

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ט, 2019

סמל השאלון: 711913

נספחים: א. נספח לשאלה 1

ב. נספח לשאלה 6

ג. נוסחאון במערכות בקרה

לכיתה י"ד

ד. נוסחאון במערכות תקשורת ב'

לכיתה י"ד

ה. מילון מונחים

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 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:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
- הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
- כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.
- אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- 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, ולצדה יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
- לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.

בשאלון זה 8 עמודים ו-19 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

השאלות

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

פרק ראשון: מערכות בקרה

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

שאלה 1

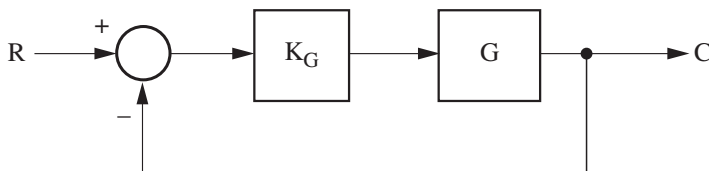
10 נק') א. בנספח לשאלה 1 נתונים גרפי בודה בחוג פתוח של מערכת בקרה הפועלת בחוג סגור עם משוב יחידה.

1. סמן בגרפים שבנספח את עודף ההגבר ואת עודף המופע של המערכת, ומצא את ערכיהם.

2. האם מערכת הבקרה הזו יציבה? נמק את קביעתך.

10 נק') ב. מצא מתוך הגרפים את פונקציית התמסורת בחוג פתוח של המערכת, $G(s)$.

5 נק') ג. למערכת הבקרה הזו הוסיפו מגבר K_G , כמתואר באיור לשאלה 1.



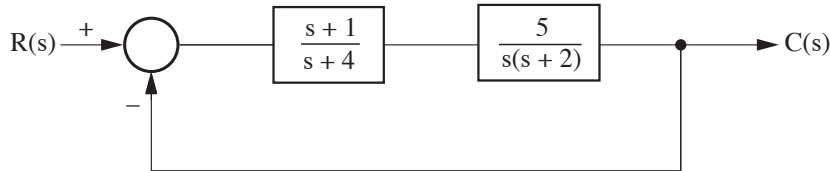
איור לשאלה 1

חשב את ערכו של K_G , שעבורו עודף ההגבר של מערכת הבקרה הזו יהיה 30 dB.

הערה: הדבק את מדבקת הנבחן במקום המיועד לכך בנספח, והדק אותו למחברת הבחינה.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון תרשים מלבנים של מערכת בקרה בעלת משוב יחידה.



איור לשאלה 2

9 נק') א. חשב את קבוע השגיאה של המערכת עבור כל אחד מאותות המבוא שלהלן:

1. מדרגת יחידה
2. יחידת מהירות
3. יחידת תאוצה

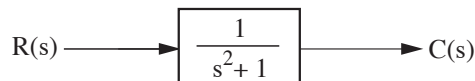
6 נק') ב. חשב את שגיאת המערכת במצב המתמיד עבור כל אחד מן האותות שבסעיף א'.

5 נק') ג. האם מערכת הבקרה הזו יציבה? נמק את תשובתך.

5 נק') ד. האם המערכת הזו יכולה לשמש כמערכת לבקרת מהירות? נמק את תשובתך.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתונה פונקציית התמסורת של מערכת בקרה.



איור לשאלה 3

5 נק') א. חשב את התדירות הזוויתית הטבעית (ω_n) של מערכת הבקרה הזו.

10 נק') ב. חשב את מקדם הריסון (ξ) של המערכת.

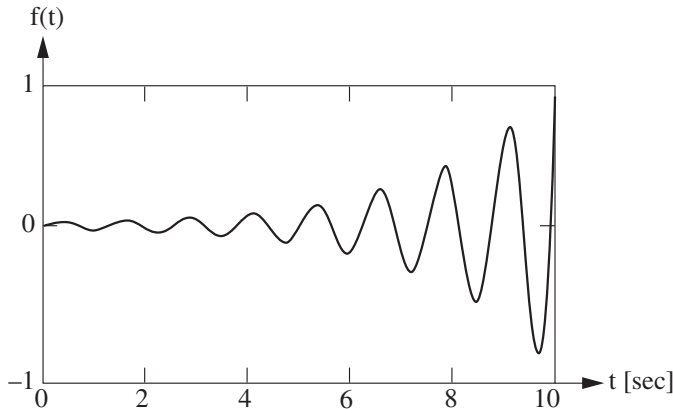
2. סרטט גרף המתאר את תגובת המערכת כפונקצייה של הזמן, $C(t)$, עבור אות-מבוא הלם.

10 נק') ג. רשום ביטוי המתאר את תגובת המערכת כפונקצייה של הזמן, $C(t)$, עבור אות-מבוא של מדרגת יחידה.

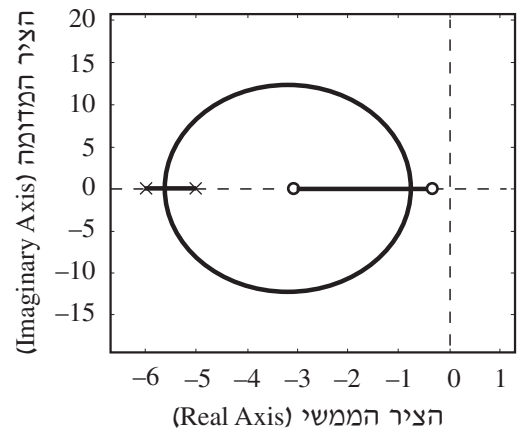
שאלה 4

9 נק') א. באיור א' לשאלה 4 נתון המ.ג.ש. של מערכת בקרה שבה $K > 0$.

האם ייתכן שתגובת מערכת הבקרה הזו לאות-מבוא הלם תהיה זו המתוארת באיור ב' לשאלה?
נמק את תשובתך.

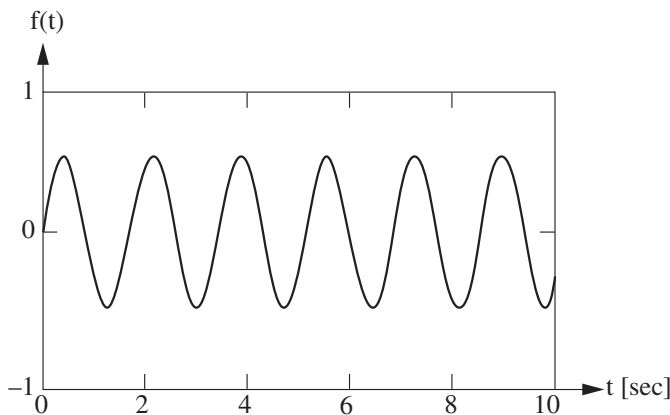


איור ב' לשאלה 4

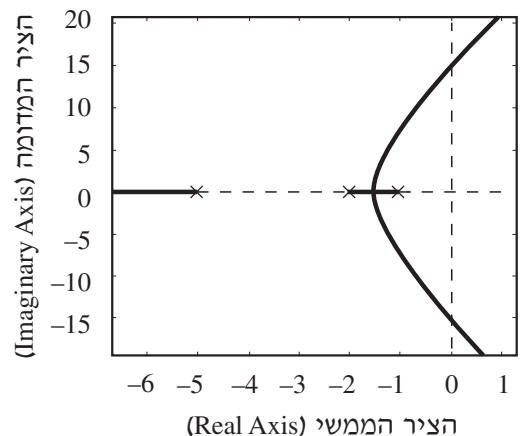


איור א' לשאלה 4

16 נק') ב. באיור ג' לשאלה נתון המ.ג.ש. של מערכת בקרה אחרת שגם בה $K > 0$.



איור ד' לשאלה 4



איור ג' לשאלה 4

1. רשום את פונקציית התמסורת של מערכת הבקרה הזו בחוג פתוח, $GH(s)$.

2. מצא את הערך של K שעבורו תגובת מערכת הבקרה לאות-מבוא הלם תהיה זו המתוארת באיור ד' לשאלה.

פרק שני: מערכות תקשורת ב'

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

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתוארת מערכת תקשורת אופטית.



איור לשאלה 5

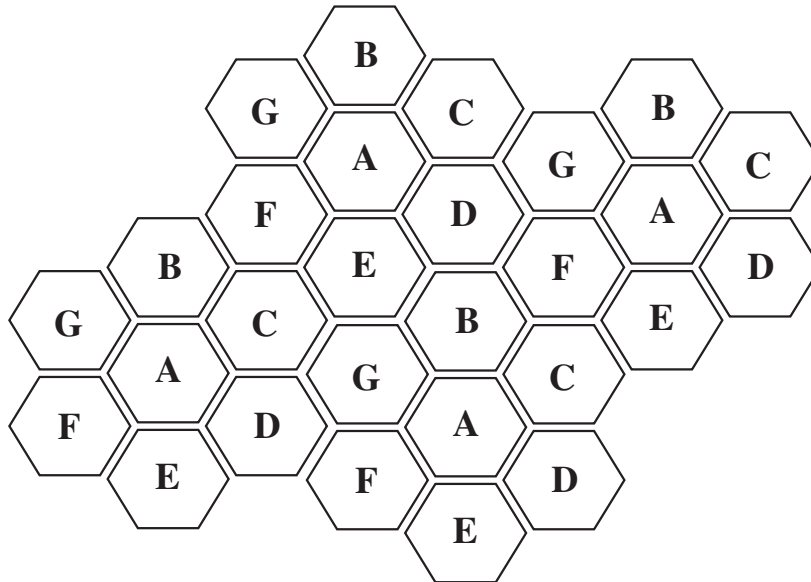
להלן נתוני המערכת:

2 mW	הספק האור המופק מה-LED:
14 dB	הפסדי הצימוד בין ה-LED לסיב:
5 dB / km	מקדם הניחות של הסיב:
6 dB	הפסדי הצימוד בין הסיב לפוטו-דיודה:

- (8 נק') א. חשב את הפסד ההספק הכולל בין המסדר למקלט ביחידות dB .
- (7 נק') ב. חשב את ההספק במבוא למקלט האופטי ביחידות mW וביחידות dBm .
- (5 נק') ג. נתון שרגישות המקלט האופטי היא -30 dBm . האם המקלט האופטי יקלוט את האות האופטי המשודר? נמק את תשובתך.
- (5 נק') ד. חשב את שולי ההספק של המערכת.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתוארת פריסת התאים ברשת תקשורת תאית בעלת מבנה של אשכולות תאים. תאים בעלי שם זהה (למשל A) משתמשים באותה קבוצת ערוצים.



איור לשאלה 6

9 נק') א. 1. מהו מספר האשכולות ברשת?

2. מהו מספר התאים בכל אשכול תאים?

3. מהו מקדם השימוש החוזר בתדרים ברשת?

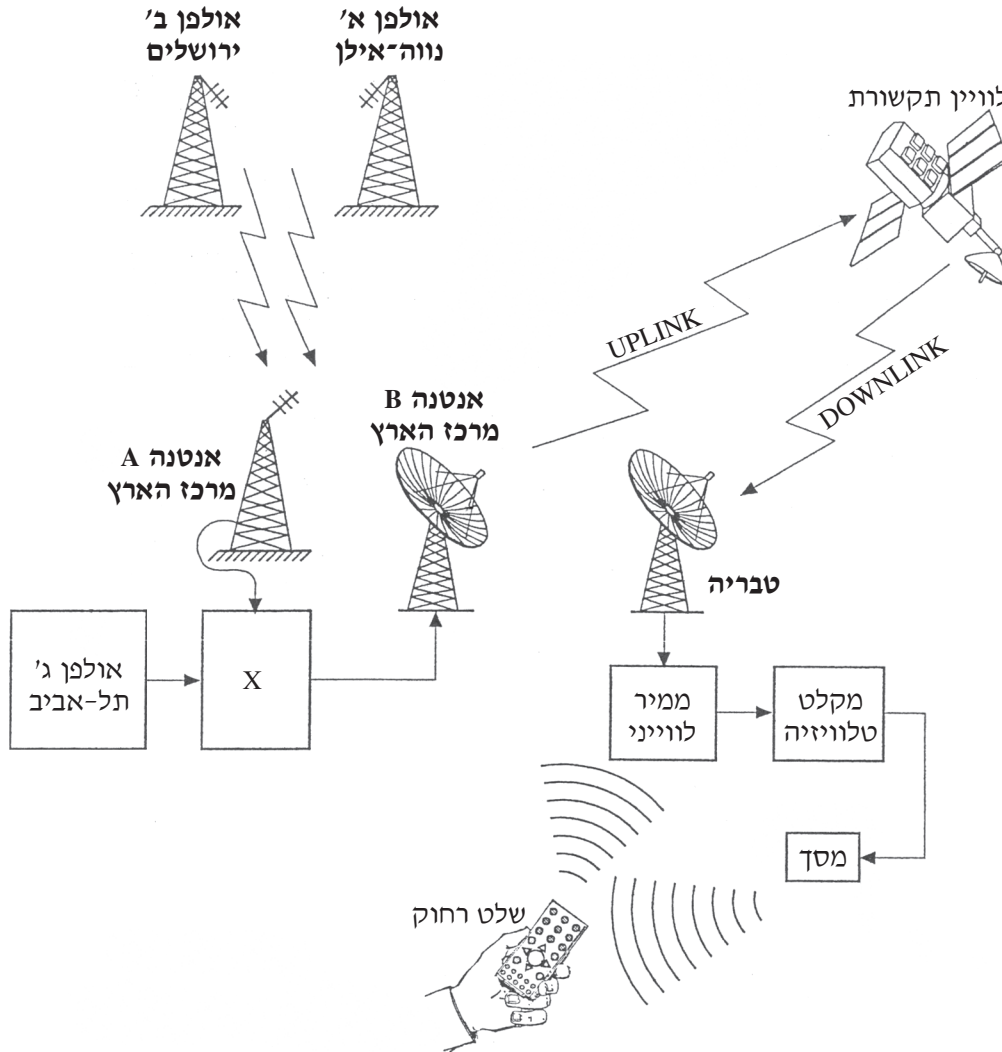
5 נק') ב. נתון שדרגת השירות ברשת היא 1%, ומספר הערוצים בכל תא הוא 40. היעזר בטבלת Erlang, הנתונה בנספח לשאלה זו, ומצא את כמות התעבורה הכוללת בכל תא בשעה אחת.

6 נק') ג. כל מנוי ברשת מבצע בממוצע שתי שיחות בשעה, וכל שיחה אורכת בממוצע 3 דקות. חשב את מספר המנויים בכל תא ואת מספר המנויים הכולל ברשת.

5 נק') ד. דרגת השירות של רשת תקשורת תאית **אחרת** היא 0.5%. מהי המשמעות המעשית של הנתון הזה מבחינת חסימת שיחה למנוי ברשת הזו?

שאלה 7

- א. (9 נק') ציין שני יתרונות ושני חסרונות של תקשורת לוויינית לעומת תקשורת קרקעית.
ב. (16 נק') באיור לשאלה 7 מתוארת מערכת לשידורי טלוויזיה בישראל באמצעות לוויין תקשורת.



איור לשאלה 7

- מהי היחידה המסומנת ב-X ומהו תפקידה?
- הצע תווד מתאים להעברת השידורים מאולפן ג' ליחידה X (לא באמצעות אנטנה). נמק את הצעתך.
- הסבר מהי תחנת ממסר, וציין האם קיימת תחנת ממסר במערכת הזו. נמק את תשובתך.
- הסבר את המונחים UPLINK ו-DOWNLINK המופיעים באיור.

שאלה 8

נתון סיב מדרגה רב־אופני שאורכו 5 ק"מ. קוטר ליבת הסיב הוא 0.2 מ"מ.
מקדם השבירה של ליבת הסיב הוא 1.4, ומקדם השבירה של מעטה הסיב הוא 1.36.

(6 נק') א. חשב את התחום של זוויות התקדמות האור בתוך הסיב.

(6 נק') ב. הסבר מהו מפתח נומרי (N.A.) של סיב אופטי, וחשב את ערכו בסיב הזה.

(5 נק') ג. חשב את הנפיצה הבין־אופנית של הסיב הזה.

(8 נק') ד. קרן אור, שאורך־הגל שלה באוויר הוא 900 nm, מגיעה מן האוויר לליבת הסיב, ופוגעת בה בזווית של 15° לציר הסיב האופטי.

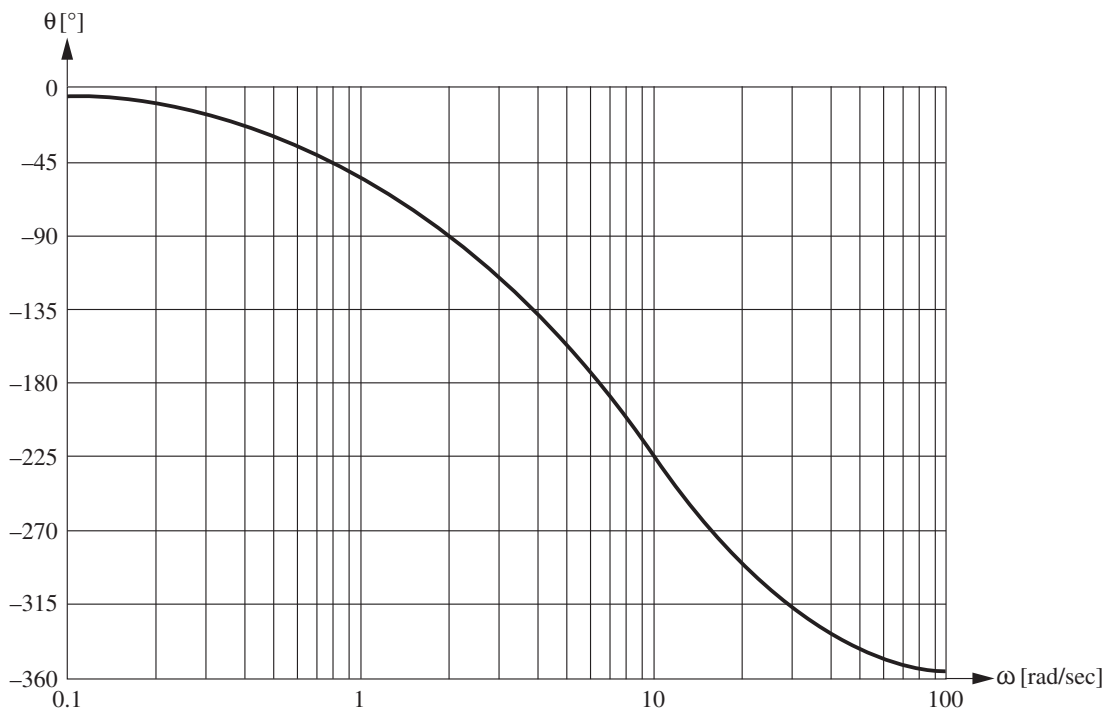
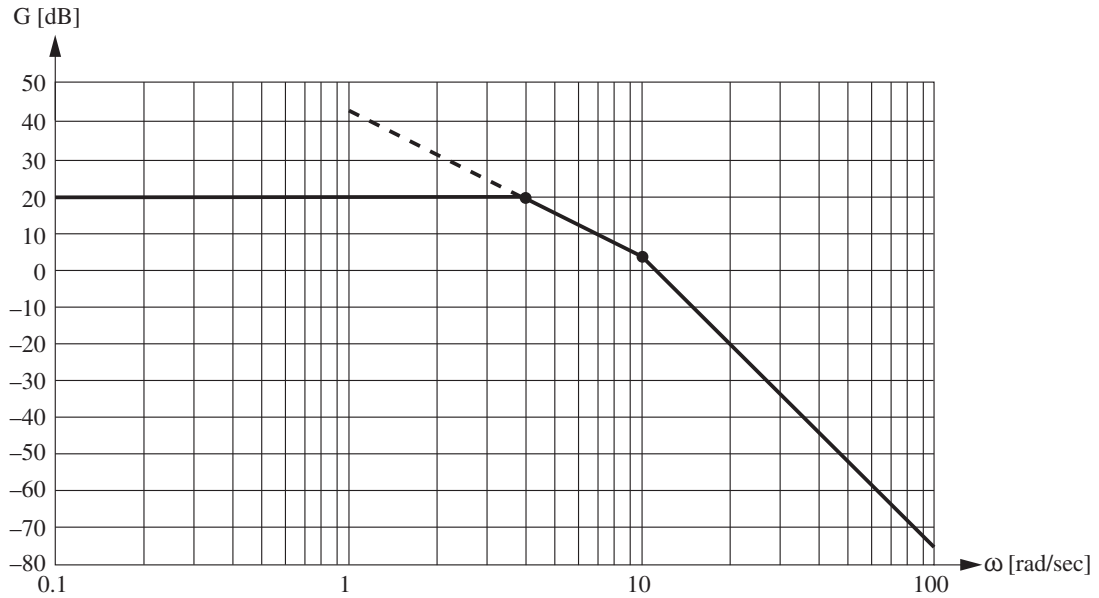
1. תאר (באמצעות סרטוט מתאים או באופן מילולי) את צורת ההתקדמות של קרן האור לאורך הסיב האופטי.

2. חשב את אורך־הגל של הקרן בסיב האופטי ואת מהירות ההתקדמות שלה בו.

בהצלחה!

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.

elec4u.co.il



נספח לשאלה 6

לשאלון 711913 , אביב תשע"ט

טבלת Erlang :

בטבלה זו מוצגת כמות התעבורה הכוללת בתא בשעה אחת ביחידות Erlang (A) , כפונקצייה של מספר הערוצים בתא (C) ודרגת השירות (GOS – 1% או 2%).

C	GOS	
	2%	1%
1	0.02	0.01
2	0.223	0.153
3	0.602	0.455
4	1.09	0.869
5	1.66	1.36
6	2.28	1.91
7	2.94	2.5
8	3.63	3.13
9	4.34	3.78
10	5.08	4.46
11	5.84	5.16
12	6.61	5.88
13	7.4	6.61
14	8.2	7.35
15	9.01	8.11
16	9.83	8.88
17	10.7	9.65
18	11.5	10.4
19	12.3	11.2
20	13.2	12

C	GOS	
	2%	1%
21	14	12.8
22	14.9	13.7
23	15.8	14.5
24	16.6	15.3
25	17.5	16.1
26	18.4	17
27	19.3	17.8
28	20.2	18.6
29	21	19.5
30	21.9	20.3
31	22.8	21.2
32	23.7	22
33	24.6	22.9
34	25.5	23.8
35	26.4	24.6
36	27.3	25.5
37	28.3	26.4
38	29.2	27.3
39	30.1	28.1
40	31	29

C	GOS	
	2%	1%
41	31.9	29.9
42	32.8	30.8
43	33.8	31.7
44	34.7	32.5
45	35.6	33.4
46	36.5	34.3
47	37.5	35.2
48	38.4	36.1
49	39.3	37
50	40.3	37.9
51	41.2	38.8
52	42.1	39.7
53	43.1	40.6
54	44	41.5
55	44.9	42.4
56	45.9	43.3
57	46.8	44.2
58	47.8	45.1
59	48.7	46
60	49.6	46.9

C	GOS	
	2%	1%
61	50.6	47.9
62	51.5	48.8
63	52.5	49.7
64	53.4	50.6
65	54.4	51.5
66	55.3	52.4
67	56.3	53.4
68	57.2	54.3
69	58.2	55.2
70	59.1	56.1
71	60.1	57
72	61	58
73	62	58.9
74	62.9	59.8
75	63.9	60.7
76	64.9	61.7
77	65.8	62.6
78	66.8	63.5
79	67.7	64.4
80	68.7	65.4

C	GOS	
	2%	1%
81	69	66
82	70	67
83	71	68
84	72	69
85	73	70
86	74	71
87	75	72
88	76	73
89	77	74
90	78	75
91	79	76
92	80	77
93	81	78
94	82	78
95	83	79
96	84	80
97	85	81
98	86	82
99	87	83
100	88	84

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות בקרה לכיתה י"ד

התמחות מערכות אלקטרוניות

(9 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:

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

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

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:

טבלת התמורות לפלס		
	$F(s)$	$f(t)$ $t \geq 0$
1.	1	$u_0(t)$ $t_0 = 0$ הלם של יחידה בזמן $t_0 = 0$
2.	$\frac{1}{s}$	1 or $u_{-1}(t)$ $t_0 = 0$ מדרגת יחידה המתחילה בזמן $t_0 = 0$
3.	$\frac{1}{s^2}$	$tu_{-1}(t)$ שיפוע של יחידה
4.	$\frac{1}{s^n}$	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1}$ $n =$ חיובי שלם
5.	$\frac{1}{s} e^{-as}$	$u_{-1}(t-a)$ $t_0 = a$ מדרגת יחידה המתחילה בזמן $t_0 = a$
6.	$\frac{1}{s} (1 - e^{-as})$	$u_{-1}(t) - u_{-1}(t-a)$ דופק ריבועי
7.	$\frac{1}{s+a}$	e^{-at}
8.	$\frac{1}{(s+a)^n}$	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{-at}$ $n =$ חיובי שלם
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.	$\frac{s + \alpha}{s(s^2 + \omega^2)}$	$\frac{\alpha}{\omega^2} - \frac{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}{\omega^2} \cos(\omega t + \phi)$	$\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha}$
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

$$GH(s) = \frac{K \cdot B_1(s)}{s^\ell \cdot B_2(s)}$$

את פונקציית התמסורת בחוג פתוח אפשר לרשום באופן כללי כך:

כאשר: K – הגבר

ℓ – סוג המערכת

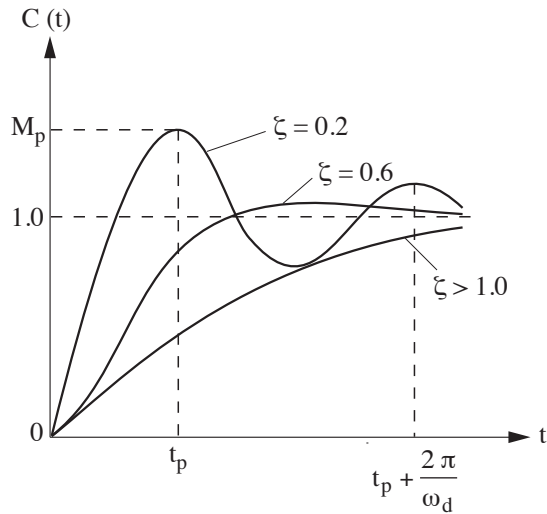
$B_1(s)$, $B_2(s)$ – פולינומים

$$B_1(s) = a_0 \cdot s^m + a_1 \cdot s^{m-1} + \dots + a_{m-1} \cdot s + a_m$$

$$B_2(s) = b_0 \cdot s^n + b_1 \cdot s^{n-1} + \dots + b_{n-1} \cdot s + b_n$$

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

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



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

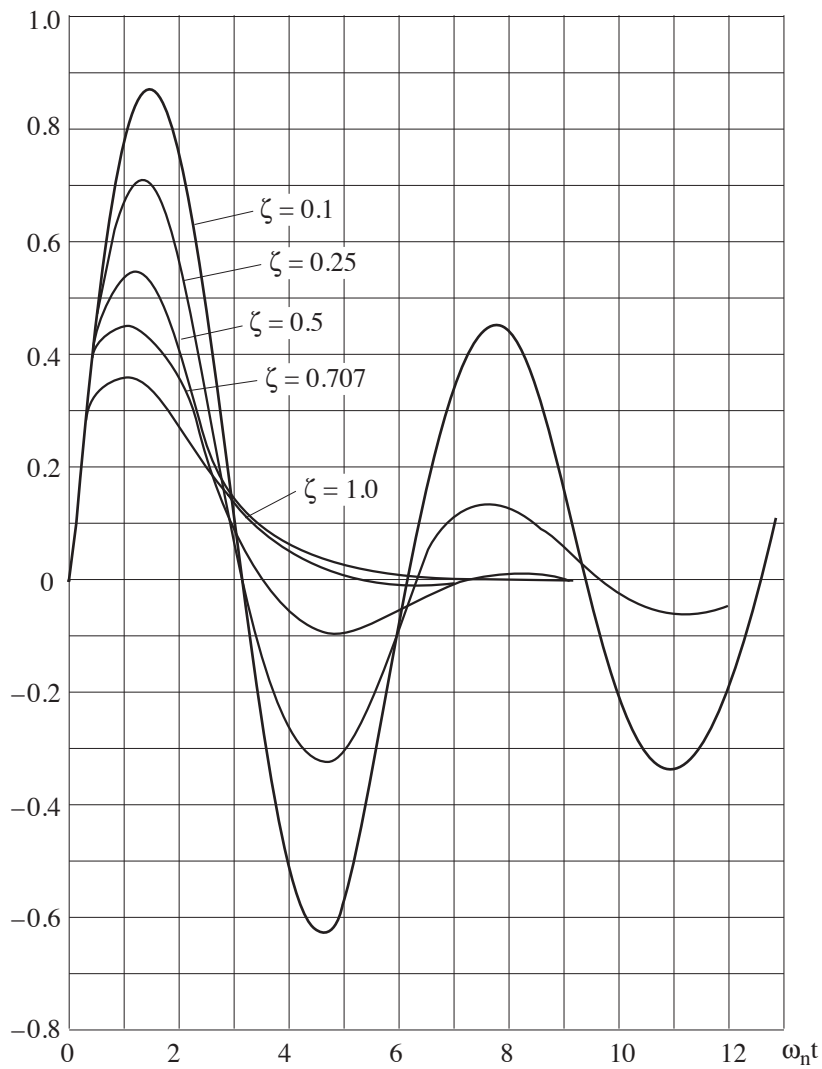
כאשר:

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 הלט 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)

זווית האסימפטוטות:

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

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

נקודות החיתוך עם הציר הדמיוני מתקבלות מטבלת ראוט.

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

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

$\arg GH'$ – 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:

$$\begin{array}{lll}
 20 \log |j\omega| & 20 \log |(1 + j\omega T)| & 20 \log k \\
 20 \log \frac{1}{|(1 + j\omega T)|} & 20 \log |(1/j\omega)^2| & 20 \log |(1/j\omega)| \\
 & & 20 \log \frac{1}{\left| 1 + 2\xi \frac{j\omega}{\omega_n} + \left(\frac{j\omega}{\omega_n} \right)^2 \right|}
 \end{array}$$

סרטוט כל גורם בנפרד, ומציאת השקול מתוך חיבור הגרפים.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות תקשורת ב' לכיתה י"ד (7 עמודים)

תקשורת בסיב אופטי

חוק סנל:

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

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

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

- 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 [°]

עקרון הפעולה של סיב אופטי:

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

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

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

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

נפיצה בין-אופנית:

ההפרש היחסי בין מקדמי-השבירה Δ -

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

מקדם השבירה של ליבת הסיב n_1 -

מקדם השבירה של מעטה הסיב n_2 -

מפתח נומרי – Numerical Aperture $N.A.$ -

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

הנפיצה הבין-אופנית Δt [sec] -

אורך הסיב L [m] -

זווית ההתפשטות הקריטית θ_{1c} [°] -

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

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

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

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

התדר המנורמל V -

רדיוס ליבת הסיב a [μm] -

אורך הגל של האור λ [μm] -

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

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

מספר האופנים בסיב מדרגה רב-אופני M_n -

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

מספר האופנים בסיב פרבולי רב-אופני M_n^* -

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

ניחות הסיב האופטי:

ניחות הסיב	-	Att [dB]
הספק במוצא הסיב	-	P _{out} [W]
הספק במבוא הסיב	-	P _{in} [W]
מקדם ניחות הסיב	-	$\beta \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right]$
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 [(μm) ²]
שטח-הפנים של מקור-האור	-	A _s [(μm) ²]
הקוטר של ליבת הסיב האופטי	-	d _f [μm]
הקוטר של מקור-אור מעגלי	-	d _s [μm]

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

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 מניחות הסיב
- 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
- P_R [dB] או [dBm] ההספק במוצא הסיב האופטי
- $LOSS_{TOTAL}$ [dB] או [dBm] הפסד ההספק הכולל בסיב האופטי

שולי ההספק:

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

$$L_m = P_R - P_d$$

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 בתדירים 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 ממוצע
- Au [Erlang] - כמות התעבורה (זמן השיחות הכולל) שמנוי יצר בשעה אחת
- U - מספר המנויים בתא
- A [Erlang] - כמות התעבורה הכוללת בתא בשעה אחת
- GOS - דרגת השירות (Grade of Service)
- C - מספר הערוצים בתא

$$Au = \frac{\lambda \cdot H}{3600}$$

$$A = U \cdot Au$$

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

: TDMA

- BW_T [Hz] תחום התדרים הכולל
- BW [Hz] רוחב-הפס של ערוץ
- X מספר הערוצים
- N מספר חריצי-הזמן בערוץ (מסגרת)
- C מספר ערוצי-הבקרה במסגרת
- S מספר המנויים שניתן לשרת בו-זמנית

$$BW_T = BW \cdot X$$

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

: 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 בווקטורים

נתונים הווקטורים a ו- b :

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

הווקטור c הוא מכפלה סקלרית של הווקטורים a ו- b :

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

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

פעולות בסיסיות בווקטורים:

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

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

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

אם הווקטורים a ו- b אורתוגונליים, אז מתקיים:

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

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

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

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

קידוד CDMA

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

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

$$t = d' \cdot V$$

data – מחרוזת מידע ספרתי (סיביות)

d – וקטור המייצג את data

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

$$d = r \cdot V$$

data' – מחרוזת הסיביות הנקלטת

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'.

נספח: מילון מונחים

לשאלון 711913, אביב תשע"ט

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
input signal	Входной сигнал	إشارة الدخل	אות-מבוא
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