

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Giácomo Mergulhão Estronioli

**Desenvolvimento e Implementação de uma fonte de
alimentação para robôs didáticos móveis**

São Carlos

2017

Giácomo Mergulhão Estronioli

**Desenvolvimento e Implementação de uma fonte de
alimentação para robôs didáticos móveis**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Dias Maciel

**São Carlos
2017**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E82d Estronioli, Giacomo Mergulhão
Desenvolvimento e implementação de uma fonte de
alimentação para robôs didáticos móveis / Giacomo
Mergulhão Estronioli; orientador Carlos Dias Maciel.
São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2017.

1. Alimentação. 2. Arduino. 3. Bateria Li-Ion. 4.
Raspberry pi. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Giácomo Mergulhão Estronioli

Título: “Desenvolvimento e implementação de uma fonte de alimentação para robôs didáticos móveis”

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado

em 22/11/2017,

com NOTA 7,0 (sete, zero), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Carlos Dias Maciel - Orientador - SEL/EESC/USP

Mestre Michel Bessani - Doutorando - SEL/EESC/USP

Mestre Tadeu Junior Gross - Doutorando - SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

*Este trabalho é dedicado aos meus pais, Giácomo José Estronioli e Magali
Rodrigues Mergulhão Estronioli, que sempre apoiaram seus filhos
independente da situação.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Giacomo José Estronioli e Magali Rodrigues Mergulhão Estronioli, por todo apoio, suporte e confiança a mim depositadas, fundamentais no decorrer da minha vida e graduação.

À minha namorada, amiga e companheira, Karoline Teixeira Pereira, por todo apoio e tempo que esteve ao meu lado, um verdadeiro exemplo de dedicação, lutas e conquistas.

Ao Prof. Dr. Carlos Dias Maciel pela orientação, suporte, paciência e oportunidade no decorrer do desenvolvimento deste trabalho.

Aos inúmeros colegas de classe pela convivência durante esses anos de graduação.

À todos os professores e funcionários do campus, em especial aos da Escola de Engenharia de São Carlos que nos fornecem diariamente oportunidade e qualidade nos aprendizados oferecidos.

À autogestão, funcionários e funcionárias da assistência social que oferecem condições para que todos possam permanecer e dar continuidade ao ensino de qualidade oferecido pela Universidade de São Paulo.

*“As pessoas não são lembradas pelo número de vezes
que fracassam, mas sim pelo número de vezes que tem sucesso.”*

Thomas Alva Edson

RESUMO

Estronioli, G. M. **Desenvolvimento e Implementação de uma fonte de alimentação para robôs didáticos móveis.** 2017. 73p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento e implementação de uma alimentação para um robô didático móvel a partir de módulos já existentes no mercado. De uma maneira geral, o robô em questão foi desenvolvido fazendo-se uso das plataformas Arduino e Raspberry pi, motores, sensores e atuadores. Este robô possui a função de fazer o mapeamento de um ambiente, utilizando um sensor ultra-som ao andar pelo local de maneira autônoma. Dessa forma a utilização de uma alimentação interna é de suma importância para o seu funcionamento. Com isso em mente, desenvolve-se uma alimentação por baterias de Li-Ion, com a facilidade de carrega-las via conexão micro USB e a versatilidade de alimentar as duas plataformas. Aqui está sendo apresentado todo estudo e implementação da alimentação neste robô.

Palavras-chave: Alimentação. Arduino. Bateria Li-Ion. Carregador micro-USB. Mapeamento. Sensor Ultra-som. Raspberry pi.

ABSTRACT

Estronioli, G. M. **Development and Implementation of a feed for application in mobile didactic robots.** 2017. 73p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

In this study the development and implementation of a power supply for a mobile didactic robot from modules already existing in the market was presented. In general, the robot in question was developed making use of the platforms Arduino and Raspberry pi, motors, sensors and actuators. This robot has the function of mapping an environment, using an ultrasonic sensor when walking through the site in an autonomous way. In this way the use of an internal power supply is of paramount importance for its operation. With this in mind, a battery-powered Li-Ion is developed with the ease of charging via a micro USB connection and the versatility of feeding the two platforms. Here is being presented all study and implementation of the feed in this robot.

Keywords: Feeding. Arduino. Li-Ion battery. Micro-USB charger. Mapping. Ultrasonic Sensor. Raspberry pi.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	MÓDULO CARREGADOR E ALIMENTADOR	21
2.1	Carregador Linear de Li-Ion TP4056	22
2.2	Proteção de Carga DW01	23
2.3	Banco de Baterias Li-Ion	26
2.4	Conversor DC-DC	27
3	IMPLEMENTAÇÃO	31
3.1	Teste e Validação	31
3.1.1	Teste de Carga	32
3.1.2	Teste de Descarga	32
3.1.3	Teste de Corrente	32
3.2	Disposição e fixação	34
4	RESULTADOS	37
5	CONCLUSÕES E CONTINUAÇÃO DO TRABALHO	39
	REFERÊNCIAS	41
	APÊNDICES	43
	APÊNDICE A – PROGRAMA PARA LEITURA DE TENSÃO DO ARDUÍNO	45
	ANEXOS	47
	ANEXO A – DATASHEET TP4056	49
	ANEXO B – DATASHEET DW01	53
	ANEXO C – DATASHEET XL6009	65

1 INTRODUÇÃO

As facilidades que as plataformas Arduino e Raspberry pi oferecem abrem um ampla gama de possibilidades de criação ao mundo dos protótipos em contextos educacionais, profissionais e pessoais (hobbies). Enquanto o Arduino (MCROBERTS, 2011) é uma plataforma mais específica para projetos eletrônicos (com controladores, sensores, atuadores), o Raspberry pi é um computador completo (RICHARDSON; WALLACE, 2013) (voltado para processamento de dados), com sistema operacional e interface que possibilita a conexão de periféricos (UPTON; HALFACREE, 2017). É fácil encontrar projetos prontos pela Web para ambas as plataformas, em fóruns é possível entrar em contato com pessoas do mundo todo que fazem uso e compartilham suas experiências com todos que precisam.

Nas duas plataformas a alimentação mais comum é através de cabos de energia, principalmente USB ou micro USB. Na maioria dos casos essa alimentação se encaixa bem, as plataformas ficam paradas controlando ou processando dados de periféricos, não necessitando uma fonte interna de energia. Porém existem casos em que as plataformas são usadas em protótipos móveis onde o uso de fios não é aconselhável, para isso uma fonte de energia mais adequada para a situação deve ser utilizada.

É neste contexto que se encaixa o objetivo deste trabalho: apresentar e implementar uma fonte interna de energia para alimentar um robô didático móvel controlado em conjunto por um Arduino e Raspberry pi utilizando módulos já existentes no mercado. Esta fonte contará com um Módulo Carregador (alimentado por 5V), banco de baterias (com o controle de carga feito pelo Módulo Carregador) e um Módulo Alimentador, responsável por alimentar ambas as plataformas, como na Fig. 1. Pode-se estender esse trabalho para outros projetos que necessitam de uma alimentação interna.

O desenvolvimento deste trabalho inicia-se com a apresentação do módulo carregador, baseado em torno do CI TP4056 (Anexo A) e DW01 (Anexo B). Este módulo é responsável por carregar e controlar a descarga da bateria de modo a mantê-la o mais saudável possível, respeitando seus limites de tensões protegendo-a contra sobrecarga e descarga excessiva.

Em seguida é apresentado o banco de baterias composto por células de Li-Ion e as suas principais características, assim como o conversor DC-DC responsável por regular a tensão de alimentação, baseado no CI XL6009 (Anexo C).

Após a apresentação dos componentes, daremos continuidade e finalizaremos esse trabalho com os testes de carga, descarga e teste de corrente bem como a apresentação da disposição e fixação ao robô.

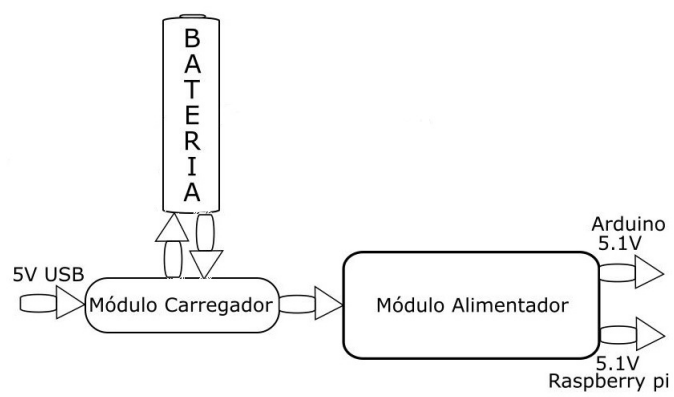


Figura 1: Diagrama da estrutura da fonte interna com seus módulos, suas ligações e tensões de entrada e saída

2 MÓDULO CARREGADOR E ALIMENTADOR

Comercialmente é fácil de se encontrar um módulo Carregador, Fig. 2, baseado em torno do CI TP4056 (Anexo A), um carregador linear de corrente constante para baterias de Li-Ion. Este módulo possui duas versões, uma sem e outra com proteção de carga de bateria. Neste projeto optou-se por utilizar o módulo com a proteção de carga, feita com base no CI DW01 (datasheet DW01). Desse modo a bateria é carregada por corrente constante de modo seguro, protegida contra sobrecarga. Pequeno e por trabalhar com USB, o módulo é ideal para aplicações portáteis.

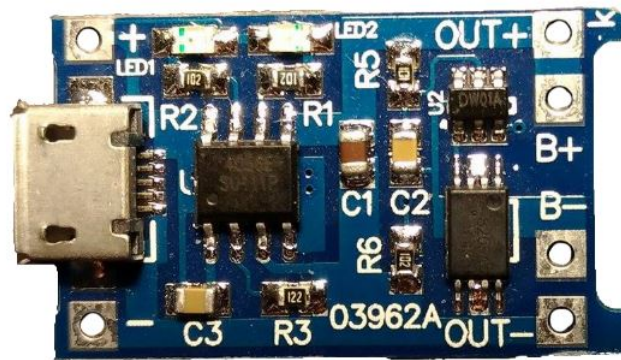


Figura 2: Módulo Carregador comercial para baterias de Li-Ion com proteção de carga e descarga

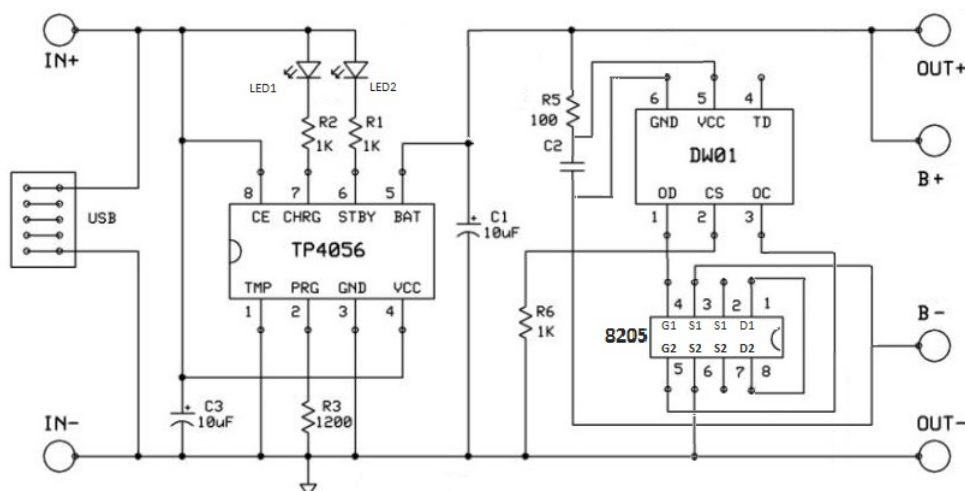


Figura 3: Circuito elétrico do Módulo Carregador comercial para baterias de Li-Ion com proteção de carga e descarga

Pino	Símbolo	Descrição
1	TEMP	Entrada de Sensor Temperatura
2	PROG	Monitor e Configuração da Corrente (I_{Bat})
3	GND	Terminal Comum (terra)
4	V_{CC}	Tensão de Alimentação
5	BAT	Conector da Bateria
6	$\overline{STDBY}$	Identificação de Carga
7	$\overline{CHRG}$	Identificação de Operação
8	CE	Ativa/ Desativar o Carregamento

Tabela 1: Descrição dos terminais do CI TP4056

Pode-se observar pela Fig. 3, na sua esquerda, o CI TP4056 seguido pelo circuito de proteção à sua direita montado com base no DW01.

2.1 Carregador Linear de Li-Ion TP4056

O CI TP4056 (Anexo A) é um carregador de corrente/tensão constante para bateria de Li-Ion que não requer diodo de bloqueio devido à sua arquitetura interna de MOSFET tipo P (BOYLESTAD; NASHELSKY, 1984), que previne corrente de carga negativa. Sua temperatura é limitada durante a operação de alta potência graças à um feedback térmico que regula a corrente de carga. Sua tensão de carga (tensão da bateria que qual é considerada carregada pelo carregador) é fixada em 4.2V com a corrente de carga podendo ser programada externamente com um único resistor. O ciclo de carga é automaticamente interrompido quando a corrente cai para 1/10 do valor programado após a tensão final ser atingida. Ainda possui monitor de corrente, bloqueio de tensão, recarga automática e pinos para status de carga/tensão de entrada.

Suas aplicações são em telefones celulares, GPS, câmeras digitais, dispositivos portáteis, carregadores por USB, entre outros.

Fisicamente possui 8 terminais, Fig. 4

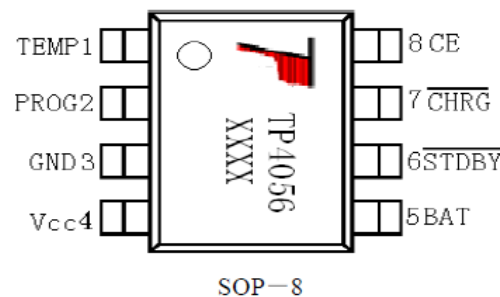
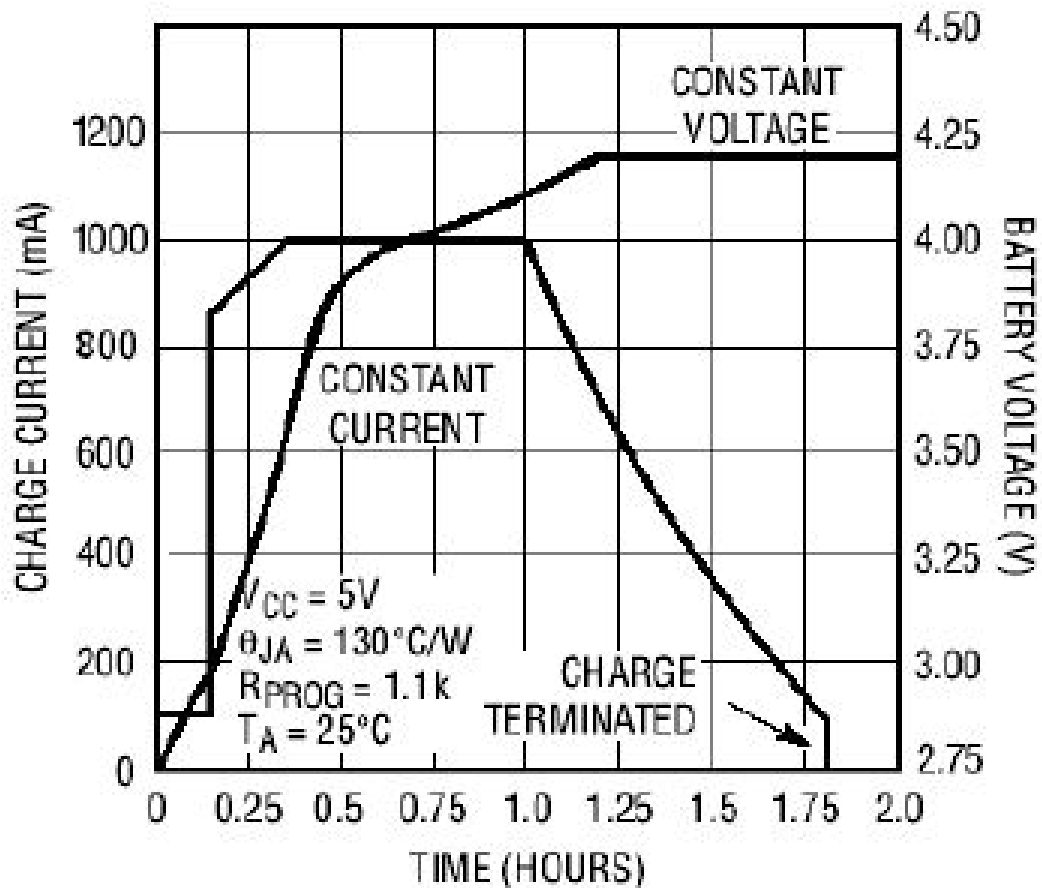


Figura 4: Terminais do CI TP4056 (Datasheet do CI TP4056 - Anexo A)

Onde: $I_{Bat} = V_{PROG} * 1200 / R_{PROG}$, onde $V_{PROG} = 1V$

Por padrão a corrente constante de carregamento vem configurada para 1A, caso haja a necessidade de aumentar essa corrente, o resistor no pino 2 (R_{PROG}) deve ser alterado.

O ciclo de carga da bateria (período desde o início do carregamento até o seu termino) ocorre em 2 etapas: a primeira é onde a corrente de carga se mantém constante até que a tensão na bateria chegue à 4.2V, quando começa a segunda etapa, onde a tensão se mantém constante enquanto a corrente de carga diminui até atingir 1/10 do valor programado, momento em que o carregamento se interrompe, Fig. 5.



Fonte: Datasheet TP4056

Figura 5: Etapas de corrente e de tensão constante durante o ciclo completo de carga da bateria (Datasheet do CI TP4056 - Anexo A)

2.2 Proteção de Carga DW01

O CI DW01 (Anexo B) Proteção de Bateria é projetado para proteger baterias de Li-Ion de danos ou degradação pelo tempo de vida provocado pela sobrecarga ou descarga excessiva (FÁTIMA et al., 2012). A sobrecarga ocorre quando a bateria atinge tensões

Pino	Símbolo	Descrição
1	OD	Controle de Descarga por MOSFET
2	CS	Sensor de corrente, detecção de carga
3	OC	Controle de Carga por MOSFET
4	TD	Teste para redução de tempo de espera
5	VCC	Alimentação, através de um resistor (R1)
6	GND	Terminal comum

Tabela 2: Descrição dos terminais do CI DW01

além do seu limite superior saudável de operação, e a descarga excessiva quando a bateria tem a sua tensão abaixo do limite inferior. Possui um envelopamento pequeno e não tem necessidade de componentes externos, fazendo-o ideal para espaços limitados. Possui uma variação de $\pm 50\text{mV}$ na detecção de tensão de sobrecarga, garantindo uma utilização plena e segura. Quando em *standby*, sua corrente de dreno (corrente quando não está em operação) é considerada pequena para quando a bateria estiver conectada.

Suas características são: Tamanho reduzido, corrente quiescente e de descarga ultra-baixa ($3\mu\text{A}$), precisão na detecção da tensão de descarga, detecção de carga durante o modo de sobrecarga, dois níveis de detecção para proteção contra sobrecorrente, tempos de atraso são gerados por circuitos internos, e não são necessários capacitores externos.

Sua aplicação é em proteção de bateria de Li-Ion/Polímero de célula única em tamanhos reduzidos.

Fisicamente possui 6 terminais, Fig. 6:

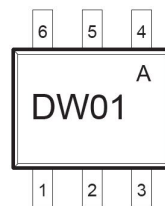


Figura 6: Terminais do CI DW01 (Datasheet do CI DW01 - Anexo B)

Ações possíveis:

1. Proteção contra Sobrecarga:

Quando a tensão da bateria excede a tensão de proteção de sobrecarga (V_{OCP}) por um período de tempo de Delay de carregamento (T_{OC}), o carregamento é interrompido desligando-se o controle de carga por MOSFET. Esta condição de sobrecarga é liberada em dois casos:

- A tensão da Bateria torna-se menor que a tensão de liberação de sobrecarga (V_{OCR}) através de auto-descarga;

- b) A tensão da Bateria torna-se menor que a tensão de proteção de sobrecarga (V_{OCP}) e uma carga é conectada;

Quando a tensão da bateria é maior que V_{OCP} , a condição de sobrecarga se mantém mesmo que uma carga esteja conectada.

2. Proteção contra Descarga:

Quando a tensão da bateria vai abaixo da tensão de proteção de descarga (V_{ODP}) por um período de tempo de Delay de descarregamento (T_{OD}), a descarga é interrompida desligando-se o controle de descarga por MOSFET. Esta condição só é liberada quando a tensão da bateria excede a tensão de liberação de descarregamento (V_{ODR}) através da carga.

3. Proteção contra Sobrecorrente:

No modo normal, a corrente de descarga é detectada monitorando a tensão no pino CS. Caso essa tensão exceda a tensão de proteção de sobrecarga (V_{OIP}) além do período de tempo de atraso de sobrecorrente (T_{OI1}), o circuito de proteção de sobrecorrente é ativado, desligando o de controle de descarga. A condição volta ao normal quando a carga for liberada ou a impedância entre os terminais BAT+ e BAT− for maior que 500kΩ.

4. Detecção de Carga após Descarga Excessiva:

Quando ocorre descarga excessiva, o controle de descarga por MOSFET desliga e a descarga é sessada. Entretanto o carregamento ainda é permitido através do diodo parasita do MOSFET. Quando o carregador é conectado, o DW01 imediatamente liga todos os circuitos de detecção e geração de tempo. O progresso de carregamento é detectado se a tensão entre CS e GDN for menor que a tensão de limiar de detecção de carga (V_{CH}).

5. Desligamento após Descarga Excessiva:

Quando ocorre uma descarga excessiva, o DW01 entra no modo de desligamento, desligando todos os circuitos de detecção e geração de tempo para reduzir a corrente de repouso para 1μA ($V_{CC} = 2,0V$). Ao mesmo tempo, o pino CS recebe V_{CC} através de um resistor interno.

Como a tensão de proteção de sobrecorrente é pré-ajustada, a corrente de limite para a detecção de sobrecorrente é determinada pela resistência de ativação dos MOSFET de controle de carga e descarga. A resistência de ativação dos MOSFET de controle externo pode ser determinada pela equação:

$$R_{ON} = \frac{V_{OIP}}{(2 * I_T)} \quad (2.1)$$

onde I_T é a corrente de limite de sobrecorrente. Por exemplo, se a corrente de limiar de sobrecorrente I_T for projetada para ser $3A$, a resistência de ativação do MOSFET de controle externo deve ser $25m\Omega$. Para se diminuir o ripple e distúrbio do carregador, é recomendado conectar R_1 e C_1 ao V_{CC} . Uma resistência R_2 é usada para proteção quando o carregador é conectado sob condições de descarga excessiva e proteção contra sobretensão na conexão reversa de um carregador.

2.3 Banco de Baterias Li-Ion

As baterias a base de Lítio apresentam grandes níveis de potência e energia por unidade de massa, possuindo duas vezes mais energia específica que as baterias de níquel-hidreto metálico e quatro vezes mais que as baterias de chumbo-ácida ([LINDEN, 1984](#)). Energia específica e energia por unidade de massa é a relação entre massa e energia de uma bateria. Podemos dizer que para baterias de mesma massa, quanto maior a energia específica, mais energia a bateria poderá fornecer.

Suas principais vantagens em relação à outras tecnologias são: possuir tensão elevada, $4V$ contra $1,2V$ e $2,0V$ de baterias de níquel-hidreto metálico e chumbo-ácida; elevada energia específica, duas e quatro vezes mais em relação à bateria de níquel-hidreto metálico e chumbo-ácida; e elevado número de ciclos de carga e descarga, sendo capaz de atingir 80% da sua carga nominal mesmo após 1.000 ciclos de carga/descarga. Um ciclo de carga é quando uma carga total da bateria é usada, podendo ser de forma única ou não. Por exemplo quando uma bateria é usada até atingir metade de sua carga, e então é carregada e novamente descarregada até atingir a metade de sua carga. Essas vantagens acabam sendo determinantes na escolha dessas baterias para aplicações em dispositivos móveis ([FÁTIMA et al., 2012](#)).

Apesar de não oferecerem tanto risco de uso, devido às suas características precisam de circuito de proteção para evitar tensões muito baixas ou acima do limite quando estão sendo carregadas.

O Banco de baterias é composto por três baterias Li-Ion 18650 de $3.7V$ e $3.800mAh$, modelo FX-18650 em paralelo, e sua proteção é responsabilidade do CI DW01 existente no módulo carregador, como visto no capítulo 2 (Módulo Carregador).

Opta-se pela utilização de três baterias em paralelo para aumentar o tempo de funcionamento do dispositivo ([ALVES, 1999](#)). As baterias podem ser ligadas em série desde que se tenha o cuidado de verificar a tensão sobre elas.

As baterias são fixadas ao projeto através de três suportes possibilitando a manutenção ou troca das baterias caso seja necessário.

Pino	Símbolo	Descrição
1	GND	Terminal Comum
2	EN	Pino para ativar o CI (em baixa o CI desliga, em alta ele liga)
3	SW	Chave de alimentação de saída
4	V_{IN}	Tensão de alimentação (5v a 32V)
5	FB	Terminal de realimentação (mede e regula a tensão de saída)

Tabela 3: Descrição dos terminais do CI XL6009

2.4 Conversor DC-DC

O Conversor DC-DC é o responsável por converter a tensão da bateria nas tensões necessárias para a alimentação do Arduino e Raspberry pi. Como as duas plataformas podem ser alimentadas por uma tensão de 5V, utiliza-se um conversor regulado em 5V para alimentar o conjunto.

O conversor é baseado no CI XL6009, um módulo de comutação de alta performance de corrente (BOOST) (ERICKSON; MAKSIMOVIC, 2007). É capaz de gerar uma tensão de saída positiva ou negativa, podendo ser configurado como Boost, Flyback, SEPIC ou conversor inversor. É construído com MOSFET de potência de canal N (BOYLESTAD; NASHELSKY, 1984) e um oscilador com frequência fixa, sua arquitetura de modo de corrente resulta em operação estável em uma ampla gama de tensões de alimentação e de saída. Seu design é especial para aplicações em equipamentos eletrônicos portáteis.

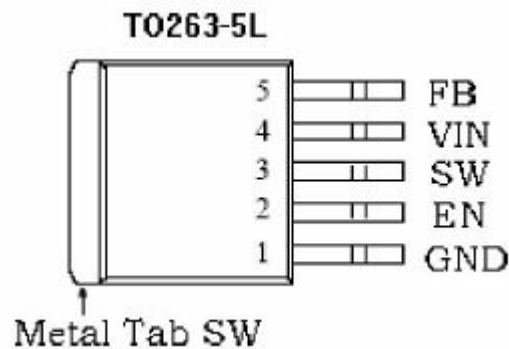


Figura 7: Terminais do CI - XL6009 (Datasheet do CI XL6009 - Anexo C)

Algumas de suas características são:

1. Ampla faixa de tensão de entrada 5V a 32V
2. Tensão de saída positiva ou negativa
3. Frequência de comutação fixa de 400KHz
4. Corrente de comutação máxima de 4A

5. Terminal SW com proteção contra sobretensão
6. Alta eficiência (até 94%)
7. Soft-Start incorporado
8. Função de desligamento térmico
9. Função limite de corrente

O circuito a seguir, Fig. 8 é de uma aplicação típica do CI.

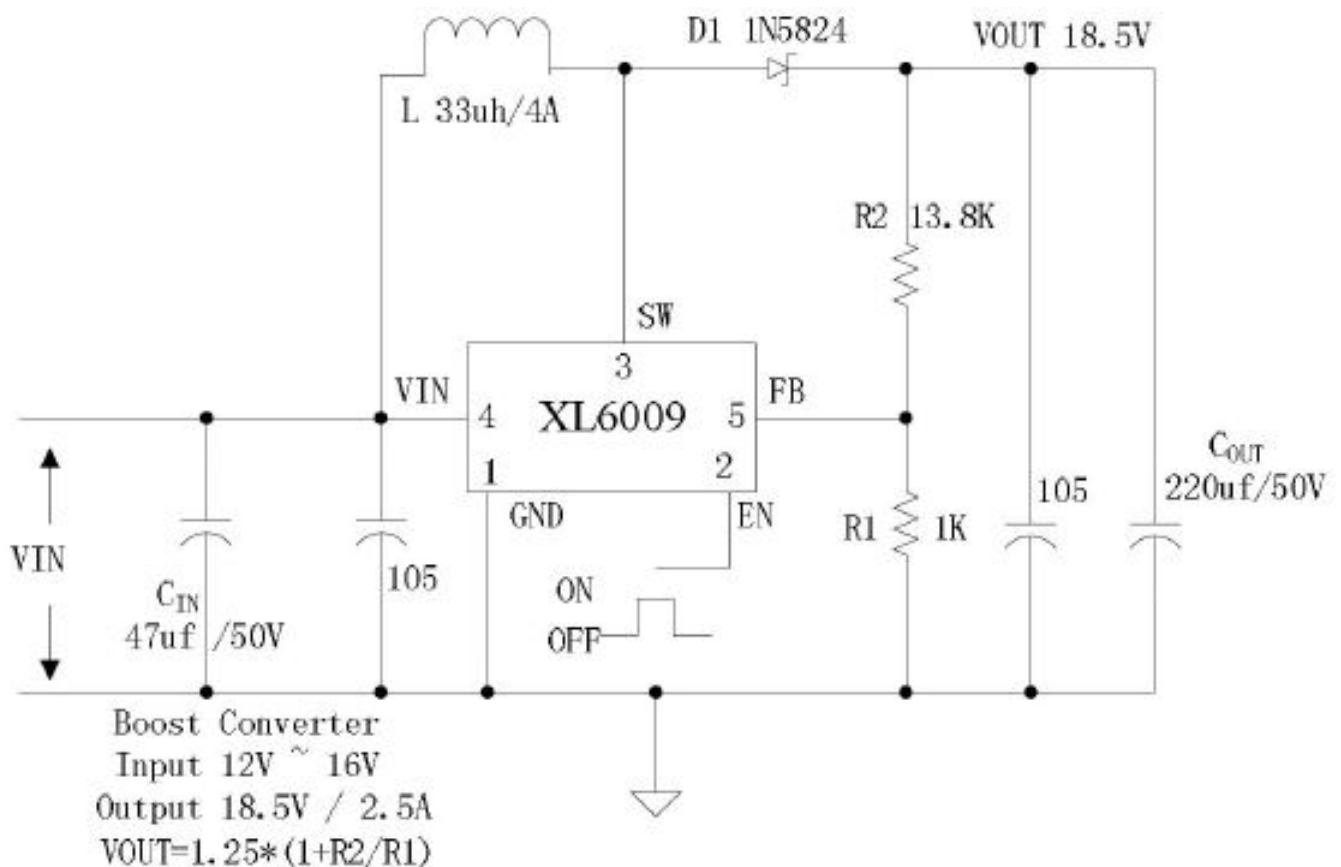


Figura 8: Circuito elétrico da aplicação do CI XL6009 em um conversor do tipo Boost (Datasheet do CI XL6009 - Anexo C)

No caso do conversor, R2 é um potenciômetro que serve de ajuste para controlar o valor da tensão de saída.

Seu circuito simplificado do conversor é mostrado pela Figura 9 a seguir, onde a chave o CI XL6009 faz o papel da chave "S".

Para entender o seu funcionamento precisamos estudar as formas de onda da corrente e tensão nos dois momentos de condução da chave "S".

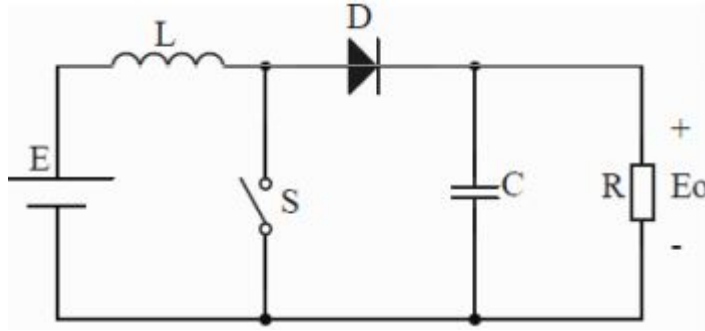


Figura 9: Circuito simplificado do conversor dc-dc boost

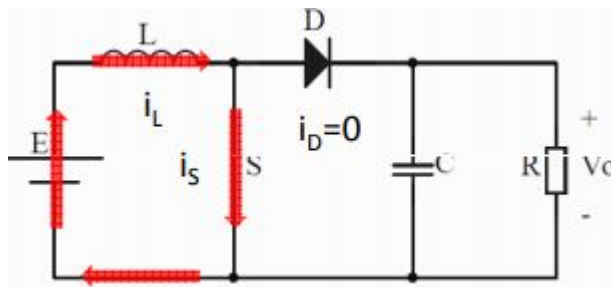


Figura 10: Etapa de chave fechada do conversor dc-dc boost

No momento em que a chave está fechada, figura 10, temos as seguintes expressões de tensão e correntes:

$$E = v_L \Rightarrow E = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.2)$$

$$i_L - I_{min} = \frac{E}{L}tc \Rightarrow i_L = I_{min} + \frac{E}{L}tc \quad (2.3)$$

$$I_M = I_{min} + \frac{E}{L}tc \quad (2.4)$$

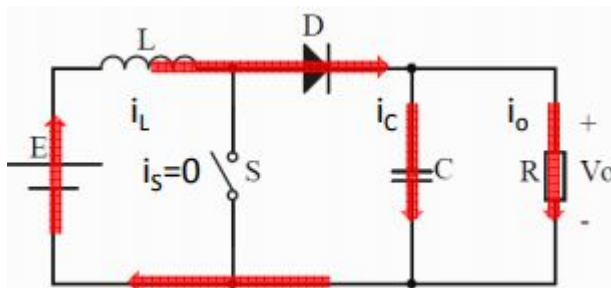


Figura 11: Etapa de chave aberta do conversor dc-dc boost

E no momento em que a chave está aberta, Figura 11, temos:

$$E = v_L + E_0 \Rightarrow E = L \frac{di_L}{dt} + E_0 \quad (2.5)$$

$$i_L - I_{max} = \frac{E - V_0}{L} ta \Rightarrow i_L = I_{max} + \frac{E - V_0}{L} ta \quad (2.6)$$

$$I_{min} = I_{max} + \frac{E - V_0}{L} ta \quad (2.7)$$

Uma vez que a variação da corrente no indutor, i_L , durante um ciclo, T é zero. Conseguimos encontrar a relação entre tensão de entrada e tensão de saída:

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D} \quad (2.8)$$

Onde, D é a relação entre o tempo da chave fechada com o período do ciclo de chaveamento.

$$D = \frac{t_c}{T} \quad (2.9)$$

3 IMPLEMENTAÇÃO

Com todos os circuitos devidamente conectados, Fig. 12, são realizados os testes para validação dos módulos para seguir com a montagem e a implementação da fonte.

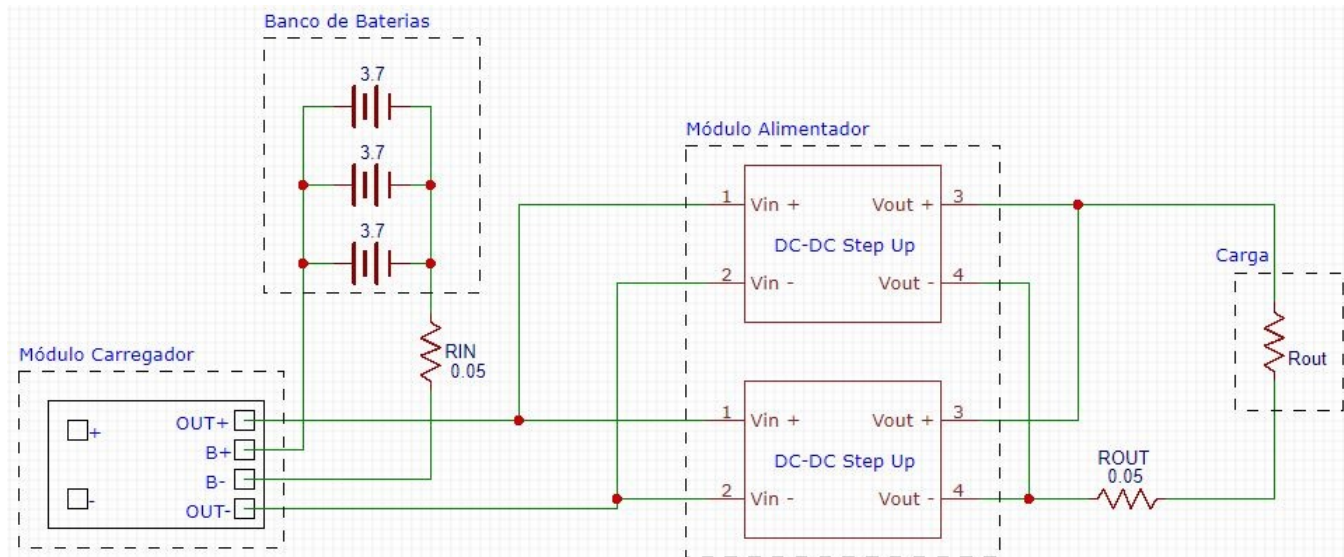


Figura 12: Circuito elétrico completo da fonte feito com auxílio do editor online easyeda

3.1 Teste e Validação

A fim de validar a fonte, é realizado três testes: teste de Carga, Descarga e teste de corrente.

No teste de carga, a bateria é carregada com sua tensão sendo monitorada e registrada com o uso de um arduino (Apêndice A). Neste caso a validação acontecerá ao identificar a ação do circuito de proteção contra sobrecarga na bateria assim como o comportamento da sua tensão ao longo de todo o ciclo de carga.

No teste de Descarga novamente registra e monitora-se a tensão da bateria. Para este caso a validação ocorre ao identificar a ação da proteção da bateria contra a descarga excessiva, interrompendo a alimentação do circuito ao se atingir o limite inferior da tensão segura de uso.

No teste de corrente, são monitoradas as tensões e correntes na bateria e na saída do conversor dc-dc. Neste caso busca-se encontrar a máxima corrente de fornecimento de modo a manter os 5V necessários para a alimentação do sistema.

Uma vez realizados os testes e o comportamento dos módulos forem verificados determinamos sucesso na validação desta fonte.

3.1.1 Teste de Carga

O teste de carga inicia-se com a bateria em sua tensão mínima de uso, neste caso 2.8V aproximadamente. No primeiro momento a tensão sofre uma elevação mais brusca, fase de corrente constante, e após esse comportamento a tensão se mantém praticamente constante até o final do ciclo de carga, próximo aos 250 minutos de teste, confirmando o comportamento da tensão durante todo o ciclo de carga.

A figura 13 mostra o comportamento da tensão observado durante o teste de carga.

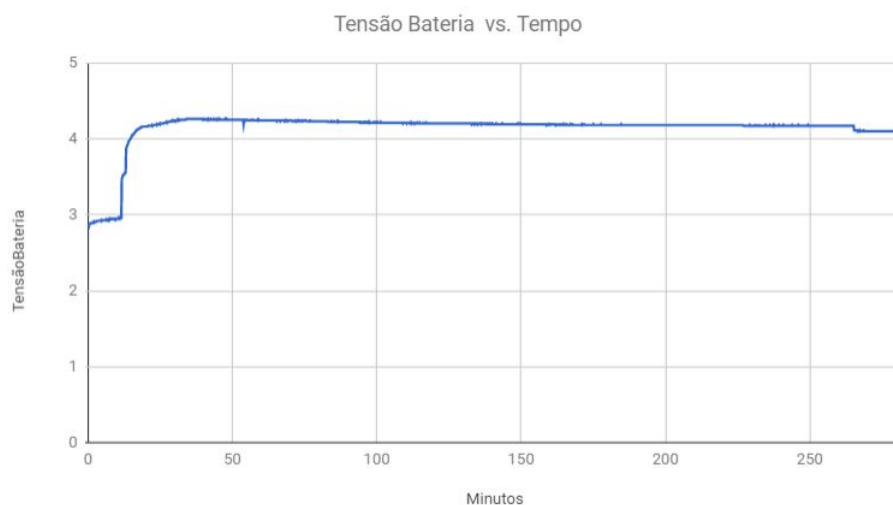


Figura 13: Teste de Carga - Tensão da Bateria ao Longo do ciclo completo de carga

Vale ressaltar que a bateria foi considerada carregada a partir da indicação do LED azul, presente no circuito do módulo carregado.

3.1.2 Teste de Descarga

No teste de Descarga, onde pretende-se estudar a ação da proteção contra a descarga excessiva, o ponto mais importante ocorre no momento em que a tensão da bateria chega próximo ao seu limite inferior seguro de 2.7V. Neste momento é esperado que a ação do DW01 nos MOSFETS interrompa o fluxo de corrente da bateria, limitando a tensão da bateria dentro do seu limite seguro.

A Figura 14 mostra o resultado da tensão se estabilizando próximo aos 2.7V durante o ciclo de descarga.

3.1.3 Teste de Corrente

No teste de Corrente, coloca-se todo o sistema para alimentar cargas resistivas distintas afim de verificar a máxima corrente fornecida (JOHNSON; HILBURN; JOHNSON, 1994) junto à 5V estável na tensão de saída do conversor dc-dc. Para isto foram testados

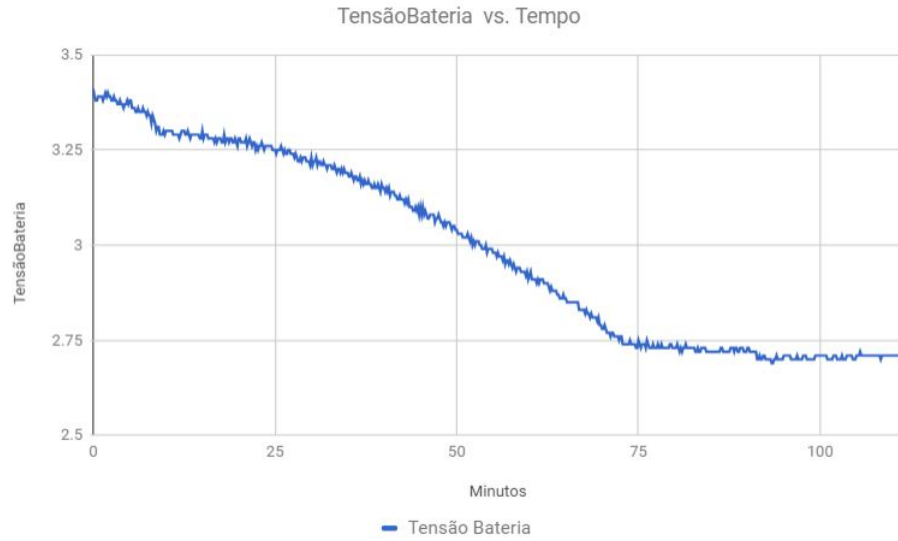


Figura 14: Teste de Descarga - Tensão da Bateria no momento em que ocorre o controle de descarga excessiva

Carga (Ohms)	V_{Bat0} (V)	V_{Bat1} (V)	V_{out1} (V)	V_{Rin} (mV)	V_{Rout} (mV)	I_{Bat} (A)	I_{Out} (A)
6	4.07	3.23	3.5	75	31	1.50	0.62
8	4.07	3.29	4.02	45	28	0.90	0.56
9	4.07	3.30	4.04	53	22	1.06	0.44
10.6	4.05	3.23	4.27	46	20	0.92	0.40
12	4.08	3.30	4.80	80	20	1.60	0.40
12.6	4.08	3.29	4.90	39	19	0.78	0.38
18.6	4.08	3.34	5.60	37	16	0.74	0.32

Tabela 4: Teste de Corrente com um conversor dc-dc

valores de resistência entre 6 e 18.6 Ohms como carga na saída do conversor dc-dc medindo-se as tensões de entrada e de saída do conversor assim como as correntes de entrada e saída utilizando dois resistores de 0.1 Ohms em paralelos como sensores de corrente. Com os resultados deste teste monta-se a tabela abaixo.

Onde, V_{Bat0} é a tensão do banco de bateria antes de se conectar a carga; V_{Bat1} é a tensão do banco de bateria após se conectar a carga; V_{out1} é a tensão de saída do conversor dc-dc após se conectar a carga; R_{in} é a tensão em cima do resistor de 0.05 Ohms para medir a corrente de entrada; R_{out} é a tensão em cima do resistor de 0.05 Ohms para medir a corrente de saída; I_{Bat} e I_{Out} são as corrente da Bateria e da carga após se conectar a carga. Para todos esses testes a tensão do conversor dc-dc foi inicialmente configurada para 5v.

Esses primeiros resultados mostram que o conjunto consegue fornecer uma corrente de saída de 0.40 A para uma tensão de 5V, visto pela medida da carga de 12 Ohms.

Carga (Ohms)	V_{Bat0} (V)	V_{Bat1} (V)	V_{out1} (V)	V_{Rin} (mV)	V_{Rout} (mV)	I_{Bat} (A)	I_{Out} (A)
6	4.10	3.20	3.97	65	32	1.30	0.64
8	4.09	3.13	4.20	75	30	1.50	0.60
9	4.09	3.16	4.30	76	25	1.52	0.5
10.6	4.09	3.26	5.07	86	23	1.60	0.46
12	4.08	3.38	5.22	39	22	0.78	0.44
12.6	4.08	3.27	5.44	49	21	0.99	0.43
18.6	4.07	3.30	6.48	40	18	0.81	0.35
..							

Tabela 5: Teste de Corrente com dois conversores dc-dc em paralelo

Num segundo teste colocam-se dois conversores dc-dc em paralelo pois é suspeito que o conversor esteja limitando a corrente de saída. Com isso desejamos identificar um aumento na corrente mantendo-se a mesma tensão de saída em 5V. A seguir encontra-se o resultado desse novo teste:

É possível observar que com a adição de um segundo conversor em paralelo o conjunto consegue fornecer uma corrente de 0.46 A para uma tensão de 5.07 V. Um ganho de 0.06 A em relação ao sistema com apenas um conversor.

Dessa forma, é garantido que a alimentação consiga fornecer uma corrente de 0.46 A junto à uma tensão de 5 V ao sistema.

Observa-se em ambos os teste realizados, uma elevada queda na tensão da bateria ao se conectar a carga. Com isso, caso o sistema precise de um grande consumo, sugere-se a troca das baterias por baterias de marcas melhores ou com maior capacidade. Pode-se adicionar mais baterias em paralelo, porém o tamanho do conjunto aumenta consideravelmente, podendo tornar a fonte de alimentação não muito compacta.

3.2 Disposição e fixação

A fonte de alimentação interna é disposta de maneira a não atrapalhar nenhum sensor, atuador ou motor de modo a permitir eventuais alterações nos circuitos do robô didático. Será localizada na parte inferior do robô em uma proteção de cobre responsável por minimizar o ruído gerados pelos conversores, não atrapalhando na comunicação e processamento dos dados adquiridos pelo robô, Fig. 15.

Apesar do teste de corrente, os conversores dc-dc não estão ligados em paralelo, pois pela fonte ser especificada para um robô ainda em desenvolvimento, damos aqui a opção de uma alimentação distinta aos 5V.

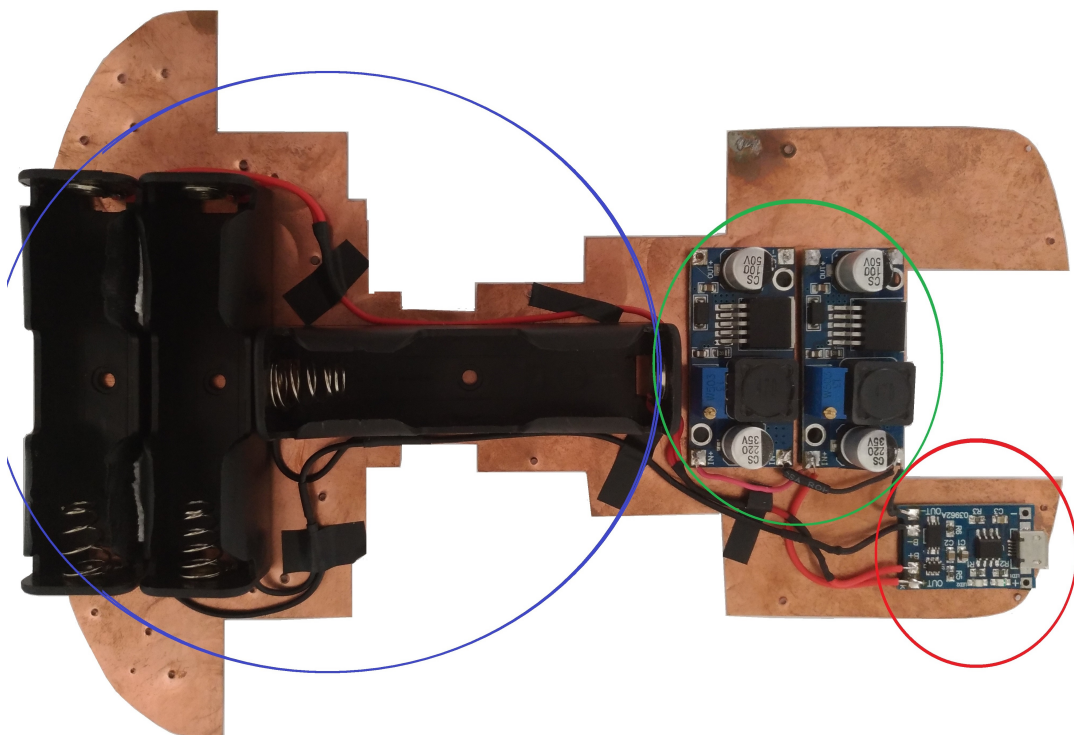


Figura 15: Fixação da fonte na proteção de cobre. Em Azul os suportes para a bateria, em Verde o Módulo Alimentador e em Vermelho o Módulo Carregador

4 RESULTADOS

O sistema tem por objetivo realizar a alimentação de um robô didático móvel a partir de módulos já existentes no mercado. Estes módulos devem controlar a carga e descarga segura do banco de baterias assim como fornecer energia ao robô nas tensões necessárias para o seu funcionamento.

O módulo carregador, responsável por carregar e proteger o banco de baterias, foi colocado em teste para se verificar o controle e proteção de carga e descarga do banco de baterias.

Com o auxílio de um Arduíno para registrar a tensão da bateria durante o seu ciclo de carga, pode-se validar o carregamento da bateria com a indicação do LED azul ao se atingir uma tensão de 4.2V. A curva da tensão na Bateria no ciclo de carga se comportou como o esperado: primeiro ocorre a etapa de corrente constante, onde a tensão da bateria sofre uma elevação mais brusca até atingir valores próximo ao limite máximo; logo em seguida ocorre a etapa de tensão constante, onde a tensão na bateria se mantém constante até que a corrente de carga atinja 1/10 da corrente programada.

Durante o ciclo de descarga, a ação da proteção é verificada no momento que a queda na tensão da bateria é interrompida ao se atingir o limite inferior de 2.7V.

Com o controle de carga e proteção de descarga observada fica registrada a validade do funcionamento do módulo carregador.

O teste de corrente realizado registrou a corrente máxima fornecida pelo sistema ao se utilizar um e dois conversores dc-dc Step Up em paralelo.

Com o uso de diversas cargas resistivas de baixos valores, foi identificada a corrente máxima de 400mA com um e de 460mA com dois conversores em paralelo de modo a manter a tensão de 5V na saída do conversor.

5 CONCLUSÕES E CONTINUAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho abordou a implementação de uma fonte de alimentação para robôs didáticos móveis fazendo uso de módulos já existentes no mercado. Segmentado em três partes, Módulo carregador, Banco de baterias e Conversor dc-dc, a fonte é de simples implementação e possui módulos projetados para dispositivos móveis.

Pudemos validar a segurança do módulo carregador nas etapas de carga e descarga de modo a assegurar o uso saudável da bateria. Junto à verificação do teste de corrente, validamos esta fonte em implementação para o uso em robôs didáticos móveis de pequeno porte.

Para implementações em dispositivos de maior porte, vale o estudo de um banco de baterias com células ligadas em série, e posteriormente a utilização de conversores dc-dc step down. Essa disposição visa diminuir a corrente de saída do banco de baterias ao se aumentar a sua tensão total. Um ponto de atenção dessa ligação é o controle de carga e descarga das células ligadas em série que deve ser realizada de forma individual afim de se garantir a vida útil das baterias e a segurança do conjunto.

Com a validação desta fonte de alimentação para robôs didáticos móveis, espera-se para trabalhos futuros realizar a implementação de um banco de baterias em série, onde um novo sistema de controle de carga e descarga deverá ser estudado e implementado, para assim comparar as duas formas de disposição das células da bateria.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. F. **ABC dos Circuitos Eléctricos em Corrente Contínua**. [S.l.]: Porto, 1999.
- BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. [S.l.]: Prentice-Hall do Brasil, 1984. v. 6.
- ERICKSON, R. W.; MAKSIMOVIC, D. **Fundamentals of power electronics**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2007.
- FÁTIMA, N. Maria de et al. Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades. **Cad. CPqD Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 59–72, 2012.
- JOHNSON, D. E.; HILBURN, J. L.; JOHNSON, J. R. **Fundamentos de análise de circuitos elétricos**. [S.l.]: Livros Tecnicos e Científicos, 1994.
- LINDEN, D. Handbook of batteries and fuel cells. **New York, McGraw-Hill Book Co., 1984, 1075 p. No individual items are abstracted in this volume.**, 1984.
- MCROBERTS, M. Arduino básico. **São Paulo: Novatec**, 2011.
- RICHARDSON, M.; WALLACE, S. Primeiros passos com o raspberry pi. **Primeira Edição. Novatec Editora Ltda**, 2013.
- UPTON, E.; HALFACREE, G. **Raspberry Pi–Manual do Usuário**. [S.l.]: Novatec Editora, 2017.

Apêndices

APÊNDICE A – PROGRAMA PARA LEITURA DE TENSÃO DO ARDUÍNO

```
int a = 0;
void setup() {
// put your setup code here, to run once:
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
// faz a leitura analogical do pino 0:
int sensorValue = analogRead(A0);

// Converte a leitura analógica (que vai de 0 a 1023) para um valor de tensão (0 -
5V):
float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);

// escreve o valor de tensão via comunicação serial:
Serial.println(voltage);

// Espera 10s antes da próxima leitura:
delay(10000);
}
```


Anexos

ANEXO A – DATASHEET TP4056

TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8

DESCRIPTION

The TP4056 is a complete constant-current/constant-voltage linear charger for single cell lithium-ion batteries. Its SOP package and low external component count make the TP4056 ideally suited for portable applications. Furthermore, the TP4056 can work within USB and wall adapter.

No blocking diode is required due to the internal PMOSFET architecture and have prevent to negative Charge Current Circuit. Thermal feedback regulates the charge current to limit the die temperature during high power operation or high ambient temperature. The charge voltage is fixed at 4.2V, and the charge current can be programmed externally with a single resistor. The TP4056 automatically terminates the charge cycle when the charge current drops to 1/10th the programmed value after the final float voltage is reached.

TP4056 Other features include current monitor, under voltage lockout, automatic recharge and two status pin to indicate charge termination and the presence of an input voltage.

FEATURES

- Programmable Charge Current Up to 1000mA
- No MOSFET, Sense Resistor or Blocking Diode Required
- Complete Linear Charger in SOP-8 Package for Single Cell Lithium-Ion Batteries
- Constant-Current/Constant-Voltage
- Charges Single Cell Li-Ion Batteries Directly from USB Port
- Preset 4.2V Charge Voltage with 1.5% Accuracy
- Automatic Recharge
- two Charge Status Output Pins
- C/10 Charge Termination
- 2.9V Trickle Charge Threshold (TP4056)
- Soft-Start Limits Inrush Current
- Available Radiator in 8-Lead SOP Package, the Radiator need connect GND or impending

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

- Input Supply Voltage(V_{CC}): -0.3V~8V
- TEMP: -0.3V~10V
- CE: -0.3V~10V
- BAT Short-Circuit Duration: Continuous
- BAT Pin Current: 1200mA
- PROG Pin Current: 1200uA
- Maximum Junction Temperature: 145°C
- Operating Ambient Temperature Range: -40°C~85°C
- Lead Temp.(Soldering, 10sec): 260°C

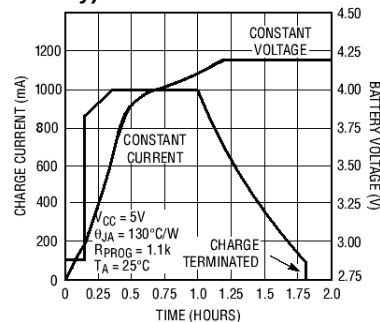
APPLICATIONS

- Cellular Telephones, PDAs, GPS
- Charging Docks and Cradles
- Digital Still Cameras, Portable Devices
- USB Bus-Powered Chargers,Chargers

PACKAGE/ORDER INFORMATION

TEMP1								8 CE
PROG2								7 CHRG
GND3								6 STDBY
V_{CC} 4								5 BAT
SOP-8								
								
ORDER PART NUMBER TP4056-42-SOP8-PP								
PART MARKING TP4056								

Complete Charge Cycle (1000mAh Battery)



TEMP(Pin 1) :Temperature Sense Input Connecting TEMP pin to NTC thermistor's output in Lithium ion battery pack. If TEMP pin's voltage is below 45% or above 80% of supply voltage V_{IN} for more than 0.15S, this means that battery's temperature is too high or too low, charging is suspended. The temperature sense function can be disabled by grounding the TEMP pin.

PROG(Pin 2): Constant Charge Current Setting and Charge Current Monitor Pin charge current is set by connecting a resistor R_{ISET} from this pin to GND. When in precharge mode, the ISET pin's voltage is regulated to 0.2V. When in constant charge current mode, the ISET pin's voltage is regulated to 2V. In all modes during charging, the voltage on ISET pin can be used to measure the charge current as follows:

$$I_{BAT} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} \times 1200 \quad (V_{PROG}=1V)$$

GND(Pin3): Ground Terminal

Vcc(Pin 4): Positive Input Supply Voltage V_{IN} is the power supply to the internal circuit. When V_{IN} drops to within 30mv of the BAT pin voltage, TP4056 enters low power sleep mode, dropping BAT pin's current to less than 2uA.

BAT(Pin5): Battery Connection Pin. Connect the positive terminal of the battery to BAT pin. BAT pin draws less than 2uA current in chip disable mode or in sleep mode. BAT pin provides charge current to the battery and provides regulation voltage of 4.2V.

STDBY(Pin6): Open Drain Charge Status Output When the battery Charge Termination, the $\overline{STDBY}$ pin is pulled low by an internal switch, otherwise $\overline{STDBY}$ pin is in high impedance state.

CHRG (Pin7): Open Drain Charge Status Output When the battery is being charged, the $\overline{CHRG}$ pin is pulled low by an internal switch, otherwise $\overline{CHRG}$ pin is in high impedance state.

CE(Pin8): Chip Enable Input. A high input will put the device in the normal operating mode. Pulling the CE pin to low level will put the YP4056 into disable mode. The CE pin can be driven by TTL or CMOS logic level.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_A=25^\circ\text{C}$, $V_{CC}=5V$, unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{CC}	Input Supply Voltage		●	4.0	5	8.0	V
I_{CC}	Input Supply Current	Charge Mode, $R_{PROG} = 1.2k$ StandbyMode(Charge Terminated) Shutdown Mode (R_{PROG} Not Connected, $V_{CC} < V_{BAT}$, or $V_{CC} < V_{UV}$)	● ● ●		150 55 55	500 100 100	μA μA μA
V_{FLOAL}	Regulated Output (Float) Voltage	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$, $I_{BAT}=40\text{mA}$		4.137	4.2	4.263	V
I_{BAT}	BAT Pin Current Text condition: $V_{BAT}=4.0V$	$R_{PROG} = 2.4k$, Current Mode $R_{PROG} = 1.2k$, Current Mode Standby Mode, $V_{BAT} = 4.2V$	● ● ●	450 950 0	500 1000 -2.5	550 1050 -6	mA mA μA
I_{TRIKL}	Trickle Charge Current	$V_{BAT} < V_{TRIKL}$, $R_{PROG}=1.2K$	●	120	130	140	mA
V_{TRIKL}	Trickle Charge Threshold Voltage	$R_{PROG}=1.2K$, V_{BAT} Rising		2.8	2.9	3.0	V
V_{TRHYS}	Trickle Charge Hysteresis Voltage	$R_{PROG}=1.2K$		60	80	100	mV
T_{LIM}	Junction Temperature in Constant Temperature Mode				145		$^\circ\text{C}$

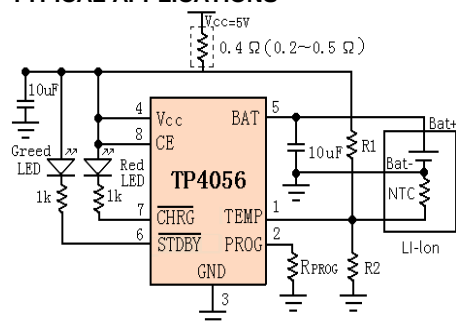
indicator light state

Charge state	Red LED CHRG	Green LED STDBY
charging	bright	extinguish
Charge Termination	extinguish	bright
Vin too low; Temperature of battery too low or too high; no battery	extinguish	extinguish
BAT PIN Connect 10u Capacitance; No battery	Green LED bright, Red LED Coruscate T=1-4 S	

Rprog Current Setting

R _{PROG} (k)	I _{BAT} (mA)
10	130
5	250
4	300
3	400
2	580
1.66	690
1.5	780
1.33	900
1.2	1000

TYPICAL APPLICATIONS



ANEXO B – DATASHEET DW01

General Description

The DW01 Plus battery protection IC is designed to protect lithium-ion/polymer battery from damage or degrading the lifetime due to overcharge, overdischarge, and/or overcurrent for one-cell lithium-ion/polymer battery powered systems, such as cellular phones.

The ultra-small package and less required external components make it ideal to integrate the DW01 Plus into the limited space of battery pack. The accurate $\pm 50\text{mV}$ overcharging detection voltage ensures safe and full utilization charging. The very low standby current drains little current from the cell while in storage.

Features

- Reduction in Board Size due to Miniature Package SOT-23-6.
- Ultra-Low Quiescent Current at $3\mu\text{A}$ ($V_{\text{CC}}=3.9\text{V}$).
- Ultra-Low Power-Down Current at $0.1\mu\text{A}$ ($V_{\text{CC}}=2.0\text{V}$).
- Precision Overcharge Protection Voltage $4.3\text{V} \pm 50\text{mV}$ for the DW01 Plus
- Load Detection Function during Overcharge Mode.
- Two Detection Levels for Overcurrent Protection.
- Delay times are generated by internal circuits. No external capacitors required.

Ordering Information

DW01+

PACKAGE TYPE
SOT-23-6

TEMPERATURE RANGE
 $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$

OVERCHARGE PROTECTION
 $4.3\text{V} \pm 50\text{mV}$

Applications

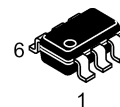
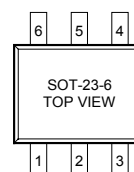
- Protection IC for One-Cell Lithium-Ion / Lithium-Polymer Battery Pack

Product Name List

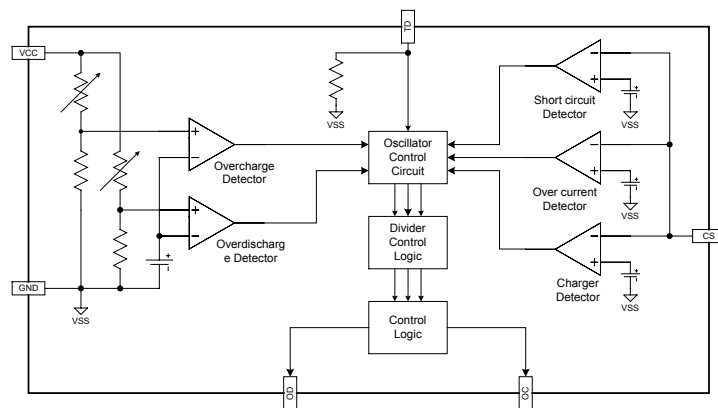
Model	Package	Overcharge detection voltage [VocP] (V)	Overcharge release voltage [Vocr] (V)	Overdischarge detection voltage [VodP] (V)	Overdischarge release voltage [Vodr] (V)	Overcurrent detection voltage [Vo11] (mV)
	SOT-23-6					
DW01 Plus	DW01	4.300±0.050	4.100±0.050	2.40±0.100	3.0±0.100	150±30

Pin Configuration

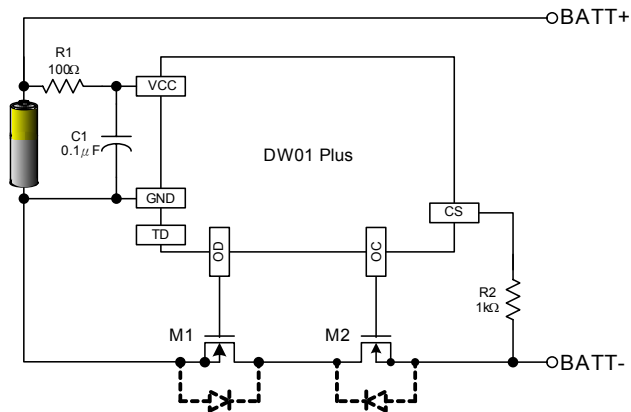
Pin No.	Symbol	Description
1	OD	MOSFET gate connection pin for discharge control
2	CS	Input pin for current sense, charger detect
3	OC	MOSFET gate connection pin for charge control
4	TD	Test pin for reduce delay time
5	VCC	Power supply, through a resistor (R1)
6	GND	Ground pin



Functional Block Diagram



Typical Application Circuit



Absolute Maximum Ratings

(VSS=0V, Ta=25°C unless otherwise specified)

Item	Symbol	Rating	Unit
Input voltage between VDD and VSS *	VDD	VSS-0.3 to VSS+10	V
OC output pin voltage	Voc	VDD-26 to VDD+0.3	V
OD output pin voltage	Vod	VSS-0.3 to VDD+0.3	V
CS input pin voltage	Vcs	VDD-26 to VDD+0.3	V
Operating Temperature Range	TOP	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range	TST	-40 to +125	°C

Note: DW01 Plus contains a circuit that will protect it from static discharge; but please take special care that no excessive static electricity or voltage which exceeds the limit of the protection circuit will be applied to it.

Electrical Characteristics

(Ta=25 °C unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	Min	Typ	Max	UNIT
Supply Current	V _{CC} =3.9V	I _{CC}		3.0	6.0	μA
Power-Down Current	V _{CC} =2.0V	I _{PD}			0.1	μA
Overcharge Protection Voltage	DW01 Plus	V _{OCP}	4.25	4.30	4.35	V
Overcharge Release Voltage		V _{OCR}	4.05	4.10	4.15	V
Overdischarge Protection Voltage		V _{ODP}	2.30	2.40	2.50	V
Overdischarge Release Voltage		V _{ODR}	2.90	3.00	3.10	V
Overcurrent Protection Voltage		V _{OIP} (V _{OI1})	120	150	180	mV
Short Current Protection Voltage	V _{CC} =3.6V	V _{SIP} (V _{OI2})	1.25	1.35	1.45	V
Overcharge Delay Time		T _{OC}		80	200	ms
Overdischarge Delay Time	V _{CC} =3.6V to 2.0V	T _{OD}		20	60	ms
Overcurrent Delay Time (1)	V _{CC} =3.6V	T _{OI1}		10	20	ms
Overcurrent Delay Time (2)	V _{CC} =3.6V	T _{OI2}		5	50	μs
Charger Detection Threshold Voltage		V _{CH}	-1.2	-0.7	-0.2	V
OD Pin Output "H" Voltage		V _{DH}	V _{CC} -0.1	V _{CC} -0.02		V
OD Pin Output "L" Voltage		V _{DL}		0.1	0.5	V
OC Pin Output "H" Voltage		V _{CH}	V _{CC} -0.1	V _{CC} -0.02		V
OC Pin Output "L" Voltage		V _{CL}		0.1	0.5	V

Description of Operation

1. Overcharge Protection

When the voltage of the battery cell exceeds the overcharge protection voltage (VOCP) beyond the overcharge delay time (TOC) period, charging is inhibited by turning off of the charge control MOSFET. The overcharge condition is released in two cases:

- 1) The voltage of the battery cell becomes lower than the overcharge release voltage (VOCR) through self-discharge.
- 2) The voltage of the battery cell falls below the overcharge protection voltage (VOCP) and a load is connected.

When the battery voltage is above VOCP, the overcharge condition will not release even a load is connected to the pack.

2. Overdischarge Protection

When the voltage of the battery cell goes below the overdischarge protection voltage (VODP) beyond the overdischarge delay time (TOD) period, discharging is inhibited by turning off the discharge control MOSFET. The default of overdischarge delay time is 10ms. Inhibition of discharging is immediately released when the voltage of the battery cell becomes higher than overdischarge release voltage (VODR) through charging.

3. Overcurrent Protection

In normal mode, the DW01 Plus continuously monitors the discharge current by sensing the voltage of CS pin. If the voltage of CS pin exceeds the overcurrent protection voltage (VOIP) beyond the overcurrent delay time (TOI1) period, the overcurrent protection circuit operates and discharging is inhibited by turning off the discharge control MOSFET. The overcurrent condition returns to the normal mode when the load is released or the impedance between BATT+ and BATT- is larger than 500kΩ. The DW01 Plus provides two overcurrent detection levels (0.15V and 1.35V) with two overcurrent delay time (TOI1 and TOI2) corresponding to each overcurrent detection level.

4. Charge Detection after Overdischarge

When overdischarge occurs, the discharge control MOSFET turns off and discharging is inhibited. However, charging is still permitted through the parasitic diode of MOSFET. Once the charger is connected to the battery pack, the DW01 Plus immediately turns on all the timing generation and detection circuitry. Charging progress is sensed if the voltage between CS and GND is below charge detection threshold voltage (VCH).

5. Power-Down after Overdischarge

When overdischarge occurs, the DW01 Plus will enter into power-down mode, turning off all the timing generation and detection circuitry to reduce the quiescent current to 0.1 μ A (VCC=2.0V). At the same time, the CS pin is pull-up to VCC through an internal resistor.

Design Guide

1. Selection of External Control MOSFET

Because the overcurrent protection voltage is preset, the threshold current for overcurrent detection is determined by the turn-on resistance of the charge and discharge control MOSFETs. The turn-on resistance of the external control MOSFETs can be determined by the equation: $R_{ON} = V_{OIP} / (2 \times I_T)$ (I_T is the overcurrent threshold current). For example, if the overcurrent threshold current I_T is designed to be 3A, the turn-on resistance of the external control MOSFET must be 25mΩ. Be aware that turn-on resistance of the MOSFET changes with temperature variation due to heat dissipation. It changes with the voltage between gate and source as well. (Turn-on resistance of MOSFET increases as the voltage between gate and source decreases). As the turn-on resistance of the external MOSFET changes, the design of the overcurrent threshold current changes accordingly.

2. Suppressing the Ripple and Disturbance from Charger

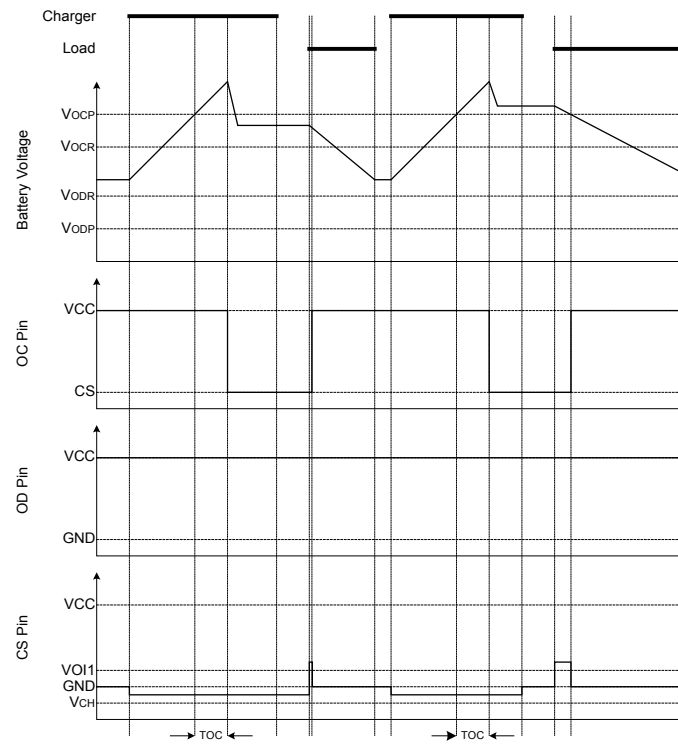
To suppress the ripple and disturbance from charger, connecting R1 and C1 to VCC is recommended.

3. Protection the CS pin

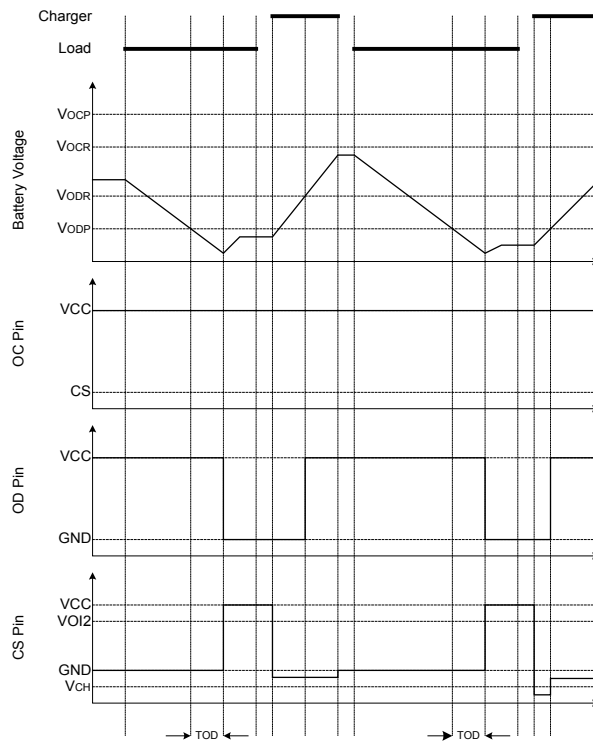
R2 is used for latch-up protection when charger is connected under overdischarge condition and overstress protection at reverse connecting of a charger.

Timing Diagram

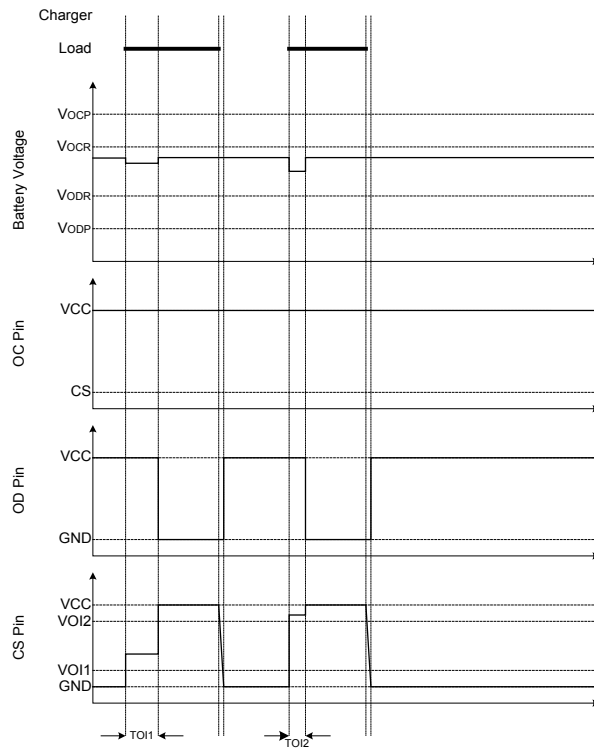
1. Overcharge Condition → Load Discharging → Normal Condition



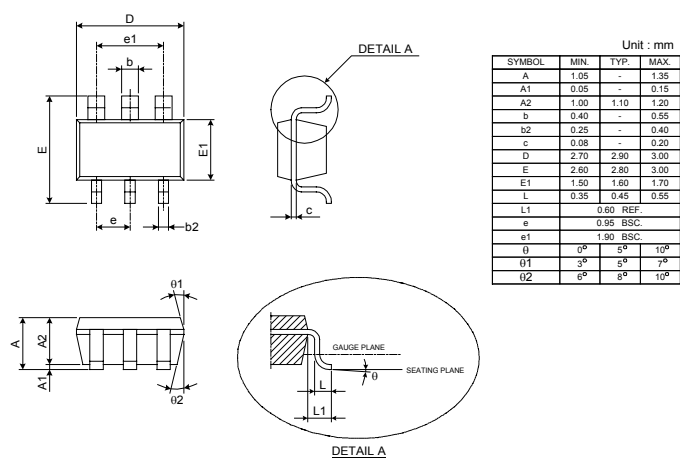
2. Overdischarge Condition → Charging by a Charger → Normal Condition



3. Over Current Condition → Normal Condition



Package Outline



ANEXO C – DATASHEET XL6009

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter**Features**

- Wide 5V to 32V Input Voltage Range
- Positive or Negative Output Voltage Programming with a Single Feedback Pin
- Current Mode Control Provides Excellent Transient Response
- 1.25V reference adjustable version
- Fixed 400KHz Switching Frequency
- Maximum 4A Switching Current
- SW PIN Built in Over Voltage Protection
- Excellent line and load regulation
- EN PIN TTL shutdown capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency up to 94%
- Built in Frequency Compensation
- Built in Soft-Start Function
- Built in Thermal Shutdown Function
- Built in Current Limit Function
- Available in TO263-5L package

General Description

The XL6009 regulator is a wide input range, current mode, DC/DC converter which is capable of generating either positive or negative output voltages. It can be configured as either a boost, flyback, SEPIC or inverting converter. The XL6009 built in N-channel power MOSFET and fixed frequency oscillator, current-mode architecture results in stable operation over a wide range of supply and output voltages.

The XL6009 regulator is special design for portable electronic equipment applications.

Applications

- EPC / Notebook Car Adapter
- Automotive and Industrial Boost / Buck-Boost / Inverting Converters
- Portable Electronic Equipment

**TO263-5L**

Figure1. Package Type of XL6009

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Pin Configurations

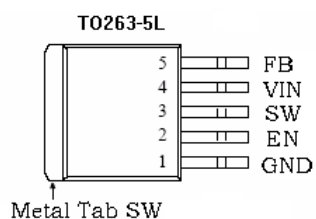


Figure2. Pin Configuration of XL6009 (Top View)

Table 1 Pin Description

Pin Number	Pin Name	Description
1	GND	Ground Pin.
2	EN	Enable Pin. Drive EN pin low to turn off the device, drive it high to turn it on. Floating is default high.
3	SW	Power Switch Output Pin (SW).
4	VIN	Supply Voltage Input Pin. XL6009 operates from a 5V to 32V DC voltage. Bypass Vin to GND with a suitably large capacitor to eliminate noise on the input.
5	FB	Feedback Pin (FB). Through an external resistor divider network, FB senses the output voltage and regulates it. The feedback threshold voltage is 1.25V.

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Function Block

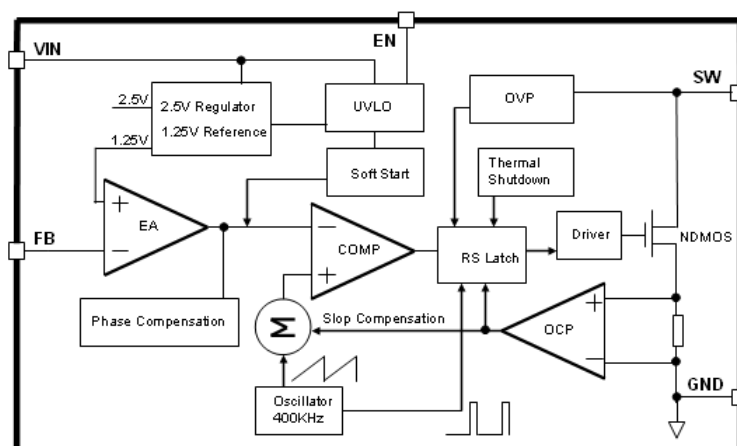


Figure3. Function Block Diagram of XL6009

Typical Application Circuit

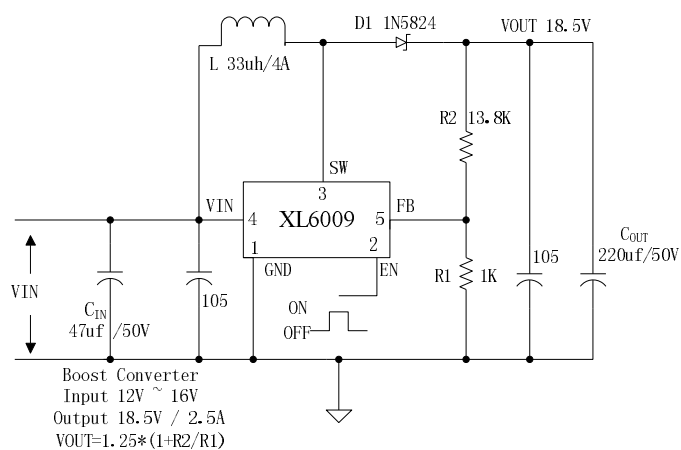


Figure4. XL6009 Typical Application Circuit (Boost Converter)

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Ordering Information

Package	Temperature Range	Part Number	Marking ID	Packing Type
		Lead Free	Lead Free	
		XL6009E1	XL6009E1	Tube
		XL6009TRE1	XL6009E1	Tape & Reel

XLSEMI Pb-free products, as designated with “E1” suffix in the par number, are RoHS compliant.

Absolute Maximum Ratings (Note1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V _{in}	-0.3 to 36	V
Feedback Pin Voltage	V _{FB}	-0.3 to V _{in}	V
EN Pin Voltage	V _{EN}	-0.3 to V _{in}	V
Output Switch Pin Voltage	V _{Output}	-0.3 to 60	V
Power Dissipation	P _D	Internally limited	mW
Thermal Resistance (TO263-5L) (Junction to Ambient, No Heatsink, Free Air)	R _{JA}	30	°C/W
Operating Junction Temperature	T _J	-40 to 125	°C
Storage Temperature	T _{STG}	-65 to 150	°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	T _{LEAD}	260	°C
ESD (HBM)		>2000	V

Note1: Stresses greater than those listed under Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

XL6009 Electrical Characteristics

$T_a = 25^\circ\text{C}$; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
<i>System parameters test circuit figure4</i>						
VFB	Feedback Voltage	$V_{in} = 12\text{V}$ to 16V , $V_{out}=18\text{V}$ $I_{load}=0.1\text{A}$ to 2A	1.213	1.25	1.287	V
Efficiency	η	$V_{in}=12\text{V}$, $V_{out}=18.5\text{V}$ $I_{out}=2\text{A}$	-	92	-	%

Electrical Characteristics (DC Parameters)

$V_{in} = 12\text{V}$, $GND=0\text{V}$, V_{in} & GND parallel connect a $220\mu\text{f}/50\text{V}$ capacitor; $I_{out}=0.5\text{A}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$; the others floating unless otherwise specified.

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	V_{in}		5		32	V
Shutdown Supply Current	I_{STBY}	$V_{EN}=0\text{V}$		70	100	μA
Quiescent Supply Current	I_q	$V_{EN} = 2\text{V}$, $V_{FB} = V_{in}$		2.5	5	mA
Oscillator Frequency	Fosc		320	400	480	Khz
Switch Current Limit	I_L	$V_{FB} = 0$		4		A
Output Power NMOS	R_{dson}	$V_{in}=12\text{V}$, $I_{sw}=4\text{A}$		110	120	mohm
EN Pin Threshold	V_{EN}	High (Regulator ON) Low (Regulator OFF)		1.4 0.8		V
EN Pin Input Leakage Current	I_H	$V_{EN} = 2\text{V}$ (ON)		3	10	μA
	I_L	$V_{EN} = 0\text{V}$ (OFF)		3	10	μA
Max. Duty Cycle	D_{MAX}	$V_{FB}=0\text{V}$		90		%

Schottky Diode Selection Table

Current	Surface Mount	Through Hole	VR (The same as system maximum input voltage)				
			20V	30V	40V	50V	60V
1A		✓	1N5817	1N5818	1N5819		
3A		✓	1N5820	1N5821	1N5822		
		✓	MBR320	MBR330	MBR340	MBR350	MBR360
	✓		SK32	SK33	SK34	SK35	SK36
	✓			30WQ03	30WQ04	30WQ05	
		✓		31DQ03	31DQ04	31DQ05	
		✓	SR302	SR303	SR304	SR305	SR306
5A		✓	1N5823	1N5824	1N5825		
		✓	SR502	SR503	SR504	SR505	SR506
		✓	SB520	SB530	SB540	SB550	SB560
	✓			50WQ03	50WQ04	50WQ05	

Typical System Application for EPC/Notebook Car Adapter – Boost (Output 18.5V/2.5A)

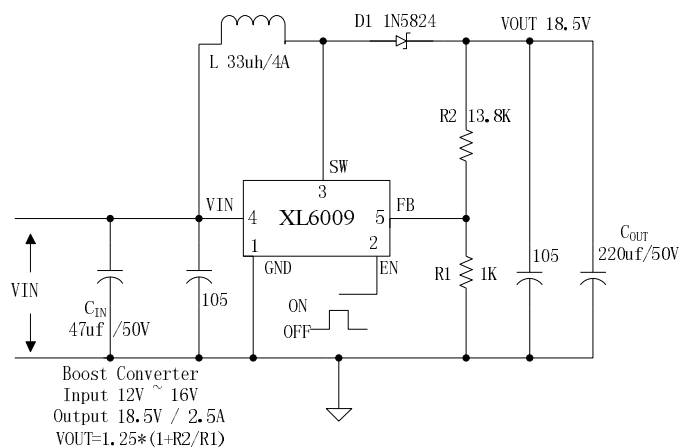


Figure5. XL6009 Typical System Application (Boost Converter)

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Typical System Application for Portable Notebook Car Adapter
– SEPIC Buck-Boost Topology (Input 10V~30V, Output 12V/2A)

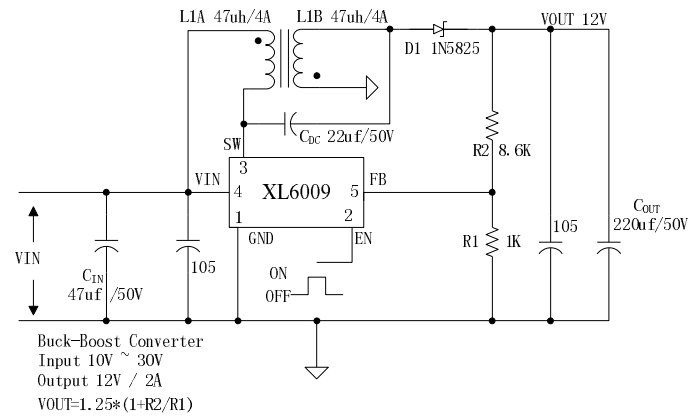


Figure6. XL6009 Typical System Application (SEPIC Buck-Boost Converter)

Typical System Application for Inverting Converter
– SEPIC Inverting Topology (Input 10V~30V, Output + -12V/1A)

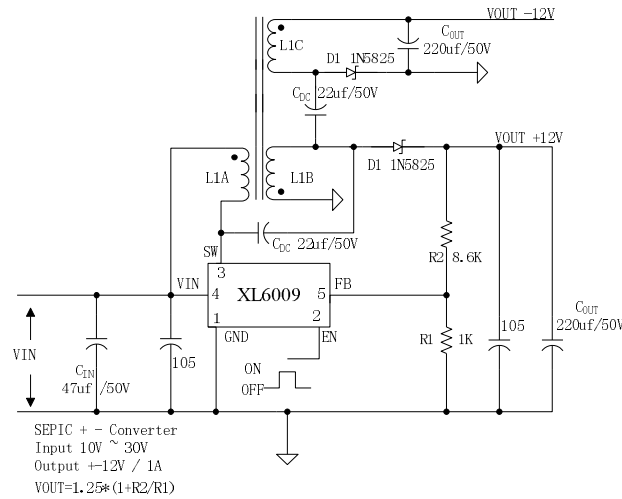
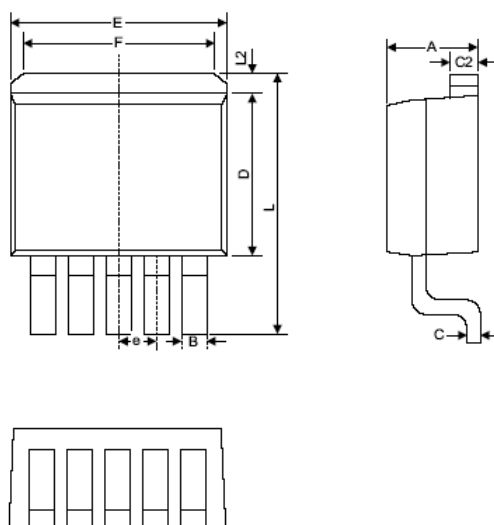


Figure7. XL6009 Typical System Application (SEPIC Inverting Converter)

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Package Information

TO263-5L



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A	4.440	4.650	0.175	0.183
B	0.710	0.970	0.028	0.038
C	0.360	0.640	0.014	0.025
C2	1.255	1.285	0.049	0.051
D	8.390	8.890	0.330	0.350
E	9.960	10.360	0.392	0.408
e	1.550	1.850	0.061	0.073
F	6.360	7.360	0.250	0.290
L	13.950	14.750	0.549	0.581
L2	1.120	1.420	0.044	0.056