
MEDINDO A FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA POR EFEITO ESTROBOSCÓPIO: COM UM EQUIPAMENTO MECÂNICO SIMPLES

Carlos Eduardo Laburú
Osmar Henrique Moura da Silva
Departamento de Física – UEL
Londrina - PR

Resumo

Este trabalho propõe a construção de um aparelho mecanicamente operado, com o objetivo de mostrar a natureza oscilante da corrente da rede elétrica. O aparelho também pode ser usado para avaliar a frequência da rede e compará-la com a oficial. O princípio físico envolvido com a manipulação do aparelho baseia-se no efeito estroboscópio, obtido em razão da intermitência luminosa das lâmpadas a gás, do tipo fluorescente, comumente utilizadas nos ambientes. O conteúdo de física aqui envolvido é apropriado ao ensino médio, podendo ser convenientemente inserido num curso de ondas ou eletrodinâmica, ou mesmo, sugerido como trabalho na feira de ciências do colégio.

I. Introdução

Há aproximadamente duas décadas atrás, era comum os técnicos em eletrônica usarem disco estroboscópio para aferir a velocidade dos pratos giratórios dos toca-discos analógicos. Aquele disco continha, em sua superfície, várias séries de figuras de traços ou quadrados desenhados repetidamente, espaçados regularmente em círculos ou faixas, mas que poderiam radialmente se diferenciarem em tamanho. Tal instrumento era utilizado juntamente com luz estroboscópia, esta última obtida através das lâmpadas a gás (neon ou fluorescentes). Assim, podia-se conferir as rotações padronizadas necessárias à rotação do prato giratório dos toca discas, que na época giravam com mais de uma frequência. Por outro lado, há pouco tempo atrás, nas oficinas de automóveis era corriqueiro usar instrumentos que tinham por princípio a estroboscopia, para a regulagem de motores ou balanceamento de pneus de carros. Por vezes, o efeito estroboscópio pode ser notado quando, ao assistir um filme, percebemos um estranho fenômeno que ocorre com as rodas das carruagens ou de carros em

movimento. Elas parecem estar girando para trás ou até mesmo dão a sensação de estarem paradas, apesar do móvel permanecer avançando. No dia a dia, também é possível observar o fenômeno estroboscópico. Por exemplo, se balançarmos a mão com os dedos abertos na frente de uma tela de televisão ou de um vídeo de computador, podemos verificar que os dedos parecem instantaneamente parados. Na literatura temos conhecimento de que, no “Manual de Experimentos para o Professor” da FUNBEC, para alunos do nível médio, há a sugestão de experimentos qualitativos com um estroboscópio muito simples. Este efeito também é empregado em experimentos de ondas e de lançamentos de projéteis no curso PSSC.

Assim, inspirados nos discos estroboscópios verificadores de frequência dos toca-discos acima mencionados, surgiu-nos a idéia de construir um equipamento que servisse para mostrar o efeito estroboscópico e que, ao mesmo tempo, servisse para medir a frequência da rede elétrica. Estes assuntos poderiam estar inseridos num curso de Física para o nível médio, dentro do conteúdo de Ondas ou de Eletrodinâmica. O nosso equipamento, que será descrito em detalhes na próxima seção, é apropriado ao aluno deste nível escolar, pois além de ser totalmente mecânico, ele é muito simples de ser operado e compreendido.

II. Construção

Para a construção do equipamento são necessários os seguintes materiais:

- Seis roldanas (três de 8 cm de diâmetro e 1 cm de espessura e outras três de 3 cm de diâmetro e mesma espessura). Em particular, as roldanas aqui utilizadas foram feitas de madeira e produzidas num torno, mas poderiam ser usados quaisquer tipos de roldanas com os valores aproximados, acima sugeridos.
- 1 disco rígido e fino (de metal, plástico, etc.) de 12 cm, aproximadamente.
- 3 correias para ligar as roldanas.
- Pedacos de madeira.
- 4 rolemãs pequenas.
- 4 tubos de PVC maciços, que podem ser substituídos por cabos de vassoura, etc., que servirão de eixos das polias.
- 2 discos de cartolina desenhados simetricamente com 4 e 8 setores. A Fig. 3 mostra, na quarta roldana à direita (parte 4), um disco com 4 setores escuros desenhados, como exemplo.

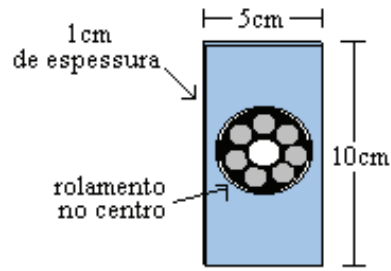


Fig. 1: Rolamento encaixado no centro do pedaço de madeira citado.

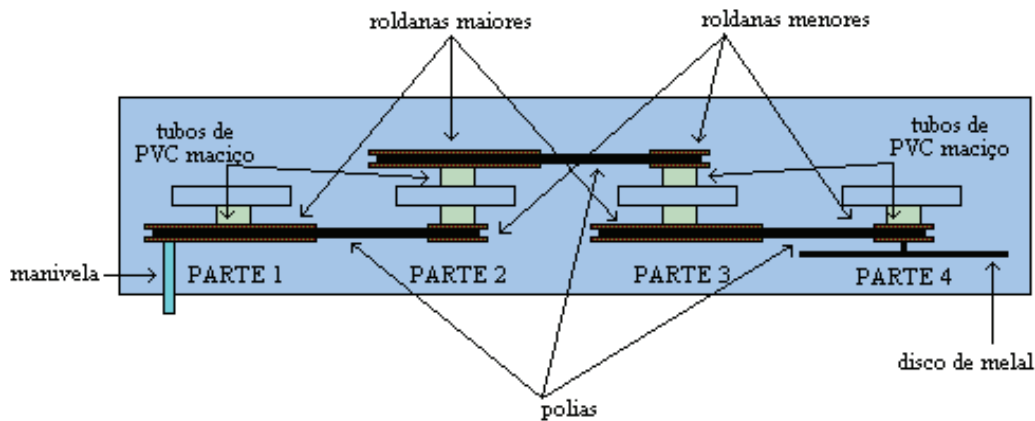


Fig. 2: Vista por cima do equipamento.

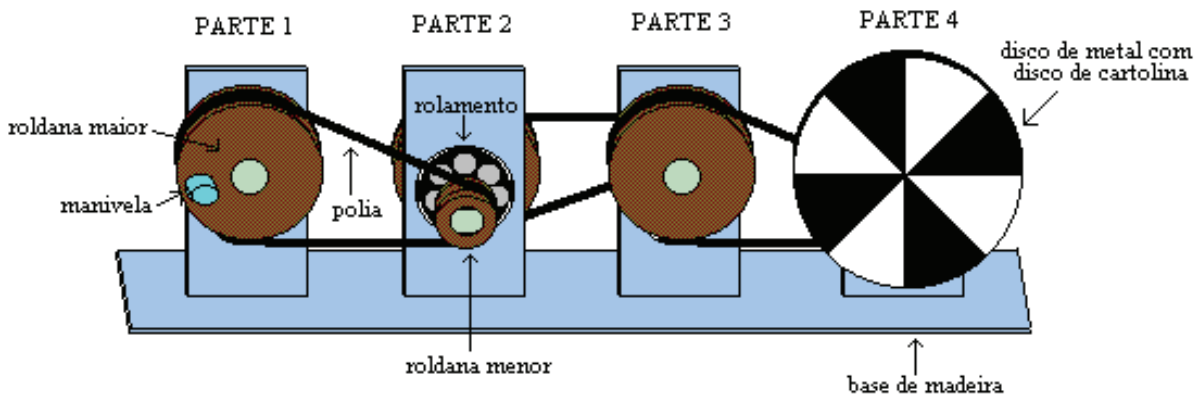


Fig. 3: Vista lateral do equipamento. O operador deve girar manualmente a manivela (parte 1) que fará a última roldana a direita (parte 4) girar em alta rotação. Nesta roldana com o disco de metal podem ser substituídos discos de cartolina, que no caso da figura tem quatro setores escuros desenhados.

A montagem inicia-se pelo encaixe das rolemãs em pequenos pedaços retangulares de madeira (10x5x1cm, ver Fig. 1). Estas madeiras, com as rolemãs embutidas, servirão de suporte para as roldanas e deverão ser fixadas numa base de madeira (ver Fig. 3). Com parafuso e colas prendem-se, no centro das roldanas, tarugos,

no caso, tubos de PVC maciços, que serão usados como eixo para as polias. Este conjunto e mais a correia servirão para formar quatro sistemas de polias, conforme as fig. 2 e 3. No primeiro conjunto de polias (parte 1, da Fig. 3), há somente uma roldana grande com uma manivela lateral fixada à mesma, que serve para girar todo o sistema de polias. Na segunda e terceira polias (parte 2 e 3 da Fig. 3), em cada extremo do tubo de PVC, estão fixadas roldanas, uma grande e outra pequena. Por final, a quarta polia (parte 4, da Fig. 3) contém uma roldana pequena, e à frente desta, cola-se um disco rígido e fino, onde serão colocados, de modo a poderem ser trocados, os discos com setores. Os discos de cartolina podem ser afixados no disco rígido de várias maneiras. A mais simples pode ser com grampos do tipo cliques. Neste caso, deve-se tomar cuidado, pois, devido à alta rotação desta polia, os cliques podem se soltar e, com isso, machucar alguém que estiver em sua direção. O ideal aqui seria prender os discos de cartolina com um parafuso e arruela no centro do disco.

A fixação do sistema de polias na base de madeira deve seguir a seqüência da Fig. 3, em que, na parte 2, a roldana pequena faceia com a roldana de manivela da parte 1. O suporte das roldanas da parte 3 deve ser fixado de modo que este conjunto esteja com as roldanas invertidas em relação à parte 2. Finalmente, a fixação da roldana da parte 4 deve facear com a da manivela. Todo o conjunto de polias deve estar justaposto, paralelamente, de modo que as correias não fiquem sendo forçadas no momento em que estão girando. Isto se consegue com os tubos, que formam os eixos das roldanas devidamente dimensionados.

III. Funcionamento do aparelho

Com as dimensões do jogo de roldanas, sugerido na seção anterior, o aparelho consegue um ganho de rotação de 14,7 vezes. Ou seja, a cada volta da primeira roldana (parte 1 da Fig. 3), a última (parte 4 da mesma figura) dará 14,7 voltas. Então, se a primeira roldana girar com uma dada freqüência, a última terá uma freqüência 14,7 vezes maior. Para o aparelho funcionar a contento, é necessário que se procure girar a primeira roldana com manivela da maneira mais uniforme que se possa conseguir. Com um dos discos de cartolina (com quatro ou oito setores desenhados) instalados sobre o disco de metal da última roldana (a direita da Fig. 3) e sob uma luz fluorescente, dessas comuns usadas para iluminar ambientes, servindo de iluminação¹, procura-se parar os setores, conforme se vai progressivamente aumentando o giro da

¹ Como se pode verificar com o aparelho, lâmpadas de filamento incandescente não servem para o experimento, pois não produzem o efeito estroboscópico. Apesar da corrente elétrica ser oscilante através dos seus filamentos, estes, por emitirem luz devido ao aquecimento, não conseguem ter um tempo de resposta suficientemente rápido de resfriamento para que a sua intensidade luminosa seja perceptível, e dê o efeito desejado.

primeira roldana (ver na seção dos dados experimentais alguns valores típicos da frequência desta roldana para isto acontecer). É possível constatar que o procedimento de parar a figura dos setores no disco giratório não é muito fácil, necessitando um certo treinamento. Advertimos que os setores não ficam totalmente parados, mas oscilam. A qualidade na obtenção da medida da frequência da rede depende da destreza do operador em girar, de maneira constante, a manivela da primeira roldana e, simultaneamente, procurar manter a figura, dos setores do disco de cartolina, mais estacionária possível.

IV. Parte teórica

O princípio físico no qual se baseia o funcionamento do aparelho é o seguinte: quando um disco desenhado com um setor igual ao da Fig. 4, por exemplo, põe-se a girar sob uma luz intermitente, de frequência semelhante à da rotação do disco, a figura aparecerá, a cada iluminação, na mesma posição (no mesmo ângulo), dando a sensação de que o disco se encontra parado². Caso o disco tenha mais um setor desenhado, oposto ao da Fig. 4, podemos duplicar a frequência da luz que ele também parecerá estacionário, pois agora, com apenas meia rotação do disco de cartolina, um dos setores encontrar-se-á em cima (ou em baixo) para essa frequência mais alta. Logo, uma maneira de se obter o efeito estroboscópico para frequências mais altas, mantendo a rotação do disco, é fazê-lo através do aumento do número de setores simétricos no disco de cartolina, princípio no qual se apoiam os discos estroboscópicos. O inverso também é verdadeiro; para a mesma frequência da luz precisamos rodar cada vez menos, na medida em que o disco contenha mais setores desenhados. Por esse motivo, sugerimos discos com quatro e oito setores desenhados para que se possa verificar que, apesar das rotações serem diferentes para cada disco, obtém-se a mesma frequência da rede.

Para a medida desta frequência é preciso que se mencione mais uma coisa. Como se sabe, a rede elétrica no Brasil funciona com uma frequência de 60 Hz, ou seja, a cada segundo a corrente elétrica (ou tensão) oscila sessenta vezes. Mas isso não quer dizer que a lâmpada pisque 60 vezes em um segundo. Observando a Fig. 5, notamos que o período T da corrente (i) é de $(1/60)s$ e que, nesse intervalo de tempo, a intensidade da corrente se anula duas vezes, desligando a luz também duas vezes. No

² Para os alunos, sugerimos a seguinte experiência para melhorar a compreensão do efeito estroboscópico. Pede-se, para alguns deles, que fechem e abram intermitentemente os olhos a cada constante intervalo de tempo, enquanto o professor faz uma rotação completa com o disco da figura 4, comandando, simultaneamente, a abertura dos olhos dos alunos. Em seguida, solicita-se que os alunos descrevam o que notaram e comparem a suas respostas com as de outro grupo de alunos que não fecharam os olhos. Os primeiros dirão que o disco permaneceu parado, em contraste com a resposta do segundo grupo, que dirá que o disco rodava.

fundo, isto quer dizer que as lâmpadas piscam 120 vezes por segundo ($2 \times 60\text{Hz}$), o que não é percebido pelo olho humano³. Assim, nos cálculos para medir a frequência da rede, não podemos esquecer deste segundo fator.

Sumariando as etapas para a medida da frequência da rede, temos:

I. Mede-se o fator de rotação entre a primeira roldana com manivela e a última roldana que contém o disco com quatro ou oito setores desenhados. Isto pode ser feito girando-se um pouco a primeira roldana lentamente e comparando este valor com o número de voltas necessárias para que a última roldana gire um certo número de voltas. Em nosso equipamento obtivemos uma relação de 14,7, como já foi mencionado numa seção anterior.

II. Com um cronômetro, medir a frequência do giro na roldana manual, a partir do momento que o seu operador consegue obter o efeito estroboscópio (terceiras colunas das tabelas 1 e 2).

III. Servindo-se do fator multiplicativo de rotação, previamente avaliado entre a primeira e a última roldana, calcula-se a frequência desta a partir da primeira roldana (quartas colunas das tabelas 1 e 2). Multiplica-se este valor pelo número de setores (4 ou 8) do disco que estiver em uso (penúltimas colunas das tabelas).

IV. Sabendo-se que este efeito estroboscópio é obtido sob uma luz fluorescente, que pisca com frequência duas vezes maior do que a da rede, dividimos o valor encontrado no item III pela metade e, com isso, chegamos ao valor esperado da frequência (últimas colunas das tabelas).

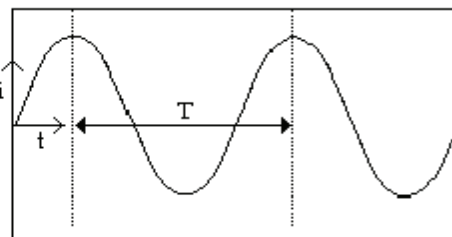
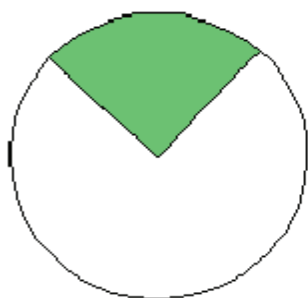


Fig.4: Disco de papelão com um setor desenhado para a determinação da frequência.

Fig. 5: Representação da corrente elétrica da rede. T representa o período da corrente de $(1/60)\text{s}$. Nesse período existem dois instantes em que a corrente "desliga" ($i=0$).

³ Um estímulo na retina, no cérebro humano, pode necessitar de cerca de $(1/4)\text{s}$ para ser definido.

V. Dados experimentais

Apresentamos nas tabelas abaixo alguns valores típicos que podem ser encontrados com o instrumento, se forem seguidas as dimensões sugeridas no texto. A primeira tabela refere-se ao disco com quatro setores, enquanto a tabela 2 refere-se ao disco com oito setores.

nº de voltas do disco 1	Tempo (s)	Frequência do disco 1 (Hz)	Frequência do disco 4 (Hz)	Frequência de um setor (Hz)	Frequência da rede (Hz)
20	9,16	2,18	32,0	128	64,0
20	9,72	2,05	30,1	120	60,0
20	9,30	2,15	31,6	126	63,0
30	14,37	2,088	30,7	123	61,5
30	14,16	2,119	31,1	124	62,0
30	14,08	2,131	31,3	125	62,5

Tabela 1: dados experimentais referentes ao disco com 4 setores

nº de voltas do disco 1	Tempo (s)	Frequência do disco 1 (Hz)	Frequência do disco 4 (Hz)	Frequência de um setor (Hz)	Frequência da rede (Hz)
10	9,72	1,02	15,0	120	60,0
10	8,94	1,12	16,5	132	66,0
10	8,97	1,11	16,3	130	65,0
15	13,65	1,099	16,2	129	64,5
15	14,05	1,068	15,7	127	63,5
15	14,06	1,067	15,7	127	63,5

Tabela 2: dados experimentais referentes ao disco com 8 setores

A tabela 1 nos dá, para seis experimentos realizados, uma média para a frequência da rede de 62,2 Hz, o que indica um erro experimental de 4% em relação ao valor oficial. A tabela 2, para o mesmo número de experimentos, fornece uma média para a frequência de 63,7 Hz, apresentando, portanto, um erro experimental de cerca de 6%. Esses erros referem-se à dificuldade do operador que gira a manivela em manter a figura dos setores escuros dos discos praticamente paradas, deixando-os oscilar muito pouco, como dissemos anteriormente. Obviamente que este erro pode aumentar sensivelmente (da ordem de 30 a 40%) caso o operador tenha muita dificuldade em manter o setores praticamente estacionários, o que implica um certo treinamento e destreza para que isto não aconteça.

VI. Conclusões

Este trabalho apresentou a sugestão de elaboração de um instrumento simples, mecanicamente operado, para ser utilizado durante um curso de Física do nível médio ou, mesmo, para ser apresentado em feiras de ciências promovidas pelo colégio. O princípio físico da estroboscopia é o assunto que está por detrás do funcionamento do aparelho. Com ele, e mais uma luz fluorescente comum, é possível demonstrar, inicialmente, que a rede elétrica apresenta uma característica oscilatória. Em seguida, propõe-se medir a frequência dessa oscilação, obtendo-se um valor com um erro experimental médio da ordem de 5%.

Espera-se que este trabalho contribua para complementar a atividade experimental em física, no nível escolar mencionado, e que, principalmente, estimule o interesse pelo seu estudo.

VII. Bibliografia

DISCO Estroboscópico, **Eléctron**, São Paulo, SP, Edição 45, Editor Fittipaldi, contra capa traseira, 1990.

CINEMATOGRAFIA Rápida, **Ciência Ilustrada**, São Paulo, SP, Abril Cultural, Editor Victor Civita, 8, 3370-3372, 1969.

NAZÁRIO, J. ET AL. **Laboratório Portátil de Física, 2º grau. Manual de Experimentos para o Professor**, FUNBEC, EDART - São Paulo Livraria Editora Ltda., São Paulo, 1977, p. 107.

PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITEE (PSSC). **Física**, Parte II, EDART, São Paulo, 2ª edição, 1970