

Professor Dr.-Ing. Stefan Kowalewski
Hilal Diab, M.Sc.
Kamal Barakat, M.Sc.
Dipl.-Inform. Dominik Franke

Aachen, 22. Januar 2010
SWS: V4/Ü2, ECTS: 7

Einführung in die Technische Informatik

WS 2009/2010

Blatt 13: Musterlösung

Aufgabe 1: (★) Mikrocontroller

- a) Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Mikrocontroller und Mikroprozessor.
- b) Nennen Sie vier Beispiele für Komponenten im Mikrocontroller auf, die mit der Außenwelt kommunizieren. Erklären Sie kurz die Aufgaben dieser Komponenten.
- c) Welche Aufgaben haben die *Pull-up-Widerstände* bei der digitalen Ein-/Ausgabe?
- d) Eine Variable (z.B. ein Register) soll jedes Mal inkrementiert werden, wenn ein Taster gedrückt wird (der Taster ist entprellt). Nennen Sie zwei Verfahren, um diese Funktion zu realisieren und beschreiben Sie die Unterschiede.
- e) Was versteht man unter Prellen/Bouncing eines Tasters? Welchen Effekt kann dies bei einem Mikrocontroller auslösen?
- f) Erläutern Sie kurz die Aufgabe und Funktionsweise eines *Watchdog Timers*!

Lösungsvorschlag

- a) Mikrocontroller finden ihre Anwendung in eingebetteten Systemen und beinhalten einen Low-End Prozessor und weitere Komponenten (I/O, A/D-, D/A-Wandler, möglicherweise Arbeitsspeicher, ...). Auf einen Mikrocontroller kann also in der Regel Code geladen und ausgeführt werden. Ein Mikroprozessor hingegen ist i.A. ein Low-End Prozessor, der besonders kostengünstig (im Bezug auf den Energieverbrauch) arbeitet. Im Gegensatz zu einem Mikrocontroller hat er aber meist keine weiteren Komponenten, z.B. keinen Programmspeicher (Arbeitsspeicher o.ä. in dem der Programmcode enthalten ist). Somit benötigt ein Mikroprozessor oftmals weitere Module, um ein Programm auszuführen (Arbeitsspeicher in dem der Programmcode enthalten ist, I/O-Komponenten um Ausgaben zu generieren, ...).

- b) Es gibt folgende Komponenten, welche mit der Außenwelt kommunizieren können:

Komponente	Funktion
Digital I/O	Dient der Ein- und Ausgabe
Serial Interface	Schnittstelle zum Versenden / Empfangen von Daten
Interrupt Controller	Interrupthandling (z.B. Event bei Empfang von Daten)
A/D Wandler	Umwandlung von analogen in digitale Signale
D/A Wandler	Umwandlung von digitalen in analoge Signale
PWM Output	Pulse Width Modulation, Modifikation von Impulsen
Bus-Controller	Verbindung mit externen Bussen

- c) Pull-up-Widerstände sind dafür zuständig, dass an Pins, welche für Signal-Eingänge zuständig sind, kein undefinierter Wert anliegt. Sie sorgen dafür, dass immer eine logische Null (i.d.R. 0V) oder eine logische Eins (z.B. 5V) an diesen Pins anliegt.
- d) Dies kann mithilfe von Interrupts oder dem sogenannten Polling realisiert werden. Beim Betätigen des Schalters könnte beispielsweise ein Interrupt ausgelöst werden, welcher das Hochzählen einer Variable auslöst. Beim Polling hingegen würde man in regelmäßigen Abständen prüfen, ob der Taster gedrückt ist und gegebenenfalls den Zähler hochzählen. Dies hat natürlich den Nachteil, dass man ein geeignetes Prüfintervall finden muss. Ist das Intervall zu lang, so verpasst man möglicherweise das Drücken der Taste. Ist das Intervall zu klein gewählt, so belastet man den Prozessor stark. Das Polling prüft also in regelmäßigen zeitlichen Abständen, ob der Schalter gedrückt ist und der Interrupt-Mechanismus löst bei jedem Mal, wenn der Schalter gedrückt wird, einen Interrupt aus.
- e) Der Taster bleibt nach der seiner Betätigung nicht unmittelbar in der neuen Position. Er kann noch mehrmals zwischen „offen“ und „geschlossen“ wechseln, bevor er in seiner neuen Position verbleibt. Dieser Effekt ist i.d.R. nicht erwünscht. Ein Mikrocontroller kann dies als mehrmaliges Drücken des Knopfes interpretieren.
- f) Ein Watchdog Timer überwacht den Zustand des Mikrocontroller und kann den Controller möglicherweise neu starten¹: Der Watchdog Timer, als eine Komponente des Mikrocontrollers, sendet in regelmäßigen Zeitintervallen Signale an andere Komponenten des Mikrocontrollers, die er „überwacht“. Von diesen Komponenten erwartet er innerhalb eines weiteren Zeitintervalls eine Antwort auf das gesendete Signal. Das Zeitintervall, in dem der Watchdog Timer auf die Antwort wartet, wird innerhalb des Mikrocontrollers durch einen Timer realisiert². Falls eine der überwachten Komponenten nicht innerhalb dieses Intervalls antwortet, so kann der Watchdog Timer den Mikrocontroller neu starten.

¹Es sei angemerkt, dass es unterschiedliche Arten der Realisierung eines Watchdog Timers gibt. Wir beschreiben an dieser Stelle nur eine der Möglichkeiten.

²Daher rührt der Name Watchdog **Timer**.

Aufgabe 2: Kontrollstrukturen im MMIX

Geben Sie MMIX Assembler-Befehle zur Simulation folgender Kontrollstrukturen an:

a) `while X > Y do S;`

b) `if A = B then begin X:=X+1; Y:=Z end else A:=B;`

c) `for J:= LAST downto FIRST do S;`

d) Verwenden Sie die Aufgabenteile (a)–(c) zur MMIX-Assemblerprogrammierung des nebenstehenden, sogenannten Bubblesort-Algorithmus, zum Sortieren eines Arrays. Alle Zahlen seien vom Datentyp *wyde*.

```
last:=num;
while last > 0 do begin
  pairs:=last-1;
  last:=0;
  for j:=1 to pairs do
    if list[j] > list[j+1]
    then begin
      tmp:=list[j];
      list[j]:=list[j+1];
      list[j+1]:=tmp;
      last:=j;
    end;
  end;
end;
```

Aufgabe 3: D/A-Wandlung: Wägeverfahren

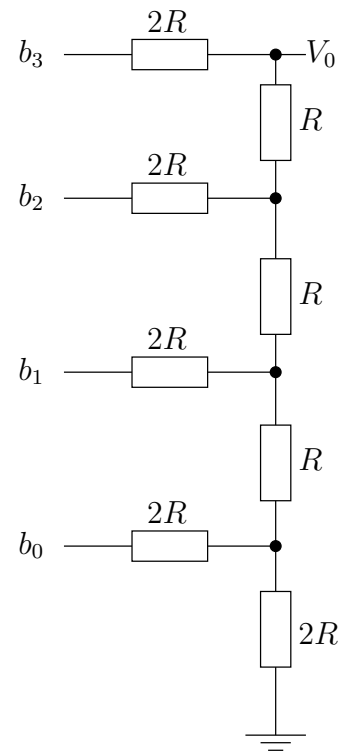
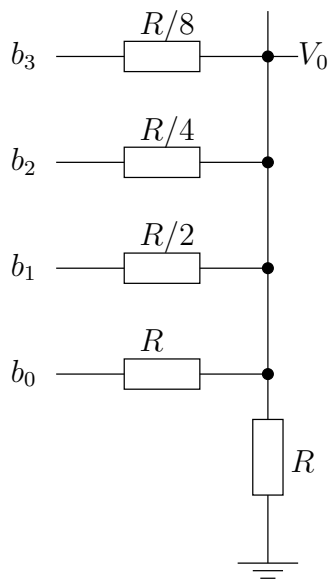
Gegeben sei die unten stehende linke Abbildung. Bestimmen Sie nach dem Wägeverfahren für die logischen Eingangsbelegungen

a) $b = (b_3 b_2 b_1 b_0)_2 = (1011)_2$ und

b) $b = (b_3 b_2 b_1 b_0)_2 = (0101)_2$

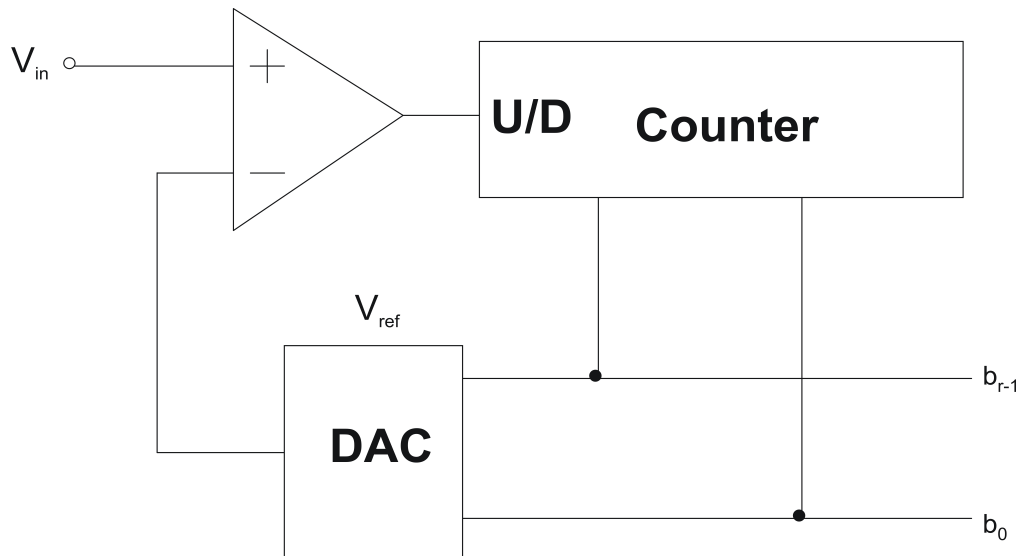
jeweils die Ausgangsspannung V_0 bei einer gegebenen Versorgungsspannung $V_{ref} = 5V$. Erstellen Sie dazu, wie aus der Vorlesung bekannt, ein Ersatzschaltbild, aus dem ersichtlich wird, welche der Eingänge b_3, \dots, b_0 mit Masse und welche mit der Versorgungsspannung V_{ref} verbunden werden, und wenden Sie dann darauf die Ihnen bekannten Rechenregeln (Kirchhoff / Ohmsches Gesetz) an!

c) Führen Sie die Aufgabenteile a) und b) für ein R2R-Netzwerk durch (s. rechte Abbildung)!



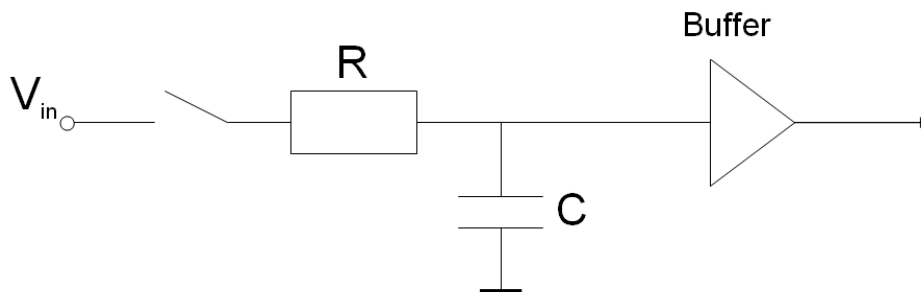
Aufgabe 4: A/D-Wandlung

a) Im Folgenden sehen Sie eine Skizze eines A/D-Wandlers mit Zählverfahren.



Erläutern Sie die Funktionsweise des A/D-Wandlers. Welche Schwächen hat diese Art der Wandlung ?

b) Gegeben ist folgende Schaltung:



(a) Erklären Sie die Funktionsweise der „Sample and Hold“ Schaltung.

(b) Warum ist diese Schaltung bei der A/D-Wandlung notwendig?

Lösungsvorschlag

a) Beschreibung:

- der Operationsverstärker dient hier als Komparator³

³Siehe Vorlesung.

- Eingangsspannung V_{in} wird mit einem Teil der Referenzspannung verglichen falls V_{in} am Komparator größer ist, als der bei '-' angelegte Teil der Referenzspannung, so gibt der Operationsverstärker eine logische 1 aus⁴ und der Up/Down-Counter zählt um 1 hoch
- falls V_{in} kleiner als der angelegte Teil der Referenzspannung ist, so zählt der Up/Down-Counter um 1 runter
- die veränderte Zahl im Up/Down-Counter wird über den D/A Converter in einen neuen Teil der Referenzspannung umgewandelt
- anschließend wird dieser wieder mit der Eingangsspannung verglichen, ... (s.o.)

Nachteile:

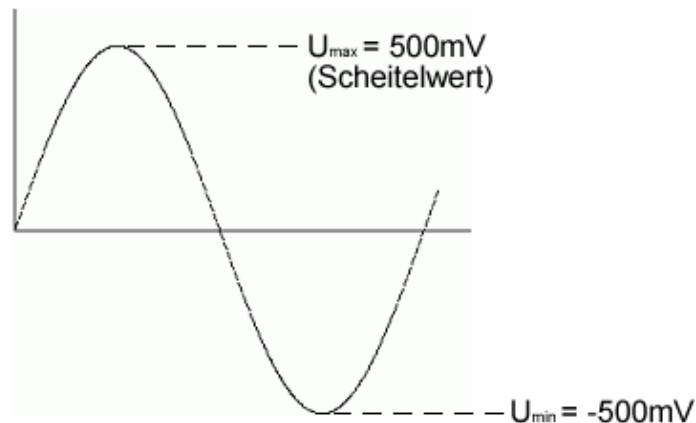
- man benötigt D/A-Wandler zur A/D-Wandlung
 - relativ große Latenzzeit zwischen Vergleich und Reaktion⁵
 - möglicherweise große Ungenauigkeit zu Beginn (Einquellern) und bei schnell wechselndem Eingangssignal
 - bei konstanter Eingangsspannung kann der digitale Ausgangswert flackern, wenn der am Komparator angelegte Teil der Referenzspannung nicht exakt gleich dem Wert der Eingangsspannung ist
- b) (a)
- wenn der Schalter geschlossen ist, lädt sich der Kondensator auf
 - wird der Schalter geöffnet, hält die Kombination aus Buffer + Kondensator den zuletzt gemessenen Spannungswert
 - dieser gehaltene Spannungswert ist bei geöffnetem Schalter von Fluktuationen der Eingangsspannung unabhängig und somit 'stabiler'
- (b) Beispielanwendung: Am Eingang eines A/D-Wandlers dämft diese Schaltung ein möglicherweise fluktuierendes Eingangssignal (schwankender Spannungswert), damit es während der Konversion stabil ist.

⁴z.B. 5V

⁵Signal muss durch Op-Verstärker, Counter, DAC.

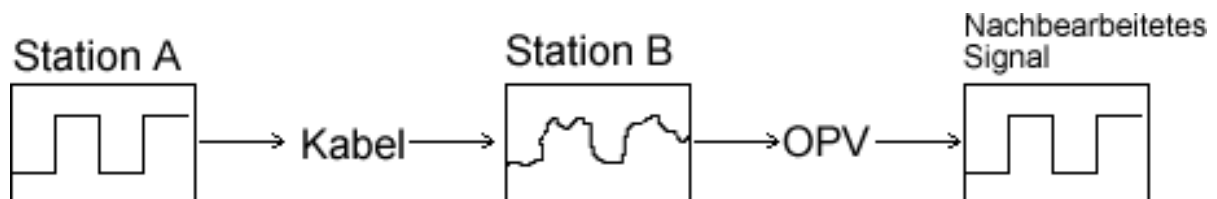
Aufgabe 5: (*)Operationsverstärker

a) Gegeben ist folgendes Audiosignal:



Das Audiosignal hat einen Scheitelwert von $U_{\max} = 500\text{mV}$ und soll auf einen Scheitelwert von $U_{\max} = 2,5\text{V}$ verstärkt werden. Gleichzeitig soll am Ausgang des Operationsverstärkers ein Strom von $I = 10\text{mA}$ fließen. Welche Operationsverstärkerschaltung eignet sich dazu? Berechnen Sie die Werte der für die Verstärkung notwendigen Bauteile so, dass die oben genannten Bedingungen erfüllt sind!

b) Ein Operationsverstärker ist auch geeignet als Taktgeber oder um bei Signalen, die über lange Strecken transportiert und deren Signalfanken deshalb verschliffen werden, wieder steile Signalfanken und eindeutige Signalpegel zu bekommen. Welche Operationsverstärkerschaltung ist für solch eine Aufgabe geeignet und warum?



Lösungsvorschlag

a) Um das Audiosignal zu verstärken, betreibt man den OPV als nichtinvertierenden Verstärker. Aus der Vorlesung ist Folgendes bekannt:

$$U_a = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot U_e$$

Einsetzen der Spannungswerte (erfüllen der ersten Bedingung) und Auflösen nach $\frac{R_1}{R_2}$ liefert:

$$(1) \frac{R_1}{R_2} = 4$$

Jetzt müssen die Widerstände noch so gewählt werden, dass ein Strom von $I = 10\text{mA}$

am Ausgang des OPV fließt. Aus der Vorlesung ist bekannt, dass der Strom der am Knoten zwischen R1 und R2 zurück in den invertierten Eingang fließt nahezu 0 und damit vernachlässigbar klein ist. Man kann also davon ausgehen, dass der Strom der durch R2 fließt fast gleichgroß ist wie der Strom der durch R1 fließt. Weiterhin ist aus der Vorlesung bekannt, dass die Spannung die über R2 abfällt, genauso groß ist wie die Eingangsspannung am nicht-invertierten Eingang. Daraus folgt:

$$U_e = I \cdot R2$$

Einsetzen von U_e und I und Auflösen nach R2 liefert:

$$R2 = 50\Omega$$

Einsetzen von R2 in (1) liefert schließlich:

$$R1 = 200\Omega$$

Alternativer Ansatz:

$$U_a = I \cdot R_g$$

$$\frac{U_a}{I} = (R1 + R2)$$

$$R1 = \frac{U_a}{I} - R2$$

$$R1 = \frac{2.5}{0.01} - R2$$

$$(2) R1 = 250 - R2$$

Einsetzen von R1 in (1):

$$\frac{250 - R2}{R2} = 4$$

$$\frac{250}{R2} - 1 = 4$$

$$R2 = 50\Omega$$

Einsetzen von R2 in (2):

$$R1 = 250 - 50 = 200\Omega$$

Proberechnen der Werte bestätigt die gewünschte Spannungsverstärkung:

$$U_a = (1 + \frac{200}{50}) \cdot 0.5V = (1 + 4) \cdot 0.5V = 5 \cdot 0.5V = 2.5V$$

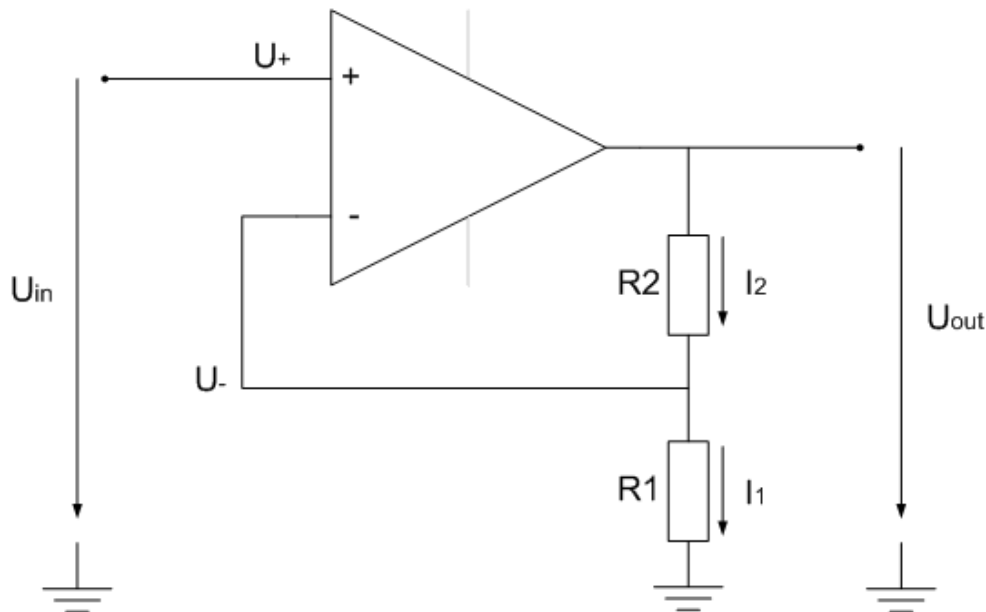
Proberechnen für Strom:

$$I = \frac{U_a}{R1 + R2} = \frac{2.5}{250}A = 0.01A = 10mA$$

- b) Für solche Aufgaben ist ein Betreiben des Operationsverstärkers als Schmitt-Trigger geeignet. Durch die Hystereseschleife des Schmitt-Triggers ist immer gewährleistet, dass ein eindeutiger Signalpegel ($+U_{cc}$ oder $-U_{cc}$) am Ausgang geliefert wird. So kann jedem nicht eindeutigen Signalpegel ein eindeutiger Pegel zugewiesen werden. Außerdem wird die Signalflanke durch das sehr schnelle Umschalten des Schmitt-Triggers auf $+U_{cc}$ bzw. $-U_{cc}$ wieder steiler, falls das Eingangssignal keine steile Flanke hat.

Aufgabe 6: (*)Operationsverstärker

Gegeben Sei folgende ideale Operationsverstärkerschaltung:



Sie können annehmen, dass der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers unendlich hoch ist. A_n ist der Verstärkungsfaktor der Schaltung und ist definiert als $A_n = \frac{U_{out}}{U_{in}}$. Weiterhin gilt $U_{in} = U_{out}$.

- Zeigen Sie, dass für den Verstärkungsfaktor der Operationsverstärkerschaltung $A_n = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ gilt.
- Welchen Namen trägt diese Schaltung?

Lösungsvorschlag

- Da der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers unendlich hoch ist, gilt für die Ströme, die durch R_1 und R_2 fließen:

$$I_2 = I_1 = I$$

Somit folgt mit dem Ohm'schen Gesetz:

$$U_{out} = (R_1 + R_2) \cdot I$$

weil die beiden Widerstände in Serie geschaltet sind und

$$U_- = R_1 \cdot I \text{ ist.}$$

Mit $U_+ = U_-$ folgt dann:

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{U_{out}}{U_+} = \frac{U_{out}}{U_-} \\ &= \frac{(R_1 + R_2) \cdot I}{R_1 \cdot I} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \end{aligned}$$

- Nichtinvertierender Operationsverstärker