

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תש"ע, 2010

סמל השאלון: 711913

נספחים: א. נספח לשאלה 5

ב. נוסחאון במערכות תקשורת ב'

לכיתה י"ד

ג. נוסחאון במערכות בקרה

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 הערכה: בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות.
יש להשיב על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק.

לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
2. התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
3. רשום את כל תשובותיך **אך ורק בעט**.
4. הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
5. כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.
6. אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
7. בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * רישום הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * רישום התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 5 עמודים ו-16 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,
אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

השאלות

ענה על ארבע מבין השאלות 1–8. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מכל פרק.

פרק ראשון: מערכות תקשורת ב'

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1–4 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 1

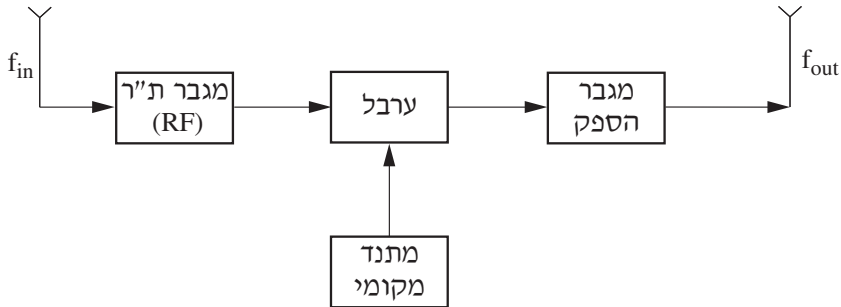
- א. 1. הסבר את המושג דרגת-שירות (GOS) ברשת תקשורת תאית.
2. להלן נתונה של רשת תקשורת תאית:
- כמות התעבורה הכוללת בתא בשעה אחת היא $18 \cdot 10^6$ Erlang.
 - מספר הערוצים בתא הוא 4.
- חשב את דרגת-השירות של הרשת הזו.
- ב. להלן נתונה של רשת תקשורת תאית, העובדת בשיטת TDMA:
- רוחב תחום התדרים הכולל של הרשת הוא 16 MHz.
 - רוחב-הפס של כל ערוץ הוא 400 kHz, ואין חפיפת תדרים בין ערוצים סמוכים.
 - מספר חריצי הזמן במסגרת (ללא ערוצי בקרה) הוא 1000.
- חשב את מספר המנויים שהרשת הזו יכולה לשרת בו־זמנית.

שאלה 2

- א. כדי לשדר את מחרוזת המידע $(1, -1, 0, -1)$ בשיטת CDMA, משתמשים בווקטור-הקידוד $(1, -1)$. רשום את המחרוזת המשודרת לאחר הקידוד. פרט את שלבי הקידוד.
- ב. ברשת תקשורת העובדת בשיטת CDMA שודרו שני אותות יחד, ויצרו את מחרוזת-המידע $(0, 2, -2, 0, -2, 0, 2, 0)$. כל אחד משני האותות המשודרים קודד על-ידי וקטור אחר: האות הראשון קודד על-ידי הווקטור $(1, -1)$, והאות השני קודד על-ידי הווקטור $(1, 1)$. רשום את שני האותות המשודרים. פרט את שלבי הקידוד של כל אחד מן האותות.

שאלה 3

- א. ציין שלושה שימושים שונים של תקשורת לוויינים.
- ב. ציין שלושה חסרונות של מיקום לוויין במסלול גיאוסטציונרי סביב כדור הארץ.
- ג. באיור לשאלה 3 נתון תרשים מלבנים בסיסי של מערכת לוויין תקשורת.



איור לשאלה 3

1. מדוע חיוני שספרת הרעש של מגבר ה-RF תהיה נמוכה?
2. מדוע נחוץ מגבר הספק במערכת לוויין תקשורת?

שאלה 4

- א.
 1. הסבר מהו מפתח נומרי (N.A.) של סיב אופטי.
 2. מקדם השבירה של הליבה של סיב-מדרגה אופטי הוא 1.55, ומקדם השבירה של המעטה שלו הוא 1.5. חשב את המפתח הנומרי של הסיב, את ההפרש היחסי בין מקדמי השבירה (Δ), ואת זווית-הקליטה ($2\theta_a$) של הסיב האופטי.
- ב.
 1. הסבר מהי נפיצה של אות בסיב אופטי, ומהם הגורמים להיווצרותה.
 2. דופק שרוחבו $1 \mu\text{sec}$ משודר דרך סיב אופטי שאורכו 6 ק"מ. רוחב הדופק במוצא הסיב הוא $1.03 \mu\text{sec}$. חשב את הנפיצה בסיב ואת מקדם-הנפיצה שלו.

פרק שני: מערכות בקרה

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5–8 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 5

בנספח לשאלה 5 נתונים סרטוטי המ.ג.ש. של שלוש מערכות בקרה, המסומנים בספרות I, II ו-III. להלן פונקציות התמסורת של שלוש מערכות הבקרה הללו:

$$GH(s) = \frac{K \cdot (s+15)}{s \cdot (s+5)} \quad .1$$

$$GH(s) = \frac{K}{(s+1) \cdot (s^2 + 10 \cdot s + 50)} \quad .2$$

$$GH(s) = \frac{K}{s \cdot (s+5) \cdot (s+15)} \quad .3$$

א. רשום במחברתך את מספרה של כל אחת מפונקציות התמסורת, ולצידה רשום את מספרו של סרטוט המ.ג.ש. המתאים לה. נמק את קביעותיך.

ב. 1. מצא את נקודות המפגש של המ.ג.ש עם הצירים (הציר הממשי והציר המדומה) בסרטוט I שבנספח.

2. חשב את תחום הערכים של K, שעבורו מערכת הבקרה המתאימה לסרטוט I יציבה.

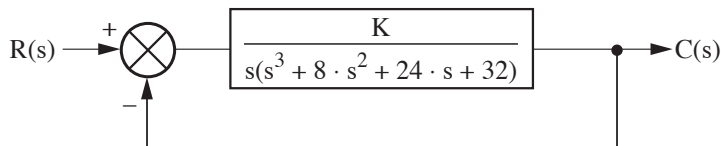
ג. קבע לגבי כל אחת ממערכות הבקרה האחרות, אם היא יציבה תמיד או שיציבותה תלויה בהגבר K. נמק את קביעותיך.

שאלה 6

נתונה המשוואה הדיפרנציאלית: $y''(t) + 8 \cdot y'(t) + 80 \cdot y(t) = 2 \cdot \delta(t)$. פתור את המשוואה (מצא את $y(t)$ בעזרת התמרות לפלס, כאשר תנאי ההתחלה הם: $y(0) = y'(0) = 1$).

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון תרשים מלבנים של מערכת בקרה.

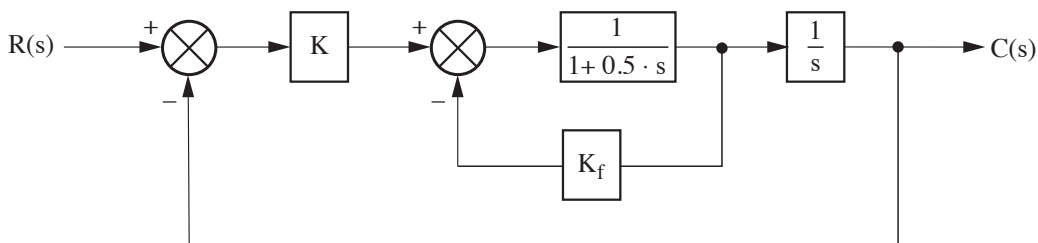


איור לשאלה 7

- א. מצא את תחום הערכים של K שעבורו המערכת יציבה, ורשום את ההגבר הקריטי, K^* .
- ב. 1. מצא את השגיאה במצב המתמיד עבור אות-המבוא $R(t) = 0.1t$, כאשר: $K = 0.8 K^*$.
2. משנים את אות המבוא ל- $R(t) = t$, כאשר ההגבר K אינו משתנה. מה תהיה השגיאה במצב המתמיד במקרה הזה?

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון תרשים מלבנים של מערכת בקרה.

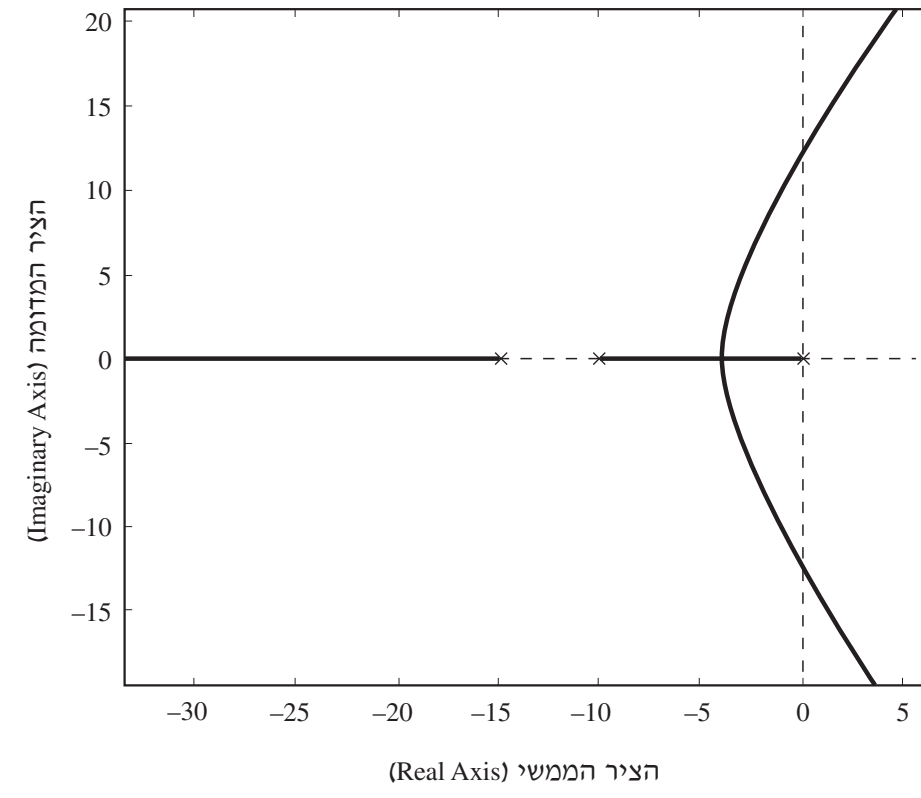


איור לשאלה 8

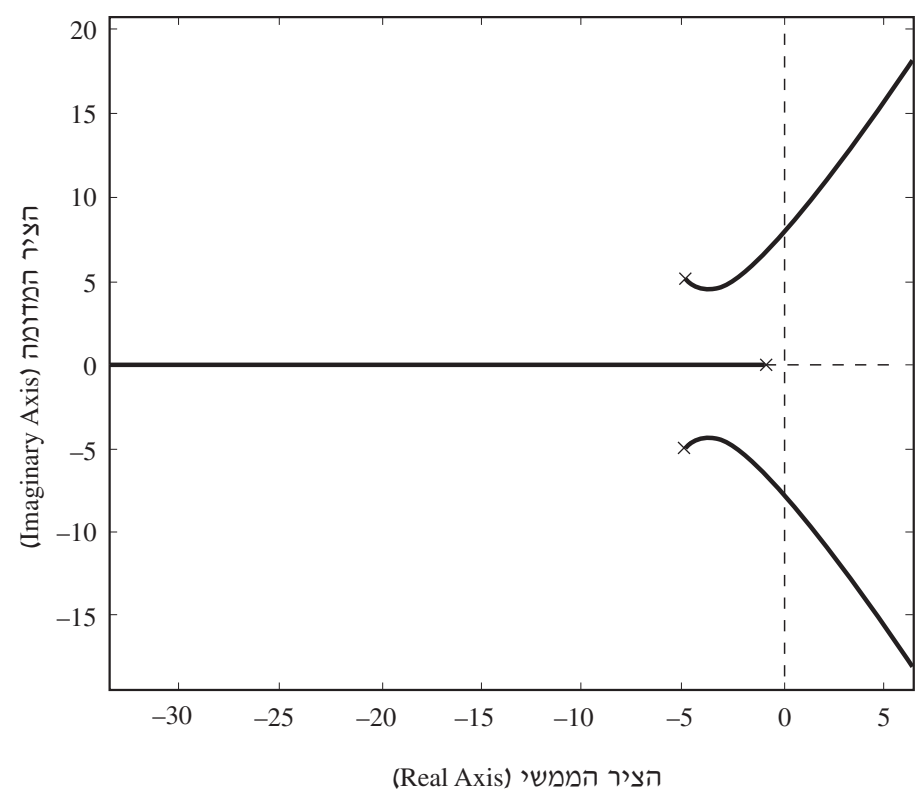
- מקדם הריסון של המערכת הוא $\zeta = 0.4$, ותדר התנודות הזוויתי הוא $\omega_n = 6 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$.
- א. חשב את K ואת K_f .
- ב. חשב את תגובת-היתר המרבית של המערכת.

בהצלחה!

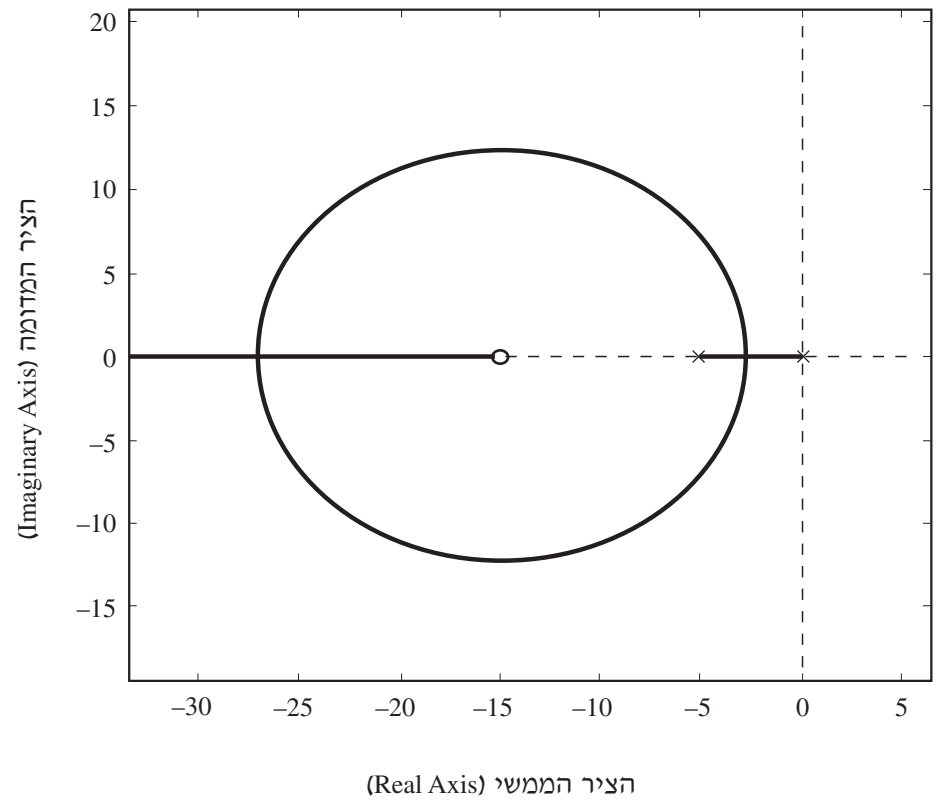
מקום נחירה



I



II



III

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום למציאת נבחן

נוסחאון במערכות תקשורת ב'

לכיתה י"ד

(7 עמודים)

תקשורת בסיב אופטי

חוק סנל:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$v = \frac{c}{n}$$

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

עקרון הפעולה של סיב אופטי:

$$\cos \theta_{1c} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$N.A. = \sin \theta_a = n_1 \cdot \sin \theta_{1c}$$

$$N.A. = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

זווית הפגיעה	-	θ_1	[°]
זווית השבירה	-	θ_2	[°]
מהירות האור בחומר 1	-	v_1	$\left[\frac{m}{sec} \right]$
מהירות האור בחומר 2	-	v_2	$\left[\frac{m}{sec} \right]$
מהירות האור בריק (באוויר)	-	c	$\left[\frac{m}{sec} \right]$
מקדם השבירה של חומר 1	-	n_1	
מקדם השבירה של חומר 2	-	n_2	
הזווית הקריטית	-	θ_c	[°]

זווית ההתפשטות הקריטית	-	θ_{1c}	[°]
זווית הקליטה	-	$2 \theta_a$	[°]
מפתח נומרי	-	N.A.	
Numerical Aperture			
מקדם השבירה של ליבת הסיב	-	n_1	
מקדם השבירה של מעטה הסיב	-	n_2	

המשך בעמוד 2

נפיצה בין־אופנית:

Δ - ההפרש היחסי בין
מקדמי־השבירה

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

n_1 - מקדם השבירה של
ליבת הסיב

n_2 - מקדם השבירה של
מעטה הסיב

(בסיב מעשי)

$$\Delta = \frac{(N.A.)^2}{2n_1^2}$$

N.A. - מפתח נומרי -
Numerical Aperture

Δt [sec] - הנפיצה הבין־אופנית

L [m] - אורך הסיב

θ_{lc} [°] - זווית ההתפשטות הקריטית

c $\left[\frac{m}{sec} \right]$ - מהירות האור בריק
(באוויר)

$$\Delta t = \frac{n_1 \cdot L \cdot (1 - \cos \theta_{lc})}{c} = \frac{n_1 \cdot L}{c} \cdot \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$= \frac{n_1 \cdot L \cdot \Delta}{c}$$

$\frac{\Delta t}{L}$ $\left[\frac{sec}{m} \right]$ - הנפיצה הבין־אופנית
ליחידת־אורך

$$\frac{\Delta t}{L} = \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} = \frac{(N.A.)^2}{2n_1 \cdot c}$$

V - התדר המנורמל

a [μm] - רדיוס ליבת הסיב

λ [μm] - אורך הגל של האור

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot n_1 \cdot \sqrt{2\Delta}$$

M_n - מספר האופנים בסיב
מדרגה רב־אופני

$$M_n = \frac{V^2}{2}$$

M_n^* - מספר האופנים בסיב
פרבולי רב־אופני

$$M_n^* = \frac{V^2}{4}$$

ניחות הסיב האופטי:

ניחות הסיב	-	Att	[dB]
הספק במוצא הסיב	-	P_{out}	[W]
הספק במבוא הסיב	-	P_{in}	[W]
מקדם ניחות הסיב	-	β	$\left[\frac{dB}{km} \right]$
אורך הסיב	-	L	[km]

$$Att = 10 \cdot \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$Att = \beta \cdot L$$

הפסדי-הספק בסיב אופטי:

1. הפסדים הנובעים מחוסר התאמה בין שטח-הפנים של מקור-האור לבין שטח-הפנים של הסיב האופטי:

שטח-הפנים של ליבת הסיב האופטי	-	A_f	$[(\mu m)^2]$
שטח-הפנים של מקור-האור	-	A_s	$[(\mu m)^2]$
הקוטר של ליבת הסיב האופטי	-	d_f	$[\mu m]$
הקוטר של מקור-אור מעגלי	-	d_s	$[\mu m]$

$$LOSS_{AREA} = 10 \cdot \log \frac{A_f}{A_s} = 20 \cdot \log \frac{d_f}{d_s}$$

2. הפסדים הנובעים מחוסר התאמה בין המפתחים הנומריים של שני סיבים אופטיים:

המפתח הנומרי של הסיב שממנו יוצא האור	-	$(N.A.)_1$
המפתח הנומרי של הסיב שאליו נכנס האור	-	$(N.A.)_2$

$$LOSS_{N.A.} = 20 \cdot \log \frac{(N.A.)_1}{(N.A.)_2}$$

הפסד ההספק הכולל בסיב אופטי:

$$LOSS_{TOTAL} = L_{sf} + Att + n \cdot L_{conn} + L_{fd}$$

- L_{sf} [dB] הפסדים הנובעים מהצימוד בין מקור-האור לסיב
- Att [dB] הפסדים הנובעים מהנפיצה בסיב
- n מספר המחברים בסיב
- L_{conn} [dB] הפסדים הנובעים מהמחברים בסיב
- L_{fd} [dB] הפסדים הנובעים מהצימוד בין הסיב לגלאי

ההספק המתקבל במוצא של סיב אופטי:

$$P_R = P_L - LOSS_{TOTAL}$$

- P_L [dB] או [dBm] הספק מקור-האור
- R_R [dB] או [dBm] ההספק במוצא הסיב האופטי
- $LOSS_{TOTAL}$ [dB] או [dBm] הפסד ההספק הכולל בסיב האופטי

שולי ההספק:

$$L_m = P_R - P_d$$

- L_m [dB] שולי ההספק
- P_d [dB] רגישות הגלאי

המרת היחידות של הספק:

$$P[dBm] = 10 \cdot \log P[mW]$$

$$P[dB] = 10 \cdot \log P[W] = P[dBm] + 30[dB]$$

תקשורת תאית

שימוש חוזר בתדרים ברשת תאית:

- K - מספר ערוצי התדר בתא
- N - מספר התאים באשכול
- S - מספר הערוצים במערכת
- P - מספר ערוצי התדר ברשת
- M - מספר אשכולות התאים ברשת

$$S = K \cdot N$$

$$P = M \cdot S = M \cdot K \cdot N$$

$$\frac{1}{N} \equiv \text{מקדם השימוש החוזר של המערכת.}$$

דרגת השירות:

- λ - מספר השיחות שמנוי יזם בשעה אחת
- H [sec] - אורך שיחה ממוצעת
- U - מספר המנויים בתא
- Au [Erlang], [sec] - כמות התעבורה (זמן השיחות הכולל) שמנוי יצר בשעה אחת
- A [Erlang], [sec] - כמות התעבורה הכוללת בתא בשעה אחת
- GOS - דרגת השירות (Grade of Service)
- C - מספר הערוצים בתא

$$Au = \lambda \cdot H \text{ [sec]}$$

$$Au = \frac{\lambda \cdot H}{3600} \text{ [Erlang]}$$

$$A = U \cdot Au$$

$$GOS = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}}$$

: TDMA

תחום תדרים כולל	-	BW_T [Hz]
רוחב פס ערוץ	-	BW [Hz]
מספר ערוצים	-	X
מספר חריצי זמן בערוץ (מסגרת)	-	N
מספר ערוצי בקרה במסגרת	-	C
מספר מנויים שניתן לשרת ברזמנית	-	S

$$BW_T = BW \cdot X$$

$$S = X \cdot (N - C)$$

: CDMA

שיטת CDMA מאפשרת לכל יחידות הקצה שבתא להשתמש בכל טווח התדרים במשך כל הזמן. כל יחידת קצה מזוהה על-ידי קוד אישי. המידע המשודר מקודד בשיטה המבוססת על מכפלה סקלרית של וקטורים.

רקע מתמטי – פעולות בוקטורים

נתונים הוקטורים a ו- b :

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_k) \quad ; \quad b = (b_1, b_2, \dots, b_k)$$

הוקטור c הוא מכפלה סקלרית של הוקטורים a ו- b :

$$c = a \cdot b = a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_k b_k$$

* אם המכפלה של a ו- b נותנת את התוצאה אפס, אזי הוקטורים a ו- b אורתוגונליים.

פעולות בסיסיות בוקטורים:

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

$$a \cdot kb = k \cdot (a \cdot b) \quad (k \text{ הוא סקלר})$$

$$|a| = \sqrt{a \cdot a} \quad (|a| \text{ מספר ממשי})$$

המשך בעמוד 7

$$a \cdot (a + b) = |a|^2$$

אם הווקטורים a ו- b אורתוגונליים, אז מתקיים:

$$a \cdot (-a + b) = -|a|^2$$

$$b \cdot (a + b) = |b|^2$$

$$b \cdot (a - b) = -|b|^2$$

קידוד CDMA

data – מחרוזת מידע ספרתי
(סיביות)

$$\text{data} = d_1 \ d_2 \ \dots \ d_k$$

$$d = (d_1, d_2, \dots, d_k)$$

d – וקטור המייצג את data

$$t = d' \cdot V$$

d' – וקטור d לאחר הצבת (-1)
במקום איברים בעלי הערך
אפס

V – וקטור הקידוד

t – וקטור מידע משודר

t_s – מחרוזת הסיביות המייצגת
את t (האות המשודר)

פיענוח CDMA

data' – מחרוזת הסיביות הנקלטת

$$d = r \cdot V$$

r – וקטור המייצג את data'

V – וקטור הקידוד
(ידוע ליחידה הקולטת)

d – וקטור המידע המפוענח

d'' – וקטור מנורמל המייצג
את d

data – מחרוזת סיביות המייצגת
את d''

הערה: d מתקבל על-ידי המרת מספרים חיוביים ל-'1' ומספרים שליליים ל-'0'.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנכתוב תשובות

נוסחאון במערכות בקרה לכיתה י"ד

התמחות מערכות אלקטרוניות

(8 עמודים)

התמרת לפלס

$$\mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt = F(s)$$

הגדרה:

$$\mathcal{L}[D^n f(t)] = s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - s^{n-2} Df(0) - \dots - D^{n-1} f(0)$$

המרת נגזרת של פונקציה:

$$\mathcal{L}\left[\int_0^t f(\tau) d\tau\right] = \frac{1}{s} F(s) + \frac{1}{s} F(0)$$

המרת אינטגרל של פונקציה:

$$\int_{-\infty}^0 f(\tau) d\tau \quad : \quad t = 0 \quad \text{כאשר } F(0) \text{ הוא ערך האינטגרל בזמן } t = 0$$

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

משפט הערך הסופי:

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

משפט הערך ההתחלתי:

$$A_{q(r-k)} = \left\{ \frac{1}{k!} \frac{d^k}{ds^k} \left[(s-s_q)^r \frac{P(s)}{Q(s)} \right] \right\}_{s_q}$$

פירוק לשברים חלקיים עם קטבים ממשיים:

r – מספר השורשים הכפולים

$$k = 0, 1, 2, \dots, r-1$$

s_q – השורש

$$F(s) = \frac{20}{(s^2 + 2s + 4)(s + 2)} = \frac{As + B}{s^2 + 2s + 4} + \frac{C}{s + 2}$$

דוגמה לפירוק לשברים חלקיים

עם קוטב מרוכב:

המשך בעמוד 2

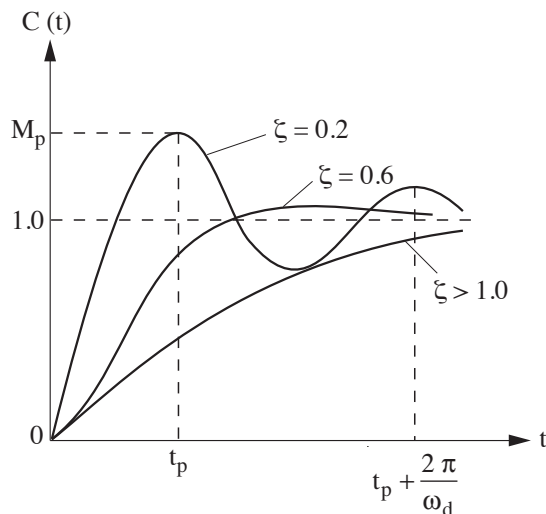
טבלת התמורות לפלס		
	$F(s)$	$f(t)$ $t \geq 0$
1.	1	$u_0(t)$ הלם של יחידה בזמן $t = 0$
2.	$\frac{1}{s}$	1 or $u_{-1}(t)$ מדרגה של יחידה המתחילה בזמן $t = 0$
3.	$\frac{1}{s^2}$	$tu_{-1}(t)$ שיפוע של יחידה
4.	$\frac{1}{s^n}$	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1}$ שלם חיובי n
5.	$\frac{1}{s} e^{-at}$	$u_{-1}(t-a)$ מדרגה של יחידה המתחילה בזמן $t = a$
6.	$\frac{1}{s} (1 - e^{-as})$	$u_{-1}(t) - u_{-1}(t-a)$ דופק ריבועי
7.	$\frac{1}{s+a}$	e^{-at}
8.	$\frac{1}{(s+a)^n}$	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{-at}$ שלם חיובי n
9.	$\frac{1}{s(s+a)}$	$\frac{1}{a} (1 - e^{-at})$
10.	$\frac{1}{s(s+a)(s+b)}$	$\frac{1}{ab} \left(1 - \frac{b}{b-a} e^{-at} + \frac{a}{b-a} e^{-bt} \right)$ $a \neq b$
11.	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\sin \omega t$
12.	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\cos \omega t$
13.	$\frac{s+\alpha}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}{\omega} \sin(\omega t + \phi)$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha}$

14.	$\frac{s \sin \theta + \omega \cos \theta}{s^2 + \omega^2}$	$\sin (\omega t + \theta)$	
15.	$\frac{1}{s(s^2 + \omega^2)}$	$\frac{1}{\omega^2}(1 - \cos \omega t)$	
16.	$\frac{s + \alpha}{s(s^2 + \omega^2)}$	$\frac{\alpha}{\omega^2} - \frac{\sqrt{a^2 + \omega^2}}{\omega^2} \cos(\omega t + \phi)$	$\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha}$
17.	$\frac{1}{(s + a)(s^2 + \omega^2)}$	$\frac{e^{-at}}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega \sqrt{a^2 + \omega^2}} \sin(\omega t + \phi)$	$\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{a}$
18.	$\frac{1}{(s + a)^2 + b^2}$	$\frac{1}{b} e^{-at} \sin bt$	
19.	$\frac{1}{s^2 + 2 \zeta \omega_n s + \omega_n^2}$	$\frac{1}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t$	
20.	$\frac{s + a}{(s + a)^2 + b^2}$	$e^{-at} \cos bt$	
21.	$\frac{s + \alpha}{(s + a)^2 + b^2}$	$\frac{\sqrt{(\alpha - a)^2 + b^2}}{b} e^{-at} \sin (bt + \phi)$	$\phi = \tan^{-1} \frac{b}{\alpha - a}$
22.	$\frac{1}{s[(s + a)^2 + b^2]}$	$\frac{1}{a^2 + b^2} + \frac{1}{b \sqrt{a^2 + b^2}} e^{-at} \sin (bt - \phi)$	$\phi = \tan^{-1} \frac{b}{-a}$
23.	$\frac{1}{s(s^2 + 2 \zeta \omega_n s + \omega_n^2)}$	$\frac{1}{\omega_n^2} - \frac{1}{\omega_n^2 \sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin (\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \phi)$	$\phi = \cos^{-1} \zeta$

טבלת קבועי השגיאה למערכת עם משוב יחידה

מבוא		מדרגה יחידה		שיפוע יחידה		פרבולה	
סוג המערכת	k_p	שגיאת המצב המתמיד	k_v	שגיאת המצב המתמיד	k_a	שגיאת המצב המתמיד	
סוג 0	$\frac{KB_1(0)}{B_2(0)}$	$\frac{1}{1+k_p}$	0	∞	0	∞	
סוג 1	∞	0	$\frac{KB_1(0)}{B_2(0)}$	$\frac{1}{k_v}$	0	∞	
סוג 2	∞	0	∞	0	$\frac{KB_1(0)}{B_2(0)}$	$\frac{2}{K_a}$	

תגובת מערכת מסדר שני, בעלת הגבר סטטי של 1, לאות מבוא של מדרגה יחידה כפונקציה של מקדם הריסון



$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} \quad ; \quad M_p = 1 + e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \quad ; \quad \omega_d = \omega_n \sqrt{1-\xi^2}$$

המשך בעמוד 5

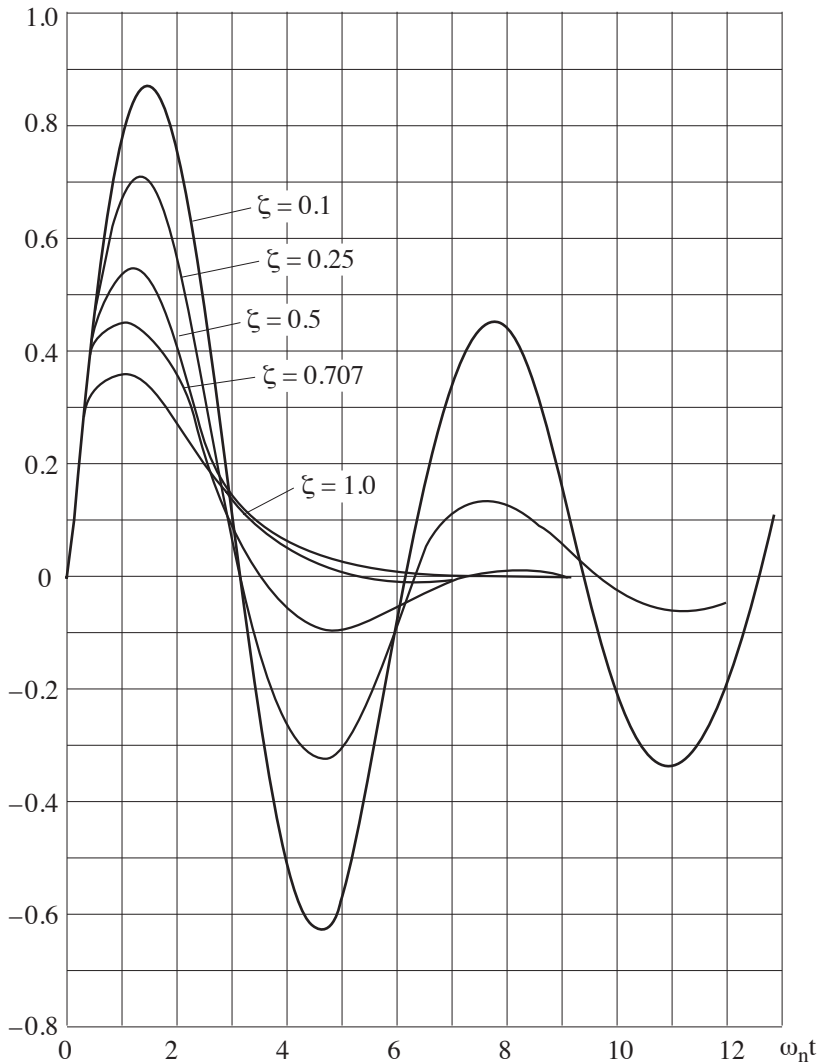
כאשר:

M_p - תגובת היתר המרבית

t_p [sec] - זמן תגובת היתר המרבית

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

תגובת מערכת מסדר שני, בעלת הגבר סטטי של 1, לאות מבוא הלם של יחידה כפונקציה של מקדם הריסון



טבלת ראוט

המשוואה האופיינית $Q(s)$:

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

s^n	b_n	b_{n-2}	b_{n-4}	b_{n-6}	$\dots$
s^{n-1}	b_{n-1}	b_{n-3}	b_{n-5}	b_{n-7}	$\dots$
s^{n-2}	c_1	c_2	c_3	$\dots$	
s^{n-3}	d_1	d_2	$\dots$		
s^1	j_1				
s^0	k_1				

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

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

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

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

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

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

מ.ג.ש. - מקום גאומטרי של שורשים

מרכז האסימפטוטות (נקודת חיתוך עם הציר הממשי):

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

(מספר הקטבים - n)
(מספר האפסים - w)

זוויות האסימפטוטות:

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

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 המ.ג.ש. הן נקודות חיתוך עם הציר הממשי x.

נקודות החיתוך עם הציר הדמיוני מתקבלות מטבלת ראוט.

$$\Theta_D = 180^\circ + \arg GH' \quad \Theta_D - \text{זווית העזיבה של המ.ג.ש. מנקודת קוטב/אפס}$$

$$\Theta_A = 180^\circ - \arg GH' \quad \Theta_A - \text{זווית ההתכנסות של המ.ג.ש. מנקודת קוטב/אפס}$$

$$\arg GH' - \text{הזווית של GH ללא הקוטב/האפס שמחשבים את הזווית שלו.}$$

דיאגרמת בודה

מציאת הגורמים במכנה ובמונה של פונקציית התמסורת בחוג פתוח, מתוך סוגי הגורמים האלה:

$20 \log j\omega $	$20 \log 1 + j\omega T $	$20 \log k$
$20 \log 1/(1 + j\omega T) $	$20 \log (1/j\omega)^2 $	$20 \log 1/j\omega $

$$20 \log \frac{1}{\left| 1 + 2 \xi \frac{j\omega}{\omega_n} + \left(\frac{j\omega}{\omega_n} \right)^2 \right|}$$

סרטוט כל גורם בנפרד, ומציאת השקול מתוך חיבור הגרפים.

בהצלחה!