

## UM SISTEMA DE MEDIÇÃO USANDO MICROCOMPUTADOR ACOPLADO A UM EXPERIMENTO EM FÍSICA (OSCILAÇÕES ELÉTRICAS)

J. EICHLER

Technische Fachhochschule Berlin<sup>(\*)</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de microcomputadores teve um grande progresso nos últimos anos fazendo com que surgisse a possibilidade de sua utilização como instrumento de medida e ensino em cursos de física experimental. Em relação a sua aplicação na técnica de medição, o micro executa várias tarefas: (1) Primeiramente o computador mede as variáveis físicas da experiência. Para isto, as variáveis como pressão, tempo, corrente, etc, são transformadas em voltagens elétricas. Em seguida as voltagens são transformadas por conversores analógico-digitais em números digitais que são armazenados na memória. (2) O micro então processa os dados experimentais e calcula os resultados. Em geral, os resultados são apresentados na forma de gráficos ou tabelas de dados. (3) Durante o transcorrer da experiência o computador fornece ao estudante a sequência em que esta deve processar-se. Ele também detecta erros, comunicando-os ao aluno, além de fornecer informações teóricas. (4) É também possível mas não necessário, que o computador interaja com a experiência. Dependendo dos sinais recebidos o computador manda dados ao sistema experimental, influenciando o processo experimental.

Comparando este sistema com outros instrumentos de medida, como voltímetros, osciloscópios, ou "transient recorders" as seguintes vantagens e desvantagens são encontradas: 1º Os instrumentos tradicionais não executam as tarefas (1) a (4) mencionadas; 2º Atualmente a frequência máxima, que pode ser medida com um microcomputador acoplado a um conversor analógico-digital (ADC), é de aproximadamente 100 KHz. Este valor é muito menor que o correspondente medido com um osciloscópio; 3º Sinais não-periódicos podem ser facilmente medidos com um micro. Esta tarefa é muito mais difi

---

<sup>(\*)</sup>TFH Berlin, Physiklabor, 1000 Berlin 65, Alemanha and IF/UFRJ.

cil de ser executada com um osciloscópio e um "transient recorder". Vale observar que "Storage" Osciloscópios são caros e complicados demais para serem usados em experiências de ensino); 4º A saída dos dados experimentais é feita através de uma impressora ou de um plotter. Por outro lado utilizando-se osciloscópios é necessária uma fotografia ou a leitura de alguns pontos da tela; 5º O preço de um sistema usando microcomputador é comparável a um osciloscópio de qualidade média; 6º Existem ADCs multiplexados a preços baixos, podendo assim este sistema substituir até oito voltímetros digitais.

Podemos concluir que sistemas de medição acoplados a um microcomputador podem ser usados em cursos de física experimental. Entretanto, este sistema não pode substituir totalmente o osciloscópio. Como exemplo vamos apresentar a experiência de "oscilações elétricas".

## 2. O SISTEMA DE MEDIÇÃO

### HARDWARE:

O sistema desenvolvido consiste de um micro Apple II (64K bytes) com display, impressora e disquete (fig. 1). Foi usado um conversor analógico-digital AD 7581 (Analog Devices), de 8 entradas analógicas que são multiplexadas automaticamente. Nesta experiência somente três entradas são usadas. O sinal de entrada é uma voltagem alternada. Assim na entrada um "offset" é produzido usando-se um amplificador operacional (UA 4741). Uma constante de tempo de aproximadamente  $10^{-4}$  s é introduzida na entrada 1. Para filtrar os sinais na entrada 2 uma constante de tempo ( $10^{-2}$  s) é usada. Dois amplificadores operacionais com ganho variável servem para amplificar os sinais até um fator de três. O circuito, que inclui a voltagem de referência para o ADC, é mostrado na fig. 2. Este circuito é montado numa placa, que se encaixa no "slot 2" do Apple II.

O conversor analógico digital apresenta um tempo de conversão de  $80\mu\text{s}$  para cada canal de entrada, resultando portanto um tempo total de  $8 \times 80\mu\text{s}$ . Assim uma frequência máxima de cerca de 500 Hz pode ser processada na entrada de cada canal. Deve-se mencionar que ADCs mais rápidos existem, por exemplo, ZN 427 E-8 (Ferranti) com um tempo de conversão de  $10\mu\text{s}$  (sem multiplexador).

Os 8 bits do ADC são transferidos automaticamente para a memória a partir do endereço inicial  $C0n8$  ( $n$ =número do slot + 8). Usando-se o slot 2, resultam então para os canais de entrada 1 a 8 os endereços  $C0A8$  a  $C0A7$ .

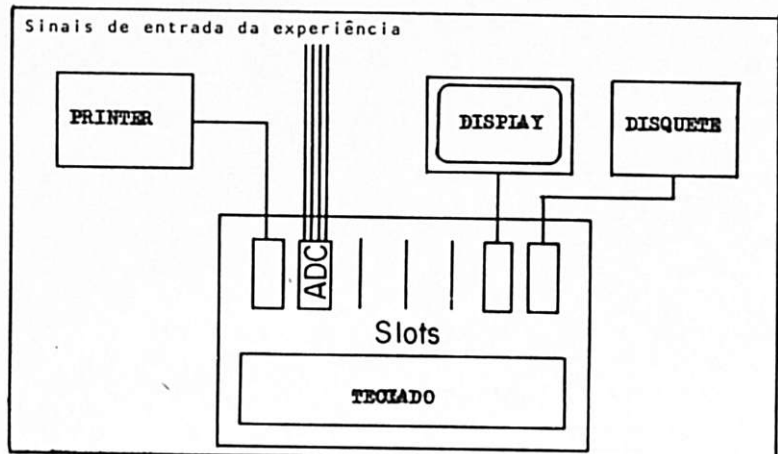


Figura 1 - Sistema usando o microcomputador acoplado a uma experiência.

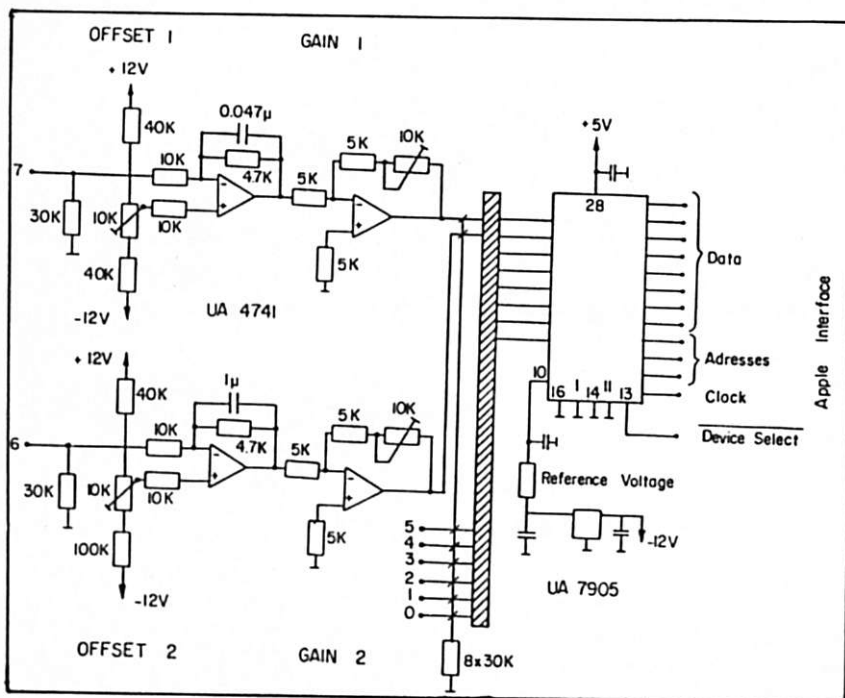


Figura 2 - Circuito do conversor analógico digital a ser introduzido no slot 2 de um Apple II.

## SOFTWARE:

Os dados de saída do conversor analógico-digital são lidos da memória temporária (nesta experiência CØA5 até CØA7) e transferidos para uma região reservada na memória do microcomputador. Para este procedimento utiliza-se simplesmente a instrução "PEEK". Entretanto o tempo de execução desta instrução é muito grande, limitando a frequência de transferência à 30 Hz. Devido a este fator um programa em linguagem Assembler foi desenvolvido para executar esta tarefa. A estrutura básica do programa está listada na tabela 3. Porém as instruções em código de máquina são processadas bem rapidamente, determinando a inclusão de "loops" de espera no programa. Desta forma adapta-se a velocidade do programa de transferência ao tempo de processamento do ADC (640µs). A tabela 3 mostra um programa para medição de 256 pontos de dados. É possível aumentar o número de pontos de medida, expandindo-se o programa. Na tabela 2 é mostrado o programa de "trigger". O nível do "trigger" é determinado pelo programa principal desenvolvido na linguagem BASIC (tabela 1), dedicado à parte experimental das oscilações livres. Este programa é simples e serve para construir a curva de medição das oscilações livres no "display". Na tabela 1 apenas a estrutura geral é mostrada. Programas mais sofisticados podem ser desenvolvidos, incluindo-se informações sobre a experiência, rotinas de "display", de listagem de parâmetros e tabelas contendo os resultados experimentais.

O programa referente à parte das oscilações forçadas não está listado. Na entrada 5 e 6 do conversor analógico-digital mede-se voltagens que correspondem às amplitudes e frequências da oscilação. Estes valores são armazenados na memória via programa, que é semelhante ao programa da tabela 3.

Neste caso porém não se introduz mais os "loops" de espera, pois é necessária uma medida rápida para detectar a amplitude da oscilação. Para uma dada frequência o programa apenas transfere o valor máximo da oscilação (amplitude) para a região reservada na memória do micro.

### 3. EXPERIÊNCIA - OSCILAÇÕES ELÉTRICAS

A finalidade da experiência é estudar as propriedades de um oscilador RLC. Não é portanto necessário que o estudante tenha conhecimentos de programação.

#### OSCILAÇÕES LIVRES:

Iniciando a experiência, o computador oferece informações técnicas e parâmetros físicos no monitor e faz o gráfico do circui

to RLC a ser montado (fig. 3). A voltagem no capacitor é inserida na entrada 7 do ADC. Quando a chave na posição especificada na figura 3 é ligada o programa de "trigger" inicia automaticamente o processo de medição. Os dados do ADC são transferidos a cada  $640\mu s$  para uma área reservada na memória do micro. Em um monitor existem normalmente 290 pontos horizontais, sendo que assim o processador de medição é terminado depois de 290 ciclos. Posteriormente os dados são processados e uma curva de medição é construída. Um "hardcopy" do monitor é mostrada na fig. 4. Para o estudo do efeito de amortecimento o valor da resistência R pode ser variado. Obtém-se desta forma o caso das oscilações periódicas e aperiódicas (fig. 4a-c).

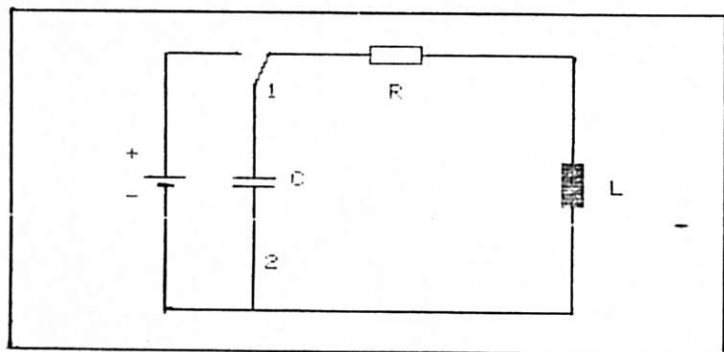
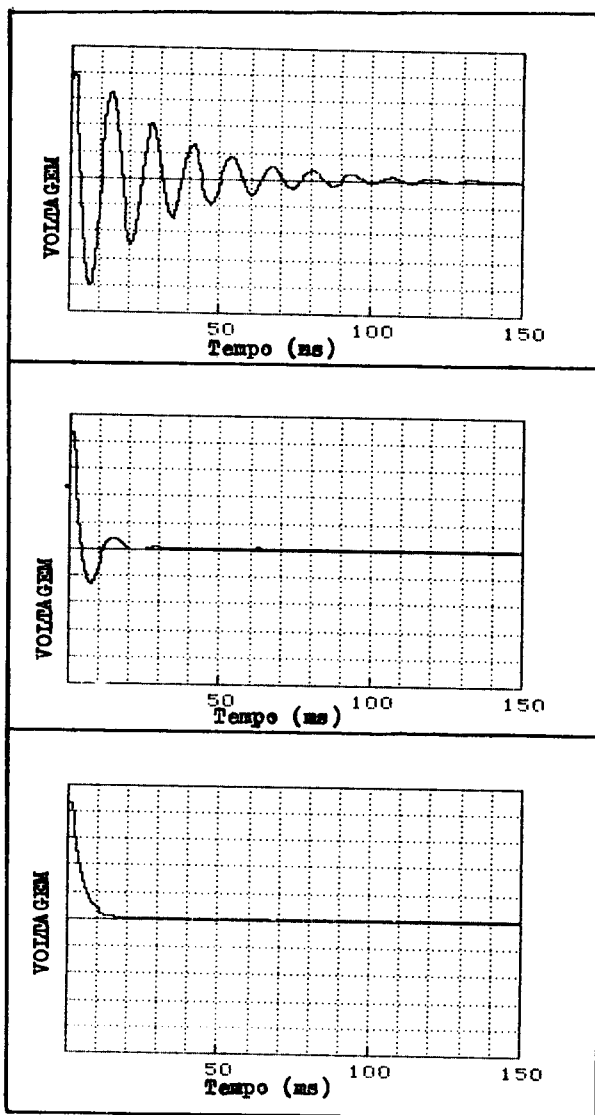


Figura 3 - "Hardcopy" do circuito do oscilador RLC a ser montado pelo estudante.  
( $R = 0$  to  $300\Omega$ ,  $C = 16\mu F$ ,  $L = 0.3$  H (com ferro))

Durante a experiência o microcomputador informa ao estudante os procedimentos a serem efetuados. Para avaliação da experiência o estudante necessita dos pontos zero e dos extremos da curva medida. Além da curva o micro fornece uma tabela que contém parâmetros. O estudante deve então calcular a frequência, a constante de amortecimento, a indutividade e a resistência da bobina, incluindo o cálculo dos erros. (Para fins de comparação estes valores podem também ser fornecidos pelo computador).



a.

b.

c.

Figura 4 - Oscilações livres de um oscilador da figura 3

- a)  $R = 0\Omega$  (+ resistência da bobina ( $15\Omega$ ))
- b)  $R = 90\Omega$
- c)  $R = 220\Omega$

## OSCILAÇÕES FORÇADAS:

Por indução, as oscilações forçadas podem ser produzidas no mesmo circuito e a curva de ressonância pode ser medida. O circuito a ser montado é mostrado no monitor (fig. 5). Um gerador tipo "sweep" produz uma voltagem com frequência variável (no caso ideal com corrente constante) no circuito primário. O circuito secundário é oscilador RLC da fig. 3, já descrito anteriormente. O gerador fornece uma voltagem auxiliar, que é proporcional ao logaritmo da frequência. Esta voltagem é simétrica à voltagem zero e é inserida na entrada 6 do conversor analógico-digital. A amplitude da oscilação forçada é medida na entrada 5. O período do "sweep" é no mínimo de 30 s, que é muito maior do que o período da oscilação. O programa em linguagem Assembler assegura que os dados somente serão transferidos para a memória se a frequência resultar em um acréscimo na saída do ADC. A transferência é feita então para o valor máximo determinado, medindo-se assim a amplitude. Na memória do computador são armazenados os pares de dados: amplitude da oscilação e logaritmo da frequência. Estes resultados representam a curva de ressonância que está mostrada na fig. 6a-c. A curva é determinada para diferentes valores de R, correspondendo a várias constantes de amortecimento. A avaliação destas curvas complementam os resultados da primeira parte da experiência.

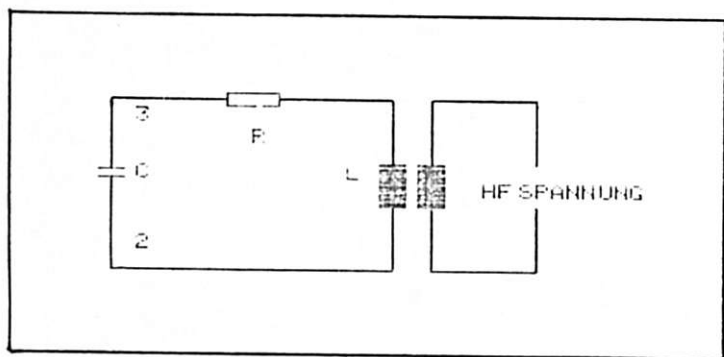


Figura 5 - Circuito para oscilações forçadas para medição da curva de ressonância.

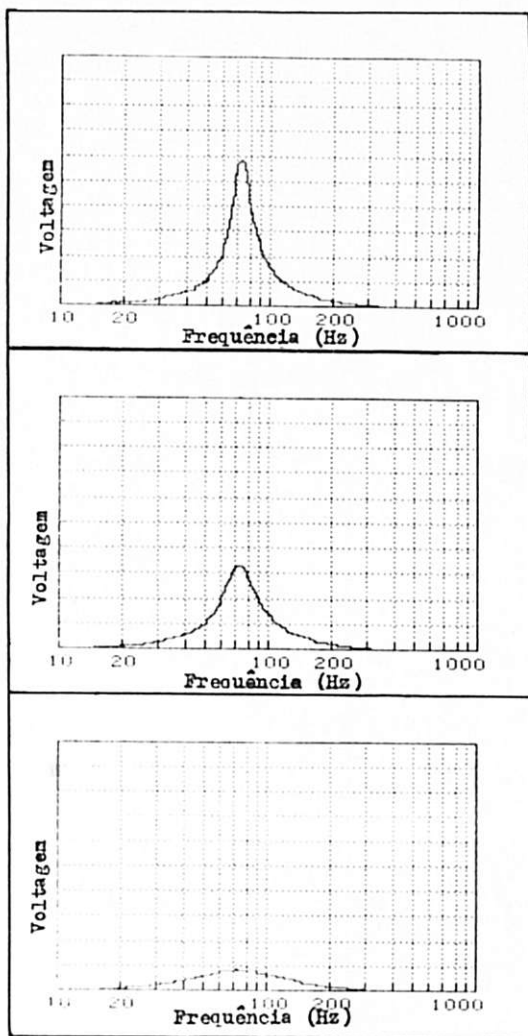


Figura 6 - Curva de ressonância do oscilador.

- a)  $R = 0\Omega$  (+ resistência da bobina ( $15\Omega$ ))
- b)  $R = 20\Omega$
- c)  $R = 90\Omega$



#### 4. CONCLUSÕES

O custo do sistema baseado em um microcomputador, descrito neste trabalho, é comparável ao preço de um osciloscópio básico. Para frequências baixas o sistema apresenta várias vantagens mencionadas na introdução. Além dos fatores relacionados, o sistema apresenta também vantagens didáticas. Isto é óbvio no que se refere à parte das "oscilações livres", onde um processo não-periódico é medido e mostrado no monitor. Usando-se um osciloscópio as oscilações livres devem ser excitadas periodicamente com um gerador de ondas quadradas. Além disso, o sistema baseado em um computador interage com o estudante e a experiência. A experiência já foi feita por grupos de estudantes mostrando que ela poderia também ser feita sem uma orientação prévia do professor. Concluímos que experiências acopladas a microcomputadores são uma alternativa muito útil num curso de física experimental.

Agradecemos ao Prof. Kubitzka, Berlim, pelas discussões importantes. O R. Bichmaches, Niterói, montou posteriormente este sistema na Universidade Federal Fluminense. O trabalho foi subvencionado em parte pela fundação VW, Alemanha.

TABELA 1Programa de display em linguagem Basic  
(Oscilações Livres)

1000 G=PEEK (-16217)	: Determinação do nível superior
1010 O=G+10: U=G-10	(O) e inferior (U) do "trigger"
1020 POKE 34800, O; POKE 34801, U	nível (COA7 = -16217) 87F0 = 34800 87F1 = 34801)
1030 POKE 34802, 255	: Determinação do número de pontos de medida (= 255) (87F2 = 34802)
1040 POKE 34803, 90	: Número de "Loops" de espera = 90 (87F3 = 34803)
1050 CALL 34864	: Início do programa de "trigger" (8830 = 34864)

Em seguida o estudante deve produzir as oscilações livres no circuito. Os programas de trigger e de leitura do ADC são executados e então o programa acima continua sua execução.

1060 X = 0 : Y = 0 : L = 0	
1070 L = L + 1	
1080 Y = PEEK (37120 - L)	: Leitura dos valores de ADC armazenados na memória com endereço 9000 a 90FF. (90FF = 37119).
1090 Y = 159 - Y/1.62	: Adaptação da escala para o display.
1100 HPLLOT X,Y	: Display dos valores do ADC, representando as oscilações livres.
1110 X = X + 1	: Próximo ponto de dado.
1120 IF X 255 GOTO 1070	: Display de 256 pontos de dado.

TABELA 2Programa de "trigger" na linguagem de Assembler  
(Oscilações livres)

Endereço	Conteúdo	
8830	LDA \$C0A7	: A saída do ADC é armazenada no endereço C0A7. O valor é transferido para o acumulador.
8833	CMP \$87F0	: O nível de "trigger" é armazenado no endereço 87F0. Se a saída do ADC for maior do que este nível o programa de leitura do ADC será executado (endereço inicial = 8800).
8836	BPL \$8800	
8838	CMP \$87F1	: O mesmo teste é feito com nível inferior do "trigger" armazenado no endereço 87F1.
883B	BMI \$8800	
883D	JMP \$8830	: Se a condição de trigger não for satisfeita, o programa de "trigger" será reexecutado.

TABELA 3

Programa de ADC - Leitura em linguagem de Assembler  
(Oscilações Livres)

Endereço	Conteúdo	
8800	LDX $\$87F2$	: O número de pontos de medida (<256) foi armazenado no endereço $87F2$ . Este valor é transferido ao registrador X.
8803	LDY $\$87F3$ "Loop" de espera.	: O número de "loops" é dado pelo conteúdo do endereço $87F3$ . Para o "ADC-7581" o "loop" é colocado em torno de 0.6 ms.
8806	DEY	
8707	CPY $\# \$00$	
8809	BNE $\$8806$	
880B	LDA $\$C0A7$ "Loop" de armazenamento.	: A saída 7 do ADC é armazenada a cada 0.6 ms no endereço $C0A7$ . Este valor é transferido temporariamente para o acumulador.
880E	STA $\$9000,X$	: A saída do ADC é agora armazenada permanentemente no endereço $9000+X$ onde X é o conteúdo do registrador X.
8812	CPX $\# \$00$	: O resultado é comparado com zero.
8814	BNE $\$8803$	: Se o resultado não for nulo, o programa desviará para o endereço $8803$ .
8816	RTS FIM.	: Se o conteúdo do registrador for nulo, o programa retornará ao programa principal. O número de "loops" (= número de pontos de medida) é determinado pelo conteúdo do endereço $87F2$ .