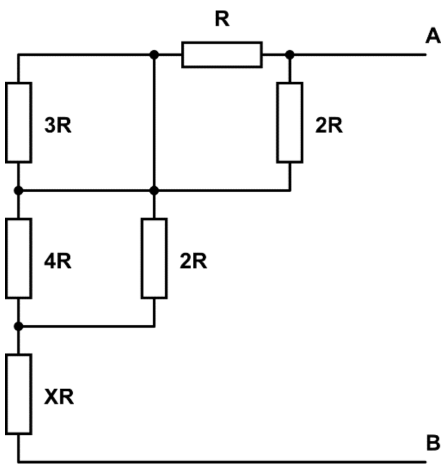
Lösningsförslag till distanstentamen
Elektriska Kretsar och Elenergi för Z2 (RRY135).
2019-08-18, 14:00-18:00.
Institutionen för Rymd-, geo- och miljövetenskap.

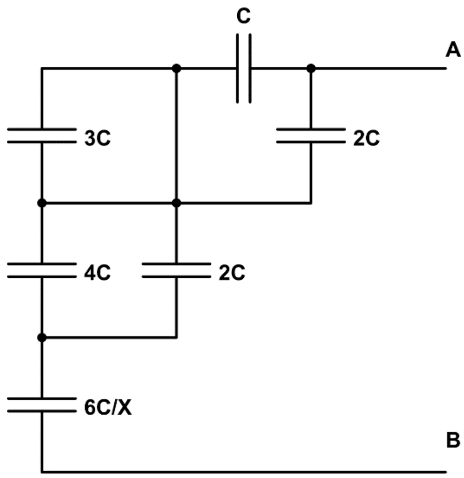
****

1. Kretsberäkningar (3 p)

   Beräkna den ekvivalenta resistansen R_{AB} för den vänstra kretsen och den ekvivalenta kapacitansen C_{AB} för den högra kretsen. Utryck dina svar i R respektive C. Sätt värdet på X lika med din födelsemånad (är du född i december är XR = 12R och 6C/X = 6C/12 = C/2).

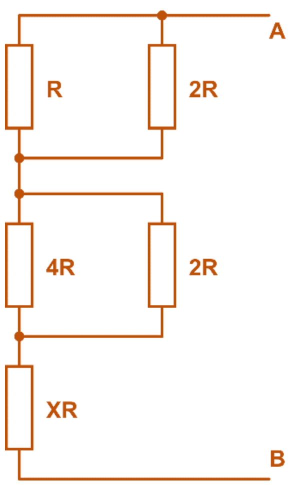
   (3 p)

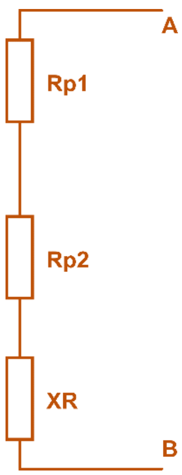




Lösningsförslag uppgift 1 med X=6

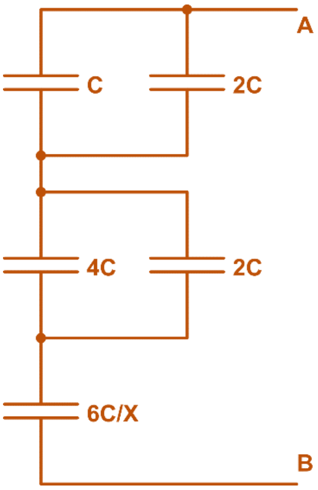
Resistorn med värdet 3R är kortsluten vilket gör att kretsen kan förenklas enligt figurerna nedan.

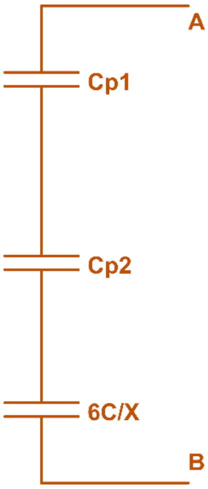




$Rp1 = \frac{R \cdot 2R}{R+2R} = \frac{2R}{3}$ $\qquad$ $Rp2 = \frac{4R \cdot 2R}{4R+2R} = \frac{4R}{3}$ $\qquad$ $R_{AB} = \frac{2R}{3} + \frac{4R}{3} + 6R = 8R$

På samma sätt som ovan är kondensatorn med värdet 3C kortsluten och kretsen kan förenklas enligt figurerna nedan:





Cp1 = C + 2C = 3C　　　　Cp2 = 4C + 2C = 6C

$$C_{AB} = \frac{1}{\frac{1}{3C} + \frac{1}{6C} + \frac{6}{6C}} = \frac{6C}{2+1+6} = \frac{2C}{3}$$

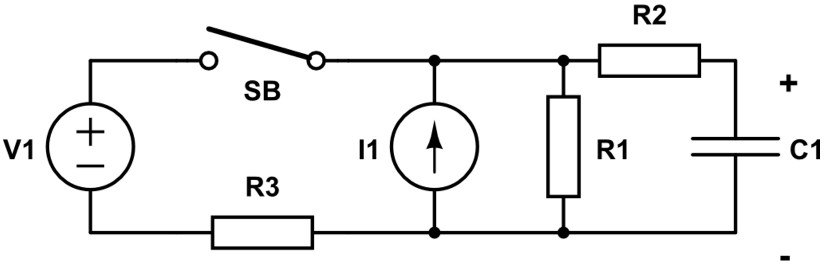
Svar för alla värden av X

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_{AB} (ohm)	3R	4R	5R	6R	7R	8R	9R	10R	11R	12R	13R	14R
C_{AB} (Farad)	3C/2	6C/5	C	6C/7	3C/4	2C/3	3C/5	6C/11	C/2	6C/13	3C/7	2C/5

2. Likströmskrets (6 p)
Kretsen nedan befinner sig i stationärtillstånd när strömbrytaren SB sluts vid t=0.
Sätt V1= -120 V, I1=0,1 A, R1=300 Ω, R2=200 Ω, R3=600 Ω, C1=100 nF.

a) Bestäm spänningen $v_C(t)$ över kondensatorn vid t=0 (2 p)

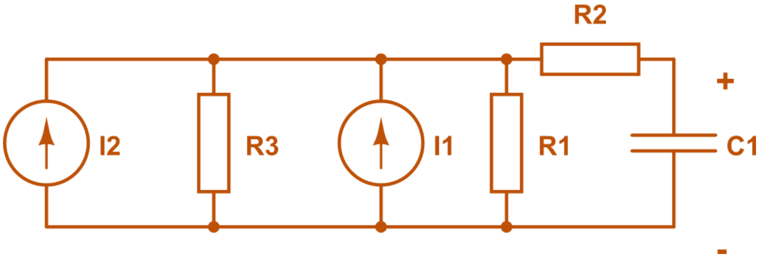
b) Bestäm $v_C(t)$ för alla t>0 (4 p)

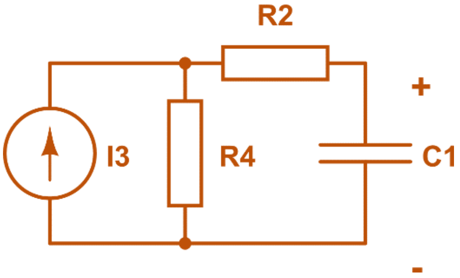


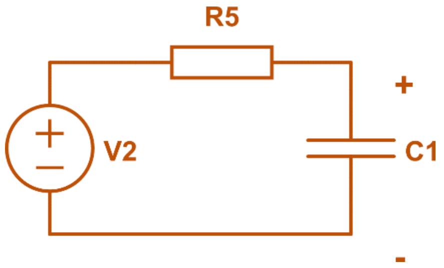
Lösningsförslag uppgift 2:

a) Vid t<0 är kretsen i stationärtillstånd. Kondensatorn C1 fungerar som ett avbrott. Ingen ström går genom R2 så ingen spänning ligger över R2. All ström från strömkällan går genom R1 vilket ger
$V_C = V_{R1} = I1 \cdot R1 = 0{,}1 \cdot 300 = 30$ V.
Då SB sluts har vi alltså $V_C(t=0) = 30$ V

b) Använd källtransformationer för att förenkla kretsen.







$I2 = V1/R3 = -120/600 = -0{,}2\ A$

$I3 = I1 + I2 = 0{,}1 - 0{,}2 = -0{,}1\ A$

$$R4 = \frac{R1 \cdot R3}{R1 + R3} = \frac{300 \cdot 600}{300 + 600} = 200\ \Omega$$

$V2 = I3 \cdot R4 = -0{,}1 \cdot 200 = -20\ V$

$R5 = R2 + R4 = 200 + 200 = 400\ \Omega$

KVL ger

$V2 - R5 \cdot i(t) - Vc(t) = 0$

$i(t) = C1 \cdot dVc/dt$

$$V2 - R5 \cdot C1 \cdot \frac{dV_C}{dt} - V_C(t) = 0$$

Vi får differetialekvationen: $\frac{dV_C}{dt} + \frac{1}{R5 \cdot C1} \cdot V_C(t) = \frac{V2}{R5 \cdot C1}$

Vi vet att $V_C(0) = 30\ V$

Homogen lösning: $V_{CH}(t) = A \cdot e^{\frac{-t}{R5 \cdot C1}}$

Partikulärlösning: $V_{CP}(t) = B$ där $B = konstant$

$\frac{dB}{dt} + \frac{1}{R5 \cdot C1} \cdot B = \frac{V2}{R5 \cdot C1}$ ger att $B = V2$

$$V_C(t) = A \cdot e^{\frac{-t}{R5 \cdot C1}} + V2$$

$V_C(0) = 30\ V$ ger $A \cdot e^{\frac{-0}{R5 \cdot C1}} + V2 = 30$

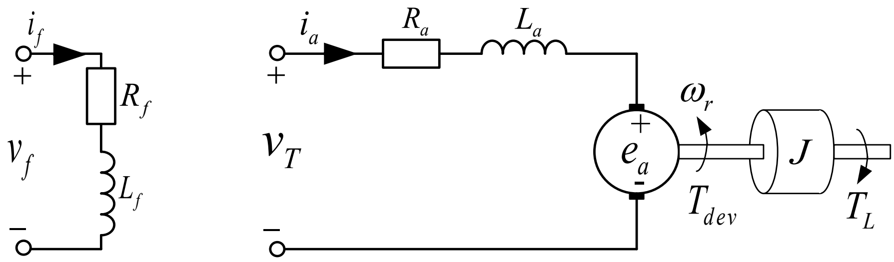
$A = 30 - V2 = 30 + 20 = 50\ [V]$

$R5 \cdot C1 = 400 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 4 \cdot 10^{-5}$

$V_C(t) = 50 \cdot e^{\frac{-t}{4 \cdot 10^{-5}}} - 20\ [V]$ *eller* $V_C(t) = 30 - 50\left(1 - e^{\frac{-t}{4 \cdot 10^{-5}}}\right)[V]$

3. Likströmsmaskin (8 p)

En separatmagnetiserad likströmsmaskin, enligt figuren nedan, driver en fläkt vars vridmoment är proportionellt mot varvtalet enligt $T_L = b * \omega_r$ där b=0.002 Nm s/rad.



Ankarlindningen är kopplad till en ställbar spänningskälla som har fyra lägen på sin utspänning, enligt tabellen nedan där MM är din födelsemånad, dvs. MM är inom intervallet 1-12.

	Dina värden	Exempel värden för MM=6	Exempel värden för MM=12
Läge 1	0 V	0 V	0 V
Läge 2	5+MM/10 V	5,6 V	6,2 V
Läge 3	10+MM/10 V	10,6 V	11,2 V
Läge 4	15+MM/10 V	15,6 V	16,2 V

Vid läge 2 är maskinens tomgångsvarvtal 800 rpm och fläkten snurrar med 670 rpm. Maskinens märkström är 10 A och märkspänningen 15 V.

a) Beräkna maskinens ankarresistans R_a och det länkade flödet $\lambda = K\phi$. (2p)

b) Rita maskinens moment-varvtalskaraktäristik för de fyra lägena på den matande spänningen, samt lastens moment-varvtalskaraktäristik i samma figur. Märk även ut numeriska värden vid skärningspunkter med moment- och varvtalsaxlarna, samt beräkna de varvtal som maskinen kan driva lasten på. (Om a) ej kunde lösas, kan du anta R_a=0.2 ohm, L_a = 0.3 mH, λ= 0.07 Wb, J=0.0001 kgm^2.) (4p)

c) Genom att sänka fältströmmen kan elmaskinen nå högre varvtal, på bekostnad av att det producerade vridmoment då inte kan bli lika högt. Vilket är det högsta varvtal som maskinen kan driva fläkten på utan att märkspänningen eller märkströmmen överskrids? (2p)

Lösning: för MM=6

a)

Vi antar att maskinen arbetar i stationärtillstånd. Då är $v_T = R_a i_a + \lambda\omega_r$ och strömmen kan lösas ut till $i_a = \frac{1}{R_a}(v_T - \lambda\omega_r)$. Strömmen relaterar till det producerade vridmomentet som $i_a = \frac{T_e}{\lambda}$, vilket ger att $T_e = \frac{\lambda}{R_a}(v_T - \lambda\omega_r)$. Vid tomgång är $T_e = 0$, vilket ger att då är $v_T = \lambda\omega_{r,o}$, där $\omega_{r,o}$ är tomgångsvarvtalet. Då vi känner tomgångsvarvtalet vid läge 2, är det länkade flödet: $\lambda = \frac{v_T}{\omega_{r,o}} = \frac{5{,}6\ V}{800\frac{\pi}{30}rad/s} = 0{,}0668\ Wb$

Ankarresistansen kan sedan beräknas också vid läge 2, men nu då fläkten snurrar vid givet varvtal:

$R_a = \frac{v_T - \lambda\omega_r}{i_a}$, där $i_a = \frac{T_e}{\lambda} = \left[\begin{matrix} T_e = T_L \\ pga\ stat.tillst. \end{matrix}\right] = \frac{b\omega_r}{\lambda}$, så $R_a = \frac{v_T - \lambda\omega_r}{\frac{b\omega_r}{\lambda}} \frac{5{,}6 - 0{,}0668 \cdot 670\frac{\pi}{30}}{\frac{0{,}002 \cdot 670\frac{\pi}{30}}{0{,}0668}} = 0{,}4335\ \Omega$

b)

Från 3a) har vi härlett att $T_e = \frac{\lambda}{R_a}(v_T - \lambda\omega_r)$.

Vid tomgång är $T_e = 0$, vilket ger att då är tomgångsvarvtalet $\omega_{r,o} = \frac{v_T}{\lambda}$.

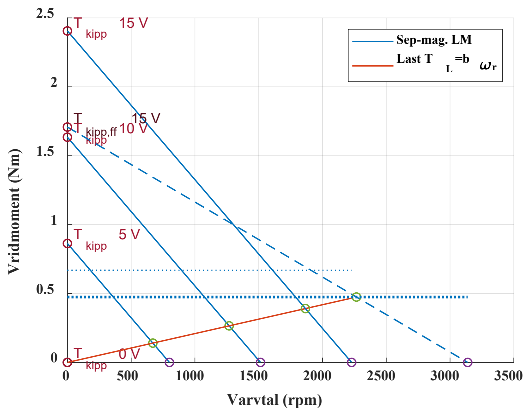
Och då maskinen står still producerar den sitt högsta vridmoment, det så kallade kipp-momentet $T_{e,kipp} = \frac{\lambda}{R_a} v_T$

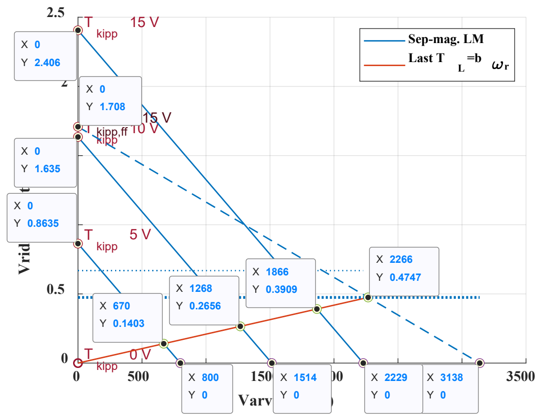
De arbetspunkter som maskinen kommer att driva fläkten i bestäms av följande samband:

$v_T = R_a i_a + \lambda\omega_r$ och $T_e = T_L \ \Rightarrow\ \lambda i_a = b\omega_r \Rightarrow i_a = \frac{b\omega_r}{\lambda}$. Sätt in det sista uttrycket för strömmen i spänningsekvationen och lös ut varvtalet:

$v_T = R_a \frac{b\omega_r}{\lambda} + \lambda\omega_r \Rightarrow v_T = \omega_r\left(\frac{R_a \cdot b}{\lambda} + \lambda\right) \Rightarrow\ \omega_r = \left(\frac{v_T}{\frac{R_a \cdot b}{\lambda} + \lambda}\right)$

	v_T då MM=6	$\omega_{r,o}$	$T_{e,kipp}$	$\omega_{r,fläkt}$	$T_{e,fläkt}$
Läge 1	0 V	0	0	0	0
Läge 2	5,6 V	83,7758 rad/s 800 rpm	0,86 Nm	70,1622 rad/s 670 rpm	0,14 Nm
Läge 3	10,6 V	158,5756 rad/s 1514 rpm	1,6 Nm	132,8 rad/s 1268 rpm	0,27 Nm
Läge 4	15,6 V	233,3755 rad/s 2229 rpm	2,4 Nm	195,4519 rad/s 1866 rpm	0,39 Nm





c)

Högst varvtal fås med högsta spänningen och vid märkström: v_T=15,6 V och i_a=10 A

Som förut kan vi anta stationärtillstånd, dvs. $v_T = R_a i_a + \lambda\omega_r$ och $T_e = T_L$ detta medför att $\lambda_{ff} i_a = b\omega_r \Rightarrow \omega_r = \frac{\lambda_{ff} i_a}{b}$, där λ_{ff} är det länkade flödet vid fältförsvagning. Sätt in det sista uttrycket för varvtalet i spänningsekvationen och lös ut flödet vid fältförsvagning:

$$v_T = R_a i_a + \lambda_{ff}\frac{\lambda_{ff} i_a}{b} = R_a i_a + {\lambda_{ff}}^2 \frac{i_a}{b} \Rightarrow \lambda_{ff} = \sqrt{\frac{b}{i_a}(v_T - R_a i_a)} = \sqrt{\frac{0{,}002}{10}(15{,}6 - 0{,}4335 \cdot 10)}$$
$$= 0{,}0475\ Wb$$

Det högsta varvtalet med denna ström och spänning fås då via $\omega_r = \frac{\lambda_{ff} i_a}{b} = \frac{0{,}0475 \cdot 10}{0{,}002} = 237{,}3301 \frac{rad}{s} \Rightarrow 2266\ rpm$

Fältförsvagningen är illustrerad med den streckade linjen i graferna ovan.

4. Växelströmskrets (12 p)

En växelströmskrets kopplas så att den har två alternativa utgångar. Spänningskällan vin(t)= 10 cos(ωt) V har variabel vinkelfrekvens ω. Sätt L1 = 4 mH, R1 = 80 Ω och R2 = 20 Ω

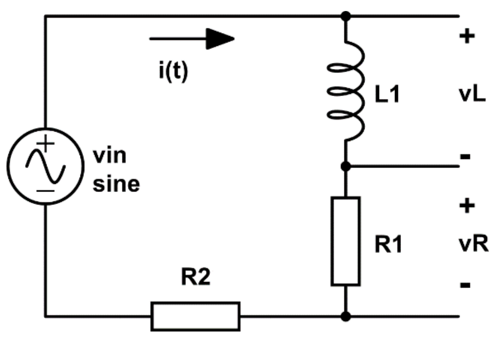
a) Beräkna strömmen i(t) om vinkelfrekvensen sätts till ω =10 krad/s. (2 p)

b) Beräkna den vinkelfrekvens ω då spänningen vin och strömmen i är fasförskjutna 60°. (2 p)

c) Bestäm uttrycken för de två överföringsfunktionerna $H_L = V_L/Vin$ och $H_R = V_R/Vin$. (2 p)

d) H_L och H_R motsvarar två filter. Beräkna deras respektive brytfrekvenser och förklara vilken typ av filter de är (motivering krävs). (3 p)

e) Rita asymptotiska Bodediagram (amplitud och fas) för H_L och H_R. Brytfrekvenser, dämpningar och fasvridningar skall anges. (3 p)



Lösningsförslag uppgift 4

a) $Z = R1 + R2 + j\omega L1 = 80 + 20 + j10000 \cdot 0{,}004 = 100 + j40 =$

$= \sqrt{100^2 + 40^2} \cdot e^{j\cdot\arctan(^{40}/_{100})} = 107{,}7 \cdot e^{j\cdot 21{,}8^\circ}\ \ \Omega$

$I = \frac{V_{in}}{Z} = \frac{10\cdot e^{j0^\circ}}{107{,}7\cdot e^{j21{,}8^\circ}} = 0{,}0928 \cdot e^{-j21{,}8^\circ}\ \ A$

$i(t) = 0{,}0928 \cdot \cos(10000t - 21{,}8^\circ)\quad A$

b) Fasförskjutning 60° mellan V och I kräver att Z har en fasvinkel på 60°.

$$\tan(60^\circ) = \frac{\omega \cdot L1}{100} \quad \Rightarrow \quad \omega = \frac{100 \cdot \tan(60^\circ)}{0{,}004} = 43300\ \ rad/s$$

c) $H_L = \frac{V_L}{V_{in}} = \frac{j\omega L1}{Z} = \frac{j\omega L1}{R1+R2+j\omega L1} = \frac{\frac{j\omega L1}{R1+R2}}{1+\frac{j\omega L1}{R1+R2}}$

$$H_R = \frac{V_R}{V_{in}} = \frac{R1}{Z} = \frac{R1}{R1 + R2 + j\omega L1} = \frac{R1}{R1 + R2}\frac{1}{1 + \frac{j\omega L1}{R1 + R2}}$$

d) Brytvinkelfrekvens L1:

$\omega_{L1} = \frac{R1+R2}{L1} = \frac{100}{0{,}004} = 25000\ \ rad/s$

eller brytfrekvens $f_{L1} = \omega_{L1}/2\pi = 3979\ Hz$

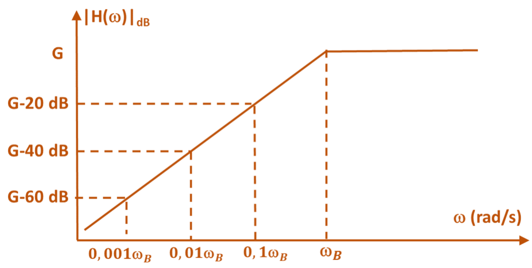
Brytvinkelfrekvens R1:

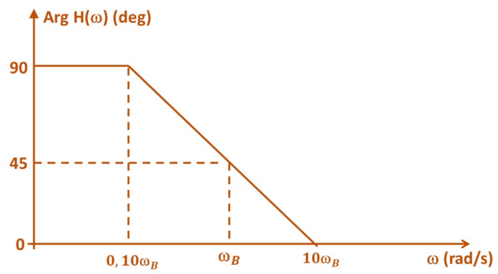
$\omega_{R1} = \omega_{L1} = 25000\ \ rad/s$ eller brytfrekvens $f_{R1} = \omega_{R1}/2\pi = 3979\ Hz$

Vid låga frekvenser fungerar spolen som en kortslutning och vid höga frekvenser fungerar den som ett avbrott. Spänningen från Vin kommer att hamna över resistorerna vid låga frekvenser och över spolen vid höga frekvenser. När spänningen på utgången är hög släpps signalen igenom, när spänningen på utgången är låg blockeras eller dämpas signalen.

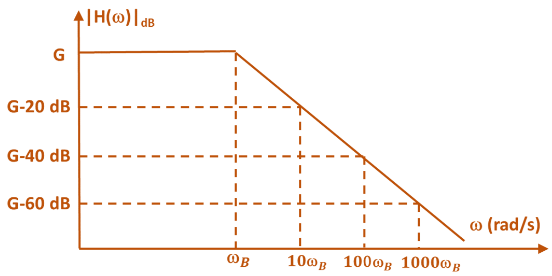
H_{L1} motsvarar ett högpassfilter
H_{R1} motsvarar ett lågpassfilter

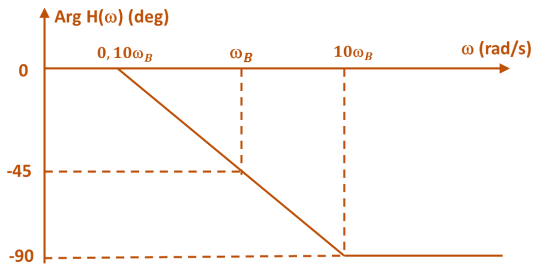
e) Assymptotiska Bodediagram för H_{L1}





Assymptotiska Bodediagram för H_{R1}





5. Buck/boost+EM (7 p)

Du har fått i uppdrag att bygga en prototyp i form av en likspänningskälla som ska driva likströmsmaskinen till fläkten i **uppgift 3** i de 4 olika driftlägena (använd samma spänningsnivåer som i uppgift 3). Prototypen skall bestå av en dc/dc omriktare och en batteribank med uppladdningsbara batterier som skall mata omriktaren. Antag att varje batteri har en inre spänningskälla på 3,7 V och en inre resistans på 10 mΩ. För att täcka spännings- och strömbehovet parallell-kopplar du fem strängar som består av fem seriekopplade batterier var, dvs. totalt 25 batterier.

a) Motivera vilken typ av omvandlare du väljer; Buck eller Boost, och beräkna omriktarens dutycycle för de fyra driftfallen. (2p)

b) Vad innebär att omriktaren arbetar i CCM, och varför gör vi detta antagande? (1p)

c) Beräkna lämpligt värde på induktansen i omriktaren så att ripplet (peak-to-peak) på strömmen genom induktansen inte överstiger 8% av dess medelvärde, då maskinen skall drivas i märkdrift och omvandlarens switchfrekvens är 30 kHz. (Om a) ej kunde lösas får du anta lämpliga värden. Om uppgift 3 ej kunde lösas, kan du anta R_a=0.2 ohm, L_a = 0.3 mH, λ= 0.07 Wb, J=0.0001 kgm^2 för likströmsmaskinen.) (2p)

d) Batterierna trivs bäst i temperaturintervallet 20°C-40°C. Vid märkdrift för maskinen, beräkna för vilka omgivningstemperaturer batterierna bör värmas respektive kylas för att de ska trivas. Den termiska resistansen mellan batteriets kärna och dess kapsling $R_{t,kk}$ samt mellan kapslingen och omgivningen $R_{t,ko}$ ges av dina persondata (ÅÅÅÅMMDD) enligt tabellen nedan (2p)

	Värde med persondata
$R_{t,kk}$	2+DD/10 K/W
$R_{t,ko}$	3+DD/10 K/W

Lösning: för MM=6, DD=15

a)

Buck, eftersom batterispänningen är högre än vad maskinen kräver som mest, varpå buck hjälper oss att reglera ned spänningen på utgången.

För Buck är V_{ut}=D*V_{in} => D=V_{ut}/V_{in} där V_{in} är spänningen från batteribanken

	Svar för MM=6
Läge 1	D= V_{ut}/V_{in}=0 / 18,5 =0
Läge 2	D= V_{ut}/V_{in}=5,6 / 18,5 =0,3
Läge 3	D= V_{ut}/V_{in}=10,6 / 18,5 =0,57
Läge 4	D= V_{ut}/V_{in}=15,6 / 18,5 =0,84

b)

CCM=continuous conduction mode => strömmen genom induktansen blir aldrig noll eller lägre. det gör att kretsen endast har 2 tillstånd för när switchen är på/av, och vi kan härleda ett enda uttryck för relationen mellan in- och utspänning c)

Spänningen är tidvis konstant över induktansen och $v_L = L\frac{di_L}{dt} = L\frac{\Delta i_L}{\Delta t}$, så strömmen ökar och minskar linjärt. Vi väljer att titta på hur mycket strömmen sjunker då switchen är öppen, då är $v_L = -v_{ut}$. Så $-v_{ut} = L\frac{\Delta i_L}{(D-1)T} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{-v_{ut}(D-1)}{\Delta i_L f} = \frac{-v_{ut}(D-1)}{-0.08 i_{ut} f}$ för att strömripplet skall hålla sig under eller lika med 8% av utströmmen så måste induktansen vara lika med eller större än detta värde. Större induktans medför att strömförändringarna blir mindre, detta ger i märkdrift

$$L \geq \frac{-v_{ut}(1-D)}{-0.08 i_{ut} f} = \frac{15\left(1 - \frac{15}{18{,}5}\right)}{0.08 \cdot 10 \cdot 30\,000} = 0.118 \text{ mH}$$

d)

Vid märkdrift är $v_{ut} = 15\ V$ och $D = \frac{v_{ut}}{v_{in}} = \frac{15}{18{,}5}$ och $i_{in} = D i_{ut} = \frac{15}{18{,}5} 10 = 8{,}1\ A$

Eftersom det är 5 parallella batteristrängar så blir strömmen i varje sträng, och därmed varje ingående batteri, en femtedel av inströmmen. Effektförlusten i ett batteri blir då:

$P_{förl.batt} = R_{batt} \cdot {i_{batt}}^2 = 0{,}01 \cdot \left(\frac{8{,}1}{5}\right)^2 = 0{,}0263\ W$. Från tabellen och DD får vi:

$$R_{t,kk} = 2 + \frac{DD}{10} = 3{,}5 K/W \quad och \quad R_{t,ko} = 3 + \frac{DD}{10} = 4{,}5\ \ K/W$$

Om man endast räknar på ett batteri från banken:

$T_{kyl\ min} \geq T_{omg,övre} - P_{förl.batt}\left(R_{t,kk} + R_{t,ko}\right) = 40 - 0{,}0263 * (3{,}5 + 4{,}5) = 39.8^o C$

$T_{värm\ max} \leq T_{omg,lägre} - P_{förl.batt}\left(R_{t,kk} + R_{t,ko}\right) = 20 - 0{,}0263 * (3{,}5 + 4{,}5) = 19.8^o C$

Men eftersom det är en batteribank så kan man anta att den termiska resistansen till omgivningen från varje enskilt batteri varierar beroende på dess placering i banken. Man kan då anta att det blir varmast i mitten.

Om man istället skulle räkna med den totala förlusteffekten i batteriet och anta samma termiska resistanser som förut får man något andra intervall:

$P_{förl.batt,tot} = P_{förl.batt} \cdot n_{antal\ batt} = 0{,}0263 \cdot 25 = 0{,}6574\ W$

$T_{kyl\ min} \geq T_{omg,övre} - P_{förl.batt}\left(R_{t,kk} + R_{t,ko}\right) = 40 - 0{,}6574 * (3{,}5 + 4{,}5) = 34.7^o C$

$T_{värm\ max} \leq T_{omg,lägre} - P_{förl.batt}\left(R_{t,kk} + R_{t,ko}\right) = 20 - 0{,}6574 * (3{,}5 + 4{,}5) = 14.7^o C$

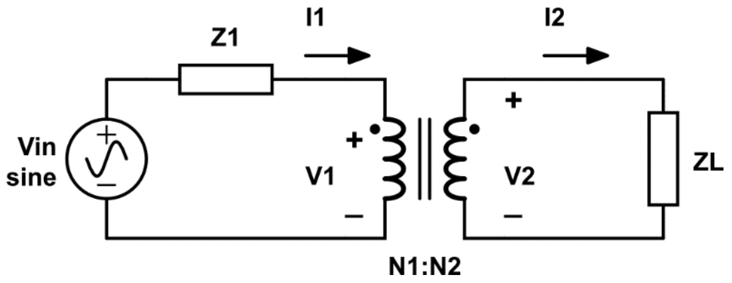
Här är båda alternativen godkända som svar, då det inte specificeras exakt vilka termiska resistanser som avses i uppgiften.

6. Transformatorberäkningar (6 p)

En växelspänningskälla $v_{in}(t)=12\cos(1000t)$ V och en impedans Z_1 kopplas till en last Z_L via en transformator. Antag att transformatorn är ideal.

a) Sätt $Z_1 = R_1 = 20\ \Omega$ och $Z_L = R_L = 180\ \Omega$. Bestäm $n=N_1/N_2$ som ger maximal effekt till lasten RL och beräkna den maximala effekten P_{RLmax}. (3 p)

b) Beräkna $i_2(t)$ och $v_2(t)$ om lasten istället består av en kondensator C_L som är parallellkopplad med ett motstånd R_L. Sätt CL = MM µF, där MM är din födelsemånad. Använd samma värden på Z_1 och R_L som i deluppgift a). Antag att vi nu har en ideal transformator med omsättningstalet n=1/10. (3 p)



Lösningsförslag uppgift 6 med MM = 06:

a) Vid effektanpassning ska lasten R_L' på primärsidan av transformatorn vara den samma som motståndet R1 på insidan, dvs $R_L' = R1 = 20\ \Omega$.

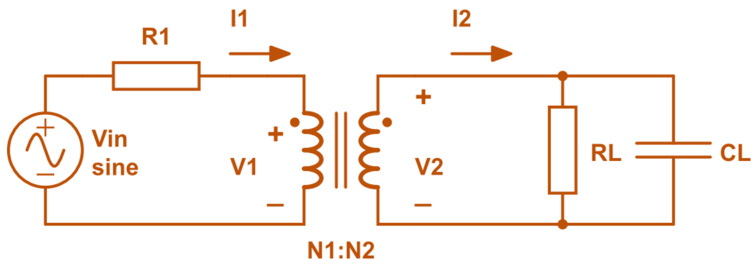
$$\frac{R_L'}{R_L} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^2 \Rightarrow n = \frac{N1}{N2} = \sqrt{\frac{R_L'}{R_L}} = \sqrt{\frac{20}{180}} = \frac{1}{3}$$

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R1 + R_L'} = \frac{12}{20+20} = 0{,}30\ \ A$$

$$I_2 = \frac{N1}{N2} I_1 = \frac{1}{3} \cdot 0{,}30 = 0{,}10\ \ A$$

$$P_{RLmax} = \frac{1}{2} I_2 V_2 \cos(\theta_v - \theta_i) = \frac{1}{2} {I_2}^2 R_L \cos(0°) = \frac{1}{2} 0{,}1^2 \cdot 180 \cdot 1 = 0{,}9\ \ W$$

b)



Bestäm lastens impedans Z_L:

$$Z_L = \frac{R_L \cdot \frac{1}{j\omega C_L}}{R_L + \frac{1}{j\omega C_L}} = \frac{R_L}{1 + j\omega C_L R_L} = \frac{R_L(1 - j\omega C_L R_L)}{(1 + j\omega C_L R_L)\cdot(1 - j\omega C_L R_L)} = \frac{R_L}{1 + \omega^2 {C_L}^2 {R_L}^2} \cdot (1 - j\omega C_L R_L)$$

Använder vi C_L = 6 µF och stoppar vi in värden får vi $Z_L = 83{,}09 - j89{,}73 = 122{,}3 \cdot e^{-j\cdot 47{,}2°}\ \ \Omega$

Impedansen som primärsidan ser blir då

$$Z_L' = (\frac{N1}{N2})^2 Z_L = (\frac{1}{10})^2 Z_L = 1{,}223 \cdot e^{-j\cdot 47{,}2^\circ} = 0{,}8309 - j0{,}8973\ \Omega$$

Beräkna strömmen $i_2(t)$

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R1 + Z_L'} = \frac{12}{20{,}83 - j0{,}8973} = 0{,}5757 \cdot e^{j\cdot 2{,}467^\circ}\ A$$

$$I_2 = \frac{N1}{N2} I_1 = \frac{0{,}5757}{10} \cdot e^{j\cdot 2{,}467^\circ} = 0{,}05757 \cdot e^{j\cdot 2{,}467^\circ}\ A$$

$i_2(t) = 57{,}57 \cos(1000t + 2{,}467^\circ)$ mA

Beräkna spänningen $v_2(t)$:

$$U_2 = Z_L I_2 = 122{,}3 \cdot e^{-j\cdot 47{,}2^\circ} \cdot 0{,}05757 \cdot e^{j\cdot 2{,}467^\circ} = 7{,}039 \cdot e^{-j44{,}73^\circ}\ V$$

$u_2(t) = 7{,}039 \cos(1000t - 44{,}73^\circ)$ V

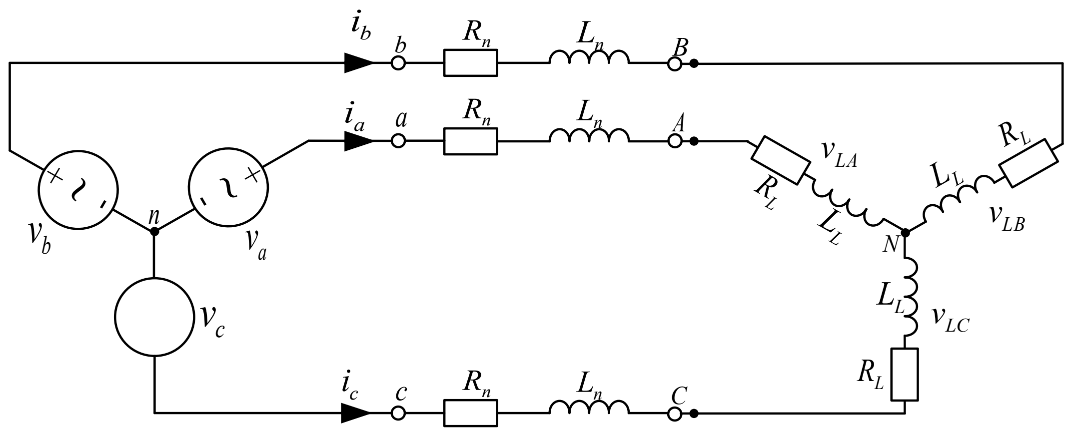
Svar till 6b) för alla värden på MM

	ZL Rektangulär form		ZL Polär form		i2(t)		u2(t)	
MM	real	imaginär	belopp	arg [deg]	amplitud	fas [deg]	amplitud	fas [deg]
1	174,35	-31,38	177,15	-10,20	0,0552	0,827	9,776	-9,38
2	159,35	-57,37	169,36	-19,80	0,0556	1,522	9,408	-18,28
3	139,36	-75,26	158,38	-28,37	0,0561	2,015	8,878	-26,35
4	118,55	-85,35	146,08	-35,75	0,0566	2,307	8,267	-33,45
5	99,45	-89,50	133,79	-41,99	0,0571	2,441	7,640	-39,55
6	83,09	-89,73	122,29	-47,20	0,0576	2,467	7,038	-44,74
7	69,56	-87,65	111,90	-51,56	0,0579	2,425	6,482	-49,14
8	58,56	-84,33	102,67	-55,22	0,0582	2,346	5,980	-52,88
9	49,66	-80,45	94,55	-58,31	0,0585	2,248	5,531	-56,07
10	42,45	-76,42	87,42	-60,95	0,0587	2,143	5,132	-58,80
11	36,58	-72,43	81,15	-63,20	0,0589	2,037	4,778	-61,17
12	31,77	-68,62	75,62	-65,16	0,0590	1,934	4,464	-63,22

7. 3-fas (8 p)

I figuren nedan visas tre Thévenin ekvivalenta kretsar, en för varje fas, av elnätet i anslutningspunkten för en induktiv tre-fas last. Källans huvudspänning är 400 V RMS 50 Hz, nät- och lastimpedansen fås ur tentandens födelsedata (ÅÅÅÅMMDD) enligt tabellen nedan:

	R	L
Nät	$\mathbf{R_n}$= 0.1+MM/10 Ω	$\mathbf{L_n}$= MM/2000 H
Last	$\mathbf{R_L}$= 20+DD Ω	$\mathbf{L_L}$= 0.1+DD/400 H



a) Beräkna spänningsfallet över ledningen och lasten, samt den aktiva och reaktiva effekten som lasten drar (dvs. nätet ska ej inkluderas). (4p)

b) Beräkna lastens effektfaktor (1p)

c) Beräkna approximativt hur stort C som lasten skulle behöva faskompenseras med för att effekfaktorn för hela lasten skulle bli 0,95 släpande (på engelska *lagging*). Kondensatorerna kopplas parallellt över lasten. Du kan här anta att spänningen över lasten ej påverkas av faskompenseringen. (2p)

d) Förklara <u>varför</u> beräkningen i c) inte är helt korrekt. (1p)

Lösning: för MM=6, DD=15

a)

Spännings-källan:

$|v_{LL}| = |v_{ab}| = 400\ V\ rms\ \Rightarrow\ |v_a| = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230{,}94\ V\ rms$, vi väljer att använda denna som riktfas, dvs. vi ansätter dess fasvinkel till noll grader. Resterande signaler blir då relaterade till denna.

Nät-impedans:

$R_n = 0{,}1 + \frac{MM}{10} = 0{,}7\ \Omega\ ,\quad L_n = \frac{MM}{2000} = 3\ mH,\quad X_n = \omega L_n = 2\pi 50 \cdot 0{,}003 = 0{,}9425\ \Omega$

$Z_n = R_n + jX_n = 0{,}7 + j0{,}9425 = 1{,}174\angle 53{,}40^o$

Last-impedans

$R_L = 20 + DD = 35\ \Omega\ ,\quad L_L = 0{,}1 + \frac{DD}{400} = 137{,}5\ mH,\quad X_L = \omega L_L = 2\pi 50 \cdot 0{,}1375 = 43{,}2\ \Omega$

$Z_L = R_L + jX_L = 35 + j43{,}2 = 55{,}6\angle 50{,}98^o$

Total ekv. impedans = Ledning + Last

$Z_{tot} = Z_n + Z_L = 35{,}7 + j44{,}14 = 56{,}77\angle 51{,}03^o$

Fas-ström:

$$I_{ph} = \frac{v_a}{Z_{tot}} = \frac{230{,}94\angle 0^o}{56{,}77\angle 51{,}03^o} = 2{,}56 - j3{,}16 = 4{,}07\angle - 51{,}03^o$$

Spänningsfall över nät:

$$v_n = \frac{Z_n}{Z_n + Z_L} v_a = \begin{bmatrix} alternativt \\ I_{ph} Z_n \end{bmatrix} = 4{,}77 + j0{,}20 = 4{,}78\angle 2{,}36^o$$

Spänningsfall över last:

$$v_L = \frac{Z_L}{Z_n + Z_L} v_a = \begin{bmatrix} alternativt \\ I_{ph} Z_L \end{bmatrix} = 226{,}17 - j0{,}20 = 226{,}17\angle{-0{,}05}^o$$

Effekt i last:

$$S_L = 3\left(v_L i_{ph}{}^*\right) = P + jQ = 1737{,}6 + j2144{,}6\ VA \Rightarrow P_L = 1737{,}6\ W \quad Q_L = 2144{,}6\ VAR$$

b)

Lastens effektfaktor:

$$PF_L = \cos\left(\arctan\left(\frac{Q_L}{P_L}\right)\right) = \cos\left(\arctan\left(\frac{X_L}{R_L}\right)\right) = 0{,}6295$$

c)

$PF_{L,ny} = \cos\varphi_{ny} = 0{,}95 \Rightarrow \varphi_{ny} = \arccos 0{,}95 = 0{,}3176\ rad = 18{,}19^o$

$Q_{L,ny} = P_L \tan\varphi_{ny} = 571{,}13\ VAR$

$$Q_C = \frac{Q_{L,ny} - Q_L}{3} = -524{,}48\ VAR$$

$$X_{C,komp} = \frac{|v_L|^2}{Q_C} = 97{,}53\ \Omega$$

$$C = \frac{1}{\omega X_{C,komp}} = 32{,}6\ \mu F$$

d)

Vi antog att spänningen över lasten ej påverkades av att vi kopplade in en kondensator parallellt över varje fas-last, men det gör den. Då vi faskompenserar minskar både fasströmmens amplitud och dess fasvridning relativt spänningen. Detta ger ett lägre spänningsfall över nätet, och således en högre spänning över lasten jämfört med utan faskompensering.