

TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES



MÓDULO III
ELETRÔNICA APLICADA



2025 - INEPROTEC

Diretor Pedagógico	EDILVO DE SOUSA SANTOS
Diagramação	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Capa	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Elaboração	INEPROTEC

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para contato@ineprotec.com.br.

VERSÃO 2.0 (01.2025)

Todos os direitos reservados à
Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli
Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja
Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF
E-mail: contato@ineprotec.com.br
www.ineprotec.com.br

Sumário

ABERTURA

SOBRE A INSTITUIÇÃO

- Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente
- Missão
- Visão
- Valores

SOBRE O CURSO

- Perfil profissional de conclusão e suas habilidades
- Quesitos fundamentais para atuação
- Campo de atuação
- Sugestões para Especialização Técnica
- Sugestões para Cursos de Graduação

SOBRE O MATERIAL

- Divisão do Conteúdo
- Boxes

BASE TEÓRICA

INTRODUÇÃO

HISTÓRIA DA TELEFONIA

- Telefonia fixa
- Origem e história
- Evolução do telefone
- História do Telefone no Brasil
- Telefonia móvel
- Primeira Geração (1G)
- Segunda Geração (2G)
- Terceira Geração (3G)
- Quarta Geração (4G)
- 4G+, 4,5G, LTE Advanced e LTE Advanced Pro
- 4G/LTE no mundo
- 4G/LTE no Brasil

SESSÕES ESPECIAIS

MAPA DE ESTUDO
SÍNTESE DIRETA
MOMENTO QUIZ
GABARITO DO QUIZ
REFERÊNCIAS

Módulo III

ELETRÔNICA APLICADA

Abertura

SOBRE A INSTITUIÇÃO

Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES pertence ao Eixo Tecnológico de INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO.

Vejamos algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES relacionados ao perfil profissional de conclusão e suas habilidades, quesitos fundamentais para atuação, campo de atuação e, também algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por Especializações Técnicas e/ou Cursos de Graduação.

Perfil profissional de conclusão e suas habilidades

- Participar na elaboração de projetos de telecomunicações.
- Instalar, testar e realizar manutenções preventivas e corretivas em sistemas de telecomunicações.
- Configurar equipamentos nas áreas de telefonia, transmissão e redes de comunicação.
- Supervisionar tecnicamente processos e serviços de telecomunicações.
- Elaborar documentação técnica.
- Prestar assistência técnica aos clientes.
- Realizar programação de softwares específicos para equipamentos de telecomunicações.
- Participar na elaboração da documentação técnica.

Quesitos fundamentais para atuação

Conhecimentos e saberes relacionados aos processos técnicos de telecomunicação cabeada ou de transmissão/tráfego de dados móveis, bem como às boas práticas de comunicação e de liderança de equipes.

Campo de atuação

- Empresas de telefonia fixa e móvel.
- Empresas de radiodifusão.
- Indústrias de telecomunicação.
- Agências reguladoras.
- Provedores de acesso a redes.
- Empresas de prestação de serviços.

Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em TV Digital.
- Especialização Técnica em Sistemas de Comunicação Móvel.
- Especialização Técnica em Convergência Digital.

Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Redes de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Telemática.
- Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações.
- Bacharelado em Engenharia Elétrica.

SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, afim de proporcionar subsídios suficientes a todos, no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.
- 2) BASE TEÓRICA.

3) SESSÕES ESPECIAIS.

Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.
- Momento Quiz.

Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

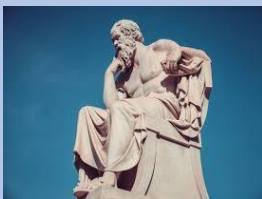
Os BOXES são:

▪ VOCÊ SABIA?



São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.

• PAUSA PARA REFLETIR...



Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.

▪ SE LIGA NA CHARADA!



Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.

Base Teórica

INTRODUÇÃO

A eletrônica é a ciência que estuda a forma de controlar a energia elétrica por meios elétricos nos quais os elétrons têm papel fundamental. Divide-se em analógica e digital porque suas coordenadas de trabalho optam por obedecer a estas duas formas de apresentação dos sinais elétricos a serem tratados.

Numa definição mais abrangente, podemos dizer que a eletrônica é o ramo da ciência que estuda o uso de circuitos formados por componentes elétricos e eletrônicos, com o objetivo principal de representar, armazenar, transmitir ou processar informações além do controle de processos e mecanismos. Sob esta ótica, também pode-se afirmar que os circuitos internos dos computadores (que armazenam e processam informações), os sistemas de telecomunicações (que transmitem informações), os diversos tipos de sensores e transdutores (que representam grandezas físicas sob forma de sinais elétricos) estão, todos, dentro da área de interesse da eletrônica.

Complementar à definição acima, a eletrotécnica é o ramo da ciência que estuda uso de circuitos formados por componentes elétricos e eletrônicos, com o objetivo principal de transformar, transmitir, processar e armazenar energia utilizando a eletrônica de potência. Sob esta definição, as usinas hidrelétricas, termoelétricas e eólicas (que geram energia elétrica), as linhas de transmissão (que transmitem energia), os transformadores, retificadores e inversores (que processam energia) e as baterias (que armazenam energia) estão, todos, dentro da área de interesse da eletrotécnica.

Entre os mais diversos ramos que a abrange estuda a transmissão da corrente elétrica no vácuo e nos semicondutores. Também é considerada um ramo da eletricidade que, por sua vez, é um ramo da Física onde se estudam os fenômenos das cargas elétricas elementares, as propriedades e comportamento, do elétron, fótons, partículas elementares, ondas eletromagnéticas.

NOÇÕES DE ELETRÔNICA BÁSICA

Principais conceitos

Circuito Linear

Um **circuito linear** é um circuito eletrônico no qual, para uma tensão de entrada sinusoidal de frequência f , qualquer saída de estado estável do circuito (a corrente através de qualquer componente ou a tensão entre quaisquer dois pontos) também é sinusoidal com a frequência f . Observe que a saída não precisa estar em fase com a entrada. No princípio de superposição, se um circuito é linear, então as fontes de tensão $V_1, V_2, \dots, V_n$ ocasionarão, respectivamente, uma tensão $V_{R1}, V_{R2}, \dots, V_{Rn}$ no resistor R_1 e a tensão total sobre o resistor será a soma destas tensões (ou seja, $V_{R1} + V_{R2} + \dots + V_{Rn}$.)

CIRCUITO LINEAR

- Um circuito linear é aquele que obedece ao princípio da sobreposição:
 - Se x for a entrada do circuito e y a saída $y = f(x)$
 - Considerando duas entradas x_1 e x_2 $x = (x_1, x_2) \Rightarrow y = (y_1, y_2)$
 - Então se a entrada tiver uma combinação dos dois sinais a saída apresenta uma combinação idêntica $x = ax_1 + bx_2 \Rightarrow y = ay_1 + by_2$

Figura 1: Circuito linear.

Linearidade

Quando dobramos a tensão em um resistor, a corrente dobra. Dizemos que um resistor é um dispositivo linear. Capacitores e indutores também são lineares.

Linearidade é um conceito matemático que tem um profundo impacto em projetos eletrônicos. A ideia em si é bastante simples, mas as implicações têm grande significado para nosso campo.

Linear

O termo *linearidade* se refere à propriedade de *escalonamento*. Suponha que você tenha duas propriedades físicas relacionadas, por exemplo, a velocidade que você corre e a distância que percorre. Dobrando sua velocidade, dobrará a distância. Triplicando sua velocidade, triplicará sua distância. Isto é chamado de uma relação *linear*. Geralmente, o custo de algo é linear. Se um caderno custa \$1, então dez cadernos custarão \$10.

Em eletrônica, um resistor ideal cria uma relação linear entre tensão e corrente. Se você dobrar a tensão, a corrente dobra, e vice-versa. Então, dizemos que um resistor ideal é um elemento linear.

Elementos e funções não-lineares

Em geral, funções com comportamento não-linear não têm essas propriedades. Nós, os humanos, não temos um método de uso geral para resolver com exatidão equações/circuitos não-lineares. Cada novo tipo de circuito requer técnicas matemáticas específicas para ele. A abordagem usual para circuitos não-lineares é deformá-los para fazê-los parecerem lineares ao longo de pelo menos um pequeno intervalo de operação. É o que acontece quando você vê expressões como "aproximação linear em intervalos" ou "modelo de incremento de sinal".

Cargas não-lineares

No campo de estudos dos circuitos elétricos, cargas se referem a equipamentos consumidores de corrente elétrica. O termo não se relaciona a carga elétrica, de corpos carregados eletricamente, cuja carga é medida na unidade de Coulomb, por exemplo.

Diferentes cargas elétricas apresentam diferentes relações *tensão elétrica x corrente elétrica*. Em cargas puramente resistivas, esta relação é linear, sendo o gráfico *tensão x corrente* uma reta que passa pela origem e tem inclinação igual à resistência ôhmica da carga.

Cargas indutivas ou capacitivas também podem ser consideradas lineares, uma vez que a relação entre corrente e tensão se dá através de derivadas ou integrais.

A maioria dos equipamentos eletrônicos, porém, não é composta apenas de resistências ôhmicas, indutâncias e capacitâncias. Possuindo semicondutores como diodos e transístores, ou ainda chaves manuais, estes equipamentos se tornam completamente não-lineares. Por exemplo, *curvas de tensão x corrente* de diodos apresentam descontinuidades (joelhos) em determinados valores de tensão. Chaves manuais podem ser consideradas ainda mais não-lineares, uma vez que seu acionamento depende iniciativa de seres humanos.

A dificuldade de modelagem de cargas não-lineares reside na complexidade da corrente que apresentam, em resposta às tensões impostas. Estas correntes frequentemente têm formas muito diferentes da forma da tensão aplicada, o que não ocorre com cargas lineares. Por exemplo, em resposta a tensões sinusoidais ocorrem correntes compostas por diversos harmônicos. Além disso, estes harmônicos podem causar ruídos na rede elétrica fazendo com que a tensão deixe de ser uma sinusóide.

Linearidade em palavras

- Escalonar a entrada por a escalona a saída por a .
- Adicionar duas entradas produz a mesma saída que aplicar cada entrada individualmente e adicionar as duas saídas separadas.

Condutores, Semicondutores e Isoladores

A resistência de um objeto depende da forma e do material de que é feito. A resistência de um material é inversamente proporcional à sua secção e diretamente proporcional ao seu comprimento (resistividade).

Os materiais podem ser divididos em três grupos:

- 1) **Condutores (baixa resistência):** metais (alumínio, cobre, prata) e carbono. Os metais são usados para fazer os fios condutores, contatos dos interruptores. Resistências são feitas de carbono ou de bobinas de fio de longo fino.
- 2) **Semicondutores (resistência intermédia):** O germânio e silício. Semicondutores são usados para fazer diodos, LEDs, transistores e circuitos integrados (chips).

- 3) **Isoladores (alta resistência):** a maioria dos plásticos como polietileno e PVC (policloreto de vinilo), papel, vidro. O PVC é usado como camada externa de cobertura.

Condutores Ôhmicos

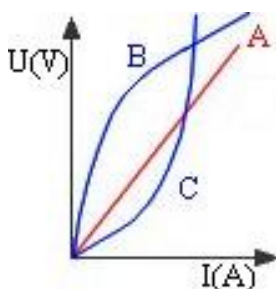


Figura 2: Condutores.

- ❖ A – Condutor ôhmico;
- ❖ B e C – Condutores não ôhmicos.

Denominam-se **condutores ôhmicos ou lineares** (A) os condutores cuja resistência elétrica tem sempre o mesmo valor qualquer que seja o circuito elétrico onde estão instalados, não dependem da intensidade da corrente e da diferença de potencial (tensão) (U).

Nos condutores ôhmicos o quociente da tensão (U) pela intensidade da corrente é constante, ou seja, a d.d.p (U) e a intensidade da corrente (I) são diretamente proporcionais.

Os condutores que não obedecem à lei de Ohm chamam-se **condutores não-ôhmicos ou não-lineares** (B-C). Para um condutor não ôhmico a diferença de potencial nos seus terminais não é diretamente proporcional à intensidade de corrente que o percorre, embora a sua resistência se continue a calcular pelo quociente V/I (este valor já não é uma constante). Agora a resistência do condutor depende de I (ou de V).

A lei mais importante quando o assunto é eletricidade é a Lei de Ohm, postulada pelo físico Georg Simon Ohm. Ela foi proposta por volta de 1827, e é base para compreender qualquer fenômeno relacionado a eletricidade.

A Lei de Ohm basicamente determina o conceito de resistência elétrica, além de relacionar ela com mais duas grandezas importantíssimas: tensão e corrente.

Essa relação diz mais sobre a Primeira Lei de Ohm, mas, nessa apostila, também falaremos sobre a Segunda Lei de Ohm, que diz respeito a resistividade e área do condutor.



Figura 3: Georg Simon Ohm.

O que é a resistência elétrica?

Quando Georg Simon Ohm estudou os fenômenos elétricos, a tensão e a corrente, ele percebeu uma outra grandeza. Ao dividir a tensão pela corrente, Georg Simon encontrava sempre uma relação entre as duas.

Ele percebeu corrente em um circuito é diretamente proporcional a tensão, enquanto que, a tensão é inversamente proporcional a uma terceira grandeza. Essa grandeza ele chamou de resistência elétrica.

A resistência elétrica nada mais é que a oposição a passagem de corrente em um determinado material. Quando você estudar essa grandeza, pode se deparar com a letra grega **ômega**, que é usada para sua representação.



Figura 4: Ômega.

A grandeza resistência é utilizada nos componentes eletrônicos chamados resistores.

Resistores

Esse componente serve para adicionar resistência elétrica a um circuito. Utiliza do efeito joule para funcionar, transformando energia elétrica em calor.

É importante ressaltar que os apenas os resistores ôhmicos ou lineares obedecem a Lei de Ohm. Resistores não-lineares não obedecem a essa lei.

Nos diagramas de circuito, o resistor pode ser apresentando das duas formas abaixo:

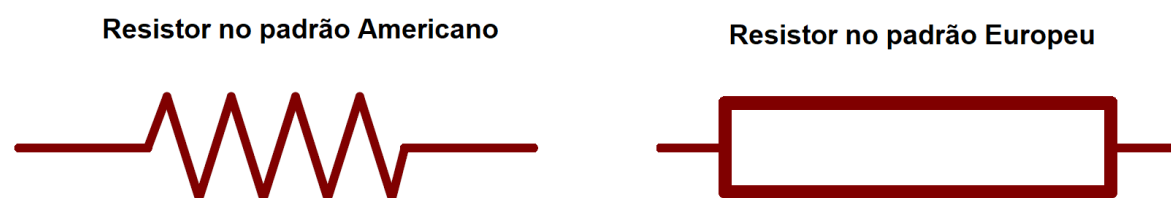


Figura 5: Resistores.

Essas duas variações existem por conta de existir dois padrões para o desenho de circuitos: o europeu e o americano.

Sempre que aparecer em um diagrama, o resistor deve vir acompanhado do valor de sua resistência, medida em ohms.

Primeira Lei de Ohm

“Para um condutor mantido à temperatura constante, a razão entre a tensão entre dois pontos e a corrente elétrica é constante. Essa constante é denominada de resistência elétrica.”

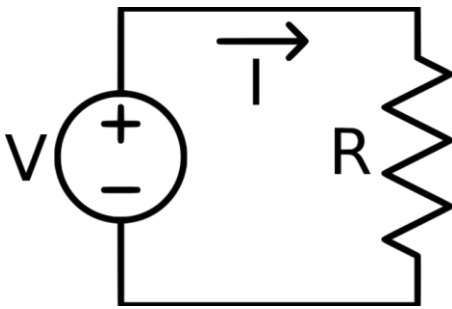


Figura 6: Representação da resistência elétrica em um condutor elétrico.

A primeira Lei de Ohm determina que a razão entre a tensão e a corrente elétrica é igual a resistência elétrica. A equação matemática para essa lei é a seguinte:

$$R = \frac{V}{i}$$

Figura 7: Fórmula da Primeira Lei de Ohm.

Em que:

- ❖ V = Tensão elétrica, medida em volts.
- ❖ R = Resistência elétrica, medida em ohms.
- ❖ I = Intensidade de corrente elétrica, medida em amperes.

Trabalhando um pouco na álgebra da equação da Lei de Ohm, você pode chegar a duas variações. Escolha e use a que achar mais conveniente.

$$V = R \cdot I$$

Figura 8: Variação da fórmula da Primeira Lei de Ohm com a tensão elétrica isolada.

$$i = \frac{V}{R}$$

Figura 9: Variação da fórmula da Primeira Lei de Ohm com a corrente elétrica isolada.

É importante notar que esta lei vale para condutores ôhmicos e mantidos a temperatura constante. Existem condutores não-ôhmicos, em que a resistência não é constante, e portanto, não obedecem a Lei de Ohm.

O que é a tensão e corrente?

A tensão elétrica é fornecida para um circuito através de um gerador. Há quem se refira a ela como diferença de potencial elétrico, ou DDP.

Um gerador pode ser uma pilha, uma fonte de alimentação, ou qualquer coisa que gere essa tensão elétrica para o circuito.

A corrente elétrica, é o fluxo de elétrons no condutor submetido a uma tensão elétrica. O sentido desse fluxo ocorre do terminal negativo para o positivo. Por convenção, considera-se o fluxo ocorrendo do terminal positivo para o negativo.

A tensão elétrica é medida em volts, e a corrente elétrica é medida em amperes.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

O que o motor disse para o mecânico no primeiro encontro?

RESPOSTA:

"Espero que você me entenda, eu tenho muitas peças em movimento."

NOÇÕES DE ELETRÔNICA DIGITAL

Principais conceitos

O que são sistemas digitais?

Imagine que você precisa transmitir informações por meio de circuitos elétricos.

Para isso, é possível considerar que o sistema elétrico possui apenas dois valores de tensão ou corrente possíveis.

Isto é, quando o circuito está “ligado” ou “desligado”. Quando há tensão ou não. **0 ou 1**. Assim, pode-se utilizar o **Sistema Binário** para enviar e receber informações.

Sistema Binário

É um sistema numérico com base 2, em que todos valores se representam apenas por 0 ou 1.

Para entender melhor, veja a tabela abaixo:

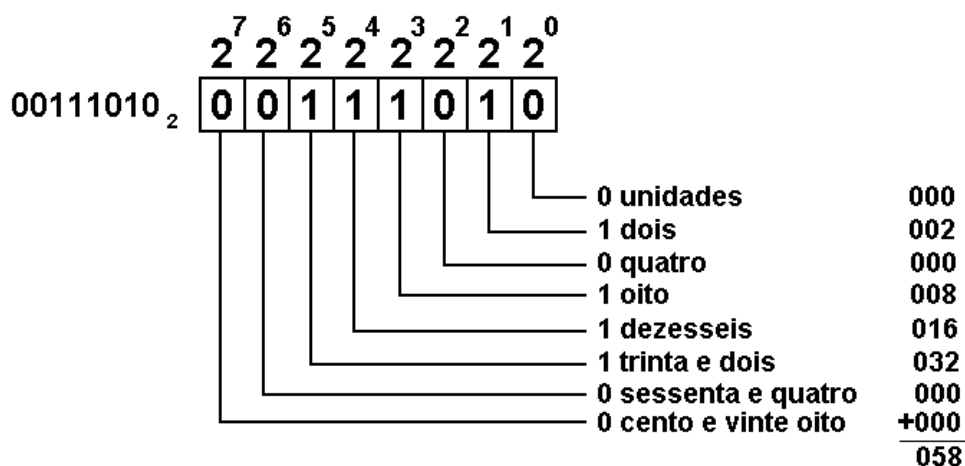


Figura 10: Sistema Binário.

Note que o valor mostrado em binários depende da posição de cada 0 e 1.

Em computação cada 0 ou 1 é chamado de **bit**. Um agrupamento de **8 bits** forma um **byte**.

Portas lógicas

Em sistemas digitais, as portas lógicas são utilizadas para realizar operações com sinais elétricos.

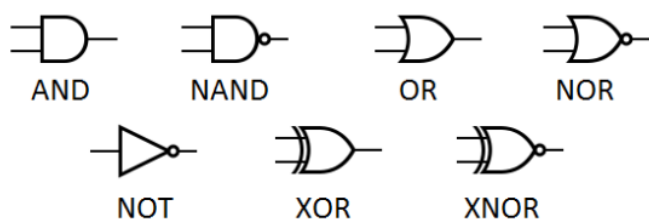


Figura 11: Portas lógicas.

São alguns exemplos de portas lógicas básicas:

- **AND** – utiliza como base o produto lógico.
- **OR** – utiliza como base a soma lógica.
- **NOT** – utiliza como base o operador de inversão.

A partir da combinação delas, são criados sistemas mais complexos, capazes de realizarem operações bem mais avançadas.

Porta Lógica AND

Traduzindo do inglês, **AND** significa **E**.

Para a saída ser igual a 1, todas as entradas devem também ser iguais a 1.

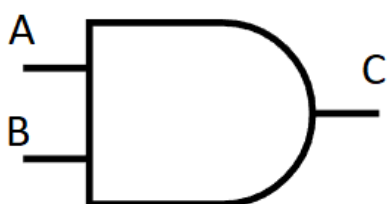


Figura 12: Porta lógica.

Se A e B forem 1, C também será 1.

Assim é fácil entender por que ela funciona a partir do operador de produto lógico:

$1 \times 0 = 0$, mas $1 \times 1 = 1$.

Veja a tabela verdade, que representa os níveis lógicos de entrada e os níveis de saída correspondentes:

AND		
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figura 13: Tabela verdade da porta lógica AND.

Porta lógica OR

Já essa porta lógica, trabalha com a soma lógica.

Pelo menos uma entrada precisa ser 1 para a saída também ser 1.

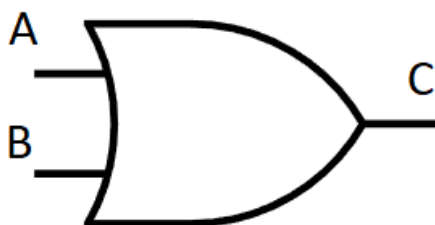


Figura 14: Porta lógica OR.

Se A **ou** B forem 1, C será 1.

Se as duas entradas forem 1, sem problemas, a saída também será 1.

Agora, se nenhuma entrada for 1, a saída será 0.

Veja a tabela verdade:

OR		
A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Figura 15: Tabela verdade da porta lógica OR.

Porta lógica NOT

Essa porta funciona como inversora.

O valor de saída sempre será o contrário do valor de entrada.

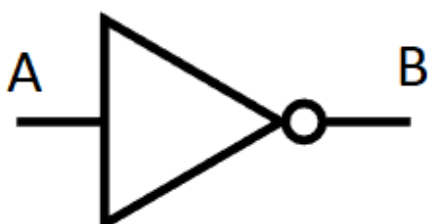


Figura 16: Porta lógica NOT.

Se A for 1, B **não** vai ser 1

Se a entrada for 1, a saída vai ser 0.

Se a entrada for 0, a saída vai ser 1.

Segue a tabela verdade:

NOT	
A	B
0	1
1	0

Figura 17: Tabela verdade da porta lógica NOT.

Porta lógica XOR

Essa porta é o ou exclusivo.

Funciona da seguinte forma: se todas entradas são iguais, a saída é igual a 0.

Como as entradas não são iguais, a saída é igual a 1.

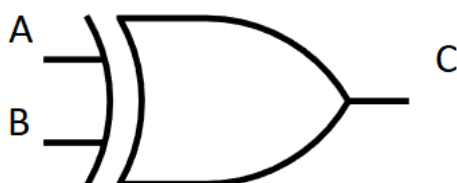


Figura 18: Porta lógica XOR.

Veja a tabela da porta XOR:

XOR		
A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figura 19: Tabela verdade da porta lógica XOR.

Porta lógica NOR

Funciona com o operador de soma lógica em conjunto com o de inversão.

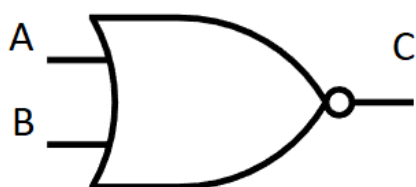


Figura 20: Porta lógica NOR.

A saída somente será igual a 1 quando todas entradas forem 0.

Se qualquer uma das entradas for 1, a saída será igual a 0.

Veja a tabela verdade:

NOR		
A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Figura 21: Tabela verdade da porta lógica NOR.

Porta lógica XNOR

Funciona com um operador de soma lógica com um círculo e um operador de inversão.

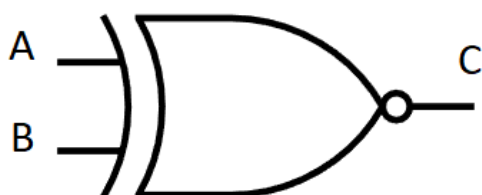


Figura 22: Porta lógica XNOR.

Se as entradas forem diferentes, a saída é igual a 0.

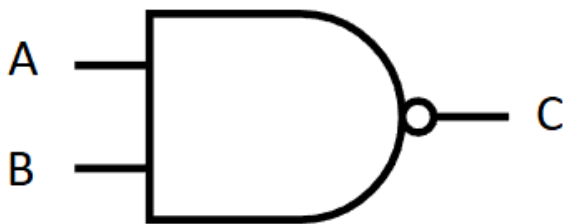
Se as entradas forem iguais, a saída é igual a 1.

Tabela verdade da porta lógica XNOR:

XNOR		
A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figura 23: Tabela verdade da porta lógica XNOR.**Porta lógica NAND**

Utiliza o produto lógico em conjunto com o operador de inversão.

**Figura 24:** Porta Lógica NAND.

Se pelo menos uma das entradas for 0, a saída será igual a 1.

Se todas as entradas forem 1, a saída será igual a 0.

Veja na tabela verdade como isso funciona:

NAND		
A	B	C
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figura 25: Tabela verdade da porta lógica NAND.**VOCÊ SABIA?**

As linhas de telefone aguentam trovão, chuva e terremoto sem dar pau. Mas sofrem com uma praga: programadores incompetentes. E ela atacou em 15 de janeiro de 1990, quando uma central americana que direciona ligações entrou em pane. Não seria nada, não fosse uma falha de programação que fez essa central

“avisar” outras 113 que elas também estavam quebradas – quando não estavam. Resultado: a maior parte dos Estados Unidos ficou sem chamadas de longa distância por nove horas.

Aritmética binária

É importante salientar que as máquinas em seu interior não sabem interpretar números decimais (5, 12, 20, 32) por suas condições elétricas, por este motivo que a **lógica binária** é adotada. O sistema de numeração binário é composto por dois números, sendo 0 ou 1. Eles representam estados de ligado/verdadeiro e desligado/falso, tornando-se aplicável em relés e transistores de junção bipolar, componentes que deram vida aos primeiros computadores. Estes componentes comuns da eletrônica se comportam como um **circuito digital**, pois entregam a característica de mudanças de estados, representados por variações de níveis de tensões, no qual os intervalos são de 0-0,8 Volts para falso e 2-5 Volts para verdadeiro.

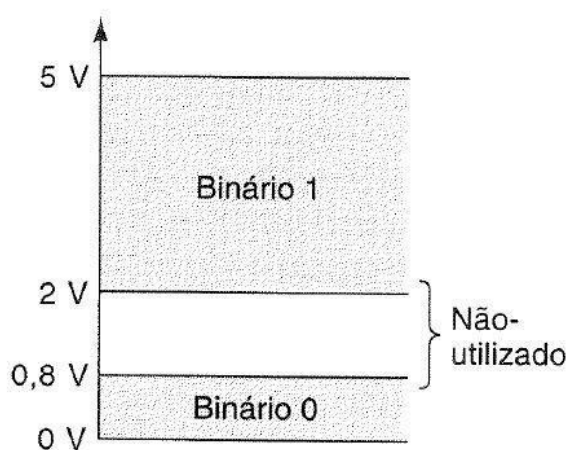


Figura 26: Aritmética binária.

Quando este tipo de circuito é capaz de responder a uma ou várias entradas de dados, chamamos ele de **circuito lógico**. Eles são capazes de interpretar diversas operações lógicas ou booleanas, como as portas lógicas E, Ou, Inversora e suas derivações. Podemos desenvolver circuitos com diversas portas lógicas combinadas para gerar um resultado satisfatório em uma determinada função do sistema. Em projetos eletrônicos reais utilizamos

estas portas lógicas encapsuladas em CI's (Circuitos Integrados), sendo mais práticos no dia a dia. Quando uma lógica combinacional ou sequencial é muito difundida entre os projetistas, elas seguem o mesmo processo de encapsulamento, favorecendo cada vez mais a miniaturização dos circuitos.

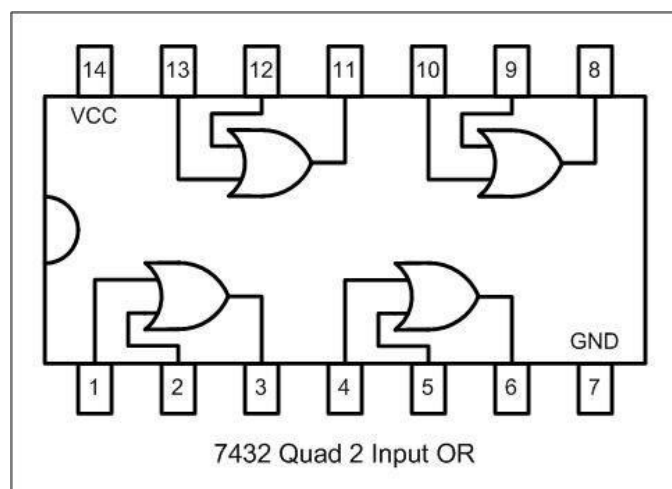


Figura 27: Circuito lógico.

Você já se perguntou como os computadores e calculadoras realizam a operação aritmética mais simples de todas? Para realizar uma soma decimal precisamos de dois números, por exemplo 10 e 2, e depois somar estes números para obter um resultado, onde $10 + 2 = 12$. A **adição binária** não é diferente, porém utilizamos números decimais convertidos para a base binária. Para realizar o cálculo utilizamos um conjunto de 4 bits ou nibble, ou seja, 10 em binário é 1010 e 2 é 0010, somando estes números teremos $1010 + 0010 = 1100$.

bit de carry (vai um)

1	
MSB	LSB
1010	
+ 0010	
1100	

$0 + 0 = 0$	
$1 + 0 = 1$	
$1 + 1 = 10$	$0 + \text{carry } 1$
$1 + 1 + 1 = 11$	$1 + \text{carry } 1$

Figura 28: Adição binária.

Vamos realizar estes passos detalhadamente no "papel", a adição binária se inicia sempre pelo bit menos significativo ou LSB, então começando a operação temos $0 + 0 = 0$, qualquer lógica comum que possui as entradas em 0 o resultado será 0, exceto quando

trabalhamos com a porta lógica Inversora/NOT e suas derivadas. Depois realizamos $1 + 1 = 10$, como este valor possui dois números binários, o 1 é o bit de carry ou "vai um" da adição tradicional. Agora temos o **bit de carry**, então somamos ele $1 + 0 + 0 = 1$, e finalmente temos $1 + 0 = 1$, chegando em nosso resultado final de 1100 ou 12 na base decimal. Você pode treinar a adição binária com outros valores, se tiver dúvidas do resultado utilize a calculadora do Windows em modo Programador.

Full Adder

Full Adder's ou somadores completos é a lógica combinacional para somar números binários na eletrônica digital. Os computadores e calculadoras possuem este circuito, porém embutido na **unidade aritmética** do microprocessador, que realizam operações binárias mais complexas derivadas de Full Adder's, como subtração, divisão e multiplicação.

O circuito é composto por portas lógicas E/AND, OU/OR e OU EXCLUSIVO/XOR, como mostra a imagem abaixo de um Full Adder de 1 bit com carry out. Com este circuito você pode somar até 2 ou 0010.

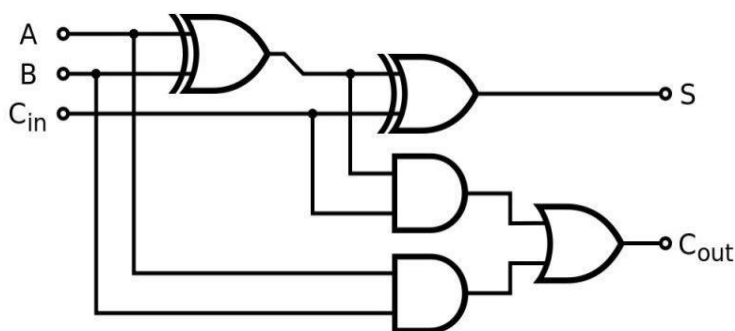


Figura 29: Full Adder de 1 bit com carry out.

TRUTH TABLE

A_i	B_i	C_i	C_o	SUM
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
1	1	0	1	0
0	0	1	0	1
1	0	1	1	0
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1

Figura 30: Tabela da verdade.

O funcionamento deste circuito não tem segredo, as entradas A, B são os valores que queremos somar, C_{in} é o bit de carry, onde o primeiro é zero ou GND para representar uma adição. As saídas S e Cout representam o resultado da adição, onde Cout é o "estouro" da operação, onde podemos analisar esses valores utilizando a sua tabela verdade. Para somar 4 bits são necessários quatro destes circuitos em cascata, onde o primeiro Cout é ligado no segundo C_{in} e assim por diante, aumentando o resultado para 30 ou 11110!

Teoremas da Álgebra Booleana

Álgebra de Boole

A álgebra booleana, como qualquer outro sistema matemático dedutível, pode ser definida como um conjunto de elementos, um conjunto de operadores, e um número de axiomas, ou postulados, não provados.

Os postulados de um sistema matemático são as suposições, ou considerações básicas a partir das quais é possível se deduzirem as regras, os teoremas, e as propriedades do sistema. Os postulados mais comuns usados para se formularem várias estruturas algébricas são:

1 – Fechamento:	$a * b = c$	$a, b, c \in S$
2 – Lei Associativa:	$(a * b) * c = a * (b * c)$	$a, b, c \in S$
3 – Lei Comutativa:	$a * b = b * a$	$a, b \in S$
4 – Elemento Identidade:	$e * a = a * e = a$	$a \in S$
5 – Inversa:	$a * b = e$	$a, b \in S$
6 – Lei Distributiva:	$a * (b \# c) = (a * b) \# (a * c)$	$a, b, c \in S$

Figura 31: Tabela sobre os postulados mais comuns usados para se formularem estruturas algébricas.

Um exemplo de estrutura algébrica é um corpo (*field*). Um corpo é um conjunto de elementos, juntamente com dois operadores binários, cada um atendendo as 5 primeiras leis, e os dois combinados para atender a 6ª.

A álgebra de Boole é uma estrutura algébrica definida sobre um conjunto B de elementos, juntamente com dois operadores + e $\cdot$ tal que os seguintes postulados (de Huntington) sejam satisfeitos:

- a) Fechamento em relação ao operador +
 - b) Fechamento em relação ao operador $\cdot$
- a) Um elemento identidade em relação a +, designado por 0
 - b) Um elemento identidade em relação a $\cdot$, designado por 1
- a) Lei comutativa em relação a +
 - b) Lei comutativa em relação a $\cdot$
- a) É distributiva em relação a +
 $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$
- Para todo elemento $a \in B$, existe um elemento $a' \in B$ (chamado complemento de a) tal que:
 - (a) $a + a' = 1$ e (b) $a \cdot a' = 0$

6. Existem pelo menos dois elementos $a, b \in B$ tal que $a \neq b$. Como a álgebra de Boole lembra a álgebra dos números reais, os símbolos $+$ e $\cdot$ foram escolhidos para representar seus operadores apenas por atuarem de forma parecida à dos operadores de soma e multiplicação da álgebra real. Na álgebra de Boole só existem dois elementos, que pelo motivo de lembrar a álgebra dos números reais, foram escolhidos 0 e 1.

Operadores utilizados na Álgebra de Boole:

- $+$ adição, união, operação lógica OU
- $\cdot$ multiplicação, interseção, operação lógica E

Elementos utilizados na Álgebra de Boole:

- 0 nível lógico zero, negativo, desligado
- 1 nível lógico um, afirmativo, ligado

Postulados e teoremas da Álgebra de Boole:

	Caso (a)	Caso (b)
Postulado 2	$a + 0 = a$	$a \cdot 1 = a$
Postulado 5	$a + a' = 1$	$a \cdot a' = 0$
Teorema 1	$a + a = a$	$a \cdot a = a$
Teorema 2	$a + 1 = 1$	$a \cdot 0 = 0$
Teorema 3, involução	$(a')' = a$	$(a')' = a$
Postulado 3, comutativo	$a + b = b + a$	$a \cdot b = b \cdot a$
Teorema 4, associativo	$a + (b + c) = (a + b) + c$	$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$
Postulado 4, distributivo	$a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$	$A + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$
Teorema 5, DeMorgan	$(a + b)' = a' \cdot b'$	$(a \cdot b)' = a' + b'$
Teorema 6, absorção	$a + (a \cdot b) = a$	$a \cdot (a + b) = a$
Teorema 7	$a + (a' \cdot b) = a + b$	$a \cdot (a' + b) = a \cdot b$
Teorema 8	$a' + (a \cdot b) = a' + b$	$a' \cdot (a + b) = a' \cdot b$

Figura 32: Tabela sobre os postulados e teoremas da Álgebra de Boole.

Verifica-se que os postulados e teoremas são duais, isto é, existem sempre os casos (a) e (b) que são simétricos. No caso (a), onde se escreve $+$, $\cdot$, 0 , 1 , no caso (b) correspondente, escreve-se $\cdot$, $+$, 1 , 0 , respectivamente.

Os teoremas 6 e 7 são derivados dos postulados e teoremas anteriores, mas devem ser citados no quadro por facilitarem as simplificações de várias expressões lógicas.

Sistemas combinacionais

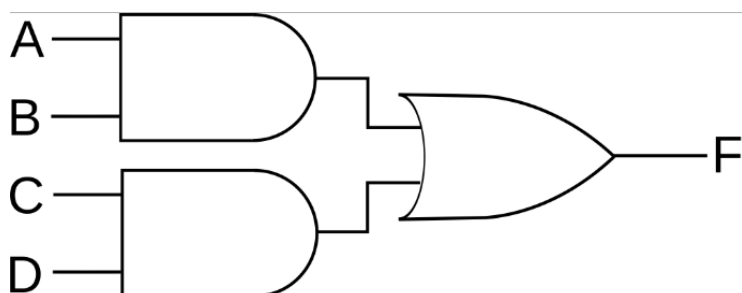


Figura 33: *Sistemas combinacionais.*

Circuitos Combinacionais possuem como principal característica ter seus resultados de saída determinados pela combinação de valores de entrada naquele instante, ou na mesma linha da tabela verdade.

Os circuitos lógicos dos sistemas digitais podem ser de dois tipos: circuitos combinacionais ou circuitos sequenciais. Um circuito combinacional é constituído por um conjunto de portas lógicas as quais determinam os valores das saídas diretamente a partir dos valores atuais das entradas. Pode-se dizer que um circuito combinacional realiza uma operação de processamento de informação a qual pode ser especificada por meio de um conjunto de equações Booleanas. No caso, cada combinação de valores de entrada pode ser vista como uma informação diferente e cada conjunto de valores de saída representa o resultado da operação. A figura 3.1 mostra o diagrama de blocos genérico de um circuito combinacional.

- **Decodificadores:** apresentam uma linha do código de saída para cada linha do código de entrada;

- **Circuitos Aritméticos:** apresentam um resultado na saída para cada grupo de operandos, isto é, para cada linha de uma tabela verdade.

Sistemas sequenciais

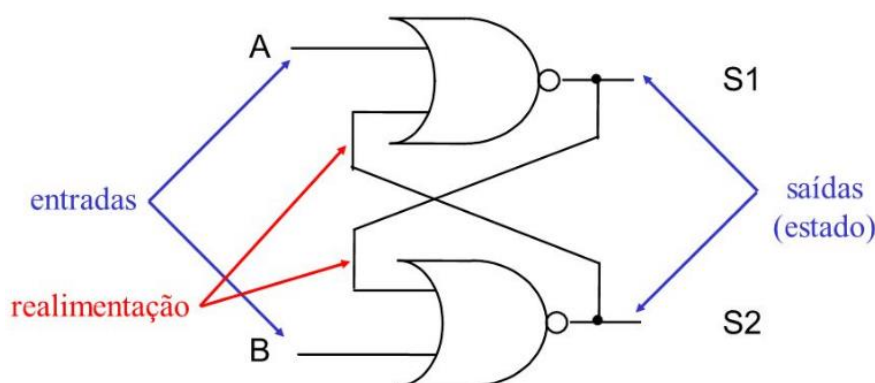


Figura 34: Sistemas sequenciais.

Para determinar o resultado da saída em certas combinações é necessário conhecer os resultados das saídas de etapas anteriores, além da **combinação das entradas** no instante em que se deseja obter a saída.

Em circuitos sequenciais pode-se reter o valor armazenado, isto é, memorizá-lo.

Um circuito sequencial, por sua vez, emprega elementos de armazenamento denominados latches e flip-flops, além de portas lógicas. Os valores das saídas do circuito dependem dos valores das entradas e dos estados dos latches ou flip-flops utilizados. Como os estados dos latches e flip-flops é função dos valores anteriores das entradas, diz-se que as saídas de um circuito sequencial dependem dos valores das entradas e do histórico do próprio circuito. Logo, o comportamento de um circuito sequencial é especificado pela sequência temporal das entradas e de seus estados internos. A figura 35 esboça um diagrama de blocos genérico para circuitos sequenciais conhecido como modelo de Mealy.

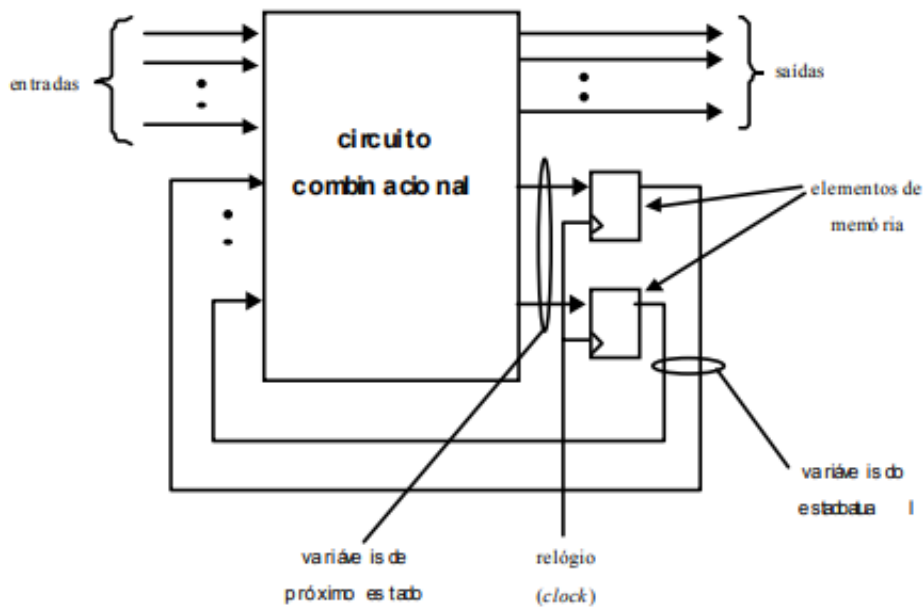


Figura 35: Circuito combinacional.



PAUSA PARA REFLETIR...

Qualquer um que parar de aprender está velho, seja aos vinte ou aos oitenta anos.
Henry Ford.

NOÇÕES DE ELETRÔNICA ANALÓGICA

Principais conceitos

Semicondutores

Os semicondutores são sólidos capazes de mudar sua condição de isolantes para condutores com grande facilidade.

Muito utilizado em equipamentos eletrônicos, os semicondutores são sólidos capazes de mudar sua condição de isolante para condutores com grande facilidade. Isso se deve ao fato de que os semicondutores possuem uma banda proibida intermediária.

A banda proibida é a região localizada entre as bandas de valência, ou camada de valência do átomo, e a banda de condução (região onde, sob ação de um campo elétrico, se forma a corrente elétrica).

Quando os elétrons recebem certa quantidade de energia, eles se tornam livres e saem da camada de valência para a camada de condução.

A condutividade dos semicondutores pode ser alterada variando-se a temperatura, o que faz com que atinjam uma condutividade semelhante à dos metais.

A condutividade dos semicondutores provenientes de excitações térmicas é denominada condutividade intrínseca.

Os semicondutores podem ser de silício ou germânio, utilizados para a fabricação de componentes eletrônicos, como, por exemplo, os transistores.



Figura 36: Indicadores de níveis de energia.

Bandas de valência, banda proibida e banda de condução de: isolantes, condutores e semicondutores.

Mas qual são as características dos semicondutores que os tornam tão importantes para a eletrônica?

Os semicondutores formam **bandas de energia**, com as seguintes características:

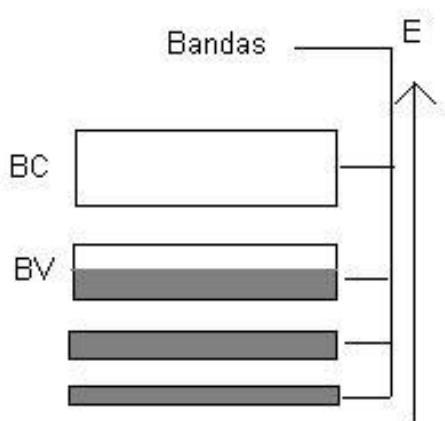


Figura 37: Bandas de energia.

São formadas bandas, separadas por lacunas. A última banda é chamada de **banda de condução**. Logo abaixo existe a banda de valência, e em baixo as outras camadas. Na temperatura 0K, a banda de condução vai estar totalmente vazia, e a banda de valência totalmente preenchida (na imagem acima a temperatura está mais elevada).

Quando o material é aquecido, alguns elétrons saem da banda de valência e passam para a banda de condução. Isso somente é possível devido ao ganho de energia no elétron, pois para passar à uma banda superior, deve ter energia o suficiente (representado por ΔE).

- ✓ **Conclusão parcial:** sob temperatura 0K os semicondutores possuem a camada de valência totalmente preenchida e um ΔE relativamente baixo (entre o ΔE dos condutores e dos isolantes), o que possibilita controlar a condutividade deles variando a temperatura.

Dopagem

Como os semicondutores em condições normais apresentam uma condução muito baixa, alguns átomos (num processo muito preciso) são substituídos por impurezas, com a finalidade de aumentar a condutividade.

- ✓ *Impureza doadora*: corresponde aos elementos químicos que possuem cinco elétrons na última camada, que se colocados na estrutura do semicondutor, terão quatro elétrons envolvidos em ligações covalentes (sobra um, que fica praticamente livre). O semicondutor dopado com uma impureza doadora é denominado do tipo N.
- ✓ *Impureza aceitadora*: corresponde aos elementos químicos que possuem três elétrons na última camada, que se colocados na estrutura do semicondutor, terão três elétrons envolvidos em ligações covalentes (falta um, o que implica na formação de um buraco). O semicondutor dopado com uma impureza aceitadora é denominado do tipo P.

Diodo Semicondutor

O que é um semicondutor?

Diodo é um dos elementos básicos da eletrônica como conhecemos, ele é o componente semicondutor mais simples existente e base para circuitos e até mesmo outros componentes como os transistores que revolucionaram a eletrônica, ele é formado pela junção de dois materiais semicondutores que basicamente são isolantes que foram dopados e se tornaram condutores, e é a junção do material que confere ao diodo sua capacidade tão especial de conduzir ou não corrente elétrica.

Fabricação

O diodo é fabricado a partir de silício, elemento químico de símbolo Si e número atômico 14 e quatro elétrons na camada de valência o que na forma de cristal confere ao silício característica de isolante. Para a utilização do silício na fabricação de diodos (ou transistores) ele é purificado e passa por um processo que forma uma estrutura cristalina em seus átomos. O material é preparado e passa por um processo de dopagem, onde são

introduzidas quantidades controladas de materiais selecionados que modificam a estrutura eletrônica, introduzindo-se entre as ligações dos átomos de silício, roubando ou doando elétrons dos átomos, gerando o silício P ou N, conforme ele seja positivo (tenha falta de elétrons) ou negativo (tenha excesso de elétrons). São usados para a dopagem do silício elementos químicos como o Fósforo ou Arsênio para cristais tipo N ou Boro e Gálio para cristais tipo P, isso confere ao silício a capacidade de conduzir corrente elétrica.

No caso da dopagem do tipo N, o Fósforo possui 5 elétrons na sua camada mais externa isso faz com que no momento da recombinação com o silício um dos elétrons fique livre para se mover (já que originalmente o silício possui 4 elétrons) possibilitando que uma corrente atravesse o material, e dando ao material carga negativa.

No caso da dopagem do tipo P, o Boro tem apenas 3 elétrons em sua camada externa, sendo assim quando misturadas com a estrutura do silício, é formado um buraco pela falta de um elétron, isso confere carga positiva ao material podendo assim também conduzir corrente.

A união de uma pequena quantidade de material dopado tipo N e tipo P, transforma o cristal de silício de um bom isolador para um condutor, porém não tão bom por isso leva o nome de semicondutor, os materiais N e P quando separados não possuem características muito especiais, porém quando unidos a junção entre eles pode produzir resultados muito interessantes, isso acontece em um diodo.

O diodo

O diodo é o mais simples dos semicondutores. Ele permite que a corrente flua em uma das direções, mas impede que flua na outra, isso devido a junção dos cristais dopados de silício N (cátodo) e P (ânodo) a figura exemplifica a ligação de um diodo.

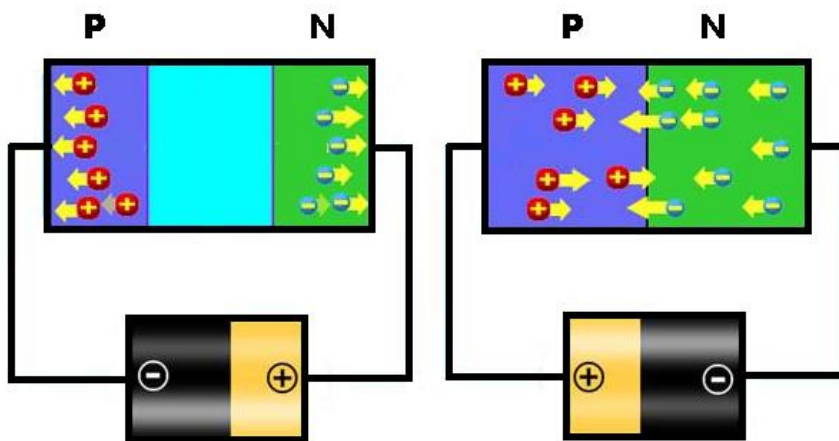


Figura 38: Diodo.

Na imagem o cristal N é um condutor por si só já que tem possui elétrons livres e o cristal P também, porém apenas a união dos dois não conduz corrente elétrica, se ligarmos o terminal positivo da bateria no terminal N do diodo, os elétrons serão atraídos ao terminal da bateria bem como os buracos do cristal P serão atraídos para o terminal negativo da bateria, sendo assim a corrente não fluirá pelo diodo.

Porém se invertemos a conexão da bateria, teremos corrente fluindo já que os elétrons livres no cristal tipo N serão repelidos pelo terminal negativo da bateria e os buracos do cristal P serão repelidos pelo polo positivo da bateria, sendo ambos empurrados para a junção entre os cristais, nesse momento elétrons livres e os buracos se encontram os elétrons livres preenchem os buracos, sendo assim os elétrons livres e os buracos deixam de existir e novos buracos e elétrons são empurrados para a junção, fazendo assim que flua corrente pela junção. Por si só o movimento dos elétrons entre os cristais cria uma diferença de potencial que para os diodos de silício é de 0,7V.

Um dispositivo que bloqueia a corrente em uma direção e permite a passagem em outra, pode ser utilizada nas mais diversas aplicações, esse é o caso do diodo. Por exemplo em dispositivos que utilizam baterias para evitar inversão de polaridade, ou mesmo em circuitos retificadores que converter a tensão alternada em corrente contínua, mas a maior aplicação dos semicondutores e obviamente do diodo é o transistor que tem muito em comum.

Porém o diodo, como todos os outros componentes eletrônicos, não possui características totalmente ideais, ou seja, no diodo ideal toda corrente reversa aplicada aos seus terminais

deveria ser bloqueada mais isso não acontece na vida real devido a suas características construtivas, sua curva característica pode ser vista no gráfico.

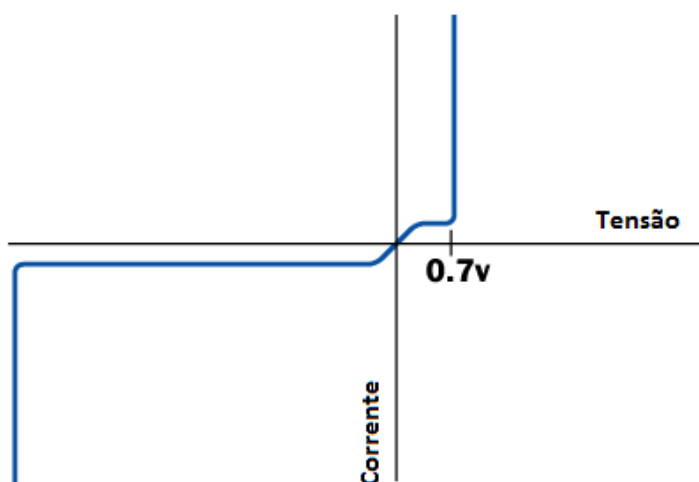


Figura 39: Diodo com tensão de 0,7 V.

Em um diodo ideal quando reversamente polarizado deverá bloquear totalmente a corrente, porém em um diodo real uma pequena corrente de fuga aparece da ordem de micro ampere. Outro ponto é aplicação demasiada de tensão reversa na junção do diodo, sendo que se ultrapassar o limite construtivo a barreira pode se romper e o diodo passar a conduzir. Para polarizar o diodo é necessária uma pequena tensão que para os diodos de silício é em torno de 0,7V.

EXEMPLO:

Um exemplo de diodo comum é o 1N4007, muito usado em diversos projetos de eletrônica, algumas de suas características são:

- ✓ Pico máximo suportado de tensão reversa 1000V.
- ✓ Máxima tensão reversa RMS 700V.
- ✓ Corrente 1^a.

Encapsulamento e simbologia

Os diodos podem ser encapsulados de várias maneiras diferentes, a mais comum para projetos de montagem com furos é a DO-41 como é o caso do 1N4007, mas também podem ser encontrados diodos para potências superiores, ou até mesmo modelos de montagem em superfície. Alguns dos encapsulamentos são:

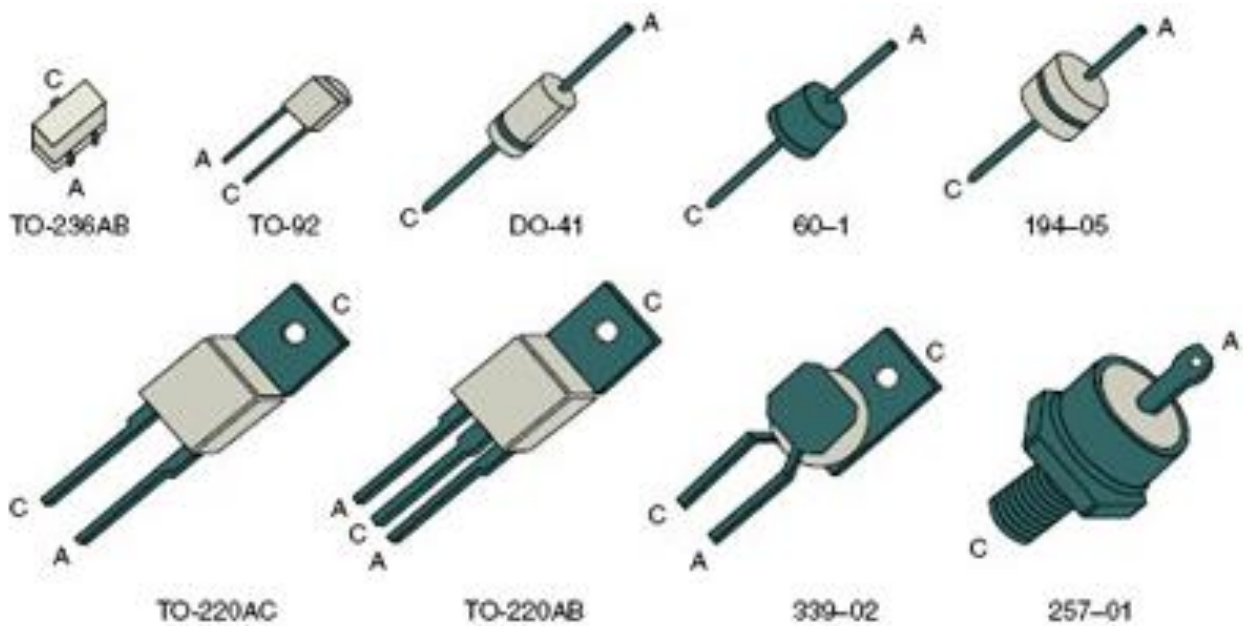


Figura 40: Diodos encapsulados.

O diodo é esquematicamente representado por um triângulo e um traço representando o cátodo, em um diodo real, o cátodo também é representado por um traço desenhado no encapsulamento.

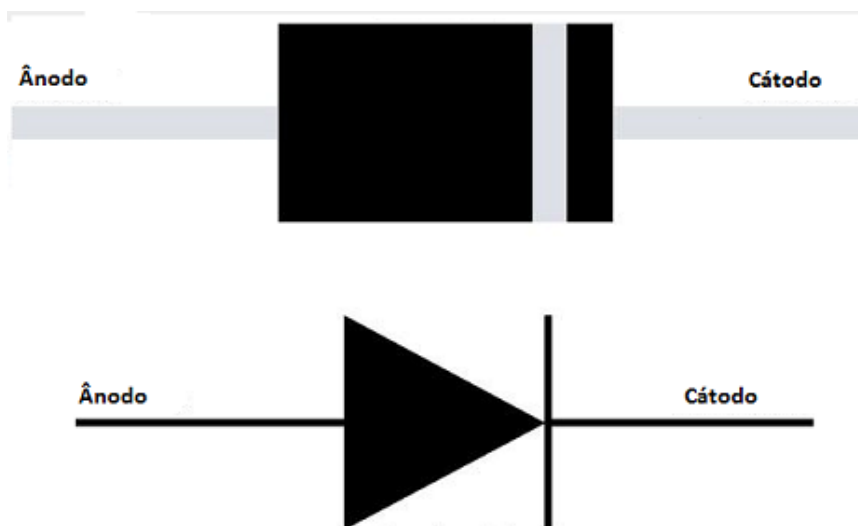


Figura 41: Diodos esquematicamente representados.

Retificadores

Um **circuito retificador**, ou simplesmente **retificador**, corresponde aos circuitos elétricos elaborados para a conversão de corrente alternada em contínua. Utiliza-se para este processo elementos semicondutores, tais como os diodos e tiristores, além de um transformador. Em outras palavras, trata-se de um dispositivo que permite que uma tensão, ou corrente alternada (CA) (normalmente senoidal) seja constante, ou seja transformada em contínua.

Existem vários tipos de retificadores e métodos complexos para seu projeto e construção, normalmente sendo empregados no circuito diodos e tiristores (esse último amplamente utilizado em retificadores de alta potência). Os retificadores mais simples são do tipo meia-onda, onda completa com center tape e onda completa em ponte.

O pior retificador é o retificador de meia-onda, pois ele gera muita interferência na onda, porém, é o mais barato pois só usa um diodo. Para tentarmos reduzir a perda na queda da onda, que chega a zero em qualquer tipo das retificações, adicionamos capacitores, que quando a onda estiver subindo, são carregados e quando a onda estiver descendo, estes se descarregam em uma tentativa de manter o nível de tensão elevado. Sendo que a variação na crista da onda, que exhibe o ato de carregar e descarregar o capacitor denomina-se Ripple.

Os circuitos retificadores são circuitos cuja finalidade é obter corrente contínua (DC), a partir de corrente alternada (AC). O processo de mudança de AC para DC que ocorre em uma fonte de tensão geralmente é composto por pelas etapas de transformação, retificação, filtragem e estabilização, onde o transformador tem a função de reduzir ou elevar a tensão disponível, que será enviada ao retificador, onde a corrente AC, que é bidirecional, é convertida em uma corrente unidirecional (DC). No filtro, é reduzida a pulsação da tensão através de capacitor, mas resultando ainda em uma tensão com pequenas oscilações, conhecida como "ripple". Esse sinal é estabilizado ou através de um regulador zener ou através de circuito integrado, como por exemplo a série LM78XX. Por fim, a carga recebe essa tensão filtrada e regulada (estabilizada).



Figura 42: Esquemas de uma fonte de tensão.

Dentro desse processo atuam os diodos e os tiristores, compostos por junções PN (positivo - negativo) que são a justaposição de materiais semicondutores. Um diodo conduz corrente em apenas um sentido, impedindo corrente reversa. O tiristor tem a função de abrir e fechar circuitos com grandes cargas, como motores, eletroímãs e aquecedores, e converter AC em DC ou DC em AC. Os tiristores possuem dois estados de funcionamento: o corte e a condução, sendo assim dispositivos de comutação.

Os circuitos retificadores dividem-se em dois grupos principais, os de meia-onda e os de onda completa.

Retificador de meia onda

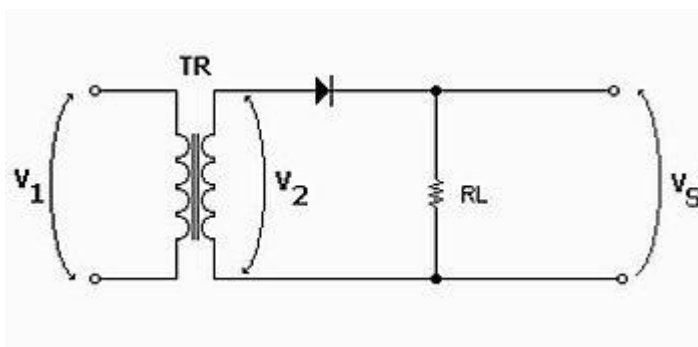


Figura 43: Retificador de meia-onda.

O retificador de meia-onda possui um diodo em série com uma resistência de carga. A ddp na carga tem como saída uma senóide de meia-onda. Logo a ddp média ou corrente contínua na saída de uma resistência de meia onda é igual da amplitude máxima da tensão (tensão de pico).

O retificador de meia onda permite a passagem de apenas um dos semiciclos da tensão de entrada para a saída.

Como a tensão na entrada é alternada, o diodo permitirá a passagem do sinal, quando estiver diretamente polarizado, somente no semiciclo positivo, e quando estiver inversamente polarizado, no semiciclo negativo.

Quando polarizado diretamente, obtêm-se, na saída, apenas a parte positiva da tensão. Apesar de ser um sinal pulsante, a tensão é contínua pois não há inversão de sentido, ou seja, ela trabalha somente com a parte positiva da senóide. Não existem muitas aplicações para este tipo de sinal, pois ele é prejudicial aos componentes eletrônicos, sendo necessário tornar o sinal o mais constante possível.

Sendo assim, deve ser implementado um filtro capacitivo no circuito.

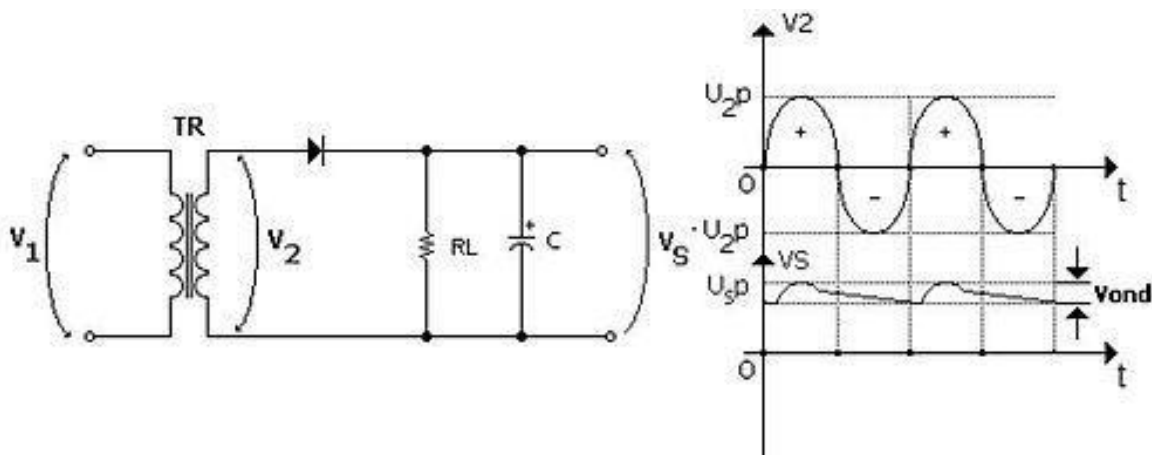


Figura 44: Filtro capacitivo do circuito.

Através do gráfico da imagem acima, percebe-se que, quando a tensão do secundário do transformador atinge o ponto de disparo do diodo (que varia de acordo com seu material), o capacitor se carrega, cuja tensão tende a se igualar à tensão de saída do circuito. Quando a tensão senoidal começa a decair, o potencial da tensão do capacitor polariza reversamente o diodo, fazendo com que o capacitor então se descarregue, até atingir um ponto em que seu potencial seja menor que o potencial da tensão do secundário; nesse caso, o capacitor se carrega novamente, mantendo assim um sinal positivo no circuito e fazendo com que a corrente seja mais próxima de uma tensão contínua constante (linha reta, como em uma pilha ou bateria).

Retificador de onda completa

O enrolamento do transformador é dividido ao meio para adaptar duas tensões iguais em cada uma das metades do enrolamento secundário, com polaridades indicadas. Quando a tensão da linha é positiva, ambos os sinais v_S serão positivos, D1 conduz e D2 está reversamente polarizado. Quando a tensão da linha é contrária, as tensões v_S serão negativas, D1 está reversamente polarizado e D2 conduz. A corrente através de R sempre circula em um único sentido, e v_O é unipolar.

Processos de eletrólise geralmente contam com corrente contínua provida de retificadores.

Retificador de onda completa utilizando transformador de derivação central (center-tap)

Nesse circuito, o transformador possui uma derivação no meio do secundário, com dois diodos colocados de maneira que, tanto no semiciclo positivo como no negativo, a tensão na saída está sempre no mesmo sentido:

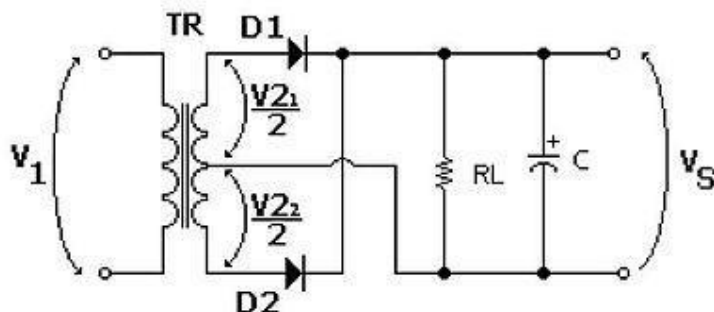


Figura 45: Retificador de onda completa com transformador de derivação central (center-tap).

No semiciclo positivo, o diodo D1 conduz e o D2 não, assim, tem-se V_{21} dividido por 2. Já no semiciclo negativo D2 conduz e D1 não, deste modo temos V_{22} dividido por 2.

Deve se notar que os diodos trabalham ao mesmo tempo, mantendo o transformador em curto circuito.

Para realizar a filtragem, é utilizado o mesmo método de um retificador de meia onda: o filtro capacitivo.

Este circuito é mais vantajoso que o de meia onda, pois a retificação ocorre nos dois semiciclos da senóide.

Retificador de onda completa em ponte

O retificador de onda completa em ponte possui quatro diodos em um esquema denominado **ponte**.

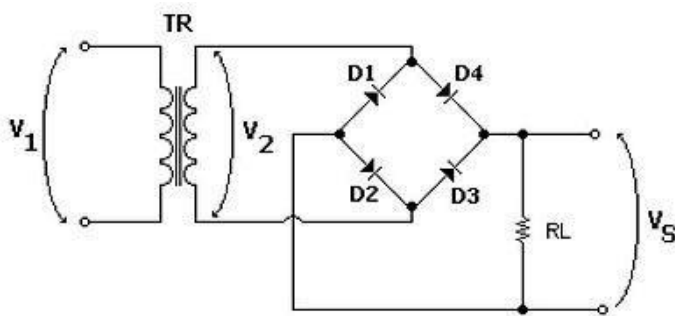


Figura 46: Retificador de onda completa em ponte.

No semiciclo positivo, D2 e D4 estão diretamente polarizados, enquanto D1 e D3 estão inversamente polarizados. Já no semiciclo negativo acontece o contrário. As únicas diferenças entre o retificador em ponte e o retificador com center-tap é que a frequência no retificador em ponte é maior e a tensão do secundário é a mesma na entrada e na saída.

Para tornar o sinal de saída mais constante, utilizamos o filtro capacitivo, deixando o sinal como o em vermelho:

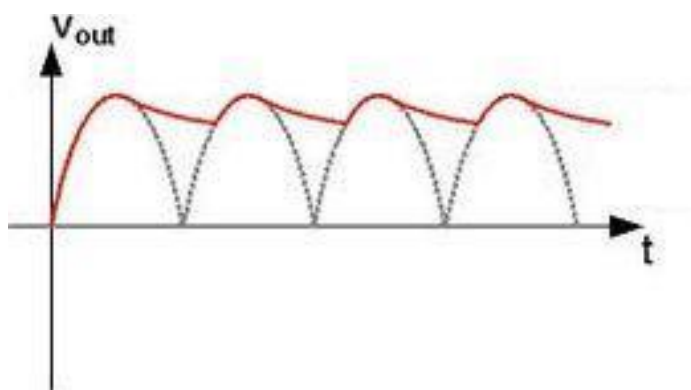


Figura 47: Semiciclo negativo.



VOCÊ SABIA?



Retificadores são utilizados em grande maioria em componentes da elétrica, como carregadores de celulares, que transforma a corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC).



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

O que há bem no meio do coração?

RESPOSTA:

A letra “a”.

Simbologia de eletrônica

O uso de símbolos gráficos em desenhos de esquemas elétricos serve para representar os componentes, os equipamentos, as relações entre estes e os efeitos físicos que integram o funcionamento completo ou parcial dos mesmos.

Os símbolos gráficos de circuitos elétricos são usados geralmente em projetos de instalações prediais, industriais e em qualquer aplicação elétrica que precise de uma esquematização através de gráficos.

As tabelas a seguir mostram exemplos de símbolos utilizados em desenhos técnicos relacionado a diagramas de circuitos eletroeletrônicos ou na esquematização de projetos de circuitos eletrônicos. Os símbolos gráficos são estabelecidos pelas normas (NBRs) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As tabelas a seguir apresentam alguns símbolos gráficos de semicondutores segundo a norma.

Símbolos gráficos de resistores fixos	
Símbolo	Descrição
 Preferencial	Resistor, símbolo geral
 Não preferencial	
	Resistor com derivação fixa
	Elemento resistivo
	Resistor utilizado como derivador (Shunt)

Figura 48: Símbolos gráficos de resistores físicos.

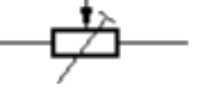
Símbolos gráficos de potenciômetros	
Símbolo	Descrição
	Potenciômetro com variabilidade linear e contínua
	Potenciômetro com variabilidade linear e contínua de ajuste predeterminado

Figura 49: Símbolos gráficos de potenciômetros.

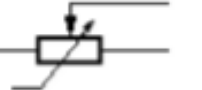
	Potenciômetro com variabilidade não linear e contínua
	Potenciômetro com variabilidade linear e contínua de ajuste predeterminado

Figura 50: Símbolos gráficos de potenciômetros.

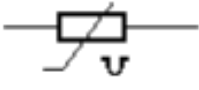
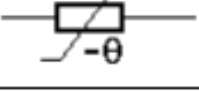
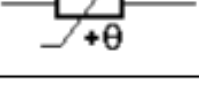
Símbolos gráficos de resistores de variabilidade intrínseca	
Símbolo	Descrição
	Resistor de variabilidade intrínseca não linear
	Resistor com variabilidade intrínseca dependente de tensão
	Resistor com variabilidade intrínseca com coeficiente negativo de temperatura - NTCR
	Resistor com variabilidade intrínseca com coeficiente positivo de temperatura - PTCR

Figura 51: Símbolos gráficos de resistores de variabilidade intrínseca.

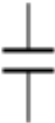
Símbolos gráficos de capacitores	
Símbolos	Descrição
	Capacitor, símbolo geral.
	Capacitor com representação do eletrodo externo
	Capacitor de passagem
	Capacitor eletrolítico não polarizado (bipolar). Se desejar os retângulos podem ser preenchidos
	Capacitor polarizado. Símbolo geral
	Capacitor eletrolítico polarizado. Se desejado, o retângulo pode ser cheio.

Figura 52: Símbolos gráficos de capacitores.

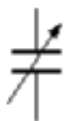
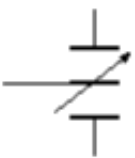
Símbolos gráficos de capacitores variáveis	
Símbolos	Descrição
	Capacitor variável. Símbolo geral
	Capacitor variável com representação do eletrodo externo
	Capacitor com ajuste pré-determinado
	Capacitor variável com dupla armadura móvel. Nota: $C1 = C2$

Figura 53: Símbolos gráficos de capacitores variáveis.

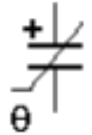
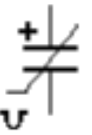
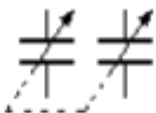
	Capacitor polarizado variável não linear dependente da temperatura.
	Capacitor polarizado variável não linear dependente da tensão.
	Capacitores variáveis com acoplamento mecânico

Figura 54: Símbolos gráficos de capacitores variáveis.

Símbolos gráficos de indutores	
Símbolo	Descrição
	Indutor com núcleo de ar. Símbolo geral
	Indutor com núcleo de ferro laminado
	Indutor com núcleo de ferro com entreferro

Figura 55: Símbolos gráficos de indutores.

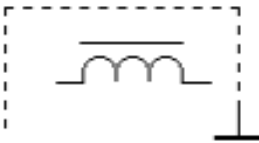
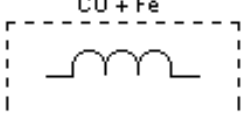
	Indutor com núcleo de ferrite
	Indutor com núcleo de cobre
	Indutor com núcleo de ferro laminado e com blindagem eletrostática ligada à massa
	Indutor com blindagem de cobre e ferro

Figura 56: Símbolos gráficos de indutores.

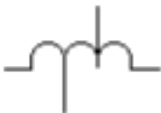
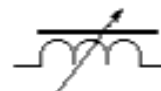
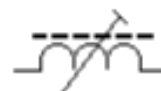
	Indutor com derivações
	Indutor variável continuamente
	Indutor variável com núcleo de ferro laminado
	Indutor de ajuste predeterminado com núcleo de ferrite

Figura 57: Símbolos gráficos de indutores.

Símbolos gráficos de diodos semicondutores	
Símbolo	Descrição
	Diodo semicondutor, símbolo geral.
	Diodo emissor de luz, símbolo geral.
	Diodo usado como dispositivo capacitivo (varactor ou varicap)

Figura 58: Símbolos gráficos de diodos semicondutores.

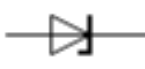
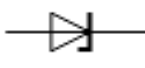
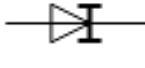
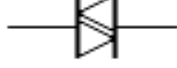
	Diodo Túnel
	Diodo de avalanche, ou Zener, unidirecional (diodo regulador de tensão)
	Diodo de avalanche, ou Zener, bidirecional.
	Diodo unitúnel
	Diodo bidirecional (varistor) Diac

Figura 59: Símbolos gráficos de diodos semicondutores.

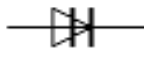
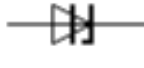
Símbolos gráficos de tiristores	
Símbolo	Descrição
	Tiristor diodo de bloqueio inverso
	Tiristor diodo de condução inversa

Figura 60: Símbolos gráficos de tiristores.

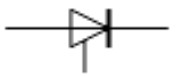
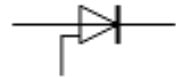
	Tiristor diodo bidirecional
	Tiristor triodo, tipo não especificado. Nota: Este símbolo é usado para representar um tiristor triodo de bloqueio inverso, se não for necessário especificar o tipo da porta.
	Tiristor triodo de bloqueio inverso, porta N (anodo controlado)
	Tiristor triodo de bloqueio inverso, porta P (catodo controlado)

Figura 61: Símbolos gráficos de tiristores.

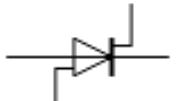
	Tiristor tetrodo de bloqueio inverso
	Tiristor triodo bidirecional (Triac)
	Tiristor triodo de condução inversa, porta não especificada
	Tiristor triodo de condução inversa, porta N (anodo controlado)

Figura 62: Símbolos gráficos de tiristores.

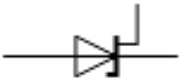
	Tiristor triodo de condução inversa, porta P (catodo controlado)
	Tiristor triodo PNP com conexão externa de comando (tiristor P)
	Tiristor triodo NPN com conexão externa de comando (tiristor N)

Figura 63: Símbolos gráficos de tiristores.

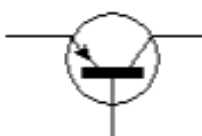
Símbolos gráficos de transistores bipolares	
Símbolo	Descrição
	Transistor PNP

Figura 64: Símbolos gráficos de transistores bipolares.

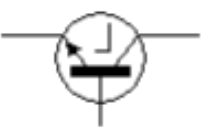
	Transistor NPN com coletor conectado à envoltória
	Transistor NPN de avalanche
	Transistor de unijunção, com base tipo P
	Transistor de unijunção, com base tipo N

Figura 65: Símbolos gráficos de transistores bipolares.

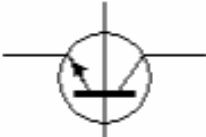
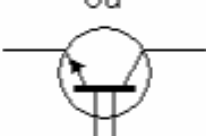
 ou 	Transistor NPN, com base polarizada transversalmente
	Transistor PNIP com conexão à região intrínseca.
	Transistor PNIN com conexão à região intrínseca.

Figura 66: Símbolos gráficos de transistores bipolares.

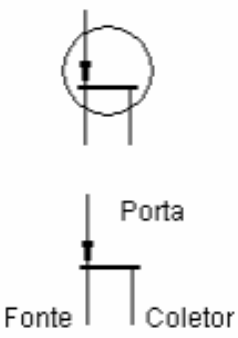
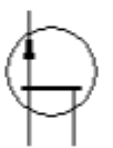
Símbolos gráficos de transistores de efeito de campo (FET), transistores unipolares	
Símbolo	Descrição
	Transistor de efeito de campo, porta conectada, com canal tipo N. Nota: As conexões da porta e da fonte devem estar alinhadas.
	Transistor de efeito de campo, porta conectada, com canal tipo P

Figura 67: Símbolos gráficos de transistores de efeito de campo (FET) e transistores unipolares.

	Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo a enriquecimento, uma porta, com canal tipo P, sem conexão ao substrato (IGFET).
	Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo a enriquecimento, uma porta, com canal tipo P, sem conexão ao substrato (IGFET).
	Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo a enriquecimento, uma porta, com canal tipo N, com substrato conectado internamente a fonte (IGFET)
	Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo a depleção, uma porta, com canal tipo N, sem conexão ao substrato (IGFET)
	Transistor de efeito de campo, porta isolada, tipo a depleção, uma porta, com canal tipo P, sem conexão ao substrato (IGFET)
	Transistor de efeito de campo, duas portas isoladas, tipo a depleção, com canal tipo N, com substrato conectado separadamente (IGFET)

Figura 68: Símbolos gráficos de transistores de efeito de campo (FET) e transistores unipolares.

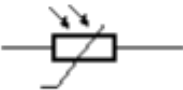
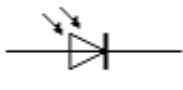
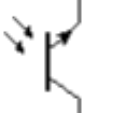
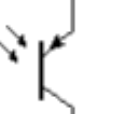
Símbolos gráficos de dispositivos fotossensíveis e magnetossensíveis	
Símbolo	Descrição
	Resistor com variabilidade intrínseca dependente de luz - LDR
	Fotodiodo, Célula fotocondutora com condutividade.
	Célula fotovoltaica
	Fototransistor NPN
	Fototransistor PNP

Figura 69: Símbolos gráficos de dispositivos fotossensíveis e magnetossensíveis.

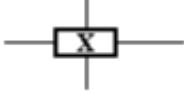
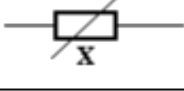
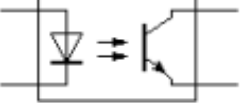
	Gerador Hall com quatro conexões
	Magnetorresistor, tipo linear.
	Dispositivo de acoplamento magnético isolador magnético
	Dispositivo de acoplamento óptico, isolador óptico com diodo emissor de luz e fototransistor.

Figura 70: Símbolos gráficos de dispositivos fotossensíveis e magnetossensíveis.

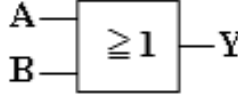
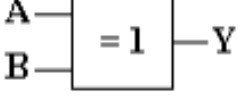
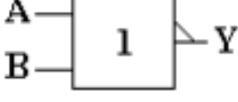
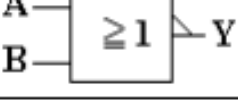
Símbolos gráficos para diagramas lógicos	
Símbolo	Descrição
	Estágios associativos em geral No lugar de X inscrevem-se símbolos que caracterizam a associação
	Função E (AND)
	Função OU (OR)
	Função OU EXCLUSIVO (XOR)
	Função INVERSORA (NOT)
	Função NÃO E (NAND)
	Função NÃO - OU (NOR)

Figura 71: Símbolos gráficos para diagramas lógicos.



VOCÊ SABIA?

O multímetro digital é um equipamento eletrônico que serve para medir grandezas elétricas. Ele é muito utilizado em bancadas de trabalho (laboratórios) ou em serviços de campo incorporando diversos instrumentos de medição, como o voltímetro, o amperímetro, o ohmímetro e em configurações mais avançadas pode conter também um capacitímetro, frequencímetro, termômetro entre outros.

Além do multímetro digital, existe também o multímetro analógico, que possui as mesmas funções, porém a escala é indicada por um ponteiro e seu funcionamento se dá através de um galvanômetro.

O multímetro digital é utilizado para tentar e medir grandezas de componentes eletrônicos, ou mesmo da rede elétrica.

As funções básicas de um multímetro digital são, medição de tensão contínua, tensão alternada, resistência elétrica e corrente contínua. Uma função bastante comum também na grande maioria dos multímetros digitais é o teste de continuidade com alerta sonoro.

Para se utilizar a medição de tensão contínua, escolhe-se a escala de tensão contínua imediatamente acima da tensão esperada na medição, ou seja, para medir o nível de carga de uma pilha, onde espera-se 1,5V, deve-se selecionar a escala de 2000mV, e para medir a bateria de um carro, a escala de 20V. Após esta seleção conecta-se a ponta de prova Vermelha ao positivo da bateria ou fonte de tensão contínua e a ponta preta ao negativo e o mostrador do multímetro digital irá indicar a medida.

Para a medição de tensão alternada, realiza-se a mesma prática, para medir por exemplo uma tomada na qual não se sabe a tensão, deve-se escolher a escala de 600V para se certificar de não queimar o aparelho, e caso no mostrador meça uma tensão abaixo de 200V, reduzir a escala para aumentar a precisão da medição. Alguns modelos do aparelho, dispensam a seleção de escala, são os chamados **Multímetro Digital Auto Range**.

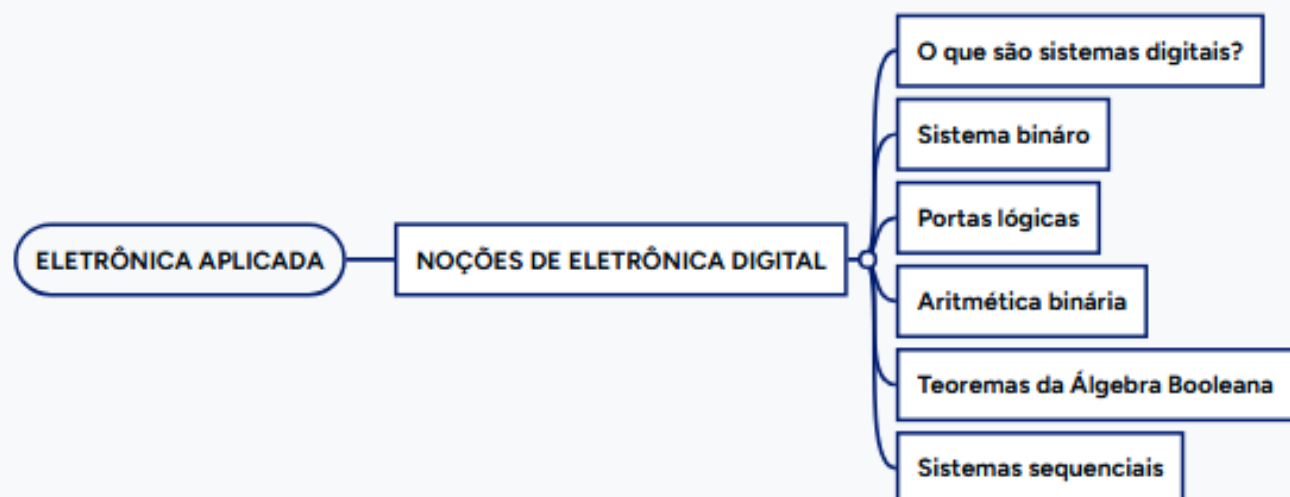
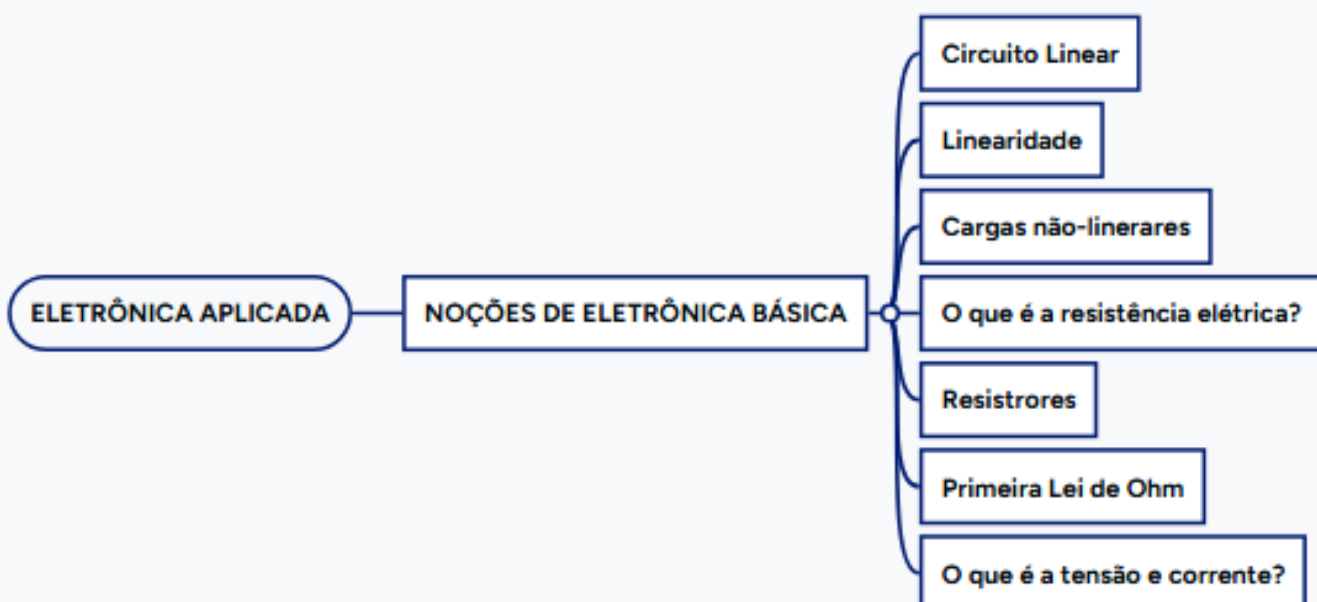
A medição de resistência elétrica é realizada da mesma forma das anteriores com relação a escala, porém sem preocupação de selecionar a escala por segurança, pois neste caso desde que os circuitos estejam desligados, o que é uma premissa para a medição, não corre risco de queima do aparelho.

Medir corrente contínua com um multímetro digital é uma atividade que requer certa prática, pois ao contrário das demais medições, não basta apenas conectar os terminais ao circuito, o multímetro deve passar a fazer parte do circuito, abrindo-se um dos condutores e fazendo que a corrente flua por dentro do

aparelho. Neste caso, deve-se sempre observar o limite máximo de corrente suportada por seu Multímetro, pois passar uma corrente acima desta, ocasionará a queima instantânea do aparelho, e é um risco para sua segurança.

SESSÕES ESPECIAIS

MAPA DE ESTUDO





SÍNTESE DIRETA

1. INTRODUÇÃO

- **Definição de Eletrônica:** ciência que estuda o controle da energia elétrica por meios elétricos, onde os elétrons têm papel fundamental.
- **Divisão da Eletrônica:**
 - ✓ **Eletrônica Analógica:** processamento contínuo de sinais elétricos.
 - ✓ **Eletrônica Digital:** processamento baseado em sistemas binários (0 e 1).
- **Relação com a Eletrotécnica:** envolve o uso de circuitos elétricos para transformação, transmissão e armazenamento de energia.

2. NOÇÕES DE ELETRÔNICA BÁSICA

- **Circuito Linear**
 - ✓ Circuito no qual a saída é uma versão proporcional da entrada.
 - ✓ Aplicação do **Princípio da Superposição** na análise de circuitos elétricos.
- **Linearidade:** Quando uma grandeza física varia proporcionalmente a outra.
- **Elementos do Circuito**
 - ✓ **Condutores:** materiais que permitem a passagem de corrente elétrica (ex.: cobre, prata).
 - ✓ **Semicondutores:** possuem condutividade variável (ex.: silício e germânio).

- ✓ **Isoladores:** materiais que impedem a passagem de corrente elétrica (ex.: plástico, vidro).
- **Resistência Elétrica**
 - ✓ **Primeira Lei de Ohm:** $V = R \times I$ (tensão é proporcional à corrente elétrica).
 - ✓ **Resistores:** componentes que limitam a passagem de corrente em circuitos.

3. NOÇÕES DE ELETRÔNICA DIGITAL

- **Sistemas Digitais**
 - ✓ Utilizam **sinais binários (0 e 1)** para representar informações.
 - ✓ Base para o funcionamento de **computadores e sistemas de automação**.
- **Sistema Binário**
 - ✓ Representação numérica usando apenas dois estados: **0 (desligado) e 1 (ligado)**.
 - ✓ Unidades:
 - **Bit:** menor unidade de informação digital.
 - **Byte:** grupo de 8 bits.
- **Portas Lógicas**
 - ✓ **AND:** saída é 1 somente quando todas as entradas são 1.
 - ✓ **OR:** saída é 1 quando pelo menos uma entrada for 1.
 - ✓ **NOT:** saída é o inverso da entrada.
 - ✓ **XOR:** saída é 1 se as entradas forem diferentes.
 - ✓ **NOR, NAND, XNOR:** combinações das portas básicas.
- **Aritmética Binária**
 - ✓ Operações matemáticas realizadas com números binários.
 - ✓ **Full Adder:** circuito combinacional que realiza a soma binária.
- **Álgebra Booleana**
 - ✓ Conjunto de regras matemáticas para manipulação de variáveis binárias.
 - ✓ Teoremas fundamentais:
 - **De Morgan:** inversão de AND e OR.
 - **Associatividade, Comutatividade, Distributividade.**
- **Sistemas Combinacionais e Sequenciais**
 - ✓ **Combinacionais:** saída depende apenas das entradas no momento atual.
 - ✓ **Sequenciais:** saída depende das entradas e do estado anterior do circuito.

4. NOÇÕES DE ELETRÔNICA ANALÓGICA

- **Semicondutores**

- ✓ Materiais que podem agir como condutores ou isolantes.
- ✓ **Dopagem**: processo de adição de impurezas para controlar a condutividade.

- **Diodos**

- ✓ **Definição**: componente semicondutor que permite a passagem de corrente em apenas um sentido.
- ✓ **Tipos**:
 - **Diodo Retificador**: usado para converter corrente alternada em corrente contínua.
 - **Diodo Zener**: utilizado para estabilizar tensão.
 - **LED (Diodo Emissor de Luz)**: emite luz ao conduzir corrente.

- **Retificadores**

- ✓ **Circuito retificador**: converte corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC).
- ✓ **Tipos**:
 - **Meia Onda**: utiliza apenas um diodo; saída é pulsante.
 - **Onda Completa**: utiliza dois ou quatro diodos, fornecendo uma saída mais estável.

- **Símbolos de Eletrônica**

- ✓ Representação gráfica de componentes eletrônicos em esquemas elétricos.
- ✓ Normas **ABNT e internacionais** para padronização dos símbolos.

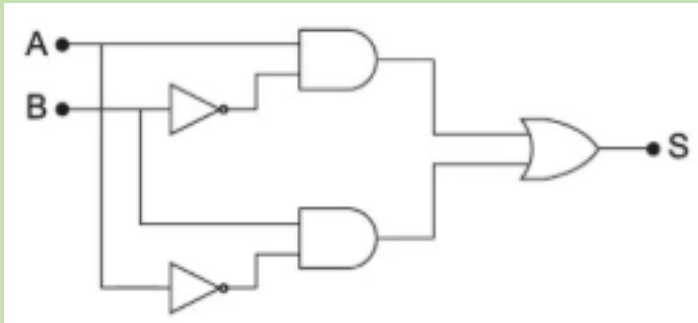
MOMENTO QUIZ

1. Um resistor ôhmico, quando submetido a uma ddp de 40 V, é atravessado por uma corrente elétrica de intensidade 20 A. Quando a corrente que o atravessa for igual a 4 A, a ddp, em volts, nos seus terminais, será:

- a) 15.
- b) 9.

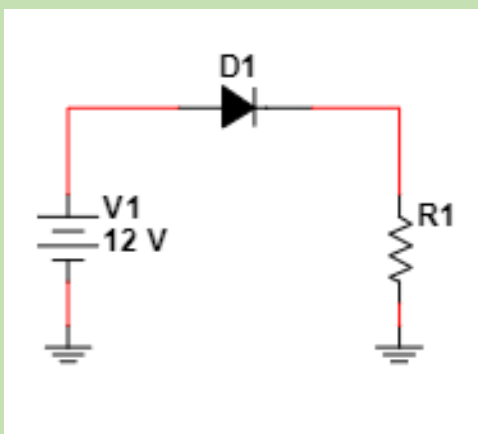
- c) 8.
d) 12.
e) 34.

2. A figura a seguir apresenta um diagrama lógico alimentado por duas entradas digitais "A" e "B". Assinale o item que contenha a função lógica "S" que representa o diagrama.



- a) $S = (A + \underline{B}) + (B + \underline{A})$.
b) $S = (A \cdot \underline{B}) + (B \cdot \underline{A})$.
c) $S = (A \cdot \underline{B}) \cdot (B + \underline{A})$.
d) $S = (A \cdot B) + (\underline{B} + \underline{A})$.
e) $S = (\underline{A} + \underline{B}) \cdot (B + A)$.

3. No circuito abaixo, está circulando uma corrente de 25mA sobre o resistor R1. Qual é o valor da resistência elétrica desse resistor? Obs.: considere que o diodo D1 é de silício.



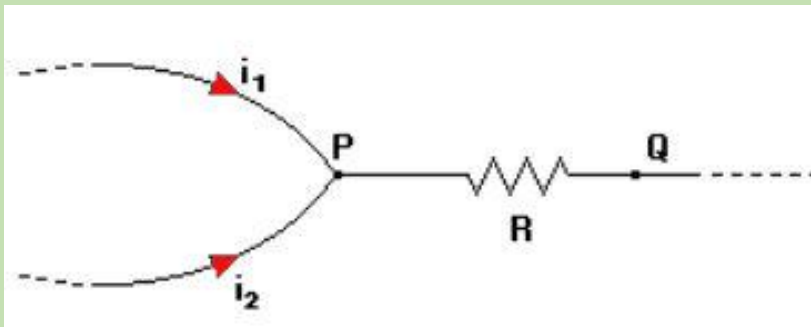
- a) 452 Ω .

- b) $457 \, \Omega$.
- c) $500 \, \Omega$.
- d) $715 \, \Omega$.
- e) $346 \, \Omega$.

4. Os valores nominais de uma lâmpada incandescente, usada em uma lanterna, são: 6,0 V; 20 mA. Isso significa que a resistência elétrica do seu filamento é de:

- a) $150 \, \Omega$, sempre, com a lâmpada acesa ou apagada.
- b) $300 \, \Omega$, sempre, com a lâmpada acesa ou apagada.
- c) $300 \, \Omega$ com a lâmpada acesa e tem um valor bem maior quando apagada.
- d) $300 \, \Omega$ com a lâmpada acesa e tem um valor bem menor quando apagada.
- e) $600 \, \Omega$ com a lâmpada acesa e tem um valor bem maior quando apagada.

5. A figura abaixo mostra um resistor R de $40 \, \Omega$ entre os pontos P e Q. As correntes i_1 e i_2 unem-se no ponto P e passam pelo resistor R. Sabendo que a diferença de potencial entre os pontos P e Q é de 200 V e que a intensidade da corrente i_1 excede em uma unidade o triplo da intensidade da corrente i_2 , determine o valor das correntes elétricas i_1 e i_2 , respectivamente.



- a) 1,6 A e 0,2 A.
- b) 3,4 A e 0,8 A.
- c) 4 A e 1 A.
- d) 2,5 A e 0,5 A.
- e) 7 A e 2 A.

GABARITO QUIZ

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	C
2	B
3	A
4	D
5	C

REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, Robert L. e NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MALVINO, Albert P. e BATES, David J. Eletrônica: Volume 1. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CIPELLI, Antônio M. V.; MARKUS, Otávio; SANDRINI, Waldir J. Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos. 23. ed. São Paulo: Érika, 2011.

MALVINO, Albert P. e BATES, David J. Eletrônica: Diodos, Transistores e Amplificadores. 7. ed. São Paulo: AMGH, 2011.

MARKUS, Otávio. Sistemas Analógicos: Circuitos com Diodos e Transistores. São Paulo: Érika, 2002.

AHMED, Ashfaq. Eletrônica de Potência. São Paulo: Prentice Hall, 2006.

MARQUES, Angelo E. B.; CHOUERI, Salomão Jr.; CRUZ, Eduardo C. A. Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores. 9. ed. São Paulo: Érica, 2004.

LALOND, David E. e ROSS, John A. Princípios de Dispositivos e Circuitos Eletrônicos. São Paulo: Makron Books, 1999.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.