

4

Capítulo

Especificação de Semicondutores e Cálculo Térmico

Meta deste capítulo

Introduzir o cálculo térmico e a especificação de semicondutores de potência.

objetivos

- Dimensionar semicondutores de potência;
- Realizar a especificação e escolha de semicondutores;
- Estudar cálculo térmico para semicondutores;
- Identificar os principais fabricantes de semicondutores.

Pré-requisitos

Ter estudado os capítulos referentes aos Semicondutores de Potência.

Continuidade

O curso continuará com o estudo de circuitos retificadores.

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, agosto de 2013 (revisado em março de 2020).

1 Introdução

Nos capítulos anteriores foram estudados os principais componentes semicondutores empregados em eletrônica de potência. Para que estes componentes operem corretamente, muitas vezes precisa-se montar os mesmos em dissipadores de calor. O projeto e escolha do dissipador adequado é uma tarefa muito importante ao profissional da eletrônica, em específico aquele ligado à eletrônica de potência.

Além disso, o dimensionamento e escolha do componente adequado para cada aplicação é uma tarefa muitas vezes onerosa e que pode ter grandes implicações no custo do produto, além de interferir diretamente nos aspectos técnicos do projeto.

As consequências de um projeto incorreto ou escolha infeliz de componentes pode ser observada na Figura 1. Daí sua importância para o profissional da área de eletrônica.

Assim, este capítulo visa instrumentalizar o aluno para realizar o cálculo térmico e fazer a escolha do dissipador adequado, para cada semicondutor especificado segundo critérios técnicos e econômicos.

É importante ressaltar desde já que a escolha de componentes eletrônicos para serem empregados nos mais diversos circuitos envolve muitos aspectos, dentre eles: técnicos, econômicos, de disponibilidade no mercado, mecânicos, etc. Portanto, dominar estes diversos aspectos para se realizar uma escolha adequada exige tempo e experiência, que o profissional irá obter ao longo dos anos, após diversos projetos e acúmulo de conhecimentos.



Figura 1 – Placa de um circuito eletrônico danificada.

Fonte: <http://pt.dreamstime.com>. Acesso em: 27/08/2013.

2 Dimensionamento e Especificação de Semicondutores

Dimensionamento e especificação são atividades distintas. Dimensionar significa determinar todas as grandezas necessárias referentes ao componente em estudo, enquanto especificar significa enumerar uma lista de características (especificações) desejadas para em seguida se fazer a escolha do componente propriamente dito.

Em outras palavras, o desenvolvimento de um projeto segue as etapas básicas, que são:

1. Proposição de um circuito para realizar as funções desejadas;
2. Realizar estudos por simulação, empregando componentes ideais;
3. Projetar o circuito;
4. Realizar estudos por simulação, empregando modelos de componentes reais;
5. Levantar as variáveis importantes para escolha dos componentes;
6. Especificar (escolher) os componentes;
7. Realizar novas simulações, com os componentes escolhidos;
8. Adquirir os componentes;
9. Desenhar a placa de circuito impresso;
10. Montar os circuitos;
11. Realizar os testes de laboratório;
12. Implementar melhorias e ajustes necessários;
13. Documentar o projeto.

Assim, nota-se que a fase de escolha de componentes ocorre após se ter certeza, por meio de simulação, que o circuito proposto funciona adequadamente na realização da tarefa para a qual está sendo projetado. Note que após o projeto (cálculos) do circuito, já se tem ideia de que componentes podem atender aos requisitos da aplicação.

A seguir serão realizados três dimensionamentos e especificações de semicondutores de potência fictícios, uma para diodos, outra para transistores bipolares de junção e finalmente uma para transistores de efeito de campo.

2.1 Dimensionamento e Especificação de Diodos

O circuito da Figura 2 emprega um diodo com a finalidade de impedir a circulação de corrente da bateria para o conversor cc-cc. Considere que:

- Tensão da bateria – $V_{\text{bat}} = 24 \text{ V}$;
- Corrente da bateria – $I_{\text{bat}} = 50 \text{ A}$;

- Bateria de chumbo-ácido;
- Tecnologia do conversor cc-cc – chaveado com filtro de saída.

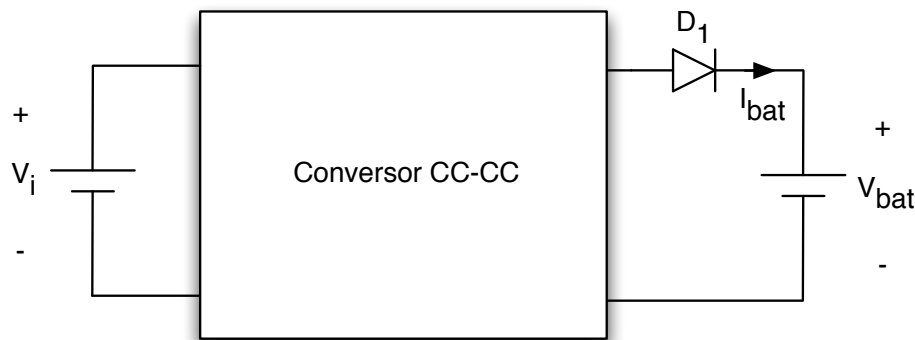


Figura 2 – Circuito empregando diodos.

Este circuito opera em corrente contínua, ou seja, a corrente na bateria, que é a corrente que o diodo irá conduzir, é filtrada, visto se afirmar que o conversor é chaveado, mas apresenta filtro de saída. Assim, o diodo poderá ser de recuperação padrão.

A tensão de operação do circuito é da ordem de 24 V e a corrente nominal da bateria é de 50 A. No entanto, para baterias de chumbo-ácido, a corrente de carga é tipicamente limitada a 20% da capacidade nominal da bateria, ficando então em 10 A. Assim, o diodo não precisa ser escolhido para 50 A, mas sim para 10 A.

A partir das informações acima, pode se listar as seguintes características para o diodo:

- Recuperação padrão;
- Tensão reversa – $V_{RRM} > 24 \text{ V}$;
- Corrente direta – $I_F > 10 \text{ A}$.

É sempre interessante se deixar uma boa margem de folga, algo em torno de 20% ou mais. Então:

- Tensão reversa – $V_{RRM} > 24 \cdot 1,2 \approx 30 \text{ V}$;
- Corrente direta – $I_F > 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ A}$.

A partir destas informações pode-se consultar o sítio de algum fabricante, visando escolher um modelo de diodo que atenda as especificações listadas. Consultando fabricantes como On Semiconductor (<http://www.onsemi.com>) ou Fairchild Semiconductor (<http://www.fairchildsemi.com>) pode-se escolher um modelo que atenda as especificações acima.

Por outro lado, é mais interessante consultar algum sítio de venda de semicondutores, pois aí pode-se consultar mais fabricantes e escolher inclusive levando em conta o preço do componente. Um revendedor no Brasil bastante conhecido é a Farnell

(<http://www.farnellnewark.com.br>). Digitando “diodo 15 A” no campo de procura, aparecem diversos diodos na lista de resultados, dentre eles o 1N4148 que é para 150 mA. Já em um vendedor internacional, como a Mouser (<http://br.mouser.com>) por exemplo, o mecanismo de busca é mais interessante, permitindo selecionar faixas, modelos, características, fabricantes, dentre outros parâmetros desejados na busca.

Assim, utilizando este endereço para localizar o componente desejado, escolheu-se o modelo FEPB16ATHE3/81 de 16 A e 50 V da Vishay Semiconductors. Nesta faixa de corrente (>12 A) não foi possível escolher um diodo de recuperação padrão, sendo escolhido um de recuperação rápida. As informações do componente escolhido estão mostradas nas Figura 3 e Figura 4. É importante notar que este diodo é para 8 A, tendo dois elementos no mesmo encapsulamento, o que levaria a uma conexão em paralelo para a necessidade deste exemplo.

FEP(F,B)16AT thru FEP(F,B)16JT

Vishay General Semiconductor



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _C = 25 °C unless otherwise noted)												
PARAMETER	TEST CONDITIONS		SYMBOL	FEP 16AT	FEP 16BT	FEP 16CT	FEP 16DT	FEP 16FT	FEP 16GT	FEP 16HT	FEP 16JT	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage per diode (1)	8.0 A		V _F	0.95				1.30		1.50		V
Maximum DC reverse current per diode at rated DC blocking voltage		T _C = 25 °C T _C = 100 °C	I _R	10 500								μA
Maximum reverse recovery time per diode	I _F = 0.5 A, I _R = 1.0 A, I _{rr} = 0.25 A		t _{rr}	35				50				ns
Typical junction capacitance per diode	4.0 V, 1 MHz		C _J	85						60		pF

Note:

(1) Pulse test: 300 μs pulse width, 1 % duty cycle

THERMAL CHARACTERISTICS (T _C = 25 °C unless otherwise noted)					
PARAMETER	SYMBOL	FEP	FEPF	FEPB	UNIT
Typical thermal resistance from junction to case per diode	R _{θJC}	2.2	3.1	2.2	°C/W

ORDERING INFORMATION (Example)					
PACKAGE	PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
TO-220AB	FEP16JT-E3/45	1.85	45	50/tube	Tube
ITO-220AB	FEPF16JT-E3/45	1.97	45	50/tube	Tube
TO-263AB	FEPB16JT-E3/45	1.35	45	50/tube	Tube
TO-263AB	FEPB16JT-E3/81	1.35	81	800/reel	Tape and reel
TO-220AB	FEP16JT-E3/45 ⁽¹⁾	1.85	45	50/tube	Tube
ITO-220AB	FEPF16JT-E3/45 ⁽¹⁾	1.97	45	50/tube	Tube
TO-263AB	FEPB16JT-E3/45 ⁽¹⁾	1.35	45	50/tube	Tube
TO-263AB	FEPB16JT-E3/81 ⁽¹⁾	1.35	81	800/reel	Tape and reel

Figura 3 – Características elétricas do diodo FEPB16ATHE3/81.

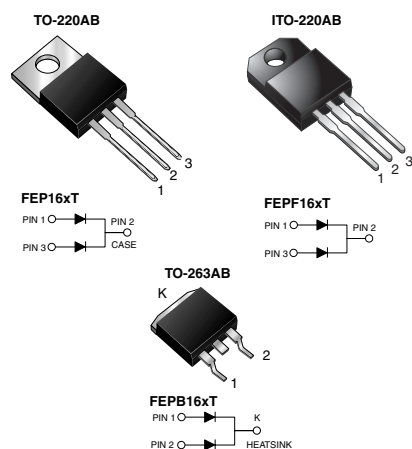
Fonte: <http://www.mouser.com/ds/2/427/88596-98063.pdf>. Acesso em: 27/08/2013.



FEP(F,B)16AT thru FEP(F,B)16JT

Vishay General Semiconductor

Dual Common-Cathode Ultrafast Plastic Rectifier



FEATURES

- Glass passivated chip junction
- Ultrafast recovery time
- Low switching losses, high efficiency
- High forward surge capability
- AEC Q101 qualified
- Meets MSL level 1, per J-STD-020, LF maximum peak of 245 °C (for TO-263AB package)
- Solder dip 260 °C, 40 s (for TO-220AB and ITO-220AB package)
- Component in accordance to RoHS 2002/95/EC and WEEE 2002/96/EC

RoHS
COMPLIANT

TYPICAL APPLICATIONS

For use in high frequency rectifier of switching mode power supplies, inverters, freewheeling diodes, dc-to-dc converters, and other power switching application.

MECHANICAL DATA

Case: TO-220AB, ITO-220AB, TO-263AB

Epoxy meets UL 94V-0 flammability rating

Terminals: Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD22-B102

E3 suffix for consumer grade, meets JESD 201 class 1A whisker test, HE3 suffix for high reliability grade (AEC Q101 qualified), meets JESD 201 class 2 whisker test

Polarity: As marked

Mounting Torque: 10 in-lbs maximum

PRIMARY CHARACTERISTICS

$I_{F(AV)}$	8.0 A x 2
V_{RRM}	50 V to 600 V
I_{FSM}	200 A, 125 A
t_{rr}	35 ns, 50 ns
V_F	0.95 V, 1.30 V, 1.50 V
$T_J \text{ max.}$	150 °C

MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25$ °C unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	FEP 16AT	FEP 16BT	FEP 16CT	FEP 16DT	FEP 16FT	FEP 16GT	FEP 16HT	FEP 16JT	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V _{RRM}	50	100	150	200	300	400	500	600	V
Maximum RMS voltage	V _{RMS}	35	70	105	140	210	280	350	420	V
Maximum DC blocking voltage	V _{DC}	50	100	150	200	300	400	500	600	V
Maximum average forward rectified current at T _C = 100 °C	I _{F(AV)}	16								A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load per diode	I _{FSM}	200				125				A
Operating storage and temperature range	T _J , T _{STG}	- 55 to +150								°C
Isolation voltage (ITO-220AB only) from terminal to heatsink t = 1 min	V _{AC}	1500								V

Figura 4 – Características elétricas do diodo FEPB16ATHE3/81 - Continuação.

Fonte: <http://www.mouser.com/ds/2/427/88596-98063.pdf>. Acesso em: 27/08/2013.

2.2 Dimensionamento e Especificação de BJT

O circuito da Figura 5 emprega um transistor bipolar de junção sendo utilizado para o acionamento de um motor de corrente contínua. Considere que:

- Tensão de entrada – $V_i = 12$ V;
- Tensão nominal do motor – $V_M = 12$ V;
- Potência do motor – $P_M = 48$ W;

- Acionamento do motor por tensão contínua (transistor opera na região linear);
- Transistor acionado por microcontrolador.

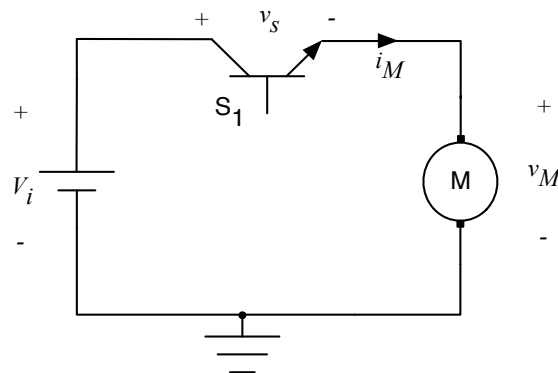


Figura 5 – Circuito empregando transistor bipolar de junção.

Conforme foi explicitado acima, o transistor opera na região linear, onde pela sua corrente de base varia-se a corrente de coletor e conseqüentemente a velocidade do motor.

A corrente nominal do motor pode ser determinada por:

$$I_M = \frac{P_M}{V_M} = \frac{48}{12} = 4 \text{ A}.$$

O transistor terá que suportar a tensão de entrada, pois se o mesmo estiver no corte, sua tensão entre coletor e emissor será igual a V_i .

Assim, as principais características do transistor devem ser:

- Tensão entre coletor e emissor – $V_{CE} > 12 \text{ V}$;
- Corrente de coletor – $I_C > 4 \text{ A}$.

Considerando a folga de 20%:

- Tensão entre coletor e emissor – $V_{CE} > 1,2 \cdot 12 \approx 15 \text{ V}$;
- Corrente de coletor – $I_C > 1,2 \cdot 4 \approx 5 \text{ A}$.

Como se pretende acionar o transistor por meio de um microcontrolador e sabe-se que este tem baixa capacidade de corrente nos seus terminais, então pode-se buscar um transistor com alto ganho (*Darlington*). Na falta deste componente, seria necessário implementar um circuito de um amplificador de corrente para ser conectado entre o microcontrolador e o transistor de potência (S_1).

Consultando novamente o sítio de um vendedor internacional de semicondutores, selecionou-se o transistor 2N6387 da On Semiconductor. Este transistor NPN e para 10 A e 60 V.

Note que sendo um transistor do tipo *Darlington* (alto ganho), a corrente de base será em torno de 4 mA, o que poderá ser fornecido pelo microcontrolador. Neste cálculo usou-se o ganho mínimo fornecido pelo fabricante, que é o pior caso.

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{4}{1000} = 4 \text{ mA}.$$

Observe ainda na folha de dados, que a tensão entre coletor e emissor quando o transistor estiver saturado é de 2 V, consideravelmente alta, visto tratar-se de um transistor de potência.

2N6387, 2N6388

Plastic Medium-Power Silicon Transistors

These devices are designed for general-purpose amplifier and low-speed switching applications.

Features

- High DC Current Gain – $h_{FE} = 2500$ (Typ) @ $I_C = 4.0$ Adc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage – @ 100 mAdc
 $V_{CE(sus)} = 60$ Vdc (Min) – 2N6387
 $= 80$ Vdc (Min) – 2N6388
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage –
 $V_{CE(sat)} = 2.0$ Vdc (Max) @ I_C
 $= 5.0$ Adc – 2N6387, 2N6388
- Monolithic Construction with Built-In Base-Emitter Shunt Resistors
- TO-220AB Compact Package
- Pb-Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60 80	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60 80	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous – Peak	I_C	10 15	Adc
Base Current	I_B	250	mAdc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52	W W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016	W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction, Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C/W}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Indicates JEDEC Registered Data.

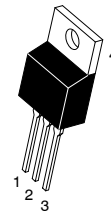


ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

DARLINGTON NPN SILICON POWER TRANSISTORS 8 AND 10 AMPERES 65 WATTS, 60 – 80 VOLTS

MARKING DIAGRAM



TO-220AB
CASE 221A
STYLE 1



2N638x = Device Code
x = 7 or 8

G = Pb-Free Package
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
2N6387	TO-220AB	50 Units / Rail
2N6387G	TO-220AB (Pb-Free)	50 Units / Rail
2N6388	TO-220AB	50 Units / Rail
2N6388G	TO-220AB (Pb-Free)	50 Units / Rail

Figura 6 – Características elétricas do transistor 2N6387.

Fonte: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/2N6667-D.PDF. Acesso em: 27/08/2013.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Note 2)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 3) ($I_C = 200\text{ mA}$, $I_B = 0$)	2N6387 2N6388 $V_{CE(sus)}$	60 80	– –	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 80\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	2N6387 2N6388 I_{CEO}	– –	1.0 1.0	mA
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB(off)} = 1.5\text{ Vdc}$) ($V_{CE} = 80\text{ Vdc}$, $V_{EB(off)} = 1.5\text{ Vdc}$) ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB(off)} = 1.5\text{ Vdc}$, $T_C = 125^\circ\text{C}$) ($V_{CE} = 80\text{ Vdc}$, $V_{EB(off)} = 1.5\text{ Vdc}$, $T_C = 125^\circ\text{C}$)	2N6387 2N6388 2N6387 2N6388 I_{CEX}	– – – –	300 300 3.0 3.0	μA mA
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	–	5.0	mA
ON CHARACTERISTICS (Note 3)				
DC Current Gain ($I_C = 5.0\text{ A}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 1.0\text{ A}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	2N6387, 2N6388 2N6387, 2N6388 h_{FE}	1000 100	20,000 –	–
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 5.0\text{ A}$, $I_B = 0.01\text{ A}$) ($I_C = 1.0\text{ A}$, $I_B = 0.1\text{ A}$)	2N6387, 2N6388 2N6387, 2N6388 $V_{CE(sat)}$	– –	2.0 3.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 5.0\text{ A}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 1.0\text{ A}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	2N6387, 2N6388 2N6387, 2N6388 $V_{BE(on)}$	– –	2.8 4.5	Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS				
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ A}$, $V_{CE} = 5.0\text{ Vdc}$, $f_{test} = 1.0\text{ MHz}$)	$ h_{fe} $	20	–	–
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ob}	–	200	pF
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ A}$, $V_{CE} = 5.0\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{fe}	1000	–	–

2. Indicates JEDEC Registered Data.

3. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

Figura 7 – Características elétricas do transistor 2N6387 - Continuação.

Fonte: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/2N6667-D.PDF. Acesso em: 27/08/2013.

2.3 Dimensionamento e Especificação de MOSFET

É comum o uso de transistores bipolares de junção ou de efeito de campo para acionamento de motores, em conversores ponte completa, popularmente conhecidos como ponte H, como está mostrado na Figura 8. Leve em conta que:

- Tensão de entrada – $V_i = 12\text{ V}$;
- Tensão nominal do motor – $V_M = 12\text{ V}$;
- Potência do motor – $P_M = 48\text{ W}$;
- Acionamento do motor com modulação por largura de pulsos (PWM).

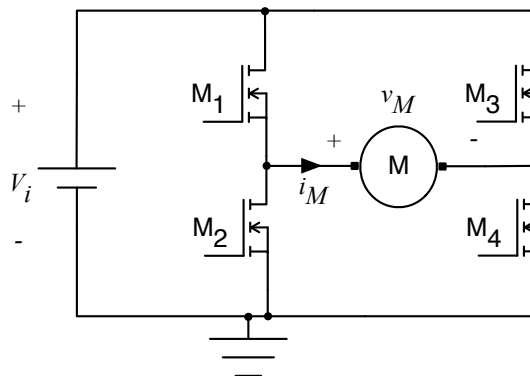


Figura 8 – Circuito empregando MOSFET.

O circuito da Figura 8 permite o acionamento do motor de corrente contínua em dois sentidos de giro, quando convenientemente fechados os transistores M_1 e M_4 e M_2 e M_3 . Além disso, controlando o tempo de condução do par de transistores (M_1 e M_4 ou M_2 e M_3) pode-se controlar a tensão média que chega ao motor e consequentemente sua velocidade. Veja que neste caso os transistores estão operando como chave, ou seja, conduzindo ou não conduzindo. Esta frequência de comutação terá que ser determinada pelo circuito de comando dos transistores, isto é, o circuito que fará o acionamento dos mesmos.

A corrente nominal do motor pode ser determinada por:

$$I_M = \frac{P_M}{V_M} = \frac{48}{12} = 4 \text{ A}.$$

O transistor terá que suportar a tensão de entrada, pois se o mesmo estiver no corte, sua tensão entre dreno e *source* será igual a V_i .

Assim, as principais características do transistor devem ser:

- Tensão entre dreno e *source* – $V_{DS} > 12 \text{ V}$;
- Corrente de dreno – $I_D > 4 \text{ A}$.

Considerando a folga de 20%:

- Tensão entre dreno e *source* – $V_{DS} > 1,2 \cdot 12 \approx 15 \text{ V}$;
- Corrente de dreno – $I_D > 1,2 \cdot 4 \approx 5 \text{ A}$.

Consultando o sítio de algum revendedor de semicondutores, pode-se determinar o MOSFET canal N modelo IRLHS6242TR2PBF da IR (International Rectifier). As informações deste componente estão mostradas nas Figura 10 e Figura 11.

Observe que o encapsulamento deste MOSFET é do tipo PQFN (*Power Quad Flat No-Lead*) com tamanho bastante reduzido. Neste tipo de encapsulamento não é possível a montagem de dissipador, sendo que o terminal de dreno, desde que possua uma trilha suficientemente larga na placa de circuito impresso, fará o papel de dissipação de calor, como mostra a Figura 9.

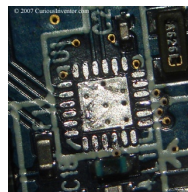


Figura 9 – Dissipação de calor no encapsulamento PQFN.

Fonte: <http://store.curiousinventor.com>. Acesso em: 27/08/2013.

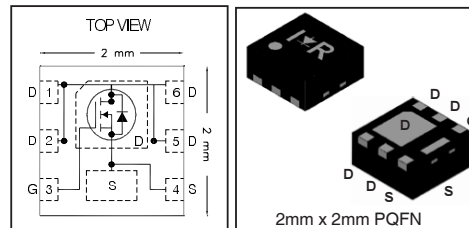
International
IR Rectifier

PD - 97582B

IRLHS6242PbF

HEXFET® Power MOSFET

V_{DS}	20	V
V_{GS}	±12	V
$R_{DS(on) \text{ max}}$ (@ $V_{GS} = 4.5V$)	11.7	mΩ
$R_{DS(on) \text{ max}}$ (@ $V_{GS} = 2.5V$)	15.5	mΩ
I_D (@ $T_{C(Bottom)} = 25^\circ C$)	12②	A



Applications

- Charge and discharge switch for battery application
- System/Load Switch

Features and Benefits

Features

Low $R_{DS(on)}$ ($\leq 11.7m\Omega$)
Low Thermal Resistance to PCB ($\leq 13^\circ C/W$)
Low Profile ($\leq 1.0mm$)
Industry-Standard Pinout
Compatible with Existing Surface Mount Techniques
RoHS Compliant Containing no Lead, no Bromide and no Halogen

results in

⇒

Resulting Benefits

Lower Conduction Losses
Enable better thermal dissipation
Increased Power Density
Multi-Vendor Compatibility
Easier Manufacturing
Environmentally Friendlier

Orderable part number	Package Type	Standard Pack		Note
		Form	Quantity	
IRLHS6242TRPBF	PQFN 2mm x 2mm	Tape and Reel	4000	
IRLHS6242TR2PBF	PQFN 2mm x 2mm	Tape and Reel	400	

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
V_{DS}	Drain-to-Source Voltage	20	V
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±12	
I_D @ $T_A = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 4.5V	10	A
I_D @ $T_A = 70^\circ C$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 4.5V	8.3	
I_D @ $T_{C(Bottom)} = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 4.5V ②	22②	
I_D @ $T_{C(Bottom)} = 70^\circ C$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 4.5V ②	18②	
I_D @ $T_{C(Bottom)} = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 4.5V (Package Limited)	12②	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	88	
P_D @ $T_A = 25^\circ C$	Power Dissipation ③	1.98	W
P_D @ $T_{C(Bottom)} = 25^\circ C$	Power Dissipation ③	9.6	
	Linear Derating Factor ③	0.016	W/°C
T_J	Operating Junction and	-55 to + 150	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		

Figura 10 – Características elétricas do transistor IRLHS6242TR2PBF.

Fonte: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irlhs6242pbf.pdf>. Acesso em: 27/08/2013.

Static @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
BV_{DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	20	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta BV_{DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	6.8	—	mV/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	9.4	11.7	m Ω	$V_{GS} = 4.5V, I_D = 8.5A$ ③②
		—	12.4	15.5	m Ω	$V_{GS} = 2.5V, I_D = 8.5A$ ③②
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	0.5	0.8	1.1	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 10\mu A$
$\Delta V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage Coefficient	—	-4.2	—	mV/°C	
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	1.0	μA	$V_{DS} = 16V, V_{GS} = 0V$
		—	—	150	μA	$V_{DS} = 16V, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 12V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -12V$
g_{fs}	Forward Transconductance	36	—	—	S	$V_{DS} = 10V, I_D = 8.5A$ ②
Q_g	Total Gate Charge ⑥	—	14	—	nC	$V_{DS} = 10V$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge ⑥	—	1.5	—	nC	$V_{GS} = 4.5V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain Charge ⑥	—	6.3	—	nC	$I_D = 8.5A$ ② (See Fig.17 & 18)
R_G	Gate Resistance	—	2.1	—	Ω	
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	5.8	—	ns	$V_{DD} = 10V, V_{GS} = 4.5V$ ③
t_r	Rise Time	—	15	—	ns	$I_D = 8.5A$ ②
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	19	—	ns	$R_G = 1.8\Omega$
t_f	Fall Time	—	13	—	ns	See Fig.15
C_{iss}	Input Capacitance	—	1110	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	260	—	pF	$V_{DS} = 10V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	180	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$

Diode Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	22	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	88	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.2	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 8.5A$ ②, $V_{GS} = 0V$ ③
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	15	23	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 8.5A$ ②, $V_{DD} = 10V$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	12	18	nC	$di/dt = 210A/\mu s$ ③
t_{on}	Forward Turn-On Time	Time is dominated by parasitic inductance				

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$ (Bottom)	Junction-to-Case ⑤	—	13	°C/W
$R_{\theta JC}$ (Top)	Junction-to-Case ⑤	—	94	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ④	—	63	
$R_{\theta JA}$ (<10s)	Junction-to-Ambient ④	—	46	

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature.
- ② Package is limited to 12A by die-source to lead-frame bonding technology.
- ③ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ④ When mounted on 1 inch square copper board.
- ⑤ R_θ is measured at T_J of approximately 90°C .
- ⑥ For DESIGN AID ONLY, not subject to production testing.
- ⑦ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature.

Figura 11 – Características elétricas do transistor IRLHS6242TR2PBF - Continuação.

Fonte: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irlhs6242pbf.pdf>. Acesso em: 27/08/2013.

3 Cálculo Térmico

O cálculo térmico consiste em determinar a elevação de temperatura que ocorre do ambiente até a junção do semicondutor, utilizando para tal um modelo térmico, como será visto a seguir.

Ainda neste capítulo serão apresentados alguns exemplos para explicitar como se determina o dissipador necessário em aplicações específicas. Será apresentada uma metodologia de projeto e exemplos de dissipadores comerciais serão explorados. Ao final, exercícios resolvidos e propostos, além de roteiro de laboratório serão também apresentados.

3.1 Modelo Térmico para Semicondutores

A escolha do dissipador é realizada utilizando um modelo térmico simplificado para se determinar a resistência térmica entre a junção do semicondutor e o ambiente, conforme é mostrado na Figura 12.

Neste circuito elétrico equivalente se tem:

- T_j = temperatura na junção ($^{\circ}\text{C}$);
- T_c = temperatura na cápsula ($^{\circ}\text{C}$);
- T_d = temperatura no dissipador ($^{\circ}\text{C}$);
- T_a = temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$);
- R_{jc} = resistência térmica entre junção e cápsula ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);
- R_{cd} = resistência térmica entre cápsula e dissipador ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);
- R_{da} = resistência térmica entre dissipador e ambiente ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);
- P = potência dissipada no componente (W).

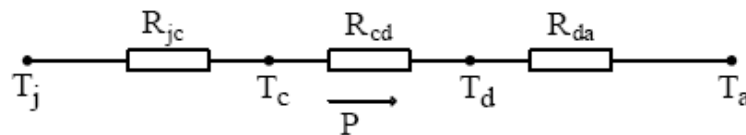


Figura 12 – Modelo térmico de um semicondutor.

Fonte: (Barbi, 2005).

É importante ressaltar que as resistências da Figura 12 são térmicas e não ôhmicas, como as que são utilizadas em circuitos elétricos.

A potência dissipada sobre o componente irá provocar um aumento de temperatura, dado por:

$$T_j - T_a = P \cdot R_{ja}.$$

Note que a temperatura na junção será maior do que a temperatura ambiente.

Já a resistência térmica total entre a junção e o ambiente será:

$$R_{ja} = R_{jc} + R_{cd} + R_{da}.$$

Assim, a resistência térmica máxima entre junção e ambiente, para dadas condições de operação do semicondutor, pode ser determinada por:

$$R_{ja(\max)} = \frac{T_j - T_a}{P}$$

3.2 Exemplos de Escolha de Dissipador

O primeiro passo para escolha do dissipador é verificar a real necessidade de se usar dissipador. Lembre que alguns encapsulamentos de componentes, por exemplo o DO-41 utilizado nos diodos da série 1N4001 até 1N4007 não é construído para ser fixado em dissipador.

A seguir serão realizados dois exemplos, um em que não será necessário utilizar dissipador e outro em que será preciso determinar o dissipador.

Exemplo 1: Considere um circuito de corrente contínua no qual um diodo 1N4001 está sendo percorrido por uma corrente de 0,9 A. A temperatura ambiente é de 40 °C. Deve-se verificar a necessidade ou não de usar dissipador.

Inicialmente precisa-se determinar as perdas no componente. Considerando as perdas por condução e a queda de tensão direta do diodo, a partir da folha de dados, se tem:

$$V_F = 1,1V ;$$

$$P_D = V_F \cdot I_F = 1,1 \cdot 0,9 = 0,99W .$$

Sabe-se que o encapsulamento do diodo 1N4001, mostrado na Figura 13, não permite usar dissipador. Assim, precisa-se verificar se nas condições dadas no problema o componente irá funcionar adequadamente.

Assim, pode-se proceder de duas formas:

1. Calcular a temperatura na junção e comparar com o limite suportado pelo componente;
2. Determinar a resistência térmica máxima entre junção e ambiente e comparar com o valor da folha de dados.

A temperatura na junção do diodo 1N4001, em função das condições de operação do circuito e com a resistência térmica entre junção e ambiente obtida da folha de dados será:

$$R_{ja} = 50 ^\circ C ;$$

$$T_j = T_a + P \cdot R_{ja} = 40 + 0,99 \cdot 50 = 89,5 ^\circ C .$$

Como esta temperatura é menor do que 175 °C, que é o valor máximo suportado pelo componente, então se conclui que não será necessário utilizar dissipador.

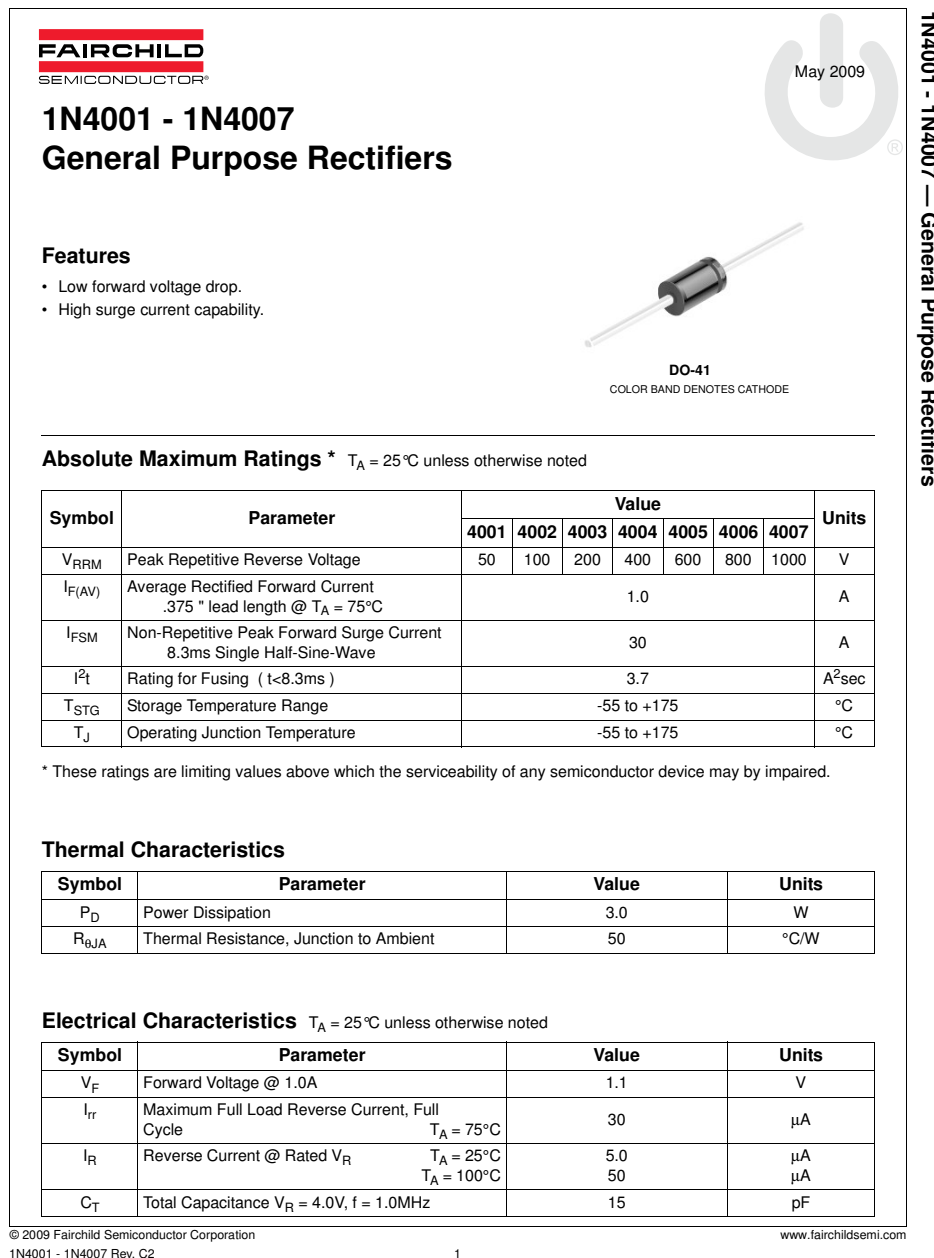


Figura 13 – Características elétricas dos diodos da série 1N4001 até 1N4007.

Fonte: <https://www.fairchildsemi.com/ds/1N/1N4003.pdf>. Acesso em: 20/08/2013.

A outra maneira de verificar a necessidade ou não de dissipador é realizada calculando-se a máxima resistência térmica entre junção e ambiente:

$$R_{ja(\max)} = \frac{T_j - T_a}{P} = \frac{175 - 40}{0,99} = 136,36^\circ\text{C} / \text{W}.$$

Como este valor é maior do que a resistência de 20°C/W dada na folha de dados, então não será necessário utilizar dissipador.

Exemplo 2: Considere um transistor bipolar de junção modelo TIP31, conduzindo permanentemente e pelo qual circula uma corrente de 2,5 A. Se a temperatura ambiente for de 50

°C, determine se há necessidade de usar dissipador ou não. Se for necessário o emprego de dissipador, determine o mesmo.

Novamente inicia-se pelo cálculo das perdas no transistor. Como o mesmo está em condução permanente, então tem-se apenas perdas de condução, dadas por:

$$V_{CE(sat)} = 1,2V;$$

$$P_T = V_{CE(sat)} \cdot I_C = 1,2 \cdot 2,5 = 3W.$$

BOURNS®

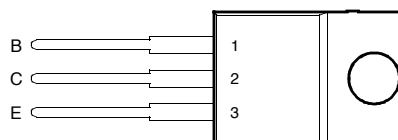
TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C
NPN SILICON POWER TRANSISTORS

- Designed for Complementary Use with the TIP32 Series
- 40 W at 25°C Case Temperature
- 3 A Continuous Collector Current
- 5 A Peak Collector Current
- Customer-Specified Selections Available



This series is currently available, but not recommended for new designs.

TO-220 PACKAGE
(TOP VIEW)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MDTRACA

absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

RATING		SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-base voltage ($I_E = 0$)	TIP31	V_{CBO}	80	V
	TIP31A		100	
	TIP31B		120	
	TIP31C		140	
Collector-emitter voltage ($I_B = 0$)	TIP31	V_{CEO}	40	V
	TIP31A		60	
	TIP31B		80	
	TIP31C		100	
Emitter-base voltage		V_{EBO}	5	V
Continuous collector current		I_C	3	A
Peak collector current (see Note 1)		I_{CM}	5	A
Continuous base current		I_B	1	A
Continuous device dissipation at (or below) 25°C case temperature (see Note 2)		P_{tot}	40	W
Continuous device dissipation at (or below) 25°C free air temperature (see Note 3)		P_{tot}	2	W
Unclamped inductive load energy (see Note 4)		$\frac{1}{2}LI_C^2$	32	mJ
Operating junction temperature range		T_J	-65 to +150	°C
Storage temperature range		T_{stg}	-65 to +150	°C
Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds		T_L	250	°C

NOTES: 1. This value applies for $t_p \leq 0.3$ ms, duty cycle $\leq 10\%$.

2. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 0.32 W/°C.

3. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 16 mW/°C.

4. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of: $L = 20$ mH, $I_{B(on)} = 0.4$ A, $R_{BE} = 100 \Omega$, $V_{BE(off)} = 0$, $R_S = 0.1 \Omega$, $V_{CC} = 20$ V.

Figura 14 – Características elétricas do transistor TIP31.

Fonte: <http://www.bourns.com/pdfs/tip31.pdf>. Acesso em: 27/08/2013.

TIP31, TIP31A, TIP31B, TIP31C
NPB SILICON POWER TRANSISTORS
BOURNS®
electrical characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$ Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = 30 \text{ mA}$ (see Note 5)	$I_B = 0$	TIP31 TIP31A TIP31B TIP31C	40 60 80 100			V
I_{CES} Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = 80 \text{ V}$ $V_{CE} = 100 \text{ V}$ $V_{CE} = 120 \text{ V}$ $V_{CE} = 140 \text{ V}$	$V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$	TIP31 TIP31A TIP31B TIP31C			0.2 0.2 0.2 0.2	mA
I_{CEO} Collector cut-off current	$V_{CE} = 30 \text{ V}$ $V_{CE} = 60 \text{ V}$	$I_B = 0$ $I_B = 0$	TIP31/31A TIP31B/31C			0.3 0.3	mA
I_{EBO} Emitter cut-off current	$V_{EB} = 5 \text{ V}$	$I_C = 0$				1	mA
h_{FE} Forward current transfer ratio	$V_{CE} = 4 \text{ V}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$	$I_C = 1 \text{ A}$ $I_C = 3 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)	25 10		50	
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	$I_B = 375 \text{ mA}$	$I_C = 3 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)			1.2	V
V_{BE} Base-emitter voltage	$V_{CE} = 4 \text{ V}$	$I_C = 3 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)			1.8	V
h_{fe} Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}$	$I_C = 0.5 \text{ A}$	$f = 1 \text{ kHz}$	20			
$ h_{fe} $ Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}$	$I_C = 0.5 \text{ A}$	$f = 1 \text{ MHz}$	3			

 NOTES: 5. These parameters must be measured using pulse techniques, $t_p = 300 \mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.

6. These parameters must be measured using voltage-sensing contacts, separate from the current carrying contacts.

thermal characteristics

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$ Junction to case thermal resistance			3.125	°C/W
$R_{\theta JA}$ Junction to free air thermal resistance			62.5	°C/W

resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS †			MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{on} Turn-on time	$I_C = 1 \text{ A}$	$I_{B(on)} = 0.1 \text{ A}$	$I_{B(off)} = -0.1 \text{ A}$		0.5		μs
t_{off} Turn-off time	$V_{BE(off)} = -4.3 \text{ V}$	$R_L = 30 \Omega$	$t_p = 20 \mu\text{s}$, dc $\leq 2\%$		2		μs

† Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters.

Figura 15 – Características elétricas do transistor TIP31 - Continuação.

 Fonte: <http://www.bourns.com/pdfs/tip31.pdf>. Acesso em: 27/08/2013.

A seguir pode-se calcular a temperatura na junção, para verificar a necessidade de dissipador ou não:

$$T_j = T_a + P_T \cdot R_{ja} = 40 + 3 \cdot 62,5 = 227,5^\circ\text{C}.$$

A temperatura suportada pelo transistor é de 150°C , portanto será necessário empregar dissipador.

A máxima resistência térmica entre junção e ambiente será:

$$R_{ja(max)} = \frac{T_j - T_a}{P_T} = \frac{150 - 40}{3} = 36,67^\circ\text{C/W}.$$

Portanto, considerando que a resistência térmica entre cápsula e dissipador é da ordem de 1°C/W quando se emprega mica ou pasta térmica, se tem:

$$R_{jc} = 3,125^{\circ}\text{C} / \text{W} ;$$

$$R_{da} = R_{ja(\text{max})} - R_{jc} - R_{cd} = 36,67 - 3,125 - 1 = 32,54^{\circ}\text{C} / \text{W} .$$

Agora basta consultar um catálogo de dissipadores para fazer a escolha adequada. Consultando, por exemplo, o fabricante HS Dissipadores (<http://www.hsdissipadores.com.br>), pode-se especificar o modelo HS 3512, que tem uma resistência térmica de 8,35 °C/W para 10 cm de altura, mostrado na Figura 16.

Note que a resistência térmica do dissipador escolhido é bem inferior ao necessário. Assim, pode reduzir o comprimento (altura) do dissipador, visto que o fabricante o especifica para 10 cm.

O fator de correção será:

$$FC = \frac{R_{da(\text{calculada})}}{R_{da(\text{dissipador})}} = \frac{32,54}{8,35} = 3,9 .$$

A redução do comprimento do dissipador não é linear com a variação da resistência térmica. Assim, deve-se consultar o catálogo do fabricante, que especifica por meio de uma tabela a relação entre a resistência térmica e o fator de redução do comprimento do dissipador, como está mostrado na Figura 17.

Assim, verifica-se na tabela que poderia ser utilizado um dissipador com altura de 10 mm, ou seja, 1 cm. Cabe ressaltar que precisa ser prevista a altura necessária para a montagem do transistor, por isso 1 cm pode ser pouco, sendo mais prudente escolher 2 cm ou mais.

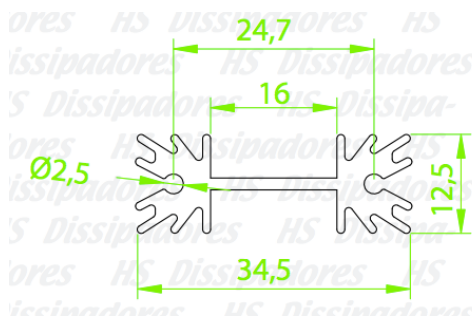


Figura 16 – Dissipador escolhido.

Fonte: <http://www.hsdissipadores.com.br>.

Acesso em: 27/08/2013.

comprimento	fator de correção
10 mm	3,05
20 mm	2,21
30 mm	1,82
40 mm	1,59
50 mm	1,43
70 mm	1,22
100 mm	1,04
150 mm	0,86
200 mm	0,75
250 mm	0,67
300 mm	0,62
400 mm	0,54
500 mm	0,49

Figura 17 – Fator de redução do comprimento do dissipador.

Fonte: <http://www.hsdissipadores.com.br>.

Acesso em: 27/08/2013.

Em algumas situações, principalmente quando se tem apenas um semicondutor processando altas potências, pode ser mais interessante utilizar ventilação forçada ao invés de grandes volumes de alumínio em dissipadores.

A retirada de calor do componente, quando se utiliza ventilação forçada, é mais eficaz do que empregar dissipadores apenas. Na Figura 18 mostra-se um exemplo de conversor de alta potência empregando dissipador e ventilação forçada (ventiladores específicos).

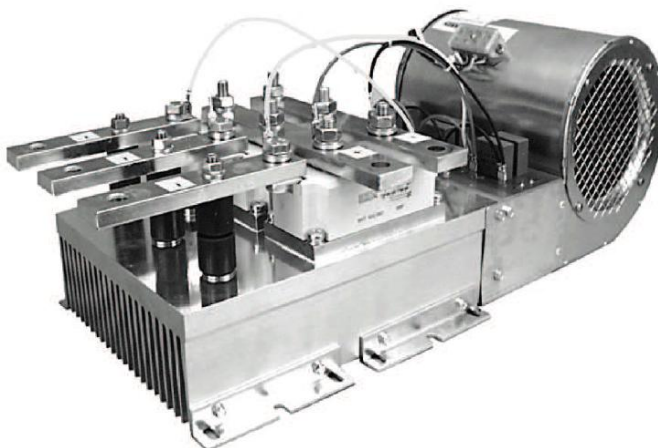


Figura 18 – Conversor de potência com ventilação forçada.

Fonte: <http://www.powerguru.org>. Acesso em: 27/08/2013.

3.3 Montagem do Semicondutor no Dissipador

A fixação do semicondutor no dissipador é tão importante quanto a escolha adequada do dissipador. Uma boa fixação, proporcionando um bom contato mecânico e consequente condução térmica é essencial para a eficaz retirada do calor da junção do semicondutor.

Para auxiliar na transferência do calor da cápsula (corpo) do semicondutor para o dissipador pode-se utilizar pasta térmica, fornecida em potes ou bisnagas, como mostrado na Figura 19.

Em muitas situações é necessário isolar o componente do dissipador, seja para evitar o risco de choque elétrico ou para evitar a conexão entre vários componentes, quando se utiliza um mesmo dissipador para mais que um semicondutor. Para esta tarefa pode ser utilizado um isolante cerâmico (mica) ou a base de fibra. O primeiro é rígido e o segundo é flexível. Nas Figura 20 e Figura 21 mostram-se exemplos de ambos os isolantes.



Figura 19 – Pasta térmica para semicondutores.



Figura 20 – Isolante cerâmico (mica).

Fonte: <http://www.ashevillemica.com>.

Acesso em: 27/08/2013.

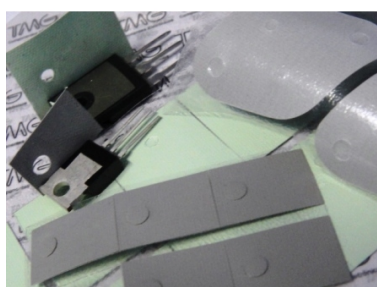


Figura 21 – Isolante flexível (fibra).

Fonte: <http://www.tmgeletronica.com.br>. Acesso em: 27/08/2013.

A sequência da montagem do componente no dissipador é mostrada na Figura 22. Note que o cuidado para não ocorrer conexão elétrica entre o componente e o dissipador é importante para a segurança do usuário e o correto funcionamento do circuito. Deve-se tomar cuidado para não perfurar ou quebrar o isolante (fibra ou mica).

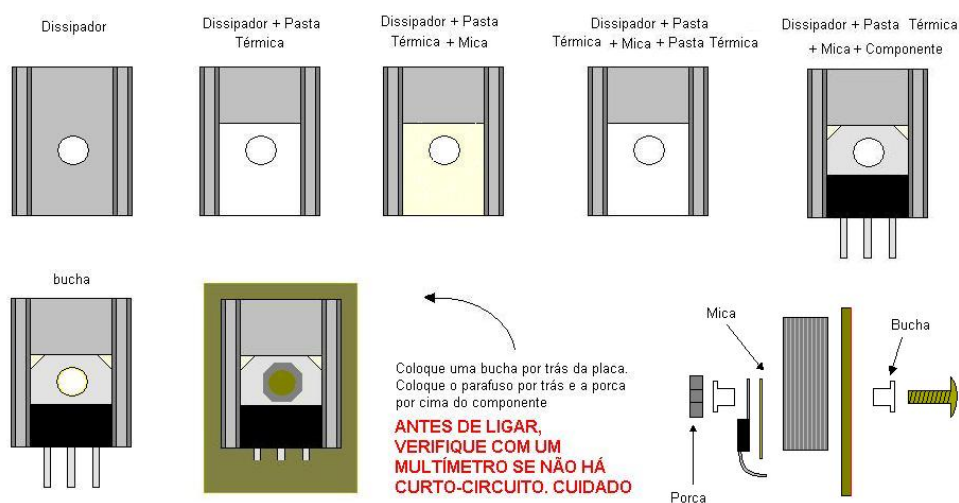


Figura 22 – Montagem do transistor no dissipador.

Fonte: <http://www.htforum.com>. Acesso em: 27/08/2013.

4 Exercícios

Exercícios Resolvidos

ER 01) Considerando o exemplo de dimensionamento e especificação de diodos, apresentado anteriormente, e que a temperatura ambiente é de 40 °C, determine:

- A potência dissipada no diodo;
- A temperatura na junção sem uso de dissipador;
- A necessidade de usar dissipador;
- O dissipador escolhido, caso seja necessário.

Lembre que naquela situação o diodo estava conduzindo uma corrente de 10 A e o modelo escolhido foi o FEPB16ATHE3/81 de 16 A e 50 V da Vishay Semiconductors. Os parâmetros necessários são:

- Queda de tensão direta – $V_F = 0,95 \text{ V}$;
- Temperatura máxima na junção – $T_j = 150 \text{ °C}$;
- Resistência térmica entre junção e cápsula – $R_{jc} = 3,1 \text{ °C/W}$ para o encapsulamento FEPF.

A perda no diodo em condução é dada por:

$$P_D = V_D \cdot I_D = V_F \cdot I_F = 0,95 \cdot 10 = 9,5 \text{ W}.$$

Note que o fabricante não fornece a resistência térmica entre junção e ambiente. Assim, deve utilizar um valor típico para diodos com encapsulamento TO-220, por exemplo, que é da ordem de 73 °C/W, obtida da folha de dados do diodo MUR1510.

Assim, a temperatura na junção, sem uso de dissipador será:

$$T_j = T_a + P_D \cdot R_{ja} = 40 + 9,5 \cdot 73 = 733,5 \text{ °C}.$$

Conclui-se ser necessário usar dissipador.

Determinando a máxima resistência entre junção e ambiente:

$$R_{ja(\max)} = \frac{T_j - T_a}{P_D} = \frac{150 - 40}{9,5} = 11,6 \text{ °C}.$$

Pode-se então determinar a resistência térmica do dissipador:

$$R_{da} = R_{ja(\max)} - R_{jc} - R_{cd} = 11,6 - 3,1 - 1 = 7,5 \text{ °C / W}.$$

Consultando um catálogo de dissipadores, por exemplo do fabricante HS Dissipadores, escolhe-se o modelo HS 3030 que tem uma resistência térmica entre dissipador e ambiente de 5,72 °C/W com 10 cm de altura, mostrado na Figura 23.

Pode-se corrigir o comprimento (altura) do dissipador, aplicando a tabela de correção da Figura 17, resultando em um comprimento final de aproximadamente 6 cm.

$$FC = \frac{R_{da(calculada)}}{R_{da(dissipador)}} = \frac{7,5}{5,72} = 1,3.$$

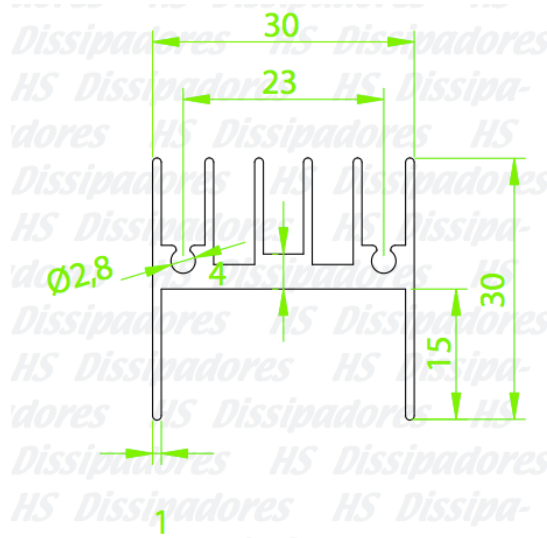


Figura 23 – Dissipador escolhido.

Fonte: <http://www.hsdissipadores.com.br>. Acesso em: 28/08/2013.

ER 02) Considerando o exemplo de dimensionamento e especificação de transistor bipolar de junção, apresentado anteriormente, e que a temperatura ambiente é de 40 °C, determine:

- A potência dissipada no transistor;
- A temperatura na junção sem uso de dissipador;
- A necessidade de usar dissipador;
- O dissipador escolhido, caso seja necessário.

Lembre que naquela situação o transistor estava conduzindo uma corrente de 4 A e o modelo escolhido foi o 2N6387 da On Semiconductor, que é NPN para 10 A e 60 V. Os parâmetros necessários são:

- Queda de tensão entre coletor e emissor – $V_{CE(sat)} = 2$ V;
- Temperatura máxima na junção – $T_j = 150$ °C;
- Resistência térmica entre junção e ambiente – $R_{ja} = 62,5$ °C/W;
- Resistência térmica entre junção e cápsula – $R_{jc} = 1,92$ °C/W.

A perda de condução no transistor será:

$$P_T = V_{CE(sat)} \cdot I_C = 2 \cdot 4 = 8 \text{ W}.$$

Assim, a temperatura na junção, sem uso de dissipador será:

$$T_j = T_a + P_D \cdot R_{ja} = 40 + 8 \cdot 62,5 = 540^\circ \text{C}.$$

Conclui-se que é preciso usar dissipador.

Determinando a máxima resistência entre junção e ambiente:

$$R_{ja(\max)} = \frac{T_j - T_a}{P_D} = \frac{150 - 40}{8} = 13,75^\circ \text{C}.$$

Pode-se então determinar a resistência térmica do dissipador:

$$R_{da} = R_{ja(\max)} - R_{jc} - R_{cd} = 13,75 - 1,92 - 1 = 10,83^\circ \text{C} / \text{W}.$$

Consultando um catálogo de dissipadores, por exemplo do fabricante HS Dissipadores, escolhe-se o modelo HS 2315 que tem uma resistência térmica entre dissipador e ambiente de 10,2 °C/W com 10 cm de altura, mostrado na Figura 24. Neste caso, em função da proximidade dos valores entre a resistência térmica calculada e do dissipador escolhido, não será necessário aplicar o fator de correção, ficando o dissipador final com 10 cm de comprimento.

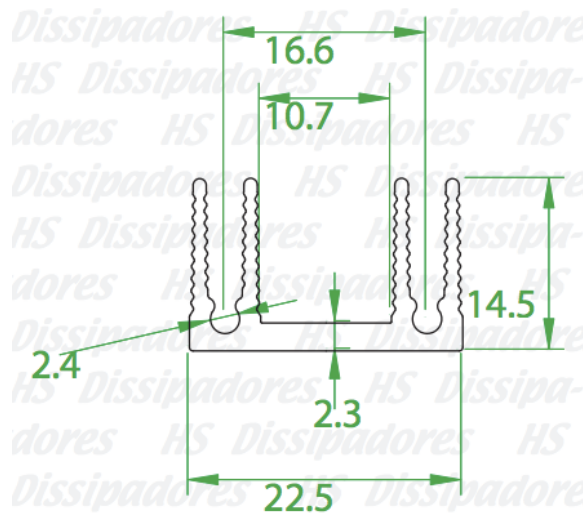


Figura 24 – Dissipador escolhido.

Fonte: <http://www.hsdissipadores.com.br>. Acesso em: 28/08/2013.

ER 03) Considerando o exemplo de dimensionamento e especificação de transistor de efeito de campo, apresentado anteriormente, e que a temperatura ambiente é de 40 °C, determine:

- A potência dissipada no transistor;
- A temperatura na junção sem uso de dissipador;
- A necessidade de usar dissipador;
- O dissipador escolhido, caso seja necessário.

Lembre que naquela situação o transistor estava conduzindo uma corrente de 4 A e o modelo escolhido foi o IRLHS6242TR2PBF da IR (International Rectifier), que é de canal N para 12 A e 20 V. Os parâmetros necessários são:

- Resistência entre dreno e *source* – $R_{DS(on)} = 11,7 \text{ m}\Omega$;
- Temperatura máxima na junção – $T_j = 150 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Resistência térmica entre junção e ambiente – $R_{ja} = 63 \text{ }^\circ\text{C/W}$;
- Resistência térmica entre junção e cápsula – $R_{jc} = 13 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Note que os parâmetros térmicos (resistências) são diferentes na parte inferior e superior, visto que na parte inferior se tem o contato com a solda, o que diminui a resistência térmica. Observe a Figura 25.

A perda de condução no transistor será:

$$P_T = R_{DS(on)} \cdot I_D^2 = 11,7 \text{ m} \cdot 4^2 = 187,2 \text{ mW}.$$

Assim, a temperatura na junção, sem uso de dissipador será:

$$T_j = T_a + P_D \cdot R_{ja} = 40 + 187,2 \text{ m} \cdot 63 = 51,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Conclui-se que não é preciso usar dissipador.

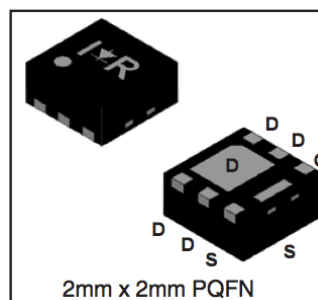


Figura 25 – Encapsulamento do transistor IRLHS6242TR2PBF.

Fonte: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irlhs6242pbf.pdf>. Acesso em: 28/08/2013.

Exercícios Propostos

EP 01) Sejam os circuitos da Figura 26, considerando que a tensão da fonte é de 15 V. O resistor R_1 tem resistência de $10\ \Omega$. Os transistores são, respectivamente: TIP41, IRF740 e IRG4BC20W. Com base nas informações da folha de dados do fabricante, determine:

- As perdas nos transistores;
- A necessidade de usar dissipador;
- O dissipador escolhido, caso seja necessário.

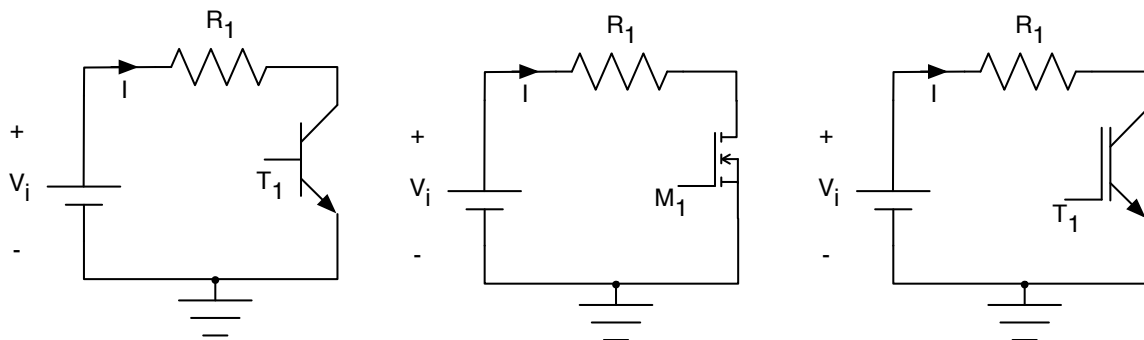


Figura 26 – Circuito para exercício proposto 01.

EP 02) Seja o circuito da Figura 27, considerando que a tensão da fonte é de 12 V. O resistor R_1 tem resistência de $10\ \Omega$. O diodo é o 1N5400. Com base nas informações da folha de dados do fabricante, determine:

- A energia dissipada no diodo D_1 ;
- A necessidade de usar dissipador;
- O dissipador escolhido, caso seja necessário.

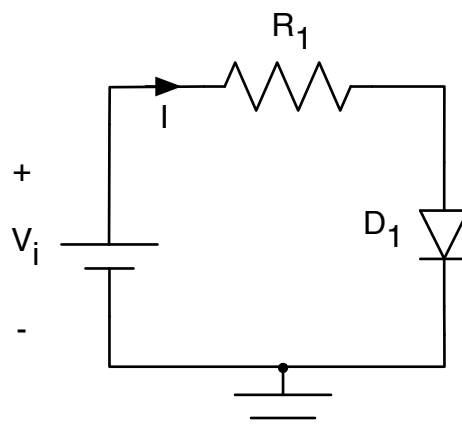


Figura 27 – Circuito para exercício proposto 02.

EP 03) Considere o circuito da Figura 28, e que a tensão da fonte seja de 24 V. Os resistores são: $R_1 = 10\ \text{k}\Omega$, $R_2 = 2,2\ \text{k}\Omega$ e $R_3 = 15\ \Omega$. O LED é de potência, com tensão direta de 2 V e corrente

direta de 600 mA. As informações do tiristor TIC106 são fornecidas na folha de dados, a ser consultada pela internet.

- A energia dissipada no tiristor T_1 ;
- A necessidade de usar dissipador;
- O dissipador escolhido, caso seja necessário.

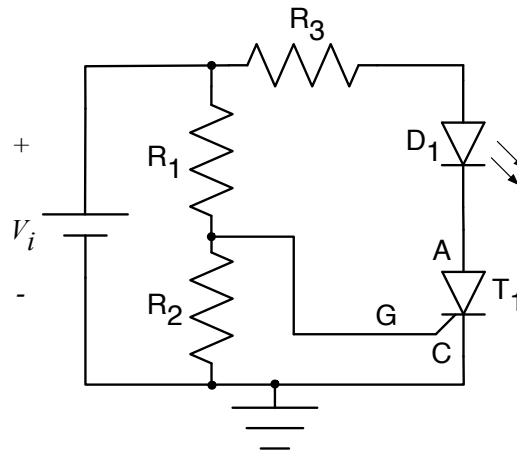


Figura 28 – Circuito para exercício proposto 03.

EP 04) Repita o exercício proposto 01 (EP 01) considerando uma tensão de alimentação de 24 V.

EP 05) Repita o exercício proposto 02 (EP 02) considerando uma tensão de alimentação de 24 V.

EP 06) Repita o exercício proposto 03 (EP 03) considerando uma tensão de alimentação de 24 V.

EP 07) Considere o exercício proposto 01 (EP 01), escolha outros modelos de transistores e que atendam as necessidades do problema.

EP 08) Considere o exercício proposto 02 (EP 02), escolha outro modelo de diodo, conforme as necessidades do problema.

EP 08) Considere o exercício proposto 03 (EP 03), escolha outro modelo de tiristor, conforme as necessidades do problema.

EP 09) Consulte a folha de dados do diodo FEPB16ATHE3/81, conforme as Figura 3 e Figura 4, e comente a respeito dos diferentes tipos de encapsulamentos, quanto a resistência térmica. Note que há os encapsulamentos TO-220AB, ITO-220AB e TO-263AB.

EP 10) Em que situações é interessante usar ventilação forçada?

EP 11) Repita os exemplos de dimensionamento e especificação de semicondutores (diodos, BJT e MOSFET) apresentados neste capítulo, escolhendo componentes pelo seu custo.

EP 12) Qual a finalidade de se usar pasta térmica?

EP 13) Qual a finalidade de se usar mica?

5 Laboratório

5.1 Introdução

Esta atividade de laboratório tem por objetivo exercitar o conteúdo estudado nesta aula (capítulo), especificamente sobre dimensionamento e especificação de semicondutores e cálculo térmico.

Em síntese, objetiva-se:

- Identificar características de semicondutores de potência;
- Implementar circuitos com semicondutores de potência;
- Avaliar o funcionamento térmico dos semicondutores de potência;
- Analisar os resultados obtidos e concluir a respeito.

5.2 Circuito para Implementação

Obtenha na internet a folha de dados do transistor IRF740.

A seguir, verifique se o MOSFET está em boas condições, utilizando o multímetro.

Em continuação, implemente o circuito mostrado na Figura 29, objetivando fazer o transistor operar na região de saturação.

Os elementos do circuito da Figura 29 são:

- $V_i = 15\text{ V}$;
- $R_1 = 100\ \Omega$;
- $R_2 = 10\text{ k}\Omega$;
- $R_D = 10\ \Omega$;
- $T_1 = \text{IRF740}$.

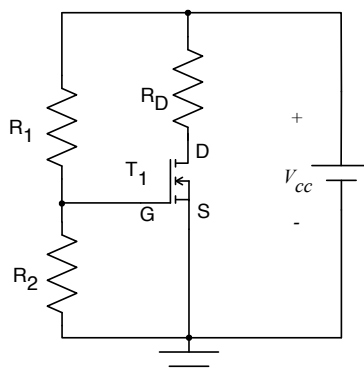


Figura 29 – Circuito para teste térmico de transistores.

Meça tensão entre gatilho e *source* (V_{GS}) para verificar se o transistor está polarizado corretamente. A seguir, meça a tensão entre dreno e *source* (V_{DS}) para comprovar que o transistor esteja conduzindo corretamente.

5.3 Ensaio Térmico

Inicialmente deixe o transistor sem dissipador. Meça a temperatura ambiente e anote seu valor:

$T_a =$ _____.

Meça a temperatura na cápsula (corpo) do transistor, anotando os valores na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores da temperatura no corpo do transistor, operando sem dissipador.

Tempo [min]	T [°C]
0,0	
2,0	
4,0	
6,0	
8,0	
10,0	

A seguir, adicione um dissipador ao MOSFET e meça novamente as temperaturas, anotando os valores na Tabela 2. É interessante utilizar outro MOSFET, não o que foi utilizado no ensaio anterior, pois o mesmo estará aquecido, interferindo nos resultados deste ensaio.

Tabela 2 – Valores da temperatura no corpo do transistor, operando com dissipador.

Tempo [min]	T [°C]
0,0	
2,0	
4,0	
6,0	
8,0	
10,0	

5.4 Análise dos Resultados

Compare os valores de temperatura obtidos nas Tabela 1 e Tabela 2.

Determine as perdas no MOSFET.

Calcule a temperatura na junção sem uso de dissipador.

Determine a temperatura na cápsula do MOSFET sem uso de dissipador.

Determine a temperatura na cápsula do MOSFET com o uso de dissipador.

Com este ensaio é possível obter a resistência térmica entre dissipador e ambiente?

6 Referências

- [1] BARBI, I. Eletrônica de potência. Florianópolis: Edição do Autor, 2005.
- [2] AHMED, A. Eletrônica de potência. São Paulo: Prentice Hall, 2000.
- [3] MELLO, J. L. A. Projetos de fontes chaveadas. São Paulo: Érica, 1987.
- [4] MOHAN, N. Power Electronic Converters, Application and Design. New York: IE-Wilwy, 2003.
- [5] PRESSMAN, A. I. Switching Power Supply Design. New York: McGraw Hill, 1998.
- [6] BARBI, Ivo. Projeto de Fontes Chaveadas. 2ª Edição Revisada, Florianópolis, 2006.
- [7] ERICKSON, Robert W. Fundamentals of Power Electronics. New York, EUA – Chapman & Hall, 1997.
- [8] POMILIO, J. A. Notas de aula de Eletrônica de Potência – Graduação. São Paulo, SP – UNICAMP, 2013.