

Aula 04 – Transistores de potência

Parte 3 - Circuito de acionamento



Prof. Heverton Augusto Pereira
heverton.pereira@ufv.br



Limitações de di/dt e dv/dt

- Durante a entrada em condução, a corrente de coletor sobe, e a di/dt é

$$\frac{di}{dt} = \frac{I_L}{t_r} = \frac{I_{cs}}{t_r}$$

- Durante o desligamento, a tensão coletor-emissor deve subir em relação à queda da corrente de coletor, e a dv/dt é

$$\frac{dv}{dt} = \frac{V_s}{t_f} = \frac{V_{cs}}{t_f}$$

Limitações de di/dt e dv/dt

- O circuito RLC é, em geral, criticamente amortecido a fim de evitar oscilações.
- Para um amortecimento crítico unitário, $d = 1$,

$$R_s = 2\sqrt{\frac{L_s}{C_s}}$$

- Um tempo de descarga de um terço do período de chaveamento T_s é geralmente adequado.

$$3R_s C_s = T_s = \frac{1}{f_s}$$

- Ou

$$R_s = \frac{1}{3f_s C_s}$$

Operação em série e em paralelo

- Os transistores podem operar em série para aumentar a capacidade de tensão.
- Os transistores são conectados em paralelo para poder lidar com a demanda de corrente.

Paralleling

PT IGBTs are more difficult

- ♣ Sorting is required for good current sharing
 - Recommend sort $V_{CE(on)}$ at nominal test current to within 0.1V
 - Part-to-part variation in $V_{CE(on)}$ is wider because of
 - p+ substrate and epi
 - Minority carrier lifetime control
- ♣ Negative temperature coefficient of $V_{CE(on)}$ (secondary issue)
 - PT IGBTs can be paralleled if *sorted* and they *share heat*
 - Can avoid paralleling by using single large die size PT IGBT

NPT and Field Stop IGBTs are easy

- ♣ Good current sharing due to narrow part-to-part distribution of $V_{CE(on)}$
 - Tight parameter distribution simplifies or eliminates sorting requirement
- ♣ Positive temperature coefficient of $V_{CE(on)}$
 - Inherent thermal stability
- ♣ Parallel similar to MOSFETs

Circuito de acionamento de MOSFET

- Primeiramente vamos entender as características de um MOSFET real.



R6015FNX

Nch 600V 15A Power MOSFET

Datasheet

V_{DSS}	600V
$R_{DS(on)}(Max.)$	0.35Ω
I_D	±15A
P_D	50W

●Features

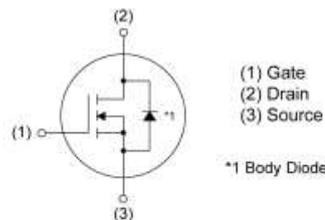
- 1) Low on-resistance.
- 2) Fast switching speed.
- 3) Gate-source voltage (V_{GSS}) guaranteed to be ±30V.
- 4) Drive circuits can be simple.
- 5) Parallel use is easy.
- 6) Pb-free lead plating ; RoHS compliant

●Outline

TO-220FM



●Inner circuit



●Packaging specifications

Circuito de acionamento de MOSFET

- Primeiramente vamos entender as características de um MOSFET real.

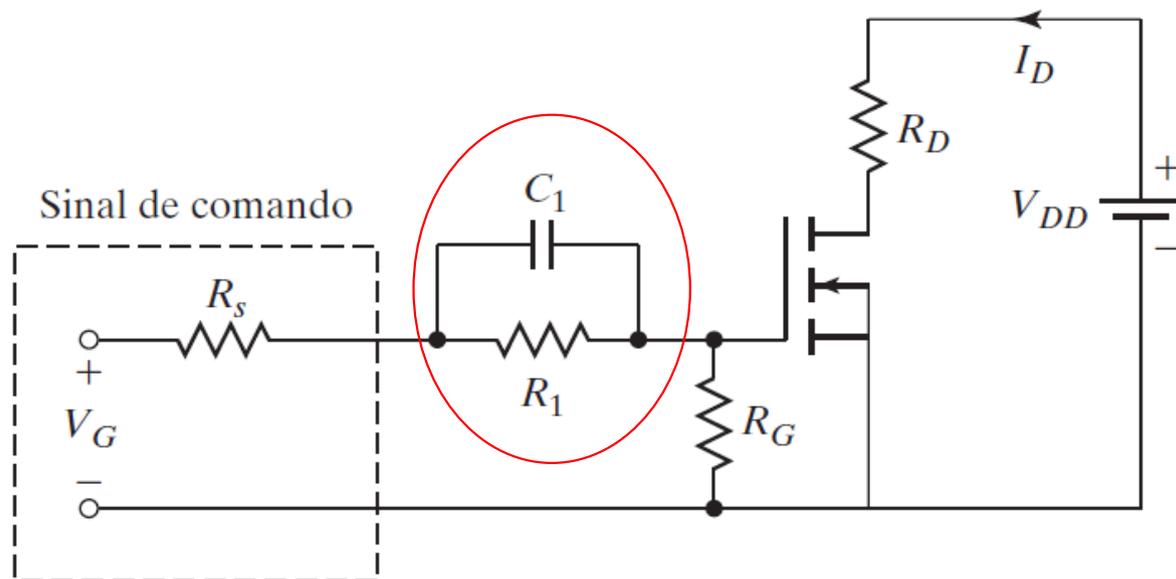
Static drain - source on - state resistance	$R_{DS(on)}$ ^{*6}	$V_{GS} = 10V, I_D = 7.5A$				
		$T_j = 25^\circ C$	-	0.27	0.35	Ω
		$T_j = 125^\circ C$	-	0.59	-	
Gate input resistance	R_G	$f = 1MHz, \text{open drain}$	-	10.2	-	Ω

Circuito de acionamento de MOSFET

Parameter	Symbol	Conditions	Values			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Transconductance	g_{fs}^{*6}	$V_{DS} = 10V, I_D = 7.5A$	4.5	10	-	S
Input capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0V$	-	1660	-	pF
Output capacitance	C_{oss}	$V_{DS} = 25V$	-	1110	-	
Reverse transfer capacitance	C_{rss}	$f = 1MHz$	-	45	-	
Effective output capacitance, energy related	$C_{o(er)}$	$V_{GS} = 0V,$ $V_{DS} = 0V \text{ to } 480V$	-	54.6	-	pF
Effective output capacitance, time related	$C_{o(tr)}$		-	183	-	
Turn - on delay time	$t_{d(on)}^{*6}$	$V_{DD} \approx 300V, V_{GS} = 10V$	-	38	-	ns
Rise time	t_r^{*6}		$I_D = 7.5A$	-	45	
Turn - off delay time	$t_{d(off)}^{*6}$	$R_L = 40.2\Omega$	-	120	240	
Fall time	t_f^{*6}	$R_G = 10\Omega$	-	35	70	

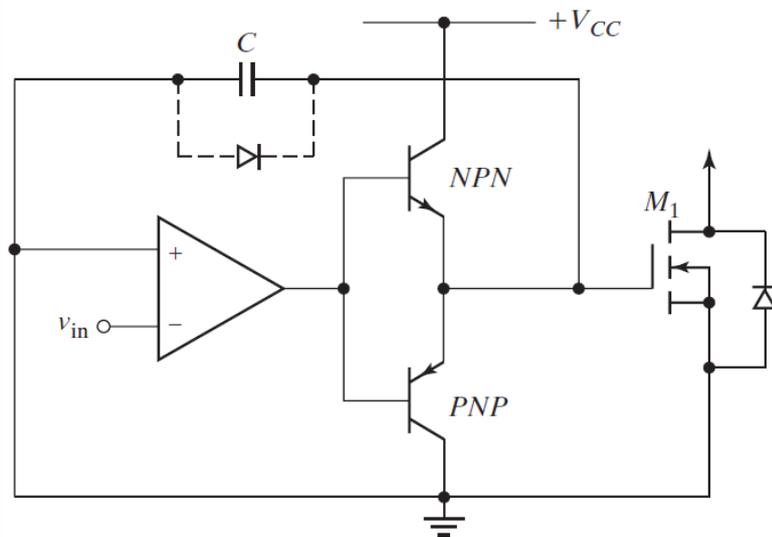
Circuito de acionamento de MOSFET

- O tempo para ligar um MOSFET depende do tempo de carga da capacitância de entrada
- Circuito de acionamento rápido da porta consiste em adicionar um circuito TO, para carregar mais rapidamente a capacitância de entrada



Circuito de acionamento de MOSFET

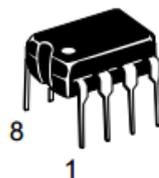
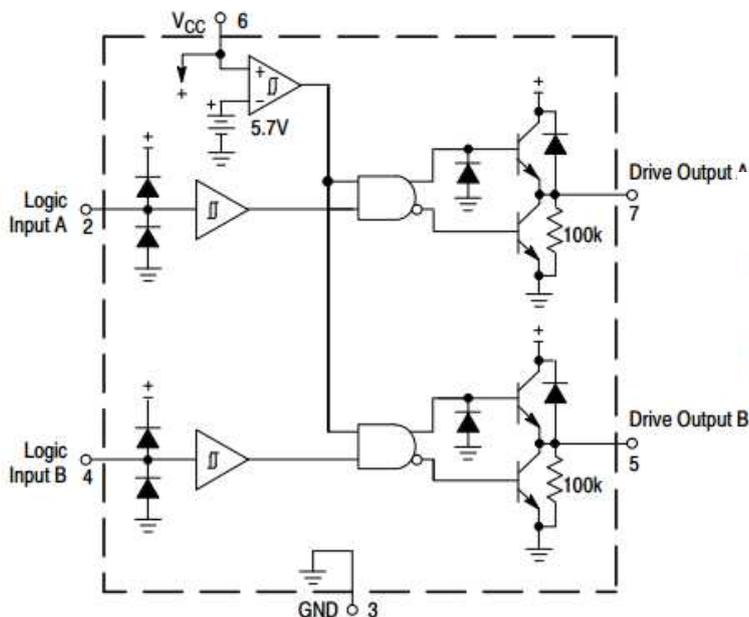
- Circuito de acionamento com arranjo totem-pole e adequação da borda do pulso.
- Transistores operam na região linear
- Sinal de comando gerado por um amplificador



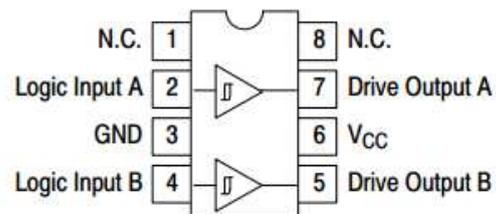
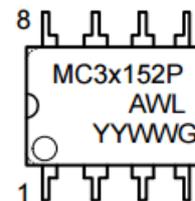
Circuito de acionamento de MOSFET

**MC34152, MC33152,
NCV33152**

**High Speed Dual
MOSFET Drivers**



PDIP-8
P SUFFIX
CASE 626



Circuito de acionamento de MOSFET

**MC34152, MC33152,
NCV33152**

**High Speed Dual
MOSFET Drivers**

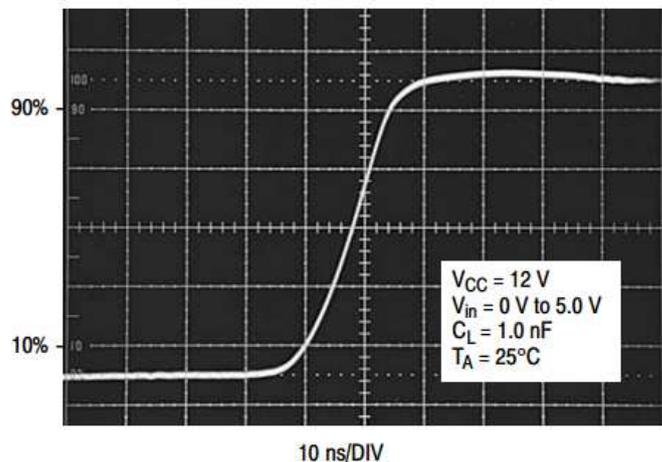


Figure 11. Drive Output Rise Time

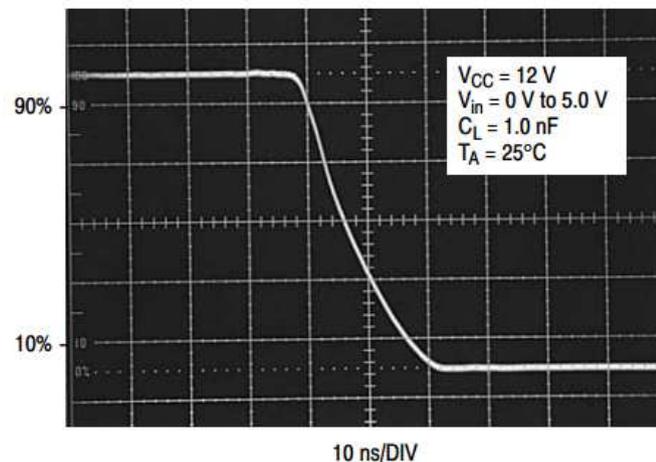


Figure 12. Drive Output Fall Time

Circuito de acionamento de JFET

NTE489
Silicon P-Channel JFET Transistor
General Purpose AF Amplifier
TO92 Type Package

Electrical Characteristics: ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Static Characteristics						
Gate-Source Breakdown Voltage	$V_{(BR)GSS}$	$I_G = 1^\circ\text{A}, V_{DS} = 0$	30	-	-	V
Gate Reverse Current	I_{GSS}	$V_{GS} = 20\text{V}, V_{DS} = 0, \text{Note 2}$	-	-	200	pA
Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{GS(off)}$	$I_D = -1\text{nA}, V_{DS} = -15\text{V}$	0.5	-	2.0	V
Gate Current	I_G	$I_D = -2\text{mA}, V_{DG} = -15\text{V}, \text{Note 2}$	-	15	-	pA
Saturation Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = -15\text{V}, V_{GS} = 0$	-2	-	-15	mA

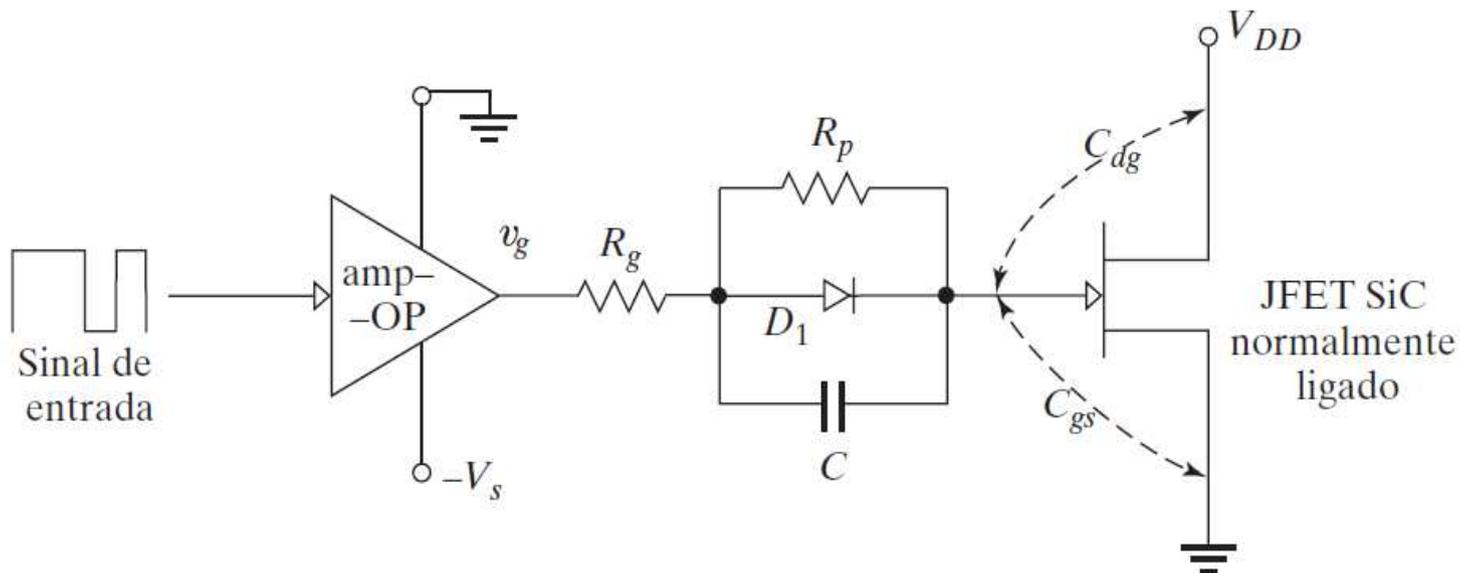
Circuito de acionamento de JFET

NTE489
Silicon P-Channel JFET Transistor
General Purpose AF Amplifier
TO92 Type Package

Dynamic Characteristics						
Common-Source Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = -15V, V_{GS} = 0, f = 1kHz,$ Note 3	6000	-	15000	$^{\circ} mho$
Common-Source Output Conductance	g_{os}	$V_{DS} = -15V, V_{GS} = 0, f = 1kHz$	-	-	200	$^{\circ} mho$
Common-Source Input Capacitance	C_{iss}	$V_{DS} = -15V, V_{GS} = 0, f = 1MHz$	-	32	-	pF
Common-Source Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}	$V_{DS} = -15V, V_{GS} = 0, f = 1MHz$	-	4	-	pF
Equivalent Short-Circuit Input Noise Voltage	e_n	$V_{DS} = -10V, I_D = -2mA, f = 1kHz$	-	6	-	$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$

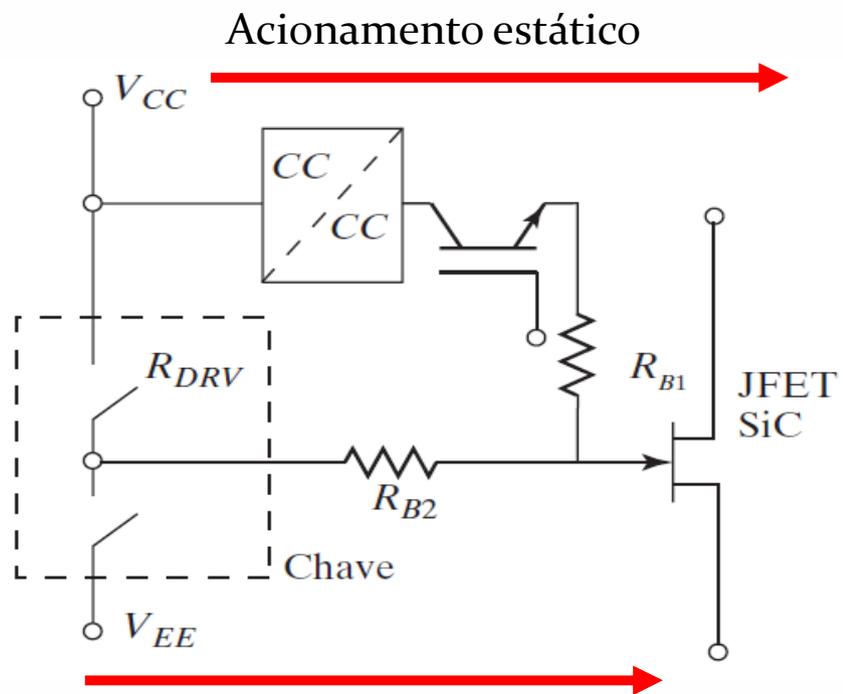
Circuito de acionamento de JFET

- JFET são chaves normalmente ligadas.
- Para desligar essa chave é necessário um sinal de tensão porta-dreno negativa menor que a tensão de pinçamento



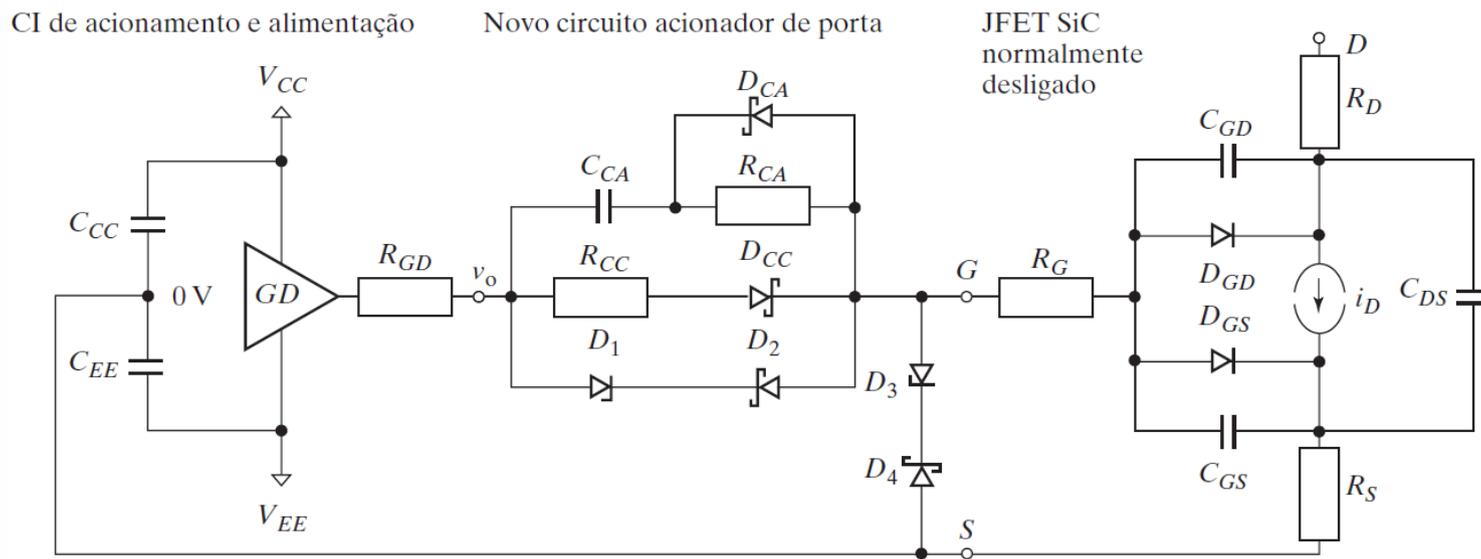
Circuito de acionamento de JFET

- Acionador em dois estágios para JFET SiC normalmente desligado:



Circuito de acionamento de JFET

- Acionador em dois estágios para JFETs SiC normalmente desligados:



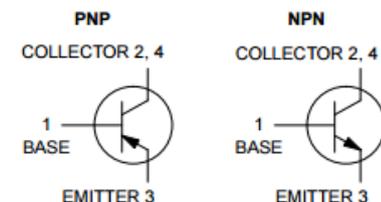
Circuito de acionamento de TBJ

**2N6487, 2N6488 (NPN),
2N6490, 2N6491 (PNP)**

**Complementary Silicon
Plastic Power Transistors**

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage 2N6487, 2N6490 2N6488, 2N6491	V_{CEO}	60 80	Vdc
Collector-Base Voltage 2N6487, 2N6490 2N6488, 2N6491	V_{CB}	70 90	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	15	Adc
Base Current	I_B	5.0	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	75 0.6	W W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.8 0.014	W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

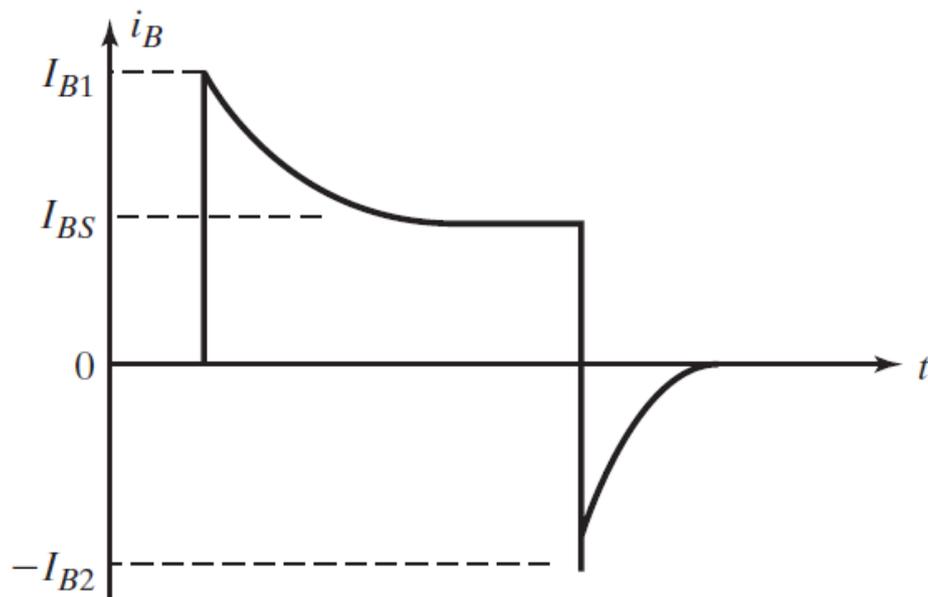
**15 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60-80 VOLTS, 75 WATTS**



TO-220
CASE 221A
STYLE 1

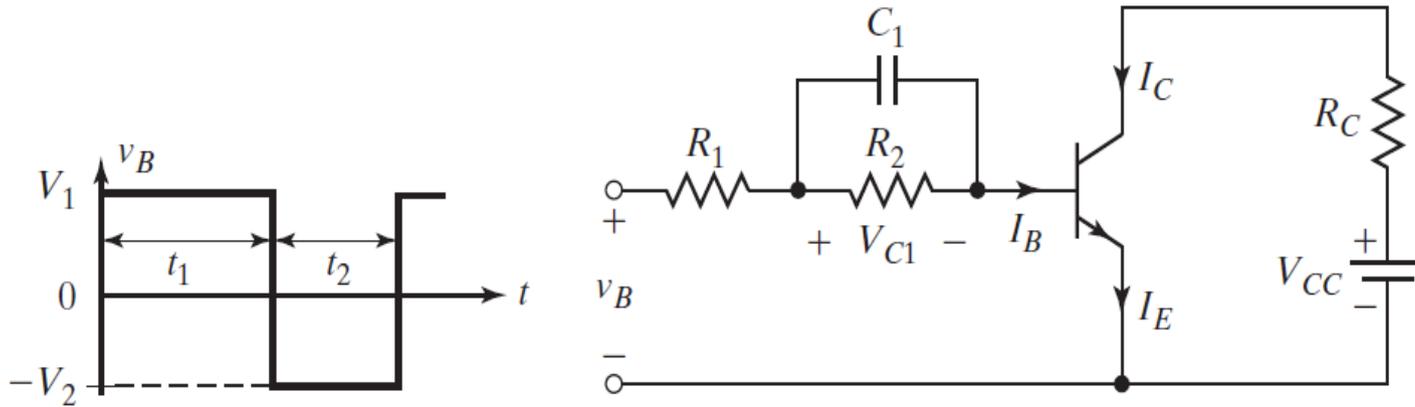
Circuito de acionamento de TBJ

- Forma de onda da corrente de acionamento de base:



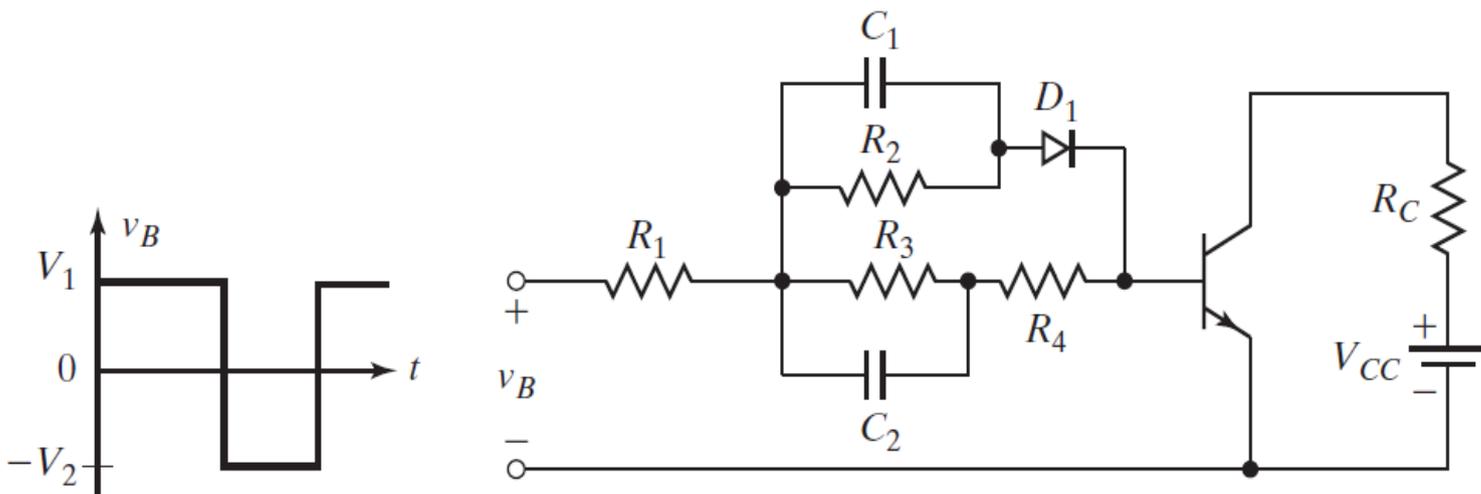
Circuito de acionamento de TBJ

- Pico da corrente na base durante o fechamento:



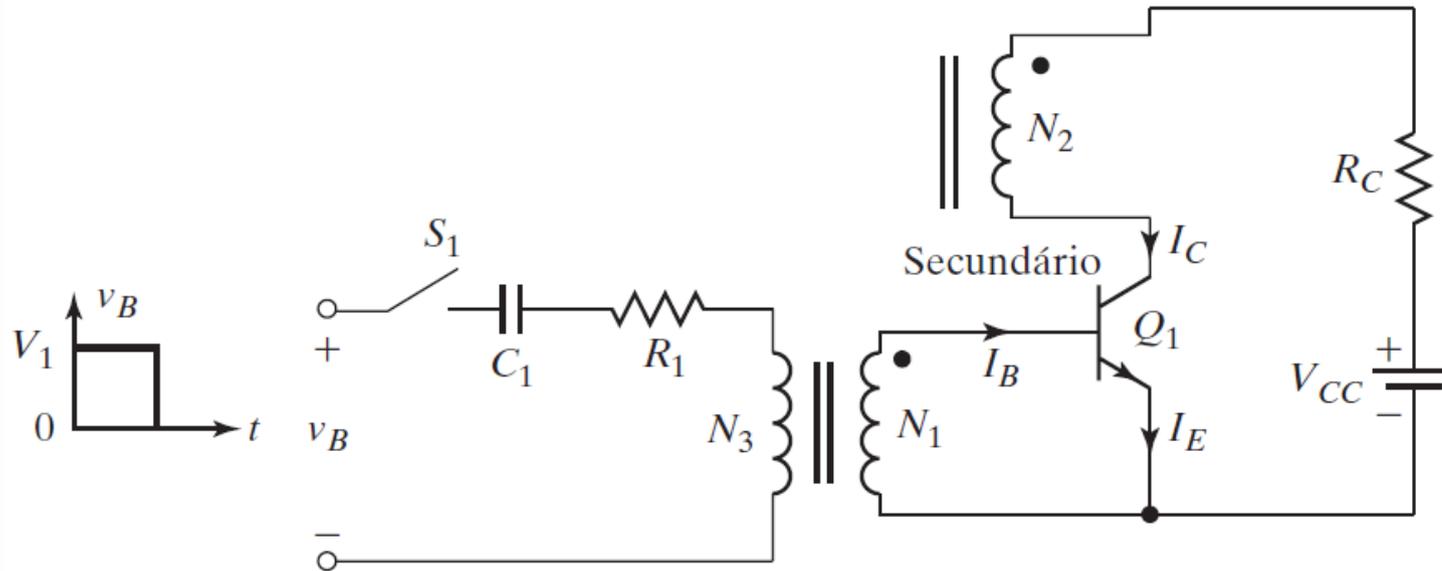
Circuito de acionamento de TBJ

- Pico da corrente na base durante o fechamento e o desligamento:



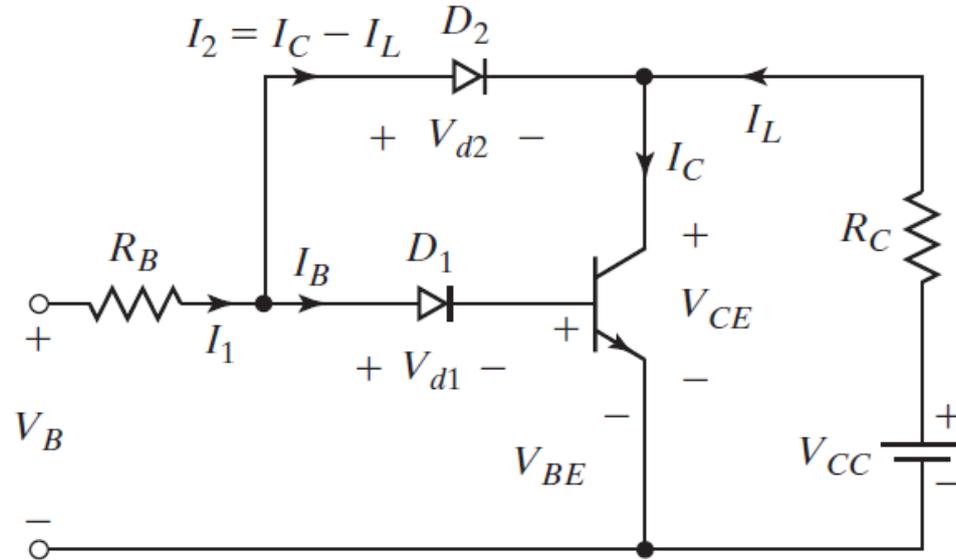
Circuito de acionamento de TBJ

- Circuito proporcional de comando de base:



Circuito de acionamento de TBJ

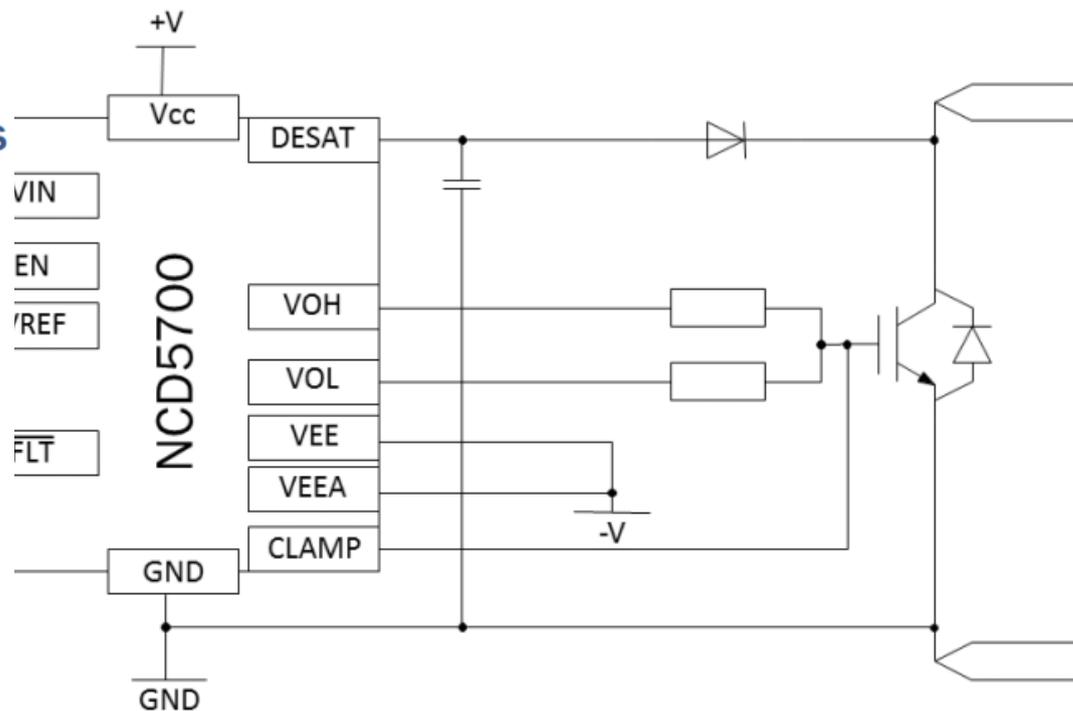
- Circuito de grampeamento do coletor:



Circuito de acionamento de IGBT

IGBT-Drive:

- Low impedance Drive – low Sw Losses
- Short distance / low inductive Layout
- 4-lead-package
- UVLO of IGBT-Driver >12V
- Single or Bipolar drive
- Miller-clamp
- Desat-detection (OCP/SCP)
- Soft-off (overvoltage)



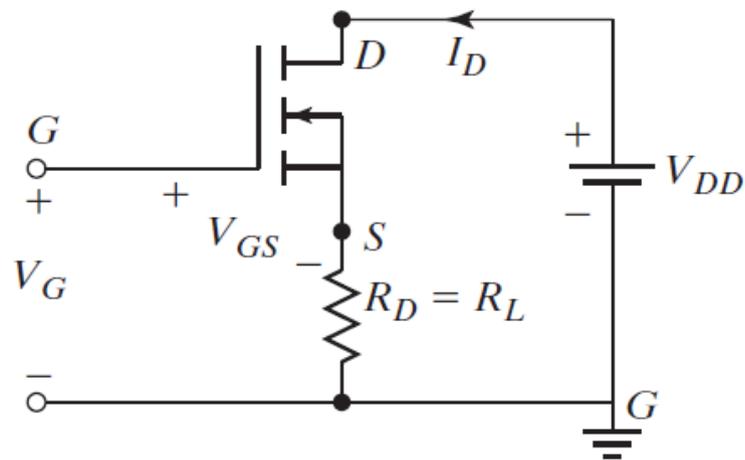
Isolação dos circuitos de acionamento

- A importância de aplicar o sinal de comando de um transistor entre seus terminais porta e fonte pode ser demonstrada com a figura a seguir, em que a resistência de carga está conectada entre o terminal fonte e o terra.

- A tensão porta-fonte efetiva é $V_{GS} = V_G - R_L I_D(V_{GS})$

- Existem basicamente duas formas de isolar ou desprender o sinal de comando em relação ao terra:

1. Transformadores de pulso
2. Optoacopladores



Isolação dos circuitos de acionamento

- 1. Transformadores de pulso
- 2. Optoacopladores

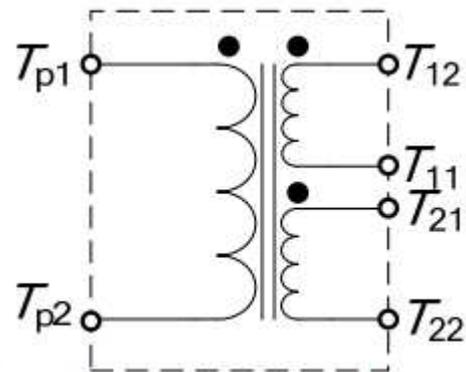


Fig. 1 - Diagrama do transformador de pulso

Fonte: <http://www.supplier.ind.br/site/arquivosprodutos/trm480d20a28.pdf>





Abraço!

Heverton Augusto Pereira

Prof. Departamento de Engenharia Elétrica | UFV

Coordenador da Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência | Gesep

Membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica | PPGEL/CEFET-MG

E-mail: heverton.pereira@ufv.br