

Einführung in die Elektrotechnik

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp)

(Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)

10.09.2015

Allgemeine Hinweise:

- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet. Begründen Sie Ihre Annahmen und erläutern Sie, wenn Sie Zwischenschritte auslassen konnten.
- Wenn Sie Funktionen eines programmierbaren Taschenrechners (GTR) benutzen (z.B. Umrechnung kartesische Koordinaten in Exponentialform, Lösen einer quadratischen Gleichung, etc.), so kennzeichnen Sie dies bitte in Ihrer Lösung.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit Ersatzwerten weiterführen.
- Verwenden Sie für Ihre Lösungen die extra ausgeteilten Lösungsblätter.
- Wenn der vorgegebene Platz in den Lösungsblättern nicht ausreicht, dann vermerken Sie dies innerhalb des Lösungsfeldes der entsprechenden Teilaufgabe und verwenden Sie ein zusätzliches Blatt, beschriftet mit Namen und Matrikelnummer.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.
- Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) mit innenliegenden Lösungsblättern und ggf. noch zusätzlich beschriebenen Blättern ab. Die Aufgabenblätter selbst bitte nicht mit abgeben

Aufgabe 1: Komplexe Wechselstromrechnung **(20 Punkte)**

Die in Bild 1.1 dargestellte Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannung mit dem Effektivwert U_0 und der Frequenz f betrieben. Nachfolgend soll das Verhalten der Schaltung in Abhängigkeit der Bauteile und ihrer Werte berechnet werden.

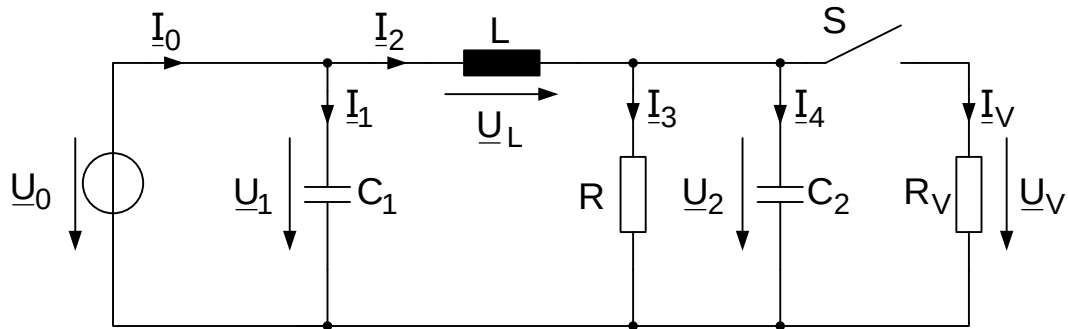


Bild 1.1: Ersatzschaltbild der Schaltung

Generell gilt:

- Stellen Sie Endergebnisse mit komplexen Zahlen in kartesischer Schreibweise dar, also Realteil + $j \cdot$ Imaginärteil!
- Die Aufgabenteile 1.1 bis 1.3 können unabhängig voneinander bearbeitet werden.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Frequenz der Spannungsquelle:	$f = 50\text{Hz}$
Blindwiderstand der Spule:	$X_L = 50\Omega$
Blindwiderstände der Kondensatoren:	$X_{C1} = 100\Omega$ $X_{C2} = 50\Omega$
Ohm'scher Widerstand:	$R = 50\Omega$

Aufgabe 1.1: Spannungen und Ströme (9 Punkte)

Der Schalter S ist vorerst geöffnet, d.h. $\underline{I}_V = 0 \text{ A}$. Berechnen Sie für $\underline{U}_0 = 100 \text{ V} + j \cdot 0 \text{ V}$:

- die Induktivität L und die Kapazität C_2 .
- die komplexen Impedanzen
 - $\underline{Z}_{RC}$ (bestehend aus R und C_2)
 - $\underline{Z}_2$ (bestehend aus R, C_2 und L)
- die Ströme $\underline{I}_0$, $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$.
- die Phasenverschiebung φ zwischen dem Strom $\underline{I}_0$ und der Spannung $\underline{U}_0$.
- die Amplitude $\hat{u}_2$ der Spannung $\underline{U}_2$.

Aufgabe 1.2: Zeigerdiagramm (3 Punkte)

Der Schalter S ist weiterhin geöffnet, d.h. $\underline{I}_V = 0 \text{ A}$.

- Vervollständigen Sie auf dem Lösungsblatt das qualitative Zeigerdiagramm für die in Bild 1.1 dargestellte Schaltung so, dass alle eingezeichneten Spannungen und Ströme enthalten sind.

Aufgabe 1.3: Schein-, Wirk- und Blindleistung (8 Punkte)

Der Schalter S sei nun geschlossen, sodass ein Strom durch den Verbraucher mit $R_V = 25 \Omega$ fließen kann. Damit am Verbraucher eine Spannung mit dem Betrag $U_V = |\underline{U}_V| = 50 \text{ V}$ anliegt, wird der Betrag der Spannungsquelle auf $U_0 = |\underline{U}_0| = 150 \text{ V}$ geändert.

- Welche Wirkleistung P_0 muss die Quelle liefern?
- Berechnen Sie die Ersatzadmittanz $\underline{Y}_3$ von R, C_2 und R_V .
- Welche Blindleistung Q_L wird in der Spule umgesetzt?
- Welche Blindleistung Q_0 muss die Quelle liefern?
- Welchen Blindwiderstand müsste der Kondensator C_1 haben, damit die Quelle keine Blindleistung mehr liefern muss?

Aufgabe 2: Einschwingvorgänge **(20 Punkte)**

Im nachfolgenden Bild 2.1 ist eine Schaltung gegeben, in welcher bis zu fünf Widerstände (R_1 bis R_5) sowie die Spule L über einen idealen Schalter S an eine ideale Gleichspannungsquelle U_0 angeschlossen werden können.

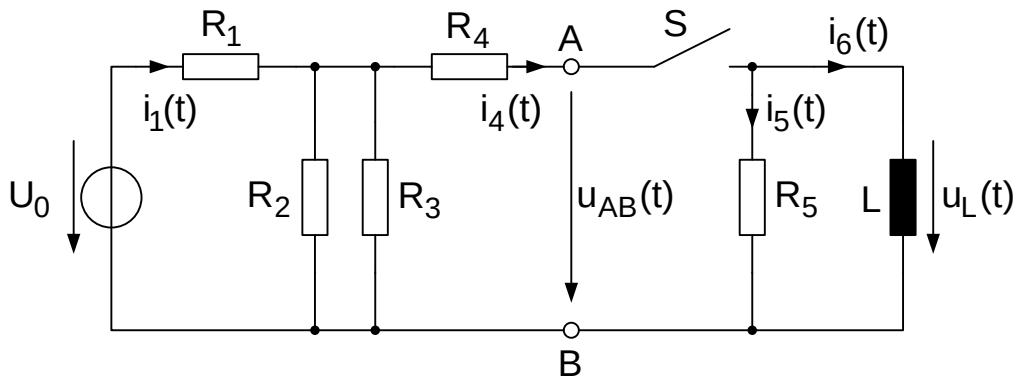


Bild 2.1: Schaltung mit Widerständen und einer Spule

Von dieser Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungsquelle: $U_0 = 180\text{ V}$

Widerstände: $R_1 = 18\Omega$ $R_2 = 10\Omega$ $R_3 = 90\Omega$ $R_4 = 24\Omega$

Aufgabe 2.1: Netzumformung (5 Punkte)

Der Schaltungsteil links der Klemmen A und B aus Bild 2.1 soll zur Vereinfachung der folgenden Berechnungen durch eine entsprechende Ersatzspannungsquelle mit dem Innenwiderstand R_e dargestellt werden.

- Vervollständigen Sie das Ersatzschaltbild (ESB) auf dem Lösungsblatt mit der Ersatzspannungsquelle.
- Bestimmen Sie die Spannung U_e und den Widerstand R_e der Ersatzspannungsquelle.
- Wie groß wird der Strom $i_4(t)$, wenn die Klemmen A-B kurzgeschlossen werden?

Völlig unabhängig von den Ergebnissen aus Aufgabe 2.1 wurde die Schaltung mit einer Ersatzstromquelle gemäß Bild 2.2 modelliert.

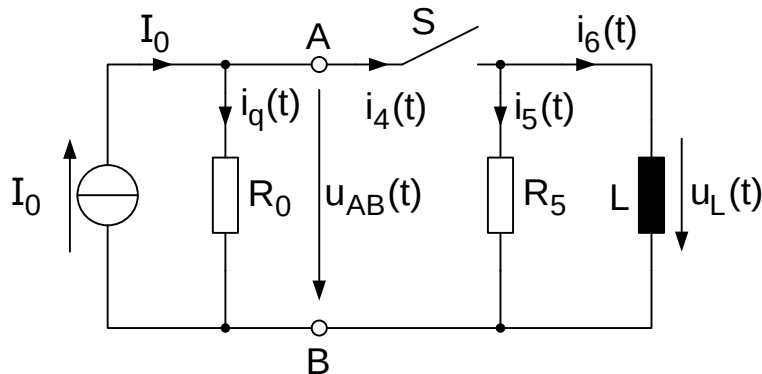


Bild 2.2: Ersatzschaltbild für Lade- und Entladevorgänge

Von dieser Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Stromquelle:	$I_0 = 3 \text{ A}$
Induktivität der Spule:	$L = 60 \text{ mH}$
Widerstände:	$R_0 = 30 \Omega \quad R_5 = 15 \Omega$

Aufgabe 2.2: Einschaltvorgang (15 Punkte)

Vor dem Einschaltzeitpunkt ist der Schalter S geöffnet und es fließt kein Strom durch die Spule L. Zum Zeitpunkt $t_{\text{ein}} = 0 \text{ s}$ wird nun der Schalter S geschlossen.

- Geben Sie die Beziehung der jeweiligen Spannungen und Ströme für die Bauelemente R_0 , R_5 sowie L an und stellen Sie für den Einschwingvorgang die Differentialgleichung (DGL) für $i_6(t)$ auf.
- Nutzen Sie den Ansatz $i_6(t) = a \cdot \exp\left(-\frac{t-t_{\text{ein}}}{\tau_1}\right) + b$ für $t_{\text{ein}} = 0 \text{ s}$ und berechnen Sie die Konstanten a , b sowie τ_1 .
- Geben Sie die zeitlichen Funktionen der Spannung $u_L(t)$ und der Ströme $i_q(t)$, $i_4(t)$ sowie $i_5(t)$ für $t > t_{\text{ein}}$ an.
- Welchen Wert strebt $i_6(t)$ für $t \rightarrow \infty$ an und zu welchem Zeitpunkt t_x werden 99% dieses Wertes erreicht?

Aufgabe 3: Kurz- und Verständnisfragen zu EET1 **(10 Punkte)**

Die folgenden Fragen werden wie folgt bewertet:

- 2 Punkte für eine richtige Antwort
- 0,5 Punkte für die Antwort „ich weiß es nicht“
- 0 Punkte bei keiner oder falscher Antwort

Kreuzen Sie Ihre Antwort auf dem entsprechenden Lösungsblatt an.

- a) Welche Ersatzkapazität C_e besitzen zwei in Serie geschaltete Kondensatoren C_1 und C_2 , wenn gilt: $C_1 = 2 \cdot C_2$?
- b) Welchen Wert kann die Phasenverschiebung zwischen Strom und der Spannung bei einer Impedanz annehmen, wenn die Impedanz aus einer Serienschaltung von Widerstand und Spule besteht?
- c) Wieviel Energie ist in einem Kondensator mit der Kapazität 70 mF bei einer Spannung von 5 V gespeichert?
- d) Wodurch werden nichtbetrachtete Spannungsquellen beim Überlagerungssatz ersetzt?
- e) Bei einem RLC-Reihenschwingkreis ist der Scheinwiderstand der gesamten Schaltung bei der Resonanzfrequenz

Aufgabe 4: Kurz- und Verständnisfragen zu EET2 **(10 Punkte)**

Die folgenden Fragen werden wie folgt bewertet:

- 2 Punkte für eine richtige Antwort
- 0,5 Punkte für die Antwort „ich weiß es nicht“
- 0 Punkte bei keiner oder falscher Antwort

Kreuzen Sie Ihre Antwort auf dem entsprechenden Lösungsblatt an.

- a) Eine Asynchronmaschine wird an einem Drehstromnetz mit der Frequenz $f_{\text{Netz}} = 50\text{Hz}$ betrieben. Welche Synchrondrehzahlen sind möglich?
- b) Kann eine Asynchronmaschine, die an einem Netz mit einer Netzfrequenz von $f_{\text{Netz}} = 60\text{ Hz}$ angeschlossen ist, eine Synchrondrehzahl von $n_{\text{sync}} = 1200\text{ min}^{-1}$ besitzen? Wenn ja, welche Polpaarzahl besitzt die ASM?
- c) Welche Aussage zu einem NPN-Transistor ist richtig?
- d) Wenn ein symmetrischer, dreiphasiger Verbraucher an ein Drehstromnetz angeschlossen wird, gilt für die Sternschaltung im Vergleich zur Dreiecksschaltung:
- e) Welcher Wert für die Open-Loop-Verstärkung eines realen Operationsverstärkers ist realistisch?

Aufgabe 5: Fremderregte Gleichstrommaschine **(20 Punkte)**

Eine fremderregte Gleichstrommaschine soll an einem Maschinenprüfstand untersucht werden. Der Ankerkreis der Maschine wird an einer realen Spannungsquelle betrieben.

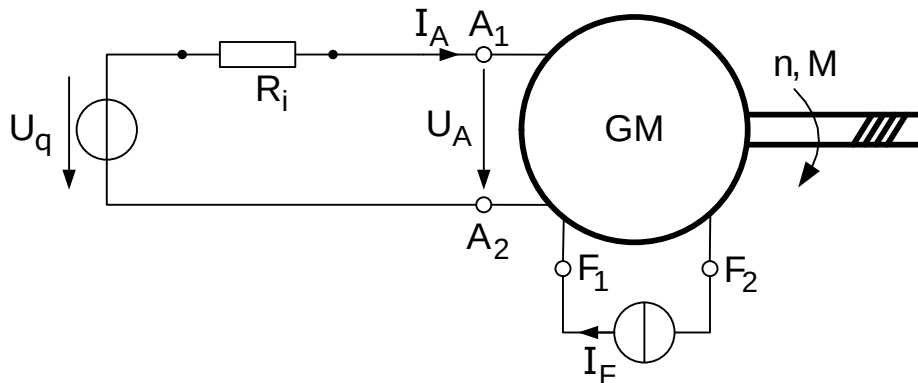


Bild 5.1: Gleichstrommaschine mit äußerer Beschaltung

Für den Arbeitspunkt 1 (AP1) sind folgende Daten gegeben:

Drehzahl:	$n_{AP1} = 2250 \text{ min}^{-1}$
Abgegebene Leistung	$P_{ab,AP1} = 11,7 \text{ kW}$
Induzierte Spannung	$U_{i,AP1} = 260 \text{ V}$
Ankerspannung	$U_{A,AP1} = 296 \text{ V}$

Weiterhin sind folgende Daten bekannt:

Erregerstrom (konstant):	$I_F = 6 \text{ A}$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 2 \Omega$
Innenwiderstand der Spannungsquelle	$R_i = 200 \text{ m}\Omega$

Vereinfachungen, die angenommen werden dürfen:

- Es dürfen stets stationäre Betriebsverhältnisse angenommen werden, d.h. alle Größen der GM sind Gleichgrößen.
- Reibung und Eisenverluste dürfen vernachlässigt werden.

Aufgabe 5.1: Allgemein (2 Punkte)

- Nennen Sie je einen Vor- und Nachteil einer fremderregten Gleichstrommaschine gegenüber einer permanenterregten Gleichstrommaschine.

Aufgabe 5.2: Elektrisches ESB (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild der gesamten Anordnung aus Abbildung 5.1 in das Lösungsblatt ein. Tragen Sie alle Strom- und Spannungszählpfeile ein. Zeichnen Sie dabei zunächst ALLE Elemente mit ein.
- Kennzeichnen Sie diejenigen Elemente, welche in der weiteren Rechnung nicht berücksichtigt werden müssen und begründen Sie, warum diese vernachlässigbar sind.

Aufgabe 5.3: Maschinendaten (7 Punkte)

Im Folgenden sollen die Maschinenparameter anhand der gegebenen Daten im AP1 ermittelt werden. Berechnen Sie:

- die Maschinenkonstante $c \cdot \Phi$
- den Ankerwiderstand R_A
- die in AP1 angelegte Spannung $U_{q,AP1}$

Aufgabe 5.4: Nennbetrieb (7 Punkte)

Im Nennbetrieb liefert die Spannungsquelle einen Strom von $I_{A,N} = 52 \text{ A}$ bei $U_{q,N} = 380 \text{ V}$.

Berechnen Sie die Werte der folgenden Größen im Nennbetrieb:

- Nenndrehmoment M_N
- Abgegebene Leistung $P_{ab,N}$
- Wirkungsgrad der gesamten Anordnung η_N

Aufgabe 6: OP-Schaltungen und Zenerdiode (20 Punkte)

Ein Sensor soll auf einen Maximalwert überwacht werden. Der Wert des Sensors wird durch die gesteuerte Stromquelle i_m repräsentiert.

Das Stromsignal wird im Schaltungsteil 1 durch den Widerstand R_m in ein Spannungssignal u_m gewandelt und soll anschließend verstärkt werden.

Der Schaltungsteil 2 erzeugt eine Referenzspannung.

Die Schaltungsteile 3 und 4 dienen dem Vergleich des Messsignals mit der Referenz und einer Anzeige durch eine Leuchtdiode (LED).

In Bild 6.1 ist die komplette Schaltung dargestellt.

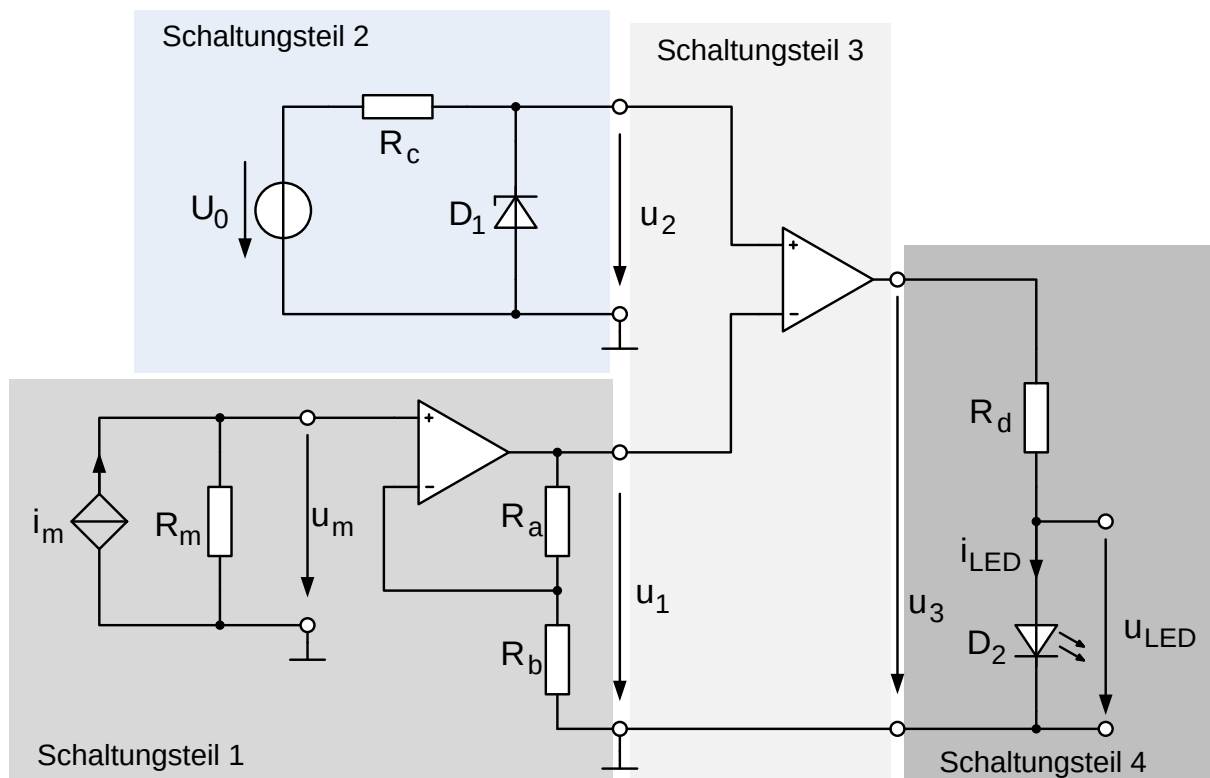


Bild 6.1: Zu untersuchende Schaltung

Von der Schaltung ist folgendes bekannt:

Versorgungsspannung: $U_0 = 15\text{ V}$

Widerstände: $R_m = 40\ \Omega$

$R_d = 1000\ \Omega$

Signalstromquelle:

Wertebereich der Signalstromquelle: $i_m = 4\text{ mA} \dots 20\text{ mA}$

Zenerdiode D1: (Werte des linearisierten ESB)

Zenerspannung $U_{Z0} = 10\text{ V}$

Dynamischer Zenerwiderstand $R_{DZ} = 0\ \Omega$

Maximal erlaubte Verlustleistung $P_{Z,\text{max}} = 0,25\text{ W}$

Alle Operationsverstärker

Maximale Ausgangsspannung $U_{OP,\text{max}} = +15\text{ V}$

$U_{OP,\text{min}} = -15\text{ V}$

Ansonsten dürfen die OPs als ideal angenommen werden.

Leuchtdiode D2

Die Strom-Spannungs-Kennlinie ist auf dem Lösungsblatt zur entsprechenden Teilaufgabe gegeben.

.

Aufgabe 6.1: Schaltungsteil 1 (5 Punkte)

Durch die OP-Schaltung in der Signalaufbereitung (Schaltungsteil 1) soll gewährleistet werden, dass ein Sensorstrom von $i_m = 20\text{mA}$ einer Spannung $u_1 = +15\text{V}$ entspricht, also dass gilt: $u_1(i_m = 20\text{mA}) = +15\text{V}$

- Welche OP-Grundschialtung ist in dem Schaltungsteil 1 „Signalaufbereitung“ enthalten?
- Berechnen Sie die beiden Widerstände R_a und R_b unter der Nebenbedingung, dass gilt: $R_a + R_b = 10\text{k}\Omega$
- Berechnen Sie die Werte:
 - $u_1(i_m = 8\text{mA})$
 - $u_1(i_m = 4\text{mA})$

Aufgabe 6.2: Schaltungsteil 2 (5 Punkte)

- Zeichnen Sie das linearisierte ESB dieses Schaltungsteils. Achten Sie auf eine vollständige Beschriftung.
- Gesucht wird die Spannung u_2 in Abhängigkeit des Widerstands R_c , also $u_2(R_c)$. Berechnen oder begründen Sie Ihr Ergebnis. Setzen Sie für alle gegebenen oder bereits berechneten Größen die Zahlenwerte ein.
- Berechnen Sie den Wert für den Widerstand R_c , für welchen in der Zenerdiode genau die maximal erlaubte Verlustleistung auftritt.

Verwenden Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis aus Aufgabe 6.2) für alle folgenden Teilaufgaben für die Spannung am Ausgang der Referenzspannungserzeugung den konstanten Wert $u_2 = 10\text{V}$.

Aufgabe 6.3: Schaltungsteil 3 - Komparatorstufe (2 Punkte)

- Stellen Sie die Abhängigkeit zwischen den Spannungen u_1 und u_3 grafisch dar. Verwenden Sie das vorbereitete Diagramm auf dem Lösungsblatt und achten Sie auf eine vollständige Beschriftung.

Aufgabe 6.4: Schaltungsteil 4 - LED-Stufe (5 Punkte)

Der Strom durch die LED soll grafisch bestimmt werden. Die Strom-Spannungs-Kennlinie der LED ist im Lösungsblatt bereits eingezeichnet. Gesucht wird jeweils der Strom durch die LED für die beiden Arbeitspunkte AP1 und AP2, mit:

$$i_{m,AP1} = 4\text{mA} \qquad \text{sowie} \qquad i_{m,AP2} = 20\text{mA}$$

- Geben Sie $u_{3,AP1}$, sowie $u_{3,AP2}$ an.
- Zeichnen Sie für den AP1 die Arbeitsgerade AG1, die zur Bestimmung des Stromes $i_{LED,AP1}$ benötigt wird, in das Diagramm im Lösungsblatt ein und lesen Sie $i_{LED,AP1}$ ab.
- Zeichnen Sie für den AP2 die Arbeitsgerade AG2, die zur Bestimmung des Stromes $i_{LED,AP2}$ benötigt wird, in das Diagramm im Lösungsblatt ein und lesen Sie $i_{LED,AP2}$ ab.

Aufgabe 6.5: Ersatz für die Komparatorstufe (3 Punkte)

Das Umschaltverhalten der Komparatorstufe soll um eine Hysterese erweitert werden.

- Welche OP-Schaltung kann verwendet werden?
- Zeichnen Sie die Schaltung!