

ESTUDO EXPERIMENTAL DE OSCILAÇÕES FORÇADAS NO ORBITRON

José Celso Thomaz Júnior
 * Ross Alan Douglas
 Carlos Viana Speller

Deptº de Física, ITA/CTA, 12225 São José dos Campos - SP
 * Deptº de Física Aplicada, IFGW/UNICAMP, 13085 Campinas-SP

Resumo

Na tentativa de correlacionar as frequências de ressonância observadas em um Orbitron com as oscilações RF produzidas no mesmo, construímos um dispositivo e iniciamos a investigação da validade de se interpretar este fenômeno com base no movimento orbital dos elétrons e sua interação com a região de assimetria do potencial no filamento.

Os resultados mostraram uma concordância razoável entre essas frequências, o que poderia levar à utilização deste dispositivo como um filtro de massas.

1. Introdução

No Orbitron, elétrons de um filamento aquecido são injetados em um campo eletrostático entre dois cilindros coaxiais, com energia e momentum angular de tal forma que eles orbitam em torno do cilindro central.

Em um trabalho^[1] recente, uma primeira tentativa de correlacionar as oscilações de R.F. produzidas por um Orbitron, medidas por Troise^[2] e as "frequências de ressonância" detectadas por "Speller"^[3] foi feita.

Tanto no trabalho de Troise como no de Speller, um modelo de órbitas^[4] é usado na tentativa de explicar as frequências observadas. Troise procurou relacionar estas frequências com as frequências de "fechamento" das órbitas no interior do Orbitron. Posteriormente Speller supôs um potencial R.F. ao potencial logarítmico, observando que, para determinadas frequências, a corrente de íons coletada no cilindro externo tornava-se negativa. Este fenômeno poderia ser interpretado dentro de nosso modelo de órbitas como se o elétron, de alguma forma, absorvesse energia do campo e fosse ejetado para fora de sua órbita (ressonância), atingindo conseqüentemente o cilindro externo.

Os primeiros resultados demonstra

ram uma boa concordância entre a experiência de Speller (1975) com os resultados de Troise (1970), o que nos motivou a elaboração de um projeto para financiar a construção de uma experiência, como objetivo de um estudo mais detalhado desta correlação, a investigação da validade de se utilizar o modelo de órbitas, e conseqüentemente a utilização desta correlação com finalidade de uma possível concepção de um filtro de massas.

2. Descrição Experimental

A. Montagem:

Os dois cilindros, o interno (ânodo) consistindo de um fio de cobre esticado de 1.10^{-1} cm de diâmetro e o externo, coletor de íons (catodo) feito com aço inox com 7,96 cm de diâmetro, ambos com 30 cm de altura, foram colocados verticalmente sobre uma mesa de aço e inseridos dentro de uma campânula. O ânodo é mantido em um potencial positivo V, tipicamente 500V, e o catodo é mantido no potencial terra. A fonte de elétrons é um pequeno filamento (0,025mm diâm. por 3,0mm de comprimento) de tungstênio, fixado sobre uma estrutura montada com fio de tântalo, e mantida em um potencial de polarização V, tipicamente 5V. As extremidades dos cilindros. (espelhos eletrostáticos) são também colocados no potencial terra com o objetivo de refletir elétrons axialmente.

O sistema de vácuo utilizado consiste de uma bomba mecânica com velocidade de $17m^3/h$ e uma bomba difusora com velocidade de bombeamento de 700l/s acopladas à campânula e que permitiu alcançar uma pressão final de $8,0 \cdot 10^{-7}$ Torr.

Para aplicação do sinal R.F. utilizamos um gerador de sinais com varredura entre 50KHz a 65MHz, e a detecção da corrente no cilindro externo (catodo), é feita com um eletrômetro com varredura entre 0 a $1,0 \cdot 10^{-11}A$.

Um esquema simplificado do circuito é apresentado na figura 1.

B. Resultados e Discussão:

Inicialmente, ainda como gerador de sinais acoplado ao topo (excitação axial) do cilindro, detectamos a presença de picos de corrente negativa, ou seja, para determinadas frequências a corrente no catodo (íons) torna-se negativa (elétrons), e procuramos verificar a correspondência destes resultados com os que são previstos pela teoria de Troise.

O espectro é mostrado na Fig. 2, como um exemplo, e os cálculos das frequências das orbitas fechadas (que são uma projeção no plano transversal do Orbitron) foram obtidos da expressão

$$V_f = \frac{Q}{(2n-1)\tau} \dots\dots 1$$

com

$$Q = \left[\frac{2eV_a}{m} \right]^{1/2} \frac{1}{r_1} \exp \left[- \frac{(V_a - V_p)}{P_o} \right] \dots\dots 2$$

onde

$$P_o = V_a / \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \dots\dots 3$$

Onde e e m designam a carga e a massa do elétron, $(2n-1)$ é o número de lóbulos (evoluções), τ é uma variável reduzida relacionada com o tempo de evolução (tempo entre dois apogeu ou perigeus sucessivos), V_a é a voltagem do anodo, r_1 e r_2 são os raios do cilindro interno e externo, respectivamente.

Neste exemplo o valor de P_o é 68,49V e $Q = 1,298 \cdot 10^8$. A tabela 1 mostra os valores de frequências de fechamento e os valores experimentais das frequências de ressonância obtidos em nossa experiência para as condições de referência.

Tabela 1:

(2n-1)	V_f (MHz)	V_{ex} (MHz)	r_p (cm)
1	24,1	20,5	2,41
3	11,8	11,5	0,69
5	7,3	4,0	0,10

O não aparecimento de frequências de fechamento com valores $(2n-1) = 7, 9$ é explicado por Troise através do raio do perigeu da órbita. Observamos que para $(2n-1) = 7$ o raio do perigeu é igual a 0,023 cm e, portanto menor do que o raio do cilindro interno ($r_1 = 0,05$ cm), fazendo com que o elétron nesta órbita seja imediatamente coletado; consequentemente para valores de $(2n-1) > 7$ a órbita não deverá existir e essas frequências

não serão observadas.

Esses primeiros resultados demonstraram uma razoável concordância dentro de nosso modelo, e então procuramos realisar um estudo mais detalhado destas frequências. Primeiramente, alteramos o modo de excitação dos elétrons para o cilindro externo (excitação radial)*. Nosso propósito com esta alteração é a investigação da dependência das frequências de "ressonância" com a componente radial do campo.

A Fig. 3 esquematiza como esta dependência se procede.

Na posição (1) observamos que devido à assimetria longitudinal do potencial gerada no topo do Orbitron, o elétron ficará submetido a uma componente predominantemente axial e uma pequena componente radial do campo elétrico (axial \gg radial) enquanto que na posição (2) o elétron ficará submetido essencialmente à componente radial do campo elétrico (radial \gg axial).

O espectro com excitação radial é mostrado na Fig. 4. Observamos inicialmente que com excitação radial, a "ressonância" continua ocorrendo, o que nos leva a supor que estas frequências são produzidas pela componente radial. Em seguida, comparamos nossos resultados com o modelo proposto por Troise para estas condições. ($P_o = 52,51V$ e $Q = 1,12 \cdot 10^8$).

Os resultados são mostrados na tabela 2.

Tabela 2

(2n-1)	V_f (MHz)	V_{ex} (MHz)	r_p (cm)
1	20,8	19,1	2,41
3	10,2	11,8	0,69
5	6,3	7,9	0,10

Verificamos então a variação destas frequências com $\sqrt{V_a}$, como mostra a Fig. 5. Novamente os resultados mostram uma razoável concordância entre o modelo proposto e a experiência, exceto por uma diferença aproximadamente constante com a variação de $\sqrt{V_a}$.

A princípio, o modelo de orbitas por si mesmo não é suficiente para explicar as frequências "ressonantes". Se admitirmos que a ejeção de elétrons esteja associada a um aumento do apogeu de órbita fechada durante uma ressonância induzida pela componente radial do campo elétrico R.F., deveremos observar uma ressonância

* O Orbitron montado em nosso laboratório é dividido em três seções de forma que temos três maneiras de excitar radialmente os elétrons.

em cada evolução (onde ocorre o apogeu), ou seja, as frequências experimentais deveriam ser iguais ao número de lóbulos vezes a frequência de fechamento calculada. Os múltiplos inteiros desses valores também deveriam ser ressonantes. Na realidade, em princípio, qualquer órbita, fechada ou não, deveria produzir ressonâncias pois, se a componente de campo R.F. radial possui simetria radial, a condição para que haja ressonância está associada à periodicidade temporal do movimento, T (tempo de evolução entre dois apogeus sucessivos), mas não necessariamente à periodicidade em θ (posição angular no plano transversal do Orbitron)*.

Outro problema com o qual nos deparamos e não encontramos explicação dentro do nosso modelo, é o da órbita circular que deveria aparecer apenas para uma condição de P_0 e V_0 ; ou seja, a órbita circular tem energia bem definida e constante, mas o que observamos é que ela aparece para todas as condições.

É possível que estas frequências de "ressonância" estejam relacionadas com a existência de uma nuvem eletrônica, formada em torno do filamento (condições de carga espacial limitada). Uma hipótese que poderíamos levar em consideração numa tentativa para explicar a razão pela qual apenas alguns tipos de órbita são "ressonantes" com o campo R.F. externo consiste em admitir o estabelecimento de uma modulação da emissão do filamento. Se observarmos a estrutura do conjunto blindagem-filamento, verificamos que há uma região de campo nulo (vide referências 2 e 5), na qual a nuvem eletrônica deve permanecer em equilíbrio instável. A interação com os elétrons em órbita que cruzassem a região do filamento destruiria este equilíbrio, alterando a emissão do filamento. Em particular, se as órbitas se fecharem, sobre o filamento poderá haver um processo regenerativo com uma frequência correspondente ao fechamento da órbita (vide referência 2). As outras órbitas, abertas, teriam suas periodicidades temporal e angular alteradas à cada passagem pela região de distorção do potencial, não sendo possível, em princípio, prever seu comportamento posterior, ressonante ou não. Existem outras frequências ressonantes que estamos estudando e procurando explicar dentro do nosso modelo.

* Por não periodicidade em θ , entende-se aqui que, para uma órbita aberta, a separação angular entre dois apogeus sucessivos mantém-se constante, mas que em translações sucessivas estes apogeus não ocorrerão necessariamente para os mesmos valores da posição angular θ .

Deveremos ainda realizar alguns testes para investigar a dependência da nuvem eletrônica com as "frequências de ressonância", mas acreditamos que nossas hipóteses estão muito próximas da experiência; e, dentro desta perspectiva, tornar viável a utilização do Orbitron como filtro de massas, já que as relações (1) e (2) mostram uma dependência das frequências estudadas com a raiz quadrada de e/m . Para o caso de um filtro de massas, o filamento é removido e uma fonte convencional de íons é adaptada ao Orbitron. Esta tarefa constituiria uma das próximas etapas de nosso projeto.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e PADCT/FINEP pelo apoio financeiro, e ao Prof. José Silvério E. Germano pela colaboração na construção dos gráficos via computador.

Referências:

- [1] C.V. Speller; R.A. Douglas e J.J.C. Guedes, "Estudo de Trajetórias de Elétrons em um Orbitron com um Potencial R.F. Superposto", Rev. Bras. Aplic. Vac. 7, 91-98 (1987).
- [2] S.J. Troise, "Oscilações de Radio Frequência no Orbitron". Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo - USP - 1970.
- [3] C.V. Speller, "Um Estudo de Oscilações no Orbitron". Tese de Mestrado, Universidade de Brasília, UnB, 1975.
- [4] R.H. Hooverman, J. Appl. Phys. 34, 3505 (1963).
- [5] E.A. Meyer and R.G. Herb J.Vac. Sci. Technol. 4,63 (1966).

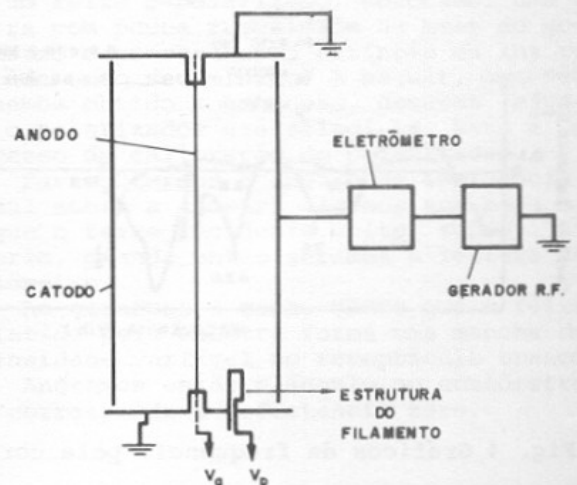


Fig.1 Esquema Simplificado da Experiência.

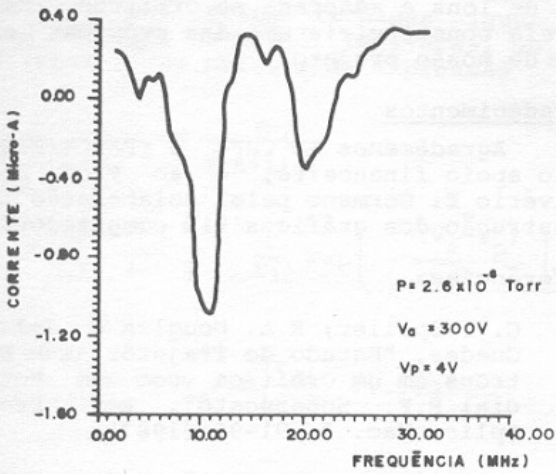


Fig. 2 Gráficos da frequência pela corrente no cilindro externo (axial)

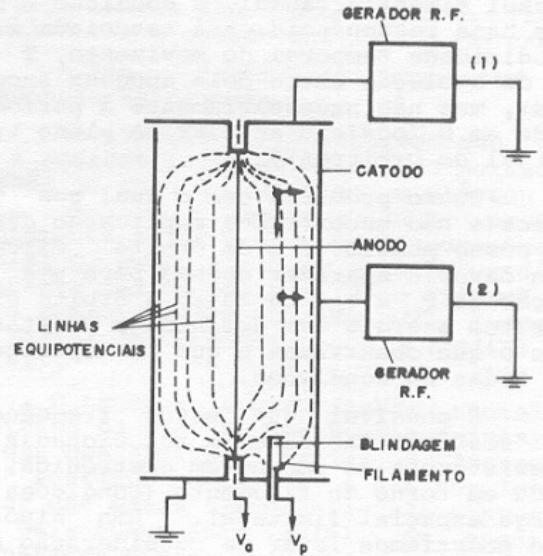


Fig. 3 Diagrama dos modos de excitação (radial e axial).

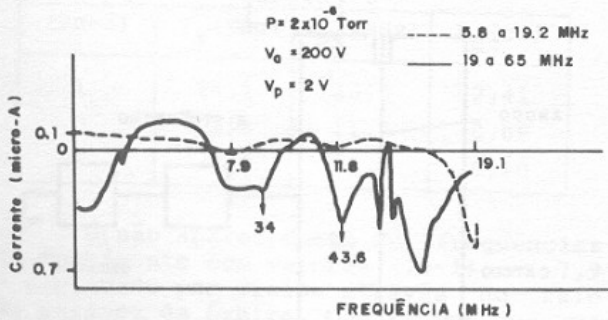


Fig. 4 Gráficos da frequência pela corrente no cilindro externo (radial).

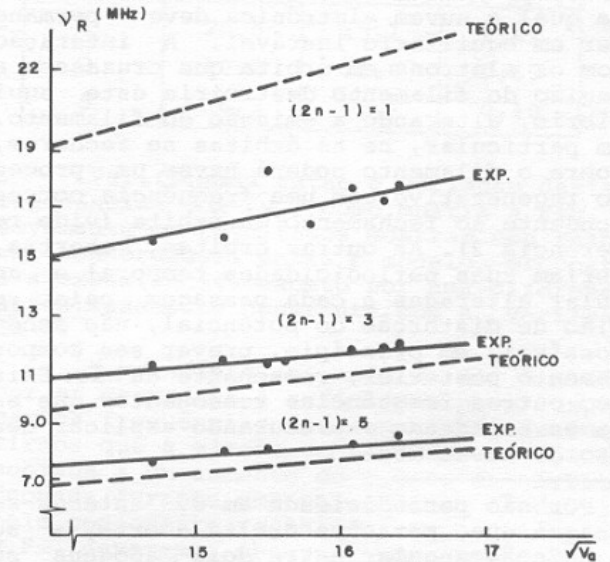


Fig. 5 Gráficos da frequência de ressonância pela raiz quadrada de V_a .