

DC-DC konverter

Denne øvelse introducerer de grundlæggende dele af en DC-DC konverter. Som et oplæg kigger vi på op-konvertering af 5 V til 15 V. Vær opmærksom på at det kun er konverterens arbejdsprincip der introduceres. For en praktisk opstilling skal der være en regulering som fastholder udgangsspændingen. Den interesserede studerende kan implementere en simpel regulering (optionelle del af øvelsen). Det essentielle er at forstå princippet i overførelse af effekt hen over en spændingsbarriere ved brug af spole og diode i et kredsløb hvor en transistor skifter ON/OFF.

Første del af den foreslåede øvelse er en op-konverter og anden del (optionel) er valgfri hvor en PSOC eller anden mikroprocessor benyttes for monitorering og regulering af udgangsspændingen.

Det forventes at de studerende arrangerer sig i mindre grupper inden øvelsens start. Der anbefales at der udarbejdes en journal i forbindelse med øvelserne. Den skal ikke afleveres eller godkendes. Journalen skal ikke fremlægges ved eksaminationen, men det må forventes at der kan blive stillet spørgsmål til konklusioner fra øvelsen.

Indhold

Del 1: DC-DC (op)konvertering	2
Målekredsløb og analyse	2
Dimensionering	3
Målinger	4
Diskussion.....	6
Note om PWM oscillator	7
Regulering	8
Implementering.....	8

Del 1: DC-DC (op)konvertering

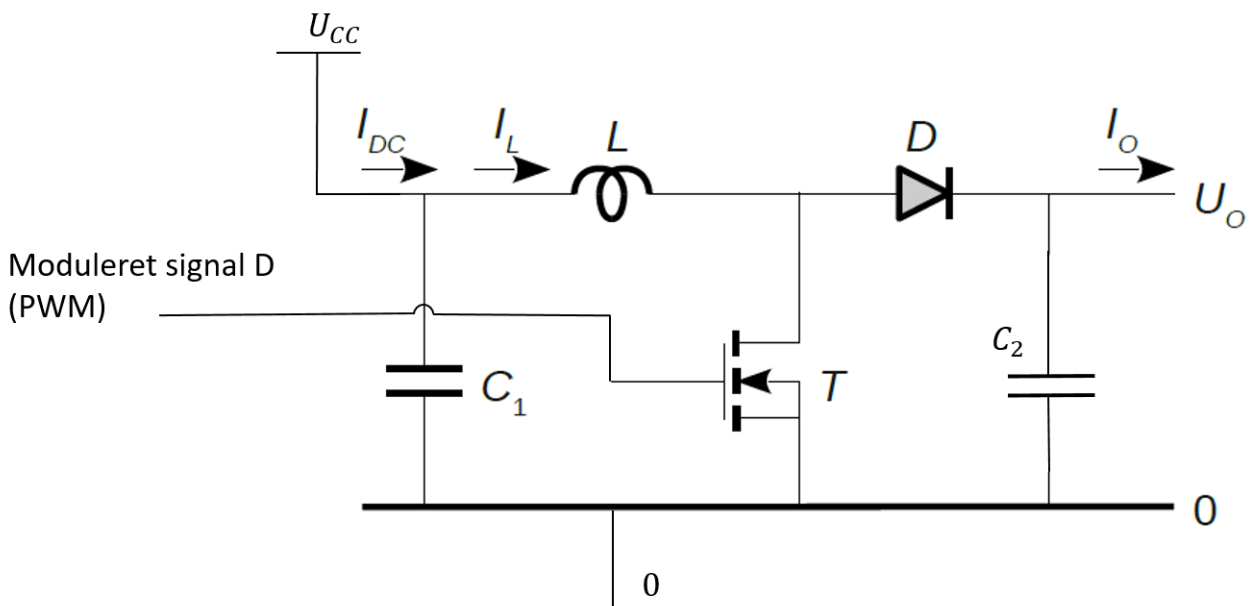
Ved øvelsen designs et kredsløb for en DC-DC op-konverter som efterfølgende opbygges og verificeres i elektroniklaboratoriet. Det er målet at studere en DC-DC konverters funktion samt at analysere nogle af mulighederne og begrænsningerne ved denne type design.

Krav:

- Indgangsspænding (U_{CC}): 5V
- Udgangsspænding (U_O): 15 V
- Belastning, udgang (I_O): 20-100 mA
- Ripplespænding < 10 mV

Målekredsløb og analyse

Vi undersøger følgende kredsløb som også er beskrevet i bogen:



Figur 1: Kredsløb for DC-DC (op)konverter.

Analysen af kredsløbet er lidt omsættning men herunder er listet de vigtigste forhold som er relevante for dimensioneringen. Alle udtryk er taget fra bogen og det anbefales at læse materialet – om ikke andet, så efter øvelsen.

- Duty cycle D er forholdet mellem den tid af en PWM periode hvor signalet er højt (t_{ON}) og den samlede periodetid ($t_{ON} + t_{OFF}$) og defineres som

$$D = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}$$

Det anbefales at holde D inden for intervallet $0.15 < D < 0.85$.

- Den forventede duty cycle kan estimeres med $D \sim 1 - \frac{U_{CC}}{U_O + U_D}$ (kan bruges til at estimere den nødvendige D).
- Switchtabet holdes under 1% hvis $f_{osc} < \frac{I_O}{50(1-D)^2 C_T U_O}$ hvor C_T er snyltekapaciteternes kapacitet ved drain ¹.

Snyltekapaciteternes kapacitet ved drain kan estimeres med

$$C_T \sim C_{DG} + C_{DS} + C_D + C_L$$

hvor C_{DG} og C_{DS} skal findes i databladet for transistoren. C_D skal findes i databladet for dioden.

C_L er den kapacitet som spolen giver. Den er ikke oplyst i nogle datablade så brug $C_L = 100$ pF.

- Ripplespændingen på udgangen kan estimeres med $U_{RIP} \sim \frac{D I_O}{C_2 f_{osc}}$ (kan bruges til at finde et godt bud på C_2)²
- Det er vigtigt at strømmen i spolen altid går i samme retning. Det betyder at rippelstrømmen gennem spolen ($I_{L,RIP}$) altid skal være mindre end den mindste DC strøm som trækkes fra forsyningen ($I_{DC,min}$). Sagt matematisk:

$$I_{DC,min} \geq I_{L,RIP}$$

Den mindste DC strøm som trækkes fra forsyningen kan estimeres med $I_{DC,min}$ ³

$$I_{DC,min} \approx \frac{1}{1-D} I_{0,min}$$

Rippelstrømmen i spolen kan findes med ⁴

$$I_{L,RIP} \sim \frac{D U_{CC}}{L f_{osc}}$$

Disse tre sammenhæng kan kombineres og bruges til at finde et udtryk for den laveste strøm $I_{0,min}$ som skal trækkes fra strømforsyningen. Herfra kan en passende værdi af spolen estimeres.

Dimensionering

DC-DC konverteren skal ALTID levere 15 V på udgangen, men strømmen kan variere mellem 20 og 100 mA. Under dimensioneringen antager vi først maksimal belastning og kontrollere sidenhen at konverteren også fungerer ned til 20 mA.

Opgave 1 (valg): Vælg halvledere

Det anbefales at benytte en MOSFET som switch da en BJT giver større tab og lang skiftetid. Vær opmærksom på at der løber en ret stor strøm i gate når transistorens kapacitet på indgangen skal oplades og aflades. Som et groft bud på strømmens størrelse

¹ Se side 384 i bogen.

² Se side 385 i bogen.

³ Se side 381 i bogen

⁴ Se side 385 i bogen

kan man antage at transistoren går ON eller OFF på blot 5 % af periodetiden. Hvis strømmen dertil antages konstant kan dens værdi estimeres fra kondensatorligningen. Strømmen skal leveres fra eller optages af PWM oscillatoren.

Som halvledere foreslås

Transistorer: IRLD024, IRFZ14, IRLZ34 eller IRLZ44N

Dioder: 1N5819 eller 1N5821.

Opgave 2 (dimensionering):

Under dimensioneringen skal der findes værdier for (listet i den rækkefølge dimensioneringen anbefales at følge):

- 1) Duty cycle D (Den andel af en periode tid hvor transistoren er åben)
- 2) PWN frekvens og kapaciteten af C_2 , under hensyntagen til
 - a. Switchtab i transistor
 - b. Maksimale ripplespænding på udgangen
- 3) Spolens størrelse under hensyntagen til
 - a. Krav til minimumsstrøm (givet gennem krav til ripplestrøm i spolen)
 - b. komponenter tilgængelige i lab.
- 4) Kondensatoren C_1 skal reducere forstyrrelser til strømforsyningen og skal i reglen være så stor som muligt – prøv f.eks. med samme størrelse som C_2 eller større.

Denne DC-DC forsyning SKAL levere strøm – den kan ikke håndtere hvis der ikke trækkes nogen strøm. Derfor er det vigtigt at sætte en modstand over udgangen til at trække strøm. Modstanden vælges afhængig af hvor meget strøm man vil trække, og dimensioneres efter Ohms lov. Husk at sikre at modstanden kan håndtere effekten.

Målinger

Bemærk at denne type strømforsyning normalt har tilbagekobling som sikre at spændingen altid er som ønsket. Det har vi ikke, og derfor kan udgangsspændingen ændres hvis man laver bare små ændringer i kredsløbet. Derfor er det vigtigt at løbende kontrollere udgangsspændingen og evt. justere D for at få den på plads igen (= du skal agere tilbagekobling).

Opgave 3 (realiser):

Byg kredsløbet på fumblebræt. Brug en funktionsgenerator eller en PSOC til at lave PWM signal. Brug belastningsmodstand som er dimensioneret til maksimal strøm.

- Opgave 4** (realiser): Find en måde at lave et PWM signal hvor duty cycle kan ændres relativt let (I kommer til at justere på den en del). Se noten om PWM længere nede.
- Opgave 5** (måling): Mål spændingen mellem jord og gate på transistoren med et oscilloskop og verificer at I får det tiltænkte signal. Mål derefter U_O med oscilloskop og vurder om det er i nærheden af det ønskede.
- Opgave 6** (justering/måling): Belast kredsløbet med maksimal strømudtræk (modstand som trækker den maksimale strøm). Juster på duty cycle D for at opnå den ønskede udgangsspænding U_O . Er forskellen stor? Noter D og I_O
- Opgave 7** (måling): Mål U_O med oscilloskop og estimer ripplespændingen. Lever den op til kravene?
- Opgave 8** (måling): Belast kredsløbet med minimal strømudtræk (modstand som trækker den mindst tilladte strøm). Mål udgangsspændingen og juster D så den igen på det ønskede niveau. Noter D og I_O
- Opgave 9** (måling): Mål U_O med oscilloskop og estimer ripplespændingen. Lever den op til kravene?
- Opgave 10** (måling): Belast kredsløbet med en strøm mellem minimum og maksimum strømudtræk. Mål udgangsspændingen og juster D så den igen på det ønskede niveau. Noter D og I_O
- Opgave 11** (databehandling): Opstil relation mellem D og I_O . Lav et hurtigt diagram som beskriver sammenhængen mellem udgangsstrøm I_O (x-aksen) og duty cycle D (y-aksen). Er den tilnærmelsesvis lineær?
- Opgave 12** (måling): Strøm
Indsæt et amperemeter i forsyningsspændingen (eller brug det på spændingsforsyningen). Belast kredsløbet med maksimal strømudtræk (modstand som trækker den maksimale strøm). Juster på duty cycle D for at opnå den ønskede udgangsspænding U_O . Mål indgangsstrømmen.
- Opgave 13** (måling): Strøm
Belast kredsløbet med minimal strømudtræk (modstand som trækker den minimale strøm). Juster på duty cycle D for at opnå den ønskede udgangsspænding U_O . Mål indgangsstrømmen.
- Opgave 14** (beregning): Effektivitet.
Beregn indgangseffekterne og udgangseffekterne for målingerne i opgave Opgave 12 og Opgave 13. Udregn herfra effektiviteten for de to arbejds punkter.

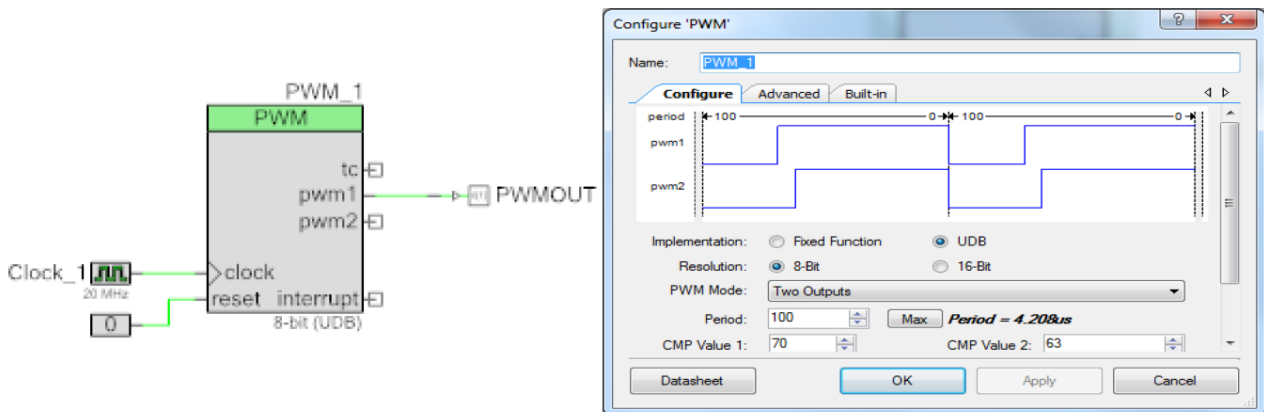
Diskussion

Vurder om I har fået lavet en DC-DC forsyning som overholder de krav som blev stillet. Har I testet forsyningen godt nok?

Note om PWM oscillator

PWM oscillator kan enten laves med en PSOC eller signalet kan genereres med elektroniklaboratoriets tonegenerator. Herunder følger en lille introduktion til hvordan man kan lave PWM med PSOC. Det nemmeste er at bruge elektroniklaboratoriets tonegenerator men hvis man vil lave regulering er man nødt til at bruge en mikroprocessor (f.eks. PSOC).

Oscillatoren kan for eksempel dannes i PSOC ved et PWM modul (Digital/Functions/PWM). Her neddesles 20 MHz til 200 kHz ved længde af perioden på 100. Den ønskede PWM værdi indstilles ved "CMP Value 1". Herunder vises indstillingen til $D = 0,70 = 70\%$.



Figur 2: Figur 2 – Oscillator dannet ved en PWM blok i PSOC.

Et eksempel på aktivering af PWM modulet i main-blokken. Der skal desuden defineres en digital udgangsport.

```
void main()
{
    /* Place your initialization/startup code here (e.g. MyInst_Start()) */
    PWM_1_Start();
    for(;;)
    {
        /* Place your application code here. */
    }
}
```

Regulering

For at håndtere justeringer af D automatisk kan man lade en regulator måle udgangsspændingen og justere D. Dette gøres altid i virkelige DC-DC konvertere. Reguleringsdesignet er dog uden for dette fags pensum men for dem som gerne vil snuse til det alligevel kan man bruge nedenstående simple regulator (den er alt for langsom til rigtige brug, men den illustrere funktionaliteten).

Opgaven er forfattet af kursets tidligere lære så der er begrænset support på denne opgave – men prøv bare alligevel.

Opgaven kan alt efter temperament udvides med regulering af udgangsspændingen. Man kan benytte PSOC delta-sigma A/D-konverteren for at måle udgangsspændingen gennem en analog port eller tilsvarende ved Raspberry-Pi eller et andet mikroprocessor kort. Med mikroprocessoren arbejdende fra 5 V skal udgangsspændingen reduceres med et eksternt modstandsnetværk for at holde den analoge værdi inden for grænserne sat af A/D konverteren og effektforsyningen. Ved $U_O = 15\text{ V}$ kan man som eksempel neddele 6:1 (med fx 75 k Ω og 15 k Ω) så konverteren får 2,5 V ved korrekt udgangsspænding. Her foretages en måling hver 1/10 sekund og D justeres ét trin op eller ned. Regulatoren bliver langsom og oscillerer omkring det korrekte.

For at vise effekten af reguleringen kan man lave sin belastning så den kan ændres – enten med potentiometre eller ved at sætte modstande i parallel og så fjerne enkelte modstande for at ændre belastningen.

Implementering

A/D konverteren kan fx sættes til:

```
Conversion Mode = Continuous
Resolution = 20 bit
Conversion Rate = 10 SPS
Input Mode = Single
Input Range = Vass to 6,144 V
Buffer Gain = 1
Buffer Mode = Rail to Rail
Vref = Internal.
```

PSOC software (main)

```
void main()
{
  /* Place your initialization/startup code here (e.g. MyInst_Start()) */
  PWM_1_Start();
  ADC_DelSig_1_Start();
  CyGlobalIntEnable; /* Uncomment this line to enable global interrupts. */
  ADC_DelSig_1_IRQ_Disable();
  ADC_DelSig_1_IRQ_Enable();
  ADC_DelSig_1_StartConvert();
  PWM_1_WritePeriod(100);
  PWM_1_WriteCompare(70);
  for(;;)
  {
    /* Place your application code here. */
  }
}
```



```
}

```

PSOC software (interrupt)

Der er brug for læsning af data fra A/D konverteren Vadc, indstilling af pulsbredde $D = 0,70$ (som startværdi) der skrives direkte til PWM modulet og periodens længde P.

```
/* `#START ADC_SYS_VAR` */
float Vadc=0;
int8 D=70;
const P=100;
/* `#END` */

```

Den læste af værdien fra spændingsdeleren ved Vadc sammenlignes med den forventede værdi på 2,5 V og pulsbredden D justeres en op eller ned alt efter resultatet.

```
CY_ISR( ADC_DelSig_1_ISR1)
{
    /* `#START MAIN_ADC_ISR1` */
    ADC_DelSig_1_StopConvert();
    Vadc=ADC_DelSig_1_CountsTo_Volts(ADC_DelSig_1_GetResult32());
    if (Vadc < 2.5) if (D < P) D=D+1;
    if (Vadc > 2.5) if (D > 0) D=D-1;
    PWM_1_WriteCompare(D);
    ADC_DelSig_1_StartConvert();
    /* `#END` */
}

```