Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Biomedizinische Technik

Prof. Dr. rer. nat. O. Dössel
Kaiserstr. 12 / Geb. 30.33
Tel.: 0721 / 608-42650

M.Sc. S. Schuler
M.Sc. M. Kircher
Kaiserstr. 12 / Geb. 30.33
Tel.: 0721 / 608-42751

Lineare Elektrische Netze

Matlab-Aufgabe

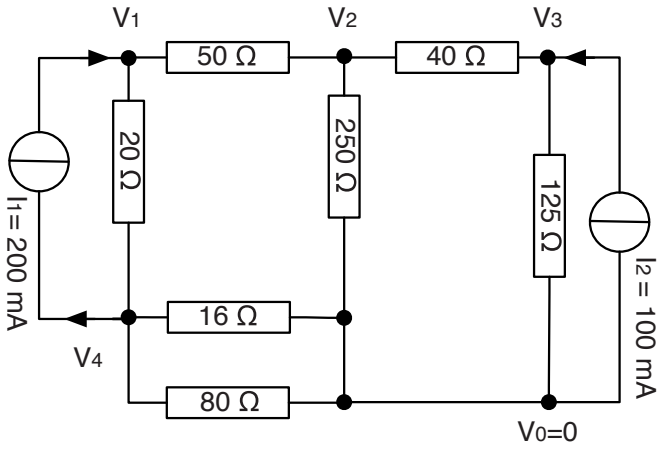
Die maximale Punktzahl dieser Aufgabe entspricht 3% der Gesamtpunktzahl der Endnote im Fach Lineare Elektrische Netze

Sie erhalten die Matlab-Aufgaben ab Montag, den 14. November 2016 als Download in ILIAS. Danach haben Sie bis Freitag, den 25. November 2016 09:30 Uhr Zeit zur Bearbeitung. ***Später eintreffende Aufgaben werden nicht gewertet! Die Eidesstattliche Erklärung muss auch unbedingt unterschrieben werden!*** *Die Aufgaben können am 25.11.2016 im Anschluss an die Vorlesung beim Übungsleiter abgegeben werden. Die Dokumente müssen* ***geheftet*** *(tackern genügt) und mit Deckblatt (Seite 1, enthält* ***Namen, Martrikelnummer, RZ-Account und Eidesstattliche Erklärung****) versehen sein. Wir werden keinen Tacker o.ä. am genannten Termin dabei haben.*

Zur Bearbeitung der Aufgaben können die Rechner im Rechenzentrum (RZ) verwendet werden. Für Studenten der Vorlesung LEN sind der A- und C-Pool im RZ montags von 13:00 Uhr bis 15:30 Uhr und der A-, H- und I-Pool mittwochs von 08:45 Uhr bis 11:15 Uhr reserviert. Zu allen anderen Zeiten können nicht besetzte Rechner im RZ ebenfalls verwendet werden. Die Matlab-Software kann, muss aber nicht auf den Rechnern in anderen Poolräumen installiert sein.

Am Mittwoch, den 16. November um 14:00 Uhr findet im Daimler-Hörsaal eine Matlab-Übung statt. Dort wird eine grundlegende Einführung in Matlab gegeben. Am Montag, den 21. November 2016 zwischen 13:00 Uhr und 15:30 Uhr stehen in den Poolräumen A und C Tutoren für offene Fragen und Hilfe zur Verfügung. Am Mittwoch, den 23. November 2016 zwischen 08:45 Uhr und 11:15 Uhr stehen in den Poolräumen A, H und I Tutoren für offene Fragen und Hilfe zur Verfügung.

Aufgabe 1



Führen Sie mit Matlab und der Matrix-Schreibweise des formalisierten Knotenpunkt-Potential-Verfahrens eine Netzwerkanalyse des oben gezeigten Netzwerks durch.

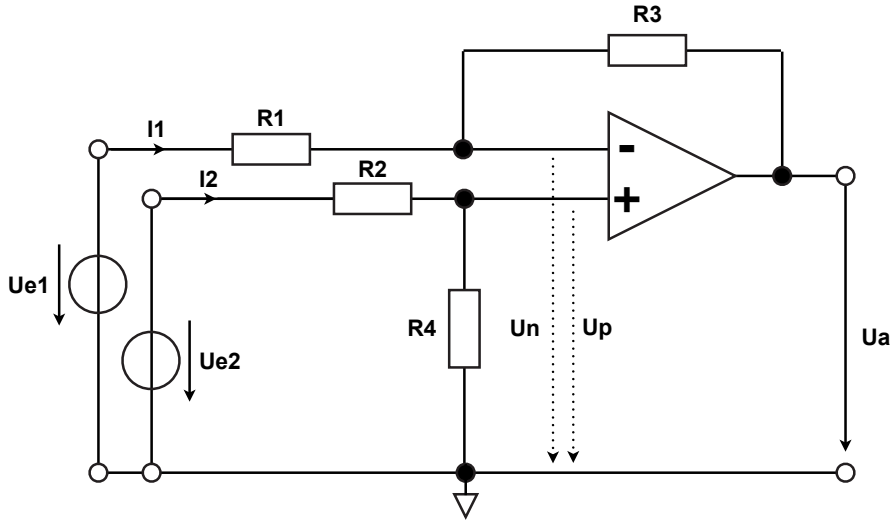
Gehen Sie wie folgt vor:

- Erstellen Sie ein neues Skript und nennen Sie es `KPPV.m`.
- Legen Sie darin die Matrix `A` mit dem Befehl `zeros` an und füllen Sie diese mit den richtigen Leitwerten. Achten Sie darauf, dass alle Widerstände im Code erkennbar bleiben (z.B. `1/20` für 20 Ω).
- Legen Sie einen Spaltenvektor `I` an und tragen Sie die Quellströme ein.
- Berechnen Sie unter Verwendung der erstellten Matrix `A` und des Vektors `I` einen Vektor `V`, der die fehlenden Knotenpotentiale $V_1 ... V_4$ enthalten soll.
- Geben Sie am Ende Ihres Skripts die Knotenpotentiale mit dem Befehl `display` aus. Es soll beim Ausführen des Skriptes nur der Vektor mit den Knotenpotentialen im Command-Window ausgegeben werden.

Zeigen Sie in der Ausarbeitung den Source Code und die Ausgabe des Skriptes.

Aufgabe 2

Gegeben sei der folgende Differenzverstärker:



(a) Stellen Sie die Übertragungsfunktion der gegebenen Schaltung auf (mit Herleitung). Nehmen Sie an, es handele sich um einen *idealen* Operationsverstärker.

(b) Welche Beziehung muss für die 4 Widerstände *allgemein* gelten, damit die Übertragungsfunktion der Schaltung die Form $U_a = K \cdot (U_{e2} - U_{e1})$ annimmt und somit nur die Differenz der Eingangsspannungen verstärkt wird. Begründen Sie.

(c) Schreiben Sie in Matlab eine Funktion
`Ua = idealerDiffVerst(Ue1,Ue2,R1,R2,R3,R4),`
welche die Ausgangsspannung in Abhängigkeit der beiden Eingangsspannungen und den 4 Widerständen nach der Formel aus (a) berechnet. Die übergebenen Widerstandswerte sollen von der Funktion unverändert genutzt werden.
Dokumentieren Sie Ihre Funktion so, dass beim Aufrufen der Hilfe zur Funktion mit `help idealerDiffVerst` folgendes im Command-Window erscheint:

```
Function idealerDiffVerst
Geschrieben von "Ihr Name" am 16.11.2016
Nutzung: Ua = idealerDiffVerst(Ue1,Ue2,R1,R2,R3,R4);
Ue1, Ue2, Ua: Vektoren der Spannungen
R1, R2, R3, R4: Skalare Widerstandswerte
```

Zeigen Sie in der Ausarbeitung den Source Code der Funktion und die im Command-Window angezeigte Hilfe.

(d) Schreiben Sie ein Matlab-Skript namens `plotDiff.m`, das die Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Eingangsspannungen berechnet und plottet. Es sei:

$$U_{e1}(t) = 1\,\mathrm{V} \cdot \sin(2\pi \cdot 10\,\mathrm{Hz} \cdot t) \qquad R_1 = R_2 = 200\,\Omega$$
$$U_{e2}(t) = 1\,\mathrm{V} \cdot \sin(2\pi \cdot 8\,\mathrm{Hz} \cdot t) \qquad R_3 = R_4 = 1\,k\Omega$$

Gehen Sie wie folgt vor:

- Erstellen Sie einen Zeitvektor `t` mit 1001 Elementen. Die Elemente sollen dabei in äquidistanten Abständen zwischen $t = 0$ und $t = 1$ Sekunde liegen.

- Berechnen Sie die Eingangsspannungen `Ue1` und `Ue2` an den Stützstellen im Vektor `t`. Berechnen Sie anschließend die Ausgangsspannung `Ua` mit Hilfe der Funktion aus (c). **Nutzen Sie hierfür keine `for`-Schleife.**
- Plotten Sie `Ue1`, `Ue2` und `Ua` über `t` in einem Fenster in drei getrennten, übereinander angeordneten Graphen. Plotten Sie die Kurven mit einer Linienstärke von 2 und variieren Sie die Linienart (gestrichelt, gepunktet, durchgezogen) zwischen den drei Plots. Versehen Sie jeden Graphen mit einer eindeutigen Überschrift und korrekten Achsenbeschriftungen!
- Plotten Sie in dem Graphen in welchem U_a dargestellt wird zusätzlich in rot die Spannung:

  $$U(t) = 10\,\mathrm{V} \cdot \sin(2\pi \cdot 1\,\mathrm{Hz} \cdot t)$$

  Fügen Sie außerdem eine Legende mit den Einträgen „Schwebung“ und „Einhüllende“ hinzu.

Nutzen Sie zum Erzeugen der Plots ausschließlich Matlab-Befehle, nicht das User-Interface. Zeigen Sie in der Ausarbeitung den Source Code und die erzeugte Grafik.

Aufgabe 3

Um die Funktionsweise der Gegenkopplung besser zu verstehen, soll der Differenzverstärker aus Aufgabe 2 nun mit einem *nicht-idealen* Operationsverstärker „simuliert“ werden, der eine *endliche* Leerlaufverstärkung A besitzt. Gehen Sie jedoch davon aus, dass der Operationsverstärker eine beliebig große Ausgangsspannung bereitstellen kann.

(a) Begründen Sie, dass die Spannung am nichtinvertierenden Eingang U_p in Abhängigkeit von R_2, R_4 und U_{e2} gegeben ist durch:

$$U_p = \frac{R_4}{R_2 + R_4} \cdot U_{e2}$$

Begründen Sie weiterhin, dass sich die Spannung am invertierenden Eingang U_n in Abhängigkeit von R_1, R_3, U_{e1} und U_a ausdrücken lässt als:

$$U_n = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot (U_{e1} - U_a) + U_a$$

(b) Geben Sie an, wie die Differenzspannung U_d aus U_p und U_n berechnet wird. Geben Sie formelmäßig an, wie U_a von U_d und A abhängt, wenn der Operationsverstärker im Leerlauf, d.h. ohne Gegenkopplung betrieben wird.

(c) Nun soll in Matlab eine Funktion
`Ua = diffVerst(Ue1,Ue2,R1,R2,R3,R4,A)`
geschrieben werden, welche die Ausgangsspannung der gesamten Beschaltung als Differenzverstärker berechnet.

Gehen Sie wie folgt vor:

- Fügen Sie Ihrer Funktion mit `while` eine Endlosschleife hinzu. Diese Schleife soll dazu dienen, die Ausgangsspannung `Ua` aus dem Wert des vorherigen Schleifendurchlaufs `Ua_vorherig` iterativ zu berechnen. Initialisieren Sie `Ua_vorherig` vor der Schleife mit `0`.
- Berechnen Sie innerhalb der Schleife `Up` und `Un` gemäß den Formeln aus (a). In `Un` soll dabei `Ua_vorherig` als U_a eingehen.
  Berechnen Sie weiterhin `Ud` und `Ua` gemäß den Formeln aus (b).
- Lassen Sie `Ua` und `Ud` folgendermaßen im Command-Window ausgeben:

  `Ua = _____, Ud = _____`

  `Ua` soll dabei auf 4 und `Ud` auf 8 Nachkommastellen genau ausgegeben werden (nur für die Ausgabe runden!).
- Am Ende der Schleife soll geprüft werden, ob sich `Ua` und `Ua_vorherig` noch deutlich unterscheiden. Fragen Sie hierzu ab, ob der Absolutbetrag von `(Ua-Ua_vorherig)/Ua` einen Wert von 10^{-6} unterschreitet.
  Ist dies der Fall, soll die Schleife mit `break` verlassen werden.
  Andernfalls soll `Ua_vorherig` mit `Ua` aktualisiert werden. Verwenden Sie hierzu aus Stabilitätsgründen nicht direkt `Ua_vorherig = Ua`, sondern `Ua_vorherig = 1/A*Ua + (1-1/A)*Ua_vorherig`.

Zeigen Sie in der Ausarbeitung den Source Code der Funktion.

(d) Es sei $U_{e1} = 2\,\mathrm{V}$, $U_{e2} = 7\,\mathrm{V}$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 150\,\Omega$, $R_3 = 220\,\Omega$, $R_4 = 330\,\Omega$. Rufen Sie `diffVerst` mit diesen Parametern und nacheinander mit $A = 10^3$, 10^4, 10^5, und 10^6 auf. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit dem Ergebnis, das die Funktion `idealerDiffVerst` liefert. Wie wirkt sich eine kleinere Leerlaufverstärkung auf U_a und U_d aus? Zeigen Sie für die 4 Werte von A jeweils die gesamte Ausgabe in Ihrer Ausarbeitung.