

Musterlösungen

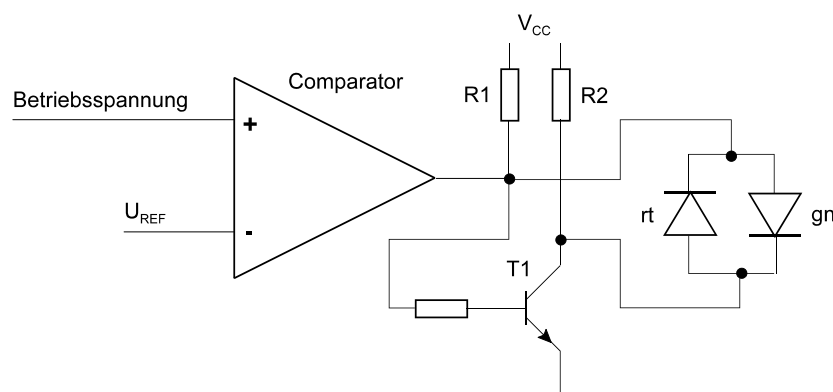
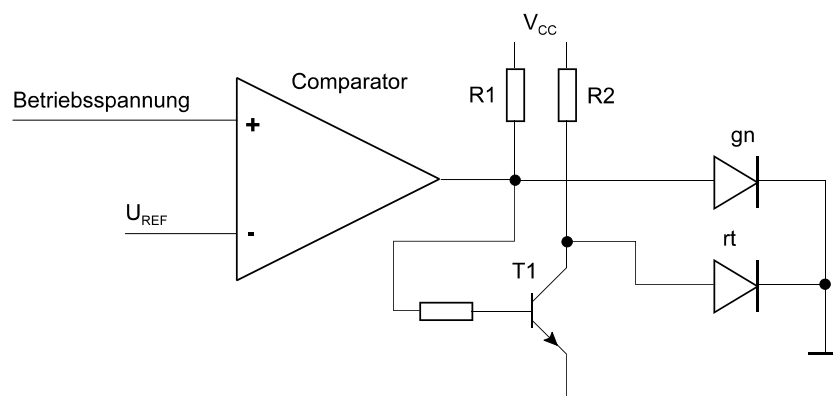
zu den Übungsaufgaben vom 2. 2. 07

1. Eine Betriebsspannung ist zu überwachen. Sie soll einen unteren Grenzwert nicht unterschreiten. Dieser ist durch eine Referenzspannung U_{REF} gegeben. Eine Zweifarben-LED ist folgendermaßen zu schalten:

- Betriebsspannung \geq Referenzspannung: grün,
- Betriebsspannung \leq Referenzspannung: rot.

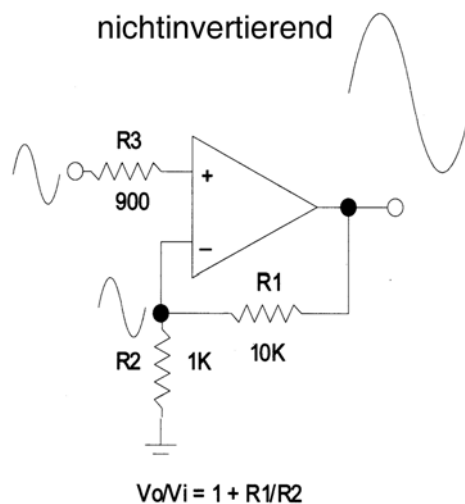
Geben Sie eine entsprechende Prinzipschaltung an (ohne Dimensionierung). Die Speisespannung(en) zum Betrieb der Überwachungsschaltung können als gegeben vorausgesetzt werden.

Das naheliegende Bauelement zum Vergleichen: der Comparator. Es gibt zwei Arten von Zweifarben-LEDs: (1) Parallelschaltung mit gemeinsamer Katode, (2) Antiparallelschaltung. Da insgesamt zwei Betriebsfälle zu berücksichtigen sind, muß man sich was einfallen lassen – der Comparator allein tut's nicht. Man könnte z. B. zwei Comparatoren nehmen (als weitere Übungsgelegenheit: wieso könnte dies weniger günstig sein?). Die folgenden Schaltungsvorschläge verwenden einen Comparator mit Open-Collector-Ausgang und einen zusätzlichen Transistor.



Betriebsfall	Schaltverhalten	Lösung 1	Lösung 2
Betriebsspannung \geq Referenzspannung	Comparatorausgang High, Transistor im Comparator offen. Transistor T1 auf-gesteuert; Kollektor auf Low-Pegel	Stromweg von V_{CC} über R1 durch die grüne LED nach Masse, Anode der roten LED über T1 an Masse (kein Stromfluß)	Stromweg von V_{CC} über R1 durch die grüne LED und T1 nach Masse, die rote LED liegt in Sperrichtung
Betriebsspannung \leq Referenzspannung	Comparatorausgang Low, Transistor im Comparator auf-gesteuert. Transistor T1 gesperrt; Kollektor auf High-Pegel	Stromweg von V_{CC} über R2 durch die rote LED nach Masse, Anode der grünen LED über den Transistor im Comparator an Masse (kein Stromfluß)	Stromweg von V_{CC} über R2 durch die rote LED und den Transistor im Comparator nach Masse, die grüne LED liegt in Sperrichtung

2. Entwerfen und dimensionieren Sie einen nichtinvertierenden Verstärker mit einer Verstärkung von 5. Bei einem Spannungshub von 10 V darf ein Strom von maximal 25 mA entnommen werden.



Es sind die Widerstände R1 und R2 zu bestimmen. Gemäß Aufgabe dürfen durch die Reihenschaltung R1 + R2 bei 10 V 25 mA fließen. Also $R = R_1 + R_2 = 10 \text{ V} : 25 \text{ mA} = 400 \Omega$. Die weitere Rechnung:

$$A = 1 + \frac{R_1}{R_2}; \quad A - 1 = \frac{R_1}{R - R_1}; \quad (A - 1)(R - R_1) = R_1;$$

$$AR - AR_1 - R + R_1 = R_1; \quad R_1 = \frac{R(A - 1)}{A}$$

$$R_1 = \frac{400\Omega \cdot 4}{5} = 320 \Omega; \quad R_2 = R - R_1 = 80 \Omega$$

Gegenprobe: durch Ausrechnen der Verstärkung: $(320 : 80) + 1$.

3. Welche 3dB-Grenzfrequenz hat der Verstärker gemäß Aufgabe 2, wenn das Verstärkungs-Bandbreiten-Produkt = 250 kHz beträgt?

Formel:

$$f_{3dB} = \frac{f_u}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

$$f_{3dB} = \frac{250 \text{ kHz}}{5} = 50 \text{ kHz}$$

4. Der Amplitudenfehler einer Operationsverstärkerschaltung soll 2% nicht übersteigen. Die maximale Signalfrequenz beträgt 10 kHz. Welche 3dB-Grenzfrequenz muß der Verstärker mindestens aufweisen?

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{f_{3dB}}{\sqrt{f^2 + f_{3dB}^2}}$$

Ausgangsformel:

Diese Formel ist nach f_{3dB} umzustellen. Wir setzen zunächst $U_1 / U_2 = V$ und $f_{3dB} = x$.

$$V = \frac{x}{\sqrt{f^2 + x^2}}; \quad V^2 f^2 + V^2 x^2 = x^2; \quad V^2 f^2 = x^2(1 - V^2); \quad x = \frac{Vf}{\sqrt{1 - V^2}}$$

$$f_{3dB} = \frac{Vf}{\sqrt{1 - V^2}}$$

Ohne Amplitudenfehler wäre $V = 1$. Mit 2% Amplitudenfehler ist $V = 0,98$.

$$f_{3dB} = \frac{0,98 \cdot 10 \text{ kHz}}{\sqrt{1 - 0,98^2}} = \underline{\underline{49 \text{ kHz}}}$$

5. Dimensionieren Sie eine NF-Verstärkerstufe mit folgenden Kennwerten:

- $U_{CE} = 2,5 \text{ V}$
- $I_C = 2 \text{ mA}$ (Kollektorruestrom)
- $U_{BE(on)} = 0,65 \text{ V}$.

$$U_B = 6 U_{CE} = 15 \text{ V}.$$

$$I_Q = 0,2 \cdot 2 \text{ mA} = 0,4 \text{ mA}$$

$$R_a = \frac{7,5 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 3,75 \text{ k}\Omega$$

$$U_E = \frac{15 \text{ V}}{3} = 5 \text{ V}$$

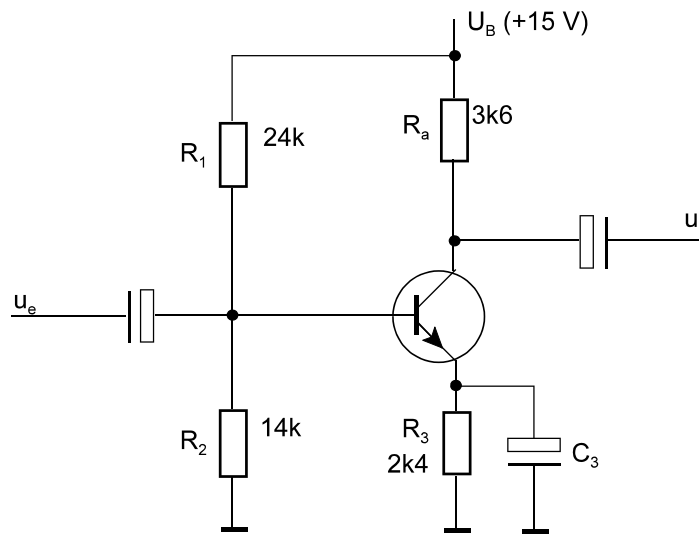
$$U_{BB} = 5 \text{ V} + 0,65 \text{ V} = 5,65 \text{ V}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{15 \text{ V}}{0,4 \text{ mA}} = 37,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_{BB}(R_1 + R_2)}{U_B} = \frac{5,65 \text{ V} \cdot 37,5 \text{ k}\Omega}{15 \text{ V}} = 14,125 \text{ k}\Omega$$

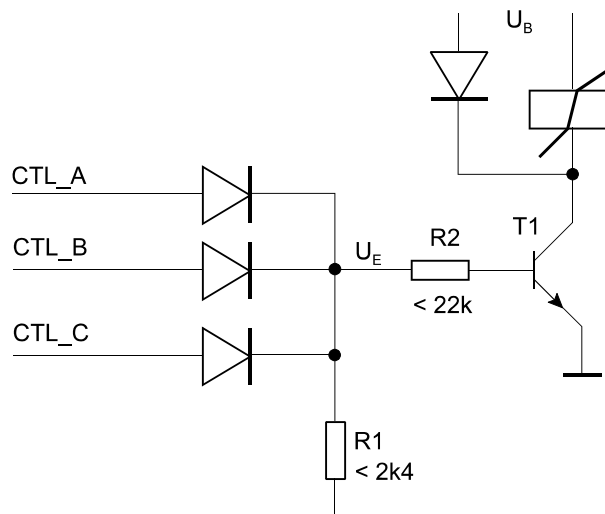
$$R_1 = 37,5 \text{ k}\Omega - 14,125 \text{ k}\Omega = 23,375 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{5 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 2,5 \text{ k}\Omega$$



6. Ein Relais soll einschalten, wenn wenigstens eines von drei Steuersignalen CTL_A, CTL_B, CTL_C aktiv ist. Signalspannung: 24 V. Entwerfen und dimensionieren Sie eine entsprechende Schaltstufe. Zu schaltender Laststrom = 100 mA. Halbleiterbauelemente: (1) Bipolartransistor, Stromverstärkung = 100; (2) SI-Diode, Durchlaßstrom = 100 mA.

Es läuft auf eine ODER-Verknüpfung der drei Steuersignale hinaus. Das kann man mit drei parallelgeschalteten Transistoren erledigen oder mit Dioden.



Durch eine Diode sollte wenigstens $\frac{1}{10}$ des Durchlaßstrom-Nennwertes fließen, sonst funktioniert es nicht richtig (haben wir im Praktikum gesehen...). Wir rechnen im folgenden nur pauschal und führen keine Worst-Case-Betrachtung durch.

Also $R_1 = 24 \text{ V} : 10 \text{ mA} = 2,4 \text{ k}\Omega$.

Bei Stromverstärkung 100 muß der Transistor wenigsten 1 mA Basisstrom bekommen.

$$U_E = R_2 I_B + U_{BE}; \text{ also } R_2 = \frac{U_E - U_{BE}}{I_B} = \frac{\approx 23 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1 \text{ mA}} \approx 22 \text{ k}\Omega$$

7. Wie beschalten Sie diesen Differenzmeßverstärker (Abb. 1), um eine Verstärkung von 100 zu erreichen?

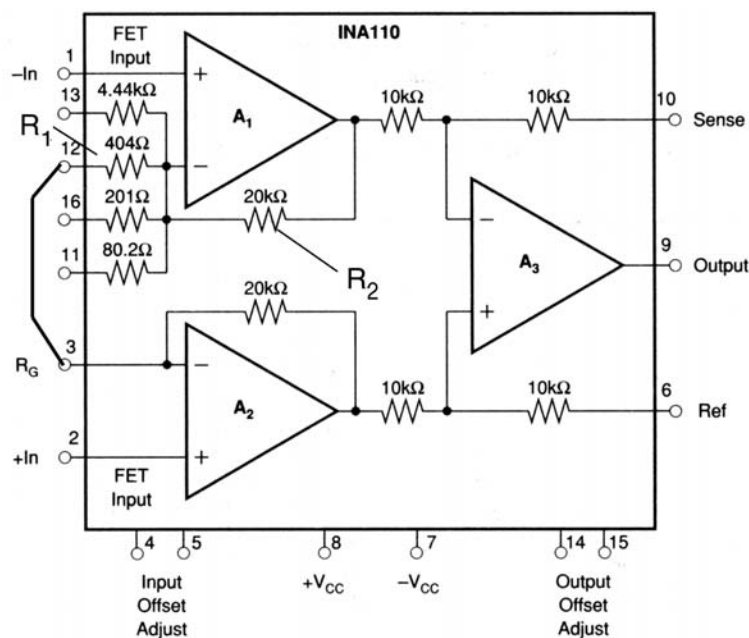


Abb. 1

Man könnte die Lösung aus dem Skript – oder aus dem Datenblatt der Fa. Texas Instruments (Burr-Brown) – ablesen, aber selber rechnen ist natürlich vornehmer ...

$$V = 1 + \frac{2R_2}{R_1}; \quad V - \frac{2R_2}{R_1} = 1; \quad VR_1 - 2R_2 = R_1; \quad R_1(V - 1) = 2R_2$$

$$R_1 = \frac{2R_2}{V - 1}; \quad R_1 = \frac{2 \cdot 20 \text{ k}\Omega}{99} = \underline{\underline{404 \Omega}}$$

8. Auf einen Tiefpaß mit einer Grenzfrequenz von 500 kHz geben wir Impulse mit einer Anstiegszeit von 2 ns. Welche Anstiegszeit werden die ausgangsseitigen Signale (näherungsweise) haben?

Die 2 ns sind in dieser Größenordnung (der Frequenz) praktisch unendlich schnell.

Deshalb genügt es, die Eigenanstiegszeit des Tiefpasses auszurechnen: $t_r = \frac{0,35}{f_{3dB}}$.

In Zahlen: $0,35 : 500 \text{ kHz} = \underline{700 \text{ ns}}$.

9. Erläutern Sie kurz, weshalb der subtrahierende Verstärker (Operationsverstärker-Grundschialtung) als Differenzmeßverstärker nicht besonders gut geeignet ist.
- unterschiedliche Eingangswiderstände,
 - besonders niedriger Eingangswiderstand des invertierenden Eingangs,
 - Gleichtaktunterdrückung (CMRR) abhängig von der tatsächlichen paarweisen Gleichheit der Widerstände (Resistor Matching; $R_1 = R_2$, $R_3 = R_4$),
 - der Innenwiderstand der Meßstellen beeinflusst die paarweise Gleichheit der Widerstandswerte.
10. Abb. 2 zeigt einen Datenblattausschnitt. Welche Gatespannung müssen Sie am FET anlegen, damit er sicher im Schaltbetrieb arbeitet?

ON (*)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 1 \text{ mA}$	2.1	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{GS} = 10\text{V}$ $I_D = 14 \text{ A}$		0.06	0.07	Ω

Abb. 2

$V_{GS(th)}$? – Keineswegs. Damit wird der Transistor gerade mal leitend (haben wir im Praktikum gemessen...). Wir brauchen schon wenigstens 10 V, um einen garantierten (niedrigen) $R_{DS(on)}$ zu bekommen. Gatespannung in den Prüfbedingungen für $R_{DS(on)}$ ablesen (Pfeil).

11. Eine Transistorstufe wird erprobt (Abb. 3). Es zeigt sich, daß der Transistor viel zu lange braucht, um auszuschalten (Speicherzeit). Schlagen Sie brauchbare Schaltungslösungen vor, um die Speicherzeit zu verringern (nur Prinzipien; keine Dimensionierung).

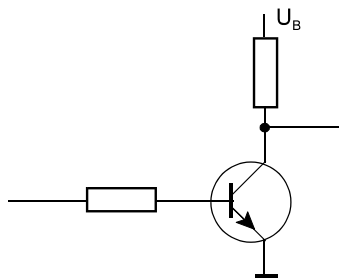
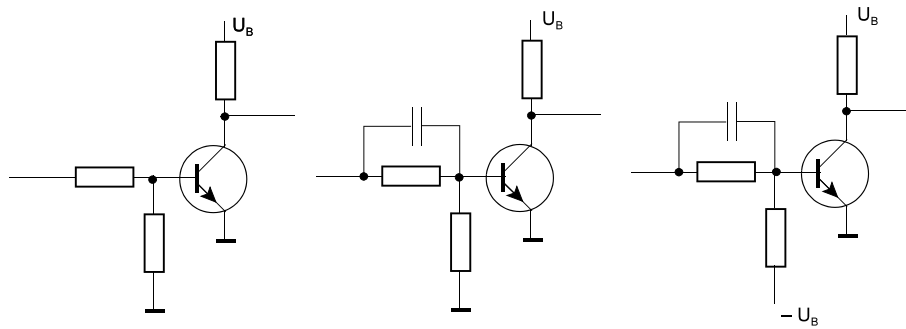


Abb. 3

Lösungen (haben wir alle im Praktikum ausprobiert):

- Basisspannungsteiler,
- Speedup-Kondensator,
- negative Basisvorspannung.



12. Was soll diese Schaltung (Abb. 4) leisten? Wird sie richtig funktionieren? Schlagen Sie ggf. eine Abhilfe vor.

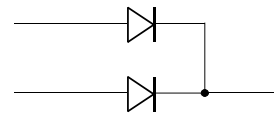
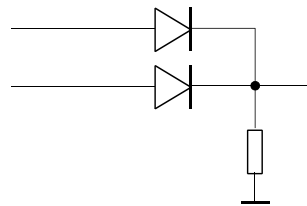


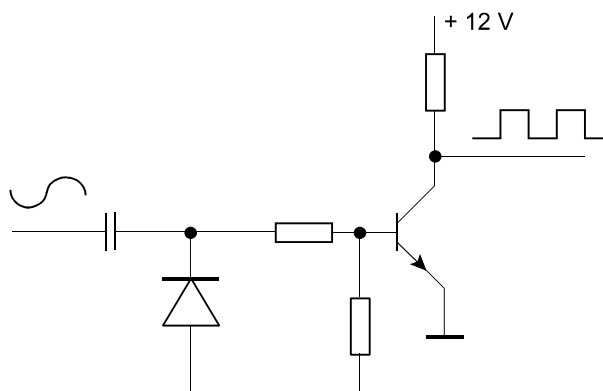
Abb. 4

Es handelt sich um eine ODER-Verknüpfung mit Dioden. Damit sie richtig funktioniert, muß durch die Dioden ein vernünftiger Durchlaßstrom fließen (mindestens $0,1 \cdot$ Nennwert). Vgl. auch die Lösung zu Aufgabe 6.



13. Aus einer Wechselspannung mit einem Hub von $10 V_{SS}$ sind Impulse mit einem Hub von $+ 12 V$ zu erzeugen. Geben Sie eine einfache Schaltungslösung (ohne Dimensionierung) an (Hinweis: die entsprechende Grundschaltung haben wir im Praktikum ausprobiert).

Prinzip: Wechselspannung gleichrichten oder auf Massepegel klammern und eine Transistorschaltstufe nachsetzen (wenn man es mit den Impulsen ganz verbissen sieht, wäre ein Schmitt-Trigger nachzuschalten).



14. Wir lösen Aufgabe 13 erneut, und zwar unter Nutzung eines Optokopplers (Abb. 5). Geben Sie die erforderliche Beschaltung an und dimensionieren Sie die passiven Bauelemente. Optokoppler-Eingang: Flußspannung = 1,7 V, Durchlaßstrom = 20 mA. Optokoppler-Ausgang: Kollektorstrom = 20 mA, Betriebsspannung + 12 V, Speisespannung $V_{CC} = + 5 V$.

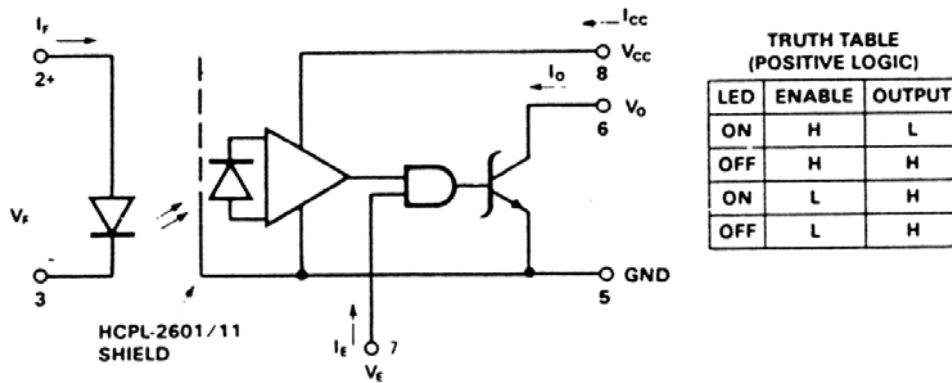
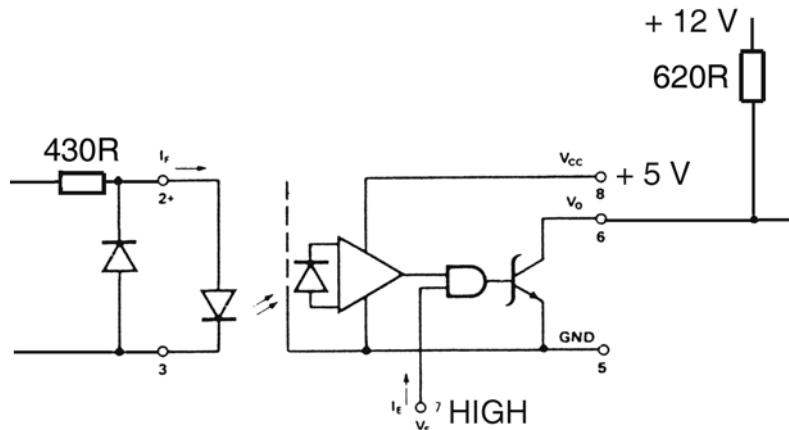


Abb. 5



Wichtig: Siliziumdiode in Antiparallelschaltung, damit die LED die Sperrspannung aushält.

Vorwiderstand: $(10 - 1,7) V : 20 \text{ mA} = 415 \Omega$. Gewählt: 430R.

Arbeitswiderstand: $12 V : 20 \text{ mA} = 600 \Omega$. Gewählt 620R.

So schlimm war's doch gar nicht ...