

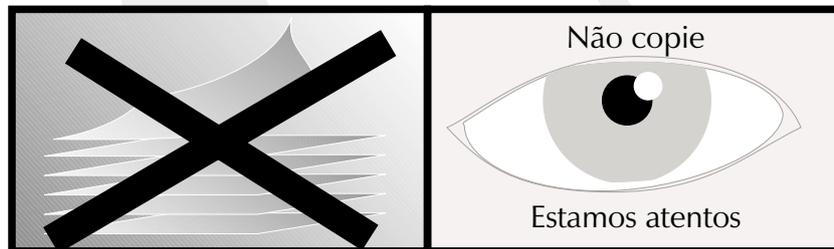
Eletricidade para Automóveis 2006

1ª edição

Goiânia - Junho 2006

Autor: Marco Aurélio Brazão Costa Badan

RESPEITE O DIREITO AUTORAL.
É ELE QUE GARANTE A CONTINUIDADE DE
PRODUÇÃO INTELECTUAL DE NOSSO PAÍS.



Nenhuma parte deste livro poderá ser reproduzida sejam quais
forem os meios empregados sem a permissão, por escrito, do
autor.

Aos infratores se aplicam as sanções previstas nos
artigos 102 a 106 da Lei nº 9.610 de 19 de fevereiro de
1998.

Marco Aurélio Brazão Costa Badan
G554 Eletricidade para Automóveis - 2001
Marco Aurélio B. C. Badan - Goiânia, 2001
307p

Apostila

ISBN

CDU

Sumário

1 – Introdução	7
2 – Histórico	9
3 – Definição de Eletricidade	11
3.1 – Eletricidade Estática	13
3.2 – Eletricidade Dinâmica ou Corrente Elétrica	13
4 – Conceitos Básicos	15
4.1 – Corrente Elétrica	15
4.1.1 – Corrente Alternada	16
4.1.2 – Corrente Contínua	16
4.2 – Tensão	17
4.3 – Resistores	18
4.3.1 – Resistências Elétricas	19
4.3.1.1 – Resistências a Carvão	20
4.3.1.2 – Resistências de Película ou Camada Fina	22
4.3.1.3 – Resistências Bobinadas	23
4.3.2 – Potênciômetros	24
4.3.3 – Termo Resistências ou Sensores de Temperatura	25
4.3.4 – Foto Resistências	27
4.3.5 – Outras Resistências Variáveis ou Sensores Resistivos	28
4.4 – Condutores	30
5 – Instrumentos de Medida	33
5.1 – Amperímetro	33
5.2 – Voltímetro	34
5.3 – Ohmímetro	35
5.4 – Multímetro	36
5.4.1 – Observação:	40

6 – Circuitos Elétricos	42
6.1 – Equação Básica da Resistência ou Primeira Lei de Ohm	42
6.1.1 – Exemplo:	42
6.2 – Circuito Básico	43
6.3 – Resistências em Série	44
6.4 – Resistências em Paralelo	47
6.5 – Associação de Resistências em Série e em Paralelo ou Associação Mista	51
7 – Elementos Elétricos	54
7.1 – Geradores Elétricos	54
7.1.1 – Geradores em Série	56
7.1.2 – Geradores em Paralelo	57
7.1.3 – Acumuladores ou Baterias	59
7.2 – Aterramento	62
7.3 – Interruptores	63
7.3.1 – Interruptores de Pressão	64
7.3.2 – Interruptores de Temperatura	64
7.3.3 – Interruptores Manuais	65
7.4 – Capacitores ou Condensadores	67
7.4.1 – Eletrização por Indução	69
7.4.2 – Tipos de Capacitores	71
7.4.2.1 – Capacitores de Mica	72
7.4.2.2 – Capacitores de Película ou Folha	73
7.4.2.3 – Capacitores Cerâmicos	74
7.4.2.4 – Capacitores Eletrolíticos	75
7.4.2.5 – Capacitores Híbridos	77
7.4.2.6 – Capacitores Variáveis	77
7.4.3 – Características Técnicas dos Capacitores	78
7.4.4 – Código de Identificação dos Capacitores	79
7.4.5 – Associação de Capacitores	80
7.4.6 – Sensores Capacitivos	82
7.5 – Diodos	85
7.5.1 – Diodo Emissor de Luz – Led	89
7.5.2 – Fotodiodo	90
7.5.3 – Diodo Zener	91
7.5.3.1 – Exemplo de Aplicações	94
7.6 – Transistores	96

8 – Eletromagnetismo	100
8.1 – Noções Sobre Magnetismo	100
8.2 – Noções Sobre Eletromagnetismo	101
8.3 – Indução Eletromagnética	103
8.4 – Aplicações	109
8.4.1 – Transformadores	109
8.4.2 – Bobinas	111
8.4.2.1 – Eletroválvulas	114
8.4.2.2 – Motores	116
8.4.2.3 – Relês	120
8.4.2.4 – Embreagens Eletromagnéticas	122
8.4.2.5 – Alternador	123
9 – Osciloscópios	131
9.1 – Princípio de Funcionamento	132
9.2 – Entrada de Sinais	135
9.3 – Análise de Sinais	142
9.3.1 – Teste da Bateria	144
9.3.2 – Teste do Alternador	147
9.3.3 – Diodo de Supressão Ruído	149
9.3.4 – Sensor Indutivo	150
9.3.5 – Sensor de Efeito Hall	152
9.3.6 – Sensor de Pressão (MAP)	154
9.3.7 – Interruptor de Pressão	156
9.3.8 – Sensor de Massa do Ar (MAF)	157
9.3.9 – Sensor de Fluxo de Ar	158
9.3.10 – Sensor de Temperatura	160
9.3.11 – Sensor de Posição de Borboleta	161
9.3.12 – Sonda Lambda	162
9.3.13 – Sensor de Detonação	163
9.3.14 – Ignição Primária	165
9.3.15 – Ignição Secundária	166
9.3.16 – Corretor da Marcha Lenta	167
9.3.17 – Eletroválvula de Purga do Canister	169
9.3.18 – Recirculação Gases de Escape (EGR)	170
9.3.19 – Injetor de Combustível	171
9.3.20 – Módulo de Ignição	173
9.3.21 – Avanço de Ignição	174
10 – Referências Bibliográficas	177

CAPÍTULO 1

vendas@cicloengenharia.com.br



1 - INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico, social e econômico deste último século tem como principal pilar de sustentação o conhecimento e desenvolvimento da eletricidade.

A ciência como um todo permitiu ao mundo moderno presenciar um salto tecnológico sem limites. O conhecimento da eletricidade e o desenvolvimento de suas aplicações contribuíram em grande parte para este salto, como podemos notar no fim do século passado pela invenção da lâmpada de filamento até os dias de hoje com a televisão, computadores, telefonia celular, internet, etc...

Cabe hoje ao profissional moderno buscar novas formas de conhecimento, principalmente ao mecânico, buscar conhecimentos básicos de eletricidade. É sabido que os veículos atualmente possuem cada vez mais controles eletro-eletrônicos de seus sistemas mecânicos. O mercado de reparações exigirá cada vez mais um profissional dinâmico que detenha conhecimento de um todo, para que possa diagnosticar de forma hábil e precisa uma falha do sistema

Aqueles que não buscam conhecimento, estão fadados ao despreparo, a desatualização, a perda do cliente e do mercado. O conhecimento adquirido não se perde com o tempo, se soma com experiências, levando a satisfação sócia econômica.

Este livro abordará sobre os princípios básicos da eletricidade, multímetros e osciloscópios, sempre voltado para aplicações em automóveis. Embora seja voltado para veículos, os conceitos de eletricidade abordados são estendidos a qualquer ramo de atividade, pois as leis e fundamentos de eletricidade são únicos e universais.

Este livro deve ser lido por aqueles que desejam conhecimento de eletricidade básica. Os assuntos são abordados numa linguagem simples, e de fácil compreensão. Podem ler mecânicos, eletricitas, estudantes ou qualquer pessoa que busca entender os princípios da eletricidade; estando no ramo automobilístico ou não.

CAPÍTULO 2

vendas@cicloengenharia.com.br



2 - HISTÓRICO

A descoberta da eletricidade data de aproximadamente 25 séculos. Foi primeiramente observada pelo filósofo grego Talles de Mileto que se surpreendeu com estranhos fenômenos de atração e repulsão que ocorriam entre certos corpos leves, sem que houvesse contatos físicos entre eles. Era pensamento do filósofo que esses fenômenos fossem provocados por “forças ocultas”, o que mais tarde foi chamado de “campo elétrico”.

Embora a eletricidade seja conhecida há bastante tempo, só recentemente podemos compreender melhor a sua natureza. Seu estudo e aplicações somente foram iniciados no século passados.

Em 1820, o francês e matemático André Marie Ampère, dedica-se aos estudos de eletricidade, sendo considerado o pai da eletrodinâmica. Ampère desenvolveu inúmeros trabalhos, dos quais podemos destacar: Ação mútua, Teoria da eletrodinâmica e do magnetismo, Eletroímã, Telégrafo elétrico, Motor elétrico, etc.

Em 1822, em virtude dos trabalhos desenvolvidos por Ampère, Oersted e Arago, George Simon Ohm passa a se interessar por eletricidade. Com sólida base em matemática e grande experimentador, o que possibilitou a ter bons resultados em suas pesquisa e a formular o que se conhece hoje como a primeira lei de Ohm

Outros estudiosos os quais podemos destacar devido a suas descobertas e formulações foram: Hertz, Volta, Franklin, Faraday, Newton, etc...

Atualmente, laboratórios de universidades, centros de pesquisa e indústrias, vem desenvolvendo equipamentos e componentes de alta tecnologia para as mais variadas áreas, contudo, as formulações básicas, do século passado, continuam válidas e são à base de todo o conhecimento sobre eletricidade.

CAPÍTULO 3

vendas@cicloengenharia.com.br

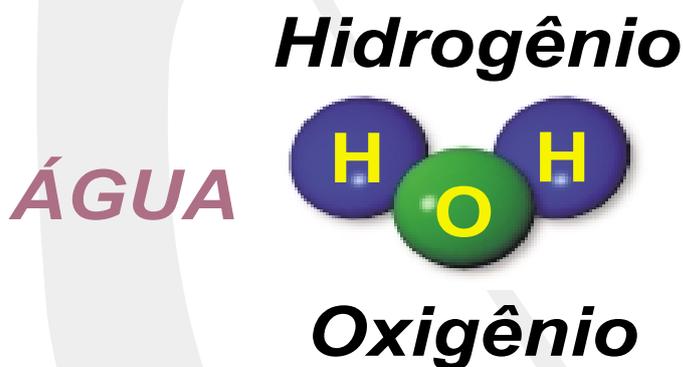


3 - DEFINIÇÃO DE ELETRICIDADE

Para que possamos entender de que se trata a eletricidade, vamos entender o princípio da teoria atômica. Definiremos então Matéria, Molécula e Átomo.

Matéria é toda substância sólida, líquida ou gasosa e que ocupa algum lugar no espaço (Ex: água)

Molécula é a menor partícula que podemos dividir a matéria, sem que perca suas propriedades básicas (Ex: podemos dividir a água em partes tão pequenas a pontos de serem vistas somente no microscópio, se continuarmos a dividir até obter uma unidade, teremos uma molécula de água).



Átomos são os elementos que constituem a molécula (Ex: Os componentes da água são dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, ou H_2O)

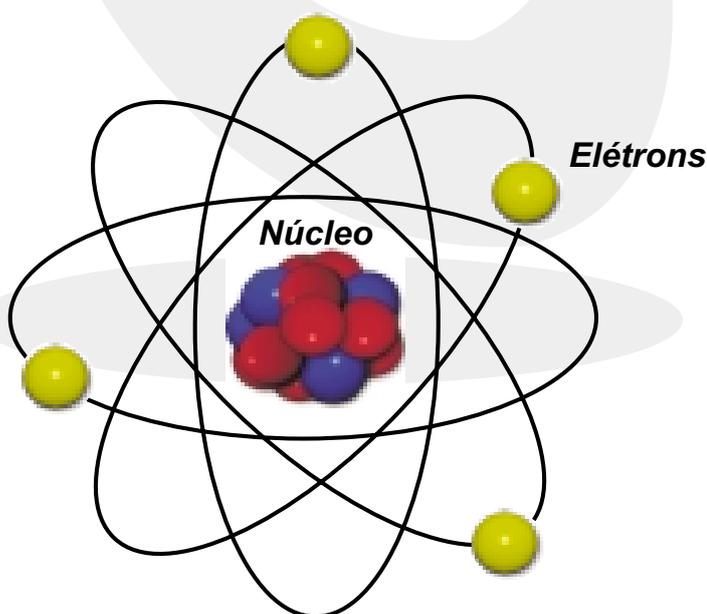


Figura - Representação gráfica de um átomo

E a eletricidade, aonde se encaixa nisto tudo?

Os átomos são formados por partículas, possuindo um centro ou núcleo e de pequenas unidades que giram ao seu redor. O núcleo é constituído de prótons e neutrons. Convencionaram-se as cargas *positivas* aos prótons e carga *nula* aos neutrons.

Para as pequenas partículas que ficam em órbita ao redor do núcleo, chamadas de elétrons, foram convencionadas as cargas *negativas*. (Prótons e nêutrons são aproximadamente 2000 vezes mais densos que os elétrons).

Um átomo será considerado eletricamente estável ou em equilíbrio se as cargas negativas forem iguais às cargas positivas (ou a quantidade de prótons igual à quantidade de elétrons). Será considerado eletricamente negativo se possuir mais elétrons que seu ponto de estabilidade elétrica; e positivo se possuir menos elétrons que o seu ponto de estabilidade elétrica; neste caso os átomos são chamados de íons negativos e íons positivos.

Experimentalmente, observa-se que: *Cargas positivas e negativas exercem força de atração entre si*, sendo esta a razão pela qual os elétrons giram ao redor do núcleo (devido à força de atração dos prótons).

Os conjuntos de fenômenos que envolvem as cargas elétricas dos átomos são chamados de eletricidade. Exemplo: Os metais são constituídos de moléculas e estes de átomos. Nos átomos do metal existem excessos de elétrons e estão fracamente ligados ao núcleo. Ao fechar um circuito elétrico, ou seja, ao colocarmos uma fonte de tensão haverá corrente elétrica ou deslocamento de elétrons. Desta forma falamos que os metais são bons condutores, ao contrário do que acontece com a madeira, vidro ou cerâmica. Por não possuir elétrons livres, conduzem muito fracamente ou não conduzem a eletricidade ao ligarmos uma tensão.

3.1 - ELETRICIDADE ESTÁTICA

É o tipo de eletricidade que envolve cargas elétricas paradas. É gerada por atrito devido a perda de elétrons durante o movimento (friccionamento). Por exemplo Ao esfregarmos um bastão de vidro em lã; a descarga que recebemos ao descer de um veículo, etc.

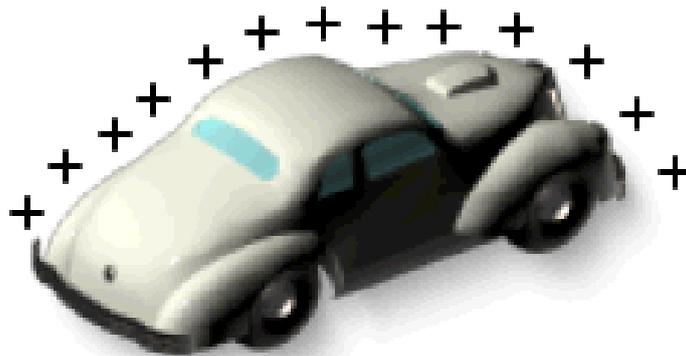


Figura - O veículo ao movimentar perde elétrons

3.2 - ELETRICIDADE DINÂMICA OU CORRENTE ELÉTRICA

É o fluxo de cargas elétricas que se deslocam através de um condutor. Para este fenômeno, são necessários de uma fonte de energia, de um consumidor e de condutores fechando o circuito

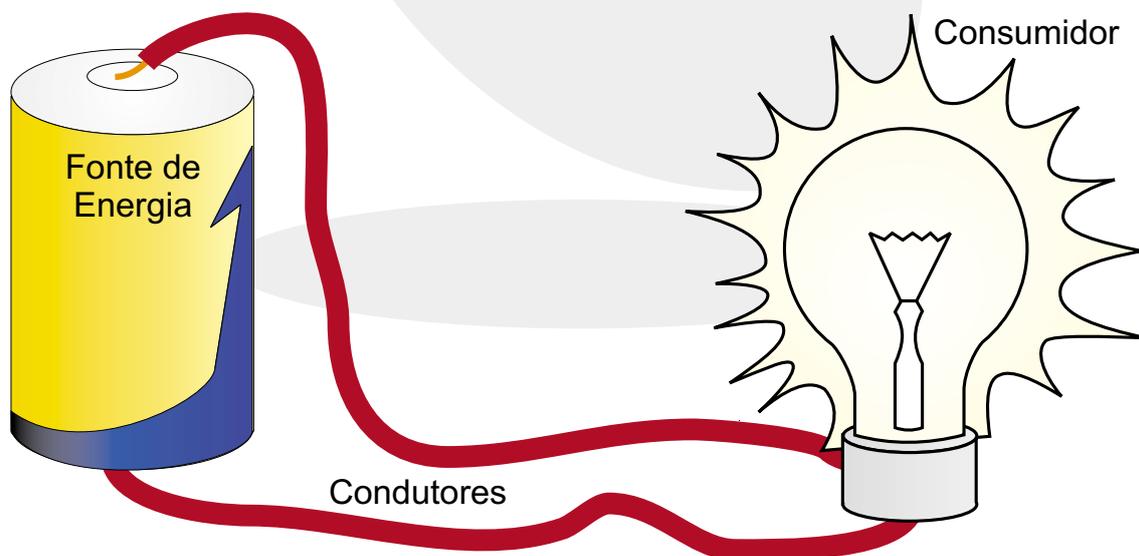


Figura - Circuito Elétrico

CAPÍTULO 4

vendas@cicloengenharia.com.br



4 - CONCEITOS BÁSICOS

4.1 - CORRENTE ELÉTRICA

Define-se corrente elétrica média como a quantidade de carga elétrica que atravessa uma dada seção transversal em um determinado período de tempo. A corrente elétrica representada pela letra (I) descreve o movimento ordenado de cargas elétricas e convencionase como o sentido de corrente o sentido do pólo positivo para o pólo negativo, sendo:

pólo positivo é o dispositivo que mantém a falta de elétrons

pólo negativo é o dispositivo que mantém o excesso de elétrons

Analogamente, para efeito de visualização, podemos comparar a corrente elétrica como o escoamento de água dentro de uma tubulação.

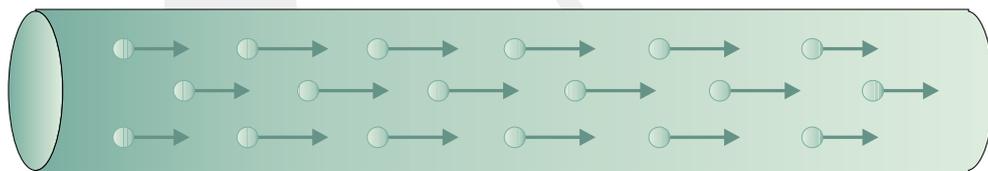


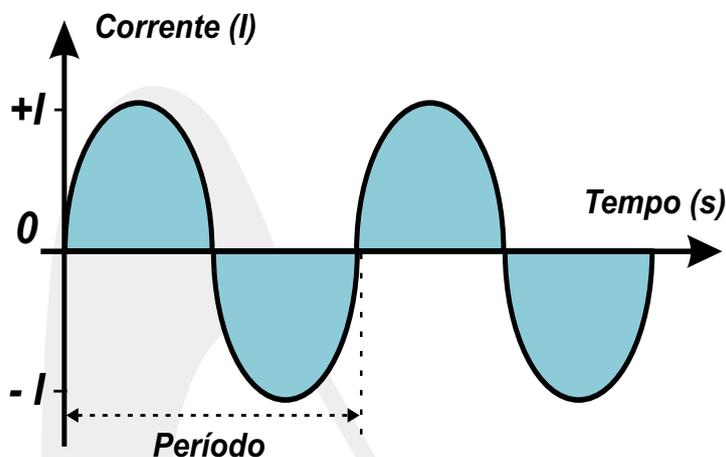
Figura - Fluxo de elétrons no condutor

Em função do tempo a corrente elétrica pode ser: Alternada ou Contínua, sendo medida em ampères (A)

Observação: Até o momento descrevemos o fluxo de corrente elétrica em condutores, ou seja, nos sólidos. Contudo, a corrente elétrica também poderá estar presente nos meios líquidos e gasosos, pelo fluxo de íons (Íons são átomos carregados positivamente ou negativamente, possuindo falta ou excesso de elétrons).

4.1.1 - CORRENTE ALTERNADA

Quando o fluxo de elétrons alterna o seu sentido num período de tempo, dizemos que a corrente é alternada. É este tipo de corrente que se encontra em nossas residências, nas indústrias, etc...



O sentido de corrente alterna de sentido, conforme uma curva senoidal, em que os picos determinam o valor máximo da corrente

4.1.2 - CORRENTE CONTÍNUA

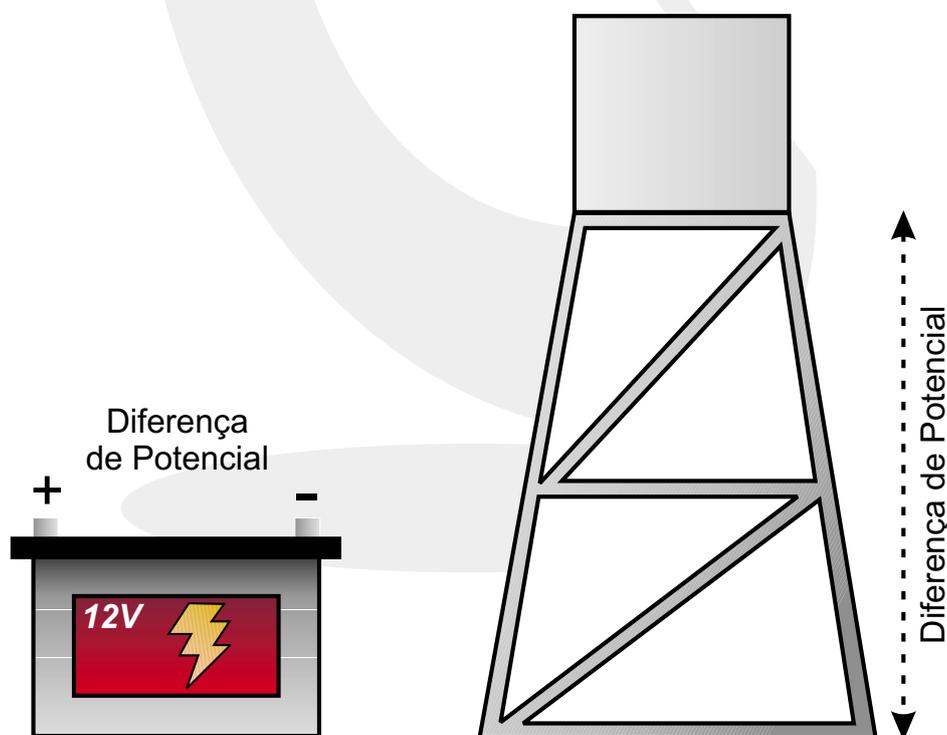
Ocorre quando o fluxo de elétrons mantém o seu sentido de corrente inalterado durante o tempo. Nos veículos se utiliza corrente contínua para luzes, acessórios, etc..

4.2 - TENSÃO

Para que exista movimento de elétrons, vimos anteriormente que necessitamos de um pólo positivo e um pólo negativo, ou seja, necessitamos de uma diferença de potencial ou tensão entre os pólos. A tensão é uma medida da energia envolvida no transporte de uma carga elementar entre dois pontos de um campo elétrico. Existirá tensão elétrica entre dois pontos sempre que o transporte de carga entre esses mesmos dois pontos envolver libertação ou absorção de energia elétrica por parte do sistema. O valor de tensão ou diferença de potencial, corresponde ao fornecimento de energia para consumo. Quanto maior a tensão, maior será a energia fornecida.

Normalmente, a energia é fornecida por um gerador ou bateria e é representada pela letra (U) ou (V), sendo medida em volts (v)

Analogamente, podemos comparar a bateria com uma caixa d'água; a diferença de potencial (DDP) ou tensão será comparada com a altura da caixa d'água. A carga da bateria com o volume de água. Então como uma tensão corresponde a altura da caixa d'água, quanto maior a tensão, maior será o potencial de carga.



4.3 - RESISTORES

Resistores são tipos especiais de condutores e que tem como propriedade física limitar a velocidade dos elétrons de uma corrente elétrica. Devido a esta limitação de movimento ou fluxo, os elétrons passam pelo resistor com certa dificuldade e passam a vibrar mais intensamente, transformando parte de seu movimento (energia cinética) em calor (energia térmica).

Resistores podem possuir características diversas como no caso das:

- Resistências elétricas que possuem grandeza constante;

- Potenciômetros que possuem grandeza variável em função de um ajuste manual ou mecânico,

- Termo resistências ou sensores de temperatura que possuem grandeza variável em função da temperatura;

- Foto resistências ou fotosensores que possuem grandeza variável em função da iluminação;

- Extensômetros que possuem grandeza variável em função do comprimento;

- Magneto resistências ou sensores magnéticos que possuem grandeza variável em função da intensidade magnética;

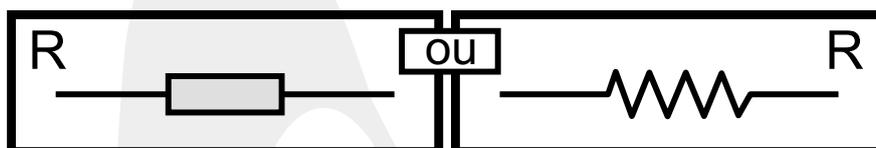
- Piezo resistividade ou sensores de pressão que possuem grandeza variável em função da pressão;

- Químio resistências ou sensores químicos que possuem grandeza variável em função da concentração de agentes químicos;

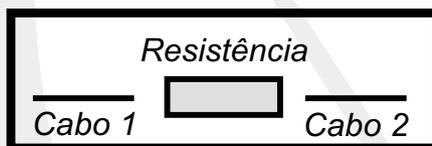
4.3.1 - RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS

Como são condutores especiais e limitam o fluxo de elétrons, transformam parte de seu movimento em calor. Explica-se o motivo do aquecimento das resistências como forma de dissipar a energia de movimento dos elétrons que foi restringida. São representadas pela letra (R)

Sua simbologia elétrica é:



Sendo que:



Resistências elétricas podem ser:

- Carvão, ou de pasta de grafite;
- Película ou fina camada de material metálico;
- Bobina metálica

4.3.1.1 - RESISTÊNCIAS A CARVÃO

As resistências de carvão são construídas a partir de uma massa homogênea de grafite misturada com um elemento aglutinador. A massa é prensada com o formato desejado, encapsulada num invólucro isolante de material plástico e ligada ao exterior através de um bom condutor.

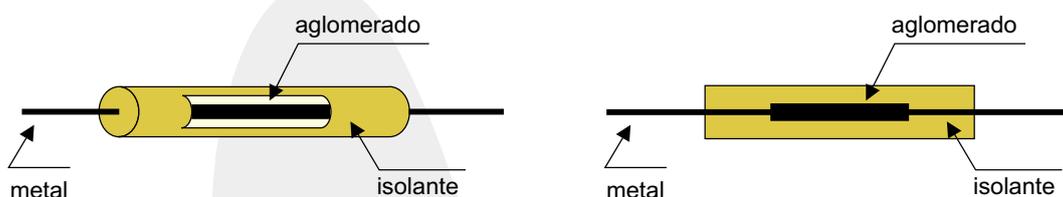


Figura - Vista interna de uma resistência a carvão

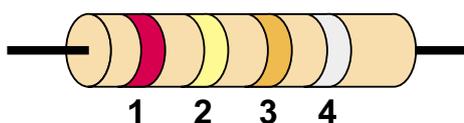
O valor nominal de uma resistência de carvão é função das dimensões físicas e da percentagem, maior ou menor, de grafite utilizada no aglomerado (mais grafite é igual a menor resistência). As resistências elétricas de resistores comerciais a carvão, são indicadas por um código de cores conforme a seguir

As cores das faixas 1 e 2 indicam respectivamente a dezena e a unidade de um número.

A faixa 3 é o expoente da potência de 10 .

A faixa 4 indica a tolerância, fator relativo à qualidade do resistor, sendo: ouro 5%, prata 10% ou incolor 20%

Cor	Número	Cor	Número
Preto	0	Azul	6
Marrom	1	Violeta	7
Vermelho	2	Cinza	8
Laranja	3	Branco	9
Amarelo	4	Ouro	0.1
Verde	5	Prata	0.01



Exemplo: Resistor com as cores: vermelho, amarelo, laranja e prata, corresponde à resistência de **24.10³ Ω** ou seja, **24000 Ω ± 10%**

OBSERVAÇÕES:

A primeira faixa é sempre aquela que está mais próxima da extremidade do resistor;

Uma terceira faixa na cor prata corresponde ao multiplicador 10^{-2} , e na cor ouro 10^{-1} .

Tabela – Símbolo de Grandezas

<i>Símbolo</i>	<i>Prefixo</i>	<i>Multip.</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Prefixo</i>	<i>Multip</i>
a	atto	10^{-18}	da	deca	10^1
f	femto	10^{-15}	H	hecto	10^2
p	pico	10^{-12}	K	quilo	10^3
n	nano	10^{-9}	M	mega	10^6
μ	micro	10^{-6}	G	giga	10^9
m	mili	10^{-3}	T	tera	10^{12}
c	centi	10^{-2}	P	peta	10^{15}
d	deci	10^{-1}	E	hexa	10^{18}

CONCEITO:

Da mesma forma que os resistores, as lâmpadas, condutores, solenóides, potenciômetros, etc..., podem ser consideradas resistências em um circuito elétrico e aplica-se a primeira lei de Ohm, como veremos posteriormente.

4.3.1.2 - RESISTÊNCIAS DE PELÍCULA

OU CAMADA FINA

As resistências de película são construídas a partir da deposição de uma finíssima camada de carvão ou metal resistivo (níquel-crômio, óxido de estanho, etc.) sobre um corpo cilíndrico de material isolante. Nas resistências de menor valor absoluto, com potência tipicamente inferior a 10 KW (*), o material resistivo é depositado sob a forma de uma camada contínua que une os respectivos terminais de acesso, ao passo que nas de maior valor monta-se uma espiral de filme em torno do corpo. Em qualquer dos casos, a composição e a espessura da camada determina o valor nominal da resistência elétrica implementada.

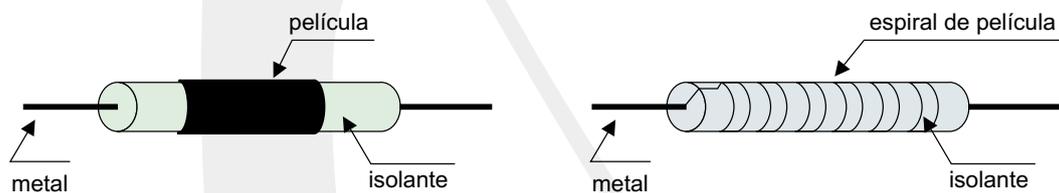


Figura - Resistência de camada

O corpo da resistência é constituído por um material isolante, em geral um material vítreo ou cerâmico, sendo protegido externamente através de uma tinta isolante.

(*) OBS: Vimos que a unidade de medida de uma resistência é o Ω (ohm), contudo o texto faz referencia a unidade de KW (Kilowatt). Isto é devido a energia térmica gerada pelo resistor que pode ser calculada por:

$$Pot = U \times I$$

Onde: U = Tensão (volts)
I = Corrente (ampere)
Pot = Potencia (watt)

4.3.1.3 - RESISTÊNCIAS BOBINADAS

As resistências de bobinas são construídas a partir do enrolamento de um fio metálico resistivo em torno de um núcleo cilíndrico de material isolante. O material resistivo mais utilizado consiste basicamente numa liga metálica de níquel, cobre e magnésio. Em alguns casos, as extremidades do fio bobinado são ligadas a braçadeiras que permitem a ligação e a fixação da resistência ao circuito.

Quanto ao isolamento, as resistências de bobinas podem ser esmaltadas, vitrificadas ou cimentadas, em geral o conjunto é protegido externamente por um invólucro de material cerâmico selado com silicone. As resistências de bobina são comercializadas em valores de potência nominais inferiores a 100 KW, com potência dissipável que chega a duas dezenas de watt. Existem resistências cujas dimensões vão desde alguns milímetros até vários centímetros.



Figura - Resistência de bobina

4.3.2 - POTÊNCIOMETROS

As resistências variáveis ou de ajuste, também designadas por reostatos ou potenciômetros são utilizadas em aplicações nas quais se exige a calibração ou a variação contínua do valor nominal de uma resistência.

Exemplos da aplicação de resistências variáveis são o controle do volume de som de um rádio, o controle do brilho ou contraste de um monitor *TV*, a indicação da posição de uma válvula de borboleta em veículos, o ajuste do período de oscilação em circuitos temporizadores, etc... Na figura abaixo se representa o símbolo, o esquema de ligações e um croqui do mecanismo de controle utilizado.

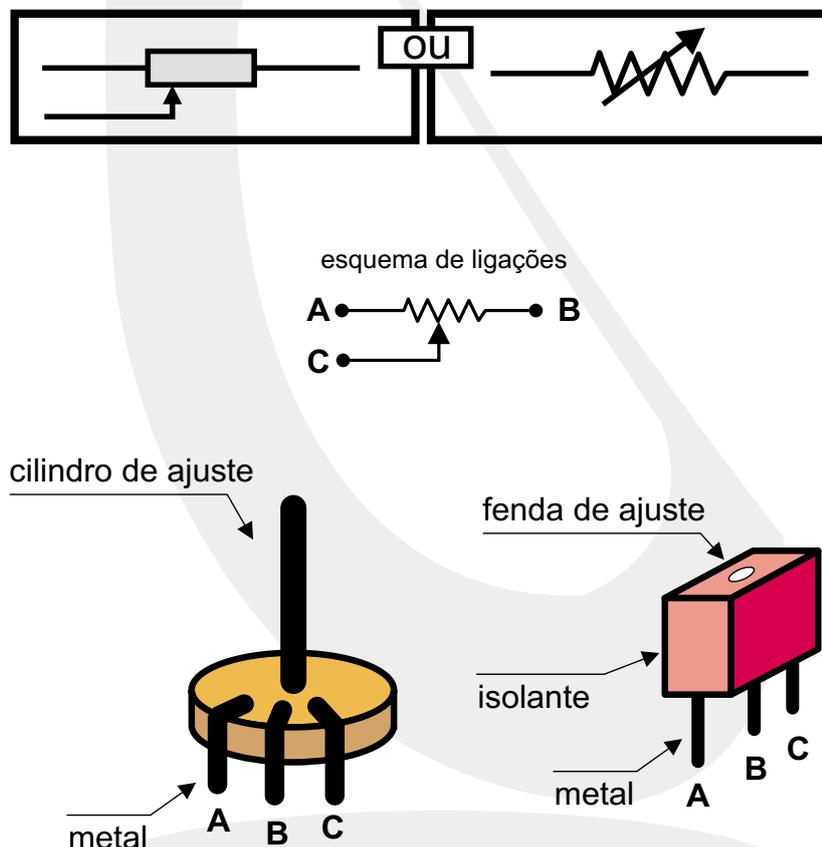


Figura - Simbologia elétrica e exemplos de potenciômetros

Existem resistências com controle por tubo rotativo, manopla ou ranhura, com escala linear ou logarítmica, simples de um giro ou em vários giros, de carvão ou metal encapsulados ou não, etc...

4.3.3 - TERMO RESISTÊNCIAS OU SENSORES DE TEMPERATURA

As termo-resistências e os termistores são resistências que exibem uma variação em função da temperatura. A distinção entre termo-resistência e termistor depende do tipo de material utilizado na sua construção:

1. Termo-resistências, ou *resistance temperature detectors, RTD*, utilizam materiais condutores como a platina, cobre ou níquel;
2. Termistores (*thermal resistors*). Para resistências com coeficiente de temperatura negativo (*negative temperature coefficient, NTC*), utilizam misturas de cerâmicas ou óxidos semicondutores, como o magnésio, níquel, cobalto, cobre, ferro, titânio, etc... No caso das *PTC (positive temperature coefficient)*, utilizam titanato de bário,

As termo-resistências e os termistores são amplamente utilizados como sondas de temperatura em aplicações industriais, hospitalares, eletrodomésticos, instrumentação, telecomunicações, *sensores de temperatura da água do motor, do ar, do sistema de ar condicionado em automóveis, etc...*

Em algumas aplicações destinam-se a medir valores absolutos de temperatura. Em alguns casos uma precisão de 1 °C é suficiente, ao passo que em outras se exige uma precisão da ordem de 0,1 °C ou, até mesmo, 0,01 °C.

As termo-resistências de platina são utilizadas em sondas de temperatura de elevada precisão, em particular devido a linearidade. Convém salientar de que a grande maioria das termo-resistências e termistores se caracterizam por relações não-lineares.

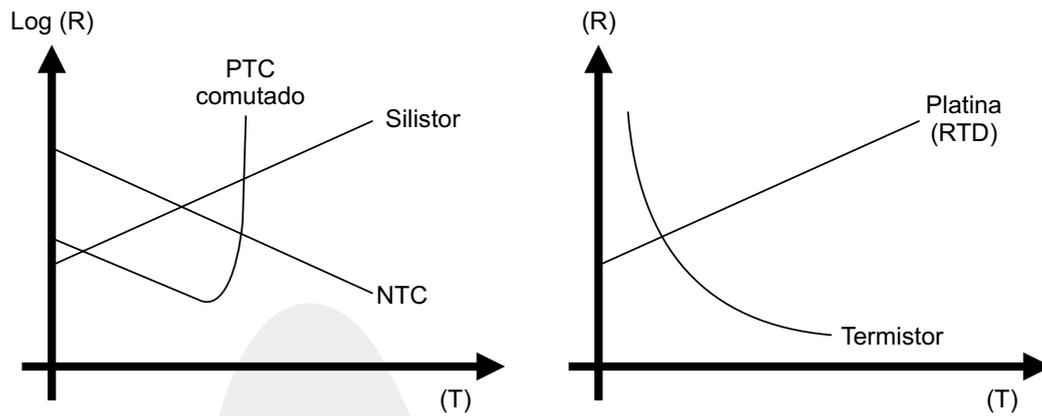


Figura - Curva resistência x temperatura

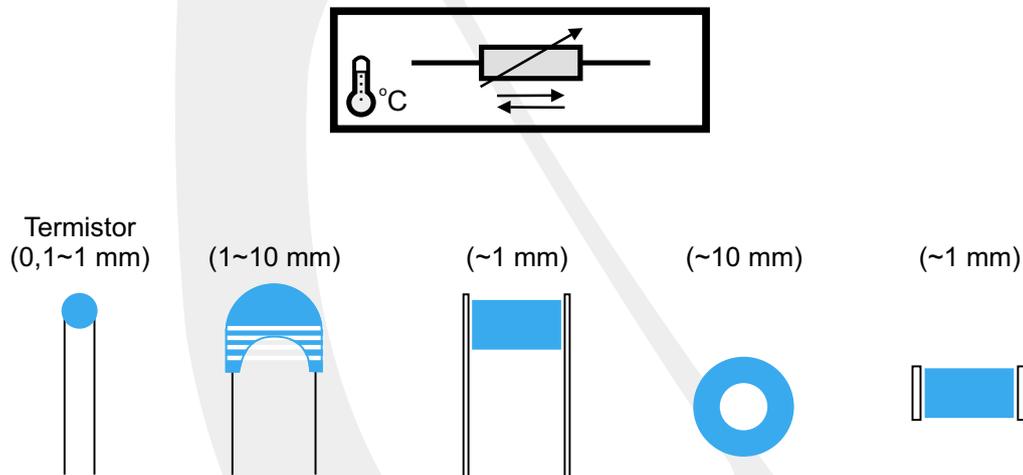


Figura - Simbologia elétrica e tipos de termistores

Existem no mercado termistores em formato de gota, tubo, disco, anilha ou circuito integrado, e com diâmetros que podem variar entre 0.1 mm até vários cm

4.3.4 - FOTO RESISTÊNCIAS

Foto resistências são resistências elétricas que variam em função da intensidade da radiação eletromagnética (LDR, light dependent resistor).

São geralmente construídos em materiais semicondutores, tais como silício, germânio, arsênio, telúrio e compostos de cádmio e de chumbo, todos os materiais para os quais a densidade de portadores livres na banda de condução é função, da intensidade e do comprimento de onda dos fótons incidentes. sendo negativo o coeficiente de luminosidade deste tipo de resistências, ou seja, quanto maior a iluminação, menor a resistência.

Existem no mercado fotosensores que cobrem as gamas de radiação eletromagnética infravermelha, visível e ultravioleta.

Fotosensores são utilizadas em aplicações industriais, sensor de radiação solar em automóveis, instrumentação, militares, como indicadores de nível em reservatórios de líquidos, sistemas de alarme e de controle remoto, etc. A variação da resistividade com a intensidade luminosa segue uma curva aproximadamente exponencial, sendo comum encontrar fotosensores cujo valor nominal da resistência elétrica pode variar de um fator de 100 numa gama de intensidade luminosa compreendida entre 5 e 10^4 lux.

Na figura abaixo ilustram-se o símbolo e alguns dos fotosensores existentes no mercado.

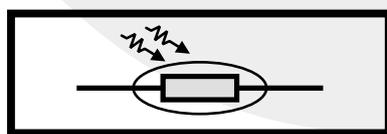


Figura - Simbologia elétrica de um sensor fotoelétrico

4.3.5 - OUTRAS RESISTÊNCIAS VARIÁVEIS OU SENSORES RESISTIVOS

A resistividade dos materiais pode ser utilizada para detectar a presença ou a variação de grandezas, como o campo magnético, a pressão ou aceleração, certos agentes químicos como a umidade, o monóxido de carbono, o fumo de tabaco, etc.

Uma das classes de sensores resistivos são as magneto-resistências. Estes sensores são componentes de circuito nos quais o valor nominal da resistência elétrica é uma função da intensidade do campo magnético no qual se encontram. As magneto-resistências baseiam o seu princípio de funcionamento na interação existente entre o campo magnético e o fluxo de corrente elétrica, que se manifesta através da força de Lorentz. As magneto-resistências são utilizadas na construção de cabeças de leitura de fitas e discos magnéticos, em aplicações de áudio, vídeo, memorização de informação em sistemas de computadores, sensores de rotação polarizado em automóveis (ABS), identificação de padrões em cartões magnéticos, instrumentação e equipamento de controle, etc....

Um outro conjunto de sensores resistivos de grande utilidade prática são as piezo-resistências. A piezo-resistividade é a propriedade dos materiais que caracteriza a dependência da resistividade elétrica com a deformação mecânica. Esta propriedade tem como causas, entre outras, a variação da mobilidade e da densidade de cargas livres nos materiais.

Apesar da piezo-resistividade ser uma propriedade comum a todos os materiais, ela é mais notória nos semicondutores como o silício e o germânio, em cujo caso o coeficiente de variação da resistência elétrica é, em geral, negativo. As piezo-resistências são utilizadas na construção de microfones, detectores de aceleração (*airbag*) em automóveis e sensores de fluxo de líquidos ou gases.

Devido à compatibilidade tecnológica com a eletrônica, os sensores de pressão são passíveis de integração conjunta com os circuitos eletrônicos de processamento de sinal, permitindo

sistemas complexos que incluem as funções de transdução, apresentação e processamento da informação.

Existe ainda um vasto conjunto de sensores resistivos designado por químio-resistências. Em todos estes componentes, a resistividade é uma função da concentração de agentes químicos presentes no ambiente em questão. As químio-resistências são utilizadas para medir umidade relativa do ar, (higro-resistências), detecção de gases como o monóxido de carbono, hidrogênio, dióxido de azoto, etanol, metano, cigarro, etc...

As químio-resistências são em geral construídas a partir da deposição de um óxido metálico num material inerte como o óxido de silício, certos cristais orgânicos ou polímeros condutores. Em geral, este tipo de resistências apresenta um coeficiente de variação negativo.

Elementos sensíveis medidores de deformação, do tipo extensômetros de resistência elétrica (ou strain-gage), possuem a característica de variar a resistência elétrica proporcionalmente à deformação. Trata-se de um elemento na forma de uma película muito fina a qual é colada na superfície da peça que deseja medir deformação. Ao deformar, seja por compressão, tração ou flexão, haverá uma pequena variação de comprimento na superfície da peça e em consequência, uma variação no comprimento do extensômetros, causando alteração na resistência elétrica do mesmo (Sensor de pressão análogo – Ar Condicionado).

4.4 - CONDUTORES

Condutores são os elementos pelos quais ocorrem os deslocamentos do fluxo de elétrons, também conhecidos como cabos ou fios. Estes elementos possuem como característica elétrons livres que favorecem o movimento quando aplicado uma tensão. Os metais são os melhores condutores de corrente elétrica, destacando-se o cobre, o alumínio e a prata.

Apesar de favorecerem a condução, os condutores também apresentam resistência elétrica, que pode ser explicada pela oposição ao movimento de elétrons para manter o equilíbrio em sua ligação atômica..

A resistência elétrica de condutores e outros materiais estão diretamente ligados a quatro fatores:

- O material que constitui o condutor (resistividade);
- O comprimento do condutor;
- A área da seção transversal;
- A temperatura de trabalho do condutor.

A resistividade do material indica a quantidade de elétrons livres, sendo os metais melhores condutores e as borrachas e cerâmicas os maus condutores.

O comprimento do condutor interfere na resistência, sendo um maior comprimento, maior será a resistência

A área da seção transversal ou diâmetro do condutor afeta a resistência, quanto maior a área, menor será a resistência do condutor

Um aumento de temperatura causa um aumento da resistência do condutor

Tabela - Características de fios elétricos

Área Nominal (mm ²)	Resistência por metro (10 ⁻³ Ω/m)	Diâmetro do condutor (mm)	Corrente (A) admissível máx a 25°C	Corrente (A) admissível máx a 50°C
0,50	37,10	1,0	12	8,0
0,75	24,70	1,2	16	10,6
1,00	18,50	1,4	20	13,3
1,50	12,70	1,6	25	16,6
2,50	7,60	2,1	34	22,6
4,00	4,71	2,7	45	30,0
6,00	3,14	3,4	57	28,0
10,00	1,82	4,3	78	52,0
16,00	1,16	6,0	104	69,0
25,00	0,74	7,5	137	91,0
35,00	0,53	8,8	168	112,0
50,00	0,37	10,3	210	140,0
70,00	0,26	12,0	260	173,0
95,00	0,20	14,7	310	206,0
120,00	0,15	16,5	340	226,0

CAPÍTULO 5

vendas@cicloengenharia.com.br

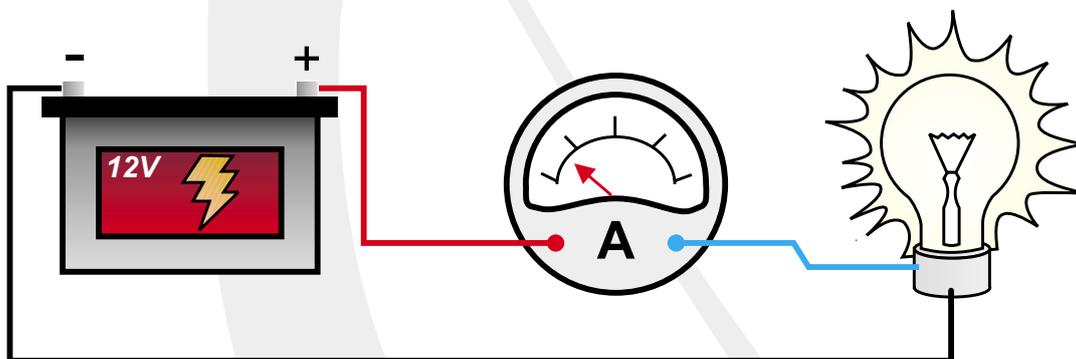


5 - INSTRUMENTOS DE MEDIDA

5.1 - AMPERÍMETRO

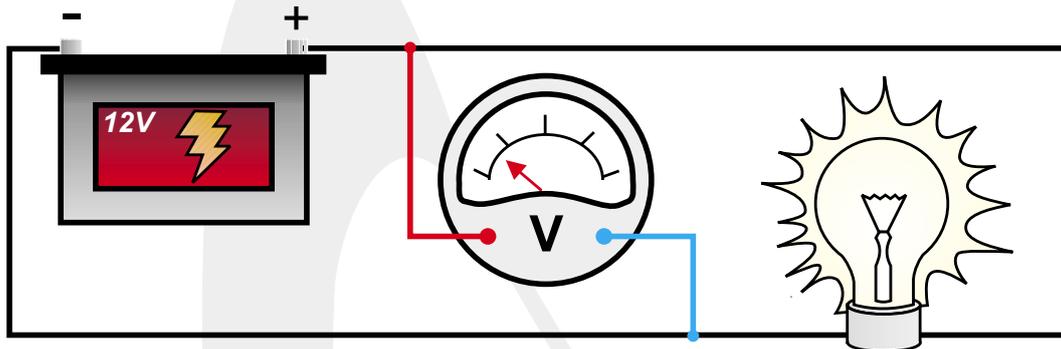
O amperímetro é o instrumento de medida da amplitude da corrente elétrica. Para medir uma corrente elétrica o instrumento deverá ser percorrido pela grandeza a diagnosticar, ou seja, o amperímetro é ligado em *SÉRIE* com o circuito que se deseja medir. (Veja a figura a seguir).

É dotado de duas pontas de prova, através das quais se passará a corrente. Um amperímetro ideal caracteriza-se pela capacidade de medir a corrente sem que ocorra qualquer queda de tensão entre os seus dois terminais, (apresenta, por isso, uma resistência elétrica nula).



5.2 - VOLTÍMETRO

O voltímetro é um instrumento de medida da amplitude de tensão elétrica. É dotado de duas pontas de prova, através das quais se pode medir a tensão dos terminais, entre dois pontos quaisquer de um circuito elétrico, ou ainda entre um ponto qualquer e a referência. O voltímetro é ligado em *PARALELO* com o circuito que se deseja medir. (Veja a figura a seguir)



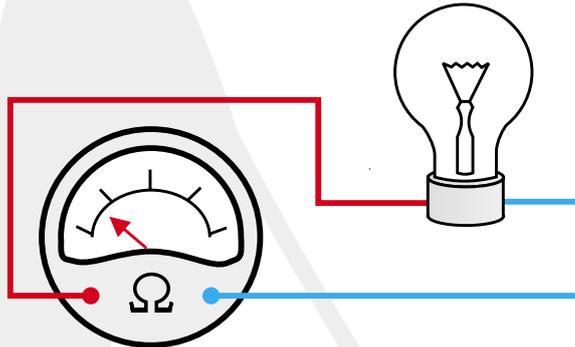
Observe que o voltímetro está em paralelo com a lâmpada. Medimos a tensão da lâmpada, que neste caso é a mesma da bateria (O Voltímetro também está em paralelo com a bateria).

Um voltímetro ideal mede tensão sem absorver qualquer corrente elétrica (apresenta, por isso, uma resistência elétrica infinita), característica que garante não interferir no funcionamento do circuito.

OBSERVAÇÃO Medidas com o amperímetro e voltímetro são realizadas com o circuito energizado ou ligado. Já medidas de resistência, como serão vistas a seguir, são realizadas com o circuito desligado.

5.3 - OHMÍMETRO

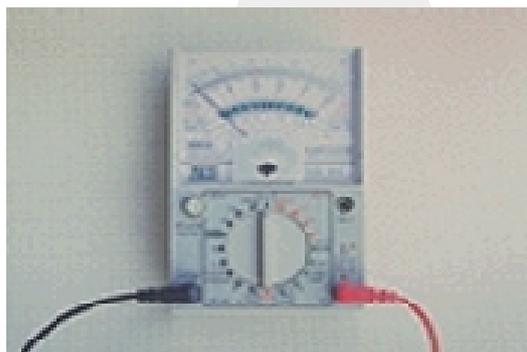
É utilizado para se medir resistência como indica na figura. A medida da resistência de um elemento é efetuada colocando em paralelo o instrumento e o componente. A medida efetuada por um ohmímetro baseia-se na aplicação da Lei de Ohm: o ohmímetro injeta no elemento uma corrente pré-estabelecida, mede a tensão aos terminais e efetua o cálculo da resistência.



No entanto, para que a medição seja correta, é necessário que o elemento se encontre isolado de outros componentes do circuito, e em particular da massa através do corpo humano. Deste modo evita-se que o circuito envolvente retire ou injete no elemento corrente distinta daquela aplicada pelo ohmímetro. O isolamento elétrico pode ser obtido de duas formas: desligando o componente em questão, ou colocando pelo menos um dos seus terminais no ar

5.4 - MULTÍMETRO

O multímetro é uma ferramenta indispensável ao eletricista, que permite diagnosticar defeitos de maneira direta. O multímetro ou multiteste reúne num só aparelho o Voltímetro, o Amperímetro e o Ohmímetro (que foram descritos nos tópicos anteriores). É portanto um equipamento que mede tensão, corrente e resistência. Alguns equipamentos possuem também condições de medir frequência, temperatura, etc ...



Algum tempo atrás, os aparelhos eram analógicos (ponteiro), contudo, com o avanço tecnológico, foram incorporados equipamentos digitais, cujas vantagens são: A precisão, a facilidade de leitura, e a proteção de seu circuito interno

ATENÇÃO: Antes de iniciarmos qualquer medição, devemos conhecer o que queremos medir e a grandeza da medida

Exemplo 1: Para medir resistência de um componente qualquer, tal como um fusível, uma bobina, um motor elétrico, ou outro qualquer, inicia introduzindo os terminais das pontas de provas nas saídas correspondentes. O terminal preto na saída (-) e o terminal vermelho na saída (Ω). Em seguida posicione o seletor do multímetro na função de medir resistências ou no símbolo (Ω)

O próximo passo é selecionar a escala mais conveniente com a grandeza da medida. Se desejarmos medir o primário de uma bobina, cuja resistência é menor que $5,0 \Omega$, devemos posicionar para a escala mais próxima, ou para 10Ω . No caso de medir o secundário da bobina, devemos selecionar uma escala de 20.000Ω ou $20 \text{ K}\Omega$.



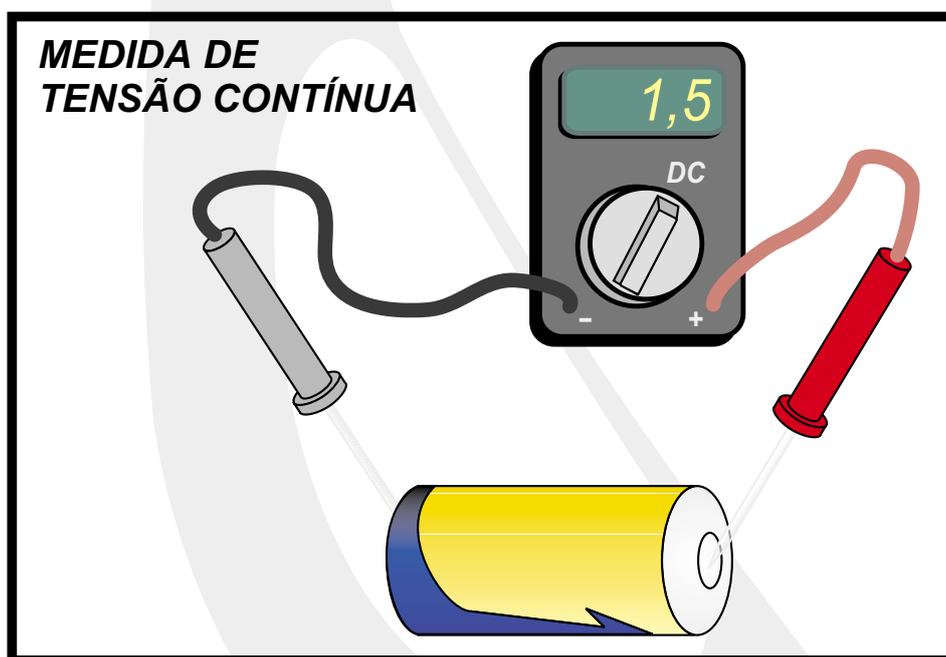
Se houver dúvida na escala a escolher, inicie com a maior e vá diminuindo assim que se façam as medidas, até ao ponto em que se permite uma leitura clara e precisa. Caso contrário, corre-se o risco de danificar o aparelho

OBSERVAÇÃO:

1 $\text{K}\Omega$	=	1.000 Ω
10 $\text{K}\Omega$	=	10.000 Ω
100 $\text{K}\Omega$	=	100.000 Ω

Exemplo 2: Para medir tensão de um circuito qualquer, deve saber se o circuito trata-se de corrente contínua (seletor DC) ou alternada (seletor AC). Lembre-se devemos conhecer o que queremos medir e a grandeza da medida. O voltímetro é usado em paralelo com o elemento a que se deseja medir.

Para medirmos a tensão de uma pilha, utilizamos a seleção DC. Neste caso, da corrente contínua, devemos nos preocupar com a polaridade, ou seja, utilizar a ponta de prova preta ou o terminal negativo para a massa da pilha e o pólo positivo com a ponta de prova vermelha. (veja a seguir)



OBSERVAÇÃO:

1 mV	=	0,001 V
10 mV	=	0,010 V
100 mV	=	0,100 V
1 KV	=	1,000 V

Exemplo 3: Para medir corrente de um circuito qualquer, insere em série o nosso multímetro, na condição de amperímetro. Devemos conhecer se a corrente que circula é contínua (DC) ou alternada (AC). Devemos então selecionar os terminais de prova (preto e vermelho) e o seletor de escala nas posições devidas, de forma que o valor a ser medido não ultrapasse o maior valor da escala selecionada. A ligação do multímetro para esta medição deverá estar em série com o circuito

Um exemplo prático para o uso do amperímetro: O cliente reclama que a bateria de seu carro está descarregando. Após teste de carga da bateria e até mesmo, após a substituição por outra nova, o problema persiste. A causa mais provável é a perda de carga por dispersão, isto é, mesmo com o carro desligado, existe uma fuga de corrente, provocada pelo consumo de algum componente.

Para verificar se existe fuga, desconectamos o cabo do pólo positivo da bateria e colocamos nosso multímetro na condição de amperímetro DC para medirmos a corrente de dispersão. Colocando a ponta de prova positiva (vermelho) no pólo da bateria e a ponta de prova negativa (preta) no cabo desconectado. Se notarmos a presença de uma corrente que indica um grau de dispersão anormal, significa que achamos a causa do problema. Para localizar o consumidor, retiramos os fusíveis um a um até identificarmos o circuito com problema.

NOTA: A presença de uma baixa corrente é normal. devemos conhecer o grau de dispersão considerada normal para o veículo.

OBSERVAÇÃO:

1 μ A	=	0,000001 A
10 μ A	=	0,000010 A
1 mA	=	0,001 A
10 mA	=	0.010 A

5.4.1 – OBSERVAÇÃO:

As descrições anteriores são de uso geral. Antes de utilizar um multímetro, recomenda-se o estudo do manual do fabricante que acompanha o produto.. Conhecer o seu equipamento é o primeiro passo para a boa aplicação, minimizando a ocorrência de erros e acidentes pelo uso inadequado.



CAPÍTULO 6



6 - CIRCUITOS ELÉTRICOS

6.1 - EQUAÇÃO BÁSICA DA RESISTÊNCIA ou PRIMEIRA LEI DE OHM

George Simon Ohm, em seus estudos verificou que se mantida a temperatura constante, a tensão e a intensidade de corrente são diretamente proporcionais. Verificou também que estão relacionadas na forma da equação $U = R \times I$, onde U = voltagem, R =resistência e I =corrente.

A equação anterior, é conhecida como a primeira lei de Ohm, em sua homenagem e é válida apenas para resistências lineares. A resistência de um circuito pode ser determinada conhecendo-se a tensão e a corrente; cuja medida é expressa em ohm (Ω).

6.1.1 - EXEMPLO:

Ao medirmos a resistência de um eletroinjetor do Pálio, encontramos o valor de resistência de 16Ω . Sabe-se que o bico injetor recebe tensão de 12V. Para iniciar o tempo de injeção a Unidade de Comando Eletrônica chaveia massa (0v). Então qual a corrente que passa pelo bico injetor?

Pela lei de Ohm

$$U = R * I,$$

então:

$$I = U / R, \quad \text{ou}$$

$$I = 12/16$$

$$I = 0,75 \text{ A}$$

A corrente que passa pelo bico injetor será de 0,75 A

6.2 - CIRCUITO BÁSICO

Pelo que estudamos até o momento já temos condições de montar alguns circuitos elétricos simples, utilizando resistências, condutores e fontes de tensão, sendo estes o mínimo necessário para se ter um circuito elétrico.

Um circuito elétrico pode ser considerado como o caminho para a passagem da eletricidade, ou seja, para o caminho da corrente elétrica. Neste tipo de circuito, o sentido de corrente tem como convenção a origem no pólo positivo, passando pelo consumidor (resistência) e indo para o pólo negativo (massa)

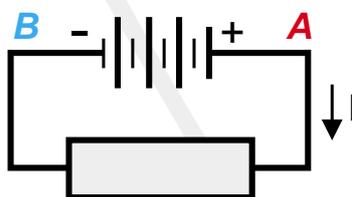
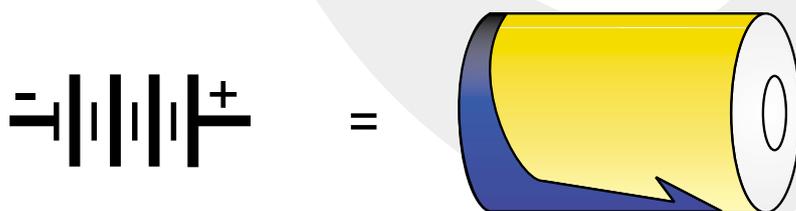


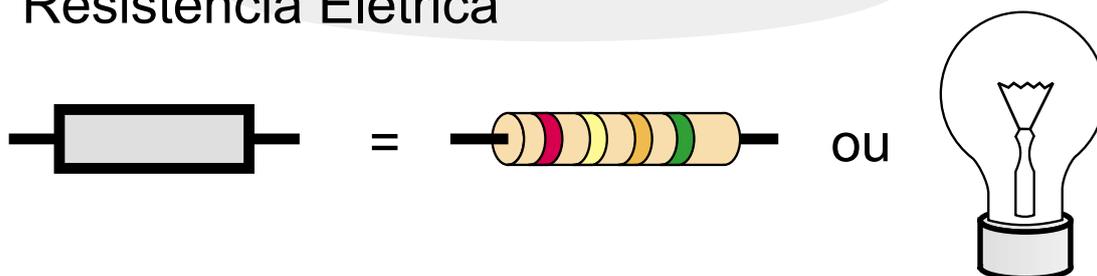
Figura - Circuito elétrico simples

Para este circuito, aplica-se a equação $U = R \times I$, ou primeira lei de OHM. O circuito é a representação gráfica da fonte de tensão, condutores e resistência, onde:

Fonte de Tensão



Resistência Elétrica



NOTA: Leia com atenção e não confunda: O sentido de corrente é do pólo positivo para o pólo negativo. No entanto, o fluxo de elétrons como foi tratado no início deste livro, possuem sentido inverso, deslocam-se para o pólo positivo. Existe portanto o sentido convencional e o sentido real da corrente. Deste ponto em diante trataremos somente do sentido convencional da corrente, analisando sempre como origem da corrente elétrica o pólo positivo, e caminhando sempre para o pólo negativo

Na maioria dos circuitos encontraremos mais de um consumidor, que poderão estar combinados de três formas:

- Circuitos com resistências em série
- Circuitos com resistências em paralelo
- Circuitos com configuração mista (série e paralelo)

6.3 - RESISTÊNCIAS EM SÉRIE

Nos circuitos elétricos que possuem mais de uma resistência elétrica montadas em série umas com as outras, temos então componentes ligados de maneira a existir um único caminho contínuo para a passagem de corrente elétrica.

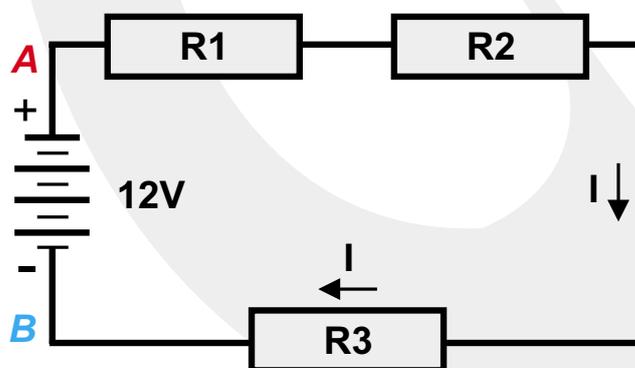


Figura - Resistências em série, corrente (I)

Uma característica de um circuito em série, é que se você interromper o circuito em qualquer ponto, que seja por rompimento de condutor ou queima de um componente, toda a circulação de corrente é interrompida, ocorrendo a “parada” do circuito.

A tensão total é igual a soma parcial das tensões em cada componente, ou seja, se medirmos a tensão entre cada

resistência, verificaremos que $U_1 + U_2 + U_3 = U$

Se a corrente em um circuito em série, é a mesma para todos os pontos do circuito, independente do valor de resistência dos componentes do circuito. Então perguntamos: Qual o valor da corrente se a tensão é de 12V, $R_1=10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$ e $R_3=30\Omega$.

Sabemos que: $U = R \times I$, e que a corrente em todo o circuito é constante e igual a I . Então, podemos dizer que :

$$U_1 = R_1 \times I \quad (1)$$

$$U_2 = R_2 \times I \quad (2)$$

$$U_3 = R_3 \times I \quad (3)$$

O que fizemos foi aplicar a primeira lei de Ohm para cada resistência. Se as resistências são diferentes e a corrente é constante, então a tensão para cada resistência deve ser diferente para que se aplique a equação

($U = R \times I$), como vimos a tensão total é a soma das tensões parciais, sendo:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (4)$$

Substituindo as equações (1), (2), (3) em (4), temos:

$$U = R_1 \times I + R_2 \times I + R_3 \times I \quad \text{ou}$$

$$U = (R_1 + R_2 + R_3) \times I \quad \text{ou}$$

$$U / I = R_1 + R_2 + R_3 \quad (5)$$

Se $U = R \times I$, então $R = U / I$. Substituindo esta equação em (5), temos:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (6)$$

Para o nosso exemplo:

- $R = 10 + 20 + 30 = 60\Omega$
- Como $U = R \times I$, então $I = U / R$
- Substituindo $I = 12 / 60$
- Resposta: $I = 0,2A$

Note que pela equação (6), podemos dizer que um circuito de resistências em série, possui como resistência equivalente a soma de suas resistências parciais. Isto quer dizer que se conhecemos as resistências de cada componente de um circuito em série, e somarmos suas resistências, encontraremos um valor de resistência que poderá ser utilizado na equação $U = R \times I$ como representação de um circuito simples. (Veja a figura a seguir)

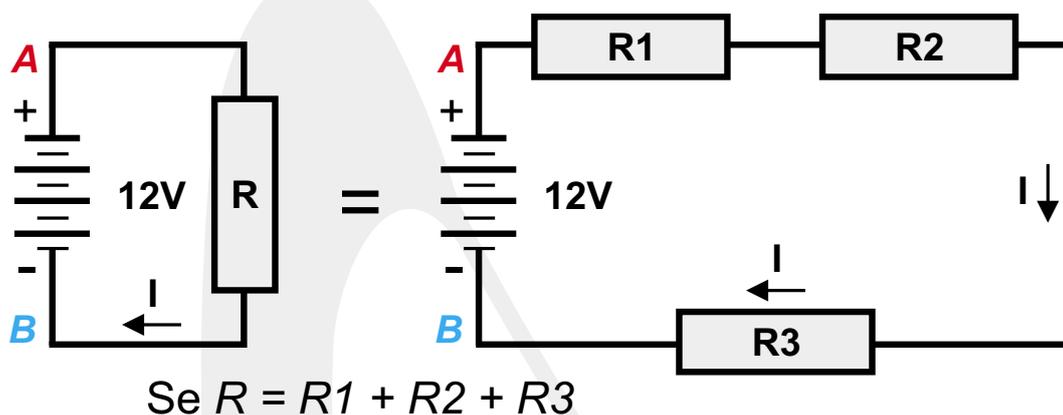


Figura - O circuito a esquerda é equivalente ao da direita

Como testar o circuito acima? Podemos testar a continuidade, ou seja, o não interrompimento de cabos e componentes com apenas uma medição. Para medir a continuidade, medimos a resistência. Desconectamos da fonte de tensão os pinos (A) e (B) e com o multímetro colocamos as pontas de prova nos pinos (A) e (B). (Selecione antes a escala e o aparelho que estamos querendo fazer a medida, no caso o ohmímetro).

Ao medirmos, encontraremos um valor próximo a 60Ω (do exemplo anterior). Observa-se que ao medir o conjunto estamos medindo além das três resistências elétricas, o valor de resistência dos condutores, que também se somam com as anteriores. Por ser um circuito pequeno, a resistência de condutor pode ser considerada desprezível.

EM RESUMO:

Para resistências em série $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$;

Tensão: $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$ e

A corrente nominal é constante = I

6.4 - RESISTÊNCIAS EM PARALELO

Nos circuitos elétricos que possuem mais de uma resistência elétrica, montadas em paralelo umas com as outras, temos então componentes ligados de maneira a existir mais de um caminho para a passagem de corrente elétrica.

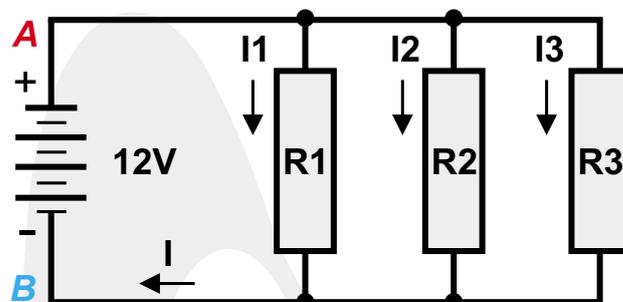


Figura - Resistências em paralelo, corrente ($I=I_1+I_2+I_3$)

Uma característica de um circuito em paralelo, é que se você interromper o circuito em qualquer ramal, que seja por rompimento de condutor ou queima de um componente, somente a circulação de corrente é interrompida no ramal, não afetando o resto do circuito. (Ex: É o que acontece em nossa casa. As lâmpadas estão todas ligadas em paralelo, e a queima de uma delas não afeta o funcionamento das outras).

Verifica-se também que a tensão é constante e igual a U para todos os componentes do circuito, independente do valor de resistência dos componentes do mesmo.

A corrente total fornecida pela fonte de tensão no circuito em paralelo, é igual a soma das correntes em cada ramal do circuito. Como se explica? Mais vias de passagem possibilita mais passagem de corrente. Então perguntamos: Qual o valor da corrente total se a tensão é de 12V e $R_1=10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$ e $R_3=30\Omega$.

Sabemos que: $U = R \times I$, e que a corrente em todo o circuito é igual a soma das correntes parciais. Então, podemos dizer que :

$$U = R_1 \times I_1 \quad (1)$$

$$U = R_2 \times I_2 \quad (2)$$

$$U = R_3 \times I_3 \quad (3)$$

e

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (4)$$

O que fizemos foi aplicar a primeira lei de Ohm para cada resistência. Substituindo as equações (1), (2), (3) em (4), temos:

$$I = U/R1 + U/R2 + U/R3 \quad \text{ou}$$

$$I = (1/R1 + 1/R2 + 1/R3) * U \quad \text{ou}$$

$$I/U = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3 \quad (5)$$

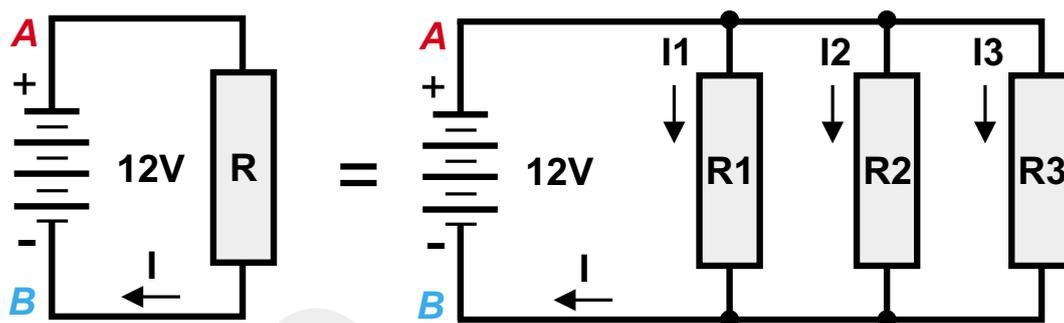
Se $U = R * I$, então $I/U = 1/R$. Substituindo esta equação em (5), temos:

$$1/R = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3 \quad (6)$$

Para o nosso exemplo:

- $1/R = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3 = 1/10 + 1/20 + 1/30 = 11/60$ ou $1/R = 11/60$
- Invertendo, $R = 5,45 \Omega$
- Como $U = R \times I$, então $I = U / R$
- Substituindo $I = 12 / 5,45$
- Resposta: $I = 2,2 \text{ A}$

Note que pela equação (6), podemos dizer que um circuito de resistências em paralelo, possuem como resistência equivalente a soma do inverso de suas resistências parciais, conforme a equação $1/R = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3$. Isto quer dizer que se conhecemos as resistências de cada componente de um circuito em paralelo, e aplicarmos na equação apresentada, encontraremos um valor de resistência que poderá ser utilizado na equação $U = R * I$ como representação de um circuito simples. (Veja a figura a seguir)



$$\text{Se } 1/R = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3$$

Figura - O circuito a esquerda é equivalente ao da direita

Como testar o circuito acima? Desconectamos da fonte de tensão dos pinos (A) e (B). Com o multímetro medimos a resistência de cada componente isoladamente, conforme abaixo:

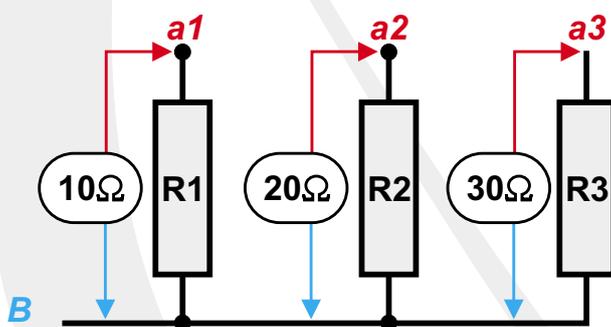


Figura - Teste de resistência

Observe que este procedimento não é muito prático, se considerarmos que desmontamos o circuito para testar cada componente. Na maioria dos casos, conhecemos os valores de resistências através de manuais ou informações técnicas. Devemos então analisar o esquema elétrico para identificar se está em série ou paralelo, a fim de calcularmos a resistência equivalente e com apenas uma medida testar o circuito.

Pelo exemplo anterior, conhecemos os valores das resistências, Desconectamos da fonte de tensão os pinos (A) e (B) e com o multímetro colocamos as pontas de prova nos pinos (A) e (B). (Selecione antes a escala e o aparelho que estamos querendo fazer a medida, no caso o ohmímetro).

Ao medirmos, encontraremos um valor próximo a 5,45 Ω

(Resistência equivalente calculada). Observa-se que ao medir o conjunto estamos medindo além das três resistências elétricas, o valor de resistência dos condutores. Por ser um circuito pequeno, a resistência de condutor pode ser considerada desprezível. Um valor diferente de $5,45 \Omega$ indica componente queimado ou cabo interrompido.

EM RESUMO:

Para resistências em paralelo $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$;

Corrente $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$ e

A tensão nominal é a mesma para todo o circuito = U

6.5 – ASSOCIAÇÃO DE RESISTÊNCIAS EM SÉRIE e EM PARALELO ou ASSOCIAÇÃO MISTA

Nos circuitos elétricos que possuem mais de uma resistência elétrica, montada de forma que é possível identificar associações em série e em paralelo, falamos que são associações mistas e se aplicam as regras explicadas anteriormente. Um exemplo de circuito misto:

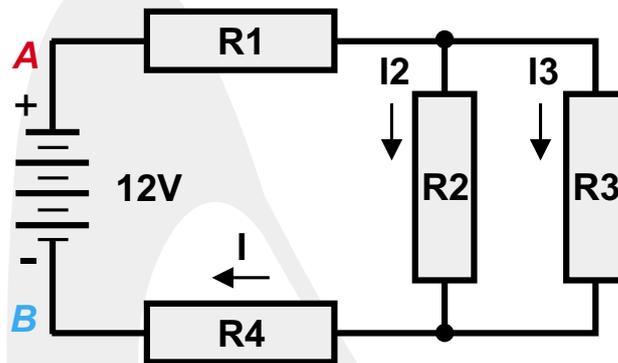


Figura – Associação mista

Podemos observar que as resistências R_2 e R_3 estão em paralelo e ambas em série com as resistências R_1 e R_4 . Se considerarmos que todas as resistências possuem o mesmo valor nominal e igual a R , teremos então:

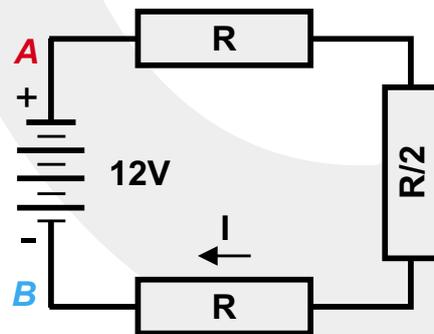


Figura – Três resistências em série

A resistência equivalente entre (2) e (3) vale $R/2$. Aplicando resistências em série para o circuito acima, temos:

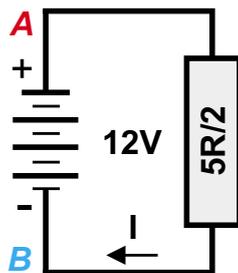


Figura – A resistência equivalente é igual a $2.5 R$

Devemos sempre analisar o esquema elétrico a fim de identificar o tipo de associação. Desta forma ao realizarmos a medida elétrica teremos um parâmetro a seguir cuja base é dada pela resistência equivalente.

CAPÍTULO 7



7 - ELEMENTOS ELÉTRICOS

Iniciaremos agora estudos sobre outros elementos que poderam estar presentes nos circuitos elétricos.

7.1 - GERADORES ELÉTRICOS

São os elementos capazes de transformar uma determinada modalidade de energia em energia elétrica. Em geral, os “geradores elétricos” não geram energia elétrica, como o seu nome sugere, somente transformam uma fonte de energia não elétrica, em energia elétrica.

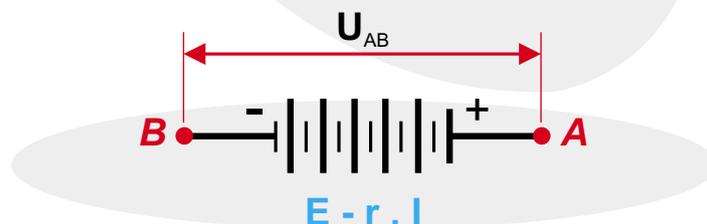
Um gerador ideal é seria aquele capaz de fornecer às cargas que o atravessam toda a energia gerada. No entanto, parte da energia é perdida na forma de calor devido a uma resistência interna (r) do gerador. Sendo (I) a corrente elétrica que o atravessa, então a queda de tensão ou a perda de energia será ($r.I$)

Sendo (U) a tensão medida nos terminais do gerador, então a energia gerada ou força eletromotriz (E) do gerador pode ser calculada por:

$$U = E - r.I$$

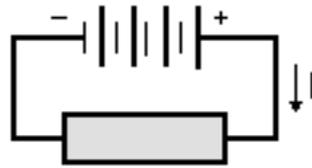
No caso de não haver circulação de corrente elétrica, (gerador em vazio ou aberto), então $U = E$.

Sua simbologia elétrica é:



Vimos anteriormente que a tensão elétrica nos terminais de uma resistência pode ser calculada por $U = R.I$, então para o circuito

de resistência simples, podemos dizer que:



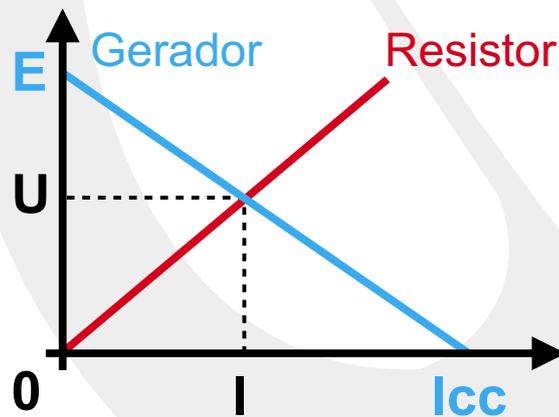
$$R \cdot I = E - r \cdot I$$

(representando a tensão U);

então:

$$I = E / (r + R)$$

Isto quer dizer que a corrente que circula no circuito depende dos valores de resistência e haverá sempre uma queda de tensão nos terminais do gerador após o circuito estar fechado.



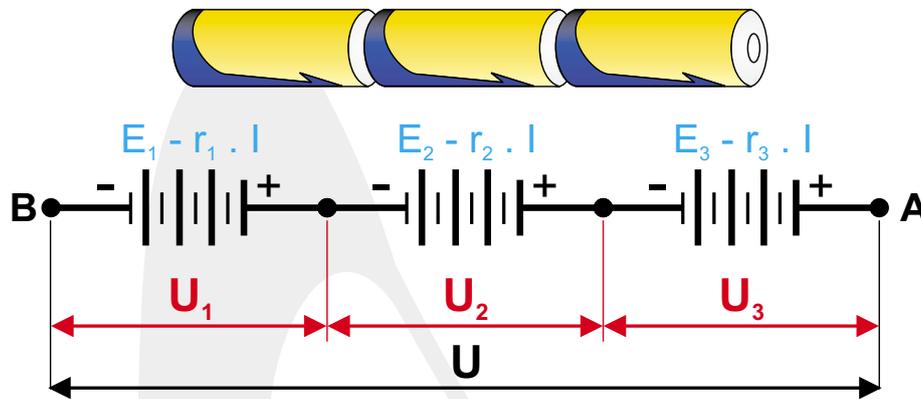
Onde:

E = Tensão nominal ou força eletromotriz,

U = Tensão efetiva ou tensão nos terminais do gerador

7.1.1 - GERADORES EM SÉRIE

Geradores podem estar associados em série ou em paralelo nos circuitos elétricos. Nas associações em série, observamos que a corrente que atravessa os geradores é única e que a tensão total fornecida é a soma das tensões parciais de cada gerador



Se:

$$U_1 = E_1 - r_1 \cdot I \quad (1)$$

$$U_2 = E_2 - r_2 \cdot I \quad (2)$$

$$U_3 = E_3 - r_3 \cdot I \quad (3)$$

e

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (4)$$

Substituindo (1), (2), (3) em (4), temos:

$$U = (E_1 + E_2 + E_3) - (r_1 + r_2 + r_3) \cdot I$$

Identificamos então que:

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

$$r = r_1 + r_2 + r_3$$

EM RESUMO:

Para associações de geradores em série ou as equações do

gerador equivalente:

$$\begin{aligned}U &= U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \\E &= E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n \\r &= r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n\end{aligned}$$

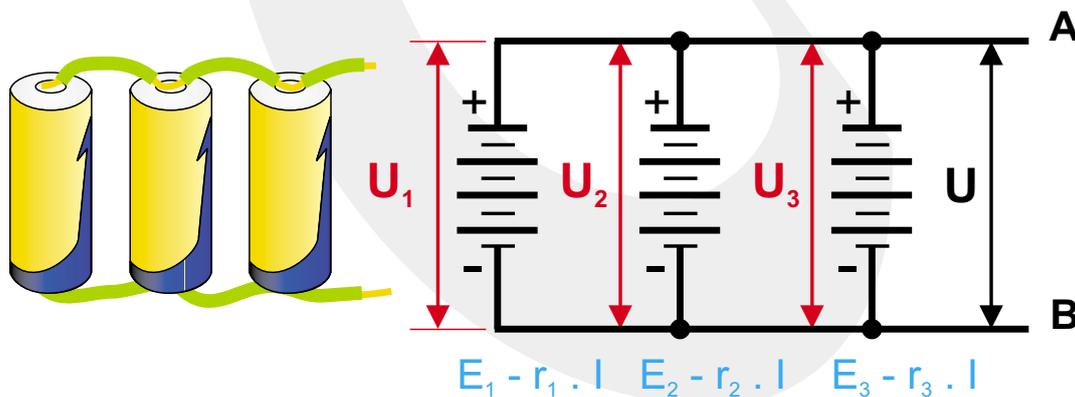
Note que neste caso, não há necessidade de associar geradores iguais (Exemplo: Pode-se associar pilhas diferentes, 12V com 1,5V etc ...)

7.1.2 - GERADORES EM PARALELO

Para associações em paralelo, utilizaremos somente geradores iguais. Ocorre que se houver tensões diferentes, um elemento se comportará como gerador e o outro como receptor, tal qual uma bateria adquirindo carga.

Este tipo de associação, em que um é o fornecedor e o outro o receptor será descrito posteriormente, quando abordaremos sobre atuadores.

Tem-se um ou mais geradores em paralelo, conforme a figura a seguir,



Podemos dizer que a tensão nominal (**U**) não se altera e a corrente total (**I**) é a soma das correntes parciais de cada gerador

como:

$$I = I_1 + I_2$$

E para geradores iguais $I_2 = I_1$, substituindo na equação anterior, temos:

$$I = 2I_1 \quad (1)$$

Identificamos também:

$$E = E_2 = E_1,$$
$$U = U_2 = U_1,$$

se $U_1 = E_1 - r_1 \cdot I_1 \quad (2)$

$$U = E - r \cdot I \quad (3)$$

então:

$$(E - U) / r = 2 \cdot (E_1 - U_1) / r_1$$

Portanto:

$$r = r_1 / 2$$

EM RESUMO:

Para associações de geradores em paralelo ou as equações do gerador equivalente:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$$

$$E = E_1 = E_2 = E_3 = \dots = E_n$$

$$r = (r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n) / n$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

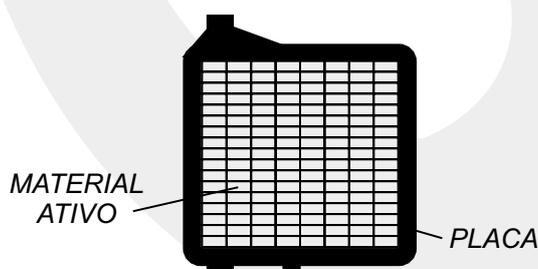
7.1.3 - ACUMULADORES OU BATERIAS

Um tipo especial de gerador, com a capacidade de transformar energia química em energia elétrica é a bateria, também conhecida como acumulador.

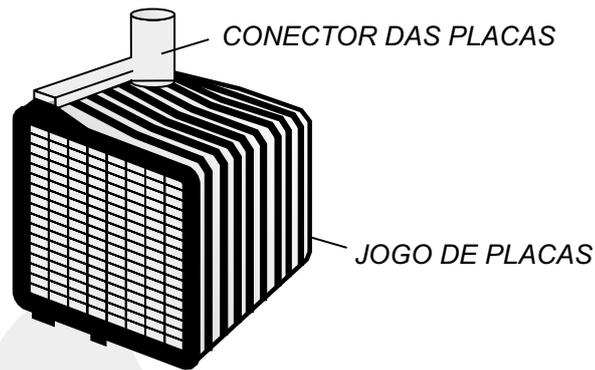
Nos automóveis, durante a partida, a bateria fornece eletricidade para o motor de partida, ignição e os componentes do sistema combustível. Com o veículo em movimento, a bateria serve como fonte adicional de energia elétrica, quando a demanda do veículo temporariamente excede a disponibilidade oferecida pelo sistema de carga.

Ao contrário do que se pensa, a bateria não acumula energia elétrica, mas sim reagentes químicos que ao serem combinados liberam energia elétrica. Quando a bateria está completamente carregada, a diferença química entre as placas positivas e negativas é grande. Há um excesso de elétrons em dos terminais. Conforme a bateria se descarrega, as placas se tornam mais semelhantes, isto é, a diferença de potencial cai. Uma bateria completamente carregada produz uma saída de voltagem de 12,8 V aproximadamente.

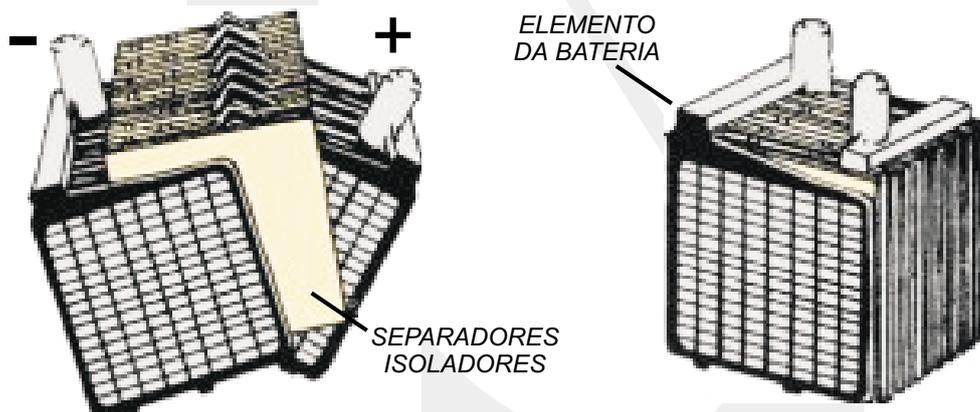
As baterias são formadas de uma caixa, placas positivas, placas negativas, separadores, solução ou eletrólito.



As placas positivas (PbO_2) e negativas (Pb), compostas de metais quimicamente ativos. Estas placas são agrupadas e ligadas em paralelo, formando uma parte do elemento (conjunto positivo e conjunto negativo).

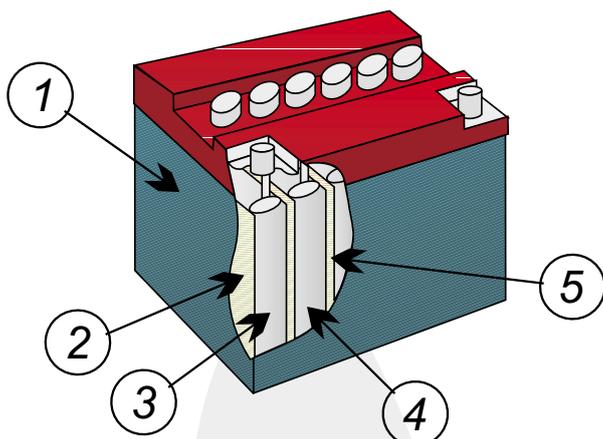


Na montagem, entrelaçam-se as placas positivas e negativas e introduz um elemento isolante entre elas a fim de evitar o curto circuito. Estes jogos, também conhecidos como elementos da bateria, são introduzidos numa caixa, apoiados sobre pontes para não tocarem no fundo. Todo o conjunto é imerso em solução ácida ($H_2SO_4 + H_2O$) que irá promover a reação entre as placas.



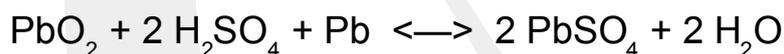
Quando a bateria está totalmente carregada, a solução fica com aproximadamente 36% de ácido e 64% de água, com uma densidade de $1,26 \text{ ml} / \text{cm}^3$ a temperatura de $36,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ocorre uma reação química entre as placas positivas (PbO_2), negativas (Pb) e o eletrólito (solução), provocando um desequilíbrio entre as placas, tornando-as carregadas positivamente e negativamente e assim permanecendo até que possa ocorrer o equilíbrio através de um circuito externo.



- 1- Caixa a prova de ácido (plástico)
- 2- Separadores
- 3- Placas positivas
- 4- Placas negativas
- 5- Solução ou eletrólito (mistura de ácido sulfúrico e água)

Ao ligar um circuito externo nos pólos da bateria, ocorre um fluxo de elétrons que desloca os elétrons das placas positivas até as placas negativa para que estabeleça o equilíbrio, enquanto se processa a reação de descarga:



Os sulfatos (SO_4) vão para as placas enquanto os óxidos vão para o ácido. Neste caso a bateria está descarregando ou sofrendo sulfatação.

A característica mais importante da bateria é a capacidade de reverter as reações, desde que haja uma fonte de energia elétrica (gerador, dínamo ou alternador), ligados em paralelo com a bateria e que provoque o fluxo de corrente em sentido contrário. Desta forma ocorrerá reação química reversa que irá provocar uma diferença de potencial entre as placas, quando estiverem devidamente carregadas.



Vendas Ciclo Engenharia - (62) 215-2470

7.2 - ATERRAMENTO

Pólo negativo, terra ou ponto de massa, são nomes que definem o ponto de referencia de valor nulo, ou seja, o potencial de zero volts.

Nos automóveis, o pólo negativo da bateria é ligado a carroceria ou carcaça do veículo. Desta forma toda a carroceria adquire potencial nulo. Em determinados pontos que se deseja ligar um circuito elétrico ao pólo negativo da bateria, há um componente livre de isolamento elétrico que pode ser um parafuso sem proteção de tinta. Esta ligação é denominada ponto de massa.

Pode-se medir a resistência de diversos pontos de massa utilizando um ohmímetro. O procedimento é medir a resistência elétrica entre o pólo negativo da bateria e o ponto de massa em questão. Se o aterramento for eficiente, obteremos um valor menor que 1Ω . Esta resistência que medimos é aquela que representa a dificuldade de condução elétrica pela carroceria do veículo.

Observe que pontos de massa podem apresentar oxidação, suficiente para alterar a resistência local (maior que 1Ω). Esta alteração de resistência promove uma queda de tensão (resistências em série) e faz com que alguns circuitos funcionem inadequadamente ou não funcionem.

A simbologia elétrica do pólo negativo da bateria ou ponto de massa é:



7.3 - INTERRUPTORES

São elementos elétricos cujos contatos são fechados (ou abertos) mediante uma ação que pode ser proveniente de :

- Pressão
- Temperatura
- Iluminação
- Elétrica (Relê – ver Cap 8.0)
- Ação manual do usuário

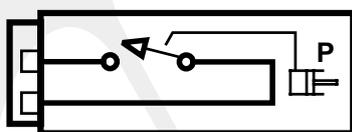


7.3.1 – INTERRUPTORES DE PRESSÃO

Constitui-se de um elemento em que de um lado, através de uma canalização, um fluido age sob pressão, fazendo movimento em um diafragma.

A ação desta pressão sobre o diafragma, faz movimentar uma haste cuja extremidade estão os contatos elétricos, fazendo-os abrir ou fechar conforme as variações de pressões.

Sua simbologia elétrica é:

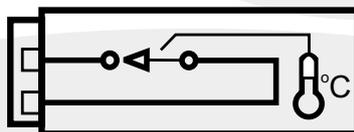


7.3.2 – INTERRUPTORES DE TEMPERATURA

Normalmente constituem-se de uma ou duas lâminas metálicas (neste caso de metais diferentes), de forma que uma variação de temperatura promove uma diferença de dilatação térmica, fazendo com que se feche ou abra um contato elétrico.

Podem ser também do tipo reservatório de mercúrio. O mercúrio sensível a temperatura, dilata ou contrai, movimentando um diafragma que faz movimentar uma haste cuja extremidade estão os contatos elétricos, fazendo-os abrir ou fechar .

Sua simbologia elétrica é:



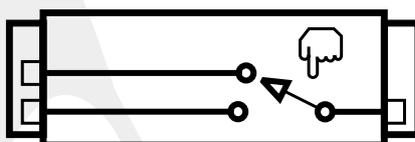
7.3.3 – INTERRUPTORES MANUAIS

Os interruptores de ação manual podem ser do tipo:

- Botão (liga / desliga), ou
- Seletor

Os interruptores do tipo Botão estarão acionados se pressionados; e desacionados se pressionados pela segunda vez.

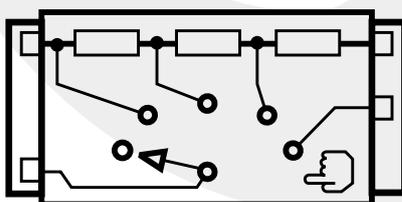
Sua simbologia elétrica é:



Os interruptores do tipo seletor estarão acionados se o usuário selecionar uma das posições para a passagem da corrente elétrica. Podem ser:

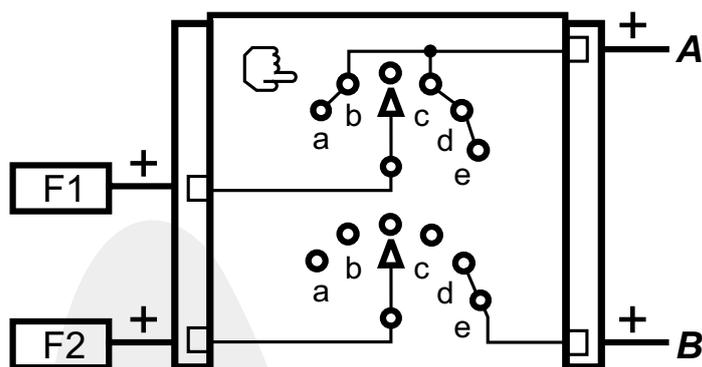
- Simples, ou
- Múltiplo.

Os seletores simples possuem apenas um caminho para a corrente elétrica, ou seja, apenas uma ação será executada conforme a opção selecionada. Veja a seguir o exemplo de um seletor simples. Note que neste seletor há resistências incorporadas:



Os seletores múltiplos possuem mais de um caminho para a corrente elétrica. O usuário ao movimentar o seletor, promove duas ou mais ações executadas ao mesmo tempo.

Exemplo de seletor múltiplo:



Observe que ao selecionar as posições (**d,e**) tensão de **F1** é disponibilizada para **A** e a tensão de **F2** é disponibilizada para **B**. Nas posições (**a,b,c**), somente a tensão de **F1** é disponibilizada para **A**.

Considere a tabela a seguir para melhor entendimento. Tensão em **F1** e **F2** = 12 V, então:

Posição	A	B
a	12 V	0 V
b	12 V	0 V
neutro	0 V	0 V
c	12 V	12 V
d	12 V	12 V
e	12 V	12 V

7.4 - CAPACITORES OU CONDENSADORES

Um capacitor consiste em dois condutores separados por um isolante. A principal característica de um capacitor é a de armazenar cargas nesses dois condutores. Acompanhando esta carga está a energia que o capacitor pode fornecer. Capacitância é a propriedade elétrica dos capacitores. É a medida de capacidade do capacitor de armazenar cargas nos condutores, expressa pela equação:

$$C = Q / U = (\Sigma \times A) / d$$

Onde:

C = Capacitância em farad (F);

Q = Carga em *coulombs* (c);

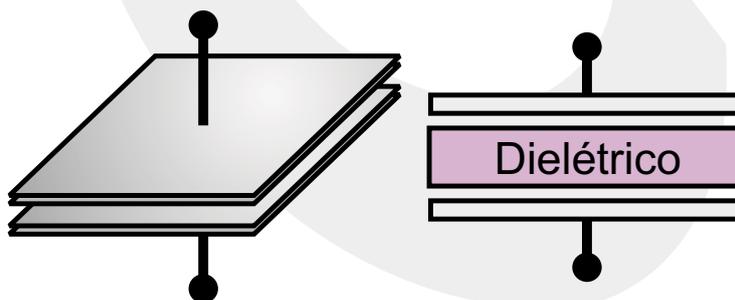
U = Tensão em *volts* (v);

Σ = Permitividade absoluta do isolante (F/m);

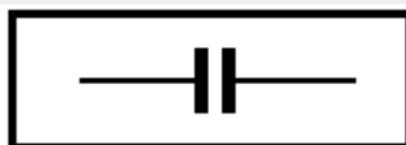
A = Área das armaduras (m²);

d = Distância entre as armaduras (m).

O tipo mais comum de capacitor é o de placas paralelas. Esse capacitor possui duas placas espaçadas, que podem ser retangulares, como mostrado a seguir ou, o que é mais comum, circulares. O isolante entre essas placas é chamado de dielétrico, podendo ser o ar ou um outro material qualquer, como veremos posteriormente.



Sua simbologia elétrica é:



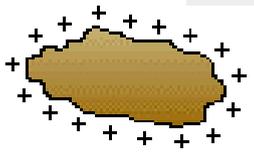
E são representados pela letra C.

Para entendermos como o capacitor armazena cargas elétricas, vamos entender o processo *de eletrização por indução*.

Vimos anteriormente que prótons possuem cargas positivas e elétrons cargas negativas. Estas cargas exprimem a capacidade de uma partícula interagir com outras. Foi verificado experimentalmente que partículas com cargas diferentes (positivas e negativas) sofrem atração; e as de cargas iguais, sofrem repulsão.

Assim, um corpo estará eletricamente neutro se possuir um número de cargas positivas igual ao número de cargas negativas (número de prótons igual ao número de elétrons).

Observa-se também que corpos carregados eletricamente, possuem suas carga sempre na superfície do corpo, devido a repulsão de cargas de mesmo sinal.

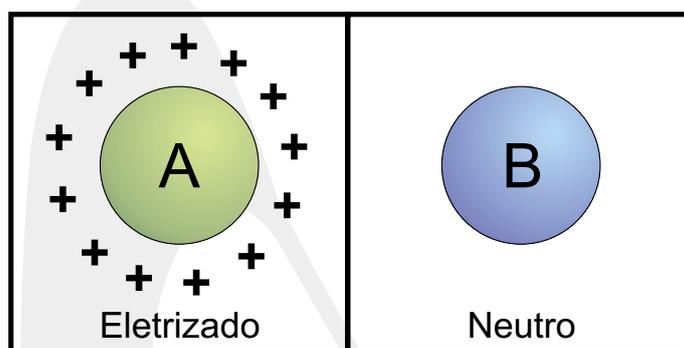


1. Cargas elétricas de mesmo sinal se afastam;
2. Quanto mais distante melhor.

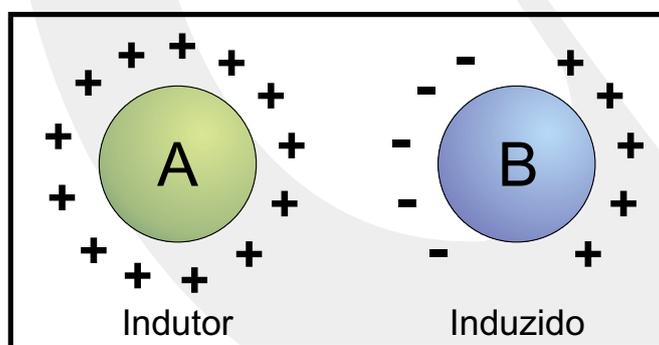
A eletrização de cargas poderá ocorrer por três processos distintos: Indução, contato e atrito. Estudaremos a seguir a eletrização por indução

7.4.1 – ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO

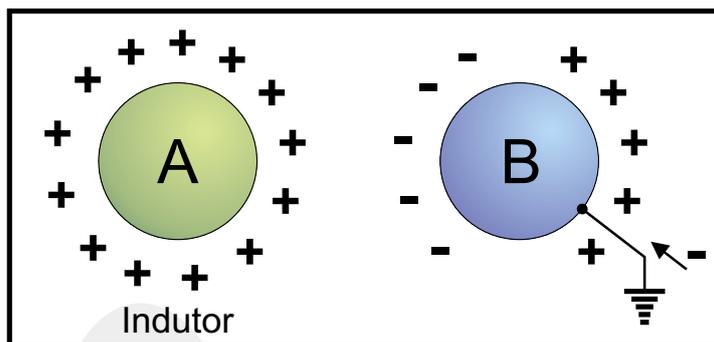
Para melhor exemplificar o que ocorre, ilustraremos o processo de eletrização que ocorre por indução. Para isto, utilizaremos dois corpos A e B, ambos de materiais semicondutores, como exemplo, duas esferas de alumínio. Uma dela estará eletrizada (A) e a outra estará eletricamente neutra (B).



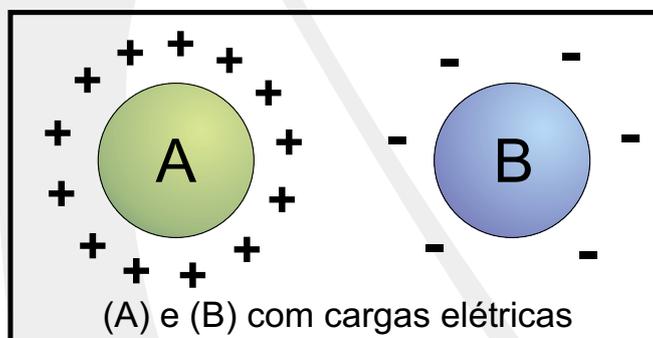
Ao aproximar uma esfera da outra, ocorrerá a indução: Elétrons do condutor (B) serão atraídos pelas cargas positivas do condutor (A). Assim o “lado esquerdo” de (B) ficará negativo e o “lado direito” ficará positivo (falta de elétrons), conforme a seguir:



Observe que o corpo (B) não ficou eletrizado, mas apenas teve suas cargas elétricas separadas (ficou polarizado). Para eletriza-lo devemos liga-lo a terra, estando o indutor próximo.



Cargas negativas provenientes da terra neutralizam as cargas positivas. Ainda em presença do indutor, desfaz-se a ligação com a terra para termos o corpo (B) carregado negativamente.



7.4.2 - TIPOS DE CAPACITORES

Os capacitores podem ser: discretos, híbridos e integrados. Estudaremos os capacitores de tipo discreto e híbrido.

Os capacitores discretos podem ser fixos ou variáveis. A capacidade dos capacitores fixos é pré-estabelecida durante o processo de fabricação, garantindo-se em geral uma determinada precisão no seu valor nominal. Já a capacidade dos capacitores variáveis pode ser alterada ou ajustada pelo utilizador em função das suas necessidades, sendo em geral utilizados na sintonia fina de circuitos. Os mecanismos de ajuste da capacidade elétrica são basicamente a variação das propriedades do dielétrico, da superfície e da distância entre placas.

Quanto ao material do dielétrico e dos eletrodos encontram-se no mercado as seguintes variedades de capacitores:

- dielétrico de mica;
- papel;
- plástico;
- cerâmica;
- eletrolítico de alumínio ou de tântalo (líquido ou sólido);
- eletrodos de metal depositado ou em folha, tipicamente de alumínio, de cobre ou de prata.

Cada alternativa apresenta vantagens e inconvenientes, no que diz respeito aos valores nominais, à tolerância, tensão máxima de trabalho, coeficiente de temperatura, linearidade, resistência do dielétrico, indutância parasita e comportamento em frequência. A escolha do tipo de capacitor adequado para cada aplicação pode determinar a qualidade do desempenho de um circuito.

7.4.2.1 - CAPACITORES DE MICA

São aqueles que possuem a mica como dielétrico interposto entre duas placas de um material bom condutor (Figura a seguir). As placas de metal e de mica são empilhadas e intercaladas umas nas outras (b), constituindo as folhas de metal pares e ímpares da pilha um e outro dos eletrodos. Os eletrodos são em geral folhas de alumínio coladas sobre o dielétrico, ou simplesmente um banho de prata depositado sobre a superfície do mesmo. Os capacitores de mica são usualmente encapsulados num invólucro de plástico moldado, o que confere resistência mecânica ao componente e isola os eletrodos do contato com o exterior.

É comum encontrar os capacitores de mica nas faixas compreendidas entre o picofarad (pF) e as dezenas de nanofarad (nF), apresentam tolerâncias relativamente baixas (0.5 a 1%) e suportarem tensões na faixa compreendida entre os 100 V e as várias dezenas de milhares de volt. Em geral, os capacitores de mica apresentam excelentes características técnicas, sendo comumente utilizados em aplicações de rádio-frequência.

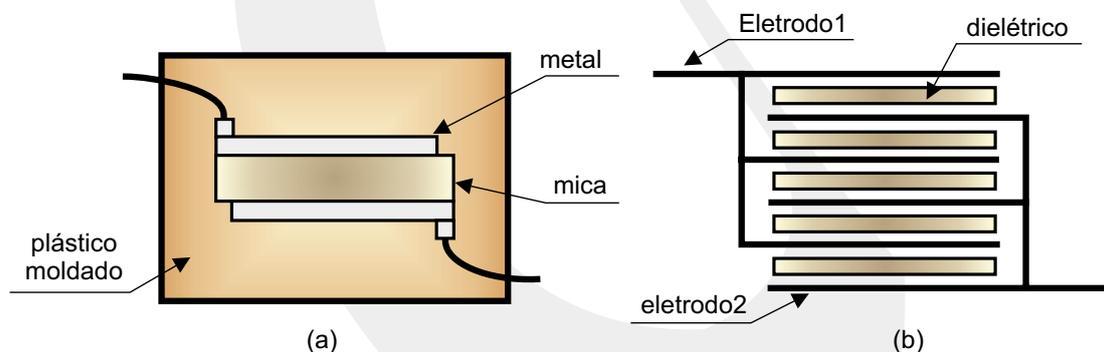


Figura Aspectos técnicos da construção de um condensador de mica

7.4.2.2 - CAPACITORES DE PELÍCULA ou FOLHA

Os capacitores de película consistem em pilhas de folhas de material dielétrico intercaladas por eletrodos metálicos. Os materiais dielétricos mais utilizados são o papel, o poliéster, o policarbonato, o poliestireno, o polipropileno e o poliphenilenesulfito, cada um deles visando uma faixa de aplicações muito bem definida. Por exemplo, os capacitores com dielétrico de poliéster são recomendados para aplicações gerais de baixa tensão e frequência (acoplamento capacitivo, acumulação de carga, supressão de interferências, filtragem, temporização, etc.), ao passo que os de policarbonato são utilizados em aplicações automotivas, portanto em ambientes de elevada temperatura, existindo no entanto também versões para aplicações de filtragem, circuitos amostradores, retentores, etc.

Os capacitores de poliphenilenesulfito são geralmente utilizados em montagem superficial (não encapsulados), em aplicações de sintonia de equipamentos de telecomunicações.

Os de papel são utilizados na supressão de interferências nas redes de distribuição de energia elétrica.

Os de polipropileno utilizam-se em aplicações de alta frequência e tensão, etc.

Os capacitores de película existem em faixas de valores variadas, por exemplo entre as centenas de picofarad e as dezenas de microfarad, para tolerâncias compreendidas entre 1 e 20%, e para tensões máximas na faixa das dezenas, passando pelas centenas e até ao milhar de volt.

7.4.2.3 - CAPACITORES CERÂMICOS

Os capacitores cerâmicos são construídos a partir da deposição ou colagem de um metal bom condutor sobre uma cerâmica de elevada constante dielétrica. Os capacitores de placa são constituídos por uma folha cerâmica em cuja superfície se encontram colados os eletrodos, em geral de cobre ou de prata, enquanto os capacitores multicamada são formados por sucessivas folhas de material cerâmico em cuja superfície se encontra depositado um metal bom condutor, tipicamente o paládio ou a platina (Figura 7.13.) Os capacitores multicamada destinam-se em geral a aplicações de montagem superficial, apresentando por isso dimensões típicas da ordem do milímetro.

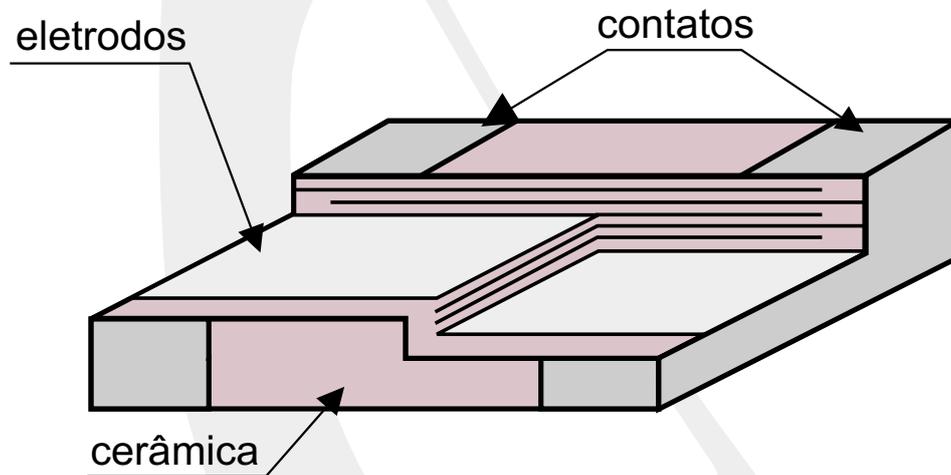


Figura Capacitores cerâmicos: multicamada

É comum distinguirem-se duas classes de capacitores cerâmicos:

Capacitores da classe-1, com constantes dielétricas relativamente baixas (algumas unidades a centenas) mas de boa qualidade, especificamente no que diz respeito à resistência do dielétrico e à dependência da capacidade com a temperatura (utilizados essencialmente na construção de osciloscópios e filtros);

Capacitores da classe-2, de elevada constante dielétrica (algumas centenas a milhares de unidades) mas de piores características técnicas e utilizados essencialmente em aplicações gerais de acoplamento de sinais.

Existem capacitores cerâmicos para aplicações gerais de baixa frequência (receptores TV, gravadores vídeo, etc.) e para microondas (comunicações via satélite, telefone móvel, etc.).

7.4.2.4 - CAPACITORES ELETROLÍTICOS

Existem dois tipos principais de capacitores eletrolíticos: Os de alumínio e de tântalo. Em ambos os casos nas opções sólida e líquida.

Os capacitores eletrolíticos baseiam o seu princípio de funcionamento na criação de um dielétrico de espessura micrométrica diretamente na superfície de contato entre dois materiais condutores. Por exemplo, os capacitores eletrolíticos de alumínio líquido são construídos a partir de um conjunto de folhas de alumínio enroladas e intercaladas com um papel fino, absorvente e banhado num eletrólito. O conjunto eletrólito é inicialmente um bom condutor, propriedade que sofre alteração após a aplicação de uma tensão entre o terminal de alumínio e o eletrólito. A aplicação de uma tensão constante entre as duas placas do condensador conduz à formação de uma finíssima camada de óxido de alumínio na superfície de contato entre o alumínio e o eletrólito (de aproximadamente $0.1 \mu\text{m}$ de espessura), processo durante o qual a função do eletrólito consiste basicamente em fornecer oxigênio para a reação química em curso. É a camada de óxido de alumínio criada na superfície de contato entre o alumínio e o eletrólito que constitui o dielétrico do condensador.

Os capacitores eletrolíticos são componentes cujos terminais são geralmente polarizados (existem capacitores eletrolíticos não polarizados). Para além do valor nominal da capacidade e da tensão máxima de trabalho, os capacitores eletrolíticos contêm na superfície externa uma indicação do terminal positivo (ou negativo) da tensão. As condições de funcionamento devem garantir sempre uma tensão positiva entre os terminais positivo e negativo do condensador. Aplicação de uma tensão negativa pode conduzir à degradação irreversível das suas propriedades,

podendo até mesmo explodir. Os capacitores eletrolíticos apresentam valores de capacidade geralmente elevados, tipicamente entre as décimas do microfarad e do farad, reduzidas tensões máximas de trabalho, geralmente inferior a 100 V, resistência de isolamento do dielétrico da ordem dos $M\Omega$. (que é um valor baixo), tolerâncias elevadas (podendo mesmo atingir 100%) e coeficientes de temperatura relativamente elevados.

Os capacitores de tântalo, tal como o eletrolítico de alumínio, baseia o seu funcionamento no crescimento de um dielétrico de óxido fino entre um material condutor e um eletrólito. Estes capacitores são construídos a partir de um pó de tântalo comprimido e aquecido de modo a formar um bloco de material de elevada porosidade. O material é posteriormente imerso numa solução ácida, que conduz à formação de uma fina película de óxido de magnésio envolvente da elevada superfície de contato. Seguidamente, adiciona-se um eletrólito que estabelece o contato negativo do condensador. Estes capacitores são componentes polarizados, característica geralmente indicada na cápsula do mesmo através de um conjunto de sinais.

Apesar de existirem capacitores de tântalo de elevada capacidade, tipicamente entre 2.2 e 100 μF , estes apresentam dimensões relativamente pequenas quando comparadas com as dos capacitores eletrolítico de alumínio. As características técnicas são bastante semelhantes às dos capacitores de alumínio, nomeadamente algumas dezenas de volt de máxima tensão de trabalho, tolerâncias que podem atingir 50%, coeficientes de temperatura superiores ao milhar de p.p.m. / $^{\circ}K$, e resistência de isolamento do dielétrico de apenas alguns $M\Omega$.

Os capacitores eletrolíticos são aplicados como: fontes de alimentação, equipamentos industriais, de telecomunicações e automotivas (motores), acoplamento, filtragem, temporizadores, etc.

7.4.2.5 - CAPACITORES HÍBRIDOS

Os capacitores de filme espesso e de filme fino são utilizados na realização de circuitos híbridos discreto-integrados. Estes capacitores são construídos por deposição de uma película de material dielétrico entre dois eletrodos condutores, tudo sobre um substrato isolante de alumina, magnésia, quartzo, vidro ou safira. Em face das aplicações a que se destinam estes capacitores são de dimensão relativamente reduzida, da ordem do milímetro.

7.4.2.6 - CAPACITORES VARIÁVEIS

A capacidade de um capacitor pode ser alterada por intermédio de dois mecanismos básicos: variação da espessura do dielétrico; ou deslocamento da superfície das placas frente a frente. Os capacitores variáveis são utilizados no ajuste fino do desempenho dos circuitos, tipicamente processado pelo fabricante durante a fase de teste, e na sintonia dos circuitos. Os capacitores de ajuste fino são vulgarmente designados por *trimmers*, podendo ser de pressão, de disco, tubulares ou de placas. Os *trimmers* são geralmente de relativa pequena capacidade, da ordem das unidades às dezenas de picofarad, e cobrem tipicamente uma faixa 1 a 10 do seu valor nominal

7.4.3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS CAPACITORES

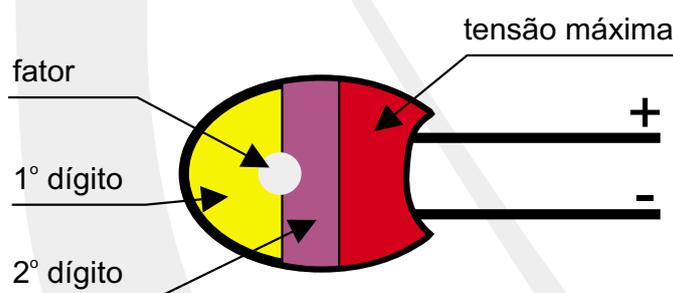
A utilização de capacitores em circuitos cuja qualidade e precisão do desempenho são fator primordial, deve ser acompanhada de precauções no que diz respeito às características técnicas:

- a faixa de capacidades coberta;
- a tolerância do valor nominal;
- a tensão máxima de trabalho, cuja superação pode conduzir à destruição do condensador por perfuração do dielétrico e ao estabelecimento de um curto-circuito entre os eletrodos;
- a corrente de fugas pelo dielétrico, também especificado através da resistência de isolamento do mesmo;
- os efeitos da temperatura, designadamente o coeficiente de temperatura e a faixa de temperaturas de trabalho recomendada;
- a indutância parasita e a respectiva frequência de ressonância;
- a resistência dos terminais de acesso às placas;
- a polarização ou não das placas, como sucede com os capacitores eletrolítico.

Em geral, este tipo de informação (e muito mais) encontra-se explicitada nos catálogos dos componentes, sob a forma de tabelas ou de gráficos.

7.4.4 – CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DOS CAPACITORES

É comum o valor nominal e algumas características técnicas dos capacitores serem impressos no invólucro, mediante um código de letras, cores ou simplesmente de símbolos geométricos. No caso dos capacitores eletrolíticos de alumínio, de dimensões relativamente elevadas, é comum encontrar-se impresso em algarismos e símbolos convencionais tanto o valor nominal da capacidade, como a tensão máxima de trabalho e a polaridade dos terminais. Já os capacitores cerâmicos, de tântalo, poliéster, etc..., cujas dimensões são bastante reduzidas, é comum encontrar-se as características técnicas impressas com base em códigos de letras, números ou cores. A seguir, código de identificação do valor nominal da capacidade e da tensão máxima de trabalho de um condensador eletrolítico de tântalo sólido (Philips)

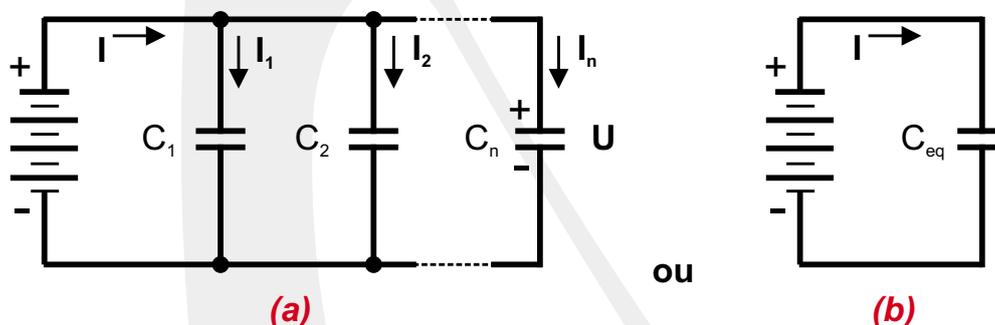


COR	1º DIGITO	2º DIGITO	FATOR (μF)	$V_{\text{máx}}$ (V)
preto	0	0	1	10.0
castanho	1	1	-	1.6
vermelho	2	2	-	4.0
laranja	3	3	-	40.0
amarelo	4	4	-	6.3
verde	5	5	-	16.0
azul	6	6	-	-
violeta	7	7	10^{-3}	-
cinzento	8	8	10^{-2}	25.0
branco	9	9	10^{-1}	2.5

7.4.5 – ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

Os capacitores, tal como as resistências, também poderão ser associadas em série ou em paralelo. Denomina-se de capacitor equivalente, aquele que sob a mesma d.d.p. da associação, armazena a mesma quantidade de energia elétrica que é armazenada na associação.

Na associação em paralelo, as armaduras coletoras (positivas) são ligadas entre si e portanto, sob o mesmo potencial. Todas as armaduras condensadoras (negativas) estão também ligadas sob o mesmo potencial comum. Assim temos:



O esquema representado pela letra (b) será equivalente ao da letra (a) se:

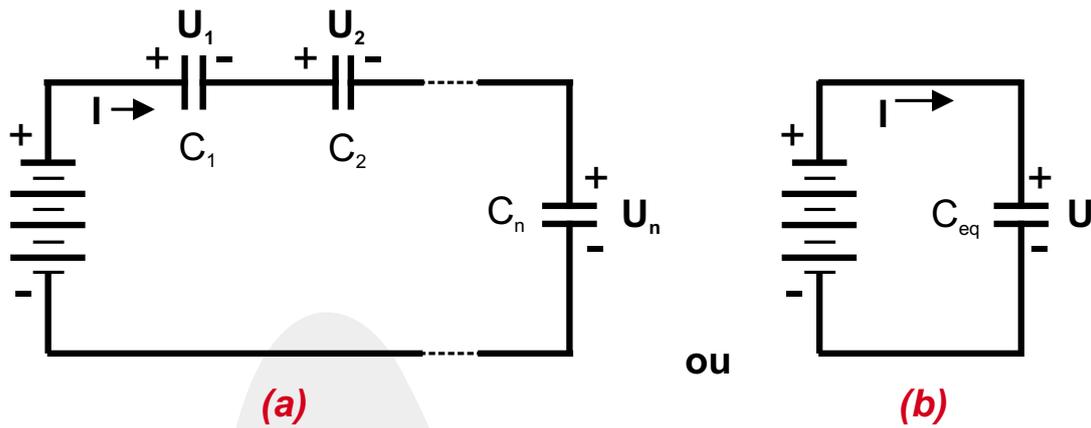
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

e

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

OBS: Todos os capacitores estão sob a mesma tensão **U**.

Na associação em série, a armadura condensadora (negativa) de um capacitor está ligada a armadura coletora (positiva) de outro capacitor. Então ao ligarmos o circuito elétrico, a armadura positiva do primeiro capacitor receberá a carga positiva da fonte de tensão (+Q) e induzirá a carga (-Q) na armadura negativa. A carga induzida (+Q) escoará para a armadura positiva do segundo capacitor. Esta por sua vez induzirá a carga (-Q) na armadura negativa e assim sucessivamente. Assim na associação em série temos:



O esquema representado pela letra (b) será equivalente ao da letra (a) se:

$$1/C_{eq} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$$

e

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

OBS: Em série, todos os capacitores apresentam a mesma carga Q.

7.4.6 – SENSORES CAPACITIVOS

Um sensor ou transdutor capacitivo é um tipo de capacitor que exibe uma variação do valor nominal da capacidade em função de uma grandeza não elétrica. Uma vez que um capacitor consiste basicamente num conjunto de duas placas condutoras separadas por um dielétrico, as variações da capacitância podem ser provocadas por redução da área frente a frente e da separação entre as placas, ou por variação da constante dielétrica do material.

Os sensores capacitivos permitem medir com grande precisão um grande número de grandezas físicas, tais como:

- posição;
- deslocamento, velocidade, aceleração linear ou angular de um objeto;
- umidade;
- concentração de gases;
- nível de líquidos e sólidos;
- fluxo de gases ou líquidos;
- vácuo;
- força, torque;
- pressão;
- temperatura;
- proximidade de objetos, presença de água, pessoas, etc...

Uns detectam as variações na espessura do dielétrico, outros na constante dielétrica. A detecção da variação da capacidade é geralmente efetuada através da medição da carga acumulada.

Por exemplo: através da aplicação de uma tensão constante, ou então indiretamente através da variação da frequência de oscilação ou da forma de onda à saída de um circuito, do qual o sensor é parte integrante. Na figuras a seguir apresentam-se os esquemas simplificados de alguns dos sensores capacitivos mais comumente utilizados.

Na figura considera-se o caso de um sensor capacitivo de deslocamento. Neste sensor os dois eletrodos são fixos e estão separados por uma película fina de um material cuja constante

dielétrica é superior à unidade ($\Sigma_r > 1$), que se pode deslocar lateralmente em conjunto com o objeto cujo movimento se pretende medir. O deslocamento da película altera a proporção entre as partes dos eletrodos separadas por ar e pela película de material dielétrico, que se traduz numa variação linear da constante dielétrica do conjunto e, em consequência, da capacidade do capacitor. Na prática existem diversas variantes deste princípio básico, utilizadas por exemplo na construção de transdutores em rotores e estatores de motores.

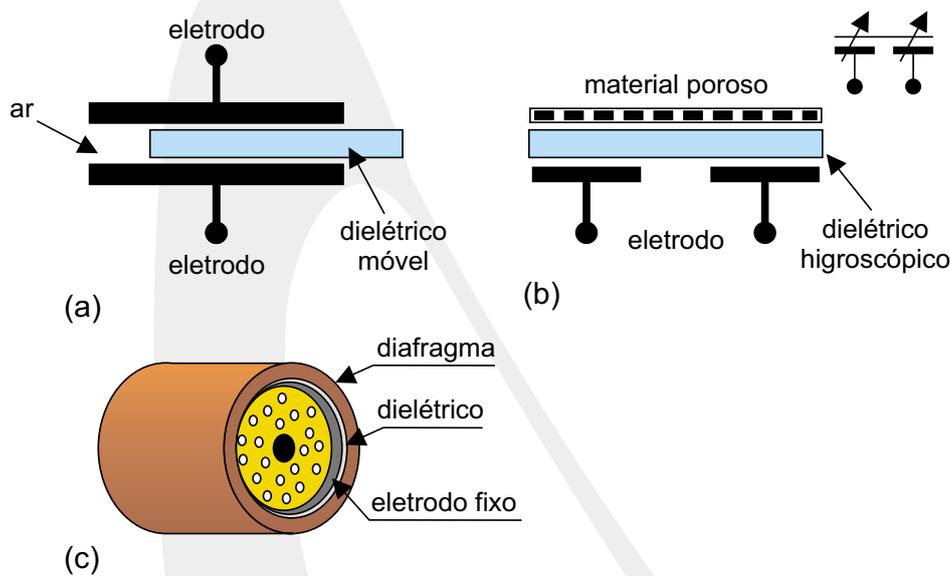


Figura - Sensores capacitivos de deslocamento (a), de umidade (b) e de som (c)

Na figura anterior (b), ilustra-se o esquema de princípio de um sensor capacitivo de umidade (designado sensor higrométrico), o qual basicamente explora a dependência da constante dielétrica de alguns materiais com o teor de água no ar ambiente. O dielétrico é neste caso constituído por uma película fina de um material simultaneamente isolador e higroscópico o qual, dada a natureza porosa de um dos dielétricos, se encontra em contacto com o ambiente cuja umidade relativa se pretende medir.

O microfone constitui uma das aplicações mais comuns dos sensores capacitivos de pressão, neste caso particular designados transdutores de som. Como se ilustra na figura (c),

os microfones deste tipo são basicamente constituídos por um diafragma que vibra em função da frequência e da amplitude das ondas sonoras incidentes (constituindo um dos eletrodos do capacitor), uma película fina de um material permanentemente polarizado (de elevada constante dielétrica), e um segundo eletrodo metálico e fixo. A vibração do diafragma induz uma variação na capacidade do capacitor, que é posteriormente processado e amplificado eletronicamente.



7.5 - DIODOS

Diodos são os elementos que permitem a passagem da corrente elétrica somente em um sentido. São utilizados na proteção de dispositivos delicados contra altas tensões geradas por interrupção de corrente em circuitos indutivos.

Sua simbologia elétrica é:



Quando um relé é desligado, por exemplo, na sua bobina surgem altas tensões que podem queimar o dispositivo que o controla, por exemplo, um transistor.

A tensão que aparece nestas condições tem polaridade inversa do acionamento. Assim se ligarmos um diodo em paralelo, conforme a figura abaixo, quando a tensão perigosa surgir ela polariza o diodo no sentido direto, fazendo-o conduzir e absorver a tensão, evitando que a mesma se propague pelo resto do circuito.

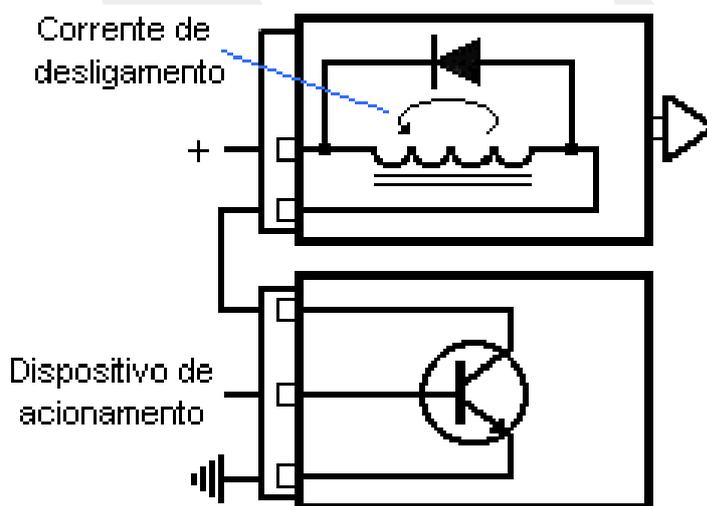


Fig. Veja que na operação do transistor (dispositivo de acionamento), o diodo está polarizado no sentido inverso, não influenciando no acionamento.

A condução se dará somente em um sentido, sendo esta a característica do diodo. Esta condução preferencial ocorre porque o diodo é uma junção de dois semicondutores do tipo **P** e **N**, dita junção **PN**.

Os semicondutores do tipo **N** possuem elétrons livres como transportadores de carga. Se introduzirmos um átomo com cinco elétrons de valência na rede cristalina de um cristal de silício (quatro na órbita externa), apenas quatro dos elétrons de valência podem ser combinados com a rede, o quinto é utilizado para a condução de carga (elétron livre). Dado que neste caso o transporte de carga se faz através de transportadores de carga negativas (elétrons), dá-se a estes semicondutores o nome de condutores **N**.

Os semicondutores do tipo **P** se utilizam de lacunas para o transporte de carga. Quando se introduz um átomo com três elétrons de valência em um cristal de silício, os três elétrons são combinados, mas um encontra-se ausente da rede cristalina, surgindo uma lacuna. Pode acontecer que, um elétron de valência de um átomo vizinho salte para esta lacuna na rede cristalina, criando outra lacuna. Neste caso, o transporte da corrente é feito por meio de transportadores de carga positiva; por este motivo este semicondutor é designado de condutor **P**.

Pode-se dizer também que:

- Os semicondutores do tipo **N** são redes cristalinas doadoras de elétrons.
- Os semicondutores do tipo **P** são redes cristalinas receptoras de elétrons.
- Quando se aplica tensão a um material condutor **N**, há passagem de elétrons do pólo negativo para o positivo.
- Quando se aplica uma tensão a um material condutor **P**, há uma passagem de lacunas do pólo positivo para o negativo.

Na junção de semicondutores do tipo **P** e **N** ou junção **PN**, haverá passagem de elétrons condutores do condutor **N** para o condutor **P** – As lacunas do condutor **P** passam para o condutor **N**, processo conhecido com difusão.

Perto deste limite **PN**, qualquer elétron da região **N** preenche uma lacuna na região **P** e na região **P**, as lacunas são preenchidas por elétrons da região **N**, isto significa que ambos os lados da junção **PN** possui muito pouco transportadores de carga e atua como uma camada isoladora sem uma tensão aplicada. Torna-se uma barreira de potencial que será necessário aplicar uma tensão mínima para que os elétrons e lacunas conduzam cargas através da barreira.

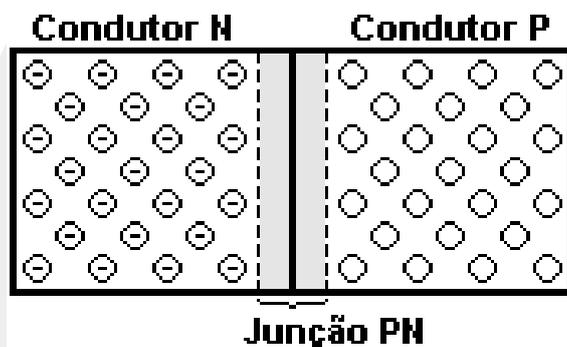
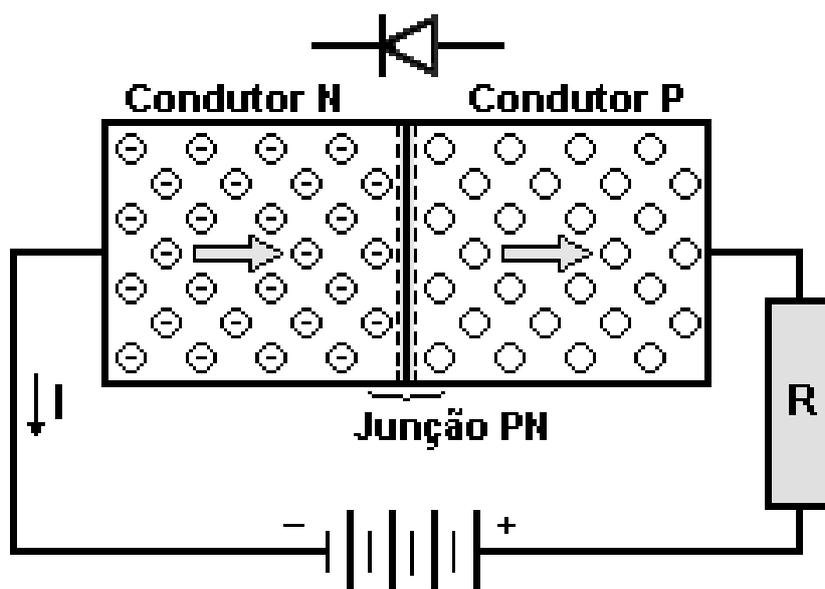
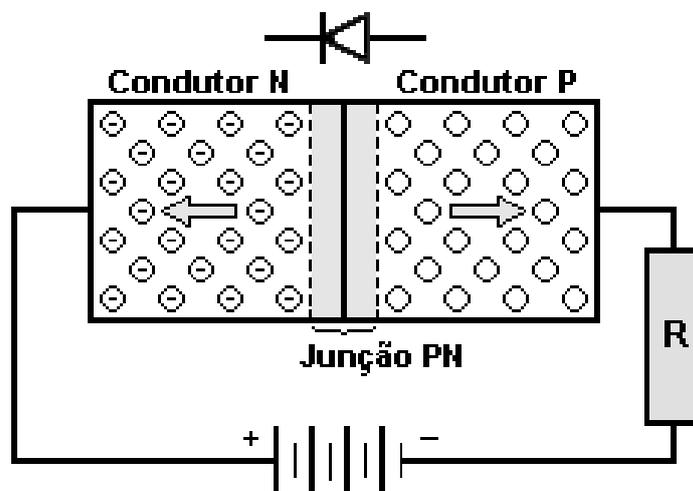


Fig. Observe as lacunas na região **P** e os elétrons livres na região **N**. Na junção **PN**, ocorre o equilíbrio de lacunas e elétrons, formando a barreira de potencial

Se aplicarmos uma tensão na junção PN, a situação pode alterar-se de diversas maneiras, dependendo da polaridade. Se o condutor **P** for ligado ao pólo positivo e o condutor **N** ao pólo negativo, a tensão força a passagem de elétrons condutores do condutor **N** e de lacunas do condutor **P** para a camada de junção. Esta é gradualmente reduzida até desaparecer completamente na chamada tensão direta e a corrente flui através do diodo.



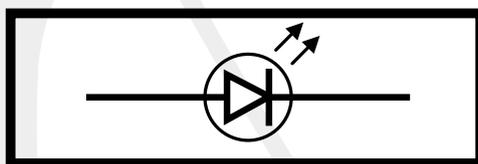
Ao contrário, se o pólo positivo for ligado ao condutor **N** e o pólo negativo ao condutor **P**, a camada da junção aumenta e o diodo bloqueia a corrente elétrica.



7.5.1 – DIODO EMISSOR DE LUZ - LED

Num diodo, quando polarizado diretamente, uma grande quantidade de portadores atravessa a região de depleção na qual, alguns deles, recombina-se com átomos ionizados. Nesse processo, os elétrons perdem energia na forma de radiação. Nos diodos de Silício ou Germânio, essa radiação é irradiada na forma de calor, mas em compostos de arsenato de gálio (GaAs), existe a liberação de energia na forma de luz.

Esses diodos são chamados de diodos emissores de luz ou, simplesmente, **LED** (Light Emitting Diode) e podem emitir luz visível, infravermelho ou ultravioleta.



Os LEDs de luz visível são fabricados acrescentando partículas de fósforo, que dependendo da quantidade podem irradiar luz vermelha, amarela, laranja, verde ou azul, sendo muito utilizado na sinalização de aparelhos eletrônicos e fabricação de displays alfanuméricos.

Os infravermelhos são fabricados com InSb (antimoneto de Índio) com aplicação em alarmes, transmissão de dados por fibra ótica, controle remoto e etc. Os ultravioletas são fabricados a partir do sulfato de Zinco (ZnS).

Também encontramos LEDs bicolores em um mesmo encapsulamento. Possuindo três terminais, dependendo de qual for alimentado, ele acenderá com uma luz diferente.

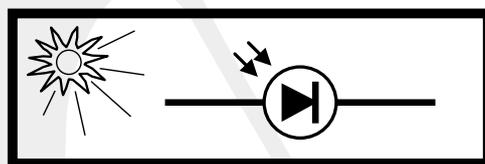
Os LEDs têm as mesmas características dos diodos comuns, ou seja, só conduzem quando polarizados diretamente com uma tensão maior ou igual a V_D . Comercialmente eles trabalham normalmente com correntes na faixa de 10mA a 50mA e tensões na faixa de 1,5 a 2,5 V.

Assim para polarizar um LED, deve-se utilizar um resistor limitador de corrente para que o mesmo não se danifique.

7.5.2 – FOTODIODO

Num diodo comum polarizado reversamente existe uma corrente de fuga mantida pela energia térmica que é igual a temperatura ambiente. Assim, se houver incidência de luz sobre a junção PN essa energia também pode gerar portadores contribuindo para aumentar a corrente reversa.

Um fotodiodo é portanto um diodo com uma janela sobre a junção PN que permite a entrada da luz. Essa luz produz elétrons livres e lacunas aumentando a quantidade de portadores e, conseqüentemente, controlando a corrente reversa.



Desta forma, quanto maior a incidência de luz, maior a corrente no fotodiodo polarizado reversamente. A corrente pode chegar a dezenas de microamperes, mas deve-se ser sempre ligados em série com um resistor limitador.

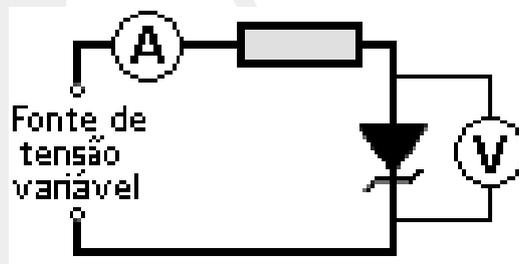
São encontrados fotodiodos sensíveis a vários tipos de luz, infravermelha, ultravioleta, etc. sendo aplicados em alarme, medidores de intensidade luminosa, sensores e etc.

7.5.3 –DIODO ZENER

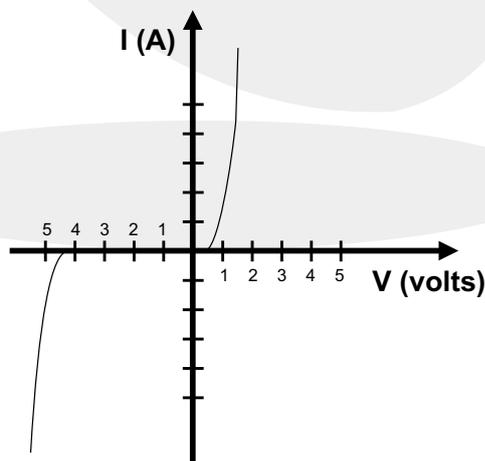
O diodo zener é um dispositivo que tem quase as mesmas características que um diodo normal. A diferença está na forma como ele se comporta quando está polarizado reversamente.

No diodo normal, polarizado reversamente, ocorre um fenômeno chamado de *efeito avalanche* ou *efeito zener*, que consiste num aumento repentino da corrente reversa, dissipando potência suficiente para ruptura da junção PN, danificando o diodo. A tensão na qual ocorre o efeito zener é chamada de *tensão de ruptura* ou *Breakdown voltage* (V_{BR})

Vejam o circuito elétrico a seguir:



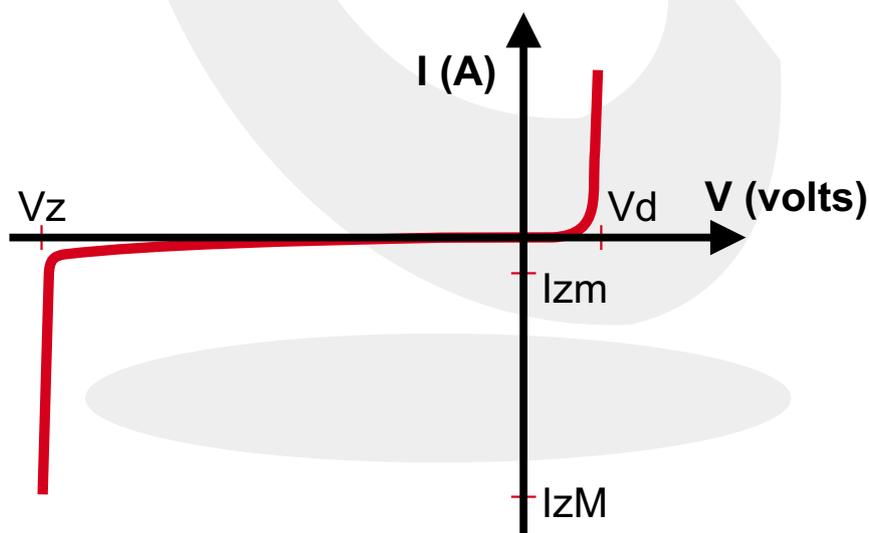
Uma fonte de tensão contínua variável, um amperímetro, um resistor, um diodo zener e um voltímetro ligado em paralelo com o diodo zener. A experiência consiste no seguinte, aumentar gradativamente a tensão na fonte e medir a corrente elétrica no circuito. Depois inverter as ligações da fonte de tensão e repetir a experiência. O resultado é apresentado no gráfico a seguir:



1. Com o diodo diretamente polarizado, a tensão de ruptura da barreira de potencial é de aproximadamente 0,6V, ou seja somente após o voltímetro ter indicado 0,6V é que o amperímetro passou a indicar níveis de corrente elétrica;
2. Com o diodo reversamente polarizado, a tensão de ruptura foi de 4,5V para este exemplo. Essa tensão de ruptura com o diodo reversamente polarizado é a tensão zener e o seu valor é específico para cada diodo;
3. Independente do sentido, a corrente elétrica só circulará pelo diodo se a tensão do circuito romper a barreira de potencial;
4. Rompida a barreira de potencial, a tensão nos terminais do diodo torna-se constante, independente da variação da tensão da fonte. No caso de estar reversamente polarizado a tensão em seus terminais será constantemente igual a tensão zener.

O diodo zener é construído com uma área de dissipação de potência suficiente para suportar o efeito avalanche. Assim, a tensão na qual este efeito ocorre é denominado de tensão zener (V_z) e pode variar em função do tamanho e do nível de dopagem da junção PN. Comercialmente são encontrados diodos com V_z de 2 a 200 volts.

Pela curva característica, conforme abaixo, observa-se que a tensão reversa V_z mantém-se praticamente constante quando a corrente reversa está entre I_{zmin} (mínima) e I_{zMax} (máxima).



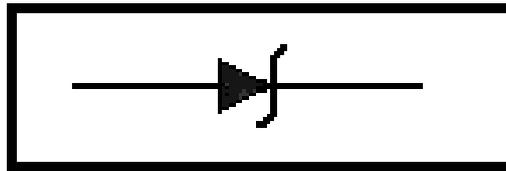
V_d = Tensão de condução na polarização direta

Nesta região, o diodo zener dissipa uma potência P_z que pode ser calculada por:

$$P_z = V_z \cdot I_z$$

Com esta sua propriedade de tensão constante, os diodos zener são normalmente aplicados em circuitos reguladores de tensão por fornecerem uma tensão fixa, independente da variação da fonte

Sua simbologia elétrica é:



7.5.3.1 –EXEMPLO DE APLICAÇÕES

Atualmente os veículos estão dotados de uma grande variedade de componentes eletrônicos que por via de regra são relativamente caros. Uma forma de protegê-los contra os picos de tensão indesejáveis é construir componentes resistentes, que em geral devido a quantidade de itens encarecem demais os veículos.

A solução encontrada foi a introdução de alternadores dotados de retificadores com diodo zener que além de cumprir a função de retificar a corrente alternada do alternador, funciona como um protetor geral dos sistemas eletrônicos do veículo. Graças as características deste diodo os picos de alta tensão gerados ao desligar cargas indutivas como reles, bombas elétricas, eletroválvulas, etc... são limitados a níveis bem inferiores que nos sistemas tradicionais.

No caso dos alternadores, também é utilizado como elemento de segurança. Acontecendo uma situação de pico, o diodo zener reversamente polarizado terá sua barreira de potencial vencida e permitirá que corrente elétrica circule pelo diodo zener e dissipe esta energia sob a forma de calor no próprio diodo. Como o tempo de duração de pico é curtíssimo e tendo potência limitada pelo circuito, a elevação de tensão deste pico será limitada próximo da tensão zener.

Uma outra aplicação em que os diodos zener são normalmente aplicados, são os circuitos reguladores de tensão que fornecem uma tensão fixa, independente da variação da fonte

As quatro aplicações básicas dos reguladores de tensão, são as seguintes:

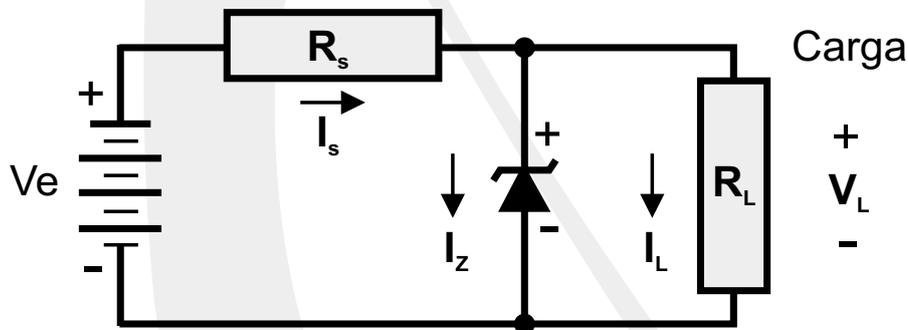
- Estabilizar uma tensão de saída para uma carga fixa a partir de uma tensão constante.
- Estabilizar uma tensão de saída para uma carga variável a partir de uma tensão constante.
- Estabilizar uma tensão de saída para uma carga fixa a partir de uma tensão com ondulações.
- Estabilizar uma tensão de saída para uma carga variável a partir de uma tensão com ripple.

O primeiro caso é o mais simples, por exemplo, se desejássemos alimentar um aparelho de 4,5 V a partir de uma bateria de 12 V.

O último caso é o mais geral, geralmente o encontrado nas fontes de tensão com filtros capacitivos.

Basicamente, o projeto de um regulador de tensão com carga consiste no cálculo da resistência limitadora de corrente R_s conhecendo-se as demais variáveis do circuito:

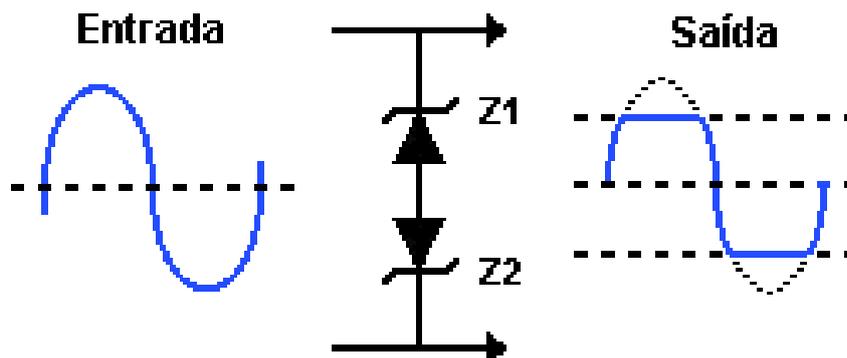
- Tensão de entrada V_e (constante ou com ripple)
- Carga R_L (fixa ou variável)
- Tensão de saída esperada V_L
- Especificações do diodo zener



Equações fundamentais:

$$I_s = I_z + I_L \quad V_z = V_L = R_L \cdot I_L \\ V_E = R_s \cdot I_s + V_z$$

Outras aplicações do diodo zener serão em conjunto com outros dispositivos, tais como transistores e amplificadores operacionais. Sozinho, ele ainda pode ser utilizado com circuito limitador duplo ou como referência para fontes com vários níveis de tensão (figura a seguir).

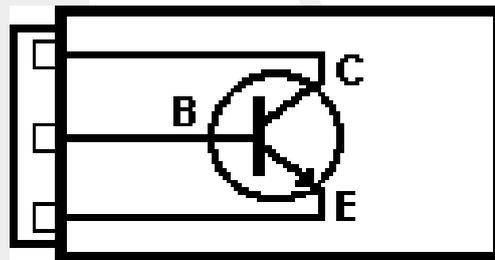


7.6 - TRANSISTORES

O transistor é constituído por três camadas semicondutoras. Nos transistores **NPN**, as duas camadas exteriores são condutores **N** sendo a camada central um condutor **P**. O transistor possui, assim duas junções **PN**, nas quais se formam camadas de junção.

A primeira destas camadas dá-se o nome de emissor, dado que emite (envia) portadores de carga. A camada central dá-se o nome de base. Esta controla a emissão de portadores de carga. A última camada dá-se o nome de coletor, pois reúne portadores de carga.

Existem dois tipos de transistor: O **PNP** e o **NPN**. Nos transistores **NPN**, o emissor envia elétrons, no **PNP**, emite lacunas. O símbolo que identifica o emissor é uma seta, a qual indica a direção convencional da corrente do emissor. Sua simbologia elétrica é:



Nos transistores **PNP**, as direções dos diodos são opostas às dos transistores **NPN**, o que significa que as polaridades da fonte de tensão ligada também devem ser invertidas.

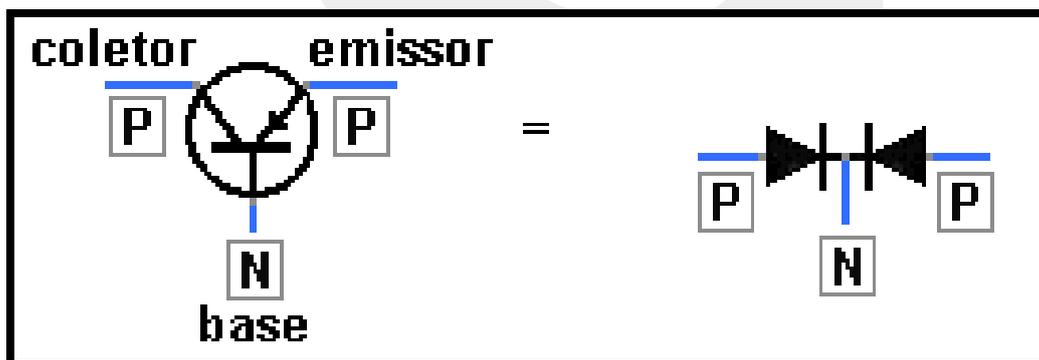


Fig. Transistor PNP

Em seguida, explicaremos o funcionamento do transistor. Como exemplo utilizaremos o transistor **NPN**.

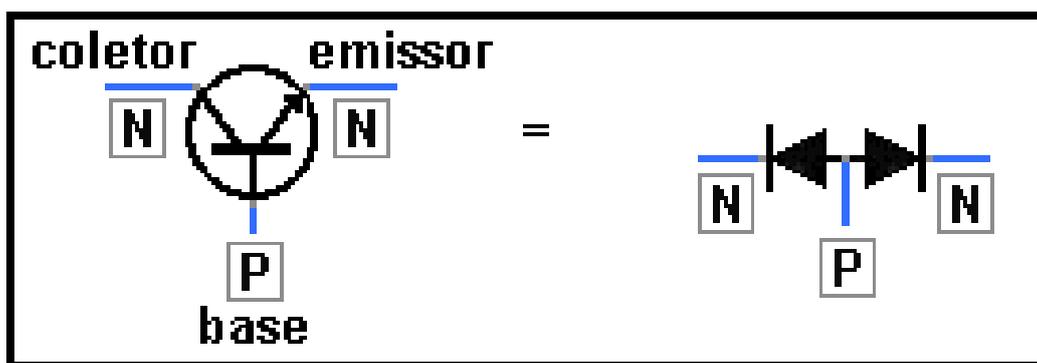
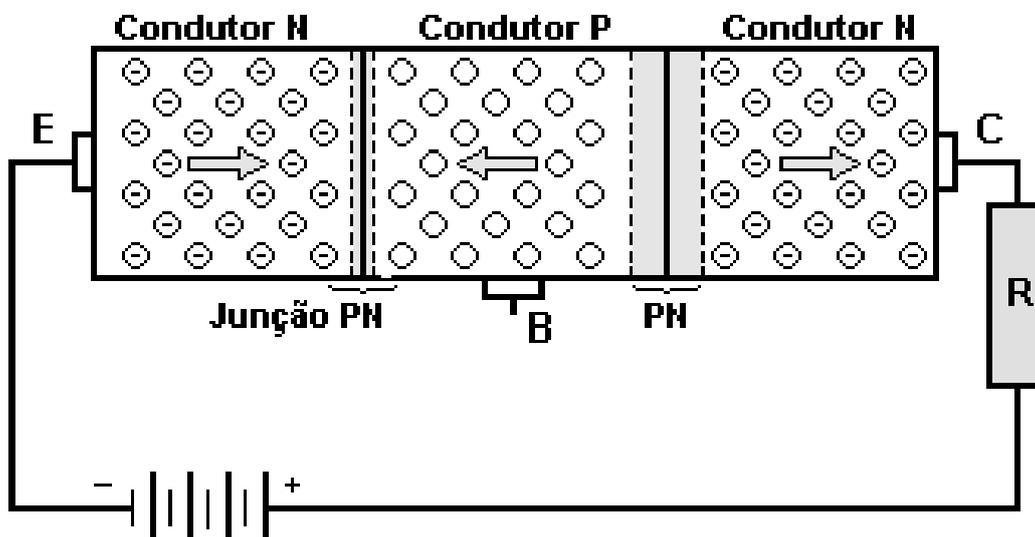


Fig. Transistor NPN

Se ligarmos o pólo negativo de uma fonte de tensão ao emissor e o pólo positivo ao coletor, não se verifica passagem de corrente.

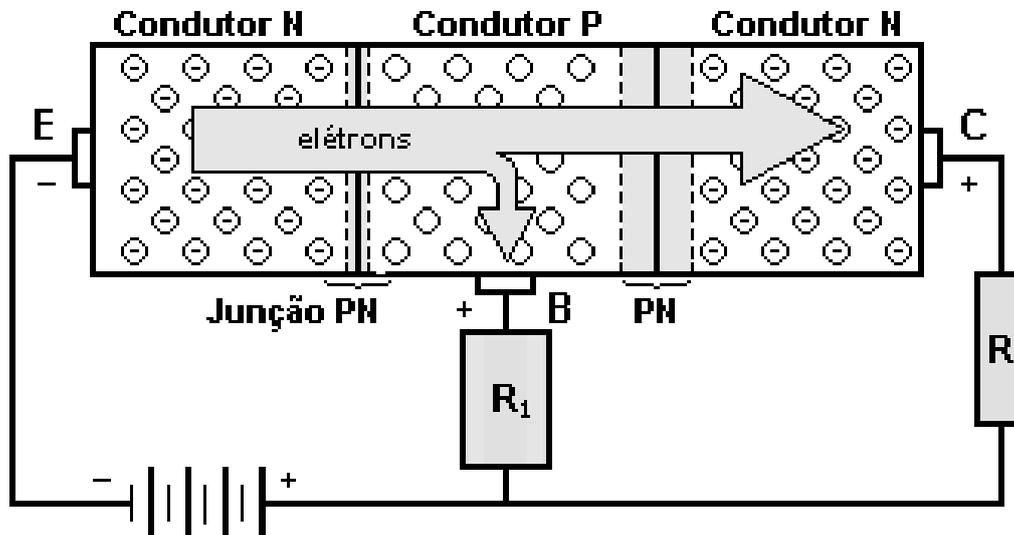
Os elétrons do coletor deslocam-se em direção ao pólo positivo, as lacunas da base são repelidas pelo potencial positivo e deslocam-se para a junção entre a base e o emissor. Em consequência, a camada de junção entre o coletor e a base aumenta.

Os elétrons do emissor são repelidos pelo potencial negativo da fonte de tensão e movem-se em direção à junção entre o emissor e a base, tal como sucedeu com as lacunas da base. Assim, a junção entre o emissor e a base desaparece.



Se aplicarmos adicionalmente uma tensão positiva baixa à base, há um fluxo de elétrons do emissor para a base através da junção **PN**. O coletor que se encontra ligado ao potencial positivo, atrai a maior parte dos elétrons que se encontram na camada de base e “suga-os” através da junção **PN** entre a base

e o coletor. Conseqüentemente sai corrente do coletor. Uma pequena parte da corrente do emissor regressa à fonte de tensão da base através desta última, formando assim a corrente de base (ou corrente de controle).



A relação entre a corrente do coletor e a corrente de base dá-se o nome de amplificação de corrente contínua. Os esclarecimentos sobre o funcionamento também se aplicam aos transistores **PNP** com exceção de que se deve levar em conta as diferenças de polaridade e de corrente.

Através da alteração da tensão na base (por meio de um potenciômetro, como exemplo), a corrente do coletor pode ser aumentada ou diminuída e ainda ligada ou desligada. Desta forma, o transistor pode ser utilizado também como interruptor (com vantagens de rapidez e desgaste inexistente).

Se for utilizado como interruptor, cria-se no transistor uma tensão base-emissor no sentido de passagem. A tensão aplicada tem de deixar a corrente do coletor. Se for utilizada, por exemplo uma resistência dependente da luz na alimentação de tensão da base-emissor, o transistor pode ser usado como interruptor dependente da luz

CAPÍTULO 8



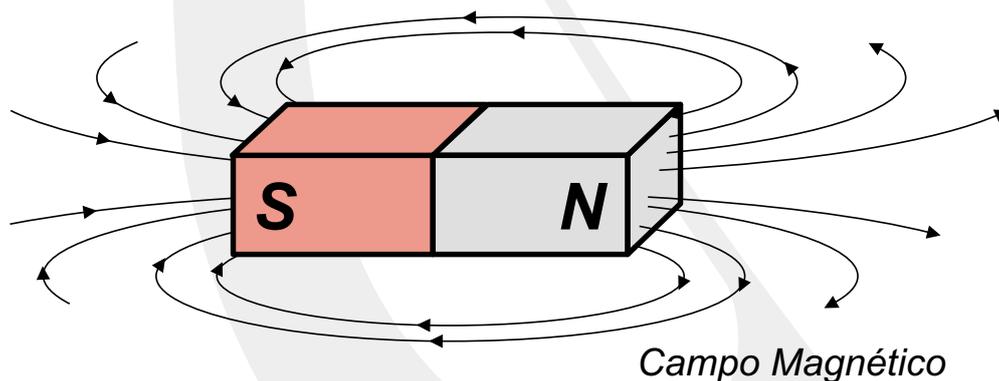
8 - ELETROMAGNETISMO

8.1 - NOÇÕES SOBRE MAGNETISMO

Chamamos de magnetismo a propriedade que certas substâncias possuem de atrair o ferro, níquel ou cobalto. A estas substâncias denominamos ímãs.

Os ímãs podem ser encontrados de forma permanente, que retém a propriedade magnética por tempo indeterminado, e também na forma de ímã temporário, que tem duração limitada. Possuem sempre dois pólos magnéticos onde estão concentradas as forças de atração.

Por convenção, as linhas de força, também chamadas de linhas de indução, partem do pólo norte, por fora do ímã, e penetram no pólo sul, mantendo um campo de atração chamado campo magnético, afetando a região do espaço em que se manifesta.



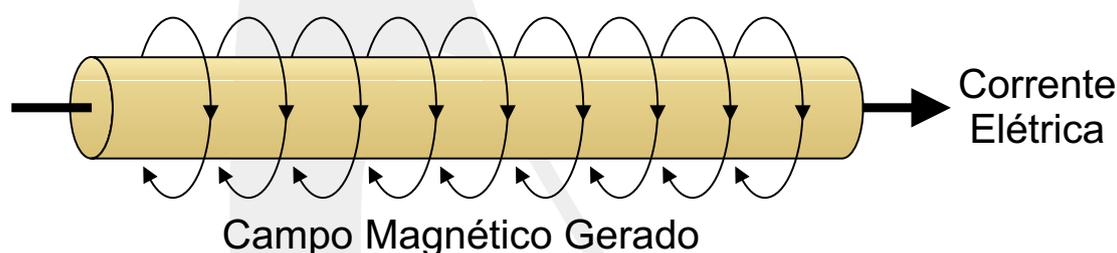
Como as linhas de força partem sempre do pólo norte para o pólo sul, então pólos de mesmo nome se repelem e pólos de nomes diferentes se atraem.

Experimentalmente se observa que ao passar uma carga elétrica num determinado campo magnético, ocorrerá a atuação deste campo no sentido de desviar a trajetória da carga elétrica. A esta força de campo, é denominada de *Força Magnética de Lorentz*, sendo a base do princípio de funcionamento dos motores elétricos, como veremos posteriormente.

8.2 - NOÇÕES SOBRE ELETROMAGNETISMO

Hans Christian Oersted, em 1820 observou experimentalmente que ao passar uma corrente elétrica em um determinado condutor, alterava a posição de uma agulha de bússola, próximo a este condutor. Concluiu que é possível criar um campo magnético através da circulação de corrente elétrica.

Quando uma corrente elétrica percorre um condutor, gera em torno do mesmo um campo magnético, cujas linhas de indução são circunferências concêntricas com o condutor.



O campo magnético (**B**) gerado, em um determinado ponto no espaço ao redor do condutor, pode ser dimensionado neste caso em função da corrente elétrica (**I**) no condutor e da distância (**d**) do ponto em questão ao condutor, através da expressão:

$$B = (\mu \cdot I) / (2 \cdot \pi \cdot d) \quad \text{Lei de Biot-Savart}$$

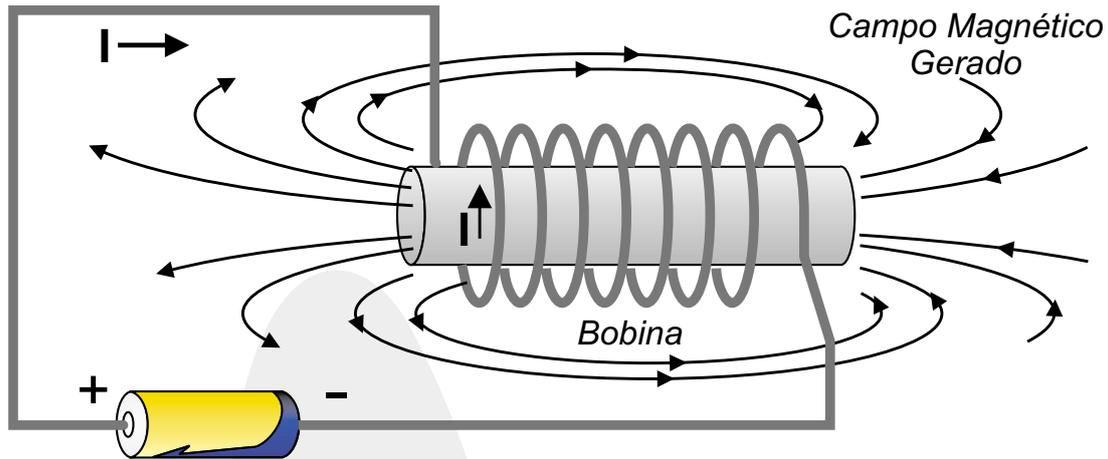
onde, $\mu = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ para o vácuo

Obs: μ é uma grandeza física escalar denominada permeabilidade magnética

O campo magnético **B**, possui direção, sentido e valor, sendo portanto uma grandeza vetorial

Se o condutor for enrolado na forma de uma bobina e receber uma pequena corrente elétrica, obtém-se um forte campo magnético, devido à interação das linhas de força. Temos linhas de indução dentro e fora do solenóide (solenóide é o nome que damos ao condutor enrolado). Dentro do solenóide, são praticamente retas paralelas, indicando um campo magnético praticamente uniforme. Fora, o espectro magnético é semelhante ao produzido por um ímã cilíndrico.

Sentido da corrente elétrica



Quanto mais longo o solenóide, mais fraco o campo externo e mais uniforme o campo interno. O campo magnético (**B**) pode ser determinado neste caso, em função da corrente elétrica (**I**) e do número de espiras (**n**) contidas num determinado comprimento (**L**) do solenóide, através da expressão:

$$B = (\mu \cdot n \cdot I) / L$$

Para se conseguir uma maior intensidade do campo magnético deve-se:

- Aumentar o número de voltas do condutor (espiras);
- Aumentar a corrente elétrica que circula;
- Introduzir no interior da bobina um núcleo de ferro, que diminua a dispersão do campo magnético.

Assim, sempre que circular uma corrente elétrica por uma bobina é gerado um campo magnético. Este artifício é utilizado na construção de reles, interruptores magnéticos, válvulas solenóides, sensores indutivos, motores elétricos, geradores, etc...

Outra propriedade é que quando um campo magnético corta ou é cortado por um condutor, induz uma corrente elétrica neste condutor. A intensidade da corrente induzida é diretamente proporcional ao:

- Comprimento do condutor (número de espiras da bobina);
 - Intensidade do campo magnético;
- Velocidade do movimento condutor ou do campo magnético

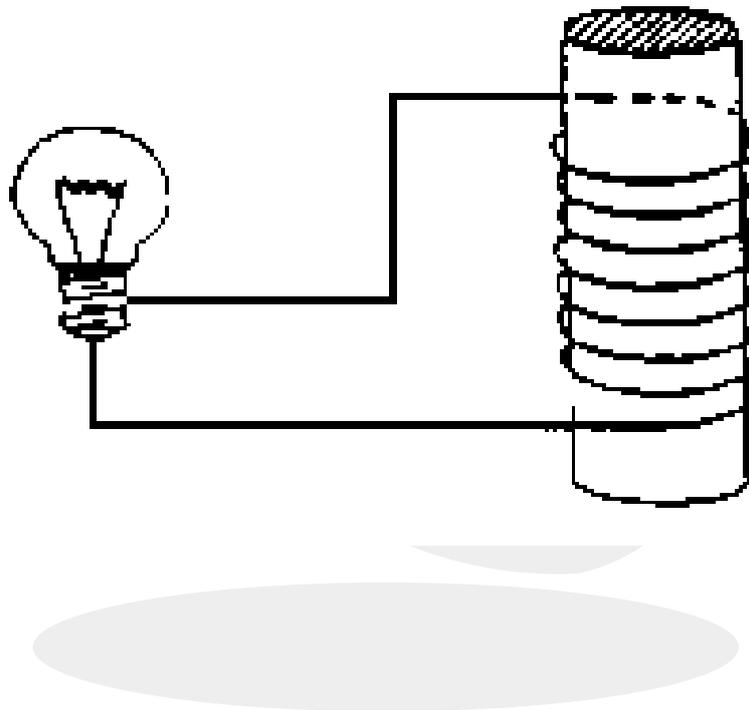
8.3 - INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Após a descoberta do *efeito Oersted* (geração do campo magnético por correntes elétricas), os físicos da época procuraram o efeito inverso: gerar energia elétrica através do campo magnético.

Faraday por volta de 1830 realizou uma série de experiências. A mais simples delas consistia em aproximar um ímã de uma espira circular. Observou que ao movimentar o ímã, aproximando ou afastando, surgia uma corrente elétrica. De algum modo o movimento do ímã faz surgir uma corrente elétrica na espira, sem que houvesse contato ou pilhas, apenas pelo movimento do ímã. A esta corrente elétrica gerada, foi chamada de corrente induzida. Faremos a seguir os passos desta experiência:

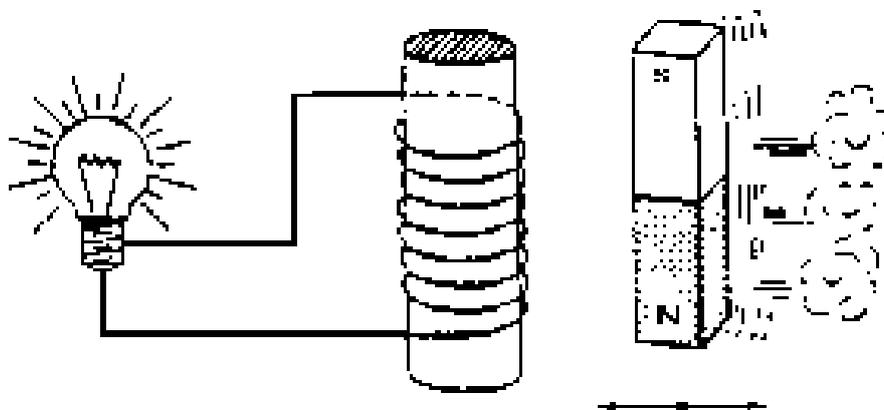
Passo 1 - Um eletroímã (solenóide + magneto) onde o enrolamento está ligado a uma pequena lâmpada.

Resultado 1 - Nesta condição a lâmpada obviamente está desligada



Passo 2 - Aproxima um ímã natural ao eletroímã.

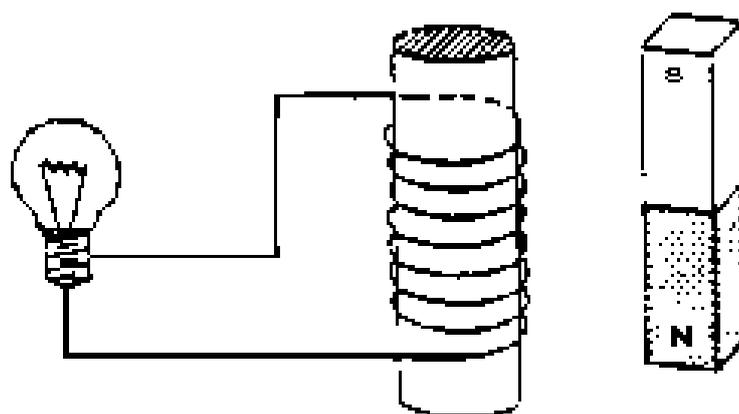
Resultado 2 - A lâmpada se acenderá durante o movimento do ímã.



Conclusão - Está passando uma corrente elétrica pelo enrolamento do eletroímã

Passo 3 - O ímã fica parado muito próximo ao eletroímã.

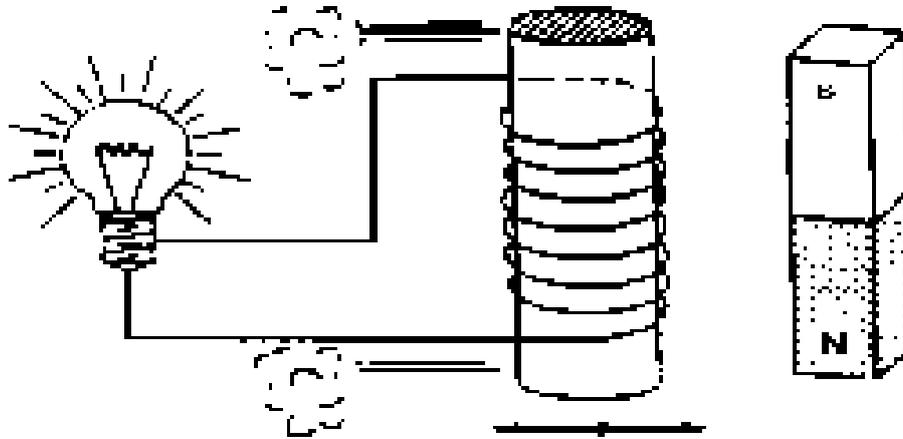
Resultado 3 - A lâmpada se apaga



Conclusão - A lâmpada somente se acende com o ímã em movimento

Passo 4 - O ímã fica parado e movimenta-se o eletroímã.

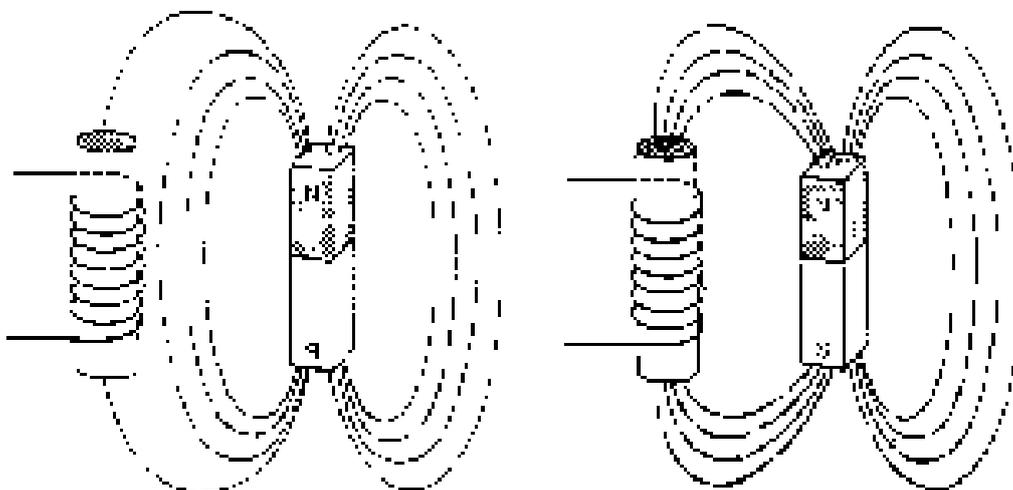
Resultado 4 - A lâmpada se acende.



Conclusão - Para a lâmpada se manter acesa é necessário movimentar o ímã ou o eletroímã.

Ocorre que as linhas de força que saem do ímã natural serão capturadas pelo material que constitui o núcleo do eletroímã. O deslocamento do ímã natural provoca um deslocamento das linhas de força e também a variação do número das quais são capturadas pelo material que constitui o núcleo do eletroímã.

A variação das linhas de força contida em uma bobina produz no seu enrolamento uma tensão que se o circuito está fechado, causa circulação da corrente para a bobina.



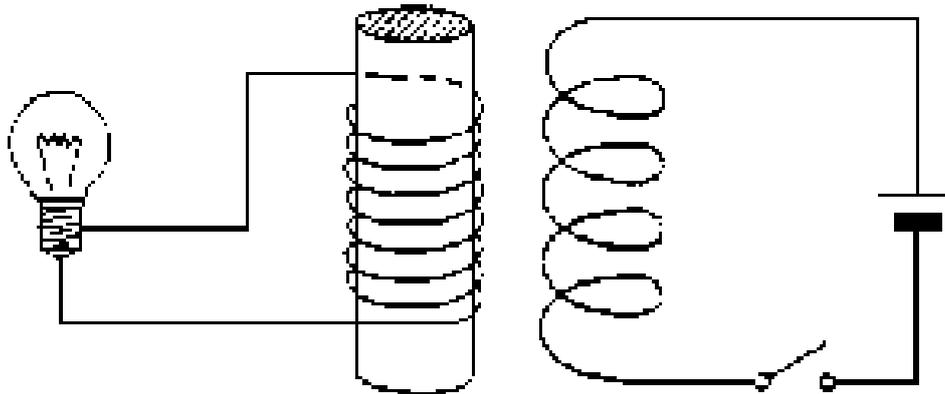
Por esta experiência verificamos:

- Se o ímã se mantém imóvel, não há corrente induzida
- Se o ímã aproxima do solenóide, aparece corrente com um sentido e cessa quando paramos o ímã
- Se o ímã se afasta do solenóide, a corrente muda de sentido e cessa quando paramos o ímã
- Quanto mais rapidamente o ímã for movimentado, mais intensa é a corrente induzida

Continuando:

Passo 5 - O ímã natural é substituído por um solenóide ligado a uma fonte com um interruptor aberto.

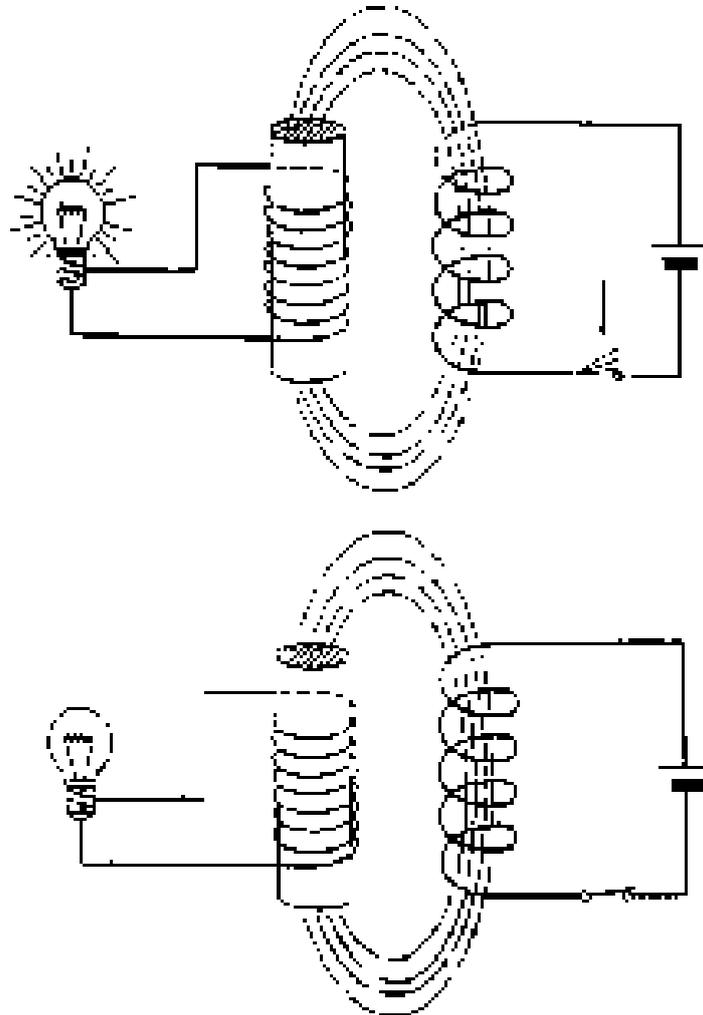
Resultado 5 - A lâmpada permanece apagada.



Conclusão - O interruptor estando aberto não circula corrente pelo solenóide, portanto não são produzidas linhas de força e evidentemente a lâmpada fica apagada

Passo 6 - O interruptor é fechado.

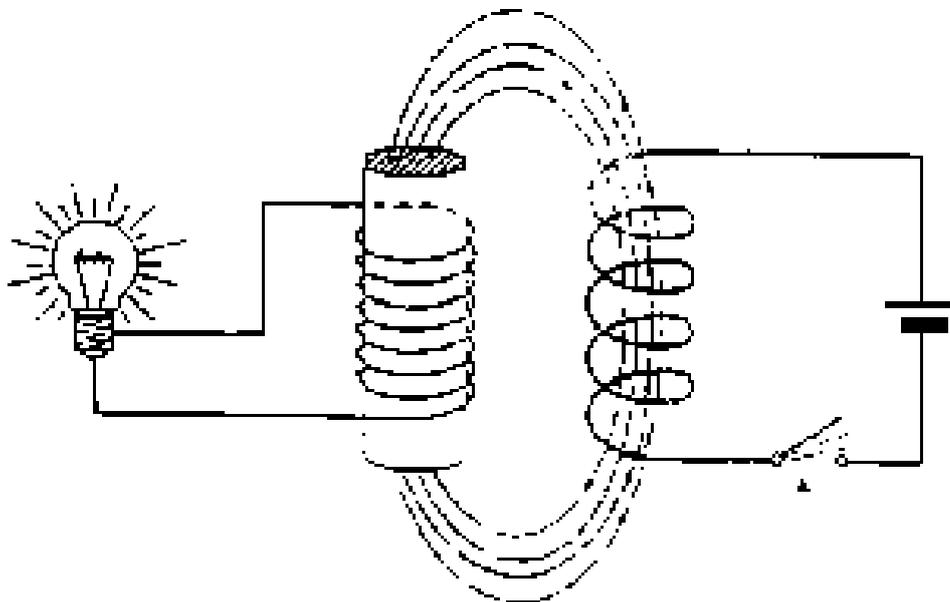
Resultado 6 - A lâmpada acende-se por um momento e depois se apaga novamente.



Conclusão - Ao fechar o interruptor, o solenóide gera as linhas de força, e como pelo imã natural serão capturadas pelo material que constitui o núcleo do eletroímã. A lâmpada se acende porque existe inicialmente uma variação das linhas de força capturada. Em seguida se apaga porque não existe esta mesma variação, o solenóide permanece fixo e a mesma distância do eletroímã.

Passo 7 - O interruptor é novamente aberto.

Resultado 7 - A lâmpada torna-se a acender por alguns instantes.



Conclusão - A lâmpada acende-se somente em condições especiais, isto é: no instante de fechamento e de abertura do interruptor. Porque fechando o interruptor as linhas de força vão de 0 (zero) até um máximo e abrindo o mesmo de um máximo até 0 (zero). Neste movimento existe uma variação das linhas de força, variação esta que provoca uma circulação da corrente no eletroímã.

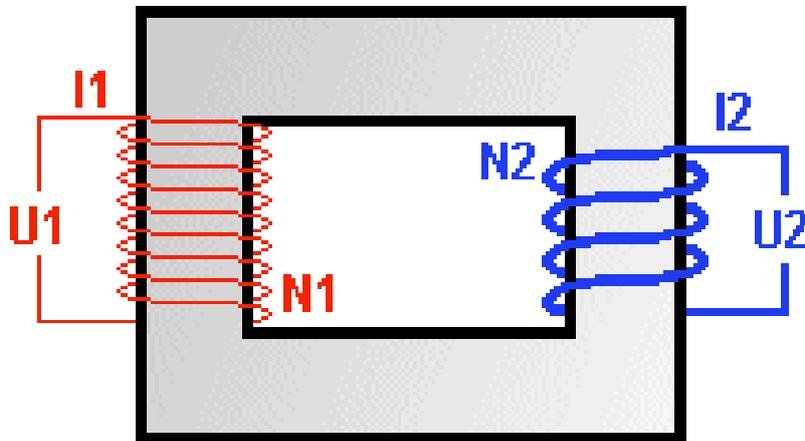
8.4 - APLICAÇÕES

8.4.1 - TRANSFORMADORES

Uma aplicação prática do fenômeno da indução eletromagnética é nos dispositivos denominados transformadores elétricos.

O transformador permite modificar uma diferença de potencial (ddp), aumentando ou diminuindo conforme a conveniência.

Nos casos simples os transformadores constam de duas bobinas, o primário e secundário, independentes e envolvendo um mesmo núcleo de ferro laminado



U_1 = tensão alternada gerada pela fonte (gerador) e recebida pelo consumidor que deseja transformá-la

U_2 = tensão alternada obtida e que será utilizada pelo consumidor.

A corrente alternada que alimenta o primário produz no núcleo do transformador um fluxo magnético alternado. Grande parte deste fluxo (há pequena perda) atravessa o enrolamento secundário, induzindo aí a tensão alternada U_2 .

Chamado de N_1 e N_2 o número de espiras dos enrolamentos primário e secundário e admitindo que não há perdas, vale a seguinte relação chamada razão de transformação:

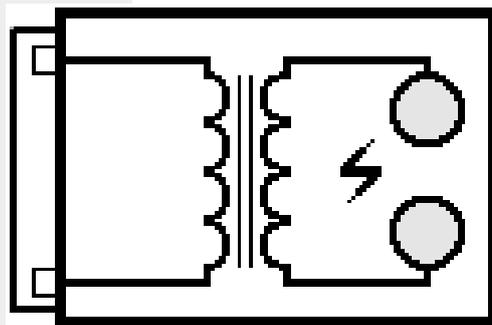
$$U_1/U_2 = N_1/N_2 = I_2/I_1$$

No caso da corrente ser contínua, como ocorre nos veículos, a indução no secundário somente ocorre quando houver o

chaveamento no primário, entretanto permanece a razão entre as espiras como sendo o fator multiplicador da tensão de alimentação para o cálculo da tensão na saída do secundário.

Nos veículos temos a “Bobina de Ignição” que gera alta tensão para as faíscas nas velas para o início da detonação.

Sua simbologia elétrica é:



8.4.2 - BOBINAS

As bobinas são geralmente classificadas com base num conjunto relativamente amplo de parâmetros: o valor nominal; a tolerância do valor nominal; o tipo de material constituinte do núcleo; a resistência elétrica do enrolamento (R); a corrente máxima; o fator de qualidade; a frequência de ressonância própria; etc...

Em relação ao material do núcleo, as bobinas podem ser de quatro tipos essencialmente distintos: com núcleo de ar; com núcleo de ferro; com núcleo de pó de metal; e com núcleo de ferrite.

As bobinas com núcleo de ar consistem basicamente no enrolamento de um fio condutor num suporte de material não magnético, como o plástico ou a fibra de vidro. O material e a espessura do fio condutor diferem para o tipo de aplicação da bobina.

Em baixas frequências utiliza-se fio de cobre isolado por um verniz, mas em aplicações de alta frequência é comum utilizar-se técnicas especiais de enrolamento dos fios condutores.

A dimensão das bobinas com núcleo de ar podem variar desde uma fração até a algumas centenas de espiras, em geral enroladas em camadas sobrepostas. É também usual impregnar as bobinas com um material isolador resistente aos agentes químicos presentes no ar, como a umidade, garantindo-lhes, também, uma maior resistência mecânica.

O objetivo da utilização de um núcleo magnético numa bobina é o aumento do respectivo coeficiente de auto-indução. O coeficiente de auto-indução de uma bobina é função crescente do número de espiras e da permeabilidade magnética do meio em que são induzidas as linhas de fluxo, podendo esta última ser largamente amplificada, com recurso a materiais como o ferro, o ferro-silício, o ferro-níquel e as ferrites de níquel, cobalto, magnésio e magnésio.

É comum agrupar os núcleos magnéticos em três classes:

- Ferro maciço (raros) ou laminado;
- Pó metálico ou
- Ferrite.

A minimização das correntes de Foucault orienta a escolha entre as diversas alternativas. A variação contínua da magnetização do núcleo induz no mesmo um fluxo de correntes elétricas parasitas, sobretudo em altas frequências, às quais se encontra associado o fenômeno da dissipação de calor por efeito de Joule.

A redução destas correntes passou inicialmente pela aplicação de núcleos de chapa laminada, por estarem isoladas umas das outras interrompem e reduzem a dimensão dos caminhos percorridos pelas correntes. Além das chapas laminadas é utilizado um núcleo de pó metálico de dimensões micrométricas, aglutinado e comprimido com um material sintético isolador. Uma terceira opção seria as ferrites, sendo constituídas basicamente de cristais mistos que apresentam, simultaneamente, elevadas permeabilidade magnética relativa e resistividade elétrica. As mais comuns são as ferrites de níquel, de cobalto e de magnésio.

Sua simbologia elétrica é:



A seguir algumas das principais aplicações das bobinas:

- eletroválvulas;
- motores (rotativo, de passo, de corrente contínua);
- geradores elétricos;
- relês;
- embreagens eletromagnéticas;
- etc ...

Estes elementos são também conhecidos como atuadores em

um sistema de automação. Todos os tipos de atuadores utilizam os princípios básicos de eletromagnetismo e indução eletromagnética, possuindo como elemento principal a bobina eletromagnética.

Como os atuadores são internamente constituídos de condutores e apresentam uma certa resistência elétrica (**r**) denominada de resistência interna do motor. Indicando por (**I**) a intensidade da corrente elétrica que atravessa o atuador, então a diferença de potencial (d.d.p.) na resistência interna do mesmo será (**r.I**).

Quando se aplica uma d.d.p. igual a (**U**) em um atuador, esta se divide em duas partes:

- **r.I**, que corresponde à queda de tensão na resistência interna do atuador;
- **E**, tensão útil do atuador, denominada de força contra eletromotriz

Desta forma podemos escrever:

$$U = E + r.I$$

Esta equação constitui a equação característica dos atuadores

8.4.2.1 - ELETROVÁLVULAS

As eletroválvulas baseiam-se nos conceitos da indução eletromagnética e o campo magnético capaz de atrair um magneto para o núcleo de um solenóide depende da corrente elétrica que percorre as espiras da bobina.

No caso, o magneto, vai interagir com uma válvula (daí o nome eletroválvula), controlando a passagem de um fluido (gás ou líquido) por uma tubulação.

Conforme a posição de repouso, ou seja sem a ação elétrica, as eletroválvulas podem ser:

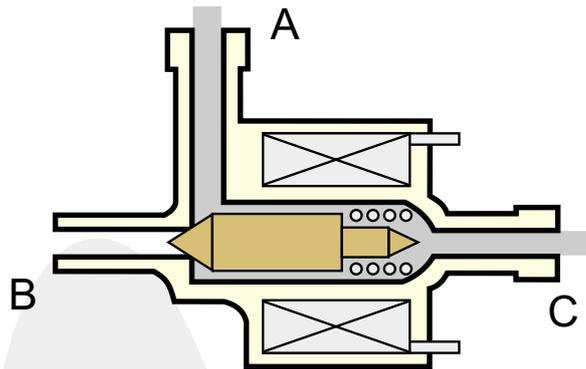
- NA - Normalmente Aberta
- NF - Normalmente Fechada

Nos parágrafos seguintes, todos os exemplos explicativos tratam de eletroválvula NF (Normalmente Fechada). Esta válvula estará fechada se não houver passagem de corrente elétrica pelo solenóide e aberta se houver passagem de corrente elétrica pelo solenóide. Para conhecer o funcionamento de uma eletroválvula NA (Normalmente Aberta) basta inverter as posições. As eletroválvulas podem ainda ser:

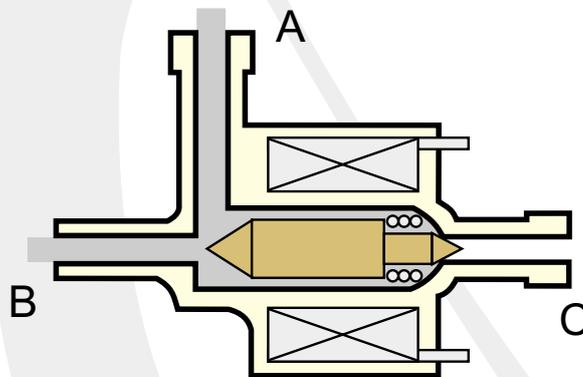
- de duas vias
- de três vias

Eletroválvulas de duas vias, possuem uma entrada e uma saída. As válvulas (NF) abrem e fecham conforme sejam energizadas ou não. A eletroválvula de três vias (via A, B e C) possui uma via fixa (via A) e duas vias variáveis (vias B e C), assim, se o solenóide está energizado ficam conectados as vias A e B, e se o solenóide está desenergizado ficam conectados as vias A e C como mostra a figura.

A) Eletroválvula desenergizada - via A conectada à via C



B) Eletroválvula energizada - via A conectada à via B



Utilizações mais comuns para as eletroválvulas dos sistemas automotivos:

- Comando de injeção de combustível ou bico injetor
- Comando do sistema evaporativo do tanque ou purga do canister
- Comando de acionamento da válvula EGR
- Comando da marcha lenta ou corretor da marcha lenta;
- Comando das válvulas hidráulicas do sistema de ABS
- Comando de água quente para opção de aquecimento
- Comando de recirculação de ar
- etc ...

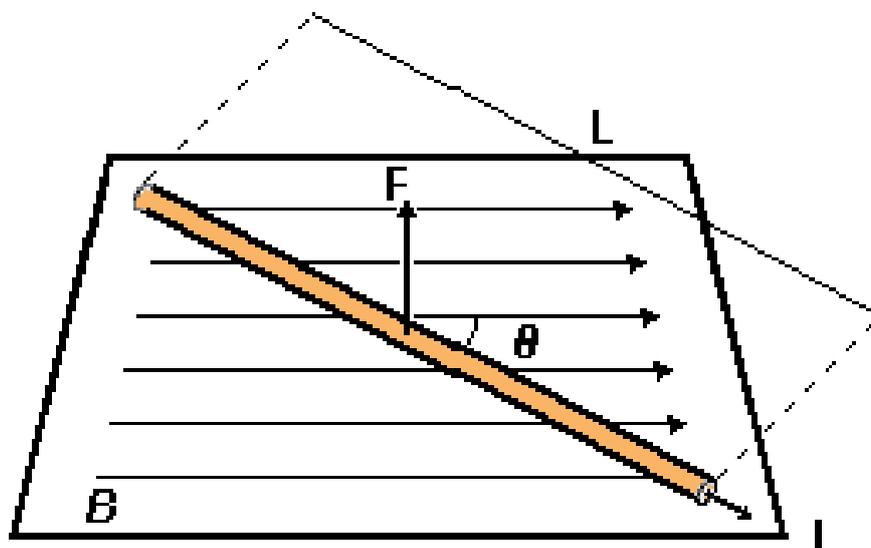
Simbologia elétrica de uma eletroválvula:



8.4.2.2 - MOTORES

O motor elétrico transforma energia elétrica em energia mecânica, devidos aos fundamentos do eletromagnetismo. Comentamos anteriormente que experimentalmente se observa o desvio de trajetória de uma carga elétrica em um campo magnético, sendo denominada de *Força Magnética de Lorentz*.

Esta força aparece sempre que um condutor é exposto a um campo magnético e percorrido por uma determinada corrente elétrica. Possui direção perpendicular ao campo magnético (**B**) e ao condutor. Também possui sentido, conforme indicado na figura a seguir.



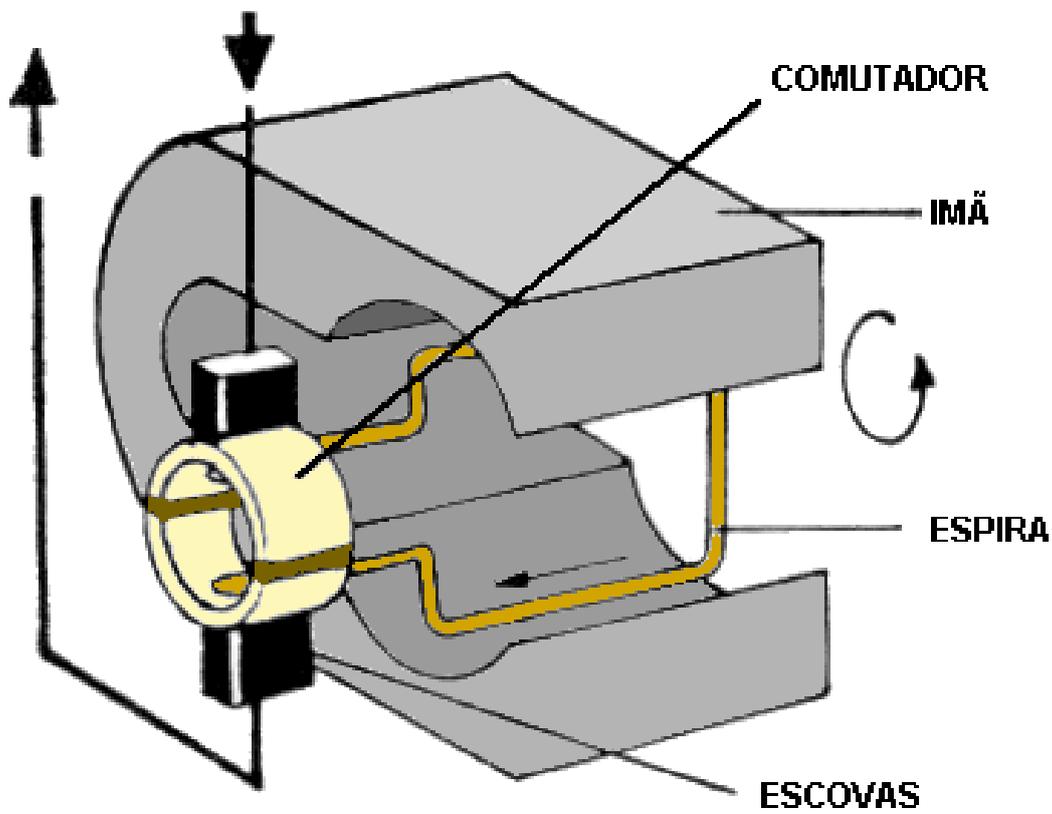
Pode ser calculada por meio da equação:

$$F_{\text{mag}} = B \cdot I \cdot L \cdot \text{sen } \theta$$

Observe que a força será máxima quando o condutor for perpendicular ao campo magnético (se $\theta = 90^\circ$, então, $\text{sen } \theta = 1$) e nulo quando o condutor estiver paralelo ao campo (se $\theta = 0^\circ$, então, $\text{sen } \theta = 0$).

Como aplicação desta observação, temos os motores elétricos. Estes possuem no eixo do rotor (induzido) dois enrolamentos de bobina e no estator dois pólos de imã permanente, o chaveamento das bobinas é feito através de escovas que alimentam eletricamente as bobinas alternadamente,

provocando uma inversão de pólos magnéticos a cada chaveamento e conseqüente giro do rotor no sentido do pólo fixo do imã. Veja a seguir o esquema de um motor elétrico de uma espira



A inversão do sentido de rotação é conseguido através da inversão da polaridade elétrica nos terminais das escovas.

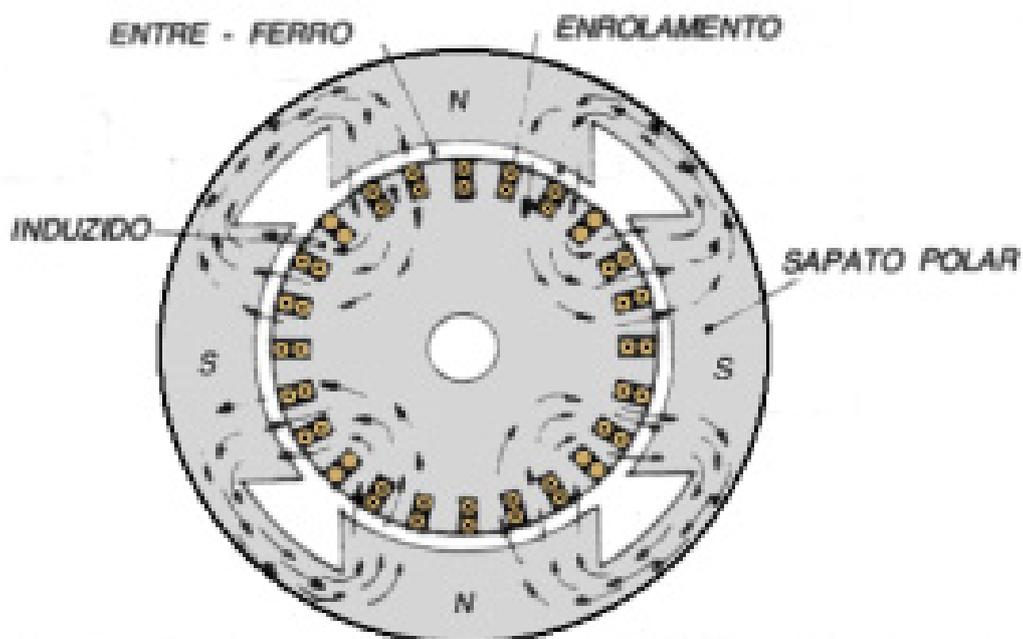


Figura – Eletromotor de 4 polos e 12 pares de espiras

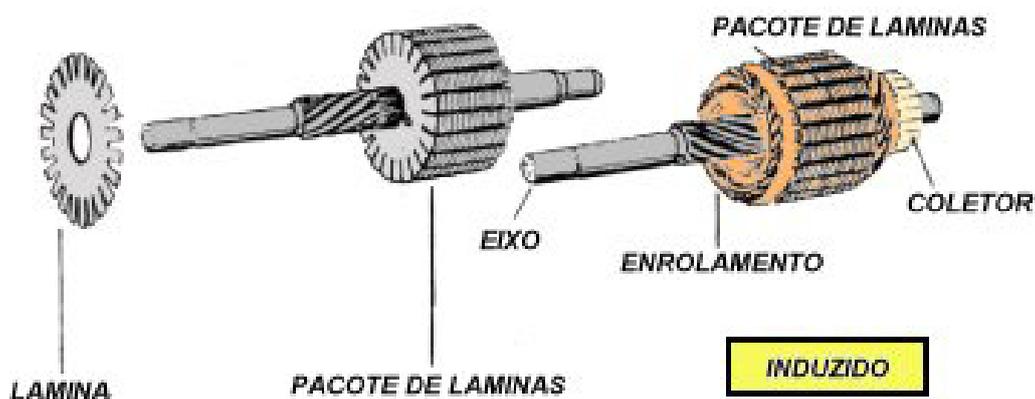


Figura – Induzido (eixo, lâminas, coletor e espiras)

Simbologia elétrica de um motor:



Exemplo: **Motor de partida**

Ao girar a chave de ignição inicia-se o movimento de rotação do motor de partida segundo o princípio descrito anteriormente, cujo chaveamento de bobinas feito através de escovas provoca o giro do rotor.

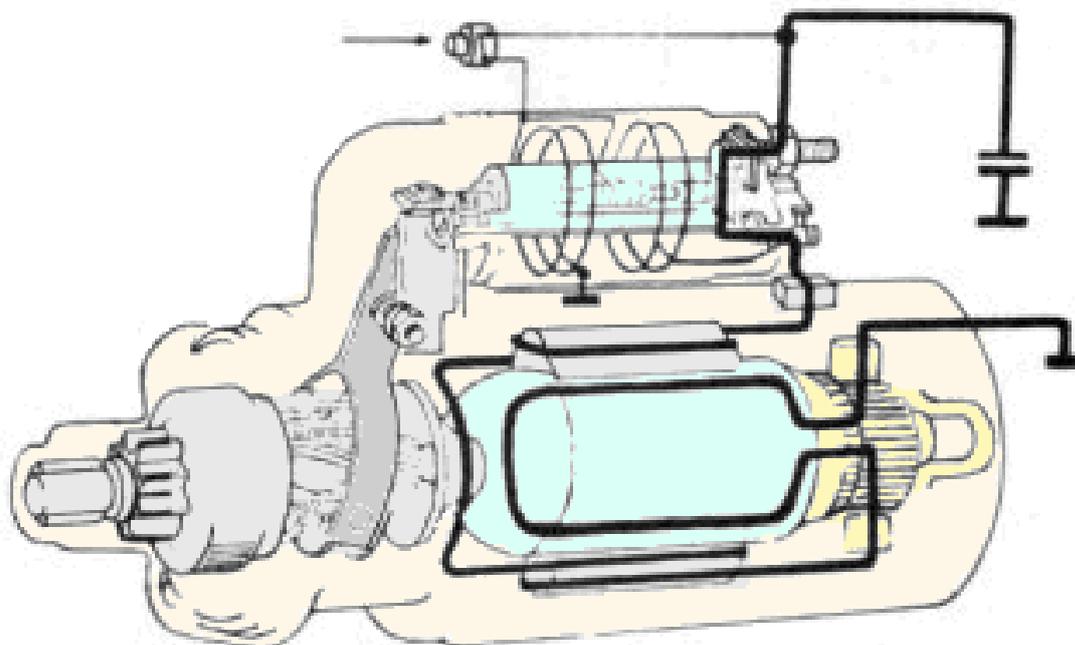


Fig. Motor de Partida

No eixo do motor de partida, tem uma pequena roda dentada (pinhão) que conecta-se com a cremalheira do volante devido a ação de uma bobina solenóide. Esta ao ser energizada, movimenta o núcleo de ferro e o pinhão até a cremalheira. A bobina é energizada ao mesmo tempo em que o rotor do motor de partida inicia o seu movimento.

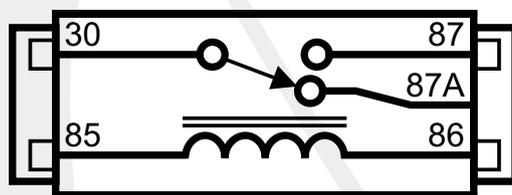
Ao soltar a chave de ignição, o motor de partida cessa o seu movimento de rotação e a bobina solenóide é desenergizada. O núcleo de ferro retorna a sua posição original devido a ação de uma mola e o pinhão é desconectado da cremalheira.



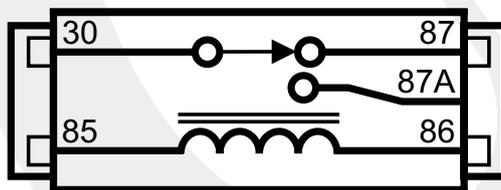
8.4.2.3 - RELÊS

Os relês são interruptores que se baseiam nos princípios eletromagnéticos. Compõem-se basicamente de um indutor e uma chave. A corrente elétrica quando percorre os enrolamentos do indutor, gera um campo magnético suficiente para atrair um núcleo e fechar ou abrir um contato elétrico e uma mola faz o acionamento inverso. Assim, um relê com chave normalmente aberta (NA), somente estará fechada quando existir corrente elétrica nos enrolamentos do indutor (bobina). É possível então utilizar uma pequena corrente no indutor ou bobina do relê para comandar um outro circuito ou uma corrente muito maior.

Sua simbologia elétrica é:



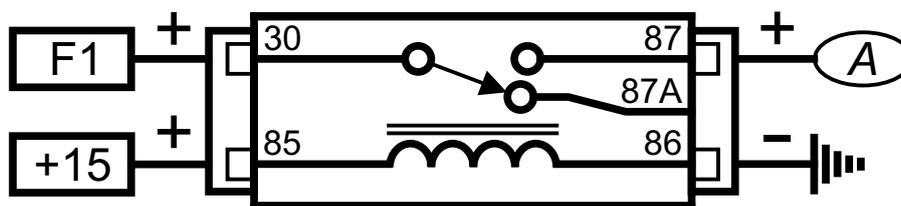
Um relê NF (normalmente fechado) tem sua simbologia representada abaixo:



Para o primeiro relê, os contatos abertos se fecharão ao energizar a bobina. De forma semelhante, para o segundo relê os contatos fechados se abrirão com a bobina energizada.

8.4.2.3.1 - EXEMPLO

Uma ligação elétrica de um Relê NA é simbolizada como a seguir:

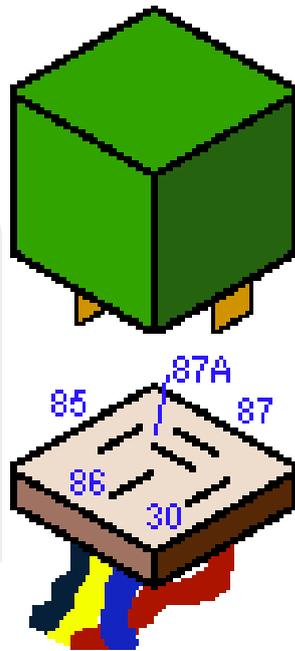


- F1 = Tensão proveniente do fusível “F1”
- +15 = Positivo de bateria após chave de ignição;
- A = Ligação com o circuito de endereçamento “A”.

Assim que ligarmos a chave de ignição, haverá tensão de 12 volts proveniente da bateria no pino **85** do relê. Como o pino **86**, está ligado à massa (zero volts), então passará uma corrente elétrica pela bobina do relê.

Ao energizar a bobina, o campo magnético gerado fará com que a chave do relê se feche e desta forma, tensão proveniente do fusível F1 será direcionada para o acionamento do circuito com endereço “A”.

O relê poderia estar ligado como na figura a seguir:



Observação: Se utilizássemos um voltímetro, com as respectivas pontas de prova, uma no pólo negativo da bateria e outra encaixe do pino **85**, iríamos verificar tensão de 12 volts quando girássemos a chave de ignição.

8.4.2.4 - EMBREAGENS ELETROMAGNÉTICAS

Baseia-se nos conceitos da indução eletromagnética. O campo magnético capaz de atrair um magneto para o núcleo de um solenóide depende da corrente elétrica que percorre as espiras da bobina.

No caso, o magneto, interage com uma embreagem, acoplando ou desacoplando.

Sistemas de ar condicionado para veículos, utilizam este tipo de embreagem para acoplar a polia acionada pelo motor através de correias com o eixo do compressor. Desta forma inicia o trabalho de compressão do gás refrigerante e o funcionamento do sistema.

Simbologia elétrica de uma embreagem eletromagnética:



8.4.2.5 - ALTERNADOR

O alternador é acionado pelo motor de combustão e sua finalidade é fornecer (estando o motor em funcionamento) energia elétrica a todos os consumidores a ele conectados e carregar a bateria. Portanto, o alternador idealmente fornecerá 100% da eletricidade necessária para operar o veículo e recarregar a bateria.

Normalmente, quando a baixa rotação do motor, uso anormal de acessórios ou outras condições temporárias fazem com que o alternador não possa manter a demanda elétrica requerida. Estando ligada em paralelo ao alternador, a bateria fornecerá a energia complementar, para conjuntamente suprir as necessidades do veículo.

Ao retornar as condições normais, a bateria é recarregada e o alternador fornece carga necessária para a operação do veículo. O princípio básico de funcionamento do alternador é baseado no princípio da indução eletromagnética.

Vimos neste capítulo, tópico (**8.3**) que ao aproximar ou afastar um campo magnético de uma espira surge uma tensão.

No alternador, o condutor elétrico, representado pelo enrolamento do estator é estacionário (não se movimenta) e o campo magnético efetua um movimento de rotação, sendo chamado de rotor. Como os pólos do campo magnético modificam constantemente sua posição (movimento) em função da rotação, forma-se no condutor uma tensão com valores que se alternam ou uma tensão alternada.

A tensão sendo alternada, esta atinge um valor máximo e mínimo durante uma rotação e segue uma curva senoidal. A tensão induzida é maior quanto mais forte for o campo magnético e quanto mais alta for a velocidade que as linhas de campo “cortem” as espiras do enrolamento. A fim de aumentar o efeito de indução, os alternadores não são construídos com apenas um condutor ou bobina mas com três bobinas no estator.



Fig. *Variação da tensão (alternada) em função do tempo*
Curva senoidal

Em cada uma delas forma-se uma tensão alternada que recebe o nome de fase (U, V, W). As bobinas acham-se dispostas de maneira tal, que cada fase se acha a 120° da outra. Essa corrente alternada de três fases chama-se de corrente trifásica. A corrente trifásica resulta num aproveitamento melhor do gerador do que a corrente alternada de uma única fase.

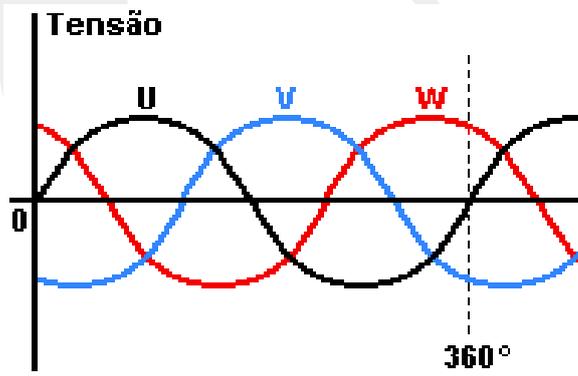
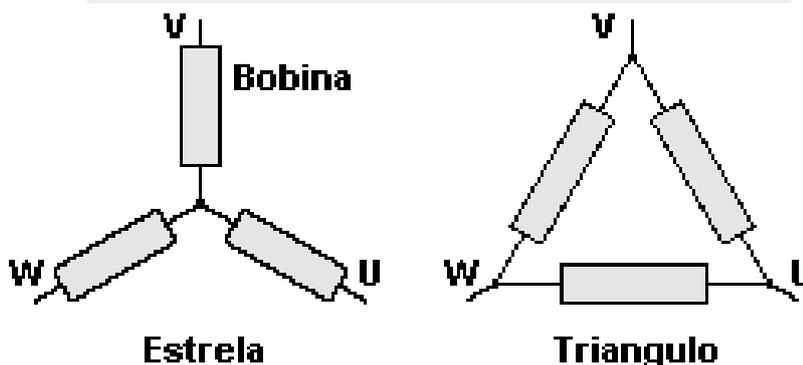


Fig. *Tensão alternada de três fases em função do tempo*

As três fases acham-se encadeadas entre si por meio de conexão “estrela” ou “triângulo” (ver figura).



As duas conexões distinguem-se em corrente de máquina e tensão de máquina. Se U_m for a tensão de máquina, I a corrente de máquina, U_f a tensão de fase e I_f a corrente de fase então:

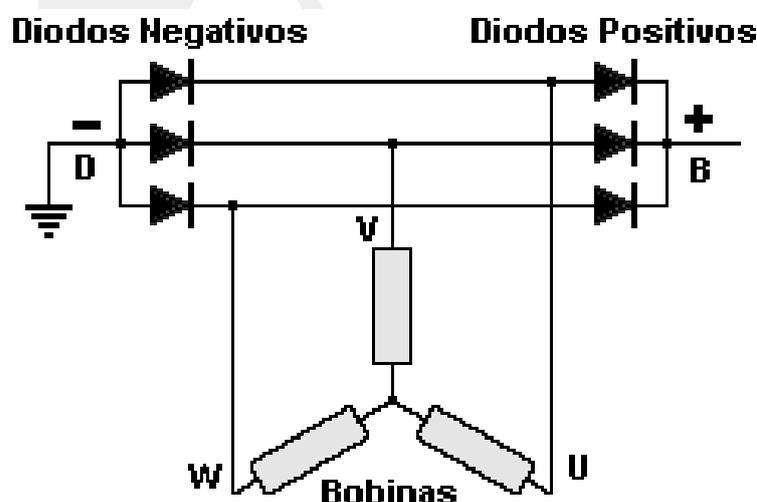
Para a conexão estrela:

$$I = I_f \quad U_m = U_f \cdot \sqrt{3}$$

Para a conexão triângulo:

$$U_m = U_f \quad I = I_f \cdot \sqrt{3}$$

Como a corrente gerada pelo alternador é trifásica, para a utilização no veículo, necessita ser retificada. Utiliza-se diodos, montados conforme a configuração a seguir



A seguir, acha-se representado o resultado da retificação por completo. As ondas senoidais que representam as fases U, V e W são transformadas em uma tensão contínua levemente ondulada. Note que a parte negativa das ondas foram polarizadas positivamente, sendo retificada apenas uma pequena parte próximo ao valor máximo de tensão.

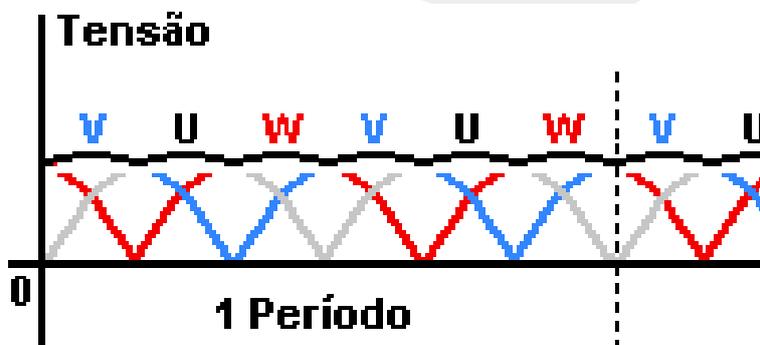


Fig. Retificação de um período completo

O grau de ondulação depende da quantidade de semiciclos, por sua vez, depende da frequência de troca de polaridade do campo magnético. Em certos alternadores, as inversões de polaridade ocorrem com frequência bem maior. Com isso, consegue-se uma retificação mais perfeita. Para aumentar as trocas de polaridade por rotação, empregam-se vários tipos de rotores.

A conexão para retificação de onda completa é usada não somente para retificação da corrente de carga do alternador, mas também para a corrente de excitação, que deve magnetizar os pólos do campo de excitação.

No alternador há três circuitos de corrente:

- Corrente de carga
- Corrente de excitação
- Corrente de pré-excitação

Corrente de Carga No borne “D-” do alternador obtém-se a corrente para carregar a bateria e alimentar os consumidores elétricos do veículo. O percurso da corrente de carga e de consumo é visto na figura a seguir. Se por exemplo for considerado o ângulo de 120° para **U**, verifica-se neste instante que a tensão **U** é positiva, **W** negativa e **V** é nula. A corrente flui da bobina **U**, bobina **W**, borne **B+**.

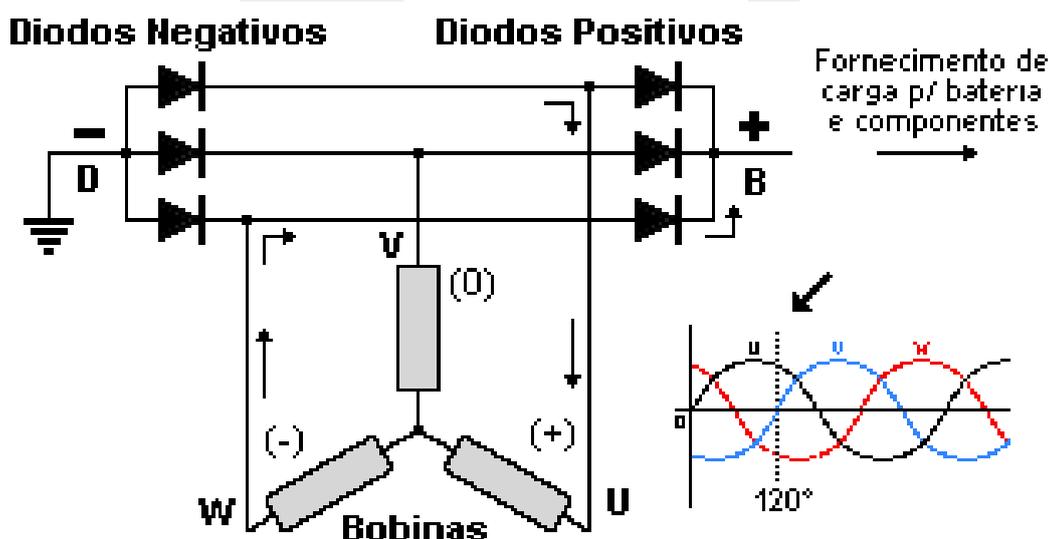


Fig. Percurso da Corrente de Carga

Corrente de Excitação A corrente de excitação é necessária para a produção do campo magnético, já que não há Imã no alternador, este campo deve ser gerado para ocorrer o efeito da indução eletromagnética. A corrente é desviada do enrolamento do estator e retificada por três diodos especiais de excitação e os três diodos negativos. Veja a seguir o percurso da corrente de excitação

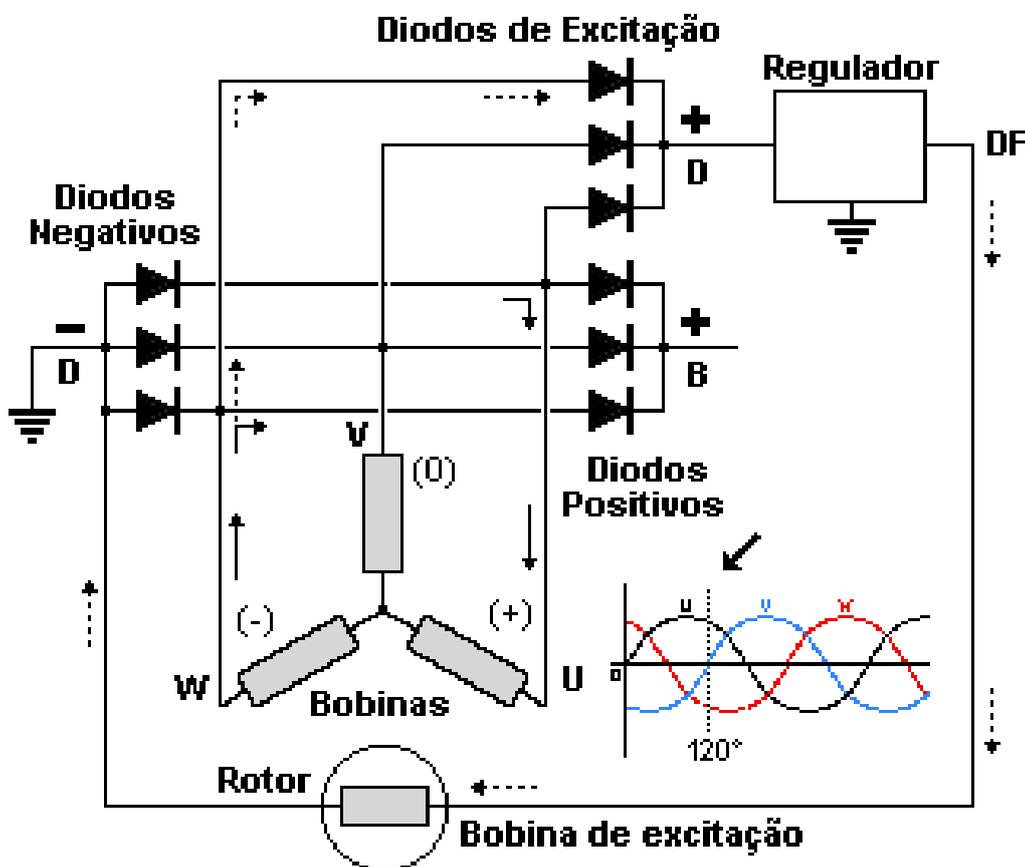


Fig. Percurso da Corrente de Excitação

Corrente de Pré-Excitação A maioria dos alternadores são auto excitantes, Isto significa que a corrente de excitação para a geração do campo magnético é obtida na própria máquina. Como é então possível a excitação e a formação do campo magnético quando ainda não há passagem de corrente de excitação?

Ao desligar a corrente de um eletroímã, o respectivo campo magnético não desaparece instantaneamente, existindo no núcleo de ferro um campo remanescente. Quando o alternador for acionado pelo motor do veículo, o magnetismo remanescente no núcleo de ferro provoca a formação de uma pequena tensão no enrolamento do alternador. Essa tensão por sua vez, provoca a passagem de uma pequena corrente elétrica

no circuito de excitação. Em virtude de um campo de excitação mais forte, resulta em uma tensão maior, e etc, chegando-se a tensão desejada em função da rotação do motor.

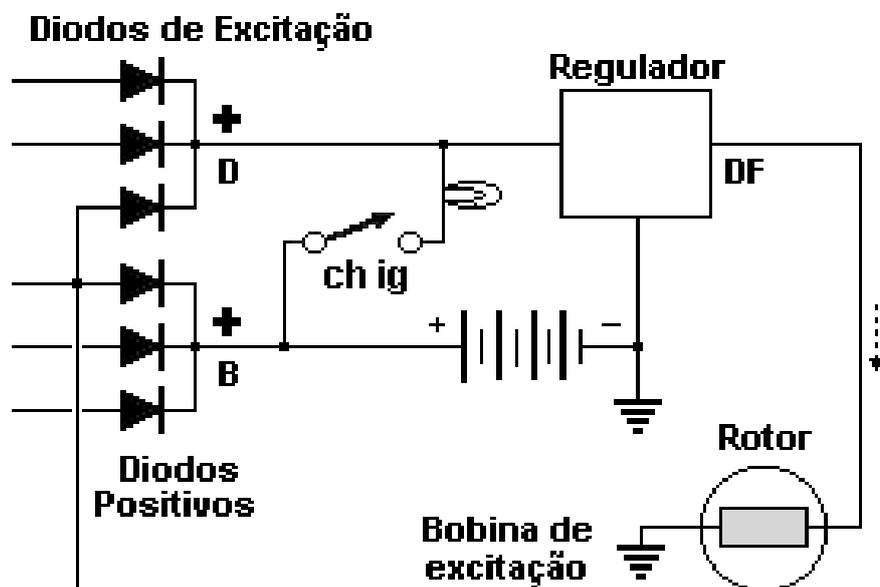


Fig. *Percurso da Corrente de Pré-Excitação*

Regulador de Tensão A tensão gerada pelo alternador tem que ser mantida no valor exigido pelos diversos consumidores elétricos e a bateria deve receber carga suficiente, mas não em excesso. As variações de rotação do motor entre os regimes de marcha lenta e o de plena potência do motor também alteram a geração de carga pelo alternador. Assim tornam-se necessárias medidas especiais para uma regulação automática da tensão gerada.

A tensão produzida no alternador é relativamente igual ao produto da rotação e da corrente de excitação. O princípio da regulação da tensão, consiste em comandar a corrente de excitação (em consequência o campo magnético de excitação) de forma que a tensão produzida no alternador seja constante até a corrente máxima, com rotação e cargas variáveis. Enquanto a tensão produzida pelo alternador permanecer abaixo da tensão de regulação, o respectivo regulador não atua.

Quando a tensão ultrapassar o valor máximo indicado, o regulador de tensão causará, segundo o regime de funcionamento, uma redução ou interrupção total da corrente de excitação. A excitação do alternador diminuirá e com isso,

também a tensão produzida pelo alternador. Se em seguida, a tensão produzida ficar abaixo do valor prescrito, a excitação começa novamente a subir, e também a sua tensão. Se a tensão voltar a ultrapassar o valor prescrito, reinicia o processo.

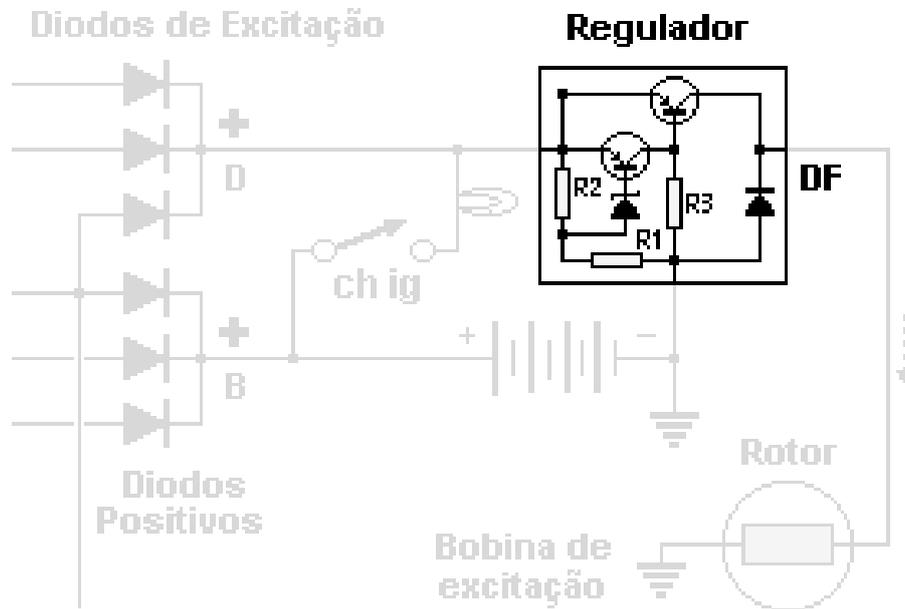


Fig. *Regulador de tensão*

CAPÍTULO 9

vendas@cicloengenharia.com.br



9 - OSCILOSCÓPIOS

O osciloscópio é o instrumento de medida que permite visualizar a amplitude de uma tensão elétrica, corrente, potência, etc... em variação com o tempo. O osciloscópio é um dos instrumentos de maior utilidade para o diagnóstico e projeto de sistemas, e também o de maior complexidade.

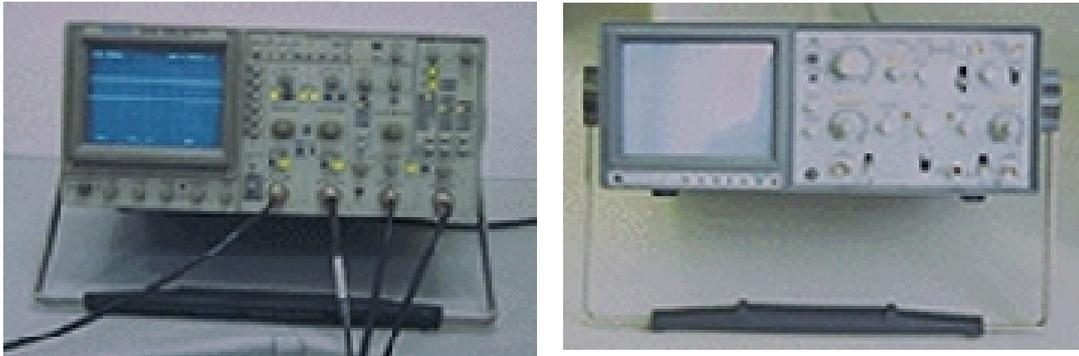


Figura - Tipos de osciloscópios

Os osciloscópios atualmente existentes no mercado dispõem de diversos canais de leitura simultâneos, em geral dois ou quatro e podem ser do tipo analógico ou digital. Os osciloscópios digitais possuem maior funcionalidade, permitindo somar e subtrair sinais entre os canais, calcular valores médios, máximos e mínimos, determinar períodos e frequências de oscilação, suspender, memorizar e recuperar sinais, imprimir ou transferir para o microcomputador o conteúdo do visor, etc...

Os osciloscópios são dotados de uma ponta de prova por canal, os dois terminais devem ser ligados em paralelo com o elemento cuja tensão se pretende medir. Na figura acima ilustram-se alguns osciloscópios.

Descreveremos a seguir, de uma forma genérica, o funcionamento e as funções de um osciloscópio para que o leitor possa se familiarizar, com o equipamento e suas funções. Contudo é recomendado que se faça uma leitura no manual do equipamento em que se irá trabalhar, para um melhor aproveitamento e segurança no manuseio e uso. Equipamentos modernos, inclusive os específicos para uso em diagnóstico automotivo, possuem funções predefinidas para a realização de medidas, tais como menu de seleção dos componentes, apresentação automática de resultados, etc...

9.1 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Osciloscópios digitais possuem funcionamento semelhante aos osciloscópios analógicos, contudo não possuem um monitor de raios catódicos e sim uma tela de cristal líquido. São equipamentos mais precisos, normalmente mais fáceis de operar, possuem mais funções e são mais compactos. Para um melhor entendimento, descreveremos a seguir o funcionamento de um osciloscópio analógico, detalhando as funções de cada um de seus seletores (botões). Quando adequado, será feita referência ao equipamento digital, seja em uma função específica, uma nova função ou outra qualquer que será descrita.

O funcionamento do osciloscópio analógico baseia-se no deslocamento de um feixe de elétrons que bombardeia uma superfície fosforescente, a qual, sensibilizada, emite luz visível. O feixe de elétrons pode ser defletido em um sistema de eixos similar ao sistema de coordenadas cartesianas **X** e **Y**. Construções gráficas são então, exibidas em um plano bidimensional.

O eixo **X** corresponde ao deslocamento do feixe de elétrons em relação ao tempo. O eixo vertical **Y** é defletido em resposta a um sinal de entrada, como uma tensão por exemplo. O resultado é a variação da tensão de entrada dependente do tempo, o que é muito importante para a análise do sinal. Em outras palavras, com o osciloscópio visualizaremos o comportamento da tensão entre os valores máximo e mínimo (**Y**) num determinado período de tempo (**X**). Os osciloscópios são capazes de mostrar sinais com períodos da ordem de microssegundos.

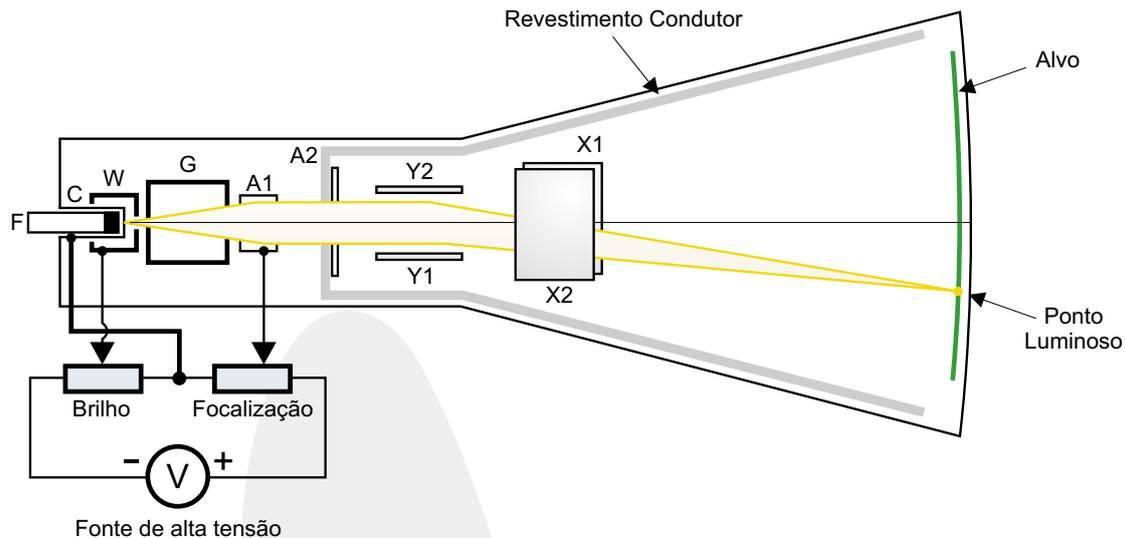


Figura - Tubo de raios catódicos.

Observe o feixe de elétrons sendo defletido (para baixo) em resposta ao sinal de entrada num dado instante

Quando um feixe de elétrons atinge a tela de um tubo de raios catódicos, um ponto luminoso é produzido. O material da superfície interior da tela do tubo de raios catódicos que produz o efeito acima é o fósforo.

Este elemento absorve a energia cinética dos elétrons de bombardeio, e emite energia luminosa a uma frequência mais baixa no espectro visível. Alguns materiais cristalinos, como o fósforo e óxido de zinco, emitem luz quando excitados por radiação, e esta propriedade é conhecida como fluorescência.

A eficiência da luminosidade do alvo depende essencialmente de três fatores:

- da concentração do fluorescente do alvo;
- da energia cinética e
- da intensidade do feixe eletrônico.

A concentração é estabelecida pelo fabricante do aparelho. A energia do feixe de elétrons depende da geometria e potenciais do canhão eletrônico e do dispositivo de pós-aceleração. A intensidade do feixe pode ser ajustada através do comando de brilho que permite controlar o número de elétrons emitidos pelo cátodo através dos ajustes de INTENSIDADE, FOCO E

ASTIGMATISMO.

Materiais fluorescentes tem outra característica chamada fosforescência que é a propriedade de continuarem a emitir luz, mesmo depois de ter-se extinguido a excitação (neste caso, o bombardeio de um feixe eletrônico). Em geral, a persistência é medida pelo tempo de decaimento da intensidade luminosa no tubo de raios catódicos

A persistência da fluorescência do alvo é muito pequena de modo a ser possível observar sinais muito rápidos. Porém, a visualização dos traços na tela é conseguida através de passagens sucessivas do feixe eletrônico pelos mesmos pontos, cujo sincronismo é controlado pelo circuito da base de tempo, da mesma forma que o tempo de excitação pelo ajuste no controle de TEMPO / DIVISÃO.

Para as calibrações vertical e horizontal, é colocado na tela do osciloscópio um quadriculado. As linhas verticais e horizontais que formam um quadriculado devem situar-se o mais próximo possível da camada de fósforo para evitar erros de paralaxe. Osciloscópios antigos apresentavam até 1 cm de distancia entre o fósforo e as linhas, causando erros de leitura. O erro de paralaxe é praticamente eliminado pela colocação das linhas na superfície interior do vidro da tela do osciloscópio. Desta forma, a distância entre o quadriculado e a camada de fósforo é praticamente zero.

9.2 - ENTRADA DE SINAIS

ENTRADA: Os sinais são aplicados ao osciloscópio através das entradas Y e TRIGGER EXT que apresentam uma resistência interna de entrada de $1,0\text{ M}\Omega$. Normalmente, os osciloscópios dispõem de duas entradas, mas também se encontram aparelhos com quatro entradas.

Em cada entrada Y encontra-se o seletor do tipo de acoplamento ao módulo de amplificação para a seleção da escala do monitor.

- DC (acoplamento contínuo) - O sinal na entrada é aplicado diretamente ao circuito de amplificação.
- AC (acoplamento filtrado) - Só a componente variável no tempo do sinal é aplicada ao amplificador, a componente contínua é filtrada pelo condensador C.
- GD - O sinal presente na entrada é curto circuitado com a massa. Esta posição do comutador é usada sempre que se pretende ajustar o nível de tensão zero, também designado por linha de base.

MODO DE ENTRADA: Este comutador permite selecionar o modo de amostragem dos vários canais de entrada do osciloscópio:

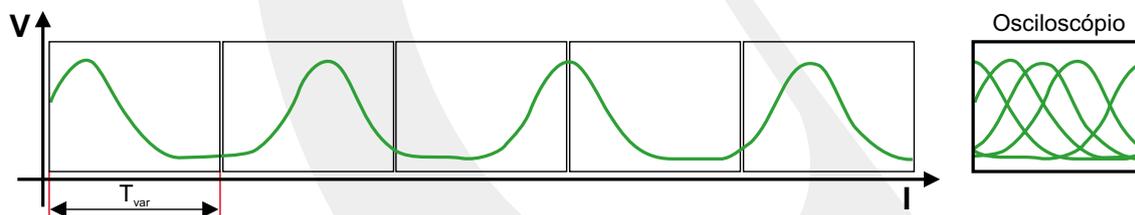
- CH1 - mostra apenas o canal 1
- CH2 - mostra apenas o canal 2
- ALT - mostra alternadamente varrimentos completos de cada um dos canais. Para que a alternância não seja perceptível o varrimento deve apresentar um período inferior a $1/n$ da persistência da retina do olho humano, onde n é o número de canais amostrados. Para dois canais, por exemplo, um período de 50 Hz é suficiente.

CHOP - a mostragem dos dois canais é efetuada num único varrimento completo do feixe de elétrons por partilha de tempo. A comutação efetua-se a elevada frequência (100 kHz) de forma a garantir que a distância entre traços consecutivos seja inferior ao diâmetro da mancha luminosa. Deste modo a sequência de pequenos traços é percebida como uma linha contínua. No entanto, se a frequência de

- varrimento for superior a 1 kHz, pode observar-se um traço descontínuo.
- ADD - os sinais presentes nos canais 1 e 2 são somados e mostrados.

MODO DE FUNCIONAMENTO: Este comutador permite seleccionar o sinal que é aplicado às placas verticais do tubo de raios catódicos: o sinal do tipo de dente de serra da base de tempo, ou o sinal presente na entrada 2 (CH2). Diz-se que o osciloscópio funciona nos X-T, no primeiro caso, e X-Y, no segundo caso, respectivamente

FONTE DE VARRIMENTO E TRIGGER: O passeio horizontal da mancha luminosa à velocidade constante, no MODO X-Y, designa-se por varrimento e inicia-se no lado esquerdo da tela e termina no lado direito. Mas quando e como se deve iniciar o varrimento? Se o varrimento se repetir sem interrupção, só por mero acaso se obteria a sincronização das frequências de varrimento e do sinal. Consequentemente os ciclos consecutivos de varrimento não se sobreporiam coerentemente, surgindo na tela uma imagem desordenada e incompreensível, como se pode ver no exemplo da figura abaixo.



O trigger designa um circuito eletrônico que produz um sinal de disparo sempre o sinal presente na sua entrada, sinal de trigger, satisfaz certas condições. O sinal de disparo é aplicado ao circuito da base de tempo, marcando o início de um varrimento.

O sinal de trigger pode ser um dos sinais em análise ou um outro sinal externo, dependendo do modo de trigger seleccionado. As condições que o sinal de trigger deve satisfazer incluem o declive e a amplitude e podem ser ajustados manualmente. Deste modo é possível seleccionar um ponto preciso do sinal de trigger para iniciar o varrimento, produzindo-se na tela do osciloscópio um traço estável. (ver abaixo)

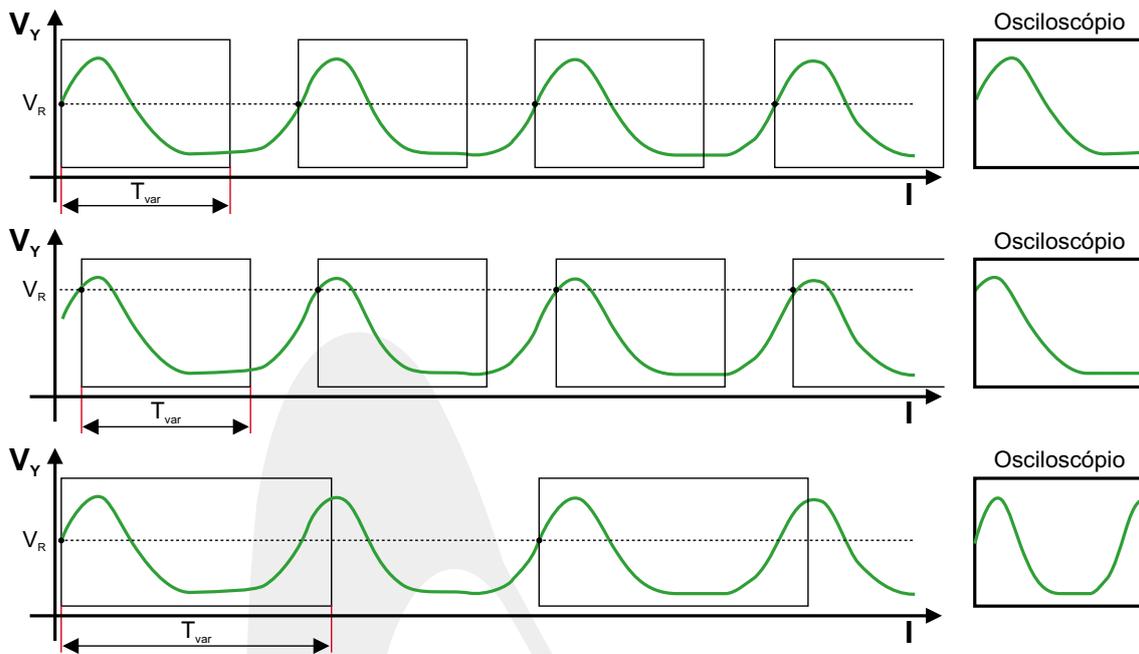


Figura - A sobreposição sucessiva do varrimento do feixe eletrônico sobre o alvo fluorescente origina um traço estável no monitor (Osciloscópio).

Como a frequência dos sinais normalmente observados no osciloscópio é relativamente alta, o varrimento horizontal deve ser automático e rápido. A persistência das imagens na retina do olho humano é, em geral, muito maior que o intervalo de tempo entre duas passagens sucessivas do ponto luminoso. Por isso, não nos é possível observar a mancha luminosa a deslocar-se, vendo-se apenas um traço brilhante contínuo sobre a tela. Só com frequências de varrimento menores que 4 Hz ou 5 Hz é possível observar o movimento da mancha sobre a tela.

O trigger designa um circuito eletrônico de sincronização entre o varrimento da base de tempo e o sinal a medir. Este circuito sobrepõe as imagens consecutivas do sinal de forma a permitir uma visualização cômoda deste. O sincronismo é obtido a partir da comparação de uma tensão de referência V_r , regulável e constante (designada por nível de trigger ou trigger level) com o valor e inclinação do sinal a medir V_y . Quando o valor da tensão do sinal iguala o nível de trigger, o circuito de trigger aplica à entrada do circuito da base de tempo um impulso que assinala o início do varrimento. O circuito de sincronização produz o disparo sempre numa das fases ascendente ou descendente do sinal.

A ação da tensão de varrimento V_x cessa quando o feixe de elétrons atinge o lado direito da tela. Durante o intervalo de tempo em que a ddp V_x retorna a 0 V, a grelha G é sujeita a uma tensão mais negativa que o cátodo por forma a impedir os elétrons de atingirem o alvo, não se observando assim o traço de retorno. O varrimento subsequente inicia-se no instante seguinte em que a tensão do sinal transitar pelo nível de trigger segundo a inclinação selecionada. A figura abaixo mostra a sucessão de “frames” para diferentes níveis de trigger e tempos de varrimento.

Existem dois tipos de sincronização que se designam por TRIGGER AUTO e TRIGGER NORMAL:

- TRIGGER AUTO - O varrimento processa-se permanentemente em intervalos regulares, mesmo quando não exista nenhum sinal nas entradas. Selecionando na base de tempo um intervalo de varrimento lento (digamos maior que 500 ms/cm) é possível ver a mancha luminosa deslocar-se horizontalmente através da tela. Para varrimentos mais rápidos tem-se a percepção de uma linha contínua devido à persistência das imagens na retina do olho humano (cerca de 40 ms). Nos modelos mais simples de osciloscópios este tipo de trigger obtém-se selecionando a posição AT do controle de trigger.
- TRIGGER NORMAL - o varrimento inicia-se desde que exista um sinal de entrada compatível com o nível de trigger selecionado. Neste tipo de trigger não há mostragens na tela quando não existe nenhum sinal nas entradas, além de que exige a regulação frequente do nível de trigger quando se observam diversas ddp.

Existem 2 modos básicos de operação do TRIGGER, o modo EXTERNAL e o modo INTERNAL:

TRIGGER INTERNAL - o sincronismo do trigger é efetuado com um dos sinais presentes nas entradas do osciloscópio. Nos osciloscópios de dois canais, o sincronismo obtém-se a partir da tensão aplicada ao canal 1 ou 2, consoante à posição do interruptor TRIG

- estando em I ou II, respectivamente. Neste último caso é possível um sinal num canal utilizando o outro como sinal de sincronização, bastando selecionar MONO e TRIG II para se obter esse efeito.
- TRIGGER EXTERNAL - neste modo o sinal de sincronização é aplicado numa entrada existente para o efeito. Este modo é usado quando, por exemplo, o sinal que se pretende mostrar contém ruído que se pretende eliminar e se dispõe de outro sinal com frequência igual.

A maioria dos modelos de osciloscópio permite a escolha de outras fontes para o sinal de sincronização, nomeada TV e LINE.:

- No modo LINE o trigger é comandado pela frequência de alimentação da rede pública de eletricidade.
- No modo TV o sinal de sincronismo interno (I ou II) é filtrado por um filtro passa-baixo (cerca de 500 Hz) facilitando a visualização do sinal de televisão.

Alguns modelos de osciloscópios mais complexos apresentam um seletor adicional TRIG SEL que permite selecionar os modos AC, DC, LF e HF que filtram as componentes alterna, contínua, de baixa e alta frequências do sinal de sincronização, respectivamente.

Como acabamos de ver, o osciloscópio é um instrumento que nos permite observar comodamente sinais rápidos no tempo, mas têm de ser periódicos para que a sincronização seja possível. Por exemplo, o ruído térmico que está sempre presente em qualquer circuito elétrico, é um sinal aleatório com o qual o osciloscópio jamais se sincronizará.

Com as pontas do osciloscópio em aberto e selecionando a escala menor de medição, verificamos que, por muito que regulemos o circuito de trigger, observamos sempre no monitor uma mancha horizontal, talvez com 10 μV ou 20 μV de largura.

BASE DE TEMPO: A análise de sinais desconhecidos com o osciloscópio é sempre dada em função de outra tensão de características conhecidas.

Normalmente aplica-se a tensão conhecida às placas de deflexão horizontal que geralmente é uma função linear no tempo. Essa função tem a forma de um dente de serra, como se pode ver na figura que se segue, e origina um movimento horizontal do feixe eletrônico que proporciona uma base de tempo.

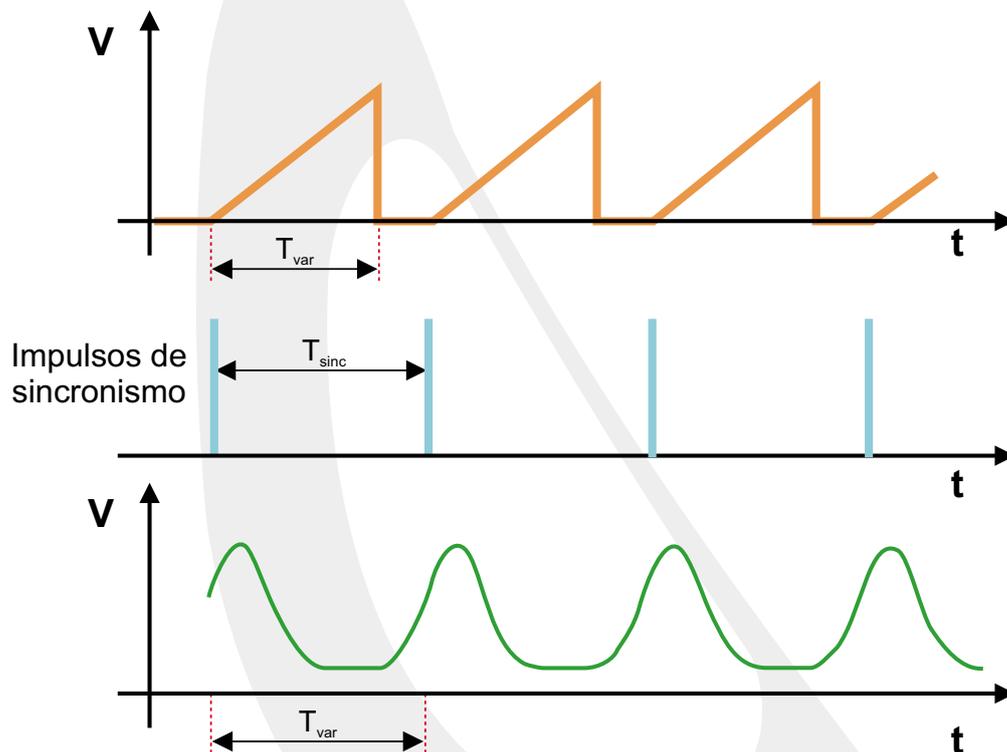


Figura - Tensão em dente de serra aplicada às placas verticais do tubo de raios catódicos. Origina um movimento horizontal do feixe de elétrons, em que o impulso de sincronização marca o início dos ciclos de varrimento.

O movimento do feixe inicia-se quando o circuito de *trigger* aplica um impulso de sincronização à entrada do circuito da base de tempo. O feixe desloca-se da esquerda para a direita, sendo o período de varrimento, T_{var} , dado pelo tempo de subida do dente de serra.

Atingido o extremo direito da tela a grelha de Wehnelt é sujeita a uma tensão mais negativa que o cátodo, impedindo os

elétrons de atingirem o alvo fluorescente. Simultaneamente, a tensão de varrimento desce rapidamente a zero, desviando assim o feixe para o extremo esquerdo da tela. O varrimento seguinte inicia-se quando o circuito da base de tempo receber outro impulso de sincronismo.

O tempo de varrimento, e portanto a escala da base de tempo, sendo determinada pelo tempo T_{var} . Este valor pode ser ajustado através de um seletor, chamado TIME BASE, que permite a seleção de valores entre 200 ms e 0,5 micro seg, dependendo da qualidade dos aparelhos.



9.3 - ANÁLISE DE SINAIS

De uma forma bem específica, faremos a análise de sinais provenientes de elementos eletro-eletrônicos em automóveis, contudo, podemos analisar qualquer tipo de sinal eletro-eletrônico com o osciloscópio. O importante é analisar a forma de onda para uma dada aplicação ou componente.

Conhecendo e analisando o sinal, podemos obter várias informações tais como tensão, tempo, corrente, resistência, potência; frequência, amplitudes máximas e mínimas dos sinais; podemos calcular rotação, observar ruídos, localizar falhas, determinar períodos de acionamento e desativação (de válvulas solenóides como exemplo) dentre outros.

À medida que trabalhamos, iremos conhecer o comportamento dos elementos medidos, e aos poucos iremos observar que itens com funções e comportamento semelhantes possuem sinais semelhantes. Poderemos então formar um banco de dados, ou uma biblioteca dos sinais característicos para auxílio de consultas posteriores.

Exemplo: Se analisarmos o sinal característico de um injetor, iremos verificar que este sinal é bastante semelhante entre os diversos injetores encontrados no mercado. Estamos falando do comportamento do sinal, os valores certamente serão bem diferentes entre si. Então se a curva que representa o sinal possui um comportamento determinado, podemos nos basear em uma curva padrão para este componente, assim utilizamos esta curva como referência para o funcionamento normal do elemento.

Iniciaremos então a análise de vários componentes no automóvel, conforme sua curva característica. Este conjunto de sinais lhe servirá como fonte de consulta futura se vier a trabalhar com osciloscópios. O leitor poderá no futuro acrescentar formas características se o seu equipamento permitir a impressão do sinal, montado o seu próprio banco de dados.

NOTA: Os equipamentos digitais permitem a análise do sinal em um período de tempo determinado, chamado tempo de

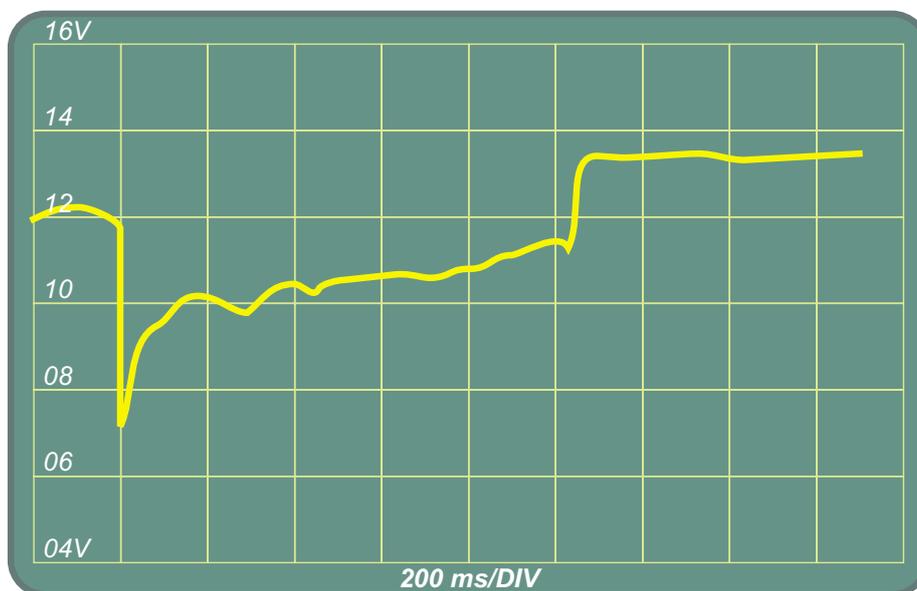
varrimento, que conforme explicado anteriormente, permite visualização de uma parte do sinal sincronizado. Também permitem optar por uma referencia inicial e descrevem o comportamento ao decorrer do tempo, visualizando todo o comportamento do sinal, fazendo o acompanhamento na ordem de minutos (20 minutos de monitoramento, como exemplo)



9.3.1 – TESTE DA BATERIA

Medição da potência da bateria durante a partida do motor.

(1) - Análise da tensão (DC) com o tempo



Observe que no início do sinal, ocorre uma queda de tensão na bateria (consumo do motor de partida), seguindo para a tensão final com o motor em funcionamento. Note que uma tensão maior no final é devido ao fornecimento de carga pelo alternador.

- Início do sinal 12,20 V
- Mínimo 7,28 V
- Fim do sinal 13,50 V

Como comparação, observe as curvas seguintes que corresponde ao teste de bateria (tensão x tempo) dos modelos:

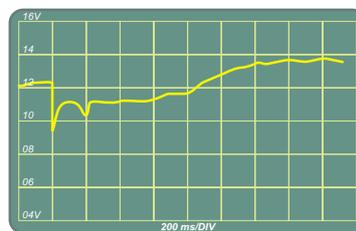
Ford - Explorer
4.0L V6



Mercedes
200E – 2.2L

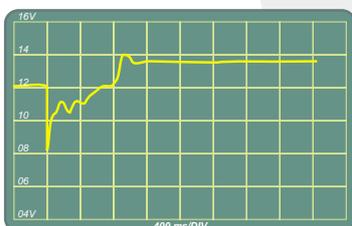


Pontiac Grand Am
3.3 L V6



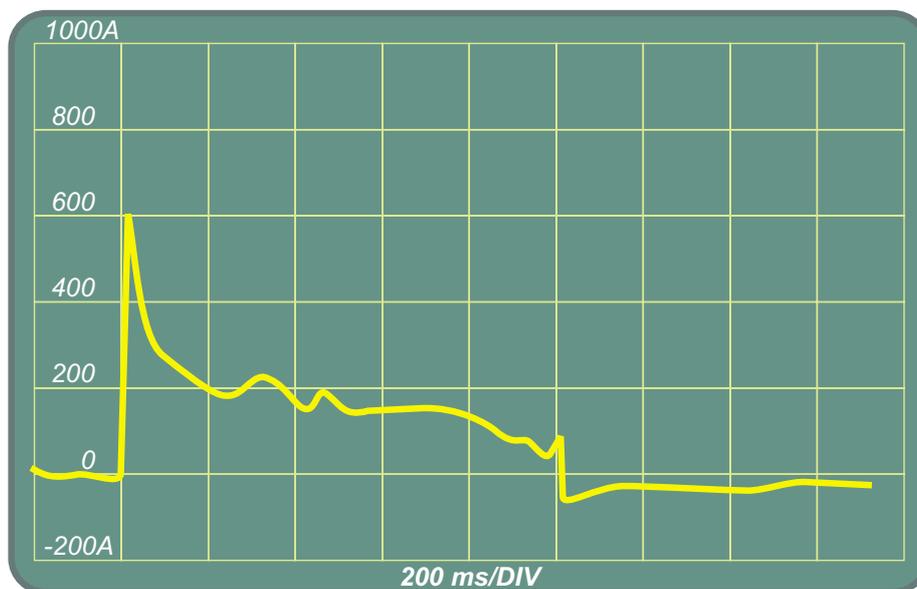
Observe que todos os sinais possuem comportamento semelhante, mas atenção, todos possuem a mesma escala referencial de 200 ms por divisão e 4V por divisão na amplitude. Uma escala diferente produzirá uma curva mais comprimida ou esticada.

Veja a seguir:



Mesma curva de teste do Ford – Explorer 4.0L V6 apresentada anteriormente, porém com base de tempo de 400 ms por divisão. Se aumentarmos ainda mais a base de tempo, a curva poderá ser representada como um pulso

(2) - Análise da corrente (DC) com o tempo



No início do sinal, ocorre um pico de corrente na bateria (consumo do motor de partida), Note que uma corrente negativa aparece no final da curva, sendo corresponde ao recebimento de carga pelo alternador.

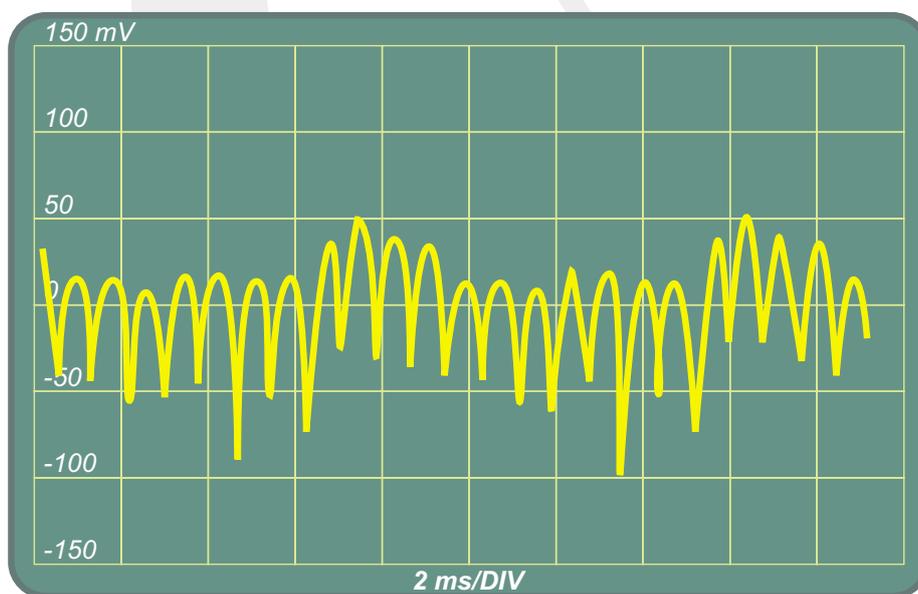
- Início do sinal 0,0 A
- Máximo 608,0 A
- Fim do sinal -16,0 A

9.3.2 – TESTE DO ALTERNADOR

O alternador produz corrente através de indução eletromagnética. Acessórios ligados ao sistema do alternador do veículo requerem uma alimentação constante de corrente contínua em um nível de tensão relativamente estável.

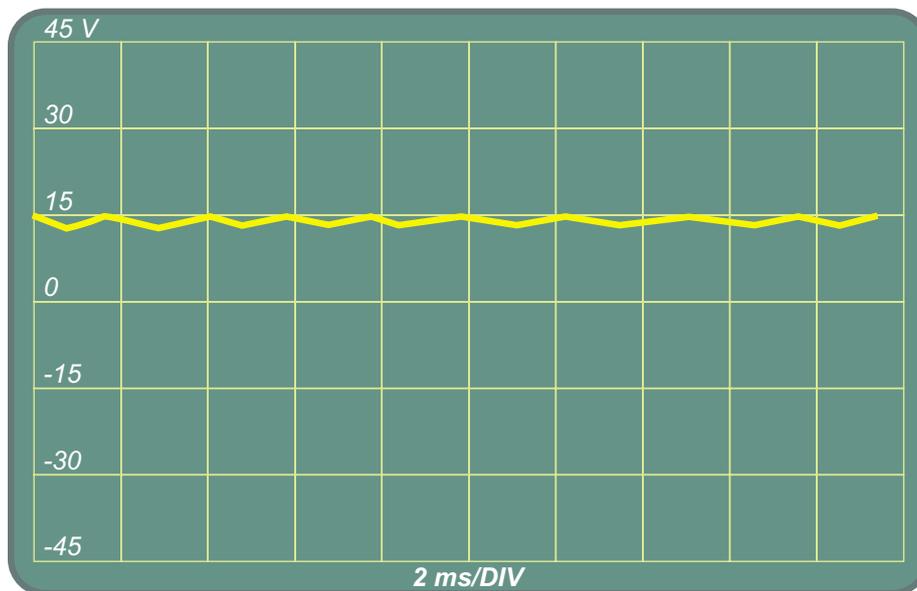
Um conjunto de diodos, a ponte de retificação do alternador transforma a tensão alternada produzida no alternador na tensão contínua usada pelos sistemas do veículo. Na análise do sistema do alternador atende tanto para o nível de tensão alternada como de tensão contínua. O nível de tensão alternada é denominado de tensão harmônica e é um claro indício das condições dos diodos. Um nível de tensão alternada muito elevada pode ser um indício de um diodo em mau funcionamento e descarregar a bateria. A tensão harmônica não deve ultrapassar 500 mV.

(1) - Análise da tensão harmônica (AC) com o tempo



Reguladores eletrônicos de tensão mantém uma tensão de carga de 13 a 15 volts. Para manutenção da carga da bateria e satisfação das exigências do veículo é necessária uma potência de saída suficiente no sistema do alternador.

(2) - Análise da tensão (DC) com o tempo



Parâmetros do teste:

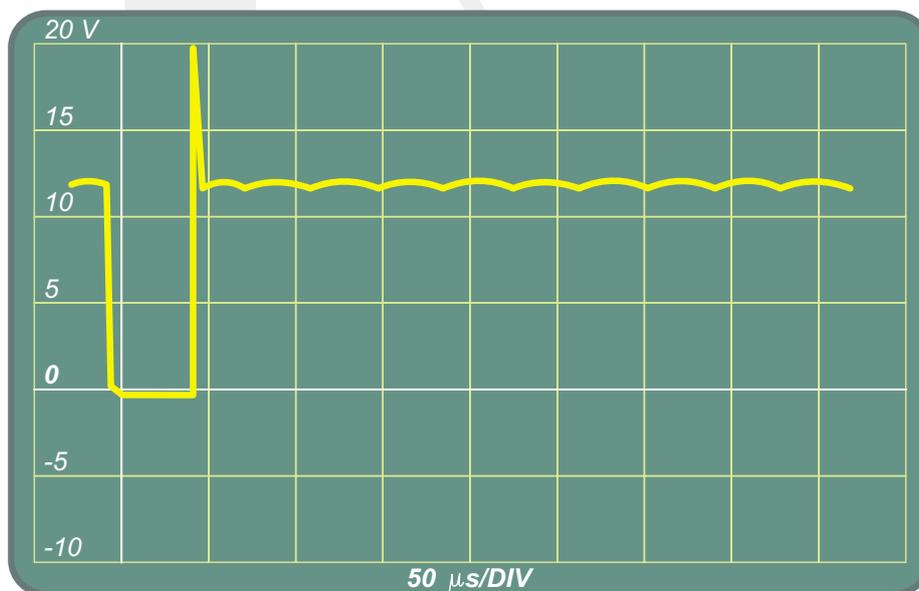
- Motor em marcha lenta
- Tempo base no osciloscópio 2 ms / DIV
- Tensão média de carga 14,10 V
- Observar variações quando aplicar carga ao sistema (acender faróis, acionar o arrefecimento, variar a rotação do motor, etc ...)

9.3.3 – DIODO DE SUPRESSÃO RUÍDO

Quando um aparelho de comando eletromagnético é desligado, pode ser ativado um pico de tensão devido ao corte do campo magnético. Diodos (ou supressores de interferências) são empregados para a filtração desses picos de tensão indutivos. Circuitos principais, reles, motores de arrefecimento, polia eletromagnética de sistemas de ar condicionado, acoplamentos e válvulas solenóides são exemplos de equipamentos que usam diodos para esta finalidade.

Um diodo com defeito, pode causar ruído induzido e causar irradiação de interferência para outras áreas sensíveis dos sistemas de sensores e controle do veículo.

(1) - Análise da tensão (DC) com o tempo



Parâmetros do teste:

- Acionamento da “bobina” cujo diodo que se deseja testar está ligado em conjunto

9.3.4 – SENSOR INDUTIVO

Sensores indutivos ou magnéticos não requerem alimentação de energia. As tensões do sinal são induzidas quando um dente da roda dentada atravessa o campo magnético do sensor. A roda dentada é constituída de aço com baixa resistência magnética e são aplicadas para verificação de PMS, ABS, velocidade. É observado que a tensão de saída e a frequência variam conforme a velocidade de rotação da roda dentada.

(1) - Análise da tensão com o tempo (1 dente)

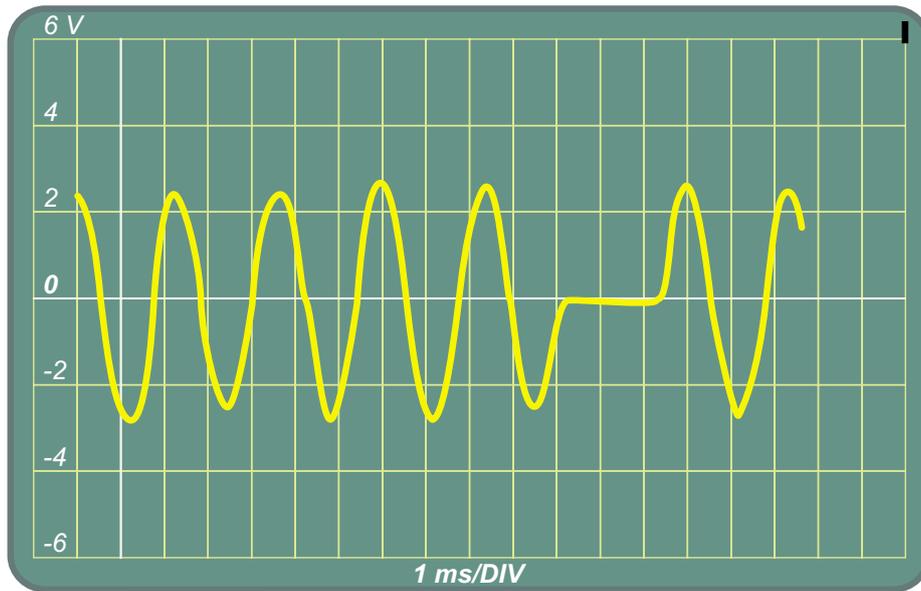


Parâmetros do teste:

- Acionamento do “sensor” que se deseja testar (sensor de rotação: acionar rotação do motor, sensor de velocidade: acionar rotação da roda, distribuidor ou o local onde está instalado)
- Observe que os picos máximos e os picos mínimos devem ser iguais entre si. Caso um valor de pico seja diferente que outro, examinar a roda para verificar se há dente quebrado ou torto.

(2) - Análise da tensão com o tempo.

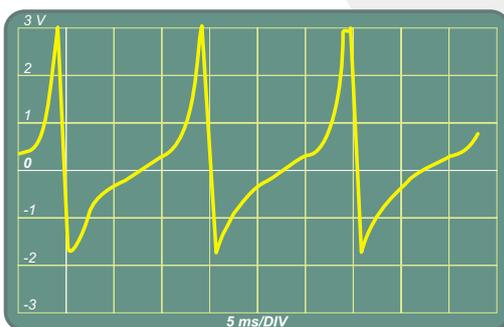
Sensor de rotação com 60-2 dentes



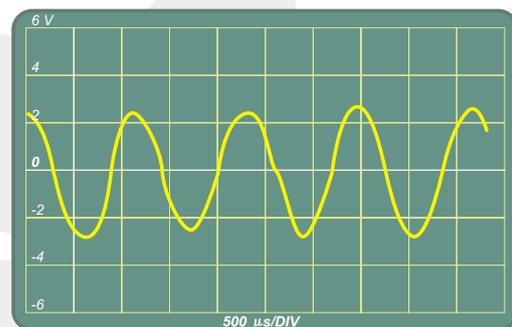
Observações:

- Visualização do sinal de referência (falha da roda dentada)
- Variações poderão ocorrer, dependendo do número de dentes, da rotação (varia amplitude e frequência) e da sensibilidade do sensor. Como comparação, observe as curvas seguintes:

6 dentes
Período: 5 ms / DIV



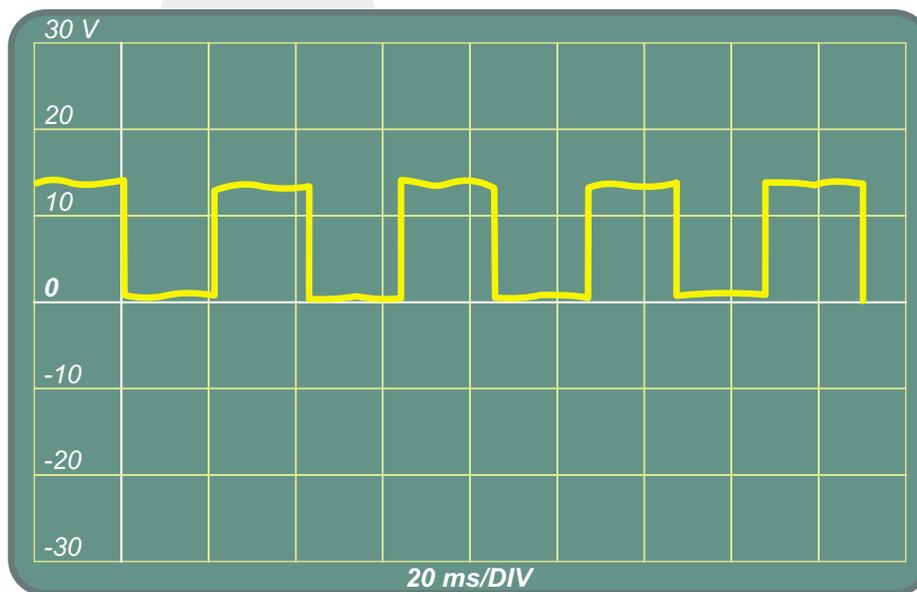
60-2 dentes
Período 0,5 ms / DIV



9.3.5 – SENSOR DE EFEITO HALL

Nos sensores de efeito Hall, correntes se deslocam quando próximo a um campo magnético. A oscilação do campo magnético podem ser provocadas pela rotação de um virabrequim ou pela rotação de um eixo de distribuidor. São utilizados para determinação de PMS e distribuição da ignição. Como característica, a amplitude da tensão de saída é constante e a frequência conforme a rotação.

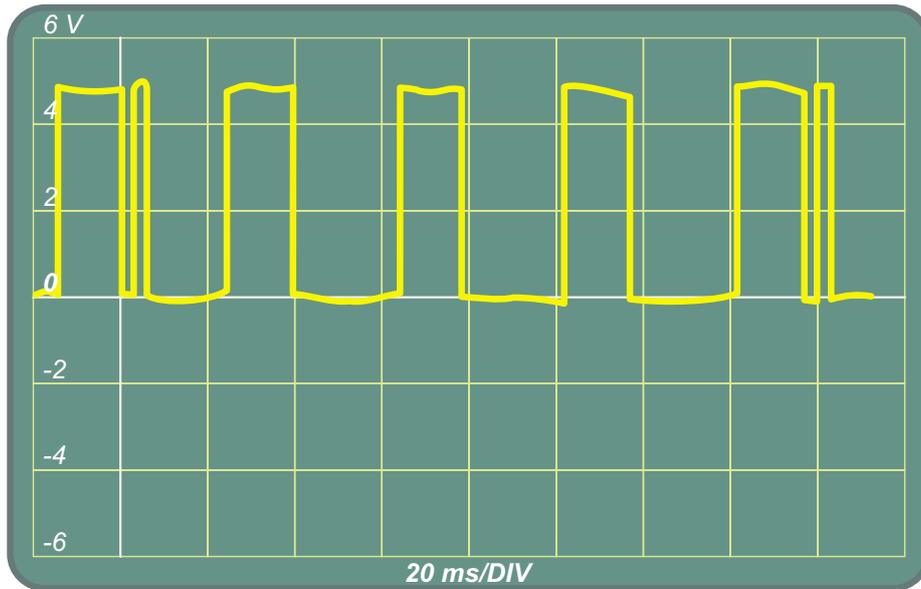
(1) - Análise da tensão com o tempo (2 dentes)



Parâmetros do teste:

- Acionamento do “sensor” que se deseja testar (sensor de rotação: acionar rotação do motor ou o local onde está instalado)
- Tensão de referencia 12 V

(2) - Análise da tensão com o tempo (5 dentes)



Parâmetros do teste:

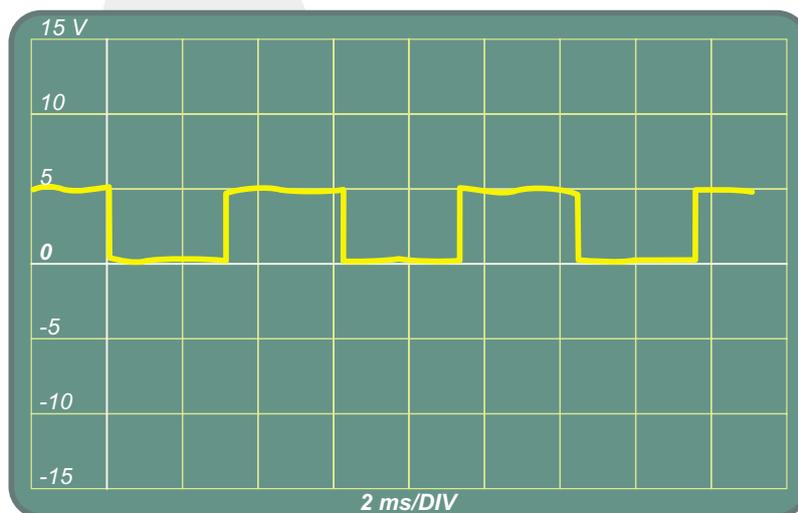
- Tensão de referência: 5V
- O período de visualização da frequência depende da rotação do sensor.
- Observe que o pulso menor indica um dente com abertura menor, servindo como base para referência do sinal.

9.3.6 – SENSOR DE PRESSÃO (MAP)

O sensor produz um sinal elétrico que é conduzido a central eletrônica. Este sinal corresponde a carga do motor. O sinal é na forma de onda retangular de freqüência modulada ou nível de tensão (dependente do fabricante). São utilizados pelo processador para alteração da mistura de combustível e de outros parâmetros.

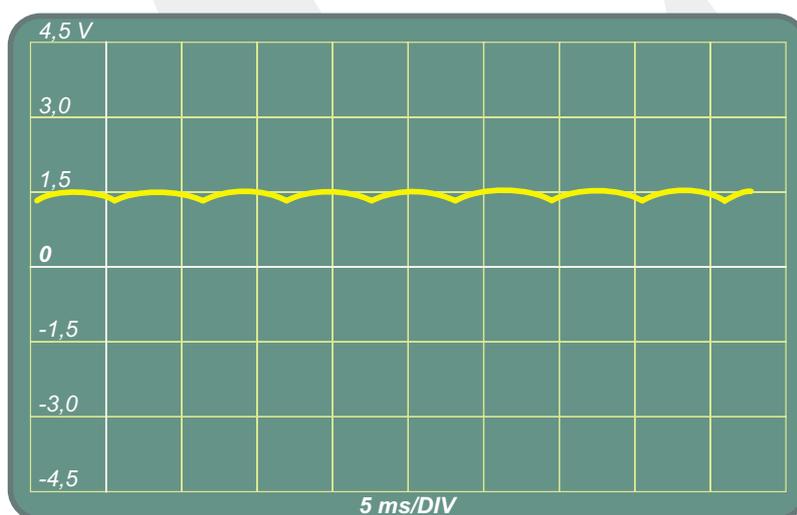
(1) - Análise da tensão (DC) com o tempo.

Sensor modulado ou capacitivo



(2) - Análise da tensão (DC) com o tempo.

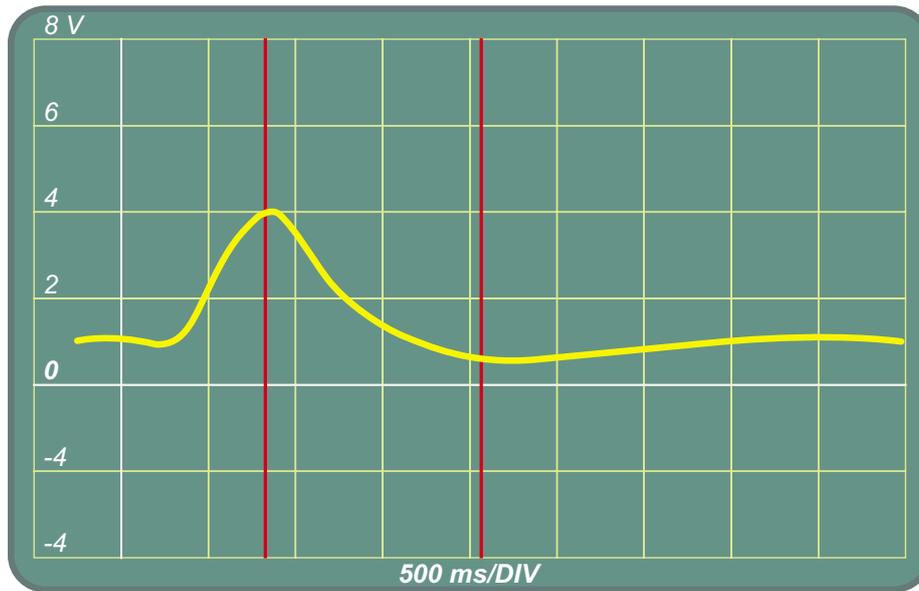
Sensor linear contínuo ou analógico



Parâmetros do teste:

Motor em marcha lenta

(3) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Sensor linear contínuo ou analógico



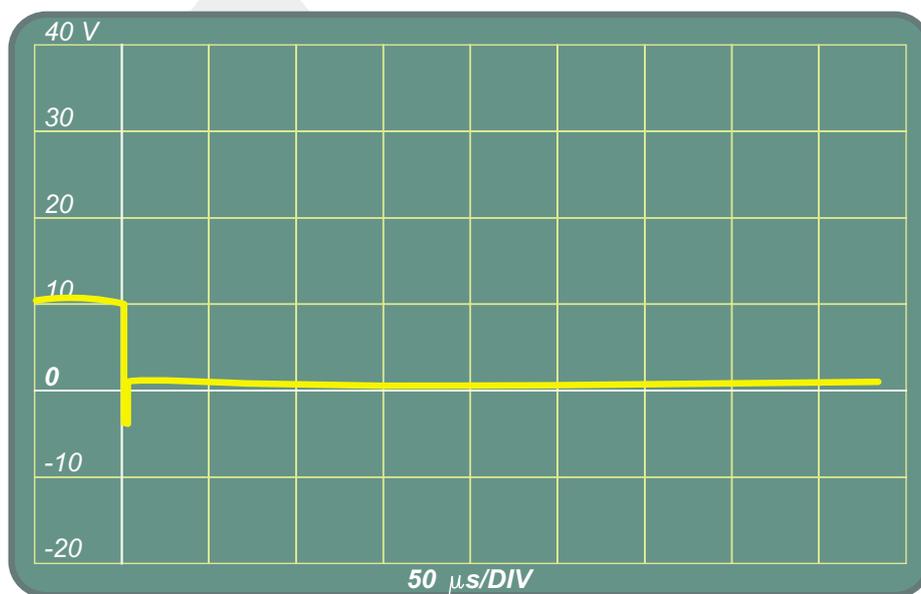
Parâmetros do teste:

- Motor em marcha lenta, aceleração e desaceleração

9.3.7 – INTERRUPTOR DE PRESSÃO

Interruptores de pressão ou pressostatos são componentes acionados por um sinal de pressão, atuando na forma liga/desliga um circuito elétrico

(1) - Análise da tensão (DC) com o tempo.



Parâmetros do teste:

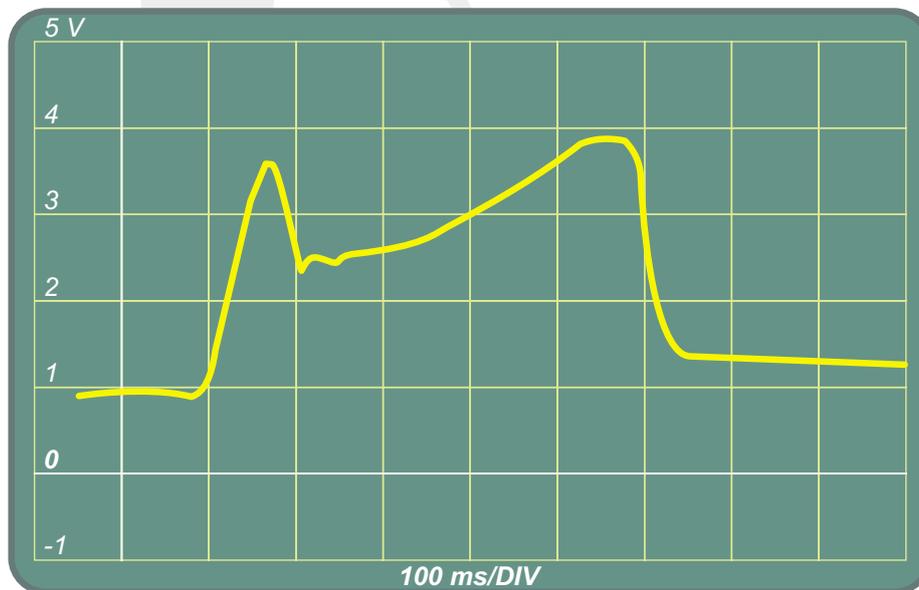
- Tensão inicial 12,0 V
- Desliga
- Tensão final 0,0 V

9.3.8 – SENSOR DE MASSA DO AR (MAF)

Este tipo de sensor utiliza uma película metálica aquecida para medir a massa de ar no coletor de admissão. O elemento sensor é aquecido a uma temperatura em torno de 100 °C acima da temperatura do ar aspirado. Assim quando o ar passa pelo elemento, este esfria, baixando também a resistência elétrica e em consequência a tensão elétrica. O sinal pode ser analógico ou digital.

Um sinal analógico é reconhecido pela unidade de comando eletrônica com uma queda de tensão (quanto maior o fluxo de ar, maior a queda de tensão).

(1) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Sinal analógico



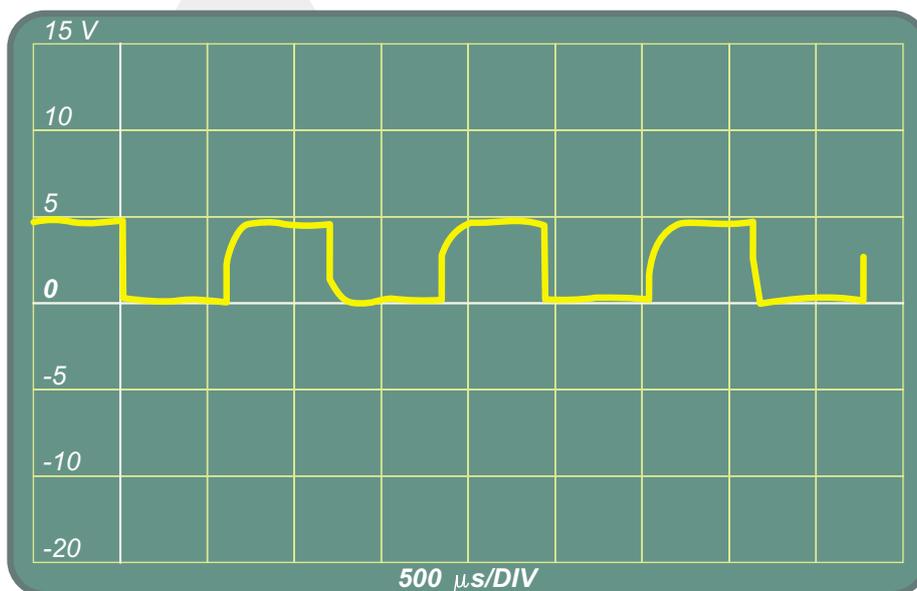
Parâmetros do teste:

- Motor em marcha lenta, aceleração rápida, desaceleração, aceleração, desaceleração.

Para sinal digital, o sensor recebe uma tensão de referencia de 5 volts da unidade de comando eletrônica e envia um sinal de frequência variável de volta. A amplitude é fixa na referencia de 5 volts e a frequência oscila entre 30 a 150 Hz. Uma frequência baixa corresponde a um baixo fluxo de ar.

(2) - Análise da tensão (DC) com o tempo.

Sinal digital



Parâmetros do teste:

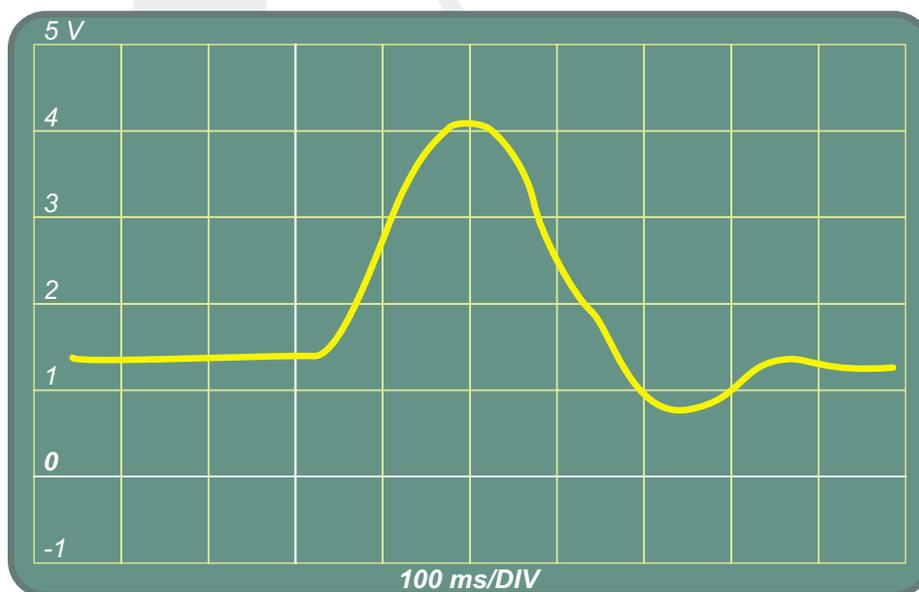
- Motor em marcha lenta

9.3.9 – SENSOR DE FLUXO DE AR

Sensores de fluxo possuem uma aleta apoiada por mola que oscila em torno de um eixo enquanto abre e fecha em função do fluxo de ar. A aleta está ligada a um potenciômetro no ponto de oscilação. Este potenciômetro promove uma variação do sinal de tensão de saída assim que o ângulo da aleta se modifica.

Quando a aleta está totalmente aberta, a unidade de controle eletrônica reconhece a aspiração máxima de ar para o motor e quando totalmente fechada reconhece o fluxo mínimo. Desta forma ocorre o aumento ou redução da duração do impulso para a injeção eletrônica.

(1) - Análise da tensão (DC) com o tempo.



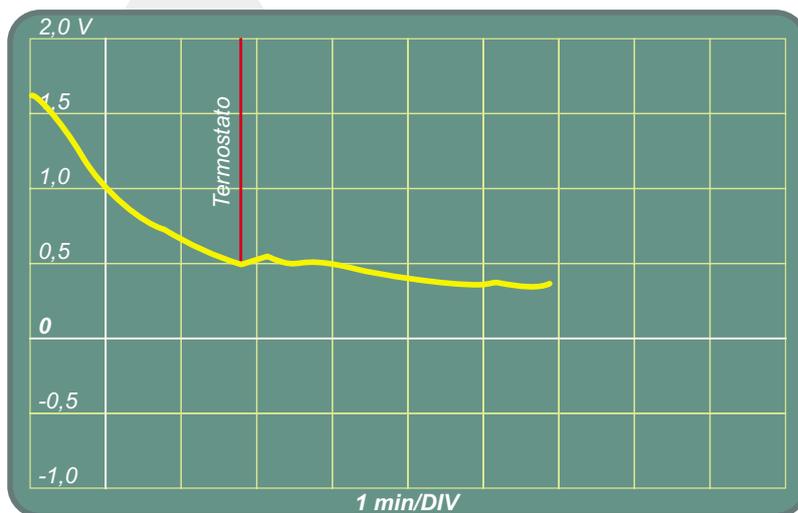
Parâmetros do teste:

- Motor em marcha lenta, aceleração e desaceleração

9.3.10 – SENSOR DE TEMPERATURA

São elementos chamados termistores ou resistores NTP, cujas variações de temperatura provocam, alterações na resistência elétrica. A resistência é menor quando a temperatura aumenta e a resistência aumenta quando a temperatura desce.

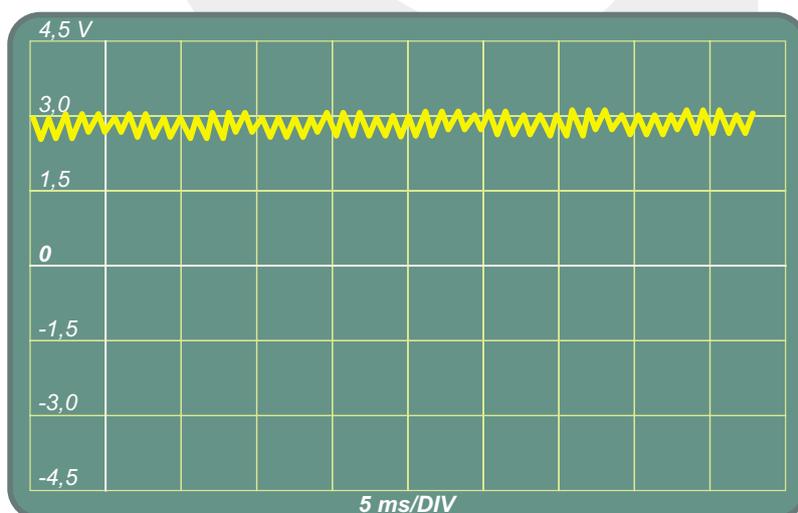
(1) - Análise da tensão (DC) com o tempo. (10 Min)



Parâmetros do teste:

- Motor desligado, em marcha lenta, acionamento do eletroventilador de arrefecimento.

(2) - Análise da tensão (DC) com o tempo.



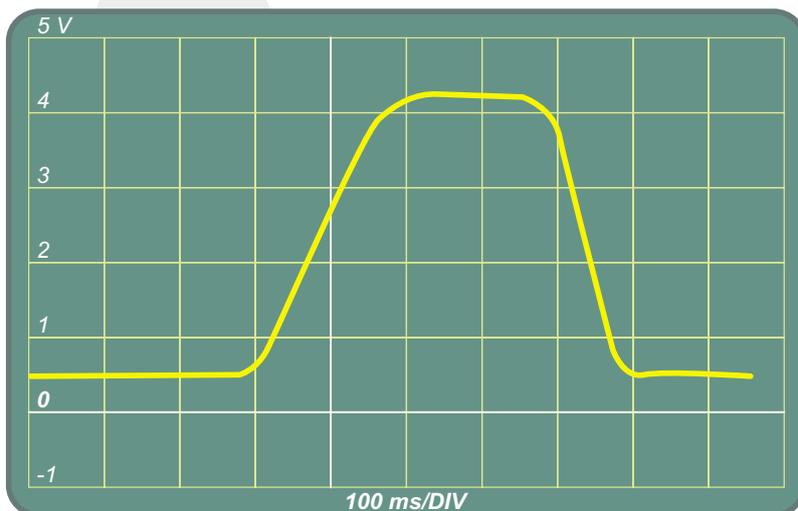
Parâmetros do teste:

Motor em marcha lenta

9.3.11 – SENSOR DE POSIÇÃO DE BORBOLETA

São responsáveis por informar a central de comando eletrônica do ângulo de abertura da borboleta, se está totalmente aberta ou fechada e a velocidade de abertura ou fechamento.

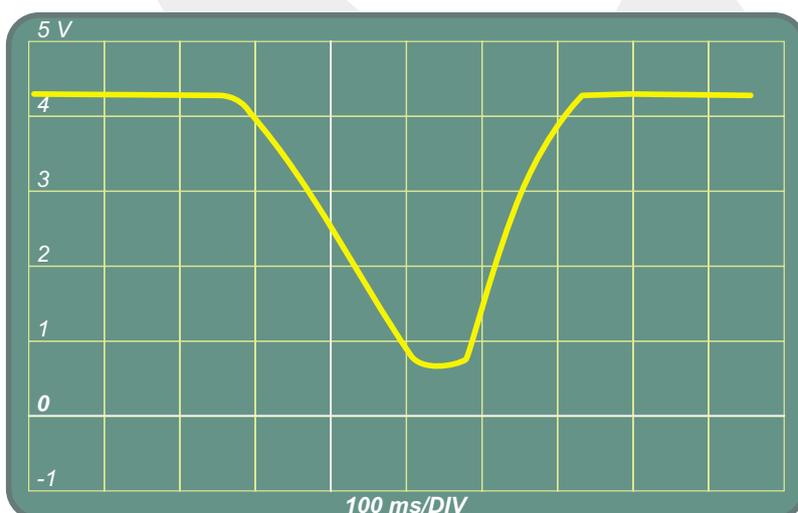
- (1) - Análise da tensão (DC) com o tempo. (Ex: Audi A4 1.8 Turbo)



Parâmetros do teste:

- Motor desligado, borboleta se abre (aceleração), borboleta se fecha

- (2) - Análise da tensão (DC) com o tempo.



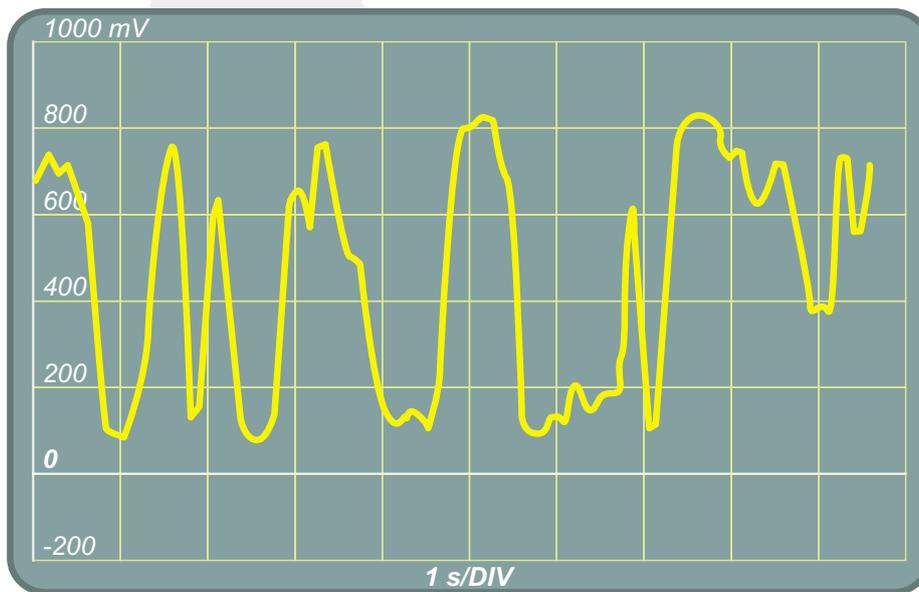
Parâmetros do teste:

Motor desligado, borboleta se abre (aceleração), borboleta se fecha

9.3.12 – SONDA LAMBDA

Sonda Lambda ou sensor de oxigênio produzem uma tensão de saída que correspondem ao teor de oxigênio no fluxo de gases de escape. Este sinal é utilizado pela central eletrônica para regular o volume de combustível fornecido ao motor. Uma alta tensão de saída corresponde a uma mistura rica e uma baixa tensão indica mistura pobre.

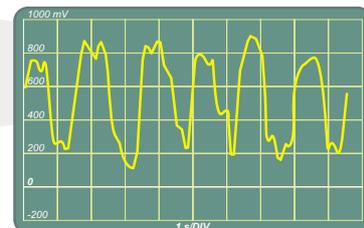
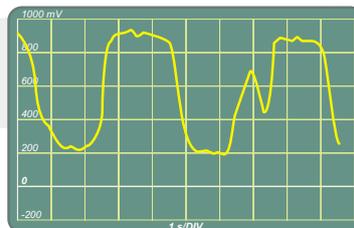
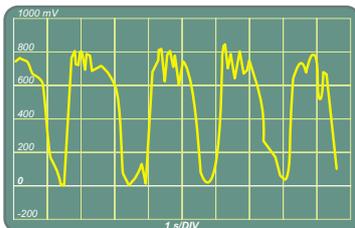
(1) - Análise da tensão com o tempo.



Parâmetros do teste:

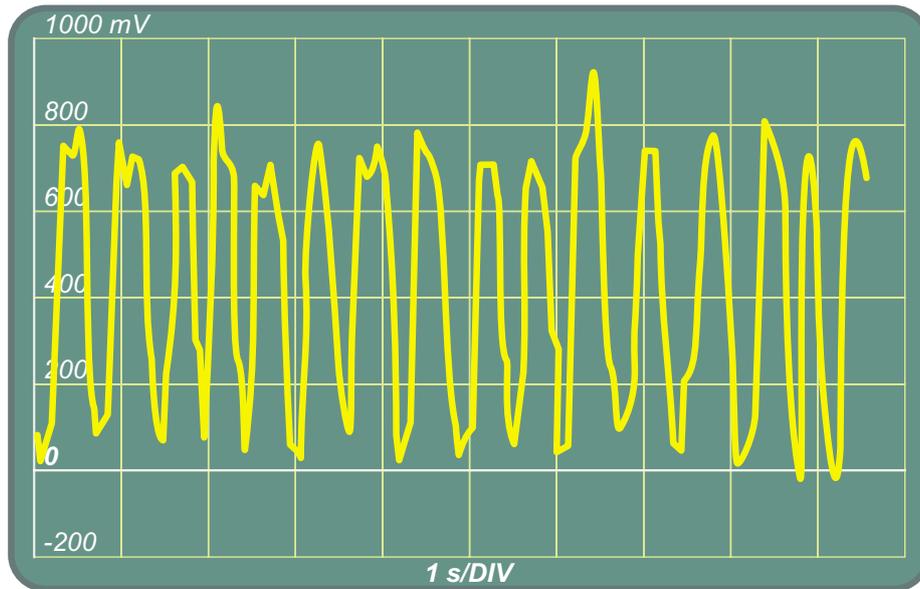
- Motor em funcionamento. Deixe-o funcionando até a sonda se aquecer (± 300 °C).
- Meça as tensões com o motor em marcha lenta

Variações da forma do sinal com motor em marcha lenta:



Nota: Amplitude: -0,2 a 1,0 V
Período: 1 s / DIV

(2) - Análise da tensão com o tempo.



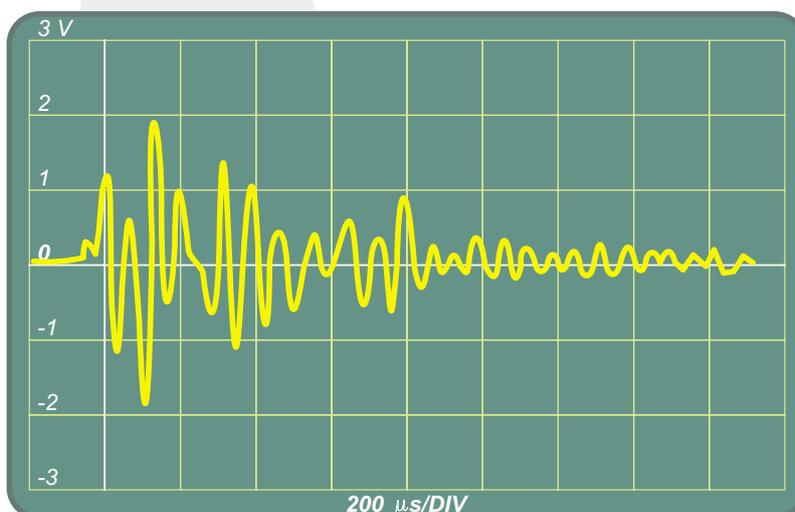
Parâmetros do teste:

- Motor em funcionamento. Deixe-o funcionando até a sonda se aquecer (± 300 °C).
- Meça as tensões com o motor em 2500 RPM

9.3.13 – SENSOR DE DETONAÇÃO

Para otimização da potencia do motor e do consumo de combustível, o ponto de ignição deve ser regulado de acordo com as necessidades, de modo que a ignição ocorra em um determinado grau de giro do virabrequim, iniciando no ponto morto superior do ciclo de trabalho. Quando a ignição ocorre posteriormente, o cilindro produz menos rendimento e quando a ignição ocorre precocemente, ocorrerá a detonação do motor.

(1) - Análise da tensão com o tempo. (Ex. Citroen Xantia).



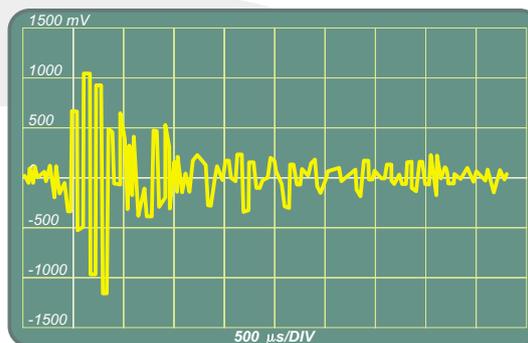
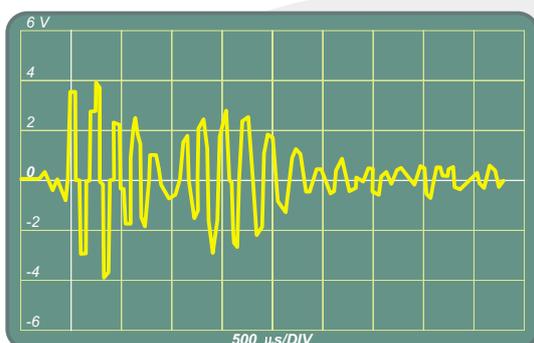
Parâmetros do teste:

- Motor desligado
- Bata levemente no bloco do motor, nas proximidades do sensor:

Variações da forma do sinal:

Amplitude: -6,0 a 6,0V

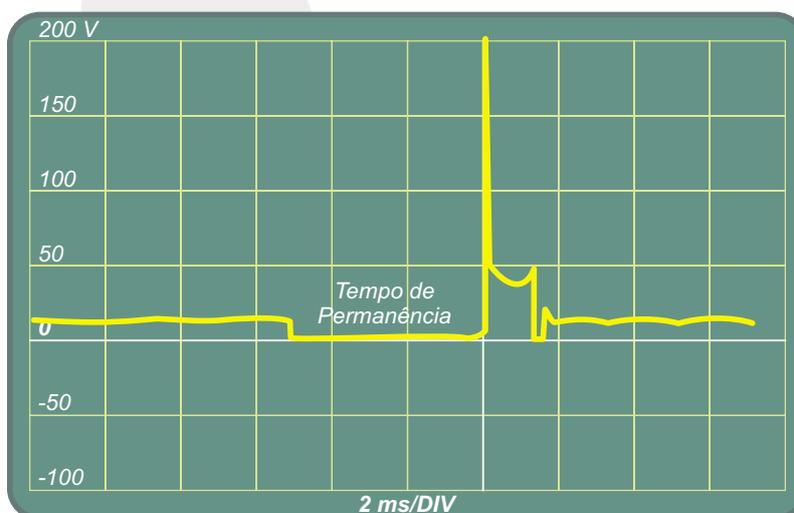
Período: 500 μs / DIV



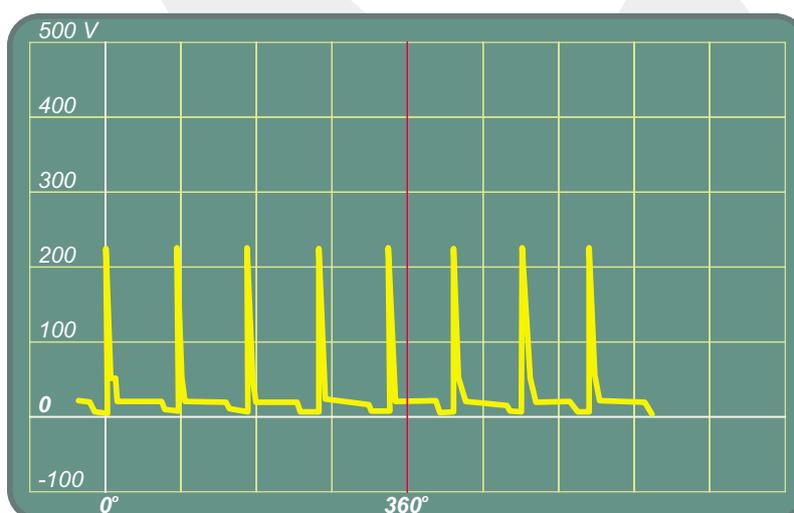
9.3.14 – IGNIÇÃO PRIMÁRIA

Quando os contatos do interruptor são abertos ou quando o transistor é interrompido ocorre uma descarga de alta tensão no enrolamento secundário da bobina de ignição. O tempo de duração que os contatos do distribuidor permanecem fechados ou transistor ligado é chamado de ângulo de permanência. Este tempo é necessário para atingir uma máxima saturação magnética da corrente primária.

- (1) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Individual (01 cilindro)



- (2) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Corrida ou sequencial



Parâmetros do teste:

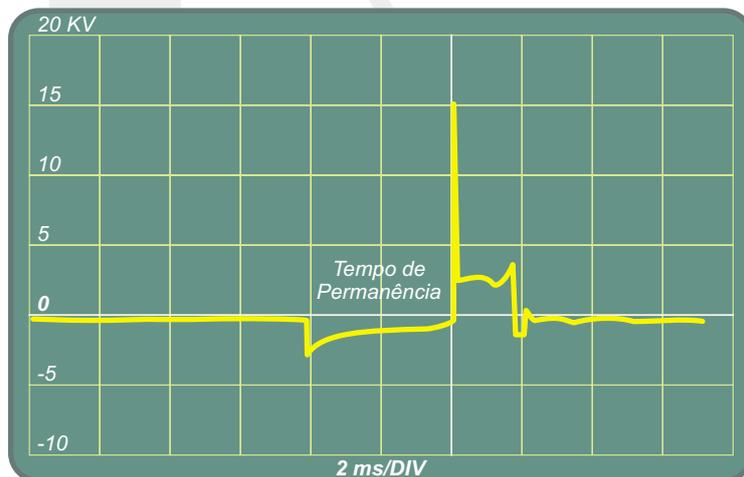
Motor ligado. Alterar rotação para verificar o correto funcionamento

9.3.15 – IGNIÇÃO SECUNDÁRIA

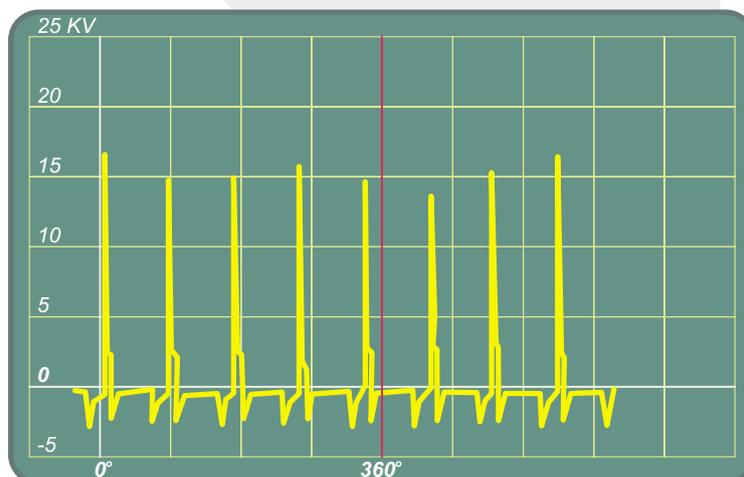
Na tela do osciloscópio a ignição se divide em uma linha de tensão de ignição e uma linha de tensão de queima. A tensão de ignição corresponde a uma linha vertical (agulha), que representa a tensão necessária para transpor o eletrodo (distância) na vela de ignição. A tensão de queima representa uma linha semi-horizontal que representa a tensão necessária para manter o fluxo de corrente através do eletrodo.

Na análise seqüencial, as linhas de ignição devem ser iguais. Uma linha curta indica baixa resistência do cabo e uma linha longa indica alta resistência do cabo.

- (1) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Individual (01 cilindro)



- (2) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Corrida ou sequencial



Parâmetros do teste: Motor ligado. Alterar rotação para verificar o correto funcionamento

9.3.16 – CORRETOR DA MARCHA LENTA

A dosagem do ar da marcha lenta é controlada pela unidade de comando eletrônica para regular ou adaptar a rotação de marcha lenta e evitar estrangulamento ou que o motor. Alguns sistemas utilizam um motor de passo, outros utilizam uma válvula de desvio que recebe um sinal retangular da unidade de controle

(1) - Análise da tensão com o tempo.



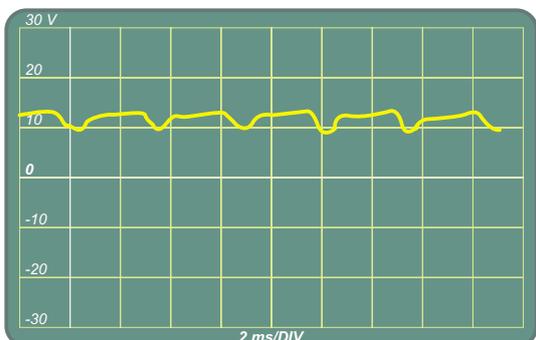
Parâmetros do teste:

- Acionamento do motor. Verificar o funcionamento com o motor frio, morno e quente.
- Provoque uma pequena entrada de ar falso e observe o sinal da unidade de comando enquanto faz adaptação da abertura da válvula.

Eletricidade para Automóveis

Observe os diferentes tipos de sinais. Consulte sempre as especificações do fabricante

Amplitude: -20 a 30 V
Período: 2 ms / DIV



Amplitude: -20 a 30 V
Período: 2 ms / DIV



Amplitude: -10 a 50 V
Período: 10 ms / DIV



Amplitude: -40 a 60 V
Período: 10 ms / DIV



9.3.17 – ELETROVÁLVULA DE PURGA DO CANISTER

É o componente que controla o fluxo de vapor de gases (purga) do canister (filtro de carvão ativado), provenientes do tanque de combustível para o coletor de admissão durante as várias condições de funcionamento do motor.

(1) - Análise da tensão com o tempo. (Citroen Xantia).

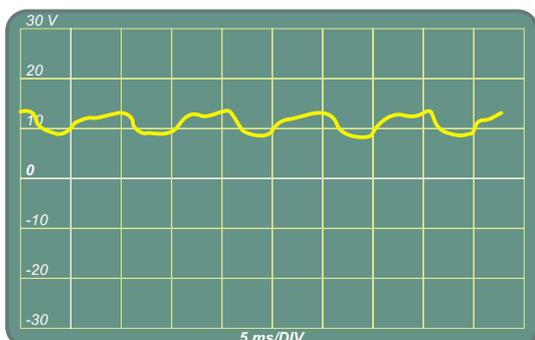


Parâmetros do teste:

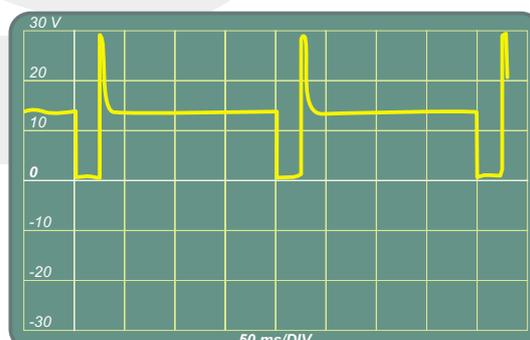
- Acionamento do motor em marcha lenta Verificar o funcionamento com o motor frio, morno e quente.

Observe os diferentes tipos de sinais. Consulte sempre as especificações do fabricante

Amplitude: -20 a 30 V
Período: 5 ms / DIV



Amplitude: -20 a 30 V
Período: 50 ms / DIV

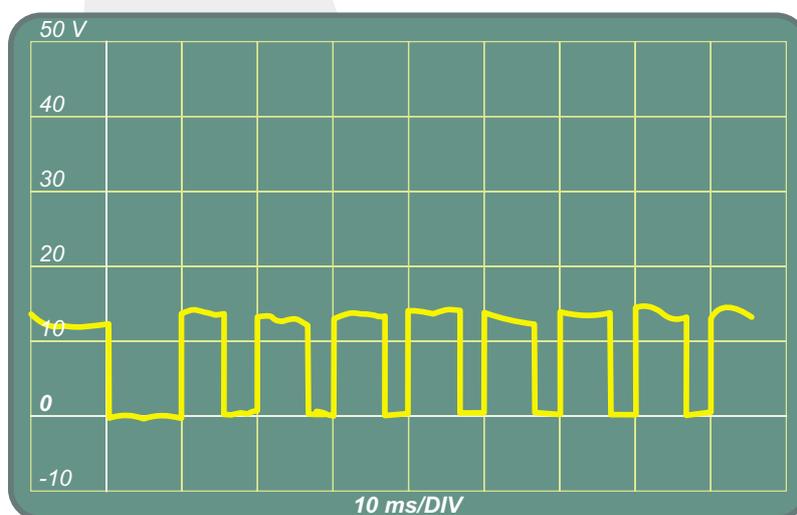


9.3.18 – RECIRCULAÇÃO DE GASES DE ESCAPE (EGR)

O sistema EGR ou a recirculação dos gases de escape dilui a mistura de ar combustível e limita a formação de compostos NO_x na presença de altas temperaturas de combustão e a relação de ar combustível pobre.

A unidade de comando regula a recirculação através da formação ou bloqueio de vácuo. A central gera e transmite um sinal de ativação e desativação de uma bobina magnética.

(1) - Análise da tensão com o tempo.

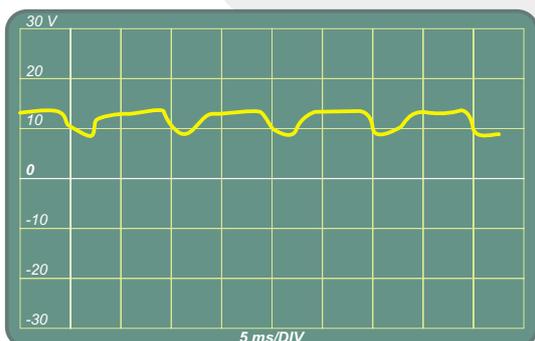


Parâmetros do teste:

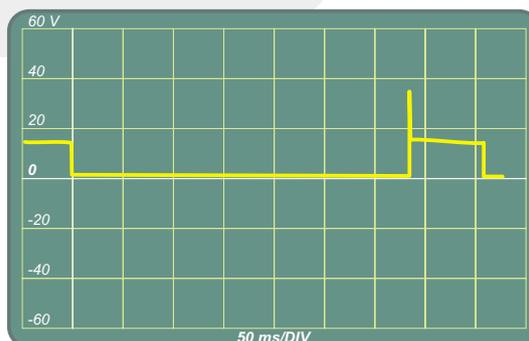
- Acionamento do motor. A UCE deverá responder em média aceleração e a partir de velocidade de 50 a 120 Km/h. Por este motivo será necessário um dinamômetro de.

Observe os diferentes tipos de sinais. Consulte sempre as especificações do fabricante

Amplitude: -20 a 30 V
Período: 5 ms / DIV



Amplitude: -60 a 60 V
Período: 50 ms / DIV

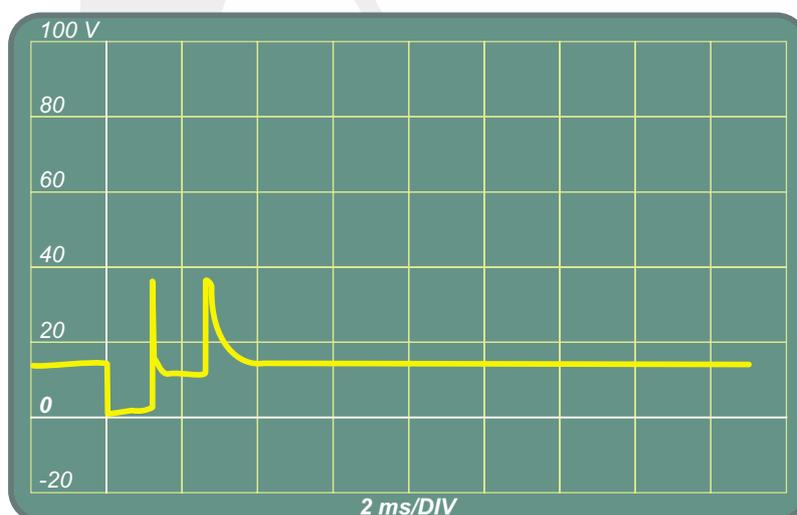


9.3.19 – INJETOR DE COMBUSTÍVEL

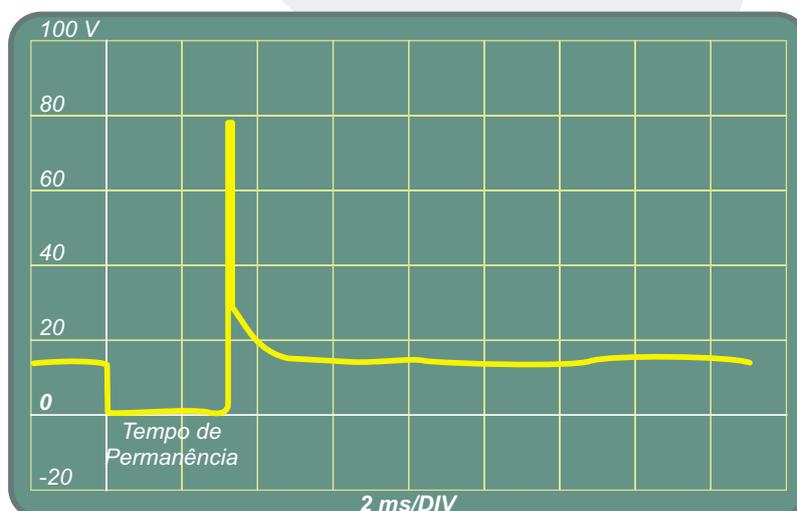
A duração ou tempo de injeção são da ordem de milésimos de segundos e indica o volume de combustível para o cilindro. Um tempo maior, indica uma maior alimentação de combustível (a mesma pressão)

Para não queimar o bobina de injeção devido a um fluxo excessivo de corrente, os sistemas limitam de alguma forma a corrente elétrica, seja por regulagem de corrente, sobremodulação ou impulso modulado

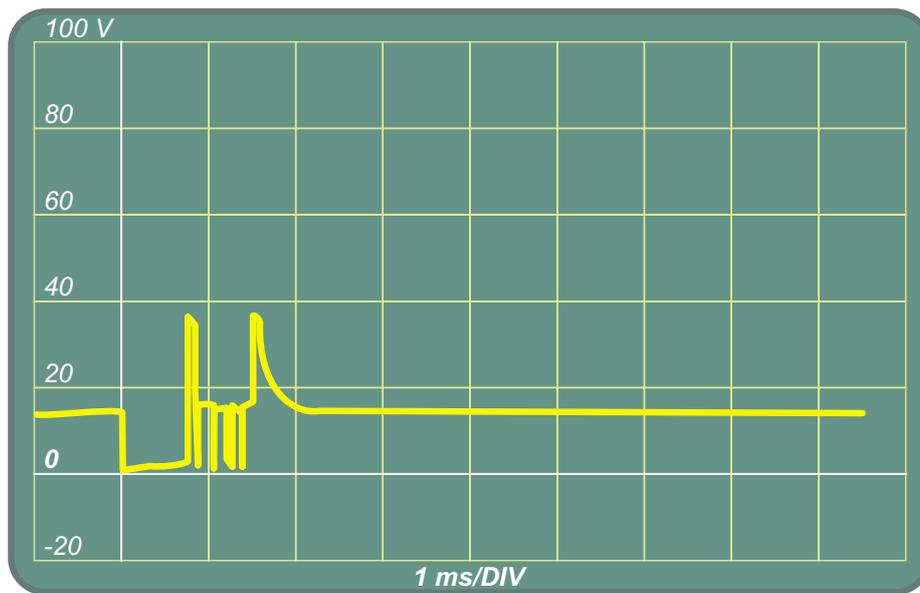
- (1) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Regulagem de corrente



- (2) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Convencional ou sobremodulação



(3) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Impulso modulado



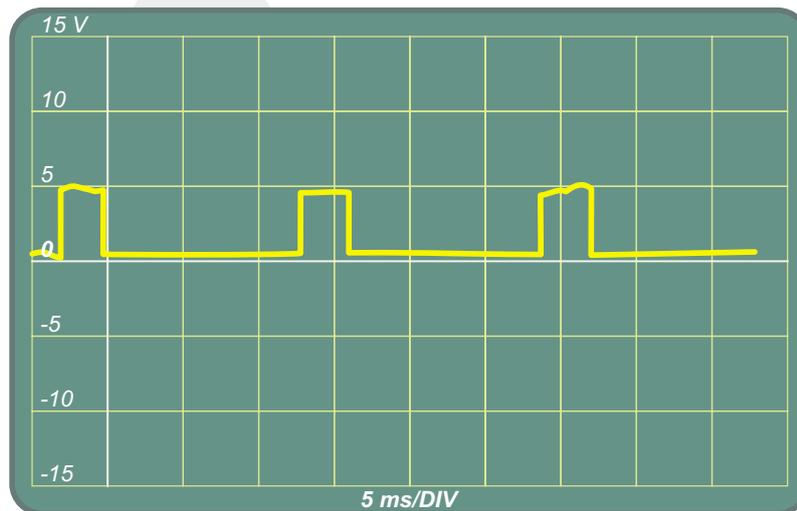
Parâmetros do teste:

Motor em marcha lenta, aumente a carga do motor, se possível altere o sinal de pressão ou sonda lambda

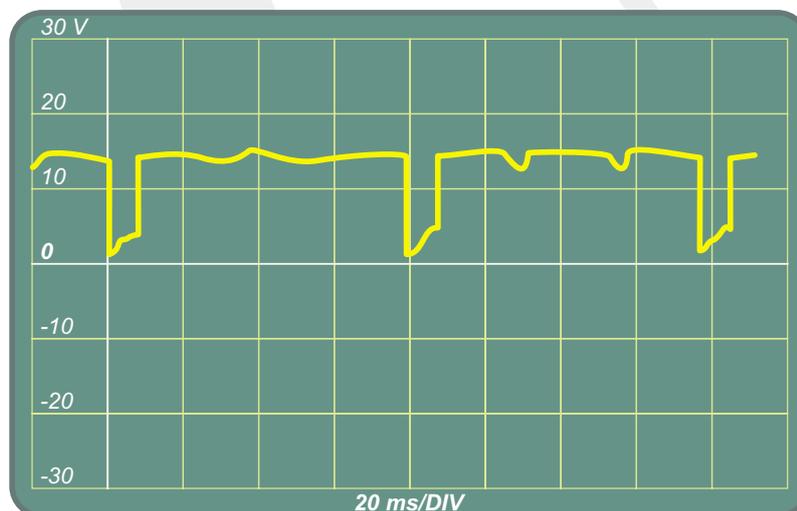
9.3.20 – MÓDULO DE IGNIÇÃO

Responsáveis pelo controle de distribuição (como um distribuidor). Fornecem uma tensão tal como um pulso, na forma de onda quadrada para o primário da bobina de ignição

- (1) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Frequência 62,5 Hz



- (2) - Análise da tensão (DC) com o tempo.
Frequência 12.6 Hz



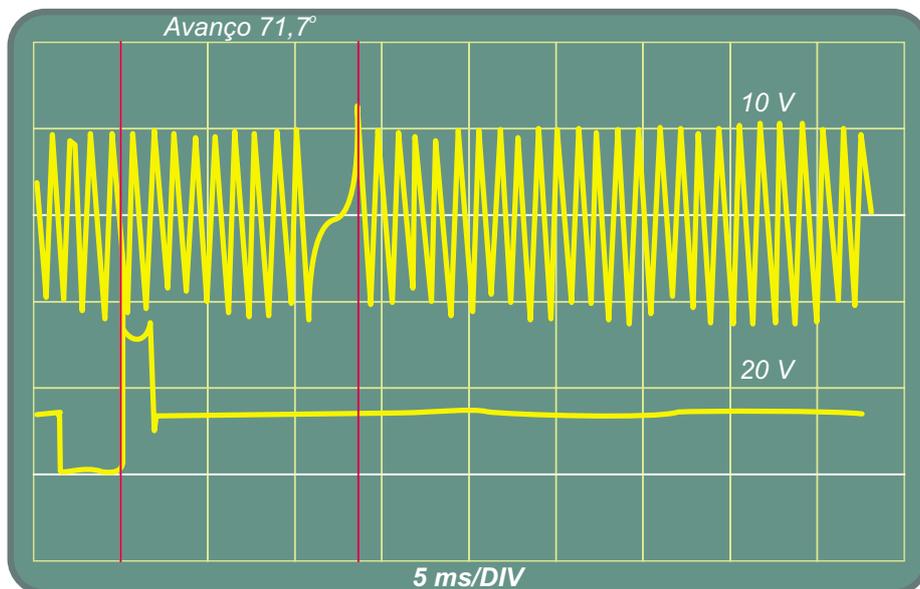
Parâmetros do teste:

- Motor em marcha lenta.
- Aumente a carga do motor, verifique a variação da frequência

9.3.21 – AVANÇO DE IGNIÇÃO

Determina o ponto de início da faísca com base em um determinado ponto de giro do virabrequim, medido em graus.

(1) – Comparação de sinais – 867 RPM (Citroen Xantia).

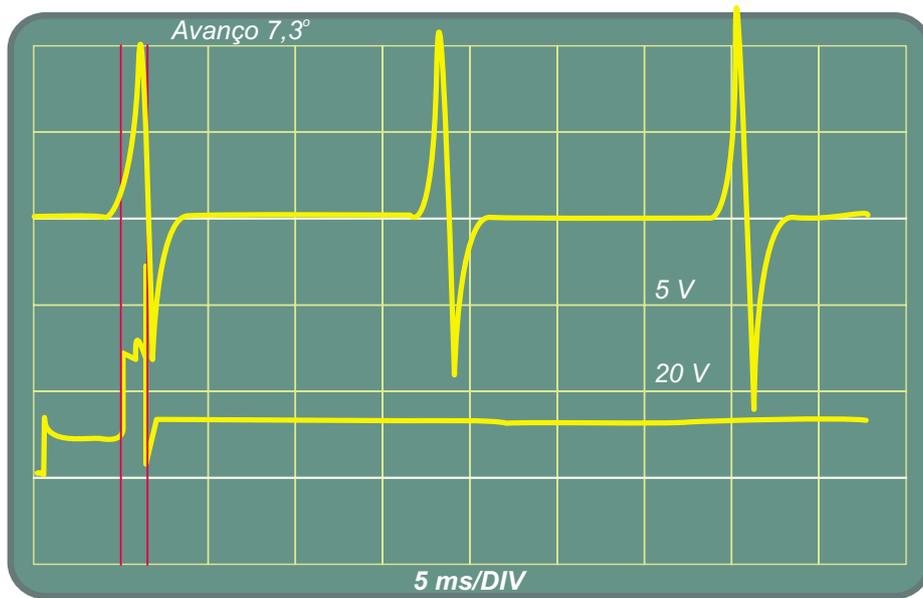


Sensor de rotação indutivo (60-2 dentes) x Ignição secundária

(1) – Comparação de sinais – 837 RPM
(Dodge Neon 2.0L)



(3) – Comparação de sinais – 867 RPM (Lancia Delta 2.0L 16V Turbo)



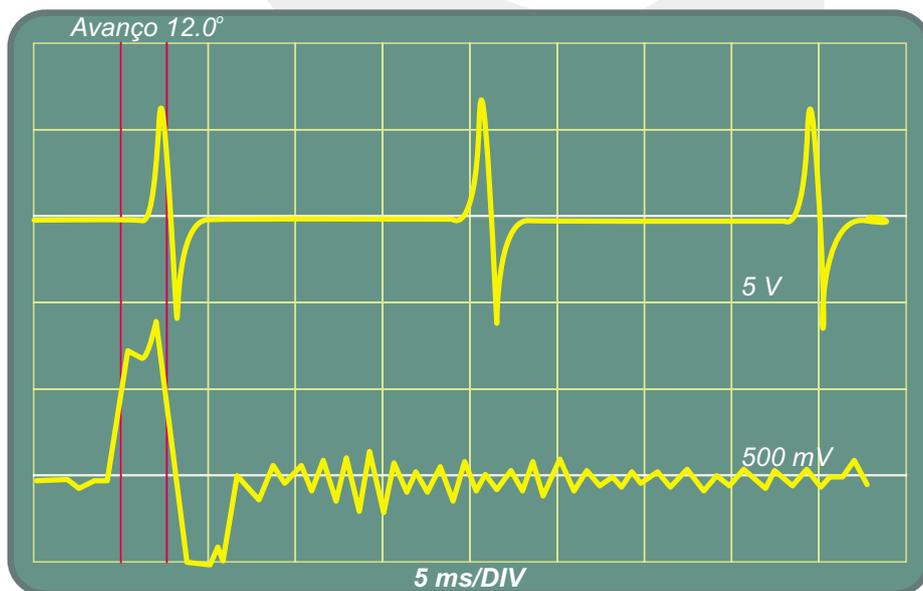
Sensor de rotação indutivo (4 dentes) x Ignição secundária

Parâmetros do teste:

- Motor em marcha lenta.
- Aumente a carga do motor, verifique a mudança no avanço

Observe também :

(4) – Comparação de sinais – 808 RPM (Peugeot 605 – 2.5L Diesel)



Sensor de rotação indutivo (4 dentes) x Injetor de diesel

CAPÍTULO 10



vendas@cicloengenharia.com.br

10 – Referencias Bibliográficas

1. <http://www.if.ufrj.br> (Prof. Carlos Bertulani)
2. <http://analog.inesc.pt>
3. FlukeView 98 for Windows
4. Manual MultiScope Compacto (Bosch)

