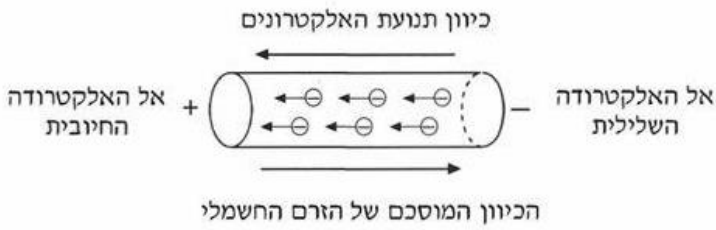


אלקטרוניקה – סיכום החומר

כוון מוסכם של זרם – מהאלקטרודה החיובית לשלילית



חוק אוהם

$$R = \frac{V}{I}$$

$$V = I * R$$

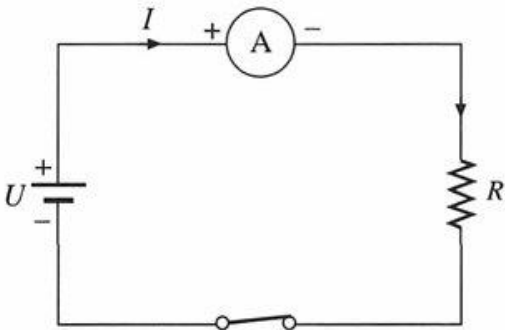
$$I = \frac{V}{R}$$

R – התנגדות [אווהם] [Ω]

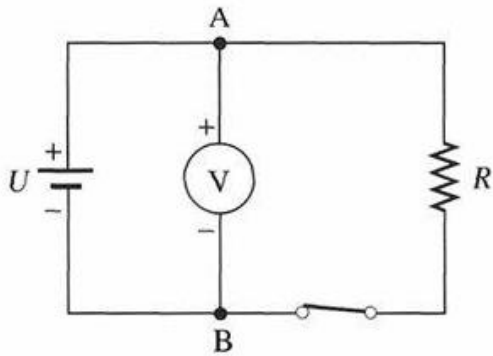
V – מתח [וולט] [V]

I – זרם [אמפר] [A]

מד זרם – מכשיר מדידה המודד את הזרם העובר דרכו מההדק החיובי לשלילי. מד זרם מחברים בטור.



מד מתח – מכשיר המודד הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות במעגל. מד מתח מחברים במקביל.



הספק חשמלי – קצב הפיכת האנרגיה מצורה לצורה

הספק של מקור מתח – המתח שהמקור מספק כפול הזרם שזורם דרך מקור המתח.

הספק של נגד – המתח על הנגד כפול הזרם הזורם דרך הנגד, או הזרם שזורם דרך הנגד בריבוע כפול ההתנגדות

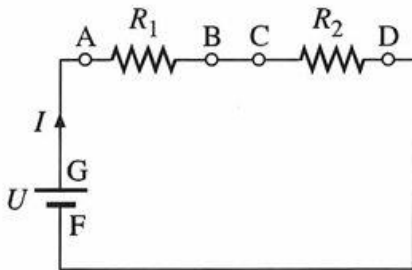
$$P = V * I \quad P = I^2 * R \quad P = \frac{V^2}{R}$$

חוקי קירכהוף

חוק הזרמים של קירכהוף – סכום הזרמים הנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים היוצאים מהצומת.

חוק המתחים של קירכהוף – במעגל שבו כל הנגדים מחוברים בזה אחר זה, סכום מפלי המתח שווה למתח המקור. או סכום המתחים (כולל הסימנים המתאימים שלהם) בכל אחד מהחוגים של מעגל חשמלי הוא אפס.

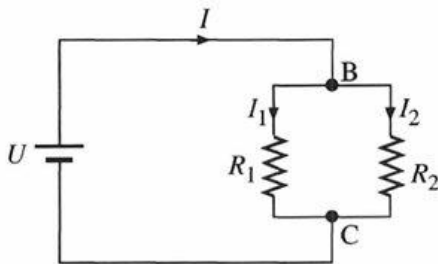
סימון כוונים של מתחים וזרמים במעגל – נבחר כיוון זרימה של הזרם במעגל. את המתח על הנגד נסמן עם כוון הזרימה (כלומר + ל-). במקור מתח, אם נפגוש קודם את המינוס נסמן אותו במינוס, אחרת בפלוס.



נגדים בטור – דרך הנגדים זורם אותו זרם, לכן ההתנגדות השקולה היא סכום ההתנגדויות.

$$R_t = R_1 + R_2$$

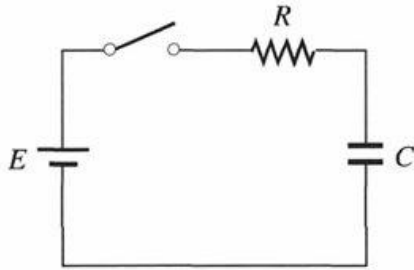
נגדים במקביל – על שני נגדים במקביל נופל אותו מתח. לכן ההתנגדות הכוללת:



$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

הגודל הפיסיקלי	מעגל טורי	מעגל מקבילי
מתח	יכול להיות שונה עם כל נגד	שווה על כל אחד מהנגדים
זרם	שווה בכל הנגדים	יכול להיות שונה בכל נגד
התנגדות שקולה של המעגל	- גדולה מכל אחת מההתנגדויות של הנגדים במעגל - שווה לסכום ההתנגדויות של הנגדים - עבור שני נגדים R_1, R_2 : $R_{eq} = R_1 + R_2$	- קטנה מכל אחת מההתנגדויות של הנגדים במעגל - הערך ההופכי של ההתנגדות השקולה ($\frac{1}{R_{eq}}$) שווה לסכום הערכים ההופכיים של התנגדויות הנגדים. - עבור שני נגדים R_1, R_2 : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
הספק המעגל	שווה לסכום ההספקים של הנגדים	שווה לסכום ההספקים של הנגדים

מעגל RC טורי



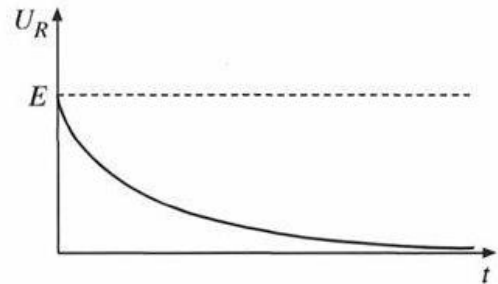
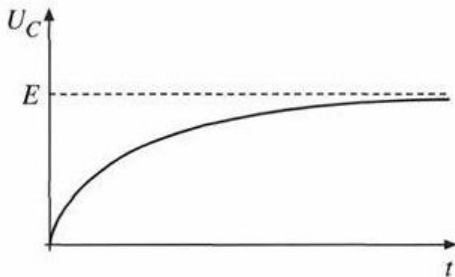
τ – קבוע הזמן

R – התנגדות

C – קיבול

$$\tau = R * C$$

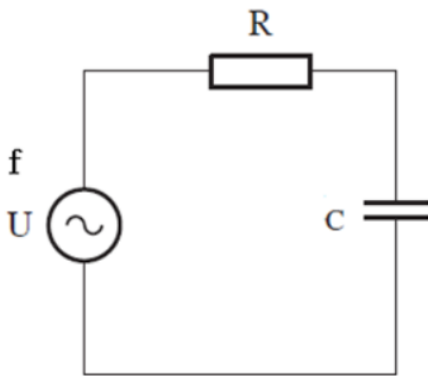
τ – קצב טעינת / פריקת הקבל



איור 10-13 המתח על קבל נטען – בתלות בזמן

איור 10-15 המתח על הנגד בתלות בזמן – במעגל RC טורי

מעגל RC טורי במתח חילופין



מתח כתלות בזמן $U(t) = U_{max} * \sin(\omega t + \varphi)$

זרם כתלות בזמן $I(t) = I_{max} * \sin(\omega t + \varphi)$

קשר בין זמן מחזור, תדר ותדירות זוויתית

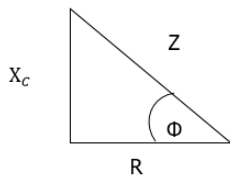
$$T = \frac{1}{f} \quad \omega = 2\pi f \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad \text{היגב קבל}$$

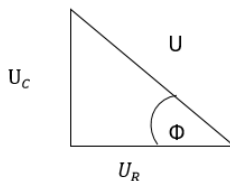
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \text{עכבה}$$

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{Z} \quad I = \frac{U}{Z} \quad \text{חוק אוהם}$$

מתחים $U_C = I X_C$ מתח קבל $U_R = I R$ מתח נגד



$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \quad \text{קשר בין מתחים}$$



$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{מתח/זרם אפקטיבי}$$

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} \quad \sin\phi = \frac{X_C}{Z} \quad \tan\phi = \frac{X_C}{R} \quad \text{הפרש מופע}$$

$$Q = U_C I = \frac{U_C^2}{X_C} = I^2 X_C \quad P = U_R I = \frac{U_R^2}{R} = I^2 R \quad \text{הספקים}$$

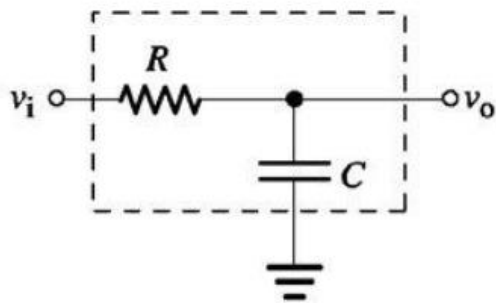
$$S = UI = \frac{U^2}{Z} = I^2 Z$$

שם יחידה	יחידות	סימון	גודל
אום	Ω	התנגדות הנגד	R
פארד	F	קיבול הקבל	C
אום	Ω	היגב הקבל	X_C
הרץ	HZ	תדר המקור	f
שנייה	SEC	זמן המחזור	T
רדיאן לשנייה	Rad/sec	תדר זוויתי	ω
וולט	V	מתח מקסימלי	Vmax
אמפר	A	זרם מקסימלי	Imax
וולט	V	מתח מקור (אפקטיבי)	U, Ueff
אמפר	A	זרם מעגל (אפקטיבי)	I, Ieff
אום	Ω	עכבת מעגל	Z
מעלות	$^\circ$	הפרש מופע בין מתח המקור לזרם המעגל	ϕ
אין יחידות		מקדם הספק	$\cos\phi$
וולט	V	מתח הנגד	U_R
וולט	V	מתח הקבל	U_C
ואט	w	הספק הנגד	P
וולט אמפר ראקביטי	var	הספק הקבל	Q
וולט אמפר	VA	ההספק הכולל	S

מסננים

מסנן מעביר נמוכים Low Pass Filter

משוואת הדפקים היסודית:



$$v_o(t) = V_\infty - (V_\infty - V_0^+)e^{-t/\tau}$$

V_∞ - הוא ערכו של מתח המוצא זמן רב ("אינסופי") אחרי הרגע .

V_0^+ - הוא מתח המוצא זמן קצר מאוד ("אפסי") אחרי הזמן .

במעגל LPF מתח היציאה הוא המתח על הקבל. לכן בזמן אינסוף המתח על הקבל הוא מתח הכניסה. המתח מיד אחרי השינוי הוא אפס.

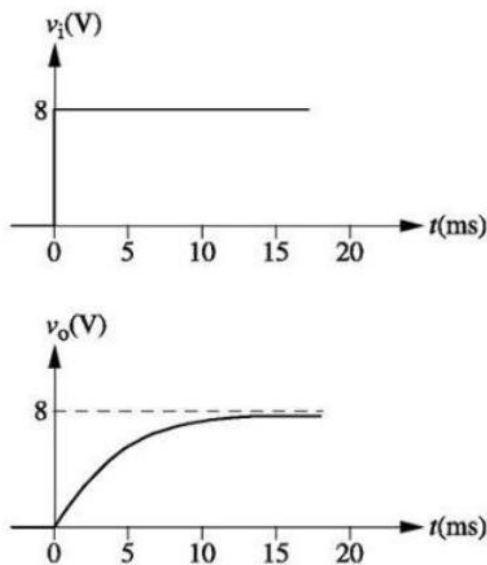
לכן ב-LPF הנוסחה תהיה:

$$v_o(t) = V_S(1 - e^{-t/\tau})$$

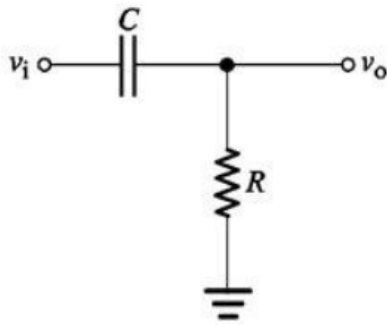
$$\tau = R * C$$

המתח על הקבל יגיע למתח הכניסה כעבור כ- 5τ
 V_S - מתח המדרגה (הקפיצה במתח)

צורת הגל ביציאה:



מסנן מעביר גבוהים – High Pass Filter

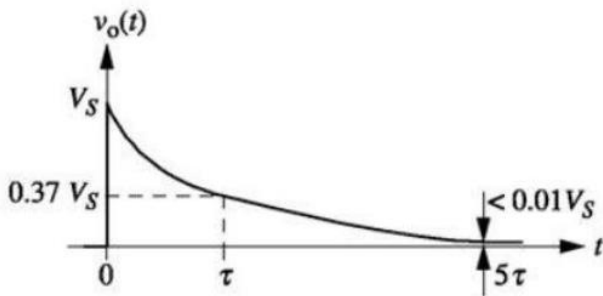


במעגל HPF מתח היציאה הוא המתח על הנגד. לכן בזמן אינסוף המתח על הנגד הוא אפס, כי הקבל טעון לכל מתח הכניסה ולא יזרום יותר זרם במעגל. המתח מיד אחרי השינוי הוא גודל הקפיצה, אם המדרגה חיובית המתח יהיה קפיצה חיובית.

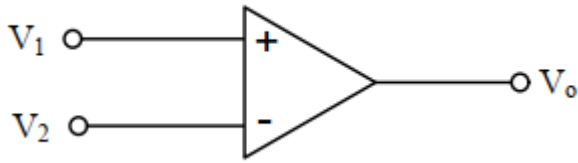
$$v_o(t) = V_S e^{-t/\tau} \quad \text{לכן ב-HPF}$$

צורת הגל ביציאה:

גם כאן המתח יגיע לאפס כעבור כ- 5τ



מגברי שרת



מגבר שרת הוא מגבר מתח המגביר את הפרש בין מתחי המבוא.

$$A_v = \frac{v_o}{v^+ - v^-} \quad \text{הגבר}$$

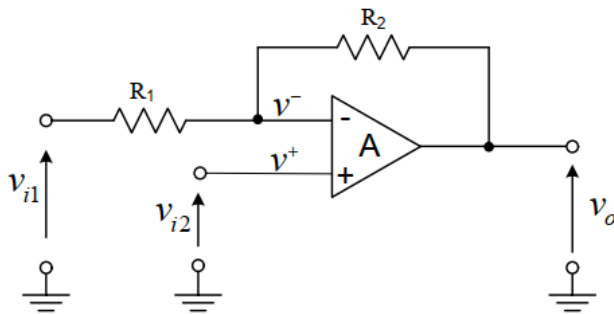
מאפיינים של מגבר אידאלי:

- ההגבר אינסופי – כלומר כל הפרש מתחים הכי רטן מתורגם למתח מוצא איסופי
- התנגדות מבוא איסופית – כלומר אין כניסה של זרם לתוך המגבר
- התנגדות מוצא אפס – כלומר מתח המוצא נשאר קבוע עבור כל זרם שהמגבר מוציא

מגבר שרת בחוג סגור

כאשר יש משוב בין המוצא להדק השלילי, המגבר נקרא בחוג סגור, ונוצר קצר ורטואלי בכניסת המגבר, כלומר מתח ההדק השלילי שוו למתח בהדק החיובי

$$v^+ = v^-$$



מגבר הופך מופע

$$i_1 = \frac{v_i - v^-}{R_1} \quad ; \quad i_2 = \frac{v^- - v_o}{R_2}$$

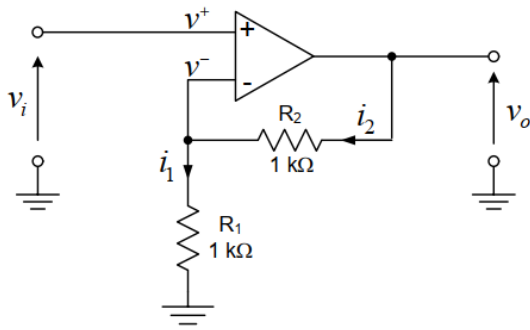
$$v^+ = v^- = 0$$

$$\frac{v_i}{R_1} = \frac{-v_o}{R_2}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

המינוס פירושו היפוך מופע הכניסה

מגבר עוקב מופע

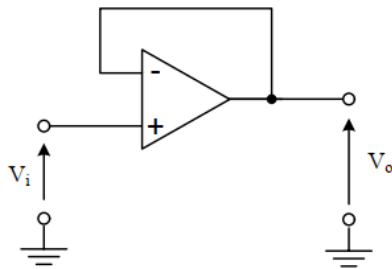


$$i_1 = \frac{v^- - 0}{R_1} \quad ; \quad i_2 = \frac{v_o - v^-}{R_2}$$

$$\frac{v_i}{R_1} = \frac{v_o - v_i}{R_2}$$

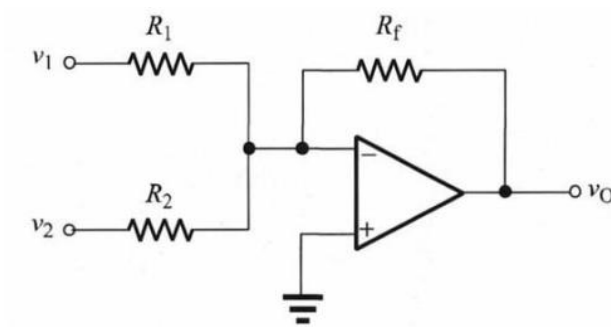
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

מגבר חוצץ



$$v_o = v_i$$

מגבר מסכם משוקלל



$$\frac{-v_o}{R_f} = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2}$$

$$R_f = R_1 = R_2 \quad \text{כאשר}$$

נקבל:

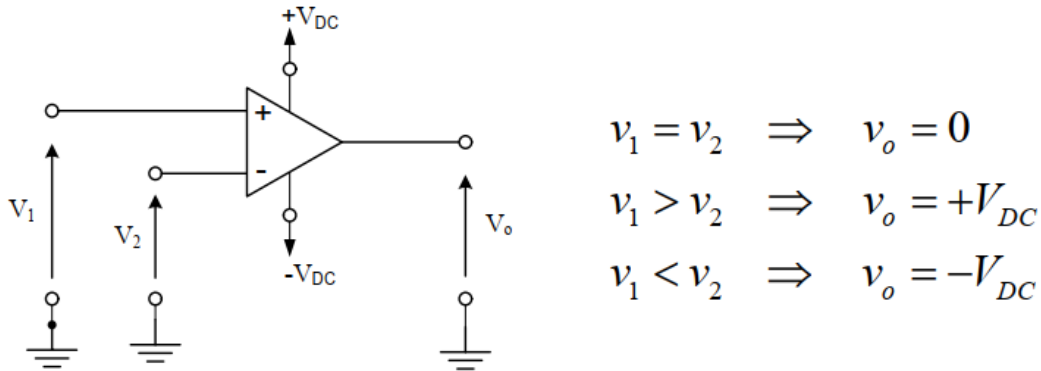
$$v_o = -(v_1 + v_2)$$

שלבים בניתוח מעגל מגברי שרת:

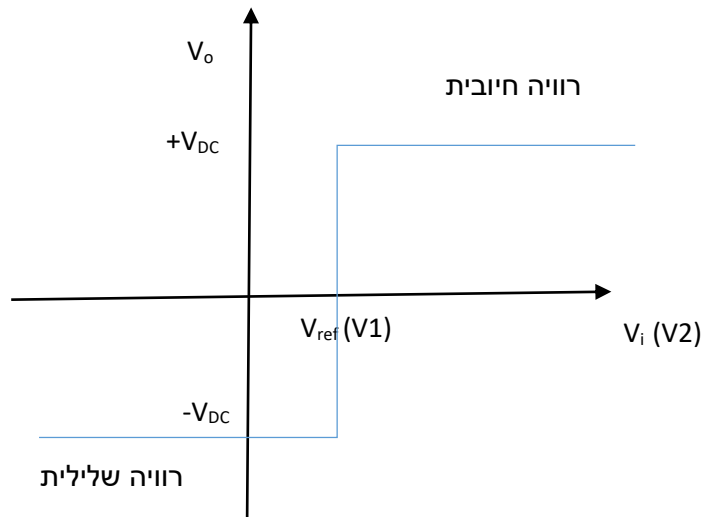
- מחשבים מתח בהדק החיובי v^+ (בדרך כלל יש מחלק מתח)
- מניחים קצר וירטואלי $v^+ = v^-$
- חוק הזרמים של קירכהוף בצומת של ההדק השלילי (סכום זרמים נכנסים שווה לסכום זרמים יוצאים), מבטאים באמצעות מתחי הכניסה והיציאה

מגבר שרת בחוג פתוח – משווה

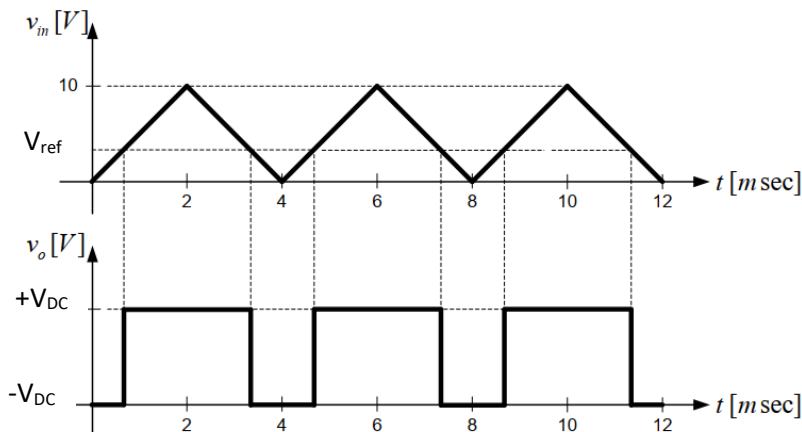
כאשר המגבר לא נמצא בחוג סגור, כל הפרש קטן בין מתחי הכניסה יוגבר לאינסוף (כי ההגבר של מגבר הוא אינסוף). בפועל לא מגיע לאינסוף, אלא למתחי האספקה. אם המתח ב-פלוס (+) גדול מהמתח ב- מינוס (-) אז ביציאה תהיה ברוויה במחת האספקה החיובי, ולהפך.



מגבר בחוג פתוח משמש כמשווה. כלומר לרוב ההדק החיובי יהיה מחובר למתח ייחוס, ונקבל אופיין מתח יציאה כפונקציה של מתח הכניסה:

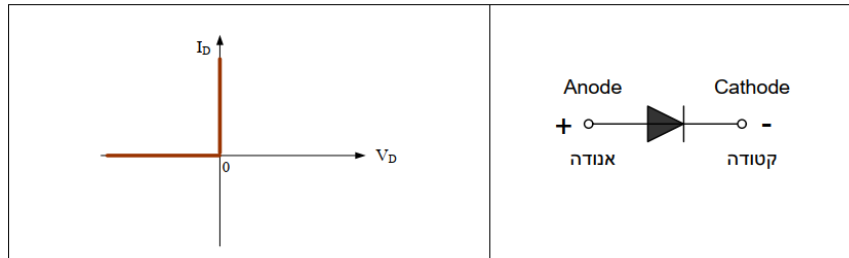


כלומר אם מתח הכניסה הוא גל משולש, מתח המוצא ייראה כך:



דיודה

הדיודה היא רכיב חשמלי חד-כיווני unidirectional בעל שני הדקים – כלומר יש בה עדיפות להולכת זרם בכיוון אחד בלבד. דיודה אידאלית היא רכיב חשמלי המשמש בתור מוליך חד-כיווני. בכיוון האחד מוליך מושלם (כלומר קצר) ונתק בכיוון ההפוך.



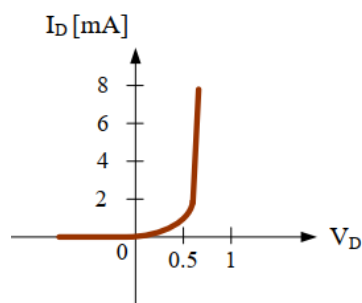
איור 5.1ב' – אופיין זרם-מתח בדיודה אידאלית

איור 5.1א' – סימול של דיודה

ממתח קדמי – מתח חיובי – דיודה במצב הולכה, מוליהכ זרם ואין עליה מפל מתח.

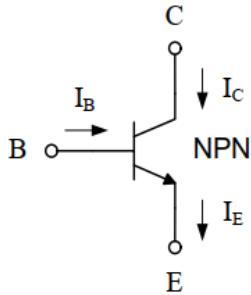
ממתח אחורי – מתח שלילי – דיודה במצב קיטעון, כלומר נתק, ואין זרם במעגל.

דיודה מעשית:



על דיודה מעשית יש מפל מתח של בערך 0.7V, וגם בקטעון יש זרם מאוד קטן הנקרא זרם זליגה.

טרנזיסטור



טרנזיסטור ביפולרי או דו־נושאי או דו־קוטבי (Bipolar Junction Transistor – BJT) הוא התקן בעל שלושה הדקים. הבסיס שלו (Base) מוזן בזרם חשמלי, המווסת את הזרם בין הפולט (Emitter) לקולט (Collector).

לטרנזיסטור שני שימושים עיקריים:

שימוש אחד הוא להגברה: זרם קטן מוזרם לבסיס וגורם לזרם גדול יותר "בעל צורה זהה" לזרם מהקולט לפולט.

השימוש השני הוא בתור "מתג": זרם מוזרם (או לא מוזרם) לבסיס וגורם ל"קצרה" או ל"נתקה" בין הדק הקולט להדק הפולט.

אפשר להקביל את הטרנזיסטור לברז מים – הבסיס הוא הברז, כך שע"י יצירת זרם קטן מאוד בבסיס – יזרום זרם גדול בקולט.

מצב קיטעון - במצב הזה כמעט שלא מרגישים את זרם הבסיס, ולכן אין זרם מהקולט לפולט. בטרנזיסטור יש מצב של נתקה בין הדק הקולט C להדק הפולט E.

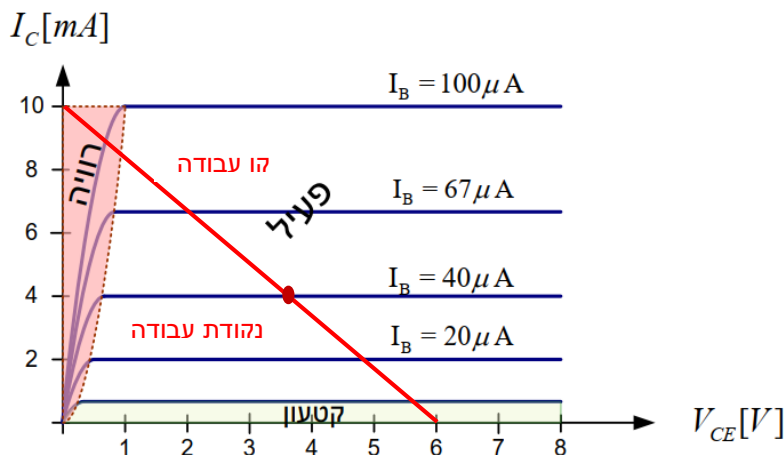
מצב פעיל - במצב הזה הזרם בין הדק הקולט C להדק הפולט E הוא יחסי (בערך) לזרם בהדק הבסיס B, אבל הרבה יותר גדול ממנו. במצב הזה טרנזיסטור הוא בעצם מגביר לינארי, ואפשר לתאר את הקשר באמצעות

הנוסחה: $I_C = \beta I_B$. במצב הזה אפשר להסתכל על הצומת בין הבסיס לפולט

כמו על דיודה, והוא נמצא בממתח קדמי, כלומר $V_{BE} \cong 0.7V$.

מצב רוויה - הטרנזיסטור מגיע למצב הזה, כשיש זרם בסיס די גדול והזרם בין הקולט לפולט לא יכול לגדול עוד. אז הטרנזיסטור הוא "קצרה" בין הדק הקולט

להדק הפולט, וזאת הנוסחה של הקשר במקרה הזה: $I_C < \beta I_B$. זה המצב שבו לא משנה כמה נסובב את הברז, תצא כמות המקסימלית של מים שהברז מספק.

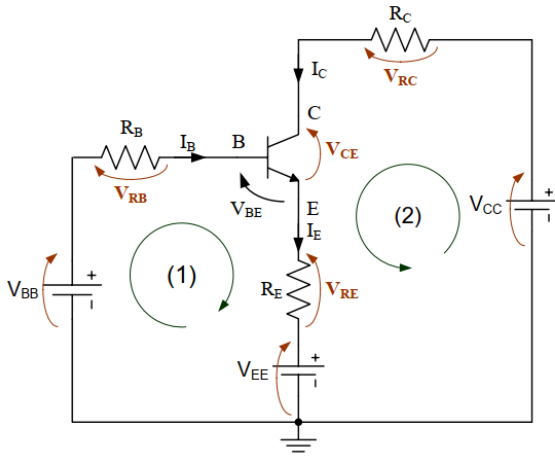


אופיין טרנזיסטור:

מקודת עבודה של טרנזיסטור היא הקשר בין זרם קולקטור, זרם בסיס ומתח מוצא.

ניתוח פעולה של טרנזיסטור בזרם ישר

הניתוח הוא זרמי חוגים בחוג 1 ו-2.



נשתמש בחוק המתחים של קירכהוף.

$$V_{BB} - V_{R_B} - V_{BE} - V_{R_E} - V_{EE} = 0 \quad \text{בעבור חוג מספר 1:}$$

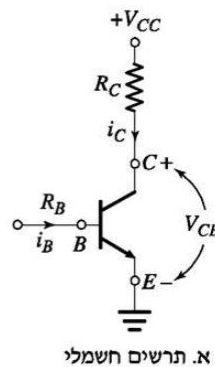
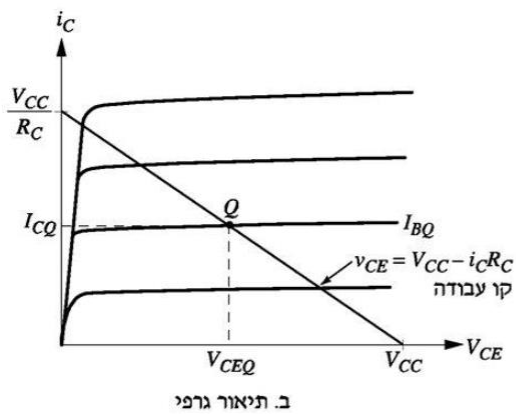
$$V_{CC} - V_{R_C} - V_{CE} - V_{R_E} - V_{EE} = 0 \quad \text{בעבור חוג מספר 2:}$$

$$\text{שימוש בחוק אום: } V_{R_B} = I_B \cdot R_B ; V_{R_C} = I_C \cdot R_C ; V_{R_E} = I_E \cdot R_E$$

$$\text{שימוש בחוק הזרמים של קירכהוף: } I_E = I_B + I_C$$

נניח שהטרנזיסטור עובד באזור הפעיל, כלומר: $I_C = \beta I_B$.

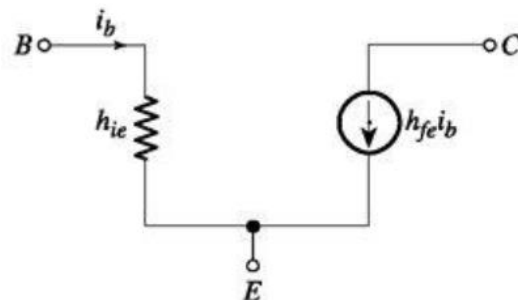
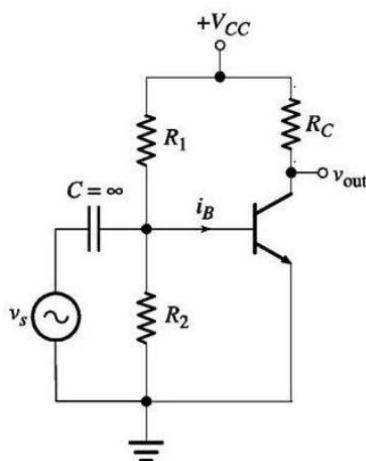
מציאת נקודת עבודה Q בשיטה הגרפית



פעולה של טרנזיסטור באות קטן

כאשר בכניסה לטרנזיסטור מעבירים אות חילופין קטן, קבל מתפקד קקצר. גם הזרם בסיס מתנהג כמו גל סינוסי.

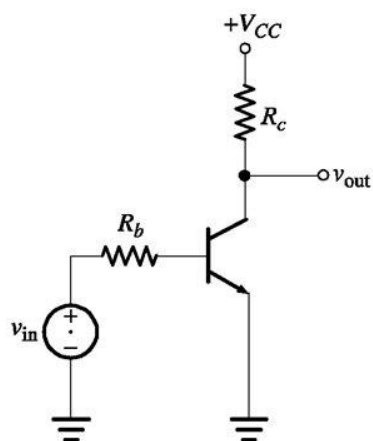
נוכל לשרטט מעגל תמורה של הטרנזיסטור וכך להבין את הפעולה שלו באות קטן:



במעגל עם טרנזיסטור באמיטר משותף:

		ללא נגד R_E	עם נגד R_E
הגבר זרם	A_I	h_{fe}	h_{fe}
התנגדות כניסה	R_i	h_{ie}	$h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E$
הגבר מתח	A_V	$-\frac{h_{fe} \cdot R_L \parallel R_C}{h_{ie}}$	$-\frac{h_{fe} \cdot R_L \parallel R_C}{R_i}$
התנגדות יציאה	R_o	∞	∞

טרנזיסטור כמתג



מצב קיטעון: $i_B = 0, i_E = 0, i_C = 0, v_C = V_{CC}$

מצ רוויה: $i_B > \frac{i_C}{\beta}, v_C \approx 0.2 \text{ V}, v_B \approx 0.7 \text{ V}$

ממירים

ממיר דיגיטלי לאנלוגי

ממיר מאות דיגיטלי בעל מילת מבוא N בינארית:

$$V_o = R^* * N$$

R^* - כושר אבחנה הוא תוספת המתח במוצא אשר תגרם ע"י שינוי במילת הכניסה N בקפיצה של סיבית אחת. יכולה להימדד ב-V או ב-A, בהתאם למתח או זרם במבוא.

n – מספר הסיביות

מילת הכניסה המקסימלית היא $N = 2^n - 1$

שלבים: 1. המרת המילה N מבינארי לעשרוני (או הפוך)

2. בהתאם לנתונים – חישוב הרזולוציה – כושר ההבחנה בהתאם למתח המוצא, או חישוב מתח המוצא בהינתן הרזולוציה.

ממיר אנלוגי לדיגיטלי

ממיר מאות אנלוגי לאות דיגיטלי בעל n סיביות.

$$V_i = R^* * N$$

R^* - כושר אבחנה הוא תוספת המתח המינימלית במבוא אשר תגרום לשינוי כלשהו באות המוצא. יכולה להימדד ב-V או ב-A, בהתאם למתח או זרם במבוא.

סיכום מכשירים

מד זרם – מכשיר מדידה המודד את הזרם העובר דרכו מההדק החיובי לשלילי.
מד זרם מחברים בטור.

מד מתח – מכשיר המודד הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות במעגל. מד מתח מחברים במקביל.

מחולל אותות – מכשיר המייצר אות מתח חילופין בצורת סינוס, גל ריבועי או משולש. ניתן לשלוט על עוצמת האות המקסימלי (אמפליטודה), על מתח ההיסט (DC offset) ועל תדירות החזרה של האות (תדר או duty cycle).

סקופ – מכשיר חשמלי למדידת אותות חשמליים לאורך זמן. הצג מורכב מריבועים הנקראים חלקוה (div). הציר האופקי הוא ציר הזמן. הציר האנכי הוא ציר המתח. ניתן לברור את הרזולוציה גם בציר הזמן (time/div) וגם בציר

המתח (volt/div). כל משבצת היא בהתאם הרזולוציה שנקבעה.

