

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשפ"ב, 2022

סמל השאלון: 711913

נספחים: א. נספח לשאלה 2

ב. מילון מונחים

ג. נוסחאון במערכות בקרה

לכיתה י"ד

ד. נוסחאון בתקשורת מחשבים

לכיתה י"ד

מערכות תקשורת ובקרה ה'

למתמחים במערכות אלקטרוניות במגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים

(כיתה י"ד)

הוראות לנבחן

- א. משך הבחינה: ארבע שעות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שמונה שאלות.
יש להשיב על ארבע שאלות בלבד.
לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.
- ג. חומר עזר מותר בשימוש: מחשבון, וכן כל חומר הכתוב (בכתב יד או בהדפסה) על שלושה דפי A4 הכתובים משני הצדדים.
- ד. הוראות מיוחדות:
 1. ענו על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברת, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 2. התחילו כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
 3. כתבו את כל התשובות אך ורק בעט.
 4. הקפידו לנסח את התשובות כהלכה ולסרטט את התרשימים בבהירות.
 5. כתבו את התשובות בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
 6. אם לדעתכם חסר נתון, הוסיפו אותו על-פי שיקול דעתכם ופתרו בעזרתו את השאלה. כתבו בתשובות את הנתון שהוספתם.
 7. בכתבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם כתובים:
 - * כתיבת הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * כתיבת התוצאה המתקבלת, ולצדה יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
 8. בנספח ב' לשאלון זה מובא מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכלו להיעזר בו בעת הצורך.
 9. צרפו את שלושת דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

בשאלון זה 9 עמודים ו-28 עמודי נספחים.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

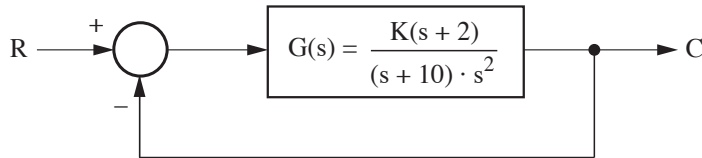
השאלות

ענו על ארבע מבין השאלות 1-8 (לכל שאלה – 25 נקודות).

מערכות בקרה

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון תרשים של מערכת בקרה בעלת משוב יחידה.



איור לשאלה 1

8 נק') א. מצאו את ערכי הקטבים ואת ערך האפס של המערכת בחוג הפתוח.

12 נק') ב. סרטטו את תרשים המג"ש של מערכת הבקרה. בסרטוט יש לכלול:

– את ערכי הקטבים ואת ערך האפס.

– את האסימפטוטות – (זווית ומרכז).

– את נקודת החיתוך עם הציר המדומה.

5 נק') ג. האם הנקודה $S = -3 + j$ נמצאת על המג"ש? נמקו את התשובה.

שאלה 2

בנספח א' לשאלה 2 נתונים גרפי בודה בחוג פתוח של מערכת בקרה בעלת משוב יחידה הפועלת בחוג סגור.

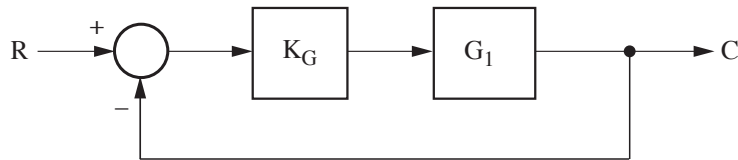
(10 נק') א.

1. מצאו בקירוב, מתוך הגרפים שבנספח, את עודף ההגבר ואת עודף המופע של המערכת. כתבו את התשובה במחברת.

2. האם מערכת בקרה זו יציבה? נמקו את התשובה.

(10 נק') ב. מצאו את פונקציית התמסורת בחוג הפתוח של המערכת, $G_1(s)$.

למערכת הבקרה הזאת הוסיפו מגבר, K_G , כמתואר באיור לשאלה 2.

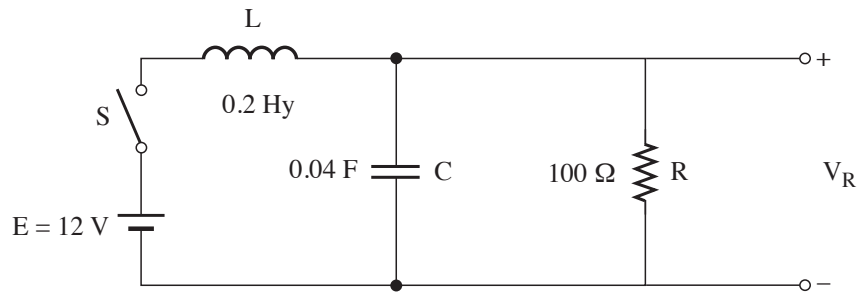


איור לשאלה 2

(5 נק') ג. חשבו את ערכו של K_G שעבורו המערכת תהיה על סף יציבות.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי.



איור לשאלה 3

המפסק S היה פתוח זמן רב, ובזמן $t = 0$ סוגרים אותו.

(10 נק') א.

1. כתבו ביטוי המתאר את פונקציית התמסורת: $\frac{V_R}{E}(s)$. (8 נק')

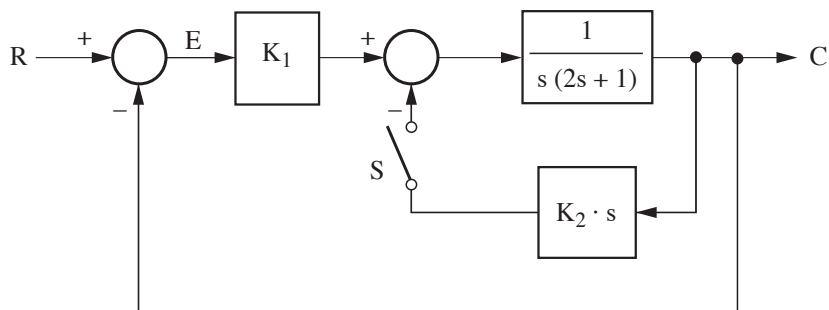
2. קבעו את הסדר של פונקציית התמסורת. (2 נק')

ב. (8 נק') כתבו ביטוי במישור לפלס עבור המתח על הנגד $V_R(s)$.

ג. (7 נק') השתמשו במשפט הערך הסופי, ומצאו את מתח הנגד במצב המתמיד.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר תרשים מלבנים של מערכת עקיבה לשינויים בערך הרצוי.



איור לשאלה 4

נתון: $K_1 > 0$, $K_2 > 0$

המפסק S פתוח:

(5 נק') א. כתבו ביטוי המתאר את פונקציית התמסורת של המערכת בחוג פתוח.

(8 נק') ב. מספקים למערכת את אות המבוא $x(t) = 2t$. חשבו את ערכו של K_1 כך ששגיאת המערכת במצב המתמיד תקיים את התנאי: $e(t \rightarrow \infty) = 0.8$.

נתון: $K_1 = 3$

סוגרים את המפסק:

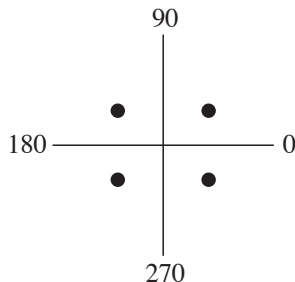
(7 נק') ג. כתבו ביטוי המתאר את פונקציית התמסורת של המערכת בחוג הפתוח.

(5 נק') ד. מספקים למערכת את אות המבוא $x(t) = 2t$. חשבו את ערכו של K_2 כך ששגיאת המערכת במצב המתמיד תקיים את התנאי: $e(t \rightarrow \infty) = 0.8$.

תקשורת מחשבים

שאלה 5

- א. (5 נק') כתבו יתרון אחד וחסרון אחד שיש לכל אחת משיטות הקידוד האלה: Manchester, NRZ, RZ.
- ב. (5 נק') תארו את פעולת הקוד 4B / 5B, וציינו איזו בעיה קוד זה פותר.
- ג. (5 נק') באילו משיטות הקידוד, Manchester או NRZI, משתמשים בקוד 4B / 5B? נמקו את התשובה.
- ד. (5 נק') להלן אות מידע ספרתי: 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1. סרטטו את צורת האות כפונקצייה של הזמן, כשהוא מקודד בכל אחת משיטות הקידוד האלה: Manchester ו-RZ דו קוטבי (ללא שימוש בקוד 4B / 5B).
- ה. (5 נק') באיור לשאלה 5 נתון צירוף של נקודות מידע במקומות האלה: $(-1, -1)$, $(-1, 1)$, $(1, -1)$, $(1, 1)$.



איור לשאלה 5

מצאו לכמה סיביות בשנייה יכול מודם עם הנתונים האלה להגיע כאשר הוא משדר בקצב של 1,200 סמלים לשנייה.

שאלה 6

נתון קוד לדף אינטרנט בשפת HTML.

```
1. <html>
2.     <head>
3.         <title>HTML Page</title>
4.     </head>
5.     <body>
6.         <h1>Table</h1>
7.         <table border="1">
8.             <tr>
9.                 <td>link:</td>
10.                <td><a href="https://www.google.com/search?q=html">google</a></td>
11.            </tr>
12.            <tr>
13.                <td colspan="2">HyperText Markup Language</td>
14.            </tr>
15.        </table>
16.    </body>
17. </html>
```

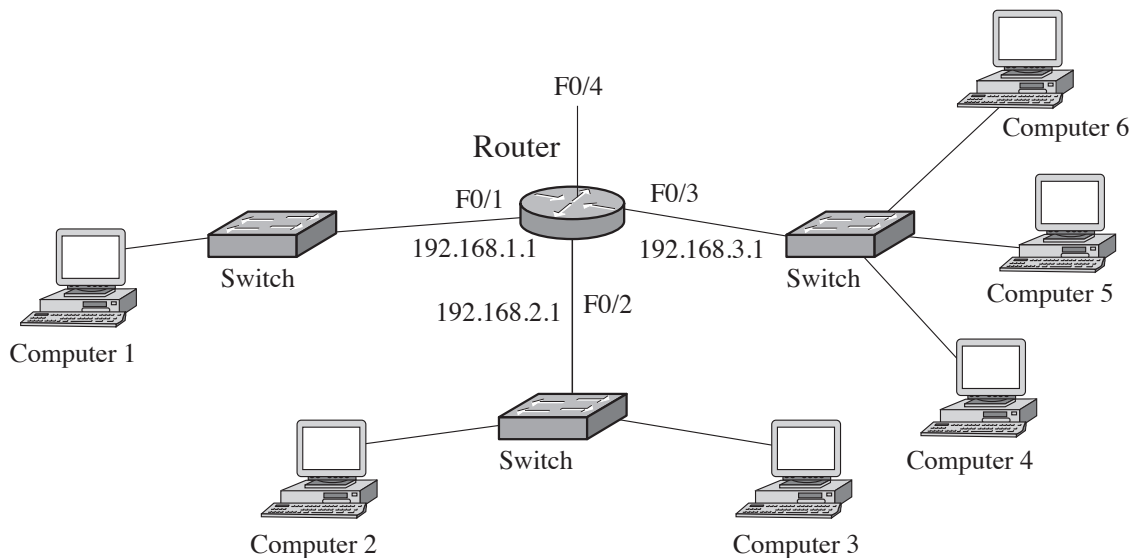
9 נק') א. סרטטו את פלט הקוד שיתקבל בדפדפן של צד הלקוח.

8 נק') ב. בשורה 10 בקוד מוצגת כתובת URL. הסבירו כל אחד ממרכיבי הכתובת.

8 נק') ג. מחשבים מזוהים ברשת באמצעות כתובת IP. הביאו דוגמה לכתובת IP, ותארו כיצד מתבצע תהליך ההמרה של כתובת URL, כמו זו הנתונה בשורה 10, לכתובת IP.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתוארת רשת תקשורת, הכוללת נתב, שלושה מתגים ושישה מחשבים.



איור לשאלה 7

6 נק' א. העתיקו למחברת הבחינה את טבלת הכתובות שלפניכם והשלימו אותה.

subnet mask (מסכת תת-רשת)	כתובת הנתב	Interface (ממשק)
		F0/1
		F0/2
		F0/3

6 נק' ב. קבעו כתובת IP מתאימה לכל אחד מששת המחשבים ברשת.

6 נק' ג. כמה מחשבים אפשר לחבר לכל אחת מנקודות הקצה? נמקו את התשובה.

7 נק' ד. רוצים לחבר לרשת זו רשת נוספת, הכוללת עשרה מחשבים. הציעו דרך לעשות זאת, ועדכנו את טבלת הכתובות לפי הצורך.

שאלה 8

בערוץ תקשורת, הפועל ברוחב פס של 4 kHz, משודר אות ספרתי בעל ארבע רמות מתח.

(9 נק') א. מהו הקצב המרבי של העברת נתונים בערוץ זה, אם נתון שאין רעש בקו?

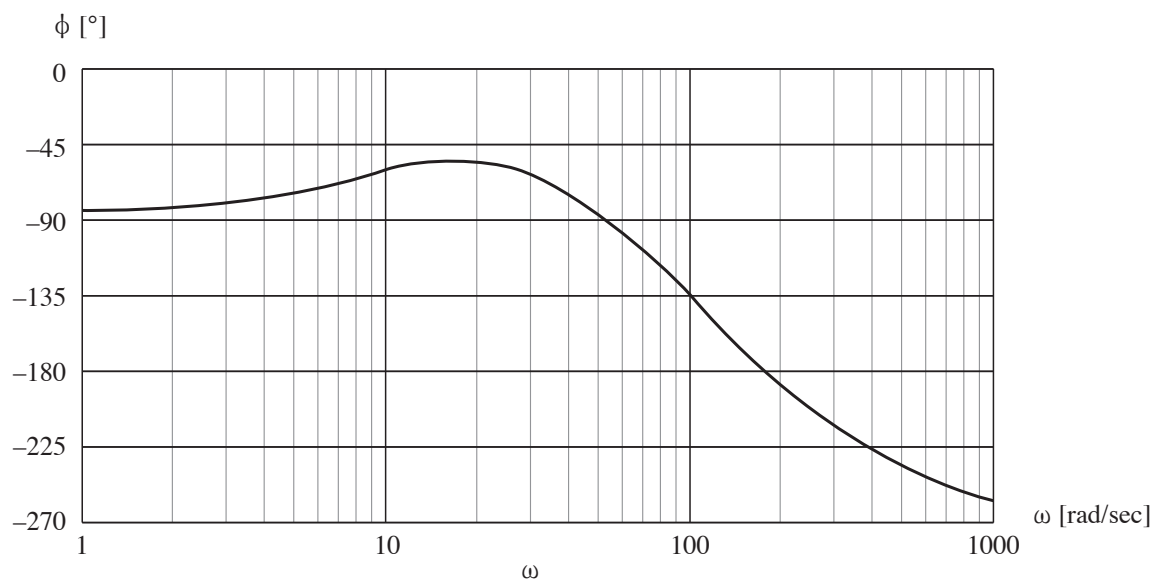
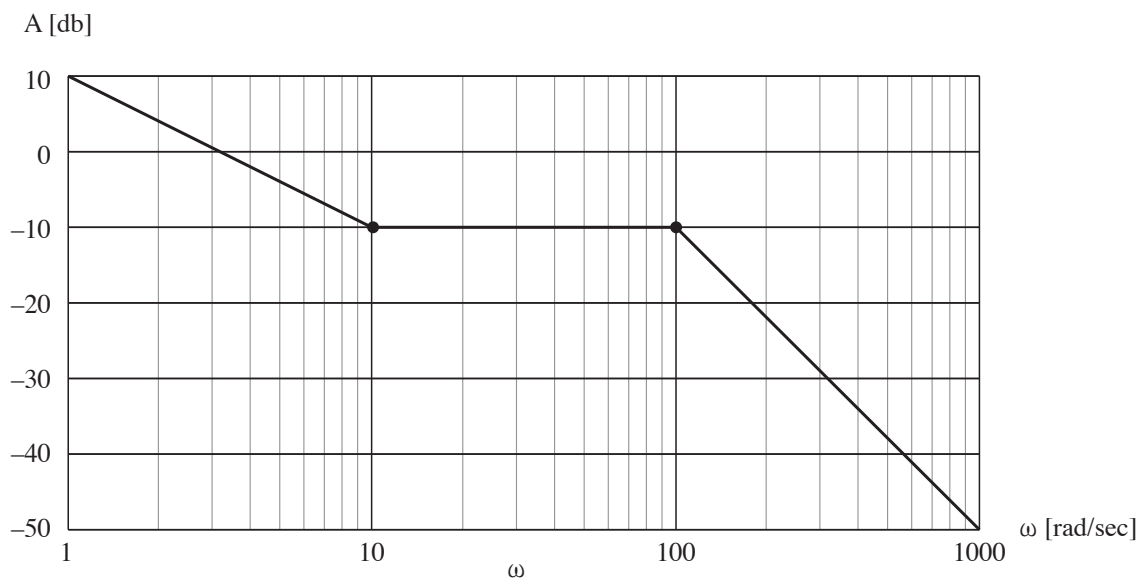
(8 נק') ב. מה יהיה הקצב המרבי של העברת מידע בערוץ זה, אם נתון שיחס אות לרעש בערוץ הוא 30 dB ?

(8 נק') ג. מעוניינים להוסיף מנגנון לזיהוי שגיאות למערכת תקשורת טורית, ומחליטים להשתמש בשיטת CRC-8 עם הפולינום הזה: $X^8 + X^2 + X^1 + 1$. בנו מעגל סכמתי לחישוב הפולינום הבנוי מאוגרי הזזה ומשערי XOR.

בהצלחה!

נספח א' לשאלה 2

לשאלון 711913, אביב תשפ"ב



נספח ב': מילון מונחים

לשאלון 711913, אביב תשפ"ב

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
input signal	Входной сигнал	إشارة الدخل	אות מברא
Bode plots	График Бодэ	مُخطَّطات (بوده)	גרפי בודה
power	Мощность	الطاقة	הספק
open loop	Схема без обратной связи	حلقة مفتوحة	חוג פתוח
velocity unit	Скоростной блок, Блок скорости	وحدة سرعة	יחידת מהירות
acceleration unit	Ускорительный блок	وحدة تسارع	יחידת תאוצה
stable	Устойчивый (стабильный)	مستقر	יציבה
RL – Root Locus	Геометрическое положение корней	المكان الهندسي للجذور	מג"ש – מקום גיאומטרי של שורשים
step unit	Шаговый блок	درجة وحدة	מדרגת יחידה
receiver	Приемник	مُستقبل	מקלט
transmitter	Передатчик	جهاز الإرسال	משדר
unit feedback	Единичная обратная связь	تغذية مرتدة (راجعة) أحادية	משוב יחידה
gain margin	Чрезмерное усиление	زيادة التضخم	עודף הגבר
phase margin	Перефазировка	زيادة الطور	עודף מופע
transmission function	Передаточная функция	دالة النقل	פונקציית תמסורת
error	ошибка	خطأ	שגיאה
substance, medium	Пространство, эфир	وسط	תווך

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

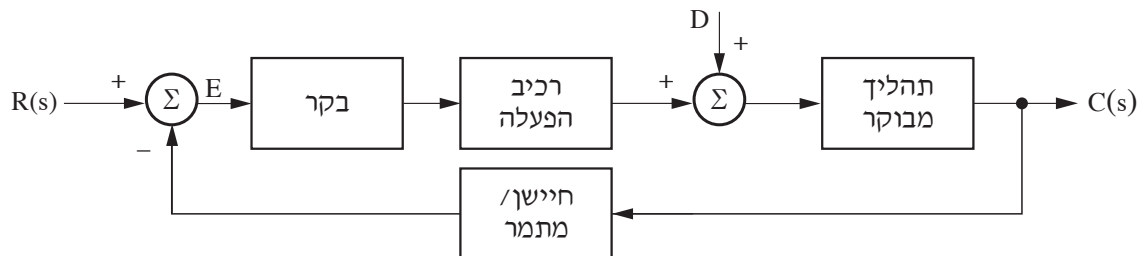
נוסחאון במערכות בקרה לכיתה י"ד

התמחות מערכות אלקטרוניות

(20 עמודים)

הגדרות ותרשים מלבנים

מבנה כללי של מערכת בקרה בחוג סגור:



בקר – מווסת את אות המוצא על-ידי שליטה בהתקן המבוקר.

רכיב הפעלה – מפעיל את ההתקן המבוקר.

תהליך מבוקר – התהליך שאותו מבקרת כל המערכת.

חיישן / מתמר – רכיב המודד את הערך המצוי ומספק אות ייחוס.

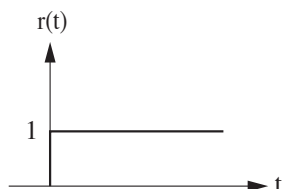
R – ערך רצוי

E – שגיאת המערכת

C – ערך מצוי

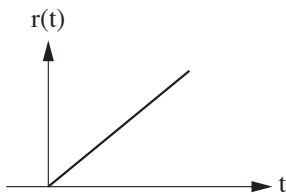
D – הפרעה

אות מדרגת יחידה (Unit step) :



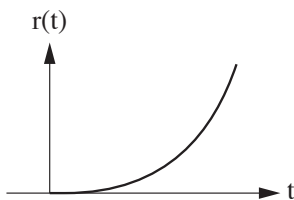
$$r(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

אות ריצה (Ramp) (אות שיפוע יחידה, מהירות):



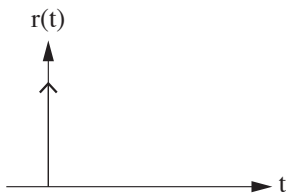
$$r(t) = \begin{cases} t, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

אות תאוצה – פרבולה:



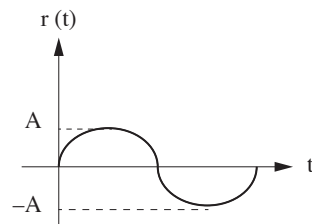
$$r(t) = \begin{cases} \frac{t^2}{2}, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

אות הלם (impulse):



$$r(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases}$$

אות סינוס:



$$r(t) = A \sin(\omega t + \phi)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{זמן מחזור:}$$

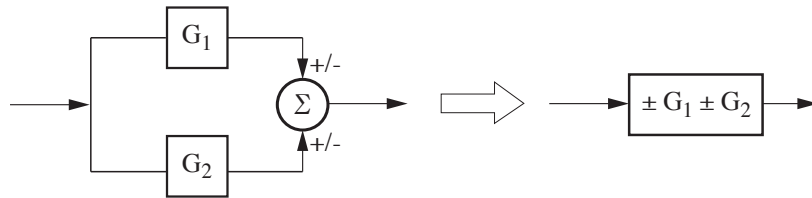
$$A \quad \text{משרעת:}$$

כללים לחישוב פונקציית תמסורת שקולה של מערכת:

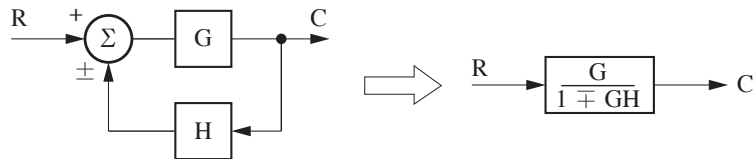
מלבנים בטור



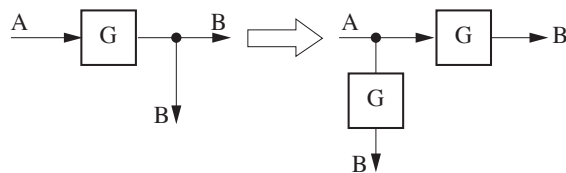
מלבנים במקביל בעלי אותות הזורמים לאותו כיוון



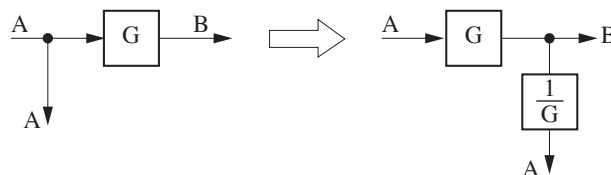
מלבנים במקביל בעלי אותות הזורמים לכיוונים מנוגדים - משוב



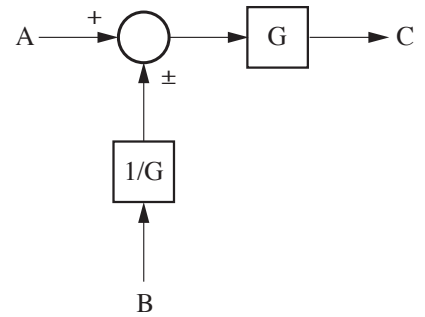
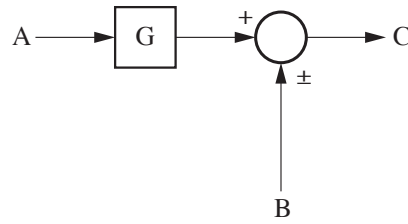
העתקת נקודת צומת מנקודה שאחרי מלבן לנקודה שלפניו



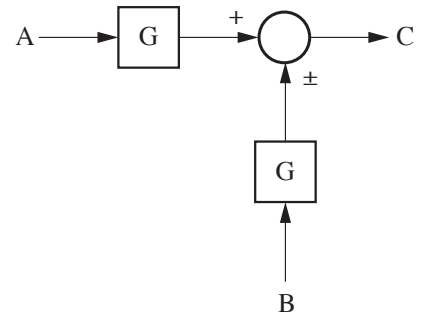
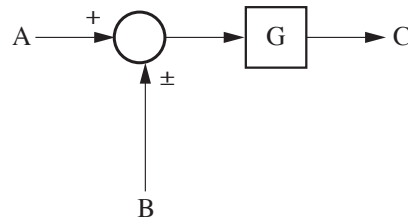
העתקת נקודת צומת מנקודה שלפני מלבן לנקודה שאחריו



העברת מסכם מאחרי מלבן ללפני



העברת מסכם מלפני מלבן לאחרי



התמרות לפלס

תכונות כלליות:

הגדרות ההתמרה

זמן $f(t)$

לפלס $F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t) e^{-s \cdot t} dt$

ליניאריות וסופרפוזיציה

זמן $a_1 f_1(t) + \dots + a_n f_n(t)$

לפלס $a_1 F_1(s) + \dots + a_n F_n(s)$

התמרת הנגזרת (סדר ראשון)

זמן $\frac{df}{dt} = f'(t)$

לפלס $sF(s) - f(0)$

התמרת הנגזרת (סדר שני)

זמן $\frac{d^2 f}{dt^2} = f''(t)$

לפלס $s^2 F(s) - sf(0) - f'(0)$

משפט הערך ההתחלתי:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} sF(s) = \lim_{t \rightarrow 0} f(t)$$

משפט הערך הסופי:

$$\lim_{s \rightarrow 0} sF(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$$

ההגבר הסטטי של מערכת:

$$K = \lim_{s \rightarrow 0} G(s)$$

פירוק לשברים חלקיים:

דוגמה למקרה 1 – שורשים ממשיים ושונים

$$F(s) = \frac{2s+1}{s(s+1)(s+4)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+1} + \frac{C}{s+4}$$

דוגמה למקרה 2 – שורשים ממשיים שווים

$$F(s) = \frac{1}{(s+1)(s+4)^2} = \frac{A}{s+1} + \frac{B}{(s+4)^2} + \frac{C}{s+4}$$

דוגמה למקרה 3 – עם שורשים מרוכבים

$$F(s) = \frac{1}{(s+1)(s^2+2s+5)} = \frac{A}{s+1} + \frac{Bs+C}{s^2+2s+5}$$

מעגלים חשמליים

רכיב	מישור הזמן	מישור לפלס
נגד R – חוק אום	$u(t) = i(t) \cdot R$	$U(s) = I(s) \cdot R$
סליל L – חוק לנץ	$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$	$U(s) = I(s) \cdot (sL)$
קבל – חוק פרדיי	$u(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i(t) dt$	$U(s) = I(s) \cdot \left(\frac{1}{sC} \right)$

טבלת התמורות לפלס		
	$F(s)$	$f(t)$ $t \geq 0$
1.	1	$\delta(t)$ הלם של יחידה בזמן $t_0 = 0$
2.	$\frac{1}{s}$	1 or $u(t)$ מדרגת יחידה המתחילה בזמן $t_0 = 0$
3.	$\frac{1}{s^2}$	t שיפוע של יחידה
4.	$\frac{1}{s^n} \cdot (n-1)!$	t^{n-1} חיובי שלם n
5.	$\frac{1}{s+a}$	e^{-at}
6.	$\frac{1}{(s+a)^n} \cdot (n-1)!$	$t^{n-1} e^{-at}$ חיובי שלם n
7.	$\frac{1}{s(s+a)}$	$\frac{1}{a}(1 - e^{-at})$

טבלת התמורות לפלס		
	$F(s)$	$f(t)$ $t \geq 0$
8.	$\frac{1}{s(s+a)(s+b)}$	$\frac{1}{ab} \left[1 - \frac{b}{b-a} e^{-at} + \frac{a}{b-a} e^{-bt} \right]$ $a \neq b$
9.	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\sin(\omega t)$
10.	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\cos(\omega t)$
11.	$\frac{s + \alpha}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}{\omega} \sin(\omega t + \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha}$
12.	$\frac{1}{s(s^2 + \omega^2)}$	$\frac{1}{\omega^2} (1 - \cos \omega t)$
13.	$\frac{s + \alpha}{s(s^2 + \omega^2)}$	$\frac{\alpha}{\omega^2} - \frac{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}{\omega^2} \cos(\omega t + \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha}$
14.	$\frac{1}{(s+a)(s^2 + \omega^2)}$	$\frac{e^{-at}}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega \sqrt{a^2 + \omega^2}} \sin(\omega t + \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{a}$
15.	$\frac{1}{(s+a)^2 + b^2}$	$\frac{1}{b} e^{-at} \sin(bt)$
16.	$\frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$	$\frac{1}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t)$
17.	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + b^2}$	$e^{-at} \cos(bt)$
18.	$\frac{s+\alpha}{(s+a)^2 + b^2}$	$\frac{\sqrt{(\alpha-a)^2 + b^2}}{b} e^{-at} \sin(bt + \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{b}{\alpha - a}$
19.	$\frac{1}{s[(s+a)^2 + b^2]}$	$\frac{1}{a^2 + b^2} + \frac{1}{b \sqrt{a^2 + b^2}} e^{-at} \sin(bt - \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{b}{-a}$
20.	$\frac{1}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}$	$\frac{1}{\omega_n^2} - \frac{1}{\omega_n^2 \sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \phi)$ $\phi = \cos^{-1} \zeta$

מעגלים מסדר 1 ו-2

מערכות מסדר ראשון:

משוואה דיפרנציאלית אופיינית:

$$\tau \cdot y'(t) + y(t) = K \cdot x(t)$$

τ – קבוע הזמן של המערכת.

K – ההגבר הסטטי של המערכת.

y – מוצא

x – כניסה

פונקציית תמסורת אופיינית:

$$G(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{K}{\tau \cdot S + 1}$$

התגובה בזמן לאות מדרגה בגודל A :

$$y(t) = K \cdot A \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

הערה: תנאי התחלה שווים ל-0.

מערכות מסדר שני:

משוואה דיפרנציאלית אופיינית:

$$y''(t) + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot y'(t) + \omega_n^2 \cdot y(t) = K \cdot \omega_n^2 \cdot x(t)$$

ζ – מקדם הריסון, מנת הריסון.

ω_n – תדירות טבעית בלתי מרוסנת.

K – ההגבר הסטטי של המערכת.

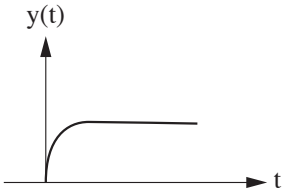
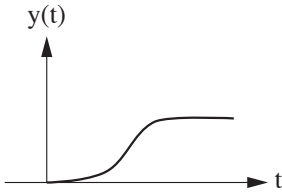
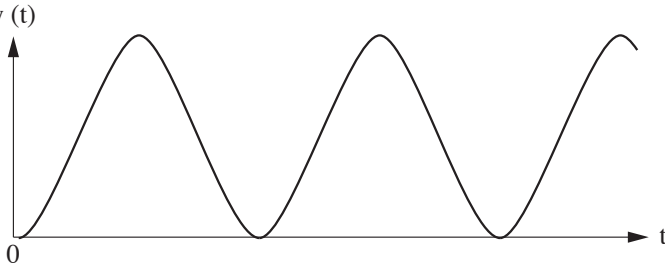
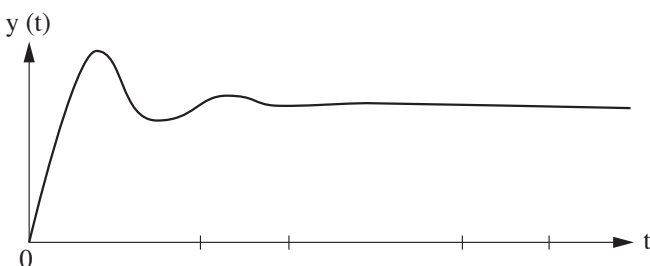
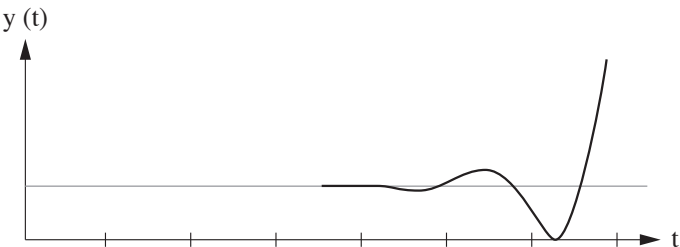
פונקציית תמסורת אופיינית:

$$G(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{K \cdot \omega_n^2}{S^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot S + \omega_n^2}$$

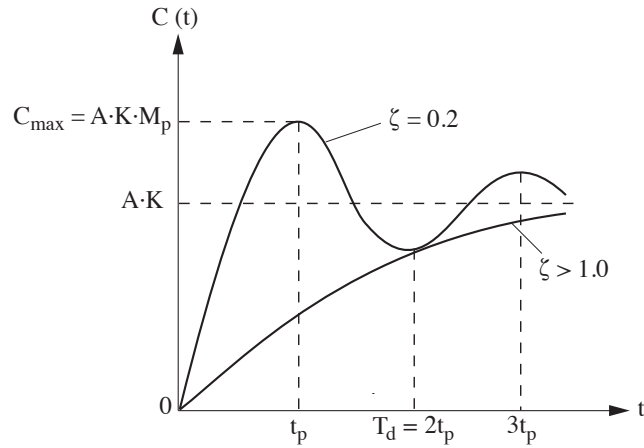
שורשי המשוואה האופיינית:

$$S_{1,2} = -\zeta \cdot \omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1}$$

התגובה בזמן לאות מדרגה

ריסון קריטי	ריסון יתר
$\zeta = 1$ - שני שורשים ממשיים שליליים שווים: $S_{1,2} = -\omega_n$ - תיאור גרפי 	$\zeta > 1$ - שני שורשים ממשיים שליליים שונים: $S_{1,2} = -\zeta \cdot \omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1}$ - תיאור גרפי 
אי-ריסון	תת-ריסון
$\zeta = 0$ - המערכת בלתי מרוסנת, שורשי המשוואה מדומים ולכן יש תנודות לא מתרסנות והמערכת על סף יציבות. $s_1, s_2 = \pm j\omega_n$ - תיאור גרפי 	$0 < \zeta < 1$ - המערכת בעלת תת-ריסון, שורשי המשוואה מרוכבים ולכן יש תנודות מתרסנות והמערכת יציבה. $s_1, s_2 = -\zeta \cdot \omega_n \pm j\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$ - תיאור גרפי 
$-1 < \zeta < 0$ - השורשים מרוכבים, המערכת מתבדרת עם תנודות ואינה יציבה. - תיאור גרפי 	

תגובת המערכת עם הגבר סטטי של K עבור כניסת מדרגת A בתלות הריסון



• נוסחאות:

$$M_p = 1 + e^{-\left(\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)}$$

$$C_{\max} = \left(1 + e^{-\left(\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)}\right) \cdot KA$$

$$O.S = e^{-\left(\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{t_d}{2}$$

$$t_d = \frac{2\pi}{\omega_d} = 2 \cdot t_p$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2} = \frac{2\pi}{t_d}$$

$$\omega_n = \frac{\pi}{t_p \sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$\tau = \frac{1}{\zeta\omega_n}$$

$$t_{ss} = 5\tau = \frac{5}{\zeta\omega_n}$$

חישוב מקדם הריסון מתוך תגובת היתר

$$\zeta = \frac{|\ln(M_p - 1)|}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2(M_p - 1)}}$$

• פירוט:

Overshoot O.S – ההפרש בין הערך המרבי של תגובת היתר לבין הערך הרצוי.

M_p – הערך המרבי של תגובת היתר

t_p [sec] – זמן תגובת היתר המרבית

t_d [sec] – זמן המחזור של התנודה המתרסנת

t_{ss} [sec] – זמן ההתייצבות של התגובה

$\omega_d \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ – התדירות הזוויתית של התנודה המרוסנת

$\omega_n \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ – תדירות הזוויתית הטבעית

τ [sec] – קבוע הזמן של המערכת

$C_{\max}$ – הערך המרבי של תגובת המערכת

שגיאות במערכות בקרה

פונקציית התמסורת של השגיאה:

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s) \cdot H(s)}$$

את פונקציית התמסורת בחוג פתוח אפשר לכתוב באופן הבא:

$$GH(s) = K \frac{B_1(s)}{S^n B_2(s)}$$

K – הגבר

n – סוג המערכת

$B_1(s)$ – פולינום המונה

$B_2(s)$ – פולינום המכנה

טבלה לחישוב השגיאה לפי סוג המערכת:

סוג המערכת:

נקבע לפי מספר הקטבים הנמצאים בראשית הצירים של המערכת בחוג פתוח – GH(s)

- **סוג 0** – אפס קטבים בראשית הצירים
- **סוג 1** – קוטב אחד בראשית הצירים
- **סוג 2** – קטבים בראשית הצירים

מבוא סוג המערכת		אות מדרגה $r(t) = r_1$		אות מהירות $r(t) = r_2 \cdot t$		אות תאוצה $r(t) = r_3 \cdot \frac{t^2}{2}$	
		k_p	שגיאת המצב המתמיד	k_v	שגיאת המצב המתמיד	k_a	שגיאת המצב המתמיד
סוג 0		$\frac{K \cdot B_1(0)}{B_2(0)}$	$\frac{r_1}{1 + k_p}$	0	∞	0	∞
סוג 1		∞	0	$\frac{K \cdot B_1(0)}{B_2(0)}$	$\frac{r_2}{k_v}$	0	∞
סוג 2		∞	0	∞	0	$\frac{K \cdot B_1(0)}{B_2(0)}$	$\frac{r_3}{k_a}$

משוואה אופיינית

$Q(s)=1+GH(s)=0$

ראוט ויציבות

$Q(s)=b_n s^n+b_{n-1} s^{n-1}+b_{n-2} s^{n-2}+\cdots+b_1 s+b_0=0$

S^n	$\mathbf{b_n}$	b_{n-2}	b_{n-4}	b_{n-6}	$\cdots$
S^{n-1}	$\mathbf{b_{n-1}}$	b_{n-3}	b_{n-5}	b_{n-7}	$\cdots$
S^{n-2}	$\mathbf{c_1}$	c_2	c_3	$\cdots$	
S^{n-3}	$\mathbf{d_1}$	d_2	$\cdots$		
$\vdots$					
S^1	$\mathbf{j_1}$				
S^0	$\mathbf{b_0}$				

$c_1=\frac{b_{n-1}b_{n-2}-b_nb_{n-3}}{b_{n-1}}$

$c_2=\frac{b_{n-1}b_{n-4}-b_nb_{n-5}}{b_{n-1}}$

$c_3=\frac{b_{n-1}b_{n-6}-b_nb_{n-7}}{b_{n-1}}$

$d_1=\frac{c_1b_{n-3}-b_{n-1}c_2}{c_1}$

$d_2=\frac{c_1b_{n-5}-b_{n-1}c_3}{c_1}$

$d_3=\frac{c_1b_{n-7}-b_{n-1}c_4}{c_1}$

שלבי פתרון:

1. חישוב פונקציית התמסורת השקולה של המערכת בחוג סגור.
2. כתיבת הפולינום האופייני של פונקציית התמסורת בצורה קנונית.
3. בדיקת התנאים ההכרחיים לקיום משפט ראוט:
 - כל המקדמים של הפולינום האופייני בעלי אותו סימן.
 - כל המקדמים של הפולינום האופייני שונים מאפס.
4. בניית טבלת ראוט.

משפט ראוט:

המערכת יציבה אם כל המקדמים שבעמודה הראשונה (המודגשת) הם בעלי אותו סימן.

תנאי מספיק עבור יציבות המערכת

מערכת תהייה יציבה כאשר כל המקדמים בעמודה הראשונה בעלי אותו סימן. אם אחד המקדמים הוא אפס והשאר בעלי אותו סימן – זה מצב של סף יציבות.

מג"ש

מג"ש – מקום גאומטרי של שורשים

מרכז האסימפטוטות (נקודת חיתוך עם הציר הממשי):

$$\sigma_o = \frac{\sum_{i=1}^n \operatorname{Re}(p_i) - \sum_{i=1}^w \operatorname{Re}(z_i)}{n - w}$$

n – מספר הקטבים

σ_o – מרכז האסימפטוטות

w – מספר האפסים

$\operatorname{Re}(p_i)$ – החלק הממשי של הקוטב

$\operatorname{Re}(z_i)$ – החלק הממשי של האפס

זוויות האסימפטוטות:

$$\gamma = \frac{(1 + 2h) 180^\circ}{n - w} \quad h = 0, 1, 2, \dots, (n - w - 1)$$

נקודות החיתוך עם הציר הממשי x מתקבלות מהתנאי:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{x - p_i} = \sum_{i=1}^w \frac{1}{x - z_i}$$

i קוטב – p_i
i אפס – z_i

או מהתנאי: $\frac{dK}{ds} = 0$, כאשר מבודדים את K במשוואה האופיינית: $1 + GH(s) = 0$.

מתוך הנקודות המתקבלות – רק אלו הנמצאות על המג"ש הן נקודות חיתוך עם הציר הממשי x.

נקודות החיתוך עם הציר הדמיוני מתקבלות מטבלת ראוט.

$$\theta_D = 180^\circ + \arg GH'$$

θ_D – זווית העזיבה של המג"ש מקוטב מרוכב

$$\theta_A = 180^\circ - \arg GH'$$

θ_A – זווית ההתכנסות של המג"ש מאפס מרוכב

$\arg(GH')$ – הזווית של GH ללא הקוטב/האפס הנבחן.

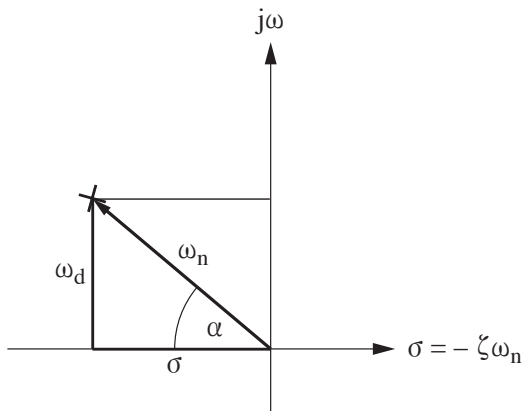
הוצאת ערך ההגבר דרך המשוואה האופיינית או דרך מג"ש

בדיקה האם שורש מסויים נמצא על המג"ש:

1. נגשים אל המשוואה האופיינית, משווים את המשוואה האופיינית ל-0.
2. מציבים במקום S את השורש הנבדק, ומקבלים משוואה עם נעלם K.
3. בודקים את הערך של K. אם K יצא מספר מרוכב, השורש לא נמצא על המג"ש. אם K מספר ממשי הגדול או שווה ל-0, השורש נמצא על המג"ש.

קביעת פרמטרים של המערכת באמצעות המג"ש

הציר המדומה מייצג את המהירות הזוויתית של התנודות המתרסנות ω_d
הציר הממשי מייצג את $\zeta \omega_n$ -



לחישוב תדירות טבעית ומקדם ריסון $\omega_n^2 = \sigma^2 + \omega_d^2$

$$\zeta = \left| \frac{\sigma}{\omega_n} \right|$$

דרך נוספת לפי הזווית α :

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \left| \frac{\omega_d}{\sigma} \right|$$

$$\zeta = \cos \alpha$$

חישוב קבוע הזמן:

$$\tau = \left| \frac{1}{\sigma} \right| = \frac{1}{\zeta \cdot \omega_n}$$

פרק 8: דיאגרמת בודה

המעבר למישור התדר:

$$A(\text{db}) = 20 \log(|GH|)$$

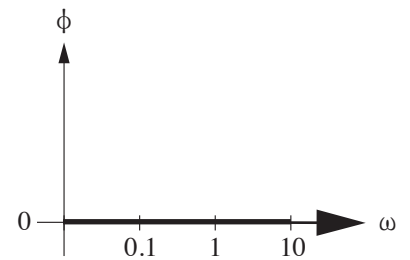
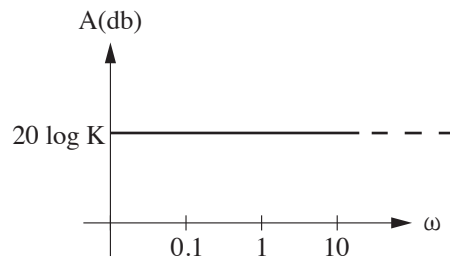
רכיב הגברה: $GH(s) = K$

תגובת התדירות

$$A = 20 \log K$$

$$\phi(\omega) = 0^\circ$$

תיאור גרפי



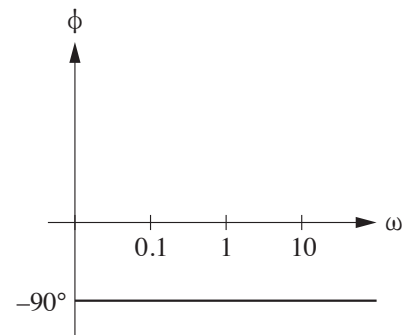
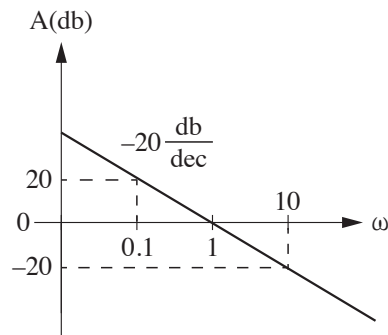
רכיב אינטגרציה: $GH(s) = \frac{1}{s}$

תגובת התדירות

$$A = -20 \log \omega$$

$$\phi(\omega) = -90^\circ$$

תיאור גרפי (ציר omega הוא לוגריתמי)



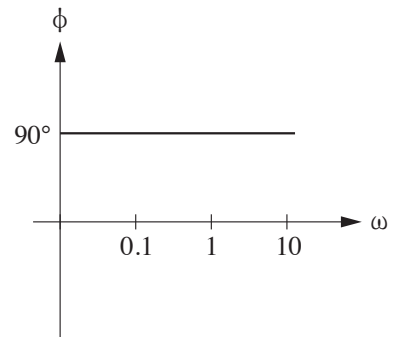
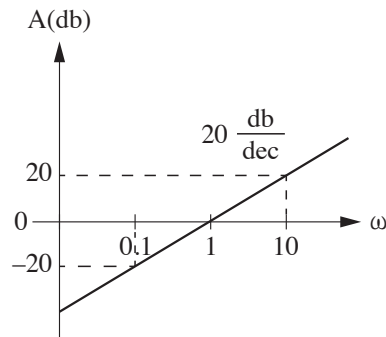
רכיב גזירה: $GH(s) = S$

תגובת התדירות

$$A = 20 \log \omega$$

$$\phi(\omega) = 90^\circ$$

תיאור גרפי



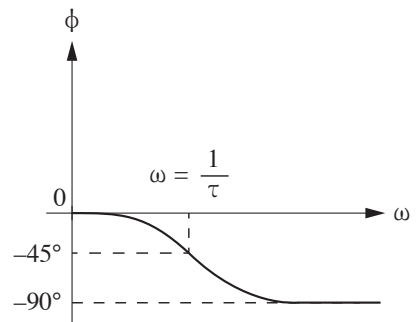
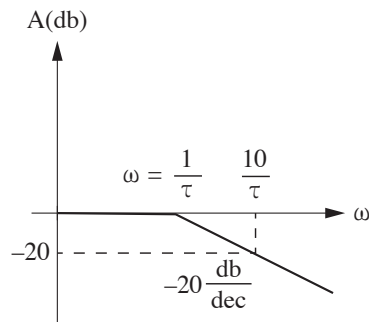
רכיב התמדה: $GH(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$

תגובת התדירות

$$A = -20 \log \sqrt{1 + (\tau\omega)^2}$$

$$\phi(\omega) = -\arctg(\tau\omega)$$

תיאור גרפי



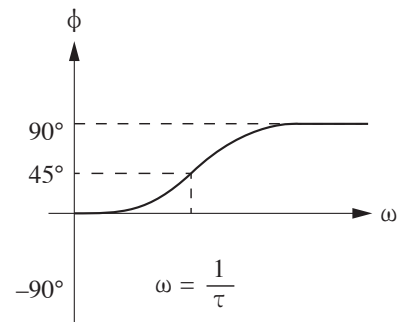
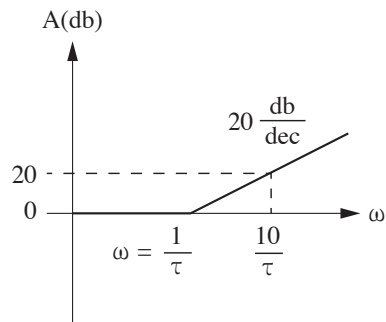
רכיב גזירה מעשית: $GH(s) = 1 + \tau \cdot s$

תגובת התדירות

$$A = 20 \log \sqrt{1 + (\tau\omega)^2}$$

$$\phi(\omega) = \arctg(\tau\omega)$$

תיאור גרפי



בודה:

עודף הגבר GM

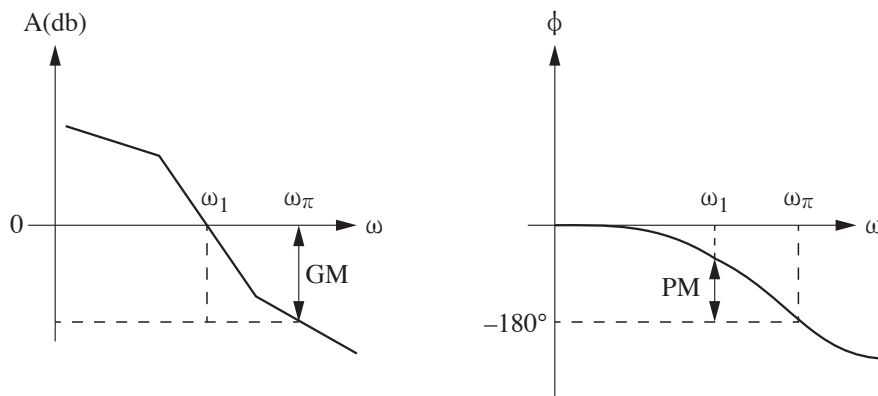
1. מגרף המופע, מוצאים את התדר $\omega\pi$, בו הזווית היא -180° .
2. בתדר זה, מוצאים את ההגבר $GH(\omega\pi)$.
3. עודף ההגבר מוגדר לפי $GM = -GH(\omega\pi)$.

עודף מופע PM

1. מגרף ההגבר, מוצאים את התדר ω_1 בו הזווית היא 0 db.
2. בתדר זה, מוצאים את המופע $\phi(\omega_1)$.
3. עודף המופע PM מוגדר לפי $PM = \phi(\omega_1) + 180$.

מערכת יציבה כאשר עודף ההגבר והמופע חיוביים.

תיאור גרפי



שחזור פונקציית תמסורת מתוך דיאגרמת בודה:

כדי לשחזר את פונקציית התמסורת מתוך דיאגרמת בודה נתונה, נתייחס לקירוב האסימפטוטי של הדיאגרמה, תוך מתן דגש על הפינות, כלומר על הנקודות שבהן השיפוע משתנה

- רכיב הגברה – לא תורם שיפוע.
- רכיב אינטגרציה, התמדה – תורמים שיפוע שלילי.
- רכיב גזירה, גזירה מעשית – תורמים שיפוע חיובי.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון בתקשורת מחשבים לכיתה י"ד

(6 עמודים)

יחס אות לרעש

- S.N.R [dB] יחס אות לרעש
- P_s [W] הספק נושא המידע (Signal)
- P_n [W] הספק הרעש (Noise)

$$S.N.R = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right)$$

משפט שאנון

- C [bps] קצב המרבי להעברת נתונים בקו תקשורת
- W [Hz] רוחב הפס של הקו

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right)$$

משפט נייקוויסט

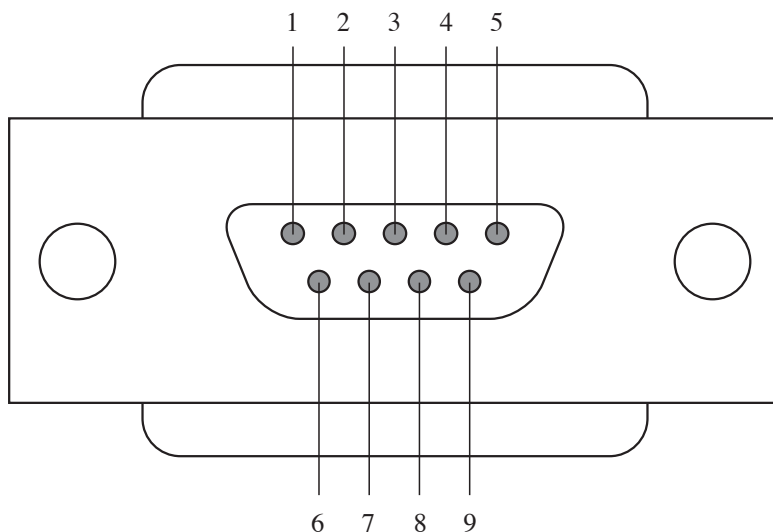
- D [baud] קצב העברת האות הספרתי
- R [bps] קצב להעברת נתונים בקו תקשורת
- M מספר הרמות (בריבוי רמות)
- N מספר הסיביות המוצפנות

$$D \leq 2W$$

$$R = D \cdot N = D \cdot \log_2 M$$

$$M = 2^N$$

מיפוי הזקים בתקן RS-232



Pin	Signal	Pin	Signal
1	Data Carrier Detect	6	Data Set Ready
2	Received Data	7	Request to Send
3	Transmitted Data	8	Clear to Send
4	Data Terminal Ready	9	Ring Indicator
5	Signal Ground		

מבנה התשדורת ב־USB

SYNC	PID	PS	CRC	EOP
------	-----	----	-----	-----

SYNC = Synchronize

PID = Packet Identification

PS = Packet Specific

CRC = Cyclic Redundancy Check

EOP = End of Packet

המשך בעמוד 3

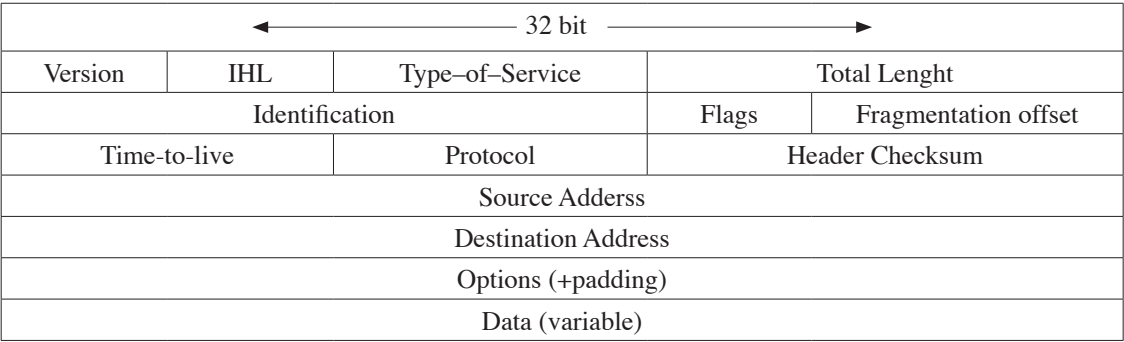
סוגי התשדורת ב־USB

Group	PID Value	Packet Identifier
<u>Token</u>	0001	OUT Token
	1001	IN Token
	0101	SOF Token
	1101	SETUP Token
<u>Data</u>	0011	DATA0
	1011	DATA1
<u>Handshake</u>	0010	ACK Handshake
	1010	NAK Handshake
	1110	STALL Handshake
<u>Special</u>	1100	Preamble

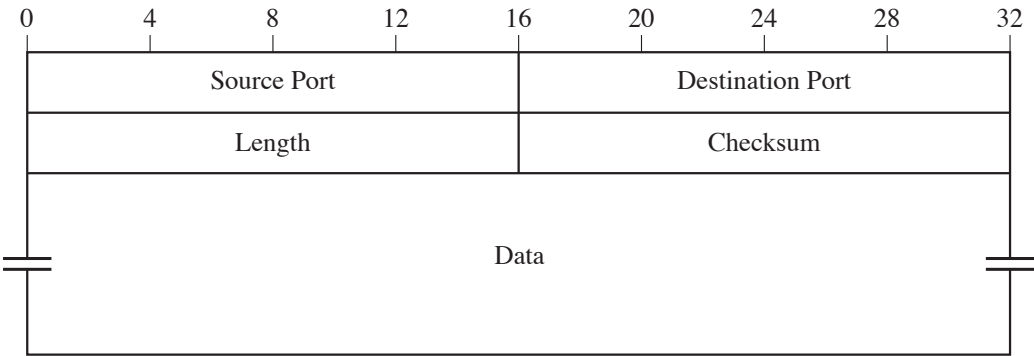
4 B/5 B mapping codes

Data Sequence	Encoded Sequence
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

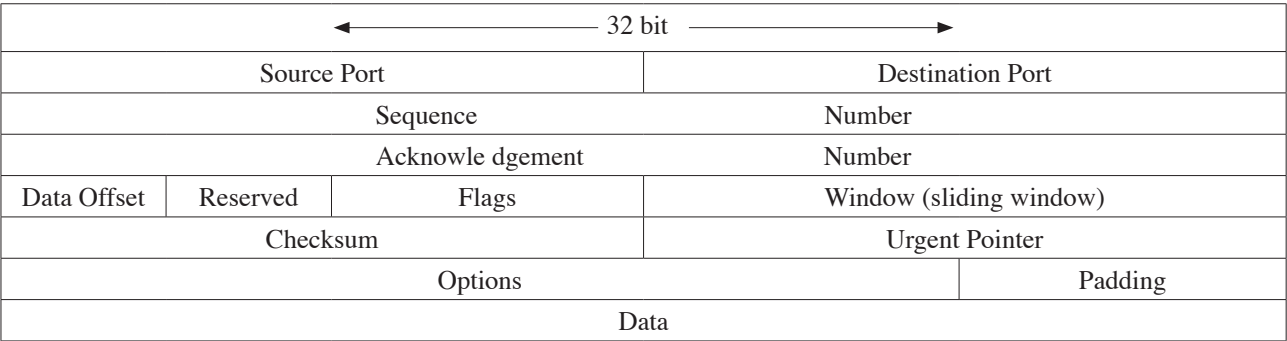
IP packet



UDP packet



TCP packet



Tag name and description	Example
A Simple HTML Document <html> - root element of an HTML page <head> - contains meta information about the HTML page <title> - specifies a title for the HTML page <body> - defines the document's body	<pre><!DOCTYPE html> <html> <head> <title>Page Title</title> </head> <body> <h1>My First Heading</h1> <p>My first paragraph.</p> </body> </html></pre>
 Defines an image	<pre></pre>
<a> define a link	<pre> Google</pre>
<h1> to <h6> Defines HTML headings
 Inserts a single line break <p> Defines a paragraph <div> defines a division or a section inline container used to mark up a part of a text.	<pre><h1 style="font-size:60px;">Heading 1</h1> <p>This is a paragraph.</p></pre>
<form> create an HTML form for user input. <input> specifies an input field where the user can enter data.	<pre><form action="action_page.aspx" method="get"> <label for="fname">First name:</label> <input type="text" id="fname" name= "fname">
 <label for="lname">Last name:</label> <input type="text" id="lname" name= "lname">
 <input type="submit" value="Submit"> </form></pre>

HTML tables allow web developers to arrange data into rows and columns. <table> Defines a table <th> Defines a header cell in a table <tr> Defines a row in a table <td> Defines a cell in a table	<pre><table style="width:100%"> <tr> <th>Person 1</th> <th>Person 2</th> </tr> <tr> <td>Gal</td> <td>Tal</td> </tr> </table></pre>
---	--