

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

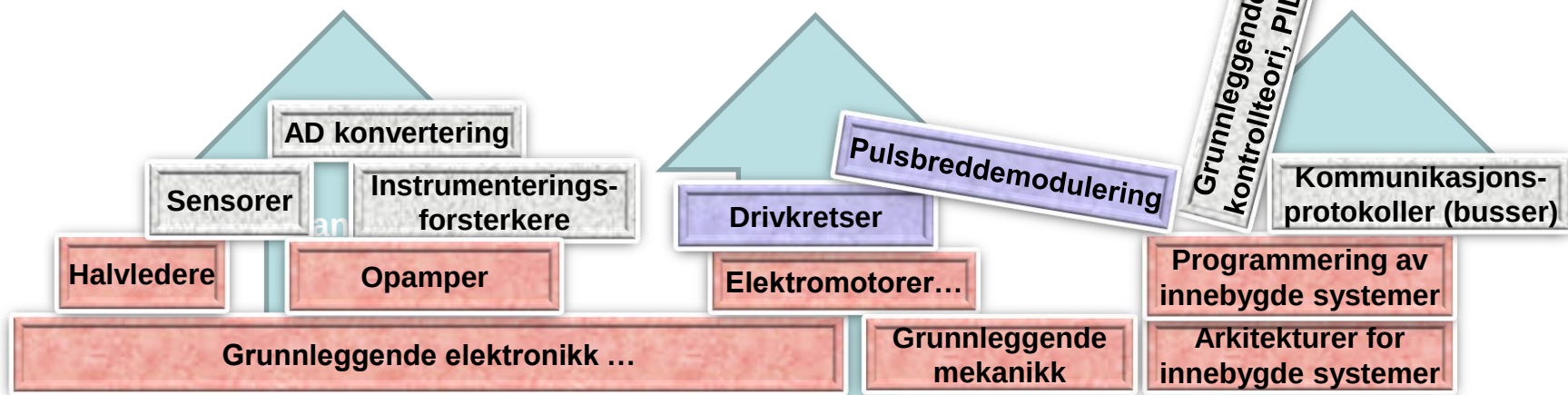
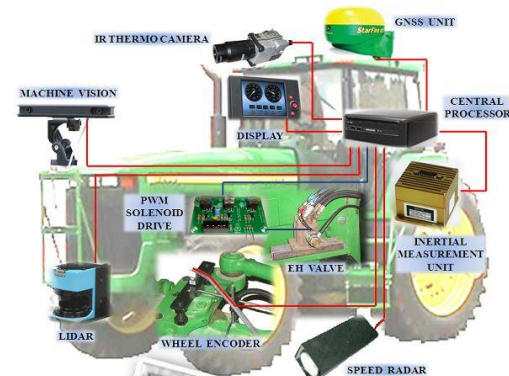
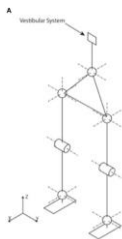
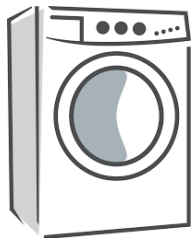
IN1080 V2022

Kraftstyring: Motordrivere og Pulsbreddemodulering



Hvor står vi – hvor går vi...

Formål: Å lage og programmere mekatroniske systemer



Mål

- Å kunne velge og benytte driverkretser for motorstyring.
 - Kjenne til hvorfor vi bruker spesielle driverkretser til motorer og andre spolebaserte aktuatorer
 - Kjenne til vanlige typer driverkretser og prinsippene bak disse.
 - Kjenne til pulsbreddemodulasjon og hvorfor dette er mye brukt.
- Å kunne programmere systemer som driver motorer

Oversikt

- Hvorfor motordrivere
- Krafttransistorer prinsipp
- Pulsbreddemodulasjon - prinsipp
- Spoler og kondensatorer
- Selvinduksjon, snubbing
- Driverkretser
 - Halvbro
 - H-bru
 - Eksempel
- Strømstyring av motorer
 - Regneeksempel..



...Hvorfor Motordrivere...

Kan man drive en motor direkte fra en mikrokontroller?

- **NEI!**

- Overbelastning:

- Pinnene til en mikrokontroller kan ikke drive nok strøm =>*

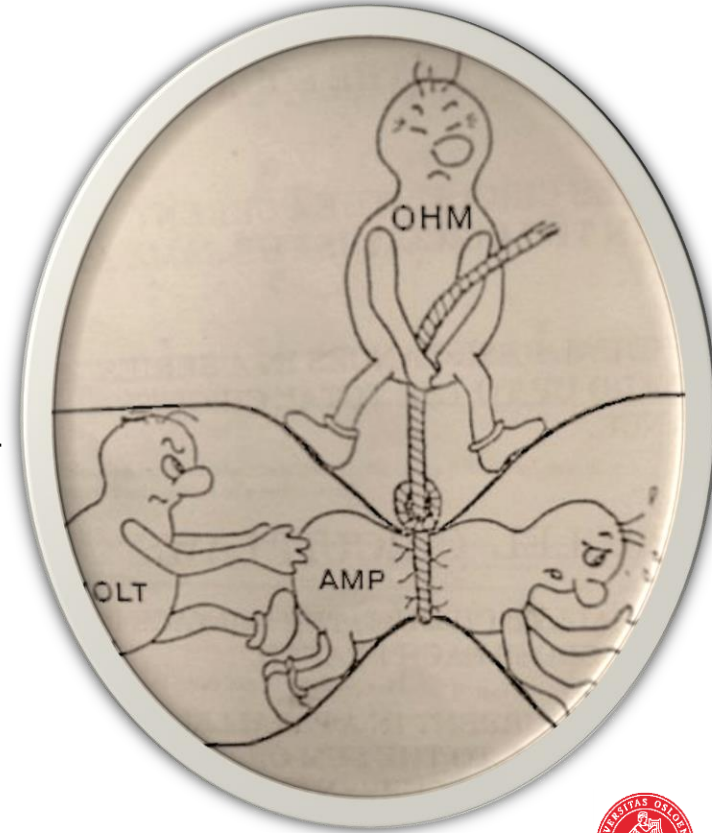
- Chipen brenner opp *og/eller*
 - Spenningen i chipen faller og kortet slutter å virke *og/eller*
 - Spenningen på pinnen faller

- Motorer trenger ofte høyere spenning enn en mikrokontroller

- Mikrokontrolleren må beskyttes mot strøm fra induktive laster.

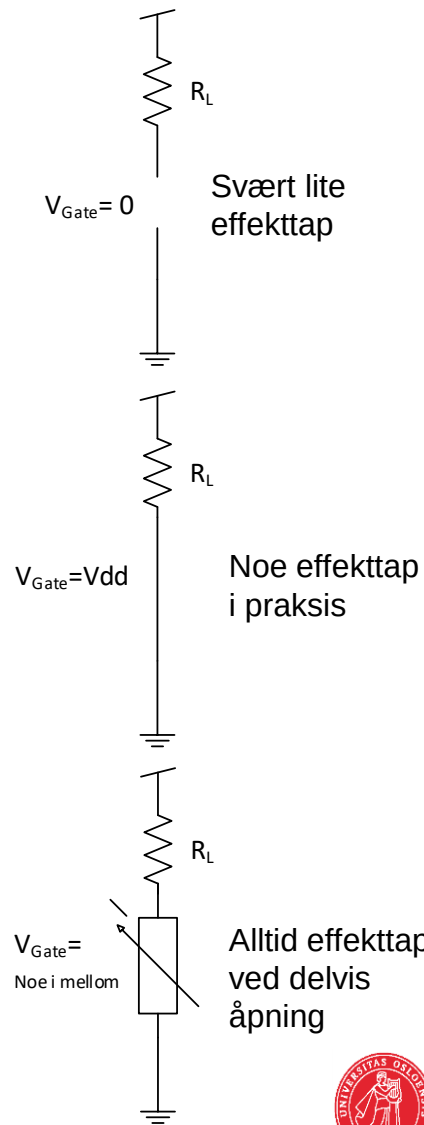
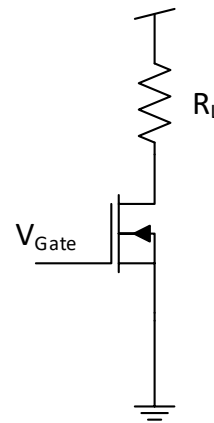
- Disse kan gi (mye) høyere enn spenning enn den som ble brukt for å få motoren opp i hastighet
 - Eks: Arduino Due (ATMEL SAM3X) absolute maximum rating:
4V input, 9mA / pinne (totalt max for alle pinner: 150mA).

- => vi må benytte dedikerte kretser for å drive aktuatorer/motorer.



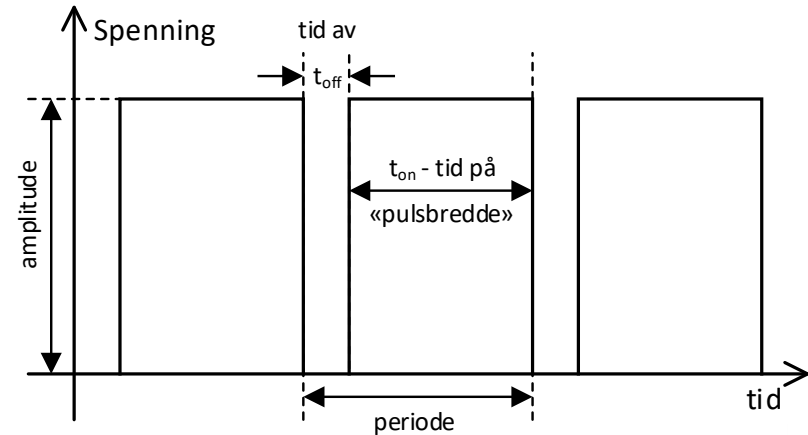
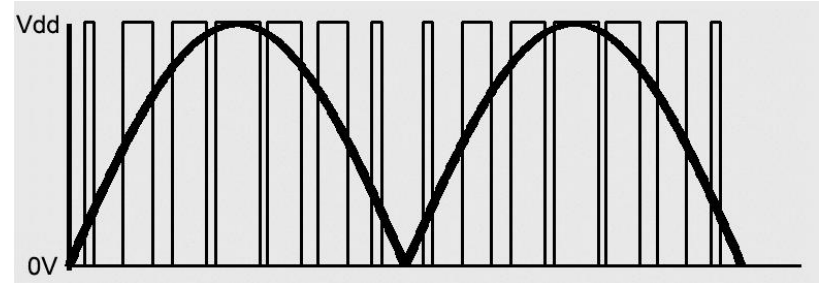
Transistor - digital vs analog modus

Tilstand	Gate-spenning*/ Base-strøm** (*MOSFET,IGBT, **BJT)	Egenskaper
Åpen	0	Effekttapet i transistoren blir 0W - det ikke går noe strøm
Lukket	Max	Hvis spenningsfallet over utgangen er 0V blir effekttapet over transistoren 0W da det ikke er noen spenning over transistoren ($P=VI$, $V=0$ – ideell transistor) I praksis vil det bli et lite spenningsfall over utgangen og dermed blir effekttapet: <i>spenningsfallet · utgangstrøm</i>
Delvis åpen/ lukket	<0-Max>	I denne tilstanden vil effekttapet over transistorer kunne være veldig høyt. <i>Transistoren fungerer da som en variabel resistor som danner en spenningsdeler sammen med last.</i> Vi får <u>alltid</u> et visst tap ved <u>switching</u> mellom tilstander, avhengig av tiden det tar å skifte tilstand. Normalt ønsker vi å minimere switchetiden.



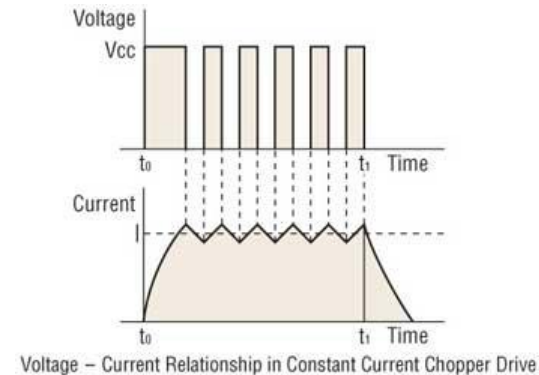
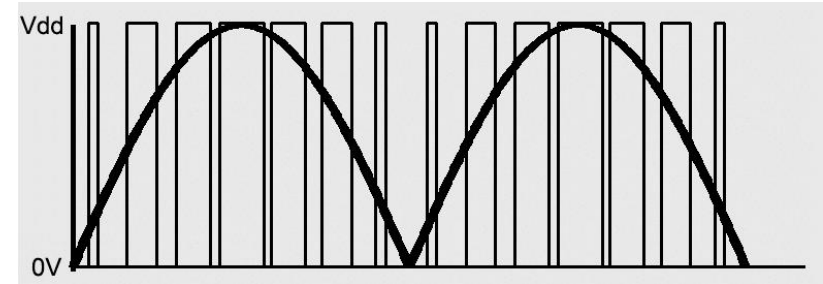
Pulsbreddemodulasjon (PWM)

- Spenningsdeling gir utvikling av varme => tap av effekt.
- For å unngå varmetap:
 - alltid helt av eller helt på
 - *Minst mulig tid mellom høy/lav.*
- “Analoge utgangsspenninger” fås ved
 - Ulik tid av og på (“**duty cycle**”) og
 - Lavpassfiltrering...
 - Gjennomsnittlig strømtrekk *kan være viktigere* enn strøm eller spenning i hvert øyeblikk...
- Periode = tid på + tid av, $T = t_{off} + t_{on}$
- Frekvens = 1/periode, $f = \frac{1}{T}$
- Duty cycle = tid på/periode $D = \frac{t_{on}}{T} = f \cdot t_{on}$



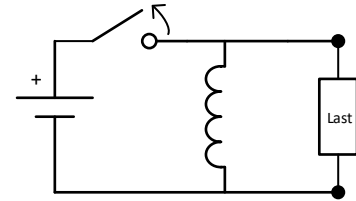
Pulsbreddemodulasjon (PWM)

- For høyere modulasjonsfrekvenser ($>2\text{kHz}$), så kan spolene i en motor utgjøre lavpassfilteret selv.
- modulasjonsfrekvensen må være minst 2x signalfrekvensen, man bruker gjerne høyere ($\sim 10\times$).
 - Her: likerettet sinus:
 - modulasjonsfrekvens ca 8g signalfrekvens
- Mengden «ripple» avhenger av filtreringsegenskapene til hele kretsen.
- Motordrivere har ofte en egen inngang for pulsbreddesignaler som kan genereres med en mikrokontroller (Arduino el.).



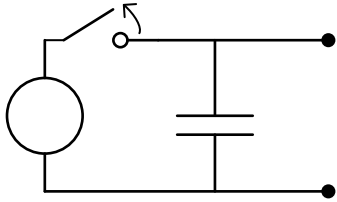
Spoler...

- Hva skjer med strømmen gjennom lasten i det vi bryter strømmen?

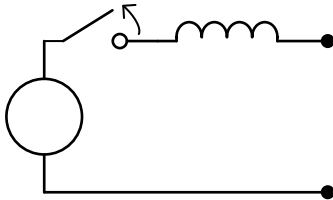


Spoler og kondensatorer

- Kondensatorer «lagrer»?



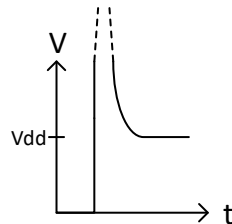
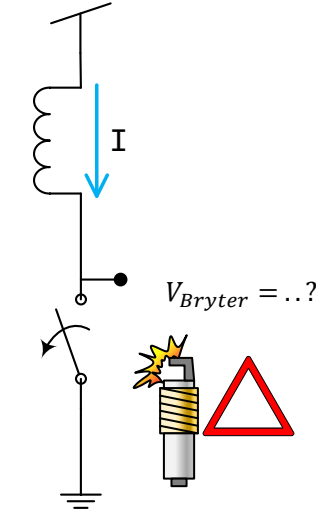
- Spoler «lagrer»?



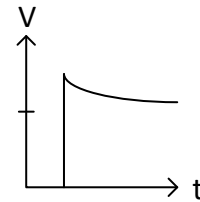
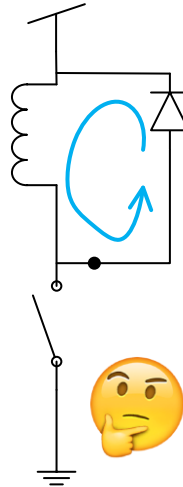
Selvinduksjon - "Inductive Flyback/kickback" og "snubbing"

Vurdér:

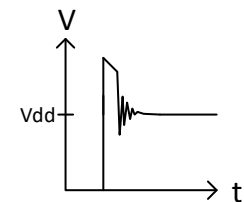
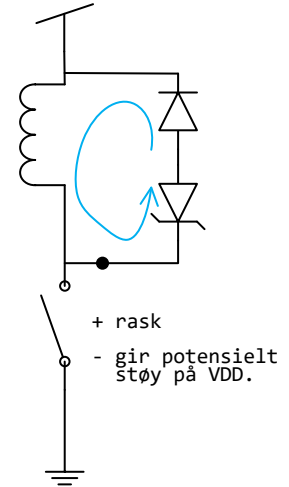
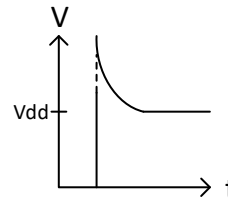
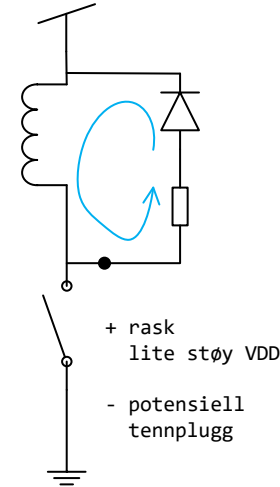
- Hva skjer med spenningen over bryteren når vi brått skruer bryteren av?
- Hva kan vi gjøre for å løse dette?
- Med en vanlig (rask) diode og en tilpasset zenerdiode (*breakdown diode*) kan man skreddersy størrelsen til induksjonsspenningen slik at vi reduserer induksjonsstrømmen så raskt så mulig uten å skade komponentene.



Spenningen stiger momentant fordi strømmen ikke har noe sted å gå...



Best egnet for «analog spenning»
=pulsbreddemodulering

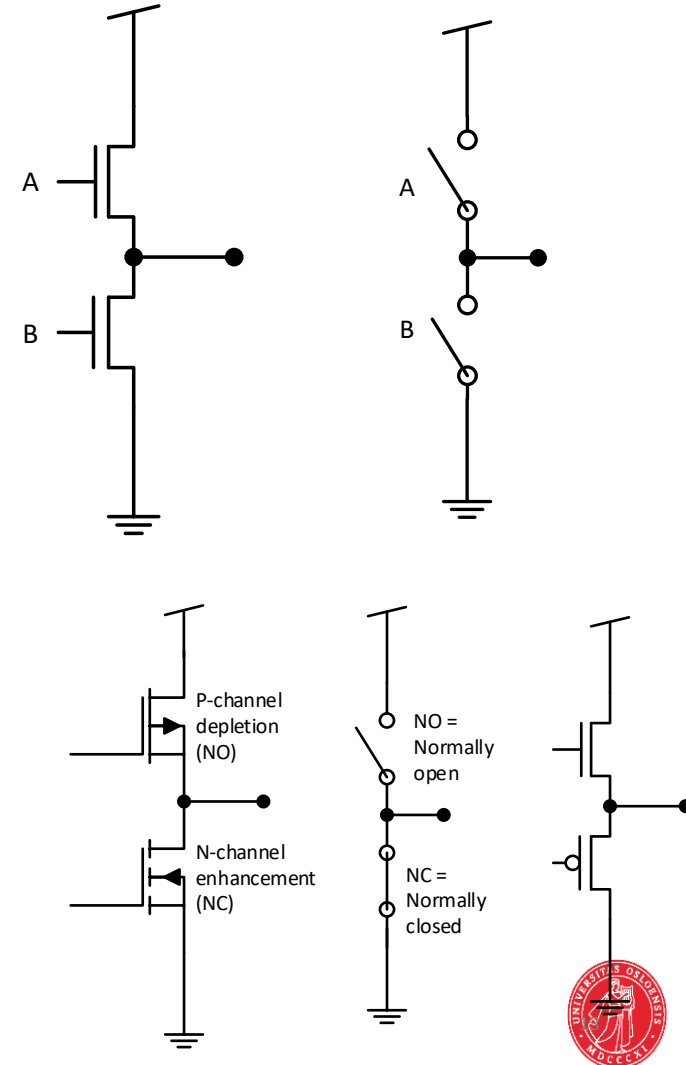


Best egnet der vi ønsker raske, presise trinn:
fullstep/halvstep/wave

Halvbro (half-bridge)

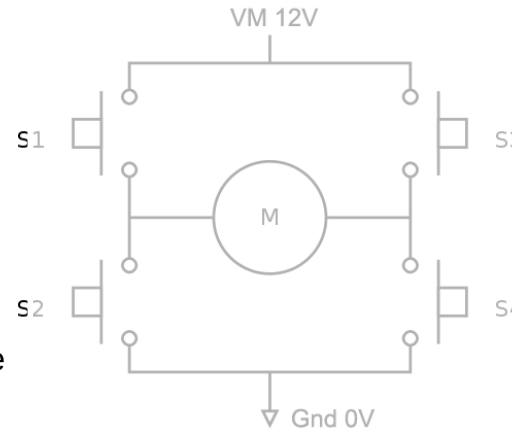
- drivekrets som kan drive
 - Aktiv høy, her: $A=1$, $B=0$
 - Aktiv lav, her: $A=0$, $B=1$
 - Høy impedanse : $A=0$, $B=0$
 - Også kalt «tristate», "Z", high-Z
- For høy strøm/spenning:
 - Alltid gå gjennom høy-impedanse ved skifte høy-lav / lav høy
 - Ulik svitsjetid for P og N transistorer gir mulighet for kortslutning
- Brukes gjerne flere sammen (3 fase driver og H-bro)
- Ofte P kanal øverst og N- kanal nederst
 - Utforming varierer (her: 1 variant, ulike digrammer)
- *Bruk av enhancement og depletion .*
 - depletion: NO, normally open
 - enhancement: NC, normally closed

Generisk halvbro

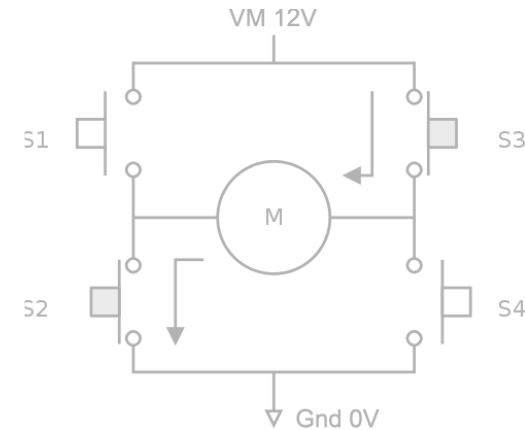


H-Bro «H-Bridge»

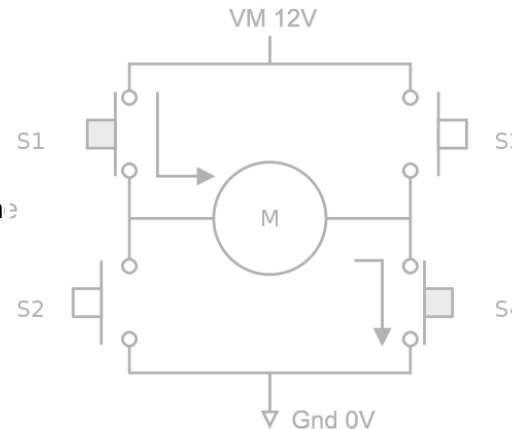
- = 2 halvbroer
- Brukes til å forsyne en last med bidireksjonal strøm.
- kan brukes når vi har høy spenning eller strømstyrke
- fire lovlige tilstander som kan styres av transistorene S1, S2, S3 og S4 (her: tegnet som bryter):
 - Høy-impedanse** (*Free running state*): Motoren er koblet fra driveren «Frikoblet»
 - Forover** (Forward state): Strømforsyningen i foroverretning.
 - Revers** (Reverse state): Motsatt strømrretning av foroverretningen.
 - Brems** (Brake state): Begge sider koblet til strømforsyning (eller begge til jord). Dette vil bremse motoren da det induseres strøm i spolen ved rotasjon.
- NB: Ulovlige tilstander:
 - S1 og S2 samtidig, evt S3 og S4 samtidig
 - Gir kortslutning...
 - NB: Switchetider ulike på høy og lav side
 - Transistorene må skrus av en tid før neste tilstand skrus på



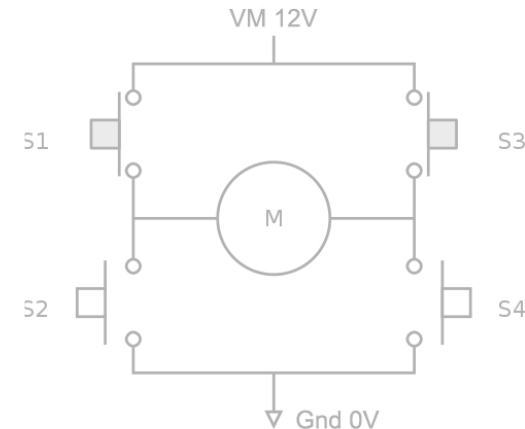
(a) Free Running State



(b) Reverse State



(c) Forward State

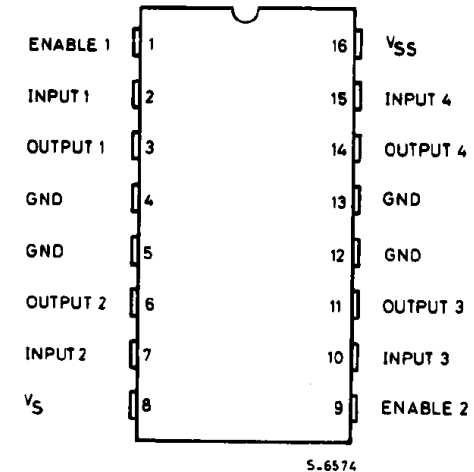
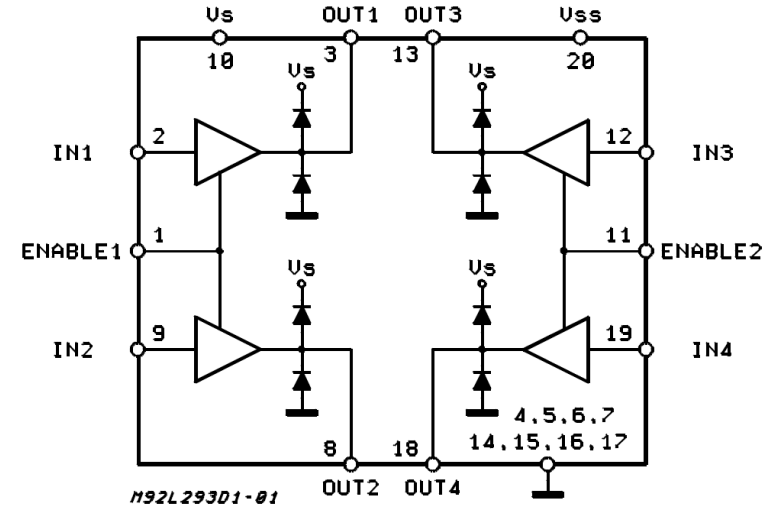


(d) Brake State

Eksempel:

Arduino motor driver, L293D

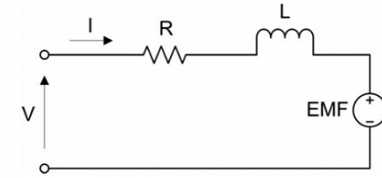
- "push-pull four channel driver with diodes"
 - Ikke H-bru; kan brukes som 2 H-bruer
 - Velegnet til steppermotorer...
 - V_S – logic voltage typ. ~5V
 - V_{SS} – motordriver 5-36V
- Push-pull driver
 - Som opamp med positiv tilbakekobling...
 - Innmaten er ikke beskrevet
- Dioder (Snubbing)
 - Tar unna strøm fra motor
 - Opp til 0,6A (før spenning bygger seg opp...)
- Bruke som H-bru:
 - Feste motor/ fase mellom
 - OUT1 og OUT2
 - OUT2 og OUT3
 - Skru av enable for å få høy impedanse
- Maks ca 5 kHz.. (Hva skjer hvis vi øker frekvensen?)



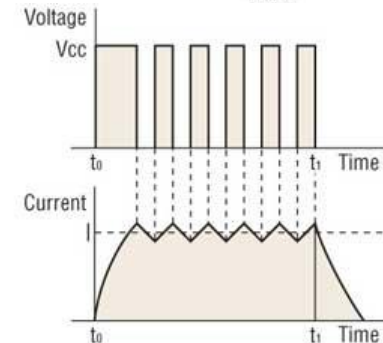
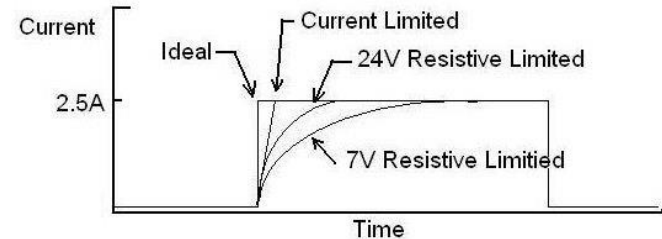
S.6574

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.

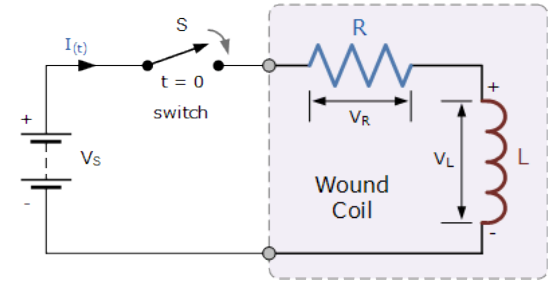


Current vs time for stepper motor winding

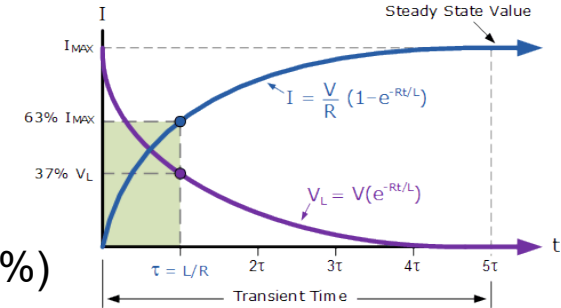


Voltage - Current Relationship in Constant Current Chopper Drive

Tidskonstanten i en RL krets

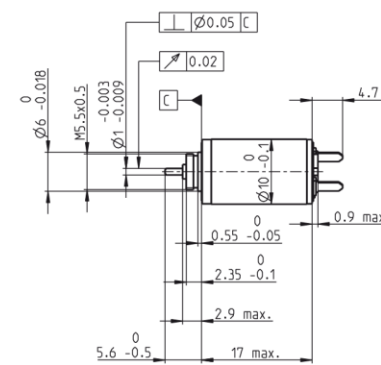
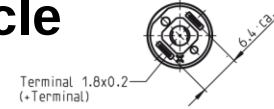


- $\tau = \frac{L}{R}$
- $V_L = V_S \left(e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$
 - alternative skrivemåter: $V_L = V_S \left(e^{-\frac{Rt}{L}} \right) = V_S \left(e^{-\frac{L}{Rt}} \right)$
- $1\tau: V_L = 37\% \text{ av } V_S \quad I(t) = 63\% \text{ av } V_S/R$
- $5\tau: V_L = 0,7\% \text{ av } V_S \quad I(t)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



- 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

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)