ממירי מתח ממותגים

דינאמיקה ובקרה של ממירים ממותגים – סיכום נקודות מרכזיות

$x(t)$	אות מקורי, למשל מתח או זרם במעגל
$\langle x(t)\rangle$	אות ממוצע על מחזור
X	אות ממוצע במצב יציב (נקודת העבודה של המעגל)
$\hat{x}(t)$	אות קטן, המייצג שינוי קטן של האות הממוצע $\langle x(t)\rangle$ בסביבה של נקודת העבודה X.

אות ממוצע שתלוי בזמן:

$$\langle x(t)\rangle = \frac{1}{T_s}\int_{t}^{t+T_s} x(\tau)\,d\tau$$

פירוק אות ממוצע לערכו בנקודת העבודה ואות קטן:

$$\langle x(t)\rangle = X + \hat{x}(t)$$

בסליל ובקבל הקשר בין אותות ממוצעים דומה לקשר שבין אותות רגעיים:

עבור קבל: $C\frac{d}{dt}\langle v(t)\rangle = \langle i(t)\rangle$

עבור סליל: $L\frac{d}{dt}\langle i(t)\rangle = \langle v(t)\rangle$

<u>בנית מודל דינאמי של ממיר ממותג</u>

הנחות:

- הממיר עובד ב – CCM.
- לאורך מחזור מיתוג האות הממוצע כמעט קבוע.
- האותות הרגעיים משולשים, או בעלי אדווה זניחה.

בחירת משתנים:

- סלילים מתוארים ע"י <u>הזרם הממוצע</u> לאורך מחזור.
- קבלים מתוארים ע"י <u>המתח הממוצע</u> לאורך מחזור.

רישום משוואות דיפרנציאליות:

בקבלים: $C\frac{d}{dt}\langle v(t)\rangle \approx d(t)\cdot\left(\langle i(t)\rangle \text{ in position } 1\right) + \left(1-d(t)\right)\cdot\left(\langle i(t)\rangle \text{ in position } 2\right)$

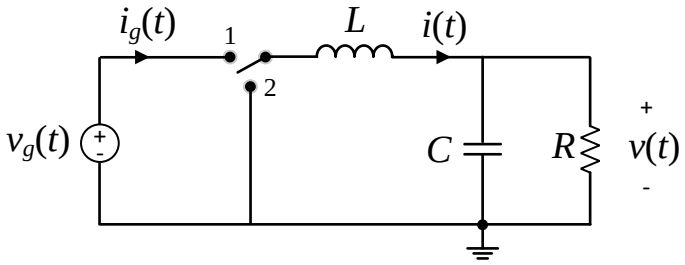
בסלילים: $L\frac{d}{dt}\langle i(t)\rangle \approx d(t)\cdot\left(\langle v(t)\rangle \text{ in position } 1\right) + \left(1-d(t)\right)\cdot\left(\langle v(t)\rangle \text{ in position } 2\right)$

חישוב מודל אות קטן (לפי המשוואות הלא ליניאריות של מודל האותות הממוצעים) :

- מחליפים כל מכפלה מהצורה $d\cdot\langle x\rangle$ בביטוי $D\hat{x}+X\hat{d}$
- מחליפים כל מכפלה מהצורה $(1-d)\cdot\langle x\rangle$ בביטוי $(1-D)\hat{x}-X\hat{d}$
- מחליפים את כל האותות הממוצעים שנשארו באותות קטנים: $\langle x\rangle \to \hat{x}$. קבועים שאינם חלק ממכפלה כלשהי יש לאפס.

המשתנים X, D הם האותות בנקודת העבודה.

<u>דינאמיקה של ממיר Buck</u>

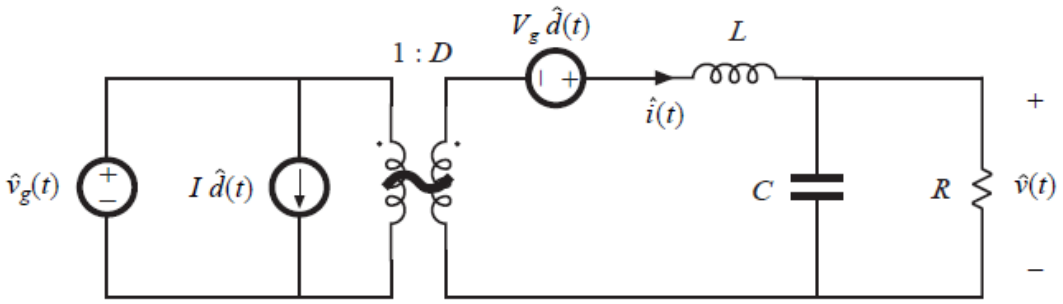


מודל אותות ממוצעים:

$$C\frac{d}{dt}\langle v\rangle \approx \langle i\rangle - \frac{1}{R}\langle v\rangle$$
$$L\frac{d}{dt}\langle i\rangle \approx d\cdot\langle v_g\rangle - \langle v\rangle$$
$$\langle i_g\rangle = d\,\langle i\rangle$$

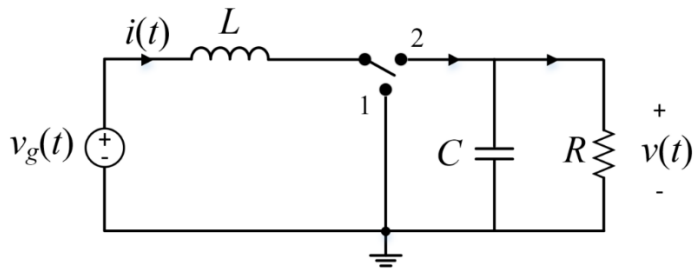
מודל אות קטן, בסביבה של נקודת העבודה:

$$C\frac{d}{dt}\hat{v} = \hat{i} - \frac{1}{R}\hat{v}$$
$$L\frac{d}{dt}\hat{i} = D\hat{v}_g + V_g\hat{d} - \hat{v}$$
$$\hat{i}_g = D\hat{i} + I\hat{d}$$



מעגל שקול המתאר את הדינאמיקה של ממיר Buck <u>באות קטן</u>, בסביבה של נקודת העבודה.

דינאמיקה של ממיר Boost



מודל אותות ממוצעים:

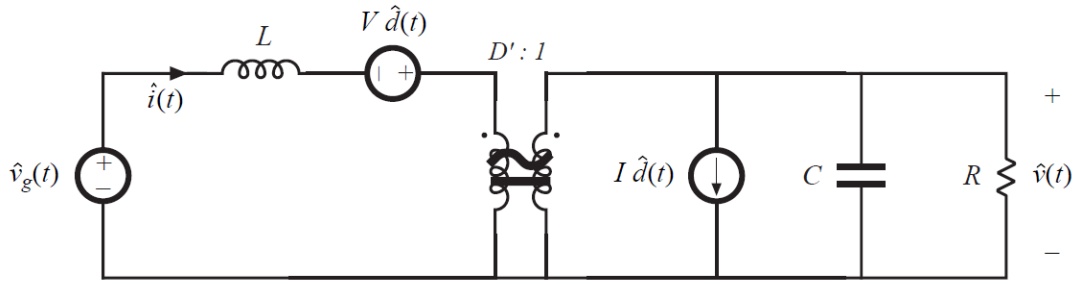
$$L\frac{d}{dt}\langle i\rangle = \langle v_g\rangle - (1-d)\langle v\rangle$$

$$C\frac{d}{dt}\langle v\rangle = -\frac{\langle v\rangle}{R} + (1-d)\langle i\rangle$$

מודל אות קטן, בסביבה של נקודת העבודה:

$$L\frac{d}{dt}\hat{i} = \hat{v}_g - (1-D)\hat{v} + V\hat{d}$$

$$C\frac{d}{dt}\hat{v} = -\frac{\hat{v}}{R} + (1-D)\hat{i} - I\hat{d}$$



מעגל שקול המתאר את הדינאמיקה של ממיר Boost באות קטן, בסביבה של נקודת העבודה.

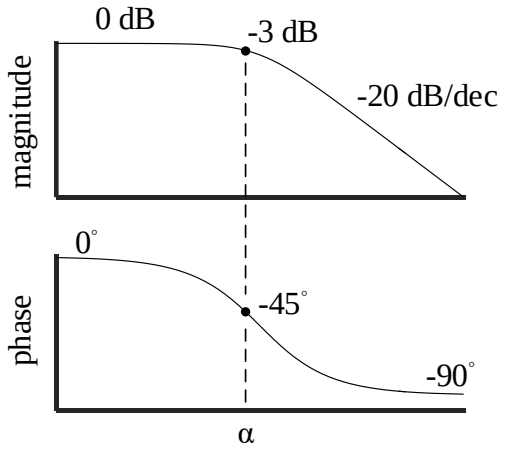
יציבות

היציבות של נקודת העבודה נקבעת לפי הקטבים של מערכת האותות הקטנים:

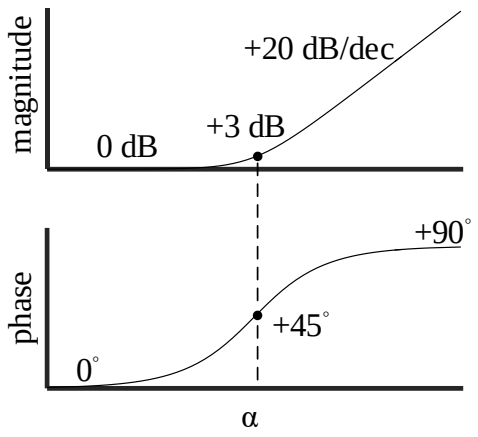
- נקודת העבודה יציבה אם כל הקטבים הם בצד שמאל של המישור המרוכב.
- נקודת העבודה אינה יציבה אם קיים קוטב בצד ימין של המישור המרוכב.
- אם קיים קוטב על הציר המדומה (חלק ממשי אפס), אז היציבות אינה מוגדרת היטב.

עקומי Bode של פונקציות תמסורת טיפוסיות

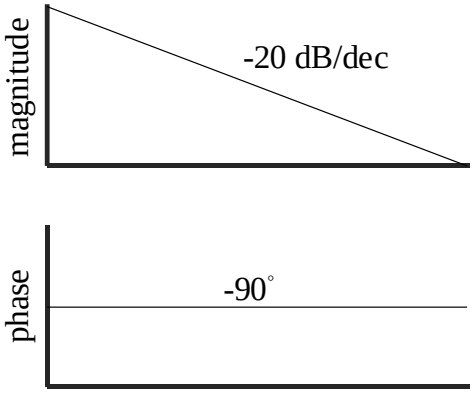
קוטב פשוט $G(s)=\dfrac{1}{1+\dfrac{s}{\alpha}}$



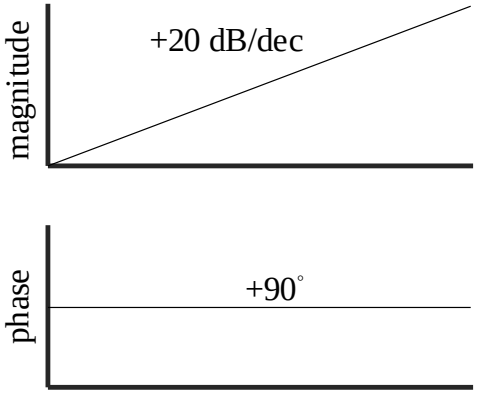
אפס פשוט $G(s)=1+\dfrac{s}{\alpha}$



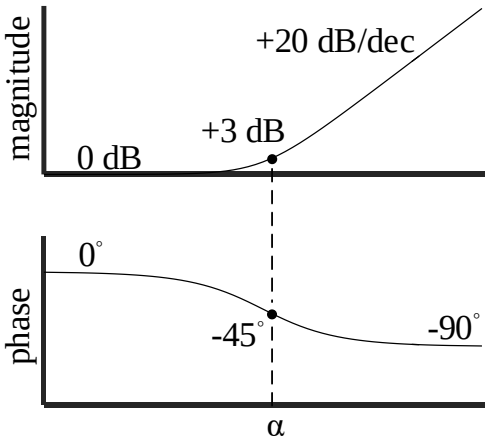
קוטב בראשית $G(s)=\dfrac{1}{s}$



אפס בראשית $G(s)=s$



אפס בצד ימין של המישור המרוכב $G(s)=1-\dfrac{s}{\alpha}$



<u>מבחן היציבות של בודה</u>

אם

א. הגבר החוג $T(s)$ הוא התמרת לפלס של תגובה להלם ממשית.

ב. הקטבים של $T(s)$ הם בצד שמאל של המישור המרוכב, פרט אולי לקוטב יחיד בראשית.

ג. הגבול $T(\infty)=\lim_{|s|\to\infty}T(s)$ קיים, וגם

a. $T(\infty)$ ממשי,

b. $-1<T(\infty)<1$

ד. לכל תדר ω שעבורו $\measuredangle T(j\omega)=-180^\circ+360^\circ n$ מתקיים $|T(j\omega)|<1$.

אזי מערכת האותות הקטנים יציבה, ולכן גם נקודת העבודה יציבה.

אם בנוסף ל- (א) – (ג) מתקיימים התנאים

ה. ההגבר $|T(j\omega)|$ והפאזה $\angle T(j\omega)$ של הגבר החוג הן פונקציות מונוטוניות יורדות.

ו. $\lim_{\omega\to 0}\angle T(j\omega)$ שווה ל- $-90^\circ, +90^\circ$ או 0°.

אזי מגדירים

Gain Margin (GM):

$$\mathrm{GM}=0\,dB-|T|_{\mathrm{dB}} \text{ at } \omega \text{ such that } \angle T(j\omega)=-180^\circ$$

(1)

Phase Margin (PM):

$$\mathrm{PM}=\angle T-\left(-180^\circ\right) \text{ at } \omega \text{ such that } |T(j\omega)|=0\text{ dB}$$

הערות:

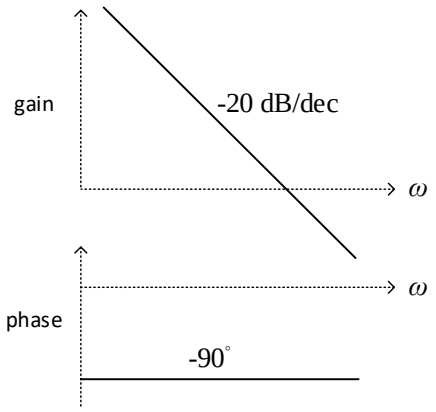
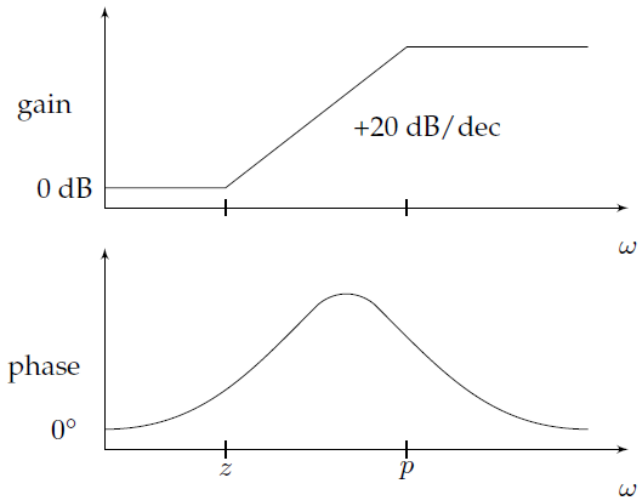
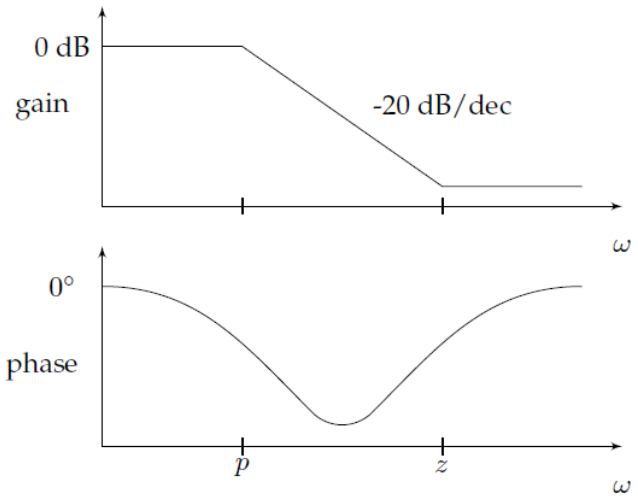
- אם הפאזה $\angle T(j\omega)$ אינה חותכת את -180° נהוג להגדיר $\mathrm{GM}=\infty$.
- אם ההגבר $|T(j\omega)|$ אינו חותך את 0 dB נהוג להגדיר $\mathrm{PM}=\infty$.

אם מתקיימים (א) – (ג), (ה), (ו) אזי

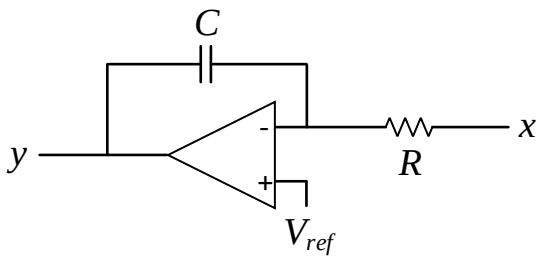
- אם $\mathrm{GM}>0$ וגם $\mathrm{PM}>0$ אזי נקודת העבודה <u>יציבה</u>.
- אם $\mathrm{GM}<0$ או $\mathrm{PM}<0$ אזי נקודת העבודה <u>חשודה באי יציבות</u> (ובמערכות מעשיות לרוב אינה יציבה).

תחת התנאים שהגדרנו, אם ה – GM חיובי גם ה – PM חיובי, ולהפך.

אלמנטים המשמשים לקיזוז חוג משוב אנלוגי

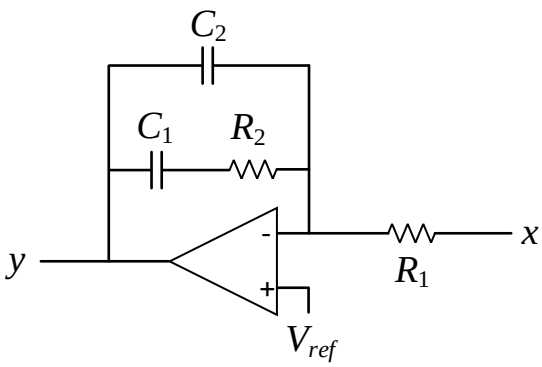
אינטגרטור $1/s$	
רשת קידום פאזה $\frac{1+\frac{s}{z}}{1+\frac{s}{p}}$ with $z < p$	
רשת פיגור פאזה $\frac{1+\frac{s}{z}}{1+\frac{s}{p}}$ with $z > p$	

Gain + Integrator



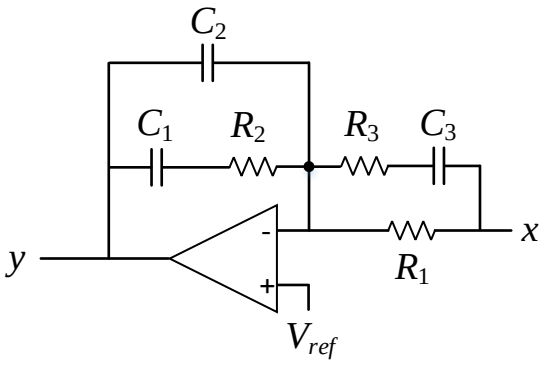
$$\frac{\hat{y}(s)}{\hat{x}(s)} = \underbrace{-\frac{1}{CR}}_{\text{gain}} \cdot \underbrace{\frac{1}{s}}_{\text{integrator}}$$

Gain + Integrator + Lead Compensator



$$\frac{\hat{y}(s)}{\hat{x}(s)} = \underbrace{-\frac{1}{R_1(C_1+C_2)}}_{\text{gain}} \cdot \underbrace{\frac{1}{s}}_{\text{integrator}} \cdot \underbrace{\frac{1+R_2C_1s}{1+R_2\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}s}}_{\text{Lead compensator}}$$

Gain + Integrator + 2 x (Lead Compensator)



$$\frac{\hat{y}(s)}{\hat{x}(s)} = \underbrace{-\frac{1}{R_1(C_1+C_2)}}_{\text{gain}} \cdot \underbrace{\frac{1}{s}}_{\text{integrator}} \cdot \underbrace{\frac{1+R_2C_1s}{1+R_2\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}s}}_{\text{Lead compensator}} \cdot \underbrace{\frac{1+(R_1+R_3)C_3s}{1+R_3C_3s}}_{\text{Lead compensator}}$$