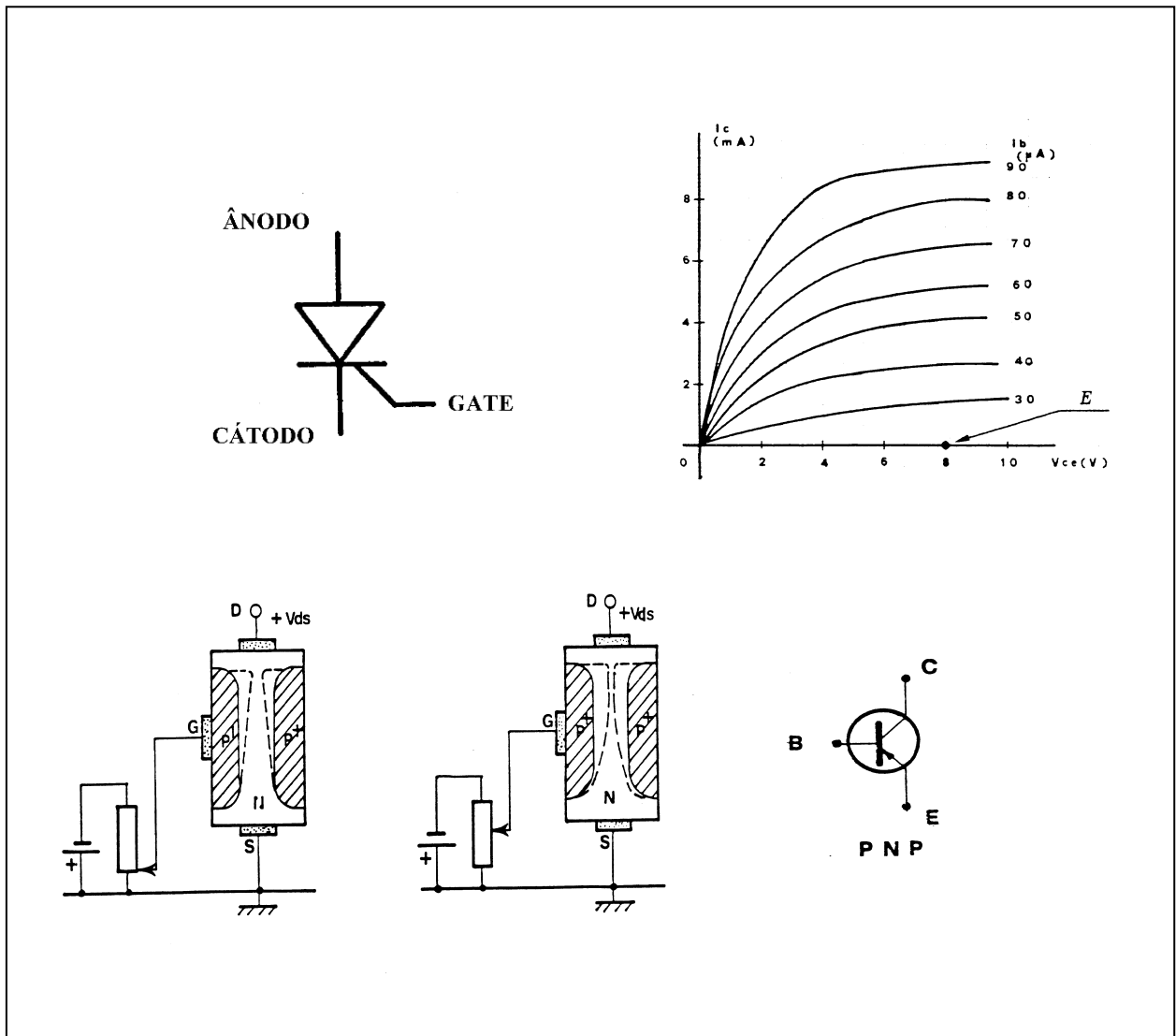


Elétrica Eletrônica





Sistema FIEMG

Índice

ÍNDICE.....	2
RESISTORES	5
GENERALIDADES	5
RESISTÊNCIAS FIXAS.....	5
RESISTÊNCIAS VARIÁVEIS.....	7
EXEMPLOS DE VALORES	8
CÓDIGO DE CORES PARA RESISTORES	11
RESISTORES ESPECIAIS	12
GENERALIDADES	12
RESISTORES SENSÍVEIS À TEMPERATURA	13
RESISTORES SENSÍVEIS A VARIAÇÕES DE TENSÃO.....	14
RESISTORES SENSÍVEIS A VARIAÇÕES DO CAMPO MAGNÉTICO.....	14
RESISTORES SENSÍVEIS ÀS SOLICITAÇÕES MECÂNICAS	15
RESISTORES SENSÍVEIS À INTENSIDADE LUMINOSA (FOTO-RESISTORES)	15
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	17
CAPACITORES	18
GENERALIDADES	18
CAPACITORES DE PAPEL OU POLIÉSTER	20
CAPACITORES DE MICA.....	20
CAPACITORES DE CERÂMICA	21
CAPACITORES ELETROLÍTICOS DE ALUMÍNIO.....	22
CAPACITORES ELETROLÍTICOS DE TÂNTALO	23
CAPACITORES VARIÁVEIS	24
CAPACITORES OU “TRIMMER CAPACITOR”.....	25
CÓDIGOS DE CORES PARA OS CAPACITORES.....	26
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	27
INDUTORES	28
GENERALIDADES	28
INDUTORES A AR.....	29
INDUTORES COM NÚCLEO MAGNÉTICO	31
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	32
SEMICONDUCTORES.....	34
GENERALIDADES	34
JUNÇÕES.....	34
DIFUSÃO DAS CARGAS	35
POLARIZAÇÃO	35
EFEITO CAPACITIVO DA JUNÇÃO	37
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	38
O DIODO SEMICONDUTOR	39
GENERALIDADES	39
O DIODO	40
Polarização do diodo.....	40
Curvas características do diodo.....	41
CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DOS DIODOS A SEMI-CONDUTORES	43
EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DOS DIODOS.....	45
TIPOS DE INVÓLUCROS PARA DIODOS A SEMI-CONDUTORES	46
TESTE DE EFICIÊNCIA COM ÔHMÍMETRO	47
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	48
RETIFICAÇÃO DE MEIA ONDA E ONDA COMPLETA.....	49



Sistema FIEMG

INTRODUÇÃO	49
RETIFICAÇÃO MONOFÁSICA DE MEIA-ONDA	50
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	55
RETIFICAÇÃO EM PONTE.....	56
GENERALIDADES	56
PONTE DE GRAETZ.....	56
RETIFICAÇÃO MONOFÁSICA DE ONDA COMPLETA COM PONTE DE GRAETZ.....	57
<i>Considerações de cálculo</i>	58
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	59
FILTROS CAPACITIVOS.....	60
INTRODUÇÃO.....	60
FENÔMENOS RELATIVOS À CARGA DO CAPACITOR.....	61
FENÔMENOS RELATIVOS À DESCARGA DO CAPACITOR.....	62
TENSÃO NA CARGA DO CIRCUITO FILTRADO	64
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	65
TRABALHO EM GRUPO	66
FILTROS INDUTIVOS	67
GENERALIDADES	67
DIODO DE RECIRCULAÇÃO.....	69
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	71
FILTRO LC	72
FILTRAGEM COM CIRCUITO L-C	72
FILTRO EM “ π ”	73
<i>Exemplos de aplicações do filtro de π</i>	74
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	76
TRANSISTORES	77
GENERALIDADES	77
INTRODUÇÃO AOS TRANSISTORES BIPOLARES (B J T)	78
EFEITO TRANSISTOR.....	79
POLARIZAÇÃO	80
CORRENTES DE PERDA DO TRANSISTOR	81
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	82
PARÂMETROS FUNDAMENTAIS DO TRANSISTOR BIPOLAR.....	83
PARÂMETROS FUNDAMENTAIS EM CORRENTE CONTÍNUA.	83
CORRENTES DE PERDA DO TRANSISTOR	84
EXEMPLO PRÁTICO	85
CURVAS CARACTERÍSTICAS DO B.J.T. COM EMISSOR COMUM	87
CARACTERÍSTICA DE COLETOR OU DE SAÍDA	88
CARACTERÍSTICA TRANSFERÊNCIA OU AMPLIFICAÇÃO DIRETA DE CORRENTE.....	89
CARACTERÍSTICA $V - I$ DE ENTRADA	89
TRANS-CARACTERÍSTICA OU CARACTERÍSTICA DE TRANSFERÊNCIA.....	90
RETA DE CARGA ESTÁTICA E PONTO QUIESCENTE.....	92
<i>Reta de carga estática</i>	93
<i>Corrente de Curto-circuito (I_{c^o} C^o).</i>	94
<i>Ponto quiescente ou ponto de trabalho</i>	94
<i>Estabilidade Térmica</i>	95
ESQUEMAS DE POLARIZAÇÃO.....	96
EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS	97
CONEXÕES DARLINGTON	99
TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO (FET).....	101
POLARIZAÇÃO DOS FET’S.....	105



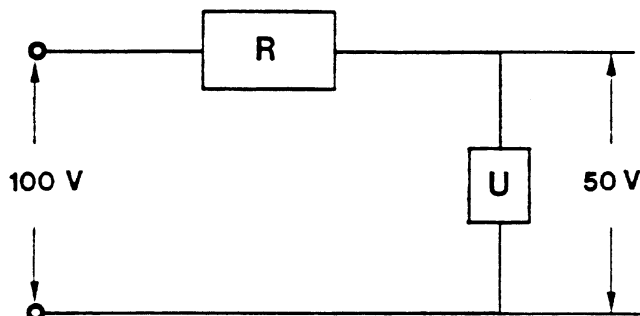
Sistema FIEMG

APLICAÇÕES E ESQUEMA COM TRANSISTORES FET'S	108
TRANSISTORES MOSFET'S	110
DIODO CONTROLADO DE SILÍCIO (SCR)	116
GENERALIDADES	116
TIRISTORES	116
PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO EM CORRENTE CONTÍNUA	117
PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO EM CORRENTE ALTERNADA	118
TESTES DE VERIFICAÇÃO	119
O CONTROLE COM SCR'S	121
GENERALIDADES	121
TESTES DE VERIFICAÇÃO	123
TESTES DE VERIFICAÇÃO	124
SISTEMAS DE DISPARO PARA SCR'S	125
CARACTERÍSTICAS DE DISPARO DO SCR.....	125
Disparo com IG em contínua.....	126
Disparo com IG de meia onda.....	127
Disparo com rede defasadora de 0° a 180°.....	128
Disparo por impulsos	130
TESTES DE VERIFICAÇÃO.....	132
EXERCÍCIO	133
TRIAC, DIAC, SCS, LASCR, GTO.....	134
GENERALIDADES	134
TRIAC	134
DIAC.....	135
Circuito de aplicação	136
COMPONENTES ESPECIAIS DA FAMÍLIA DOS "THYRISTORES".....	137
S.C.S. (silicon controlled switch).....	137
GTO (Gate turn off).....	138
DEFINIÇÃO E APLICAÇÕES DOS TIRISTORES COMPONENTES GATILHADOS	146
CIRCUITOS INTEGRADOS.....	152
NOTAS TECNOLÓGICAS.....	152
RESISTOR MONOLÍTICO	153
TIPOS E FAMÍLIAS	153
O CIRCUITO INTEGRADO VISTO COMO MÓDULO	154
INVÓLUCROS	156
TESTES DE VERIFICAÇÃO	158

Resistores

Generalidades

Observe o seguinte circuito:



O circuito elétrico (U) deve funcionar com uma tensão de 50 V; é necessário então disparar um elemento que provoque uma queda de tensão.

A RESISTÊNCIA

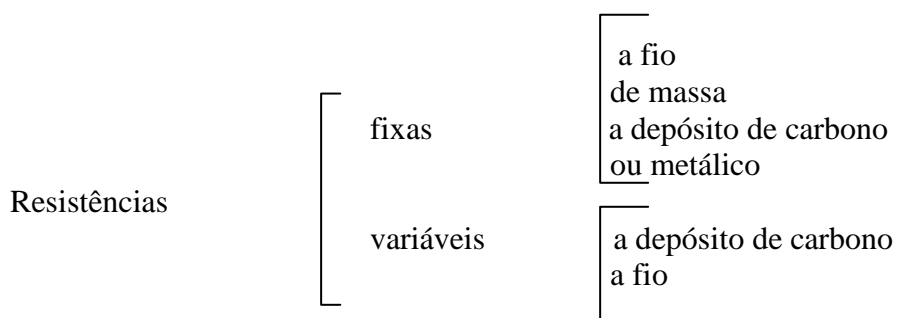


fixa



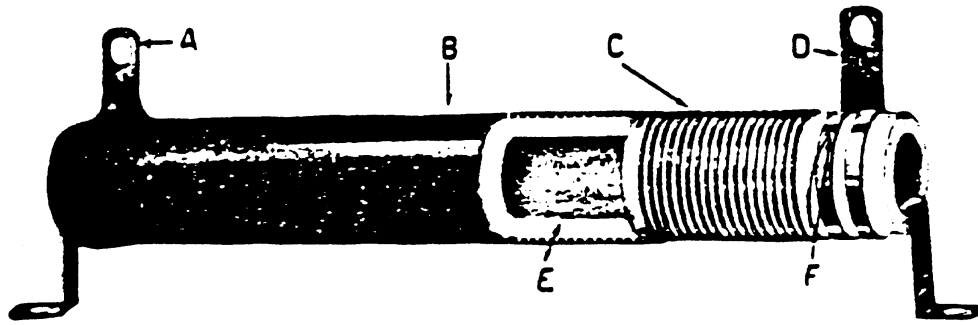
variável

As resistências podem ser subdivididas no seguinte modo:



Resistências fixas

As resistências a fio são constituído por um suporte de cerâmica sobre o qual é enrolado um fio resistivo.



Resistor esmaltado. A. Terminal estanhado; B. Revestimento em tinta vidrosa; C. Enrolamento; D. Plaquinha terminal, soldada eletricamente; E. Tubo de material de cerâmica; F. Solda elétrica do extremo do fio da resistência.

O enrolamento é constituído por um fio de constantan, manganina ou níquel-cromo, dependendo do valor da resistência que se deseja obter: não existem limites para a potência dissipada (depende da dimensão) e são muito precisas.

O valor da resistência é dado pela relação:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Onde: R é a resistência do fio

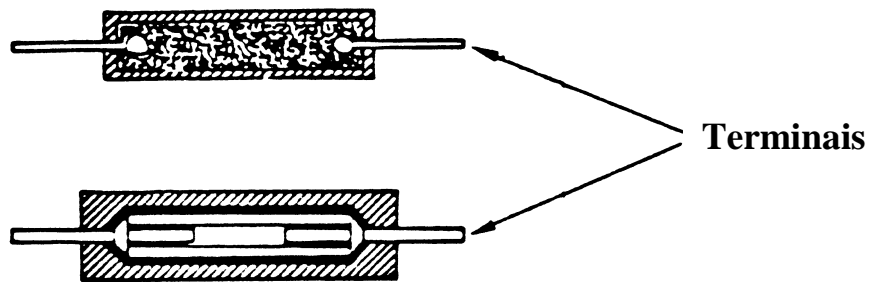
ρ (rô) é uma constante intrínseca ao material de que é feito o fio (resistividade)

L é o comprimento do fio

S é a seção do fio

Resistores esmaltados a fio "S.E.C.I." Dissipação: 100 W Tolerância: $\pm 1\%$ Tensão máxima de Trabalho: 2000 V	
---	--

As resistências de massa são constituídas por uma massa química de óxidos metálicos, carvão em pó ou grafite misturados com substâncias adesivas apropriadas.



São de pouca precisão (tolerância 10-20%) e são construídas para dissipar uma potência de até 3W.

As resistências a depósito de carbono ou metálico são constituídas por um suporte de cerâmica sobre o qual se deposita uma película resistiva de carbono ou metálica. Para aumentar a resistência sobre a película grava-se uma espiral.



Pode-se construir com grande precisão (tolerância 1-2%) e com potência dissipável até 3W.



1 W



2 W

Resistências variáveis

São resistores que têm um cursor de acordo com a posição determinam o valor da resistência inserida. O deslocamento do cursor pode ser do tipo retilíneo ou angular.

Potenciômetros a
 curso "National"
 Com tomada 50%
 Sem interruptor
 Com sinal duplo
 Dissipação máxima:
 0,25 W

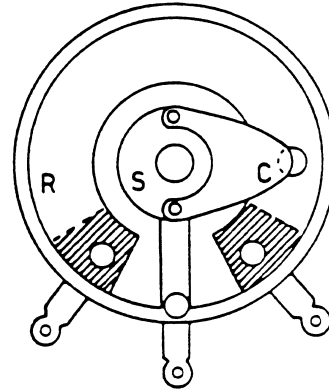
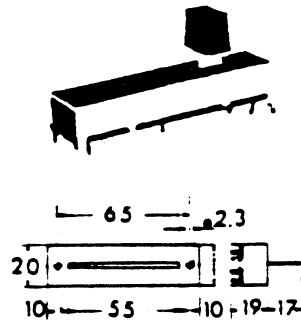
tensão máxima de
 trabalho: 150 Vcc.

Variação: linear

Montagem:

Com parafuso

Comprimento percurso:
 45mm



Exemplos de valores

20 k Ω + 20 k Ω
 50 k Ω + 50 k Ω
 100 k Ω + 100 k Ω
 500 k Ω + 500 k Ω
 1 M Ω + 1 M Ω

As resistências variáveis a fio são as mais precisas e podem dissipar potências maiores (exemplo, os reostatos de partida para os motores).

Reostatos

A fio profissionais

Dissipação nominal: 100W

Tolerância: 0 + 20%

Tensão limite: 1000V

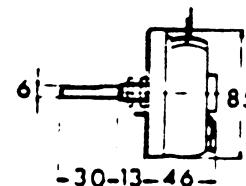
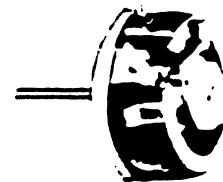
Coeficiente de temperatura:

De 0, 00008 a 0, 00014

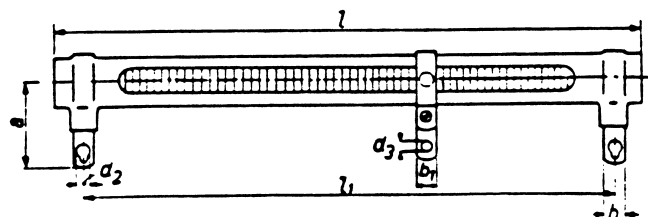
Binário de rotação
do eixo acionador

0,15 + 0,25 kg / cm

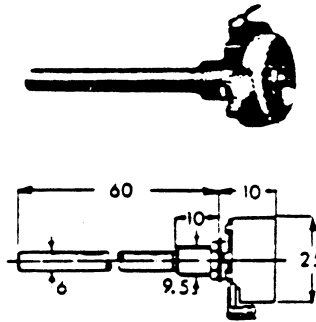
Ângulo de rotação: 300°



As resistências a fio podem ser também do tipo semi-fixo, quando no lugar do cursor tem-se um anel fixado com um parafuso.



As resistências variáveis a depósito são constituídas por um suporte isolante (baquelite) sobre o qual é depositada a substância resistiva. Podem ser rotativas ou retilíneas (slides). As potências dissipadas são da ordem do watt.



Existem potenciômetros semi-fixos de potência muito pequena chamados Trimmer potenciométricos para serem fixados sobre circuito impresso.

Potenciômetros semi-fixos

Dissipação máxima:

0,05 W a 40°C

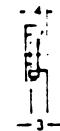
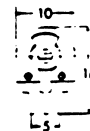
tensão máxima de trabalho:

250 Vc.c

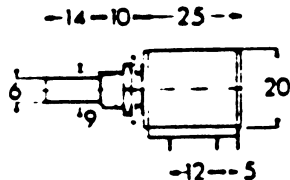
Variação: linear

Montagem: vertical com
circuito impresso

Comando: com chave de
. parafuso



Em alguns casos para uma maior regulagem são usados potenciômetros multi-giros (Elipot). A potência máxima dissipada é de cerca 5 W.



Potenciômetros

Multi-giros a fio

Dissipação máxima : 5 W

Tolerância: $\pm 3\%$

Variação: linear

Tolerância de linearidade: $\pm 25\%$

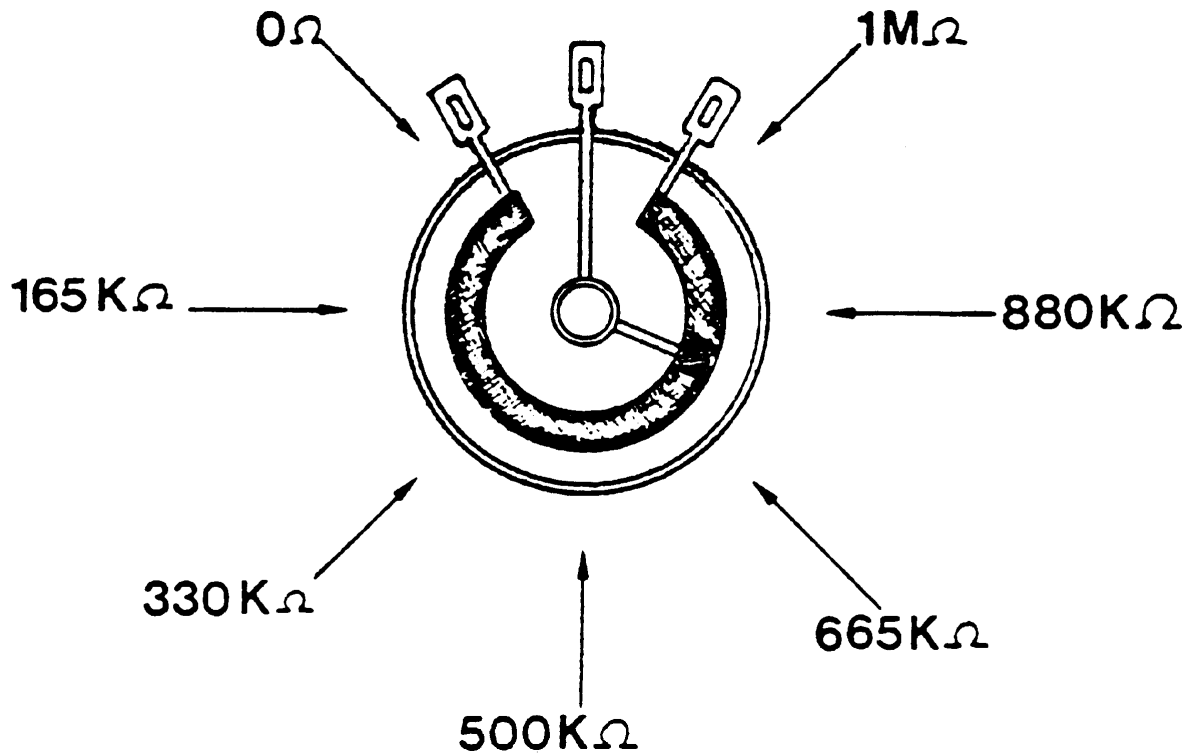
Números de giros: 10

Números de revoluções: 10

Duração : 10 giros

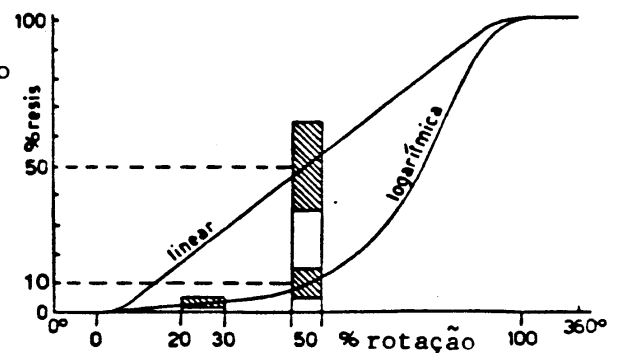
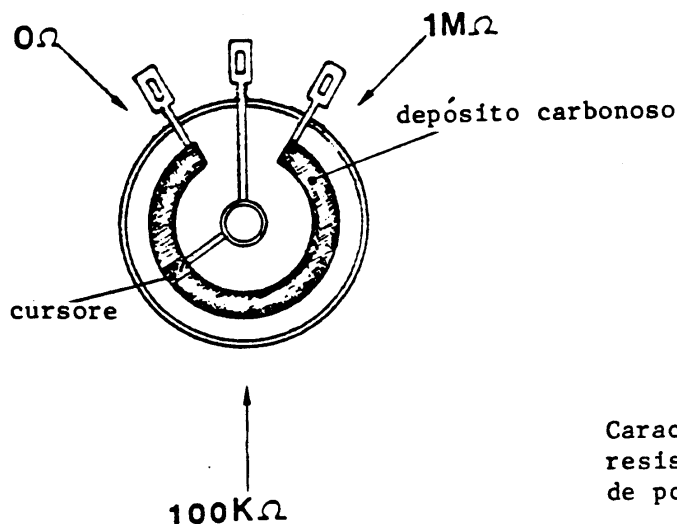
20 HP10S

Uma resistência variável é dita linear quando, durante todo o percurso, para os deslocamentos iguais do cursor, tem-se variações iguais da resistência. Os potenciômetros lineares são marcados com a letra A, estampada no invólucro.



POTENCIÔMETRO LINEAR (1 MΩ A)

Uma resistência variável é dita logarítmica quando o deslocamento do cursor faz variar o valor da resistência segundo uma escala logarítmica. Tais potenciômetros são marcados com a letra B impressa ou estampada no invólucro.

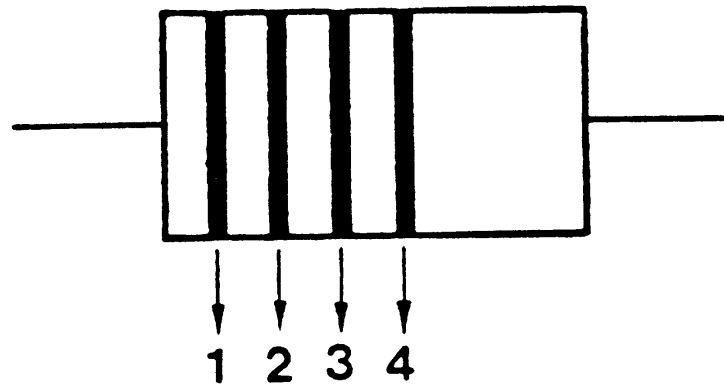


Características de variação da resistência com a rotação do cursor de potenciômetros de grafite.

POTENCIÔMETRO LOGARÍTMICO (1 MΩ.B)

Código de cores para resistores

A maioria dos resistores no comércio não têm o valor escrito sob forma de número mas sim sob a forma de faixas coloridas. Cada faixa assume, segundo sua posição, um certo valor.

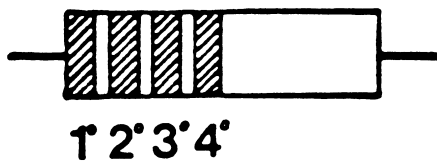


Para identificar o valor destas resistências usa-se o

CÓDIGO DE CORES

COR	I ANEL 1º algarismo	II ANEL 2º algarismo	III ANEL Multiplicador	IV ANEL Tolerância
Preto	0	0	1	-
Marrom	1	1	10	$\pm 1\%$
Vermelho	2	2	100	$\pm 2\%$
Laranja	3	3	1.000	-
Amarelo	4	4	10.000	-
Verde	5	5	100.000	-
Azul	6	6	1.000.000	-
Violeta	7	7	-	-
Cinza	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Ouro	-	-	: 10	$\pm 5\%$
Prata	-	-	: 100	$\pm 10\%$

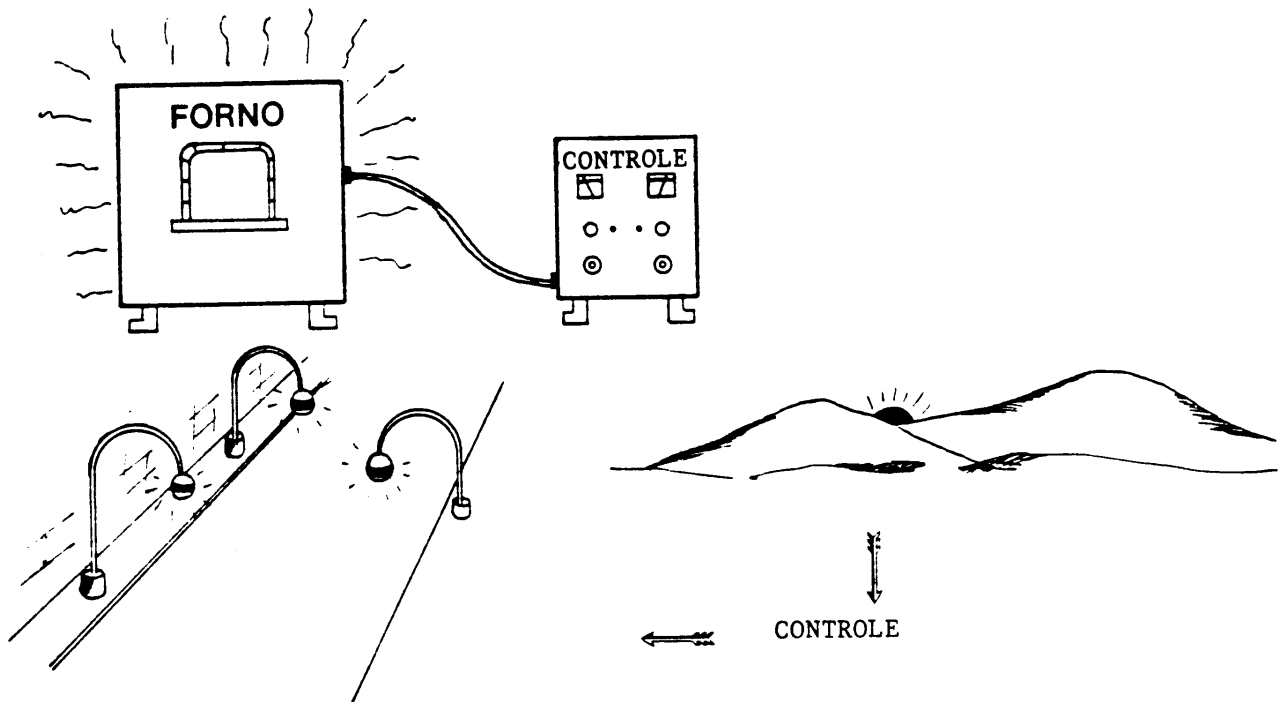
- Sem o IV anel a tolerância é de $\pm 20\%$



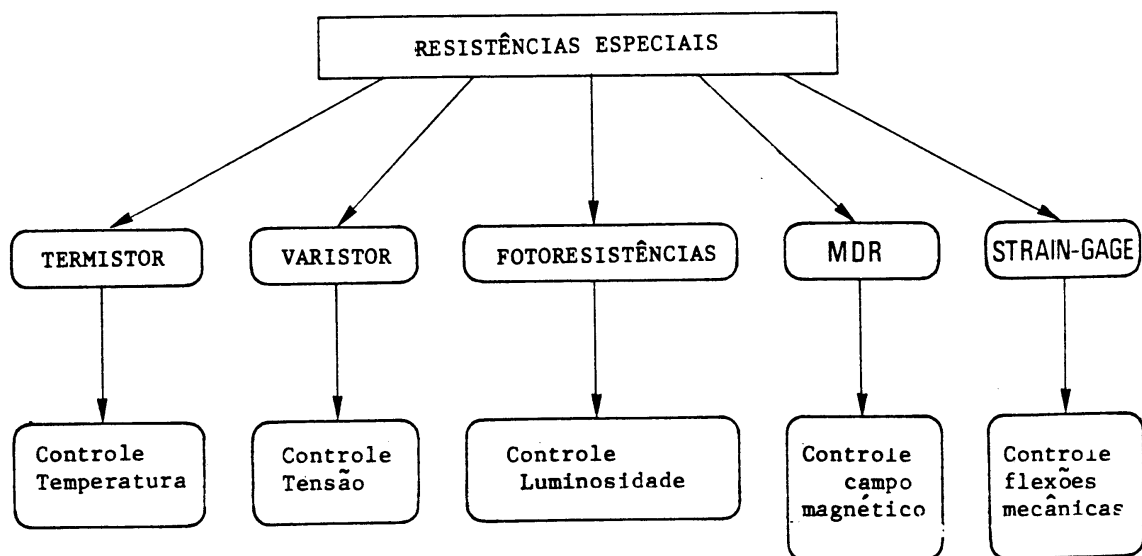
Resistores Especiais

Generalidades

Em alguns aparelhos automáticos, são necessários componentes especiais sensíveis às variações das principais grandezas físicas, como luz, temperatura, força, ddp, magnetismo, etc.



Para estes controles pode-se usar resistências especiais em que o valor se modifica em função da variação da grandeza examinada.

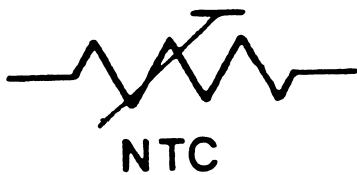


Resistores sensíveis à temperatura

São denominadas TERMISTORES e dividem-se em dois grupos:

- a) Termistores N.T.C. (Negative Temperature Coefficient) - coeficiente de temperatura negativo.

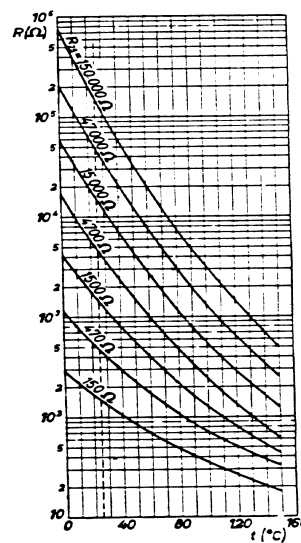
São componentes obtidos através de material semicondutor; a resistência deles diminui com o aumento da temperatura.



Termistores NTC
 de compensação
 com invólucro com
 rosca para contato
 térmico
 Resist. a 20°C: 1kΩ
 Variação R/°C: 41%
 Constante de dissipação:
 30 mW/°C
 Tolerância: $\pm 20\%$
 Dimensões: $\phi 10 \times 4$



Os N.T.C. são construídos para valores compreendidos entre alguns décimos de ohm e alguns centésimos de kΩ.



Características de funcionamento do N.T.C.

- b) Termistores P.T.C. (Positive Temperature Coefficient) - coeficiente de temperatura positivo.



Sistema FIEMG

Termistores PTC
com coeficiente positivo para
medida e regulagem

Resist. a 180°C: 100Ω

Constante de dissipação:
4 mW/°C

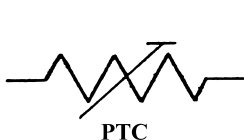
Temperatura final:
200°C [Tf]

Resistência final a Tf:
≥ 5 kΩ

tensão máxima a 25°C:
30V

tolerância: ± 5%

Dimensão: φ 4



PTC

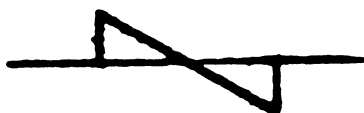


Os termistores são usados no campo industrial em circuitos de medida e controle da temperatura.

Resistores sensíveis a variações de tensão

São chamadas VARISTORES ou V.D.R. (Voltage Dependent Resistor).

A resistência dos VDR diminui quando se aumenta a tensão aplicada.



VDR

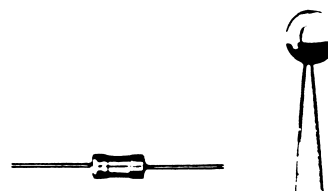
Varistores VDR

Tensão para 200 μA:
De 340 a 400 V

Tensão para 500 μA:
De 410 a 480 V

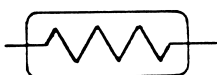
Dissipação: 0.7 W nom.

Dimensões: φ 5.5x13



Resistores sensíveis a variações do campo magnético

São chamadas M.D.R. (Magnetic Dependent Resistor) e o valor resistivo delas aumenta quando se aumenta a intensidade do campo magnético.



MDR

Resistor Magnético

Resist. a 25°C: 250Ω

Tolerância: ± 20%

Relação Rb/Ro a

25°C: ± 3 Kgauss=

2.8 + 3.2

± 10 Kgauss =

12 +18

Coeficiente de temperatura:

0 Kgauss=

18 . 10⁻³ / °C

± 3 Kgauss =

27.10⁻³ / °C

± 10 Kgauss=

29.10⁻³ / °C

Dimensão: 4x1.5x0.55



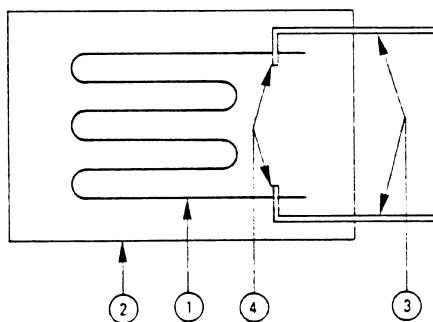
Resistores sensíveis às solicitações mecânicas

São chamadas normalmente de extensímetros (Strain- gage). São constituídas por um fio com alta resistividade colado sobre um suporte isolante, para ter uma sensibilidade elevada o fio é moldado como na figura.

O suporte com o extensímetro é colado sobre o mecanismo especial onde se deseja evidenciar a deformação.

As deformações mecânicas (torções, flexões, trações, etc. determinam a tração ou a compressão do fio resistivo com conseqüente variação de sua resistência, fio em tração = alongamento e redução da seção reta, então tem-se um aumento da resistência fio em compressão = diminuição do comprimento e aumento da seção reta, tem-se então uma diminuição da resistência.

SÍMBOLO



1- fio condutor

2- suporte de papel

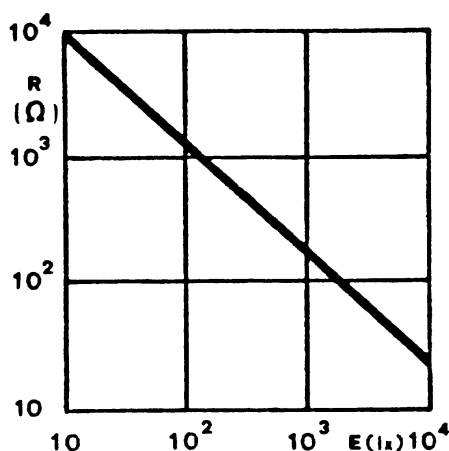
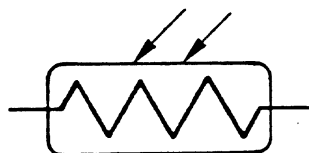
3- conexões

4- pontos de solda

Resistores sensíveis à intensidade luminosa (Foto-resistores)

Chama-se foto-resistência aqueles elementos que variam os seus valores resistivos quando se varia a luminosidade à qual o elemento é exposto. A variação resistiva é quase linear.

Símbolo



Característica
resistência

foto-



Sistema FIEMG

Os tipos mais comuns são os de forma cilíndrica e podem ser a iluminação frontal ou a iluminação lateral. O envoltório pode ser metálico, estanque, plástico, de resina, de vidro, etc.

FOTO-RESISTORES



De sulfuro mais seleniete de cádmio. Iluminação: frontal
Dissipação: 0.15 W a 25°C
Tensão máxima de trabalho: 200 V.c
Invólucro: resina acrílica
Resistência :
No escuro 0 lux : 5 M Ω
Com iluminação 100 lux: 9 k Ω \pm 50%
Dimensões: ϕ 12x4

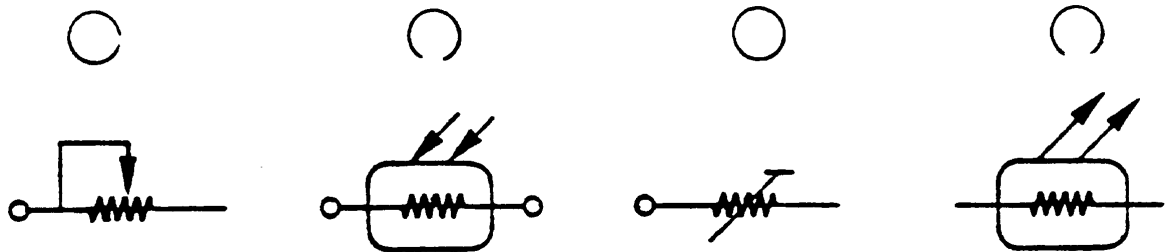
São usados nos circuitos conta-peças, antifurtos, interruptores crepusculares, exposímetros, etc. e em todos os casos que se precisa notar variações de iluminação.

Testes de Verificação

1) O termistor é um componente sensível às variações de:

- ☐ Temperatura
- ☐ luminosidade
- ☐ tensão
- ☐ campo magnético

2) O símbolo da fotoresistor é:



3) Para assinalar as solicitações mecânicas sobre uma carroceira em prova usa-se:

- ☐ termistor
- ☐ varistor
- ☐ strain-gages (transparentes)
- ☐ fotoresistências

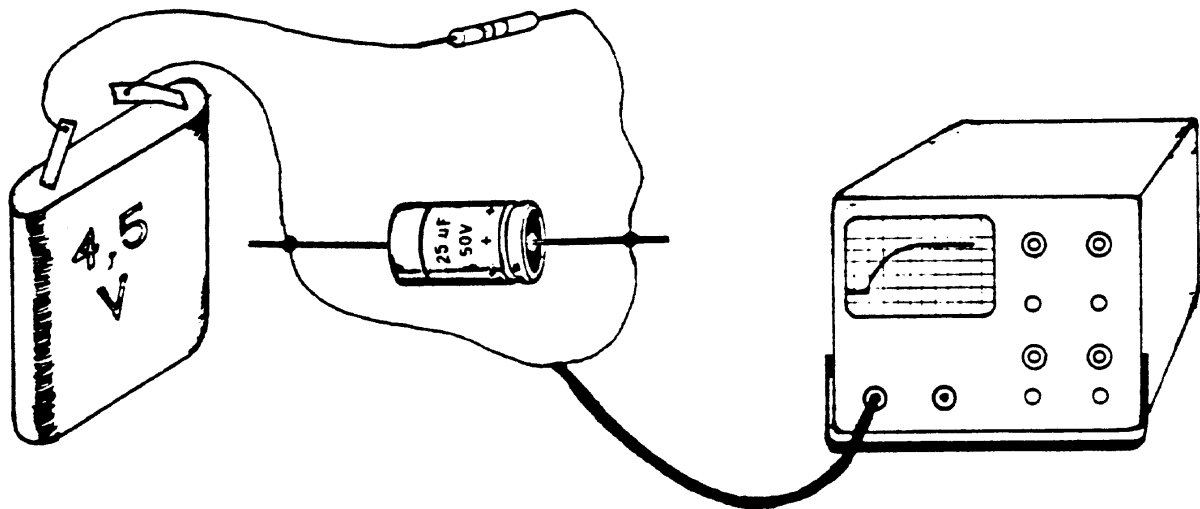
4) O varistor é um componente sensível às variações de:

- ☐ temperatura
- ☐ luminosidade
- ☐ tensão
- ☐ frequência

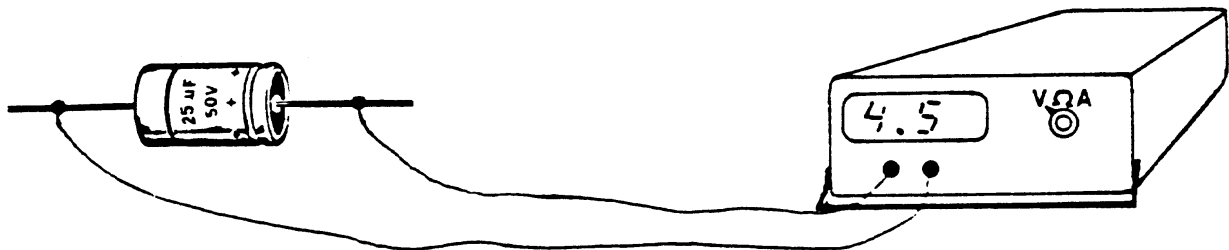
Capacitores

Generalidades

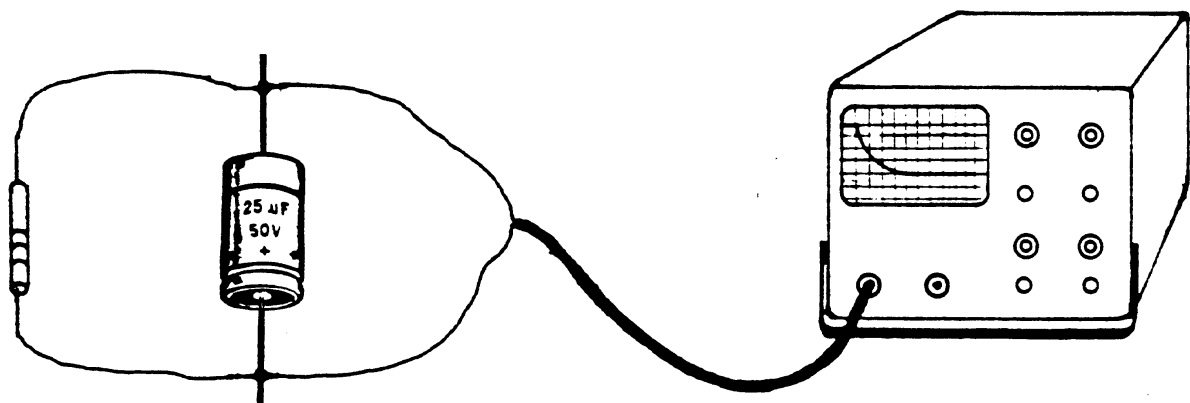
Observem os seguintes circuitos:



1) O CAPACITOR SE CARREGA

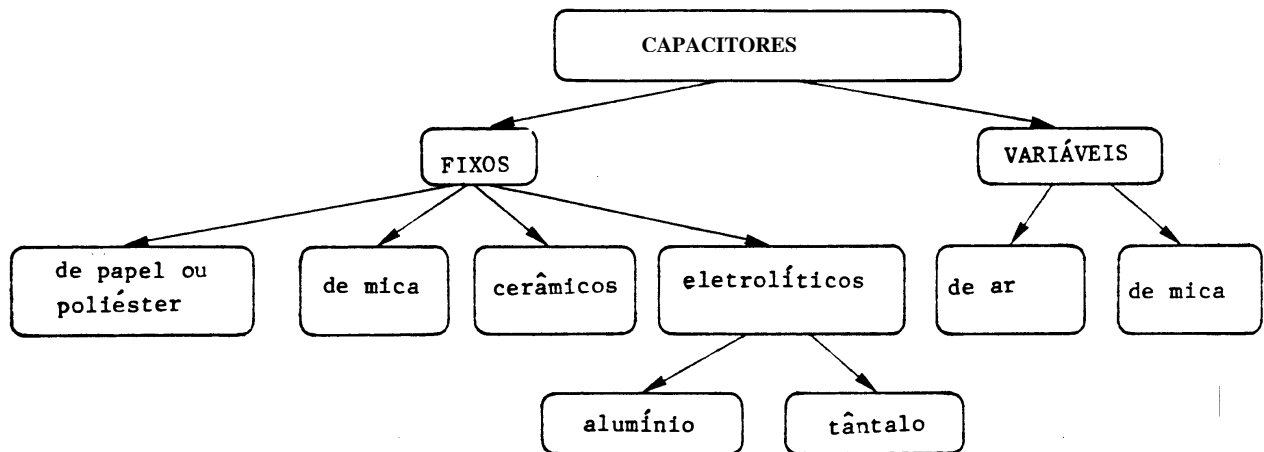


2) O CAPACITOR PERMANECE CARREGADO

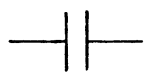
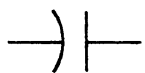


3) O CAPACITOR SE DESCARREGA

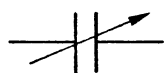
O capacitor é um elemento capaz de acumular cargas elétricas e de devolvê-las em um segundo tempo. Os capacitores podem ser assim classificados:



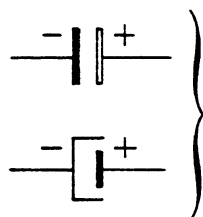
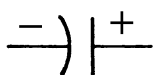
Esquemáticamente, os capacitores podem ser assim representados:



CAPACITOR FIXO



CAPACITOR VARIÁVEL



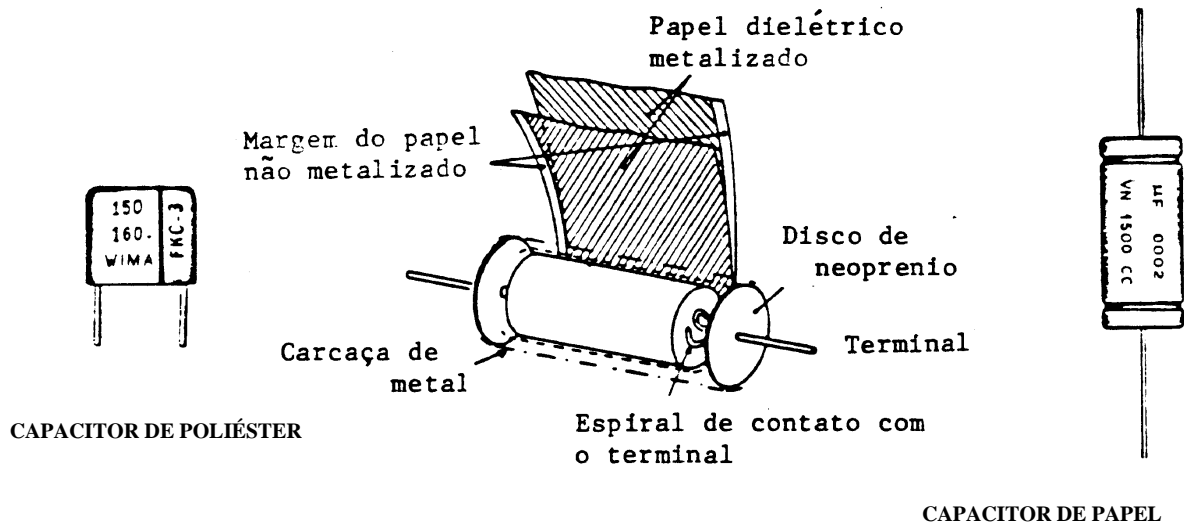
CAPACITOR ELETROLÍTICO

Capacitores de papel ou poliéster

As armações são constituídas por folhas de estanho ou alumínio finíssimas e o dielétrico de uma folha de papel embebida em um líquido isolante que impede a absorção de umidade.

Existem capacitores de papel metalizado que são mais práticos de manusear.

Os capacitores de poliéster diferenciam-se daqueles de papel pela diferente constituição do dielétrico.



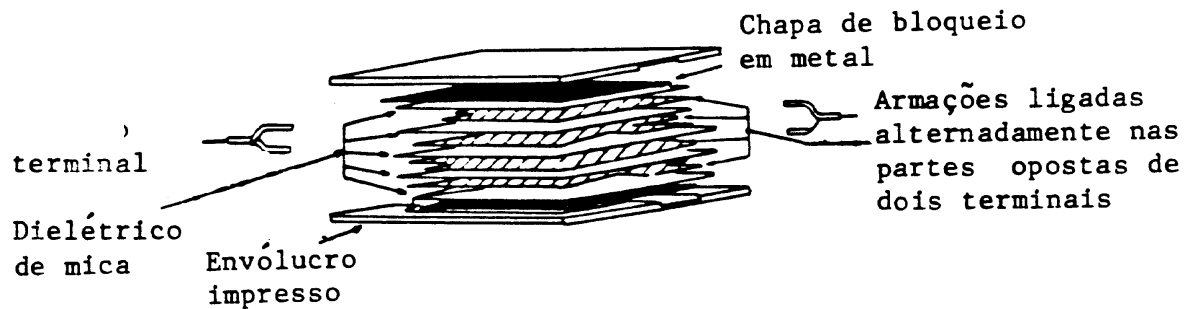
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS PRINCIPAIS

Capacitância Nominal	—	de 1 nF a dezenas de μF
Tensão nominal de trabalho	—	até 1500 V
Tolerâncias sobre os valores máx	—	+ - 20%
Temperatura máx de trabalho	—	$\sim 150^{\circ}\text{C}$

Capacitores de mica

Os capacitores de mica são constituídos por camadas superpostas de mica e lâminas de alumínio muito finas, ou então de folhas de mica prateadas.

São particularmente usados nos circuitos a alta frequência.



CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS PRINCIPAIS	Capacitância Nominal	_____	de 5 pF a 10 nF
	Tensão nominal de trabalho	_____	até 500 V
	Tolerância sobre os valores máx	_____	de +- 2% a +- 5%
	Temperatura máx de trabalho	_____	~ 60°

Capacitores de cerâmica

Para altíssimas frequências de trabalho (HF, VHF) usa-se capacitores de cerâmica devido à menor perda de energia em relação aos outros tipos como os de papel, de poliéster, etc.

Estes são constituídos por um suporte de cerâmica (dielétricos) sobre o qual se deposita a fogo uma camada de prata.

Os capacitores de cerâmica encontram-se no comércio essencialmente nas três seguintes formas:

a disco



a tubinho

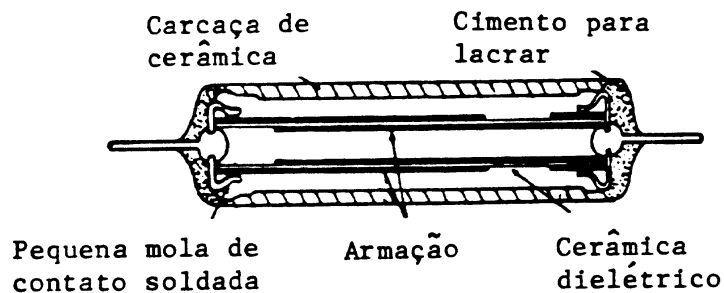
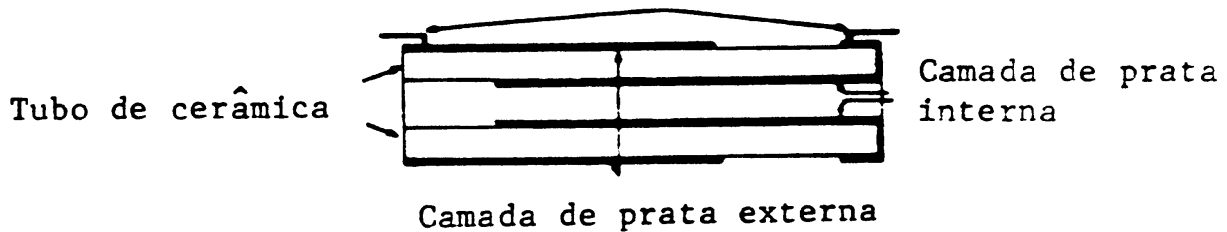


a pastilha



CONSTITUIÇÃO DE UM CAPACITOR DE CERÂMICA

Condutores terminais envolvidos em torno do tubo e soldados a uma camada de prata

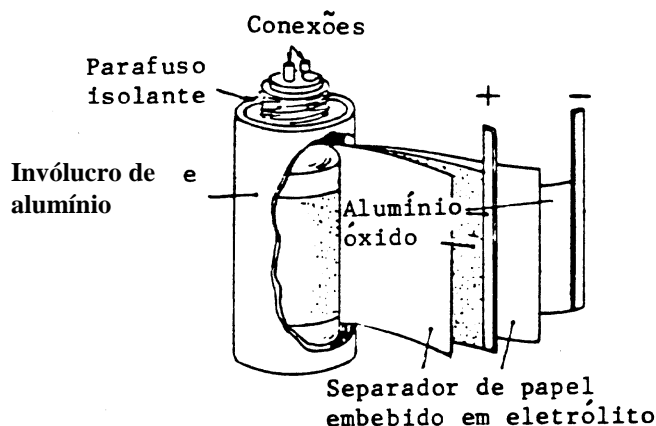


CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS PRINCIPAIS

tensão nominal de trabalho	⇒ De até a 1,0÷1,2 KV
Resistência de isolamento entre as armações	⇒ $\simeq 10^4 \div 10^5 \text{ M } \Omega$
Temperatura máxima de trabalho	⇒ 55°C

Capacitores eletrolíticos de alumínio

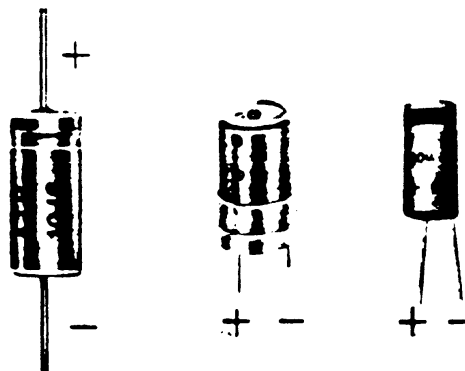
Os capacitores eletrolíticos de alumínio distinguem-se dos capacitores comuns pela natureza do seu dielétrico; este é constituído por uma camada de óxido depositada sobre uma das armações do capacitor, ativado por um líquido dito eletrólito contido entre as próprias armações.



A maior qualidade deste tipo de capacitor consiste no fato de acumular em pequeno volume uma elevada capacitância. A uma mesma capacitância, terá dimensões maiores aquele que tiver a tensão de trabalho mais elevada.



(O + se identifica pela cor, em geral vermelha, do terminal interessado)



CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS PRINCIPAIS

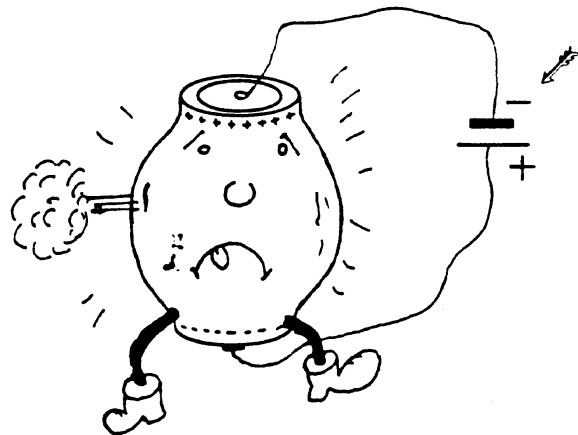
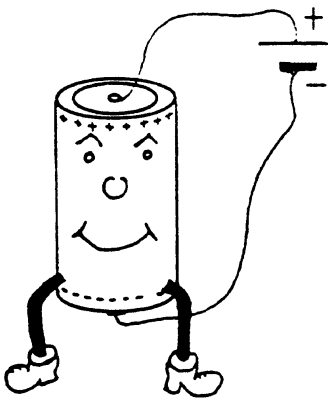
Valores de capacitância	⇒	$\simeq 1 \mu\text{F}$ até $20000 \mu\text{F}$
Tensão de trabalho	⇒	$6 \text{ V} \div 500 \text{ V}$
Tolerância	⇒	muito variável, Dependendo do tipo
Temperatura de uso	⇒	$-10 \div \sim + 65^\circ\text{C}$

Capacitores eletrolíticos de tântalo

São capacitores menores em relação àqueles de alumínio, com igual capacitância, e têm uma precisão maior, todavia não são construídos para grandes capacitâncias e para tensões de trabalho elevadas.



PARA OS CAPACITORES ELETROLÍTICOS:

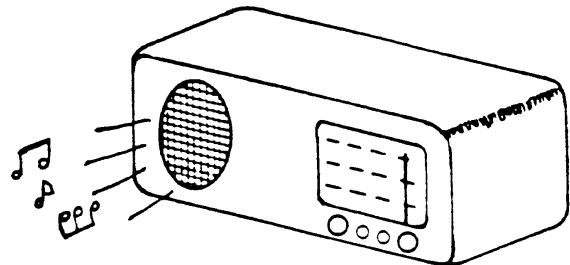
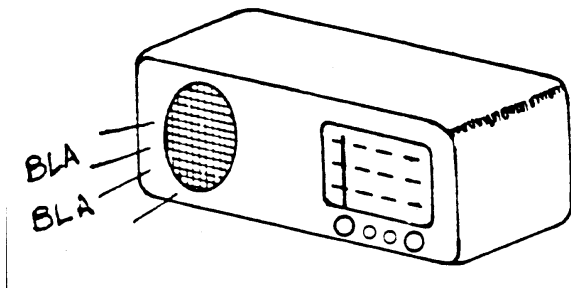


ATENÇÃO ÀS POLARIDADES!!!

E À TENSÃO DE TRABALHO

Capacitores variáveis

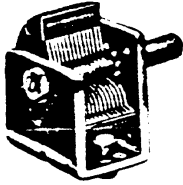
Observem as seguintes figuras:



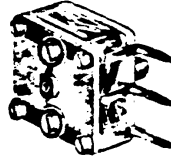
A escolha do tipo de programa em um rádio se obtém através um comando de “sintonia”.

Tal comando age sobre um

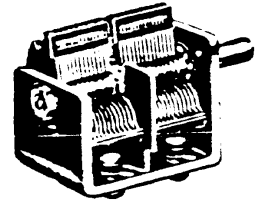
CAPACITOR VARIÁVEL



A AR



DE MICA



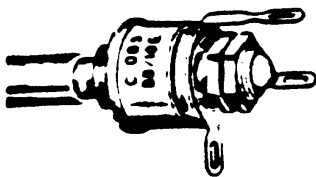
A AR
(com duas seções)

Nestes tipos de capacitores, se obtém a variação da capacitância diminuindo ou aumentando a superfície de contato entre os dois sistemas de armaduras móveis.

São capacitores variáveis a ar aqueles cujo dielétrico entre as armaduras é o próprio ar, ou capacitores de mica quando se utiliza como dielétrico a mica colocada entre as armaduras.

Capacitores ou “trimmer capacitor”

São capacitores de ar ou de mica, aqueles cuja variação da capacitância se obtém usando uma chave de fenda numa sede apropriada.



São usados em calibrações e regulagens que devem permanecer fixas no ponto alcançado.

Códigos de cores para os capacitores

		I	II	III	IV	V	
						Tolerância	
Cor	Coef. De temperat.	1º n.º C em pF	2º n.º C em pF	Multip. De C	C > 10 pF	C ≤ 10pF	
Preto	NPO	0	0		1 ± 20%		
Marron	N/30	1	1		10 ± 1%		
Vermelho	N/80	2	2		100 ± 2%		
Laranja	N/150	3	3		1000 ± 20%		
Amarelo	N/220	4	4		10000 -		
Verde	N/330	5	5		- ± 5%		
Azul	N/470	6	6		- -		
Violeta	N/750	7	7		-		
Cinza	-	8	8		0,01		
Branco	P/100.	9	9		0,1		

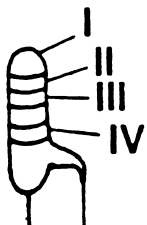
Quando no corpo do capacitor existem somente quatro faixas de cores, a leitura é a seguinte:

- I - valor da capacitância: 1º número
- II - valor da capacitância: 2º número
- III – multiplicador
- IV – tolerância

Neste caso não é indicado o coeficiente de temperatura do capacitor. No caso em que se tem somente três faixas de cores a leitura é a seguinte:

- I - valor da capacitância: 1º número
- II - valor da capacitância: 2º número
- III – multiplicador

EXEMPLO:



Testes de Verificação

- 1) Para a escolha de um capacitor, os parâmetros fundamentais são:
 - ☐ dimensões e tolerância
 - ☐ tipo e coeficiente de temperatura
 - ☐ capacitância e tensão de trabalho
 - ☐ dimensões e capacidade

- 2) A máxima tensão de trabalho dos capacitores de papel é da ordem de:
 - ☐ alguns volts
 - ☐ dezenas de volts
 - ☐ centenas de volts
 - ☐ milhares de volts

- 3) Os capacitores cerâmicos e de mica são adequados para circuitos:
 - ☐ a alta intensidade de corrente
 - ☐ a alta frequência
 - ☐ a baixa tensão
 - ☐ a alta potência

- 4) Os capacitores eletrolíticos podem funcionar:
 - ☐ Só com corrente alternada
 - ☐ Só com corrente contínua
 - ☐ Com corrente contínua e com corrente alternada
 - ☐ Em alta frequência

- 5) Os capacitores variáveis podem ser:
 - ☐ cerâmicos ou plásticos
 - ☐ eletrolíticos de tântalo
 - ☐ de ar e cerâmicos
 - ☐ de ar e de mica



Sistema FIEMG

Indutores

Generalidades

Os indutores são componentes que têm a finalidade de introduzir um centro de indutância em circuito elétrico.

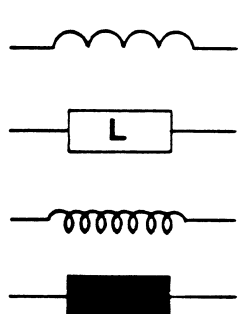
Existem

INDUTORES
A AR

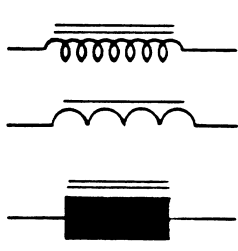
e

INDUTORES
COM NÚCLEO MAGNÉTICO

Esquematicamente, tais elementos são assim representados:



Indutores a ar

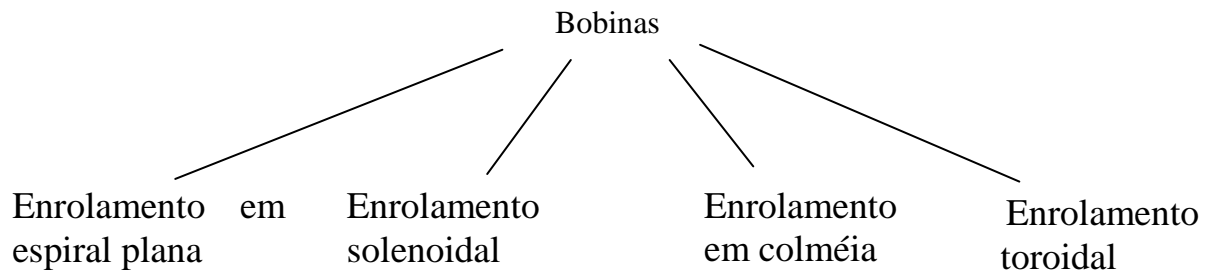


Indutores com núcleo magnético

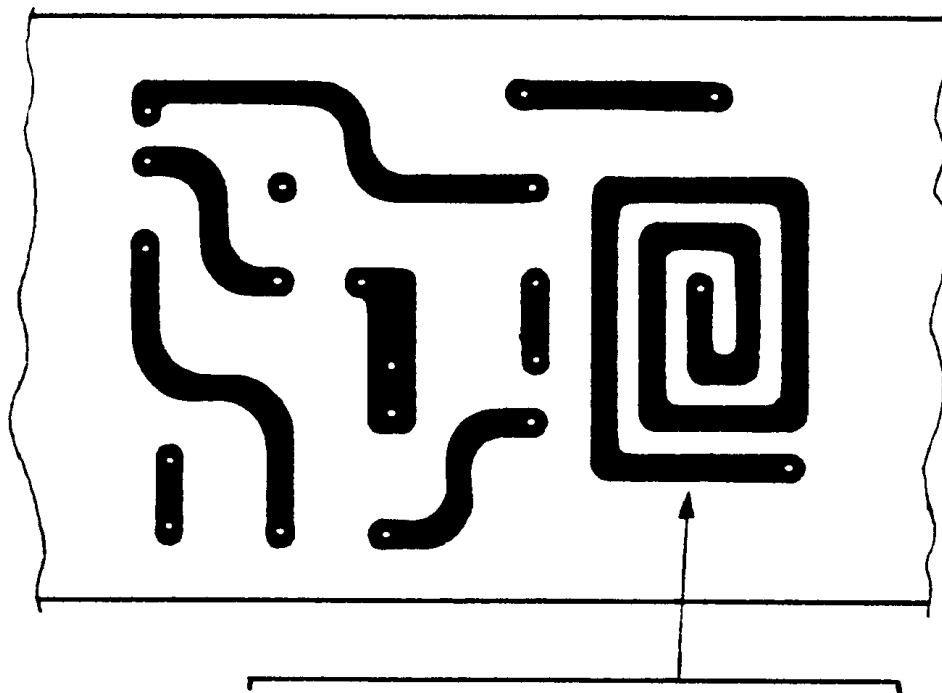
O indutor ou indutância é um elemento capaz de acumular energia eletromagnética e de devolvê-la em um segundo tempo.

Indutores a ar

Em prática, são realizados mediante bobinas com determinados tipos de enrolamento:



As bobinas com enrolamento do tipo espiral ou retangular plano são usadas nos casos em que se requer precisão e rigidez mecânica. Todavia, este sistema não permite a realização de bobinas com indutância elevada.

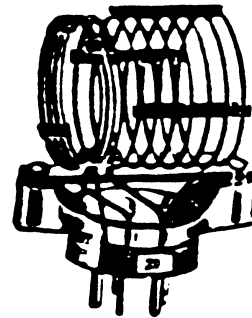


exemplo de bobina espiral
sobre circuito impresso

As bobinas com enrolamento solenoidal com uma ou mais camadas de pequenas dimensões são utilizadas em circuitos oscilatórios e transmissores de baixa potência.

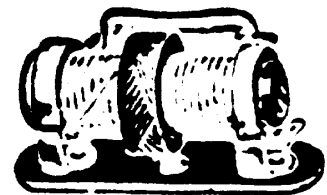
São constituídos por um condutor de cobre de seção não relevante, montado sobre um suporte isolante.

As espirais são mantidas afastadas entre si por um bloquinho de material cerâmico.



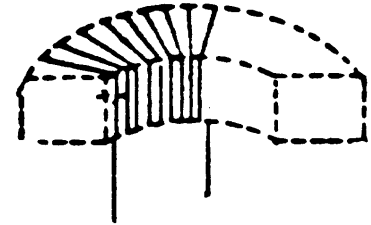
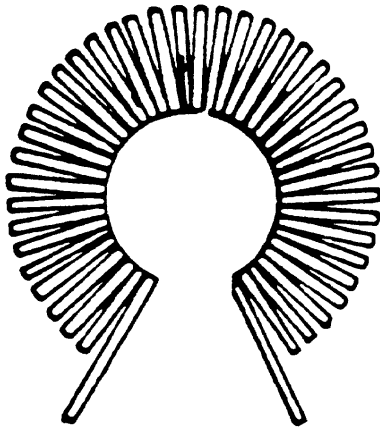
Para grandes potências, tais bobinas são feitas do mesmo modo e podem ser resfriadas mediante circulação de água destilada no interior do tubo de cobre que forma o solenóide.

As bobinas com enrolamento em colmeia são mais usadas pois permitem obter indutância de boa qualidade e pequenas dimensões



São formadas por um fio unipolar esmaltado ou recoberto por uma camada de algodão ou seda. O enrolamento, dado o especial processo de fabricação, apresenta uma estrutura hexagonal da qual deriva o termo “colmeia”.

As bobinas com enrolamento toroidal são empregadas quando se requer que o campo magnético gerado por estas não altere o funcionamento de outras indutâncias ou quando se deseja uma proteção das mesmas contra campos parasitas externos.



Indutores com núcleo magnético

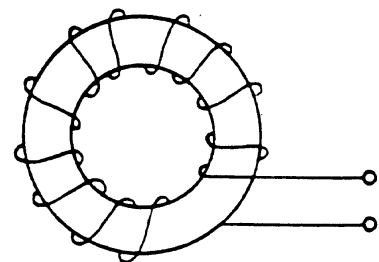
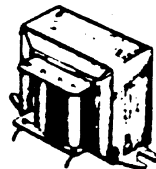
Podem ser de dois tipos:

Σm núcleo magnético fixo

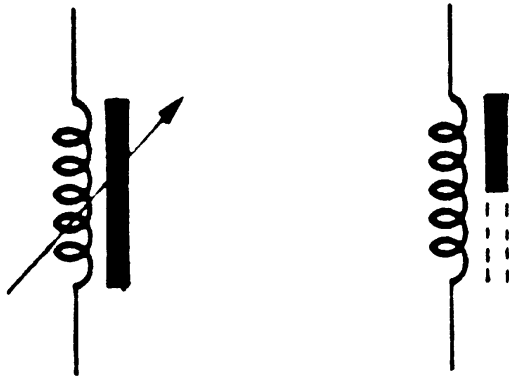
Σm núcleo magnético variável

Os indutores com núcleo magnético fixo são empregados com circuitos de nivelamento, como impedâncias de modulação, etc.

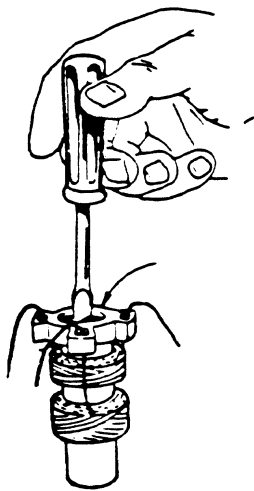
Diferentemente das bobinas a ar, as bobinas com núcleo magnético de mesma indutância assumem dimensões inferiores. São enroladas em núcleos ferromagnéticos laminados (baixa freqüências) ou sobre núcleos de ferrita (altas freqüências)



Os indutores com núcleo magnético variável, são empregados em circuitos rádio recepto-transmissores e em todos aqueles em que se requer uma calibragem que deve permanecer fixa no ponto alcançado.



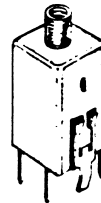
Indutores com núcleo magnético variável



Núcleo ferromagnético



Indut. mínima: $55\mu\text{H}$
Indut. máxima: $220\mu\text{H}$
Resistência: $0,5\Omega$



São formadas do mesmo modo que as bobinas a ar, mas invés de serem enroladas em suportes isolantes ou no ar, são enroladas sobre núcleos de “ferrita e ferroxcube”

Testes de Verificação

1) O símbolo gráfico de indutância com núcleo magnético é:

- ☐
- ☐
- ☐
- ☐

2) Os indutores com enrolamento toroidal são:

- o indutores de elevada resistência ôhmica
- o indutores a ar ou com núcleo magnético
- o indutores resfriados a água
- o indutores variáveis

3) Os indutores com núcleo magnético pode Ter:

- o elevadas resistência ôhmica
- o núcleo variável
- o núcleo fixo ou variável

4) Os indutores com espiral retangular são usados preferencialmente:

- o em todos os circuitos, indistintamente
- o só em circuitos, indistintamente
- o só em circuitos de alta frequência
- o onde se requer rigidez mecânica e precisão
- o só em circuitos de baixa frequência



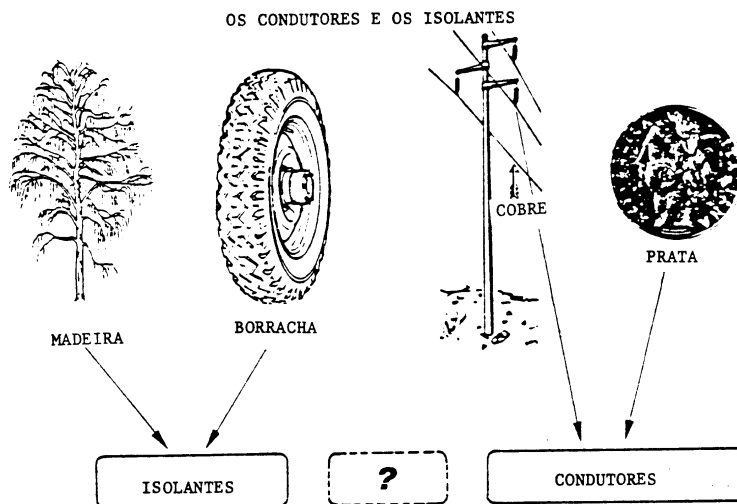
5) A ilustração acima representa:

- o um indutor com núcleo magnético
- o um indutor a ar
- o um indutor com núcleo magnético variável
- o um indutor com núcleo magnético fixo

Semicondutores

Generalidades

As substâncias presentes na natureza podem-se classificar, do ponto de vista elétrico, essencialmente em dois grupos :

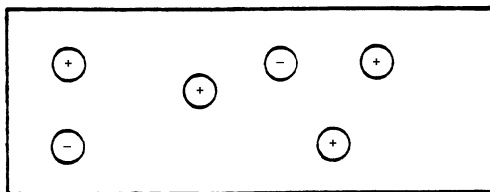


Existe, no entanto, uma terceira categoria de materiais: os SEMICONDUCTORES. Esses possuem propriedade intermediária em relação àquelas das outras duas categorias.

Os semicondutores usados na prática são: o Germanio (GE), o Silício (SI), o Gálio (GA), etc. Por meio de procedimentos tecnológicos especiais é possível, em um destes materiais produzir uma abundância de cargas elétricas indiferentemente positivas ou negativas seguindo um trabalho sob o qual o semicondutor é submetido. Tal operação é chamada DOPAGEM.

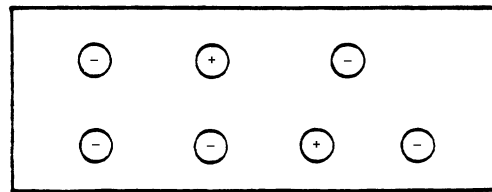
Examinemos agora os fragmentos de um semicondutor que por comodidade seja em forma de uma barra.

Barra de um semi-condutor do tipo “P”



Diz-se SEMI-CONDUTOR DE TIPO “P” se na barra existe um maior número de cargas +

Barra de um semi-condutor do tipo “N”

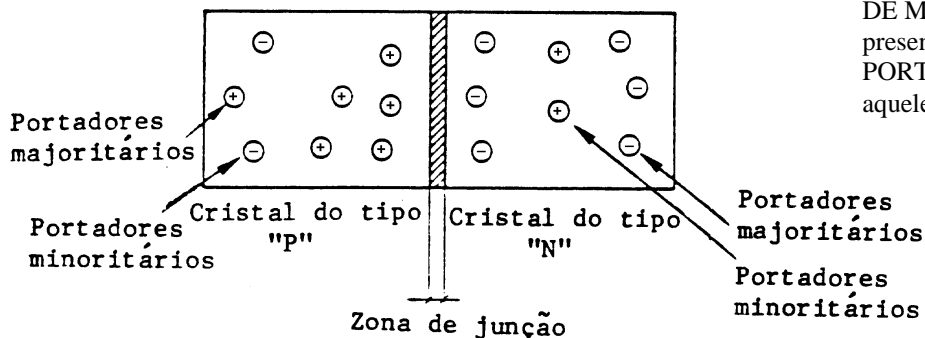


Diz-se SEMI-CONDUTOR DE TIPO “N” se na barra existe um maior número de cargas -

Junções

Na tecnologia eletrônica, encontra-se várias aplicações aos acoplamentos com materiais semi-condutores de diversas características (dopagem do tipo “p” ou do tipo “n”). Tal operação de difusão com dopagens diferentes sobre uma única barra de semi-condutor define-se genericamente:

Sistema FIEMG
JUNÇÃO P-N



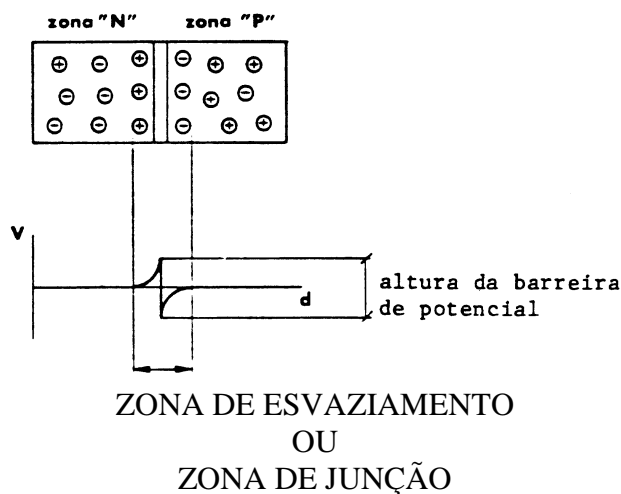
No cristal chama-se PORTADORES DE MAIORIA as cargas livres presentes em maior número; PORTADORES DE MINORIA aqueles do sinal oposto.

No instante em que se conclui a dopagem, na zona de junção, sucedem os seguintes fenômenos:

Difusão das cargas

As cargas livres “de maioria” próximas à zona de junção são de sinal oposto (negativas para o cristal do tipo “N” e positivas para aqueles do tipo “P”), então, por atração recíprocas, as cargas deslocam-se na zona de sinal oposto criando a chamada BARREIRA DE POTENCIAL. Este é, portanto, um obstáculo do tipo energético devido ao progressivo acúmulo de cargas de sinal oposto.

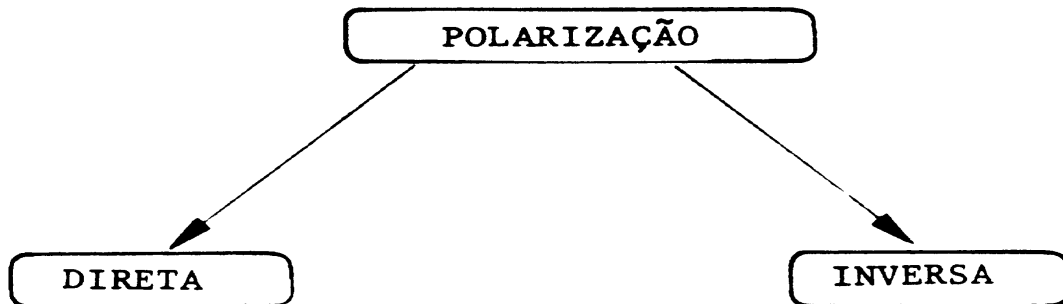
O aumento da barreira de Potencial, depois de um breve Tempo, restringe um posterior fenômeno de difusão (cargas de nome iguais se repelem) visto que, à medida que a barreira se eleva, é necessário sempre uma maior quantidade de energia para as cargas que querem atravessá-la. Depois de um breve tempo a difusão se reduz notavelmente e é possível dizer que SE EXTINGUE.



Polarização

POLARIZAR SIGNIFICA ALIMENTAR UM COMPONENTE QUE REQUER DETERMINADA POLARIDADE DE ALIMENTAÇÃO

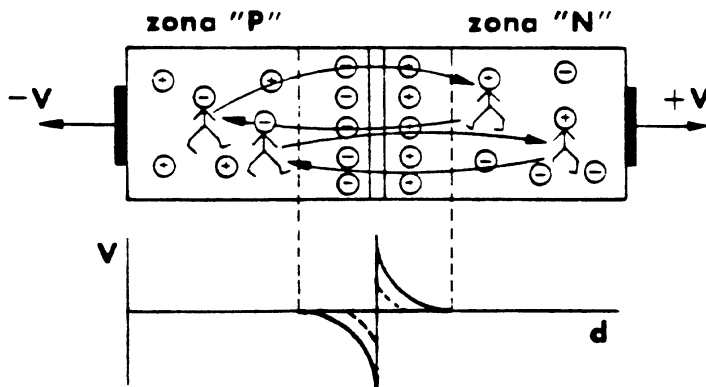
Distinguem-se dois casos:



O componente é alimentado corretamente com a polaridade requerida.

O componente é alimentado com a polaridade oposta àquela requerida.

Se uma junção P-N é polarizada inversamente:



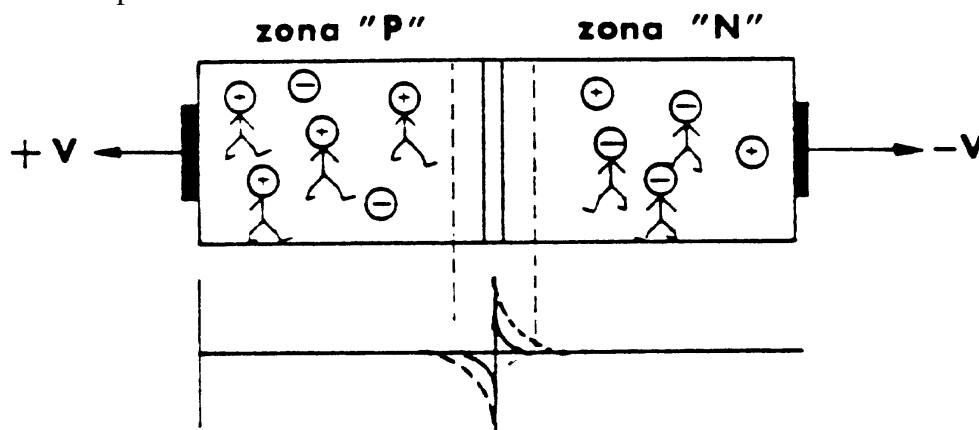
POLARIZAÇÃO INVERSA

Na figura é evidenciado o fluxo dos portadores minoritários.

Com poucos volts as cargas “de maioria” param, visto que o campo elétrico inverso impede o atravessamento da junção.

Os portadores minoritários, ao contrário, permanecem acelerados pelas polaridades da alimentação, e então, no entanto, no circuito passará uma corrente fraca inversa devida exatamente ao fluxo dos portadores minoritários. A barreira de potencial AUMENTA e SE ALARGA

Se uma junção P-N é polarizada diretamente:



A tensão reduz a barreira de potencial, fornecendo aos portadores majoritários a energia necessária para superar a zona de esvaziamento; então, no interior da barra e no circuito externo, tem-se um fluxo de corrente mesmo para tensões bem baixas.

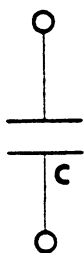
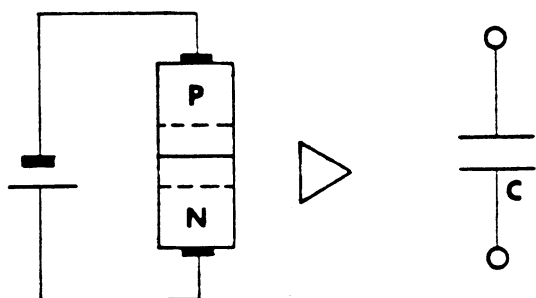
Se a tensão se eleva além de um certo limite ($= 1\text{V}$) a barreira se anula provocando uma livre circulação de corrente na barra, isto pode também revelar-se perigoso para a junção.

Do que foi dito acima, deduz-se a propriedade fundamental da junção P-N, isto é:

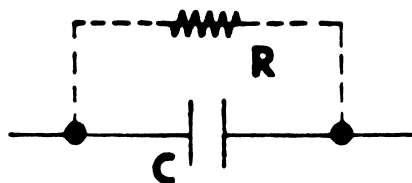
A JUNCTÃO CONDUZ EXCLUSIVAMENTE SE FOR POLARIZADA DIRETAMENTE, ISTO É, COM O POLO POSITIVO DA ALIMENTAÇÃO LIGADO À ZONA P E O POLO NEGATIVO LIGADO À ZONA N.

Efeito capacitivo da junção

É interessante notar que a zona de esvaziamento assume sempre as características de um perfeito DIELÉTRICO, cuja espessura (no caso de polarização inversa) é dependente da tensão externa de polarização. Pode-se então considerar a junção nestas condições, como equivalente a um capacitor, representando-se as armaduras pelo bordo externo da própria junção



N.B.: Durante a polarização direta da junção P-N o fenômeno capacitivo é muito menos importante pois, sendo muito baixa a R direta da própria junção, o circuito é modificado no seguinte modo:



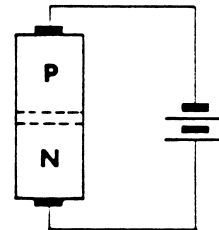
Testes de Verificação

1) Uma junção é:

- ☐ a união de uma barra de um semicondutor do tipo P com um semicondutor do tipo N.
- ☐ a difusão de cargas positivas sobre um semicondutor de germânio.
- ☐ uma barra de um semicondutor dopada diferentemente em dois pontos.
- ☐ NDA.

2) Na figura, a barreira de potencial é:

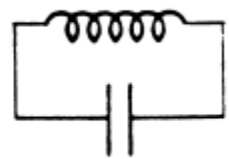
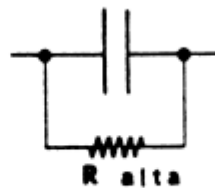
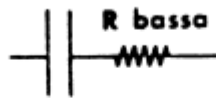
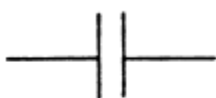
- ☐ facilmente superável pelos elétrons
- ☐ absolutamente insuperável pois a polarização é inversa
- ☐ dificilmente superável porque a polarização é inversa
- ☐ NDA



3) Polarizar significa:

- ☐ alimentar de modo correto um componente respeitando a polaridade
- ☐ alimentar de modo inverso um componente respeitando a polaridade
- ☐ alimentar um componente polarizado
- ☐ NDA

4) Assinalar o circuito equivalente exato de uma junção polarizada inversamente



5) Na junção polarizada inversamente, a corrente:

- ☐ não passa absolutamente
- ☐ passa somente se os fios forem de alumínio
- ☐ passa somente uma pequena corrente
- ☐ circula corrente direta

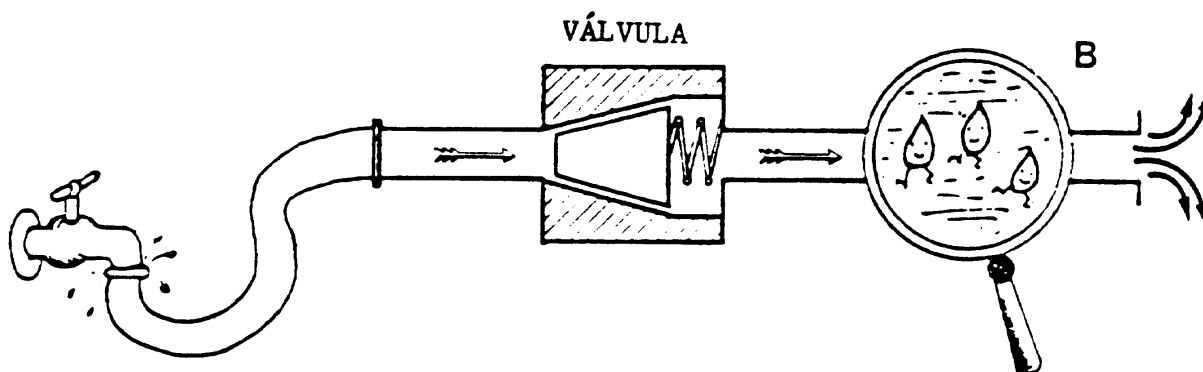
6) Polarizando uma junção diretamente:

- ☐ a barreira de potencial diminui
- ☐ a barreira de potencial diminui e se estreita
- ☐ a barreira de potencial aumenta e se alarga
- ☐ a barreira de potencial aumenta e se estreita

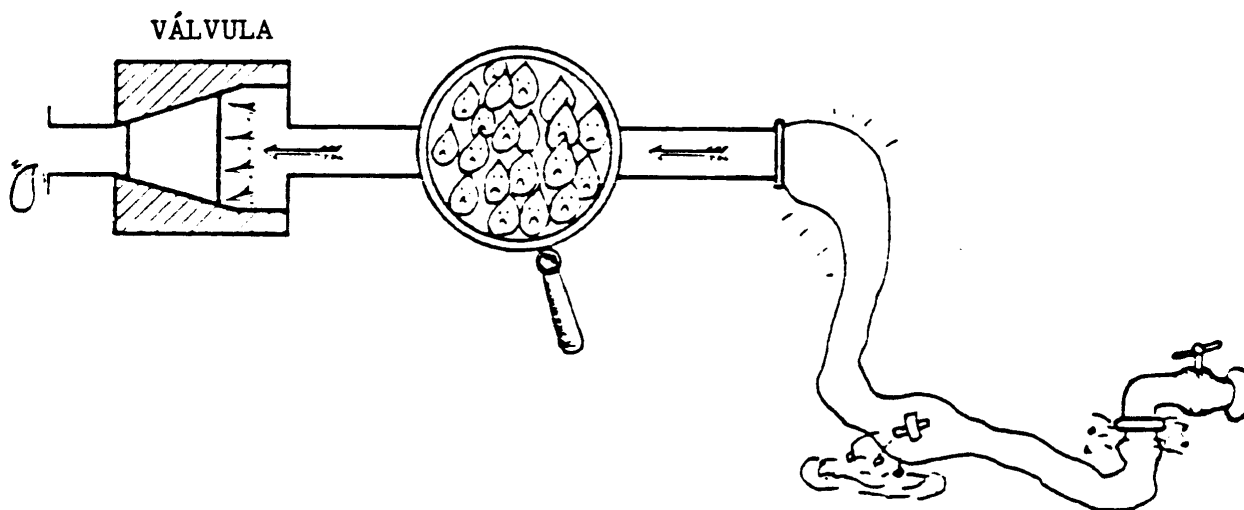
O Diodo Semicondutor

Generalidades

Observe o funcionamento do seguinte dispositivo:



O FLUIDO PODE CIRCULAR LIVREMENTE

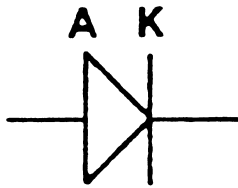


O FLUIDO NÃO PODE CIRCULAR

Dependendo do lado em que foi feita a conexão de entrada para alimentação se obtém ou não a passagem do fluido, então **a válvula determina o sentido da circulação do fluido.**

Em um circuito elétrico as funções da válvula do exemplo anterior são executadas por um componente eletrônico:

O diodo



$A = \text{anodo} = \text{zona P}$

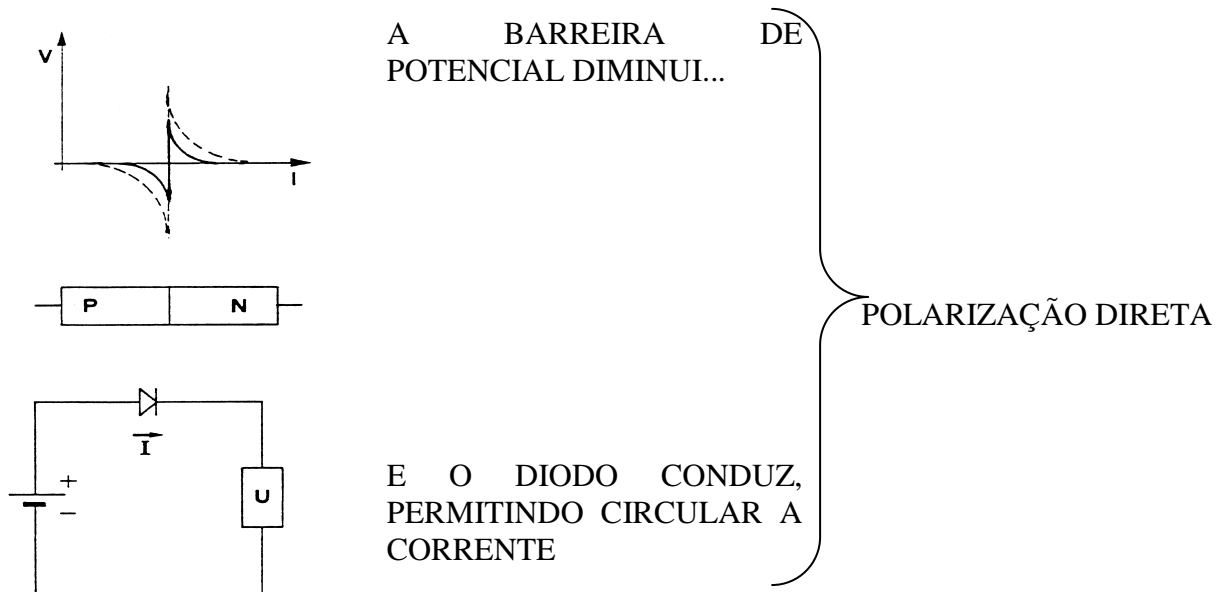
$K = \text{catodo} = \text{zona N}$

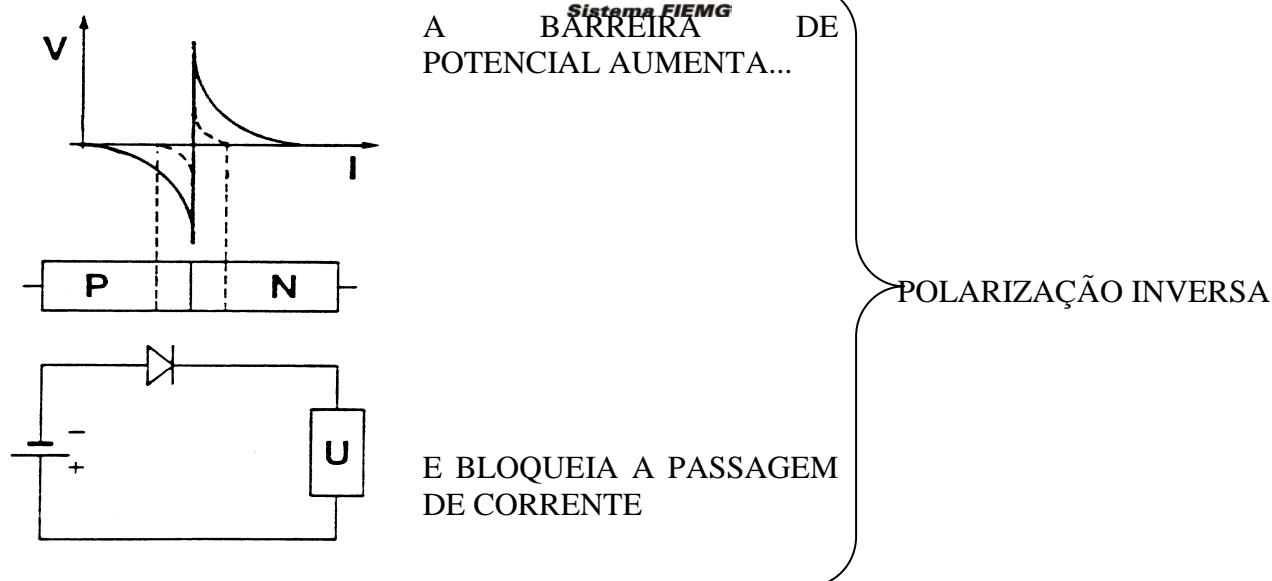


O diodo é essencialmente uma junção P-N cuja zona dopada P constitui o anodo, enquanto a zona dopada N constitui o catodo.

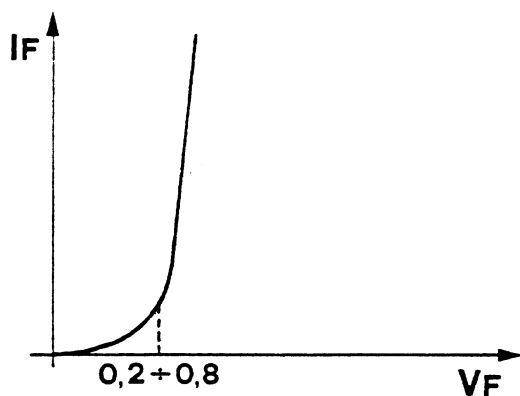
Polarização do diodo

O diodo conserva todas as propriedades originais da junção da qual é constituído, por isso:





Curvas características do diodo

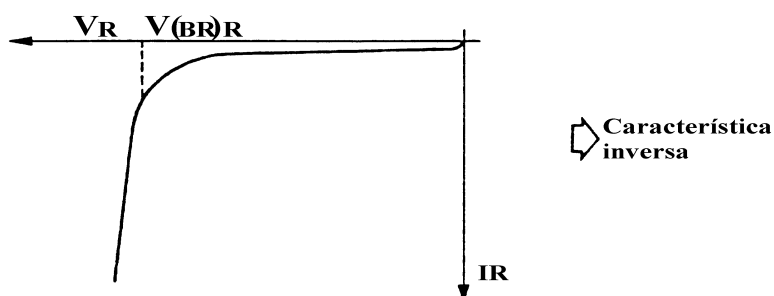


⇒ CARACTERÍSTICA DIRETA

Da característica direta, o importante é o seguinte:

O diodo polarizado diretamente conduz somente quando a tensão que chega a ele supera um certo limite, que para os componentes de silício vale 0,6-0,8 volt, para os componentes de germanio este limite é em torno de 0,2 volt.

Tais valores são susceptíveis a variações para mais ou para menos, ligadas a diversos fatores como tipo do diodo, temperatura, luz, etc.

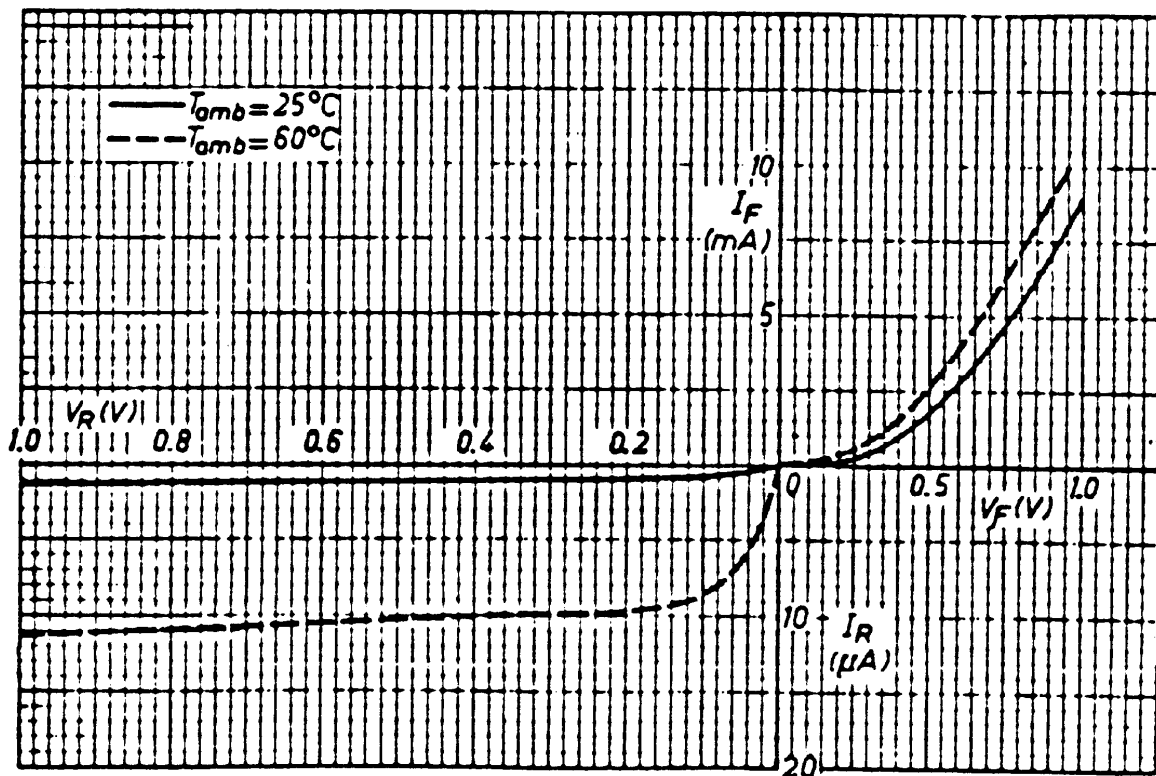


Da característica inversa deduz-se que:

O diodo polarizado inversamente não conduz, com exceção a uma pequena corrente inversa que flui através da junção.

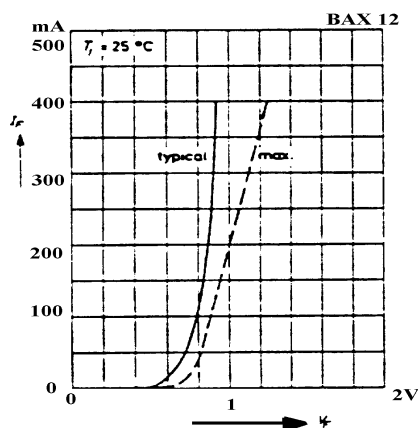
se a tensão inversa supera um certo valor (V_{br}), a corrente aumenta rapidamente provocando a destruição da junção, tal valor de tensão inversa pode atingir milhares de volt em alguns diodos de silício e centenas de volt nos diodos de germanio.

CARACTERÍSTICAS DIRETA E INVERSA DO DIODO DE GERMANIO (0 A 95)

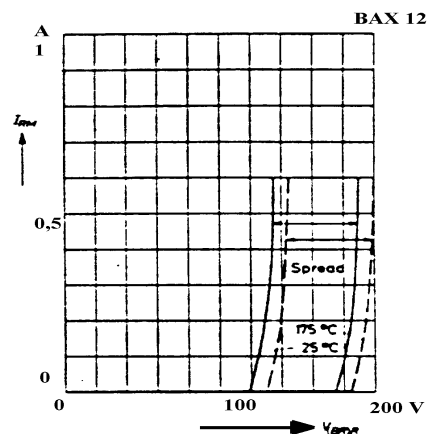


CARACTERÍSTICAS DIRETA E INVERSA DO DIODO DE SILÍCIO (BAXI 12)

Forward characteristic



Reverse characteristic



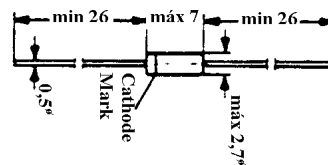
Cr terios para escolha dos diodos a semi-condutores

DADOS TÉCNICOS DOS DIODOS DE SILÍCIO (série BAY)

Glass case JEDEC DO-7

Weight approx. 0,2 g

Dimensios in mm



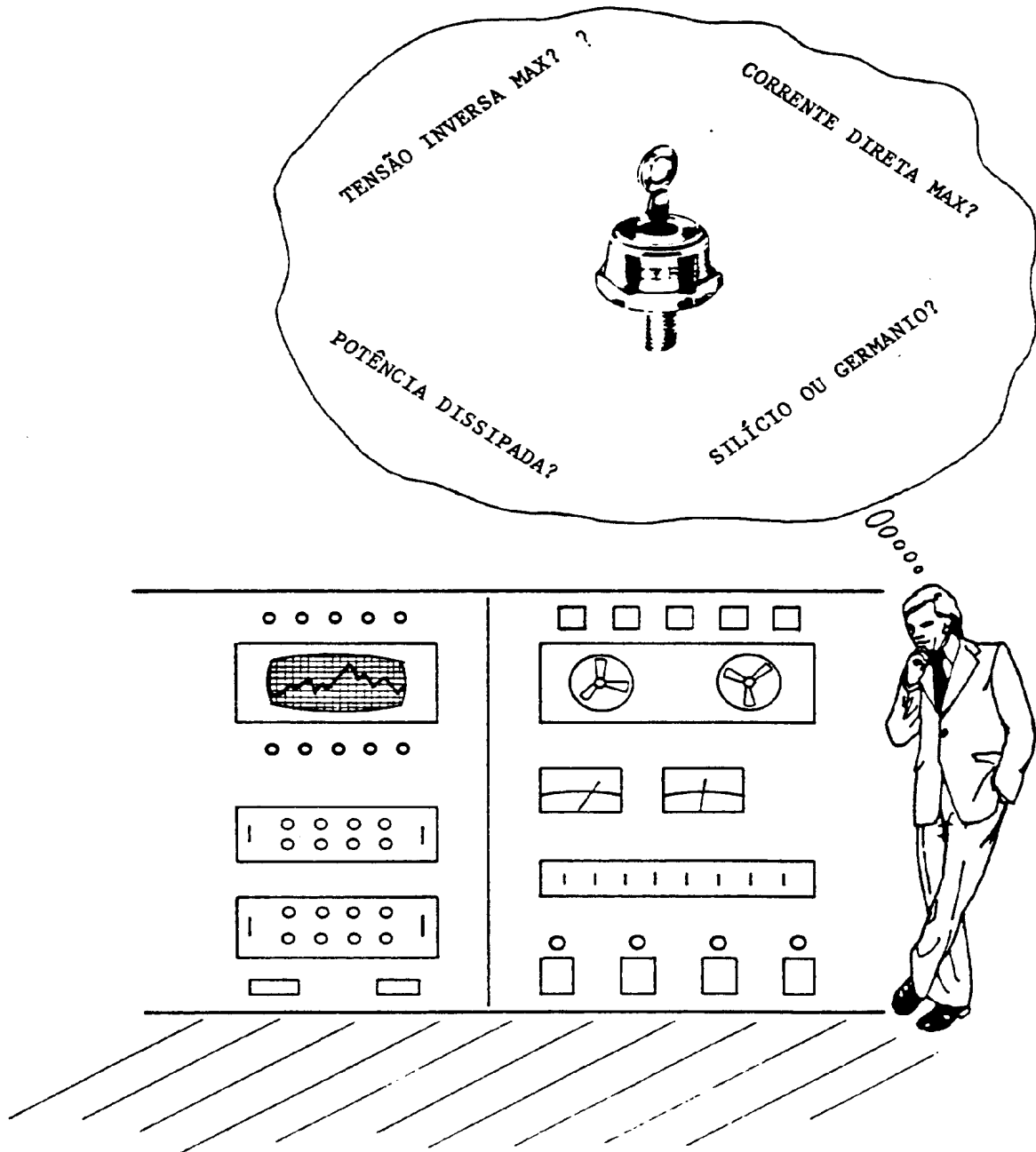
Diffused Silicon Diodes

For general purpose

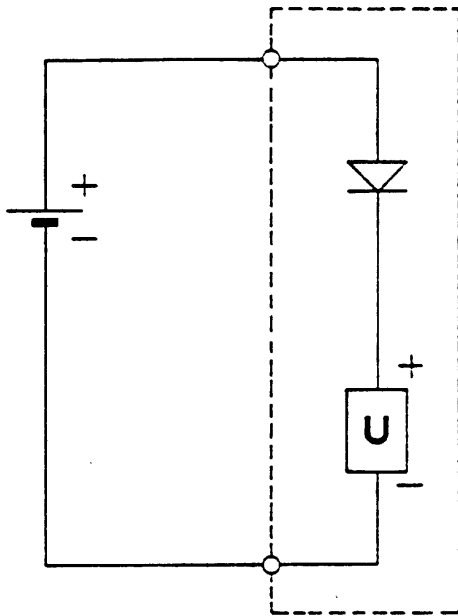
Maximum Ratings		Valores máximos		
Reverse voltage		Tensão inversa		
BAY 17	V_R	15	V	
BAY 18	V_R	60	V	
BAY 19	V_R	120	V	
BAY 20	V_R	180	V	
BAY 21	V_R	350	V	
Forward DC current @ $T_{amb} = 25^\circ C$	I_F	250 ¹⁾	mA	Corrente contínua direta
Rectified current (average) (half-wave rectification) with resis load @ $T_{amb} = 25^\circ C$	I_O	200 ¹⁾	mA	
Power dissipation @ $T_{amb} = 25^\circ$	P_{tot}	400 ¹⁾	mW	Potência dissipada
Junction temperature	T_j	150	�C	
Storage temperature range	T_S	- 55...+150	�C	
Characteristics @ $T_j = 25^\circ$				
Forward voltage @ $I_F = 100$ mA	V_F	0.8 (< 1)	V	Queda de tensão direta
Leakege current				
BAY 17 @ $V_R = 12V$	I_R	10 (<100)	nA	
@ $V_R = 12 V, t_j = 100^\circ C$	I_R	< 15	μA	
BAY 18 @ $V_R = 50V$,	I_R	10 (<100)	nA	
@ $V_R = 50 V, t_j = 100^\circ C$	I_R	< 15	μA	
BAY 19 @ $V_R = 100V$	I_R	20 (<100)	nA	
@ $V_R = 100 V, t_j = 100^\circ C$	I_R	< 15	μA	
BAY 20 @ $V_R = 150V$	I_R	30 (<100)	nA	
@ $V_R = 150 V, t_j = 100^\circ C$	I_R	< 25	μA	
BAY 21 @ $V_R = 300V$	I_R	30 (<100)	nA	
@ $V_R = 300 V, t_j = 100^\circ C$	I_R	< 25	μA	

O FABRICANTE FORNECE OS VALORES MÁXIMOS DE FUNCIONAMENTO DOS DIODOS. NORMALMENTE USA-SE VALORES INFERIORES ÀQUELES INDICADOS A FIM DE AUMENTAR A SEGURANÇA DO CIRCUITO.

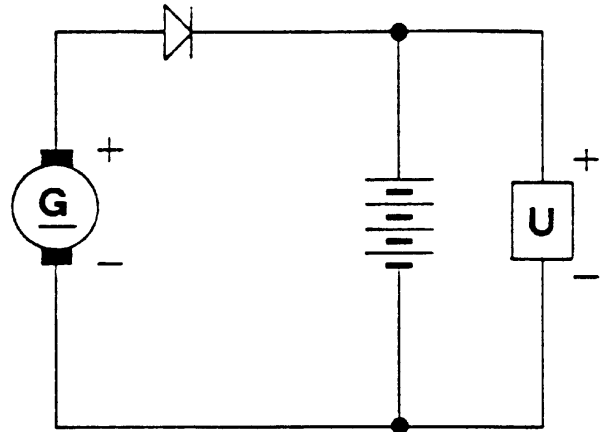
Em todo o caso, para o uso de um diodo, os dados principais a serem considerados são:



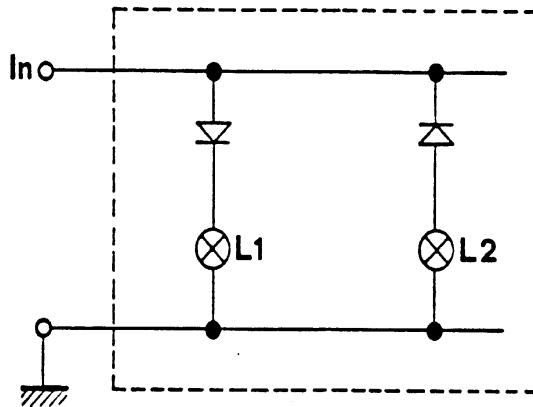
Exemplos de aplicações dos diodos



Na primeira figura, as inversões de polaridade de alimentação protegem a carga.

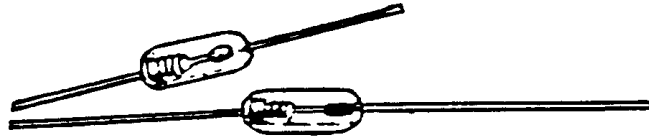


Na segunda figura, a função do diodo é impedir a descarga da bateria no gerador, quando este não está em função.



A lâmpada L1 se acende com a entrada positiva em relação à massa, a lâmpada L2 se acende com a entrada negativa em relação à massa.

Tipos de invólucros para diodos a semi-condutores



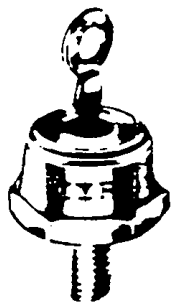
Invólucro de vidro
(somente para díodos de
potência muito pequena)



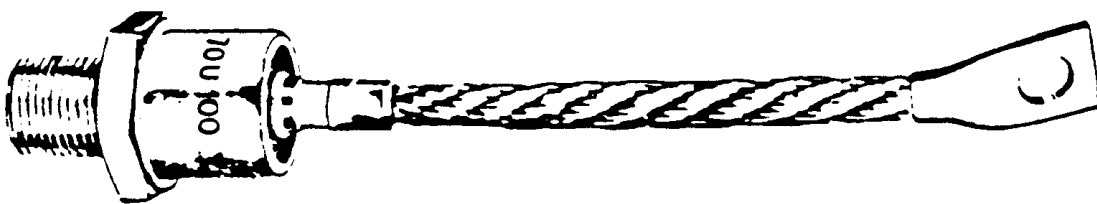
Invólucro de plástico
(para díodos de pequena
potência)



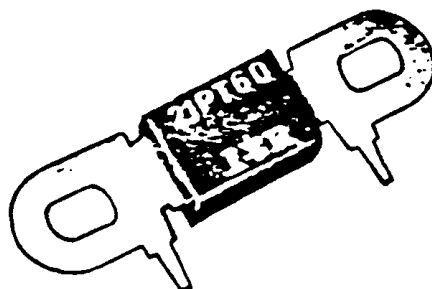
Invólucro metálico
(para díodos de pequena
potência)



Invólucro metálico com
encaixe de rosca (para
díodos de média potência,
apropriado para ser fixado
no dissipador)

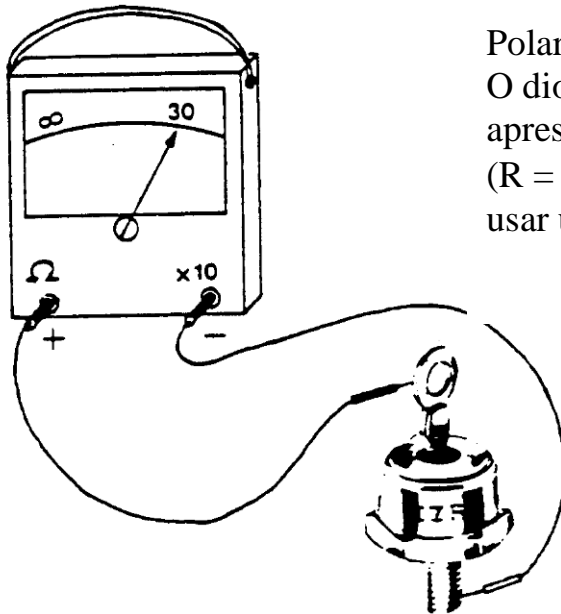


Invólucro metálico com
encaixe de rosca (para díodos
de grande potência, pode ser
fixado no dissipador)

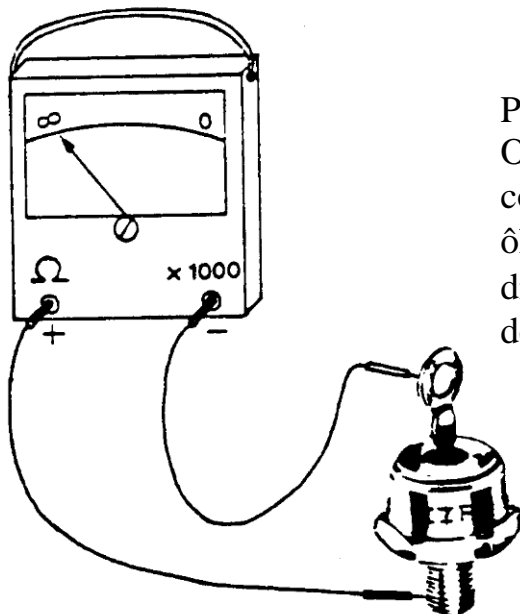


Invólucro de plástico (para
díodos de média potência,
apropriado para montagem
sobre circuito impresso)

Teste de eficiência com ôhmímetro



Polarização direta:
O diodo polarizado diretamente conduz apresentando uma baixa resistência ($R = 300\Omega$). Para este teste não é aconselhável usar uma escala de pequena potência.

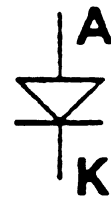
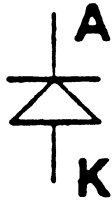


Polarização inversa:
O diodo polarizado inversamente não conduz, a resistência medida com o ôhmímetro é muito alta, 200 k Ω para os diodos de germânio, e 1M Ω para os diodos de silício.

N.B.: Caso uma das medidas efetuadas não corresponda aos testes anteriores, o diodo é ineficaz.

Testes de Verificação

1) O símbolo do diodo é:



2) O diodo conduz quando:

- ☐ é polarizado inversamente
- ☐ a tensão aplicada supera a tensão inversa max
- ☐ a tensão aplicada supera um certo limite
- ☐ a corrente inversa é máxima

3) Entre os dados técnicos do diodo a VR indica:

- ☐ a tensão direta max
- ☐ a queda de tensão direta
- ☐ a tensão aplicada no circuito
- ☐ a tensão inversa max

4) Para a escolha de um diodo, os valores mais importantes que se deve levar em consideração são:

- ☐ tensão direta e corrente inversa
- ☐ tensão inversa e corrente direta
- ☐ tensão direta e corrente direta
- ☐ tensão inversa e corrente inversa

5) Pela medida feita com o ôhmímetro descobriu-se que o diodo:

- ☐ conduz porque é polarizado diretamente
- ☐ conduz porque é polarizado inversamente
- ☐ não conduz porque é polarizado inversamente
- ☐ é ineficaz

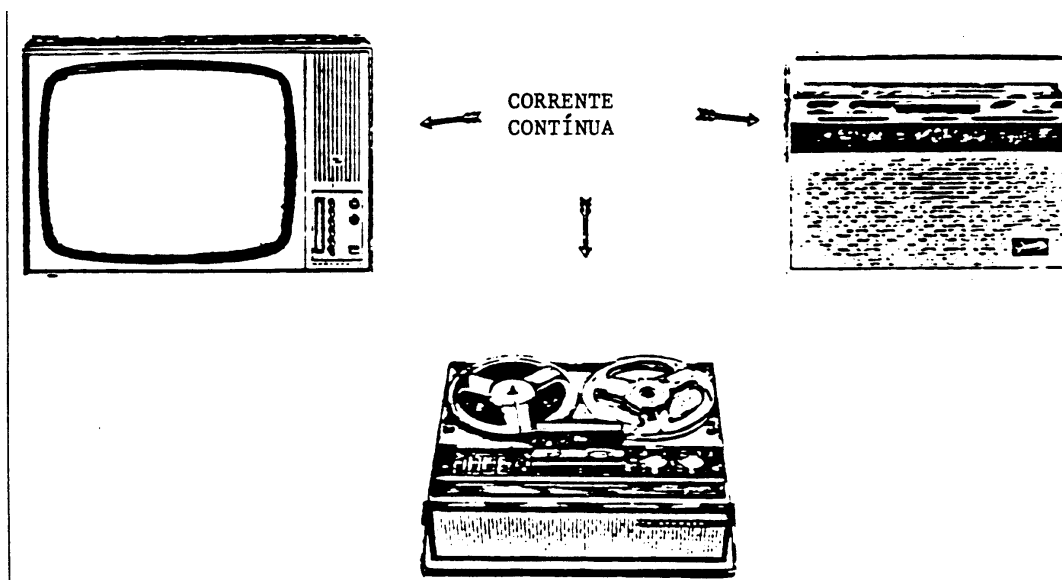
6) A queda de tensão direta de um diodo de silício vale:

- ☐ 0,6 + 0,8 Volt
- ☐ 8 + 10 Volt
- ☐ 0,2 + 0,4 Volt
- ☐ milhares de Volts

Retificação de meia onda e onda completa

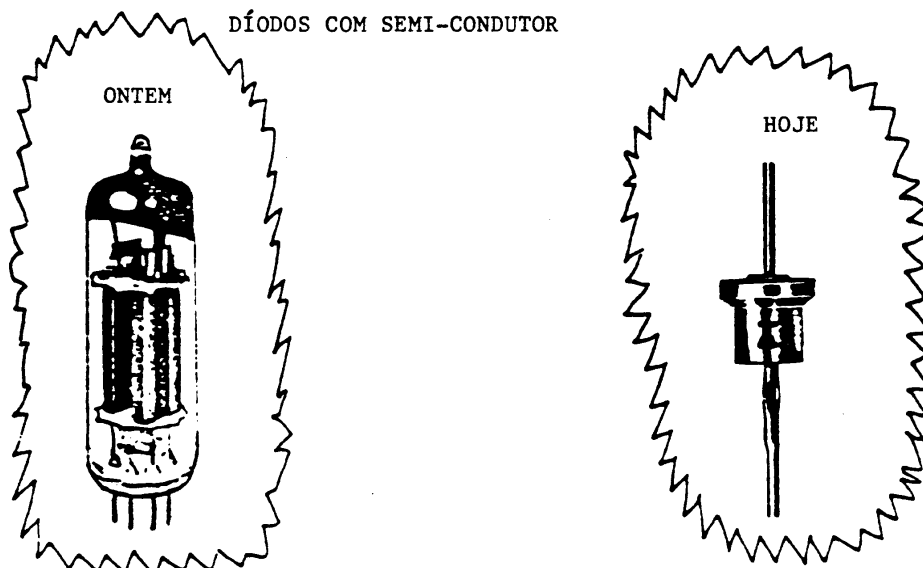
Introdução

Na aplicação prática da eletrônica requer-se, muitas vezes, aplicação de tensão contínua.



No passado, para obter a corrente contínua, eram utilizados sistemas muito caros e de grandes dimensões (válvulas termo-iônicas, grupos conversores, etc.).

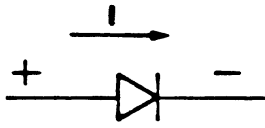
Hoje em dia pode-se dispor de sistemas economicamente e praticamente mais vantajosos, tais como:



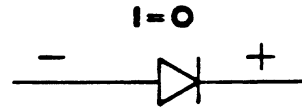
Com os componentes de meia-condutores é possível realizar diversos circuitos, capazes de converter a corrente alternada em corrente contínua. Vejamos:

O diodo como conversor de c.a. em c.c.

Lembre-se que:

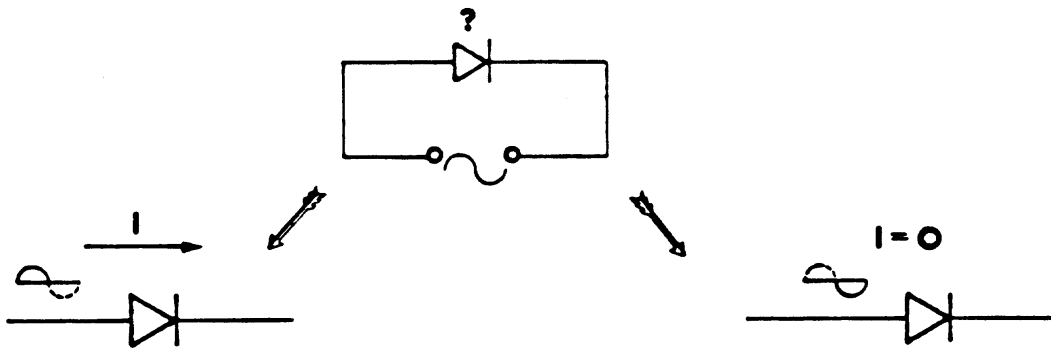


O diodo conduz no caso em que o anodo é positivo relativamente ao catodo



O diodo não conduz no caso em que o anodo é negativo relativamente ao catodo

No caso de ser submetido a uma tensão alternada como é que se comporta o diodo?



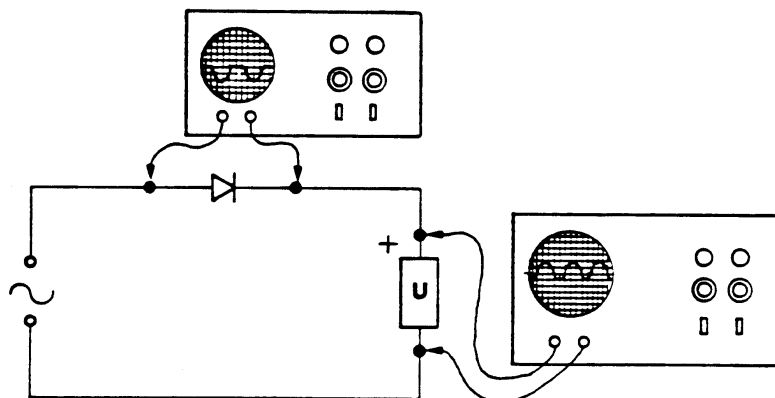
O diodo conduz no caso em que o meia-ciclo positivo se apresenta no anodo.

O diodo não conduz no caso que o meia-ciclo negativo se apresenta no anodo.

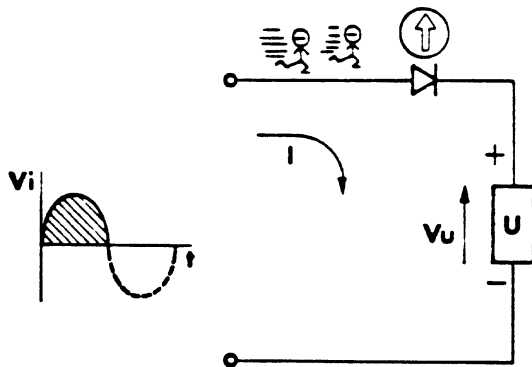
A corrente que atravessa o diodo tem sempre o mesmo sentido e a condução realiza-se apenas e exclusivamente quando o anodo assume potenciais positivos relativamente ao catodo.

Retificação monofásica de meia-onda

O diodo permite a alimentação de um circuito em c.c. dispondo apenas de c.a.

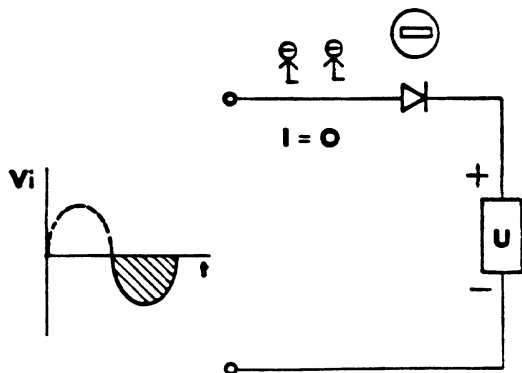


Pelo diagrama esquemático, pode-se deduzir o funcionamento do circuito.



No momento em que indica a semi-ciclo positivo da tensão alternada de entrada (V_i), o diodo encontra-se polarizado diretamente. O semi-ciclo completo, não encontrando obstáculos no diodo, é transferido à carga.

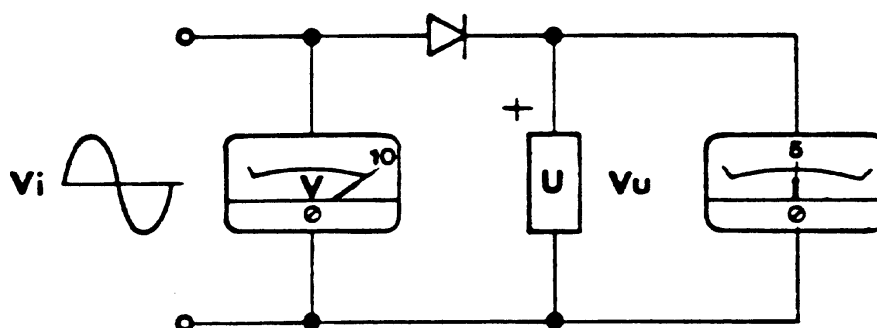
N.B.: Chama-se a atenção para o fato de que embora polarizado diretamente, o diodo introduz uma determinada queda, sobre V_i , a qual nos exemplos a Si é equivalente a $\sim 0.6V$.



No momento em que inicia o semi-ciclo negativo da V_i , o diodo encontra-se polarizado inversamente. A tensão na carga é NULA. (Toda a tensão é nos terminais do diodo).

Dado que a condução do diodo realiza-se com meio-ciclos alternados, (para 50Hz $T = 20 \text{ m.s}$) o valor significativo da tensão à carga (V_u) será representado pelo valor médio (V_{mc}), pelo que:

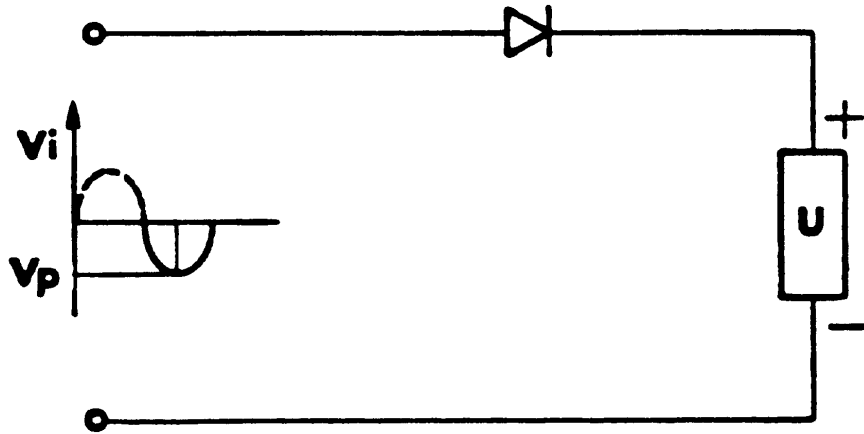
$$V_u = 0.45 V_i \text{ (RMS)}$$



Notar que a corrente média (I_m) no diodo é igual àquela que passa na carga (I_{mc}).

$$I_{mc} = \frac{V_{mc}}{R_c} = I_{md}$$

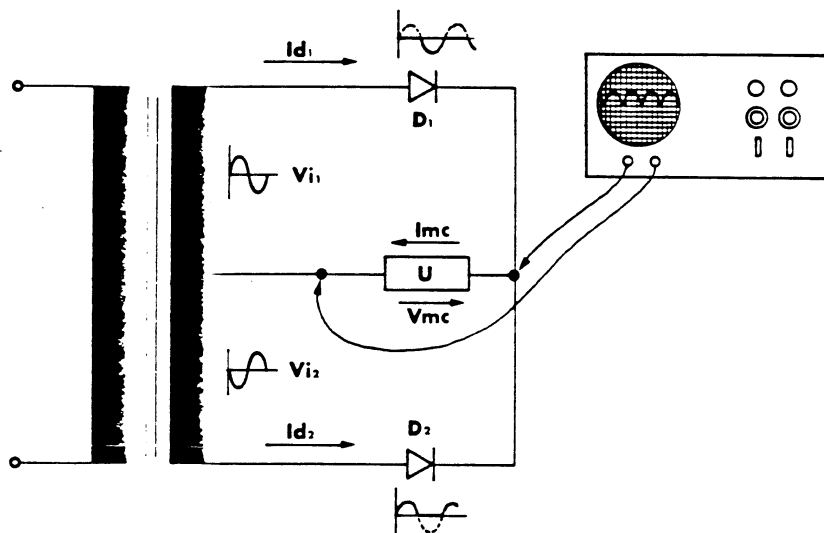
Além disso, a máxima tensão inversa à qual é submetido o diodo coincide com o valor de pico do meio-ciclo negativo em V_i .



ATENÇÃO à dimensão do diodo!!!

A fim de obter uma forma de onda mais semelhantes à c.c. e um valor médio mais elevado, utilizam-se circuitos de retificação denominados de ONDA COMPLETA. Característica fundamental destes circuitos é aquela de utilizarem ambos as meia-ondas da V_i , transferindo-lhe a tensão à carga.

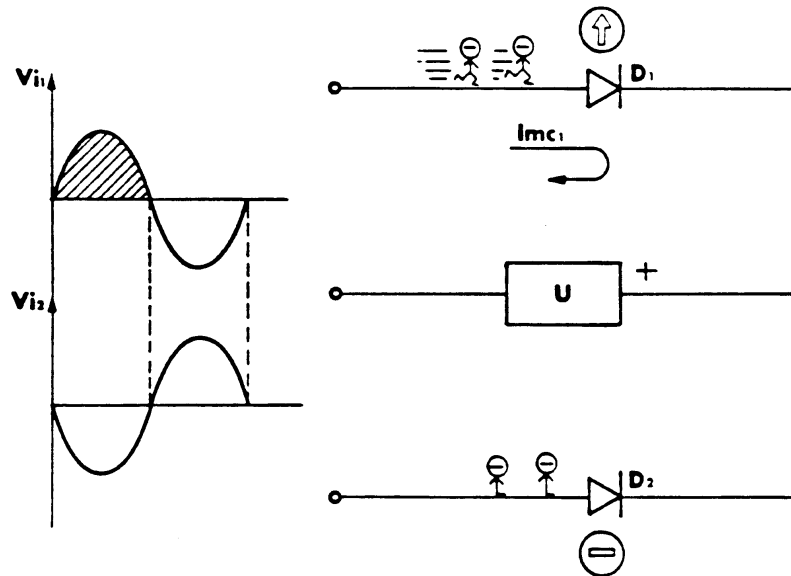
Retificação monofásica de onda completa, com transformador com tomada central.



O circuito comporta-se como o conjunto de dois retificadores monofásicos, cada um dos quais tendo as características retro examinadas.

AS TENSÕES V_{i1} e V_{i2} SÃO DESFASADAS ENTRE SI DE 180°

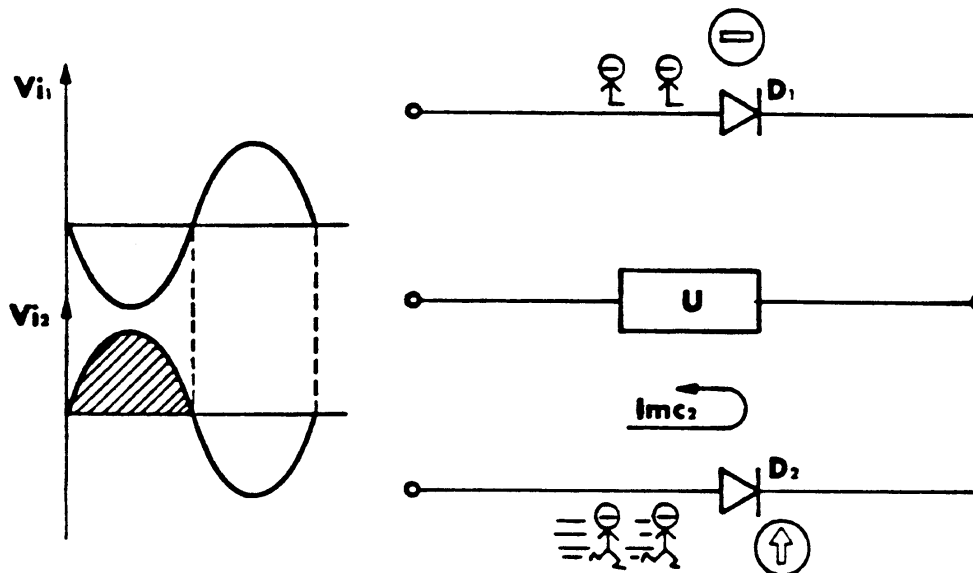
A referência “zero” é representada pela tomada central do transformador.



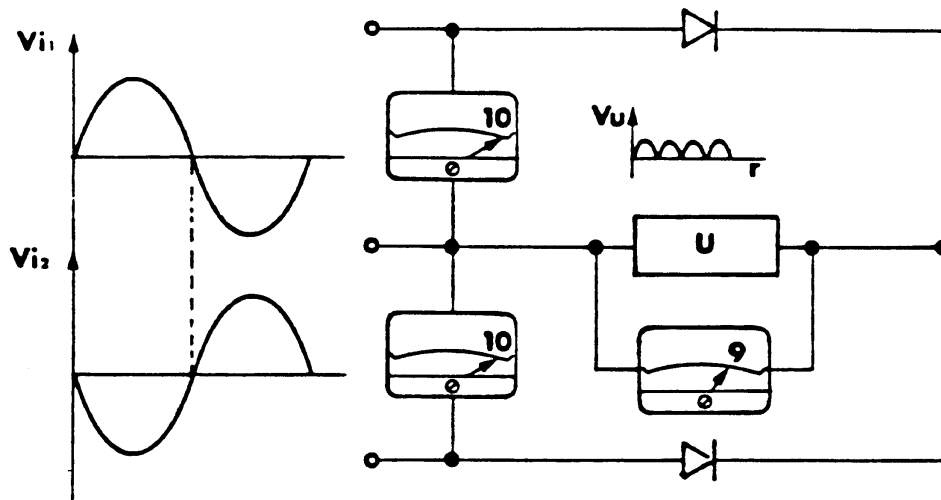
O diodo D1 é polarizado diretamente pelo ciclo positivo de Vi1. Esta parte do circuito comporta-se como uma retificação de meia-onda. D1 transfere portanto à carga uma tensão equivalente a:

$$V_{mc} = 0,45 V_{i1}$$

D2 é polarizado inversamente pela Vi2 e não conduz.



As formas de onda de Vi1 e Vi2 INVERTERAM-SE AS FASES. D1 resulta polarizado inversamente e não conduz. D2, por outro lado, conduz a meia-onda positiva Vi1 à saída obtém-se (em 20m sec) o completo sinal de entrada. AS POLARIDADES NA CARGA, NÃO VARIAM.



Também neste caso tem significado o VALOR MÉDIO da tensão à carga ($V_u = V_{mc}$), portanto:

$$V_u = 0.9 V_{i1}$$

$$(V_{i1} = V_{i2})$$

ou

$$V_u = 0.45 (V_{i1} + V_{i2})$$

Dado que os diodos conduzem alternadamente:

$$I_{md} = \frac{I_{mc}}{2}$$

Onde I_{md} = corrente que passa num diodo durante o meio-ciclo de condução.
Pelo mesmo motivo a VRM que os diodos devem suportar vale:

$$VRM = 2,82 \cdot V_{i1}$$

ou

$$VRM = 2,82 \cdot V_{i2}$$

$$(VRM = 2 \times V_{\max} ; \text{ como } V_{\max} = V_{i1} \times 1,414, \quad 2V_{\max} = 2,82 V_{i1})$$

Onde VRM = máxima tensão inversa de 1 diodo.

Testes de Verificação

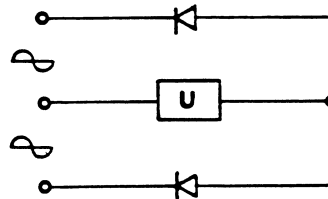
1) “Retificar” significa:

- ☐ converter corrente pulsante em senoidal
- ☐ converter corrente alternada em contínua
- ☐ converter corrente alternada em unidirecional
- ☐ converter corrente contínua em alternada

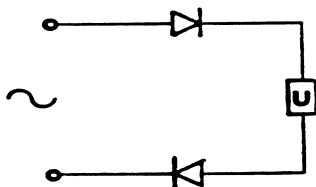
2) Na retificação monofásica com meia-onda, o diodo conduz:

- ☐ toda a corrente de carga
- ☐ metade da corrente de carga
- ☐ o dobro da corrente de carga
- ☐ o valor eficaz da corrente

3) Indicar no seguinte circuito as polaridades sobre a carga:

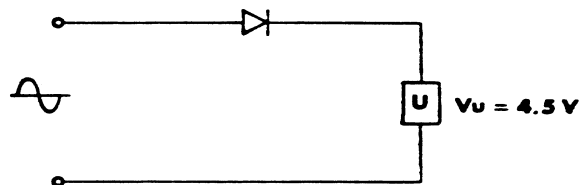


4) O circuito indicado:

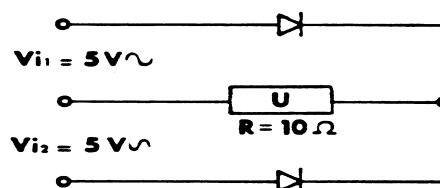


- ☐ retifica a meia-onda
- ☐ não retifica a tensão
- ☐ retifica a onda toda
- ☐ faz curto-circuito

5) Calcular a tensão V_i :



6) Calcular: a V_{mc} , a I_{mc} e a V_{RM} dos diodos



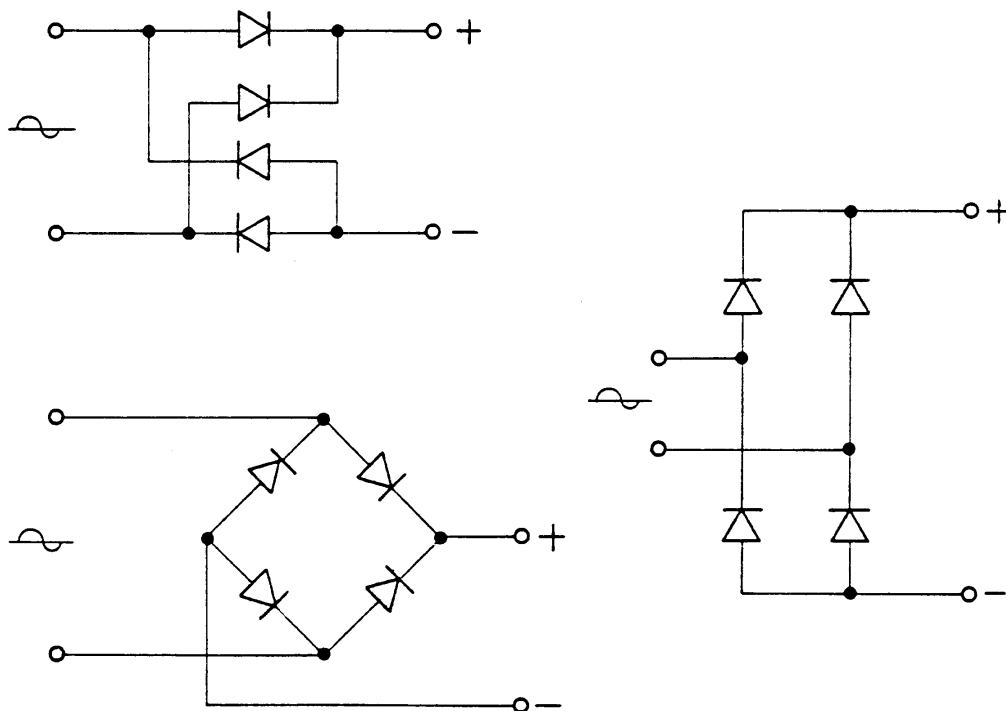
Retificação em ponte

Generalidades

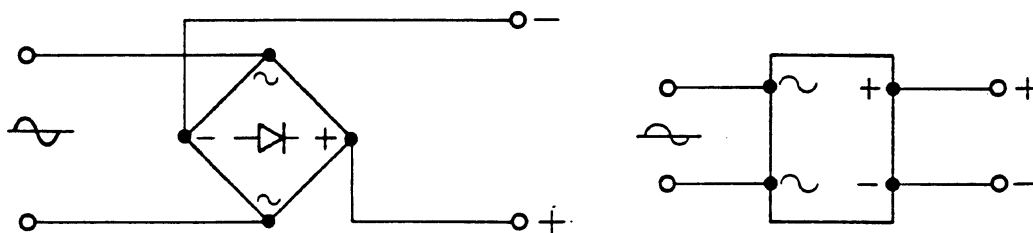
Um dos circuitos de retificação industrialmente mais usados é aquele denominado retificação monofásica de onda completa ou com

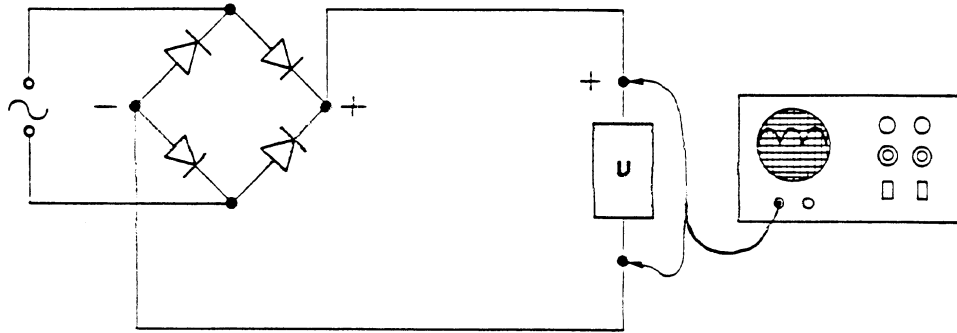
Ponte de Graetz

Representações gráficas características da ponte de Graetz são as seguintes:

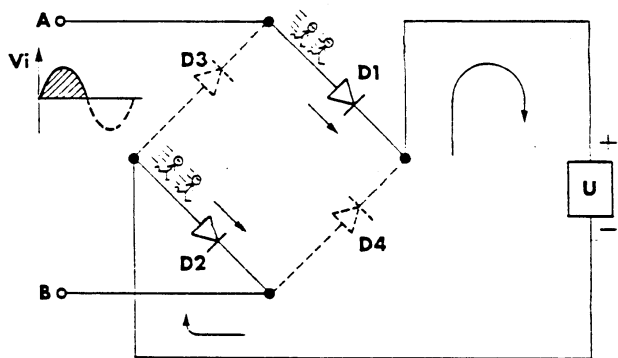


Os símbolos gráficos para as pontes de Graetz habitualmente utilizados nos esquemas, são os seguintes:

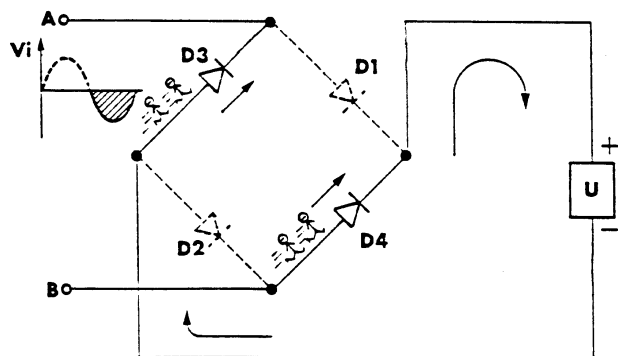




Retificação monofásica de onda completa com ponte de Graetz



No instante em que inicia o ciclo positivo da tensão alternada de entrada (V_i) no ponto A, o diodo D1 encontra-se polarizado diretamente. O ciclo positivo é transferido à carga e o circuito fecha-se mediante o diodo D2 dado que possui o anodo mais positivo do que o catodo. Os diodos D3 e D4 não intervêm dado que se encontram polarizados inversamente (catodo mais positivo do que o anodo).



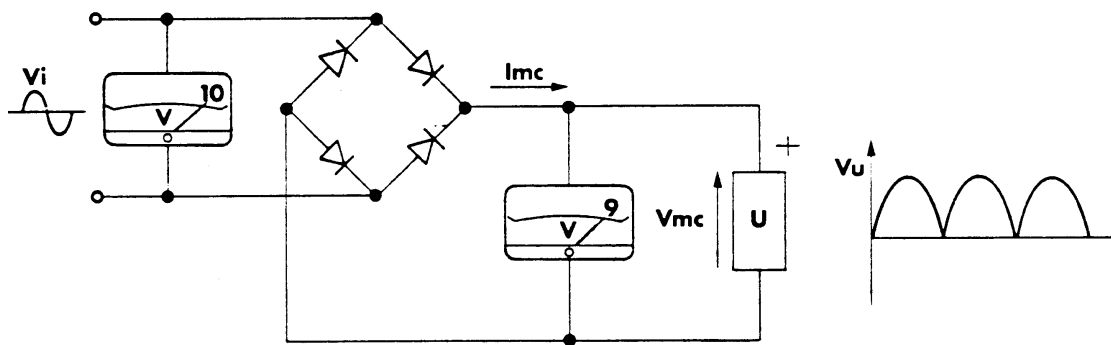
No momento em que inicia o ciclo negativo da V_i no ponto A; no ponto B manifesta-se o ciclo positivo, portanto o diodo D4 resulta polarizado diretamente. O ciclo positivo presente no ponto B é transferido à carga, o circuito fecha-se através do diodo D3 dado que possui o anodo mais positivo do que o catodo. Os diodos D1 e D2 não intervêm dado que se encontram polarizados inversamente (catodo mais positivo do que o anodo).

Considerações de cálculo

Dado que a condução de cada diodo se verifica a semi-ciclos alternados (para 60Hz - $T = 16,67 \text{ ms}$), o valor significativo da corrente nos diodos (I_{md}) é:

$$I_{md} = \frac{I_{mc}}{2}$$

Onde, I_{mc} (I média na carga) é $I_{mc} = \frac{V_{mc}}{R_u}$



Se não se considera a queda de tensão direta sobre os diodos, a tensão de saída V_{mc} é:

$$V_{mc} = 0,9 \cdot V_{i \text{ (eff.)}}$$

Quando os diodos não conduzem devem suportar a tensão de pico à entrada (V_{ip}). A tensão inversa max (VRM) de cada um dos diodos vale:

$$VRM = V_{ip} = V_{i \text{ (eff.)}} \times 1,41$$

N.B.: Lembre-se que durante o funcionamento os diodos provocam uma queda de tensão que, para este particular tipo de circuito vale cerca de 1,4 volts.

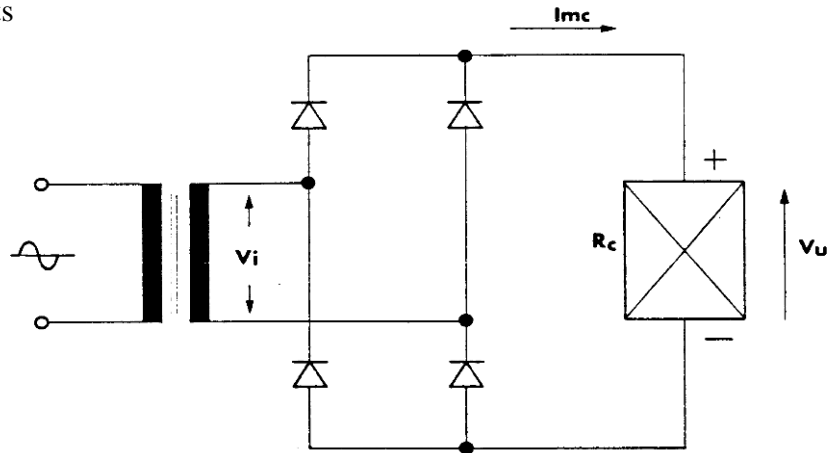
Testes de Verificação

Trabalho de grupo:

Cálculo de um alimentador CA/CC com retificação de onda completa em ponte:

Dados: $V_{mc} = 20$ volts

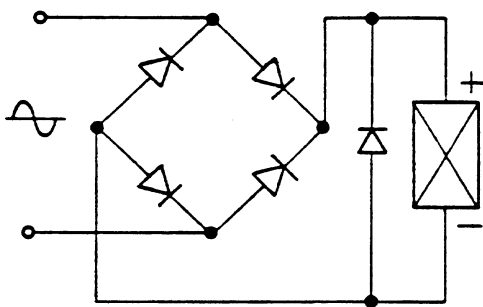
$R_c = 50 \Omega$



1. Na ponte de Graetz os diodos funcionam:

- ☐ aos pares
- ☐ singularmente
- ☐ todos os quatros simultaneamente
- ☐ três durante um ciclo e um no outro

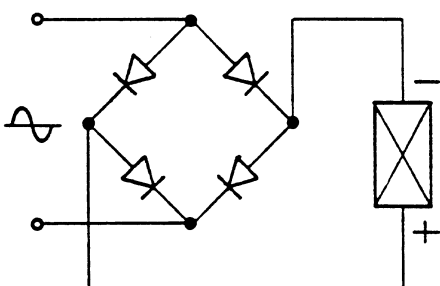
1) Como se comporta o circuito na figura:



- provoca curto-circuito
- funciona normalmente
- retifica o semi-ciclo
- envia a alternada à carga

☐
☐
☐
☐

2) Como se comporta o circuito na figura:



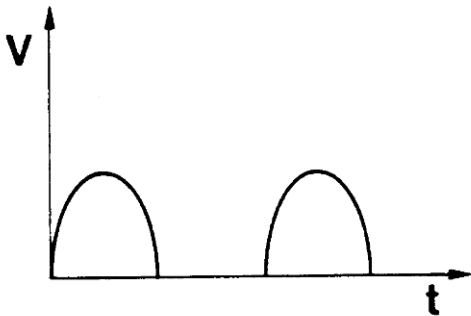
- provoca curto-circuito
- envia a CA sobre a carga
- retifica o semi-ciclo
- retifica a onda completa

☐
☐
☐
☐

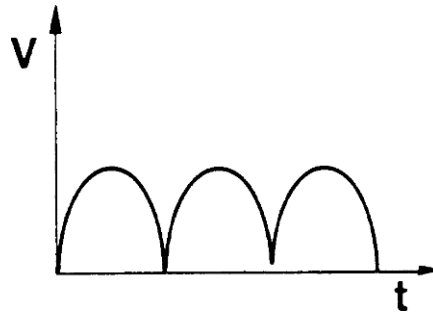
Filtros Capacitivos

Introdução

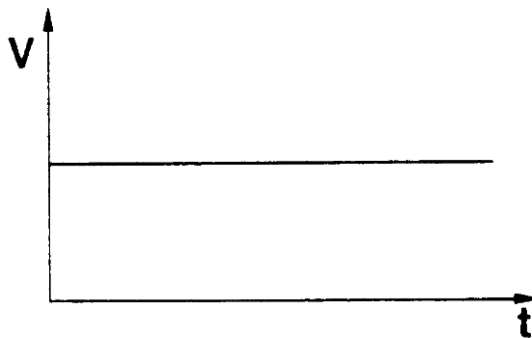
As formas de conversão C.A.-C.C., obtidas com a exclusiva utilização de semi-condutores identificam-se pela retificação de semi-onda e na retificação da onda inteira. Todavia, não é apropriada a classificação de contínua, a corrente fornecida à saída de tais circuitos.



ESTABILIZAÇÃO COM SEMI-ONDA



ESTABILIZAÇÃO COM ONDA INTEIRA

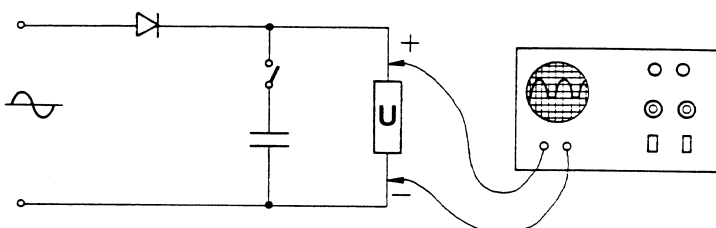


TENSÃO PERFEITAMENTE CONTÍNUA

A TENSÃO FORNECIDA PELOS CIRCUITOS DE RETIFICAÇÃO NÃO É CONTÍNUA MAS É PULSANTE E UNI-DIRECIONAL.

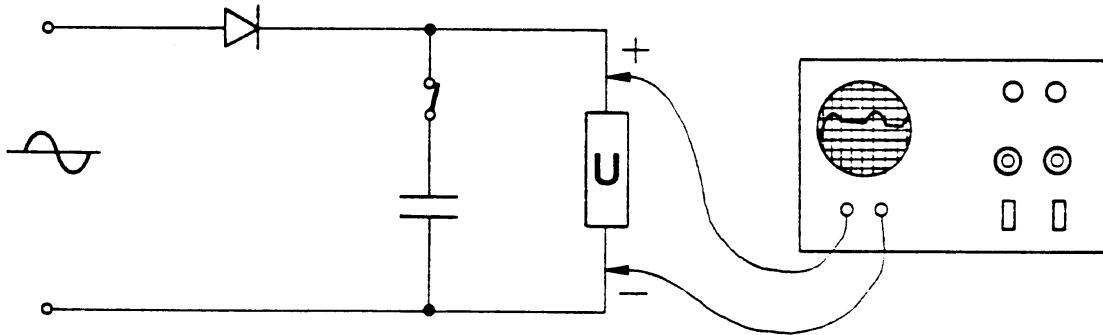
Para tornar o mais “contínua” possível uma tensão retificada, deve-se recorrer aos circuitos de filtragem.

Observe-se o seguinte circuito:



Nas extremidades da carga manifesta-se a meia-onda característica do circuito de retificação apresentado.

Observe-se agora o mesmo circuito com o interruptor fechado.



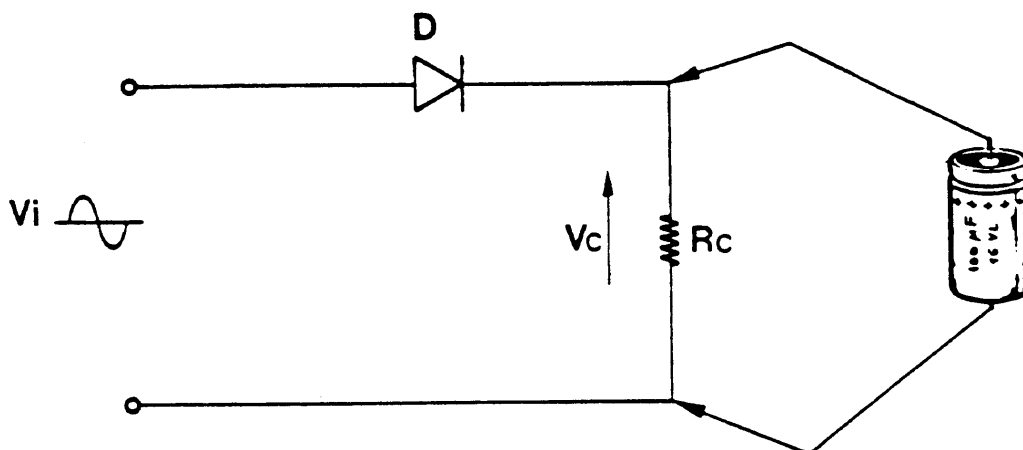
Com o capacitor inserido, a forma da onda nas extremidades da carga modifica-se e resulta mais semelhante à corrente contínua. Pode-se então afirmar que:

O CAPACITOR NAS EXTREMIDADES DA CARGA “NIVELA” A TENSÃO RETIFICADA.

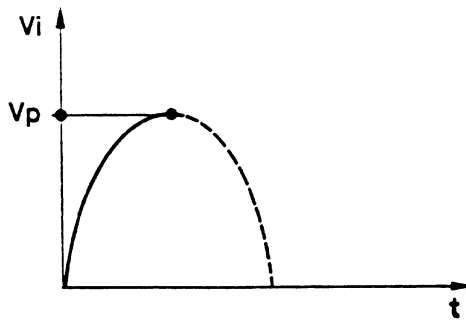
Fenômenos relativos à carga do capacitor

Para uma melhor compreensão do funcionamento do circuito, observe-se o comportamento do capacitor, considerando que:

Um capacitor submetido a uma d.d.p. tende a carregar-se até atingir o valor máximo da tensão aplicada.

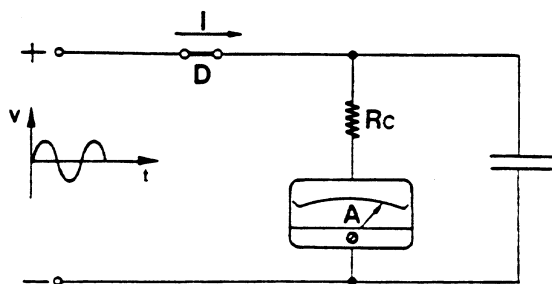


Nos circuitos de retificação, o capacitor carrega-se praticamente logo, dado que a resistência direta do diodo em condução é desprezível.



----- tensão de saída da retificação
— carga do capacitor

A carga do capacitor segue o andamento da tensão de entrada

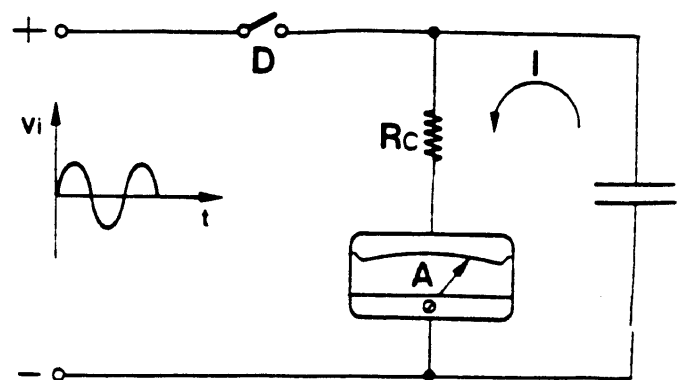
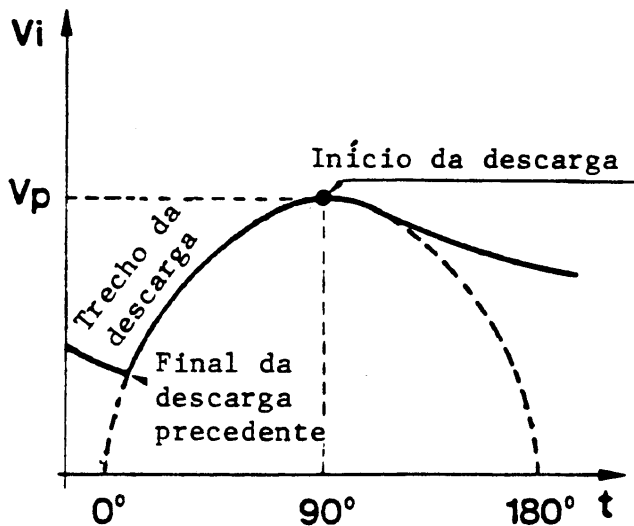


circuito equivalente na condição examinada (diodo em condução)

Fenômenos relativos à descarga do capacitor

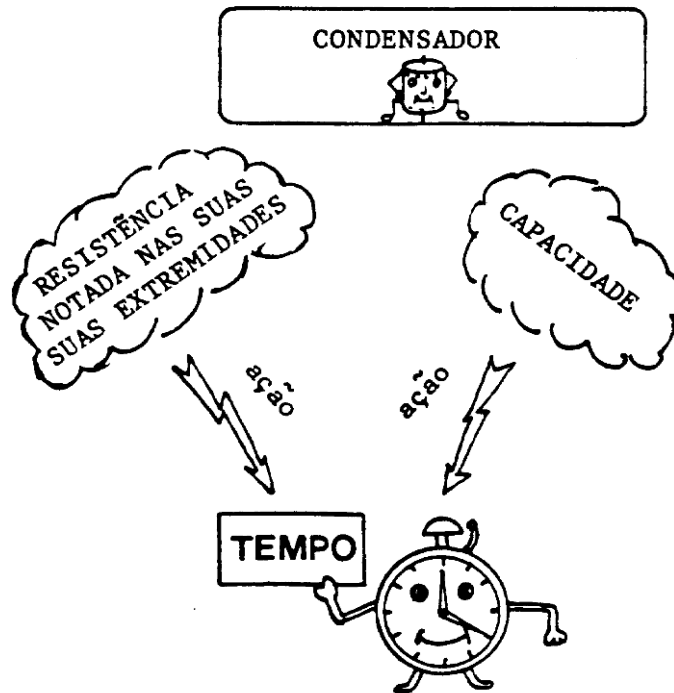
Quando a $V_{inst.}$ da sinusóide de alimentação é inferior da V existente nas armaduras do capacitor, inicia a

DESCARGA



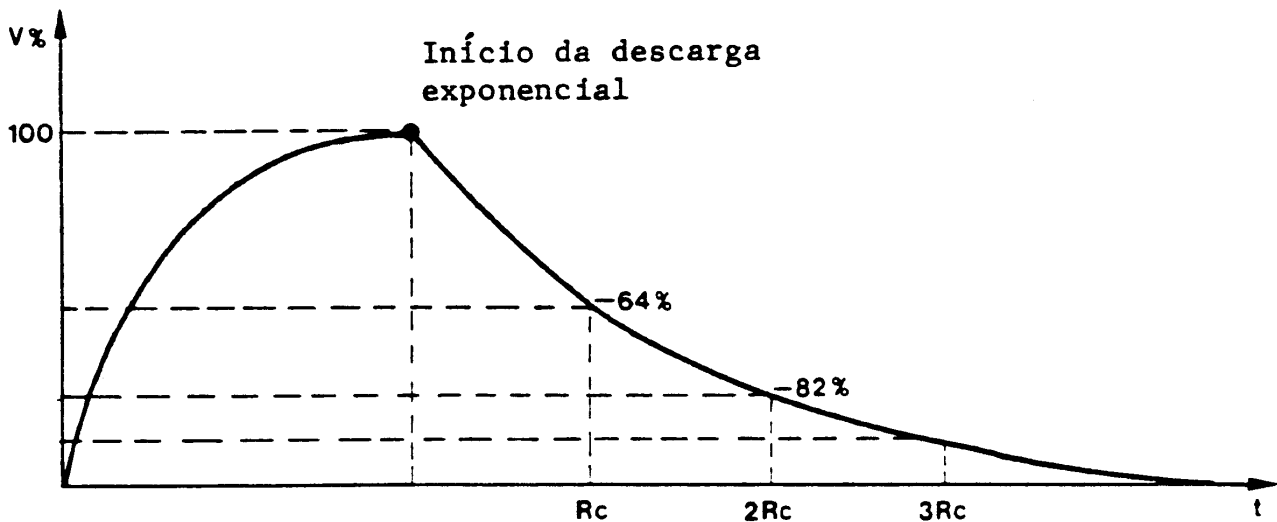
Circuito equivalente da estabilização com semi-onda com condensador em fase de descarga.

A TENSÃO DE DESCARGA, NÃO SEGUE A FORMA DA ONDA DE V_i , MAS EMPREGA, PARA ATINGIR O ZERO, UM MAIOR TEMPO.



A capacidade do capacitor e a resistência notada nas suas extremidades influem sobre o tempo de descarga.

A descarga do capacitor é um fenômeno exponencial, isto é, a tensão das armaduras não decresce constantemente no tempo.



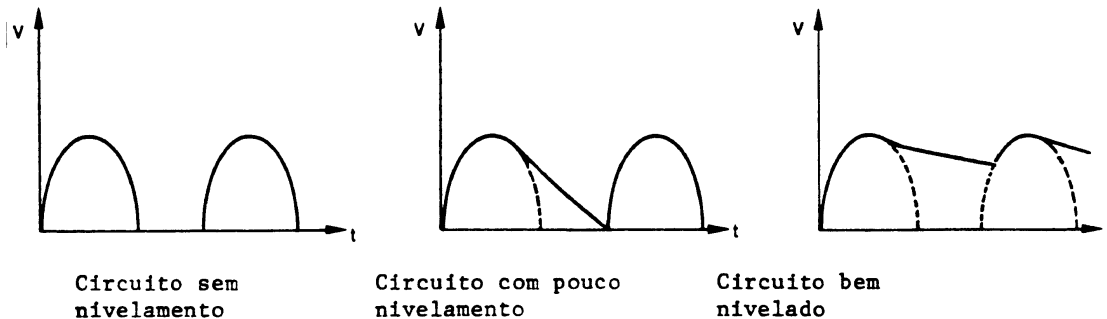
O tempo empregado pelo capacitor para se descarregar, depende da

CONSTANTE DE TEMPO

$$\tau (\text{tau}) = R_c \cdot C \text{ [M } \Omega \cdot \mu \text{ F = sec.]}$$

O capacitor, considera-se completamente descarregado após 6-7 constantes de tempo.

Para obter um bom nivelamento, é necessário que o capacitor se descarregue pouco durante o intervalo de tempo compreendido entre as duas semi-sinusóides. A sua constante de tempo deve ser muito longa além do tempo em que se deve realizar a descarga.



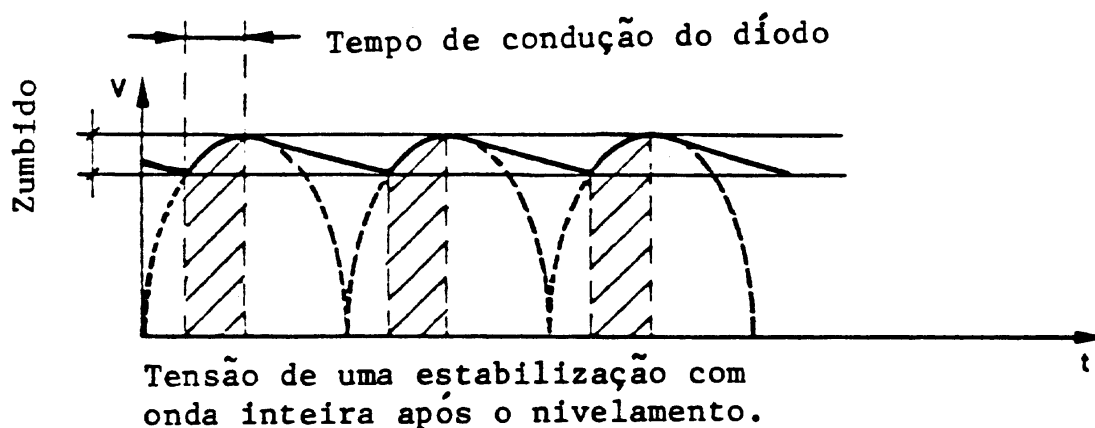
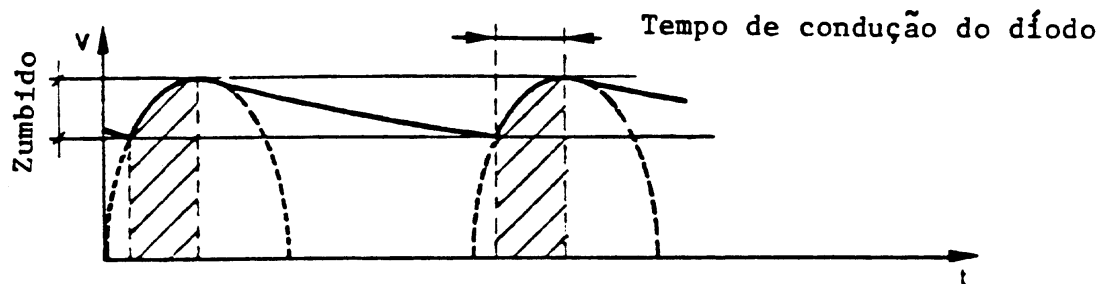
Para obter um bom nivelamento, aconselha-se escolher:

$$\tau = 5 \div 10 T$$

N.B.: O ciclo T, à frequência de 60Hz, vale 16,67ms. Para retificação de onda completa, tal valor será de 8,33ms.

Tensão na carga do circuito filtrado

Após o nivelamento, a forma de onda da tensão que se encontra nas extremidades de carga, é muito próxima à c.c.



A tensão à carga é formada por um valor fixo de c.c e por uma certa flutuação por volta daquele valor (zumbido ou Ripple). Considerando o nivelamento ideal, a tensão à carga, vale:

$$V_{MC} = 1.41 V_i$$

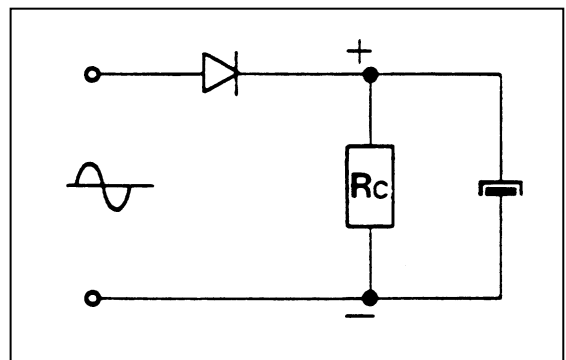
Onde V_i o valor eficaz da tensão de entrada

Dado que em geral é necessário utilizar capacidade de valor elevado (50 –2000 MF) são utilizados capacitores eletrolíticos. Tais capacitores devem ser escolhido com uma V_i superior ao valor de pico da tensão alternada de alimentação.

Observa-se que o tempo de condução dos diodos de retificação é tanto mais breve quanto melhor é o nivelamento, ou seja, quanto maior é o capacitor de filtragem. Sendo a corrente média na carga a mesma corrente média total dos diodos, é claro que a corrente de pico nos diodos ;é muito elevada, até dez vezes a corrente média na carga.

Testes de Verificação

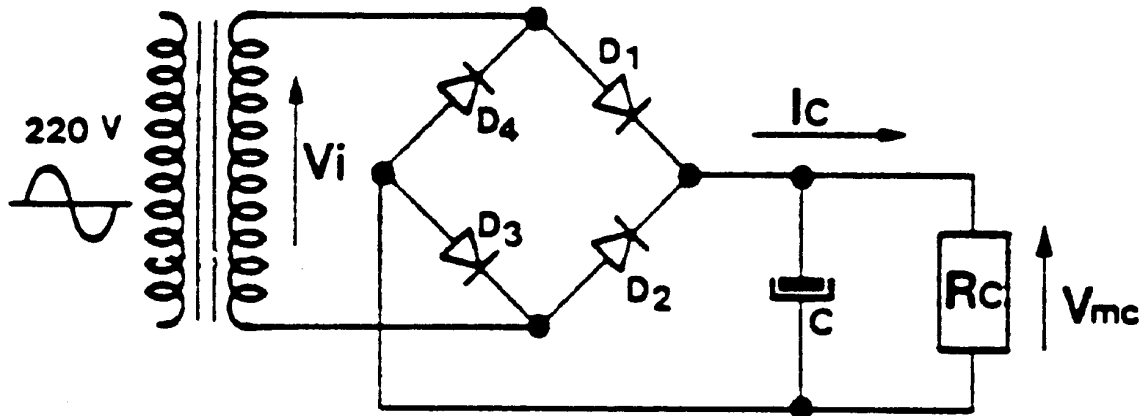
- 1) O nivelamento serve para:
 - o Obter tensão contínua da tensão alternada.
 - o Obter tensão alternada da tensão contínua.
 - o Obter tensão quase contínua de uma retificação
- 2) A tensão fornecida em saída por um nivelamento é :
 - o perfeitamente contínua.
 - o formada por uma ondulação por volta de um valor fixo.
 - o completamente alternada.
 - o com onda inteira.
- 3) Quanto vale a descarga da um capacitor após constante de tempo, relativamente à sua carga inicial?
 - o mais de 90 %
 - o menos de 10%
 - o cerca de 60 %
 - o 100%
- 4) Como se comporta o seguinte circuito
 - o não nivela de modo nenhum.
 - o nivela mas é perigpso para o diodo
 - onão nivela porque o capacitor é em série.
 - onivela mas é perigoso para o capacitor.



Trabalho em grupo.

Calcular o circuito da figura para obter uma tensão nas extremidades da carga de 14 V.

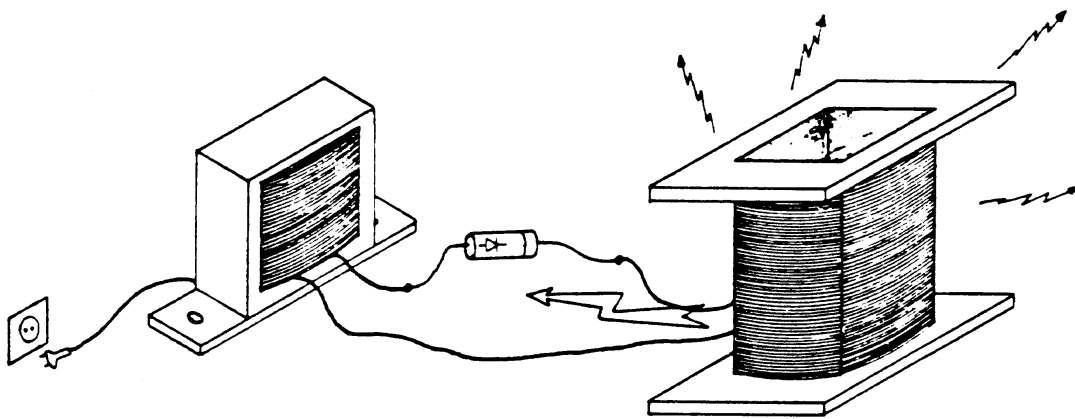
$$[I_C = 14\text{mA}]$$



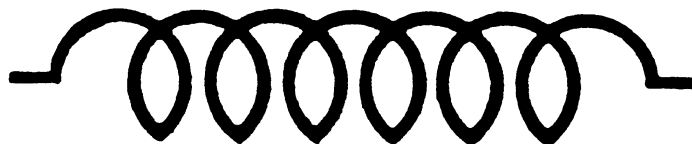
Filtros Indutivos

Generalidades

Em muitos casos, as cargas alimentadas pelos estabilizadores (por exemplo: motores, bobines, etc.) não são puramente ôhmicas mas apresentam uma certa indutância. Tal fato comporta a adoção de ulteriores expediente a fim de proteger e melhorar o circuito.



O circuito na figura pode-se demonstrar perigoso devido à parte de alimentação. Á abertura de um eventual interruptor colocado em série no circuito nota-se um intenso arco elétrico (faísca).

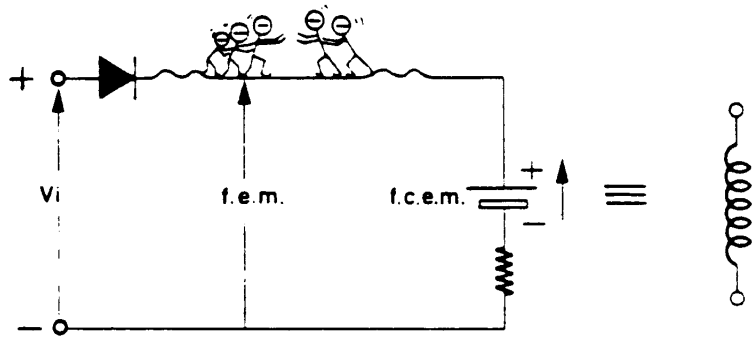
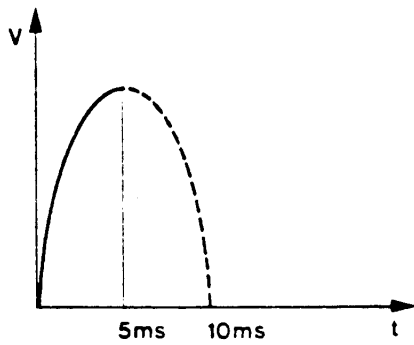


A indutância é uma componente que se opõe às variações da corrente que atravessa. Num indutivo, a corrente absorvida é desfasada em atraso relativamente à tensão de alimentação. A causa destes fenômenos é devida à:

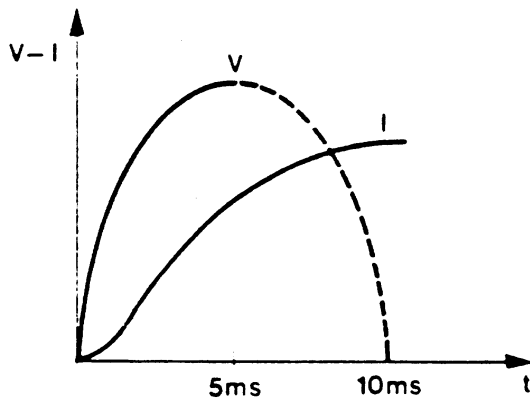
AUTO- INDUÇÃO

Princípio de funcionamento da carga indutiva

Quando a tensão de alimentação sobe ao valor máximo (devido à Lei de Lenz) a bobina cria uma força contra-eletromotriz que se opõe ao aumento da corrente.

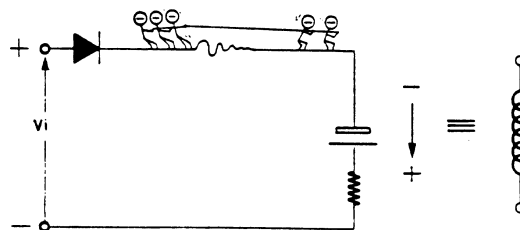
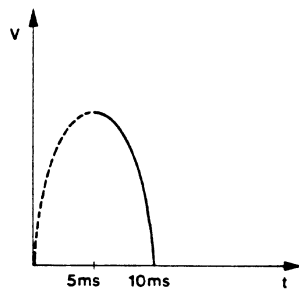


A CORRENTE SOBE – A INDUTÂNCIA SE OPÕE CRIANDO UMA CONTRA-TENSÃO

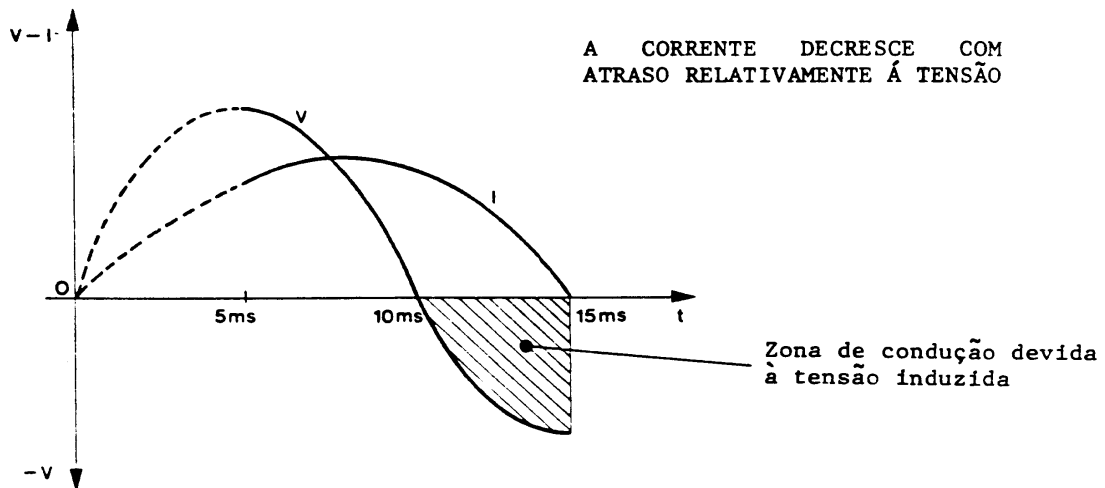


A corrente cresce com atraso relativamente à tensão.

Quando a tensão de alimentação desce ao valor mínimo (devido à Lei de Lenz), a bobina cria uma tensão que tende a circulação da corrente no mesmo sentido.

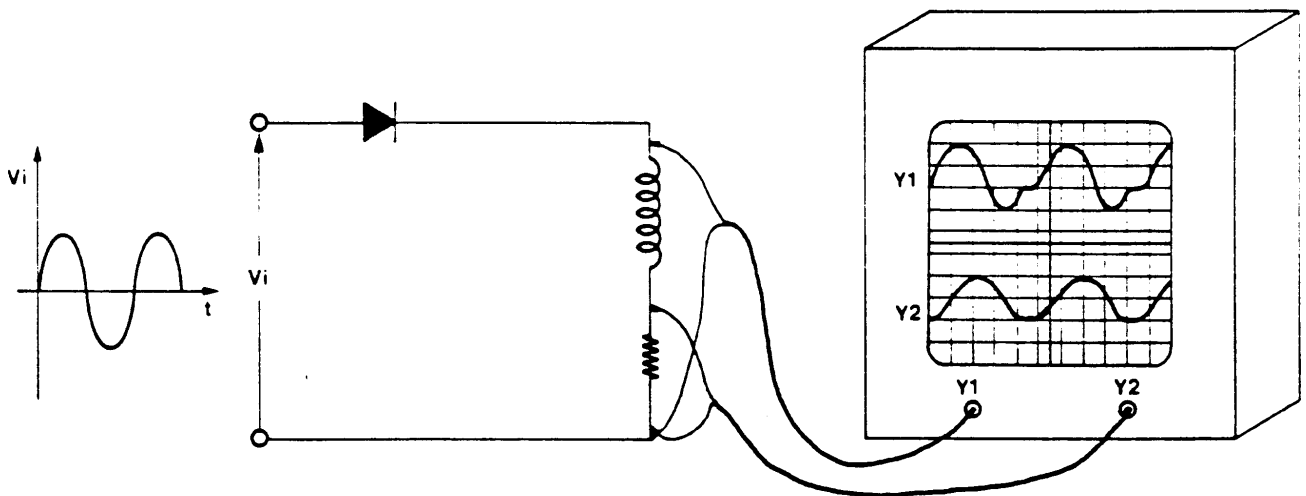


A CORENTE DESCE – A INDUTÂNCIA SE OPÕE GERANDO UMA TENSÃO A FAVOR



Também quando a tensão de rede é zero gerada pela indutância tende a fazer circular ainda corrente. Durante este ciclo a indutância comporta-se como um

GERADOR



A primeira parte (Y1) representa a forma de onda da tensão, a Segunda (Y2) representa a forma de onda da corrente.

A tensão nas extremidades da carga, não obstante a estabilização, tem um andamento quase senoidal com valor médio muito baixo.

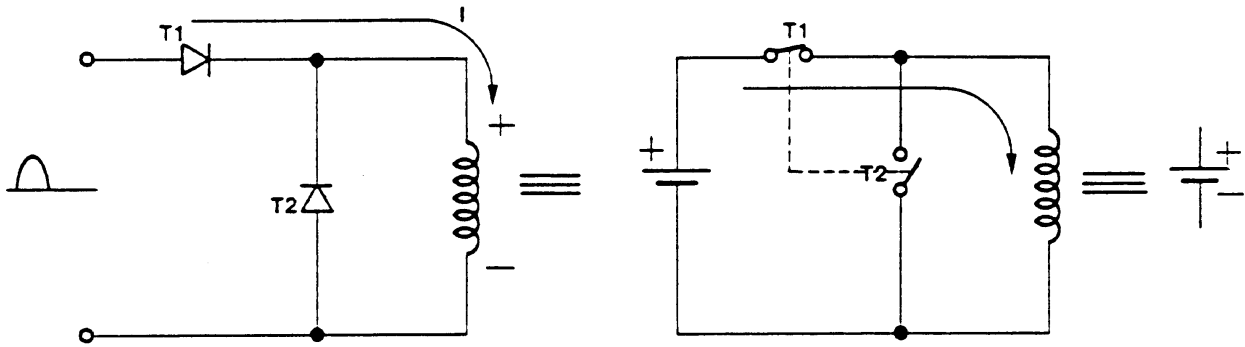
Diodo de recirculação

Como se viu nos exemplos precedentes a indutância acumula energia durante a fase de aumento da corrente. Quando a corrente desce, a bobina, gerando a tensão induzida, restitui ao circuito a energia acumulada.

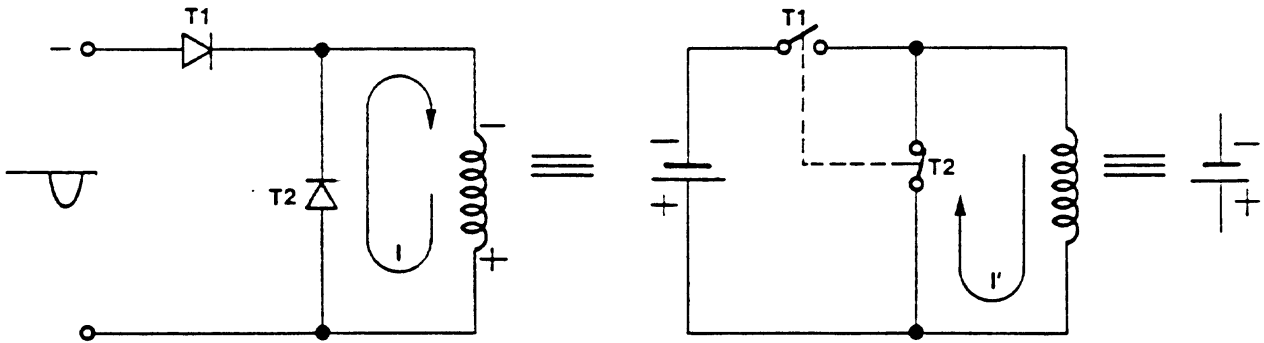
Esta energia não é toda dispersa na carga dado que o circuito se fecha sobre o gerador

Para utilizar melhor a energia da bobina e obter um notável aumento do valor da corrente, emprega-se o:

DÍODO DE RECIRCULAÇÃO



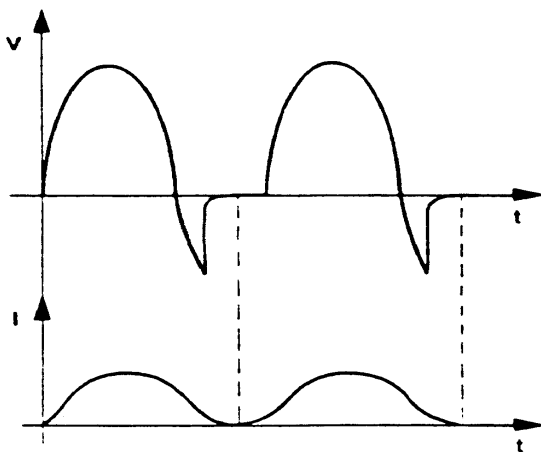
Durante a condução normal T1 encontra-se fechado (conduz), T2 está aberto (não conduz).



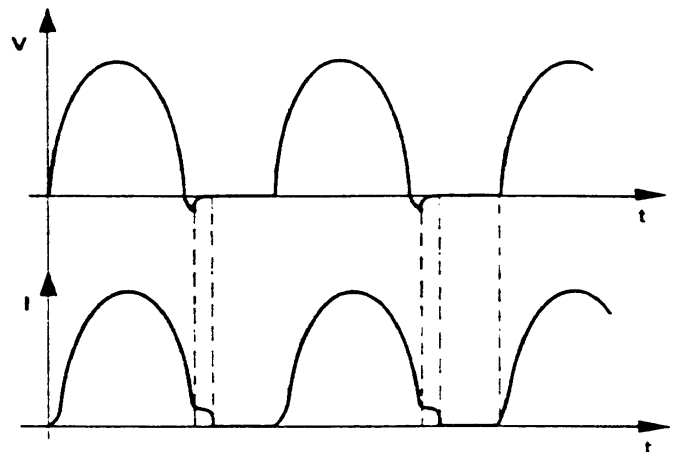
No mesmo da abertura de T1, gera-se uma tensão com polaridades opostas às precedentes, a qual polariza diretamente T2 que entra em condução limitando a amplitude.

A corrente I' circula até o completo esgotamento da energia acumulada pela indutância, a qual é toda dissipada sobre si mesma.

O diodo de recirculação consente a eliminação do arco elétrico sobre eventuais contatos situados em série no circuito.



Forma de onda sem
diodo de recirculação

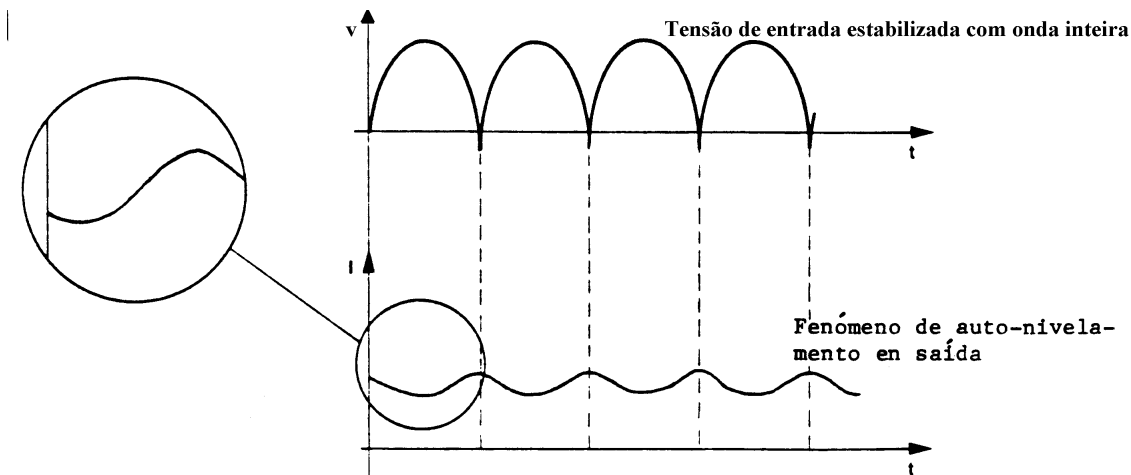


Forma de onda com
diodo de recirculação

Nota-se que a contra-tensão não é eliminada completamente mas é reduzida ao valor de passagem do diodo.

Se o tempo em que a tensão de entrada permanece no valor zero não é muito grande (exemplo: estabilização com onda completa), pode-se observar um fenômeno de AUTO-NIVELAMENTO muito acentuado.

Neste caso, mesmo sem capacitores de filtro, a corrente de circulação na carga não atinge o nível zero.



Testes de Verificação

1) Sobre a bobina, a tensão induzida gera-se:

- ☐ quando a corrente é zero.
- ☐ quando a tensão é zero.
- ☐ em modo contínuo.
- ☐ quando a tensão desce para zero.

2) Alinhamento uma carga indutiva a corrente:

- ☐ sobe instantaneamente
- ☐ sobe com atraso
- ☐ fica em zero
- ☐ segue o andamento da tensão

3) O diodo de recirculação serve para:

- ☐ proteger o diodo.
- ☐ proteger a carga.
- ☐ limitar a tensão induzida.

4) Num circuito indutor a corrente:

- ☐ tende a auto nivelar-se.
- ☐ permanece pulsante.
- ☐ é perfeitamente contínua.
- ☐ torna-se onda quadrada.

5) O diodo de recirculação serve para:

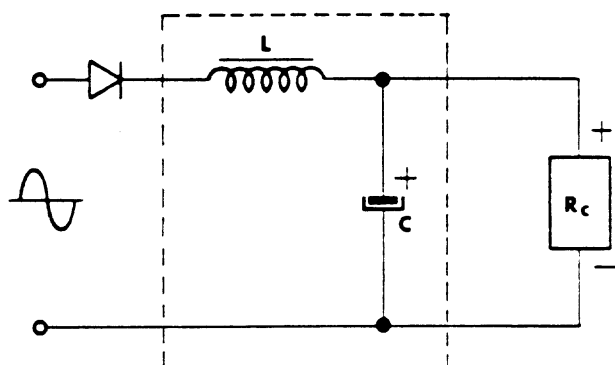
- ☐ estabiliza a tensão sobre a indutância.
- ☐ inverter a tensão induzida.
- ☐ aproveitar melhor a energia da bobina.
- ☐ proteger o diodo retificador

Filtro LC

Filtragem com circuito L-C

Existem dois circuitos nos quais as propriedades de nivelamento da indutância e do capacitor são aproveitadas a fim de obter filtros para os alimentadores

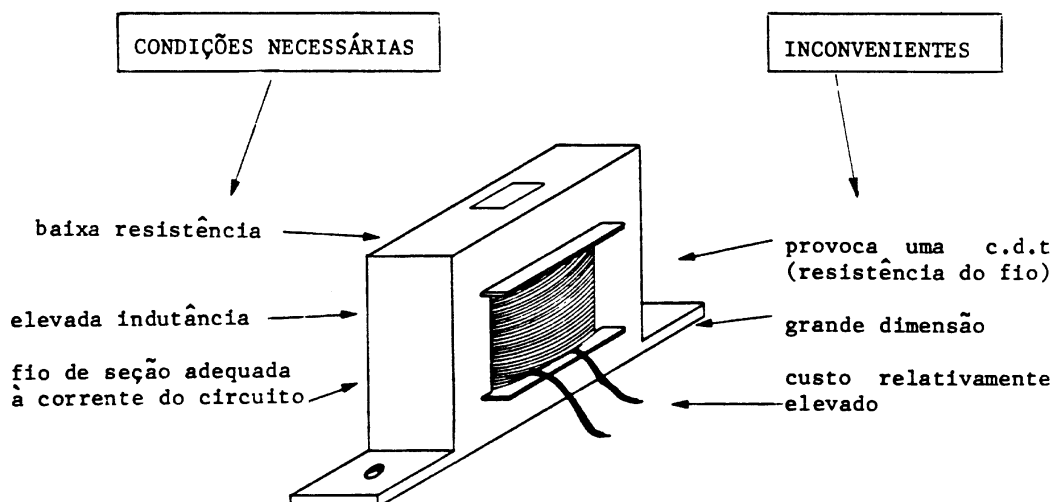
O FILTRO L-C

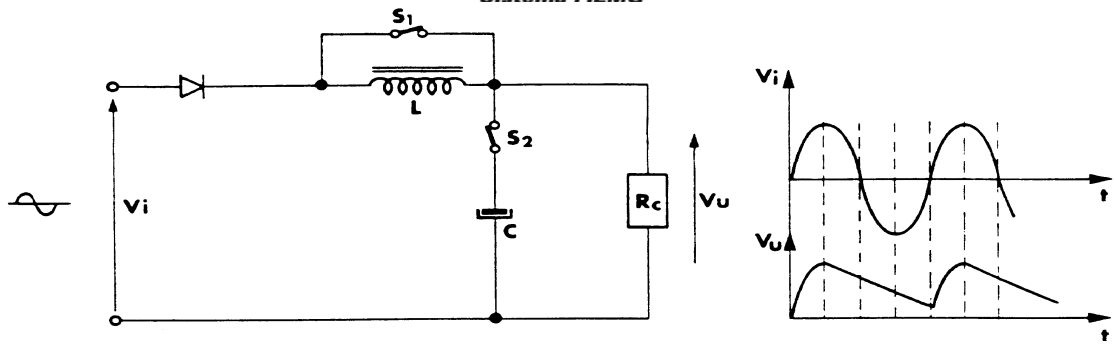


Exemplo de circuito de nivelamento L-C, aplicado a um estabilizador com semi-onda

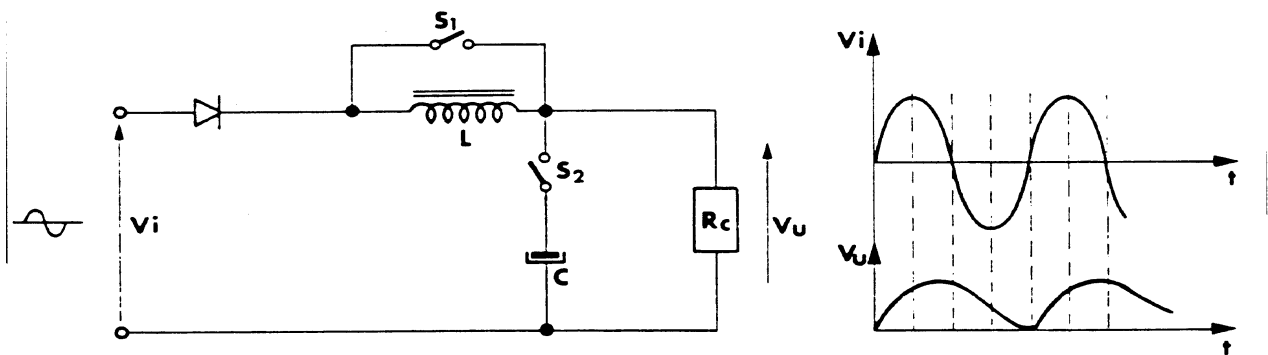
Como se sabe, a indutância apresenta uma elevada reatância à corrente variável proveniente do diodo o zumbido à carga, enquanto que o capacitor providencia um ulterior nivelamento da tensão de saída.

As indutâncias adequadas para este fim têm um valor de alguns Henry e encontram-se envolvidas sobre núcleos limitados.

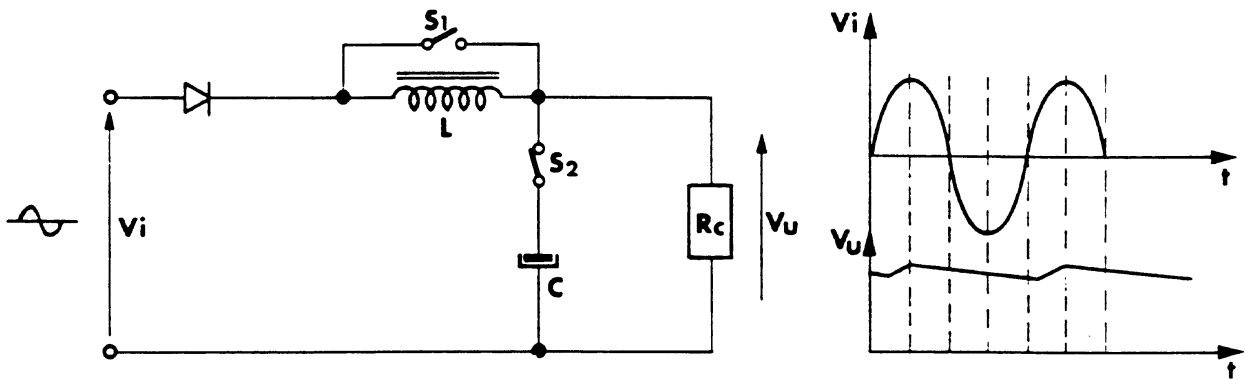




Com somente o capacitor são necessárias capacidade de valor elevado para obter uma forma de onda bem nivelada; além disso, o valor médio de V_u é baixo.



Também com exclusivo emprego da indutância, a forma de onda nas extremidades da carga é pouco nivelada. O valor médio é baixo, dado que a forma de onda medida sobre a carga passa a zero.



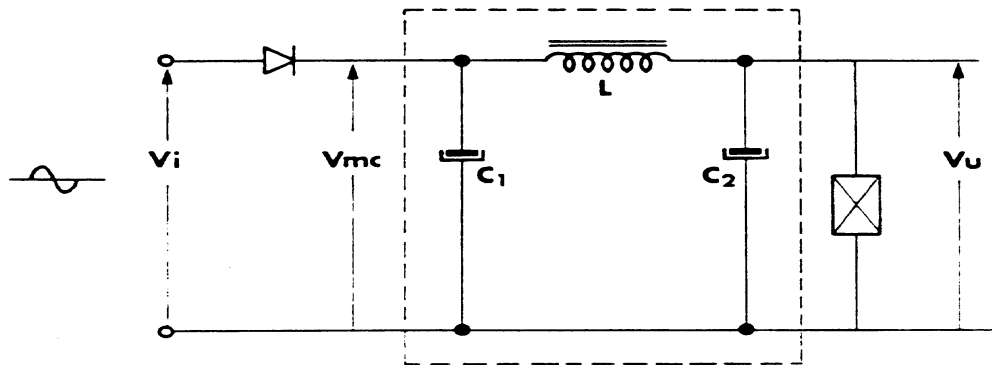
Combinando os dois elementos (L e C), a forma da onda medida nas extremidades de carga resulta bem nivelada. O valor médio eleva-se. A V_u não passa mais pelo zero.

O CIRCUITO L-C COMPORTA-SE COMO FILTRO QUE APRESENTA UMA ELEVADA IMPEDÂNCIA À FREQUÊNCIA DO ZUMBIDO (60 OU 120Hz)

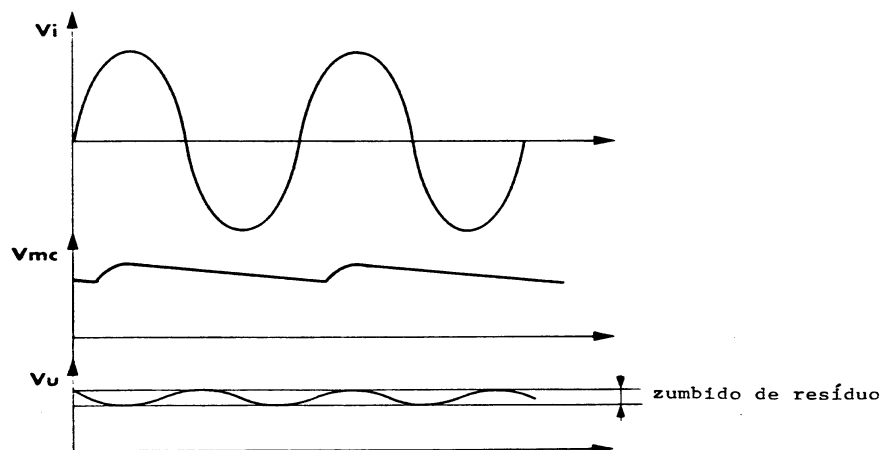
Filtro em “ π ”

Em alguns casos o rendimento fornecido por um circuito L-C não é suficiente. Para melhorá-lo recorre-se ao uso de um segundo capacitor ligado antes da indutância, formado deste modo um

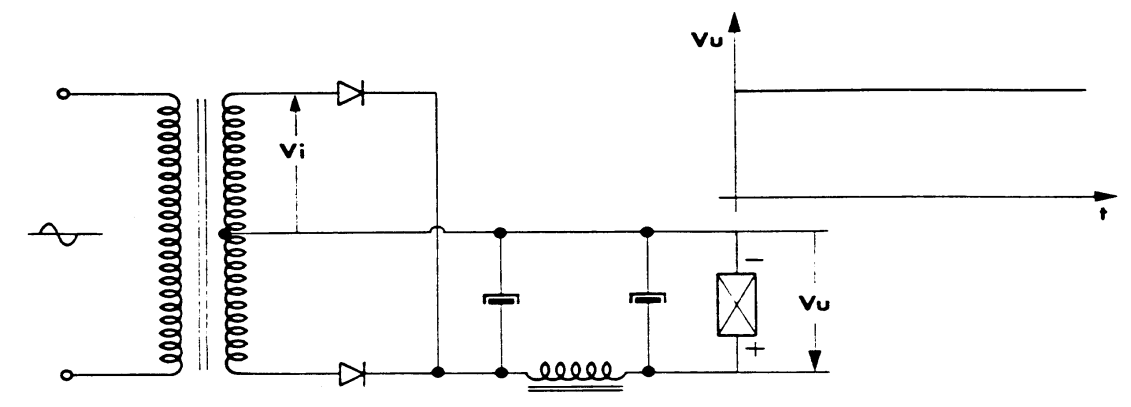
FILTRO EM " π "



No filtro de π a ação niveladora do grupo L-C acrescenta-se o pré-nivelamento do capacitor C1, obtendo-se à saída (para cargas limitadas), uma tensão praticamente contínua. Por estes motivos o filtro de π é a configuração que oferece os melhores resultados.



Exemplos de aplicações do filtro de π

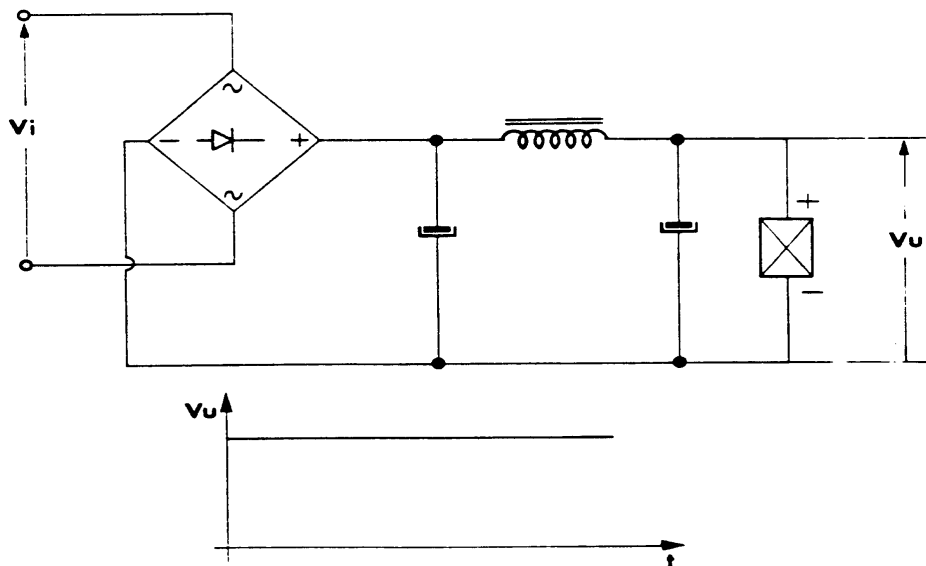


Filtro em π aplicado a uma retificação monofásica com onda completa com transformador de tomada central.

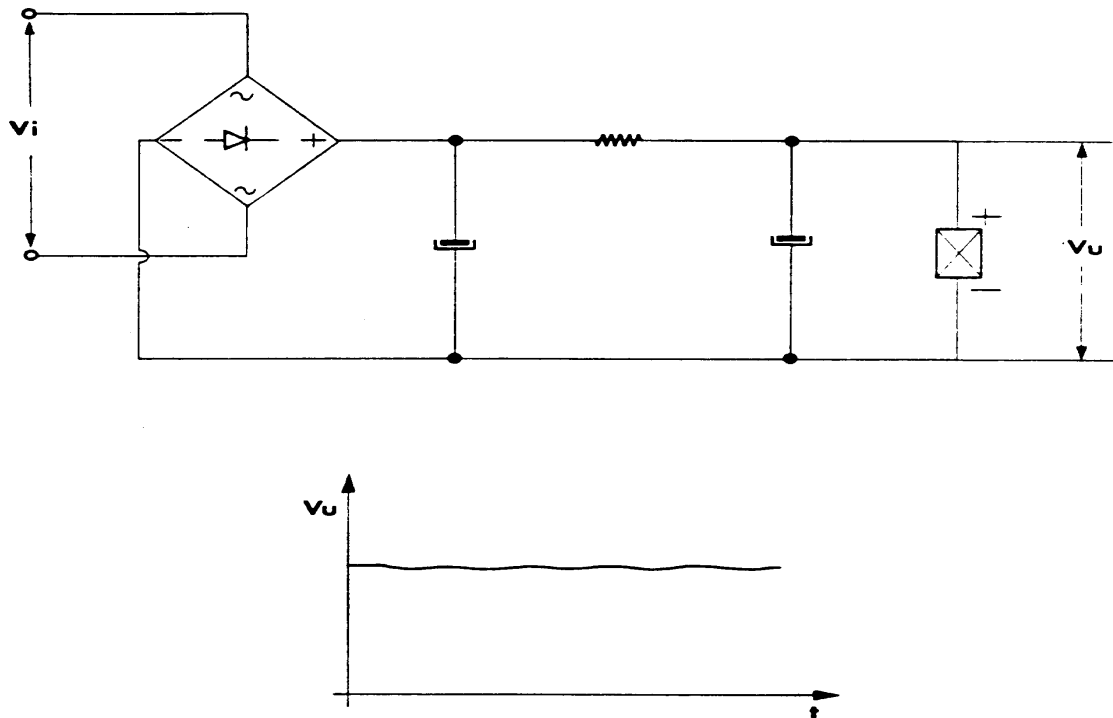
Para ambos os casos é válida a seguinte fórmula caso a resistência ôhmica da indutância seja muito pequena:

$$V_U = V_i \cdot 1,41$$

$$v_u = v_i \cdot 1,41$$



Em alguns casos pode-se encontrar o filtro de π composto por dois capacitores e uma resistência.



Em circuito é utilizado quando se deseja obter um bom nivelamento com o ,mínimo volume.

Testes de Verificação

- 1) A forma de onda na saída de uma retificação é melhor usando um
☐ nivelamento capacitor
☐ nivelamento com filtro L-C
☐ retificação com onda inteira
☐ retificação com filtro

- 2) Passando de vazio a plena carga num circuito com nivelamento, a tensão média à carga
☐ aumenta
☐ permanece constante
☐ diminui
☐ retorna alternada

- 3) Indicar quais são os requisitos necessários para uma indutância de filtro
☐ elevada resistência – baixa indutância
☐ baixa resistência – elevada indutância
☐ baixo custo – volume elevado
☐ baixa resistência – baixa indutância

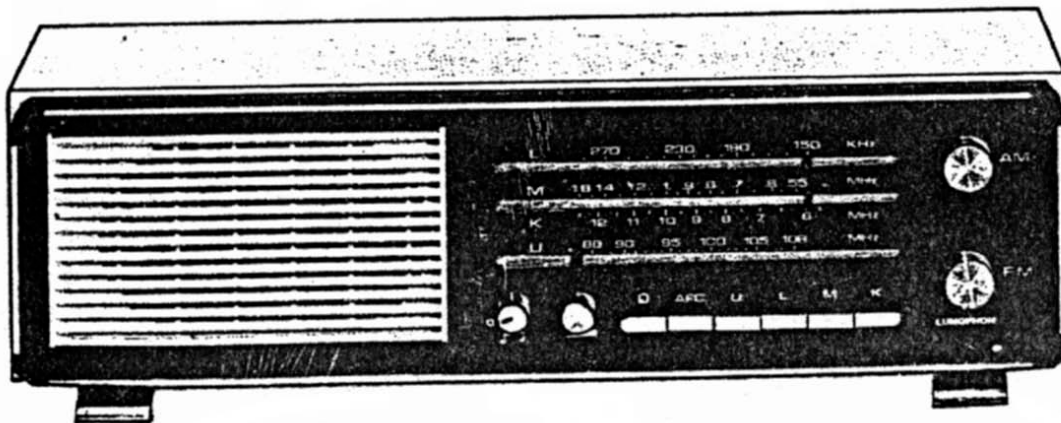
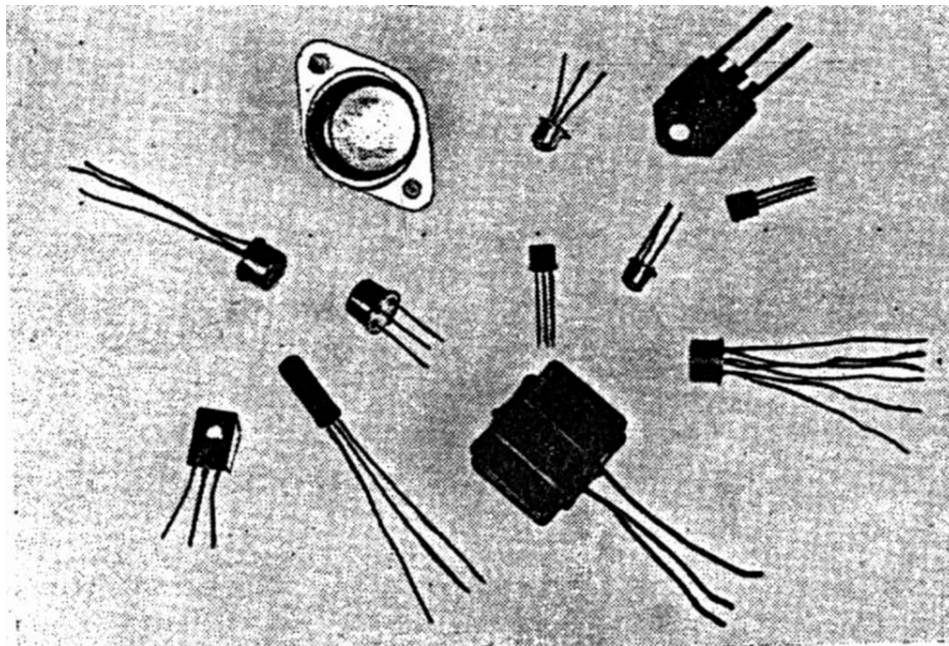
- 4) Num circuito com filtro somente indutivo, a forma de onda nas extremidades da carga
☐ não é nivelada
☐ é pouco nivelada
☐ é muito nivelada
☐ é perfeitamente contínua

Transistores

Generalidades

Desde os mais simples eletrodomésticos às mais complexas aparelhagens industriais, os fracos sinais, gerados ou recebidos, para poderem ser utilizados, devem ser “amplificados” e sofrer oportunas elaborações. O dispositivo a semicondutor capaz de efetuar esta operação é

O TRANSISTOR



A função principal do transistor é amplificar, isto é, fornecer aos terminais de saída um sinal com a mesma forma daquele aplicado aos terminais de entrada, mas fortemente amplificado, em corrente, em tensão e, portanto, em potência.

Introdução aos Transistores Bipolares (B J T)

O transistor de junção é constituído por duas junções P-N, ligadas entre si de modo alterno.

$$P \div N + N \div P = P \div N \div P$$

$$N \div P + P \div N = N \div P \div N$$

Têm-se portanto dois tipos de transistores que são chamados “complementares” ou inversos.

A diferença fundamental é apenas a polaridade da tensão que é diferente.

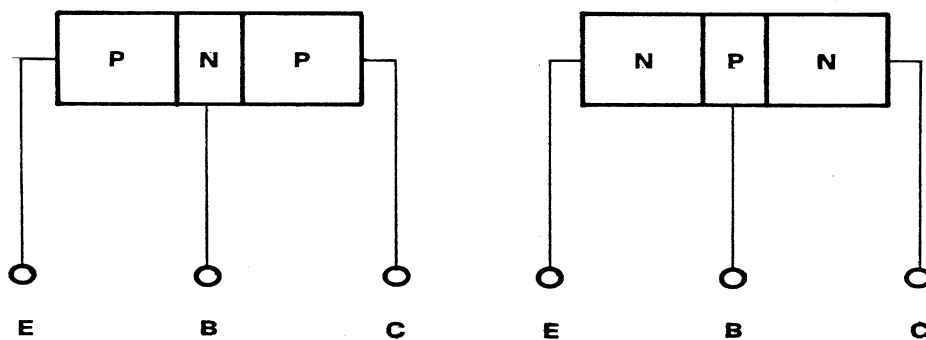
Observando como são dispostas as junções, se nota que é como se houvessem dois diodos, ligados entre si pela camada central.

Porém, o funcionamento elétrico do transistor é completamente diverso e complexo, e

NÃO SE PODE OBTER UM TRANSISTOR
LIGANDO ENTRE SI DOIS DIODOS

Os eletrodos do transistor são ligados às três camadas e se chamam:

EMISSION	(Emitter)	E
COLETOR	(Collector)	C
BASE	(Base ou Gate)	B



Os símbolos dos dois tipos de transistor bipolar são:

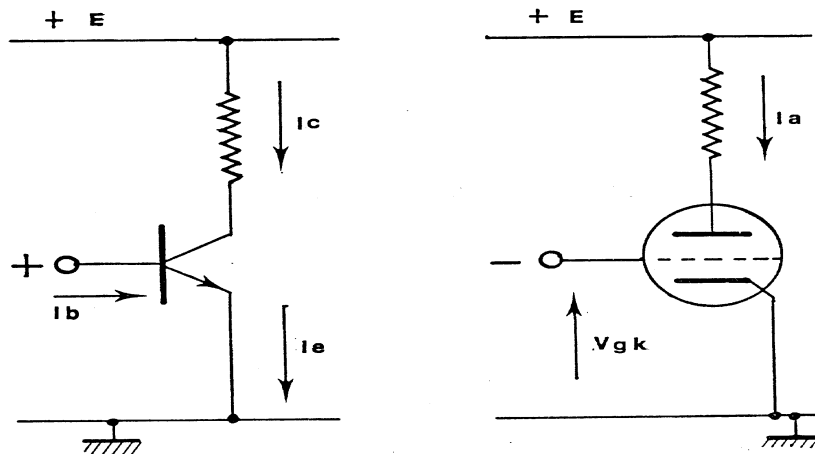


O transistor BIPOLAR é, fundamentalmente, um amplificador ou controlador de corrente, pois o sinal age como comando, é a corrente que passa na base:

NOTAR A DIVERSIDADE EM RELAÇÃO AOS TUBOS ELETRÔNICOS NOS QUAIS O SINAL DE COMANDO É UMA TENSÃO (V_{gk})

De modo bastante esquemático, se pode lembrar que no transistor BIPOLAR

A BAIXA CORRENTE QUE PASSA ENTRE A BASE E O EMISSOR (I_b) CONTROLA A CORRENTE (muito maior) QUE PASSA ENTRE O EMISSOR E O COLETOR (I_c).



Considerando, pelo momento, um dispositivo ideal:

se $I_b = 0$ então $I_c = 0$

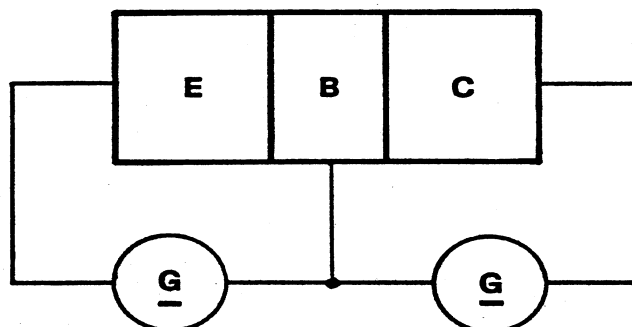
se aumenta a I_b , aumenta proporcionalmente a I_c , pelo que:

$$I_c \cong \beta I_b$$

O número β exprime a capacidade de amplificação em corrente do transistor. Nos transistores modernos o mesmo varia aproximadamente de 20 a 200.

Efeito Transistor

O fenômeno físico que se dá no interior das junções, e que determina o funcionamento como amplificador de corrente, é chamado “efeito transistor”.



Para que se manifeste, é necessário que se realizam as seguintes condições:

Dopagem assimétrica das zonas

A concentração das impurezas é maior na zona do Emissor, menor na zona da Base, ainda menor na zona do Coletor.

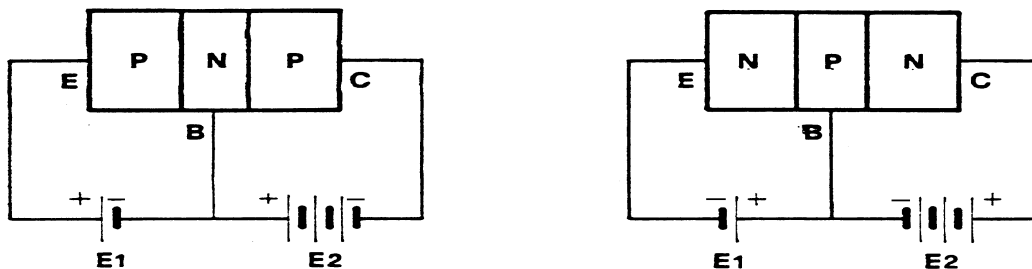
Dimensão:

A espessura da zona de base deve ser muito pequena em relação às duas zonas externas.

Polarização

A junção BASE – EMISSOR polariza-se DIRETAMENTE.

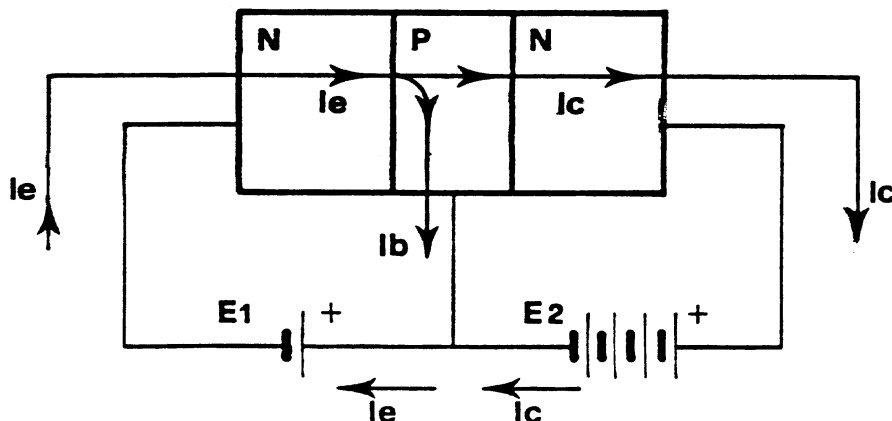
A junção BASE – COLETOR polariza-se INVERSAMENTE.



O efeito transistor é, portanto, o fenômeno pelo qual, mediante polarizações apropriadas, junções oportunamente dopadas, comprimento das várias zonas particularmente calculados, é possível mediante o efeito de uma pequena corrente (I_b), controlar uma corrente (I_c) muito maior.

A polarização direta do diodo base-emissor, dá origem ao movimento das cargas móveis que, pelo emissor (muito dopado) são atiradas na zona da base, é de tal maneira exíguo, e a dopagem de tal maneira baixa, que a maior parte destas cargas pelo potencial base-coletor, e acaba na camada do coletor, determinando assim a corrente I_c . Poucas cargas se recombinam à base, dando origem à pequena corrente da base.

Regulando a polarização B-E, e portanto a corrente I_b , determina-se a “emissão” das cargas do emissor e, portanto, regula-se a corrente do coletor.



Do ponto de vista das tensões, considere-se que para obter a I_b , a E_1 deve, necessariamente ser pequena (tensão de polarização direta do diodo E-B) enquanto que no circuito do coletor, a E_2 pode ser também suficientemente grande dado que a junção é polarizada no sentido inverso (naturalmente sem ultrapassar a tensão de Zener da junção).

No conjunto, o transistor BIPOLAR é também um amplificador de tensão que apresenta portanto um valor de ganho de potência muito elevado.

Correntes de perda do transistor

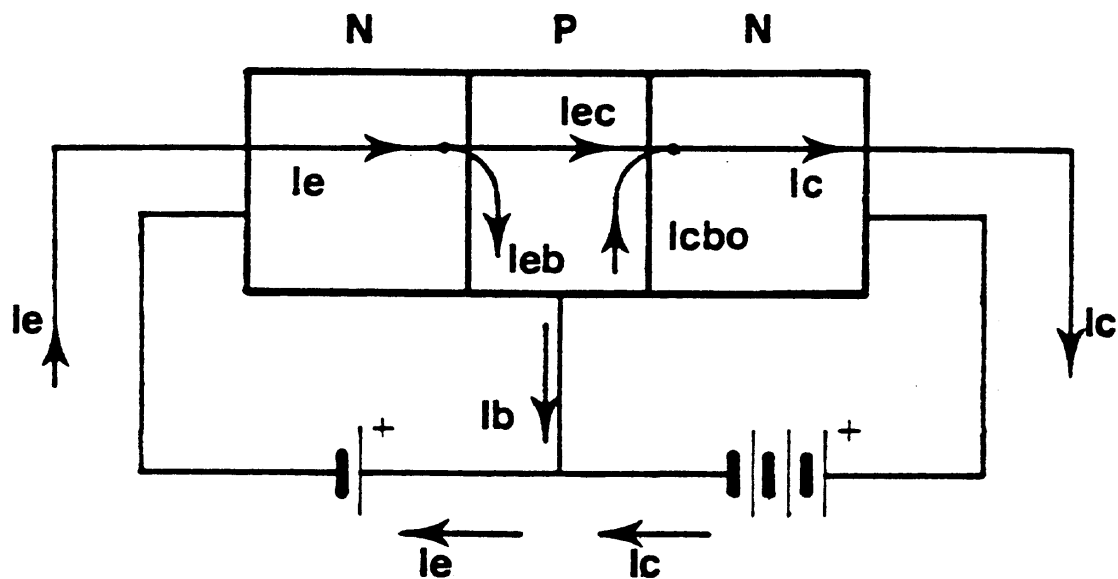
Na análise realizada até agora, consideramos o dispositivo como se fosse ideal.

Na realidade, se observamos a polarização base-coletor, que deve ser inversa, é necessário considerar que nesta junção passa uma corrente inversa.

Esta corrente inversa, como em todas as junções P-N, depende do tipo de material semi-condutor (Ge, Si, etc.), e da temperatura da junção.

É identificada com o símbolo I_{cbo}

A circulação das correntes no transistor torna-se, portanto:



I_e = corrente no emissor

I_{eb} = parte pequena da corrente de emissor, que se recombina na base; em prática, é a corrente de comando;

I_{ec} = parte grande da corrente de emissor, que influi no coletor; em prática, é a corrente amplificada;

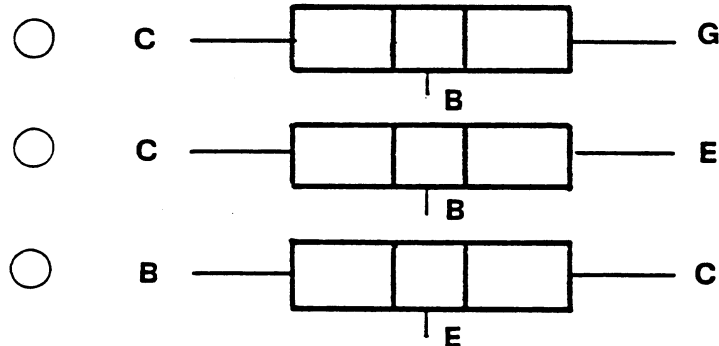
I_{cbo} = é a corrente inversa de saturação da junção;

$I_b = I_{eb} - I_{cbo}$ = é a corrente de base total;

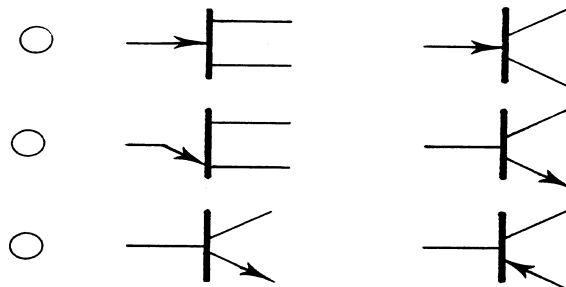
$I_c = I_{ec} + I_{cbo}$ = é a corrente de coletor total.

Testes de Verificação

1) A estrutura do transistor é:



2) Os símbolos dos transistores bipolares são:



3) O transistor é comandado na corrente:

- ☐ através de I_c
- ☐ através de I_b
- ☐ através de I_e

4) O coeficiente β do transistor representa:

- ☐ o valor da máxima corrente
- ☐ a amplificação em corrente do transistor
- ☐ a máxima temperatura de funcionamento

5) Para que o transistor funcione devidamente, é necessário:

- ☐ polarizar o diodo B-E diretamente e o diodo B-C inversamente
- ☐ polarizar o diodo B-C diretamente e o diodo B-E inversamente
- ☐ polarizar diretamente ambos os diodos

6) A I_{cbo} é:

- ☐ a corrente Base-Coletor
- ☐ a corrente inversa Base-Coletor
- ☐ a corrente inversa Base-Emissor

7) Os eletrodos do transistor são:

- ☐ anodo - catodo - base
- ☐ coletor - base - emissor
- ☐ coletor - grelha - emissor

8) A I_{cbo} depende:

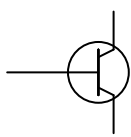
- ☐ da temperatura e do tipo de material que constitui o transistor
- ☐ da corrente de coletor e da temperatura
- ☐ da tensão de alimentação Base-Coletor

Parâmetros fundamentais do transistor bipolar

Parâmetros fundamentais em corrente contínua.

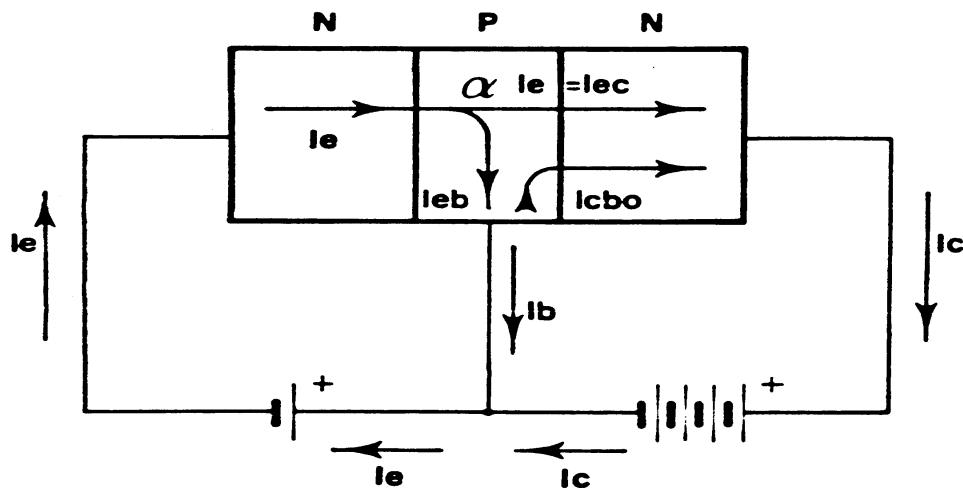
A ligação que existe entre a I_e gerada no emissor e a I_{ec} que afluí no coletor é um “dado” característico do transistor bipolar.

$$I_{ec} = \alpha I_e$$



O coeficiente α é definido “fator de transferência” transistor, entre o emissor e o coletor, com base em comum.

Dado que uma parte da I_e se recombina na base, a I_{ec} é menor da I_e e, portanto, o coeficiente α será sempre menor que 1. Nos modernos transistores o valor típico de α varia de 0,95 a cerca de 0,995.



Se por exemplo: $\alpha = 0,95$, significa que 95% da I_e torna-se I_{ec} e, portanto, I_c ; além disso $(100 - 95) = 5\%$ é correspondente à I_{eb} .

Se observamos o esquema precedente, podem-se escrever, aplicando os princípios de Kirkoff, as expressões fundamentais, que representam um sistema de equações com várias incógnitas:

- 1) $I_e = I_c + I_b$
- 2) $I_{ec} = \alpha I_e$
- 3) $I_{eb} = I_e - I_{ec} = I_e - \alpha I_e = (1 - \alpha) I_e$
- 4) $I_c = I_{ec} + I_{cbo} = \alpha I_e + I_{cbo}$
- 5) $I_b = I_{eb} - I_{cbo} = (1 - \alpha) I_e - I_{cbo}$

Se resolvemos este sistema, podemos chegar às seguintes conclusões:

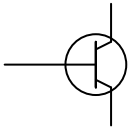
$$I_c = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \cdot I_b + \frac{(\alpha + 1)}{1 - \alpha} I_{cbo}$$

definindo:
obtem

$$\frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta ; \text{ pelo que se}$$

$$(6) \quad I_c = \beta I_b + (\beta + 1) I_{cbo}$$

Dado que $\alpha < 1$, o número β é tanto maior, quanto mais α se aproxima da unidade. Para valores de α de 0,95 a 0,995, β varia de 20 a cerca 200.

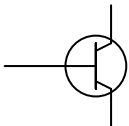


O coeficiente β representa a amplificação ou ganho de corrente entre a base e o coletor.

CONSIDEREMOS A EXPRESSÃO N.º 6: esta é fundamental para definir o funcionamento do transistor, dado que representa a influência que têm a I_b e a I_{cbo} na corrente do coletor.

Observe-se que praticamente:

- a) A I_b que é a corrente de comando, resulta amplificada β vezes;
- b) A I_{cbo} , que não é possível controlar, (e que é sensível às variações de temperatura), resulta amplificada de $(\beta + 1)$ vezes.



RESUMINDO: comandando o transistor da base, o mesmo é sensível à corrente de base (I_b) e à temperatura da junção ($I_{cbo} \rightarrow T$).

Correntes de perda do transistor

Analisemos as fórmulas 1 e 6:

1) $I_e = I_c + I_b$

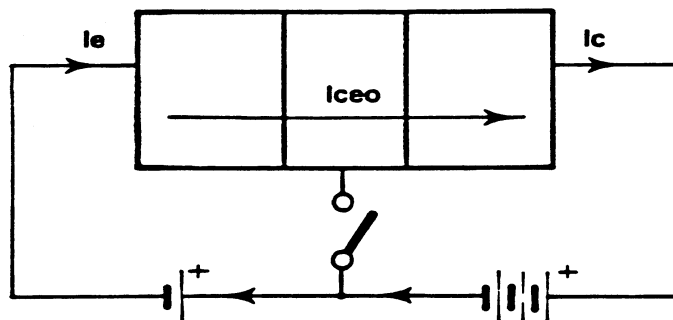
6) $I_c = \beta I_b + (\beta + 1) I_{cbo}$

Se por qualquer motivo a I_b se torna igual a 0, podemos concluir que:

1 a) $I_e = I_c + 0 = I_c$

6 a) $I_c = \beta \cdot 0 + (\beta + 1) I_{cbo} = (\beta + 1) I_{cbo}$.

Observa-se que a diferença das considerações realizadas no início do estudo do transistor, se a corrente de base se anula, não se anula perfeitamente a I_c , mas corre ainda uma pequena corrente devida à influência da I_{cbo} , tal como é indicado na seguinte figura:





Sistema FIEMG

Tal como já foi visto precedentemente, nos transistores modernos, a I_{cbo} é muito pequena e, portanto, também esta corrente de perda entre EMISSOR E COLETOR COM BASE ABERTA, é muito baixa e normalmente desprezível.

Nestas condições considera-se o transistor praticamente “INTERDITO OU ABERTO”, ou seja, apresenta entre coletor e emissor uma elevada resistência.



Esta corrente de perda é chamada:

$$6) I_c = (\beta + 1) I_{cbo} = I_{ceo}$$

Exemplo prático

Transistor de silício NPM tipo 2N1613:

$$V_{cb} = 60 \text{ V} \quad I_{cbo} = 0,3 \text{ nA} \text{ à } T = 25^\circ\text{C}$$

$$V_{cb} = 60 \text{ V} \quad I_{cbo} = 0,4 \text{ } \mu\text{A} \text{ à } T = 150^\circ\text{C}$$

Dado que o seu coeficiente β varia de cerca 35 a cerca 80, a sua I_{ceo} nas piores condições torna-se cerca:

$$I_{ceo} (150^\circ\text{C}) = (80 + 1) 0,4 \cdot 10^{-6} = 32 \text{ } \mu\text{A}$$

$$I_{ceo} (25^\circ\text{C}) = (80 + 1) 0,3 \cdot 10^{-9} = 25 \text{ } \mu\text{A}$$

Conclusões gerais

Se examinamos ainda a expressão n.º 6:

$$6) I_c = \beta I_b + (\beta + 1) I_{cbo}$$

Podemos também escrevê-la:

$$7) I_c = \beta I_b + I_{ceo}$$

da qual é possível calcular o coeficiente β :

$$8) \beta = \frac{I_c - I_{ceo}}{I_b}$$

Dado que, como se notou, nos modernos transistores a silício, o valor I_{ceo} , no campo das temperaturas de uso, é normalmente desprezível, os construtores fornecem geralmente um parâmetro β simplificado, desprezando a corrente de perda, o qual é chamado “hFE”; este parâmetro também é usado para indicar o ganho em sinal alternado, que é diferente de beta, que é o ganho em corrente contínua ou no ponto quiescente.

$$9) hFE = \frac{I_c}{I_b}$$

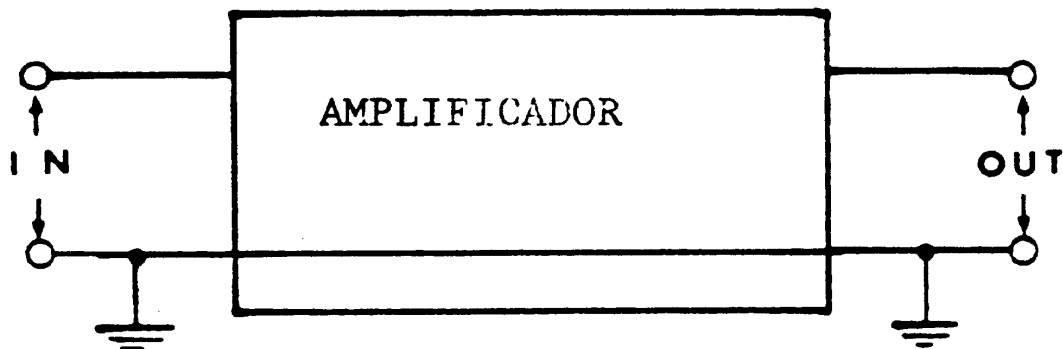
10) $I_c = h_{FE} \cdot I_b$

11) $I_b = \frac{I_c}{h_{FE}}$

O funcionamento de qualquer dispositivo, elétrico ou mecânico, pode ser eficazmente representado, utilizando os diagramas Cartesianos.

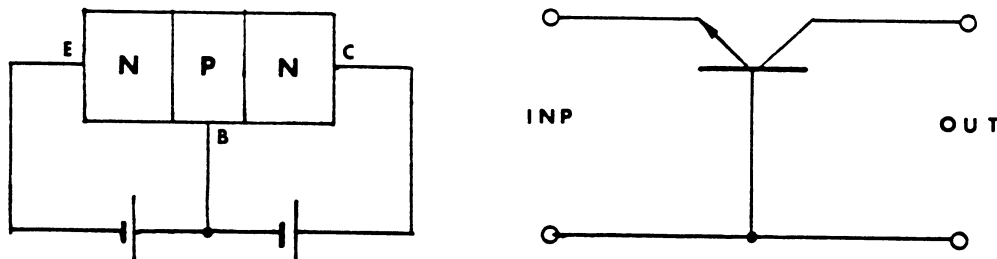
No caso do transistor, os gráficos relacionam entre si, as grandezas de coletor, de base, de emissor, para estabelecer o respectivo andamento recíproco.

Inserindo o transistor em um circuito amplificador, é necessário que um dos seus eletrodos seja em comum entre a entrada e a saída:

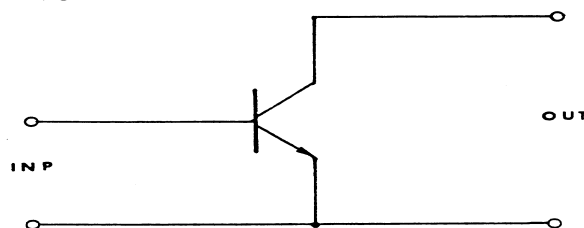


Podem-se por isso obter três esquemas de inserção e, portanto, três tipos fundamentais de curvas.

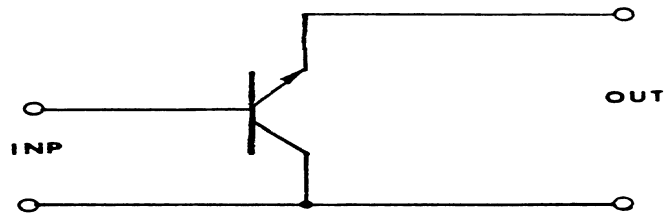
- 1) Nos esquemas até agora considerados, de modo ainda elementar, o eletrodo em comum foi normalmente a BASE:



- 2) Pode-se também usar a conexão com emissor comum:



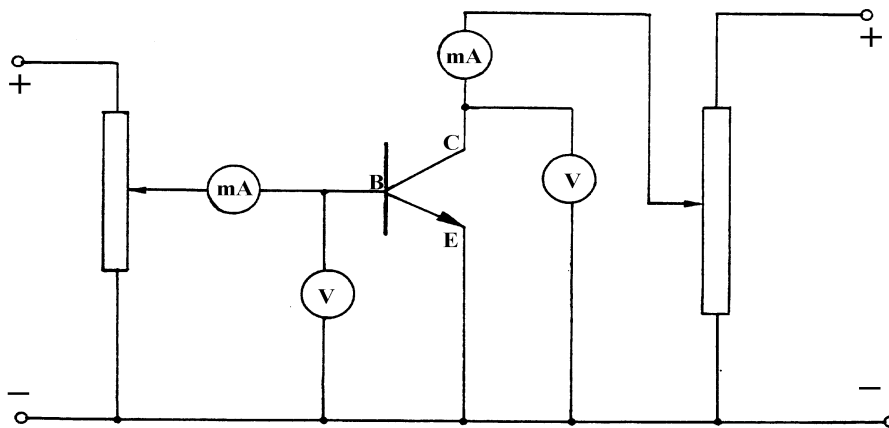
3) Também é usada a conexão com Coletor comum



A conexão mais utilizada no campo industrial é aquela com EMISSOR COMUM. Por este motivo os construtores fornecem as características dos transistores, normalmente nesta configuração. É possível convertê-las nas outras configurações.

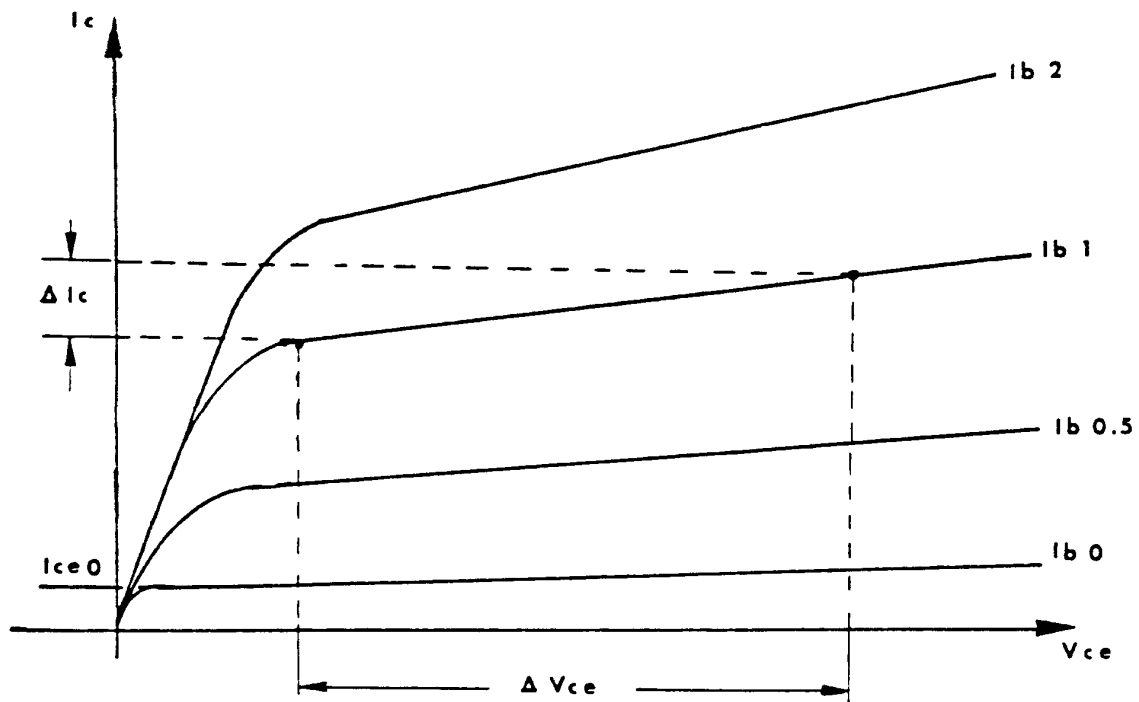
Curvas características do B.J.T. com emissor comum

Para obter em modo experimental as curvas características realiza-se o seguinte circuito:



Consideram-se os voltmíetros a elevada resistência interna para não carregar o circuito e falsar a medida.

Característica de coletor ou de saída
 I_c = função de V_{ce} com I_b constante



Esta característica, como todas as seguintes, é em prática, representada por uma “família” de curvas, cada uma diferente ao variar de I_b ; é a curva fundamental do transistor.

Considere-se:

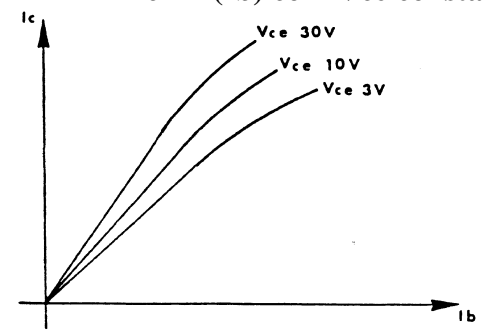
- a) O cálculo do h_{FE} do transistor no ponto P

$$h_{FE} = \frac{I_c}{I_b} \quad \begin{array}{l} \text{lido no eixo Y} \\ \text{lido na curva interessada} \end{array}$$

- b) Para fortes variações de V_{ce} , a corrente I_c varia de pouco;
 I_c varia se varia I_b .
 Demonstra-se a validade na expressão teórica:
 $I_c = \beta I_b + I_{ce0}$, onde não aparece o valor da V_{ce} .

Característica transferência ou amplificação direta de corrente

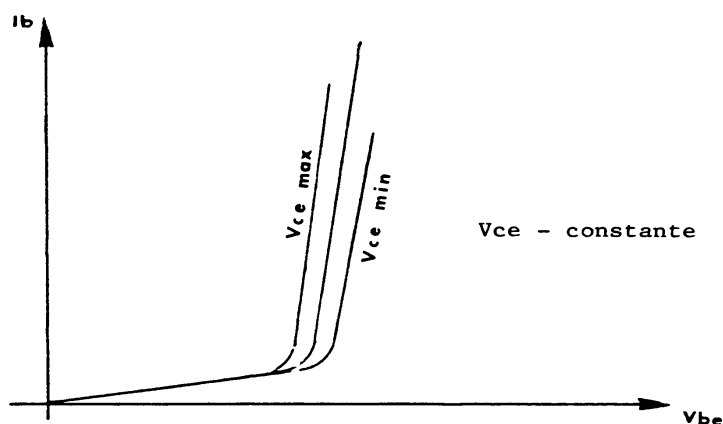
$I_c = f(I_b)$ com V_{ce} constante.



esta curva confirma quanto já foi considerado

Característica $V-I$ de entrada

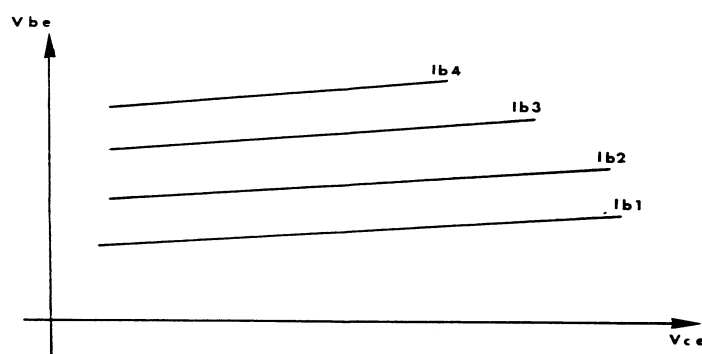
$I_b = f(V_{be})$ com V_{ce} constante



Em prática, é a curva do diodo base-emissor, polarizado diretamente. Observa-se que no entanto a V_{ce} influencia a I_b , embora muito ligeiramente.

1) Característica de reação ou de amplificação inversa

$V_{be} = f(V_{ce})$ com I_b constante

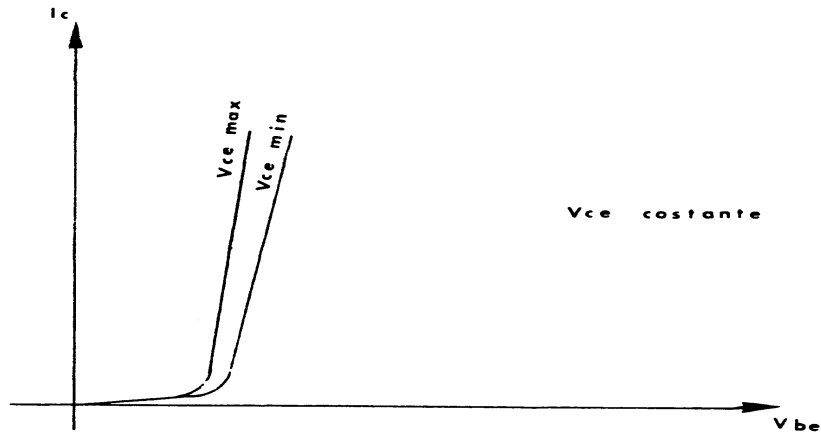


A curva, juntamente àquela precedente, nos faz notar um comportamento particular de TR, que até agora não tínhamos considerado, isto é, que a variação da V_{ce} , faz variar no sentido inverso a corrente de base. Para manter I_b constante, é necessário aumentar a V_{be} , se aumenta a V_{ce} . Isto significa que o transistor amplifica, embora pouquíssimo, no sentido inverso, ou seja, da saída para a entrada.

Trans-característica ou característica de transferência

I saída – V entrada

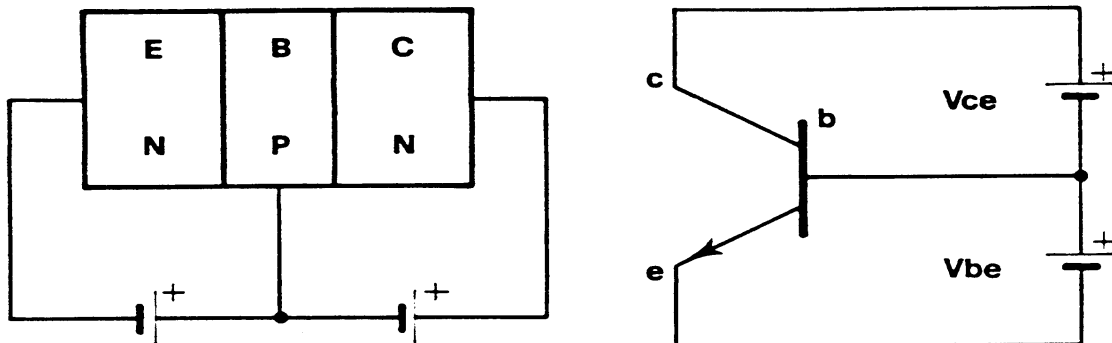
$I_c = f(V_{be})$ com V_{ce} constante



Esta curva representa o comportamento do TR. no caso seja comandado através da V_{be} .

Conclui-se portanto que existe pouca proporcionalidade entre a V_{be} e a I_c controlada e que, portanto, o TR. Funciona melhor se considerarmos a corrente (I_b).

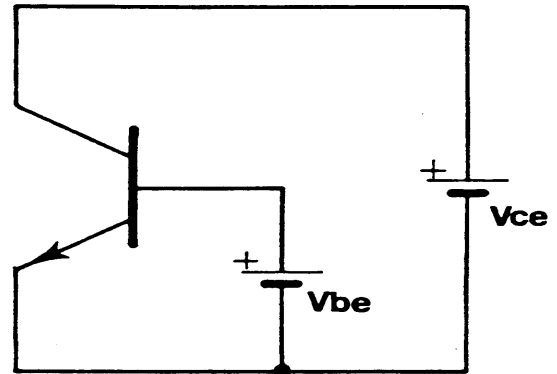
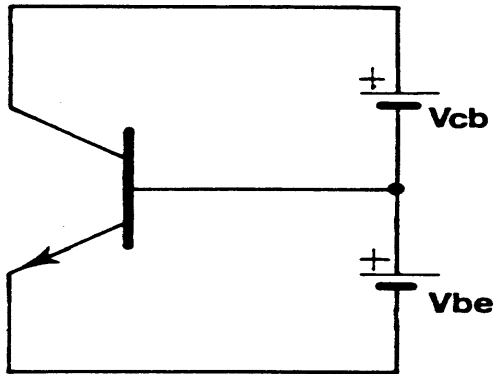
Consideramos a ligação fundamental do transistor BJT:



O uso de dois geradores é desaconselhável por motivos de custo e de volume; procuremos portanto polarizar devidamente o transistor, utilizando apenas um.

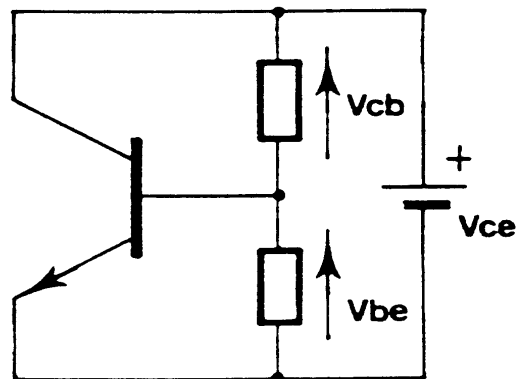
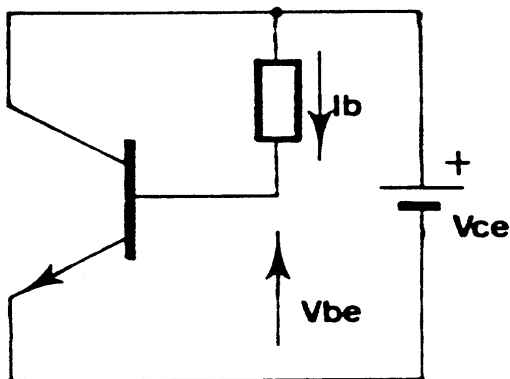
Observa-se que os esquemas da fig. 2 são equivalentes e que:

A V_{be} é MENOR QUE V_{ce} E POSSUI O MESMO SINAL



$$V_{ce} = V_{be} + V_{cb}$$

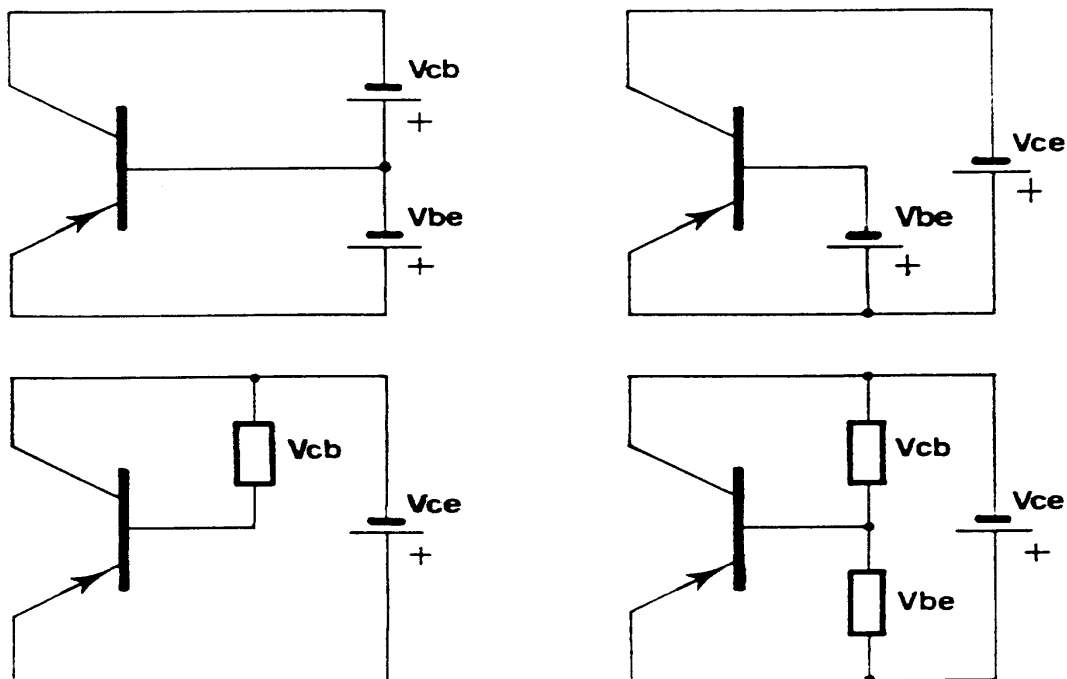
Portanto, é possível eliminar a bateria V_{be}



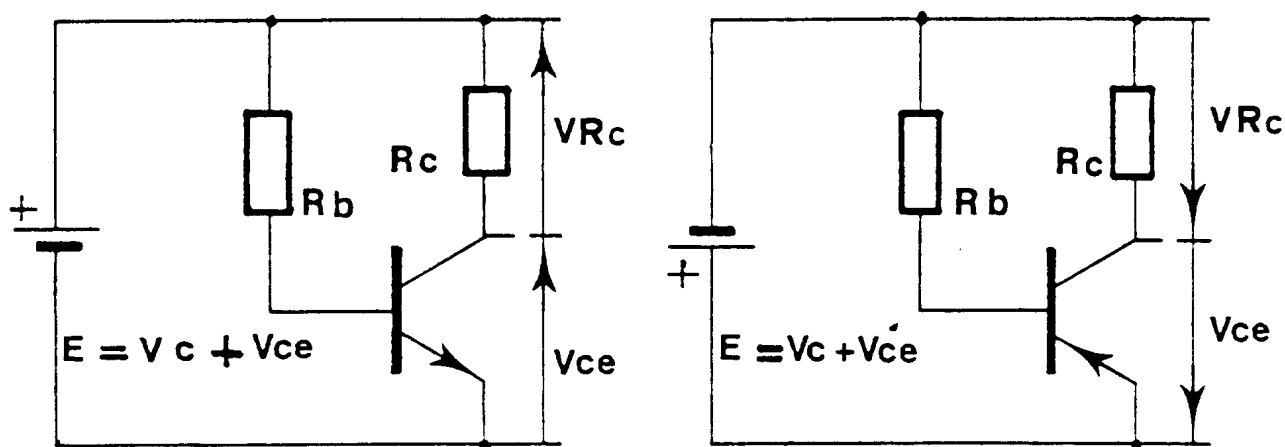
Inserindo uma resistência de queda em série na base, ou um partidor.

Se o transistor considerado é um PNP, lembramos que valem todas as considerações feitas para o tipo NPN, mas que:

AS POLARIDADES DA ALIMENTAÇÃO DEVEM SER INVERTIDAS



Naturalmente, para utilizar o sinal de saída, é necessário disparar a carga ou o utilizador (resistência de carga R_c).



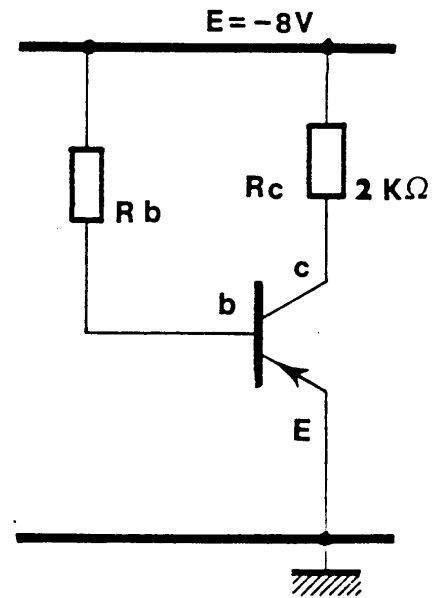
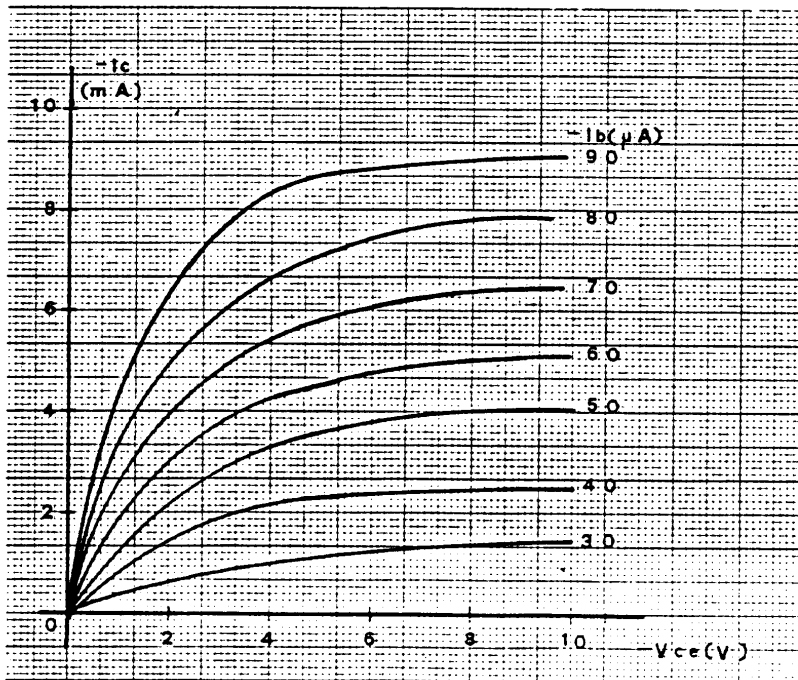
NA CONEXÃO COM EMISSOR COMUM A CARGA É INSERIDA SOBRE O COLETOR

Reta de carga estática e ponto quiescente

Para determinar graficamente o funcionamento do circuito com transistores, convém traçar a:

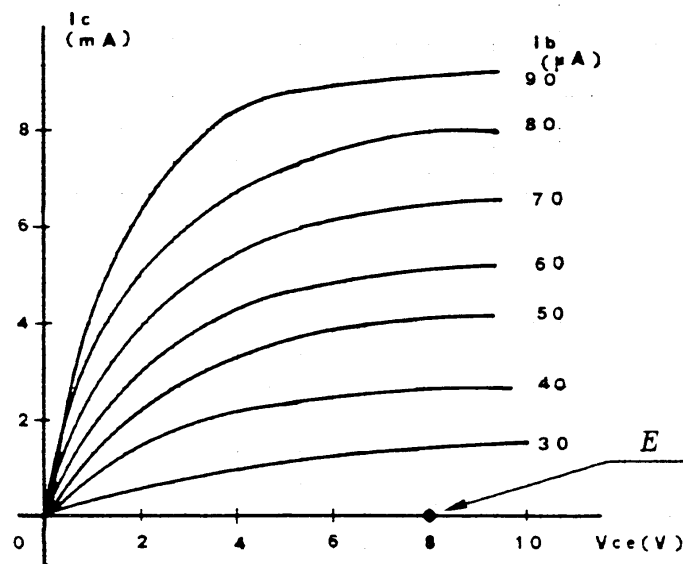
Reta de carga estática

Que é a representação gráfica de resistência de carga, traçada sobre as características “de coletor” do transistor.



Para traçar a reta de carga deve-se proceder no seguinte modo:

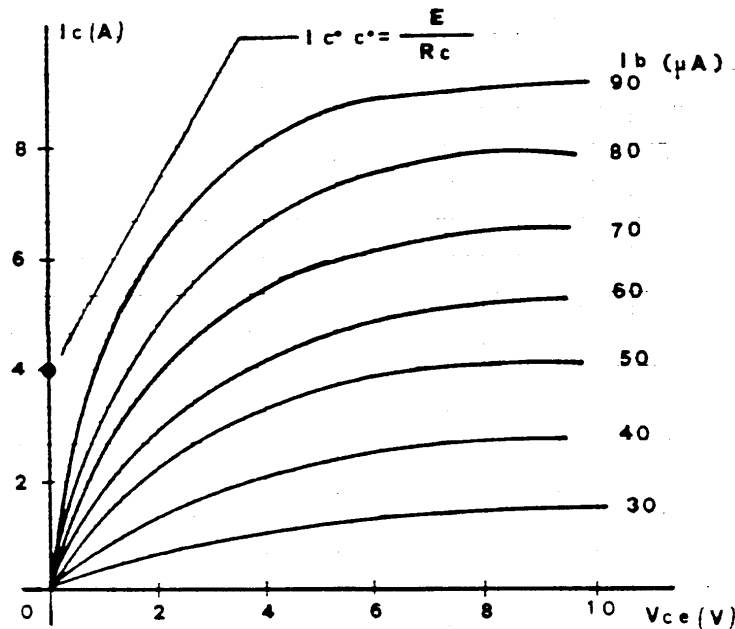
- 1) Identifica-se no eixo das abscissas (V_{ce}), um valor equivalente à tensão de alimentação (E).



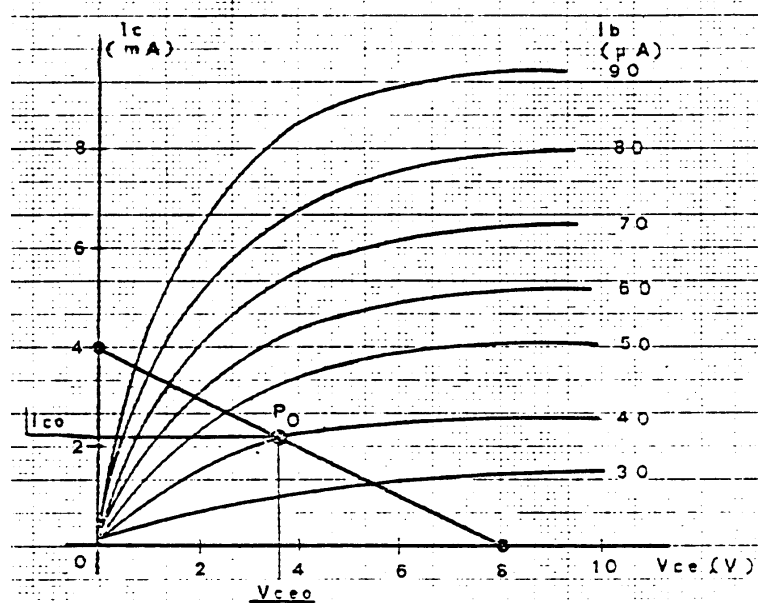
- 2) Identifica-se no eixo das ordenadas (I_c), um valor de corrente chamado:

Corrente de Curto-circuito (I_{c^o} C^o).

Calculado imaginando de encerrar em curto-circuito entre eles o emissor e o coletor do transistor; no nosso caso a expressão vale:



3) Unem-se os dois pontos precedentemente identificados e obtém-se a reta de carga estática.



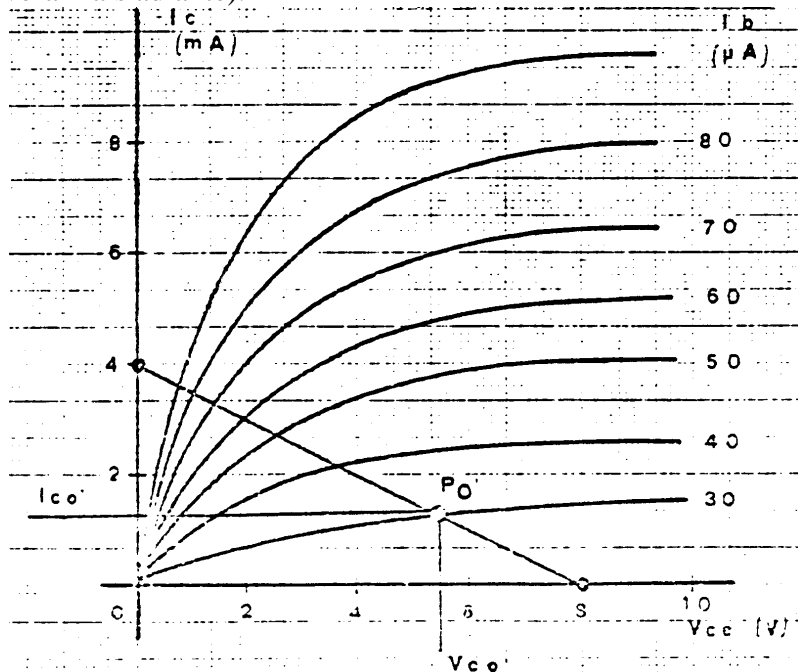
A reta de carga interseca as características de coletor para cada valor de I_b , pode-se determinar o ponto de funcionamento do transistor dito:

Ponto quiescente ou ponto de trabalho

A projeção do ponto quiescente (P_o) sobre os eixos, permite identificar o valor da V_{ce} (V_{ce0}) e da I_c (I_{c0}) ao qual o transistor vai funcionar.

Se modificamos o valor da I_b (ex. de I_{b0} para I_{b0}') desloca-se o ponto quiescente determinado: $P_{0'}$, $V_{ce0'}$, $I_{c0'}$

A escolha do ponto quiescente depende do tipo de curto-circuito em que se deseja fazer funcionar o transistor, (como se vera mais adiante).



Estabilidade Térmica

A variação da temperatura das junções de um transistor determina uma correspondente variação da I_c (I_c) e portanto um deslocamento do ponto quiescente.

A ΔI_c POR CAUSA TÉRMICA É DEVIDA A TRES FATORES:

1) AUMENTO DE I_{c0}

É um efeito desprezível nos modernos transistores de SILÍCIO porque nos mesmos a I_{c0} parte de valores muito baixos; a I_{c0} dobre o seu valor para cada ΔT de 9° a $11^\circ C$.

2) DIMINUIÇÃO DA V_{be}

A variação de V_{be} é quase linear e vale cerca 2,4 V por grau centígrado.

A variação da V_{be} interessa quer os transistores a GERAMÂNIO, quer aqueles a SILÍCIO.

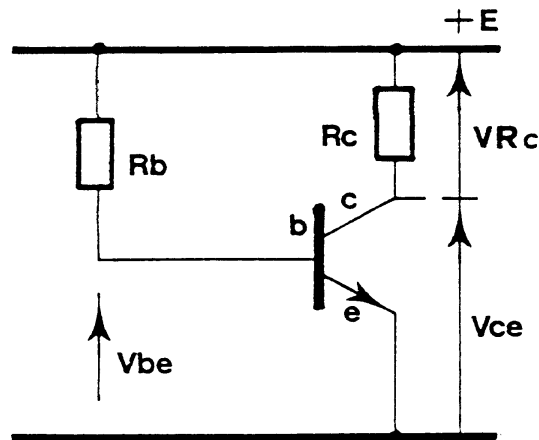
3) VARIAÇÃO DO β ($\Delta\beta$)

O $\Delta\beta$ do transistor não tem uma precisa lei de variação, em geral o β se aumentam a temperatura ou a I_c .

Em geral pode-se considerar os TRANSISTORES SILÍCIO TERMICAMENTE BASTANTE ESTÁVEIS, isso não obstante para precaução contra a intervenção dos termos mais perigosos ($\Delta\beta - \Delta V_{be}$) estudam-se particularmente esquemas de polarização que intervêm automaticamente para compensar as eventuais variações do ponto quiescente.

Esquemas de Polarização

1)



Equações fundamentais

$$E = R_b \cdot I_b + V_{beo} ; \quad \text{pelo que}$$

$$R_b = \frac{E - V_{beo}}{I_b} ;$$

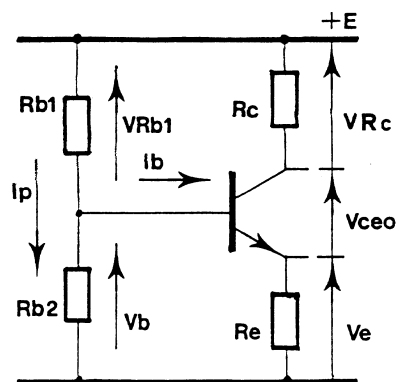
$$E = R_c I_c + V_{ceo} ; \quad \text{pelo que}$$

$$R_c = \frac{E - V_{ceo}}{I_c} ;$$

$$I_b = \frac{I_c}{H_{FE}}$$

Este circuito é termicamente pouco estável, porque nada se opõe às variações de I_{cbo} , V_{beo} , β , e portanto de I_c .

2)



É o esquema mais usado, porque é compensado contra a variação de I_{cbo} , V_{beo} e sobretudo de β .

Para que isto se verifique é necessário calcular I_p de modo que a I_b seja desprezível a seu respeito:

$$I_p \geq 10 I_b$$

Deste modo, ao variar de β e portanto de I_b praticamente a V_b não varia mantendo firme a expressão.

$$V_b = V_{beo} + V_e$$

A resistência R_e , intervém contra as variações de I_c , qualquer que seja a causam, dado que a sua c.d.t. V_e opõe-se à corrente de base. Se por exemplo I_c aumenta, m aumenta V_e que faz diminuir a V_{beo} (dado que V_b é constante) e portanto I_b , que tende a reduzir I_c , contrastando o aumento inicial.

Na falta de dados melhores, a V_e calcula-se geralmente:

$$V_e = \frac{1}{5} \div \frac{1}{10} V_{ceo}$$

Equações Fundamentais

$$E = R_c I_c + V_{ceo} + R_e I_c \quad (\text{desprezando } I_b)$$

$$E = R_{b1} I_p + R_{b2} I_p = R_{b1} I_p + V_b \quad (\text{desprezando } I_b)$$

Pelo que:

$$R_b = \frac{E - V_b}{I_p}$$

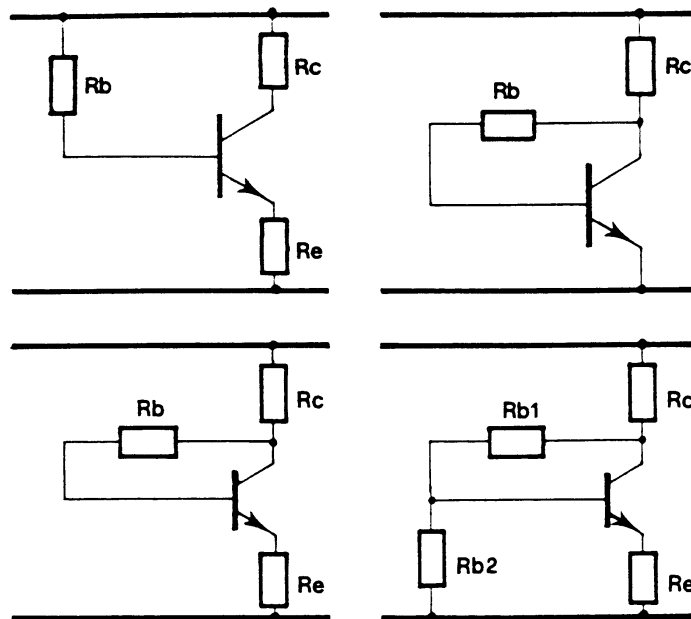
$$V_b = V_{beo} = V_e = V_{beo} = R_e I_c \quad (\text{desprezando } I_b)$$

$$I_p = 10 I_b$$

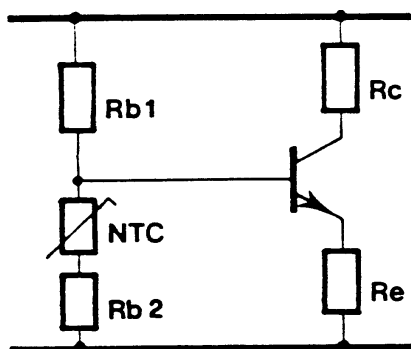
$$I_b = \frac{I_c}{h_{FE}}$$

$$R_{b2} = \frac{V_b}{I_p}$$

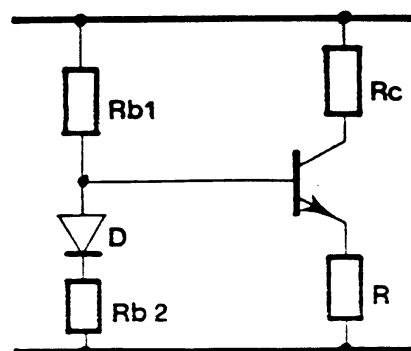
Outros processos de polarização usados são:



Querendo melhorar a compensação podem-se introduzir elementos não lineares:

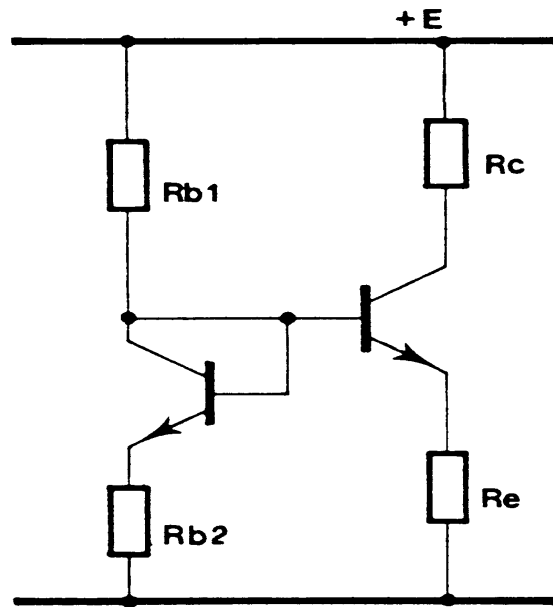


A NTC diminui a sua R se aumenta a temperatura.



A c.d.t. do diodo diminui com o aumento de temperatura compensando o V_{be}

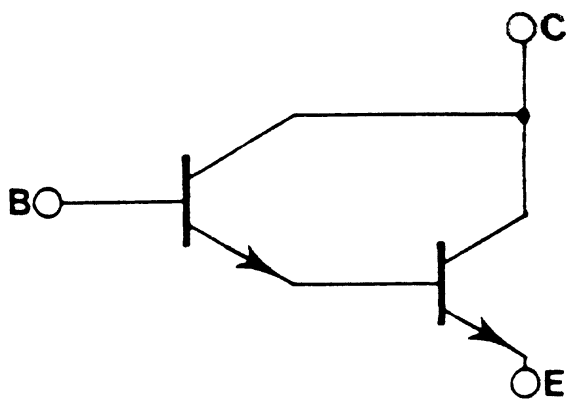




Os dois transistores devem ser idênticos e compensa-se perfeitamente a ΔV_{be} .

Conexões Darlington

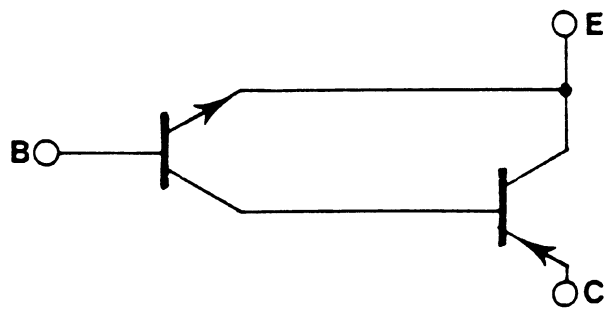
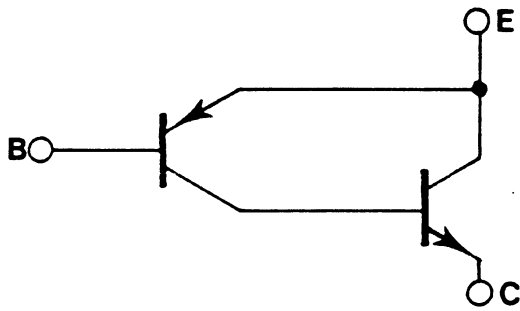
Definem-se conexões Darlington dois transistores bipolares quando a corrente de emissor do primeiro também é a corrente de base do segundo.



Este tipo de ligação pode ser utilizado para a realização de um amplificador e emissor comum, tendo um ganho em corrente muito elevado. Podemos, portanto, dizer que o circuito equivalente é comparável a apenas um transistor que possui as seguintes características:

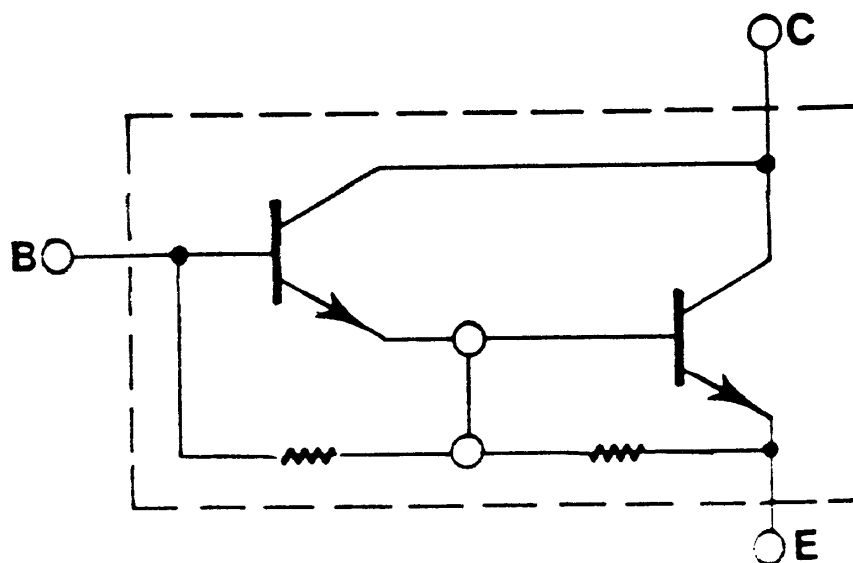
- Maior impedância de entrada
- Maior ganho em corrente

Normalmente este tipo de conexão é efetuado com transistores da mesma espécie; porém é possível executar tal ligação com transistores complementares.



Normalmente a conexão é executada aproveitando como transistor T1 um transistor de pequena potência e com beta alto, enquanto como transistor final T2 usa-se um transistor de potência com beta baixo.

Com a introdução das modernas tecnologias, já não é indispensável executar a conexão com componentes discretos; mas é possível usufruir de circuitos integrados onde já foi preconstruído um darlington.



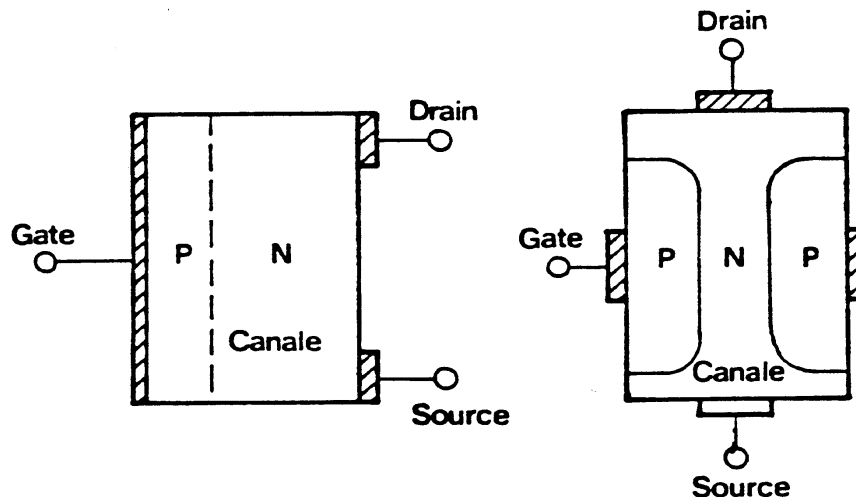
Transistores de efeito de campo (FET)

O transistor FET (field effect transistor = transistor com efeito de campo), é um particular dispositivo no estado sólido que pertence à família dos componentes chamados “unipolares”, isto é, têm uma só junção e funcionam como monojunção, utilizando a condutibilidade de uma zona chamada “canal”.

O mesmo possui três eletrodos chamados:

GATE	=	PORTA	-	porta
DRAIN	=	DRENO	-	(ânodo)
SOURCE	=	FONTE	-	(catodo)

Princípio de funcionamento: controle da corrente do canal através de um campo elétrico.



Como se pode observar na figura, o FET (com canal N) é constituído por uma zona com semiconductor dopado N, com duas ligações às extremidades e por uma parte dopada P que envolve o percurso do canal N.

Pode-se também construir o transistor completamente com canal P, invertendo as dopagens das duas zonas entre si.

Os eletrodos ligados às extremidades do canal são o SOURCE e o DRAIN; o GATE está ligado à camada lateral.

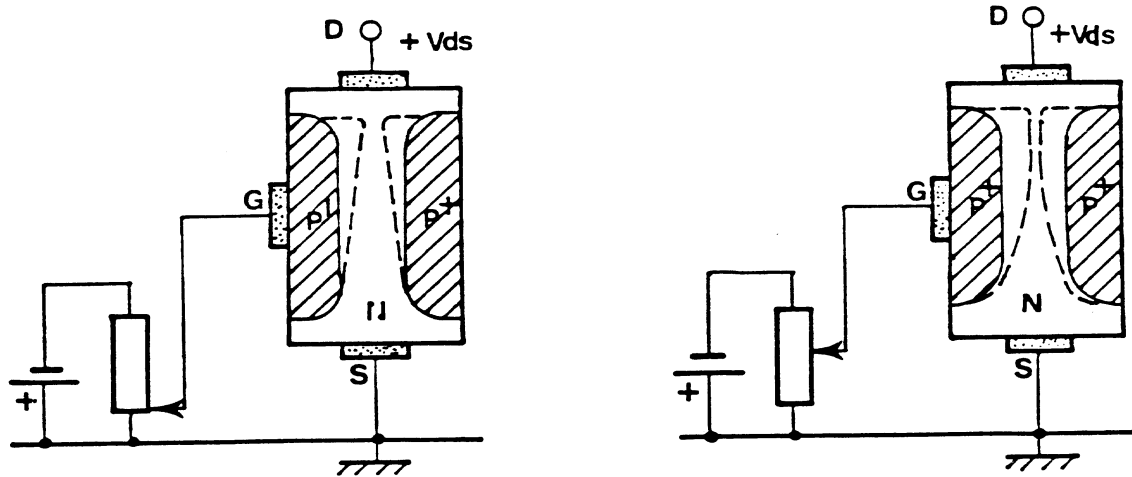
Entre o source e o drain existe condutibilidade ôhmica, cujo valor é em função da dopagem e das seções do canal, enquanto que o gate e o canal formam uma junção P-N.

A corrente de saída do dispositivo, é feita passar entre S e D, enquanto que para comandar esta corrente se polariza inversamente o diodo G-S.

Lembrando como se comporta a zona de junção de um diodo polarizado inversamente, se

explica o funcionamento do transistor FET; de fato, polarizando inversamente o diodo G-S, se faz variar a largura da zona de esvaziamento por cima d junção P-N; como se sabe, esta zona de transição, devido à presença de apenas cargas fixas, comporta-se como um isolador elétrico; a largura desta zona será tanto maior, quanto maior será a tensão inversa aplicada entre o gate e o source.

Observe-se a seguinte figura:



$V_{GS} = 0$: canal muito aberto;
Elevada condutibilidade

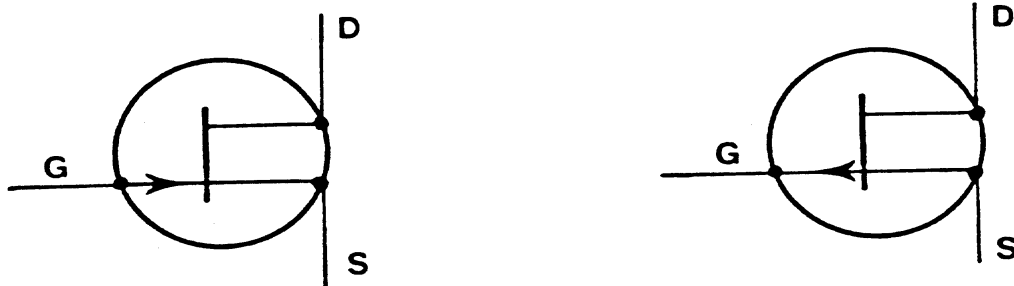
Tensão inversa de polarização de Gate: canal
apertado, baixa condutibilidade

Pode-se dizer que ao variar da tensão inversa de gate, “se aperta” mais ou menos o “canal” de condução entre source e drain, (pense-se por analogia a um tubo de plástico no qual se pode regular a passagem de um líquido, apertando mais ou menos o próprio tubo, variando portanto a seção útil à passagem do fluxo).

É importante observar que neste dispositivo, o controle realiza-se através de uma **tensão inversa**, sobre um circuito de entrada com **grande resistência** e, portanto, com corrente de entrada **desprezível**.

Na ausência de polarização inversa no gate, o FET conduz a max corrente de drain. O mesmo funciona, sob o ponto de vista da polarização, como os tubos de vácuo (tríodo e pêntodo a vácuo).

Os símbolos gráficos são os seguintes:



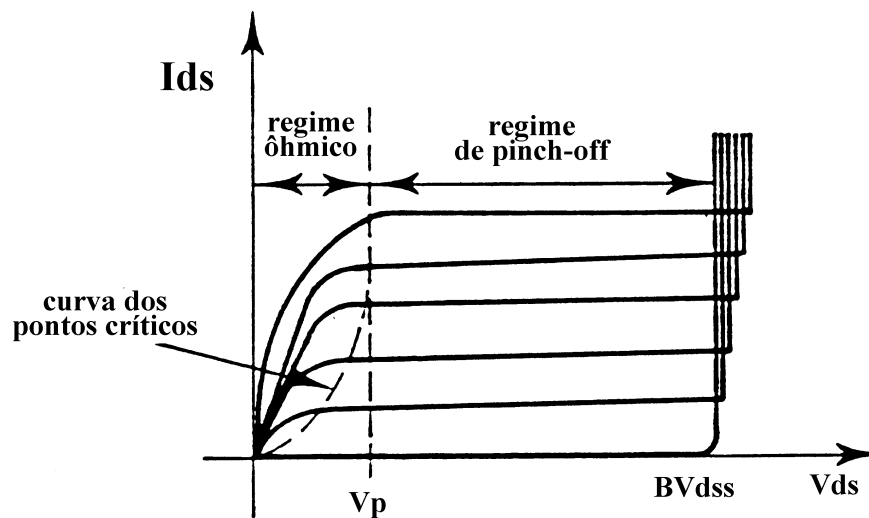
FET a canal N

FET a canal P

Para ter um elevado controle por parte da tensão de gate, sobre a corrente de drain-source, é preciso que para pequenas variações de tensão, varie muito o aperto do canal; para obter este resultado a dopagem do canal é efetuada com concentração muito menor que na zona de gate, neste modo o diodo que resulta será constituído por uma junção assimétrica.

Dados fundamentais e características do FET

A mais importante característica do FET é aquela equivalente à característica anódica dos tubos ou à característica de coletor dos transistores BJT, que é chamada **característica de drain**.



Nesta curva que exprime a função:

$$I_{ds} = f(V_{ds}) \text{ com } V_{gs} \text{ constante}$$

pode-se distinguir três zonas de comportamento do transistor FET:

- 1) zona chamada ôhmica na qual o FET se comporta aproximadamente como resistência variável ao variar da tensão drain source (esta é uma aplicação importante deste transistor).
- 2) zona chamada “hipercrítica” ou de “Pinch Off” (concentração total), a partir do ponto no qual inicia o aperto no qual inicia o aperto do canal.
O início do fenômeno segue a curva chamada “dos pontos críticos”, até ao valor V_p quando a tensão de gate é nula.
- 3) zona chamada “de ruptura” quando a tensão entre gate e canal atinge a tensão de zener da junção. A tensão de ruptura é máxima quando V_{gs} é nula (é indicada com BV_{dss}); progressivamente diminui ao aumentar a tensão inversa de gate (é indicada com BV_{dsx} cada valor de tensão entre drain e source que determina a ruptura com os vários valores de tensão drain-source).

Como se pode observar, a curva é semelhante à família de características anódicas do pêntodo; o percurso utilizado no funcionamento como amplificador é a zona hipercrítica.

Os dados e parâmetros fundamentais fornecidos pelos construtores são:

g_{max} = transcondutância total máxima

É uma espécie de coeficiente híbrido de amplificação; de fato, define a variação da corrente I_{ds} determinada pela variação da tensão V_{gs} de controle).

$$g_{max} = - \frac{\Delta I_{ds}}{\Delta V_{gs}} \quad \text{Com } V_{ds} \text{ constante}$$

A transcondutância se exprime em $-\frac{mA}{V}$ - Ou mili-Siemens (mS)

V_p = tensão de concentração total (pinch off voltage)

define o início do regime hipercrítico, com tensão de gate nula.

BV_{dss} = tensão de ruptura com V_{gs} nula.

BV_{dsx} = tensão de ruptura com uma det. V_{gs} .

Estas tensões definem na prática os limites da tensão de alimentação.

$I_{ds max}$ = corrente máxima entre drain e source

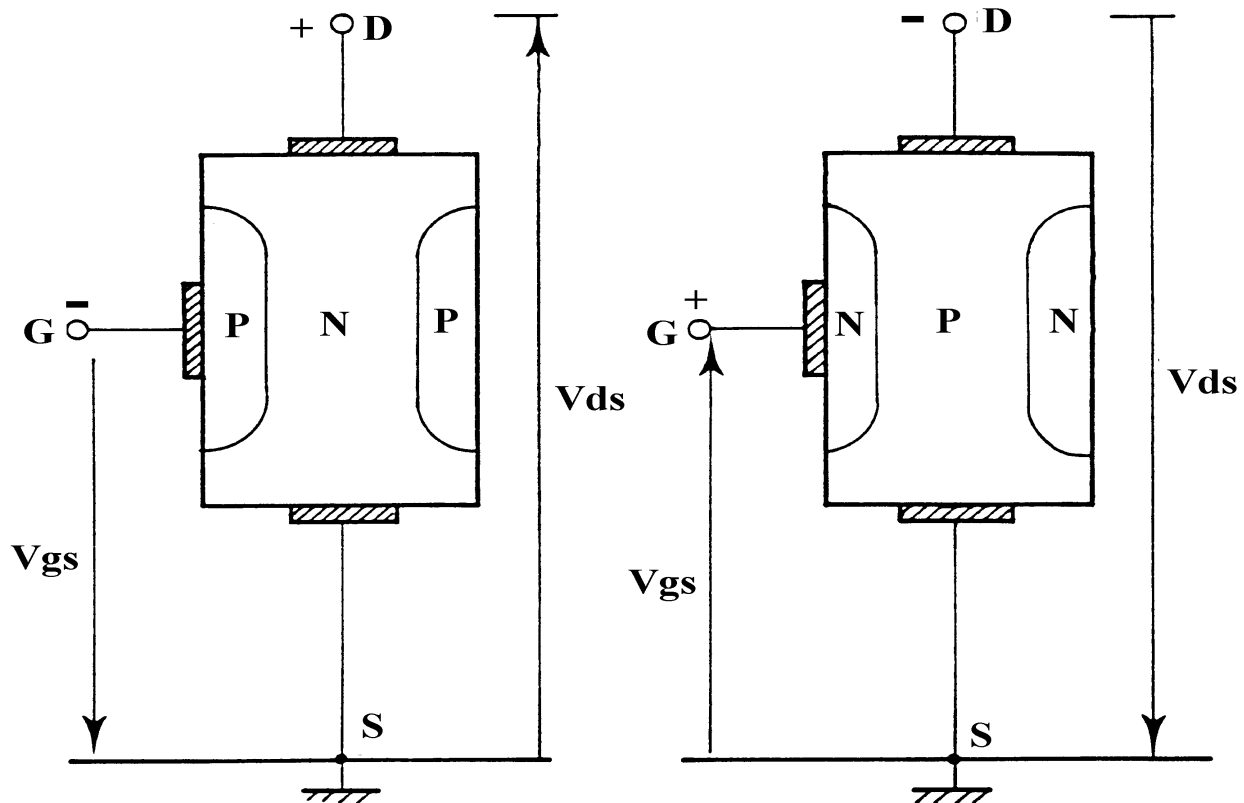
I_{gss} = corrente inversa gate-source

Define a convivência do FET em relação à sua resistência de entrada, que como vimos, é muito alta.

Valores típicos da resistência de entrada são de $10^6 \, \Omega$ a $10^9 \, \Omega$.

Polarização dos FET's

Com os transistores com efeito de campo, o problema da polarização é mais complexo do que com os transistores BJT; de fato, o FET precisa de uma tensão de gate que não é da mesma polaridade da tensão de drain e, portanto, não é possível utilizar a solução com partidor como nos BJT;



FET a canal N

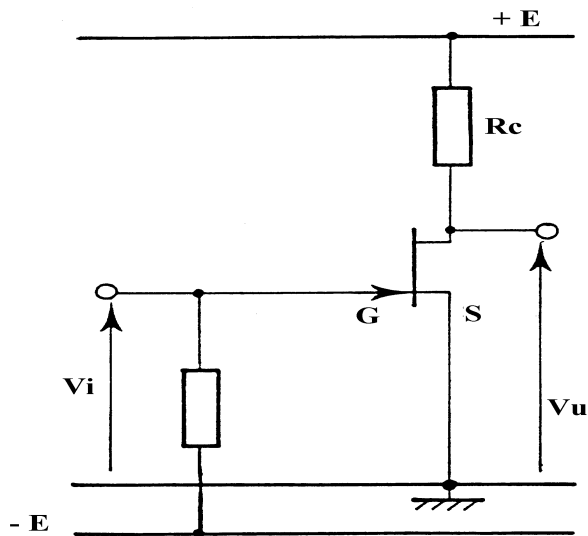
FET a canal P

Observemos a figura e recapitulemos quais devem ser as tensões de alimentação.

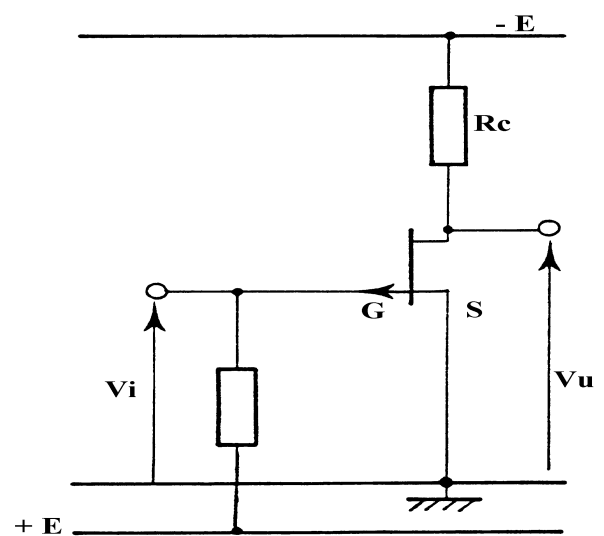
FET canal N: tensão de drain positiva em relação ao source;
 tensão de gate negativa em relação ao source, para polarizar inversamente a junção G-S.

FET canal P: tensão de drain negativa em relação ao source;
 tensão de gate positiva em relação ao source, para polarizar inversamente o diodo G-S.

Um circuito de polarização normal assume, portanto, a seguinte forma:



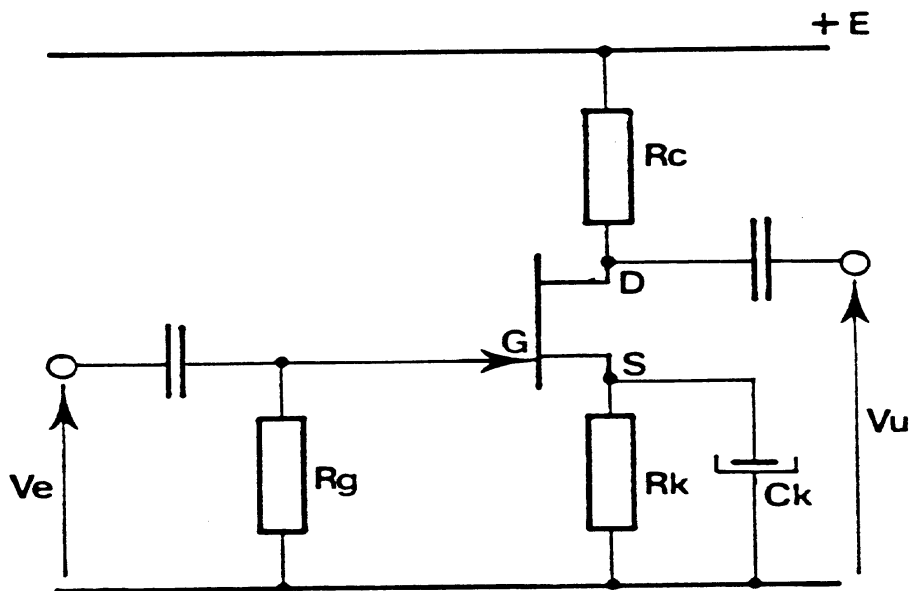
FET a canal N



FET a canal P

Observe-se a necessidade de recorrer à duas tensões de alimentação.

Se se desejar usar apenas uma tensão de alimentação, deve-se utilizar um artifício elétrico visível na figura:



O artifício, semelhante àquele utilizado para a polarização automática dos tubos a vácuo, consiste em dispor uma resistência em série no source, que com a sua cdt, leva o source a um potencial mais positivo da massa; ligando deste modo o gate à referência, resulta mais negativo do que o source, exatamente como é solicitado pelo transistor FET.

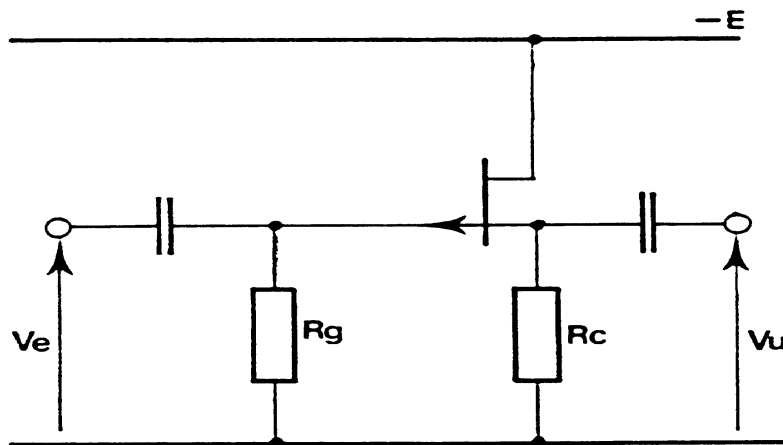
Naturalmente, no caso de FET com canal P todas as polaridades resultam invertidas.

Dado que a resistência de source provoca durante o funcionamento como amplificador, uma diminuição do ganho, analogicamente aos circuitos BJT, desejando eliminar o problema, convém dispor em paralelo um capacitor de by-pass.

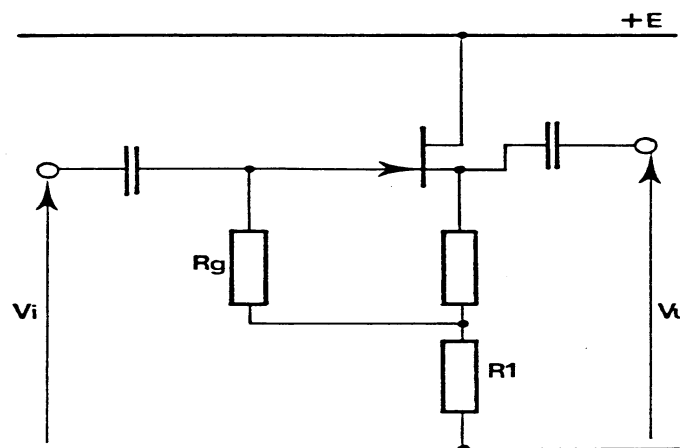
A ligação do gate à referência deve ser efetuada através de uma resistência g de valor grande, de modo a não diminuir demais a elevada resistência de entrada que apresenta o FET; no que diz respeito à polarização, este elevado valor não provoca inconvenientes dado que o gate praticamente não absorve corrente e, portanto não existe cdt na R_g .

A R_g se fixa normalmente entre 2 Môm e 50 Môm.

Querendo utilizar a ligação “source follower” semelhante à análoga ãmiter follwer” para os transistores BJT, deve-se proceder tal como indicado no seguinte esquema:

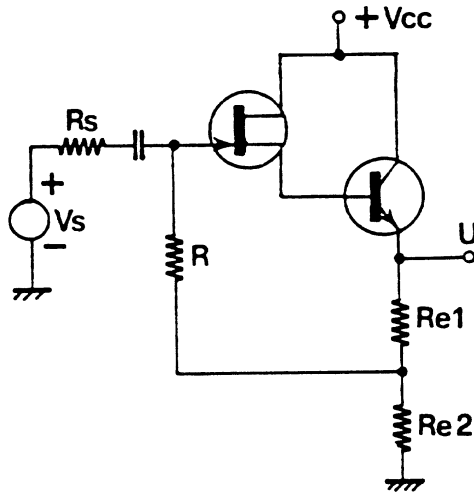


É possível aumentar a impedância de entrada do circuito realizando a ligação do seguinte esquema no qual se utiliza a contra-reação dada pela R_1 .

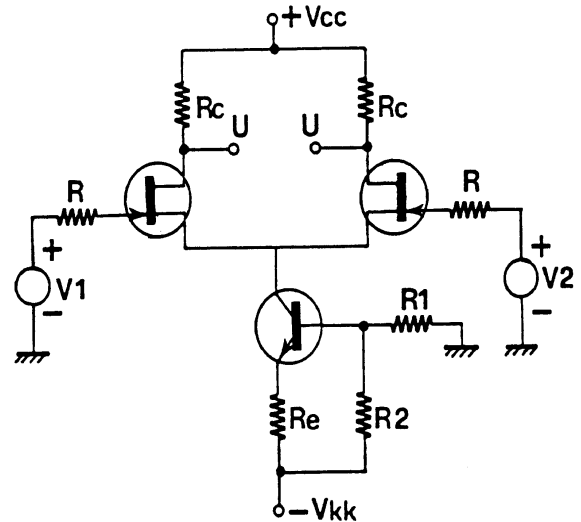


Aplicações e esquema com transistores FET's

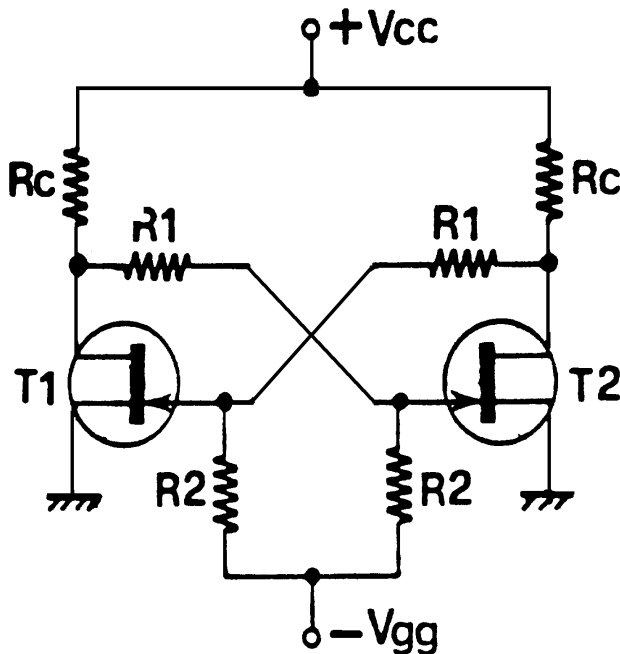
Emitter follower com transistores BJT e FET



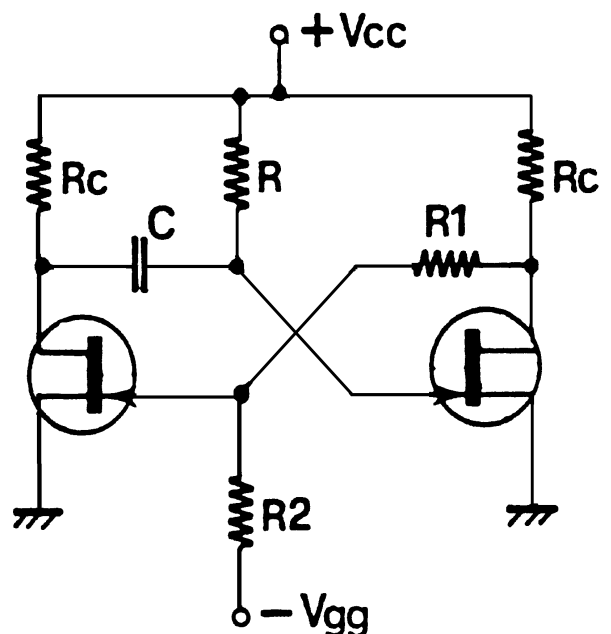
Amplificador diferencial com FET



Multivibrador bi-estável com FET



Multivibrador mono-estável com FET

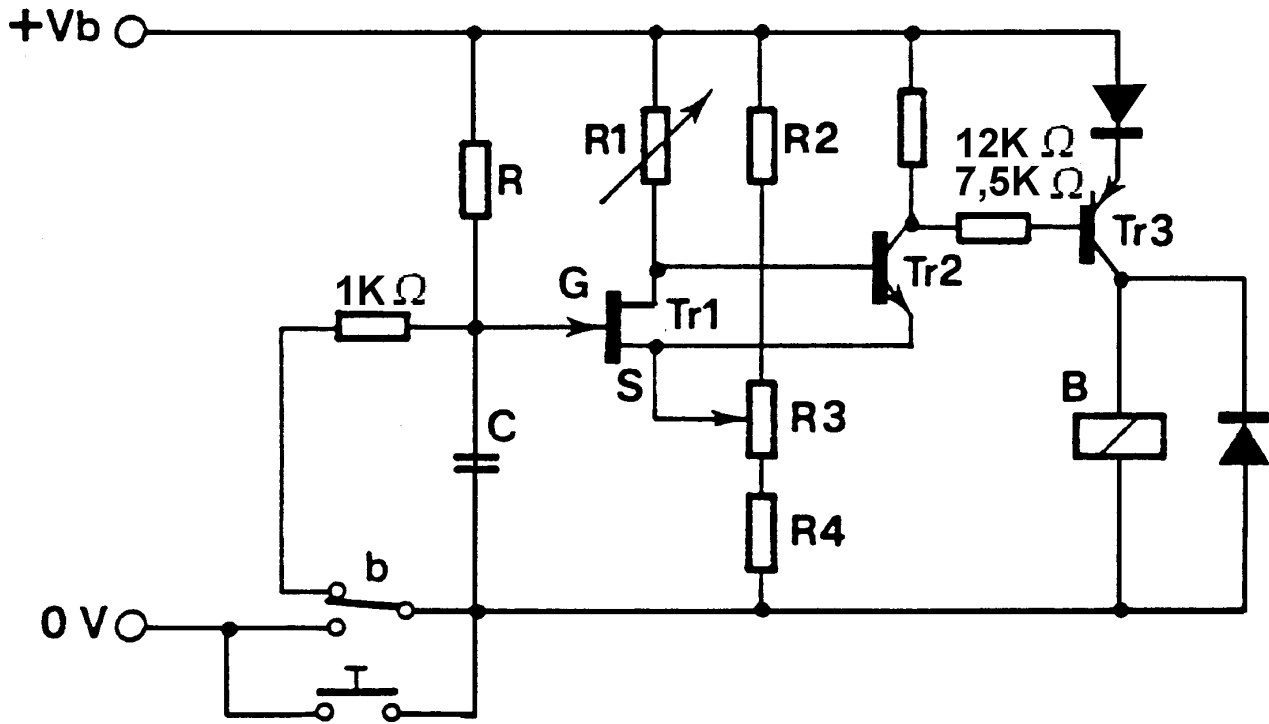


Os transistores FET são aplicados em todos os circuitos nos quais é útil explorar a elevada resistência de entrada entre gate e source.

Os FET são usados, por exemplo, nos temporizadores, onde é possível obter tempos longos sem utilizar capacitores grandes demais, nos amplificadores para instrumentos de medida, (nos modernos osciloscópios a fase de entrada dos amplificadores Y é em ferial com frequência nos quais a elevada impedância de entrada no FET permite não carregar os circuitos oscilantes L-C, obtendo resultados de sensibilidade, amplificação e rumor muito melhores que com os transistores BJT.

Observe-se por exemplo, o seguinte timer com FET com final BJT:

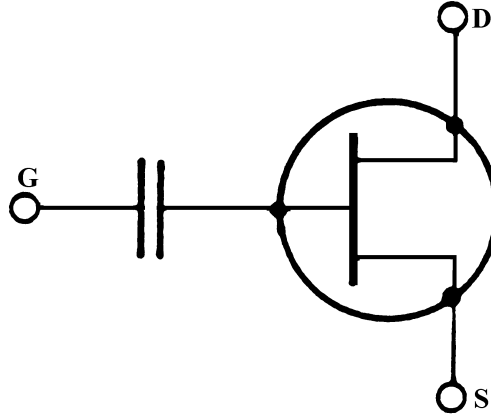
Circuito temporizador FET



Uma oportuna configuração de transistores FET permite obter dispositivos chamados FETRON, equivalentes às características de alguns tubos a vácuo, (tríodos ou pênodos), com possibilidade de perfeita intermutação e, naturalmente, funcionamento sem filamento.

Transistores MOSFET's

Do ponto de vista equivalente simplificado, o transistor MOS-FET é representado pela seguinte figura:



O MOS-FET é equivalente a um FET com o circuito de gate constituído por um capacitor com baixa capacidade em série na junção gate-source.

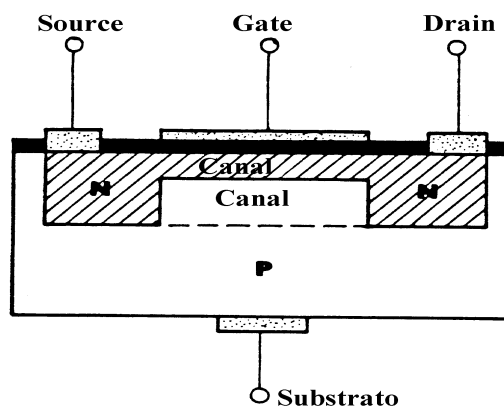
O símbolo MOS significa “metal oxide semiconductor”; de fato, o circuito de gate é construído isolando o próprio gate, pelo canal através de uma camada de silício, que se comporta como perfeito dielétrico.

O efeito de campo manifesta-se ainda por indução eletrostática através da capacidade que se forma entre gate-óxido-canal.

A ligação de gate é constituída por uma metalização sobre o óxido de silício que a separa do canal. O transistor MOS FET, apresenta em relação ao FET, um ulterior aumento de resistência de entrada, devido ao isolamento do circuito de entrada sobre o gate; a mesma pode atingir valores de até 10^{15} Ω .

MOSFET DEPLETION (a esvaziamento)

É o tipo de MOSFET que mais se parece com o FET; observe-se a sua estrutura tecnológica:

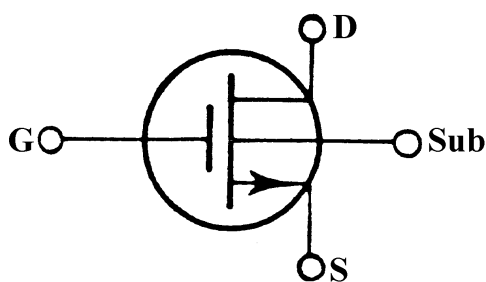


No caso do canal N como indicado na figura, efetua-se a dopagem N que constitui o canal, sobre uma camada de silício com dopagem P; duas metalizações nos bordos do canal, constituem os eletrodos source e drain; uma camada de bióxido de silício separa o canal da metalização de gate.

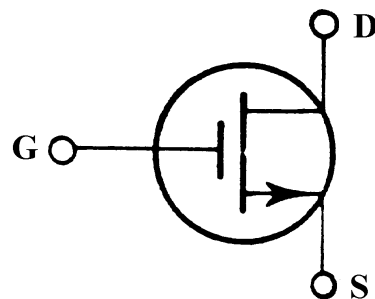
Aplicando potencial negativo a G em relação a S, a capacidade G canal atrai por indução cargas positivas na zona de canal e se repete o funcionamento do FET, isto é, se aperta o canal devido ao esvaziamento.

No caso de MOSFET DEPLETION com canal P, o funcionamento é idêntico, com polaridades invertidas.

Símbolo dos MOSFET DEPLETION:

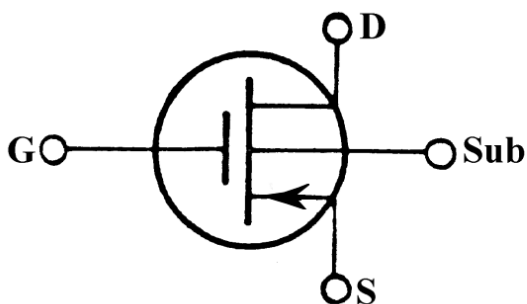


Com substrato acessível

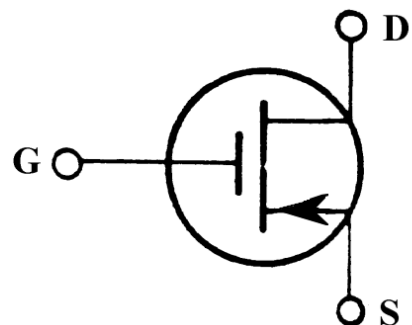


Sem substrato acessível

CANAL N



Com substrato acessível

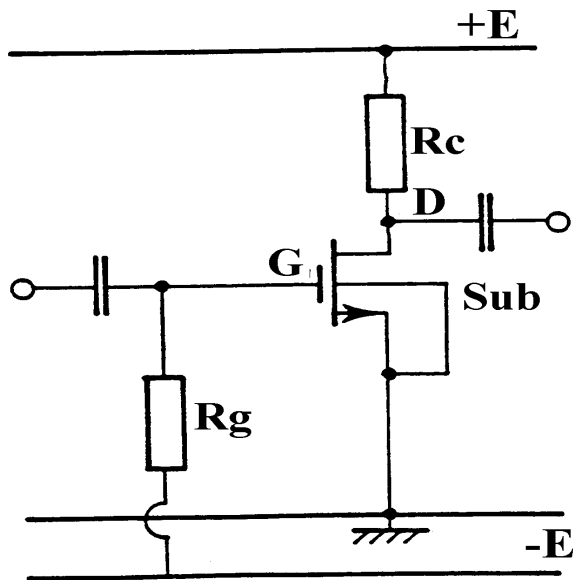


Sem substrato acessível

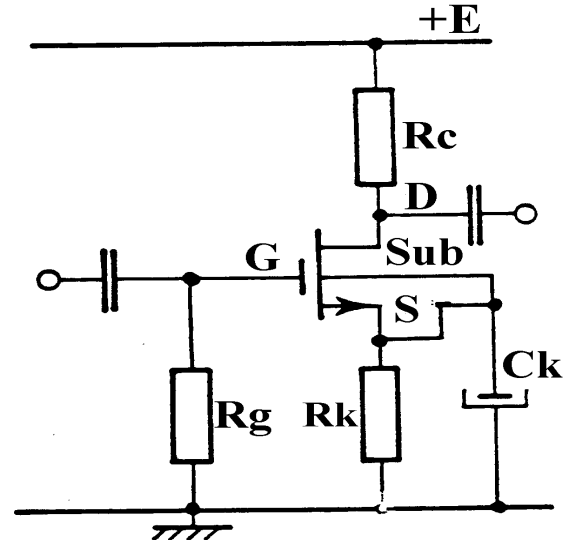
CANAL P

Polarização dos MOSFET DEPLETION

A tensão de gate dos MOSFET DEPLETION tem polaridade contrária à tensão de drain, portanto, para a polarização automática, é preciso recorrer ao artifício utilizado com o FET:



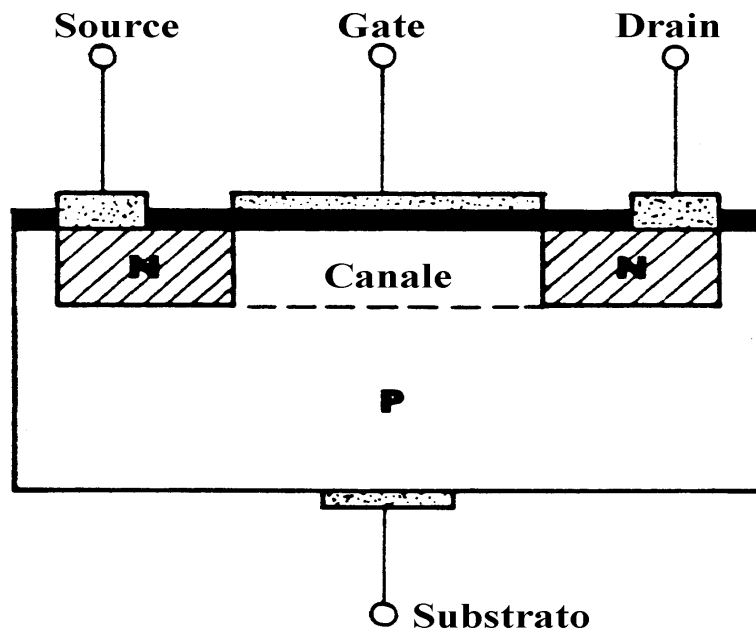
Polarização com duas baterias



Polarização automática

MOSFET ENHANCEMENT (com enchimento)

Obtém-se um transistor MOSFET também com uma disposição tecnológica como referido na seguinte figura:



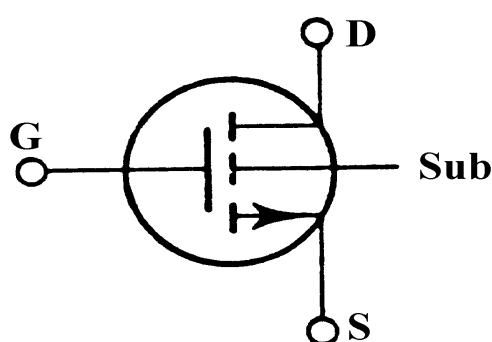
Esta disposição é chamada "enhancement", isto é, com enchimento.

No caso indicado na figura, com CANAL N, observe-se que o drain e o source são duas camadas N sobre o substrato P, completamente isolados entre si, aplicando tensão D-S (positiva sobre o drain), não passa corrente até quando não se aplica um potencial positivo ao gate, e, superado um valor LIMITE, inicia a condução entre S e D, porque o potencial de gate chama por indução das cargas negativas na zona P que separa D e S, constituindo assim um “canal N artificial”.

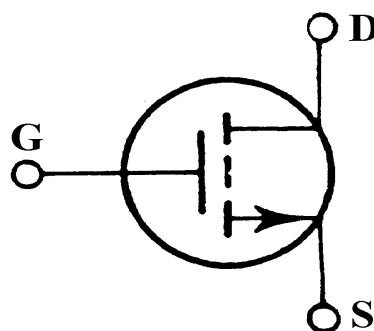
Disto deriva o nome “enhancement”.

No caso de canal P as polaridades e as camadas serão, obviamente, complementares.

Símbolo dos transistores MOSFET ENHANCEMENT

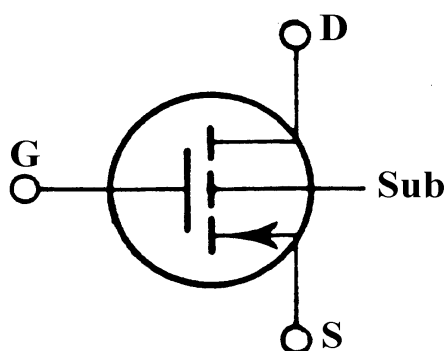


Com substrato acessível

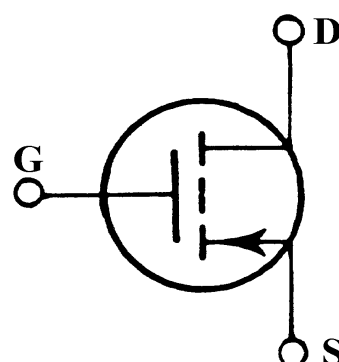


Sem substrato acessível

CANAL N



Com substrato acessível



Sem substrato acessível

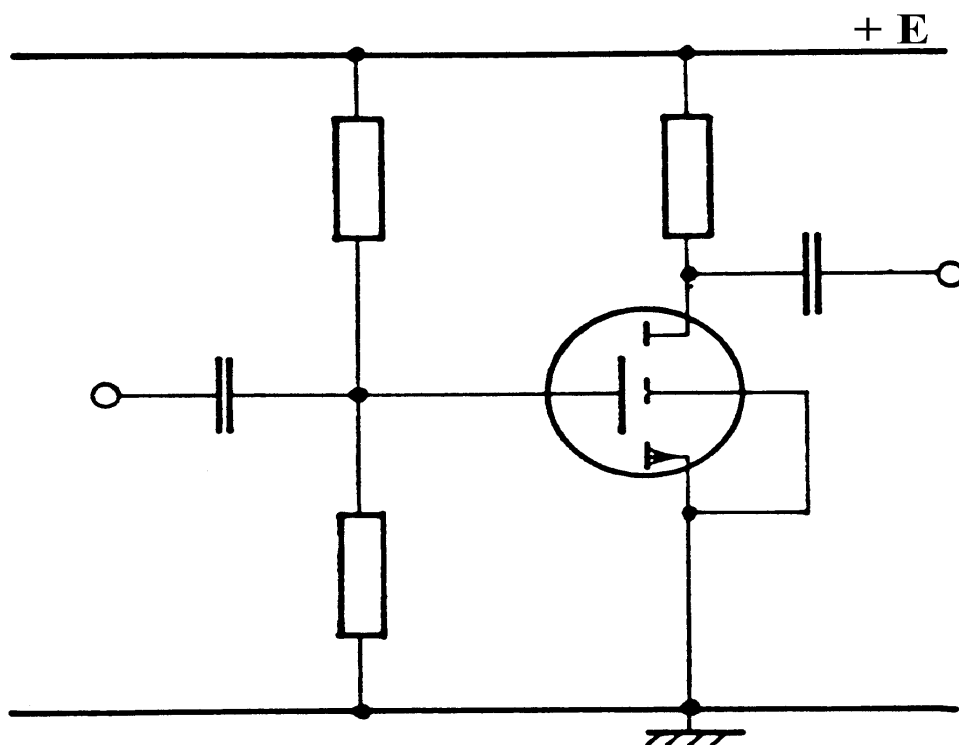
CANAL P

Polarização dos MOSFET ENHANCEMENT

Nos MOSFET ENHANCEMENT é preciso assinalar o gate para que conduzam, ao contrário dos FET e dos “depletion”, nos quais se deve dar em gate uma tensão inversa que regula a interdição; a V_{gs} nos enhancement tem o mesmo sinal da V_{ds} , portanto, é suficiente um normal partidor de tensão como nos BJT.

O uso de eventuais resistências de queda em série no gate, não é possível porque não circula corrente entre gate e source.

Portanto, o esquema é o seguinte:



Uso dos MOSFET DEPLETION COMO ENHANCEMENT

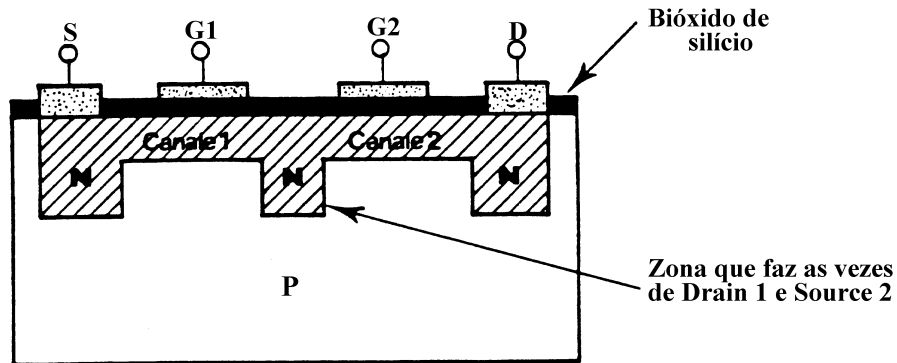
A estrutura tecnológica do MOSFET DEPLETION é tal que, aplicando tensão de gate contrária ao normal funcionamento (por exemplo, positiva no canal N), a mesma faz aumentar a condutabilidade do canal alargando-lhe a seção útil como se fosse um enhancement.

Os MOSFET com estrutura depletion podem funcionar quer como depletion, quer como enhancement, dependendo do sistema de polarização utilizado

Com a estrutura MOS é possível construir dispositivos com vários gate; São disponíveis transistores chamados “Dual Gate Mosfet”, isto é, mosfet com duplo gate.

A sua estrutura tecnológica é a seguinte:

DUAL GATE MOSFET DEPLETION

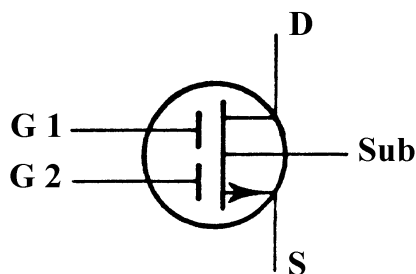


Como se nota, o dual gate mosfet, é constituído por dois canais em série, e cada um dos canais tem o seu gate independente.

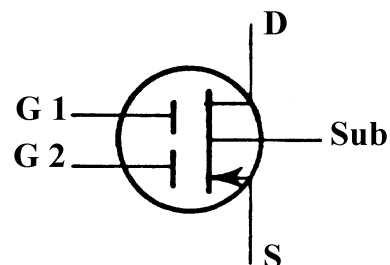
Em prática, a corrente principal depende da combinação dos dois sinais de gate.

É utilizado principalmente nos misturadores de frequência para sintonizadores rádio-tv, nos demoduladores para tv a cores, raramente para aplicações de oficina.

O seu símbolo é o seguinte:



Dual gate mosfet depletion
Canal N



Dual gate mosfet depletion
Canal P

Diodo controlado de silício (SCR)

Generalidades

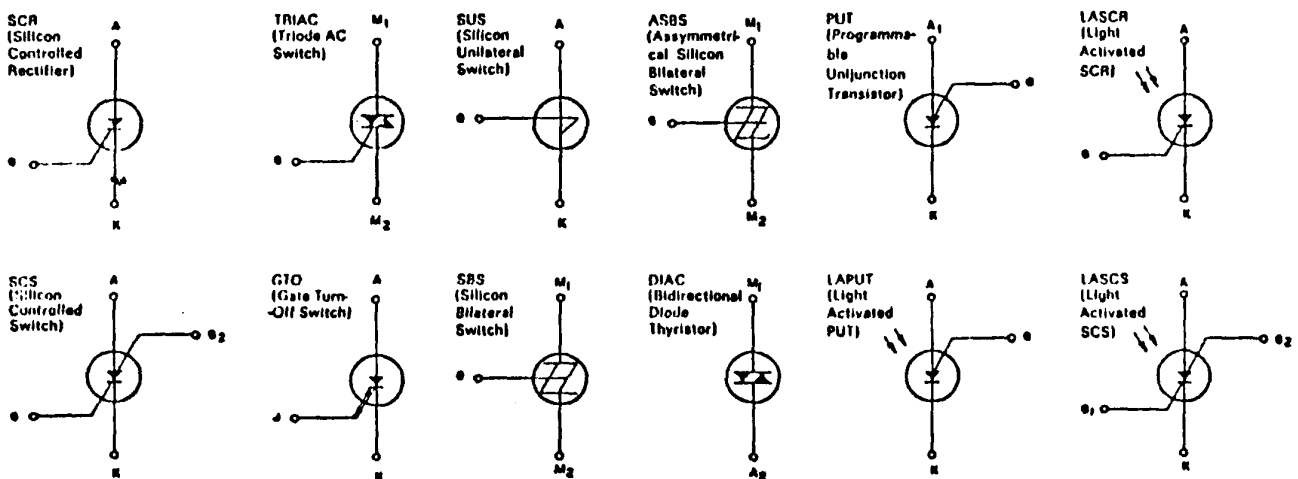
TIRISTORES

A) Definição:

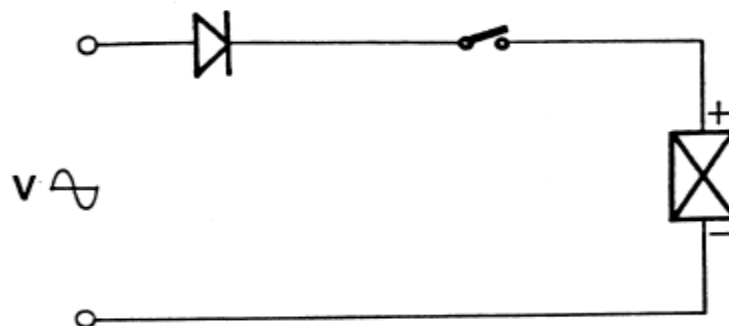
Dispositivo semicondutor biestável, com 3 ou mais junções, que pode ser comutado do estado de condução para o estado de bloqueio, ou vice e versa.

B) Estrutura básica

Na figura abaixo ilustramos a família de tiristores com a sua respectiva simbologia técnica.



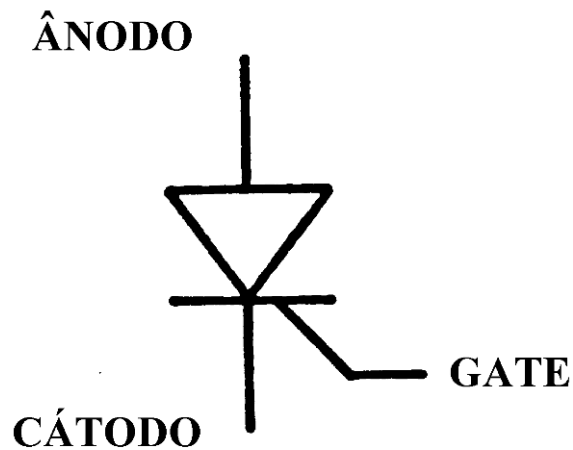
Desejando alimentar e interromper uma carga em contínua, por exemplo uma embreagem, um freio, etc., a solução tradicional é aquela de introduzir um diodo e um contato.



A duração do contato no caso de freqüentes acionamentos ou de elevada corrente é pouca.

A eletrônica nos oferece um componente com semi-condutor capaz de controlar grandes potências e capaz de realizar a função de estabilizador e interruptor sem um particular desgaste excessivo:

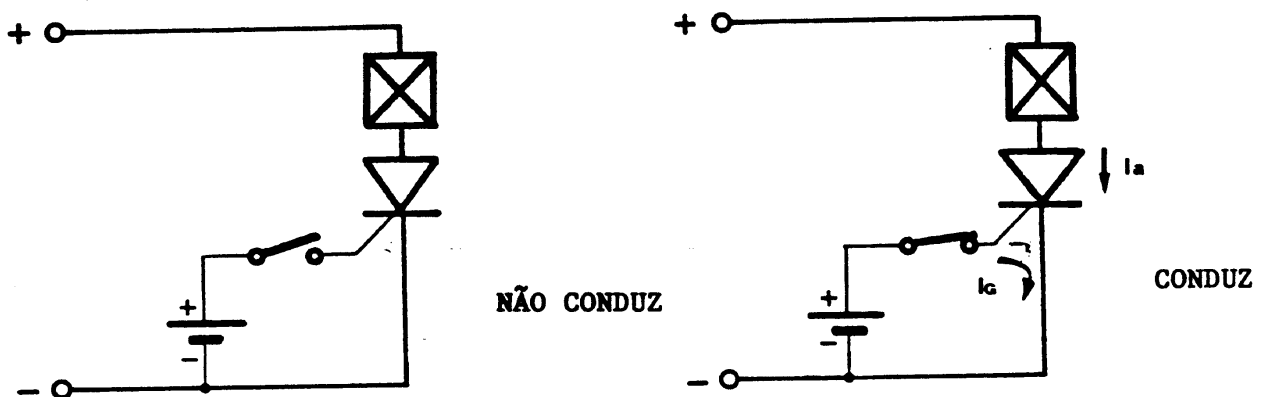
Diodo controlado de silício (SCR)



O gate (porta) é o eletrodo de controle.

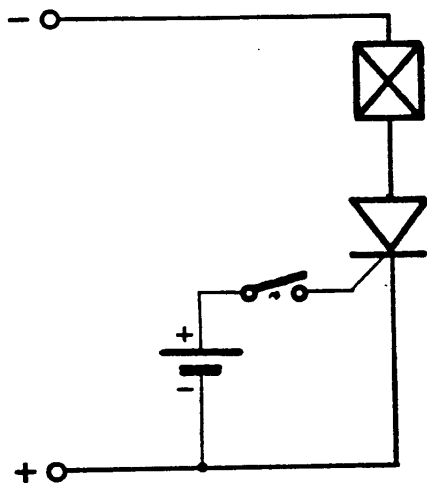
Princípio de funcionamento em corrente contínua

Aplicando tensão positiva em direção do ânodo e negativa em direção do catodo o SCR é polarizado diretamente.

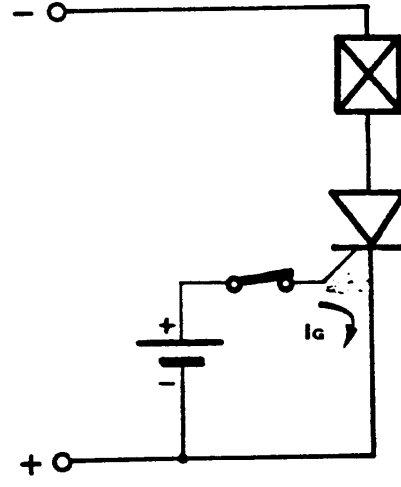


Nestas condições, portanto, o gate é positivo relativamente ao catodo, circula uma corrente I_G , o diodo controlado entra em função e conduz entre o ânodo e o catodo.

Após a entrada em função o gate não controla mais o SCR. O desacionamento pode-se realizar apenas quando se interrompe do exterior a corrente “anódica” I_A .



NÃO CONDUZ

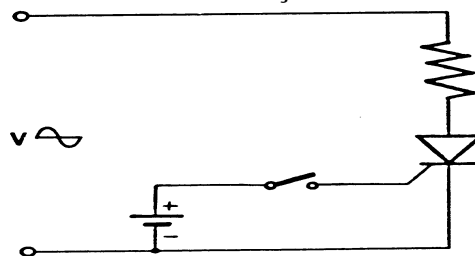


NÃO CONDUZ

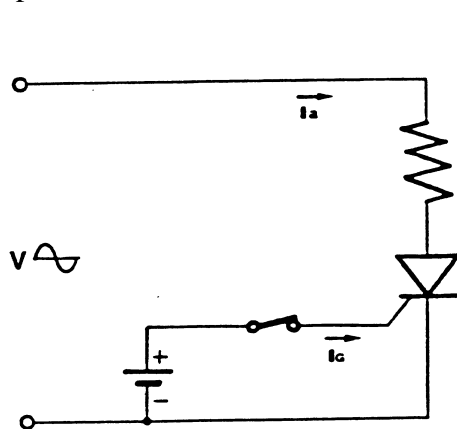
Aplicando tensão inversa no diodo controlado, isto é, negativo o ânodo e positivo o catodo, o SCR não conduz.

Princípio de funcionamento em corrente alternada

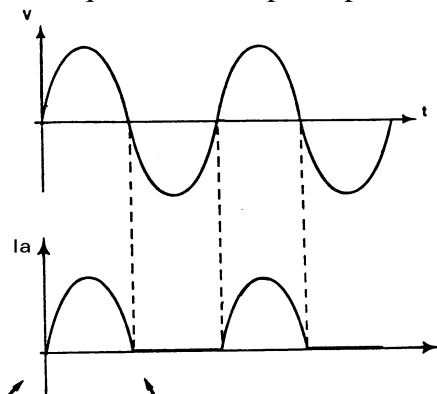
Se o gate não está polarizado o SCR não entra em função.



Com gate positivo, o SCR entra em função apenas durante o semi-ciclo positivo. No final do semi-ciclo positivo, o diodo controlado é obrigado a entrar em corte, dado que a corrente passa para zero.



Tensão de alimentação






Corrente anódica

O SCR dispara.

O SCR entra em corte.

Testes de verificação

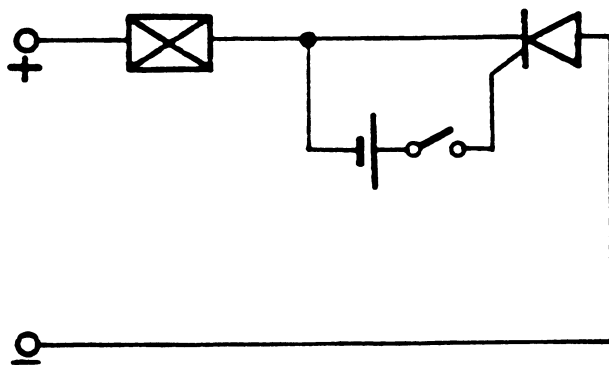
1) A representação exata é

- () 
- () 
- () 

2) Num SCR o gate serve para:

- __comandar o disparo e o corte
- __comandar o corte
- __comandar o disparo

3) No circuito da figura, na carga:



- () passa corrente
- () passa corrente fechando o interruptor
- () não pode passar corrente

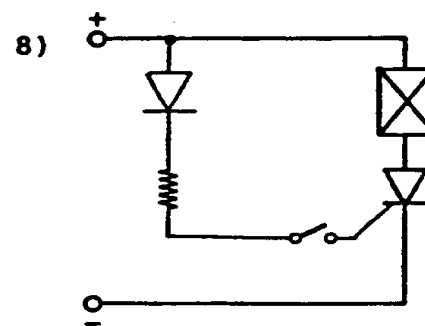
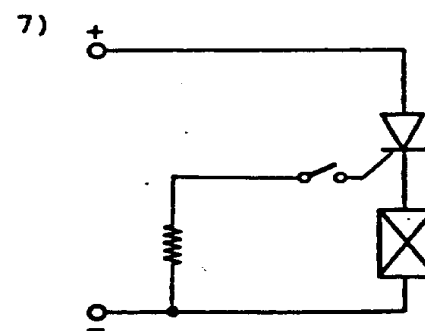
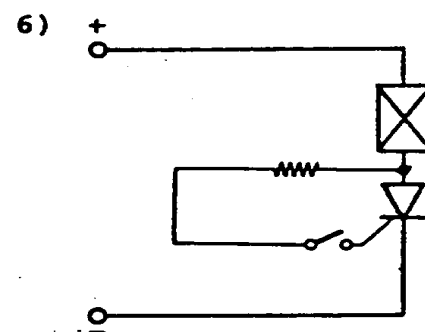
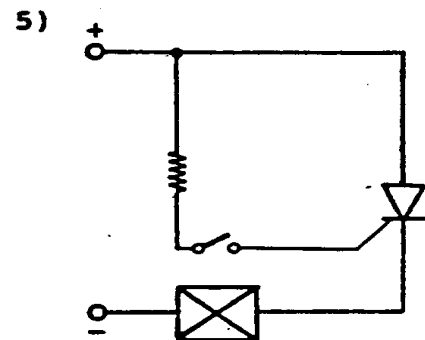
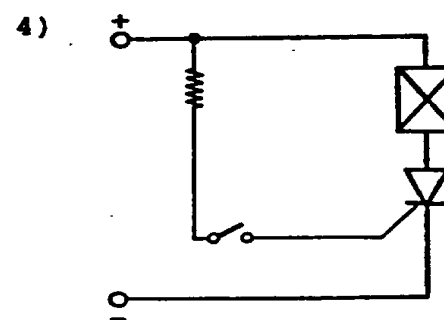
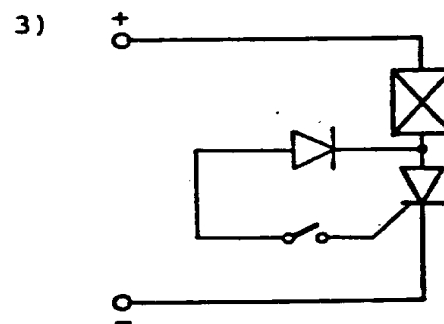
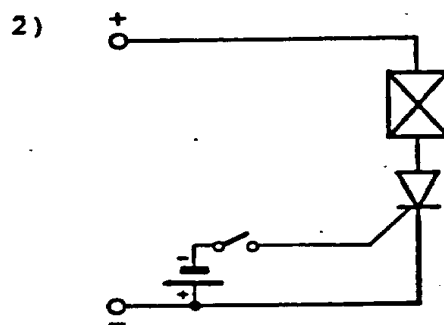
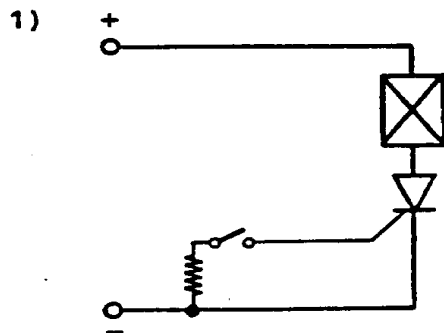
4) O SCR quando está disparado, desdispara:

- __se a corrente anódica é reduzida a zero
- __espontaneamente
- __se aplicamos uma tensão positiva no gate.

5) Um diodo controlado e alimentado em c.a.:

- __dispara pelo comando do gate e permanece disparado
- __dispara e corta em cada ciclo se o gate é positivo
- __conduz o semi-ciclo se o gate é negativo relativamente ao catodo

6) indicar se os circuitos representados podem funcionar:

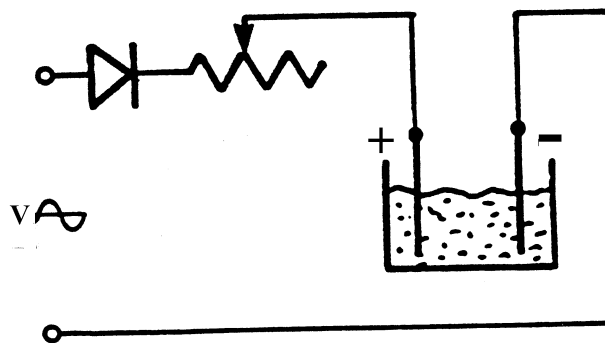
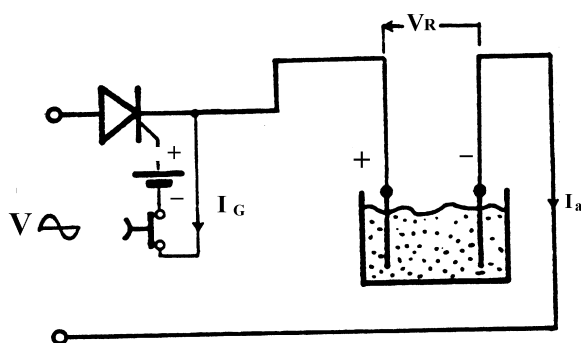


O controle com SCR's

Generalidades

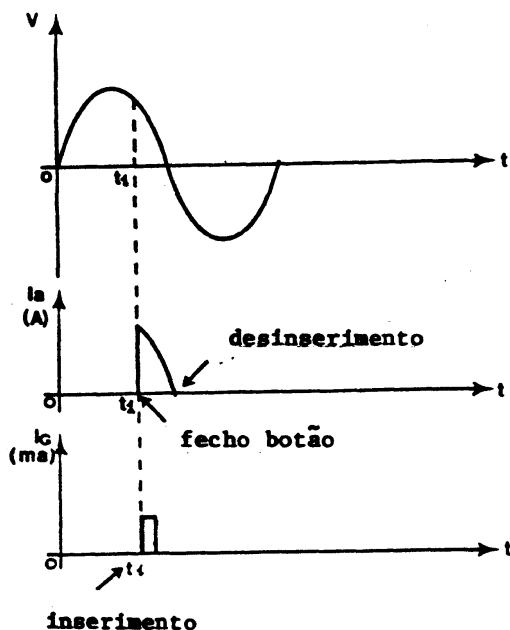
Deve-se alimentar uma carga de grande potência que requer uma regulação de corrente, por exemplo, um banho galvânico para cromagem.

Para variar a corrente pode-se utilizar um reostato que dissipa uma grande potência.



Para reduzir a potência perdida e o volume de regulação (reostato), usa-se um diodo controlado aproveitando um diverso sistema de regulação.

Suponhamos que o encerramento do botão se realize no tempo t_1 :



A corrente de gate circula e o SCR se insere.

A tensão e a corrente na carga não terão mais a forma e o valor do semi-ciclo senoidal, mas apenas uma parte do mesmo.

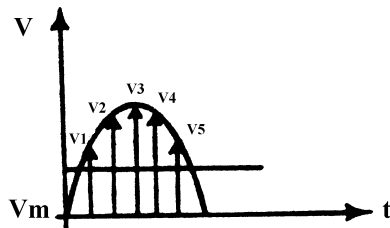
A condução parcial devida ao disparo atrasado é chamada:

CONTROLE DO GATILHO

encerrando o botão em pontos diferentes do semi-ciclo positivo, variam na forma e no valor a V_R e a I_a , com uma mínima potência perdida no SCR.

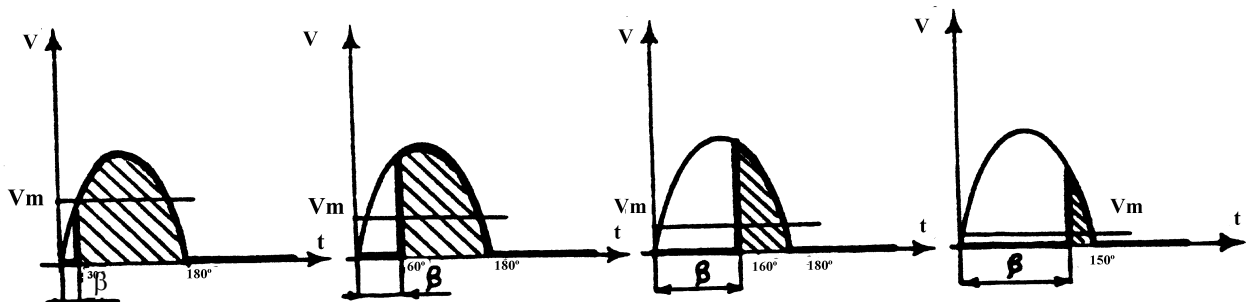
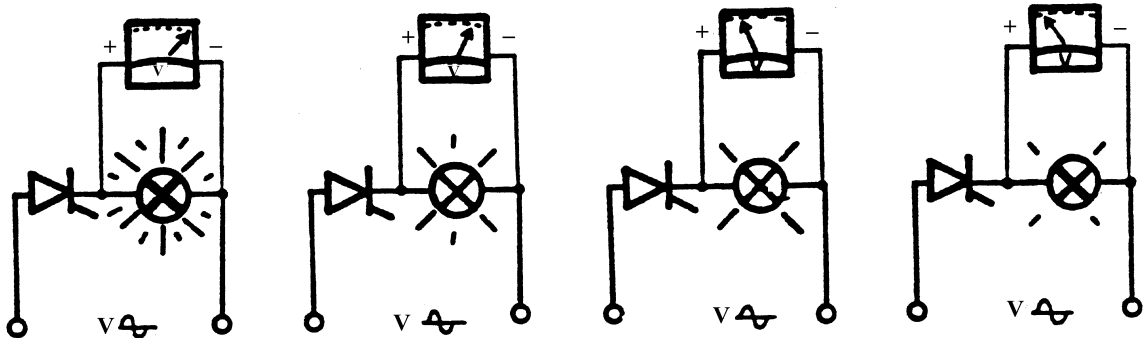
O valor médio no controle do gatilho

Lembrando que o valor médio é dado pela média aritmética de todos os valores instantâneos assumidos pela grandeza.

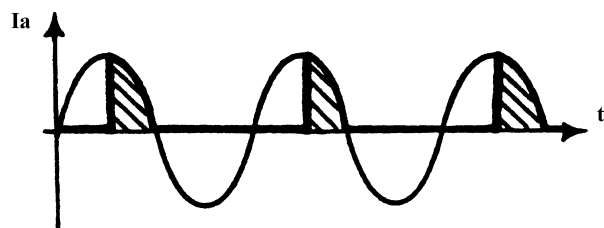


$$V_M = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + \dots + V_n}{n}$$

Variando o ponto de início condução (ângulo β), de 0 a 180 graus é possível variar o valor médio respectivamente do máximo até o zero.

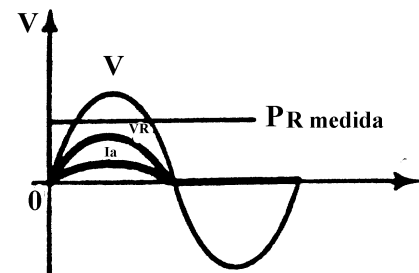
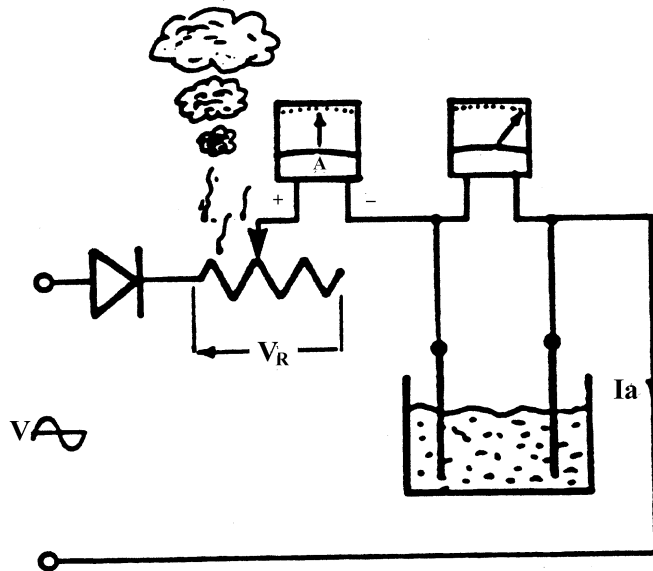


O disparo atrasado do SCR se realiza para cada semi-ciclo, em tal modo a corrente na carga é constituída por uma sucessão de impulsos iguais.



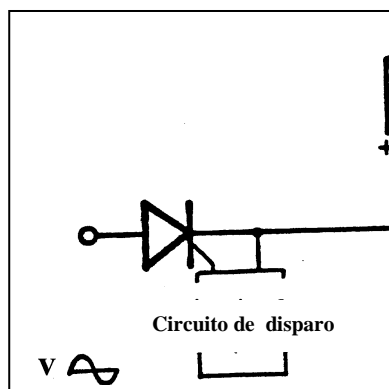
A potência no controle do gatilho

O controle da potência com sistema tradicional provoca um q.d.t. no reostato que, sendo percorrido pela mesma corrente de carga dissipa em calor uma potência.



O controle de controle do gatilho determina uma potência perdida no SCR muito baixa:

- 1) com SCR cortado a corrente não circula e não existe potência perdida.
- 2) com SCR disparado a q.d.t. nas suas extremidades é de cerca 1 V.



Na controle do gatilho, a regulação do momento de disparo, determina a variação do valor da tensão, da corrente e, portanto, da potência média dissipada pela carga.

Testes de verificação

1) A controle do gatilho é:

- ☐ o disparo parcial devido ao acionamento do botão
- ☐ a condução parcial no semi-ciclo devida ao disparo atrasado
- ☐ a regulação parcial do banho de cromagem

2) O valor médio de uma tensão senoidal relativamente a uma tensão de controle do gatilho é:

- ☐ maior
- ☐ menor
- ☐ igual

3) Atrasando o ponto de disparo de um SCR em c.a., o valor médio da corrente:

- ☐ aumenta
- ☐ diminui
- ☐ permanece constante de 0° a 180° graus

4) A potência perdida num SCR é mínima porque:

- ☐ a corrente anódica é de cerca 1 V
- ☐ durante a condução a c.d.t. nas suas extremidades é muito
- ☐ durante a condução a corrente anódica é muito baixa

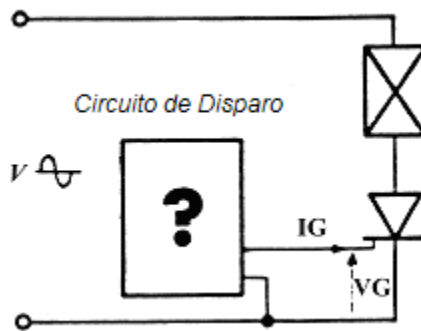
5) Para variar a potência dissipada por uma carga em c.a. controlada por um SCR, se age:

- ☐ sobre o momento de disparo do SCR
- ☐ sobre a tensão de alimentação
- ☐ sobre o ponto de desdisparo do SCR

Sistemas de disparo para SCR's

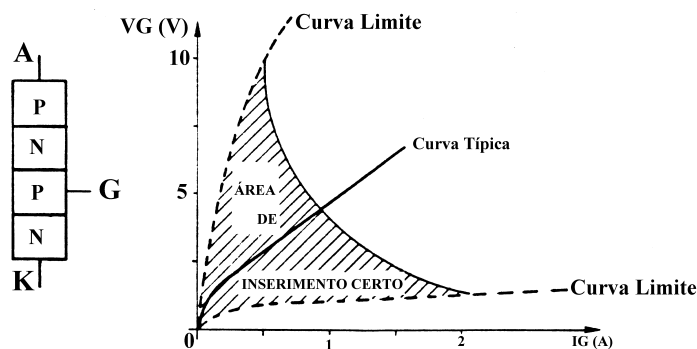
Características de disparo do SCR

Para disparar um SCR que deve trabalhar no sistema de disparo, é necessário um circuito de disparo adequado.



O circuito de disparo deve fornecer ao gate uma tensão positiva quando o ânodo é positivo.

O ponto de disparo depende dos valores de IG e VG conforme uma curva característica dada pelo construtor.



A característica do disparo, $VG = f(IG)$, é aquela do diodo gate-cátodo.

Dada a dificuldade em realizar junções iguais, os construtores fornecem duas curvas limite, entre as quais é certamente situada aquela do SCR.

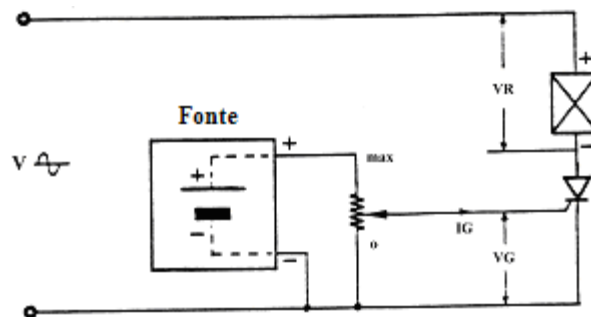
Alimentando o gate do diodo controlado com uma VG e uma IG que se encontram na zona tracejada do gráfico, o SCR certamente se insere; valores típicos para um SCR de média potência, (BTY 87) são:

$$VG > 3,5 \text{ V}; IG > 65 \text{ mA}; PG \text{ média dissipável } 0,5 \text{ W},$$

$$(PG = VG \cdot IG)$$

Disparo com IG em contínua

A IG de disparo pode ser fornecida, por um gerador de corrente contínua ; através de um potenciômetro é possível regular o seu valor de zero ao máximo (0 + max).



Dado que para cada valor de tensão anódica existe um diverso valor de IG de disparo, agindo sobre o potenciômetro é possível regular o momento de disparo do SCR.

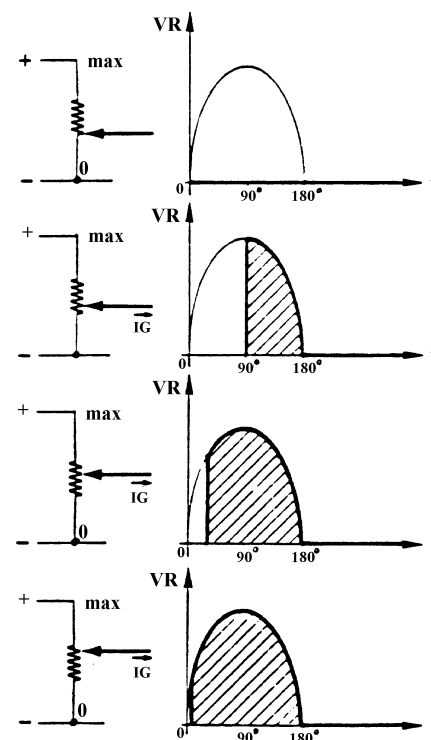
Com potenciômetro a 0, $V_G = 0$

$I_G = 0$, o SCR não se insere.

Desviando o cursor para o alto, I_G aumenta até que o SCR se insere no valor máximo da V.

Continuando a aumentar I_G , o SCR insere-se com uma tensão anódica ainda menor

Aumentando a I_G , o SCR se insere a uma tensão a uma tensão anódica mais baixa.

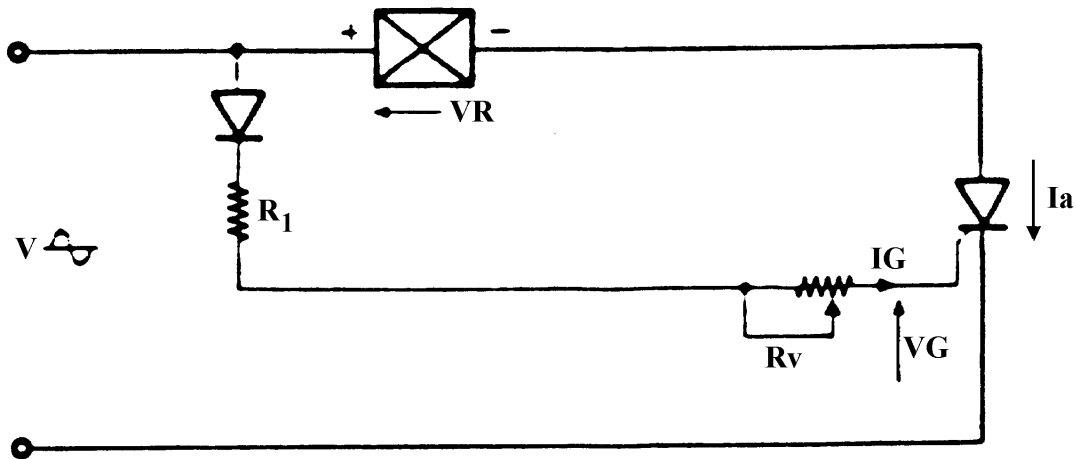


Variando o valor de I_G é possível regular o momento de disparo do SCR, desde a metade do semi-período (90° graus) ao início (0 grau).

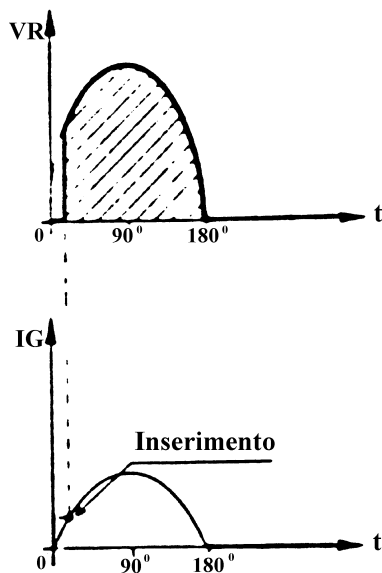
Não é possível disparar o SCR para ângulos superiores a 90° porque a tensão senoidal repete os valores instantâneos precedentes.

Disparo com IG de meia onda

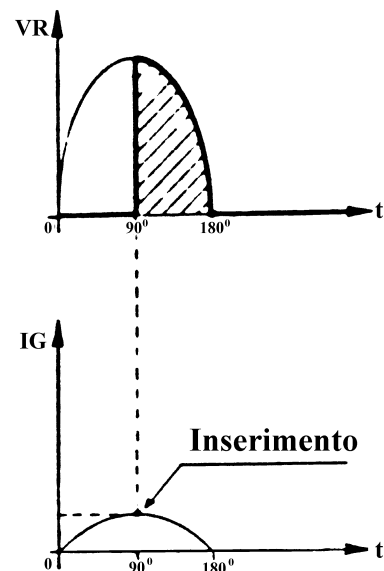
Para o disparo do SCR, a corrente IG pode ser derivada diretamente da tensão de alimentação, através de uma rede de estabilização e regulação.



No circuito diodo providencia a fazer circular a IG apenas no semi-período positivo, a resistência R1 a limita quando RV é completamente excluído; o reostato regula a corrente de gate e, portanto, o momento de disparo do SCR.



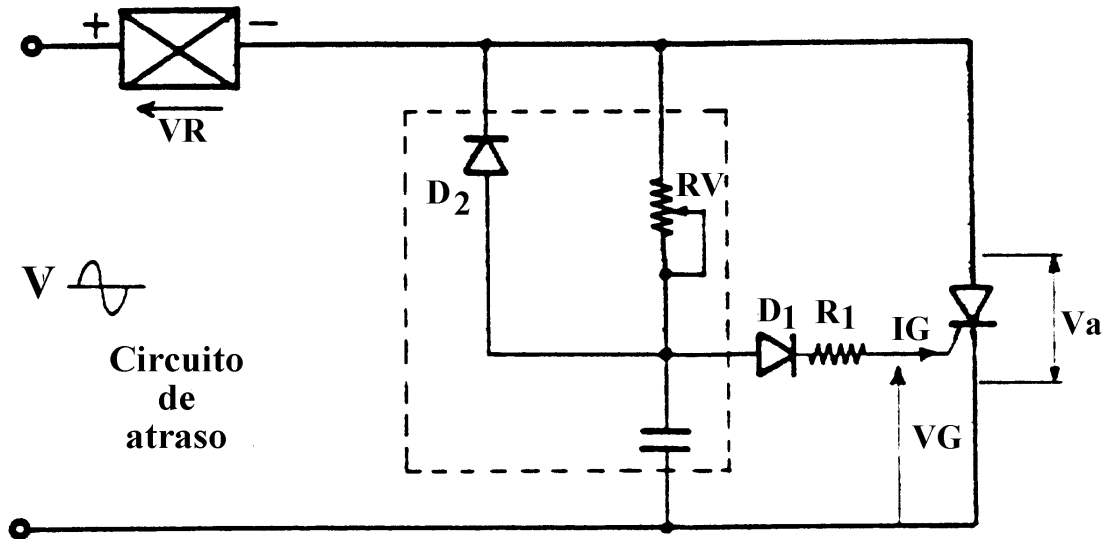
Com o reostato completamente incluído (RV grande), a IG é pequena pelo que o disparo realiza-se para altos valores de tensão anódica.



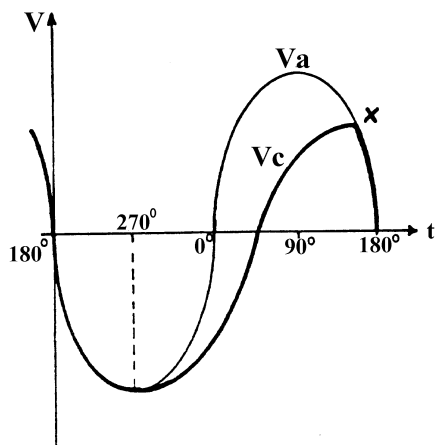
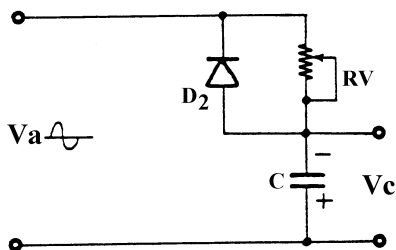
O sistema permite o controle de alguns graus, até 90°.

Disparo com rede defasadora de 0° a 180°

A fim de controlar o disparo de 0° a 180° , utiliza-se um circuito que atrasa a tensão VG em relação aV.



Examinemos agora o circuito de atraso, que é constituído pela RV, c, d2, referindo-nos ao gráfico.



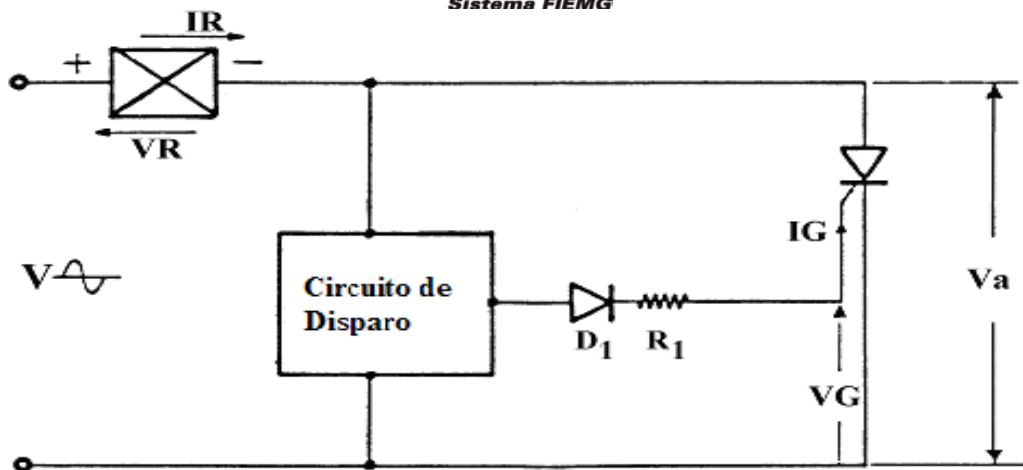
No espaço de 180° a 270° D2 é polarizado diretamente ($V_C = V_a$).

De 270° ao ponto x, D2 não conduz, pelo que o capacitor descarrega-se e carrega-se através de RV.

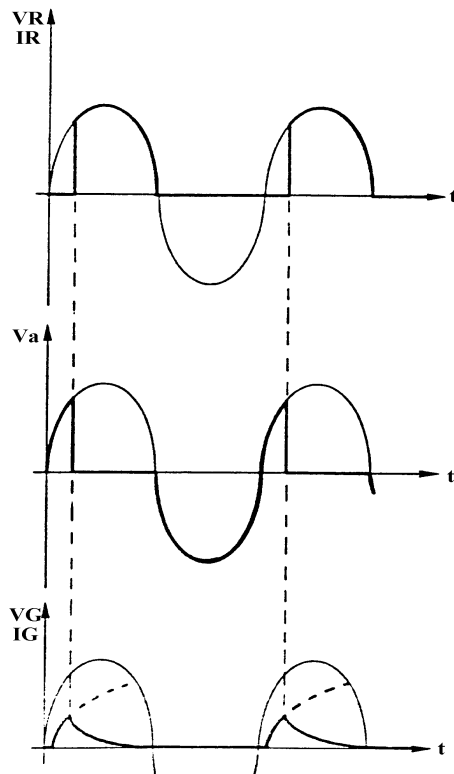
De x a 270° o diodo torna a conduzir, porque a tensão do capacitor se torna maior do que a V_a .

O circuito não se desfase quando RV é completamente excluído, ($V_a = V_c$); aumentado o valor da resistência, aumenta o tempo de carga do capacitor e, portanto, o tempo empregado pela V_c para atingir o nível positivo necessário para disparar o SCR.

No esquema em exame, o circuito de disparo alimenta-se através da carga.



Quando o diodo controlado conduz, a tensão nas suas extremidades é de cerca um volt.



O circuito de disparo, que absorve através da carga uma corrente desprezível, resulta, portanto, alimentado apenas quando o SCR é cortado.

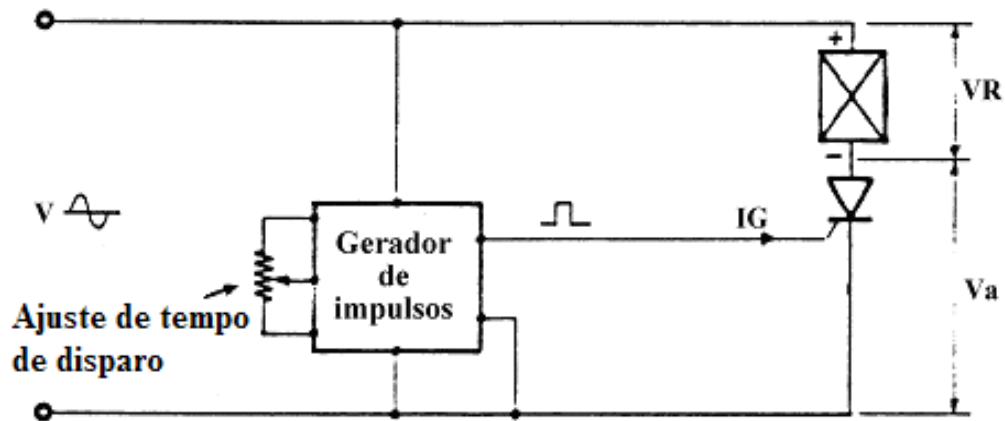
Com este sistema, tem-se a vantagem de reduzir a I_G a valores desprezíveis assim que o SCR é disparado, também se a tensão de alimentação contínua a aumentar.

No caso da rede desfasadora, o andamento da V_G decresce exponencialmente para a descarga do capacitor sobre o gate.

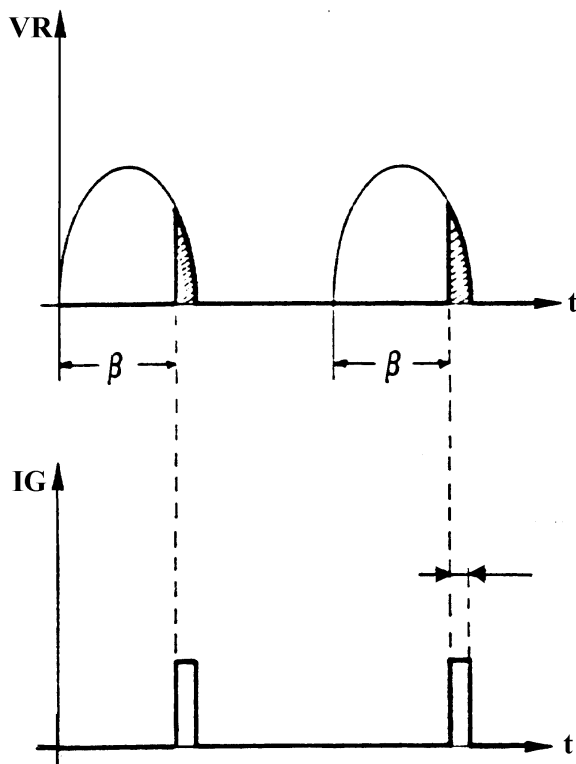
Disparo por impulsos

Nos sistemas precedentes a corrente de gate era ou contínua por semi-ciclo.

Existe um terceiro método de disparo no qual a IG é de tipo impulsivo.



O gerador por impulsos é um circuito capaz de fornecer a corrente de gate para um momento (impulso), de valor suficiente para disparar o SCR.



Atrasando o impulso em relação ao início do semi-período é possível disparar o SCR em todos os pontos da semi-onda positiva. (β regulável de 0° a 180°)

← Duração suficiente para o disparo

Para que o ângulo de atraso β seja constante e preciso é necessário que o circuito gerador de impulsos inicie o ciclo cada vez que inicia um novo semi-ciclo positivo.

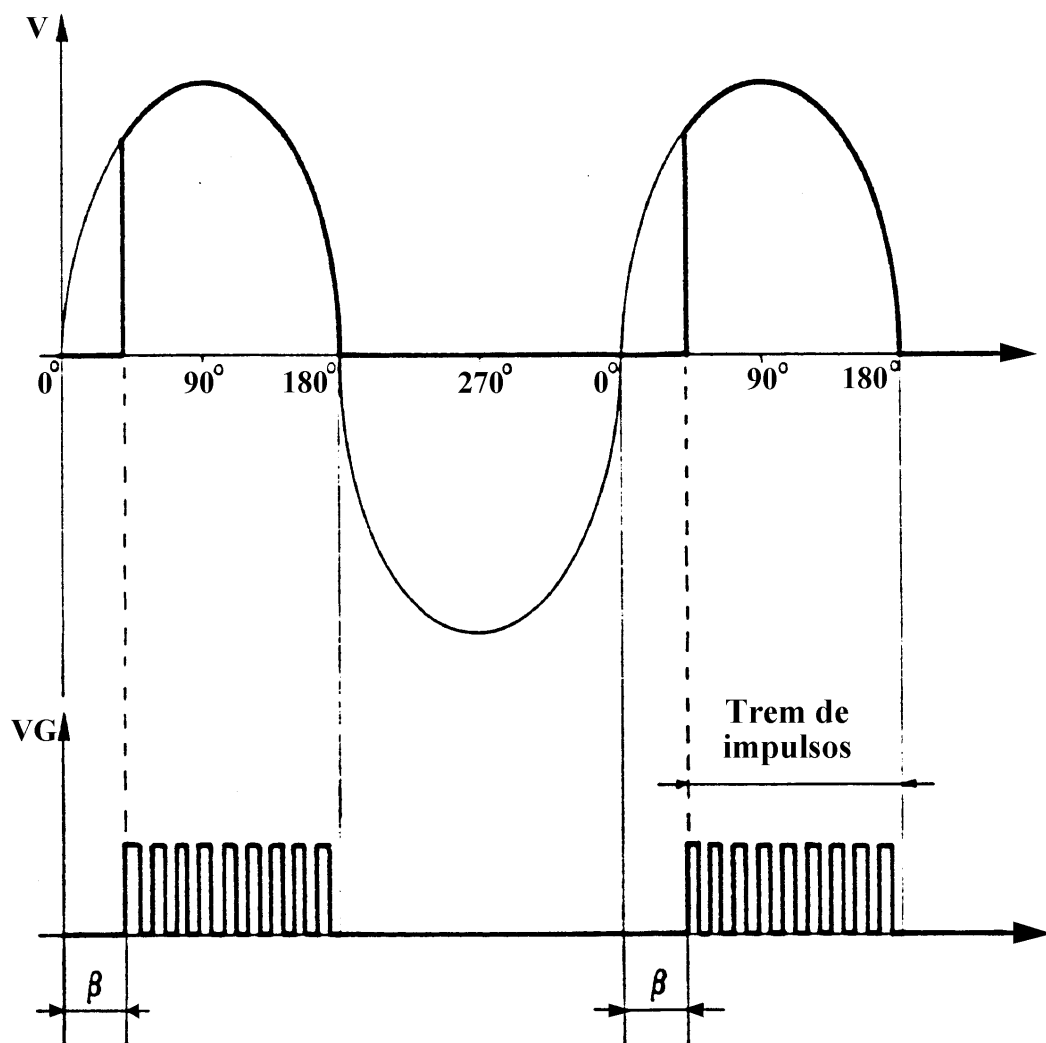
O gerador de impulsos deve ser “sincronizado” com a tensão de alimentação.

O impulso fornecido pelo gerador deve ter uma duração mínima superior ao tempo de “turn on” do SCR; caso contrário, o disparo não acontece.

No caso do SCR BTY 87 o “turn on” é de $2,5 \mu s$.

A fim de obter um disparo seguro do SCR, usa-se um impulso de amplitude suficiente para dispará-lo com baixos valores de V_a .

O impulso não deve Ter, porém, uma duração excessiva, de outro modo, a potência média dissipada sobre o gate tomaria valores perigosos para a junção.



Em alguns caso, de modo particular com cargas muito indutivas, para garantir um disparo seguro do diodo controlado, envia-se sobre o gate uma sucessão de impulsos iguais entre si, o chamado “trem de pulsos”

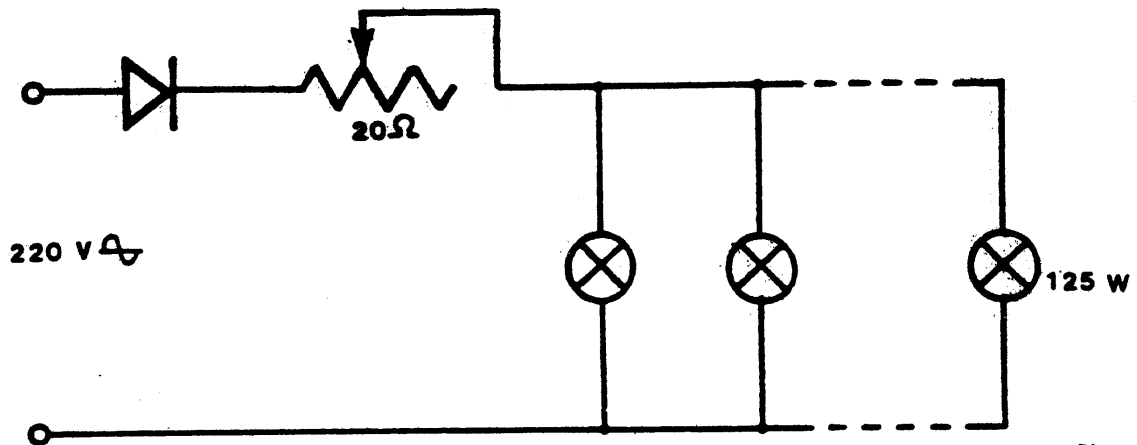
Testes de Verificação

- 1) Os construtores de SCR fornecem as duas curvas limite $V_G = (f) I_G$ porque:
- ☐ as junções de um SCR são três
 - ☐ as junções G – K de diversos SCR do mesmo tipo são diferentes entre si
 - ☐ os SCR disparam-se apenas sobre as curvas limite
- 2) No circuito da pág. 2/10, o potenciômetro serve para:
- ☐ regular a tensão gate-catodo
 - ☐ disparar o SCR de 90° a 180°
 - ☐ regular a corrente do alimentador
- 3) Nos sistemas de disparo com IG em contínua, o controle do SCR pode ser:
- ☐ de 0° a 90°
 - ☐ de 90° a 180°
 - ☐ de 0° a 180°
- 4) No circuito da pág. 4/10, o defasamento varia de 0° a 180° porque:
- ☐ é um circuito R-C
 - ☐ o diodo D2 carrega C à máxima tensão negativa
 - ☐ o reostato regula a corrente do capacitor
- 5) Nos circuitos de disparo a sincronização serve para:
- ☐ manter o sincronismo da Ia com a tensão de alimentação
 - ☐ variar o atraso na corrente de gate
 - ☐ fornecer um atraso constante à corrente de gate

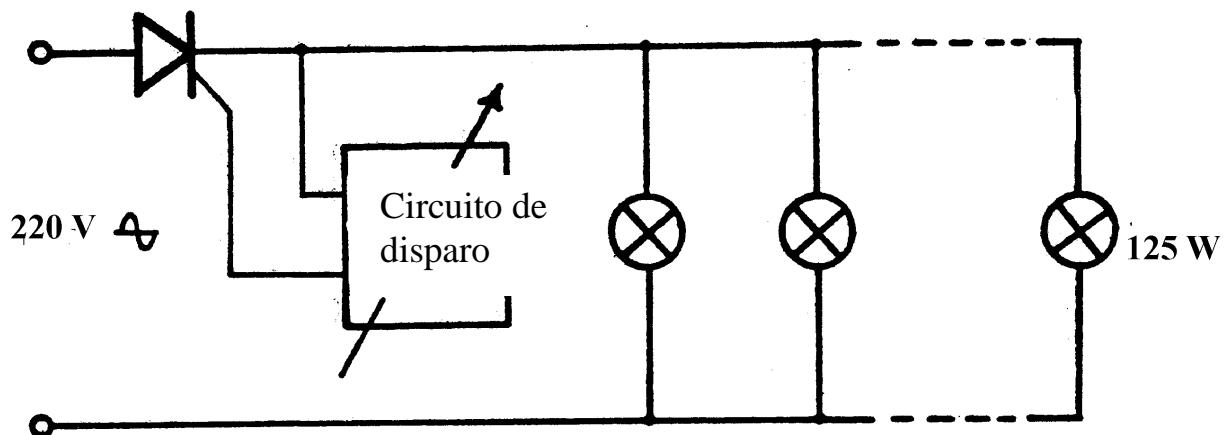
EXERCÍCIO

Em uma sala cinematográfica, se deve instalar um sistema de regulação de intensidade luminosa para 20 lâmpadas que absorvem 0,6 A cada uma ; examinando-se duas soluções de igual custo.

- 1) Introdução de um reostato de 20Ω .



- 2) Introdução de um controle com SCR.

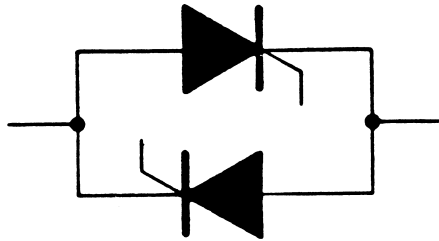


Determinar a economia de potência sobre o sistema mais vantajoso.

TRIAC, DIAC, SCS, LASCR, GTO

Generalidades

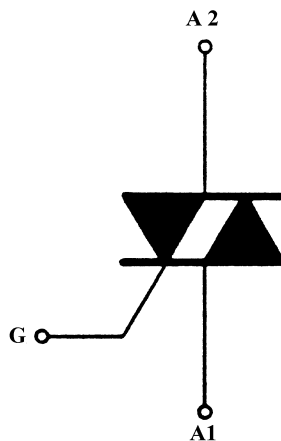
No que se diz respeito ao controle de potência em alternada, pelo estudo feito até agora, parece evidente que a única solução possível seja usufruir da ligação paralela inversa dos SCR.



Dada porém, a particular configuração do circuito, são necessárias duas fontes de impulsos desfasados entre si de 180° .

Para isso, as causas construtoras tentaram simplificar tal circuito realizando um componente de pequenas dimensões com uma única entrada de comando mediante impulsos, boas prestações e baixo custo.

Este componente se chama TRIAC.



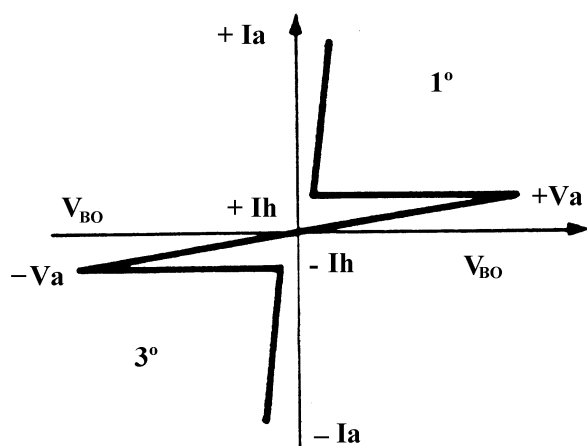
TRIAC

O TRIAC é um componente tipo semiconductor (silício) dotado de três eletrodos denominados: ANODO 1, ANODO 2 e GATE.

Pertence à família dos THYRYSTOR.

Característica anódica:

A figura ilustra a característica tensão corrente de um TRIAC.



I_a = corrente anódica

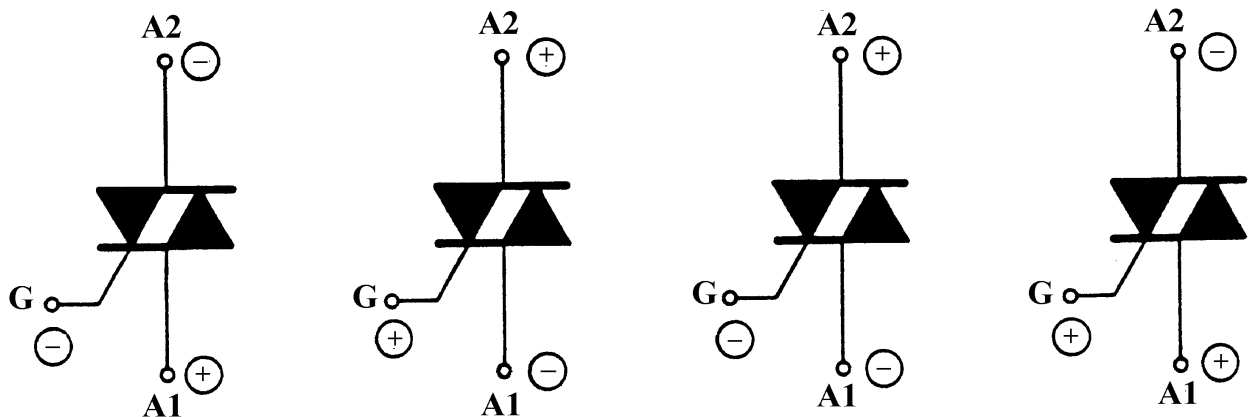
V_a = tensão anódica

V_{BO} = tensão de Break-over

I_h = corrente de holding

Analisando a característica, nota-se que o triac é um dispositivo bidirecional capaz de controlar toda a sinusóide. O sinal de disparo (G-A1) deve ser enviado a cada semi-período pois o componente se desinsere espontaneamente quando a I_a passa pelo zero.

O sinal de disparo deve ser sincronizado com a tensão de alimentação; com o anodo 2 positivo em relação ao anodo 1, a tensão G-A1 deve ser positiva; com o anodo 2 negativo em relação ao anodo 1, a tensão G-A1 deve ser negativa. Nos triac mais modernos o sinal de disparo também pode estar em oposição à tensão do anodo 2, mesmo se neste caso, geralmente deve ser de intensidade maior que no precedente.

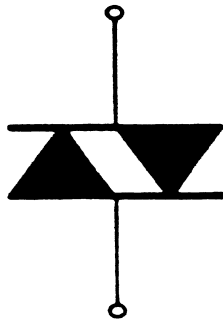


O TRIAC é empregado em circuitos de pequena e média potências.

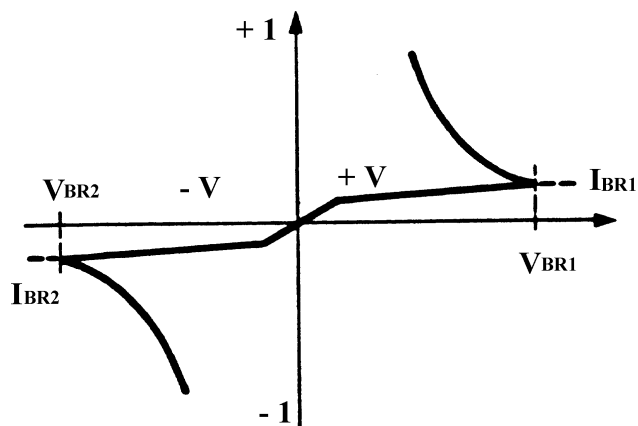
DIAC

O DIAC, o interruptor bi-direcional de silício, é um dispositivo com quatro camadas que possuem a peculiaridade de funcionar em corrente alternada e de possuir um limite bi-direcional.

É usado normalmente nos circuitos de disparo dos TRIAC.

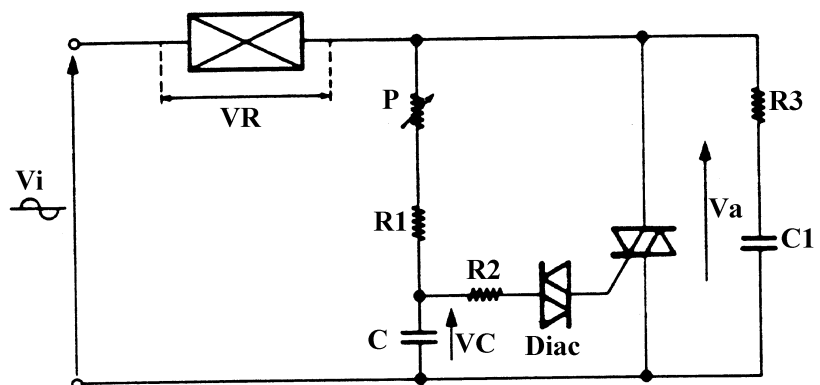


A característica do diac é simétrica e tem dois valores típicos de tensão de bloqueio (V_{BR}).



Se aplicarmos uma tensão crescente no trecho da OV até V_{BR} , a corrente é quase nula; quando a tensão supera o valor V_{BR} a corrente aumenta bruscamente e a tensão nas extremidades diminui (resistência diferencial negativa).

Circuito de aplicação



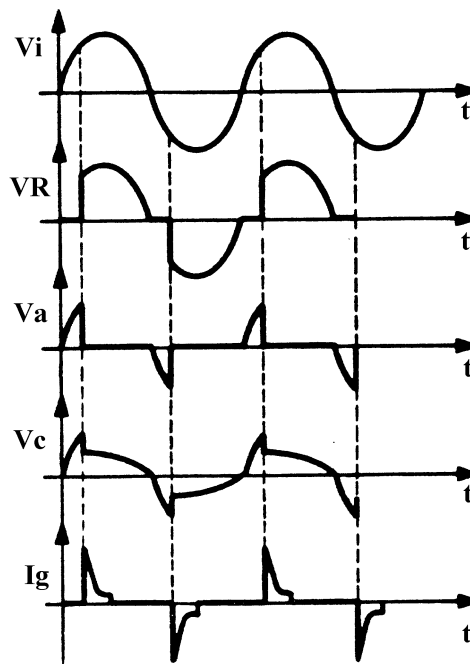
Funcionamento:

O circuito R1 – P – C constitui a rede defasadora pela regulação do ângulo de disparo.

Quando a tensão de carga de C supera o valor da tensão de bloqueio do diac (VBR), o capacitor se descarrega parcialmente através do diac no gate do triac, disparando-o.

Para obter o corte é necessário que a corrente anódica desça abaixo do valor de sustentação (I_h). O circuito R3-C1 constitui a rede de proteção do triac.

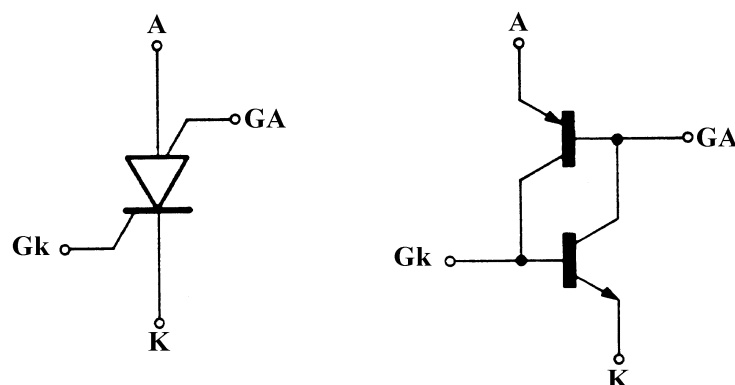
Analisemos as formas de onda do circuito em questão:



Componentes especiais da família dos “Thyristores”

S.C.S. (silicon controlled switch)

Os S.C.S. são componentes com quatro camadas, três junções P-N-P-N como os S.C.S., porém, dotados de quatro terminais.

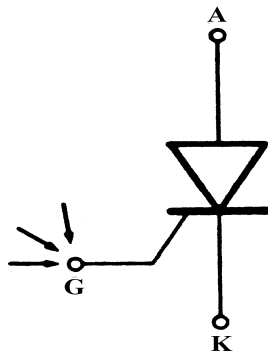


São constituídas por pequenas potências (alguns watt). Têm a vantagem de suportar um alto $\Delta v/\Delta t$ em relação aos S.C.S., ligando o GA à tensão positiva através de uma apropriada resistência (de fato, é polarizada em sentido inverso a base do transistor P-N-P).

São tipicamente empregados em aparelhagem de Contagem digital.

L.A.S.C.R. (light activated silicon controlled rectifier).

Na verdade, estes componentes são S.C.R. controlados pela luz onde em lugar do eletrodo de gate para o disparo eletrônico possui uma lente focalizadora da radiação luminosa.

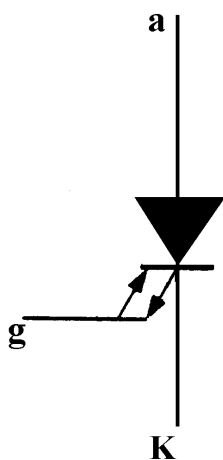


Também neste caso, a resposta espectral estende-se à banda visível e ao infra-vermelho.

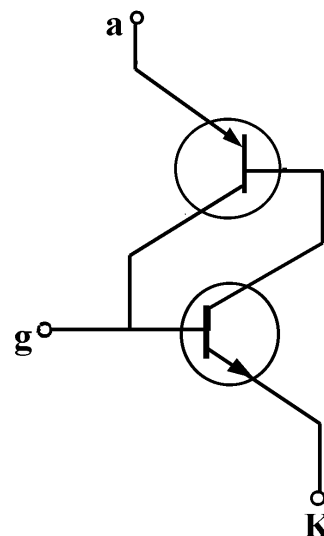
GTO (*Gate turn off*)

O G.T.O. é um interruptor estático a semiconductor (silício), indicado para usos industriais que mais aproxima como funcionamento a um perfeito interruptor. De fato, possui as vantagens dos tiristores e dos transistores de comutação a alta tensão.

É um dispositivo em quatro camadas, três junções PNPN com três terminais: anodo, catodo e gate.



símbolo G.T.O.



circuito equivalente

Este dispositivo é estruturalmente semelhante a um tiristor normal visto que pode ser levado em condução por um impulso positivo aplicado ao gate, mas também é semelhante ao transistor já que pode ser levado à interdição por um impulso negativo aplicado ao mesmo gate.

As vantagens do G.T.O. são:

- possibilidade de suportar altas tensões de bloqueio
- facilidade de controle e comutação rápida;
- baixa corrente rápida;
- interdição rápida;
- boa característica dV/dT

O dispositivo G.T.O. moderno é disponível nas versões: 1000 V, 1300 V; 1500 V e correntes de 5A.

O seu código comercial é BTW58 (PHILIPS).

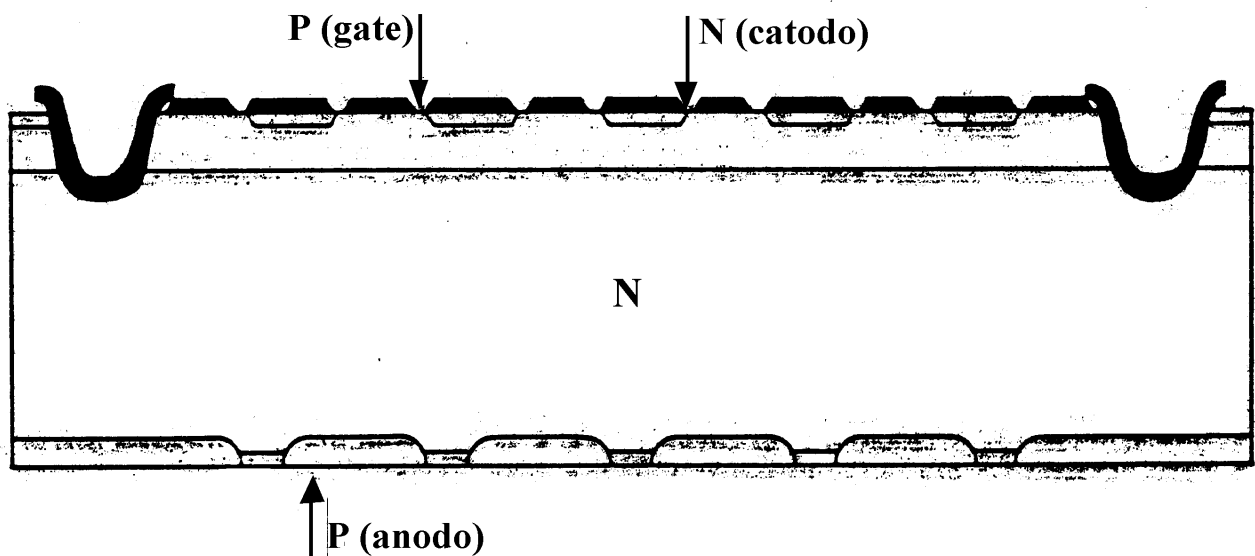
Funcionamento

O G.T.O. é formado por dois transistores complementares interconexos entre si e , portanto, o seu funcionamento é quase idêntico ao S.C.R.

Aplicando à base do transistor NPN um sinal positivo, este instaura um fenomeno regenerativo tendente a levar em breve tempo, ambos os transistores ao máximo da condução.

Se a corrente de saturação será suficientemente intensa, o dispositivo poderá manter-se permanentemente no seu estado de condução.

A diferença do S.C.R. e o G.T.O. é estruturado em modo tal que, querendo interditar o seu funcionamento, basta aplicar uma tensão negativa ao gate.



Estrutura interna do G.T.O.

Quanto à controle deste dispositivo, podemos afirmar que com uma corrente de cerca 100 mA, que pode ser anulada logo que o G.T.O. alcança a corrente de manutenção, este pode comutar correntes de 5^a

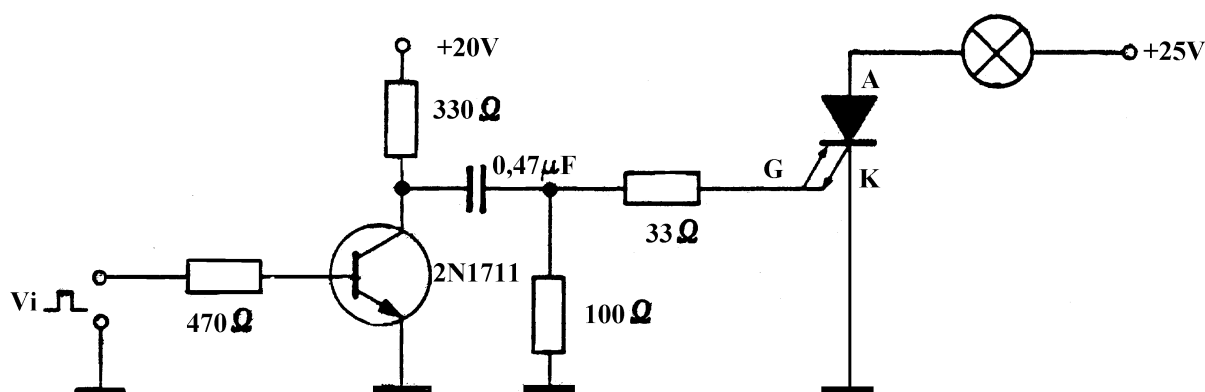
Graças à sua particular estrutura interna e ao processo de dopagem ouro, tem um baixo tempo de armazenagem.

O seu “turn-off” é inferior ao micro segundo, de fato, aplicando uma tensão negativa de 5V ao gate, o G.T.O. passa à zona de não condução em menos de 0,5 micro segundos.

Circuito de controle

Para obter a característica de interruptor eletrônico perfeito”, como de fato é o G.T.O. dado que pode passar do estado de condução aquele de interdição em um tempo inferior a 0,5 micro segundo, é necessário muní-lo de um correto circuito de controle.

Exemplo de circuito de controle e relativa potência:



I_g de inserção = cerca 100 mA

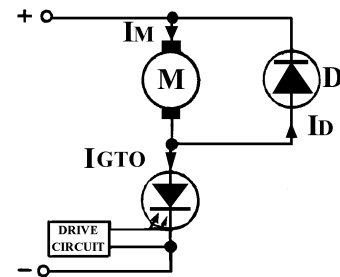
I_g de desinserção = cerca mA

V_a = 25 V

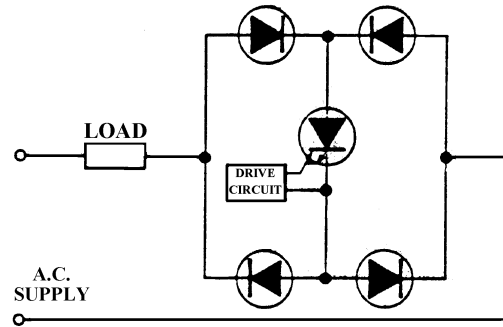
F max = 10 KHZ

Exemplos de aplicação do G.T.O.

Circuito para o controle da velocidade do motor C.C.



Circuito para o controle simétrico em alternada.



Aplicações

Como já visto precedentemente, o G.T.O. sendo quase idêntico a um “perfeito interruptor”, capaz de comutar rapidamente com tensão de até 1500 Volts e corrente de 5A, pode ser empregado em um grande número de aplicações, tais como:

Campo industrial

- alimentadores;
- acensão eletrônica para veículos;
- inversores para controle de motores c.a.

Eletromésticos

- controle velocidade motores para eletrodomésticos
- controle potência nos fornos a micro-ondas;
- invertidores para lâmpadas fluorescentes

Campo rádio/TV

- alimentadores
- fases finais de faixa

Resumo dados técnicos do G.T.O. (BTW58)

Valores máximos:

pico repetitivo em condições de bloqueio

corrente de pico direta de trabalho

corrente em condição de condução c.c.

corrente anódica controlável

I_t para o fusível $t = 10 \text{ ms}$

Dissipação conjunta fino a $t_{dmb} = 25^\circ$

Temperatura à junção em condições de trabalho

Resistência térmica da junção à base de

montagem

V_{DRM} max 1500; 1300; 1000 V

I_{TWM} max 6,5 A

I_T max 5 A

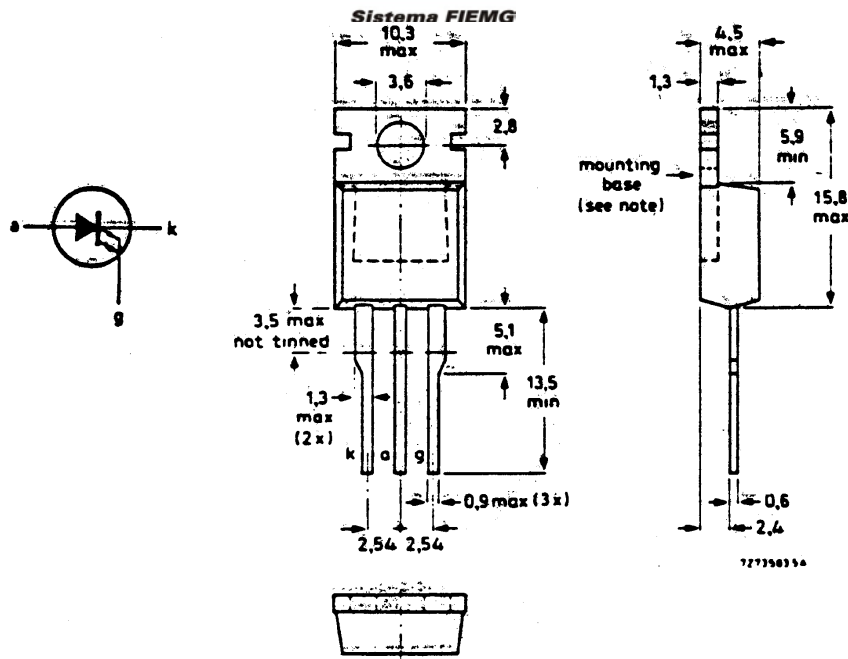
I_{TCM} max 25 A

I_t max 12,5 As

P_{tot} max 65W

T_j max 120°C

R_{th} jmb $1,5^\circ\text{C}$



Desenho extraído de “SEMICONDUCTORES part.2 September 1982 PHILIPS” por gentil concessão.

COMPONENTES

SCR's e TRIAC's SÉRIE TIC

SÉRIE TIC 106 – SCR's

- 5 A CC
- 30 V a 400 V
- Corrente de pico de 30 A
- I_{GT} máximo de 200 μA



- Valores máximos absolutos, ao longo da faixa de temperaturas de encapsulamento -

	TIC 106 A	TIC 106 B	TIC 106 C	TIC 106 D	UNIDADE
tensão de pico repetitiva, c/ SCR desativado – V_{DRM} – (nota 1)	100	200	300	400	V
Tensão reversa de pico, repetitiva V_{RRM}	100	200	300	400	V
corrente contínua, c/ SCR operado, a 80°C (ou abaixo) no encapsulamento (nota 2)			5		A
corrente média, c/ SCR operado, (ângulo de condução 180°) a 80°C			3,2		A



Sistema FIEMG

(ou abaixo) no encapsulamento (nota 3)		
corrente de pico, c/ SCR operado (nota 4)	30	A
corrente de pico positivo de gate (largura de pulso 300µs)	0,2	A
pico de dissipação de potência de gate (largura de pulso 300µs)	1,3	W
dissipação média de potência de gate (nota 5)	0,3	W
faixa de temperatura de encapsulamento, c/ SCR operado	-40 a 110	°C
faixa de temperatura de armazenagem	-40 a 125	°C
temperatura dos terminais, a 1,5 mm do encapsulamento, por 10 s	230	°C
NOTAS:		
1. Esses valores são válidos quando a resistência catodo-gate for $R_{GK} = 1k\Omega$		
2. Esses valores são válidos para operação contínua em CC,C / carga resistiva		
3. Este valor pode ser aplicado continuamente sob uma meia onda de 60 Hz, c/ carga resistiva		
4. Este valor é válido para uma meia onda senoidal de 60 Hz, quando o dispositivo estiver operando c/ os valores (ou abaixo deles) dados de tensão reversa de pico e corrente de operação		
5. Este valor é válido para um tempo máximo de 16,6 ms.		

Características elétricas a 25°C (temperatura do encapsulamento)

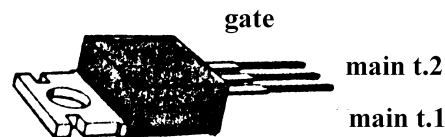
	MIN	TÍPICO	MAX	UNID
I_{DRM} – corrente de pico repetitiva, c/SCR desativado			400	µA
I_{RRM} – corrente reversa de pico, repetitiva			1	mA
I_{GT} – corrente de gatilhamento de gate		60	200	µA
V_{GT} – tensão de gatilhamento de gate			1,2	V
I_H – corrente de retenção			8	mA
V_{TM} – tensão de pico, em operação			1,7	V
dv/dt – taxa crítica de subida de tensão (SCR desativado)			10	V/µs

Características térmicas

	MÁX.	UNIDADE
RQJC - resistência térmica junção-encapsulamento	3,5	°C/W
RQJA – resistência térmica junção-ambiente	6,25	°C/W

SÉRIES TIC 116, TIC 126 – SCR's

- 8 A 12 A CC
- 50 V A 600 V
- Corrente de pico de 80 A e 100 A
- I_{GT} máximo de 20 mA

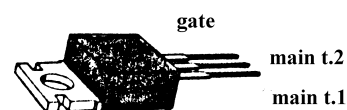


- Valores máximos absolutos ao longo da faixa de temperatura de encapsulamento

		TIC 116	TIC 126	UNID
tensão de pico repetitiva, c/ SCR desativado – V_{DRM} – (nota 1)	SUFIXO F	50	50	V
	SUFIXO A	100	100	
	SUFIXO B	200	200	
	SUFIXO C	300	300	
	SUFIXO D	400	400	
	SUFIXO E	500	500	
	SUFIXO M	600	600	
tensão reversa de pico, repetitiva V_{RRM}	SUFIXO F	50	50	V
	SUFIXO A	100	100	
	SUFIXO B	200	200	
	SUFIXO C	300	300	
	SUFIXO D	400	400	
	SUFIXO E	500	500	
	SUFIXO M	600	600	
corrente contínua, c/ SCR operado, a 70°C (ou abaixo) no encapsulamento (nota 2)		8	12	A

SÉRIE TIC 226B, 226D – TRIAC'S

- 8 A RMS
- 200 V A 400 V
- aplicações em alta temperatura, alta corrente e alta tensão
- dv/dt típico de 500 V/ μs a 25°C



- Valores máximos absolutos, ao longo da faixa de temperatura de encapsulamento

UNIDADE

tensão de pico repetitiva, com o TRIAC desativado (nota 1)	TIC 226B TIC 226D	200 400	V
corrente RMS de onda completa, em operação a (ou abaixo de) 85°C no encapsulamento (nota 2) – I_T (RMS)		8	A
corrente de pico, senóide onda completa – I_{TSM} (nota 3)		70	A
corrente de pico em operação, senóide meia onda – I_{TSM} (nota 4)		80	A

4)		
corrente de pico de gate - I_{GM}	1	A
pico de dissipação em potência de gate PGM, a (ou abaixo de) 85°C no encapsulamento (larg. de pulso 200µs)	2,2	W
dissipação em potência, média, de gate, PG (av), a (ou abaixo de) °C no encapsulamento (nota 5)	0,9	W
faixa de temperatura do encapsulamento, em operação	-40 a 110	°C
faixa de temperatura de armazenagem	-40 a 125	°C
Temperatura dos terminais a 1,5 mm do encapsulamento, por 10 s	230	°C

NOTAS:

1. Esses valores são válidos bidirecionalmente para todo valor de resistência entre o gate e o terminal principal 1.
2. Este valor é válido para senóide onda completa, 50 a 60 Hz, com carga resistiva.
3. Este valor é válido para uma senóide de 60 Hz, onda completa, quando dispositivo estiver operando no (ou abaixo do) valor dado de corrente em operação.
4. O mesmo que a nota 3, porém com senóide meia onda.
5. Este valor é válido para um tempo máximo de 16,6 ms.

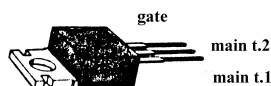
Características elétricas a 25°C de temperatura do encapsulamento

	MIN.	TÍPICO	MAX.	UNID.
I_{DRM} – corrente de pico repetitiva, com o TRIAC desativado			±2	mA
I_{GTM} – corrente de pico de gatilhamento de gate	15 -25	50 -50		mA
V_{GTM} – tensão de pico de gatilhamento de gate	0,9 -1,2	2,5 -2,5		V
V_{TM} – tensão de pico, em operação			±2,1	V
I_H – corrente de retenção	20 -30	60 -60		mA
I_L – corrente de “latching”	30 -40	70 -70		mA
dv/dt – taxa crítica de subida da tensão, com TRIAC desativado		500		V/ µs
dv/dt – taxa crítica de subida da tensão de comutação 5				V/ µs

Características térmicas

RQJC – resistência térmica junção-encapsulamento	MAX. 1,8	UNID. °C/W
RQJA – resistência térmica junção-ambiente	62,5	°C/W

SÉRIE TIC 236 –
TRIAC'S



- 12 A e 16 A
- 200 V e 400 V



Sistema FIEMG

Valores máximos absolutos, ao longo da faixa de temperatura de encapsulamento

			UNIDADE
tensão de pico repetiva, com o TRIAC desativado (nota 1)	B D	200 400	V
corrente de RMS de onda completa, em operação a (ou abaixo de) 70°C no encapsulamento (nota 2) – $I_{T(RMS)}$	12		A
corrente de pico, senóide onda completa – I_{TSM} (nota 3)	100		A
corrente de pico de gate - I_{GM}	± 1		A
faixa de temperaturas do encapsulamento, em operação	-40 a 110		°C
faixa de temperaturas de armazenagem	-40 a 125		°C
temperatura dos terminais a 1,5 mm do encapsulamento.	230		°C

NOTAS:

1. Esses valores são válidos bidirecionalmente para todo valor de resistência entre o gate e o terminal principal 1.
2. Este valor é válido para senóide onda completa, 50 a 60 Hz, com carga resistiva.
3. Este valor é válido para uma senóide de 60 Hz, onda completa, quando o dispositivo estiver operando no (ou abaixo do) valor dado de corrente em operação.

Características elétricas a 25° C de temperatura do encapsulamento

	MIN.	TÍPICO	MAX.	UNID.
I_{IDRM} – corrente de pico repetiva, com o TRIAC desativado			± 2	mA
I_{GTM} – corrente de pico de gatilhamento de gate		15 -25	50 -50	mA
V_{GTM} – tensão de pico de gatilhamento de gate		1,2 -1,2	2,5 -2,5	V
V_{TM} – tensão de pico, em operação	$\pm 2,1$			V
I_H - corrente de retenção			50 -50	mA
I_L – corrente de “latching”		20 -20		mA

Características térmicas

			MÁX.	UNID.
R_{QJC} – resistência térmica junção-encapsulamento			2	°C/W
R_{QJA} – resistência térmica junção-ambiente			62,5	°C/W

Definição e aplicações dos tiristores componentes gatilhados

TIRISTOR: Mecanismo semi-condutor biestável, que pode chavear entre estado aberto ou fechado. Este pode encontrar em 03 ou mais junções, e são unidirecionais, bidirecionais ou condição reversa.



Sistema FIEMG

FLD: Tiristor de bloqueio reverso de comutação de 02 terminais, 04 camadas, com característica de baixa tensão no estado de saturação. Seus usos incluem aplicações em triggering, limitador de tensão, circuitos temporizados e pulsos.

DAC: DIAC – TIRISTOR DE COMUTAÇÃO, 02 terminais, 03 camadas, bidirecional com características de resistência negativa, abrange sobre a maioria das completas faixas de operação de corrente acima da corrente de comutação (IS); suas aplicações são em triggering, controle de fase e circuito limitador de tensão.

PUT: TRANSISTOR DE UNIJUNÇÃO PROGRAMÁVEL, a 03 terminais, 04 camadas, tiristor de bloqueio reverso, com gate no anodo o qual controla o nível de tensão do equipamento. Sua principal aplicação é de substituir o unijunção em longo intervalo de tempo, controle de fase e osciladores de relaxação.

SAS: COMUTADOR ASSIMÉTRICO DE SILÍCIO, a 03 terminais, bidirecional tiristor integrado com características de comutação assimétrica determinada por um gate controlador (Indutor) de nível. Suas aplicações incluem, controle de iluminação, triggering e circuitos discriminador de pulsos.

SAT: TRIGGER ASSIMÉTRICO DE SILÍCIO, a 02 terminais, bidirecionais integrado no circuito, tiristor de característica de comutação assimétrica. É usado incluindo aplicações em redutores de luz e outros circuitos onde é importante a iluminação dos efeitos de histerese.

SBS: COMUTADOR DE SILÍCIO BILATERAL, com 03 terminais, bidirecional, tiristor de circuito integrado com característica de comutação simétrica determinadas por um gate controlador de nível. Suas aplicações incluem detetor de limites triggering, e limitado de tensão em circuitos A.C.

SUS: COMUTADOR UNILATERAL DE SILÍCIO, a 03 terminais, multicamadas, tiristor de gatilho com bloqueio reverso. O terminal gate anodo determina o nível de tensão na comutação direta. Suas aplicações incluem temporizados, triggering e circuito detetor de limite.

COMPONENTES DE POTÊNCIA

GTO: TIRISTOR DE DESLIGAMENTO PELO GATE, 03 terminais, 04 camadas, bloqueio de reversão do tiristor no qual pode ser ligado com a tensão positiva no gate e desligado com tensão negativa no gate. Suas aplicações incluem como inversor gerador de pulsos, tosador e circuito comutador em C.C.

LAS: COMUTADOR ATIVADO À LUZ, 04 camadas, 03 terminais. Tiristor com bloqueio de reversão, pode ser ligado por um excesso de luz, que tem um nível mínimo determinado pela corrente de gate. Suas aplicações incluem comando fotoeletivo, monitorador de posições, acoplamento de luz e circuitos triggering.

NGT: TIRISTOR DE GATE NEGATIVO, 03 terminais, multicamadas, engatilhamento com tensão negativa. São incluídos na categoria de gates de distribuição amplificada. Por que seu gate



Sistema FIEMG

requer tensão negativa. Suas aplicações incluem inversor de alta frequência, tosador, circuito controlador de potência.

RCT: TIRISTOR DE CONDUÇÃO REVERSA, 03 terminais, multicamadas, tiristor de condução reversa com tensão positiva do gate e larga condução de corrente com sentido reverso. Seus usos incluem aplicações em comando eletroluminescente e circuitos de comutação bidirecional A.C.

SCR: RETIFICADOR CONTROLADO DE SILÍCIO, 03 terminais, 04 camadas, tiristor de bloqueio reverso, tensão positiva no gate. Seus usos incluem aplicações em controle de fase, inversor, tosador, modulador de pulso e circuito de comutação estática.

SCA: UNIDADE CONTROLADA DE SILÍCIO, Multiterminais, classificador de unidades que incluem um condicionamento completo (ligação, refrigeração) para sistemas que requerem controle de alta potência.

SCB: PONTE CONTROLADA DE SILÍCIO, Multiterminais, classificados como mecanismo de ponte que incluem os SCR que são as unidades controladoras mais importantes. A ponte básica inclui arranjos simples e componentes trifásicos com diferentes controles de arranjos. Seus usos incluem simples retificação e multifases e controlador de motores, carregadores de bateria e inversores de potência.

SCS: COMUTADOR CONTROLADO DE SILÍCIO, 04 terminais, 04 camadas, tiristor de bloqueio reverso que pode ser gatilhado com tensão positiva aplicado ao gate catodo (P-gate) ou tensão negativa aplicada ao gate anodo (N-gate). Suas aplicações incluem controlador de iluminação, contadores, alarmes, e circuitos controladores.

TAC: TRIAC: 03 terminais, multicamadas, tiristor bidirecional com capacidade de ligação com 04 quadrantes no gate (a tensão negativa ou positiva do gate é relativa ao terminal principal). Suas aplicações incluem em comutação e controlador de fase de circuitos de potência A.C.

EXPLICAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS E CATEGORIAS

As características e classificações mostram estas no geral para os casos de piores condições. Esta abordagem permite ao leitor comparar e selecionar os componentes cujas características são expostas à seguir para uma máxima condição de operação. A única exceção é VDRM (máxima tensão repetitiva em off-state) que é dado sobre uma faixa de operação de temperatura.

di/dt (classificação): Crítica taxa de condução de corrente em on-state (AMP/SEC). Máximo aumento da taxa de corrente que o tiristor pode resistir sem ser danificado.

dv/dt (comutação): Taxa crítica de comutação de tensão. A menor taxa do aumento da tensão principal do tiristor que garante que o tiristor irá desligar quando a tensão



Sistema FIEMG

principal é polarizada resersamente seguindo a condição ON-STATE, normalmente medida a 20 graus.

dv/dt (fixo): Taxa crítica de aumento de tensão para a condição de OFF-STATE. A menor taxa de aumento da tensão principal que irá comutar o tiristor ligado, geralmente medida a 25°C.

$\Delta V_T @ I_T$: TENSÃO DE INTERRUPÇÃO (Volts). A diferença entre a tensão de comutação e tensão de on-state é medida para especificada corrente, geralmente 25°C. Os Diacs são geralmente especificados neste caminho desde que estes valores representem a tensão capaz de acionar este componente numa região de resistência negativa.

Et: GATILHO DE ILUMINAÇÃO (DENSIDADE LUMINOSA OU LUX) o fluxo de luz por unidade de área incidente requerida do gatilho do tiristor. Os valores dados são típicos desde que a sensibilidade do gatilho seja influenciada da tensão de anodo para catodo (VAK) o gate do resistor (RGK) e a temperatura de operação.

Het: IRRADIAÇÃO EFETIVA DO GATILHO, (Watts/cm² ou Watts/ft²) a irradiação (poder de irradiação por unidade incidente de área) requerida de um gatilho LAS. Os valores dados são típicos desde que a sensibilidade do gatilho seja influenciada pela tensão anodo catodo (VAK), o gate do resistor (RGK) e a temperatura de operação.

IcT: GATILHO DE CORRENTE N-GATE (AMP): A corrente negativa do comutador de silício controlado requerida para comutação do tiristor para ON-STATE, geralmente é medida a 25°C.

ID @ Tref: CORRENTE OFF-STATE (AMP): A corrente principal conduzida através do tiristor quando a condição de OFF-STATE está especificada referente a temperatura, normalmente medida a VDRM.

IGO: CORRENTE TURN-OFF DE GATE (AMP): A corrente de gate negativa requerida para comutação de TURN-OFF a gate TURN-OFF, medida especificada na corrente principal geralmente a 25°C.

IGT: CORRENTE DE GATILHAMENTO DO GATE. (AMP). A máxima corrente de gate requerida para comutar o tiristor no estado ON, geralmente medida a 25°C. Seus valores positivos para tiristores P-Gate e negativo para tiristor N-Gate.

IH: CORRENTE DE RETENÇÃO (AMP): A corrente requerida para manter o tiristor em ON-STATE normalmente medida a 25°C.

IL: CORRENTE DE ENGATAMENTO (AMP): Corrente requerida para sustentar a condição de ON-STATE imediatamente após o componente ter sido comutado para a condição ON-STATE, e a tensão de gate removida, geralmente medida a 25°C.

Ip: PONTO DE PICO DA CORRENTE (AMP); A máxima corrente anódica (No PUT) até o ponto de pico onde dVAK/dt = 0



Sistema FIEMG

IR: CORRENTE REVERSA (AMP Tref Vrrm): A principal corrente conduzida através do tiristor de bloqueio reverso até uma específica temperatura requerida, geralmente medida a 25°C.

Is @ Vs: CORRENTE DE COMUTAÇÃO (AMP): A corrente principal conduzida através do gatilho do tiristor, medida na tensão de comutação, medida a 25°C.

IT @ Tref: CORRENTE ESTÁTICA EM ON-STATE: A máxima corrente contínua em ON-STATE que o tiristor poderá operar, especificada a uma temperatura específica referida.

It (AV) @ Tref: CORRENTE MÉDIA DE MEIA ONDA EM ON-STATE (AMP): A máxima corrente média em ON-STATE a que o tiristor poderá operar a uma temperatura referente especificada. Para bloqueio reverso e na condução dos tiristores estes valores são especificados para um ângulo de condução de 180°C; para tiristores bidirecionais a corrente média é raramente especificada.

ITRM: MÁXIMA CORRENTE REPETITIVA EM ON-STATE (AMP): A corrente característica do tiristor, medida a uma temperatura referente especificada, veloz pulso retangular e taxa de repetição. Este determina a capacidade de comando do componente a baixo do estado de condução seguro.

IT (RMS) @ Tref: CORRENTE RMS ON-STATE: A máxima corrente RMS (ON-STATE) que o tiristor irá operar especificadamente a uma temperatura específica referente. Para bloqueio reverso ou condução dos tiristores estes valores são especificados para condução de um ângulo de 180°C. Para tiristores bidirecionais, estes valores são especificados para 360°C.

ISTM: SOBRE CORRENTE (AMP): Uma corrente característica não repetitiva do tiristor geralmente medida a 25°C. Para bloqueio reverso e tiristor em condução estes valores são geralmente medidos em meio ciclo aplicando uma tensão de meia onda através dos terminais principais do componente.

Para tiristores de potência bidirecional estes valores são geralmente medidos em onda completa aplicando tensão de meia onda através do componente.

Para o gatilho dos tiristores estes valores são medidos em um pulso retangular veloz especificado.

IV: CORRENTE NO PONTO DE VALE (AMP): A corrente anódica (no Put) no ponto de vale onde $dv/dt = 0$

tgt: TEMPO DE LIGAÇÃO DO GATILHO CONTROLADOR Tempo requerido para ligação do tiristor de potência, medida a uma corrente especificada do ponto de pulso frontal no gate, para apontar a corrente principal ou pulso de frente da tensão, durante o intervalo que o tiristor está ligado, geralmente medido a 25°, porque os testes necessitariam de condições extensidade durante a medição, os valores típicos são geralmente especificados.

TON: TEMPO DE CHAVEAMENTO P/ ON (SEC). O tempo requerido para ligação do gatilho do tiristor medido a um ponto de inicialização principal do pulso de tensão frontal a um ponto de

pulso de corrente frontal de saída, normalmente medida a 25°C. Porque os testes necessitaram de condições extensivas durante a medição, os valores típicos são geralmente especificados.

tq: TEMPO PARA O CIRCUITO CHAVEAR PARA OFF. Tempo requerido para desligamento do tiristor medido uma corrente especificada, de um tempo de redução da tensão a zero para o tempo em que o tiristor é capaz de suportar a tensão principal sem disparar-se, geralmente medida a 25°C. porque os testes necessitam de condições extensivas durante a medição, os valores típicos são geralmente especificados.

VcT: TENSÃO DE GATILHO N-GATE. É a tensão negativa que o comutador de silício controlado (SCS) necessita para o disparo do tiristor, geralmente medida a 25°C esta tensão é referenciada no anodo.

VD: TENSÃO CONTÍNUA DE BLOQUEIO. É a máxima tensão contínua que o tiristor irá operar.

VDRM: TENSÃO DE PICO REPETITIVA EM OFF-STATE (Volt): Determina acima da faixa de temperatura. A máxima tensão instatânea repetitiva que o tiristor irá operar por quadrante de comutação. Especificado para equipamentos com disparo-gate. A menos que notado pelo símbolo, o valor é especificado cm o gate aberto.

VGQ: TENSÃO DE GATE PARA TURN-OFF: A tensão negativa do gate, referenciada no catodo requerida de Turn-off do gate para Turn-off comutação, medida especificada por uma corrente principal; geralmente a 25°C.

VGT: TENSÃO DE ENGATILHAMENTO DO GATE – A tensão requerida para comutar o tiristor em ON-STATE. Geralmente medida a 25°C. Estes valores são positivos (referenciados no catodo) para tiristores com P-GATE, e negativos (referenciados no catodo) para tiristores N-GATE. Para tiristores triodos bidirecionais estes valores podem ser ambos positivos ou negativos.

VP-VR: TENSÃO DE OFFSET: A diferença da mínima tensão (no P.U.T.) entre o ponto de pico da tensão de comutação e a tensão de referência entre gate-catodo.

VRRM: MÁXIMA TENSÃO REVERSA REPETITIVA: A máxima tensão repetitiva que o tiristor de bloqueio reverso poderá operar em sentido reverso.

VS: TENSÃO DE COMUTAÇÃO: É a tensão através do gatilho tiristor no ponto em que a resistência diferencial é zero. Geralmente medida a 25°C. É também chamada VBO.

VT @ IT: TENSÃO DE ON-STATE: É o princípio de tensão através do tiristor medida a corrente específica, normalmente a 25°C, a menos que messa em outra temperatura. Para equipamentos de potência estas medições são geralmente determinadas com corrente de meia-onda, e com valores de picos indicados.

Para equipamentos trigger de disparo estas medições são especificadas com tensão pulsativa a menos que se faça de outra maneira.

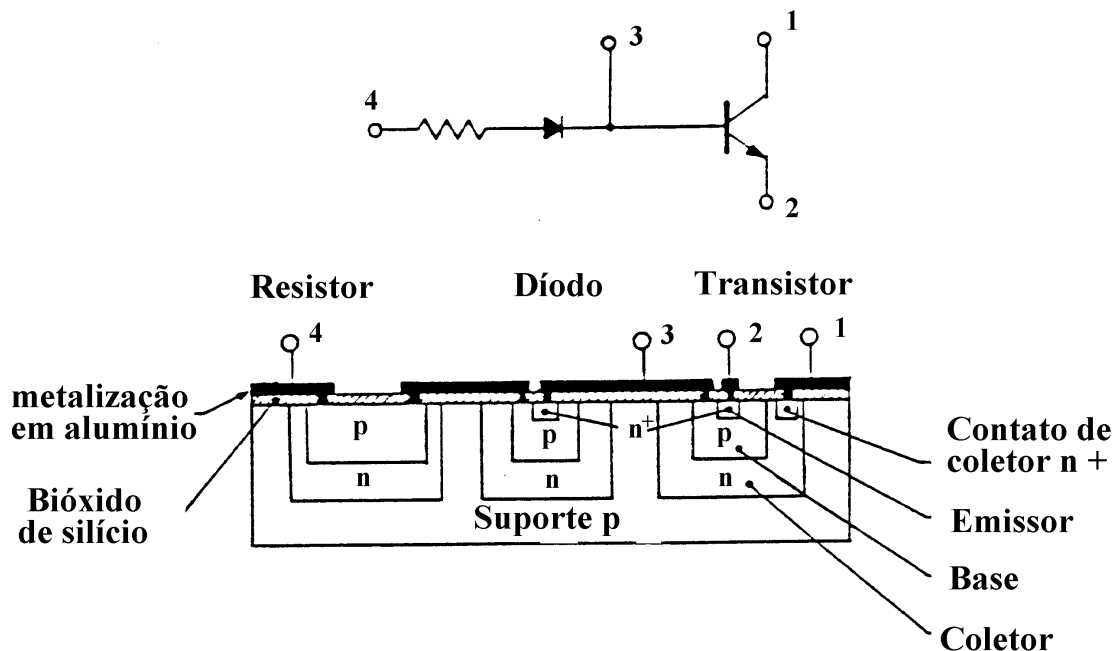
Circuitos Integrados

Notas tecnológicas

Um circuito integrado é constituído por uma chapa, chamada chip, de cristal de silício, com cerca 1mm² de seção, que contém elementos ativos e passivos e respectivas ligações.

Estes circuitos são realizados mediante os mesmos processos utilizados para produzir díodos e transistores.

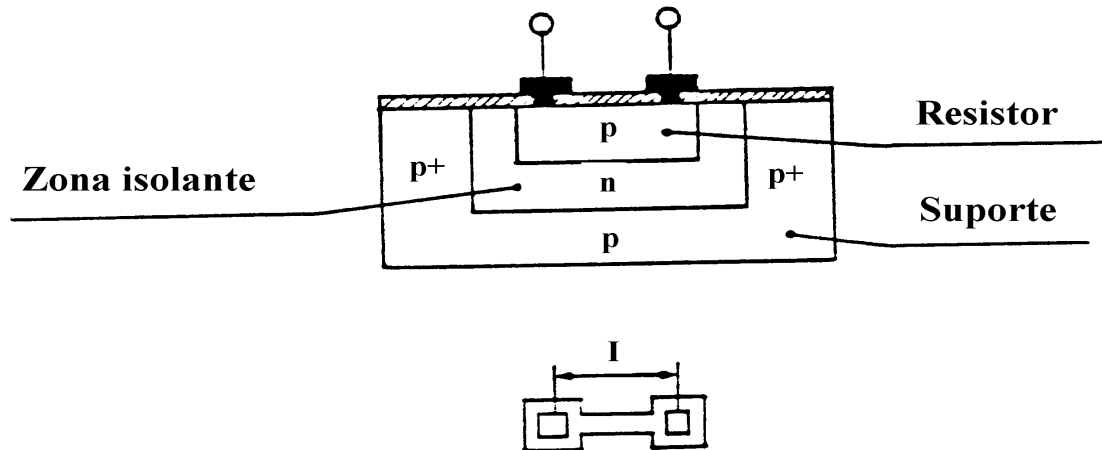
Isso permite uma excelente repetição e se adapta à produção de um grande número de peças a baixo custo. As principais vantagens que derivam desta tecnologia são o enorme grau de confiabilidade, a redução das dimensões e o baixo custo, comparável ao preço que custaria o circuito se tivesse sido realizado mediante elementos discretos interligados segundo as técnicas tradicionais.



Na figura é representado um simples circuito integrado, o qual contém os componentes típicos: um resistor, um diodo e um transistor.

Observa-se na figura que a pequena chapa de silício do suporte contém diversas zonas dopadas N e P, portanto, muitas junções NP. Utilizando as junções se obtém diodos, transistores e capacitores de pequena capacidade, utilizando a capacidade apresentada pela junção quando é polarizada inversamente.

Para as resistências utiliza-se a condutabilidade extrínseca do semi-condutor (que varia com a dopagem), como é ilustrado na figura.



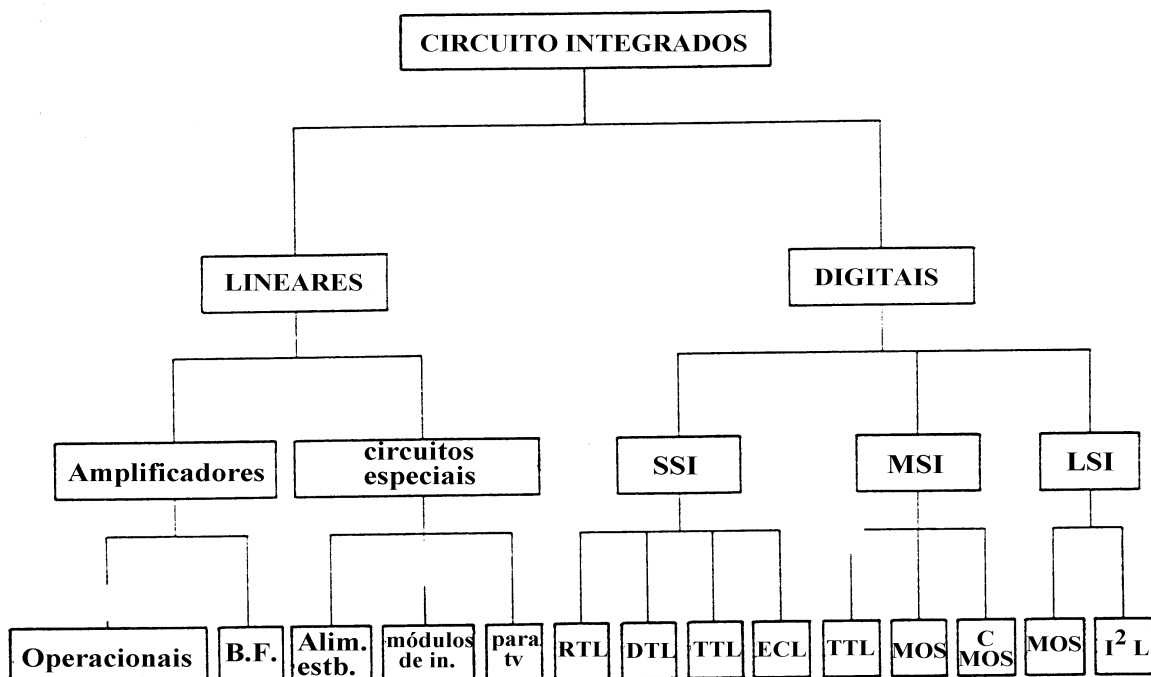
Resistor Monolítico

O isolamento entre os vários componentes se obtém polarizando inversamente a junção constituída pelo suporte (P) e pelo material (N) do componente.

A técnica dos circuitos integrados permite realizar mais convenientemente os transistores do que as resistências ou capacitores, e por este motivo que os circuitos eletrônicos integrados são projetados com critérios diferentes daqueles adotados para os componentes discretos.

Tipos e famílias

No comércio existe uma grande variedade de circuitos integrados; na tabela seguinte é indicada a subdivisão dos componentes mais frequentemente empregados:





Como para os circuitos tradicionais, é possível distinguir os integrados em “**digitais**” e “**lineares**”.

Os **digitais** são circuitos lógicos que trabalham com apenas dois níveis de sinal, um alto e um baixo.

Os **lineares** ou analógicos são aqueles nos quais existe em geral uma relação de proporcionalidades entre o sinal de entrada e o de saída.

Os circuitos digitais integrados são subdivididos em função do número dos componentes integrados que contêm

Os SSI (Short Scale Integration – pequena escala de integração) contêm algumas dezenas de portas lógicas equivalentes.

Os MSI (Medium Scale Integration) contêm algumas centenas de portas lógicas equivalentes.

Os LSI (Large Scale Integration – larga escala de integração) contêm milhares de portas lógicas equivalentes e, portanto, inteiros circuitos complexos, por exemplo: um micro-processador.

Os circuitos integrados digitais são ainda subdivididos em “**famílias**”, em relação aos componentes que utilizam e às particularidades que distingue: os determinados grupos.

As famílias mais importantes dos circuitos lógicos são;

RTL - Resistor transistor logic

DL - Diod logic

DTL - Diode transistor logic

TTL - Transistor transistor logic

ECL - emitter coupled logic

MOS - Circuitos integrados com tecnologia MOS

CMOS - Circuitos integrados com tecnologia complementar MOS

I²L - Integrated injection logic

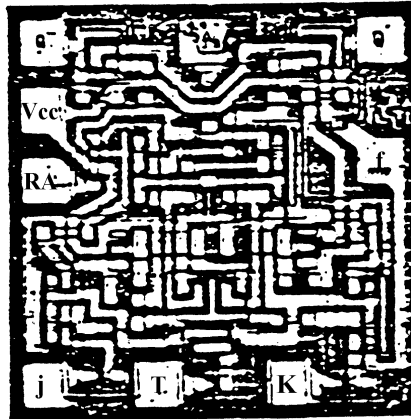
Nos circuitos integrados lineares encontramos o grupo dos “**amplificadores**”, que podem ser de tipo operacional ou estudados para baixas frequências e também pré-amplificadores e finais de potência (até algumas dezenas de W).

Ainda entre os “lineares”, existe uma gama de circuitos integrados “**especiais**” que são módulos com funções muito variadas:

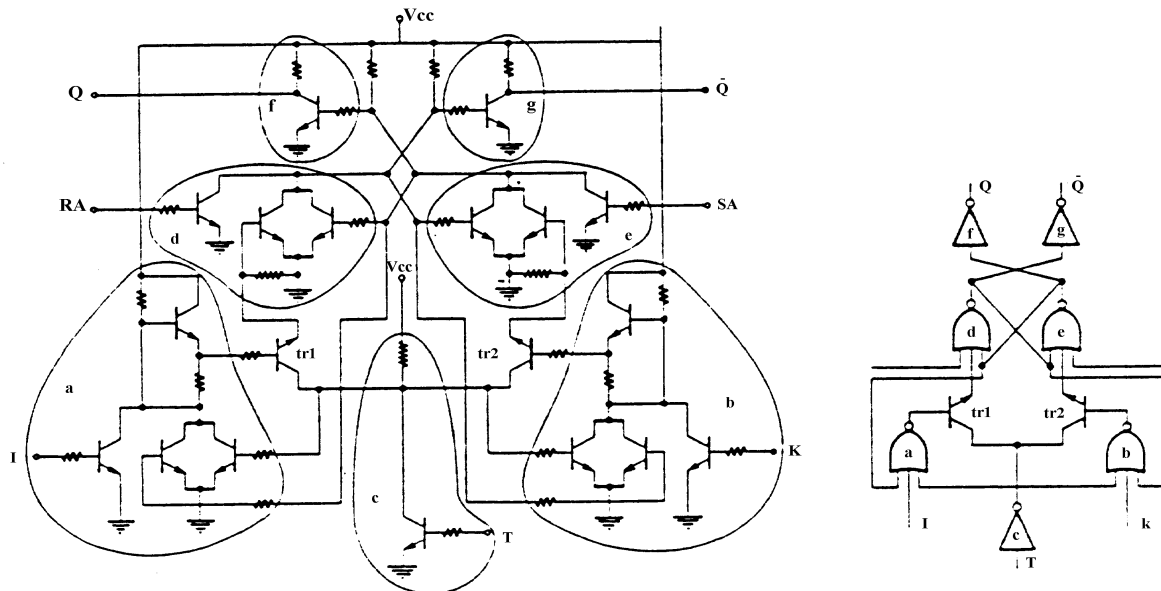
- módulos para alimentadores estabilizados com tensão fixa e variável
- módulos para partidas de SCRouTRIAC
- módulos para televisores, etc.

O circuito integrado visto como módulo

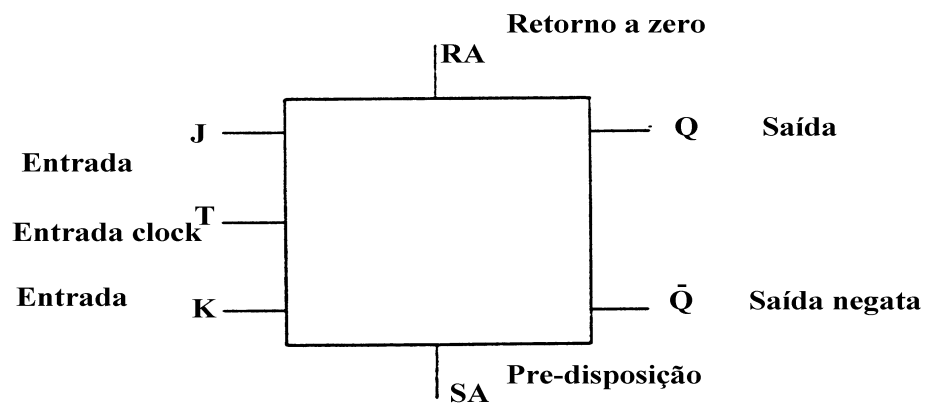
Observe-se a versão integrada de um j-k flip-flop da família RTL; pelo exame do modo é bastante difícil reconhecer os componentes.



No esuema abaixo indicado se representa o circuito correspondente e ao lado respectivo esquema lógico:



O estudo deste circuito relativamente simples (SSI), resulta já em dificuldade, pois é mais evidente a interpretação do esquema lógico; o mesmo esquema é simplificado pelo símbolo do J-K flip-flop.





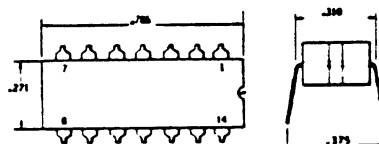
Sistema FIEMG

Normalmente, para interpretar esquemas realizados com os circuitos; o mesmo vem a ser assim considerado como um MÓDULO (caixa fechada com função definida) e é importante reconhecer os terminais e as respectivas funções.

Invólucros

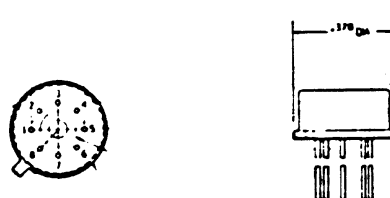
Para os circuitos integrados usam-se invólucros em resina, de cerâmica ou metálicos, geralmente com muitos contatos.

Invólucro tipo DUAL IN-LINE PACKAGE (DIP). Existem muitas versões com diverso número de ligações. Exemplo: 6 – 8-4-16-24-28-40. Com menos de 14 ligações é chamado mini DIP. O DIP é atualmente o mais usado.

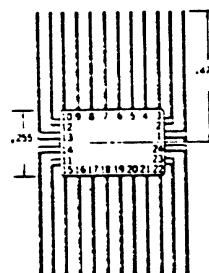


Invólucro tipo METAL CAN pode ser também de 10 ou 12 contatos.

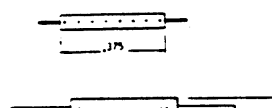
É particularmente utilizado nos amplificadores operacionais



Invólucro tipo FLATPACK com 24 ligações placadas em ouro (profissional)



Invólucro tipo CERPAK com 16 ligações placadas em ouro (profissional)





Invólucro tipo POWER PACKAGE; são utilizados para amplificadores de potência, têm alheta de resfriamento

N.B As dimensões são em polegadas

Testes de verificação

1) uma das principais vantagens dos circuitos integrados é:

- ☐ Individualização dos componentes no chip
- ☐ Boa dissipação de potência
- ☐ Elevada confiabilidade
- ☐ Simplicidade dos processos tecnológicos

2) com a tecnologia utilizada para realizar os circuitos integrados é mais fácil obter:

- ☐ Transistores
- ☐ Resistências
- ☐ Capacitores
- ☐ Bobinas

3) Os circuitos integrados muito complexos são de tipo:

- ☐ TTL
- ☐ SSI
- ☐ MSI
- ☐ LSI

4) Os amplificadores operacionais são circuitos:

- ☐ Da família TTL
- ☐ Da família MOS
- ☐ Digitais
- ☐ Lineares

5) O invólucro METAL CAN é particularmente usado para:

- ☐ Amplificadores de potência
- ☐ Amplificadores operacionais
- ☐ Módulos para TV
- ☐ Circuitos lógicos