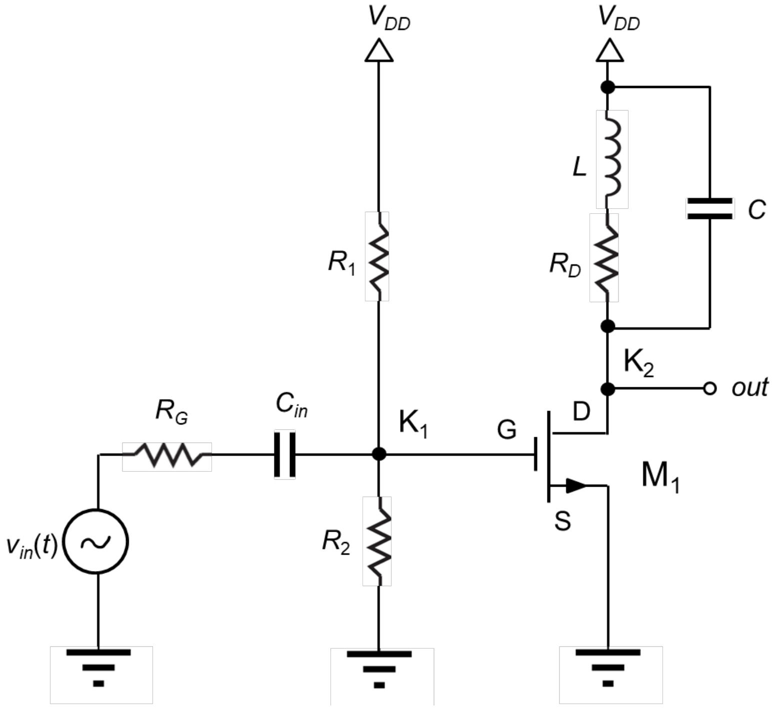
Prof. Dr.-Ing. V. Issakov
TU Braunschweig
Institut für CMOS Design

Prüfung Netzwerke

02.03.2022

Aufgabe 1

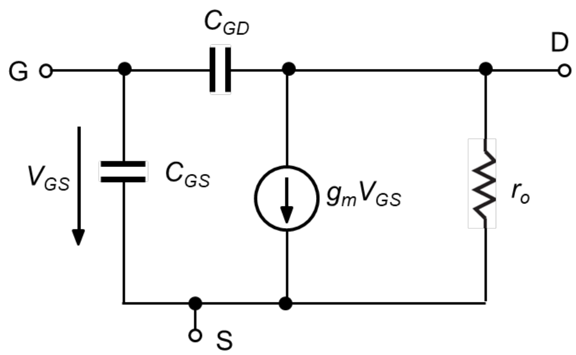
Gegeben sei das untenstehende Großsignalmodell, das aus einem NMOS-Transistor M_1 ($W = 60\ \mu m$, $L = 45\ nm$), vier linearen, zeitinvarianten Widerständen $R_1 = 200\ k\Omega$, $R_2 = 200\ k\Omega$, $R_G = 50\ \Omega$ und $R_D = 50\ \Omega$, einer linearen, zeitinvarianten Induktivität $L = 200\ pH$, zwei linearen, zeitinvarianten Kapazitäten $C = 1\ pF$ und $C_{in} = 10\ pF$, einer idealen Gleichspannungsquelle $V_{DD} = 1{,}2\ V$ und einer idealen ungesteuerten Kleinsignalspannungsquelle $v_{in}(t)$ mit einer Frequenz von 20 GHz und einer Spitzenspannung von 1 mV besteht.



a) Bestimmen Sie den DC-Arbeitspunkt der Schaltung mit Hilfe des beiliegenden Kennlinienfeldes von M_1.
In welchem Bereich arbeitet der Transistor M_1? (Hinweis: Ist $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$ oder $V_{DS} < V_{GS} - V_{TH}$ für $V_{TH} = 300\ mV$?)

Folgende Angaben betreffen die Unterpunkte b) bis d).

Das Kleinsignalverhalten des Transistors M_1 soll durch das untenstehende Kleinsignalersatzschaltbild beschrieben werden. Dieses Kleinsignalersatzschaltbild gelte für die Unterpunkte b) bis d). Es gelte: $r_o > 0$, $C_{GS} > 0$, $C_{GD} > 0$, $g_m > 0$.



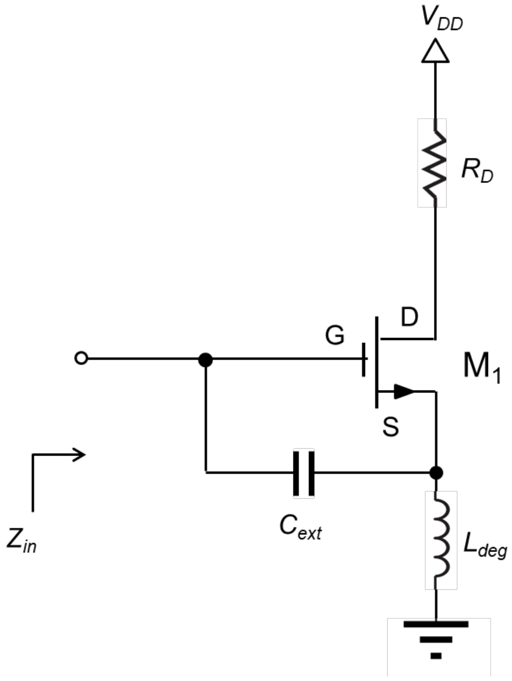
b) Bestimmen Sie mit Hilfe des Kennlinienfeldes g_m und r_o.

c) Für den Unterpunkt c) gelte $C_{in} \rightarrow \infty$, $R_1 \rightarrow \infty$, $R_2 \rightarrow \infty$, $R_G = 0$ und $R_L = 0$.

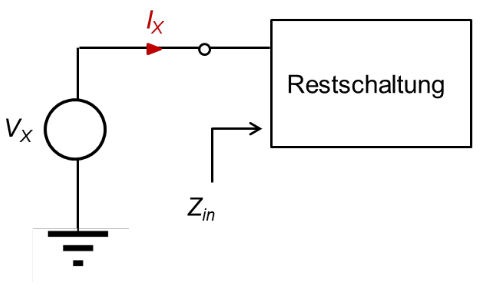
   i. Berechnen Sie $H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ analytisch.

   ii. Betrachten Sie den Nenner des Betrags der Übertragungsfunktion. Bei welcher Frequenz wird der Betrag des Nenners minimal?

d) Für diesen Unterpunkt gelte das untenstehende Netzwerkmodell, das aus dem NMOS-Transistor M_1, einem linearen, zeitinvarianten Widerstand $R_D > 0$, einer linearen, zeitinvarianten Induktivität $L_{deg} > 0$ und einer linearen, zeitinvarianten Kapazität $C_{ext} > 0$ besteht. Weiterhin gelte für Unterpunkt d) $r_o \rightarrow \infty$, $C_{GD} = 0$.

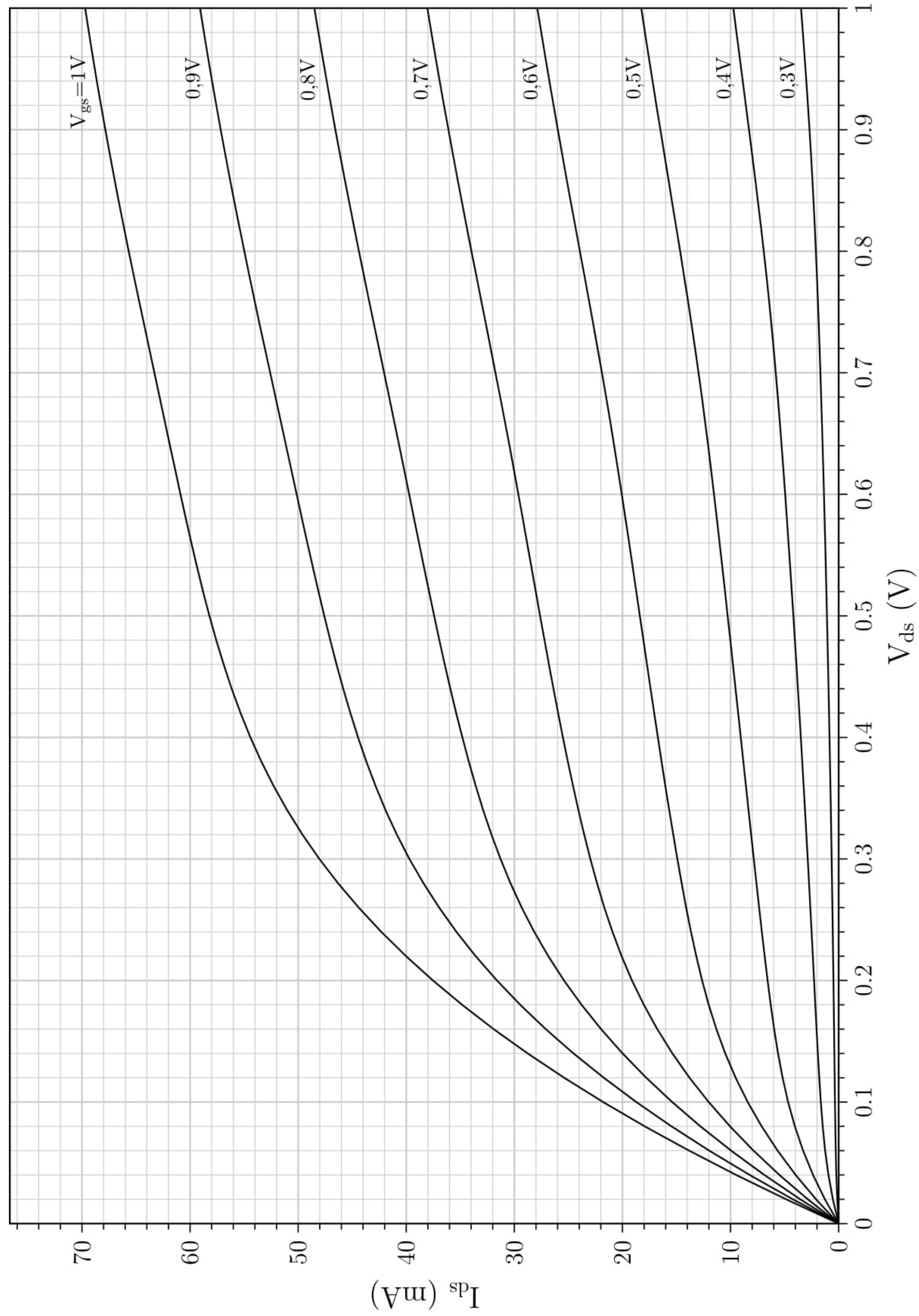


   i. Bestimmen Sie die Eingangsimpedanz Z_{in}.
   Hinweis: Legen Sie bei der Berechnung von Z_{in} eine Testquelle (Strom- oder Spannungsquelle) an.



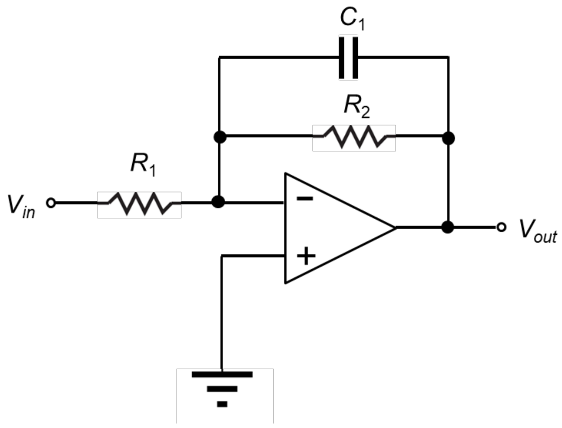
$$Z_{in} = \frac{V_X}{I_X}$$

   ii. Bestimmen Sie den Realteil der Eingangsimpedanz.


V_{gs}=1V
0,9V
0,8V
0,7V
0,6V
0,5V
0,4V
0,3V
I_{ds} (mA)
V_{ds} (V)
0
10
20
30
40
50
60
70
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1

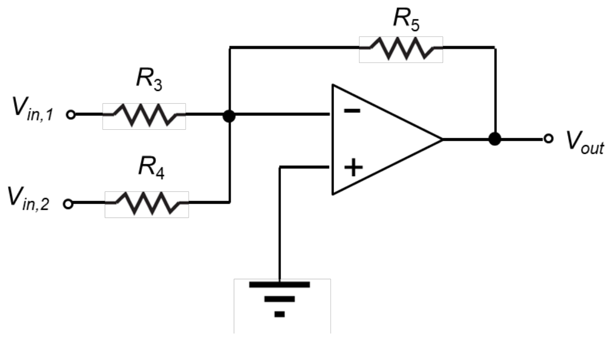
Aufgabe 2

a) Gegeben sei folgendes Netzwerkmodell, bestehend aus einem Operationsverstärker, zwei linearen, zeitunabhängigen Widerständen $R_1 > 0$, $R_2 > 0$ und einer linearen, zeitunabhängigen Kapazität $C_1 > 0$.



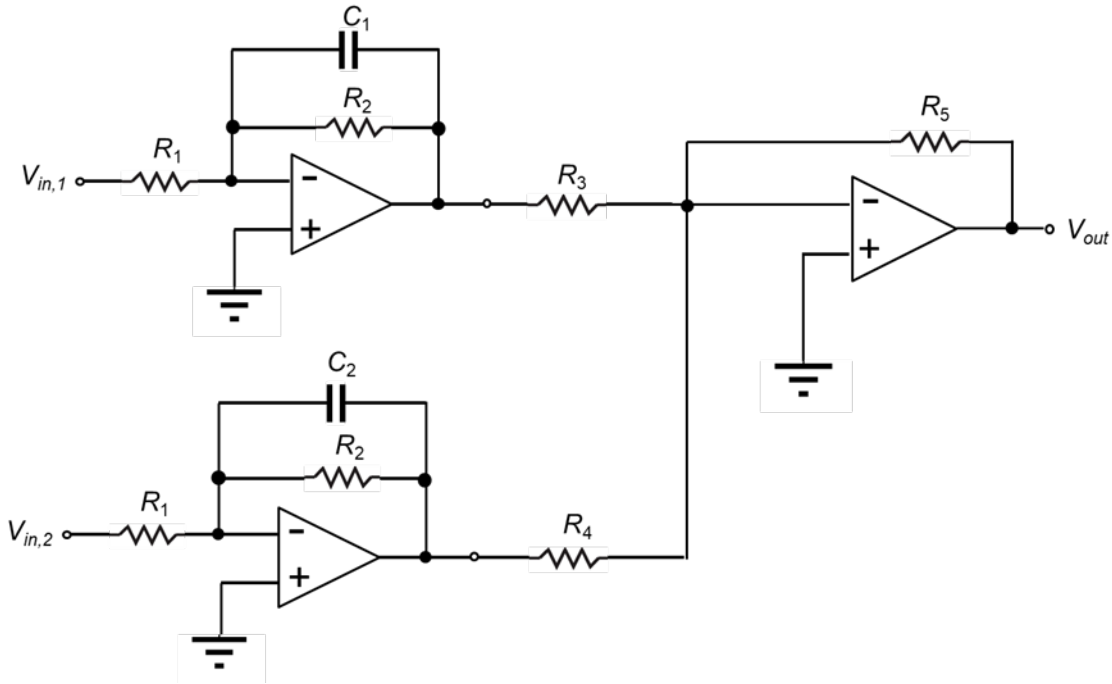
i. Bestimmen Sie $H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$.
ii. Welche Funktion hat R_2?
iii. Welche Funktion hat die Schaltung?

b) Gegeben sei folgendes Netzwerkmodell, bestehend aus einem Operationsverstärker und drei linearen, zeitunabhängigen Widerständen $R_3 > 0$, $R_4 > 0$ und $R_5 > 0$.



i. Berechnen Sie die Übertragungsfunktion.
ii. Welche Funktion hat die Schaltung?

c) Gegeben sei folgendes Netzwerkmodell, bestehend aus drei Operationsverstärkern, sieben linearen, zeitinvarianten Widerständen ($R_1 > 0$, $R_2 > 0$, $R_3 > 0$, $R_4 > 0$ und $R_5 > 0$) und zwei linearen, zeitinvarianten Kapazitäten $C_1 > 0$ und $C_2 > 0$.

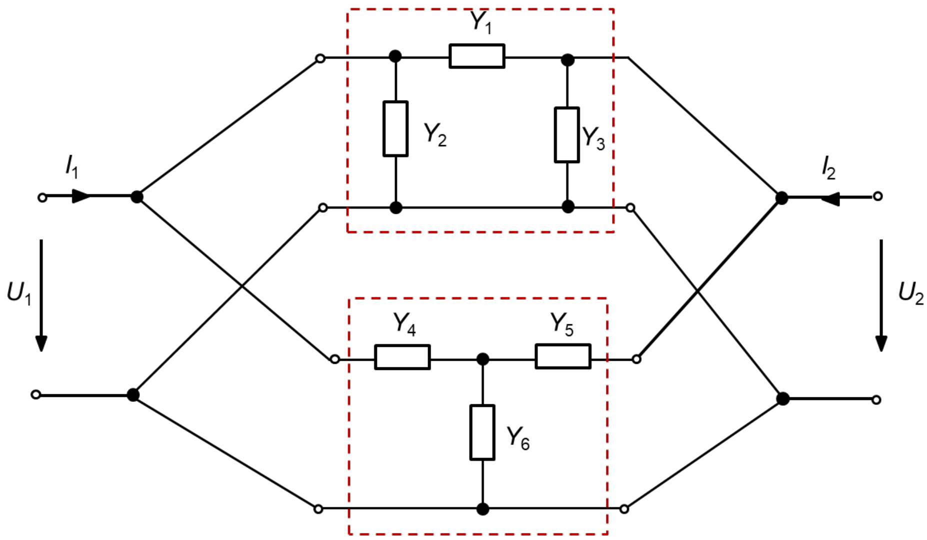


Berechnen Sie die Übertragungsfunktion.
Hinweis: Verwenden Sie die Ergebnisse aus den Unterpunkten a) und b).

Aufgabe 3

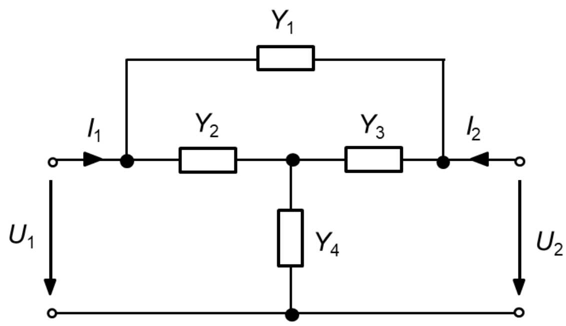
a) Gegeben sei folgendes Netzwerkmodell, das aus insgesamt sechs linearen, zeitunabhängigen Admittanzen $Y_i > 0$, $i = 1, \ldots, 6$ besteht.

Berechnen Sie die Admittanzmatrix dieses Netzwerkmodells.



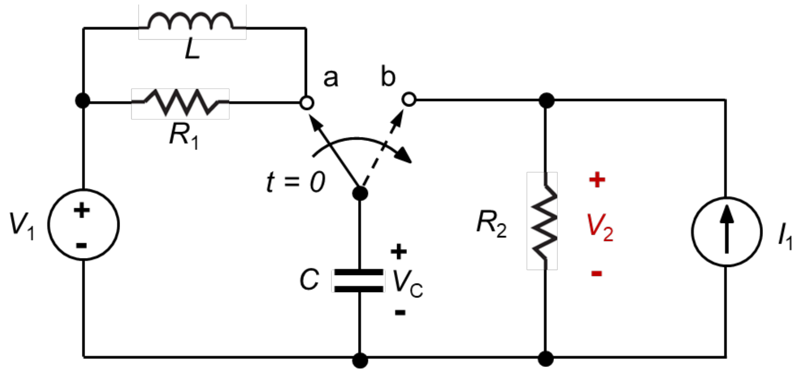
b) Gegeben sei folgendes Netzwerkmodell, das aus insgesamt vier linearen, zeitunabhängigen Admittanzen $Y_1 > 0$, $Y_2 > 0$, $Y_3 > 0$ und $Y_4 > 0$ besteht.

Berechnen Sie die Y-Parameter dieses Netzwerkmodells.



Aufgabe 4

Gegeben sei untenstehendes Netzwerkmodell, das aus zwei linearen, zeitunabhängigen Widerständen $R_1 > 0$ und $R_2 > 0$, einer linearen, zeitunabhängigen Kapazität $C > 0$, einer linearen, zeitunabhängigen Induktivität $L > 0$, einer Stromquelle I_1 und einer Spannungsquelle V_1 besteht. Ferner enthält das Netzwerkmodell einen Schalter, der bei $t = 0$ von Stellung a in Stellung b wechselt.
Nehmen Sie an, dass sich das Netzwerk für $t < 0$ im eingeschwungenen Zustand befindet. Ferner gelte $v_C(0^-) = v_C(0^+) = v_C(0)$.



a) Für diesen Unterpunkt gelte V_1 = konstant, I_1 = konstant.
Bestimmen Sie V_2 für alle Zeiten. Führen Sie alle Berechnungen im Zeitbereich durch. Vorgehen: Bestimmen Sie zuerst $v_C(0^-)$ und V_2 für $t < 0$ und im Anschluss daran V_2 für $t > 0$.

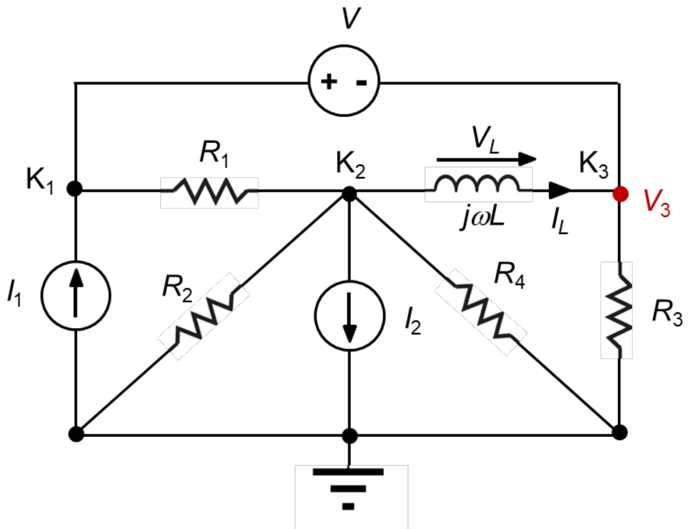
Betrachten Sie das Netzwerkmodell bei Unterpunkt b) und c) für t < 0. Weiterhin gelte für die beiden folgenden Unterpunkte $v_1(t) = V_0 \sin(2\omega_0 t)$.

b) Bestimmen Sie den Frequenzgang $H(j\omega) = \frac{V_C}{V_1}$ in der Form $H(j\omega) = \frac{P(j\omega)}{Q(j\omega)}$, wobei $P(j\omega)$ und $Q(j\omega)$ Polynome sind.

c) Es gelte $\omega_0^2 LC > 1$. Stellen Sie $v_C(t)$ mittels reeller Cosinusfunktionen und Phasenwinkel dar, wobei für die arctan-Funktion der Hauptwert benutzt werden soll:
$$-\frac{\pi}{2} \leq arctan \leq \frac{\pi}{2}$$
Stellen Sie insbesondere sicher, dass alle Phasenwinkel eindeutig bestimmt sind.

Aufgabe 5

Gegeben sei untenstehendes Netzwerkmodell, das aus vier linearen, zeitunabhängigen Widerständen $R_1 > 0$, $R_2 > 0$, $R_3 > 0$ und $R_4 > 0$, einer linearen, zeitunabhängigen Induktivität L > 0, zwei idealen festen Stromquellen I_1 und I_2 und einer idealen festen Spannungsquelle V besteht.



a) Führen Sie für das Netzwerkmodell die vorbereitenden Schritte für das Knotenpotentialverfahren durch. Machen Sie nur notwendige Netzwerktransformationen. Führen Sie die Netzwerktransformationen so aus, dass sich die Zweigspannungen der Zweige mit den Widerständen R_1, R_2 und R_4 **nicht** ändern. Geben Sie zu jeder Quellenverschiebung die vollständigen Rücktransformationsbeziehungen an.

b) Geben Sie das Gleichungssystem des Knotenpotentialverfahrens in Matrizenform an.

c) Bestimmen Sie die Spannung V_3 mit Hilfe des in Unterpunkt b) aufgestellten Gleichungssystems. Die Determinantenfunktion kann zur Darstellung der Lösung verwendet werden.

d) Betrachten Sie für diesen Unterpunkt das Netzwerk im Laplacebereich. Es gelte $i_L(0) = 0$. Für die Spannungsquelle gelte im Laplacebereich $V(s) = \frac{1}{s} V_0$. Weiterhin seien $I_1 = 0$ und $I_2 = 0$. Ferner gelte für diesen Unterpunkt $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$. Bestimmen Sie $v_3(t)$ unter Verwendung des Ergebnisses von c).