

## Introduktion

Innan jag konstruerade min BMS och installerade LFP -batterier i min båt ägnade jag ganska mycket tid åt att läsa bloggar och vetenskapliga rapporter för att inte göra något dumt som lätt kunde ha undvikits genom att använda befintlig kunskap. Här är en kort sammanfattning av vad jag tycker är det viktigaste jag lärt mig.

## LiFePo4, LFP

En batteriteknik baserad på litiumjoner. Svårt att få till en termisk rusning = säker, lång livslängd och rimliga priser, och därför den bästa litiumbatteritekniken som kan användas i en båt idag. Den har några skillnader jämfört med blybatterier: De förstörs direkt om de blir helt urladdat, dör långsamt när de överladdas eller laddas vid för låg temperatur eller med för hög ström. Varje LFP -cell har en nominell spänning på 3,2 V, så fyra celler räcker för att bygga ett nominellt 12 V batteri (jämfört med bly som behöver sex). Dessa skillnader gör det tyvärr inte möjligt att få en enkel "drop-in-uppgradering till LFP". Dessa finns bara inom marknadsföringen.

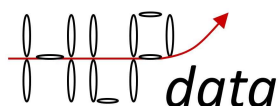
## LFP livslängd

Även om du håller LFP -batteriet inom de gränser som anges av tillverkaren kommer de ändå att tappa kapacitet med tiden. Det finns många anledningar till detta, och de flesta är mycket komplicerade så jag kommer inte ens att försöka beskriva dem, främst eftersom jag inte riktigt förstår dem själv. Men de viktigaste användarna i en båt kan påverka är: hur man lagrar, laddar ur och laddar dem.

Den som verkar lättast att förstå är hur man laddar ur och laddar dem. Det ska göras symmetriskt runt 50 % SoC (State of Charge, dvs hur laddat batteriet är) för att uppnå maximal livslängd. Bäst livstidsmässigt är att cykla mellan 49 % och 51 % SoC, värst är mellan 0 % och 100 % SoC. Jag har sett många rapporter som visar hur förväntad livslängd minskar avsevärt när man ökar cykeldjupet. Många av dessa uppskattningar anger inte exakt vilken litiumteknik de är baserade på, så många är förmodligen baserade (eller påverkade) på andra litiumtekniker än LFP. En artikel i Journal of the Electrochemical Society från 2020 indikerar att skillnaden inte är så stor för olika cykeldjup för LFP, som för NCA och NMC. Så om det hanteras korrekt kan livslängden vara mycket längre än 2000 cykler, även om det cyklas mellan 100 % och 0 % SoC. Tiden får visa.

Lagring verkar också gynnas av att vara symmetrisk runt 50 %. Det finns dock rapporter som tyder på att det finns ett "knä" vid 95 % SoC, över vilket degeneration ökar snabbare. Så, med en månatlig självurladdning på 3 % (vilket många leverantörer hävdar) är det bara att räkna. Om den förvaras i två månader, ladda till 53 % och koppla ur batteriet. Vid retur ska SoC vara 47 %. Det har också kommit rapporter som säger att det är bästa att förvara dem med 100% SoC. Att det finns forskningsrapporter med så motsägelsefulla budskap kan kanske bero på att elektrolyten utvecklas ständigt, och forskningsrapporterna säger i bästa fall att det är LFP batterier, inget om elektrolytens sammansättning. Så även här får tiden utvisa vad som är rätt.

Att förvara vid temperaturer över 35 grader Celsius är definitivt inte bra. Men förvaring vid låga temperaturer är inte heller bra. Jag har sett en rapport som indikerar att 15 grader Celsius är den bästa



lagringstemperaturen, men det var också den lägsta testade temperaturen. Men eftersom jag lämnar mina batterier i båten över vintern och inte kan påverka lagringstemperaturen har jag inte ägnat mycket tid åt att försöka ta reda på mer detaljer heller.

Och slutligen, ju lägre ström du laddar och laddar ur med, desto mer kommer det att förlänga LFP: s livslängd. Detta är särskilt viktigt vid laddning vid låga temperaturer. Att ladda under 0 grader Celsius är riktigt dåligt.

## Användning av LFP

För att förhindra att LFP förstörs av överurladdning bör det finnas ett underspänningskydd som stänger av alla laster innan detta händer. Minsta spänning är 2,5 V för många av de vanliga leverantörers cellerna. Om skyddsspänningen sätts lite högre (t.ex. 3 V) så finns det tillräckligt med ström kvar till att starta en motor. I ett perfekt balanserat batteri kan underspänningsövervakningen göras på aggregerad nivå (12 V). Men den minsta obalansen kan då föra en cell utanför de tillåtna spänningarna om gränserna sätts till max. Därför är det mycket säkrare att basera övervakningen på individuell cellspänning, d.v.s. låta BMS styra den.

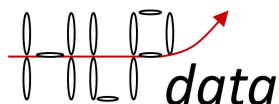
Det är också viktigt att skepparen får lite varning innan strömmen stängs av, så BMS måste kunna larma.

## Laddning av LFP

Kan laddas med hög ström (1 C) (C är ett mått på strömmens storlek i förhållande till batteriets kapacitet, 1 C motsvarar 100 A för ett batteri på 100 Ah), men detta kommer att förkorta dess livslängd. Det finns normalt en rekommenderad ström från tillverkaren, ofta mellan 0,3-0,5 C. Att använda en lägre ström är ännu bättre (ur ett livstidsperspektiv). Vid laddning är det viktigt att inte överskrida den rekommenderade maxspänningen, ofta 3,65 V. Om laddningen sker med t.ex. 0,5 C, då kommer SoC att vara över 90 % när cellspänningen når 3,6 V, så då är det verkligen inte nödvändigt att fortsätta med någon absorptionsladdning om det inte är viktigt att nå 100 % SoC. Om 100% är viktigt så anger tillverkaren vid vilken ström laddningen skall avbrytas, ofta runt 0,02–0,04 C. Problemet med fortsatt laddning efter det är att när det inte finns tillräckligt med fria litiumjoner kommer laddningsströmmen att användas för litiumplätning, vilket är ett långsamt sätt att döda en LFP cell. Detta är också vad som händer om laddning sker vid en för låg temperatur. Så, när laddningen är klar, sluta antingen ladda helt eller minska spänningen till under LFP: s öppna cellspänning (ofta runt 3,35 V). Övervakningen kan göras på en aggregerad nivå (12 V). Men den minsta obalans kommer då att föra en cell utanför de tillåtna spänningarna om gränserna sätts till max. Därför är det mycket säkrare att basera laddningskontrollen på individuell cellspänning, d.v.s. låta BMS göra det.

## Temperaturövervakning

Om ett LFP -batteri används för stora strömmar (> 1C) och/eller snabb laddning (> 0,5C) kan det bli för varmt för sitt eget bästa, särskilt i områden med höga omgivningstemperaturer. Då måste batteriets temperatur också övervakas och laddning och laster kopplas bort innan temperaturen blir för hög (gränsen verkar ofta ligga runt 45-60 grader Celsius). Hög temperatur är i allmänhet dålig för batteriet, särskilt när det är fulladdat eller helt urladdat. Så dessa ytterligheter bör undvikas så mycket som möjligt när batteriets temperatur är hög.



## Generatoren

De flesta generatorer är inte byggda för att producera den angivna strömmen under längre perioder. Och den inbyggda regulatoren är för det mesta av en CV-typ (konstant spänning, ofta inställd på mål 14,2-14,4V). Detta innebär att den producerar max ström tills den nästan når den inställda spänningen, och därefter producerar den tillräckligt med ström för att bibehålla denna spänning. Ett blybatteri når denna spänning mycket tidigare än ett LFP -batteri, så LFP -teknik kan vara ett problem för generatoren. Vissa moderna generatorer innehåller ett (ganska primitivt) övertemperaturskydd som minskar strömmen (ofta genom att minska målspänningen, vilket inte är tillräckligt bra för en stor LFP -bank) innan den inställda spänningen nås om generatoren blir för varm. Ett enkelt test för att se om din generator är i riskzonen är att röra den med ett blött finger efter att den har belastats tungt utan att nå sin målspänning på ett tag (> 30 min). Om det kokar är det förmodligen för varmt, och du bör leta efter en lösning. Om du inte gör det blir lösningen snart en ny generator (eller i värsta fall en ny båt).

Ett annat problem är om du installerar batterier som kan koppla bort sig själva under laddning (t.ex. drop-in batterier). Om det händer har energin som produceras vid fränkopplingstillfället ingenstans att ta vägen, så när strömmen sjunker ner skjuter spänningen i höjden. Detta kan skada både generatoren och ansluten elektronisk utrustning. Ett vanligt sätt att mildra detta är att ha ett blybatteri anslutet parallellt som kan ta hand om denna spänningsspik. (Någon jämförde denna lösning med att ta med en häst i bilen om bilen skulle gå sönder). Ett bättre sätt är att låta BMS stoppa generatoren som producerar ström innan fränkopplingen sker (men efter det är ju fränkopplingen onödig).

## Drop in batterier

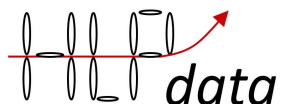
En drop-in i batteri är helt enkelt 4 LFP -celler, en övervakningskrets (BMS) och en strömbrytare. Ett problem med många drop-in är ofta att inställningarna för när den kopplas bort inte är inställda på optimal livslängd, utan för att förebygga en katastrof. Så att använda dess BMS som den primära lösningen kan vara problematisk om du inte känner till inställningarna och anpassar din installation till den. Undantaget från detta är batterier från de större leverantörerna som exvis Victron. Deras batterier har en kommunikationskanal mellan batterierna och resten av systemet, så de är en del av ett komplett system och agerar inte på egen hand.

Ett annat problem är att drop-in batterier ofta använder MOSFET som switch, vilket begränsar mängden ström det kan hantera. Runt 100 A är en vanlig gräns, när gränsvärdet för vad LFP kan leverera ofta ligger i runt 1000 A.

Och ett ytterligare problem är att de oftast inte ger någon förvarning om att det kommer att koppla ifrån.

## System tillverkares lösning

Ett bra sätt att få ett väl fungerande system är att köpa allt (batterier, BMS, laddare, regulatorer, växelriktare ...) från en erkänd enskild leverantör. Då får du ett system där alla delar kommunicerar och hanterar alla händelser på ett fördefinierat sätt. Den enda nackdelen med att gå denna väg är prislappen.



## Bygga ett eget system

Ett annat sätt att hantera problemen/kostnaden är att bygga ett eget system. Du behöver fyra LFP-celler, en BMS och helst en separat switch istället för en inbyggd MOSFET. Då kan du välja en switch som kan hantera all ström du behöver och konfigurera BMS för att interagera med alla laddningskällor. Detta är inte mycket mer komplicerat än att använda drop-in-batterier, men det gör det möjligt att lösa många av de ovan beskrivna "problemen" på ett mycket bättre sätt. Och en bonus med att göra det själv är att du kommer att förstå ditt system bättre och kostnaden är mycket lägre.

Men du måste ha förståelse för batteriet och laddningssystemet i båten för att göra något av detta. Om du är osäker, be alltid om professionell hjälp.