

Aktiver Tiefpass mit Operationsverstärker

Laborbericht
an der Fachhochschule Zürich

vorgelegt von

Samuel Benz

Leiter der Arbeit: B. Obrist
Fachhochschule Zürich

Zürich, 17.3.2003 Samuel Benz

Inhaltsverzeichnis

1	Vorgaben	1
1.1	Aktive Tiefpass-Schaltung	1
2	Aufgaben und Auswertungen	3
2.1	Übertragungsfunktion der Grundschtung	3
2.2	Dimensionierung	3
2.2.1	Butterworth	4
2.2.2	Tschebyscheff	4
2.3	Amplitudengang	5
2.3.1	Butterworth	5
2.3.2	Tschebyscheff	5
2.4	Diskussion	8
A	Messmittel	11

Kapitel 1

Vorgaben

1.1 Aktive Tiefpass-Schaltung

Aktive Filterschaltungen aufgebaut mit Operationsverstärkern und einem RC Beschaltungsnetzwerk beherrschen heute das Gebiet der industriellen Elektronik im Frequenzbereich von wenigen Hertz bis hinauf auf einige Megahertz. Der Grund für den Einsatz des aktiven Filters liegt in der einfachen Realisierbarkeit, da keine Induktivitäten verwendet werden, welche bei tiefen Frequenzen sehr grosse Werte annehmen würden.

Das Ziel dieses Versuches besteht in der Dimensionierung und im Aufbau eines Tschebyscheff- und Butterworth Tiefpassfilters 4. Ordnung mit Mehrfachgegenkopplung entsprechend der Schaltung nach Abbildung 1.1.

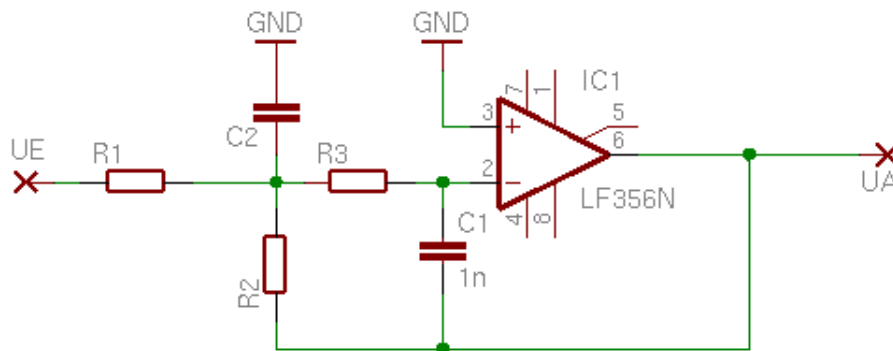


Abbildung 1.1: Aktives Tiefpassfilter mit Mehrfachgegenkopplung

Pflichtdaten der Tiefpassfilter:

a) Butterworthtiefpassfilter

Ordnung: $n = 4$

Verstärkung: $v_0 = 10$

Grenzfrequenz: $f_g = 10kHz$

Schaltung: Mehrfachgegenkopplung

b) Tschebyscheff-Tiefpassfilter

Ordnung: $n = 4$

Verstärkung: $v_0 = 10$

Grenzfrequenz: $f_g = 10kHz$

Schaltung: Mehrfachgegenkopplung

Welligkeit: $3dB$

Kapitel 2

Aufgaben und Auswertungen

2.1 Übertragungsfunktion der Grundsaltung

Man berechne die normierte Übertragungsfunktion $U_a(S)/U_e(S) = G(S)$ der Filterschaltung nach Abbildung 1.1

$$G(S) = \frac{V_0}{1 + aS + bS^2} = \frac{-R_2/R_1}{1 + \underbrace{\omega_g C_1 (R_2 + R_3 + R_2 R_3 / R_1)}_a S + \underbrace{\omega_g^2 C_1 C_2 R_2 R_3}_b S^2} \quad (2.1)$$

$$S = \frac{S}{\omega_g} = \frac{j\omega}{\omega_g} = j \frac{f}{f_g} \quad (2.2)$$

2.2 Dimensionierung

Unter Berücksichtigung der Bedingung $C_2 = 1.3 * C_1 \frac{4b_1(1+V_0)}{a_1^2}$ dimensioniere man ein Butterworth- und ein Tschebyscheff Filter mit den verlangten Pflichtdaten. Die Koeffizienten a_1 bis a_i und b_1 bis b_i sind den Tabellen für aktive Filter im Buch von Tietze/Schenk [1] zu entnehmen.

Um eine Ordnung $n = 4$ zu erreichen, müssen zwei Grundsaltungen in serie geschaltet werden. Mit den folgenden Formeln [2] und den Filtertabellen [1], lassen sich danach die Werte berechnen.

$$C_2 = 1.3 * C_1 \frac{4b_i(1 + V_0)}{a_i^2} \quad (2.3)$$

$$R_2 = \frac{a_i C_2 - \sqrt{a_i^2 C_2^2 - 4C_1 C_2 b_i (1 + V_0)}}{2\omega_g C_1 C_2} \quad (2.4)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{V_0} \quad (2.5)$$

$$R_3 = \frac{b_i}{\omega_g^2 C_1 C_2 R_2} \quad (2.6)$$

2.2.1 Butterworth

Ordnung n	i	a_i	b_i
4	1	1.8478	1.0000
	2	0.7654	1.0000

Filterstufe	C_1	C_2	R_1	R_2	R_3
1	1nF	6.3nF	2.4kΩ	7.6kΩ	5.2kΩ
2	1nF	37nF	1kΩ	3.16kΩ	2.16kΩ

Um die Schaltung nun in der Praxis aufbauen zu können, ist es ratsam, die Kondensatoren einer Normreihe zu entnehmen und die passenden Widerstände danach nochmals neu zu berechnen. Die fertige Schaltung ergibt sich dann zu Abbildung 2.1.

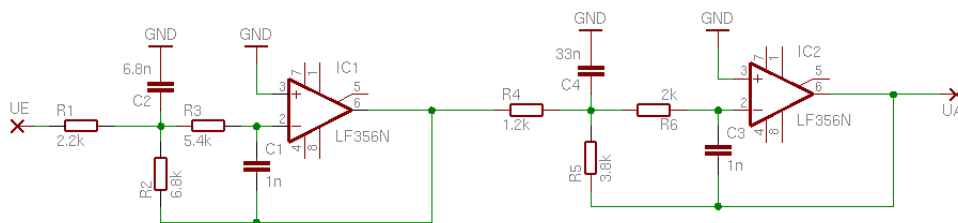


Abbildung 2.1: Butterworthfilter 4. Ordnung

2.2.2 Tschebyscheff

Ordnung n	i	a_i	b_i
4	1	2.1853	5.5339
	2	0.1964	1.2009

Filterstufe	C_1	C_2	R_1	R_2	R_3
1	$1nF$	$25nF$	$2.86k\Omega$	$9k\Omega$	$6.2k\Omega$
2	$1nF$	$674nF$	256Ω	812Ω	556Ω

Um die Schaltung nun in der Praxis aufbauen zu können, ist es ratsam, die Kondensatoren einer Normreihe zu entnehmen und die passenden Widerstände danach nochmals neu zu berechnen. Die fertige Schaltung ergibt sich dann zu Abbildung 2.2.

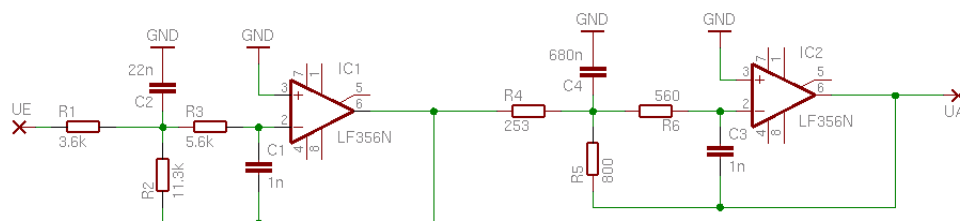


Abbildung 2.2: Tschebyscheff 4. Ordnung

2.3 Amplitudengang

Man baue die beiden Tiefpassfilter im Labor auf und messe deren Amplitudengänge $A = 20 \cdot \log|G(S)|$. Die Messresultate sind miteinander zu vergleichen.

2.3.1 Butterworth

Der gemessene Amplitudengang ist in Abbildung 2.3 zu sehen. Die Vergrößerung des Knickpunktes in Abbildung 2.4.

Die Grenzfrequenz von $f_g = 10kHz$ wurde beim $-3dB$ Punkt erreicht, jedoch liegt die Verstärkung unter den geforderten $20dB$. Weiter Auswertungen der Messwerte befinden sich im Abschnitt 2.4.

2.3.2 Tschebyscheff

Der gemessene Amplitudengang ist in Abbildung 2.5 zu sehen. Die Vergrößerung des Knickpunktes in Abbildung 2.6.

Da die Filtertabellen auch hier auf den $-3dB$ Punkt normiert sind, liegt die Grenzfrequenz von $f_g = 10kHz$ ein wenig zu tief. Auch die gewünschte

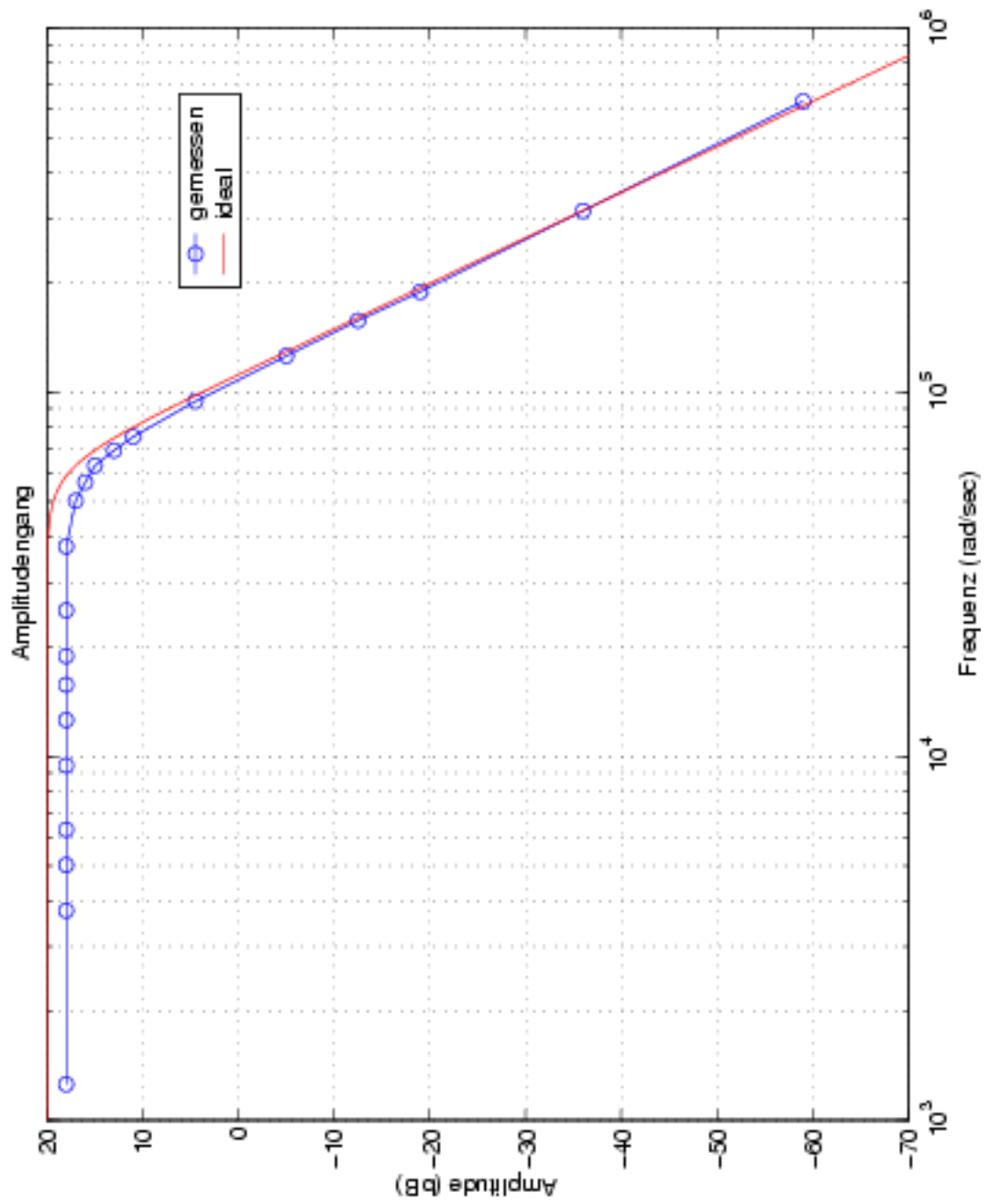


Abbildung 2.3: Amplitudengang / Butterworth 4. Ordnung

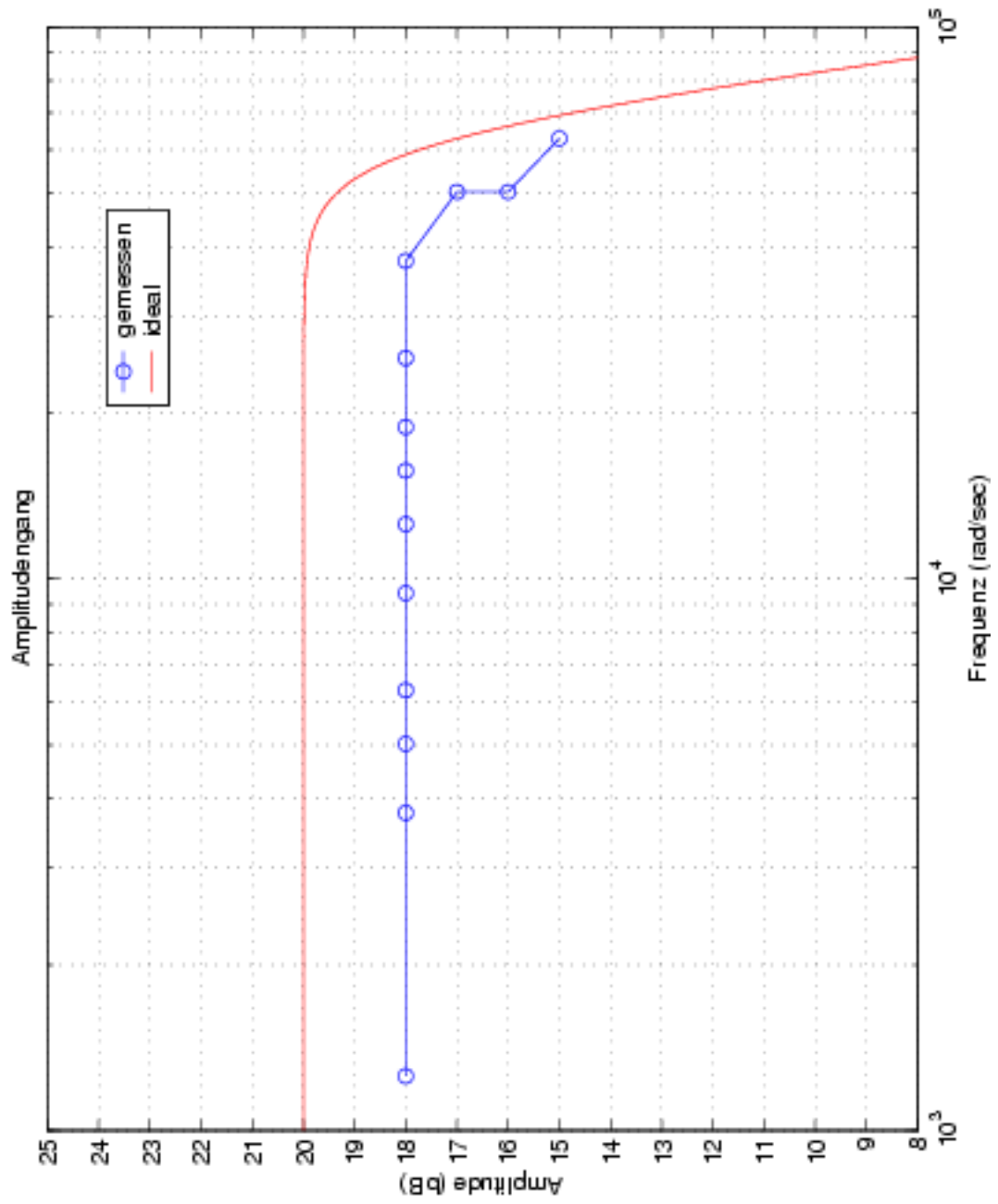


Abbildung 2.4: Amplitudengang (detail) / Butterworth 4. Ordnung

Verstärkung von $20dB$ wurde nicht ganz erreicht. Weiter Auswertungen der Messwerte und der Vergleich mit einem Butterworth Tiefpass befinden sich im Abschnitt 2.4.

2.4 Diskussion

Die theoretischen Überlegungen und praktischen Ergebnisse sind einander gegenüberzustellen und zu diskutieren.

Die Ordnung n des Filters ist gegeben durch die höchste Potenz von S in Gleichung 2.1, wenn man den Nenner ausmultipliziert. Sie legt die Asymptotensteigung des Frequenzgangs der Verstärkung auf den Wert $-n*20dB/Dekade$ fest. Der übrige Verlauf der Verstärkung wird für die jeweilige Ordnung durch den Filtertyp bestimmt. Butterworth- und Tschebyscheff-Filter unterscheiden sich dann nur noch durch die Koeffizienten a_i und b_i .

Butterworth-Tiefpassfilter besitzen einen Amplitudengang, der möglichst lang horizontal verläuft und erst kurz vor der Grenzfrequenz scharf abknickt.

Tschebyscheff-Tiefpassfilter besitzen oberhalb der Grenzfrequenz einen noch steileren Abfall der Verstärkung. Im Durchlassbereich verläuft die Verstärkung jedoch nicht monoton, sondern besitzt eine Welligkeit konstanter Amplitude. Bei gegebener Ordnung ist der Abfall oberhalb der Grenzfrequenz um so steiler, je grösser die zugelassene Welligkeit ist.

Mit der Methode, die Kondensatoren so zu wählen, dass es möglichst kleine Toleranzen gibt (Normreihe) und mit Widerständen aus einer E96-Reihe zu arbeiten, war das Resultat der beiden Filter sehr gut.

Leider wurde die gewünschte Verstärkung von $20dB$ nicht ganz erreicht, was ich mir nicht erklären kann. Auch die Grenzfrequenz beim Tschebyscheff-Filter liegt etwas zu tief. Das Überschwingen von max. $3dB$ beim Tschebyscheff-Filter wurde allerdings erreicht. Für die Praxis stelle ich jedoch keine relevanten Abweichungen zu den theoretischen Werten fest.

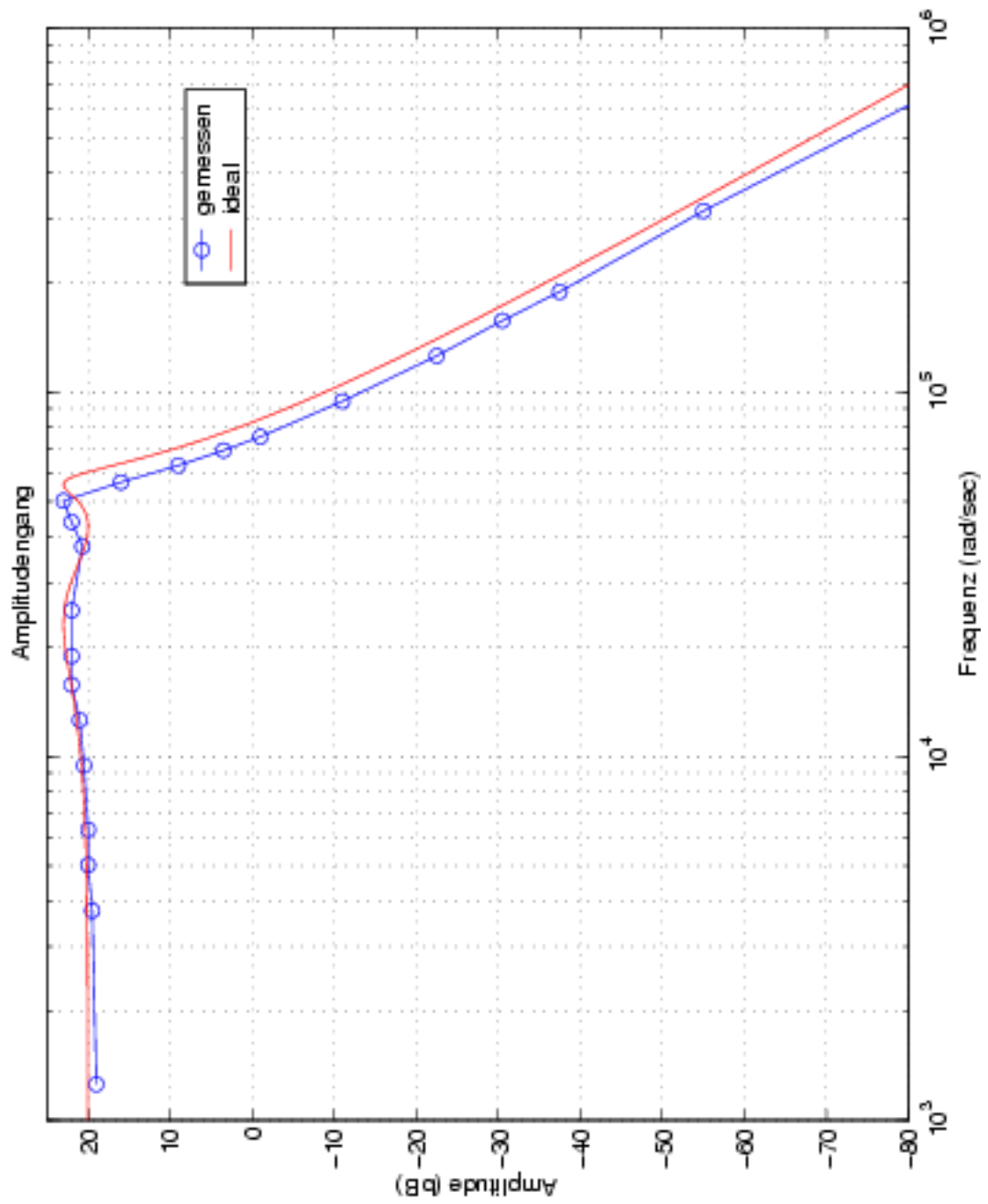


Abbildung 2.5: Amplitudengang / Tschebyscheff 4. Ordnung

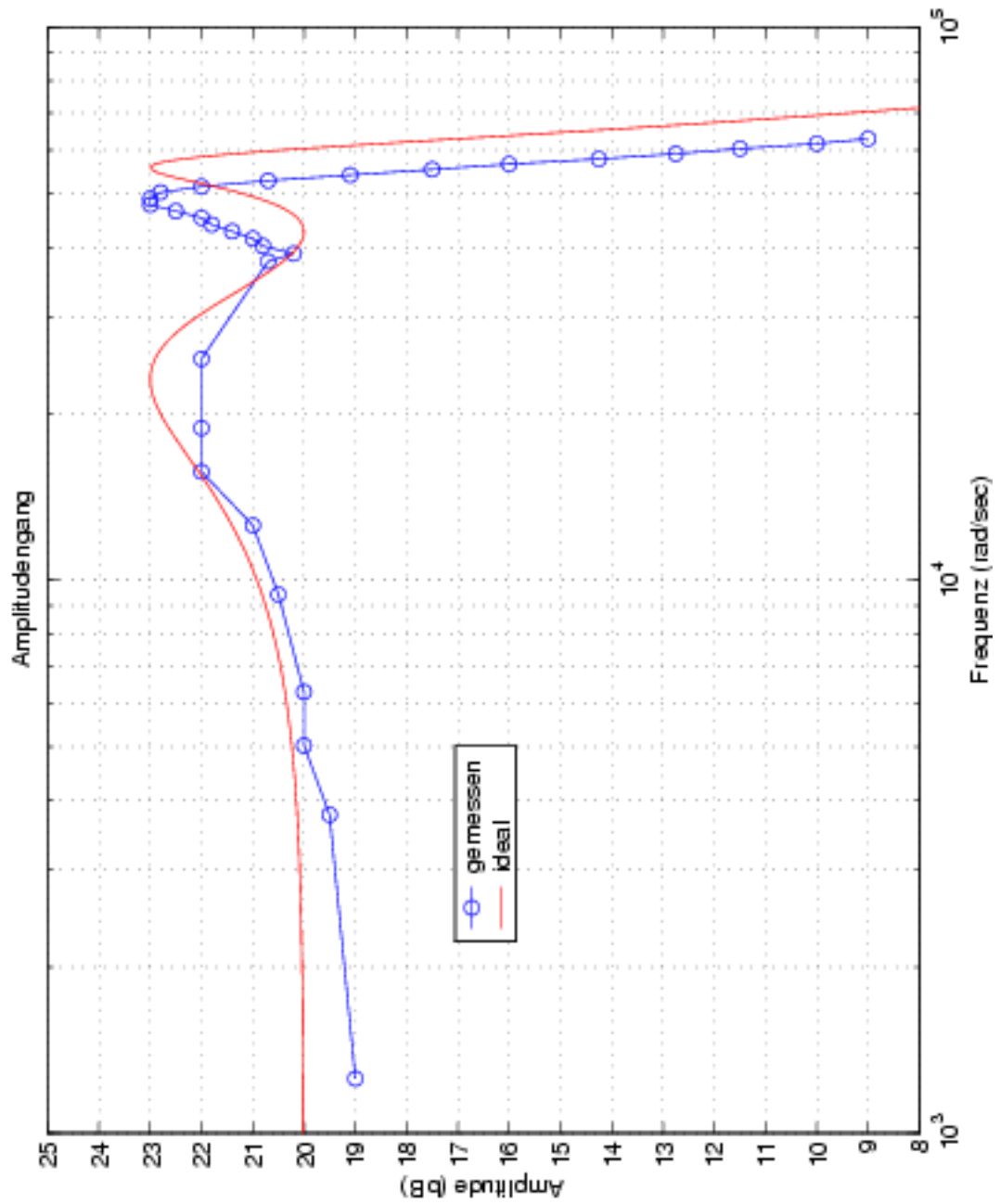


Abbildung 2.6: Amplitudengang (detail) / Tschebyscheff 4. Ordnung

Anhang A

Messmittel

DB-Voltmeter: Helwet Packard 400E
1mW 600 Ohm
536-08197 / 536-08323

Function Generator: Stanford Research Systems DS 345
50 Ohm
26367

KO: Metrix OX 8100
149587WHF

Multimeter: Helwet Packard 34401A
3146A30213

Literaturverzeichnis

- [1] U. Tietze / Ch. Schenk. *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer ISBN: 3-540-64192-0, 1999.
- [2] Kories / Schmidt-Walter. *Taschenbuch der Elektrotechnik*. Harri Deutsch ISBN: 3-8171-1563-6, 1998.