

# dummy

## Student Group

First Name	Surname	Matrikel Nr.

## Table of Contents

<b>Formelsammlung EEE1 / EEE2</b> .....	5
<b>Konstanten</b> .....	5
<b>EEE1</b> .....	5
<b>1. Grundgrößen</b> .....	5
<b>2. Leistung an Widerständen</b> .....	5
<b>3. Kirchhoff-Regeln und Widerstandsnetzwerke</b> .....	5
Knotenregel .....	6
Maschenregel .....	6
Reihenschaltung von Widerständen .....	6
Parallelschaltung von Widerständen .....	6
Spannungsteiler, unbelastet .....	6
Spannungsteiler, belastet .....	6
Stromteiler .....	6
Brückenschaltung, Abgleichbedingung .....	7
<b>4. Quellen, Ersatzschaltungen und Leistungsanpassung</b> .....	7
Lineare Quelle .....	7
Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom .....	7
Thevenin- und Norton-Äquivalent .....	7
Superpositionsprinzip .....	7
Wirkungsgrad .....	7
Leistungsanpassung .....	7
<b>5. Elektrisches Feld</b> .....	8
Coulomb-Kraft .....	8
Elektrische Feldstärke einer Punktladung .....	8
Spannung im Feld .....	8
Homogenes Plattenfeld .....	8
Ladungsdichten .....	8
<b>6. Elektrische Flussdichte und Gaußsches Gesetz</b> .....	8
Elektrische Flussdichte .....	8

Gaußsches Gesetz .....	9
Plattenanordnung .....	9
Koaxiale Anordnung .....	9
<b>7. Kapazität und Kondensatoren</b> .....	9
Definition .....	9
Plattenkondensator .....	9
Zylinderkondensator / Koaxialkabel .....	9
Kugelkondensator .....	9
Kondensatoren parallel .....	9
Kondensatoren in Reihe .....	9
Energie im Kondensator .....	10
<b>8. Stromdichte und Leitung im Feld</b> .....	10
Stromdichte .....	10
Strom durch Fläche .....	10
Spannung entlang Weg .....	10
Leitwert aus Feldgrößen .....	10
Platte .....	10
Koaxialanordnung .....	10
<b>9. Magnetisches Feld</b> .....	10
Magnetische Feldstärke um langen geraden Leiter .....	10
Im Leiterinneren bei homogener Stromdichte .....	10
Magnetische Spannung / Durchflutung .....	11
Lange Spule .....	11
Ringspule / Toroid .....	11
Magnetische Flussdichte .....	11
Lorentzkraft auf stromdurchflossenen Leiter .....	11
<b>10. Magnetischer Fluss, Induktion und magnetischer Kreis</b> .....	11
Magnetischer Fluss .....	11
Faradaysches Induktionsgesetz .....	11
Magnetischer Widerstand / Reluktanz .....	12
Magnetischer Kreis .....	12
Luftspalt .....	12
<b>11. Induktivität</b> .....	12
Definition .....	12
Lange Spule .....	12
Ringspule .....	12
Induktivitäten in Reihe .....	12
Induktivitäten parallel .....	12
Energie in der Spule .....	12
<b>12. Operationsverstärker, ideal</b> .....	13
Idealer OPV .....	13
Invertierender Verstärker .....	13
Nichtinvertierender Verstärker .....	13
Spannungsfolger .....	13
Addierer, invertierend .....	13
Subtrahierer, symmetrisch .....	13
<b>EEE2</b> .....	13
<b>13. RC-Schaltvorgänge</b> .....	14
Zeitkonstante .....	14
Allgemeine Lösung 1. Ordnung .....	14
Kondensator lädt von 0 auf $U_s$ .....	14

Kondensator entlädt von $U_s$ auf 0 .....	14
Energieänderung Kondensator .....	14
<b>14. Wechselstrom-Grundlagen</b> .....	14
Sinusförmige Größen .....	14
Effektivwert .....	14
Phasenwinkel .....	15
<b>15. Komplexe Rechnung und Impedanzen</b> .....	15
Komplexe Darstellung .....	15
Komplexer Widerstand / Impedanz .....	15
Bauteilimpedanzen .....	15
Admittanz .....	15
Komplexes Ohmsches Gesetz .....	15
Reihenschaltung bei AC .....	16
Parallelschaltung bei AC .....	16
Spannungsteiler mit Impedanzen .....	16
Stromteiler mit Impedanzen .....	16
<b>16. Komplexe Leistung</b> .....	16
Augenblicksleistung .....	16
Scheinleistung .....	16
Wirkleistung .....	16
Blindleistung .....	16
Komplexe Leistung .....	16
Leistungsdreieck .....	16
Leistungen an idealen Bauteilen .....	17
<b>17. Filter und Grenzfrequenzen</b> .....	17
Allgemeine Übertragungsfunktion .....	17
RC-Tiefpass .....	17
RC-Hochpass .....	17
RL-Tiefpass .....	17
RL-Hochpass .....	17
<b>18. RLC-Schwingkreise</b> .....	18
Serien-RLC .....	18
Güte, Serienkreis .....	18
Bandbreite, Serienkreis .....	18
Parallel-RLC, idealisiert .....	18
<b>19. Magnetisch gekoppelte Spulen / Transformator</b> .....	18
Gegenseitige Induktivität .....	18
Gekoppelte Spulen .....	19
Idealer Transformator .....	19
Transformierte Lastimpedanz .....	19
<b>20. Halbleiter und Diode</b> .....	19
Thermische Spannung .....	19
Shockley-Gleichung .....	19
Vereinfachtes Diodenmodell .....	19
Kleinsignalwiderstand Diode .....	19
<b>21. Diodenanwendungen</b> .....	19
Einweggleichrichter, ideal .....	20
Brückengleichrichter / Zweiweggleichrichter, ideal .....	20
Glättungskondensator, grobe Näherung .....	20
Begrenzerschaltung mit Diode .....	20
<b>22. Bipolartransistor, Basisformeln</b> .....	20

Ströme .....	20
Basis-Emitter-Spannung, Silizium .....	20
Betriebsbereiche, NPN .....	20
Kleinsignalgrößen .....	21
Emitterschaltung, grobe Spannungsverstärkung .....	21
<b>23. MOSFET, Basisformeln</b> .....	21
N-Kanal Enhancement MOSFET .....	21
Linearbereich .....	21
Sättigungsbereich .....	21
Transkonduktanz .....	21
<b>24. Nützliche Umformungen</b> .....	21
Logarithmen und Exponentialfunktionen bei RC-Vorgängen .....	21
dB-Umrechnung .....	22
Häufige Näherungen .....	22

# Formelsammlung EEE1 / EEE2

## Konventionen:



- DC-Größen: Großbuchstaben, z.B.  $U, I$
- Zeitabhängige Größen: Kleinbuchstaben, z.B.  $u(t), i(t)$
- AC-Zeiger: unterstrichen, z.B.  $\underline{U}, \underline{I}, \underline{Z}$
- Bei AC sind  $U$  und  $I$  ohne Hut meist Effektivwerte.
- $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r, \mu = \mu_0 \mu_r, \omega = 2\pi f$

## Konstanten

Größe	Wert
Elementarladung	$e = 1.602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Avogadro-Konstante	$N_A = 6.022142 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Permeabilität des Vakuums	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}$
Permittivität des Vakuums	$\varepsilon_0 = 8.854187817 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$
Thermische Spannung, ca. 300 K	$U_T = \frac{kT}{q} \approx 25.85 \text{ mV}$

## EEE1

### 1. Grundgrößen

Größe	Formel	Einheit / Hinweis
Ladung	$Q = n \cdot e$	$[Q] = \text{C} = \text{As}$
Strom	$I = \frac{Q}{t}, i(t) = \frac{dq}{dt}$	$[I] = \text{A}$
Spannung	$U = \frac{\Delta W}{Q} = \varphi_1 - \varphi_2$	$[U] = \text{V}$
Arbeit / Energie	$W = UQ = \int U dt$	$[W] = \text{J} = \text{Ws}$
Leistung	$P = \frac{dW}{dt}, \text{ bei DC: } P = UI$	$[P] = \text{W}$
Ohmsches Gesetz	$R = \frac{U}{I}, U = RI$	$[R] = \Omega$
Leitwert	$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$	$[G] = \text{S}$
Differentielle Größen	$r = \frac{du}{di}, g = \frac{di}{du}$	Für nichtlineare Kennlinien
Widerstand Leiter	$R = \rho \frac{l}{A}$	$\rho$ : spezifischer Widerstand
Leitwert Leiter	$G = \kappa \frac{A}{l}$	$\kappa = \frac{1}{\rho}$
Temperaturabhängigkeit	$R(\vartheta) = R_0 \left( 1 + \alpha \Delta \vartheta + \beta \Delta \vartheta^2 + \dots \right)$	Näherung

### 2. Leistung an Widerständen

$$P = UI$$

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

$$W = P \cdot t = \int U I dt$$

### 3. Kirchhoff-Regeln und Widerstandsnetzwerke

## Knotenregel

$$\sum_k I_k = 0$$

## Maschenregel

$$\sum_k U_k = 0$$

## Reihenschaltung von Widerständen

$$R_{\text{eq}} = \sum_k R_k$$

$$U_k = I \cdot R_k$$

## Parallelschaltung von Widerständen

$$G_{\text{eq}} = \sum_k G_k$$

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \sum_k \frac{1}{R_k}$$

Für zwei Widerstände:

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

## Spannungsteiler, unbelastet

$$U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

## Spannungsteiler, belastet

Mit Last  $R_L$  parallel zu  $R_1$ :

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1 \parallel R_L}{R_2 + (R_1 \parallel R_L)}$$

$$R_1 \parallel R_L = \frac{R_1 R_L}{R_1 + R_L}$$

Alternative Form:

$$U_1 = \frac{U}{1 + \frac{R_2}{R_L} + \frac{R_2}{R_1}}$$

## Stromteiler

Für zwei parallele Widerstände:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Allgemein über Leitwerte:

$$I_k = I \frac{G_k}{\sum_i G_i}$$

## Brückenschaltung, Abgleichbedingung

$$\left[ \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \right]$$

$$\left[ R_1 R_4 = R_2 R_3 \right]$$

## 4. Quellen, Ersatzschaltungen und Leistungsanpassung

### Lineare Quelle

$$\left[ U = U_0 - R_i i \right]$$

$$\left[ I = I_K - G_i U \right]$$

### Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom

$$\left[ U_0 = U_{\text{OC}} \right]$$

$$\left[ I_K = I_{\text{SC}} \right]$$

$$\left[ R_i = \frac{U_{\text{OC}}}{I_{\text{SC}}} \right]$$

$$\left[ G_i = \frac{I_{\text{SC}}}{U_{\text{OC}}} \right]$$

### Thevenin- und Norton-Äquivalent

Thevenin	Norton
Ideale Spannungsquelle $U_0$ in Reihe mit $R_i$	Ideale Stromquelle $I_K$ parallel zu $R_i$
$U_0 = I_K R_i$	$I_K = \frac{U_0}{R_i}$

### Superpositionsprinzip

- Nur in linearen Netzwerken.
- Spannungsquellen deaktivieren: Kurzschluss.
- Stromquellen deaktivieren: Leerlauf.
- Spannungen und Ströme addieren.
- Leistungen nicht direkt addieren.

### Wirkungsgrad

$$\left[ \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right]$$

Für Quelle mit Innenwiderstand  $R_i$  und Last  $R_L$ :

$$\left[ \eta = \frac{R_L}{R_i + R_L} \right]$$

### Leistungsanpassung

Maximale Lastleistung bei:

$$\left[ R_L = R_i \right]$$

Nutzungsgrad:

$$\epsilon = \frac{R_{LR_i}}{(R_L + R_i)^2}$$

Bei Leistungsanpassung:

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{4}$$

## 5. Elektrisches Feld

### Coulomb-Kraft

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

### Elektrische Feldstärke einer Punktladung

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$$

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$[E] = \frac{[\text{N}]}{[\text{C}]} = \frac{[\text{V}]}{[\text{m}]}$$

### Spannung im Feld

$$U = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\Delta W = q \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

### Homogenes Plattenfeld

$$E = \frac{U}{d}$$

### Ladungsdichten

$$\rho_l = \frac{Q}{l}$$

$$\rho_A = \frac{Q}{A}$$

$$\rho_V = \frac{Q}{V}$$

Differentiell:

$$\rho_l = \frac{dQ}{dl}, \quad$$

$$\rho_A = \frac{dQ}{dA}, \quad \rho_V = \frac{dQ}{dV}$$

## 6. Elektrische Flussdichte und Gaußsches Gesetz

### Elektrische Flussdichte

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{D}}{\epsilon_0 \epsilon_r}$$

## Gaußsches Gesetz

$$\int_{Q} \operatorname{div} \vec{D} \cdot \vec{A} \, dV$$

## Plattenanordnung

$$D = \frac{Q}{A}$$

$$E = \frac{D}{\epsilon}$$

## Koaxiale Anordnung

$$D(r) = \frac{Q}{2\pi l r}$$

$$E(r) = \frac{Q}{2\pi \epsilon l r}$$

# 7. Kapazität und Kondensatoren

## Definition

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$Q = CU$$

## Plattenkondensator

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

## Zylinderkondensator / Koaxialkabel

$$C = \epsilon \frac{2\pi l}{\ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right)}$$

## Kugelkondensator

$$C = 4\pi \epsilon \frac{R_i R_o}{R_o - R_i}$$

## Kondensatoren parallel

$$C_{\text{eq}} = \sum_k C_k$$

$$U_1 = U_2 = \dots = U$$

$$Q_{\text{ges}} = \sum_k Q_k$$

## Kondensatoren in Reihe

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \sum_k \frac{1}{C_k}$$

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q$$

$$U_{\text{ges}} = \sum_k U_k$$

## Energie im Kondensator

$$W_C = \frac{1}{2} C U^2$$

$$W_C = \frac{1}{2} Q U$$

$$W_C = \frac{Q^2}{2C}$$

## 8. Stromdichte und Leitung im Feld

### Stromdichte

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

### Strom durch Fläche

$$I = \iint_A \vec{J} \cdot \mathrm{d}\vec{A}$$

### Spannung entlang Weg

$$U = \int_1^2 \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$$

### Leitwert aus Feldgrößen

$$G = \frac{I}{U} = \frac{\iint_A \vec{J} \cdot \mathrm{d}\vec{A}}{\int_1^2 \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}}$$

### Platte

$$G = \sigma \frac{A}{l}$$

$$R = \frac{l}{\sigma A}$$

### Koaxialanordnung

$$G = \frac{2\pi\sigma l}{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}$$

## 9. Magnetisches Feld

### Magnetische Feldstärke um langen geraden Leiter

$$H_\varphi(r) = \frac{I}{2\pi r}$$

$$[H] = \frac{A}{m}$$

### Im Leiterinneren bei homogener Stromdichte

Für Leiter radius  $r_L$ :

$$H(r) = \frac{I_0 r}{2\pi r_L^2} \quad (r < r_L)$$

## Magnetische Spannung / Durchflutung

$$\int V_m = \int \vec{H} \cdot d\vec{s}$$

$$\int \Theta = \oint \vec{H} \cdot d\vec{s}$$

Für eine Spule:

$$\int \Theta = NI$$

Allgemein:

$$\int \Theta = \sum_k N_k I_k$$

## Lange Spule

$$H = \frac{NI}{l}$$

## Ringspule / Toroid

$$H = \frac{NI}{2\pi R}$$

## Magnetische Flussdichte

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

## Lorentzkraft auf stromdurchflossenen Leiter

$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$

$$F = IB \sin \alpha$$

# 10. Magnetischer Fluss, Induktion und magnetischer Kreis

## Magnetischer Fluss

$$\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$[\Phi] = \text{Wb} = \text{Vs}$$

Für geschlossene Oberfläche:

$$\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

## Faradaysches Induktionsgesetz

$$u_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Für \$N\$ Windungen:

$$u_{\text{ind}} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

## Magnetischer Widerstand / Reluktanz

$$R_m = \frac{\Theta}{\Phi}$$

Für homogenen Abschnitt:

$$R_m = \frac{l}{\mu A}$$

## Magnetischer Kreis

$$\sum_k \Phi_k = 0$$

$$\sum_k \Theta_k = 0$$

$$\Theta = R_m \Phi$$

## Luftspalt

$$R_{m,\Delta} = \frac{\Delta}{\mu_0 A}$$

# 11. Induktivität

## Definition

$$L = \frac{\Psi}{i}$$

$$\Psi = N \Phi$$

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

Mit Lenzschem Vorzeichen für induzierte Gegenspannung:

$$u_{\text{ind}} = -L \frac{di}{dt}$$

## Lange Spule

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 A}{l}$$

## Ringspule

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 h(r_o - r_i)}{\pi(r_o + r_i)}$$

## Induktivitäten in Reihe

$$L_{\text{eq}} = \sum_k L_k$$

## Induktivitäten parallel

$$\frac{1}{L_{\text{eq}}} = \sum_k \frac{1}{L_k}$$

## Energie in der Spule

$$W_L = \frac{1}{2} L I^2$$

## 12. Operationsverstärker, ideal

### Idealer OPV

$$A_0 \rightarrow \infty$$

$$R_{\text{in}} \rightarrow \infty$$

$$R_{\text{out}} = 0$$

Bei Gegenkopplung:

$$u_+ = u_-$$

$$i_+ = i_- = 0$$

### Invertierender Verstärker

$$U_a = -\frac{R_2}{R_1} U_e$$

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

### Nichtinvertierender Verstärker

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

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

### Spannungsfolger

$$U_a = U_e$$

$$A_v = 1$$

### Addierer, invertierend

$$U_a = -R_f \left( \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right)$$

Bei gleichen Eingangswiderständen  $R$ :

$$U_a = -\frac{R_f}{R} \sum_k U_k$$

### Subtrahierer, symmetrisch

Bei  $R_1 = R_3$  und  $R_2 = R_4$ :

$$U_a = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

## EEE2

## 13. RC-Schaltvorgänge

### Zeitkonstante

$$\tau = RC$$

Nach ungefähr  $5\tau$  gilt der Endzustand praktisch als erreicht.

### Allgemeine Lösung 1. Ordnung

$$x(t) = x(\infty) + \left[ x(0) - x(\infty) \right] e^{-t/\tau}$$

### Kondensator lädt von 0 auf $U_s$

$$u_C(t) = U_s \left( 1 - e^{-t/(RC)} \right)$$

$$i_C(t) = \frac{U_s}{R} e^{-t/(RC)}$$

$$q_C(t) = C u_C(t)$$

Bei  $t = \tau$ :

$$u_C(\tau) \approx 0.632 U_s$$

### Kondensator entlädt von $U_s$ auf 0

$$u_C(t) = U_s e^{-t/(RC)}$$

$$i_C(t) = -\frac{U_s}{R} e^{-t/(RC)}$$

Bei  $t = \tau$ :

$$u_C(\tau) \approx 0.368 U_s$$

### Energieänderung Kondensator

$$\Delta W_C = \frac{1}{2} C (U_1^2 - U_0^2)$$

## 14. Wechselstrom-Grundlagen

### Sinusförmige Größen

$$u(t) = \hat{U} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

$$i(t) = \hat{I} \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$T = \frac{1}{f}$$

### Effektivwert

$$X_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

Für Sinus:

$$\underline{U} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

$$\underline{I} = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$$

## Phasenwinkel

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$$

Bauteil	Phasenlage
Widerstand	$u$ und $i$ in Phase, $\varphi = 0^\circ$
Kondensator	Strom eilt Spannung um $90^\circ$ voraus, $\varphi = -90^\circ$
Spule	Spannung eilt Strom um $90^\circ$ voraus, $\varphi = +90^\circ$

# 15. Komplexe Rechnung und Impedanzen

## Komplexe Darstellung

$$\underline{X} = X e^{j\varphi} = X(\cos\varphi + j\sin\varphi)$$

$$j^2 = -1$$

## Komplexer Widerstand / Impedanz

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}}$$

$$\underline{Z} = R + jX$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X}{R}\right)$$

## Bauteilimpedanzen

Bauteil	Impedanz	Betrag	Phase
Widerstand	$\underline{Z}_R = R$	$R$	$0^\circ$
Kondensator	$\underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$	$\frac{1}{\omega C}$	$-90^\circ$
Spule	$\underline{Z}_L = j\omega L$	$\omega L$	$+90^\circ$

## Admittanz

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$$

$$\underline{Y} = G + jB$$

## Komplexes Ohmsches Gesetz

$$\underline{U} = \underline{Z} \cdot \underline{I}$$

$$\underline{I} = \underline{Y} \cdot \underline{U}$$

## Reihenschaltung bei AC

$$\underline{Z} \stackrel{\text{eq}}{=} \sum_k \underline{Z}_k$$

## Parallelschaltung bei AC

$$\underline{Y} \stackrel{\text{eq}}{=} \sum_k \underline{Y}_k$$

$$\frac{1}{\underline{Z} \stackrel{\text{eq}}{=}} = \sum_k \frac{1}{\underline{Z}_k}$$

## Spannungsteiler mit Impedanzen

$$\underline{U}_1 = \underline{U} \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$$

## Stromteiler mit Impedanzen

$$\underline{I}_1 = \underline{I} \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$$

# 16. Komplexe Leistung

## Augenblicksleistung

$$p(t) = u(t)i(t)$$

## Scheinleistung

$$S = UI$$

## Wirkleistung

$$P = UI \cos \varphi$$

## Blindleistung

$$Q = UI \sin \varphi$$

## Komplexe Leistung

$$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*$$

$$\underline{S} = P + jQ$$

$$\underline{S} = Ue^{j\varphi}$$

## Leistungsdreieck

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

## Leistungen an idealen Bauteilen

Bauteil	Wirkleistung $P$	Blindleistung $Q$
Widerstand	$P=I^2R=\frac{U^2}{R}$	$Q=0$
Spule	$P=0$	$Q=I^2\omega L=\frac{U^2}{\omega L}$
Kondensator	$P=0$	$Q=-I^2\frac{1}{\omega C}=-U^2\omega C$

## 17. Filter und Grenzfrequenzen

### Allgemeine Übertragungsfunktion

$$\underline{A} = \frac{\underline{U}_{\text{out}}}{\underline{U}_{\text{in}}}$$

$$|A|$$

Bei Grenzfrequenz einfacher passiver Filter:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

### RC-Tiefpass

Ausgang am Kondensator:

$$\underline{A} = \frac{1}{1+j\omega RC}$$

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

### RC-Hochpass

Ausgang am Widerstand:

$$\underline{A} = \frac{j\omega RC}{1+j\omega RC}$$

$$|A| = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

### RL-Tiefpass

Ausgang am Widerstand:

$$\underline{A} = \frac{R}{R+j\omega L}$$

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}}$$

$$f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

### RL-Hochpass

Ausgang an der Spule:

$$\underline{A} = \frac{j\omega L}{R + j\omega L}$$

$$A = \frac{\omega L/R}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}}$$

$$f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

## 18. RLC-Schwingkreise

### Serien-RLC

$$\underline{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Resonanzbedingung:

$$\omega_{0L} = \frac{1}{\omega_{0C}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Bei Resonanz:

$$\underline{Z} = R$$

### Güte, Serienkreis

$$Q = \frac{\omega_{0L}}{R}$$

$$Q = \frac{1}{\omega_{0CR}}$$

### Bandbreite, Serienkreis

$$\Delta\omega = \frac{R}{L}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$$

### Parallel-RLC, idealisiert

$$\underline{Y} = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

Resonanz:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

## 19. Magnetisch gekoppelte Spulen / Transformator

### Gegenseitige Induktivität

$$M = k\sqrt{L_1L_2}$$

$$0 \leq k \leq 1$$

## Gekoppelte Spulen

Je nach Punktkonvention mit Vorzeichen  $\pm$ :

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt}$$

## Idealer Transformator

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = -\frac{N_2}{N_1}$$

$$P_1 = P_2$$

## Transformierte Lastimpedanz

$$\underline{Z}' = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \underline{Z}_L$$

# 20. Halbleiter und Diode

## Thermische Spannung

$$U_T = \frac{kT}{q}$$

Bei  $T \approx 300 \text{ K}$ :

$$U_T \approx 25.85 \text{ mV}$$

## Shockley-Gleichung

$$I_D = I_S \left( e^{\frac{U_D}{nU_T}} - 1 \right)$$

$n$ : Emissionskoeffizient, typischerweise  $1 \dots 2$ .

## Vereinfachtes Diodenmodell

Zustand	Näherung
Sperrbetrieb	$I_D \approx 0$
Durchlassbetrieb Silizium	$U_D \approx 0.7 \text{ V}$
Durchlassbetrieb Schottky	$U_D \approx 0.2 \dots 0.4 \text{ V}$
Z-Diode im Durchbruch	$U_D \approx -U_Z$

## Kleinsignalwiderstand Diode

$$r_d \approx \frac{nU_T}{I_D}$$

# 21. Diodenanwendungen

## Einweggleichrichter, ideal

Mittelwert bei Sinus-Eingang:

$$U_{\mathrm{DC}} \approx \frac{\hat{U}}{\pi}$$

## Brückengleichrichter / Zweiweggleichrichter, ideal

$$U_{\mathrm{DC}} \approx \frac{2\hat{U}}{\pi}$$

## Glättungskondensator, grobe Näherung

$$\Delta U \approx \frac{I_L}{f_r C}$$

Gleichrichter	Ripple-Frequenz
Einweg	$f_r = f$
Zweiweg / Brücke	$f_r = 2f$

## Begrenzerschaltung mit Diode

Positive Begrenzung, idealisiert:

$$u_{\mathrm{out}} \lesssim U_{\mathrm{ref}} + U_D$$

Negative Begrenzung, idealisiert:

$$u_{\mathrm{out}} \gtrsim U_{\mathrm{ref}} - U_D$$

## 22. Bipolartransistor, Basisformeln

### Ströme

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

### Basis-Emitter-Spannung, Silizium

$$U_{BE} \approx 0.7 \, \mathrm{V}$$

### Betriebsbereiche, NPN

Bereich	Bedingung / Näherung
Sperrbereich	$I_B \approx 0$ , $I_C \approx 0$

Bereich	Bedingung / Näherung
Aktiver Bereich	$I_C \approx \beta I_B$
Sättigung	$U_{CE} \approx U_{CE, \text{sat}} \approx 0.1 \dots 0.3 \text{ V}$

## Kleinsignalgrößen

$$g_m = \frac{I_C}{U_T}$$

$$r_e \approx \frac{U_T}{I_E}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

## Emitterschaltung, grobe Spannungsverstärkung

Ohne Emittergegenkopplung:

$$A_v \approx -g_m R_C$$

Mit Emitterwiderstand, grob:

$$A_v \approx -\frac{R_C}{r_e + R_E}$$

## 23. MOSFET, Basisformeln

### N-Kanal Enhancement MOSFET

Bereich	Bedingung
Sperrbereich	$U_{GS} < U_{th}$
Linear-/Triodenbereich	$U_{GS} > U_{th}$ und $U_{DS} < U_{GS} - U_{th}$
Sättigungsbereich	$U_{GS} > U_{th}$ und $U_{DS} \geq U_{GS} - U_{th}$

### Linearbereich

$$I_D \approx k \left[ (U_{GS} - U_{th}) U_{DS} - \frac{U_{DS}^2}{2} \right]$$

### Sättigungsbereich

$$I_D \approx \frac{k}{2} (U_{GS} - U_{th})^2$$

Mit Kanallängenmodulation:

$$I_D \approx \frac{k}{2} (U_{GS} - U_{th})^2 (1 + \lambda U_{DS})$$

### Transkonduktanz

$$g_m \approx \frac{2I_D}{U_{GS} - U_{th}}$$

## 24. Nützliche Umformungen

### Logarithmen und Exponentialfunktionen bei RC-Vorgängen

Aus

$$u_C(t) = U_s(1 - e^{-t/\tau})$$

folgt für Laden auf Anteil  $a = \frac{u_C}{U_s}$ :

$$t = -\tau \ln(1-a)$$

Aus

$$u_C(t) = U_0 e^{-t/\tau}$$

folgt für Entladen auf Anteil  $a = \frac{u_C}{U_0}$ :

$$t = -\tau \ln(a)$$

## dB-Umrechnung

Für Spannungs- oder Stromverhältnisse:

$$A_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \left( \frac{X_2}{X_1} \right)$$

Für Leistungsverhältnisse:

$$P_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$$

## Häufige Näherungen

Ausdruck	Näherung
$e^{-1}$	0.368
$1 - e^{-1}$	0.632
$\sqrt{2}$	1.414
$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0.707
$20 \log_{10} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$	-3.01 dB

From:

<https://wiki.mexle.org/> - MEXLE Wiki

Permanent link:

<https://wiki.mexle.org/dummy?rev=1779794646>

Last update: **2026/05/26 13:24**

