

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
CAMPUS DI CESENA  
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA  
ELETTRONICA, INFORMATICA E TELECOMUNICAZIONI

TITOLO DELL' ELABORATO

**PROGETTAZIONE DI UN CIRCUITO PER IL  
CONTROLLO DELLE CORRENTI NELLE  
BATTERIE RICARICABILI**

Tesi in:  
*ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI*

Relatore:  
Prof. Aldo Romani

Candidato:  
Fabio Bicchieri

Correlatore:  
Dr. Matteo Pizzotti

Sessione I  
Anno accademico 2015-16

A tutti coloro che mi hanno visto  
affrontare questo duro percorso,  
rendendomelo un po' più dolce.

# Indice

<b>Introduzione</b> .....	2
<b>Capitolo 1: Background</b> .....	4
<b>1.1 Batterie</b> .....	4
1.1.1 La generica batteria da 5 V utilizzata nella tesi.....	4
1.1.2 Caratteristiche della batteria.....	5
1.1.3 Tipologie di accumulatori.....	6
1.1.4 Problemi delle batterie.....	7
<b>1.2 Caricabatterie</b> .....	8
1.2.1 Caratteristiche del caricabatterie.....	8
1.2.2 Tipologie di caricabatterie.....	9
1.2.3 Metodi di carica.....	10
<b>1.3 Obiettivi</b> .....	10
1.3.1 Specifiche di progetto.....	11
1.3.2 Impostazione del progetto.....	11
<b>Capitolo 2: Circuito di carica</b> .....	12
<b>2.1 Obiettivo</b> .....	12
<b>2.2 La realizzazione</b> .....	12
2.2.1 Conversione dell'alimentazione.....	13
2.2.2 Ingressi dell'amplificatore operazionale.....	14
Partitore di tensione.....	15
La regolazione di corrente tramite P-Mos.....	16
2.2.3 La retroazione.....	18
<b>2.3 Simulazione del circuito di carica</b> .....	19
<b>2.4 Conclusioni</b> .....	20
<b>Capitolo 3: Circuito di scarica</b> .....	21
<b>3.1 Obiettivo</b> .....	21
<b>3.2 La realizzazione</b> .....	21
3.2.1 Conversione della tensione della batteria.....	22
3.2.2 Ingressi dell'amplificatore operazionale.....	23
Partitore di tensione.....	23
La regolazione di corrente tramite P-Mos.....	25
3.2.3 La retroazione.....	25
<b>3.3 Simulazione del circuito di scarica</b> .....	26

<b>3.4 Conclusioni.....</b>	<b>30</b>
<b>Capitolo 4: Circuito completo.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Logica pass transistor.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 Selezione della modalità di funzionamento.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3 Conclusioni.....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusioni finali.....</b>	<b>34</b>
<b>Ringraziamenti .....</b>	<b>35</b>



# Introduzione

Nell'elettronica moderna suscita sempre maggiore interesse l'area delle applicazioni portatili a basse tensioni (smartphone, sensori, Internet of Things, ...) e accumulatori di energia ad alte tensioni (fonti rinnovabili, smart grid, ...).

Ne consegue che l'uso di batterie e i relativi circuiti per la loro gestione assumono un ruolo sempre più importante.

In questo ambito può diventare strategico avere la possibilità di caricare una generica batteria con una corrente costante e soprattutto regolabile, ma allo stesso tempo di prelevare una corrente regolata dalla stessa.

Questo perché scegliere la corrente di carica e scarica consente di prelevare o immettere una specifica quantità di energia in un dato istante al fine di ottimizzare il consumo generale del sistema in cui viene utilizzata la batteria.

Mancano dispositivi integrati specifici in grado di fare compiere efficacemente questa regolazione.

Ad oggi, in quest'ottica, la tesi si pone l'obiettivo di realizzare un circuito che soddisfi tali esigenze.

Il focus della tesi riguarda la realizzazione del circuito di carica e scarica, prendendo come riferimento una batteria generica da 5 V e un sistema alimentato a 15 V.

Alcuni regolatori di tensione sono stati inseriti per equalizzare i livelli di ingresso del circuito, senza però preoccuparsi di una loro ottimizzazione in quanto al di fuori degli obiettivi della tesi.



# Capitolo 1: Background

Questo primo capitolo mira a fare una panoramica generale sulle batterie e caricabatterie, riportando poi le specifiche di progetto e l'impostazione del lavoro.

## 1.1 Batterie

La batteria è un generatore elettrochimico che produce energia elettrica in modo indipendente, tramite svolgimento al suo interno di reazioni chimiche.

### 1.1.1 La generica batteria da 5 V utilizzata nella tesi

Esistono due macro tipologie di batteria, le pile e gli accumulatori.

Batterie non ricaricabili, le pile, sono generatori elettrochimici considerati "primari". Le pile non sono oggetto della tesi, per cui non ne vengono analizzate le caratteristiche.

La tipologia che ci interessa è la batteria ricaricabile, definita anche accumulatore o generatore "secondario".

L'unità più piccola della batteria è la cella; le batterie sono spesso costituite da più celle che vengono collegate elettricamente, formando un'unità.

Il circuito progettato prevede l'allocazione di una sola batteria, ma va chiarito che possono essere utilizzate più batterie contemporaneamente, connettendole in serie, per aumentarne la tensione, o in parallelo, per aumentarne la capacità.

Per semplificarne lo studio, il progetto considera il solo funzionamento in continua di una batteria da 5 V.

Per questo motivo, la batteria viene modellata con un generatore di tensione, nonostante il circuito equivalente completo includa resistenze e capacità in serie, come mostrato in figura 1.1.1.1.

La carica della batteria avviene quando questa viene collegata ad un carico elettrico: l'elettrodo positivo (catodo) si riduce, acquistando elettroni, mentre l'elettrodo negativo (anodo) si ossida, cedendo elettroni.

All'interno dell'elettrolita, gli ioni positivi si muovono verso il catodo, mentre gli ioni negativi fluiscono verso l'anodo.



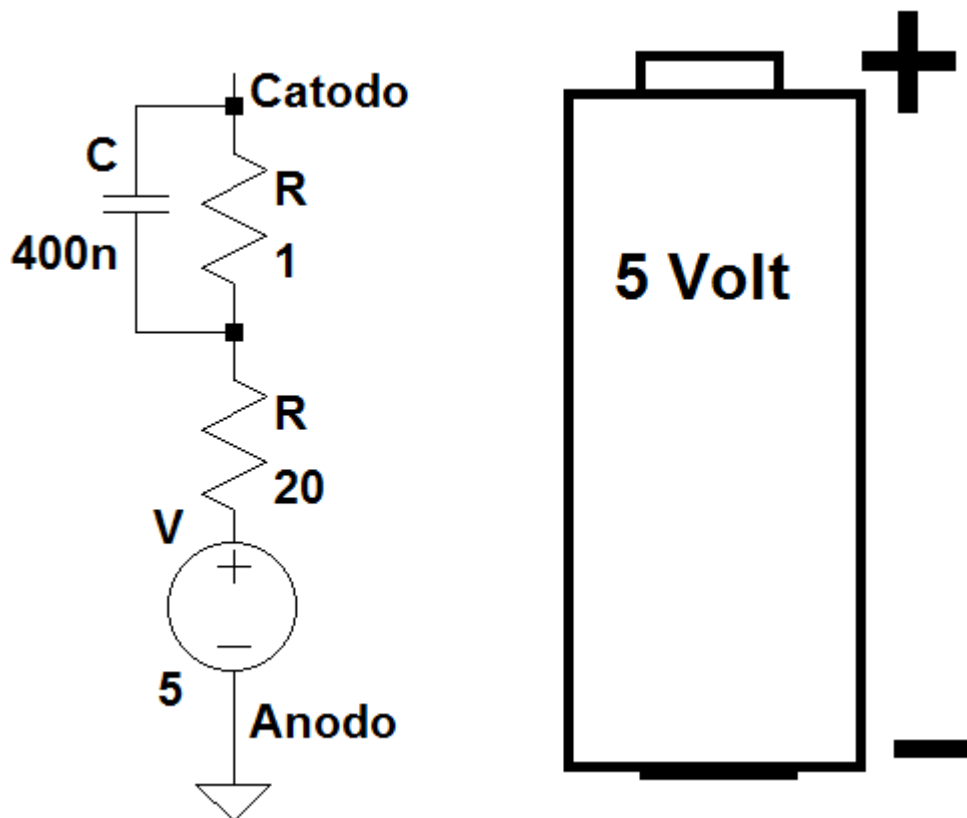


Figura 1.1.1.1 – circuito equivalente della batteria da 5 V

Durante il processo di carica, i moti degli ioni si invertono e gli elettrodi recuperano gradualmente il loro stato di ossidazione iniziale<sup>1</sup>.

### 1.1.2 Caratteristiche della batteria<sup>2</sup>

**TENSIONE [V]:** valore nominale di una cella, moltiplicato per il numero degli elementi della batteria;

**CAPACITA' [Ah]:** quantità di elettricità che la batteria ha a disposizione da erogare in un determinato intervallo di tempo, scaricandosi ad un determinato regime;

**CORRENTE [A]:** definisce lo spostamento delle cariche elettriche;

**ENERGIA SPECIFICA [Wh/m<sup>3</sup>]:** è la quantità di energia che la batteria riesce a fornire, messa in relazione al volume;

**CARATTERISTICHE DI RICARICABILITA':** sapere se si tratta di una

<sup>1</sup> Fonte pagina 19 del PDF [http://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/tecnologie-elettriche/rds-303-122-d-strategie-di-gestione-e-controllo.pdf](http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/tecnologie-elettriche/rds-303-122-d-strategie-di-gestione-e-controllo.pdf)

<sup>2</sup> Fonte [http://elektro.it/AAApile\\_accumulatori/pile\\_accumulatori\\_01.html](http://elektro.it/AAApile_accumulatori/pile_accumulatori_01.html)

batteria non ricaricabile o meno ci permette poi di valutarne altre specifiche. Alcune caratteristiche legate alla batteria ricaricabile sono: il tempo di ricarica, l'intensità di corrente con cui questa viene effettuata, problemi causati dalla periodicità delle ricariche e l'esistenza o meno dell'effetto memoria, dovuti alla carica della batteria non completamente scarica;

**DURATA:** indica il numero di cariche e scariche che la batteria è in grado di fornire, senza che il suo livello di tensione scenda al di sotto di un valore non più in grado di alimentare il carico prestabilito;

**IMPATTO AMBIENTALE:** ci dice la modalità di smaltimento, una volta terminato il suo ciclo di funzionamento.

### 1.1.3 Tipologie di accumulatori<sup>3</sup>

**BATTERIE AL PIOMBO:** costituiscono la più vecchia e diffusa tecnologia, hanno un costo piuttosto ridotto, una soddisfacente energia specifica e non soffrono dell'effetto memoria. Tuttavia, però, è pericolosa, dato che sviluppa idrogeno e la presenza di piombo rende lo smaltimento molto difficile. Vengono utilizzate nel settore automobilistico, UPS, carrelli elevatori ed un po' in tutte le applicazioni industriali;

**BATTERIE AL NICHEL-CADMIO:** godono di buonissime caratteristiche, quali un elevato rapporto costi/prestazione ed un elevato numero di cicli di carica; tutto ciò a discapito dell'effetto memoria, del quale soffre questo tipo di batteria e della sua pericolosità, in quanto il cadmio è tossico. Impiegate per tutte quelle applicazioni spina-batteria (rasoi elettrici, registratori, telecamere e radioricevitori);

**BATTERIE AL NICHEL-IDRURO METALLICO:** appartenenti alla categoria degli accumulatori alcalini, riportano caratteristiche simili alle batterie nichel-cadmio in quanto durata di vita e l'aspetto ecologico, ma hanno una capacità doppia e l'effetto memoria è quasi assente. Necessitano di grande attenzione nel processo di carica, dato che, se surriscaldate, si danneggiano. Altro difetto di questa batteria è il processo di autoscarica. Vediamo l'applicazione di queste batterie in alcune applicazioni domestiche e periferiche industriali;

**BATTERIE AL LITIO:** sfruttano l'alto potenziale elettrochimico del litio e il suo peso specifico. I vantaggi che può vantare questa batterie sono innumerevoli: elevata energia specifica durante la loro lunga durata, una

---

<sup>3</sup> Fonte [http://elektro.it/AAApile\\_accumulatori/pile\\_accumulatori\\_03.html](http://elektro.it/AAApile_accumulatori/pile_accumulatori_03.html)

limitata autoscarica dovuta a inutilizzo e bassi tempi di ricarica, rimanendo comunque immune all'effetto memoria. Le batterie al litio hanno avuto una escalation sul mercato e sono impiegate in molte tecnologie, sostituendo le vecchie tipologie, sopra elencate, come succede, per esempio, nei cellulari e computer portatili.

Segue in Figura 1.1.3.1 una tabella comparativa delle differenti tecnologie.

Tipo	Densità di energia	Tensione di una cella	Durata di vita (cicli di carica)	Tempi di carica	Auto scarica mensile	Tensione minima di ricarica (per cella)	Effetto memoria
Piombo	30-50 Wh/kg	2,4 V	200-300	8-16 h	5 %	2,3 V	?
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	1500	1 h	> 20 %	1,25 V	Si
Ni-MH	60-120 Wh/kg	1,25 V	300-500	2-4 h	> 30 %	1,25 V	parziale
Ni-MH LSD	60-120 Wh/kg	1,25 V	1800	2-4 h	< 2 %	1,25 V	parziale
Alcalina	80-160 Wh/kg	1,5-1,65 V	100	1-16 h (secondo la capacità)	< 0,3 %	a seconda della batteria	?
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,7 V	500-1000	2-4 h	10 %	3,7 V	No
Li-Po	130-200 Wh/kg	3,7 V	300-500	2-4 h	10 %	3,7 V	No

Figura 1.1.3.1 – tabella comparativa delle differenti tecnologie<sup>4</sup>

#### 1.1.4 Problemi delle batterie<sup>5</sup>

La durata della batteria dipende dal consumo della materia al suo interno. Una mancata manutenzione, un processo di carica inadeguato o comportamenti dell'utente diversi da quelli corretti sono i problemi principali che danneggiano la batteria.

**CARICA TROPPO BASSA:** questo stato caratterizza le batterie che vengono caricate solo tramite alternatore o con caricabatterie non regolati. In entrambi i casi è quasi impossibile raggiungere uno stato di carica superiore all'80%, dal momento che i tempi di carica necessari sono troppo lunghi. Se queste batterie non vengono mai caricate completamente, la loro efficienza e capacità si riducono notevolmente;

**STOCCAGGIO CON CARICA INSUFFICIENTE:** lo stoccaggio delle batterie in uno stato di carica parziale contribuisce alla loro degradazione precoce;

<sup>4</sup> Fonte [https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore\\_di\\_carica\\_elettrica](https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_di_carica_elettrica)

<sup>5</sup> Fonte [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-4F7DA08E-0F8E4C64/fronius\\_italia/hs.xsl/28\\_1389.htm#.V2UPjNKLS71](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-4F7DA08E-0F8E4C64/fronius_italia/hs.xsl/28_1389.htm#.V2UPjNKLS71)

**SOVRACCARICA:** continuando a fornire energia ad una batteria completamente carica, la si danneggia in maniera irreversibile, fino ad arrivare all'esplosione;

**SOLFATAZIONE:** anche scaricare completamente la batteria non giova alla sua salute.

## 1.2 Caricabatterie

Il caricabatterie è un dispositivo utilizzato per fornire energia a una cella secondaria, la batteria, che ricarica forzandole una corrente elettrica.

La tensione e la corrente necessarie per la ricarica delle batterie sono di tipo continuo, quindi il caricabatterie funziona da raddrizzatore, trasformando la tensione alternata della rete elettrica nella tensione continua che serve per ricaricare una batteria.

La tecnologia con cui è fatta la batteria e la sua capacità impongono differenti tensioni nominali e una massima corrente ammessa per la carica.

Anche il tempo di carica è limitato dalla batteria allocata, poiché deve essere tale da seguire la velocità con cui avvengono le reazioni di carica, pertanto anche i tempi di carica devono essere sotto controllo.

Quindi il caricatore non deve solo fungere da raddrizzatore, bensì, essere anche un limitatore di corrente e di massima tensione.

Una volta che la batteria è stata caricata, bisogna evitare che essa si sovraccarichi, danneggiandosi irreversibilmente, fino ad esplosione.

Occorre che il processo di carica venga interrotto quasi totalmente: viene fornita una corrente trickle charge, di mantenimento che varia a seconda della capacità della batteria.

### 1.2.1 Caratteristiche del caricabatterie<sup>6</sup>

**TIPO DI BATTERIE DA RICARICARE:** la tipologia di batteria determina il metodo con cui questa deve essere caricata, ma anche lo spazio che essa occupa, una volta allocata nel caricatore;

**METODO DI CARICA:** il tipo di caricabatterie cambia in base al metodo di carica. Per esempio, carica a tensione costante o a corrente costante;

**DIMENSIONI:** il caricabatterie è dimensionato in base al tipo ed al numero di batterie che vi andrà collocato;

**CONTROLLO DELLA CARICA:** deve essere in grado di rilevare quando

---

<sup>6</sup> Fonte [http://www.softwareparadiso.it/fai\\_da\\_te/risparmi\\_caricabatterie.html](http://www.softwareparadiso.it/fai_da_te/risparmi_caricabatterie.html)

la carica è terminata per applicare solo una carica di mantenimento e non rovinare la batteria;

**TEMPO DI RICARICA:** definisce quanto impiega il circuito a caricare la batteria. Dipende dalle caratteristiche della batteria e dal suo stato di carica;

**REFRESH:** alcuni carica batterie hanno la possibilità di rigenerare la batteria per farla durare più a lungo e con maggiore efficienza. Si tratta di un controllo automatico o mediante pulsante che verifica se la batteria possa essere conservata con un ciclo di carica e scarica continuo fino a determinare la migliore capacità di archiviare energia.

### 1.2.2 Tipologie di caricabatterie<sup>7</sup>

**SEMPLICE:** un caricabatterie semplice lavora connettendo una costante fonte di corrente continua alla batteria carica, non altera il suo rendimento in base alla durata o alla batteria. Il basso prezzo va a discapito della qualità. Il tempo di carica viene prolungato per evitare il sovraccarico della batteria, che comunque si danneggia se esposta oltre la carica massima;

**TRICKLE:** è il caricabatterie più lento, con velocità di auto-scarica e si differenzia da quello semplice perché lasciando esposta la batteria oltre la sua carica massima, non si danneggia;

**A TIMER:** l'uscita di questo caricabatterie è costante, ma termina dopo un tempo predeterminato. Trattandosi di una tecnologia degli anni ottanta, presenta il problema che inserendo batterie parzialmente cariche, si danneggeranno, perché non ha sensori dello stato di carica e fornisce corrente fino al termine del timer. Inoltre, allocando una batteria di ultima generazione, si interrompe, prima di ottenere il massimo livello di carica;

**INTELLIGENTE:** durata della carica, tensione e temperatura della batteria vengono monitorate per poter fornire la corretta corrente in ogni istante. La carica termina quando i rilievi dei tre parametri lasciano presumere che la batteria sia completamente carica;

**VELOCE:** utilizzano i circuiti di controllo delle batterie per ricaricarle rapidamente, senza danneggiarne gli elementi. Alcuni hanno una ventola di raffreddamento che aiuta a tenere la temperatura sotto controllo. Possono anche essere utilizzati come caricabatterie standard ed un classico esempio è dato dai caricabatterie Duracell;

**A IMPULSI:** questa tecnologia carica la batteria con impulsi di corrente. Applicando alte tensioni istantanee impulsive, non rischia di surriscaldarsi. Ciò permette di caricare qualsiasi tipo di batteria;

---

<sup>7</sup> Fonte <https://it.wikipedia.org/wiki/Caricabatterie>

**SWITCH:** un microprocessore corregge la corrente in ingresso per ottenere una corrente in uscita con bassissima ondulazione. Rappresenta la tecnologia più avanzata per caricare batteria al piombo/acido;

**A INDUZIONE:** sfrutta l'induzione elettromagnetica per caricare le batterie, una stazione di caricamento manda energia elettromagnetica attraverso un accoppiamento induttivo e un dispositivo elettrico conserva l'energia nelle batterie.

### 1.2.3 Metodi di carica<sup>8</sup>

**TENSIONE COSTANTE:** un alimentatore a tensione costante, collegato ai capi della batteria, rappresenta il tipo più economico di carica ed il più diffuso, ma potenzialmente pericoloso per efficienza e durata della batteria;

**CORRENTE COSTANTE:** questa carica avviene a corrente costante e varia la tensione, man mano che la batteria si carica, staccandosi quando viene raggiunta la tensione di fine carica;

**CARICA AD IMPULSI:** fornisce impulsi di corrente precisamente calibrati per ottenere una carica ottimale della batteria, tipicamente di 1 secondo, intervallati da 20-30 millisecondi di pausa per permettere alla chimica sviluppata dalla batteria di stabilizzarsi ed equalizzarsi in tutta la superficie dell'elettrodo, prima di ricominciare;

**CARICA A SINGHIOZZO:** detta anche reflex o carica ad impulsi negativi, consiste nell'applicare una scarica pari a 2-3 volte la corrente di carica per 5 millisecondi durante il processo di carica per depolarizzare le celle. questa tecnica dissolve le bolle di gas formatesi durante la carica, accelerando il processo di stabilizzazione ed il completamento della carica.

## 1.3 Obiettivi

Per quanto concerne il circuito studiato in questa tesi, l'obiettivo primario è stato quello di progettare un sistema in grado di regolare la corrente di carica/scarica della batteria.

In quest'ottica si è sviluppato un semplice caricatore a corrente costante, rimandando ad uno studio futuro l'ottimizzazione delle fasi di carica e scarica in base alle caratteristiche della batteria.

In merito alla tensioni in gioco, per le stesse ragioni, si è lavorato in regione DC, lasciando come sviluppo futuro la progettazione eventuale di

---

<sup>8</sup> Fonte [www.grix.it/viewer.php?page=9893](http://www.grix.it/viewer.php?page=9893)

un blocco di interfacciamento con il mondo AC.

### **1.3.1 Specifiche di progetto**

La tesi si pone l'obiettivo di realizzare un circuito programmabile a corrente costante di carica e scarica per batterie ricaricabili, dalla progettazione alla simulazione LTspice IV.

Il progetto è stato concepito per l'allocazione di una batteria da 5 V ed è composto da due parti che gestiscono rispettivamente la fase di carica e scarica.

L'alimentazione è stata considerata a 15 V e simulata con un generatore ideale.

La progettazione non deve quindi includere un raddrizzatore di tensione.

La batteria viene considerata carica a 5 V e scarica a 3 V, per evitare la solfatazione.

Le simulazioni riportate nei seguenti capitoli analizzano il transitorio di carica da 3 a 5 V e di scarica da 5 a 3 V.

In entrambe le fasi il circuito deve dare la possibilità di variare la corrente costante tra 100 mA a 5 A.

### **1.3.2 Impostazione del progetto**

Il lavoro è stato simulato interamente su LTspice IV.

Il circuito può essere suddiviso in due blocchi, la prima parte si occupa della carica, mentre la seconda gestisce la scarica.

Il capitolo 2 riporta il circuito di carica a corrente programmabile.

Questa presenta analogie con la parte che si occupa della scarica, di cui viene esposta la progettazione nel capitolo 3.

L'integrazione dei due circuiti viene affrontato infine nel capitolo 4.

## Capitolo 2: Circuito di carica

Il capitolo 2 mostra la realizzazione del circuito di carica sviluppato in questa tesi, mostrato in Figura 2.1.

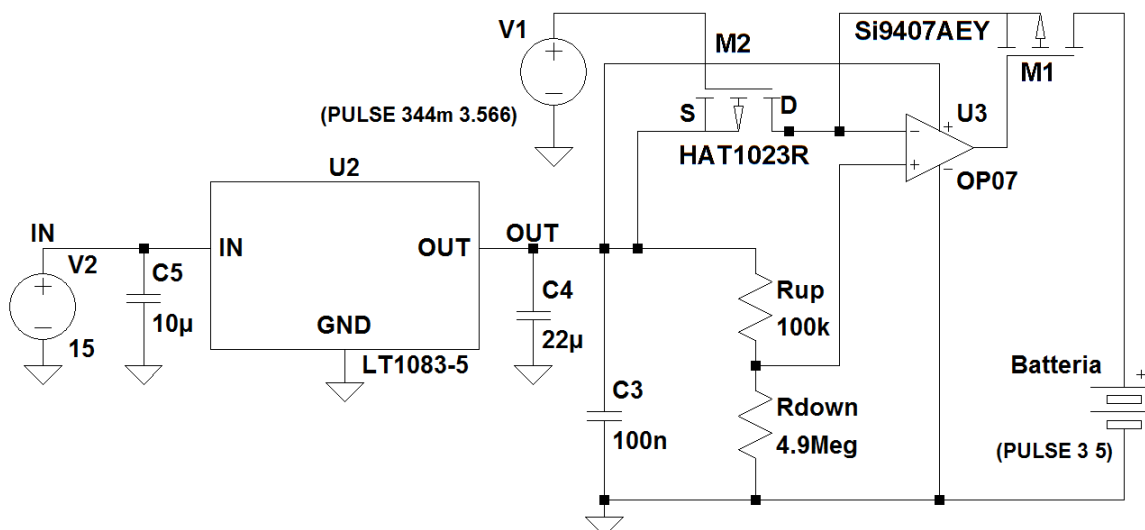


Figura 2.1 – Circuito di carica

### 2.1 Obiettivo

Il circuito carica una batteria da 3 a 5 V, con una carica a corrente costante programmabile, da 100 mA a 5 A.

Nel progetto non è richiesto un raddrizzatore di tensione, dato che l'alimentazione a tensione continua di 15 V ci viene fornita da una fonte esterna.

### 2.2 La realizzazione

Possiamo scomporre lo studio del circuito di carica in tre blocchi, come schematizzato in Figura 2.2.1.

Il primo blocco converte la tensione continua dell'alimentazione da 15 V a 5 V.

Il secondo blocco gestisce ciò che sta a monte dell'amplificatore.

Il terzo e ultimo blocco regola la carica a corrente costante attraverso la



retroazione dell'amplificazione operazionale.



Figura 2.2.1 – Schematizzazione del circuito di carica

### 2.2.1 Conversione dell'alimentazione

Il metodo più semplice per caricare la batteria da 3 a 5 V è alimentarla con 5 V. Così facendo, la carica fluisce nella batteria finché la differenza di potenziale non si annulla, interrompendo la carica.

Il circuito è alimentato con una tensione continua di 15 V, occorre quindi un convertitore DC/DC che riceve in ingresso l'alimentazione e restituisce 5 V.

Con queste specifiche, abbiamo selezionato alcuni componenti compatibili sulle librerie di spice<sup>9</sup>, ottenendo questi risultati:

- *LT1083 Demo Circuit – Low Dropout Positive Regulator (6.5-30V to 5V @ 7.5A);*
- *LT1083-5 Demo Circuit – Low Dropout Positive Regulator (6.5-20V to 5V @ 7.5A);*
- *LT1083 Demo Circuit – 5V Regulator with Improved Ripple Rejection (6-17V to 5V @ 7.5A).*

(L'LDO, Low DropOut, è un convertitore DC/DC che fornisce un controllo lineare di tensione.)

In seguito alle simulazioni, la scelta del convertitore da utilizzare nel circuito ricade sull'*LT1083-5*, per il buon compromesso tra precisione e semplicità di integrazione.

Una volta collegato l'*LTC1038-5* al circuito, come mostrato in Figura 2.2.1.1, si effettua una nuova simulazione sull'uscita  $V_{out}$ .

Il valore ottenuto, 5.03 V, è perfettamente compatibile con la specifica di 5 V richiesta.

<sup>9</sup> Fonte [http://www.linear.com/designtools/software/demo\\_circuits.php](http://www.linear.com/designtools/software/demo_circuits.php)

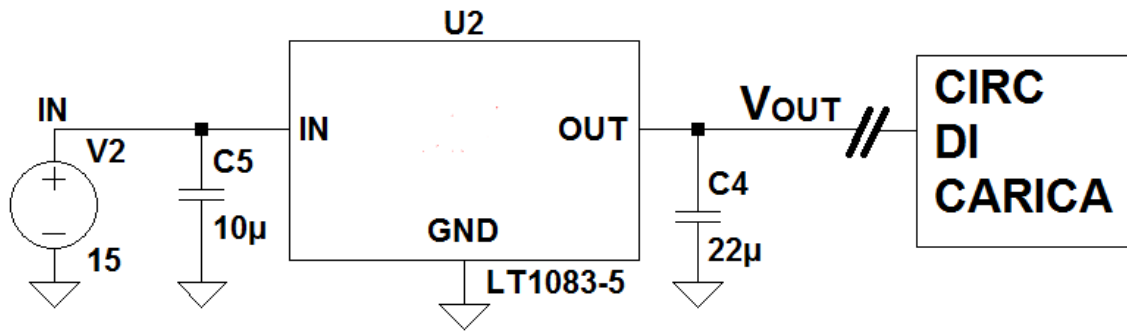


Figura 2.2.1.1 – Conversione della tensione di alimentazione da 15V a 5V

La scelta è caduta sull'LT1083-5 per la sua semplicità.

Come già specificato, la tesi è incentrata sulla progettazione di ciò che sta a valle del convertitore.

Come ovvio, la scelta di un LDO non è la migliore soluzione da un punto di vista di efficienza energetica per questa parte del sistema.

Come sviluppo futuro, si potrà ottimizzare questa parte, utilizzando ad esempio uno switching regulator che presenta un basso consumo a scapito di un ripple di rumore sull'uscita.

## 2.2.2 Ingressi dell'amplificatore operazionale

La tensione di 5 V ottenuta dall'LT1083-5 è l'ingresso del vero e proprio circuito di carica.

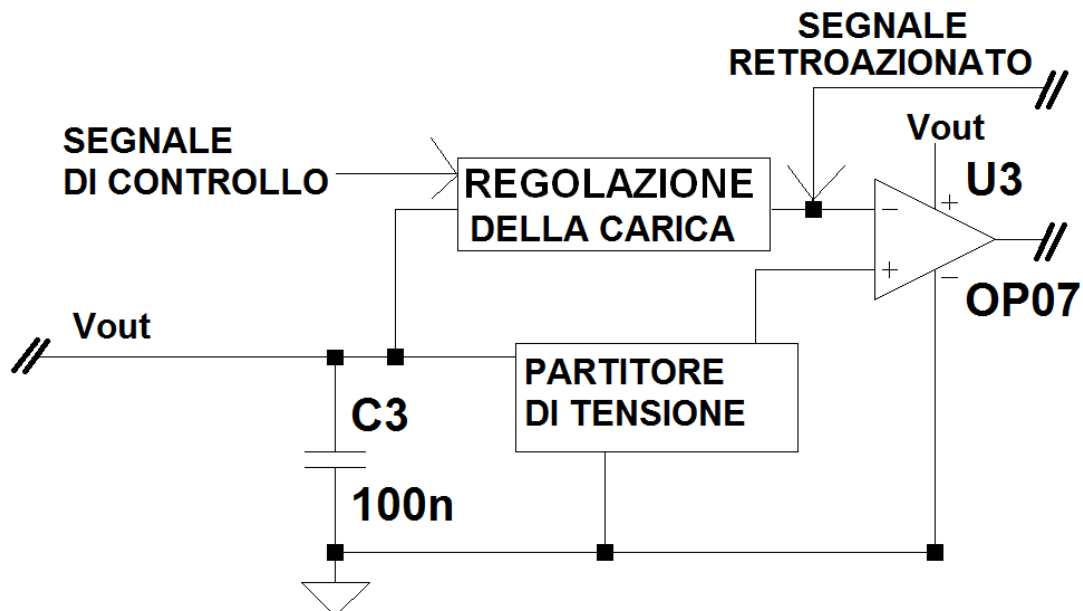


Figura 2.2.2.1 – Schema degli ingressi dell'amplificatore operazionale

In questo paragrafo viene riportata la progettazione di tutto ciò che sta a monte dell'amplificatore operazionale, come illustrato in Figura 2.2.2.1.

Il nodo + mantiene un valore di tensione fisso che viene restituito filtrando la tensione di ingresso attraverso un partitore di tensione e funge da riferimento per gestire la retroazione.

In ingresso al nodo – si presentano il segnale retroazionato, restituito dallo stesso amplificatore operazionale ed il blocco che si occupa di controllare la corrente di carica.

## **PARTITORE DI TENSIONE**

Il partitore di tensione deve fornire al nodo + un riferimento di tensione stabile, ottenuto fissando la caduta di tensione a monte dell'amplificatore. Questo valore è un trade off di differenti valutazioni, punto d'incontro tra diverse necessità.

La caduta di tensione deve avere un valore basso, per non perdere troppa tensione rispetto ai 5 V in uscita. Questo deriva dal fatto che abbiamo utilizzato un regolatore a 5 V che fornisce in uscita già la massima tensione. Avere quindi una caduta di tensione troppo elevata implica che la batteria carica solo fino a  $5\text{ V} - \Delta V$ .

Tuttavia, tale caduta non può essere neanche troppo bassa. Questo perché, per fare passare un massimo di 5 A, occorre una resistenza tanto più piccola quanto più è piccola la caduta di potenziale ai suoi capi, dalla legge di Ohm,  $\Delta V = R \cdot I$ . Una caduta di tensione troppo bassa implica un valore  $\Omega$  talmente basso che risulta fisicamente difficile da ottenere.

La soluzione è imporre sul circuito una caduta di potenziale pari a 100 mV. Questo valore è il giusto compromesso per evitare di perdere la carica della batteria e non impiegare una resistenza troppo piccola.

Si procede col dimensionamento del partitore di tensione, ipotizzando una tensione in ingresso ideale  $V_{\text{out}} = 5\text{ V}$ .

$$V_{\text{out}} - V^+ = 100\text{mV}$$

$$V_{\text{out}} - V_{\text{out}} * \text{partizione} = 100\text{mV}$$

$$\text{partizione} = \frac{V_{\text{out}} - 100\text{mV}}{V_{\text{out}}} = \frac{5\text{V} - 100\text{mV}}{5\text{V}} = \frac{4.9}{5}$$

La Figura 2.2.2.2 mostra il dimensionamento del partitore da 5 M $\Omega$ : con  $R_{\text{up}}$  100 K $\Omega$  e  $R_{\text{down}}$  4.9 M $\Omega$  ottengo la partizione desiderata.

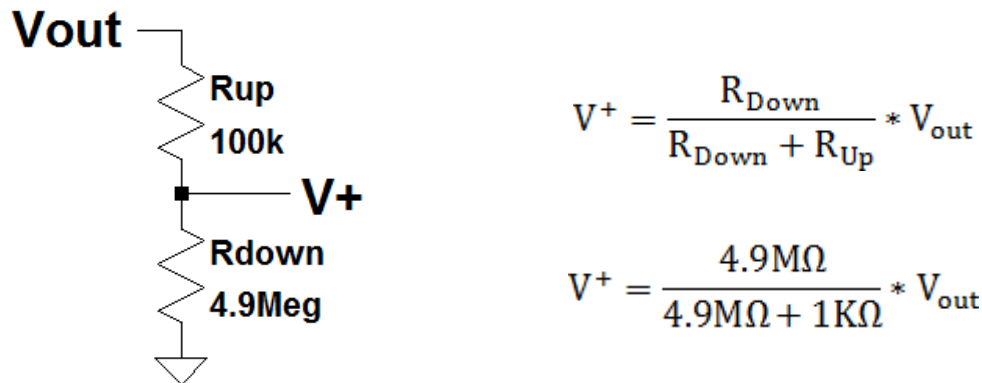


Figura 2.2.2.2 – Partitore di tensione

### La regolazione di corrente tramite P-Mos

La regolazione di corrente viene effettuata tramite una resistenza variabile, implementata attraverso un transistor Mos, il cui controllo avviene modulando la tensione di gate.

Il transistor impiegato è un P-Mos<sup>10</sup>, un MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) nel quale viene realizzato un substrato di silicio di tipo n e le regioni di source e drain sono drogate di tipo p+, quindi con altissime concentrazioni di atomi accettori e molto ricche di lacune.

Il P-Mos si accende per tensioni di gate sufficientemente basse e si spegne per tensioni alte. Questa caratteristica garantisce al componente un livello logico “1” forte che gli permette di propagare correttamente i valori alti che riceve in ingresso, se utilizzato da interruttore.

Nel nostro caso il P-Mos è quindi il componente che soddisfa le specifiche richieste.

Ai capi del componente si riscontra una caduta di potenziale di 100 mV; tale valore di  $V_{DS}$  mi garantisce di lavorare quasi totalmente in regione lineare.

Il P-Mos dipende in maniera lineare dalla tensione di gate che lo rende a tutti gli effetti una resistenza variabile, minima con  $V_{gate}$  nulla e massima con  $V_{DD}$ .

Agire sulla tensione di gate significa quindi modulare la corrente costante di carica, come richiesto dalle specifiche di progetto.

È importante sottolineare che questo P-Mos ha un ruolo totalmente differente dal secondo P-Mos, posto a valle dell’amplificatore operativo,

<sup>10</sup> Fonte pag 79, Fondamenti di CIRCUITI DIGITALI INTEGRATI CMOS, Davide Esseni

che si occupa invece della retroazione, come spiegato al paragrafo 2.2.3.

Il P-Mos impiegato nel circuito è un *HAT1023R*.

La scheda tecnica di LTspice IV riporta i seguenti dati:

*Fabbricato da: Renesas*

*Polarità: P-chan*

*Vds[V]: -20*

*Rds(on)[Ω]: 0.03*

*Qgate[C]: 3e-008.*

Per vedere l'andamento della corrente in funzione della tensione di gate, si varia V1 da 0 a 5 V.

La simulazione *.dc V1 0 5* restituisce un intervallo di corrente tra 5.113 A a 0 A.

Per ottenere l'intervallo 100 mA – 5 A richiesto dalle specifiche, si ricavano i valori esatti di tensione dalla precedente simulazione e si effettua una simulazione mirata alle nostre esigenze.

La Figura 2.2.2.3 riporta la simulazione *.dc V1 344m 3.566*.

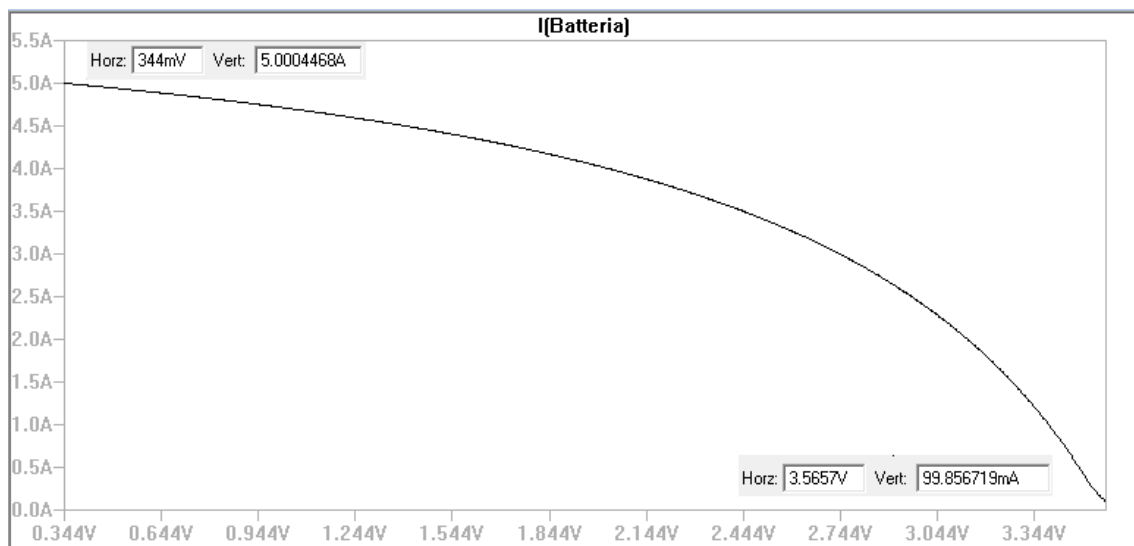


Figura 2.2.2.3 – Corrente di carica in relazione alla tensione di gate

Gli estremi in cui varia la corrente, da 99.857 mA a 5.000 A, soddisfano pienamente le richieste imposte dalle specifiche di 100 mA – 5 A.

Questo range è ottenuto variando la tensione di gate da 344 mV a 3.566 V.

Con una tolleranza del 10% agli errori, si può considerare tale livello di accuratezza riproducibile per la programmazione della carica.

Con tale incertezza sulla tensione di controllo si può quindi ritenere la specifica di progetto soddisfatta.

### 2.2.3 La retroazione

I 4.9 V in ingresso al nodo + impongono lo stesso valore di tensione anche nel nodo -, per ottenere la massa virtuale:  $\Delta V = V^+ - V^- = 0$ .

Il nodo + fornisce un riferimento di tensione fisso che deve essere inseguito dal nodo - attraverso la retroazione.

La scelta di utilizzare un amplificatore operazionale deriva dal fatto che anche il nodo - deve ricevere in ingresso 4.9 V stabili.

Il solo amplificatore non riesce a soddisfare questa richiesta. Ancora una volta, la soluzione si ottiene impiegando un P-Mos.

Questo P-Mos funge da resistenza variabile, come quello visto al paragrafo 2.2.2, ma con una sostanziale differenza.

Mentre l'HAT1023R manteneva la stessa  $V_{gate}$  fino a nuova programmazione da parte dell'utente, la tensione di gate del P-Mos in retroazione varia continuamente, gestita dall'amplificatore operazionale.

Indipendentemente dalla corrente imposta dal precedente transistor, la natura di resistenza variabile e controllabile del P-Mos è tale da permettergli di assumere costantemente un valore adatto per riuscire a forzare 4.9 V al nodo -.

La retroazione permette quindi di ottenere una tensione stabile, mantenendo la differenza di potenziale costante grazie al P-Mos.

Per spiegarne il funzionamento, si può pensare di forzare nel nodo - una tensione superiore a quella di riferimento. Avere un valore di  $V^-$  superiore a  $V^+$  causa un  $\Delta V$  negativo. Questo abbassa l'uscita dell'amplificatore operazionale che impone una  $V_{gate}$  al P-Mos tale da ridurre la sua resistenza e compensare l'iniziale incremento di tensione al nodo -, ripristinando l'equilibrio.

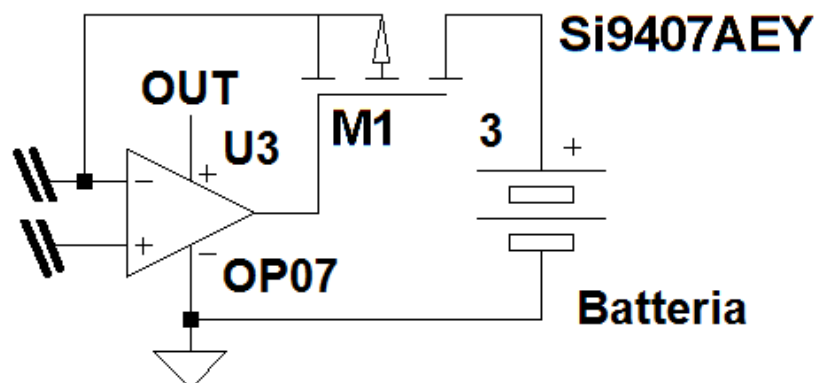


Figura 2.2.3.1 – La retroazione

Analogamente, abbassando la tensione  $V^-$ , la retroazione risponde innalzando l'uscita dell'amplificatore operazionale, il quale aumenta la resistenza del P-Mos ed abbassa il nodo  $-$ .

In figura 2.2.3.1 è riportato lo schema circuitale che si occupa della retroazione.

Il P-Mos impiegato nella retroazione è un *Si9407AEY*, di cui si riportano le principali caratteristiche descritte da LTspice:

*Fabbricato da: Siliconix*

*Polarità: P-chan*

*Vds[V]: -60*

*Rds(on)[ $\Omega$ ]: 0.15*

*Qgate[C]: 1.8e-008.*

## 2.3 Simulazione del circuito di carica

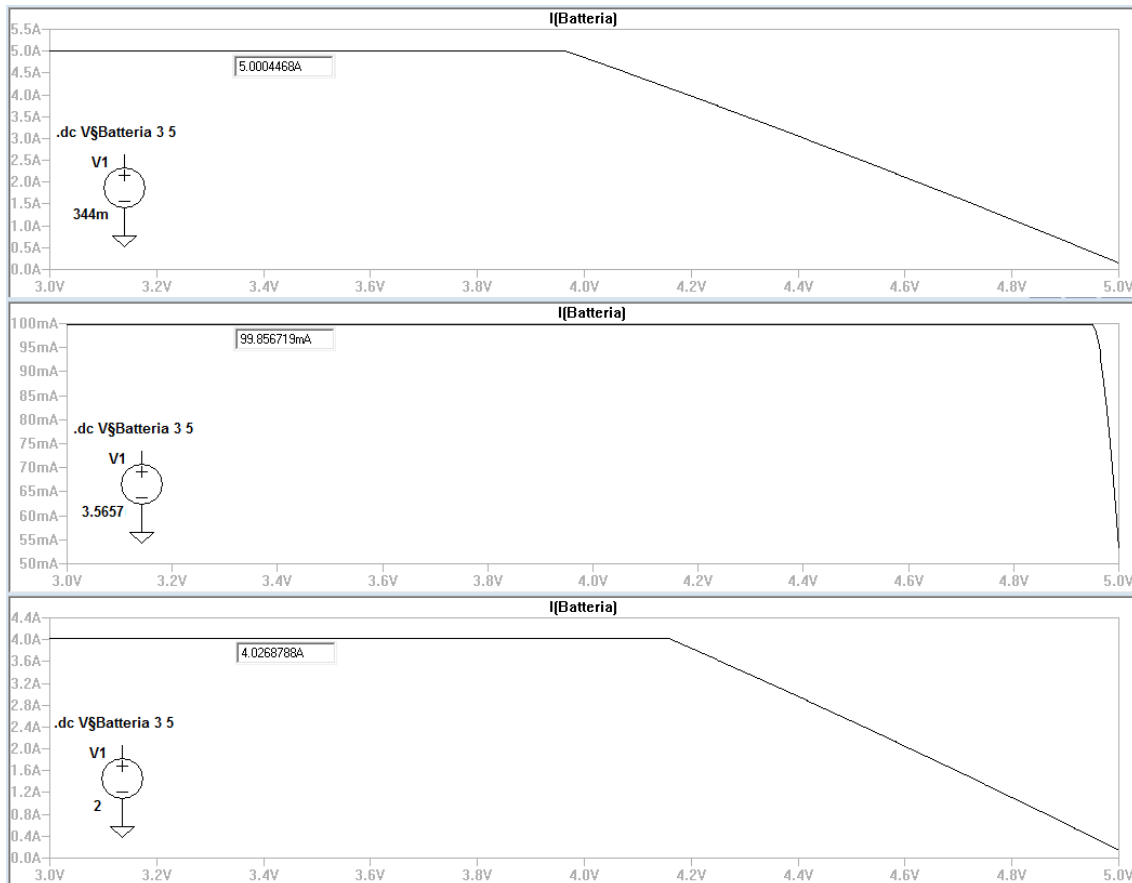


Figura 2.3.1 – Simulazioni della corrente di carica in funzione della tensione di batteria per diverse tensioni di gate al P-Mos

La simulazione *.dc V\$Batteria 3 5* mostra in Figura 2.3.1 tre differenti tensioni di gate, per valutare il comportamento della corrente di carica.

I valori immessi soddisfano l'intervallo richiesto, da 100 mA a 5 A.

I grafici riportano i valori di tensione ideali, per ottenere le correnti limite ed una  $V_{gate}$  di 2 V che mostra come il circuito funziona sempre, anche con tensioni intermedie.

Si nota come la carica a 100 mA costanti sia garantita fino al quasi raggiungimento della carica totale della batteria, mentre la carica a corrente costante massima, 5 A, inizia a decrescere già a metà della carica a causa della resistenza finita  $R_{on}$  del P-Mos.

## 2.4 Conclusioni

Il circuito presenta una tolleranza agli errori pari al 10%, dovuta sostanzialmente alla tolleranza sulle resistenze del partitore in ingresso.

Tale incertezza sulla tensione di controllo mi permette di ritenere soddisfatte le specifiche di progetto.

Variando, infatti, la tensione di gate al P-Mos di controllo tra 344 mV e 3.566 V, ottengo una carica sulla batteria a corrente costante programmabile tra 100 mA e 5 A.



# Capitolo 3: Circuito di scarica

Il capitolo 3 illustra la progettazione del circuito di scarica oggetto della tesi, riportato in Figura 3.1.

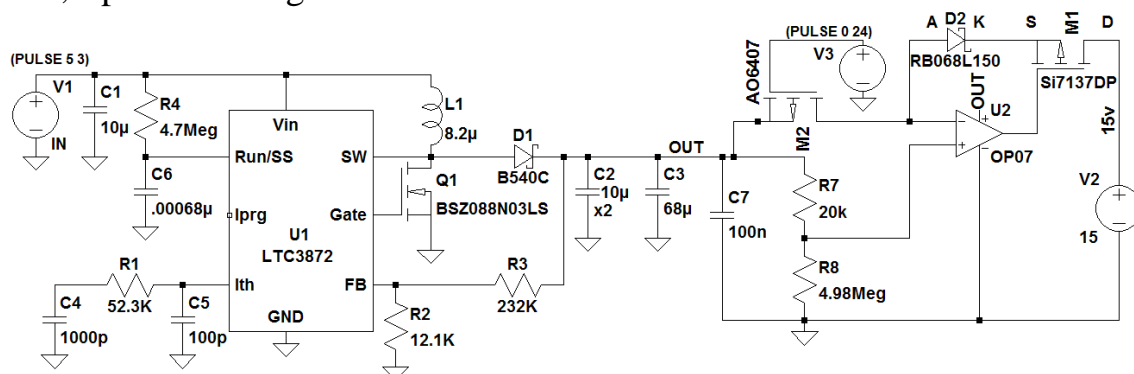


Figura 3.1 – Circuito di scarica

## 3.1 Obiettivo

Il circuito si pone l'obiettivo di scaricare la batteria da 5 a 3 V. Questo processo deve avvenire a corrente costante in maniera programmabile, con la possibilità di selezionare una corrente tra 100 mA e 5 A.

La corrente prelevata dalla batteria durante la scarica viene prelevata e recuperata dall'alimentazione.

## 3.2 La realizzazione

Il circuito di scarica funziona in modo analogo a quello di carica. Possiamo infatti utilizzare lo stesso schema a blocchi del capitolo precedente, mostrato in Figura 3.2.1.



Figura 3.2.1 – Schema a blocchi del circuito di scarica

Il primo blocco converte la tensione continua della batteria da 5 a 24 V.  
 Il secondo blocco gestisce ciò che sta a monte dell'amplificatore.  
 Il terzo e ultimo blocco regola la scarica della batteria a corrente costante attraverso la retroazione dell'amplificazione operazionale.

### 3.2.1 Conversione della tensione della batteria

Il circuito di scarica preleva corrente dalla batteria e la trasferisce all'alimentazione.

La tensione continua in ingresso, che esegue un transitorio da 5 a 3 V, deve essere portata ad un valore superiore ai 15 V del carico.

Si sceglie<sup>11</sup> in questo caso il convertitore DC/DC *LTC3872 Demo Circuit – High Efficiency 5V Input, 24V Output Boost Converter (3-9.8V to 24V @ 1A)*.

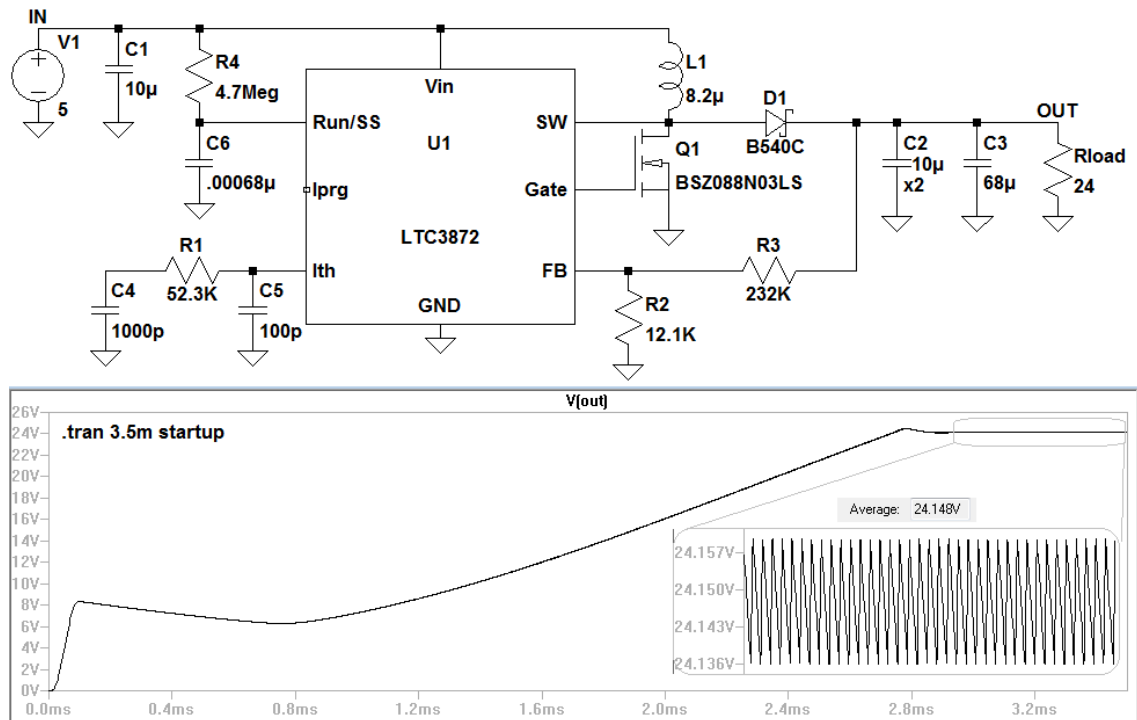


Figura 3.2.1.1 – LTC3872

In Figura 3.2.1.1 viene riportato lo schematico dell'LTC3872 e la rispettiva simulazione *.tran 3.5 startup*.

Dopo un transitorio iniziale, il convertitore restituisce una tensione media di 24.148 V compatibile con le specifiche.

<sup>11</sup> Fonte [http://www.linear.com/designtools/software/demo\\_circuits.php](http://www.linear.com/designtools/software/demo_circuits.php)

Viene quindi scelto come convertitore per alimentare il circuito di scarica, come mostrato in Figura 3.2.1.2.

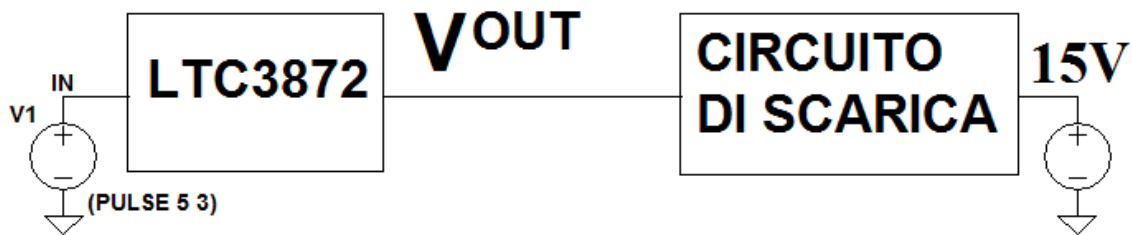


Figura 3.2.1.2 – LTC3872 collegato al circuito di scarica

Uno dei problemi nell'utilizzo dell'LTC3872 è il ripple in uscita. Una capacità di valore superiore si può ottenere collegandone un'altra al nodo OUT, in serie a quelle già presenti. Tuttavia, l'oggetto della tesi è lo studio del solo circuito di scarica, a valle del DC/DC. Il dimensionamento di una ulteriore capacità per ottenere una migliore tensione di uscita è quindi rimandato a studi futuri, non trattati in questo elaborato.

### 3.2.2 Ingressi dell'amplificatore operazionale

Analogamente al circuito di carica, l'amplificatore riceve in ingresso al nodo + un partitore di tensione ed al nodo – il segnale retroazionato ed un P-Mos che regola la scarica a corrente costante.

### PARTITORE DI TENSIONE

Per dimensionare il partitore di tensione, impongo una caduta di tensione di 100 mV. Le motivazioni che portano a questa scelta sono riportate al paragrafo 2.2.2.

Nei calcoli che seguono utilizzo il valore  $V_{out}^{avg}$  ottenuto dalla simulazione iniziale,  $24.188 V \pm 20 mV$ .

Si procede col dimensionamento delle resistenze del partitore,  $R_{up}$  e  $R_{down}$ .

$$V^+ = V_{out}^{avg} - 100mV = 24.088V$$

Dalla simulazione si ricava un valore di  $V^+$  analogo a quello analitico.

$$V^+ = \frac{R_{Down}}{R_{Down} + R_{Up}} * V_{out}^{avg} = \text{partizione} * V_{out}^{avg}$$

$$\text{partizione} = \frac{V^+}{V_{out}^{avg}} = \frac{24.088V}{24.188V} = 0.99569$$

$$R_{down} = \frac{\text{partizione}}{(1 - \text{partizione})} * R_{up} = 240.8783 * R_{up}$$

Il partitore di tensione presenta una resistenza totale 5 MΩ.

$$5M\Omega = R_{down} + R_{down} = 240.8783 * R_{up} + R_{up} = 241.8783 * R_{up}$$

$$R_{up} = \frac{5M\Omega}{241.8783} \approx 0.02M\Omega = 20K\Omega$$

$$R_{down} = 5M\Omega - 20K\Omega = 4.98M\Omega$$

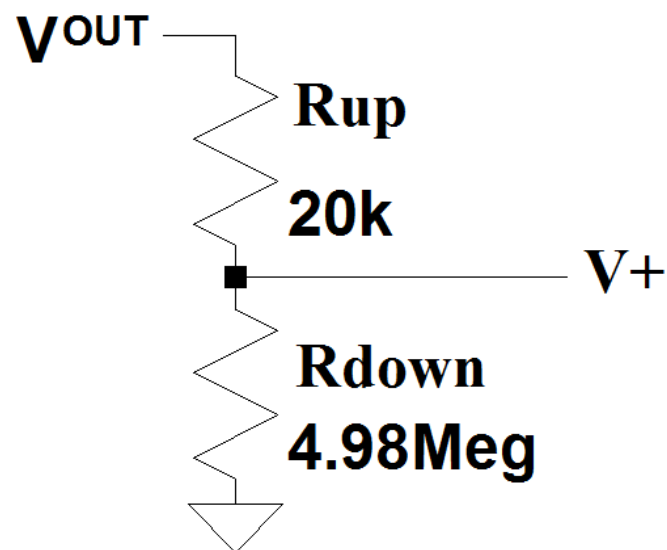


Figura 3.2.2.1 – Partitore di tensione

La Figura 3.2.2.1 mostra il partitore di tensione dimensionato.

## La regolazione di corrente tramite P-Mos

In ingresso al nodo – viene posto un P-Mos che permette di scaricare la corrente della batteria in maniera programmabile, agendo sulla tensione di gate. Per capire le motivazioni di questa scelta si rimanda ancora una volta al paragrafo 2.2.2.

La scelta del componente ricade sul *AO6407*, per le ottime prestazioni che fornisce al circuito.

Di seguito, alcune caratteristiche, riportate da LTspice:

*Fabbricato da: Alpha & Omega*

*Polarità: P-chan*

*Vds[V]: -20*

*Rds(on)[Ω]: 0.034*

*Qgate[C]: 1.8e-008.*

Le simulazioni del circuito vengono riportate nel paragrafo 3.3.

### 3.2.3 La retroazione

La progettazione del circuito di scarica, fino ad ora, è andata di pari passo con quella di carica. Lo stesso si può dire anche per la retroazione, gestita da un amplificatore operazionale con P-Mos, come spiegato nel paragrafo 2.2.3, ma con l'aggiunta di un diodo.

Questo diodo ha il compito di impedire che, nel transitorio iniziale, la corrente fluisca dall'alimentazione alle resistenze del partitore, provocando una dissipazione indesiderata.

Il componente impiegato è un diodo di Schottky, un *RB068L150*, collegato col catodo al source del P-Mos e l'anodo al nodo –.

L'*Si7137DP* è invece il P-Mos collegato all'amplificatore operazionale. LTspice riporta le seguenti caratteristiche che l'hanno reso il componente perfetto per soddisfare le nostre esigenze:

*Fabbricato da: Siliconix*

*Polarità: P-chan*

*Vds[V]: -20*

*Rds(on)[Ω]: 0.002*

*Qgate[C]: 1.88e-007.*

La Figura 3.2.3.1.riporta la parte del circuito di scarica che si occupa della retroazione.

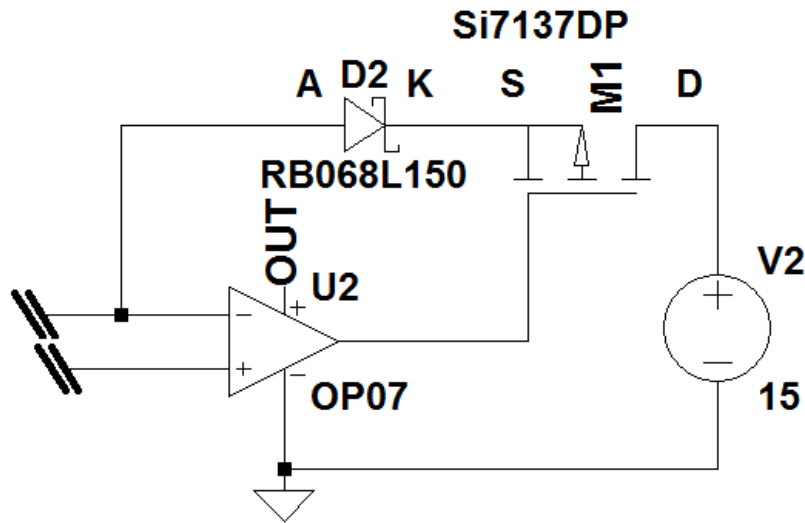


Figura 3.2.3.1 – La retroazione

### 3.3 Simulazione del circuito di scarica

La tensione in uscita all’LTC3872 presenta caratteristiche totalmente differenti dal convertitore utilizzato nel circuito di carica, che assume un valore costante, stabile e senza transitorio iniziale.

Il DC/DC impiegato nel circuito di scarica, invece, presenta un transitorio iniziale ed a regime presenta una tensione oscillante nell’intorno di un valore medio di riferimento.

Questo ha comportato complicazioni nel dimensionamento dei componenti. La Figura 3.3.1 illustra differenti simulazioni nei casi di tensione costante della batteria a 5 V e 4 V, con tensione di gate 0 V, 8 V, 16 V e 24 V.

Dopo un transitorio iniziale, il grafico mostra l’andamento oscillante della corrente a regime. Il riquadro nero riporta il valore ideale ottenuto alimentando il circuito con un generatore di tensione ideale di 24 V che restituisce una corrente stabile e senza transitorio iniziale.

Con tale alimentazione ideale, il P-Mos AO6407 permette di ottenere un intervallo di corrente che varia da 458 pA e 5.230 A.

Tale range include i 100 mA – 5 A richiesti dalle specifiche, quindi soddisfa le esigenze.

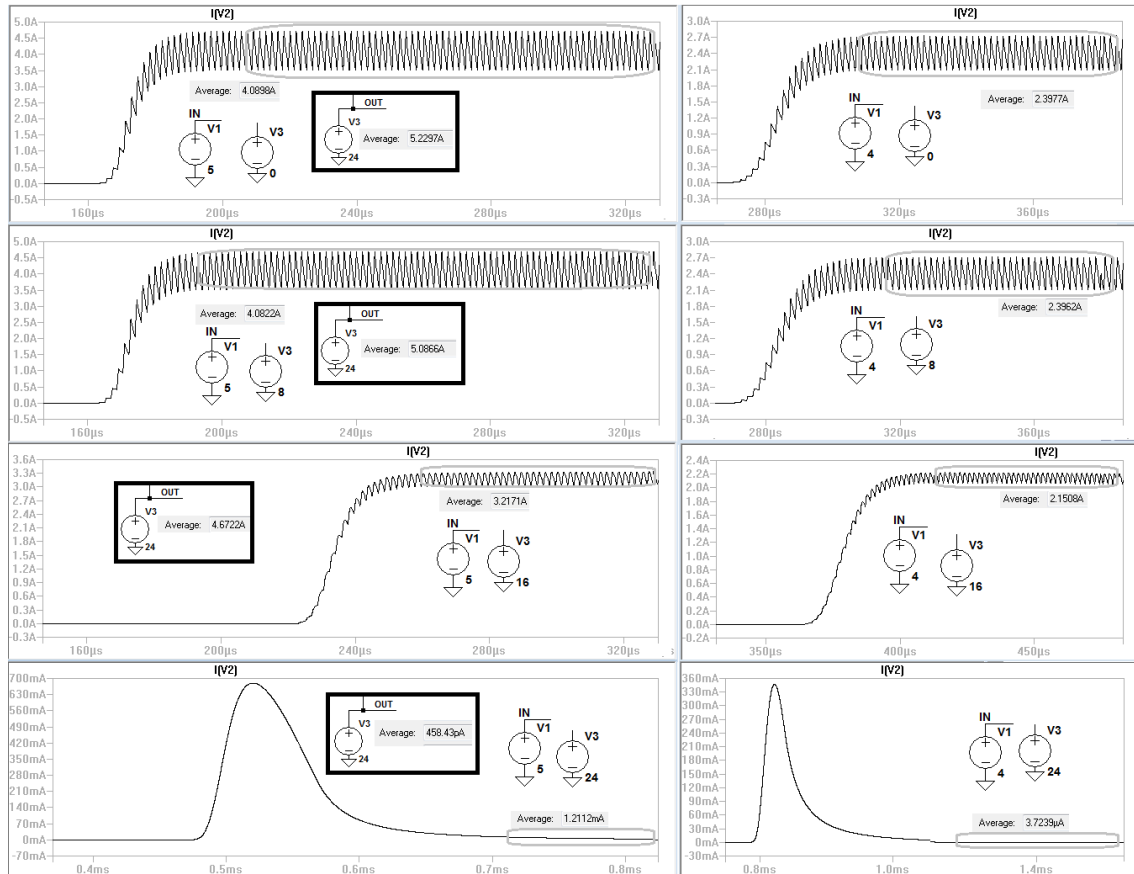


Figura 3.3.1 – Simulazioni per diverse tensioni di gate

Nel caso reale, con la tensione oscillante dell’LTC3872, la corrente varia tra ~ 100  $\mu$ A e 4.087 A.

Ogni simulazione relativa ad una determinata tensione di gate riporta due grafici.

Il primo, eseguito con una tensione costante di 5 V della batteria, mostra la corrente massima erogata per differenti  $V_{gate}$ .

Il dato trovato con la sola simulazione a 5 V non è sufficiente per garantire che la scarica avvenga a corrente costante.

Per verificare il comportamento della carica, si riporta la stessa simulazione con la tensione costante di batteria a 4 V.

Confrontando i valori medi ottenuti dai due grafici a parità di  $V_{gate}$ , la corrente diminuisce.

Il circuito sembrerebbe quindi non soddisfare la richiesta di effettuare la scarica a corrente costante.

Di conseguenza si procede allo studio del transitorio della batteria da 5 V a 3 V.

Impostando il valore della batteria con (*PULSE 5 3 0 1m*), la simulazione *.tran 1m* restituisce un grafico in funzione del tempo, dove la tensione cala linearmente da 5 V ( $t = 0$  s) a 3 V ( $t = 1$  ms).

La tensione di gate viene posta a 0 V per studiare il caso in cui il circuito eroga la massima corrente. Il grafico in Figura 3.3.2 riporta la tensione della batteria,  $V(in)$  e la corrente di scarica,  $I(V2)$ .

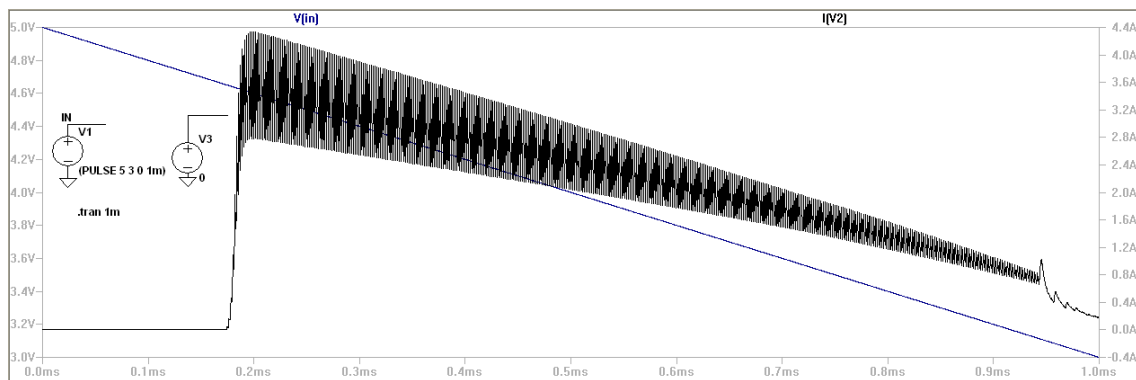


Figura 3.3.2 – Simulazione *.tran 1m*

Come già anticipato confrontando le simulazioni graficate in Figura 3.3.1, il circuito soddisfa solo parzialmente le specifiche di progetto, scaricando la batteria, ma non a corrente costante.

Ciò è dovuto all'LTC3872 che non mantiene una tensione di circa 24 V come dichiarato nominalmente *3-9.8V to 24V* ed al periodo troppo breve imposto alla tensione per effettuare il transitorio di scarica.



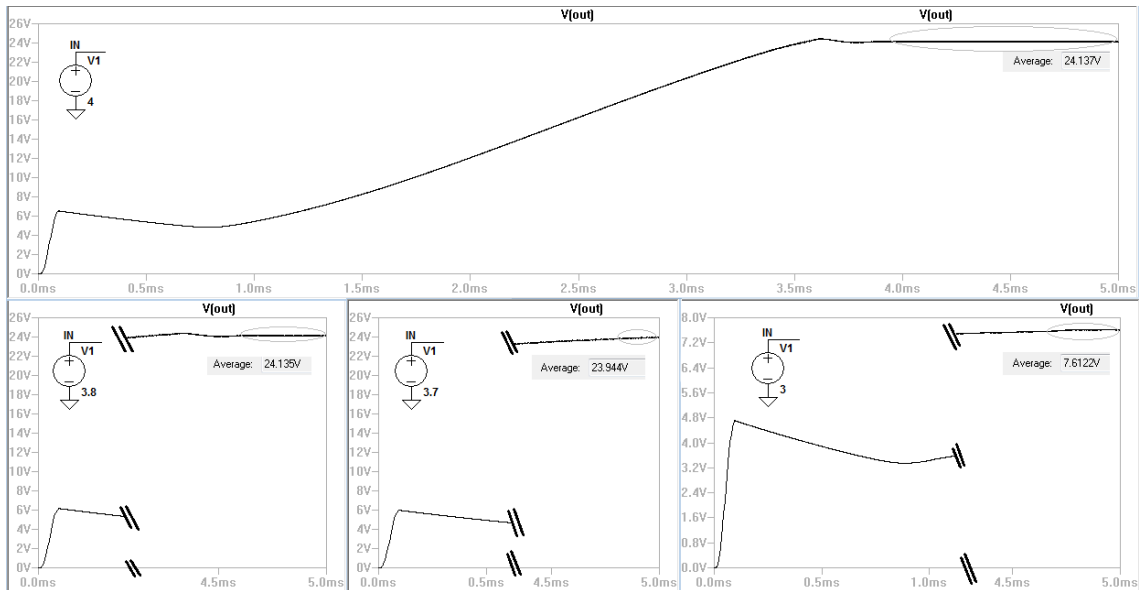


Figura 3.3.3 – Studio della tensione di uscita per varie tensioni di batteria

Per verificare quali tensioni in ingresso al DC/DC restituiscono 24 V in uscita, viene effettuata una simulazione *.tran 5m* con diversi valori di batteria fissi.

Come mostrato in Figura 3.3.3, finché la batteria ha una tensione superiore a 3.7 V, l'LTC3872 soddisfa le specifiche.

Viene quindi ripetuta la stessa simulazione vista in Figura 3.3.2, facendo però variare la tensione da 5 V a 3.7 V in un tempo di 100 ms.

La Figura 3.3.4 illustra il grafico di *.tran 100m* e V1 (*PULSE 5 3.7 0 1m*).

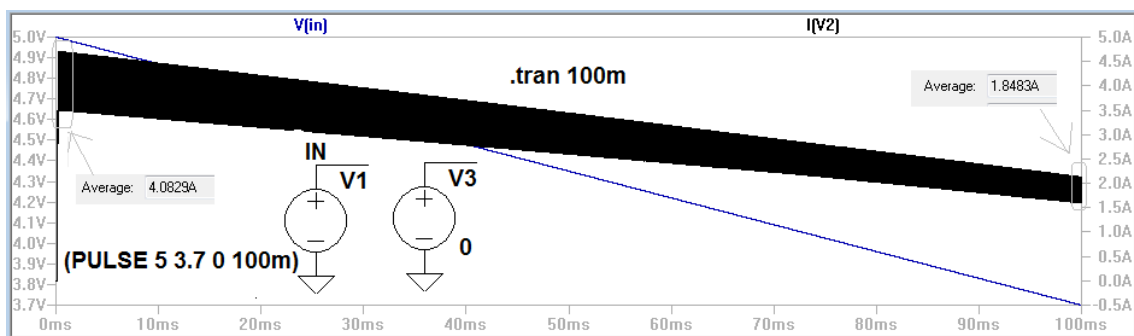


Figura 3.3.4 - Simulazione *.tran 100m*

Il grafico riporta lo stesso andamento della corrente, variando da 4.083 A a 1.848 A, medesimo valore riscontrato a 3.7 V anche nella *.tran 1m*.

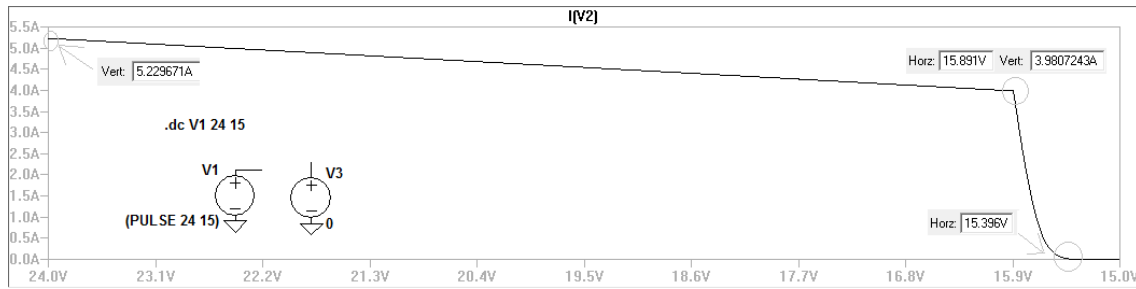


Figura 3.3.5 – Simulazione *.dc V1 24 15*

Il DC/DC viene sostituito con un generatore di tensione (*PULSE 24 15*). La Figura 3.3.5 riporta il grafico generato da *.dc V1 24 15*. In condizioni ideali, il circuito scarica la batteria a corrente pressoché costante, quindi soddisfa le specifiche di progetto.

### 3.4 Conclusioni

Il dimensionamento del circuito è stato effettuato nel modo corretto. Ipotizzando in ingresso una sorgente ideale, il progetto soddisfa le specifiche di progetto, scaricando la batteria con una corrente costante programmabile. Tuttavia, il circuito necessita di un convertitore di tensione in ingresso che porti il potenziale sopra i 15 V del sistema. Dal momento che il problema della tesi è incentrato sulla progettazione del circuito, è stata adottata la soluzione più semplice di DC/DC per effettuare la conversione. La scelta del convertitore da impiegare nel progetto è ricaduta sull'LTC3872. Questo soddisfa solo parzialmente le richieste di progetto, mettendo a disposizione un range di correnti di carica che varia da 4 A a 100 mA. Problema ben maggiore è dato dal fatto che non effettua la scarica della batteria con una corrente costante. I risultati ottenuti con condizioni ideali a monte del circuito permettono comunque di validare il funzionamento del circuito, lasciando agli sviluppi futuri il compito di selezionare un convertitore migliore.

# Capitolo 4: Circuito completo

Questo ultimo capitolo studia l'implementazione per unire i circuiti di carica e scarica, come mostrato nello schema a blocchi in Figura 4.1



Figura 4.1 – Schema a blocchi del circuito completo

Nei capitoli 2 e 3 sono stati studiati separatamente problemi che riguardano gli stessi soggetti, la batteria da 5 V e l'alimentazione da 15 V.

Nel circuito complessivo questi vengono impiegati una sola volta, essendo gli stessi sia in fase di carica che in fase di scarica.

Occorre una soluzione che permetta di commutare il funzionamento del circuito in ogni momento, qualora ce ne sia la necessità.

## 4.1 Logica pass transistor

Il componente deve avere un comportamento duale, tale da collegare batteria ed alimentazione ad un circuito, escludendo quello non impiegato.

La soluzione a tale esigenza ci è data dalla logica pass transistor<sup>12</sup>.

I transistori N-Mos trasferiscono correttamente la tensione bassa e i P-Mos la tensione alta. La logica pass transistor formata dal parallelo dei due transistori, mostrata in Figura 4.1.1, elimina il problema della perdita della soglia, collegando perfettamente o isolando completamente le due parti.

Dalla batteria e dall'alimentazione devono partire due logiche pass transistor che funzionino in maniera mutuamente esclusiva, per fare in modo che solo un circuito sia operativo.

<sup>12</sup> Fonte pag 226, Fondamenti di CIRCUITI DIGITALI INTEGRATI CMOS, Davide Esseni

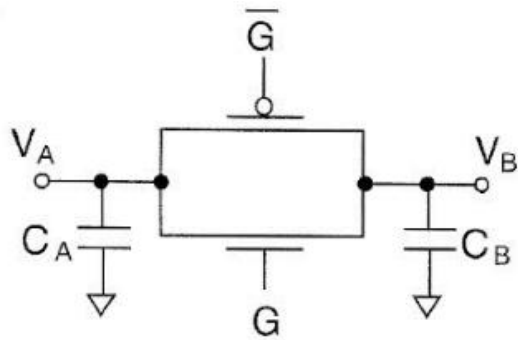


Figura 4.1.1 - Pass transistor complementare, realizzato con un transistore N-Mos, abilitato da un segnale G non negativo ed un P-Mos attivo col segnale G negativo<sup>13</sup>

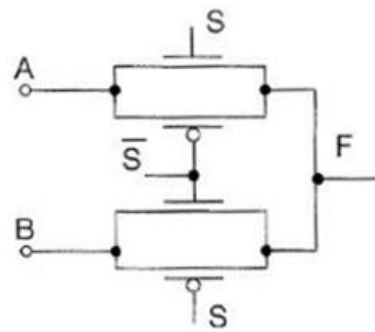


Figura 4.1.2 - MUX a 2 ingressi ottenuto con pass transistor complementari<sup>14</sup>

La Figura 4.1.2 mostra come ogni coppia di P-Mos ed N-Mos viene gestita da comandi opposti rispetto alla logica pass transistor duale che seleziona il circuito inverso, generando un MUX a 2 ingressi.

Nello specifico:

“A” collega il circuito di carica,

“B” collega il circuito di scarica,

“F” corrisponde alla batteria e all'alimentazione,

il segnale “S” alto abilita il circuito di carica,

il segnale “S” basso abilita il circuito di scarica.

La Figura 4.1.3 mostra l'implementazione del circuito completo con la logica pass transistor.



Figura 4.1.3 – Circuito completo gestito dalla logica pass transistor

La scelta di tali transistori è ricaduta sui Mosfet che presentano la

<sup>13</sup> Fonte pag 226, Fondamenti di CIRCUITI DIGITALI INTEGRATI CMOS, Davide Esseni

<sup>14</sup> Fonte pag 228, Fondamenti di CIRCUITI DIGITALI INTEGRATI CMOS, Davide Esseni

resistenza più bassa:

P-Mos, *Si7137DP*, con  $R_{ds}^{ON}$  0.002  $\Omega$ ,

N-Mos, *IPT004N03L* con  $R_{ds}^{ON}$  0.0004  $\Omega$ .

L'utilizzo della logica a pass transistor è stata scelta per la sua semplicità.

L'oggetto della tesi richiede la progettazione dei circuiti di carica e scarica.

Successivamente sarà possibile riprendere il progetto per adottare una soluzione più performante.

## 4.2 Selezione della modalità di funzionamento

I segnali *S* ed *S* negato ( $\bar{S}$ ) vengono generati dall'interruttore meccanico bipolare mostrato in Figura 4.2.1.

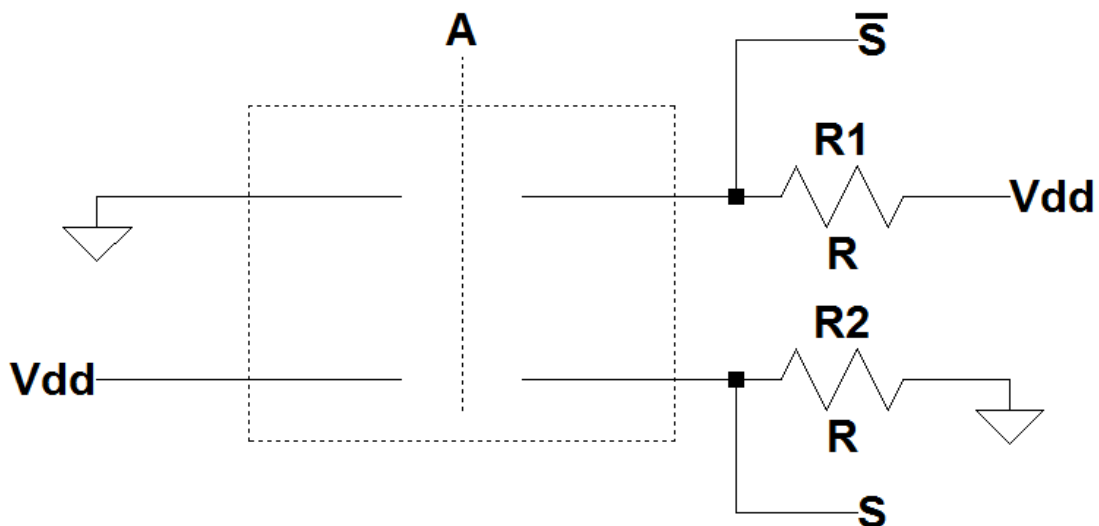


Figura 4.2.1 – Interruttore bipolare

*A* è un pulsante esterno gestito dall'utente.

La sua pressione genera i segnali logici; se premuto restituisce  $S = 1$  e  $\bar{S} = 0$  e viceversa.

## 4.3 Conclusioni

L'implementazione del circuito completo soddisfa le specifiche di progetto.

La natura programmabile del circuito permette di controllare la corrente, scegliendo di operare in carica o scarica con un interruttore pass transistor, regolando la corrente costante attraverso la variazione della tensione di gate dei due P-Mos.

# Conclusioni finali

Il circuito oggetto della tesi nasce dalla necessità di gestire la carica/scarica di una generica batteria con una corrente costante e regolabile.

Avere la possibilità di scegliere tale corrente consente di prelevare o immettere una specifica quantità di energia nel sistema in un dato istante al fine di ottimizzare il consumo generale di potenza.

Il circuito progettato soddisfa le specifiche iniziali e risulta in grado di regolare efficacemente le correnti in questione.

La progettazione è stata fatta prendendo come riferimento una batteria generica da 5 V e un sistema alimentato a 15 V, ma sviluppi successivi al lavoro di tesi potranno rendere versatile tale circuito per ogni tipo di batteria e tensione.

In seguito a questo elaborato sarà anche possibile sostituire i regolatori di tensione, interruttore bipolare e logica pass transistor con soluzioni più efficienti.

Il sistema è stato esaustivamente testato tramite LTspice IV ed è pronto per l'implementazione su scheda.

# Ringraziamenti

Desidero ringraziare il Relatore, Professor Aldo Romani ed il Correlatore, Dottor Matteo Pizzotti per la grande pazienza e disponibilità mostrata nei miei confronti durante tutto il periodo di ricerca e stesura della tesi.

La massima gratitudine va alla mia famiglia per avermi dato la possibilità di affrontare la carriera universitaria, sostenendomi economicamente e moralmente.

La forza e l'energia che la mia fidanzata Jessica e mia sorella Serena mi hanno dato ogni giorno, mi ha permesso di essere quello che sono diventato.

Una dedica speciale va ai miei nonni che spesso mi hanno ospitato per studiare, vivendo ogni esame assieme a me, pur non sapendo minimamente di cosa trattassero.