



APRESENTAÇÃO

Acreditamos que, como nós, você lute “por um Brasil melhor” na perspectiva do desenvolvimento da Educação Profissional.

Você encontrará um material inovador que orientará o seu trabalho na realização das atividades propostas. Além disso, perceberá por meio de recursos diversos como é fascinante o mundo da “Educação Profissional”. Gradativamente, dominará competências e habilidades para que seja um **profissional de sucesso**.

Participe de direito e de fato deste Curso de Educação a Distância, que prioriza as habilidades necessárias para execução de seu plano de estudo:

- Você precisa ler todo o material de Ensino;
- Você deve realizar toda as atividades propostas;
- Você precisa organizar-se para estudar

Abra, leia, aproveite e acredite que “as chaves estão sendo entregues, logo as portas se abrirão”.
Esta disposto a aceitar o convite?

Contamos com a sua participação para tornar este objetivo em realidade.

Equipe Polivalente



SUMÁRIO

	página
Introdução	3
UNIDADE I - SEMICONDUTOR	
A Estrutura da Matéria	4
Condutores.....	5
Isolantes.....	6
Semicondutores.....	7
Semicondutor Tipo N.....	10
Semicondutor Tipo P.....	11
Junção PN.....	11
Polarização do Diodo.....	13
Curva Característica do Diodo.....	15
Fixação da Aprendizagem.....	17
UNIDADE II – CIRCUITOS COM DIODOS	
Diodo em Corrente Alternada.....	20
Circuitos com Diodos.....	21
Fonte de Tensão.....	22
Retificador de Meia Onda.....	23
Retificador de Onda Completa.....	25
Retificador em Ponte.....	26
Filtro para a Fonte de Tensão.....	27
Cálculo do Capacitor de Filtro.....	28
Fixação da Aprendizagem.....	30
UNIDADE III – DIODOS ESPECIAIS	
Led.....	33
Display de 7 Segmentos.....	34
Fotodiodo.....	35
Optoacoplador.....	36
Diodo de Comutação Rápida.....	36
Diodo Schottky.....	37
Diodo Zener.....	38
Regulador CI 78XX/79XX.....	43
Fixação da Aprendizagem.....	47
UNIDADE IV – TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNÇÃO	
Introdução	50
Polarização.....	53
Amplificador Emissor Comum.....	54
Amplificador Base Comum.....	55
Amplificador Coletor Comum.....	56
Parâmetros alfa e beta.....	57
Multivibrador Astável.....	58
Fixação da Aprendizagem.....	60
UNIDADE V – TRANSISTOR DE EFEITO DE CAMPO	
JFET.....	63
Curva de Transcondutância.....	61
Amplificadores.....	65
Fixação da Aprendizagem.....	66
UNIDADE VI – TIRISTORES	
SCR.....	70
Curva Característica do SCR.....	71
DIAC.....	72
TRIAC.....	73
Curva Característica do TRIAC.....	73
Circuitos e Aplicações.....	74
Transistor Unijunção Programável (PUT).....	75
Oscilador de Relaxação.....	76
MOSFET.....	78
IGBT.....	81
Fixação da Aprendizagem.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXO I Curva do Transistor Bipolar.....	88
ANEXO II Fazendo Placas de Circuito Impresso.....	89
ANEXO III Testando Semicondutores.....	90



INTRODUÇÃO

Você está iniciando o estudo do **Módulo – ELETRÔNICA**. Você terá contato com teorias importantes que vão proporcionar um desempenho eficiente durante o seu Curso.

O módulo está **dividido em seis unidades** e no final de cada módulo encontra-se uma lista de exercícios:

UNIDADE I : Introdução à Estrutura Atômica da Matéria, Condutores e Isolantes.

UNIDADE II : Circuitos com Diodos.

UNIDADE III: Diodos Especiais.

UNIDADE IV: Transistor Bipolar.

UNIDADE V : Transistor de Efeito de Campo - FET.

UNIDADE VI: Tiristores.

Nossa linha de trabalho abre um caminho atraente e seguro pela seqüência das atividades – leitura, interpretação, reflexão, e pela variedade de propostas que mostram maneiras de pensar e agir, e que recriam situações de aprendizagem.

As aprendizagens teóricas são acompanhadas de sua contrapartida prática, pois se aprende melhor fazendo. Tais praticas são momentos de aplicação privilegiados, oportunidades por excelência, de demonstrar o saber adquirido.

Nessa perspectiva, dois objetivos principais serão perseguidos neste material. De um lado, torná-lo habilitado a aproveitar os frutos da aprendizagem, desses saberes que lhe são oferecidos de muitas maneiras, em seu estudo, ou até pela mídia – jornais, revistas, rádio, televisão e outros - pois sabendo como foram construídos poderá melhor julgar o seu valor. Por outro lado, capacitando-se para construir novos saberes. Daí a necessidade do seu estágio para aliar a teoria à prática.

A soma de esforços para que estes módulos respondessem as suas necessidades, só foi possível mediante a ação conjunta da Equipe Polivalente.

Nossa intenção é conduzir um dialogo para o ensino aprendizagem com vistas a conscientização, participação para ação do aluno sobre a realidade em que vive.

A Coordenação e Tutores/Professores irá acompanhá-lo em todo o seu percurso de estudo, onde as suas dúvidas serão sanadas, bastando para isso acessar o nosso site:

www.colegiopolivalente.com.br

Equipe Polivalente



UNIDADE I - SEMICONDUTORES

ESTRUTURA ATÔMICA DA MATÉRIA

ÁTOMOS

A Matéria é formada por **átomos**♦ que são constituídos por partículas tais como neutrons, prótons localizados no **Núcleo** e elétrons, localizados na **Eletrosfera**.

Para descrever a estrutura de um átomo pode-se recorrer a um modelo simplificado, conhecido como **átomo de Bohr**: Núcleo formado por prótons e neutrons e elétrons circulando nas diversas órbitas ao redor do núcleo. (Força de atração elétrica = força centrípeta devido à velocidade dos elétrons).

Para o estudo da eletrônica, ressalta-se que as propriedades elétricas e eletrônicas estão relacionadas com elétrons.

Estes estão distribuídos em **camadas e sub-camadas**. Cada camada corresponde a órbitas e energias diferentes. **Quanto mais afastados do núcleo mais energia tem o elétron**.

Existe um número máximo de elétrons para cada camada, conforme se pode notar na tabela abaixo:

Camada s	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
Nº Máx de	2	8	18	32	32	18	8

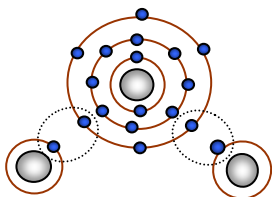
A última camada de um átomo (mais externa) é denominada **camada de valência**♦.

Esta camada é a mais importante do átomo, responsável pela maioria dos fenômenos elétricos, eletrônicos e químicos, tais como as reações químicas, condutividade de um material, potencial eletro-químico, etc.

Ligações atômicas

O que mantém os átomos unidos?

- Ligações **metálicas** – A estrutura atômica é mantida graças aos elétrons livres.
- Ligações **iônicas** – através da atração entre íons, como exemplo o sal ($\text{Na}^+ \text{Cl}^-$).
- Ligações **covalentes** – elétrons dessas ligações pertencem ao mesmo tempo à camada de valência de um e outro átomo da ligação, mantendo-os unidos. Exemplo: (molécula de H_2O , cristais de Si).
- Ligações **moleculares** – através das forças de Van der Waals.



NÍVEIS DE ENERGIA

É comum representar o modelo do átomo através de diagrama de níveis ou bandas de energia.

Cada órbita do elétron corresponde a **níveis de energia** do elétron dentro do átomo.

Dizemos que em um material, as órbitas dos elétrons de uma determinada camada de cada átomo que compõe o material constitui o que chamamos de **banda de energia** daqueles elétrons.

♦ **átomo** – A menor fração de um elemento capaz de entrar em combinação, suposta outrora indivisível; é constituído essencialmente de um núcleo.

♦ **valência** – capacidade de combinação que um átomo de substância simples ou grupamento funcional tem em relação o número de átomos de hidrogênio



A figura abaixo mostra um átomo relacionando as órbitas com um diagrama de nível de energia.

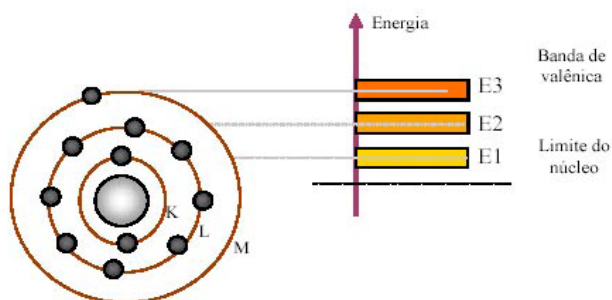


Figura 3 – Órbita eletrônica e diagrama de bandas de energia

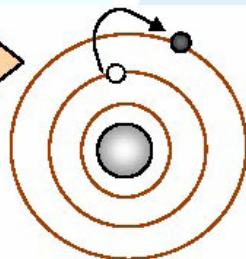
Mudança entre níveis de energia

Um elétron pode mudar de uma banda de menor energia para uma de maior energia se **receber** energia externa, que pode ser na forma de luz, calor, radiação, etc.

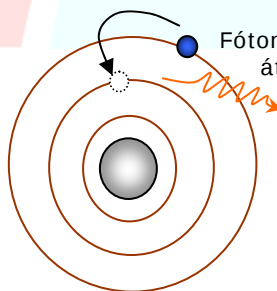
Quando um elétron vai de uma banda de energia maior para uma banda de energia menor, ele **emite** energia na forma de calor, luz, etc.

Elétron Muda para nível de energia maior

Elétron recebe energia
externa (calor, luz, etc)



Elétron volta para nível de energia menor



Fóton é emitido pelo
átomo (energia luminosa)

Figura 4 – Mudanças dos elétrons entre níveis de energia

CONDUTORES

À temperatura de 0°K os elétrons de qualquer material estão contidos na banda de valência, ou seja, estão fortemente presos ao átomo.

À temperatura maior que zero absoluto, os elétrons são excitados, ganham energia e vão para a **banda de condução**.

Elétrons da banda de condução movem-se livremente pela estrutura do material, ou seja, tornam-se elétrons livres.



Se uma diferença de potencial elétrico for aplicada entre dois pontos deste material haverá circulação de corrente elétrica, o que corresponde a movimento de elétrons em direção ao ponto de potencial mais positivo.

Os materiais que possuem muitos elétrons livres, ou seja, que a banda de condução se sobrepõe à banda de valência são chamados de **condutores elétricos**.

Os metais são os maiores representantes destes materiais.

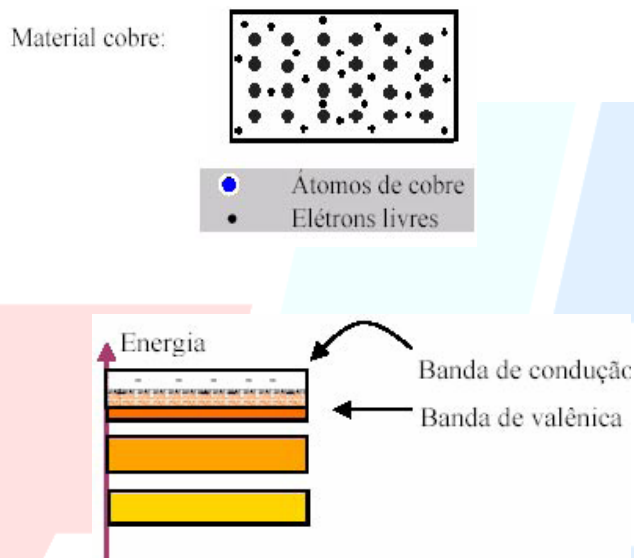


Figura 5 – Condutor: representação plana de um condutor de cobre e o diagrama de bandas de energia

ISOLANTES

Nos **isolantes**♦ a concentração de elétrons livres nos materiais é muito baixa, implicando em correntes desprezíveis quando o material é submetido a diferenças de potencial.

A banda de condução nos materiais isolantes está a um nível de energia muito maior que a banda de valência.

Isto significa que os elétrons da banda de valência necessitam de uma energia muito alta para atingir a banda de condução e tornarem-se livres.

Portanto, nos isolantes não há a possibilidade de condução de corrente devido à **falta de elétrons livres** suficientes.

A figura abaixo mostra o diagrama de banda de energia para um material isolante, onde a banda de condução está bastante afastada da banda de valência, indicada através da diferença de energia de 10 eV.

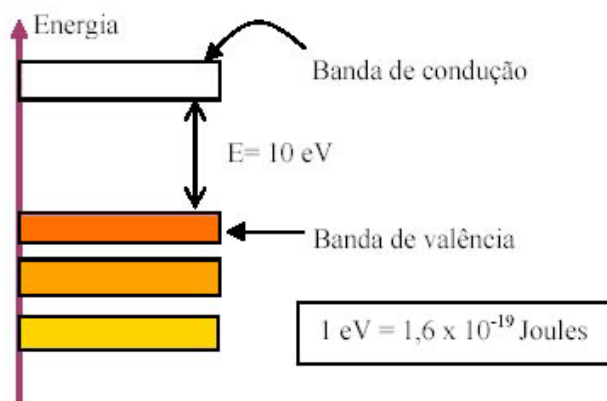


Figura 6 – Diagrama de bandas de energia para um material isolante

♦ **isolante** - interceptação da corrente elétrica; corpo que interrompe ou dificulta a comunicação da eletricidade.



CONDUTIVIDADE – CONDUTORES E ISOLANTES

A tabela abaixo mostra a condutividade de alguns materiais condutores e isolantes.

Condutores	
Metal	Capacidade ($\Omega \cdot m$)
Prata	$1,6 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,4 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,8 \times 10^{-8}$
Níquel	$8,5 \times 10^{-8}$
Ferro	10×10^{-8}
Grafite	1400×10^{-8}

Isolantes	
Material	Condutividade ($\Omega \cdot m$)
Quartzo	10^{19}
Polietileno	10^{17}
PVC (Elétrico)	10^{15}
Borracha	8×10^9
Papel	10^9 a 10^{15}
H ₂ O (destil)	10^6
H ₂ O	12^8

SEMICONDUCTORES

Como **conceito** podemos dizer que, os semicondutores são materiais que possuem características de condutividade intermediárias entre isolantes e condutores.

Os principais semicondutores utilizados na eletrônica são o silício (**Si**) e o germânio (**Ge**).

São também utilizados o Sulfeto de Cádmio (CdS), o Arsenieto de gálio (GaAs) e o Fosfeto de índio (InP) entre outros.

Os átomos de silício e de germânio possuem cada um 4 elétrons na última camada (camada de valência) e por isso são denominados **tetravalentes**.

A figura 7 mostra os átomos de silício e de germânio respectivamente, onde pode ser observado a camada de valência com 4 elétrons.



Figura 7 – Átomos de silício e de germânio

Na natureza, todo elemento é **eletricamente neutro**, ou seja, o número de prótons é igual ao número de elétrons.

A quantidade de prótons que existe no átomo, é dado pelo seu **número atômico (Z)**, devido ao exposto acima, a quantidade de Z também pode indicar o número de elétrons, se contarmos na distribuição eletrônica dos átomos de silício e de Germânio, iremos encontrar o quadro abaixo:

Silício
Número atômico = 14
4 elétrons na última camada

Germânio
Número atômico = 32
4 elétrons na última camada

Nos cristais de silício e de germânio, os átomos estão ligados entre si através de **ligações covalentes**.

Portanto, cada átomo da estrutura cristalina compartilha com seus 4 vizinhos, um elétron, ficando assim com um total de 8 elétrons na última camada.

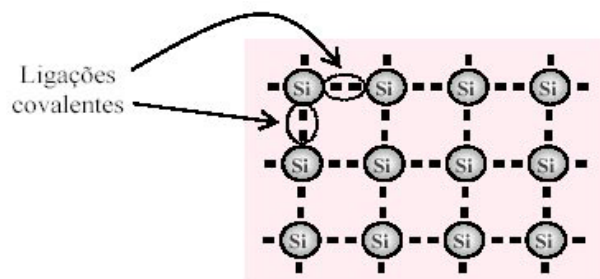


Figura 8 – Representação plana de um cristal de silício mostrando as ligações covalentes

EFEITO DA TEMPERATURA

À temperatura absoluta (-273°C) teoricamente os elétrons não podem mover-se dentro do cristal, sendo que todos os elétrons de valência estão fortemente presos aos átomos de silício, pois fazem parte das ligações covalentes entre os átomos.

Nesta temperatura, a banda de condução está vazia, o que equivale dizer que não existem elétrons livres e portanto o silício não pode conduzir corrente.

À temperatura ambiente (ou acima do zero absoluto) as coisas mudam.

A **energia térmica** recebida do meio ambiente quebra algumas ligações covalentes e os elétrons ganham energia para deslocarem-se para a banda de condução.

Na banda de condução os elétrons estão fracamente presos aos átomos e podem deslocar-se facilmente pelo material, de um átomo a outro.

LACUNAS

Quando um **elétron deixa** a banda de valência e vai para a banda de condução, cria-se uma “falta de elétron” na banda de valência.

Este “vazio” criado pela falta do elétron é denominado **lacuna ou buraco**.

A existência de elétrons e lacunas nestes materiais é uma das razões da possibilidade de construção dos componentes semicondutores.

A figura abaixo mostra um cristal de silício onde um elétron ganha energia térmica e deixa a ligação covalente, o que resulta na geração de um elétron livre e uma lacuna no lugar antes ocupado pelo elétron.

O diagrama de energia a seguir mostra o mesmo fenômeno representado em termos de bandas de energia.

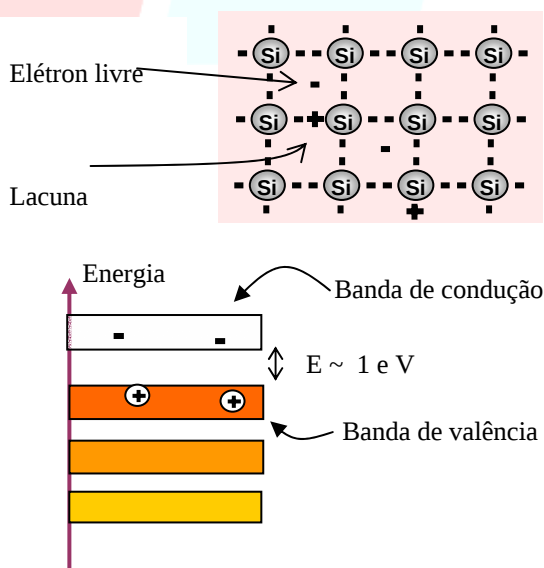


Figura 9 – Geração de elétrons livres e lacunas em um semicondutor e o diagrama de bandas de energia correspondente



CORRENTE DE LACUNAS

As lacunas nos semicondutores também produzem corrente elétrica, através do seu deslocamento dentro da banda de valência.

Observe a figura abaixo e veja como as lacunas movimentam-se: apenas com uma pequena variação de energia o elétron de valência em B movimenta-se para a lacuna em A; então a lacuna inicial desaparece e uma nova lacuna aparece em B; o elétron em C, da mesma forma, ocupa a lacuna em B e com sua saída, deixa uma lacuna em C.

Dizemos então que a lacuna em A se movimentou para B e logo depois para C.

Portanto os elétrons continuam a se movimentar de acordo com o indicado pelas setas e as lacunas no sentido oposto.

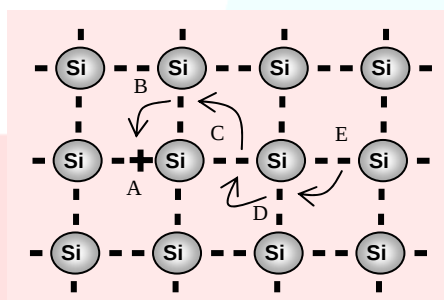


Figura 10 – Movimento de elétrons e lacunas em um semicondutor.

A aplicação de uma tensão externa a um cristal de silício força os elétrons da banda de condução e da banda de valência a deslocarem-se para a direita e as lacunas (da banda de valência) a deslocarem-se para a esquerda, conforme mostrado abaixo.

Elétrons da banda de condução e da banda de valência

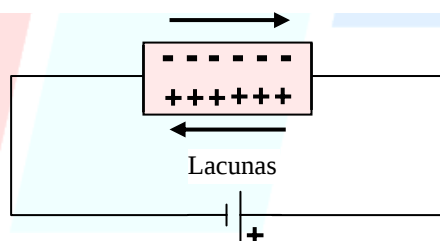


Figura 11 – Aplicação de uma tensão elétrica a um cristal semicondutor

PARES ELÉTRONS-LACUNAS

Em um semicondutor puro a existência de um elétron na banda de condução garante a existência de uma lacuna na banda de valência de algum átomo do material.

Portanto, a energia térmica produz no material o que chamamos de **pares elétrons-lacunas**.

Recombinação

Constantemente elétrons da banda de condução de um material estão preenchendo as lacunas da banda de valência. O desaparecimento de um elétron livre e de uma lacuna é chamado de **recombinação**.

SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS

Um cristal de silício (ou de germânio) puro, ou seja, composto somente de átomos de silício (ou somente de germânio) é conhecido como semicondutor **intrínseco**♦.

♦ **intrínseco** - essencial; próprio; íntimo; inerente.



Para a maioria das aplicações, os semicondutores intrínsecos não possuem elétrons livres suficientes para produzir uma corrente elétrica utilizável.

Para a utilização prática destes cristais como semicondutores, utiliza-se um processo industrial que consiste em acrescentar certas impurezas ao material semicondutor de forma a aumentar o número de elétrons livres ou de lacunas.

São **denominadas impurezas** átomos de outros materiais acrescentados à estrutura do silício.

Este processo é chamado de **dopagem**.

SEMICONdutoRES EXTRÍNSECO

Quando um cristal foi dopado, ele passa a ser denominado de semicondutor **extrínseco**♦. O átomo de silício esta ligação a outro material

SEMICONDUTOR TIPO-N

Para se conseguir mais elétrons na banda de valência de um semicondutor, por exemplo, de silício acrescentamos, pelo processo de dopagem, átomos pentavalentes (com 5 elétrons na camada de valência) na estrutura do cristal de silício puro.

Cada um dos elétrons do átomo de silício forma uma ligação covalente com cada um dos elétrons do átomo de **impureza pentavalente** de modo que um elétron deste fica sem ligação.

Como a órbita de valência não pode conter mais de oito elétrons, o elétron que sobra fica livre, ou seja, vai para a banda de condução.

Assim, a dopagem produz um grande número de elétrons na banda de condução (livres) somados aos elétrons produzidos pela geração térmica, que gera também algumas lacunas na banda de valência do material.

Como os elétrons gerados são em número bem maiores, eles são denominados de **portadores majoritários** e as lacunas de **portadores minoritários**. O silício dopado dessa forma é conhecido como **semicondutor do tipo-N**, onde N significa negativo, caracterizando maior número de portadores de cargas negativas (elétron).

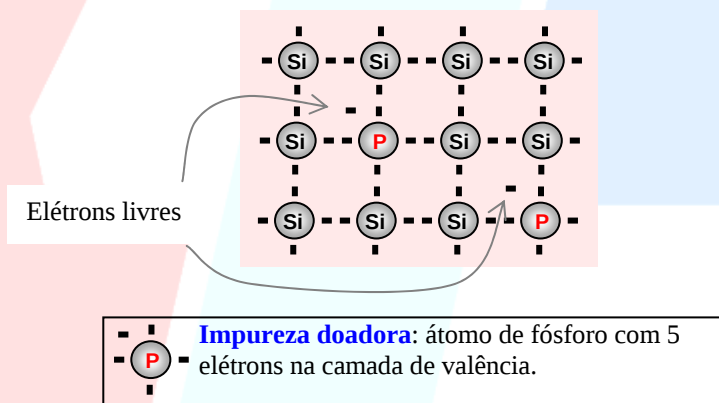


Figura 12 – Semicondutor tipo N - Cristal de silício dopado com impurezas pentavalentes

Os átomos pentavalentes utilizados para dopar o cristal de silício são chamados freqüentemente de **impurezas doadoras**, pois são átomos diferentes acrescentados ao cristal e que “doam” elétrons para a banda de condução.

Exemplo de impurezas doadoras:

As	Arsênio	Todos com 5 elétrons na camada de valência
Sb	Antimônio	
P	Fósforo	

♦ **extrínseco** - exterior; que não pertence à essência de uma coisa.



SEMICONDUTOR TIPO-P

A obtenção de semicondutores com lacunas adicionais é conseguido adicionando-se impurezas trivalentes ao cristal de silício.

Como cada átomo **trivalente** tem somente 3 elétrons na órbita de valência, com a ligação covalente com os 4 átomos vizinhos de silício, obtém-se apenas 7 elétrons na órbita de valência.

Em outras palavras, aparece uma lacuna em cada átomo de impureza trivalente.

Controlando a dopagem (quantidade de impurezas adicionada ao silício) pode-se controlar o número de lacunas no cristal dopado.

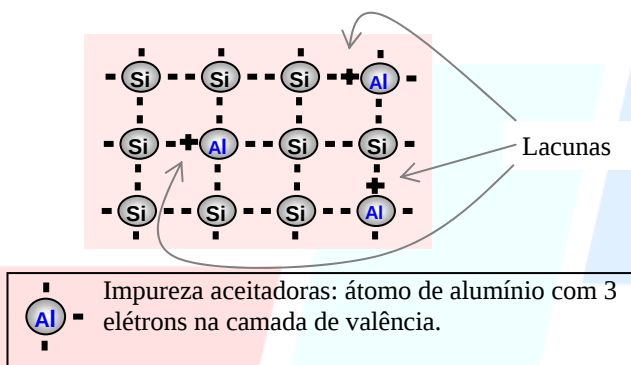


Figura 13 – Semicondutor tipo P - Cristal de silício dopado com impurezas trivalentes

Um semicondutor dopado com **impureza trivalente** é conhecido como **semicondutor tipo-P**.

A letra P vem de positivo, em referência às lacunas que estão em número muito maior que os elétrons da banda de condução. Lembramos que os elétrons da banda de condução são aqueles gerados por energia térmica.

Portanto, as lacunas são os **portadores majoritários**♦ em um semicondutor tipo-P, enquanto os elétrons de condução são os **portadores minoritários**♦. Os átomos trivalentes também são conhecidos como átomos de **impurezas aceitadoras**, pois cada lacuna que eles fornecem ao cristal de silício pode aceitar um elétron durante a recombinação.

Exemplos de impurezas aceitadoras:

Al	Alumínio	Todos com 3 elétrons na camada de valência
B	Boro	
Ga	Gálio	

JUNÇÃO PN

É possível produzir um cristal de silício com metade tipo-P e metade tipo-N.

Neste caso a **junção** é onde as regiões tipo-P e tipo-N encontram-se.

Um cristal PN como este obtido é comumente conhecido como **DIODO (DoIs eleODO)**. É o primeiro componente eletrônico estudado em Eletrônica.

JUNÇÃO PN NO INSTANTE DE SUA FORMAÇÃO

A representação abaixo é de um Junção PN, onde no lado P temos varias lacunas (portadores majoritários) representadas por + e o lado N possui vários elétrons livres (portadores majoritários) representados por - .

♦ **majoritários** - relativo a maioria.

♦ **minoritários** - relativo a minoria.

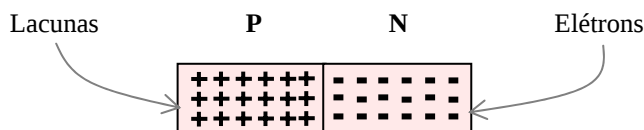


Figura 14 – Junção PN, mostrando lacunas no lado P e elétrons livres no lado N.

JUNÇÃO PN LOGO APÓS A SUA FORMAÇÃO

Logo após a formação da junção, elétrons próximos à junção difundem-se da região N para a região P.

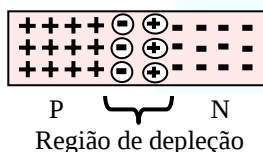
Neste caso, os átomos da região N, próximos à junção, com a saída dos elétrons ficam carregados positivamente, ou seja, tornam-se **íons positivos**.

À medida que um destes elétrons penetra na região P, como é portador minoritário, tem um curto tempo de vida e logo preencherá uma lacuna.

Quando isso ocorre, a lacuna desaparece e o átomo associado à ela torna-se carregado negativamente, ou seja, torna-se **um íon negativo**.

Os íons criados estão **fixos** na estrutura do cristal por causa das ligações covalentes e portanto não podem deslocar-se livremente como elétrons e lacunas.

À medida que os íons aumentam, a região próxima à junção fica completamente sem elétrons e lacunas, ou seja, fica deplecionada*. Esta região recebe o nome de **região de depleção**.



- ⊕ Íons positivos (átomos que perderam elétrons)
- ⊖ Íons negativos (átomos que ganharam elétrons)
- Elétrons livres
- + Lacunas

Figura 14 – Junção PN após o equilíbrio de cargas, mostrando a região de depleção.

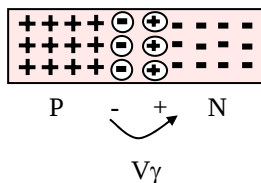
BARREIRA DE POTENCIAL

À medida que os elétrons da região N atravessam para a região P, a camada de depleção aumenta e começa a agir como uma barreira impedindo a continuação da difusão de elétrons.

Este processo se dá devido à barreira negativa de íons formada na região P, que repele os elétrons de volta para a direita (região N, figura 14).

Neste caso cessa o movimento de elétrons e é estabelecido um equilíbrio.

Como temos cargas negativas (íons) de um lado e positivas (íons) de outro é estabelecida uma diferença de potencial através da camada de depleção que é chamada de **barreira de potencial**.



À 25°C, esta barreira de potencial V_γ é de aproximadamente igual a 0,7 Volts para o silício e de 0,3 Volts para o germânio

Figura 15 – Barreira de potencial na junção PN.

Polarizar uma junção PN significa aplicar uma tensão contínua através de suas extremidades.

* **depleção** - Redução de qualquer material armazenada no corpo; esvaziamento.



POLARIZAÇÃO DIRETA

A polarização **direta** acontece quando o terminal positivo da fonte está ligado ao lado do material tipo-P, e o terminal negativo ao lado do material tipo-N.

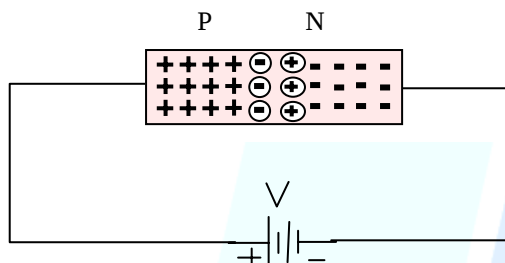


Figura 16 – Polarização Direta da Junção PN.

A polarização direta produz uma alta corrente direta no circuito, em outras palavras, o **diodo está preparado para conduzir**, como mostrado acima.

Isto ocorre porque o terminal negativo da fonte repele os elétrons livres da região N em direção à junção, atravessando-a (se tiverem energia suficiente) até encontrar as lacunas, onde haverá a recombinação.

À medida que encontra as lacunas, tornam-se elétrons de valência e então percorrem o cristal (região P) até atingir a extremidade esquerda, deixando o cristal, e sendo conduzidos, através do fio, ao terminal positivo da fonte.

POLARIZAÇÃO REVERSA

Na polarização reversa de uma junção PN, o terminal positivo da fonte é ligado ao lado N e o terminal negativo ao lado P.

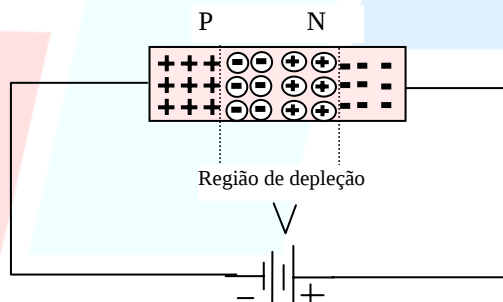


Figura 17 – Junção PN polarizada reversamente, mostrando o aumento da região de depleção.

A polarização reversa força os elétrons livres na região N a afastarem-se da junção em direção ao terminal positivo da fonte e as lacunas da região P a deslocarem-se da junção para o terminal negativo da fonte.

Desta forma, os elétrons que saem deixam mais íons positivos próximos à junção, e as lacunas ao se afastarem, deixam mais íons negativos.

Portanto, **a camada de depleção fica mais larga**, aumentando até que sua tensão se iguale à tensão da fonte.

Quando isto acontece, elétrons livres e lacunas param seu movimento e **não é possível a condução de corrente elétrica**, de valor considerável para uso prático, pela junção PN.

CORRENTES DE PORTADORES MINORITÁRIOS

Quando a junção é polarizada reversamente, mencionamos acima que *não há uma corrente elétrica considerável para uso prático* porque na verdade há uma corrente muito pequena que circula pelo circuito.

Esta corrente **é criada pela energia térmica** que cria continuamente pares elétrons-lacunas em ambos os lados da junção, que são os portadores minoritários, *conforme já visto*.



É denominada de **corrente reversa (I_r) ou de saturação** e depende exclusivamente da temperatura, ou seja, se for aumentada a tensão reversa da fonte não haverá aumento considerável do número de portadores minoritários.

- A corrente reversa I_r é da ordem de nanoampères à 25°C.
- A corrente reversa I_r dobra a cada aumento de 10° C de temperatura.
- Um diodo de silício tem um valor de I_r muito menor que um diodo de germânio

TENSÃO DE RUPTURA

Se a **tensão reversa** aplicada à junção PN (*que já podemos chamar de diodo*) for aumentada, atingirá um ponto de **ruptura**, chamado tensão de ruptura (V_r) do diodo.

Neste momento o diodo conduzirá intensamente e será danificado pela **excessiva potência dissipada**.

De onde provêm os portadores de carga para a condução do diodo polarizado reversamente? Os elétrons livres produzidos termicamente dentro da camada de depleção são empurrados para a direita (*vide figura 17, acima*) devido à polarização reversa.

Quanto maior a tensão de polarização, maior a energia de cada elétron.

Um destes elétrons pode colidir com um elétron de valência, e dependendo da energia, pode arranca-lo do átomo (este recebe energia e vai para a banda de condução), tornando-se livre.

O processo continua e agora são dois elétrons que podem ser acelerados (pela tensão da fonte) e podem desalojar outros dois elétrons de valência.

E o mecanismo se repete, até ocorrer uma avalanche total, ou seja são gerados grande quantidade de elétrons livres acelerados em direção ao terminal positivo da fonte.

Desta forma chega-se à ruptura do diodo devido à corrente excessiva.

Para diodos de pequena potência, a tensão reversa é geralmente maior que 50 Volts.

O DIODO EM CORRENTE CONTINUA

Para a obtenção do componente conhecido comercialmente por diodo é necessário que seja colocada uma capa isolante (encapsulamento) e os respectivos terminais à junção PN.

Na prática este componente conduz corrente quando polarizado diretamente e não conduz, caso contrário.

A figura abaixo mostra a simbologia do diodo com a designação usual dos terminais.

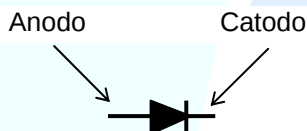


Figura 18 – Simbologia do diodo e indicação de seus terminais.

Os diodos **são classificados** segundo sua utilização e construção, de modo que as propriedades e a estrutura da junção possam ser exploradas diferentemente a fim de permitir que sejam obtidos diversos tipos de diodos.

Os diodos retificadores são divididos em duas categorias:

- (a) **baixa potência**
- (b) **alta potência.**

A diferença entre os dois encontra-se nos requisitos de resfriamento e isto determina o tipo de encapsulamento usado.

A capacidade de transporte de carga pode ser aumentada pelo aumento da área da junção ou pela montagem do diodo num **dissipador** de calor.

Os diodos de baixa potência são mais comuns e normalmente são utilizados nos circuitos simples; um dos tipos de diodo de potência é do tipo "avalanche", que usa uma junção produzida por difusão.

Quando submetido a grandes tensões reversas a junção inteira se rompe ao mesmo tempo, de modo que a corrente reversa seja conduzida de maneira uniforme sobre a área da junção, evitando a formação de pontos quentes.

♦ **reversamente** – que volta ou deve voltar ao primitivo estado; revirado; diz-se das reações químicas que têm limite além do qual não podem ir, porque se realiza ao mesmo tempo a reação em sentido contrário que regenera os corpos primitivos.

♦ **dissipador** – esbanjador; dispersar; esbanjar; desperdiçar; desvanecer.

A figura abaixo mostra diversos tipos de diodos, dentre eles cita-se o primeiro, um diodo de alta potência, o segundo, um diodo de silício e o quinto um diodo de germânio.

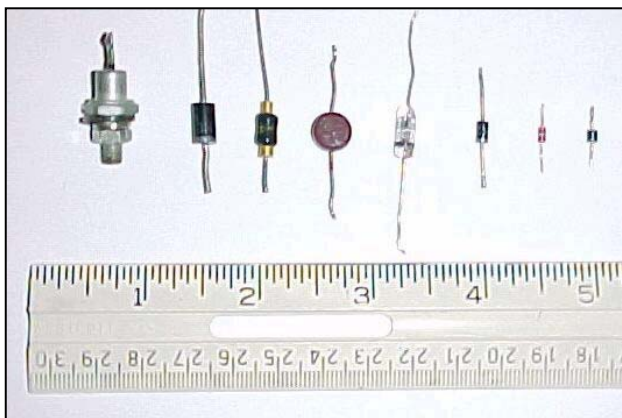


Figura 19 – Diversos tipos de diodos semicondutores.

CURVA CARACTERÍSTICA DO DIODO

Uma forma de entender as características de um diodo é através da descrição da relação entre tensão e corrente através do componente.

Quando se representa as características de um componente através de um gráfico entre tensão e corrente elétrica, obtém-se sua curva característica.

Assim para a obtenção desta curva, monta-se o circuito abaixo, onde variando a tensão sobre o diodo e medindo a corrente que circula sobre ele, pode-se obter a curva da região direta, pois o diodo encontra-se polarizado diretamente.

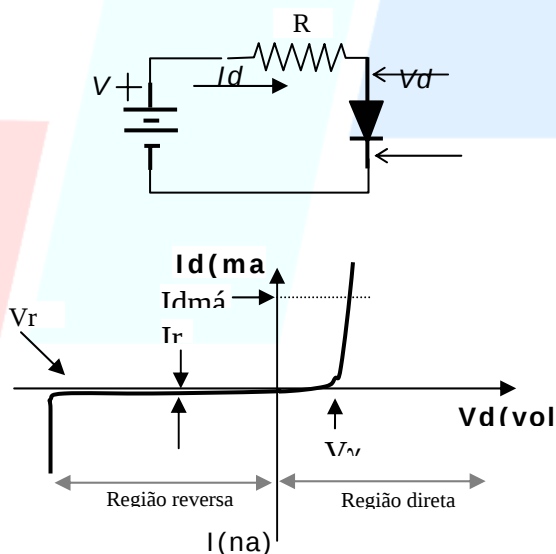


Figura 20 – Diodo polarizado diretamente e curva característica do diodo (região direta e reversa).

Observando a curva, nota-se que para uma tensão aplicada ao diodo menor que V_γ a corrente no diodo é praticamente zero.

Assim o diodo inicia a condução a partir de V_γ , que para o diodo de silício tem valor de aproximadamente **0,7 Volts**.

Esta região da curva é conhecida como **joelho** e a tensão no diodo (V_γ) denominada tensão de joelho ou barreira de potencial do diodo.

A partir do aumento da tensão aplicada ao diodo acima de 0,7 Volts, a corrente direta aumenta rapidamente.

Pelas próprias características do componente, existe um valor que não pode ser ultrapassado sob pena que danificar o diodo.

Esse valor é denominado **corrente de condução direta máxima** do diodo e é especificada pelo fabricante.



Nesta corrente o diodo tem máxima dissipação de potência, o que aumenta sua temperatura. O aumento de tensão sobre o diodo é bem pequeno, como pode ser observado pela inclinação da curva.

Para obter a curva da região reversa, basta polarizar o diodo da figura 20 reversamente, invertendo a bateria.

Desta forma o diodo ficará polarizado reversamente e conduzirá uma corrente muito pequena, denominada corrente reversa e indicada por I_r , como pode ser observado na figura 20.

Observar que a escala para corrente reversa é dada por nanoampère, pois seu valor situa-se nesta faixa, chegando em alguns casos a microampères.

Como já foi visto, esta corrente aumenta com o aumento da temperatura sobre o componente.

Para a maioria das aplicações do diodo pode-se desprezar esta corrente, considerando seu valor igual a zero.

A tensão aplicada ao diodo polarizado reversamente pode aumentar até a um valor máximo denominado máxima tensão reversa ($V_{r\text{máx}}$), ou tensão de ruptura.

Também é conhecida como **Tensão Inversa de Pico**, que em inglês é denominada de **PIV**.

Este valor é especificado pelo fabricante do diodo e não deve ser ultrapassado sob o risco de danificar o componente, através do mecanismo explicado no item que descreve a junção PN polarizada reversamente.

INFLUENCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA SOBRE O DIODO

A temperatura máxima do elemento silício, está por volta de 150°C , enquanto que a do germanio acha-se por volta de 100°C .

Para cada **aumento** de 1°C na temperatura, teremos em decorrência, que a queda de tensão direta **diminui** cerca de $2,5\text{mV}/^\circ\text{C}$.

Para melhor esclarecimentos, daremos a seguir um exemplo.

EXEMPLO:

Um diodo de silício apresenta à temperatura de 25°C , uma queda de tensão no sentido direto de $0,7\text{V}$ a uma corrente de 12mA . Se mantivermos constante a corrente elétrica, qual será a queda tensão direta resultante na temperatura de 115°C ?

Solução:

- 1) $115 - 25 = 90^\circ\text{C}$ (variação de temperatura)
- 2) $90 \times 2,5\text{mV} = 225\text{mV}$ (regra de 3 direta)
- 3) $700 - 225 = 475\text{mV}$ (**resposta**)

CONCLUSÃO: com o aumento da temperatura, sua queda de tensão passou de $0,7\text{V}$ para $0,475\text{V}$, portanto diminui e aumentou o intensidade de corrente elétrica no circuito.

A tabela abaixo mostra alguns diodos, as aplicações a que se destinam e suas características de corrente e tensão reversa máxima.

Tipo	Uso	Corrente	Tensão reserva máxima
1N914	detetor/alta velocidade	75mA	75 volts
1N4148	detetor/alta velocidade	200mA	75 volts
BB119	varicap usado em CAF	XXXX	XXXX
BB809	varicap usado em VHF	XXXX	XXXX
1N4001	retificador	1 A	50 volts
1N4002	retificador	1 A	100 volts
1N4003	retificador	1 A	200 volts
1N4004	retificador	1 A	400 volts
1N4005	retificador	1 A	600 volts
1N4006	retificador	1 A	800 volts
1N4007	retificador	1 A	1000 volt



FIXAÇÃO DA APRENDIZAGEM:

Após estudar toda a UNIDADE I, responda as questões abaixo, caso tenha dúvida, volte ao texto:

1. Toda a matéria é formada por:

- a. ☐ Átomos
- b. ☐ Água
- c. ☐ Ar
- d. ☐ Temperatura

2. Nos átomos, como são distribuídos os elétrons:

- a. ☐ por temperatura
- b. ☐ camadas e subcamadas
- c. ☐ energia
- d. ☐ tamanho

3. Como se chama os elementos que são no núcleo do Átomo:

- a. ☐ neutrino
- b. ☐ prótons
- c. ☐ elétrons
- d. ☐ prótons e nêutrons

4. Como se chama a última camada do Átomo:

- a. ☐ camada subatômica
- b. ☐ camada de valência
- c. ☐ camada de energia
- d. ☐ camada de tratamento

5. É um tipo de ligação atômica:

- a. ☐ subatômica
- b. ☐ datômica
- c. ☐ antiga
- d. ☐ covalente

6. Quando um elétron emite energia é indicativo que ele:

- a. ☐ simplesmente alterou a sua banda de energia
- b. ☐ não houve alteração na banda de energia
- c. ☐ passou de uma banda de energia menor para uma banda de energia maior
- d. ☐ passou de uma banda de energia maior para uma banda de energia menor

7. Quando um átomo possui muitos elétrons livres, ele pode ser considerado:

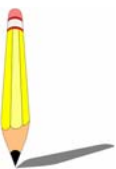
- a. ☐ condutor
- b. ☐ isolante
- c. ☐ semicondutor
- d. ☐ nda

8. Quando há falta de elétrons livres num átomo, ele é considerado:

- a. ☐ condutor
- b. ☐ isolante
- c. ☐ semicondutor
- d. ☐ nda

9. Como conceito de semicondutor, podemos assinalar que:

- a. ☐ materiais que possuem características de condutividade intermediárias entre metal e gases
- b. ☐ materiais que possuem características de condutância intermediárias entre isolantes e condutores
- c. ☐ materiais que possuem características de condutividade de isolantes e condutores
- d. ☐ materiais que possuem características de eletronegatividade de isolantes





10. Na eletrônica os principais semicondutores são:
- ☐ silício e germanio
 - ☐ silício e o boro
 - ☐ germanio e o gálio
 - ☐ boro e gálio
11. Como o silício tem na camada de valência 4 elétrons ele é considerado:
- ☐ trivalente
 - ☐ pentavalente
 - ☐ tetravalente
 - ☐ divalente
12. Quando um átomo tem a mesma quantidade de prótons e elétrons, ele é considerado:
- ☐ eletricamente negativo
 - ☐ eletricamente positivo
 - ☐ polarizado
 - ☐ eletricamente neutro
13. O número atômico de um átomo indica:
- ☐ o número de neutrons
 - ☐ o peso do átomo
 - ☐ o número de prótons
 - ☐ o tipo do átomo
14. Que tipo de ligação se faz entre os átomos de silício:
- ☐ covalente
 - ☐ dativa
 - ☐ iônica
 - ☐ eletrônica
15. Podemos quebrar as ligações covalentes através:
- ☐ frio
 - ☐ aumento da temperatura
 - ☐ congelamento
 - ☐ água
16. Forma-se lacuna devido:
- ☐ deslocamento do elétron da camada de valência.
 - ☐ deslocamento dos elétrons da camada de condução
 - ☐ acréscimo de elétrons na camada de valência
 - ☐ acréscimo de elétrons no núcleo do átomo
17. O desaparecimento de um elétron e de uma lacuna chama-se:
- ☐ descombinamento
 - ☐ volta
 - ☐ repatriamento
 - ☐ recombinação
18. Um cristal feito somente de um único elemento, é chamado de:
- ☐ intrínseco
 - ☐ extrínseco
 - ☐ puro
 - ☐ nda
19. Os semicondutores tipo N e P, são respectivamente formados por impurezas:
- ☐ tipo gasosas
 - ☐ tetravalentes e pentavalentes
 - ☐ aceitadoras e doadoras
 - ☐ doadoras e aceitadoras
20. Quando misturamos um outro material junto com o silício, estamos fazendo:
- ☐ supercondutor
 - ☐ isolante
 - ☐ dopagem
 - ☐ aceitação



21. Quando associamos num único elemento os semicondutores tipo P e N, estamos formando:
- ☐ junção eletrolítica
 - ☐ unijunção
 - ☐ junção PN
 - ☐ nda
22. Na eletrônica, como se chama o componente formado pelas junção PN:
- ☐ capacitor
 - ☐ resistor
 - ☐ potenciometro
 - ☐ diodo
23. Como se chama a diferença de potencial na camada de depleção:
- ☐ barreira eletrônica
 - ☐ barreira de potencial
 - ☐ barreira de protons
 - ☐ barreirta de eletrons
24. Em que condições o diodo conduz:
- ☐ polarização direta
 - ☐ polarização indireta
 - ☐ polarização reversa
 - ☐ polarização negativa
25. O diodo de silício passa a conduzir quando a atinge o potencial de:
- ☐ 0,3 V
 - ☐ 0,5 V
 - ☐ 1,0 V
 - ☐ 0,7 V
26. A corrente de saturação e a tensão reversa aparecem devido a:
- ☐ polarização direta
 - ☐ polarização reversa
 - ☐ polarização indireta
 - ☐ nda
27. A corrente de saturação depende exclusivamente:
- ☐ temperatura
 - ☐ da tensão
 - ☐ do diodo
 - ☐ da corrente
28. O anodo e o catodo, são respectivamente os polos:
- ☐ ionicos
 - ☐ não são polos
 - ☐ negativo e positivo
 - ☐ positivo e negativo
29. Os diodos são divididos em diodos de:
- ☐ alta potencia e baixa potencia
 - ☐ alta tensão e baixa tensão
 - ☐ alta corrente e baixa corrente
 - ☐ de dois terminais e tres terminais
30. Há uma temperatura de 25°C a queda de tensão num diodo devido a polarização direta era de 0,6V, a uma temperatura de 80°C para quanto irá a sua queda de tensão, mantendo a corrente constante.
- ☐ 462,5 mV
 - ☐ 300,15 mV
 - ☐ 256,8 mV
 - ☐ 400,0 mV



UNIDADE II – CIRCUITOS COM DIODOS

DIODOS EM CORRENTE ALTERNADA

CORRENTE ALTERNADA, CARACTERÍSTICAS:

- a) **FREQUENCIA (F):** Toda fonte de corrente alternada tem frequência, que por definição é a quantidade de vezes que um ciclo completo se repete na unidade de tempo (segundo), sua unidade no Sistema Internacional de Medida (SI) é o HERTZ (HZ). A frequência de nossa rede elétrica é de **60HZ**.
- b) **PERÍODO (T):** É o contrário da frequência ($T=1/F$), por definição é o tempo de sinal gasta para completar um ciclo, sua unidade no Sistema Internacional de Medida (SI) é o “segundo”.
- c) **TENSÃO DE PICO (VP):** É a tensão na crista da senóide, o único aparelho que mede a tensão de pico é o **OSCILOSCÓPIO**.



- d) **TENSÃO DE PICO A PICO (VPP):** É a tensão de pico positivo menos a tensão de pico negativo.
- e) **TENSÃO EFICAZ OU RMS (Veficaz OU Vrms):**
É a tensão medida pelos **VOLTÍMETROS**, quando seletados em ACV, representa a energia que um aparelho iria dissipar por efeito Joule em corrente continua sendo ligado em corrente alternada.



Multímetro Analógico

RELAÇÕES:

TENSÃO DE PICO E TENSÃO EFICAZ

$$VP = Veficaz / 0,707$$

Componente eletrônicos como por exemplo os semicondutores (diodos, integrados, transistores, etc...), necessitam de corrente contínua, e como fazer se a tensão da rede elétrica é alternada?



Utilizamos fonte de tensão retificadas.

CIRCUITOS CARACTERÍSTICOS:

Diversos são os circuitos eletrônicos que utilizam diodos com finalidades específicas dentro do circuito. Dentre estes circuitos podemos citar alguns, tais como:

Retificadores – Este tipo de circuito transforma tensão alternada (aquela tensão que alterna de polaridade entre, por exemplo, os terminais de uma carga ou entre dois pontos determinados de um circuito) em tensão contínua (tensão em que sua polaridade permanece constante entre, por exemplo, os terminais de uma carga ou entre dois pontos determinados de um circuito).

Uma tensão alternada pode ser um sinal de voz, numa linha telefônica; uma onda quadrada com amplitude de tensão variando de -12V a $+12\text{V}$; a tensão da rede elétrica, que é do tipo **senoidal**®.

Basicamente, dois tipos de diodos, quanto a sua potência, podem ser utilizados nestes circuitos.

Para retificação de tensão da rede elétrica, geralmente utilizamos diodos denominados retificadores, que podem ser de baixa ou alta potência elétrica, dependendo da corrente desejada para a fonte de tensão (que é o tipo de aplicação mais usual de um circuito retificador).

Para retificação de sinais eletrônicos, tais com sinais de rádio frequência, em um receptor AM; sinal de vídeo, em um aparelho de TV; etc, utilizamos o chamado diodo de sinal.

Estes componentes apresentam baixa potência de dissipação (menor que 0,5 Watts).

Os diodos de sinal ainda podem ser classificados como diodos retificadores de baixo sinal, diodos de RF, diodos de **comutação**® rápida, etc.

Limitadores de tensão – Estes circuitos são utilizados para impor um limite ao nível de tensão de um determinado sinal.

Também é útil para modificar a forma do sinal de tensão quando desejável, limitando o nível acima ou abaixo de um determinado valor de tensão.

Multiplicadores de tensão – São circuitos formados por um ou mais diodos retificadores que produzem tensão contínua com valor múltiplo da tensão de pico do sinal de entrada.

Circuitos grampeadores – É um circuito que soma uma tensão contínua ao sinal de tensão alternado, fazendo com que as oscilações do sinal, anteriormente alternado, fiquem somente positivas ou somente negativas, conforme o que se quer obter.

RETIFICADORES

Os **retificadores**®, como já vimos, são utilizados para eliminar a alternância de polaridade de uma tensão alternada, transformando-a em tensão contínua (observe que contínua **não** significa constante, e sim que sua polaridade não se alterna, ou seja, é fixa), no caso é chamada de **contínua pulsante**.

Para deixar ainda mais claro, é bom imaginar que para uma corrente alternada, a direção da corrente muda a todo momento no circuito, e para uma corrente contínua, a corrente tem um único sentido no circuito.

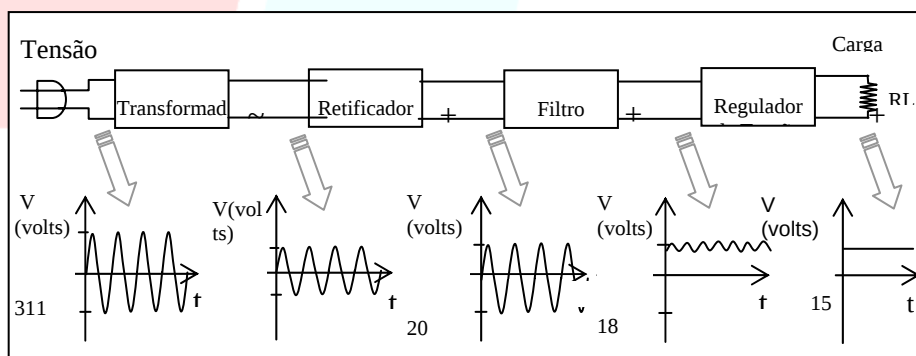


Figura 1 – Diagrama em blocos de uma fonte de tensão comum e as respectivas formas de onda de tensão na entrada da fonte e saída de cada bloco

® **senoidal** – representação gráfica do movimento vibratório

® **comutação** – relativo a troca; chave ou dispositivo para mudar a direção das correntes elétricas.

® **retificadores** – redestilação de um líquido para purificá-lo; conversão de uma corrente alternativa em corrente contínua.



Os retificadores quando utilizados para retificar tensão da rede, na maioria das vezes fazem parte de um circuito conhecido por fonte de alimentação.

As fontes de alimentação utilizam a energia da rede elétrica para fornecer tensão contínua, equivalente à tensão fornecida por pilhas ou baterias.

É bom lembrar que a grande maioria dos circuitos eletrônicos, ou equipamentos eletrônicos (amplificadores, rádio, telefone celular, computadores) utilizam tensão contínua para que possam trabalhar adequadamente.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Existem diversos tipos de fontes de alimentação, quanto à complexidade de seu projeto ou especificações técnicas.

As mais complexas, denominadas fontes chaveadas, utilizam técnicas que não serão abordadas no momento.

Para uma fonte de alimentação comum, pode-se assim retratar sua composição em termos de diagrama de blocos (os blocos são utilizados para representar circuitos ou mesmos componentes elétricos ou eletrônicos, com a intenção de simplificar o que se pretende mostrar).

A figura 1 mostra este diagrama e as formas de onda na saída de cada bloco. Observar que a tensão passa a ser contínua a partir do bloco retificador.

BLOCO TRANSFORMADOR

O bloco transformador é composto somente do componente elétrico transformador, de chave liga-desliga e de elemento de proteção, que na maioria das vezes é um fusível.

A finalidade do transformador é reduzir ou aumentar o valor da tensão, de acordo com a tensão de saída desejada.



BLOCO RETIFICADOR

O bloco retificador é composto por um ou mais diodo, dependendo do tipo de retificador, como será visto nesta parte do curso.

BLOCO DO FILTRO

O bloco filtro é necessário para reduzir as variações de tensão que ocorrem na saída do retificador, entregando uma tensão contínua o mais constante possível para a carga.

Na maioria das vezes é utilizado um único capacitor eletrolítico como filtro, podendo-se também fazer uso de filtros com capacitores e indutores combinados.

Mesmo após o filtro, a tensão apresenta oscilações que depende do valor do capacitor, da frequência da tensão de rede e da corrente que a carga exige da fonte.

É bom ressaltar que, para obter-se uma tensão constante na saída do filtro, dependendo da corrente na carga, o valor do capacitor torna-se impraticável.

BLOCO REGULADOR

O bloco denominado regulador de tensão tem a função, portanto, de eliminar as oscilações resultantes na saída do filtro, de forma a fornecer para a carga uma tensão constante, conforme mostrado na forma de onda na saída da fonte.

Além disso também permite manter a tensão de saída constante, mesmo com variações da tensão da rede, evidentemente dentro de limites definidos.

Alguns reguladores podem também incluir uma proteção contra curto-circuito na saída da fonte.

Os circuitos reguladores de tensão podem ser tão simples quando aqueles que utilizam um regulador Zener (para baixa corrente), circuitos que utilizam reguladores baseados em transistores e ainda reguladores em forma de circuitos integrados, específicos para esta função.

CLASSIFICAÇÃO DAS FONTE DE TENSÃO

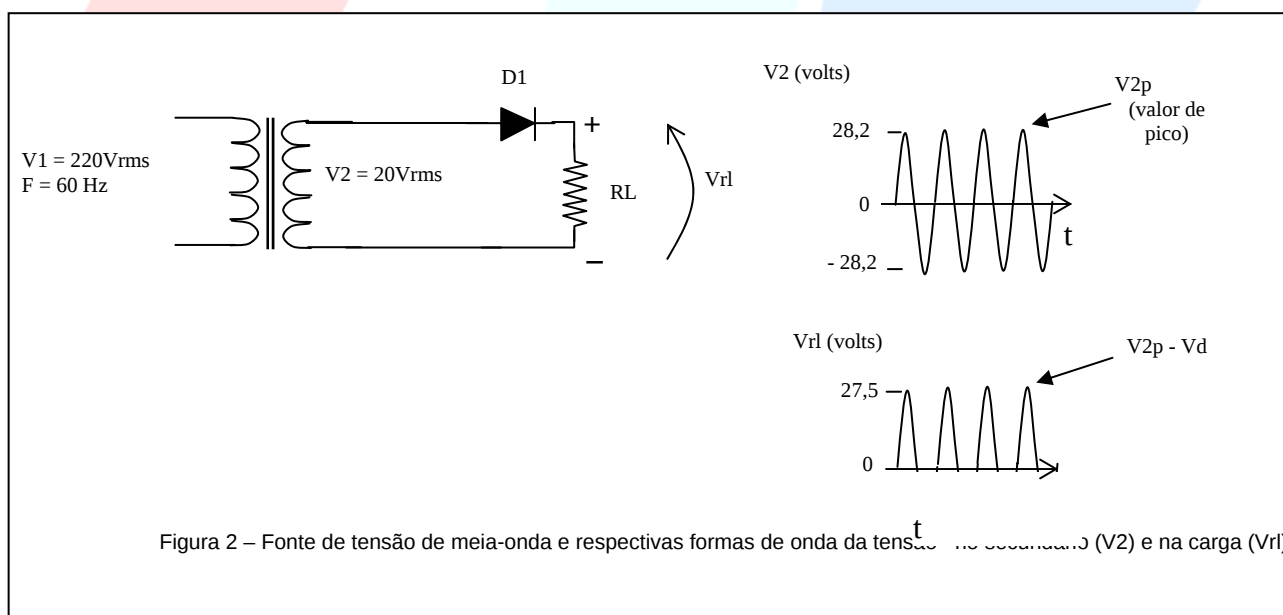
As fontes de alimentação podem ser classificadas pelo tipo de potência em sua entrada e saída:

Entrada	Saída	Denominação
DC	DC	Regulador DC/ conversor DC
DC	AC	Inversor
AC	DC	Fonte
AC	AC	Regulador AC

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS DE UMA FONTE DE TENSÃO

- Regulação
- Limitação de Corrente
- Ondulação e Ruído
- Drift
- Holdup Time
- Crowbar
- Eficiência
- Warm-Up Time
- Inrush Current

RETIFICADOR DE MEIA-ONDA



O retificador de meia-onda é o tipo mais simples de retificador.

É composto de um único diodo retificador de silício.

A figura 2 mostra este retificador onde V1 é a tensão alternada na entrada do transformador, V2 é a tensão alternada na saída do transformador e Vrl é a tensão retificada na saída da fonte, ou seja, é a tensão contínua Vcc.

Observando a tensão V2 pode-se verificar que o diodo está polarizado diretamente para todas as tensão instantâneas maiores que 0,7 Volts e polarizado reversamente para todas as tensões instantâneas menores que zero Volts, ou seja, negativas.

Portanto o diodo conduz corrente no semiciclo positivo da tensão do secundário do transformador, resultando em uma tensão na carga RL ($i \times RL$).

Como no semiciclo negativo o diodo não conduz corrente (considerando a corrente reversa igual a zero) a tensão resultante na carga R_L será zero Volts.

O resultado é mostrado em forma de onda do gráfico $V_{rl} \times t$, da figura 3.

O importante é observar que o retificador de meia-onda converteu a tensão alternada de entrada V_2 em tensão contínua pulsante (denominada V_{rl} ou V_{cc}).

Em outras palavras a tensão na carga é sempre positiva ou zero; isto faz com que a corrente de carga esteja sempre no mesmo sentido, conforme indica a seta do diodo.

Ressalta-se que a tensão máxima na carga tem o valor da tensão de pico V_{2p} menos a queda de tensão no diodo (de acordo com a Lei de Kirchhoff).

Esta tensão não é equivalente a uma tensão contínua de mesmo valor, pois somente em alguns instantes que o valor é máximo e metade do tempo o valor é de zero Volts, ela é chamada de **TENSÃO MÉDIA**.

Para saber a que valor de tensão contínua equivale a tensão obtida na carga, deve-se calcular o valor médio da tensão na carga R_L .

Este valor é dado por:

$V_{cc} = 0,318 \times (V_{2p} - V_d)$, que também pode ser dado por: $V_{cc} = (V_{2p} - V_d) / \pi$, onde:

V_{cc} é a tensão contínua na carga;

V_{2p} é a tensão de pico no secundário do transformador;

V_d é a queda de tensão no diodo V_d .

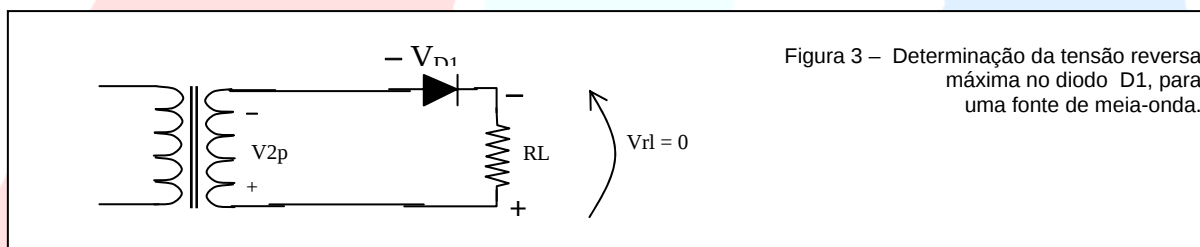


Figura 3 – Determinação da tensão reversa máxima no diodo D_1 , para uma fonte de meia-onda.

É bom lembrar que a tensão média é chamada de tensão contínua V_{cc} (que é o mesmo que V_{rl}) porque é este valor que indicaria um voltímetro de corrente contínua (cc) ligado através do resistor de carga.

Para exemplificar o funcionamento do circuito da figura 2, pode-se atribuir os seguintes valores:

$V_2 = 220V_{rms}$.

Supor um transformador rebaixador de tensão, com tensão de secundário $V_2 = 20V_{rms}$.

$R_L = 10\Omega$.

Portanto o valor de pico de V_2 é:

$V_{2p} = 1,41 \times 20$. Portanto, obtém-se $V_{2p} = 28,2V$.

$V_{2p} = \sqrt{2} \times v_{rms}$

O valor da tensão contínua na carga será: $V_{cc} = 0,318 \times (V_{2p} - V_d)$, $V_{cc} = 0,318 \times (28,2 - 0,7)$

Então, tem-se: $V_{cc} = 8,75V$.

O valor da corrente contínua na carga pode ser obtido por:

$I_{cc} = V_{cc}/R_L \rightarrow I_{cc} = 8,75/10 \rightarrow I_{cc} = 0,875A$ ou $875mA$.

Esta é também conhecida como corrente média na carga, às vezes sendo indicada por I_m .

A frequência na saída da fonte é igual a 60 Hz, pois tem o mesmo período da tensão alternada na entrada da fonte (tensão da rede).

ESCOLHA DO DIODO A SER UTILIZADO NO RETIFICADOR.

Para determinar o diodo a ser utilizado no retificador deve-se levar em consideração as características elétricas da fonte e as especificações elétricas máximas do diodo, onde a corrente direta máxima e a tensão reversa são as mais importantes.

Assim, o diodo a ser escolhido deve possuir uma corrente direta máxima ($I_{dMáx}$), que é a máxima corrente que o diodo suporta, maior que a corrente média (I_{cc}) que circula no diodo.

Pelo fato do diodo estar em série com a carga, a corrente média no diodo será igual a corrente média na carga. Portanto, o diodo a ser escolhido deve ter $I_{dMáx} > I_{cc}$ do circuito.

Para a determinação da tensão reversa que um diodo suporta numa fonte de meia-onda, deve-se analisar as tensões no circuito no **instante** em que o diodo está reversamente polarizado.



Neste momento, não há tensão na carga ($V_{rl} = 0$), e de acordo com a Lei das Tensões de Kirchhoff, toda a tensão do secundário do transformador (V_{2p}) deve aparecer através do diodo, como mostra a figura 3, abaixo.

Portanto, o diodo a ser escolhido deve ter tensão reversa (V_r), que é o mesmo que tensão inversa de pico (PIV), maior que a tensão máxima reversa que o diodo suporta no circuito, para se evitar o rompimento deste componente.

Os valores para corrente direta máxima ($I_{d_{máx}}$) e tensão reversa (V_r) dos diodos estão contidos nas folhas de dados (data sheets) que são parte dos manuais (data books) emitidos pelos fabricantes de diodos.

Outro dado importante é a potência máxima dissipada pelo diodo, que pode ser utilizada quando não se souber da corrente direta máxima do diodo ou esta não for fornecida pelo fabricante.

Assim $P_{d_{máx}} = I_{d_{máx}} \times V_d$, onde V_d é a tensão de condução do diodo quando a corrente neste for $I_{d_{máx}}$ ou aproximar para 0,7 Volts, no caso do diodo de silício, na falta do valor exato de V_d .

RETIFICADOR DE ONDA-COMPLETA

Os retificadores de onda completa são aqueles em que a tensão de saída apresenta tensão com única polaridade apresentando dois pulsos completos por ciclo, positivos ou negativos, conforme a fonte seja de tensão positiva ou negativa.

Existem dois tipos de retificadores de onda completa: um que utiliza obrigatoriamente um transformador em que o enrolamento do secundário tem uma derivação central e outro que utiliza diodos ligados em ponte.

Neste último há a possibilidade de se fazer ou não uso de um transformador.

RETIFICADOR DE ONDA-COMPLETA UTILIZANDO TRANSFORMADOR COM DERIVAÇÃO CENTRAL

A figura 4, a seguir, mostra um retificador de onda-completa com transformador que utiliza uma derivação central, indicado pelo terminal "b".

Este retificador, mostrado na figura 4B, é composto pelos diodos D1 e D2 e tem como carga R_L . A tensão de entrada V_1 é mostrada na figura 4A, onde V_{1p} é o seu valor de pico, sendo $V_{2p}/2$ a metade do valor de pico da tensão em cada um dos secundários do transformador, como mostram as figuras 4C e 4D.

Considerando o primeiro ciclo da tensão de entrada V_1 , vê-se que o diodo D1 conduz pois a tensão V_{ab} é positiva e D2 corta (não conduz) pois V_{bc} é negativa.

Portanto, a corrente que sai do secundário do transformador, ponto "a", passa por D1, entra pela carga e retorna ao transformador através do terra, chegando ao ponto "b", fechando assim o circuito.

Isso implica em um semiciclo de tensão positiva na carga, cujo valor de pico é de $V_{2p}/2$ menos a queda no diodo D1.

Quando a tensão de entrada V_1 estiver no semiciclo negativo, D2 conduzirá pois a tensão V_{bc} será positiva e D1 irá cortar, pois V_{ab} tomará valor negativo, conforme mostram as figuras 4C e 4D.

Assim a corrente que sairá do ponto "c" passará por D2 entrará pela carga R_L , através do terminal positivo e retornará para o transformador passando pelo ponto "b".

Desta forma, outro semiciclo de tensão positiva aparece sobre a carga, cujo valor de pico é de $V_{2p}/2$ menos a queda de tensão no diodo D2, de acordo com o mostrado na figura 4E.

A forma de onda na saída é constituída, portanto, de semiciclos positivos de tensão e tem frequência de 120 Hz. O valor médio da tensão de saída na carga, ou seja, a tensão contínua V_{cc} é dada por:

$$V_{cc} = 2 \times (V_{2p}/2 - V_d) / \pi$$

ou seja:

$$V_{cc} = 0,636 \times (V_{2p}/2 - V_d),$$

onde:

V_{cc} é o valor de tensão contínua na carga;

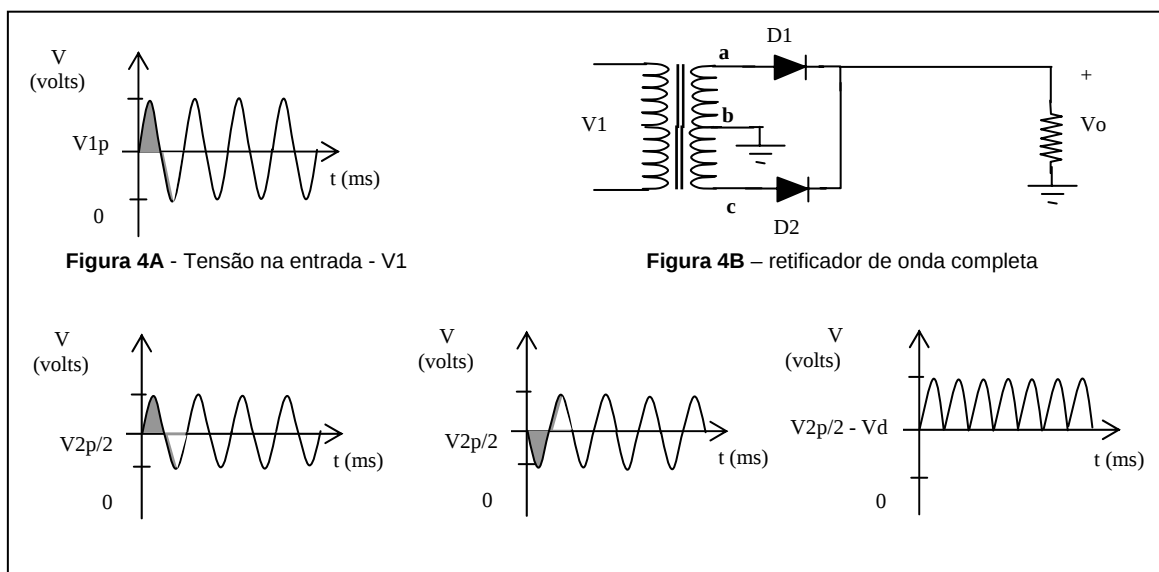


Figura 4A - Tensão na entrada - V1

Figura 4B – retificador de onda completa

V2p/2 é o valor da tensão de pico entre uma extremidade do transformador e o terminal de derivação central;

Vd é a tensão de condução do diodo.

A corrente contínua que circula na carga é calculada por: $I_{cc} = V_{cc} / R_L$

ESCOLHA DO DIODO A SER UTILIZADO NO RETIFICADOR.

A corrente máxima que o diodo irá suportar neste tipo de retificador é dada por $I_{cc}/2$, pois a cada ciclo somente um diodo conduz.

Portanto, o diodo a ser escolhido para o circuito deve ter uma corrente direta máxima ($I_{dMáx}$) maior que $I_{cc}/2$.

A tensão reversa que o diodo irá suportar neste tipo de retificador é dada por V2p.

Isso pode ser obtido tomando a tensão no anodo de D2 no momento da máxima tensão negativa, que é $-V_{2p/2}$ menos a tensão no catodo de D2 no mesmo momento, que é $+V_{2p/2}$.

De outra forma, $(-V_{2p/2} - V_{2p/2}) = -V_{2p}$.

Portanto, deve-se escolher os diodos para o retificador de modo que a máxima tensão reversa do diodo seja maior que aquela que o diodo suporta no circuito ($PIV > V_{r\text{diodo}}$), para se evitar o rompimento deste componente.

RETIFICADOR EM PONTE

Neste tipo de retificador são **utilizados 4 diodos ligados em ponte**.

A forma de onda na saída é igual ao retificador anterior, exceto com relação ao valor de pico, que é maior.

A figura 5 adiante, mostra o retificador, e as formas de onda no secundário do transformador e na carga.

Como funciona o retificador? Considerando-se o semiciclo positivo da tensão de entrada do retificador (tensão V2), o terminal "a" do secundário estará com potencial positivo e o diodo D2 conduzirá enquanto D1 ficará cortado.

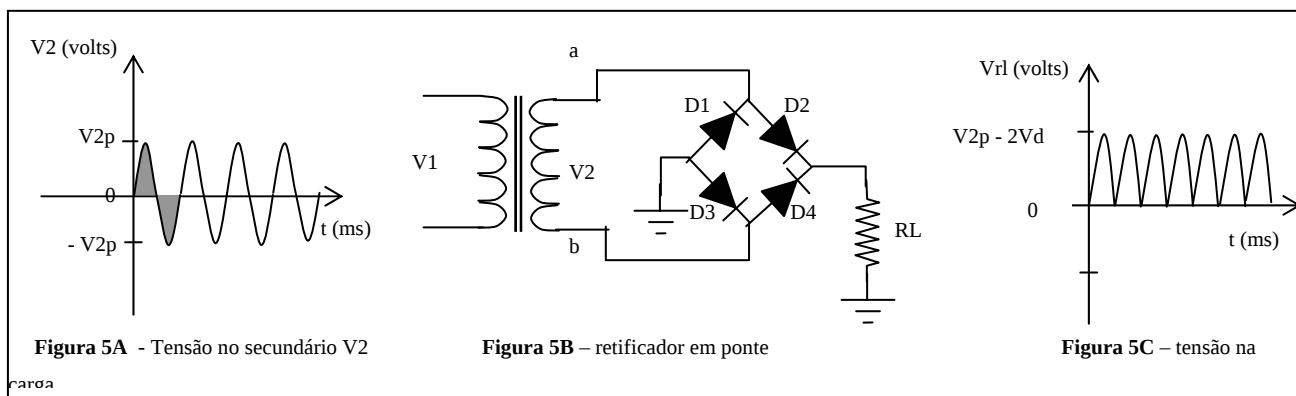
Neste caso a corrente que sai do transformador, através do terminal "a" seguirá por D2, pela carga RL, pois D4 estará reversamente polarizado, atingindo o anodo de D3, através do terra.

Desta forma, D3 irá conduzir, pois D1 estará cortado, como já mencionado.

Finalmente a corrente atinge o ponto "b" passando portanto por D3.

Portanto a tensão gerada na carga terá a forma da tensão V2 menos a queda nos diodos D2 e D3, que estarão conduzindo nesta condição.

Esta tensão pode ser vista na figura 5C.



Para a análise do semiciclo negativo, o ponto “b” estará com potencial positivo em relação ao ponto “a” e neste caso D4 conduzirá, de modo que a corrente passe por ele, a carga RL, chegando ao anodo de D1 através do terra, fazendo-o conduzir, e atingindo o terminal “b” do transformador.

Neste semiciclo, D2 e D3 estarão cortados.

Observar que a corrente na carga RL neste semiciclo tem o mesmo sentido que no ciclo anterior, confirmando a retificação através da ponte de diodos, gerando na carga uma tensão positiva igual a V2 menos a queda nos diodos D1 e D4, como pode ser observado na figura 5C, anteriormente mostrada.

O valor da tensão média na carga, que é o mesmo que a tensão contínua Vcc é dado por:

$$V_{cc} = 0,636 \cdot (V_{2p} - 2 \cdot V_d), \text{ onde:}$$

Vcc é o valor de tensão contínua na carga;

V2p é a tensão de pico no secundário do transformador;

e

Vd é a queda de tensão nos diodos que estão conduzindo.

A corrente contínua que circula na carga é calculada por: $I_{cc} = V_{cc}/R_L$.

ESCOLHA DO DIODO A SER UTILIZADO NO RETIFICADOR.

A corrente máxima que o diodo irá suportar neste tipo de retificador é dada por $I_{cc}/2$, pois em cada ciclo somente dois diodos estarão conduzindo.

Portanto, o diodo a ser escolhido para o circuito deve ter uma corrente direta máxima ($I_{dMáx}$) maior que $I_{cc}/2$.

A tensão reversa que o diodo irá suportar neste tipo de retificador é dada por V2p.

Isso pode ser obtido aplicando a Lei das Tensões de Kirchhoff na malha “secundário do transformador, D1 e D3”. Somando as tensões $V_{2p} + V_{D1}$ (que é a tensão reversa no diodo D1) + V_{D3} (que é a tensão de condução de D3) = teremos que obter valor 0.

Desprezando a tensão de condução de D3 (ou seja fazendo $V_{D3} = 0$) tem-se que:

$$V_{2p} + V_{D1} + 0 = 0 \rightarrow \text{Portanto, } V_{D1} = -V_{2p}.$$

Isto significa que D1 deve ter a tensão reversa de pico (PIV, especificado pelo fabricante) maior que V2p para garantir o funcionamento normal do diodo, sem causar sua ruptura.

Esta análise vale para todos os diodos da ponte retificadora.

RETIFICADORES EM PONTE INTEGRADOS

Os retificadores em pontes são bastante utilizados nos circuitos retificadores. Por isso os fabricantes integram os 4 diodos em um único componente, encapsulado em plástico.

Apresentam-se com 2 pinos de entrada, para a tensão do secundário, geralmente indicados por “~”, e dois pinos de saída para serem ligados à carga., indicados por “+” e “-”, como pode ser observado na figura 6, abaixo.

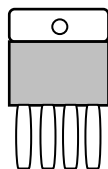


Figura 6 – Circuito de uma Ponte

Um exemplo desta ponte retificadora (bridge rectifiers) é a ponte da Semikron, denominada SKB2 que podem ser do tipo /0x L5A onde x pode ser 02, 04, 08 ou 12, dependendo da tensão reversa V_{rsm} . Todas apresentam corrente de trabalho de 2,5 A à temperatura ambiente de 45 °C.

FILTRO PARA FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Como foi visto anteriormente, os retificadores mostrados apresentam uma tensão contínua de saída em forma de pulsos.

A utilização deste tipo de tensão está limitada à carga de baterias, alimentação de motores CC e algumas outras aplicações.

A maioria dos circuitos eletrônicos necessita realmente de uma tensão CC constante, do mesmo tipo daquela produzida por uma bateria. Para converter tensões de meia-onda e onda-completa em tensão contínua constante, faz-se uso de um filtro.

FILTRO COM CAPACITOR

O filtro utilizado para este caso é um capacitor eletrolítico, que será ligado em paralelo com a carga R_L .

A função do capacitor é armazenar cargas (energia) na presença de tensão de entrada e entregá-la à carga na ausência de tensão de entrada, tornando desta forma mais suave a forma de onda na carga R_L .

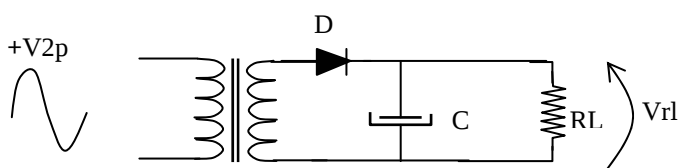


Figura 7A - Retificador de meia onda com filtro a capacitor

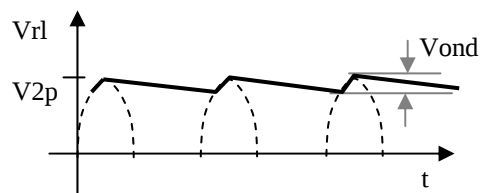


Figura 7B – Forma de onda de tensão na carga R_L

FUNCIONAMENTO

Observando a figura acima, pode-se verificar que durante o tempo em que a tensão V_2 atinge o valor máximo (V_{2p}), o diodo está polarizado diretamente, portanto conduz e carrega o capacitor através da corrente que vem da fonte, com valor de tensão V_{2p} .

Logo depois de passar pelo pico positivo, o diodo para de conduzir, pois a tensão do capacitor se torna maior que a tensão da fonte, que está diminuindo do valor de pico em direção a zero Volts.

Com o diodo cortado, o capacitor descarrega-se através da resistência de carga.

O descrito acima só vai acontecer se a **Constante de tempo** de descarga for muito maior que o período T da tensão de entrada (Constante de tempo é o produto do valor de R_L por C , que é dado em Segundos se R_L for dado em Ohms e C for dado em Faraday).

Devido a este fato, o capacitor perde somente uma pequena parte da sua carga durante o tempo em que o diodo está cortado, como mostra a figura 7B.

Quando a tensão da fonte atinge novamente o seu valor de pico, o diodo conduz durante um curto intervalo de tempo (com início de condução um pouco antes da tensão chegar ao pico) e recarrega o capacitor novamente até a tensão de pico.

Pode-se notar, pela figura 7B, que a tensão na carga (que é a mesma do capacitor) apresenta ondulações causadas pela carga e descarga do capacitor.

Quanto menor a ondulação, melhor é a filtragem. Uma forma de diminuir essa ondulação é aumentar a constante de tempo da descarga ($R_L \times C$).

Como geralmente não se pode controlar R_L (seu valor é inerente ao equipamento ou componente que está sendo alimentando), resta aumentar o valor de C para diminuir esta ondulação.

Para o retificador de onda completa, a análise é a mesma, exceto que o período da onda de tensão é a metade (pois a **frequência é de 120 Hz, o dobro da rede elétrica**), o que implica em menor tempo para o



capacitor descarregar-se, resultando em uma ondulação menor.

CÁLCULO DO CAPACITOR DE FILTRO

O **valor do capacitor de filtro pode ser calculado em função da frequência dos pulsos**, isto é, do tipo de retificador (meia-onda ou onda-completa); do valor da ondulação e do valor da corrente contínua na carga RL.

Assim teremos para o valor do capacitor:

$C = I_{cc} / (f \cdot V_{ond})$, onde:

C é o valor do capacitor, em Faraday;

I_{cc} é a corrente média (contínua) na carga, em Ampère;

f é a frequência na saída do retificador, em Hertz; e

V_{ond} é o valor de pico-a-pico da tensão de ondulação, dada em Volts.

Exemplo:

Um retificador em ponte fornece para a carga uma tensão de 12 V e uma corrente de 200mA, possuindo como filtro um capacitor eletrolítico de 1000uF. Qual o valor da tensão de ondulação na carga?

$V_{ond} = I_{cc} / (C \cdot f)$; $I_{cc} = 200\text{mA} \rightarrow I_{cc} = 0,2 \text{ A}$; $C = 1000\text{uF} \rightarrow C = 0,001 \text{ Farad}$.

$f = 120\text{Hz}$, pois a fonte é de onda-completa.

Portanto:

$V_{ond} = 0,2 / (0,001 \cdot 120) \rightarrow V_{ond} = 1,66 \text{ Volts}$.

Deve-se ressaltar que o capacitor utilizado como filtro é do tipo **eletrolítico**®, sendo portanto **polarizado**, ou seja, deve ser ligado observando a polaridade da tensão.

Também deve ser considerado que a tensão de trabalho do capacitor deverá ser maior que a tensão de pico na saída do retificador.

® **eletrolítico** - fenômeno pelo qual os íons se orientam e se descarregam sob ação de um campo elétrico.



FIXAÇÃO DA APRENDIZAGEM:

Após estudar toda a UNIDADE II, responda as questões abaixo, caso tenha dúvida, volte ao texto:

1. A corrente alternada diferentemente da corrente contínua, possui:

- a. ☐ frequência
- b. ☐ tensão
- c. ☐ corrente
- d. ☐ potência

2. É o tempo que gasta para um ciclo se repetir:

- a. ☐ frequência
- b. ☐ período
- c. ☐ comprimento de onda
- d. ☐ velocidade angular

3. É medida em Hertz:

- a. ☐ tensão
- b. ☐ corrente
- c. ☐ frequência
- d. ☐ potência

4. É a tensão máxima da senoide:

- a. ☐ tensão rms
- b. ☐ tensão de pico
- c. ☐ tensão média
- d. ☐ nda

5. É a tensão lida pelos voltímetros quando seletados em AC:

- a. ☐ corrente rms
- b. ☐ tensão média
- c. ☐ tensão de pico
- d. ☐ tensão eficaz

6. Mede a tensão de pico da senoide:

- a. ☐ osciloscópio
- b. ☐ voltímetro
- c. ☐ amperímetro
- d. ☐ ohmímetro

7. Quanto vale a frequência de um sinal se o seu período é de 10 ms:

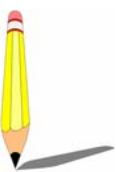
- a. ☐ 10 Hz
- b. ☐ 80 Hz
- c. ☐ 100 Hz
- d. ☐ 50 Hz

8. Num fonte de alimentação tem como finalidade, transformar corrente alternada em contínua:

- a. ☐ diodo
- b. ☐ transistor
- c. ☐ capacitor
- d. ☐ resistor

9. Componente capaz de alterar o nível de tensão da rede elétrica:

- a. ☐ capacitor
- b. ☐ transformador
- c. ☐ indutor
- d. ☐ diodo





10. Diminui as ondulações na saída do retificador:
- ☐ filtro
 - ☐ regulador
 - ☐ transformador
 - ☐ resistor
11. O Filtro capacitivo é formado por capacitores:
- ☐ poliéster metalizado
 - ☐ tantaló
 - ☐ cerâmico
 - ☐ eletrolíticos
12. Se na saída de um transformado temos uma tensão de 15Vrms, quanto vale da tensão de pico (despreze a vírgula):
- ☐ 21V
 - ☐ 20V
 - ☐ 30V
 - ☐ 15V
13. Como circuito característico do diodo temos:
- ☐ grampeador
 - ☐ limitador de frequência
 - ☐ multiplicador de fase
 - ☐ retificador de neutro
14. Quantos diodos temos num retificador em ponte:
- ☐ tres
 - ☐ quatro
 - ☐ dois
 - ☐ um
15. Na saída de um retificador de meia onda, qual é a frequência dos pulso para uma rede elétrica de 60HZ:
- ☐ 100 HZ
 - ☐ 80 HZ
 - ☐ 60 HZ
 - ☐ 50 HZ
16. No retificador em ponte, para efeito de calculo, quanto a vale a queda tensão nos diodos:
- ☐ 1,4 V
 - ☐ 0,7 V
 - ☐ 2,1 V
 - ☐ 1,0 V
17. Como se chama a tensão contínua na saída do retificador:
- ☐ tensão eficaz
 - ☐ tensão alternada
 - ☐ tensão média
 - ☐ tensão de pico
18. Num retificador em ponte, quantos diodos conduzem a cada semiciclo:
- ☐ 2
 - ☐ 3
 - ☐ 4
 - ☐ 1
19. Como se chama uma fonte DC/AC:
- ☐ inversora
 - ☐ reversora
 - ☐ reguladora
 - ☐ fonte
20. A função do bloco regulador na fonte de alimentação é:
- ☐ transformar tensão alternada em continua
 - ☐ manter constante a tensão de saída
 - ☐ manter constante a corrente elétrica
 - ☐ aumentar a potencia da fonte



21. Numa fonte de tensão, o bloco regulador se localiza:
- ☐ entre o transformador e o retificador
 - ☐ entre o retificador e o filtro
 - ☐ entre o filtro e o transformador
 - ☐ depois do filtro
22. É característica da uma fonte de tensão:
- ☐ eficiência
 - ☐ crowbar
 - ☐ regulação
 - ☐ todas as alternativas
23. O que devemos levar em consideração para calcularmos o capacitor de filtro:
- ☐ tensão
 - ☐ potência
 - ☐ frequência
 - ☐ nda
24. No circuito de filtro, o capacitor sempre se carrega com:
- ☐ tensão de pico
 - ☐ tensão média
 - ☐ tensão eficaz
 - ☐ tensão rms
25. Como se chama o lado do transformador que ligamos o circuito retificador:
- ☐ alta tensão
 - ☐ média tensão
 - ☐ primário
 - ☐ secundário
26. Se na saída do transformador temos uma tensão de 9Vrms, quanto teremos na saída de um retificador de meia onda (2 casas depois da vírgula):
- ☐ 4,55 V
 - ☐ 4,00 V
 - ☐ 3,50 V
 - ☐ 3,82 V
27. O retificador em ponte é considerado um retificador:
- ☐ onda completa
 - ☐ meia onda
 - ☐ $\frac{1}{4}$ de onda
 - ☐ nda
28. Na especificação do diodo, seu PIV tem que ser:
- ☐ menor que a tensão reversa calculada
 - ☐ maior que a tensão reversa calculada
 - ☐ igual a tensão reversa calculada
 - ☐ nda
29. Na saída de um filtro capacitivo, está ligado uma carga de resistência igual a 500Ω , se no secundário do transformador de uma tensão de 12Vrms, calcule a corrente elétrica na carga:
- ☐ 34 mA
 - ☐ 40 mA
 - ☐ 30 mA
 - ☐ 44 mA
30. Um retificador em ponte fornece para a carga uma tensão de 15 V e uma corrente de 500mA, possuindo como filtro um capacitor eletrolítico de 680uF. Qual o valor da tensão de ondulação na carga?(Somente o número inteiro).
- ☐ 5,0 V
 - ☐ 3,0 V
 - ☐ 8,0 V
 - ☐ 6,0 V



UNIDADE III – DIODOS ESPECIAIS

DIODOS COM FINALIDADES ESPECÍFICAS

Serão apresentados neste capítulo alguns diodos com finalidades específicas, além dos diodos retificadores apresentados nas unidades I e II.

COMPONENTES OPTOELETRÔNICOS

Estes componentes são resultantes da associação de tecnologia eletrônica com a óptica. São diversos os **componentes optoeletrônicos existentes**, tais como os LEDs, os Displays de 7-segmentos, os fotodiodos, os optoacopladores, entre outros.

DIODOS EMISSORES DE LUZ (LED)

São diodos semicondutores que **emitem luz**, que pode ser visível ou não, através da junção PN quando polarizados diretamente.

No diodo comum quando elétrons da camada de condução (livres) recombina-se com as lacunas da camada de valência, estes elétrons passam de um nível de energia maior para um nível menor, e esta diferença de energia é dissipada na forma de calor.

No LED esta energia é irradiada na forma de energia luminosa, que pode estar no espectro visível (luz vermelha, verde, etc) ou situada no espectro invisível (infravermelho).

Os LEDs são bastante **utilizados como indicadores luminosos** nos circuitos eletrônicos, e substituem com vantagens as lâmpadas que outrora eram utilizadas.

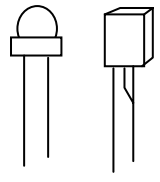
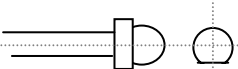
VANTAGENS DOS LEDS SOBRE AS LAMPADAS INCANDESCENTES:

- a) Necessitam de menor corrente para funcionar, portanto menor consumo.
- b) São menores,
- c) Mais duráveis e;
- d) São mais baratos.

Enquanto os diodos comuns são fabricados com silício ou germânio, os LEDs utilizam elementos químicos como Gálio, Arsênio, Fósforo.

Existem LEDs de **cores variadas**, bem como o tamanho, formato e aplicação.

A tabela abaixo mostra algumas características dos LEDs.

Simbologia	Formato	Identificação	Cores
		Anodo: Terminal mais longo  Catodo: indicado pelo chanfro	As cores são resultante do comprimento de onda da radiação do material do qual é constituído o diodo. Infravermelho Vermelho Amarelo Laranja Verde

TENSÃO E CORRENTE NOS LEDS.

Os LEDs apresentam queda de tensão (V_L) típica que pode variar de **1,5 a 2,5 Volts**, dependendo da corrente direta, da cor, da tolerância do LED.

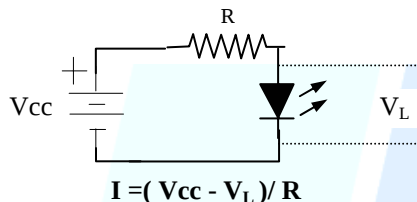
OBS.: Quando não for mencionada a queda de tensão no LED, ou quando não se dispuser dos dados de especificação, utilize o valor da tensão **$V_L = 2$ Volts e $I_L = 10$ mA.**

Geralmente os fabricante de LEDs especificam o valor da tensão de condução, da corrente nominal (ou máxima) do LED e outras características tais como tensão de ruptura, cor, dimensões, ângulo de abertura da emissão de luz e comprimento de onda da luz emitida.

Tipicamente a **corrente direta do LED situa-se entre 10 e 20mA**.

Portanto, para efeitos práticos pode-se utilizar o valor de 10mA para um brilho médio ou 20 mA para um brilho maior, observando sempre para não ultrapassar o valor máximo especificado, em torno de 30 a 50mA.

Portanto, na utilização de um LED, deve ser calculado o valor do **resistor em série** a ser utilizado com o LED, de modo a limitar a corrente no mesmo.



Exemplo:

Calcular o valor do resistor no circuito acima para que o LED acenda com brilho normal. Considere $V_{cc} = 5\text{Volts}$.

$I = (V_{cc} - V_L) / R \rightarrow R = (V_{cc} - V_L) / I$. Então, podemos considerar $I = 10\text{mA}$ e $V_L = 2\text{Volts}$. Isso resulta em um resistor de:

$$R = (5-2)/0,01 \rightarrow R = 300 \Omega.$$

Existem também os LEDs denominados **Bicolores**.

Emitem, por exemplo, luz verde quando estão polarizados em um sentido e luz vermelha quando em outro (como exemplo, o L24R3000).

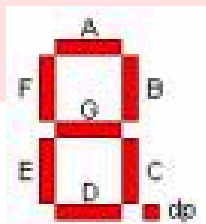
Podem ainda emitir luz laranja (vermelho + verde) quando submetidos à uma tensão alternada.

É também possível encontrar o resistor limitador de corrente já integrado ao LED.

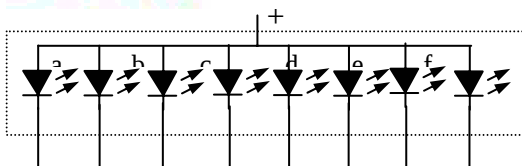
DISPLAY DE 7-SEGMENTOS

Estes mostradores **são utilizados para** indicar números através da composição de segmentos, que acesos indicam o número desejado.

Cada um dos segmentos é um LED como pode ser observado no desenho do display e seu circuito equivalente, mostrado a seguir.



Identificação dos Leds



Os displays podem ser do tipo:

- a) anodo comum
- b) catodo comum.

Nos displays anodo-comum, todos os segmentos têm o anodo (+) ligado a um único ponto comum, que é ligado à uma tensão positiva.

Para acender um determinado segmento, este deve ser aterrado, obviamente depois de ligar o resistor limitador de corrente em cada LED que compõe cada segmento.

Nos displays de catodo comum, os cátodos (-) de todos os segmentos são ligados juntos.

Quando em uso, os cátodos são ligados geralmente ao "terra" e cada segmento acende com a aplicação de tensão positiva nos resistores ligados ao ânodo.

O **display mostrado acima é do tipo anodo comum** e ainda possui o indicador de ponto decimal.

FOTODIODO

É um diodo que **conduz corrente reversa quando** sofre incidência de luz visível ou não.

A corrente reversa nos diodos comuns, como já foi visto, é resultante do **efeito da temperatura** ambiente que gera os pares elétrons-lacunas (portadores minoritários) na junção PN.

Nos fotodiodos a geração de pares elétrons-lacunas é resultante de luz incidente na junção PN.

Por meio de uma janela transparente destes componentes é possível a passagem de luz através do invólucro, atingindo a junção.

Quanto mais luz, mais portadores minoritários são produzidos e maior é a corrente reversa resultante.



Fig 1 - Led torre



Fig 2 - Led Redondo (5mm)



Fig 3 - Led

Alta intensidade



Fig 4 - Led bicolor

catodo comum



Fig 5 - Led quadrado



Fig 6 - Led SMD



Fig 7 - Led infravermelho (3mm)

LONGA DISTÂNCIA



Fig 8 - Led infravermelho (5mm)



Fig 9 - fotodiodo (silício)



Fig 10 - Display 7 segmentos

OPTOACOPLADOR

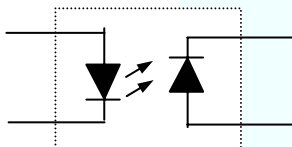
O optoacoplador é também conhecido como **optoisolador**.

É **constituído** por um LED e um fotodiodo numa única embalagem.

Existem diversos outros tipos de optoacopladores que utilizam, ao invés do fotodiodo, outros componentes optoeletrônicos tal como:

- fototransistor,
- o fototransistor Darlington,
- o fotoSCR, etc.

A figura abaixo mostra a simbologia para o optoacoplador com **optodiodo**.



Uma **grande vantagem** na utilização deste componente é a sua alta isolamento entre o circuito de entrada e o circuito de saída.

Desta forma pode ser **utilizado** para interligar circuitos de tensão elevada à circuitos de baixa tensão, com total isolamento entre eles, existindo somente um feixe de luz que liga ambos os circuitos.

DIODO DE SINTONIA E DIODO DE COMUTAÇÃO RÁPIDA

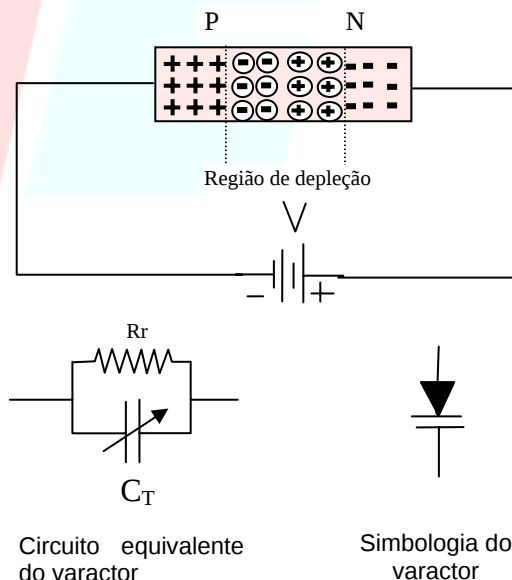
1. Varactor (Varicap ou diodo de sintonia ou ainda diodo de capacitância variável)

É um diodo que apresenta como **característica principal** um valor de capacitância entre seus terminais, sendo que este valor pode ser **controlado** pela tensão reversa a ele aplicada.

Este diodo é muito **utilizado** em receptores de televisão, rádios AM e FM e osciladores.

Quando um diodo é **polarizado reversamente**, sua região de depleção aumenta.

- Em **baixa frequência** comporta-se como circuito aberto,
- Em **alta frequência** ele pode funcionar como um capacitor.



A figura acima mostra uma junção PN reversamente polarizada, onde pode-se observar que a junção PN assemelha-se a um capacitor, sendo as regiões P e N as placas e a região de depleção o dielétrico.

O varactor é um diodo construído com essa finalidade e a capacitância entre os seus terminais é chamada de **capacitância de transição** (C_T), também conhecida como:

- capacitância de junção ou de depleção ou ainda de barreira.



A figura também mostra o circuito equivalente para um diodo com polarização reversa.

Uma **resistência reversa R_r está em paralelo** com a capacitância de transição C_T .

O **funcionamento** deste diodo é simples:

Como a camada de depleção fica mais larga quanto maior a tensão reversa, a capacitância de transição torna-se menor.

É como afastar as placas de um capacitor.

Nos rádios receptores, a **sintonia** de uma emissora é realizada através do ajuste de um capacitor variável (que fica em paralelo com um indutor, configurando o que denominamos de circuito de sintonia ou filtro LC), ajuste este realizado mecanicamente.

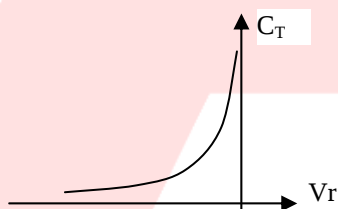
Quando utilizamos um varactor, este ajuste pode ser feito automaticamente, **controlado** através da tensão reversa aplicada ao componente.

Nas especificações dos varactors, o **fabricante** dá um valor de referência da capacitância média a uma dada tensão reversa, tipicamente, -4V.

Por exemplo, a folha de dados de um 1N5142 menciona uma capacitância de 15pF em - 4V. Faixa de sintonia é de 3:1 para uma faixa de tensão de - 4 a - 60V.

Isto significa que a capacitância diminui de 15pF para 5pF quando a tensão reversa varia de - 4V para - 60V.

A figura abaixo mostra um gráfico da tensão reversa *versus* capacitância de transição.



Quando um varactor é ligado em paralelo com um indutor, obtém-se um circuito ressonante cuja frequência sintonizada é dada por:

$$FR = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

A tabela abaixo mostra as especificações de dois varicaps bastante utilizados.

Varicap	Fabricante	V _r max	I _r máx	C _t máx @ V _r = 1V	C _t máx @ V _r = 28V	Razão de C _t mín
BB809	Philips	28 V	10 nA	39-46 pF	4-5 pF	8-10
BB405B	Philips	30 V	10 nA	18 pF	1,8-2,2 pF	7,6

DIODOS SCHOTTKY



Os diodos comuns quando trabalham em **frequências baixas** podem facilmente desligar-se quando a polarização passa de direta para reversa.

No entanto, em **frequências altas** quando o diodo comuta de polarização direta para reversa, devido a grande velocidade de inversão da polaridade, as cargas armazenadas na junção (elétrons no lado P e lacunas no lado N) quando o diodo estava diretamente polarizado, podem fluir no sentido reverso durante um curto período de tempo (devido a nova polarização), dando origem à uma corrente reversa.

O tempo para que um diodo se desligue (passar do estado de condução para o estado de corte) é denominado **tempo de recuperação reversa** (t_{rr}).

Para fazer este tempo bem pequeno foram construídos os **DIODOS SCHOTTKY**, que possuem um tempo de recuperação reversa bastante pequeno (da ordem de pico-segundos), fazendo com que estes componentes sejam **utilizados** em circuitos com altas frequências (aplicações de UHF, VHF, detecção, comutação).

A tensão de condução destes diodos também é menor (0,25V em vez de 0,7V dos diodos comuns).

Por este fato, estes diodos são **também utilizados** como retificadores em fontes de baixa tensão e largamente utilizados em eletrônica digital, na família de circuitos TTL Schottky (S, LS e ALS).



Simbologia: Diodo Schottky

REGULADORES DE TENSÃO

DIODO ZENER

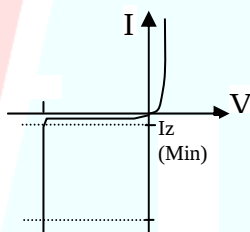
O diodo Zener é um componente que **mantém** a tensão constante entre seus terminais quando a corrente que circula sobre ele varia.

É a peça mais importante dos reguladores de tensão, que são os circuitos que mantêm a tensão da carga praticamente constante apesar de variações na tensão de alimentação e/ou da resistência de carga.

É também chamado de **diodos de ruptura**, pois é otimizado para trabalhar na região de ruptura do diodo, diferentemente dos diodos comuns, que são utilizados na região de condução e longe da tensão de ruptura. (**É POLARIZADO REVERSAMENTE**)

A figura abaixo mostra o símbolo esquemático do diodo Zener. Variando o nível de dopagem dos diodos de silício, o fabricante pode produzir diodos Zener com tensões de ruptura (ou tensão reversa máxima) de 2 a 200 Volts.

Abaixo está também a curva característica de um diodo Zener.



Curva característica do diodo Zener



Simbologia: Diodo Zener

O diodo Zener **pode funcionar** em qualquer uma das três regiões da curva: região direta (como um diodo comum, conduzindo) onde ele começa a conduzir por volta de 0,7 Volts; região reversa ou de fuga (como um diodo comum polarizado reversamente), onde ele apresenta uma pequena corrente reversa; e na região de ruptura (diferentemente dos diodos comuns) que é tipicamente onde o diodo Zener irá trabalhar.

Quando se aplica uma tensão ao diodo Zener fazendo com que entre seus terminais a tensão tenha valor **Vz**, que é a tensão de ruptura do diodo, a corrente no diodo pode variar de um valor **Izmín** até um valor **Izmáx**, sem alteração da tensão nos terminais do diodo (Vz), que é constante em quase toda a região de ruptura.

A tensão **Vz** também é conhecida como tensão Zener e a corrente **Izmín** é o valor mínimo de corrente reversa no diodo para que a tensão entre seus terminais atinja o valor **Vz**. A corrente **Izmáx** é o valor máximo da corrente reversa no diodo Zener ou seja, a corrente máxima que um diodo Zener pode suportar sem exceder a sua especificação de potência máxima (**Pzmáx**).

A tabela abaixo mostra alguns diodos Zener e as respectivas especificações de tensão e potência.

As colunas 1 e 2 são as diferentes designações comerciais dos diodos.



ZENER	SIMILAR	TENSÃO (VZ)	POTÊNCIA (WATTS)
1N746A	BZX79C3V3	3,3	0,5
1N747A	BZX79C3V6	3,6	0,5
1N748A	BZX79C3V9	3,9	0,5
1N750A	BZX79C4V7	4,7	0,5
1N751A	BZX79C5V1	5,1	0,5
1N752A	BZX79C5V6	5,6	0,5
1N753A	BZX79C6V2	6,2	0,5
1N754A	BZX79C6V8	6,8	0,5
1N755A	BZX79C7V5	7,5	0,5
1N756A	BZX79C8V2	8,2	0,5
1N757A	BZXT9C9V1	9,1	0,5
1N758A	BZX79C10	10	0,5
1N962B	BZX79C11	11	0,5
1N759A	BZXT9C12	12	0,5
1N964B	BZX79C13	13	0,5
1N965B	BZX79C15	15	0,5
1N966B	BZX79C16	16	0,5
1N967B	BZX79C18	18	0,5
1N968B	BZX79C20	20	0,5
1N969B	BZX79C22	22	0,5
1N970B	BZX79C24	24	0,5
1N971B	BZX79C27	27	0,5
1N972B	BZX79C30	30	0,5
1N973B	BZX79C33	33	0,5

ZENER	SIMILAR	TENSÃO (VZ)	POTÊNCIA (WATTS)
1N4728A	BZX81C3V3	3,3	1
1N4729A	BZX81C3V6	3,6	1
1N4730A	BZX81C3V9	3,9	1
1N4731A	BZX81C4V3	4,3	1
1N4732A	BZX81C4V7	4,7	1
1N4733A	BZX81C5V1	5,1	1
1N4734A	BZX81C5V6	5,6	1
1N4735A	BZX81C6V2	6,2	1
1N4736A	BZX81C6V8	6,8	1
1N4737A	BZX81C7V5	7,5	1
1N4738A	BZX81C8V2	8,2	1
1N4739A	BZX81C9V1	9,1	1
1N4740A	BZX81C10	10	1
1N4741A	BZX81C11	11	1
1N4742A	BZX81C12	12	1
1N4743A	BZX81C13	13	1
1N4744A	BZX81C15	15	1
1N4745A	BZX81C16	16	1
1N4746A	BZX81C18	18	1
1N4747A	BZX81C20	20	1
1N4748A	BZX81C22	22	1
1N4749A	BZX81C24	24	1
1N4750A	BZX81C27	27	1
1N4751A	BZX81C30	30	1
1N4752A	BZX81C33	33	1

ESPECIFICAÇÕES DO DIODO ZENER

A potência dissipada pelo diodo Zener é dada por:

$$P_{zm\acute{a}x} = V_z \cdot I_{zm\acute{a}x}.$$

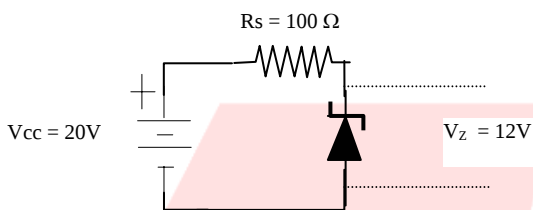
Os diodos Zener comercialmente disponíveis têm especificações de potência que variam de 1/4W até 50W.

Os fabricantes também podem especificar a corrente máxima que o Zener pode suportar .

Esta corrente máxima está relacionada com a potência máxima através de: $I_{zm} = P_{zm}/V_z$, onde a letra “m” significa o máximo daquelas grandezas.

A **característica fundamental** do diodo Zener é sua capacidade de regular a tensão entre seus terminais, mantendo-a constante, mesmo que a corrente que passa sobre ele varie.

A figura abaixo ilustra um exemplo desta aplicação:



O diodo do circuito ao lado é um Zener de 12V, ligado à uma fonte de 20V, através de um resistor limitador de corrente, $R_s = 100 \text{ Ohms}$.

A corrente no diodo nestas condições é:

$$I_z = (V_{cc} - V_z) / R_s.$$

$$\text{Portanto, } I_z = (20 - 12) / 100 .$$

$$\text{Finalmente, } I_z = 80\text{mA}.$$

Se a tensão da fonte, por qualquer motivo, cair para 15V, a tensão de saída V_z permanecerá em 12 V e a corrente no Zener mudará para:

$$I_z = (15 - 12) / 100 , \text{ ou seja } I_z = 30\text{mA}.$$

Portanto, variações na tensão de entrada do circuito, mantêm V_z constante.

Na verdade a tensão V_z pode variar alguns décimos de Volts quando há grandes variações de corrente sobre o diodo Zener.

Observando a curva característica de um Zener (região de ruptura) pode-se notar que existe uma leve inclinação para a esquerda quando a corrente I_z aumenta.

Isto significa que o diodo Zener real tem uma pequena resistência R_z .

Assim uma boa aproximação para o Zener seria uma bateria com valor V_z e uma resistência R_z em série. O valor desta resistência pode ser calculado como:

$R_z = \Delta V_z / \Delta I_z$, onde R_z é a resistência Zener , ΔV_z é a **variação** na tensão Zener e ΔI_z a variação da corrente Zener.

Exemplo:

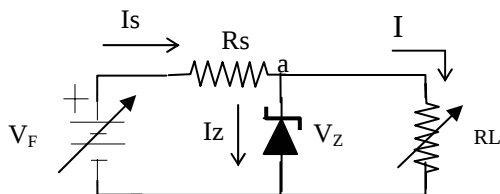
Ao verificar a curva característica de um diodo Zener de 15V, observa-se que quando a corrente $I_z = 10\text{mA}$ a tensão $V_z = 15\text{V}$ e quando a corrente $I_z = 80 \text{ mA}$ a tensão $V_z = 15,12\text{V}$. Qual o valor da resistência Zener ?

$$R_z = \Delta V_z / \Delta I_z, \rightarrow R_z = (15,12 - 15) / (0,08 - 0,01) \rightarrow R_z = 0,12 / 0,07 \rightarrow R_z = 1,71\Omega$$

Para manter uma carga com tensão constante V_L , independente das variações que possa existir da fonte de tensão ou da própria carga, utiliza-se o diodo Zener na forma indicada na figura abaixo.



Diz-se que no circuito mostrado, o diodo regula o valor da tensão através de R_L (carga).



No circuito temos:

V_F : representa uma fonte de tensão variável, ou seja, simula variações de tensão da fonte (variações de rede, ondulação, etc);

R_L : representa uma resistência variável para simular variações da carga (variação com temperatura, cargas com características diferentes, etc);

R_s : Resistor limitador de corrente no Zener;

V_Z : diodo com tensão Zener que se deseja para a carga.

Inicialmente, para que tal regulação seja possível é necessário verificar algumas condições:

1- Qual o valor da tensão da fonte para que o Zener funcione?

Em primeiro lugar tem que ser maior que a tensão desejada na carga.

Para saber o quanto, deve-se observar que R_L está em série com R_s , formando um divisor de tensão.

O valor desta tensão pode ser obtido pelo Teorema de Thevenin.

Para o **funcionamento do Zener na região de ruptura** (portanto, onde ele atua como regulador) V_{th} deve ser maior que V_Z .

2- Quais as relações entre as correntes do circuito? (I_s , I_Z e I_L)

a) O **valor da corrente no resistor** limitador de corrente R_s , é dado pela Lei de Ohm :

b) A **corrente na carga** I_L pode ser obtida também pela Lei de Ohm. $I_L = V_L / R_L$. Como $V_L = V_Z$, então $I_L = V_Z / R_L$.

c) A **corrente no diodo Zener** é obtida aplicando-se a Lei de Kirchhoff para a corrente no nó "a" : $I_s = I_Z + I_L$. Então $I_Z = I_s - I_L$.

3- Quanto aos valores obtidos para a corrente I_Z , deve ser observado:

a) Se a corrente I_Z obtida não é menor que I_{Zmin} para manter o diodo Zener funcionando.

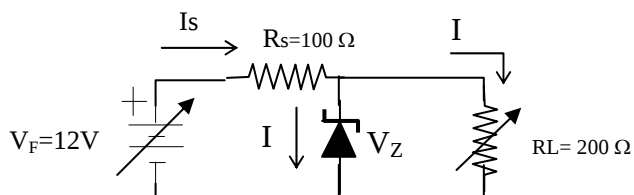
O valor de I_{Zmin} pode ser obtido da folha de dados do fabricante ou uma boa aproximação seria considerá-lo 10% de I_{Zmax} quando não se dispõe do dado;

b) Se a corrente I_Z obtida não é maior que I_{Zmax} , que é a máxima corrente reversa que o diodo Zener suporta, pois se for ultrapassada, o Zener será danificado.

Exemplo:

Considere o seguinte regulador dado abaixo.

Verificar se é possível seu funcionamento e calcular as correntes I_s , I_Z e I_L .



Dados do Zener : $V_Z = 5V$, $I_{Z(Máx)} = 400mA$
 $I_{Z(Mín)} = 10mA$



Inicialmente, verificar a condição $V_{th} > V_z$

$$V_{th} = \frac{R_L}{R_s + R_L} \times V_f ;$$

$$V_{th} = 200 \times 12 / (100 + 200)$$

$V_{th} = 8V$ que é maior que $V_z = 5V$.

Portanto o regulador funciona normalmente, com relação à condição de tensão da fonte.

$I_s = V_s / R_s$;
 $V_s = V_f - V_z$.
Então:

$$I_s = (12 - 5) / 100$$

$$I_s = 70 \text{ mA.}$$

$$I_L = V_L / R_L$$

$$I_L = 5 / 200$$

$$I_L = 25 \text{ mA.}$$

Então:

$$I_z = I_s - I_L$$

$$I_z = 70 - 25$$

$$I_z = 45 \text{ mA.}$$

Observa-se que $I_z < I_z(\text{Máx})$

VARIAÇÕES DA TENSÃO DA FONTE E DO VALOR DA CARGA

Com relação a estas variações, pode-se considerar quatro casos possíveis:

1) Se a tensão da fonte **V_f aumentar**, mantendo a carga constante, teremos:

$V_z \rightarrow \text{constante} \rightarrow V_{R_s}$ aumenta $\rightarrow I_s$ aumenta; como I_L é constante e $I_z = I_s - I_L$ então **I_z aumenta**.

2) Se a tensão da fonte **V_f diminuir**, mantendo a carga constante, teremos:

$V_z \rightarrow \text{constante} \rightarrow V_{R_s}$ diminui $\rightarrow I_s$ diminui; como I_L é constante e $I_z = I_s - I_L$, então **I_z diminui**.

3) Se **R_L aumentar** (o que é o mesmo que I_L diminuir), mantendo a tensão da fonte constante, teremos:

$V_f, V_z \rightarrow \text{constantes} \rightarrow V_{R_s}$ constante $\rightarrow I_s$ constante; como $I_z = I_s - I_L$, então **I_z aumenta**.

4) Se **R_L diminuir** (o que é o mesmo que I_L aumentar), mantendo a tensão da fonte constante, teremos:

$V_f, V_z \rightarrow \text{constantes} \rightarrow V_{R_s}$ constante $\rightarrow I_s$ constante; como $I_z = I_s - I_L$, então **I_z diminui**.

Na prática podemos ter uma combinação destas variações aleatoriamente nos circuitos práticos.

O projeto do regulador deve levar em conta estas variações, escolhendo um **valor adequado para R_s** , que é o resistor que irá controlar a corrente no diodo Zener.

CONDIÇÃO DE CORRENTE MÍNIMA NO DIODO ZENER

Deve-se **garantir** uma corrente mínima no diodo Zener para todas as tensões da fonte e todas as correntes de carga.

O **pior caso** ocorre quando acontece as condições 2 e 4 acima, ou seja, quando a tensão da fonte é mínima e quando a corrente de carga é máxima, ao mesmo tempo.

Isso irá fazer com que a corrente no Zener atinja um valor mínimo.

Neste caso, tem-se:

$$I_z (\text{mín}) = I_s (\text{mín}) - I_L (\text{máx})$$

(Equação 1)

$$\text{O valor de } I_s (\text{mín}) = (V_f(\text{mín}) - V_z) / R_s(\text{máx}).$$



Pode-se extrair $R_s(\text{máx}) = (V_F(\text{mín}) - V_Z) / I_s(\text{mín})$

No pior caso tem-se $I_Z(\text{mín}) = 0$.

Então da Equação 1, tem-se $I_s(\text{mín}) = I_L(\text{máx})$.

Daí pode-se chegar à equação final para o máximo valor de R_s :

$$R_s(\text{máx}) = (V_F(\text{mín}) - V_Z) / I_L(\text{máx}) \quad (\text{Equação 2})$$

Isso significa que deve ser escolhido um valor para R_s que **não ultrapasse** o valor obtido de $R_s(\text{máx})$. Os valores $V_s(\text{mín})$, V_Z e $I_L(\text{máx})$ são os dados do regulador que se quer projetar ou analisar.

CONDIÇÃO DE CORRENTE MÁXIMA NO ZENER

Para evitar que o diodo Zener ultrapasse o valor da corrente máxima especificada pelo fabricante, deve-se analisar o pior caso.

Assim, tem-se:

$$I_Z(\text{máx}) = I_s(\text{máx}) - I_L(\text{mín}) \quad (\text{Equação 3})$$

Para obter o valor de $I_s(\text{máx})$, aplica-se a Lei de Ohm em R_s , obtendo:

$$I_s(\text{máx}) = (V_F(\text{máx}) - V_Z) / R_s(\text{mín})$$

Portanto, extraíndo o valor de $R_s(\text{mín})$ tem-se:

$$R_s(\text{mín}) = (V_F(\text{máx}) - V_Z) / I_s(\text{máx})$$

O **pior caso** para a corrente no Zener ocorre quando a corrente I_Z é máxima.

Para que isso aconteça, observando a equação 3, $I_L(\text{mín})$ deve ser o menor possível, ou seja, $I_L(\text{mín}) = 0$.

Isso faz com que
 $I_Z(\text{máx}) = I_s(\text{máx})$.

Assim, pode-se obter o valor mínimo para R_s , de modo a evitar que a corrente no diodo Zener ultrapasse o valor máximo especificado pelo fabricante ($I_{Z\text{máx}}$):

$$R_s(\text{mín}) = (V_F(\text{máx}) - V_Z) / I_Z(\text{Máx}) \quad (\text{Equação 4})$$

Portanto deve-se sempre escolher R_s de forma que $R_s > R_s(\text{mín})$, para que a condição de corrente máxima, especificada cima, seja satisfeita.

Para resumir, pode-se extrair das equações 2 e 4 uma condição para o resistor R_s :

- deve ser maior que o valor mínimo calculado pela equação 4
- deve ser menor que o valor máximo calculado pela equação 2, que pode ser escrita, em forma matemática:

$$R_s(\text{mín}) < R_s < R_s(\text{máx})$$

REGULADORES DE TENSÃO INTEGRADOS (78XX E 79XX)

Reguladores de Tensão Integrados.

Existem alguns tipos de circuitos reguladores de tensão integrados para se montar uma fonte estabilizada. Um tipo comum e muito fácil de encontrar no mercado é o conjunto 78XX e 79XX.

Os 78XX que são os reguladores positivos e a série 79XX que são os reguladores negativos.

O **sufixo XX** é que determina a tensão de saída.

A **corrente máxima** que eles podem fornecer depende da letra existente entre 78 e o XX, como segue abaixo:

- 78**L**XX – suporta no máximo 200 mA
- 78**M**XX – suporta no máximo 500 mA
- 78XX – suporta no máximo 1,0 até 1,5A
- 78**S**XX – suporta no máximo 2,0A

Os fabricantes orientam que sejam usados 2 capacitores de 1 nano Farad.



Veja a tabela:

Regulador +	VSAÍDA	Regulador -	VSAÍDA-	D VENTRADA (em módulo)
7805	+5V	7905	-5V	$7V < V_{IN} < 25V$
7806	+6V	7906	-6V	$8V < V_{IN} < 25V$
7808	+8V	7907	-8V	$10,5V < V_{IN} < 25V$
7809	+9V	7909	-9V	$10,5V < V_{IN} < 25V$
7812	+12V	7912	-12V	$14,5V < V_{IN} < 30V$
7815	+15V	7915	-15V	$17,5V < V_{IN} < 30V$
7818	+18V	7918	-18V	$21V < V_{IN} < 33V$
7824	+24V	7924	-24V	$27V < V_{IN} < 38V$

Como são fontes de alimentação com corrente máxima de 1A, podemos utilizar diodos 1N4007 para retificação (agüentam até 1000V de tensão reversa) e como elemento de filtragem, o capacitor eletrolítico de 1000 μF , a priori, deve ser suficiente (a tensão de isolação depende da tensão do secundário do trafo).

Um detalhe importante é a colocação de um fusível de proteção logo na entrada do transformador para proteção de todo o protótipo.

Quando o trafo tem 3 fios no secundário dizemos que um deles é a tomada central (TC).

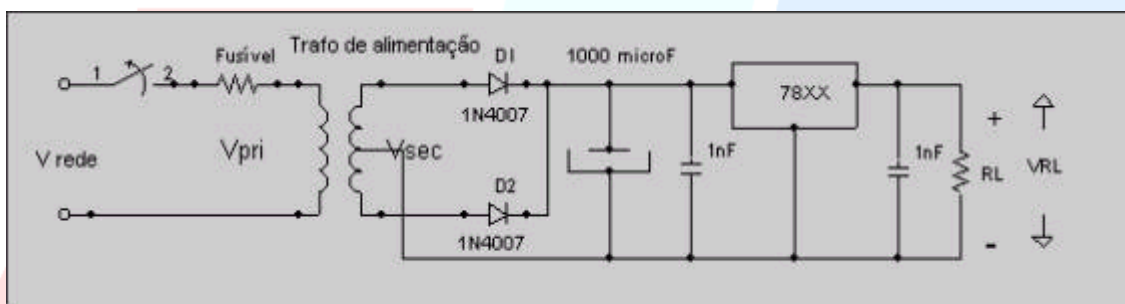


Fig. Fonte de alimentação com retificador em onda completa com TC usando regulador fixo positivo

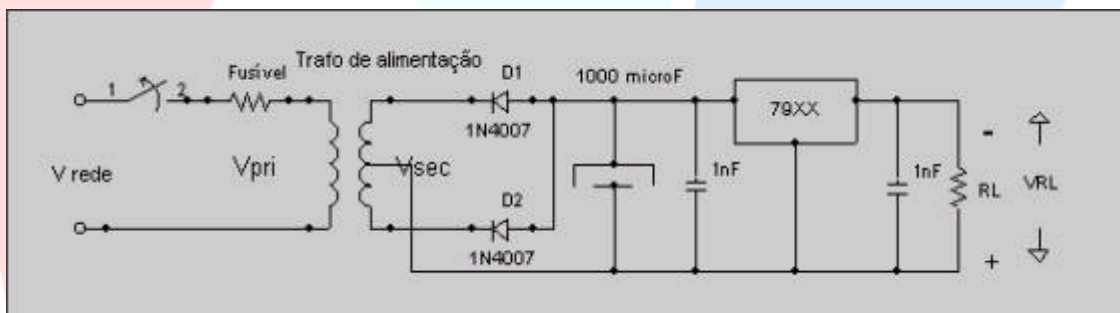


Fig. Fonte de alimentação com retificador em onda completa com TC usando regulador fixo negativo

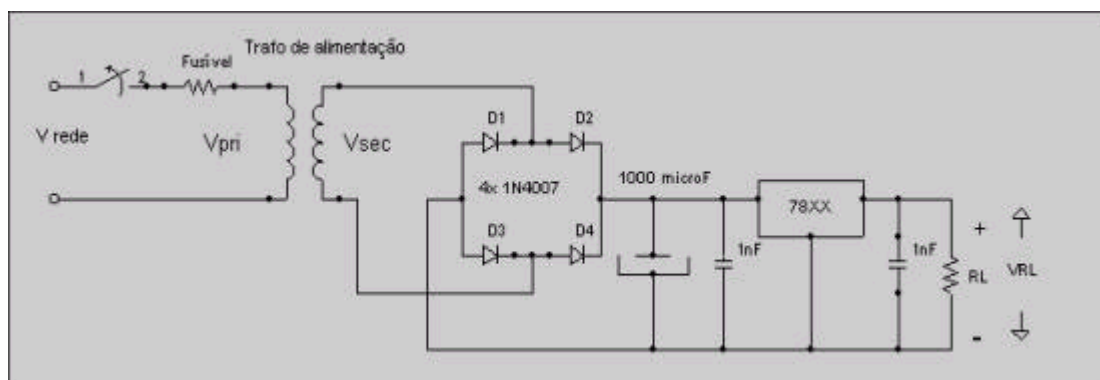


Fig. Fonte de alimentação com retificador em onda completa em ponte usando regulador fixo positivo

Vamos supor que queiramos optar por retificador em onda completa com TC.

Basta seguirmos esta tabela para que possamos construir nossa fonte estabilizada com regulador integrado.



VSAÍDA	Regulador	Transformador	Cap. Eletrolítico	Fusível
+5V	7805	Saída 5+5V 1,5A	1000µF /16V	200 mA
+6V	7806	Saída 7,5+7,5V 1,5A	1000µF /16V	250 mA
+8V	7808	Saída 7,5+7,5V 1,5A	1000µF /16V	250 mA
+9V	7809	Saída 9+9V 1,5 A	1000µF /25V	300 mA
+12V	7812	Saída 12+12V 1,5A	1000µF /25V	300 mA
+15V	7815	Saída 15+15V 1,5A	1000µF /40V	400 mA
+18V	7818	Saída 18+18V 1,5A	1000µF /50V	400 mA
+24V	7824	Saída 24+24V 1,5A	1000µF /63V	500 mA

Algumas Observações importantes:

A tensão na entrada do regulador tem que ser no mínimo cerca de 2V maior regulada de saída, como visto na outra tabela.

Mas essa regra parece não ser seguida pelo que vemos na tabela.

Vamos pegar o exemplo da fonte de 9V.

Pela tabela vemos que o trafo tem 9V no secundário.

Mas esta tensão é AC, a tensão DC resultante vem do valor de pico da tensão do secundário e a tensão de pico é raiz quadrada de 2 vezes maior, ou seja, 12,69V mais do que necessários para o regulador poder trabalhar.

Quando se compra um trafo, não se pode esquecer que a corrente nominal é a corrente máxima que o trafo, a priori, pode fornecer.

Como você não conhece muito bem o fabricante do trafo, vamos utilizar um fator com 50% de folga na corrente de saída, que resulta num trafo com corrente nominal de 1,5A.

Transformadores sofrem de um fenômeno chamado de **regulação**.

A regulação de um trafo **indica** quanto a tensão de saída cai conforme é exigida mais corrente do secundário.

Entenda este exemplo prático.

Não se deve esquecer que a tensão nominal de um trafo de 12V, é a tensão de saída para a corrente nominal, por exemplo, 1A.

Isso significa que se a corrente demandada na saída for menor que 1A, a tensão na saída, neste momento, será maior que 12V (13, 14, 15V...).

Que nos pode causar problemas.

No caso de nossas fontes de 1A, podemos usar trafos de no máximo 2A.

Não se deve utilizar trafos com maior corrente, pois poderemos ter problemas de aquecimento dos CIs reguladores.

O CI regulador deve ser parafusado no dissipador e entre ambos deve-se utilizar pasta térmica (É uma pasta branca vendida em qualquer loja de eletrônica).

O tamanho do dissipador vai depender da caixa em que a fonte vai ser montada.

O fator ventilação é determinante no tamanho do dissipador.

Você vai ter que experimentar.

Dissipadores com base 4cm por 10cm são bem vistos.

Note que a corrente de rompimento dos fusíveis é menor que 1A, o que também pode causar estranheza.

É pelo fato de que nos transformadores conforme a tensão no secundário diminui (neste caso de 127V para 9V) a corrente aumenta, logo, este 1A vai acarretar no primário uma corrente menor.

Um outro tipo de fonte de alimentação é a fonte simétrica.

Ela é capaz de fornecer, ao mesmo tempo, tanto uma tensão positiva como uma tensão negativa.

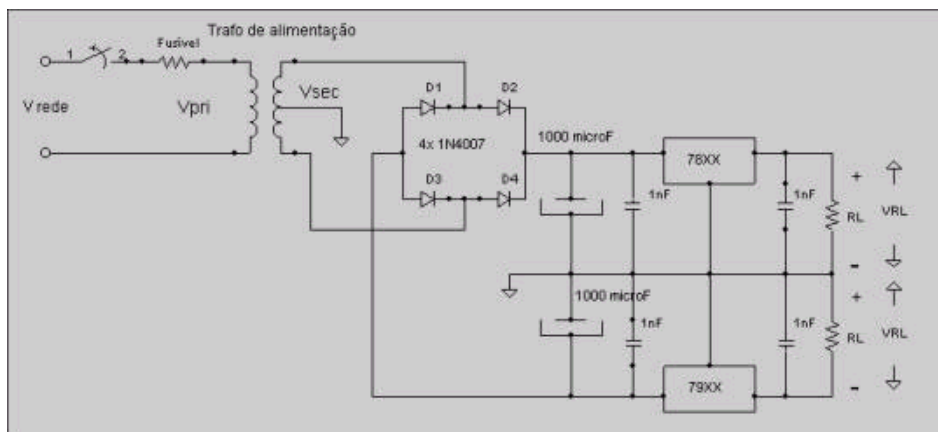


Fig. Fonte de alimentação com retificador em onda completa em ponte simétrica (reguladores + e -)



Para esse tipo de fonte você vai utilizar a tabela seguinte.

VSAÍDA	Reguladores	Transformador	Caps. Eletrolíticos	Fusível
+5V e -5V	7805 e 7905	Saída 5+5V 3A	1000µF /16V	400 mA
+6V e -6V	7806 e 7906	Saída 7,5+7,5V 3A	1000µF /16V	500 mA
+8V e -8V	7808 e 7908	Saída 7,5+7,5V 3A	1000µF /16V	500 mA
+9V e -9V	7809 e 7909	Saída 9+9V 3A	1000µF /25V	600 mA
+12V e -12V	7812 e 7912	Saída 12+12V 3A	1000µF /25V	600 mA
+15V e -15V	7815 e 7915	Saída 15+15V 3A	1000µF /40V	800 mA
+18V e -18V	7818 e 7918	Saída 18+18V 3A	1000µF /50V	800 mA
+24V e -24V	7824 e 7924	Saída 24+24V 3A	1000µF /63V	1000 mA

Algumas Observações importantes:

Note que agora a corrente nominal do trafo deve ser dobrada, pois o mesmo deve alimentar tanto o regulador positivo como o regulador negativo.

Desta forma, a corrente em cada saída, positiva ou negativa, será metade da corrente total.

A corrente em cada diodo continua no máximo 1A, assim podemos continuar usando o diodo 1N4007. Pode-se também utilizar uma ponte de diodos qualquer cuja corrente máxima seja de pelo menos 1A.

Note também que a corrente de fusão dos fusíveis também foi dobrada.

Ajustando Levemente a Tensão de Saída nas Fontes com CIs Reguladores Fixos.

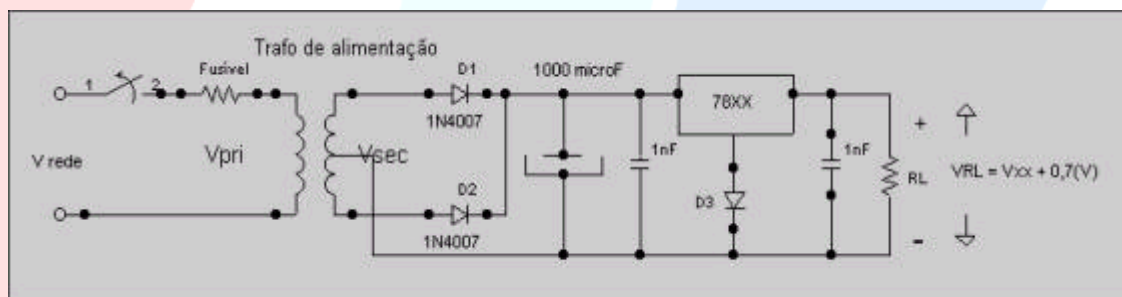
Muitas vezes precisamos alimentar um determinado aparelho com tensões intermediárias, por exemplo, 6,7V. Para esta tensão específica, não existe um regulador próprio.

Existem algumas dicas para alterar levemente a tensão de saída de um regulador fixo.

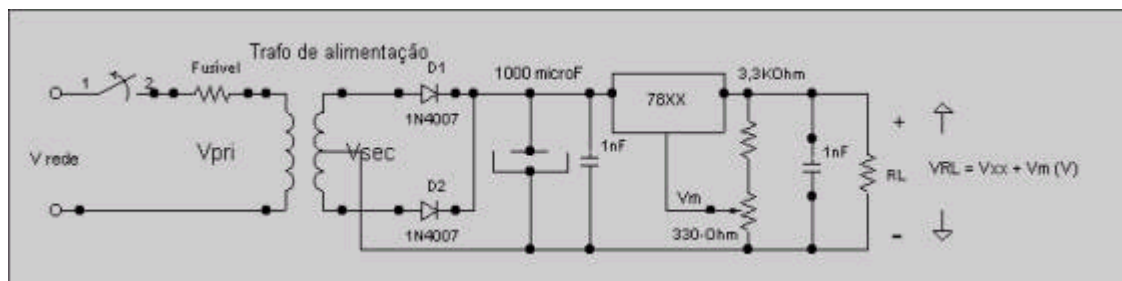
Uma das formas é a inserção de diodos no terminal que deveria ser aterrado.

A inserção de cada diodo de silício eleva a tensão de saída em 0,7V.

Não é aconselhável colocar mais que 3 diodos.



Outra forma de alterar levemente a tensão de saída de um regulador fixo é utilizar um divisor de tensão com trimpot na saída como mostra a figura seguinte.

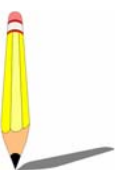




FIXAÇÃO DA APRENDIZAGEM:

Após estudar toda a UNIDADE III, responda as questões abaixo, caso tenha dúvida, volte ao texto:

1. É considerado um componente optoeletrônico:
 - a. ☐ capacitor
 - b. ☐ transistor
 - c. ☐ diodo
 - d. ☐ led
2. Uma das características do led é:
 - a. ☐ emitir luz
 - b. ☐ gerar calor
 - c. ☐ retificador
 - d. ☐ regulador
3. Como utilidade do led temos:
 - a. ☐ regulador de tensão
 - b. ☐ sinalização
 - c. ☐ retificador
 - d. ☐ ionizador
4. É uma vantagem do led em relação as luz incandescente:
 - a. ☐ pouco consumo de energia
 - b. ☐ alto consumo de corrente
 - c. ☐ pouca luminosidade
 - d. ☐ alto custo
5. As várias cores que os leds apresentam, é devido a existencia no seu interior:
 - a. ☐ muito metal
 - b. ☐ muito calor
 - c. ☐ elementos quimicos
 - d. ☐ água
6. Tipicamente, a faixa de tensão de um led é:
 - a. ☐ 0,5 a 1,0V
 - b. ☐ 1,5 a 2,5V
 - c. ☐ 1,0 a 8,0V
 - d. ☐ nda
7. Em série com o led devemos colocar que evitar que ele se danifique:
 - a. ☐ resistor
 - b. ☐ capacitor
 - c. ☐ diodo
 - d. ☐ transistor
8. Cada segmento luminoso do Display de 7 segmentos é um:
 - a. ☐ diodo
 - b. ☐ fotodiodo
 - c. ☐ led
 - d. ☐ fototransistor
9. É um tipo de Display de 7 segmentos:
 - a. ☐ anodo-comum
 - b. ☐ led comum
 - c. ☐ negativo comum
 - d. ☐ caixote





10. O Display de 7 segmentos que é alimentado com o negativo da fonte é:
- ☐ anodo-comum
 - ☐ catodo-comum
 - ☐ terminal comum
 - ☐ cubo
11. Um fotodiodo com corrente reversa quando:
- ☐ alto consumo
 - ☐ baixa corrente
 - ☐ na presença de luz visível ou não
 - ☐ tem elevada tensão
12. Os optoacopladores também são conhecidos como:
- ☐ optoisoladores
 - ☐ transformadores
 - ☐ capacitores
 - ☐ indutores
13. Uma função o optodiodo é:
- ☐ interliga alta tensão com baixa tensão
 - ☐ isola alta tensão da baixa tensão
 - ☐ emite luz
 - ☐ emite calor
14. O outro nome do varicap é:
- ☐ capacitivos
 - ☐ retificador
 - ☐ regulador
 - ☐ varactor
15. Quando o diodo varicap quando submetido a alta frequência, se comporta como:
- ☐ capacitor
 - ☐ indutor
 - ☐ regulador
 - ☐ resistor
16. Como exemplo de diodo de sintonia temos:
- ☐ o diodo varicap.
 - ☐ o diodo retificador
 - ☐ o diodo regulador
 - ☐ o diodo transistor
17. A capacitância no interior do varicap é chamada:
- ☐ capacitancia de tensão
 - ☐ capacitancia de corrente
 - ☐ capacitancia de transição
 - ☐ capacitancia de potência
18. Um diodo especializado em regular tensão é:
- ☐ zener
 - ☐ varicap
 - ☐ led
 - ☐ nda
19. A característica principal de um regulador de tensão é:
- ☐ variar a tensão de entrada
 - ☐ manter constante a tensão de entrada
 - ☐ variar a tensão de saída
 - ☐ manter a tensão de saída constante, quando a tensão de entrada varia.
20. A tensão de regulação de um diodo zener é:
- ☐ V_c
 - ☐ V_z
 - ☐ V_t
 - ☐ V_b



21. Um diodo zener de 5,1V e 1W, suporta uma corrente máxima de:
- ☐ 200 mA
 - ☐ 196 mA
 - ☐ 150 mA
 - ☐ 100 mA
22. Para manter as suas especificações de tensão e corrente num circuito, o diodo zener precisa ser associado a:
- ☐ capacitor
 - ☐ resistor
 - ☐ potenciometro
 - ☐ diodo
23. Para funcionar como regulador de tensão o diodo zener deve ser polarizado:
- ☐ reversamente
 - ☐ diretamente
 - ☐ com alta tensão
 - ☐ com baixa tensão
24. Se na entrada do diodo zener :
- ☐ polarização direta
 - ☐ polarização indireta
 - ☐ polarização reversa
 - ☐ polarização negativa
25. Se polarizarmos o diodo Zener 1N965B como uma tensão de 9V, a tensão de saída será:
- ☐ 9,0 V
 - ☐ 15 V
 - ☐ 6,0 V
 - ☐ 24 V
26. Quando polarizarmos diretamente o diodo zener, ele oferecerá uma queda de tensão de:
- ☐ 0,5 V
 - ☐ 1,1 V
 - ☐ 1,4 V
 - ☐ 0,7 V
27. Os diodos comuns quando trabalham em frequências baixas podem facilmente desligar-se quando:
- ☐ a polarização passa de reversa para direta
 - ☐ a polarização passa de direta para reversa
 - ☐ a polarização passa de anodo para catodo
 - ☐ a tensão passa de direta para reversa
28. A sintonia de uma emissora é realizada através:
- ☐ do ajuste de um indutor variável
 - ☐ do ajuste de um capacitor fixo
 - ☐ do ajuste de um resistor variável
 - ☐ do ajuste de um capacitor variável
29. Como exemplo de luz invisível temos:
- ☐ a infrasonica
 - ☐ a ultrasonica
 - ☐ infravermelha
 - ☐ ultravioleta
30. O símbolo ao lado é referente ao.
- 
- ☐ fotodiodo
 - ☐ diodo zener
 - ☐ diodo varicap
 - ☐ diodo led

UNIDADE IV – TRANSISTOR BIPOLAR

INTRODUÇÃO:

O avanço da tecnologia do estado sólido teve início com o desenvolvimento do *TRANSISTOR*, em 1948, por três cientistas (Shockley, Bardeen e Brattain) do Laboratório de Pesquisas da "Bell Telephone", nos Estados Unidos.

O nome TRANSÍSTOR é uma contração de duas palavras da língua inglesa: **TRANS** fer-res + **ISTOR** (resistência de transferência).

Ele realiza praticamente todas as funções confiadas à válvula eletrônica (detecção, amplificação, oscilação, etc.) porém com inúmeras vantagens: menor peso e tamanho, permitindo montagens mais compactas; ausência de filamentos, dispensando o aquecimento prévio para entrar em funcionamento; menor consumo de potência; operação com tensões bem reduzidas, etc.

Talvez a única desvantagem que o transistor tem, em comparação com a válvula termoiônica, é a sua enorme sensibilidade às variações de temperatura.

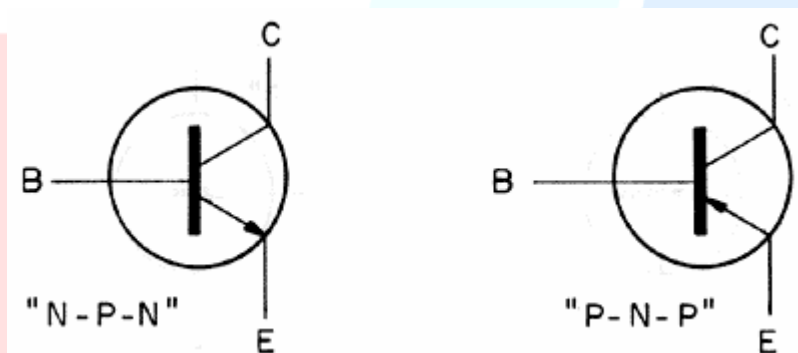


Figura 1: Símbolos utilizados para representar os transistores BIPOLARES

A ESTRUTURA DO TRANSÍSTOR BIPOLAR

O transistor bipolar, cuja estrutura analisaremos a seguir, é o tipo mais comum.

Ele recebe esta denominação de BIPOLAR porque em seu funcionamento participam dois tipos de portadores com cargas opostas: elétrons e lacunas livres.

Este transistor é constituído por três cristais de material semiconductor dopado (cristais extrínsecos), de modo a formar duas junções "P-N".

Desta forma, podemos ter dois tipos de *TRANSISTORES DE JUNÇÃO BIPOLARES*, dependendo do cristal semiconductor intermédio ser P ou N (figura 2).

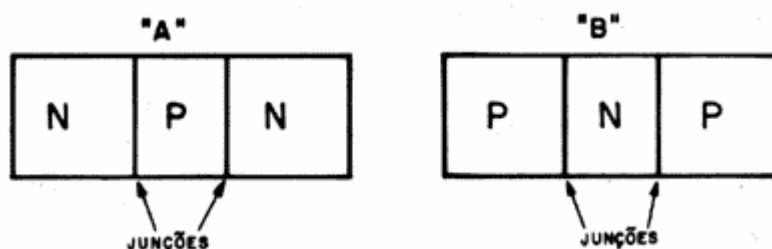


Figura 2: Os dois tipos de transistores de junções bipolares

O transistor "N-P-N" é formado por dois cristais do tipo N e por um cristal intermédio do tipo P, enquanto o tipo "P-N-P" é formado por dois cristais do tipo P e um cristal intermédio tipo N.

Tanto no transistor "N-P-N" como no transistor "P-N-P", a espessura do cristal do centro é bem menor do que a dos cristais dos extremos; ela é da ordem de alguns centésimos de milímetro.

O cristal do centro recebe o nome de BASE (B) e os outros dois cristais são chamados de *EMISSION* (E) e de *COLETOR* (C).

Assim, todo transistor bipolar, seja ele "N-P-N" ou "P-N-P", possui três terminais: *EMISSOR*, *BASE* e *COLETOR* (figura 3), e cada um deles tem um significado especial, de acordo com a função desempenhada pelo correspondente terminal.

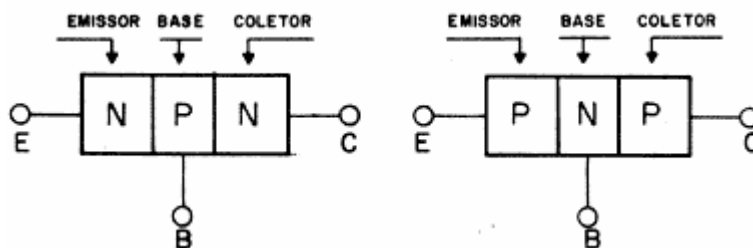


Figura 3: Os três terminais de um transistor bipolar: E = emissor; B = base; C = Coletor

As duas junções do transistor bipolar recebem nomes especiais: *JUNÇÃO BASE-EMISSOR*, formada pelos cristais que constituem a base e o emissor, e *JUNÇÃO BASE-COLETOR*, formada pelos cristais que constituem a base e o coletor.

A figura 4 mostra as duas junções, tanto nos transistores "N-P-N" como nos "P-N-P".

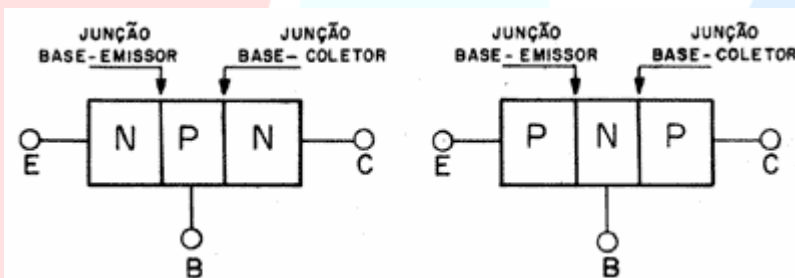


Figura 4: As duas junções de um transistor bipolar

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO TRANSÍSTOR BIPOLAR

Todo transistor bipolar, na situação de funcionamento normal, deve ter as duas junções polarizadas adequadamente.

Primeiramente, vamos supor que a junção base-emissor seja polarizada no sentido direto, de acordo com a figura 5 (a figura 5A mostra um transistor "N-P-N" e a 5B um "P-N-P").

Em ambos os casos, temos uma junção "P-N" polarizada no sentido direto e, quando isto ocorre, a corrente que atravessa a junção é relativamente alta (10 mA).

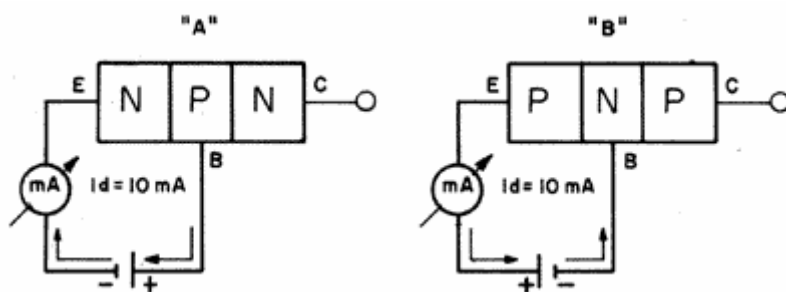


Figura 5: Junção BASE-EMISSOR com polarização direta

Em seguida, imaginemos que a junção base-coletor seja polarizada no sentido inverso, conforme ilustra a figura 6 (a figura 6A mostra um transistor "N-P-N" e a figura 6B um "P-N-P").

Neste caso, temos uma junção "P-N" polarizada no sentido inverso, e a corrente que a atravessa é extremamente reduzida, cerca de 10 μ A (1.000 vezes menor que a corrente direta).

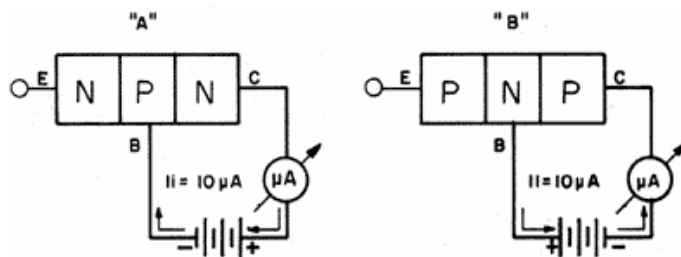


Figura 6: Junção BASE-COLETOR com polarização inversa

Se polarizarmos as duas junções simultaneamente, como geralmente se faz na prática, notaremos que haverá um aumento considerável na intensidade da corrente que atravessa a junção base-coletor, apesar dessa junção estar polarizada da no sentido inverso, segundo se pode observar na figura 7 (a figura 7A mostra um transistor "N-P-N" e a figura 7B um "P-N-P").

Em ambos os casos, a corrente através da junção base-coletor aumentou, passando de 0,01 mA ou 10 μA, para 9,5 mA.

Além disso, pelo terminal da base circula uma pequena corrente (0,5 mA) e pelo terminal do emissor passa uma corrente cuja intensidade (10 mA) é igual à soma das anteriores:

$$9,5 \text{ mA} + 0,5 \text{ mA} = 10 \text{ mA} (I_3 + I_2 = I_1).$$

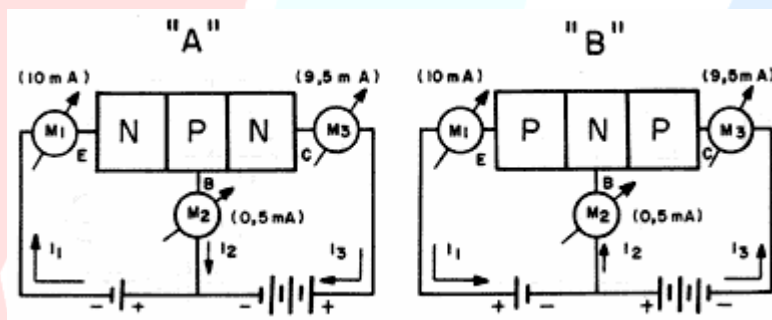


Figura 7: Junções BASE-EMISSOR e BASE-COLETOR com polarizadas simultaneamente.

O fato da corrente medida no terminal do coletor ($I_3 = 9,5 \text{ mA}$) ser praticamente igual à corrente medida no terminal do emissor ($I_1 = 10 \text{ mA}$), apesar da junção base-coletor estar polarizada no sentido inverso, constitui o chamado **EFEITO TRANSISTOR**.

EXPLICAÇÃO DO EFEITO TRANSÍSTOR

Para que se possa entender como ocorre o efeito transistor, convém mencionar duas características muito importantes do transistor bipolar:

1) A região do emissor (cristal N no transistor "N-P-N" e cristal P no transistor "P-N-P") é fortemente dopada. Desta forma, o número de portadores majoritários existentes no emissor será bem maior do que o número de portadores majoritários da base.

2) A região da base (cristal P no transistor "N-P-N" e cristal N no transistor "P-N-P") é feita com uma espessura bem pequena, em comparação com a espessura do emissor e do coletor.

Agora, vamos imaginar que um transistor "N-P-N" seja polarizado adequadamente, isto é, junção base-emissor com polarização direta e junção base-coletor com polarização inversa, conforme vemos na figura 7.

Os elétrons livres, presentes em grande quantidade no emissor (cristal N) e repelidos pelo terminal negativo da bateria V1, deslocam-se em direção à base (cristal P).

Ao atingirem esta base, alguns desses elétrons (cerca de 5%) recombinam-se com as lacunas aí existentes.

Contudo, como a região da base é bastante estreita (sua espessura é da ordem de alguns centésimos de milímetro), a maior parte dos elétrons livres provenientes do emissor (cerca de 95%) conseguem atingir a região do coletor (cristal N), sem se recombinarem com as lacunas da base.

Ao atingirem o coletor, aqueles elétrons livres são rapidamente atraídos pelo terminal positivo da bateria V2.

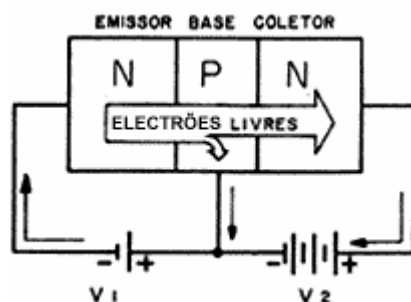


Figura 8: Movimento dos elétrons livres num transistor "N-P-N"

À medida que os elétrons livres do emissor penetram na base, novos elétrons são fornecidos ao emissor pelo terminal negativo da bateria V_1 .

Como apenas 5% desses elétrons do emissor se recombinam com as lacunas da base, verifica-se a passagem de uma corrente bastante reduzida através da base.

É fácil concluir, por tanto, que os principais responsáveis pelas correntes que se estabelecem num transistor "N-P-N" são elétrons livres (figura 8), pois estes portadores estão em maioria, tanto no emissor como no coletor (cristal tipo N).

Na prática, sempre estaremos interessados em fazer com que a corrente que circula pelo terminal do coletor seja a maior possível, o que é conseguido com a alta dopagem do cristal que constitui o emissor e com a espessura bem reduzida do cristal que forma a base.

Como o emissor é fortemente dopado, ele "emitirá" um número bem grande de portadores.

Por outro lado, como a base é bastante estreita, a maior parte daqueles portadores atravessará sua região, atingindo o coletor.

Desta forma, a corrente que passa pelo terminal do coletor será elevada, pois ela é praticamente igual à corrente que passa pelo terminal do emissor.

Para o tipo "P-N-P", a explicação do efeito transistor é praticamente a mesma.

A única diferença é que, neste caso, os principais portadores das correntes que se estabelecem no transistor são as lacunas, porque estas estão em maioria, tanto no emissor como no coletor (cristais tipo P).

A figura 9 ilustra, resumidamente, todo este processo.

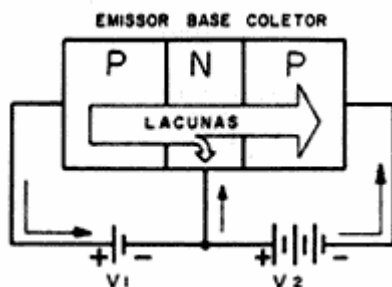


Figura 9: Movimento das lacunas num transistor "P-N-P"

As lacunas do emissor repelidas pelo terminal positivo da bateria V_1 deslocam-se em direção a base.

Como a região desta é bastante estreita, apenas 5% dessas lacunas se recombinam com os elétrons livres aí existentes, e as restantes (95%) penetram no coletor, sendo, então, atraídas pelo terminal negativo da bateria V_2 .

As lacunas que se recombinam provocam uma corrente de intensidade bastante reduzida, a qual passa pelo terminal da base.

Nesta altura, já podemos justificar os nomes dados aos três terminais de um transistor bipolar: **EMISSOR** (E) é o terminal de onde partem (ou são "emitidos") os portadores de corrente (elétrons livres no tipo "N-P-N" e lacunas no tipo "P-N-P"); **COLETOR** (C) é o terminal onde chegam ou são "coletados" aqueles portadores de corrente; **BASE** (B), assim chamada porque nos tipos mais antigos de transistores servia de apoio ou de "base" aos cristais do emissor e do coletor.

POLARIZAÇÕES DO TRANSÍSTOR BIPOLAR

O funcionamento normal de um transistor bipolar ("N-P-N" ou "P-N-P") baseia-se no fato de que as duas junções são polarizadas ao mesmo tempo, da seguinte maneira:

- 1) A junção base-emissor é polarizada no *sentido direto* e, como ela apresenta uma resistência ôhmica muito baixa, também podemos dizer que ela é polarizada no *sentido de baixa resistência* (resistência de cerca de $1\text{K}\Omega$.)

2) A junção base-coletor é polarizada no *sentido inverso* e, neste caso, como ela apresenta uma resistência ôhmica muito elevada, também podemos dizer que ela é polarizada no *sentido de alta resistência*. (esta é da ordem de $1\text{ M}\Omega$).

Tendo em vista estes dois fatos, podemos dizer que o transistor "*transfere*" a corrente de uma região de baixa resistência (junção base-emissor) para uma região de alta resistência (junção base-coletor), recebendo, então, é denominado de **RESISTÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA**.

Na figura 10 temos um resumo das polarizações de um transistor bipolar.

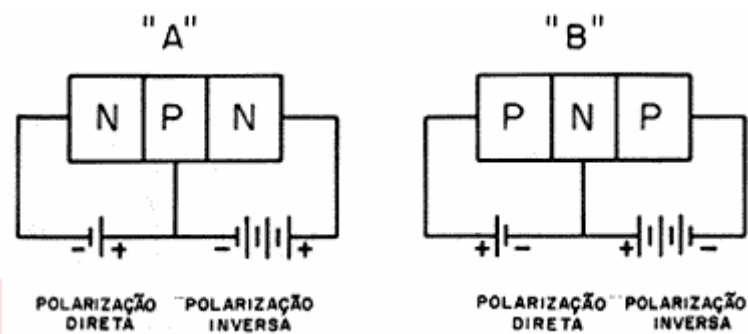


Figura 10: Resumo das polarizações de um transistor bipolar

Existem algumas regras para que se lembre facilmente como se realizam as polarizações de um transistor bipolar.

1) Na polarização direta da junção base-emissor, os pólos da bateria, ligada ao emissor e à base, tem por iniciais, respectivamente, as mesmas letras que indicam o tipo de cristal:

- a) No tipo "*N-P-N*", o polo negativo (N) da bateria é ligado ao emissor (cristal N) e o polo positivo (P) é ligado à base (cristal P).
- b) No tipo "*P-N-P*", o polo positivo (P) da bateria é ligado ao emissor (cristal P) e o polo negativo (N) é ligado à base (cristal N).

2) Na polarização inversa da junção base-coletor, o pólo da bateria, ligada ao coletor, tem por inicial uma letra contrária à que designa o tipo de cristal que constitui o coletor:

- a) No tipo "*N-P-N*", o coletor (cristal N) é ligado ao polo positivo (P) da bateria.
- c) No tipo "*P-N-P*", o coletor (cristal P) é ligado ao polo negativo (N) da bateria.

A Curva de Polarização do Transistor Bipolar de Junção encontra-se no **ANEXO I- CONFORME SUMÁRIO**.

AMPLIFICADORES:

CARACTERÍSTICAS DO AMPLIFICADOR EM EMISSOR COMUM

Na figura 11 temos o circuito típico de um amplificador em emissor comum, com as seguintes características:

V_{bb} é a bateria que alimenta a base e, juntamente com R_1 , polariza a junção base-emissor no sentido direto; V_{cc} é a bateria que alimenta o coletor e, juntamente com R_2 , que é a resistência de carga, proporciona a polarização inversa da junção base-coletor.

O sinal a ser amplificado é acoplado pelo condensador C_1 , à entrada do amplificador, e o sinal de saída (sinal amplificado) é recolhido por intermédio do condensador C_2 .

O circuito com transistor "*P-N-P*" (parte superior da figura 10) é praticamente igual ao circuito com transistor "*N-P-N*" (parte inferior da figura 11); a diferença entre eles é a polaridade das baterias V_{bb} e V_{cc} .

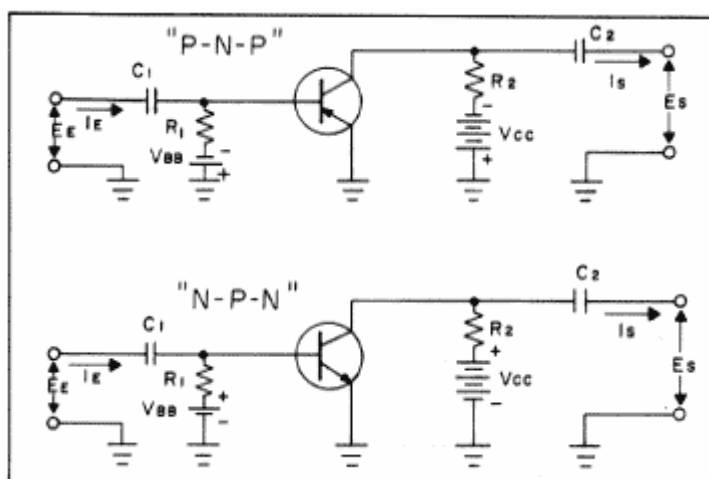


Figura 11: Amplificador em emissor comum características de um amplificador em emissor comum:

a) **IMPEDÂNCIA DE ENTRADA (Z_e)**: por definição, ela é igual ao quociente entre a tensão de entrada (E_e = tensão CA do sinal de entrada) e a corrente de entrada (I_e = corrente CA do sinal de entrada):

$$Z_e = E_e / I_e$$

Para o amplificador em emissor comum, a impedância de entrada está compreendida entre 10Ω e 10KΩ.

b) **IMPEDÂNCIA DE SAÍDA (Z_s)**: por definição, ela é igual ao quociente entre a tensão CA do sinal de saída (E_s), quando a saída está em vazio (isto é, $I_s = 0$) e a corrente CA do sinal de saída (I_s), quando a saída está em curto-circuito ($E_s = 0$):

$$Z_s = E_s \text{ (saída em vazio)} / I_s \text{ (saída em curto)}$$

Para o amplificador em emissor comum, a impedância de saída está situada entre 10KΩ e 100KΩ .

c) **AMPLIFICAÇÃO DE CORRENTE (A_i)**: é o quociente entre a corrente CA do sinal de saída e a corrente CA do sinal de entrada:

$$A_i = I_s / I_e$$

Para o amplificador em emissor comum, a amplificação de corrente está compreendida entre 10 e 100 vezes.

d) **AMPLIFICAÇÃO DE TENSÃO (A_v)**: é o quociente entre a tensão CA do sinal de saída e a tensão CA do sinal de entrada:

$$A_v = E_s / E_e$$

Para o amplificador em emissor comum, a amplificação de tensão está situada entre 100 e 1000 vezes.

e) **AMPLIFICAÇÃO DE POTÊNCIA (A_p)**: é igual ao produto entre a amplificação de corrente e a amplificação de tensão:

$$A_p = A_i \times A_v$$

Para o amplificador em emissor comum, a amplificação de potência está compreendida entre 1.000 e 100.000 vezes.

f) **RELAÇÃO DE FASE**: Num circuito amplificador em emissor comum, ocorre uma defasagem de 180° entre a tensão do sinal de saída e a tensão do sinal de entrada (180° = 180 graus).

CARACTERÍSTICAS DO AMPLIFICADOR EM BASE COMUM

No circuito típico de um amplificador em base comum (figura 12), V_{ee} é a bateria que alimenta o emissor e, juntamente com R_1 , polariza a junção base-emissor no sentido direto enquanto que R_2 e V_{cc} polarizam a junção base-coletor no sentido inverso.

O sinal de entrada é aplicado entre o emissor e a base do transistor, por intermédio do condensador C_1 .

O sinal de saída é obtido entre o coletor e a base do transistor através do condensador de acoplamento C_2 .

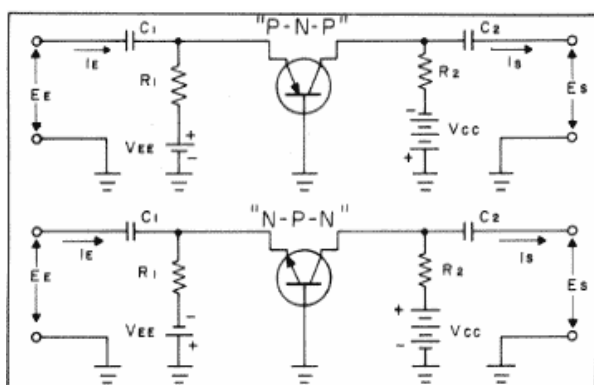


Figura 12: Amplificador em base comum características de um amplificador em base comum:

- a) **IMPEDÂNCIA DE ENTRADA:** entre 10Ω e 100Ω .
- b) **IMPEDÂNCIA DE SAÍDA:** entre $100\text{ K}\Omega$ e $1\text{ M}\Omega$.
- c) **AMPLIFICAÇÃO DE CORRENTE:** é quase igual à unidade (entre 0,95 e 0,99). Portanto, neste tipo de circuito não há amplificação de corrente.
- d) **AMPLIFICAÇÃO DE TENSÃO:** entre 500 e 5.000 vezes.
- e) **AMPLIFICAÇÃO DE POTÊNCIA:** entre 100 e 1.000 vezes.
- f) **RELAÇÃO DE FASE:** não há defasagem entre a tensão do sinal de saída e a tensão do sinal de entrada.

CARACTERÍSTICAS DO AMPLIFICADOR EM COLECTOR COMUM

Temos na figura 13 o circuito típico de um amplificador em coletor comum, também denominado *SEGUIDOR DE EMISSOR*.

O sinal de entrada é aplicado entre a base do transistor e a massa, por intermédio do condensador de acoplamento C_1 .

Entretanto, devido à existência do condensador C_3 (ligado entre o coletor e a massa), o coletor está ao mesmo potencial da massa, no que se refere a CA (lembre-se de que a Reatância capacitiva diminui, à medida que a frequência de CA aumenta).

Desta forma, para os sinais de entrada (sinais de CA), C_3 coloca o coletor em curto com a massa e, consequentemente, o sinal de entrada está efetivamente sendo aplicado entre a base e o coletor.

Quanto ao sinal de saída, ele é retirado por intermédio de C_2 , entre o emissor e a massa, ou seja, entre o emissor e o coletor.

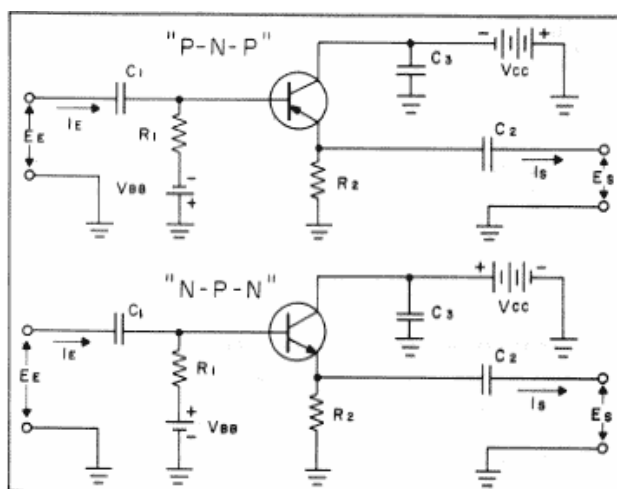


Figura 13: Amplificador em coletor comum (seguidor de emissor) características de um circuito amplificador em coletor comum:



- a) **IMPEDÂNCIA DE ENTRADA:** de $100\text{K}\Omega$ a $1\text{M}\Omega$.
- b) **IMPEDÂNCIA DE SAÍDA:** de 50 a 5000Ω .
- c) **AMPLIFICAÇÃO DE CORRENTE:** de 10 a 100 vezes.
- d) **AMPLIFICAÇÃO DE TENSÃO:** é menor do que 1. Neste tipo de amplificador não há amplificação de tensão.
- e) **AMPLIFICAÇÃO DE POTÊNCIA:** de 10 a 100 vezes.
- f) **RELAÇÃO DE FASE:** não há defasagem entre a tensão do sinal de saída e a tensão do sinal de entrada.

COMPARAÇÃO ENTRE AS TRÊS LIGAÇÕES

A seguir, faremos um resumo sobre as três montagens do transistor bipolar como amplificador, comparando-as entre si.

A ligação em emissor comum é a mais utilizada na prática por possuir melhores características.

Ela fornece uma amplificação de corrente e de tensão que resulta numa amplificação de potência mais elevada.

A ligação *em base comum* fornece uma amplificação de tensão mas não de corrente, enquanto que a ligação *em coletor comum* fornece uma amplificação de corrente mas não de tensão.

É fácil concluir, portanto, que essas duas ligações tem uma amplificação de potência reduzida.

A ligação em base comum encontra alguma aplicação nos amplificadores de frequências elevadas (RF, por exemplo).

A aplicação da montagem em coletor comum é restrita aos casos em que se necessita interligar dois circuitos com impedâncias diferentes.

Esse tipo de circuito é uma espécie de "*adaptador de impedâncias*".

Na Tabela 1 estão resumidas as características de cada uma das montagens estudadas.

Os valores nela indicados servem apenas para dar uma idéia da ordem de grandeza, podendo variar de um circuito para outro do mesmo tipo, dependendo das características do transistor e dos componentes a ele ligados (condensadores, resistências, etc.).

OS PARÂMETROS α (ALFA) E β (BETA) DE UM TRANSISTOR BIPOLAR

Quando um transistor bipolar é ligado em base comum, o quociente entre a corrente de coletor (I_c) e a corrente de emissor (I_e) recebe o nome de **GANHO DE CORRENTE ESTÁTICO DA MONTAGEM BASE COMUM**, e é indicado pela letra grega α (ALFA).

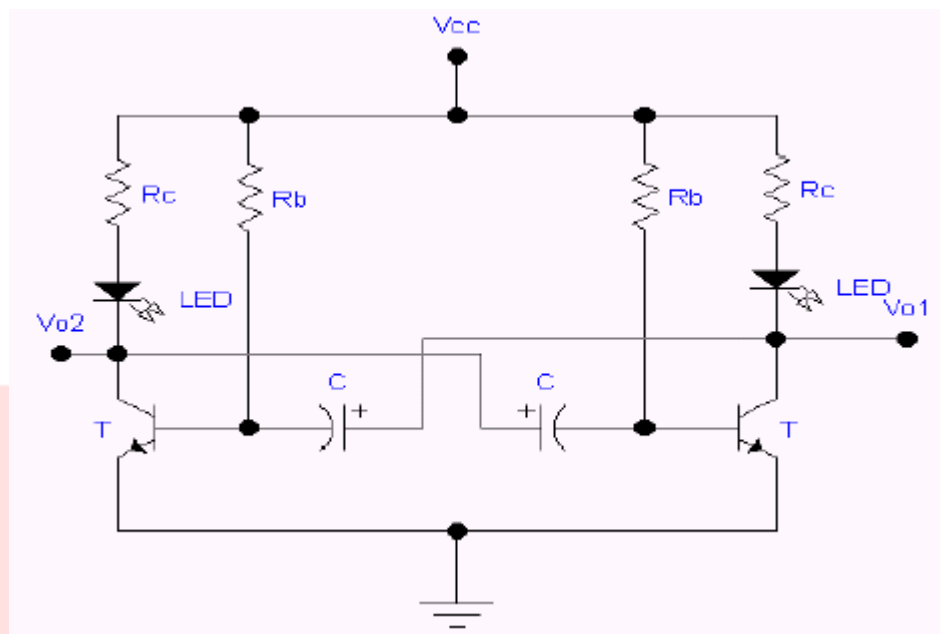
$$\alpha = I_c / I_e$$

Características	Emissor Comum	Base Comum	Coletor Comum
Impedância de Entrada (Z_e)	Baixa ($2\text{k}\Omega$)	Muito Baixa (50Ω)	Muito Alta ($300\text{K}\Omega$)
Impedância de Saída (Z_s)	Média ($30\text{K}\Omega$)	Muito Alta ($200\text{K}\Omega$)	Muito Baixa (50Ω)
Amplificação de Corrente (A_i)	Alta (100)	Menor do que 1 (0.98)	Alta (100)
Amplificação de Tensão (A_v)	Alta (1000)	Alta (1000)	Muito Baixa (1)
Amplificação de Potência (A_p)	Muito Alta (100000)	Média (1000)	Baixa (100)
Relação de Fase	180°	Não Há	Não Há

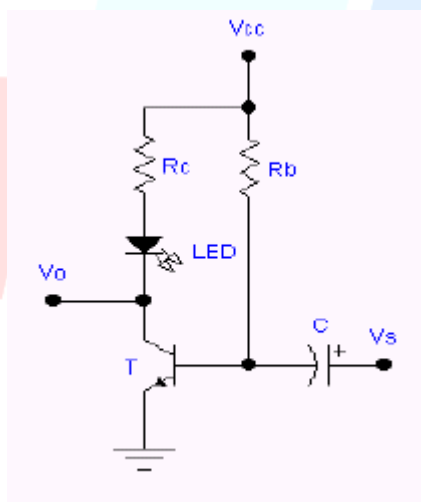
TABELA 1: Características dos Amplificadores

PROJETO DE UM MULTIVIBRADOR ASTÁVEL USANDO TRANSISTORES .

Diagrama do circuito a ser utilizado:



Trata-se, portanto, de projetar o circuito abaixo

**Condições do projeto :**

- 1 - $V_{CC} = 5$ Volts ;
- 2 - $I_C = I_{LED}$;
- 3 - Transistor para aplicação geral, trabalhando na região de saturação e da família BC5XX ;
- 4 - LED de uso geral (verde, vermelho ou amarelo) de 5 mm de diâmetro ;
- 5 – Capacitor a ser calculado para uso final do circuito como multivibrador ;

Inicialmente , buscar através de manuais dos fabricantes, especificações para o diodo LED e para o transistor a ser utilizado; o que devemos procurar :

Para o diodo LED : corrente I_{LED} e tensão V_{LED} no sentido direto;

Para o transistor : $V_{CE(sat)}$ e $V_{BE(sat)}$;



Usar as equações à seguir, para calcular R_C e R_B :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{LED} - V_{CE(sat)}}{I_C} \quad \text{e} \quad R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE(sat)}}{I_B}$$

Calculados R_C e R_B , devemos escolher os valores comerciais mais próximos dentre aqueles encontrados na série de 5% ou 10% (consultar tabelas); Calcular a potência a ser dissipada pelos resistores , pela expressão: $P = R.I^2$; para especificar o resistor para compra , é de praxe considerar uma potência , no mínimo, quatro (4) vezes maior do que a calculada .

Calcular o capacitor pela fórmula $T = 0,7 R_B.C$ (expressão do semi-período de oscilação do multivibrador astável) ; como queremos enxergar o diodo LED piscando , escolher uma frequência f compatível , por ex. entre

$$1Hz \leq f \leq 15Hz$$

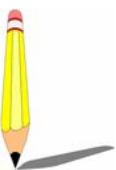
Obrigatoriamente o capacitor deve ser eletrolítico e, portanto, polarizado ; para compra , especificar um valor comercial existente com tensão de trabalho superior a V_{CC} .



FIXAÇÃO DA APRENDIZAGEM:

Após estudar toda a UNIDADE IV, responda as questões abaixo, caso tenha dúvida, volte ao texto:

1. Os Transistores Bipolares são divididos em:
 - a. ☐ npn e pnp
 - b. ☐ npn e bec
 - c. ☐ bec e pnp
 - d. ☐ nda
2. Num transistor, cuja base seja formada por um elemento tipo "p", ele é do tipo:
 - a. ☐ npn
 - b. ☐ pnp
 - c. ☐ ppn
 - d. ☐ nnp
3. O nome bipolar, é referente:
 - a. ☐ a quantidade de terminais
 - b. ☐ a dois elementos N
 - c. ☐ a dois elementos P
 - d. ☐ ao elementos P e N.
4. Os terminais de um transistor bipolar são:
 - a. ☐ duas bases e um coletor
 - b. ☐ dois coletores e um emissor
 - c. ☐ base, coletor e emissor
 - d. ☐ nda
5. Se num o elemento que forma o emissor for do tipo N, o elemento do coletor será:
 - a. ☐ N
 - b. ☐ P
 - c. ☐ PN
 - d. ☐ tanto faz
6. Para o funcionamento adequado do transistor, sempre base e emissor devem ter:
 - a. ☐ a mesma tensão
 - b. ☐ a mesma polaridade
 - c. ☐ a mesma corrente elétrica
 - d. ☐ nda
7. Quando polarizamos num transistor da base positivamente e temos corrente no emissor, temos:
 - a. ☐ um transistor pnp
 - b. ☐ um transistor npn
 - c. ☐ o transistor sempre queimará
 - d. ☐ nunca irá conduzir
8. Para que o transistor npn conduza é necessário sempre:
 - a. ☐ polarizarmos o emissor reversamente
 - b. ☐ polarizarmos a base reversamente
 - c. ☐ polarizarmos o coletor diretamente
 - d. ☐ polarizarmos o emissor diretamente
9. A maior parte dos elétrons livres fica:
 - a. ☐ no emissor
 - b. ☐ no coletor
 - c. ☐ na base
 - d. ☐ nda
10. Entre os três terminais do transistor, o mais dopado é:
 - a. ☐ coletor e emissor
 - b. ☐ base
 - c. ☐ coletor
 - d. ☐ emissor





11. A corrente elétrica que chega no emissor é:
- ☐ igual a corrente do coletor
 - ☐ duas vezes a corrente na base
 - ☐ a corrente do coletor mais a corrente na base.
 - ☐ a corrente da base mais 2 vezes a corrente no coletor
12. Se a corrente elétrica que estiver passando pelo coletor for da ordem de “mA”, a corrente no emissor será:
- ☐ micro Amperes
 - ☐ mili Amperes
 - ☐ Amperes
 - ☐ nda
13. Polarizando a base reversamente, o transistor ficará:
- ☐ cortado
 - ☐ saturado
 - ☐ maior ganho
 - ☐ menor ganho
14. A tensão que alimenta a base do transistor é chamada de:
- ☐ VBE
 - ☐ VCC
 - ☐ VBB
 - ☐ nda
15. Quando um transistor de silício está saturado, a tensão VBE é de:
- ☐ 0,7V
 - ☐ 0,3V
 - ☐ 2,0V
 - ☐ 1,5V
16. Um dos circuitos de aplicação de um transistor bipolar é de:
- ☐ retificador
 - ☐ filtro
 - ☐ regulador
 - ☐ amplificador
17. Como amplificador a corrente de coletor é:
- ☐ maior que a corrente de base
 - ☐ maior que a corrente de emissor
 - ☐ é igual a corrente de base
 - ☐ é igual a corrente de emissor
18. Num transistor a tensão VCE é a tensão entre:
- ☐ base e emissor
 - ☐ coletor e base
 - ☐ emissor e coletor
 - ☐ nda
19. No amplificador de emissor comum, a relação de fase entre o sinal que sai e o que entra é de:
- ☐ 180°
 - ☐ 90°
 - ☐ 45°
 - ☐ 210°
20. No amplificador base comum, o sinal é aplicado:
- ☐ entre coletor e emissor
 - ☐ entre coletor e base
 - ☐ entre emissor e base
 - ☐ nda
21. Numa amplificação de potência, o ganho de potência é:
- ☐ o ganho de tensão vezes o ganho de impedância
 - ☐ o ganho de tensão vezes o ganho de corrente
 - ☐ o ganho de corrente vezes o ganho de impedância
 - ☐ a divisão do ganho de corrente vezes o ganho de tensão



22. Num amplificador coletor comum, a tensão VCC é aplicada entre:
- ☐ coletor e emissor
 - ☐ coletor e base
 - ☐ base e emissor
 - ☐ nda
23. Outro nome do amplificador coletor comum é:
- ☐ seguidor de base
 - ☐ seguidor de emissor
 - ☐ seguidor de coletor
 - ☐ duplicador
24. No amplificador base comum, a relação de fase entre os sinais de entrada e saída é:
- ☐ não há defasagem
 - ☐ defazagem de 45°
 - ☐ defazagem de 180°
 - ☐ defazagem de 60°
25. A impedância de entrada de um amplificador coletor comum é aproximadamente:
- ☐ 1 ohms
 - ☐ 1000 ohms
 - ☐ 500 Kohms
 - ☐ 100 ohms
26. Não há defazagem entre os sinais de entrada e saída são características dos amplificadores:
- ☐ base comum e emissor comum
 - ☐ seguidor de emissor e emissor comum
 - ☐ coletor comum e base comum
 - ☐ seguidor de emissor e base comum
27. O símbolo α na especificação de um transistor significa:
- ☐ ganho de tensão
 - ☐ relação entre as correntes de coletor e de emissor
 - ☐ ganho de potencia
 - ☐ atenuação
28. O símbolo β na especificação de um transistor significa:
- ☐ ganho de corrente
 - ☐ ganho de tensão
 - ☐ ganho de potencia
 - ☐ atenuação
29. A corrente de base de um transistor é $150\mu\text{A}$ e corrente de coletor é de 15 mA, calcule o β .
- ☐ 150
 - ☐ 100
 - ☐ 50
 - ☐ 15
30. A saída de um multivibrador astável sempre gera:
- ☐ tensão
 - ☐ frequência
 - ☐ corrente
 - ☐ potencia

UNIDADE V - TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO (FET)

INTRODUÇÃO

Os transistores de **Efeito de Campo**, **JFET** e **MOSFET's**, tem como características básicas e controle de uma corrente por um campo elétrico aplicado.

A corrente flui entre os terminais chamado **Suplidoiro (Source – fonte)- S**, e **Dreno - D**, e o campo devido a uma tensão aplicada entre um terminal de controle, a porta "**Gate**" - **G**, e o suplidoiro.

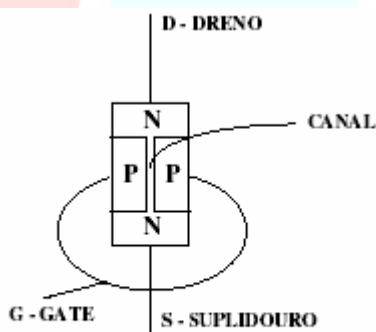
Este compartimento é análogo a das válvulas eletrônicas pentodo. A vantagem prática dos FET's que os torna cada vez mais comuns, principalmente os MOSFET's, sua alta impedância de entrada, não é necessária praticamente nenhuma corrente de entrada na porta para o controle da corrente de dreno.

JFET

O primeiro FET desenvolvido foi o de junção, FET (Junction Field Effect Transistor).

Há dois tipos: **Canal N** e **Canal P**.

Sua estrutura consiste numa barra de material semiconductor N (ou P), envolvida no centro com material P (ou N), a região N (ou P) esta parte, estreita, é chamado canal, por influir a corrente controlada.



Estrutura do JFET canal N

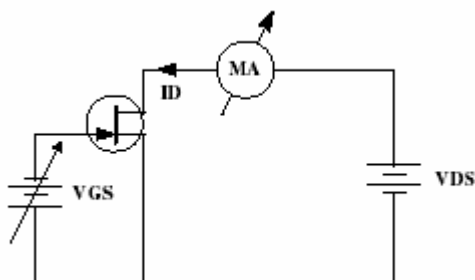
Obs.: No FET de canal P invertem-se camadas semicondutores N e P



Símbolos

Note que em torno de um canal forma-se uma região de potencial na junção PN. Esta barreira restringe a área de condução de canal ao outro.

FUNCIONAMENTO



Na figura acima temos o circuito de teste JFET com uma fonte variável VES, que controla a corrente do canal ID. Note que VES, é na polarização reversa (- no gate P).



Inicialmente fazemos $V_{ES} = 0$. O canal N está normalmente aberto, pois a barreira de potência é mínima, assim, circula uma corrente máxima chamado I_{DSS} , característica do JFET para VDS.

Agora vamos aumentar VDS, fazendo que a largura da barreira de potencial aumente.

Então a área de condução diminui, que diminui a corrente de dreno.

O campo elétrico entre a porta e a fonte repele elétrons ao canal, nas proximidades da junção e a corrente fica confinada ao centro, diminuindo.

Este é o efeito de campo, que dá nome ao transistor.

Quando maior a tensão reversa V_{ES} , menor a corrente de dreno, com VDS fixa.

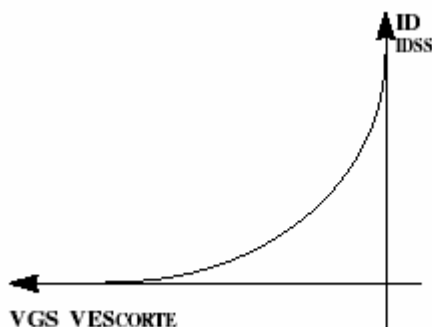
Se aumentarmos gradualmente, chegará num ponto em que a corrente se anulará.

A tensão VGS nesse ponto é chamado V_{GSoff} ou $V_{GS corte}$, a tensão de estrangulamento do canal, ou de corte.

CURVAS CARACTERÍSTICAS

Há dois tipos::

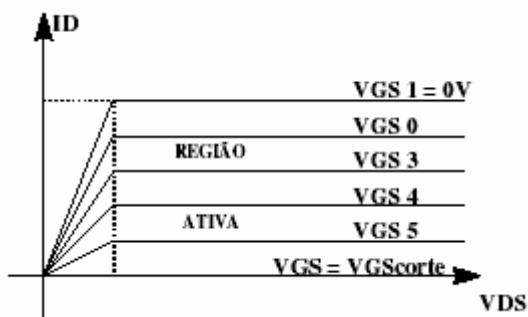
- Transcondutância;
- Dreno.



CURVA DE TRANSCONDUTÂNCIA

Esta curva, válida para $V_{DS} > V_{GS}$ de corte, descreve o controle de corrente de dreno pela tensão porta / fonte.

É a curva da região ativa do JFET.



CURVA CARACTERÍSTICA DE DRENO

É análoga à característica de coletor do transistor bipolar, e semelhante à característica de placa e uma válvula pentodo.

Descreve o comportamento nas três regiões de operação, para diversos valores de VGS.

REGIÃO DE OPERAÇÃO

Na **região ativa**, a corrente de dreno é controlada pela tensão VGS, e quase não varia com tensão VDS (compartimento de fonte de corrente controlada).

Nesta o JFET pode funcionar como multiplicador de fonte-de-corrente.

O JFET está nesta região quando $V_{DS} > V_{DS_{corte}}$ nas curvas características é a parte horizontal da curva para uma certa V_{GS} (toda a área fora de saturação, hachurada, e entre as curvas V_{GS1} e V_{GS6}).

A saturação ocorre quando $V_{DS} < V_{DS_{corte}}$.

Aqui a corrente I_D depende tanto de V_{GS} como V_{DS} (comportamento de resistor controlado).

Nas curvas características de dreno, é a linha inclinada que une cada curva a origem do gráfico.

Repare que as inclinações, relacionada à resistência do canal, é diferente em cada uma das curvas (valores de V_{GS}).

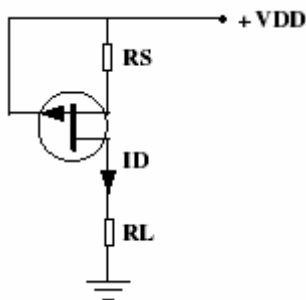
Nesta região, o JFET atua como resistor controlado por tensão, ou chave, conforme a aplicação.

Quando $V_{GS} \geq V_{GS_{corte}}$, o JFET está na **região de corte**, e a corrente de dreno é nula.

Usada na operação como chave (alternando com a saturação - chave fechada).

APLICAÇÕES

1) Fonte de Corrente:



O valor de R_S e a curva do JFET determinam a corrente I_D .

O circuito opera o JFET fica na região ativa, ou seja, $V_{DS} > V_{DS_{corte}}$, isso impõe limite ao valor de R_L .

O circuito é usado em polarização, sendo frequência dentro dos amplificadores operacionais e outros CI's analógicos.

2) Amplificadores::

Na operação como amplificadores, usamos o conceito da Transcondutância, que define o ganho dos FET's.

$$g_m = \gamma = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

A Transcondutância, g_m ou g , é a relação entre a variação na corrente I_D e a variação em V_{GS} que a provoca.

Nos FET, a Transcondutância é maior para tensão V_{GS} de polarização menor e corrente I_D maior.

Assim, o ganho é determinado pela polarização como nos bipolares e válvulas), e o tipo de FET.

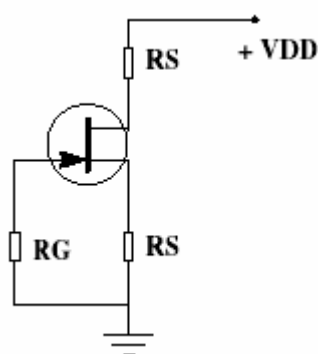
a) Polarização:: A corrente de dreno de JFET segue a relação quadrática..

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS_{corte}}} \right)^2$$

Os valores de I_{DSS} e $V_{GS_{corte}}$ variam conforme o tipo e o exemplar, dentro de limites amplos.

Uma polarização somente pode ser feita através de ajuste de trimpot, ou através de uma fonte de corrente com bipolar.

O tipo mais comum é a **autopolarização**.



Obs.:

Nos amplificadores dreno comum RD não é usado.

Ele não altera a corrente de dreno.

A corrente circula em RS, surgindo uma queda de tensão nele.

A porta está aterrada através de RG, e então a tensão em RS aparece entre S e G, polarizando o JFET com uma tensão reversa, que se opõe à corrente de dreno (SOURCE), regulando-a através de realimentação negativa.

A corrente então fica dada pelas características do FET e o valor de RS.

Também se usa polarização por divisão de tensão, semelhante à usada com transistor bipolar, mas menos exata (pouco melhor que a autopolarização).

b) Fonte Comum:

É a mais usada, pois oferece ganho de tensão.

O sinal de entrada é aplicado entre a porta e a Fonte, e a saída colhida no dreno.

A fase é invertida.

A impedância de entrada é muito grande, já que a junção porta-fonte está polarizada reversamente, circulando apenas uma desprezível corrente de fuga.

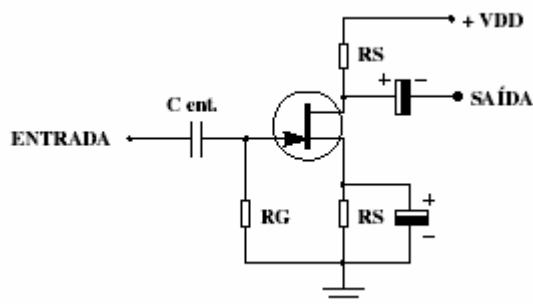
Na prática, a impedância é dada pelo resistor RE de polarização. Já a de saída é um pouco menor que RD.

O ganho de tensão é dado por:

$$G = - g_m R_D$$

Seu valor na prática fica entre 3 e 30 vezes, em geral (bem menor que no bipolar).

É comum na entrada de instrumentos de medição, e dentro de C.I. analógicos, pela alta impedância.



Obs:

Cent. pode ser omitido, em algumas aplicações.

Nos amplificadores com acoplamento direto, todos os capacitores são dispensados, mas o ganho diminui.



FIXAÇÃO DA APRENDIZAGEM:

Após estudar toda a UNIDADE V, responda as questões abaixo, caso tenha dúvida, volte ao texto:

1. Como transistores de efeito de campo temos:
 - a. ☐ fet e mosfet
 - b. ☐ fet e bipolar
 - c. ☐ somente os mosfet
 - d. ☐ mosfet e bipolar
2. No fet, o terminal Source também é chamado de:
 - a. ☐ drain
 - b. ☐ fonte
 - c. ☐ base
 - d. ☐ emissor
3. Que tipo valvula o fet é similar:
 - a. ☐ diodo
 - b. ☐ triodo
 - c. ☐ pentodo
 - d. ☐ alta tensão.
4. Quais são os tipos de transistor fet:
 - a. ☐ terminal npn
 - b. ☐ canal pnp
 - c. ☐ canal npn
 - d. ☐ canal n e canal p
5. Num fet, quando o gate for de elemento p, o canal será:
 - a. ☐ N
 - b. ☐ P
 - c. ☐ PN
 - d. ☐ tanto faz
6. Chamasse de canal num fet, a parte:
 - a. ☐ mais estreita
 - b. ☐ mais larga
 - c. ☐ mais densa
 - d. ☐ nda
7. Nos transistores de efeito de campo, o controle de corrente é feito por:
 - a. ☐ campo magnético
 - b. ☐ campo elétrico
 - c. ☐ campo eletromagnético
 - d. ☐ campo de protons
8. A tensão de alimentação VES, polariza o canal de forma:
 - a. ☐ direta
 - b. ☐ reversa
 - c. ☐ não polariza
 - d. ☐ nda
9. Quando fixamos a tensão VDS e variamos a tensão VES, quanto maior ela for:
 - a. ☐ as correntes não se alteram
 - b. ☐ menor a corrente de source
 - c. ☐ maior a corrente de gate
 - d. ☐ menor a corrente de dreno
10. A tensão VGS é a tensão entre:
 - a. ☐ source de dreno
 - b. ☐ gate e source
 - c. ☐ entre gate e dreno
 - d. ☐ nda



11. No fet quando a área de condução diminui, então diminui também:

- a. ☐ corrente de coletor
- b. ☐ corrente de dreno
- c. ☐ corrente de gate
- d. ☐ corrente de source

12. Na região ativa, a corrente de dreno é controlada por:

- a. ☐ VGS
- b. ☐ VGD
- c. ☐ VDE
- d. ☐ VDD

13. As curvas características do fet são:

- a. ☐ transcondutância e de potencia
- b. ☐ dreno e transcondutância
- c. ☐ dreno e base
- d. ☐ nda

14. A curva do fet que é válida $V_{DS} > V_{GS}$ é:

- a. ☐ dreno
- b. ☐ transcondutância
- c. ☐ polarização
- d. ☐ dreno comum

15. Uma das características do fet é de funcionar como:

- a. ☐ fonte de corrente
- b. ☐ fonte de tensão
- c. ☐ fonte de potencia
- d. ☐ fonte de equilibrio

16. Quando $V_{DS} < V_{DS_{corte}}$, temos:

- a. ☐ corte
- b. ☐ saturação
- c. ☐ regulação
- d. ☐ sempre a queima

17. Nas curvas características de dreno temos sempre uma linha:

- a. ☐ reta
- b. ☐ inclinada
- c. ☐ verticalizada
- d. ☐ horizontal

18. O ganho dos fets é definido:

- a. ☐ pela transcondutância
- b. ☐ pela convergencia
- c. ☐ pela divergencia
- d. ☐ nda

19. O simbolo da transcondutância é:

- a. ☐ am
- b. ☐ gt
- c. ☐ tm
- d. ☐ gm

20. A expressão da transcondutância é dada por:

- a. ☐ variação de ID dividido pela VGS
- b. ☐ variação de IE dividido pela VGS
- c. ☐ variação de ID dividido pela VDS
- d. ☐ variação de VDD dividido pela VGS

21. A transcondutância aumenta quando:

- a. ☐ aumenta VGS
- b. ☐ aumenta VDD
- c. ☐ diminui VGS
- d. ☐ fica constante VGS



22. De acordo com a expressão da corrente de dreno, ela cresce quando:
- a. ☐ ID diminui
 - b. ☐ IDSS fica constante
 - c. ☐ IDSS aumenta
 - d. ☐ IDSS diminui
23. O tipo mais comum de polarização de um fet é:
- a. ☐ autopolarização
 - b. ☐ baixa polarização
 - c. ☐ media polarização
 - d. ☐ nda
24. Nos amplificadores dreno comum o resistor RD:
- a. ☐ altera a corrente de dreno
 - b. ☐ sempre é usado
 - c. ☐ nunca deve ser usado
 - d. ☐ não é usado
25. O gate no amplificador dreno comum é:
- a. ☐ positivo
 - b. ☐ aterrado
 - c. ☐ fica solto
 - d. ☐ fica neutro
26. Outra polarização comum nos fets é:
- a. ☐ divisor de tensão
 - b. ☐ divisor de corrente
 - c. ☐ polarização comum
 - d. ☐ polarização por dreno
27. Nos amplificadores com acoplamento direto, todos os capacitores são dispensados, daí:
- a. ☐ o ganho aumenta
 - b. ☐ o ganho diminui
 - c. ☐ o ganho permanece constante
 - d. ☐ nda
28. A polarização que oferece ganho de tensão é:
- a. ☐ dreno comum
 - b. ☐ fonte comum
 - c. ☐ emissor comum
 - d. ☐ gate comum
29. No amplificador fonte comum, o sinal é aplicado entre:
- a. ☐ fonte e dreno
 - b. ☐ fonte e gate
 - c. ☐ dreno e fonte
 - d. ☐ nda
30. A expressão $-gmRD$ dá o ganho do amplificador:
- a. ☐ dreno comum
 - b. ☐ fonte comum
 - c. ☐ gate comum
 - d. ☐ coletor comum

UNIDADE VI – ELETRÔNICA DE POTÊNCIA (TIRISTORES)

ASPECTOS GERAIS

Tiristores são dispositivos de estado sólido que fazem parte da família dos semicondutores, usam realimentação interna para produzir operações de chaveamento.

São dispositivos biestáveis que podem ser chaveados do corte para a condução e vice versa.

Para iniciar seu estudo é conveniente o conhecimento dos seguintes termos relacionados com a corrente alternada senoidal, mostrados na figura 01, quais sejam:

- a) ωt : velocidade angular do gerador de corrente alternada;
- b) ω_1 : ângulo de disparo do tiristor "SCR" (ângulo a partir do qual o dispositivo começa a conduzir);
- b) ω_2 : ângulo de condução (ângulo durante o qual o dispositivo está em funcionamento);
- c) ω_3 : ângulo de corte (ângulo a partir do qual o tiristor deixa de conduzir).

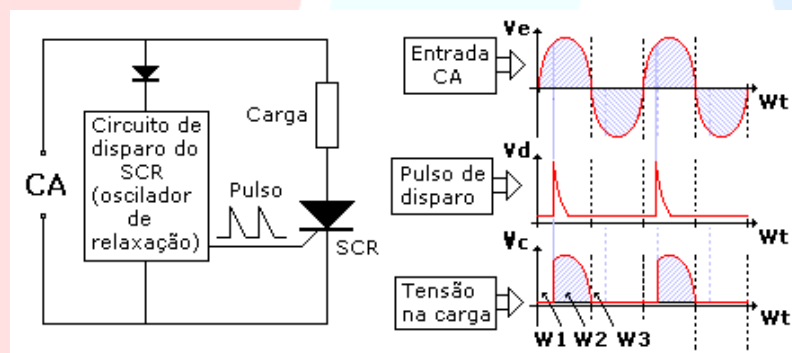


Figura 01 - Tiristor e formas de ondas na entrada, na carga e pulso de disparo.

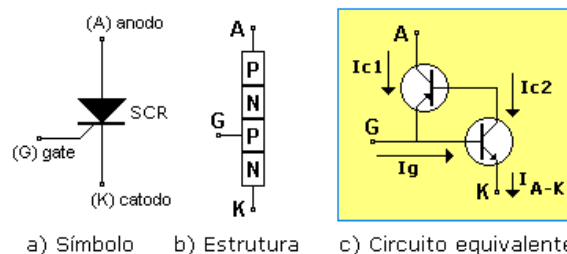
SCR

SCR ou RCS. (Retificador Controlado de Silício) - Tiristor que atua com um único sentido de condução da corrente elétrica (unidirecional).

Caracteriza-se pela comutação entre dois estados o estado de condução ou o estado de corte ou bloqueio.

A corrente aplicada nos seus terminais pode ser proveniente de uma fonte CC ou CA.

A sua estrutura básica parte de quatro camadas semicondutores, sendo duas de material semicondutor tipo "P" e duas de semicondutor tipo "N", conforme mostra a estrutura abaixo.



Figura

2.

Funcionamento:

Os SCR não são construídos para operar com tensão de avalanche direta, são projetados para fechar por meio de disparo e abrir por meio de baixa corrente.

Em outras palavras, Um SCR permanece aberto até que um disparo acione sua porta (gate).

Então o SCR trava e permanece fechado (conduzindo) mesmo que o disparo desapareça.

A única forma de abrir um SCR é por meio de um destravamento por baixa corrente.

Na prática é feito desligando-se a alimentação entre o anodo ou fazendo-se com que esta tensão resulte a um valor menor que o necessário para proporcionar a existência da corrente mínima de manutenção.

Por exemplo o um SCR TIC 106D tem uma corrente de manutenção (I_H) de 8 mA, abaixo desse valor ele subitamente deixará de conduzir e irá tornar-se um circuito aberto, mesmo que a tensão entre o anodo e catodo seja restabelecida.

Só irá conduzir novamente se houver um novo disparo.

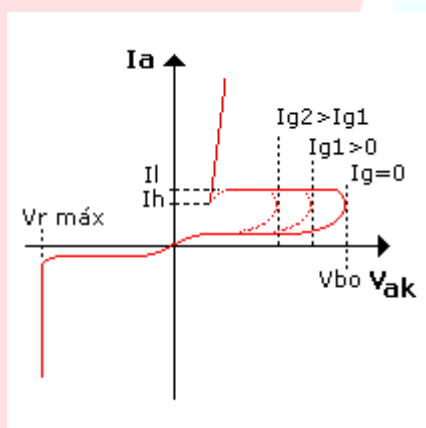
Observando-se os circuitos equivalentes, fazendo-se uma análise da polarização dos transistores, chega-se a conclusão que após um pulso no gate (porta), o transistor que satura condiciona o outro a permanecer saturado mesmo que o pulso que provocou o disparo seja retirado.

Curva Característica do SCR

Curva característica –

A curva característica do SCR exibe no primeiro quadrante alguns valores para a tensão anodo/catodo (V_{a-k}) e respectivas correntes de gate (I_g) em polarização direta.

No terceiro quadrante exibe a curva de corrente na polarização de tensão reversa máxima (V_r máx).



I_a = corrente de anodo

I_l = (latching Current) corrente de engate "disparo"

I_h = (Holding Current) corrente de manutenção

V_{ak} = tensão anodo-catodo

V_{bo} = tensão de "break Over" (tensão de disparo sem corrente de porta, $I_g=0$)

Figura 03 - Curva característica do SCR.

Nota:

1. A capacitância da junção por efeito da corrente capacitiva pode provocar disparo indesejado.
2. Tensão elevada entre o ânodo e o cátodo, mesmo com $I_g=0$ pode provocar disparo indesejado.

Métodos para evitar disparos indesejados -

Dois métodos se destacam para evitar disparos indesejados no SCR, são eles o resistor de gate, conectado entre o gate e o cátodo para desviar parte da corrente capacitiva e o snubber que amortecce as variações bruscas de tensão entre ânodo e cátodo.

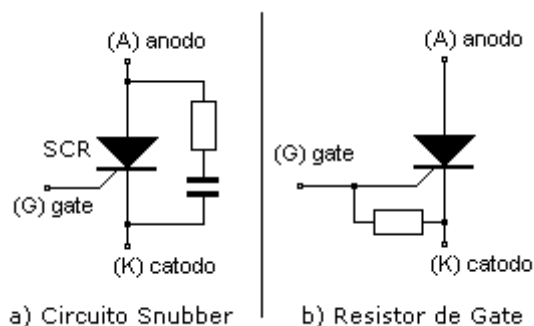


Figura 04 - Circuito para evitar disparo indesejado no SCR.

DIAC

DIAC ("Diode Alternating Current" ou Diode de Corrente Alternada) –

É um dispositivo semicondutor constituído de dois terminais, funcionando como um diodo bidirecional, passa do bloqueio à condução com qualquer polaridade de tensão aplicada aos seus terminais.

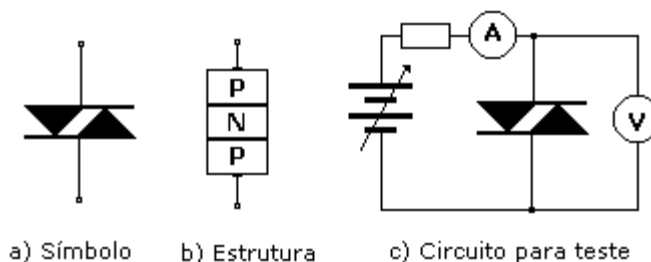


Figura 05 - Símbolo, estrutura e circuito teste do DIAC.

Curva característica -

A curva característica do DIAC exibe no primeiro e terceiro quadrante as mesmas características de tensão e corrente. possuem a mesma corrente de engate ou tranca (I_H) em qualquer das duas direções conforme mostra a figura abaixo.

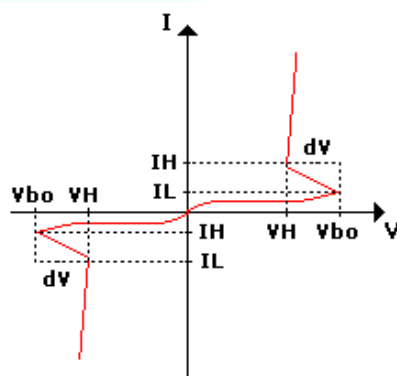


Fig1

Funcionamento

O DIAC conduz quando a tensão em seus terminais excede o valor da avalanche direta em qualquer sentido, após o disparo o dispositivo conduz e a tensão passa de um valor de disparo para um valor inferior (V_H), onde se mantém enquanto o DIAC conduz.

Uma vez conduzindo a única forma de abri-lo é por meio de um desligamento por baixa corrente, ou seja, reduzindo a corrente abaixo de um valor especificado para o dispositivo.

TRIAC

TRIAC ("Triode Alternating Current" ou Triodo de Corrente Alternada) –

É um dispositivo que atua nos dois sentidos de condução da corrente elétrica (bidirecional), o pulso de disparo pode ser positivo ou negativo.

O TRIAC tem as mesmas características básicas de comutação que o SCR, porém, exibe estas características em ambas as direções.

Isto proporciona aos TRIACs maior simplicidade mantendo eficiência, na elaboração de circuitos controladores de potência em onda completa.

Funcionamento

Os TRIACs assim como os SCRs, não são construídos para operar com tensão de avalanche direta, são projetados para fechar por meio de disparo e abrir por meio de baixa corrente.

Porém, exibe as mesmas características de corrente e tensão nas duas direções.

O dispositivo é ativado quando submetido a uma corrente de gate suficientemente alta e é desativado pela simples redução de sua corrente anódica abaixo do valor de manutenção (I_H).

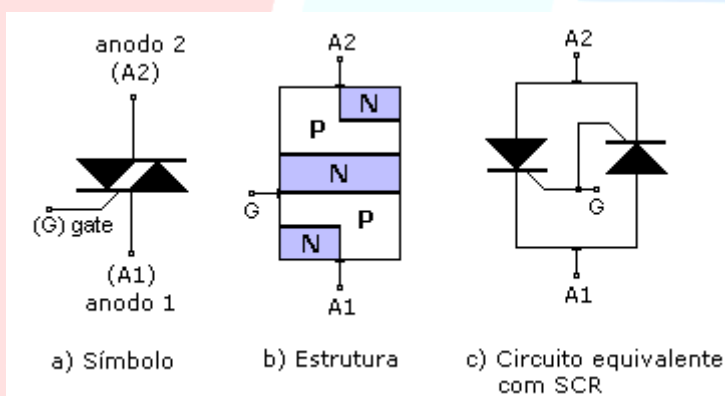


Figura 08 - Símbolo, estrutura e circuito teste do TRIAC.

Curva Característica do TRIAC

Curva Característica

A curva característica mostra a corrente através do TRIAC, resultado da avalanche quando uma tensão de ruptura (V_{BO}) é aplicada entre os terminais ânodo 1 e ânodo 2.

A avalanche ocorre quando a tensão entre os terminais A1 e A2 eleva-se a ponto de desenvolver uma corrente interna suficiente alta para provocar a condução do dispositivo.

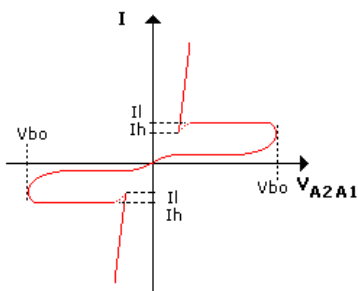


Figura 09 - Curva característica do TRIAC.

Circuito básico e formas de ondas –

A figura seguinte mostra um controlador de potência e o circuito de disparo representado em bloco.

Do lado esquerdo estão representadas as formas de ondas: da corrente alternada que alimenta o circuito, dos pulsos de disparo do TRIAC e da carga.

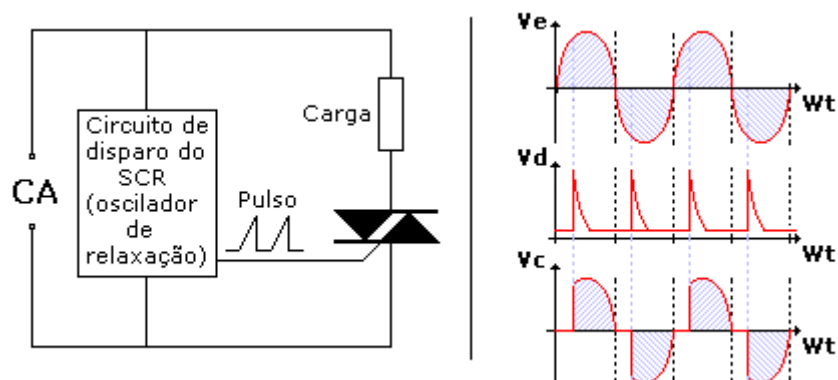


Figura 10 - Circuito com TRIAC e formas de ondas de entrada, de disparo e na carga.

Circuitos e Aplicações

Circuitos com Tiristores - A seguir apresentamos circuitos práticos com tiristores.

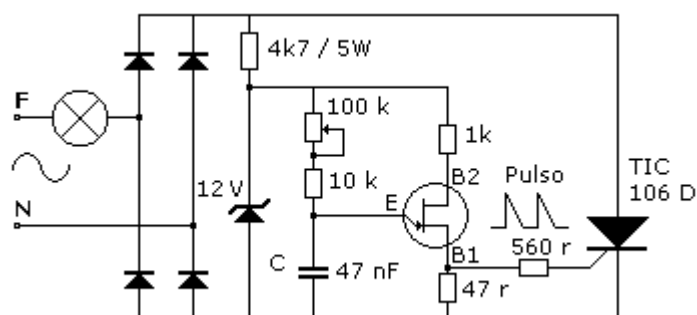


Figura 11 - Circuito Controlador de onda completa com SCR.

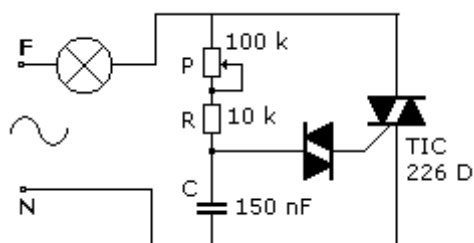


Figura 12 - Circuito Controlador de Potência com TRIAC.

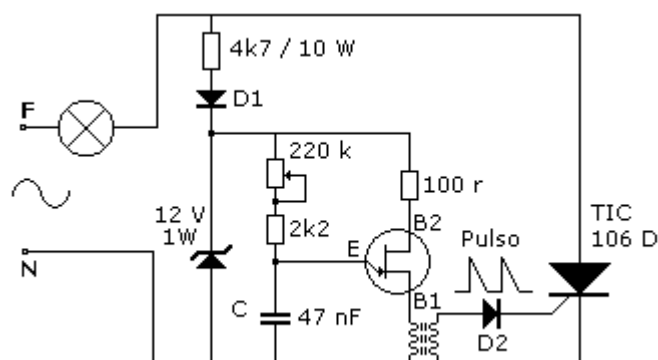


Figura 13 - Circuito Disparador Monofásico Sincronizado com a Rede.

TRANSISTOR UNIJUNÇÃO PROGRAMÁVEL (PUT)

O transistor unijunção programável (PUT) é um UJT no qual o valor de η (Razão Intrínseca de disparo) pode ser imposta através de resistores externos.

A sua estrutura é análoga à de um SCR , tendo porém o gate na região N próxima do ânodo.

A Fig 01 mostra a estrutura, símbolo e circuito equivalente de um PUT.

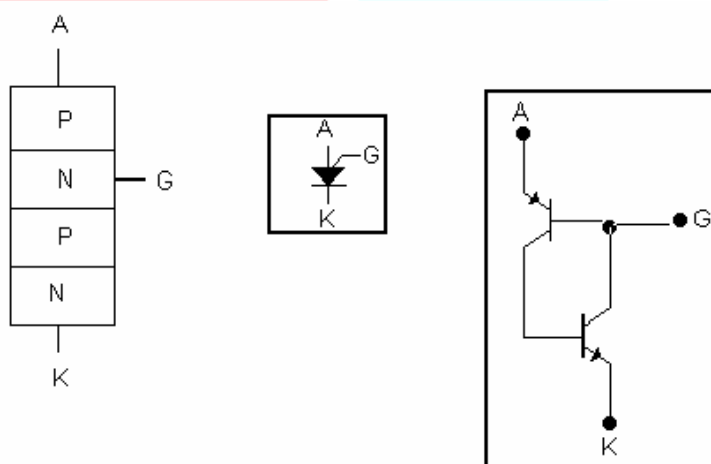


Fig1: Transistor Unijunção Programável – (a) Estrutura, (b) Símbolo, (c) Circuito Equivalente

Para compreender o seu funcionamento consideremos o circuito da Fig02a e o equivalente Thevenin, Fig02b.

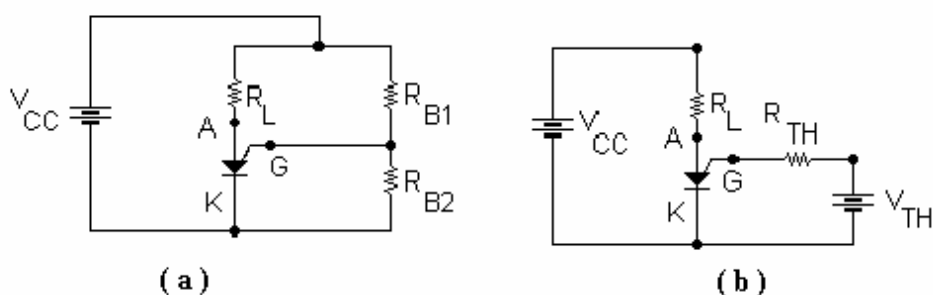


Fig2: Transistor Unijunção Programável – Circuito com resistores de polarização (b) Circuito equivalente de gate

Na Fig02 temos:

$$R_{TH} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad V_{TH} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC}$$

Se substituirmos o PUT na Fig02b pelo seu circuito equivalente resulta o circuito:

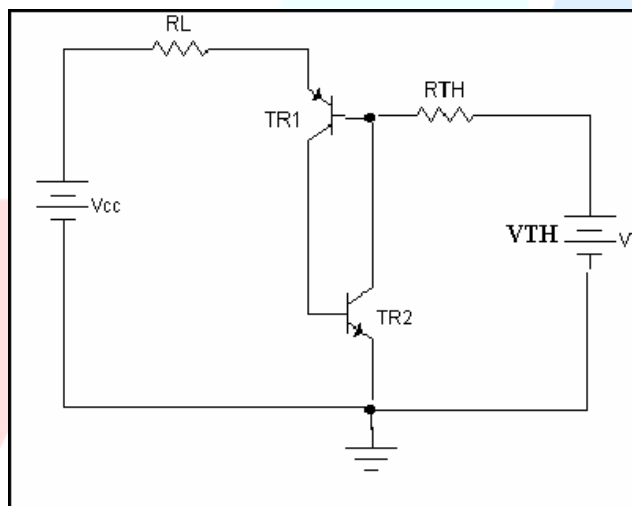


Fig03: PUT e circuito equivalente

Podemos verificar na Fig3 que, se $V_{TH} + V_{BE} > V_A$ TR1 não conduzirá o mesmo ocorrendo com TR2. Quando porém $V_{TH} + V_{BE} \leq V_A$ o transistor TR1 ficará polarizado diretamente conduzindo assim como TR2.

Nessas condições a realimentação positiva existente levará o PUT ao disparo (análogo ao disparo do SCR). Após ter disparado o PUT só voltará ao corte quando a corrente de anodo cair abaixo da corrente de vale I_V , análoga à cor de manutenção no SCR.

Se fizermos uma analogia com o UJT teremos no ponto de disparo :

UJT : $V_A = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} + V_{BE}$

PUT: $V_A = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} + V_{BE}$

Comparando as duas expressões concluímos que a relação intrínseca de disparo do PUT vale podendo ser ajustada externamente através de R_{B1} e R_{B2} .

OSCILADOR DE RELAXAÇÃO COM PUT

O funcionamento do circuito é análogo ao do oscilador de relaxação com UJT.

Ligada a alimentação e estando o capacitor inicialmente descarregado ($V_A = V_C = 0$) o PUT estará cortado (TR1 polarizado reversamente).

O capacitor C se carrega através de R.

Quando a tensão no capacitor ultrapassar a tensão de gate (V_{RB1}) em cerca de 0,7V TR1 começa a conduzir disparando o PUT.

Nesse instante C se descarrega através do PUT e de R_L .

Quando a tensão de ânodo cair abaixo da tensão de vale, o PUT voltará a cortar e C volta a se carregar novamente através de R.

Na Fig04 temos:

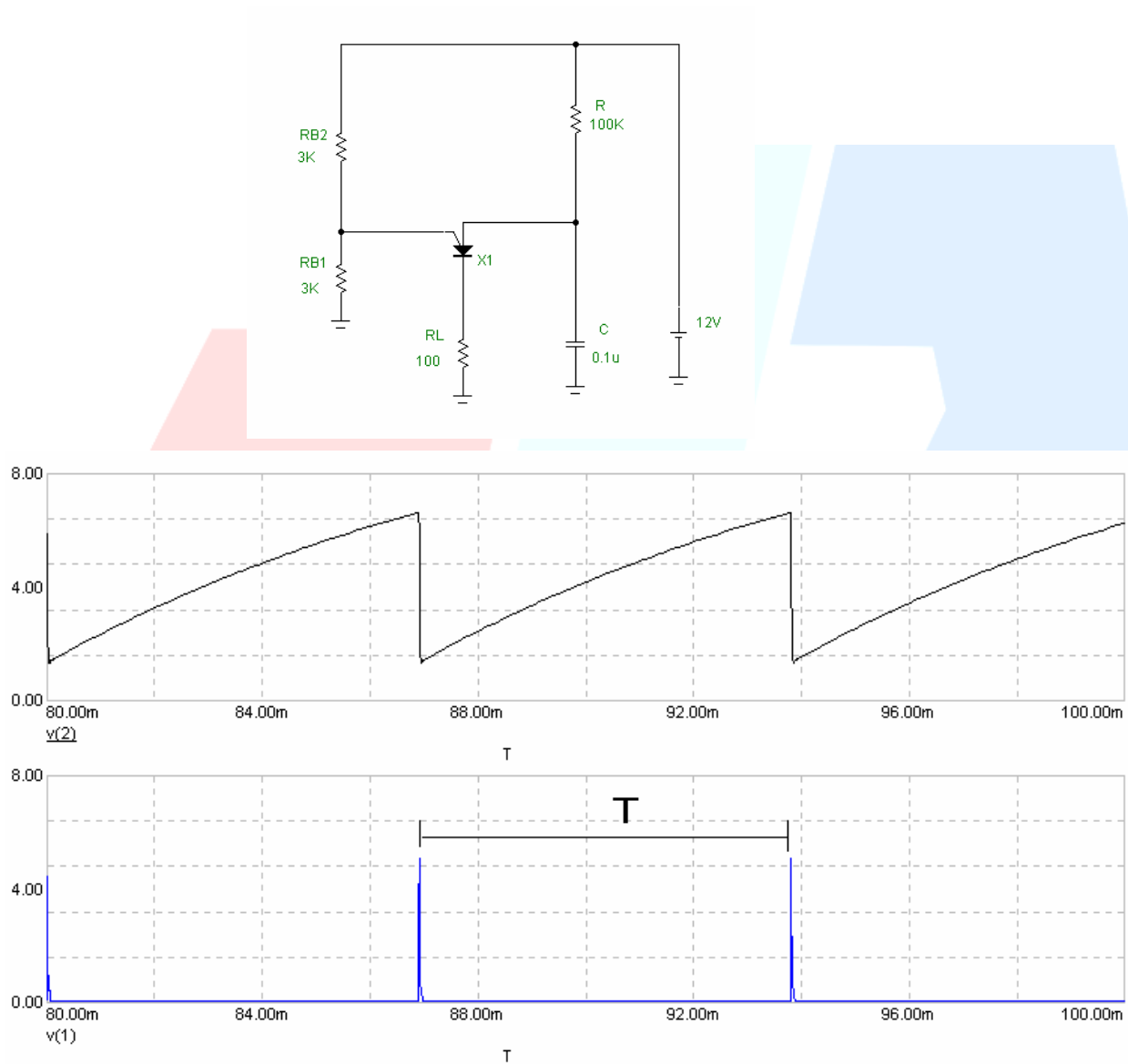


Fig04: Oscilador de Relaxação com PUT - (a) Circuito - (b) Formas de onda

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad \text{Onde:} \quad T = RC \cdot \ln \frac{1}{1 - \eta}$$

$1 / (1 - \eta)$ = relação intrínseca de disparo

Observe que agora a relação de disparo não pode ser mais chamada de intrínseca pois não depende mais do dispositivo.

MOSFET

Princípio de funcionamento (canal N)

O terminal de gate é isolado do semiconductor por SiO_2 .

A junção PN- define um diodo entre Source (Fonte) e Drain (Dreno), o qual conduz quando $V_{ds} < 0$.

A operação como transistor ocorre quando $V_{ds} > 0$.

A figura 4.11 mostra a estrutura básica do transistor.

Quando uma tensão $V_{gs} > 0$ é aplicada, o potencial positivo no gate (porta) repele as lacunas na região P, deixando uma carga negativa, mas sem portadores livres.

Quando esta tensão atinge um certo limiar (V_{th}), elétrons livres (gerados por efeito térmico) presentes na região P, são atraídos e formam um canal N dentro da região P, pelo qual torna-se possível a passagem de corrente entre D e S.

Elevando V_{gs} , mais portadores são atraídos, ampliando o canal, reduzindo sua resistência, permitindo o aumento de da corrente de dreno, I_d .

Este comportamento caracteriza a chamada "região resistiva".

A passagem de I_d pelo canal produz uma queda de tensão que leva ao seu afunilamento, ou seja, o canal é mais largo na fronteira com a região N^+ do que quando se liga à região N^- .

Um aumento de I_d leva a uma maior queda de tensão no canal e a um maior afunilamento, o que conduziria ao seu colapso e à extinção da corrente! Obviamente o fenômeno tende a um ponto de equilíbrio, no qual a corrente I_d se mantém constante para qualquer V_{ds} , caracterizando a região ativa do MOSFET.

A figura 4.12 mostra a característica estática do MOSFET, uma pequena corrente de gate é necessária apenas para carregar e descarregar as capacitâncias de entrada do transistor.

A resistência de entrada é da ordem de 10^{12} ohms.

Estes transistores, em geral, são de canal N por apresentarem menores perdas e maior velocidade de comutação, devido à maior mobilidade dos elétrons em relação às lacunas.

A máxima tensão V_{ds} é determinada pela ruptura do diodo reverso.

Os MOSFETs não apresentam segunda ruptura uma vez que a resistência do canal aumenta com o crescimento de I_d .

Este fato facilita a associação em paralelo destes componentes.

A tensão V_{gs} é limitada a algumas dezenas de Volts, por causa da capacidade de isolamento da camada de SiO_2 .

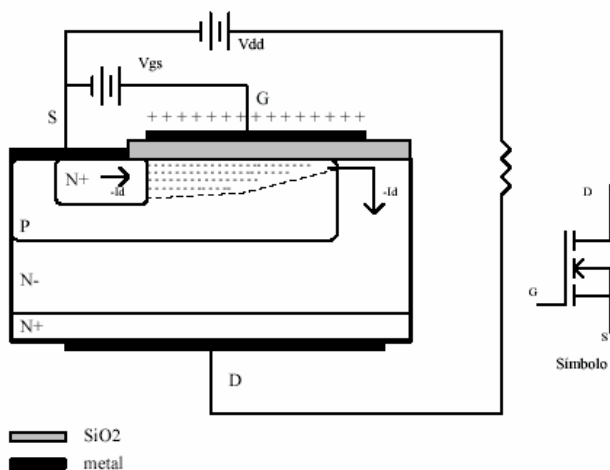


Figura 4.11. Estrutura básica de transistor MOSFET.

Área de Operação Segura

A figura 4.13 mostra a AOS dos MOSFET.

Para tensões elevadas ela é mais ampla que para um TBP equivalente, uma vez que não existe o fenômeno de segunda ruptura.

Para baixas tensões, entretanto, tem-se a limitação da resistência de condução.

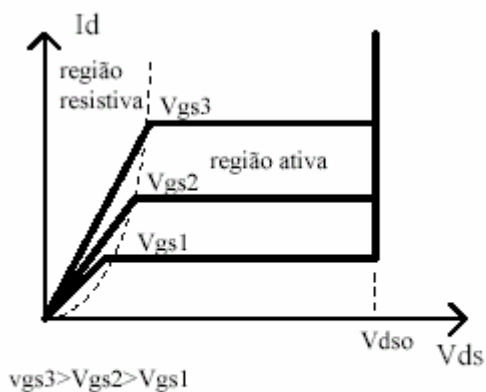


Figura 4.12. Característica estática do MOSFET.

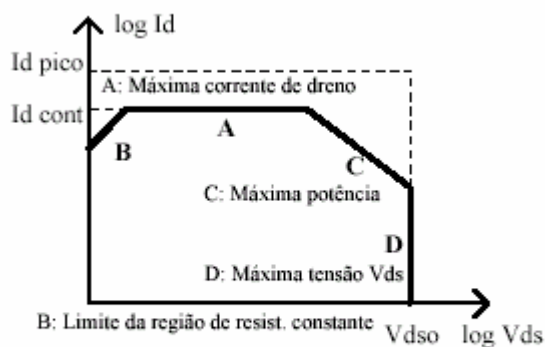


Figura 4.13. AOS para MOSFET.

Característica de chaveamento - carga indutiva**a) Entrada em condução (figura 4.14)**

Ao ser aplicada a tensão de acionamento (V_{gg}), a capacitância de entrada começa a se carregar, com a corrente limitada por R_g .

Quando se atinge a tensão limiar de condução (V_{th}), após t_d , começa a crescer a corrente de dreno. Enquanto $I_d < I_o$, D_f se mantém em condução e $V_{ds} = V_{dd}$. Quando $I_d = I_o$, D_f desliga e V_{ds} cai.

Durante a redução de V_{ds} ocorre um aparente aumento da capacitância de entrada (C_{iss}) do transistor, fazendo com que a variação de V_{gs} se torne muito mais lenta (em virtude do "aumento" da capacitância).

Isto se mantém até que V_{ds} caia, quando, então, a tensão V_{gs} volta a aumentar, até atingir V_{gg} .

Na verdade, o que ocorre é que, enquanto V_{ds} se mantém elevado, a capacitância que drena corrente do circuito de acionamento é apenas C_{gs} .

Quando V_{ds} diminui, a capacitância dreno e source se descarrega, o mesmo ocorrendo com a capacitância entre gate e dreno.

A descarga desta última capacitância se dá desviando a corrente do circuito de acionamento, reduzindo a velocidade do processo de carga de C_{gs} , o que ocorre até que C_{gd} esteja descarregado.

b) Desligamento

O processo de desligamento é semelhante ao apresentado, mas na ordem inversa.

O uso de uma tensão V_{gg} negativa apressa o desligamento, pois acelera a descarga da capacitância de entrada.

Como os MOSFETs não apresentam portadores minoritários estocados, ou seja, num MOSFET canal N todos os portadores em trânsito são elétrons, não existe o tempo de armazenamento, por isso são muito mais rápidos que os TBP.

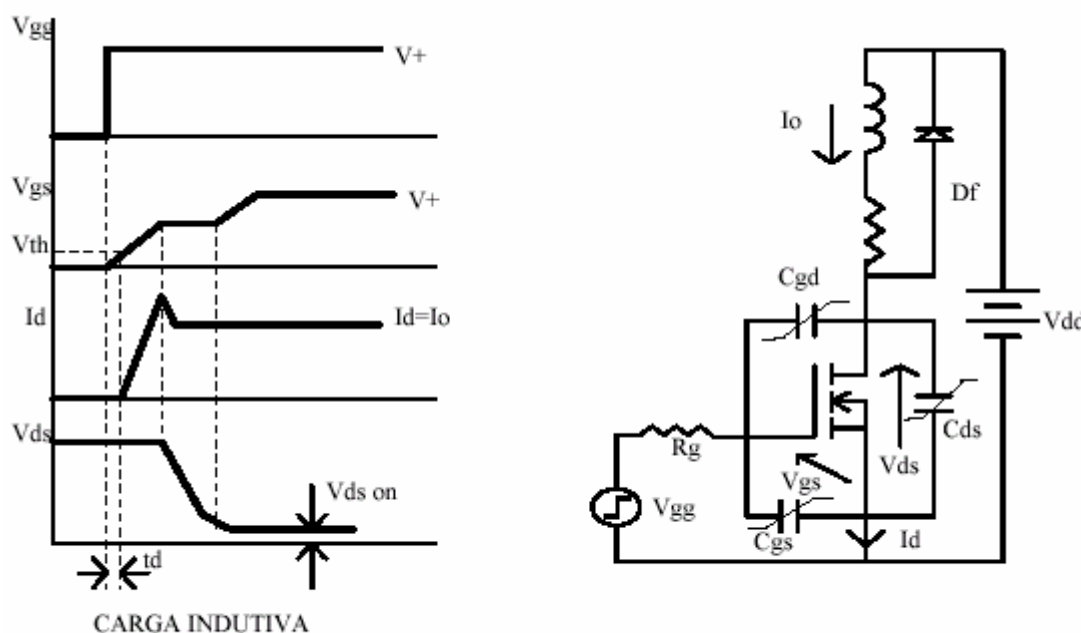


Figura 4.14 Formas de onda na entrada em condução de MOSFET com carga indutiva.

Circuitos amaciadores (ou de ajuda à comutação) - "snubber"

O papel dos circuitos amaciadores é garantir a operação do transistor dentro da AOS, especialmente durante o chaveamento de cargas indutivas.

Embora ilustrado aqui para os MOSFETs, estes circuitos podem ser utilizados também para os demais tipos de transistores e também para os diodos.

a) Desligamento - Objetivo: atrasar o crescimento de V_{ds} e desviar I_d (figura 4.15)

Quando V_{ce} começa a crescer, o capacitor C_s começa a se carregar (via D_s), desviando parcialmente a corrente, reduzindo I_d . D_f só conduzirá quando $V_{ds} > V_{cc}$.

Quando o transistor ligar o capacitor se descarregará por ele, com a corrente limitada por R_s .

A energia acumulada em C_s será, então, dissipada sobre R_s .

Sejam as formas de onda mostradas na figura 4.16.

Considerando que I_d caia linearmente e que I_o é constante, a corrente por C_s cresce linearmente.

Fazendo-se com que C_s complete sua carga quando $I_d = 0$, o pico de potência se reduzirá a menos de 1/4 do seu valor sem circuito amaciador.

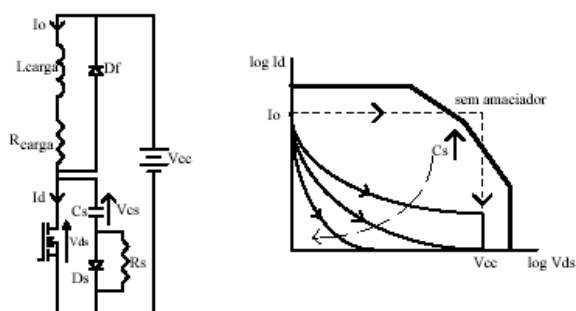


Figura 4.15. Circuito amaciador de desligamento e trajetórias na AOS

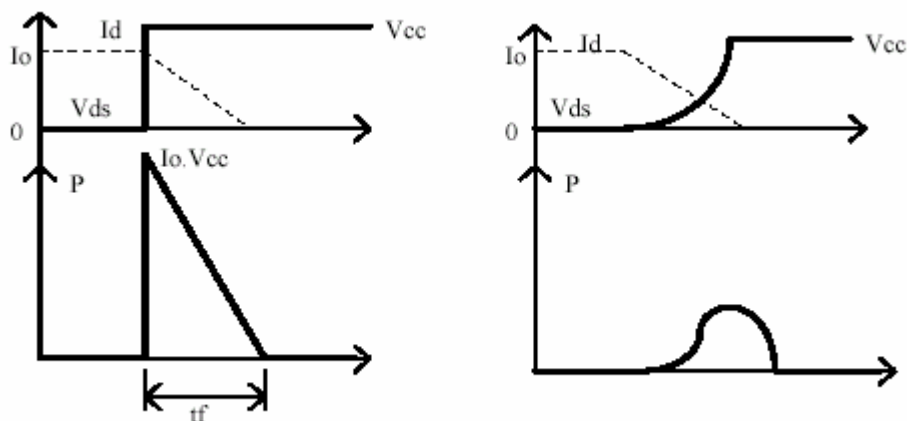


Figura 4.16. Formas de onda no desligamento sem e com o circuito amaciador.

O valor de R_s deve ser tal que permita toda a descarga de C_s durante o mínimo tempo ligado do Transistor e, por outro lado, limite o pico de corrente em um valor inferior à máxima corrente de pico repetitiva do componente.

Deve-se usar o maior R_s possível.

b) Entrada em condução: Objetivo: reduzir V_{ds} e atrasar o aumento de I_d (figura 4.17)

No circuito sem amaciador, após o disparo do transistor, I_d cresce, mas V_{ds} só se reduz quando D_f deixar de conduzir.

A colocação de L_s provoca uma redução de V_{ds} , além de reduzir a taxa de crescimento de I_d .

Normalmente não se utiliza este tipo de circuito, considerando que L_s possui baixo valor e pode ser substituído pela própria indutância parasita do circuito.

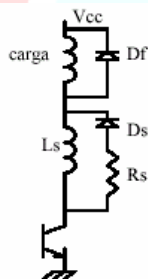


Figura 4.17. Circuito amaciador para entrada em condução.

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

O IGBT alia a facilidade de acionamento dos MOSFET com as pequenas perdas em condução dos TBP. Sua velocidade de chaveamento é semelhante à dos transistores bipolares.

Princípio de funcionamento

A estrutura do IGBT é similar à do MOSFET, mas com a inclusão de uma camada P^+ que forma o coletor do IGBT, como se vê na figura 4.18.

Em termos simplificados pode-se analisar o IGBT como um MOSFET no qual a região N^- tem sua condutividade modulada pela injeção de portadores minoritários (lacunas), a partir da região P^+ , uma vez que J_1 está diretamente polarizada.

Esta maior condutividade produz uma menor queda de tensão em comparação a um MOSFET similar.

O controle de componente é análogo ao do MOSFET, ou seja, pela aplicação de uma polarização entre gate e emissor. Também para o IGBT o acionamento é feito por tensão.

A máxima tensão suportável é determinada pela junção J2 (polarização direta) e por J1 (polarização reversa). Como J1 divide 2 regiões muito dopadas, conclui-se que um IGBT não suporta tensões elevadas quando polarizado reversamente.

Os IGBTs apresentam um tiristor parasita.

A construção do dispositivo deve ser tal que evite o acionamento deste tiristor, especialmente devido às capacitâncias associadas à região P, a qual relaciona-se à região do gate do tiristor parasita.

Os modernos componentes não apresentam problemas relativos a este elemento indesejado.

Características de chaveamento

A entrada em condução é similar ao MOSFET, sendo um pouco mais lenta a queda da tensão Vce, uma vez que isto depende da chegada dos portadores vindos da região P+.

Para o desligamento, no entanto, tais portadores devem ser retirados.

Nos TBPs isto se dá pela drenagem dos portadores via base, o que não é possível nos IGBTs, devido ao acionamento isolado.

A solução encontrada foi a inclusão de uma camada N+, na qual a taxa de recombinação é bastante mais elevada do que na região N-.

Desta forma, as lacunas presentes em N+ recombinam-se com muita rapidez, fazendo com que, por difusão, as lacunas existentes na região N- refluem, apressando a extinção da carga acumulada na região N-, possibilitando o restabelecimento da barreira de potencial e o bloqueio do componente.

IGBT rápido x IGBT de baixas perdas

Existem atualmente no mercado 2 tipos de IGBTs: os rápidos e os de baixas perdas.

Este fato já indica que não existem IGBTs rápidos e com baixas perdas.

A diferença está relacionada exatamente ao comportamento no desligamento descrito anteriormente.

Os IGBTs de baixas perdas utilizam dopagem e materiais que reduzem as perdas em condução, no entanto, implicam num maior tempo de desligamento.

Para os dispositivos rápidos, não se consegue reduzir significativamente a queda de tensão sobre o componente quando em condução.

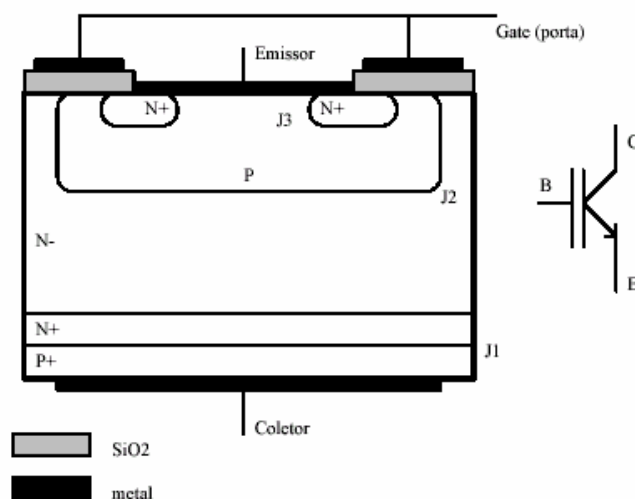


Figura 4.18. Estrutura básica de IGBT.

ALGUNS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Um primeiro critério é o dos limites de tensão e de corrente. Os MOSFET possuem uma faixa mais reduzida de valores, ficando, tipicamente entre: 100V/200A e 1000V/20A.

Já os TBP e IGBT atingem potências mais elevadas, indo até 1200V/500A.

Como o acionamento do IGBT é muito mais fácil do que o do TBP, seu uso tem sido crescente, em detrimento dos TBP.

Outro importante critério para a seleção refere-se às perdas de potência no componente.



Assim, em aplicações em alta frequência (acima de 50kHz) devem ser utilizados MOSFETs.

Em frequências mais baixas, qualquer dos 3 componentes pode responder satisfatoriamente.

No entanto, as perdas em condução dos TBPs e dos IGBTs são sensivelmente menores que as dos MOSFET.

Como regra básica:

em alta frequência: MOSFET

em média/baixa frequência: IGBT





FIXAÇÃO DA APRENDIZAGEM:

Após estudar toda a UNIDADE IV, responda as questões abaixo, caso tenha dúvida, volte ao texto:

1. Os tiristores produzem operação de:
 - a. ☐ chaveamento
 - b. ☐ amplificação
 - c. ☐ retificação
 - d. ☐ filtragem
2. Os tiristores são dispositivos:
 - a. ☐ capacitivos
 - b. ☐ astáveis
 - c. ☐ monoestáveis
 - d. ☐ biestáveis
3. Na corrente alternada "wt" significa:
 - a. ☐ frequência angular
 - b. ☐ velocidade angular
 - c. ☐ corrente de frequência
 - d. ☐ tensão angular.
4. Os SCR são construídos para operar com tensão:
 - a. ☐ contínua
 - b. ☐ de avalanche
 - c. ☐ de corte
 - d. ☐ nda
5. No SCR na corrente IH, é a corrente de:
 - a. ☐ manutenção
 - b. ☐ avalanche
 - c. ☐ trabalho
 - d. ☐ alta potência
6. Geralmente, quando utilizamos um resistor entre o gate e o catodo, queremos evitar:
 - a. ☐ queima do scr
 - b. ☐ disparos indesejados
 - c. ☐ alta potência
 - d. ☐ nda
7. Outro tipo de tiristor é:
 - a. ☐ diac
 - b. ☐ transistor bipolar
 - c. ☐ diodo retificador
 - d. ☐ resistor variável
8. O diac é um dispositivo que tem:
 - a. ☐ três terminais
 - b. ☐ quatro terminais
 - c. ☐ dois terminais
 - d. ☐ um terminal
9. A condição para o diac conduzir é:
 - a. ☐ a tensão entre os seus terminais excede o valor de avalanche direta em qualquer sentido.
 - b. ☐ a tensão entre os seus terminais é nulo
 - c. ☐ a corrente que o atravessa é nula
 - d. ☐ nda
10. No scr o circuito de snubber é formado:
 - a. ☐ um transistor
 - b. ☐ quatro capacitores
 - c. ☐ dois resistores
 - d. ☐ por um capacitor e um resistor



11. A estrutura do diac é:
 - a. ☐ npn
 - b. ☐ pnp
 - c. ☐ ppp.
 - d. ☐ nnp
12. O tiristor que atua nos dois sentidos da corrente alternada é:
 - a. ☐ diac
 - b. ☐ triac
 - c. ☐ scr
 - d. ☐ nda
13. O triac quando é atravessado por uma corrente baixa, deve:
 - a. ☐ terá alta potencia
 - b. ☐ queimá-lo
 - c. ☐ saturar
 - d. ☐ cortar
14. O triac possui dois terminais igual, que são:
 - a. ☐ dois dreno
 - b. ☐ dois anodo
 - c. ☐ dois catodo
 - d. ☐ nda
15. Quando circula pelo triac uma corrente abaixo de I_H , ele:
 - a. ☐ estoura
 - b. ☐ queima
 - c. ☐ corta
 - d. ☐ satura
16. Em circuitos controlador de potencia que utilizamos o triac, devemos colocar no seu gate:
 - a. ☐ um diac
 - b. ☐ um scr
 - c. ☐ transistor
 - d. ☐ resistor
17. Num circuito retificador controlado temos utilizar:
 - a. ☐ triac
 - b. ☐ scr
 - c. ☐ diac
 - d. ☐ nda
18. Como transistor de unijunção temos:
 - a. ☐ scr
 - b. ☐ put
 - c. ☐ gto
 - d. ☐ triac
19. A estrutura interna de um put, se assemelha ao:
 - a. ☐ scr
 - b. ☐ diac
 - c. ☐ triac
 - d. ☐ transistor bipolar
20. O disparo de um put é feita por:
 - a. ☐ capacitores externos
 - b. ☐ capacitores internos
 - c. ☐ resistore internos
 - d. ☐ resistor externos
21. Podemos substituir um put por um circuito formado por transistores bipolares:
 - a. ☐ npn e pnp
 - b. ☐ npn e fet
 - c. ☐ fet e pnp
 - d. ☐ fet e mosfet



22. Um dos circuitos que podemos montar utilizando o put é:
- a. ☐ oscilador de relaxação
 - b. ☐ oscilador de retardo
 - c. ☐ oscilador de eletrons
 - d. ☐ nda
23. No oscilador de relaxação com o put, se inicialmente o capacitor tiver descarregado, o put estará:
- a. ☐ oscilará
 - b. ☐ conduzindo
 - c. ☐ saturado
 - d. ☐ cortado
24. No put, não pode ser chamada de intrínseca porque:
- a. ☐ não depende mais do dispositivo
 - b. ☐ depende do dispositivo
 - c. ☐ não é exata
 - d. ☐ nda
25. O transistor MOSFET pode ser:
- a. ☐ canal N ou canal P
 - b. ☐ somente canal N
 - c. ☐ somente canal P
 - d. ☐ canal PN
26. Para o MOSFET funcionar como transistor temos:
- a. ☐ V_{DS} diferente de 0
 - b. ☐ $V_{DS}=0$
 - c. ☐ $V_{DS}<0$
 - d. ☐ $V_{DS}>0$
27. Elevando V_{GS} a corrente de dreno irá:
- a. ☐ aumentar
 - b. ☐ diminuir
 - c. ☐ permanecer inalterado
 - d. ☐ nda
28. Para o desligamento do MOSFET, a tensão V_{GG} terá ser:
- a. ☐ negativa
 - b. ☐ positiva
 - c. ☐ neutra
 - d. ☐ acima de 10A
29. No MOSFET canal n, os portadores em transito são.
- a. ☐ protons
 - b. ☐ eletrons
 - c. ☐ neutrons
 - d. ☐ nda
30. O circuito snubber também é chamado de:
- a. ☐ circuitos de tensão
 - b. ☐ circuitos amaciadores
 - c. ☐ circuitos alongadores
 - d. ☐ circuitos medianos



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Edna Alves de; Eletrônica Industrial: Análise de dispositivos e suas aplicações; 1ª ed. Salvador - Brasil, Novotipo, 1996.

CIPELLI, Antonio Marco Vicari; SANDRINI, Waldir João; Teoria e desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos; São Paulo - Brasil, Érica, 1979.

LOWENBERG, Edwin C.; Circuitos Eletrônicos; (Tradução: Ostend. A. Cardim). São Paulo - Brasil, McGraw-Hill do Brasil, 1974.

MALVINO, Albert Paul; Eletrônica: volume 1; (Tradução: José Lucimar do Nascimento; revisor técnico: Antonio Pertence Junior.- 4ª ed. São Paulo - Brasil, Makron Books, 1995.

KAUFMAN, Milton; Eletrônica Básica; (Tradução: Fausto Martins Pires Júnior) São Paulo - Brasil, McGraw-Hill do Brasil, 1984.

BARBI, "Eletrônica de Potência". Edição do Autor, Florianópolis, 4ª Edição, 2002.

BARBI & D. C. Martins, "Eletrônica de Potência: Conversores CC-CC Básicos Não Isolados". Edição dos Autores, Florianópolis, 2000.

D. C. MARTINS & I. BARBI, "Eletrônica de Potência: Introdução ao Estudo dos Conversores CC-CA". Edição dos Autores, Florianópolis-SC, maio/2005.

BARBI, "Projetos de Fontes Chaveadas". Edição do Autor, Florianópolis-SC, 2001.

C.W. LANDER, "Eletrônica Industrial Teoria e Aplicações". McGraw-Hill, Rio de Janeiro, 1988.

R.P.T. BASCOPÉ & A.J. PERIN, "O transistor IBGT Aplicado em Eletrônica de Potência". Sagra Luzzato Editores, Porto Alegre, 1997.

ALMEIDA, José Luiz Antunes de; "Dispositivos Semicondutores – Tiristores". Érica, São Paulo. 9ª Edição.

MARQUES, Angelo Eduardo B.; CRUZ, Eduardo Cesar A.; JÚNIOR, Salomão Choueri. "Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores - Estude e Use". Érica, São Paulo. 9ª Edição.

MARKUS, Otávio. "Ensino Modular - Sistemas Analógicos Circuitos com Diodos e Transistores". Érica, São Paulo. 5ª Edição.

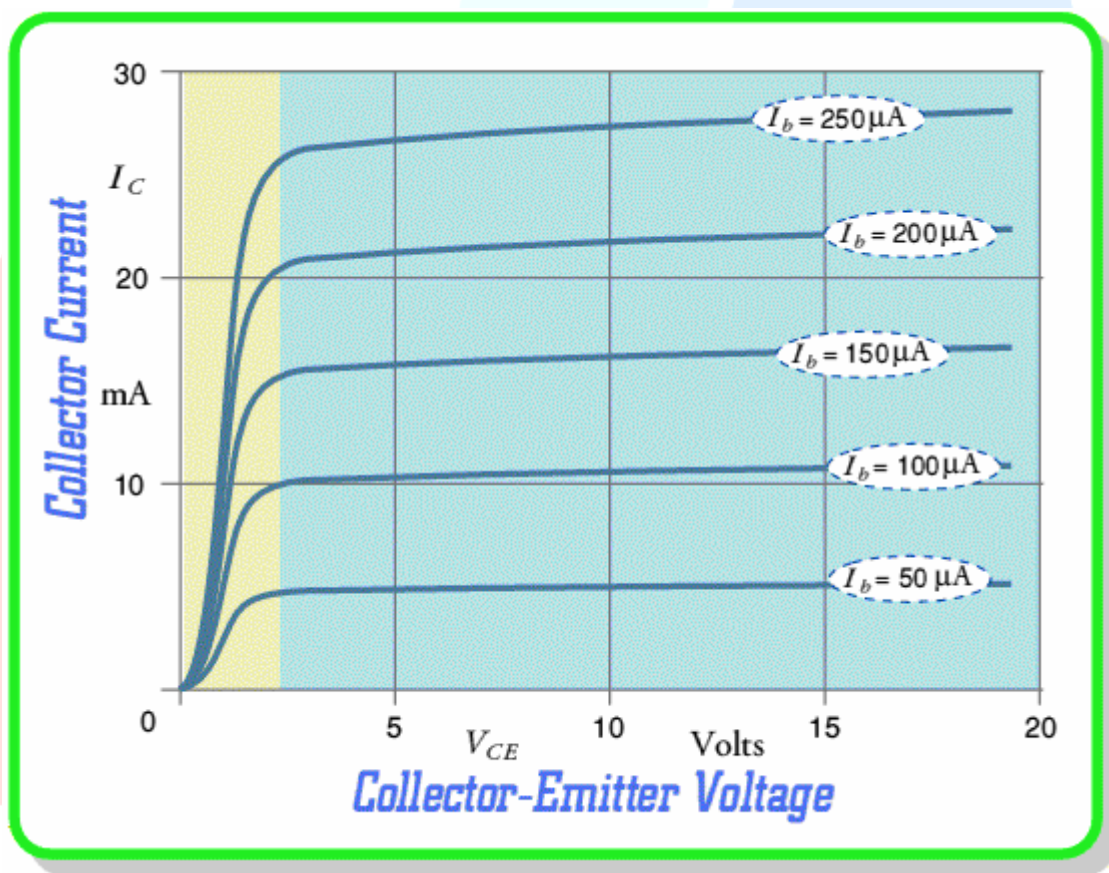
CIPELLI Antônio Marco Vicari; SANDRINI, Waldir João e MARKUS, Otávio. "Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos". Érica, São Paulo. 21ª Edição.

CAPUANO, Francisco G. e MARINO, Maria Aparecida M.. "Laboratório de Eletricidade e Eletrônica". Érica, São Paulo. 21ª Edição.

CURVA CARACTERÍSTICA DE UM TRANSISTOR DE JUNÇÃO

Por curvas características de um transistor compreende-se o gráfico da corrente no coletor, I_C , em função da tensão entre o coletor e o emissor V_{CE} , para uma dada corrente da base, I_B .

Estas curvas costumam apresentar três regiões características, uma subida inicial, onde o transistor polariza suas junções; um platô, chamado de **região ativa**, onde o transistor obedece a relação $I_C = \beta I_B$, para uma larga faixa de valores de V_{CE} ; e uma terceira região, que é chamada de **ruptura**, onde a corrente aumenta abruptamente e o transistor deixa de funcionar, pois a tensão aplicada V_{CE} é excessiva (não apresentada na figura abaixo).



Para cada curva de I_B (corrente de Base) temos uma I_C (corrente de coletor) correspondente, desta forma podemos calcular o ganho de corrente β , onde:

$$\beta = I_C / I_B$$

ANEXO II

CONFEÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO:

Segue abaixo, como sugestão, uma lista de material a ser adquirida para a confecção caseira de placas de circuitos impressos.

FERRAMENTAS:





- 1 Ferro de Solda de no mínimo 40W. (*bico fino*)
- 1 Sugador de Solda
- 1 Furador de Placa

MATERIAIS:

- 1 Tubo de Solda (70% estanho e 30% chumbo)
- Placa de Fenolite (o tamanho depende do desenho e é comprada por cm²)
- 1 caneta preta para retroprojektor ou a caneta especial para a finalidade.
- 1 vasilha de plástico (ex. vasilha de sorvete)
- Percloroeto de Ferro (vendo já diluído em garrafa ou em pó para ser diluído em água)

CUIDADO: Não derrame a solução em tubulação metálica e nem em jardins. (LEIA 12º Passo)

MATERIAIS DIVERSOS INDISPENSÁVEIS:

- Bombril
- Barbante
- Fita Adesiva tipo Durex
- Papel de Seda
- Papel Carbono Azul
- Garrafa Plástica
- Funil plástico
- Serrinha (cegueta – para cortar o excesso de placa)

Percloroeto de Ferro



PROCEDIMENTOS: (ANTES DE FAZER A PLACA, LEIA TODO O PROCEDIMENTO)

- 1 – Passar o desenho original para o **papel de seda**. (*apenas o contorno das trilhas e dos furos*)
- 2 – Lixar a parte cobreada da **placa de Fenolite** com o **bombril**, após esse procedimento não coloque o dedo na placa, para não engordura-lá. (*verifique se o desenho é menor que a placa, caso afirmativo corte a placa*).
- 3 – Coloque sobre o cobre o **carbono** e sobre o carbono o desenho no papel de seda e em seguida fixá-los na placa com **durex**. (*faça apenas o contorno das trilhas e dos furos, o preenchimento fica no 5º passo*)
- 4 – Após passar para a placa o desenho, com o **furador**, fure todos os furos. (*caso haja necessidade, faça os furos para colocação de parafusos de fixação*)
- 5 – Após furá-los, passe a **caneta preta** sobre as trilhas (preenchendo-as) e sobre os furos.
- 6 – Num dos furos da placa, passe o **barbante**, com tamanho suficiente para retirar a placa da solução.
- 7 – Coloque água (*na temperatura ambiente, não coloque gelada*) na **vasilha plástica** (*o suficiente para cobrir a placa*).
- 8 – Misture na água o **Percloroeto de ferro** (*caso compre em pó, se já comprar diluído, coloque-o na vasilha plástica e não precisa de água*), misture bem a solução utilizando uma varreta de madeira ou de plástico nunca metálica, coloque o pó (*por experiência, até a solução ficar bem escura que não consiga ver o fundo*),
CUIDADO: No processo, há expansão de gases e liberação calor, portanto evite de ficar com o rosto muito em cima da solução e tome cuidado com sua roupa, essa solução mancha e não sai.
- 9 – Após feita a solução, mergulhe nela a placa com o barbante e de umas balançadas com o barbante até o a solução corroer todo o cobre e ficar somente a trilha com a caneta. (*esse processo durará em torno de 5 a 10 minutos*).
- CUIDADO: Não deixe pôr muito tempo, sem não a solução pode corroer até a trilha pintada.**
- 10 – Retire a placa solução, **lave** bem a placa em **água corrente**, até sair a solução.
- 11 – Utilizando o **bombril**, lixe a parte pintada até sair toda a tinta, e terá a sua placa pronta para colocar os componentes. (BOA SORTE! CASO TENHA DIFICULDADE, PASSE UM E-MAIL).
- 12 – Utilizando o **funil plástico**, coloque a solução na **garrafa plástica** para reutilização.

ANEXO III

SEMICONDUCTORES - TESTANDO



O objetivo desta página é dar aos iniciantes da Eletrônica alguns métodos simples de teste de semicondutores comuns com uso do instrumento mais simples, isto é, o multímetro analógico.

Podem ser úteis para serviços comuns de reparo, mas não se pode esperar os mesmos resultados que seriam obtidos com instrumentos mais sofisticados e específicos.

Observação:

A maioria dos multímetros analógicos comuns tem, para a medição de resistências, tensão negativa da bateria interna na saída + ou W (ponta vermelha) e positiva na saída - ou COM (ponta preta).

Multímetros digitais podem ter o contrário e, portanto, as indicações serão inversas das indicadas nesta página.

TESTANDO DIODOS

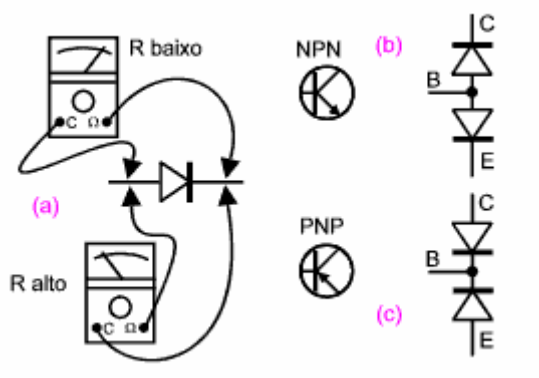


Fig 1.1

O teste de diodos com um multímetro na escala de resistência é um dos mais conhecidos.

Em geral, usamos a escala Rx10 ou Rx1 e, conforme Figura 1.1 (a), a resistência é baixa na polarização direta e alta na polarização inversa.

Assim, é possível verificar se o diodo não está aberto ou se não está em curto.

O mesmo procedimento pode ser usado para transistores bipolares comuns.

Para efeito de nosso teste simples, um transistor bipolar pode ser considerado equivalente a dois diodos ligados em oposição.

Na Figura 1.1, em (b) temos a equivalência para o tipo NPN e em (c) para o tipo PNP.

Notar que a equivalência é apenas para efeito do teste simples.

Um par de diodos não substitui, em hipótese alguma, um transistor nas suas funções de comutação ou amplificação.

Para informações teóricas, ver página Semicondutores I deste site.

TESTE DE TRANSISTORES BIPOLARES

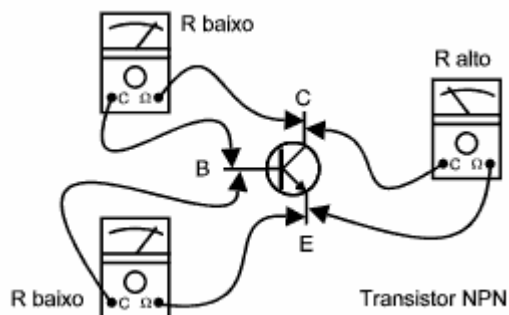




Fig 2.1

Considerando a equivalência para o tipo NPN dada no tópico anterior, temos na Figura 2.1 as junções emissor/base e coletor/base diretamente polarizadas e, portanto, com resistência baixa.

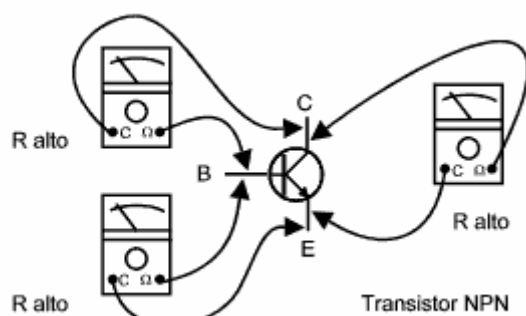


Fig 2.2

Na Figura 2.2, as junções emissor/base e coletor base estão inversamente polarizadas.

A resistência deve ser alta para ambas.

Na medição entre coletor e emissor, a resistência deve ser alta nos dois sentidos.

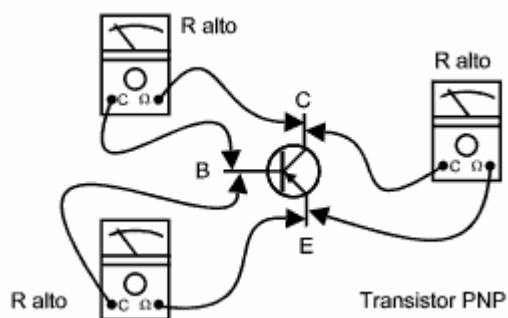


Fig 2.3

O transistor PNP opera de modo inverso.

Na Figura 2.3 as junções coletor/base e emissor/base estão inversamente polarizadas.

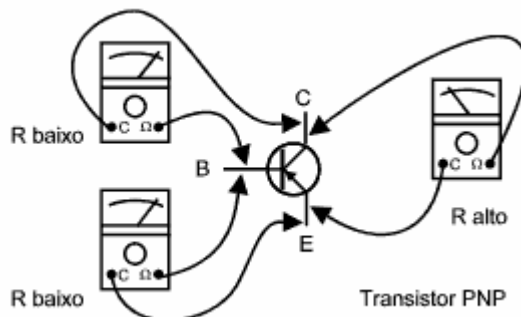


Fig 2.4

No transistor PNP da Figura 2.4 as junções coletor/base e emissor/base estão diretamente polarizadas, resultando em resistência baixa.

A resistência entre coletor e emissor é alta nos dois sentidos, da mesma forma do tipo NPN.

Um defeito comum em transistores de potência é curto entre coletor e emissor, que pode ser detectado por esses testes.

Lembrar que certos tipos, como os de saída horizontal de televisores e monitores, podem ter diodo interno entre emissor e coletor e também resistência interna entre base e emissor.

Mas o curto citado é observado pela baixa resistência em ambos os sentidos.

IDENTIFICANDO TERMINAIS DE UM TRANSISTOR BIPOLAR

Transistores são fornecidos em uma variedade de invólucros e tamanhos.

Em geral, a identificação dos terminais (base, emissor, coletor) não consta nos mesmos e não há uma padronização única.

Algumas vezes, por falta de dados, esquemas, etc, precisamos identificá-los.

Em primeiro lugar, é suposto que o transistor está em bom estado.

Caso contrário, o teste pode não ser conclusivo.

Observando os diagramas do tópico anterior, podemos notar que a base é o único terminal que pode ter baixa resistência com os outros dois.

Assim, ela é facilmente identificável e, pela polaridade das pontas do multímetro, podemos também determinar o tipo (NPN ou PNP).

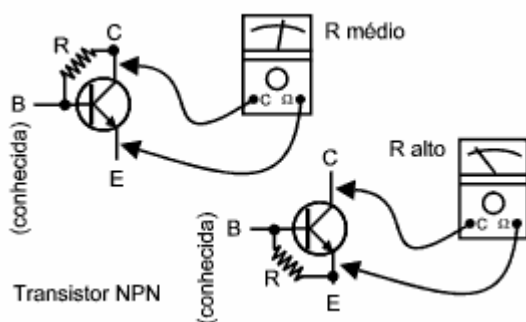


Fig 3.1

O melhor para isso é um multímetro, possivelmente digital, que tenha função de teste de diodo.

Essa função, na polarização direta, indica, no lugar da resistência, a queda de tensão direta da junção (seria nula num diodo ideal).

Num transistor bipolar comum, a junção emissor/base tem uma queda de tensão direta ligeiramente superior à da junção coletor/base.

Portanto, uma vez identificada a base, os demais são rapidamente obtidos.

Se dispomos apenas de um multímetro comum, há necessidade de um arranjo conforme Figura 3.1.

Supomos a base já conhecida e o transistor identificado como NPN.

Mantemos as pontas do multímetro (com uso de garras ou outros meios) fixas nos outros dois terminais ainda desconhecidos.

A resistência é alta conforme visto no tópico anterior.

O terminal que, com um resistor R entre ele e a base, provocar uma redução da resistência indicada no multímetro, será o coletor.

Para pequenos transistores de sinais, a escala $R \times 10$ e R entre 10 e 20 K são suficientes.

Para transistores de potência, podemos usar escala e resistores mais baixos.

No caso de transistor PNP, devemos inverter a polaridade das pontas do multímetro.

Teste de tensão em transistor bipolar

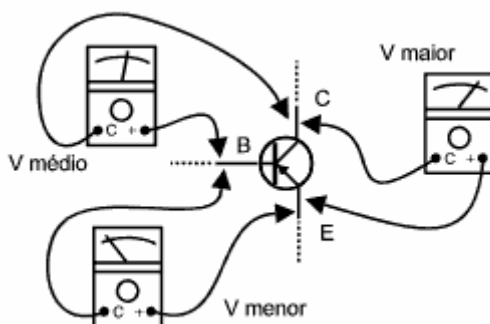


Fig 4.1

Seria muito cômodo se, apenas com medições de tensões no circuito, pudéssemos dizer se um transistor está defeituoso. Muitas vezes isso não ocorre.

A Figura 4.1 dá apenas uma orientação grosseira dos valores relativos de tensões em um transistor PNP de um circuito CC típico.

Para um transistor NPN, a polaridade do multímetro (agora na escala de tensão) deve ser invertida.

A tensão entre emissor e base é em geral bastante pequena, menos de 1 V.

Repetindo, essas informações são imprecisas, dependem muito do circuito, servem apenas como uma forma de "suspeita" do componente antes de retirá-lo do circuito.

Outro aspecto importante: estamos considerando apenas circuitos CC de baixa tensão e potência.

Cuidado com circuitos de alta tensão, alta frequência ou alta potência.

O instrumento pode ser danificado e há risco de acidente.

Em geral, há necessidade de pontas de prova e de instrumentos especiais.

TESTE DE SCR E TRIAC

Um SCR pode ser comparado a um diodo comum controlado pela entrada "porta" (ou "gate" do inglês).

Sem sinal na porta, ele não conduz em qualquer direção.

Com uma tensão adequada na porta, ele é disparado e passa a conduzir em uma direção como um diodo comum.

O TRIAC opera de forma similar, mas a condução é bidirecional (para ambos os tipos, uma vez disparado, a condução se mantém enquanto houver corrente circulando, independente do sinal na porta).

Se a corrente cai a zero, o estado de condução desaparece e é necessário um novo disparo para reativá-lo).

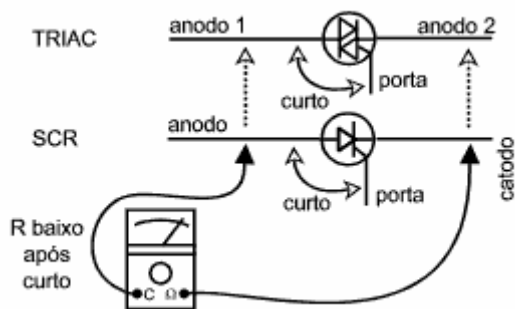


Fig 5.1

O teste deve começar pela medição da resistência, que, ao contrário do diodo, deve ser alta nos dois sentidos.

Para verificar o disparo, proceder conforme Figura 5.1: mantendo as pontas conectadas ao dispositivo, provocar um breve curto entre o lado de tensão positiva e a porta.

Isso provoca o disparo do SCR ou TRIAC e ele passa a conduzir, o que é observado pela baixa resistência indicada no instrumento.

Estando o componente em boas condições e continuando as pontas conectadas, o estado de condução deve permanecer mesmo após a remoção do curto.

Com um pouco de prática, esse curto pode ser dado com a própria ponta de prova do multímetro.

Aqui vão algumas considerações que valem também para os demais tópicos desta página: quanto mais alta a escala de resistência, menor a corrente que circula pelo componente testado.

Componentes pequenos ou sensíveis podem mesmo ser danificados pelas correntes de escalas mais baixas do instrumento.

Assim, é recomendável começar com escalas altas nesses casos.

Por outro lado, o instrumento pode não fornecer tensão e/ou corrente necessárias para um teste verdadeiro em alguns componentes.

Mas, para a maioria dos casos práticos, os procedimentos funcionam.

TESTE DE TRANSISTOR DE UNIJUNÇÃO

O transistor de unijunção é um componente que exhibe propriedades de resistência negativa e, por isso, usado com frequência em osciladores.

Para fins de teste, o circuito equivalente é dado na parte direita da Figura 6.1.

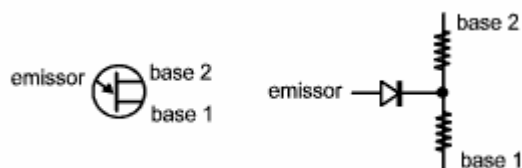


Fig 6.1

A medição entre base 1 e base 2 deve apresentar a mesma resistência alta, independente da polaridade.

Na polarização direta, a resistência entre emissor e base 1 deve ser menor e aproximadamente igual à resistência entre emissor e base 2.

Na polarização inversa, os valores devem ser altos e, de forma similar, aproximadamente iguais.

Teste de JFET

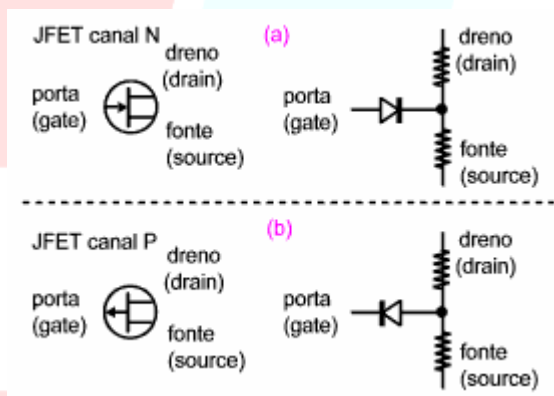


Fig 7.1

JFET significa transistor de junção de efeito de campo (do inglês "junction field-effect transistor").

É um semicondutor que apresenta algumas características (alta impedância de entrada, curva de tensão) que se aproximam das válvulas termiônicas.

Existem dois tipos, canal N e canal P, cujos símbolos e circuitos equivalentes para medição simples são dados na Figura 7.1.

Para ambos os tipos, a resistência entre dreno e fonte deve ser aproximadamente a mesma nos dois sentidos. Valores práticos costumam ser na faixa de 100 a 10000 ohms.

Pela figura podemos concluir que as resistências entre porta e dreno e entre porta e fonte irão depender da polaridade das pontas do instrumento e do tipo (N ou P).

Para um mesmo tipo, cada resultado deve ser alto em um sentido e baixo em outro, similar ao de um diodo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



Neste módulo, você encontrou conteúdo, textos e interpretações para apoiá-lo no seu Curso. Aqui, a teoria é acompanhada da sua contrapartida – estágio – que será de grande valor para o seu enriquecimento profissional.

Não pretendemos de forma alguma ditar receitas infalíveis. Nossa intenção é conduzir um diálogo direcionado a você e dessa forma, ajudá-lo a desenvolver habilidades de estudo – consultas a dicionário, enciclopédia e leitura de textos – tornando-o apto a superar os limites que esse material encerra.

Agora, vamos ao seu desempenho. Se você acertou tudo, passará para o próximo módulo. Caso contrário, esclareça suas dúvidas com o seu **professor/tutor**, de acordo com a sua disponibilidade de tempo e esteja você onde estiver, seja por telefone, fax ou internet (www.colegiopolivalente.com.br.)

O desafio de toda Equipe Polivalente é saber articular um ensino profissionalizante de modo a ser compreendido pela comunidade. O único modo para articulá-lo e vivê-lo, é dando testemunho de vida.

O seu sucesso é também sucesso do CIP.

Afinal, o CIP é você!!!!