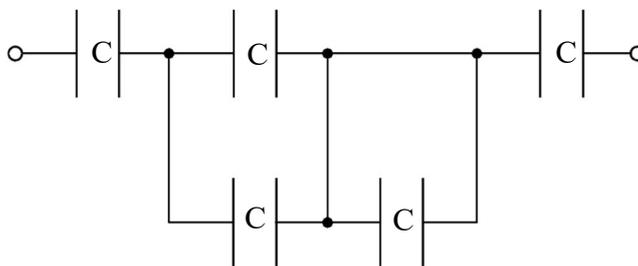


**Aufgabe 3.1**

Berechnen Sie die Gesamtkapazität der unten dargestellten Schaltung mit  $C = 10 \text{ nF}$ !



**Lösung:**

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{2 \cdot C} + \frac{1}{C} = \frac{5}{2 \cdot C} \Rightarrow C_{ges} = \frac{2 \cdot C}{5} = 0.4C = 0,4 \cdot 10 \text{ nF} = 4 \text{ nF}$$

**Aufgabe 3.2**

Berechnen Sie für die in Bild 3.2 zusammenschalteten Kondensatoren die Gesamtkapazität.

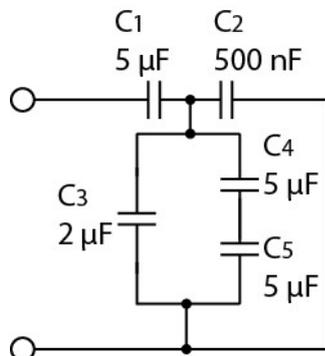


Bild 3.2: Zusammenschaltung verschiedener Kondensatoren.

**Lösung:**

$$C_{g1} = \frac{C_4 \cdot C_5}{C_4 + C_5} = 2.5 \mu F$$

$$C_{g2} = C_{g1} + C_3 = 4,5 \mu F$$

$$C_{g3} = C_{g2} + C_2 = 5 \mu F$$

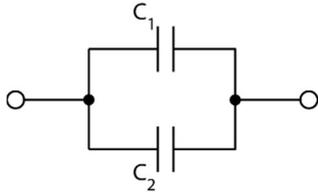
$$C_{ges} = \frac{C_{g3} \cdot C_1}{C_{g3} + C_1} = 2.5 \mu F$$

**Aufgabe 3.3**

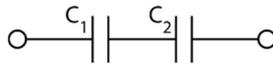
Geben Sie für die gegebenen Schaltungen die Gesamtkapazität an.

$$C_1 = 1 \mu\text{F}, \quad C_2 = 0,1 \mu\text{F}, \quad C_3 = C_4 = 1,5 \mu\text{F}, \quad C_5 = C_6 = 4,7 \mu\text{F}$$

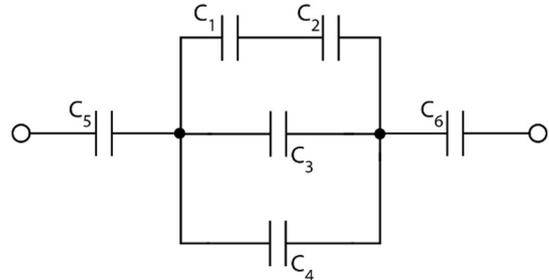
a)



b)



c)



**Lösung:**

- a) In Teilaufgabe a) liegt eine Parallelschaltung vor. Zur Berechnung der Gesamtkapazität werden die einzelnen Kapazitätswerte aufaddiert:

$$C_{ges} = C_1 + C_2 = 1,1 \mu\text{F}$$

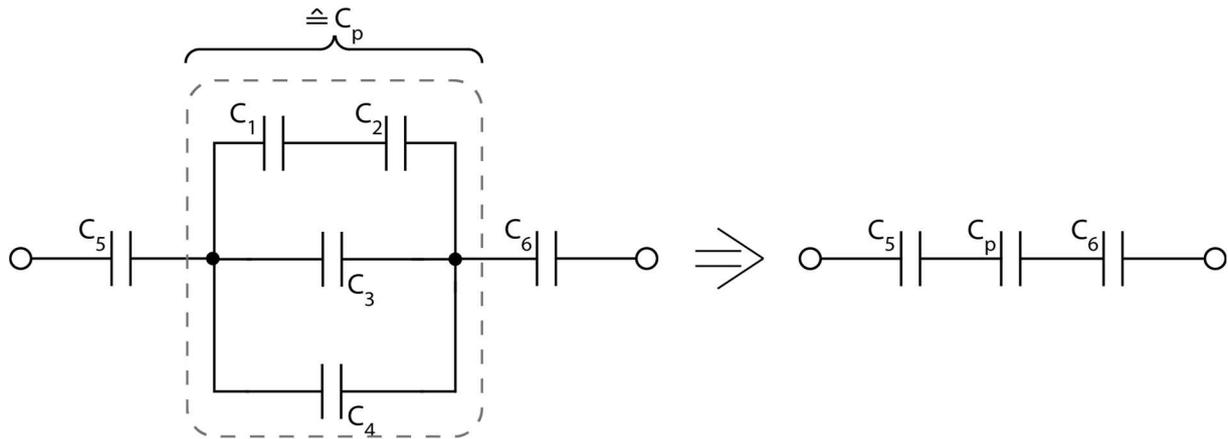
- b) In Teilaufgabe b) liegt eine Reihenschaltung vor. Zur Berechnung der Gesamtkapazität wird das Produkt der beiden Kapazitätswerte durch die Summe der beiden Werte dividiert:

$$C_{ges} = C_{12} = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)^{-1} = \left( \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2} \right)^{-1} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 0,09 \mu\text{F}$$

- c) Hier liegt eine etwas komplexere Verschaltung vor, in der einzelne Kapazitäten sowohl parallel als auch in Reihe geschaltet sind.

Vorgehen:

Schritt 1: Man fasst den mittleren Teil, bestehend aus den Kapazitäten  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  und  $C_4$  zusammen und definiert diesen Bereich als  $C_p$ . Es liegt demnach eine Reihenschaltung vor, die aus den Komponenten  $C_5$ ,  $C_p$  und  $C_6$  besteht (Siehe Abbildung unten).



Schritt 2:  $C_p$  ist eine Parallelschaltung bestehend aus den Ersatzwiderständen  $C_{12}$ ,  $C_3$  und  $C_4$ . Die Werte dieser 3 Ersatzwiderstände müssen deshalb zur Ermittlung von  $C_p$  zusammenaddiert werden.

$$C_p = C_{12} + C_3 + C_4 = 3,09 \mu F$$

Schritt 3: Der Wert für  $C_p$  wird nun in die Berechnungsvorschrift für die Gesamtkapazität einer Reihenschaltung eingesetzt. Bei 3 Widerstandswerten ist die Gesamtkapazität der Schaltung das Produkt der 3 betrachteten Widerstände geteilt durch die Summe der Produkte von  $C_p$  und  $C_6$ , von  $C_5$  und  $C_6$ , sowie von  $C_5$  und  $C_p$ :

$$\begin{aligned} C_{ges} &= \left( \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6} \right)^{-1} = \left( \frac{C_p \cdot C_6 + C_5 \cdot C_6 + C_5 \cdot C_p}{C_p \cdot C_5 \cdot C_6} \right)^{-1} \\ &= \frac{C_p \cdot C_5 \cdot C_6}{C_p \cdot C_6 + C_5 \cdot C_6 + C_5 \cdot C_p} = \frac{68,258 (\mu F)^3}{51,136 (\mu F)^2} = 1,33 \mu F \end{aligned}$$

### Aufgabe 3.4

Für keramische Kleinkondensatoren werden spezielle Sinterwerkstoffe verwendet, z.B. Condensa F ( $\epsilon_r = 80$ ) oder Epsilon ( $\epsilon_r = 5000$ ). Berechnen Sie für einen kreisförmigen Scheibenkondensator mit einem Durchmesser von 10 mm und einer Dicke  $d$  von 1 mm die Kapazitätswerte für die o.g. Werkstoffe.

Hinweis: Nehmen Sie ein homogenes elektrisches Feld im Kondensator an.

### Lösung:

Es gilt:

$$Q = C \cdot U$$

mit

$$E = \frac{Q}{\epsilon} \cdot \frac{1}{A}$$

und

$$E = \frac{U}{d} \sim U = E \cdot d = \frac{Q}{\epsilon} \cdot \frac{d}{A}$$

Schritt 1: Durch Umstellung der ersten Formel und durch Ersetzen der Variablen U (entsprechend der dritten Formel) erhält man:

$$\Rightarrow C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{\frac{Q \cdot d}{\epsilon \cdot A}} = \epsilon \cdot \left(\frac{A}{d}\right) = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \left(\frac{A}{d}\right)$$

Schritt 3: Fläche A berechnen:  $A = \pi \cdot r^2 = 78,53 \text{ mm}^2$

Schritt 4: Berechnung des Verhältnisses  $\frac{A}{d}$ :

$$d = 1 \text{ mm}$$

$$\frac{A}{d} = 78,53 \text{ mm}$$

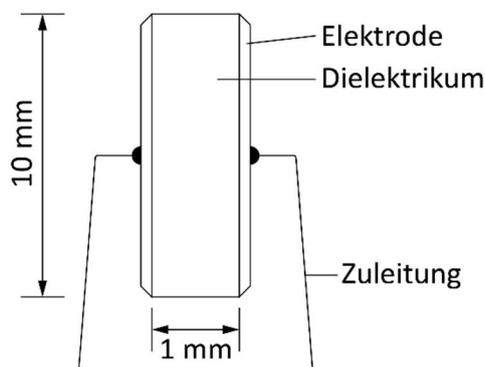
Schritt 5: Kapazitäten der beiden Werkstofftypen berechnen. Hierbei werden die Werte für  $\frac{A}{d}$ ,  $\epsilon_r$ , sowie für die Dielektrizitätskonstante des Vakuums  $\epsilon_0$  eingesetzt:

Condensa:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 80 \cdot 78,53 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 55,6 \text{ pF}$$

Epsilan:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 5000 \cdot 78,53 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,4 \text{ nF}$$



**Aufgabe 3.5**

Gegeben ist eine Zylinderspule mit  $N = 1000$  Windungen um einen Eisenkern mit  $\mu_r = 500$ . Berechnen Sie die Induktivität bei einem Wicklungsdurchmesser von  $d = 2 \text{ cm}$  und einer Länge von  $l = 20 \text{ cm}$ .

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

**Lösung:**

Die Induktivität ist wie folgt definiert:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l} \qquad \left[ \frac{\text{N}}{\text{A}^2} \right] = \left[ \frac{\text{H}}{\text{m}} \right]$$

$$\text{mit } A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ oder } A = \pi \cdot r^2$$

Für die gefragte Spule ergeben sich folgende Größen:

Vakuumpermeabilität:  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$

relative Permeabilität von Fe:  $\mu_r = 500$

Spulenquerschnittsfläche:  $A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} (0,02)^2 = \pi \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Länge des Spulenkörpers:  $l = 0,2 \text{ m}$

Anzahl an Windungen:  $N = 1000$

$$\begin{aligned} L &= 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot 500 \cdot 1000^2 \frac{\pi \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{0,2 \text{ m}} \\ &= \pi^2 \cdot 50 \cdot \frac{0,0004 \text{ m}^2}{0,2 \text{ m}} \\ &= 0,987 \text{ H} = 987 \text{ mH} \end{aligned}$$

### Aufgabe 3.6

Welcher Stoff hat die größte relative Permeabilität  $\mu_r$ ?

- Si-Stahl
- Ni-Zn
- Mn-Zn
- Carbonyl
- Kupfer

### Aufgabe 3.7

Welcher Stoff hat die größte relative Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$ ?

- BaTiO<sub>3</sub>
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- Ta<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- Glas
- Mica

**Aufgabe 3.8**

Was sind die Nachteile von Verwendung von BaTiO<sub>3</sub> als Dielektrikum?

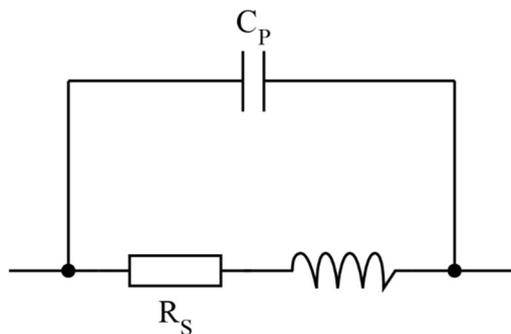
- $\epsilon_r$  ist sehr niedrig
- geringe Zuverlässigkeit
- geringe Spannungsfestigkeit
- hoher Serienwiderstand
- $\epsilon_r$  ist stark temperaturabhängig

**Aufgabe 3.9**

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild einer Spule. Wodurch werden die parasitären Komponenten bestimmt?

**Lösung:**

Ersatzschaltbild einer Spule:



$R_S$ : Ohm'scher Serienwiderstand z.B. Widerstand der Spulenwicklung.

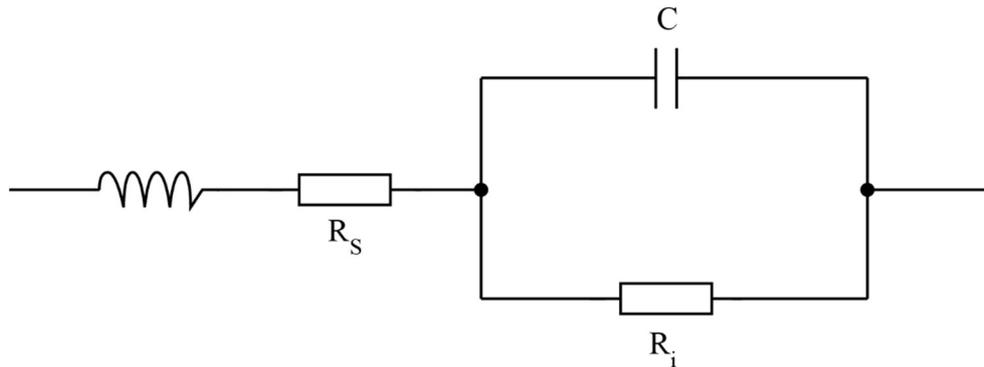
$C_p$ : Streukapazität durch kapazitive Wirkung der Einzelwicklungen gegeneinander.

**Aufgabe 3.10**

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild eines Kondensators. Wodurch werden die parasitären Komponenten bestimmt?

**Lösung:**

Ersatzschaltbild eines Kondensators:



$L_s$ : Induktivität, je nach Bauform und Zuleitung

$R_i$ : Isolationswiderstand durch das Dielektrikum, Polarisationsverluste

$R_s$ : Ohm'scher Anteil durch Anschlussdrähte, Kontaktwiderstände und Plattenbeläge.

**Aufgabe 3.11**

Berechnen Sie für die in **Bild 3.11** dargestellte Logikschaltung die **Ausgangspegel ( $U_A$ )** für alle möglichen Schalterstellungen von  $S_1, S_2, S_3,$  und  $S_4$ . Tragen Sie die logischen Zustände von  $E_1, E_2, E_3, E_4$  und  $U_A$  in eine Zustandstabelle ein. Zur Berechnung der Schaltzustände wird angenommen, dass die **Flussspannung** (d.h. die Spannung bei der die Dioden vom Sperrzustand in den Durchgangszustand übergehen) der Dioden  $D_1$  bis  $D_7$  bei  $U_F = 0,7\text{ V}$  liegt. Der **Übergang vom Sperr- in den Durchlasszustand** wird dabei als **ideal abrupt** angenommen.

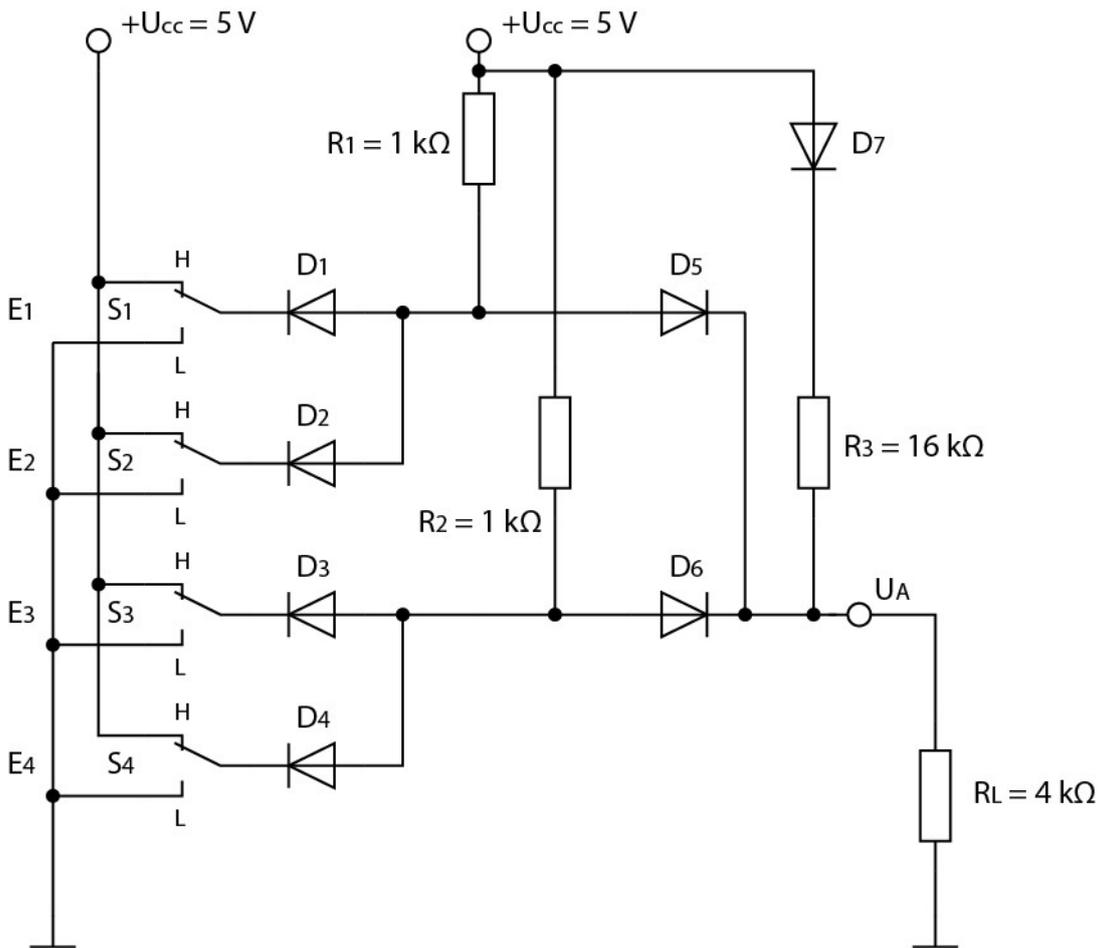
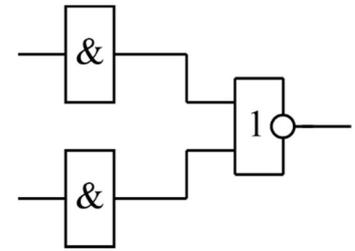


Bild 3.11: Schaltung für ein mit Dioden realisiertes Logikgatter

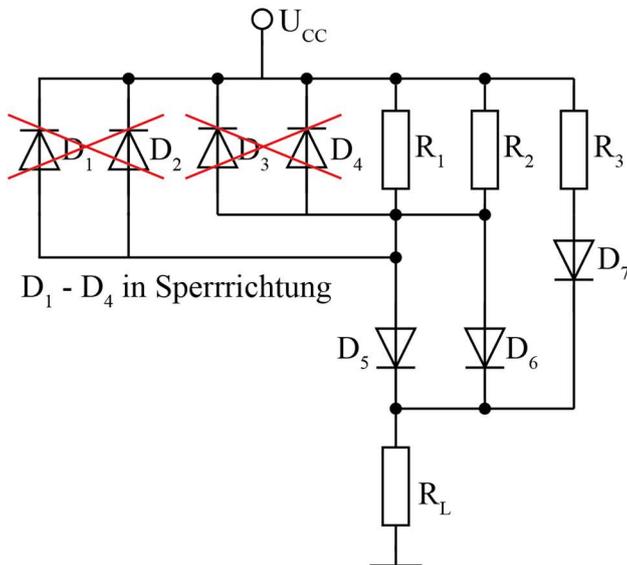
Lösung:

Zustandstabelle:

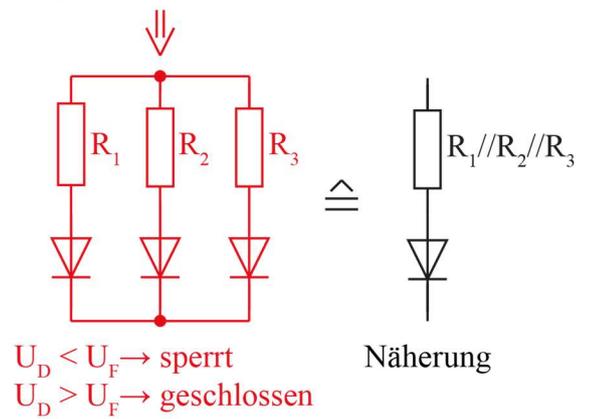
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>
Fall 1	H	H	H	H
Fall 2	H	H	L	L
	L	L	H	H
	L	H	H	H
	H	L	H	H
	H	H	L	H
Fall 3	H	H	H	L
	L	H	L	H
	L	H	H	L
	H	L	L	H
	H	L	H	L
	L	L	L	H
	L	L	H	L
Fall 4	L	L	L	L



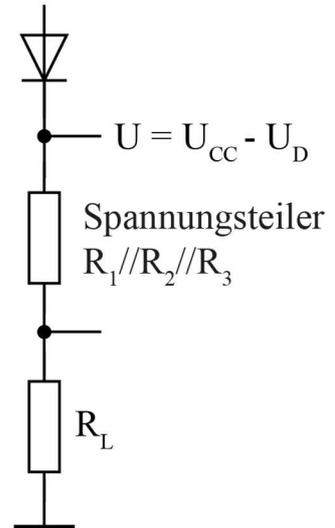
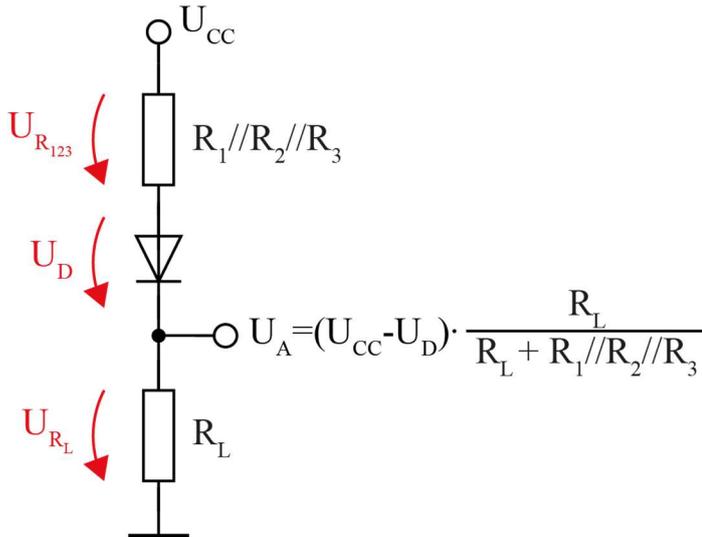
Fall 1: HH



D<sub>1</sub> - D<sub>4</sub> sperren alle

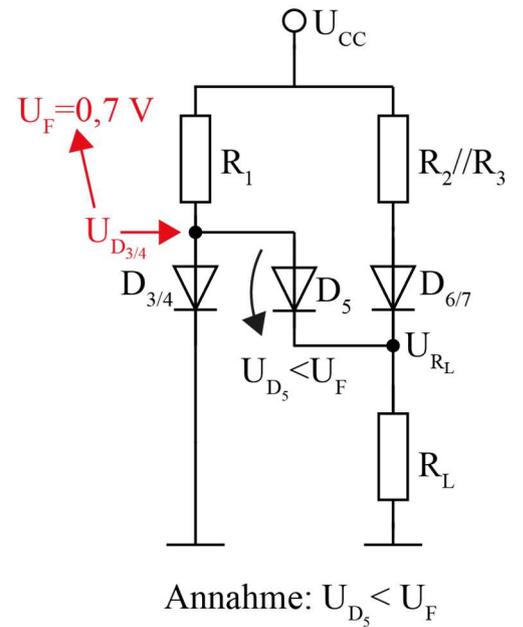
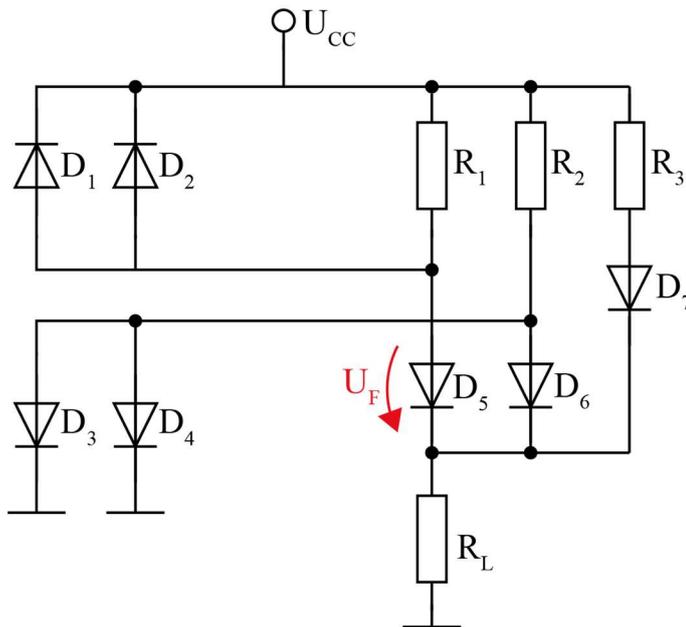


U<sub>D</sub> < U<sub>F</sub> → sperrt  
 U<sub>D</sub> > U<sub>F</sub> → geschlossen



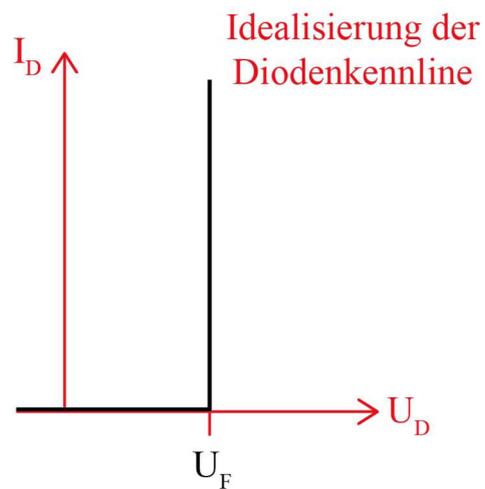
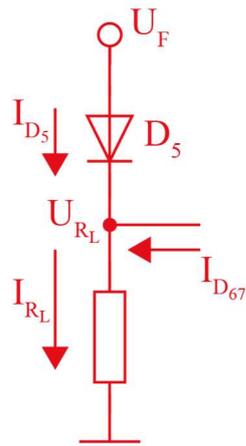
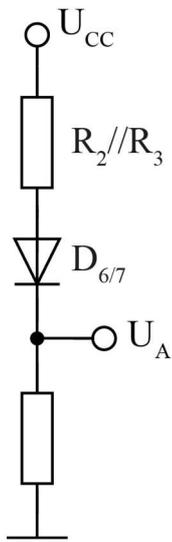
$$U_{RL} = (U_0 - U_D) \cdot \left( \frac{R_L}{R_L + R_1 // R_2 // R_3} \right) = 3.8 V$$

Fall 2:



$D_5 \rightarrow$  sperrt

⇓ Vereinfachung

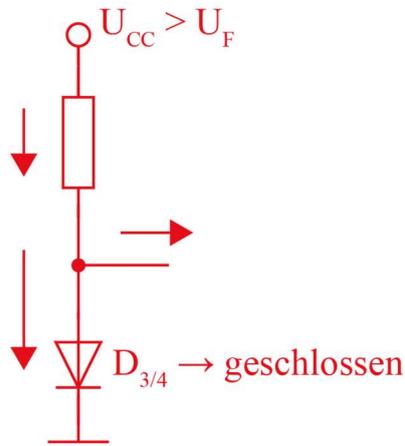


$I_{D_5} = 0 \text{ mA}$ , da  $I_{D_{67}} > 0 \text{ mA} \curvearrowright U_{R_L} > 0 \text{ V}$

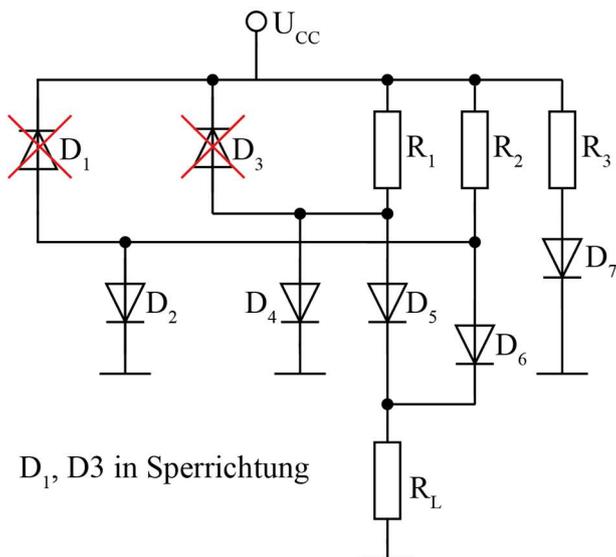
$$U_{R_L} = (U_0 - U_D) \cdot \left( \frac{R_L}{R_L + R_1 // R_3} \right) = 3.48 \text{ V}$$

$$U_A = U_{CC} - U_F \cdot \left( \frac{R_L}{R_L + R_2 // R_3} \right) = 3,48 \text{ V}$$

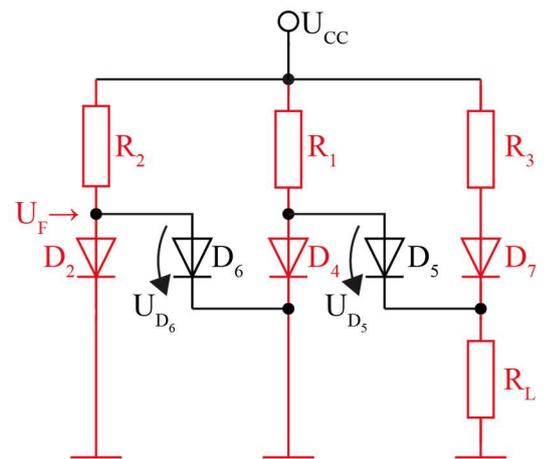
$D_3 + D_1$  in Durchlassrichtung



Fall 3:



$D_1, D_3$  in Sperrrichtung



$$U_{D_6}, U_{D_5} < U_F$$

$D_5, D_6 \rightarrow$  gesperrt

$$U_A = (U_{CC} - U_D) \cdot \left( \frac{R_L}{R_L + R_3} \right) = 0,86 \text{ V}$$

$$U_{RL} = (U_0 - U_D) \cdot \left( \frac{R_L}{R_L + R_3} \right) = 0,86 \text{ V}$$

Fall 4:

Wie Fall 3,  $D_1$  bis  $D_4$  alle in Sperrrichtung.

**Zusammenfassung:**

Fall	$U_A$	A
1	3,8 V	H
2	3,48 V	H
3	0,86 V	L
4	0,86 V	L

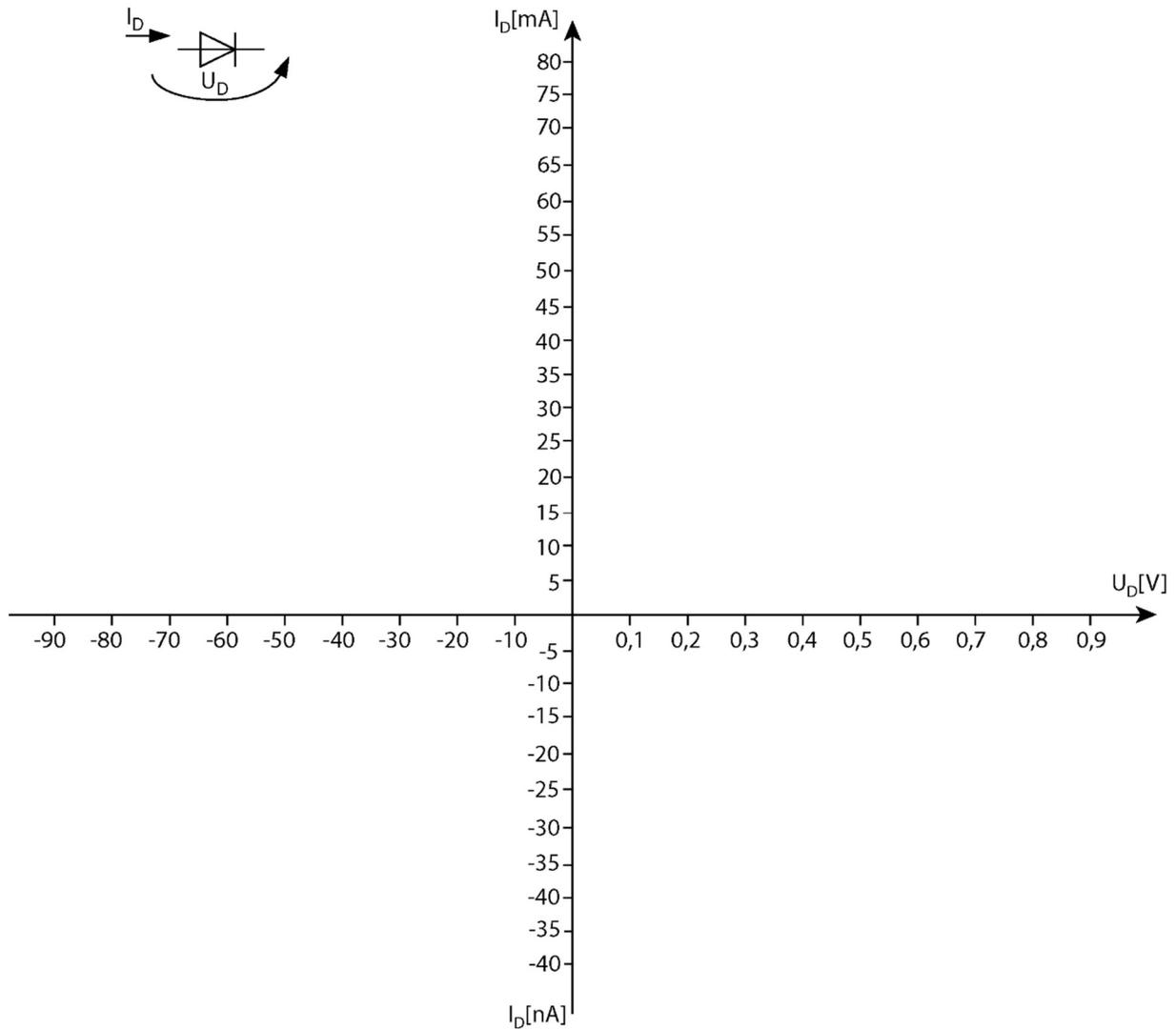
**Aufgabe 3.12**

Zeichnen Sie die Strom-Spannungs-Kennlinie von einer Germanium-Diode in das unten stehende Diagramm ein. Es gilt für den Strom im Durchlassbereich

$$I_D = I_S \cdot \left( e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1 \right) \text{ mit } U_T = 25 \text{ mV} \text{ sowie im Sperrbereich } I_D = \frac{I_0}{1 - \left( \frac{U_D}{U_{BD}} \right)^2}.$$

$$I_0 = -0,1 \mu\text{A}.$$

	$I_S$	$U_{BD}$
Germanium -Diode	$10^{-9} \text{ A}$	40 V



**Lösung:**

Gegeben sind:

$I_D$ : Strom durch die Diode

$U_D$ : Spannung an der Diode

$I_S$ : Sättigungsstrom, maximaler Strom in Sperrichtung vor dem Durchbruch

$U_T$ : Temperaturspannung

Berechnung der Germanium-Diode:

Beispielrechnung für den Sperrbereich mit  $U_D = -35 V$ :

$$I_D = \frac{I_0}{1 - \left(\frac{U_D}{U_{BD}}\right)^2} = \frac{-0,1 \mu A}{1 - \left(\frac{-35 V}{40 V}\right)^2} = \frac{-0,1 \mu A}{1 - 0,7656} = -0,427 \mu A = -0,000427 mA$$

Beispielrechnung für den Durchlassbereich mit  $U_D = 0,4 V$ :

$$I_D = I_S \cdot \left( e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1 \right) = 10^{-9} A \cdot \left( e^{\frac{0,4 V}{25 mV}} - 1 \right) = 10^{-6} mA \cdot \left( e^{0,025 V} - 1 \right) = 8,89 mA$$

Wertetabelle:

Sperrbereich	
$I_D$ in mA	$I_D$ in mA
-38	-0,001026
-35	-0,000427
-30	-0,000229
-25	-0,000164
-20	-0,000133
-10	-0,000107
0	-0,0001

Durchlassbereich	
$I_D$ in mA	$I_D$ in mA
0	0
0,2	0,002980
0,25	0,022025
0,3	0,162754
0,35	1,202603
0,4	8,886110
0,45	65,65997

Diagramm:

