

Sistemas de Comunicación

- Modulación Angular -
- Circuitos Demoduladores -

Ph.D. Cristian Guarnizo Lemus

cristianguarnizo@itm.edu.co

Demoduladores de Frecuencia

Cualquier circuito que convierta **la variación de frecuencia** en la portadora a **una variación de voltaje proporcional**, puede ser usado como demodulador o detector de señales FM.

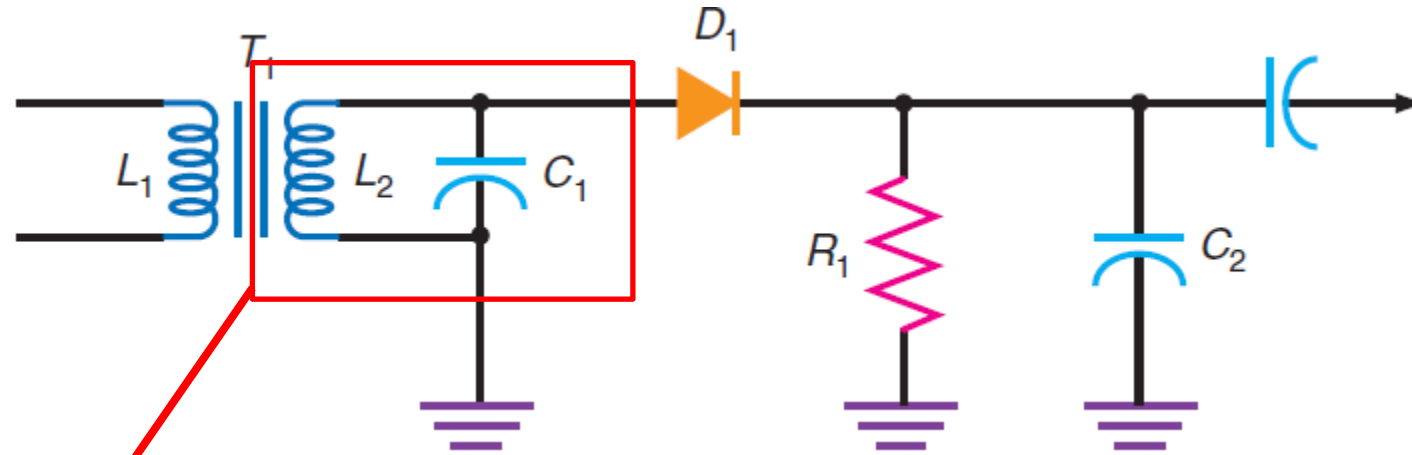
Contenido – Moduladores en Frecuencia

1. Detector de pendiente.
2. Promediador de pulsos.
3. Detector en cuadratura.
4. Phase-locked loops.
5. GNU Radio.

1. Detector de pendiente

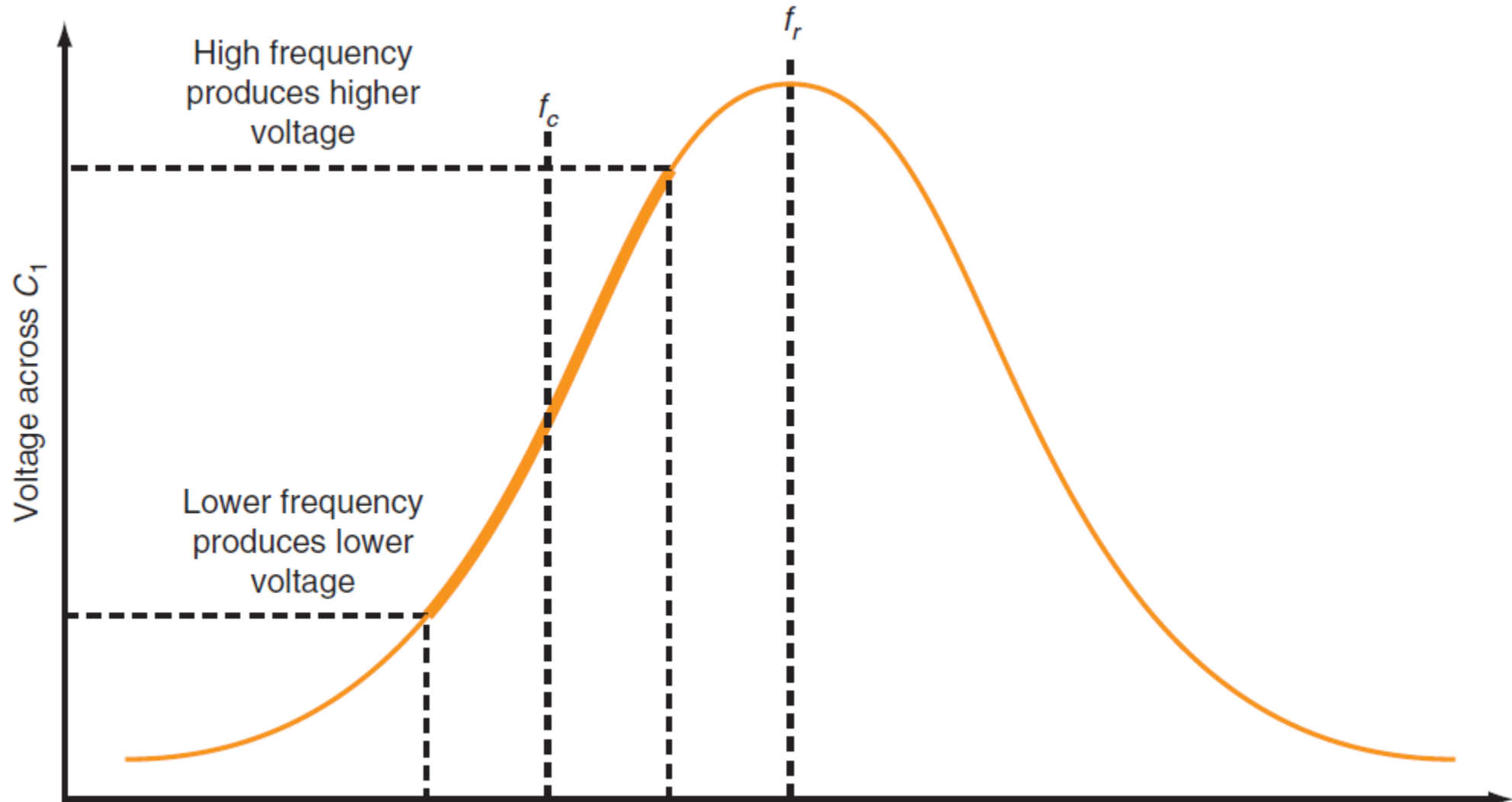
- El detector de pendiente hace uso de un circuito sintonizado y un diodo detector para convertir las variaciones de frecuencia en variaciones de voltaje.
- La mayor dificultad de los detectores de pendiente yace en su sintonización.

1. Detector de pendiente



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_1}}$$

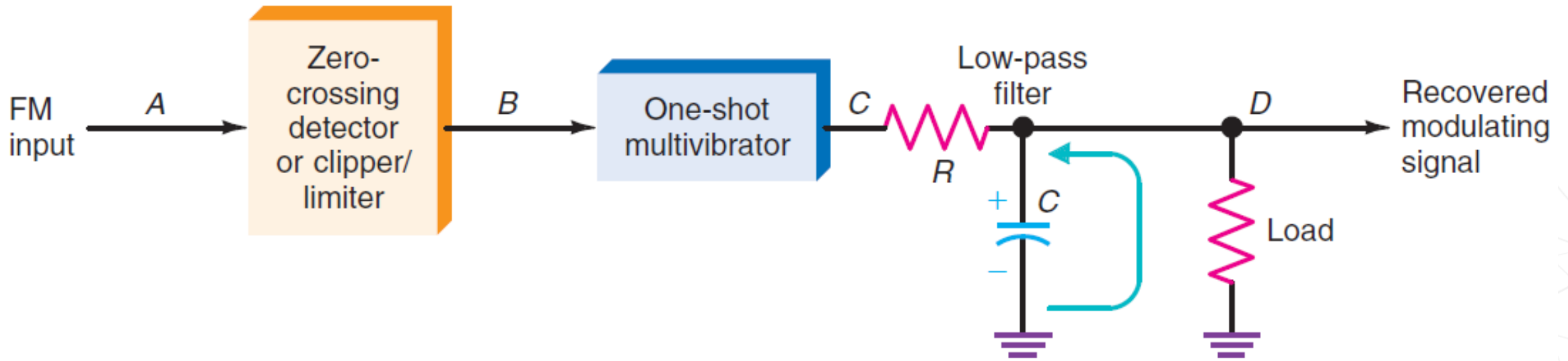
1. Detector de pendiente



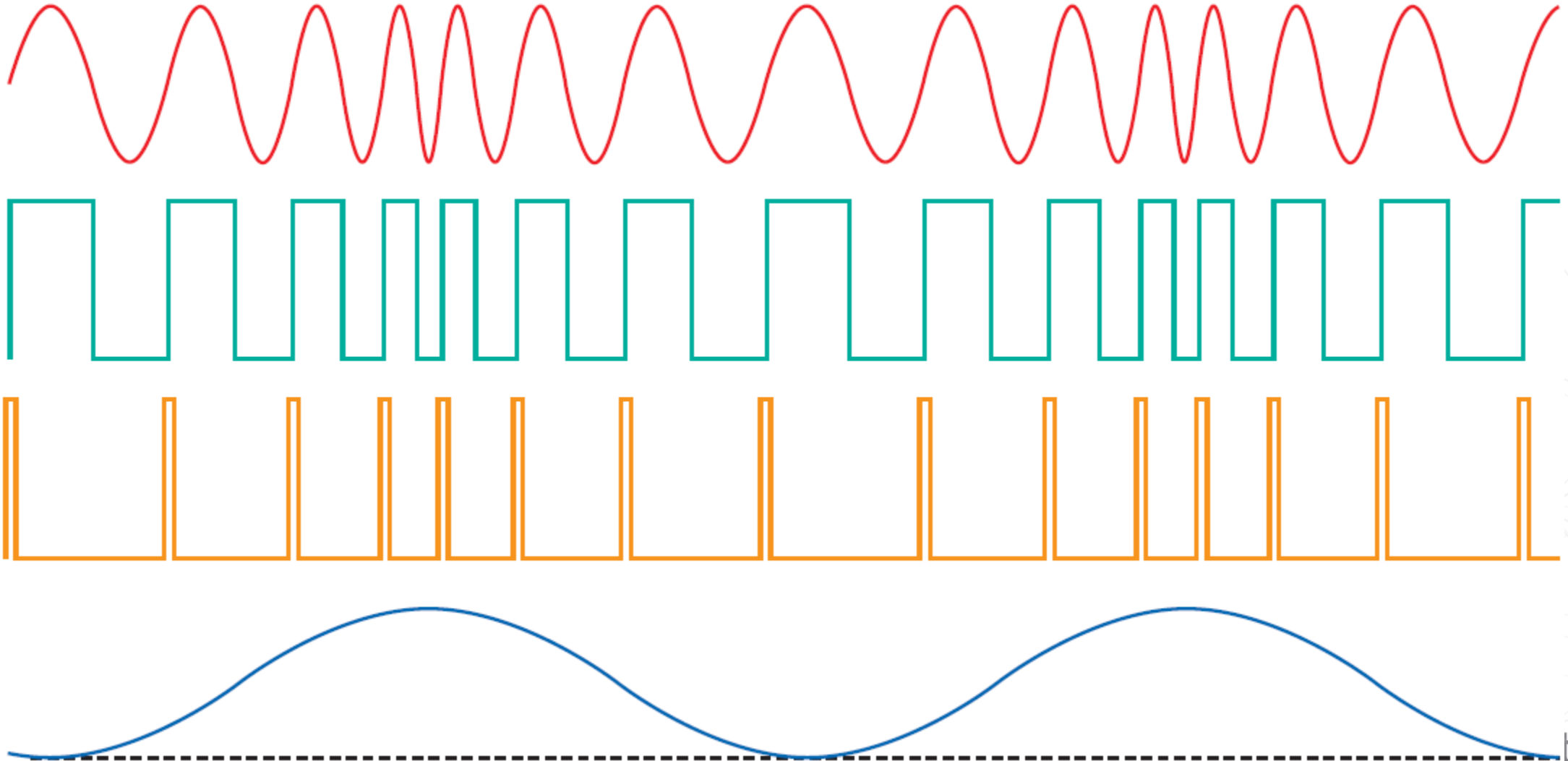
1. Detector de pendiente

- **Discriminador de Foster-Seeley:** fue uno de los primeros demoduladores de FM. Y por ende se encuentra el equipos muy antiguos.
- Los circuitos detectores de pendiente son muy sensibles a las variaciones en amplitud.

2. Promediador de Pulsos



2. Promediador de Pulsos



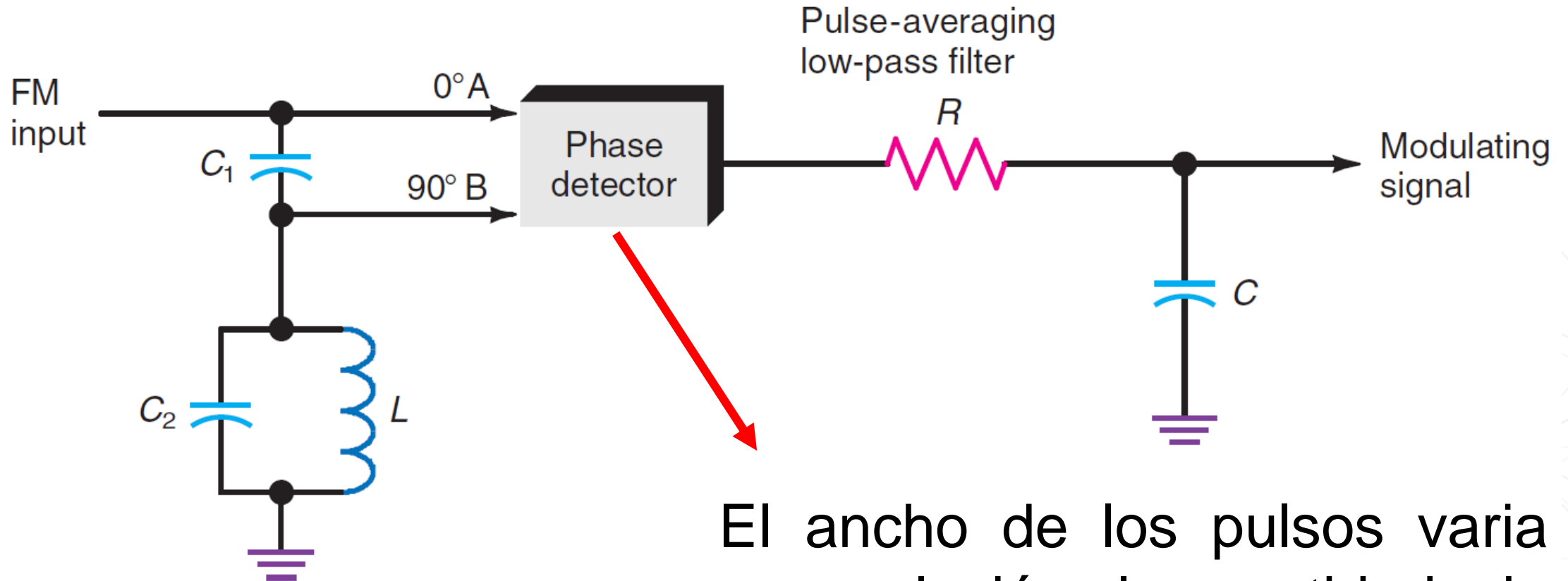
2. Promediador de Pulsos

- Este circuito es un demodulador de frecuencia de muy alta calidad.
- Originalmente este discriminador estaba limitado en aplicaciones costosas de telemetría y control industrial.
- Con la disponibilidad de Circuitos integrados de bajo costo, estos circuitos son utilizados en muchos productos electrónicos.

3. Detector en cuadratura

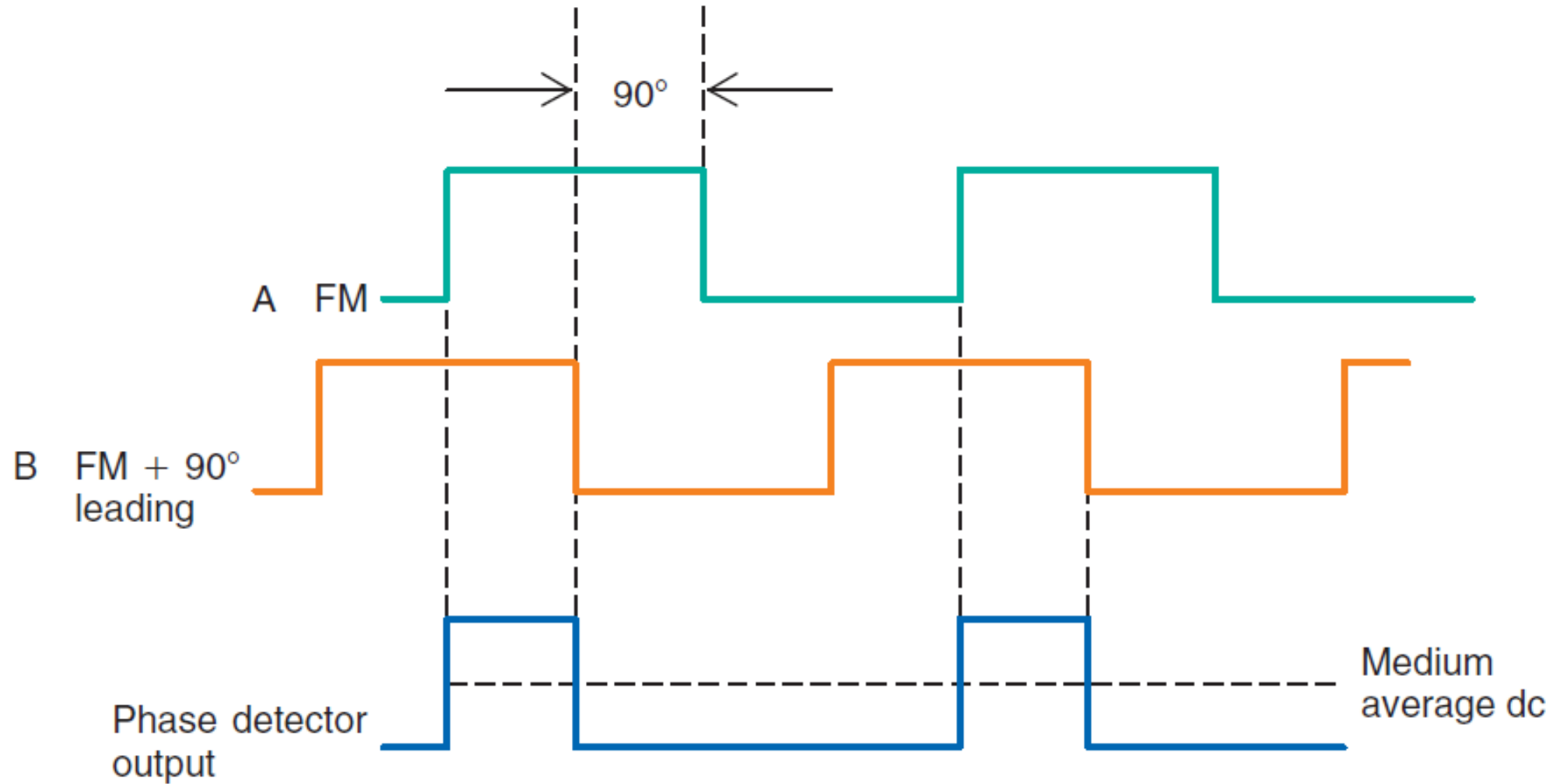
- Utiliza un circuito de desplazamiento de fase que produce un cambio de fase de 90° en la frecuencia de la portadora sin modular.
- La señales en **cuadratura** son alimentadas a un circuito detector de fase.
- El detector de fase mas común se basa en un modulador balanceado.

3. Detector en cuadratura



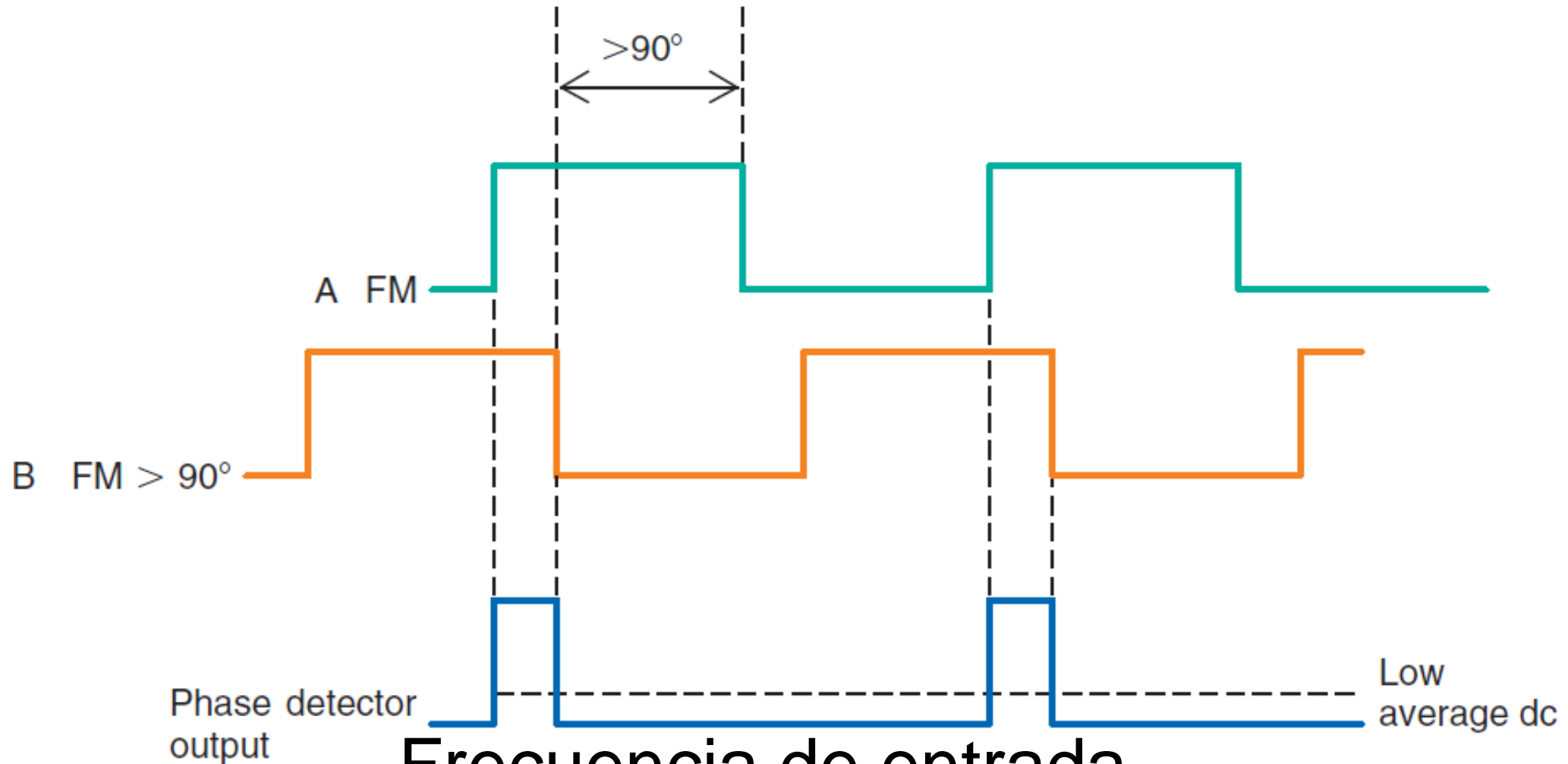
El ancho de los pulsos varia con relación la cantidad de desplazamiento de fase.

3. Detector en cuadratura



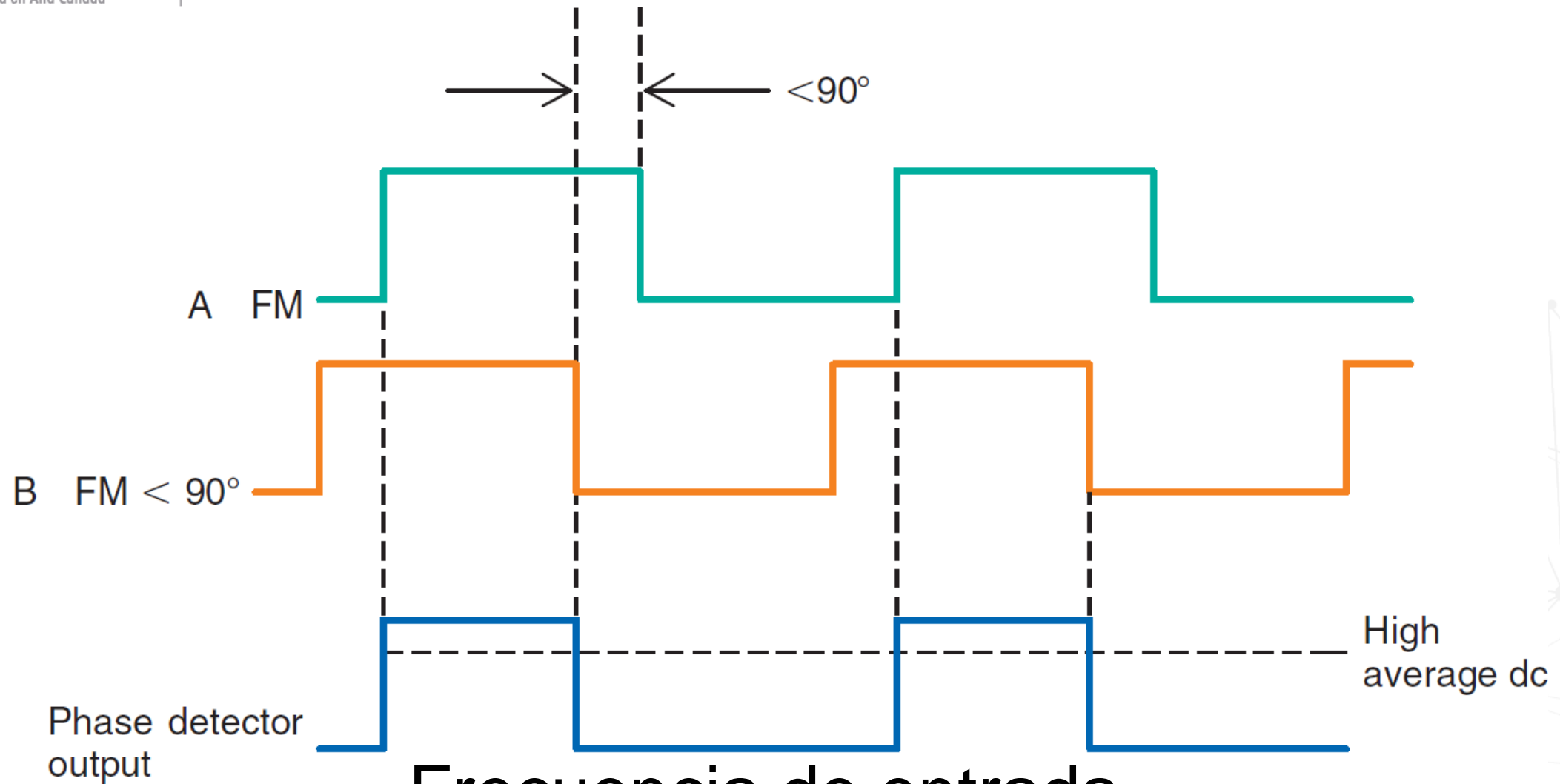
Sin modulación

3. Detector en cuadratura



Frecuencia de entrada
menor que la portadora

3. Detector en cuadratura

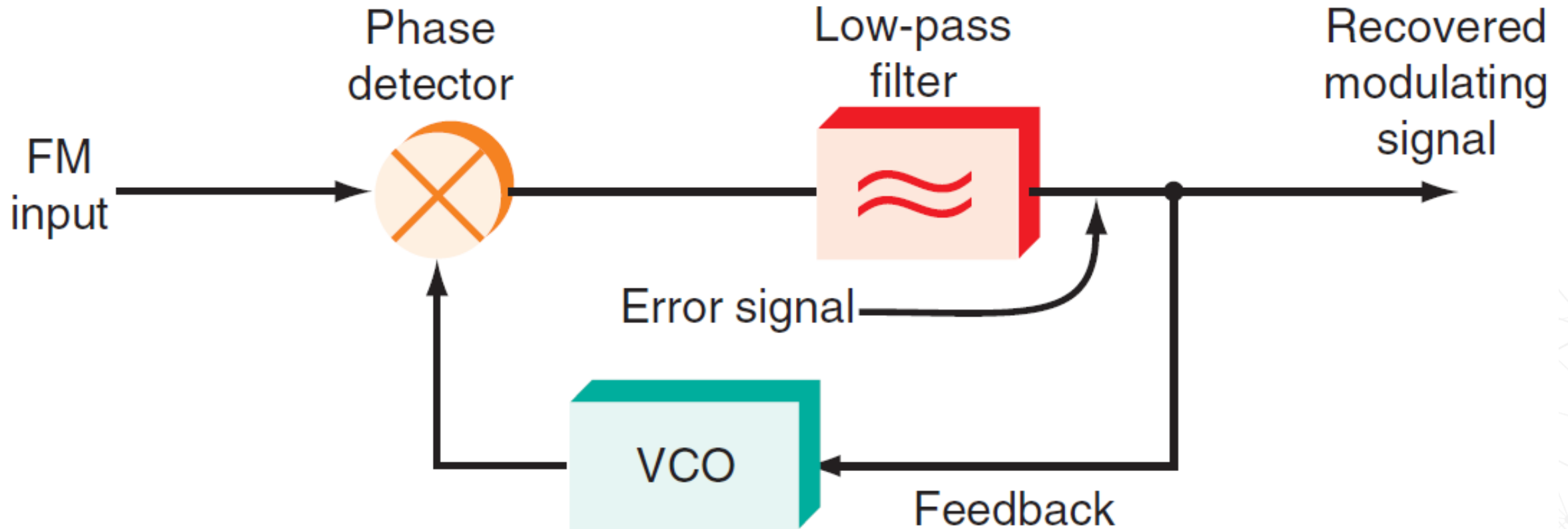


Frecuencia de entrada
mayor que la portadora

4. Phase-locked Loop

- No requiere de circuitos sintonizados.
- Compensa en forma automática los cambios de frecuencia de portadora debidos a inestabilidad del oscilador del transmisor.
- PLL es un circuito de control realimentado. En español se conoce como Lazo de Seguimiento de Fase, Lazo de Fase Cerrada, o Bucles de Enganche de Fase.

4. Phase-locked Loop



4. Phase-locked Loop

- Cuando **no hay señal de entrada**, las salidas del detector de fase y el filtro pasa-bajos es cero. Entonces el VCO opera en **la frecuencia libre (f_0)**.
- Cuando hay una señal FM, el circuito fuerza la salida del VCO a tener la misma frecuencia que la entrada. **Enganche**
- Cuando el PLL está enganchado, existe una diferencia de fase de 90° entre las señales.

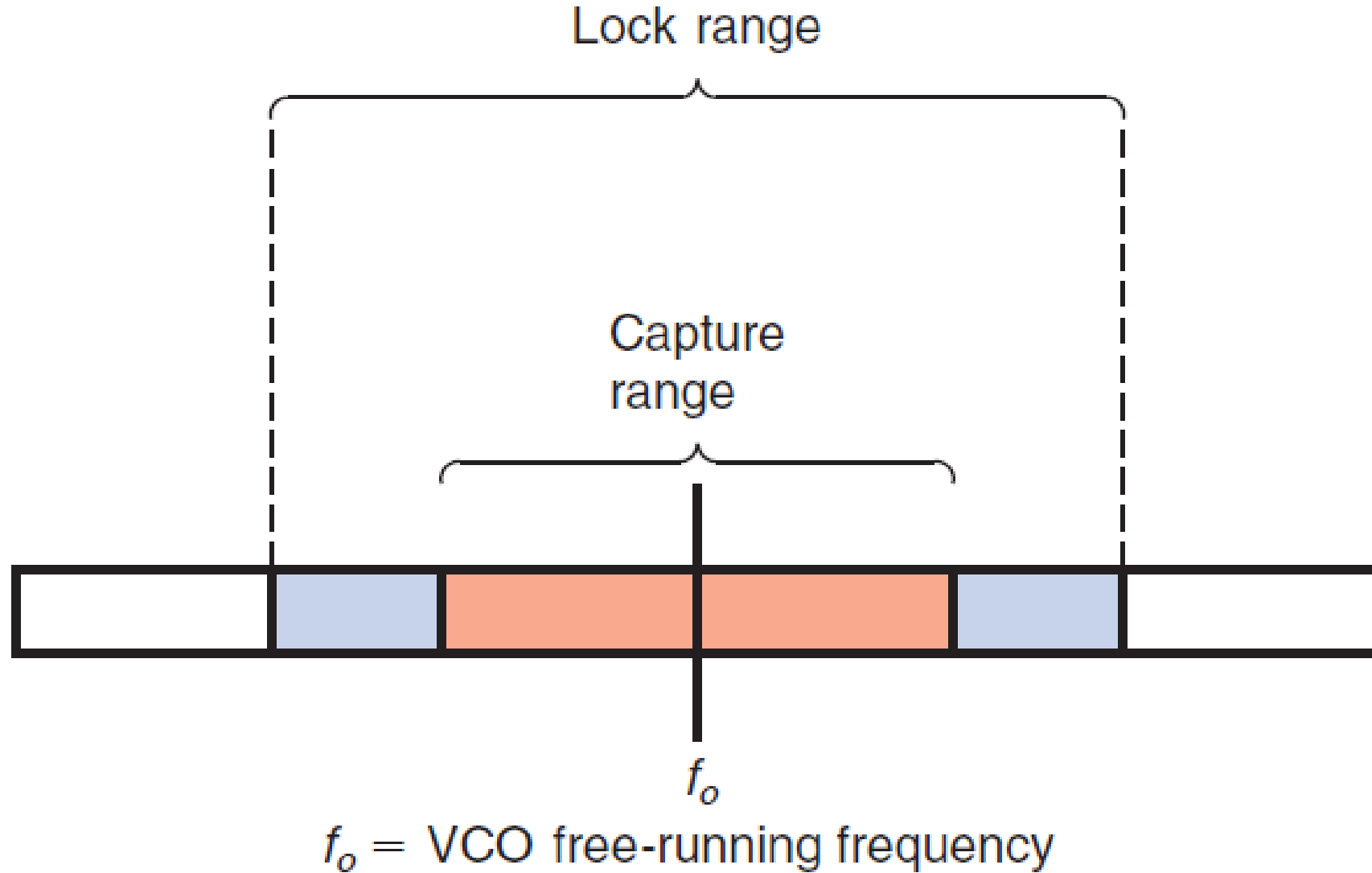
4. Phase-locked Loop

- El VCO es capaz de *perseguir* la frecuencia de la entrada en un amplio rango.
- Este rango de frecuencias se conoce como **rango de enganche (Lock range)**.
- El rango de enganche es una banda de frecuencias que están por encima y por debajo de la frecuencia libre.
- Si la frecuencia de la señal esta por fuera del rango de enganche, el PLL no enganchará.

4. Phase-locked Loop

- Si la frecuencia de la señal de entrada esta dentro del rango de enganche, el PLL inmediatamente se ajusta a una condición de enganche.
- El detector de fase determina la diferencia de fase entre la frecuencia libre y la frecuencia de entrada del VCO y genera la señal de error que fuerza al VCO a igualar la frecuencia de la entrada.
- Esta acción se conoce como **capturando** la señal de entrada.

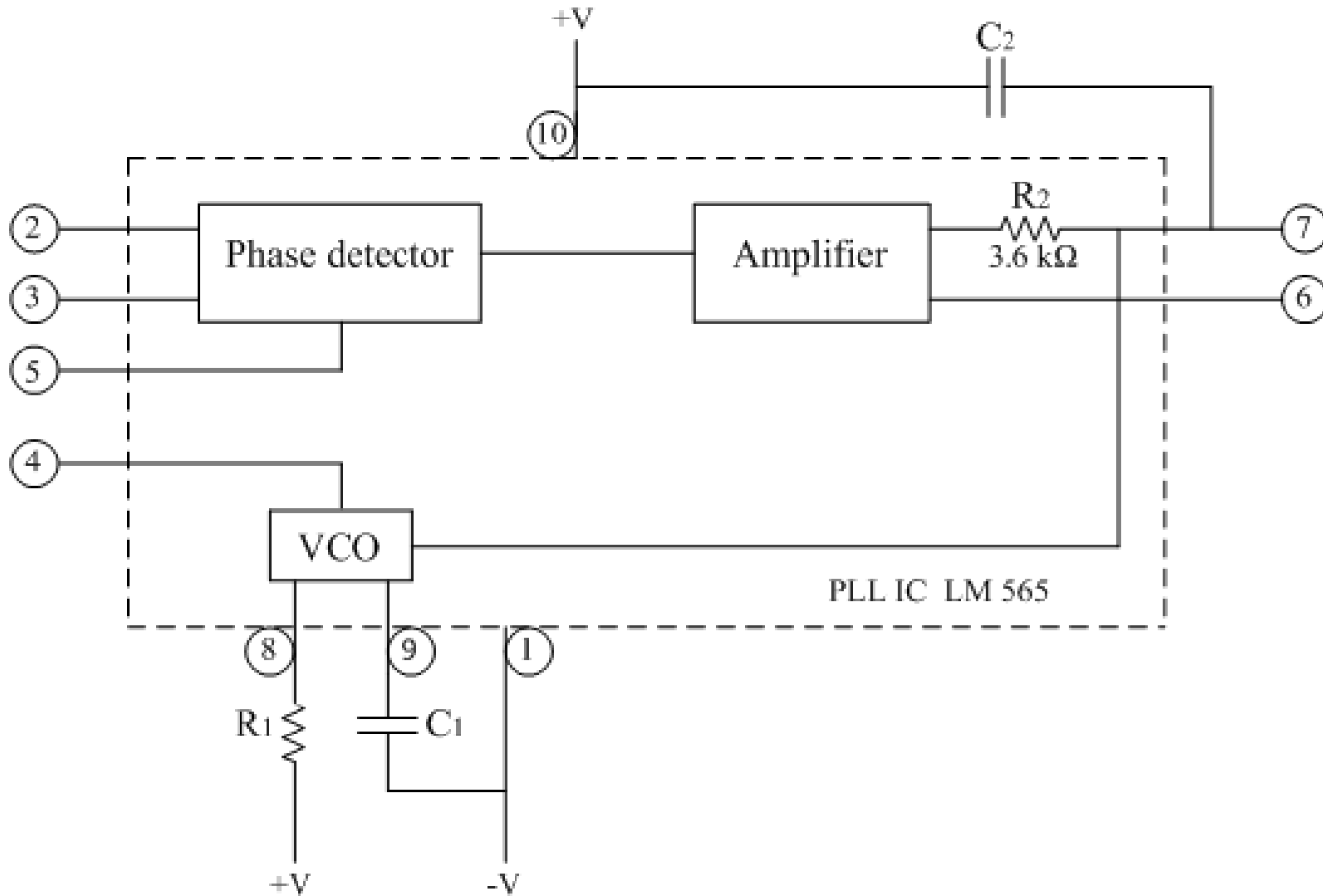
4. Phase-locked Loop



4. Phase-locked Loop

- La característica de captura del VCO, hace que este se comporte como un filtro pasa banda (BPF).
- La señal de error debe ser idéntica a la señal moduladora original.
- La habilidad del PLL para proveer filtrado y selectividad de la frecuencia dan una relación señal a ruido superior que cualquier otro tipo de modulador de FM.

4. Phase-locked Loop



$$f_o = \frac{0.3}{R_1 C_1}$$

$$f_L = \frac{8f_o}{2V}$$

$$f_c = \pm \frac{1}{2\pi f_L \sqrt{R_2 C_2}}$$

4. GNU Radio

- Para la demodulación en frecuencia el software GNU Radio cuenta diferentes bloques demoduladores: FM Demod, FM Detector, WBFM Receive PLL, y adicionalmente con receptores para FM de banda ancha y banda angosta.
- También cuenta con bloques para realizar Enfasis-De-enfasis.

4. GNU Radio

- Deviation: Desviación máxima de frecuencia. El valor típico en difusión FM es 75kHz.
- Audio Pass: Frecuencias que deja pasar el filtro pasa bajo.
- Audio Stop: Frecuencias que rechaza el filtro.
- Ganancia: Volumen del audio.
- Tau: Constante de tiempo de De-énfasis.

FM Demod
Channel Rate:
Audio Decimation:
Deviation: 75k
Audio Pass: 15k
Audio Stop: 16k
Gain: 1
Tau: 75u

Bibliografía

- FRENZEL, Louis. (2016) Principles of Electronic Communication Systems. 4th Edition.
- WAYNE, Tomásí. (2003) Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4^a ed. Prentice Hall.