Sincronização caótica e transiente superpersistente no oscilador Colpitts

Ms. Robson Conrado Bonetti¹ Orientador Dr. Antonio Marcos Batista² Co-Orientador Dr. Silvio Luiz Thomas de Souza³

¹Pós-Graduação em Ciências-Física - UEPG

²Departamento de Matemática e Estatística - UEPG

³Universidade Federal de São João Del-Rei - UFSJ

16/07/2014



1 / 45

Oscilador Colpitts

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente



Comportamento Caótico

3 Acoplamento mestre-escravo e superpersistente

- Circuito elétrico acoplado
- Sincronização
- Efeito do ruído





2 / 45

Oscilador Colpitts

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sumário

🕽 Introdução

Comportamento Caótico

3 Acoplamento mestre-escravo e superpersistente

- Circuito elétrico acoplado
- Sincronização
- Efeito do ruído

Conclusões



3 / 45

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

A.

Oscilador Colpitts

Motivação

- Tem um rico comportamento dinâmico. Há extensas evidências experimentais e numéricas do comportamento caótico neste circuito.
- É um oscilador harmônico senoidal formado por um circuito tanque (LC) cuja sintonia da frequência de oscilação é feita no circuito de realimentação formado por dois capacitores e um indutor.
- Oscilador de ampla faixa de operação: 1 a 100 MHz e em alguns casos vai até a região de microondas, apresentando em sua saída um sinal com frequência determinada.
- Muito utilizado em dispositivos eletrônicos, sistemas de comunicação, frequências de rádio, sistemas de telecomunicações com comunicação segura dos dados, processamento de sinais, faixas de FM onde funciona tanto na transmissão como na recepção de sinais.
- Boa performace e estabilidade em alta frequência.

Osciladores Eletrônicos

Conceitos

- Destinam-se à geração primária de sinais periódicos, produzindo um sinal alternado a partir de um sinal contínuo.
- Isto é conseguido pela interação de um circuito passivo (resistores, capacitores e indutores) com elementos ativos (geradores elétricos).
- A existência de um comportamento não-linear faz com que os osciladores estabilizem a amplitude das oscilações em regime permanente.
- Existem dois tipos de osciladores eletrônicos:
 - Harmônico ou senoidal: Colpitts, Hartley, Wien, Armstrong.
 - Relaxação: gerador de sinais retangulares.



Osciladores senoidais

Nos osciladores senoidais o processo de sintonia da frequência de oscilação é feita por elementos reativos (responsável pela oscilação)

- Oscilador Hartley (Indutivo): 10 Hz até 50 MHz.
- Oscilador Colpitts (Capacitivo): 1 Hz até 100 MHz e em alguns casos sua variação vai até a região de microondas (giga-Hertz).



Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Esquema básico de um oscilador eletrônico

Um oscilador é formado por um amplificador, um feedback regenerativo (realimentação) e uma rede de determinação de frequência.



Condição de oscilação - Diagrama de blocos

Existem dois modelos fundamentais para oscilação:

Resistência negativa

Realimentação ou Feedback: decomposição do circuito em um sub-sistema linear (rede ativa) e um elemento de realimentação não-linear, conectados juntos num circuito fechado.



Condição de oscilação - Critério de Barkhausen

O comportamento linear do circuito de realimentação é dado pelo ganho da malha g(s) numa malha aberta pelo seguinte produto

g(s) = A(s)f(s)

A equação característica para o modelo de realimentação, cujas soluções fornecem as frequências naturais do sistema, é dada por

$$1-g(s)=0$$

Para que ocorra uma oscilação auto-sustentada no sistema de realimentação, o ganho da malha e a mudança de fase em torno do circuito devem ser:

$$\begin{cases} \mid g(j\omega_0) \mid = 1 \\ \arg \mid g(j\omega_0) \mid = 0 \end{cases}$$

onde ω_0 é a frequência de oscilação. Em osciladores reais $g(j\omega_0) > 1$, para assegurar a formação das oscilações.

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Modelo de realimentação mais Transistor

- Além da realimentação positiva f(s), devem ser incorporados ao circuito oscilativo um TRANSISTOR que vai agir como amplificador de sinal, elementos determinantes da frequência e as necessárias tensões de corrente contínua de polarização.
- Ao ser alimentado, um sinal randômico é gerado no dispositivo ativo A(s) e assim amplificado. Este sinal é realimentado positivamente f(s), através de circuitos seletores de frequência, e retorna à entrada, onde é novamente amplificado.
- O transistor age como uma chave e conduz periodicamente, sempre que a energia é realimentada desde o circuito sintonizado, a fim de manter as oscilações do circuito.

POS-GRADUAÇÃO-UEPG

10 / 45

< 47 ▶

Oscilador de Edwin Henry Colpitts

- O oscilador Colpitts é um circuito baseado no oscilador indutor-capacitor (LC) com um transistor (controlador de voltagem), que foi projetado por Edwin Henry Colpitts (1872-1949), pioneiro das comunicações (osciladores e amplificadores).
- Consiste de uma bobina (armazena energia na forma de campo magnético) e capacitores em paralelo (armazena energia na forma de carga elétrica).
- O divisor de tensão capacitiva produz a tensão de realimentação necessária para as oscilações.



11 / 45

Oscilador Colpitts

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Diagrama esquemático do oscilador Colpitts



Elementos do circuito

- Um transistor de junção bipolar (BJT), como elemento de ganho, controlado por um resistor não-linear R_E e uma fonte de corrente controlada I_E (corrente do emissor);
- Uma rede ressonante que consiste de um indutor L e um par de capacitores C₁ e C₂;
- A polarização do circuito é fornecida pela fonte de tensão V_{CC};
- O resistor R (que representa as perdas do indutor real);
- Fonte de corrente elétrica real l₀ em paralelo com uma condutância parasita G₀, fornecendo assim uma fonte de corrente ideal (Teorema de Norton).

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Oscilador Colpitts

Elementos do circuito

• A corrente do emissor *I_E* é dada por

$$I_{E} = \frac{I_{S}}{\alpha_{F}} \left[\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_{T}}\right) - 1 \right];$$
(1)

- Na junção B-E,temos a tensão V_{BE} , e a corrente de saturação I_S , onde $I_S\simeq 10^{-15}A$;
- α_F é o ganho de corrente direta do transistor, onde $lpha_F\simeq$ 0,996;
- V_T ≡ k_bT/q é a tensão térmica, onde k_b é a constante de Boltzmann, q é a carga do elétron, T é a temperatura absoluta expressa em Kelvin e na temperatura ambiente V_T ≃ 27 mV.



Equações de estado para o oscilador Colpitts

$$\begin{cases} C_{1} \frac{dV_{C_{1}}}{dt'} = -\alpha_{F} n(-V_{C_{2}}) + I_{L} \\ C_{2} \frac{dV_{C_{2}}}{dt'} = (1 - \alpha_{F}) n(-V_{C_{2}}) - G_{0} V_{C_{2}} + I_{L} - I_{0} \\ L \frac{dI_{L}}{dt'} = -V_{C_{1}} - V_{C_{2}} - RI_{L} + V_{CC} \end{cases}$$

$$(2)$$

- V_{C_1} e V_{C_2} são as variáveis de estado através dos capacitores C_1 e C_2 ;
- *I_L* é a corrente no indutor L;
- t' é o tempo, expresso por $t = t'\omega_0$;
- V_{CC} é a voltagem fornecida ao circuito por uma fonte de corrente I_0 ;
- n() é a função característica que fornece os pontos de condução do resistor não-linear R_E, da forma I_E = n(V_{C2}) = n(-V_{BE}).

Equações de estado

Bonetti, R. C., Batista, A. M.

(UEPG)

Movendo o ponto de equilíbrio E dado por $E \equiv (\overline{V}_{C_1}, \overline{V}_{C_2}, \overline{I}_L)$ e fazendo o ponto de operação O da equação (2) como sendo a origem do novo sistema de coordenadas, podemos normalizar as variáveis de estado, introduzindo variáveis adimensionais (x_1, x_2, x_3), juntamente com a normalização da tensão ($V_{ref} = V_T$), da corrente ($I_{ref} = I_0$) e do tempo ($t_{ref} = 1/\omega_0$), teremos

$$\begin{aligned} x_1(t) &= \frac{V_{C_1} - \overline{V}_{C_1}}{V_T} = \frac{1}{V_T} [V_{C_1}(\omega_0 t) - V_{C_{10}}], \\ x_2(t) &= \frac{V_{C_2} - \overline{V}_{C_2}}{V_T} = \frac{1}{V_T} [V_{C_2}(\omega_0 t) - V_{C_{20}}], \\ x_3(t) &= \frac{I_L - \overline{I}_L}{I_0} = \frac{1}{I_0} [I_L(\omega_0 t) - I_{L_0}], \end{aligned}$$

 ω_0 é frequência de ressonância do circuito tanque, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L\frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}}}$

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

O sistema de equações (2) pode ser reescrito como:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \frac{g^*}{Q(1-k)} [-\alpha_F n(x_2) + x_3] \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{g^*}{Qk} [(1-\alpha_F)n(x_2) + x_3] - Q_0(1-k)x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} = -\frac{Qk(1-k)}{g^*} [x_1 + x_2] - \frac{1}{Q}x_3 \end{cases}$$
(3)

onde o termo não-linear $n(x_2)$ é expresso por $n(x_2) = e^{-x_2} - 1$.



17 / 45

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG) Sincronizaçã

Equações de estado adimensionais - elementos

O fator de qualidade de ressonância da rede ou do circuito tanque (circuito LC), denotado pelo parâmetro Q é dado por

$$Q = rac{\omega_0 L}{R},$$

enquanto que k é o divisor de tensão capacitivo expresso como

$$k=\frac{C_2}{C_1+C_2}$$

e g^* é o ganho da malha do oscilador dado por

$$g^* = \frac{I_0 L}{V_T R(C_1 + C_2)},$$

e Q_0 é a fonte de polarização da corrente dado por

$$Q_0=\omega_0 LG_0.$$

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente



18 / 45

Oscilador Colpitts

Considerando a fonte de corrente de polarização ideal, onde a condutância G_0 é muito pequena, $Q_0 = G_0 = 0$, o sistema de equações (3) torna-se

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \frac{g^*}{Q(1-k)} [-\alpha_F n(x_2) + x_3] \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{g^*}{Qk} [(1-\alpha_F)n(x_2) + x_3] \\ \frac{dx_3}{dt} = -\frac{Qk(1-k)}{g^*} [x_1 + x_2] - \frac{1}{Q} x_3 \end{cases}$$



19 / 45

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG) Sincronização d

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

Sumário

🚺 Introdução

Comportamento Caótico

3 Acoplamento mestre-escravo e superpersistente

- Circuito elétrico acoplado
- Sincronização
- Efeito do ruído

🕨 Conclusões



20 / 45

∃ → (∃ →

Oscilador Colpitts

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Com o sistema de equações abaixo, estamos interessados em analisar para qual estado se dará a convergência para tempos longos de acordo com o ponto inicial da órbita.

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \frac{g^*}{Q(1-k)} [-\alpha_F n(x_2) + x_3] \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{g^*}{Qk} [(1-\alpha_F)n(x_2) + x_3] \\ \frac{dx_3}{dt} = -\frac{Qk(1-k)}{g^*} [x_1 + x_2] - \frac{1}{Q} x_3 \end{cases}$$
(4)



Cascata de Feigenbaum - Duplicação de período

Para o sistema de equações (4), com os parâmetros: Q = 1,77; k = 0,5; $R = 80\Omega$; $\alpha_F = 0,996$; $C_1 = C_2 = 1\mu F$; L = 18,2mH; $V_T = 27 mV$



(a) $l_0 = 0.85mA$ e $g^* = 1.9674$; (b) $l_0 = 1.05mA$ e $g^* = 2.4305$; (c) $l_0 = 1.16mA$ e $g^* = 2.6853$; (d) $l_0 = 1.21mA$ e $g^* = 2.8002$.



22 / 45

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

Diagrama de Bifurcação e Expoente de Lyapunov



Sumário

Introdução

2 Comportamento Caótico



Acoplamento mestre-escravo e superpersistente

- Circuito elétrico acoplado
- Sincronização
- Efeito do ruído





24 / 45

< 3 >

Oscilador Colpitts

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Colpitts acoplados numa configuração mestre-escravo



Circuito elétrico acoplado através de um reostato com resistência variável R^* componente de acoplamento ε , expressa por $\varepsilon = \sqrt{\frac{L}{C_1}}R^{*-1}$

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

Equações de estado para o circuito acoplado

$$C_{1} \frac{dV_{C_{1}}}{dt'} = -\alpha_{F}n(-V_{C_{2}}) + I_{L}$$

$$C_{2} \frac{dV_{C_{2}}}{dt'} = (1 - \alpha_{F})n(-V_{C_{2}}) - G_{0}V_{C_{2}} + I_{L} - I_{0}$$

$$L \frac{dI_{L}}{dt'} = -V_{C_{1}} - V_{C_{2}} - RI_{L} + V_{CC}$$

$$C_{1} \frac{d\tilde{V}_{C_{1}}}{dt'} = -\alpha_{F}n(-\tilde{V}_{C_{2}}) + \tilde{I}_{L}$$

$$C_{2} \frac{d\tilde{V}_{C_{2}}}{dt'} = (1 - \alpha_{F})n(-\tilde{V}_{C_{2}}) + \tilde{I}_{L} - I_{0} - G_{0}(2\tilde{V}_{C_{2}} + V_{C_{2}})$$

$$L \frac{d\tilde{I}_{L}}{dt'} = -\tilde{V}_{C_{1}} - \tilde{V}_{C_{2}} - R\tilde{I}_{L} + V_{CC}$$
(5)

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

Equações de estado adimensionais para o circuito acoplado

$$\begin{pmatrix}
\frac{dx_1}{dt} = \frac{g^*}{Q(1-k)} [-\alpha_F n(x_2) + x_3] \\
\frac{dx_2}{dt} = \frac{g^*}{Qk} [(1-\alpha_F)n(x_2) + x_3] \\
\frac{dx_3}{dt} = -\frac{Qk(1-k)}{g^*} [x_1 + x_2] - \frac{1}{Q} x_3 \\
\frac{dy_1}{dt} = \frac{g^*}{Q(1-k)} [-\alpha_F n(y_2) + y_3] \\
\frac{dy_2}{dt} = \frac{g^*}{Qk} [(1-\alpha_F)n(y_2) + y_3] + \varepsilon [x_2 - y_2] \\
\frac{dy_3}{dt} = -\frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_3 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_4 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_4 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_4 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] - \frac{1}{Q} y_4 \\
\frac{dy_4}{dt} = \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 + y_2] + \frac{Qk(1-k)}{g^*} [y_1 +$$

Bonetti, R. C., Batista, A. M.

Sincronização caótica e transiente

Sincronização Caótica

- Surge devido ao fato de se colocar uma das variáveis de um sistema como função de todos os demais sistemas associados.
- É um ajuste do ritmo entre objetos que oscilam, cujas oscilações são auto-sustentáveis.
- Para que dois sistemas estejam sincronizados, eles devem exibir órbitas iguais a medida que o tempo evolui.
- Neste trabalho estamos interessados na sincronização completa, de modo que x₁(t) = y₁(t), x₂(t) = y₂(t) e x₃(t) = y₃(t), enquanto a dinâmica no tempo permanece caótica.

Para o sistema de equações (6), utilizando: $\alpha_F = 0,996$; $R = 80\Omega$; $L = 18, 2\mu H$; $C_1 = C_2 = 1\mu F$; $V_T = 27mV$; Q = 1,77; $g^* = 2,896$; verificamos a sincronização dos circuitos em função do parâmetro de acoplamento ε , plotando as variáveis de estado $(x_1; y_1)$ versus o tempo t em função da constante de acoplamento ε . ε ε ε ε ε Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG) Sincronização caótica e transiente Oscilador Colpits 28 / 45

Sincronização dos circuitos mestre-escravo em função do parâmetro de acoplamento ε



Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG) Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

- O parâmetro de acoplamento ε influencia o sincronismo entre os circuitos mestre e escravo do oscilador Colpitts.
- Para verificar se ocorre ou não a sincronização devemos determinar o erro médio entre as variáveis de estado fornecendo um diagnóstico numérico para o sistema

$$\Delta = \mid x_1 - y_1 \mid .$$

- Se $\Delta \neq 0$ os circuitos não estão sincronizados.
- Para Δ = 0 os circuitos estão completamente sincronizados.



30 / 45

Oscilador Colpitts

Evolução temporal de Δ



Dependência da média do erro de sincronização

- O erro de sincronização depende do ganha da malha g* e da intensidade do acoplamento ε.
- Média do erro temporal

$$ar{\Delta} = rac{1}{t_2-t_1}\sum_{t_1}^{t_2}\Delta(t).$$

• A sincronização caótica fica caracterizada para $\bar{\Delta} < 10^{-4}.$

• $t_2 - t_1$ é a janela temporal para as medições. Utilizamos $t_1 = 5000$ e $t_2 = 10000$, mas resultados semelhantes foram obtidos utilizando $t_1 = 18000$ e $t_2 = 20000$.

• Região verde (sincronização caótica) e região branca (não sincronizado)

Domínios sincronizados no espaço de parâmetros no plano $g^* \times \varepsilon$



sincronização, obtida através dos expoentes de Lyapunov.

Oscilador Colpitts

33 / 45

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Efeito do ruído

Sinal é a informação útil enviada para o circuito e qualquer informação indesejada, inútil, ou nociva, introduzida involuntariamente ou voluntarimente no sistema é considerada ruído.

Ruídos são perturbações elétrico/magnéticas que deterioram os sinais que desejamos transmitir, receber ou tratar no circuito. É um sinal aleatório e pode ser classificado pela freqüência em que atua e pela sua origem.

O ruído está sempre presente em qualquer transmissão de sinal, está presente no canal de conexão entre os circuitos, produzindo uma distorção no sinal chamada de ruído térmico.

O ruído térmico é um ruído branco gaussiano (AWGN), cuja densidade espectral de potência é independente da frequência, portanto tem intensidade igual em todas as frequências.

Perturbação Estocástica

Na variável de estado $y_2(t)$ do sistema de Equações (6), adicionamos uma perturbação estocástica da forma

$$\frac{dy_2}{dt} = \frac{g}{Qk}[(1 - \alpha_F)n(y_2) + y_3] + \varepsilon[x_2 - y_2] + Ar(t),$$
(7)

onde A é o nível da perturbação estocástica e r(t) é uma variável pseudoaleatória.

Considerando um gerador de números aleatórios que retorna a uma distribuição normal com desvio da média nula e variância unitária.

Podemos analisar o efeito do ruído no acoplamento fazendo o erro de sincronização em função da força de acoplamento ε .

POS-GRADUAÇÃO-UEPG

35 / 45

Oscilador Colpitts

Erro de sincronização imes força de acoplamento arepsilon



Erro da média temporal de sincronização versus força de acoplamento para g = 2,863, A = 0,1 (círculos verdes), A = 0,5 (círculos vermelhos) e A = 1,0 (círculos precessors) Esses três casos tem exatamente a mesma condição inicial.

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG) Sincronização caótica e transiente

Tamanho da região de sincronização

A região de sincronização aparece para valores maiores de ε .



Domínios sincronizados (região verde) considerando os mesmos parâmetros utilizados adicionando um pequeno ruído $A = 3.10^{-5}$.

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

O transiente superpersistente não apresenta robustez ao ruído, pois um pequeno ruído é suficiente para suprimir o transiente persistente. É necessário um valor grande de ε para o sistema ficar sincronizado.



Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG) Sincronização caótica e transiente

Efeito do ruído sobre a região sincronizada



(a) ε^* versus A, onde os círculos pretos correspondem a $\tau_M \approx 10^4$. (b) Histograma do tempo transiente considerando g = 2,863, $\varepsilon = 1$, $A = 5.10^{-5}$ (círculos) e $A = 6.10^{-5}$ (quadrados).

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

Efeito do ruído

O ruído induz transientes mais longos

Para $A \le 4.10^{-5}$ os valores dos transientes ficam em torno de 10^3 .

Quando $A \ge 7.10^{-5}$ o ruído pode suprimir a sincronização caótica.

A supressão do transiente médio τ_M aumenta rapidamente quando a amplitude do ruído aumenta, de acordo com a relação exponencial

 $au_{M} \sim \phi \exp(\varphi A)$

Oscilador Colpitts

40 / 45

onde ϕ e φ são constantes positivas.

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sumário

Introdução

2) Comportamento Caótico

3 Acoplamento mestre-escravo e superpersistente

- Circuito elétrico acoplado
- Sincronização
- Efeito do ruído





41 / 45

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

臣▶ ★ 臣≯

- Quando o circuito mestre-escravo é acoplado, o sistema sincroniza ou não, em termos do parâmetro de acoplamento ε.
- A média do terro temporal entre as variáveis de estado, fornece o diagnóstico númerico para o sistema, mostrando se os circuitos estão sincronizados (Δ = 0) ou não sincronizados (Δ ≠ 0).
- Existem transientes superpersistentes localizados principalmente na fronteira dos domínios sincronizados no espaço de parâmetros g^{*} × ε.



42 / 45

Oscilador Colpitts

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Conclusões - Acoplamento mestre-escravo e superpersistente

- Quando um ruído é inserido no canal de conexão entre os circuitos mestre e escravo, a sincronização entre ambos só é alcançada quando ε é muito grande.
- Os transientes se tornam mais longos, caracterizando assim, o transiente superpersistente.
- Estes resultados permitem prever que existe um conjunto de parâmetros nos osciladores Colpitts acoplados, para observar os transientes superpersistentes.



43 / 45

Oscilador Colpitts

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts

Artigos produzidos

PUBLICADO PHYSICAL REVIEW E 78, 037102 (2008) Short-time memories in a network with randomly distributed connections

R. C. Bonetti, C. A. S. Batista, A. M. Batista, S. E. de S. Pinto, S. R. Lopes and R. L. Viana

SUBMETIDO JOURNAL OF PHYSICS A: MATHEMATICAL AND THEORETICAL

Super persistent transient in a master-slave configuration with Colpitts oscillators

R. C. Bonetti, S. L. T. de Souza, A. M. Batista, J. D. Szezech Jr., I. L. Caldas, R. L. Viana, S. R. Lopes and M. S. Baptista

SUBMETIDO

REVISTA SODEBRÁS

Sincronização e memórias em osciladores Colpitts acoplados

R. C. Bonetti and A. M. Batista

PÓS-GRADUAÇÃO-UEPG

Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts 44 / 45

OBRIGADO PELA ATENÇÃO!!!



Bonetti, R. C., Batista, A. M. (UEPG)

Sincronização caótica e transiente

Oscilador Colpitts