



APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

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

Equipe Polivalente



ANÁLISE DE CIRCUITO

SUMÁRIO

SUMÁRIO	2
INTRODUÇÃO.....	4
UNIDADE I.....	5
ANÁLISE DE CIRCUITOS EM CORRENTE ALTERNADA.....	5
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA TENSÃO SENOIDAL.....	5
MAIS UM EXEMPLO:	6
DIAGRAMA FASORIAL.....	6
ÂNGULO DE FASE INICIAL	6
UNIDADE - II.....	7
CIRCUITOS RESISTIVOS EM C.A.	7
UNIDADE - III	8
O TRANSFORMADOR	8
UNIDADE IV	11
GERAÇÃO DE UMA TENSÃO E CORRENTE ALTERNADA	11
VALOR RMS	11
SISTEMA TRIFÁSICO	11
UNIDADE - V	12
TEORIA DE CIRCUITOS.....	12
UNIDADES VI	13
TIPOS DE RESISTORES	13
RESISTORES FIXOS	13
TIPOS DE RESISTORES FIXOS	13
TIPOS DE RESISTORES VARIÁVEIS.....	13
RESISTORES AJUSTÁVEIS	13
RESISTORES ESPECIAIS	14
SÍMBOLO DA RESISTÊNCIA E LEI DE OHM.....	15
UNIDADE VII	15
LEI DAS CORRENTES	15
UNIDADE VIII	16
LEIS.....	16
UNIDADE IX	19
TEOREMA DE THEVENIN.....	19
UNIDADE X	20
EQUIVALENTE DE NORTON.....	20
TEOREMA DA SOBREPOSIÇÃO	20
UNIDADE XI	22
ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE RESISTORES	22
ASSOCIAÇÃO DE BÍPOLOS RESISTIVOS.....	22
MALHA DE RESISTORES.....	22



COLÉGIO INTEGRADO POLIVALENTE

“Qualidade na Arte de Ensinar”

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES NÃO LINEARES	23
ASSOCIAÇÃO PARALELO	23
DE RESISTORES NÃO LINEARES	23
CONVENÇÃO TENSÃO E CORRENTE	23
UNIDADE XII	28
INTRODUÇÃO AOS NÚMEROS COMPLEXOS	28
ELEMENTOS COMPLEXOS ESPECIAIS	28
OPERAÇÕES BÁSICAS COM NÚMEROS COMPLEXOS	29
NÚMERO COMPLEXO COMO MATRIZ	29
EXERCÍCIOS	29
SUGESTÕES BIBLIOGRÁFICAS:	32
REFLEXÃO:	32
GLOSSÁRIO	33





ANÁLISE DE CIRCUITO

INTRODUÇÃO

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

O módulo está **dividido em 12 Unidades**: UNIDADE I: Análise de Circuito em Corrente Alternada, Representação Gráfica de uma Tensão Senoidal, Diagrama Fasorial, Ângulo de Fase Inicial; UNIDADE II: Circuitos Resistivos em Corrente Alternada; UNIDADE III: O Transformador; UNIDADE IV: Geração de uma Tensão e Corrente Alternada, Valo RMS, Sistema Trifásico; UNIDADE V: Teoria de Circuitos; UNIDADES VI: Tipos de Resistores, Resistores Fixos, Tipos de Resistores Fixos, Tipos de Resistores Variáveis, Resistores Ajustáveis, Resistores Especiais, Símbolo da Resistência e Lei do OHM; UNIDADE VII: Lei das Correntes; UNIDADE VIII: Leis, UNIDADE IX: Teorema de Thevenin; UNIDADE X: Equivalente de Norton; Teorema da Sobreposição; UNIDADE XI: Associação Série de Resistores, Associação de Bipolos Resistivos, Malha de Resistores, Associação de Resistores não Lineares, Associação Paralelo de Resistores não Lineares, Convenção Tensão e Corrente; UNIDADE XII: Introdução aos Números Complexos, Elementos Complexos Especiais, Operações Básicas com Números Complexos, Número Complexo como Matriz.

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

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

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

-lo mais capaz de construir novos saberes. Daí a necessidade do seu estágio para a aliar teoria à prática.

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

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

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

Equipe Polivalente



UNIDADE I

ANÁLISE DE CIRCUITOS EM CORRENTE ALTERNADA

PREFÁCIO

Para você que está começando o estudo de circuitos em **CA** usando esta apostila, congratulações.

Este é o caminho. Quero lembrar que as introduções teóricas estão resumidas e que você pode encontrar mais na bibliografia citada. Boa sorte !!

TENSÃO SENOIDAL♦

É uma tensão que segue uma lei senoidal, a expressão matemática é: $v(t) = V_M \cdot \text{sen}(\omega t + \phi)$

Onde V_M (em **V**) é o valor de pico e ω (em **rd/s**) é a frequência angular e ϕ (em **rd/s**) é o ângulo de fase inicial. A Fig01a mostra a sua representação gráfica em função do tempo e a Fig01b o gráfico em função do ângulo.

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA TENSÃO SENOIDAL

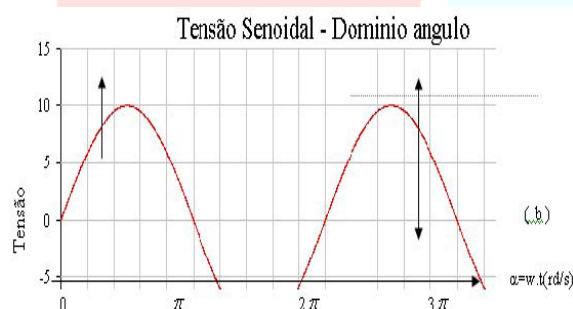
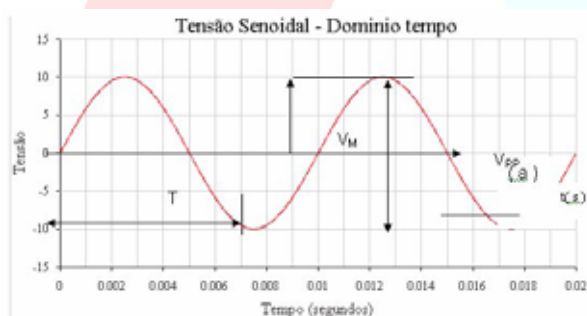


Fig01: Representação gráfica de uma tensão senoidal temporal (a) Angular (b)

Na **Fig01**, V_{PP} (em **V**) é chamado de tensão de pico a pico, T (em **s**) é o período (tempo que o fenômeno leva para se repetir).

♦ **senoidal** – representação gráfica do movimento vibratório.

Pelos gráficos da **Fig01** tiramos as seguintes conclusões: como $\omega = 2\pi f$ logo $f = \omega / 2\pi$ ou $\omega = 2\pi f$

Ao numero de ciclos completados por segundos chamamos de frequência (**f**) sendo que a frequência então pode ser calculada por:

$f = 1/T$ (**Hz**) logo podemos também escrever que $\omega = 2\pi f$

Para uma tensão senoidal definimos o seu valor eficaz (**VRMS ou VEF**) como sendo igual ao valor de uma tensão contínua que produzirá a mesma dissipação de potência que a tensão alternada em questão. No caso de uma tensão senoidal o seu valor eficaz é calculado por:

$$V_{RMS} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} = 0,707 V_M$$

Para a tensão representada na Fig01 os seus parâmetros serão:

$$V_M = 10V \quad V_{PP} = 20V \quad V_{RMS} = 7,07V$$

$$T = 0,01s = 10ms$$

$$f = 1/0,01 = 100 \text{ ciclos/s} = 100Hz$$

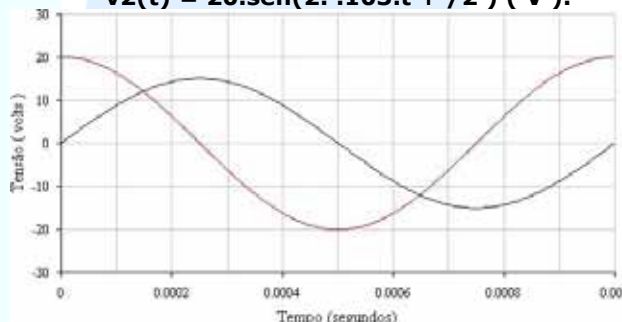
$$\omega = 2 \cdot 100 = 200 \text{ rd/s} \quad \phi = 0$$

Exercício 1

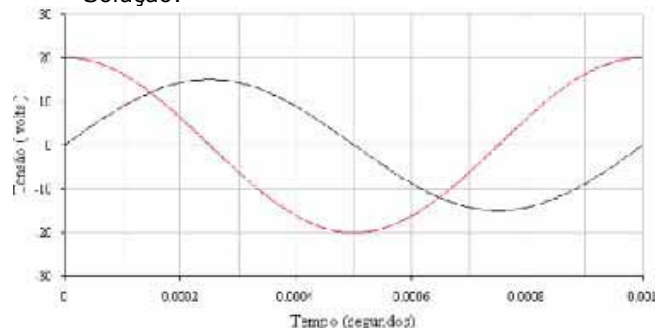
Representar as seguintes tensões senoidais:

$$v_1(t) = 15 \cdot \text{sen}(2 \cdot 103 \cdot t) \text{ (V)}$$

$$v_2(t) = 20 \cdot \text{sen}(2 \cdot 103 \cdot t + \pi/2) \text{ (V)}$$



Solução:

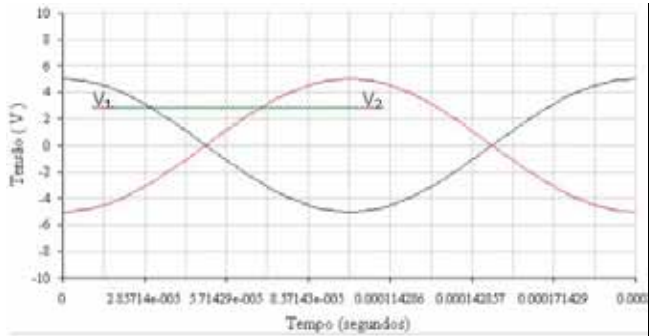


Idem para as tensões:

$$v_1(t) = 5 \cdot \text{sen}(0,104 \cdot t + \pi/2) \text{ (V)}$$

$$v_2(t) = 5 \cdot \text{sen}(0,104 \cdot t - \pi/2) \text{ (V)}$$

Solução:



Obs: $- \pi / 2 = 3 \pi / 2$ ($-90^\circ = 270^\circ$)

Observe que as duas tensões estão defasadas entre si de 180° .

MAIS UM EXEMPLO:

$$V1(t) = 155 \cdot \sin(120 \cdot t - \pi/4) \text{ (V)}$$

$$V2(t) = 155 \cdot \sin(120 \cdot t) \text{ (V)}$$

Solução:

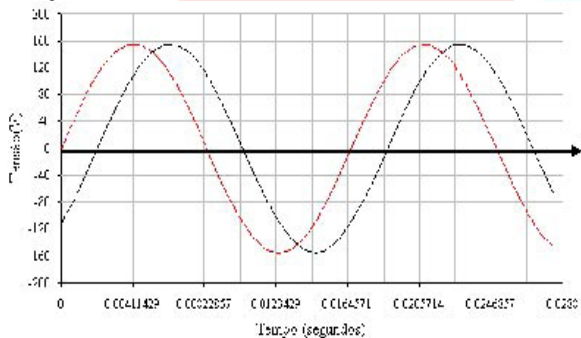


DIAGRAMA FASORIAL

É uma outra forma de caracterizar uma tensão senoidal. A Fig02 mostra como é construído o diagrama fasorial.

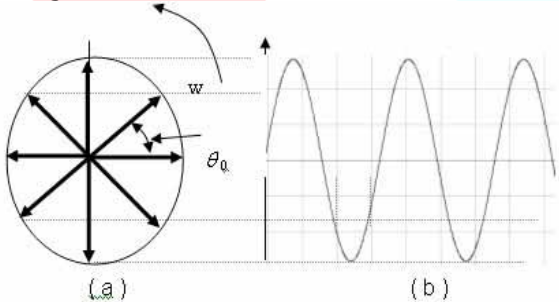


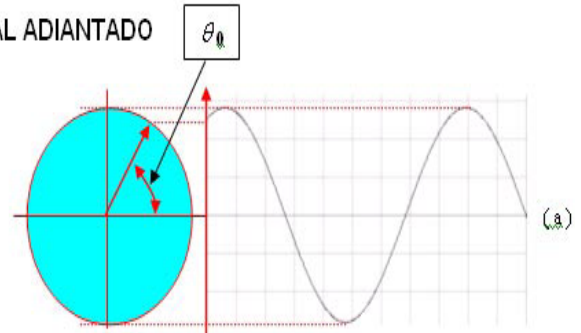
Fig02: Diagrama fasorial – Referência Livros: Análise de Circuitos em CA e Circuitos em CA – Editora Érica – Rômulo Oliveira Albuquerque

O diagrama da **Fig02a** representa a tensão da **Fig02b** que no caso, no instante $t=0$ vale zero e portanto a expressão da tensão em função do tempo é: $v(t) = VM \cdot \sin(\omega t)$ pois 0 (ângulo de fase inicial) vale zero. Caso a tensão tivesse um ângulo inicial, a expressão seria dada por :

$v(t) = VM \cdot \sin(\omega t + \theta_0)$ se a tensão estiver adiantada e $v(t) = VM \cdot \sin(\omega t - \theta_0)$ se atrasada.

ÂNGULO DE FASE INICIAL

SINAL ADIANTADO



SINAL ATRASADO

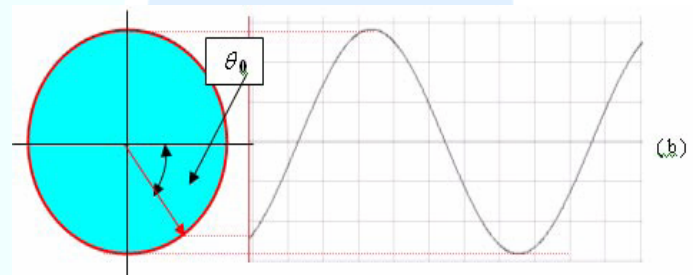


Fig03: Diagrama fasorial com ângulo de fase inicial Positivo (tensão adiantada) (a) Negativa (tensão atrasada) (b)

UNIDADE - II

CIRCUITOS RESISTIVOS EM C.A.

Em um circuito puramente resistivo (só com resistências) alimentado com uma tensão alternada (**CA**) a tensão e a corrente estão em fase, sendo a relação entre elas dada pela lei de ohm, isto é:

$U = R \cdot I$ ou $I = U/R$ sendo que usamos valores eficazes para **I** e **U**.

Em termos de diagrama fasorial significa que os fasores representativos da tensão e da corrente estão em fase. A **Fig04** mostra o diagrama fasorial da tensão e da corrente e o circuito.

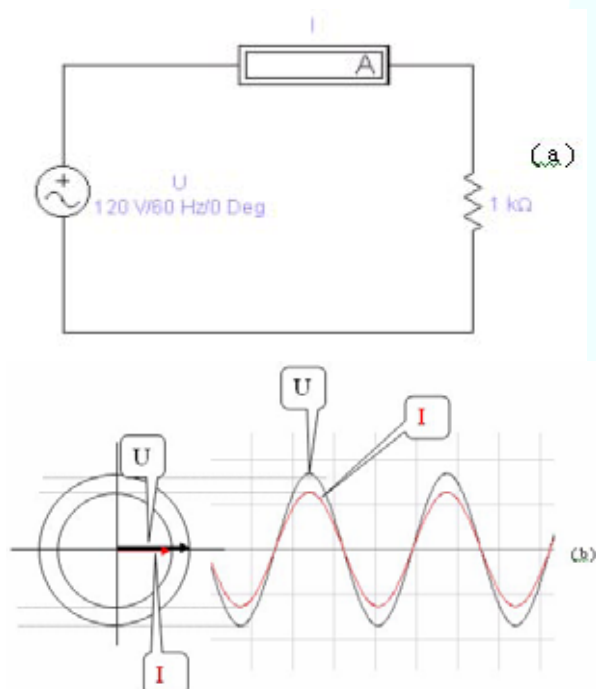


Fig04: Circuito puramente resistivo (a) Diagrama fasorial de um circuito puramente resistivo (b)

Exercício 2: Circuito serie alimentado por uma tensão alternada **12V/60Hz**

No circuito da **Fig05** os valores calculados são: **I = 4mA U1 = 3V U2 = 9V** eficazes !!!

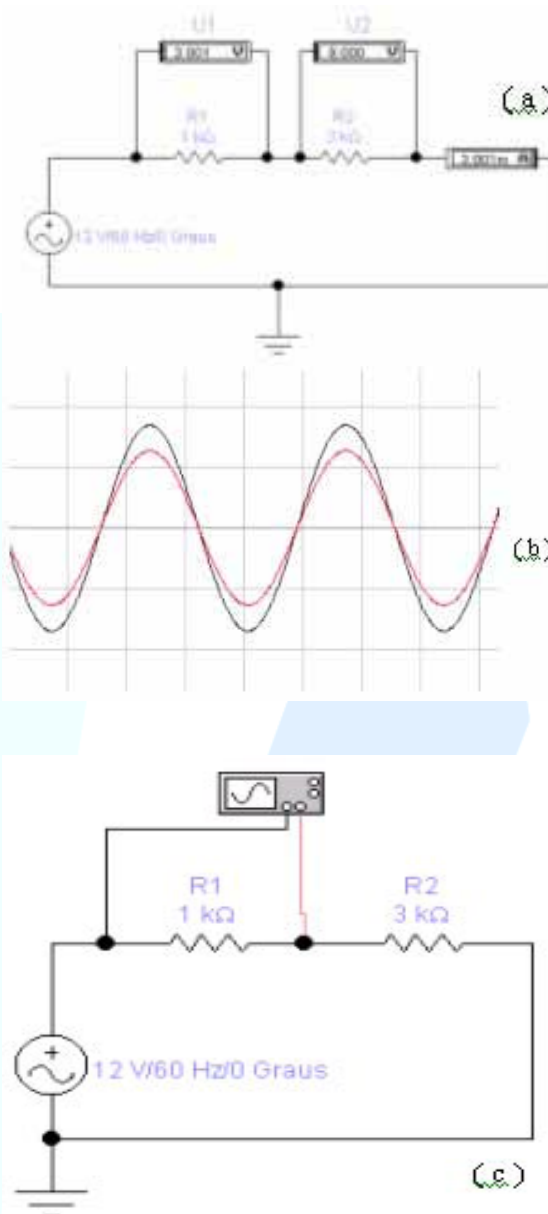


Fig05: Circuito puramente resistivo em CA - Medida da corrente e tensões (a) - Formas de onda da tensão de entrada e da corrente (b) - Circuito com o osciloscópio para obter as formas de onda (c)

Observe que as formas de onda indicadas pelo **osciloscópio** são a tensão de entrada (terminal preto) e a tensão no resistor R2 (o osciloscópio mostra a forma de onda em relação ao terra !!!).

Obs: A forma de onda da tensão em qualquer resistor será igual à forma de onda da corrente, de forma que a forma de onda em R2 será a forma de onda da corrente.

♦ **osciloscópio** - aparelho que registra as oscilações das correntes alternadas.



UNIDADE - III

O TRANSFORMADOR

OBJETIVOS

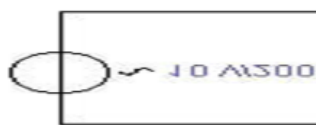
Verificar experimentalmente a existência de tensões induzidas por um campo magnético variável e importância deste fenômeno em circuitos e dispositivos simples.

Estudar como funciona um transformador em altas e baixas frequência

1. TENSÃO INDUZIDA



Faça duas **bobinas*** improvisadas em fio isolado (porquê isolado?) com alguns cm de diâmetro e algumas dezenas de espiras. Pode fixar o conjunto com fita gomada ou um pedaço de fio.



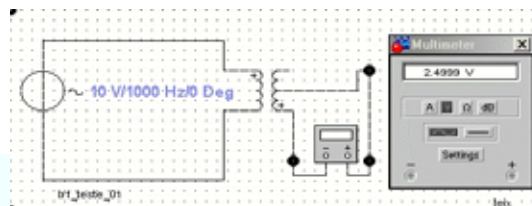
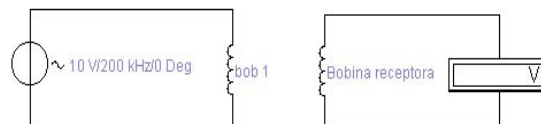
Quando percorrida por corrente alternada uma das espiras vai gerar um campo magnético variável: para isso pode ser alimentada pelo gerador de funções. (Não use frequências baixas porque para estas o gerador vê um curto-circuito, prejudicando o andar de saída do equipamento.)

A outra bobina será receptora de uma força: a eletromotriz induzida é de valor significativo, se estiver na vizinhança da primeira. Esta f.e.m pode ser medida, p. ex. num dos canais do osciloscópio, na figura por comodidade representada por um voltímetro.

Este conjunto de duas bobinas, forma um transformador: a bobina geradora será o chamado primário e a receptora o secundário. Em geral num transformador o primário e secundário estão o mais próximo possível, para permitir transferir toda a energia de um enrolamento para o outro, minimizando a **dispersão***.

* **bobina** – parte dos instrumentos de física formada de um fio metálico enrolado em um carretel.

* **dispersão** – perda de energia.



2. EFEITO DE BOBINAS EM VÁRIAS POSIÇÕES

Podemos experimentar movimentar a bobina receptora entre as duas posições: dois planos paralelos ou dois planos perpendiculares.

Podemos ver que numa destas posições a tensão induzida tem um valor praticamente nulo.



Na foto as duas bobinas situam-se em planos perpendiculares.

Nesta posição relativa, a tensão induzida é máxima ou mínima?

OBS: Leitura correta no osciloscópio.

Podemos ainda verificar se quando se invertem as ligações, a tensão induzida vem ou não em oposição de fase. Para tal use o osciloscópio. Qual o erro de medida que pode ser cometido?





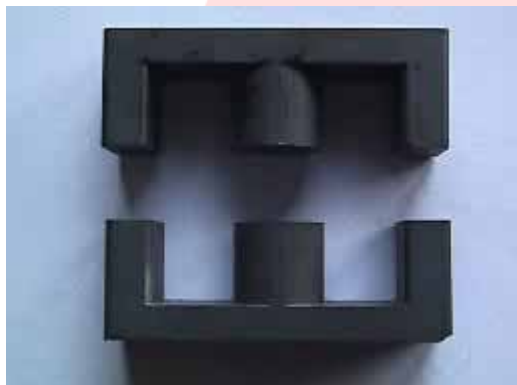
Pode fazer um transformador para alta frequência com este fio torcido. Como ligar as pontas?

Baseado nos fenômenos apresentados idealize uma aplicação para o par torcido.

NÚMERO DE ESPIRAS

Nos transformadores convencionais a frequência aplicada, é a da rede, ou seja, 50Hz e têm em geral um número de espiras elevado (muitas centenas ou alguns milhares de espiras). Se as frequências for mais elevadas podem reduzir o número de espiras. Por isso neste ensaio, (em que é prático usar poucas espiras), usamos alta frequência.

Para diminuir o número de espiras, aumenta-se a permeabilidade magnética do meio, ou seja, usa-se um núcleo especial.



Núcleo de transformador com bobina de enrolamento primário.

Basta enrolar mais uma bobina e o dispositivo passa funcionar como um transformador.

Núcleo toroidal de transformador.

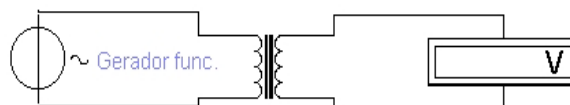
Faça um gráfico do valor da tensão induzida em função do número de espiras e verifique que:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Símbolo do transformador:



Em que **e1** e **e2** são os valores eficazes das tensões nos diversos secundários, medidas em vazio (resistência de carga infinita) e **n1** e **n2** o respectivo número de **espiras**♦.



trf_02

RESISTÊNCIA INTERNA

Haver tensão de valor significativo no secundário, pode ser importante em muitos circuitos. Mas nos circuitos em que se pretende transmitir potência interessa também que a **resistência**♦ interna seja suficientemente baixa, ou seja, que o dispositivo tenha "capacidade" de fornecer corrente com o valor de tensão requerido pela aplicação em causa.

Pretendemos em geral, que não haja uma queda de tensão significativa para o consumo de corrente pretendido. Dito de outro modo precisamos de um gerador de tensão que se aproxime do ideal, ou seja, que tenha uma resistência interna nula.

Para avaliar o valor da resistência interna, podemos colocar uma resistência de carga em paralelo com a saída e medir de novo a tensão.

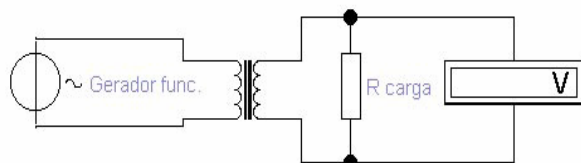
Com mais 3 ou 4 valores poderemos traçar um gráfico aproximado. A partir deste podemos determinar o esquema equivalente aproximado: a tensão em vazio bem como a resistência interna, a partir da queda de tensão e da corrente, supondo

♦ **espiras** – cada volta da espiral; configuração da espiral; cada rosca de um parafuso.

♦ **resistência** – propriedade que tem uma substância de opor-se à passagem de corrente elétrica ou calorífica.



numa primeira aproximação, que o circuito é resistivo puro.



trf_03

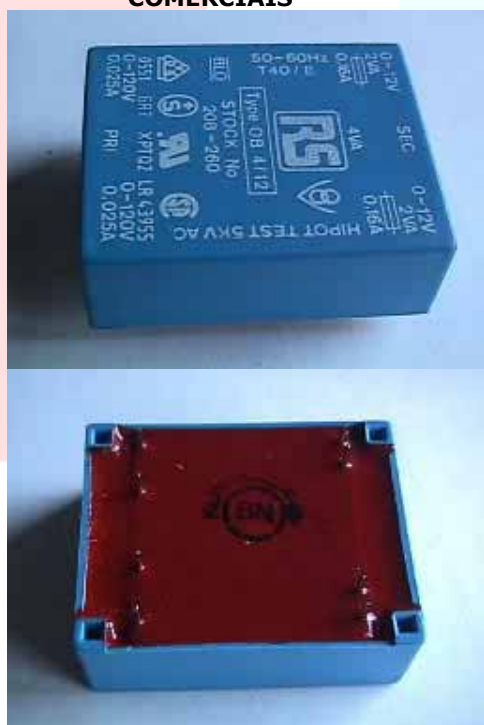
DEMONSTRAÇÃO DO TRANSFORMADOR

O **transformador**♦ de tensão é um dispositivo que funciona baseado na indução eletromagnética (consultar **Circuitos em Corrente Alternada** ou **Análise de Circuitos em Corrente Alternada** - Ed. Érica) e consiste basicamente de dois enrolamentos (várias voltas de fio) um chamado de enrolamento primário no qual será aplicado uma tensão **UP**, e o enrolamento secundário no qual será induzida a tensão secundária **US**. A relação entre as duas tensões depende do número de espiras do secundário (**NS**) e do primário (**NP**), sendo dada por :

$$\frac{U_s}{U_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad \text{ou} \quad U_s = U_p \cdot \frac{N_s}{N_p} = U_p \cdot n$$

onde *n* é chamada de relação de transformação

ASPECTO DE TRANSFORMADORES COMERCIAIS



Face superior e inferior dum transformador de **4VA** encapsulado em resina com pinos para montagem em circuito impresso.

♦ **Transformador** - aparelho que, recebendo uma corrente elétrica, lhe modifica a tensão ou a voltagem.

APLICAÇÕES DOS TRANSFORMADORES

São usados em geral no transporte de energia:

Em baixa frequência, (50Hz), os transformadores são usados na quase maioria das fontes de alimentação ditas **lineares**♦.

Em alta frequência, são usados em fontes de alimentação de comutação ("switching"), por exemplo, nos computadores e monitores de vídeo convencionais.

♦ **lineares** – relativo a linhas, semelhantes a uma linha.



UNIDADE IV

GERAÇÃO DE UMA TENSÃO E CORRENTE ALTERNADA

ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA

Geração e transmissão de energia

Em todo o mundo, a energia elétrica é obtida a partir da conversão de outras formas de energia tais como Energia Gravitacional (hidroelétricas), Energia Térmica (usinas termoeletricas convencionais ou nucleares), Energia dos Ventos (Usinas Eólicas), Energia Luminosa (Células Solares), Energia das Marés.

Atualmente os métodos mais usados para gerar energia em grandes quantidades são as usinas hidroelétricas e termoeletricas. No entanto outras fontes como eólica e solar vêm aumentando sua participação no "mix" de energia.

Estes processos de geração em geral usam turbinas que são movidas pela água em queda, ou vapor d'água em expansão.

Estas turbinas giram, em alta velocidade, grandes magnetos que estão próximos a enormes bobinas. A oscilação do campo magnético gera uma tensão elétrica induzida, também oscilante, com uma frequência fixa (60 Hz).

Esta tensão elétrica é, então, conduzida por linhas de transmissão de alta voltagem e corrente, até subestações.

Nas subestações a tensão é reduzida até cerca de 13.8kV, e é então conduzida até transformadores localizados nas ruas.

Estes transformadores, finalmente, geram a tensão alternada que alimenta nossas casas.

A REDE ELÉTRICA PADRÃO

VALOR RMS

Os transformadores das ruas reduzem a tensão para o valor típico de 110V, encontrado nas tomadas das residências.

Mas que valor é esse ?

Lembrando que a tensão elétrica é uma forma de onda senoidal, com frequência definida, o valor de 110V corresponde a uma tensão contínua cuja potência efetiva (a integral da energia no tempo) seja igual à potência efetiva da tensão senoidal.

Este é o valor **RMS - Root Mean Squared**, da tensão da rede, e é o valor sempre citado quando nos referimos a alimentação alternada.

Conforme veremos, o valor **RMS** de um sinal alternado com amplitude **Vac** é **VRMS = Vac/√2**

SISTEMA TRIFÁSICO

A ORIGEM DAS FASES

Na geração elétrica, para cada ciclo de rotação, tensões são induzidas em diferentes bobinas, aproveitando assim mais eficientemente o processo.

As tensões nas diversas bobinas estarão, portanto, defasadas entre si.

No sistema padrão de alimentação, denominado sistema trifásico, utiliza-se três fases com tensões senoidais idênticas mas defasadas de 120 e 240 graus em relação a uma tensão de referência.

A tensão RMS entre cada fase e um fio denominado neutro, é de 110V.

A tensão RMS entre fases é de 220V.



UNIDADE – V

TEORIA DE CIRCUITOS

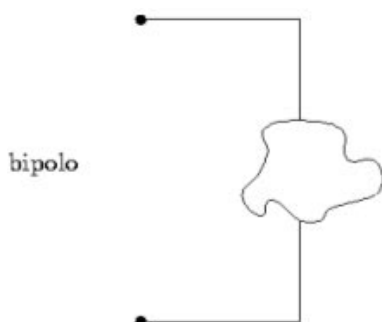
Desenvolvida a partir de medidas experimentais dos fenômenos elétricos.

Atualmente, pode ser vista como uma simplificação da Teoria Eletromagnética (Leis de Maxwell).

É apresentada como concebida por Kirchhoff.

Conceitos fundamentais: corrente e tensão elétricas.

Bipolo: dispositivo contendo 2 terminais condutores



A cada bipolo estão associadas uma corrente (que o atravessa) e uma tensão (entre seus terminais).

LEI DE OHM

Em certos materiais condutores a relação entre a tensão aplicada e a corrente que flui por ele, a uma dada temperatura, é constante. Neste caso dizemos que o condutor obedece a lei de Ohm, que pode ser formalizada pela equação que se segue:

$$k = \frac{V}{I} \quad (1.1)$$

A constante de proporcionalidade é conhecida como resistência e a equação acima pode ser reescrita como:

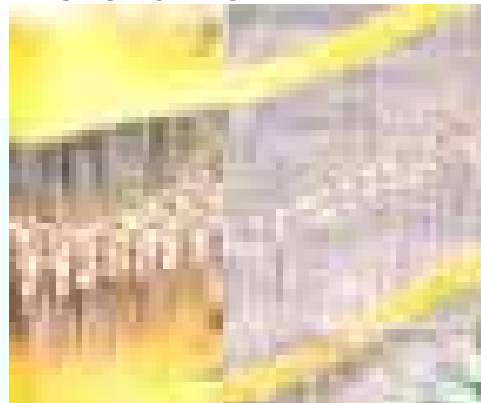
$$R = \frac{V}{I} \quad (1.2)$$

Assim, a lei de Ohm se baseia na relação linear entre a tensão e a corrente. Entretanto, uma resistência cujo valor não permanece constante é definida como uma resistência não-linear (filamento da lâmpada incandescente, por exemplo).

Resistência: é a propriedade de um material se opor ao fluxo de corrente elétrica e dissipar potência.

Resistor: um componente especificamente projetado para possuir resistência.

RESISTORES





UNIDADES VI

TIPOS DE RESISTORES

OS RESISTORES PODEM SER FIXOS OU VARIÁVEIS.

RESISTORES FIXOS

São aqueles que tem apenas um valor especificado de resistência e não pode ser alterado. Os resistores fixos são construídos em três variedades básicas: de composição (carvão ou carbono), de fio (bobinados) e metal filme (metalizados). Essas variedades diferem, principalmente, pelo material que constitui a resistência.

TIPOS DE RESISTORES FIXOS

RESISTORES DE COMPOSIÇÃO (CARVÃO OU CARBONO)

Consiste de uma barra cilíndrica de carvão de pequeno diâmetro (semelhante ao grafite de um lápis), com terminais de ligação presos nos extremos. A peça pode ser toda isolada ou não.

A tendência moderna é isolá-los com uma camada esmaltada, com exceção dos terminais. A cor do esmalte é aplicada segundo um código de cores que indica as especificações do resistor (vide item 7.2).

Vantagens e desvantagens: são resistores baratos, comuns e de pequenas dimensões. São produzidos com valores da ordem de alguns ohms até megaohms e obtidos com o mesmo tamanho de forma. São fabricados com potência de dissipação de **1/8 W** até **3 W**.

RESISTORES DE FIO (BOBINADOS)

São construídos enrolando-se o fio, como por exemplo o níquel-cromo, sobre o bastão de fibra de vidro, óxido de berilo ou forma cilíndrica e utilizando como isolante de acabamento o cimento, a baquelite, o silicone ou esmalte vitrificado. Os extremos do enrolamento são presos por peças metálicas para soldagem dos terminais.

Vantagens e desvantagens: são produzidos com valores que variam de **1** até **100.000 ohms** e a sua dissipação de potência atinge até **1.000 W**. Apresentam geometrias que crescem de acordo com o seu valor ôhmico e com a dissipação permitida. Normalmente tem as suas especificações impressas no próprio corpo do resistor.

RESISTORES DE METAL FILME (METALIZADOS)

São constituídos usando-se uma película metálica ou composta, por cima de um núcleo isolante. Possuem a aparência externa muito parecida com a dos resistores de carvão e utilizam o mesmo código de cores para a sua identificação.

Vantagens e desvantagens: são bastante precisos e estáveis, por isso também são chamados de resistores de precisão, pois consegue-se valores que atinjam até 1% de tolerância. São isentos dos problemas dos efeitos indutivos comuns as

unidades de fio, o que é importante em altas frequências.

RESISTORES VARIÁVEIS



São dispositivos que podem ter alterada a resistência que apresentam num circuito quando em funcionamento.

Os resistores variáveis são subdivididos em: resistores ajustáveis, reostatos e potenciômetros.

TIPOS DE RESISTORES VARIÁVEIS

RESISTORES AJUSTÁVEIS

Possuem três terminais, sendo o central (cursor) móvel, permitindo sua ajustagem através da fixação do referido cursor por um parafuso ou dispositivo semelhante.

Entre os resistores ajustáveis estão os potenciômetros do tipo "trim-pot".

Através de um trim-pot, podemos ajustar a resistência para um determinado valor a fim de que se obtenha um melhor funcionamento do circuito. Os trim-pots possuem três terminais de ligação e permitem a variação de resistência entre zero e um valor final que é o valor "nominal" do componente.

REOSTATOS

São resistores variáveis, que podem ser constituídos de fio ou composição. Diferem dos potenciômetros somente pela maneira de como são colocados nos circuitos. São ligados em série com o dispositivo sobre o qual irão atuar.

POTENCIÔMETROS

São resistores variáveis ligados em paralelo com o elemento sobre o qual vão atuar.

Os potenciômetros poderão ser lineares ou logarítmicos, isto é, a variação de R poderá ser linear ou não em relação ao movimento do cursor.

A ligação dos potenciômetros é feita soldando-se os fios de ligação nos terminais, em número de três, existentes em seu corpo, podendo funcionar então como um divisor de tensão. Em algumas aplicações podemos utilizar apenas dois dos terminais, caso em que dizemos que o dispositivo funciona como um "reostato".[♦]

[♦] **reostato** – aparelho que permite fazer variar a intensidade da corrente elétrica e que se utiliza para manter constante o fluxo do circuito estabilizador de corrente elétrica.



1.1 - CÓDIGO DE CORES:

Cor	Algarismo 1	Algarismo 2	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	x 1	-
Marrom	1	1	x 10	1 %
Vermelho	2	2	x 100	2 %
Laranja	3	3	x 1.000	3 %
Amarelo	4	4	x 10.000	4 %
Verde	5	5	x 100.000	-
Azul	6	6	x 1.000.000	-
Violeta	7	7	-	-
Cinza	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Prata	-	-	x 0,01	10 %
Ouro	-	-	x 0,1	5 %

Um problema importante para a utilização dos resistores está na leitura de seus valores, já eles (com algumas exceções, como os resistores de fio) não vem marcado no invólucro por meio de números, mas sim através de faixas coloridas, segundo um código de cores.

A primeira faixa corresponde ao algarismo de maior ordem no valor ôhmico. A segunda indica o segundo algarismo; a terceira, o número de zeros e a quarta, a tolerância do resistor. A ausência da quarta faixa indica **20%** de tolerância. (**VER TABELA DO CÓDIGO DE CORES**).

ESPECIFICAÇÃO DE RESISTORES

Duas são as especificações principais encontradas nos resistores: a sua resistência (com a sua tolerância) e a sua dissipação de potência.

A resistência que é dada em **ohms**, diz "o quanto de oposição" o resistor oferece a passagem da corrente, podendo variar entre **0,1 ohm** e **22.000.000 ohms** para os tipos comuns.

A potência diz quanto de corrente ele pode suportar sob determinada tensão, o que quer dizer quanto de calor ele pode gerar na tarefa de "oferecer uma resistência".

Nos resistores construídos com fios resistivos, a potência dissipada dependerá de vários fatores como, por exemplo, do volume do resistor, do suporte utilizado, do espaçamento entre as espiras, do diâmetro e da natureza do fio, etc.

Nos resistores de composição, a potência dissipada dependerá do isolamento utilizado, do material suporte (se bom ou mau condutor de calor), e da área da superfície do material componente; normalmente a potência dissipada de um resistor de composição está diretamente associada ao seu tamanho, já que a quantidade de calor que pode ser transferida ao meio ambiente depende de sua superfície de contato com ele.

A corrente máxima permitida em um resistor é especificado para P watts e é dada pela fórmula:

$$I = P/R.$$

Nos projetos, deve-se dimensionar a dissipação dos resistores em, no mínimo, o dobro da potência realmente dissipada, pois com isso estarão asseguradas uma maior estabilidade e durabilidade do componente.

São produzidos resistores para diferentes tensões máximas de trabalho, tais como **250 V**,

450 V, **750 V**, **1.000 V** ou mais, dependendo das características dos isolamentos utilizados.

RESISTORES ESPECIAIS

São considerados resistores não-lineares, pois não seguem a Lei de Ohm, assumindo diferentes valores de resistência quando submetidos a diferentes tensões (Varistores), temperaturas (Termistores) e intensidades luminosas (Fotoresistores). Os aspectos físicos são os mais diversos.

A) VARISTORES

Sua resistência varia com a tensão aplicada em seus terminais. Quanto maior for a tensão, menor será a resistência e vice-versa, procurando manter constante a d.d.p. em seus terminais. São construídos com óxido de zinco ou titanatos.

São usados para proteção de transistores de saída dos amplificadores de áudio, controles de altura e largura da imagem de TVs, estabilizadores de tensão e de corrente.

Na especificação de um varistor, indica-se a tensão nominal para uma corrente pré-fixada, a tolerância referente a essa tensão e a potência dissipada.

B) TERMISTORES

São resistores cuja resistência varia direta ou inversamente com a temperatura. Quando variam diretamente com a temperatura, dizemos que eles possuem um coeficiente positivo de temperatura (**PTC - Positive Temperature Coefficient**), e quando variam inversamente com a temperatura, dizemos que possuem coeficiente negativo de temperatura (**NTC - Negative Temperature Coefficient**).

Os termistores **NTC**, os mais utilizados, são fabricados com materiais cerâmicos submetidos a altas temperaturas, sendo empregados em sistemas de medidas de temperatura, estabilização de amplitude em osciladores, etc.

São empregados na proteção de motores elétricos contra superaquecimento, em termostatos auto-reguláveis, detectores de nível de líquidos, interruptores temporizados, etc.

Suas especificações incluem: o tipo (**NTC** ou **PTC**), a tolerância e a potência dissipada.

C) FOTORESISTORES

São dispositivos fotoelétricos cuja resistência varia em resposta à irradiação luminosa incidente. Quando eles não recebem luz apresentam uma resistência elevada (alguns megaohms); quando expostos à luz, a sua resistência decresce, proporcionalmente a intensidade luminosa incidente. Utiliza-se para a sua fabricação os sulfetos de selênio, silício, tálio, chumbo, cádmio, óxido de zinco e seleneto de cádmio.

Os invólucros dos fotoresistores podem ser constituídos por uma simples camada de plástico, formada por imersão, ou então do tipo selado em vidro ou metal. São usadas em máquinas

copiadoras, fotômetros, flashes eletrônicos, equipamentos para uso médico, balanças automáticas, operação de relés, iluminação em recintos, alarme contra ladrões, etc.

São geralmente especificadas as resistências, sob um regime de iluminação pré-fixado e a potência máxima dissipada suportada pelo componente.

A **Lei de Ohm** permite três interpretações distintas:

(i) para uma determinada tensão aplicada, a corrente é inversamente proporcional à resistência elétrica do elemento;

(ii) para uma determinada corrente aplicada, a tensão desenvolvida aos terminais do elemento é proporcional à resistência;

(iii) a resistência de um elemento é dada pelo cociente entre a tensão e a corrente aos seus terminais.

Por exemplo, no caso dos circuitos representados na **Figura 3.4** verifica-se que em **(b)** a corrente na resistência é dada por $I = V/R = 5 \text{ A}$, que em **(c)** a tensão aos terminais da resistência é $V = RI = 5 \text{ V}$ e que em **(d)** o valor da resistência é $R = V/I = 10 \Omega$.

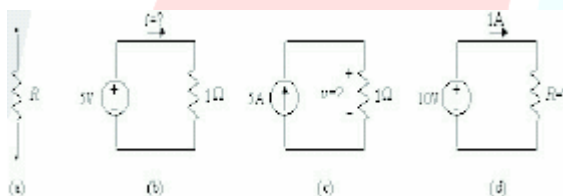
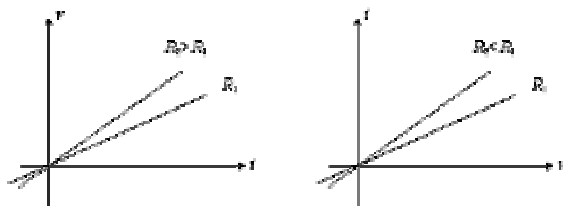


figura 3.4

SÍMBOLO DA RESISTÊNCIA E LEI DE OHM

A representação gráfica da Lei de **Ohm** consiste numa reta com ordenada nula na origem e declive coincidente com o parâmetro **R** (ou **G**) (**Figura 3.5**). Apesar de elementar e evidente, é importante associar esta relação linear tensão-corrente à presença de um elemento do tipo resistência, mesmo em dispositivos eletrônicos relativamente complexos como o transistor.

Num dos seus modos de funcionamento, por exemplo, o transistor apresenta uma relação tensão-corrente semelhante àquela indicada na **Figura 3.5**, o que indica, portanto, que nessa mesma zona o transistor é, para todos os efeitos, uma resistência.



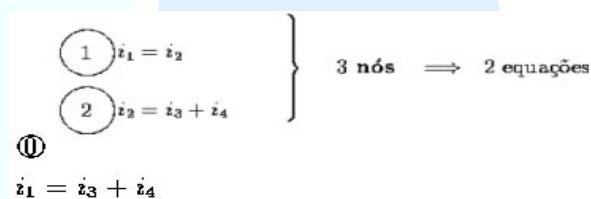
UNIDADE VII

LEI DAS CORRENTES

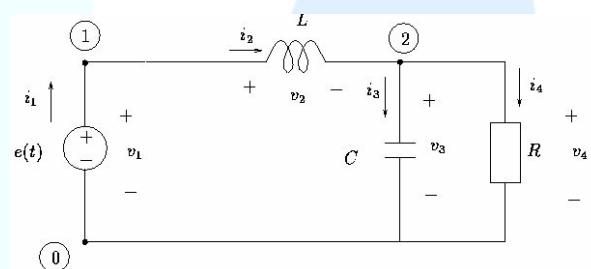
Nó: Um ponto de ligação entre 2 ou mais bipolos.

Lei das Correntes ou 1 Lei de Kirchhoff
A soma algébrica das correntes que saem de um nó é nula.

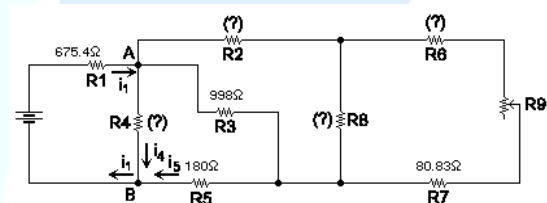
Para um circuito com n nós, pode-se escrever n-1 equações de corrente independentes.



(redundante)



I. RESUMO :



Dado o circuito ao lado o nosso objetivo consistia em determinar os valores das resistências desconhecidas.

No circuito da **fig.1**, as resistências **R2**, **R4**, **R6** e **R8** são desconhecidas e **R9** é uma resistência ajustável (potenciômetro). **Fig.1** – Esquema do circuito da placa **B6** estudado no experimento com o objetivo de descobrir as resistências desconhecidas.

A solução para o problema consiste em medir todas as tensões elétricas possíveis, determinando-se as resistências incógnitas com o auxílio das Leis de Kirchhoff e a **Lei de Ohm**. Dessa forma verificamos que é possível calcular **R4**. Porém, os resistores **R2**, **R6** e **R8** ainda ficam indeterminados. Alterar a tensão **V** aplicada também não ajuda, pois resultam em equações proporcionais.

O problema foi resolvido realizando-se duas medições para valores diferentes da



resistência **R₉**. Dessa forma, conseguimos descobrir todas as resistências deste circuito.

A seguir foi feita uma análise dos dados através de uma simulação em computador.

UNIDADE VIII

LEIS

A LEI DE OHM :

O cientista alemão George Ohm realizou várias experiências medindo as voltagens e as correntes correspondentes quando aplicadas em diversos condutores feitos de substâncias diferentes. Verificou-se então que, para muitas matérias, principalmente os metais, a relação entre a voltagem e a corrente mantinha-se constante, isto é,

$$\frac{(V_{AB})_1}{i_1} = \frac{(V_{AB})_2}{i_2} = \frac{(V_{AB})_3}{i_3} = \dots$$

ou seja,

$$\frac{V_{AB}}{i} = \text{constante}$$

$$\frac{V_{AB}}{i}$$

E como $\frac{V_{AB}}{i}$ representa o valor da resistência **R** do condutor. Logo, **Ohm** concluiu que para aqueles condutores tinha-se **R = constante**.

Este resultado é conhecido como **Lei de Ohm**: para um grande número de condutores (principalmente os metais), o valor da resistência permanece constante, não dependendo da voltagem aplicada ao condutor.

Comentários:

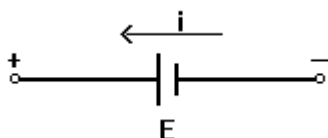
- A expressão **VAB – R·i** ainda é válida mesmo para materiais não ôhmicos. Naturalmente, se o condutor for ôhmico, o valor de **R** nesta expressão será sempre o mesmo, enquanto que para um condutor ôhmico, o valor de **R** variará conforme a voltagem **VAB** aplicada.

- Se construirmos o gráfico **VAB** x **i** para um condutor ôhmico, obteremos uma reta passando pela origem.

Caso contrário se o condutor não obedecer à lei de **Ohm**, o gráfico **VAB** x **i** não será retilíneo, podendo apresentar vários aspectos, dependendo da natureza do condutor.

- Neste experimento estamos admitindo que os resistores obedecem à **Lei de Ohm**. Ou seja, a resistência é mesma mesmo variando a tensão.

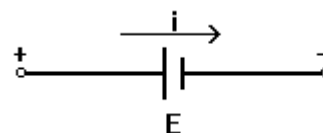
GERADOR E RECEPTOR IDEAL:



A tensão nos terminais da bateria ideal chama-se força eletromotriz (fem). A fem da bateria resulta de um fenômeno químico que ocorre dentro dela e que força a corrente elétrica a atravessá-la de seu pólo negativo para o positivo. Representa-se a bateria ideal mediante o esquema:

O gerador é ideal caso não apresenta resistência interna.

fig.2 – gerador ideal.



Receptor elétrico ideal é um dispositivo que consome energia elétrica, transformando-a em outra forma de energia. Um receptor é ideal se seu circuito interno não oferece resistência elétrica. A tensão nos terminais chama-se força contraeletromotriz (cfem).

Representa-se o receptor ideal mediante o esquema:

Fig.3 – Receptor Ideal

REDES ELÉTRICAS E AS LEIS DE KIRCHHOFF :

Um circuito, como o da figura 1, possui mais do que um caminho fechado e é uma **rede elétrica**. Os pontos de encontro de dois ou mais fios são chamados **nós da rede**. Um **ramo** é o trecho de circuito entre dois nós consecutivos. **Malha** de uma rede é qualquer caminho fechado. No circuito da **Fig.1** **R₄**, **R₃** e **R₅** formam uma malha.

As redes elétricas são resolvidas mediante duas leis, chamadas leis de Kirchhoff.

1ª LEI DE KIRCHHOFF: LEI DOS NÓS.

A soma das correntes que chegam num nó é igual à soma das correntes que saem do mesmo nó.

2ª LEI DE KIRCHHOFF: LEI DAS MALHAS.

Quando se percorre uma malha completa, a soma algébrica de todas as forças eletromotrizes, contra eletromotrizes e produtos **R? i** encontrados na malha é zero.

$$\sum E + \sum (R \cdot i) = 0$$

LEI DE KIRCHHOFF DAS TENSÕES

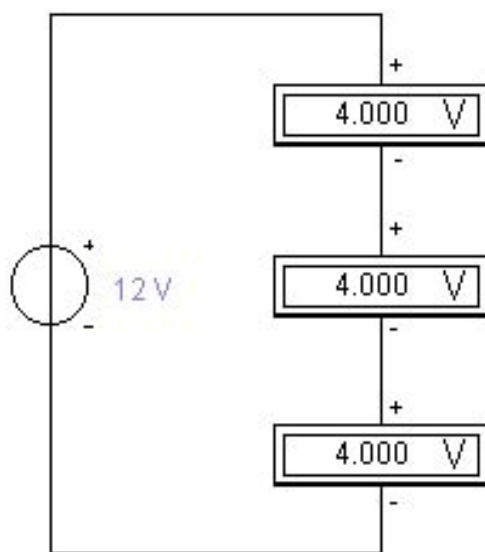


A soma algébrica das tensões ao longo De um caminho fechado é nula. O caminho fechado pode ser percorrido num ou noutro sentido.

Laço de um circuito: Qualquer percurso fechado formado por bipolos que não passe duas vezes pelo mesmo nó.

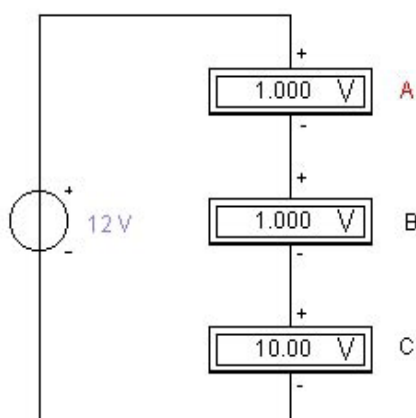
Circuito Plano: Um circuito é plano se puder ser desenhado em um plano sem cruzamento de bipolos.

Os laços em um circuito plano que não contêm bipolos em seu interior são denominados de **malhas**.



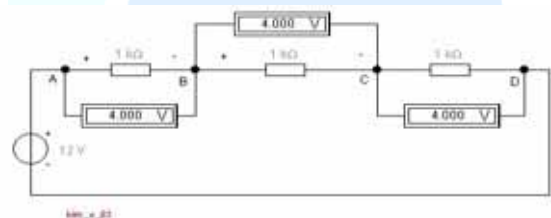
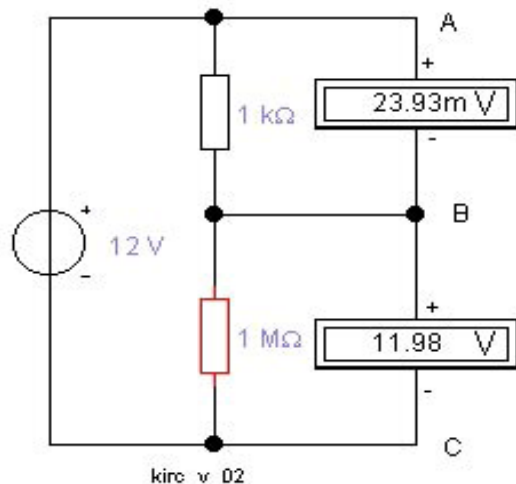
$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

Um exemplo da Lei de Kirchhoff das tensões.



O voltímetro C tem uma resistência interna de 10M?

Os voltímetros A e B têm uma resistência interna de 1M?



D) SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA:

A partir das teorias acima começamos a esquematizar quais medidas seriam necessárias para encontrar as resistências desconhecidas. Observando-se o circuito o valor da resistência R4 podia ser determinado da seguinte forma:

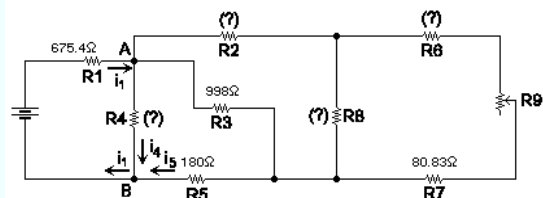


Fig. 4 – Esquema ilustrativo da aplicação da 1ª Lei de Kirchhoff no nó B. Primeiramente medimos as tensões nos resistores **R1**, **R4** e **R5** e descobrimos suas polaridades. Por tanto, podemos determinar o sentido das correntes.

E neste circuito obtemos os sentidos indicados na **fig.2**.

Medindo-se a tensão no resistor **R1** e aplicando a relação de que **V1 = R1 * i1** obtemos a corrente **i1** (na entrada do nó A). Fazendo-se o mesmo no resistor **R5** encontramos a corrente **i5** (na entrada do nó B).

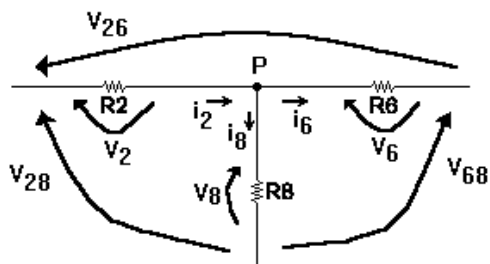
E aplicando a 1ª Lei de Kirchhoff no nó B encontramos a corrente **i4**.

$$i_1 = i_4 + i_5$$

E medindo-se a tensão em **R4** e aplicando a relação **V4 = R4 * i4** chegamos ao valor da resistência **R4**.



Faltava ainda calcular as resistências **R2**, **R6** e **R8**. Focalizando-se no problema tínhamos o seguinte esquema:



Na **fig. 5** as resistências eram desconhecidas, enquanto que as correntes e as tensões **i2**, **i6**, **i8**, **V26**, **V28** e **V68** foram determinadas por meio de medições. Não foi possível medir as tensões **V2**, **V6** e **V8** separadamente devido a uma cola no nó P.

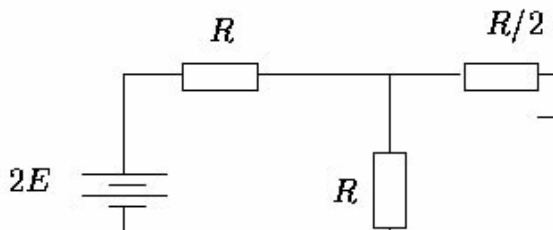
As Leis de Ohm e Kirchhoff nos serviram nos cálculos dos circuitos C.C.

No estudo dos diversos circuitos existentes, são necessários outros métodos.

O teorema de Thévenin pertence a um grupo de teoremas sobre redes complexas (incluindo o teorema de superposição e o teorema de Norton), o qual provê um meio para análise simplificada de circuitos complexos.

RESISTÊNCIA DE THÉVENIN

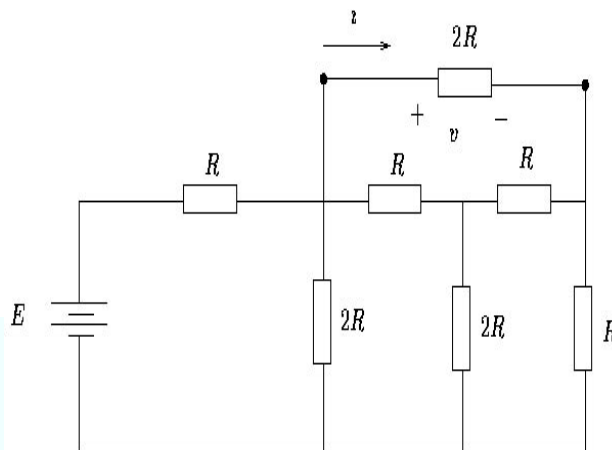
$$E = Ri + v$$



No caso de fontes independentes, a resistência Thévenin pode ser obtida diretamente calculando-se a **resistência vista** através dos terminais com todas as fontes anuladas (fontes de tensão em curto e fontes de corrente em aberto). No exemplo,

$$R_{Th} = (R // R) + \frac{R}{2} = R$$

Exemplo: Considerando **E=10 V** e **R = 1 Ω** no circuito abaixo, obtenha o equivalente Thévenin nos pontos indicados:



A técnica empregada envolve a redução de uma rede a um circuito equivalente simples que atua como a rede original.



UNIDADE IX

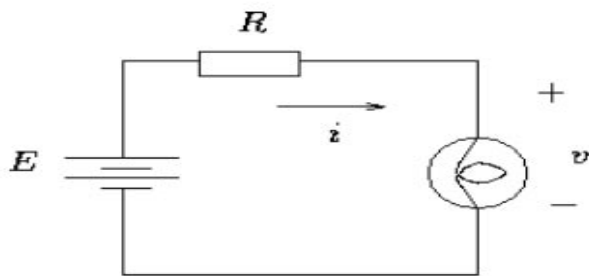
TEOREMA DE THEVENIN

O teorema de Thévenin estabelece que qualquer rede de dois terminais pode ser substituída por um circuito equivalente simples constituído de um gerador Thévenin, cuja tensão **ETH**, atuando em série com uma resistência **RTH** obriga a corrente a fluir através da carga.

Assim, a figura 1 (d) é o equivalente Thévenin para o circuito da figura 1 (a).

EQUIVALENTE DE THÉVENIN

$$E = Ri + v$$



A **tensão de circuito aberto** ($i=0$) é dada por

$$v_{\text{aberto}} = E$$

e a **corrente de curto circuito** ($v=0$) por

$$i_{\text{curto}} = \frac{E}{R}$$

$$R = v_{\text{aberto}} / i_{\text{curto}}$$

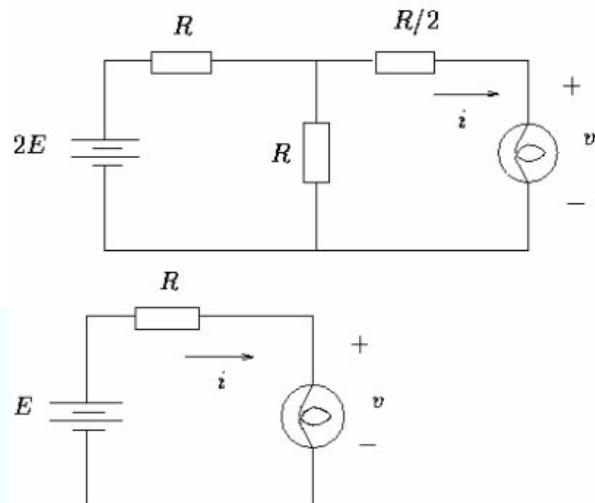
A **resistência** pode ser obtida da relação

A **tensão de circuito aberto** é conhecida por **tensão Thévenin** V_{th} , e a resistência **R** por **resistência equivalente de Thévenin** R_{th} .

Todo circuito elétrico composto apenas por fontes de tensão e correntes contínuas, dependentes ou não, e resistores lineares, pode ser modelado, sob o ponto de vista da carga (isto é, um par de terminais), por uma **fonte de tensão Thévenin** em série com uma **resistência equivalente de Thévenin**.

THÉVENIN E RETA DE CARGA

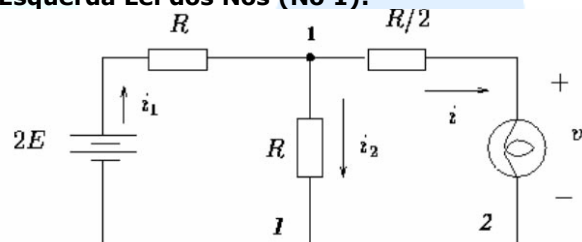
O conceito de **reta de carga** está associado com a idéia de circuitos equivalentes de **Thévenin** e de **Norton**.



Os circuitos acima possuem topologias distintas, porém, sob o ponto de vista da lâmpada (carga), isto é, dos valores v e i , os circuitos são equivalentes.

Calculando a reta de carga para o circuito da

Esquerda Lei dos Nós (Nó 1):



Lei dos Nós (Nó 1):

$$I = i_1 + i_2$$

Lei das Malhas (Malha 1):

$$2E = Ri_1 + Ri_2$$

Lei das Malhas (Malha 2):

$$Ri_2 = \frac{R}{2}i + v$$

Resultando $E = Ri + v$ que também é a reta da carga para o circuito da direita. Portanto, sob o ponto de vista da lâmpada, ambos os circuitos se comportam da mesma maneira.



UNIDADE X

EQUIVALENTE DE NORTON

A reta de carga $v_{Th} = R_{Th}i + v$ pode também ser expressa na forma:

$$i = \frac{V_{Th}}{R_{Th}} - \frac{1}{R_{Th}}v$$

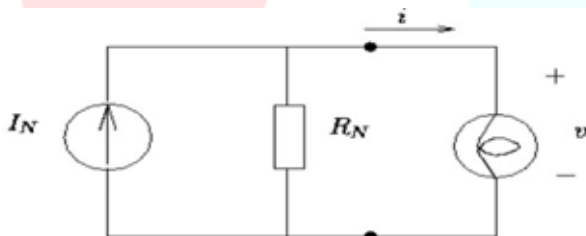
Definindo:

$R_N = R_{Th}$ $\leadsto$ **resistência equivalente de Norton**

$i_N = i_{curto} = \frac{v_{Th}}{R_N}$ $\leadsto$ **corrente de Norton.**

$$i_N = \frac{1}{R_N}v + i$$

Todo circuito elétrico composto apenas por fontes de tensão e correntes contínuas, dependentes ou não, e resistores lineares, pode ser modelado, sob o ponto de vista da carga (isto é, um par de terminais), por uma **fonte de corrente Norton** em paralelo com uma **resistência equivalente de Norton**.



TEOREMA DA SOBREPOSIÇÃO

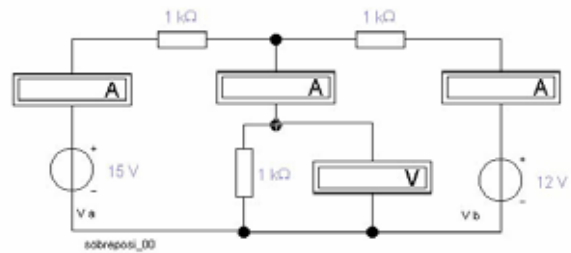
Numa rede linear com vários geradores (independentes) a corrente (ou a tensão) num ramo pode obter-se:

- somando algebricamente as correntes (ou tensões) produzidas nesse ramo por cada um dos outros geradores, atuando isoladamente (ou seja anulando todos os outros geradores):

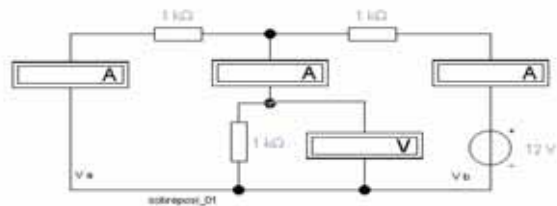
- Os geradores de tensão anulam-se curto-circuitando os seus terminais
- Os geradores de corrente anulam-se os deixando em circuito aberto, (interrompendo a corrente).

Obs. Os geradores dependentes nunca são anulados.

EXEMPLO:

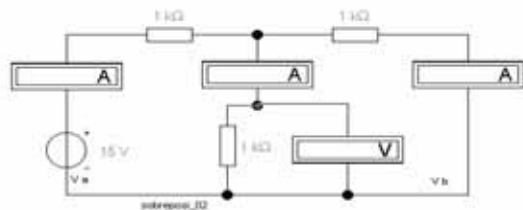


Circuito inicial



A fonte de tensão V_a foi anulada (substituída pela sua resistência interna, se diferente de zero).

Obtém-se o contributo de V_b .



A fonte de tensão V_b foi anulada (substituída pela sua resistência interna)

Obtém-se o contributo de V_a

Neste caso somando algebricamente os dois contributos de tensões e correntes obtemos os valores das correntes e tensões em qualquer ponto do circuito quando os dois geradores estão activos.

RESUMO

- Circuitos no domínio da frequência usando fasores e impedâncias são Análogos a circuitos resistivos (lineares).
- Superposição, Transformações de Fontes e Equivalentes de Norton e Thévenin.
- Superposição: circuito com várias fontes independentes - resposta do circuito é a soma das respostas a cada fonte individual (frequências diferentes).
- Equivalente de Thévenin: circuito representado por um fasor de tensão em série com uma impedância.
- Equivalente de Norton: circuito representado por um fasor de corrente em Paralelo com uma impedância.
- Transformações de fontes: corrente e tensão.



PRINCIPIO DA SUPERPOSIÇÃO

Princípio da Superposição aplicado em circuitos com duas ou mais fontes de frequências diferentes

1. Calcular a resposta para cada fonte separadamente

a) eliminar fontes deixando apenas uma: para fonte de corrente substituir pelo circuito em aberto, para fonte de tensão substituir pelo curto-circuito;

b) calcular fasores para fontes e impedâncias para elementos de circuito;

c) obter a resposta do circuito no domínio fasorial;

d) converter a resposta para o domínio do tempo;

e) repetir passos a, b, c e d para cada fonte.

2. Calcular a soma de todas as respostas no domínio do tempo.

obs. a soma não pode ser feita no domínio fasorial pois as frequências são diferentes.

TEOREMA DE THÉVENIN

Calcular fonte de tensão e impedância de Thévenin

1. Identificar uma parte do circuito total

2. Determinar a tensão em circuito-aberto

$V_{oc} = V_t$: Tensão de Thévenin

3. Se o circuito possui apenas fontes independentes, elimine as fontes independentes e calcule a impedância equivalente;

4. Para circuitos com fontes dependentes escolha uma das opções:

a. coloque um curto-circuito nos terminais e determine **$I_{sc} : Z_t = V_{oc} / I_{sc}$**

b. elimine as fontes independentes, coloque uma fonte de tensão **V** ou uma fonte de corrente **I** nos terminais e determine **$Z_t = V/I$**

obs. **I_{sc}** : corrente fasorial de curto-circuito **Z_t** : impedância de Thévenin **V_t**

TEOREMA DE NORTON

Calcular fonte de corrente e impedância de Norton

1. Identificar uma parte do circuito total

2. Determinar a corrente de curto circuito nos terminais **$I_{sc} = I_n$** : Corrente de Norton

3. Se o circuito possui apenas fontes independentes, elimine as fontes independentes e calcule a impedância equivalente do circuito;

4. Para circuitos com uma ou mais fontes dependentes calcule a tensão de circuito aberto **V_{oc}** nos terminais e determine a impedância de Norton: **$Z_n = V_{oc} / I_{sc}$**



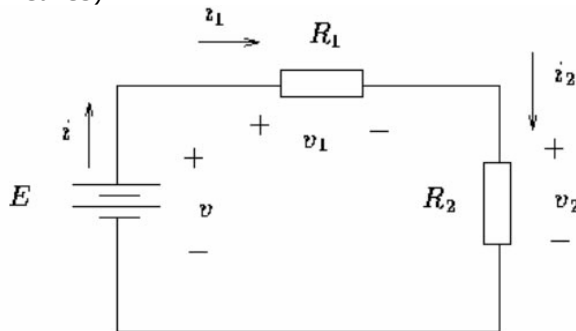
UNIDADE XI

ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE RESISTORES

ASSOCIAÇÃO DE BIPOLOS RESISTIVOS

Considere o circuito a seguir (**resistores lineares**) **Associação de Bipolos Resistivos.**

Considere o circuito a seguir (**resistores lineares**)



Equações dos bipolos (3 equações, 6 variáveis)

$$v = E, \quad v_1 = R_1 i_1, \quad v_2 = R_2 i_2$$

Equações de nós (3 nós, 2 equações independentes):

$$i = i_1, \quad i_1 = i_2$$

Equações dos bipolos (3 equações, 6 variáveis)

$$v = E, \quad v_1 = R_1 i_1, \quad v_2 = R_2 i_2$$

Equações de nós (3 nós, 2 equações independentes):

$$i = i_1, \quad i_1 = i_2$$

Equação de malha: (1 malha, 1 equação):

$$v = v_1 + v_2$$

Resolvendo para i, tem-se

$$i = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

Sob o ponto de vista da fonte, **R1** e **R2** estão em **série**, e podem ser substituídos por um resistor equivalente:

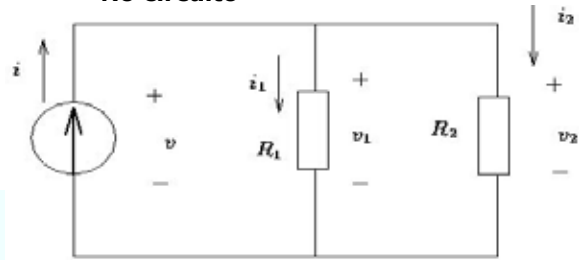
$$R = R_1 + R_2$$

$$v = v_1 + v_2 = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2) i = R i$$

A **resistência resultante** de uma associação **série** de resistores lineares é a **soma das resistências** dos componentes.

ASSOCIAÇÃO PARALELA DE RESISTORES

No circuito



4f02

$$v = v_1 = v_2, \quad i = I$$

$$i = i_1 + i_2 = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) v = \frac{1}{R} v$$

A **condutância resultante** de uma associação

paralela de resistores lineares é a **soma das condutâncias** dos componentes.

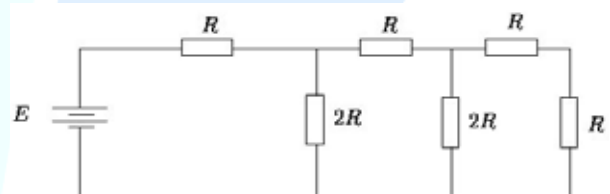
Note que, para uma associação paralela de dois resistores, a resistência equivalente é igual ao produto sobre a soma das resistências componentes.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \iff R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

MALHA DE RESISTORES

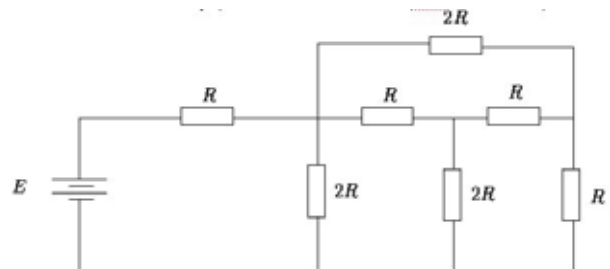
EXEMPLO

Usando associação de resistores, determine a corrente em cada um dos bipolos para **E=10 V** e **R=1 Ω**



Constata-se que a potência fornecida pela fonte é **50 Watts (W)**.

Para Reflexão: usando associação, tente resolver o circuito abaixo (**E=10 V** e **R=1 Ω**)



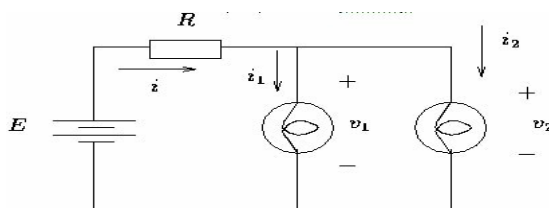


ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES NÃO LINEARES

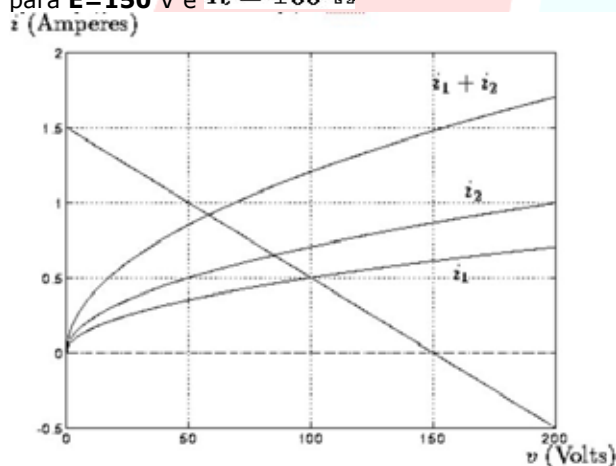
ASSOCIAÇÃO PARALELO DE RESISTORES NÃO LINEARES

Resistores não lineares podem ser associados em série ou em paralelo a partir de suas características tensão versus corrente (plano $v \times i$).

Considere o circuito abaixo (lâmpadas em paralelo)

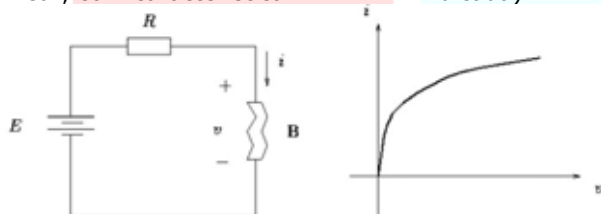


As curvas características das lâmpadas e de sua associação em paralelo são mostradas na figura a seguir, juntamente com a reta de carga para $E=150\text{ V}$ e $R=100\ \Omega$



RETA DE CARGA E PONTO DE OPERAÇÃO (V,I)

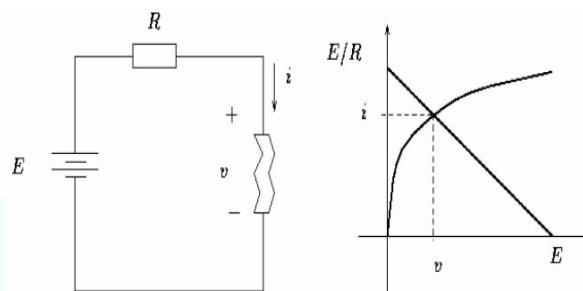
Considere o circuito abaixo (bipolos B não linear, com característica $v \times i$ indicada)



Para a determinação dos valores de v e i no circuito, é conveniente obter a **reta de carga** definida pela fonte de tensão E e pela resistência R :

$$v = E - Ri \quad \text{ou} \quad i = \frac{E - v}{R}$$

Traçando esta reta no plano $v \times i$ do bipolo não linear obtém-se o **ponto de operação** (ou ponto **quiescente**) do circuito.

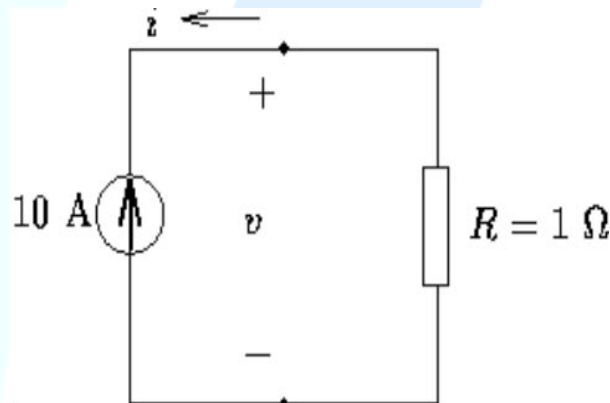


CONVENÇÃO TENSÃO E CORRENTE

Fontes de corrente e fontes de tensão, dependentes ou não, são denominadas **bipolos ativos**. Os demais, são chamados **bipolos passivos**.

Convenção Utilizada: em geral, a convenção de receptor é utilizada para os bipolos passivos e a de gerador para as fontes.

Contra-exemplo: fonte com convenção de receptor e resistor com convenção de gerador.



$$i = -10, v = -1i \Rightarrow v = 10$$

$$p_f = vi = -100 \Rightarrow \text{Fonte fornece potência}$$

$$p_R = vi = -100 \Rightarrow \text{Resistor recebe potência}$$

2f13

♦ **quiescente** – que está em descanso.



PREFIXOS NO S.I.

MÚLTIPLO	PREFIXO	SÍMBOLO	NOME COMUM
1018	Exa	E	Quintilhão
1015	Peta	P	Quadrilhão
1012	Tera	T	Trilhão
109	Giga	G	Bilhão
106	Mega	M	milhão
103	Quilo	K	Mil
102	Hecto	H	Cem
101	deca	Da	Dez
10-1	Deci	D	Décimo
10-2	Centi	C	centésimo
10-3	Mili	M	Milésimo
10-6	Micro	μ	Milionésimo
10-9	Nano	N	Bilionésimo
10-12	Pico	P	Trilionésimo
10-15	Femto	F	quadrilionésimo
10-18	Atto	A	quintilionésimo

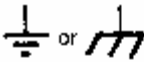
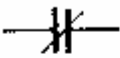
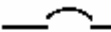
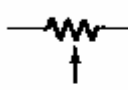
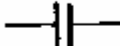
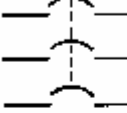
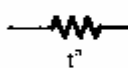
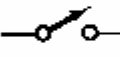
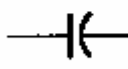
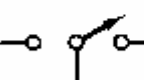
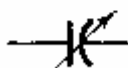
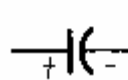
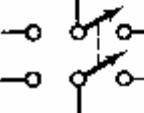
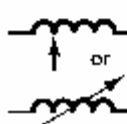
Prefixo	Símbolo	Decimal	Valor	Potência de
Tera-	T	1,000,000,000,000		10^{12}
Giga-	G	1,000,000,000,000		10^9
Mega-	M	1,000,000		10^6

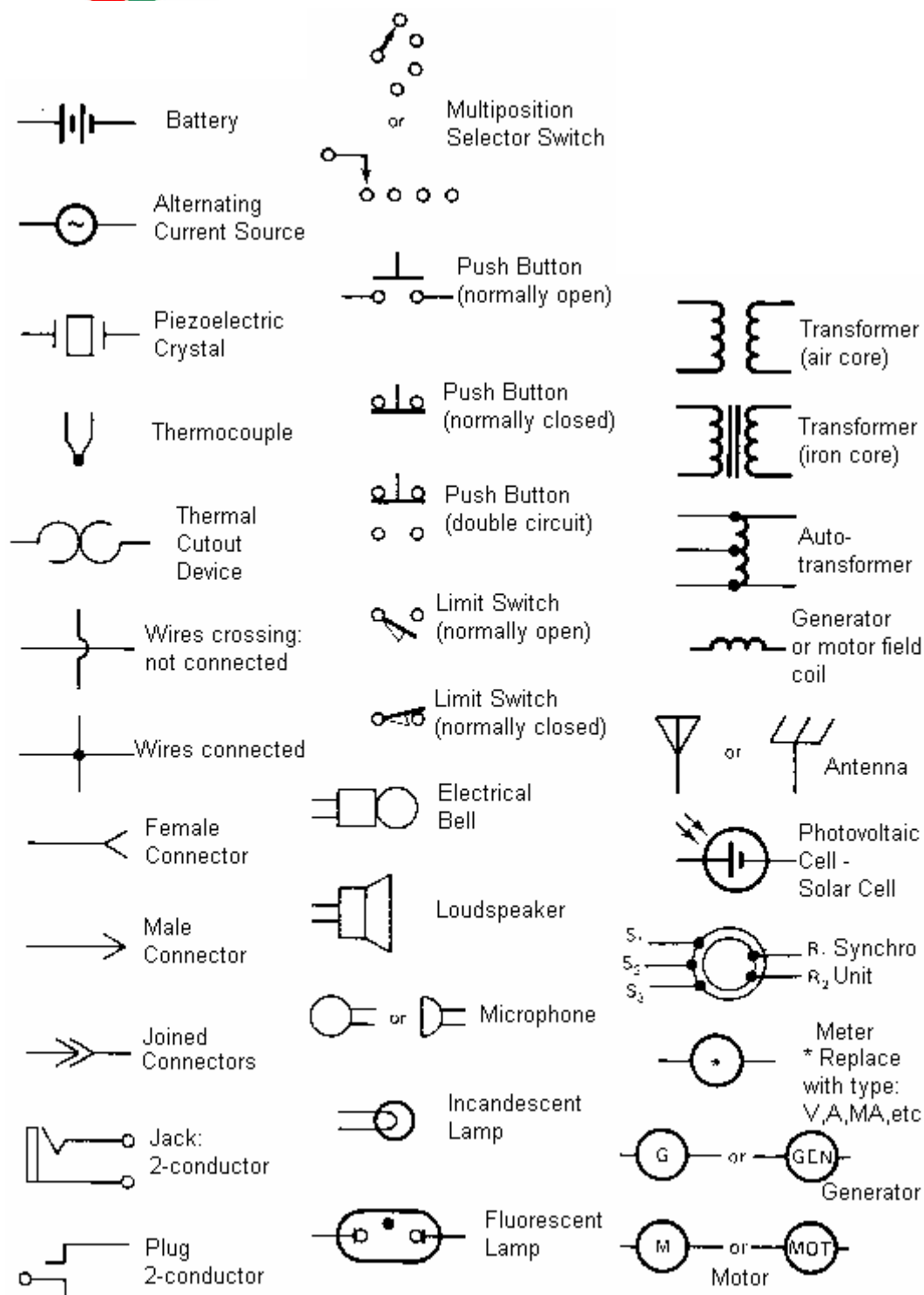
Quilo-	k	1,000		10^3
Hecto-	h	100		10^2
Deca-	da	10		10^1
(sem prefixo)		1		10^0
Deci-	d	0.1		10^{-1}
Centi-	c	0.01		10^{-2}
Mili-	m	0.001		10^{-3}
Micro-	μ	0.000001		10^{-6}
Nano-	n	0.000000001		10^{-9}
Pico-	p	0.000000000001		10^{-12}
Femto-	f	0.000000000000001		10^{-15}

SÍMBOLOS DE APARELHOS ELÉTRICOS

SÍMBOLOS ESQUEMÁTICOS MAIS COMUNS



 Fixed Resistor	 or  Ground	 Fuse
 Tapped Resistor	 Contacts (Normally Closed)	 Circuit Breaker (Single Pole)
 Variable Resistor (Potentiometer)	 Contacts (Normally Open)	 Circuit Breaker (Three Pole)
 Thermistor	 Switch (Single-Pole Single-Throw)	 Coil (air core)
 Fixed Capacitor	 Switch (Single-Pole Double-Throw)	 Coil (Iron core)
 Variable Capacitor	 Switch (Double-Pole Single-Throw)	 Coil (Tapped)
 Polarized Capacitor (Electrolytic)	 Switch (Double-Pole Double-Throw)	 Coil (Adjustable)





Aparelho	Símbolo	
Pilha		
Gerador de tensão contínua		
Gerador de tensão alternada		
Lâmpada		
Resistor		
Motor		
Interruptor (circuito fechado)		
Interruptor (circuito aberto)		
Amperímetro		
Voltímetro		
Transformador		



Diodo		
Condensador		

<http://br.geocities.com/saladefisica>

UNIDADE XII

INTRODUÇÃO AOS NÚMEROS COMPLEXOS

Na resolução de uma equação algébrica, um fator fundamental é o conjunto universo que representa o contexto onde poderemos encontrar as soluções. Por exemplo, se estivermos trabalhando no conjunto dos números racionais, a equação $2x+7=0$, terá uma única solução dada por: $x = -7/2$ assim, o conjunto solução será: $S = \{ -7/2 \}$ no entanto, se estivermos procurando por um número inteiro como resposta, o conjunto solução será o conjunto vazio, isto é: $S = \emptyset = \{ \}$. Analogamente, se tentarmos obter o conjunto solução para a equação $x^2+1=0$ sobre o conjunto dos números reais, teremos como resposta o conjunto vazio, isto é: $S = \emptyset = \{ \}$ o que significa que **não existe um número real que elevado ao quadrado seja igual a -1**, mas se seguirmos o desenvolvimento da equação pelos métodos comuns, obteremos: $x = \pm i$ onde i é a raiz quadrada do número real -1 . Isto parece não ter significado prático e foi por esta razão que este número foi chamado **imaginário**, mas o simples fato de substituir pela letra i (unidade imaginária) e realizar operações como se estes números fossem polinômios, faz com que uma série de situações tanto na Matemática como na vida, tenham sentido prático de grande utilidade e isto nos leva à teoria dos números complexos.

DEFINIÇÃO DE NÚMERO COMPLEXO

Número complexo é todo número que pode ser escrito na forma $z = a + b i$ onde a e b são números reais e i é a unidade imaginária. O número real a é a parte real do número complexo z e o número real b é a parte imaginária do número complexo z , denotadas por:

$$a = \text{Re}(z) ; b = \text{Im}(z)$$

Exemplos de tais números são apresentados na tabela.

Número complexo	Parte real	Parte imaginária
$2 + 3 i$	2	3
$2 - 3 i$	2	-3
2	2	0
$3 i$	0	3
$-3 i$	0	-3
0	0	0

OBSERVAÇÃO: O conjunto de todos os números complexos é denotado pela letra C e o conjunto dos números reais pela letra R . Como todo número real x pode ser escrito como um número complexo da forma $z=x+yi$, onde $y=0$ então assumiremos que o conjunto dos números reais está contido no conjunto dos números complexos.

ELEMENTOS COMPLEXOS ESPECIAIS

• **Igualdade de números complexos:** Dados os números complexos $z=a+bi$ e $w=c+di$, definimos a igualdade entre z e w , escrevendo

$$z = w \Leftrightarrow a = c \text{ e } b = d$$

Para que os números complexos $z=2+yi$ e $w=c+3i$ sejam iguais, deveremos ter que $c=2$ e $y=3$.

• **Oposto de um número complexo:** O oposto do número complexo $z=a+bi$ é o número complexo denotado por $-z=-(a+bi)$, isto é:

$$-z = \text{Oposto}(a+bi) = (-a) + (-b)i$$

O oposto de $z=-2+3i$ é o número complexo $-z=2-3i$.

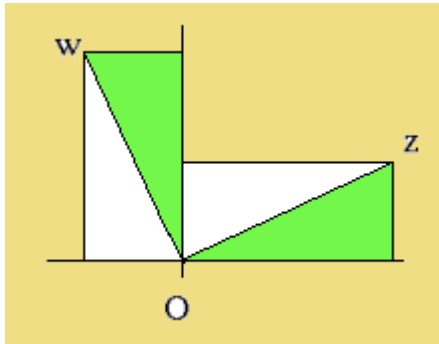
• **Conjugado de um número complexo:** O número complexo conjugado de $z=a+bi$ é o número complexo denotado por $\bar{z}=a-bi$, isto é:

$$\bar{z} = \text{conjugado}(a+bi) = a + (-b)i$$

O conjugado de $z = 2-3i$ é o número complexo $\bar{z} = 2+3i$.



OPERAÇÕES BÁSICAS COM NÚMEROS COMPLEXOS



Dados os números complexos $z=a+bi$ e $w=c+di$, podemos definir duas operações fundamentais, **adição** e **produto**, agindo sobre eles

da seguinte forma:

$$z + w = (a + bi) + (c + di) = (a+c) + (b+d)i$$

$$z \cdot w = (a + bi) \cdot (c + di) = (ac-bd) + (ad+bc)i$$

Observação: Estas operações nos lembram as operações com expressões polinomiais, pois a adição é realizada de uma forma semelhante, isto é: $(a+bx) + (c+dx) = (a+c) + (b+d)x$ e a multiplicação $(a+bx) \cdot (c+dx)$, é realizada através de um algoritmo que aparece na forma:

$$\begin{array}{r} a + bx \\ c + dx \quad \times \\ \hline ac + bcx \\ adx + bdx^2 \\ \hline ac + (bc+ad)x + bdx^2 \end{array}$$

de forma que devamos trocar x^2 por -1 .

Exemplos:

Se $z=2+3i$ e $w=4-6i$, então

$$z+w=(2+3i)+(4-6i)=6-3i$$

Se $z=2+3i$ e $w=4-6i$, então

$$z \cdot w = (2+3i) \cdot (4-6i) = -4+0i$$

A DIFERENÇA ENTRE NÚMEROS COMPLEXOS

A diferença entre os números complexos $z=a+bi$ e $w=c+di$ é definida como o número complexo obtido pela soma entre z e $-w$, (isto é: $z - w = z + (-w)$)

Exemplo: A diferença entre os complexos $z=2+3i$ e $w=5+12i$, é:

$$z-w=(2+3i)+(-5-12i)=(2-5)+(3-12)i=-3-9i$$

A DIVISÃO ENTRE NÚMEROS COMPLEXOS

A divisão entre os números complexos $z=a+bi$ e $w=c+di$ (w não nulo) é definida como o número complexo obtido pelo produto entre z e w^{-1} , isto é:

$$z/w = z \cdot w^{-1}$$

Exemplo: Para dividir o número complexo $z=2+3i$ por $w=5+12i$, basta multiplicar o numerador e também o denominador da fração z/w pelo conjugado de w :

$$\frac{z}{w} = \frac{2+3i}{5+12i} = (2+3i) \cdot \left(\frac{5}{169} - \frac{12i}{169} \right)$$

NÚMERO COMPLEXO COMO MATRIZ

Existe um estudo sobre números complexos, no qual um número complexo $z=a+bi$ pode ser tratado como uma matriz quadrada 2×2 da forma:

$$z = \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix}$$

E todas as propriedades dos números complexos, podem ser obtidas através de matrizes, resultando em processos que transformam as características geométricas dos números complexos em algo simples.

EXERCÍCIOS

Exemplo1: Qual a intensidade da corrente em um condutor que tem resistência de 1000Ω se a tensão aplicada for de

a) **2V** b) **100V** c) **50mV**

R: Para cada caso deveremos especificar **U** em **Volts**

e **R** em **OHMS**

$$a) I = 2V/1000\Omega = 0,002A = 2mA$$

$$b) I = 100V/1000\Omega = 0,1A = 100mA$$

$$c) I = 50mV/1000\Omega = 50 \cdot 10^{-3}V/1000\Omega = 50 \cdot 10^{-3}/10^3\Omega = 50 \cdot 10^{-6}A = 50\mu A$$

Exemplo2: Qual deve ser a tensão em um condutor de 10Ω de resistência para a corrente tenha intensidade de:

a) **2mA** b) **0,05A** d) **20\mu A**

R: Para determinar a tensão dado a resistência e a corrente usamos a 1ª Lei de **OHM** na forma:

U = R.I se **R** em **OHMS** e **I** em **AMPERES** **U** será obtido em **VOLTS**

$$a) U = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 20V$$

$$b) U = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 50 \cdot 10^{-5} = 500V$$

$$c) U = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 200 \cdot 10^{-9}V = 200mV = 0,2V$$

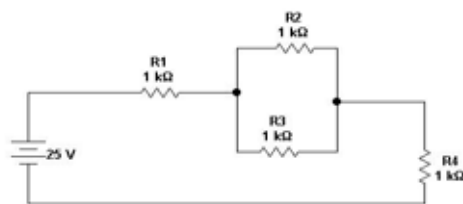
1. A tensão em um condutor é **2,4V** e a intensidade da corrente é de **0,8A**.

Podemos afirmar que a resistência do condutor é de:

- a) **2,4 Ω**
- b) **3 Ω**
- c) **1,25 Ω**
- d) **0,33 Ω**



2. É dado o resistor. Pelo código de cores o seu valor nominal é:



- a) 2K2
- b) 220 Ω
- c) $\times K^{22}$
- d) δ 22 Ω

Vermelho, Vermelho, Vermelho

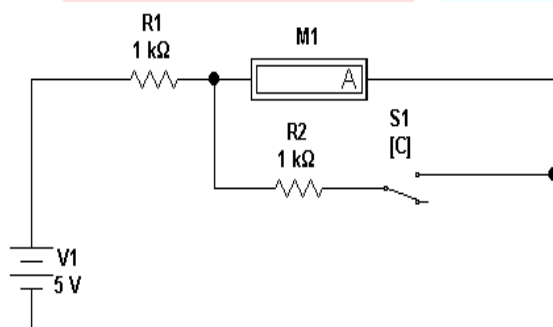


3. Para o circuito determine a corrente do circuito:

- a) 10^A
- b) 10mA
- c) 25A
- d) 25mA

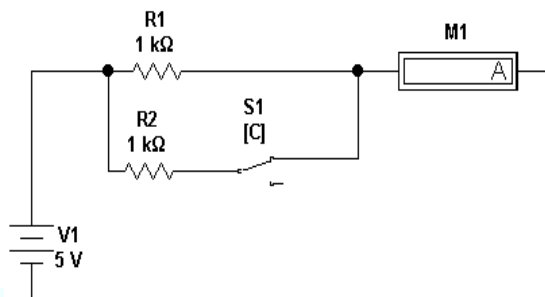
4. No circuito, com a chave como indicado a corrente que o instrumento indica é **5mA**. Se a chave mudar de posição a corrente:

- a) Não se altera
- b) passa a valer 10mA
- c) Passa a valer 0
- d) Passa a valer 2,5mA.

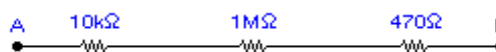


5. No circuito, com a chave como indicado, a corrente que o instrumento indica é **10mA**. Se a chave mudar de posição a corrente:

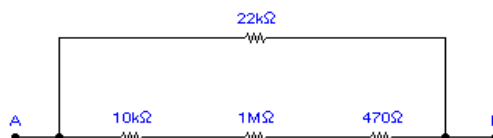
- a) Passa a valer 5mA
- b) passa a valer 10mA
- c) Passa a valer 0
- d) Passa a valer 2,5mA



6. Calcule a resistência equivalente no esquema abaixo:

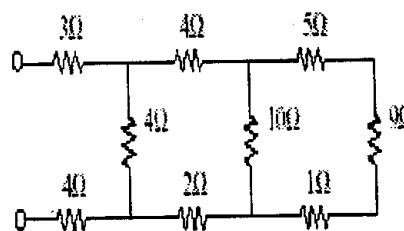


7. Calcule a resistência equivalente no circuito abaixo:



08. Determine a resistência equivalente para a rede abaixo:

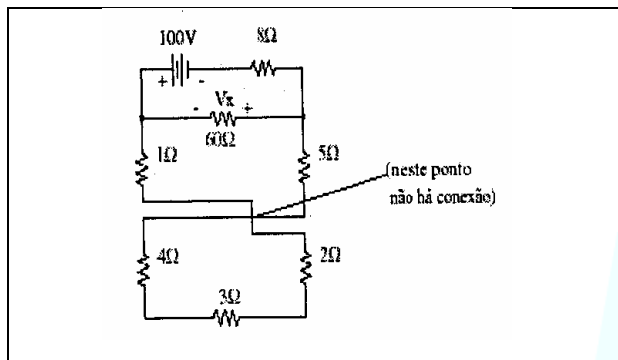
- a) Como está desenhada (**R: Req = 10 Ω**)
- b) Com o resistor **5 Ω** substituído por um curto-circuito (**R: Req = 9,93 Ω**)
- c) Com o resistor de **5 Ω** substituído por um circuito aberto (**R: Req = 10,2 Ω**)



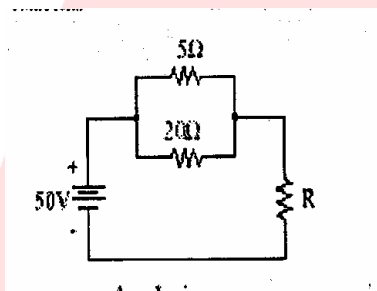
9. Três resistores estão em série e têm tensão continua total V_1 , R_1 tem uma tensão de 20V, R_2 tem uma potência de 25W e $R_3 = 2\Omega$. Caso a corrente continua seja 5 A, encontre V_1 ($R: V_1 = 35V$)



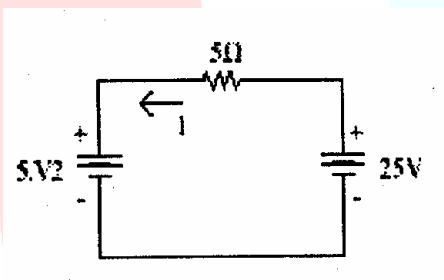
10. Determine V_x no circuito a seguir.
($R: V_x = -60V$)



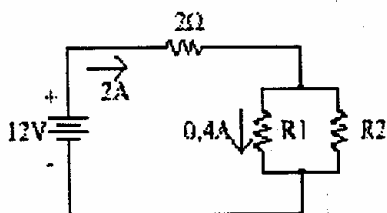
11. No circuito mostrado abaixo, o resistor variável R , é ajustado de tal forma que a potência resistor de 5Ω seja $20W$. Encontre o valor de R , a potência fornecida pela fonte e o valor corrente com R . ($R: R = 16\Omega$; $P_{fornecida} = 125W$; $I_R = 2,5A$).



12. Encontre a corrente I no circuito mostrado abaixo, para os seguintes valores de V_2 :
(a) $4V$; (b) $5V$; (c) $10V$. ($R: I_A; 0; -5A$).

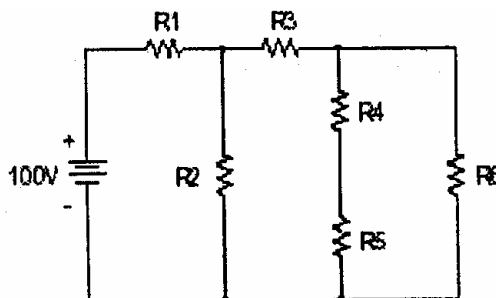


13. Calcule R_1 e R_2 para a circuito abaixo: ($R: R_1 = 20\Omega$; $R_2 = 5\Omega$).

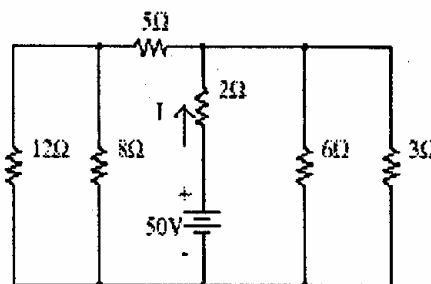


14. Ache as tensões e as correntes nas resistências do circuito abaixo sabendo que
 $R_1 = 15\Omega$; $R_2 = 10\Omega$; $R_3 = 5\Omega$; $R_4 = 10\Omega$;
 $R_5 = 5\Omega$; $R_6 = 10\Omega$.

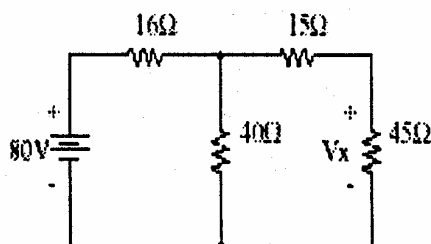
($R: V_{R1} = 74,1V$; $V_{R2} = 25,87V$;
 $V_{R3} = 11,75V$; $V_{R4} = 9,4V$; $V_{R5} = 4,7V$;
 $V_{R6} = 14,1V$).



15. Encontre o valor da corrente I no circuito abaixo: ($R: I = 13,66A$).

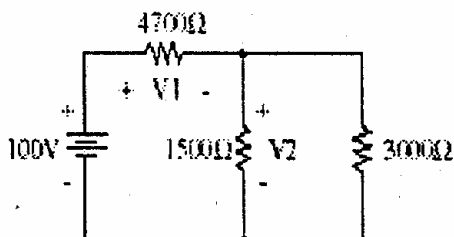


- Item 16. Usar divisão de tensão duas vezes para achar a tensão V_x no circuito abaixo: ($R: V_x = 36V$).

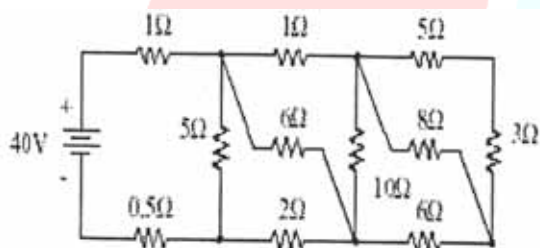




17. Aplicando o conceito de divisão de tensão, ache os valores de V_1 e V_2 para o circuito abaixo (**R: $V_1 = 82,45V$; $V_2 = 17,55V$**).



18. Achar a corrente e a potencia fornecida pela fonte de tensão de **40V** do circuito abaixo:



19. No circuito, sabe-se que o resistor de **10Ω** dissipa uma potência de **14,4W**.

- a) Qual a leitura no amperímetro ideal A?
- b) Qual a leitura no voltímetro ideal V?

ÍNDICE TÉCNICO:

Sugestões bibliográficas:

Site da Editora Érica www.ERICA.com.br

"Análise e Simulação de Circuitos no Computador – EWB5", "Análise de Circuitos em Corrente Contínua", "Análise de Circuitos em Corrente Alternada", "Circuitos em Corrente Alternada".

Eletrônica – Gabriel Torres Ed. AXCEL BOOKS

REFLEXÃO:

"Somente as pessoas que têm paciência de fazer com perfeição, as coisas simples, é que adquirem a arte de fazer com facilidade, as coisas difíceis,"

(Shiller)



GLOSSÁRIO

- ♦ **bobina** – parte dos instrumentos de física formada de um fio metálico enrolado em um carretel.
- ♦ **dispersão** – perda de energia.
- ♦ **espiras** – cada volta da espiral; configuração da espiral; cada rosca de um parafuso.
- ♦ **lineares** – relativo a linhas, semelhantes a uma linha
- ♦ **osciloscópio** – aparelho que registra as oscilações das correntes alternadas.
- ♦ **quiescente** – que está em descanso.
- ♦ **reostato** – aparelho que permite fazer variar a intensidade da corrente elétrica e que se utiliza para manter constante o fluxo do circuito estabilizador de corrente elétrica.
- ♦ **resistência** – propriedade que tem uma substância de opor-se à passagem de corrente elétrica ou calorífica
- ♦ **senoidal** – representação gráfica do movimento vibratório.
- ♦ **Transformador** - aparelho que, recebendo uma corrente elétrica, lhe modifica a tensão ou a voltagem.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste módulo, você encontrou conteúdo, textos e interpretações para apoiá-lo no seu Curso. Aqui, a teoria é acompanhada da sua contrapartida – estágio – que será de grande valor para o seu enriquecimento profissional.

Não pretendemos de forma alguma ditar receitas infalíveis. Nossa intenção é conduzir um diálogo direcionado a você e dessa forma, ajudá-lo a desenvolver habilidades de estudo – consultas a dicionário, enciclopédia e leitura de textos – tornando-o apto a superar os limites que esse material encerra.

Agora, vamos ao seu desempenho. Se você acertou tudo, passará para o próximo módulo. Caso contrário, esclareça suas dúvidas com o seu **professor/tutor**, de acordo com a sua disponibilidade de tempo e esteja você onde estiver, seja por telefone, fax ou internet (www.colegiopolivalente.com.br.)

O desafio de toda Equipe Polivalente é saber articular um ensino profissionalizante de modo a ser compreendido pela comunidade. O único modo para articulá-lo e vivê-lo, é dando testemunho de vida, sendo capaz de empreender.

O seu sucesso é também sucesso do CIP.

Afinal, o CIP é você!!!!