

INSTITUTO CENTRO DE ENSINO TECNOLÓGICO- CENTEC
CURSO TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA

FLÁVIO MURILO DE CARVALHO LEAL

FUNDAMENTOS DE ELETROTÉCNICA

FLÁVIO MURILO DE CARVALHO LEAL

FUNDAMENTOS DE ELETROTÉCNICA

Material de apoio para alunos do curso técnico de nível médio em Eletrotécnica abordando o conteúdo da ementa da disciplina de Fundamentos de Eletrotécnica, módulo II, do Instituto Centro de Ensino Tecnológico.

Juazeiro do Norte
2013

“Para você, um robô é um robô. Engrenagens e metal; eletrecidade e pósitrons. Mente e ferro! Feitos pelo homem! Caso necessário, destruílos pelo homem! Mas você não trabalhou com eles, de modo que não os conhece. São uma raça mais limpa e melhor do que a nossa.” Isaac Asimov

RESUMO

Desde sempre o homem busca formas de energia para aplicação no dia a dia, para realizar desde as atividades mais básicas como preparar um alimento ou iluminar algum lugar, até as mais sofisticadas, como colocar em movimento um potente carro movido à eletricidade. Devido a essa imensa abrangência de aplicação é que se faz necessário o estudo dos aspectos mais básicos envolvidos na geração, distribuição e aplicação da eletricidade.

Iremos ver os benefícios e riscos que esse fenômeno físico nos oferece, bem como suas aplicações. Estudaremos formas de analisar um circuito elétrico, o comportamento de uma corrente aplicada a uma carga matematicamente e fisicamente, entre diversas outras coisas.

É importante também saber que tal conhecimento não é possível sem o prévio conhecimento básico em outras áreas da ciência, como a química e até mesmo a biologia. Afinal, sabe-se que não se cria e nem se perde qualquer coisa no universo, tudo é transformado. Essa transformação acontece de diferentes maneiras e é justamente disso e de outras coisas importantes que iremos tratar mais adiante.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Átomo	10
Figura 2 - Camadas do átomo	10
Figura 3 - Átomo de hidrogênio	11
Figura 4 - Peróxido de hidrogênio	11
Figura 5 - Estados da matéria	12
Figura 6 - Molécula de água	12
Figura 7 - Atração e repulsão entre corpos	13
Figura 8 - Conservação de carga após contato entre corpos	13
Figura 9 - Cabo elétrico	14
Figura 10 -Eletrização por atrito.....	15
Figura 11 - Transferência de carga positiva a um corpo neutro	15
Figura 12 - Transferência de carga negativa a um corpo neutro	15
Figura 13 - Eletrização por indução.....	16
Figura 14 - Lei de Coulomb.....	16
Figura 15 - Linhas de força	20
Figura 16 - Campo elétrico uniforme	20
Figura 17 - Comportamento da corrente elétrica	23
Figura 18 - Carga elementar	23
Figura 19 - Gráfico da corrente em função do tempo	24
Figura 20 - Fluxo de corrente i causado pela ddp U	25
Figura 21 - Triângulo da lei de Ohm	26
Figura 22 - Resistores fixos.....	27
Figura 23 - Potenciômetro	28
Figura 24 - Tabela de códigos.....	29
Figura 25 - Resistores em série	30
Figura 26 - Resistores em paralelo	30
Figura 27 - Associação mista de resistores.....	31
Figura 28 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas em série	31
Figura 29 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas em série/Curto circuito.....	32
Figura 30 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas em paralelo.....	32
Figura 31 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas em paralelo/Curto circuito	32
Figura 32 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas mista	33
Figura 33 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas mista/Curto circuito.....	33
Figura 34 - Circuito aberto e curto circuito	35
Figura 35 - Associação em série de geradores	36
Figura 36 - Associação em paralelo de geradores.....	36
Figura 37 - Motor, um receptor elétrico	37
Figura 38 - Nó em um circuito elétrico.....	38
Figura 39 - Ramo em um circuito elétrico.....	38
Figura 40 - Malha em um circuito elétrico	38
Figura 41 - Lei dos nós.....	39
Figura 42 - Lei das malhas	39
Figura 43 - Teorema de Thévenin	40

Figura 44 - Circuito equivalente de Thévenin	40
Figura 45 - Capacitores.....	41
Figura 46 - Armaduras do capacitor	41
Figura 47 - Capacitor internamente	42
Figura 48 - Circuito com capacitor	42
Figura 49 - Associação de capacitores em série.....	43
Figura 50 - Associação de capacitores em paralelo	44
Figura 51 - Ímã artificial e temporal	45
Figura 52 - Magnetita, ímã natural e permanente.....	45
Figura 53 - Polos de um ímã	46
Figura 54 - Inseparabilidade dos polos.....	46
Figura 55 - Variação do ângulo Φ com o tempo	47
Figura 56 - Variação da tensão com o tempo	47
Figura 57 - Gráfico da intensidade da corrente alternada em um resistor em função do tempo	48
Figura 58 - Esquema de um alternador.....	48
Figura 59 - Esquema básico de um transformador	49
Figura 60 - Esquema elétrico de um transformador	50
Figura 61 - Circuito elétrico equivalente do transformador	51
Figura 62 - Triângulo de potências.....	53
Figura 63 - Representação trigonométrica do exemplo numérico	55

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	5
1. INTRODUÇÃO	10
1.1 - Átomo.....	10
1.1.1 - Elétrons	10
1.1.2 - Prótons	11
1.1.3 - Nêutrons.....	11
1.2 - Molécula.....	11
1.3 - Matéria.....	12
2. ELETROESTÁTICA	13
2.1 – Princípios da eletroestática	13
2.1.1 – Princípio da atração e repulsão	13
2.1.2 – Princípio da conservação das cargas elétricas	13
2.2 – Eletrização	14
2.2.1 – Condutores e isolantes.....	14
2.2.2 – Eletrização por atrito	14
2.2.3 – Eletrização por contato	15
2.2.4 – Eletrização por indução	16
2.2.5 – Carga elétrica puntiforme	16
2.2.6 – Lei de Coulomb.....	16
ATIVIDADE PRÁTICA I – Eletrização por atrito e por indução	17
ATIVIDADE PRÁTICA II – Pêndulo elétrico	17
ATIVIDADE PRÁTICA II – Pêndulo elétrico	17
2.3 – Campo elétrico	18
2.3.1 – Campo elétrico x Campo magnético	18
2.3.2 – Unidade de intensidade de campo elétrico	19
2.3.3 – Linhas de força	19
2.4 – Trabalho e potencial elétrico	20
2.4.1 – Diferença de potencial elétrico	20
2.4.2 – Unidade de diferença de potencial elétrico	21
2.4.3 – Propriedades do potencial elétrico	21
2.5 – Condutores em equilíbrio e capacitância eletroestática.....	21
2.5.1 – Condutores em equilíbrio.....	21
2.5.2 – Distribuição das cargas elétricas em excesso.....	22

2.5.3 – Condutores em equilíbrio.....	22
3. ELETRODINÂMICA	23
3.1 – Corrente elétrica	23
3.1.1 – Intensidade de corrente elétrica	23
3.1.2 – Sentido da corrente elétrica.....	24
3.1.3 – Energia e potência da corrente elétrica	25
3.2 – Resistência x Impedância	26
3.2.1 – Lei de Ohm.....	26
3.2.2 – Identificação de valores	26
3.2.3 – Unidades de medida comuns	27
3.2.4 – Lei de Joule	27
3.2.5 – Tipos de resistores.....	27
3.2.6 – Identificação de valores	28
3.2.7 – Associação de resistores	29
ATIVIDADE PRÁTICA	31
3.3 – Geradores elétricos	34
3.3.1 – Rendimento de um gerador	34
3.3.2 – Equação do gerador. Circuito aberto	35
3.3.3 – Curto circuito em um gerador e circuito aberto	35
3.3.4 – Associação de geradores	35
3.4 – Receptores/Cargas elétricas.....	36
3.4.1 – Rendimento em receptores elétricos.....	37
3.4.2 – Equação do receptor	37
3.5 – As leis de Kirchhoff	38
3.5.1 – Primeira lei de Kirchhoff.....	39
3.5.2 – Segunda lei de Kirchhoff.....	39
3.6 – Teorema de Thévenin.....	39
3.7 – Capacitores.....	41
3.7.1 – Associação de capacitores.....	42
3.7.2 – Capacitores em série	43
3.7.3 – Capacitores em paralelo.....	44
4. ELETROMAGNETISMO	45
4.1 – Magnetismo	45
4.1.1 – Lei de Faraday.....	45

4.1.2 – Lei de Lenz	45
4.1.3 – Ímãs naturais e ímãs artificias	45
4.1.1 – Pólos magnéticos.....	46
4.2 – Análise de circuitos em corrente alternada	46
4.3 – Alternador e dínamo	48
5. TRANSFORMADORES.....	49
5.1 – Definição.....	49
5.1.1 – Transformador ideal.....	49
5.1.2 – Principais relações matemáticas para transformadores:.....	50
5.1.3 – Transformador real.....	50
6. FATOR DE POTÊNCIA	52
6.1 – Aspectos gerais.....	52
6.1.1 – Consumo de energia.....	52
6.1.2 – Energia ativa e energia reativa	52
6.1.3 – Fator de potência	52
6.1.4 – Cálculo de capacitor para correção do Fator de Potência	53
6.1.5 – Causas e consequências de um baixo Fator de Potência	54
6.1.6 – Vantagens para a empresa e para a concessionária com a correção do Fator de Potência*.....	54
6.2 – Exemplo numérico para cálculo de bando de capacitor	55
6.2.1 – Dados.....	55
6.2.2 – Potência real absorvida pelo motor	55
6.2.3 – Métodos para determinação da potência para o banco.....	55
6.2.4 – Dimensionamento real do banco	56
BIBLIOGRAFIA.....	57
ANEXO A – Unidades do Sistema Internacional (SI).....	58
ANEXO B – Fórmulas mais usadas na eletricidade.....	61
ANEXO C – Fórmulas mais usadas na eletricidade	62
ANEXO D – Código de cores de resistores.....	62
ANEXO E – Tabela do Fator Multiplicador (F) para correção de FP	63
ANEXO F – Tabela para correção de motores WEG	64
ANEXO G – Tabela para correção de motores WEG – Linha PLUS.....	65

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Átomo

O átomo é a menor parte que compõe um elemento e elementos são a base para composição de toda matéria que existe. Um átomo é composto de um núcleo com prótons (que têm carga positiva) e nêutrons (têm carga neutra), enquanto que ao redor desse núcleo orbitam os elétrons (com carga negativa).

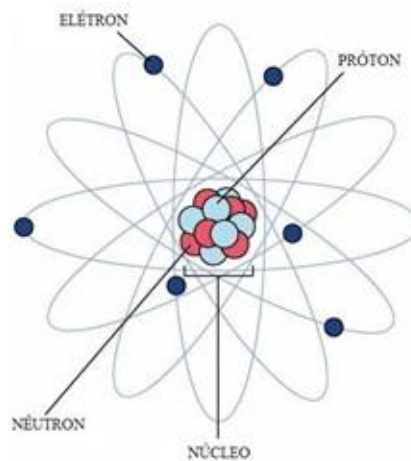


Figura 1 – Átomo

1.1.1 - Elétrons

Possuem massa muito pequena. Esse movimento é muito rápido e em 8 camadas diferentes denominadas **eletrosfera** onde a mais externa é a mais energética e é chamada de **camada de valência**.

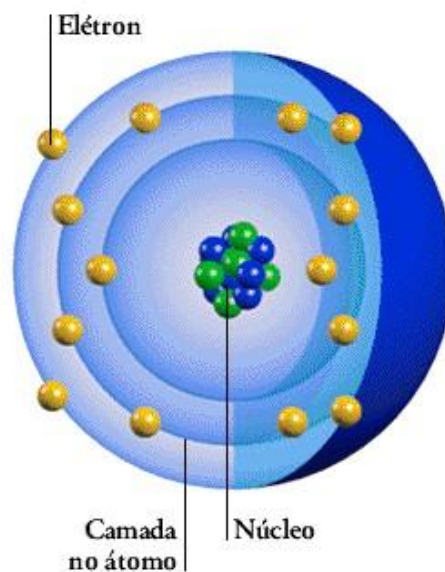


Figura 2 - Camadas do átomo

1.1.2 - Prótons

Junto com os nêutrons, formam o núcleo e possuem carga elétrica positiva com mesmo valor absoluto que a carga dos elétrons fazendo com que estes tendam a se atrair. Mas porque não ocorre a atração já que ambos têm cargas elétricas opostas? Isso se deve ao fato de que a força de atração entre prótons e elétrons é anulada pela força centrípeta provocada pelo movimento dos elétrons ao redor do núcleo, numa velocidade extremamente rápida.

1.1.3 - Nêutrons

Junto com os prótons, compõe quase 100% da massa de um átomo. Estabilizam o núcleo evitando que aconteça uma fissão nuclear causado pelo choque entre prótons, para isso ficam dispostos em posições estratégicas intercalados entre um próton e outro.

Curiosidade: Apenas um átomo de hidrogênio não possui nêutrons, mas apenas um elétron que gira em torno de um próton.



Figura 3 - Átomo de hidrogênio

1.2 - Molécula

Possui dois ou mais átomos, unidos por meio de uma ligação covalente. Os metais e todas as substâncias como o sal de cozinha são exceção por se formarem por meio de ligação metálica (no caso dos metais) e por ligação iônica (como é o caso do sal de cozinha).

A geometria molecular estuda como os átomos estão dispostos espacialmente em uma molécula e classifica essa disposição em linear, angular, trigonal plana, piramidal e tetraédrica.

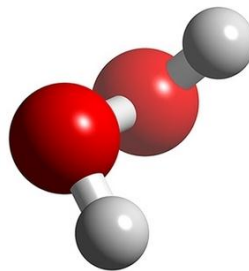


Figura 4 - Peróxido de hidrogênio

1.3 - Matéria

É tudo que ocupa espaço e possui massa. Tudo o que é real, existente no universo se manifesta em forma de matéria ou em forma de energia. A matéria pode estar em estado líquido, sólido ou gasoso.

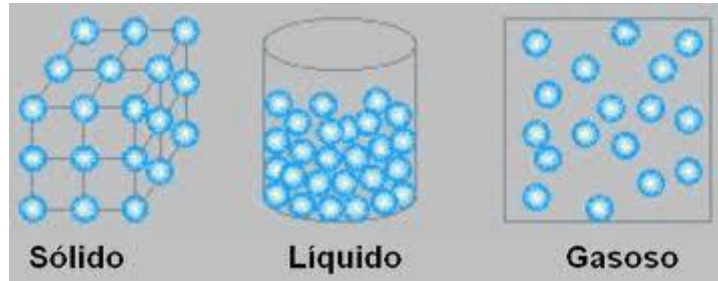


Figura 5 - Estados da matéria

Curiosidade: Se a água é composta de Oxigênio e Hidrogênio que são dois gases, porque ela se apresenta naturalmente em estado líquido? Isso se dá porque cada um dos gases tem capacidade diferente de atrair elétrons. Enquanto o Oxigênio atrai uma quantidade maior de elétrons, o Hidrogênio tem capacidade maior de ceder carga negativa. Sendo assim, ambos ficam com cargas opostas, o que causa uma forte ligação molecular.

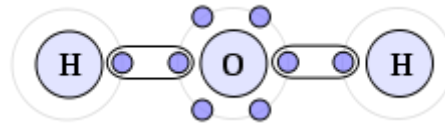


Figura 6 - Molécula de água

2. ELETROESTÁTICA

2.1 – Princípios da eletroestática

É a parte da física que estuda as propriedades das cargas elétricas em repouso em relação a um referencial inercial.

2.1.1 – Princípio da atração e repulsão

Ao aproximarmos dois corpos previamente energizados, podemos observar que haverá repulsão caso ambos estejam positivamente ou ambos negativamente carregados. Porém se cada corpo possui cargas opostas, haverá atração entre eles.

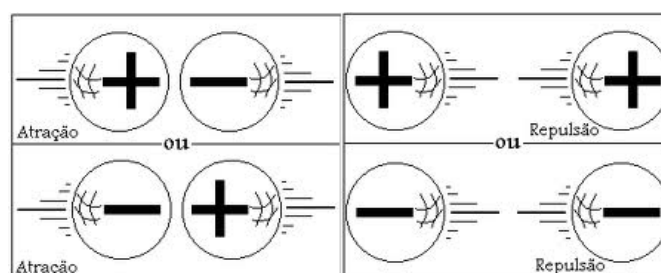


Figura 7 - Atração e repulsão entre corpos

2.1.2 – Princípio da conservação das cargas elétricas

Se um sistema está isolado eletricamente, então a soma algébrica das cargas positivas e negativas é constante.

Por exemplo, se tivermos um corpo A e um corpo B com carga Q_1 e Q_2 respectivamente, então a carga deles continua sendo Q_1 e Q_2 até que os dois entrem em contato físico, provocando a transferência de carga, fazendo então com que as cargas sejam Q'_1 e Q'_2 . A soma algébrica entre a carga inicial de ambos é igual a carga final:

$$Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2 = \text{constante}$$

Esta condição só é válida se estes dois corpos estiverem isolados, sem nenhum contato com um terceiro corpo.



Figura 8 - Conservação de carga após contato entre corpos

2.2 – Eletrização

A eletrização pode ocorrer por atrito, por contato ou por indução. Acontece quando um corpo entra em contato com outro mais ou menos carregado, visto que não se pode criar e nem perder energia, mas transformar ou transferir.

2.2.1 – Condutores e isolantes

Materiais como o metal têm elétrons mais afastados do núcleo, portanto estão mais fracamente ligados a ele. Quando uma pequena força os estimula, eles abandonam o átomo e se movimentam pela órbita de outros núcleos vizinhos, produzindo assim a condução de eletricidade, espalhando carga por todo o material. Estes elétrons mais afastados são os **elétrons livres** e estes materiais são chamados de **condutores**.

Quando um material como o vidro sofre algum estímulo, como o atrito, apenas a parte que foi estimulada mantém carga elétrica, não há o espalhamento de carga por todo o material. Estes são chamados de **isolantes**. Este tipo de material é útil quando se quer proteger o meio externo de um material isolante eletrizado, como é o caso dos cabos elétricos.

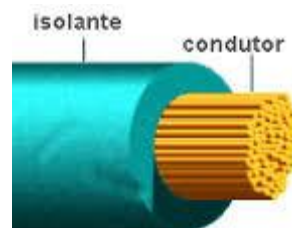


Figura 9 - Cabo elétrico

Nenhum material é completamente condutor e nenhum é completamente isolante. O que existem são bons condutores (metal, grafite) e bons isolantes (mica, ebonite). Podemos então afirmar que todo material que existe é condutor, seja ele bom ou mal condutor. Concluímos então que o nosso corpo e o planeta Terra também são condutores.

Imagine, por exemplo, que façamos atrito em um bastão de metal com nossas mãos. Os elétrons em excesso irão se espalhar pelo nosso corpo, pelo bastão de metal e pela Terra. Porém, devido às dimensões reduzidas do bastão em relação à Terra, o bastão não irá se eletrizar. Podemos dizer dessa forma que **ao ligarmos um condutor que estiver eletrizado a Terra, ele irá perder a sua eletrização**.

2.2.2 – Eletrização por atrito

Se pegarmos dois corpos inicialmente neutros (com a mesma quantidade de prótons e elétrons) e atritarmos um com o outro haverá a

transferência de elétrons. Dessa forma, ambos irão ficar carregados igualmente, porém com sinal diferente.

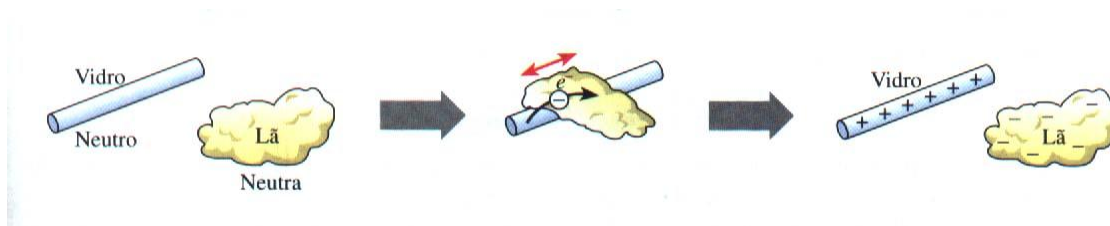


Figura 10 - Eletrização por atrito

2.2.3 – Eletrização por contato

Acontece quando um material com carga negativa entra em contato com um corpo neutro ou quando um material com carga positiva entra em contato com um corpo neutro. Ao se tocarem, o corpo carregado transfere carga negativa ou positiva ao corpo neutro.

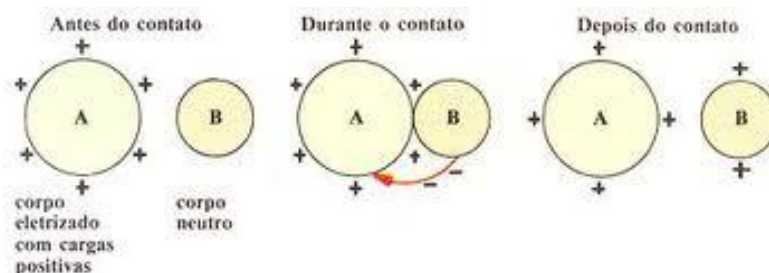


Figura 11 - Transferência de carga positiva a um corpo neutro



Figura 12 - Transferência de carga negativa a um corpo neutro

Haver um corpo neutro não é condição obrigatória. Também haverá transferência de carga no caso de um do corpo receptor ter uma carga menor do que a do corpo emissor. Por exemplo, se dois condutores de mesma forma e mesmo tamanho (A e B) entram em contato, um está com carga positiva Q e o outro está neutro, então após o contato o corpo A está com carga $\frac{Q}{2}$ e o corpo B com carga $\frac{Q}{2}$. Ou seja, ocorreu o equilíbrio.

Se o corpo A tem carga Q_1 e o corpo B carga Q_2 e os dois tiverem as mesmas dimensões, ao entrarem em contato ambos passa a ter carga $\frac{Q_1 + Q_2}{2}$.

2.2.4 – Eletrização por indução

Se aproximarmos, sem permitir o contato um corpo A carregado de um corpo B neutro, os prótons de A atrairão os elétrons de B ou vice-versa fazendo com que estes se mantenham concentrados em uma parte específica de B. Se conectarmos B à Terra, haverá o escoamento para a Terra da carga de B de mesmo sinal da carga de A e a Terra envia a B carga de sinal contrário a carga de A até que B se estabilize.

Ainda na presença de A, desconecta-se B da Terra e só então se afasta o corpo A. As cargas em excesso de B irão se espalhar por todo o seu corpo imediatamente, dessa forma B fica eletrizado.

Chamamos, neste caso, o corpo A de **indutor** e B de **induzido**. A todo este processo chamamos de **indução eletrostática**.

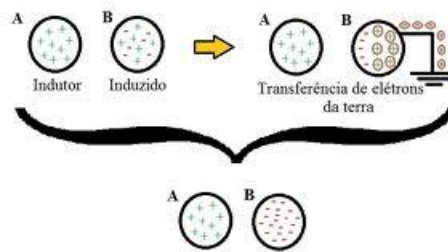


Figura 13 - Eletrização por indução

2.2.5 – Carga elétrica puntiforme

É a carga de um corpo que tem dimensões desprezíveis em relação a distância que o separa de um outro corpo eletrizado.

2.2.6 – Lei de Coulomb

Se considerarmos duas cargas elétricas puntiformes Q_1 e Q_2 a uma distância d e supostamente no vácuo, elas irão se atrair se tiverem sinais opostos e se repelir se tiverem sinais iguais. De acordo com o princípio da ação e reação, em caso de repulsão, a força entre essas cargas será de mesma intensidade, na mesma direção e em sentidos opostos. A intensidade dessa força depende da distância d entre elas e do valor das cargas Q_1 e Q_2 .

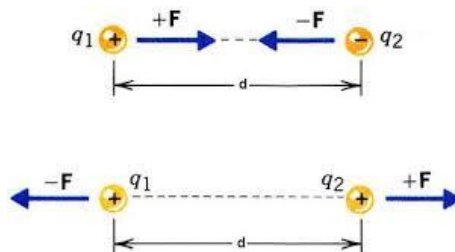


Figura 14 - Lei de Coulomb

Experimentalmente, Coulomb determinou que “a intensidade da força mútua entre as cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto do valor destas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas”

Matematicamente:

$$F_e = k_0 \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

Onde k é a **constante eletroestática** do vácuo. Esta constante vale:

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

ATIVIDADE PRÁTICA I – Eletrização por atrito e por indução

Faça atrito com um objeto de plástico (caneta, por exemplo) em sua roupa ou seu cabelo, aproxime de papel picotado e observe o que acontece. Depois responda:

- 1 – Por que o plástico atrai os pedaços de papel?
- 2 – Por que os pedaços de papel caem após o contato com o plástico?

Faça novamente o atrito com o objeto de plástico e dessa vez aproxime-o de um filete de água. Agora responda:

- 1 – O que acontece com o filete de água?
- 2 – Por que isto acontece?

ATIVIDADE PRÁTICA II – Pêndulo elétrico

Amarre uma linha num canudo sanfonado e na extremidade amarre uma bolinha de isopor, novamente atrite uma caneta de plástico no cabelo ou na roupa e aproxime da bolinha. Observe o que acontece e responda:

- 1 – Explique o que acontece eletricamente ao aproximar a caneta da bolinha e encostar os dois.
- 2 – Como fazer para saber o sinal da carga da caneta?

ATIVIDADE PRÁTICA II – Pêndulo elétrico

Repita e experiência anterior, porém com um eletroscópio de folhas metálicas e explique o que acontece.

2.3 – Campo elétrico

É a área de abrangência da força causada por uma carga ou uma distribuição de cargas elétricas.

2.3.1 – Campo elétrico x Campo magnético

Não é raro confundir campo elétrico com campo magnético, estas são as semelhanças e diferenças:

Semelhanças:

- São duas formas de manifestação de energia no Universo;
- Ambas estão relacionadas com a estrutura do átomo.
- Ambas manifestam-se através de um campo, que é uma região do espaço que altera o estado físico de um corpo em suas imediações.
- Ambas apresentam dipolos (as linhas de campo fluem de um polo a outro, tendo origem em uma "extremidade" e terminando em outra).
- Ambas são grandezas vetoriais, possuindo um vetor campo e um vetor força.
- Ambas propagam-se através de ondas transversais e no vácuo.
- Ambas explicam a natureza da força atrito, do ponto de vista microscópico.
- Tem natureza complementar* e explicam o funcionamento de geradores e motores elétricos.

Diferenças:

- O magnetismo refere-se mais à orientação dos átomos como ímãs elementares.
- A eletricidade, mais como um desequilíbrio (estático ou dinâmico) na eletrosfera destes átomos., produzindo movimento de elétrons (corrente elétrica) ou acúmulo de cargas (descargas elétricas).
- *Um campo magnético variável produz campo elétrico e um campo elétrico variável** produz campo magnético.
- Uma grandeza é caracterizada matematicamente por produto vetorial e a outra, por produto escalar.

**Comprovado pela experiência do Físico dinamarquês Hans Christian Öerted, em que a corrente elétrica que passa em um fio deflete a agulha de uma bússola.

2.3.2 – Unidade de intensidade de campo elétrico

De forma análoga ao campo gravitacional da Terra, a força é gerada pelo produto entre uma grandeza escalar por uma vetorial. Matematicamente, fazemos esta analogia:

Na terra:

$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$, onde a massa (m) é o fator escalar e a aceleração da gravidade ou campo gravitacional é o fator vetorial (\vec{g}). O produto de ambos resulta em um fator vetorial, que é a Força Peso (\vec{P}).

No campo elétrico:

$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$, onde a carga de prova (q) é o fator escalar (análoga a m) e o campo elétrico (\vec{E}) é o fator vetorial (análogo a \vec{g}). O produto de ambos resulta em um fator vetorial, que é a Força Elétrica \vec{F}_e (análogo a \vec{P}).

Da notação vetorial $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$, vem. $F_e = |q| \cdot E$ (em módulo). Então:

$$E = \frac{F_e}{|q|}$$

Onde E é unidade de intensidade de campo elétrico, F_e é unidade de intensidade de força e $|q|$ é unidade de carga.

De acordo com o Sistema Internacional:

$$1 E = 1 \frac{\text{newton}}{\text{coulomb}} = 1 \frac{N}{C}$$

2.3.3 – Linhas de força

Um vetor \vec{E} está associado a cada ponto do campo elétrico. Desenhando um determinado número de linhas tangentes ao vetor \vec{E} e orientadas no mesmo sentido, teremos uma representação gráfica de um campo elétrico. Estas linhas utilizadas para a representação gráfica do campo elétrico são chamadas de **linhas de força**.

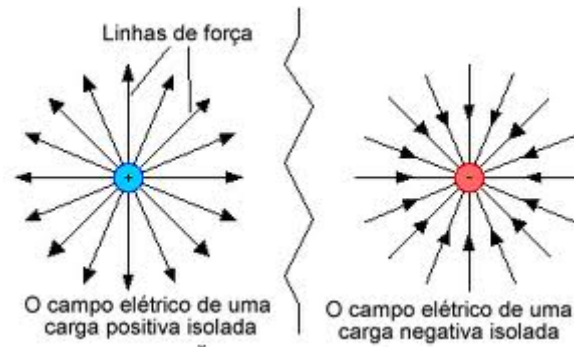


Figura 15 - Linhas de força

Caso o vetor E tenha a mesma intensidade, mesma direção e mesmo sentido em todos os pontos então o campo elétrico é uniforme.

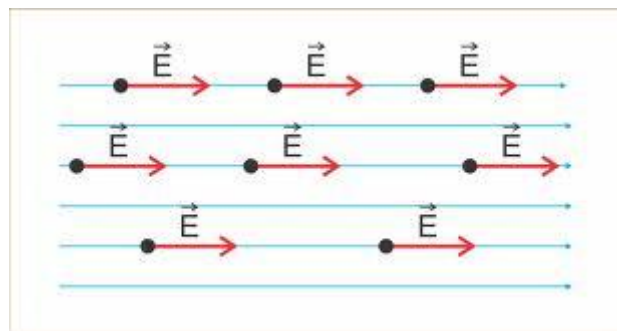


Figura 16 - Campo elétrico uniforme

2.4 – Trabalho e potencial elétrico

Como sabemos, na mecânica, o trabalho (τ) é o produto de uma força (F) aplicada num intervalo de espaço (ΔS ou d).

$$\tau_{AB} = F \cdot d$$

Para calcular o trabalho num campo elétrico, utilizamos a força elétrica (F_e) e o módulo de deslocamento entre os pontos A e B (d):

$$\tau_{AB} = F_e \cdot d$$

Vimos anteriormente que $F_e = q \cdot E$, então o trabalho realizado entre os pontos A e B é:

$$\tau_{AB} = q \cdot E \cdot d$$

2.4.1 – Diferença de potencial elétrico

O trabalho da força resultante que age em uma carga elétrica q depende dos pontos de partida A e de chegada B (imagem), não da forma da trajetória.

Independente da trajetória, o trabalho da força elétrica vai ser sempre o mesmo. Se for alterada a carga elétrica, o trabalho também será alterado e então a razão entre o trabalho e a carga entre A e B é uma constante denominada **diferença de potencial elétrico**. A grandeza escalar que depende dos dois pontos é indicada por **U** ou $V_a - V_b$.

$$V_a - V_b = \frac{\tau_{AB}}{q}$$

2.4.2 – Unidade de diferença de potencial elétrico

Da fórmula anterior, obtemos a unidade de diferença de potencial elétrico:

$$\text{unidade de ddp} = \frac{\text{unidade de trabalho}}{\text{unidade de carga}}$$

No Sistema Internacional de Unidades:

$$\text{unidade de ddp} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} = 1 \frac{J}{C} = 1 \text{ volt} = 1V$$

2.4.3 – Propriedades do potencial elétrico

Algumas propriedades do potencial elétrico a serem consideradas:

1 – Cargas elétricas **positivas** em repouso num campo elétrico, sujeitas somente à força elétrica, deslocam-se espontaneamente para pontos de **menor potencial**.

$$q > 0 \rightarrow V_a - V_b > 0 \rightarrow V_a > V_b$$

2 – Cargas elétricas **negativas** em repouso num campo elétrico, sujeitas somente à força elétrica, deslocam-se espontaneamente para pontos de **maior potencial**.

$$q < 0 \rightarrow V_a - V_b < 0 \rightarrow V_a < V_b$$

2.5 – Condutores em equilíbrio e capacitância eletroestática

Estes dois conceitos para que possamos entender outros conceitos da eletricidade e também alguns conceitos do dia a dia.

2.5.1 – Condutores em equilíbrio

Um condutor está em equilíbrio eletroestático se não houver movimento ordenado de cargas elétricas em relação a um referencial fixo no condutor, independente dele estar eletricamente carregado ou não.

Algumas propriedades dos condutores em equilíbrio eletroestático:

- 1 – O campo elétrico resultante nos pontos internos do condutor é nulo;
- 2 – O potencial elétrico em todos os pontos internos e superficiais do condutor é constante;
- 3 – Nos pontos superficiais de um condutor em equilíbrio, o vetor campo elétrico é perpendicular à superfície.

2.5.2 – Distribuição das cargas elétricas em excesso

As cargas elétricas em excesso em um condutor em equilíbrio eletroestático se distribuem por sua superfície

2.5.3 – Condutores em equilíbrio

Se eletrizarmos um condutor neutro com carga Q , seu potencial elétrico será V . Se aplicarmos uma carga de $2Q$, seu potencial elétrico será $2V$ e assim por diante. Dessa forma podemos afirmar que a carga elétrica aplicada a um condutor e o seu potencial elétrico são diretamente proporcionais.

$$Q = CV$$

Na fórmula acima C é uma constante de proporcionalidade característica do condutor e do meio onde ele se encontra. Dois condutores no mesmo meio e sob o mesmo potencial armazenam a mesma quantidade de cargas elétricas se possuírem o mesmo valor da constante C . Se para um dos dois a constante C for maior, a capacidade de armazenar cargas elétricas será maior. Chamamos C de **capacitância** ou **capacidade eletroestática do condutor isolado**, pois determina a quantidade de carga que um condutor é capaz de armazenar. Utilizando ainda a fórmula anterior, temos:

$$C = \frac{Q}{V}$$

3. ELETRODINÂMICA

3.1 – Corrente elétrica

Um condutor em equilíbrio eletrostático tem seus elétrons livres em constante movimento desordenado, para todas as direções. Porém, se ligarmos o condutor aos polos de um gerador, estaremos aplicando uma ddp (diferença de potencial) e então os elétrons passam a ter movimento ordenado. A este movimento ordenado dos elétrons damos o nome de **corrente elétrica**.

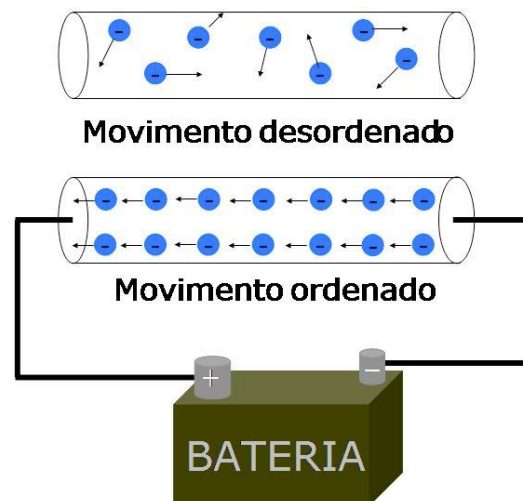


Figura 17 - Comportamento da corrente elétrica

3.1.1 – Intensidade de corrente elétrica

Quando aplicamos uma tensão neste condutor e havendo o fluxo de corrente elétrica, no intervalo do instante inicial (t) até o instante final ($t + \Delta t$) a seção transversal do condutor é atravessada por uma quantidade n de elétrons. Cada elétron possui uma carga elementar e , portanto passa na seção transversal do condutor no intervalo de tempo Δt uma carga elétrica de valor absoluto ($\Delta q = ne$).

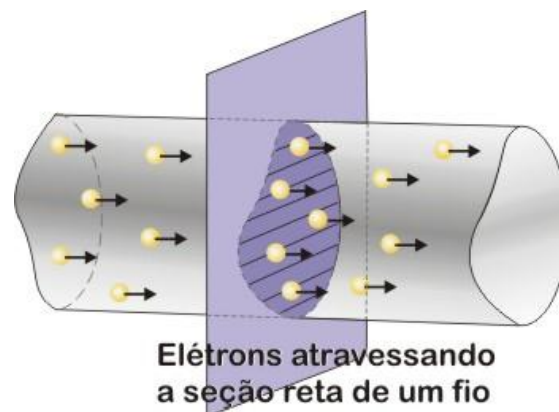


Figura 18 - Carga elementar

Chamamos de **intensidade média de corrente** a razão entre a carga elétrica de valor absoluto e a variação do tempo (intervalo de t até $t + \Delta t$ ou somente Δt sendo o instante inicial igual a zero):

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

A **intensidade de corrente instantânea** é o limite para a qual a intensidade média (i_m) tende quando o intervalo de tempo Δt tende a zero:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Caso a corrente seja contínua e constante (sem variação no sentido e na intensidade da corrente ao decorrer do tempo), então $i_m = i$.

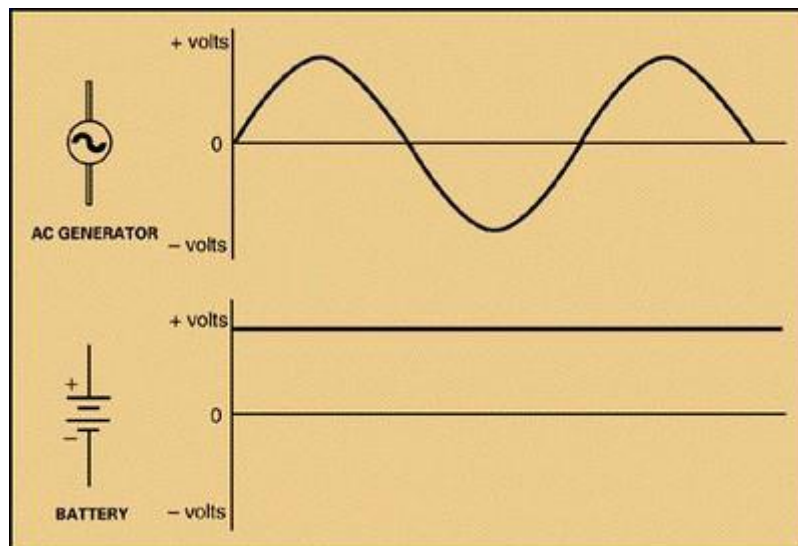


Figura 19 - Gráfico da corrente em função do tempo

3.1.2 – Sentido da corrente elétrica

Antigamente quando não se conhecia a estrutura dos átomos, convencionou-se que o fluxo de corrente elétrica se dava do pólo positivo ao negativo. Além do pouco conhecimento, não era e ainda não é possível ter uma visão macroscópica da movimentação dos elétrons. A esta convenção, chamamos de **sentido convencional** da corrente, que é usada até hoje.

A natureza do condutor determina o **sentido real**. A corrente real nos condutores sólidos as cargas são constituídas pelos elétrons livres; nos líquidos os portadores de corrente são os íons negativos e os íons positivos; nos gases são os íons positivos, os íons negativos e os elétrons livres. Para que não haja confusão, é utilizado o sentido convencional para realização de cálculos de circuitos elétricos.

3.1.3 – Energia e potência da corrente elétrica

Considere que em um condutor é aplicada uma ddp (diferença de potencial) U , que é a diferença de tensão entre os pontos A e B. Então $U = V_A - V_B$

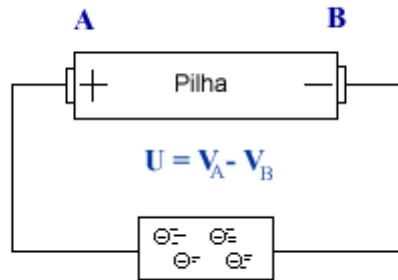


Figura 20 - Fluxo de corrente i causado pela ddp U

A carga tem energia potencial elétrica no ponto A $E_{p(A)} = \Delta q \cdot V_A$ e em B $E_{p(B)} = \Delta q \cdot V_B$. O trabalho realizado entre o trecho AB é dado por:

$$\tau_{AB} = \Delta q \cdot U = \Delta q(V_A - V_B) = \Delta q \cdot V_A - \Delta q \cdot V_B$$

$$\tau_{AB} = E_{p(A)} - E_{p(B)}$$

Caso 1: Se $E_{p(A)} > E_{p(B)}$, ou seja, $V_A > V_B$, o movimento das cargas é espontâneo e o trabalho, motor. A energia elétrica consumida entre A e B pode ser transformada em qualquer outro tipo de energia.

A **potência elétrica** consumida é definida por:

$$P = \frac{\tau_{AB}}{\Delta t}, \tau_{AB} = \Delta q \cdot U, \text{ então } P = \frac{\Delta q \cdot U}{\Delta t}$$

$$\text{Vimos que } \frac{\Delta q \cdot U}{\Delta t} = i, \text{ então } \mathbf{P = U \cdot i}$$

Caso 2: Se $E_{p(A)} < E_{p(B)}$, ou seja, $V_A < V_B$, o movimento das cargas é forçado e o trabalho, resistente.

3.2 – Resistência x Impedância

Resistores são componentes utilizados em eletricidade com a finalidade de limitar a corrente em um circuito. Transforma energia elétrica em energia térmica. Embora Resistência e Impedância sejam semelhantes para efeitos práticos, a impedância é o somatório da resistência (parte real) do equipamento e a reatância, que varia de acordo com a frequência.

3.2.1 – Lei de Ohm

George Simon Ohm descobriu que aplicando diferentes níveis de tensão, obtinham-se valores diferentes de intensidade de corrente elétrica e que, a razão entre tensão aplicada e corrente resulta em um valor constante, desde que a temperatura também se mantivesse constante. Esta constante foi chamada de **resistência elétrica**. Matematicamente:

$$\frac{U}{i} = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \dots = \text{constante} = R$$

Daí tem-se a definição da **Lei de Ohm**:

$$R = \frac{U}{i} \text{ ou } U = R \cdot i \text{ ou ainda } i = \frac{U}{R}$$

Para facilitar a memorização, podemos imaginar o seguinte triângulo, onde podemos obter facilmente estas três fórmulas:

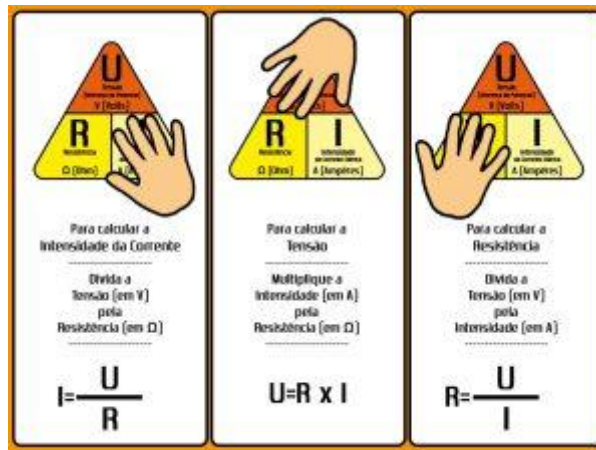


Figura 21 - Triângulo da lei de Ohm

3.2.2 – Identificação de valores

- Ohmímetro: É o aparelho usado para medição de resistência elétrica. Pode ser usado em casos onde não seja possível visualizar algum indicador, ou quando houverem dúvidas em relação ao código de cores. A forma mais adequada para realizar a medição é apoiando o resistor em uma superfície plana e fazendo o contato dos terminais do instrumento de medição aos

terminais do componente. A medição realizada fazendo contato manual com o componente faz com que o instrumento de medição exiba valores incorretos.

3.2.3 – Unidades de medida comuns

A unidade que representa a resistência elétrica é o Ohm (padrão do SI), em homenagem a Georg Simon Ohm, cientista que formulou o conceito de resistência elétrica, estabelecendo a conhecida Lei de Ohm. É simbolizado por Ω (letra grega ômega maiúsculo) e tem os múltiplos representados por $k\Omega$ (quilo-ohm) = 1000 Ω e o $M\Omega$ (megaohm) = 1000000 Ω .

3.2.4 – Lei de Joule

Sabemos que um resistor dissipa toda a energia que recebe, então podemos dizer que um resistor dissipa potência elétrica. Vimos que $P = U.i$ e pela lei de Ohm $U=R.i$, então:

$$P = (R.i).i, \text{ ou seja, } P = R.i^2$$

Como $i = \frac{U}{R}$, então:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

3.2.5 – Tipos de resistores

- Fixo: Seu valor de resistência elétrica não varia, ou seja, não é possível regular um nível de resistência elétrica.

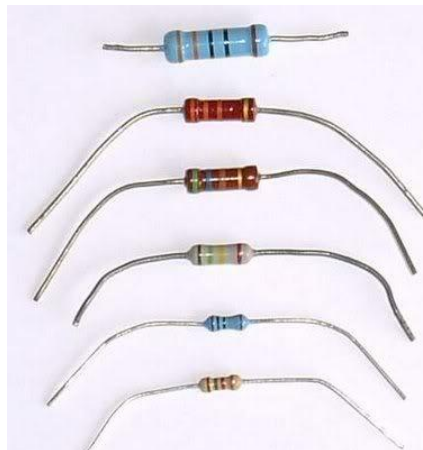


Figura 22 - Resistores fixos

- Variável: Mais conhecido como potenciômetro. Podem ter o seu valor de resistência alterado ao girar um eixo ou alavanca acoplados no seu corpo.

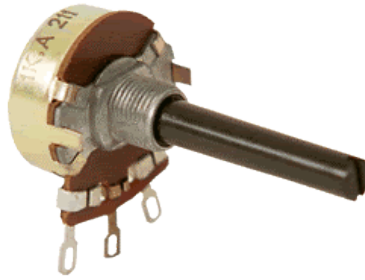


Figura 23 - Potenciômetro

3.2.6 – Identificação de valores

- Ohmímetro: É o aparelho usado para medição de resistência elétrica. Pode ser usado em casos onde não seja possível visualizar algum indicador, ou quando houverem dúvidas em relação ao código de cores. A forma mais adequada para realizar a medição é apoiando o resistor em uma superfície plana e fazendo o contato dos terminais do instrumento de medição aos terminais do componente. A medição realizada fazendo contato manual com o componente faz com que o instrumento de medição exiba valores incorretos.

- Código de cores: Em resistores que não haja espaço suficiente para impressão numérica do seu valor no próprio corpo, são impressas faixas coloridas onde cada cor possui um valor respectivo como número natural, como multiplicador ou como faixa de tolerância do mesmo. Verifique a imagem abaixo e veja a tabela de valores com alguns exemplos de leitura:

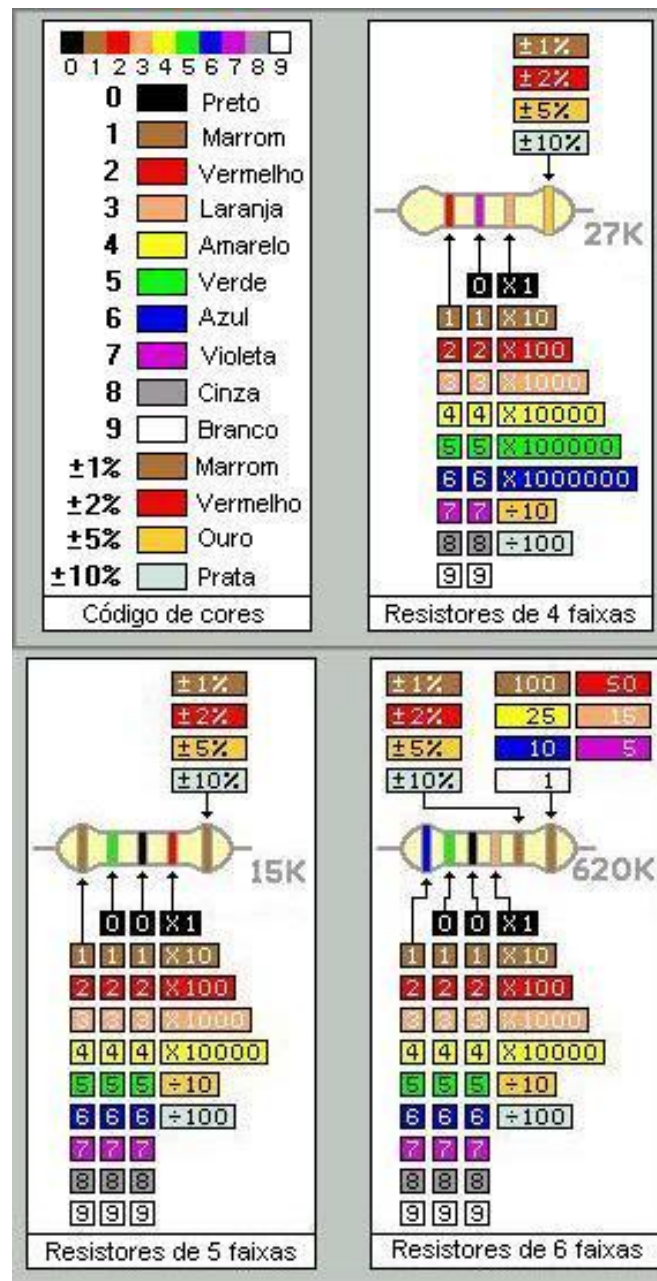


Figura 24 - Tabela de códigos

3.2.7 – Associação de resistores

- Associação em série: A associação em série objetiva a disponibilidade de valores inexistentes ou indisponíveis em apenas um resistor através da interligação entre dois ou mais resistores. A resistência equivalente do circuito é a soma de cada resistor colocado em série.

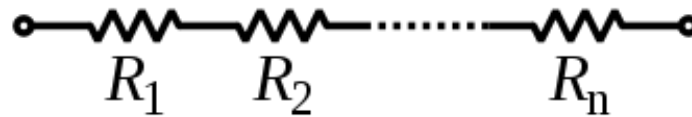


Figura 25 - Resistores em série

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Exemplo: Deseja-se obter uma resistência equivalente de 570 Ω utilizando resistores de valores comerciais.

Nesse caso é utilizado um resistor de 470 Ω em série com um resistor de 100 Ω . Logo, $R_{eq} = 470 + 100 = 570 \Omega$

- Associação em paralelo: Para dois resistores ligados em paralelo, utiliza-se a seguinte equação:

$$R_{eq} = R_1 || R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \text{ se } R_1 = R_2, \text{ então } R_{eq} = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2}$$

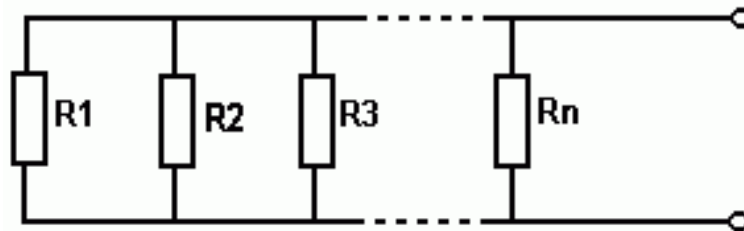


Figura 26 - Resistores em paralelo

Para circuitos com mais de 2 resistores em paralelo, calcula-se a resistência equivalente com uso da seguinte equação:

$$R_{eq} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Exemplo 1: Um circuito tem um resistor de 100 Ω (R_1) e outro de 150 Ω (R_2). Calcule a resistência equivalente.

$$\text{Solução: } R_{eq} = \frac{100\Omega \cdot 150\Omega}{100\Omega + 150\Omega} = \frac{15000\Omega}{250\Omega} = 60 \Omega$$

Exemplo 2: Um circuito tem dois resistores, ambos de 100 Ω . Calcule a resistência equivalente.

$$\text{Solução: } R_{eq} = \frac{100\Omega}{2} = 50 \Omega$$

Exemplo 3: Um circuito tem três resistores, um de 100 Ω , outro de 200 Ω e outro de 300 Ω . Calcule a resistência equivalente.

$$\text{Solução: } \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{100\Omega} + \frac{1}{200\Omega} + \frac{1}{300\Omega} = 54,55 \Omega$$

- Associação mista: Quando são usados resistores associados em série e em paralelo no mesmo circuito. A resistência equivalente é calculada, no caso da figura abaixo fazendo a soma de R3 com a resistência equivalente

entre R1 e R2. Ou seja, $\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} + R_3$

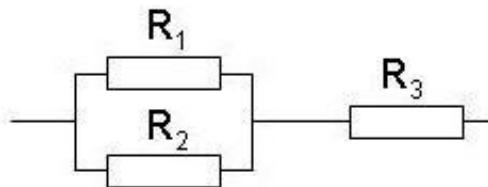


Figura 27 - Associação mista de resistores

ATIVIDADE PRÁTICA

Com três lâmpadas para 1,5 V, três soquetes, duas pilhas de 1,5 V, um porta pilhas para uma pilha e outro para duas pilhas, faça as seguintes associações e responda:

Em série:

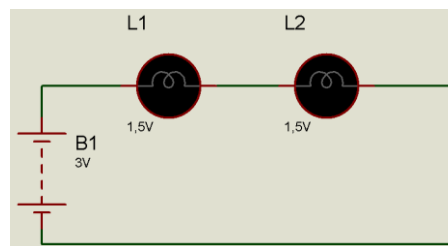


Figura 28 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas em série

1 – Qual a tensão em cada lâmpada?

2 – Todas as lâmpadas estão no seu brilho normal?

Retire umas das lâmpadas do soquete e responda:

1 – O que acontece com a outra lâmpada?

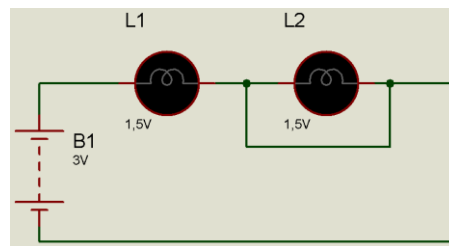


Figura 29 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas em série/Curto circuito

Monte o circuito acima e coloque para funcionar por um **tempo breve**. Agora responda

- 1 – Qual a tensão na lâmpada que não está em curto circuito?
- 2 – Como fica o seu brilho?
- 3 – Qual o risco de deixar o circuito ligado assim por tempo indeterminado?

Em paralelo:

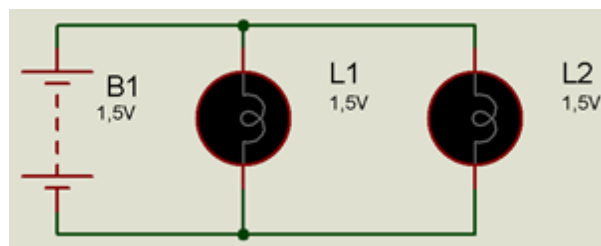


Figura 30 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas em paralelo

- 1 – Qual a tensão em cada lâmpada?
- 2 – Todas as lâmpadas estão no seu brilho normal?

Retire umas das lâmpadas do soquete e responda:

- 1 – O que acontece com a outra lâmpada?

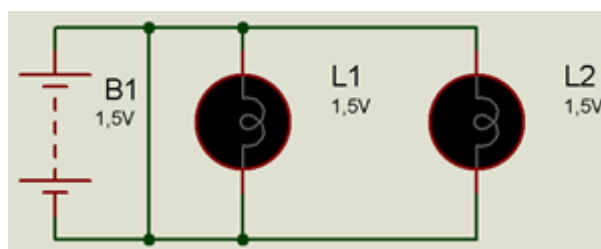


Figura 31 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas em paralelo/Curto circuito

Monte o circuito acima e coloque para funcionar por um **tempo breve**. Agora responda:

1 – O que acontece com a outra lâmpada?

2 – Ao colocar qualquer lâmpada em curto circuito, a pilha também fica em curto circuito?

3 – Qual o risco de deixar o circuito ligado assim por tempo indeterminado?

Mista:

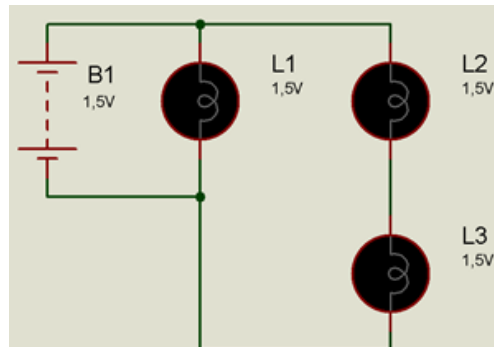


Figura 32 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas mista

1 – Todas as lâmpadas estão no seu brilho normal?

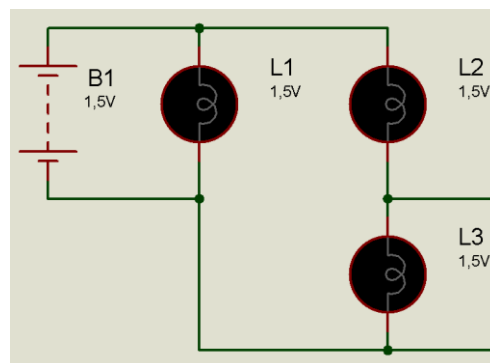


Figura 33 - ATIVIDADE PRÁTICA - Associação de lâmpadas mista/Curto circuito

Monte o circuito acima e coloque para funcionar. Agora responda:

1 – Todas as lâmpadas estão com seu brilho normal?

2 – Existe algum problema em deixar o circuito ligado assim por tempo indeterminado? Por que?

3.3 – Geradores elétricos

Geradores são os aparelhos que transformam uma forma de energia em energia elétrica. As pilhas e baterias são **geradores químicos**, pois transformam energia química em energia elétrica. Já nas hidrelétricas são utilizados **geradores mecânicos**, que aproveitam a energia mecânica da queda de água para transformar em energia elétrica.

Um gerador elétrico possui um polo negativo, que possui menor potencial elétrico e um polo positivo, que possui potencial elétrico maior.

Experimentalmente, concluiu-se que a potência total gerada por um gerador é diretamente proporcional à corrente elétrica i que o atravessa.

$$P_t = E \cdot i$$

E é a constante de proporcionalidade e é chamada de **Força Eletromotriz (fem)** do gerador. Isolando essa constante, temos:

$$E = \frac{P_t}{i}$$

Pelas unidades do Sistema Internacional (SI), temos que:

$$1V = \frac{1W}{1A}$$

3.3.1 – Rendimento de um gerador

Anteriormente vimos que a **potência total gerada** (P_t) é $P_t = E \cdot i$. Essa seria a potência aproveitada em um gerador ideal, sem nenhuma perda.

Apenas uma parte da potência total gerada vai ser utilizada, a equação dessa **potência utilizada** é: $P_u = U \cdot i$, onde U é a tensão entre os polos do gerador.

Temos ainda a **potência dissipada internamente** no gerador, calculada como $P_d = r \cdot i^2$, onde r é a resistência interna do gerador.

O **rendimento** é a razão entre a potência utilizada pela potência total:

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} = \frac{U \cdot i}{E \cdot i} = \frac{U}{E}$$

No caso de um gerador ideal, $U = E$, logo $\eta = 1$, ou seja, o rendimento é de 100%.

3.3.2 – Equação do gerador. Circuito aberto

Sabemos que a potência total de um gerador é a potência utilizada somada à potência dissipada. Ou seja, $P_t = P_u + P_d$.

Assim podemos dizer que $Ei = Ui + ri^2$. Simplificando temos $E = U + ri$. Encontramos a equação do gerador:

$$U = E - ri$$

3.3.3 – Curto circuito em um gerador e circuito aberto

Se ligarmos diretamente os terminais de um gerador utilizando um condutor de resistência desprezível, a tensão elétrica entre os terminais é nula: $U = 0$. Aplicando na equação do gerador, encontramos o valor da corrente no caso de um curto circuito.

$$U = E - r.i. \text{ Como } U = 0, \text{ então } 0 = E - r.i$$

$$i = \frac{E}{r}$$

Podemos ver que a corrente i é inversamente proporcional à resistência interna r do gerador, ou seja, quanto maior for r , menor será i e vice-versa. Por r ser um valor muito pequeno, i terá o seu valor máximo e poderá danificar o gerador, pois toda a corrente é aplicada nele.

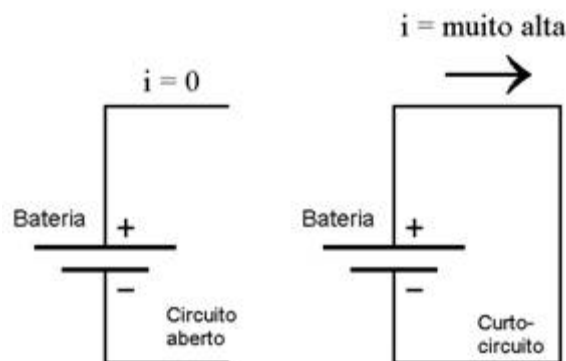


Figura 34 - Circuito aberto e curto circuito

No caso do circuito aberto, a resistência entre os polos é a resistência do ar e pode ser considerada infinita ($R = \infty$), logo $i = \frac{U}{\infty}$ então $i = 0$.

3.3.4 – Associação de geradores

Da mesma forma que associamos resistores, podemos também associar geradores. Podemos fazer uma associação em **série**, em **paralelo** e talvez até mista. Feita a associação, teremos um **gerador equivalente**.

Na associação em série, se cada polo positivo de um gerador for ligado ao polo negativo do gerador seguinte, então a força eletromotriz total será a soma da força eletromotriz dos geradores:

$$E_t = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

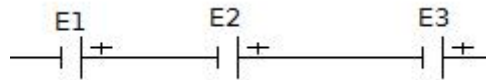


Figura 35 - Associação em série de geradores

Se algum dos geradores é ligado invertido, polo positivo ligado a polo positivo e negativo ligado a negativo, então a força eletromotriz será subtraída. Exemplo: Se dois geradores estiverem ligados com polo positivo de um (E_1) ligado ao polo positivo de outro (E_2) e $E_1 > E_2$, então $E_t = E_1 - E_2$. No caso de $E_1 < E_2$, então $E_t = E_2 - E_1$.

No caso de uma associação em **paralelo**, não faz sentido analisar associação com geradores com valores de força eletromotriz diferentes (ver exercício **R. 105** do livro Os Fundamentos da Física 3, página 214). Neste tipo de associação todos os geradores mantêm a mesma ddp e a corrente se distribui igualmente entre eles ($\frac{i}{n}$, onde n é o número de geradores associados em paralelo). Quanto maior a quantidade de geradores associados em paralelo, menor será a corrente em cada gerador. A partir da equação do gerador, temos que em cada gerador $U = E - r \left(\frac{i}{n}\right) = E - \left(\frac{r}{n}\right) \cdot i$ e no gerador equivalente $U = E_{eq} - r_{eq} \cdot i$. E comparando temos que $r_{eq} = \frac{r}{n}$ e $E_{eq} = E$.

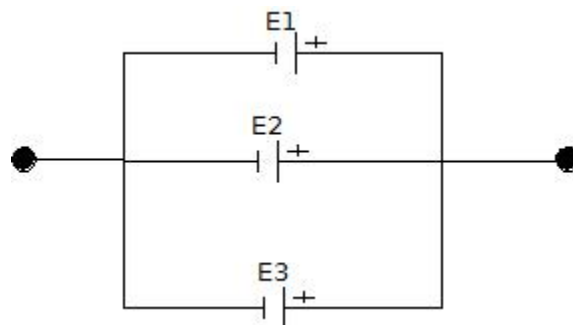


Figura 36 - Associação em paralelo de geradores

3.4 – Receptores/Cargas elétricas

Receptores são aparelhos que recebem a corrente elétrica fornecida pelos geradores e transforma em outra forma de energia que pode ser térmica, mecânica, luminosa, etc. Uma parte da energia que recebe é dissipada devido à sua resistência interna.

Sendo P_u a potência aproveitada para realizar a tarefa no qual o receptor é destinado e i é a corrente que o atravessa, então $P_u = E' \cdot i$. Onde E' é a **força contra-eletromotriz (fcem)** do receptor. Dessa forma a fórmula da fcem é semelhante a da fem:

$$E' = \frac{P_u}{i}$$

Observamos então que a unidade no Sistema Internacional para a fcem é o Volt (V).



Figura 37 - Motor, um receptor elétrico

3.4.1 – Rendimento em receptores elétricos

O rendimento em receptores é a razão entre a potência que foi aproveitada pelo receptor e a potência fornecida.

$$\eta' = \frac{P_u}{P_t} = \frac{E' \cdot i}{U' \cdot i} = \frac{E'}{U'}$$

3.4.2 – Equação do receptor

A potência fornecida ao receptor (P_f) é a soma da potência útil (P_u) com a potência dissipada (P_d): $P_f = P_u + P_d$, logo:

$$U' \cdot i = E' \cdot i + r' \cdot i^2 \rightarrow U' = E' + r' \cdot i$$

3.5 – As leis de Kirchhoff

Para entendermos as leis de Kirchhoff, precisamos entender alguns conceitos básicos, como a definição de **nós**, de **ramos** e de **malhas**.

Nós – São os pontos onde as correntes elétricas se dividem;

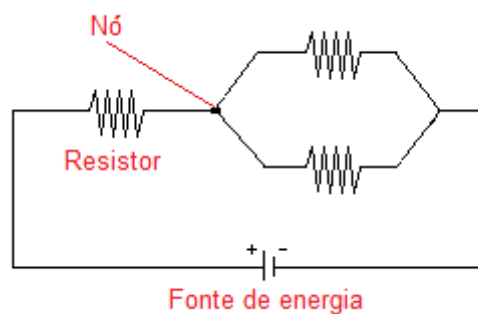


Figura 38 - Nó em um circuito elétrico

Ramos – Trecho de um circuito entre dois nós consecutivos;

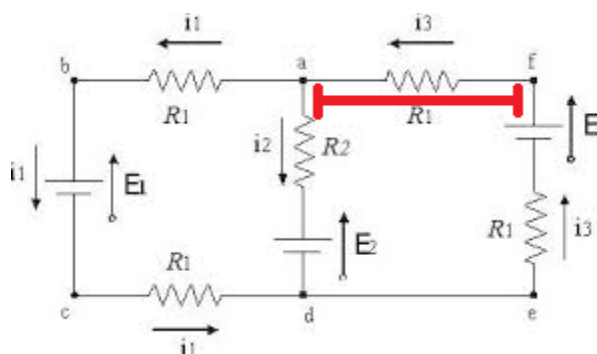


Figura 39 - Ramo em um circuito elétrico

Malha – Conjunto de ramos que forma um percurso fechado.

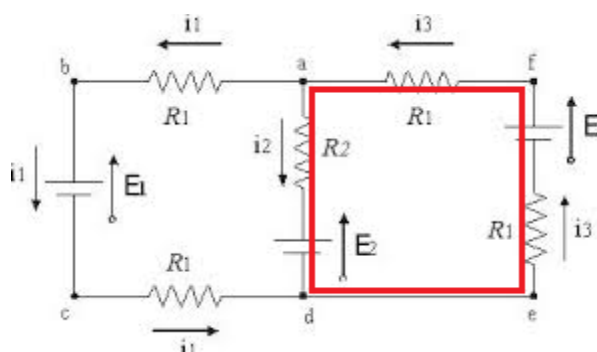


Figura 40 - Malha em um circuito elétrico

3.5.1 – Primeira lei de Kirchhoff

“Em um nó, a soma das intensidades de corrente que chegam é igual à soma das intensidades de corrente que saem.”

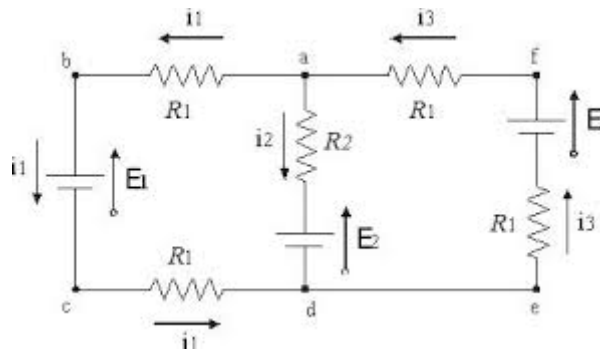


Figura 41 - Lei dos nós

Aplicando a lei dos nós ao nó **a** da figura, temos:

$$i_1 + i_2 = i_3$$

A mesma equação é válida para o nó **d** da figura.

3.5.2 – Segunda lei de Kirchhoff

“Percorrendo-se uma malha num certo sentido, partindo-se e chegando-se ao mesmo ponto, a soma algébrica das ddps é nula.”

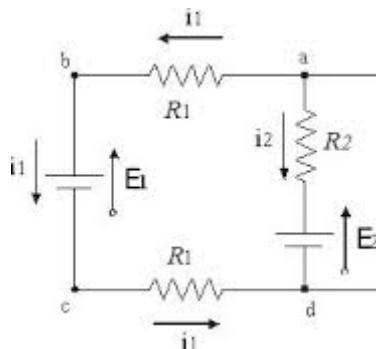


Figura 42 - Lei das malhas

Aplicando a lei das malhas ao circuito da figura acima, temos:

$$V_B - V_A + V_A - V_E + V_E - V_C + V_C - V_B = 0$$

$$U_{BA} + U_{AD} + U_{DC} + U_{CB} = 0$$

3.6 – Teorema de Thévenin

De acordo com o teorema de Thévenin, qualquer circuito linear visto de um ponto pode ser representado por uma fonte de tensão em série com uma

impedância. O circuito representado dessa maneira se chama **equivalente de Thévenin**.

Exemplo: O circuito a seguir pode ser reduzido utilizando o teorema de Thévenin.

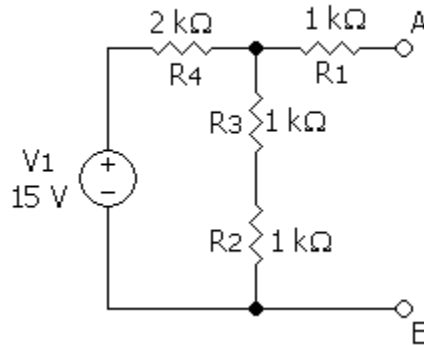


Figura 43 - Teorema de Thévenin

Para calcular a resistência de Thévenin:

$$R_{AB} = R_1 + [(R_2 + R_3) \parallel R_4]$$

$$R_{AB} = 1\text{k}\Omega + [(2\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) \parallel 1\text{k}\Omega] = 2\text{k}\Omega$$

Para calcular o valor da tensão:

$$V_{AB} = \frac{R_2 + R_3}{(R_2 + R_3) + R_4} \cdot V_1$$

$$V_{AB} = \frac{1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega}{(1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) + 2\text{k}\Omega} \cdot 15$$

$$V_{AB} = \frac{1}{2} \cdot 15 = 7,5 \text{ V}$$

Temos então o circuito equivalente:

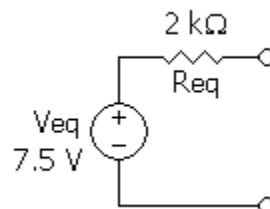


Figura 44 - Circuito equivalente de Thévenin

3.7 – Capacitores

O capacitor tem algumas semelhanças com os geradores (pilhas e baterias), por exemplo, ambos armazenam uma quantidade de energia e ambos possuem dois polos.



Figura 45 - Capacitores

Dentro do capacitor estes terminais (polos) são conectados a duas placas metálicas separadas por um dielétrico. O dielétrico é algum material mal condutor e impede que as duas placas se toquem. Quando aplicamos os terminais de um gerador aos terminais de um capacitor, o terminal do capacitor que está ligado ao polo negativo do gerador recebe elétrons e o terminal do capacitor que está ligado ao terminal positivo perder elétrons para o gerador.

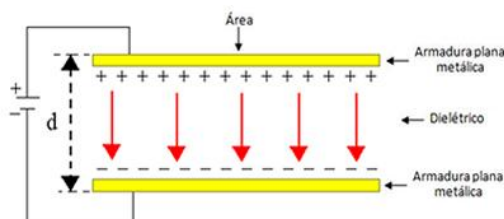


Figura 46 - Armaduras do capacitor

Cada **armadura** do capacitor armazena carga diferente, uma armazena carga positiva e outra armazena carga negativa.

O capacitor passa a ter a mesma fem do gerador, mas por ter capacidade pequena, ele se descarrega rapidamente. Alguns capacitores maiores são capazes de manter a carga por mais tempo.

Esta capacidade de armazenamento temporária surgiu do experimento de armazenar cargas elétricas da natureza (raios, por exemplo) em invólucros artificiais (garrafa, por exemplo).

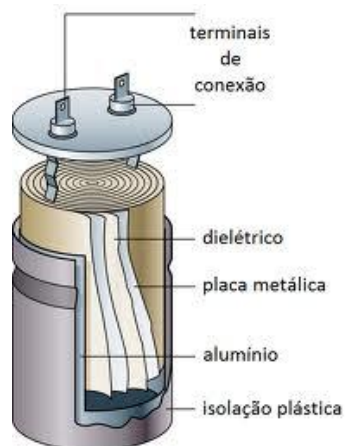


Figura 47 - Capacitor internamente

Observe o circuito da imagem a seguir. Logo quando for aplicada a tensão do gerador no capacitor (C) e na lâmpada (L), o brilho total não será imediato, mas irá aumentando até que o capacitor se carregue por completo. Se depois de carregado por completo o capacitor retirarmos a bateria e substituímos por um fio condutor, a lâmpada não irá apagar instantaneamente, mas perderá o seu brilho gradativamente até que o capacitor descarregue por completo.

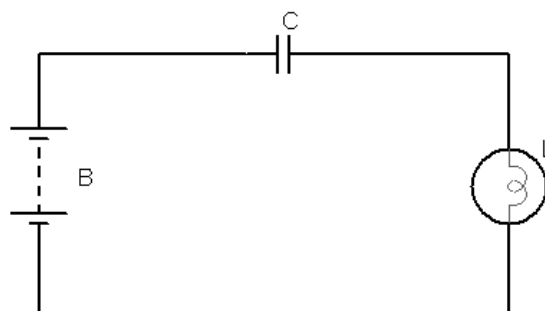


Figura 48 - Circuito com capacitor

Farad (F) é a unidade de medida de capacitância e corresponde a 1C (Coulomb) de carga a 1V (Volt). 1C equivale a $6,25 \cdot 10^{18}$ elétrons.

Dentre as aplicações mais comuns para os capacitores, está o armazenamento de carga para utilizações rápidas, como é o caso do flash de câmeras fotográficas ou eliminar ondulações, no caso de retificadores de tensão ou filtros de frequência, outra forma de aplicação é para o projeto de osciladores em combinação com indutores.

3.7.1 – Associação de capacitores

Da mesma forma que os geradores e resistores, os capacitores podem ser associados em série e em paralelo. O capacitor equivalente é um que

suporta a entre seus terminais a mesma ddp que a associação também suporta.

3.7.2 – Capacitores em série

Na associação em série, a armadura negativa de um capacitor é ligada a armadura positiva de outro capacitor. A carga $+Q$ do gerador (terminal positivo) é recebida pela armadura positiva do primeiro capacitor, que induz $-Q$ na armadura negativa ainda do primeiro capacitor. $+Q$ ecoa para a armadura positiva do segundo capacitor, que induz $-Q$ também do segundo capacitor e assim por diante.

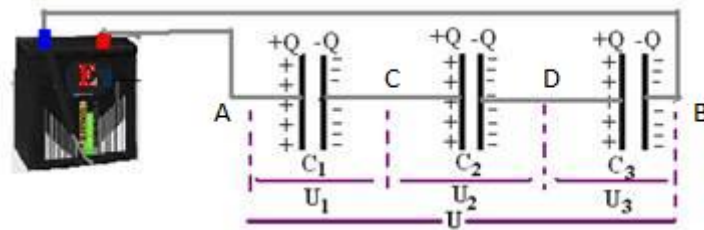


Figura 49 - Associação de capacitores em série

A tensão aplicada aos capacitores é igual a tensão do capacitor equivalente.

$$V_A - V_B = V_A - V_C + V_C - V_D + V_D - V_B$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

A ddp é subdividida na associação em série, logo é solicitado menos de cada capacitor:

$$C_1 = \frac{Q}{U_1} \rightarrow U_1 = \frac{Q}{C_1},$$

$$C_2 = \frac{Q}{U_2} \rightarrow U_2 = \frac{Q}{C_2},$$

$$C_3 = \frac{Q}{U_3} \rightarrow U_3 = \frac{Q}{C_3},$$

$$C_{eq} = \frac{Q}{U} \rightarrow U = \frac{Q}{C_{eq}}.$$

Substituindo U encontrado nas equações:

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Se todos os capacitores forem iguais:

$$C_{eq} = \frac{C}{n},$$

Onde n é o número de capacitores associados.

Para o caso de dois capacitores associados em série:

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

3.7.3 – Capacitores em paralelo

Na associação em paralelo as armaduras negativas de um capacitor estão ligadas a armadura negativa de outro capacitor e as armaduras positivas ligadas a armadura positiva de outro capacitor.

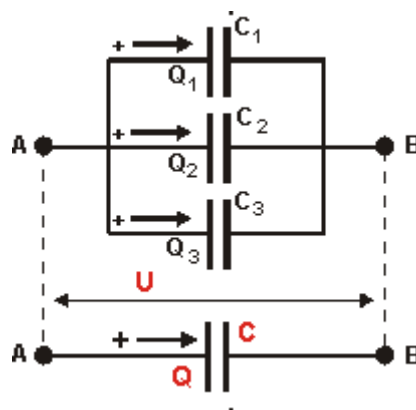


Figura 50 - Associação de capacitores em paralelo

Quando associados em paralelo, os capacitores apresentam a mesma ddp.

$$U = V_A - V_B$$

A carga Q fornecida à associação divide-se nas armaduras positivas dos capacitores C_1 , C_2 e C_3 .

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Como $Q = C_{eq} \cdot U$, então:

$$C_{eq} \cdot U = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + C_3 \cdot U$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$$

4. ELETROMAGNETISMO

4.1 – Magnetismo

É a capacidade de alguns materiais (imã) exercerem força de atração ou de repulsão em materiais do mesmo tipo ou em materiais ferrosos. Mais à frente, no capítulo sobre transformadores, alguns conceitos serão aplicados.

4.1.1 – Lei de Faraday

"A força eletromotriz induzida num circuito é a razão entre a variação do fluxo magnético e intervalo de tempo dessa variação."

4.1.2 – Lei de Lenz

"A corrente induzida tem um sentido tal que o campo magnético que ela gera se opõe a variação do fluxo magnético que a produziu."

4.1.3 – Imãs naturais e imãs artificias

Os imãs naturais são encontrados na natureza e são denominados **magnetita**. Porém podem-se fabricar imãs (artificiais) através de materiais com baixa resistividade ao processo de imantação, como é o caso da liga chamada ALNICO, que é composta de alumínio, níquel, cobre e cobalto. É possível gerar maior força magnética com imãs artificiais

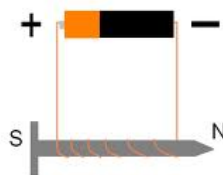


Figura 51 - Ímã artificial e temporal

Um ímã é **permanente** é capaz de manter sua capacidade magnética por muito tempo, mesmo cessada a causa que o imantou, como é o caso dos imãs naturais que são sempre permanentes. Os imãs **temporais** perdem sua capacidade magnética logo que cessa a causa que o imantou, como é o caso dos eletroímãs.



Figura 52 - Magnetita, ímã natural e permanente

4.1.1 – Pólos magnéticos

As forças de atração de um imã se concentram externamente nas extremidades, nos quais denominamos de polos. Os polos possuem características específicas e são chamados de polo norte e polo sul. Polos iguais se repelem, enquanto os diferentes se atraem.

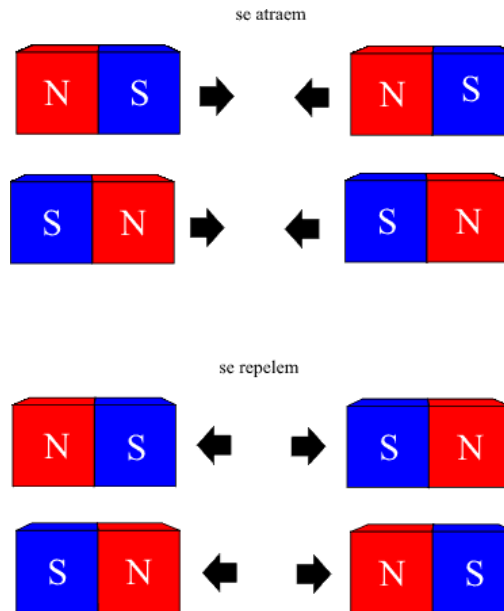


Figura 53 - Polos de um imã

Os ímãs, quando divididos ao meio, não podem ter seus polos separados. Dessa forma são gerados novos polos. Esta é a propriedade da **inseparabilidade dos polos**.

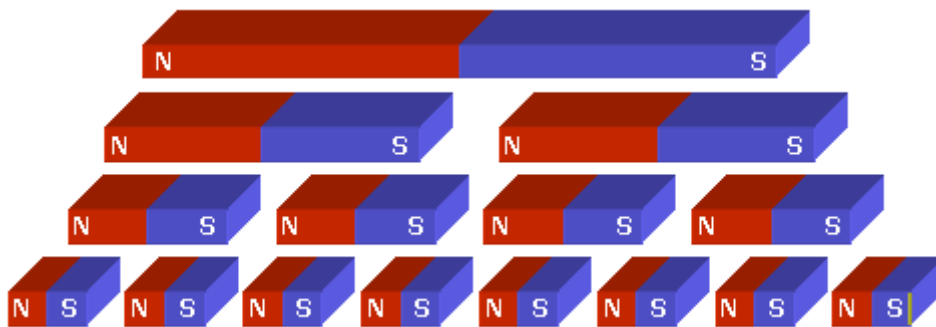


Figura 54 - Inseparabilidade dos polos

4.2 – Análise de circuitos em corrente alternada

A corrente alternada é gerada por uma espira que gira por meio de algum mecanismo, em torno do eixo XY, com velocidade angular constante. Num instante inicial $t=0$, suponha que a espira esteja perpendicular às linhas de indução. Neste instante o ângulo $\Theta = 0$ e o fluxo magnético é máximo.

$$\Phi = BA$$

Num segundo momento a espira está posicionada em um ângulo $\Theta = \omega \cdot t$ e nesse instante o fluxo magnético valerá $\Phi = BA \cdot \cos \Theta$. O gráfico da variação de Φ com o tempo resulta em uma onda senoidal.

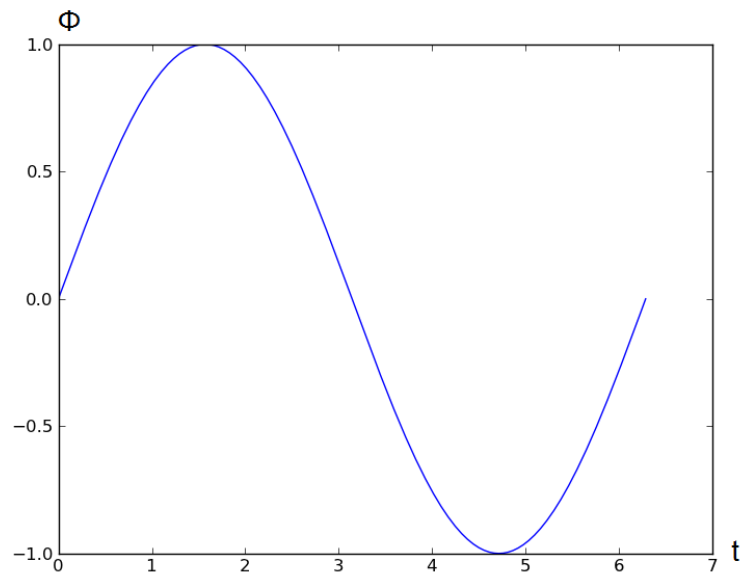


Figura 55 - Variação do ângulo Φ com o tempo

Analogamente, a fem pode ser calculada com:

$$e = \Phi_{m\acute{a}x} \cdot \omega \cdot \text{sen } \omega \cdot t$$

$$e_{m\acute{a}x} = \Phi_{m\acute{a}x} \cdot \omega$$

Portanto,

$$e_{m\acute{a}x} = e_{m\acute{a}x} \cdot \text{sen } \omega$$

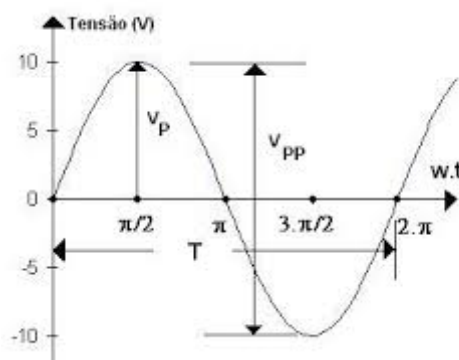


Figura 56 - Variação da tensão com o tempo

Para a corrente, usamos a lei de Ohm:

$$i = \frac{e}{R} \rightarrow i = \frac{e_{m\acute{a}x}}{R} \cdot \text{sen } \omega \cdot t$$

A corrente será máxima quando a fem for máxima:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{e_{m\acute{a}x}}{R}$$

$$i = \frac{i_{m\acute{a}x}}{R}$$

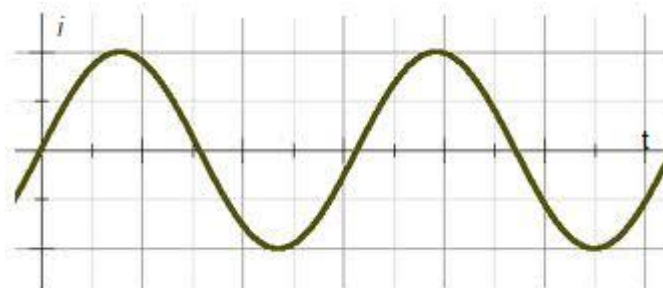


Figura 57 - Gráfico da intensidade da corrente alternada em um resistor em função do tempo

4.3 – Alternador e dínamo

O esquema a seguir representa um alternador, cuja função é gerar corrente alternada. É composto de uma armadura, que é feita de espiras e esta é soldada a dois anéis metálicos onde ficam apoiadas as escovas. As escovas “entregam” a tensão gerada pelo alternador ao consumir diretamente ou é levada a uma rede de distribuição. O coletor é o conjunto dos dois anéis e escovas.

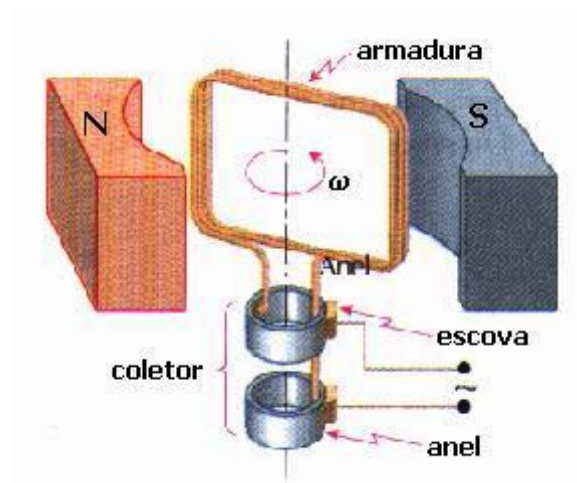


Figura 58 - Esquema de um alternador

5. TRANSFORMADORES

5.1 – Definição

Transformador é o conjunto de duas ou mais bobinas dispostas ao redor de um núcleo magnético com o objetivo de modificar valores de tensão e corrente alternadas sem modificar frequência. Os enrolamentos são denominados “primários” e “secundários” em um transformador monofásico. No transformador trifásico, o terceiro enrolamento é denominado “terciário”. O núcleo é geralmente composto de material ferromagnético, ou em alguns outros casos, o núcleo é composto de ar. O funcionamento dos transformadores está baseado nas leis eletromagnéticas de Faraday e de Lenz.

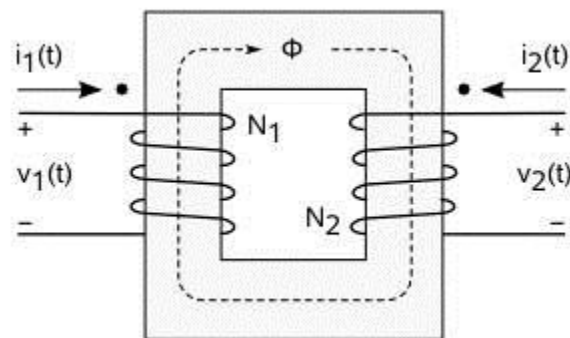


Figura 59 - Esquema básico de um transformador

N1 e N2: Número de voltas na bobina no primário e no secundário.

$i_1(t)$ e $i_2(t)$: Corrente aplicada e de saída.

$v_1(t)$ e $v_2(t)$: Tensão na entrada e na saída.

Φ : Fluxo magnético.

5.1.1 – Transformador ideal

É o transformador no qual o fluxo é completamente concatenado, ou seja, não existe perda de nenhum tipo nos enrolamentos ou no núcleo. Para que isso seja possível, é necessário que a resistência dos enrolamentos seja nula e que a permeabilidade do núcleo seja infinita.

Abaixo, a representação de um transformador ideal com sua respectiva representação elétrica:

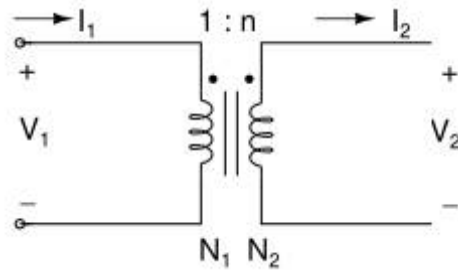


Figura 60 - Esquema elétrico de um transformador

N1 e N2: Número de voltas na bobina no primário e no secundário.

I1 e I2: Corrente aplicada e de saída.

V1(t) e V2(t): Tensão na entrada e na saída.

5.1.2 – Principais relações matemáticas para transformadores:

A tensão é diretamente proporcional ao número de espiras no lado respectivo:

$$V_1/V_2 = N_1/N_2 \text{ ou } V_1 \cdot N_2 = V_2 \cdot N_1$$

O contrário acontece com a corrente, que é inversamente proporcional ao número de espiras:

$$I_2/I_1 = N_1/N_2 \text{ ou } I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2$$

Da mesma forma acontece com a relação entre corrente e tensão. Um diminui quando o outro aumenta:

$$I_2/I_1 = V_1/V_2 \text{ ou } V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

Logo, pode-se afirmar que as potências no primário e no secundário em um transformador ideal são equivalentes, visto que $P = V \cdot I$.

Resumidamente, a relação geral de transformação é:

$$R_t = V_1/V_2 = N_1/N_2 = I_2/I_1$$

5.1.3 – Transformador real

Nesse transformador o fluxo não é completamente concatenado, pois existem perdas tanto no fio do enrolamento, pela resistência natural do cobre; quanto no núcleo magnético, que pode ser de duas formas:

Por histerese: Quando o material que compõe o núcleo magnético mantém as propriedades na ausência dos estímulos que geraram essas propriedades (aplicação de corrente).

Corrente parasita: É a corrente gerada no núcleo quando há variação de fluxo magnético. Pode ser minimizada usando um núcleo com material laminado, com placas isoladas entre si, reduzindo a perda por efeito Joule.

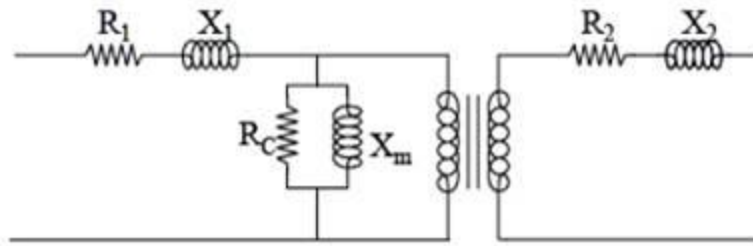


Figura 61 - Circuito elétrico equivalente do transformador

R1 e R2: Perdas por efeito Joule devido à resistência do cobre de que são feitos os enrolamentos.

X1 e X2: Perdas de fluxo.

Rc: Resistência do núcleo magnético.

Xm: Reatância de magnetização.

As potências no primário e no secundário em um transformador real não são equivalentes, pois existem as perdas por histerese e corrente parasita. Assim a potência no primário é maior que no secundário ($P_1 > P_2$).

6. FATOR DE POTÊNCIA

6.1 – Aspectos gerais

O uso da energia elétrica pelas empresas requer um estudo específico para evitar que taxas desnecessárias sejam pagas. Uma dessas taxas é a multa pela energia reativa excedente, causada por um baixo fator de potência. O fator de potência baixo é causado pela má instalação ou má utilização de cargas elétricas como motores, transformadores, máquinas de solda, etc.

6.1.1 – Consumo de energia

As concessionárias medem o consumo de energia por base na potência consumida em um intervalo de tempo. A taxa é estabelecida e cobrada para consumidores de baixa tensão (BT) pelo kWh que é justamente o produto da potência em quilowatt (kW) pelo tempo medido em horas (h). Para outros grupos de consumidores, como os consumidores de alta tensão (AT), além de taxas de variáveis por horário (ponta e fora de ponta) e por período anual (período seco e período úmido) de consumo de potência ao decorrer do tempo, também é cobrada taxa de demanda contratada e multas por excedentes reativos e por excedente de potência em relação a demanda contratada.

6.1.2 – Energia ativa e energia reativa

Quando em funcionamento, os equipamentos utilizam energia para realizar a sua função específica. Essa energia é o que chamamos de **energia ativa (“kWh”)** e é ela que de fato é utilizada para produção de trabalho.

A **energia reativa (“kvarh”)** não produz trabalho, mas é necessária para manter o fluxo magnético na bobina dos equipamentos. A utilização dessa energia deve ser a menor possível, pois o excesso dela provoca perdas por aquecimento, queda de tensão, além de requererem uma instalação de maior capacidade, como condutor de seção maior e transformador mais potente.

6.1.3 – Fator de potência

É a razão entre a energia ativa (“kWh”) e a energia total ou energia aparente (“kVA”). A energia aparente é a soma vetorial da energia ativa e a energia reativa. Estabelecido por lei, o fator de potência deve ser no mínimo 0.92, sendo que quanto mais próximo de 1 (um), melhor o rendimento.

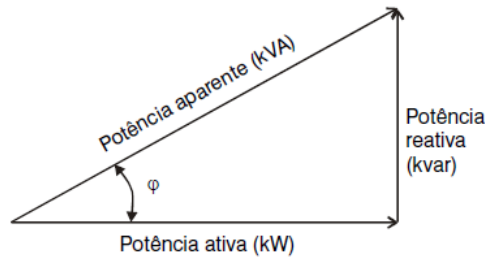


Figura 62 - Triângulo de potências

Logo,

$$FP = \frac{kW}{\sqrt{kWh^2 + kvarh^2}} = \cos \varphi = \cos \left(\text{arc tg} \frac{kvar}{kW} \right)$$

6.1.4 – Cálculo de capacitor para correção do Fator de Potência

Quando se deseja corrigir o FP, é necessário levar em consideração que existem três tipos de carga que podemos utilizar:

Carga resistiva: Não gera nenhuma energia reativa. Transforma a energia que recebe em calor.

Carga indutiva: São os motores, transformadores, etc. Gera energia reativa indutiva.

Carga capacitiva: Gera energia reativa capacitiva e é usada para atenuar ou eliminar a energia reativa indutiva.

Portanto, para a correção do FP, acrescentamos carga capacitiva onde houver necessidade. Para calcular o capacitor necessário para corrigir o Fator de Potência, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$C = \frac{10^3 \cdot kvar}{2\pi f \cdot (kV_c)^2}$$

Onde f é a frequência da rede e kV_c é a tensão nominal de fabricação do capacitor, que deve ser o mais próximo do nominal do sistema possível.

$kvar$ na fórmula é a potência para o banco e deve ser pelo menos 92% da potência reativa (P_{REAL}) multiplicado pelo fator do **ANEXO B**. Para calcular:

$$Q_{BANCO} = f_m \cdot P_{REAL}$$

$$P_{REAL} = \frac{\text{Potência nominal}}{\eta (\text{rendimento})}$$

6.1.5 – Causas e consequências de um baixo Fator de Potência

Perdas na instalação: Ocorre em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total.

Quedas de tensão: O aumento da corrente por excesso de energia reativa ocasiona quedas significativas de tensão, o que pode ocasionar a interrupção do fornecimento de energia elétrica e sobrecarga em equipamentos. Com a diminuição da tensão, pode ocorrer o aumento da corrente aplicada às cargas.

Equipamentos superdimensionados: Motores e máquinas funcionando a vazio geram energia reativa que poderia estar sendo aplicada a uma carga. Por si, a correção do fator de potência já libera potência para instalação de novas cargas.

6.1.6 – Vantagens para a empresa e para a concessionária com a correção do Fator de Potência*

Vantagens da Empresa:

- Redução significativa do custo de energia elétrica;
- Aumento da eficiência energética da empresa;
- Melhoria da tensão;
- Aumento da capacidade dos equipamentos de manobra;
- Aumento da vida útil das instalações e equipamentos;
- Redução do efeito Joule;
- Redução da corrente reativa na rede elétrica.

Vantagens da Concessionária:

- O bloco de potência reativa deixa de circular no sistema de transmissão e distribuição;
- Evita as perdas pelo efeito Joule;
- Aumenta a capacidade do sistema de transmissão e distribuição para conduzir o bloco de potência ativa;
- Aumenta a capacidade de geração com intuito de atender mais consumidores;
- Diminui os custos de geração.

*Retirado do manual de correção do fator de potência da WEG.

6.2 – Exemplo numérico para cálculo de bando de capacitor

6.2.1 – Dados

-Potência nominal: 1810ca;

-Rotação: 11801 rpm

-Fator de potência ($\cos \varphi_1$): 0,86 (100% de carga);

Rendimento (η)/Fator de potência desejado ($\cos \varphi_2$): 0,95;

6.2.2 – Potência real absorvida pelo motor

$$P_{REAL} = \frac{\text{Potência nominal}}{\eta(\text{rendimento})} \rightarrow P_{REAL} = \frac{0,736 \cdot 1810}{0,95} = \mathbf{1401,32 \text{ kW}}$$

6.2.3 – Métodos para determinação da potência para o banco

Método 1: Utilizando o fator multiplicador

Pela tabela do ANEXO B, vemos que para um FP atual de 0,86 e FP desejado de 0,95 o fator $F = 0,265 \text{ kvar/kW}$, então:

$$Q_{BANCO} = 0,265 \cdot 1401,32 = \mathbf{370 \text{ kvar}}$$

Método 2: Utilizando funções trigonométricas

$$\cos \varphi_1 = 0,86 \rightarrow \varphi_1 = 30,6834^\circ$$

$$\cos \varphi_2 = 0,95 \rightarrow \varphi_2 = 18,1949^\circ$$

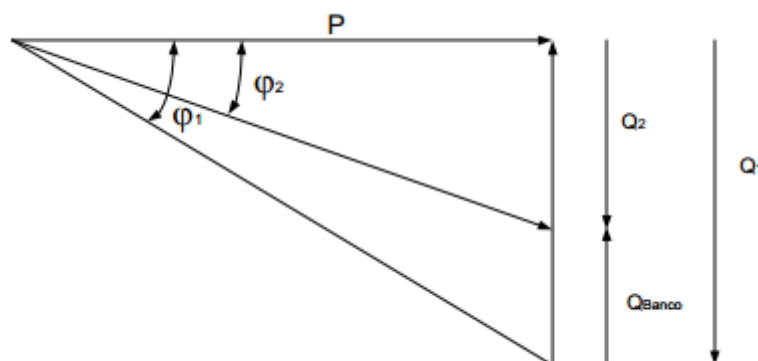


Figura 63 - Representação trigonométrica do exemplo numérico

$$Q_2 = Q_1 - Q_{BANCO} \rightarrow Q_{BANCO} = Q_1 - Q_2$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q_1}{P} \rightarrow Q_1 = 831,4942 \text{ kvar}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q_2}{P} \rightarrow Q_2 = 460,5929 \text{ kvar}$$

$$Q_{BANCO} = 831,4942 - 460,5929 = \mathbf{370 \text{ kvar}}$$

6.2.4 – Dimensionamento real do banco

Utilizando a fórmula $C = \frac{10^3 \cdot \text{kvar}}{2\pi f \cdot (kV_c)^2}$:

$$C = \frac{10^3 \cdot 370}{2\pi 60 \cdot (4,16)^2} = \mathbf{56,71 \mu F}$$

BIBLIOGRAFIA

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Sistema Internacional de unidades

Ramalho Junior, Francisco, 1940- Os fundamentos da física/ Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares. - 8. ed. rev. e ampl.- São Paulo : Moderna, 2003

SENAI. RS. Eletrotécnica Básica. Gravataí, Escola de Educação Profissional SENAI Ney Damasceno Ferreira, 2000. 143 p. il. Eletrotécnica I. Título

WEG – Manual para correção do Fator de Potencia

ANEXO A – Unidades do Sistema Internacional (SI)

Quadro 1 - Unidades SI de Base

GRANDEZA	[UNIDADES SI DE BASE]	
	NOME	SÍMBOLO
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
corrente elétrica	ampère	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mol	mol
intensidade luminosa	candela	cd

Quadro 2 - Exemplos de unidades SI derivadas, expressas a partir das unidades de base.

GRANDEZA	[UNIDADE SI]	
	NOME	SÍMBOLO
superfície	metro quadrado	m ²
volume	metro cúbico	m ³
velocidade	metro por segundo	m/s
aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s ²
número de ondas	metro elevado à potência menos um (1 por metro)	m ⁻¹
massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m ³
volume específico	metro cúbico por quilograma	m ³ /kg
densidade de corrente	ampère por metro quadrado	A/m ²
campo magnético	ampère por metro	A/m
concentração (de quantidade de matéria)	mol por metro cúbico	mol/m ³
luminância	candela por metro quadrado	cd/m ²
índice de refração	(o número) um	1*

* Geralmente, não se emprega o símbolo "1", com um valor numérico.

Quadro 3 - Unidades SI derivadas possuidoras de nomes especiais e símbolos particulares.

GRANDEZA DERIVADA	UNIDADE SI DERIVADA			
	NOME	SÍMBOLO	EXPRESSÃO EM OUTRAS UNIDADES SI	EXPRESSÃO EM UNIDADES SI DE BASE
ângulo plano	radiano ^(a)	rad		$m \cdot m^{-1} = 1^{(b)}$
ângulo sólido	esterradiano ^(a)	sr ^(c)		$m^2 \cdot m^{-2} = 1^{(b)}$
freqüência	hertz	Hz		s^{-1}
força	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
pressão, esforço	pascal	Pa	N / m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
potência, fluxo de energia	watt	W	J / s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
quantidade de eletricidade, carga elétrica	coulomb	C		$s \cdot A$
diferença de potencial elétrico, força eletromotriz	volt	V	W / A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
capacidade elétrica	farad	F	C / V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
resistência elétrica	ohm	Ω	V / A	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
condutância elétrica	siemens	S	A / V	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
fluxo de indução magnética	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indução magnética	tesla	T	Wb / m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indutância	henry	H	Wb / A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
temperatura Celsius	grau Celsius ^(d)	$^{\circ}C$	Ω	K
fluxo luminoso	lúmen	lm	$cd \cdot sr^{(c)}$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
iluminamento	lux	lx	lm/m^2	$m^{-2} \cdot m^4 \cdot cd = m^2 \cdot cd$
atividade (de um radionucleico)	becquerel	Bq		s^{-1}
dose absorvida, energia específica, (comunicada), kerma	gray	Gy	J / kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
equivalente de dose, equivalente de dose ambiente, equivalente de dose direcional, equivalente de dose individual, dose equivalente num órgão	sievert	Sv	J / kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

(a) O radiano e o esterradiano podem ser utilizados nas expressões das unidades derivadas, a fim de distinguir grandezas de natureza diferente tendo a mesma dimensão. No Quadro 4 são dados exemplos de sua utilização para formar nomes de unidades derivadas.

(b) Na prática, emprega-se os símbolos rad e sr, quando útil, porém a unidade derivada “1” não é habitualmente mencionada.

(c) Em fotometria, mantém-se, geralmente, o nome e o símbolo do esterradiano, sr, na expressão das unidades.

(d) Esta unidade pode ser utilizada associada aos prefixos SI, como, por exemplo, para exprimir o submúltiplo miligrado Celsius, m°C.

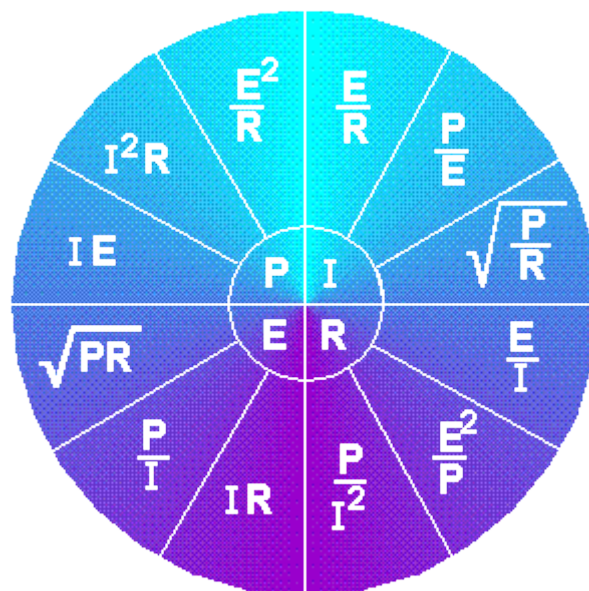
Quadro 4 - Exemplos de unidades SI derivadas, cujos nome e símbolo compreendem unidades SI derivadas tendo nomes especiais e símbolos particulares

GRANDEZA	UNIDADE SI DERIVADA		
	NOME	SÍMBOLO	EXPRESSÃO EM UNIDADES SI DE BASE
viscosidade dinâmica	pascal segundo	Pa . s	$m^{-1} . kg . s^{-1}$
momento de uma força	newton metro	N . m	$m^2 . kg . s^{-2}$
tensão superficial	newton por metro	N / m	$kg . s^{-2}$
velocidade angular	radiano por segundo	rad / s	$m . m^{-1} . s^{-1} = s^{-1}$
aceleração angular	radiano por segundo quadrado	rad / s ²	$m . m^{-1} . s^{-2} = s^{-2}$
fluxo térmico superficial, iluminamento energético	watt por metro quadrado	W / m ²	$kg . s^{-3}$
capacidade térmica, entropia	joule por kelvin	J / K	$m^2 . kg . s^{-2} . K^{-1}$
capacidade térmica específica, entropia específica	joule por quilograma kelvin	J / (kg . K)	$m^2 . s^{-2} . K^{-1}$
energia mássica	joule por quilograma	J / kg	$m^2 . s^{-2}$
condutividade térmica	watt por metro kelvin	W / (m . K)	$m . kg . s^{-3} . K^{-1}$
densidade de energia	joule por metro cúbico	J / m ³	$m^{-1} . kg . s^{-2}$
campo elétrico	volt por metro	V / m	$m . kg . s^{-3} . A^{-1}$
densidade de carga (elétrica)	coulomb por metro cúbico	C / m ³	$m^{-3} . s . A$
densidade de fluxo elétrico	coulomb por metro quadrado	C / m ²	$m^{-2} . s . A$
permissividade	farad por metro	F / m	$m^{-3} . kg^{-1} . s^4 . A^2$
permeabilidade	henry por metro	H / m	$m . kg . s^{-2} . A^{-2}$
energia molar	joule por mol	J / mol	$m^{-2} . kg . s^{-2} . mol^{-1}$
entropia molar,	joule por mol kelvin	J / (mol . K)	$m^2 . kg . s^{-2} . K^{-1} . mol^{-1}$
capacidade térmica molar			
exposição (raio X e γ)	coulomb por quilograma	C / kg	$kg^{-1} . s . A$
taxa de dose absorvida	gray por segundo	Gy / s	$m^2 . s^{-3}$
intensidade energética	watt por esterradiano	W / sr	$m^4 . m^{-2} . kg . s^{-3} = m^2 . kg . s^{-3}$
luminância energética	watt por metro quadrado esterradiano	W / (m ² . sr)	$m^2 . m^{-2} . kg . s^{-3} = kg . s^{-3}$

Quadro 5 - Prefixos SI

FATOR	PREFIXO	SÍMBOLO	FATOR	PREFIXO	SÍMBOLO
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	quilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-24}	yocto	y

ANEXO B – Fórmulas mais usadas na eletricidade



ANEXO C – Fórmulas mais usadas na eletricidade

CONVERSÃO DE UNIDADES		
DE	PARA	MULTIPLIQUE POR
kW	HP	1,341
CV	kW	0,736
HP	kW	0,7457
Btu	kWh	0,0002928
Btu	kcal	0,252
kcal	Btu	3,968
kWh	kcal	860
kWh	HPH	1,341
kcal	Joule	4,186

ANEXO D – Código de cores de resistores

Cores	Valores			Multiplicadores	Tolerância
	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3		
Prata	-	-	-	0,01	10%
Ouro	-	-	-	0,1	5%
Preto	0	0	0	1	-
Marrom	1	1	1	10	1%
Vermelho	2	2	2	100	2%
Laranja	3	3	3	1000	-
Amarelo	4	4	4	10000	-
Verde	5	5	5	100000	-
Azul	6	6	6	1000000	-
Violeta	7	7	7	-	-
Cinza	8	8	8	-	-
Branco	9	9	9	-	-
Nenhuma	-	-	-	-	20%

ANEXO E – Tabela do Fator Multiplicador (F) para correção de FP

FP Atual	Fator de Potência Desejado																					
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732	
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687	
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643	
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600	
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559	
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519	
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480	
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442	
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405	
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369	
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333	
0.61	0.549	0.575	0.601	0.624	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299	
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266	
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.710	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233	
0.64	0.451	0.474	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.068	1.201	
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169	
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138	
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108	
0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.049	
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049	
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020	
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992	
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964	
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936	
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909	
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882	
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855	
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.685	0.829	
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802	
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776	
0.80		0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750	
0.81			0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724	
0.82				0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698	
0.83					0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672	
0.84						0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646	
0.85							0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620	
0.86								0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593	
0.87									0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.173	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567	
0.88										0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540	
0.89											0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512	
0.90												0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484	
0.91														0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92															0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93																0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395	
0.94																	0.034	0.071	0.112	0.160	0.221	0.363
0.95																		0.037	0.079	0.126	0.186	0.329
0.96																			0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																			0.048	0.108	0.251	
0.98																				0.060	0.203	
0.99																					0.143	

ANEXO F – Tabela para correção de motores WEG

Aplicação : MOTORES TRIFÁSICOS WEG - 380V - 60Hz

Fator de Potência mínimo desejado : 0,95 Indutivo

Potência nominal		Potência dos Capacitores em kVAr							
		II pólos		IV Pólos		VI Pólos		VIII Pólos	
		Carga no eixo		Carga no eixo		Carga no eixo		Carga no eixo	
cv	kW	75%	100%	75%	100%	75%	100%	75%	100%
0,16	0,12	0,15kVAr	0,14kVAr	0,21kVAr	0,2kVAr	0,28kVAr		0,3kVAr	0,28kVAr
0,25	0,18	0,17kVAr	0,16kVAr	0,25kVAr	0,24kVAr	0,33kVAr	0,32kVAr	0,5kVAr	
0,33	0,25	0,2kVAr	0,19kVAr	0,3kVAr	0,28kVAr	0,5kVAr		0,75kVAr	
0,5	0,37	0,26kVAr	0,19kVAr	0,5kVAr	0,39kVAr	0,75kVAr		0,75kVAr	
0,75	0,55	0,3kVAr	0,23kVAr	0,75kVAr		1kVAr		0,75kVAr	
1	0,75	0,36kVAr	0,28kVAr	0,5kVAr	0,35kVAr	0,75kVAr		1kVAr	
1,5	1,1	0,5kVAr	0,37kVAr	0,75kVAr		1,5kVAr		1,50kVAr	
2	1,5	0,75kVAr	0,34kVAr	1 kVAr		1,5kVAr		1,75kVAr	
3	2,2	1,5kVAr	1kVAr	1,5kVAr		2kVAr		1,75kVAr	
4	3	1,5kVAr	1kVAr	1,75kVAr		2,5kVAr	2kVAr	2,5kVAr	
5	3,7	1,5kVAr	1kVAr	2kVAr	1,75kVAr	2,75kVAr	2,5kVAr	3kVAr	2,75kVAr
6	4,4	1,5kVAr		2kVAr		3kVAr		3,75kVAr	3,5kVAr
7,5	5,5	2,5kVAr	1,75kVAr	2,75kVAr	2,5 kVAr	3,5kVAr		4,5 kVAr	
10	7,5	2kVAr		3,5kVAr	3kVAr	5kVAr		5,75kVAr	5,5kVAr
12,5	9,2	2,5kVAr		5kVAr	4kVAr	4kVAr		4,5kVAr	4kVAr
15	11	2,75kVAr	2,5kVAr	4kV Ar	4,5kVAr	5,5kVAr		5kVAr	4,5kV Ar
20	15	4,5kVAr	4kVAr	5,75kVAr		8,5kVAr	8kVAr	5,75 kVAr	
25	18,5	4,75kVAr	4,5kVAr	7kVAr		3,75kVAr	3,5kVAr	12kV Ar	12,5kVAr
30	22	5,5kVAr		7,75 kVAr		7,5 kVAr		8,75 kVAr	8,5 kVAr
40	30	7kVAr		9,5 kVAr	9,75 kVAr	10,0 kVAr	10,5 kVAr	12,5 kVAr	11,5 kVAr
50	37	8,5kVAr		10,5 kVAr	10,75 kVAr	13 kVAr		16,5 kVAr	14 kVAr
60	45	9 kVAr	7,75kVAr	11,75 kVAr		12,75 kVAr	13 kVAr	18,75 kVAr	18,5 kVAr
75	55	8,5kVAr	9,5kVAr	14,5kVAr	12,5 kVAr	19kV Ar	17,5kVAr	23,75kVAr	
100	75	9,5kVAr	10,5kVAr	21kVAr	20 kVAr	29kVAr	27,75kVAr	40,5kVAr	40,75kVAr
125	90	19,75kVAr	20,5kVAr	25kV Ar	25,5kVAr	31 kVAr		40,5kVAr	43,5kVAr
150	110	23,75kVAr	18,5kVAr	28kVAr		42,5kVAr	40,5kVAr	49,5kVAr	52,5kVAr
175	130	22,5kVAr	22kVAr	37 kVAr	41 kVAr	50,5kVAr	52kVAr	59kV Ar	55,75kVAr
200	150	25,5kVAr	25kVAr	41,75kVAr	42,5 kVAr	63,5kVAr	63kVAr	73kV Ar	75,5kVAr
250	185	31,5kVAr	30,75kVAr	47,5kVAr	52 kVAr	70,5kVAr	78kVAr	86,75kVAr	88,5kVAr
300	220	22,75kVAr	15,75kVAr	51kVAr	49kVAr	97kVAr	92,5kVAr	97,5kVAr	96,75kVAr
350	260	20,5kVAr	18,5kVAr	60,0kVAr	58 kVAr	92,5kVAr	101,5kVAr	127,5kVAr	115,75kVAr
400	300	-	-	63kVAr	66,5kVAr	113kVAr	116,75kVAr	-	-
450	331	-	-	76kVAr	73,5kVAr	137,75kVAr	137,5kVAr	-	-
500	368	-	-	85,5kVAr	82kVAr	-	-	-	-

OBSERVAÇÕES:

Realizar correção por grupo de motores.

- Alguns valores da tabela acima são valores exatos e outros aproximados para valores acima do valor necessário;
- Em alguns casos é necessário a associação de capacitores para conseguirmos o valor de potência reativa necessária;
- Associar em paralelo no máximo duas células UCW-T, alimentando-as sempre individualmente;
- Potências iguais/superiores a 7,5kvar usar MCW/BCW por conveniências técnicas e/ou orçamento;
- As potências superiores a 75,0kvar devem ser divididas em potências menores;
- Demais informações técnicas, consultar catálogos WEG de Motores e Capacitores.

ANEXO G – Tabela para correção de motores WEG – Linha PLUS

Capacitores para CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Aplicação : em MOTORES WEG - Linha PLUS

Fator de Potência mínimo desejado : 0,95 Indutivo

POTÊNCIA NOMINAL		Potência dos Capacitores em kvar								
		Cargaça	II PÓLOS 3600rpm	Cargaça	IV PÓLOS 1800rpm	Cargaça	VI PÓLOS 1200rpm	Cargaça	VIII PÓLOS 900rpm	
			CARGA 75 a 100%		CARGA DE 75 a 100%		CARGA DE 75 a 100%		CARGA DE 75 a 100%	
CV	KW									
1	0,75	71	UCW-T 0,50	80	UCW-T 0,50	90S	UCW-T 0,75	90L	UCW-T 1,00	
1,5	1,1	80		80	UCW-T 0,75	90S	UCW-T 1,00	100L	UCW-T 1,50	
2	1,5	80	UCW-T 0,75	90S	UCW-T 1,00	100L	UCW-T 1,50	112M		
3	2,2	90S		90L	UCW-T 1,50	100L		132S		
4	3	90L	UCW-T 1,50	100L	UCW-T 2,00	112M	UCW-T 2,00	132M	UCW-T 2,50	
5	3,7	100L		100L	UCW-T 2,50	132S	UCW-T 2,50	132M		
6	4,5	112M		112M	UCW-T 3,00	132S	UCW-T 3,00	160M	associar 2 UCW-T formar 4,00kvar(1)	
7,5	5,5	112M		UCW-T 2,00						112M
10	7,5	132S	132S		160M	UCW-T 5,00/380V ou MCW 5,00/220V	160L	MCW 7,50		
12,5	9,2	132M	UCW-T 1,50	132M	MCW 7,5	160M	UCW-T 5,00/380V ou MCW 5,00/220V	180M	UCW-T 5,00/380V ou MCW 5,00/220V	
15	11	132M	UCW-T 2,00	132M		160M		180L		
20	15	160M	UCW-T 5,00/380V ou MCW 5,00/220V	160M		160L	180L	10,0	180L	MCW 7,50
25	18,5	160M	160L	180M		10,0	200L	MCW 7,5	225S/M	10,0
30	22	160L	MCW 7,50	200M	15,0	200L	15,0	225S/M	15,0	
40	30	200M		200M	25,0	250S/M		250S/M		
50	37	200L	10,0	225S/M	25,0	250S/M	25,0	250S/M	20,0	
60	45	225S/M		225S/M		250S/M		280S/M		280S/M
75	55	225S/M	15,0	250S/M	30,0	280S/M	30,0	280S/M	40,0	
100	75	250S/M		280S/M		35,0		280S/M		315S/M
125	90	280S/M	25,0	280S/M	35,0	315S/M	35,0	315S/M	60,0	
150	110	280S/M		315S/M		45,0		355M/L		90,0
175	132	315S/M	35,0	315S/M	40,0	315S/M	50,0	355M/L	75,0	
200	150	315S/M		315S/M		50,0		355M/L		75,0
250	185	315S/M	20,0	355M/L	50,0	355M/L	75,0	355M/L	115,0	
270	200	355M/L		355M/L		75,0				
300	220	355M/L	15,0	355M/L	75,0	355M/L	100,0	355M/L	115,0	
350	260	355M/L		355M/L		110,0				
400	300			355M/L		355M/L	135,0			
450	330			355M/L		355M/L	125,0			
500	368			355M/L						

OBSERVAÇÕES:

- (1) Associar em paralelo no máximo duas células UCW-T, alimentando-as sempre individualmente;
- (2) Potências iguais/superiores a 7,5kvar usar MCW/BCW por conveniências técnicas e/ou orçamento;
- (3) As potências superiores a 75,0kvar devem ser divididas em potências menores;
- (4) Demais informações técnicas, consultar catálogos WEG de Motores e Capacitores.