



Kapitel 15: AD/DA-Wandler

Abschnitt 15.1

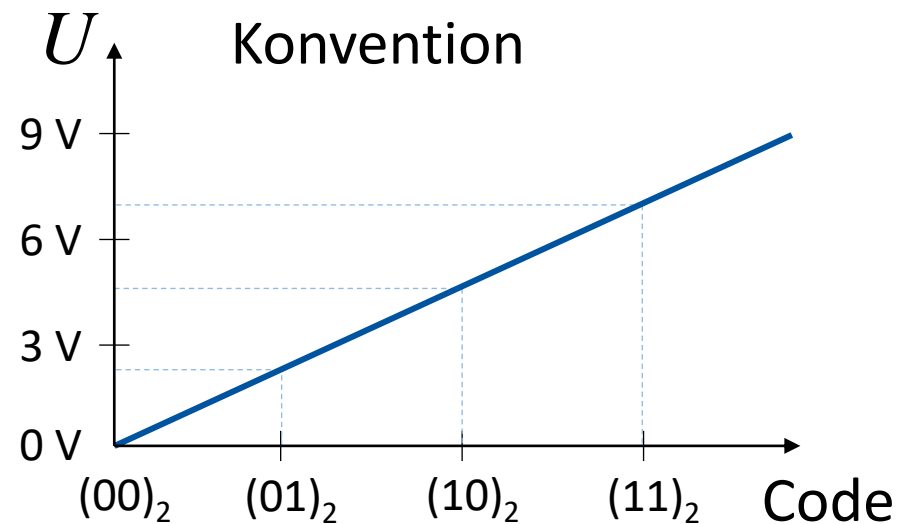
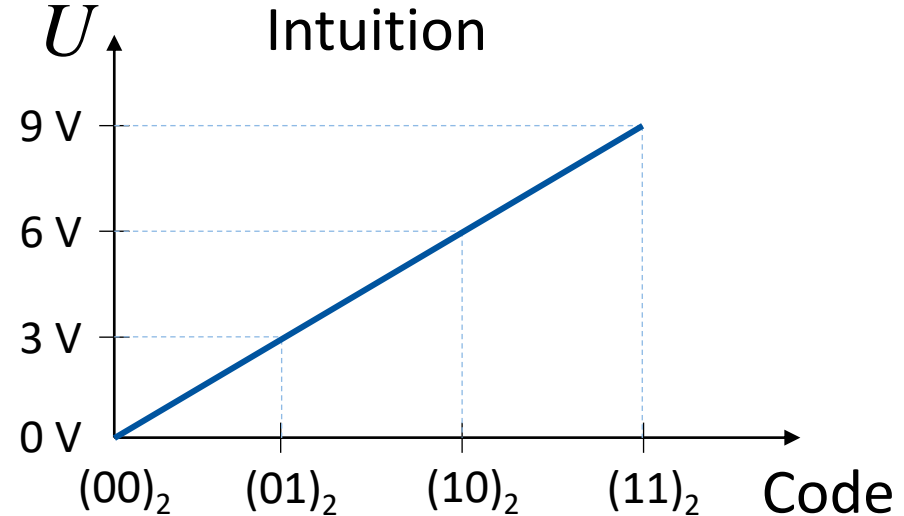
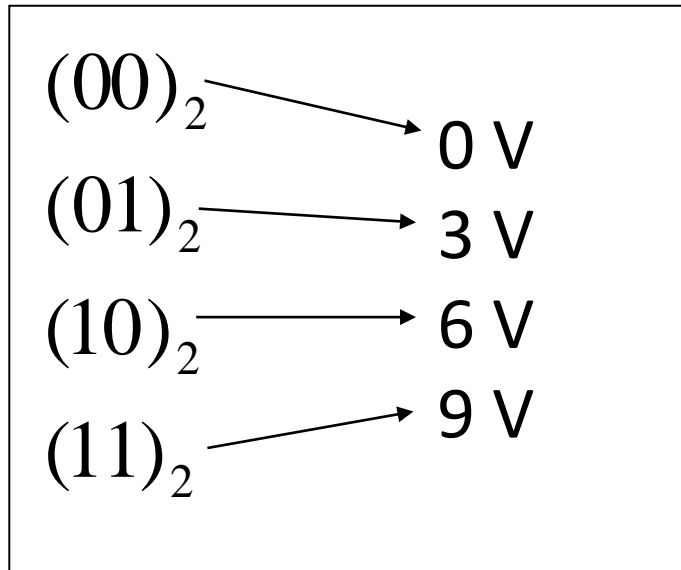
D/A-Wandler

- ▶ Digital-Analog Umwandlung
- ▶ Widerstandsnetze
- ▶ Pulsweitenmodulation

Digital-Analog Umwandlung

- Binäre Werte werden in einen kontinuierlichen Wertebereich abgebildet.

Bsp.:

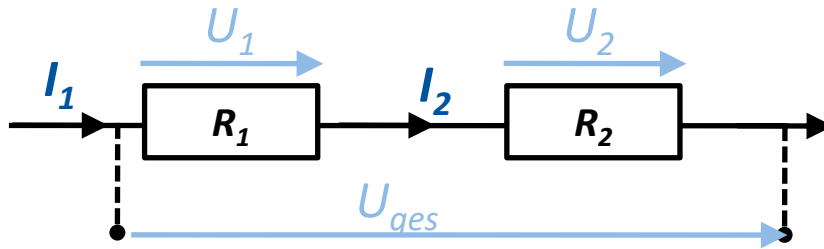


Realisierung eines D/A-Wandlers

- Drei verschiedene Verfahren:
 1. Direktes Verfahren (Multiplex)
 2. Parallel-Verfahren (Widerstandsnetz)
 3. Pulsweitenmodulation (PWM)

Wdh: Spannungsteiler

- Serienschaltung von Widerständen



Gegeben: R_1 , R_2 , U_{ges}

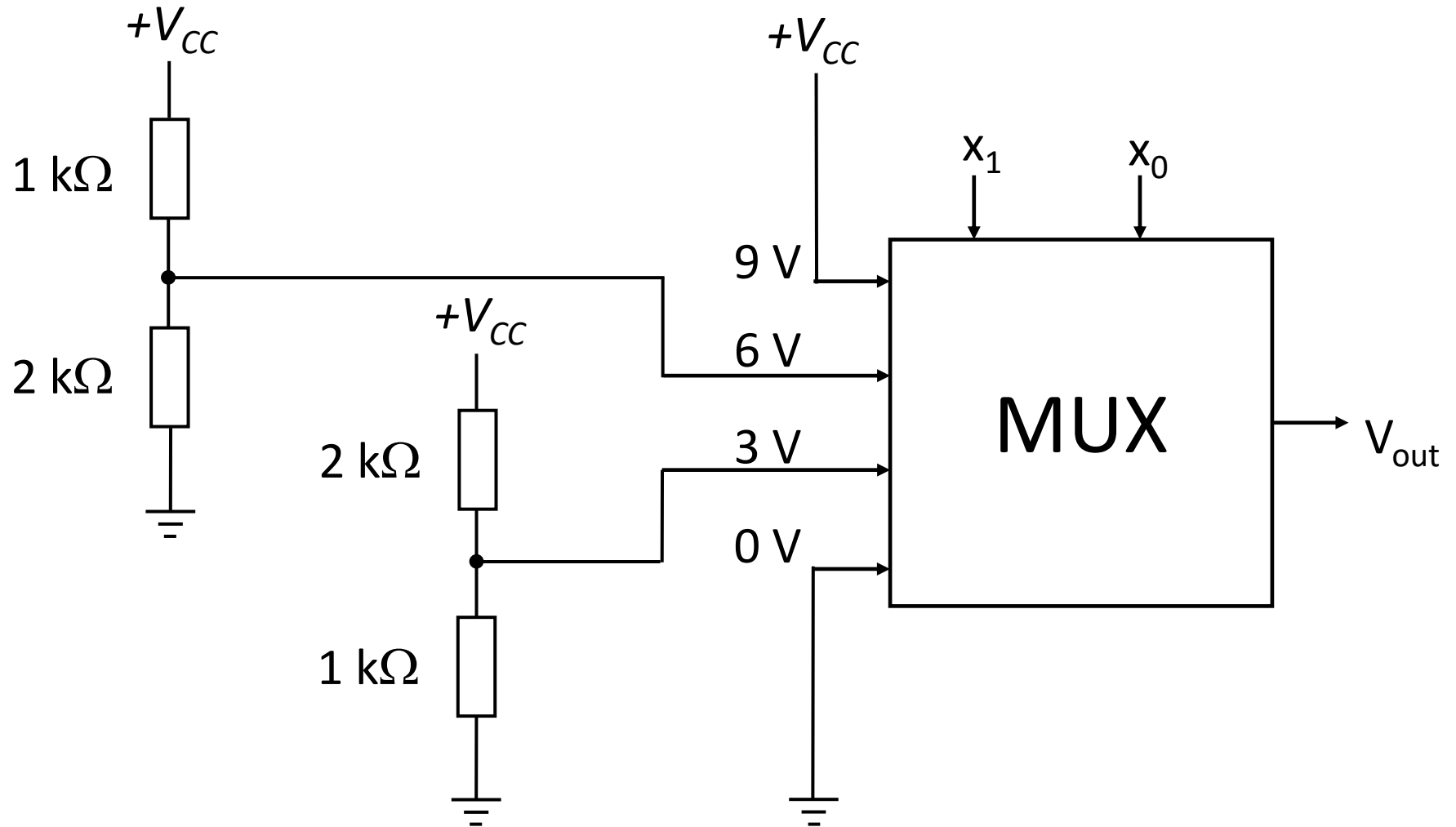
- Bekannt: $U_{ges} = U_1 + U_2$ $R_{ges} = R_1 + R_2$ $I_{ges} = I_1 = I_2$

- Ohmsches Gesetz: $I_{ges} = \frac{U_{ges}}{R_{ges}} = \frac{U_{ges}}{R_1 + R_2}$

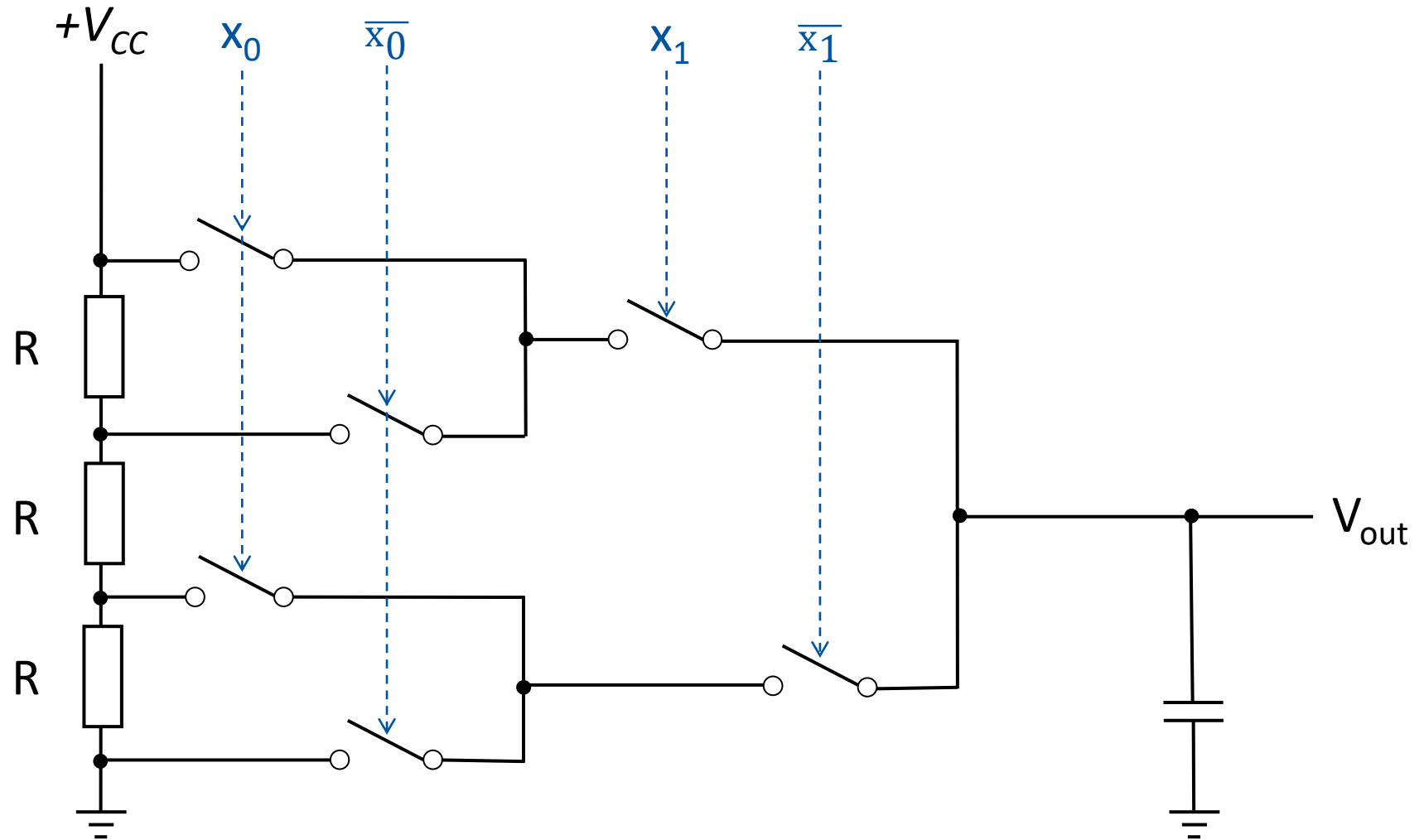
- Reihenschaltung: $U_i = I_{ges} \cdot R_i$

$$\Rightarrow U_i = \frac{R_i}{R_{ges}} \cdot U_{ges}$$

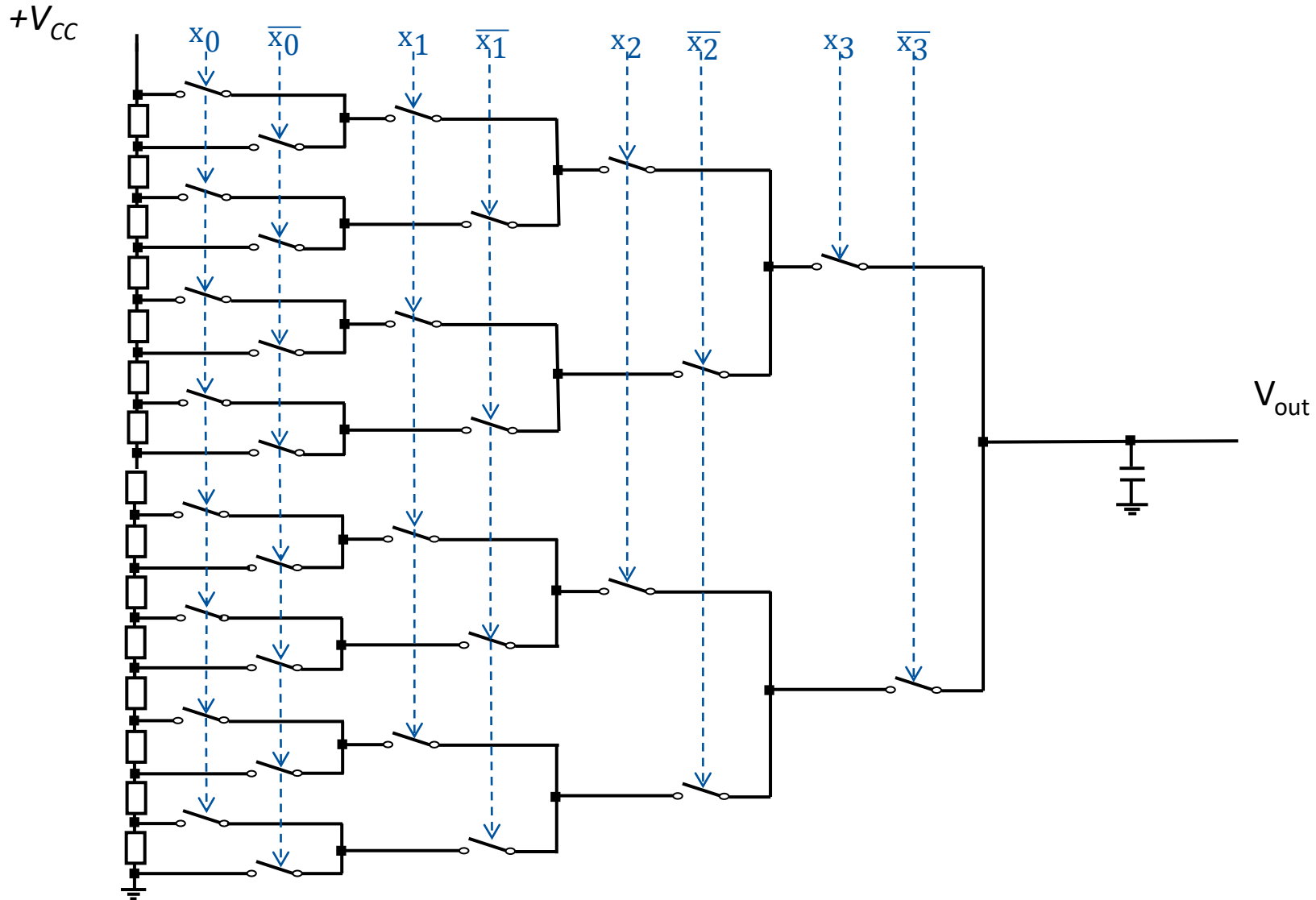
Multiplexverfahren mit 2 Bit



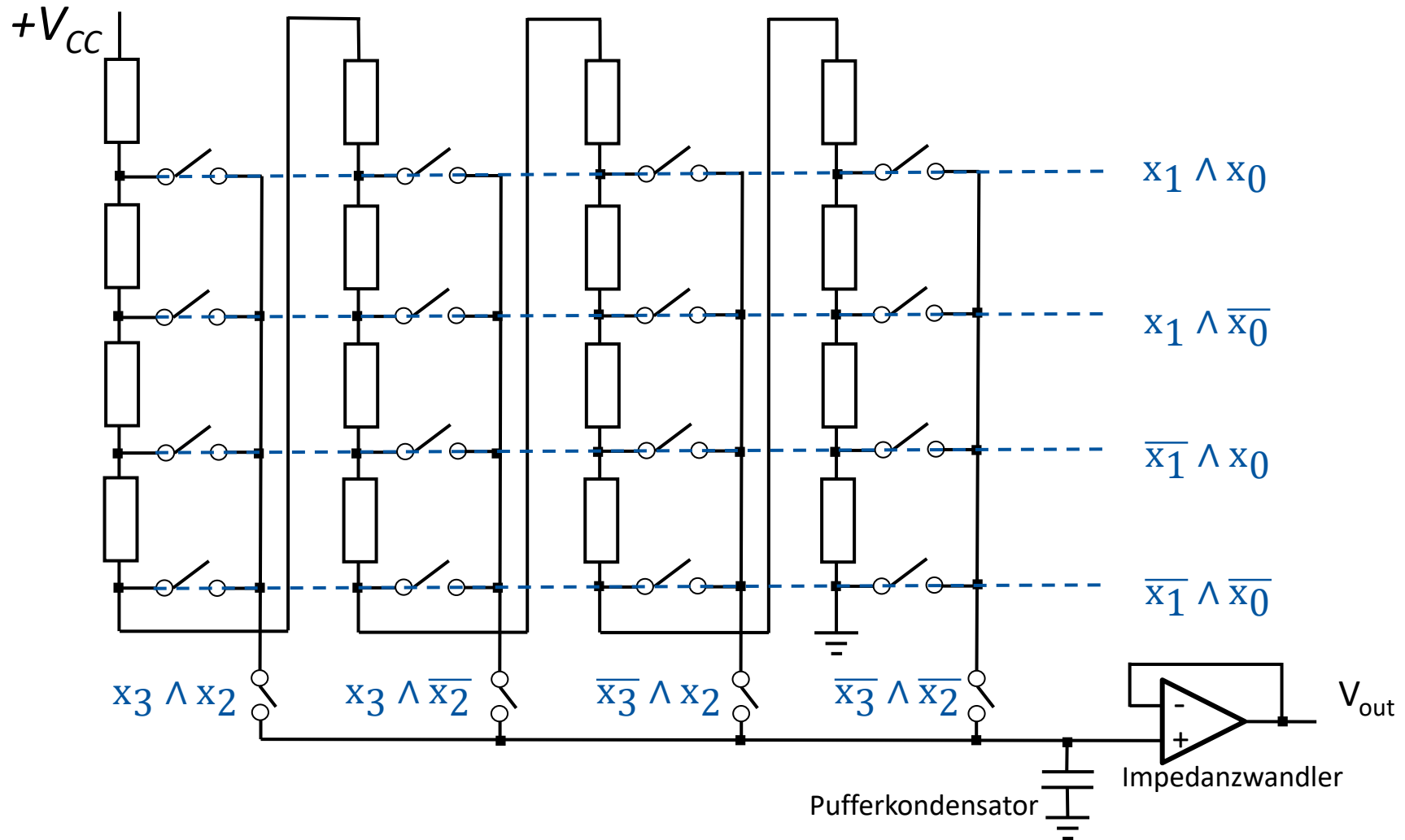
Widerstandskette 2 Bit



Widerstandskette 4 Bit

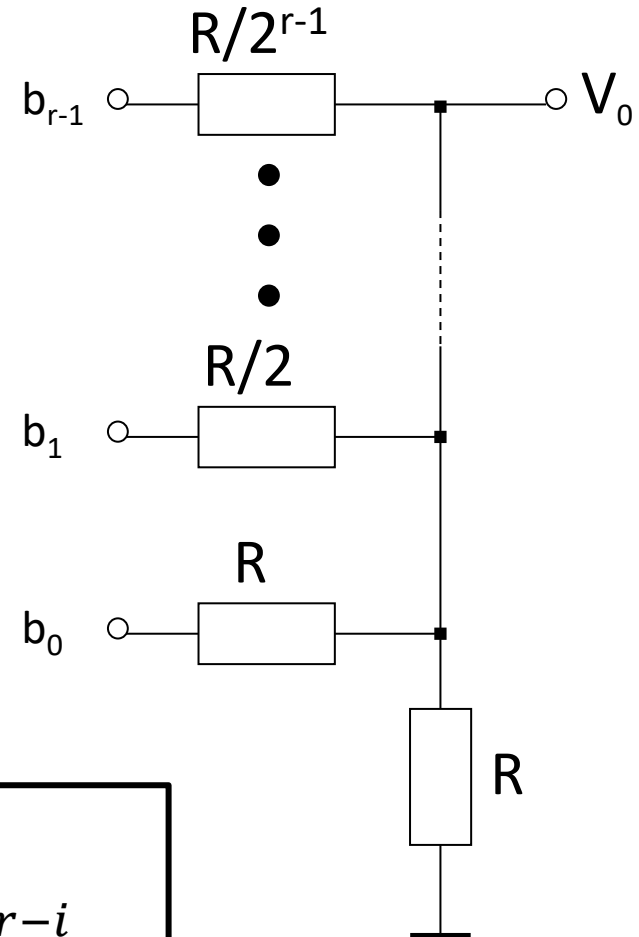


Widerstandskette (verschachtelt) 4 Bit



Parallel-Verfahren : Binär gewichtetes Widerstandsnetz

- r Eingänge
- Jeder erhöht die Spannung des analogen Ausgangs.
- Die Steigerung der Spannung ist abhängig von der Stellung des Bits.
- Problem: Die Genauigkeit der verwendeten Widerstände



$$V_0 = V_{ref} \cdot \sum_{i=1}^r \frac{1}{2^i} b_{r-i}$$

Binär gewichtetes Widerstandsnetz

Berechnung mittels Formel:

$$b = (1010)_2$$

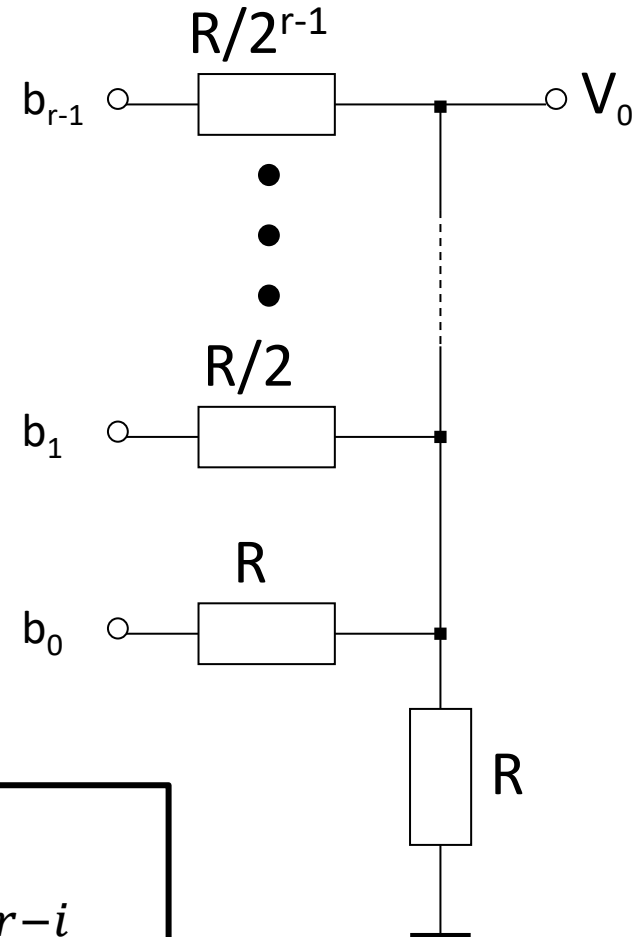
$b_3 \ b_2 \ b_1 \ b_0$

$$V_0 = V_{ref} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{4} \cdot 0 + \frac{1}{8} \cdot 1 + \frac{1}{16} \cdot 0 \right)$$

$$= V_{ref} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{8} \right)$$

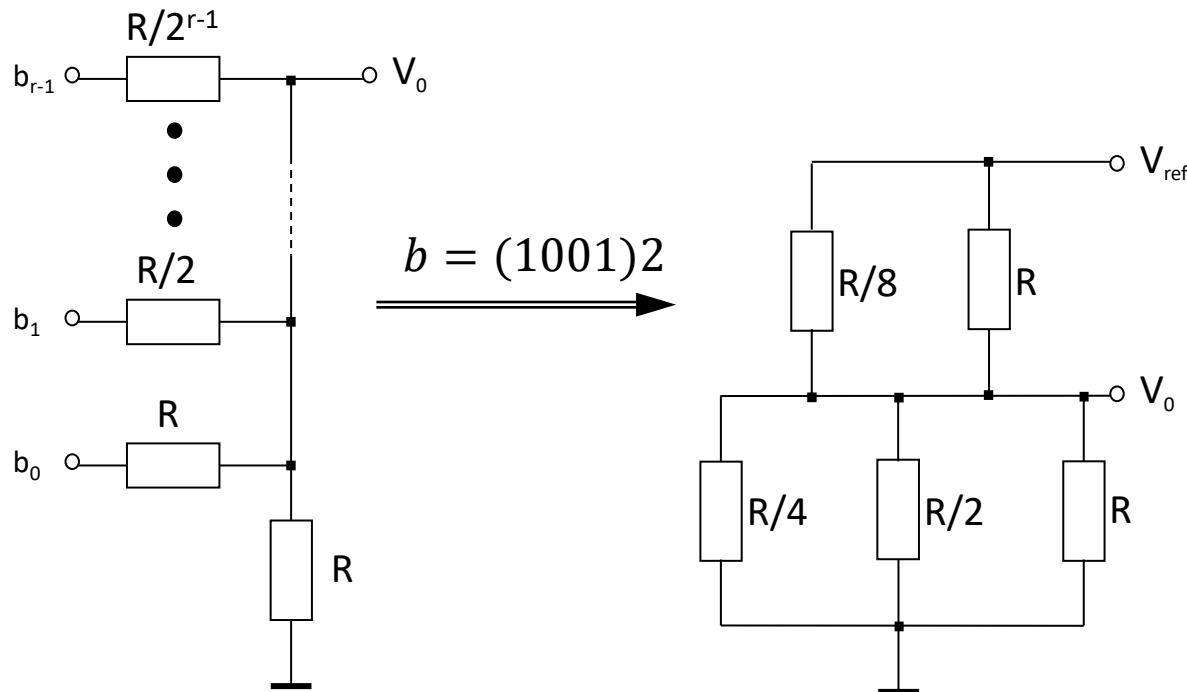
$$= V_{ref} \cdot \frac{5}{8}$$

$$V_0 = V_{ref} \cdot \sum_{i=1}^r \frac{1}{2^i} b_{r-i}$$



Binär gewichtetes Widerstandsnetz

Berechnung mittels Spannungsteiler:



$$V_i = \frac{R_i}{R_{ges}} \cdot V_{ges}$$

$$R_0 = \frac{1}{\frac{4}{R} + \frac{2}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{R}{7}$$

$$R_{ges} = \frac{R}{7} + \frac{1}{\frac{8}{R} + \frac{1}{R}}$$

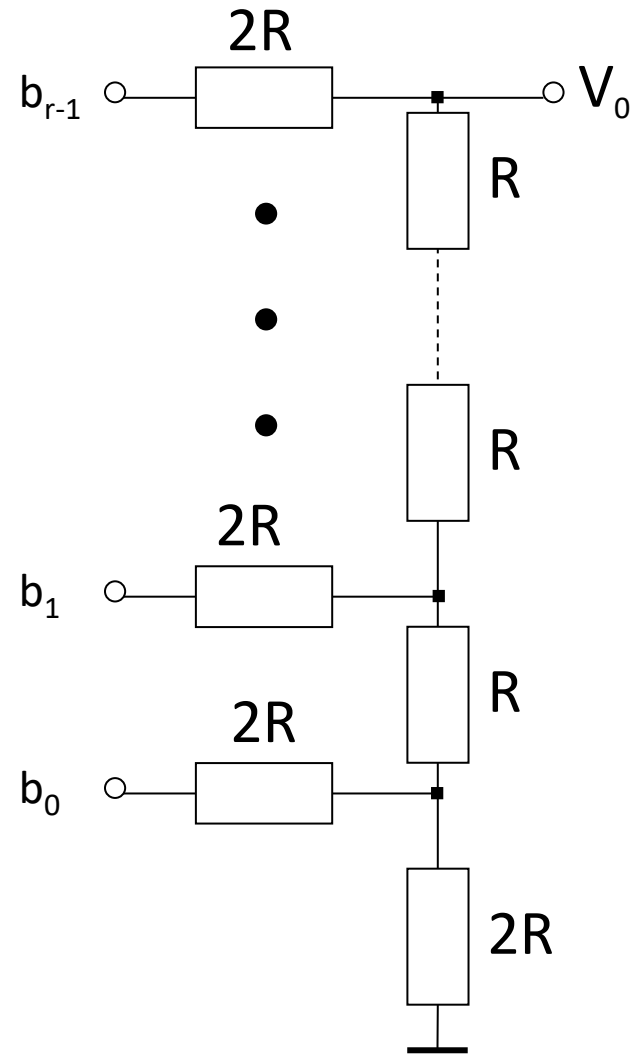
$$= \frac{R}{7} + \frac{R}{9} = \frac{16 \cdot R}{7 \cdot 9}$$

$$\frac{R_0}{R_{ges}} = \frac{R \cdot 7 \cdot 9}{7 \cdot 16 \cdot R}$$

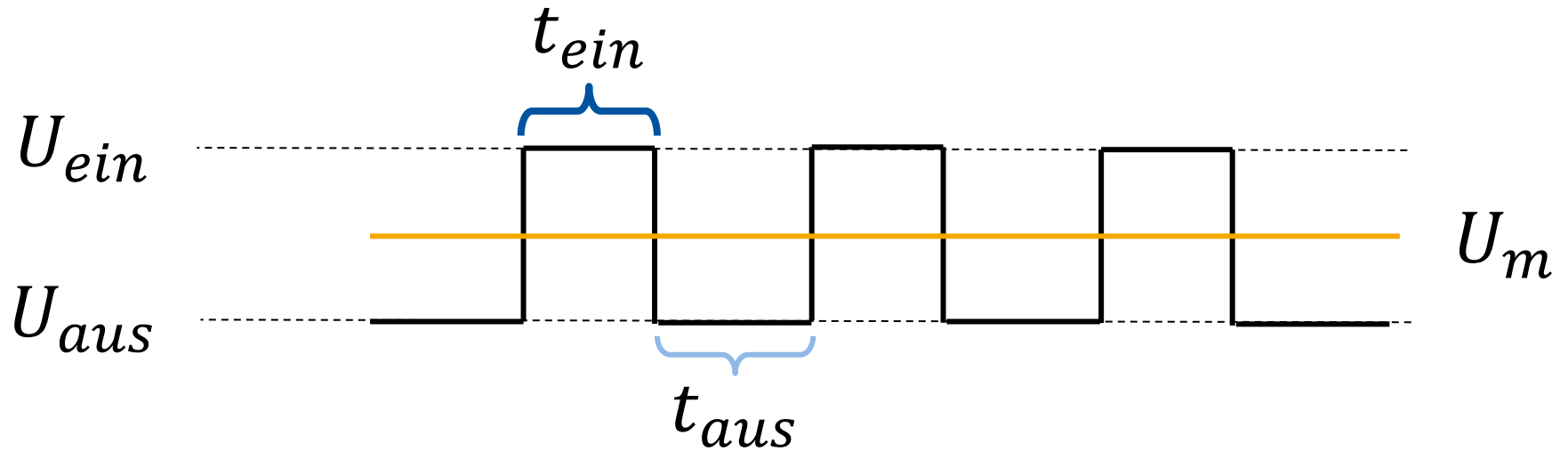
$$= \frac{9}{16} \Rightarrow V_0 = \frac{9}{16} \cdot V_{ref}$$

Parallel-Verfahren : R2R – Netzwerk (R-2R resistor ladder)

- Nur zwei Arten von Widerständen
- Kann sogar nur mit einer Art von Widerständen realisiert werden
- Einfacher als die vorhergehende Lösung
- Viele Widerstände notwendig
- Kirchhoff-Regeln



Pulsweitenmodulation (PWM)



$$U_m = U_{aus} + (U_{ein} - U_{aus}) \cdot \frac{t_{ein}}{t_{ein} + t_{aus}}$$

Beispiel für PWM

$$U_{ein} = 12 \text{ V}$$

$$U_{aus} = 0 \text{ V}$$

$$t_{ein} = 4 \text{ ms}$$

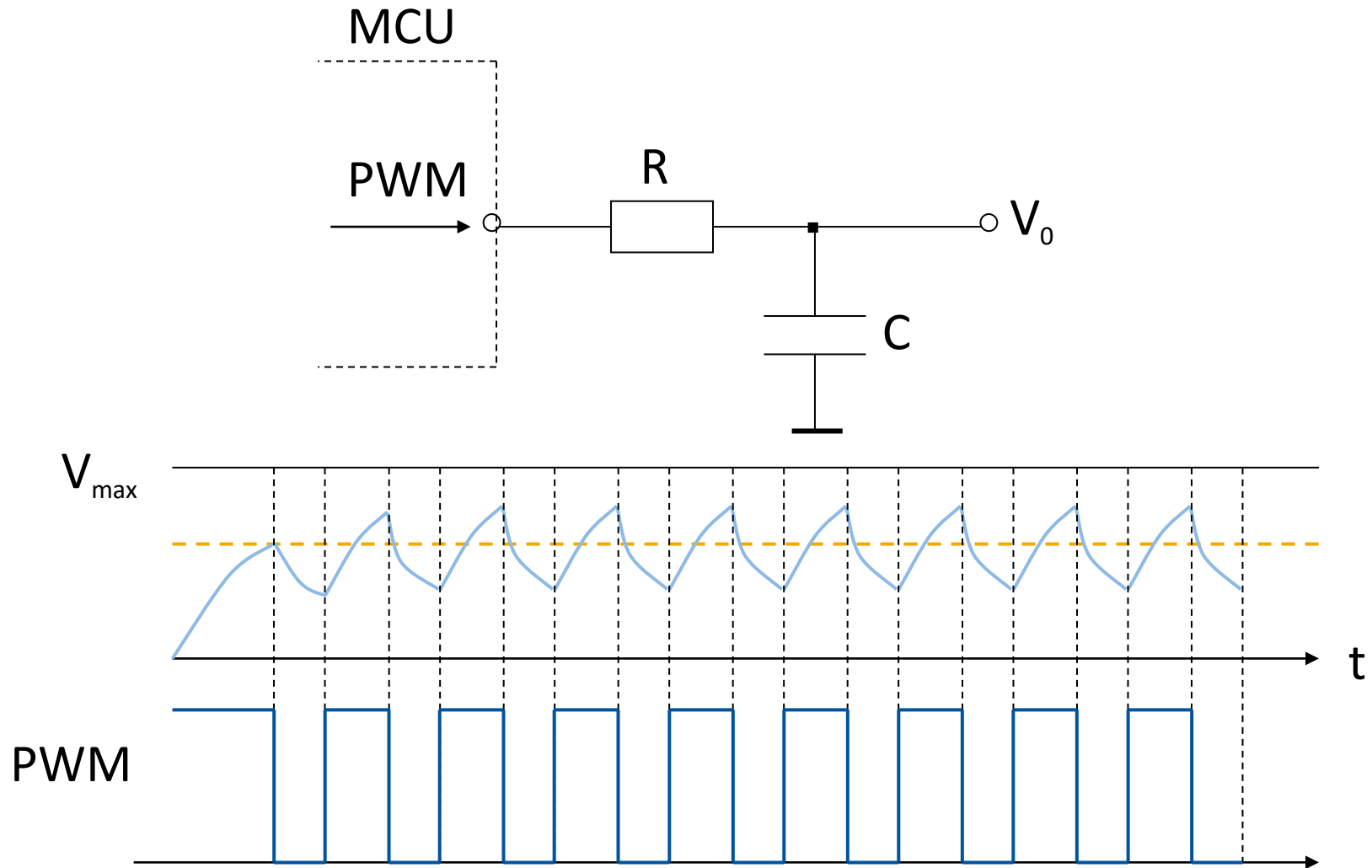
$$t_{aus} = 2 \text{ ms}$$

$$U_m = U_{aus} + (U_{ein} - U_{aus}) \cdot \frac{t_{ein}}{t_{ein} + t_{aus}}$$

$$U_m = 0\text{V} + (12\text{V} - 0\text{V}) \cdot \frac{4\text{ms}}{4\text{ms} + 2\text{ms}}$$

$$U_m = 8\text{V}$$

Zählverfahren



- Einfaches und günstiges Verfahren
- 1-PIN
- Benutzt PWM
- Proportional zu PWM (Periode und Einschaltzeit)
- Qualität gering
- Anfängliche Verzögerung (durch die Ladezeit)

Abschnitt 15.2

A/D-Wandler

- ▶ Analog-Digital Umwandlung
- ▶ Flash-Wandler
- ▶ Tracking-Wandler
- ▶ Sukzessive Approximation
- ▶ Einrampenverfahren

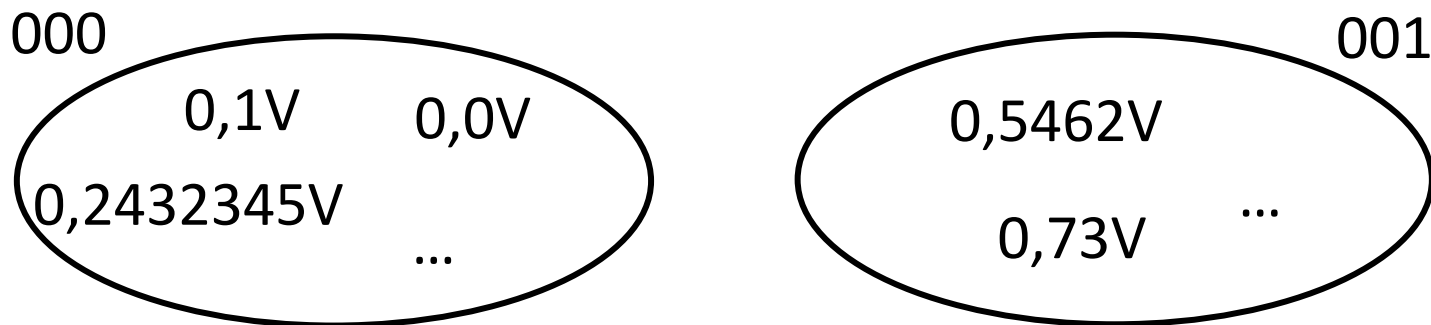
Analog-Digital Umwandlung

- Der Spannungsbereich $[GND, V_{ref}]$ wird in 2^r Klassen unterteilt.

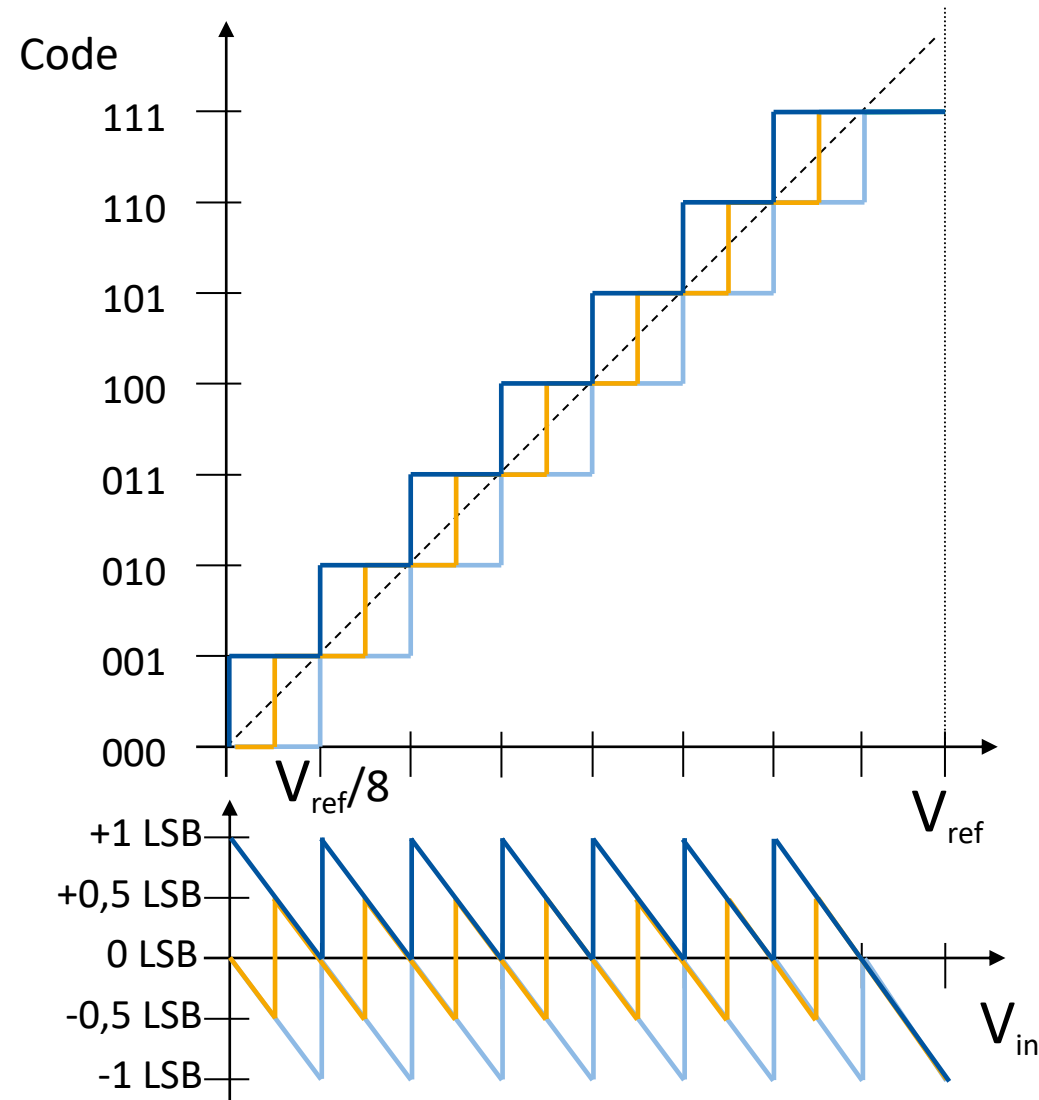
Bsp.: 0 V bis 4 V mit 3 Bit abbilden

$[0V; \dots; 0,5V] \longrightarrow 000$

$(0,5V; \dots; 1V] \longrightarrow 001$

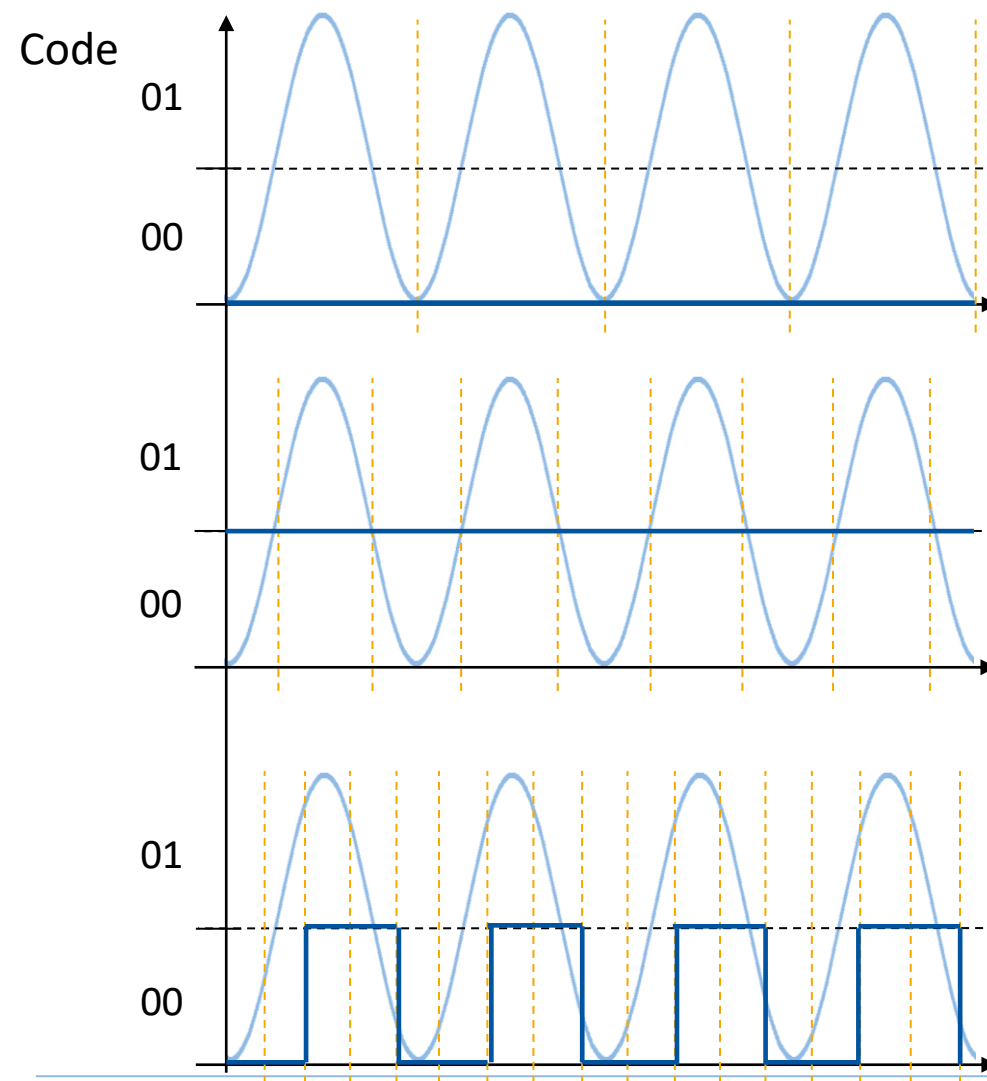


Analog-Digital Umwandlung



- Auflösung r (hier 3)
- 2^r Klassen
- LSB ist die kleinste Spannungsdifferenz $V_{ref}/2^r$
- Quantisierungsfehler ist abhängig von Positionierung der Klassen

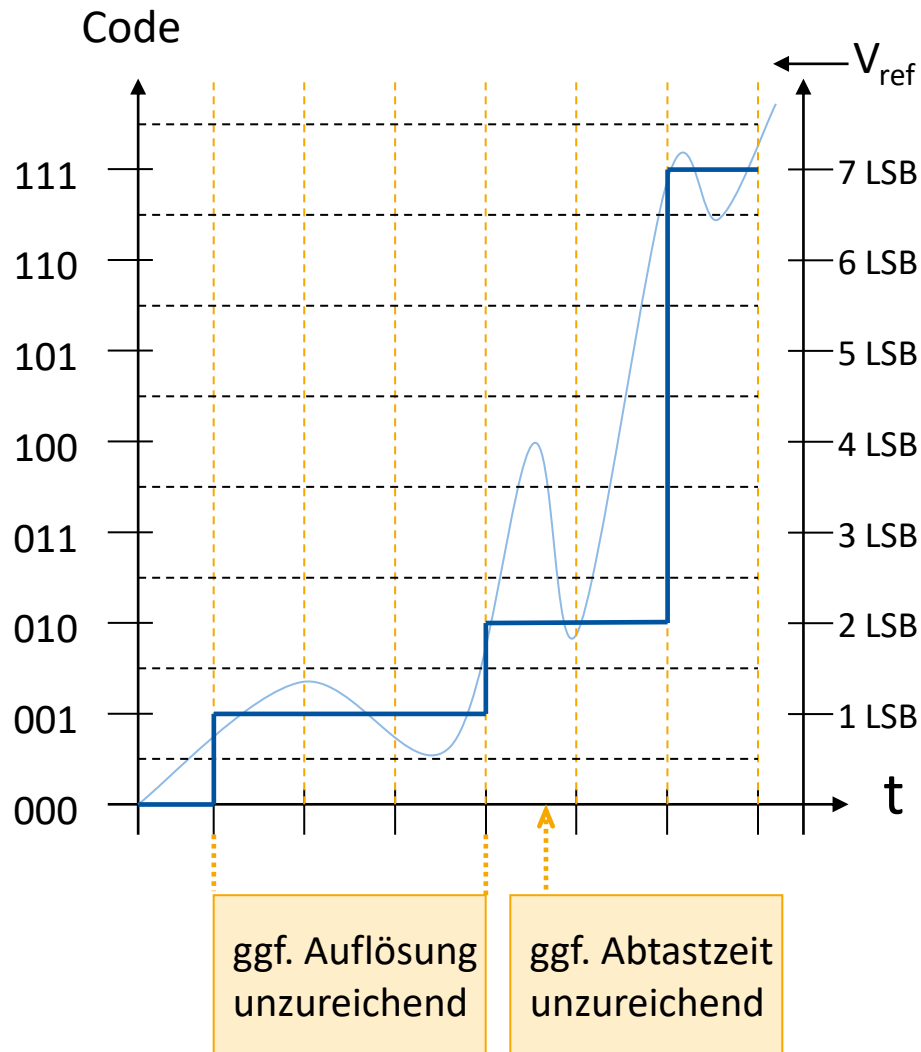
Shannon-Nyquist Theorem



- Die Abtastefrequenz muss größer sein als das Doppelte der Frequenz des Eingangssignals
- Sonst können Änderungen leicht verloren gehen

$$f_A > 2f$$

Beispiel mit Ungenauigkeiten

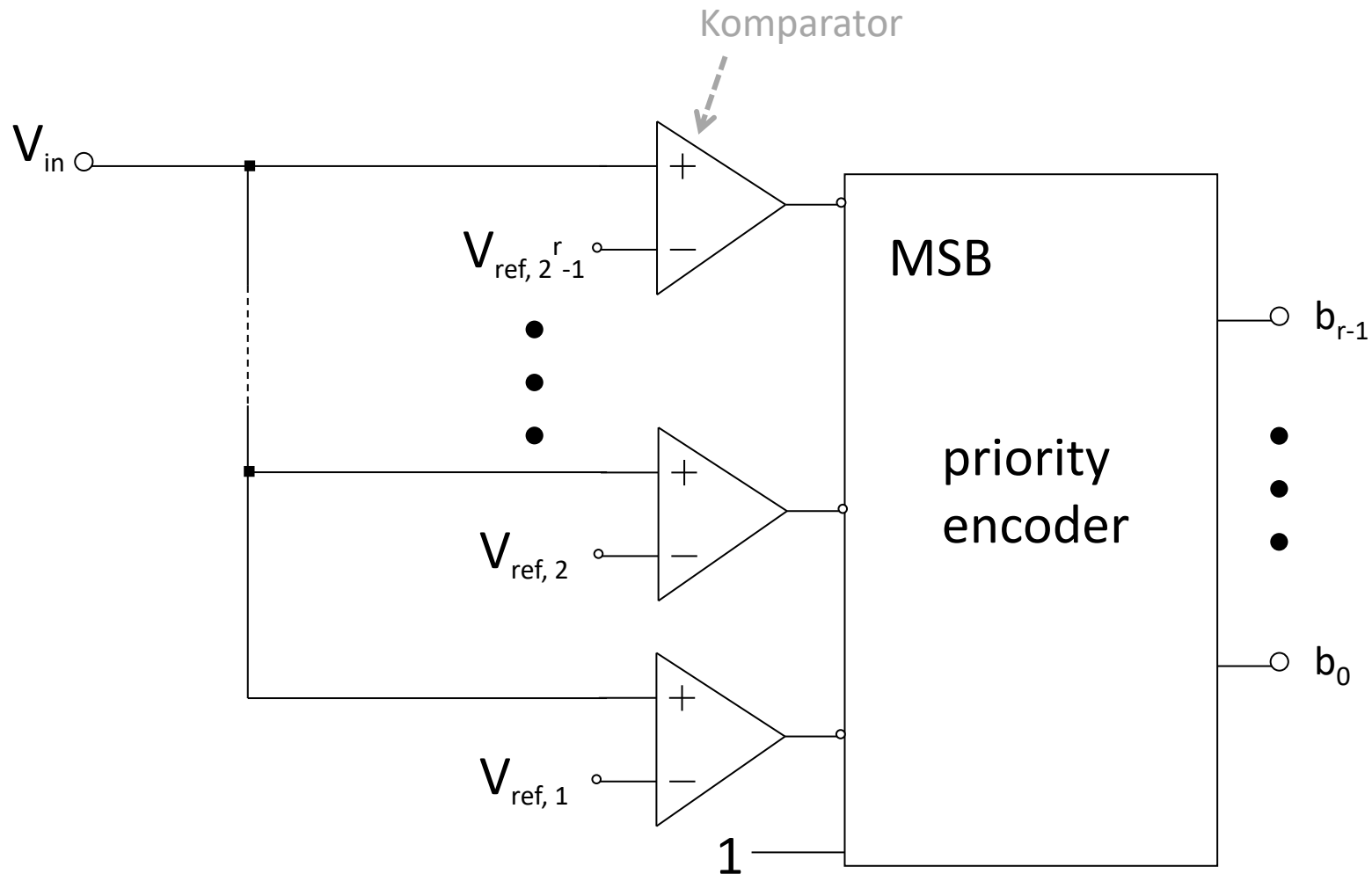


- Informationsverlust
- Fokus auf die y-Achse
 - Reduziert Genauigkeit
 - z.B. verringert V_{ref}
 - oder erhöht r
- Fokus auf die x-Achse: conversion time

Realisierung eines A/D-Wandlers

- Vier Verfahren werden vorgestellt:
 1. Flash-Wandler
 2. Tracking-Wandler
 3. Sukzessive Approximation
 4. Einrampenverfahren

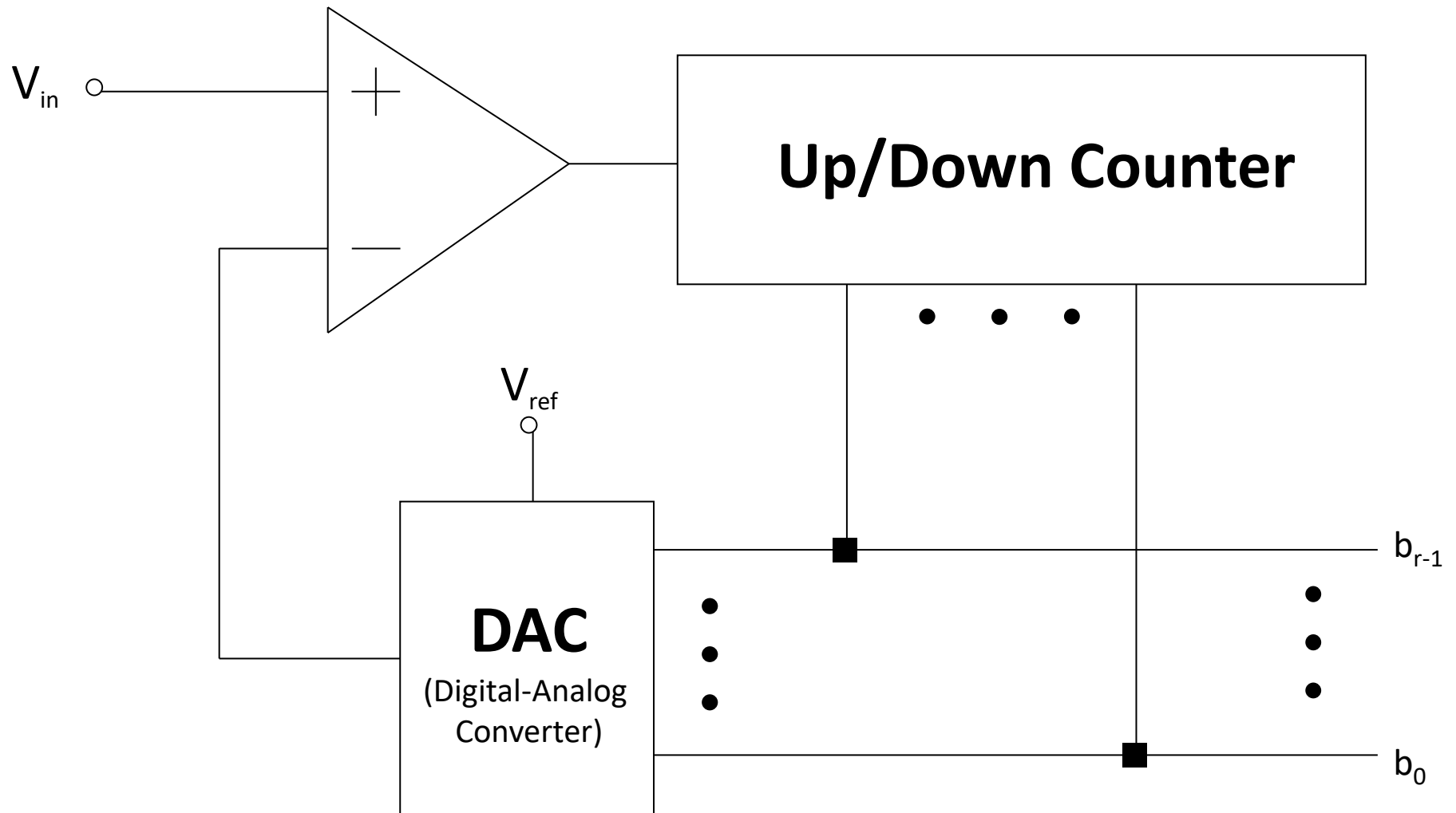
Flash-Wandler



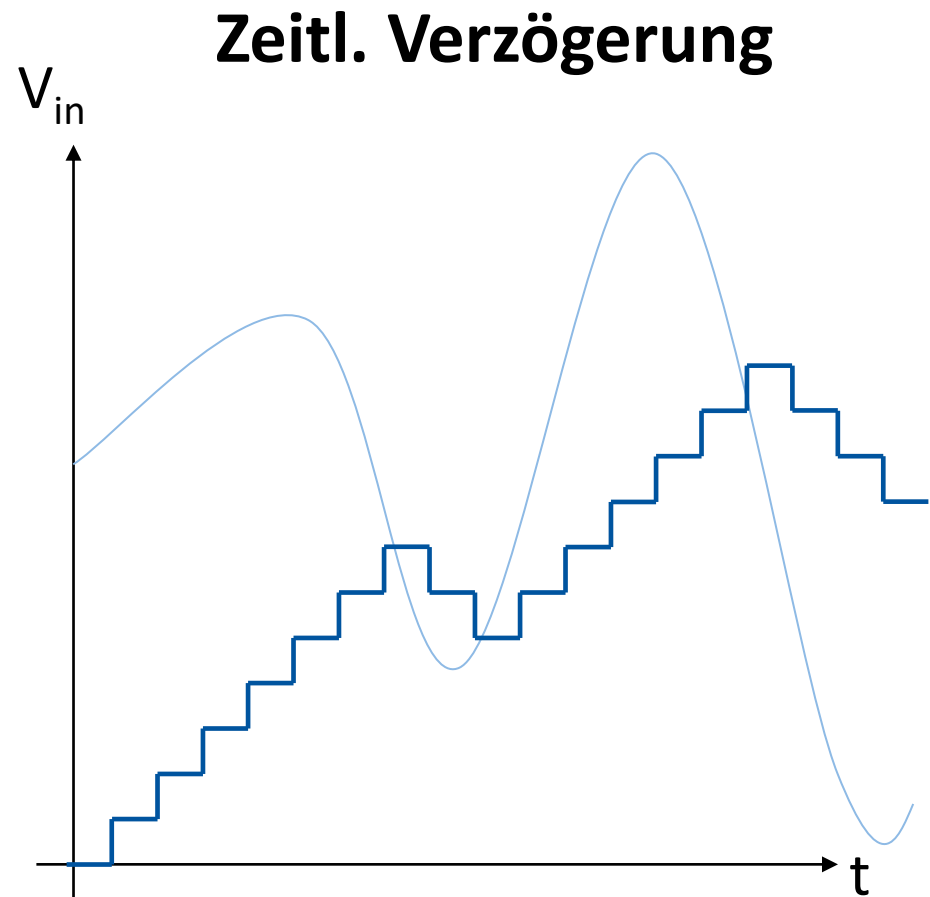
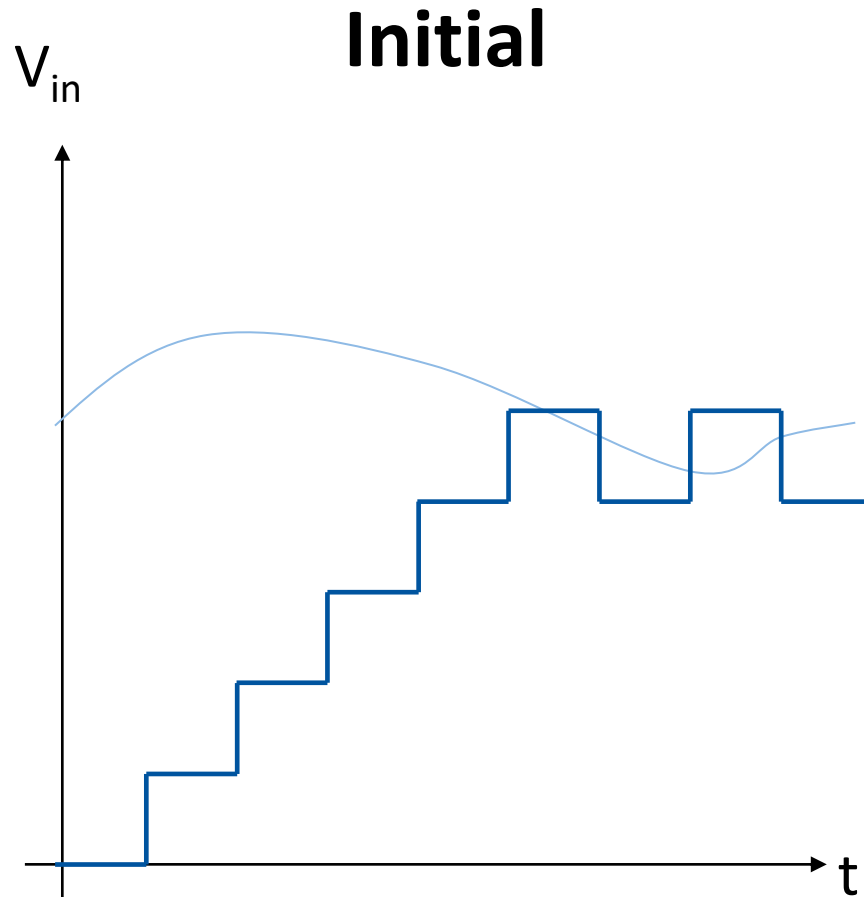
Eigenschaften des Flash-Wandlers

- Direkte Umsetzung des DAC-Prinzips
- “Flash” steht für **schnell**: gleichzeitige Abarbeitung
- Komplexität des Konverters: $2^r - 1$ Komparatoren werden für die Entschlüsselung benötigt
- Folglich: **teuer**

Tracking-Wandler



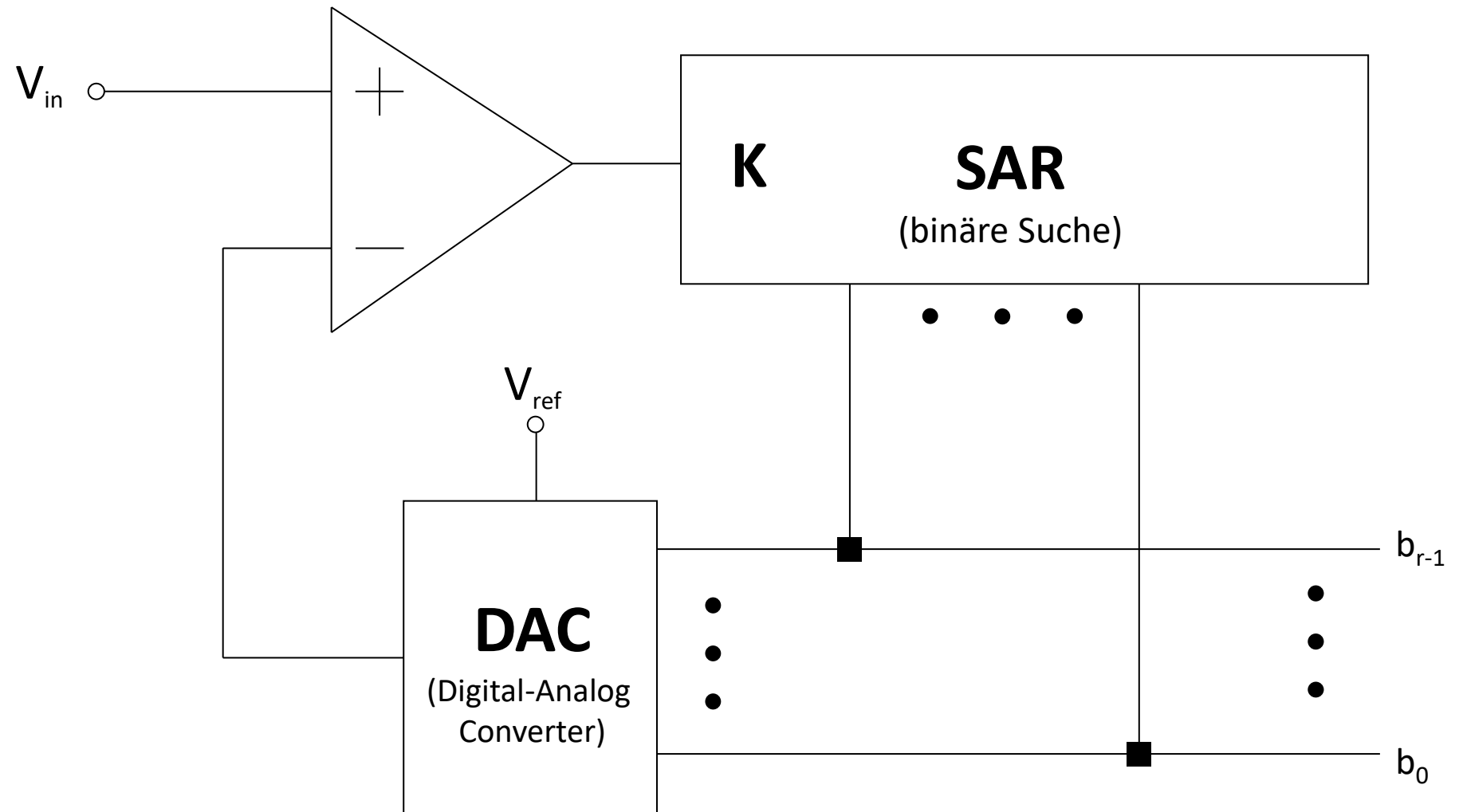
Beispiele für Tracking-Wandler Probleme



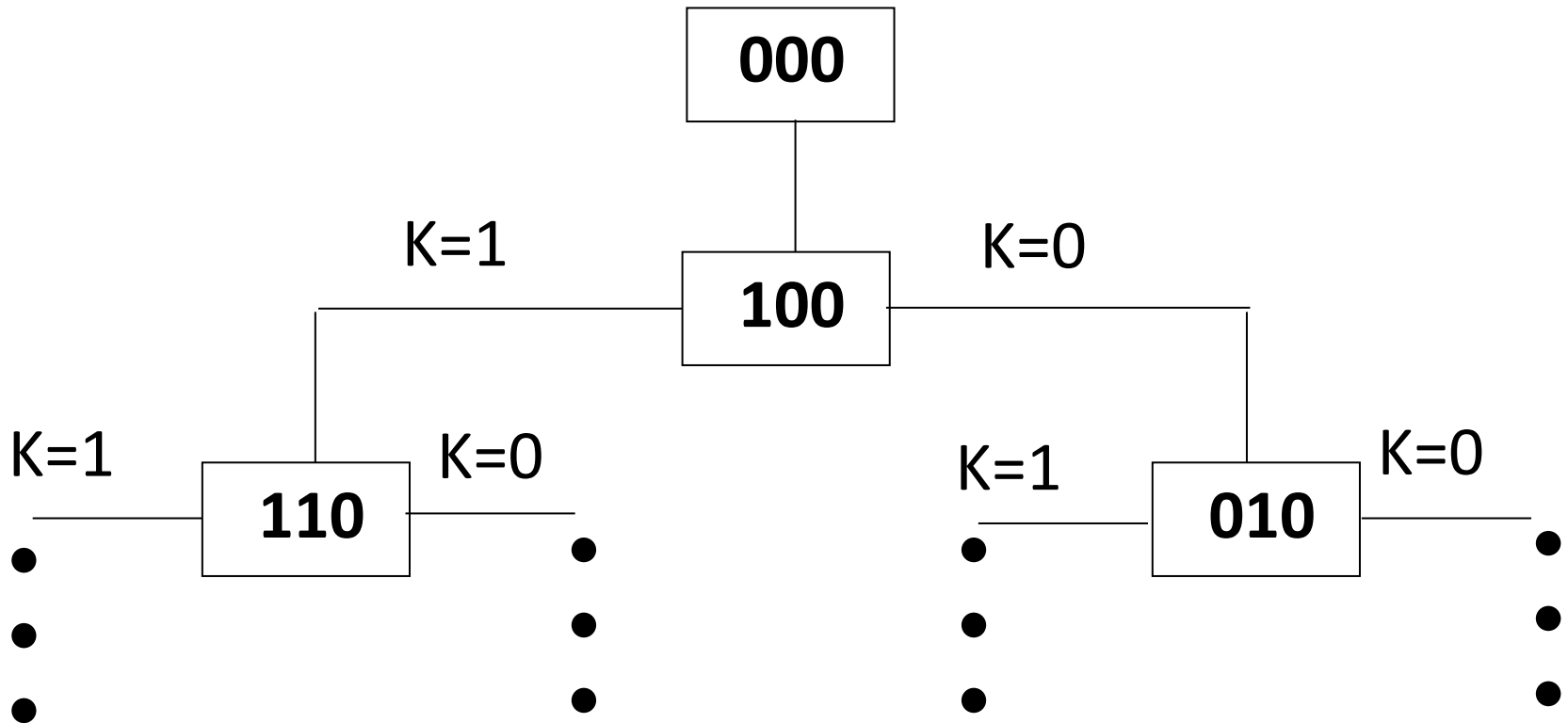
Eigenschaften des Tracking-Wandlers

- DAC wird genutzt zur A/D Wandlung.
- Der Zähler “Counter” speichert die Schätzung des Wertes
- Der Zähler verändert sich linear in Abhängigkeit des Aussignals des Komparators.
- Nachteile:
 - Tracking benötigt im Worst Case 2^r Schritte
 - Am Anfang ungenau
 - langsam

Sukzessive Approximation



(Einfache) Erklärung der Komplexitätsklasse



vgl. Binäre Suche

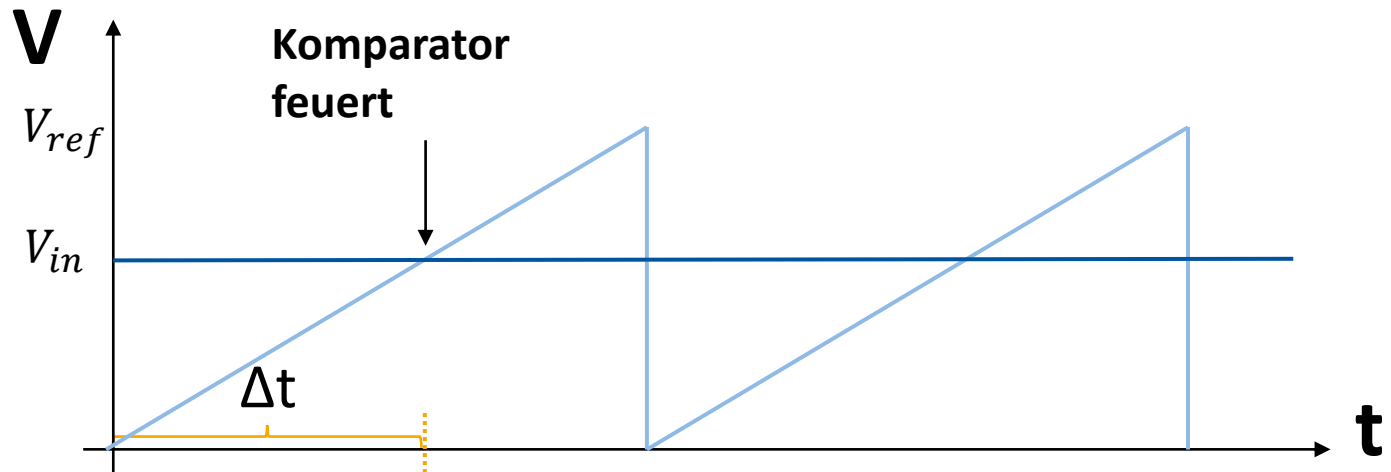
Eigenschaften eines Sukzessive Approximation Wandlers

- Benutzt ein Zwischenregister (engl. successive approximation register (SAR))
- Nutzung von anspruchsvolleren Algorithmen zur Approximation:
 - Starte bei b_{r-1}
 - Nur r Schritte sind notwendig
 - Signaländerungen während der Wandlung können zu nicht validen Ergebnissen führen

Einrampenverfahren

- Sägezahnsignal wird erzeugt.
- Dieses Signal wird mit dem gemessenen Signal verglichen.
- Beim Erreichen der Rampe des Signals feuert ein Komparator
- Der Wert kann durch die Zeitmessung bis zum Feuern bestimmt werden.

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{V_{in}}{V_{ref}}$$



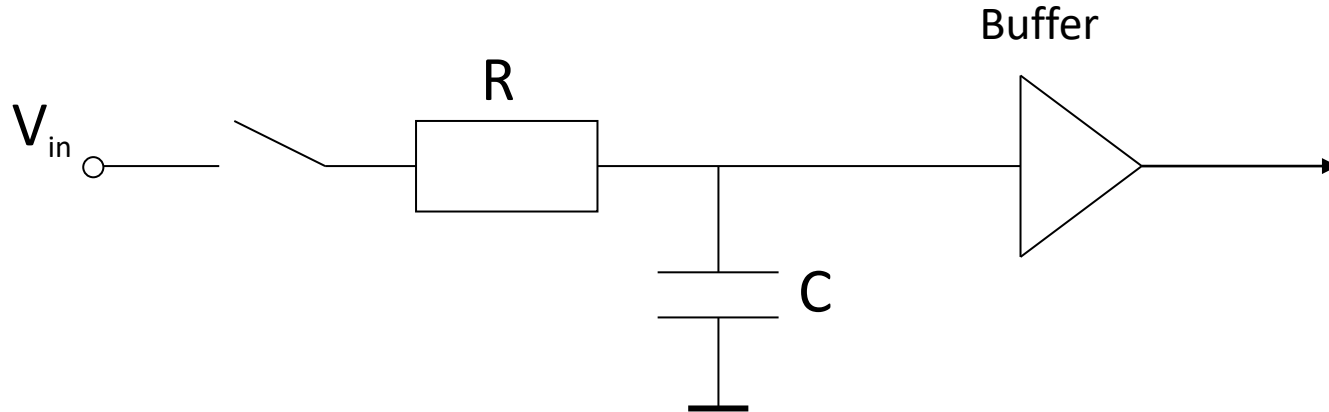
Abschnitt 15.3

Anwendungen

- ▶ Abtast-Halte-Schaltung
- ▶ Digital/Analog-Wandlung: Motorsteuerung
- ▶ Analog/Digital-Wandlung: Audioaufnahme

Abtast-Halte-Schaltung (engl. Sample and Hold)

- Problem: Spannung verändert sich während der Messung (engl. fluctuate)
- Lösung: Füge eine “Falle” (engl. Trap) für den Strom hinzu
- Kondensator wird geladen und abgetrennt



Anwendung der D/A Umwandlung

Beispiel: Motorsteuerung

- Elektrische Energie kann durch einen Motor in Bewegung umgesetzt werden.
- Gegeben sei eine 12V Spannungsversorgung und ein Motor, der bei 12V 100% seiner max. Drehzahl erreicht.
- Drehzahl und Spannungsversorgung des Motor seien als linear angenommen (z.B. bei 6V werden 50% der max. Drehzahl erreicht).

Anwendung der D/A Umwandlung

Beispiel: Motorsteuerung

- Aufgabe: Realisierung einer Motorsteuerung.
 1. Nutzung eines DAC + Verstärker, um die benötigte Spannung zu erzeugen.
 - Nachteil: Bei geringer Drehzahl kann die Spannung zu gering sein, um den Motor in Betrieb zu nehmen
 2. Nutze PWM
 - Nachteil: Bei sehr geringen Frequenzen kann der Motor ruckeln. -> Wichtig: eine hohe Frequenz wählen

Anwendung der A/D Umwandlung

Beispiel: Audioaufnahme

- Mikrofon wandelt Schallwellen in elektrische Spannung umwandelt
- Frequenzumfang von 20 Hz bis 20 kHz
- AD-Wandler digitalisiert dieses Signal
- Aufgrund des Frequenzumfangs muss eine Wandlung in ms abgeschlossen sein
- Weitere Signalverarbeitung und Codierung im Computer/Laptop

Anwendung der A/D Umwandlung

Beispiel: Audioaufnahme

