

TEMA 2: OSCILADORES

Comunicaciones Inalámbricas

Marina Zapater

Primavera 2015

Departamento de Física Aplicada III, Universidad Complutense de Madrid



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Definición y principio de funcionamiento

Parámetros de un oscilador

Ruido de fase. Modelo de Leeson

Tipos de osciladores

Osciladores controlados por tensión (VCO)

Ejercicios

DEFINICIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

- Un oscilador es un dispositivo que genera señales periódicas de RF sin necesidad de atacarlo con otra \rightarrow sólo a partir de DC (transforma señal continua en periódica).

$$v(t) = V_0 \cdot \cos(\omega_0 t)$$

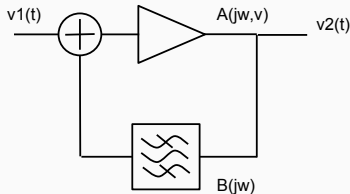
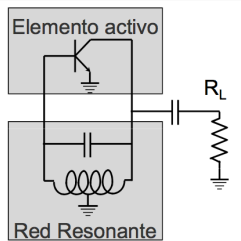
- En este curso estudiaremos osciladores que generan señales sinusoidales
(aunque la generación de pulsos cuadrados es típica en electrónica).

ESTRUCTURA DE UN OSCILADOR

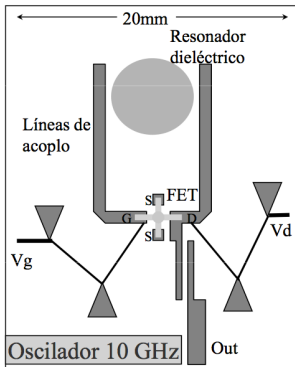
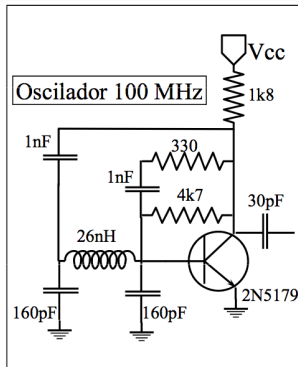
Un oscilador está formado por:

- Un **circuito resonante**: variación rápida con la frecuencia
 f_0 : frecuencia propia, y Q : factor de calidad
- Un **elemento activo** o amplificador, con ganancia y resistencia negativa.
- Una **estructura de acoplamiento** entre ambos y hacia la carga (en general, red pasiva)

La función de transferencia del oscilador es: $H(j\omega) = \frac{A(j\omega, v)}{1 - A(j\omega, v)B(j\omega)}$



EJEMPLOS DE OSCILADORES



Arranque: Al dar alimentación, en los primeros instantes el oscilador comienza a oscilar con pequeña amplitud, y la amplitud va aumentando.

- Dada la función de transferencia del oscilador:

$$H(j\omega) = \frac{A(j\omega, v)}{1 - A(j\omega, v)B(j\omega)}$$

- Para que exista oscilación en la pulsación ω_0 ha de cumplirse que exista un polo a dicha frecuencia en el eje $j\omega$ (o en el semiplano real positivo)
- Esto se traduce en la función para la ganancia en lazo abierto G :

$$G(j\omega_0) = A(j\omega_0, v)B(j\omega_0) \geq 1$$

- Que a su vez da lugar a:

$$\text{Condición de arranque: } |A(j\omega, v)B(j\omega)| \geq 1$$

$$\text{Equilibrio de fases: } \text{Fase}[A(j\omega, v)B(j\omega)] = 0$$

Régimen **permanente** (o de oscilación)

- Si la condición de arranque se mantuviera, la oscilación crecería indefinidamente! → al aumentar la oscilación el elemento activo entra en régimen no lineal y disminuye la ganancia.
- Condición de régimen permanente (de oscilación):

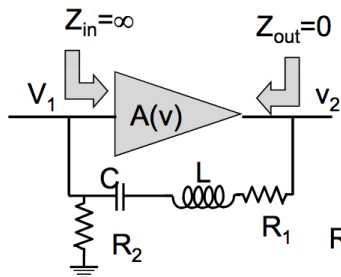
$$G(j\omega_0, v) = A(j\omega, v)B(j\omega) = 1$$

$$\text{Condición de ganancia: } G = |A(v)B(\omega)| = 1$$

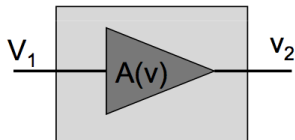
$$\text{Condición de frecuencia: } \phi = \text{Fase}[A(v)B(\omega)] = 0$$

EJEMPLO: CONDICIÓN DE OSCILACIÓN

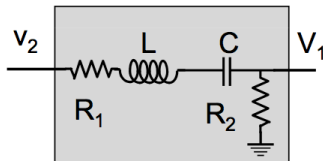
Dado el **oscilador RLC**, determinar la condición de oscilación, la ganancia mínima para que oscile y la frecuencia de oscilación.



Elemento activo A



Red de realimentación B



$$A = A(v)$$
$$B(s) = \frac{R_2}{\frac{1}{Cs} + (R_1 + R_2) + Ls}$$

EJEMPLO: CONDICIÓN DE OSCILACIÓN

$$A = A(v)$$

$$G(s, v)|_{s=j\omega} = \frac{A(v)R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

$$B(s) = \frac{R_2}{\frac{1}{Cs} + (R_1 + R_2) + Ls}$$

$$\text{donde } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{y} \quad Q = \frac{1}{(R_1 + R_2)\omega_0 C}$$

$$\text{Arg}[G(\omega, v)] = -a \tan \left[Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]$$

$$\text{Mod}[G(\omega, v)] = A \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1}{\sqrt{1 + \left[Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]^2}}$$

Condición de oscilación:

$$\omega = \omega_0$$

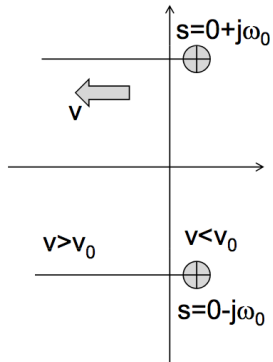
$$A = (R_1 + R_2) / R_2$$

- **Factor de calidad:** relación entre la energía almacenada en los elementos reactivos respecto a las pérdidas en las resistencias.
- En resonancia, se va pasando la energía del condensador a la bobina, pero la energía se va perdiendo
- La pérdida se compensa con el elemento activo (el amplificador).

$$Q = \frac{1}{\omega_0 RC}$$

Función de transferencia
en lazo cerrado

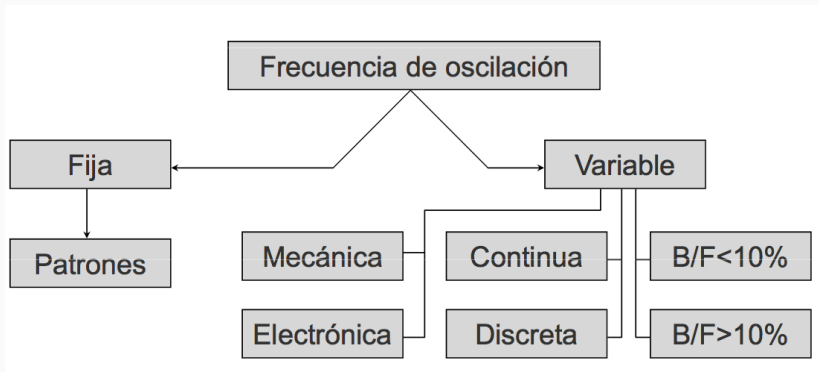
$$H(s,v) = \frac{1}{1-G(s,v)}$$



PARÁMETROS DE UN OSCILADOR

- Frecuencia, margen y forma de sintonía
- Potencia de salida y rendimiento
- Estabilidad de fase
- Pulling
- Pushing
- Deriva térmica

- **Frecuencia** de oscilación (frecuencia fundamental).
 - sólo los osciladores patrones, que se basan en fenómenos cuánticos, se pueden considerar fijos.
- Sintonía: margen de frecuencias que puede barrer el oscilador. Puede ser:
 - Mecánica (variación de distancia entre placas de un condensador) o electrónica (aplicando tensión a un elemento → VCO = Voltage Controlled Oscillator)
 - Continua o discreta (sólo puede tomar algunos valores)
 - Banda estrecha (alta Q) o banda ancha (baja Q)



- P_0 : Potencia total de RF del oscilador. Potencia que inyecta a la carga de la salida.

$$P_0 = P_1 + \sum_2^{\infty} P_i$$

- Nivel de armónicos relativos al principal:

$$Ni = \frac{P_i}{P_1}$$

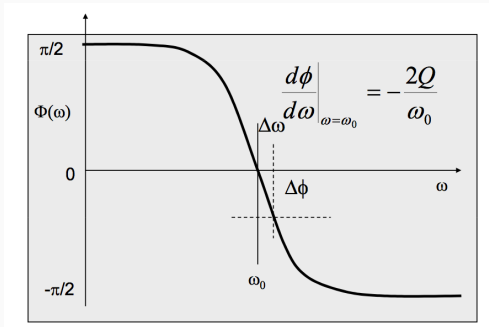
$N_i(\text{dBc})$ se da con respecto a la portadora, por eso está en dBc

- Nives de espurias:

$$Ni = \frac{P_{esp}}{P_1}$$

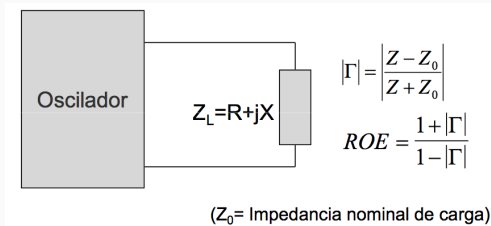
- Rendimiento: $\eta = \frac{P_0}{P_{DC}}$

Potencia DC es la medida en el generador a la entrada.

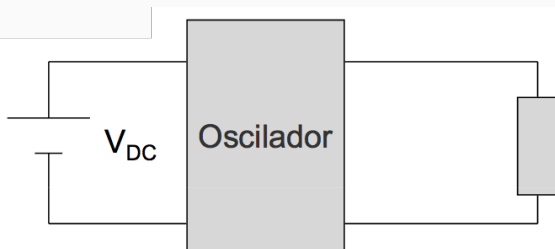


- La estabilidad es una situación de equilibrio dinámico, la frecuencia varía constantemente.
- Si hay una variación de fase, la frecuencia variará para compensarla.
- Los cambios en frecuencia son inversamente proporcionales a Q

- Pulling: variación de la frecuencia del oscilador cuando se modifica la impedancia de carga (es decir, cuando no hay adaptación) → depende de Q y acoplo entre oscilador y carga.
- El fabricante especifica la ROE (Relación de Onda Estacionaria): variación de la impedancia de carga en tanto por ciento.
- Γ : Coeficiente de reflexión de la carga.



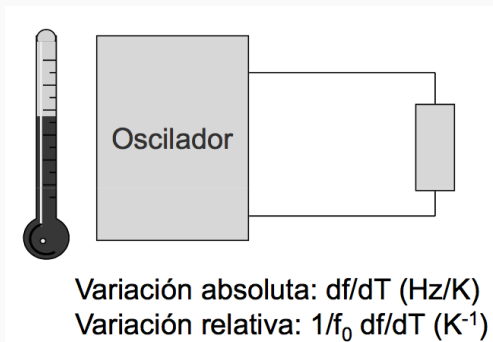
- Variaciones de la frecuencia con la tensión de alimentación



Variaciones absolutas: df/dV (Hz/V)

Variaciones relativas: $1/f_0 df/dV$ (V^{-1})

- Variaciones de la frecuencia con la temperatura.
- Se da en partes por millón por cada grado centígrado (ppm/C)
- O también de forma absoluta o relativa:



RUIDO DE FASE. MODELO DE LEESON

- Consideramos una señal sinusoidal con ruido de amplitud y fase:

$$v_o(t) = V_0(1 + n(t))\cos(\omega_0 t + \phi_n(t))$$

- Suponemos valores pequeños de ruido: $\phi_n(t) \ll 1$, $n(t) \ll 1$

$$v_o(t) = V_0[\cos(\omega_0 t) + n(t)\cos(\omega_0 t) - \phi_n(t)\sin(\omega_0 t)]$$

- Nos queda:

portadora + bandas laterales moduladas por $n(t)$ y $\phi(t)$

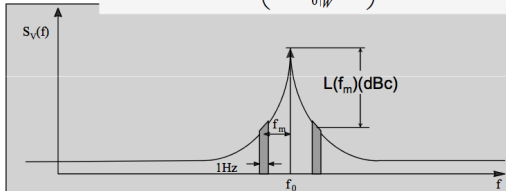
- En un oscilador, el SNR es grande (porque la potencia es grande), y el ruido de amplitud es 30dB menor que el ruido de fase \rightarrow despreciamos ruido de amplitud.

- Nos queda:

$$v_o(t) = V_0[\cos(\omega_0 t) - \phi_n(t)\sin(\omega_0 t)]$$

- Todo oscilador presenta ruido en torno a la frecuencia de oscilación fundamental. Si no, tendríamos una delta.
- El ruido es máximo en la frecuencia de oscilación
- Simétrico a ambos lados de la frecuencia de oscilación
- Decrece al separarse de f_0
- Señal y ruido no pueden separarse
- Tienen un pedestal fijo para $|f - f_0| = f_m$ grande

$$L(f_m)_{dBc/Hz} = 10 \log \left(\frac{S_V(f_m)_{W/Hz}}{P_{0W}} \right) = 10 \log(L(f_m))(dBc)$$



- Dada la densidad espectral del potencia del ruido de fase $\phi_n(t)$

$$S_\phi(f) = F[\phi_n(t)]^2$$

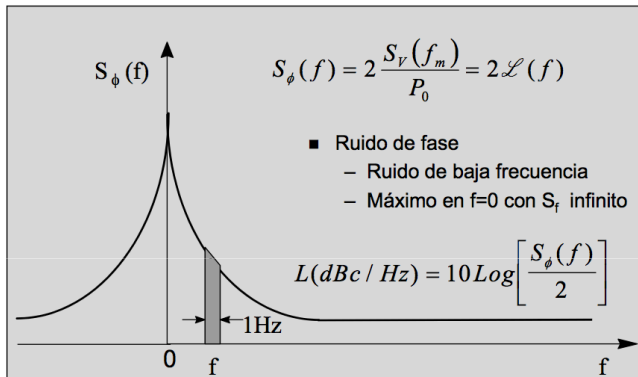
- La densidad espectral de potencia del oscilador viene dada por:

$$S_V(f) = |F[V(t)]|^2 = \frac{1}{2} P_0 \left(\begin{array}{l} \delta(f - f_0) + S_\phi(f - f_0) + \\ \delta(f + f_0) + S_\phi(f + f_0) \end{array} \right)$$

- A la inversa, dado el espectro final, la densidad espectral de ruido de fase viene dada por (para $f_m \ll f_0$)

$$S_\phi(f) = 2 \frac{S_V(f_m)}{P_0}, \quad \text{con } P_0 = \frac{V_0^2}{2}$$

Nota: $S_V(f)$: DEP de la señal, P_0 potencia total del oscilador



Donde $\mathcal{L}(f)$ es la función de Leeson, que relaciona la DEP de ruido para una banda de 1Hz para una distancia f_m de la frecuencia de oscilación, con la potencia de la señal.

Relacionamos la modulación parásita de fase o frecuencia con la función de Leeson. Si consideramos:

$$\phi_n(t) = \Delta\phi_{max}\cos(\omega_m t) \text{ y lo combinamos con}$$

$$v_0(t) = V_0[\cos(\omega_0 t) - \phi_n(t)\text{sen}(\omega_0 t)], \text{ tendremos}$$

- Existe una dirección directa entre la modulación de fase y la función de Leeson: $\mathcal{L}(f_m) = \frac{(\Delta\phi_{max})^2}{2}$
- Si consideramos una banda del espectro B a cada lado de f_0 , podemos calcular la desviación máxima de fase o frecuencia del oscilador como:

$$\Delta\phi_{max} = \sqrt{2\mathcal{L}(f_m)B}$$

$$\Delta f_{max} = f_m \sqrt{2\mathcal{L}(f_m)B}$$

- Relación ruido a portadora:

$$\left(\frac{N}{C}\right)_{dBc} = 20\log\left(\frac{\Delta f_{max}}{\sqrt{2}f_m}\right)$$

Objetivo: Calcular el ruido del oscilador a partir de sus componentes, viendo cómo afecta cada uno.

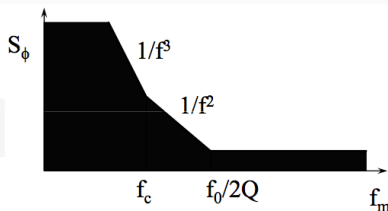
- Intenta calcular la potencia encerrada en 1Hz de ancho de banda, a una frecuencia f_m de la portadora.
- Tendremos dos tipos de ruido, ruido térmico y flicker
 - f : figura de ruido del dispositivo (térmico)
 - f_c : frecuencia de corte de ruido, frecuencia a la que ambos ruidos se igualan (recordemos que ruido flicker es $1/f$)
es decir, a f_c (10Hz a 10kHz) el ruido cambia de $1/f$ a una característica plana.
 - P_{sav} : potencia disponible a la entrada del elemento activo
- Filtrado por la función de transferencia $H(\omega)$

$$L(f_m) = \frac{1}{2} \frac{kT_0 f}{P_{sav}} \left(1 + \frac{f_c}{f_m} \right) \left(1 + \left(\frac{f_o}{2Q f_m} \right)^2 \right)$$

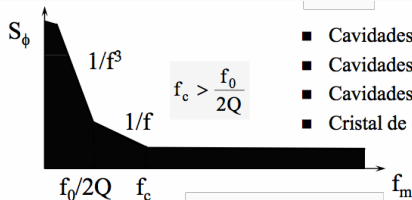
Osciladores de bajo Q

- Circuitos RC
- Líneas impresas
- Varactores

$$f_c < \frac{f_0}{2Q}$$

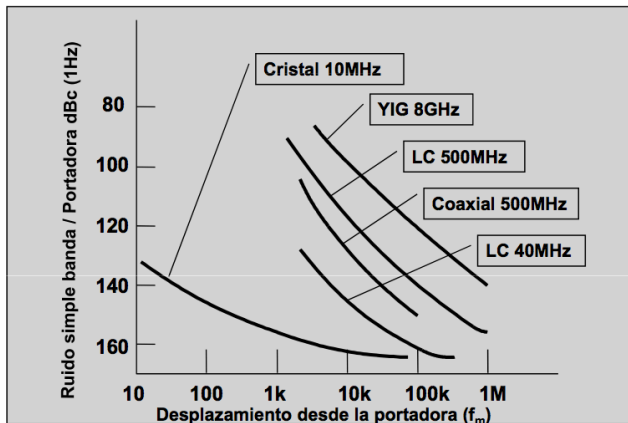


Osciladores de alto Q



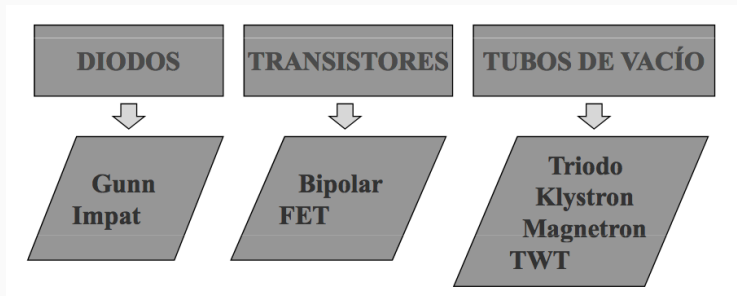
- Cavidades metálicas
- Cavidades dieléctricas
- Cavidades de Onda Acústica (SAW)
- Cristal de cuarzo

RUIDO DE FASE EN ALGUNOS OSCILADORES DE RF Y MICROONDAS



TIPOS DE OSCILADORES

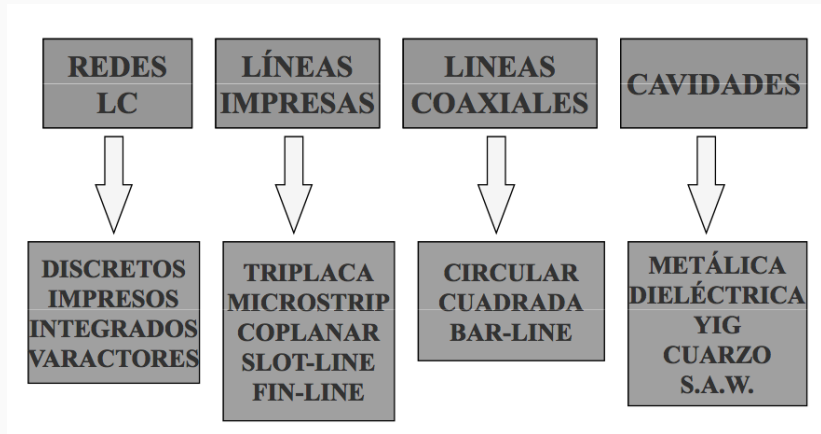
TIPOS DE OSCILADORES SEGÚN EL COMPONENTE ACTIVO



TIPOS DE OSCILADORES SEGÚN EL COMPONENTE ACTIVO

	Banda de Frecuencia	Potencia	Rendimiento	Ruido Térmico	Ruido 1/f
Gunn	6-100 Ghz	Muy baja	Bajo (1%)	Bueno	Muy bueno
Impat	6-100 Ghz	Alta	Medio (10%)	Malo	Malo
Bipolar	0-7 Ghz	Alta	Alto (20%)	Muy bueno	Muy bueno
FET	0-18 Ghz	Media	Alto (20%)	Bueno	Regular
Triodo	0-3 Ghz	Muy alta	Alto	Malo	Malo
Klystron	5-200 Ghz	Alta	Alto	Bueno	Bueno
TWT	1-30 Ghz	Muy alta	Alto	Muy bueno	Bueno
Magnetron	1-30 Ghz	Muy alta	Alto	Malo	Malo

TIPOS DE OSCILADORES SEGÚN LA ESTRUCTURA RESONANTE



TIPOS DE OSCILADORES SEGÚN LA ESTRUCTURA RESONANTE

Tipo de Cavidad	Margen de frecuencia	Factor de calidad	Estabilidad Térmica	Otros factores o comentarios
Circuitos RC (multivibradores)	DC a 10MHz	< 10	Mala	Sintonía en 1 a 2 décadas
Circuitos LC	1MHz a 1GHz	10^4 a 10^2	Mediocre	Q limitado por las bobinas
Circuitos LC. Integrados de microondas	1GHz a 10GHz	10^2 a 10	Mala	Bobinas y capacidades impresas en el AsGa
Cristal de Cuarzo	100kHz a 100MHz	10^6 a 10^4	Muy buena	Patrones y osciladores fijos
Cerámicas de OAS (SAW)	10MHz a 1GHz	10^6 a 10^4	Muy buena	Muy estables. Osciladores fijos.
Resonadores en Líneas planas.	100MHz a 10GHz	10^3 a 10	Mala	Fáciles de construir en microondas.
Resonadores en Líneas coaxiales.	100MHz a 10GHz	10^4 a 10^2	Mediocre	Fáciles de construir.
Cavidades en Guía de Onda	1GHz a 100GHz	10^5 a 10^3	Mediocre	Poco estable con la temperatura
Cavidades Dieléctricas	1GHz a 20 GHz	10^5 a 10^3	Buena	Muy estables Reducido tamaño
Diodos varactores	10MHz a 20 GHz	10^3 a 10	Mala	Sintonía en 1 oct.
Cavidad YIG	1GHz a 20GHz	10^4 a 10^3	Mediocre	Sintonía en 50%

Oscilador con resonador dieléctrico

- Frecuencia 6 GHz
- Sintonía mecánica 10MHz
- Potencia de salida 17dBm
- Segundo armónico -25dBc
- Espurios -70 dBc
- Pulling (VSWR=1.5:1) 2.5MHz
- Pushing 0.5MHz/V
- Estabilidad(-54 a 85C) 2.5MHz
- FM Noise a 30KHz de f_0 -98dBm/Hz

Transistor FET

Frec. Flicker 1MHz

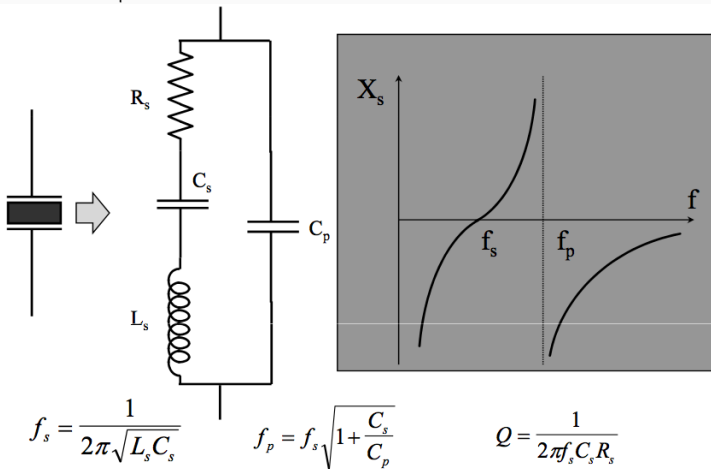
Figura de ruido 10

Factor de calidad 1000

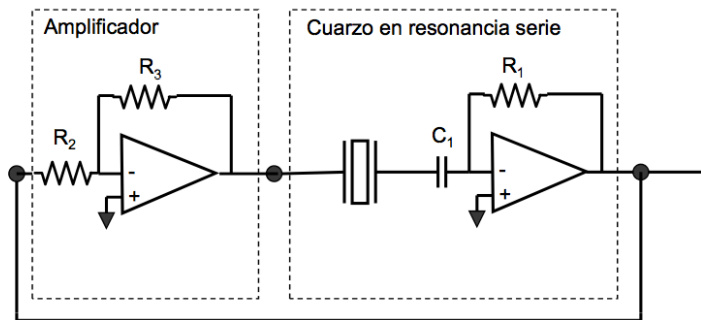
$(N/C)_{SSB} = -117\text{dBc/Hz}$

- El cuarzo tiene propiedades piezoeléctricas, cuando se aplica en una cara una diferencia de potencial, se produce una deformación del cristal.
- Se pueden excitar las resonancias mecánicas del cristal, obtenemos osciladores muy estables, con muy poca deriva.
- Intentamos que el cuarzo resuene en el modo deseado, y evitar el resto.
- Tenemos dos resonancias, la serie f_s y la paralelo f_p , y las dos resonancias están muy cerca.
- El oscilador funcionará en serie o paralelo en función del circuito.

Circuito equivalente del cristal de cuarzo



El cristal resonará con C_1 , dando lugar a una f'_s

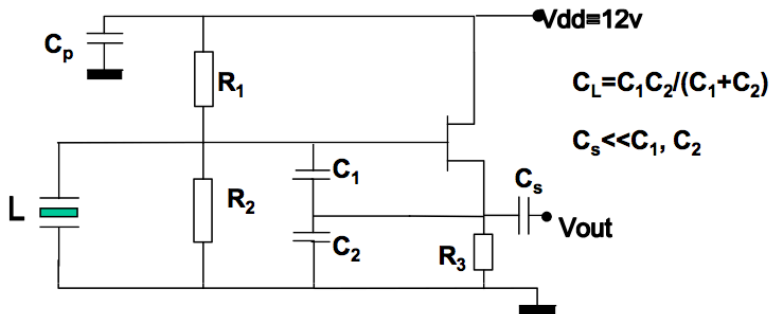


$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f'_s = f_s \sqrt{1 + \frac{C_s}{C_p + C_1}} \cong f_s \left(1 + \frac{C_s}{2(C_p + C_1)} \right)$$

CUARZO EN RESONANCIA PARALELO

La frecuencia del oscilador se encuentra entre f_s y f_p , y se comporta como una inductancia L .



$$f_{p'} \cong f_s \left(1 + \frac{C_s}{2(C_p + C_L)} \right)$$

OSCILADORES CONTROLADOS POR TENSIÓN (VCO)

Son osciladores sintonizables electrónicamente. Hay de diversos tipos:

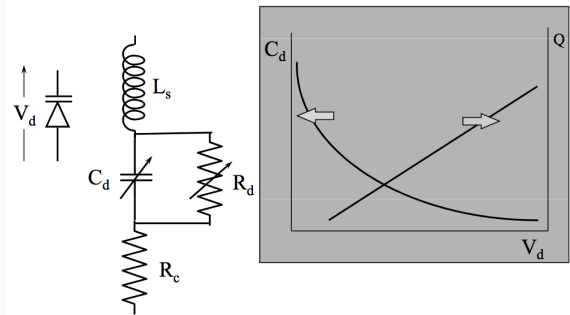
- **Multivibrador:** hasta frecuencias de pocos MHz, basados en circuito multivibrador digital. Tensión continua controla carga de un condensador. Estabilidad mala, margen de variación de frecuencia grande.
- **Oscilador con varactor:** incluyen un diodo varactor (varicap), al modificar la capacidad con la tensión aplicada, se modifica la frecuencia de oscilación. Mala estabilidad, mala sintonía. Se utilizan como sintonía fina de un cristal.
- **Osciladores de cavidad YIG (Yttrium Iron Garnet):** osciladores de microondas que usan una cavidad ferromagnética cuyas propiedades dependen del campo magnético. Se polarizan con una bobina. Variaciones amplias de frecuencia.

EL DIODO VARACTOR

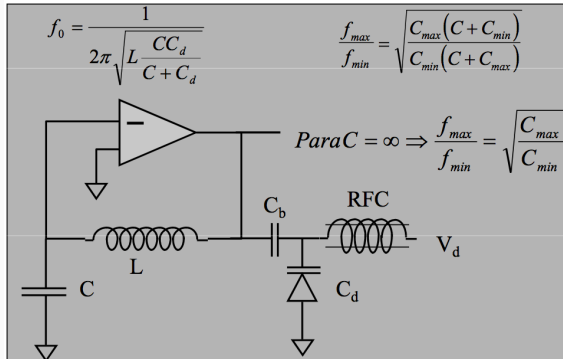
Es una unión P-N que aprovecha la capacidad de la unión en polarización inversa.

La capacidad equivalente varía con la tensión (máxima para tensiones pequeñas).

$$C_d = C_{min} + k(V_d + \Phi)^{-\alpha}$$

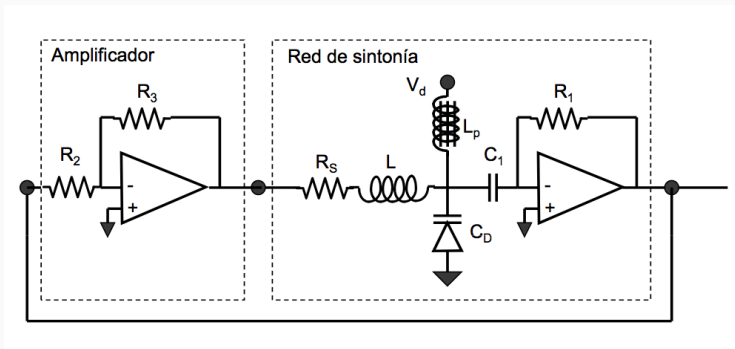


La capacidad máxima y mínima del varactor fijan las frecuencias de oscilación. Normalmente la relación es de en torno a 6.



EJERCICIOS

EJEMPLO 1: OSCILADOR LC SERIE CON VARACTOR



EJEMPLO 1: OSCILADOR LC SERIE CON VARACTOR

VVC 

SILICON EPICAP DIODE

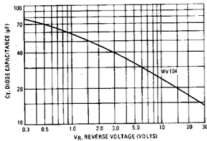
... designed for FM tuning, general frequency control and tuning, or any top-of-the-line application requiring back-to-back diode configurations for minimum signal distortion and detuning. This device is supplied in the popular TO-92 plastic package for high volume, economical requirements of consumer and industrial applications.

- High Figure of Merit - $Q = 140$ (Typ) @ $V_R = 3.0$ Vdc, $f = 100$ MHz
- Guaranteed Capacitance Range - 37 - 42 pF @ $V_R = 3.0$ Vdc (MV104)
- Dual Diodes - Save Space and Reduce Cost
- TO-92 Package for Easy Handling and Mounting
- Monolithic Chip Provides Near Perfect Matching - Guaranteed $\pm 1\%$ (Max) Over Specified Tuning Range.

MAXIMUM RATINGS (Each Device)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	22	Volts
Forward Current	I_F	200	mA
Total Power Dissipation $\left(\frac{P_D}{25^\circ\text{C Derate above } 25^\circ\text{C}} \right)$	P_D	200	mW
Junction Temperature	T_J	2.5	mil/°C
Storage Temperature Range	T_{Stg}	-55 to +150	°C

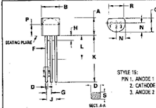
FIGURE 1 — DIODE CAPACITANCE



DUAL VOLTAGE-VARIABLE CAPACITANCE DIODE



CASE 29-04
TO-226AA



STYRE IS:
PIN 1, ANODE 1
PIN 2, CATHODE
3, ANODE 2
MIL-STD-189

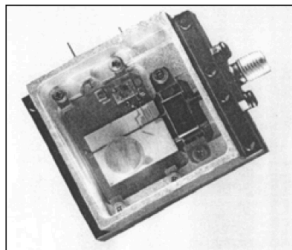
MILSPEC		POWER	
DIM.	MIN.	MAX.	MIN.
A	4.32	5.17	0.212
B	4.07	5.25	0.204
C	3.18	4.12	0.136
D	0.41	0.46	0.016
E	0.41	0.46	0.016
F	1.18	1.36	0.045
G	—	0.36	0.132
H	1.47	1.68	0.139
I	0.275	—	0.006
L	0.25	—	0.004
N	2.15	2.46	0.136
P	—	—	0.115
R	3.43	—	0.128
S	0.18	0.19	0.005

CASE 29-04
VVL-226AA

EJEMPLO 1: OSCILADOR LC SERIE CON VARACTOR

1. Cuál es la condición de oscilación? Ganancia mínima del amplificador y frecuencia de oscilación? Considere que R_s son pérdidas de la bobina y que el diodo varactor y C_1 son ideales.
2. Tomando como capacidad nominal $C_C = 40pF$, que es una polarización de 3V, determine el valor de L para que la frecuencia de resonancia sea 10MHz. Considere $C_1 \ll C_d$
3. Determine las frecuencias de oscilación máxima y mínima para $V_d = 20V$ y $V_d = 1V$ de polarización del varactor.

EJEMPLO 2: ESTABILIDAD DE UN OSCILADOR. MODELO M5120-8000



- Frecuencia de oscilación 8000 MHz
- Margen de sintonía mecánica ± 10 MHz
- Potencia de salida 13 dBm
- Nivel de 2º armónico -25 dBc
- Nivel de espurias (no armónicas) -70 dBc
- Estabilidad térmica 2 ppm/°
- Pulling para ROE 1.5:1 0.15 MHz
- Pushing 2 kHz/V
- Ruido de fase
 - @10kHz de portadora -90 dBc/Hz
 - @ 100kHz de portadora -120 dBc/Hz
- Alimentación
 - Tensión DC 12 a 18 V
 - Corriente 125 mA
- Impedancia (Conector SMA hembra) 50 Ohm

1. Determine la variación máxima de frecuencia si se admiten variaciones máximas de tensión de alimentación de 5V, de temperatura de -10C a 30C y se conecta una carga cuyo ROE no supera el 1.5:1
2. Determine la desviación de frecuencia y de fase equivalentes, del ruido en una banda de 10kHz a una distancia de 100kHz de la portadora.

Un oscilador de gran estabilidad en 1MHz se puede conseguir con:

- a Resonadores de cristal de cuarzo
- b Cavidades dieléctricas
- c Resonadores ópticos
- d Diodos varactores

Un oscilador con control electrónico de frecuencia (VCO) puede obtenerse:

- a Incluyendo resonadores cerámicos en la realimentación de un oscilador
- b Realizando una modulación indirecta de FM sobre la señal de salida del oscilador
- c Incluyendo un varicap como capacidad del circuito resonante de un oscilador
- d Mezclando la frecuencia de salida de un oscilador con la de otro oscilador local

El ruido de fase de un oscilador se mide en dBc/Hz que indica en dB:

- a Culombios de carga en la cavidad por unidad de ancho de banda
- b Potencia por unidad de ancho de banda dividida por la potencia total
- c Desviación máxima de frecuencia para frecuencia moduladora de un Hz
- d Desviación máxima de fase cuando filtramos con un Hz de ancho de banda

Cuándo consideramos que oscilador es de alto factor de calidad?

- a Cuando el rendimiento en potencia es superior al 90%
- b Cuando la frecuencia de corte del ruido flicker es inferior a $f_0/2Q$
- c Cuando $f_0/2Q$ es inferior a la frecuencia de corte de ruido flicker
- d Cuando es factor de calidad es superior a 1000

PREGUNTAS?