

## 24 DC til DC omformer

Der er forskellige principper, der kan anvendes, når ønsket er at konvertere mellem to DC spændinger.

Skal der reduceres en spænding, kan en lineær spændingsdeler med to modstande gøre det. Udbygges den med en zenerdiode, stabiliseres spændingen, men virkningsgraden er stadig dårlig. En spændingsdeler med en transistor, der virker som en analog regulator, kan give en meget stabil spænding. En spænding der er lavere end indgangsspændingen, men virkningsgraden af denne klassiske regulator er stadig dårlig.

Ovennævnte principper kan ikke bruges, hvis der ønskes en højere spænding på udgangen, eller der ønskes en DC spænding med modsat polaritet. Den umiddelbare metode til at forhøje spændingen er at anvende en vekselretter, som forsyner en transformator. Transformatoren ændrer spændingen og strømmen. Den nye vekselspænding ensrettes og udjævnes med en kondensator og reguleres med en analog transistor regulator som ovenfor og med samme dårlige virkningsgrad.

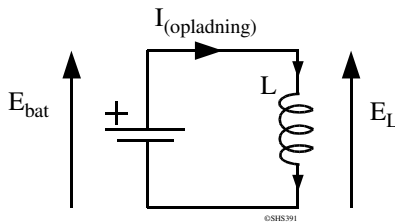
Denne metode anvendes stadig, men der er bedre metoder. Boost, buck og buck-boost er principperne, hvor det udnyttes, at spoler og kondensatorer kan opbevare energi. Med anvendelsen af hurtige transistorer, der kan tænde og slukke for større strømme uden noget videre tab, kan man opbygge effektive omformere. Teknikken kaldes SMPS (Switch Mode Power Supply) og arbejder med høje frekvenser og hurtige kontakter, så EMC (Electromagnetic compatibility) problematikken er lige så relevant her som ved frekvenskonverteren.

Tabene i disse kredsløb er små, hvorfor virkningsgraden for denne type kredsløb typisk ligger væsentligt over 90 %. Transistoren slutter og bryder dog ikke helt uden tab, og der vil være strømvarmetab og jernstab i spolen, men også i kondensatoren er der lidt strømvarmetab, som begynder at spille ind, når virkningsgraden bliver tæt på 100 %.

Styringen af disse kredsløb skal være ganske præcis, hvis der ønskes en høj virkningsgrad og en konstant spænding på udgangen. Med moderne elektronik er dette ikke noget problem, og der er mange leverandører, der kan levere de nødvendige integrerede kredse med avancerede algoritmer indbygget.

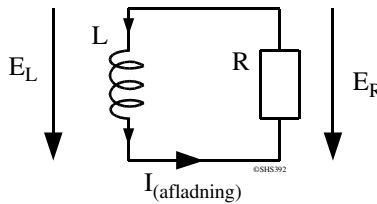
## 24.1 Op og afladning af en spole

Det kan være nyttigt, at repetere nogle forhold om spænding og strøm. Ifølge Kirchoffs spændingslov, gælder det, at spændingen over en belastning er højest, hvor strømmen løber ind i belastningen. Når spolen oplades, som vist i figur 136, er spolen en belastning, og spændingen er højest, hvor strømmen løber ind.



Figur 136: Spole, som belastning, der oplades

Når forbindelsen til batteriet afbrydes, og der forbindes en modstand til spolen, som vist i figur 137, gælder det, at spolen umiddelbart herefter skal afgive sin energi, og den skal nu til at være spændingskilde. Strømmen løber stadig i den samme retning (nedad på tegningerne), og spændingen vender momentant 180 grader, hvorefter spolen nu er en strømkilde, og strømmen løber ud, hvor spændingen er højest.



Figur 137: Spole som energikilde der aflades

Modstanden er nu belastningen, og strømmen løber ind, hvor spændingen er højest.

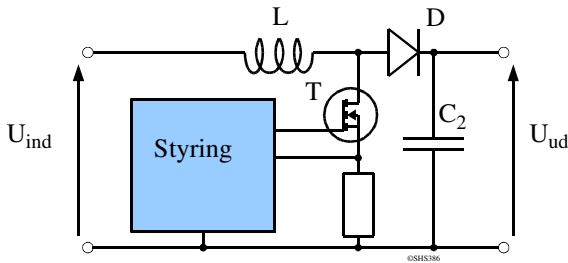
## 24.2 Boost regulator

### Hæver en spænding, en step-up konverter

”Boost” konverteren er tidligere omtalt i forbindelse med PFC i afsnit 17.1.8, hvor den i forbindelse med ensretning af en vekselspænding kan give en højere spænding over kondensatoren, end det kendte  $\sqrt{2}$  forhold. Her udnyttes, at boost konverteren kan hente energi ved et lavt spændingsniveau og aflevere det igen ved et højere spændingsniveau.

Kredsløbet kunne styres således, at den strøm, udstyret trak fra nettet, var proportional med spændingen fra nettet. På denne måde blev strømmen også sinusformet, og der opnåedes en fin effektfaktor. Ved ensretning af 230 V 50 Hz vekselspænding fås typisk 360 V DC, hvor de 230 V ellers kun vil give en spidsspænding på 325 V.

En anden anvendelse er, hvor der er en lav DC spænding til disposition og der ønskes en højere. Det kan være fra 12 V DC til 24 V DC eller ved en lille solcellelampe til at hæve spændingen fra det genopladelige NiMH batteris 1,25 V til de 2-3 V, som lysdioden skal bruge.



Figur 138: Boost princip

Funktionen kan nemmest beskrives ved at komme ind i konverterens cyklus, når transistoren leder, og der begynder at flyde en strøm igennem spolen L og transistoren T. Strømmen i spolen opbygger energi i magnetfeltet.

På et tidspunkt afbryder styringen transistoren, og den igangsatte strøm igennem spolen kan ikke løbe igennem transistoren, men må finde andre veje, da den ikke umiddelbart kan holde op med at løbe. Spændingen over spolen stiger, og på et tidspunkt er spændingen over dioden D's anode 0,7 V højere end spændingen på katodesiden. Dioden åbner og lader strømmen løbe igennem og oplader kondensatoren C<sub>2</sub>. Samtidig overføres den energi, der var oplagret i spolens magnetfelt til kondensatoren.

Strømmen aftager efterhånden og styringen bestemmer nu, hvor længe strømmen skal løbe og tænder derefter for transistoren. Når transistoren tændes, stopper strømmen i dioden, da spændingen over anoden er lavere end over katoden. En ny strøm med tilhørende magnetfelt bygges op i spolen. Igen bestemmer styringen, hvor stor strømmen må blive, inden transistoren slukkes.

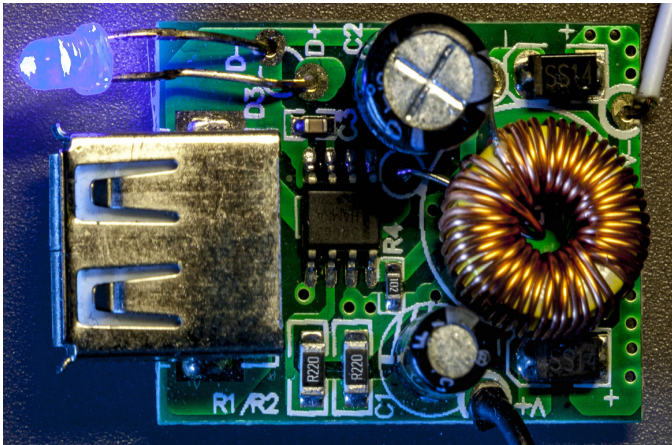
Ved at ændre på ON/OFF forholdet, også kaldet tasteforholdet, kan styringen bestemme, hvor meget energi kondensatoren skal have tilført, og dermed spændingen over kondensatoren.

Med moderne, hurtige dioder og transistorer, der kan tænde og slukke for strømme meget hurtigt, kan switch frekvensen blive høj, 100 kHz – 5 MHz er ikke usædvanlig og der (i 2017) eksperimenteres med at gå helt op på 30-60 MHz. Ved disse høje frekvenser behøver kondensatoren ikke at være særlig stor, da den kun skal levere energi i et kort tidsrum, og tilsvarende skal spolen også være ganske lille, da den også oplades med korte mellemrum.

## 24.3 Buck regulator

### Sænker en spænding, en step-down konverter

Når en USB bøsning med 5 V skal kunne levere 2 A ved forbindelse til en



Figur 139: USB konverter fra 12 V til 5 V. Over spolen ses dioden og til venstre herfor kondensatoren (med kryds).

Styringschippet ses mellem USB stikket og spolen.

Transistoren er monteret under printet, og kan ikke ses

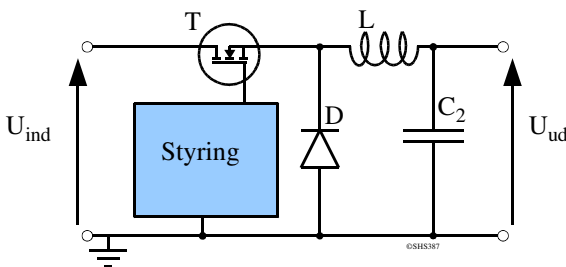
Foto: Søren Haahr

bils 12 V system, er der behov for en omformer, som uden for store tab kan lave denne transformering.

Laves omformningen med en traditionel analog serie transistor, vil virkningsgraden blive lav. I dette eksempel vil effektudbyttet  $P_2$  blive  $5 \cdot 2 = 10$  W og indgangseffekten  $P_1$  bliver  $12 \cdot 2 = 24$  W, så virkningsgraden  $\eta$  er lav  $10/24 = 42\%$ . En lav virkningsgrad medfører også, at der bliver en del varme i overskud. Denne overskudsvarme kan være vanskelig at fjerne, i dette tilfælde er der tale om 14 W.

Tilsvarende skal en kraftig Intel processor til en PC (Intel® Core™ i7-6900K Processor (20M Cache, up to 3.70 GHz)) have leveret en effekt på 140 W ved en spænding mellem 0,55 og 1,52 V, svarende til en strøm på omkring 100 A. Denne strøm skal omformes fra 12 V eller 5 V til den lave spænding på omkring 1 V med et så lille tab som muligt, og hertil er buck princippet velegnet.

En almindelig LED lampe til 230 V med 27 mm Edison-gevind er opbygget af et antal lysdioder og et passende ensretterkredsløb. Der kan fx være 48 lysdioder i serie, som skal forsynes med en spænding på 78 V DC, og kæden vil trække en jævnstrøm på 120 mA. Den ensrettede 230 V AC giver ca. 325 V DC med en Graetz bro. En buck regulator vil fint kunne ændre de 325 V til diodernes arbejds-spænding. Ved at konfigurere buck regu-



Figur 140: Buck princip

latoren som en forsyning, der giver en konstant strøm, fås en optimal drift af lysdioderne. Den sikrer med et lille tab, at strømmen igennem kæden af lysdioder er konstant, uafhængig af temperatur og forsyningsspænding.

Analysen af funktionen begynder i konverterens cyklus. Når transistoren leder, løber der en strøm fra indgangen til udgangen, fra venstre til højre. Strømmen vokser, og der lagres således energi i spolen.

Styringen afbryder, og strømmen der løber fra venstre ind i spolen, vil fortsætte med at løbe. Højre side af spolen kan ikke umiddelbart få en højere spænding, da den er forbundet til kondensatoren, så venstre side af spolen bliver til gengæld negativ og får et negativt potentiale i forhold til stel og diode. Når spændingen er under  $-0,7$  V, begynder dioden at lede, så strømmen kan fortsætte med at løbe og dermed lade kondensatoren op.

Efter passende tid tænder styringen for transistoren igen, og der begynder forfra med at bygge en strøm op i spolen.

Et lille, meget forsimplet regneeksempel, hvor det antages, at strømmen der skal leveres er konstant.

Det forudsættes at  $U_{ind}$  er 10 V, ON/OFF forholdet er 50 % og udgangsstrømmen er 2 A, og dermed er gennemsnitsstrømmen i spolen også 2 A.

Middelstrømmen i transistoren er da også 2 A, når den er ON, men da den kun leder i halvdelen af tiden, bliver gennemsnitsstrømmen 1 A. Kredsløbet trækker 1 A ved 10 V = 10 W. Når transistoren ikke leder, løber der en middelstrøm på 2 A igennem dioden. På denne måde løber der konstant 2 A igennem spolen og ud af kredsløbet. Der er ingen tab i dette eksempel, og derfor må  $U_{ud}$  være 5 V og den afgivne effekt 10 W.

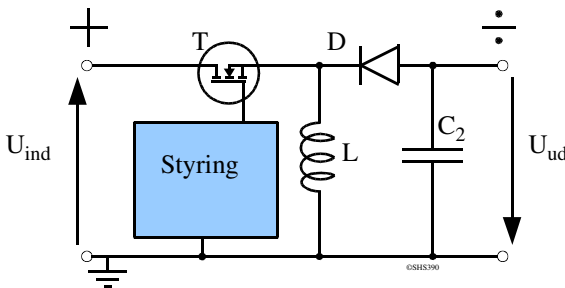
## 24.4 Buck-boost

### Invertere og sænke/eller øge en spænding.

Bytter spolen og dioden plads i en buck omformer, fås en buck-boost konverter. Denne inverterer spændingen og giver mange muligheder for forskellige udgangsspændinger.

Analysen af funktionen begynder med, at transistoren leder, og der løber en strøm fra indgangens plusside igennem transistoren, spolen og videre til stel og retur. Strømmen vokser, og der lagres dermed energi i spolen.

Næste trin i konverterens cyklus er, når styringen afbryder for transistoren. Strømmen, der løber ned igennem spolen, vil fortsætte med at løbe, så oversiden af spolen får et negativt potentiale i forhold til stel. Dioden kan nu lede. Strømmen lader kondensatoren op, men det er undersiden af kondensatoren, der bliver positiv, og oversiden bliver negativ.



Figur 141: Buck-boost princip

Et øjeblik efter tændes transistoren, og cyklussen fortsætter.

Spændingen på udgangen har fået modsat polaritet af spændingen på indgangen. Ved at forsyne kredsløbet med en positiv spænding i forhold til stel, er der nu fremstillet en negativ spænding i forhold til stel. Spændingens størrelse kan indstilles ved at justere på ON/OFF forholdet for transistoren, og det kan indstilles i et stort område fra mindre end indgangsspændingen til større end indgangsspændingen, men stadig væk inverteret.

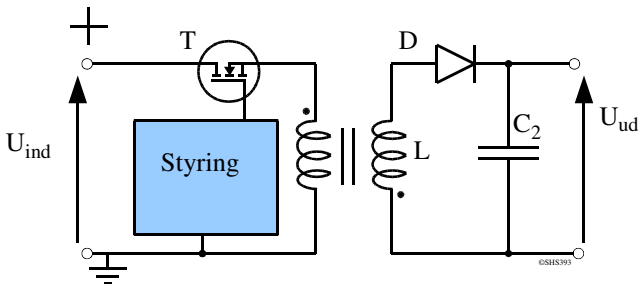
## 24.5 Fly-back

Erstattes spolen med en transformator i ovenstående buck-boost omformer, kan der opnås forskellige fordele:

- galvanisk isolation, hvis der anvendes en transformator med adskilte viklinger



- væsentligt højere udgangsspænding, pga. transformatorens omsætningsforhold
- forskellige uafhængige udgangsspændinger opnås ved at vikle forskellige sekundærviklinger.



Figur 142: Fly-back princip

Som tidligere analyseres der fra punktet i konverterens cyklus, hvor transistoren leder, og der løber en strøm fra indgangens plus side igennem transistoren og primærspolen og videre til stel og retur. Transformatoren er forbundet, så sekundærsidens højeste spænding er nederst, og derfor løber der ingen strøm i dioden og dermed ingen strøm i sekundærsiden. Der kan altså ses bort fra sekundær siden. Strømmen vokser og der lagres energi i spolen.

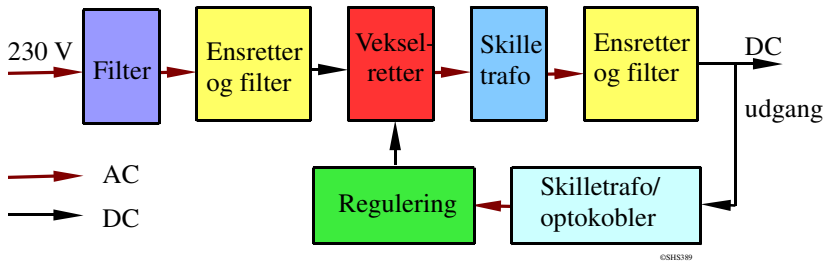
Transistoren afbryder, og magnetfeltet i spolen/transformatoren skal nedbrydes. Der er dermed ingen mulig strømvej på primærsiden, så her sker intet. Da spændingen, som tidligere beskrevet, vender, er der nu den højeste spænding i toppen af sekundærsiden, og dioden åbner, og kondensatoren oplades med den energi, der var opbygget i spolen. Når transistoren igen åbner, stopper strømmen igennem dioden, og kondensatoren må levere den nødvendige strøm til belastningen, indtil den igen oplades.

Det bemærkes, at energien skal lagres i spolen, inden den kan overføres til sekundærsiden.

## 24.6 Transformator kobling

Ovenstående principper med buck og boost giver ikke galvanisk adskillelse. Galvanisk adskillelse er et krav til strømforsyninger, der kobles til lysnettet, og derfor skal der bruges en skilletransformator for at sikre, at der ikke er berøringsfare ved at røre ved forbindelserne på sekundærsiden.

Der er en grov tommelfingerregel, der angiver, at vægten af en transformator afhænger af frekvensen. Med en givet størrelse i VA, er vægten proportional med  $1/f$ . Så hvis en transformator vejer 2 kg ved 50 Hz, vil samme effekt kunne overføres med en transformator ved 400 Hz på  $2000/400 \cdot 50 = 250$  g. Der er derfor, 400 Hz i mange år har været anvendt i flyvemaskiner, da transformatorer og motorer vejer betydeligt mindre bygget til denne frekvens. Så øges frekvensen, vil størrelsen, vægten og ikke mindst prisen på en skilletransformator falde. Derfor anvendes strømforsyninger med den traditionelle 50 Hz transformator næsten ikke mere. Det er udelukkende SMPS (Switch Mode Power Supply), der anvendes, hvor transformatoren er bygget til meget højere frekvenser.



Figur 143: SMPS omformer med skilletransformator

Princippet er, at 230 V forsyningen ensrettes, enten med dioder eller med et PFC kredsløb, der holder en kondensator opladet til 300 - 400 V DC. Denne spænding switches med transistorer til en firkant formet spænding, som føres til skilletransformatorens primærside. Frekvensen ligger ofte på 50 kHz til flere MHz. På grund af den høje frekvens, skal der kun et sim-

pelt filter med små kondensatorer og spoler på udgangen for at fjerne ripple på spændingen.

Den stabile udgangsspænding opnås ved en tilbagekobling til styringskredsløbet, som bestemmer ON/OFF forholdet for switch transistorerne.