

Abbildung 2.4: Kennlinie zu den Messwerten in Tabelle 2.1.

2.5.3 Innenwiderstand der Stromquelle

Die LED des Optokopplers wird mittels Jumper kurzgeschlossen. Dadurch muss der Phototransistor vollkommen sperren, weil die LED nicht angesteuert wird. Dann wird noch die Verbindung vom Ausgang des Optokopplers zum OpAmp 2 und zu R_{FB} wird geöffnet. Mit dieser Massnahme ist sichergestellt, dass die nachfolgende Messung nicht durch unerwünschte, durch R_{FB} abfließende Ströme verfälscht wird.

Anschließend kann die Stromquelle mit verschiedenen Widerständen belastet werden, indem man diese zwischen dem Kollektor des Phototransistors und Masse anschliesst. Der Spannungsabfall über diesem Lastwiderstand wird gemessen, sowie der fließende Strom. Aus den Messwerten, die in Tabelle 2.2 ersichtlich sind, kann dann der Innenwiderstand berechnet werden. Am zweiten Labortag wird dann eine Vergleichsmessung durchgeführt.

	Spannung	Strom	Spannung (2)	Strom (2)
Last 100 Ω	0.545 V	5.43 mA	0.547 V	5.43 mA
Last 470 Ω	2.534 V	5.41 mA	2.531 V	5.41 mA
Δ	1.989 V	20 μA	1.984 V	20 μA

Tabelle 2.2: Verschiedene Belastungsfälle der Stromquelle zur Bestimmung des Innenwiderstands.

Damit ergibt sich der Innenwiderstand der Stromquelle zu

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

was in diesem Fall einen Innenwiderstand von 99.45 k Ω ergibt (bzw. 99.2 k Ω bei der Vergleichsmessung).

2.5.4 CTR des Optokopplers

Das CTR des Optokopplers kann nicht direkt gemessen werden, da ja

$$\text{CTR} = \frac{I_C}{I_{LED}} \cdot 100\%$$

ist. Daher muss zuerst der durch den Optokoppler fließende Strom I_C bestimmt werden. Auch er kann in dieser Schaltung nur indirekt gemessen werden. Und zwar kann I_C als Differenzstrom aufgefasst werden zwischen dem Konstantstrom I_{const} und dem Strom durch R_{FB} beim OpAmp. Der Ausgangsseitige Strom durch den Optokoppler kann also mit

$$I_C = I_{const} - I_{FB} = \frac{U_{DR}}{R_{DR}} \cdot \left(1 - \frac{1}{B}\right) - \frac{U_{FB}}{R_{FB}}$$

berechnet werden¹, während für I_{LED} die Gleichung

$$I_{LED} = \frac{U_E}{R_S}$$

gilt.

Tabelle 2.3 zeigt die entsprechenden Messwerte bei verschiedenen Eingangsspannungen. Aus diesen Messwerten kann dann mit den oben hergeleiteten Gleichungen das CTR des Optokopplers in Abhängigkeit von I_{LED} bestimmt werden. Der daraus resultierende Graph ist in Abbildung 2.5 ersichtlich.

U_E [V]	U_{DR} [V]	U_{FB} [V]	U_E [V]	U_{DR} [V]	U_{FB} [V]
0	1.778	2.525	0.999	1.779	0.128
0.202	1.778	2.269	1.117	1.779	-0.226
0.3072	1.779	2.041	1.303	1.779	-0.789
0.4072	1.779	1.782	1.501	1.779	-1.393
0.509	1.779	1.530	1.702	1.779	-2.005
0.604	1.779	1.272	1.904	1.781	-2.605
0.708	1.779	0.981	2.101	1.782	-3.129
0.8	1.779	0.712	2.305	1.783	-3.632
0.902	1.779	0.417	2.486	1.783	-3.916

Tabelle 2.3: Spannung über R_{DR} und R_{FB} in Abhängigkeit der Eingangsspannung U_E .

2.5.5 Bestimmung der DC-Übertragungsfunktion

Zur Bestimmung wird der nichtlineare Teil der Kennlinie in Abbildung 2.4 weggelassen und nur der lineare Teil betrachtet. In diesen lässt sich dann mittels linearer Regression eine Gerade einpassen. Für diese Regressionsgerade gilt die Gleichung:

$$U_A = a \cdot U_E + b$$

Das Statistik-Tool von Maple berechnet in diesem Falle die Koeffizienten $a = 3.01265$ und $b = -0.579968$. Die entstehende Regressionsgerade ist in Abbildung 2.6 ersichtlich. Mit Maple erhält man einen Korrelationskoeffizienten² r von 0.9997815; die Regressionsgerade nähert die reale Übertragungsfunktion also sehr gut an, was auch im Graphen ersichtlich wird.

¹Mit dieser Formel wird der exakte Strom I_C berechnet. Ist die Gleichstromverstärkung der in der Stromquelle verwendeten Transistoren ausreichend gross, so kann der Term $\left(1 - \frac{1}{B}\right)$ ohne Weiteres vernachlässigt werden.

²Der Korrelationskoeffizient r ist stets kleiner oder gleich 1 und beschreibt, wie gut sich die Messdaten mit einer Gerade annähern lassen. Je näher r bei 1 ist, umso besser wird die Näherung mittels linearer Regression werden.

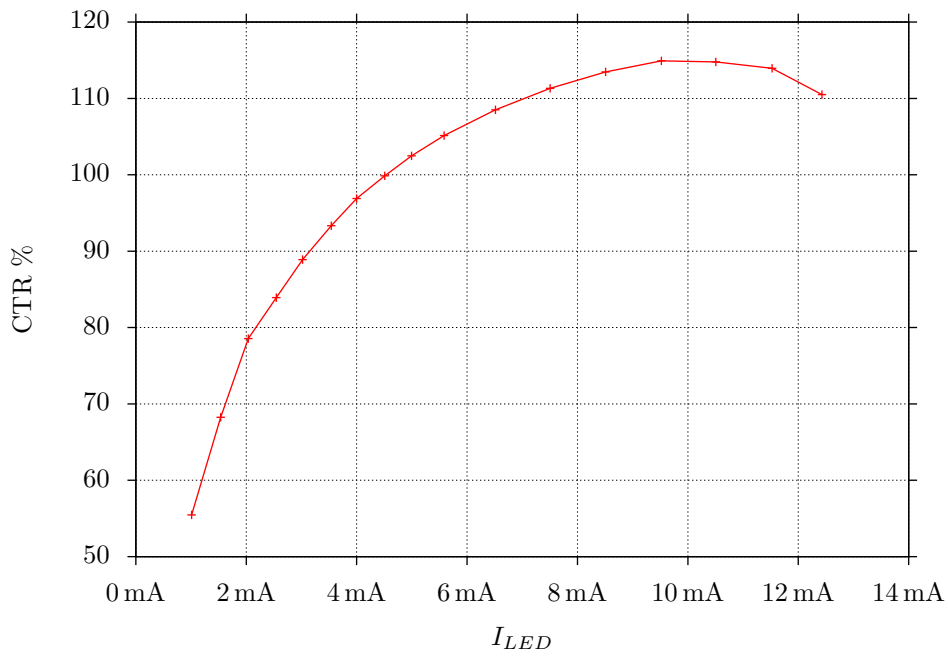


Abbildung 2.5: Kennlinie zu den Messwerten in Tabelle 2.3.

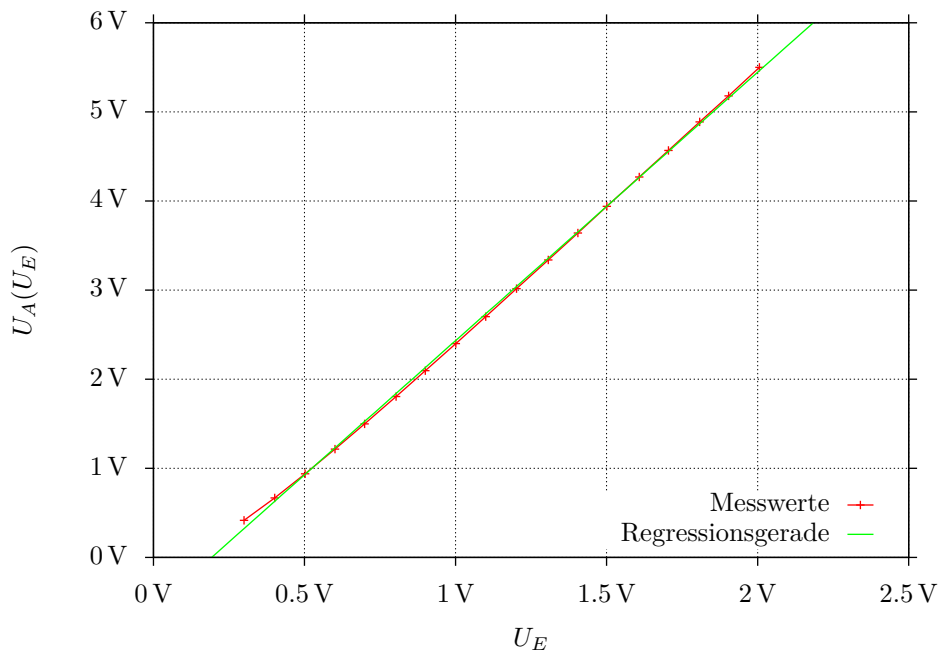


Abbildung 2.6: Die gemessene Übertragungsfunktion und die mittels linearer Regression ermittelte Gerade.

2.5.6 Frequenzgang der gesamten Schaltung

Der Frequenzgang wird wie folgt bestimmt. Es wird eine sinusförmige Spannung mit 1 V Amplitude mittels AC-Kopplung eingespiessen und die Frequenz variiert. Es ergibt sich das Bode-Diagramm gemäss Abbildung 2.7.

Im Durchlassband hat die Schaltung eine Verstärkung von rund 9.6 dB. Die in Abbildung 2.7 eingezeichnete blaue Linie ist bei 6.6 dB, deren Schnittpunkte mit der roten Kurve markieren somit die 3 dB-Punkte. Man erkennt eine obere Grenzfrequenz von rund 250 kHz. Die untere Grenzfrequenz ist tiefer als 1 Hz und konnte im Labor nicht mit ausreichender Sicherheit gemessen werden. Bei 1 Hz kommt die Schaltung jedoch schon recht nahe an den -3 dB-Punkt; geht man also von 1 Hz oder weniger unterer Grenzfrequenz aus, so erhält man mindestens 250 kHz Bandbreite.

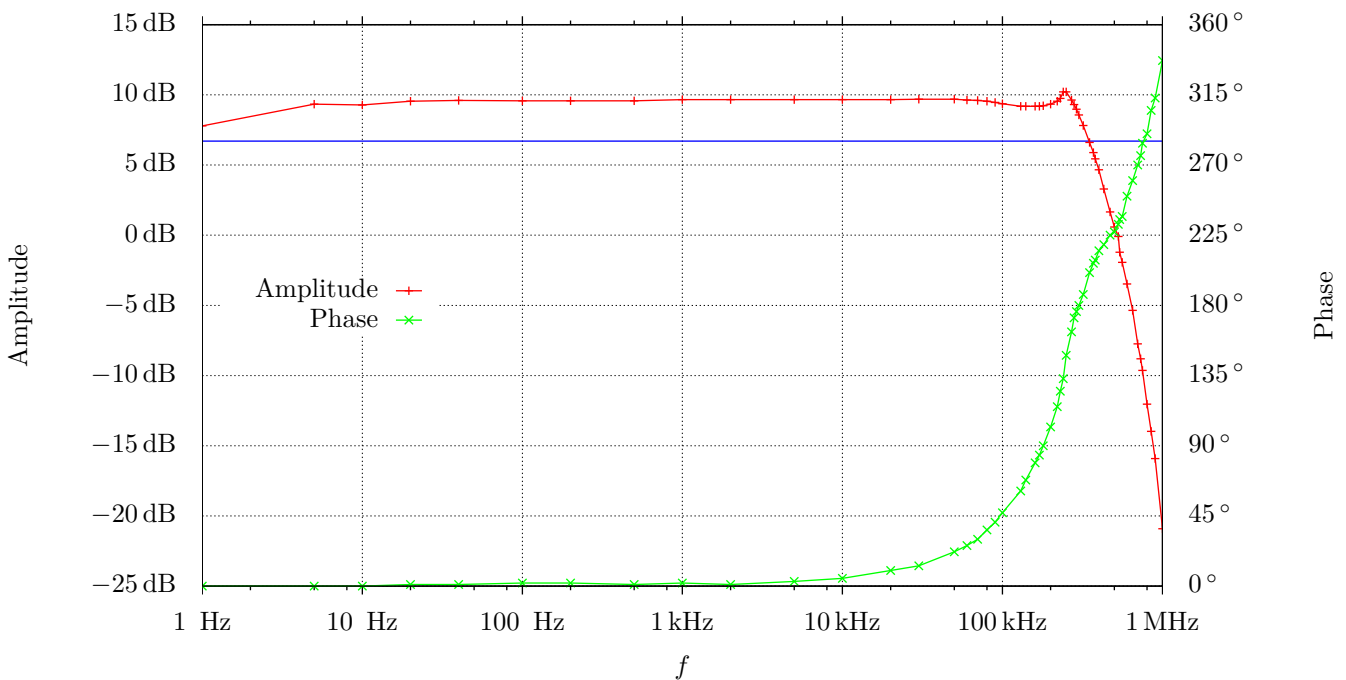


Abbildung 2.7: Frequenzgang der Schaltung.

2.5.7 Sprungantwort und Einschwingzeit

Zum Bestimmen der Sprungantwort wird ein Rechtecksignal mit einer Amplitude von 1 V verwendet. Das Signal wird mit AC-Kopplung in die Schaltung eingespiessen. Es ergibt sich am Ausgang der Spannungsverlauf gemäss Abbildung 2.8.

Die grüne Kurve in Abbildung 2.8 erreicht einen Endwert von 4.6 V. Die beiden blauen Linien markieren die $\pm 5\%$ -Grenzen. So lange das Signal ausserhalb dieses Toleranzbandes ist, wird es als noch nicht endgültig eingeschwungen betrachtet. Man erkennt, dass das Signal ungefähr $3.8 \mu\text{s}$ benötigt, bis es sich dauerhaft innerhalb des Toleranzbandes bewegt. Daher kann man hier von einer Einschwingzeit von $3.8 \mu\text{s}$ sprechen. Nach dieser Zeit muss das Signal zwar noch nicht seinen definitiven Endwert erreicht haben, aber es ist sicher in dem $\pm 5\%$ -Toleranzband.

