Maglia ad aggancio di fase analogica
Generalità

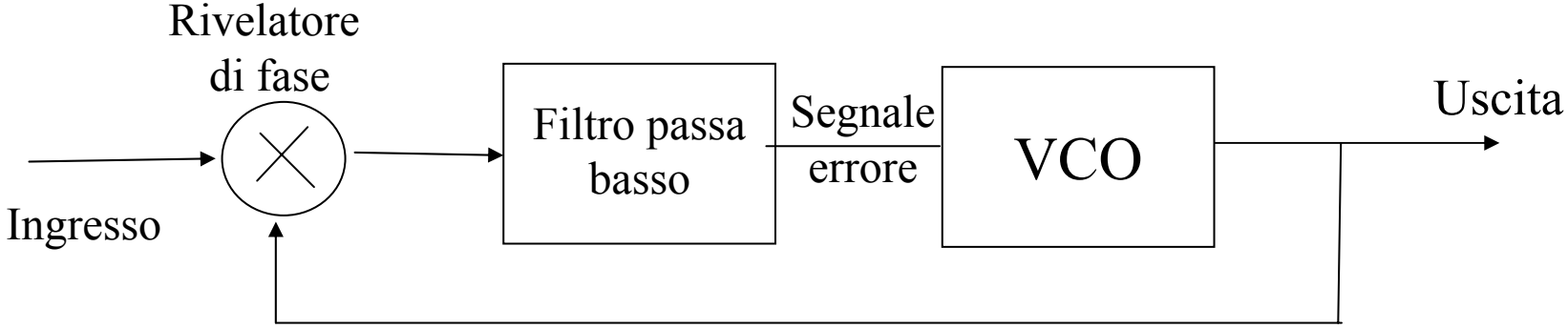
- E' un circuito elettronico progettato per generare un'onda di una specifica frequenza, sincronizzata con un'onda di valore diverso, fornita in ingresso.
- L'anello ad aggancio di fase è un sistema di controllo il cui obiettivo è la sincronizzazione dell'angolo istantaneo, ovvero della fase e della frequenza, di un segnale generato localmente a quello di uno posto come ingresso, denominato anche *segnale di riferimento*.
- La maglia ad aggancio di fase viene indicata con il termine **PLL**, acronimo di **Phase-Locked Loop**.
- La sincronizzazione dell'angolo istantaneo, denominata anche **aggancio**, avviene mediante la comparazione delle fasi.
- Una volta raggiunto questo stato l'errore di fase tra il segnale di riferimento e quello generato localmente è molto piccolo o nullo.
- Se questo errore, per effetto di una perturbazione prodotta da un disturbo o una variazione del segnale d'ingresso, inizia a crescere, il meccanismo di controllo reagisce, alterando il proprio stato di funzionamento, al fine di riazzerare il valore.

Architettura del circuito della maglia ad aggancio di fase analogica (I)

- Utilizza generalmente:
  - **VCO (oscillatore controllato in tensione)**
  - **Comparatore di fase**
- Il segnale in ingresso viene inserito nel comparatore di fase, che ne identifica il fronte di salita dell'onda.
- L'uscita del comparatore è una tensione continua che controlla il **VCO**, mantenendone la frequenza rigorosamente agganciata in fase con il segnale entrante.
- **VCO**: un dispositivo elettronico con lo scopo di produrre un'oscillazione periodica, il cui periodo, e di conseguenza la frequenza, è determinata dal valore assoluto di una tensione applicata ad un ingresso di controllo.
- Il **comparatore di fase** è costituito da un rilevatore di fase e da un filtro passa basso: confronta due segnali periodici e fornisce in uscita un segnale continuo (segnale errore) che dipende dalla differenza di fase tra i due segnali in ingresso: il segnale errore è nullo per uno sfasamento di 90 gradi e varia linearmente nell'intorno di tale punto
- L'uscita del **comparatore di fase** è costituita dalla sovrapposizione di una componente continua ed una alternata. Quest'ultima componente è eliminata dal filtro passa-basso.

Architettura del circuito della maglia ad aggancio di fase analogica (II)

- La frequenza di oscillazione del VCO varia attorno ad una certa frequenza f_0 in funzione della tensione all'ingresso
- Il segnale errore tende ad annullare ogni differenza di fase tra un segnale periodico all'ingresso e quello all'uscita che risulta agganciato a quello d'ingresso sia in frequenza che in fase
- Poichè il PLL è progettato per realizzare un aggancio di fase, l'interconnessione di queste tre componenti garantisce quanto necessario al corretto funzionamento. Quindi, iniettando un segnale sinusoidale nell'ingresso del PLL, avverrà un aggancio mediante il quale il VCO cambierà il suo stato di funzionamento, con la produzione di un segnale sinusoidale di medesima frequenza e differenza di fase costante o nulla.



Maglia ad aggancio di fase

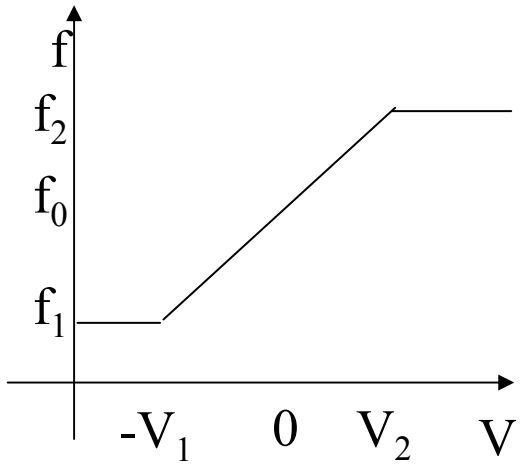
Modello analitico della maglia ad aggancio di fase analogica (I)

$v_0 = V_0 sen(\omega_0 t)$ **Segnale proveniente dal VCO**

$v_i = V_i sen(\omega_i t)$ **Segnale di ingresso**

$$v_f = kV_i sen(\omega_i t) V_0 sen(\omega_0 t) = kV_i V_0 \left[\cos(\omega_i - \omega_0)t - \cos(\omega_i + \omega_0)t\right]$$

$$v_e = kV_i V_0 \cos(\omega_i - \omega_0)t$$



Segnale errore lentamente variabile nell'intervallo $\pm kV_i V_0$

Da origine ad una deviazione di pulsazione del VCO

Se la pulsazione ωi è compresa entro l'intervall

Di aggancio avviene l'aggancio in frequenza e la differenza di fase tra i due segnali diventa Costante

Intervallo di aggancio è l'intervallo di frequenza tra f_1 e f_2

Modello analitico della maglia ad aggancio di fase analogica (II)

Dopo l'aggancio in frequenza il segnale in uscita al rilevatore di fase diventa:

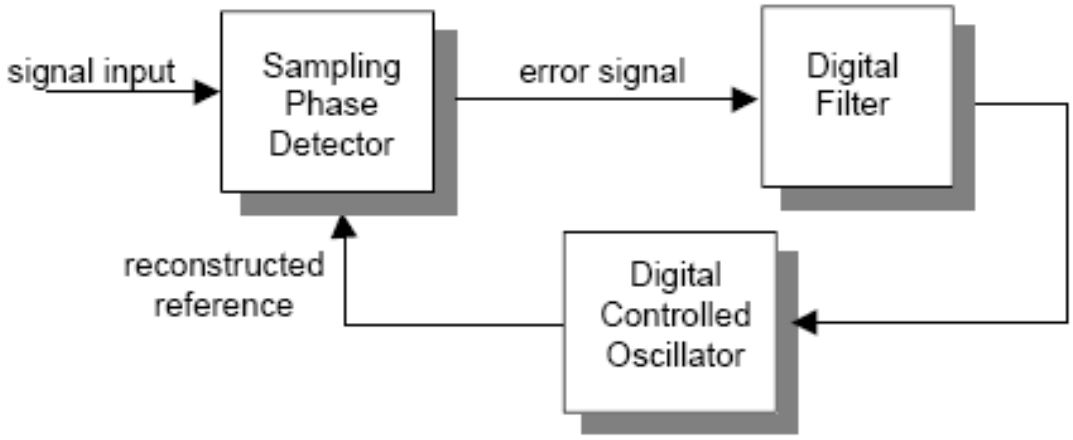
$$v_f = kV_iV_0 sen(\omega_i t) sen(\omega_i t + \varphi)$$

Se il filtro passa-basso rimuove i termini di pulsazione doppia il segnale errore diventa:

$$v_e = \frac{k}{2} V_iV_0 \cos(\varphi)$$

Il segnale errore è quindi un segnale continuo che viene applicato al VCO e diventa uguale a zero quando ϕ=90 (il blocco di confronto rileva differenze di fase di 90) La retroazione tende ad annullare il segnale errore e determina quindi l'aggancio in fase tra il segnale in uscita e quello in ingresso

PLL digitale



- Schema a blocchi di un generico PLL digitale costituito da un rivelatore di fase digitale, un filtro digitale ed un oscillatore digitale che, essenzialmente, è la controparte digitale del VCO.
- Il segnale d'ingresso, detto anche di riferimento, è campionato e comparato con il segnale ricostruito. Viene prodotto un errore di fase digitale proporzionale alla differenza di fase dei due segnali.
- Questi campioni, dopo un'operazione di filtraggio(ad esempio con un filtro numerico), sono utilizzati per controllare il periodo del Digital Controlled Oscillator (DCO).
- Se l'anello è correttamente dimensionato il segnale ricostruito ricalca quello di riferimento.
- Il DCO è essenzialmente un divisore programmabile per un generico fattore N.