



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

A INFLUENCIA DE UMA EXCITAÇÃO NÃO-IDEAL PARA UM SISTEMA ENERGY HARVESTING

Jorge Luis Palacios Felix¹, Rafael Bianchin ^{*2}

^{1,2} Universidad Federal do Pampa-UNIPAMPA, PPEng

Av. Tiarajú 810, Ibirapuitã, Alegrete RS, Brasil

correo-e: ¹ jorge.felix@unipampa.edu.br, ² rafaelpbianchin@gmail.com.

RESUMEN

Estudamos um sistema de captação e armazenamento de energia denominado Energy Harvesting usando material piezolétrico. Para este fim examinamos as vigas engastadas e acopladas configuradas para um pórtico flexível com não linearidades quadráticas que suportam os piezolétricos anexados a um circuito elétrico que mostraria o desempenho do potencial elétrico.

Alias é considerada uma excitação de tipo não ideal aplicada lateralmente ao sistema por uma plataforma vibratória, ou seja, de frequência rotacional variável de um motor elétrico e de potencia limitada sendo comparada com uma excitação harmônica definida como excitação ideal para examinar a dependência do desempenho do potencial elétrico ou da saída da voltagem.

O desenvolvimento do comportamento dinâmico do pórtico e dos piezolétricos (seja regular ou caótica) é analisado na passagem de ressonância usando a ferramenta da dinâmica não linear e caos no ambiente computacional de MATLAB®-SIMULINK: série temporal, retratos de fase e, curvas de ressonância.

Palabras Claves: *Captação de energia, Materiais Piezolétricos, Pórtico não-linear, Excitação não-ideal.*



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, tem crescido as investigações, seja numérica e experimental, sobre captação de energia ou gerador de energia usando estruturas flexíveis não lineares e materiais piezelétricos para o desenvolvimento de tecnologias alternativas no processo de conversão de sinais de vibração estrutural em energia elétrica. Este processo ficou conhecido como *Energy Harvesting*, ou *Piezoelectric Energy Harvesting* (também chamado de *Energy Scavenging*) sendo o último assim denominado quando se utiliza materiais piezelétricos no processo de conversão energética. Sem desmerecer os outros autores, destacam-se no uso desses materiais piezelétricos cujas características lineares e não lineares são exploradas nos trabalhos de Ertuk et al. [1] que utilizaram a modelagem de um piezelétrico linear enquanto nos trabalhos de Triplett and Inman [2] utilizaram a modelagem de um piezelétrico não linear. Alias, tem se destacado o uso de configurações geométricas e os modos de vibração no desempenho de melhor aproveitamento de energia elétrica [3, 4]. Recentemente, o uso de piezelétrico não linear acoplado no sistema não ideal e caótico para captação de energia vibratória foi desenvolvido por [5]. Este trabalho apresenta a proposta de inovação de um protótipo de gerador de energia via piezelétrico em micro escala considerando: explorar a excitação não ideal de acordo [6, 7]; a introdução dos efeitos não linearidades quadráticas de acoplamento e ressonância interna [8]; explorar as interações modais baseado no fenômeno de saturação [9]; o desenvolvimento de um sistema não ideal: Trata-se da interação dinâmica entre um pórtico plano de vigas flexíveis e uma fonte de excitação representada por um motor desbalanceado de potência limitada no topo do pórtico. As de equações de movimento representadas por equações diferenciais não lineares de três graus de liberdade [10, 11]:

$$\ddot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = \varepsilon[-\alpha_5 q_1 q_2 + \alpha_1 (\ddot{q}_3 \sin q_3 + \dot{q}_3^2 \cos q_3) - \mu_1 \dot{q}_1] \quad (1)$$

$$\ddot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = \varepsilon[-\alpha_6 q_1^2 + \alpha_2 (-\ddot{q}_3 \cos q_3 + \dot{q}_3^2 \sin q_3) - \mu_2 \dot{q}_2 - \alpha_8] \quad (2)$$

$$\ddot{q}_3 = \varepsilon[\alpha_3 \ddot{q}_1 \sin q_3 - \alpha_4 \ddot{q}_2 \cos q_3 - \alpha_7 \cos q_3 + a - b\dot{q}_3] \quad (3)$$

onde as coordenadas generalizadas adimensionais: q_1 corresponde o deslocamento na direção horizontal da coluna, q_2 corresponde o deslocamento na direção vertical da viga horizontal e $q_3 = \varphi$ corresponde o deslocamento angular da massa desbalanceada fixada no eixo do motor. Enquanto os parâmetros adimensionais α_i , $i = 1, \dots, 8$ são definidos em [11].



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Similarmente, em relação à estrutura aporticada com excitação ideal e não ideal foram desenvolvidos por [12-14]. Finalmente, explorar o método de Perturbação para sistema não ideal [10, 11]:

Nesse caso, estuda-se analiticamente a interação entre dois modos de vibração de uma estrutura aporticada flexível sujeita a uma excitação não ideal. O fenômeno de saturação estaria presente no sistema sempre que: os termos não lineares quadráticos de acoplamento ($-\alpha_5 q_1 q_2$ e $-\alpha_6 q_1^2$) estejam presente no sistema; desenvolvimento pela passagem da região de ressonância entre a frequência de excitação e a frequência natural do segundo modo de vibração ($\dot{q}_3 \approx \omega_2$) e a condição de ressonância interna entre as frequências naturais dos modos de vibração com relação $\omega_2 = 2\omega_1$.

As soluções em estado permanente para as Equações (1)-(3) pela passagem da segunda ressonância $\dot{q}_3 = \Omega \approx \omega_2$ foram aproximadas pelo método da media [10, 11]. Para região de ressonância ($\dot{q}_3 < \omega_2$ ou $\dot{q}_3 > \omega_2$), as amplitudes de oscilação da coluna q_1 são pequenas enquanto da viga horizontal q_2 predominam:

$$q_1 \approx 0, q_2 = \frac{\alpha_2 \Omega^2}{\omega_2 \sqrt{4(\Omega - \omega_2)^2 + \mu_2^2}} \cos(\Omega t - \xi_2), q_3 = \Omega t, \quad (4)$$

Onde a frequência de excitação Ω satisfaz a seguinte equação:

$$\frac{a - b\Omega}{I_m - m_0 r^2} = \frac{\alpha_2 \alpha_4 \mu_2 \Omega^3}{8(\Omega - \omega_2)^2 + 2\mu_2^2} \quad (5)$$

Nesse caso, o piezelétrico acoplado na viga horizontal aproveita a energia vibratória. Por conseguinte, a *potência elétrica gerada seria mínima*.

Quando o sistema atravessa a região de ressonância externa ($\dot{q}_3 = \Omega \approx \omega_2$ ou $\sigma_2 \approx \Omega - \omega_2$) e considerando a ressonância interna $\omega_2 = 2\omega_1$ ou $\sigma_1 = \omega_2 - 2\omega_1 = 0$ as energias de vibração da viga horizontal é transferida para coluna (fenômeno de saturação):

$$a_1 = \sqrt{\frac{\Gamma_1 \pm \sqrt{\Gamma_3^2 - \Gamma_2^2}}{2}}, a_2 = \frac{\omega_2}{\alpha_5} \sqrt{\mu_1^2 + \sigma_2^2} \quad (6)$$



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

onde

$$\Gamma_1 = \frac{4\omega_2^2}{\alpha_5\alpha_6} [2\sigma_2^2 - \mu_1\mu_2], \Gamma_2 = \frac{4\omega_2^2}{\alpha_5\alpha_6} (2\mu_1 + \mu_2)\sigma_2, \Gamma_3 = \frac{4\alpha_2\Omega^2}{\alpha_6} \quad (7)$$

e a frequência de excitação do motor Ω satisfaz a seguinte equação:

$$\alpha_4\omega_2^2\Omega(\alpha_6\mu_1a_1^2 - 2\alpha_5\mu_2a_2^2) + 4\alpha_2\alpha_5\Omega^2(a - b\Omega) = 0. \quad (8)$$

Nesse caso podemos aproveitar as vibrações na passagem de ressonância das duas amplitudes de oscilação, por conseguinte fixar cada piezelétrico na coluna e na viga horizontal. *Nesse caso a potência elétrica gerada seria ótima.*

Segundo Kononenko [6], a frequência angular variável pode-se aproximar da seguinte forma:

$$q_3 = \varphi = \Omega_0 t - a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t) \quad (9)$$

Onde Ω_0 é uma constante da média da frequência angular obtida da Equação (8). Sendo a_0 e b_0 constantes.

2. MODELO DO SISTEMA ELETROMECHANICO

A Figura 1 mostra a estrutura eletromecânica idealizada, em micro escala, de captação de energia vibratória através dois piezelétricos para transformar em energia elétrica. A estrutura consiste de um pórtico plano de vigas flexíveis cujo comportamento dinâmico é descrita pela coordenadas generalizadas temporais, os modos de vibração, de forma que y representa o movimento da viga horizontal com frequência natural ω_2 enquanto x representa o movimento da viga vertical com frequência natural ω_1 . As frequências naturais estão relacionadas da forma $\omega_2 = 2\omega_1$ conhecida como ressonância interna. $F(t)$ é a força de excitação não ideal, ou seja, esta força atua lateralmente devido a um motor elétrico de potencia limitada e de frequência rotacional variável. Dois materiais piezelétricos são acoplados nas vigas vertical e horizontal, respectivamente. O circuito retificador acoplado aos piezelétricos extrai a energia para produzir a tensão ou voltagem v .



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

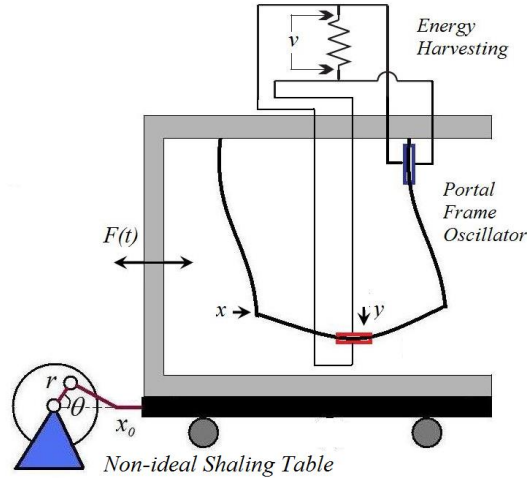


Figura 1 *Captación de Energía desde um pórtico flexível e excitação não ideal*

As equações de movimento do sistema eletromecânico de gerador piezelétrico de energia são obtidas das Equações (1)-(2) em forma simplificada:

$$\ddot{x} + 2\zeta_1 \dot{x} + \omega_1^2 x + \alpha_1 xy - \chi v = f_0 \cos(\Omega_0 t - a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)) \quad (10)$$

$$\ddot{y} + 2\zeta_2 \dot{y} + \omega_2^2 y + \alpha_2 x^2 - \chi v = g_0 \sin(\Omega_0 t - a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)) \quad (11)$$

$$\dot{v} + \lambda v + \kappa \dot{x} + \kappa \dot{y} = 0 \quad (12)$$

Onde as constantes f_0 , g_0 são as amplitudes de excitação; Ω_0 é a frequência de excitação e a_0 , b_0 são constantes. Estas constantes podem ser identificadas através de análise de estabilidade e de ensaios experimentais.

Os termos coseno e seno das Equações (10)-(11) podem ser expandidos como

$$\cos(\Omega_0 t - a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)) = \cos(\Omega_0 t) \cos[a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)] + \sin(\Omega_0 t) \sin[a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)] \quad (13)$$

$$\sin(\Omega_0 t - a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)) = \sin(\Omega_0 t) \cos[a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)] - \cos(\Omega_0 t) \sin[a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)] \quad (14)$$

Considerando a expansão de Jacobi-Anger [15], os termos de seno e coseno são definidos das seguintes formas:

$$\cos(z \cos \theta) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(z) \cos(k\theta) \quad (15)$$



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

$$\sin(z \sin \theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(z) \sin(n\theta) \quad (16)$$

onde $J_n(z)$ é n -ésima função de Bessel.

Então, considerando as Equações. (15) e (16), as Equações (13) e (14) pode ser escrita como

$$\cos(\Omega_0 t - a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(a_0) \cos(\Omega_k t), \quad \sin(\Omega_0 t - a_0 \cos(b_0 \Omega_0 t)) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(a_0) \sin(\Omega_k t) \quad (17)$$

onde $\Omega_k = \Omega_0 - kb_0 \Omega_0$.

Finalmente, substituindo as funções trigonométricas das Equações (17) nas Equações (10) e (11) temos

$$\ddot{x} + 2\zeta_1 \dot{x} + \omega_1^2 x + \alpha_1 xy - \chi v = f_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(a_0) \cos(\Omega_k t) \quad (18)$$

$$\ddot{y} + 2\zeta_2 \dot{y} + \omega_2^2 y + \alpha_2 x^2 - \chi v = g_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(a_0) \sin(\Omega_k t) \quad (19)$$

$$\dot{v} + \lambda v + \kappa \dot{x} + \kappa \dot{y} = 0 \quad (20)$$

Podemos resolver as Equações (18)-(20) pelo principio de superposição:

$$\ddot{x} + 2\zeta_1 \dot{x} + \omega_1^2 x + \alpha_1 xy - \chi v = f_0 J_k(a_0) \cos(\Omega_k t) \quad (21)$$

$$\ddot{y} + 2\zeta_2 \dot{y} + \omega_2^2 y + \alpha_2 x^2 - \chi v = g_0 J_k(a_0) \sin(\Omega_k t) \quad (22)$$

$$\dot{v} + \lambda v + \kappa \dot{x} + \kappa \dot{y} = 0 \quad k = -\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, \infty \quad (23)$$

Note que as Equações (21) e (22) são similares a um sistema com excitação ideal para cada k . Nesse caso a solução do sistema (18)-(20) para cada solução (x_k, y_k, v_k) do sistema (21)-(23) seria da forma:

$$x = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_k, \quad v = \sum_{k=-\infty}^{\infty} v_k. \quad (24)$$

A potência elétrica gerada pelo sistema é definida por

$$P = \frac{v^2}{R} \quad (25)$$



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

Neste trabalho através dos resultados numéricos e analíticos pretende-se mostrar as influências da excitação ideal (frequência constante) e a excitação não ideal (frequência variável no tempo) sobre o pórtico plano cujos dois modos de vibração estão acoplados com termos não lineares quadráticos e suas frequências naturais na relação de 1:2 de ressonância interna.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações numéricas foram realizadas no ambiente MATLAB® com o integrador de Runge-Kutta de quarta ordem de passo adaptativo. Os valores dos parâmetros adimensionais são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 Valores dos parâmetros do sistema eletromecânico.

Parâmetros Adimensionais	Valores
$\zeta_1; \zeta_2; \omega_1; \omega_2$	0.01; 0.01; 1.0; 2.0
$f_0; g_0; a_0; b_0; R$	0.2; 0.2; 2.0; 0.01; 1.0
$\chi; \lambda; \kappa; \alpha_1; \alpha_2$	0.05; 0.01; 0.5; 0.3; 0.4

A seguir, os resultados numéricos mostram a efetividade da ressonância interna de relação 1:2 entre duas frequências naturais das vigas do pórtico que permite que uma determinada quantidade de energia seja transferida entre os modos de vibrar. Quando é atingida a ressonância externa é possível aumentar a amplitude de resposta do modo de vibração da coluna x através desta transferência de energia proveniente de outro modo de vibração y .

A Figura 2 mostra os resultados numéricos para o sistema eletromecânico com excitação ideal. Nesse caso foi considerado $a_0=0$, $b_0=0$ na Equação (8) enquanto os outros parâmetros da Tabela 1 são fixados.

Na Figura 2(a), mostra as saídas de variação das máximas amplitudes, no estado permanente, da série temporal do pórtico plano (em linha azul da coluna- x e em linha vermelha da viga horizontal- y) enquanto da linha verde corresponde às amplitudes da voltagem- v em função da frequência de excitação Ω_0 .



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Considerando ressonância interna $\omega_2 = 2\omega_1$. Observamos que na segunda região de ressonância $\Omega_0 \approx \omega_2$, o fenômeno de saturação está presente, ou seja, a partir de um ponto crítico de $\Omega_0 = \Omega_c$ as amplitudes de oscilação de y para de crescer ou é saturada (linha vermelha) enquanto de x cresce drasticamente (linha azul). A saída de variação da voltagem (linha verde) é influenciada pela resposta da coluna chegando a um valor máximo, aproximadamente, de 0.8.

Na primeira região de ressonância $\Omega_0 \approx \omega_1$, observamos que a saída de variação da voltagem predomina em relação à segunda região de ressonância, chegando a um valor máximo, aproximadamente, de 2.2.

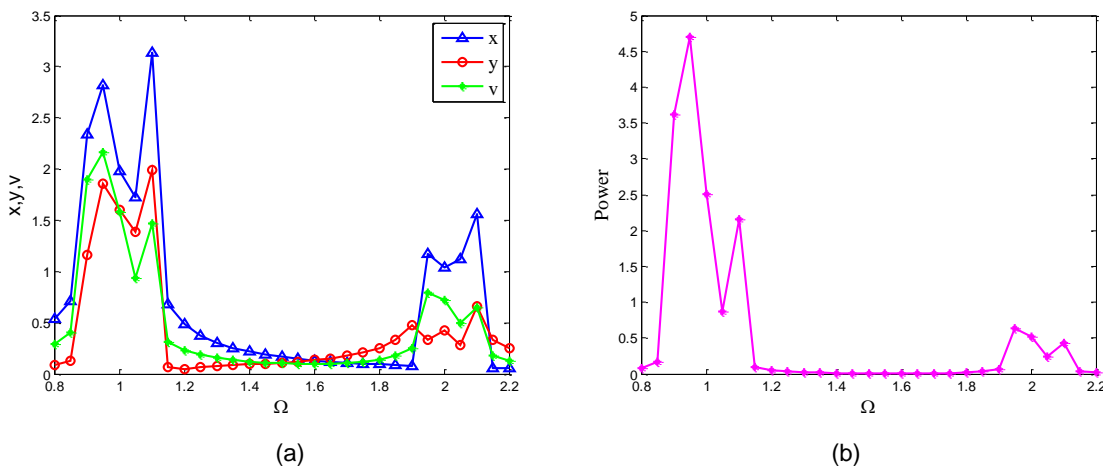


Figura 2 Variação da saída das amplitudes em função de Ω_0 nas passagens de ressonâncias ($\Omega_0 \approx \omega_1$ e $\Omega_0 \approx \omega_2$) e ressonância interna ($\omega_2 = 2\omega_1$) para caso ideal: a) (x , y , v), b) Potencia.

Na Figura 2(b), mostra a variação da saída da potência elétrica gerada quando a frequência de excitação realiza a passagem pelas duas regiões de ressonância. Como podemos ver que na primeira região de ressonância uma boa possibilidade de ótima voltagem. Aproximadamente, tem o valor de 4.53 na região $\Omega_0 \approx \omega_1$ enquanto para $\Omega_0 \approx \omega_2$ tem o valor de 0.53.

Da mesma forma, os resultados numéricos da Equação (8) para o caso não ideal, $a_0 \neq 0$, $b_0 \neq 0$, foram considerados os valores dos parâmetros da Tabela 1, são mostrados na Figura 3. Para $\Omega_0 \approx \omega_1$, a saída da voltagem chega a seu máximo de, aproximadamente, 2.5. Enquanto em $\Omega_0 \approx \omega_2$, o fenômeno de saturação está presente entre os dois modos de vibrar, a saída da voltagem chegou a seu máximo, aproximadamente, de 1.1, ver linha de cor verde da Figura 3(a). Enquanto a saída da potência elétrica chegou a 6.0, ver Figura 3 (b). Finalmente, quando foi aplicada uma excitação não ideal na base



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

do sistema eletromecânico teve maior desempenho da saída da voltagem em comparação com o caso de excitação ideal.

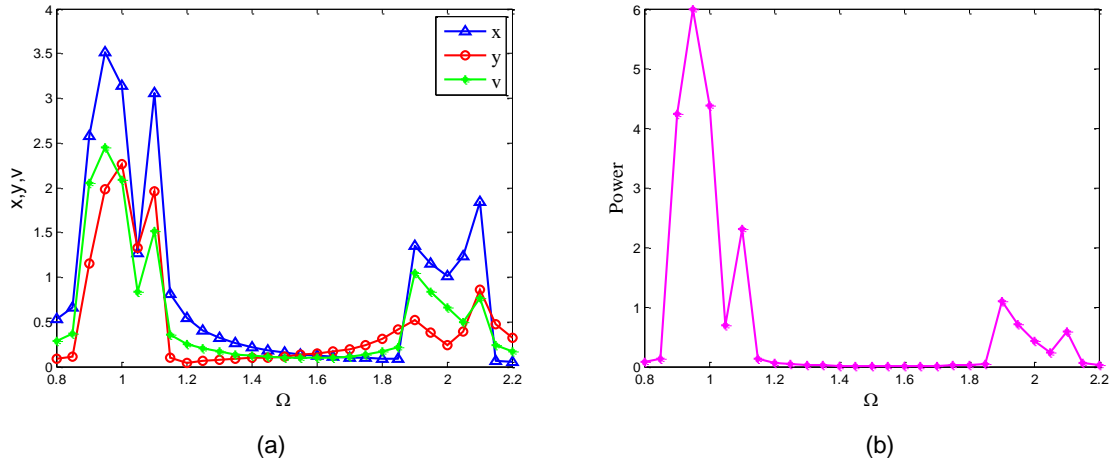


Figura 3 Variação da saída das amplitudes em função de Ω_0 nas passagens de ressonâncias ($\Omega_0 \approx \omega_1$ e $\Omega_0 \approx \omega_2$) e ressonância interna ($\omega_2 = 2\omega_1$) para caso não ideal: a) (x , y , v), b) Potencia.

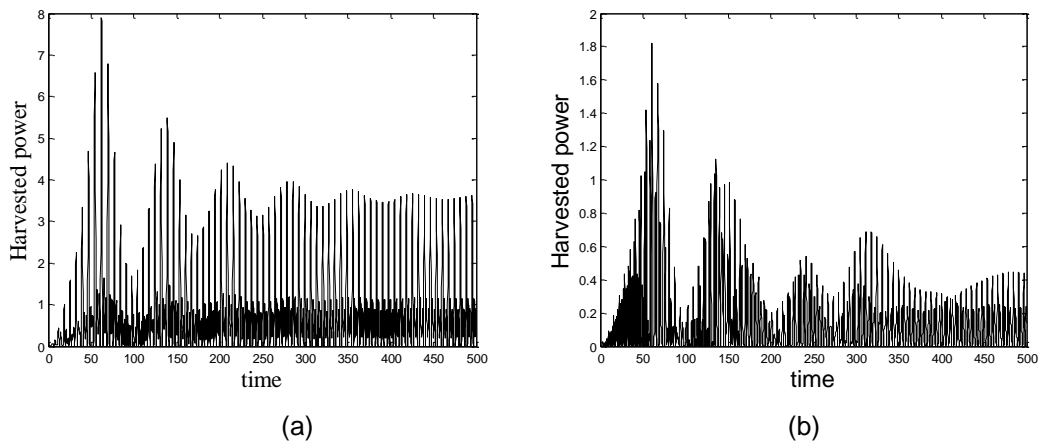


Figura 4 Saída da potência elétrica no domínio do tempo para (a) $\Omega_0 = 0.9$, (b) $\Omega_0 = 2.0$.

A seguir, para acompanhar os resultados da Figura 3(b), caso não ideal, consideramos os resultados numéricos no domínio do tempo da Equação (13) para k entre -100 e 100 quando $\Omega_0 = 0.9$ (primeira ressonância) e $\Omega_0 = 2$ (segunda ressonância), ver Figura 4.

A Figura 4(a) mostra a saída da potência elétrica no domínio do tempo para $\Omega_0 = 0.9$ e Figura 4(b) mostra a saída da potência elétrica no domínio do tempo para $\Omega_0 = 2$.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida a aproximação física de um protótipo em micro escala baseada nas configurações físicas e geométricas de um pórtico plano flexível pela qual explorasse a interação entre dois modos de vibração com características não lineares quadráticos de acoplamento e explorou-se um tipo de excitação não ideal onde sua amplitude e frequência variam com o tempo. Por conseguinte, para obter um bom desempenho na potencia elétrica gerada a partir de grandes amplitudes de oscilação seja periódica, quase periódica ou caótica vai depender do fenômeno de saturação (quando a ressonância interna de relação 1:2 entre duas frequências naturais de um dado sistema permite que uma determinada quantidade de energia seja transferida entre os modos de vibrar. Quando é atingida a ressonância externa é possível aumentar a amplitude de resposta de um determinado modo de vibração de um gerador piezoeletrico através desta transferência de energia proveniente de outro modo de vibração) e do tipo de excitação para o sistema gerador de energia nesse caso se comparou a efetividade entre a excitação ideal (frequência de excitação constante) e a excitação não ideal (frequência variável com o tempo). *Em um trabalho futuro pretende-se analisar o sistema em questão através da dinâmica não linear usando Mapa de Poincaré, Expoente de Lyapunov e Diagrama de Bifurcação.*

5. REFERÊNCIAS

- [1] Ertuk A., Hoffman J., Inman D. J., A Piezomagnetoelastic Structure for Broadband Vibration Energy Harvesting, Appl. Phys. Lett. 94, 254102, 2009a.
- [2] Triplett A. M., Quinn D. D., The Effect of Non-linear Piezoelectric Coupling Vibration-based Energy Harvesting, J. of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 20, pp. 1959-1967, 2009.
- [3] Erturk A, Renno JM, Inman DJ, Modeling of piezoelectric energy harvesting from an L- shaped beam mass structure with an application to UAVs, J. of Intelligent Material Systems and Structures 20, pp. 529–544, 2009b.
- [4] Litak G., Friswell M. I., Kitio Kwuimy C. A., Adhikari S., Borowiec B., Energy harvesting by two magnetopiezoelectric oscillators with mistuning, Theoretical & Applied Mechanics Letters, 2(4), pp. 043009:1-5, 2012.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

- [5] Iliuk I., Balthazar J. M., Tusset A.M., Palacios Felix J.L., Pontes Jr. B.R., On Non-ideal and Chaotic Energy Harvester Behavior, *Differ. Equations and Dynamical. Syst.*, 21, (1-2), pp. 93–104, 2013.
- [6] Kononenko V. O., *Vibrating problems of limited power supply*, Iliffe Books, 1969.
- [7] Balthazar J.M., Mook D.T., Weber H.I., Brasil R.M.L.R.F., Fenili A., Belato D., Felix J.L.P., An overview on non-ideal vibrations, *Meccanica* 38, pp. 613–621, 2003.
- [8] Nayfeh A.H., *Nonlinear Interactions: Analytical, Computational, and Experimental Methods*, John Wiley & Sons, INC, 2000.
- [9] Felix J.L.P., Balthazar J.M., Brasil R.M.L.R.F., On saturation control of a non-ideal vibrating portal frame foundation type shear-building, *J. of Vibration and Control*, 11, pp. 121-136, 2005.
- [10] Palacios Felix J.L., *Teoria de Sistemas Vibratórios Aporticados Não-lineares e Não-ideais*, Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 181p, 2002.
- [11] Felix JLP, Balthazar JM, Brasil RMLRF, On nonideal and Nonlinear Portal Frame Dynamic analysis: using Bogoliubov perturbation method, *RBCM-J. of the Brazilian Society of Mechanical Systems*, Vol. XXIV, No 4, pp. 257-265, 2002.
- [12] Balthazar JM, Felix JLP, Brasil RMLRF., Short comments on self-synchronization of Two non-ideal sources supported by a flexible portal frame, *J. of Vibration and Control*. 10, 2, pp. 1739-1748, 2004.
- [13] Brasil R.M.F.L, Balthazar J.M., Nonlinear Oscillations of a Portal Frame Structure Excited by a Non-ideal Motor, *Proc. of 2000 2nd International Conference- Control of Oscillations and Chaos*, Edited by F.L. Chernousko, A. L. Fradlov, Volume 2 of 3, St. Petersburg, Russia, pp. 275-278, 2000.
- [14] Aline S. de Paula, José M. Balthazar, Jorge L. Palacios Felix, Some comments on the nonlinear dynamics of a portal frame under base excitation, *Shock and Vibration* 20, pp. 1093–1101, 2013.
- [15] Cantrell, C. D., *Modern Mathematical Methods for Physicists and Engineers*. Cambridge, University Press, NY, 2000.

Agradecimentos

Este trabalho foi suportado pelo Programa de Bolsas de Desenvolvimento Acadêmico (PBDA) da UNIPAMPA. Ademais a PROAC e PPENG do Centro Tecnológico de Alegrete.