

Jämnare energiförbrukning med hjälp av Superkondensatorer

Per Josefsson

När en automatisk dörr öppnas eller stängs går det åt en hel del energi. Sedan står den oftast stilla under en tid. Detta resulterar i att en stor mängd av energiåtgången för en automatisk dörr är koncentrerad under accelerationen av dörren under öppning och stängning. Dörren kräver alltså hög effekt under korta perioder, öppning och stängning, sedan låg effekt under resten av tiden. I dagsläget löser man energiförsörjningen till dörrarna genom att använda nätaggregat som klarar av att leverera den maximala effekt som dras under acceleration. Projektet har haft som syfte att undersöka huruvida man istället kan använda sig av ett mindre kraftfullt nätaggregat, som levererar den genomsnittliga effekten. För att klara de höga topparna behöver man i så fall använda sig av en energibuffer för att lagra överskottsenergin från när dörren står stilla. Den lagrade energin kan sedan användas för att öppna dörren. Utifrån detta ställdes fyra frågor som problemformulering. Vilken typ av energilagring är mest lämpad för tillämpningen? Vilken medeleffekt krävs för att driva dörren? Kan snittförbrukningen minskas? Behöver dörrens prestanda minskas för att detta ska fungera?

Konceptstudie

För att svara på den första frågan gjordes en konceptstudie på olika typer av energibuffrar för att hitta den bäst lämpade.

Bland annat superkondensatorer, batterier och svänghjul utvärderades med stort fokus på kostnad och att förenkla installation. De buffrar som ansågs vara bäst för applikationen var batterier och superkondensatorer.

Superkondensatorer, även ibland kallade ultrakondensatorer har en mycket högre kapacitans per volym och vikt än vanliga kondensatorer. Detta är möjligt tack vare stor area på elektroderna i kondensatorn och liten laddningsseparation, elektroderna är alltså väldigt nära varandra. Båda dessa egenskaper ger upphov till superkondensatorernas höga kapacitans. Det korta avståndet mellan elektroderna i kondensatorn begränsar däremot hur hög spänning som en superkondensator klarar till 1-3 V.

Superkondensatorer och kondensatorer i allmänhet har också en väldigt låg inre resistans, vilket gör att man kan stora strömmar från dem och därmed hög effekt. Superkondensatorer är dessutom tåliga och har en lång livslängd. Deras stora begränsningar är den nämnda låga maxspänningen och deras relativt höga pris.

Batterier är en energilagring som lagrar energin genom att göra om den elektriska energi till kemisk energi. Detta gör att de har en relativt hög energitäthet jämfört med andra uppladdningsbara sätt att lagra energi. Eftersom de laddas upp och laddas ur via en kemisk reaktion blir de varma om det sker för

fort och kan ta skada. De är alltså begränsade i vilken in- och utström och därmed vilken effekt de klarar. Batterier har också en relativt kort livslängd, men de är relativt billiga.

Balanserande krets

På grund av spänningsbegränsningen i kondensatorerna behövs flera superkondensatorer kopplade i serie om de ska användas i applikationer som kräver högre spänning. Då behövs också en så kallad balanserande kringkrets till kondensatorerna. Detta eftersom kondensatorerna inte är ideala kapacitanser och dessutom är tillverkade med en toleransnivå, dvs deras värden kan avvika från de angivna värdena med en viss procentsats. Som följd kommer de olika kondensatorerna i kretsen inte att upp- och urladdas exakt likadant. Denna lilla avvikelse ackumuleras och kan med tiden leda till att en eller flera kondensatorer får för hög spänning över sig och kan ta skada, även om den totala spänningen över alla kondensatorer inte har ändrats. Den balanserade kretsen skulle upprätthålla balansen i spänningen över kondensatorerna och undvika att någon kondensator fick för hög eller för låg spänning.

Ett sätt att göra en balanserande krets är att mäta spänningen över varje kondensator och ladda ur de som blir för högt laddade och samtidigt ladda de som får för låg laddning lite extra. Att faktiskt mäta över varje kondensator och aktivera en urladdning skulle kräva en egen mikroprocessor och vara väldigt komplicerat. Istället lades fokus på att analogt jämföra spänningen över varje

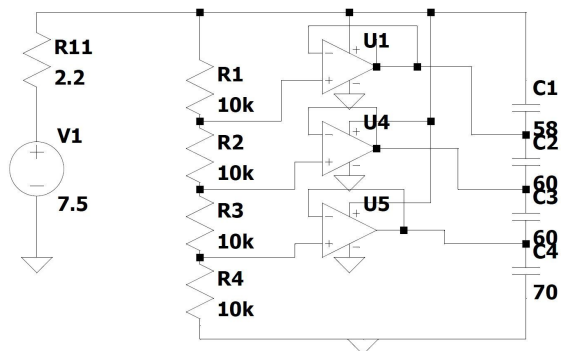
kondensator med en referensspänning och ladda ur de som blev för högt laddade.

Den första iterationen var simpel. Parallellt med varje kondensator kopplades en schottkydiod. En schottkydiod är en diod med en väldefinierad och skarp backspänning. Tanken med denna lösningen var då att välja en schottkydiod med en backspänning som motsvarade den spänning kondensatorerna skulle laddas till. Om en kondensator skulle bli för högt laddad skulle då dioden börja leda och kondensatorn laddas ur. Denna lösningen hade två stora problem. Det första var att en schottkydiod inte har en stor backström, vilket betydde att balanseringen gick långsamt och skulle nästan bli försumbar vid högre laddningsströmmar. Detta problemet kunde dock kringgås genom att låta dioden aktivera en switch som tillät högre strömmar. Det andra problemet var att schottkydioder har en för applikationen stor tolerans, dvs backspänningen varierade så pass mycket att varje kondensator märkbart olika spänning. Balanseringsförsöket orsakade alltså större obalans än det var utan kretsen.

Nästa iteration gick ut på att jämföra spänningen över varje kondensator med snittspänningen och ladda extra eller ladda ur utifrån den. Detta gjordes genom att först seriekoppla lika många motstånd som det var kondensatorer, alla motstånd lika stora. Dessa parallellkopplades sedan med kondensatorerna. Eftersom resistorerna är lika stora kommer alla resistorer ha samma spänning över sig. Till exempel med 25 V och 10 kondensatorer och 10 resistorer, så kommer varje resistor ha en spänning på 2,5 V över sig. För att få kondensatorerna att få samma spänning som resistanserna

kopplades spänningsföljare mellan resistorerna och kondensatorerna. En spänningsföljare tvingar spänningen på utgången att vara samma som den på ingången. På så vis, med ingången vid resistorerna och utgången vid kondensatorerna, kunde kondensatorerna tvingas att vara lika laddade. Denna lösning fungerade både teoretiskt och praktiskt väldigt bra då resistorer, som begränsar spänningen över varje kondensator, har en låg tolerans, vilket endast ger små variationer i spänningen mellan varje kondensator. Med stora värden på resistorerna är också förlusterna väldigt små med denna lösningen. I testerna var denna lösningen väldigt lovande tills det att kretsen gick sönder. Vid vidareutveckling är detta den balanseringskretsen som borde arbetas vidare med.

När den tidigare kretsen gick sönder kom insikten att projektet var tvunget att gå vidare till nästa steg. En simpel och robust balansering designades då. Parallellt med varje kondensator kopplades en resistor, alla lika stora. Varje kondensator laddas då ur lite hela tiden. Kondensatorer med högre laddning laddas ur med högre ström och de med lägre laddning med lägre ström. På så

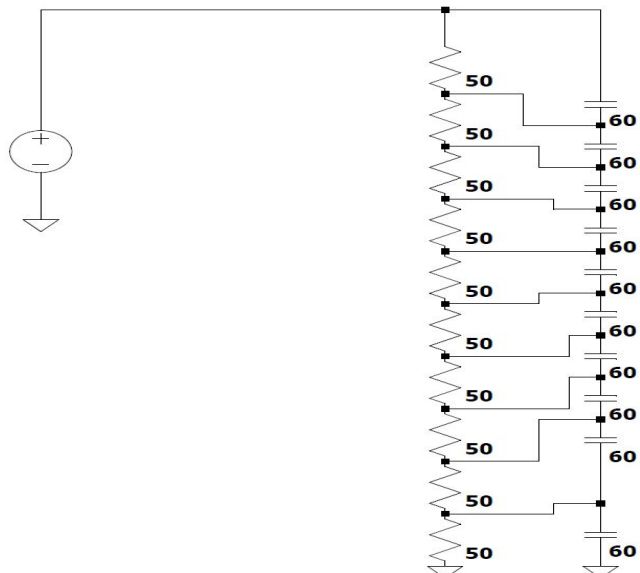


Balanserande krets med operationsförstärkare till vänster och med resistornätverk till höger.

sätt uppnås efter en tid balans. Lösningen är inte snabb på att uppnå balans och har dessutom konstanta förluster.

Laddningskrets

Med balanseringen klar var det dags för nästa steg, laddningskretsen för kondensatorerna. Under de inledande testerna användes ett motstånd för att begränsa strömmen in i kondensatorerna. Resultatet blev då att kondensatorerna laddades väldigt snabbt när de hade låg laddning i sig och långsamt när de hade hög laddning. Detta på grund av att spänningsfallet över resistorn, därmed också laddströmmen, blev högt vid låga spänningar i kondensatorerna och lågt när de närmade sig full laddning. För att ladda kondensatorerna lika snabbt oavsett laddning krävdes en annan lösning. För att snabba på laddningen under de inledande testerna hade spänningen från nätaggregatet höjts för att ge en någorlunda konstant ström in. Tänk om det fanns en krets som gjorde det automatiskt. Ganska snabbt insågs att en laddare som ger konstant ström är vanligt och används till exempel i batteriladdare.

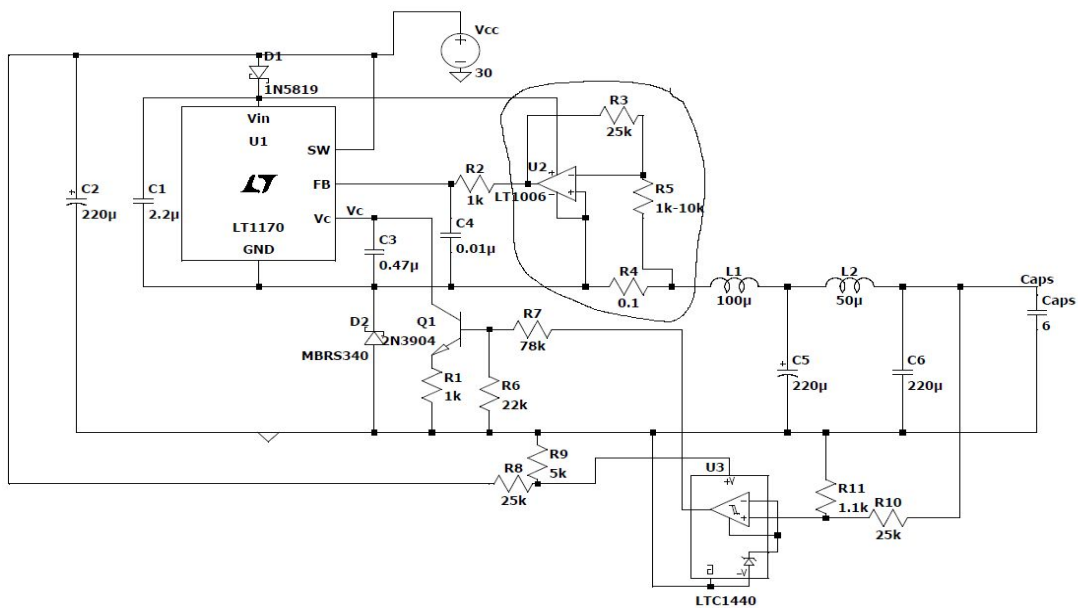


En laddningskrets som laddar med konstant ström designades. Den bestod av en dc/dc-omvandlare, som med en specifierad kringkrets gav en konstant ström ut. Själva hjärnan i kretsen bestod av en mätning av utströmmen över ett motstånd på $0,1 \Omega$. Spänningsfallet över motståndet förstärktes med hjälp av en operationsförstärkare uppkopplad som i konfiguration som en spänningsförstärkare. Den förstärkta mätningen jämfördes med ett internt och specifierat värde i dc/dc-omvandlaren. Om mätvärdet översteg det specificerade jämförelsevärde slutade dc/dc-omvandlaren att ge output. Genom att

ändra förstärkningen från op-förstärkaren kunde på så vis utströmmen väljas.

Två olika varianter av den här kretsen byggdes. Den första gav en ström på 1 A och den andra hade en potentiometer som gav förstärkningen från op-förstärkaren. På så vis kunde utströmmen varieras. I den andra iterationen implementerades också en övre gräns på hur hög laddning kondensatorerna kunde få. Den implementerades genom att med hjälp av en komparator jämföra spänningen i kondensatorerna med inspänningen.

Laddaren fungerade som den skulle, men under testning belystes ett problem med en laddare som ger konstant ström ur



Laddkretsen som användes. Den inringade delen utför mätningen av utströmmen och förstärker den signalen.

perspektivet att jämnar ut effekten som dras av dörren. Även om laddaren drog mycket jämnare effekt än den befintliga lösningen så var den inte helt jämn. När kondensatorerna laddades ur sjönk spänningen i dem och som bekant är effekten produkten av strömmen och spänningen. Resultatet blev alltså en lägre effekt in i systemet när kondensatorerna tappade laddning. En lösning som skulle ge ännu jämnare energiförbrukning hade varit att designa en så kallad konstanteffekt-laddare. Genom att mäta både ström och spänning kan på så sätt en effekt hållas konstant. Det är ingenting som implementerades utan mer en tanke för vidareutveckling.

Tester och resultat

Nästa fråga, "Vilken medeleffekt krävs för att driva dörren?", besvarades genom testning. Från ett tidigare projekt på ASSA ABLOY fanns det definierat några olika testprofiler som var olika tuffa för dörren att köra. De varierade några körvariabler t.ex. tid stillastående vid öppning, stängningshastighet etc. För att bestämma medeleffekten som krävdes användes främst den tuffaste profilen och den tyngsta dörren eftersom det ger ett värde för det värsta fallet. Under testerna definierades att dörren klarade eller inte klarade ett program med en viss laddström som om den kunde köra oändligt länge utan att tömma energibuffern, d.v.s. att energin in var större än energin ut. Resultatet från testning med tyngsta dörren och tuffaste profilen blev att dörren klarade att köra med 1,6 A laddström, men inte med 1,5 A laddström. Så begränsningen borde ligga mellan dessa värden. Parallellt utvärderades

också medeleffekten mer matematiskt. Strömmen in i dörren mättes av ett oscilloskop och ur grafen kunde antalet amperesekunder som drogs räknas ut genom att beräkna arean under grafen. Antalet amperesekunder som gick åt kunde fördelas på tiden som en öppningscykel, en öppning och stängning, tog. Därmed gavs den snittström som krävdes. Denna metoden gav resultatet 1,53 A. Båda metoderna gav lika resultat vilket väger tungt. Med en systemspänning på 25 V blir den högsta medeleffekten som krävs ca 40 W.

Batterierna som testades kunde maximalt laddas med 1 C, vilket motsvarar 1,3 A eller ca 31 W. Dörren måste alltså köras på ett lättare program för att klara testerna.

Går det att minska medeleffekten på något sätt? Fokus här lades inte på att faktiskt försöka minska energiåtgången utan på att återanvända energin i systemet. Idealt sett kan man återmata all rörelseenergi i dörren till energibuffern under bromsning och sedan återmata den till dörren för att stänga. På så sätt kan man netto göra åt 0 energi idealt. Superkondensatorer är bra här eftersom man skulle kunna använda stora bromsströmmar för att ladda upp dem. I verkligheten förlorar man mycket av energin, men en del gick att återmata. Mindre än 20% av dörrens kinetiska energi gick att återmata det är mindre än 10% av den totala energin för en öppning. Resultaten var också lite otydliga och mer testning borde genomföras innan man kan dra alltför starka slutsatser.

Som svar på den sista frågan i problemformuleringen, om prestandan behöver minskas om detta ska implementeras, ger resultatet ett nej, det

behöver den inte, för superkondensatorerna. För batterierna däremot krävdes en lägre prestanda för att de skulle kunna köra dörren. Vidare ställer detta resultatet frågan om man ska designa efter värsta fallet om det dels inte är säkerhetsrelaterat och dessutom väldigt sällan eller aldrig sker. Här menas värsta fallet som den tyngsta körprofilen för dörren. Faktum är att dörrar ute hos kunder till ASSA ABLOY generellt sett är inställda med parametrar som kräver lägre snitteffekt än den profil som användes. Detta främst eftersom en öppningscykel tar längre tid. Dessutom öppnas sällan dörrar så ofta som de gjordes i testerna utan står mest öppna en längre tid eller stängda en längre tid. Ur ett perspektiv att reducera effektopparna är det då kontraproduktivt att aktivt välja att dra medeleffekten för en öppning istället för att en medeleffekt som är mer representativ för användningen.

Slutsats

Sammanfattningsvis går det att använda både batterier och superkondensatorer som energibuffer i syfte att reducera effektoppar. Från perspektivet reducera effektopparna så mycket som möjligt är batterier det bättre alternativet även om det kan kräva kompromisser i prestanda. Superkondensatorer har inte samma möjlighet att jämna ut effektförbrukningen som batterier, men kräver inga kompromisser i prestanda. Även om det finns många variabler som påverkar den genomsnittliga effektförbrukningen kan man utifrån det här projektet dra slutsatsen att det går att jämna ut effektförbrukningen för en automatisk

skjuddörr och därmed minska märkeffekten markant.