

Lösungsübersicht EL-A S 2009

Die Lösungen sind z.T. ausführlicher kommentiert und diskutiert als es während einer Klausur möglich ist.

1.

Impulsverstärker

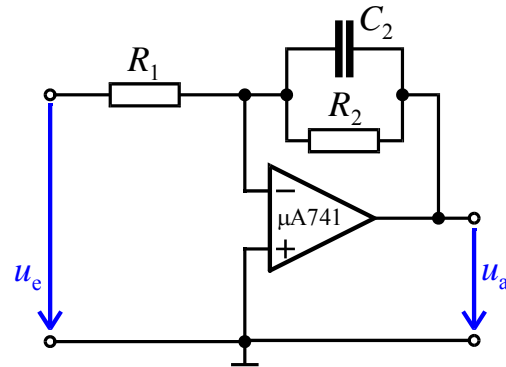
[34]

Gegeben

$$\mu\text{A741}, R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega,$$

$$R_2 = 47 \text{ k}\Omega, C_2 = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

Abb. 1.1: Impulsverstärker →



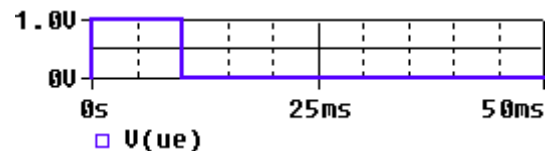
- 1.1 Welche Grundschialtung liegt vor? Geben Sie einen **analytischen Ausdruck** für die Spannungsverstärkung \underline{v}_u des Impulsverstärkers an!

Grundschialtung des Impulsverstärkers: *Invertierender Verstärker mit OP*

$$\underline{v}_u = \frac{u_a}{u_e} = \frac{-1}{\underline{Z}_1 \underline{Y}_2} = \frac{-1}{R_1 \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{(1 + j\omega C_2 R_2)}$$

- 1.2 **Bode-Diagramm** der Spannungsverstärkung \underline{v}_u **Abb. 1.2**

- 1.3 Spannungsimpuls mit einer Impulsdauer 10 ms und einer Impulsamplitude 1 V.



V1 = 0 V	TR = 10 us	PW = 9980 us	TD = 0
V2 = 1 V	TF = 10 us	PER = 1 s	Final Time = 50 ms

$u_e(t)$ und $u_a(t)$ im gemeinsamen Gitternetz von **Abb. 1.3**

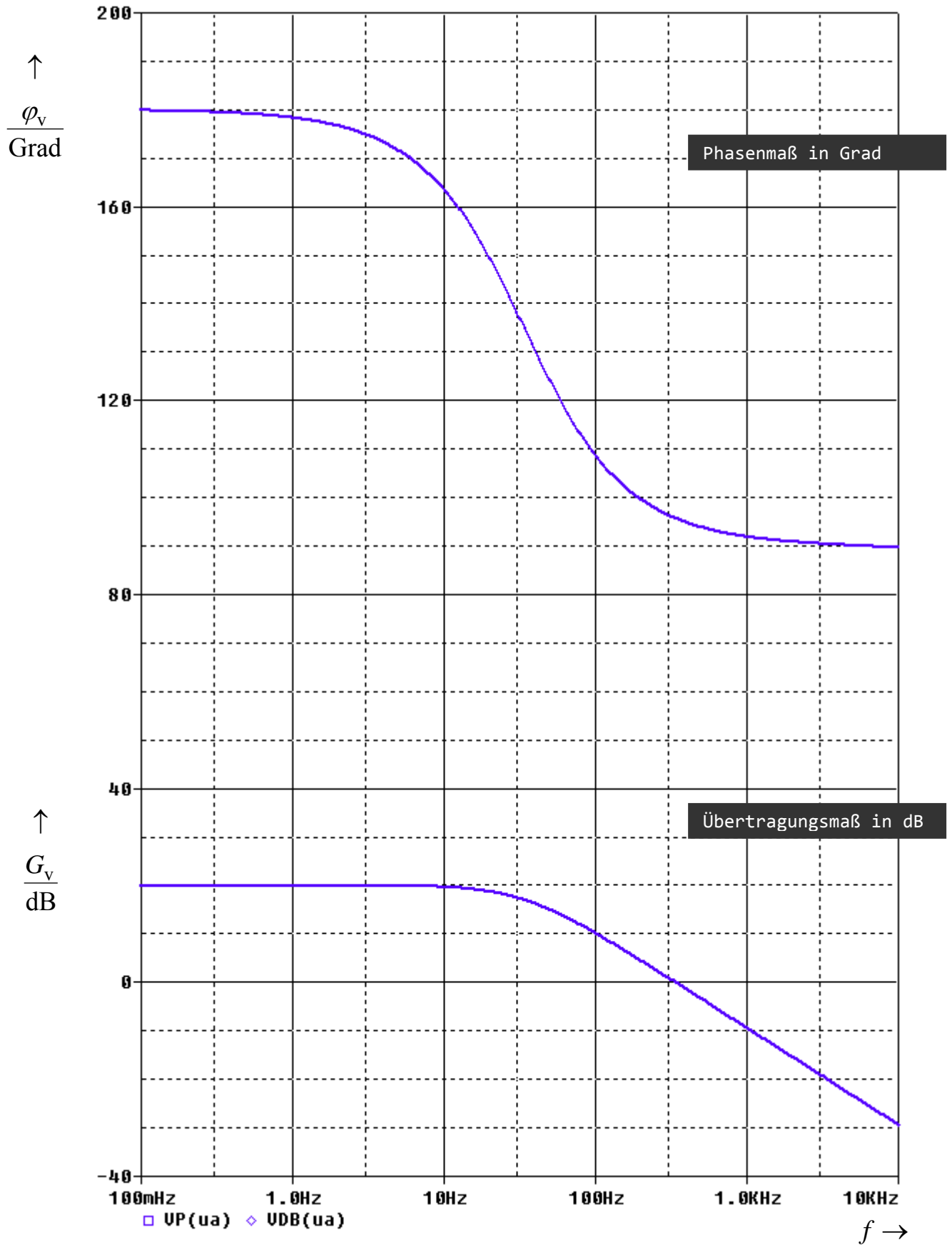


Abb. 1.2: Bode-Diagramm der Spannungsverstärkung

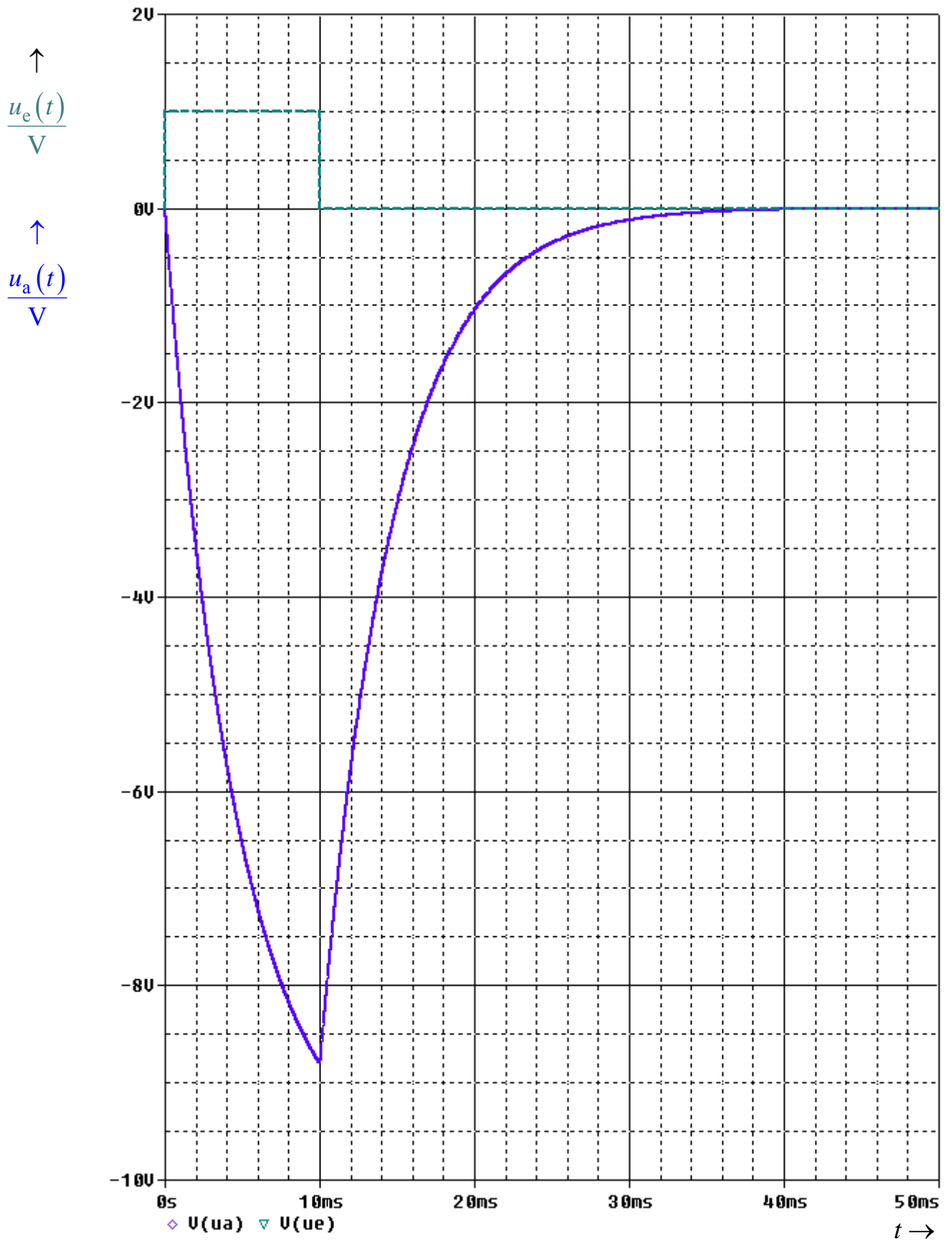


Abb. 1.3 : Eingangszeitfunktion $u_e(t)$ und Ausgangszeitfunktion $u_a(t)$

1.4 Linienspektren $U_e(f)$, $U_a(f)$. Linienabstand = 10 Hz \Rightarrow *Final Time = 0,1 s*

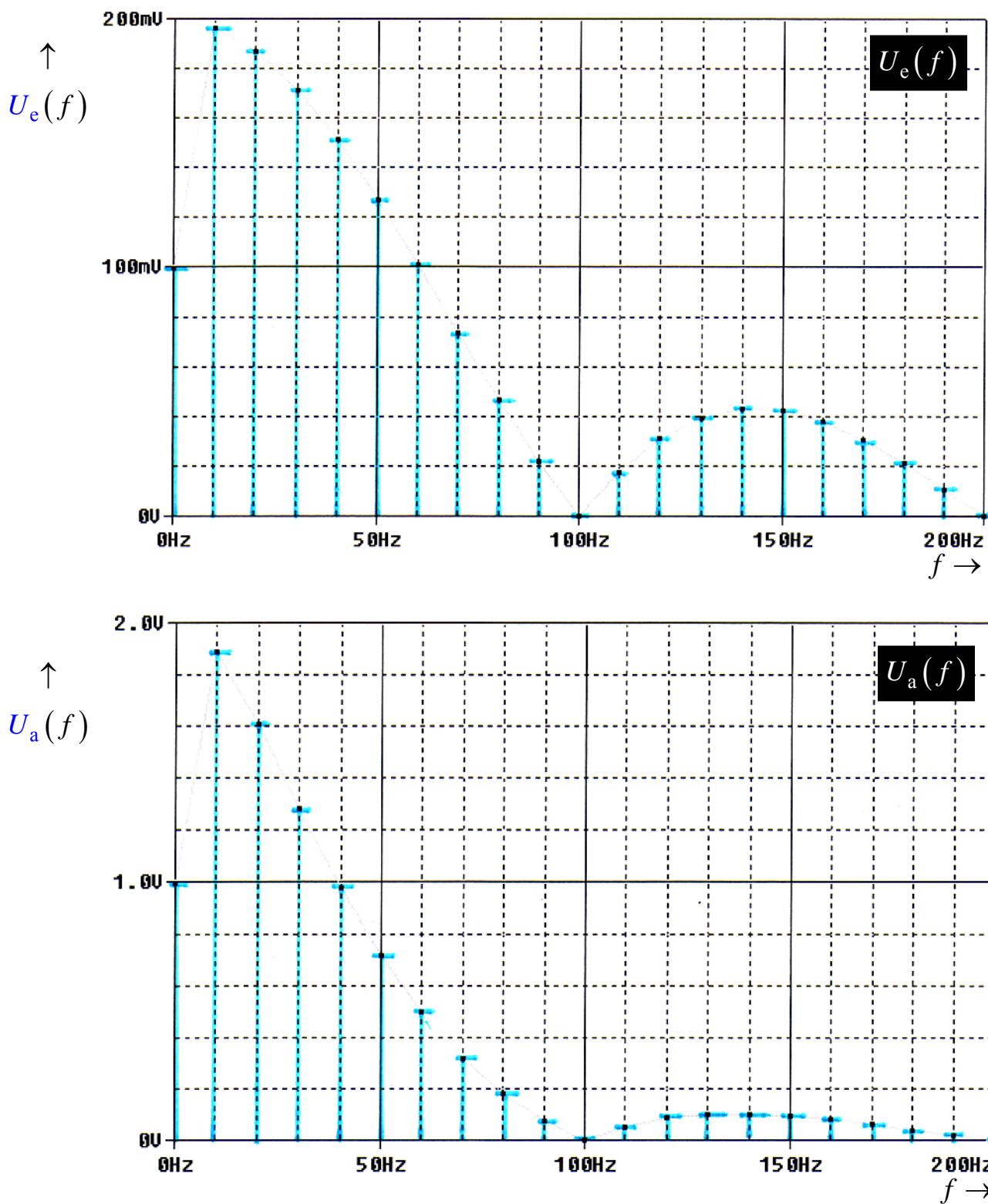


Abb. 1.4: Linienspektren $U_e(f)$, $U_a(f)$; Linienabstand 10 Hz

- 1.5 Wert des Gleichanteils der **Eingangszeitfunktion** (Bedingungen von **Aufgabe 1.4**)

$$U_{e0} = 100 \text{ mV}$$

- 1.6 Zusammenhang des Gleichanteils U_{e0} mit den *gegebenen* Größen **1.3** und **1.4**

U_{e0} ist der Mittelwert von u_e im Analysezeitfenster 100 ms.

$$U_{e0} \approx (1 \text{ V} \cdot 10 \text{ ms}) / 100 \text{ ms} = 100 \text{ mV}$$

(" \approx " wegen endlicher Werte von TR und TF).

- 1.7 Wert des Gleichanteils der **Ausgangszeitfunktion**

$$U_{a0} = -1000 \text{ mV}$$

- 1.8 Zusammenhang der Gleichanteile U_{a0} und U_{e0}

Für DC gilt $\underline{v}_u = -\frac{R_2}{R_1} = -10$ und damit $U_{a0} = -10 \cdot U_{e0}$

$$U_{a0} = -1000 \text{ mV}$$

Der Gleichanteil wird wie jeder andere Teil des Spektrums mit \underline{v}_u verstärkt.

2.

Leistungsverstärker

[26]

Gegeben Operationsverstärker $\mu A741$ und direkt gekoppelte Leistungsstufe mit den komplementären Transistoren Q2N3904 und Q2N3906. Spannungspeisung u_e .

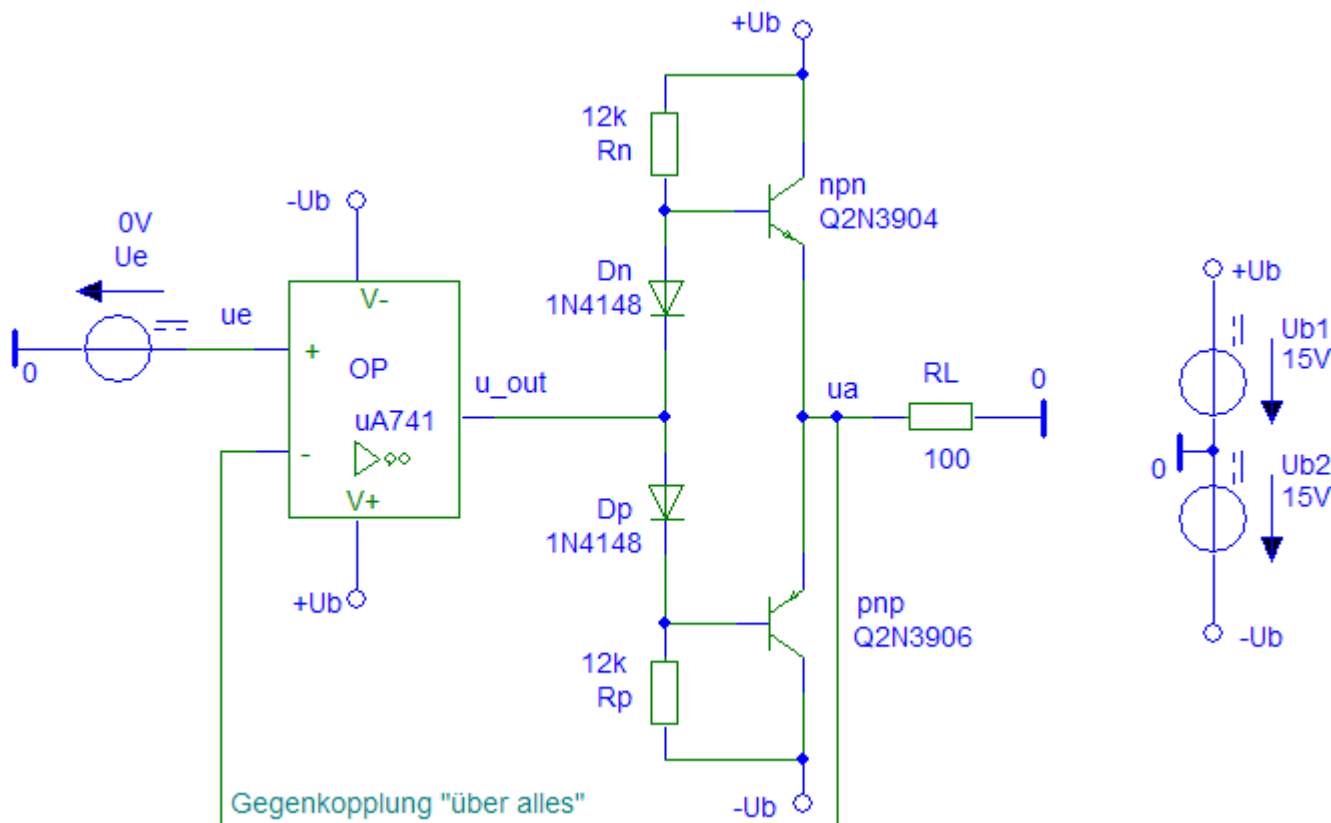


Abb. 2.1: Operationsverstärker $\mu A741$ und direkt gekoppelte Leistungsstufe

2.1 Transferkennlinie $U_a = f_U(U_e)$ für $-10 \text{ V} \leq U_e \leq 10 \text{ V}$

Gegenkopplung über alles: Schaltung wie Spannungsfolger, hier jedoch mit Leistungsverstärker innerhalb der Gegenkopplungsschleife *closed loop*.

$U_a = f_U(U_e)$ in **Abb. 2.2** (unten). Linearer Verlauf im Eingangsspannungsbereich $-7,7 \text{ V} < U_e < 7,4 \text{ V}$. Die Kennlinie knickt ab bei $U_{en} = -7,7 \text{ V}$ und $U_{ep} = 7,4 \text{ V}$.

2.2 Stromkennlinien $I_{Dn} = f_n(U_e)$ und $I_{Dp} = f_p(U_e)$: **Abb. 2.2** (oben und Mitte).
Bemerkenswert: $U_e < -7,7 \text{ V}$: $I_{Dp} < 0$ und $U_e > 7,4 \text{ V}$: $I_{Dn} < 0$

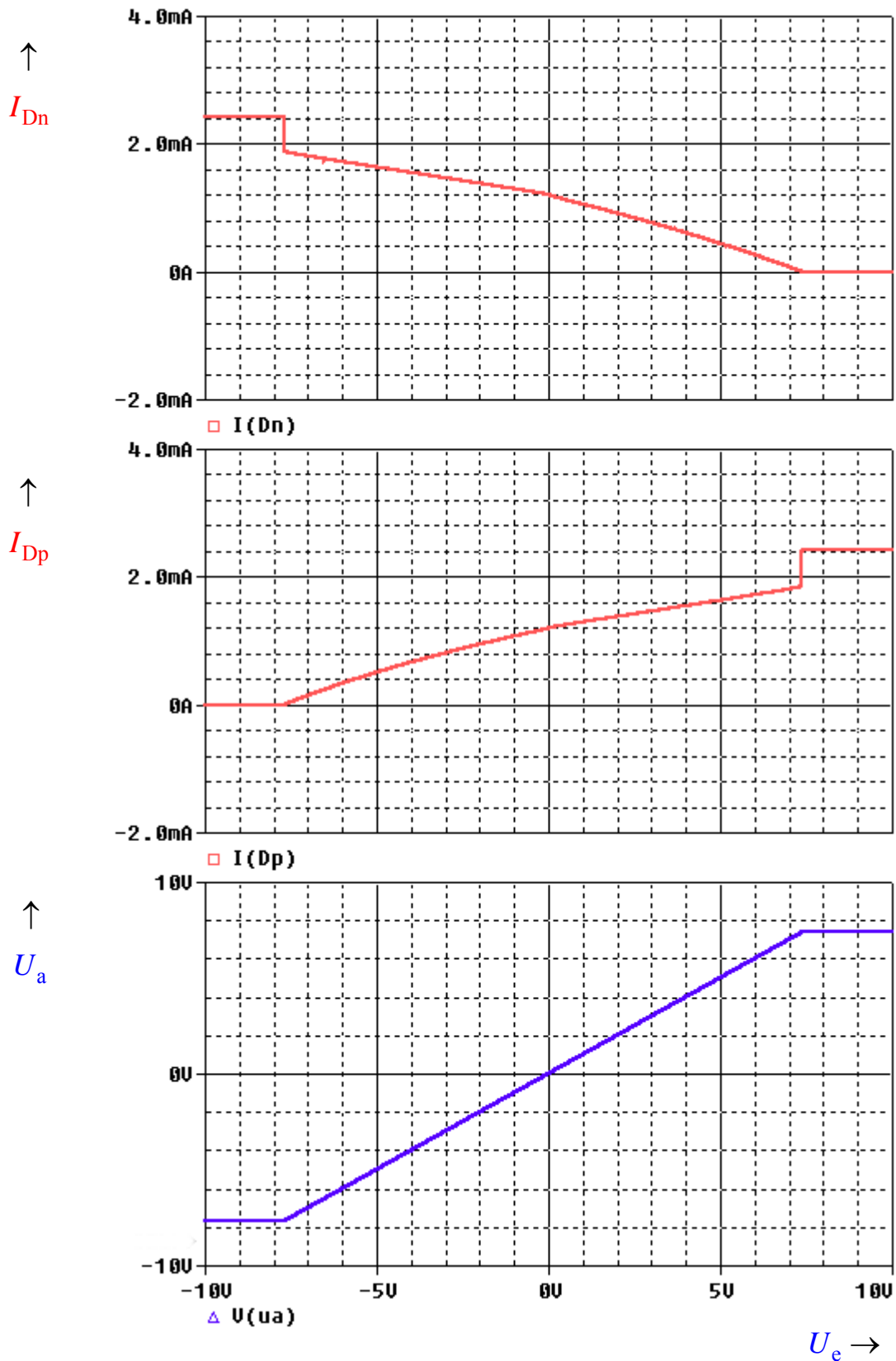


Abb. 2.2: Transferkennlinie $U_a = f_U(U_g)$
 und Stromkennlinien $I_{Dn} = f_n(U_g)$ sowie $I_{Dp} = f_p(U_g)$

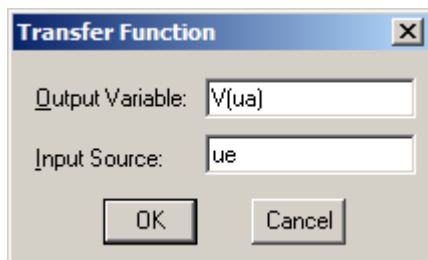
2.3 Gleichspannungsverstärkung mit 4 signifikanten Stellen

$$v_u = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} = 1,000$$

$$G_{v_u} = 20 \lg \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} \text{ dB} = 0,000 \text{ dB}$$

Ein *Spannungsfolger* weist bei DC und AC eine Verstärkung von **1,000** auf.

2.4 Ausgangsimpedanz Z_a für niedrige Frequenzen mit 4 signifikanten Stellen



SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

$$V(ua)/V_{Ue} = 1.000E+00$$

$$\text{INPUT RESISTANCE AT } V_{Ue} = 2.245E+09$$

$$\text{OUTPUT RESISTANCE AT } V(ua) = 7.507E-04$$

$$Z_a = \frac{u_a}{i_a} = 7,507E-04 \text{ Ohm} = 0,7507 \text{ mOhm}$$

Gestrichen wegen Zeitüberschreitung beim Kontrolllauf:

2.5 Ursache für das Abknicken der Transferkennlinie $U_a = f_U(U_e) \rightarrow$ **Abb. 2.3** (S. 9)

Die Funktionsweise wird zweckmäßigerweise im *open loop* Betrieb erklärt (Abb. 2.3, S. 9 und Abb. 2.4, S. 10):

Zusammengefasst: Wenn die Spannung u_{out} zu groß wird, ist die Spannungsquellenfunktion der Diode nicht mehr gewährleistet und die Ausgangsspannung kann nicht mehr wachsen (die Kennlinie knickt ab).

Im Detail

- Die Dioden arbeiten wie Spannungsquellen, die die Wirkung der Schleusenspannung der Basis-Emitterdioden der Transistoren (Übernahmeverzerrungen) weitgehend eliminieren.
- Betrachtet wird die Diode D_n . Sie kann nur dann als Spannungsquelle arbeiten, wenn sie in Durchlassrichtung gepolt ist. Den zugehörigen Durchlassstrom I_{Dn} generiert der Widerstand R_n .

- Die ansteigende OP-Ausgangsspannung u_{out} führt (hier) bei etwa $U_e = 8\text{ V}$ zum Umpolen der Diode Dn ($I_{Dn} < 0$). Der von R_n generierte Strom fließt mit wachsendem u_{out} zunehmend in den Basisanschluss des npn-Transistors. Die Übernahme des Stromes von der Diode Dn zum Basisanschluss des npn-Transistors ist schleichend und beginnt schon bei $u_{out} \approx 0,5\text{ V}$.
- Wenn der Widerstandswert von R_n verkleinert wird, fließt ein größerer Strom I_{Dn} , so dass die Diode besser mit Durchlassstrom ‚versorgt‘ werden kann und sich der Knick nach etwas höheren Spannungen hin verschiebt. Messen Sie dies nach, in dem Sie für $R_n = R_p = 1,2\text{ k}\Omega$ wählen.

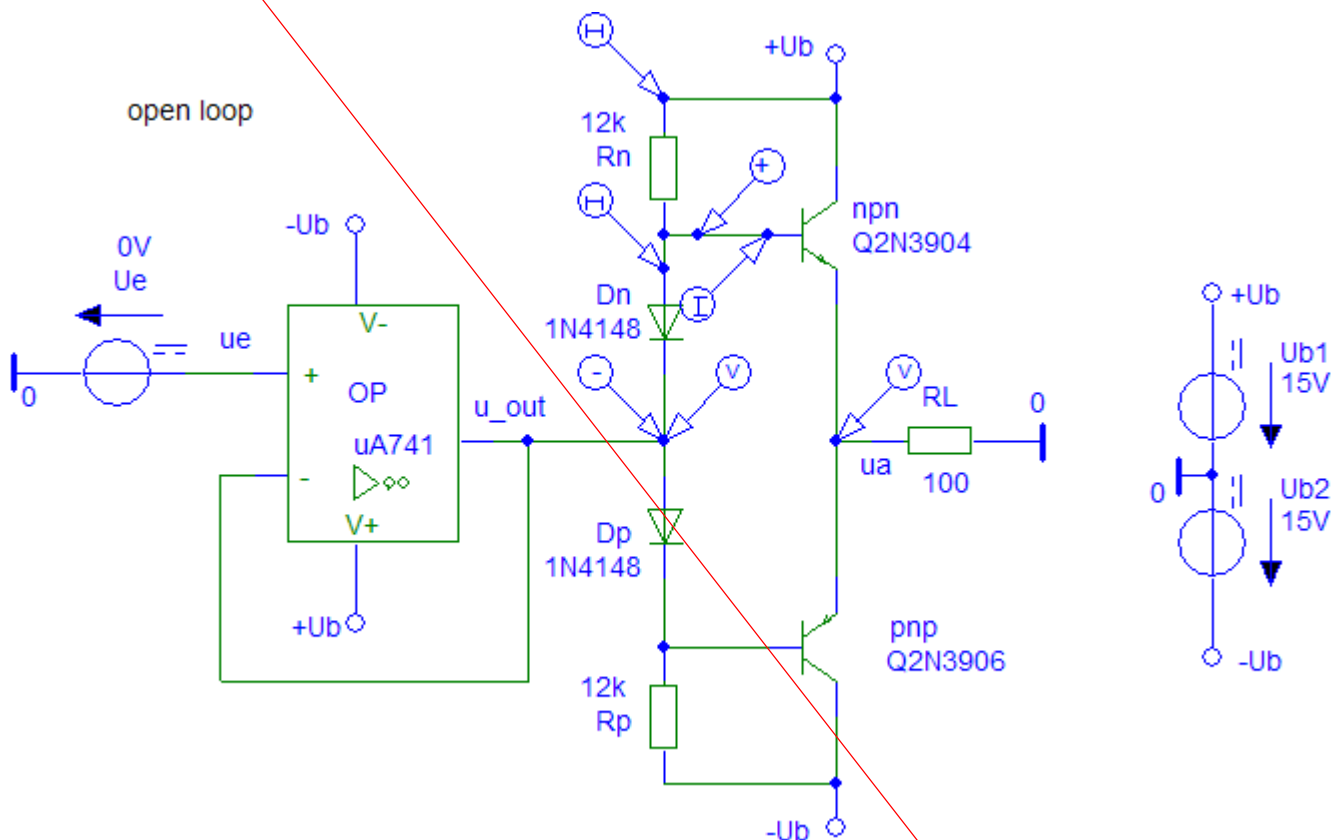


Abb. 2.3: Open loop Betrieb zur Erklärung des Knickes bei $U_{ep} = 7,4\text{ V}$

2.6 Maßnahmen, um das Abknicken der Transferkennlinie zu größeren Werten von $|U_e|$ bzw. von $|U_a|$ hin zu verschieben

Verringerung der Werte von R_n bzw. von R_p erhöhen den Betrag der Knickspannung.

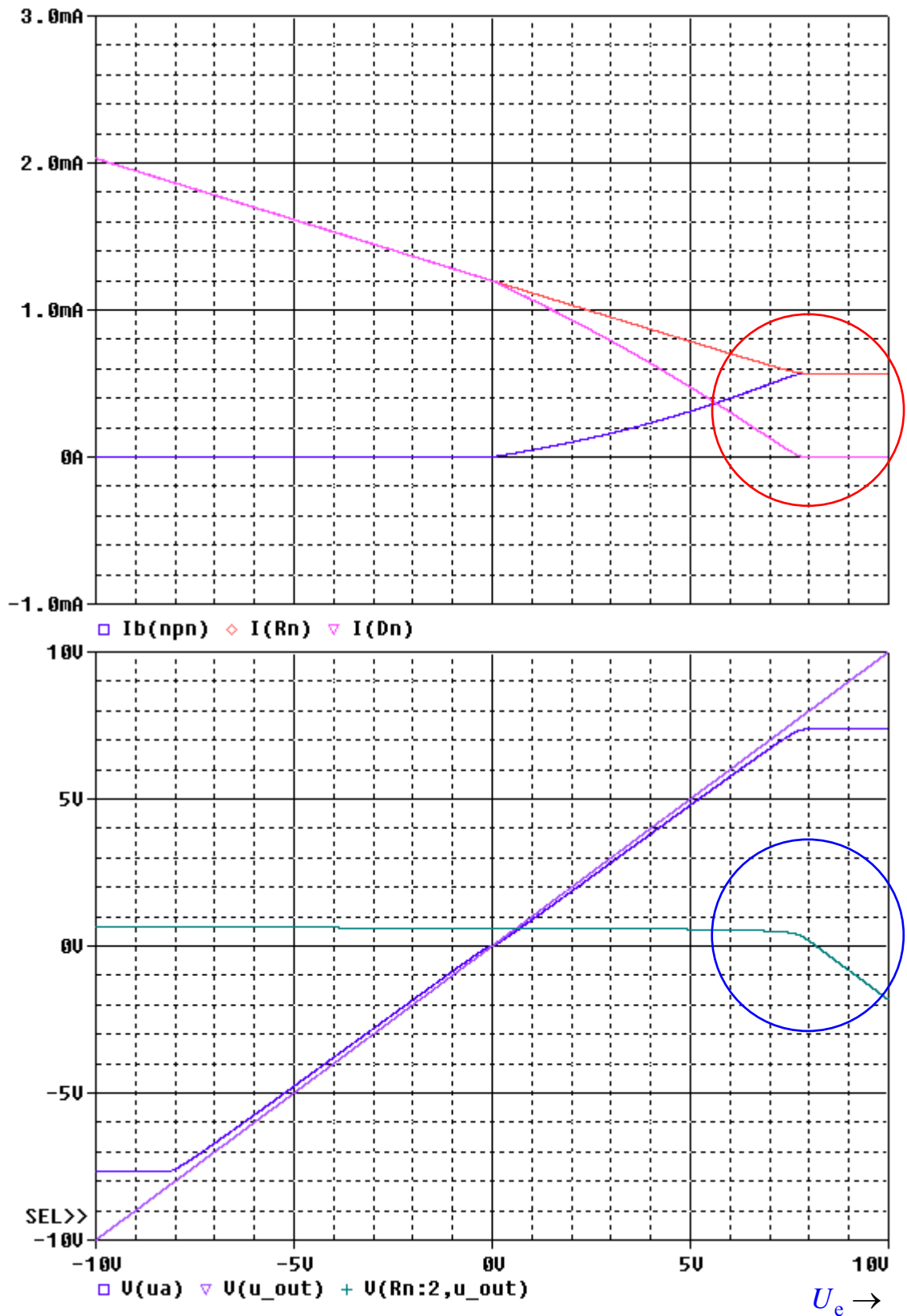


Abb. 2.4: Ergebnisse des *open loop* Betriebes