



# **Elektronik**

## **Vorlesungsskript**

Falk Jonatan Strube

Vorlesung von Prof. Dr.-Ing. Flach (bis 12/2015)

23. Oktober 2015

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anliegen der Lehrveranstaltung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik</b>	<b>1</b>
2.1	Grundgrößen und Grundbeziehungen . . . . .	1
2.2	Potential und Spannung . . . . .	2
2.3	Stromfluss, Ladungsausgleich . . . . .	2
2.4	Widerstand . . . . .	2
2.5	Zusammenschaltung von Widerständen . . . . .	3
2.6	Leistung und Energie . . . . .	4
2.7	Stromkreise und Schaltbilder . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Berechnung von Stromkreisen</b>	<b>4</b>
3.1	Spannungsteiler . . . . .	4
3.2	Stromteiler . . . . .	5
3.3	Strom-Spannungskennlinie . . . . .	5
3.4	Spannungsquelle . . . . .	6
3.5	Grundstromkreis . . . . .	6

## Einführung

Passwort Materialien: lvf\_ws2015

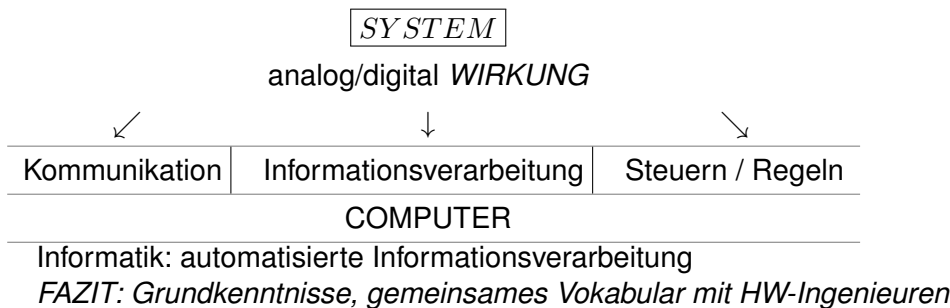
Prüfung: 1 Blatt A4 handbeschrieben, doppelseitig beschrieben

## 1 Anliegen der Lehrveranstaltung

Analyse/Synthese

- Modellbildung
- unterschiedliche Anregungen

- Bauelemente  
aktiv, passiv, Halbleiter
- Netzwerke (linear, nichtlinear)
- Schaltungen (analog, digital)



## 2 Grundlagen der Elektrotechnik

### 2.1 Grundgrößen und Grundbeziehungen

**Bsp.:** Elektrophor mit Bernsteinplatte und Katzenfell



**Modellbildung:** Erklärung für beobachteten Sachverhalt

- möglichst einfaches Modell
- vollständige widerspruchsfreie Definition
- Beschreibung über mathematische Gleichung

**Bohr-Sommerfeldsches Atommodell:** ABB2

Atommodell ist elektrisch neutral. Aber:

- unter bestimmten Bedingungen entstehen positive und negative Ladungen (Energiezufuhr)
- Elementarladung  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

**Beobachtung:** Ladungen ziehen sich an / Ladung stoßen sich ab.

ABB 3

Kraftwirkung

$$F \sim Q_1 \cdot Q_2$$

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

## 2.2 Potential und Spannung

- Ladungen im elektrischen Feld haben unterschiedliche Potenziale.
- Einheit des Potenzial: Volt [V]
- Spannung ist Potentialdifferenz
- Einführen eines Bezugspotentials  $\varphi = 0V$

**Beispiele für Spannungen:**

- Antennen ...  $\mu V$
- Microfon ...  $mV$
- Batterie (AA) ...  $1,2V$
- Netzteile ...  $\pm 5V, \pm 12V$
- Haushalt ...  $230V$
- Freileitungen ...  $380kV$

## 2.3 Stromfluss, Ladungsausgleich

ABB 4

- Strom  $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, i(t) = \frac{dQ}{dt}$
- Ursache: Potentialdifferenz
- Voraussetzung: leitfähiger Kanal, bewegliche Ladungen
- „Fließgeschwindigkeit“ bestimmt Größe des Stroms

Analogie: Fluß

Höhenunterschied - Potential

Flussbett - Leitung

Wasser - Leiter

## 2.4 Widerstand

**Beobachtung:**  $I \sim U, I = G \cdot U$  mit  $G \dots$  Leitwert

je größer der Leitwert, desto kleiner der Widerstand  $\Rightarrow G = \frac{1}{R}$  mit  $R \dots$  ohmscher Widerstand

**Ohmsches Gesetz:**  $R \left( = \frac{U}{I} \right) = \text{const.}$   $U = R \cdot I$   $I = \frac{U}{R}$

mit  $[I] = A$  (Ampere)  $[U] = V$  (Volt)  $[R] = \frac{V}{A} = \Omega$  (Ohm)  $[G] = \frac{A}{V} = S$  (Siemens)

Widerstand ist eine Materialeigenschaft.

$$R \sim l \quad R \sim \frac{1}{A} \quad R = k \cdot \frac{l}{A} \quad \text{mit} \quad k = \varrho \dots \text{spezifischer Widerstand} \quad [\varrho] = \Omega \cdot m = \Omega \frac{mm^2}{m}$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{A}{\varrho \cdot l} = \frac{\kappa A}{l} \quad \text{mit} \quad \kappa = \frac{1}{\varrho}$$

Widerstand: ↗ Materialeigenschaft  
                   ↘ Bauelement ABB 5

## 2.5 Zusammenschaltung von Widerständen

a) Reihenschaltung ABB21

**Maschensatz:**  $\sum_{\odot} U = 0$

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$U_{ges} = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n$$

$$\frac{U_{ges}}{I} = R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$R_{ges} = \sum_{i=1}^n R_i$$

b) Parallelschaltung ABB 22

**Knotensatz:**  $\sum I = 0$

$$I_{ges} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$I_{ges} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

$$\frac{I_{ges}}{U} = \frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{ges}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

**Beispiel:** ABB23

$$R_{ges} = R_1 + R_2$$

$$R_1 = R_2 = R \Rightarrow R_{ges} = 2R$$

$$R_1 \gg R_2 \Rightarrow R_{ges} \approx R_1$$

ABB24

$$R_{ges} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = R_2 = R \Rightarrow R_{ges} = \frac{R}{2}$$

$$R_1 \gg R_2 \Rightarrow R_{ges} \approx R_2$$

ABB25

$$R^* = R || 2R = \frac{2R \cdot R}{3R} = \frac{2}{3}R$$

$$R' = R || (R + R^*) = \frac{R \cdot \frac{5}{3}R}{\frac{8}{3}R} = \frac{5}{8}R$$

$$R_{ges} = R + R' + R = 2R + \frac{5}{8}R = \frac{21}{8}R$$

## 2.6 Leistung und Energie

ABB 26

$$P = U \cdot I \stackrel{U=RI}{=} I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t$$

## 2.7 Stromkreise und Schaltbilder

- Modellierung elektronischer Erscheinungen
- Berechnung von Stromkreisen

ABB 27

**Bsp.:** Ein Kondensator wird zum Aufladen an eine Spannungsquelle mit dem Innenwiderstand  $R_i$  angeschlossen und zum Entladen an einen Widerstand  $R_E$ . Das Laden erfolgt über den Strombegrenzungswiderstand  $R_L$ .

- Umschalter
- Kondensator  $C$ , Widerstand  $R_i$ ,  $R_E$ ,  $R_L$
- Spannungsquelle

ABB28

## 3 Berechnung von Stromkreisen

### 3.1 Spannungsteiler

ABB29

$$U_{R_1} = IR_1 \quad U_{R_2} = IR_2 \quad U_q = I(R_1 + R_2)$$

$$\frac{U_{R_2}}{U_q} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \frac{U_{R_1}}{U_{R_2}} = \frac{R_1}{R_2}$$

Anwendungsbeispiel: Potenziometer

ABB210

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{x \cdot R_{Pot}}{R_{Pot}} \Rightarrow U_{out} = x \cdot U_{in}$$

**belasteter Spannungsteiler: ABB211**

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{R_2 || R_L}{R_1 + R_2 || R_L}$$

Bspw.:  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = R_L = 5\Omega$

$$\text{unbelasteter Fall: } \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{5\Omega}{10\Omega} \Rightarrow U_{out} = 5V$$

$$\text{belasteter Fall: } \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{2,5\Omega}{7,5\Omega} \Rightarrow U_{out} = 3,33V$$

**doppelter Spannungsteiler ABB212**

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \underbrace{\frac{R_2 || (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 || (R_3 + R_4)}}_{\frac{U_{R_2}}{U_{in}}} \underbrace{\frac{R_4}{R_3 + R_4}}_{= \frac{U_{out}}{U_{R_2}}}$$

**gesteuerter Spannungsteiler ABB31**

### 3.2 Stromteiler

ABB 32

$$U_{out} = I_3 \cdot R_3 = I_2 \cdot R_2 = I_1 \cdot (R_2 || R_3)$$

$$\frac{I_3}{I_2} = \frac{R_2}{R_3}$$

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2 || R_3}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_2 || R_3}{R_3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{(R_2 + R_3) \cdot R_3} = \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_2 || R_3}{R_2} = \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

**Beispiel:** geg.: ABB 33

ges.:  $R_{AB}$ ,  $R_{CD}$ ,  $u_{out}$ , alle Ströme

$$R_{AB} = R_1 + R_2 || (R_3 + R_4)$$

$$R_{CD} = R_4 || (R_3 + R_2)$$

$$\frac{U_{out}}{U_h} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{U_h}{U_{in}} = \frac{R_2 || (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 || (R_3 + R_4)}$$

$$U_{out} = U_{in} \frac{R_2 || (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 || (R_3 + R_4)} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$I_1 = \frac{U_{in}}{R_{AB}}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_3 + R_4}{R_2 + R_3 + R_4} \Rightarrow I_2 = \frac{U_{in}}{R_{AB}} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$\frac{I_3}{I_1} = \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4} \Rightarrow I_3 = \frac{U_{in}}{R_{AB}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3 + R_4}$$

### 3.3 Strom-Spannungskennlinie

Ziel: anschauliche Beschreibung des Klemmverhaltens von Bauelementen

ABB 34

- Verbraucher: ohmscher Widerstand

ABB 35

$$R = \frac{U}{I} \quad I = f(U) = \frac{1}{R} \cdot U = G \cdot U$$

- Verbraucher: Diode  
ABB 36  
?  $\Rightarrow$  nichtlinear  
 $I = f(U) = I_s \left( e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right)$   
 $I_s$  ... Sperrstrom  
 $U_T$  ... Temperaturspannung

### 3.4 Spannungsquelle

Was ist eine Spannungsquelle?

Batterie, Netzteil, Antenne, Mikrophon, Steckdose, ...

Unterteilung in:

- Signalquellen (irgendein  $u(t)$ , wenig Energie)
- Spannungsquellen (Gleichspannung/Wechselspannung)

Modell:

1.) ABB 37 Quelle im Leerlauf

2.) ABB 38 Quelle kurzgeschlossen

Ersatzschaltbild einer realen Quelle:

ABB 39 (mit  $I_k = \frac{U_q}{R_i}$ )

$U_q$  ... Leerlaufspannung

$R_i$  ... Innenwiderstand

$I_k$  ... Kurzschlussstrom

### 3.5 Grundstromkreis

reale Quelle + Verbraucher

ABB 310

Strom-Spannungs-Kennlinienfeld des Grundstromkreises

Last:  $I = f(U) = \frac{U_{AB}}{R_V}$

Quelle:  $I = f(U)$

(mit Maschensatz:  $I \cdot R_i + U_{AB} - U_q = 0$   $I = \frac{1}{R_i}(U_q - U_{AB}) = -\frac{1}{R_i}U_{AB} + I_k$ )

ABB 311

Grundstromkreis mit nichtlinearem Verbraucher

ABB 312

Leistung am Lastwiderstand

ABB 313

$\rightarrow P_V = I \cdot U_{AB}$  mit  $U_{AB} = U_q - I \cdot R_i$   $I \cdot R_i + U_{AB} - U_q = 0$

$P_V = U_q \cdot I + I^2 \cdot R_i$   $I = \frac{U_{AB}}{R_V}$

$P_V = f(R_V)$

maximale Leistung am Verbraucher:  $\frac{dP_V}{dR_V} = 0 \Rightarrow P_{V,max}$  für  $R_V = R_i$  (dann  $P_{V,max} = \frac{I_k \cdot U_q}{4}$ )