



UiO • **Institutt for informatikk**

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

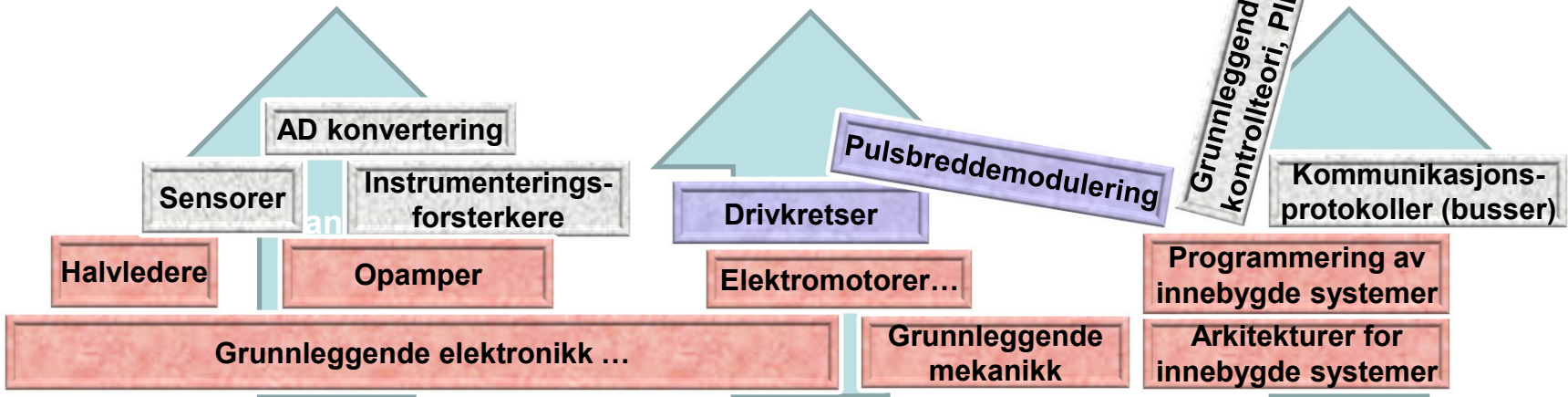
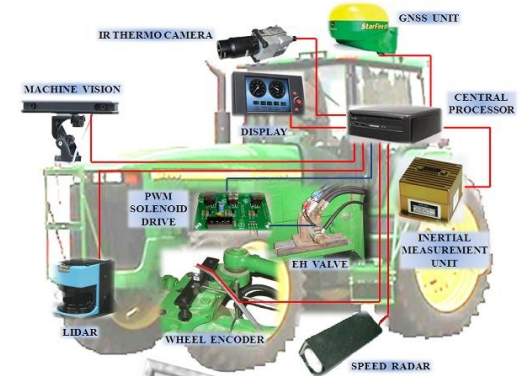
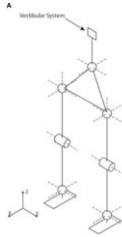
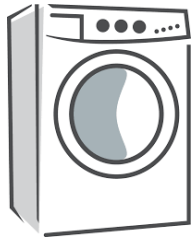
IN1080 V2022

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 =>*

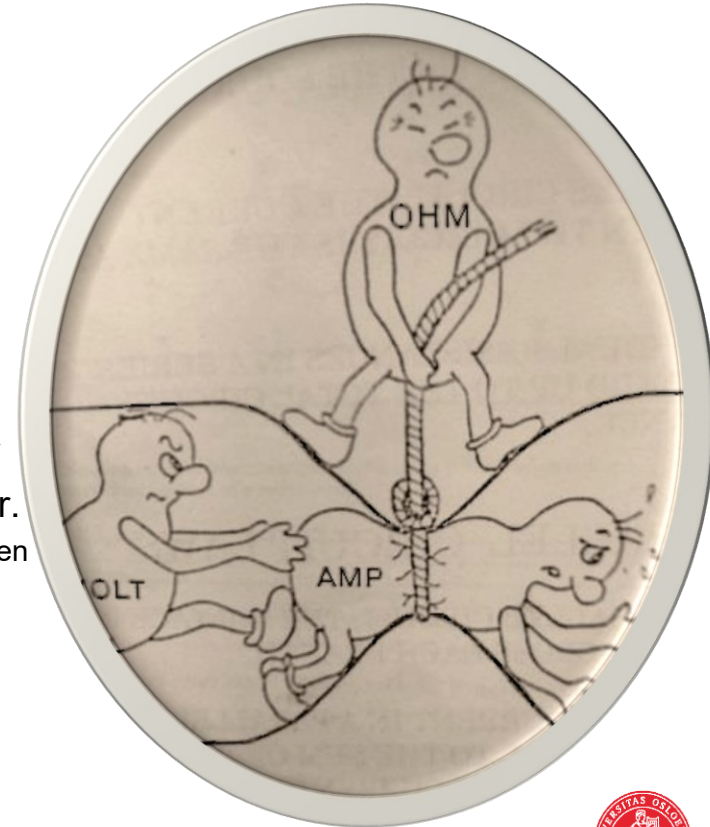
- Chipen brenner opp *og/eller*
 - Spenningen i chipen faller og kortet slutter å virke *og/eller*
 - Spenningen på pinnen faller

- Motorer trenger ofte høyere spenning enn en mikrokontroller

- Mikrokontrolleren må beskyttes mot strøm fra induktive laster.

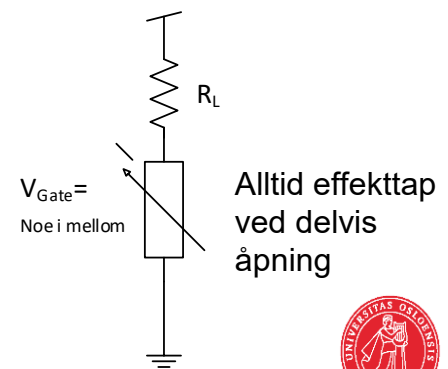
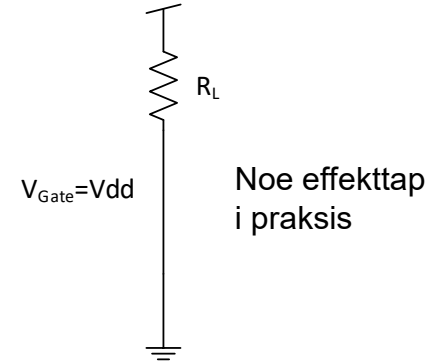
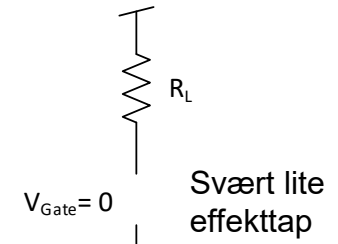
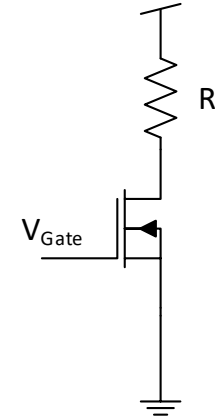
- kan gi (mye) høyere enn spenning enn den som ble brukt for å få motoren opp i hastighet
 - Eks: Arduino Due (ATMEL SAM3X) absolute maximum rating: 4V input, 9mA / pinne (totalt max for alle pinner: 150mA).

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



Transistor - digital vs analog modus

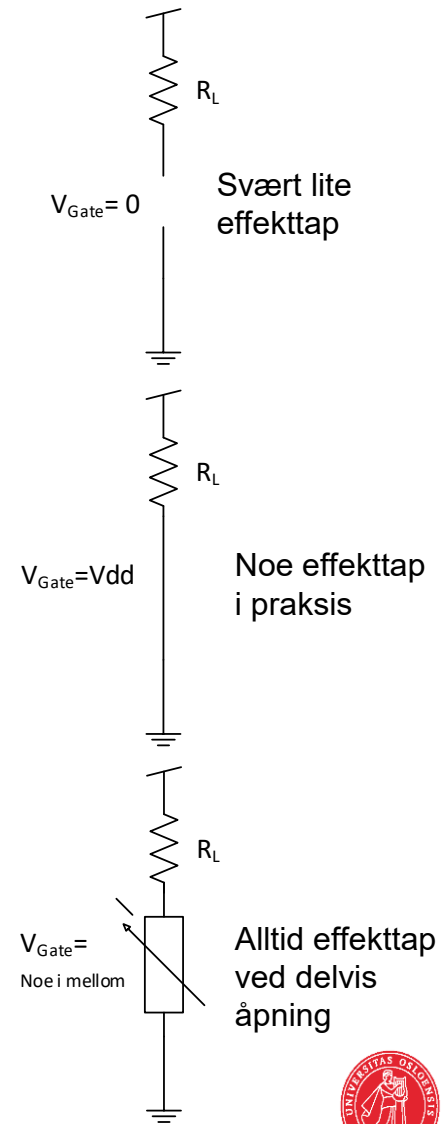
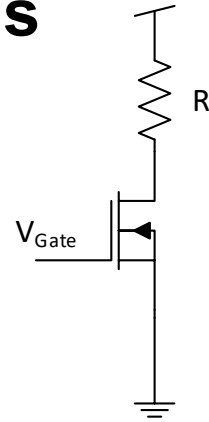
Tilstand	Gate-spenning*/ Base-strøm** (*MOSFET,IGBT, **BJT)	Egenskaper
Åpen	0	Effekttapet i transistoren blir 0W - det ikke går noe strøm
Lukket	Max	Hvis spenningsfallet over utgangen er 0V blir effekttapet over transistoren 0W da det ikke er noen spenning over transistoren ($P=VI$, $V=0$ – ideell transistor) 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 alltid et visst tap ved switching mellom tilstander, avhengig av tiden det tar å skifte tilstand. Normalt ønsker vi å minimere switchetiden



Transistor - digital vs analog modus

Hvordan variere strøm med
minst mulig tap?

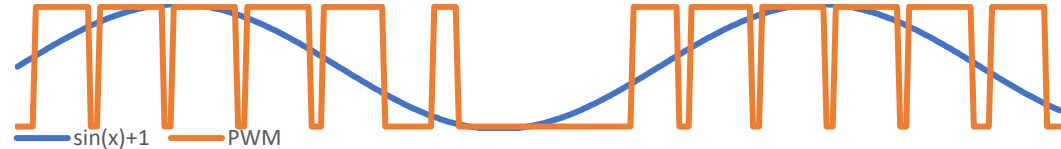
...



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.*



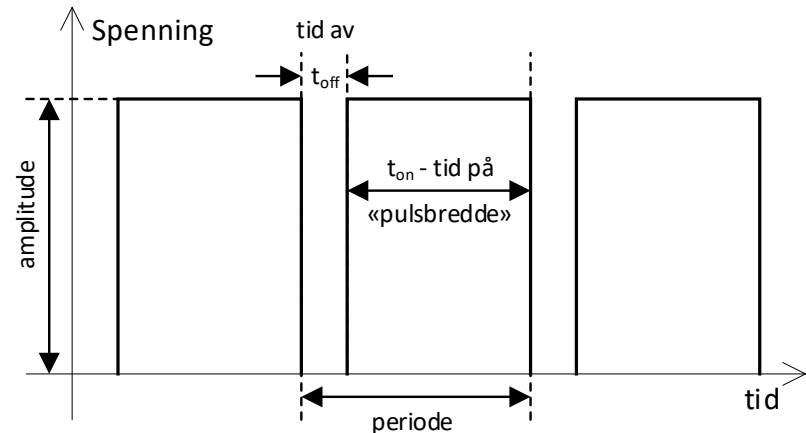
- “Analoge utgangsspenninger” fås ved
 - Ulik tid av og på (“**duty cycle**”) og
 - Lavpassfiltrering...
 - Gjennomsnittlig strømtrekk *kan være viktigere* enn strøm eller spenning i hvert øyeblikk...

- Periode = tid på + tid av, $T = t_{off} + t_{on}$

- (Modulasjons) frekvens = 1/periode, $f = \frac{1}{T}$

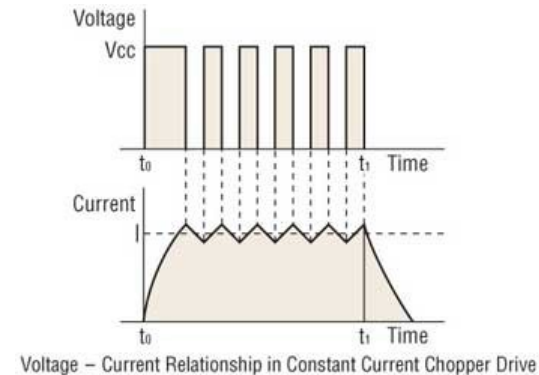
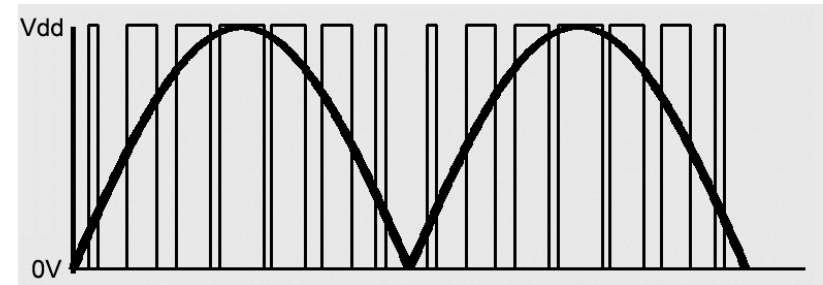
NB: modulasjonsfrekvens \neq signalfrekvens

- Duty cycle = tid på/periode $D = \frac{t_{on}}{T} = f \cdot t_{on}$



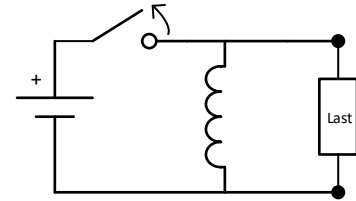
Pulsbreddemodulasjon (PWM)

- 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 ($\sim 10x$).
 - 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.).



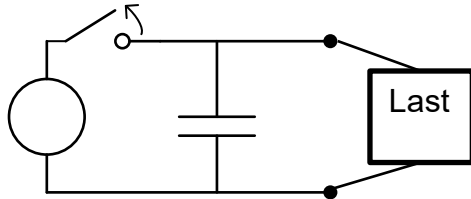
Spoler...

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

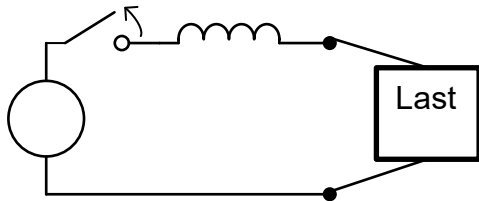


Spoler og kondensatorer

- Kondensatorer «lagrer»?



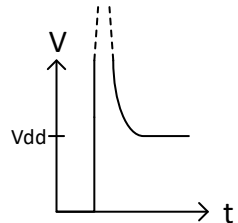
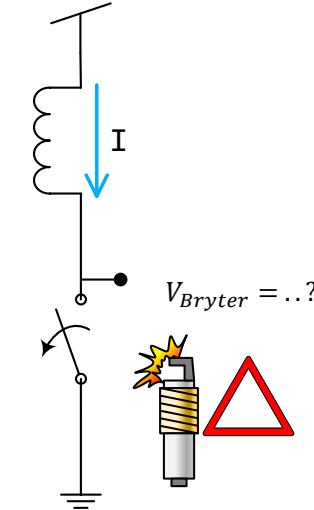
- Spoler «lagrer»?



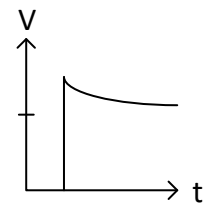
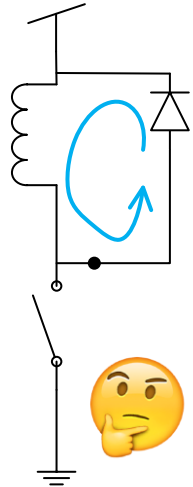
Selvinduksjon - "Inductive Flyback/kickback" og "snubbing"

Vurdér:

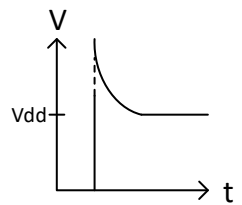
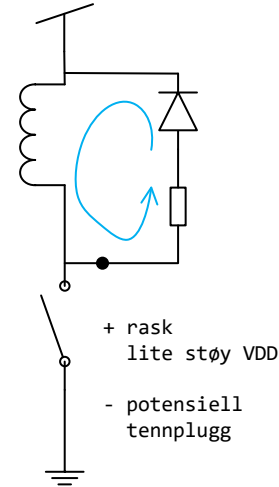
- Hva skjer med spenningen over bryteren når vi brått skruer bryteren av?
- Hva kan vi gjøre for å løse dette?
- Med en vanlig (rask) diode og en tilpasset zenerdiode (*breakdown diode*) kan man skreddersy størrelsen til induksjonsspenningen slik at vi reduserer induksjonsstrømmen så raskt så mulig uten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



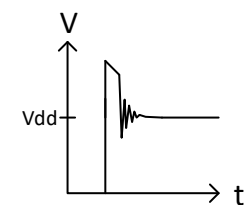
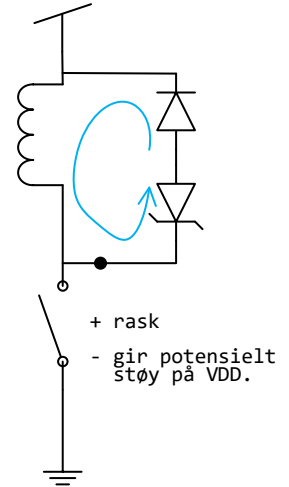
Spenningen stiger momentant fordi strømmen ikke har noe sted å gå...



Best egnet for «analog spenning»
 =pulsbreddemodulering

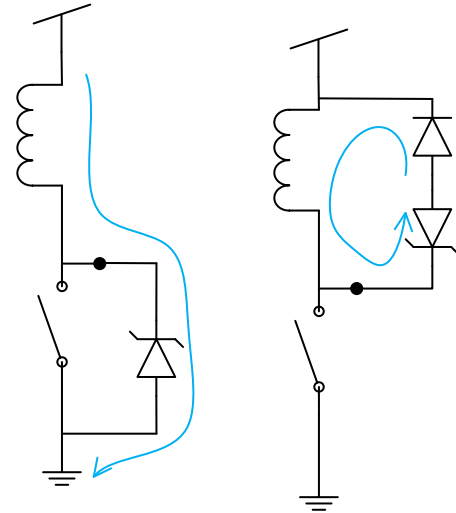


Best egnet der vi ønsker raske, presise trinn:
 fullstep/halvstep/wave



Zener snubbing

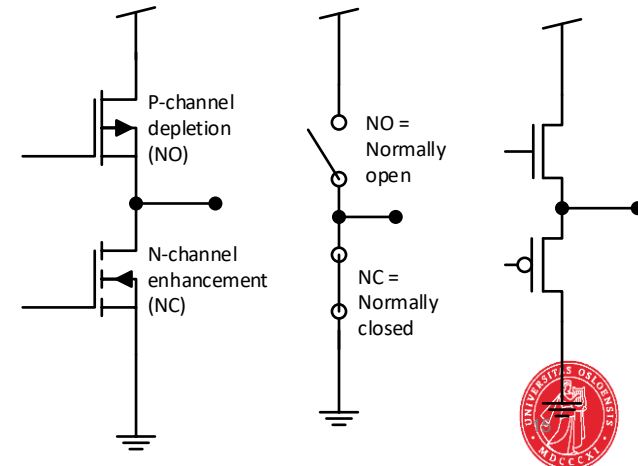
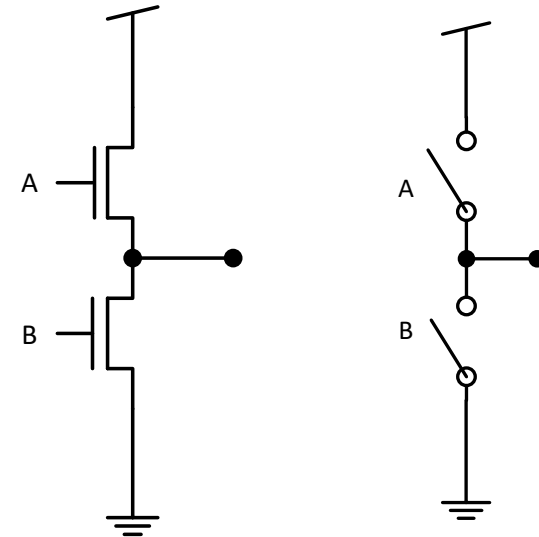
- Kan gjøres mot VDD eller jord
 - Mot jord:
 - krever Zener breakdown-spenning $> V_{dd}$
 - Mot Vdd:
 - krever en sperrediode mot Vdd, for å unngå kortslutning når kretsen er sluttet.



Halvbro (half-bridge)

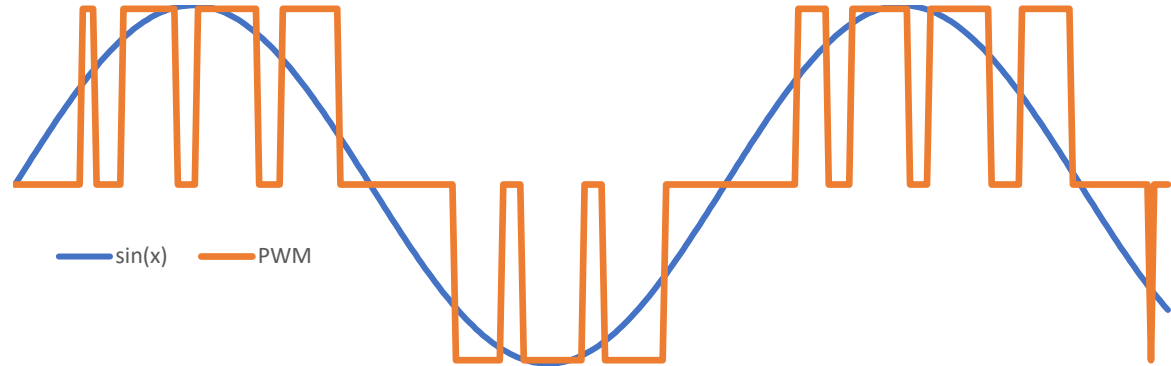
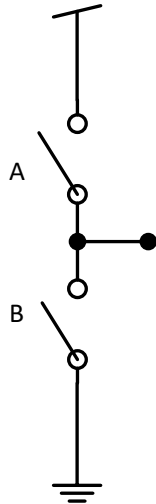
- drivekrets som kan drive
 - *Aktiv høy*, her: $A=1, B=0$
 - *Aktiv Lav*, her: $A=0, B=1$
 - *Høy impedanse* : $A=0, B=0$
 - Også kalt «tristate», "Z", high-Z
- For høy strøm/spenning:
 - Alltid gå gjennom høy-impedanse ved skifte høy-lav / lav høy
 - Ulik svitsjetid for P og N transistorer gir mulighet 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



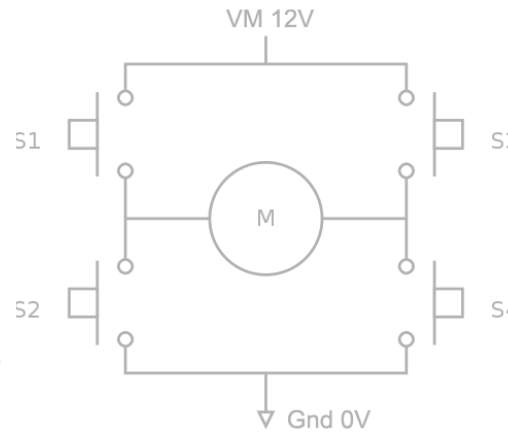
Pulsbreddemodulasjon for halvbro

- +1 => A er "på"
 - ellers er A av
- -1 => B er "på"
 - ellers er B av

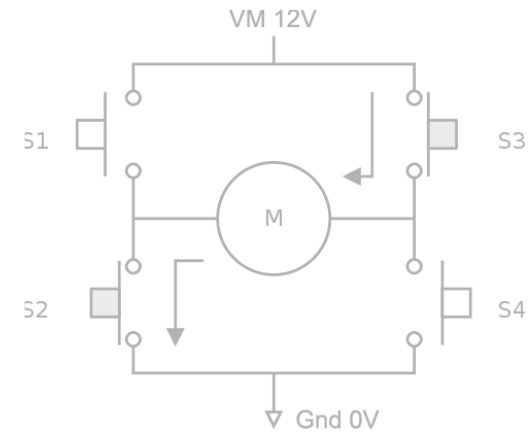


H-Bro «H-Bridge»

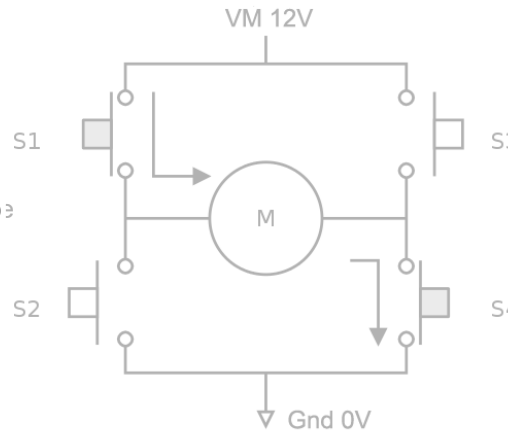
- = 2 halvbroer
- Brukes til å forsyne en last med bidireksjonal strøm.
- kan brukes når vi har høy spenning eller strømstyrke
- fire lovlige tilstander som kan styres av transistorene S1, S2, S3 og S4 (her: tegnet som bryter):
 - **Høy-impedanse** (*Free running state*): Motoren er koblet fra driveren «*Frikoblet*»
 - **Forover** (Forward state): Strømforsyningen i foroverretning.
 - **Revers** (Reverse state): Motsatt strømretning 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



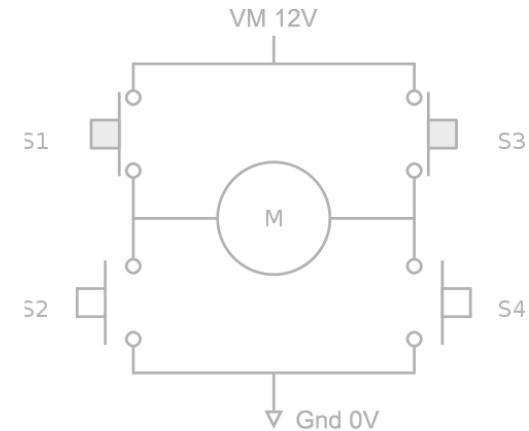
(a) Free Running State



(b) Reverse State



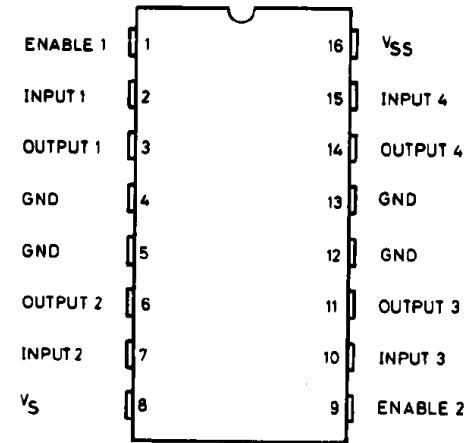
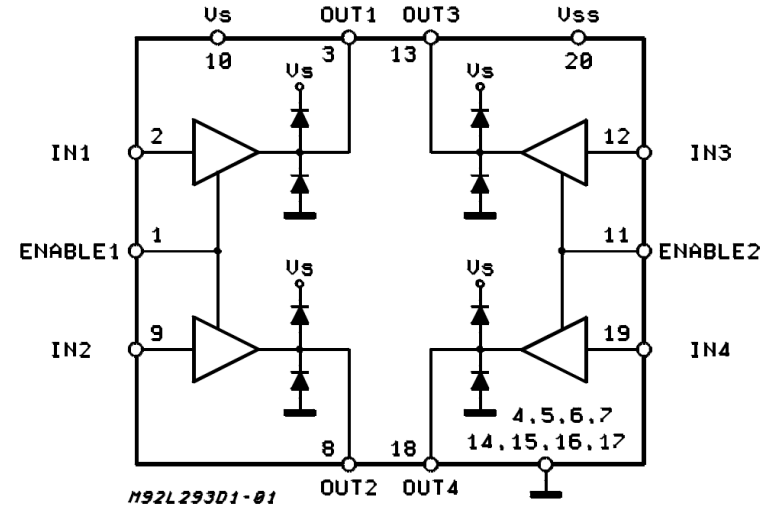
(c) Forward State



(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_{SS} –logic voltage typ. ~5V
 - V_S - 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?)

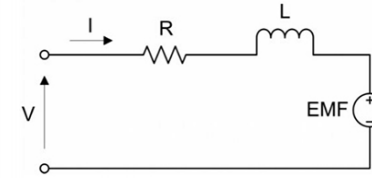


5.6574

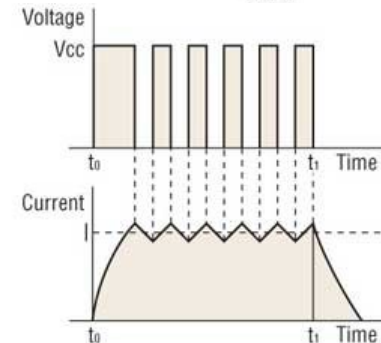
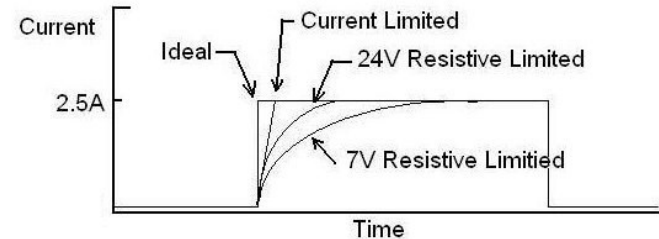
Strømstyring av steppermotor

- 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 forsyngingskilde 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.

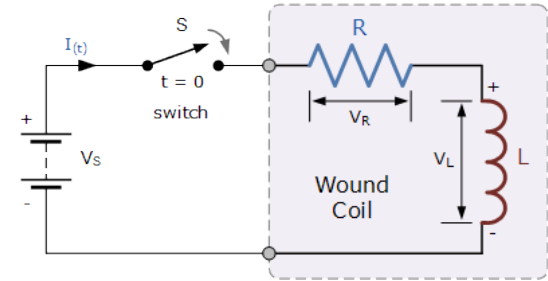


Current vs time for stepper motor winding

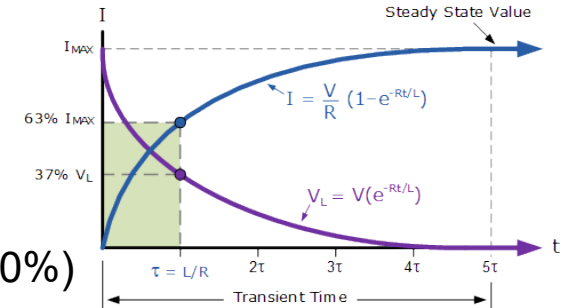


Voltage - Current Relationship in Constant Current Chopper Drive

Tidskonstanten i en RL krets

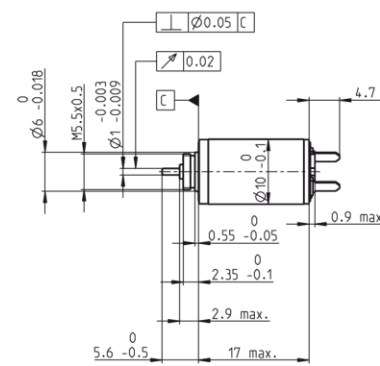
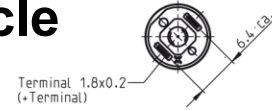


- $\tau = \frac{L}{R}$
- $V_L = V_S \left(e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$
 - alternativt: $V_L = V_S \left(e^{-\frac{Rt}{L}} \right)$
- 1τ : $V_L = 37\%$ av V_S $I(t) = 63\%$ av V_S/R
- 5τ : $V_L = 0,7\%$ av V_S ($\sim 0\%$) $I(t) = 99,3\%$ av V_S/R ($\sim 100\%$)



- Merk: Regnestykket her fungerer bare i det man setter på strømmen...
 - Hva skjer hvis vi skur 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		118382	118383	118384	118385	118386	118387	118388	118389	118390	118391
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



Litteratur

- COK:
 - 23.1-4
- Oppgaver
 - 23. 1, 2, 3, 7, **9**, 10

(1 oz = 28,35gram, 1 in = 2,54 cm)