

חוברת ניסויים והסברים

מעבדת תקשורת

שכבה י"ב

1. תקשורת ספרתית

2. תקשורת אנלוגית

3. תקשורת חוֹזִי

חיברו וערכו: לילך זמיר, דני גולקו

" -



. "

§

.

'

§

.

.

,

,

§

.

,

,

,

.

.

,

§

.

,

"

§

.

.

§

,

.

§

!

# פרק ראשון

## תקשורת ספרתית

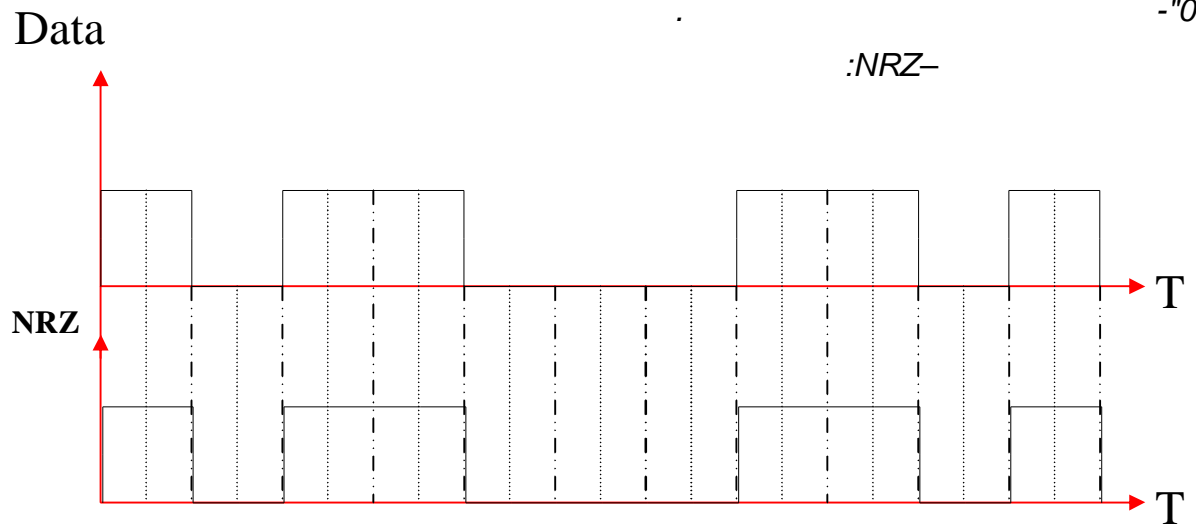
- 1. 3.1 RZ – NRZ
- 2. 8.1 ASK
- 3. 8.2 FSK
- 4. 8.3 PSK
- 5. 1 '1

:NRZ – RZ –

: – NON RETURN TO ZERO – NRZ

-"1"

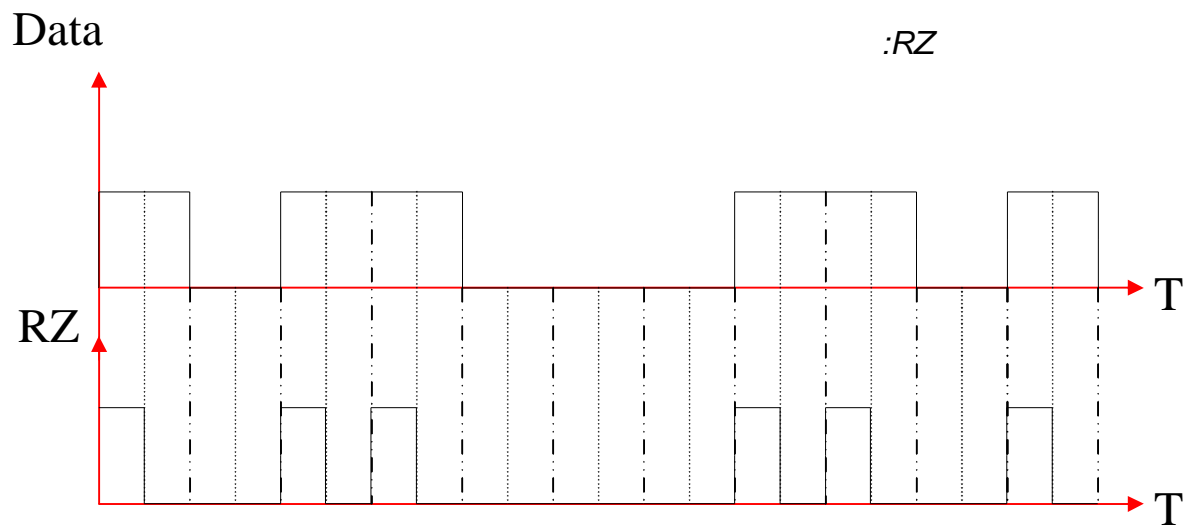
-"0"



: – RETURN TO ZERO – RZ

-"1" :

-"0"





" -

"1"

."0" -

"0"

."0"

"1"

:RZ

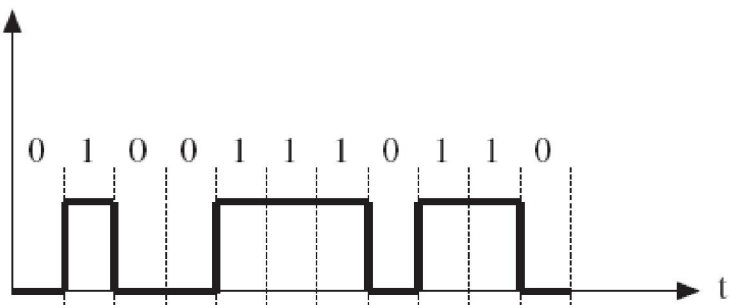
:

.RZ

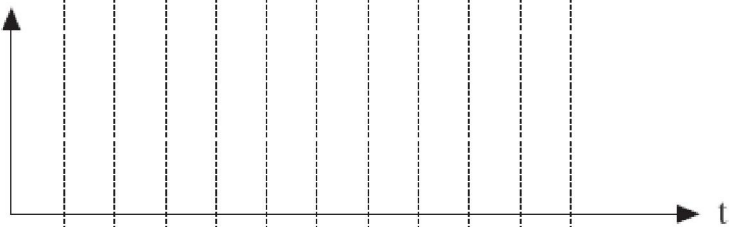
NRZ

, BCD

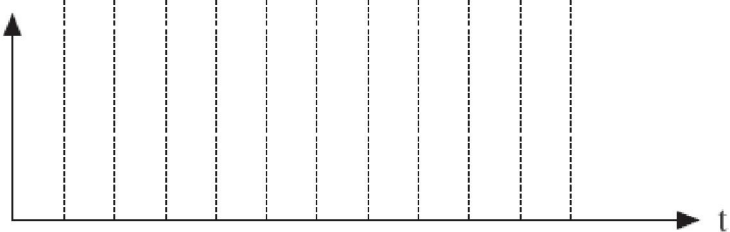
אות המידע  
לאחר  
קידוד BCD



אות המידע  
בקידוד NRZ



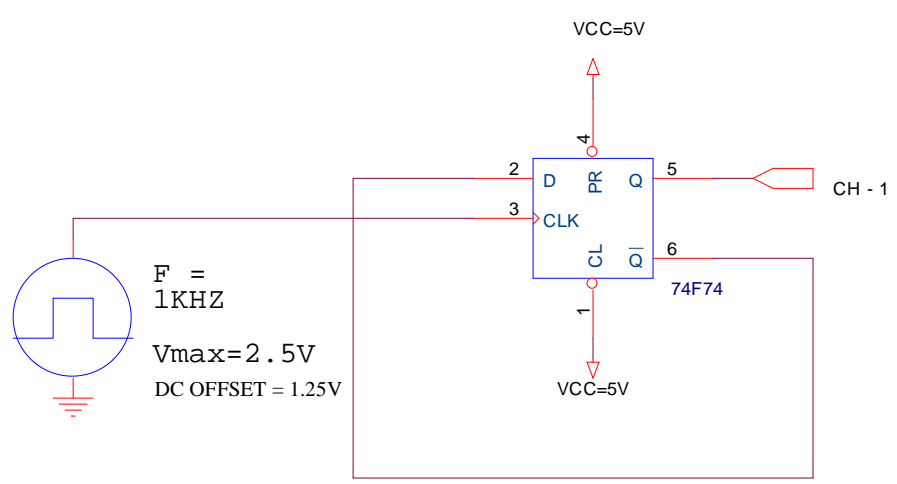
אות המידע  
בקידוד RZ



-  
NRZ - RZ  
3.1'

:  
NRZ - NRZ .1  
.2  
.3

:  
:NRZ -  
.1



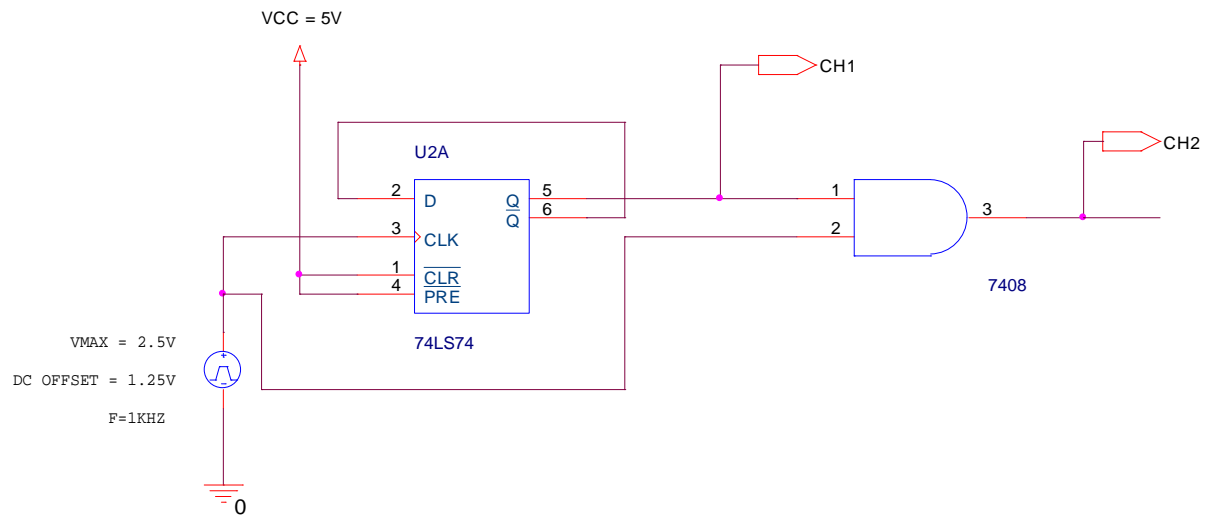
GND - 7  
VCC - 14

.2  
.3  
.(sec/div- volt/div - ) .

" -

:RZ - ' .

.1



GND - 7  
VCC - 14

.2  
(.sec/div- volt/div - ). .3

:

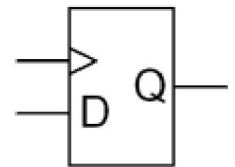
.1  
(. ( ' ) ?DFF ) ?AND - .2

" -

: \_\_\_\_\_  
:D.F.F .

. , ,  
 . *NAND* *NOR*

(Delay- ) *D* ( )  
*D*=0 1 , *D*=1 . ,  
 .0



. *Q*- *D* , > .*D*  
 :

$$D = Q_{next}$$

| <i>Q<sub>next</sub></i> | <i>Q</i> | <i>D</i> |
|-------------------------|----------|----------|
| 0                       | X        | 0        |
| 1                       | X        | 1        |

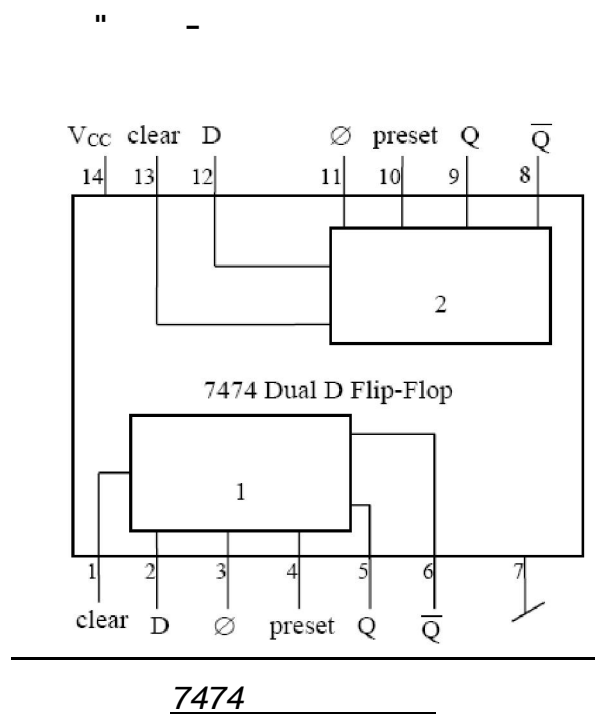
:

: \_\_\_\_\_

.  
*ASCII* , \_\_\_\_\_ , ( ) \_\_\_\_\_

. *D* .

32

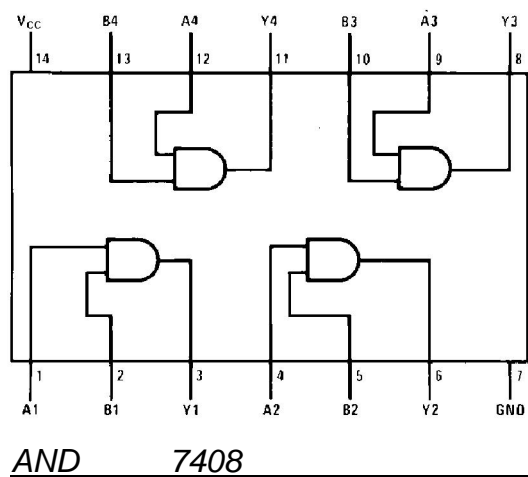


| Preset | Clear | $\emptyset$ | D | Q | $\bar{Q}$ |
|--------|-------|-------------|---|---|-----------|
| L      | H     | X           | X | H | L         |
| H      | L     | X           | X | L | H         |
| H      | H     | $\uparrow$  | L |   |           |
| H      | H     | $\uparrow$  | H |   |           |

**7474**

AND  
AND

2



" -

$$Y = AB$$

| Inputs |   | Output |
|--------|---|--------|
| A      | B | Y      |
| L      | L | L      |
| L      | H | L      |
| H      | L | L      |
| H      | H | H      |

H = HIGH Logic Level

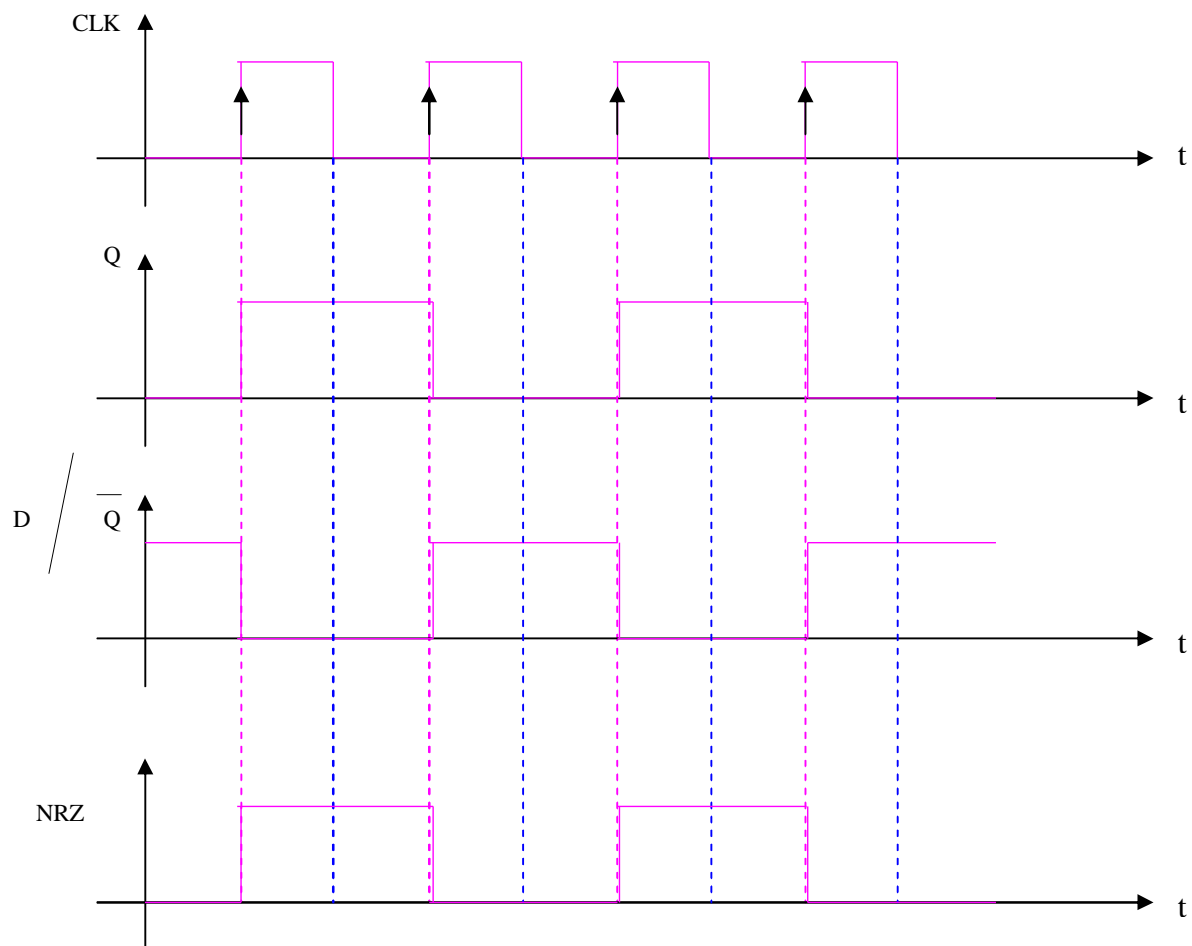
L = LOW Logic Level

\_\_\_\_\_ /

:NRZ - ' \_\_\_\_\_

,

:

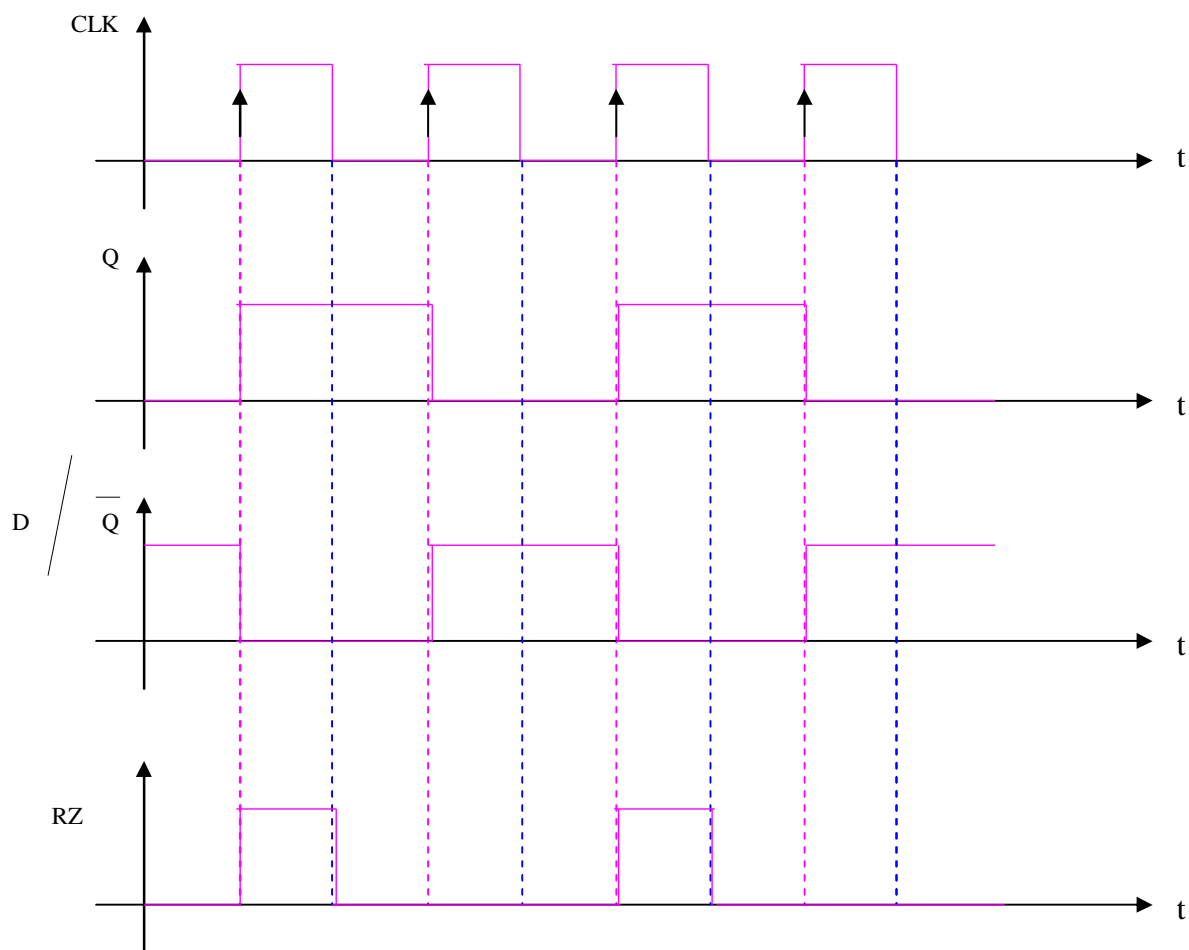


" -

:RZ - ' -

,

:



.RZ

,

\_\_\_\_\_ ,

)

.( / ' -

Q

.

("0")

,

.

D -

"

"

,"1")

"

,CLK

.

" -

:PRS - CLR

.D Q

, ( ) CLR ."1" , PRS

. , ."0"

. "0" - , , ,

. , VCC - ,



:(ASK, FSK, PSK)

(AM)

?

.(FM)

. )  $\varphi$  Asin(wt+ :

.(  $\varphi$  )

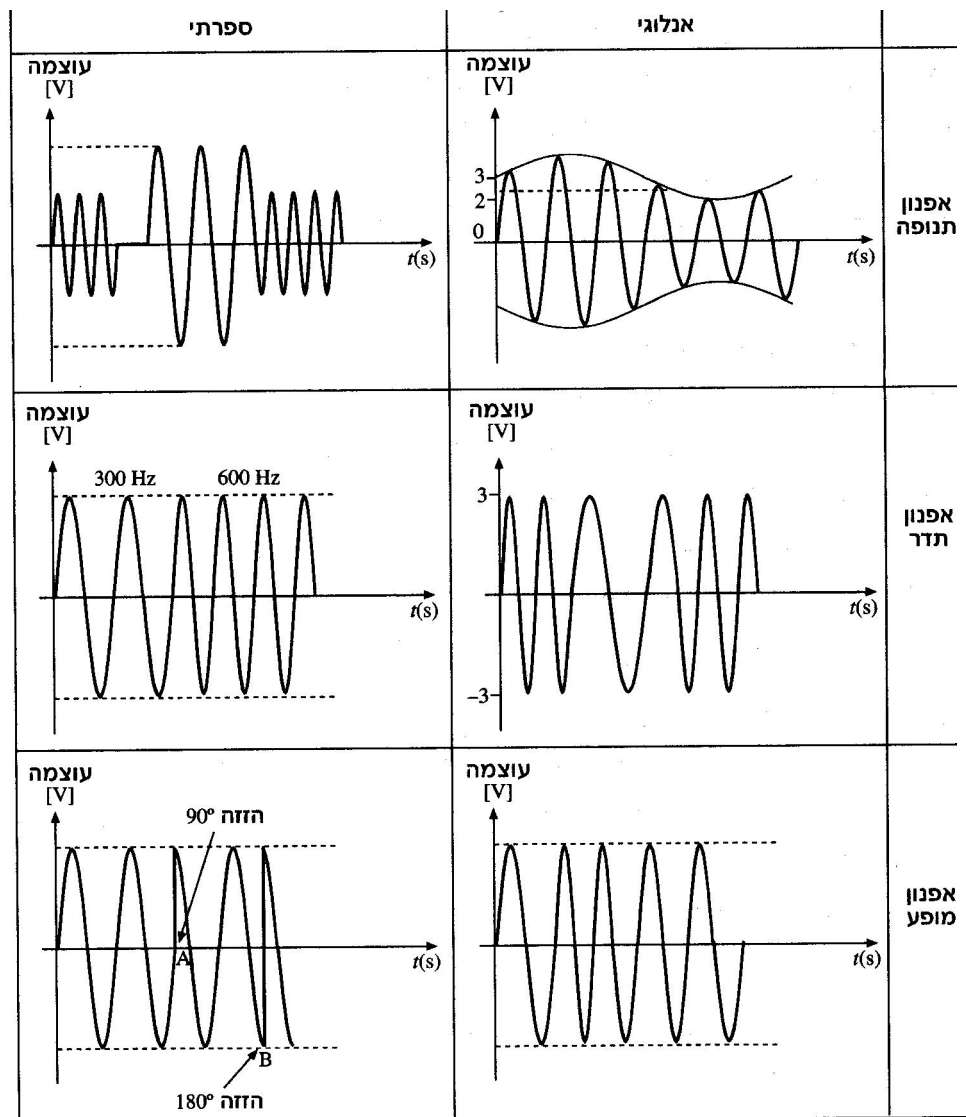
(F)

,(A)

:

1

" , ( )



||

‘ . ’

90

•

, .

$$M = 2^n \quad (n = 1, 2, \dots, M)$$

" -

:ASK

"1"-

"0"-

"0"

"1"

0  
0

"1"-

. ASK -

. Space -  
' 2 - ' 2

"0"

Mark - "1"

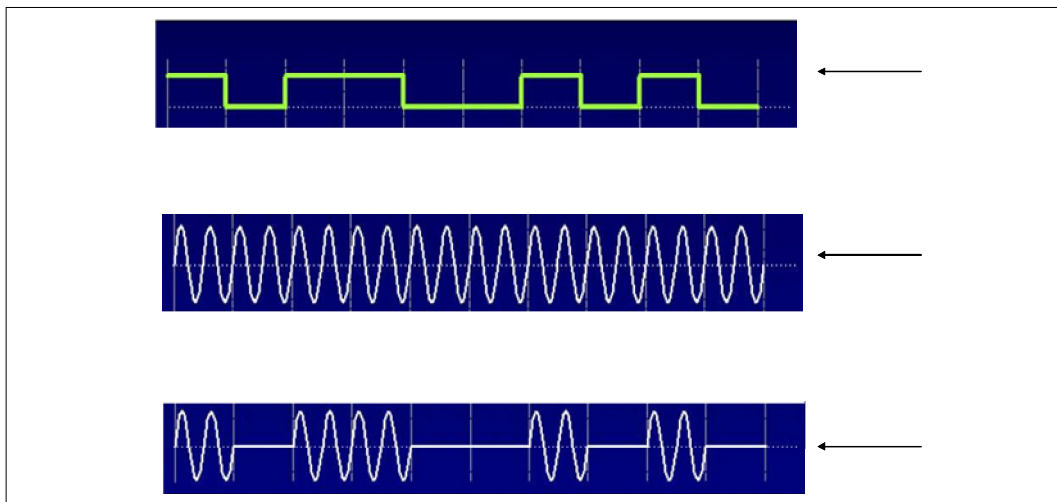
"0"

0  
.0

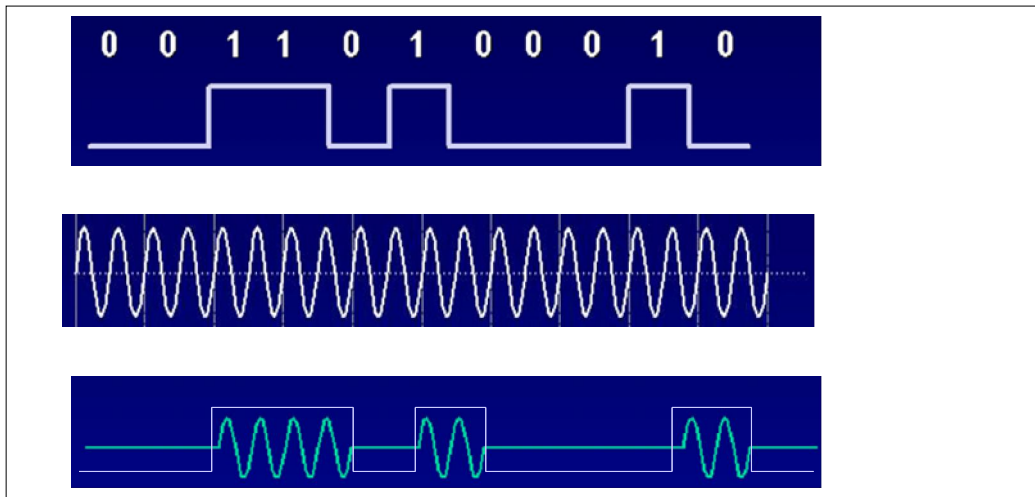
' 2

ASK

"0"

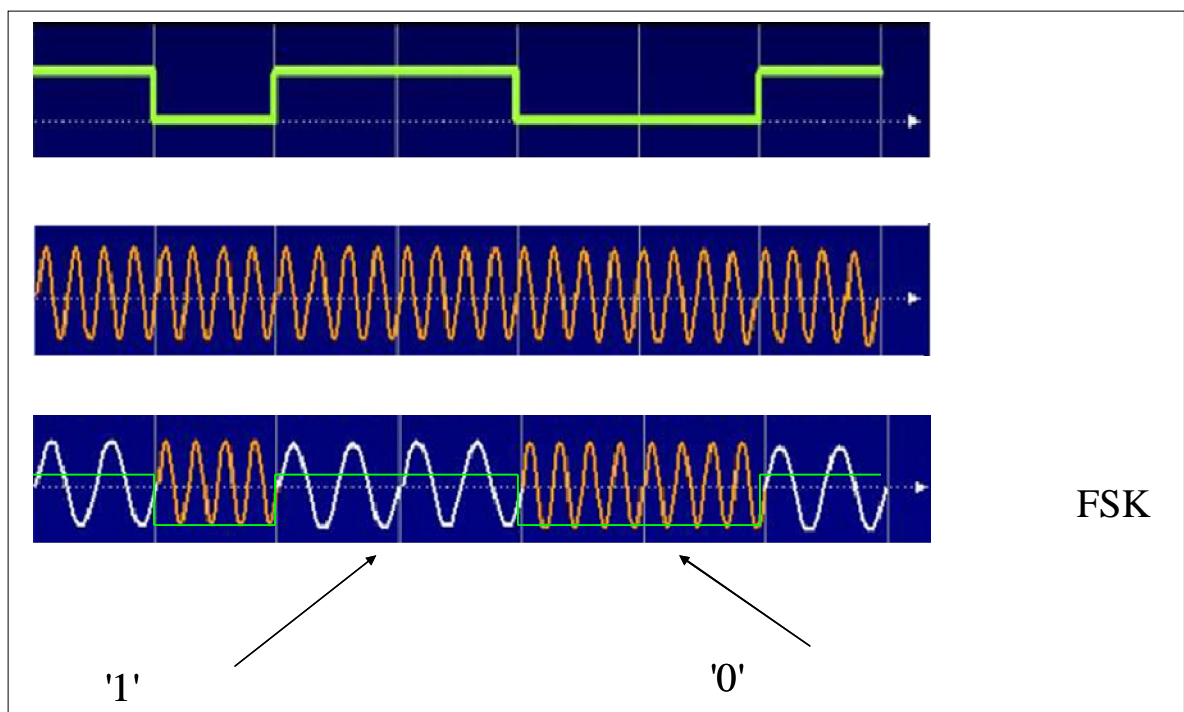


" -

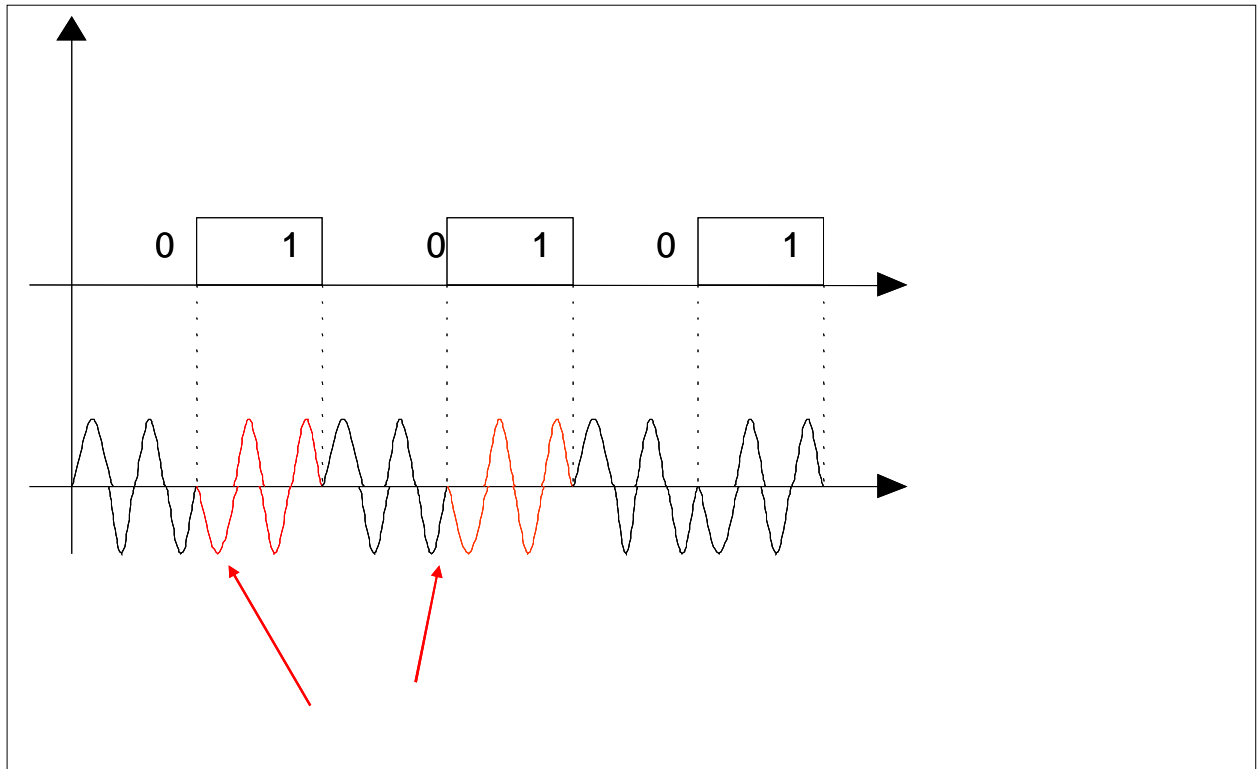


:FSK

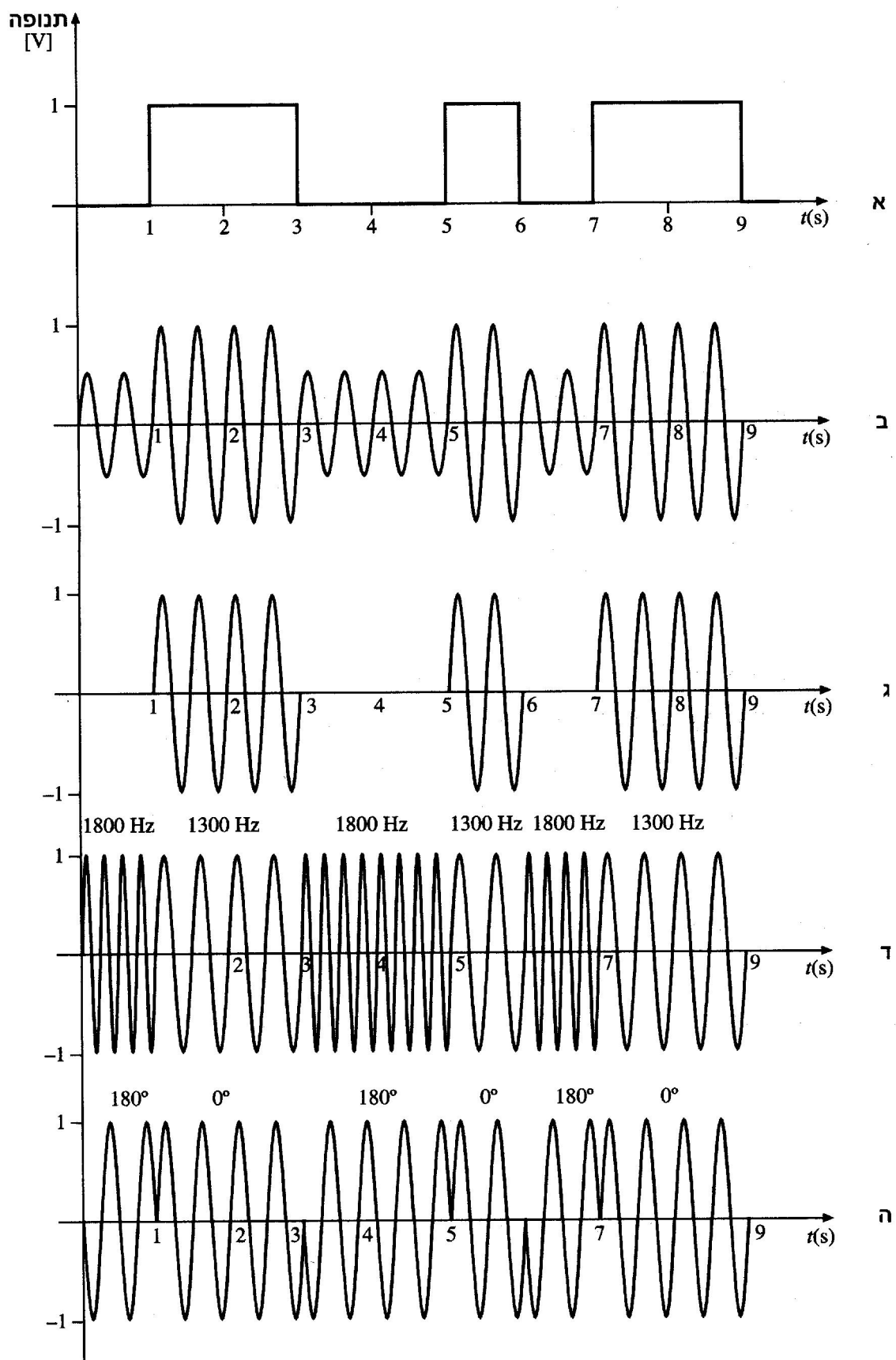
"1" - "0" -  
 . FSK - ,FSK  
 . ' 3 ' 3



:PSK

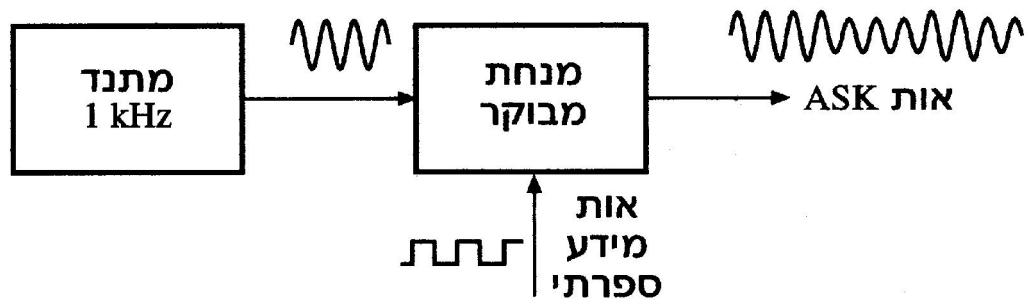
$$f_{\text{PSK}} = \frac{1}{T} \left( \frac{1}{2} + \cos \left( \frac{\pi}{2} \right) \right)$$


⋮

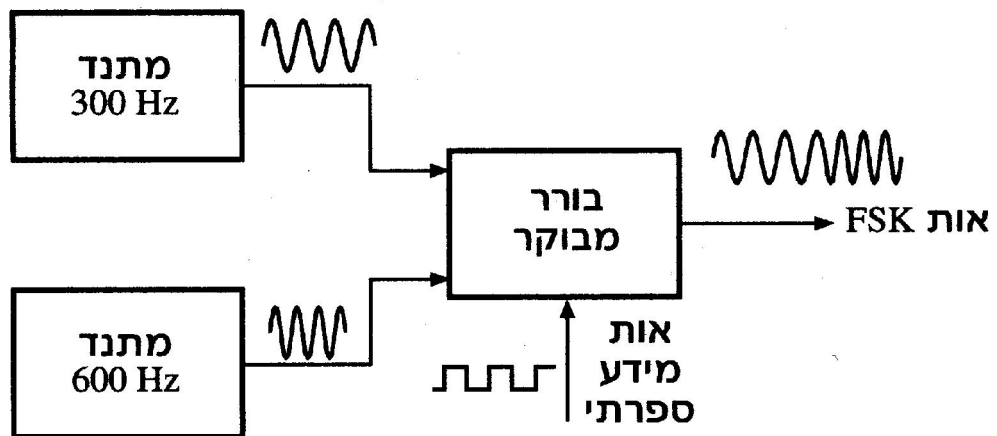


:

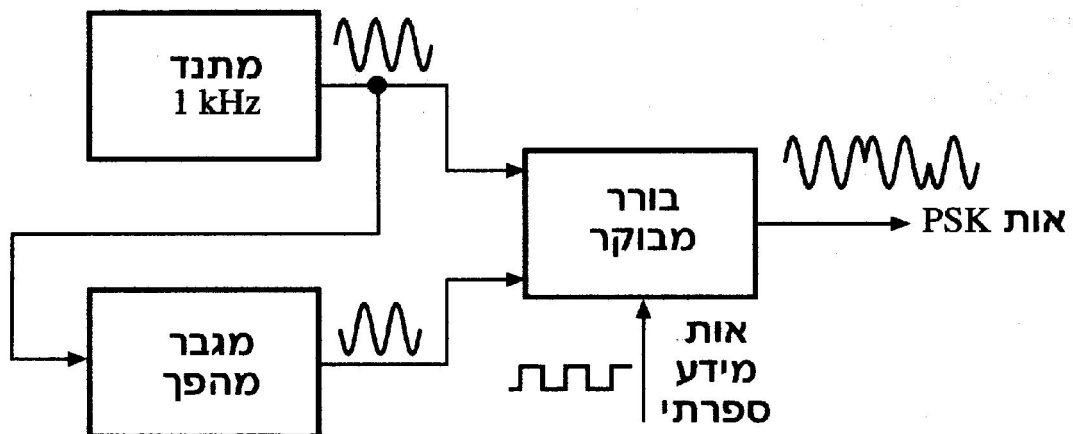
| שיטת מפתוח | יתרונות                                                                                        | חסרונות                                                                  | שימוש אופייני                                                                                                                                           |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASK        | פשוט ליישום מבחינת מעגלי השידור והקליטה                                                        | רגיש לניחות בקו, מצריך 4W לעבודה ב-FULL DUPLEX – לא מעשי ליישום במודמים. | מערכות תקשורת אופטיות                                                                                                                                   |
| FSK        | פשוט ליישום מבחינת מעגלי השידור והקליטה, אפשר לעבוד ב-2W ב-FULL DUPLEX.                        | מוגבל לקצב של עד 1200 סל"ש                                               | הופיעה במודמים הראשונים. יש עדיין מודמים בשימוש בשיטה זו הפועלים בקצבים נמוכים, למשל במערכות טלמטריה.                                                   |
| PSK        | פשוט ליישום מבחינת מעגלי השידור והקליטה, ניתן להגיע לקצבי עבודה מהירים בשיטות המתבססות על PSK. | רגיש לעיוותי מופע, לא מתאים לעבודה א-סינכרונית עקב טעויות בזיהוי המופע.  | במודמים בקצב נמוך השתמשו בשיטות המתבססות על PSK כגון ה-DPSK וה-QPSK. במערכות מיקרוגל ובמודמים מהירים משתמשים ב-QAM, שיטה המתבססת על שילוב של ASK ו-PSK. |



א. מערך יצירת אות ASK



ב. מערך יצירת אות FSK



ג. מערך יצירת אות PSK



" -

⋮ \_\_\_\_\_

, "1" "0" .1KHZ .1V .0.2 V

⋮ \_\_\_\_\_

.300 HZ 600 HZ ,  
,"1" .  
600 HZ  
.300 HZ , "1"

⋮ \_\_\_\_\_

1 .1 KHZ 180 -  
,"0" , "1" , "1"  
180 .

(AMPLITUDE SHIFT KEYING) ASK

8.1 '

.ASK

.ASK

∴

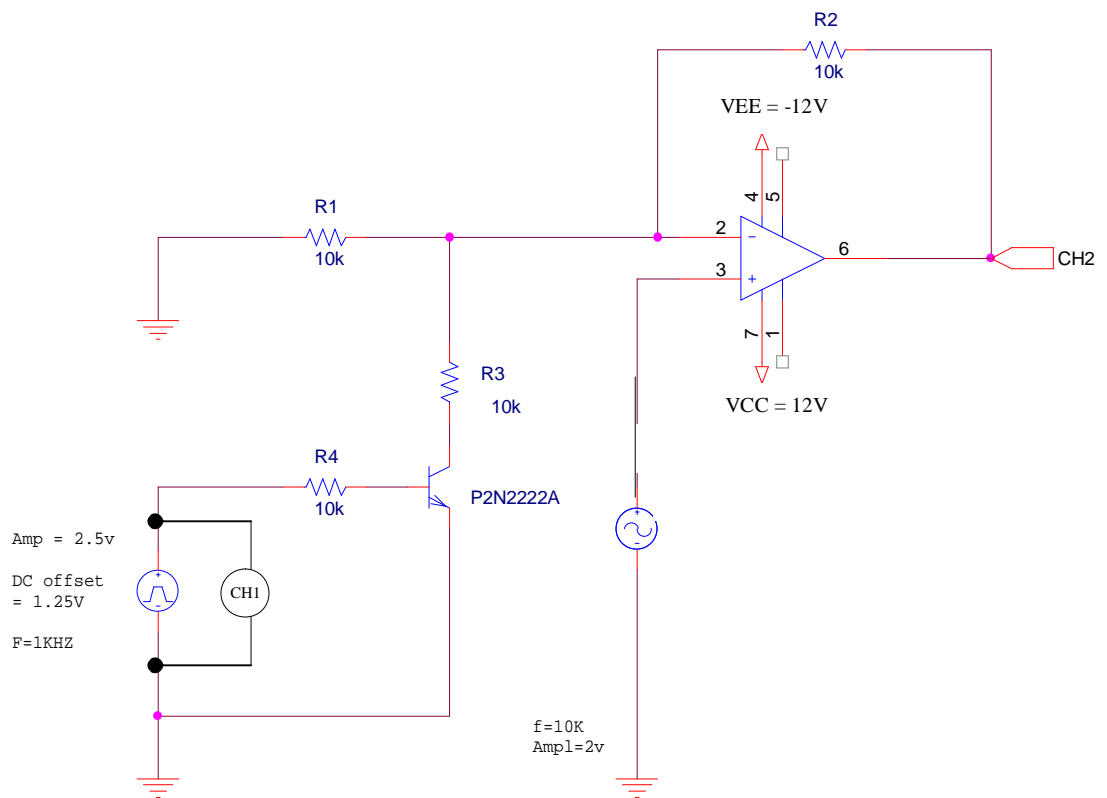
.1

.2

.3

∴

.1



.(sec/div- volt/div -

). .

.2

.3

" -

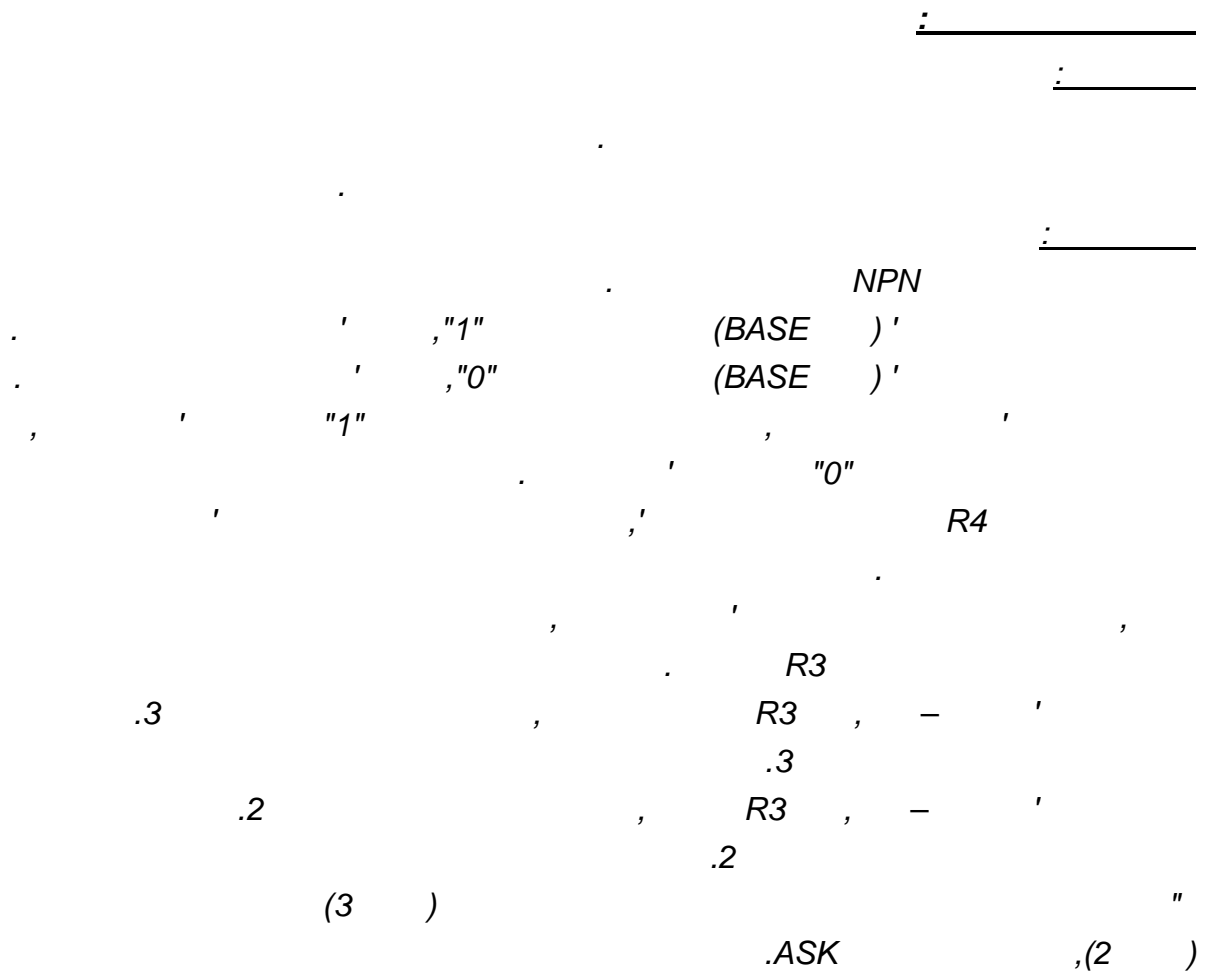
: " .4

|  |  | 2v |
|--|--|----|
|  |  | 3v |
|  |  | 4v |
|  |  | 5v |

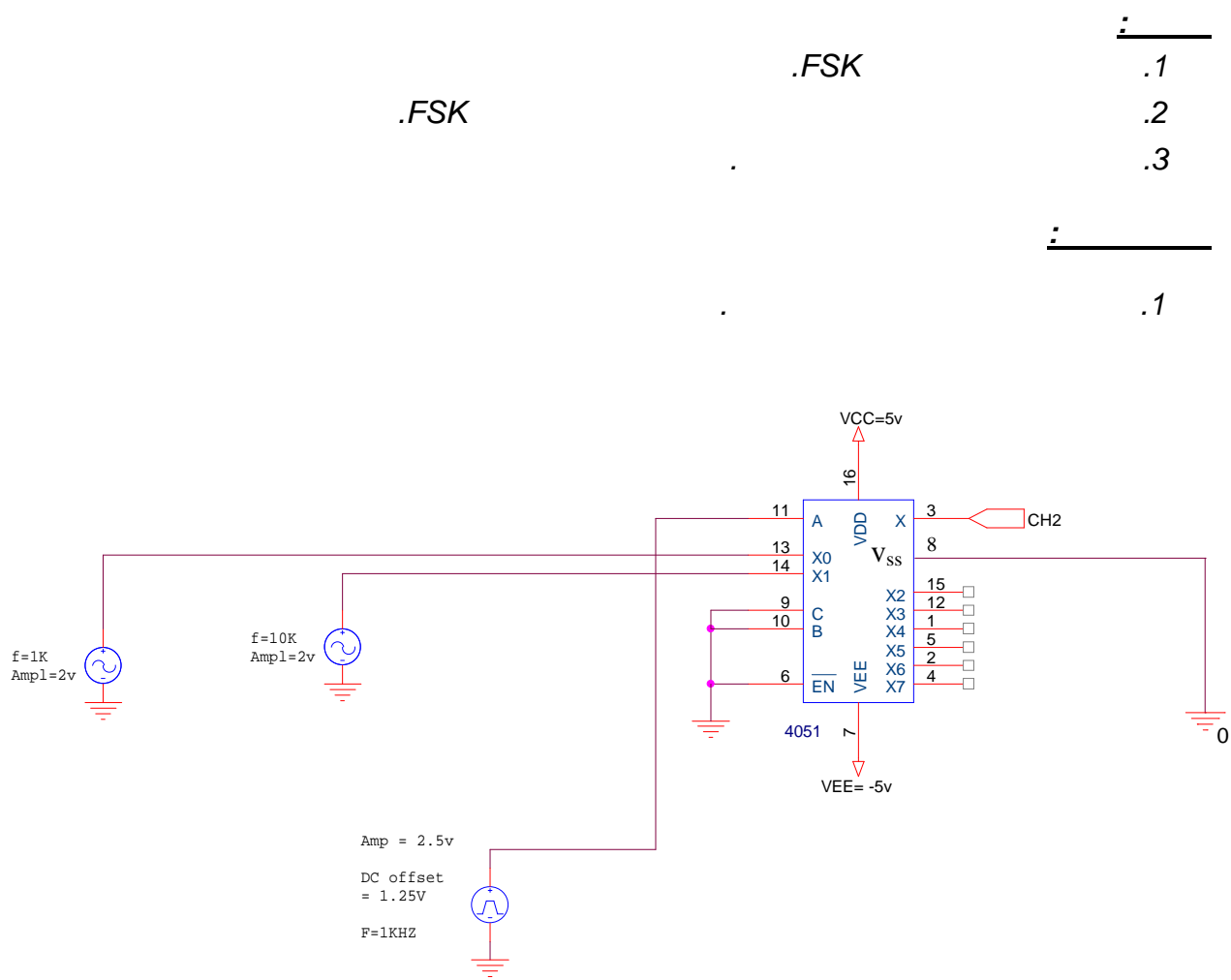
: \_\_\_\_\_

.1 ?  
.2 ?  
.3 ? , ?

" -



8.3'  
( frequency SHIFT KEYING) FSK



.2  
 .3

. (sec/div- volt/div - ) .

: ,

| INPUT STATES |   |   |   | “ON” CHANNEL(S) |
|--------------|---|---|---|-----------------|
| INHIBIT      | C | B | A |                 |
| CD4051B      |   |   |   |                 |
| 0            | 0 | 0 | 0 | 0               |
| 0            | 0 | 0 | 1 | 1               |
| 0            | 0 | 1 | 0 | 2               |
| 0            | 0 | 1 | 1 | 3               |
| 0            | 1 | 0 | 0 | 4               |
| 0            | 1 | 0 | 1 | 5               |
| 0            | 1 | 1 | 0 | 6               |
| 0            | 1 | 1 | 1 | 7               |
| 1            | X | X | X | None            |

(X0 – X7) C, B, A

, , 6 ' "0"

, V<sub>SS</sub> 8  
.LSB – A – ,MSB – C -  
" , B – C "

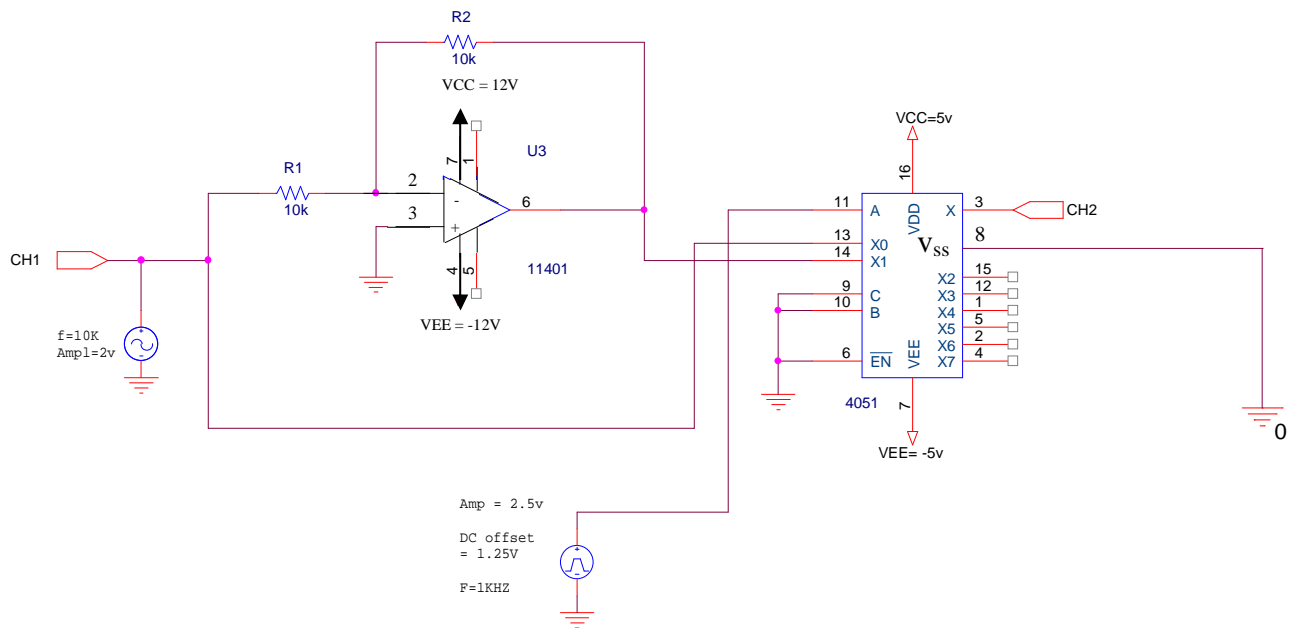
.A  
) X0 , "0" A –  
(CH2  
) X1 , "1" A –  
(CH2

"0" , , CLK A  
."1"

, ,F2 X1 – F1 X0 –  
. F2 , F1  
.FSK ,

“(PHASE SHIFT KEYING) PSK

8.3'



.(sec/div- volt/div -

).

?  
?

R2 – R1

,1

,

X1

:4051

| INPUT STATES |   |   |   | “ON” CHANNEL(S) |
|--------------|---|---|---|-----------------|
| INHIBIT      | C | B | A |                 |
| CD4051B      |   |   |   |                 |
| 0            | 0 | 0 | 0 | 0               |
| 0            | 0 | 0 | 1 | 1               |
| 0            | 0 | 1 | 0 | 2               |
| 0            | 0 | 1 | 1 | 3               |
| 0            | 1 | 0 | 0 | 4               |
| 0            | 1 | 0 | 1 | 5               |
| 0            | 1 | 1 | 0 | 6               |
| 0            | 1 | 1 | 1 | 7               |
| 1            | X | X | X | None            |

(X0 – X7)

C, B, A

6'

"0"

,V<sub>SS</sub> 8

.LSB –

A –

,MSB –

C -

" ,

B – C

"

.A

)

X0

,"0"

A –

.(CH2

)

X1

,"1"

A –

.(CH2



" -

"0"

,

,

CLK

A

."1"

,

X1 - ( )

X0 -

,

,

,

,

.PSK

,

.

" -

: - 1'

2

2

, "

.

, , "

.

2

, , "

"

,

,

, "

.

2

, "

"

•

, ,

.

.

.

•

.

2

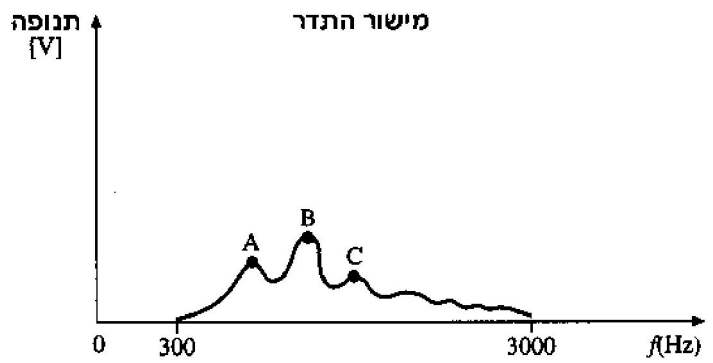
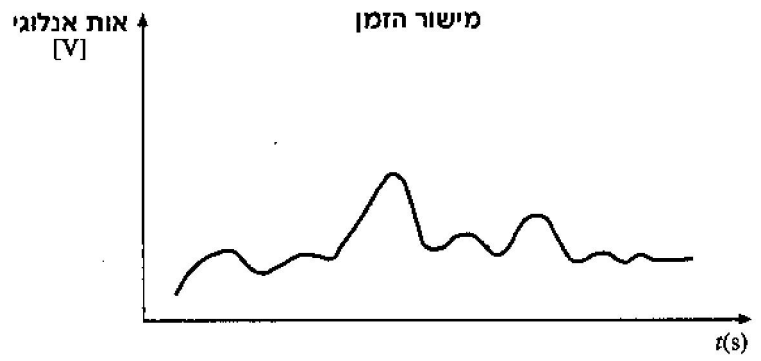
. 4000 - 300

. 3400 - 300

.

" -

\_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_

,

,

\_\_\_\_\_

"

:

,

$$f_s \geq 2f_a$$

,

( )

- fa

.3400hz

,

:1

"

,

.4000hz

"

\_\_\_\_\_

:

$$4000 \times 2 = 8000\text{hz}$$

" -

:2

. 2

?

:

:

$$2 \times 60 \times 2 \times 4000 = 960000 \cong 1M \text{ samples}$$

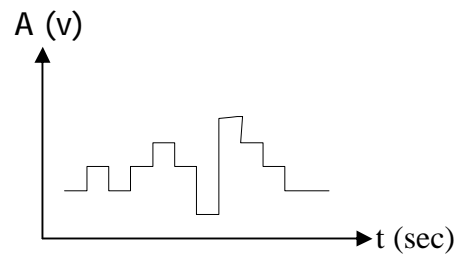
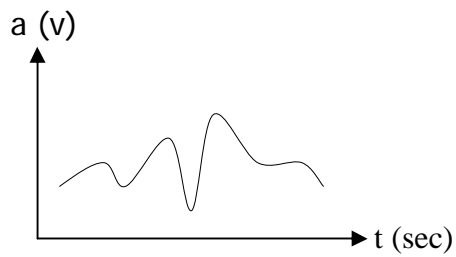
:

, 2 - 4000 Hz ,

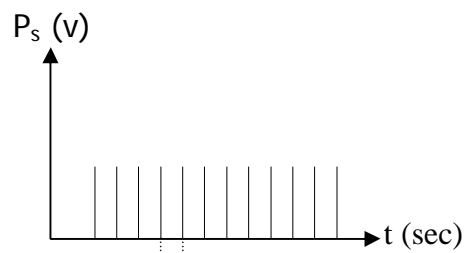
. 2x60 -

.

:



$P_s(t)$



$$T = \frac{1}{F_s}$$

, sample s) fs ,

.a(t) " .(

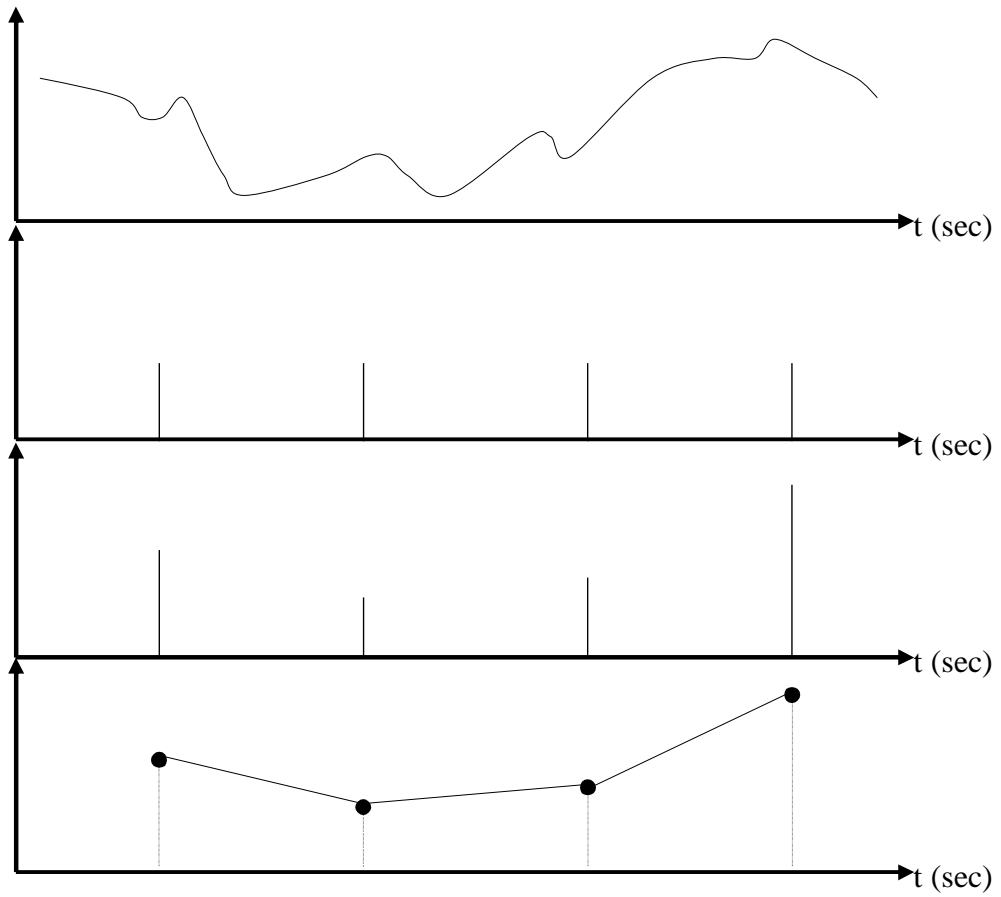
,

,

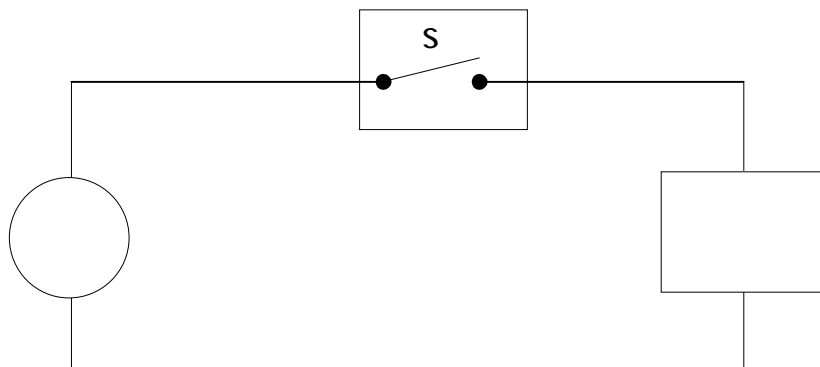
" " .

.

(audio)



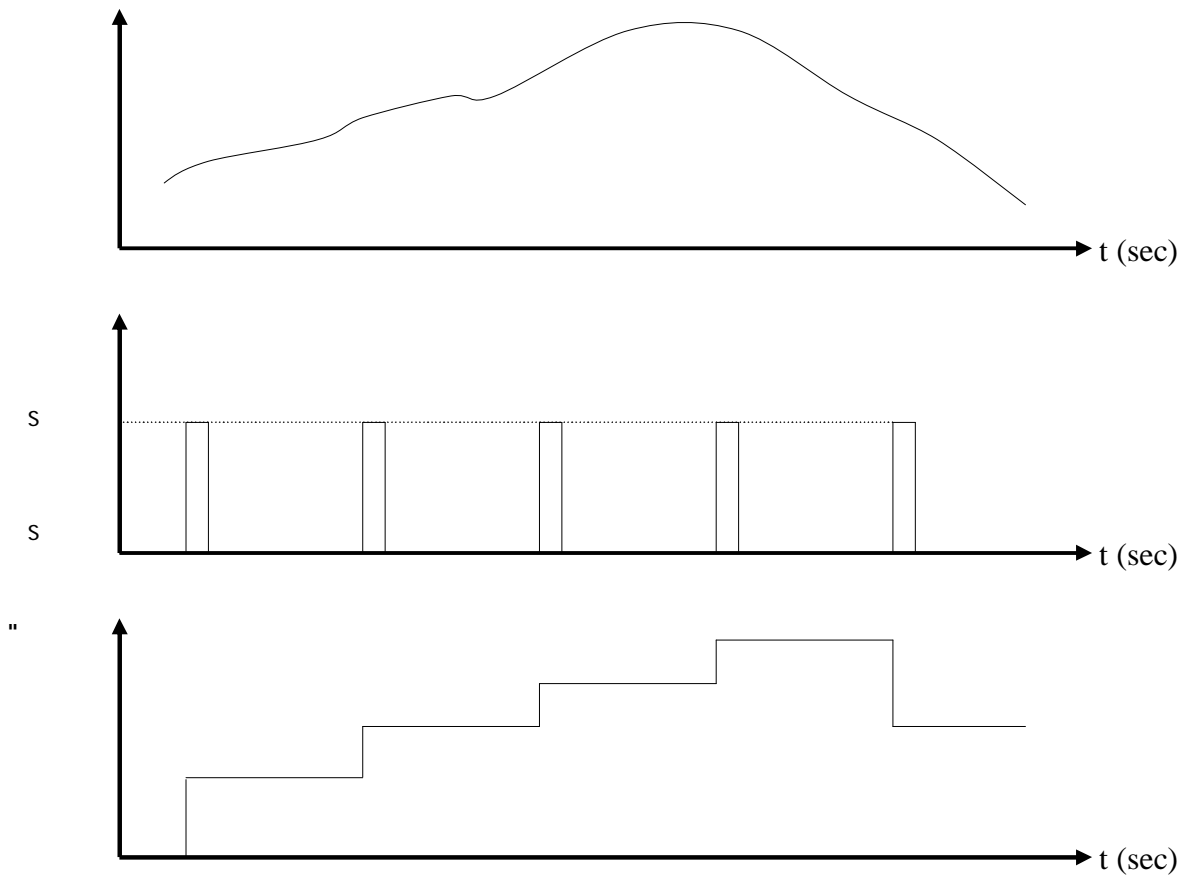
⋮



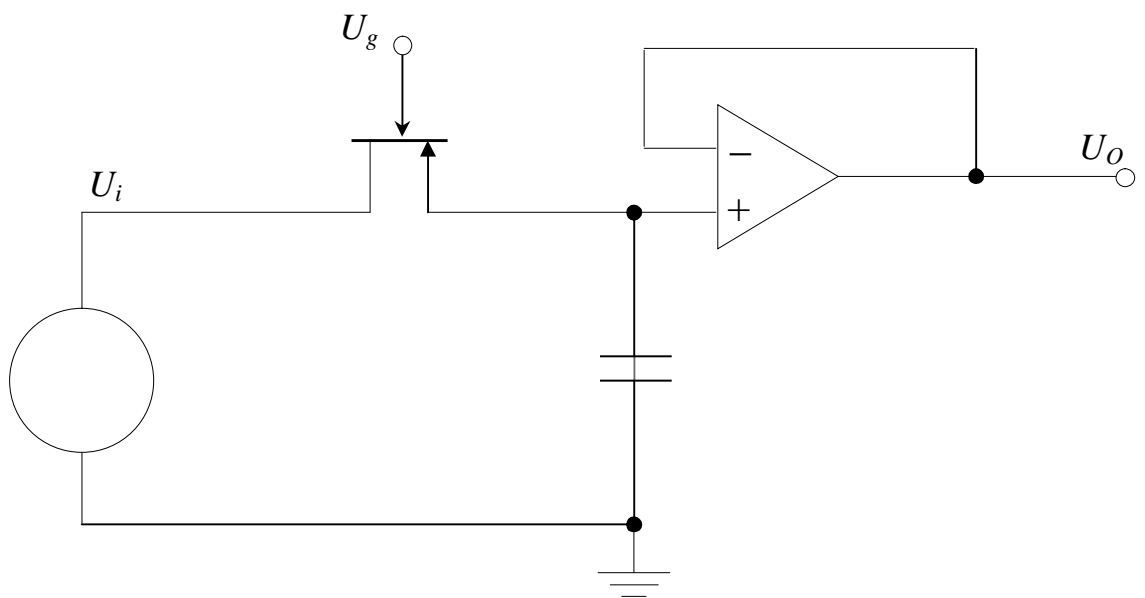
(S )

( )

⋮



⋮



" -

" . ,  $T$  ( " )

" . ( ) , ( )

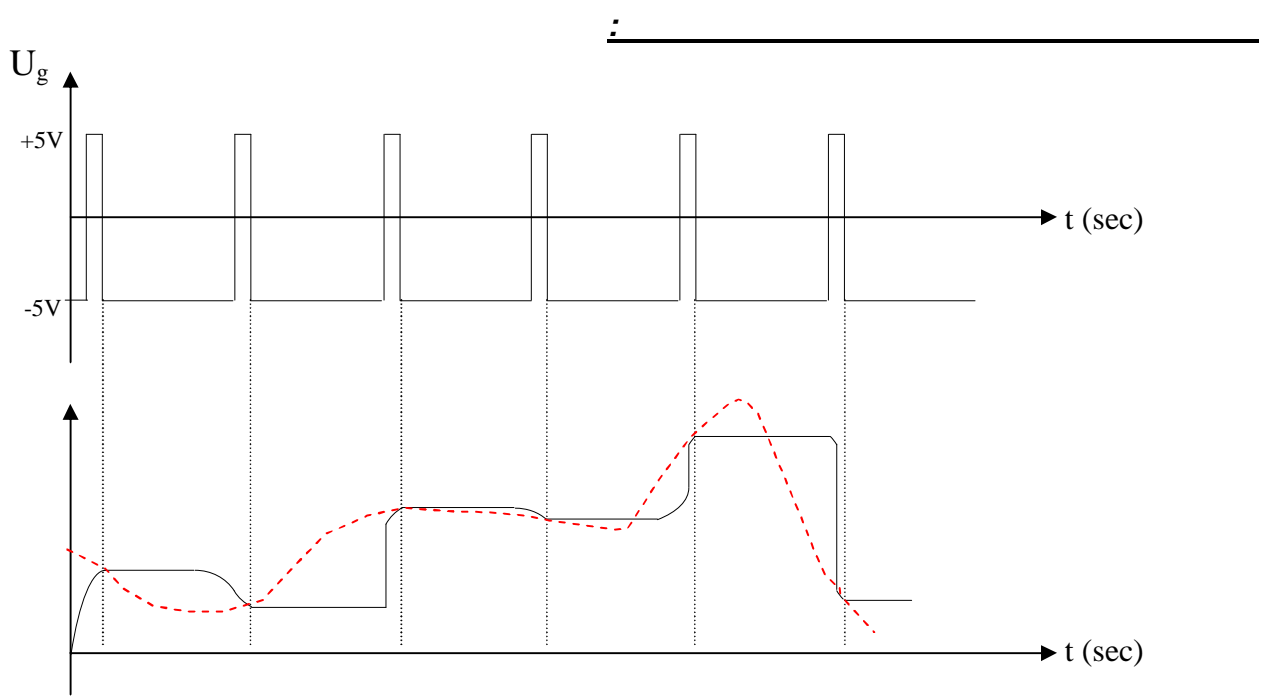
-5V , " 5V .

C "

"

"

(Buffering)



" -

⋮ \_\_\_\_\_

, . , .

10

( " - R) RC .

99% -

, 5 -

⋮ \_\_\_\_\_

" 10

.50Ω

$$5RC = 10 \times 10^{-6}$$

⋮ \_\_\_\_\_

$$C = \frac{10 \times 10^{-6}}{5 \times 50} = 40 \times 10^{-9} = 40nF$$

⋮ \_\_\_\_\_

. , .

, "0"

, . , . , .



" -  
: - - 1'

: -

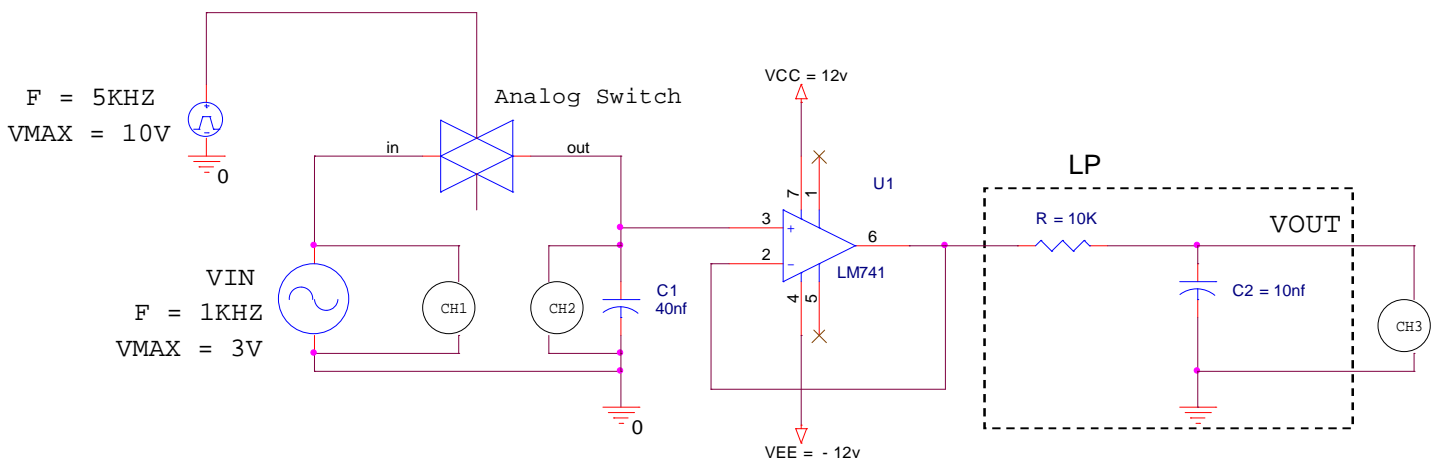
- , , .1

.2

.3

: -

- , , -



: ,M ,

. Place Virtual Analog Switch

.1  
.CH3 ,CH2 ,CH1 .2

.3  
.4

" -

∴ \_\_\_\_\_ .

∴ ( ) .1

100HZ, 500HZ, 1KHZ, 2KHZ, 10KHZ, 20KHZ

.

.2

.

.3

.

,

"

,

∴ \_\_\_\_\_ .

.20KHZ .1

.(2 ) .10KHZ – 1KHZ .2

.

$f = \frac{1}{2\pi RC}$  . , .3

. LP .4

. .5

# פרק שני

## תקשורת תקבילית

.1.3.2.1

(clapp )

AM .2.3.2.2

AM .3.3.2.3

" -

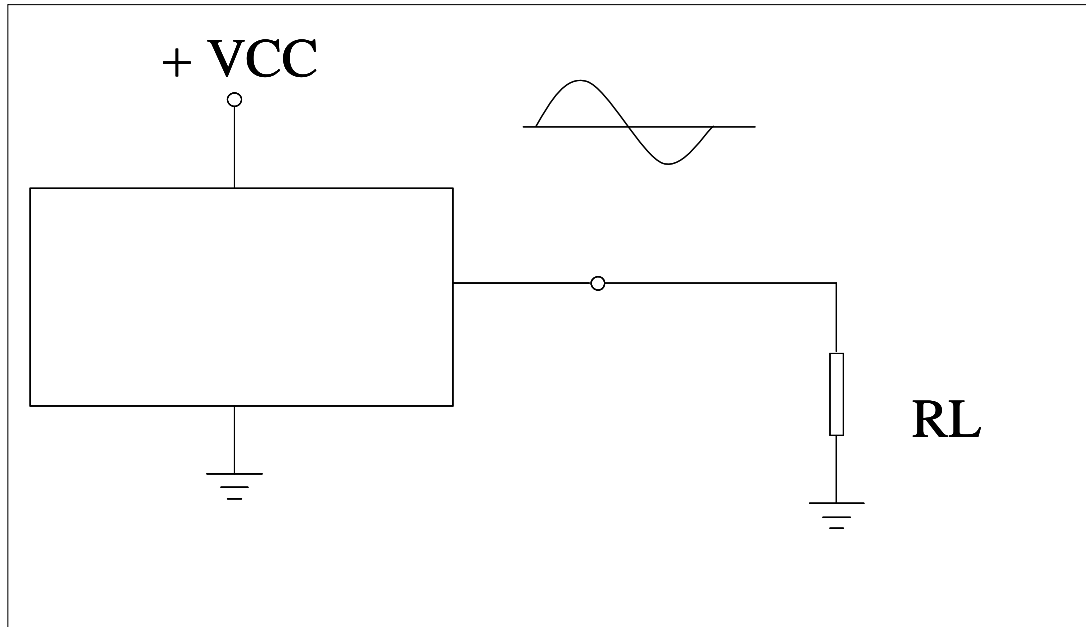
:-

:-

,

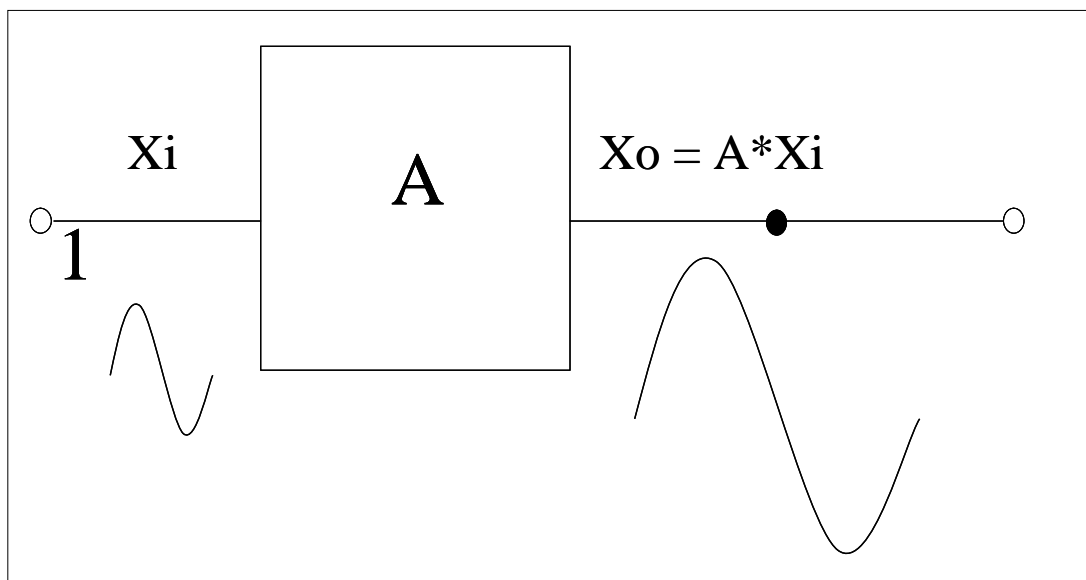
.

:-



“ ” , . “ ” , ? , ,

:-



" -

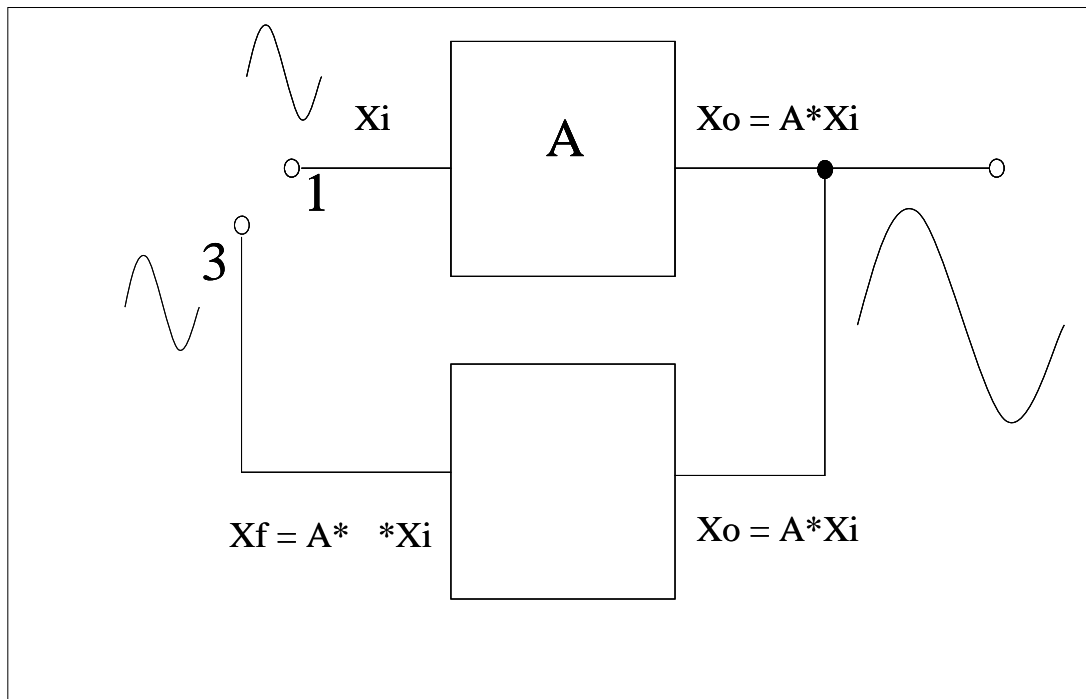
. A - ,

.  $X_i$

.  $X_o$  - ,  $A * X_i$  ,  $A$  ,

.  $X_i$  - , ,  $A$  -  $X_o$

: , ,



. ,

. ,  $X_o$

.  $X_f$

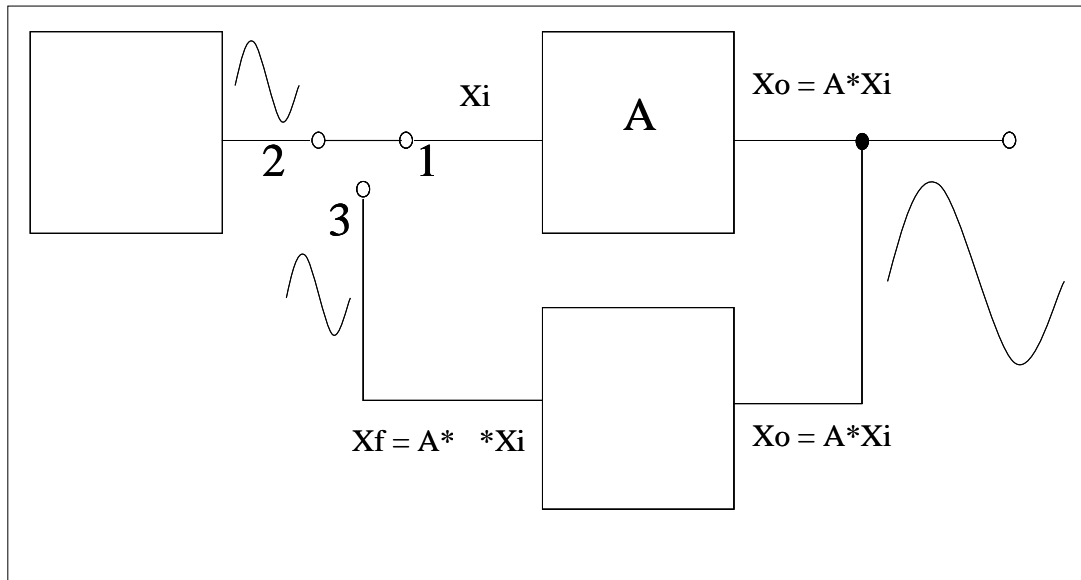
.  $X_f = A^* * X_i$  , - ,  $X_f$

, , 1  $A^*$  , ,

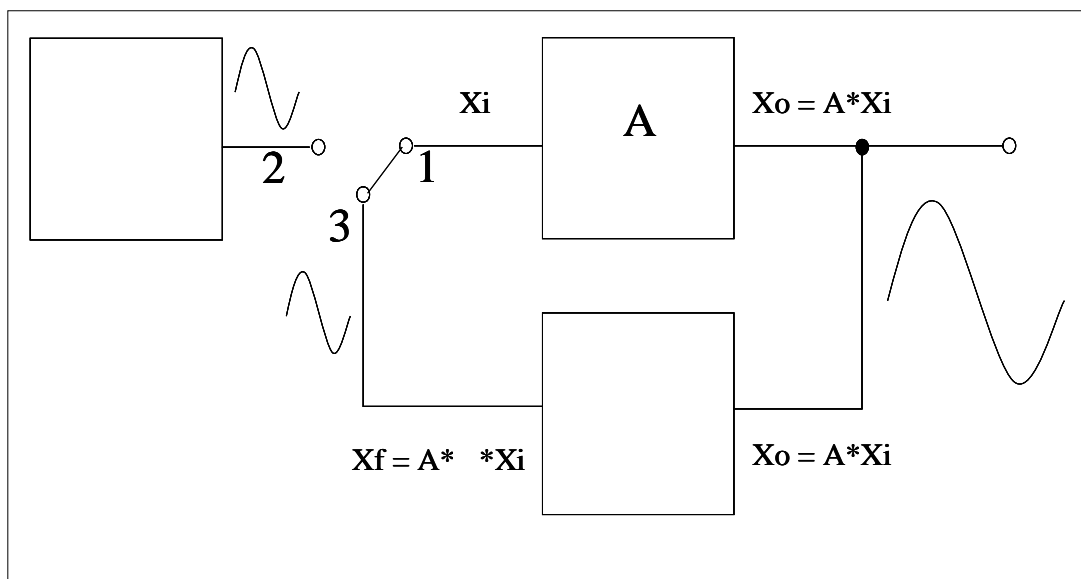
.

. , ,

?  $X_i$



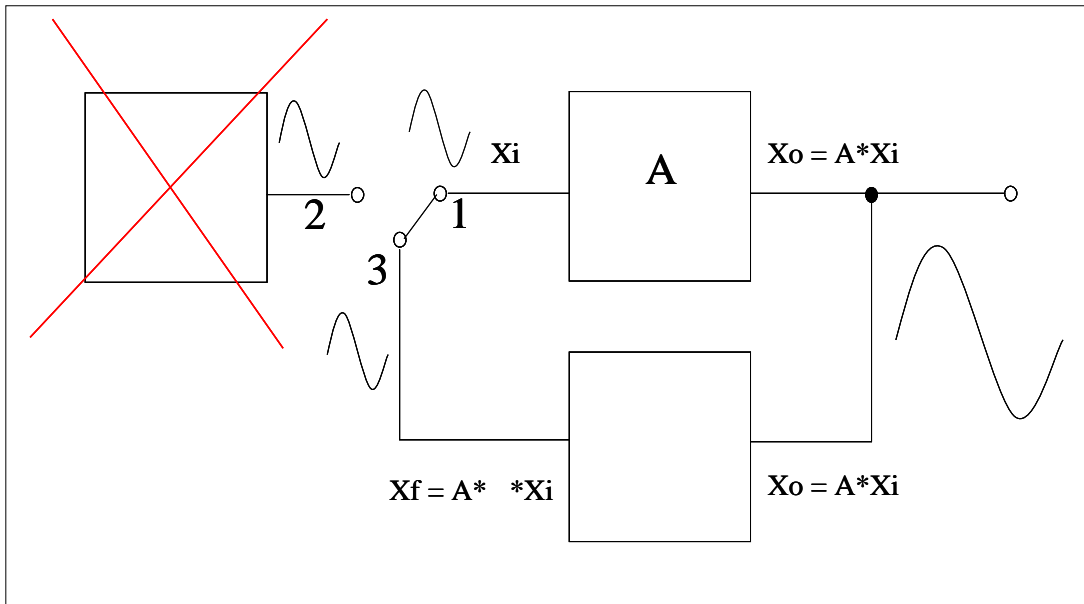
2. Xi, 3, 1-3, 2-1



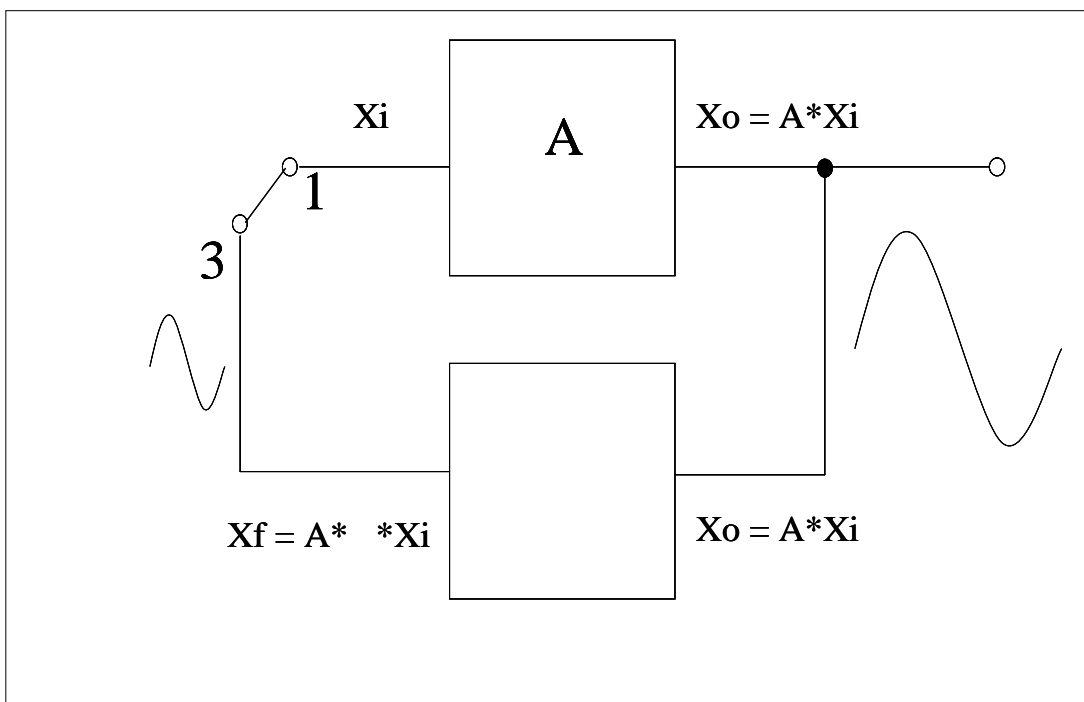
" -

?

,



∴ \_\_\_\_\_



" -

\_\_\_\_\_

" "

:

:

.1

360

$$A^* = 1$$

.1-

.2

\_\_\_\_\_

?

:

.1-

.1-

$$|A^*| < 1$$

3

,Xi

,Xf

,

,

Xf

,

Xo

.

" "

$$|A^*| > 1$$

, Xo ,

,

.Xi

Xf

,



" -

$A^*$  .  $A^*$   $A$  ,  
 . , " " , . = 1

.1- , ,

$|A^*| \geq 1$

1- ,1- ,  
 . ' " "

? " "

. ,  
 . , ,  
 . " " ,

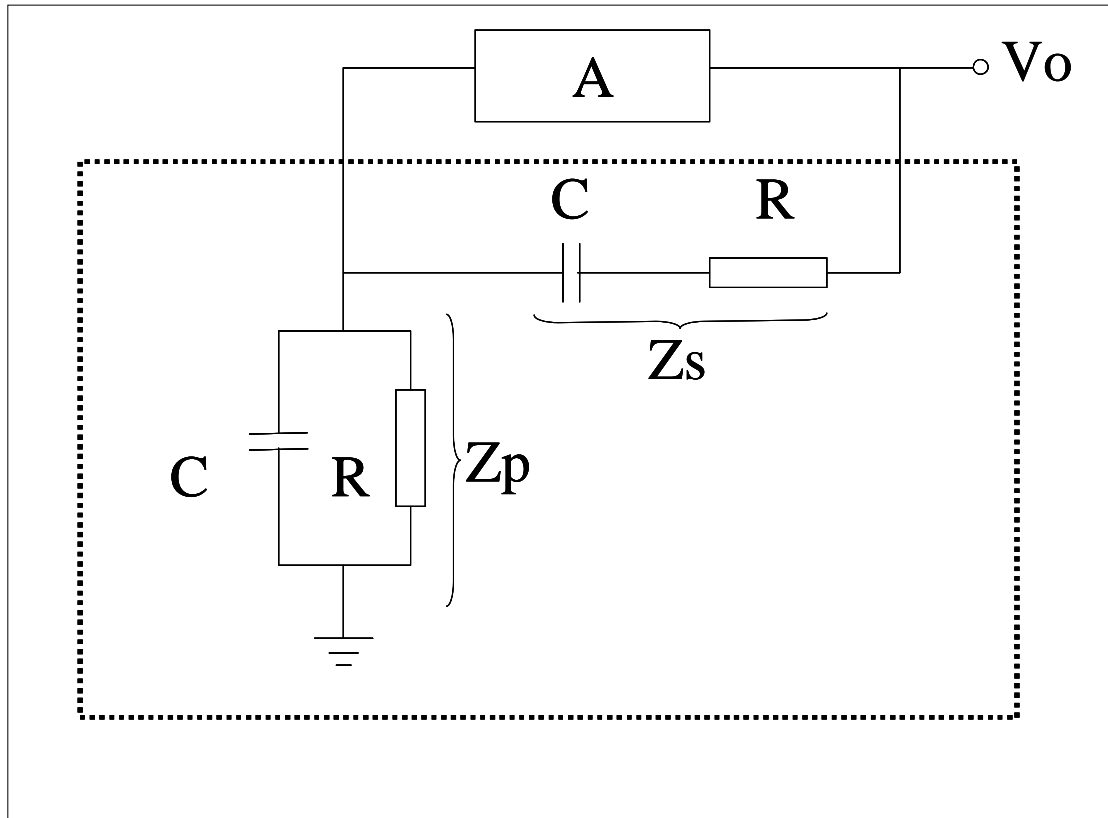
.

.

" -

=

" "



.360° A\* ,

:( ) ,

$$\beta = \frac{Z_p}{Z_s + Z_p} = \frac{1}{1 + \frac{Z_s}{Z_p}}$$

$$\beta = \frac{Z_p}{Z_s + Z_p} = \frac{1}{1 + \frac{Z_s}{Z_p}}$$

$Z_s$  הוא הצירוף הטורי של R ו-C ולכן :

$$Z_s = R + \frac{1}{j \omega c}$$

$Z_p$  הוא הצירוף המקבילי של R ו-C ולכן :

$$Z_p = R \parallel \frac{1}{j \omega c} = \frac{R \bullet \frac{1}{j \omega c}}{R + \frac{1}{j \omega c}}$$

, :

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{(1 + j\omega RC)^2}{j\omega RC}} = \frac{1}{1 + \frac{1 + 2j\omega RC - \omega^2 R^2 C^2}{j\omega RC}}$$

$$\beta = \frac{1}{3 - j \left[ \frac{1 - \omega^2 R^2 C^2}{\omega RC} \right]}$$

" -

$$\beta = \frac{1}{3 - j \left[ \frac{1 - \omega^2 R^2 C^2}{\omega RC} \right]}$$

.  $J$  : , -

$$1 - (\omega RC)^2 = 0$$

:

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

: ,  $J$

$$\beta = \frac{1}{3}$$

: =1/3 -  $A^* = 1$

$$A_0 = 3$$

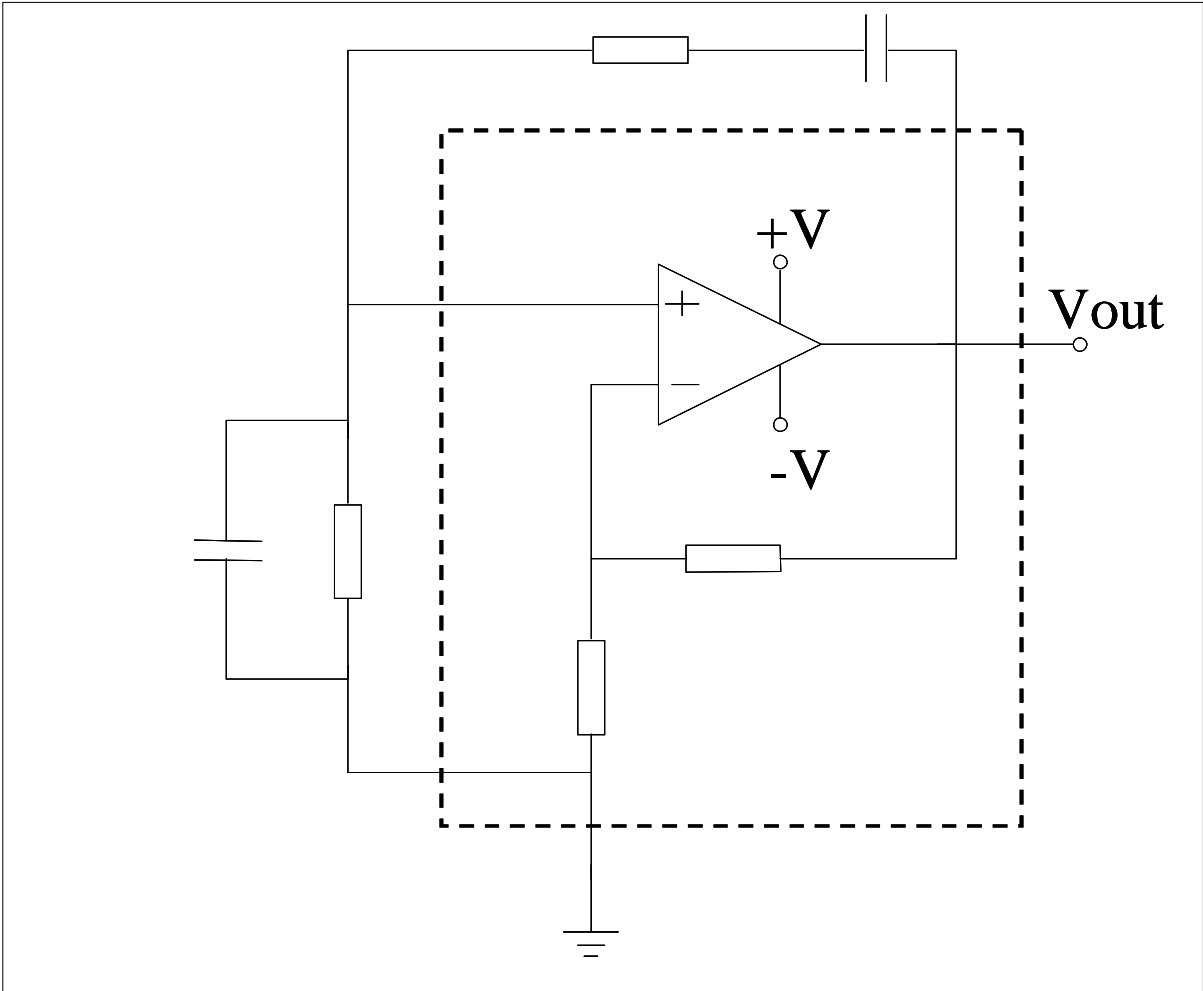
" -  
 ; \_\_\_\_\_

$$\frac{1}{RC}$$

$$F_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$A_0 = 3$$

. ,  
 ; \_\_\_\_\_



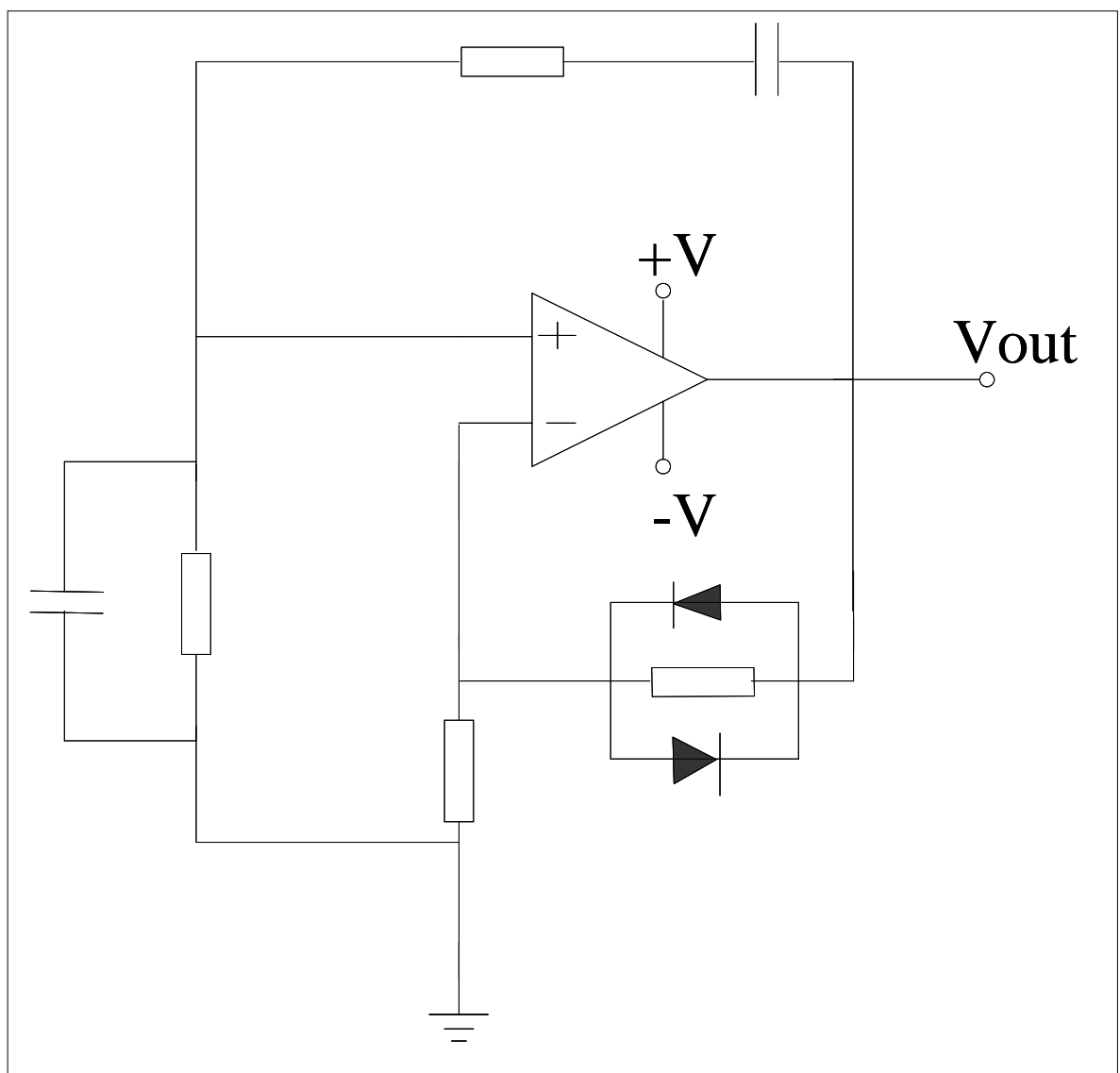
" -

$R_2 - R_1$  ,

$$A_0 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

: ,3 ,

$$\frac{R_2}{R_1} = 2$$



*R2*

*.R2..*

 $V_{out}$ 

**A**

" -

$$. R2/R2 = 2 -$$

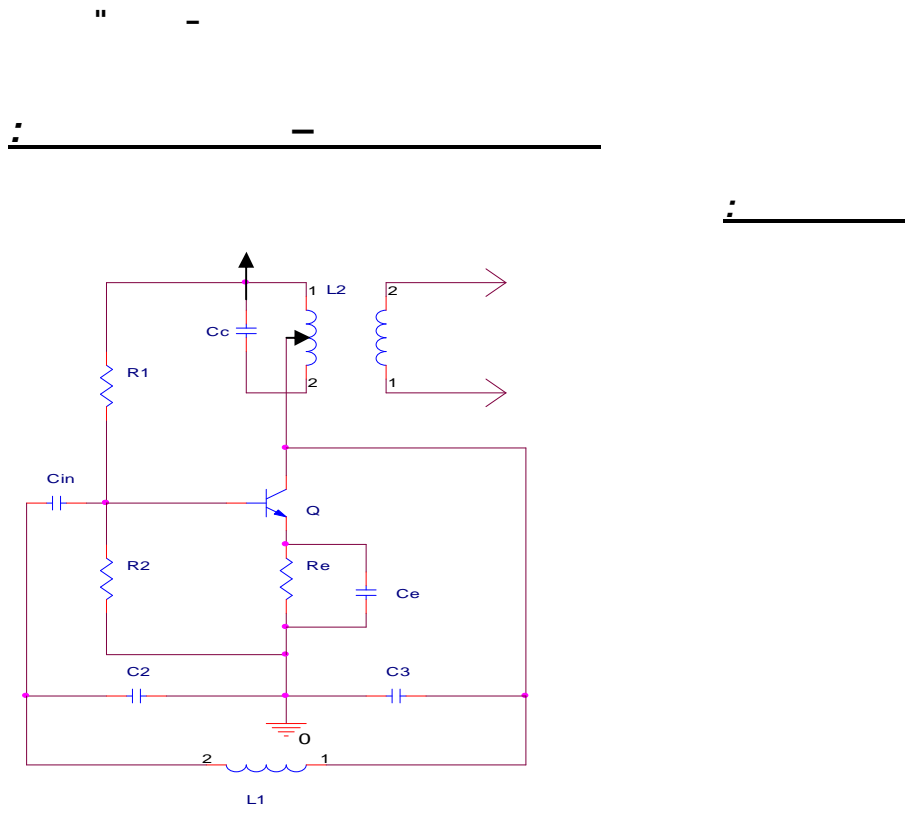
.

.

,

,





|   |              |      |            |    |
|---|--------------|------|------------|----|
| " | DC           | . CE | —          | V  |
| ' | $I_b$        | "    | $R_1, R_2$ |    |
| . |              | RE   | .( DC )    |    |
|   | Re           | vcc  | L2         | V  |
|   |              |      | .( DC ) 0  |    |
|   |              | Re   | Ce         | V  |
|   |              |      | . AC       | Re |
|   | . L1 ,C2, C3 | "    |            | V  |
|   |              |      | C3,C2      | V  |
|   |              | "    |            |    |

" -

∴ \_\_\_\_\_

∴  
 , 180° " √  
 " ) . 180° √  
 . 360° . (

∴ \_\_\_\_\_

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L1 \cdot \frac{1}{c1} + \frac{1}{c2} + \frac{1}{c3}}}$$

∴ \_\_\_\_\_

∴ .1  
 ∴ .2  
 " " ,'

.( drift )

.( ppm-parts per million)

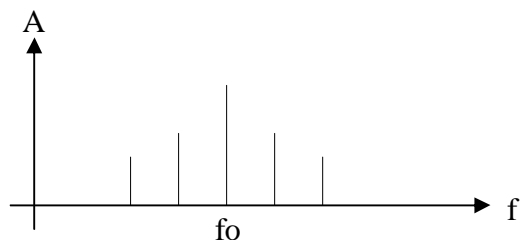
, ppm/v

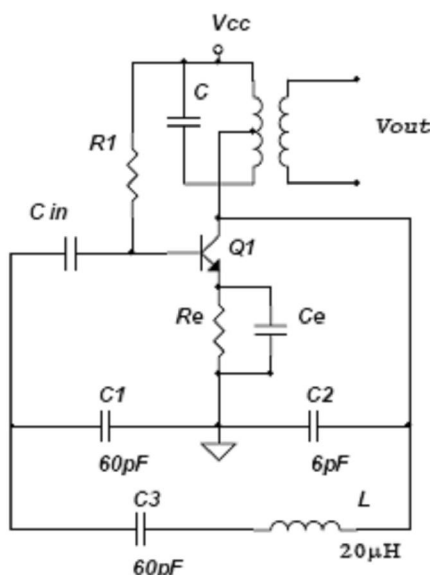
:

. ppm/h

,

∴ .3





באיור לשאלה נתון תרשים של מתנד.

- א. זהה את סוג המתנד, וחשב את תדר התנודות.  
 ב. חשב את מקדם המשוב  $\beta$  ואת ההגבר המזערי הדרוש לקיום התנודות.

#### פתרון:

- א. לפנינו מתנד תלת-נקודתי מאבטיפוס קולפיץ. הוא בנוי על בסיס של מגבר תדר גבוה עם מעגל תהודה כעומס (מעגל TANK) ומערכת משוב תהודתית. תדר התנודות החופשיות של מערכת המשוב  $\omega_0$ , בו מתקיימים תנאי המופע, הוא גם תדר אות המוצא של מעגל המתנד.

קיבול הכללי של מערכת המשוב:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{60 \text{ pF}} + \frac{1}{6 \text{ pF}} + \frac{1}{60 \text{ pF}} \quad C_T = 5 \text{ pF}$$

ומכאן, תדר התנודות של מעגל המתנד:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_T}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{20 \times 10^{-6} \cdot 5 \times 10^{-12}}} = 15.9 \text{ (MHz)}$$

- ב. מקדם המשוב  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\dot{V}_f}{\dot{V}_{out}} \quad |\beta| = \frac{x_2}{x_3} = \frac{\frac{1}{\omega_0 C_1}}{\frac{1}{\omega_0 C_2}} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{6}{60} = 0.1$$

ההגבר המינימאלי הנדרש להבטחת תנאי תנופה:

$$|\beta \cdot A| \geq 1 \quad |A_{min}| = \frac{1}{0.1} = 10$$

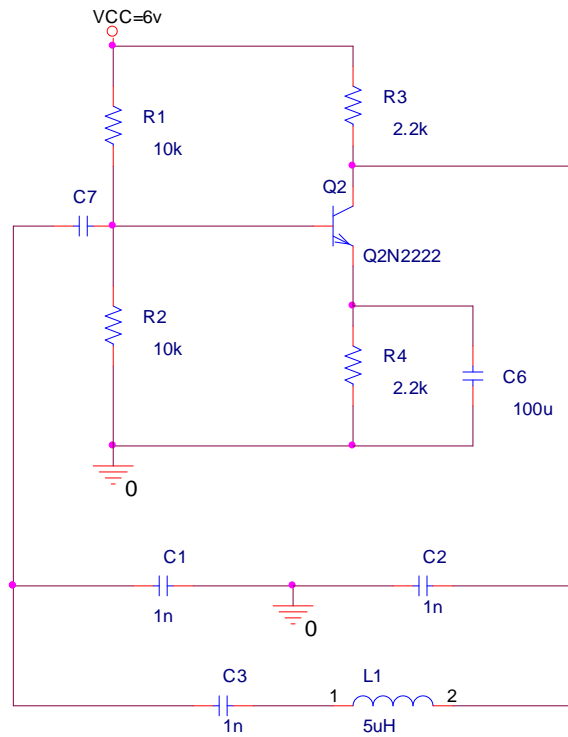
clapp 3.2.1 '

⋮

- . CLAPP .1
- .2
- .3

⋮

- ? .1
- : 1.1 .2



1.1

" -

.1.1

.3

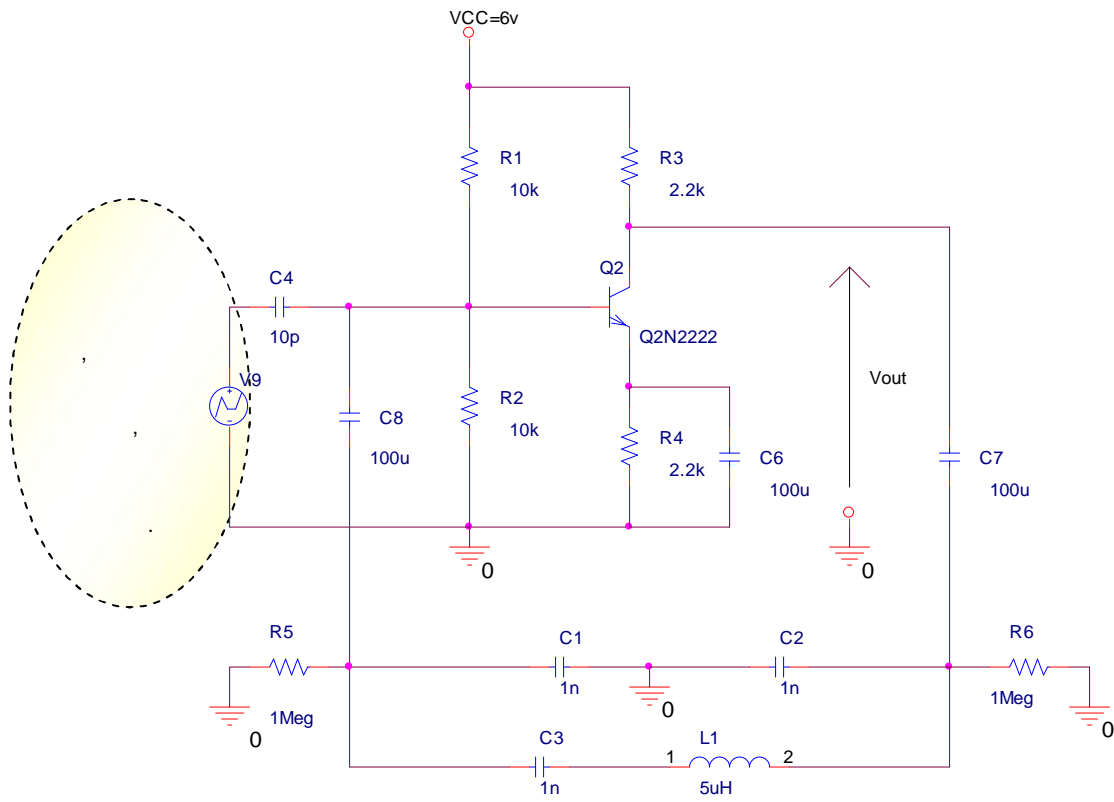
.1.1

.4

⋮

. 1.2

.1



1.2

.2

:

C3

.3

| C3(f)  | 100p | 1n | 100n | 1u | 100u | 1m | 100m |
|--------|------|----|------|----|------|----|------|
| Fo(Hz) |      |    |      |    |      |    |      |

" -

:  $R3$  .4

|               |   |    |     |    |      |      |    |
|---------------|---|----|-----|----|------|------|----|
| <b>R3( )</b>  | 6 | 20 | 100 | 1k | 2.2k | 4.6k | 5k |
| <b>V0(Hz)</b> |   |    |     |    |      |      |    |

.  $5k$   $R4$  .5

|               |   |     |    |      |      |    |     |
|---------------|---|-----|----|------|------|----|-----|
| <b>R3( )</b>  | 6 | 100 | 1k | 2.2k | 4.6k | 5k | 10k |
| <b>V0(Hz)</b> |   |     |    |      |      |    |     |

: \_\_\_\_\_

?  $V9$  .1

. 3 .2

.  $5\ 4$  .3

" -

3.2.1'

:

.1

.2

.3

:"

.1

.2

.3

.4

:

.1

.2

.3

.4

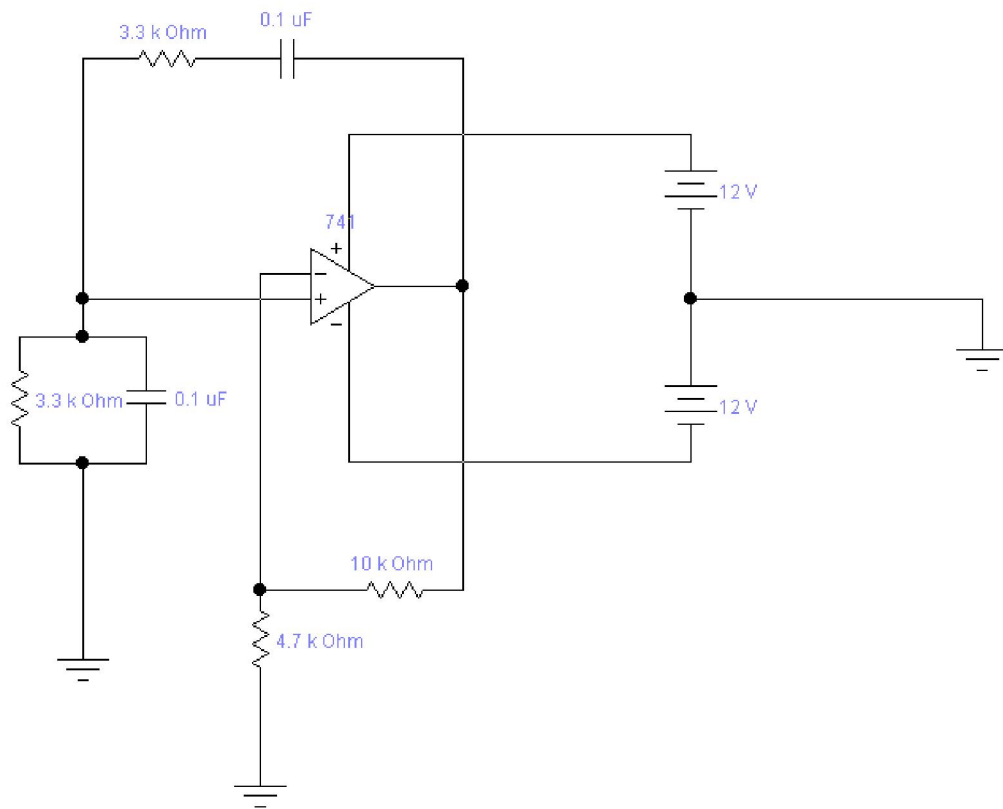
.5

1. ,1

,

.

.

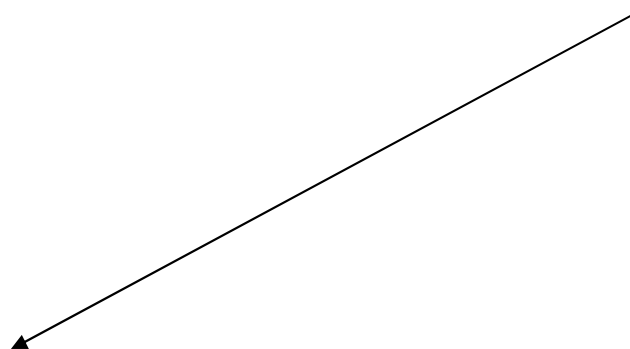


.(6 ' )

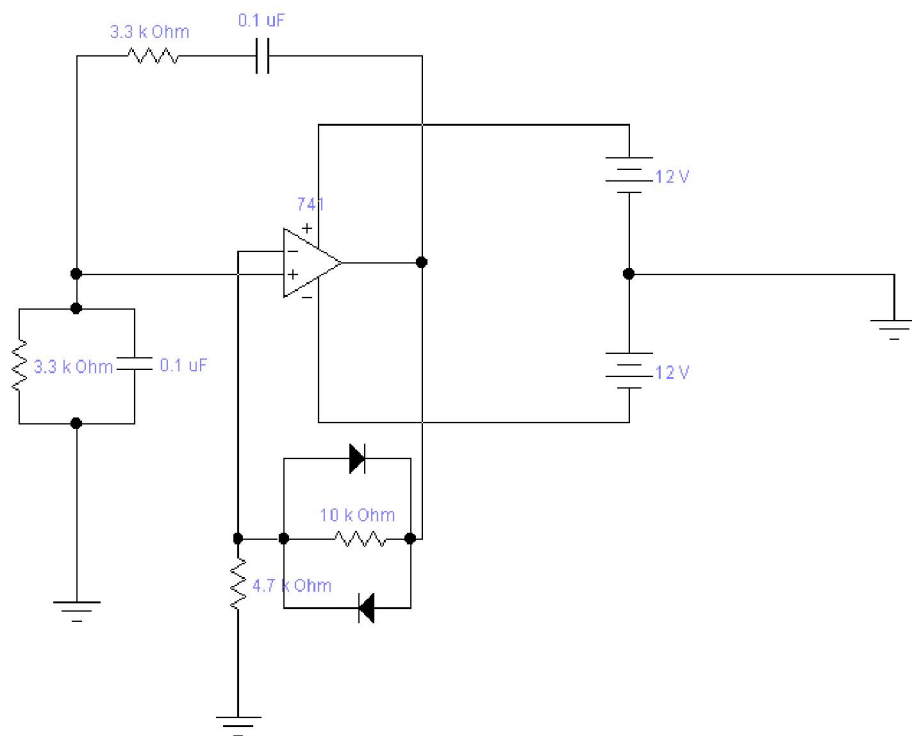
.1

.(3 ' )

.2







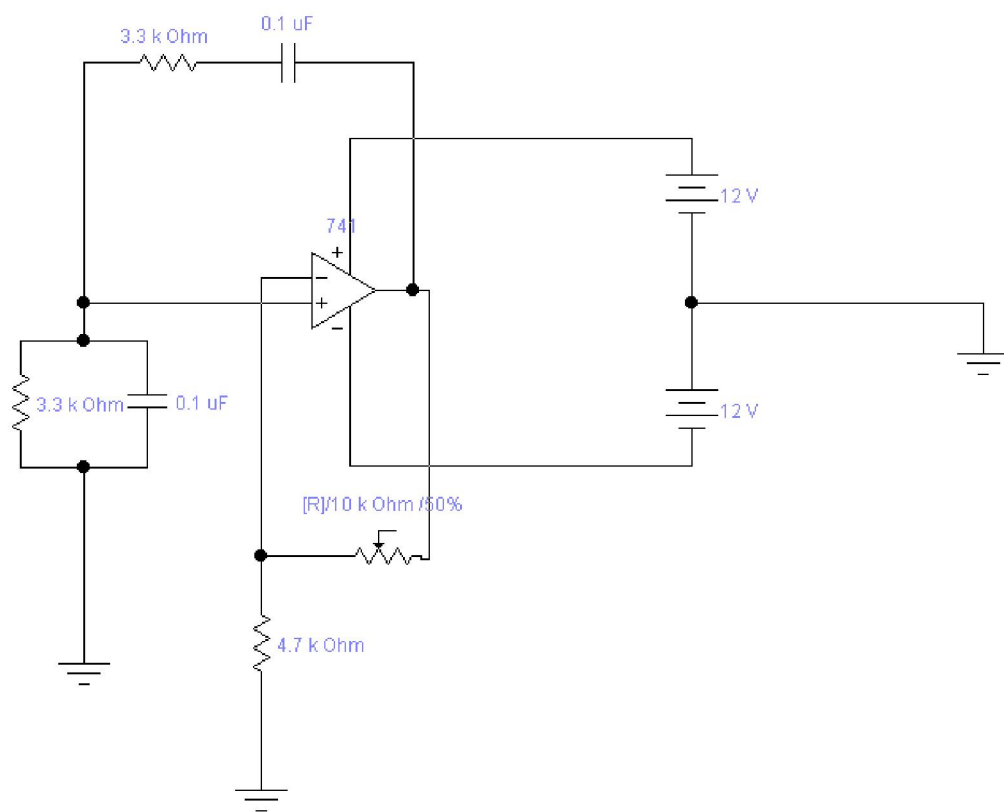
.3

.4

.5

| +/-10v | +/-15v |  |
|--------|--------|--|
|        |        |  |

.6



" -

|     |     |   |     |     |  |
|-----|-----|---|-----|-----|--|
| 2.5 | 2.8 | 3 | 3.2 | 3.5 |  |
|     |     |   |     |     |  |

. , .7

:

. .1

. .2

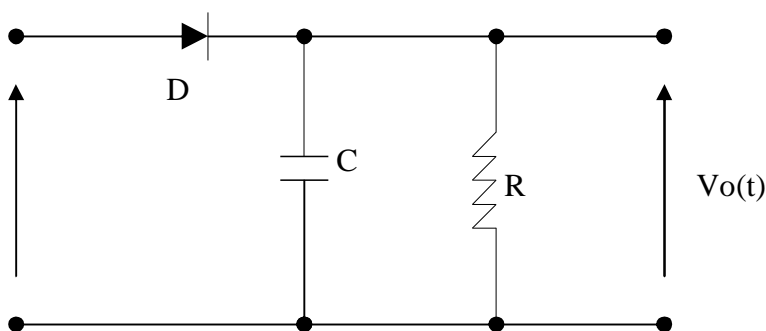
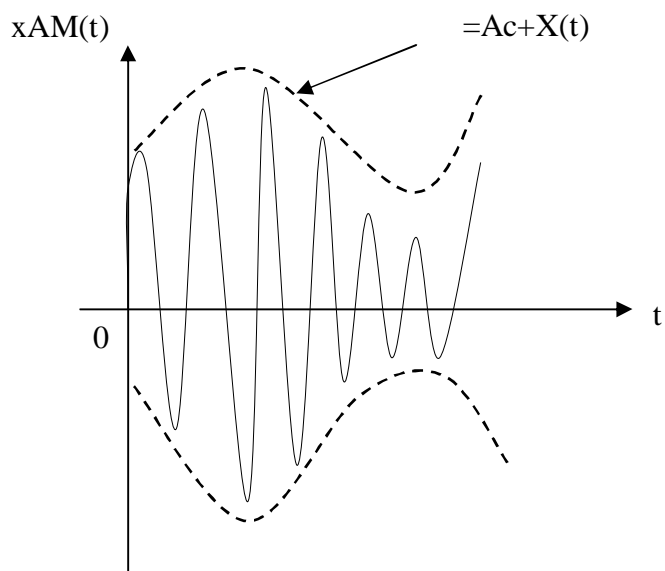
.( ) .3

. .4

$$x_{AM}(t) = A_c [1 + \mu x(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

(Envelope detector)

At  $t=0$ , the capacitor voltage is  $V_C(0) = x_{AM}(0)$ . The capacitor voltage  $V_C(t)$  follows the envelope of  $x_{AM}(t)$  for  $t > 0$ . The output voltage  $V_o(t)$  is the voltage across the resistor  $R$ .



" -

, ;xAM(t),

.

.

R

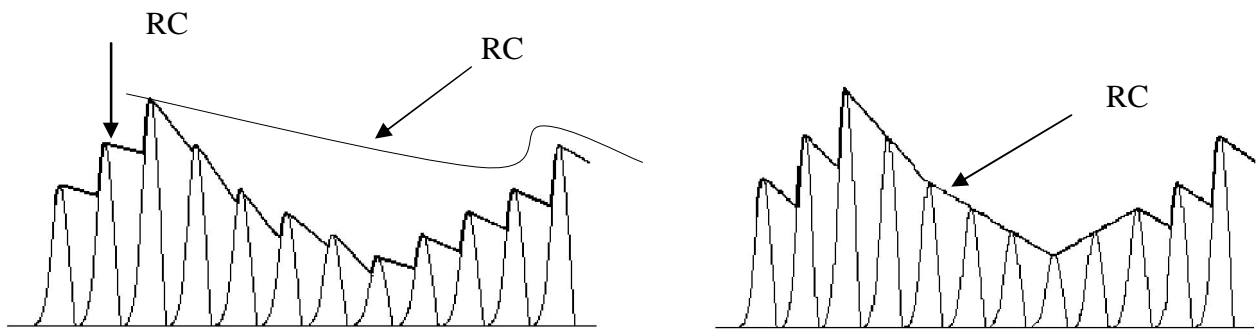
AM-

.C-

(RC)

, , ,

.



;

R

,

,

"

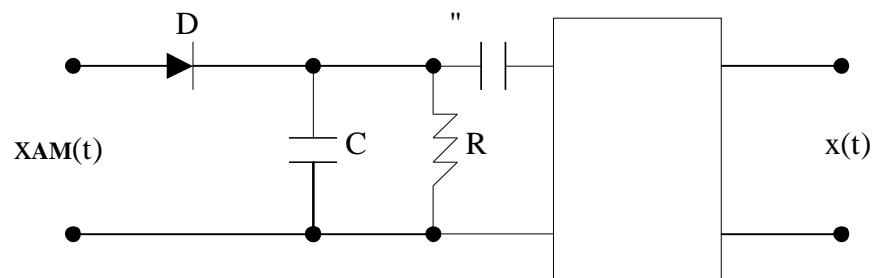
,

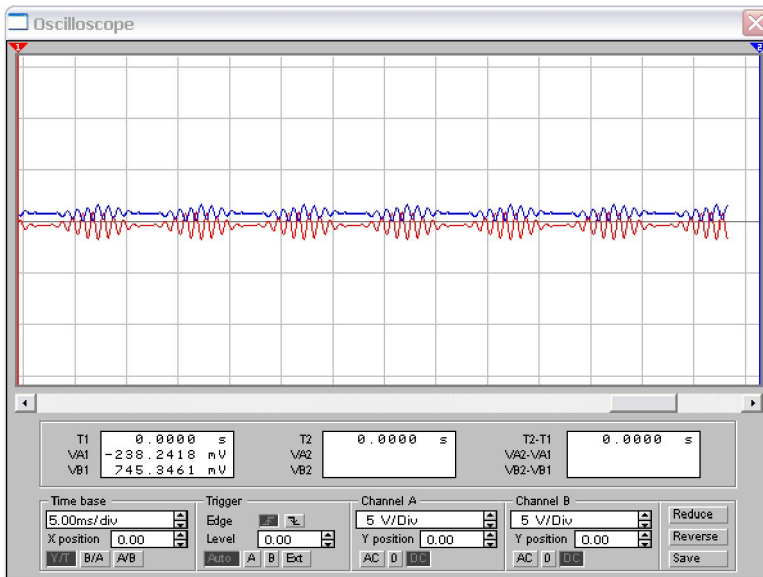
.

.(dc block) "

;

AC





\_\_\_\_\_

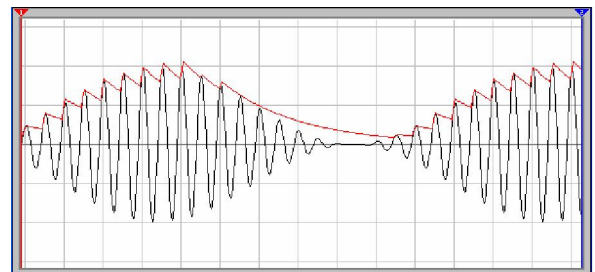
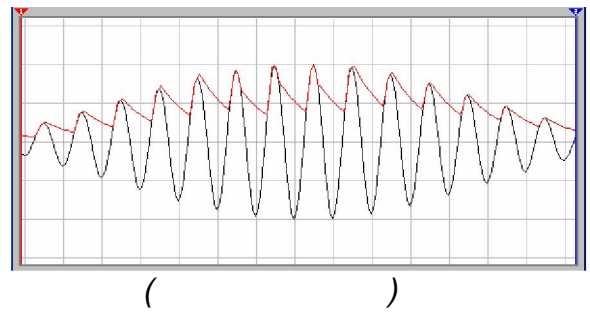
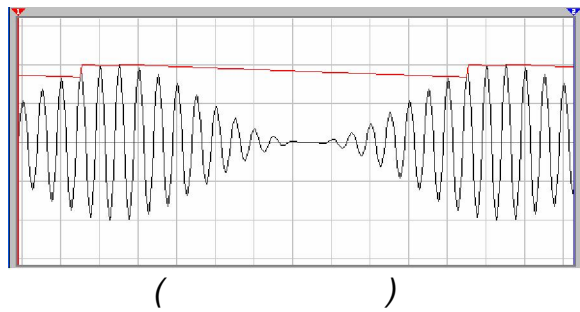
$fIF$

$$RC \gg \frac{1}{fIF}$$

$$RC \ll \frac{1}{fM}$$

$RC-$

$$\frac{1}{fIF} \ll RC \ll \frac{1}{fM}$$



, ( )

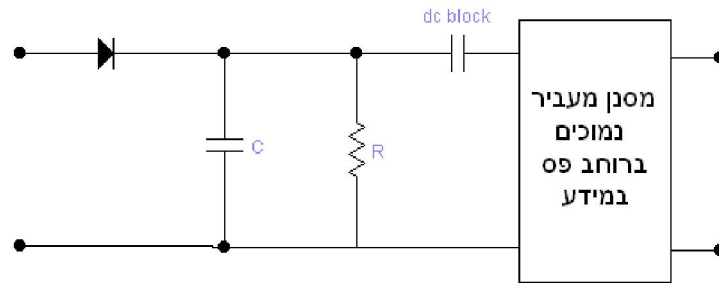
- - "

, , )

, " . (

.

" -



⋮

---

,

"

"

.

,

,

.

,

.

.

,

,

.

,

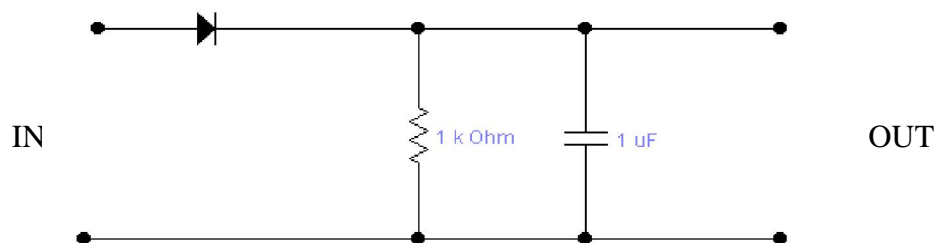
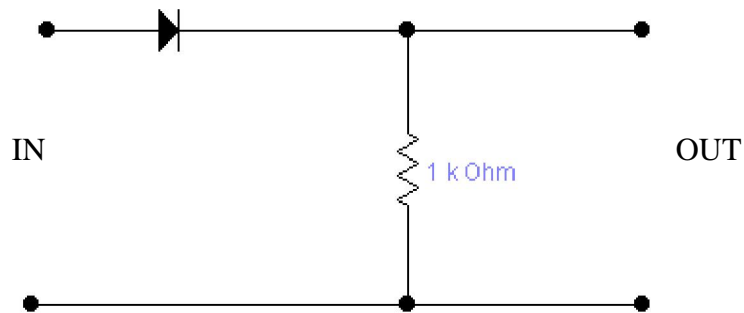


## AM- - 3.2.2 '

AM

$$v(t) = 10[1 + 0.7 \sin 2\pi 1000t] * \sin(2\pi 10000t)$$

10000, 1000, 0.7, 10



?4

$F_{in} = 100\text{Hz}, 500\text{Hz}, 1\text{KHz}, 2\text{KHz}, 5\text{KHz}, 10\text{KHz}$

" -

∴ \_\_\_\_\_

∴ \_\_\_\_\_  
∴ .1

$$XAM(t) = (3 + 1.5 \cos 3140t) \cos 18840t$$

. .2

∴ \_\_\_\_\_ - ( )  
.1vp-p 500hz .3

.  
.2vp-p 100khz .4

.  
? ( ) .5

∴' - \_\_\_\_\_  
.4 .6

. 10 .7  
∴

|          |          |            |            |            |            |
|----------|----------|------------|------------|------------|------------|
| <i>R</i> | 500      | 2          | 5          | 7          | 10         |
|          | $\Omega$ | K $\Omega$ | K $\Omega$ | K $\Omega$ | K $\Omega$ |

. .8

. .9

. .10

∴' - \_\_\_\_\_

1.5vp-p. , 500hz 1' .11

2vp-p 10khz 2'

, , ∴ .12

.

" -

20khz.

2 '

.13

.

.

.200khz

.14

.

⋮  
\_\_\_\_\_

.1

?

?

.2

.

.3

" -

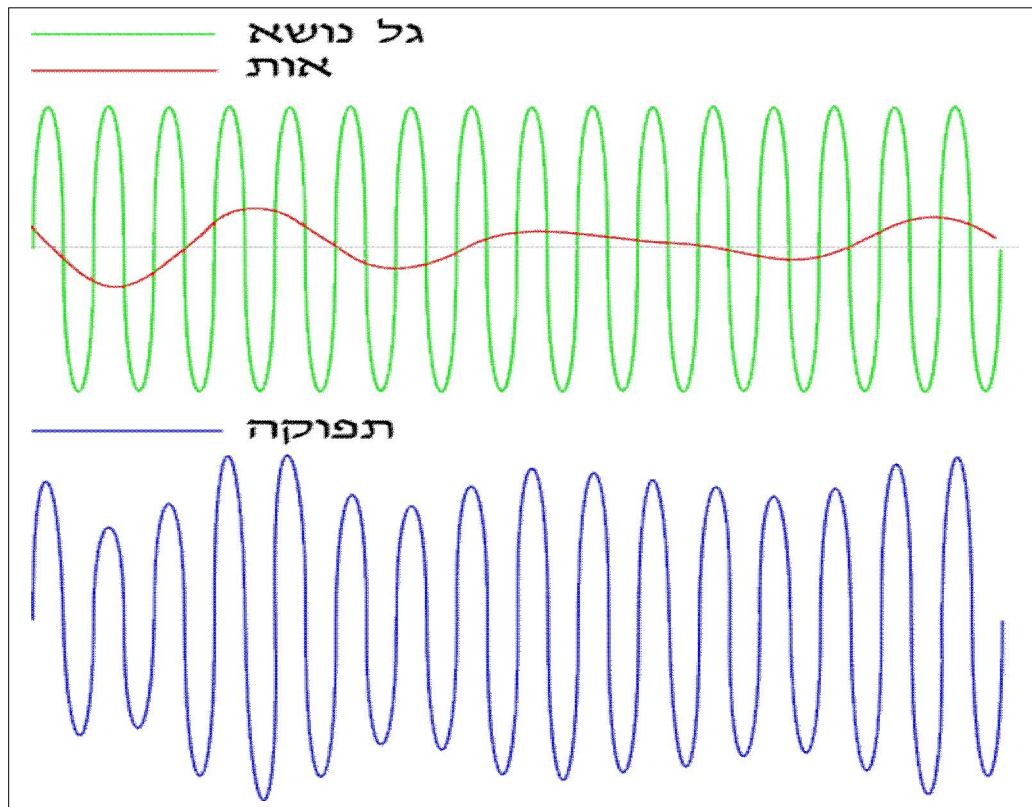
:-AM

:-

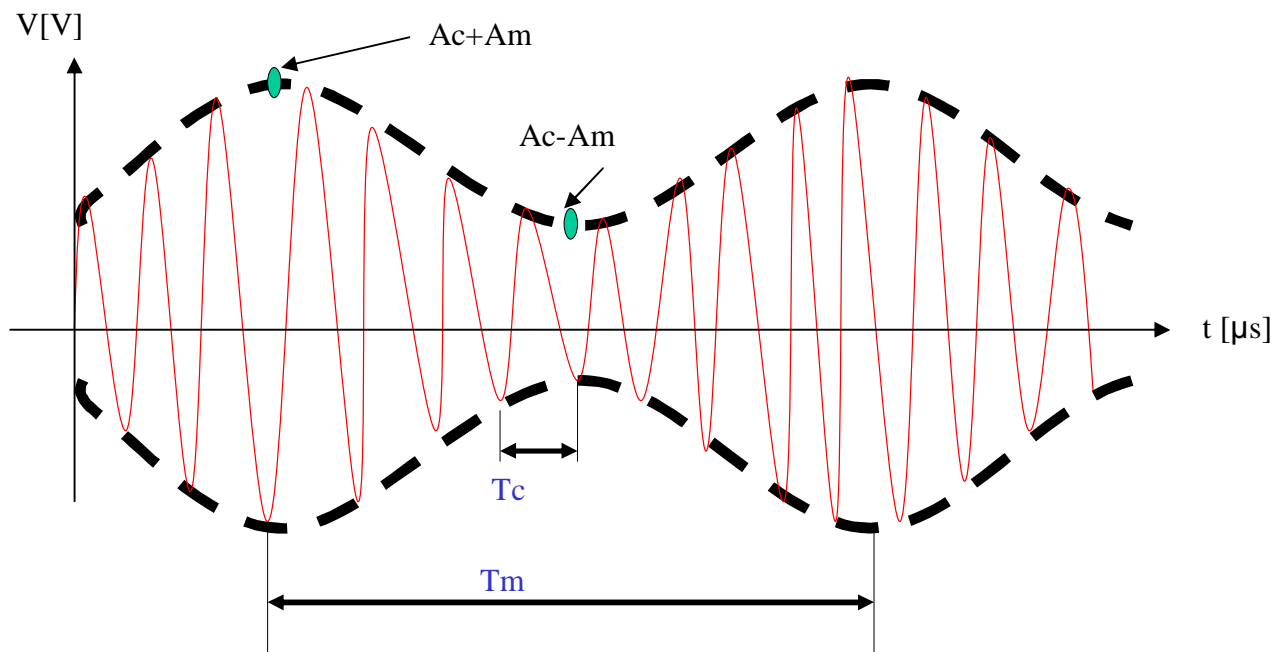
(Modulation Amplitude ;AM : ) ( )  
( )

.( ) RF AM  
( ) AM  
( )  
AM

.SSB- DSB AM " "



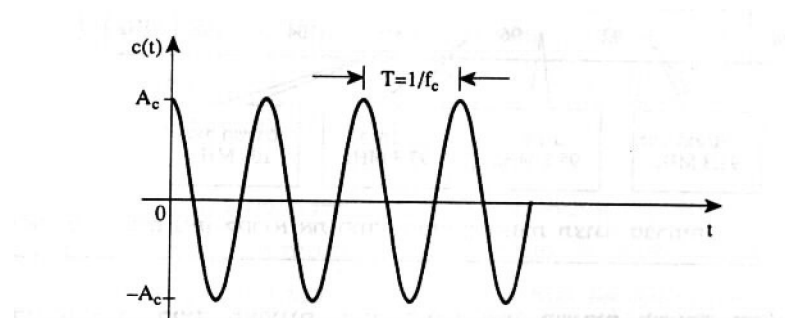
, ( ) :  
( )



.( )

,(modulator)

$$C(t) = A_c \cos 2\pi f_c t = A_c \cos \omega_c t$$



.(detector)

$$C(t) = A_c \cos W_c t$$

$W_c - A_c$

$$X(t) = A_m \cos W_m t$$

$$x_{AM}(t) = A(t) \cos W_c t$$

$$A(t) = A_c + X(t)$$

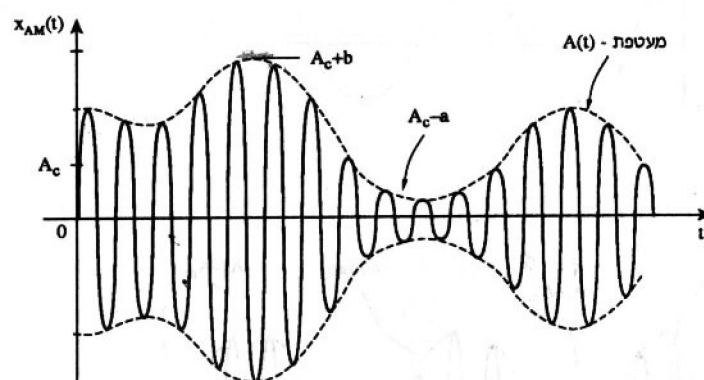
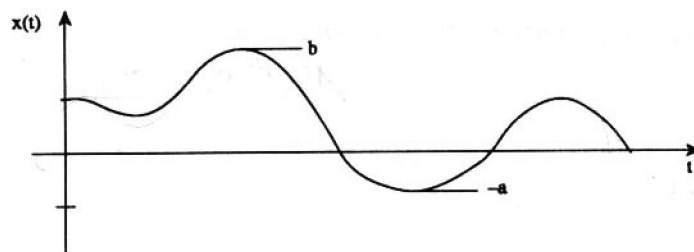
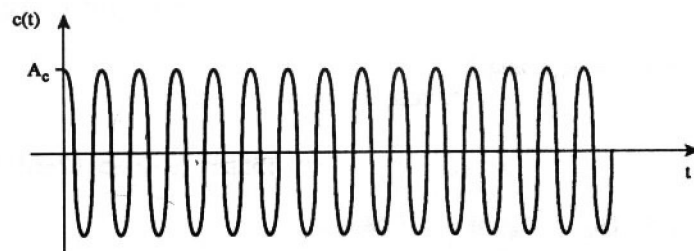
$- A_c(t)$

,  $A(t)$  ,

$$x_{AM}(t) = A(t) \cos W_c t$$

$$x_{AM}(t) = (A_c + X(t)) \cos W_c t$$

$$x_{AM}(t) = (A_c + A_m \cos W_m t) \cos W_c t$$



$$X_{am}(t) = (A_c + A_m \cos W_m t) \cos W_c t$$

$$X_{am}(t) = A_c \cos W_c t + A_m \cos W_m t \cos W_c t$$

$$: (\quad)$$

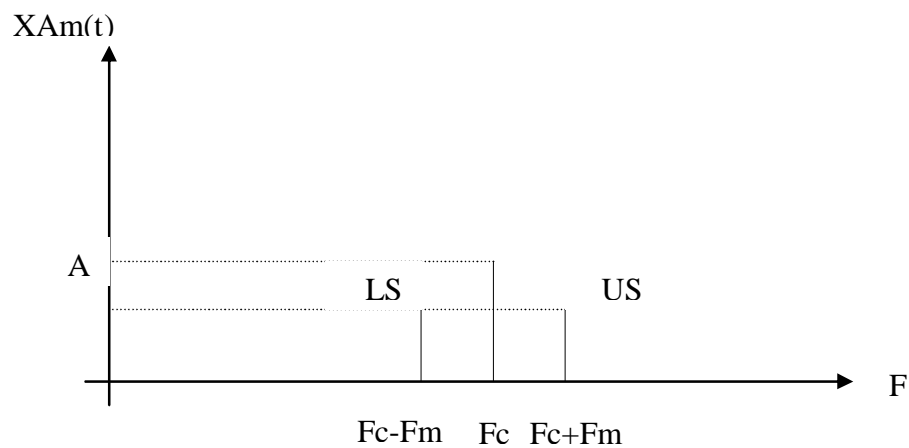
$$\cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$$

$$X_{am}(t) = A_c \cos W_c t + A_m \frac{1}{2}$$

$$[\cos(W_c + W_m)t + \cos(W_c - W_m)t]$$

$$X_{am}(t) = A_c \cos W_c t + m A_m \frac{1}{2}$$

$$\cos(W_c + W_m)t + m A_m \frac{1}{2} \cos(W_c + W_m)t$$



|      |                     |             |   |
|------|---------------------|-------------|---|
| .USB | . $A_c$             | $f_c$       | . |
| .LSB | - $A_m \frac{1}{2}$ | $f_c + f_m$ | . |
|      | - $A_m \frac{1}{2}$ | $f_c - f_m$ | . |

" -

⋮ \_\_\_\_\_

,

: AM

.

,

$$. BW(AM) = 2F_m$$

?

$$BW(AM) = F(USB) - F(LSB) = (F_c + F_m) - (F_c - F_m) = F_c + F_m - F_c + F_m = 2F_m$$

⋮  
AM

.

⋮ \_\_\_\_\_

.  $A_c - a$

,  $(-a) -$

:

,

$$a \leq A_c$$

$$A_m \leq A_c$$

,

$$A_m / A_c \leq 1$$

:  $m$

$$A_m / A_c$$

$$m = A_m / A_c$$

⋮ \_\_\_\_\_

, \

.

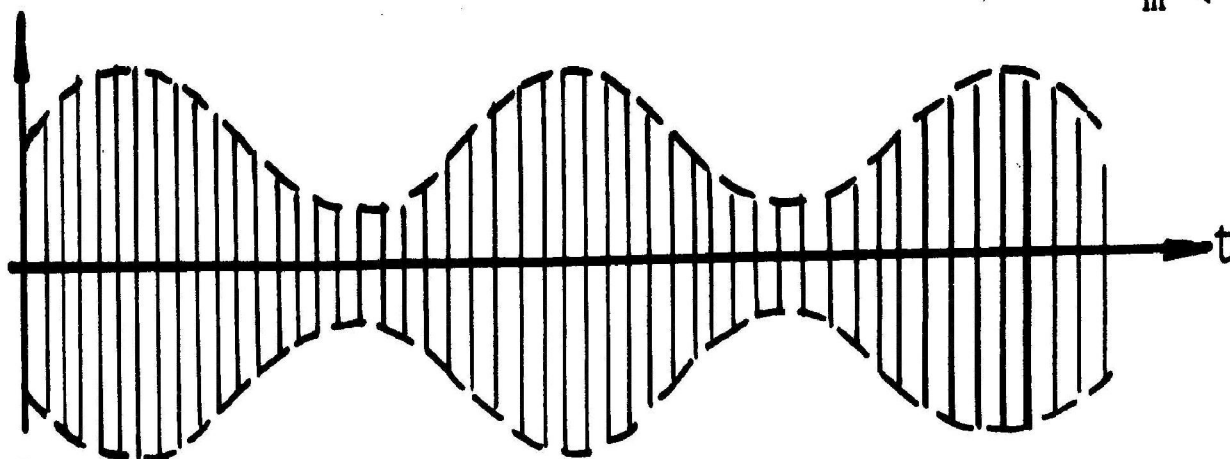
?

,

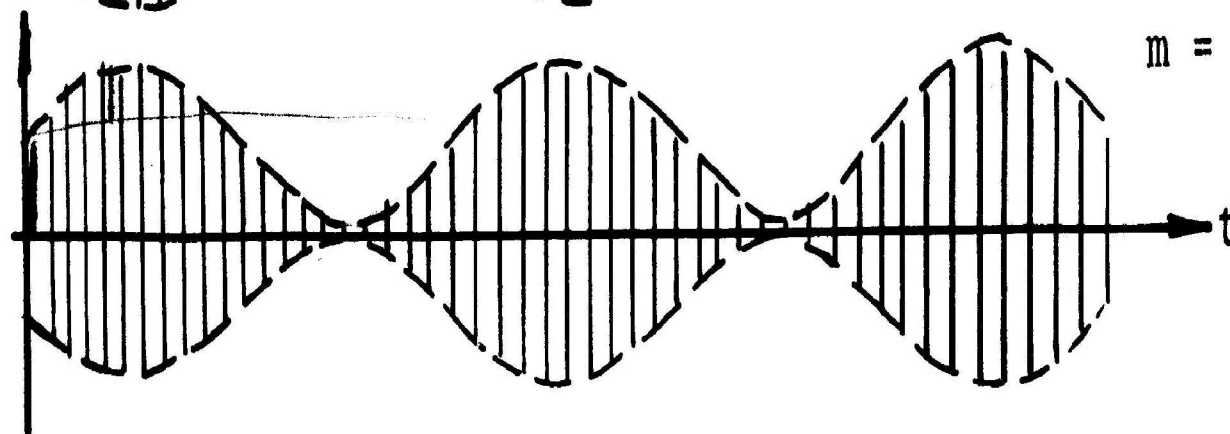
.



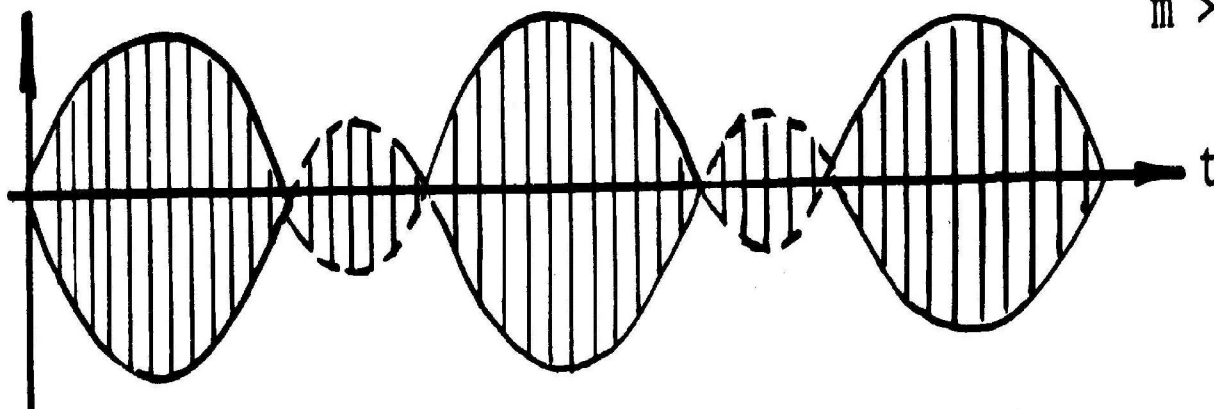
א.  $m < 1$



ב.  $m = 1$



ג.  $m > 1$



שרטוט 2.5 צורת הגל המאופנן בגורמי אפנון שונים.

" -

\_\_\_\_\_

? , "

:

.  
.  
.

$$P_{am} = P_c + P_u + P_L$$

:

.1  
:

$$P_c = (A_c)^2 \cdot 2R$$

:

.2

$$P_m = P_u + P_L = 2 \cdot (m A_c)^2 \cdot 8R = (m A_c)^2 \cdot 4R$$

:

$$P_{AM} = P_c + P_m = P_c + (m A_c)^2 \cdot 4R = P_c + (P_c \cdot m^2) \cdot 2 =$$

$$P_{AM} = P_c (1 + m^2) \cdot 2$$

,

"  
.m

\_\_\_\_\_

.

:

.η

$$\eta = P_m \cdot P_{AM} \cdot 100\%$$

:

,

.

.33%

m=1 ,

$$\eta = \frac{\frac{m^2}{2} \cdot p_c}{\left(1 + \frac{m^2}{2}\right) p_c} \cdot 100\% = \frac{\frac{m^2}{2}}{1 + \frac{m^2}{2}} \cdot 100\%$$

AM - 3.2.3

: AM

: \_\_\_\_\_

.1

AM

.2

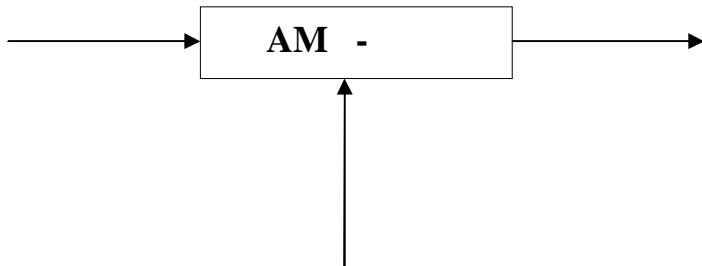
AM

.3

: \_\_\_\_\_

:

AM



:

5Vp-p

500HZ

V1

10 Vp-p

100kHz

V2

: " \_\_\_\_\_

2

" -

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ AM

1 ' .  
: 1 ' .  
Fm=500Hz – (int am) AM  
. 50%  
. 3Vp-p 3kHz  
sec/div-

1 ' .  
1 ' .  
15kHz, 500kHz, 100kHz :  
.

\_\_\_\_\_ AM

. 300mVp-p ,200kHz 1 ' .

. 200mVp-p 1kHz 2 ' .

. Modulation Ext. ,

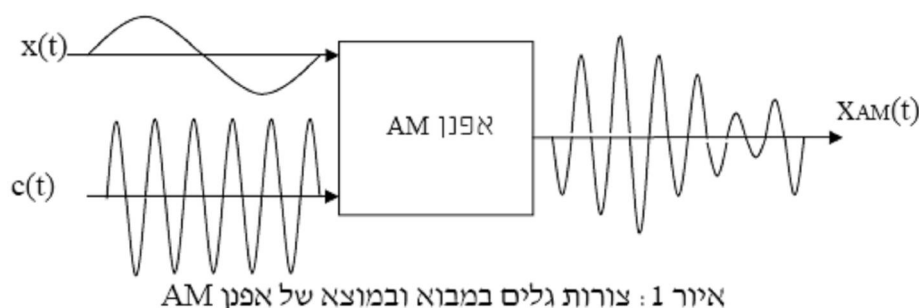
. 50kHz .

\_\_\_\_\_

.1  
, ) .2  
( , .3

רקע עיוני

1. אפנן תנופה – AM Modulator – היינו מעגל אלקטרוני המשנה את האמפליטודה של גל הנושא - carrier -  $c(t)$  בהתאם לשינויים בגל המידע  $x(t)$  - Signal, כאשר אות המוצא הוא גל מאופנן  $x_{AM}(t)$  (איור 1).



אותות המבוא נתונים על-ידי :

$$x(t) = A_m \cos(\omega_m t)$$

$$c(t) = A_c \cos(\omega_c t)$$

אות המוצא נתון על-ידי :

$$x_{AM}(t) = [A_c + x(t)] \cos(\omega_c t)$$

גורם האפנון - modulation index - נתון על-ידי :

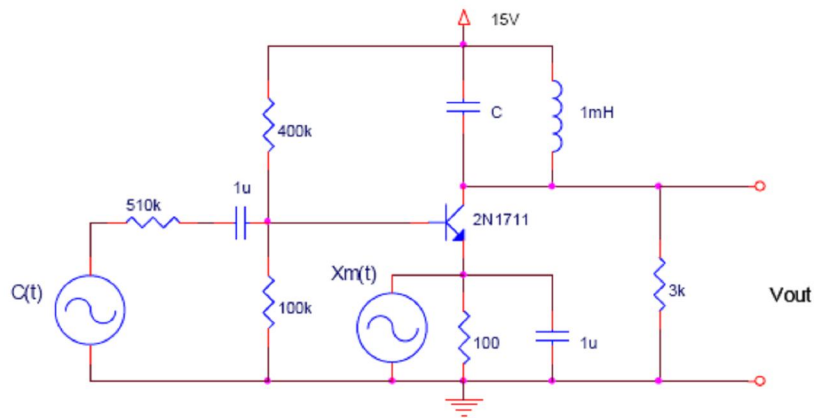
$$m = \frac{A_m}{A_c}$$

2. אפנן AM טרנזיסטורי

אפנני התנופה הטרנזיסטוריים פועלים על עקרון אפנון באמצעות שינוי הגבר המתח. בחיבור CE תלוי הגבר המתח בזרם האמיטר.

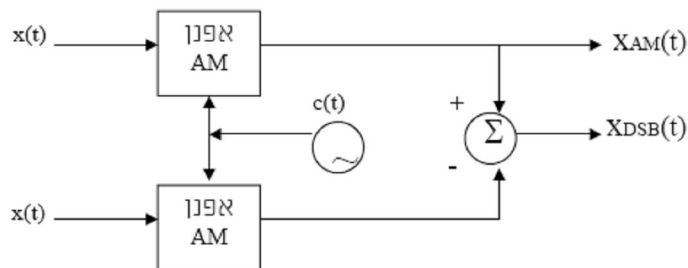
אם זרם האמיטר משתנה בתלות בשינויים של גל המידע, משתנה הגבר המתח בהתאם. ואם המגבר מגביר את גל הנושא, אזי תנופת מתח המוצא תשתנה בהתאם לשינויים בגל המידע.

באיור 2 מתואר אפנן AM עם אפנון בפולט. העומס היינו מעגל תהודה מכוון לתדר גל הנושא  $f_c$  ברוחב פס מספיק להעברת פסי הצד  $2f_m$ . בתדר התהודה העומס מהווה התנגדות טהורה וגבוהה וביתר התדרים עכבת העומס היינה נמוכה. לכן הגבר המתח המרבי מתקבל בתדר התהודה.



איור 2: אפן טרנזיסטורי AM

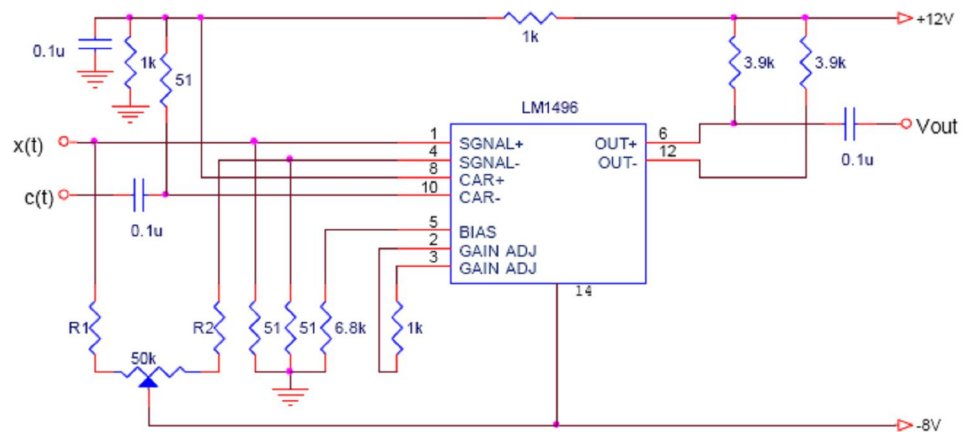
3. אפן משולב  
מעגל משולב LM1596 היינו אפן מאוזן – Balanced Modulator הכולל שני אפני AM טרנזיסטוריים זהים ומגבר הפרש (איור 3).



איור 3: תרשים מלבנים של אפן מאוזן

במוצא האפן ניתן לקבל אות מאופן AM ואות מאופן DSB עם גל נושא מדוכא. כדי להשיג דיכוי מלא של גל הנושא במוצא האפן המאוזן, יש לבצע כוונון מדויק לתאום מלא בין שני אפני AM.

אפן הממומש באמצעות המעגל LM1596 מתואר באיור 4.



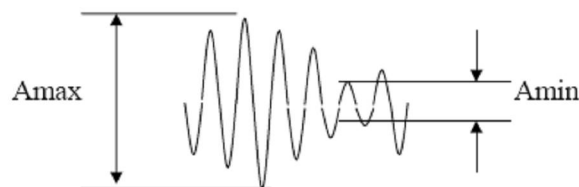
איור 4: מעגל של אפן מאוזן

## מטרות הניסוי

1. מימוש אפנן AM טרנזיסטורי
  - בדיקת אות המוצא
  - קבלת אחוזי אפנן שונים
  - בדיקת עיוותים באפנן יתר
2. מימוש אפנו באמצעות מעגל משולב
  - קבלת אות AM באחוזי אפנן שונים
  - קבלת אות DSB ובדיקתו.
  - קבלת אות SSB ובדיקתו.

## שאלות הכנה

1. פתח ביטוי ספקטרי של האותות AM, DSB ו-SSB. שרטט את הספקטרום של האותות וסמן את האמפליטודות והתדרים.
2. השווה בין שיטות האפנן AM, DSB ו-SSB מבחינות הבאות: הספק השידור ורוחב הפס. נמק.
3. הסבר את המושג "אפנן יתר". למה אפנן יתר גורם?
4. נתון המעגל שבאיור 2. גל המידע היינו אות סינוסואידלי עם תדר  $f_m = 10\text{kHz}$ . גל הנושא היינו אות סינוסואידלי עם תדר  $f_c = 100\text{kHz}$ . חשב את קיבול הקבל C במעגל התהודה.
5. נתון אות מאופנן AM באיור 5. בטא את מקדם האפנן  $\mu$  באמצעות המתחים  $A_{\max}$  ו- $A_{\min}$ .



איור 5 : גל מאופנן AM

## רשימת הציוד

1. משקף התנודות
2. מחוללי האותות
3. ספק כח כפול
4. רכיבים: 2N1711, LM1596
5. נגדים:  $100\Omega$ ,  $3k\Omega$ ,  $100k$ ,  $400k$ ,  $510k$
6. קבלים:  $1n$ ,  $1\mu$
7. דקדת קבלים
8. סליל  $1mH$
9. ערכת Feedback

## מהלך הניסוי

בכל מדידת גל מאופנן מדוד ורשום בדו"ח את רוחב הפס והמתחים  $V_{max}$  ו- $V_{min}$

1. הרכב את המעגל שבאיור 2. חבר דקדת קבלים במקום קבל C וכוון אותה לערך אשר חשבת בשאלת ההכנה 4. לכניסת גל המידע חבר מתח סינוס עם  $V_{max}=2V$   $f=10kHz$ . לכניסת גל הנושא חבר מתח סינוס עם  $V_{max}=5V$   $f=100kHz$ .
2. שנה את קיבול הקבל C לקבל גל מאופנן AM ללא עיוותים.
3. מדוד ושרטט את צורת גל המוצא והספקטרום שלו.
4. שנה את עומק האיפנון וחזור על הסעיף 3.
5. מדוד ושרטט את מתח המוצא והספקטרום באיפנון יתר.
6. חבר כרטיס AM לערכת Feedback. בחר פרק 1 Amplitude Modulation with Full Carrier ניסוי 1. כוון את המעגל לפי הוראות.
7. מדוד ושרטט את צורות הגלים והספקטרום של גל המידע, גל הנושא והגל המאופנן כאשר  $m < 1$ .
8. חזור על סעיף 7 כאשר  $m > 1$ .
9. בחר פרק 2 Amplitude Modulation with No Carrier ניסוי 1. כוון את המעגל לפי הוראות.
10. מדוד ושרטט את צורת הגל והספקטרום של הגל המאופנן.
11. בחר את ניסוי 2. כוון את המעגל לפי הוראות.
12. מדוד ושרטט את צורת הגל והספקטרום של האות המאופנן באפנון USB-SSB.
13. חזור על סעיף 12 לגבי אפנון LSB-SSB.

## עיבוד התוצאות והמסקנות

1. בכל מדידה של גל AM חשב את מקדם האפנון באחוזים.
2. בכל מדידה של ספקטרום חשב את רוחב הפס המדוד. חשב את רוחב הפס המחושב לאותם המקרים לפי הנוסחה:  
 $BW=2f_m$
3. חשב את סטיית רוחב הפס באחוזים. רשום את התוצאות בטבלה המתאימה. הסק מסקנות.
4. חשב מסקנות לגבי צורת הגל אשר קבלת בסעיפים 5 ו-8. כיצד ניתן לקבוע לפי צורות הגל והספקטרום שמדובר באפנון יתר? נמק.
5. חשב מסקנות לגבי התוצאות אשר קבלת בסעיף 10. השווה בין התוצאות אשר קבלת בסעיפים 8 ו-10 של מהלך הניסוי. נמק את תשובתך.
6. השווה בין תוצאות המדידה אשר קבלת בסעיפים 11 ו-13 במהלך הניסוי. מדוע הגל המאופנן הינו גל סינוס? נמק.
7. השווה בין האפננים אשר בדקת בניסוי מבחינת הנאמנות. הסבר.



פרק שלישי

תקשורת חוזי

– 1'

– 2'

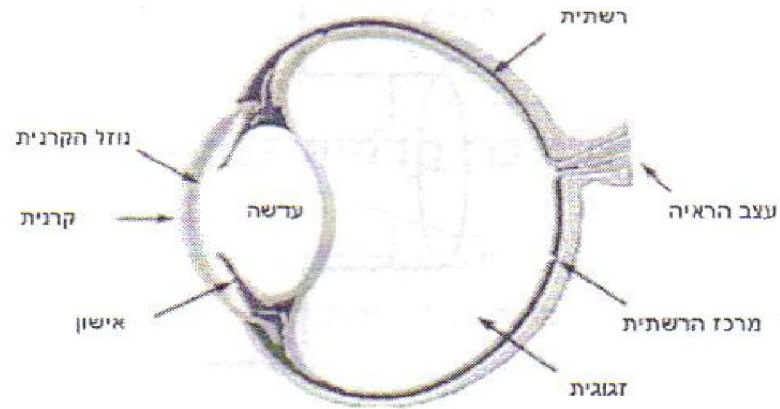
– 3'

-1

:

:

:



:

1. -

2. -

3. -

4. -

5. -

6. -

7. -

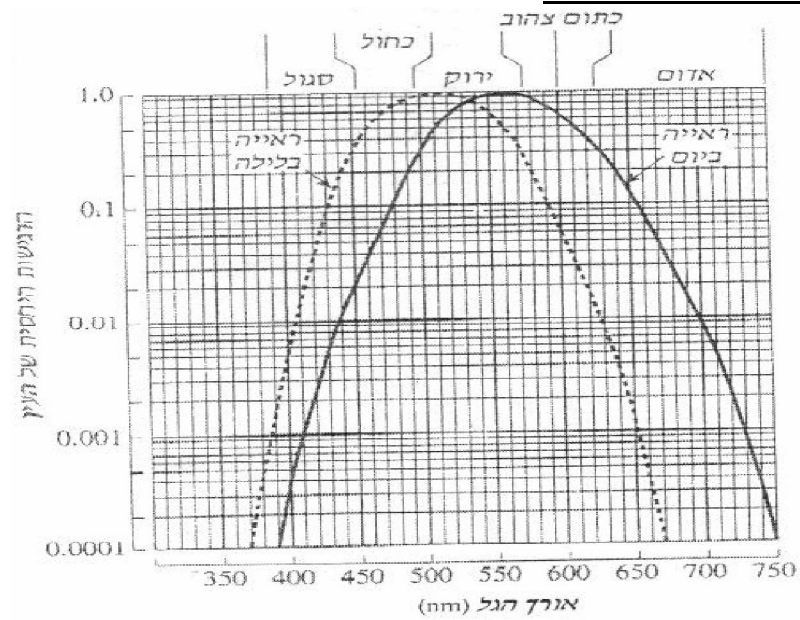
8. -

2 - " 8 "

:

( ) .

:



350nm

780nm -

555nm

( )

" -

$$\phi \qquad P$$
$$.(lumen)$$

.

$$Km = \frac{\phi}{P}$$

$$\left[ \frac{lumen}{W} \right] \qquad - Km$$
$$\begin{matrix} [lumen] & - \phi \\ [W] & - P \end{matrix}$$

$$, 555\eta m$$
$$. Km = 673 \left[ \frac{lumen}{W} \right]$$
$$, ( \quad )$$
$$. 510\eta m$$

⋮ \_\_\_\_\_

,

.

.

,

$$. \eta_E$$

⋮ \_\_\_\_\_

$$.(lux = 1 \frac{lumen}{m^2}) , lux$$

$$E = \frac{\phi}{A}$$

$$\begin{matrix} [lux] & - E \\ [lumen] & - \phi \\ [m^2] & - A \end{matrix}$$

⋮ \_\_\_\_\_

,

.

$$. lux$$

,

,

,

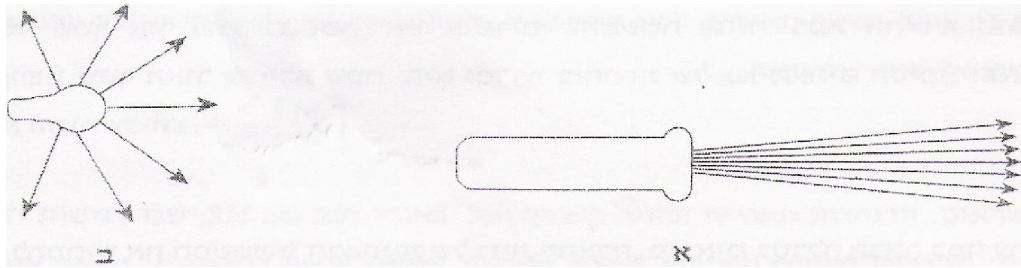
⋮ \_\_\_\_\_

,

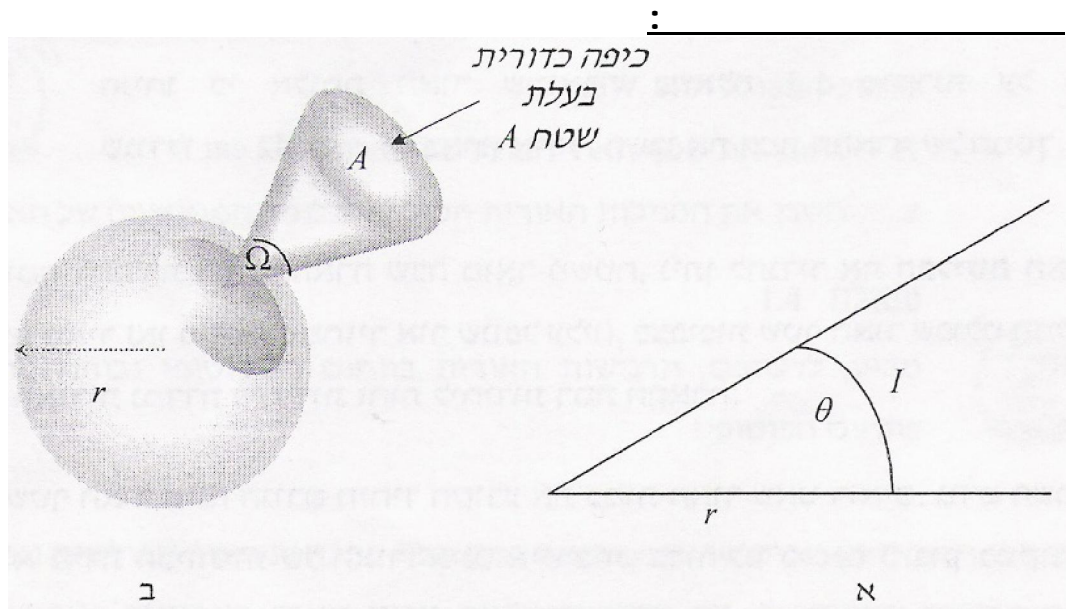
.

" . "

.



) (



$\theta = \frac{l}{r} \text{ rad}$   
 $\Omega = \frac{A}{r^2}$   
 $2\pi$   
 $A$

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

$[\text{sr}]$  -  $\Omega$   
 $[\text{m}^2]$  -  $A$   
 $[\text{m}]$  -  $r$

.(Candela)



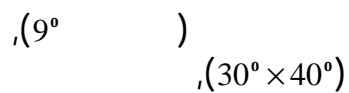
,I

11

$$.1foot-lambert = 3.426nit : \quad foot-lambert$$

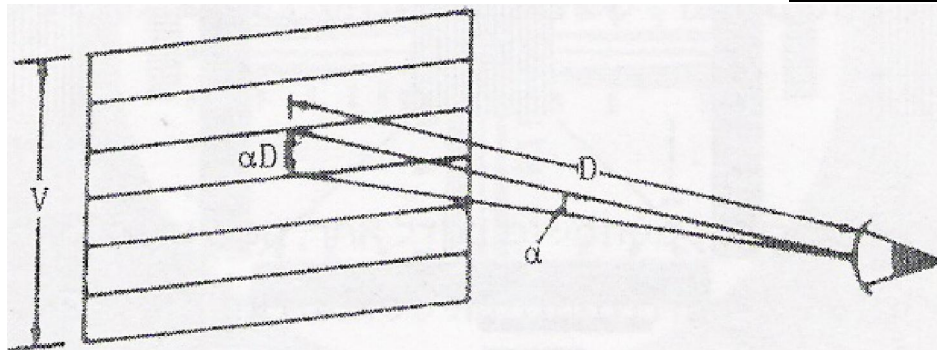
|           |           |
|-----------|-----------|
| $[lumen]$ | $-\phi$   |
| $[m^2]$   | $-A$      |
| $[sr]$    | $-\Omega$ |

100<sup>o</sup> -

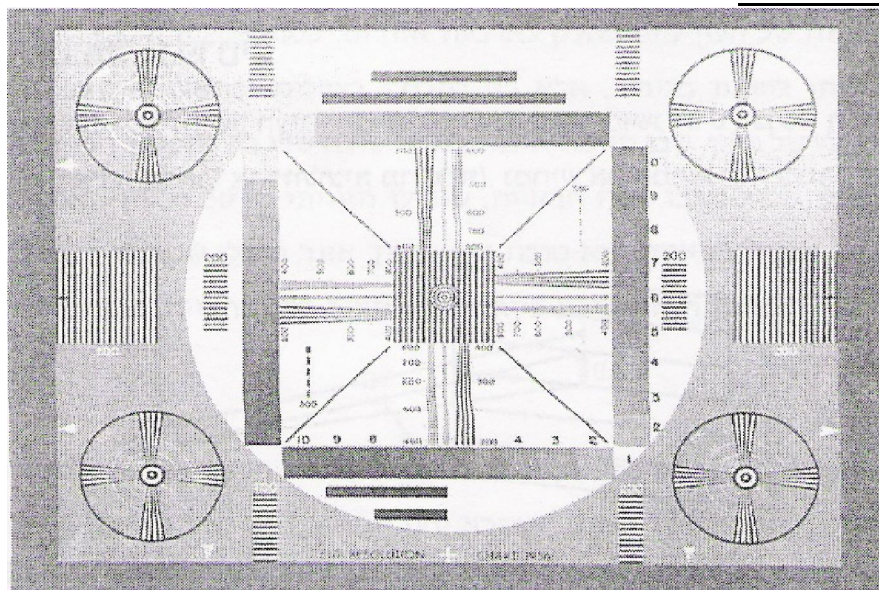


4:3

16:9



$$\left( \frac{1}{60} \right)$$



$$M = \frac{B_o - B_B}{B_o + B_B}$$

- M  
- B<sub>O</sub>  
- B<sub>B</sub>

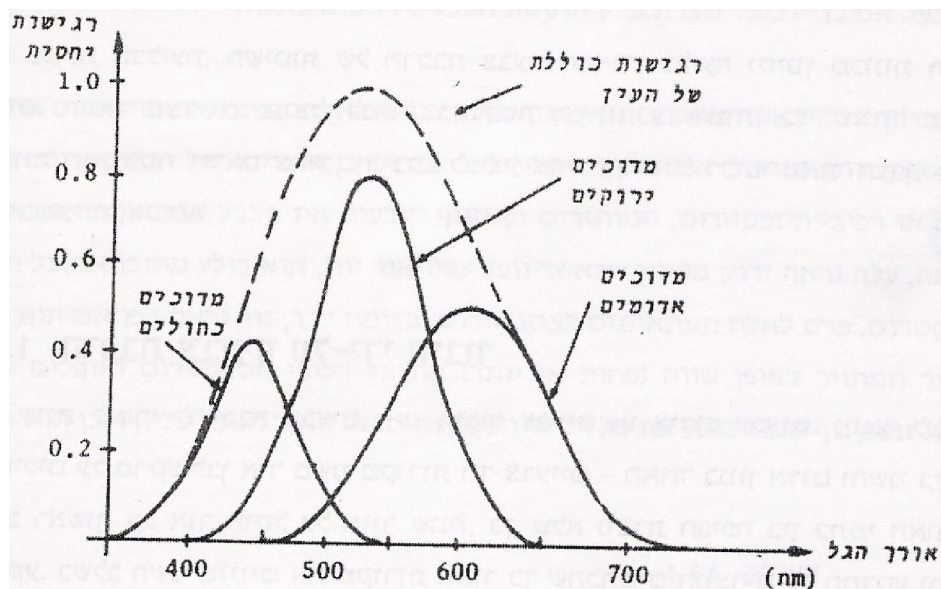
$$C = \frac{B_o - B_B}{B_B}$$

- C  
- B<sub>B</sub>, B<sub>O</sub>



2.

?



- :
- 1.
  - 2.
  - 3.
  - 4.

(RGB)

- :
- 1.
  - 2.
  - 3.
  - 4.
  - 5.
  - 6.
  - 7.
  - 8.

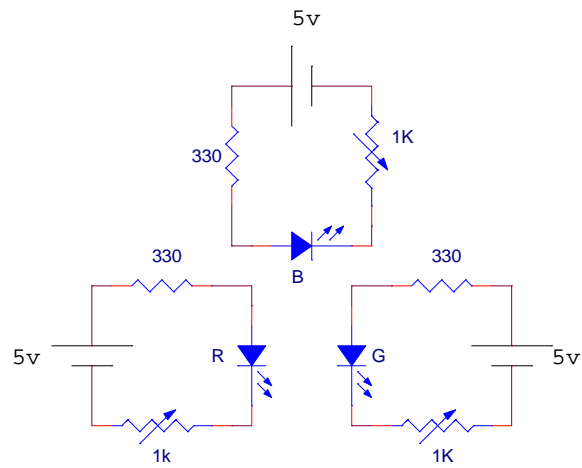
(LEDs)

330Ω

1KΩ

:

:



| (cd) | (A) |     |
|------|-----|-----|
|      |     | R - |
|      |     | G - |
|      |     | B - |

" -

.2

,

.

,

.

.3

)

(

| G - | B - | R - |  |
|-----|-----|-----|--|
|     |     |     |  |
|     |     |     |  |
|     |     |     |  |

:

-

.

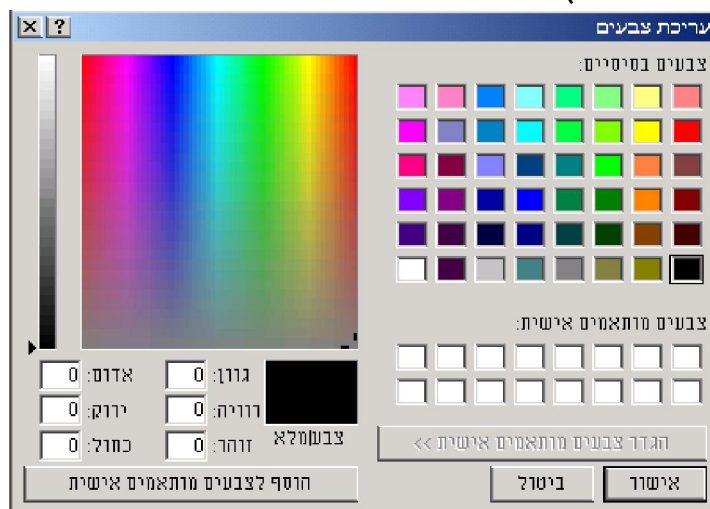
.1

,

.

.(colors

)



(

,

)

)

.2

:

.

.

.

.3

.

\_\_\_\_\_:

" -

, , \_\_\_\_\_ .1

, \_\_\_\_\_ .2

\_\_\_\_\_

?( ) .1

.( , , ) , .2

? : .3

? ? ?

. ? .4

?

\_\_\_\_\_ - 2

" -

⋮

.( )

:

?

:

-

?

-

-

,

"

•

?

-

•

)

-

•

"

"

?(

.(

)

,RGB

,

.

,

:

?

)

:

-

X -

,(

?

,

,2X

:1927

⋮

||

8 ? , ' , ' 100 .1

16 . ? ( ) .2

700×500 . .3

48 ? ? ? ?

) RGB , , (

" -

```
.water_lillies.tiff .1
,( ) .2
. ,
: - .
.autoimager water_lillies.tif .1
.settings - ,(filters to apply) resample .2
.2:1 .3
.( , )_____
) ? .4
.( ,10 .5
,8:1 ,4:1 : ( , ) .6
,32:1 ,16:1
:
```

|           |  |      |
|-----------|--|------|
| (10 1 - ) |  |      |
|           |  | 2:1  |
|           |  | 4:1  |
|           |  | 8:1  |
|           |  | 16:1 |
|           |  | 32:1 |

```
: - .
.autoimager water_lillies.tif .1
```

" -

.settings - ,color resolution .2

' . 7 - 8

. (1 - 10 )? .3  
.4

. 1 - ,2,3,4,5,6 .5

:

| (10 1 - ) |  |        |
|-----------|--|--------|
|           |  | 7 bits |
|           |  | 6 bits |
|           |  | 5 bits |
|           |  | 4 bits |
|           |  | 3 bits |
|           |  | 2 bits |
|           |  | 1 bit  |

:

-

.

.stripes\_target.bmp .1

. 792×594 -  
) - .2

. (

. .3

' . , .4

)

,8:1 ,4:1 ,2:1 : . ( .64:1 ,32:1 ,16:1

' : , , .5

|  |  |      |
|--|--|------|
|  |  |      |
|  |  | 2:1  |
|  |  | 4:1  |
|  |  | 8:1  |
|  |  | 16:1 |
|  |  | 32:1 |
|  |  | 64:1 |

: \_\_\_\_\_



" -

?( ' ) .1

, .2

?

, ; .3

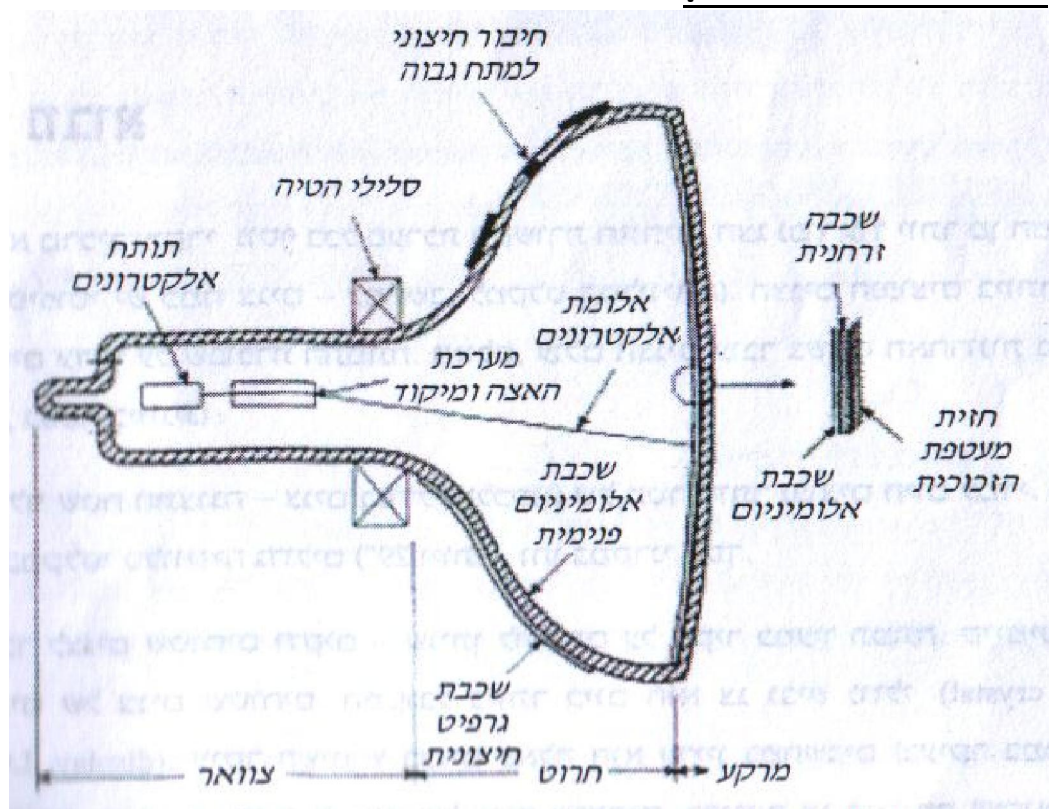
? \_\_\_\_\_

. .4

: - 3 \_\_\_\_\_

: \_\_\_\_\_

LCD



" -

'  
'  
P  
'

·  
·  
·  
:

·  
·

.( , )

' '

'

'

-

·

'

·

·

·

,( , )

·

\_\_\_\_\_

·

'

·

'

·

\_\_\_\_\_

·

·

'

'

:

\_\_\_\_\_

-

·

-

'

'

'

·

:

·

·

.1

·

'

.2

·

-

'

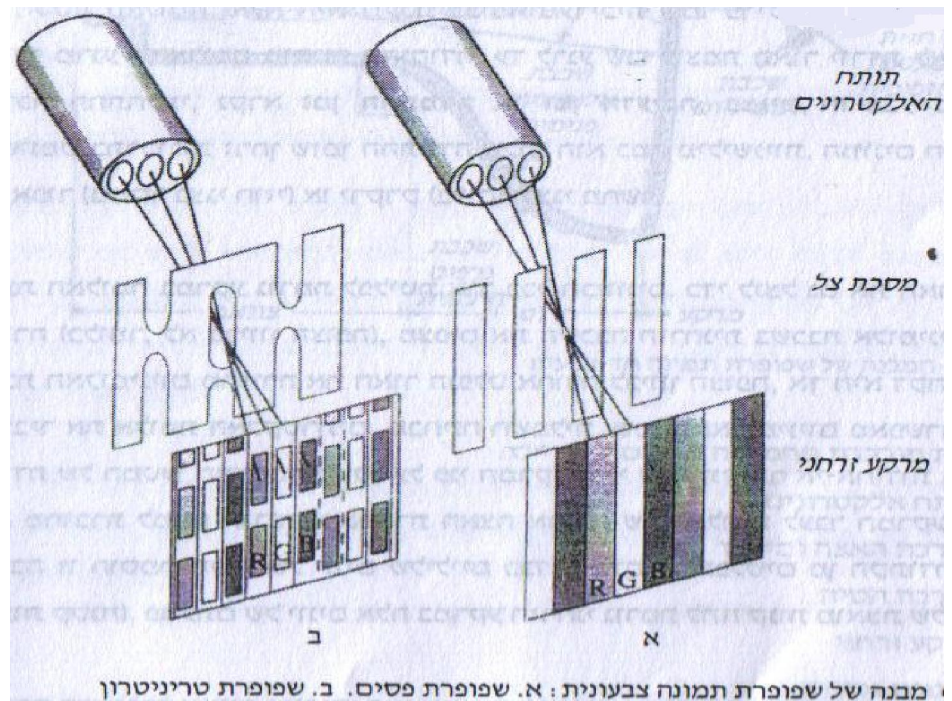
-

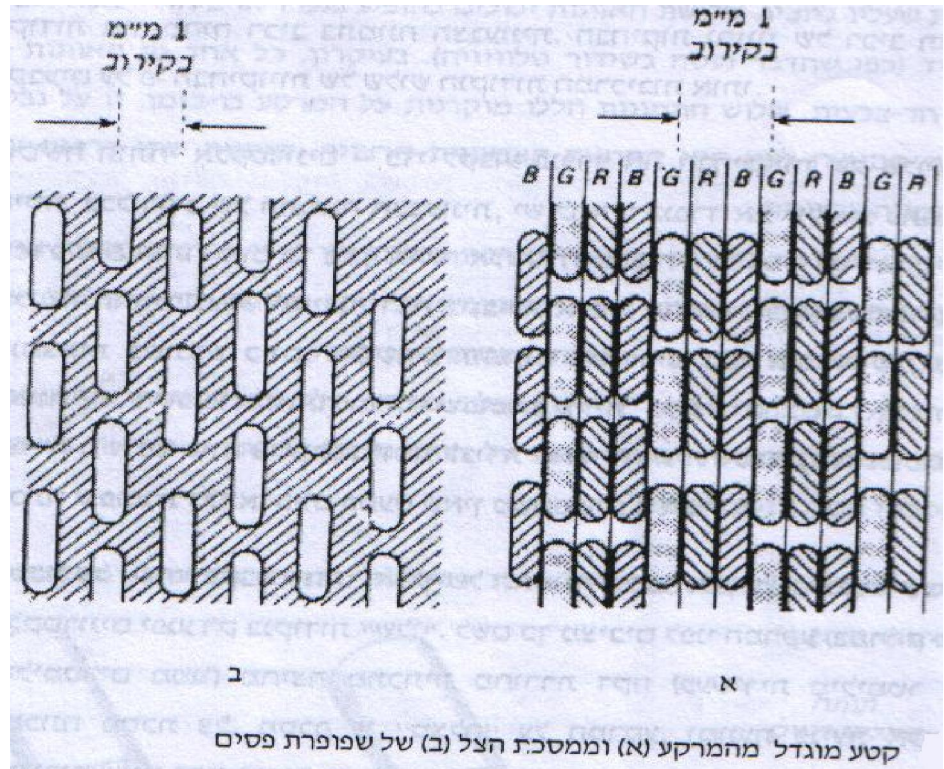
·

·

:

\_\_\_\_\_





\_\_\_\_\_ :

.0.45mm

25Kv -

)  
(

.0.25mm

20" -

" -

20" - ,0.6mm  
,0.8mm  
,0.3mm - 0.45mm ,

10-  
,  
,.15"  
,.23-26"

-  
100  
1MHz

.26" 14" :\_\_\_\_\_

$W = \frac{4}{5} \times ( \quad )$  :\_\_\_\_\_  
[cm] - W

[cm] " !  
,["]' :

$1'' = 2.54cm \Rightarrow$   
 $26'' = 26 \times 2.54 = 66.04cm$   
 $14'' = 14 \times 2.54 = 35.56cm$

: ,4:3  
 $W = \frac{4}{5} \times 66.04 = 53cm$

-----  
 $N = \frac{W}{\quad}$

- N

0.8mm

20"

0.08cm

$$N = \frac{53}{0.08} = 663$$

$$Nh = N \times KELL$$

$$\left( \frac{N}{0.7} \right) - Nh - KELL$$

$$Nh = 633 \times 0.7 = 465 \text{ lines}$$

$$W = \frac{4}{5} \times 35.56 = 28.5 \text{ cm}$$

0.6mm

20"

0.06mm

$$N = \frac{28.5}{0.06} = 476$$

$$Nh = 476 \times 0.7 = 333 \text{ lines}$$

40%

(110° 90° )  
40"

65-80%  
" 65-80

||

• \_\_\_\_\_

• \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

.17''

**.1**

• \_\_\_\_\_

• \_\_\_\_\_

---

**.1**

.2

.3

.4

•

•

---

**.1**

.2

.3

.Screen resolution target.bmp

.4

.5

• \_\_\_\_\_

• \_\_\_\_\_

• \_\_\_\_\_

**.1**

.2

.3



" -

:

.1

.2

.3

.4 ,3 - 1

:

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

:

.Screen resolution target.bmp .1

( ) .2

600×800 .3

.4

5 20%

\* ( ) .5

.6

.(?5% ,?10% ,?20%)

1280×960 .7

: 6 - 5

| 1280×960 |  |      | 600×800 |  |      |
|----------|--|------|---------|--|------|
| ?        |  |      | ?       |  |      |
|          |  | 100% |         |  | 100% |
|          |  | 20%  |         |  | 20%  |
|          |  | 10%  |         |  | 10%  |
|          |  | 5%   |         |  | 5%   |

: \_\_\_\_\_

.1

?

.2

?

