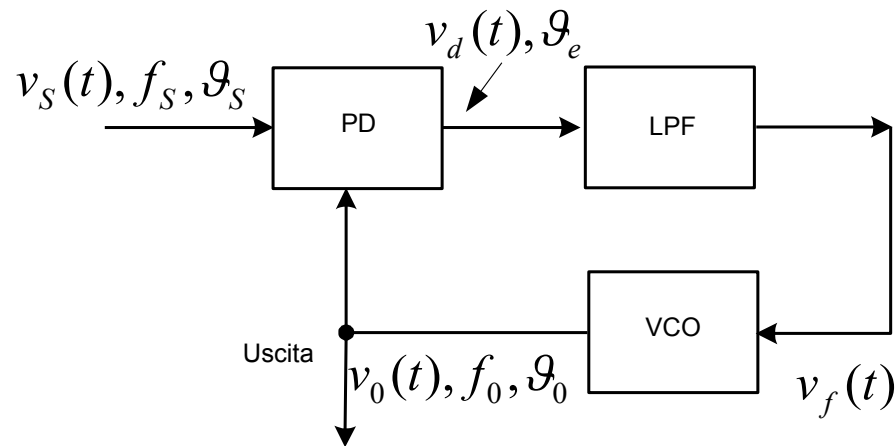


Elettronica per le telecomunicazioni

A.A. 2014-15

Introduzione al PLL

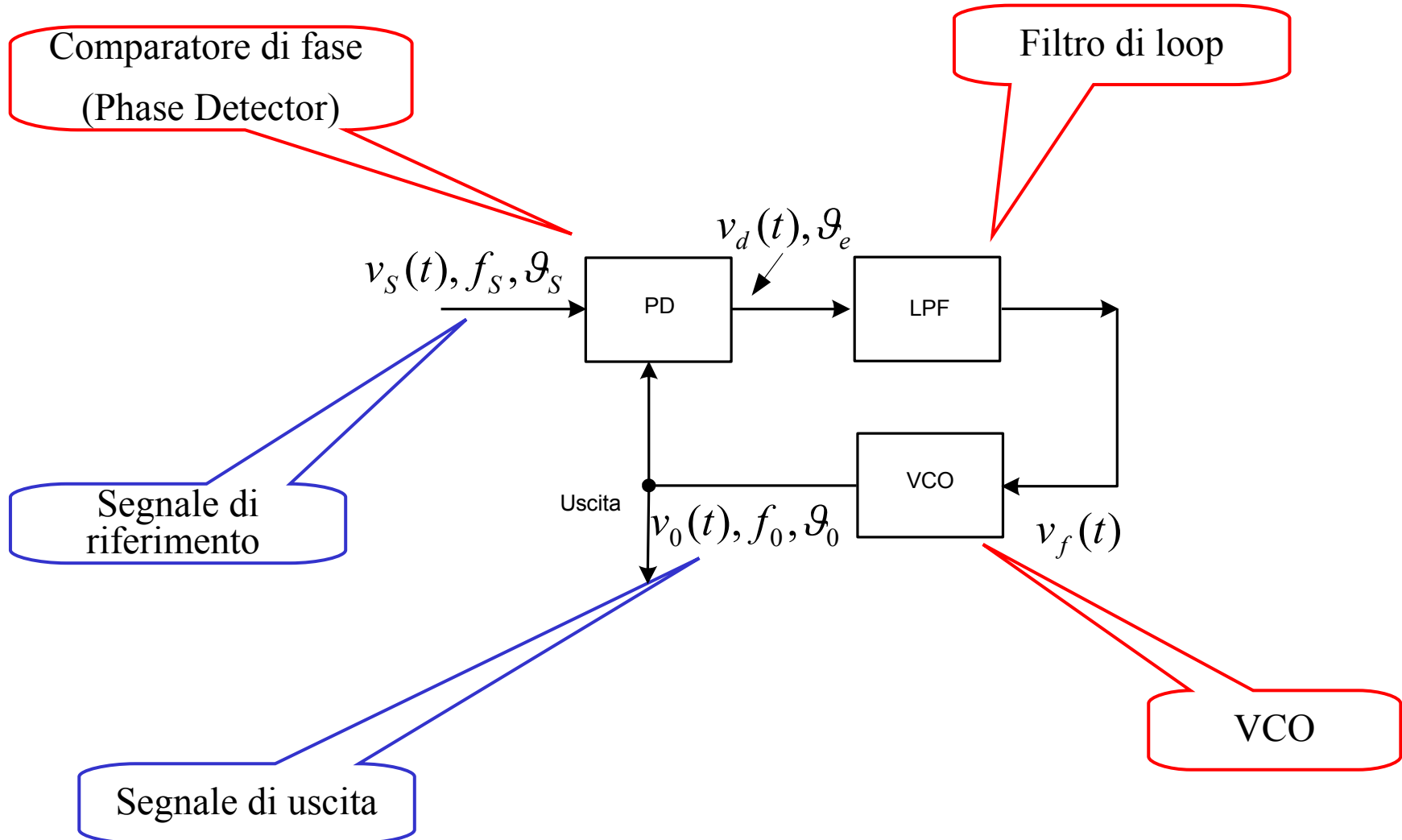


PLL = **Phase Locked Loop** in italiano **Anello ad aggancio in fase**

E' un circuito che sincronizza un segnale di uscita (generato da un oscillatore) con un segnale di riferimento.

Il sincronismo viene chiamato **aggancio di fase**.

Sviluppato negli anni 1920 –1930, ma è stato applicato in modo esteso nei sistemi di telecomunicazione a partire dagli anni 60.



Principio di funzionamento

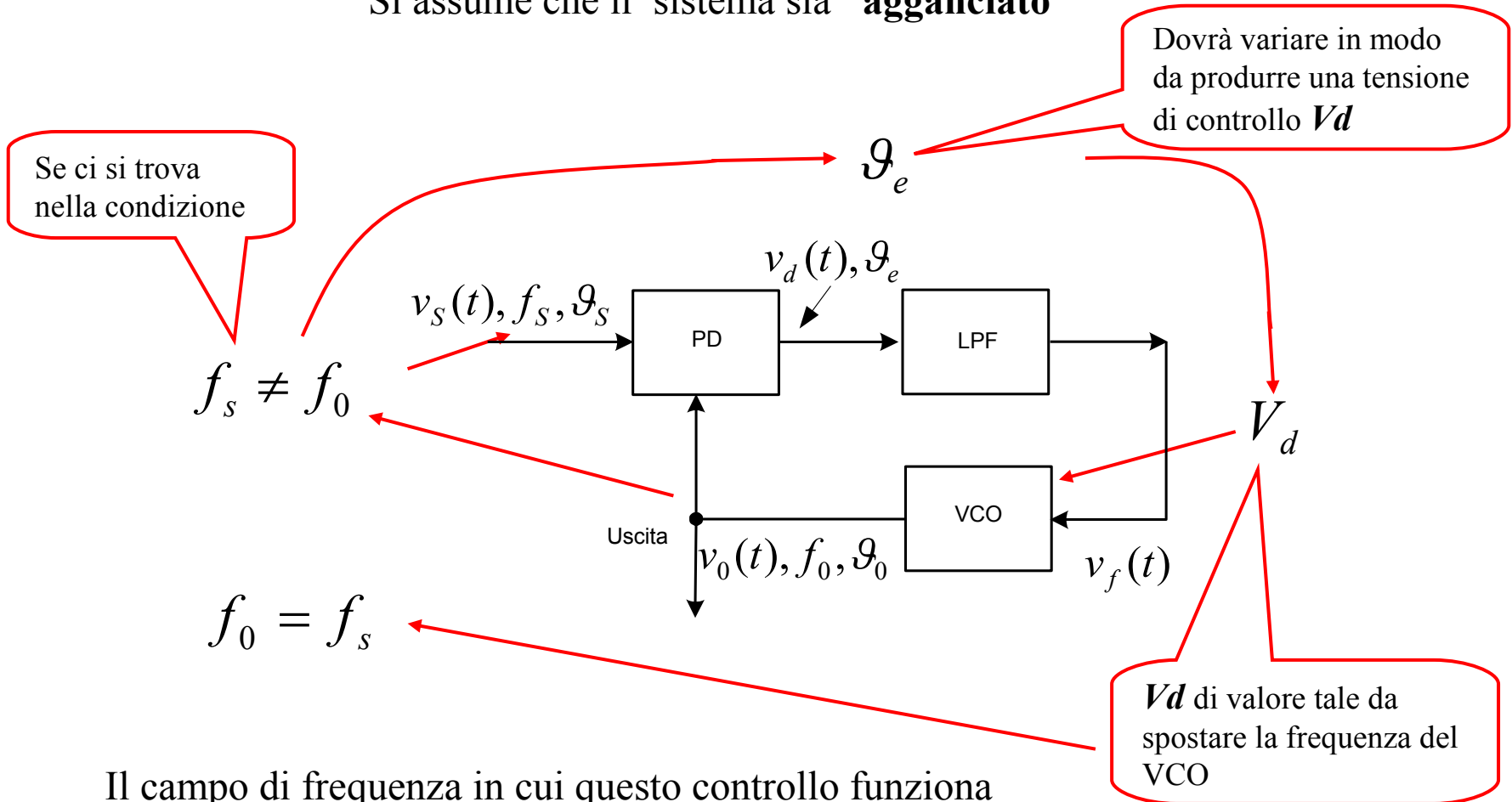
La differenza di fase (errore di fase) fra il segnale di riferimento ed il segnale di uscita viene usata, attraverso un meccanismo di controllo, per mantenere il sincronismo.

Il meccanismo di controllo tende a ridurre al minimo l'errore di fase.

Se il sistema funziona bene il segnale di uscita viene **agganciato in fase** con il segnale di riferimento.

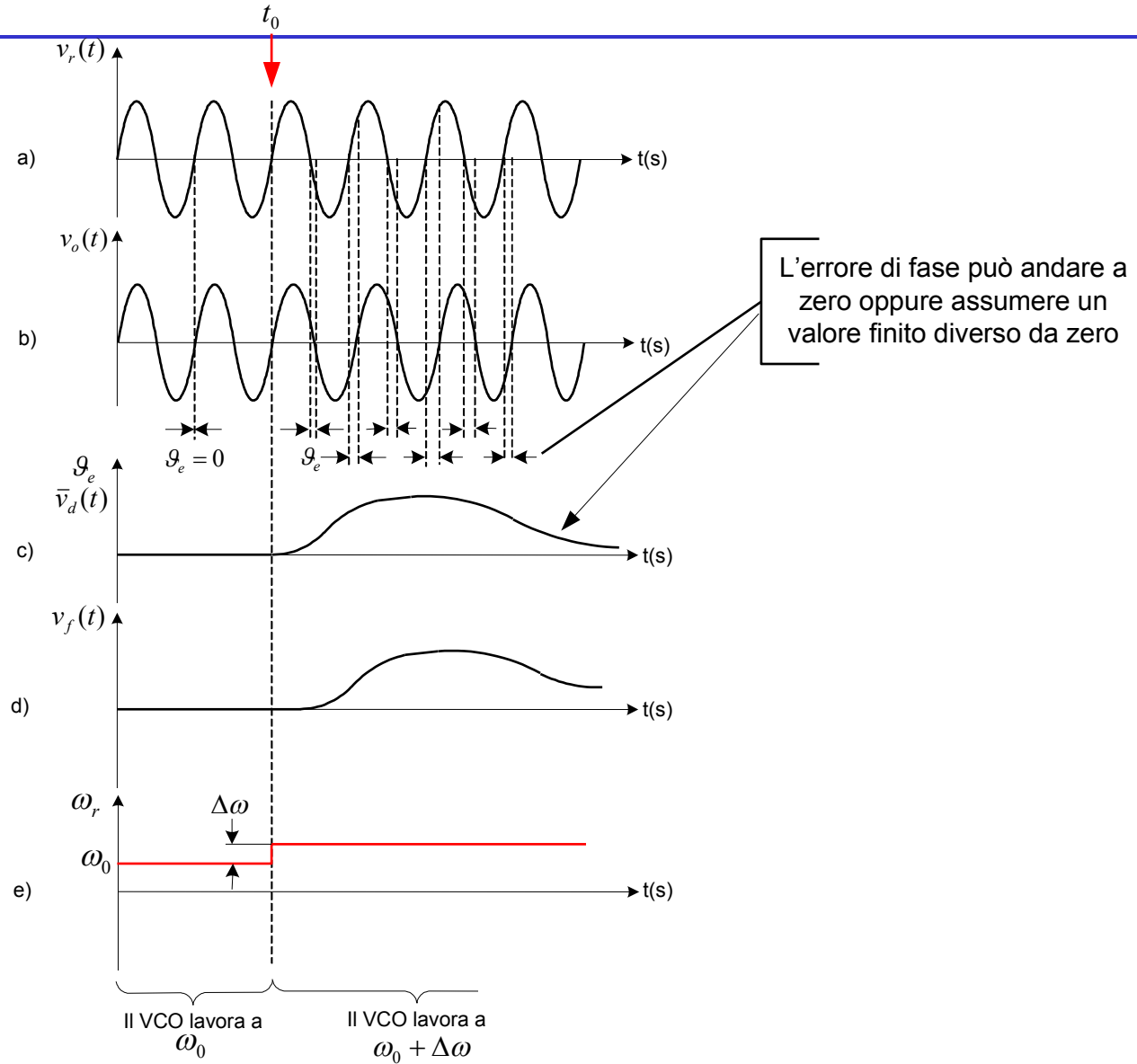
Principio di funzionamento

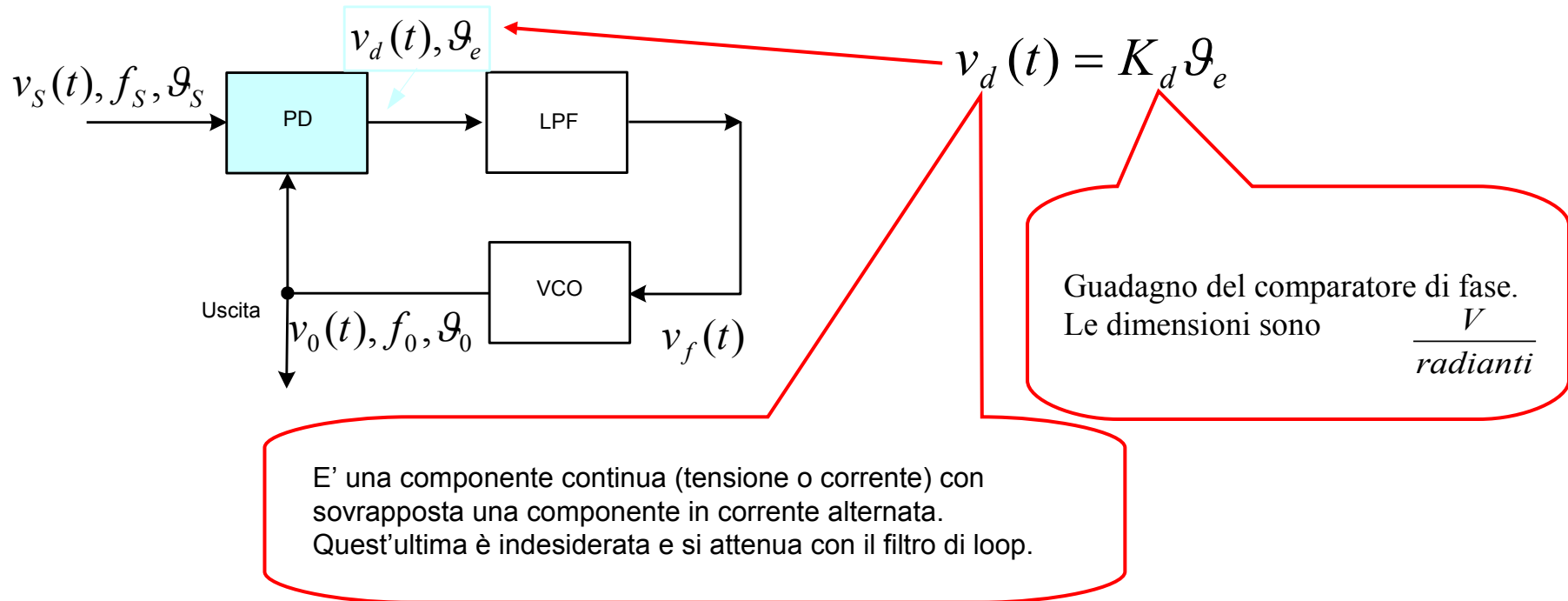
Si assume che il sistema sia "agganciato"



Il campo di frequenza in cui questo controllo funziona dipende dalle caratteristiche dei componenti del loop.

Principio di funzionamento

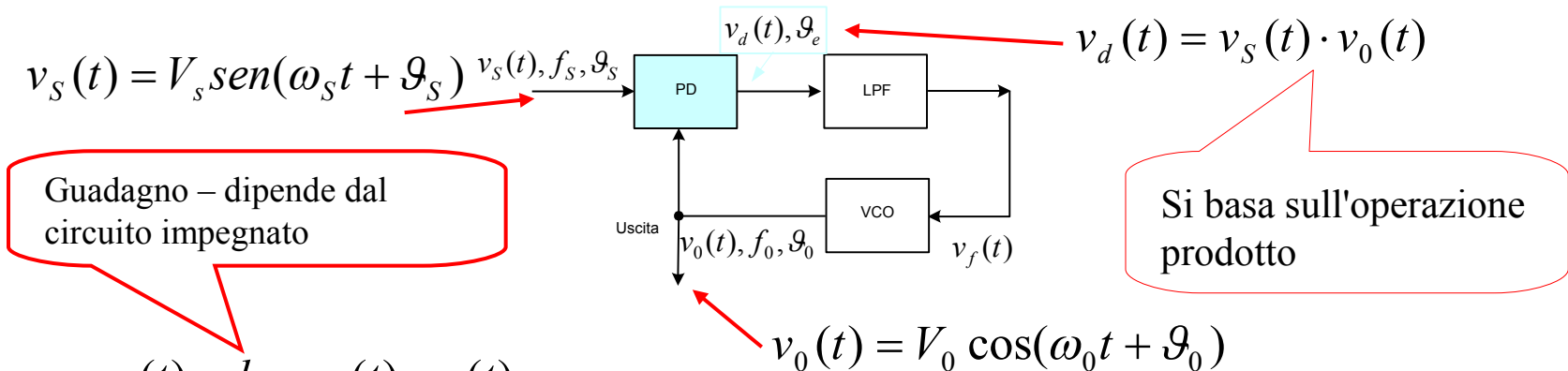




I PLL usano diversi tipi di comparatori di fase, cioè usano circuiti di tipo diverso per realizzare questa funzione, ci sono circuiti che funzionano con segnali sinusoidali ed altri con segnali rettangolari

Il comparatore di fase

Le considerazioni che seguono si basano sul funzionamento con segnali sinusoidali.



$$v_d(t) = k \cdot v_s(t) \cdot v_0(t)$$

$$v_d(t) = k \cdot V_s \text{sen}(\omega_s t + \vartheta_s) \cdot V_0 \cos(\omega_0 t + \vartheta_0)$$

$$\text{sen} \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} [\text{sen}(\alpha + \beta) + \text{sen}(\alpha - \beta)]$$

$$\omega_s = \omega_0$$

$$v_d(t) = k \cdot \frac{V_s V_0}{2} [\text{sen}(\omega_s t + \vartheta_s + \omega_s t + \vartheta_0) + \text{sen}(\omega_s t + \vartheta_s - \omega_s t - \vartheta_0)]$$

$$v_d(t) = k \cdot \frac{V_s V_0}{2} [\text{sen}(2\omega_s t + \vartheta_s + \vartheta_0) + \text{sen}(\vartheta_s - \vartheta_0)]$$

Componente
alternata

Componente
continua

Il comparatore di fase

$$v_d(t) = k \cdot \frac{V_s V_0}{2} [\text{sen}(2\omega_s t + \vartheta_s + \vartheta_0) + \text{sen}(\vartheta_s - \vartheta_0)]$$

$$\vartheta_e = \vartheta_s - \vartheta_0$$

$$v_d(t) = k \cdot \frac{V_s V_0}{2} [\text{sen}(2\omega_s t + \vartheta_s + \vartheta_0) + \text{sen} \vartheta_e]$$

Componente alternata, viene eliminata o fortemente attenuata dal filtro di loop

$$v_d(t) = k \cdot \frac{V_s V_0}{2} \text{sen} \vartheta_e$$

$$K_d = k \cdot \frac{V_r V_0}{2}$$

$$v_d(t) = K_d \text{sen} \vartheta_e$$

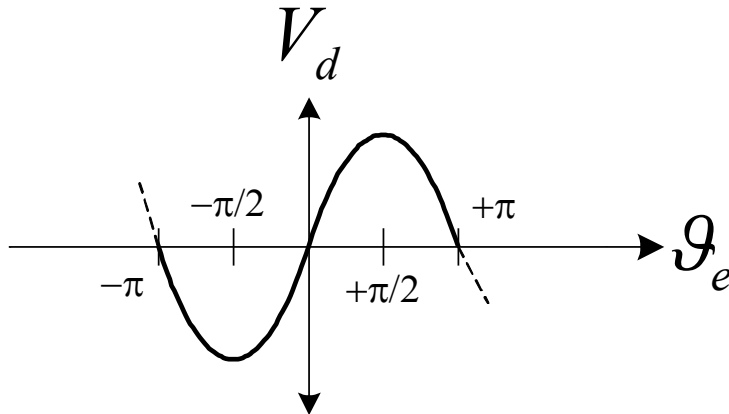
$$\text{sen} \vartheta_e \cong \vartheta_e$$

Per piccoli valori di ϑ_e

$$v_d(t) = K_d \vartheta_e$$

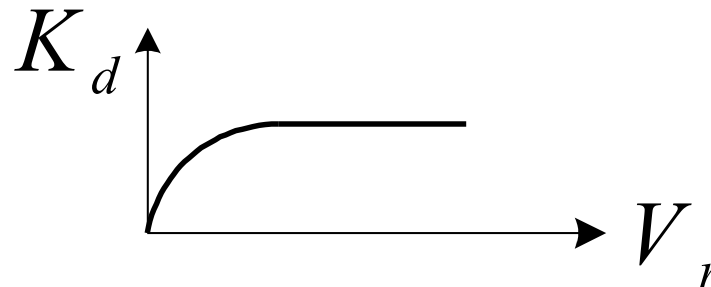
$$v_d(t) = k \cdot \frac{V_s V_0}{2} \vartheta_e$$

$$v_d(t) = K_d \sin \vartheta_e \quad v_d(t) = K_d \vartheta_e \quad v_d(t) = k \cdot \frac{V_s V_0}{2} \vartheta_e$$



La dipendenza del guadagno dalle ampiezze di V_s e V_d è uno svantaggio, il comportamento dinamico del PLL dipende dalla ampiezza dei segnali.

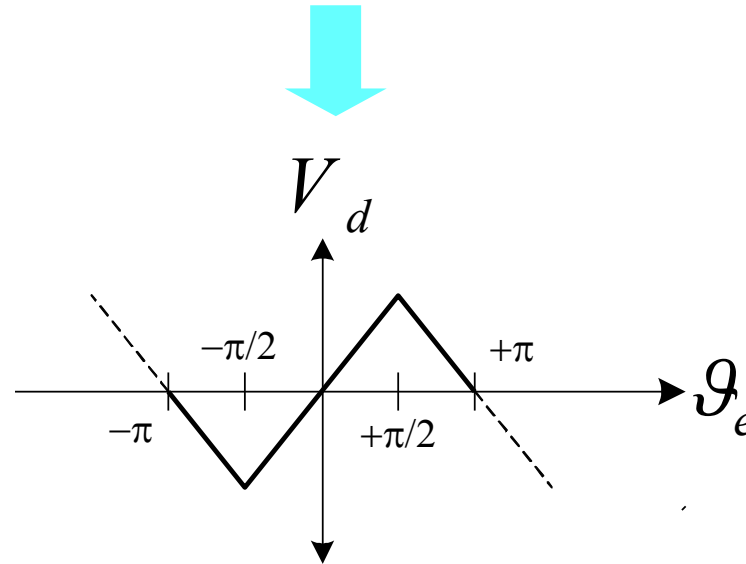
La dipendenza potrebbe anche essere ridotta pilotando il comparatore di fase con segnali che lo portino a lavorare in saturazione.



Il comparatore di fase

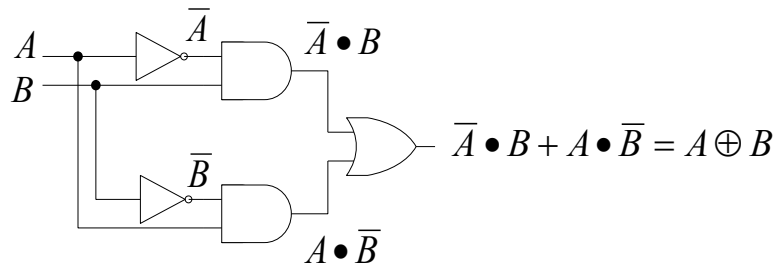
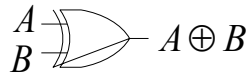
$$v_d(t) = k \cdot \frac{V_s V_0}{2} \vartheta_e$$

Se sono dei segnali di ampiezza tale da portare in saturazione il circuito del comparatore di fase oppure sono delle funzioni segno,



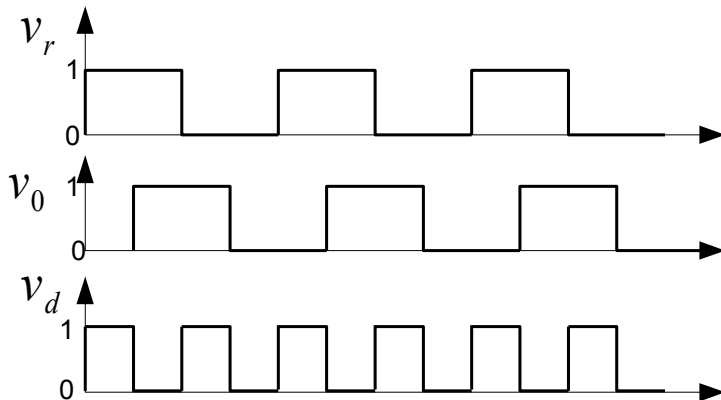
Il comportamento è quello della cella di Gilbert con segnali entranti. $\gg V_T$

EXCLUSIVE OR



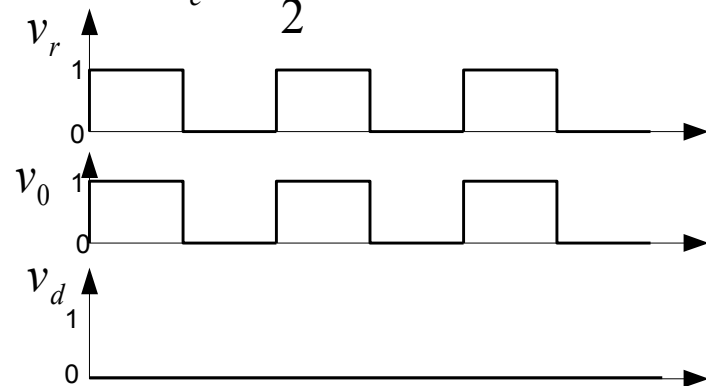
A	B	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$\vartheta_e = 0$



$$V_d = 0 \Rightarrow \frac{1}{2} V_{CC}$$

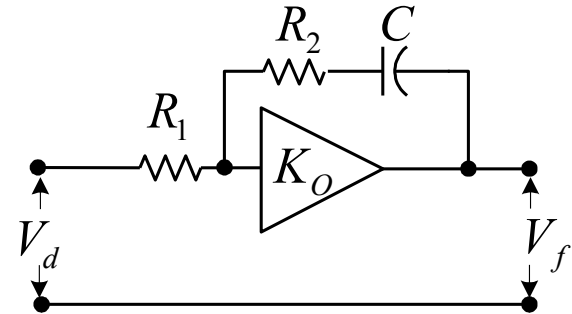
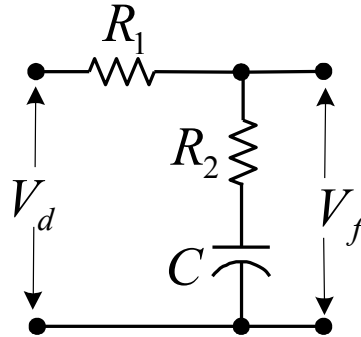
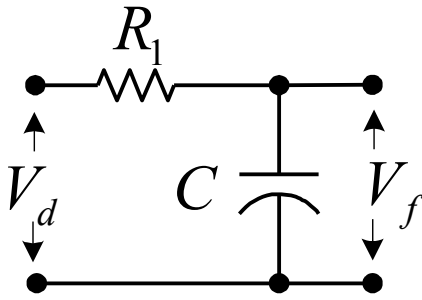
$\vartheta_e = -\frac{\pi}{2}$



$$V_d = 0$$

Il filtro di loop

Il filtro di loop è un filtro passa basso. Tipicamente ha una di queste forme:



$$F(s) = \frac{V_f(s)}{V_d(s)}$$

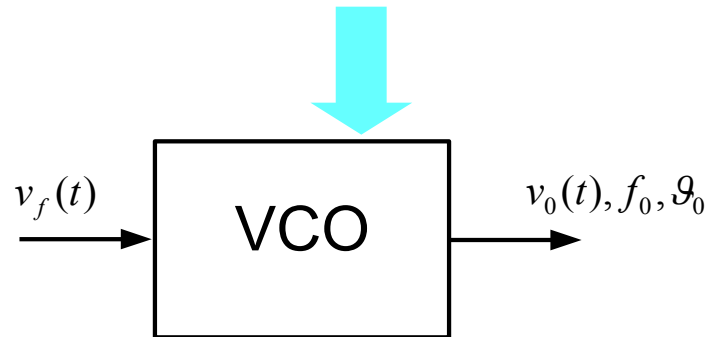
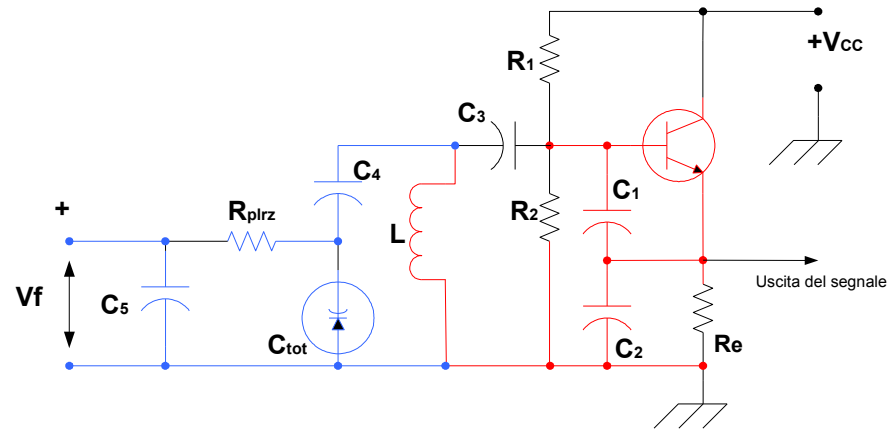
Funzione di trasferimento

$$F(s) = \frac{1}{1 + \tau_1 s}$$

$$F(s) = \frac{1 + \tau_2 s}{1 + (\tau_1 + \tau_2)s}$$

$$F(s) = \frac{K_a (1 + \tau_2 s)}{1 + [\tau_1 (1 - K_a) + \tau_2]s}$$

$$\tau_1 = R_1 C \quad \tau_2 = R_2 C$$



$$\omega_0 = K_0 V_f \frac{\text{rad}}{\text{S}}$$

