דיאגרמת נייקויסט

דיאגרמת נייקויסט מציגה את תגובת התדר של המערכת בחוג פתוח $GH_{(j\omega)}$

באמצעות הגודל $\left|GH_{(j\omega)}\right|$ והזוית $\angle GH_{(j\omega)}$

לדיאגרמה יש מערכת צירים, ציר x מבטא את החלק הממשי של $GH_{(j\omega)}$ ומסומן ב- $\mathrm{Re}\left(GH_{(j\omega)}\right)$

וציר y מבטא את החלק המדומה של $GH_{(j\omega)}$ ומסומן ב- $\mathrm{Im}\left(GH_{(j\omega)}\right)$.

גרף נייקויסט מתאר את השתנות הגודל והמופע בתלות בתדר ומתוך הגרף ניתן לבדוק יציבות המערכת ומידת היציבות – עודף הגבר ומופע של המערכת על פי קריטריון נייקויסט.

שלבי שרטוט עקומת נייקויסט

1. רושמים פונקציות של הגודל $\left|GH_{(j\omega)}\right|$ והמופע $\angle GH_{(j\omega)}$
2. בונים טבלה עבור מספר נקודות בתדר מ- 0 עד ∞ עבור הגודל והמופע ומשרטטים לפי נקודות אלו.
3. משלימים גרף עבור תדרים מ- $(-\infty)$ עד 0 , גרף זה סימטרי לגרף המקורי כלפי ציר x
4. במידה ומערכת מסוג n מוסיפים n חצאי מעגלים אינסופים בכוון השעון.

אם נציג את המערכת הבקרה בחוג פתוח בצורה הבאה:

$$GH_{(s)} = \frac{k}{s^n(s+a)(s+b)(s+c)\cdots}$$

n – סוג המערכת , מספר הקטבים בראשית

m – סדר המערכת, מספר הקטבים הכולל

לסוג המערכת (מספר הקטבים בראשית של החוג הפתוח) יש השפעה על צורת הדיאגרמה.

מערכת מסוג 0 ללא אפסים

מערכת מהצורה :

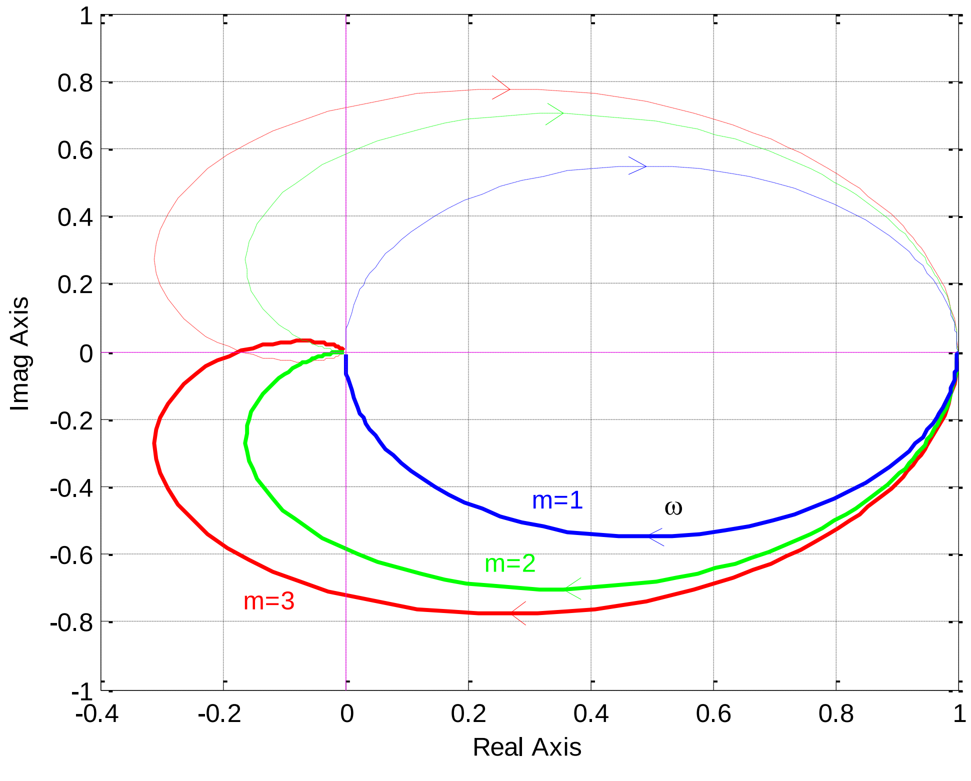
$$GH_{(j\omega)}=\frac{k}{(s+a)(s+b)(s+c)\cdots\cdot}\equiv\frac{k}{(j\omega+a)(j\omega+b)(j\omega+c)\cdots\cdot\cdot}$$

<u>בתדר –</u> $\omega=0$

הגודל הוא : $\left|GH_{(j\omega)}\right|=\frac{k}{a\cdot b\cdot c\cdots\cdot\cdot}=K_0$ והמופע - $\angle GH_{(j\omega)}=0°$

<u>בתדר –</u> $\omega=\infty$

הגודל הוא : $\left|GH_{(j\omega)}\right|=0$ והמופע - $\angle GH_{(j\omega)}=(-90°)\cdot m$ (m – מספר הקטבים)



מערכת מסוג 1 ללא אפסים

מערכת מהצורה :

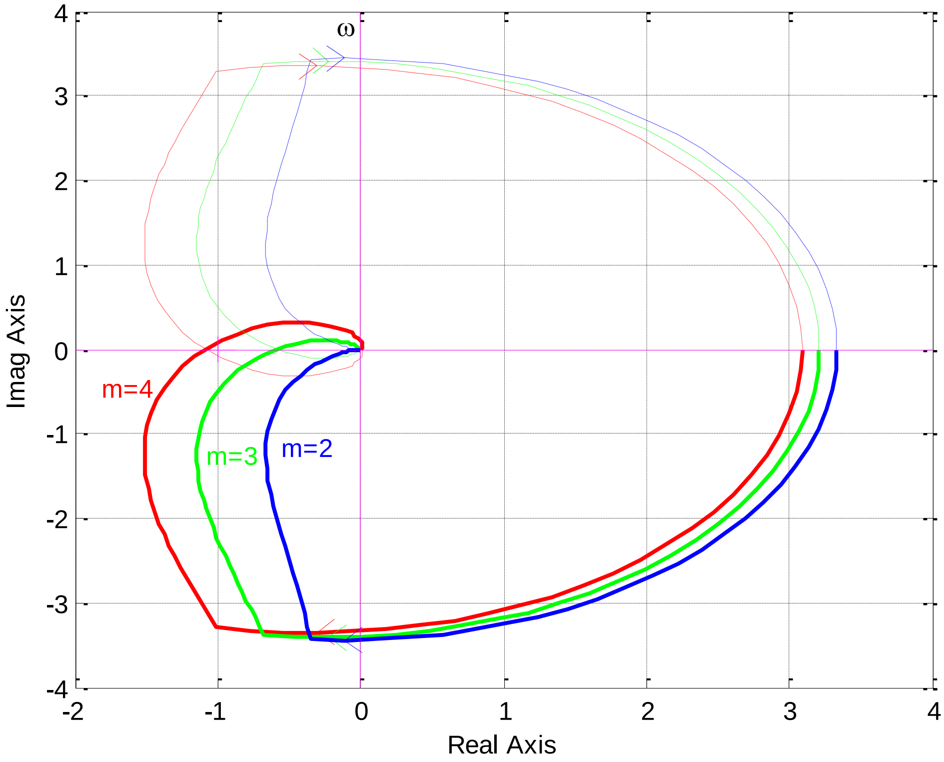
$$GH_{(j\omega)}=\frac{k}{s(s+a)(s+b)(s+c)\cdots}\equiv\frac{k}{j\omega(j\omega+a)(j\omega+b)(j\omega+c)\cdots}=\frac{K_1}{j\omega(1+j\omega T_1)(1+j\omega T_2)\cdots}$$

בתדר – $\omega=0$

הגודל הוא : $\left|GH_{(j\omega)}\right|=\infty$ והמופע - $\angle GH_{(j\omega)}=-90^\circ$

בתדר – $\omega=\infty$

הגודל הוא : $\left|GH_{(j\omega)}\right|=0$ והמופע - $\angle GH_{(j\omega)}=(-90^\circ)\cdot m$ (m – מספר הקטבים)



המערכת מסוג 1 ולכן משלימים חצי מעגל אינסופי

מערכת מסוג 2 ללא אפסים

מערכת מהצורה :

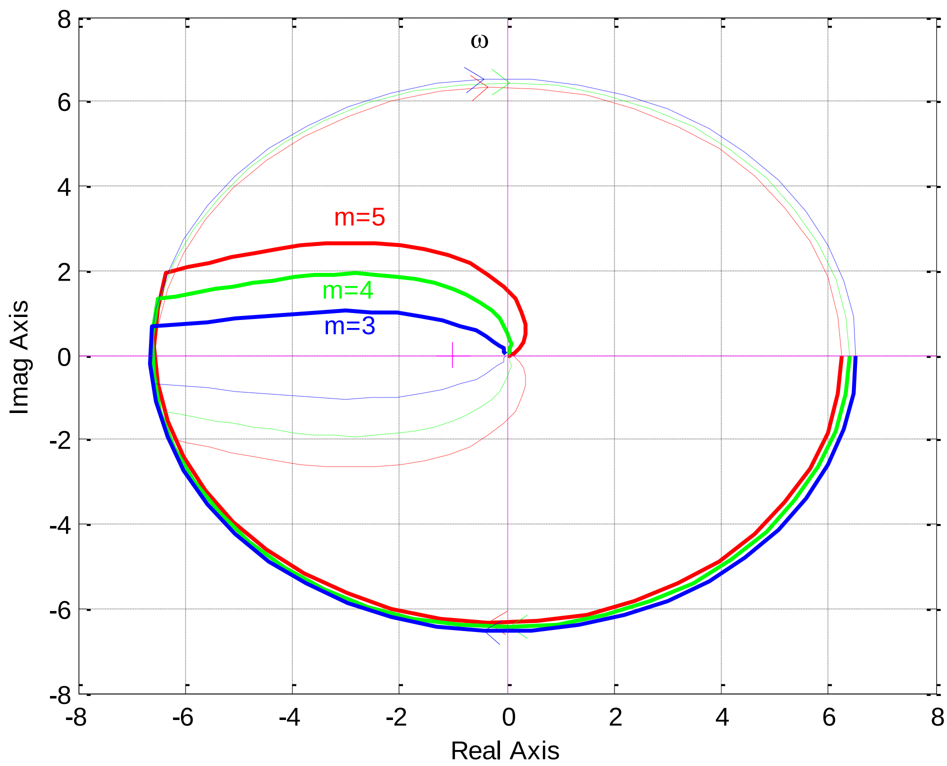
$$GH_{(j\omega)}=\frac{k}{s^2(s+a)(s+b)\cdots}\equiv\frac{k}{(j\omega)^2(j\omega+a)(j\omega+b)\cdots}=\frac{K_1}{(j\omega)^2(1+j\omega T_1)(1+j\omega T_2)\cdots}$$

בתדר – $\omega=0$

הגודל הוא : $\left|GH_{(j\omega)}\right|=\infty$ והמופע - $\angle GH_{(j\omega)}=-180^\circ$

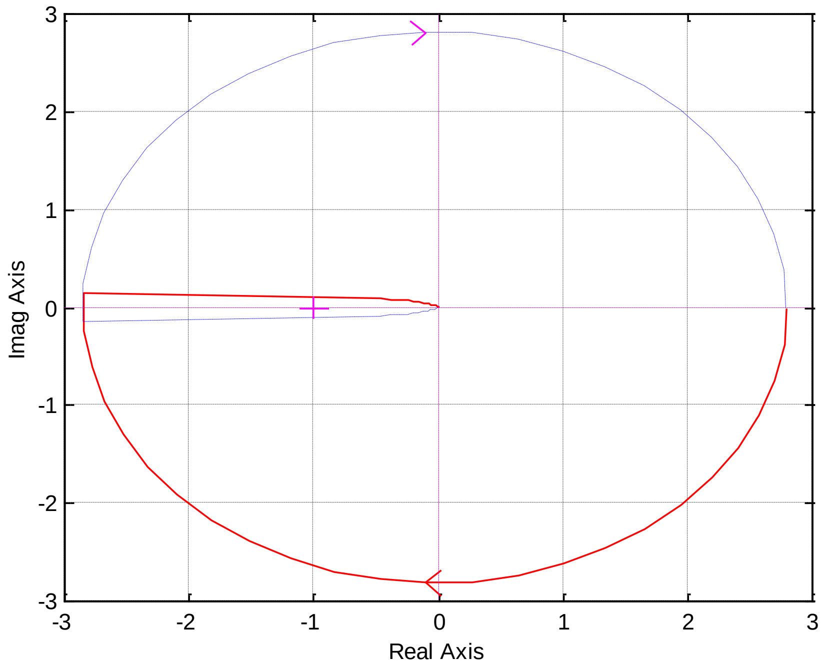
בתדר – $\omega=\infty$

הגודל הוא : $\left|GH_{(j\omega)}\right|=0$ והמופע - $\angle GH_{(j\omega)}=(-90^\circ)\cdot m$ (m – מספר הקטבים)



המערכת מסוג 2 ולכן משלימים 2 חצאי מעגל אינסופי

דוגמא למערכת מסוג 2 עם השלמה של 2 חצאי מעגל אינסופי



קריטריון היציבות של נייקויסט

לבדיקת היציבות בודקים שני גורמים:

- P - מספר הקטבים החיוביים של מערכת בחוג פתוח

לדוגמא: $GH_{(j\omega)} = \dfrac{k}{s(s+1)(s-1)(s+2)} \Rightarrow P=1$

- N – מספר ההקפות נגד כוון השעון סביב הנקודה (1-)

המערכת תהיה יציבה במידה ו – N=P

עודף הגבר – Gain Margin

מוצאים את התדר ω_{Π} בו המופע הוא $\angle GH_{(j\omega)} = -180°$

$\Downarrow$

מציבים את התדר ω_{Π} בפונקציית הגודל $\left|GH_{(j\omega\pi)}\right|$

$\Downarrow$

עודף ההגבר מוגדר: $GM = a = \dfrac{1}{\left|GH_{(j\omega\pi)}\right|}$

Phase Margin – עודף מופע

מוצאים את התדר ω_1 בו ההגבר הוא $\left|GH_{(j\omega\pi)}\right| = 1$

$\Downarrow$

מציבים את התדר ω_1 בפונקצית המופע $\angle GH_{(j\omega)}$

$\Downarrow$

עודף המופע מוגדר: $PM = 180^\circ + \angle GH_{(j\omega 1)}$