

UiO : **Institutt for informatikk**
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

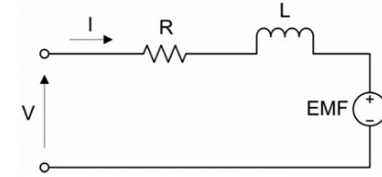
IN1080 V2022

Regneøvelse Motordrivere og Pulsbreddemodulering

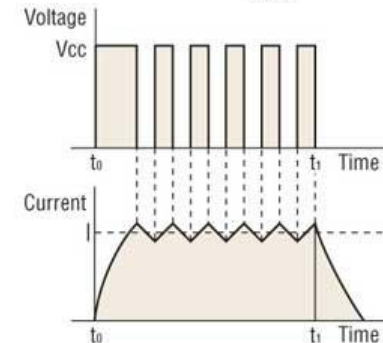
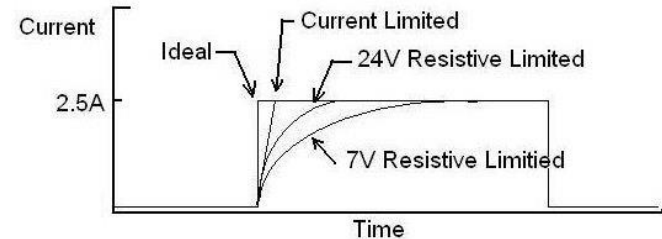


Strømstyring av steppermotor

- Spolene i en elektromotor modelleres som en induktiv last =>
 - Det tar tid før strømmen kommer opp i ønsket verdi.
 - Det tar tid før vi får det ønskede dreiemomentet
- Hvis vi lager oss en konstant strømkilde vil denne effekten bli redusert. Dette kan gjøres på to måter:
 - Ved å koble en motstand i serie med steppermotoren, og øke forsyningsspenningen (for å kompensere for spenningsfallet over motstanden), vil man få en forsyningskilde som oppfører seg med som en konstant strømkilde.
 - Ulempen er **effekttap i seriemotstanden**
 - Ved å bruke **pulsbreddemodulering** med høy frekvens og med høyere forsyningsspenning kan man hurtig oppnå en tilnærmet jevn strøm.

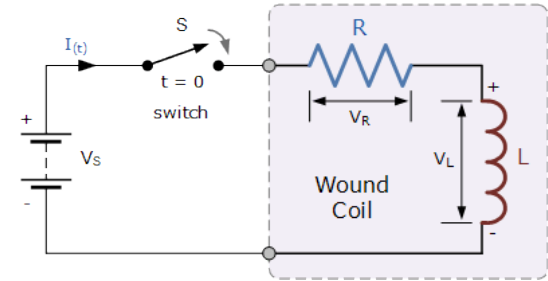


Current vs time for stepper motor winding

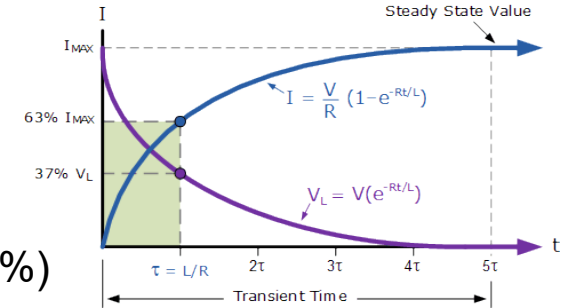


Voltage - Current Relationship in Constant Current Chopper Drive

Tidskonstanten i en RL krets

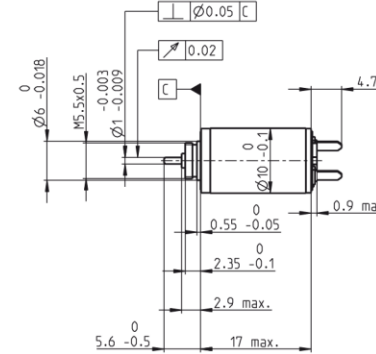
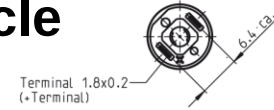


- $\tau = \frac{L}{R}$
- $V_L = V_S \left(e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$
 - alternative skrivemåter: $V_L = V_S \left(e^{-\frac{Rt}{L}} \right) = V_S \left(e^{-\frac{L}{Rt}} \right)$
- $1\tau: V_L = 37\% \text{ av } V_S \quad I(t) = 63\% \text{ av } V_S/R$
- $5\tau: V_L = 0,7\% \text{ av } V_S \quad I(t) = 99,3\% \text{ av } V_S/R \text{ (~100\%)}$



- Merk: Regnestykket her fungerer bare i det man setter på strømmen...
 - Hva skjer hvis vi skrur av (åpner bryteren)?
- Eks: Spole i en motor: 10Ω motstand, $0,1\text{mH}$ induktans
 - $\Rightarrow \tau = \frac{0,1\text{mH}}{10\Omega} = 0,01\text{mS} = 10\mu\text{s}$

Eks. Finne modulasjonsfrekvens og duty cycle



Vi ønsker å pulsbreddemodulere strømmen til 118391 med 19V, men skal aldri gå over nominell spenning.

A) Hva er lengste på-tid på vi kan benytte til moduleringen?

B) Hva er korteste tid av, dersom vi forutsetter at lengste-tid-på benyttes?

C) Hva er maksimal duty cycle dersom vi bruker den korteste tiden av?

D) Hva er absolutt maksimal kontinuerlig duty cycle? (gitt at modulasjonsfrekvensen kan være uendelig høy)

☒ Stock program
☐ Standard program
☐ Special program (on request)

Part Numbers

	118382	118383	118384	118385	118386	118387	118388	118389	118390	118391
Motor Data										
Values at nominal voltage										
1 Nominal voltage	V	2.4	3	3.6	4.5	6	6	7.2	7.2	12
2 No load speed	rpm	10300	10400	9930	11300	13000	11400	11700	10600	10700
3 No load current	mA	16	12.8	10.1	9.52	8.51	7.18	6.22	5.47	4.45
4 Nominal speed	rpm	1670	2010	1520	2970	4680	3160	3350	1860	2000
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	0.76	0.792	0.786	0.788	0.785	0.801	0.784	0.758	0.757
6 Nominal current (max. continuous current)	A	0.368	0.307	0.243	0.222	0.191	0.17	0.143	0.125	0.101
7 Stall torque	mNm	0.924	1	0.949	1.09	1.25	1.13	1.12	0.944	0.957
8 Starting current	A	0.432	0.375	0.284	0.297	0.292	0.232	0.198	0.15	0.123
9 Max. efficiency	%	66	67	66	68	69	68	68	66	67
Characteristics										
10 Terminal resistance	Ω	5.55	8	12.7	15.2	20.6	25.8	36.4	47.9	72.9
11 Terminal inductance	mH	0.0461	0.072	0.112	0.136	0.184	0.24	0.325	0.398	0.605
12 Torque constant	mNm/A	2.14	2.67	3.34	3.67	4.27	4.87	5.68	6.28	7.75
13 Speed constant	rpm/V	4470	3570	2860	2600	2230	1960	1680	1520	1230
14 Speed / torque gradient	rpm/mNm	11600	10700	10800	10700	10700	10400	10800	11600	11900
15 Mechanical time constant	ms	8.02	7.96	7.99	7.95	7.95	7.9	7.98	8.09	8.16
16 Rotor inertia	gcm ²	0.066	0.0711	0.0704	0.0706	0.0706	0.0726	0.0706	0.0666	0.0654

Eks. Finne modulasjonsfrekvens

Vi ønsker å pulsbreddemodulere strømmen til 118391 med 19V, men skal aldri gå over nominell spenning.

A) Hva er lengste på-tid på vi kan benytte til moduleringen?

Merk: Er det « V_L » eller « V_R » som maksimalt kan bli 12V?...

I tegningen blir både V_L og V_R å regne som virtuelle, vi kan ikke måle noen av dem direkte fordi det ikke er noen egen node mellom dem, men vi kan måle strømmen gjennom spolen.

Forløp må bli stigende når så => V_R mht figuren

Vi har: $V_R = 12V$, $V_S = 19V$,

$$(1) V_L = V_S e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$(2) V_R = V_S - V_L$$

$\tau = L/R$ – Har vi data på dette?

$$= 0,92\text{mH}/114\Omega = 8,1\mu\text{s}$$

Setter inn (1) i (2) og løser for t

$$V_R = V_S(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \Rightarrow$$

$$V_R - V_S = -V_S e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow$$

$$\frac{V_S - V_R}{V_S} = e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow$$

$$\ln\left(\frac{V_S - V_R}{V_S}\right) = -\frac{t}{\tau} \Rightarrow$$

$$t = -\tau \ln\left(\frac{V_S - V_R}{V_S}\right)$$

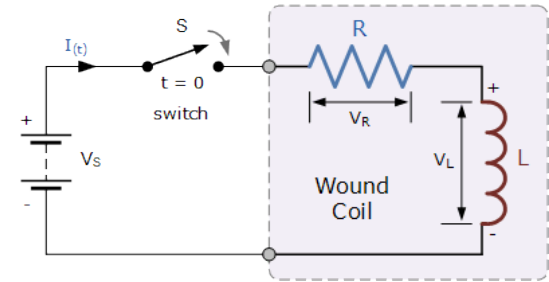
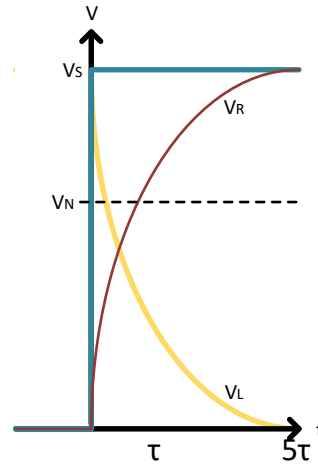
$$t = -8,1\mu\text{s} \ln\left(\frac{19-12}{19}\right) = 8,1\mu\text{s}$$

Svar: Lengste på tid er 8,1 μs

MERK: $7/19 = 0,37$

$\ln(0,37) = -1$.

Vi ser at V_N er om lag verdien vi får etter 1 τ når V_S er 19V



		118382	118383	118384	118385	118386	118387	118388	118389	118390	118391
Motor Data											
Values at nominal voltage											
1 Nominal voltage	V	2.4	3	3.6	4.5	6	6	7.2	7.2	9	12
2 No load speed	rpm	10300	10400	9930	11300	13000	11400	11700	10600	10700	11600
3 No load current	mA	16	12.8	10.1	9.52	8.51	7.18	6.22	5.47	4.45	3.68
4 Nominal speed	rpm	1670	2010	1520	2970	4680	3160	3350	1860	2000	2790
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	0.76	0.792	0.786	0.788	0.785	0.801	0.784	0.758	0.757	0.746
6 Nominal current (max. continuous current)	A	0.368	0.307	0.243	0.222	0.191	0.17	0.143	0.125	0.101	0.0811
7 Stall torque	mNm	0.924	1	0.949	1.09	1.25	1.13	1.12	0.944	0.957	1.01
8 Starting current	A	0.432	0.375	0.284	0.297	0.292	0.232	0.198	0.15	0.123	0.106
9 Max. efficiency	%	66	67	66	68	69	68	68	66	66	67
Characteristics											
10 Terminal resistance	Ω	5.55	8	12.7	15.2	20.6	25.8	36.4	47.9	72.9	114
11 Terminal inductance	mH	0.0461	0.072	0.112	0.136	0.184	0.24	0.325	0.398	0.605	0.92
12 Torque constant	mNm/A	2.14	2.67	3.34	3.67	4.27	4.87	5.68	6.28	7.75	9.33
13 Speed constant	rpm/V	4470	3570	2860	2600	2230	1960	1680	1520	1230	1000
14 Speed / torque gradient	rpm/mNm	11600	10700	10800	10700	10700	10400	10800	11600	11600	11900
15 Mechanical time constant	ms	8.02	7.96	7.99	7.95	7.95	7.9	7.98	8.09	8.09	8.16
16 Rotor inertia	gcm ²	0.066	0.0711	0.0704	0.0706	0.0706	0.0726	0.0706	0.0666	0.0666	0.0654

Eks. Finne modulasjonsfrekvens og duty cycle

Vi ønsker å pulsbreddemodulere strømmen til 118391 med 19V, men skal aldri gå over nominell spenning.

Husker: Lengste på tid er $8,1 \mu s (=1 \tau)$

B) Hva er korteste tid av, dersom vi forutsetter at lengste-tid-på benyttes?

99% utladet ved 5τ (av $V_L = V_s e^{(-\frac{t}{\tau})}$)

$$- 5\tau = 5 \cdot 8,1 \mu s = 40,5 \mu s$$

Svar: Korteste tid av er $40,5 \mu s$

NB: Forutsetter at falltid er omtrent som stigetid
(oppnås ved å bruke simpel diode-snubbing)

C) Hva er maksimal duty cycle dersom vi bruker den korteste tiden av?

(1) Periodetid (T) = tid av + tid på

(2) Duty cycle = tid på / periodetid

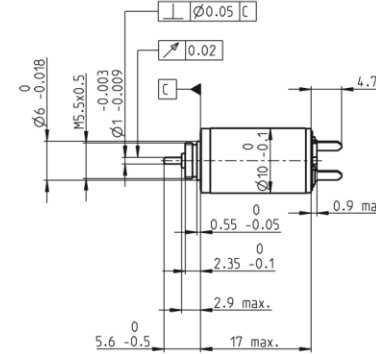
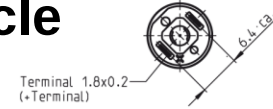
(3) Frekvens = $1/T$

Vi kjenner tid på og tid av fra A og B og kan sette inn i (1), dernest (2), så

$T = 8,1 \mu s + 40,5 \mu s = 48,6 \mu s$ (som tilsvarer en frekvens på 20,6kHz. Av $f = 1/T$)

Duty cycle er (tid på)/periode = $8,1 \mu s / 48,6 \mu s = 0,17$

Svar: maksimal duty cycle ved 20,6 kHz er 17%



		Part Numbers									
		118382	118383	118384	118385	118386	118387	118388	118389	118390	118391
Motor Data											
Values at nominal voltage											
1 Nominal voltage	V	2.4	3	3.6	4.5	6	6	7.2	7.2	9	12
2 No load speed	rpm	10300	10400	9930	11300	13000	11400	11700	10600	10700	11600
3 No load current	mA	16	12.8	10.1	9.52	8.51	7.18	6.22	5.47	4.45	3.68
4 Nominal speed	rpm	1670	2010	1520	2970	4680	3160	3350	1860	2000	2790
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	0.76	0.792	0.786	0.788	0.785	0.801	0.784	0.758	0.757	0.746
6 Nominal current (max. continuous current)	A	0.368	0.307	0.243	0.222	0.191	0.17	0.143	0.125	0.101	0.0811
7 Stall torque	mNm	0.924	1	0.949	1.09	1.25	1.13	1.12	0.944	0.957	1.01
8 Starting current	A	0.432	0.375	0.284	0.297	0.292	0.232	0.198	0.15	0.123	0.106
9 Max. efficiency	%	66	67	66	68	69	68	68	66	66	67
Characteristics											
10 Terminal resistance	Ω	5.55	8	12.7	15.2	20.6	25.8	36.4	47.9	72.9	114
11 Terminal inductance	mH	0.0461	0.072	0.112	0.136	0.184	0.24	0.325	0.398	0.605	0.92
12 Torque constant	mNm/A	2.14	2.67	3.34	3.67	4.27	4.87	5.68	6.28	7.75	9.55
13 Speed constant	rpm/V	4470	3570	2860	2600	2230	1960	1680	1520	1230	1000
14 Speed / torque gradient	rpm/mNm	11600	10700	10800	10700	10700	10400	10800	11600	11600	11900
15 Mechanical time constant	ms	8.02	7.96	7.99	7.95	7.95	7.9	7.98	8.09	8.09	8.16
16 Rotor inertia	gcm ²	0.066	0.0711	0.0704	0.0706	0.0706	0.0726	0.0706	0.0666	0.0666	0.0654

Eks. Finne modulasjonsfrekvens og duty cycle

Vi ønsker å pulsbreddemodulere strømmen til 118391 med 19V, men skal aldri gå over nominell spenning.

D) Hva er absolutt maksimal kontinuerlig duty cycle? (gitt at modulasjonsfrekvensen kan være uendelig høy)

Bruker $V = RI$, for steady state

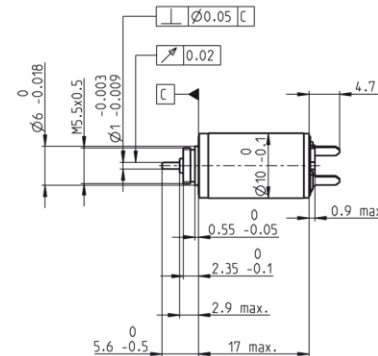
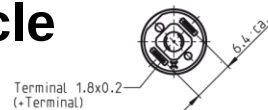
Datablad forteller oss $R = 114 \Omega$,

og maksimalt strømtrekk $I = 81,1\text{mA}$

Maksimal kontinuerlig duty cycle får vi ved høyere frekvens (antar ∞). Maksimal kontinuerlig strøm er $0,0811\text{A}$, dette tilsvarer en kontinuerlig spenning på $0,0811\text{A} \cdot 114 \Omega = 9,25\text{V}$. $9,25\text{V}/19\text{V} = 0,49$.

Svar: Maksimal kontinuerlig duty cycle er 49%

Merk: Vi kan altså ikke ha 12V kontinuerlig, selv om dette er oppgitt som nominell spenning.



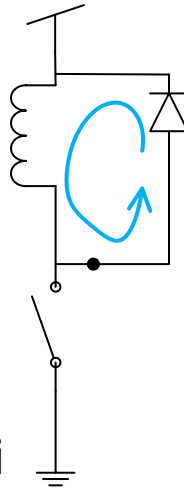
☒ Stock program
☐ Standard program
☐ Special program (on request)

		Part Numbers									
		118382	118383	118384	118385	118386	118387	118388	118389	118390	118391
Motor Data											
Values at nominal voltage											
1 Nominal voltage	V	2.4	3	3.6	4.5	6	6	7.2	7.2	9	12
2 No load speed	rpm	10300	10400	9930	11300	13000	11400	11700	10600	10700	11600
3 No load current	mA	16	12.8	10.1	9.52	8.51	7.18	6.22	5.47	4.45	3.68
4 Nominal speed	rpm	1670	2010	1520	2970	4680	3160	3350	1860	2000	2790
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	0.76	0.792	0.786	0.788	0.785	0.801	0.784	0.758	0.757	0.746
6 Nominal current (max. continuous current)	A	0.368	0.307	0.243	0.222	0.191	0.17	0.143	0.125	0.10	0.0811
7 Stall torque	mNm	0.924	1	0.949	1.09	1.25	1.13	1.12	0.944	0.957	1.01
8 Starting current	A	0.432	0.375	0.284	0.297	0.292	0.232	0.198	0.15	0.123	0.106
9 Max. efficiency	%	66	67	66	68	69	68	68	66	66	67
Characteristics											
10 Terminal resistance	Ω	5.55	8	12.7	15.2	20.6	25.8	36.4	47.9	72.9	114
11 Terminal inductance	mH	0.0461	0.072	0.112	0.136	0.184	0.24	0.325	0.398	0.605	0.92
12 Torque constant	mNm/A	2.14	2.67	3.34	3.67	4.27	4.87	5.68	6.28	7.75	9.55
13 Speed constant	rpm/V	4470	3570	2860	2600	2230	1960	1680	1520	1230	1000
14 Speed / torque gradient	rpm/mNm	11600	10700	10800	10700	10700	10400	10800	11600	11600	11900
15 Mechanical time constant	ms	8.02	7.96	7.99	7.95	7.95	7.9	7.98	8.09	8.09	8.16
16 Rotor inertia	gcm ²	0.066	0.0711	0.0704	0.0706	0.0706	0.0726	0.0706	0.0666	0.0666	0.0654

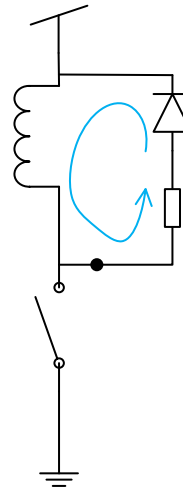
Snubbing kretser recap +1:

- #4 vil virke omtrent som #3
- Bør #4 ha en høyere zener breakdown enn Vdd
 - Hvorfor..?
 - Når går det strøm i zenerdioden ved PWM?
- Kan breakdown for Zenerdioden i #3 settes lavere enn Vdd?
 - Ja. Dersom det er ønskelig at Zener breakdown er ved lavere spenning enn vdd, må #3 benyttes.

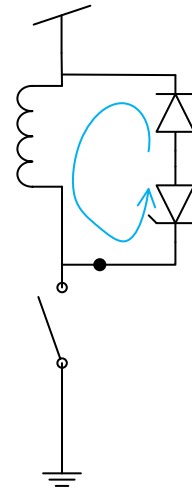
• 1



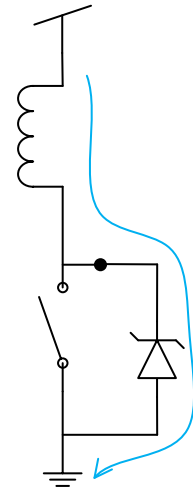
• 2



• 3



• 4



Litteratur

- COK:
 - 23.1-4 (*underkapitlene 23.1, 23.2 er kun t.o.*)
- Oppgaver
 - 23. 1, 2, 3, 7, **9**, 10
(1 oz = 28,35gram, 1 in = 2,54 cm)