ANÁLISE E PROJETO DE UM OSCILADOR COLPITTS COM DUPLA REALIMENTAÇÃO POSITIVA OPERANDO EM ALTA FREQUÊNCIA E ULTRABAIXA TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO

Rodrigo Eduardo Rottava

Orientador: Fernando Rangel de Sousa

Laboratório de Radiofrequência, UFSC

5 de dezembro de 2014

Sumário

1. Introdução

2. Topologia proposta

3. Análise

4. Projeto de um protótipo integrado

5. Simulações e resultados de medição

6. Conclusões

Sumário

1. Introdução

2. Topologia proposta

3. Análise

4. Projeto de um protótipo integrado

5. Simulações e resultados de medição

6. Conclusões

Introdução

Objetivo do trabalho:

Estudar e projetar um oscilador Colpitts com dupla realimentação positiva.

Introdução

Objetivo do trabalho:

Estudar e projetar um oscilador Colpitts com dupla realimentação positiva.

Motivação:

Hipótese de que a dupla realimentação será capaz de reduzir o consumo deste oscilador.

Introdução

Objetivo do trabalho:

Estudar e projetar um oscilador Colpitts com dupla realimentação positiva.

Motivação:

Hipótese de que a dupla realimentação será capaz de reduzir o consumo deste oscilador.

Aplicações:

WBANs (ultrabaixo consumo, energia extraída do ambiente).

Sumário

1. Introdução

2. Topologia proposta

3. Análise

4. Projeto de um protótipo integrado

5. Simulações e resultados de medição

6. Conclusões

O oscilador Colpitts

Critérios de oscilação:

$$\Re\{Y_{out}\} \leqslant -\Re\{Y_L\}$$

$$\Im\{Y_{out}\} = -\Im\{Y_L\}$$

O oscilador Colpitts

Critérios de oscilação:

$$\Re\{Y_{out}\} \leqslant -\Re\{Y_L\}$$

$$\Im\{Y_{out}\} = -\Im\{Y_L\}$$

O oscilador Colpitts

Critérios de oscilação:

$$\Re\{Y_{out}\} \leqslant -\Re\{Y_L\}$$

$$\Im\{Y_{out}\} = -\Im\{Y_L\}$$

O oscilador Colpitts

Critérios de oscilação:

$$\Re\{Y_{out}\} \leqslant -\Re\{Y_L\}$$

$$\Im\{Y_{out}\} = -\Im\{Y_L\}$$

Instabilidade

$G_{eq} < 0$

O oscilador Colpitts

Critérios de oscilação:

$$\Re\{Y_{out}\} \leqslant -\Re\{Y_L\}$$

$$\boxed{\Im\{Y_{out}\} = -\Im\{Y_L\}}$$

Ressonância

$B_{eq} = 0$

A segunda realimentação

A segunda realimentação

$$Z_s = \frac{Z_g}{-j\frac{\omega_t}{\omega}} = -\omega\frac{L_g}{\frac{\omega_t}{\omega}}$$

Onde: $\omega_t = \frac{g_m}{C_{gs}}$

A segunda realimentação

$$\frac{i_o}{v_{\text{in}}} = \frac{g_m}{1 - g_m \omega \frac{L_g}{\frac{\omega_t}{\omega}}}$$

$$Z_s = \frac{Z_g}{-j\frac{\omega_t}{\omega}} = -\omega \frac{L_g}{\frac{\omega_t}{\omega}}$$

Onde: $\omega_t = \frac{g_m}{C_{gs}}$

A segunda realimentação

$$\frac{i_o}{v_{in}} = \frac{g_m}{\boxed{1 - g_m \omega \frac{L_g}{\frac{\omega_t}{\omega}}}} = \frac{A}{1 - A\beta}$$

$A = g_m$

$\beta = \omega L_g'$

$$Z_s = \frac{Z_g}{-j\frac{\omega_t}{\omega}} = -\omega \frac{L_g}{\frac{\omega_t}{\omega}}$$

Onde: $\omega_t = \frac{g_m}{C_{gs}}$

A segunda realimentação

$$\frac{i_o}{v_{in}} = \frac{g_m}{1 - g_m \omega \frac{L_g}{\frac{\omega_t}{\omega}}} = \frac{A}{1 - A\beta}$$

$A = g_m$

$\beta = \omega L_g'$

$$Z_s = \frac{Z_g}{-j\frac{\omega_t}{\omega}} = -\omega \frac{L_g}{\frac{\omega_t}{\omega}}$$

Onde: $\omega_t = \frac{g_m}{C_{gs}}$

Utilizando esta segunda técnica de realimentação obtemos a topologia denominada oscilador Colpitts com dupla realimentação positiva:

Sumário

1. Introdução

2. Topologia proposta

3. Análise

4. Projeto de um protótipo integrado

5. Simulações e resultados de medição

6. Conclusões

Representação de pequenos sinais da topologia proposta

Representação de pequenos sinais da topologia proposta

Representação de pequenos sinais da topologia proposta

v_g é uma combinação linear de v_d e v_s:

$$v_g = \alpha v_d + \beta v_s$$

onde: $$\alpha(\beta) = \frac{1}{1 + \frac{C_{gs(d)}}{C_{gd(s)}} - \frac{1}{\omega^2 L_g C_{gd(s)}}}$$

Representação de pequenos sinais da topologia proposta

v_g é uma combinação linear de v_d e v_s:

$$v_g = \alpha v_d + \beta v_s$$

onde: $$\alpha(\beta) = \frac{1}{1 + \frac{C_{gs(d)}}{C_{gd(s)}} - \frac{1}{\omega^2 L_g C_{gd(s)}}}$$

Representação de pequenos sinais da topologia proposta

Representação de pequenos sinais da topologia proposta

Modelagem simplificada

Modelagem simplificada

Modelagem simplificada

Transcondutância total de fonte: $g_{m1} = g_{ms} - \beta\, g_m$

Relembrando: $v_g = \alpha\, v_d + \beta\, v_s$

Transcondutância total de dreno: $g_{m2} = g_{md} + \alpha\, g_m$

Modelagem simplificada

Modelagem simplificada

$$C_{1\,eq} = C_1 + \alpha\, C_{gs}$$

$$C_{2\,eq} = C_2 - \frac{\beta}{\omega^2 L_g}$$

$$L_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{L_d} + \frac{\alpha}{L_g}}$$

Mínima transcondutância de fonte

Utilizando a relação: $g_m = \dfrac{g_{ms} - g_{md}}{n}$

Transcondutância total de fonte:

$$g_{m1} = g_{ms}(1 - \beta/n) + g_{md}\beta/n$$

Transcondutância total de dreno:

$$g_{m2} = g_{md}(1 - \alpha/n) + g_{ms}\alpha/n$$

Mínima transcondutância de fonte

Utilizando a relação: $g_m = \dfrac{g_{ms} - g_{md}}{n}$

Transcondutância total de fonte:

$$g_{m1} = g_{ms}(1 - \beta/n) + g_{md}\beta/n$$

Transcondutância total de dreno:

$$g_{m2} = g_{md}(1 - \alpha/n) + g_{ms}\alpha/n$$

Condição de instabilidade:

$$\Re\{Y_{out}\} \leqslant -G_P$$

Mínima transcondutância de fonte

Utilizando a relação: $g_m = \dfrac{g_{ms} - g_{md}}{n}$

Transcondutância total de fonte:

$$g_{m1} = g_{ms}(1 - \beta/n) + g_{md}\beta/n$$

Transcondutância total de dreno:

$$g_{m2} = g_{md}(1 - \alpha/n) + g_{ms}\alpha/n$$

Condição de instabilidade:

$$\Re\{Y_{out}\} \leqslant -G_P$$

$$g_{ms} \geq g_{md} + \frac{g_{md}\, n C_{2eq}/C_{1eq}}{n - \beta - \alpha(1 + C_{2eq}/C_{1eq})}\left(1 + \frac{G_P}{g_{md}}\left(1 + \frac{C_{1eq}}{C_{2eq}}\right)^2\right)$$

Frequência de oscilação

$$\Im\{Y_{out}\} \approx \omega \frac{C_{1eq} C_{2eq}}{C_{1eq} + C_{2eq}} = \omega C_{eq}$$

$$\Im\{Y_L\} = \frac{-1}{\omega L_{eq}}$$

Frequência de oscilação

$$\Im\{Y_{out}\} \approx \omega \frac{C_{1eq} C_{2eq}}{C_{1eq} + C_{2eq}} = \omega C_{eq}$$

$$\Im\{Y_L\} = \frac{-1}{\omega L_{eq}}$$

Condição de ressonância:

$$\Im\{Y_{out}\} = -\Im\{Y_L\}$$

Frequência de oscilação

$$\Im\{Y_{out}\} \approx \omega \frac{C_{1eq} C_{2eq}}{C_{1eq} + C_{2eq}} = \omega C_{eq}$$

$$\Im\{Y_L\} = \frac{-1}{\omega L_{eq}}$$

Condição de ressonância:

$$\Im\{Y_{out}\} = -\Im\{Y_L\} \longrightarrow f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq} C_{eq}}}$$

Estratégias para redução do consumo

A transcondutância de fonte g_{ms} está diretamente relacionada ao consumo do oscilador. Para que o circuito oscile:

$$g_{ms} \geq g_{md} + \frac{g_{md}\, n C_{2eq}/C_{1eq}}{n - \beta - \alpha\left(1 + C_{2eq}/C_{1eq}\right)}\left(1 + \frac{G_P}{g_{md}}\left(1 + \frac{C_{1eq}}{C_{2eq}}\right)^2\right)$$

Estratégias para redução do consumo

A transcondutância de fonte g_{ms} está diretamente relacionada ao consumo do oscilador. Para que o circuito oscile:

$$g_{ms} \geq g_{md} + \frac{g_{md}\, n C_{2eq}/C_{1eq}}{n - \beta - \alpha\left(1 + C_{2eq}/C_{1eq}\right)}\left(1 + \frac{G_P}{g_{md}}\left(1 + \frac{C_{1eq}}{C_{2eq}}\right)^2\right)$$

Duas estratégias foram utilizadas para reduzir g_{ms} mínimo:

Estratégias para redução do consumo

A transcondutância de fonte g_{ms} está diretamente relacionada ao consumo do oscilador. Para que o circuito oscile:

$$g_{ms} \geq g_{md} + \frac{g_{md}\, n C_{2eq}/C_{1eq}}{n - \beta - \alpha\left(1 + C_{2eq}/C_{1eq}\right)}\left(1 + \frac{G_P}{g_{md}}\left(1 + \frac{C_{1eq}}{C_{2eq}}\right)^2\right)$$

Duas estratégias foram utilizadas para reduzir g_{ms} mínimo:

1. Razão capacitiva ótima:

$$K_{otm} = \frac{C_{2eq}}{C_{1eq\,otm}} = \sqrt{\frac{G_P}{G_P + g_{md} + \alpha\, g_m}}$$

Estratégias para redução do consumo

A transcondutância de fonte g_{ms} está diretamente relacionada ao consumo do oscilador. Para que o circuito oscile:

$$g_{ms} \geq g_{md} + \frac{g_{md}\, n C_{2eq}/C_{1eq}}{n - \beta - \alpha\left(1 + C_{2eq}/C_{1eq}\right)}\left(1 + \frac{G_P}{g_{md}}\left(1 + \frac{C_{1eq}}{C_{2eq}}\right)^2\right)$$

Duas estratégias foram utilizadas para reduzir g_{ms} mínimo:

2. Segunda realimentação positiva:

Para α e $\beta < 0$ e K_{otm} real $\longrightarrow$

$$L_g < \frac{1}{\omega^2\left(C_{gd} + C_{gs}\left(1 + \frac{g_m}{g_{md} + G_P}\right)\right)}$$

Relação de Y_{out} com L_g

Parâmetro	C_1	C_2	C_{gs}	C_{gd}	n	g_{ms}	g_{md}
Valor	2 pF	2 pF	2 pF	0	1,15	14 mS	0

Sumário

1. Introdução

2. Topologia proposta

3. Análise

4. Projeto de um protótipo integrado

5. Simulações e resultados de medição

6. Conclusões

Fluxo de projeto

Caracterização DC

g_{ms}, g_{md}, C_{gs}, C_{gd}

Fluxo de projeto

$$L_g < \frac{1}{\omega^2 \left(C_{gd} + C_{gs} \left(1 + \frac{g_m}{g_{md} + G_P} \right) \right)}$$

Fluxo de projeto

$$K_{otm} = \frac{C_{2eq}}{C_{1eq\,otm}} = \sqrt{\frac{G_P}{G_P + g_{md} + \alpha\, g_m}}$$

Fluxo de projeto

$$g_{ms} \geq g_{md} + \frac{g_{md}\, n C_{2eq}/C_{1eq}}{n - \beta - \alpha\left(1 + C_{2eq}/C_{1eq}\right)}\left(1 + \frac{G_P}{g_{md}}\left(1 + \frac{C_{1eq}}{C_{2eq}}\right)^2\right)$$

Fluxo de projeto

$$g_{ms} \geq g_{md} + \frac{g_{md}\, n C_{2eq}/C_{1eq}}{n - \beta - \alpha\left(1 + C_{2eq}/C_{1eq}\right)} \left(1 + \frac{G_P}{g_{md}} \left(1 + \frac{C_{1eq}}{C_{2eq}}\right)^2\right)$$

Fluxo de projeto

Fluxo de projeto de circuito integrado

Especificações do projeto

Frequência: 2,4 GHz;

Tecnologia: IBM CMOS 0,13 μm, utilizando transistor zero-V_T;

Buffer para adaptar oscilador ao analisador espectro.

Especificações do projeto

Frequência: 2,4 GHz;

Tecnologia: IBM CMOS 0,13 μm, utilizando transistor zero-V_T;

Buffer para adaptar oscilador ao analisador espectro.

Especificações do projeto

Frequência: 2,4 GHz;

Tecnologia: IBM CMOS 0,13 µm, utilizando transistor zero-V_T;

Buffer para adaptar oscilador ao analisador espectro.

Especificações do projeto

Frequência: 2,4 GHz;

Tecnologia: IBM CMOS 0,13 µm, utilizando transistor zero-V_T;

Buffer para adaptar oscilador ao analisador espectro.

Especificações do projeto

Frequência: 2,4 GHz;

Tecnologia: IBM CMOS 0,13 µm, utilizando transistor zero-V_T;

Buffer para adaptar oscilador ao analisador espectro.

Especificações do projeto

Frequência: 2,4 GHz;

Tecnologia: IBM CMOS 0,13 µm, utilizando transistor zero-V_T;

Buffer para adaptar oscilador ao analisador espectro.

Layout

Tecnologia: CMOS 0,13 µm

Área total: 0,9 mm^2 *

Layout

Tecnologia: CMOS 0,13 µm

Área total: 0,9 mm^2 *

Área: 0,46 mm^2

Sumário

1. Introdução

2. Topologia proposta

3. Análise

4. Projeto de um protótipo integrado

5. Simulações e resultados de medição

6. Conclusões

Simulação pós-*layout*

V_{DD} = 40 mV P_{DC} = 4 μW f_O = 2,12 GHz

Simulação pós-*layout*

V_{DD} = 40 mV P_{DC} = 4 μW f_O = 2,12 GHz

Simulação pós-*layout*

V_{DD} = 40 mV P_{DC} = 4 μW f_O = 2,12 GHz

Resultados preliminares de medição

$V_{DD} = 53$ mV $\quad P_{DC} = 0{,}9\ \mu W \quad f_O = 1{,}86$ GHz

Resultados preliminares de medição

Medições *on-waffer*

Esperamos obter resultados melhores ao fixar o circuito integrado em uma PCB, e utilizar fontes de alimentação de baixo ruído.

Comparação

Parâmetro	[2]	[3]a	[3]b	[4]	Este trabalho
Tecnologia (nm)	130	180	180	180	130
Tensão (mV)	475	600	400	350	53
Frequência (GHz)	4,90	5,60	5,60	1,40	1,86
Potência (mW)	2,70	3,00	1,10	1,46	0,0009
PN (dBc/Hz)	-136,2[1]	-118,0[2]	-114,0[2]	-128,6[2]	-

[2] T. Brown, F. Farhabakhshian, A. Guha Roy, T. Fiez, and K. Mayaram.
[3] H.-H. Hsieh and L.-H. Lu.
[4] K. Kwok and H. Luong.

[1] @ 3 MHz
[2] @ 1 MHz

Sumário

1. Introdução

2. Topologia proposta

3. Análise

4. Projeto de um protótipo integrado

5. Simulações e resultados de medição

6. Conclusões

Conclusões do trabalho

Introduzimos uma segunda realimentação positiva em um oscilador Colpitts.

Conclusões do trabalho

Introduzimos uma segunda realimentação positiva em um oscilador Colpitts.

O circuito oscila utilizando uma tensão de alimentação menor e consome menos potência.

Conclusões do trabalho

Introduzimos uma segunda realimentação positiva em um oscilador Colpitts.

O circuito oscila utilizando uma tensão de alimentação menor e consome menos potência.

Verificamos a teoria desenvolvida através de simulação e testes.

Conclusões do trabalho

Introduzimos uma segunda realimentação positiva em um oscilador Colpitts.

O circuito oscila utilizando uma tensão de alimentação menor e consome menos potência.

Verificamos a teoria desenvolvida através de simulação e testes.

Protótipo integrado em tecnologia CMOS 0,13 μm oscila em 1,86 GHz, com 53 mV e consumindo 0,9 μW.

Conclusões do trabalho

Há um compromisso entre área e consumo.

Conclusões do trabalho

Há um compromisso entre área e consumo.

Colpitts clássico: área menor, consumo maior;
Com dupla realimentação: área maior, consumo menor.

Conclusões do trabalho

Há um compromisso entre área e consumo.

Colpitts clássico: área menor, consumo maior;
Com dupla realimentação: área maior, consumo menor.

Aplicações:

Sistemas de comunicação com baixa taxa de transmissão,
Energy harvesting.

Conclusões do trabalho

Há um compromisso entre área e consumo.

Colpitts clássico: área menor, consumo maior;
Com dupla realimentação: área maior, consumo menor.

Aplicações:

Sistemas de comunicação com baixa taxa de transmissão,
Energy harvesting.

Perspectivas futuras:

Eficiência, múltiplas realimentações.

Publicações

SFORUM (Nacional), ISCAS (Internacional) e NEWCAS (Internacional)

A 40 mV/4 uW CMOS Colpitts Oscillator with Additional Positive Feedback at 2.12 GHz

Ultra-low-power 2.4 GHz Colpitts oscillator based on double feedback technique

Ultra-low-power, ultra-low-voltage 2.12 GHz Colpitts oscillator using inductive gate degeneration

Obrigado pela atenção!