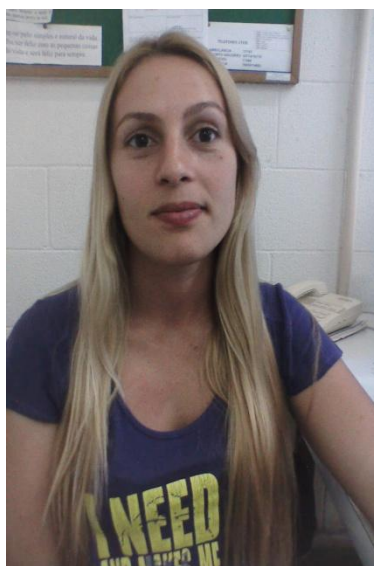


## RELATÓRIO FINAL DE INSTRUMENTAÇÃO – F 530

### BALANÇA A BASE DE PIEZOELÉTRICOS



***Aluna:*** Thais Moreno Casagrande RA:025245  
***Orientador:*** Prof. Juan Carlos P. Campoy  
***Prof. Responsável:*** Dr. José Joaquim Lunazzi

**IFGW/UNICAMP  
NOVEMBRO/2008**

## INTRODUÇÃO

Os piezoelétricos são osciladores de campo elétrico que são utilizados, principalmente, como sensores de pressão. A principal característica destes dispositivos é que a sua frequência natural de ressonância é extremamente sensível a mudanças de pressão ao seu entorno. Pequenas alterações de pressão podem ser detectadas com bastante precisão a partir de uma mudança na sua frequência ressonante. Em particular a presença de massas sobre a superfície do piezoelétrico também provoca uma variação equivalente. Nossa proposta é a de estudar e caracterizar a frequência ressonante de um piezoelétrico em função da massa depositada sobre a sua superfície.

## OSCILADORES DE CAMPO

Os osciladores de campo elétrico ou piezoelétricos foram descobertos pelo físico Pierre Curie em 1880, quando constatou que uma corrente elétrica surgia em certos cristais quando submetidos a pressões. Pode-se dizer que o efeito piezoelétrico é a produção de uma voltagem quando um certo cristal é comprimido, sendo este chamado de efeito piezoelétrico direto. O efeito reverso consiste na compressão ou expansão de um cristal induzida pela aplicação de uma voltagem.

Os osciladores de campo elétrico podem ser divididos em dois grandes tipos: os de quartzo e as cerâmicas. As cerâmicas possuem uma excelente resistência mecânica, menor volume e menor custo mas o quartzo apresenta menor tolerância de frequência, menor variação com a temperatura e menor capacitância própria, resultando seu uso adequado para frequências elevadas e em sistemas onde a estabilidade térmica não é rigorosamente controlada.

Os piezoelétricos, por se tratarem de osciladores, possuem uma frequência de ressonância natural sendo representado seu circuito equivalente por um circuito RLC. Quando uma massa qualquer é posicionada sobre a superfície do piezoelétrico a sua frequência de ressonância muda proporcionalmente. A relação entre o desvio na frequência de ressonância e a sua variação de massa é dada pela equação de Sauerbrey [G. Sauerbrey, *Z. Phys.* **155**, 206 (1959)]

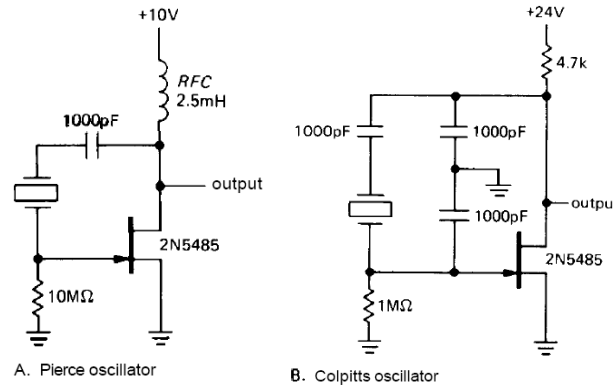
$$\Delta f_m = f_m - f_c = - \left( \frac{2f_c^2}{\sqrt{\mu_c \rho_c}} \right) \frac{\Delta m}{A}$$

onde,  $\Delta f_m$  é o desvio em frequência em relação a frequência de ressonância  $f_c$ .  $f_m$  é a frequência medida na balança devido a variação de massa  $\Delta m$  em sua superfície.  $A$  é a área da face do cristal onde é feita a deposição da massa,  $\mu_c$  e  $\rho_c$  são, respectivamente, o módulo de cisalhamento e a densidade do cristal de quartzo.

## CIRCUITOS OSCILADORES

São formados basicamente por um elemento ativo de amplificação, um circuito ressonante e uma alimentação positiva que faz a oscilação ocorrer de forma permanente. Estudamos tipos de circuitos osciladores tendo como sinal de saída uma onda senoidal: Hartley que utiliza um par de indutores, capacitor e transistor; Pierce que utiliza somente um indutor, capacitor, resistor e um transistor, mas para se obter variabilidade de frequência perde-se muita

qualidade na onda senoidal (isto também ocorre no oscilador Hartley); Colpitts que já possui uma excelente frequência padrão, pois envolve o uso de cristal piezoelétrico, capacitores, resistores e um transistor de resposta rápida que permite manter a frequência com acurácia de 0.001%. Para este projeto montamos um circuito do tipo Colpitts com frequência de ressonância de 4 MHz. Observe-se, que o uso do oscilador Colpitts evita o uso do indutor.



## EXPERIMENTAL

### MONTAGEM EXPERIMENTAL

Devido a sua estabilidade térmica os piezoelétricos de quartzo são os mais indicados para seu uso como medidores de massa, pois ruídos eletrônicos devem ser suprimidos o suficiente. O oscilador de quartzo foi montado em um circuito tipo Colpitts como mostrado na figura abaixo.

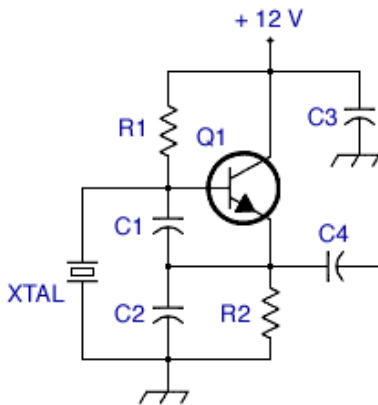


Fig. 1.- Circuito oscilador do tipo Colpitts.

Para isto, inicialmente, montamos o circuito em um *protoboard* e uma vez obtida a verificação do seu funcionamento, foi montado em placa de circuito impresso. Os valores utilizados foram: C1 = 100 pF; C2 = 680 pF; C3 = 0.01 uF; C4 = 0.001 uF; Q1 = 2N3904; R1 = 220 K; R2 = 1 K; XTAL = 4MHz. Na figura a seguir o circuito montado no *protoboard* e a medida da frequência de ressonância realizada em um osciloscópio digital.

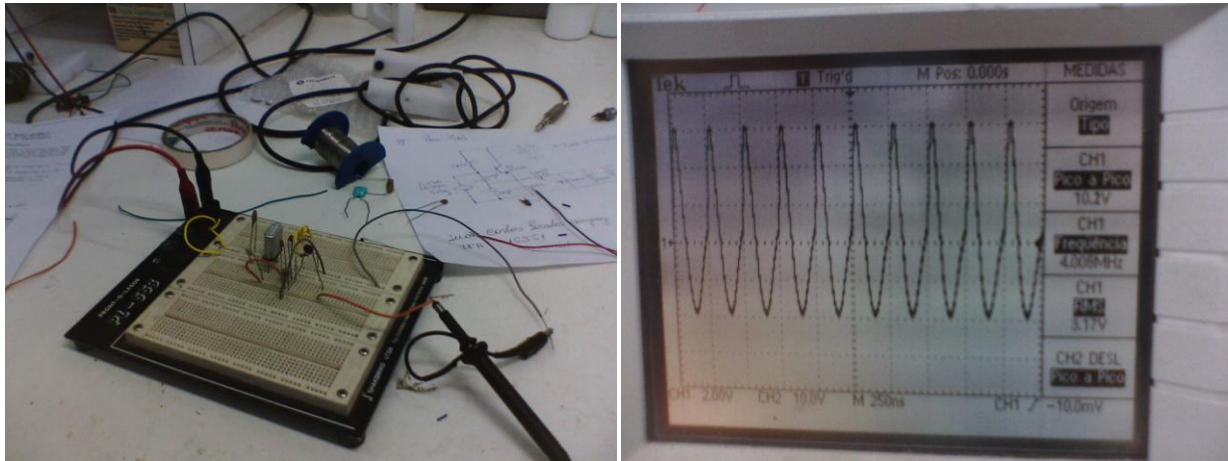


Fig. 2.- Circuito oscilador na sua fase de montagem. Do lado esquerdo o circuito montado no *protoboard* e ao lado direito o sinal medido em um osciloscópio digital.

A montagem final é mostrada na figura 3. A pesar dos esforços realizados, não foi possível manter a frequência estável de 4 MHz obtida na pré-montagem (*protoboard*); esta fica variando entre 3,8 MHz e 4,3 MHz. Por este motivo, a medida da massa que seria feita em função da frequência ficou comprometida. Visto este problema, e devido a dificuldade em se esparzir adequadamente a gota de álcool sobre toda a superfície no cristal piezoelétrico, decidimos testar a relação  $\frac{\Delta m}{A} \sim cte$  de tal maneira que  $\Delta f_m \sim 0$ .

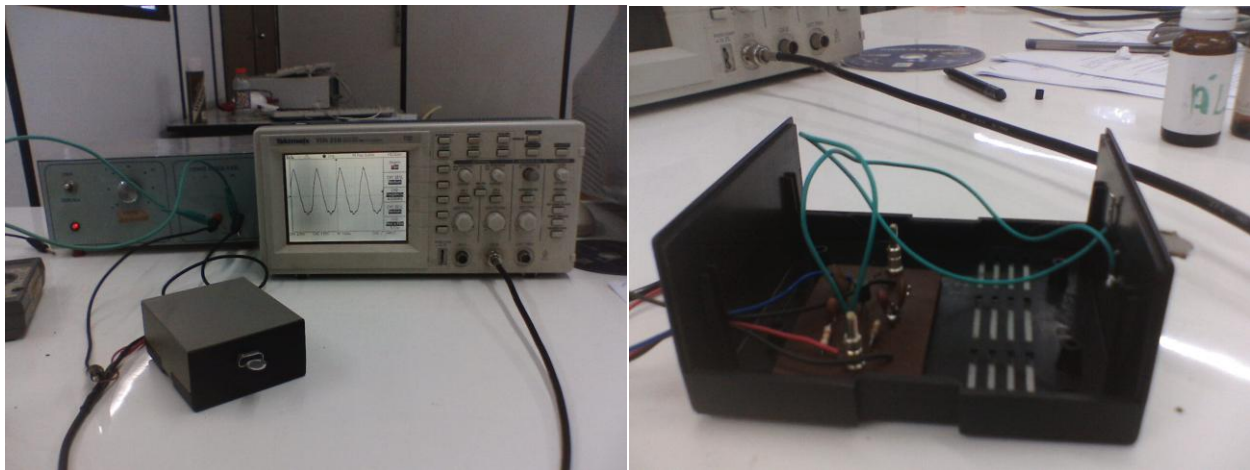


Figura 3.- A esquerda a montagem final e a direita vista do interior do circuito.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O circuito é extremamente sensível a massas como álcool, que se acopla perfeitamente ao cristal. Para testar o dispositivo desenvolvemos um conta-gotas de vidro que nos permitisse esparzir gotas bem pequenas (da ordem de 6 mg) sobre a superfície do cristal piezoelétrico.

Também testamos a resposta que o circuito dá frente a gotas maiores da ordem de 17,5 mg. Observe-se, que em ambos os casos a relação  $\frac{\Delta m}{A} \sim cte$  é mantida, pois cada gota determina uma área de contato, com a superfície do cristal piezoelétrico, aproximadamente proporcional a sua massa. A figura 4 mostra a evolução das medidas experimentais.

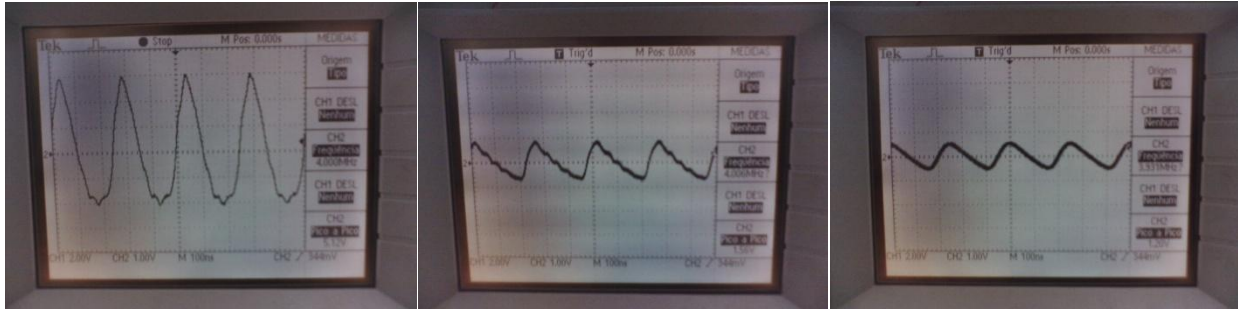


Figura 4.- Medidas experimentais em função do tamanho e massa da gota. A figura a esquerda mostra a resposta sem gota (5,12 V), no centro com gota pequena de 6 mg (1,56 V) e a direita com a gota de 17,5 mg (1,20 V).

A figura 5 mostra o gráfico da dependência da voltagem pico-pico medida em função da massa da gota mantendo  $\frac{\Delta m}{A} \sim cte$  e, portanto,  $\Delta f_m \sim 0$ .

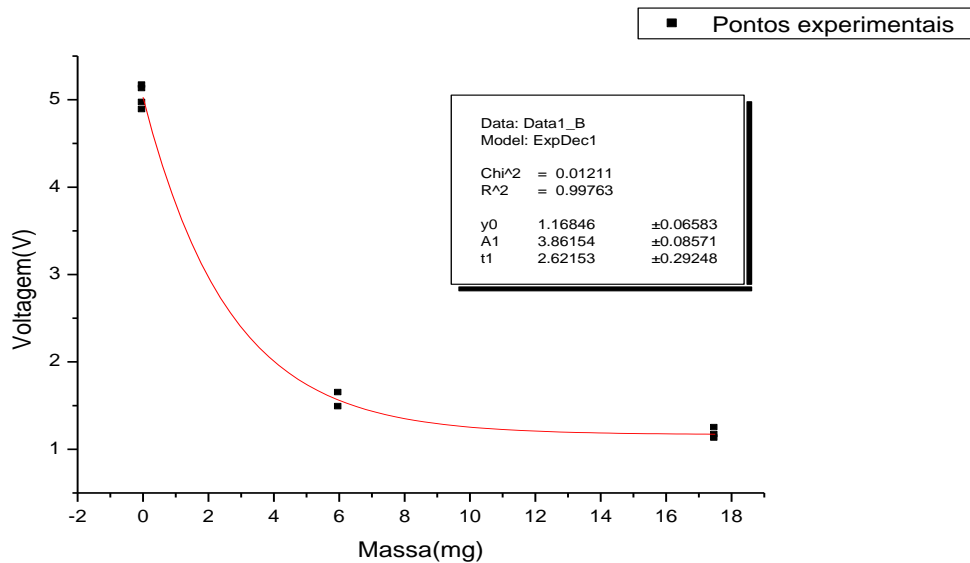


Figura 5.- Voltagem pico-pico no cristal piezoelétrico em função da massa da gota.

Observamos, neste arranjo experimental, que a medida da voltagem pico a pico tem uma resposta exponencial decrescente com o aumento da massa. Não foi observada variação na medida da frequência dentro da precisão do sistema.

## CONCLUSÃO

A escolha de um circuito tipo Colpitts para o experimento foi apropriada. Os resultados indicam que o circuito oscilador contendo o cristal de quartzo oscila com bastante estabilidade, como esperado, na frequência de 4.006 MHz. Porém, quando montado no circuito impresso apresentou instabilidade.

Para  $\frac{\Delta m}{A} \sim cte$  e, portanto,  $\Delta f_m \sim 0$ , a resposta encontrada na voltagem pico-pico foi uma exponencial decrescente. A dependência encontrada,  $\Delta V_m = C + V_0 e^{-\alpha(\Delta m)}$ , pode ser usada para  $\Delta m$  pequenos. Observa-se, nestas condições, que para massas compreendidas entre 0 e 6 mg o sistema apresentaria bastante precisão, pois  $\frac{\Delta V}{\Delta m} \sim 0,6 \frac{V}{mg}$ .

No nosso caso, encontramos os seguintes parâmetros de ajuste:  $C = 1,16 V$ ,  $V_0 = 3,86 V$  e  $\alpha = 2,62 mg^{-1}$ . Mais experimentos envolvendo a fabricação de conta-gotas de diferentes diâmetros são necessários para definir este comportamento com maior precisão.

## PARECER DO ORIENTADOR

O principal objetivo foi atingido com bastante sucesso, isto é, a montagem do oscilador Colpitts. Devido ao problema de esparzir adequadamente a gota de álcool sobre toda a superfície do cristal piezoelétrico, optamos por manter a relação  $\frac{\Delta m}{A} \sim cte$  e, portanto,  $\Delta f_m \sim 0$ , a qual nos permitiu encontrar a dependência exponencial antes mencionada. Este resultado indica que nestas condições o circuito também pode ser usado como sensor de massa.

A dependência com a frequência (relação de Sauerbrey) é um resultado bem conhecido, mas a dependência encontrada,  $\Delta V_m = C + V_0 e^{-\alpha(\Delta m)}$ , a saber é nova e pode ser usada para  $\Delta m$  pequenos.

Finalmente, cabe ressaltar que o trabalho experimental foi realizado com bastante esmero e paciência pela aluna.

## Agradecimentos

Os autores do presente projeto agradecem a ajuda dos técnicos Claudemir e José Carlos da Oficina de Eletrônica do Instituto de Física “Gleb Wataghin”.

Prof. Dr. Juan Carlor Paredes Campoy