

# Aula 3: Diodos de Potência e Circuitos RLC chaveados

Prof. Allan Fagner Cupertino



# Sumário

---

- Associação de diodos;
- Transitórios em circuitos RLC com diodo;
- Diodo de roda livre.



# Associação de diodos



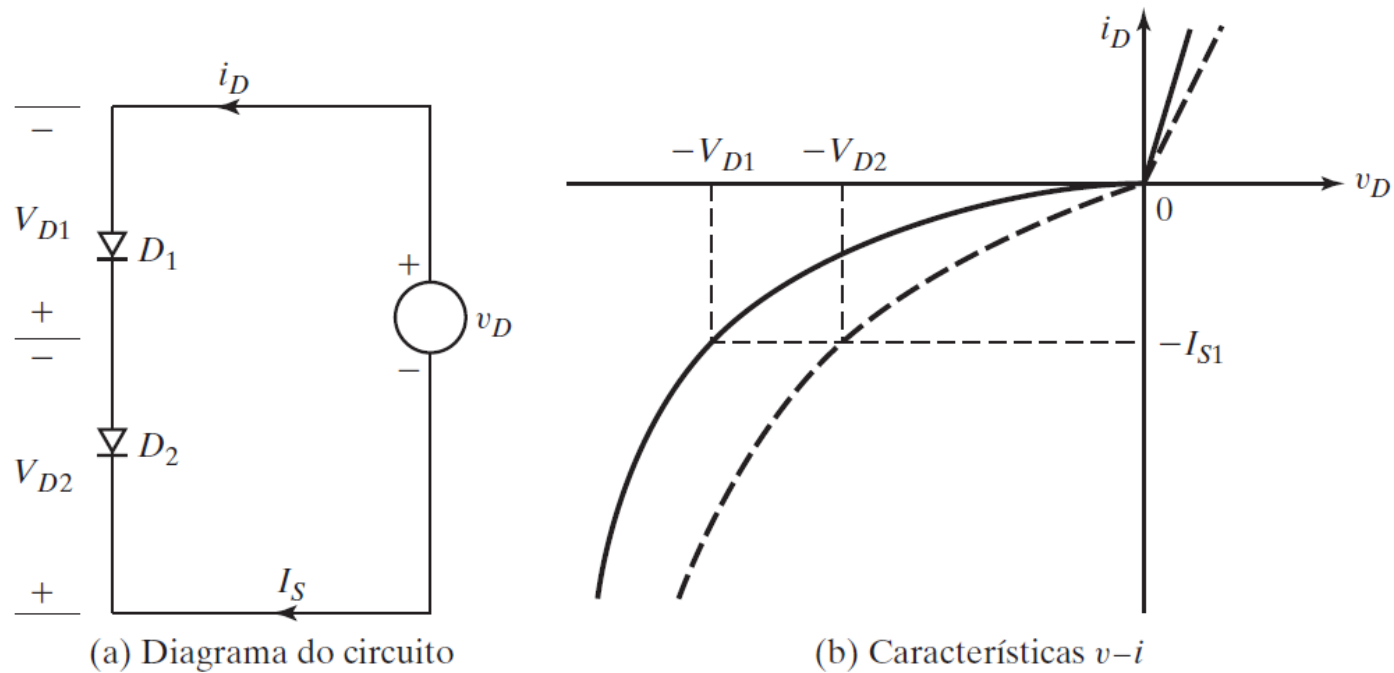
# Diodos conectados em série

Em alta tensão:

- Não existem diodos disponíveis comercialmente;
- Conexão em série é a solução;
- Na condição direta ambos os diodos conduzem corrente igual;
- Tolerância no processo de fabricação: problemas na condição de bloqueio.



# Diodos conectados em série

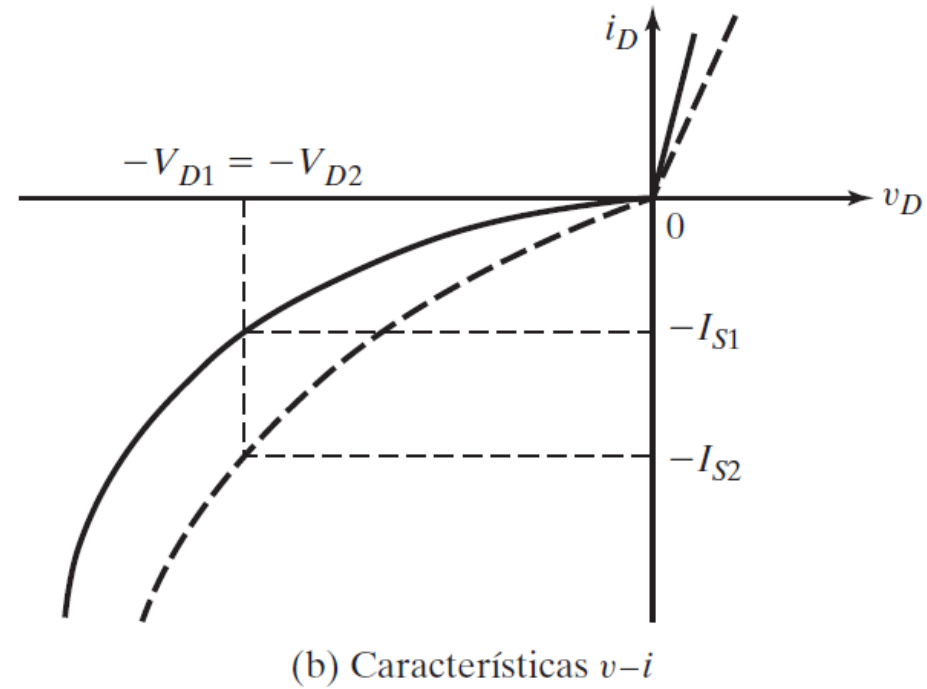
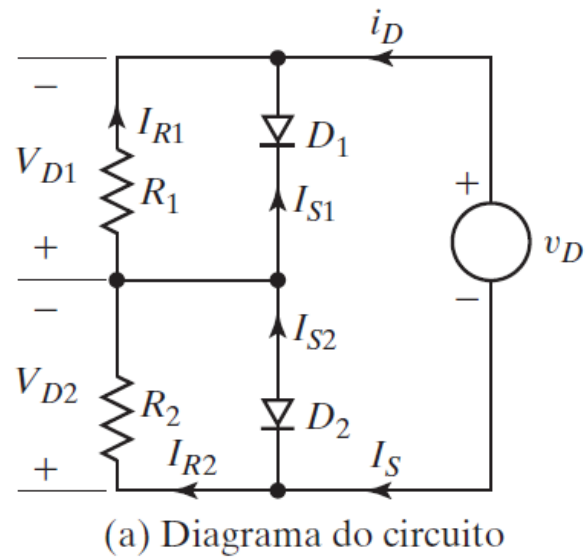


Soluções:

- Regime permanente: conectar um resistor em paralelo
- Regime transitório: circuito RC em paralelo com cada diodo

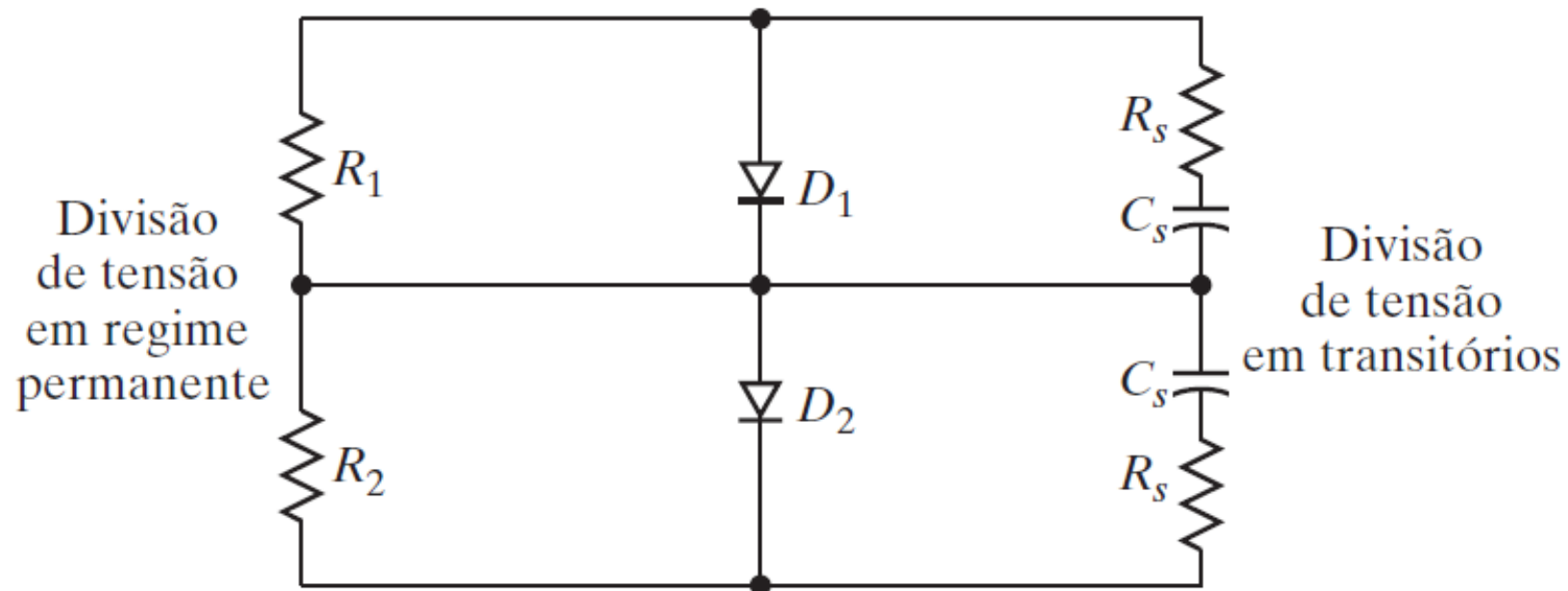
Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Solução: Circuito de balanceamento - Snubber



Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Snubber RC



- ❑ Se  $D_1$  é mais rápido que  $D_2$ , qual dos dois diodos bloqueia mais tensão?

Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Diodos conectados em paralelo

Em alta potência:

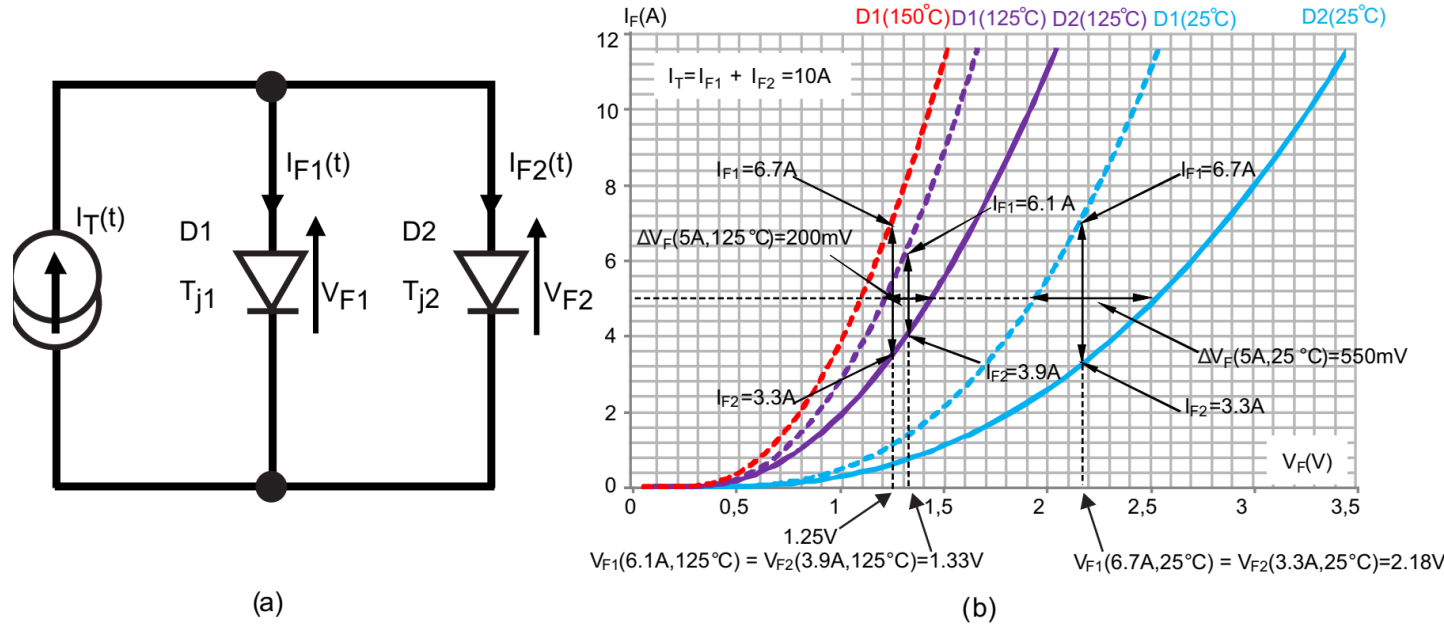
- ❑ Corrente nos diodos comerciais é limitada
- ❑ Conexão em paralelo é a solução
- ❑ Na condição reversa ambos os diodos bloqueiam a mesma tensão;
- ❑ Tolerância no processo de fabricação: problemas na condição de condução direta;
- ❑ Efeito importante: Coeficiente de variação de temperatura da curva  $I \times V$ !





# Diodos conectados em paralelo

Problema: A divisão de corrente pode não ocorrer de maneira uniforme dependendo das características do dispositivo!!!



Solução:

- Regime permanente: conectar um resistor em série
- Regime transitório: indutores em série com cada diodo

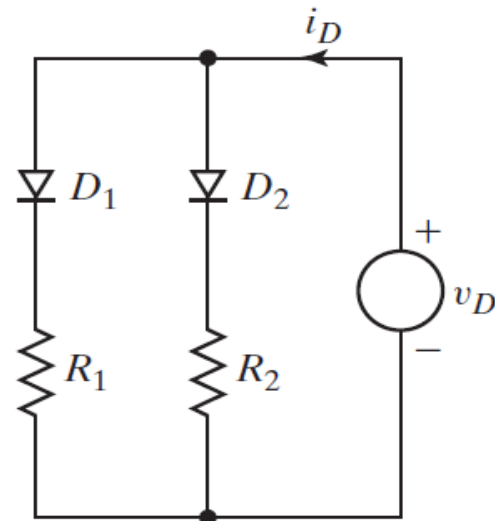
Fonte: ST Semiconductors Application note: AN4381 - Current sharing in parallel diodes.

# Solução: Elementos em série

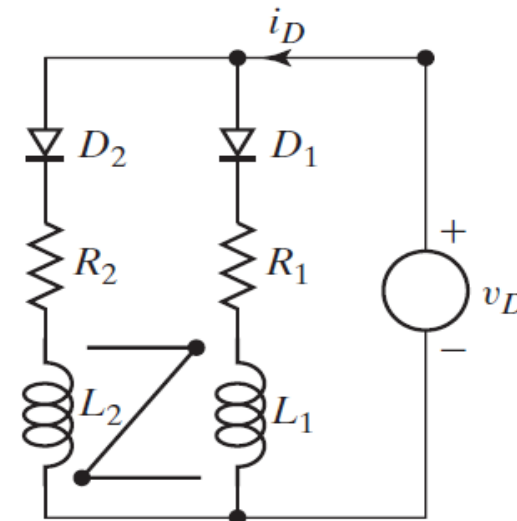
Quais as desvantagens dessa abordagem?

Indutores são:

- Caros;
- Volumosos;
- geram picos de tensão
- Limitam a velocidade de comutação



Regime permanente



Divisão dinâmica

Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Coeficiente de temperatura da curva I x V

## Efeito do *lifetime*

- ❑ Tempo de vida dos portadores minoritários aumenta com a temperatura
- ❑ Portanto, para a mesma queda de tensão, maior a corrente;
- ❑ Desta forma, nota-se um coeficiente de temperatura positivo da curva I x V;

## Efeito da Mobilidade

- ❑ A mobilidade reduz com a temperatura;
- ❑ Portanto, para a mesma queda tensão, menor corrente;
- ❑ Desta forma, a mobilidade leva a um coeficiente de temperatura negativo da curva I x V → NTC;

**Resultado final:** Combinação destes efeitos. Dependerá da estrutura usada (NPT ou PT) e da tecnologia de controle de *lifetime*!

# Coeficiente de temperatura de dois diodos

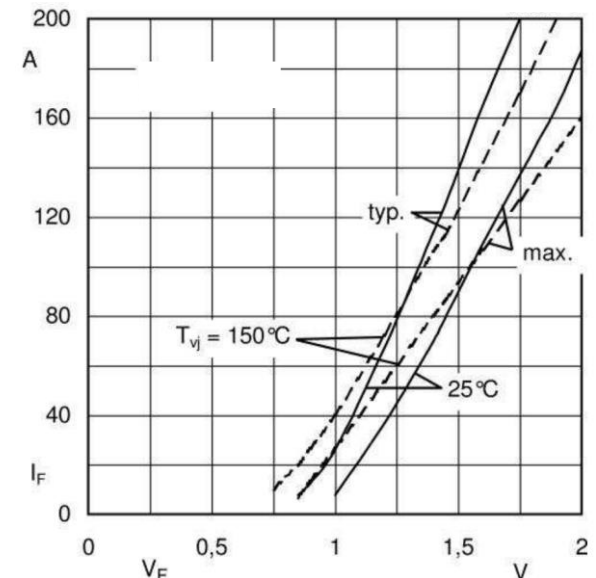
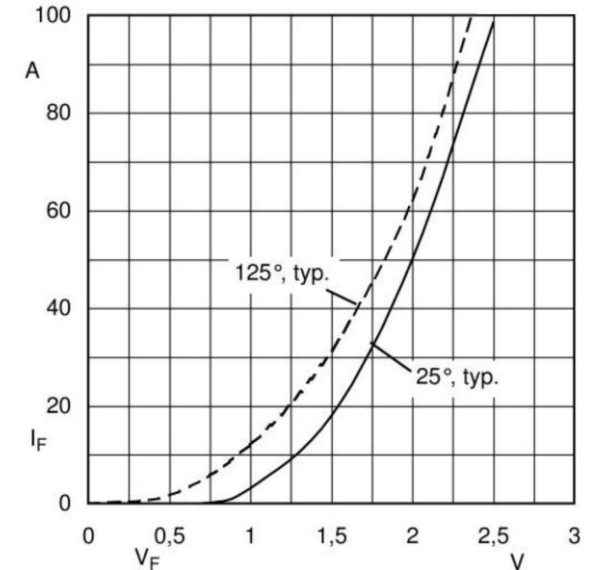
## Diodo 1:

- ❑ Baixo *lifetime* para minimizar recuperação reversa;
- ❑ Aumento da temperatura → Aumento do *lifetime* é mais expressivo;
- ❑ Portanto, o dispositivo apresenta um comportamento PTC em grande parte da faixa de operação;
- ❑ Difícil conexão paralela (possibilidade de *thermal runaway*).

## Diodo 2:

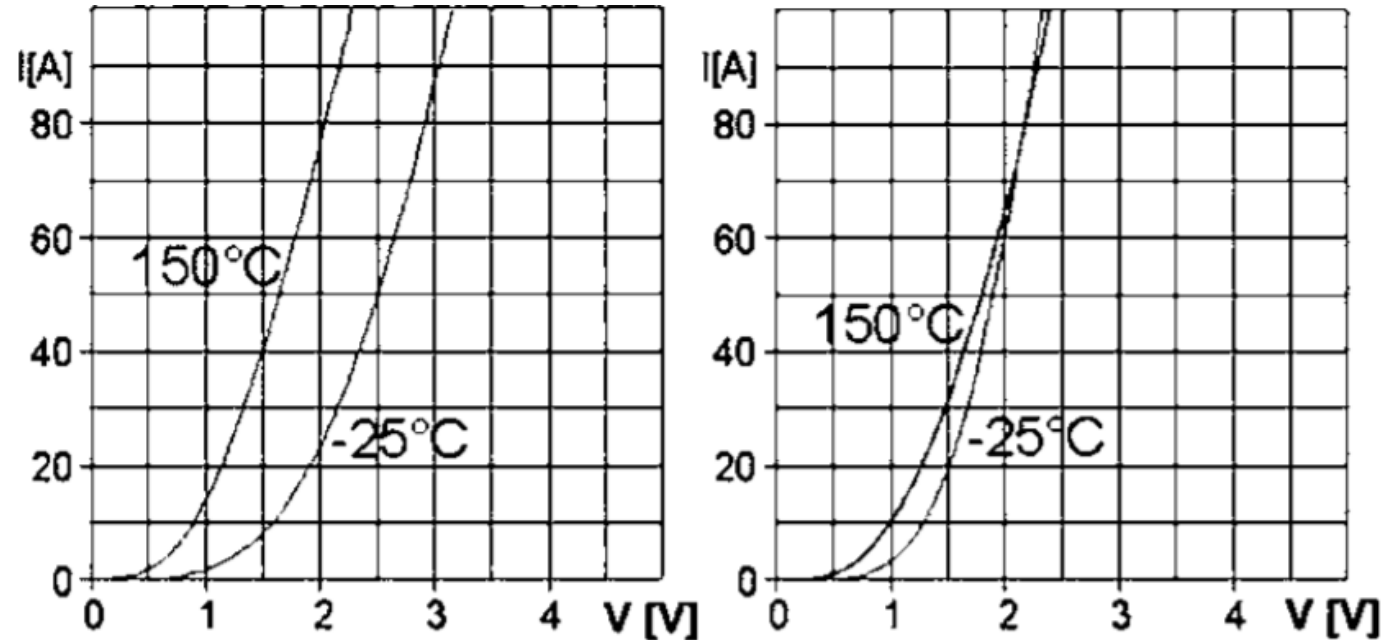
- ❑ Alto *lifetime* para garantir modulação de condutividade;
- ❑ Aumento da temperatura → Redução da mobilidade é o efeito mais expressivo;
- ❑ Portanto, o dispositivo apresenta um comportamento NTC em grande parte da curva I x V;
- ❑ Conexão paralela mais simples.

Imagens: <https://www.semikron.com/>



# Inserção de centros de recombinação

- Impacta no coeficiente de temperatura da curva I – V.



**Fig. 5.11** Forward characteristics of fast 1200 V diodes and its temperature dependency. *Left:* platinum-diffused diode. *Right:* diode with radiation-induced recombination centers (CAL diode). Active area is  $0.32\text{ cm}^2$

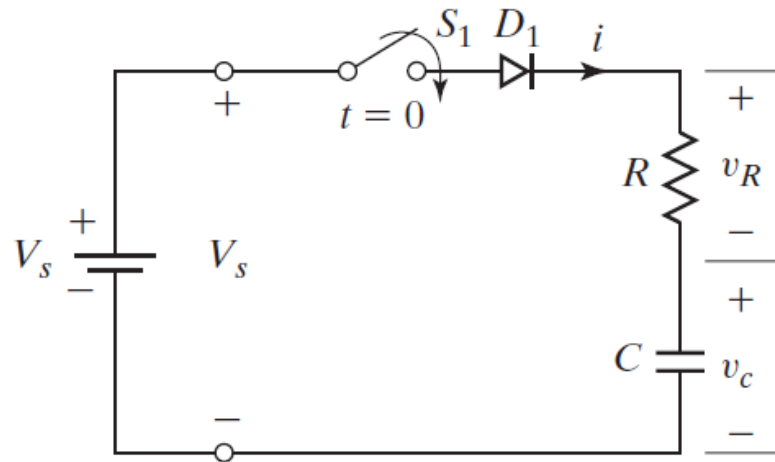
Lutz, J. et al. "Semiconductor Power Devices: Physics, Characteristics, Reliability", Springer.



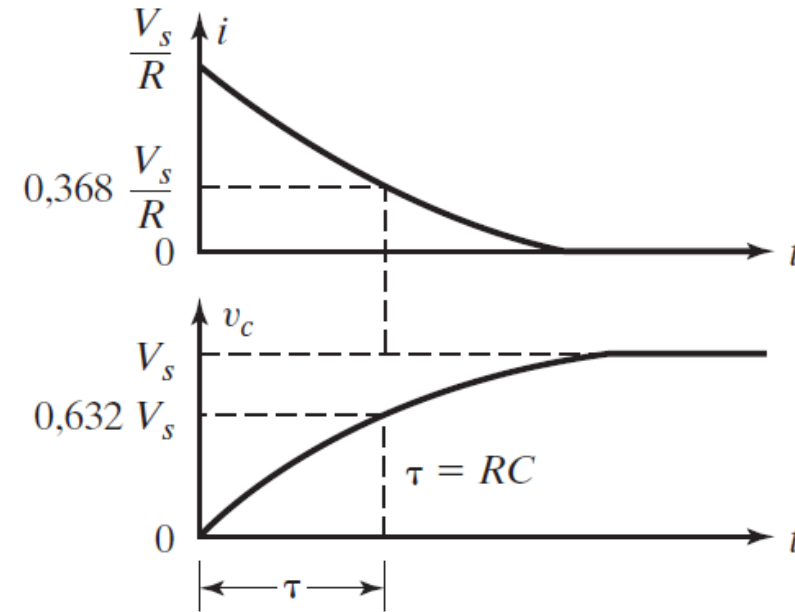
# Transitórios em circuitos RLC com diodos



# Diodo com carga RC



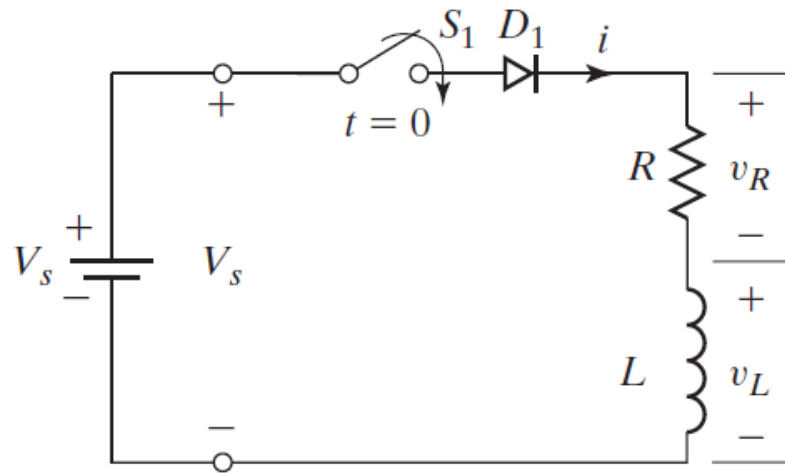
(a) Diagrama do circuito



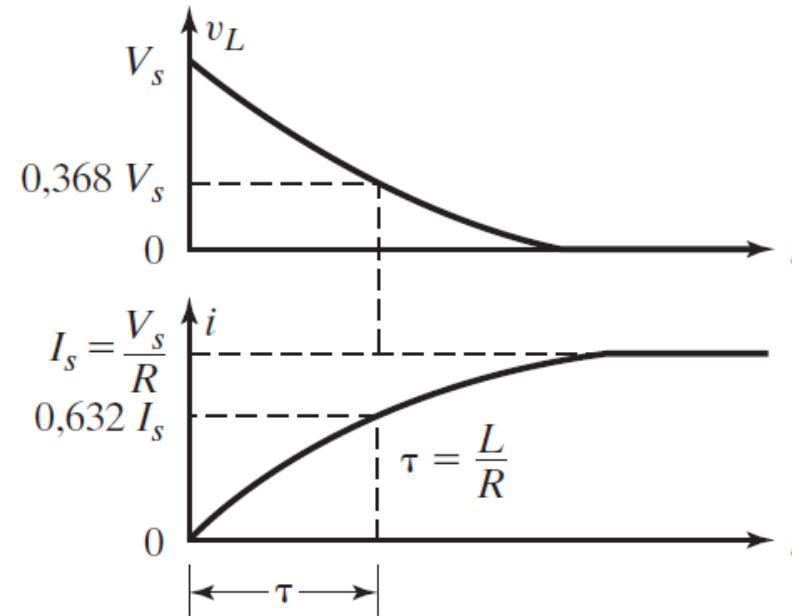
(b) Formas de onda

Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Diodo com carga RL



(a) Diagrama do circuito



(b) Formas de onda

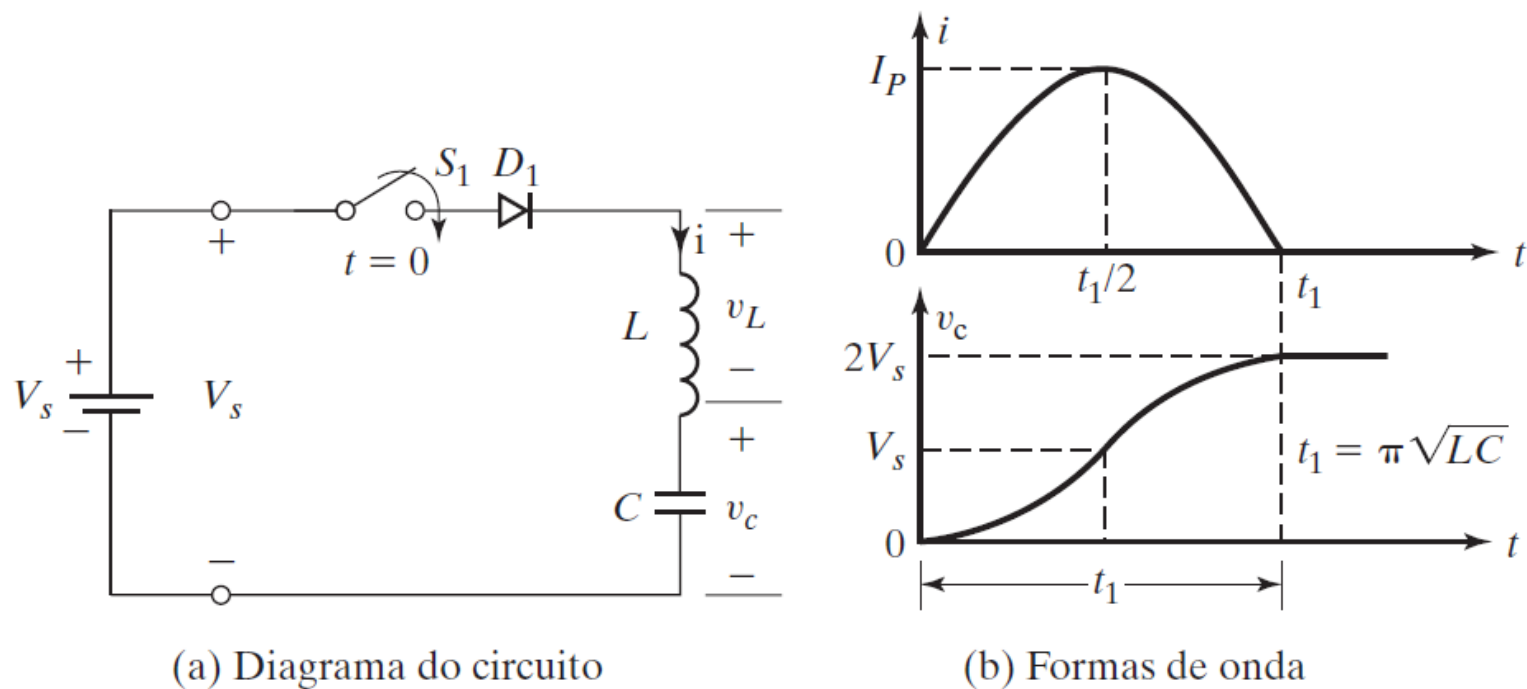
Problema na abertura do interruptor!!!

Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)



# Diodo com carga LC

Diodo: impede o fluxo de energia dos elementos para a fonte

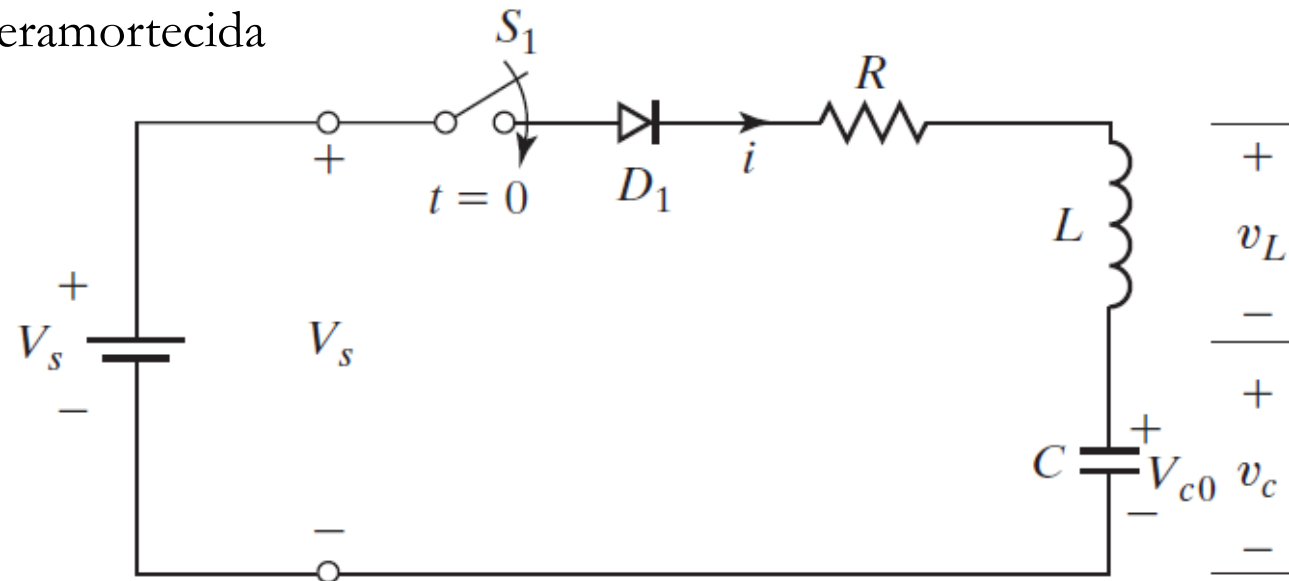


Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Diodo com carga RLC

A solução pode ser:

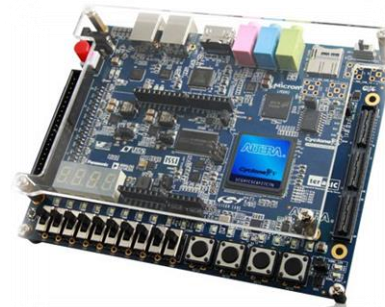
- Subamortecida
- Criticamente amortecida
- Superamortecida



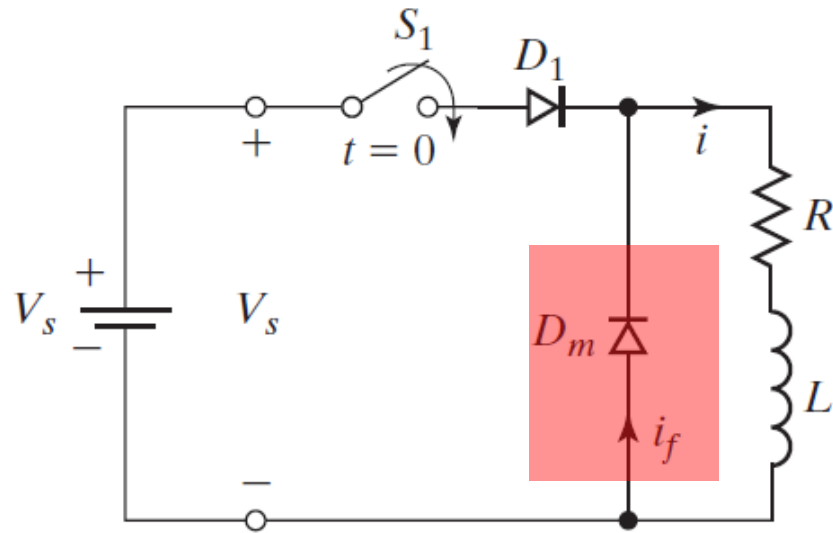
Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)



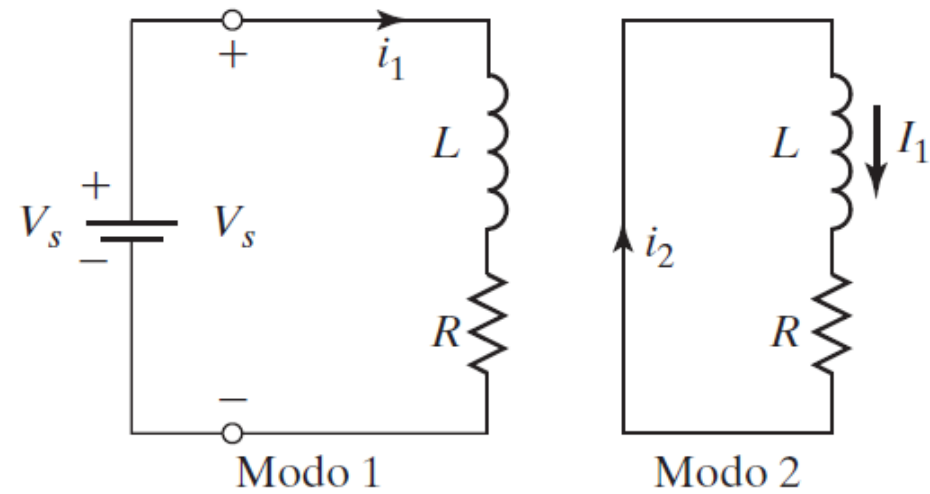
# Diodo de Roda Livre



# Diodo de roda livre



(a) Diagrama do circuito



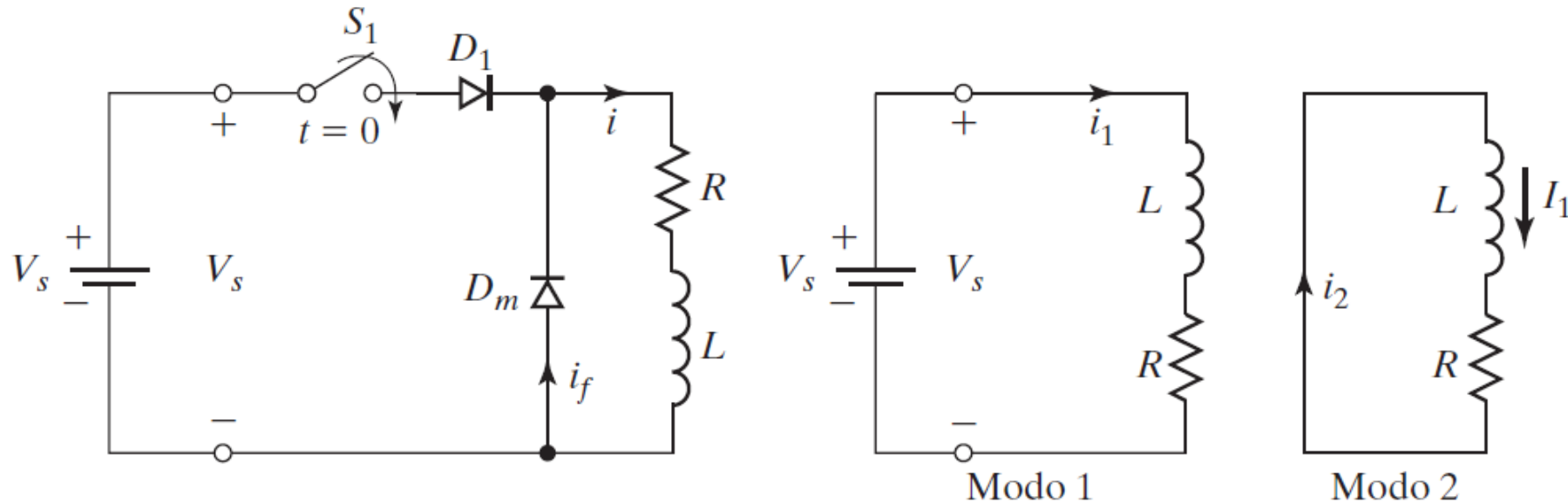
(b) Circuitos equivalentes

Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Exemplo: Diodo de roda livre

Esboce a forma de onda para a corrente de carga quando a chave é fechada por 100us e, em seguida aberta.

Considere:  $V_s = 220\text{V}$ ,  $R = 1\Omega$  e  $L = 220\mu\text{H}$

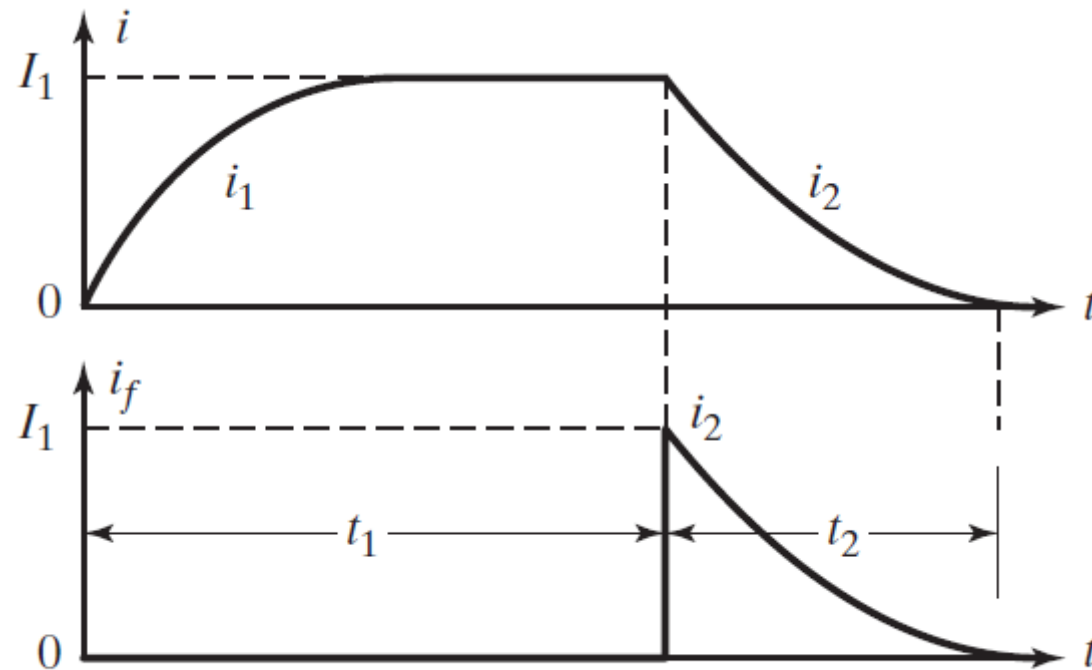


(a) Diagrama do circuito

(b) Circuitos equivalentes

Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Exemplo: Diodo de roda livre



(c) Formas de ondas

Fonte: M. H. Rashid: Eletrônica de Potência: Dispositivos, circuitos e aplicações. 4ª. Edição, Pearson, 2014 (Livro texto)

# Obrigado pela Atenção



[www.gesep.ufv.br](http://www.gesep.ufv.br)



<https://www.facebook.com/gesep>



[https://www.instagram.com/gesep\\_vicosa/](https://www.instagram.com/gesep_vicosa/)



[https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh\\_hDBIcxMU2Nw](https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh_hDBIcxMU2Nw)



Estimate - Sistemas  
Fotovoltaicos



<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.developer.gesep.estimate>