

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW

Tópicos de Ensino de Física – F 609

**Adição de Fases num Sistema Trifásico: Ligação
Estrela-Triângulo**

Relatório Final

2º Semestre de 2008



Aluno: Adriano Luiz Pedrini
Orientador: Varlei Rodrigues
Coordenador: José J. Lunazzi

adriano.pedrini@hotmail.com
varlei@ifi.unicamp.br

RA: 058554
Departamento de Física Aplicada

Campinas, 07 de Novembro de 2008

Descrição

O projeto visa mostrar experimentalmente o princípio de adição de fases em sistemas elétricos alternados. Para isto será montado um sistema de geração de energia elétrica trifásico com ligação entre as fases do tipo estrela e triângulo, usualmente empregados na indústria e geração de energia. A fase e a amplitude dos sinais separados e combinados serão monitorados com um osciloscópio e comparados com o esperado teoricamente.

Dentre os materiais utilizados para a construção desse sistema, consta um motor de corrente contínua. Este motor será importante para rotacionar o eixo onde estarão as bobinas, mantendo a rotação sempre constante. O fato de ser um motor de corrente contínua, servirá simplesmente para facilitar a ligação, sendo que o utilizado poderá ser ligado em uma pilha, ou em uma fonte como as de celular.

Importância Didática do Trabalho:

O trabalho tem como público alvo alunos do ensino médio, centrando-se em conceitos e modelos do eletromagnetismo. Possibilita compreender a teoria, a partir da observação dos fenômenos físicos no experimento, sendo levado a tirar suas próprias conclusões sobre as transformações que o homem faz na natureza, assim como em intervir, compreender e participar da realidade com o auxílio dos conceitos básicos estudados pela Física. Dessa forma, acredita-se que o aluno possa construir seu conhecimento.

Neste experimento, será trabalhado com o aluno a compreensão do funcionamento de um gerador para explicar a produção de energia elétrica e adição de fases num sistema trifásico e com isso resolver situações-problemas que envolvam os conceitos físicos observados.

Originalidade:

O trabalho é inédito e simples de ser feito utilizando sucatas, tornando-o de baixo custo. Além disso, há outras versões mais simples disponíveis na internet, porém não enfatizando as ligações trifásicas. O professor pode praticar com o aluno envolvendo materiais como pilhas, alfinetes e fio, sem a necessidade de equipamentos como osciloscópio. Este trabalho apresenta um diferencial, que é apresentar ao aluno diferentes ligações num sistema trifásico (estrela-triângulo).

Assim, será mostrada a diferença entre elas e sua utilização comercial em transformadores elétricos, algo que está presente no cotidiano dos alunos, de fácil observação.

Lista de Materiais:

Os materiais necessários para a construção do experimento são:

- Imãs
- Barra de ferro para fixação dos imãs
- Fio de cobre
- Cano de PVC 1,5"
- Suporte metálico para construção do estator
- Madeira
- Motor de corrente contínua
- Contatos de carvão
- Osciloscópio

- Eixo de Ferro

Meu orientador, o Prof. Varlei Rodrigues concorda com os termos aqui estabelecidos para o projeto e declara que poderá dispor de todos os elementos necessários a menos de exceções indicadas embaixo.

Exceções: “Não há”

Sigilo: NÃO SOLICITA

Palavras-chave

ESTATOR: é a parte de um motor ou gerador elétrico que se mantém fixo a carcaça e tem por função conduzir energia elétrica às vezes para rotacionar e outras transformar a energia cinética do induzido. Geralmente, as bobinas são colocadas no estator e os ímãs no rotor. Para este experimento, as bobinas ficarão no rotor, enquanto os ímãs no estator. As duas montagens são equivalentes em termos de geração de energia, porém, neste caso será mais fácil a construção com as bobinas no rotor.

ROTOR: é tudo que gira em torno de seu próprio eixo produzindo movimentos de rotação. Qualquer máquina rotativa, como turbinas, compressores, redutores, entre outros, possuem eixos rotativos apoiados em mancais de deslizamento, rolamento ou magnéticos. Esse conjunto é denominado de Rotor.

TRIFÁSICO: é a forma mais comum de geração, distribuição e geração de energia elétrica em corrente alternada. Incorpora o uso de três ondas senoidais defasadas 120° umas das outras, permitindo a flexibilidade em dois níveis de tensão.

Introdução Teórica

Geradores Mecânicos de Energia Elétrica

Todo dispositivo cuja finalidade é produzir energia elétrica à custa de energia mecânica constitui uma máquina geradora de energia elétrica. O funcionamento dessas máquinas se baseia ou em fenômenos eletrostáticos (como no caso do gerador Van de Graaff), ou na indução eletromagnética (como no caso do disco de Faraday) Nas aplicações industriais a energia elétrica provém quase exclusivamente de geradores mecânicos cujo princípio é o fenômeno da indução eletromagnética (e dos quais o disco de Faraday é um simples precursor); os geradores mecânicos de corrente alternada são também denominados alternadores; os geradores mecânicos de corrente contínua são também denominados dínamos.

Num motor, distinguem-se essencialmente duas partes: o estator, conjunto de órgãos ligados rigidamente à carcaça e o rotor, sistema rígido que gira em torno de um eixo apoiado em mancais fixos na carcaça. Sob ponto de vista funcional distinguem-se o indutor, que produz o campo magnético, e o induzido que engendra a corrente induzida.

No dínamo o rotor é o induzido e o estator é o indutor; nos alternadores dá-se geralmente o contrário. A corrente induzida produz campo magnético que, em acordo com a Lei de Lenz, exerce forças contrárias à rotação do rotor; por isso em dínamos e alternadores, o rotor precisa ser acionado mecanicamente. O mesmo concluímos do Princípio de Conservação da Energia: a energia elétrica extraída da máquina, acrescida de eventuais perdas, é compensada por suprimento de energia mecânica.

Princípio de Funcionamento dos Alternadores

Consideremos uma espira plana de forma qualquer, abrangendo uma área A ; seja λ uma reta no plano desta espira. Introduzamos a espira em um campo de indução \mathbf{B} uniforme, dispendo a reta λ perpendicularmente ao campo \mathbf{B} . Façamos a espira girar em torno da reta λ como eixo, com velocidade angular ω constante. Determinemos a força eletromotriz induzida na espira girante.

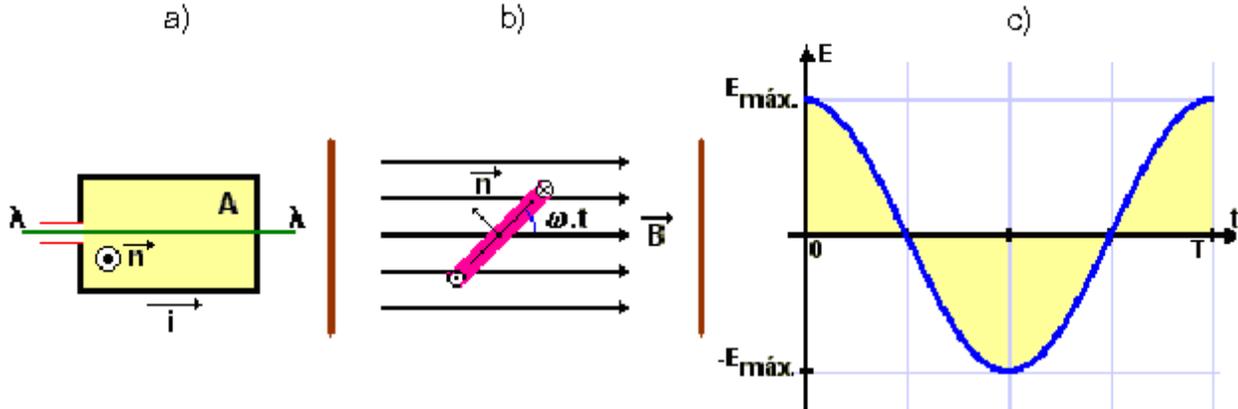


Figura 01: Esquema ilustrativo do processo de funcionamento dos alternadores. Em a) temos a bobina fora do fluxo de campo magnético; em b) a espira está imersa no campo magnético girando em torno da reta; em c) gráfico da força eletromotriz em relação ao tempo

Adotemos como origem dos tempos um dos instantes em que a normal \mathbf{n} à espira forma com o campo de indução \mathbf{B} ângulo igual a um reto, passando de agudo para obtuso.

Com a notação da ilustração acima, o fluxo de indução na espira em qualquer instante é dado por:

$$\phi = B.A.\cos(\omega t + \pi/2) = - B.A.\sin \omega t$$

Sendo $E = - d\phi/dt$, vem:

$$E = \omega.B.A.\cos \omega t$$

Se a espira for substituída por uma bobina de N espiras, a força eletromotriz induzida é:

$$E = N. \omega.B.A.\cos \omega t$$

Como vemos, esta força eletromotriz induzida obedece a uma lei harmônica cuja amplitude é:

$$E_{m\acute{a}x.} = N. \omega.B.A$$

Em função do tempo, a força eletromotriz induzida tem a representação cartesiana dada na figura 01-c). A mudança de sinal da força eletromotriz significa fisicamente que ela muda de polaridade, impulsionando uma corrente elétrica ora em um sentido, ora em sentido oposto. Sendo assim, força eletromotriz que muda de polaridade periodicamente é designada como força eletromotriz alternante, em particular, uma força eletromotriz alternante harmônica.

A força eletromotriz que impele a corrente em nossas instalações elétricas domiciliares é do tipo alternante harmônica, em São Paulo, por exemplo, a força eletromotriz eficaz é igual a 110 volts. Os

aparelhos eletrodomésticos construídos para funcionarem sob tensão alternante de 110 V, 60 Hz, devem ser submetidos a uma tensão que obedece, aproximadamente, a lei supra. Os terminais do quadro são soldados a “anéis coletores”; estes anéis são metálicos, presos rigidamente ao eixo mas eletricamente isolados do mesmo; em cada anel apóia-se uma “escova”, corpo sólido e condutor (geralmente de grafite), comprimido elasticamente contra o anel, de modo a garantir bom contato elétrico do mesmo; as escovas estão presas a um suporte isolante; a elas liga-se a parte externa do circuito.

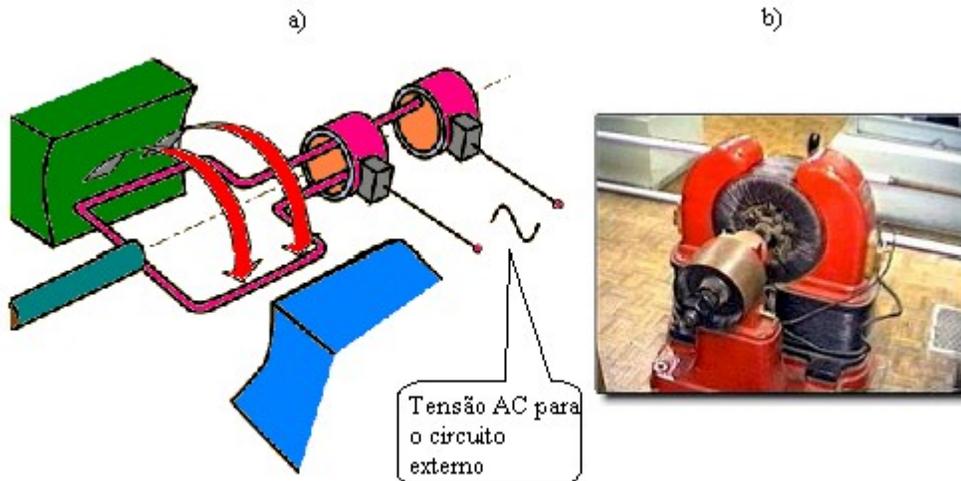


Figura 02: a) Esquema dos anéis coletores. b) Foto ilustrativa de um motor utilizado em eletrodoméstico

O estator é constituído por um ímã permanente e opera como indutor. O sistema é conhecido como ‘magneto’, e é usado para campainha de telefone, ou para ignição em pequenos motores de explosão (motocicletas). O estator poderia ser um eletroímã (foto acima, direita: anel de Gramme) alimentado com corrente contínua de uma fonte adequada.

Sistema AC - Gerador/Motor

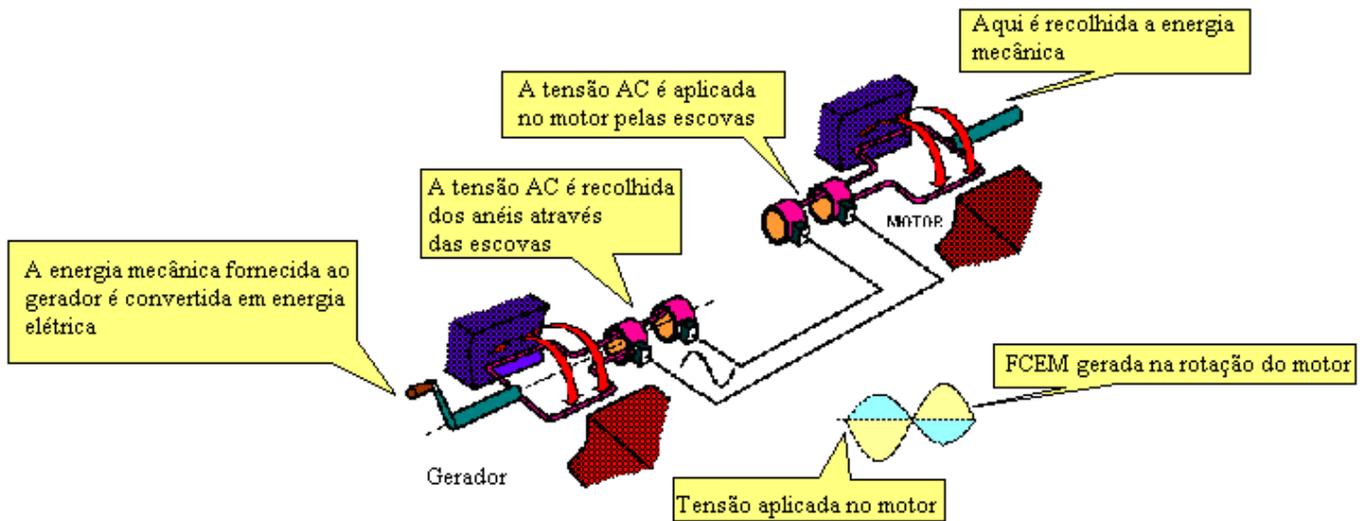


Figura 03: Esquema de funcionamento de um gerador de corrente alternada

Princípio de funcionamento dos dínamos

Nos geradores tipo alternadores (como os ilustrados acima) um artifício simples permite retificar a corrente, ou seja, fazer com que fluam sempre num mesmo sentido. Substituamos o par de anéis coletores por um comutador, como na figura 04 - c); é um anel coletor dividido em dois segmentos simétricos e nos quais se apóiam escovas em posições diametralmente opostas. As escovas são pequenos blocos de grafite e estacionários, comprimidos elasticamente contra o comutador; este é solidário com o rotor e pode ser concebido como tubo de cobre seccionado longitudinalmente.

Nos instantes em que o fluxo de indução no rotor é máximo ou mínimo, a corrente induzida é nula; nos mesmos instantes invertem-se as conexões das escovas com os segmentos do comutador pois são permutados os segmentos em contato com as escovas; portanto são invariáveis a polaridade das escovas e o sentido da corrente no circuito externo (figura 04 - c)). Tal corrente, cuja intensidade varia periodicamente mas cujo sentido se conserva, é denominada corrente pulsante.

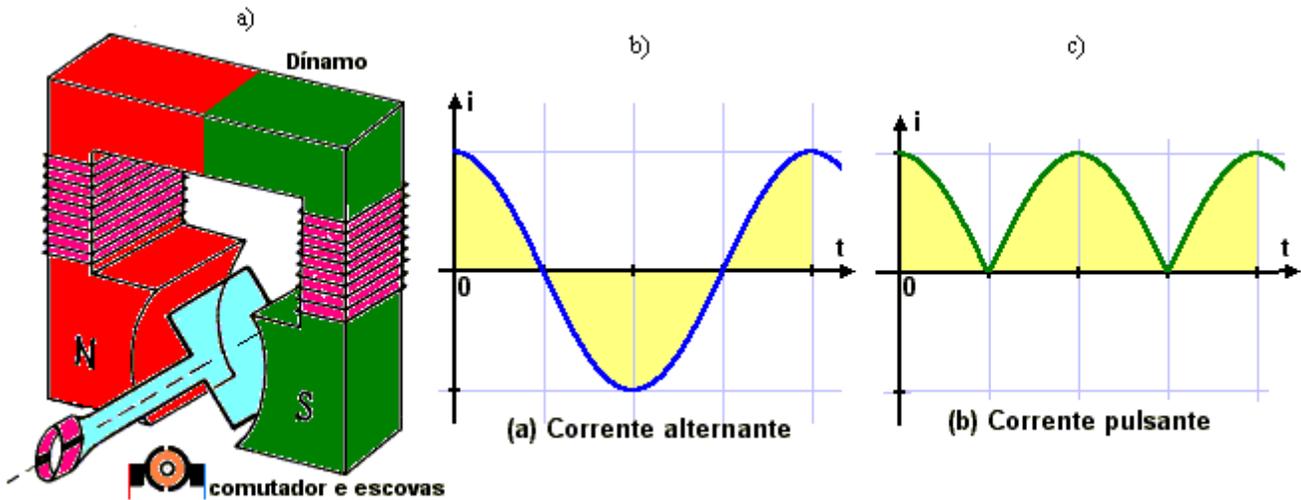


Figura 04: Esquema de funcionamento de um dínamo

Dispondo sobre o mesmo núcleo diversos quadros iguais, distribuídos simetricamente em torno do eixo e associados todos em série, e dotando o comutador de outros tantos pares de segmentos, obtém-se no circuito externo uma corrente pulsante praticamente contínua.

Ligação Estrela

Esse tipo de ligação pode ser feito a três ou a quatro fios. Nesse sistema, uma das fases se encontra num estado neutro, isto é, neste momento, as linhas de campo magnético não cortam o condutor de forma a não produzir diferença de potencial. Enquanto isso, as outras fases estão defasadas, cada uma de 60° com relação a anterior, porém, enquanto uma das fases está no lado do pólo sul, a outra está no sentido contrário. No fim de cada fase, elas são interligadas formando um ponto neutro de onde pode sair o quarto fio. Esse tipo de fornecimento de energia não é prático, nem usado, servindo apenas efeito de estudo.

Enquanto uma das fases, a neutra, apresenta uma diferença de potencial nula, as outras duas, estando defasadas de 60° , geram 86,6% de tensão elétrica, sendo uma o inverso da outra, visto que cortam as linhas de campo em sentidos contrários. Temos então, que as tensões geradas se somam através do neutro. Estas fases estão neste instante em série e qualquer carga ligada no circuito receberá uma tensão de até 173,2% do valor de tensão.

Em resumo, de acordo com a maneira em que as cargas cortam as linhas de campo magnético, tem-se que as tensões geradas se opõem, pode chegar a um máximo e a um mínimo. Nesta configuração, podemos calcular o valor eficaz das tensões de linha, a partir dos valores eficazes das tensões de fase. Quando se medem as tensões que estão aplicadas diretamente sobre as cargas temos o sinal de tensão de fase. Quando se mede a diferença entre os sinais de duas tensões de fase temos a tensão de linha.

Da mesma forma podemos associar as definições aos sinais de corrente, a corrente que circula por uma das cargas conectadas ao sistema é a corrente de fase enquanto que a corrente que circula por uma das fases é a corrente de linha.

Ligação Triângulo

Este tipo de ligação só pode ser feito a três fios, visto que nela, as bobinas sempre estarão em paralelo. Isto acontece, pois da maneira como estão ligadas e defasadas de 120° , há sempre duas fases gerando tensão. Nesta configuração um dos terminais das cargas é conectado a um outro terminal de outra carga e as fases do sistema são interligadas nos pontos de junção dos terminais da carga.

Neste caso, a corrente que circula na malha tem o mesmo valor eficaz nas três bobinas e a corrente total fornecida pelo gerador é de 173,2%. Este fator é usado na ligação estrela para o cálculo das tensões, enquanto que na ligação triângulo é usado para o cálculo das correntes. A tabela abaixo mostra as tensões e as correntes para um sistema trifásico a 220V.

	Ligação	
	Em estrela	Em triângulo
Distribuição a	220 e 120	220
Tensão entre fases	220	220
Tensão por fase do gerador	$e = E / 1,732 = 127$	220
Tensão entre fase e neutro da distribuição	$e = E / 1,732 = 127$	Não tem
Corrente interna por fase do gerador	$i = I$	$i = I/1,732$

Uma das aplicações desse sistema é a ligação de motores elétricos. Ele tem como finalidade reduzir a corrente de partida do motor, fazendo com que ela reduza de cerca de 1/3 do valor inicial. Após a partida e ao atingir 90% de sua rotação, o motor tem sua ligação novamente em triângulo, fazendo com que o máximo de aproveitamento do motor seja estabelecido com o mínimo de perdas.

Descrição da Montagem Experimental

Para realização do projeto foram montados um rotor e um estator, elementos fundamentais para o funcionamento do gerador. O estator é fixado numa base de madeira e composto por uma barra metálica em “U” onde ficarão os ímãs. O rotor é composto por um eixo onde as bobinas foram colocadas. Foram construídos dois apoios fixados na mesma base do rotor. Feito isso, serão realizadas as ligações do tipo estrela-triângulo e a seguir serão observadas as formas de onda para cada tipo de ligação através de um osciloscópio.

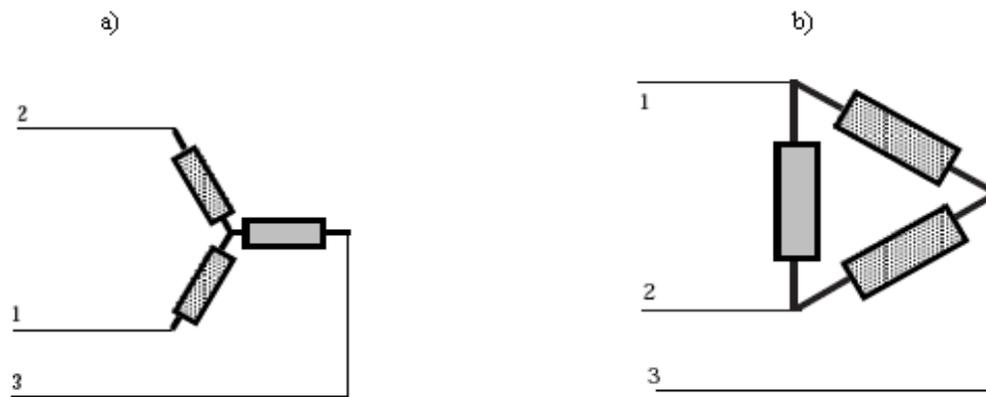


Figura 05: Esquemas das ligações estrela (a) e triângulo (b)

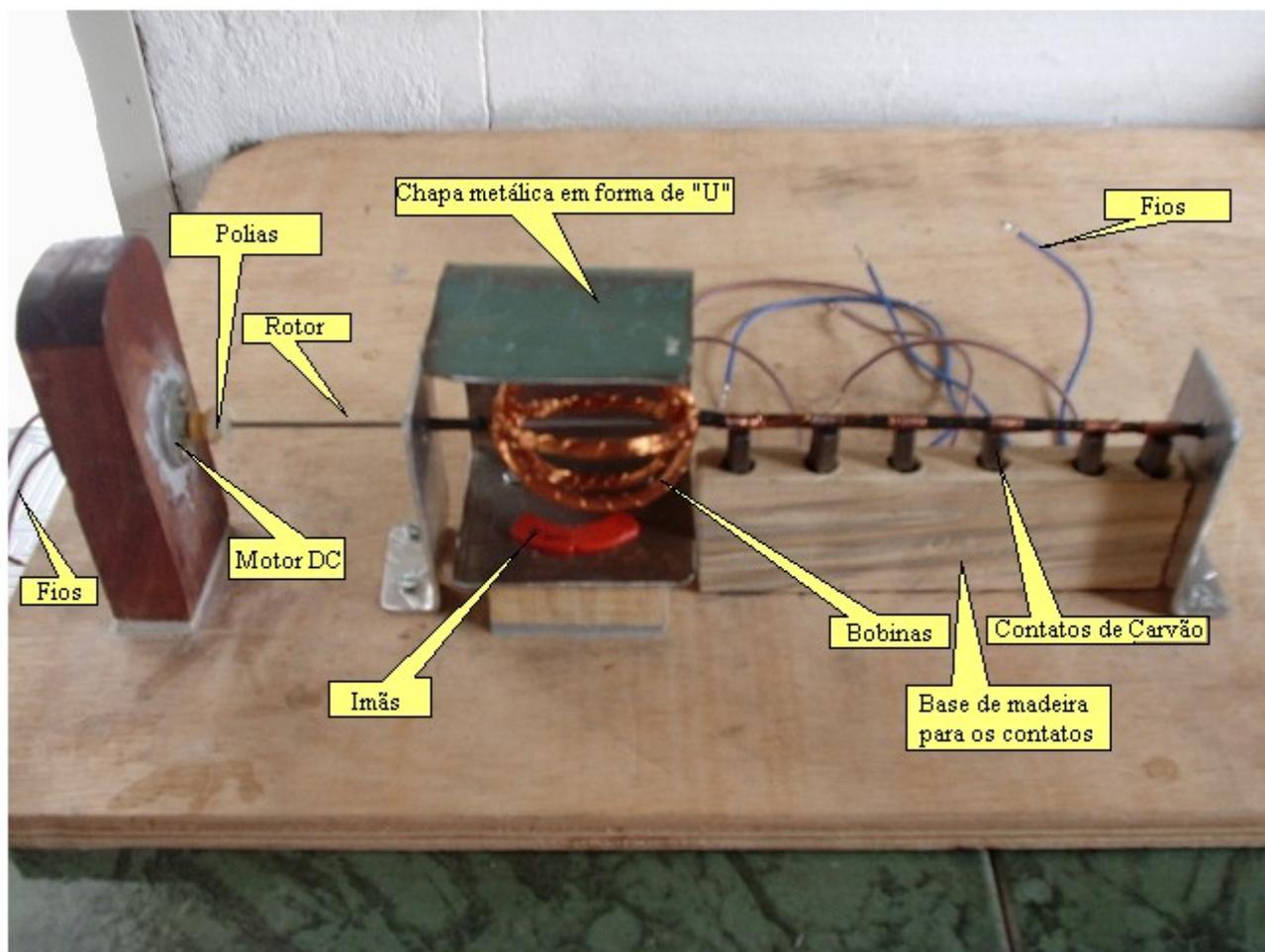


Figura 06: Foto do gerador com as devidas identificações

O projeto teve início a partir da relação dos materiais necessários para a realização do projeto. Assim, definiram-se algumas prioridades de modo a organizar as etapas do projeto.

Dessa forma, começou-se a montagem do projeto pela construção do rotor. Este é composto por três bobinas, defasadas de 120° todas fixadas em um eixo. No próprio eixo serão coletadas as pequenas diferenças de potencial elétrico geradas, através dos contatos de carvão. As bobinas foram construídas com

fios de cobre utilizados em motores elétricos. O fio utilizado foi o nº 25, o que não impede de serem usados outros diâmetros, porém, esta espessura foi a observada em motores de eletrodomésticos, sendo mais fácil de encontrar em sucatas. Para enrolar as bobinas, utilizou-se um cano de PVC de 1,5". As bobinas depois de enroladas foram presas com barbante e depois de dispostas 120° umas das outras, foram presas com o próprio fio já fixadas no eixo. As pontas de cada bobina foram enroladas na outra extremidade do eixo para a coleta das tensões geradas e identificados o início e fim de cada uma delas.

A etapa de construção do estator se iniciou na busca por um ímã em forma de "U", que envolverá as bobinas presas no eixo. Este ímã pode ser encontrado em lojas especializadas, porém tem um custo alto. Este problema foi contornado substituindo os ímãs em "U", por uma chapa metálica, também em forma de "U", porém com pequenos ímãs nas pontas. Assim, o efeito será o mesmo. Os ímãs podem ser de qualquer tipo, em particular, neste projeto, foram utilizados ímãs de HD de computador, encontrados em sucatas e sem custo. Fazem parte do estator os coletores de tensão, conhecidos como contatos de carvão. Assim, foram necessários 6 contatos, dois para cada bobina, sendo um para o início da bobina e outro para o fim da mesma. Esses carvões foram fixados em uma placa de madeira e presos na base de modo a encostar nos fios e coletar as tensões. Para a construção da base, foi necessária uma madeira com 6 furos passantes, sendo que em cada furo, foram acomodados os carvões aproveitando seu sistema de molas que permite com que os carvões pressionem constantemente o eixo e mantenha contato com as bobinas. As ligações foram feitas nas bases do carvão.

Feito isso, o motor é então acoplado ao eixo onde estão as bobinas. Para isso, é importante que o eixo do motor esteja na mesma altura do eixo das bobinas, para evitar trepidações na rotação do conjunto. Dessa forma construí-se uma base com furo passante no diâmetro do motor, e os desníveis provenientes dos erros no corte da madeira, foram ajustados com massa epóxi. Os dois eixos foram acoplados através de duas polias coladas entre si e presas nos dois eixos. Nos contatos do motor, assim como na base dos contatos de carvão, foram soldados fios de modo a facilitar as ligações elétricas.

Finalizada esta etapa, o conjunto está pronto para ser testado através da fonte e do osciloscópio. Durante os testes, observou-se que as formas de onda monitoradas pelo osciloscópio não estavam "limpas" como deveriam estar. De fato, é comum obter-se interferências na utilização do osciloscópio, principalmente quando se trata de pequenas diferenças de potenciais, porém, neste caso, as interferências impossibilitaram de concluir alguns modelos teóricos como a defasagem das fases. Então, foram feitas algumas modificações de modo a eliminar as interferências. Dentre as modificações, foi necessário diminuir o espaço existente entre as bobinas e os ímãs e para isso, diminuir o tamanho da barra em forma de "U". Esta última modificação se deve ao fato do ar ser um péssimo condutor, isto é, quanto mais espaço houver entre as bobinas e o ímã, menor será a condução do campo magnético.

Finalizada a construção da estrutura (rotor e estator) e as devidas alterações, iniciou-se a coleta dos dados através do osciloscópio. Para isso, o motor foi alimentado com 12V de tensão contínua, através de uma fonte regulável, e observado as formas de onda monitoradas pelo osciloscópio. Cada canal do osciloscópio foi conectado a uma bobina (início e fim) e assim coletadas as formas de onda como nas figuras 07, 08 e 09.

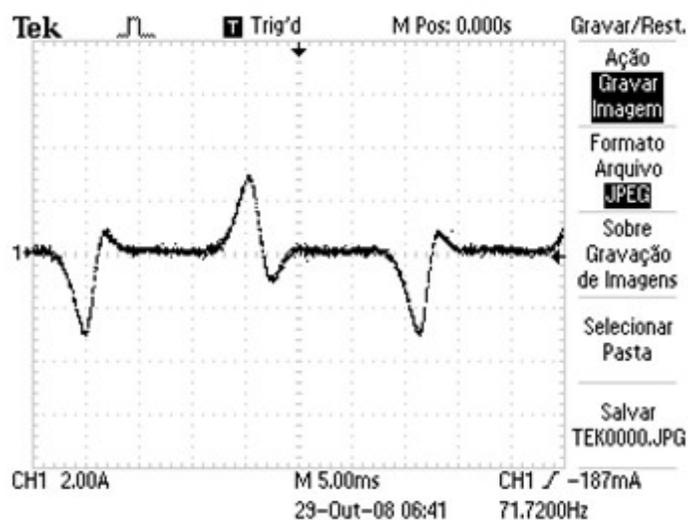


Figura 07: Forma de onda coletada na bobina 1

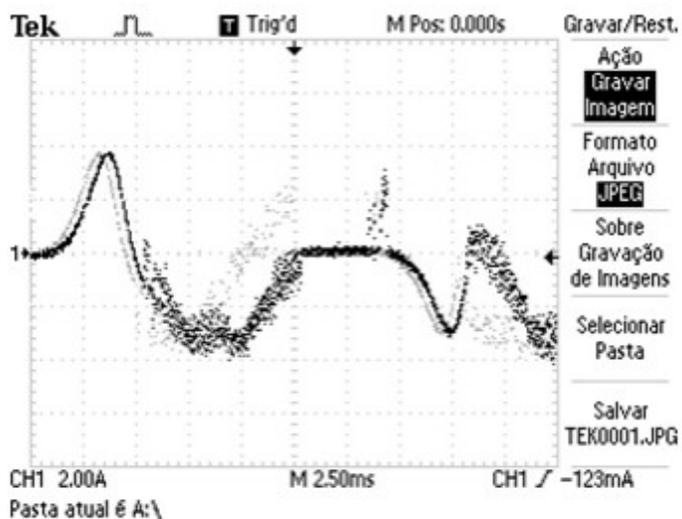


Figura 08: Forma de onda coletada na bobina 2

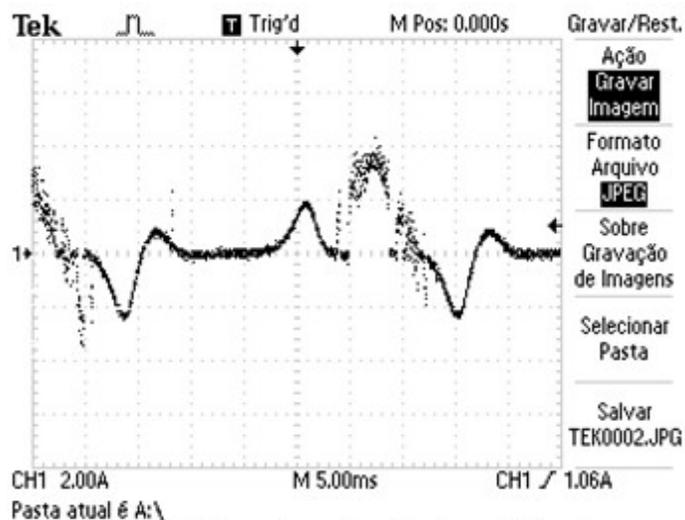


Figura 09: Forma de onda coletada na bobina 3

Depois disso, novamente foram coletas as formas de onda nas bobinas, porém, neste momento, duas a duas conforme as figuras 10, 11 e 12. Analisando, por exemplo, a figura 10, temos que a imagem formada na parte superior da tela do osciloscópio é a forma de onda obtida da bobina 1 e na parte inferior, a forma de onda obtida da bobina 2. A diferença destacada entre os picos de cada forma de onda corresponde a uma diferença de 116° , valor bem próximo ao esperado (120°). A diferença se deve ao fato das bobinas poderem sofrer alguma variação angular quando o eixo se encontra em movimento.

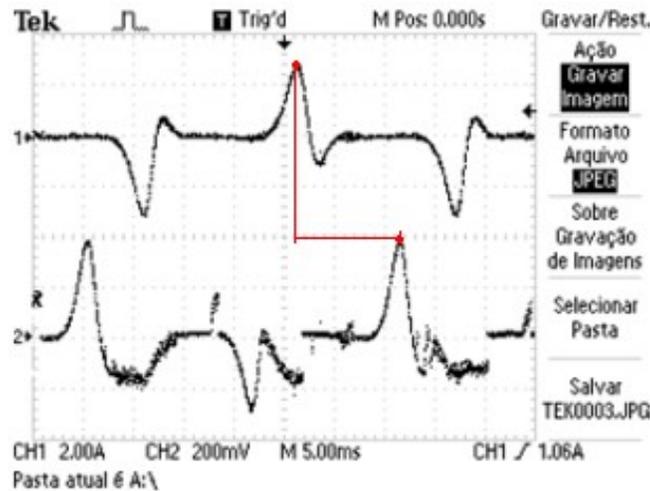


Figura 10: Forma de onda coletada nas bobinas 1 e 2

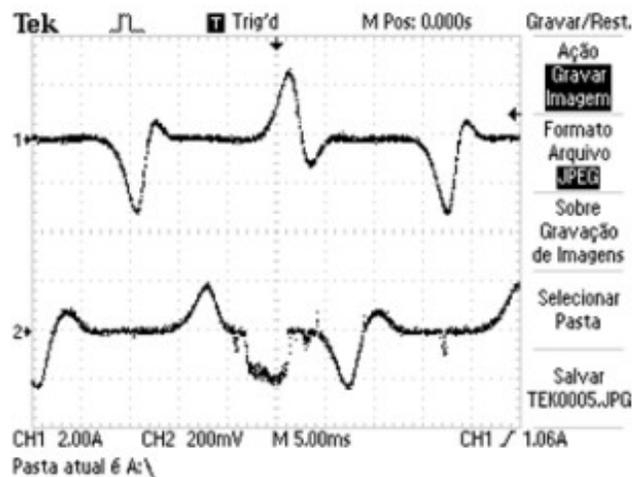


Figura 11: Forma de onda coletada nas bobinas 1 e 3

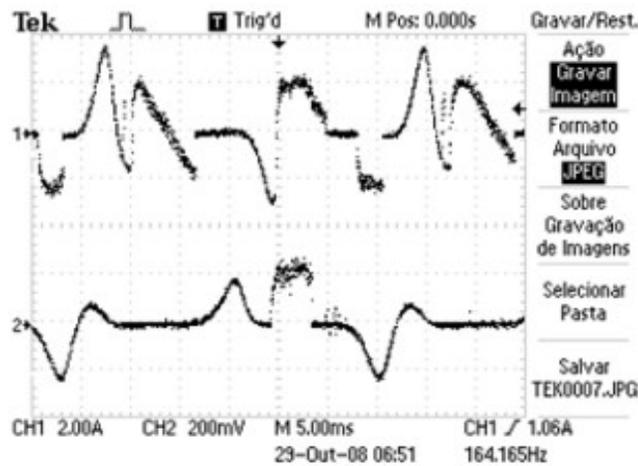


Figura 12: Forma de onda coletada nas bobinas 2 e 3

A seguir, foi feita a ligação estrela. Este tipo de ligação é geralmente utilizada em partida de motores elétricos. O motor parte em configuração estrela, em que cada enrolamento receberá a uma tensão mais baixa. Após o motor vencer a sua inércia, sua ligação é convertida para a configuração triângulo, aumentando a tensão nos enrolamentos. Assim, motor realiza uma partida suave reduzindo sua corrente de partida. Esta ligação pode ser realizada a três ou quatro fios, sendo o quarto, o fio neutro, conforme croqui apresentado inicialmente. A seguir, seguem-se as formas de onda obtidas das ligações.

Fotos das ligações estrela a três fios:

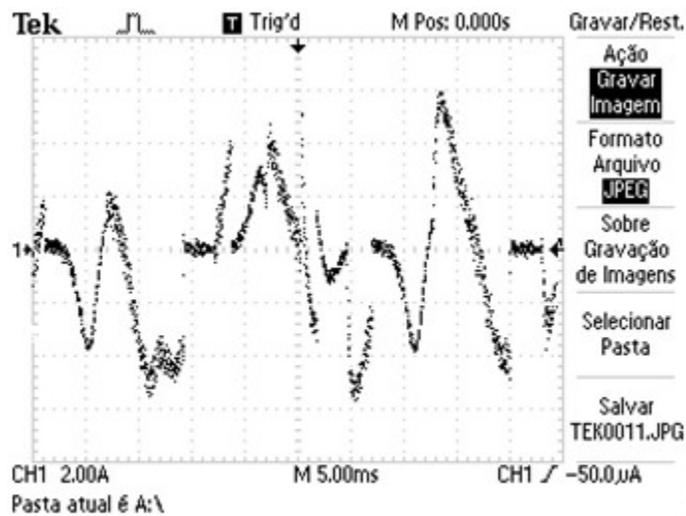


Figura 13: Forma de onda coletada no início da bobina 1 e início da bobina 2

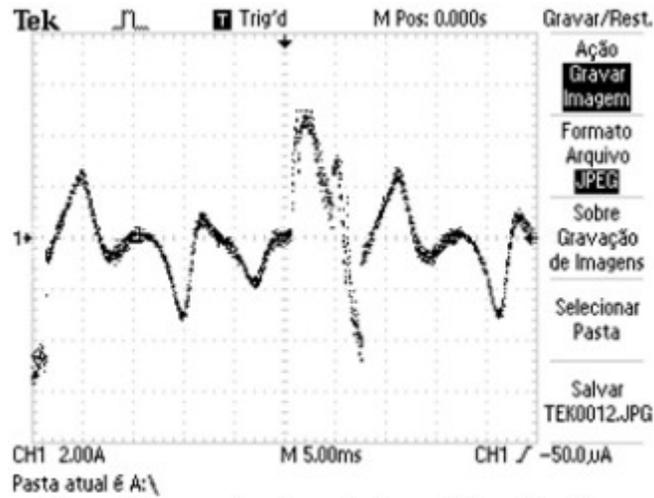


Figura 14: Forma de onda coletada no início da bobina e início da bobina 3

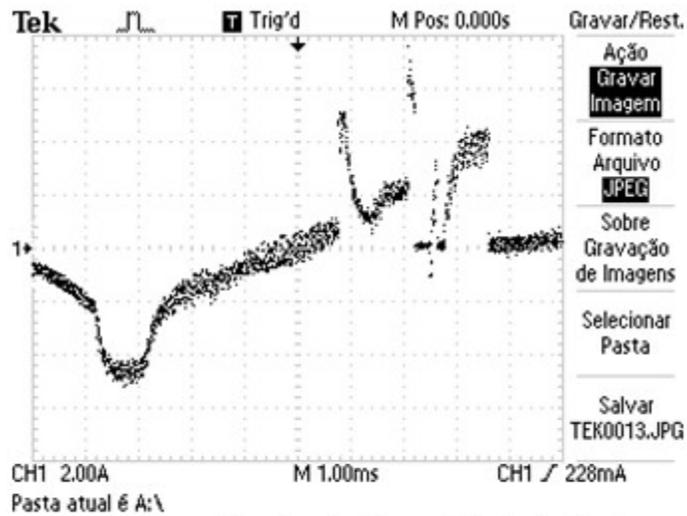


Figura 15: Forma de onda coletada no início da bobina 2 e início da bobina 3

Fotos da ligação estrela a quatro fios:

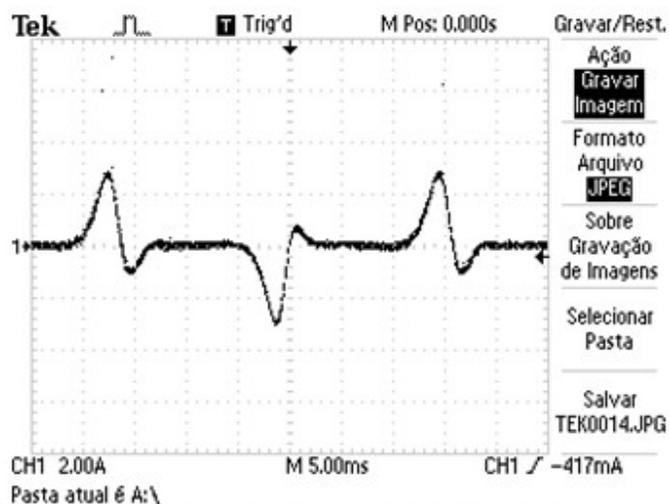


Figura 16: Forma de onda coletada no início da bobina 1 e neutro

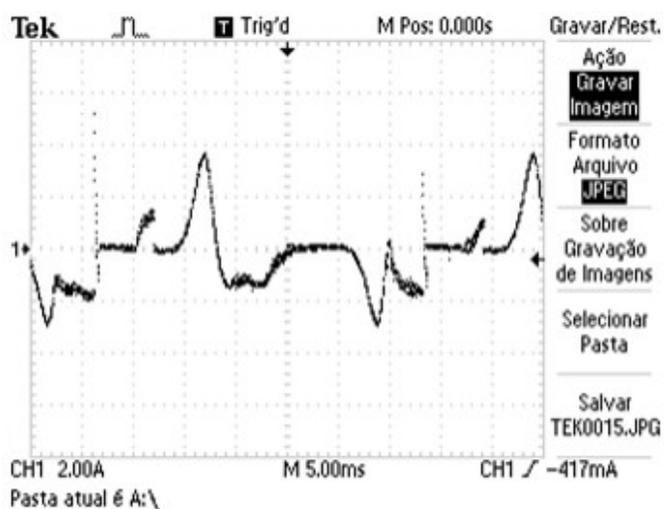


Figura 17: Forma de onda coletada no início da bobina 2 e neutro

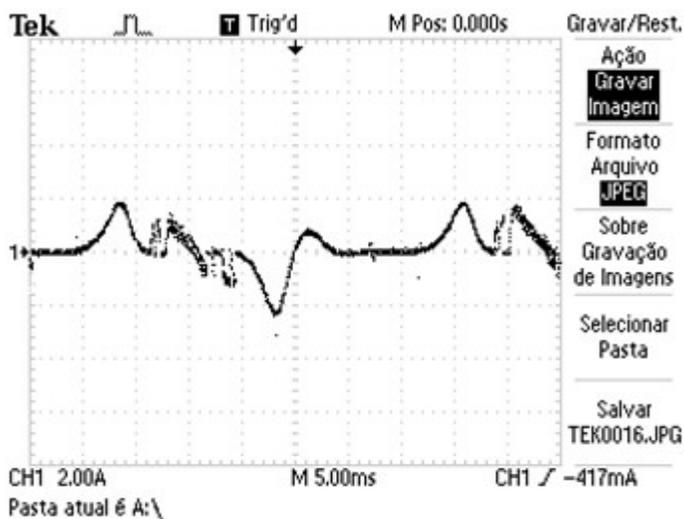


Figura 18: Forma de onda coletada no início da bobina 3 e neutro

A seguir foi feita a ligação triângulo. Neste sistema, as cargas só poderão ser ligadas a três fases, pois não existe neutro. Pela forma como é ligada, tem-se que há sempre duas fases gerando tensões em paralelo, por isso, esse sistema também conhecido como sistema paralelo. A seguir fotos das formas de onda obtidas.

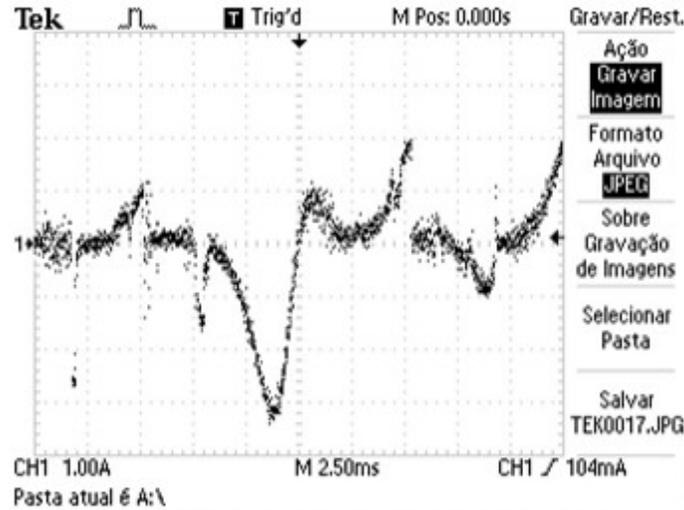


Figura 19: Forma de onda coletada sobre a bobina 1

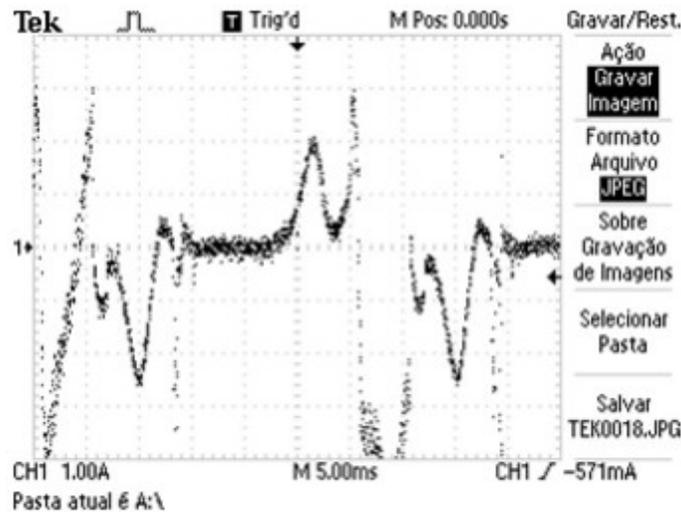
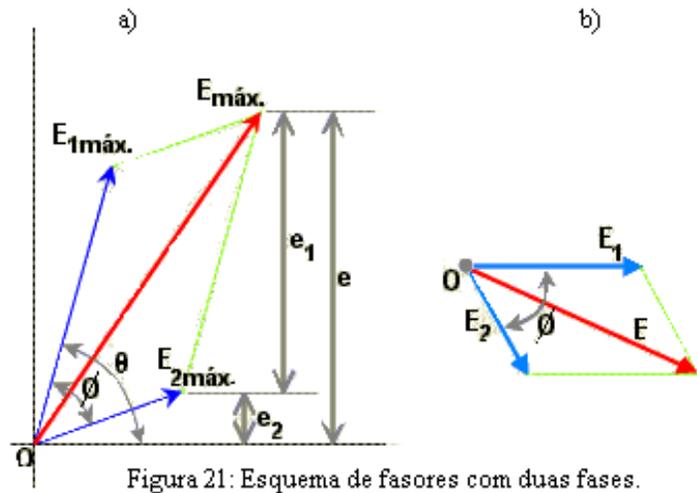


Figura 20: Forma de onda coletada sobre a bobina 2

Nas ligações estrela – triângulo, podemos perceber que os picos de tensão mais elevados comparado às formas de onda mostradas anteriormente considerando a mesma configuração do osciloscópio. Isso se deve ao fato dessas ligações produzirem o efeito de adição de fases. Isto acontece pois a tensão coletada nessas ligações são as somas vetoriais das tensões nas outras fases. Como as três bobinas estão defasadas umas das outras, a resultante vetorial pode assumir qualquer entre a soma e a diferença das fases.

Essa relação de soma fica melhor explicada através do diagrama de fasores representado na figura 21.



Fazendo a soma vetorial de $E_{1máx.}$ com o outro fasor $E_{2máx.}$. Defasado, podemos construir o paralelogramo e desenhamos sua diagonal. Assim, a diagonal representa a f.e.m. resultante E , pois na posição considerada, a f.e.m. instantânea e é soma algébrica dos valores instantâneos de e_1 e de e_2 .

Conclusão

Em vista do exposto, chega-se a conclusão de que este experimento propiciou uma aplicação prática dos modelos teóricos estudados no ensino médio, não apenas em se tratando da geração de energia elétrica, mas também do melhor uso dela nos diferentes tipos de ligações (estrela-triângulo) fundamentais para a utilização da energia elétrica. Essas observações fornecem ao aluno condições de perceber a capacidade que o homem tem de intervir na natureza, além de permitir que o aluno possa compreender e participar da realidade com o auxílio dos conceitos básicos estudados pela Física. A montagem pode fornecer ao aluno subsídios para que ele possa também experimentar, pesquisando outras versões mais simples do projeto e fazendo sua própria montagem, observando assim as aplicações da Física no seu dia-a-dia e dessa forma construindo seu conhecimento.

Com relação a comparação dos efeitos observados e aqueles previstos na teoria, pode-se dizer que as diferenças apresentadas se devem ao fato de inicialmente o eixo do rotor, ao ser pressionado pelos anéis coletores, sofrer uma leve envergadura e fazer com que a rotação não seja constante, de onde surgem as vibrações observadas nas formas de onda. Além disso, pode-se observar que o campo magnético gerado pelos ímãs e pela barra em forma de “U” não apresenta uniformidade, fazendo com que o campo magnético não seja constante, além de se ter o ar como um péssimo condutor, auxiliando para que o campo magnético ao cortar as bobinas fosse menos intenso. Fatores como os apresentados acima, fazem perceber que na prática, nem sempre os modelos teóricos funcionam perfeitamente, porém, é fundamental tentar ao máximo se aproximar desses modelos e a partir das dificuldades encontradas buscar diferentes maneiras de eliminar os problemas que impedem de se chegar ao modelo ideal. Esse fato confirma a importância de aulas práticas no ensino de física, assim como a análise dos resultados obtidos e a busca por melhorias contínuas nos processos. Dessa forma, pouco a pouco a física se constitui na realidade dos alunos e acredita-se que essa

seja uma forma de fazer com que o interesse pelos temas tratados aumentem e as idéias contidas no ensino de física sejam construídas pelo aluno.

Comentários

O meu orientador, Prof. Varlei Rodrigues realizou o seguinte comentário:

O aluno realizou de maneira eficaz e independente o projeto proposto. O resultado alcançado é compatível com o grau de dificuldade do projeto e com o tempo disponível para realizá-lo. Desta forma, considero-o aprovado. Varlei.

Referências

LIMA, Eduardo. Eletricidade sem mestre. Companhia Editora Nacional.

Apostilas SENAI. Eletricidade Básica, Prática Profissional, Análise de Circuitos Elétricos.

GUEDES, Manuel Vaz. O motor de Indução Trifásico
http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/textos/MI_sel&aplic.pdf

Instituto de Física Gleb Wataghin
http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2006/GustavoB_Douglas_RF1.pdf

RONCONI, Irineu Alfredo Jr. Controle Vetorial (Fasorial) de um motor assíncrono trifásico usando DSP'S
<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0131010717131116.pdf>

Feira de Ciências
http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14_T04.asp