

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ELETRICIDADE

LABORATÓRIO DE ELETRICIDADE

Azauri Albano de Oliveira Jr.  
Milson Tadeu Camargo Silva



SÃO CARLOS - 1983  
Publicação 002/88  
Reimpressão

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP

DEPARTAMENTO DE ELETRICIDADE

PADRONIZAÇÃO DE RELATÓRIOS DAS DISCIPLINAS DE LABORATÓRIO DO  
CURSO DE ELETRÔNICA

I - O RELATÓRIO

O relatório deve conter os seguintes itens:

- 1.1. APRESENTAÇÃO
- 1.2. ÍNDICE
- 1.3. SUMÁRIO
- 1.4. DESENVOLVIMENTO
- 1.5. APÊNDICE
- 1.6. BIBLIOGRAFIA

1.1. APRESENTAÇÃO

Na página de rosto do relatório deve constar:

- 1.1.1. Unidade em que estuda
- 1.1.2. curso
- 1.1.3. turma
- 1.1.4. nº e título da experiência
- 1.1.5. autores
- 1.1.6. data da realização

1.2. ÍNDICE

As diferentes seções e parágrafos do texto devem figurar no índice com seus respectivos títulos e sub-títulos (caso haja necessidade) e nº da página onde se encontra, proporcionando visão geral do texto e fácil acesso a qualquer parte do relatório.

1.3. SUMÁRIO

O sumário, ou resumo, deve informar, em linhas gerais, o que é realizado no trabalho, dando uma idéia condensada do que é tratado no relatório.



Deve informar quais foram as finalidades, técnicas de medida e conclusões relevantes.

A redação do sumário deve ser objetiva e fluente, ressaltando somente o que é relevante para a compreensão da experiência e o enfoque pelo qual foi tratado.

Deve ser escrito por último, depois que se tem uma visão completa dos objetivos e resultados obtidos.

Sua apresentação deve ser concisa e de tamanho reduzido.

#### 1.4. DESENVOLVIMENTO

Neste item deve constar o que for necessário para uma perfeita apreciação do trabalho.

Pode ser subdividida em:

##### 1.4.1. INTRODUÇÃO

Onde deve constar a importância e a apresentação clara e específica dos objetivos do trabalho.

##### 1.4.2. PARTE TEÓRICA

CASO seja incluída uma parte teórica no relatório, esta não deve ser uma simples cópia de livros ou notas de aulas, nem tampouco um formulário. Deve ser uma apresentação concisa, realizada com suas próprias palavras, de resultado de seus estudos sobre o assunto.

##### 1.4.3. PARTE EXPERIMENTAL

Neste tópico devem ser descritos os equipamentos e materiais utilizados e os métodos empregados. Assim, devem ser incluídas:

- a) projeto
- b) previsões e resultados das medidas.
- c) Tabelas e gráficos levantados.

Todas as descrições devem vir acompanhadas de figuras (esboço ou esquema) com nº e legenda. Nos esquemas elétricos devem constar os valores dos componentes, no próprio esquema ou em folha anexa constante do apêndice. Os esquemas de interconexão entre os diversos aparelhos de medida também devem ser relacionados.

Quando uma figura é citada várias vezes no texto de relatório este pode constar de item apêndice, com referência inequívoca no texto.

#### 1.4.4. RESULTADOS

Este ítem é reservado à apresentação de tabelas, gráficos e conclusões das perguntas (se houver).

As tabelas devem conter simbologia referente às variáveis envolvidas, bem como respectivas unidades. As tabelas devem ser numeradas e possuir título auto-explicativo assim como o circuito a que se refere.

Se há alguma variável calculada, um exemplo de cálculo da mesma pode ser apresentada no ítem APÊNDICE. O mesmo deve ocorrer no caso de projetos (o corpo principal do relatório contém somente objetivos, métodos e apresentação concisa de resultados e conclusões):

Os gráficos precisam ser confeccionados observando-se os seguintes itens:

- a) Título
- b) Origem ou ponto de referência e escalas dos eixos.
- c) Circuito ou sistema a que se refere, desenhado na mesma folha (quando possível) ou em folha anexa, colocada logo após a parte do texto a que se refere ou no ítem APÊNDICE.
- d) nome das variáveis dos eixos e unidades.

Sempre que possível confeccioná-los em folhas apropriadas.

#### 1.4.5. CONCLUSÕES

Neste ítem devem ser apresentadas resumidamente as principais conclusões de trabalho. A leitura da Introdução, onde constam os objetivos, e CONCLUSÕES deve dar ao leitor uma percepção global do trabalho.

Assim, deve conter basicamente:

- a) crítica dos resultados obtidos
- b) dificuldades encontradas
- c) avaliação e sugestões.

#### 1.4.6. LISTA DE MATERIAL E EQUIPAMENTO

Caso não tenha sido relacionado nos diagramas elétricos, os valores e tipos de componentes devem constar deste ítem.

Também relaciona-se os aparelhos utilizados nas medidas, se possível com nome do fabricante, tipo, nº de série, tolerâncias, etc... Isto é importante pois poderá sanar algumas dúvidas no momento da confecção do relatório. Pode-se também reproduzir a experiência com o mesmo ou com outro aparelho que, suspeita-se, seja o possível causador de erros.

#### 1.5. APÊNDICE

Neste ítem podem constar, basicamente:

- a) figuras largamente citadas no texto.
- b) Exemplos de cálculos
- c) deduções teóricas
- d) possíveis soluções de exercícios propostos.
- e) outros.

No APÊNDICE deve constar tudo o que for julgado irrelevante para uma compreensão sucinta da experiência. Este ítem será consultado somente para melhores esclarecimentos a respeito do desenvolvimento do experimento ou para interesses específicos do leitor.

#### 1.6. BIBLIOGRAFIA

As publicações consultadas devem ser relacionadas com respectiva numeração para que possa ser citada no texto. Quando, no texto houver referência a uma determinada publicação, o nº. desta deve constar entre colchetes, logo após o parágrafo ou trecho a que se refere.

As publicações devem ser relacionadas como se segue:

Sobrenome do autor, iniciais do nome, título da obra, volume, editora, local de publicação, ano.

#### EXEMPLO

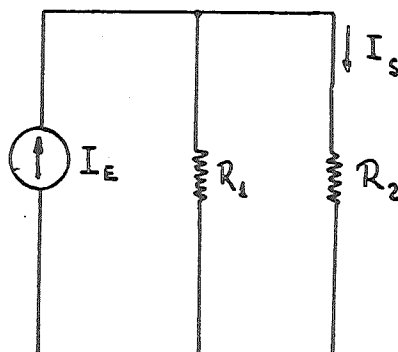
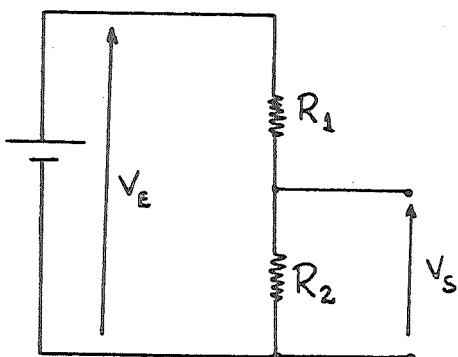
- (1) PINES, J.e BARRA AS, O. - "SISTEMAS MULTIPLEX", Livros Técnicos & Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1977.

QUESTIONÁRIO - Experiência nº 01

1. Como funciona um voltímetro e um amperímetro?
2. O que significa fundo de escala?
3. Como deve ser colocado em um circuito o voltímetro e o amperímetro para que se possa medir voltagem e corrente?

QUESTIONÁRIO - Experiência nº 02

1. Qual o significado da Lei de Ohm? Ela é válida para todos os materiais? dê exemplos.
2. Enuncie as Leis de Kirchoff.
3. O que é um potenciômetro?
4. Determine as expressões que definem os divisores de tensão e corrente abaixo:

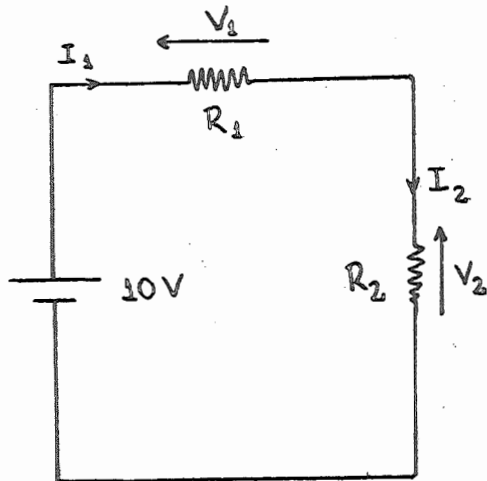


Experiência nº 1

1. Objetivo:  
Estudo e utilização de um multímetro.
2. Bibliografia:  
Halliday - Resnick - Parte II-1  
Sears - Zemansky - Eletricidade e Magnetismo
3. Material:  
1 Fonte DC  
1 Multímetro  
Resistências diversas  
Fios de ligação.

4. Procedimento Experimental.

- a) Leia o valor nominal das duas resistências
- b) Meça as resistências, monte o circuito da fig.1 e meça também a resistência total.



$$R_1 = 1 \text{ K}\Omega$$

$R_2 =$  duas resistências em paralelo de 500

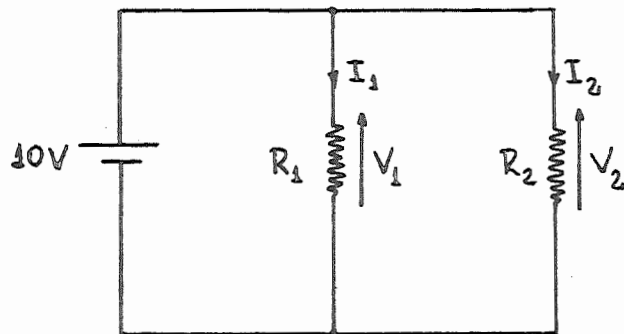
Fig.1

- c) Meça as correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_T$
- d) Meças as tensões  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_T$
- e) Faça um quadro como abaixo:

Circuito Série			
Resistência ( $\Omega$ )		Tensão (V)	Corrente (mA)
Valor nominal	Valor Real		
$R_1 =$	$R_1 =$	$V_1 =$	$I_1 =$
$R_2 =$	$R_2 =$	$V_2 =$	$I_2 =$
$R_T =$	$R_T =$	$V_T =$	$I_T =$

f) Substitua o circuito por uma resistência equivalente e repita os itens de (a) e (e)

g) Repita os itens de (a) a (f) para o circuito da fig.2.



$$R_1 = 470 \Omega$$

$$R_2 = 1,2 \text{ K}\Omega$$

Fig. 2.

h) O que você pode concluir desta experiência?

#### Experiência nº 2

##### 1. Objetivo:

Verificar experimentalmente as Leis de Ohm e Kirchoff. Construção de divisores de tensão e corrente.

##### 2. Bibliografia:

A mesma da experiência anterior.

##### 3. Materiais:

1 Fonte DC

1 Multímetro

várias resistências e potenciômetros

##### 4. Procedimento Experimental.

1. Leis de Ohm e Kirchoff

a) Monte o circuito da fig. 3 usando a resistência sem valor nominal.

b) Meça a corrente através de R para vários valores de tensão (0 a 10v)

c) Faça um gráfico  $V \times I$

d) Qual é o valor da resistência? R é ôhmico? Por quê?

e) Meça R com o multímetro

f) Compare os itens (d) e (e).



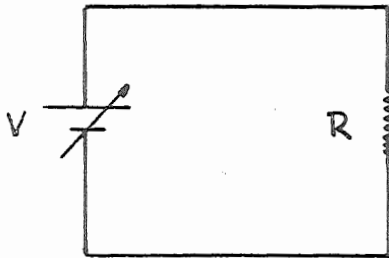


Fig.3

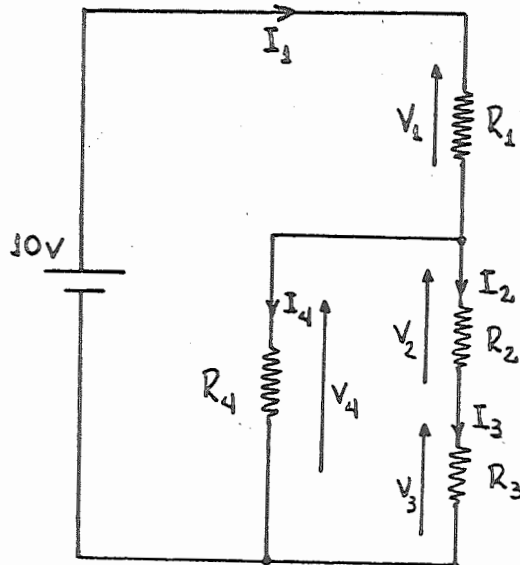


Fig.4

g) Monte o circuito da fig. 4 usando:

$$R_1 = 2,7 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 4,7 \text{ K}\Omega$$

$$R_3 = 470 \Omega$$

$$R_4 = 1,0 \text{ K}\Omega$$

h) Meça a tensão e a corrente através de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ .

i) Compare o valor de  $I_2 + I_4$  com  $I_1$ .

j) Compare o valor de  $I_2$  com  $I_3$

k) Compare o valor de  $V_2 + V_3$  com  $V_4$

l) Compare o valor de  $V_1 + V_2 + V_3$ , Com  $V$

m) Calcule o valor teórico de  $I_1$  e compare com o valor medido.

n) Em cada caso explique o que ocorreu e compare com os cálculos teóricos.

2 - Divisor de Tensão e corrente:

a) Monte o circuito da fig.5, sendo  $R_1$  um potenciômetro de  $10 \text{ K}\Omega$  e  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ .

b) Para vários valores de  $R_1$  meça  $V_2$

c) Faça uma tabela de  $R_1$  e  $V_2$ .

d) Explique o que ocorreu.

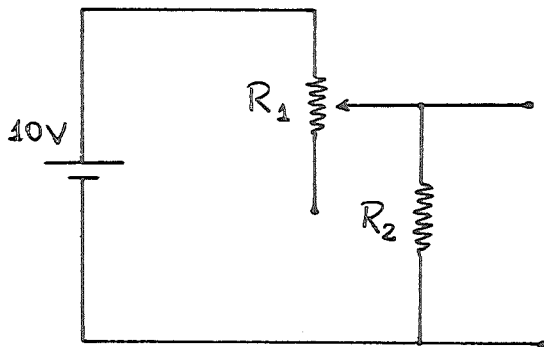


Fig. 5

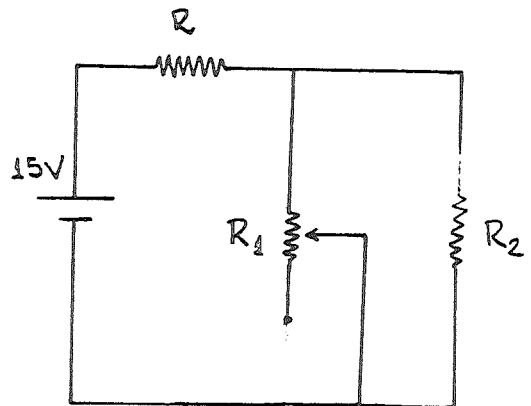


Fig. 6

Monte o circuito da fig. 6 usando,  $R = 10K\Omega$

$R_1$  é um potenciômetro de  $470\Omega$  e  $R_2 = 100\Omega$ .

e) Para vários valores de  $R_1$  meça  $I_2$

f) Faça uma tabela de  $R_1$  e  $I_2$

g) Explique o que ocorreu

h) Qual é a finalidade da resistência  $R$ ?

CÓDIGO DE CORES PARA RESISTORES			
CÓRES	ALGARISMO SIGNIFICATIVO	MULTIPLICADOR	TOLERÂNCIA (%)
Negro	0	1	-
Marron	1	10	$\pm 1$
Vermelho	2	$10^2$	$\pm 2$
Laranja	3	$10^3$	$\pm 3$
Amarelo	4	$10^4$	$\pm 4$
Verde	5	$10^5$	$\pm 0,5$
Azul	6	$10^6$	-
Violeta	7	-	-
Cinza	8	-	-
Branco	9	-	-
Ouro	-	$10^{-1}$	$\pm 5$
Prata	-	$10^{-2}$	$\pm 10$
Sem cor	-	-	$\pm 20$

QUESTIONÁRIO - Experiência nº 3

1. Defina tensão e corrente alternada.
2. O que é diferença de fase?
3. O que é frequência de ressonância e o que acontece com o circuito RLC série e paralelo nesta frequência?

QUESTIONÁRIO - Experiência nº 4

1. Defina potência eficaz, aparenta e reativa o fator de potência.
2. O que significa corrigir o fator de potência?
3. Como funciona o wattímetro e o que ele mede?

Experiência nº 3 - Circuitos de Corrente Alternada

A principal vantagem dos sistemas de corrente alternada em relação aos de corrente contínua é que as diferenças de potencial alternadas são mais fáceis de serem geradas. Nos circuitos energizados com corrente ou tensão alternada estamos interessados nas respostas constantes destes circuitos, para isso, vários conceitos são introduzidos envolvendo essas quantidades para podermos manipulá-las com facilidade.

## 1. CORRENTE (OU TENSÃO) ALTERNADA

É uma quantidade variante e repetitiva com o tempo, que passa por uma série de valores positivos e negativos e que se repetem a cada período de T segundos, cujo valor médio em um período é ZERO.

As correntes e tensões serão consideradas como funções senoidais com frequência constante, assim:

$$i(t) = I_m \text{ sen}(wt)$$

$$v(t) = V_m \text{ sen}(wt)$$

onde

$\omega$  = frequência angular (rad/s)

f = frequência (Hz)

T = período da onda (S)

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

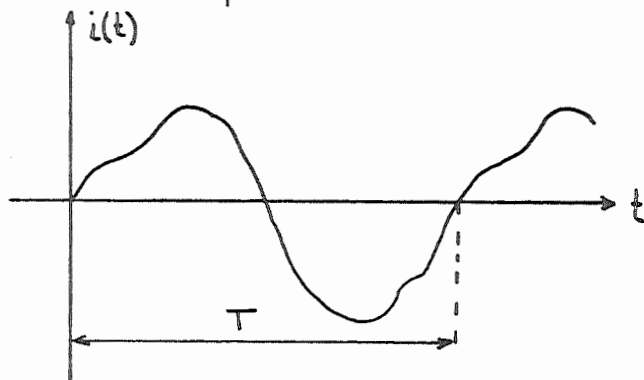
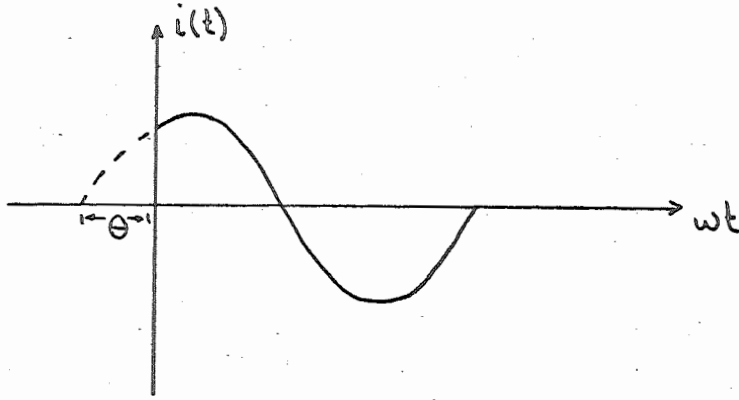


Fig. 1. Corrente alternada (não senoidal)

## 2. FASE ( $\theta$ )

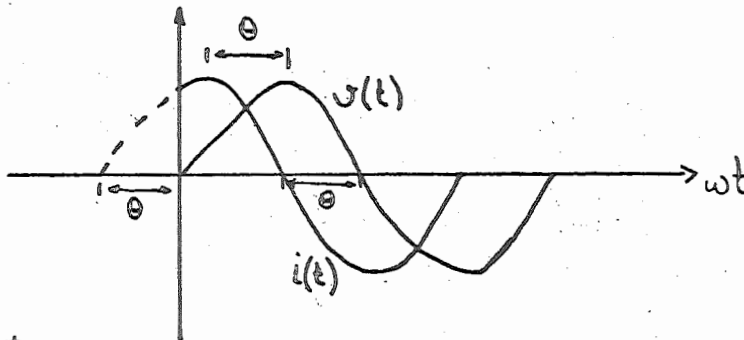
É a fração de um período da qual o ângulo de tempo associado a  $\omega t$  está avançado em relação a uma referência arbitrária. Para variações senoidais a origem é tomada como sendo a última passagem por zero no sentido de negativo para o positivo.



$$i(t) = I_m \text{ sen}(\omega t + \theta)$$

## 3. DIFERENÇA DE FASE:

Uma certa quantidade alternada está atrasada em relação a uma outra, quando um determinado ponto em sua onda é alcançado depois da outra já o ter alcançado. Em geral os pontos de referência são os valores máximos ou então a passagem por zero.



$$v = v_m \text{ sen } \omega t$$

$$i = I_m \text{ sen}(\omega t + \theta)$$

onde  $\theta$  é a diferença de fase entre  $v$  e  $i$  e  $i$  está adiantada em relação a  $v$  pois passa 1º por zero, ou atinge o valor máximo antes de  $v$ . O ângulo da diferença de fase entre as duas ondas é a diferença de fase entre os ângulos de fase das mesmas.

Em geral toma-se sempre um gerador C.A como referência ao circuito considerado para este o ângulo de fase ZERO, todas as outras quantidades terão o ângulo de fase relativo a esta referência.

#### 4. VALOR EFICAZ DE CORRENTE ALTERNADA

O valor eficaz de uma corrente ( $I_{ef}$ ) corresponde a um valor de uma corrente continua que produziria a mesma quantidade de calor médio que uma corrente alternada produziria ao passar por um resistor R. assim:

$$R I_{ef}^2 = R/T \int_0^T i^2(t) dt$$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

considerando  $i(t) = I_m \text{ sen } \omega t$   
teremos que:

$$I_{ef} = \sqrt{I_m^2 \frac{1}{T} \int_0^T \text{sen}^2 \omega t dt} = I_m / \sqrt{2}$$

Para tensões alternadas do mesmo modo teremos:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

considerando:

$$v(t) = V_m \text{ sen } \omega t \quad \text{teremos que } V_{ef} = V_m / \sqrt{2}$$

#### 5. REPRESENTAÇÃO FASORIAL - IMPEDÂNCIA COMPLEXA.

As tensões fornecidas pelos geradores AC, nas linhas de transmissão, na rede elétrica urbana são funções aproximadamente senoidais puras, desse modo uma análise de circuitos em estado estacionário fica mais simples de se fazer do que análise em função do tempo.

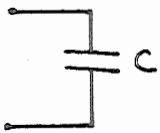
Uma onda sonoidal será representada pelo seu valor eficaz e pelo ângulo de fase a ela associado, assim por exemplo:

$$i(t) = 100 \text{ sen}(wt + 30^\circ) = \hat{i} = 100/\sqrt{2} \quad \underline{\angle 30^\circ} \text{ A}$$

$$v(t) = 308 \text{ sen}(wt - 45^\circ) = \hat{v} = 308/\sqrt{2} \quad \underline{\angle 45^\circ} = 220 \quad \underline{\angle -45^\circ} \text{ V}$$

### 5.1. IMPEDÂNCIA COMPLEXA.

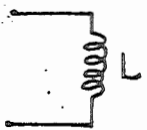
capacitor  $Z_C = -j(X_C) = -j/\omega C = 1/\omega C \quad \underline{\angle -90^\circ}$



$X_C =$  reatância capacitiva

indutor

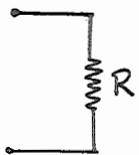
$$Z_L = jX_L = j\omega L = \omega L \quad \underline{\angle +90^\circ}$$



$X_L =$  reatância indutiva

resistor

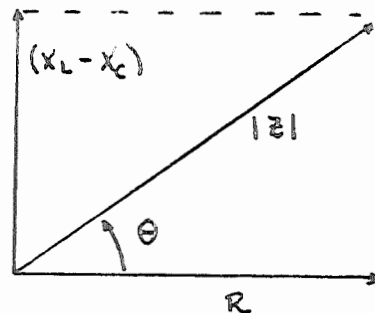
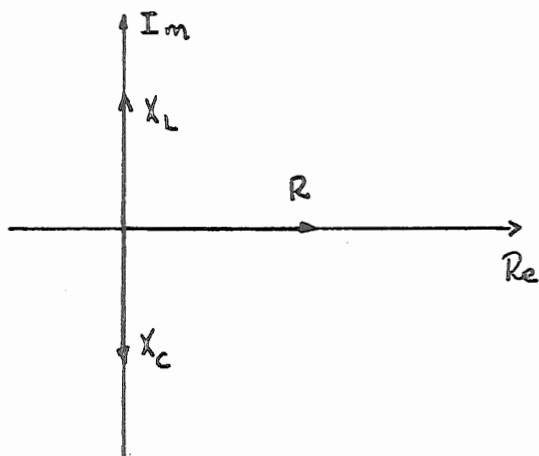
$$Z_R = R \quad \underline{\angle 0^\circ} = R$$



$R =$  resistência

onde:  $j = \sqrt{-1}$

No plano complexo teremos:



$$Z = |Z| / \theta$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\theta = \text{arc tg } (X_L - X_C) / R$$

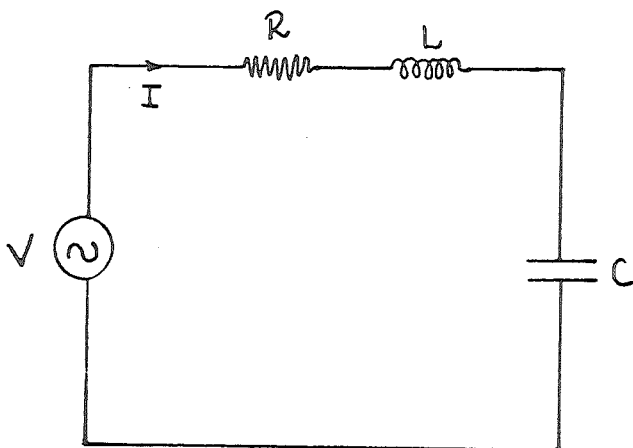
Obs.:  $\theta$  está compreendido entre  $+90^\circ$  e  $-90^\circ$ . Porquê?

Com esta notação podemos aplicar as leis de Ohm e Kirchoff e teoremas de circuitos e fazer uma análise destes como se estivessem parados no tempo.

## 6. PARTE EXPERIMENTAL

### 6.1. CIRCUITO RLC SÉRIE

Monte o circuito abaixo e preencha a tabela para três valores diferentes de frequências, sendo uma a frequência de ressonância



	V	I	V <sub>R</sub>	V <sub>L</sub>	V <sub>C</sub>
f <sub>1</sub>					
f <sub>2</sub>					
f <sub>3</sub>					

$$R = 8,2 \Omega$$

$$C = 0,015 \mu F$$

a) Determine:

$$Z = V/I = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$L = X_L / \omega$$

$$C = 1 / X_C \omega$$

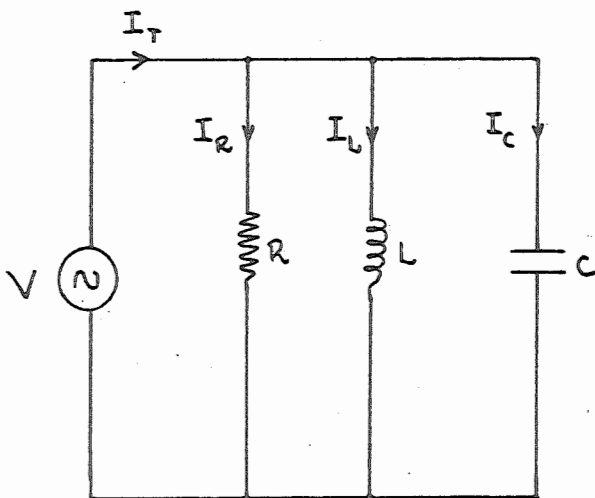


$$\theta = \arctg \left( \frac{X_L - X_C}{R} \right)$$

- b) Desenhe o diagrama de impedância.  
 c) Explique o que ocorreu em cada caso.

### 6.2. CIRCUITO RLC PARALELO

Monte o circuito da figura abaixo e preencha a tabela para três valores diferentes de frequência, sendo uma frequência de ressonância.



	V	I <sub>T</sub>	I <sub>R</sub>	I <sub>L</sub>	I <sub>C</sub>
f <sub>1</sub>					
f <sub>2</sub>					
f <sub>3</sub>					

$$R = 15 \text{ k} \Omega$$

$$C = 0,015 \mu\text{F}$$

- a) Determinar:

$$|Z| = \frac{V}{I_T} = \left[ \frac{1}{R^2} + \left( \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

$$\theta = \arctg \left( \frac{I_C - I_L}{I_R} \right)$$

- e) Traçar o diagrama de impedância  
 f) Explique o que ocorreu em cada caso

6.3 - OBSERVE QUE:

$$V \neq V_R + V_L + V_C$$

$$I_T \neq I_R + I_L + I_C$$

Explique o porque destas desigualdades:

Experiência nº 4 - Potência nos Circuitos AC - Fator de Potência

1. INTRODUÇÃO

De uma maneira geral a Potência elétrica é um dos fatores que definem um equipamento elétrico, estamos interessados por exemplo na potência de um motor elétrico, na potência irradiada de um transmissor de rádio ou TV, na potência de um amplificador ou então na potência de uma caixa acústica, para sabermos se tal equipamento é adequado para determinada aplicação.

Definição:

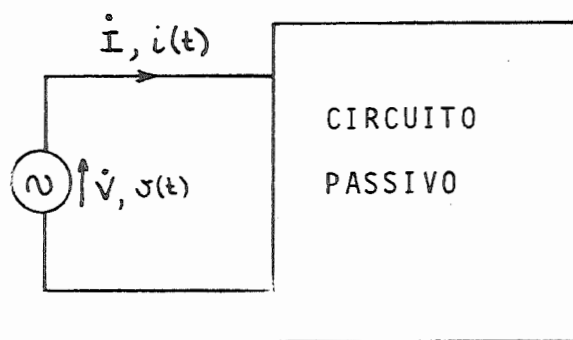
Potência é a determinação da razão em que a energia elétrica é gerada ou consumida e é determinada pelo produto tensão-corrente, desse modo a potência instantânea é dada por:

$$P = v \cdot i$$

Valores positivos de P indicarão que o circuito está absorvendo energia (recebendo energia da fonte), e valores negativos de P indicarão que os elementos reativos do circuito estão fornecendo energia (entregando energia para fonte), observe que caso tivermos uma estrutura puramente resistiva a potência instantânea é consumida na forma de calor e terá sempre valor positivo.

2. POTENCIA EM REGIME SENOIDAL - POTENCIA MEDIA

Considere uma estrutura passiva qualquer onde a tensão aplicada varia senoidalmente com o tempo e a corrente esta defazada de  $\theta$  graus em relação à tensão aplicada.



onde:  $v(t) = V_m \text{ sen } \omega t$

$$i(t) = I_m \text{ sen}(\omega t + \theta)$$

$\theta$  = positivo ou negativo conforme estrutura seja indutiva ou capacitiva.

A potência em qualquer instante ou os volt-ampères instantâneos entregues ao circuito será.

$$P(t) = v(t) \cdot i(t)$$

$$= V_m I_m \text{ sen } \omega t \cdot \text{ sen}(\omega t + \underline{\theta})$$

como  $\text{sen}(a + b) = \text{sen } a \text{ cos } b + \text{sen } b \text{ cos } a$  temos

$$p(t) = V_m I_m \text{ sen } \omega t (\text{sen } \omega t \text{ cos } \theta + \text{cos } \omega t \text{ sen } \theta)$$

$$P(t) = (V_m I_m / 2) \text{ cos } \theta - (V_m I_m / 2) (\text{cos } 2\omega t) \text{ cos } \theta + (V_m I_m / 2) (\text{sen } 2\omega t) \text{ sen } \theta$$

### 2.1. Potência REATIVA (volt - ampères reativos) (Q)

O termo  $(V_m I_m / 2) (\text{sen } 2\omega t) \text{ sen } \theta$  é a potência reativa instantânea que representa a energia que oscila entre a fonte de alimentação e os elementos reativos do circuito (capacitores e indutores).

A potência reativa é dada por  $(V_m I_m / 2) \text{ sen } \theta$  cuja unidade é o volt-ampère reativo (VAR).

### 2.2. Potência eficaz (P)

$$\text{O termo: } (V_m I_m / 2) \cdot \text{cos } \theta - (V_m I_m / 2) (\text{cos } 2\omega t) \text{ cos } \theta$$

é chamado de potência eficaz instantânea.

Neste caso a potência eficaz é dada por  $(V_m I_m / 2) \cdot \text{cos } \theta$  que é o valor da potência eficaz instantânea e cuja unidade é watt (W).

A potência eficaz  $(V_m I_m / 2) \cdot \text{cos } \theta$  e a potência reativa  $(V_m I_m / 2) \cdot \text{sen } \theta$  são quantidades medidas por um wattímetro e um volt-ampérímetro reativo (VARMETRO) respectivamente.

### 2.3. Potência Aparente (volt-ampères) (N)

É dada pela combinação da potência eficaz com a potência reativa desse modo:

$$N = V_m I_m / 2 = \sqrt{\left[ \frac{V_m I_m \cos \theta}{2} \right]^2 + \left[ \frac{V_m I_m}{2} \sin \theta \right]^2}$$

cuja unidade é o volt-ampère VA.

### 3. FATOR DE POTÊNCIA

é o termo que multiplica a potência aparente (volt-ampères) para dar a potência, logo o fator de potência é dada por  $\cos \theta$ .

$$\text{fator de potência} = \cos \theta = \frac{\text{potência eficaz}}{\text{Volt-ampères}}$$

#### 3.1. TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS, POTÊNCIA COMPLEXA.

As potências média, aparente e reativa podem ser representadas num triângulo retângulo como na figura abaixo:

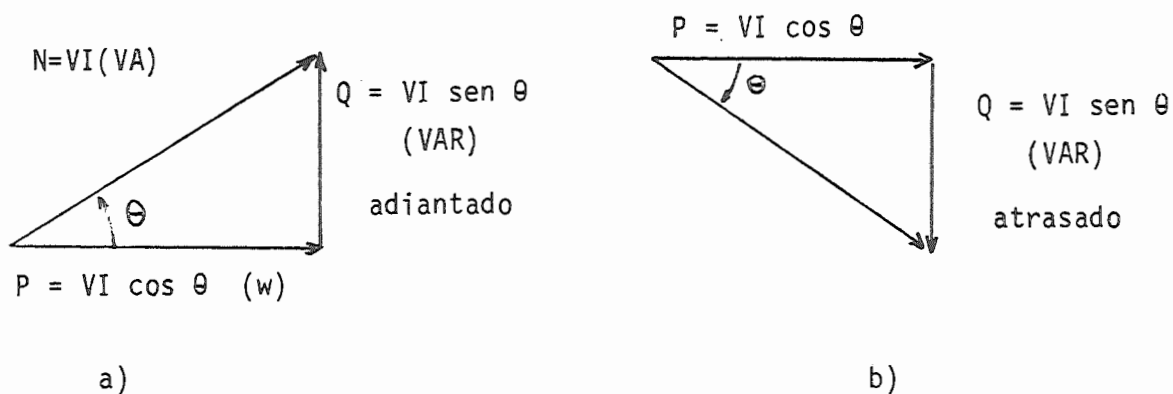


Fig.2. Triângulo de potências (a) Carga capacitiva: (b) carga indutiva

onde: V = valor eficaz da tensão aplicada

I = valor eficaz da corrente gerada

$$e \quad VI = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{V_m I_m}{2}$$

Do exposto acima podemos definir uma Potência complexa  $S$  tal que

$$S = V.I^* = P - jQ$$

onde:  $P = VI \cos \theta$  (W)

$$Q = VI \sin \theta$$
 (VAR)

$$N = VI$$

$$\cos \theta = \text{fator de potência}$$

### 3.2 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Em sistemas elétricos há interesse de uma utilização eficiente do sistema de distribuição de energia elétrica.

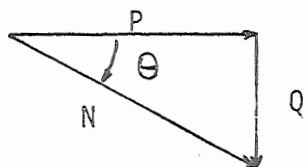
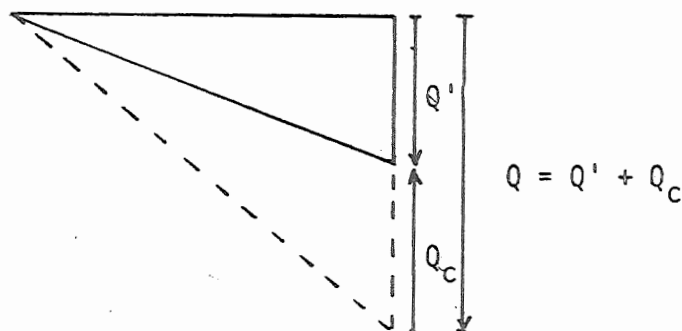


Fig. 3 - Triângulo de potências sem correção do fator de potência.

Para utilizarmos eficientemente o sistema é desejável que o fator de potência  $\cos \theta$ , se aproxime da unidade ( $\theta =$  zero graus) pois a única potência utilizada pelo sistema é a potência útil  $P$ , enquanto que  $N$  dá somente uma indicação da carga do sistema portanto para diminuirmos a carga do sistema devemos diminuir esta potência aparente isto é diminuirmos a corrente aparente do sistema pois a tensão permanece a mesma.

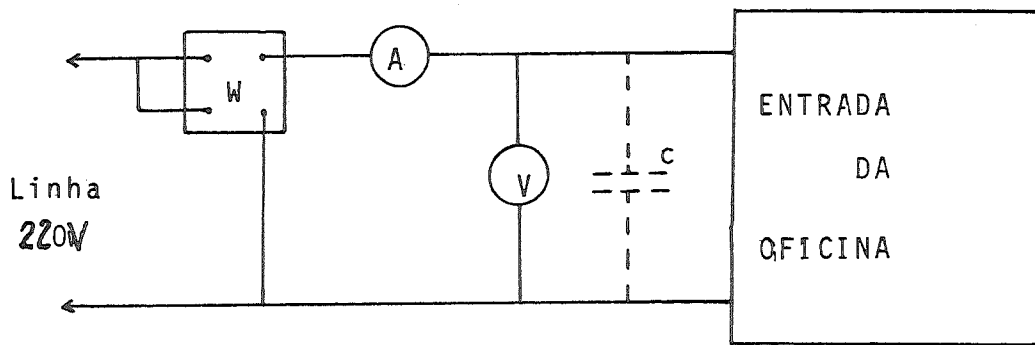
Em aplicações residenciais e industriais, normalmente, as cargas são indutivas e podemos melhorar o fator de potência colocando um banco de capacitores em paralelo com a carga.



$Q_c$  = potência reativa do banco de capacitores

Fig. 4 - Triângulo de potência, com o banco de capacitores em relação a figura 3.

Exemplo: Para a medida da potência que uma linha estava fornecendo a um motor elétrico de uma oficina foi montado o seguinte esquema:



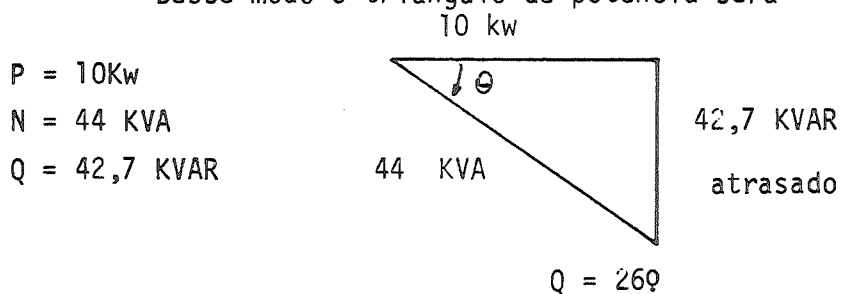
onde as leituras foram as seguintes.

no wattímetro 10Kw  
 no amperímetro 200 A  
 no volímetro 220 v

Determinar o valor do capacitor necessário para corrigirmos o fator de potência para 0,9 atrasado.

$$\cos \theta = \frac{P}{N} = \frac{10 \cdot 10^3}{220 \cdot 200} \approx 0,23 \quad \theta = 76^\circ$$

Desse modo o triângulo de potência será



Se quisermos  $\cos \theta' = 0,9$

$$\theta' = 26^\circ$$

então  $\text{co } \text{tg} \theta' = Q'/P \quad Q' = \text{tg} \theta' P = 10^4 \cdot 0,48 = 4,8 \text{ KVAR}$

Desse modo os VAR adiantado que devemos inserir no circuito será:

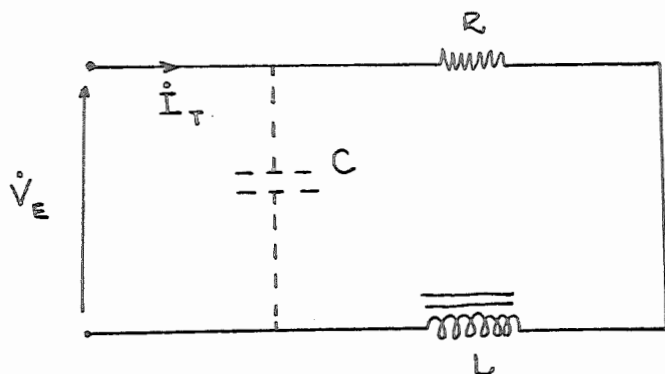
$$Q_c = 42,7 - 4,8 = 37,9 \text{ KVAR assim}$$

para a frequência de 60 Hz temos:

Portanto devemos colocar um capacitor ou então um banco de capacitores de capacitância total de 2,0mF.

#### 4. ANALISE DE CIRCUITOS CA

##### 4.1 - Fator de Potência



$$R = 1,5 \text{ K}\Omega$$

$$C = 0,03 \mu\text{F}$$

$$f = 10^3 \text{ Hz}$$

Valores a serem medidos

	$V_E$	$V_R$	$V_L$	$I_T$
Sem Capacitor				

Cálculo sem capacitor

A)  $X_L = V_L / I_T$

B)  $R = V_R / I_T$

C)  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = V_E / I_T$

D) Fator de Potência  $FP = R/Z = \cos \theta$

E) Trace o diagrama de impedância

F) Calcule a indutância do reator

com capacitor

G) Faça as medidas necessárias para a obtenção de  $X_L$ ,  $X_C$  e  $R$ .



H) Obtenha o ângulo  $\theta$  usando a equação

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{-X_L^2 + X_L X_C - R^2}{RX_C}$$

Prove esta relação correspondente ao circuito da figura acima.

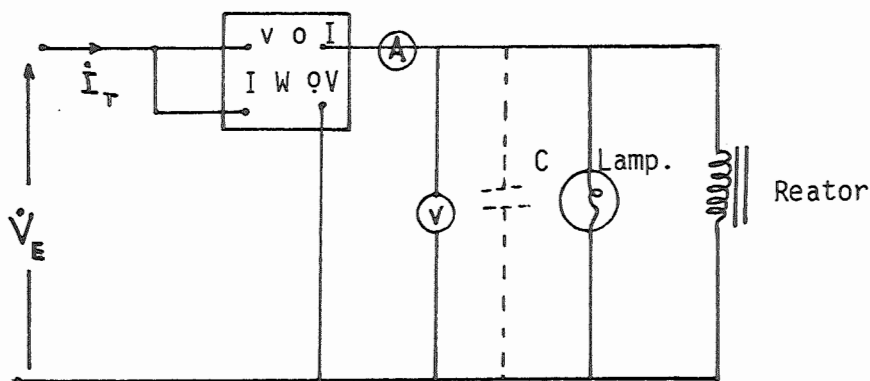
I) Obtenha o fator de Potência

$$\text{FP} = \cos \theta$$

J) Compare o fator de potência obtido em (D) com o obtido em (I). tire conclusões:

#### 4.2. Correção do Fator de Potência

Monte o circuito da figura abaixo:



a) Calcule os parâmetros da impedância equivalente do reator, medindo  $W, V, I$ .

$$W = V \cdot I \cdot \cos \theta$$

$$|\dot{Z}| = V/I$$

$$\dot{Z} = |\dot{Z}| \angle \theta$$

b) Coloque um capacitor em paralelo, proceda como no item anterior, observe que neste caso o fator de potência aumentou, porque?

c) Trace o triângulo de Potências para os itens (a) e (b).

- d) A partir dos cálculos obtidos no item (a)  
Calcule o valor do capacitor necessário para corrigir o fator de potência para a unidade.
- e) Qual a vantagem de se corrigir o fator de potência para um valor próximo a unidade (na prática  $\cos \theta = 0,85$ ).

QUESTIONÁRIO - Experiência nº.5

1. Defina transformador ideal. Dê as relações de corrente, tensão, impedância e potência, entre o primário e o secundário.
2. Defina indutância mútua e coeficiente de acoplamento.
3. O que é indutância de dispersão?
4. Enuncie a Lei de Lenz e a Lei de Faraday
5. Como é feito o teste em circuito aberto e para que é usado.

### 1. Objetivo:

Esta experiência objetiva dar ao aluno algumas ferramentas de cálculo em circuitos com transformadores, fundamentar a idéia de transformadores ideais e introduzir alguns conceitos de transformadores reais,

### 2. Desenvolvimento Teórico:

Para compreendermos os princípios de operação de um transformador real e determinarmos suas características, é conveniente primeiro estudarmos um modelo ideal e obter suas características. Após, as diferenças entre o ideal serão comparadas e as relações obtidas para o modelo serão convenientemente modificadas.

Para tanto, consideraremos o material do núcleo linear e para que não haja erros grosseiros, nesta aproximação, trabalharemos com correntes baixas.

#### 2.1 O transformador Ideal:

Consideremos duas bobinas com  $N_1$  e  $N_2$  espiras, respectivamente, e acopladas magnéticamente através de um núcleo de ferro, conforme a figura 1.

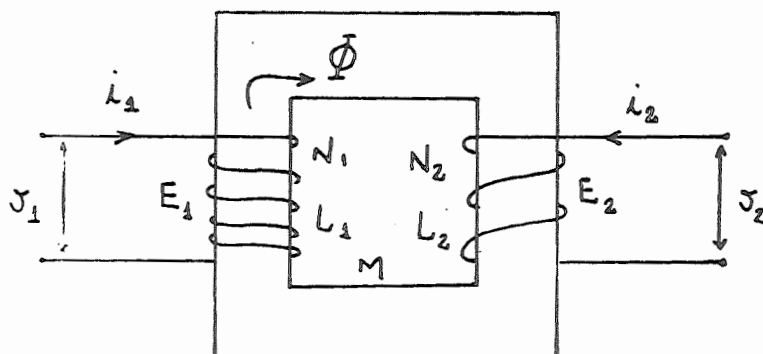


Fig. 1.

1. Curva B-H do material do núcleo é linear, sua permeabilidade é muito grande  $\mu \rightarrow \infty$ , isto é, o núcleo não tem perdas.

2. Os fluxos estabelecidos pelas correntes que percorrem as bobinas são confinados no núcleo (não há dispersão), isto é, o acoplamento entre as duas bobinas é perfeito.

3. Os enrolamentos das bobinas não tem resistência.

4. As capacitâncias são desprezíveis

2.2. Relações entre as grandezas elétricas em um transformador ideal.

As seguintes grandezas descrevem a bobina 1. (Fig.1.)\_:

$V_1$ , voltagem nos terminais

$i_1$ , corrente

$\Phi_1$ , fluxo estabelecido por  $i_1$ .

$E_1$ , voltagem induzida.

$N_1$ , número de espiras

$L_1$ , auto-indutância.

E  $V_2$ ,  $i_2$ ,  $E_2$ ,  $\Phi_2$ ,  $N_2$  e  $L_2$  são grandezas correspondentes a bobina 2,

M é a indutância mútua entre as bobinas.

Segundo a hipótese 2, os fluxos  $\Phi_1$  e  $\Phi_2$  estão confinados no núcleo. Portanto, o fluxo total é:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 \quad (1)$$

As voltagens induzidas nas bobinas são, conforme a Lei de Faraday:

$$E_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

$$E_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

Dividindo-se a equação (2) pela (3), obtemos:

$$E_1/E_2 = N_1/N_2 \quad (4)$$

Tendo em vista a hipótese 3 e aplicando a 2a. lei de Kirchoff aos enrolamentos, temos:

$$V_1 = E_1 \quad (5)$$

$$V_2 = E_2 \quad (6)$$

Fazendo a razão entre a equação (5) e a (6) e comparando este resultado com a equação (4), obtemos:

$$V_1/V_2 = E_1/E_2 = N_1/N_2 \quad (7)$$

A equação (7) indica que a relação entre as voltagens nos terminais dos enrolamentos é igual a relação entre os seus números de espiras.

De acordo com a hipótese 1, a força magnetomotriz ( $\int_c \vec{H} \cdot d\vec{l}$ )

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = 0 \quad (8)$$

logo:

$$i_1/i_2 = -N_2/N_1 \quad (9)$$

Portanto, a razão entre as correntes nos terminais do transformador ideal, é igual ao inverso da razão entre os números de espiras. O sinal negativo indica que as correntes não tem o mesmo sinal no mesmo instante, isto é, elas estão defasadas de  $\pi$ .

Combinando as equações (7) e (9), obtemos:

$$V_1 i_1 = V_2 i_2 \quad (10)$$

ou

$$P_1 = -P_2$$

A equação (10) mostra que a potência instantânea  $P_1$ , que entra na bobina 1, é igual à potência instantânea  $P_2$  que deixa a bobina 2. Assim, em um Transformador não há perda de potência.

Vamos ver o que acontece ao conectarmos uma resistência de carga,  $R_C$ , a um transformador ideal, figura 2.

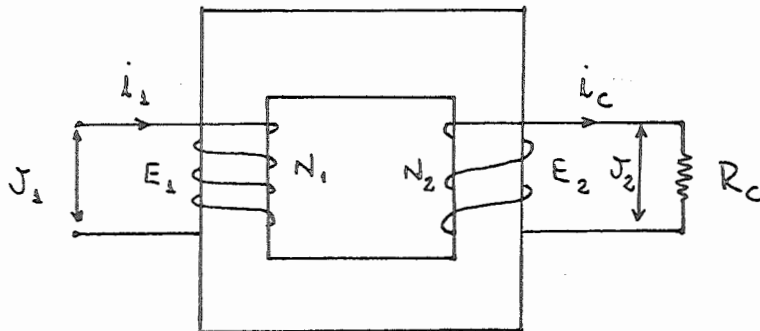


Fig.2

A corrente em  $R_C$  é  $i_C$ , considerando  $i_2$  como referência positiva (veja figura 1),  $i_C = -i_2$

$$R_C = V_2 / i_C = -V_2 / i_2 \quad (11)$$

mas,

$$V_2 = (N_2 / N_1) \cdot V_1 \quad \text{e} \quad -i_2 = (N_1 / N_2) \cdot i_1$$

então:

$$V_1 / i_1 = (N_1 / N_2)^2 R_C = R'_C \quad (12)$$

Uma resistência  $R_C$  conectada a bobina 2 parece ter o valor  $R'_C$  quando vista do lado 1. Em geral, para uma impedância  $Z_C$ , nós temos:

$$Z'_C = (N_1 / N_2)^2 \cdot Z_C \quad (13)$$

Assim, definindo a relação de transformação  $n = N_2 / N_1$ , encontramos para o transformador ideal:

$$V_2 = n V_1 \quad (14)$$

$$i_1 = n i_2$$

$$Z'_C = n^2 Z_C$$



Considerando a figura 1, vamos calcular a relação existente entre a indutância mútua  $M$  e as auto-indutâncias  $L_1$  e  $L_2$  das bobinas.

Para realizar este cálculo vamos supor, inicialmente, que  $i_1 \neq 0$  e  $i_2 = 0$ .

As voltagens induzidas são:

$$E_1 = N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} \quad (15)$$

(16)

mas:

$$E_2 = N_2 \frac{d\Phi_2}{dt}$$

$$L_i = N_i (d\Phi_i/di_i) \quad \text{e} \quad M_{ij} = N_i (d\Phi_i/di_j)$$

Logo, as equações (15) e (16) podem ser escritas como:

$$E_1 = L_1 (di_1/dt) \quad (17)$$

$$E_2 = M_{21} (di_1/dt) \quad (18)$$

Onde  $\Phi_1$  e  $\Phi_2$  são os fluxos criados nas bobinas 1 e 2, devido a corrente  $i_1$ . Mas como o acoplamento é perfeito: resulta que:

$$N_1 (d\Phi_1/dt) = L_1 (di_1/dt) \quad (19)$$

$$N_2 (d\Phi_2/dt) = M_{21} (di_1/dt) \quad (20)$$

Analogamente, fazendo  $i_1 = 0$  e  $i_2 \neq 0$ , encontramos que:

$$N_2 (d\Phi_2/dt) = L_2 (di_2/dt) \quad (21)$$

$$N_1 (d\Phi_1/dt) = M_{12} (di_2/dt) \quad (22)$$

Multiplicando membro a membro as expressões (19) com (21) e (20) com (22), obtemos:

$$N_1 N_2 (d\Phi/dt)^2 = L_1 L_2 (d_{i1}/dt) (d_{i2}/dt) \quad (23)$$

$$N_1 N_2 (d\Phi/dt)^2 = M^2 (d_{i1}/dt) (d_{i2}/dt) \quad (24)$$

onde utilizamos o fato de que  $M_{12} = M_{21} = M$

Dividindo entre si as equações (23) e (24), resulta:

$$M = \sqrt{L_1 L_2} \quad (25)$$

Esta equação indica que o valor da indutância mútua para duas bobinas acopladas perfeitamente corresponde à média geométrica entre as duas auto-indutâncias.

### 2.3. O Transformador Real:

No estudo do transformador real, adotaremos as seguintes hipóteses:

1. A curva B - H do núcleo é linear, mas a permeabilidade do material é finita.

2. Os fluxos estabelecidos pelas correntes nas bobinas não são confinados inteiramente ao núcleo, isto é, existem dispersões.

3. Os enrolamentos têm resistências.

4. As capacitâncias são desprezíveis.

Um transformador real é esquematizado na figura 3.

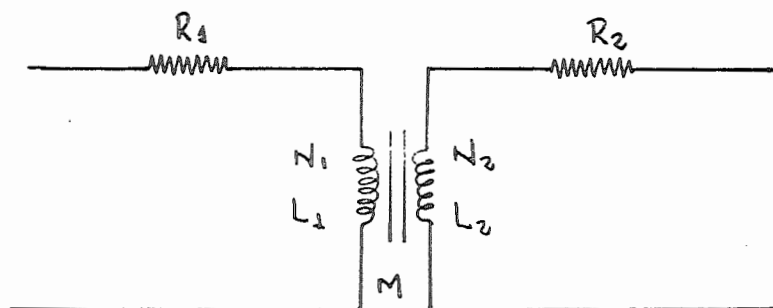


Fig. 3.

A bobina 1 é denominada de primário do transformador e a bobina 2 de secundário.



As barras verticais são usadas para lembrar que as bobinas são acopladas magnéticamente,  $L_1$ ,  $L_2$  e  $M$  são, respectivamente, as auto-indutâncias e a indutância mútua.  $N_1$  e  $N_2$  são os números de espiras.  $R_1$  e  $R_2$  são resistências que simbolizam todas as perdas do transformador: perdas ôhmicas nos enrolamentos, dissipação devido às correntes de Foucault, etc.

Tomemos como objeto de análise o circuito:

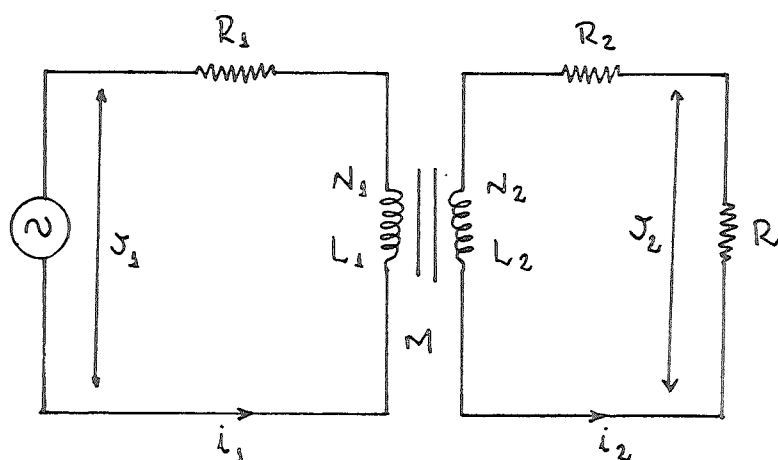


Fig.4.

Onde  $V_1$  é uma tensão alternada senoidal e  $R$  é uma resistência de carga.

O circuito acima pode, usualmente, ser dividido em duas malhas e suas equações, de acordo com a 2a. Lei de Kirchoff, são dadas por:

$$V_1 = R_1 i_1 + L_1 (di_1/dt) - M (di_2/dt)$$

$$0 = (R_2 + R)i_2 + L_2 (di_2/dt) - M (di_1/dt) \quad (26)$$

$$V_2 = R i_2$$

Utilizando a notação fasorial, as equações diferenciais acima podem ser escritas numa forma algébrica, introduzindo as impedâncias.

Tomando como fase "zero" a corrente no primário,  $i_1$ , podemos escrever:

$$\dot{V}_1 = R_1 \dot{I}_1 + j \omega L_1 \dot{I}_1 - j \omega M \dot{I}_2 \quad (27)$$

$$0 = (R_2 + R) \dot{I}_2 + j \omega L_2 \dot{I}_2 - j \omega M \dot{I}_1 \quad (28)$$

$$\dot{V}_2 = R \dot{I}_2 \quad (29)$$

Da equação (28) encontramos que:

$$\dot{I}_2 = \frac{j \omega M}{R + R_2 + j \omega L_2} \dot{I}_1 \quad (30)$$

Substituindo (30) na equação (27), obtemos:

$$\dot{V}_2 = \frac{j \omega M R}{- \omega^2 (L_1 L_2 - M^2) + j \omega L_1 (R_2 + R) + R_1 (R_2 + R + j \omega L_2)} \dot{V}_1 \quad (31)$$

onde foi usada a equação (29).

A impedância de entrada do transformador é dada por:

$$\dot{Z}_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1} = \frac{j \omega M \dot{V}_1}{(R_2 + R + j \omega L_2) \dot{I}_2} \quad (32)$$

$\dot{V}_1$  pode ser escrito em função de  $\dot{I}_2$ , substituindo a equação (29) na (31) assim encontramos:

$$\dot{Z}_1 = R_1 + \frac{j \omega L_1 (R_2 + R) - \omega^2 (L_1 L_2 - M^2)}{R_2 + R + j \omega L_2} \quad (33)$$

#### 2.4. Coeficiente de Acoplamento:

Vimos que para um transformador ideal a equação (25) é válida, mas para o transformador real ela deve ser corrigida, visto que há dispersão, assim definimos:

$$M = K \sqrt{L_1 L_2} \quad (34)$$

onde  $K$  é chamado coeficiente de acoplamento.

Pode-se provar que  $K < 1$ , quando  $K = 1$  temos o maior valor para a indução mútua ( $M = \sqrt{L_1 L_2}$ ) e que corresponde ao acoplamento perfeito.

## 2.5. Indutância de dispersão:

No transformador real como o acoplamento não é perfeito ( $K < 1$ ), uma parte do fluxo não está contido no núcleo, pode ser mostrado que esta dispersão causa o mesmo efeito que uma indutância linear. Podemos provar que:

$$L_{d1} = L_1 - M/n \quad (35)$$

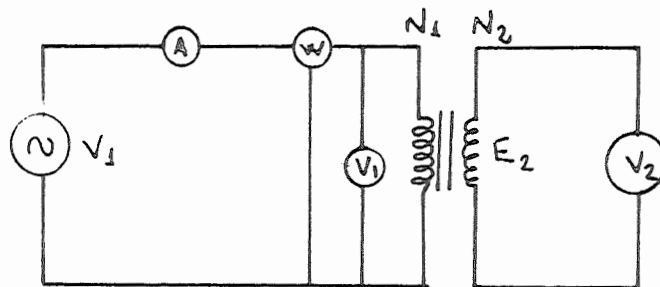
$$L_{d2} = L_2 - n M \quad (36)$$

Onde  $L_{d1}$  e  $L_{d2}$  são, respectivamente as indutâncias de dispersão do primário e do secundário,  $n$  é a relação de transformação.

## 2.6. Medidas de parâmetros de um transformador real.

Veremos agora o procedimento para determinarmos todos os parâmetros do transformador, tais como, resistências, auto-indutâncias, indutância mútua e etc. usando voltímetros, amperímetros e wattímetros. Este procedimento é conhecido como teste em circuito aberto.

Consideremos a figura 5. Uma voltagem senoidal,  $V_1$ , é aplicada ao lado 1 do transformador.



$V_1$  e  $V_2$  são voltímetros de alta impedância.

Fig.5.

O lado 2 está em aberto e o voltímetro  $V_2$  a ele conectado. Seja  $V_1$  e  $I_1$ ,  $P_1$  e  $E_2$  as grandezas indicadas pelos instrumentos.

A resistência a. c. efetiva do enrolamento 1 é dada por:

$$R_1 = P_1 / I_1^2 \quad (37)$$

A impedância  $Z_1$  considerando  $V_1$  e  $I_1$  em fase, é:

$$Z_1 = V_1 / I_1 \quad (38)$$

A auto-indutância  $L_1$  é:

$$L_1 = 1/2\pi f \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} \quad (39)$$

onde  $f$  é a frequência da voltagem usada.

A indutância mútua do transformador é:

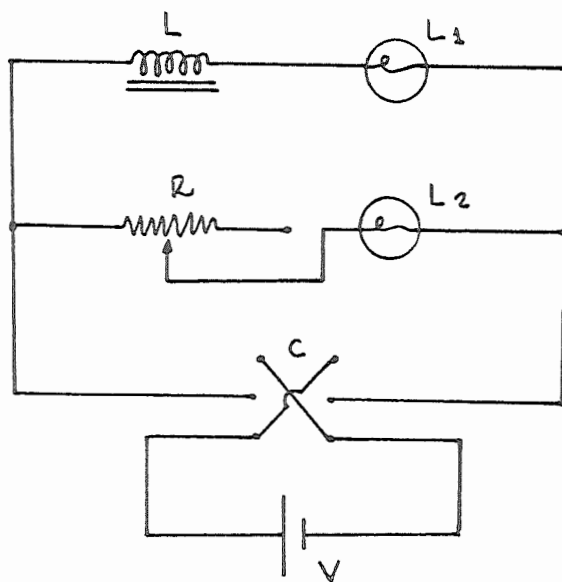
$$M = \frac{1}{2\pi f} \frac{E_2}{I_1} \quad (40)$$

Os parâmetros  $R_2$  e  $L_2$  do transformador, são obtidos de maneira análogo, colocando-se o lado 1 em aberto e aplicando-se uma voltagem se noidal no lado 2.

Com estes parâmetros em mãos, podemos calcular todos os outros, tais como: Coeficiente de acoplamento, indutância de dispersão e etc.

### 3 - Parte Experimental.

#### 3.1. Monte o circuito esquematizado abaixo:



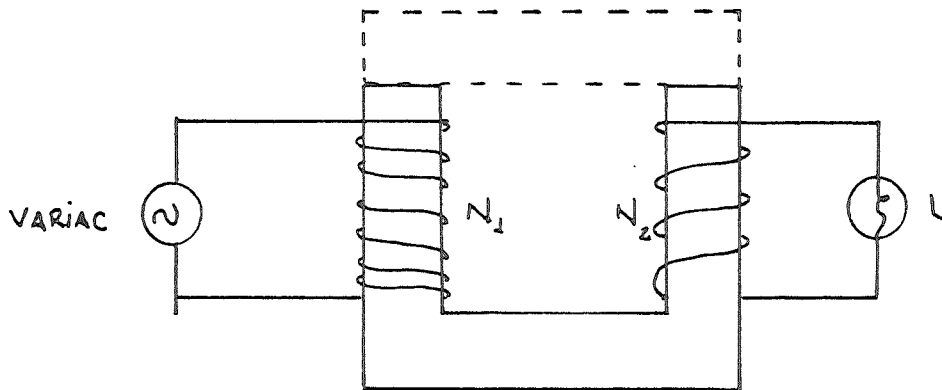
onde:  $L$  é uma bobina de 1000 espiras,  $L_1$  e  $L_2$  lâmpadas de 1,5v,  $R$  é um reostato e  $C$  uma chave inversora.

Aplique 10v ao circuito e regule  $R$  até que as intensidades de ambas as lâmpadas fiquem iguais.

a) Ligue, desligue e inverta a polaridade do circuito, observando as lâmpadas, Explique o fato observado.

b) Comute rapidamente a polaridade do circuito observado as lâmpadas. Explique o fato observado.

3.2. Monte o circuito esquematizado abaixo:



Onde:  $N_1 = 250$  espiras,  $N_2 = 1000$  espiras e  $L$  uma lâmpada de 60W, 220V.

Ao realizar as experiências abaixo, varie a tensão do Variac até 50V.

3.2.1. Com o núcleo aberto, responda:

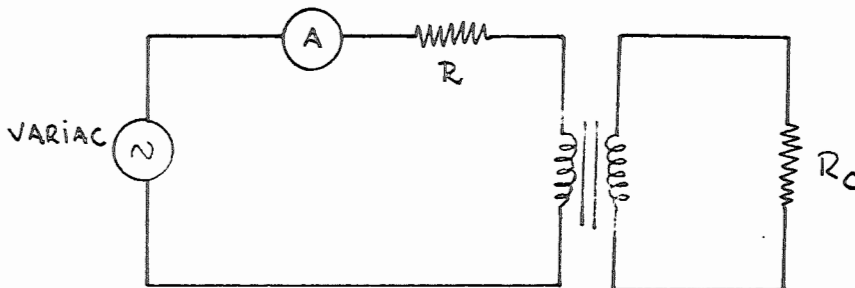
a) Porque a lâmpada acende.

b) Porque a intensidade da luz varia quando alteramos a posição da bobina do secundário.

3.2.2. Com o núcleo fechado, responda:

- Porque a lâmpada acende com mais intensidade que no caso 3.3.1.
- Porque a intensidade da luz independe da posição da bobina do secundário.

3.3. Monte o circuito esquematizado abaixo:

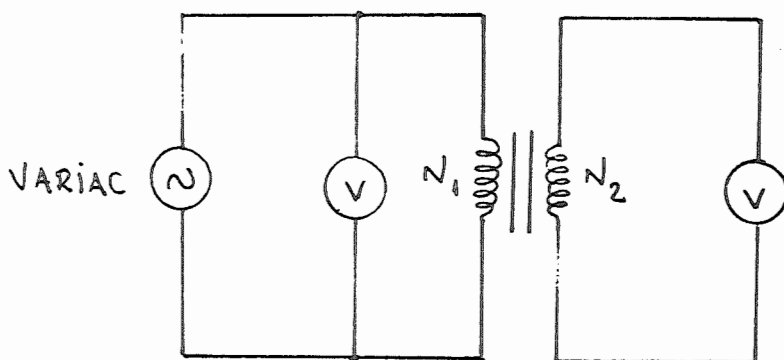


onde:  $N_1 = 250$  espiras,  $N_2 = 1000$  espiras,  $R$  é um reostato de  $320 \Omega$  que deve ser fixado em  $10 \Omega$  e  $R_c$  é reostato de  $1000 \Omega$ , o qual não deve ficar abaixo de  $100 \Omega$ .

Limite a corrente em vazio, isto é com  $R_c$  desconectada do circuito, em  $60 \text{ mA}$ .

- Varie a resistência de carga,  $R_c$ , e observe a corrente no primário.
- Explique o fato observado.

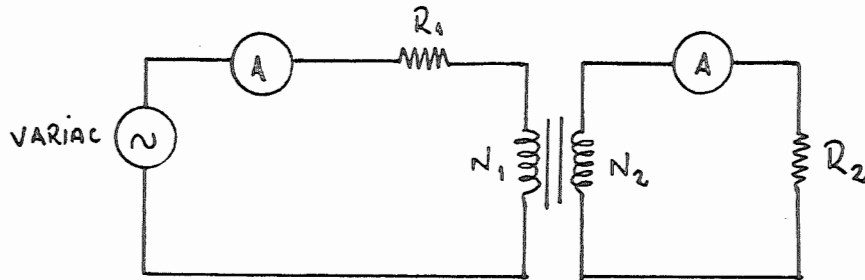
3.4. Monte o circuito esquematizado abaixo:



onde:  $N_1 = 250$  espiras e  $N_2 = 1000$  espiras.

- Através dos valores de  $N_1$  e  $N_2$ , calcule a relação de transformação.
- Varie a tensão do Variac até 50v, meça a tensão do primário e do secundário. Calcule a relação de transformação.
- Compare os resultados dos itens a e b. Explique a diferença.

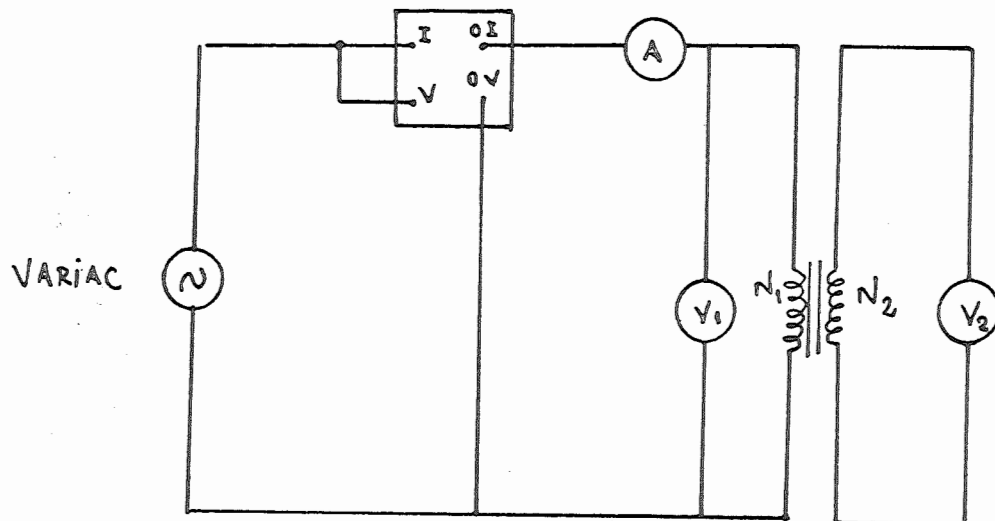
3.5. Monte o circuito esquematizado abaixo:



onde:  $N_1 = 1000$  espiras,  $N_2 = 250$  espiras,  $R_1$  e  $R_2$  são reostatos de  $320 \Omega$  e  $1000 \Omega$ , respectivamente, eles devem ser fixados em  $10 \Omega$ .

- Varie o Variac e observe a corrente no primário e no secundário.
- Explique o fato observado. Este circuito tem alguma aplicação prática.?

3.6. Monte o circuito esquematizado abaixo:



Onde:  $N_1 = 250$  espiras e  $N_2 = 1000$  espiras.

Varie a tensão no Variac, limitando a corrente em 400mA. Através das grandezas indicadas pelos instrumentos, calcule:

- a) a resistência, a impedância, a auto-indutância do primário e a indutância mútua do transformador.
- b) Coloque o primário em aberto e aplique uma tensão de 200V no secundário. Calcule a resistência, a auto-indutância do secundário e a indutância mútua do transformador.
- c) Calcule o coeficiente de acoplamento de transformador e as auto-indutâncias de dispersão.

#### QUESTIONÁRIO - Experiência nº 6.

1. Como funciona um sistema trifásico?
2. Defina tensão e corrente de fase e de linha.
3. No sistema trifásico ligado em  $\Delta$ , demonstre as relações entre as correntes de linha e as correntes de fase (Cargas Equilibradas).
4. Idem para as tensões de linha e fase no sistema trifásico ligado em Y.

#### QUESTIONÁRIO - Experiência nº 7

1. Quais são os portadores de corrente nos semicondutores? O que é um material tipo P e tipo N? dê exemplos.
2. Como você pode descobrir a polaridade de um diodo usando apenas um ohmímetro?
3. Faça a analogia entre um diodo e um interruptor.



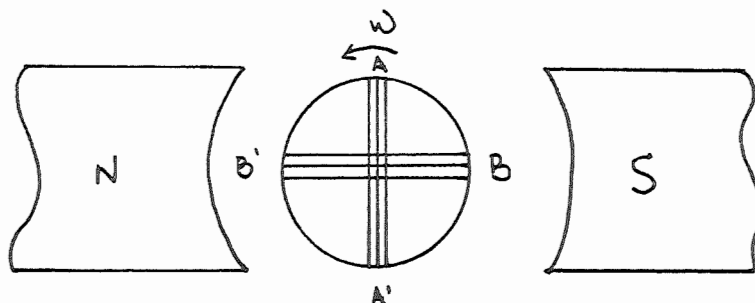
1. Introdução Teórica

1.1. Sistemas Polifásicos.

Um sistema polifásico é um conjunto de vários sistemas monofásicos que são dispersados um do outro.

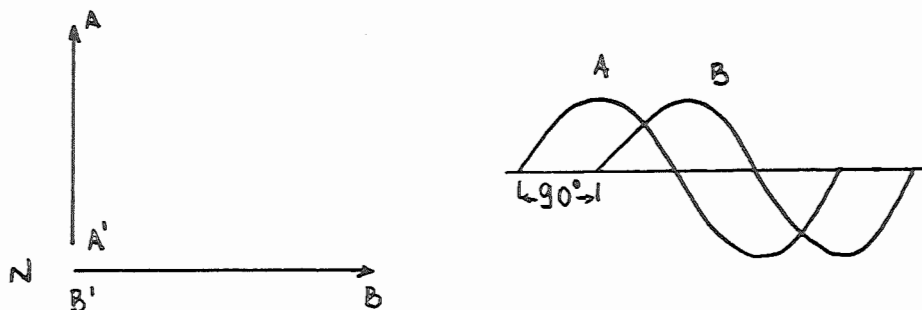
É constituído por duas ou mais tensões iguais, com diferenças de fases fixas, fornecendo energia a cargas ligadas às linhas.

1.2. Sistemas Bifásicos



A rotação do par de bobinas perpendiculares (figura acima) no campo magnético constante, acarreta tensões induzidas cuja diferença de fase constante é  $90^\circ$ .

Com o mesmo número de espiras nas bobinas, as tensões instantâneas e dos fasores têm as mesmas amplitudes. (figuras abaixo).

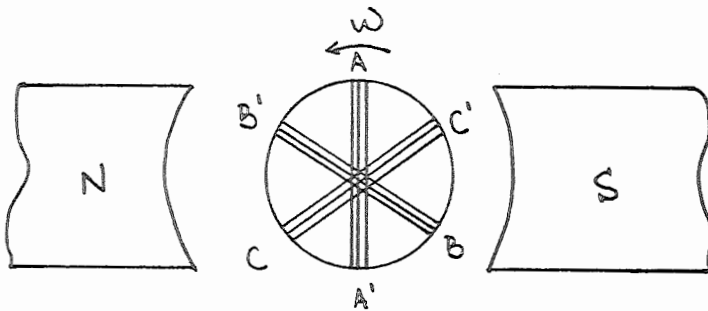


O diagrama do fasor tensão da fig. (a) tem  $\dot{V}_{BN} = V_{bob} \angle 0^\circ$  como referência; como consequência  $\dot{V}_{AN} = V_{bob} \angle 90^\circ$ . Se os terminais = A' e B' das bobinas foram ligados, constituindo a linha N, o sistema bifásico fica contido nas três linhas A, B, N. A diferença do potencial entre as linhas A e B é obtida da seguinte forma.

$$\dot{V}_{AB} = \dot{V}_{AN} + \dot{V}_{NB} = V_{bob} \angle 90^\circ + V_{bob} \angle 180^\circ$$

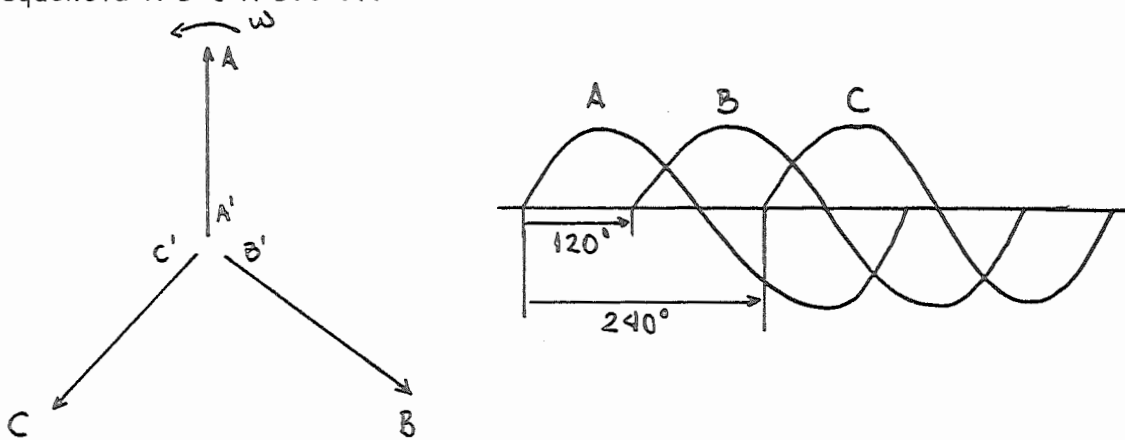
$$\dot{V}_{AB} = \sqrt{2} V_{bob} \angle 135^\circ$$

### 1.3. Sistema Trifásico

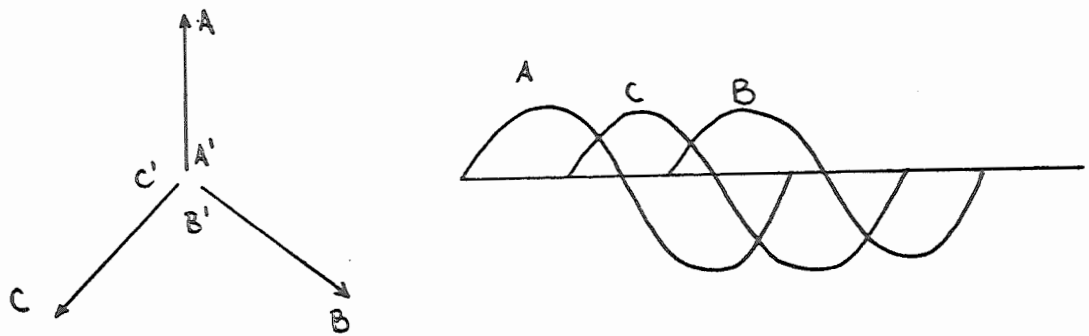


Na figura acima a diferença de fase entre as tensões induzidas é de  $120^\circ$ . Na sequência ABC, a tensão na bobina A atinge um máximo em primeiro lugar, seguida pela bobina B e, depois, por C.

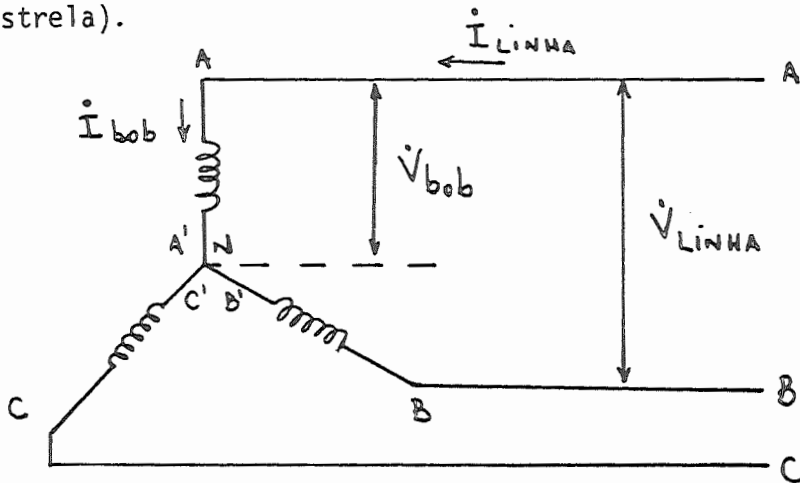
Esta sequência fica evidente pelo diagrama de fasores, sendo positiva a rotação anti-horária, onde os fasores passam por um ponto fixo na sequência A-B-C-A-B-C ...



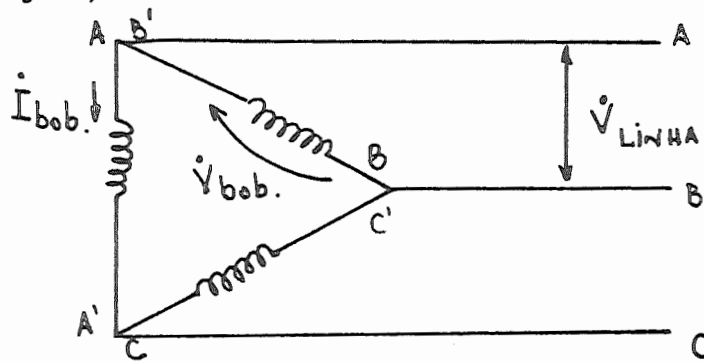
A rotação das bobinas em sentido oposto resulta na sequência CBA



A ligação dos terminais A', B' e C' resulta num alternador ligado em Y (estrela).



Ligando-se A em B', em C' e C em A', temos um alternador ligado em (delta) ou (triângulo)



Na ligação em Y, temos:

$$\dot{I}_{bob} = \dot{I}_{linha} = (\text{corrente de fase})$$

$$\dot{V}_{bob} = \frac{\dot{V}_{linha}}{\sqrt{3}} = (\text{tensão de fase})$$

Na ligação em  $\Delta$  (delta) temos:

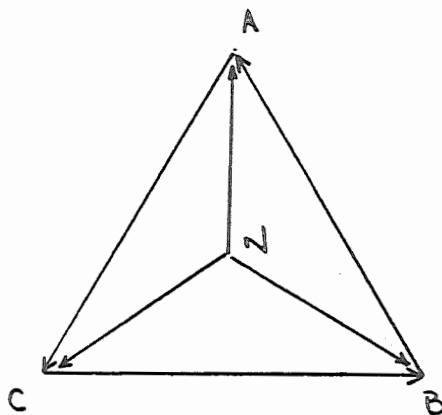
$$\dot{I}_{\text{bob}} = \dot{I}_{\text{fase}} = \frac{\dot{I}_{\text{linha}}}{\sqrt{3}}$$

$$\dot{V}_{\text{bob}} = \dot{V}_{\text{fase}} = \dot{V}_{\text{linha}}$$

A escolha de uma tensão de referência com ângulo de fase nulo, determina os ângulos de todas as demais tensões do sistema.

Por exemplo, escolhendo  $V_{BC}$  como referência, teremos.:

a) Sequência ABC



$$\dot{V}_{AB} = V_L \angle 120^\circ$$

$$\dot{V}_{BC} = V_L \angle 0^\circ$$

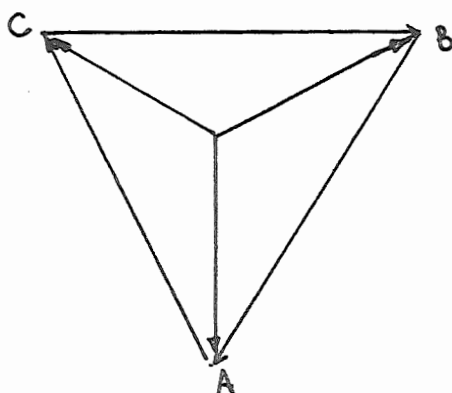
$$\dot{V}_{CA} = V_L \angle 240^\circ$$

$$\dot{V}_{AN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle 90^\circ$$

$$\dot{V}_{BN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ$$

$$\dot{V}_{CN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle -150^\circ$$

b) Sequência CBA



$$\dot{V}_{AB} = V_L \angle 240^\circ$$

$$\dot{V}_{BC} = V_L \angle 0^\circ$$

$$\dot{V}_{CA} = V_L \angle 120^\circ$$

$$\dot{V}_{AN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle -90^\circ$$

$$\dot{V}_{BN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle 30^\circ$$

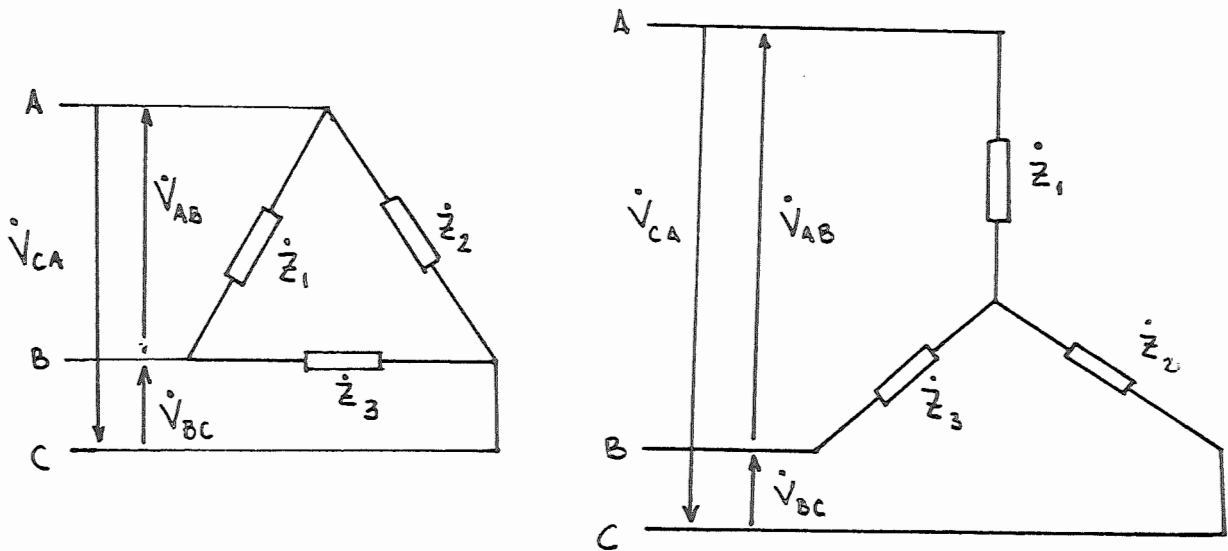
$$\dot{V}_{CN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle 150^\circ$$

### 1.3.1. Cargas Trifásicas

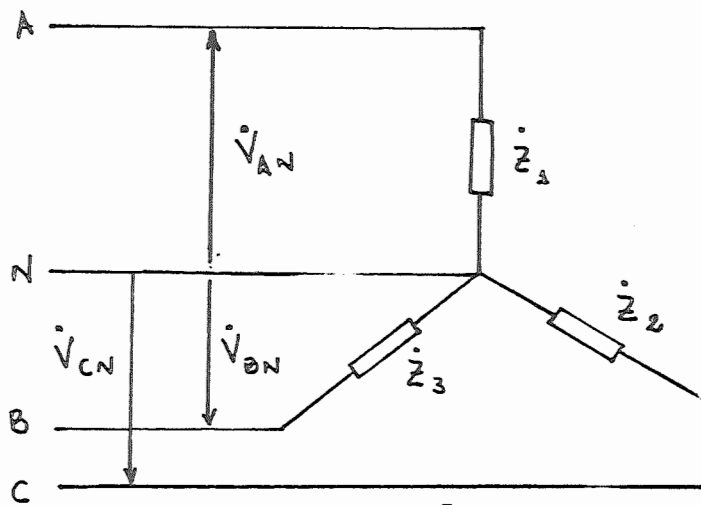
Os sistemas trifásicos podem ser a 3 condutores ou a quatro condutores.

No primeiro caso, podemos ligar ao sistema 3 impedâncias conectadas em (delta)  $\Delta$  ou Y sem neutro, formando uma carga trifásica em  $\Delta$  ou Y respectivamente.

No segundo caso, podemos ligar ao sistema 3 impedância ligadas em Y, onde o ponto comum das 3 impedâncias é conectado ao neutro do sistema. Ver figura abaixo.



Cargas trifásicas em  $\Delta$  e Y ligadas em um sistema trifásico a 3 condutores.



Carga trifásica Y conectada a um sistema trifásico a 4 condutores.

Quando as três impedâncias forem iguais ( $\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \dot{Z}_3$ ), dizemos que a carga trifásica, está equilibrada. Neste caso, todas as correntes de fase são iguais (em módulo) e todas as correntes de linha também são iguais (em módulo) e a defazagem entre elas é de  $120^\circ$ .

No caso do sistema a quatro condutores para carga equilibrada, a corrente de neutro é sempre nula.

Quando desequilibramos a carga, isto é, quando fazemos as impedâncias diferentes, os módulos das correntes se tornarão diferentes e a defazagem entre elas será diferente de  $120^\circ$ . Neste caso, num sistema a 4 condutores, a corrente de neutro assumirá um valor diferente de zero.

## 2. PRÁTICA.

### 2.1. Objetivo:

Observar as relações da corrente e tensão em um sistema trifásico em  $\Delta$  e Y.

### 2.2. Material:

Três bancos de Lâmpadas de 60W

Uma chave de faca de 3 polos

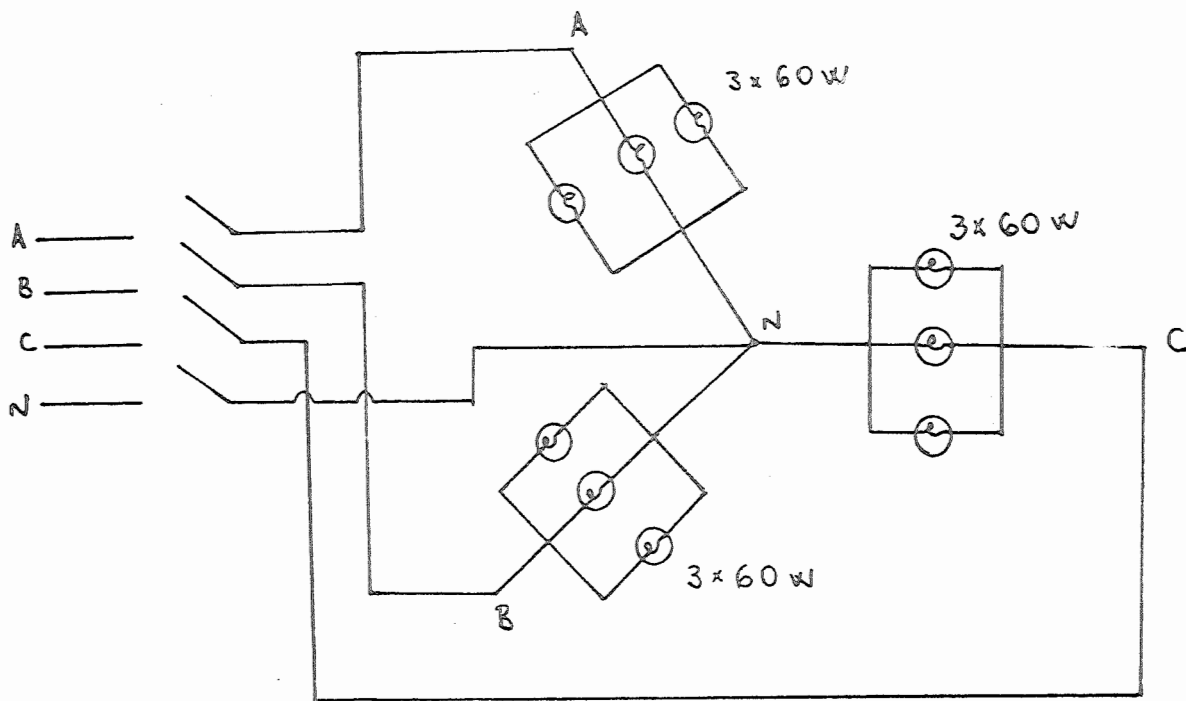
Multímetro AC

Uma chave de faca de um polo.

### 2.3. Procedimento

#### 2.3.1. Carga trifásica em estrela

a) Conecte o circuito como indicado no diagrama abaixo. com todas as Lâmpadas ligadas.



b) Leia e anote todos os valores de corrente e tensão de linha e fase com o sistema a três condutores (chave do neutro aberta)

Tensão de Linha			Tensão de fase			Corrente de linha		
AB	BC	CA	AN	BN	CN	A	B	C

Observação:

Para sua segurança observe que as chaves estejam abertas antes de inserir o multímetro no circuito e para segurança do aparelho, antes de fechar a chave, veja se a escala do mesmo é suficiente para a leitura a ser obtida.

c) Repita o item b com o sistema a quatro condutores (chave do neutro fechada).

Tensão de linha			Tensão de fase			Corrente linha e Neutro			
AB	BC	CA	AN	BN	CN	A	B	C	N

d) Desequibre as cargas: retire uma lâmpada da fase A e duas da fase B.

Repita os itens b e c

e) Trace o diagrama fasorial das tensões e correntes de linha obtidas nos itens anteriores.

f) Compare os valores obtidos no experimento com os valores teóricos das relações entre tensões de linha e tensões de fase, correntes de linha e correntes de fase para cargas equilibradas.

g) Conclusões

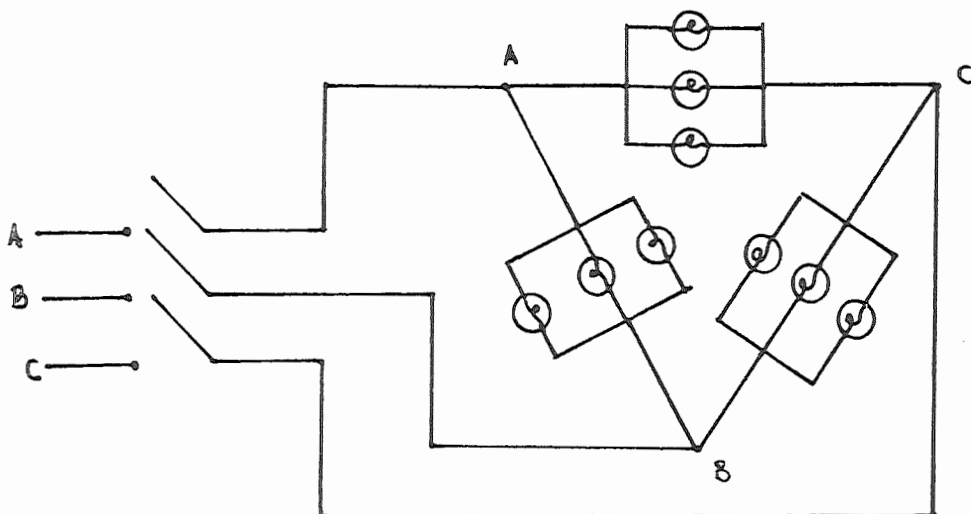
h) Qual a função do neutro em:

1) Um sistema trifásico equilibrado em estrela.

2) Um sistema trifásico não equilibrado em estrela.

### 2.3.2. Carga Trifásica em Delta.

a) Conecte o circuito como indicado no diagrama abaixo.





b) Leia e anote todos os valores de tensões e correntes em todas as fases e todas as linhas

Tensão de Linha			Corrente de linha			Corrente de fase		
AB	BC	CA	A	B	C	AB	BC	CA

c) Desequibre a carga como feito na ligação Y e repita o item anterior.

d) Trace o diagrama fasorial das tensões e correntes de linha.

e) Compare os valores obtidos da relação entre tensões e correntes de linha e fase com os valores teóricos para cargas equilibradas.

f) Conclusões.

## 1. Objetivo

Esta experiência objetiva dar ao aluno os primeiros fundamentos sobre circuitos eletrônicos através de seu mais simples componente que é o diodo semicondutor de junção. É feito um estudo de sua aplicação mais elementar que é o circuito monofásico retificador de meia onda com a introdução de alguns filtros passivos simples.

## 2. Desenvolvimento Teórico

### Características do Diodo Semicondutor

Os semicondutores são sólidos cuja resistividade se situa entre a dos condutores elétricos comuns e a dos isolantes.

O material semicondutor mais utilizado atualmente é o Silício, mas podemos encontrar, também o Germânio, Selênio, Arseneto de Gálio e outros.

Esses materiais devem ser altamente purificados antes de serem utilizados. Em seu estado puro, possuem baixa condutividade. Adicionando, aos mesmos, quantidades e tipos controlados de impurezas, alteramos a estrutura dos átomos, no que concerne aos elétrons das camadas exteriores proporcionando-lhes portadores de corrente e portanto aumentando sua condutividade.

### 2.1. Portadores de corrente em um semicondutor.

A corrente nos semicondutores é constituída de um fluxo de cargas negativas (elétrons livres) e um fluxo de cargas positivas (lacunas ou buracos livres).

Não é objetivo desse curso entrar no estudo da física do estado sólido, mas sim considerar a corrente resultante do movimento dos elétrons livres e das lacunas e o modo de controlar esta corrente.

O arsênio e o antimônio são impurezas que aumentam a condutividade do silício, pelo aumento do número de portadores de carga negativa N-elétrons livres. Por essa razão, o silício acrescido dessas impurezas é chamado do tipo N.

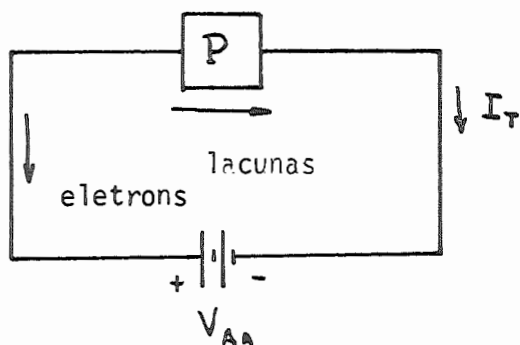
No silício, tipo N, portanto, há muito mais elétrons livres do que lacunas livres (cargas positivas), por isso os primeiros são denominados de "portadores majoritários" e os segundos de "portadores minoritários".

As impurezas, como Índio e gálio, aumentam a condutividade do silício, pelo incremento do número de portadores de carga positiva P-lacunas, recebendo portanto a denominação de silício tipo P. Neste caso as lacunas, são "portadoras majoritários" e os elétrons livres "portadores minoritários".

Quando o elétron livre e uma lacuna se encontram, o elétron preenche a lacuna, neutralizando sua carga. Dizemos então que houve uma recombinação. Neste processo, os dois são perdidos como portadores de corrente.

Por agitação térmica, ocorre o oposto e dizemos então que houve uma geração de portadores.

O movimento de portadores de corrente pode ser controlado, aplicando-se uma tensão de uma bateria externa  $V_{AA}$  em paralelo com o silício (ver figura abaixo).



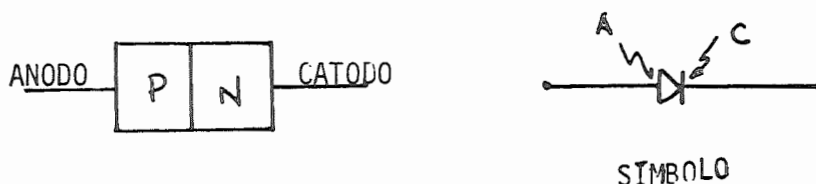
As lacunas do silício tipo P são repelidas pelo terminal positivo da bateria  $V_{AA}$  e movem-se até o terminal negativo. Os elétrons livres entram no silício, desde o terminal negativo da bateria, e movem-se até as lacunas. Assim se recombinam, porém, são gerados mais pares elétrons-lacuna no silício.

E prosseguem gerações e recombinações, com o que se mantém constantemente uma corrente no circuito exterior.

A corrente total do circuito é a soma da corrente dos elétrons com a corrente das lacunas e tem o sentido da corrente das lacunas (cargas positivas).

## 2.2. Funcionamento de um diodo de junção semiconductor.

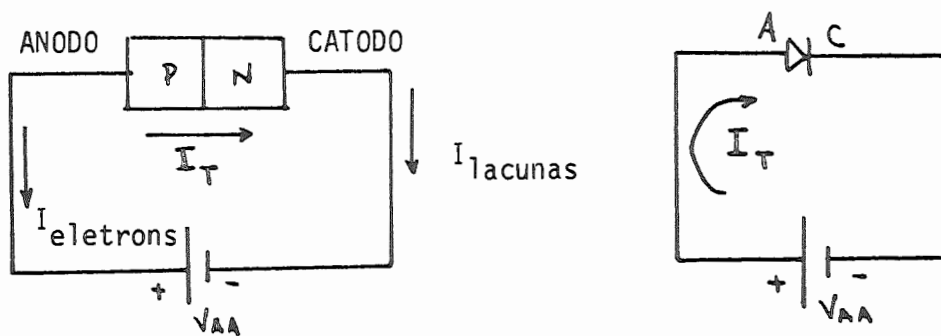
Quando se une um silício tipo N a um tipo p, como na figura - abaixo, cria-se um diodo de junção ou contacto (Figura abaixo).



Este dispositivo tem a propriedade de deixar passar facilmente a corrente em um sentido, mas não no sentido inverso.

### Funcionamento do dispositivo PN:

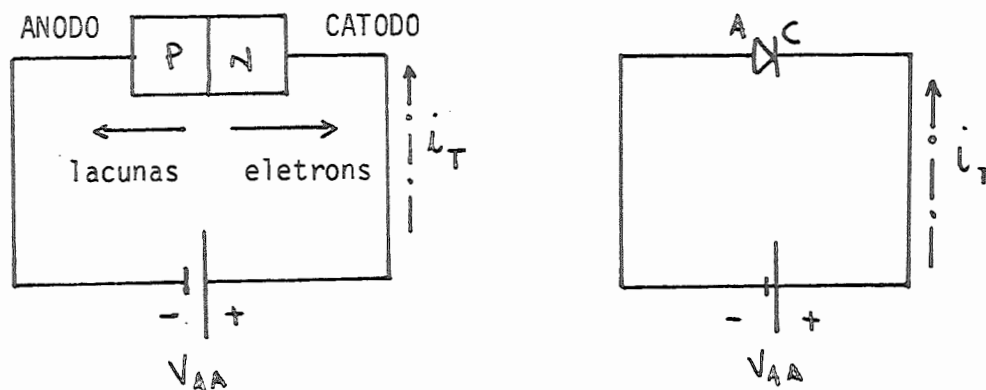
a) Polarização direta: dizemos que o diodo está polarizado diretamente quando polarizamos o material tipo N com o terminal negativo da bateria e o material tipo P com o terminal positivo.



Nesta configuração, os elétrons entram no material tipo N, vindas do terminal negativo da bateria. Por sua vez, este terminal repele os elétrons livres do material tipo N, que se movem até a junção P - N. As lacunas do material tipo P são repelidas pelo terminal positivo da bateria e se movem também até a junção P - N, onde tem lugar a combinação de elétrons-livres e lacunas. Os portadores de corrente, perdidos nesta combinação são substituídos por novos portadores de corrente, que resultam da geração dos pares elétrons - lacunas. Os elétrons criados no material P são atraídos pelo terminal positivo e circulam pelo circuito exterior. O processo é contínuo e a corrente se mantém e, se  $V_{AA}$  aumenta, aumentará a corrente do diodo.

Dizemos nesta condição de polarização, que o diodo tem uma baixa resistância direta.

b) Polarização Reversa: Terminal positivo da bateria conectado ao catodo do diodo e terminal negativo conectado ao anodo.



O terminal positivo da bateria atrai os elétrons livres do material tipo N e o terminal negativo atrai as lacunas do material tipo P, afastando esses portadores da junção P-N, fazendo com que não haja combinações de elétrons-lacunas, Assim, a maioria dos portadores de corrente do diodo não mantêm a corrente.

Nesta ligação a corrente no diodo é muito pequena e produzida por portadores minoritários, como as lacunas do tipo N e os elétrons livres do tipo P. A corrente produzida por esses portadores é de alguns microampêres.

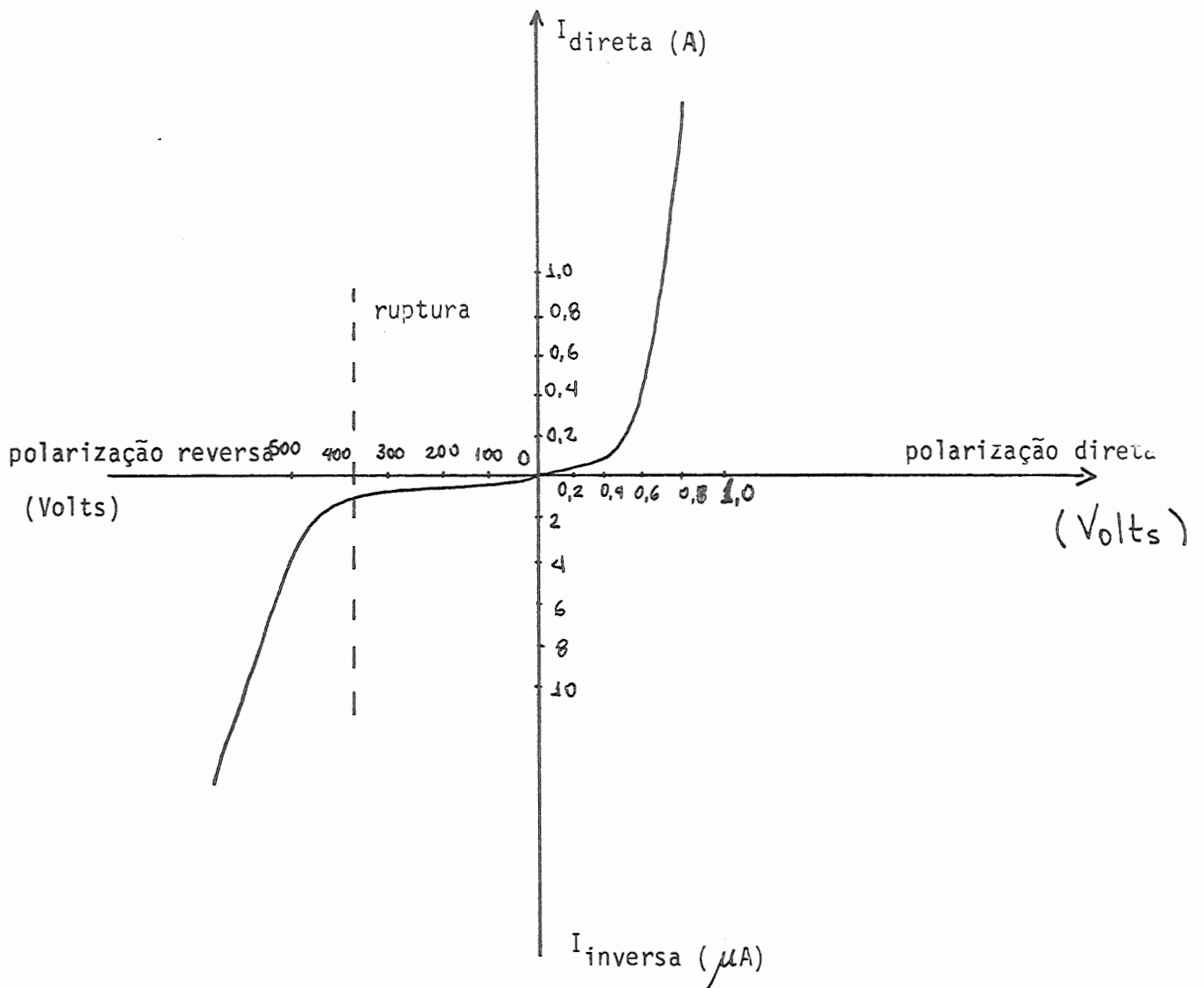
A ligação de polarização reversa, origina uma alta resistência reversa no diodo.

As tensões de polarização direta e reversa, que se podem aplicar ao diodo, são limitadas.

### 2.3. Características tensão - corrente (Volt - Ampêres)

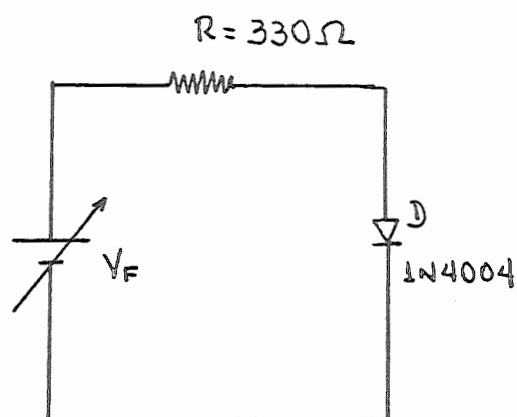
Num diodo de estado sólido polarizado no sentido direto, a corrente aumenta com a tensão direta de anodo e catodo. A intensidade admissível com segurança em um diodo é limitada e, passando do limite, o diodo se superaquecerá e ficará danificado. Quando o diodo está polarizado reversamente, a pequena corrente, devida aos portadores minoritários, mantém-se relativamente constante, independente da tensão de polarização, até certo valor limite, o qual, quando atingido, ocorre um fenômeno chamado / ruptura, que provoca uma sobre corrente intensa, que pode destruir totalmente o diodo.

A característica tensão-corrente de um diodo é plotada em um gráfico como na figura abaixo:



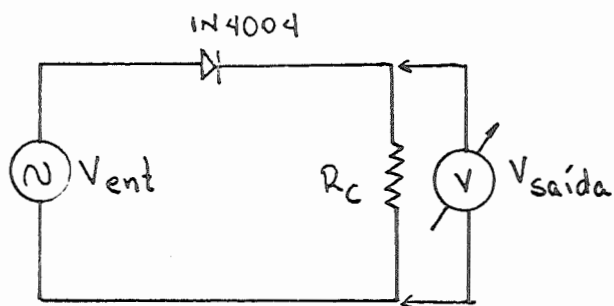
### 3 - Parte Experimental

- 3.1. Medir a resistência direta e a resistência inversa dos diodos e anotar seus valores.  
Calcular a relação de resistência direta e inversa para cada diodo.
- 3.2. Montar o circuito da figura abaixo e variar a fonte de 0 a 15v / anotando os valores medidos na tabela abaixo.



$V_F$	$V_R$	$V_D$	$I_D$	$R_D = \frac{V_D}{I}$

- 3.3. Inverta a polaridade do diodo e faça as mesmas leituras do item 2.
- 3.4. Faça o gráfico da curva característica do diodo em questão e da reta de carga do circuito para  $V_F = 10\text{ V.}$  e  $V_F = 5\text{ V.}$
- 3.5. Determine graficamente o valor de  $I$  para os dois valores de  $V_F$  do item 4 e compare com os valores medidos no item 2.
- 3.6. Monte o circuito da figura abaixo e veja no osciloscópio as formas de onda de  $V_{ent.}$  e  $V_{saída.}$   
Qual é a forma de onda de tensão do diodo? Qual a forma de onda da corrente?



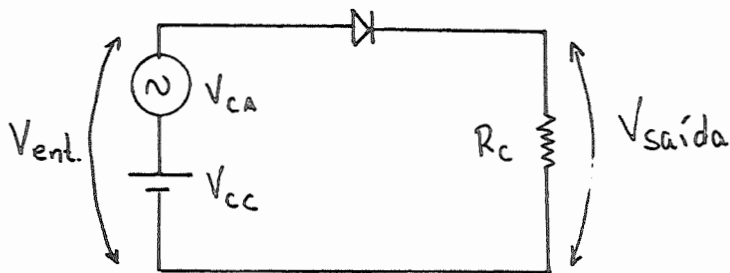
$$R_C = 1 \text{ K}\Omega$$

$$V_{\text{ent.}} = 8 \text{ Vrms}$$

$$f = 1 \text{ KHz}$$

3.7. No ítem 6, medir com o voltímetro, os valores médios e eficazes de  $V_{\text{ent.}}$  e  $V_{\text{saída}}$ , e compará-los com os valores teóricos. Faça o mesmo para a corrente.

3.8. Repetir os ítems 6 e 7 para o circuito abaixo:

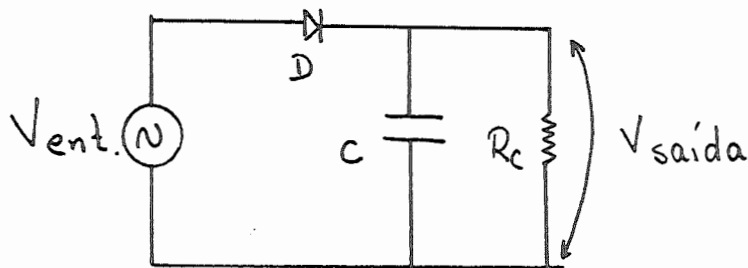


$$V_{CA} = 5,0 \text{ Vrms}$$

$$V_{CC} = 2,0 \text{ V}$$

3.9. Repetir o ítem 8 para  $V_{CC} = 10\text{V}$  e  $V_{CA} = 2,0 \text{ V}_{\text{ef}}$

3.10. Monte o circuito da figura abaixo:



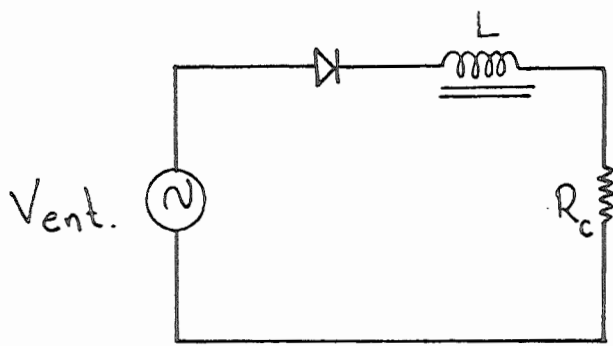
$$C = 0,03 \mu\text{F}$$

$$R_C = 1 \text{ K}\Omega$$

Repetir os ítems 6 e 7 para esse novo circuito  
Explique a atuação do capacitor.

3.11. Idem para o circuito abaixo:

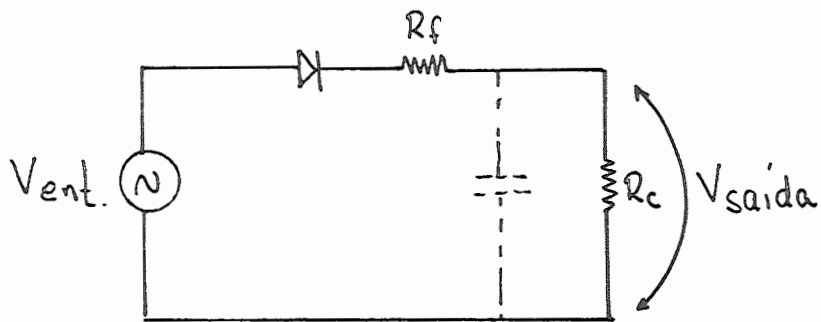




$$L = 450 \text{ mH}$$

$$R_c = 1 \text{ K } \Omega$$

3.12. Idem para o circuito abaixo:



$$R_f = 330$$

$$R_c = 1 \text{ K } \Omega$$

$$C = 0,03 \mu\text{F}$$

#### 4. QUESTIONÁRIO

- 1 - Baseando no ítem 1 da parte prática, responda:
  - A) Quando o diodo estará em curto-circuito?
  - B) Quando o diodo estará em circuito aberto?
- 2 - O que é reta de carga de um circuito?
- 3 - O que é um diodo ideal? Desenhe o gráfico de um diodo ideal?
- 4 - Defina o que é coeficiente de ondulação de saída de um circuito?
- 5 - O que é um retificador de meia-onda?
- 6 - Sabendo-se que o coeficiente de ondulação de um circuito pode ser expresso por

$$r = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{DC}}\right)^2 - 1}$$

Compare os valores de  $r$  para os circuitos dos ítems 6,10,11,12.

- 7 - Com base na questão anterior, explique a função de C, L e  $R_F$  nos circuitos dos ítems 10, 11 e 12.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. ZBAR, Paul B.  
"Práticas de Eletrônica " McGraw Hill do Brasil Ltda, 1974.
2. CUTLER, Philipp: "Teoria dos Dispositivos de Estado Sólido",  
MacGraw-Hill do Brasil, Ltda. 1977.
3. NOVO, Darcy Domingues: "Eletrônica Aplicada 1": Editora Universidade  
de São Paulo, 1973.
4. MILLMAN -Halkias: "Integrated Electronics", McGraw - Hill Kogakusha, Ltda.  
1972.