



Informe de Funcionamiento

Proyecto: VCO (Voltage Controlled Oscillator)

Materia: Electrónica Aplicada III

Curso: R5053

Grupo : A

Integrantes del grupo:

- Gavegno, Sebastián
- Morandi, Pablo
- Scarini, Juan Diego
- Sobral, Alejandro

Año : 2021

Índice

• Índice	(pág. 2)
• Introducción	(pág. 3)
• Fundamentos teóricos del proyecto	(pág. 4)
• Cálculos y verificaciones	(pág. 8)
• Conclusiones	(pág. 22)
• Bibliografía	(pág. 23)

Introducción:

La presentación de este informe de funcionamiento tiene como objetivo dar a conocer los fundamentos teóricos del funcionamiento del circuito, y sus posibles aplicaciones. El trabajo consiste en armar un circuito oscilador con FOL = 900 MHz utilizando un circuito integrado MAX2620. Las aplicaciones típicas del mismo abarcan telefonía celular, diversas aplicaciones en equipamientos de comunicaciones, entre otros.

Hacer uso de s

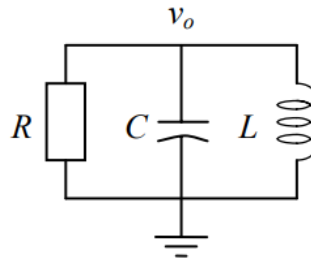
No es necesario expresarlas en la intro pero tengan en cu

Fundamentos teóricos del proyecto

Para explicar el funcionamiento teórico del oscilador, comenzaremos con una analogía.

Es posible asimilar un oscilador a un circuito RLC paralelo. Para explicarlo, calculamos la respuesta libre del circuito en cuestión:

asimilar?



$$LC \frac{d^2 v_o}{dt^2} + \frac{L}{R} \frac{dv_o}{dt} + v_o = 0$$

Si resolvemos la ecuación característica asociada, encontramos el valor de sus raíces como:

$$s_{1,2} = -\frac{1}{2RC} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4R_2C}{L}} \right)$$

Que condiciones cumplen las raíces para

De donde podemos obtener que la condición para oscilación que estamos buscando, resulta cuando:

$$R < 0 \text{ y } R^2 > \frac{L}{4C}$$

Del resultado anterior se deduce que un oscilador puede entenderse como un circuito LC asociado con una resistencia negativa. Al menos para entenderlo como condición necesaria de arranque.

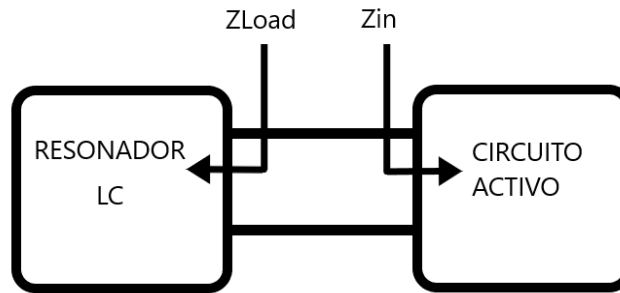
Dicha resistencia es necesaria para compensar la energía disipada en las resistencias parásitas del condensador y la bobina. Si fuera un circuito con $Q \rightarrow \infty$, oscilaría a la frecuencia natural del par LC, y arrancaría por ruido.

Existe ruido termico en un

Respuesta exponencial creciente o sinusioudal de amp

el siguiente:

Para lograr la mencionada condición de arranque, se plantea el la siguiente situación:

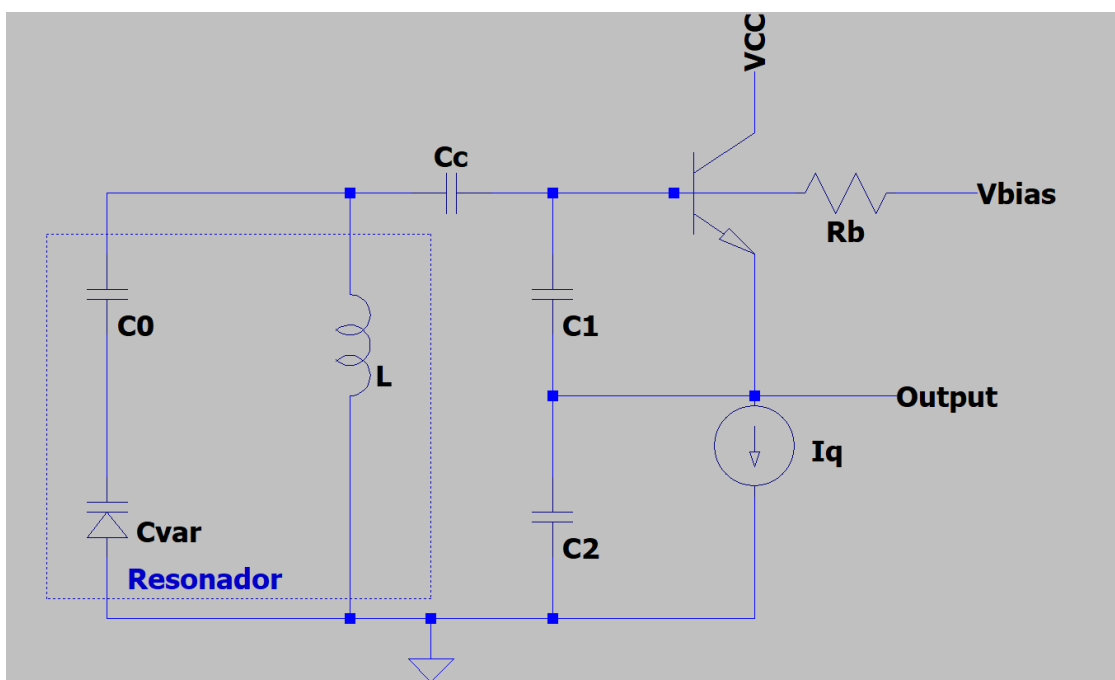


utilizar signos de puntuación y frases no tan largas!!

Dos bloques, uno determina la frecuencia, el resonador tanque LC y el otro es el circuito activo que mantiene la amplitud, mediante una resistencia negativa. Para entender este modelo suponemos que el resonador es un simple tanque junto con sus resistencias parásitas. Además, sabemos que el tanque por sí solo no puede oscilar indefinidamente porque una parte de la energía almacenada es disipada en la resistencia parásita en cada ciclo. La idea es que una red activa genere una impedancia negativa de la misma magnitud (de la misma magnitud en régimen) de la resistencia parásita. De manera resumida, se puede decir que la energía perdida por la resistencia parásita es restablecida por el circuito activo en cada ciclo, permitiendo una oscilación estable. Este modelo es llamado modelo de resistencia negativa porque la energía restaurada puede ser vista como una resistencia negativa que compensa la resistencia parásita del circuito tanque.

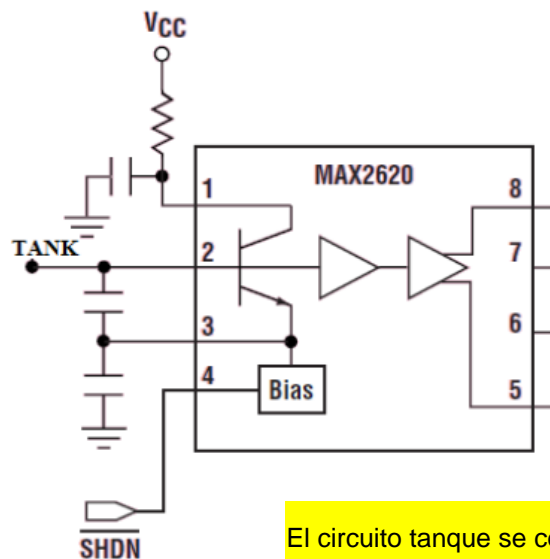
Un ejemplo de circuito que implementa este modelo, es la topología Colpitt common colector que figura a continuación, muy utilizada para VCO's:

El concepto de impedancia negativa no



Este es el tipo de oscilador que el MAX2620 emplea, según la hoja de datos:

Pueden referenciar la hora de

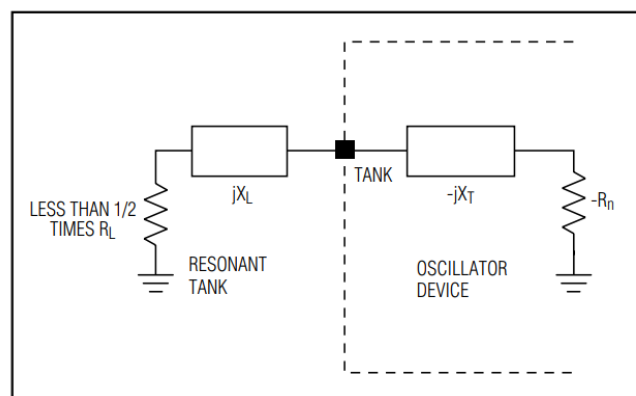


El circuito tanque se comporta como un capacitor

El circuito tanque es un circuito resonante paralelo que controla la frecuencia de oscilación variando el capacitor C_{var} , para este caso.

Se pueden utilizar diodos varactores en el circuito resonante para crear un oscilador controlado por tensión (VCO).

El oscilador es en general un lazo amplificador realimentado, y las expresiones para obtener las frecuencias exactas se obtienen de las impedancias del modelo. Desde este punto de vista se plantea el modelo con una impedancia negativa y un acople que la elimina, esto se ve en la figura:



Por qué es necesario usar un con

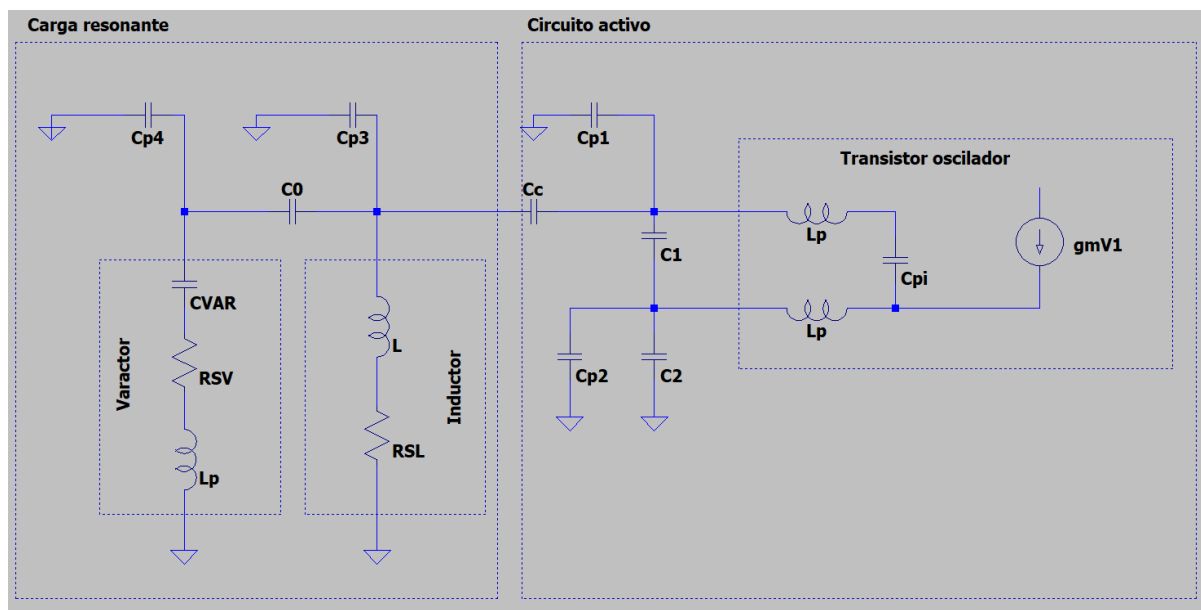
Para que el circuito oscile a la frecuencia deseada, el circuito tanque resonante conectado a TANK debe tener una componente real positiva que sea como máximo la mitad de la magnitud de la parte real negativa del dispositivo oscilador, para asegurar el correcto funcionamiento; así como una componente reactiva de signo contrario a la componente reactiva del dispositivo oscilador.

Manteniendo la componente real del circuito del tanque resonante por debajo de la mitad de la magnitud de la componente real negativa, se garantizan las oscilaciones de forma continua, según explica el fabricante en la hoja de datos.

Después de la puesta en marcha, la resistencia negativa del oscilador disminuye, principalmente debido a la compresión de la ganancia, y alcanza el equilibrio con el componente real (las pérdidas del circuito) en el circuito del tanque resonante. Para lograr un circuito sintonizable, (por ejemplo, mediante el uso de un diodo varactor), el oscilador debe mostrar resistencia negativa en el rango de sintonización deseado.

Se debe tener en cuenta que los componentes de montaje superficial también presentan capacitancias, inductancias y resistencias parásitas, y que esto afecta la sintonización en la frecuencia de interés. El varactor y la bobina presentan circuitos equivalentes suministrados por los fabricantes.

A continuación un posible circuito equivalente con todos los parámetros físicos representados:

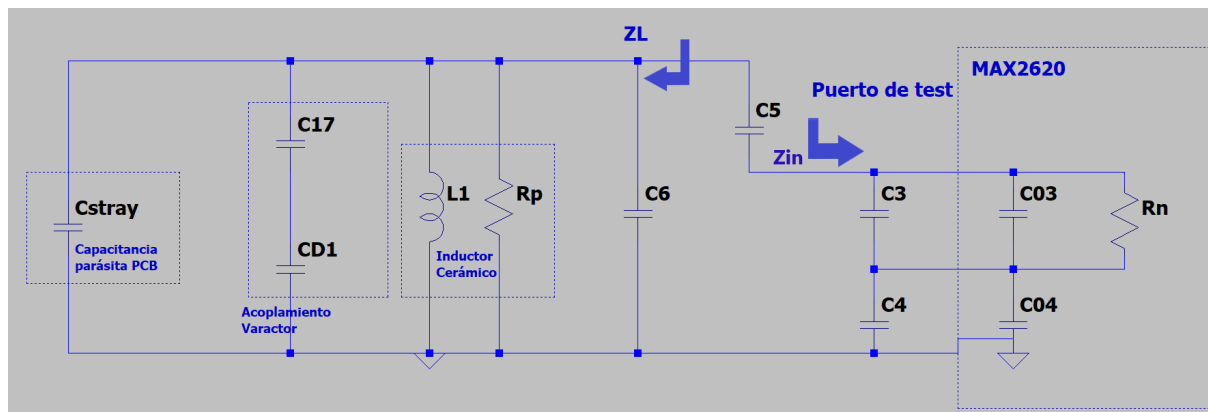


Aquí se ven el circuito del tanque y el circuito activo.

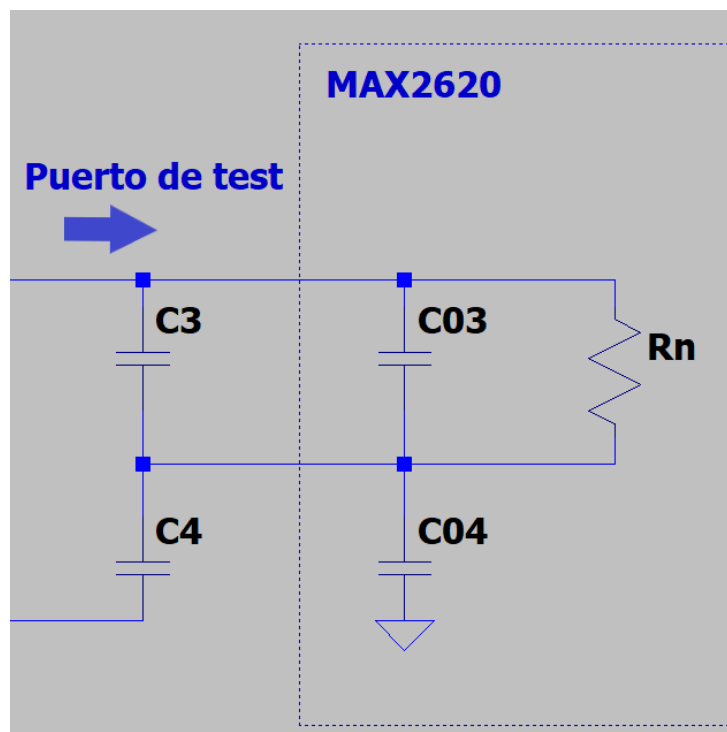
La reactancia presentada por el varactor a la frecuencia de trabajo, es prácticamente capacitiva. Es por esto que se adopta el modelo sin L_p asociada. Lo mismo sucede con el inductor, y finalmente se considera un inductor solo con una resistencia asociada.

Cálculos y verificaciones

La resistencia negativa del pin TANK del MAX2620 puede optimizarse a la frecuencia deseada del oscilador mediante la selección adecuada de los condensadores de retroalimentación C3 y C4. Con estos dos condensadores se debe obtener una R_n (que es la resistencia negativa que se ve al mirar la impedancia de entrada MAX2620), la parte imaginaria debe mostrar un comportamiento capacitivo



Se procede a hacer el cálculo de los dispositivos a usar, se tiene para la impedancia de entrada según el fabricante se tiene el siguiente circuito:



Si se tiene que las ecuaciones que determinan el valor de R_n donde esta es la impedancia real negativa, establecida por los condensadores C3 y C4 es aproximadamente:

$$R_n = g_m \left(\frac{1}{2\pi f(C_3 + C_{03})} \right) \left(\frac{1}{2\pi f(C_4 + C_{04})} \right)$$

donde $g_m = 18\text{mS}$, por hoja de datos.

El valor obtenido de R_n para valores típicos y a $f = 900\text{MHz}$

$$C_{03} = 2.4\text{pF}$$

$$C_{04} = 2.4\text{pF}$$

$$C_3 = 2.7\text{pF}$$

$$C_4 = 1\text{pF}$$

$$R_n = 32.4623 \Omega$$

Para mejorar la estética, usar ecuación

Si medimos Z_{in} equivalente en el test port, obtenemos:

$$e^{(?)}$$

$$Z_{in} = (-17 - j16) \Omega = 23.51 \Omega e^{-137^\circ}$$

Si mido Z_{Load} desde el MAX2620, obtengo:

$$Z_{Load} = (10.74 + j87.25) \Omega = 87.91 \Omega e^{82^\circ}$$

Se comprueba la relación pedida por el fabricante para la f buscada:

$$R_{Load} < 1/2 |R_n|$$

$10.74 < 11.755$, por lo que el sistema se mantendrá oscilando.

Se calcula entonces la capacitancia que se necesita del varactor, buscando la frecuencia y fijando el valor de la bobina.

Los valores típicos seleccionados para 900MHz según el fabricante son:

$$L_1 = 5\text{nH} \pm 10\%$$

$$Q = 140 \text{ Calculate:}$$

$$R_p = Q \times 2\pi \times f \times L_1$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L1 \left[C_{STRAY} + \frac{C_{17} \times C_{D1}}{C_{17} + C_{D1}} + C_6 + \frac{C_5 \times C_n}{C_5 + C_n} \right]}}$$

$$\text{Siendo } C_n = \frac{(C_3 + C_{03})(C_4 + C_{04})}{C_3 + C_{03} + C_4 + C_{04}}$$

Utilizando la ecuación 1, se obtiene la capacidad del varactor (CD1). CD1 es la capacidad del varactor cuando el voltaje aplicado al varactor está aproximadamente a la mitad de la alimentación (el centro del rango de capacitancia del varactor).

Se plantean los siguientes valores típicos:

CSTRAY = 2,7pF, C17 = 1,5pF, C6 = 1,5pF, C5 = 1,5pF, C03 = 2,4pF, C04 = 2,4pF, C3 = 2,7pF y C4 = 1pF.

El valor de CSTRAY se basa en el valor aproximado obtenido del kit MAX2620 EV. Los valores de C3 y C4 se eligen para minimizar Rn y no cargar el circuito resonante con una capacitancia excesiva. C03 y C04 son condensadores parásitos.

El rango de capacitancia del varactor debe permitir el rango de sintonía deseado. En todo el rango de frecuencia de sintonía, debe asegurarse que $R_s < 1/2 R_n$.

Se constata entonces, que para los valores obtenidos de CD1 el componente seleccionado como varactor es el correcto:

Se calcula utilizando un script de Python:

Perfectoo!! genial usando herramientas extra.

<https://github.com/AlejandroSobral/Proyecto-EA3/blob/main/Python/Calculos%20VCO.py>

```
Frecuencia buscada: 900 M
Rp: 3.95841 k
Cn : 2.04 p
Valor exacto del varactor para 900Mhz: 5.75776653412866e-12
Con este valor, se evalúa el varactor correspondiente.
Se calcula el valor de la resistencia que presenta el puerto de entrada del tanque del MAX
|Rn| : 32.4623
Frecuencia resultante recalculada con CD1 : 900.0000000000001 M
```

Dado que no tenemos un modelo para simulador de un integrado MAX2620, explicaremos teóricamente y simularemos un circuito de funcionamiento similar, pero explicado a través del modelo de cuadripolos.

Condición de arranque y frecuencia de oscilación:

Otra forma de analizar el funcionamiento del circuito, es mediante el análisis del modelo de cuadripolo y las condiciones de Barkhausen:

Para obtener la condición de arranque y la frecuencia de oscilación, se aplica:

$$\angle(A. \beta) = 0$$

$$|A. \beta| > 1$$

La ganancia de lazo, $A. \beta$, es independiente del punto en el que se abra el lazo para su cálculo.

Aplicando el criterio matricial, obtenemos las ecuaciones del cuadripolo A y β , y así obtener la matriz admitancia total del sistema.

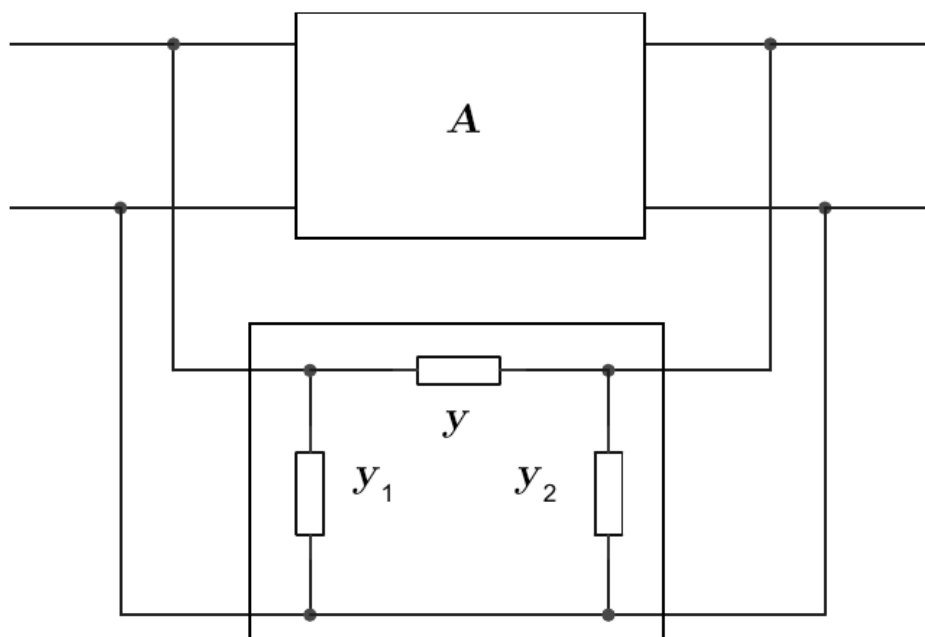


Diagrama en bloque - Parámetros Y

Dado que es un oscilador, asumimos que la carga es parte del cuadripolo A . Si el determinante de la matriz admitancia total es igual a cero ($\Delta Y = 0$) el sistema es indeterminado y admite infinitas soluciones.

$$Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21} = 0$$

$$|Y_A| = \begin{vmatrix} Y_{11A} & Y_{12A} \\ Y_{21A} & Y_{22A} \end{vmatrix}$$

$$|Y_\beta| = \begin{vmatrix} Y_{11\beta} & Y_{12\beta} \\ Y_{21\beta} & Y_{22\beta} \end{vmatrix}$$

$$Y_{11\beta} = y_1 + y$$

$$Y_{12\beta} = -y$$

$$Y_{21\beta} = -y$$

$$Y_{22\beta} = y_2 + y$$

$$|Y| = |Y_A| + |Y_\beta| = \begin{vmatrix} Y_{11A} + y_1 + y & Y_{12A} - y \\ Y_{21A} - y & Y_{22A} + y_1 + y \end{vmatrix}$$

$$\Delta Y = (Y_{11A} + y_1 + y)(Y_{22A} + y_1 + y) - (Y_{12A} - y)(Y_{21A} - y) = 0$$

$$(Y_{11A} + y_1 + y)(Y_{22A} + y_1 + y) = (Y_{12A} - y)(Y_{21A} - y)$$

$$\frac{(Y_{21A} - y)}{(Y_{22A} + y_1 + y)} \frac{(Y_{12A} - y)}{(Y_{11A} + y_1 + y)} = 1$$

Para obtener la condición de arranque y la frecuencia de oscilación usamos un modelo de pequeña señal, para simplificar el análisis,

$$Y_{12A} \ll Y_{21A}$$

$$Y_{12A} \ll y$$

Despejando Y_{21A} :

$$Y_{21A} = \frac{(Y_{11A} + y_1 + y)(Y_{22A} + y_1 + y)}{(Y_{12A} - y)} - y$$

$$-Y_{21A} = \frac{(Y_{11A} + y_1 + y)(Y_{22A} + y_1 + y)}{y} + (Y_{11A} + y_1 + Y_{22A} + y_1)$$

donde:

$$y_1 = G_1 + jB_1$$

$$y_2 = G_2 + jB_2$$

$$y = \frac{1}{R + jX}$$

$$G_{11} = g_{11A} + G_1$$

$$G_{22} = g_{22A} + G_2$$

$$B_{11} = b_{11A} + B_1 + b_{12A}$$

$$B_{22} = b_{22A} + B_2 + b_{12A}$$

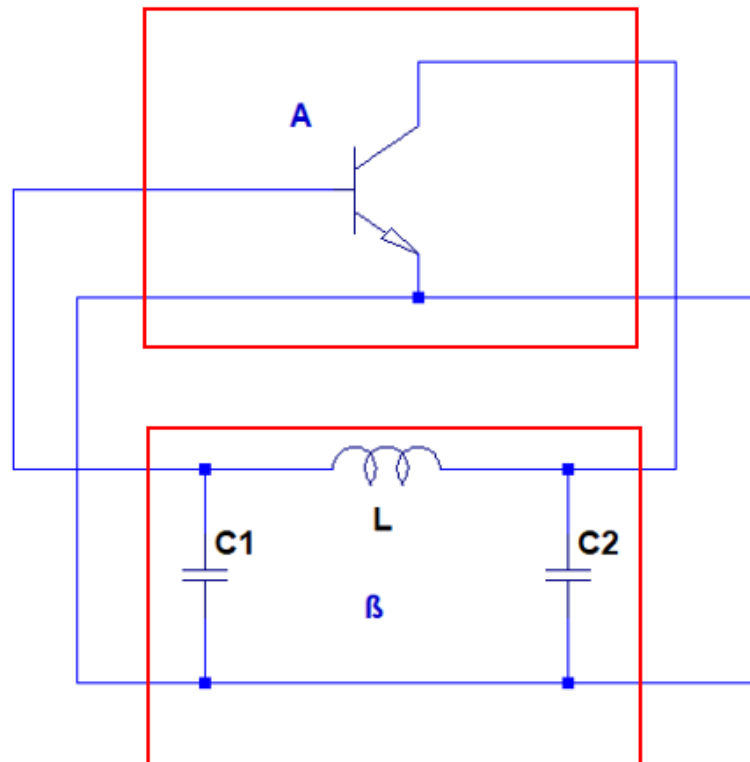
La condición de arranque la obtenemos a partir de calcular la parte real de la fórmula de ΔY .

$$-g_{21A} \leq G_{11} + G_{22} + (G_{11}G_{22} - B_{11}B_{22})R - (G_{11}B_{22} + G_{22}B_{11})X$$

La frecuencia de oscilación la obtenemos a partir de calcular la parte imaginaria de ΔY .

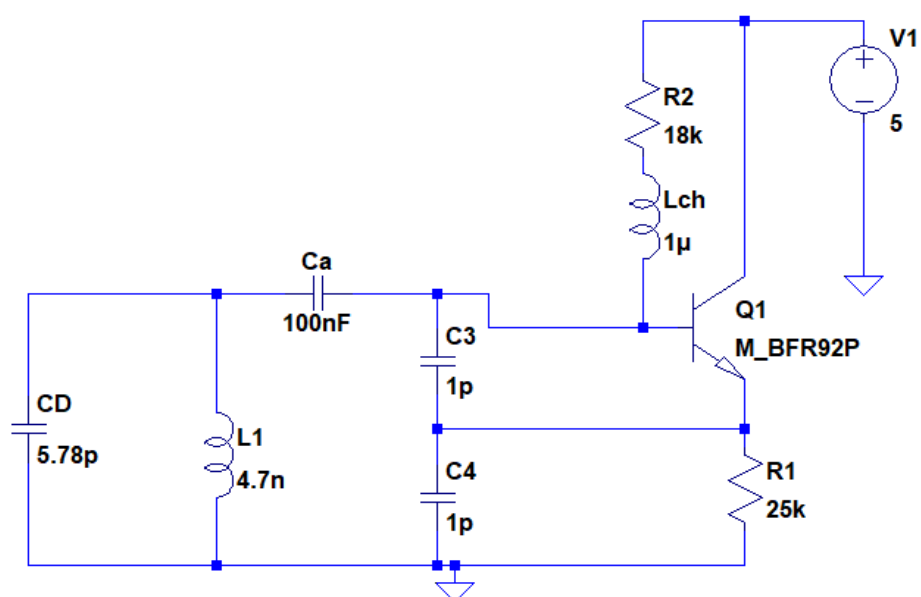
$$-b_{21A} = B_{11} + B_{22} + (G_{11}G_{22} - B_{11}B_{22})X - (G_{11}B_{22} + G_{22}B_{11})R$$

Para nuestro análisis utilizaremos una red Colpitts. Esta red está compuesta por un inductor en serie, ubicado entre dos capacitores en derivación.

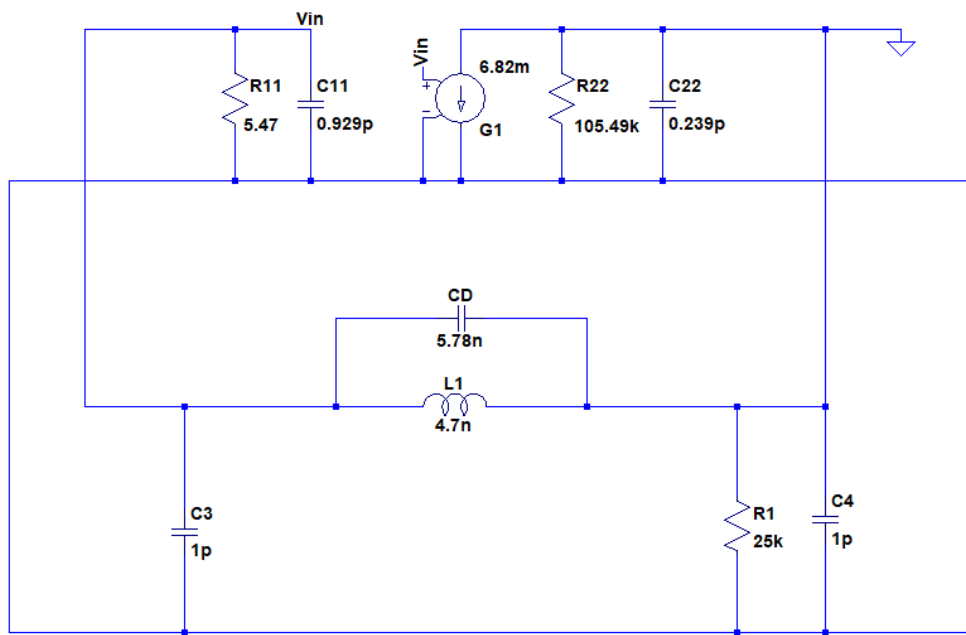


que figura? referenciar figuras c Diagrama en bloque - Oscilador Colpitts

El esquema de la figura n presenta una referencia emisor común, entre la red A y la red β . En nuestro caso de estudio se puede observar que el colector está a masa. A continuación se mostrarán los cálculos realizados de un circuito más sencillo, con el objetivo de observar el funcionamiento del oscilador.



Circuito estático



Circuito dinámico

Parámetros de la red A:

$$Y_{11A} = 182.7mS + j5.259mS$$

$$Y_{12A} = 0$$

$$Y_{21A} = 6.82mS$$

$$Y_{22A} = 9.479uS + j1.357mS$$

Parámetros de la red β :

$$y_1 = j5.65mS$$

$$y_2 = 40uS + j5.65mS$$

$$y = \frac{1}{jX}$$

$$jB = j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) = j \left(\frac{\omega^2 LC_D - 1}{\omega L} \right)$$

$$jX = \frac{1}{jB} = -j \frac{1}{B}$$

$$X = \frac{-\omega L}{\omega^2 LC_D - 1}$$

Busco el valor de L1 a través de la condición de oscilación para un valor de CD prefijado sacado por los valores del fabricante.

$$G_{11} = 182.7mS$$

$$G_{22} = 9.479\mu S + 40\mu S = 49.479\mu S$$

$$B_{11} = 5.259mS + 5.65mS = 10.909mS$$

$$B_{22} = 1.357mS + 5.65mS = 7.007mS$$

$$-b_{21A} = B_{11} + B_{22} + (G_{11}G_{22} - B_{11}B_{22})X - (G_{11}B_{22} + G_{22}B_{11})R$$

$$-b_{21A} = B_{11} + B_{22} + (G_{11}G_{22} - B_{11}B_{22})X$$

$$0 = B_{11} + B_{22} + (G_{11}G_{22} - B_{11}B_{22})X$$

$$\frac{-B_{11} - B_{22}}{(G_{11}G_{22} - B_{11}B_{22})} = X$$

$$X = 202.423\Omega$$

$$X = \frac{-wL}{w^2LC_D - 1}$$

$$X(w^2LC_D - 1) = -wL$$

$$(w^2XLC_D - X) = -wL$$

$$w^2XLC_D + wL = X$$

$$L(w^2C_D + w) = X$$

$$L = \frac{X}{(w^2C_D + w)}$$

$$L = 4.78nH$$

El código está disponible aquí:

Para calcular los resultados exactos se utilizó Python, se disponibiliza el código aquí:

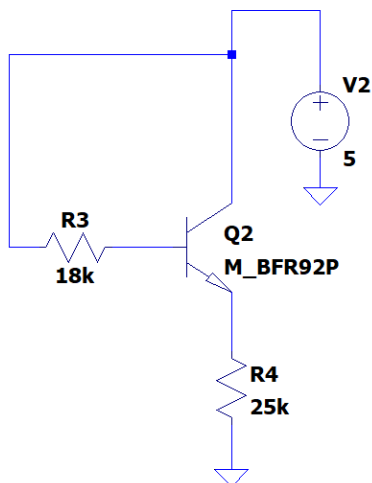
<https://github.com/AlejandroSobral/Proyecto-EA3/blob/main/Python/Calculos%20Collpits.py>

```
El valor de W es 5.65487 G 1/s
Y21 equivalente a gm es: 6.8288 m S
R pérdida serie: 189.842 m  $\Omega$ 
El valor de Admitancia del inductor 37.6253 m S
El valor de Admitancia del capacitor 32.6851 m S
El valor de Admitancia paralelo total es -4.94015 m S
XL @900Mhz 26.5779  $\Omega$ 
XC @900Mhz 30.595  $\Omega$ 
Xtotal @900Mhz 202.423  $\Omega$ 
Bc3 equivale a: 5.65487 m S
Bc4 equivale a: 5.65487 m S
g1 por R1 es 40  $\mu$  S
g11 es 182.7  $\mu$  S
g22 es 9.479  $\mu$  S
b11 es 5.259 m S
b22 es 1.357 m S
G11 total es 182.7  $\mu$  S
G22 total es 49.479  $\mu$  S
B11 total es 10.9139 m S
B22 total es 7.01187 m S
Condición de arranque: 67.6451  $\mu$  S
La condición de oscilación arroja: 2.43669 m S
El inductor equivalente es: 4.78540951675702 n Hy
La frecuencia recalculada equivale a 900.000000000004 M Hz
```

Mediciones con LTSpice:

Comprobamos con LTSpice el correcto funcionamiento del circuito oscilador.

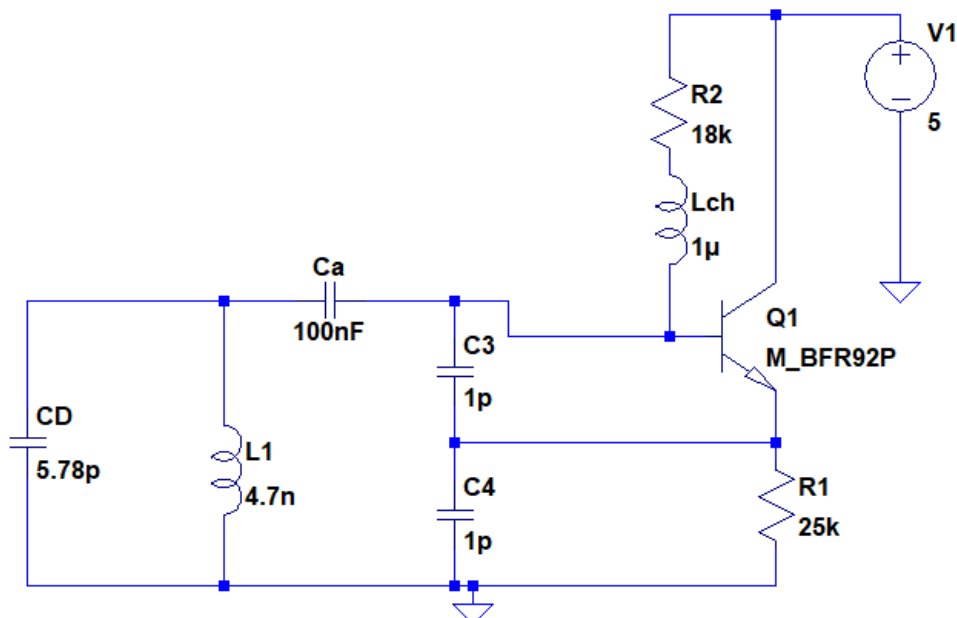
Mediciones en corriente continua



--- Operating Point ---		
V(6) :	4.96919	voltage
V(n002) :	4.26816	voltage
V(n001) :	4.96919e-022	voltage
V(8) :	5	voltage
Ic(Q1) :	0.000169015	device_current
Ib(Q1) :	1.71042e-006	device_current
Ie(Q1) :	-0.000170726	device_current
I(Ca) :	4.96919e-019	device_current
I(Cd) :	2.8026e-045	device_current
I(C4) :	4.26816e-024	device_current
I(C3) :	7.01034e-025	device_current
I(L1) :	4.96919e-019	device_current
I(R2) :	1.71151e-006	device_current
I(R1) :	0.000170726	device_current
I(V1) :	-0.000170726	device_current

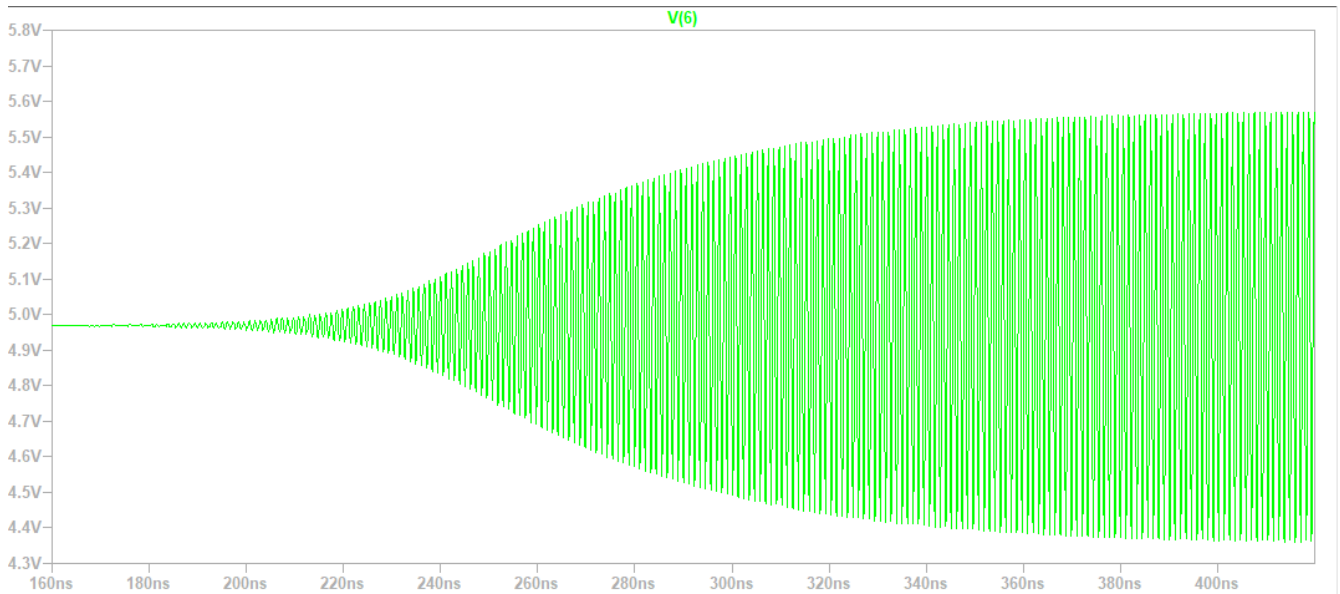
Como puede observarse, la corriente de colector (I_{cQ}) mide un valor de 169 μA

Mediciones en corriente alterna

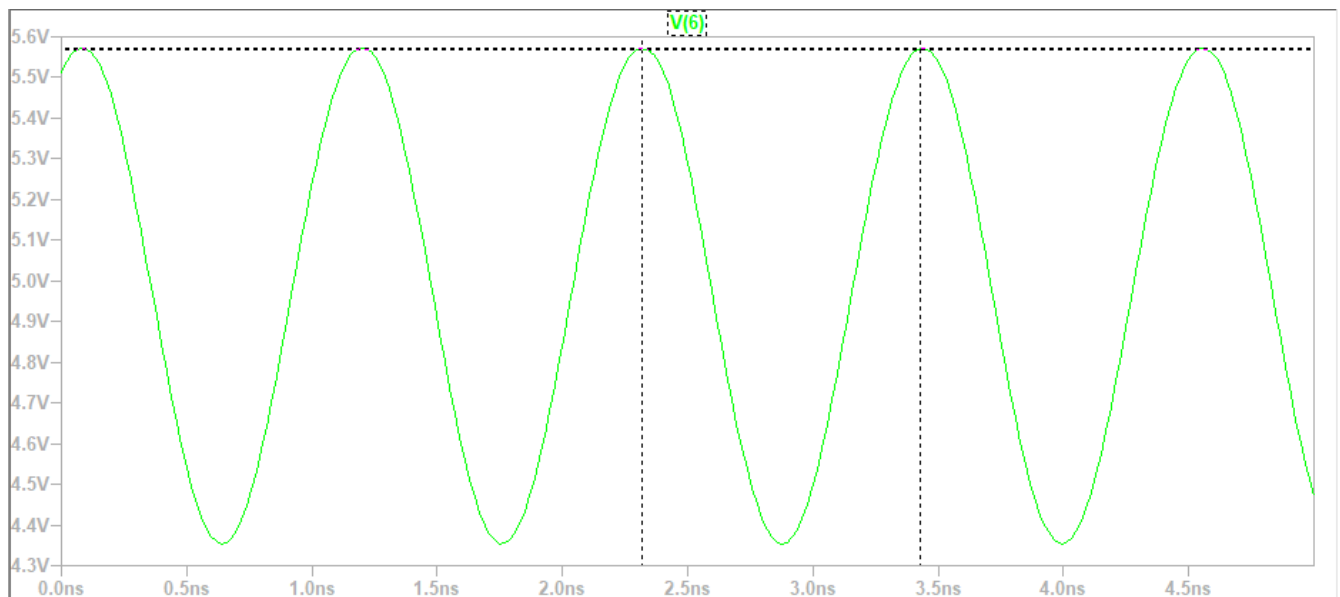


Tensión de salida del oscilador sobre la base del transistor

Arranque y limitación de amplitud



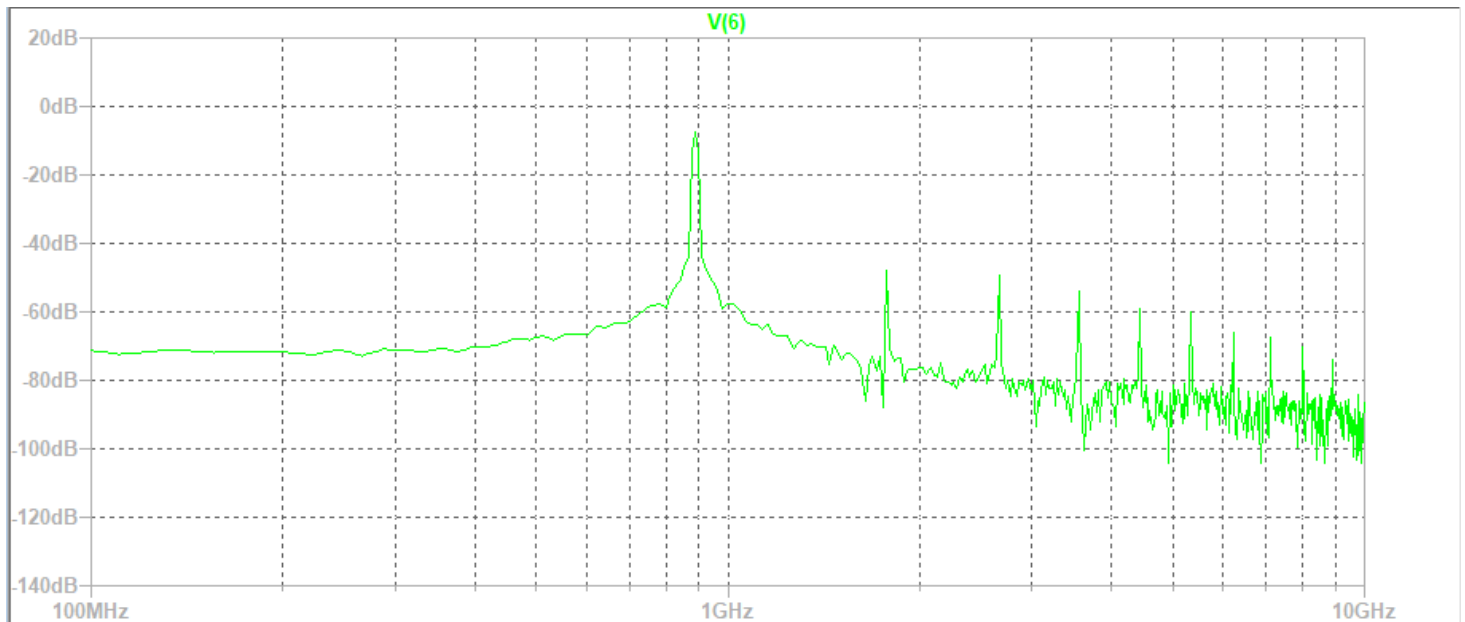
Frecuencia de oscilación



Cursor 1	
V(6)	
Horz: 2.3161883ns	Vert: 5.5702072V
Cursor 2	
V(6)	
Horz: 3.4280138ns	Vert: 5.5697461V
Diff (Cursor2 - Cursor1)	
Horz: 1.1118255ns	Vert: -461.08764µV
Freq: 899.42173MHz	Slope: -414712

La medición de la frecuencia arroja un valor de 899,42 MHz.

Análisis espectral



Podemos observar que en $2f_0$, $3f_0$... aparecen frecuencias armónicas producto del oscilador. Aparecen por debajo de los -40dB pero sería conveniente filtrar estas frecuencias espurias para asegurar el buen funcionamiento.

Recuenden que los armonicos se miden en dBc, que son dB referidos a la señal car

No disponian del modelo del varactor? Es posible hacer una simulacion .step entre los valores maximos y mini

Recuerden mostrar que el tanque muestra una inductancia y se usa un varacor apra eliminar parte de la inducta

Que podrian decir de la amplitud, el ruido de fase, armonicos y el Q del tanque? Existe alguna relacion entre e

Podrian explicar más sobre el uso de VCO's y sus requerimientos. Tenganlo en cuenta para la presentación.

Conclusiones

Podemos concluir que cualquiera sea el circuito o el modelo adoptado, los principios fundamentales del fenómeno oscilatorio radican en la misma idea base. Un par de elementos pasivos, mediante sus frecuencias naturales de oscilación, combinados con los valores de susceptancia de entrada y salida del dispositivo activo, determinarán la frecuencia de oscilación del circuito.

Por otra parte, debe existir una transconductancia, exclusiva del dispositivo activo, que mantiene la oscilación en el tiempo, y a la vez garantiza la condición de arranque.

El fabricante del MAX2620 explica el funcionamiento a través de un modelo de dos terminales, considerando resistencias negativas y positivas en puntos importantes del circuito, entendiéndose que éstas garantizarán condición de arranque y estabilidad temporal. El enfoque de cuadripolos visto durante el año es similar, pero con cuatro terminales en lugar de dos. Conceptualmente, son equivalentes.

Otra interpretación del fenómeno, más matemática, podría indicar que antes del arranque los polos del circuito se encuentran en el semiplano derecho, y que pasado el transitorio, el dispositivo activo los mantiene sobre el eje imaginario.

Concluimos que la realización del trabajo práctico ayudó a fijar los conceptos teóricos analizados durante el año lectivo. Permitiendo simular un caso real de aplicación, ayudando a los alumnos a comprender de forma integral las necesidades que se presentan al desarrollar proyectos de esta índole.

Bibliografía

O'CONNOR C. (2000). *Develop A Trimless Voltage-Controlled Oscillator*. California, Estados Unidos .Maxim Integrated Products.

<https://www.ladyada.net/techproj/freshair/doc/VCO%20design/maxim%20trimless%20vco%20design.pdf>

FACULTAD DE INGENIERÍA UNLP (2021). *Osciladores Sinusoidales*. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de La Plata

<https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/electronicos2/download/Apuntes/Teo4.1-OsciladoresSinusoidales.pdf>

Apuntes de la cátedra.

Recuerden numerar la bibliografía y referenciarla en el texto

