

- Transfer Function Model:** deve essere collegato al terminale Transfer Function Model del blocco **Construct Transfer Function Model** e contiene tutte le informazioni relative alla funzione di trasferimento del sistema (figura 2.22).
- Frequency Range:** è un Cluster Constant nel quale sono contenuti i valori della frequenza iniziale e finale, il numero di punti utilizzati per tracciare il grafico e l'unità di misura della frequenza (Hz o rad/s). LabVIEW utilizza i valori di default se il parametro è omesso.
- Bode Magnitude:** restituisce il grafico del modulo della funzione e deve essere collegato a un SI Bode Plot Indicator collocato sul pannello frontale (**Control Design & Simulation** → **System Identification**).
- Bode Phase:** restituisce il grafico della fase della funzione e deve essere collegato a un SI Bode Plot Indicator (figura 2.23).

esempio 2.1

Utilizzando LabVIEW si traccino i diagrammi di Bode del modulo e della fase della funzione:

$$G(s) = \frac{10}{10 \cdot s + 1}$$

Svolgimento

Per realizzare rapidamente i diagrammi di Bode del modulo e della fase si utilizzi la funzione **Tab Control**. Sulla prima pagina si collochi il **CD 1st Order Model** (**Control Design & Simulation** → **Control Design** → **Create Model**) e sulla seconda il **CD Bode Graph** rappresentato in figura 2.22 (**Control Design & Simulation** → **Control Design** → **Model Analysis**). In tal modo la funzione di trasferimento e i diagrammi sono rappresentati su pagine distinte (figura 2.23).

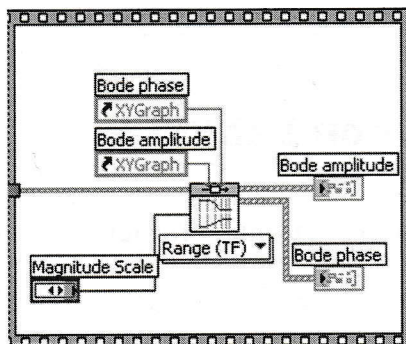


figura 2.22

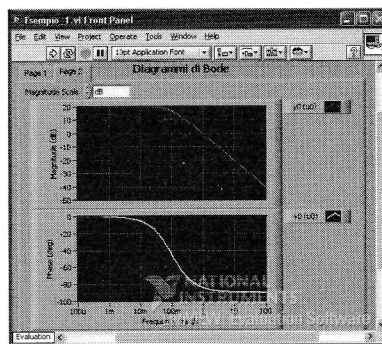


figura 2.23

2.4 Diagrammi polari

Per rappresentare graficamente la risposta in frequenza di un sistema si usano, oltre ai diagrammi di Bode, anche i diagrammi polari.

Si consideri la funzione di trasferimento armonica $G(j\omega)$ e sia ω_i la pulsazione in corrispondenza della quale il modulo e la fase della funzione sono rispettivamente uguali a:

$$|G(j\omega_i)| = \sqrt{\left\{ \operatorname{Re} [G(j\omega_i)] \right\}^2 + \left\{ \operatorname{Im} [G(j\omega_i)] \right\}^2} \quad \phi_i = \arctg \frac{\operatorname{Im} [G(j\omega_i)]}{\operatorname{Re} [G(j\omega_i)]}$$

La funzione $G(j\omega)$ è rappresentata, per una pulsazione generica ω_i , dal vettore \vec{OP}_i avente il modulo e la fase uguali rispettivamente al modulo e alla fase della funzione di trasferimento armonica $G(j\omega_i)$ (figura 2.24).

Il punto P_i , estremo libero del vettore \vec{OP}_i , descrive, al variare di ω da 0 a $+\infty$, una figura geometrica detta **diagramma polare** (DIAGRAMMA DI NYQUIST).

Un diagramma polare è una rappresentazione grafica sul piano polare del modulo e della fase della funzione di trasferimento armonica $G(j\omega)$, con la pulsazione come variabile indipendente. Sul diagramma la pulsazione è riportata come parametro ed è scritta in corrispondenza dell'estremo libero del vettore \vec{OP}_i (figura 2.25).

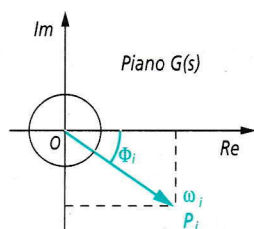


figura 2.24

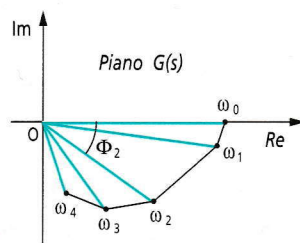


figura 2.25

Per tracciare il diagramma **polare qualitativo** di una funzione $G(s)$ è necessario:

- calcolare i valori del modulo e della fase della funzione in corrispondenza di $\omega = 0$ e $\omega \rightarrow +\infty$ con la scrittura $\omega \rightarrow \infty$ si intende $\omega \rightarrow +\infty$;
- il valore della fase per ω che supera di poco lo zero (indicato con $\omega > 0^+$).

Si consideri, ad esempio, la funzione di trasferimento armonica: $G(j\omega) = \frac{j\omega}{(j\omega + 1)}$ con il modulo e la fase uguali rispettivamente a:

$$|G(j\omega)| = \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + 1}} \quad \Phi = 90^\circ - \arctg \omega$$

Applicando il procedimento descritto si ricava:

- per $\omega = 0 \Rightarrow \begin{cases} |G(j\omega)| = 0 \\ \Phi = 90^\circ \end{cases}$
- per $\omega > 0^+$, ad esempio $\omega = 0,1$ rad/s, si ha $\Phi = 90^\circ - 5,71^\circ \cong 84,3^\circ$
- per $\omega \rightarrow +\infty \Rightarrow \begin{cases} |G(j\omega)| \rightarrow 1 \\ \Phi \rightarrow 0^\circ \end{cases}$

- il diagramma polare ha origine nel punto di coordinate $(0, 90^\circ)$ ed è tangente nell'origine al semiasse immaginario positivo perché $\Phi = +90^\circ$ quando è $\omega = 0$ (figura 2.26 alla pagina seguente).
- il vettore $\vec{G}(j\omega)$ ruota in verso orario perché la fase della funzione è positiva quando è $\omega = 0^+$;
- il diagramma si svolge interamente nel primo quadrante e termina sull'asse reale nel punto di coordinate $(1, 0)$.

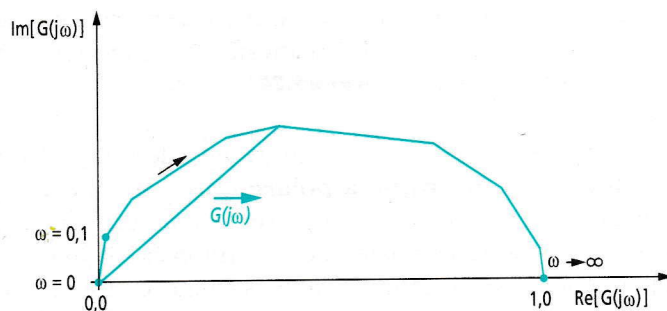


figura 2.26

Se la funzione di trasferimento contiene poli nulli di molteplicità q ed è del tipo:

$$G(j\omega) = k \cdot \frac{(1 + j\omega \cdot \tau_1) \cdot (1 + j\omega \cdot \tau_2) \cdot \dots \cdot (1 + j\omega \cdot \tau_m)}{(j\omega)^q \cdot (1 + j\omega \cdot T_1) \cdot (1 + j\omega \cdot T_2) \cdot \dots \cdot (1 + j\omega \cdot T_{n-q})}$$

con $k > 0$ ed $n > m$, il diagramma polare può essere tracciato tenendo presente quanto segue:

- ▶ il diagramma ha origine all'infinito del semiasse immaginario negativo quando è $q = 1$ (figura 2.27);
- ▶ il diagramma ha origine all'infinito del semiasse reale negativo quando $q = 2$ (figura 2.28);
- ▶ il diagramma ha origine all'infinito del semiasse immaginario positivo quando è $q = 3$ (figura 2.29) ecc.;
- ▶ alla basse frequenze il diagramma è asintotico e forma con il semiasse reale positivo un angolo $\Phi = -q \cdot 90^\circ$;
- ▶ il modulo della funzione tende a zero quando $\omega \rightarrow \infty$: il diagramma è tangente a uno degli assi e termina nell'origine.

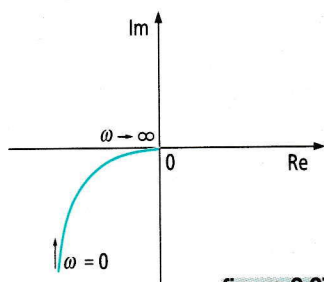


figura 2.27

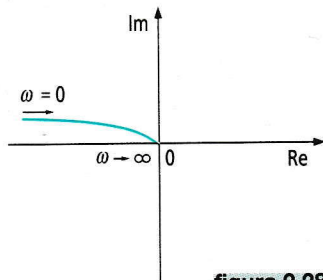


figura 2.28

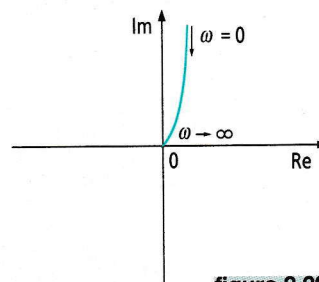


figura 2.29

2.5 Diagrammi di Nyquist con LabVIEW

Per la realizzazione dei diagrammi di Nyquist in modo rapido vedere il Modulo 8, Unità 2, par. 2.5.4. Nel digitale sono riportate le modalità dettagliate per l'esecuzione del metodo sotto esposto. I diagrammi di Nyquist sono diagrammi polari realizzati facendo variare la pulsazione nell'intervallo $-\infty \leq \omega \leq +\infty$. Per tracciare il diagramma di Nyquist si procede in pratica nel seguente modo:

- ▶ si traccia il diagramma polare della funzione $G(j\omega) \cdot H(j\omega)$ con ω variabile da 0^+ a $+\infty$;
- ▶ si traccia il diagramma polare della funzione $G(j\omega) \cdot H(j\omega)$ con ω variabile da $-\infty$ a 0^- ; quest'ultimo diagramma è l'immagine speculare, rispetto all'asse reale, del diagramma polare della stessa funzione $G(j\omega) \cdot H(j\omega)$ tracciato con ω variabile da 0^+ a $+\infty$ (figura 2.30).