

Università Degli Studi Di Trento



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE
FORMULA SAE

BATTERY MODULE

Laboratorio di formula SAE
Prof. Paolo Bosetti

Studente:
Franco Tabarelli mat.179692

Contents

1	introduzione	4
2	scelte delle PERFORMANCE	5
3	calcolo SOC	6
4	ricerca della curva OCV e dei fattori di rendimento	7
5	scelte dei parametri del TEST HPPC	8
6	strutturare i risultati dell'HPPC e i suoi stadi	9
7	esecuzione HPPC TEST	10
8	invecchiamento delle celle	11

1 introduzione

Questa guida serve per capire come fare il test HPPC (HYBRID PULSE POWER CHARACTERIZATION) per caratterizzare una batteria o un gruppo di esse termicamente attraverso la simulazione della generazione del calore reversibile (entropico dovuto alla reazione chimica) e quello irreversibile (causato dall'effetto JOULE).

Alcuni dei principali termini inglese usati nella relazione:

- SOC(STATE of CHARGE)= la quantità di carica rimasta nella batteria rispetto a quella nominale e per questo è espresso in % ($0\% \leq SOC \leq 100\%$).
- DOD (DEPTH OF DISCHARGE)= quantità di carica rilasciata dall'accumulatore in relazione a quella nominale, e quindi come per il SOC è espressa in %.
- ΔDOD = variazione della DOD in funzione del tempo e della corrente.
- SOH (STATE OF HEALTH)= parametro che quantifica la carica accumulabile dalla batteria durante la sua vita
- η_C (EFFICIENCY OF CHARGE)= quantifica l'efficienza dell'accumulatore di ricaricarsi in funzione della corrente di ricarica
- η_D (EFFICIENCY OF DISCHARGE)= quantifica l'efficienza di trasferimento dell'energia dalla batteria a un carico collegato in funzione della corrente richiesta.
- STATIC CAPACITY= capacità effettiva della batteria misurata tramite una ricarica impostata con i valori "STANDARD" dichiarati dal costruttore.
- OCV(OPEN CIRCUIT VOLTAGE)= curva che relaziona la tensione e la capacità. della cella
- CHARGING DEPLETING= perdita di prestazioni dovute ai cicli di ricarica della batteria.
- BSF(BATTERY SIZE FACTOR)**= numero che rappresenta la quantità di batterie richieste per raggiungere i valori di TARGET di potenza del veicolo EV (es un sistema 108s4p ha un fattore BSF=108*4=432).
- P_{CPDT} = la potenza in [W] che vogliamo testare (calcolata a tensione nominale o usando la media tra i valori massimi e minimi di tensione dell'accumulatore).
- lkldsd

**in conto delle celle necessarie per raggiungere il TARGET deve tenere conto del DERATING delle celle che avviene con l'aumentare delle quantità di cicli di carica-scarica (anche se parziale)e del metodo di STORAGE delle celle (meglio se vengono stoccate con una capacità accumulata $\simeq 50\%$).

2 scelte delle PERFORMANCE

Come primo lavoro bisogna impostare i parametri di ricerca e i TARGET di ricerca. Partendo dalle regole della FSAE, tutte le celle devono essere posizionate in un accumulatore chiuso e ogni sezione che lo compongono devono soddisfare le seguenti condizioni:

- tensione statica $\leq 120V$
- una densità energetica $\leq 6MJ$
- una massa $\leq 2Kg$
- voltaggio totale del pacco batterie $\leq 600V$
- la massima potenza erogabile dal sistema $\leq 80KW$

NB l'accumulatore HV può essere composto da più piccoli accumulatori ma l'importante è che la potenza totale erogabile dagli accumulatori sia inferiore ai 80KW.

La potenza di picco di 80KW è raggiunta solo per un breve istante (visto che la prova di accelerazione consiste in una retta da 75m e la media di percorrenza del tratto è di $\leq 4s$)

Usando delle batterie LI-PO ($V_{MAX}=4.2V$, $V_{AVERAGE}=3.7V$), per produrre un sistema a 600V necessito di $\frac{600V}{4.2V} \simeq 142$ batterie in serie. la configurazione ottimale è composta da 2 sezioni da 17 batterie in serie e 6 moduli da 18 accumulatori in serie (cioè $V_{MAX}=142*4.2V=5.96V$).

Nella sezione da 18 paralleli la capacità di ogni batterie deve essere $\leq \frac{6MJ}{3.7V*18} = \frac{6*\frac{1}{3.6}KWh}{3.7V*18} \simeq 25Ah$

In una possibile configurazione a 6 sezioni (di cui 4 da 24 celle e 2 da 22), nelle sezioni da 24 batterie in parallelo la capacità di ogni batterie deve essere $\leq \frac{6MJ}{3.7V*24} = \frac{6*\frac{1}{3.6}KWh}{3.7V*24} = \frac{6*\frac{1}{3.6}}{3.7*24} * 10^3 Ah \simeq 11,77Ah$

3 calcolo SOC

Il SOC è definito come il rapporto sulla carica rimanente (C_{REMAIN}) e quella nominale (C_{RATED}) :

$$SOC = \frac{C_{REMAIN}}{C_{RATED}} * 100\% \quad (1)$$

Ma calcolare le due capacità è molto complicato a causa della dipendenza di questi due valori dalla corrente di scarica/carica della batteria, la sua temperatura e il suo stato di salute. Uno dei metodi più semplici è il COULOMB COUNT, il quale va a misurare la capacità acquisita e persa da una cella durante la sua vita e la relaziona alla sua capacità di RATING, ponendo la corrente di carica ≥ 0 e quella di uscita ≤ 0 :

$$SOC = SOC(t_0) + 1 \frac{1}{C_{RATED}} \int_{t_0}^{t_0+\tau} (i_B(t) - i_{LOSS}) dt 100\% \quad (2)$$

Questa semplice equazione ha il difetto che l'errore di stima dell'SOC crescente nel tempo e questo è causato dal DERATING della batteria durante la sua vita ciclica di carica e scarica, per questo è nato l' ENCHANTED COULOMB COUNT (pone SOH=100% se la batteria è nuova):

$$SOC(t) = SOH(t) - DOD(t) \quad (3)$$

$$SOH(t) = \frac{C_{MAX}}{C_{RATED}} \quad (4)$$

$$DOD(t) = \frac{C_{RELEASED}}{C_{RATED} * *} = DOD(t_0) + \eta \Delta DOD(t) \quad (5)$$

$$\Delta DOD(t) = \frac{- \int_{t_0}^{t_0+\tau} i_B(t) dt}{C_{RATED}} \quad (6)$$

NOTE

- 1) C_{RATED} è la capacità massima accumulabile di una cella ed è in relazione con i ciclo di vita della medesima
- 2) i_B è la corrente che esce ed entra dalla cella; essa assume valori negativi nell'ipotesi della scarica e un peso positivo per la ricarica.
- 3) i_{LOSS} è la corrente consumata da LOSS REACTION e quindi è irreversibile
- 4) η è l'efficienza di conversione della corrente I_B in entrata in una cella in effettivo accumulo/rilascio della capacità (η_C per la carica e η_D per la scarica)

4 ricerca della curva OCV e dei fattori di rendimento

Per avere i dati della curva OCV, η_C e η_D bisogna effettuare un elevato numero di cicli di completa carica e scarica a diverse condizioni di correnti di scarica/carica e differenti temperature di lavoro:

- 1) si effettua un completo ciclo di carica e scarica della cella (con un RESTING intermedio di 10min), per cercare le curve di rendimento in funzione delle correnti di IN/OUT della cella)
- 2) si effettua di nuovo il ciclo precedente ponendo degli intervalli ogni 5% dell'SOC di 10min di riposo (per poter generare un file contenente le tensioni di assestamento che dobbiamo durante le prove HPPC)
- 3) si cambiano le condizioni di carica/scarica e temperatura di lavoro e si ripetono i punti 1 e 2.
- 4) ripeter questo procedimento fino alla fine dei cicli della batteria (condizione vera solo se abbiamo utilizzato tutti i cicli per cui la batteria è RATED e/o la sua capacità effettiva è scesa sotto una soglia prestazionale definita da noi)

I dati salvati (voltaggio, tensione e temperature) saranno in funzione dei cicli subiti dalla cella

5 scelte dei parametri del TEST HPPC

usando la configurazione precedente, cioè una 1S142P (BSF=142*1=142) e date la potenze $P_{CPDT}= 80KW$, le correnti di analisi del HPPC TEST sono:

1. magnitudo di corrente per i test di scarica:

- (a) $\frac{80KW}{4.2V*142} \simeq 142A$ (per dare 80KW@SOC=100%).
- (b) $\frac{80KW}{3.7V*142} \simeq 152.3A$ (per dare 80KW@SOC=50% \equiv tensione della batteria è al valore nominale=3.7V)
- (c) $\frac{80KW}{3V*142} \simeq 187.8A$ (per fornire gli 80KW a SOC \leq 10%).
- (d) $\simeq 80A$ (cioè la I_{RMS} estratta dai dati dell'evento dei 7 tornanti fatto da CHIMERA)

2. magnitudo di corrente per i test di carica (dipendono dal modello di batteria scelto):

- (a) la corrente standard di carica (normalmente a 1C)
- (b) la corrente massima di carica ammessa dalla cella per testare la massima potenza di ricarica (necessaria per conoscere i limiti della macchina durante la rigenerazione dell'energia proveniente dagli INVERTER)

Per le temperature di TEST sono stati scelti 4 valori:

- 15°C (per simulare il caso in cui la macchina viene accesa ed usata in test autunnali).
- 25°C/30°C (cioè il valore della temperatura a cui è stata sottoposta la cella per estrarre i valori in condizioni standard)
- 45°C (per sapere come si comporta la cella alla temperatura massima di lavoro del COOLING e visto che il limite di 60°C del regolamento verranno raggiunti localmente sulla cella durante i primi 3 TEST condotti a correnti elevate la temperatura di 45°C in prima ipotesi sembra ottima come condizione massima di TEST),

Mentre per gli intervalli di SOC in cui bisogna fare il TEST è a libera scelta, ma è consigliato come minimo di prendere un intervallo di 10% e quindi fare 10 intervalli di test:

- SOC=100%
- SOC=90%
- SOC=80%
- SOC=70%
- SOC=60%
- SOC=50%
- SOC=40%
- SOC=30%
- SOC=20%
- SOC=10%

6 strutturare i risultati dell'HPPC e i suoi stadi

Per il test bisogna creare un file per ogni temperatura, livello di corrente di prova, per ogni SOC e dividere le prove di carica da quelle di scarica.

Ogni prova consiste in 3 fasi separate da pause di RESTING:

- **STATIC CAPACITY**= zona in cui vado a misurare il SOC effettivo nella batteria con l'algoritmo ENCHANTED COULOMB COUNT, scaricando (fino a $\simeq 0\%$ SOC) e poi ricaricando (fino a 100% SOC) la cella con i parametri definiti, nel DATASHEET del prodotto, come STANDARD CONDITION;
- **COSTANT POWER FROM 100% to 10% SOC**= in questa zona vado a effettuare i test impulsivi del HPPC TEST; normalmente ad ogni intervallo di SOC si fa un test di scarica seguito da una pausa, una successiva ricarica per rimuovere la capacità persa durante l'impulso di scarica, del RESTING per far assestare la tensione della batteria, poi mi porto al successivo SOC (usando le condizioni STANDARD) e faccio un pausa prima di ripetere il ciclo di carica e scarica;
- **COSTANT POWER FROM 10% to 100% SOC**= ripeto il ciclo di prima, ma parto dal più basso SOC di TEST ed arrivo il 100% dell'SOC;

NB PRIMA dei TEST DEVO CONOSCERE LA CURVA OCV in funzione alle temperature e alle correnti di test.

Il singolo file dei test deve avere la forma come in "Figure 3", in cui inizialmente si dichiara il SOC di TEST (es $0.2 = 20\%$ SOC), seguito dall'ampiezza dell'impulso di scarica/carica espresso in AMPERE, subito sotto la temperatura di test espressa in KELVIN ed infine i dati dell'esperimento con il tempo in secondi affiancato dalla tensione in VOLT.

```
SOC 1.0
I 14.6
Temperature 300.0
1.0000e-01 4.2292e+00
2.0000e-01 4.2292e+00
...
1.1800e+01 4.1041e+00
...
```

Figure 1: FROM ANSYS GUIDE

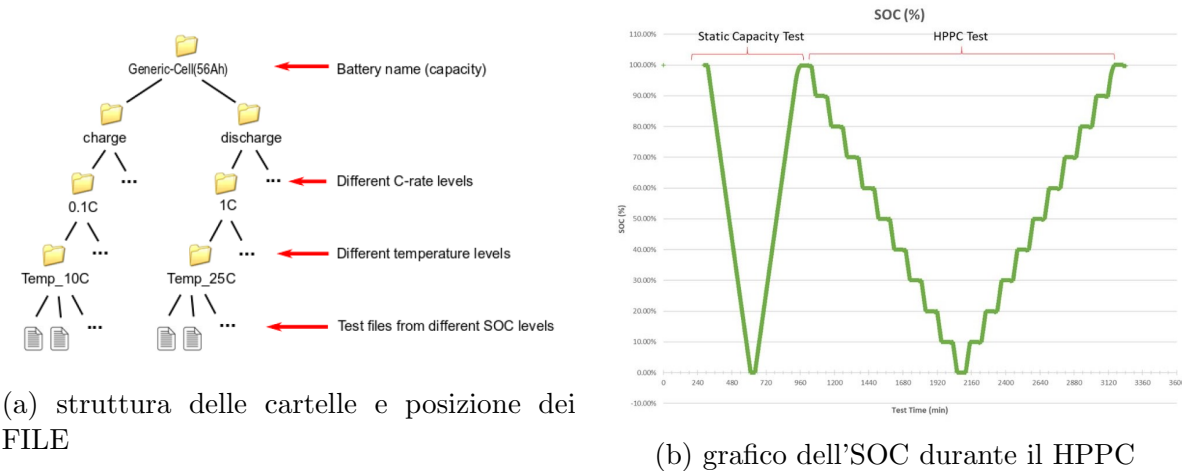


Figure 2: immagini dal WEBINAR di ANSYS

7 esecuzione HPPC TEST

Inizialmente scelgo la corrente di scarica e la corrente di ricarica da testare e poi eseguo la seguente scaletta:

- 1) inizialmente si effettua lo STATIC CAPACITY per capire lo stato del SOC e portarlo al 100% e dopo si fa fare alla batteria una pausa di 60min in OPEN CIRCUIT
- 2) dopo la pausa di mezz'ora si fa una scarica di 10s con intensità pari a quella da testare nella RUN da eseguire e successivamente si fa un nuovo REST in OPEN CIRCUIT di 10 min
- 3) successivamente alla seconda pausa si ricarica la cella con la corrente da testare con un impulso di 10s e seguito poi da 10s di RESTING.
- 4) dopo i 10 min di resting porto la cella al nuovo valore del SOC (con le correnti di DISCHARGE nominali) e faccio un RESTING di 60min in OPEN CIRCUIT e riparto dal punto 2
- 5) finito il test con SOC 10% e passati i 10 min di REST, scarico la cella a 0% SOC (usando la corrente nominale) e dopo una pausa di 60min ricarico la cella (usando la corrente nominale di RECHARGE del DATASHEET) portandola al SOC=10%
- 6) da qui ripeto il test come nel punto 2 e 3 ma diversamente da prima qui il SOC passa da 10% al 100

Nella foto seguente è la corrente di scarica della cella è riportata mentre quella di ricarica è negativa.

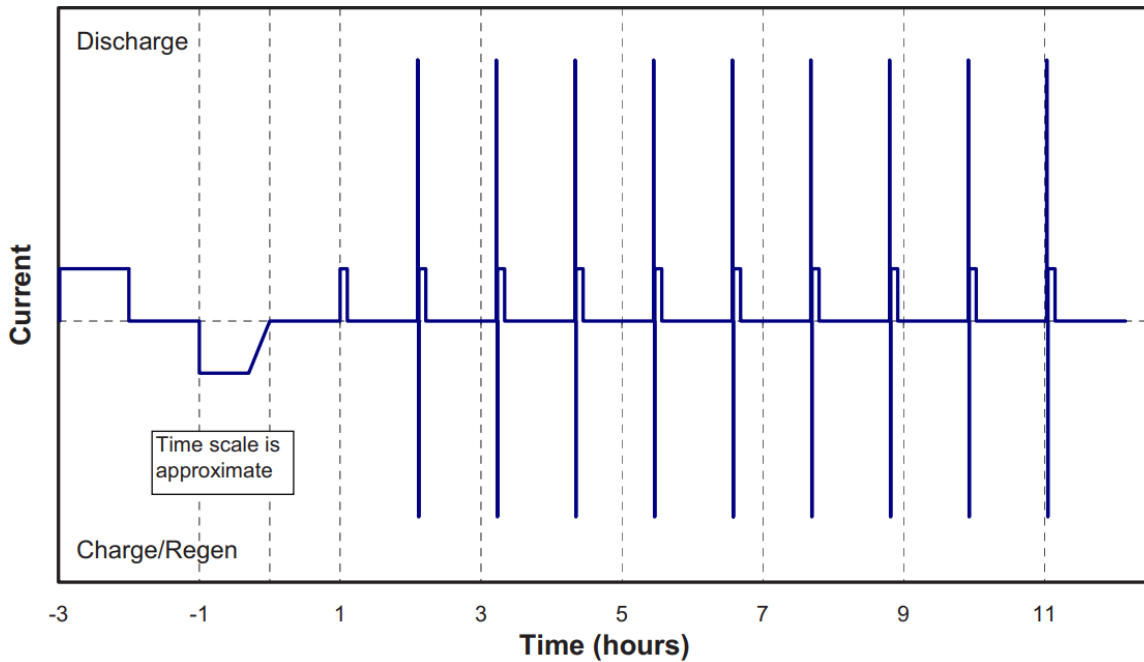


Figure 3: grafico proveniente da una guida sull'HPPC TEST

8 invecchiamento delle celle

N.B. Per diminuire l'AGING della batteria (al di fuori dell'HPPC test) si può modificare il classico algoritmo di ricarica che è composto da uno stadio primario in corrente continua (C.C.) e seguito da un secondario in tensione costante (C.V.); Sostituendo il primo stadio con un V.C.C. (=VARIABLE CONSTANT CURRENT) posso incrementare le prestazioni della batteria nel tempo.

Con il V.C.C. regolo la corrente di ricarica in funzione della temperatura della cella (scelta in base alle prestazioni del pacco HV e le condizioni ambientali), così facendo evito di surriscaldare troppo la batteria e riduco il DERATING dello stato della salute dell'accumulatore in funzione ai cicli di ricarica (SOH).

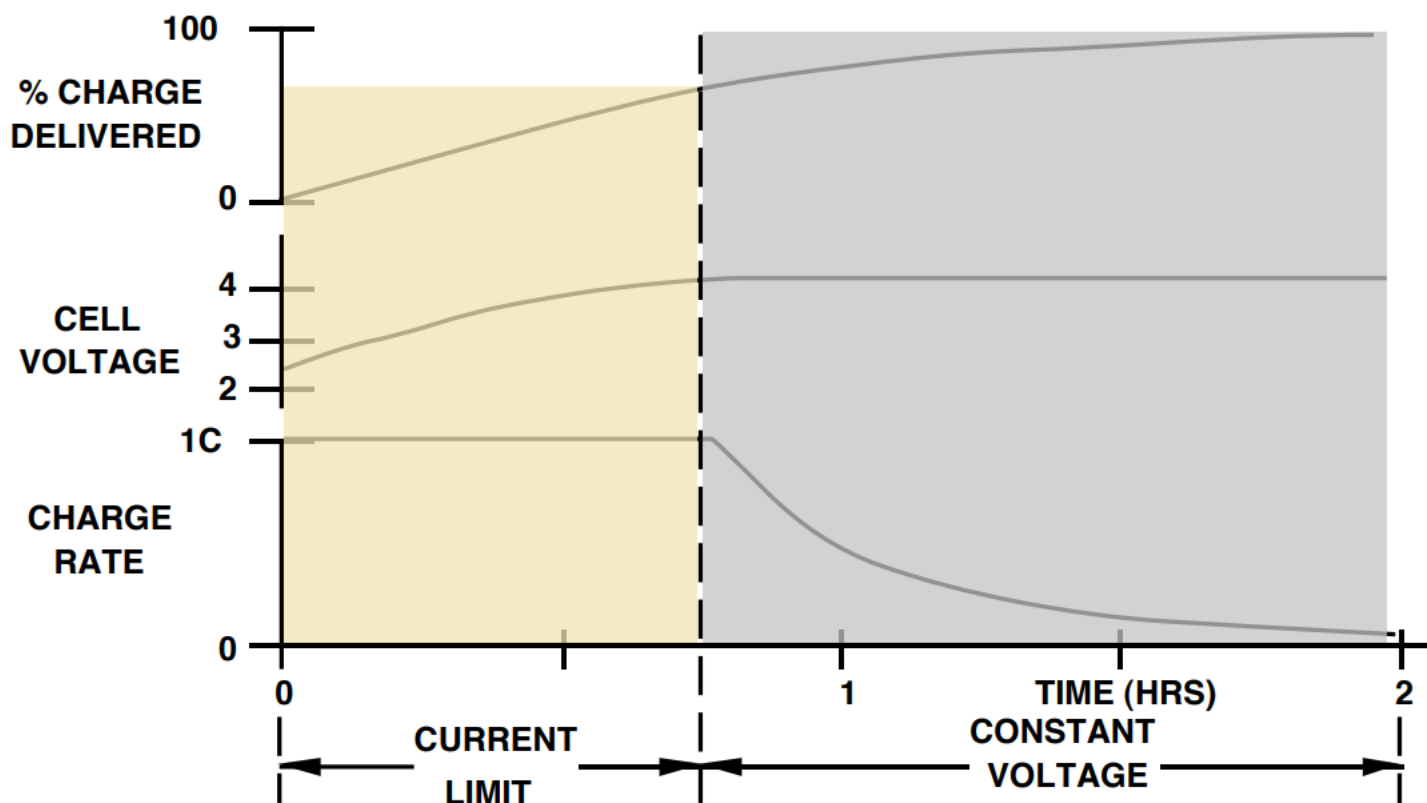


Figure 4: ricarica in C.C. seguita dalla fase in C.V.