

Hybridlagring för ökad livslängd och säkerhet

Receptet: batteri, kondensator och digital styrning



Av Andreas Mangler, Rutronik

Andreas Mangler ansvarar för strategisk marknadsföring och kommunikation på distributören Rutronik. Han började på företaget för sexton år sedan. Innan dess arbetade han bland annat på Burr Brown som FAE och som analogkonstruktör på tyska IBP Pietzsch. Andreas Mangler är utbildad civilingenjör i elektroteknik.

I samarbete med det tyska University of Applied Sciences Zwickau har Rutronik utvecklat en hybridvariant av ett energilagringssystem (Hybrid Energy Storage System, HESS). Genom att kombinera ett litiumjonbatteri och en så kallad ultrakondensator har karakteristiken hos toppströmmen i systemet förbättrats vilket avsevärt minskat slitaget på batteriet. Med hjälp av digital styrning har flexibiliteten ökat. I en mängd tillämpningar erbjuder denna teknik dessutom mycket hög tillförlitlighet samtidigt som utvecklingsarbetet blir smidigare.

Det Rutronik har velat visa med forskningsprojektet är att varje batterisystem kan kombineras med ultrakondensatorer i en verklig arbetsmiljö. Faktum är att tekniken underlättar fördelning av arbetsbelastningen. Medan batteriet fungerar som en kontinuerlig energileverantör hanterar ultrakondensatorn tillfälliga toppströmmar och -spänningar.

BATTERIETS URLADDINGSSTRÖM är begränsad till sitt nominella värde, så den överstiger aldrig sitt nominella driftsområde. Detta bidrar till att systemets livslängd kan öka med upp till 100 procent. Samtidigt alstras

High Power Capability [W/kg]

Ultracapacitor	
Charge	1 ~ 30 sec
Discharge	1 ~ 30 sec
Energy	1 ~ 10
Power	1,000 ~ 2,000
Life Cycle	> 500,000

Physical Phenomena	
Life Cycle	> 500,000
Power	Excellent
Charging Time	Seconds
Energy Content	Poor
Operating Temperature	-40 to 70°C
Environment	Compatible

High Energy Density [Wh/dimension]

Battery	
Charge	0.3 ~ 3 hrs
Discharge	1 ~ 5 hrs
Energy	20 ~ 100
Power	50 ~ 200
Life Cycle	500 ~ 2,000

Chemical Reaction	
Life Cycle	< 2000
Power	Very Poor
Charging Time	Hours
Energy Content	Excellent
Operating Temperature	0 to 60°C
Environment	Very sensitive

POWER

ENERGY

Jämförelse mellan ultrakondensator och batteri.

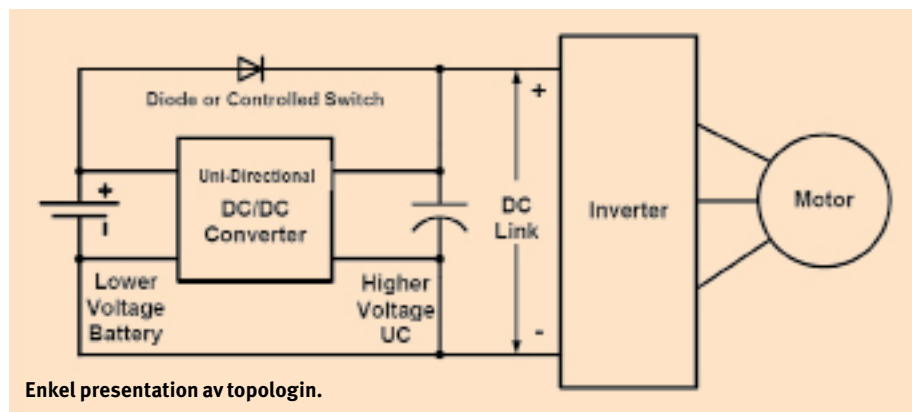
mindre eller ingen värme i batteriet, vilket förlänger driftstiden.

Ett paket med batteri och ultrakondensator kan laddas upp när som helst, oberoende av laddningsstatus och utan att skada battericellerna, och det ger full effekt under

hela livslängden. Ett uppladdat paket är alltid redo att användas – även om det inte har använts på flera månader – eftersom ultrakondensatorer har en extremt långsam självurladdning. Urladdade ultrakondensatorer kan dessutom laddas fullt inom några sekunder. Likaså har de en mycket robust konstruktion och bra prestanda även vid temperaturer under noll grader.

SLUTSATSEN ÄR ATT LÖSNINGEN ökar tillförlitligheten hos systemet. Denna typ av hybridlagring är därför intressant för säkerhetskritiska tillämpningar såsom defibrillatorer. Konstruktionen passar även väl för leasing eller uthyrning av utrustning som ska garantera en viss livslängd. Här ingår alla sorts verktyg för konsumenter, från trådlösa skruvdragare till cirkelsågar.

Ultrakondensator har flera attraktiva egenskaper. De laddar och laddar ur väldigt höga energinivåer inom några sekun-



Enkel presentation av topologin.

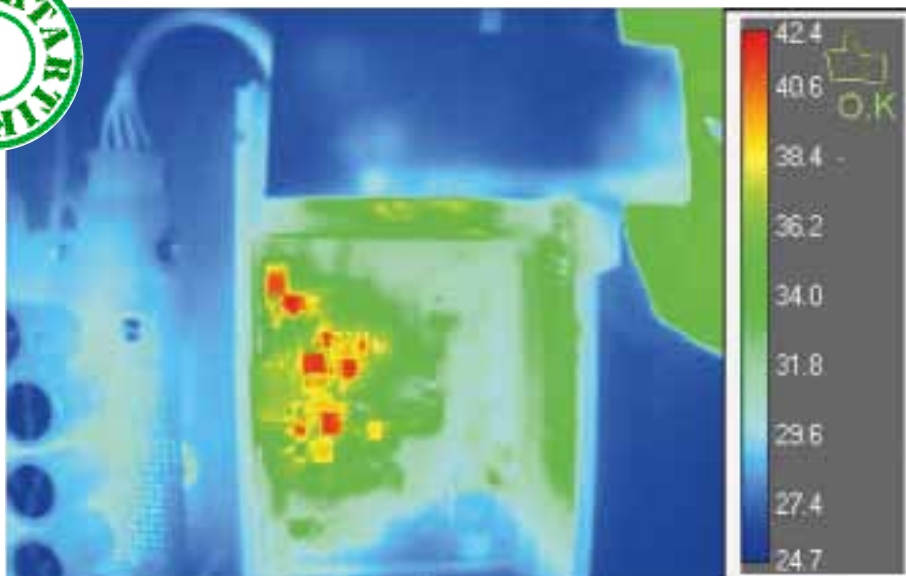


der. I skarp kontrast till batterier når de en livslängd på upp till 10 år. Likaså tål de extremt många laddcykler (minst 500 000 cykler). De är också mindre temperaturkänsliga med ett arbetsområde som sträcker sig från -40°C till 70°C .

En ultrakondensator kan inte lagra stora mängder energi. Däremot klarar den många så djupa urladdningar. Konventionella litiumjonbatterier har ett urladdningsdjup (Depth of Discharge, DOD) på cirka 25 procent, medan motsvarande för ultrakondensatorer är cirka 75 procent.

FÖR ATT OPTIMERA egenskaperna i ett hybridsystem enligt ovan måste en specialutvecklad buck-boost-omvandlare användas för att balansera laddningen av batteriet och kondensatorn. Då utgår man från tröskelvärdena för de båda energilagringselementerna, samtidigt som hänsyn tas till respektive karaktäristiska kurva.

Det finns redan flera grundläggande topologier för denna typ av systemkonstruktion, exempelvis kan batteri och ultrakondensator placeras parallellt. Ett annat alternativ är att använda en dubbelriktad omvandlare med en ultrakondensator på primärsidan och batteriet på sekundärsidan eller så används både en enkel och en dubbelriktad omvandlare. Gemensamt för



Värmekameran avslöjar en liten temperaturökning hos de aktiva komponenterna vid toppbelastning av systemet.

de nämnda topologierna är att de är relativt komplexa och därmed tidskrävande och dyra.

För att minimera svårighetsgraden beslutade sig parterna i detta projekt för att använda en topologi baserad på en enkelriktad DC/DC-omvandlare, som blir relativt kompakt och effektiv. Den kräver färre

komponenter, kortare utvecklingstid och kostar mindre än andra alternativ. Den digitala styrningen gör också att konstruktionen i många avseenden även blir snabbare och lättare att anpassa.

EN ANNAN FÖRDEL är att spänningen vid inverteraren kan variera inom ett mycket brett område. Om det är nödvändigt kan ultrakondensatorn kopplas direkt till inverteraren för att hantera toppströmmar. DC/DC-omvandlaren är bara begränsad av att toppströmmen måste gå via en styrdiod (MOSFET). För att garantera optimal spänningsanpassning kan den högre spänningen i konstruktionen ges förhållandet 2:1. Det betyder att spänningen vid ultrakondensatorn är dubbelt så hög som vid batteriet. Med andra ord utnyttjas kondensatorns energi fullt ut – den kan leverera 75 procent av sin tillgängliga energi vid 50 procent av spänningen.

Tillverkare av batteridrivna verktyg av hög kvalitet letar alltid efter sätt att garantera, eller öka, batteriets livslängd. Uppmuntrade av industrin beslutade sig därför projektets konstruktörer för att definiera en demo-plattform i form av en batteridrivna skruvdragare.

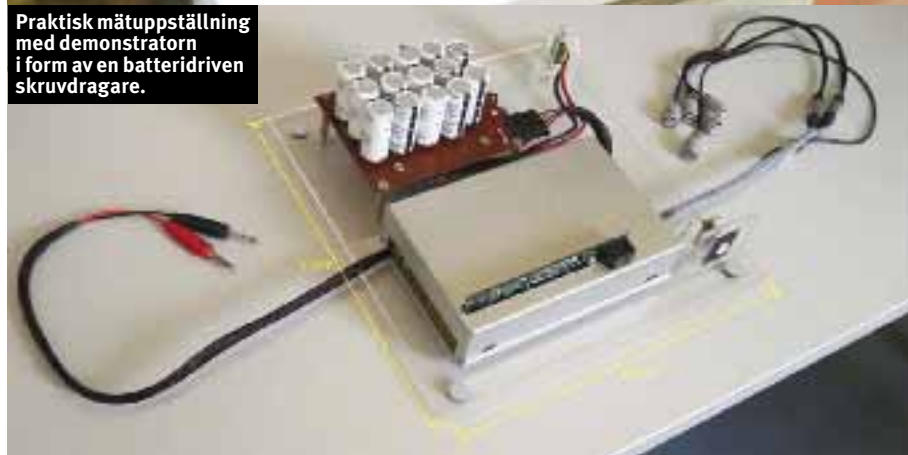
DEMONSTRATORN KOMBINERAR en buck-boost-konfiguration som aldrig tidigare tillämpats inom detta sammanhang. Likaså ingår digital effekthantering och tillhörande styrenheter som kan konfigureras mjukvarumässigt.

RESULTATET ÄR:

- Längre batterilivslängd
- Justerbar strömbegränsning
- Utmärkta högeffektsegenskaper
- Att batteriets livslängd och hälsotillstånd (SOH) kan beräknas



Praktisk mätupställning med demonstratorn i form av en batteridrivna skruvdragare.



Förutom ultrakondensatorern och batteriet är den switchade regulatorn en centrala del i denna topologi. Den kompletteras av en mycket snabb diod som agerar så fort energi börjar strömma från kondensatorn.

För att säkerställa optimal energianvändning monitoreras strömmen och spänningen från batteri och kondensator. Styrkretsen definierar signalspecifikationerna och skapar de pulsbreddsmodulerade (PWM) signalerna till power-MOSFET:arna – i detta fall från Infineon – hos den switchade regulatorn. En speciell switch styr strömmen direkt från batteriet till motorn, när den inte kräver toppströmmar. Om konstruktionen är lämpligt dimensionerad kan batteriet ladda ultrakondensatorn så fort det uppstår en paus i motordriften.

Algoritmerna för styrningen har utvecklats av professor Lutz Zacharias samt Ringo Lehmann och Sven Slawinski, alla på University of Applied Sciences Zwickau.

EFTER EN FÖRDJUPAD SYSTEMANALYS och en syntes av styrenheten gjordes preliminära inspektioner/kontroller baserade på simuleringar. Därefter togs tidsdiskreta algoritmer anpassade till hårdvarans begränsningar fram.

”Tillverkare av batteridrivna verktyg av hög kvalitet letar alltid efter sätt att garantera, eller öka, batteriets livslängd”

De senaste metoderna för modellbaserad mjukvaruutveckling användes för att utveckla mjukvaran för styrningen. Som ett resultat kunde hela effekthanteringen modelleras i VHDL-AMS. Genom att använda ett standardiserat modellbeskrivningsspråk kunde styrsystemet modelleras och simuleras i linje med hårdvaran och – en gång automatiserad via Auto-kodning – överförs till målhardvaran.

För att säkerställa säker drift krävdes det att en extremt snabb logikkrets adderades, eftersom det inte går att uppnå nödvändiga säkerhets- och realtidskrav med en snabb mikroprocessor. Likaså investerade projektet i andra komponenter, såsom ultrasnabba komparatorer.

Den största utmaningen under modellering- och simuleringsfasen var att så noggrant som möjligt beskriva och kartlägga de verkliga egenskaperna hos styrenheten, batteriet, ultrakondensatorn och effektstegen.

YTTERLIGARE SIMULERING visade att ultrakondensatorerna – med undantag för några specifika situationer – inte kräver balansering i denna typ av tillämpning. Det bidrar till att minska kretsens komplexitet.

När modelleringen var klar, simulerades hela systemet och analyserades matematiskt innan det godkändes och implementerades.

EFTER INSTALLATION var det dags för termisk analys – den visade att även utan kylfläns överskred temperaturen aldrig 50°C. Resultatet indikerar att både hårdvara och styralgoritmer har definierats på ett korrekt sätt. Faktum är att avsaknaden av termisk belastning också bidrar till en ökad livslängd hos systemet, något som inte hade varit möjligt utan den egenutvecklade buck-boost-topologin. ■