



# Effektiva batterier med balanserade celler

*En enda svag cell kan försämra hela batteriet*

Stora batteristackar bestående av seriekopplade energitäta litiumpolymer- eller litiumjärnfosfat-celler (LiFePO<sub>4</sub>) med hög toppeffekt är nu vanliga i en rad olika tillämpningar, allt från el- och hybridfordon till stora energilagringssystem. Framför allt elfordonsmarknaden förväntas skapa en enorm efterfrågan på stora system av serie- och parallellkopplade battericeller.

Under perioden 2012–2020 väntas den årliga försäljningstillväxten av elfordon ligga på 37,4 procent<sup>1</sup>. Men trots den ökade efterfrågan på celler med hög kapacitet har batteripriserna förblivit ganska höga. Batteriet är den dyraste komponenten i el- och hybridfordon. Normalt kostar ett batteri som klarar att driva fordonet några tiotals kilometer över 10 000 dollar.

Den höga kostnaden kan eventuellt sänkas om man använder billiga/reoverade celler. Men sådana celler kommer också att ha större obalans när det gäller kapacitet, vilket minskar batteritiden eller den sträcka som fordonet kan köra på en laddning. Även dyrare celler med hög kvalitet åldras och ger obalans vid upprepad användning.

Kapaciteten i en batteristack med obalanserade celler kan ökas på två sätt: antingen genom användning av större batterier, vilket inte är särskilt kostnadseffektivt, eller genom användning av aktiv balansering. Det sistnämnda är en ny teknik för återhämtning av batterikapaciteten som snabbt håller på att vinna terräng.

## Seriekopplade celler måste balanseras

Cellerna i en batteristack är balanserade när alla celler har samma laddningstillstånd (State of Charge, SoC). SoC avser den kapacitet som finns kvar hos en enskild cell i förhållande till dess maximala kapacitet när cellen laddas och urladdas. En 10 Ah cell med 5 Ah kvarvarande kapacitet har således ett SoC på 50 procent.

Alla battericeller måste hållas inom ett SoC-område för att undvika skada eller för-



## Av Samuel Nork & Steve Knoth, Linear Technology

Samuel Nork är ansvarig för Linear Technologys verksamhet vid Boston Design Center; en verksamhet som han själv var med och startade år 1994. Idag jobbar närmare 100 personer med analog konstruktion vid designcentret. Sam har själv konstruerat ett stort antal kretsar och han har hittills varit delaktig i sju beviljade patent.



Steve Knoth arbetar med Linear Technologys kraftprodukter. Han är bland annat marknadsansvarig för företagets effekthanteringsprodukter (PMIC), LDO:er, batteriladdare, laddningspumpar samt en mängd andra kraftkretsar. Han kom till Linear år 2004. Dessförinnan har han arbetat på Micro Power Systems, Analog Devices och Micrel Semiconductor.

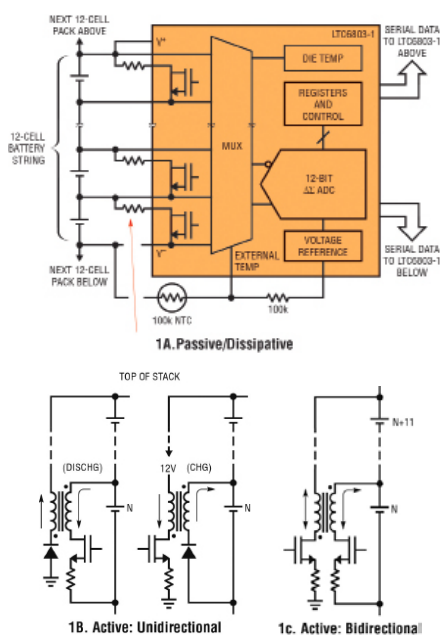
kortad livslängd. Tillåtna lägsta och högsta nivåer för SoC varierar från tillämpning till tillämpning. I tillämpningar där batteritiden är av största vikt kan alla celler fungera mellan ett laddningstillstånd på 20 till 100 procent (dvs fulladdat). I tillämpningar som kräver maximal batterilivslängd begränsas SoC-området till mellan 30 procent och 70 procent. Detta är de normala SoC-gränserna som återfinns i elfordon och elnätets lagringssystem, som använder mycket stora och dyra batterier som är väldigt dyra att byta ut. Den främsta uppgiften för ett batterihanteringssystemet (BMS) är att noga övervaka samtliga celler i stacken och se till

att alla celler laddas eller urladdas inom tillämpningens SoC-gränsvärden.

Med ett serie-/parallellkopplat system av celler kan man vanligtvis anta att de parallellkopplade cellerna kommer att balanseras automatiskt i förhållande till varandra. Det innebär att laddningstillståndet med tiden kommer att utjämnas automatiskt mellan parallellkopplade celler, så länge en ledningsväg existerar mellan cellterminalerna. Man kan också anta att laddningstillståndet för seriekopplade celler kommer att variera mera över tiden på grund av en rad olika faktorer.

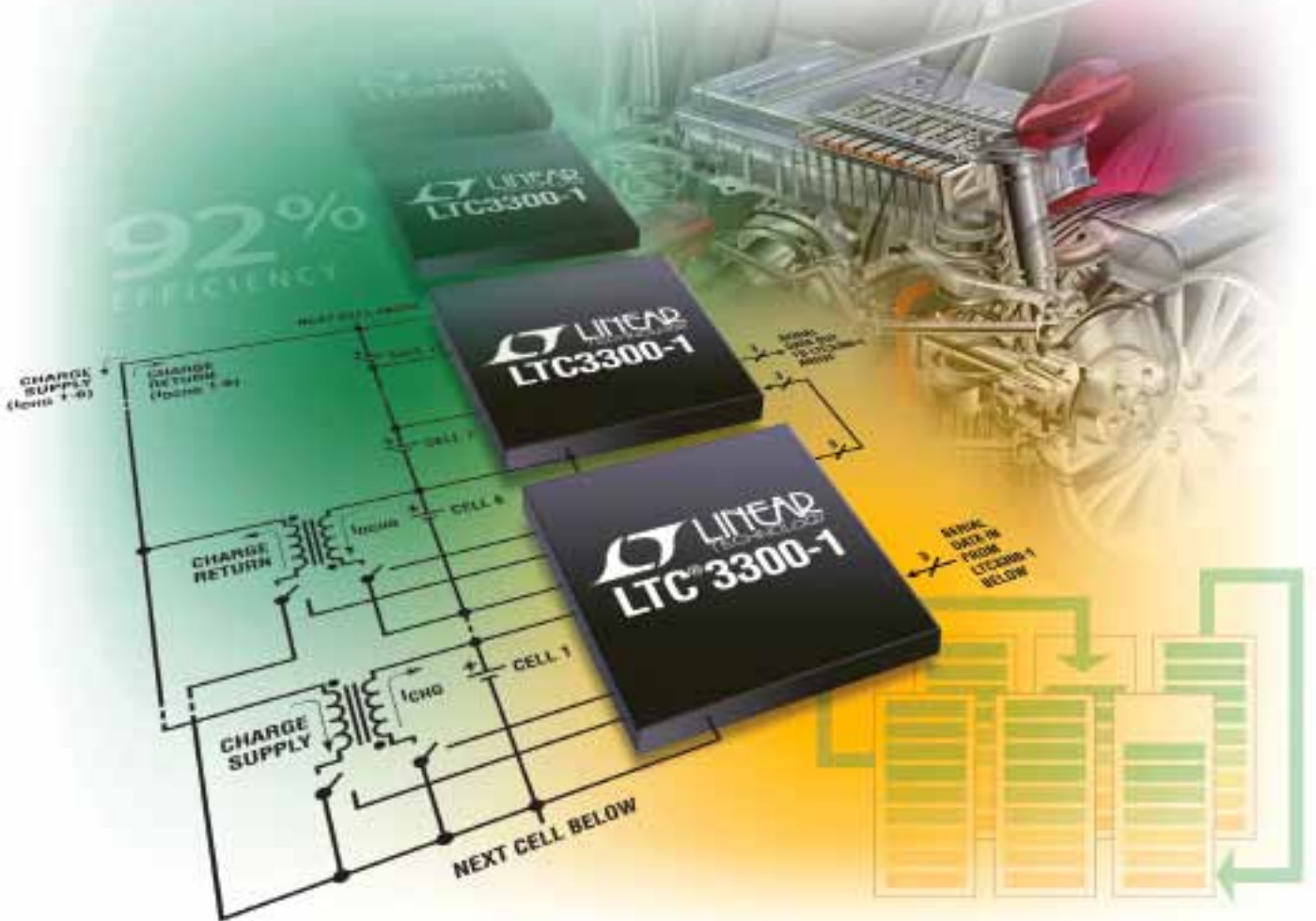
Gradvisa SoC-förändringar kan uppkomma till följd av temperaturgradienter genom batteripaketet eller skillnader i impedans, självurladdningshastighet eller last mellan celler. Även om batteripaketets laddnings- och urladdningsström brukar överskugga dessa variationer från cell till cell kommer den samlade obalans att växa ohämmat om inte cellerna balanseras då och då. Kompensering för gradvisa förändringar av SoC från cell till cell är det mest grundläggande skälet för balansering av seriekopplade batterier. Ett passivt eller förbrukningsbaserat balanserings sätt är normalt tillräckligt för att balansera laddningstillstånd i en stack av celler som inte har alltför stor obalans.

Såsom visas i figur 1a är passiv balansering enkel och billig. Men passiv balansering är också mycket långsam. Den ger upphov till oönskad värme inne i batteripaketet och balanserar genom att minska den återstående kapaciteten i samtliga celler för att matcha cellen med lägst SoC i stacken. Passiv balansering saknar också förmåga att effektivt lösa SoC-fel till följd av en annan vanlig orsak: obalanserad kapacitet.



Figur 1. Vanliga cellbalanseringstekniker.

<sup>1</sup> Källa: Pike Research, december 2012



Samtliga celler förlorar kapacitet när de åldras och detta brukar ske olika snabbt på grund av orsaker liknande de som nämnts ovan. Eftersom stackens ström flyter likadant in i och ut ur samtliga serierceller bestäms stackens användbara kapacitet av den cell i stacken som har lägst kapacitet. Endast aktiva balanseringsmetoder, såsom de som visas i figur 1b och 1c, kan omfördela laddningen i hela stacken och kompensera för förlorad kapacitet till följd av obalans mellan de ingående cellerna.

### Obalans kan minska körtiden dramatiskt

Misspassningen mellan celler – antingen på grund av kapacitet eller SoC – kan väsent-

ligt minska batteristackens användbara kapacitet om cellerna inte balanseras. För att maximera stackens kapacitet krävs att cellerna är balanserade under såväl laddning som urladdning av stacken.

I exemplet i figur 2 laddas och urladdas en stack med tio seriekopplade (nominella) 100 Ah celler tills förbestämda SoC-gränsvärden uppnås. Kapacitetsfelet mellan cellen med lägst kapacitet och cellen med högst kapacitet är ±10 procent. Om SoC-nivåerna är begränsade till mellan 30 procent och 70 procent – och ingen balansering utförs – kommer stackens användbara kapacitet att minska med 25 procent efter en komplett laddnings-/urladdningscykel,

jämfört med cellernas teoretiskt användbara kapacitet.

Passiv balansering kan teoretiskt utjämna varje cells SoC under stackens laddningsfas, med kan inte förhindra cell 10 från att nå sin 30 procent SoC-nivå före de andra under urladdningen. Trots passiv balansering under laddningen förloras väsentlig kapacitet (ej användbar). Endast en aktiv balanseringslösning kan åstadkomma kapacitetsåterhämtning genom omfördelning av laddning från celler med högt SoC till celler med lågt SoC vid urladdning av batteristacken.

Figur 3 illustrerar hur användningen av idealisk aktiv balansering möjliggör 100

**No Active Balancing (30%-70% SoC Limits)**

| Cell #         | Initial          |         | Post-Discharge   |         | Post-Fast Charge |         |
|----------------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
|                | Capacity (A-hrs) | SoC (%) | Capacity (A-hrs) | SoC (%) | Capacity (A-hrs) | SoC (%) |
| 1              | 110              | 100     | 47               | 43      | 77               | 70      |
| 2              | 100              | 100     | 37               | 37      | 67               | 67      |
| 3              | 100              | 100     | 37               | 37      | 67               | 67      |
| 4              | 100              | 100     | 37               | 37      | 67               | 67      |
| 5              | 100              | 100     | 37               | 37      | 67               | 67      |
| 6              | 100              | 100     | 37               | 37      | 67               | 67      |
| 7              | 100              | 100     | 37               | 37      | 67               | 67      |
| 8              | 100              | 100     | 37               | 37      | 67               | 67      |
| 9              | 100              | 100     | 37               | 37      | 67               | 67      |
| 10             | 90               | 100     | 27               | 30      | 57               | 63      |
| Stack Capacity | 1000             |         | 370              |         | 670              |         |

Usable Stack Capacity: 670A-hrs – 370A-hrs = 300A-hrs (75% of 400A-hrs theoretical max capacity → 100A-hrs "lost")

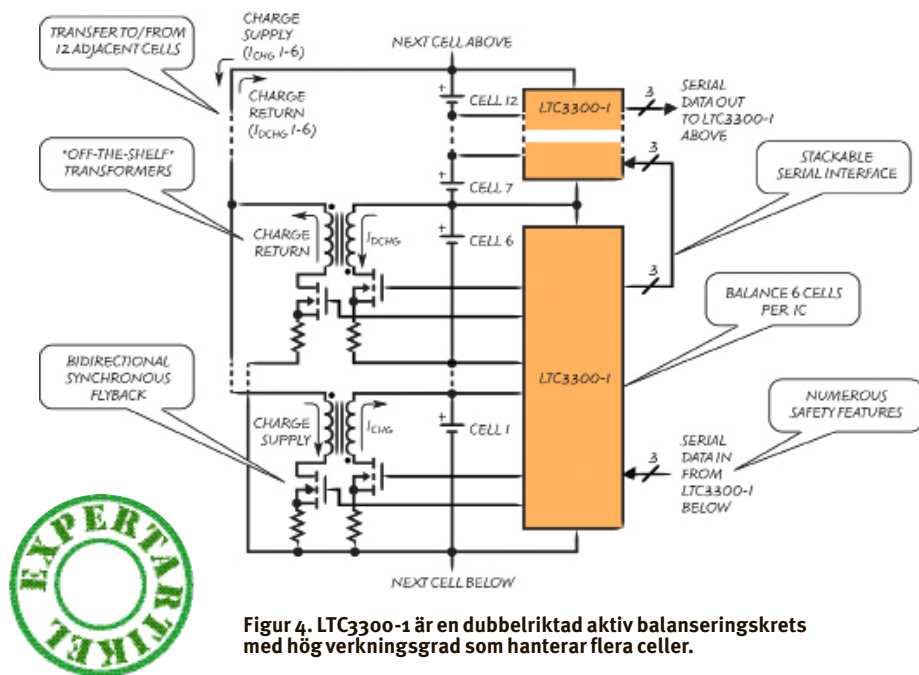
Figur 2. Kapacitetsförlust i en stack till följd av obalans mellan cellerna.

**100% Efficient Balancing (30%-70% SoC Limits)**

| Cell #         | Initial          |         | Post-Discharge   |         | Post-Fast Charge |         |
|----------------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
|                | Capacity (A-hrs) | SoC (%) | Capacity (A-hrs) | SoC (%) | Capacity (A-hrs) | SoC (%) |
| 1              | 110              | 100     | 33               | 30      | 77               | 70      |
| 2              | 100              | 100     | 30               | 30      | 70               | 70      |
| 3              | 100              | 100     | 30               | 30      | 70               | 70      |
| 4              | 100              | 100     | 30               | 30      | 70               | 70      |
| 5              | 100              | 100     | 30               | 30      | 70               | 70      |
| 6              | 100              | 100     | 30               | 30      | 70               | 70      |
| 7              | 100              | 100     | 30               | 30      | 70               | 70      |
| 8              | 100              | 100     | 30               | 30      | 70               | 70      |
| 9              | 100              | 100     | 30               | 30      | 70               | 70      |
| 10             | 90               | 100     | 27               | 30      | 63               | 70      |
| Stack Capacity | 1000             |         | 300              |         | 700              |         |

Usable Stack Capacity: 700A-hrs – 300A-hrs = 400A-hrs (100% of 400A-hrs theoretical max capacity)

Figur 3. Kapacitetsåterhämtning tack vare aktiv balansering.



Figur 4. LTC3300-1 är en dubbelriktad aktiv balanseringskrets med hög verkningsgrad som hanterar flera celler.

procent återhämtning av den kapacitet som förloras på grund av obalans mellan celler. Vid "steady state"-användning när stacken urladdas från sitt "fullt" laddade laddnings-tillstånd på 70 procent måste lagrad laddning i praktiken tas från cell 1 (cellen med högst kapacitet) och överförs till cell 10 (cellen med lägst kapacitet) – annars når cell 10 sin lägsta SoC-punkt på 30 procent före resten av cellerna och stackens urladdning måste avslutas för att förhindra ytterligare försämring av livslängden. På liknande sätt måste laddning tas från cell 10 och omfördelas till cell 1 under laddningsfasen.

Någon gång under batteristackens funktionstid kommer det faktum att cellerna åldras olika snabbt oundvikligen att leda till kapacitetsobalans mellan cellerna. Endast en aktiv balanseringslösning kan åstadkomma kapacitetsåterhämtning genom att laddning vid behov omfördelas från celler med högt SoC till celler med lågt SoC. Maximal kapacitet för batteristacken under hela dess livslängd kräver en aktiv balanseringslösning för effektiv laddning och urladdning av enskilda celler för att bibehålla SoC-balans genom stacken.

### Dubbelriktad balansering är effektivast

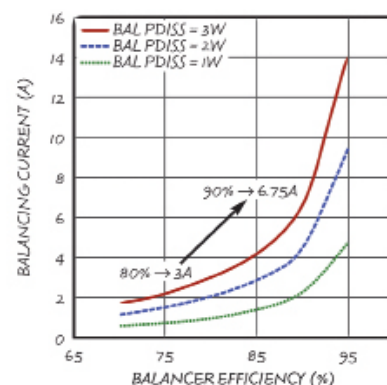
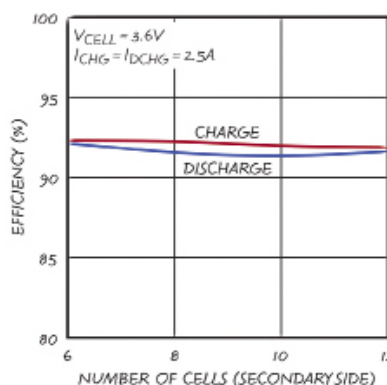
LTC3300-1 (se figur 4) är en ny produkt speciellt utformad för att tillgodose behovet av högpresterande aktiv balansering. LTC3300-1 är en effektiv dubbelriktad aktiv balanseringsstyrkrets som är en viktig del av ett högpresterande BMS-system. Varje krets kan samtidigt balansera upp till sex seriekopplade Li-jon- eller LiFePO<sub>4</sub>-celler.

SoC-balans åstadkoms genom att laddning omfördelas mellan (från eller till) en utvald cell och en sub-stack med upp till 12 eller fler intilliggande celler. Balanseringsbeslut och balanseringsalgoritmer måste hanteras av en separat övervakningskrets

och systemprocessor som styr LTC3300.

All balansering kan fungera samtidigt, i båda riktningarna, vilket minimerar tiden det tar att balansera stacken. Samtliga styrkommandon för balanseringen ges till vardera krets via ett stackat seriellt SPI-gränssnitt med hög brusmargin och utan begränsning för stackens höjd. Varje balanserare i LTC3300 utnyttjar ett isolerat "boundary mode"-baserat synkront flyback-kraftsteg för att åstadkomma mycket effektiv laddning och urladdning av varje enskild cell.

Vardera av de sex balanserarna kräver sin egen transformator. Primärsidan av varje transformator kopplas till cellen som ska balanseras och sekundärsidan kopplas till 12 eller fler intilliggande celler, även den cell som ska balanseras. Antalet celler på sekundärsidan begränsas endast av de externa komponenternas "breakdown"-spänning. Cellernas laddnings- och urladdningsström programmeras av externa avkänningsmotstånd till så höga värden som 10 A eller mer med motsvarande skalning av externa switchar och transformatorer. Hög verkningsgrad uppnås genom synkron drift



Figur 5. LTC3300-1, högre verkningsgrad tillåter högre ström.

och ordentligt valda komponenter. Enskilda balanserare aktiveras via BMS-systemets processor och de förblir aktiva tills BMS avslutar balanseringen eller ett fel upptäcks.

En av de främsta fienderna för ett batteripaket är värme. Hög omgivningstemperatur försämrar snabbt batteriets livslängd och prestanda. Dessvärre måste balanseringsströmmen i ett batterisystem för hög ström också vara hög för att utöka batteritiden eller för att klara snabbaddning av batteripaketet.

Dålig verkningsgrad vid balanseringen resulterar i oönskad värme inne i batterisystem, något som måste åtgärdas med minskat antal aktiva balanseringskretsar vid en given tidpunkt eller genom att addera dyra värmeåterföringsmetoder.

Som visas i figur 5 uppnår LTC3300 över 90 procents verkningsgrad i både laddnings- och urladdningsriktningarna, vilket gör att balansströmmen kan vara mer än dubbelt så hög jämfört med en lösning med 80 procents verkningsgrad, förutsatt att balanserarna har samma effektförlust. Dessutom ger högre verkningsgrad hos balanseringskretsarna en mer effektiv omfördelning av laddning, vilket i sin tur ger mer effektiv kapacitetsåterhämtning och snabbare laddning. ■