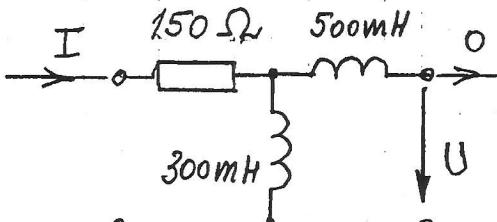
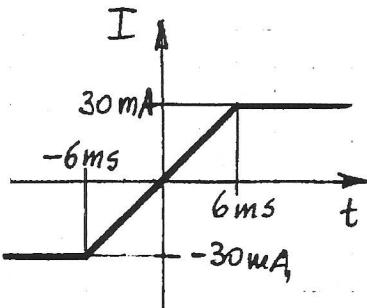
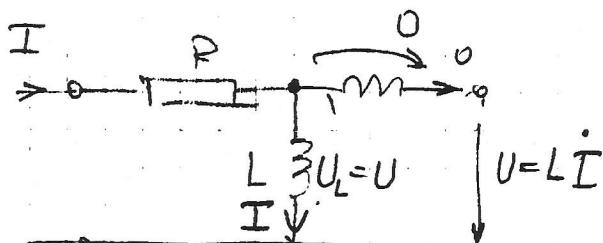


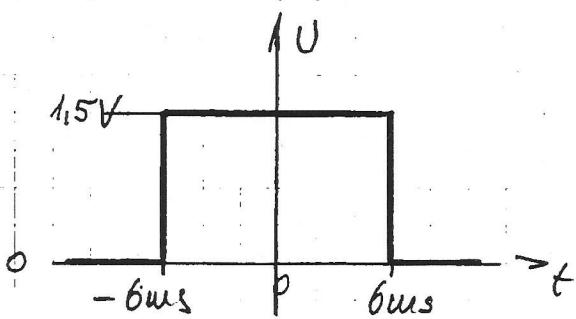
A2

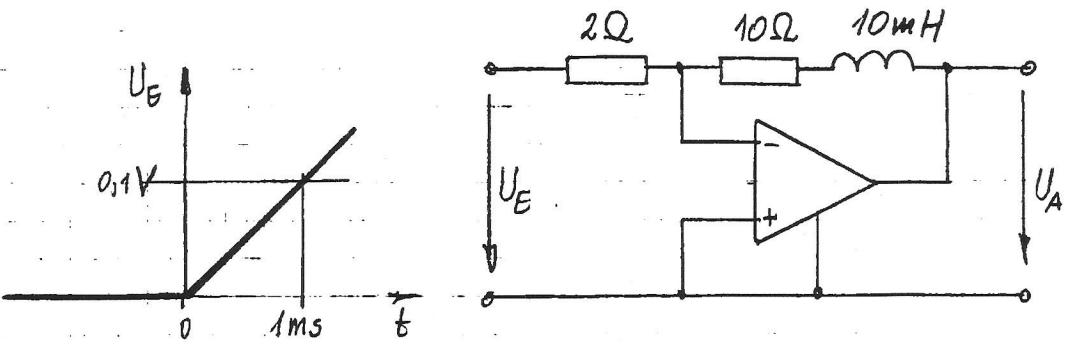


- Am Eingang oder rechts gezeichneten Schaltung wird der links angegebene Stromverlauf eingesetzt.  
Ermitteln und zeichnen Sie den Verlauf der sich daraus ergebenden Leerlauf-Ausgangsspannung U.

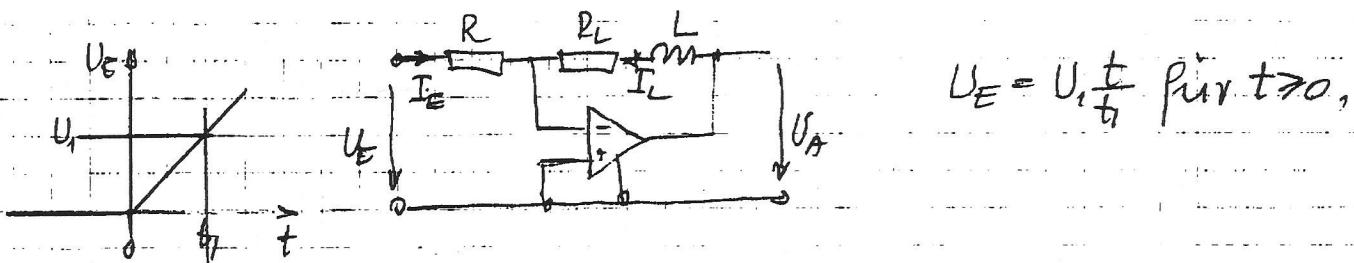


- $t < -6\text{ms}$ :  $\dot{I} = 0$ ,  $U = 0$ ;  
 $-6\text{ms} < t < 6\text{ms}$ :  $\dot{I} = \frac{30\text{mA}}{6\text{ms}} = 5\text{A/s}$ ,  $U = 0,3 \frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot 5 \frac{\text{A}}{\text{s}} = 1,5 \text{V}$ ;  
 $t > 6\text{ms}$ :  $\dot{I} = 0$ ,  $U = 0$ .





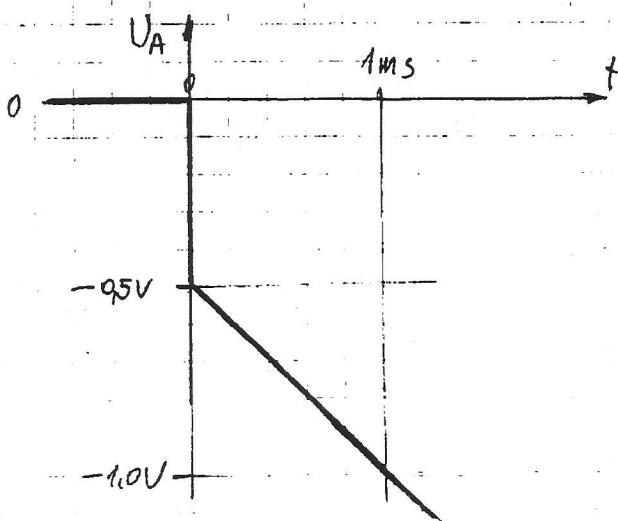
An die Schaltung mit einem idealen Operationsverstärker wird die angegebene, ramperförmige Spannung gelegt. Berechnen und zeichnen Sie den Zeitverlauf der Ausgangsspannung.



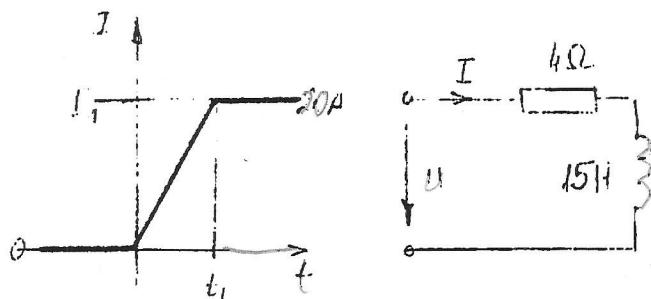
$$I_L = -I_E = -\frac{U_E}{R}$$

$$U_A = L \dot{I}_L + R_L I_L = -\frac{L}{R} \dot{U}_E + \frac{R_L}{R} U_E = -\frac{L}{R} \frac{U_1}{t_1} - \frac{R_L}{R} \frac{U_1 t}{t_1}$$

$$\text{d.h. } \frac{U_A}{U_1} = -\frac{L/R}{t_1} - \frac{R_L}{R} \cdot \frac{t}{t_1}, \quad \frac{U_A}{0.1V} = -5 - 5 \frac{t}{1ms}$$



(24)



Ein Homogenes System - ausnahmsweise durch die RL-Kreisreihenschaltung dargestellt - wird über eine Stromquelle erregt. Beim Einschalten soll die Stromstärke nach einer Rampenfunktion bis zum Endwert  $I_1$  hochgezogen werden. Wie groß muss die Anstiegszeit  $t_1$  mindestens sein, damit die Anschlussspannung  $U$  höchstens 300V nicht überschreitet?

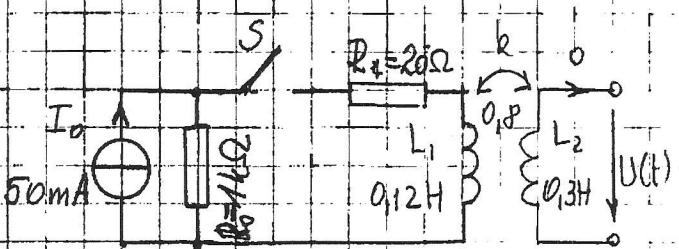
$$U = RI + LI' \quad , \text{ im Intervall } 0 < t < t_1 : I = I_1 t/t_1 ,$$

$$U = RI_1 t/t_1 + LI_1/t_1 \quad , \text{ ist maximal bei } t = t_1 \text{, d.h.}$$

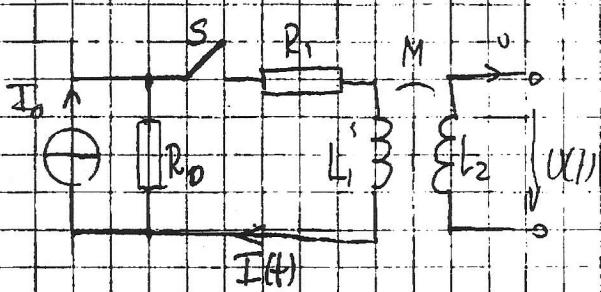
$$U_{\max} = RI_1 + LI_1/t_1 \quad \Rightarrow$$

$$t_1 = \frac{LI_1}{U_{\max} - RI_1} = \frac{15H \cdot 20A}{(300 - 4 \cdot 20)V} = 1,36 \text{ s} ,$$

Die Anstiegszeit muss also mindestens 1,36 s betragen. □



In den skizzierten Ersatzschaltungen mit einer Gleichstromquelle wird zum Zeitpunkt  $t = 0$  der Schalter S geschlossen. Bestimmen und zeichnen Sie den oben Verlauf der Leeraufspannung  $U(t)$ .



$$M = k \cdot L_1 \cdot L_2 ,$$

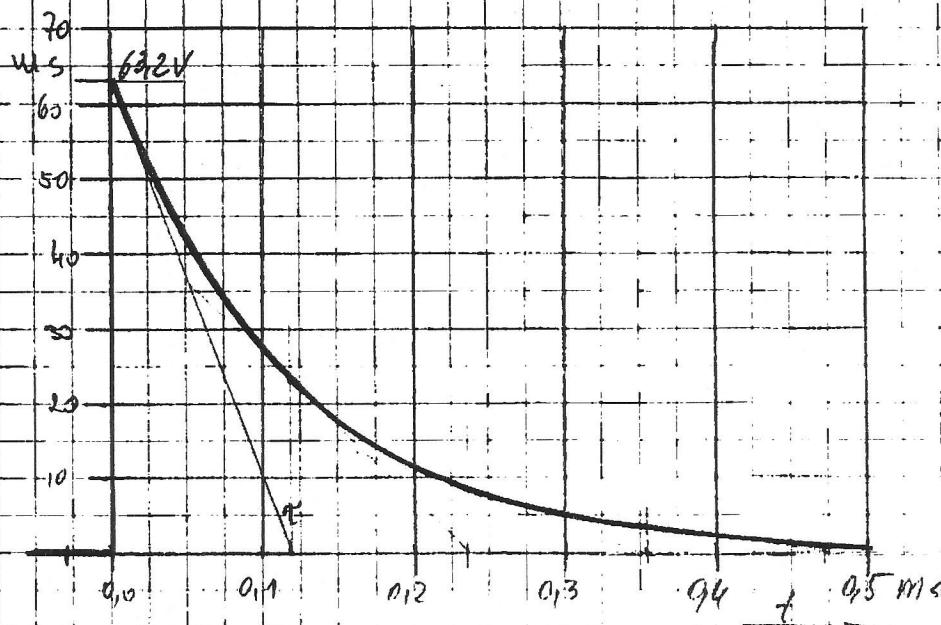
$$I(0+) = I(0-) = 0 ,$$

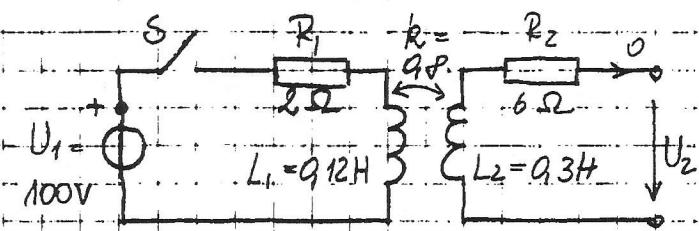
$$I(\infty) = I_0 \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_1} ,$$

$$T = \frac{L_1}{R_0 + R_1} = 0,118 \text{ ms} ; \quad 2$$

$$I(t) = I(\infty) (1 - e^{-t/T}) , \quad 2$$

$$U(t) = M \dot{I}(t) = \frac{M}{T} I(\infty) e^{-t/T} = \underbrace{k \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}}_{63,2 \text{ V}} R_0 I_0 e^{-t/T} \quad 2$$





Berechnen und zeichnen

für den Zeitverlauf der Leerlaufspannung  $U_2$  nach Schließen des Schalters  $S$

$$M = k \sqrt{L_1 L_2}, \quad I_1 = \frac{U_1}{R_1} (1 - e^{-t/\tau}), \quad \tau = \frac{L_1}{R_1} = 60 \text{ ms},$$

$$U_2 = M I_1 = M \frac{U_1}{R_1} \frac{R_1}{L_1} e^{-t/\tau} = k \frac{\sqrt{L_2}}{L_1} U_1 e^{-t/\tau} = 126,5 \text{ V} \cdot e^{-t/60}$$

$U_2$

150V

126,5V

100V

50V

0

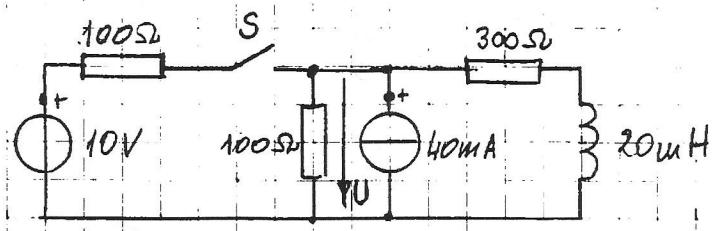
0,15

0,25

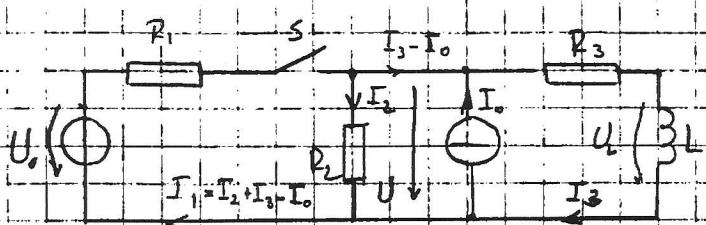
0,35

t

60ms



Der Schalter  $S$  ist zunächst über relativ lange Zeit geöffnet und wird zu einem Zeitpunkt  $t=0$  geschlossen. Bestimmen Sie den Zeitverlauf der Spannung  $U$  über die Spule - und Endwerte und die Zeitkonstante  $\Sigma$ . Zeichnen Sie den Zeitverlauf für  $-2 \leq t \leq 3\Omega$ .



$$t < 0: S \text{ offen}; U_0 = 0, U = (R_2 \parallel R_3) I_0 = 3,00 V, I_3 = \frac{U}{R_3} = 10 \text{ mA} ?$$

$$t = 0+: I_3 \text{ beim Schließen stetig}, U_0 = R_1(I_2 + I_3 - I_0) + R_2 I_2 = (R_1 + R_2) I_2 - R_1(I_0 - I_3)$$

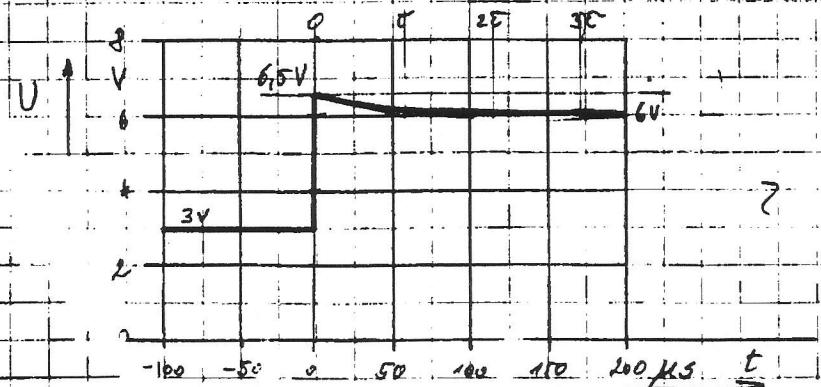
$$U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} [U_0 + R_1(I_0 - I_3)] = 6,50 V$$

$$t \rightarrow \infty: S \text{ geschlossen}, U_t = 0, I_1 = I_2 + I_3 - I_0 = \frac{U}{R_2 \parallel R_3} - I_0,$$

$$U_0 = U + R_1 I_1 = (1 + \frac{R_1}{R_2 \parallel R_3}) U - R_1 I_0, 2$$

$$U = \frac{U_0 + R_1 I_0}{1 + R_1 / R_2 \parallel R_3} = 6,00 V$$

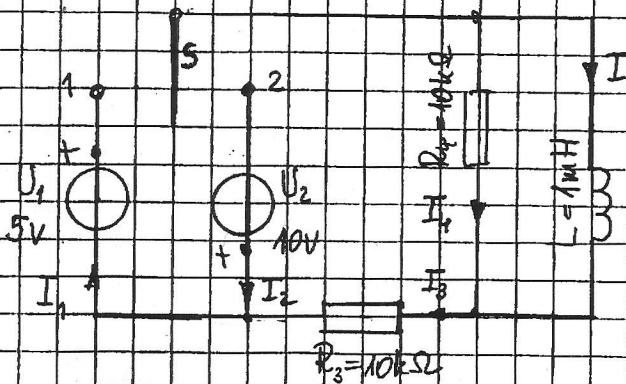
$$\Sigma = L / (R_3 + R_1 \parallel R_2) = 57,1 \mu s$$



(G2)

Die gesuchte Ersatzschaltung

enthaltet zwei lokale Gleichspan-

nungsquellen und eine Spule  
mit vernachlässigbarem Widerstand(i) Der Schalter S ist zunächst  
relative lange Zeit in Stellung  
Berechnen Sie die Stromstärken  
 $I_1, I_3, I_4$  und  $I_L$ .(ii) Dann wird S in Stellung 2 gebracht. Wie groß müssen  
 $I_2, I_3, I_4$  und  $I_L$  nunmehr sein nach dem Schalten?(iii) Berechnen Sie schließlich die Werte  $I_2, I_3, I_4$  und  $I_L$   
wenn sich der Schalter bereits relative lange in Stellung 2  
befindet.

$$(i) \quad I_4 = 0, \quad I_1 = I_3 = I_L = \frac{U_1}{R_3} = 0,5 \text{ mA}.$$

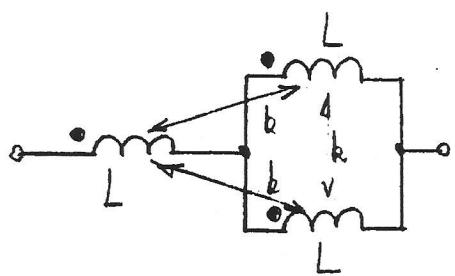
$$(ii) \quad I_L = 0,5 \text{ mA}, \quad U_2 + R_4 I_4 + R_3 (I_4 + I_3) = 0$$

$$\Rightarrow I_4 = -\frac{U_2 + R_3 I_3}{R_3 + R_4} = -0,75 \text{ mA},$$

$$I_2 = -I_3 = 0,25 \text{ mA}.$$

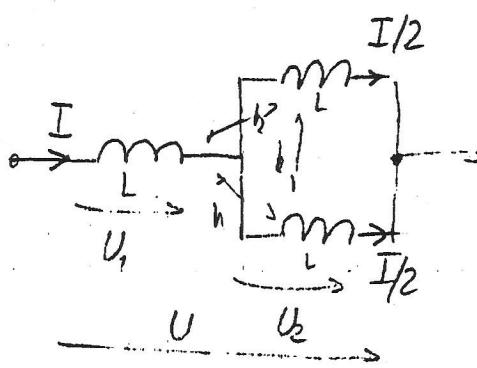
$$(iii) \quad I_4 = 0, \quad I_2 = -I_3 = -I_L = 1 \text{ mA}.$$

TD



Drei gleiche Spulen mit gleichem Kopplungsgrad und vernachlässigbaren Widerständen sind wie angegeben zusammen geschaltet.

Bestimmen Sie dafür die Gesamtkapazität.



$$M = k\sqrt{L_1 L_2} = kL,$$

Stromaufteilung aus Symmetriegründen sofern angebbar  $\Rightarrow$

$$U_1 = L \frac{\dot{I}}{2} + M \frac{\dot{I}}{2} + M \frac{\dot{I}}{2} = (L + M) \frac{\dot{I}}{2}$$

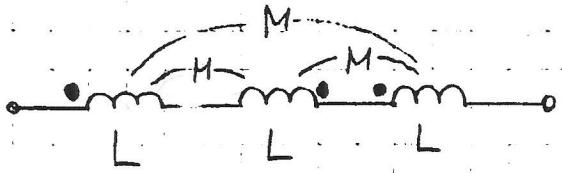
$$U_2 = L \frac{\dot{I}}{2} + M \dot{I} + M \frac{\dot{I}}{2} = \left(\frac{1}{2}L + \frac{3}{2}M\right) \dot{I},$$

$$U = U_1 + U_2 = \left(\frac{3}{2}L + \frac{5}{2}M\right) \dot{I} = L_{\text{eff}} \dot{I},$$

also

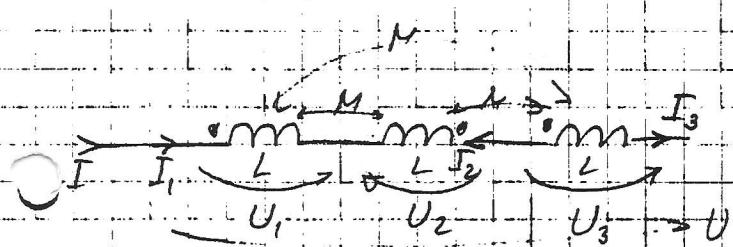
$$\underline{L_{\text{eff}} = \frac{1}{2}(3L + 5M)} = \underline{\frac{1}{2}(3+5k)L}.$$

□



9

Drei gleiche, gekoppelte  
Spulen sind wie angegeben  
in Reihe geschaltet. Beachten  
Sie die Bezugspunkte!  
Bestimmen Sie die Ersatz  
induktivität der Schaltung.

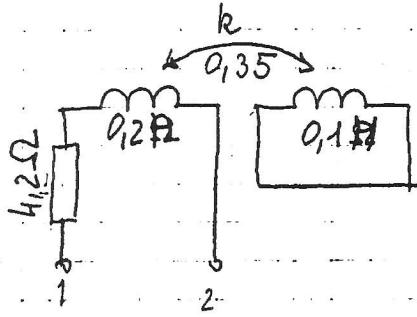


$$U_1 = L \dot{I}_1 + M \dot{I}_2 + M \dot{I}_3 = (L - M + M) \dot{I} = L \dot{I}$$

$$U_2 = L \dot{I}_2 + M \dot{I}_1 + M \dot{I}_3 = (-L + M + M) \dot{I} = -(L - 2M) \dot{I}$$

$$U_3 = L \dot{I}_3 + M \dot{I}_1 + M \dot{I}_2 = (L + M - M) \dot{I} = L \dot{I}$$

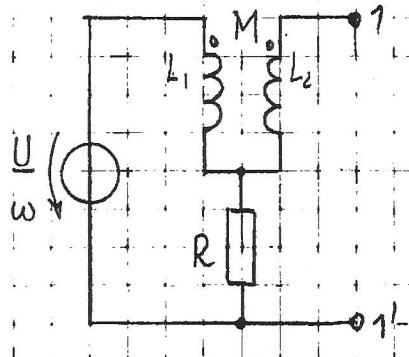
$$U = U_1 - U_2 + U_3 = (3L - 2M) \dot{I} \Rightarrow L_{\text{ers}} = 3L - 2M$$



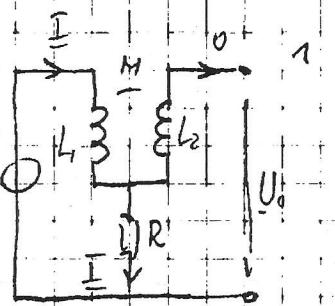
Skizziert ist die Ersatzschaltung eines Kreises mit zwei magnetisch gekoppelten Spulen, deren Selbstinduktivitäten und Kopplungsgrad wie angegeben bekannt sind. Der Widerstand oder kurzgeschlossene Spule kann vernachlässigt werden. Bestimmen Sie die Zeitkonstante bezüglich der Anschlüsse 1,2.

$$\begin{aligned}
 & \text{Circuit diagram: } U_1 = RI_1 + L_1 \dot{I}_1 + M \dot{I}_2 \\
 & 0 = -M \dot{I}_1 + L_2 \dot{I}_2 \Rightarrow \dot{I}_2 = -\frac{M}{L_2} \dot{I}_1 \\
 & U_1 = RT_1 + \left( L_1 - \frac{M^2}{L_2} \right) I_1, \quad L = L_1 \left( 1 - \frac{M^2}{L_2} \right) \\
 & T = \frac{L}{R} = \left( 1 - \frac{M^2}{L_2} \right) \frac{L_1}{R} = 41.8 \text{ ms.} \\
 & z \left( 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} \right) L_1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Circuit diagram: } n \\
 & \text{Inductance: } L_1 = \frac{M^2}{L_2} \\
 & \text{Total inductance: } L_1 + L_2
 \end{aligned}$$

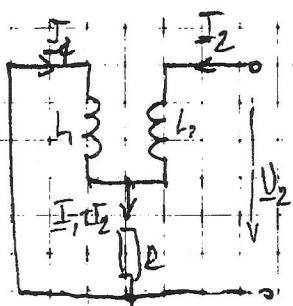


Die skizzierte Schaltung soll für den  
nichtschwingeren Zustand durch eine  
Spannungsquelle mit leerlauf-  
spannung  $U_0$  und Leerlaufimpedanz  
 $Z_i$  äquivalent eingesetzt werden.  
Berechnen Sie allgemein  $U_0$  und  $Z_i$ .



$$U = (R + j\omega L_1) I$$

$$U_0 = (R + j\omega M) I = \frac{R + j\omega M}{R + j\omega L_1} U$$



$$U_2 = j\omega L_2 I_2 + j\omega M I_1 + R(I_1 + I_2)$$

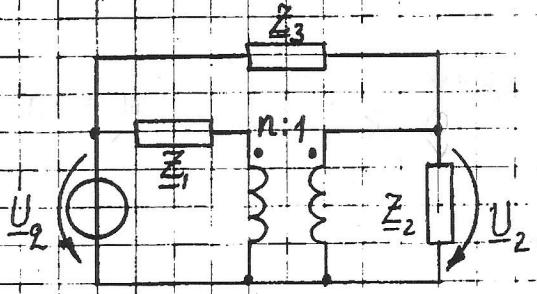
$$0 = j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2 + R(I_1 + I_2)$$

$$(R + j\omega M) I_1 + (R + j\omega L_2) I_2 = U_2 \quad \{$$

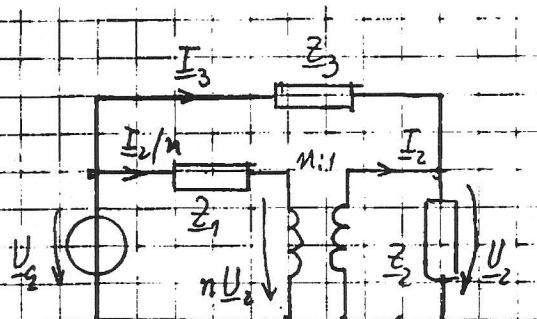
$$(R + j\omega L_1) I_1 + (R + j\omega M) I_2 = 0 \quad \}$$

$$[(R + j\omega L_1)(R + j\omega L_2) - (R + j\omega M)^2] I_2 = (R + j\omega L_1) U_2$$

$$Z_i = \frac{U_2}{I_2} = R + j\omega L_2 - \frac{(R + j\omega M)^2}{R + j\omega L_1}$$



Die angegebene Wechselstromschaltung  
entält einen idealen Transformator.  
Berechnen Sie allgemein die Spannung  
 $U_2$ .



$$U_2 = Z_1 I_2 / n + n U_2,$$

$$U_2 = Z_3 I_3 + U_2,$$

$$U_2 = Z_2 (I_2 + I_3)$$

$$I_2 = \frac{Z_2 + Z_3}{Z_2 Z_3} U_2 - \frac{U_2}{Z_3}$$

$$U_2 = \frac{Z_1}{n} \frac{Z_2 + Z_3}{Z_2 Z_3} U_2 - \frac{Z_1}{n} \frac{U_2}{Z_3} + n U_2$$

$$(1 + \frac{Z_1}{n Z_3}) U_2 = (n + \frac{Z_1}{n} \frac{Z_2 + Z_3}{Z_2 Z_3}) U_2,$$

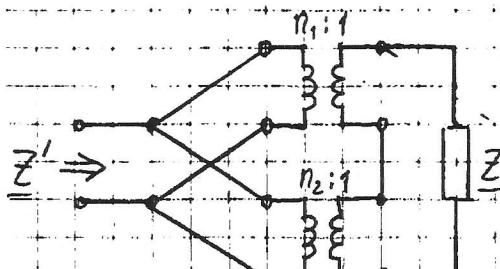
$$U_2 = \frac{n + Z_1 / Z_3}{n^2 + Z_1 / (Z_2 || Z_3)} U_2.$$

$$= \frac{n}{n^2} \frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_2}{Z_3}$$

$$= \frac{n^2 \frac{Z_2}{Z_1}}{n^2} + \frac{Z_2}{Z_1 || Z_3}$$

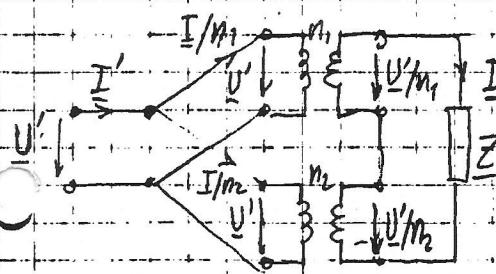
$$= \frac{n^2 \frac{Z_2}{Z_1}}{n^2} + \frac{Z_2 (Z_2 + Z_3)}{Z_2 \cdot Z_3}$$

$$= \frac{n^2 \frac{Z_2}{Z_1}}{n^2} + \frac{Z_2}{Z_3} + 1$$



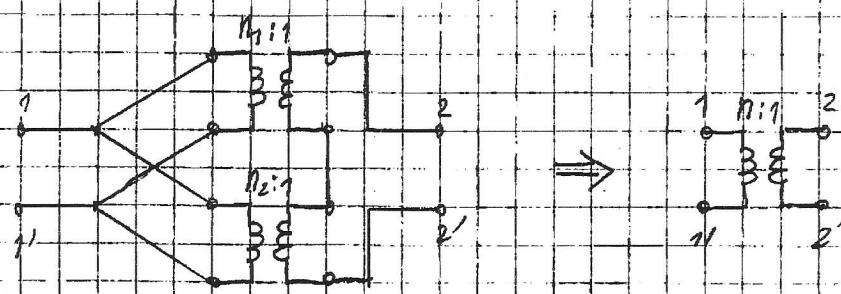
Berechnen Sie die Eingangsimpedanz  
durch  $Z'$  der Schaltung mit unpendi-  
liert idealen Transformatoren.

$$I = \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \frac{U'}{Z}$$



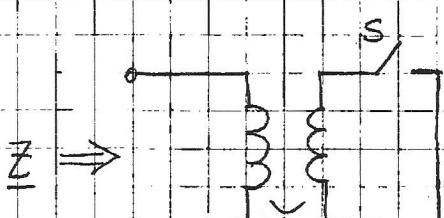
$$I' = \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) I = \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^2 \frac{U'}{Z} \Rightarrow$$

$$Z' = \frac{U'}{I'} = \frac{1}{\left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^2 Z}$$

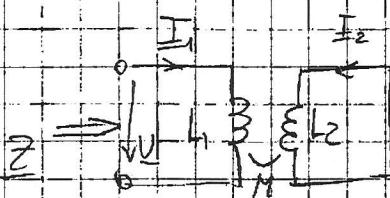


Ersetzen Sie die links aufgegebene Zusammenschaltung zweier reeller Transformatoren durch einen einzigen, äquivalenten idealen Transformer, d.h. bestimmen Sie die Spannungsübersetzung n.

$$\begin{aligned} U_2 &= \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) U_1, \\ I_1 &= \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) I_2 \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} U_2 = \frac{1}{n} U_1, \\ I_1 = \frac{1}{n} I_2 \end{array} \right\} \Rightarrow n = \frac{1}{1/n_1 + 1/n_2}.$$



zu den Koordinaten zweier gekoppelten Spulen werden bei einer festen Frequenz und vernachlässigt haben Widerstände die Leitungsimpedanz  $Z_\infty$  (S offen) und die Kurzschlussimpedanz  $Z_0$  (S geschlossen) gemessen. Bestimmen Sie aus diesen Messwerten den Kopplungsgrad.



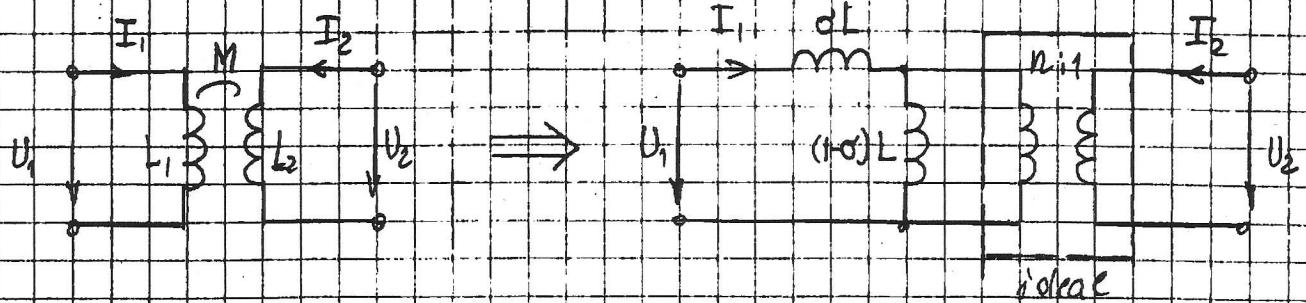
$$\underline{Z_\infty = j\omega L_1}$$

$$\begin{aligned} U &= j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2, \\ 0 &= j\omega L_2 I_2 + j\omega M I_1 \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} U = j\omega \left( L_1 - \frac{M^2}{L_2} \right) I_1 \\ \quad \quad \quad \end{array} \right.$$

$$\underline{Z_0 = \frac{U}{I_1}} = j\omega L_1 \left( 1 - \frac{M^2}{L_2} \right) = Z_\infty (1 - k^2)$$

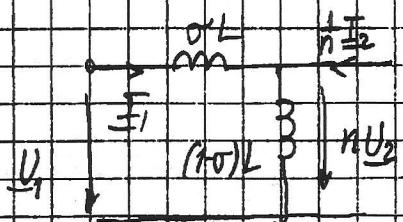
$$\text{d.h. } \underline{k = (\pm) \sqrt{1 - Z_0 / Z_\infty}}$$

G2)



Der linke obengesetzte Transformator mit den Parametern  $L_1, L_2$  und  $M$  soll durch die rechts angegebene Schaltung äquivalentersetzt werden.  
Bestimmen Sie die Parameter  $L, \alpha$  und  $n$ .

$$\begin{aligned} U_1 &= j\omega [L_1 I_1 + MI_2] \\ U_2 &= j\omega [MI_1 + L_2 I_2] \end{aligned}$$



$$U_1 = j\omega [nL I_1 + ((1-\alpha)L_1) I_1 + \frac{1}{n} I_2]$$

$$nU_2 = j\omega ((1-\alpha)L_1) I_1 + \left(I_1 + \frac{1}{n} I_2\right)$$

Vergleiche mit obiger Form

$$U_1 = j\omega [L_1 I_1 + ((1-\alpha)\frac{1}{n}L_1) I_2] \quad \Rightarrow \quad L = L_1, \quad (1-\alpha)\frac{1}{n}L_1 = M$$

$$U_2 = j\omega [(1-\alpha)\frac{1}{n}L_1 I_1 + ((1-\alpha)\frac{1}{n^2}L_1) I_2] \quad \underbrace{(1-\alpha)\frac{1}{n^2}L_1}_M = L_2$$

$$L = L_1, \quad n = \frac{M}{L_1}, \quad \alpha = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}$$