

ELETRÔNICA

para

Estudantes

Hobistas

**&
Inventores**

Paulo Brites

Cópia de DIVULGAÇÃO - ALGUMAS PÁGINAS

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Paulo Brites

Eletrônica
para
Estudantes, Hobistas & Inventores

1ª Edição

Rio de Janeiro

Edição do Autor

2016

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Algumas palavras iniciais

Quando eu comecei a estudar Eletrônica ainda vivíamos na Era da Válvula e os transistores começavam a chegar por aqui muito timidamente e, pelo que lembro, só existia o CK722 que servia para tudo.

As minhas primeiras aulas sobre transistores no curso técnico foram um horror. Os “professores” eram dois estudantes de engenharia (não vem ao caso de que escola) totalmente despreparados para dar aula em um curso técnico e queriam calcular a velocidade do elétron dentro do cristal semicondutor e outras bizarrices do gênero.

Eu me perguntava, por que quando estudei as válvulas anteriormente com um engenheiro não precisei aprender a calcular com que velocidade o elétron saía do cátodo e chegava à placa. Aprendi sim, e muito bem, com o meu inesquecível Prof. França, como se polarizava uma válvula, como se utilizavam as suas curvas e como se fazia o circuito funcionar.

Era isto que eu queria saber sobre os transistores e que aqueles “professores”, estudantes de engenharia não ensinavam, porque também não sabiam.

Não desisti. Mesmo sem Internet e sem Google, era 1967, descobri um pequeno livrinho da RCA americana que consegui que chegasse às minhas mãos aqui no Brasil (não perguntem como consegui esta façanha, nem lembro mais) e que explicava com muita clareza como o transistor funcionava.

Por volta de 1970, quando comecei a dar aula de Eletrônica, aquele livrinho era a minha fonte de inspiração para preparar as aulas.

Para encurtar este prefácio, antes que ele se transforme numa auto biografia, quero dizer que ano após ano venho percebendo que se precisa simplificar cada vez mais a maneira de ensinar, para quem está começando a estudar alguma coisa, seja Eletrônica ou o que for.

Estamos no século XXI e os métodos de ensino e muitos livros ainda estão no século XIX!

No meu ponto de vista, primeiro o aprendiz precisa entender para que serve aquilo que estão tentando lhe ensinar. Mais tarde, se for do seu interesse, ele irá se aprofundar no assunto.

Costumo resumir este meu “método didático” dizendo: - ninguém precisa saber como funciona o aparelho digestório para almoçar e jantar.

Este será o caminho seguido neste livro: - primeiro a gente come, depois a gente digere a comida.

Espero que funcione e que você não tenha uma "indigestão" de conhecimentos!

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Sumário

Capítulo 1

Onde trataremos do que você precisa ter em mãos para começar a estudar e aprender Eletrônica.

O que é obrigatório para começar a estudar	13
Continuando as compras	14

Capítulo 2

Você vai começar a aprender a usar o multímetro. Vai ser emocionante.

Tensão ou "voltagem", por onde tudo começa	17
Mais uma escala do multímetro	21

Capítulo 3

Neste capítulo estudaremos um componente sempre presente nos circuitos eletrônicos: o resistor.

Sem resistor não dá pra ser feliz!	25
Resistor, resistência e código de cores	26
Finalmente, o código de cores	27
Descobrimo o valor da resistência do resistor do resistor através do código de cores	28
Algumas complicações com o código de cores	29
Por que tantos tamanhos de resistores ?	31

Capítulo 4

Neste capítulo começaremos a estudar a função do resistor nos circuitos.

Para isso precisaremos estudar a relação dos resistores com a tensão e a corrente elétrica ou a famosa Lei de Ohm.

Começando a usar resistores	33
Calculando o valor de um resistor ou conhecendo a Lei de Ohm.....	34
Montando o circuito e fazendo algumas medições	35
Uma conclusão importante	36
Medindo corrente	37
Características do circuito série	39
Usando a Lei de Ohm para descobrir a corrente	39

Capítulo 5

Começaremos a estudar o primeiro componente eletrônico propriamente dito e suas aplicações. Trata-se do DIODO semiconductor e os circuitos retificadores..

Um blá-blá-blá preliminar, mas importante	41
Testando diodos com o multímetro digital	43
Algumas considerações sobre o teste de diodos	44
Descobrimo se o diodo está OK ou não	44
Uma aplicação para os diodos: os circuitos retificadores	45

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Da tensão alternada para a contínua	45
Funcionamento de uma ponte retificadora	49
Entra em cena o capacitor	51
O que se usa na prática	52
Retificação de onda completa em ponte	53
Começando a construir uma fonte de alimentação	54
Como escolher um diodo	57

Capítulo 6

Embora ainda tenhamos muito que falar sobre diodos e fontes de alimentação, vamos dar uma breve pausa no tema para introduzir outro componente importantíssimo: o transistor bipolar.

O que é um transistor	60
Da teoria para a prática	62
Como funciona um transistor	63
Vamos praticar, acendendo o LED com o dedo	65
Substituindo o dedo por um resistor	67
Aprendendo a polarizar um transistor	68
Alguns parâmetros dos transistores BJT	69
Identificando base, emissor e coletor e testando um transistor com um multímetro digital.....	71
Como descobrir o hfe de um transistor	75
Trabalhando com o transistor PNP	76

Capítulo 7

Neste capítulo voltaremos a falar de resistores, mas não aqueles que estudamos no capítulo 3. Trataremos de resistores cuja resistência varia em função de fatores externos como luz e temperatura, por exemplo.

Estudaremos também resistores variáveis chamados de pontenciômetros.

Resistores especiais, sensores ou transdutores	78
LDR - Light Dependence Resistor	78
Sensores térmicos: NTC e PTC	79
Outros sensores	81
Potenciômetros e reostatos	81
Qual a diferença entre potenciômetro e resostato?.....	82
Potenciômetro linear ou logarítmico?	83
Já ouviu falar em <i>trimpots</i> ?	85

Capítulo 8

Um componente muito utilizado nos circuitos eletrônicos é o regulador de tensão.

Neste capítulo você aprenderá um pouco sobre eles e suas aplicações.

Reguladores de tensão integrados	87
Por que precisamos de reguladores de tensão?	87
Reguladores de tensão de três terminais	89
É fazendo que se aprende	90
Entendendo um pouco os parâmetros dos reguladores de tensão	91
Regulador de tensão com saída ajustável	93
A primeira montagem a gente nunca esquece	95

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Capítulo 9

Neste capítulo você estudará os diodos Zener bem como algumas de suas aplicações.

O que é um diodo Zener	98
O diodo Zener na prática	100
Parâmetros de um diodo Zener	101
Colocando a teoria na prática	102
Fórmulas para o cálculo do resistor shunt	104

Capítulo 10

Neste capítulo estudaremos mais um componente passivo, depois dos resistores, muito importante e sempre presente nos circuitos eletrônicos: - os capacitores. Aproveitaremos para começar a estudar o conceito de impedância.

Capacitância e capacitor	107
Tipos de capacitores	108
Entendendo os valores dos capacitores	109
O que são múltiplos e sub múltiplos	110
Os capacitores eletrolíticos	114
O comportamento do capacitor em "corrente" contínua	117
O comportamento do capacitor em "corrente" alternada	121
O que é reatância capacitiva?	124
O importante conceito de impedância	126

Capítulo 11

Neste capítulo voltarei aos transistores, para estudarmos as técnicas de polarização para aplicação do transistor como amplificador e outras coisinhas mais.

Polarizando o transistor bipolar	129
Entendendo o que é ganho.....	136
Vantagens de desvantagens de cada configuração	136
Aumentando o ganho de um amplificador	140
Parâmetros dos transistores e regiões de operação	141
O transistor Darlington	144
Testando o Darlington com o multímetro Digital	145

Capítulo 12

Este será um capítulo dedicado aos dispositivos semicondutores ópticos cada vez mais utilizados em diversos projetos.

Algumas palavras sobre luz	148
Dissecando o espectro eletromagnético.....	151
Foto diodos e foto transistores.....	152
O acoplador óptico.....	154

Capítulo 13

Este capítulo tratará dos indutores, popularmente conhecidos como bobinas, e suas aplicações mais usuais como relés e altifalantes.

Blá-blá-blá preliminar sobre indutores	157
--	-----

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Breves noções sobre eletromagnetismo	158
O indutor em "corrente" contínua	165
O indutor em "corrente" alternada	169
Reatância indutiva.....	170
Relé uma aplicação do eletromagnetismo.....	171
A impedância no circuito RL.....	174
A impedância do alto falante.....	174

Capítulo 14

Hora de ser apresentado a um "ser" quase em extinção: o multímetro analógico.

Multímetro Analógico: por onde tudo começou.....	176
Como o multímetro analógico mede tensão.....	177
Medindo correntes maiores que a de fundo de escala do microamperímetro.....	179
Como medir tensões alternadas com um microamperímetro analógico.....	179
Como medir resistência como o amperímetro analógico.....	181
O painel do multímetro analógico.....	182
Testando diodos e transistores com o multímetro analógico.....	185
Ohms por volt: uma especificação importante.....	188
Testando capacitores com multímetro analógico.....	190

Capítulo 15

Neste diodo você conhecerá mais alguns diodos além do que foi estudado no capítulo 5. São eles: SCR, TRIAC, DIAC e SCHOTTKY

SCRs, TRIACs e DIACs.....	193
Especificações de SCR e TRIACs.....	196
O que é um DIAC.....	198
Como testar um DIAC.....	200
Diodo Schokley e diodo Schoktty.....	200

Capítulo 16

Vamos estudar um "novo" transistor: os FETs e MOSFETs, cada vez mais presentes nos circuitos eletrônicos e também falar um pouco dos IGBTs

Field Effect Transistor, mas pode me chamar de FET.....	203
FETs: simbologia, nomenclaturas e etc.....	204
Polarizando os FETs.....	205
O que é um MOSFET ou IGFET?.....	207
MOSFET: modo depleção ou enriquecido.....	208
Alguns parâmetros importantes dos MOSFETs.....	211
O que é um IGBT?.....	214

Referências bibliográficas	216
---	------------

CAPÍTULO 1

*Onde trataremos do
que você precisa ter
em mãos para começar
a estudar e aprender
Eletrônica.*

**Se você já for um
“iniciado” na Eletrônica
poderá dispensar a leitura
deste capítulo.**

O que é obrigatório para começar a estudar

"A educação deveria começar pelos sentidos, pois as experiências sensoriais obtidas por meio dos objetos seriam internalizadas e, mais tarde, interpretadas pela razão."

Este é um dos pensamentos do holandês [Comenius](#) considerado o pai da didática moderna que viveu entre 1592 e 1670 (isso mesmo) e que irá nortear todo o trabalho deste livro.

Em outras palavras, **para aprendermos alguma coisa de verdade precisamos praticar** e no caso da Eletrônica precisamos de algumas ferramentas e peças para realizar experimentos e tirar conclusões que nos façam entender os conceitos e teorias para o resto da vida para nunca mais nos esquecermos delas.

Não dá para aprender Eletrônica de verdade sem que tenhamos em mãos um **multímetro digital**, portanto não comece a ler o capítulo 2 sem providenciar antes um deles para sua bancada (mesmo que ela seja a mesa da cozinha).

Isso custa muito caro?

Bem, os preços podem variar de uns vinte reais até mil ou mais.

Nas lojas de eletrônica você encontrará multímetros digitais de qualidade razoável por menos de cinquenta reais e que atenderão plenamente seus estudos iniciais.

Comece com um modelo básico similar ao da fig.1, mesmo que você esteja com dinheiro sobrando!

Multímetros muito sofisticados acabarão lhe confundindo neste estágio inicial dos estudos.



Fig. 1 - Multímetro Digital

Segure sua ansiedade

Se este é o seu primeiro multímetro, a vontade de sair mexendo em tudo é irresistível (também já fui criança!), mas segure a sua ansiedade até ser orientado e não transforme felicidade em tristeza em poucos minutos.

CAPÍTULO 2

*Você vai começar
a aprender a usar o
multímetro.*

Vai ser emocionante!

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Antes porém você precisa lembrar que existem dois “tipos” de tensão, uma chamada de “corrente contínua” e a outra de “corrente alternada”.

Se você não sabe disso, então veja meu livro de Eletricidade onde este assunto está bem explicado no capítulo 2.

As pilhas e baterias fornecem tensão do “tipo corrente contínua” e a principal característica é que ela tem uma polaridade bem definida com um polo positivo e outro negativo.

Por convenção o **polo positivo** costuma ser identificado pela **cor vermelha** e o **polo negativo** pela **cor preta**.

A “corrente” contínua é abreviada pela sigla CC ou DC (em inglês Direct Current) e representada pelo símbolo mostrado na fig.2.



Fig.2 - Símbolo de “Corrente” Contínua

Agora temos que escolher a escala correta através da chave rotativa.

Sugiro que você acompanhe a fig.3 com seu multímetro na mão.

Pode haver uma pequena variação de um marca para outra, principalmente nos modelos mais caros, mas o importante é que você procure a posição onde está o símbolo de “corrente” contínua que foi mostrado na fig.2 e está em destaque na fig.3.

No nosso exemplo, está na parte superior à esquerda.

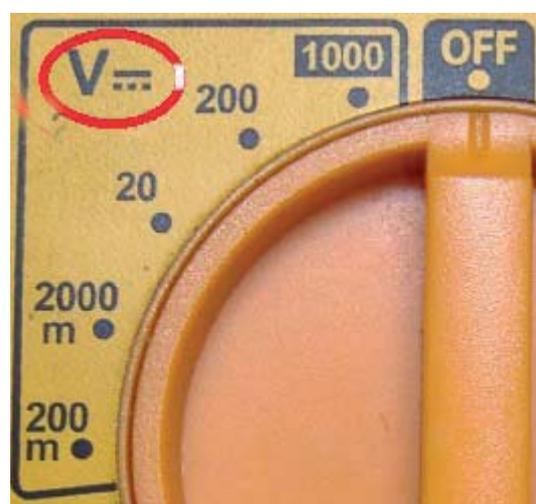


Fig.3 - Posições da chave seletora para “Corrente” Contínua

Se você é um bom observador deve ter notado que neste “bloco” existem cinco possibilidades de escolha que estão identificadas por: 1000, 200, 20, 2000m e 200m.

Estes números se referem ao valor máximo de tensão contínua que a escala pode medir.

Por exemplo, se você vai medir uma tensão de 500V terá que usar a posição marcada com “1000”.

CAPÍTULO 3

*Neste capítulo
estudaremos um
componente sempre
presente nos circuitos
eletrônicos: o resistor.*

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Descobrimo o valor da resistência do resistor através do código de cores

Dentre os resistores que foram sugeridos para você comprar tem alguns com as seguintes cores: **marron-preto-vermelho** e mais uma faixa que pode ser ouro ou prata, que é a tolerância.

Pegue um destes resistores como as cores indicadas acima e acompanhe na tabela abaixo para ver como será feita a leitura do seu valor em ohms.



	1º dígito	2º dígito	3º dígito	tolerância
preto	====	0	x 1	10 % prata
marron	1	1	x 10	5 % ouro
vermelho	2	2	x 100	
laranja	3	3	x 1 000	
amarelo	4	4	x 10 000	
verde	5	5	x 100 000	
azul	6	6	x 1 000 000	
violeta	7	7	ouro : 10	
cinza	8	8	prata : 100	
branco	9	9		

www.paulobrites.com.br

Neste caso temos: marron = 1, preto = 0 e vermelho = 2, porém como é a terceira faixa ela significa “vezes 100” ou “dois zeros” e o valor nominal do resistor é 1000 ohms que também pode ser expresso como 1kohm (lembre-se que “k” corresponde a mil).

É provável que ainda exista uma quarta faixa na cor ouro que corresponde a 5% de tolerância, então na hora que formos medir a resistência destes resistores poderemos encontrar um valor entre 950 e 1050 ohms e está tudo certo.

No kit de resistores que foi sugerido para você comprar deve ter também um resistor com as cores marron - preto - laranja.

Qual é o valor deste resistor?

Se você respondeu 10.000 ohms ou 10 kohms, e eu tenho certeza que respondeu, parabéns!

Supondo que a última faixa é ouro, entre que valores este resistores pode variar?

Seria interessante que você conseguisse outros resistores e praticasse a leitura dos seus valores.

CAPÍTULO 4

*Neste capítulo
começaremos a estudar
a função do resistor nos
circuitos.*

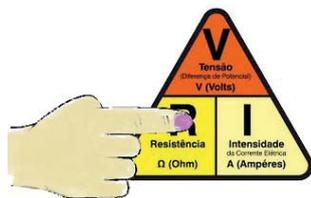
*Para isso precisaremos
estudar a relação dos
resistores com a tensão
e a corrente elétrica ou
a famosa Lei de Ohm.*

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Voltemos ao nosso circuito da fig. 2 para responder porque precisamos usar o resistor em série com o LED e qual o seu valor. Para tal usaremos a Lei de Ohm.

A primeira coisa que você precisa saber é que os LEDs não suportam uma tensão maior que 3V em seus terminais e portanto, se ele for ligado diretamente à bateria de 9V, era uma vez um LED tão bonitinho, donde você certamente já concluiu porque precisamos usar o resistor.

Estabeleceremos que a tensão no LED será apenas 2V o que nos dá 7V sobre o resistor.



Outro ponto que precisamos saber para aplicar a Lei de Ohm e encontrar o valor do resistor, é saber qual a corrente que o LED consome.

O valor exato só pode ser obtido através do fabricante, mas na prática podemos trabalhar com 20mA que é um valor bem usual para a maioria dos LEDs de 5mm.

De posse destas duas informações já podemos fazer as contas.

Basta dividir 7V por 20mA o que nos dará 350Ω. Entretanto, este não é um valor comercial. O que faremos, então?

Optaremos por 470Ω que é um valor bem comum garantindo assim que a corrente no LED ficará um pouco menor que 20mA e não corremos o risco de queimá-lo.

Montando o circuito e fazendo medições

Finalmente chegou a hora de montar o circuito da fig.2 e praticar tudo que foi explicado até aqui.

Na fig.4 você tem a montagem do circuito e a medida da tensão aplicada a ele que se lê no multímetro digital como 9,36V,

Embora nós tenhamos considerado 9V nos nossos

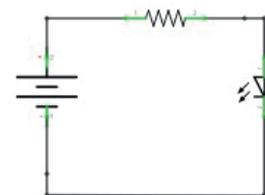


Fig. 4 - Medindo a tensão da bateria

CAPÍTULO 5

Começaremos a estudar o primeiro componente eletrônico propriamente dito e suas aplicações.

Trata-se do DIODO semicondutor e os circuitos retificadores.

Testando diodos com o multímetro digital

Vamos explorar mais uma aplicação para o seu multímetro digital que é o teste de diodos.

Pegue o seu multímetro e coloque a chave seletora na posição onde existe o símbolo de um diodo como mostrado na fig.6.

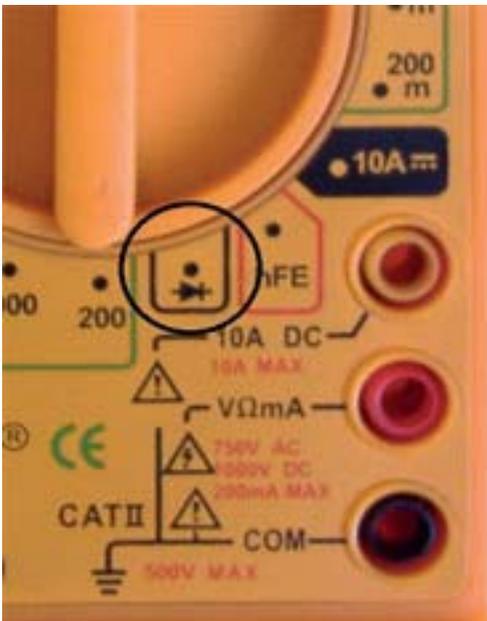


Fig. 6 - Posição da chave para teste de diodos no multímetro digital

O próximo passo será pegar o diodo 1N4007 e aplicar a ele as ponteiros vermelha e pretas das duas maneiras indicadas nas figs. 7a e 7b.

Na fig.7a o diodo está polarizado diretamente. A ponteira preta (negativa) está ligada no lado da faixa que corresponde ao cátodo.

Veja a leitura no *display* em cada caso.



Fig. 7a- Diodo polarizado diretamente

Na fig, 7b o diodo está polarizado inversamente. A ponteira vermelha (positiva) está ligada no lado da faixa que corresponde ao cátodo.

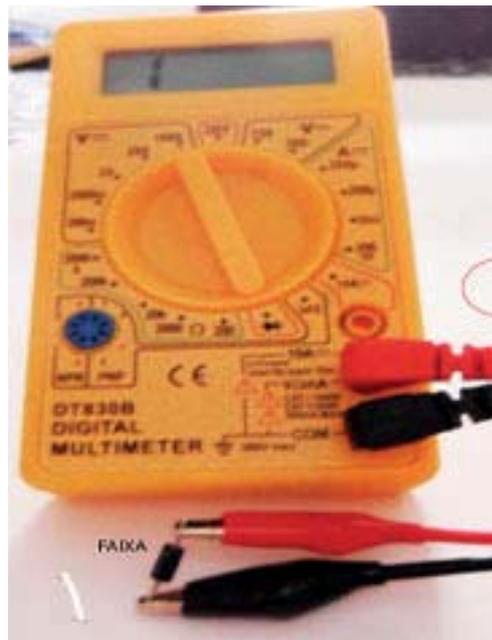


Fig. 7b- Diodo polarizado inversamente

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Antes de analisarmos como este circuito irá fazer a “mágica” de transformar uma senóide numa onda completa pulsante como a da fig. 14 vamos ver como ele aparece na prática mostrando um recorte de uma placa de um equipamento.

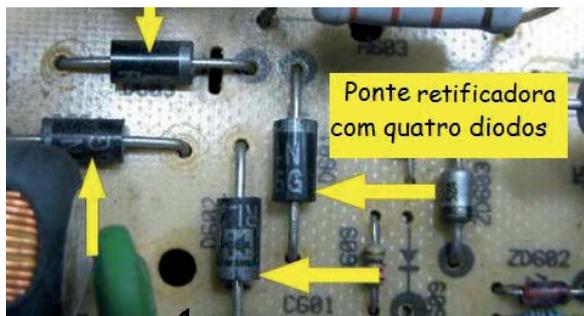


Fig. 16 - Ponte retificadora com diodos

Há uma outra maneira dele aparecer nos circuitos que é de forma integrada como se vê na fig. 17 onde os quatro diodos estão “escondidos” na pastilha com quatro terminais.



Fig. 17- Ponte retificadora integrada

Funcionamento da ponte retificadora

Na fig. 18 temos a configuração básica de um circuito retificador em ponte onde vemos que a alimentação AC está ligada aos pontos A e B e a carga, representada por um resistor, está entre os pontos C e D. Note que já foi usado o símbolo de “terra” ou ground para você ir se familiarizando com a forma como são desenhados os esquemas dos equipamentos.

Para entender como este circuito consegue transformar a onda senoidal de entrada em uma onda pulsante positiva aproveitando os dois semi-ciclos da senóide, vamos analisá-lo em duas etapas.

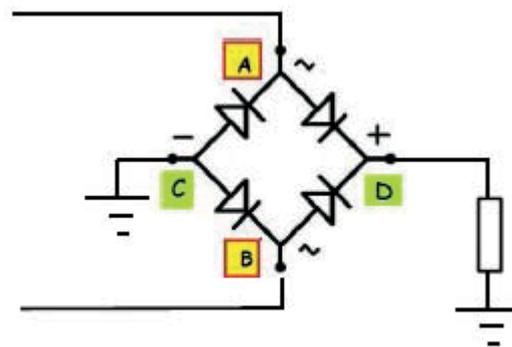


Fig. 18- Circuito retificador em Ponte

Na fig. 19 veremos o comportamento dos diodos durante o semi-ciclo positivo e na fig. 20 durante o semi-ciclo negativo..

Note que os quatro diodos denominados D1, D2, D3 e D4 conduzirão dois a dois de cada vez.

carga até o ponto B do próximo semiciclo.

Graças à colocação do capacitor de filtro a tensão na carga passará a ter a forma de onda mostrada na fig.23 que já dá para perceber que está se aproximando de uma tensão contínua.

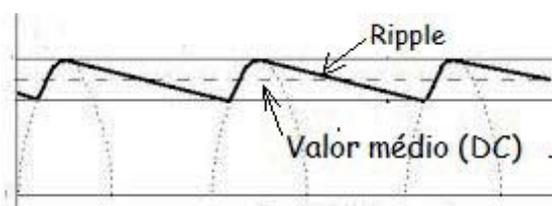


Fig. 23 - Forma de onda com capacitor de filtro no retificador meia onda

Repare que ainda existe uma ondulação que é denominada *ripple* (leia-se ripôu) a qual podemos fazer que seja bem reduzida dependendo do valor do capacitor de filtro escolhido, ou melhor, calculado.

Por enquanto não trataremos do valor do capacitor, vamos nos

O que se usa na prática?

Parece óbvio que a retificação de onda completa fornece uma tensão contínua de melhor qualidade do que a meia onda, o que poderia nos levar a pensar que esta não deve ser usada na prática.

Entretanto, os dois tipos são utilizados dependendo dos objetivos do projeto.

prender apenas a parte conceitual.

Imagine agora que a mesma solução de colocar um capacitor em paralelo com a carga fosse adotada num circuito retificador de onda completa cuja tensão na carga tem o aspecto da fig. 24

É fácil imaginar que o *ripple* irá diminuir e o capacitor vai “ter menos trabalho” para alimentar a carga num intervalo de tempo menor.

Acompanhe na fig. 24 abaixo.

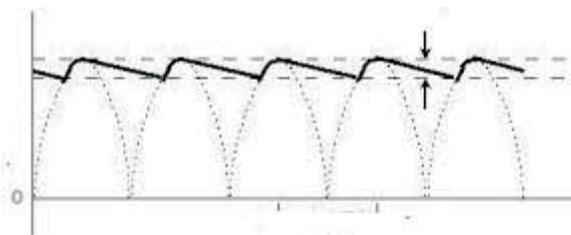


Fig. 24 - Forma de onda com capacitor de filtro no retificador de onda completa

Atualmente os equipamentos utilizam mais a retificação de onda completa em ponte, embora em alguns poucos casos possa se optar pelo circuito chamado meia ponte que também fornece uma retificação de onda completa utilizando apenas dois diodos em vez de quatro, mas exigindo o uso de um transformador como veremos a seguir.

Retificação de onda completa em meia ponte

O circuito da fig.25 também fornecerá uma retificação de onda completa da mesma forma que o circuito em ponte apresentado na fig, 18, utilizando apenas dois diodos que são ligados ao secundário de um transformador cujo enrolamento tem uma derivação central.

Para entender como este circuito funciona precisamos antes entender como o transformador funciona neste caso.

O enrolamento do secundário tem uma derivação central, denominado CT que significa *center tap* (tomada central) que irá atuar como ponto de referência em relação as extremidades A e B do enrolamento.

Considerando o CT como nossa referência, quando o ponto A estiver no semiciclo positivo em relação a CT, o diodo D1 estará conduzindo fazendo com que este semiciclo positivo apareça na carga.

Por outro lado o ponto B estará “vendo” um semiciclo negativo em relação ao CT e, portanto D2 estará cortado neste momento.

No semiciclo negativo da tensão no secundário do transformador a situação se inverterá fazendo

com que o ponto B fique positivo em relação ao CT e D2 passará a conduzir fazendo com que a carga “veja” novamente um semiciclo positivo.

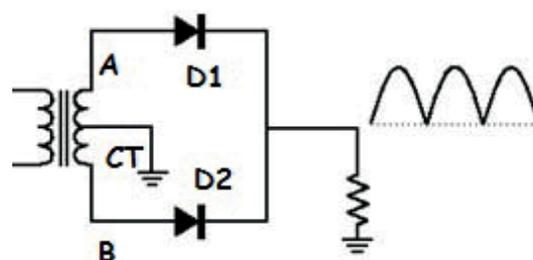


Fig. 25 - Circuito retificador de onda completa em meia ponte

Consegue-se assim, obter uma onda pulsante que aproveita os dois semiciclos da senóide, mas aparecem positivos na carga, similar ao que aconteceu com o circuito em ponte.

Daí pra frente a aplicação do capacitor de filtro em paralelo com a carga não muda nada e nos dará uma tensão contínua similar a da fig.24.

Para economizar dois diodos tivemos que pagar um preço maior que foi colocar um transformador.

Em princípio parece que o tiro saiu pela culatra, mas veremos adiante que, às vezes, vale apenas usar este circuito.

$$C (\mu\text{F}) = \frac{500 \times I (\text{mA})}{\text{VDC} \times \%F. R}$$

Cálculo do capacitor de filtro para um retificador de **meia onda**

Cálculo do capacitor de filtro para um retificador de **onda completa**

$$C (\mu\text{F}) = \frac{250 \times I (\text{mA})}{\text{VDC} \times \%F. R}$$

Antes de passarmos a um exemplo numérico, vale a pena fazer dois breves comentários.

No primeiro, chamamos a atenção de que, como bom observador que você deve ser, notou que a diferença entre as duas fórmulas está apenas no fator 500 e 250 que aparece no numerador.

Sendo assim a capacitância em meia onda terá um valor duas vezes maior do que em onda completa considerando-se, é claro, mantido os demais parâmetros, fato que já deveria ser esperado.

A segunda observação é mais de carácter defensivo antes que alguém venha se manifestar quanto a simplicidade da fórmula e a falta de justificativas (leia-se demonstração matemática) para se chegar a ela.

O escopo deste livro é a

objetividade e o alvo são estudantes, hobbistas e “inventores”.

O que se pretende com o cálculo é chegar a um valor aproximado da capacitância para que a partir dele se escolha o mais adequado em conformidade com o que o mercado oferece.

Dito isto, vamos a um exemplo.

Imagine que se pretende montar uma fonte em meia onda para fornecer 12VDC a uma carga que consome no máximo 500mA e o fator de ripple aceitável seja de 10%.

Qual o valor do capacitor a ser usado?

Como a fonte é de meia onda vamos usar a fórmula com o fator 500 e obteremos 2083 μ F. Na prática usaremos 2200 μ F/25V.

CAPÍTULO 6

*Embora ainda tenhamos muito que falar sobre diodos e fontes de alimentação, vamos dar uma breve pausa no tema para introduzir outro componente importantíssimo: o **transistor bipolar**.*

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Não irei adentrar nas “entranhas” dos transistores, porque não há nenhum interesse para um principiante saber isso. Não quero incorrer no mesmo erro dos meus primeiros professores.

Seguirei um caminho pouco convencional.

Suponhamos que você vai a uma sorveteria onde só há dois sabores de sorvete e você pode montar

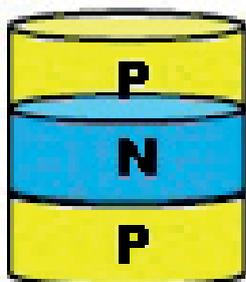


Fig. 1 - “sorvete” ou transistor PNP

Agora que você já aprendeu como se “fabrica” um transistor bipolar vamos dar nomes a cada uma das nossas “camadas”.

A “camada” do meio cujo tipo de semicondutor só aparece uma vez será chamada de **base** e as outras duas, não importa muito se está em cima ou embaixo serão chamadas de **emissor** e **condutor**.

Na prática precisamos usar uma simbologia para representar os transistores (antes que o sorvete derreta) assim como fizemos com os diodos.

um sorvetão de três camadas com estes dois sabores de modo que duas camadas do mesmo sabor não podem ficar juntas uma da outra.

Chamemos um sabor de P e outro de N.

Você concorda que temos duas opções de sorvete conforme mostrado nas fig. 1 e 2?

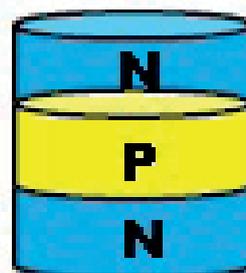


Fig. 2 - “sorvete” ou transistor NPN



Fig. 3 - Símbolo do transistor PNP

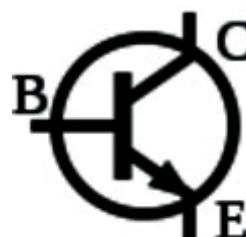


Fig. 4 - Símbolo do transistor NPN

Substituindo o dedo por um resistor

Nem sempre estaremos disponíveis ou podemos emprestar nosso dedo para operar o circuito da fig.10, então é melhor arranjar outro jeito.

Que tal fornecer a corrente para a base ou como se diz tecnicamente **polarizar a base** com a fonte que alimenta o circuito que, neste caso é uma bateria de 9V?

Uma sugestão para conseguir isto (não a única) é a mostrada na fig.12 onde foi colocado um resistor de 47kΩ ligando a base ao positivo da bateria.

É claro que eu vou sugerir que você monte o circuito e veja se funciona (se não funcionar a culpa não é minha!). A fig. 13 vai dar uma ajudinha.

E aí já descobriu o que teria que fazer para usar um transistor PNP no lugar do NPN?

Se você é um sujeito curioso e eu espero que seja porque a curiosidade é o primeiro passo para se aprender alguma coisa, talvez tenha montado o circuito usando, por exemplo, um BC557 que é o “irmão” PNP do BC547.

Se fez, deve ter ficado um pouco

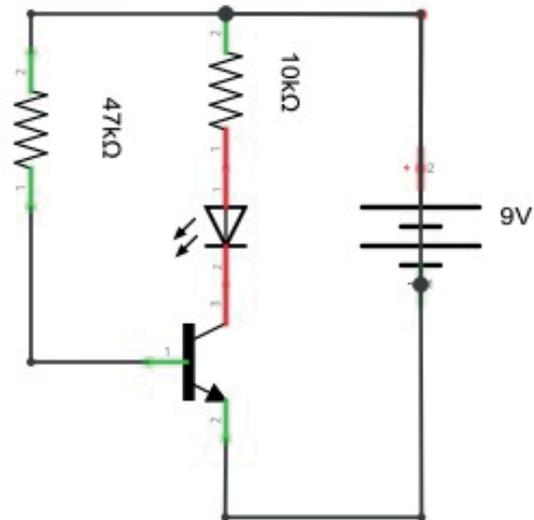


Fig. 12 - Polarização da base

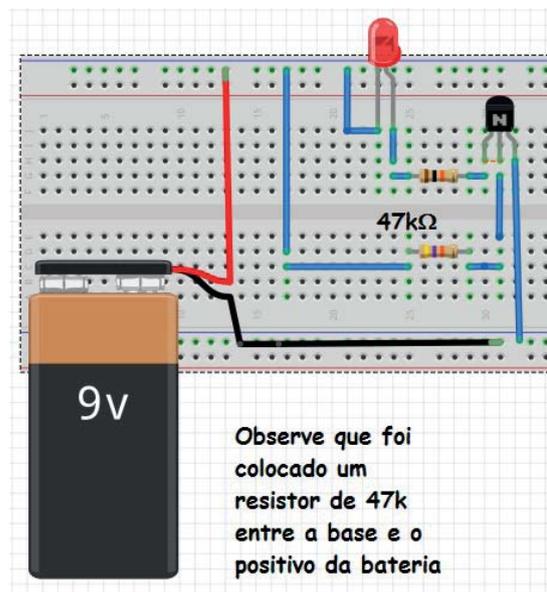


Fig. 13 - Circuito com polarização da base

frustrado porque não funcionou.

Que bom que não funcionou, assim você terá que estudar mais um pouquinho.

Aprendendo a polarizar um transistor.

Para aprender como se polariza um transistor precisamos conhecer duas regras básicas.

A junção base-emissor deve ser polarizada diretamente.

A junção base-coletor deve ser polarizada inversamente.

Vamos substituir nossos “modelos sorvete” dos transistores das fig. 1 e 2 por um outro, menos gostoso, porém mais técnico utilizando diodos.

Acompanhe na fig.14.

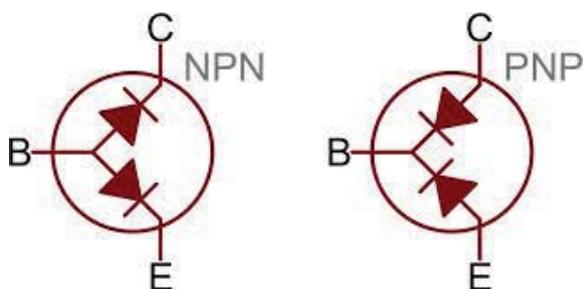


Fig. 14 - Modelo de transistores com diodos

Nunca é demais lembrar que na fig.14 temos MODELOS cuja finalidade é meramente didática para ilustrar como é um transistor “por dentro” o que NÃO significa que se ligarmos dois diodos deste jeito teremos “fabricado” um transistor.

Para polarizar um transistor temos que aplicar as regras “verde e amarelo” ao lado.

Vamos fazer isto começando com um transistor NPN e usando nosso modelo didático com diodos.

Precisamos escolher um dos terminais (perninhas) do transistor como referência para ligar nossa fonte ou bateria.

Temos três terminais, logo teremos três possibilidades.

Começarei usando o emissor como referência que é o mais usado na prática, geralmente conhecido como **emissor comum**.

Veja fig. 15 para um NPN.

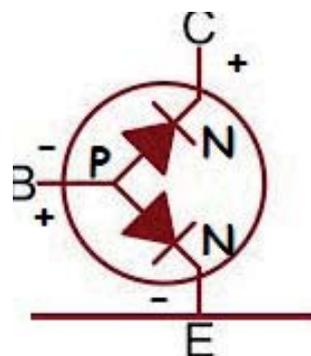


Fig. 15 - Polarização emissor comum para um NPN

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Vejamos então como faremos para usar o multímetro digital na função diodo afim de avaliar um transistor.

Se não soubermos de antemão quais são os terminais teremos que descobrir por tentativa e erro.

Como são três terminais e duas medidas de cada vez teremos um total de seis medidas a serem realizadas.

A melhor maneira de entender e aprender é fazendo.

Pegue o transistor BC547 e “faça de conta” que você não sabe que ele é NPN e não conhece a configuração dos terminais que chamaremos de 1,2 e 3 como mostra a fig.19.

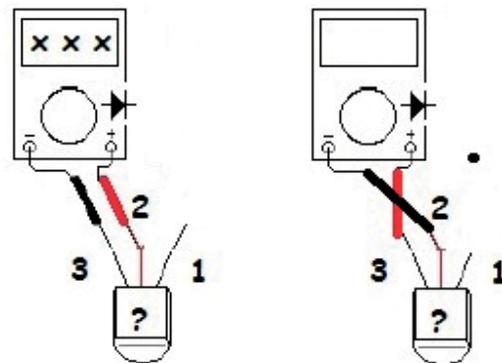


Fig. 19 - Transistor “desconhecido”



Fig. 18 - Função usada para testar diodos e transistores

Você terá que fazer duas medidas para cada par de terminais como mostra o exemplo das fig.20 e 21 para os terminais 2 e 3.



Figs. 20 e 21 - Medindo a junção 2-3

Observe que a diferença entre a fig. 20 e a 21 foi a inversão de polaridade das ponteiros.

Na fig.20 obtivemos uma determinada leitura d

o *display* aqui representada como “xxx”, logo a junção 2-3 está polarizada diretamente e na fig.21 não obtivemos nenhuma leitura, o que indica a junção está polarizada

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Achou complicado? com os resultados obtidos nas leituras e verá como fica fácil
 Monte uma tabela como a descobriu os terminais e o mostrada a seguir e preencha tipo do transistor “misterioso”.

	Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Leitura	Tipo	1	2	3
Ponteiras	Vermelha (+)	Preta (-)						
	Preta (-)	Vermelha (+)						
Ponteiras	Vermelha (+)		Preta (-)					
	Preta (-)		Vermelha (+)					
Ponteiras		Vermelha (+)	Preta (-)					
		Preta (-)	Vermelha (+)					

Um exemplo real vai ajudar a você a entender como preencher a tabela.

	Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Leitura	Tipo	1	2	3
Ponteiras	Vermelha (+)	Preta (-)		NAO	NPN	EMISSOR	BASE	COLETOR
	Preta (-)	Vermelha (+)		.686				
Ponteiras	Vermelha (+)		Preta (-)	NAO				
	Preta (-)		Vermelha (+)	NAO				
Ponteiras		Vermelha (+)	Preta (-)	.682				
		Preta (-)	Vermelha (+)	NAO				

Como chegamos a conclusão sobre os terminais e o tipo do transistor através dos valores da tabela?

A construção do transistor é tal que a base funciona como uma espécie de terminal comum ao emissor e coletor.

Se olharmos a tabela do exemplo perceberemos que a leitura entre os terminais 1 e 3 não apresentou nenhuma medida nas duas polarizações, logo esses terminais devem ser das duas camadas externas do “sorvete” que montamos, assim sendo o terminal 2 deve ser a camada do meio

e, portanto é a base do nosso transistor.

Mas ainda há uma questão a ser resolvida: qual terminal é emissor e qual é coletor?

Se você olhar atentamente a tabela-exemplo notará que a leitura dos terminais 1-2 é ligeiramente maior que a dos terminais 2-3.

Na maioria das vezes isto acontece e é justamente aí que está o pulo do gato para ajudar a decidir quem é emissor e coletor.

Veja a regrinha a seguir que vale 99% das vezes.

CAPÍTULO 7

Neste capítulo voltaremos a falar de resistores, mas não aqueles que estudamos no capítulo 3. Trataremos de resistores cuja resistência varia em função de fatores externos como luz e temperatura, por exemplo. Estudaremos também resistores variáveis chamados de pontenciômetros.

Resistores “especiais”, sensores ou transdutores

Os resistores estudados no capítulo 3 têm um valor de resistência fixo e o valor desta resistência não será influenciado por agentes externos como luz ou temperatura, por exemplo.

Neste capítulo tratarei de dois tipos “especiais” de resistores que também são classificados como sensores ou transdutores.

O termo sensor não requer maiores explicações. Um sensor é algo que “sente” alguma coisa como, por exemplo, uma variação de

intensidade luminosa ou de temperatura.

Já a palavra **transdutor** (não vá confundir com tradutor) pode soar estranha a um novato.

Numa definição bem básica podemos dizer que um **transdutor** é um dispositivo capaz de transformar uma grandeza física em outra.

Um alto falante é um transdutor que transforma em som a energia mecânica das vibrações de um cone.

LDR - Light Dependence Resistor

Na fig. 1 nós vemos o aspecto físico e a simbologia de um LDR cuja sigla pode ser traduzida como Resistor Dependente da Luz e obviamente você já concluiu que ele se enquadra na categoria dos “especiais” ou sensores.

Podem ser encontrados em diversos tamanhos e faixas de resistência.

Compre um (ou vários) LDR em uma loja de

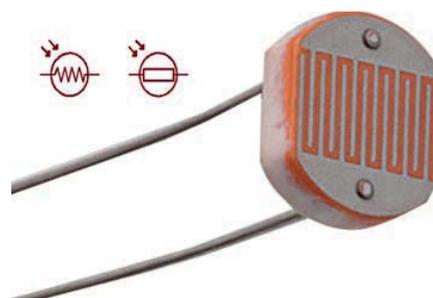


Fig. 1 - Aspecto de um LDR

material eletrônico e meça a resistência com o multímetro digital fazendo variar a luz incidente sobre ele e observe a variação da mesma que vai desde um valor mínimo com muita luz até um valor máximo na ausência de luz.

Outros sensores

Vale mencionar três outros sensores menos conhecidos que podem ser úteis, principalmente para hobistas que se dedicam à robótica. São eles:

Sensor de Força ou Pressão

Sensor de Umidade

Magneto resistor

Potenciômetros e reostatos

Na fig. 7 temos alguns tipos de potenciômetros que embora não se enquadrem na categoria de sensores podem se enquadrar no que chamei de “resistores especiais” que é o objetivo deste capítulo.

Potenciômetros ou reostatos são em essência resistores cuja resistência pode ser escolhida ou variada pelo usuário através do movimento mecânico de um eixo.



Fig. 7 - Alguns tipos de potenciômetros

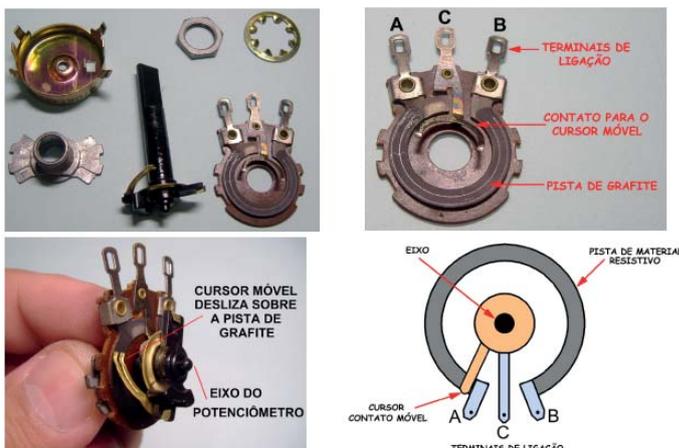


Fig. 8 - Construção de um potenciômetro

Observe na fig. 8 que o dispositivo possui uma resistência fixa entre os extremos A e B e que através da rotação do cursor pode-se escolher um valor de resistência entre o terminal central C e os terminais extremos A ou B. Acompanhe a fig. 9.

CAPÍTULO 8

Um componente muito utilizado nos circuitos eletrônicos é o regulador de tensão.

Neste capítulo você aprenderá um pouco sobre eles e suas aplicações.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Se você está querendo saber como eu descobri que temos que colocar os resistores R1 e R2 mostrados na fig.9 eu já lhe respondo:- no *application note* do fabricante do LM317 que pode ser encontrado na Internet.

O *application note* é um documento fornecido pelo fabricante de um componente eletrônico onde ele dá todas as informações necessárias para se utilizá-lo corretamente.

Pois bem, analisando o *application note* você descobrirá também como “encontrar” os valores de R1 e R2.

Vou lhe dar uma ajudinha e colocar na fig.10 um pedaço do *application note* obtido no site da OnSemiconductors que é atual nome da National.

Está tudo em inglês?

Vá se acostumando porque é assim mesmo. Pior seria se estivesse em chinês!

Na prática pode-se simplificar a conta usando-se a fórmula da fig.11.

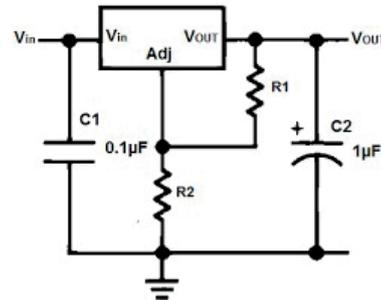
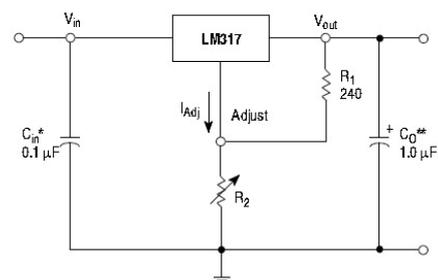


Fig. 9 - Como usar o LM317



* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
** C_O is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$$V_{out} = 1.25 V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since I_{Adj} is controlled to less than $100 \mu A$, the error associated with this term is negligible in most applications.

Figure 1. Standard Application

Fig. 10 - Como calcular R1 e R2

$$V_{out} = 1.25 V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Fig. 11 - Cálculo simplificado de R1 e R2

Agora vem a melhor parte, saiba que na Internet você encontrará calculadoras *on line* para achar estes valores sem precisar fazer contas.

Encerrarei este capítulo com chave de ouro propondo-lhe uma montagem muito útil.

A primeira montagem a gente nunca esquece!

Você chegou a um ponto da leitura deste livro em que já pode usar os conhecimentos adquiridos até aqui para realizar a sua primeira montagem que, embora simples, será de grande utilidade no seu aprendizado de Eletrônica.

Vou propor que você monte uma fonte de alimentação para sua bancada de iniciante.

A fonte proposta aqui terá as seguintes características principais:

- 1) Entrada - 127V ou 220V
- 2) Corrente máxima de saída - 1A
- 3) Uma tensão de saída fixa igual a 5V
- 4) Uma tensão de saída variável de 1,25V a 15V.

Na fig.12 você encontrará o esquema da fonte e na fig.13 temos um outro esquema, chamado diagrama em blocos, que costuma ser muito útil para se analisar o funcionamento de um circuito.

No diagrama em blocos não desenhamos os símbolos do componentes que compõe o circuito e sim, como o próprio nome sugere, temos apenas blocos mostrando de forma genérica o que cada parte do circuito faz.

É importante você começar a se familiarizar com este tipo de raciocínio e, sempre que possível, tentar construir um diagrama em blocos do projeto que você quer construir ou “inventar”.

Finalmente da fig.14 temos a repetição do circuito da fig.12 mostrando áreas pontilhadas para ajudá-lo a entender como se contrói um diagrama em blocos.

O primeiro passo para a montagem da fonte é, sem dúvida, a aquisição dos componentes cuja lista está na página seguinte.

Exitem basicamente duas maneiras para fazer a montagem: utilizar uma placa de circuito impresso especialmente desenhada para a fonte ou utilizar uma placa padronizada.

CAPÍTULO 9

*Neste capítulo você
estudará os diodos Zener,
bem como algumas de
suas aplicações.*

O que é um diodo Zener

No capítulo 5 quando você foi apresentado ao diodo retificador lhe foi dito que o diodo deve ser polarizado diretamente (*forward*, em inglês) para poder conduzir, o que significa que o terminal correspondente ao anodo deve ser ligado ao positivo da bateria ou da fonte de alimentação.

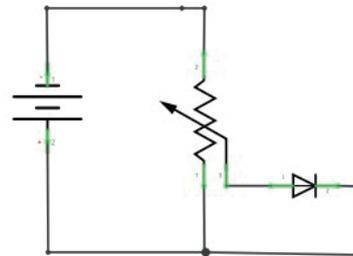


Fig. 1 - Polarizando um diodo reversamente

E o que aconteceria se polarizássemos um diodo reversamente e fossemos aumentando a tensão sobre ele como mostra a fig.1?

Lá por 1934, mais ou menos, um físico estadunidense chamado Clarence **ZENER** descobriu que materiais isolantes sofriam um colapso (*breakdown*) no isolamento quando submetidos a uma determinada tensão que foi denominada tensão de ruptura (*breakdown*, em inglês).

Esta descoberta, foi aplicada, mais tarde, aos diodos numa experiência similar a da fig.1 e partir daí foram fabricados diodos para trabalhar **especificamente** com **tensão reversa** e que

foram denominados diodos Zener em homenagem ao “descobridor” do fenômeno físico de *breakdown*.

Bem, isto é só uma curiosidade, mas acho que vale a pena contar para enriquecer sua cultura geral. O que interessa mesmo é o que vem a seguir.

No capítulo 5 eu, propositalmente, deixei de apresentar um gráfico mostrando a variação da corrente no diodo em função da tensão aplicada a ele.

Você vai ver este gráfico agora na fig.2 onde temos o comportamento da corrente no diodo em duas situações: polarização direta (a direita) e reversa (a esquerda).

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

A seguir temos o cálculo do resistor *shunt* (R_s) bem como da potência do Zener para cada um dos três casos.

Nos três casos podemos concluir que um Zener de 500mW atende ao circuito.

Quanto ao resistor podemos experimentar 120Ω , 100Ω e 68Ω que são os valores comerciais mais próximos para cada caso.

Os cálculos servem apenas como uma referência preliminar. Devemos montar o circuito a analisar os resultados praticamente.

É possível encontrar outras maneiras de se realizar estes cálculos, mas no fim das contas todas se baseiam na “eterna” Lei de Ohm.

Seria interessante você praticar este circuito.

Case 1

$$R_S = \frac{9 - 5,1}{(30 + 3)10^{-3}} = 118,18\Omega$$

$$P_{Dm\acute{a}x} = \left(\frac{9-5,1}{118,18} - 20 \cdot 10^{-3} \right) \times 5,1 = 0,066W = 66mW$$

Case 2

$$R_S = \frac{7 - 5,1}{20 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 86,36\Omega$$

$$P_{Dm\acute{a}x} = \left(\frac{7-5,1}{86,36} - 20 \cdot 10^{-3} \right) \times 5,1 = 0,010W = 10mW$$

Case 3

$$R_S = \frac{7 - 5,1}{30 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 30 \cdot 10^{-3}} = 57,57\Omega$$

$$P_{Dm\acute{a}x} = \left(\frac{7-5,1}{57,57} - 20 \cdot 10^{-3} \right) \cdot 5,1 = 0,24W = 240mW$$

Cálculo do resistor *shunt* para cada caso

Por enquanto vou ficando por aqui com este assunto sobre os diodos Zener.

Como preliminar isto já é suficiente por enquanto.

Não é a intenção esgotar um assunto num único capítulo e deixar de estudar outras coisas. O objetivo do livro é que você comece conhecendo o básico.

CAPÍTULO 10

*Neste capítulo estudaremos mais um componente passivo, depois dos resistores, muito importante e sempre presente nos circuitos eletrônicos:
- os capacitores.
Aproveitaremos para começar a estudar o conceito de impedância.*

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

4) **pico** = 0,000 000 000 001 (um trilhionésimo). O pico é simbolizado pela letra p minúscula. Na Eletrônica “antiga” ainda no tempo das válvulas não era muito comum usar-se picofarads, e sim $\mu\mu\text{F}$.

Uma forma que costuma ser usada para escrever os valores dos capacitores, principalmente nos esquemas é “substituir” a vírgula (ou ponto) pela letra que representa o símbolo do submúltiplo.

Nada melhor que um exemplo para esclarecer.

Um capacitor de 1,2nF pode ser escrito também como “1n2” onde o F de farad foi sumariamente omitido, pois fica subentendido que só pode ser F já que estamos tratando de capacitor.

E tem mais, na prática fala-se “um nano dois” e estamos conversados!

Outra coisa que costuma confundir a cabeça dos técnicos, até mesmo veteranos, é que este mesmo capacitor “1n2” pode ser

representado também por 1200pF.

Esta “metamorfose” nos números é um pouquinho mais difícil de entender, mas não é nenhum bicho de sete cabeças.

Você reparou que um nano é mil vezes maior que um pico?

Tá confuso?

Então olha só

1 nano = 0,000 000 001
(9 zeros antes do 1)

1 pico = 0,000 000 000 001
(12 zeros antes do 1)

A diferença entre o nano e o pico é que o pico tem três zeros a mais antes do 1 que o nano.

Logo para transformar nano em pico colocamos estes três zeros depois do 1 e teremos, 1 nano = 1.000 pico que também pode ser escrito como “1kpF” substituindo-se o 1000 pela letra k (minúscula).

Em outras palavras, temos que multiplicar o valor em nano por 1000 para que ele “vire” pico.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

A segunda armadura é obtida por um papel embebido por um líquido condutor de corrente elétrica chamado eletrólito o qual entra em contato com uma segunda folha de alumínio onde é preso o terminal negativo do capacitor.

A seguir todo este conjunto é enrolado tipo um “bolo de rolo” e colocado numa caneca de alumínio que servirá também como terminal negativo.

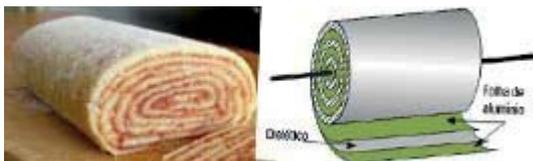


Fig. 4 - Bolo de rolo e o eletrolítico

Depois desta inusitada explicação sobre a construção do capacitor eletrolítico, que todo mundo chama “na intimidade” apenas de eletrolítico e que deve ter deixado você com a boca cheia d’água, vale a pena comentar porque fiz isto.

Duas são as razões. A primeira é para você “ficar ligado” (sem trocadilho) e NUNCA (NUNCA MESMO) ligar um eletrolítico com a polaridade invertida a menos que você seja um aspirante a

terrorista e esteja interessado em fabricar bombas caseiras, porque ele vai explodir!

A segunda razão, não menos importante, é que pelo processo de construção dos eletrolíticos envolvendo uma reação química eles tendem a “envelhecer” e se tornarem impróprios para o consumo, ou melhor, para o uso.

Em outras palavras, cuidado ao tentar usar eletrolíticos muito velhos e, portanto não recomendo a compra daqueles “saldões” que, às vezes, aparecem nas lojas de componentes eletrônicos. O barato pode sair caro.

Dentre os capacitores, os eletrolíticos são os mais “sensíveis” e um dos componentes passivos que apresentam o maior índice de falhas.

Eu costumo dizer “ sempre desconfie de jacarés e eletrolíticos”, eles são traiçoeiros.

Esta é uma recomendação especial para quem pretende se dedicar à manutenção de equipamentos eletrônicos.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Voltando a questão da explosão dos eletrolíticos vale ressaltar que eles não explodem apenas por conta da inversão da polaridade, tensão aplicada ao capacitor acima de sua tensão de trabalho (*work voltage*), falhas no circuito ou até mesmo no próprio capacitor, temperatura elevada no equipamento e ainda, tensão alternada podem provocar a explosão.

Já que falei em temperatura é bom que você saiba que este também é um parâmetro importante na especificação dos eletrolíticos, além, é claro, da capacitância e da tensão de trabalho.

Os eletrolíticos mais comuns são fabricados para suportar até 85°C, porém podemos encontrar tipos para 105°C e até 125°C.



Fig. 5 - Especificações dos eletrolíticos



Fig. 6 - Eletrolítico explodido

Não posso finalizar este parágrafo sem falar de um parâmetro dos eletrolíticos que há alguns anos atrás não era muito divulgado. Trata-se da ESR.

A sigla ESR significa Equivalent Serie Resistance ou, em português, Resistência Série Equivalente.

Como assim, estamos falando de capacitores ou resistências?

Pois é, todo capacitor tem uma resistência interna “embutida” por construção e que deve ter o menor valor possível, mas no caso dos eletrolíticos costuma aumentar com a “idade” e provocar alguns transtornos.

Não irei me aprofundar neste assunto aqui. No meu *site* tem artigos sobre isto.

O que é reatância capacitiva?

Este é um conceito muito importante quando tratamos de capacitores em corrente alternada.

Volte ao circuito da fig.12 e me responda o seguinte: a tensão que aparecerá sobre o resistor terá o mesmo valor que a tensão aplicada, ao circuito, será maior ou menor?

Maior, parece impossível porque o capacitor é um componente passivo e portanto, não é capaz de amplificar um sinal.

Então, igual ou menor parece uma resposta razoável, você não acha?

Sendo assim, cabe uma segunda pergunta: - o que influenciará no valor da tensão que aparecerá sobre o resistor?

Se você pensou em dizer que é o valor da capacitância do capacitor eu diria que está "quente", mas há um detalhe a mais para apreciarmos.

A frequência da senóide também irá influenciar o

que dá para desconfiar, se usarmos um pouco de imaginação.

Quanto maior for a frequência da senóide mais rapidamente o capacitor se carrega e se descarrega o que faz aumentar a corrente no circuito e, por conseguinte a tensão sobre o resistor aumenta.

Então o capacitor atuou da mesma forma que um resistor em série atuaria oferecendo maior ou menor "resistência" dependendo de sua capacitância e da frequência da onda.

Chama-se de **reatância capacitiva** esta "resistência" que o capacitor oferece ao circuito **quando está submetido a uma tensão alternada senoidal**.

Reparou que eu grifei a última frase do parágrafo acima?

Isto porque só faz sentido em falar de reatância capacitiva quando temos tensão alternada senoidal.

O importante conceito de impedância

Se você tem envolvimento com eletrônica ou até mesmo se é um curioso ou novato no ramo, este é um termo que você já deve ter ouvido.

Mas você o que significa impedância?

Já que este capítulo está tratando dos capacitores vamos dar uma olhada no circuito da fig.14 onde temos um resistor em série com um capacitor ao qual é aplicada uma tensão alternada.

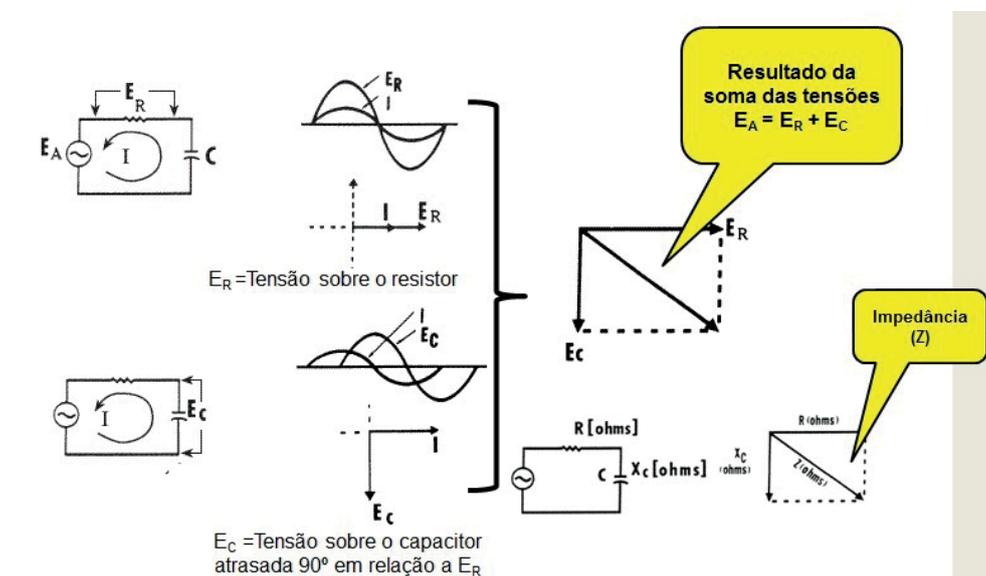


Fig. 14 - Impedância em um circuito RC

Embora o tema seja pertinente aos livros de eletrotécnica onde o leitor poderá encontrar mais detalhe, julgo importante mencioná-lo aqui.

Na fig.14, do lado esquerdo, temos a representação da tensão sobre o resistor e sobre o capacitor.

Observe que tensão e corrente no resistor estão em

fase, entretanto no capacitor estão defasadas de 90° como já vimos anteriormente.

Caso esteja estranhando os desenhos onde tensão e corrente estão representadas por "flechinhas" num sistema de eixos perpendiculares informo-lhe que esta é uma maneira de representar chamada de **fasores** e que ajuda a simplificar o entendimento.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Você notou que a "flechina" (fasor) que representa a tensão sobre o capacitor está apontando para baixo?

Isto foi feito porque no capacitor a tensão está atrasada da corrente e que é tomada como referência.

Como o circuito é série temos que a tensão aplicada deve ser igual a tensão no resistor (E_R) somada com a tensão no capacitor (E_C).

Por outro lado a "resistência" total do circuito será igual a resistência do resistor (R) **somada** com a "resistência" do capacitor que é denominada reatância capacitiva (X_C).

Por causa desta defasagem, esta não é uma soma com a qual estamos acostumados desde criancinha onde $2 + 2 = 4$.

Trata-se de uma "soma vetorial" que é representada pela hipotenusa do triângulo da fig.15.

Sentiu um cheiro de "Teorema de Pitágoras" no ar?

Pois bem, é esta hipotenusa que representa a soma vetorial de R e X_C que será chamada de **impedância** e representada pela letra **Z** tendo também o **ohm** (Ω) como unidade de medida.

Na fig. 15 você vê como se calcula a impedância em um circuito RC série e pode concluir que a impedância varia com a frequência da onda senoidal aplicada ao circuito.

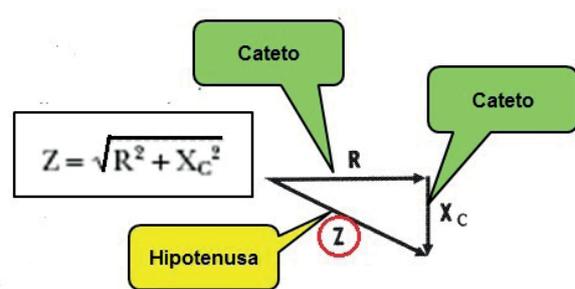


Fig. 15 - Cálculo da impedância (Z) no circuito RC

Por ora não aprofundarei mais sobre este assunto e o que vimos até aqui julgo suficiente para continuar nossa caminhada na compreensão do funcionamento dos circuitos eletrônicos.

Passemos a um novo tópico no capítulo 11. De volta aos transistores.

CAPÍTULO 11

Neste capítulo voltarei aos transistores, para estudarmos as técnicas de polarização para aplicação do transistor como amplificador e outras coisinhas mais.

Polarizando o transistor bipolar

No capítulo 6 quando lhe apresentei ao transistor fiz uma rápida abordagem sobre a polarização do BJT, para que você pudesse ter o primeiro contato com ele.

Entretanto, é preciso estudar algumas coisinhas a mais para entender os circuitos onde os transistores aparecem e é muito importante saber um pouco sobre a forma de polarizá-los.

Você já sabe que o transistor tem três terminais, denominados base, emissor e coletor o que nos leva a poder utilizá-los em três configurações conhecidas como base comum, emissor comum e coletor comum como vemos na fig.1.

Vou começar analisando as diversas formas de polarizar a configuração emissor comum por ser a mais utilizada na prática.

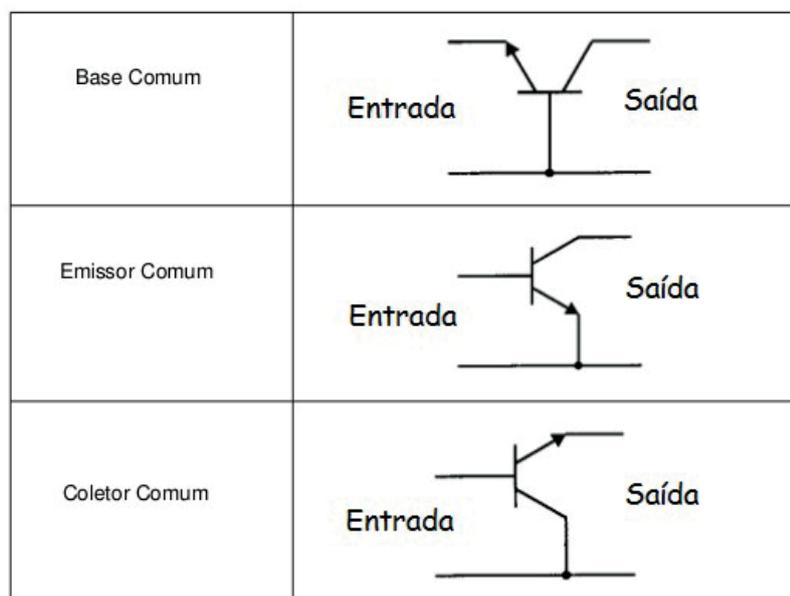


Fig. 1 - Configurações para transistor NPN

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

na tensão sobre o resistor R_E que gostaríamos que não dependesse do sinal e, portanto o capacitor irá se encarregar de não deixar que a tensão no emissor varie.

A polarização da base neste caso é fixa porque é feita pelo divisor resistivo R_1 e R_2 que aplicará uma tensão na base que não dependerá dos parâmetros do transistor.

Aqui é preciso estar atento para o fato de que a tensão V_{BE} é obtida pela diferença entre a tensão na base que chamaremos V_B e a tensão no emissor que chamaremos V_{Eb} e como a polarização base-emissor deve ser direta devemos ter V_B maior que V_E . Esta é uma observação importante quando estamos analisando uma falha no circuito.

Por enquanto ficamos por aqui com esta polarização que é a mais utilizada na prática. Não tratarei dos cálculos neste momento deixando para um apêndice ao final do livro.

A seguir estudaremos um pouco o circuito coletor comum, também chamado **seguidor de emissor**, que vai mostrado na fig.8.

Neste caso está sendo utilizada polarização fixa com apenas um resistor entre $+V_{CC}$ e a base, mas poderia ser utilizada também a

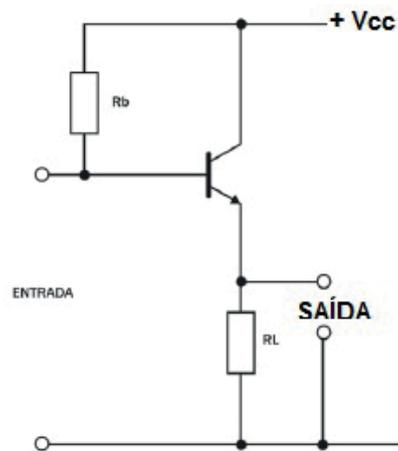


Fig. 8 - Circuito coletor comum

polarização com divisor resistivo.

Dois fatos devem ser observados no circuito acima.

O primeiro é que **o coletor está ligado diretamente a fonte de alimentação** e o segundo é que **a saída é feita no emissor** onde está ligado o resistor de carga (R_L) que vai ligado a terra.

Quando se diz **coletor comum** significa dizer que o coletor é o terminal comum à entrada e à saída do **sinal**.

No parágrafo acima coloquei a palavra "sinal", em destaque.

Isto porque o importante mesmo no circuito é o **sinal**. A polarização é uma necessidade, pois sem ela o transistor não funcionará, e o terminal (base, emissor ou coletor) é escolhido como comum em relação a entrada e a saída do sinal.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

convencionou chamar de Eletrônica Linear (ou analógica) e, portanto o que vai nos interessar mais no momento é a região "branca" da fig.14, ou seja, a região linear.

Mas, por que está região é chamada "linear" ou, em outras palavras, o que é um sistema linear?

Os matemáticos dizem que um sistema é linear quando ele cumpre duas condições: superposição e proporcionalidade.

Traduzindo isto para a linguagem dos "não iniciados" o que estas condições querem dizer, no caso específico da eletrônica, é que se somarmos dois ou mais sinais obteremos um sinal de respostas que manterá as características dos

sinais de entrada (superposição) e se amplificarmos um sinal a saída será proporcional a entrada (proporcionalidade).

Trocando em miúdos, a Eletrônica Linear não produz distorção entre a as formas de onda de entrada e de saída.

Isto vai ficar mais fácil de entender acompanhando as fig. 15, 16 e 17.

Na fig.15 o sinal de entrada (I_b) excursionou dentro dos limites da região linear do transistor, ou seja, a nossa área "branca" da fig.14 e os sinais de saída (I_c e V_{ce}) preservaram a forma senoidal do sinal de entrada (proporcionalidade).

Nas fig. 16 e 17, que você verá na página a seguir, o sinal avançou para a região de corte (vermelha) ou a região de saturação (azul) e a saída ficou distorcida nos dois casos.

Curiosamente você verá circuitos que não respeitam as condições matemáticas de linearidade e mesmo assim serão "enquadrados" como Eletrônica Linear.

O que eu posso dizer é que na Eletrônica Digital **só trabalhamos no corte e saturação**, na Linear, nem sempre!

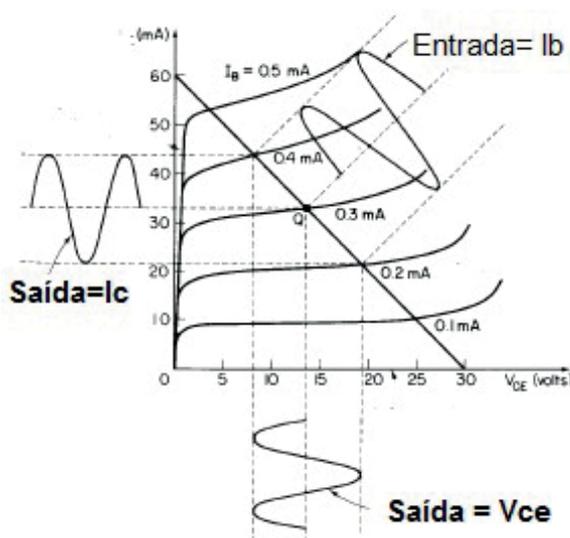


Fig. 15 - Sinal excursionando na região linear do transistor.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

CÓDIGO E POLARIDADE DO TRANSISTOR	LEITURA NO MOSTRADOR DO MULTÍMETRO DIGITAL					
	base/emissor		base/coletor		emissor/coletor	
	1 ^o) base = +	1 ^o) base = -	3 ^o) base = +	4 ^o) base = -	5 ^o) emissor = +	6 ^o) emissor = -
BD678 (p-n-p)	1.782	.660	.0L	.633	.0L	.507
TIP125 (p-n-p)	1.369	.658	.0L	.602	.0L	.510
BD332 (p-n-p)	1.976	.637	.0L	.599	.0L	.453
BD677 (n-p-n)	.637	.941	.591	.0L	.527	.0L
TIP120 (n-p-n)	.650	.0L	.567	.0L	.478	.0L
TIP122 (n-p-n)	.708	1.985	.587	.0L	.493	.0L

+ = PONTA DE PROVA VERMELHA DO MULTÍMETRO; - = PONTA DE PROVA PRETA DO MULTÍMETRO

Fig. 20 - Praticando um pouco mais com Darlington

CAPÍTULO 12

Este será um capítulo dedicado aos dispositivos semicondutores ópticos cada vez mais utilizados em diversos projetos.

Algumas palavras sobre a luz

Nos capítulos anteriores você já teve contato com dois componentes que se enquadram na categoria dos optoeletrônicos. São eles: os LEDs e os LDRs.

Neste capítulo você será apresentado a mais alguns deles tais como foto diodos, foto transistores e acopladores ópticos.

Uma novidade aqui é que alguns dos componentes ópticos que estudaremos podem trabalhar com uma luz que nossos olhos não veem. Han! Como assim, não veem?

Já ouviu falar em infra vermelho ou, em inglês, *infra red* (IR).

Já parou para pensar o que significa infra vermelho?

Analisando ao pé da letra, infra vermelho quer dizer abaixo do vermelho.

E daí?

Bem, considerando que este capítulo começa com o título "algumas palavras sobre luz", saiba que a luz é uma forma de energia eletromagnética sendo assim, a luz pode ser considerada uma onda.

Há uma outra teoria sobre a luz que a considera como partículas que são denominadas fótons (daí o termo foto elétrico).

Durante muitos anos houve um conflito entre as duas teorias, mas hoje ambas "convivem" em paz, ao que os cientistas chamam de **natureza dual da luz**. Pode ser onda ou pode ser partícula e assim, ficam todos felizes.

Mas, isto é uma conversa muito comprida que eu deixo para você procurar em algum livro de Física.

No momento vou me concentrar em tratar a luz como onda eletromagnética.

Grosso modo, eletromagnetismo é uma "mistura" de eletricidade com magnetismo e sobre isto teremos uma "conversinha" mais aprofundada no próximo capítulo.

Por ora precisamos falar sobre duas grandezas associadas a uma onda que, neste caso, não tem muito a ver com surfistas.

Vamos falar de **frequência** e **comprimento de onda** e as fig.1 e 2 nos ajudarão nesta missão.

Opções de LEDs		
comprimento de onda (λ)	COR	Potência mínima do LED
365 nm	UV	85 mW
385 nm	UV	95 mW
405 nm	UV	290 mW
420 nm	Violet	95 mW
455 nm	Royal Blue	310 mW
470 nm	Blue	250 mW
490 nm	Blue	50 mW
505 nm	Cyan	170 mW
530 nm	Green	100 mW
565 nm	Green Yellow	106 mW
590 nm	Amber	65 mW
617 nm	Orange	210 mW
625 nm	Red	240 mW
660 nm	Deep Red	210 mW

Fig. 4 - Tabela de LEDs - www.thorlabs.com

Na maioria das situações quando queremos utilizar um LED apenas como indicador de ligado/desligado, por exemplo, não precisamos lidar com estas informações.

Resolvi incluí-las aqui porque podem ser úteis em projetos "mais avançados". Como diz o ditado: "saber não ocupa lugar"!

Foto diodos e foto transistores

O foto diodo, como próprio, nome indica, é um diodo que "dependerá" da luz para funcionar, ou melhor, para conduzir.

Mas, é preciso estar atento que ele deverá ser ligado no circuito de modo a receber polarização inversa como mostra a fig.5.

Ao receber luz é que ele irá conduzir.

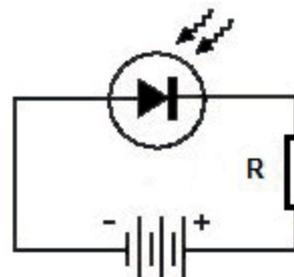


Fig. 5 - Polarização de um foto diodo

CAPÍTULO 13

Este capítulo tratará dos indutores, popularmente conhecidos como bobinas, suas aplicações mais usuais como relés e altofalantes.

Blá-blá-blá preliminar sobre indutores

Este capítulo completará a "trilogia" dos componentes passivos utilizados em Eletrônica - resistores, capacitores e indutores, este último popularmente mais conhecido como bobina.

O comportamento do capacitor exigiu um pouco de abstração para entender como ele armazena cargas elétricas e que foi amenizado com a "viagem de trem".

Para o indutor podemos melhorar esta abstração através de algumas experiências simples que lhe ajudarão a entender os "mistérios" do comportamento destes fios enrolados.

Antes porém, vamos a algumas informações básicas.

Se o resistor oferece resistência, medida em ohms, o capacitor nos dá capacitância medida em farads, parece razoável pensar que o indutor irá oferecer indutância, mas medida em que unidade?

No caso dos indutores a unidade utilizada é o "henry" simbolizado por H (maíusculo). Uma homenagem ao cientista norte americano Joseph Henry (1797-1878).

Aqui também, de modo

similar ao que acontece com os capacitores, trabalha-se mais com os submúltiplos milihenry (mh) e microhenry (μ h).

O símbolo gráfico dos indutores está na fig. 1 onde você pode notar duas possibilidades. Com núcleo de ar ou de ferro que pode ser laminado, em bastão de ferrite ou na forma de um anel chamado de toróide.

Alguns aspectos de indutores comerciais são mostrados na fig.2.

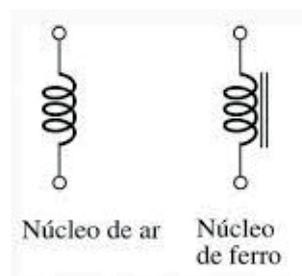


Fig. 1 - Simbologia de indutores



Fig. 2 - Alguns tipos de indutores

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

contrário, isto é, utilizar um campo magnético para criar uma corrente elétrica.

Em 1831, Michael Faraday pensou no assunto e demonstrou sua ideia para a Royal Society de Londres.

Seria bem interessante se você pudesse repetir a experiência de Faraday, mas se não tiver os materiais necessários que serão citados a seguir, busque vídeos no *you tube* e você encontrará vários que valem a pena assistir.

Para realizar a experiência com um bom êxito precisaremos de uma bobina com bastante espiras (400 ou mais).

Espiras? O que é isso?

Se não sabe vai se acostumando com esta palavrinha "estranha".

Ela significa as voltas do fio como em um carretel de linha, por exemplo.

Para fazer a experiência de Faraday eu utilizei um transformador sem o núcleo.

Você irá precisar também de um ímã "bem forte", conhecido como neodímio que pode ser conseguido

desmontando um velho HD fora de uso e finalmente, um micro amperímetro "de ponteiro" e bem sensível.

Este é o componente mais difícil, que pode ser encontrado em sucatas de *tape decks* antigos.

Um bom "inventor" deve ser também um bom sucateiro (ou "acumulador", como se diz atualmente).

Acompanhe na fig.9 como ficou minha "réplica moderna" da experiência de Faraday.



Fig. 9 - Experiência de Faraday

Para que a "magia" aconteça você deverá ficar movimentando o ímã para dentro e para fora da bobina com uma razoável rapidez e verá o ponteiro do microamperímetro se movimentar numa espécie de vai e vem.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Uma outra maneira de interpretar a experiência de Faraday é dizer que, um **campo magnético variável**, em relação a um condutor, **INDUZ** nele uma FEM que, por sua vez produz uma corrente e esta corrente segundo Oersted produz um campo magnético e aí fica "tudo junto e misturado", campo magnético que produz corrente elétrica e corrente elétrica que produz campo magnético.

Mas aqui temos um fato curioso a ser analisado. A própria corrente elétrica induzida na bobina pelo campo magnético variável em relação a ela, produzirá um campo magnético na bobina que por sua vez produzirá uma tensão nos terminais dela como nos mostrou Oersted.

Temos uma situação em que "toda ação provoca uma reação" que foi enunciado por Newton estudando forças que atuam num corpo e ficou conhecido como Terceira Lei de Newton.

Isso mostra que os fenômenos físicos acabam interagindo de alguma forma e conclusões obtidas na análise de um problema podem ser úteis em outro, mesmo que não se perceba, a princípio, que há uma conexão entre eles.

Fiz este comentário com o intuito de chamar sua atenção que estudar e entender as coisas não deve ser apenas decorar definições e fórmulas.

Reconheço que estes fenômenos envolvendo eletricidade e magnetismo são bastante abstratos exigindo uma boa dose de imaginação e o estudante, geralmente, tem dificuldade em entendê-los, mas não desanime.

Você deve ter reparado que mais de uma vez, nos últimos parágrafos, eu escrevi a palavras "induz e induzir" com letra maiúscula e o fiz intencionalmente para que você percebesse de onde vem a palavra INDUTÂNCIA que está associada às bobinas ou indutores.

Formalmente define-se **indutância** dizendo que **é a propriedade de um circuito ou, mais especificamente, um condutor ou uma bobina, gerar uma força eletromotriz auto induzida.**

Assim, embora não possa ser vista ou sentida por nós a indutância estará sempre presente em um circuito desde que haja uma corrente variável, felizmente, na maioria dos casos ela pode ser desprezada.

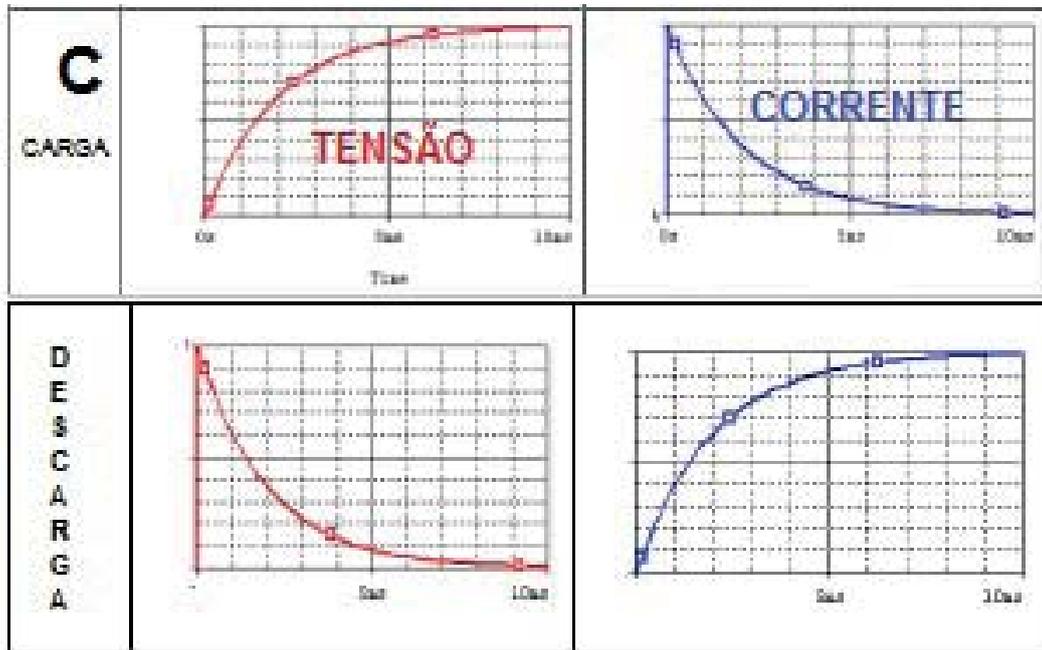


Fig. 15- Carga e descarga no capacitor

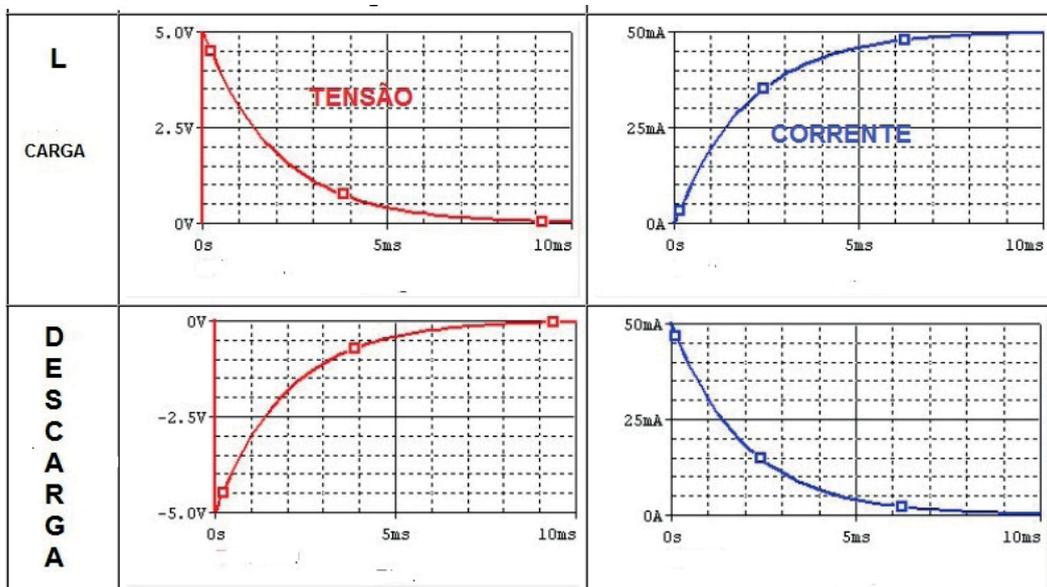


Fig. 16 - Carga e descarga no indutor

CAPÍTULO 14

*Hora de ser apresentado
a um "ser" quase em
extinção: o multímetro
analógico.*

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Multímetro Analógico: - por onde tudo começou

Deixei para o final para falar deste tipo de multímetro por duas razões principais.

A primeira é que sem dúvida o multímetro digital se tornou mais prático e mais preciso para se fazer medições e substituiu o analógico.

A segunda razão é que o funcionamento dos analógicos se baseia nos conceitos de eletromagnetismo que foram estudados no capítulo anterior, o que nos permitirá entender um pouco melhor como funcionam estes multímetros dos "velhos tempos".

Eles ainda são vendidos e em certas situações trazem algumas vantagens em relação aos modernos digitais, principalmente quando queremos observar uma variação de tensão ou corrente.

Na fig.1 você poderá ver como é a "cara" destes multímetros.

O "coração" deles é um microamperímetro tecnicamente conhecido como galvanômetro.

Na fig.2 temos a representação gráfica de um galvanômetro de "bobina móvel" cujo funcionamento iremos ver a seguir.



Fig. 1 - Multímetro analógico

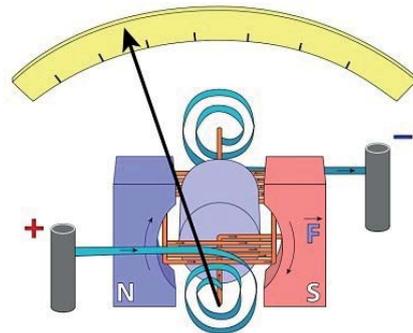


Fig. 2 - Aspecto do galvanômetro

Nesta figura vemos um campo magnético fixo no interior do qual coloca-se uma bobina móvel a qual está fixado um ponteiro.

Ao circular uma corrente na bobina, surgirá nela um campo magnético que é proporcional a esta corrente e os dois campos se repelirão fazendo a bobina se movimentar e junto com ela o ponteiro se movimentará.

Medindo correntes maiores que a de fundo de escala do microamperímetro

E aí encontrou a solução para o problema proposto na página anterior?

Que tal dar uma olhada na fig.5?

Nela temos o resistor *shunt* colocado em paralelo com o microamperímetro o que fará com que parte da corrente medida, até o limite do fundo de escala, passe por ele, e o "excedente" passe pelo resistor *shunt*.

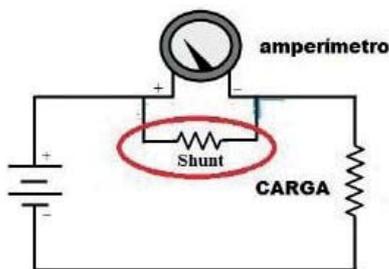


Fig.5 - Shunt para medir corrente

Para que nosso instrumento possa medir vários valores de corrente podemos utilizar a sugestão da fig.6.

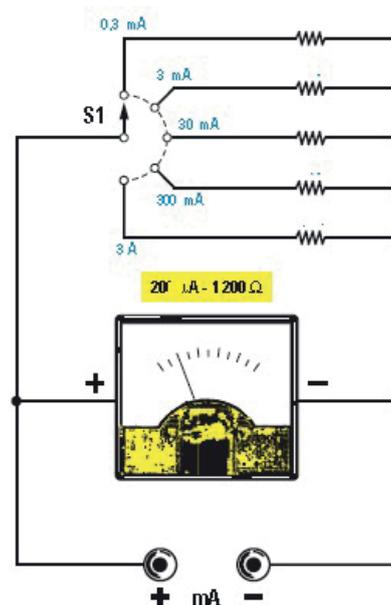


Fig.6 - Amperímetro analógico

Como medir tensões alternadas com um microamperímetro analógico

Já mencionei anteriormente que o galvanômetro comumente usado para construção dos multímetros analógicos é o de bobina móvel e que ele só funciona com corrente contínua.

Você já aprendeu como utilizar um amperímetro para medir tensão, desde que ela seja contínua e para tensões alternadas o que fazer?

No capítulo 5 você aprendeu que podemos "transformar" tensões alternadas em contínuas pulsantes com auxílio de diodos, construindo circuitos retificadores. Então mãos a obra, vamos construir um voltímetro analógico para AC.

A preferência é pela retificação de onda completa com dois diodos como no exemplo da fig.7.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Como medir resistência com o amperímetro analógico

Até aqui você aprendeu que um micro amperímetro pode ser usado não apenas para medir corrente DC, mas também para medir tensão DC e AC graças a alguns artificios. Está faltando apenas fazê-lo medir resistência.

Nos capítulos 3 e 4 estudamos os resistores e o conceito de resistência que é a dificuldade que "alguma coisa" condutora oferece a passagem da corrente elétrica.

Ops! Eu ouvi "corrente elétrica"?

Ora, é exatamente isso que o amperímetro mede, mas se para haver corrente tem que haver tensão que tal usarmos a ideia da fig,8?

Unindo os terminais marcados "ohms" entre si teremos uma corrente no circuito produzida pela pilha e que pode ser ajustada pelo potenciômetro (reostato).

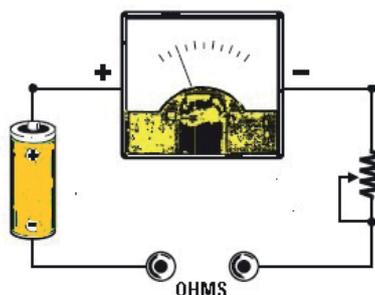


Fig.8 - Ohmímetro analógico

O potenciômetro deve ser ajustado de modo que com os terminais "ohms" interligados a corrente no micro amperímetro atinja o fundo de escala.

Se introduzirmos um resistor entre os terminais ohms, o ponteiro se deslocará proporcionalmente a corrente (que será menor) a qual dependerá do valor da tensão da pilha e da resistência do resistor, conforme garante a Lei de Ohm.

Para simplificar as coisas e não precisarmos ficar fazendo contas escrevemos no painel os valores de resistência correspondentes a corrente medida.

Qual o maior valor de resistência que poderemos medir com este arranjo?

Isso vai depender da corrente de fundo de escala do micro amperímetro e da tensão da pilha e de acordo com a Lei de Ohm concluímos que quanto maior a tensão pilha e menor a corrente de fundo de escala maiores valores de resistência poderemos medir.

Essa uma dica importante para se escolher um multímetro analógico.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Para medir vários valores de resistência com melhor precisão utiliza-se o mesmo recurso dos vários resistores com uma chave seletora como mostra o exemplo da fig.9 e já adotado para medir correntes e tensões.

Observe que ao lado da chave S1 da fig.9 temos indicações como: x1, x10, x100 e x1000 (ou x 1K) o que é diferente das indicações nas escalas de corrente e tensão onde tínhamos o valor máximo permitido para cada posição.

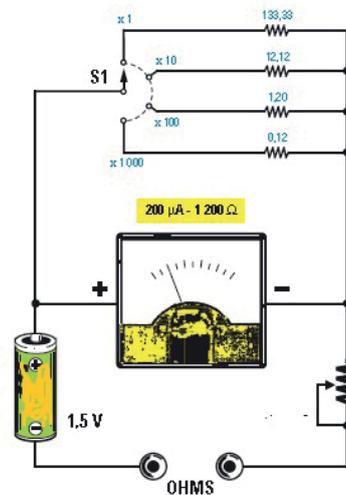


Fig. 9 - Ohmímetro analógico com várias escalas

O painel do multímetro analógico



Fig.10 - Painel de um multímetro analógico

Quase todos os analógicos têm um painel parecido com este.

A primeira vista o iniciante costuma se sentir um pouco

confuso com tantas escalas, mas pouco a pouco irá se familiarizando e para ajudar vou detalhar a seguir cada uma delas junto com a chave seletora que aparece na fig.11.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

A maioria dos instrumentos que encontramos por aí é de $20\text{k}\Omega/\text{V}$ o que corresponde a $50\mu\text{A}$.

Suponhamos que vamos medir uma tensão em um circuito utilizando a escala de 10V utilizando dois tipos de multímetro, sendo um com sensibilidade de $20\text{k}\Omega/\text{V}$ e outro de $50\text{k}\Omega/\text{V}$.

Como isto irá influenciar no resultado da nossa medida?

Antes de explicar o que irá acontecer com a medida observe que no primeiro caso o multímetro apresentará uma resistência de $10 \times 20\text{k}\Omega = 200\text{k}\Omega$ nas ponteiros e no segundo caso $10 \times 50\text{k}\Omega = 500\text{k}\Omega$ isto utilizando-se a escala de 10V .

E se utilizássemos a escala de 100V o que aconteceria com estes valores de resistência?

Ficariam iguais a $2000\text{k}\Omega = 2\text{M}\Omega$ e $5000\text{k}\Omega = 5\text{M}\Omega$ respectivamente.

Você já deve ter percebido que a resistência entre as ponteiros varia com a escala utilizada para o mesmo multímetro.

Nos digitais isto não acontece, a resistência entre as ponteiros é constante e, geralmente, igual a $10\text{M}\Omega$ qualquer que seja a escala escolhida.

Se você não percebeu como estes "ohms por volt" são importantes numa medida e podem nos fornecer uma leitura menor que o valor verdadeiro convidando-o a estudar o exemplo a seguir.

Você já sabe que para medir tensão o voltímetro é colocado em paralelo com os pontos do circuito onde se pretende medir e isto, obviamente, vale para analógicos e digitais.

Consideremos o circuito da fig.15 onde, para simplificar, vou utilizar dois resistores em série e de mesmo valor.

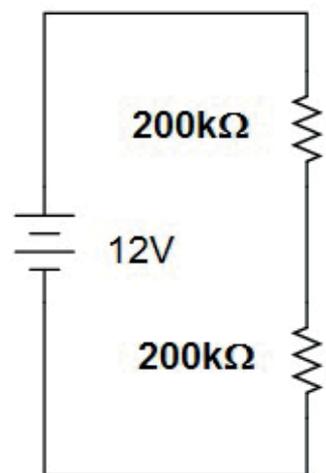


Fig.15 - Circuito série

Neste caso a queda de tensão sobre cada resistor será igual a 6V e deveríamos medir este valor colocando um voltímetro em paralelo com qualquer um dos dois, mas vamos ver o que acontecerá se utilizarmos um voltímetro com

CAPÍTULO 15

*Neste capítulo você
conhecerá mais alguns
diodos além do que foi
estudado no capítulo 5.
São eles: SCR, TRIAC,
DIAC e Schottky.*

SCRs, TRIACs e DIACs

Você certamente já utilizou um controlador de velocidade de ventilador de teto, popularmente conhecido como *dimmer*, e se teve curiosidade de desmontá-lo para "ver o que tem dentro" (fig.1), encontrou, além do pontenciometro e algumas pecinhas miúdas, um componente com três "perninhas" que **parece, mas não é**, um transistor.

Você acabou de ser apresentado ao TRIAC, sigla para **TRI**ode for **Al**tenating **C**urrent que é um dos diodos "especiais" de uma família de semicondutores conhecida como **tiristores**.

Os tiristores mais comuns são o SCR (**S**ilicon **C**ontrolado **R**ectifier), o TRIAC e o DIAC (**D**iode for **Al**ternating **C**urrent).

Neste capítulo estudaremos um pouco sobre estes componentes e a primeira coisa que deve chamar a sua atenção é que embora tanto o SCR como TRIAC sejam considerados diodos, eles têm três terminais e não apenas dois como os diodos retificadores estudados no capítulo 5.

Naquele capítulo você aprendeu que um diodo só conduz quando



Fig.1 - Por dentro de um *dimmer*

polarizado diretamente o que significa que o anodo deve estar num nível de tensão positiva mais alto do que o cátodo.

Esta condição continuará valendo para os SCRs e TRIACs, entretanto uma condição a mais será imposta. A condução dependerá também da polarização do terceiro terminal que é chamado de porta numa tradução adaptada da palavra inglesa *gate*.

Começemos pelo SCR cujo símbolo você vê na fig.2..

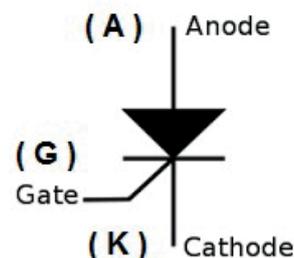


Fig. 2 -Simbologia do SCR

Não irei me prender a estudar o funcionamento interno do componente, pois não considero importante no momento.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Acompanhe pela fig.6 abaixo como ficará a tensão na carga.

A medida que a tensão AC (linha vermelha) vai aumentando o anodo vai ficando mais positivo que o cátodo, condição necessária para que o SCR conduza.

Mas só isto não é suficiente, é preciso que o *gate* também fique cerca de 0,6V mais positivo em relação ao cátodo para que o SCR dispare e comece a conduzir.

A tensão na carga será a que vemos na linha preta da fig.6.

Repare que há uma "demora" para o SCR começar a conduzir, de cerca de 1,2V por causa da queda de 0,6 V no diodo que polariza o gate.

Esta "demora" pode ser aumentada, ou melhor, controlada pelo potenciômetro.

Obtemos assim uma retificação de meia onda cujo valor da tensão na carga pode ser controlado com um pequeno potenciômetro.

Desta forma o SCR faz jus ao seu nome: Retificador de Silício Controlado!



Fig.6 - Formas de onda no circuito com SCR

Entretanto, o SCR deixa a desejar pelo fato de fornecer apenas 50% de tensão à carga uma vez que os picos negativos da onda são eliminados.

Uma maneira de resolver isto seria usar dois SCR's em anti-paralelo como sugere a fig.7.

E assim nasceu o TRIAC que veremos a seguir.

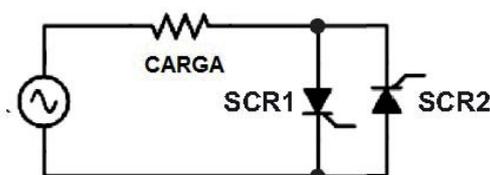


Fig.7 - Dois SCR's em anti-paralelo

conduzir no semiciclo negativo restante.

O ponto de disparo é controlado pelo pontenciômetro permitindo que a corrente na carga seja controlada desde quase zero até o valor máximo dos dois semiciclos da onda AC de entrada.

Basicamente todos os controles de ventilador de teto e furadeiras,

por exemplo, usam um sistema como este. Simples, eficiente e relativamente barato.

O único inconveniente é que o gatilhamento do TRIAC costuma gerar ondas de RF que podem interferir em equipamentos próximos, necessitando que alguns circuitos de filtro, feito com indutores e capacitores, sejam acrescentados ao conjunto.

Como testar um DIAC?

Esta é uma dúvida comum dos técnicos.

Se utilizarmos o método de teste de diodos com o multímetro digital ou da resistência com o multímetro analógico não chegaremos a nenhuma conclusão a menos que o DIAC esteja em curto.

Se ele não estiver em curto irá se apresentar como "aberto" qualquer que seja a polaridade

aplicada sobre ele, uma vez que é necessária uma tensão da ordem de 30V para ele disparar.

Precisaríamos construir um circuito especial para teste que faça o DIAC disparar.

Não irei tratar disso aqui porque as situações de uso de DIAC são tão poucas e o preço deles é tão baixo que, na dúvida, vale mais a pena trocá-lo.

Diodo Schokley a Diodo Schottky

O que vai me interessar neste parágrafo é lhe apresentar um diodo que embora não faça parte da categoria dos tiristores é muito usado hoje em dia. Trata-se do diodo **Schottky** sobre o qual já falarei.

Antes, porém uma observação, ele não deve ser confundido com

o diodo **Schokley** que aparece no título acima.

Este sim, um tiristor que é uma espécie de DIAC numa só direção, entretanto trata-se de um componente em desuso e por isso, não será tratado aqui. Vale apresentar seu símbolo na fig. 14 apenas como curiosidade.



Fig.15 - Símbolo do diodo **Schokley**
(em desuso)

A princípio o diodo Schottky funciona como um diodo retificador comum e até pode ser confundido com um deles, pois o aspecto físico é o mesmo, entretanto a simbologia utilizada nos esquemas é a mostrada na fig.15.

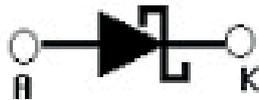


Fig.15 - Símbolo do diodo **Schottky**

A principal característica dos diodos Schottky é a velocidade de comutação e por isso, costumam ser conhecidos também como diodos rápidos (*fast diodes*) e ultra rápidos (*ultra fast*).

O diodo retificador comum só opera em frequências baixas, geralmente, da ordem de até 400Hz.

Com a proliferação das fontes chaveadas passou-se a ter a necessidade de diodos que comutassem em frequências bem mais altas, pois estas fontes podem operar em até 250KHz.

O técnico deve estar atento para não substituí-lo por um diodo comum que acabará "queimando" em pouco tempo por conta do aquecimento produzido nele, uma vez que não consegue comutar em frequências altas.

Uma confusão comum para muitos técnicos é observar que ao medi-lo com a escala de diodo do multímetro digital o valor encontrado será bem menor que o usual para os diodos retificadores e isto, às vezes, leva a interpretação errônea de que o diodo está defeituoso.

O mesmo acontece se for utilizada a escala ôhmica do multímetro analógico cuja resistência obtida também será menor.

O valor da barreira de potencial para os diodos Schottky é da ordem de 0,4V e não os 0,7V encontrados nos retificadores comuns.

Uma boa prática é sempre respeitar o código que aparece no esquema e caso não seja possível encontrar o componente no mercado recorrer ao *data sheet* e analisar cuidadosamente as especificações.

Nada de ficar fazendo perguntas nos fóruns: "alguém sabe o que eu coloco no lugar de"!

CAPÍTULO 16

Vamos estudar um "novo" transistor: os FETs e MOSFETs. cada vez mais presentes nos circuitos eletrônicos e também falar dos IGBTs.

Field Effect Transistor, mas pode me chamar de FET

No capítulo 6 você foi apresentado aos transistores bipolares (BJT), popularmente mais conhecidos simplesmente por "transistor".

Naquele momento apresentei uma breve explicação sobre a construção dos BJT, mas que é suficiente para você trabalhar com eles.

O nome "bipolar" está ligado de algum modo ao fato deles serem construídos com o auxílio de dois tipos de semicondutores, um P e outro N, daí a possibilidade de termos transistores PNP e NPN.

Pois bem, antes da "invenção" dos bipolares, lá pelos idos da década de 50 do século passado, o físico estadonudense William Bradford **Shockley**, considerado um dos "pais" do transistor, já havia publicado alguns documentos onde ele teorizava sobre um componente semiconductor que denominou **transistor unipolar**.

Entetanto, comercialmente os BJT "sairam na frente" e ficaram mais conhecidos.

O transistor unipolar do Dr.Schokley ganhou o nome comercial de transistor de efeito

de campo e é conhecido pela sigla FET e lá pelo final da década de 80 começaram a ganhar espaço nos circuitos eletrônicos, e depois de tanto tempo ainda deixam muitos técnicos confusos sobre o seu funcionamento e características. Ora de desfazer os "mistérios" sobre os FETs.

Começemos pela principal diferença entre os BJT e os FETs que são constituídos de uma única pastinha tipo P ou tipo N e por isso, denominados **Canal P** ou **Canal N**.

Neste caso não funciona a imagem do sorvete apresentada lá no capítulo 6 eu diria que está mais para uma "barra de chocolate" (preto ou branco) como vemos na fig.1.

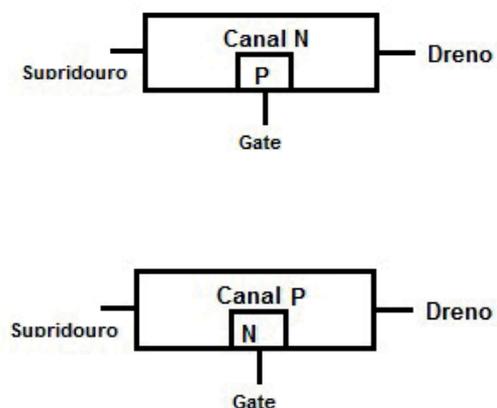


Fig.1 - FET Canal N e Canal P

FETs: Símbologia, nomenclaturas e etc

Da fig.1 conclui-se que os FETs também possuem três terminais como os BJT, mas os nomes destes terminais são diferentes.

Os terminais das extremidades da barra de semiconductor que da nome ao FET (canal N ou canal P) são denominados de **dreno** e **supridor**. O termo supridor é uma "tradução" para a palavra *source* em inglês. Em alguns livros ela costuma ser traduzida por "fonte", mas eu prefiro supridor, para que não haja nenhuma confusão com "fonte de alimentação".

O supridor irá fornecer as cargas que serão colhidas pelo dreno.

Aqui podemos fazer uma analogia com os BJT dizendo que o supridor faz o papel do emissor, enquanto o dreno funciona como o coletor.

Há ainda um terceiro terminal ao qual chamaremos *gate* que corresponde a base dos BJT.

Repare que a base é constituída de um semiconductor "oposto" ao canal. Assim, no canal N a base será de material P e no canal P será de material N.

Vamos ver na fig. 2 como ficará a simbologia usada para os FETs.

Observe que diferentemente dos BJT, nos FETs não há distinção no desenho para o terminal do dreno e do supridor, enquanto o terminal do *gate* é indicado por uma seta cujo sentido, para dentro ou para fora, servirá para indicar se trata-se de um canal N ou canal P.

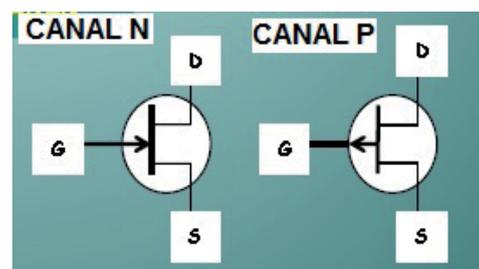


Fig. 2- Simbologia dos FETs

Na fig.3 temos uma maneira de "pensar" os FETs através de um "circuito equivalente" onde a barra do canal é representada por uma resistência com as extremidades marcadas como supridor e dreno e o *gate* indicado por um diodo.

É importante ressaltar que estas figuras têm apenas intenção didática e não pense você que é assim que se "fabrica" um FET!

Por outro lado, este circuito equivalente ajudará a lembrar o sentido da seta para cada tipo de FET.

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

É como se o canal não existisse fisicamente e só passe a existir quando for aplicada uma tensão entre *gate* e supridor.

Neste caso o MOSFET é dito operar no modo enriquecido ou intensificado que é uma tradução aproximada para a palavra *enhancement*.

E na prática, que diferença isto faz?

Para entender a diferença entre o modo de operação depleção e enriquecido convido-o a examinar as fig.8 e 9 que nos mostra as curvas $I_D \times V_{DS}$ para cada um deles.

Olhe atentamente cada uma.

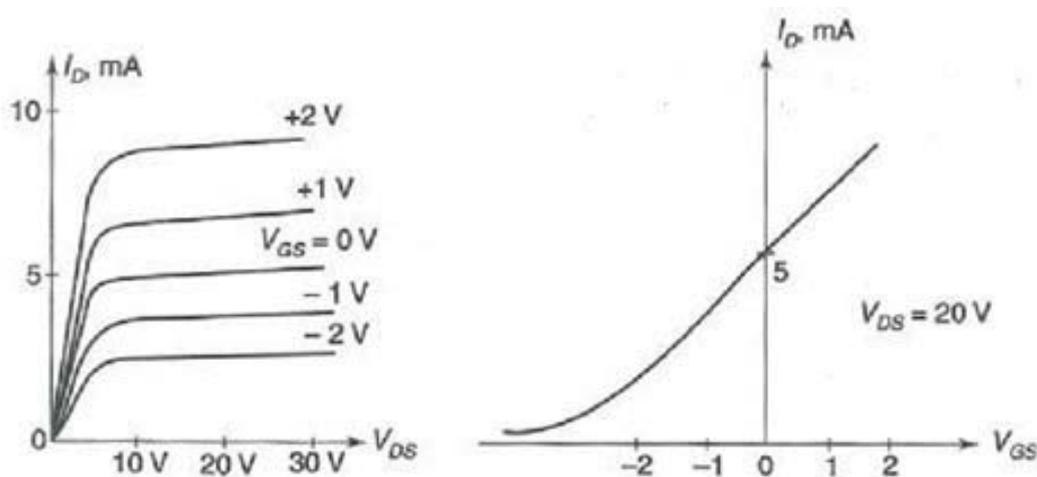


Fig. 8 - Curvas do MOSFET Modo Depleção

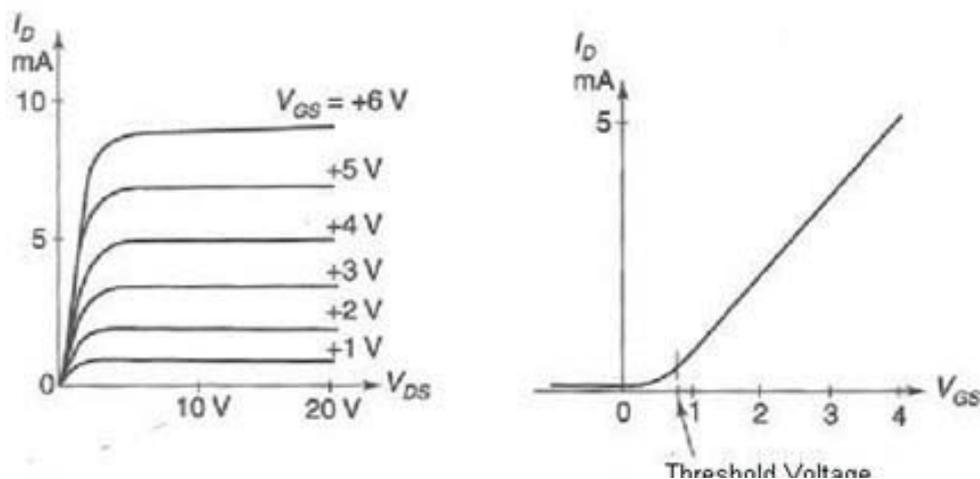


Fig. 9 - Curvas do MOSFET Modo Enriquecido

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

Primeiramente peço que você se foque mais atentamente nas curvas da direita que são chamadas de "curvas de transferência".

Na fig.8, que corresponde ao modo depleção, note que mesmo para $V_{GS} = 0V$ já existe uma corrente de dreno que no caso é de 5mA.

Para cortarmos o MOSFET ($I_D=0$) precisamos aplicar uma tensão de cerca de - 6V (neste exemplo) entre *gate* e supridor e mesmo assim ele não fica totalmente cortado, pois ainda haverá uma pequena corrente de dreno.

Agora, olhe a fig.9 e verá que para o MOSFET começar a conduzir precisamos aplicar uma tensão próxima de 1V entre *gate* e supridor (tensão de *threshold*).

E daí?

E daí, que no modo enriquecido é como se o MOSFET já "nascesse" cortado e para conduzir precisamos aplicar uma tensão **maior que zero volt** entre *gate* e supridor.

Isto é o que em eletrônica se chama de uma chave ideal como um interruptor que para passar corrente precisamos acioná-lo.

Esta característica dos MOSFETs

modo enriquecido os tornam os preferidos para projetos de fontes chaveadas, por exemplo, onde precisamos de um transistor que que funcione como uma chave eletrônica.

Este livro não tratará de fontes chaveadas, mas fique atento para a informação que foi dada aqui sobre os MOSFETs, pois será muito útil quando for estudá-las.

Para resumir podemos dizer o seguinte:

Os d-MOSFETs comportam-se como chave normalmente fechada e para abri-la precisamos aplicar uma polarização entre *gate* e supridor (independente do tipo do canal, N ou P).

Os e-MOSFETs comportam-se de maneira oposta.

Finalmente, vale resaltar que os d-MOSFETs podem operar também no modo enriquecido o que pode ser confirmado analisando a fig.8, mas você não pode substituir um tipo pelo outro numa reparação.

O que eu estou querendo dizer é que tudo dependerá de como foi feito o projeto originalmente para que o d-MOSFET funcione como e-MOSFET.

O que é um IGBT?

Para tornar a coisa mais fácil de entender vamos começar com o significado da sigla IGBT: Transistor Bipolar de Porta Isolada o que nos levar a pensar que eles são uma "mistura" dos dois tipos de transistores, ou seja, um "híbrido" de MOSFET na entrada com transistor bipolar na saída numa configuração que nos faz lembrar o transistor Darlington estudado no capítulo 11.

Veja bem, eu disse "nos faz lembrar", não disse que os IGBTs são Darlingtontons que é outra coisa.

Em outras palavras, a entrada de um IGBT é feita por uma porta isolada como nos MOSFETs , enquanto na saída temos um emissor e um coletor como nos transistores bipolares como vemos na fig.13.

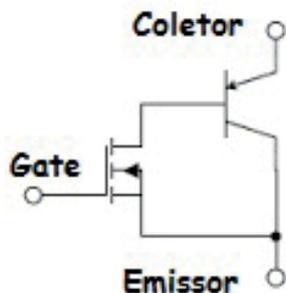


Fig. 13 - "Cosntrução" de um IGBT

Uma observação interessante quanto aos IGBTs é que são fabricados exclusivamente como canal N.

Quanto a simbologia adotada para representar os IGBTs nos circuitos podemos vê-los representados de uma das duas maneiras mostradas na fig.14.

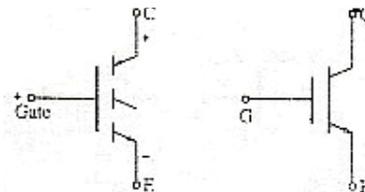


Fig. 14 - Simbologia de um IGBT

Mas, por que inventaram os IGBTs?

O IGBT alia o que há de melhor em cada tipo de transistor para fazer um dispositivo capaz trabalhar em circuitos que precisam de alta velocidade de comutação, manusear correntes altas e se comportarem como uma chave ideal (fechada resistência zero, aberta resistência infinita).

Com um IGBT a transição do estado de condução para o estado

Eletrônica para Estudantes, Hobistas & Inventores

de corte e vice-versa pode ser feita em 2 microssegundos o que nos dá uma frequência de 500 kHz.

Podem ser construídos em módulos que operam centenas de ampères e tensões até 6 kV.

A Panasonic (só ela), por exemplo, utiliza-os nas fontes de seus fornos de micro-ondas e diversos fabricantes nas placas Y e Z dos televisores de plasma.

Outra aplicação para estes dispositivos são amplificadores de áudio classe D também chamados de amplificadores digitais.

Na moderna indústria automobilística eles são usados para excitar os motores PMSM (Permanent Magnetic Synchronous Motor).

Enfim, são os semicondutores entrando definitivamente na eletrônica de potência!

Ufa! Acabou!

Enfim, chegamos ao final da "novela". Espero que os capítulos tenham sido emocionantes.

Não deu para bisbilhotar mais profundamente "alguns personagens", mas espero ter despertado em você a curiosidade e a partir de agora se sinta estimulado a continuar estudando para querer saber mais. Na Era Google isto ficou mais fácil.

O livro teve a intenção de plantar uma semente, mas para que a árvore dê bons frutos dependerá de como você irá cuidar dela.

Às vezes, me perguntam quanto tempo se leva para aprender Eletrônica?

No meu caso, foram quatro anos mais 67, pois ainda continuo aprendendo todo dia, o importante é que as sementes que recebi no curso técnico foram de primeira qualidade e eu soube plantá-las e cuidar dos seus frutos e foi isso que tentei fazer ao lhe oferecer este modesto livro.

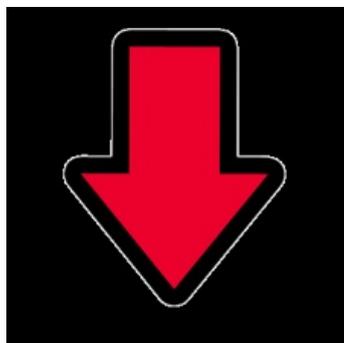
Entendendo que o coloquei nesta páginas, fruto de minha experiência como técnico, é o mínimo indispensável para se começar daqui pra frente é com você!

E aí, gostou?



Quer comprar AGORA?

Clica aqui embaixo



QUERO COMPRAR!

Tem alguma dúvida?

contato@paulobrites.com.br