Laboratório de Circuitos Integrados

LCI

Oscilador Classe E

Rafael Mendes Duarte

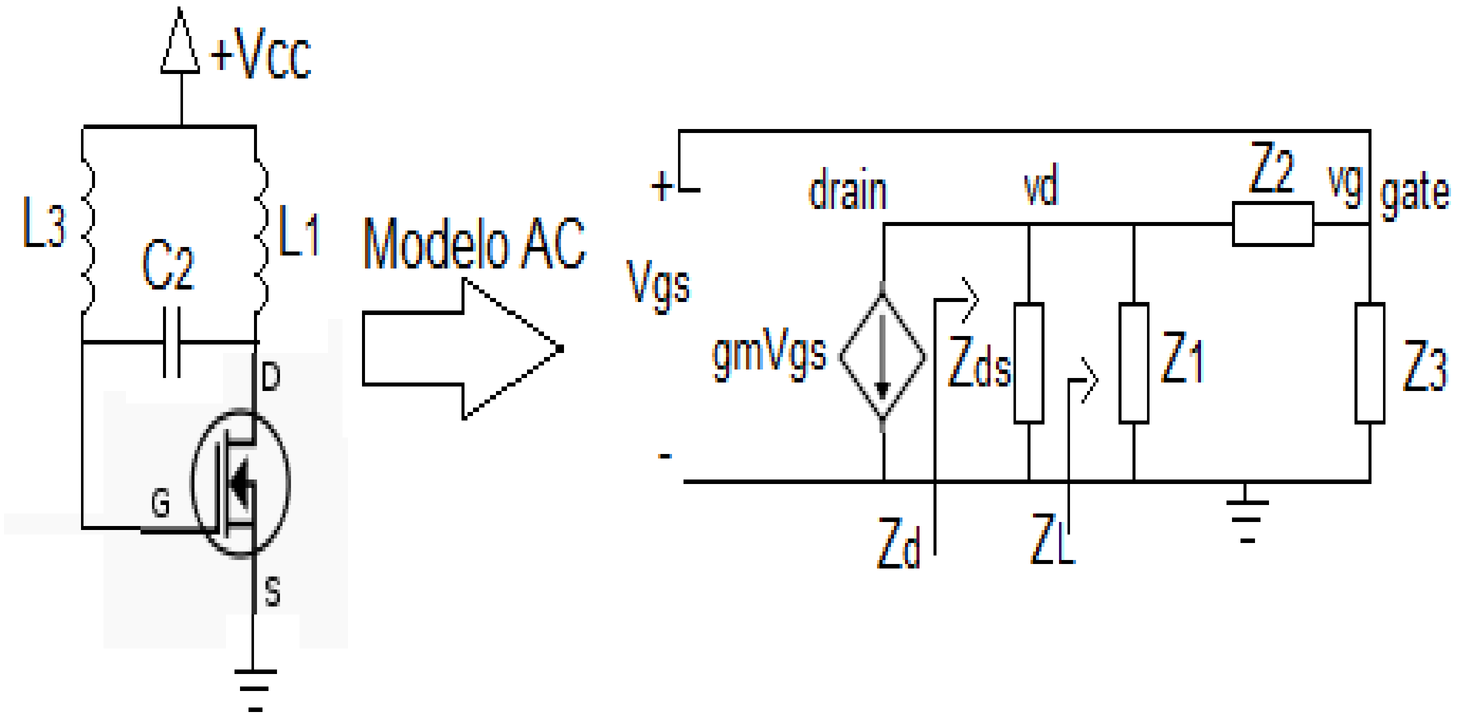
rafaelmendesduarte@hotmail.com

Florianópolis, 21 de outubro de 2010

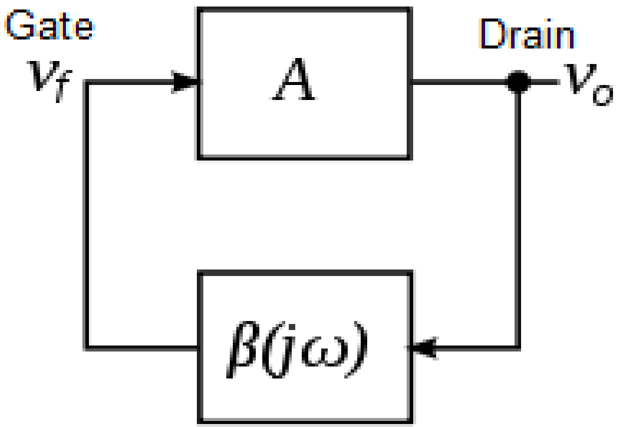
Roteiro de apresentação

- Obtenção da equação de frequência de oscilação
- Limitações de projeto
- Projeto através do método do “q”
- Medida de eficiência
- Método de ajuste
- Objetivos futuros

Obtenção da equação da frequência de oscilação



Obtenção da equação da frequência de oscilação



Pelo critério de estabilidade de Barkhausen:

$$\beta(jw)A(jw)=1 \qquad (1)$$

Obtenção da equação da frequência de oscilação

$$Cálculo\ da\ impedância\ Zd:$$

$$Z_L = Z_1 / \text{¿} (Z_2 + Z_3) \qquad (2)$$

$$Z_D = Z_L \frac{Z_{ds}}{(Z_L + Z_{ds})} \qquad (3)$$

$$Cálculo\ de\ A(jw)\ e\ \beta(jw):$$

$$Para\ A(jw):$$

$$A(jw) = \frac{vd}{vg} = -gmZ_D \qquad (4)$$

$$Para\ \beta(jw):$$

$$\beta(jw) = \frac{vg}{vd} = \frac{Z_3}{(Z_2 + Z_3)} \qquad (5) \rightarrow \quad Divisor\ de\ tensão$$

Obtenção da equação da frequência de oscilação

Aplicando o critério de Barkhausen nas equações (3) *e* (4):

$$A\beta(jw) = -gmZ_D \frac{Z_3}{(Z_2 + Z_3)} \qquad (6)$$

Substituindo Z_D *e fazendo algebrismo, obtemos*:

$$\beta A(jw) = \frac{(-gmZ_{ds} Z_1 Z_3)}{[Z_1(Z_2 + Z_3) + Z_{ds}(Z_1 + Z_2 + Z_3)]} \qquad (7)$$

Como Z_1, Z_2, Z_3 *são puramente reativos, temos*:

$$Z_1 = jX1(jw); \quad Z_2 = jX_2(jw); \quad Z_3 = jX\,3(jw)$$

Laboratório de Circuitos Integrados LCI

Obtenção da equação da frequência de oscilação

Oscilador classe E

$$Substituindo\ os\ valores\ de\ Z_1, Z_2, Z_3\ e\ fazendo:$$

$$Z_{ds} = \frac{1}{Y_{ds}} = gds + jB_{ds}$$

$$Obtemos:$$

$$A(jw) * \beta(jw) = \frac{gmX_1(jw)X_3(jw)}{-X_1(jw)\,gds[X_2(jw)+X_3(jw)] + j[X_1(jw)+X_2(jw)+X_3(jw)] - [X_1(jw)B_{ds}(jw)(X_2(jw)+X_3(jw))]} \quad (8)$$

$$Pelo\ outro\ crit\acute{e}rio\ de\ Barkhausen:$$

$$fase(A(jw)\beta(jw)) = 0^o$$

$$Dessa\ forma, a\ parte\ imagin\acute{a}ria\ de\ (8)\ deve\ ser\ 0.$$

$$[X_1(jw) + X_2(jw) + X_3(jw)] - [X_1(jw)B_{ds}(jw)(X_2(jw) + X_3(jw))] = 0$$

$$Portanto:$$

$$[X_1(jw) + X_2(jw) + X_3(jw)] = [X_1(jw)B_{ds}(jw)(X_2(jw) + X_3(jw))]$$

Obtenção da equação da frequência de oscilação

$$Reescrevendo:$$

$$X_2(jw) + X_3(jw) = \frac{X_1(jw)}{1 - X_1(jw)\,B_{ds}(jw)} \qquad (9)$$

$$Com\, a\ parte\, imaginária\, igual\ a\ zero\,,\, A(jw) * \beta(jw)\, torna - se:$$

$$A\beta(jw) = \frac{gmX_1(jw)\,X_3(jw)}{-X_1(jw)\,gds[X_2(jw) + X_3(jw)]}$$

$$A\beta(jw) = \frac{gm\,\cancel{X_1(jw)}\,X_3(jw)}{-\cancel{X_1(jw)}\,gds[X_2(jw) + X_3(jw)]}$$

$$A\beta(jw) = -gm\frac{X_3(jw)}{gds[X_2(jw) + X_3(jw)]} \qquad (10)$$

Obtenção da equação da frequência de oscilação

$$Substituindo\,(9)\,em\,(10)\,e\,aplicando\;para\,uma\;frequência\,w_o:$$

$$A\beta(w_o)=\frac{-gm}{gds}\frac{X_3(w_o)}{X_1(w_o)}[1-X_1(w_o)B_{ds}(w_o)]$$

$$Para\quad A\beta(w_o)=1:$$

$$[1-X_1(w_o)B_{ds}(w_o)]\qquad (11)\rightarrow\quad positivo$$

$$X_1\frac{(w_o)}{X_3}(w_o)\qquad\rightarrow\quad positivo$$

$$Portanto\,,Z_1\,e\,Z_3\,devem\,ter\,o\,mesmo\,sinal\;para\,satisfazer\;Barkhausen.$$

$$Fazendo\,Z_1\,e\,Z_3\,indutivos\,e\,Z_2\,capacitivo.$$

Obtenção da equação da frequência de oscilação

Trocando as reatâncias genéricas :

$$A\beta(w_o) = \frac{-gm}{gds}\frac{\cancel{w_o}L_3}{\cancel{w_o}L_1}[1 - w_o^2 L_1 C_{ds}]$$

$$A\beta(w_o) = \frac{-gm}{gds}\frac{L_3}{L_1}[1 - \frac{w_o^2}{wdrain}] \qquad (12)$$

com

$$wdrain = \frac{1}{\sqrt{(L_1 C_{ds})}} \qquad (13)$$

Obtenção da equação da frequência de oscilação

Trocando as reatâncias genéricas :

$$A\beta\left(w_o\right)=\frac{-gm}{gds}\frac{\cancel{w_o}L_3}{\cancel{w_o}L_1}\left[1-w_o^2L_1C_{ds}\right]$$

$$A\beta\left(w_o\right)=\frac{-gm}{gds}\frac{L_3}{L_1}\left[1-\frac{w_o^2}{wdrain}\right]\qquad(12)$$

com

$$wdrain=\frac{1}{\sqrt{\left(L_1C_{ds}\right)}}\qquad(13)$$

Obtenção da equação da frequência de oscilação

Frequência de Oscilação:

Partindo da equação (9) e substituindo as reatâncias genéricas:

$$w_o L_1 + \left[\frac{-1}{w_o C2} + w_o L_3\right]\left[1 - w_o^2 L_1 C_{ds}\right] = 0$$

Substituindo wdrain, obtemos a expressão para a frequência de oscilação

$$w_o^2 = \frac{1}{C_2\left[\dfrac{L_1}{1-\left(\dfrac{w_o^2}{wdrain}\right)} + L_3\right]} \qquad (13)$$

Ajuste de wdrain

Na prática, a equação correta a ser usada para wdrain é:

$$wdrain = \frac{1}{\sqrt{(L_1 C_2)}}$$

No entanto, não há explicação teórica para tal correção. Apenas verificou-se em testes em bancada.

Inclusão das Capacitâncias parasitas

Para incluir as capacitâncias parasitas nos cálculos, basta descontarmos os valores dos capacitores dos indutores através de uma combinação em paralelo.

Para L_1:

$$L_{1c} = \frac{L_1}{1 - [w_o^2 L_1 (C_{ds}')]}$$

Onde L_{1c} *é o valor que deve ser utilizado na montagem do circuito e* $C_{ds}' = C3 + C_{ds}(parasita)$

Para L_3:

$$L_{3c} = \frac{L_3}{1 + [w^2 L_3 C_{gs}]}$$

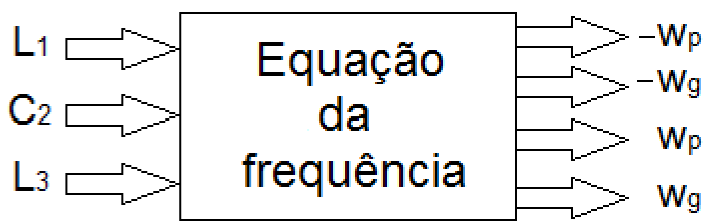
Onde L_{3c} *é o valor que deve ser utilizado na montagem do circuito e* C_{gs} *é a capacitância entre gate e source*

Solução da equação da frequência

Por (13) *ser uma equação de grau* 4:

$$w_o^2 = \frac{1}{C_2\left[\dfrac{L_1}{1-\left(\dfrac{w_o^2}{wdrain}\right)} + L_3\right]} \qquad (13)$$

Se escolhermos valores para $L3$, $L1$, $C2$, *obtemos* 4 *soluções de frequências.*

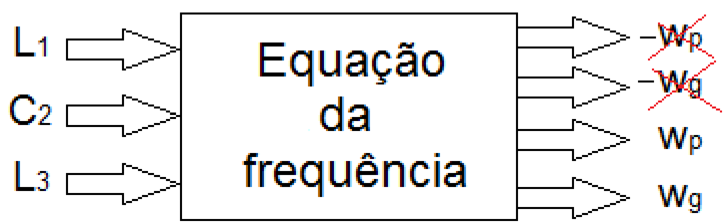


Solução da equação da frequência

Por (13) *ser uma equação de grau* 4:

$$w_o^2 = \frac{1}{C_2\left[\frac{L_1}{1-\left(\frac{w_o^2}{wdrain}\right)} + L_3\right]} \qquad (13)$$

Se escolhermos valores para L3, L1, C2, obtemos 4 soluções de frequências.
Duas delas tem valor negativo, portanto sem significado físico.

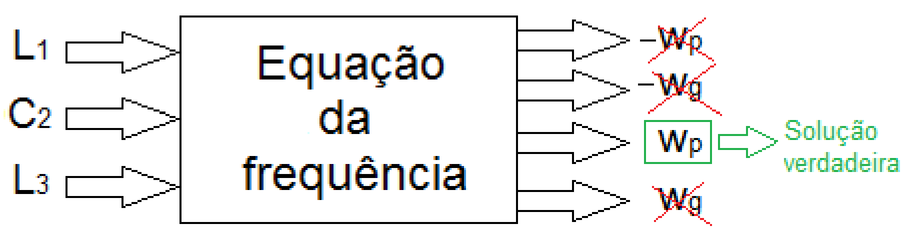


Solução da equação da frequência

Por (13) *ser uma equação de grau* 4:

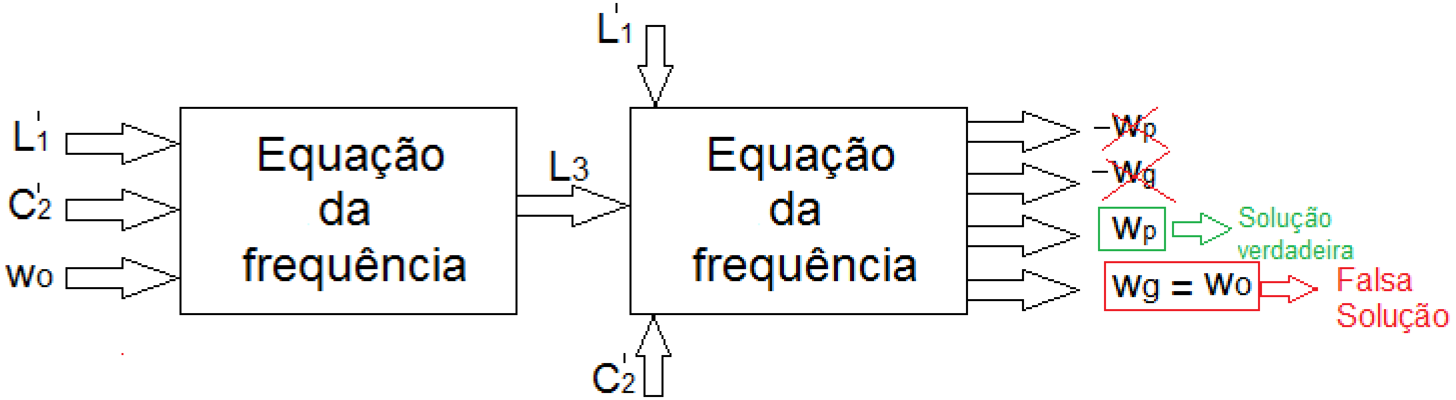
$$w_o^2 = \frac{1}{C_2\left[\dfrac{L_1}{1-\left(\dfrac{w_o^2}{wdrain}\right)} + L_3\right]} \qquad (13)$$

Se escolhermos valores para L3 , L1 , C2 , obtemos 4 soluções de frequências. Duas delas tem valor negativo , portanto sem significado físico. Além disso , o circuito oscila sempre na menor entre as duas soluções restantes.



Limite de projeto

Isto faz com que a solução inversa *não seja sempre verdadeira.*



No caso da figura, o circuito oscilará na frequência w_p.
Que é diferente da frequência w_o *projetada.*

Limite de projeto

Abaixo, temos o plot do valor do indutor L3 em função do valor da frequência escolhida. L3 é descrito pela equação:

$$L_3=\frac{w_{drain}^2-2w_o}{w_o^2 C_2\left(-w_o^2+w_{drain}^2\right)}$$

O valor de L1 e C2 são fixos.

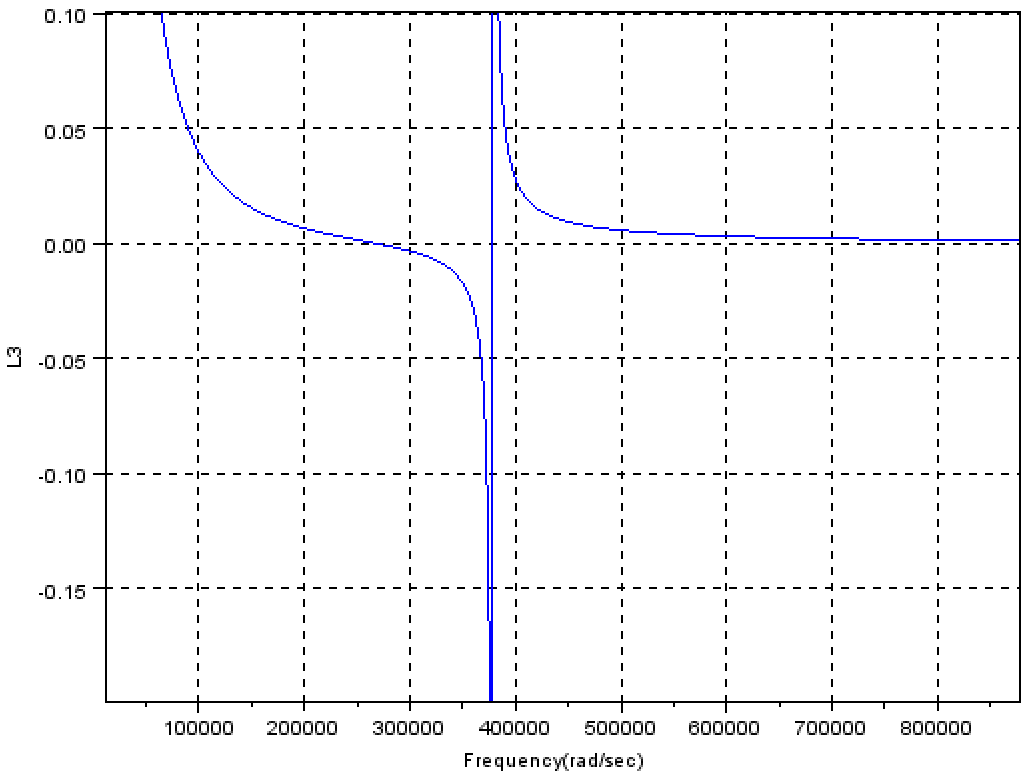
$$L1=3000\,uH\;;$$
$$C2=2.33\,nF\;;$$

Limite de projeto

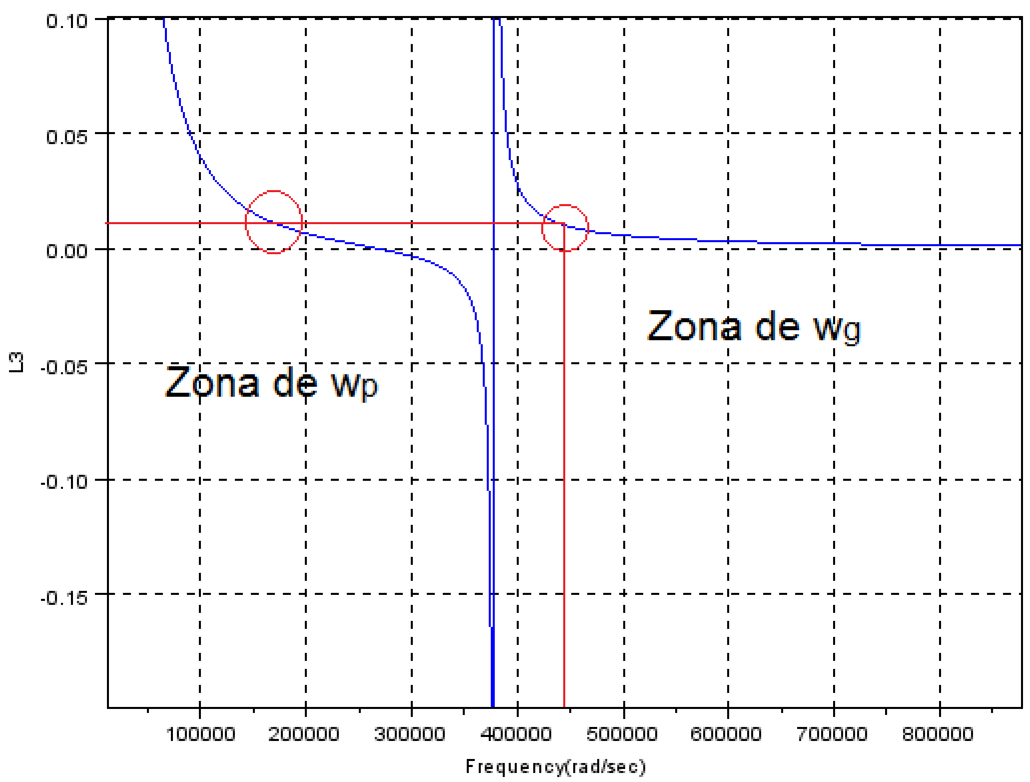
$$Pela\ análise\ da\ equação\ , vemos\ que\ a\ assíntota\ abaixo\ ocorre\ em\ w_o = w_{drain}$$

$$Para\ os\ valores\ dos\ componentes\ escolhidos:$$

$$w_{drain} = 378\ kHz$$



Limite de projeto

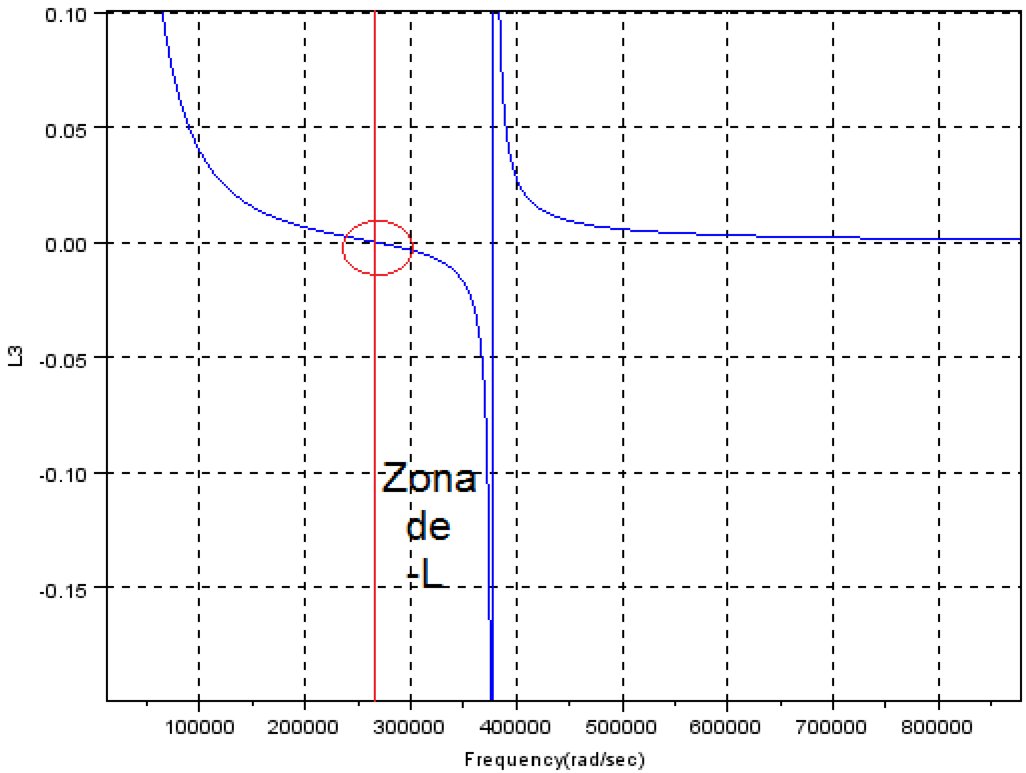


Laboratório de Circuitos Integrados

LCI

Limite de projeto

Oscilador classe E



Limite de projeto

Pela análise de sinal da função de L_3, é possível achar o ponto em que o projeto é válido.

$$L_3 = \frac{w_{drain}^2 - 2w_o}{w_o^2 C_2 \left(-w_o^2 + w_{drain}^2\right)} = 0$$

$$Portanto:$$

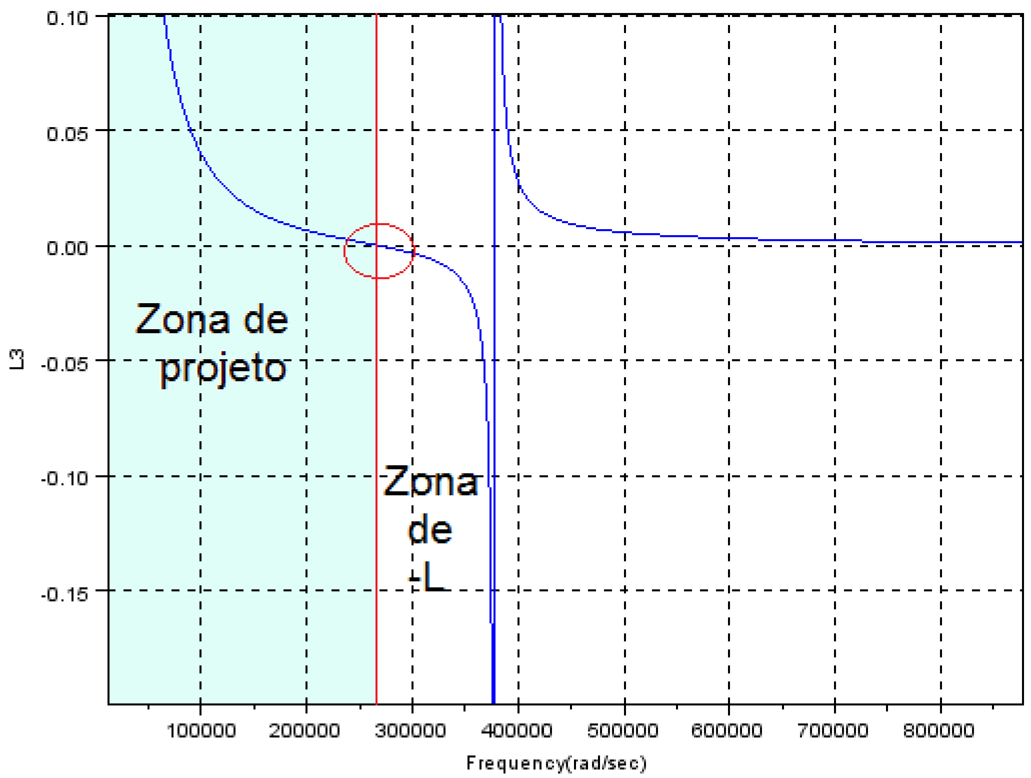
$$w_{drain}^2 - 2w_o = 0$$

$$w_0 = \frac{w_{drain}}{\sqrt{(2)}}$$

$$Para\ L\ ser\ positivo: w_0 < \frac{w_{drain}}{\sqrt{(2)}} \qquad (14)$$

Limite de projeto

Portanto, a zona de projeto é a área pintada de verde no gráfico abaixo.
Ou seja, antes da assíntota, e antes a zona de $-L$.



Projeto através do método do q

$Passos\ para\ projeto\ tendo\ o\ valor\ de\ L:$

$1-Escolher\ valor\ de\ L1, C2, w_o, Lo, q, Vdd$

$2-Calcular\ valor\ de\ L3\ através\ da\ equação\ da\ frequência$

$3-Calcular\ o\ valor\ dos\ Ks$

$4-Com\ K_L, calcular\ o\ valor\ de\ R:$

$$K_L = w_o \frac{L}{R}$$

$5-Com\ R\ e\ os\ valores\ de\ Ks\ é\ possível\ achar\ o\ valor\ dos\ outros\ componentes$

$6-Para\ calcular\ C_o, basta\ usar:$

$$w_o = \frac{1}{\sqrt{(L_o C_o)}}$$

Projeto através do método do q

$Passos\ para\ projeto\ tendo\ valor\ de\ R\left(proposto\ por\ Nauta\right):$

$1-Escolher\ valor\ de\ R, w_o, Lo, q, Vdd$

$2-Calcular\ o\ valor\ dos\ Ks$

:

$3-Com\ K_L, com\ R\ calcular\ o\ valor\ de\ L_1:$

$$K_L = w_o \frac{L}{R}$$

$4-Calcular\ valor\ de\ L3\ através\ da\ equação\ da\ frequência$

$5-Com\ R\ e\ os\ valores\ de\ Ks\ é\ possível\ achar\ o\ valor\ dos\ outros\ componentes$

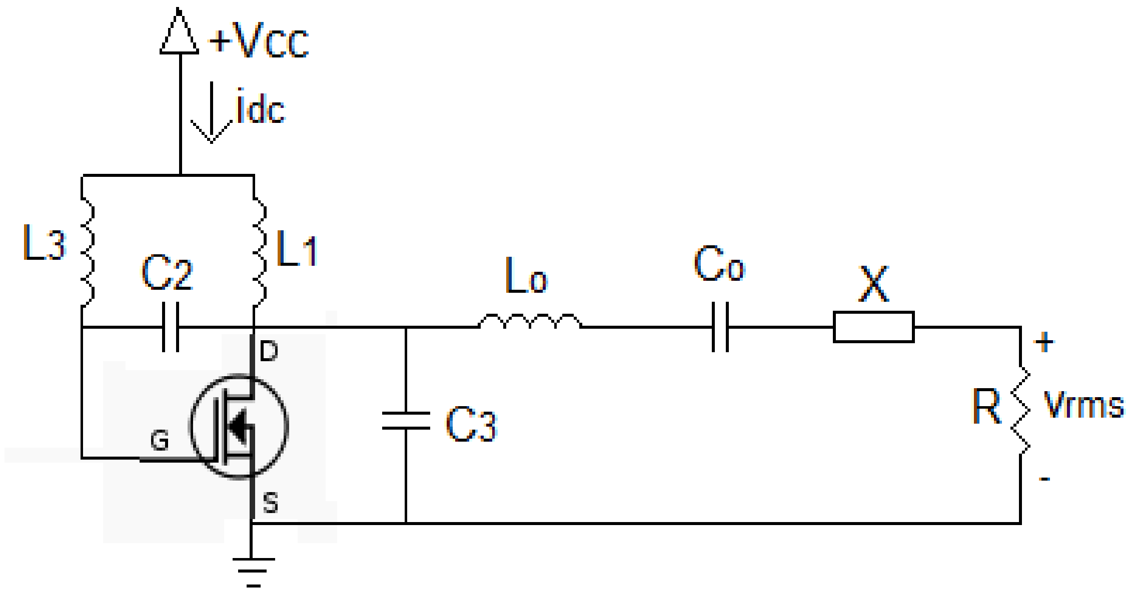
$6-Para\ calcular\ C_o, basta\ usar:$

$$w_o = \frac{1}{\sqrt{\left(L_o C_o\right)}}$$

Questões relativas ao método do q

$$1 - Qual\ q\ escolher\ ?\ Qual\ o\ q\ \acute{o}timo\ para\ o\ projeto\ ?$$

Medida de eficiência



Medida de eficiência

Para medida de eficiência, foi definido como eficiência do circuito a porcentagem de potência DC que é convertida em potência AC e é entregue para a carga. Ou seja:

$$\eta = \frac{Pac}{Pdc}$$

Onde:

$$Pac = \frac{v_{rms}^2}{R}$$

$$Pdc = Vdc\, Idc$$

Método de ajuste

Para ajuste de eficiência, a figura apresentada por Sokal pode ser utilizada: