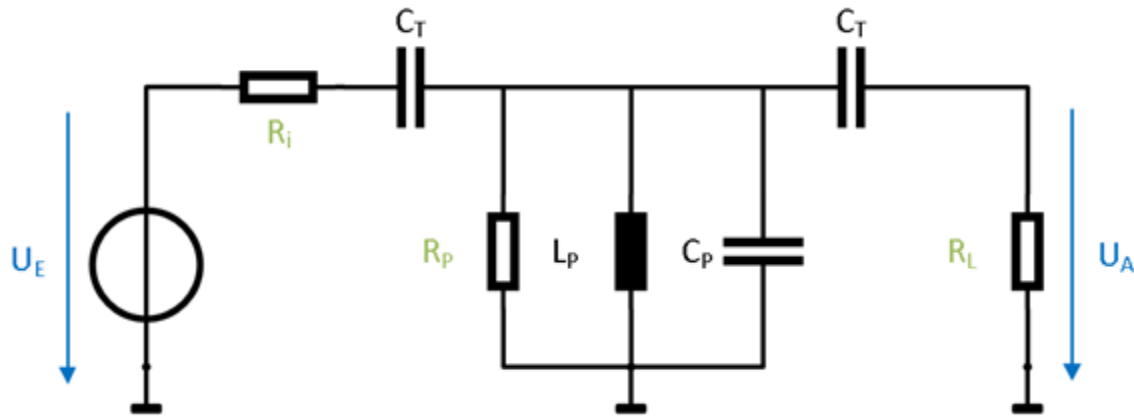


Abb.: 5: Messaufbau Schwingkreis (Bandpassfilter)

Schaltungsdaten: $C_T=68\text{pF}$; $C_p=470\text{pF}$; $R_p=3,3\text{k}$

WICHTIG Ein Aufbau ohne Transformation wäre nicht möglich da die Bauteilwerte meist in den berechneten Größen (ohne Transformation) nicht vorhanden sind.

$$Q_{\text{Mess}} = \frac{f_{s0}}{B_{3\text{dB}}} \quad a_{\text{lin}} = 10^{-\frac{a_{\text{dB}}}{20}}$$

2.) Messung

Messung	f_0	$B_{3\text{dB}}$	a_{dB}	a_{lin}
1	116,667 kHz	1,726 kHz	-28,2 dB	0,0389

3.) Berechnung

$$Q_{\text{MESS}} = \frac{f_{s0}}{B_{3\text{dB}}} = \frac{116,667 \text{ kHz}}{1,726 \text{ kHz}} = 67,59$$

$$Q_0 = \frac{Q_{\text{MESS}}}{1 - a_{\text{lin}}} = \frac{67,59}{1 - 0,0389} = 70,33$$

$$Q_{\text{MESS}} \approx Q_0 \mid a_{\text{dB}} \geq -30\text{dB}$$

$$C_{\text{ges}} = C + 2 * C_T = 470\text{pF} + 2 * 68\text{pF} = 606\text{pF}$$

$$L_{\text{ges}} = \frac{1}{(2 * \pi * f_0)^2 * C_{\text{ges}}} = \frac{1}{(2 * \pi * 116,667 * 10^3 \text{ Hz})^2 * 606\text{pF}} = 3,07\text{mH}$$

$$R_p = 2 * \pi * f_0 * L = 2 * \pi * 116,667 * 10^3 \text{ Hz} * 3,07\text{mH} = 158,32\text{k}\Omega$$

4.) Anhang

a.) Resonanzfrequenz f_0

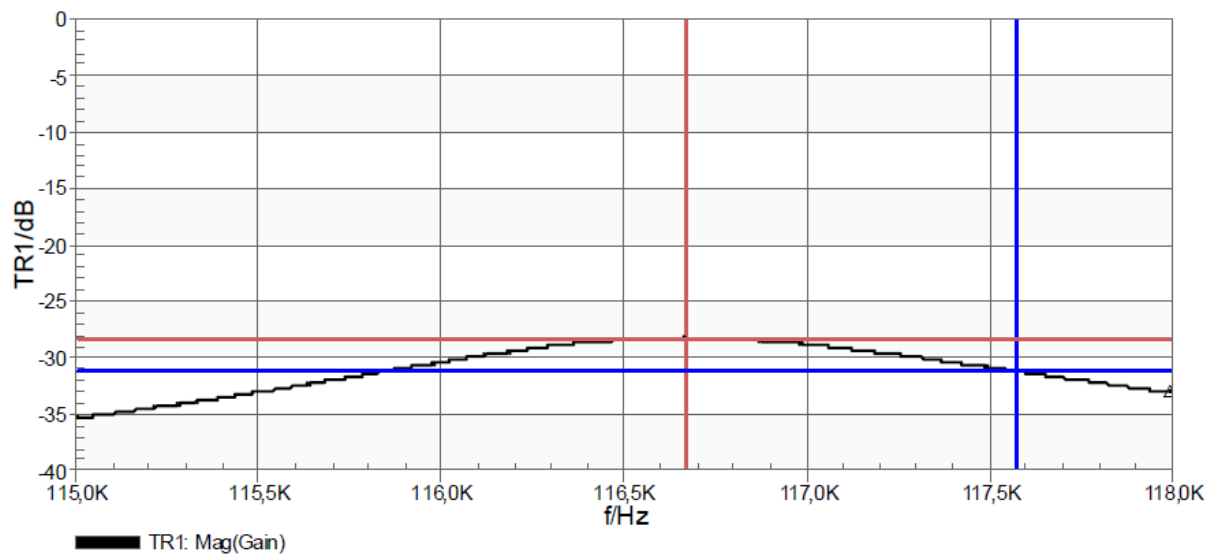


Abb.: 6: Messung Resonanzfrequenz (Bode 100)

b.) 3dB Bandbreite

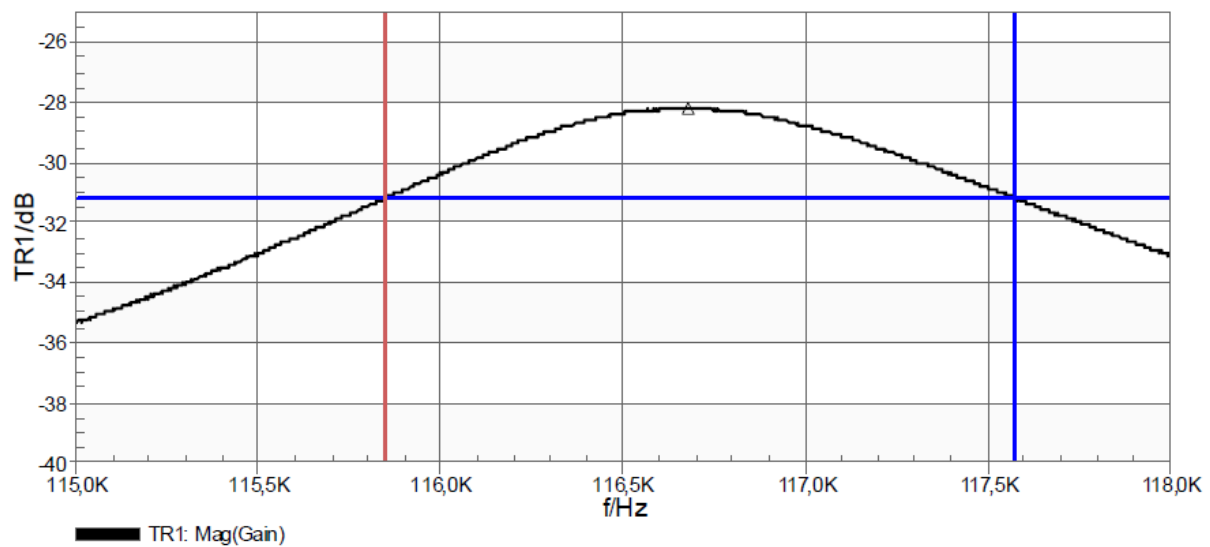


Abb.: 7: Messung 3dB Bandbreite (Bode 100)

III. Verstärker (selektiv)

1.) Messaufbau.

Der zuvor berechnete Bandpass wird in der Verstärkerschaltung mit den berechneten Werten eingesetzt. Aufgrund des hohen Widerstandes R_p bei der Resonanzfrequenz f_0 des Schwingkreises, sowie des niedrigen Widerstandes von R_E ist eine hohe Verstärkung zu erwarten. Der Ein-/Ausgang ist mit Bode 100 beschalten.

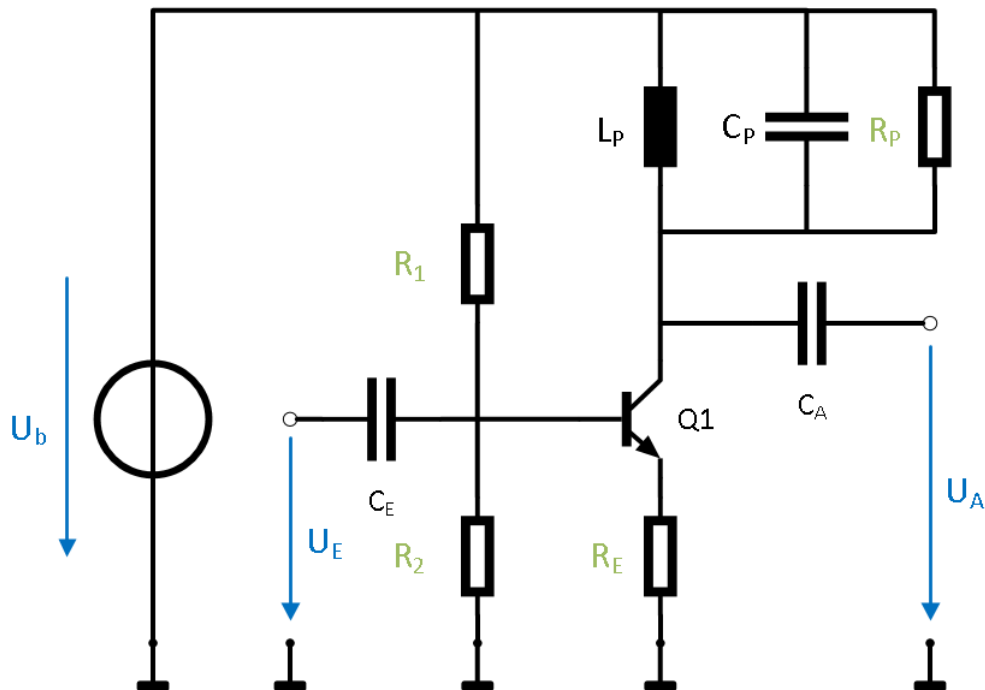


Abb.: 8:Selektiver Verstärker

Schaltungsdaten: $U_b=12V$; $R_1=4,7k\Omega$; $R_2=1,8k\Omega$; $R_E=220\Omega$; $C_E=C_A=1\mu F$; $C_P=470pF$; $L_P=3,07mH$; $R_P=R_C=158,32k\Omega$

Die Funktionsweise des selektiven Verstärkers findet in der HF/NF-Technik (<200kHz) Anwendung und ist nur für eine Frequenz (Resonanzfrequenz f_0) geeignet. Deshalb wird er auf als **Schmalband-, Resonanz-, Selektiv-Verstärker** bezeichnet.

Der Verstärker neigt unter bestimmten Voraussetzungen gerne zu Eigenschwingen. Dies kann durch die Herabsetzung der Verstärkung kompensiert werden.

WICHTIG Das Ausgangssignal ist zum Eingangssignal um 180° gedreht. Des Weiteren findet, durch die hohe Verstärkung, bei Einspeisung eines zu großen Eingangssignales eine Übersteuerungen am Ausgang der Schaltung und somit eine Übersteuerung des Bode 100, statt. **Dies Führt zu falschen Messergebnissen!**

$$f_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L_P C_P}}$$

2.) Messung

Messung	f_0	B_{3dB}	Au_{dB}	a_{lin}
1	121,844 kHz	1,919 kHz	57,02 dB	1,409

3.) Berechnung

- Berechnung ohne r_{CE}

$$f_0 = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L_P C_P}} = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{3,07mH * 470pF}} = 132,49kHz$$

(berechnetes f_0 stimmt nicht mit Messung überein (Toleranzen der Bauteile)!

$$Q_{MESS} = \frac{f_0}{B_{3db}} = \frac{121,844 kHz}{1,919 kHz} = 63,49$$

$$Q_0 = \frac{Q_{MESS}}{1 - a_{lin}} = \frac{63,49}{1 - 1,409} = 63,58$$

$$A_u = -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{158,32k\Omega}{220\Omega} = -719,63\Omega$$

bei f_0 (Resonanzfrequenz)

$$A_{u/dB} = 20 * \log\left(-\frac{R_C}{R_E}\right) = 20 * \log(719,63\Omega) = 57,14dB$$

- Berechnung mit r_{CE}

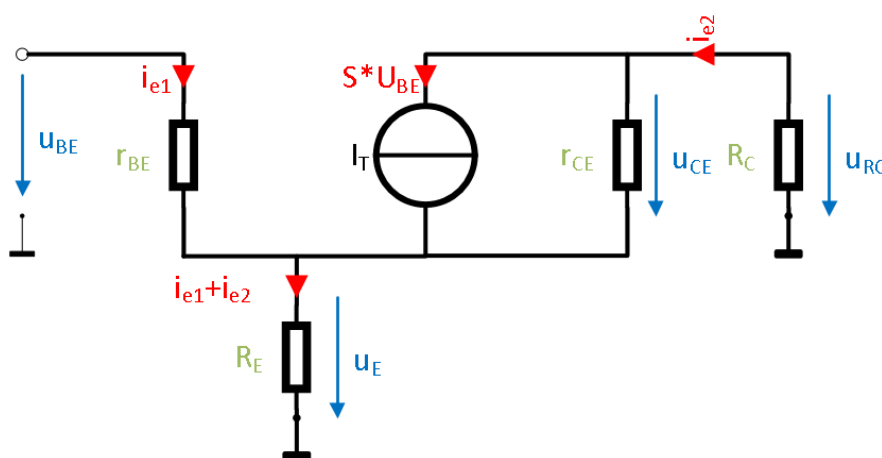


Abb.: 9:Ersatzschaltbild

$$U_2 = U_b * \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12V * \frac{1800\Omega}{4700\Omega + 1800\Omega} = 3,323V$$

$$U_E = U_2 - U_{BE} = 3,32V - 0,7V = 2,62V$$

$$S = \frac{I_{C0}}{U_T} = \frac{11,923mA}{25mV} = 0,477$$

$$I_E \approx I_C = \frac{U_E}{R_E} = \frac{2,62V}{220\Omega} = 11,923mA$$

$$A_u = \frac{U_A}{U_E} = -(S * U_{BE} * \left(\frac{r_{CE} * R_C}{r_{CE} + R_C}\right))$$

$$r_{CE} = -\frac{A * R_P}{A + S * R_P} = -\frac{-719,63 * 158,32k\Omega}{-719,63 + 0,477 * 158,32k\Omega} = 1,523k\Omega$$

(nicht ganz verstanden, Formeln aus Internet!!!)

4.) Anhang

a.) Resonanzfrequenz f_0

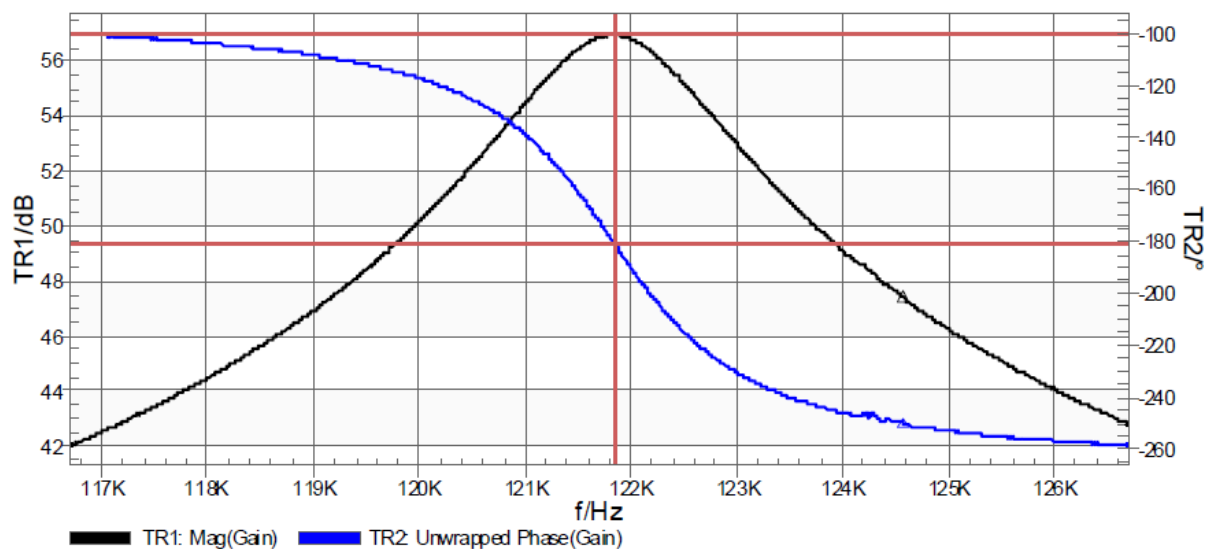


Abb.: 10: Resonanzstelle selektiver Verstärker

5.) LT-Spice Simulation

a.) ohne Kondensator C_E

- Aufbau mit Leitungskapazitäten

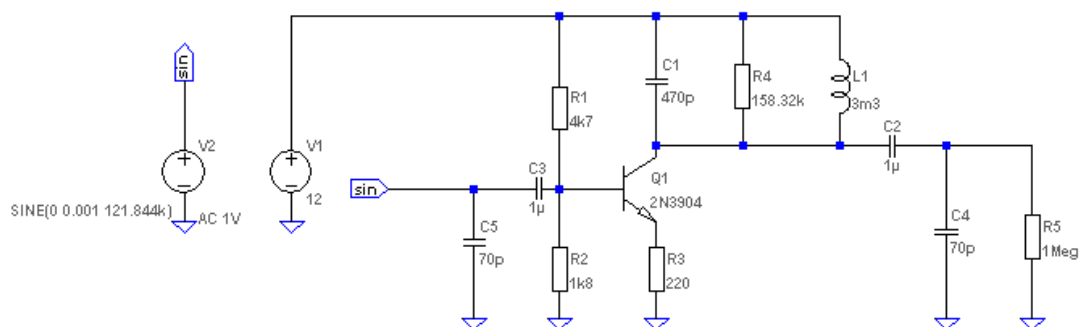


Abb.: 11: Schaltungsaufbau

- AC-Analyse

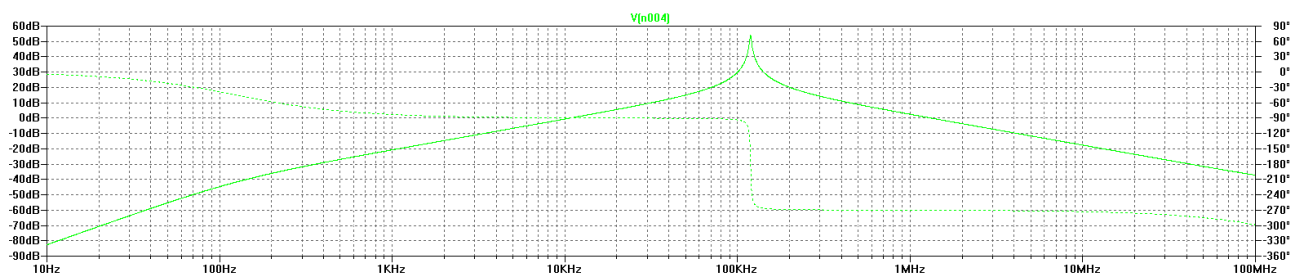


Abb.: 12: AC-Analyse Diagramm

WICHTIG Bei der AC-Analyse werden Übersteuerungen des Transistors nicht berücksichtigt. LT-Spice erstellt ein Kleinsignal-Ersatzschaltbild welches auf der Kennlinie Ideal verläuft. Somit kann eine beliebige Eingangsspannung gewählt werden, das Ergebnis sollte jederzeit stimmen.

- Transient Analyse

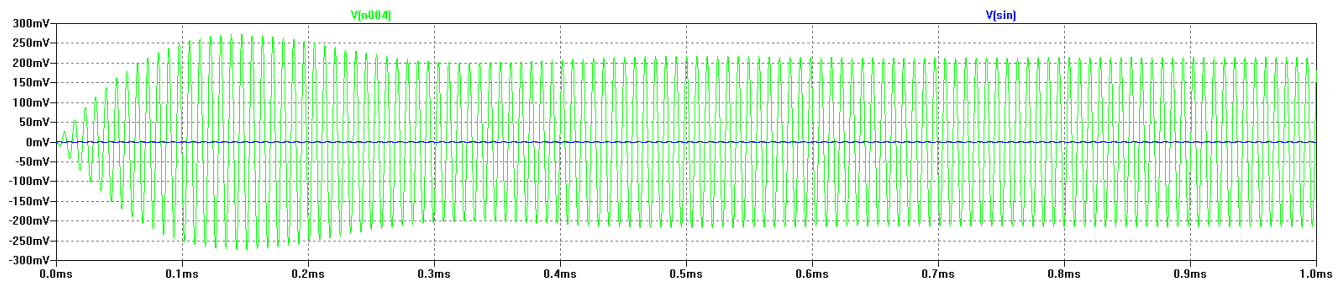


Abb.: 13: Transient Analyse Diagramm

Es ist zu sehen, dass nach dem Einschalten eine kurze Einschwingdauer stattfindet bevor die Schaltung ihren Arbeitspunkt erreicht hat.

b.) mit Kondensator C_E

- Aufbau mit Leitungskapazitäten

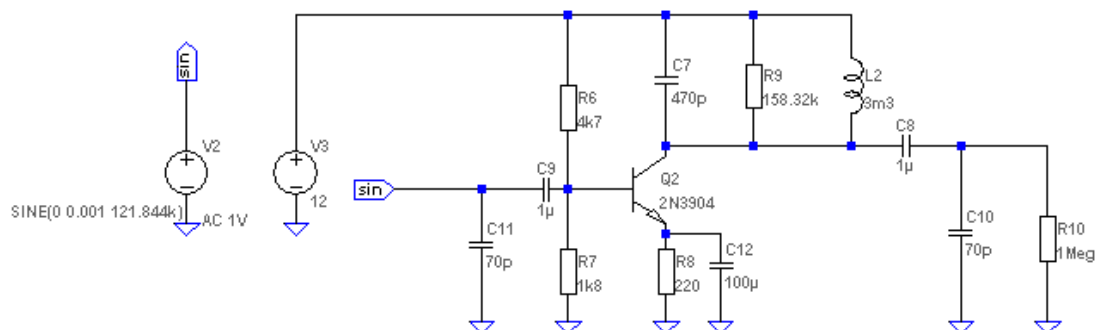


Abb.: 14: Schaltungsaufbau

- AC-Analyse

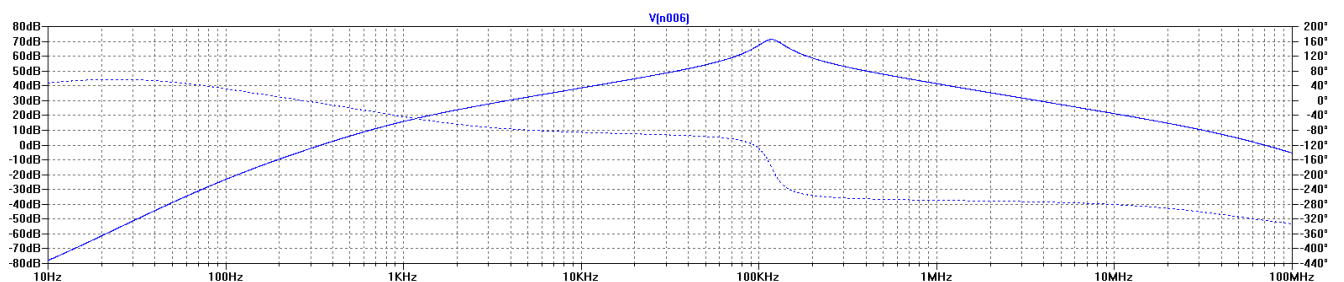


Abb.: 15: AC-Analyse Diagramm

WICHTIG Bei der AC-Analyse werden Übersteuerungen des Transistors nicht berücksichtigt. LT-Spice erstellt ein Kleinsignal-Ersatzschaltbild welches auf der Kennlinie Ideal verläuft. Somit kann eine beliebige Eingangsspannung gewählt werden, das Ergebnis sollte jederzeit stimmen.

- Transient Analyse

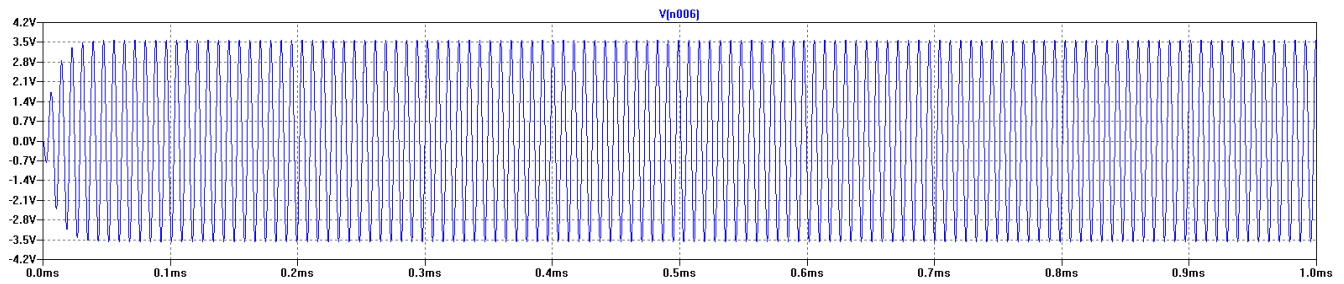


Abb.: 16:Transient Analyse Diagramm

Aus dem Diagramm ist erkenntlich das der Einschwingvorgang durch zusätzliche Beschaltung des Widerstandes R_E mit einem Kondensator C_E kürzer ausfällt.

c.) beide Schaltungen im Vergleich

- AC Analyse

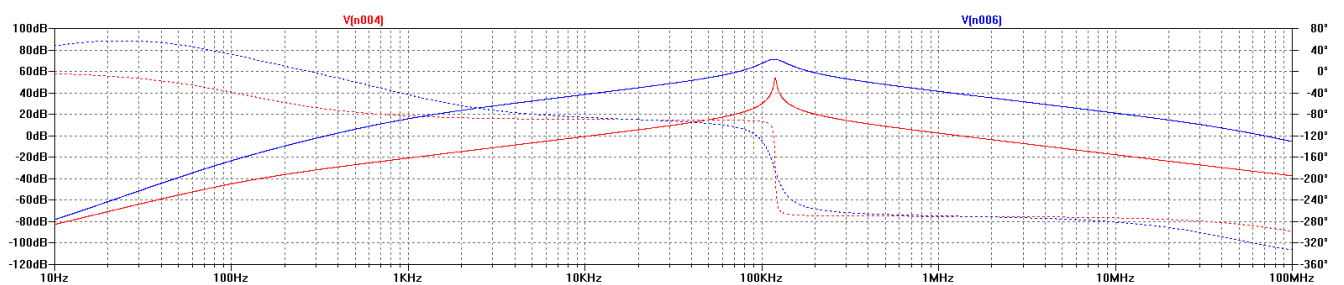


Abb.: 17:AC-Analyse Diagramm (Schaltung 1 und 2)

- Transient Analyse

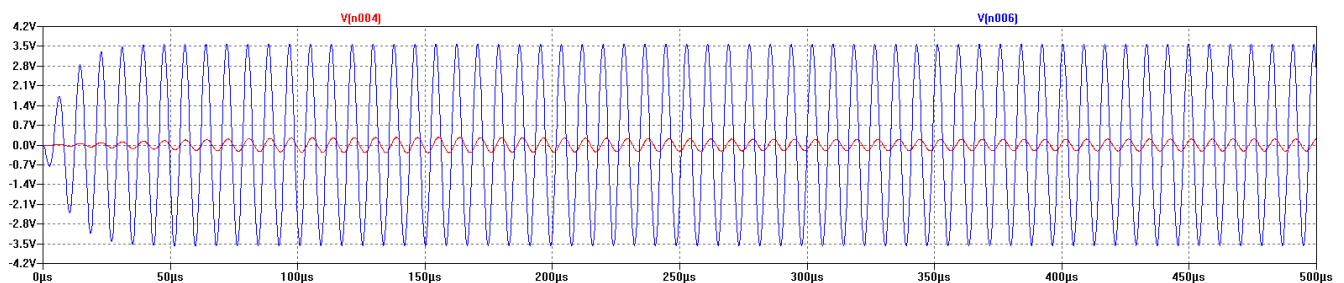


Abb.: 18:Transient Analyse Diagramm (Schaltung 1 und 2)

Der unterschied der Spannungsverstärkung ohne C_E (rot), mit C_E (blau) ist deutlich zu erkennen. Durch die erneute Verkleinerung des Emittorwiderstandes die über den parallelen Wechselstromwiderstand erfolgt, wird die Verstärkung nochmals erhöht.

IV. Anhang

benötigte Widerstände (E-Reihe),	R_p	$3k3\ \Omega$	3,3,100	orange	orange	rot
	R_c	$220\ \Omega$	2,2,10	rot	rot	braun
	R_1	$4k7\ \Omega$		gelb	violett	rot
	R_2	$1k8\ \Omega$		braun	grau	rot