Elektronik Praktikum: OPV 1

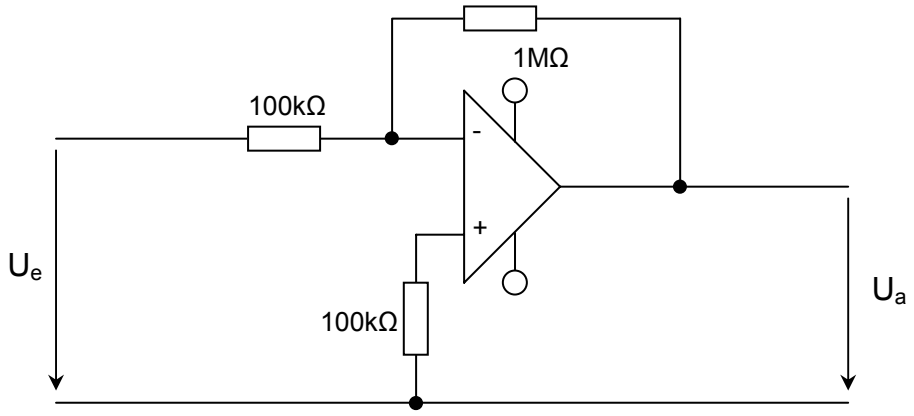
Datum, Ort: [redacted], PHY/D-213
Betreuer: Eckstein
Praktikanten: [redacted]
Gruppe:

Ziel des Versuches

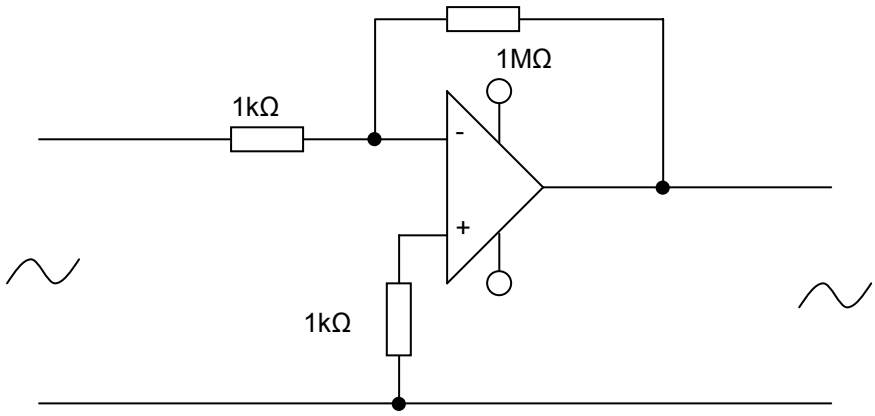
- ➔ Auftragung der Übertragungskennlinie eines OPVs bei Aufbau als invertierender Verstärker (Faktor -10) bei Betriebsspannungen U_{B-}=-18V und U_{B+}=+18V.
- ➔ Aufnahme und Darstellung des Verstärkungs- und Phasenfrequenzganges bei einer Leerlaufverstärkung von -10^3 und U_e=28,8mV (Spitze/Spitze)
- ➔ Bestimmung des Verstärkungsabfalls pro Dekade und der Grenzfrequenz f_{go} und des Phasenrandes φ_{krit}
- ➔ Extrapolation auf die erste Eckfrequenz (hervorgerufen durch interne Frequenzkompensierung des OPVs) bei einer Leerlaufverstärkung von $\pm 2 \cdot 10^5$ bei niedriger Fequenz

Durchführung

Die Schaltung wurde auf die verlangte Verstärkung von -10 mit Hilfe eines 1MΩ und eines 100kΩ Widerstandes dimensioniert. Am nichtinvertierendem Eingang des OPVs wurde ein 100kΩ Widerstand zur Verringerung des Offsets angeschlossen. Nach der Dimensionierung der Schaltung, wurden die Spannungsquellen so eingestellt, dass am OPV real die geforderten Betriebsspannungen anlagen. Im Anschluss wurde der Offsetabgleich durchgeführt.
Nachdem die Schaltung nun versuchsbereit war, wurden für verschiedene Gleichstrom-Eingangsspannungen die Ausgangsspannungen gemessen.



Im zweiten Teil wurde die Schaltung mit einem 1MΩ und einem 1kΩ Widerstand auf die verlangte Verstärkung von -10^3 dimensioniert.
Der Widerstand am nichtinvertierenden Eingang des OPVs wurde entsprechend auf 1kΩ gestellt. Ein erneuter Offsetabgleich wurde nicht durchgeführt, da die dafür benötigte Präzision nicht gegeben war.
Nun wurden für eine Sinusspannung von 28,8mV (Spitze/Spitze) bei verschiedenen Frequenzen die Ausgangsspannung (Spitze/Spitze) sowie Phasenverschiebung (indirekt über Δt) mit Hilfe eines digitalen Oszilloskops gemessen.

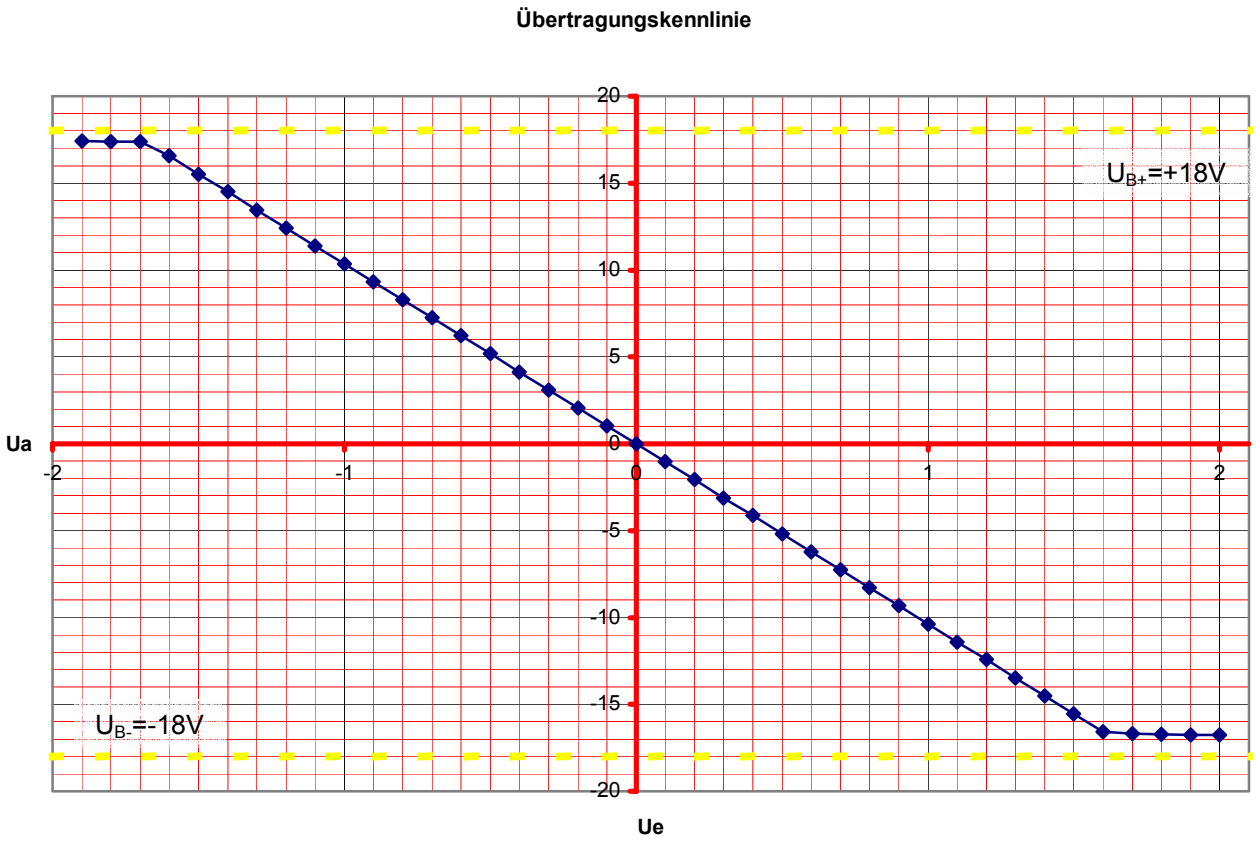


Messergebnisse

Teil1							
U_e/V	U_a/V	U_e/V	U_a/V	U_e/V	U_a/V	U_e/V	U_a/V
-1,9	17,41	-0,9	9,32	0,1	-1,04	1,1	-11,4
-1,8	17,4	-0,8	8,27	0,2	-2,07	1,2	-12,43
-1,7	17,4	-0,7	7,24	0,3	-3,12	1,3	-13,47
-1,6	16,56	-0,6	6,21	0,4	-4,14	1,4	-14,51
-1,5	15,52	-0,5	5,18	0,5	-5,18	1,5	-15,53
-1,4	14,5	-0,4	4,14	0,6	-6,21	1,6	-16,56
-1,3	13,46	-0,3	3,1	0,7	-7,25	1,7	-16,7
-1,2	12,43	-0,2	2,07	0,8	-8,3	1,8	-16,72
-1,1	11,39	-0,1	1,03	0,9	-9,33	1,9	-16,75
-1,0	10,35	0,0	0,0	1,0	-10,37	2,0	-16,75

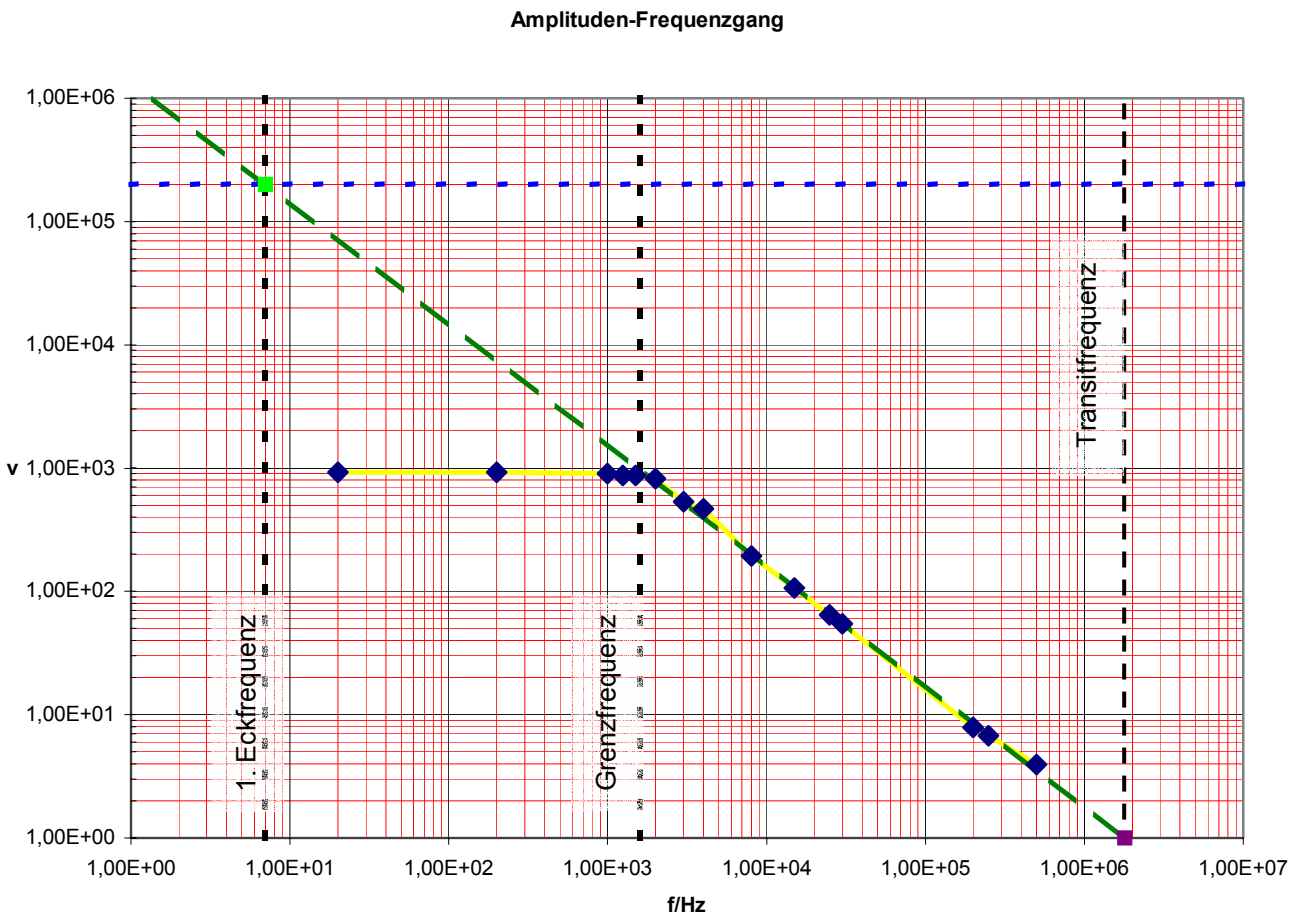
Teil 2											
f/kHz	$U_{ss,e}/mV$	$U_{ss,a}/V$	$\Delta t/\mu s$	f/kHz	$U_{ss,e}/mV$	$U_{ss,a}/V$	$\Delta t/\mu s$	f/kHz	$U_{ss,e}/mV$	$U_{ss,a}/V$	$\Delta t/\mu s$
0,02	28,8	26,8	-2000	2	28,8	23,6	-60	25	56	3,6	-11,2
0,2	28,8	26,8	-200	3	37,5	20	-48	30	56	3,04	-9,8
1	28,8	26	-97	4	37,5	17,6	-44	200	56	0,44	-1,6
1,25	28,8	25,2	-80	8	56	10,8	-30	250	56	0,38	-1,3
1,5	28,8	25,2	-72	15	56	6	-16,8	500	56	0,22	-0,66

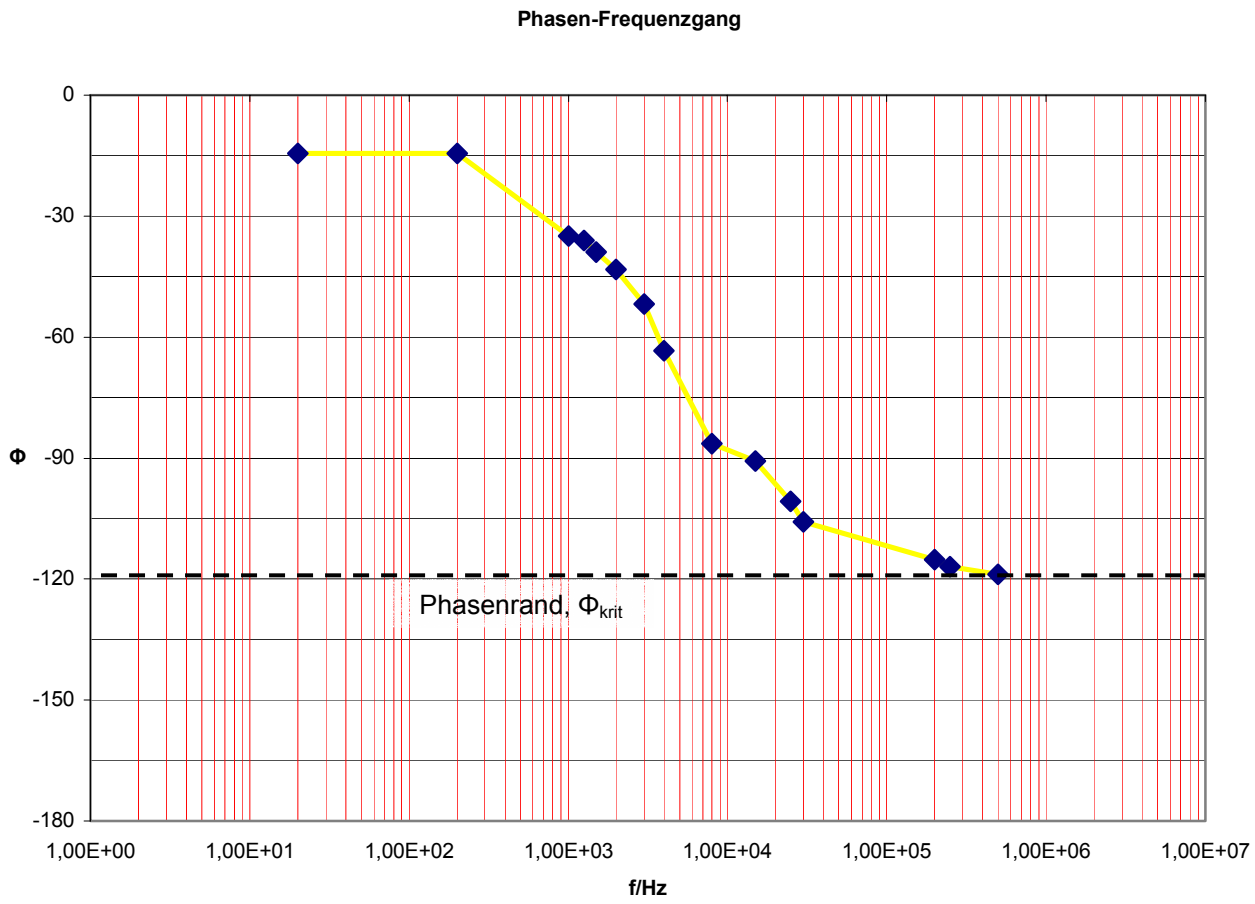
Auswertung, Teil 1



Deutlich erkennbar ist die Steigung von -10 zwischen den Begrenzungsbreichen, wie sie auch erwartet wurde. Ebenfalls lassen sich die Begrenzungsbereiche gut erkennen. Bemerkenswert ist der betragsmäßige Unterschied zwischen den Ausgangsspannungen im Begrenzungsbereich (siehe hierzu auch Messergebnisse). Dies kann verschiedene Ursachen haben. Zum einen könnten die Betriebsspannungen nicht exakt symmetrisch sein. Zum anderen könnte dies an internen Eigenschaften der Schaltung bzw. des OPVs liegen.
Somit ergeben sich zwei unterschiedliche Aussteuerbarkeiten. Im negativen Eingangsspannungsbereich liegt diese bei $U_{e,max,\ neg}$ = -1,7V, im positiven Eingangsspannungsbereich bei $U_{e,\ max,\ pos}$ = +1,6V.

Auswertung, Teil 2





Aus dem Amplituden-Frequenzgang-Diagramm erkennt man, dass bei annähernd 1600 Hz die Grenzfrequenz des OPV liegt. Ab dieser Grenzfrequenz ist der Abfall der Verstärkung wie erwartet mit 20dB/Dekade abzulesen.
Legt man eine entsprechende Gerade durch die Messpunkte (mit f > 1600 Hz), kann man die Transitfrequenz und die 1. Eckfrequenz (gefordert bei einer Verstärkung von $2 \cdot 10^5$) extrapolieren.
Somit ergibt sich für die 1. Eckfrequenz ein Wert von approximierten 7 Hz. Die Gerade weißt für die Transitfrequenz (Schnittpunkt zwischen Gerade und f-Achse) einen approximierten Wert von $1{,}6 \cdot 10^6$ Hz auf.
Das Diagramm zeigt sehr deutlich, dass im Bereich 3000 Hz < f < 500000 Hz weniger Messpunkte bestimmt hätten werden können. Stattdessen hätten im Bereich um f = 1600 Hz mehr Messpunkte aufgenommen werden können, um die Grenzfrequenz genauer bestimmen zu können!
Es wäre sinnvoll gewesen, weitere Messpunkte für den Bereich f > 500000 Hz aufzunehmen, da aus den tatsächlich bestimmten Messpunkten nicht ersichtlich ist, ob es eine dritte Eckfrequenz gibt, bevor die Transitfrequenz erreicht ist.

De bestimmten Messwerte zeigen im Abfallbereich tatsächlich das erwartete Verhältnis f · v = const:

f/kHz	$\frac{U_{ss,a}}{U_{ss,e}} = v$	$\frac{f \cdot v}{1 \cdot 10^6}$	f/kHz	$\frac{U_{ss,a}}{U_{ss,e}} = v$	$\frac{f \cdot v}{1 \cdot 10^6}$
2	819,44	1,64	25	64,29	1,61
3	533,33	1,6	30	54,29	1,63
4	469,33	1,88	200	7,86	1,57
8	192,86	1,54	250	6,79	1,7
15	107,14	1,61	500	3,93	1,96

Die Schwankungen sind auf Messungenauigkeiten zurück zu führen.

Nach der Berechnung der Phasenwinkel mittels Formel $\Phi = 2\pi \cdot f \cdot \Delta t$, ist aus dem Phasen-Frequenzgang-Diagramm sehr deutlich erkennbar, dass tatsächlich grobe Messungenauigkeiten vorliegen.
Ebenfalls deutlich erkennbar ist der Mangel an Messpunkten im Bereich 100 Hz bis 800 Hz. Wäre dort gemessen worden, wäre die Phasenverschiebung im Bereich vor der Grenzfrequenz besser erkennbar.
Mehr Messpunkte im Bereich der Transitfrequenz wären wünschenswert gewesen, da dadurch der Phasenrand eindeutiger bestimmt hätte werden können. Mit den gemachten Messpunkten ist davon auszugehen, dass der Phasenrand bei approximierten 120° liegt. Mit dieser Annahme ist zu sagen, dass die negative Rückkopplung der Schaltung nicht durch Phasenverschiebung zur positiven Rückkopplung wird. Der OPV ist also im Messbereich relativ stabil.

Die Auswertung zeigt, dass es geringfügige Mängel in der praktischen Durchführung der Messung (i.e. Messpunkte setzen) gab.

Fachrichtung Physik
Institut für Kern- und Teilchenphysik
Elektronikpraktikum für Physiker

P. Eckstein

05.04.02

- OV I –

Grundlegende Eigenschaften des Operationsverstärkers

Aufgabenstellung

1. Dimensionieren und schalten Sie den Operationsverstärker als invertierenden Verstärker mit einer Spannungsverstärkung $| v_u | = 10^3$ und untersuchen Sie die wichtigsten statischen Eigenschaften dieses Verstärkers.
   Gehen Sie dabei wie folgt vor:

   - Dimensionierung und Aufbau der Schaltung unter Beachtung einer minimalen Offsetspannungsdrift und Inbetriebnahme des Verstärkers mit den Betriebsspannungen: $U_{B+} = + 16$ V, $U_{B-} = - 16$ V .

   - Kontrolle und gegebenenfalls Durchführung des Offsetabgleichs.

   - Aufnahme der **Übertragungskennlinie $U_a = f(U_e)$** und Bestimmung der Aussteuerbarkeit $U_{e,max}$ des Verstärkers bei verschiedenen Betriebsspannungen.

2. Untersuchen Sie die dynamischen Eigenschaften des invertierenden Verstärkers, indem Sie den Verstärkungsfrequenzgang $v = f(f)$ (Bodediagramm) und Phasenfrequenzgang $\varphi = f(f)$ aufnehmen und bewerten.
   Führen Sie dazu folgende Messungen und Auswertungen durch:

   - **Aufnahme** und zweckmäßige **Darstellung des Verstärkungs- und des Phasenfrequenzganges** ausgehend von einer Verstärkung bei niedrigen Frequenzen von $| v_u | = 10^3$ und bei einer Aussteuerung $U_e \leq 0{,}9\ U_{e,max}$.

   - Annäherung des Verstärkungsabfalls bei höheren Frequenzen durch eine Gerade und Bestimmung des **Verstärkungsabfalls / Dekade**, der **Grenzfrequenz** f_{go}, des **Phasenrandes** φ_{krit} , Kontrolle der **Breitbandeigenschaft des Verstärkers**: $f_{go} * |v_u| = \text{const}$ (Diskussion!).

   - Extrapolation auf die 1. Eckfrequenz und die Transitfrequenz f_T des intern frequenzkompensierten Operationsverstärkers, wenn dieser bei niedrigen Frequenzen eine Leerlaufverstärkung von $V_D = 2 * 10^5$ aufweist.

Beachten Sie die Hinweise zur Schaltungsrealisierung und zur Meßtechnik !

Hinweise zur Schaltungsrealisierung und zur Meßtechnik

Zur Realisierung der Operationsverstärkerschaltungen steht eine Leiterplatte mit dem intern frequenzkompensierten Operationsverstärker B081 und einer Reihe ausgewählter passiver Bauelemente, die durch (Kurzschluß-) Brücken und Verbindungskabel untereinander und mit dem OPV verbunden werden können, zur Verfügung. Sie enthält zwei voneinander unabhängig einstellbare Gleichspannungsquellen. Die Betriebsspannungszuführung erfolgt extern.

Meßzubehör

- Gleichspannungsnetzgeräte (Laborstromversorgungen)
- variable Gleichspannungsquellen (auf der Leiterplatte)
- Sinusgenerator
- Impulsgenerator (für spezielle Anwendungen)
- 2-Kanal-Oszillskop (Digitaloszilloskop)
- Wechselspannungsvoltmeter
- Digitalvoltmeter (für Gleichspannungsmessungen)

Theoretische Grundlagen / Versuchsvorbereitung

Zur Vorbereitung auf die Versuche mit Operationsverstärkern ist als Ergänzung der Vorlesungsmitschriften und entsprechender Übungsaufzeichnungen folgende **Literatur** geeignet:

- J. Dostal, Operationsverstärker, Verlag Technik Berlin 1986
- M. Seifert, Analoge Schaltungen, Verlag Technik Berlin 1987, S. 236-247
- U. Tietze, Ch. Schenk, Halbleiter-Impulstechnik, Springer-Verlag Berlin 1990, S. 122-158
- K.-M. Rohe, Elektronik für Physiker, Teubner Studienbücher, B.G. Teubner Stuttgart 1987