



נוסחאון בתורת החשמל מורחב

חלק ראשון - מעגלי זרם ישר

יחידות	גדלים	תיאור	נוסחה
<u>מושגים בסיסיים בחשמל:</u>			
[C]	Q	המטען החשמלי ביחידות קולון .	$Q = I \cdot t$
[A]	I	עוצמת הזרם ביחידות אמפר .	
[sec]	t	פרק הזמן בו עובר הזרם בשניות.	
<u>המטען (הקיבול) ביחידות אמפר שעה</u>			
[Ah]	Q	המטען החשמלי ביחידות אמפר שעה .	$Q = I \cdot t$
[A]	I	הזרם ביחידות אמפר .	
[h]	t	פרק הזמן בו עובר הזרם בשעות.	
<u>ההתנגדות החשמלית בטמפרטורה נתונה T:</u>			
[Ω]	R_T	ההתנגדות בטמפרטורה T	$R_T = \frac{\rho_T \cdot l}{A}$
$\left[\frac{\Omega \times mm^2}{m} \right]$	ρ_T	ההתנגדות הסגולית של החומר ממנו עשוי המוליך באותה טמפרטורה.	
[m]	l	אורך המוליך ביחידות מטר .	
[°C]	T	טמפרטורת המוליך/חומר	
[mm ²]	A	שטח חתך המוליך.	
<u>שינוי ההתנגדות בטמפרטורה</u> (כאשר הטמפרטורה ההתחלתית היא 20 ⁰):			
[Ω]	ΔR	השינוי בהתנגדות כתוצאה משינוי הטמפרטורה.	$\Delta R = R_{20} \cdot \alpha_{20} \cdot \Delta T$
[Ω]	R ₂₀	ההתנגדות בטמפרטורה 20 ⁰ צלזיוס .	
$\left[\frac{1}{°C} \right]$	α ₂₀	מקדם שינוי ההתנגדות בטמפרטורה 20 ⁰ C	
[°C]	ΔT	הפרש הטמפרטורה.	$\Delta T = T_2 - T_1$
[°C]	T ₂	הטמפרטורה לאחר התחממות המוליך.	
[°C]	T ₁	הטמפרטורה ההתחלתית.	
<u>ערך ההתנגדות לאחר שינוי הטמפרטורה</u> (כאשר ההתנגדות ההתחלתית היא 20 ⁰ C)			
		$\rightarrow \rightarrow$	$R_T = R_{20} + \Delta R$ $R_T = R_{20} + R_{20} \cdot \alpha_{20} \cdot \Delta T$



$R_T = R_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T)$	ההתנגדות לאחר שינוי הטמפרטורה .	R_T	$[\Omega]$
	ההתנגדות בטמפרטורה 20° .	R_{20}	$[\Omega]$
	מקדם שינוי ההתנגדות בטמפרטורה .	α_{20}	$\left[\frac{1}{^\circ\text{C}}\right]$
	השינוי בטמפרטורה במעלות צלזיוס .	ΔT	$[\text{^\circ C}]$
שינוי ההתנגדות בטמפרטורה: (כאשר ההתנגדות ההתחלתית שונה מ- 20°C)			
$\Delta R = R_{T_1} \cdot \alpha_{T_1} \cdot \Delta T$	השינוי בהתנגדות ביחידות אום .	ΔR	$[\Omega]$
	ההתנגדות בטמפרטורה T_1 צלזיוס .	R_{T_1}	$[\Omega]$
	מקדם שינוי ההתנגדות בטמפרטורה T_1 .	α_{T_1}	$\left[\frac{1}{^\circ\text{C}}\right]$
$\Delta T = T_2 - T_1$	הפרש הטמפרטורה במעלות צלזיוס .	ΔT	$[\text{^\circ C}]$
	הטמפרטורה לאחר השינוי במעלות צלזיוס .	T_2	$[\text{^\circ C}]$
	הטמפרטורה ההתחלתית במעלות צלזיוס .	T_1	$[\text{^\circ C}]$
אנרגיה והספק חשמלי:			
$W = Q \cdot U$	$W = U \cdot I \cdot t$	$W = \frac{U^2}{R} \cdot t$	$W = I^2 \cdot R \cdot t$
	האנרגיה החשמלית ביחידות ז'אול .	W	$[J]$
	המטען החשמלי ביחידות קולון .	Q	$[C]$
	מתח המעגל ביחידות וולט .	U	$[V]$
	הזרם במעגל ביחידות אמפר .	I	$[A]$
	הזמן בו נמשכת זרימת הזרם בשניות .	t	$[sec]$
	התנגדות המעגל ביחידות אום .	R	$[\Omega]$
הספק חשמלי:			
$P = \frac{W}{t}$	$P = U \cdot I$	$P = \frac{U^2}{R}$	$P = I^2 \cdot R$
	ההספק החשמלי ביחידות ווט .	P	$[w]$
	האנרגיה החשמלית ביחידות ז'אול .	W	$[J]$
	מתח המעגל ביחידות וולט .	U	$[V]$
	הזרם במעגל ביחידות אמפר .	I	$[A]$
	הזמן בו נמשכת זרימת הזרם בשניות .	t	$[sec]$
	התנגדות המעגל ביחידות אום .	R	$[\Omega]$



אנרגיה חשמלית ביחידות kWh :

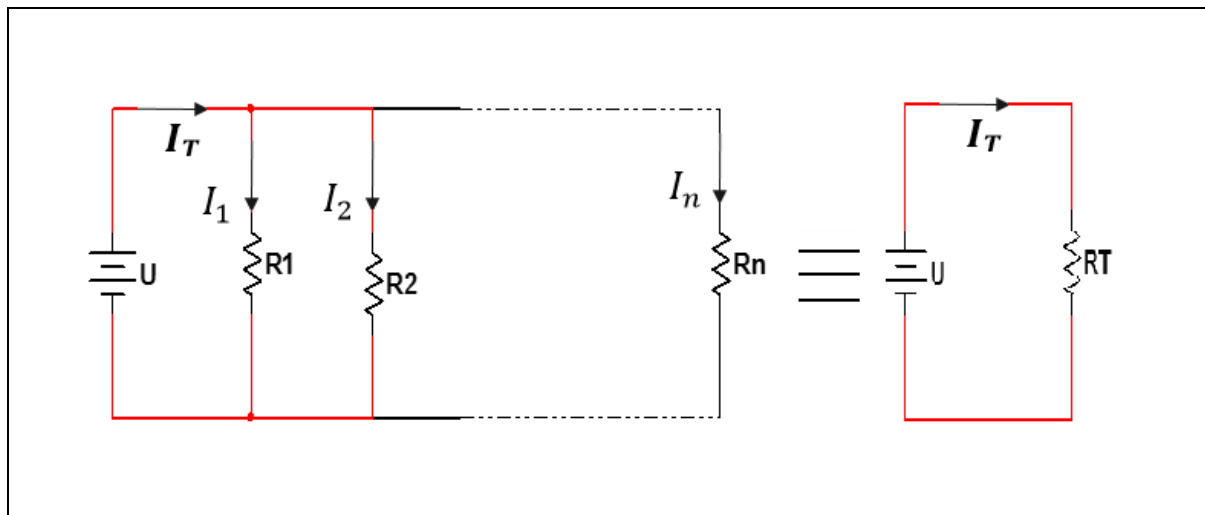
$1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6\text{J}$	$W = P \cdot t$	
האנרגיה החשמלית ביחידות קילוואט שעה .	W	[kWh]
ההספק החשמלי ביחידות קילוואט .	P	[kW]
הזמן בו נמשכת זרימת הזרם בשעות .	t	[h]

מעגלים זרם ישר מקביליים:

$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U$	<u>מפלי המתח על הנגדים</u>		
	המתח על הנגד R_1 .	U_1	[V]
	המתח על הנגד R_2 .	U_2	[V]
	המתח על הנגד R_n .	U_n	[V]
	מתח המקור .	U	[V]
	מספר הנגד במעגל.	n	
	<u>זרמי הענפים:</u>		
$I_n = \frac{U}{R_n} ; I_1 = \frac{U}{R_1} ; I_2 = \frac{U}{R_2} \dots$	הזרם העובר בנגד מספר n .	I_n	[A]
	הנגד מספר n במעגל.	R_n	[Ω]
	מתח המקור.	U	[V]

הזרם הכללי של מעגל מקבילי I_T
החוק הראשון של קירכהוף: סכום הזרמים בצומת שווה לאפס.
(סכום הזרמים הנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים היוצאים מהצומת)

$I_T = I_1 + I_2 + \dots + I_n$	$I_T = \frac{U}{R_T}$	הזרם הכללי במעגל.	I_T	[A]
		הזרם העובר בנגד R_1 .	I_1	[A]
		הזרם העובר בנגד R_2 .	I_2	[A]
		הזרם העובר בנגד R_n .	I_n	[A]
		מתח המקור.	U	[V]
		ההתנגדות השקולה של המעגל.	R_T	[Ω]



$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

ההתנגדות השקולה של המעגל.

R_T

[Ω]

ההתנגדות השקולה של מעגל מקבילי, קטנה מההתנגדות הקטנה ביותר במעגל

מקרים מיוחדים במעגל מקבילי:

כאשר במעגל כל ההתנגדויות שוות:

$$R_1 = R_2 = \dots = R_n = R \rightarrow R_T = \frac{R}{n}$$

ההתנגדות השקולה של המעגל.

R_T

[Ω]

ערך הנגד הבודד.

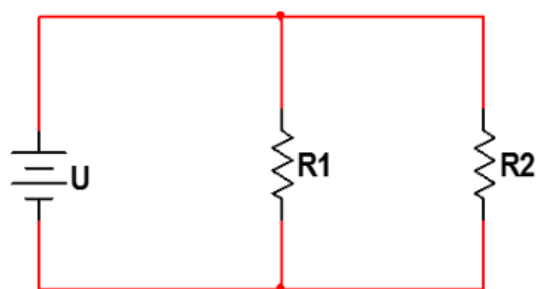
R

[Ω]

מספר הנגדים הזחים המחוברים במקביל.

n

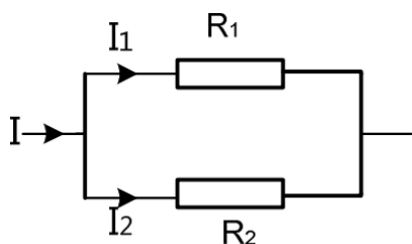
כאשר במעגל יש שני נגדים במקביל:



$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



מחלק זרם בין שני נגדים:



$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

הספקים במעגל מקבילי:

$P_n = U \cdot I_n = I_n^2 \cdot R_n = \frac{U^2}{R_n}$	הספק הענף מספר n .	P_n	[w]
	הזרם העובר בנגד מספר n .	I_n	[A]
	הנגד מספר n במעגל .	R_n	[Ω]
	מתח המקור .	U	[V]
	מספר הנגד במעגל .	n	
$P_T = U \cdot I_T = I_T^2 \cdot R_T = \frac{U^2}{R_T}$	ההספק הכולל במעגל .	P_T	[w]
	הזרם הכללי במעגל .	I_T	[A]
	ההתנגדות השקולה של המעגל .	R_T	[Ω]

אנרגיה חשמלית [W]:

האנרגיה הכללית של מעגל חשמלי כלשהו

$$W = P_T \cdot t = U \cdot I_T \cdot t = I_T^2 \cdot R_T \cdot t = \frac{U^2 \cdot t}{R_T}$$

האנרגיה החשמלית של צרכן במעגל חשמלי כלשהו:

$$W_n = P_n \cdot t = U_n \cdot I_n \cdot t = I_n^2 \cdot R_n \cdot t = \frac{U_n^2 \cdot t}{R_n}$$



מעגלי זרם ישר טוריים:

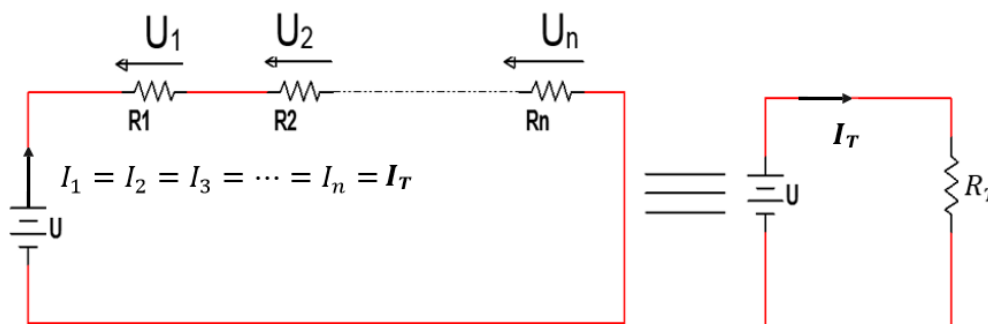
$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I$	<u>הזרם במעגל טורי:</u>		
	. המתח על הנגד R_1	U_1	[V]
	. המתח על הנגד R_2	U_2	[V]
	. המתח על הנגד R_n	U_n	[V]
	מתח המקור.	U	[V]
	מספר הנגד במעגל.	n	
	ההתנגדות השקולה של המעגל.	R_T	[Ω]
	הנגד מספר n במעגל.	R_n	[Ω]

המתח הכללי של מעגל טורי U

החוק השני של קירכהוף: סכום המתחים בעניבה סגורה שווה לאפס.
 (סכום מפלי המתח על הנגדים במעגל טורי שווה למתח המקור)

$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	מתח המקור	U	[V]
$U_n = \frac{U \cdot R_n}{R_T}$	משוואת חלוקת המתח במעגל טורי		

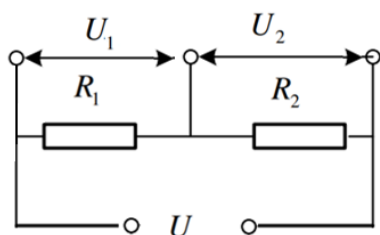
ההתנגדות השקולה של המעגל טורי.





$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	ההתנגדות השקולה של המעגל.	R_T	$[\Omega]$
$I = \frac{U}{R_T}$	עוצמת הזרם במעגל טורי.	I	[A]

מחלק מתח בין שני נגדים:



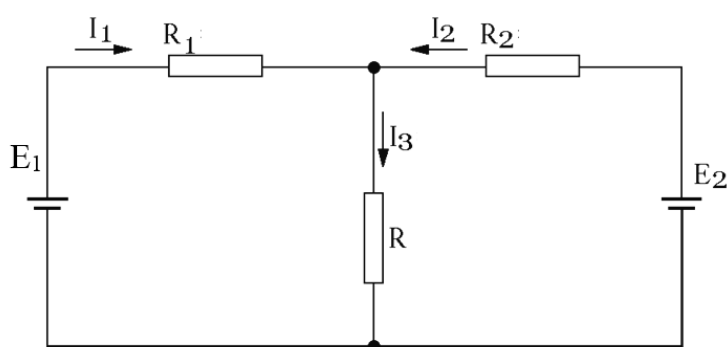
$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

אנרגיה והספק במעגלים טוריים:

$W_n = U_n \cdot I \cdot t = \frac{U_n^2 \cdot t}{R_n} = I^2 \cdot R_n \cdot t$	האנרגיה המתפתחת על צרן מספר n	W_n	[j]
$P_n = U_n \cdot I = \frac{U_n^2}{R_n} = I^2 \cdot R_n$	ההספק של צרן מספר n	P_n	[w]
	המתח על צרן מס' n.	U_n	[V]
	עוצמת הזרם במעגל.	I	[A]
	התנגדות הנגד מס' n.	R_n	$[\Omega]$
	הזמן בו נמשך זרימת הזרם במעגל.	t	[Sec]

פתרון רשתות בעזרת זרמי ענפים:

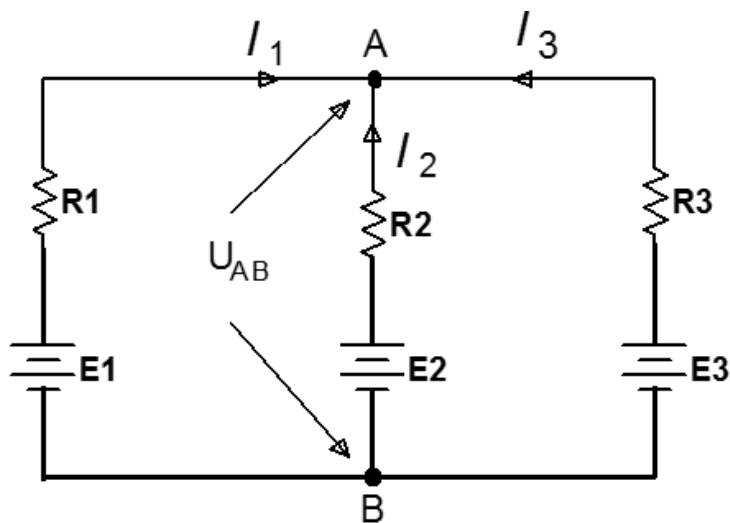


$$I \begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R = E_1 \\ I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R = E_2 \end{cases}$$

נכתוב את חוקי קירקהוף:



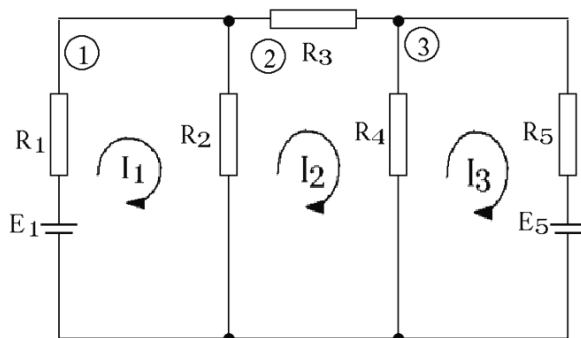
פתרון רשתות לפי מתחי הצמתים:



$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 ; I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1} ; I_2 = \frac{E_2 - U_{AB}}{R_2} ; I_3 = \frac{E_3 - U_{AB}}{R_3}$$

$$U_{AB} = \left(\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} \right) \div \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

פתרון רשתות לפי הצורה הסטנדרטית של זרמי החוגים

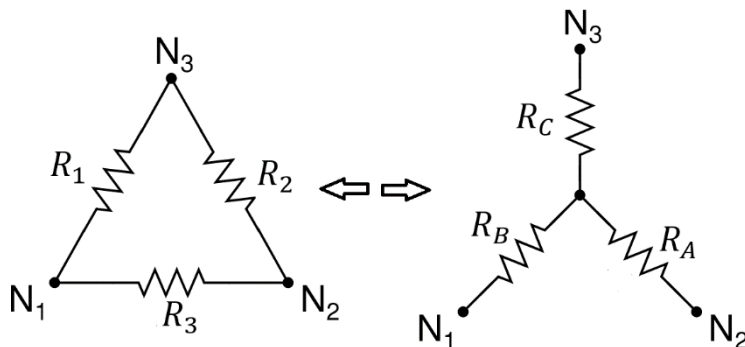


$$\begin{aligned} R_{11} &= R_1 + R_2 ; R_{12} = R_2 & ; R_{13} &= 0 & ; \Sigma E_1 &= E_1 \\ R_{21} &= R_2 & ; R_{22} &= R_2 + R_3 + R_4 & ; R_{23} &= R_4 & ; \Sigma E_2 &= 0 \\ R_{31} &= 0 & ; R_{32} &= R_4 & ; R_{33} &= R_4 + R_5 & ; \Sigma E_3 &= -E_5 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} R_{11} \cdot I_1 - R_{12} \cdot I_2 - R_{13} \cdot I_3 = \Sigma E_1 \\ -R_{21} \cdot I_1 + R_{22} \cdot I_2 - R_{23} \cdot I_3 = \Sigma E_2 \\ -R_{31} \cdot I_1 - R_{32} \cdot I_2 + R_{33} \cdot I_3 = \Sigma E_3 \end{cases}$$



המרת כוכב משולש בזרם ישר :



המרה מכוכב למשולש:

$$R_1 = \frac{R_A \cdot R_B + R_A \cdot R_C + R_B \cdot R_C}{R_A}$$

$$R_2 = \frac{R_A \cdot R_B + R_A \cdot R_C + R_B \cdot R_C}{R_B}$$

$$R_3 = \frac{R_A \cdot R_B + R_A \cdot R_C + R_B \cdot R_C}{R_C}$$

המרה ממשולש לכוכב :

$$R_A = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_C = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

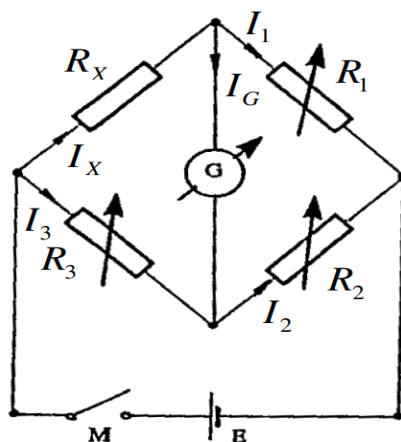
גשר ויטסטון מאוזן:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$$

$$I_G = 0$$

$$I_X = I_1$$

$$I_3 = I_2$$

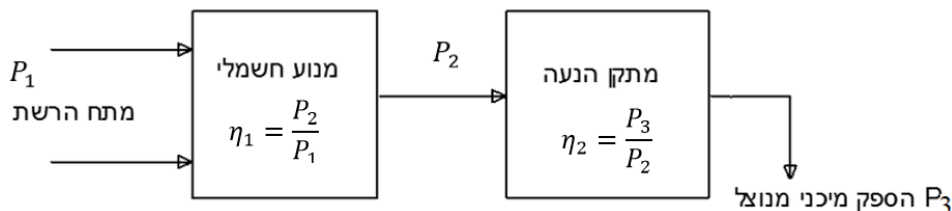




המרת אנרגיה חשמלית

א. המרת אנרגיה חשמלית לאנרגיה מכנית:

$$1 \text{ kg} = 9.81 \text{ N}$$



$P_1 = \frac{P_3}{\eta_T}$	ההספק החשמלי המסופק מהרשת	P_1	[w]
	ההספק המכני המתקבל מהמנוע.	P_2	[w]
	ההספק המכני המנוצל.	P_3	[w]
$\eta_T = \eta_1 \cdot \eta_2 ; \eta_T = \frac{P_3}{P_1}$	הנצילות השקולה של המערכת.	η_T	
$\eta_1 = \frac{P_2}{P_1}$	נצילות המנוע החשמלי.	η_1	
$\eta_2 = \frac{P_3}{P_2}$	נצילות מתקן ההנעה.	η_2	
$P_1 = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$	ההספק החשמלי המסופק מהרשת.	P_1	[w]
	הזרם במעגל.	I	[A]
	מתח המעגל.	U	[V]
	התנגדות המעגל.	R	[Ω]
$P_2 = \frac{F \cdot S \cdot 9.81}{t}$	ההספק המכני המנוצל.	P_2	[w]
	הכוח.	F	[kg]
	המרחק במטרים.	S	[m]
	הזמן בשניות.	t	[sec]
ב. <u>המרת אנרגיה חשמלית לאנרגיה של חום:</u>			
(חוק ז'אול)			
$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 0.24 \cdot P \cdot t$	כמות החום ביחידות קלוריה.	Q	Cal
$1 \text{ Joule} = 0.24 \text{ Cal} ; 1 \text{ Cal} = 4.2 \text{ Joule}$			
$\Delta T = T_2 - T_1$	משקל ביחידות גרם.	m	[gr]
	החום הסגולי של החומר.	c	$\left[\frac{\text{cal}}{\text{gr} \times c^0} \right]$



הטמפרטורה ההתחלתית במעלות צלזיוס.	T_1	C^0
הטמפרטורה לאחר סיום החימום במעלות צלזיוס.	T_2	C^0
נצילות מתקן החימום.	η	
הזמן בשניות.	t	[sec]
הספק החשמלי של גוף החימום.	P	[w]
ג. נצילות של מתקן חימום:		
$\eta = \frac{Q}{0.24 \cdot W} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{0.24 \cdot W} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{0.24 \cdot P \cdot t}$	הנצילות של המתקן.	η
$\eta\% = \frac{Q}{0.24 \cdot W} \cdot 100 = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{0.24 \cdot W} \cdot 100 = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{0.24 \cdot P \cdot t} \cdot 100$	הנצילות של המתקן באחוזים.	$\eta\%$

ראה נוסחאות חישוב ההספק החשמלי בעמוד מס' 5

חיבור תאים ומקורות מתח

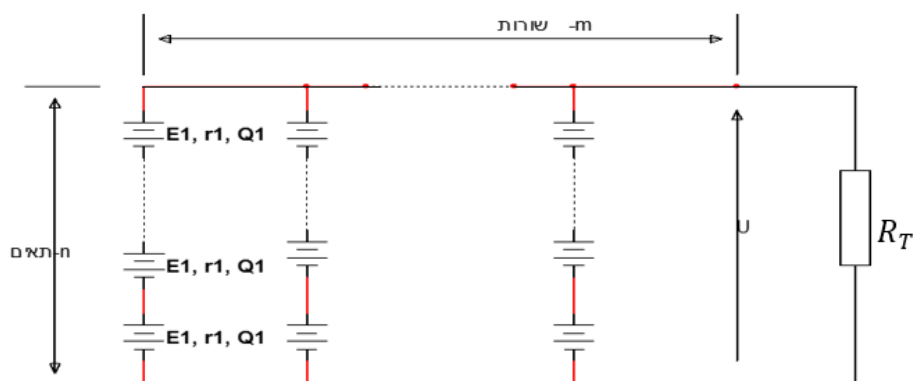
			1. חיבור תאים חשמליים בטור (סוללה טורית):		
			הכא"מ של תא בודד.	E_1	[V]
			ההתנגדות הפנימית של תא בודד.	r_1	[Ω]
			הקיבול של תא בודד.	Q_1	[Ah]
			מספר התאים המחוברים בטור.	n	
$E_T = n \cdot E_1$	הכא"מ השקול של הסוללה	E_T	[V]		
$r_T = n \cdot r_1$	ההתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה	r_T	[Ω]		
$Q_T = Q_1$	הקיבול השקול של הסוללה	Q_T	[Ah]		
$U = E_T - \Delta U$	מתח ההדקים של סוללה	U	[V]		
$\Delta U = I \cdot r_T$	מפל המתח הפנימי	ΔU	[V]		
$I = \frac{E_T}{R_L + r_T}$	הזרם במעגל.	I	[A]		



התנגדות העומס המחובר לסוללה.		R_L	[Ω]
2. חיבור תאים במקביל (סוללה מקבילית):			
הכא"מ של תא בודד.		E_1	[V]
ההתנגדות הפנימית של תא בודד.		r_1	[Ω]
הקיבול של תא בודד.		Q_1	[Ah]
מספר הענפים במקביל.		m	
$E_T = E_1$	הכא"מ השקול של הסוללה.	E_T	[V]
$r_T = \frac{r_1}{m}$	ההתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה.	r_T	[Ω]
$Q_T = m \cdot Q_1$	הקיבול השקול של הסוללה.	Q_T	[Ah]
$U = E_T - \Delta U$	מתח ההדקים של סוללה.	U	[V]
$\Delta U = I \cdot r_T$	מפל המתח הפנימי.	ΔU	[V]
$I = \frac{E_T}{R_L + r_T}$	הזרם במעגל.	I	[A]
התנגדות העומס המחובר לסוללה		R_L	[Ω]



3.. חיבור תאים במעורב (סוללה מעורבת):



	הכא"מ של תא בודד.	E_1	[V]
	ההתנגדות הפנימית של תא בודד.	r_1	[Ω]
	הקיבול של תא בודד.	Q_1	[Ah]
	מספר הענפים במקביל.	m	
	מספר התאים המחוברים בטור.	n	
$E_T = n \cdot E_1$	הכא"מ השקול של הסוללה.	E_T	[V]
$r_T = \frac{n}{m} \cdot r_1$	ההתנגדות הפנימית השקולה של הסוללה.	r_T	[Ω]
$Q_T = m \cdot Q_1$	הקיבול השקול של הסוללה.	Q_T	[Ah]
$U = E_T - \Delta U$	<u>מתח ההדקים של סוללה.</u>	U	[V]
$\Delta U = I \cdot r_T$	<u>מפל המתח הפנימי.</u>	ΔU	[V]
$I = \frac{n \cdot E_1}{R_T + \frac{n}{m} \cdot r_1}$	הזרם במעגל.	I	[A]
	ההתנגדות השקולה של המעגל המחובר לסוללה.	R_T	[Ω]

התנאי לקבלת זרם/הספק מרבי (מקסימלי) מסוללה מעורבת:

$$R_T = \frac{n}{m} \cdot r_1$$

	מספר הענפים במקביל.	m	
	מספר התאים המחוברים בטור.	n	
	ההתנגדות השקולה של המעגל המחובר לסוללה.	R_T	[Ω]
$N = n \cdot m$	המספר הכולל של התאים בסוללה	N	
$n = \sqrt{\frac{N \cdot R_T}{r_1}}$		$m = \sqrt{\frac{N \cdot r_1}{R_T}}$	

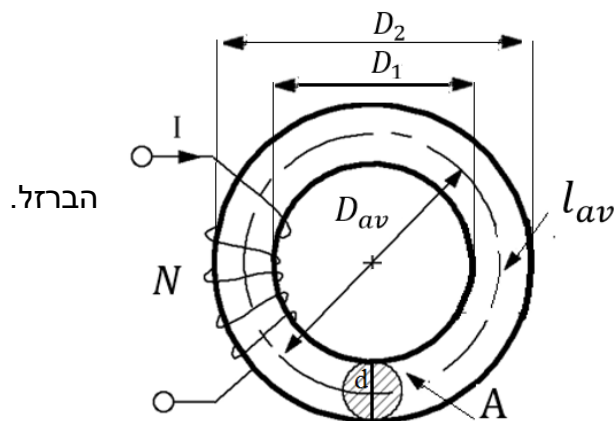


אלקטרו מגנטיות

עוצמת השדה המגנטי סביב מוליך נושא זרם:

$H = \frac{I}{2\pi r}$	עוצמת השדה המגנטי.	H	$\frac{[AT]}{m}$
	הזרם העובר במוליך.	I	$[A]$
	המרחק מהמוליך.	r	$[m]$

המעגל המגנטי הפשוט:

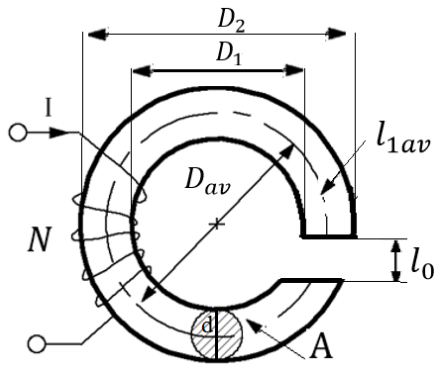


- $-D_1$ קוטר פנימי של ליבת הברזל.
- $-D_2$ קוטר חיצוני של ליבת הברזל.
- $-D_{av}$ קוטר ממוצע של ליבת הברזל.
- $-d$ קוטר שטח חתך של ליבת

$M = I \cdot N$	הכוח המגנטומניע (כמ"מ):	M	$[AT]$
$H = \frac{I \cdot N}{l}$	עוצמת השדה המגנטי.	H	$\frac{[AT]}{m}$
$l_{av} = \pi \cdot D_{av} ; D_{av} = \frac{D_2 + D_1}{2}$	אורך המסלול המגנטי הממוצע.	l_{av}	$[m]$
	הזרם העובר בסליל.	I	$[A]$
	מספר כריכות הסליל.	N	$[T]$
$B = \mu \cdot H$	צפיפות השטף המגנטי.	B	$\frac{[Wb]}{m^2}$
$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$	החדירות (חלחלות) המגנטית המוחלטת.	μ	$\frac{[Wb]}{[AT \times m]}$
$\mu_o = 4\pi 10^{-7} \left[\frac{Wb}{AT \times m} \right]$	חדירות (חלחלות) הריק.	μ_o	$\frac{[Wb]}{[AT \times m]}$
	החדירות (חלחלות) היחסית של הליבה.	μ_r	
$\phi = B \cdot A$	השטף המגנטי.	ϕ	$[Wb]$
$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} ; d = \frac{D_2 - D_1}{2}$	שטח חתך הליבה.	A	$[m^2]$
	קוטר שטח חתך ליבת הברזל.	d	$[m]$
$R_m = \frac{M}{\phi}$	המיאון (התנגדות מגנטית).	R_m	$\frac{[AT]}{[Wb]}$
$R_m = \frac{l_{av}}{\mu \cdot A}$			



המעגל המגנטי הטורי (ליבה עם חריץ אוויר):



- D_1 קוטר פנימי של ליבת הברזל.
- D_2 קוטר חיצוני של ליבת הברזל.
- D_{av} קוטר ממוצע של ליבת הברזל.
- d קוטר שטח חתך של ליבת הברזל.

$R_{mT} = R_{mf} + R_{mo}$	המיאון הכללי של המעגל המגנטי.	R_{mT}	$\left[\frac{AT}{Wb}\right]$
$R_{mf} = \frac{l_{1av}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$	מיאון הברזל.	R_{mf}	$\left[\frac{AT}{Wb}\right]$
$R_{mo} = \frac{l_0}{\mu_0 \cdot A}$	מיאון חריץ האוויר.	R_{mo}	$\left[\frac{AT}{Wb}\right]$
$l_{av} = \pi \cdot D_{av} - l_0 ; D_{av} = \frac{D_2 + D_1}{2}$	אורך המסלול המגנטי הממוצע בברזל.	l_{1av}	[m]
	רוחב חריץ האוויר.	l_0	[m]
$\phi = \frac{M}{R_{mT}} = \frac{I \cdot N}{R_{mT}}$	השטף המגנטי במעגל מגנטי טורי.	ϕ	[Wb]
הכוח המגנטומניע במעגל מגנטי טורי:		M	[AT]
$M = I \cdot N = \frac{\phi}{A} \left(\frac{l_{1av}}{\mu_0 \cdot \mu_r} + \frac{l_0}{\mu_0} \right) = B \left(\frac{l_{1av}}{\mu_r \cdot \mu_0} + \frac{l_0}{\mu_0} \right)$			
<u>כוחות בשדה מגנטי</u>			
$F = \frac{\mu \cdot l}{2\pi r} I_1 \cdot I_2$	הכוח בין שני מוליכים מקביליים נושאי זרם.	F	$N \cdot m$
	החדירות (חלחלות) המגנטית המוחלטת.	μ	$\left[\frac{Wb}{AT \times m}\right]$
	אורך המוליכים.	l	[m]
	המרחק בין המוליכים.	r	[m]
	הזרם העובר במוליך הראשון.	I_1	[A]
	הזרם העובר במוליך השני.	I_2	[A]
$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$	הכוח הפועל על מוליך נושא זרם בתוך שדה מגנטי.	F	[N]
	צפיפות השטף המגנטי.	B	$\left[\frac{Wb}{m^2}\right]$
	הזרם העובר במוליך.	I	[A]



	אורך המוליך בתוך השדה המגנטי.	l	$[m]$
	הזווית בין המוליך לשטף המגנטי במעלות.	α	
$F = B \cdot q \cdot V \cdot \sin \alpha$	הכוח הפועל על מטען הנע במהירות קבועה בתוך שדה מגנטי.	F	$[N]$
	צפיפות השטף המגנטי.	B	$[\frac{Wb}{m^2}]$
	המטען ביחידות קולון.	q	$[C]$
	המהירות ביחידות מטר לשנייה.	V	$[\frac{m}{sec}]$
<u>מומנט סיבובי הפועל על סליל מלבני הנמצא בשדה מגנטי</u>			
$T = N \cdot I \cdot A \cdot B \cdot \sin \alpha$	מומנט סיבובי ביחידות ניוטון מטר.	T	$[N \cdot m]$
	מספר הכריכות בסליל.	N	$[Tr]$
	הזרם העובר בסליל.	I	$[A]$
	שטח של כריכה מכריכות הסליל.	A	$[m^2]$
	צפיפות השטף המגנטי.	B	$[\frac{Wb}{m^2}]$
	הזווית בין מישור כריכה לבין הניצב לקווי הכוח המגנטיים במעלות.	α	
<u>הכוח האלקטרומניע (כא"מ) המושרה בתיל הנע במהירות קבועה בתוך שדה מגנטי</u>			
$e = B \cdot V \cdot l \cdot \sin \alpha$	הכא"מ המושרה במוליך.	e	$[V]$
	צפיפות השטף המגנטי.	B	$[\frac{Wb}{m^2}]$
	אורך המוליך בתוך השדה המגנטי.	l	$[m]$
	מהירות תנועת המוליך.	V	$[\frac{m}{sec}]$
	הזווית בין המוליך לשטף המגנטי במעלות או רדיאן.	α	
<u>הכוח האלקטרומניע (כא"מ) המושרה בכריכה מלבנית המסתובבת סביב ציר בתוך שדה מגנטי.</u>			
$e = 2N \cdot B \cdot V \cdot l \cdot \sin \alpha$	הכא"מ המושרה בכריכה.	e	$[V]$
	צפיפות השטף המגנטי.	B	$[\frac{Wb}{m^2}]$
	אורך המוליך בתוך השדה המגנטי.	l	$[m]$
	מהירות תנועת הכריכה.	V	$[\frac{m}{sec}]$
	מספר כריכות הסליל.	N	
	הזווית בין הכריכה לשטף המגנטי במעלות.	α	



<u>הכוח האלקטרומניע (כא"מ) המושרה</u> <u>בסליל הנמצא בתוך שדה מגנטי משתנה:</u>			
$E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ חוק פרדיי	הכא"מ הנגדי הנוצר בסליל.	E	$[V]$
$E = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ חוק לנץ			
	שינויי השטף.	$\Delta\phi$	$[Wb]$
	שינויי הזמן בשניות.	Δt	$[sec]$
	שינויי הזרם.	ΔI	$[A]$
$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l}$	השראות עצמית של הסליל.	L	$[H]$
	מספר כריכות הסליל.	N	$[T]$
	אורך הסליל ביחידות מטר.	l	$[m]$
	שטח חתך הליבה.	A	$[m^2]$

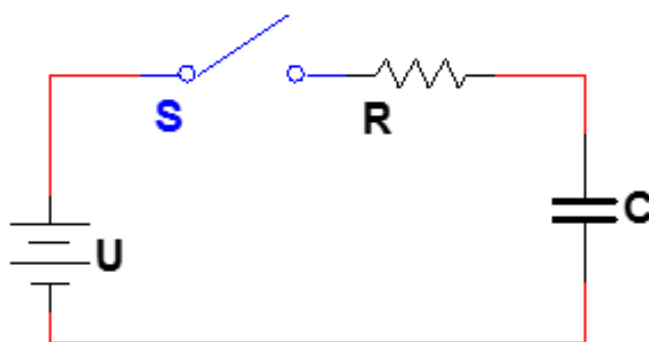
אלקטרוסטטיקה

$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi \cdot \epsilon \cdot r^2}$	הכוח בין שני מטענים ביחידות ניוטון.	F	$[N]$
	גודל המטען הראשון ביחידות קולון.	q_1	$[C]$
	גודל המטען השני ביחידות קולון.	q_2	$[C]$
	הקבוע הדיאלקטרי המוחלט.	ϵ	$\left[\frac{F}{m}\right]$
	המרחק בין המטענים ביחידות מטר.	r	$[m]$
<u>תלות קיבול הקבל במידותיו וסוג האלקטרוליט:</u>			
$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$	קיבול הקבל ביחידות פרד.	C	$[F]$
$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \cdot (n - 1)$	<u>הקיבול של קבל לוחות.</u>	C	$[F]$
הקבוע הדיאלקטרי של האוויר (הריק).	$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$		$\left[\frac{F}{m}\right]$
	הקבוע הדיאלקטרי היחסי של האלקטרוליט.	ϵ_r	
	שטח לוחות הקבל.	A	$[m^2]$



המרחק בין לוחות הקבל (עובי האלקטרוליט) ביחידות מטר.	d	$[m]$
מספר לוחות הקבל.	n	
$E = \frac{U}{d}$	<u>עוצמת השדה החשמלי:</u>	$\left[\frac{V}{m}\right]$
המתח על הקבל ביחידות וולט.	U	$[V]$
המרחק בין שני לוחות בקבל ביחידות מטר.	d	$[m]$

הקבל במעגל זרם ישר



$Q = U \cdot C$	<u>המטען בין לוחות הקבל.</u>	Q	$[C]$
$U = \frac{Q}{C}$	המתח על הקבל ביחידות וולט.	U	$[V]$
$C = \frac{Q}{U}$	קיבול הקבל ביחידות פרד.	C	$[F]$
$\tau = R \cdot C$	<u>קבוע הזמן של מעגל RC.</u>	τ	$[sec]$
	התנגדות הנגד דרכו נטען הקבל ביחידות אום.	R	$[\Omega]$
$W = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{Q^2}{2 \cdot C}$	<u>האנרגיה האגורה בקבל :</u>	W	$[J]$

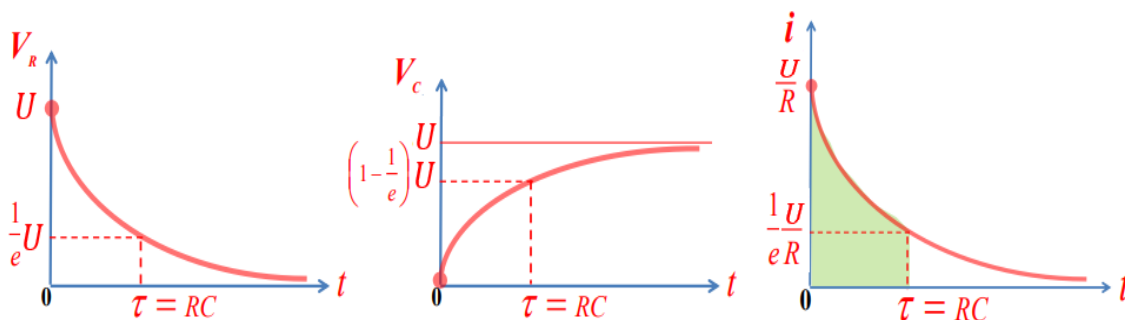
טעינת קבל בזרם ישר:

$U_C = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$	המתח על הקבל ברגע נתון.	U_C	$[V]$
$i = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$	זרם הטעינה בכל רגע נתון.	i	$[A]$
$U_R = U \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$	המתח על הנגד ברגע נתון.	U_R	$[V]$
	מתח המקור ביחידות וולט.	U	$[V]$

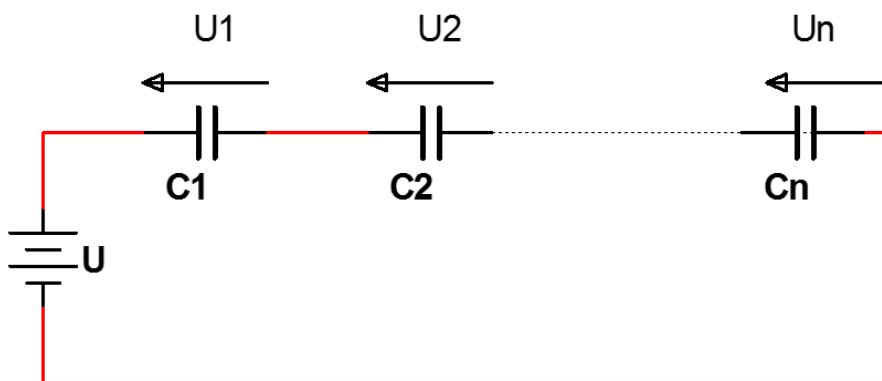


פרק הזמן מתחילת הטעינה בשניות.	t	[sec]
קבוע שכרו שווה $e = 2.7183$.	e	

זרם טעינה ומתח על הקבל ומתח הנגד בתלות בזמן:



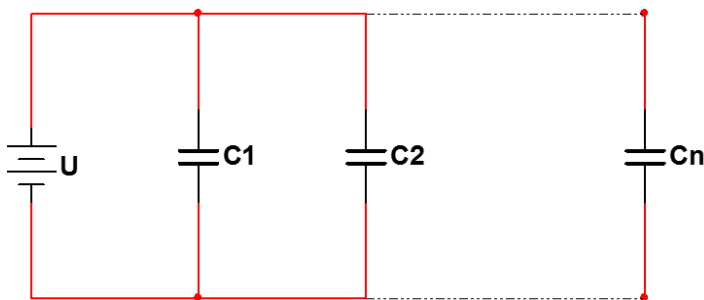
חיבור קבלים בטור (במעגל זרם ישר)



$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$	הקיבול השקול:		
$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	המתחים במעגל		
$Q_T = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$	המטענים במעגל:		
$Q_n = U_n \cdot C_n$	המטען של הקבל מס' n במעגל.	Q_n	[C]
	המתח על הקבל מס' n במעגל.	U_n	[V]
	הקיבול של הקבל מס' n במעגל ביחידות פרד.	C_n	[F]



חיבור קבלים במקביל (במעגל זרם ישר)



$C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_n$	הקיבול השקול:		
$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$	המתחים במעגל		
$Q_T = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$	המטענים במעגל:		
$Q_n = U_n \cdot C_n$	המטען של הקבל מס' n במעגל.	Q_n	[C]
	המתח על הקבל מס' n במעגל.	U_n	[V]
	הקיבול של הקבל מס' n במעגל ביחידות פרד.	C_n	[F]

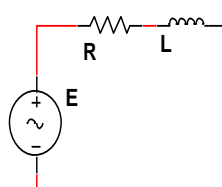
מעגלי מתח זרם חילופין AC

$e(t) = E_{max} \cdot (\sin \alpha \pm \varphi)$	הכא"מ הרגעי המושרה בסליל.	$e(t)$	[V]
$i = \frac{e(t)}{R} = \frac{E_{max}}{R} \cdot (\sin \alpha \pm \varphi) = I_m \cdot (\sin \alpha \pm \varphi)$	הזרם הרגעי.	i	[A]
$E_m = 2 \cdot N \cdot B \cdot V \cdot l$	הכא"מ המקסימלי המושרה.	E_m	[V]
$I_m = \frac{E_m}{R}$	הזרם המקסימלי.	I_m	[A]
$\alpha = \omega \cdot t$	התדירות המעגלית (מהירות זוויתית).	ω	$\left[\frac{rad}{sec}\right]$
	צפיפות השטף המגנטי.	B	$\left[\frac{Wb}{m^2}\right]$
	הזמן בשניות.	t	[sec]
	התנגדות המעגל.	R	[Ω]
	מהירות תנועת הסליל.	V	$\left[\frac{m}{sec}\right]$
	אורך המוליך בתוך השדה המגנטי.	l	[m]
	מספר כריכות הסליל.	N	

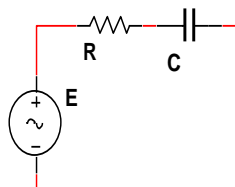


	זווית ההקדמה/פיגור של הזרם כלפי המתח.	φ	
	זווית ביחידות מעלות או ראדינים.	α	
$E_{AV} = \frac{2}{\pi} \cdot E_m = 0.637 \cdot E_m$	הערך הממוצע (בפרק זמן של מחצית מחזור).	E_{AV}	[V]
$E = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot E_m = 0.707 \cdot E_m$	הערך היעיל (האפקטיבי).	E	[V]
$T = \frac{1}{f}$	זמן המחזור (אורך הגל) בשניות.	T	[sec]
$f = \frac{1}{T}$	התדירות (מספר המחזורים בשנייה)	f	[Hz]
$\omega = 2\pi f$	התדירות המעגלית (מהירות זוויתית).	ω	$\left[\frac{rad}{sec} \right]$
$\omega t = \alpha$	זווית ביחידות רדיאנים.	ωt	[rad]

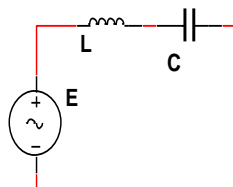
מעגלים טוריים בזרם חילופין



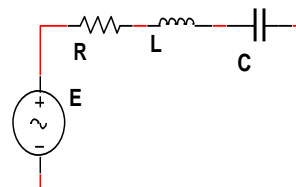
לגעמ RL



לגעמ RC

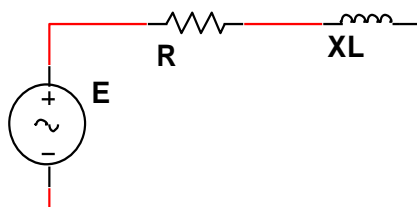


לגעמ LC



לגעמ RLC

מעגל RL טורי



$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	עכבת המעגל.	Z	[Ω]
$X_L = 2\pi fL = \omega L$	ההיגב ההשראי של הסליל.	X_L	[Ω]



	ההתנגדות במעגל.	R	$[\Omega]$
$I = \frac{E}{Z}$	הזרם במעגל.	I	$[A]$
$E = \sqrt{E_R^2 + E_L^2}$	הערך היעיל (האפקטיבי) - מתח המקור.	E	$[V]$
$E_R = I \cdot R$	המתח על הנגד.	E_R	$[V]$
$E_L = I \cdot X_L$	המתח על הסליל.	E_L	$[V]$
הספקים במעגל RL טורי:			
$S = E \cdot I = I^2 \cdot Z = \frac{E^2}{Z}$ $S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$	ההספק המדומה של המעגל.	S	$[VA]$
$P = E \cdot I \cdot \cos \varphi = I^2 \cdot R = \frac{E_R^2}{R}$	ההספק הממשי (האקטיבי) במעגל.	P	$[w]$
	זווית המופע בין המתח לזרם במעגל.	φ	$[^\circ]$
$Q_L = E \cdot I \cdot \sin \varphi = I^2 \cdot X_L = \frac{E_L^2}{X_L}$	ההספק הריאקטיבי (ההספק העיוור או ההספק ההיגבי).	Q_L	$[VAR]$
	גורם ההספק של המעגל	$\cos \varphi$	
יחסים טריגונומטריים במעגל RL טורי			
$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{E_R}{E} = \frac{P}{S}$ $\sin \varphi = \frac{X_L}{Z} = \frac{E_L}{E} = \frac{Q_L}{S}$ $\tan \varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{E_L}{E_R} = \frac{Q_L}{P}$			
מעגל RC טורי:			
$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	עכבת המעגל.	Z	$[\Omega]$
$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$	ההיגב הקיבולי של הקבל.	X_C	$[\Omega]$
	ההתנגדות במעגל.	R	$[\Omega]$
$I = \frac{E}{Z}$	הזרם במעגל.	I	$[A]$
$E = \sqrt{E_R^2 + E_C^2}$	הערך היעיל (האפקטיבי) - מתח המקור	E	$[V]$



$E_R = I \cdot R$	המתח על הנגד.	E_R	[V]
$E_C = I \cdot X_C$	מפל המתח על הקבל.	E_C	[V]
הספקים במעגל RC טורי:			
$S = E \cdot I = I^2 \cdot Z = \frac{E^2}{Z}$ $S = \sqrt{P^2 + Q_C^2}$	ההספק המדומה של המעגל.	S	[VA]
$P = E \cdot I \cdot \cos \varphi = I^2 \cdot R = \frac{E_R^2}{R}$	ההספק הממשי (האקטיבי) במעגל.	P	[w]
	זווית המופע בין המתח לזרם במעגל.	φ	[°]
$Q_C = E \cdot I \cdot \sin \varphi = I^2 \cdot X_C = \frac{E_C^2}{X_C}$	ההספק הריאקטיבי (ההספק העיוור)	Q_C	[VAR]
יחסים טריגונומטריים במעגל RC טורי:			
$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{E_R}{E} = \frac{P}{S}$ $\sin \varphi = \frac{X_C}{Z} = \frac{E_C}{E} = \frac{Q_C}{S}$ $\tan \varphi = \frac{X_C}{R} = \frac{E_C}{E_R} = \frac{Q_C}{P}$			
מעגל LC טורי:			
$X_T = X_L - X_C $	ההיגב השקול:	X_T	[Ω]
$X_L = 2\pi fL = \omega L$	ההיגב ההשראי של הסליל.	X_L	[Ω]
$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$	ההיגב הקיבולי של הקבל.	X_C	[Ω]
$I = \frac{E}{X_T}$	הזרם במעגל.	I	[A]
$E_L = I \cdot X_L$	מפל המתח על הסליל.	E_L	[V]
$E_C = I \cdot X_C$	מפל המתח על הקבל.	E_C	[V]
הספקים במעגל LC טורי:			
$P = 0$	ההספק הממשי במעגל LC אידיאלי:	P	[w]
$Q_T = Q_L - Q_C $	ההספק ההיגבי השקול:	Q_T	[VAR]



$Q_L = I^2 \cdot X_L = \frac{E_L^2}{X_L}$	ההספק העיוור בסליל.	Q_L	[VAR]
$Q_C = I^2 \cdot X_C = \frac{E_C^2}{X_C}$	ההספק העיוור בקבל.	Q_C	[VAR]
מעגל RLC טורי:			
$Z\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	עכבת המעגל:	Z	[Ω]
$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L$	ההיגב ההשראי של הסליל.	X_L	[Ω]
$X_C \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$	ההיגב הקיבולי של הקבל.	X_C	[Ω]
	ההתנגדות במעגל.	R	[Ω]
$I = \frac{E}{Z}$	הזרם במעגל.	I	[A]
$E_R = I \cdot R$	המתח על הנגד.	E_R	[V]
$E_L = I \cdot X_L$	מפל המתח על הסליל.	E_L	[V]
$E_C = I \cdot X_C$	מפל המתח על הקבל.	E_C	[V]
$E \sqrt{E_R^2 + (E_L - E_C)^2}$	מתח המקור.	E	[V]
הספקים במעגל RLC טורי:			
$S = E \cdot I = I^2 \cdot Z = \frac{E^2}{Z}$ $S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$	ההספק המדומה של המעגל.	S	[VA]
$P = E \cdot I \cdot \cos \varphi = I^2 \cdot R = \frac{E_R^2}{R}$	ההספק הממשי (האקטיבי) במעגל.	P	[w]
	זווית המופע בין המתח לזרם במעגל	φ	[°]
$Q_T = E \cdot I \cdot \sin \varphi = Q_L - Q_C $	ההספק הריאקטיבי (העיוור) השקול.	Q_T	[VAR]
$Q_L = I^2 \cdot X_L = \frac{E_L^2}{X_L}$	ההספק העיוור בסליל.	Q_L	[VAR]
$Q_C = I^2 \cdot X_C = \frac{E_C^2}{X_C}$	ההספק העיוור בקבל.	Q_C	[VAR]
יחסים טריגונומטריים במעגל RLC טורי			
$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z} = \frac{E_R}{E}$			



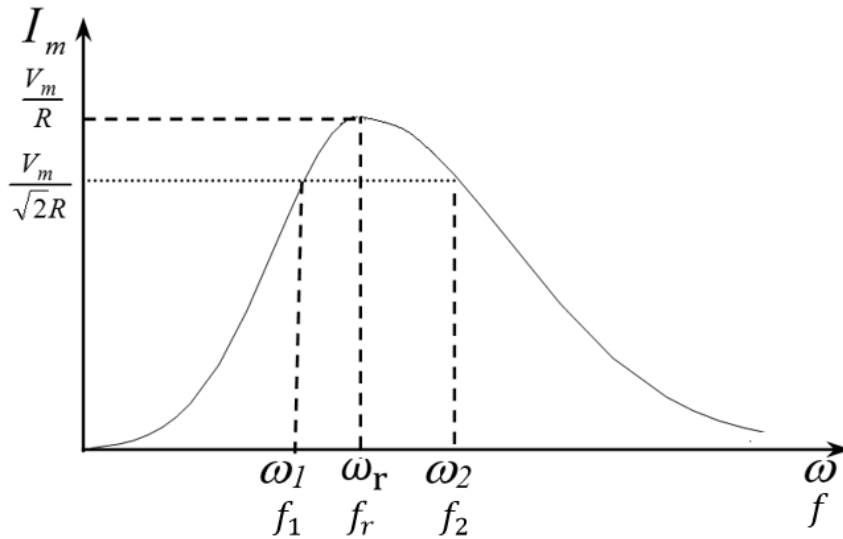
$$\sin \varphi = \frac{|Q_L - Q_C|}{S} = \frac{|X_L - X_C|}{Z} = \frac{|E_L - E_C|}{E}$$

$$\tan \varphi = \frac{|Q_L - Q_C|}{P} = \frac{|X_L - X_C|}{R} = \frac{|E_L - E_C|}{E_R}$$

מעגל תהודה RLC טורי

<p>תנאי לתהודה - אם אחד מהתנאים הבאים מתקיים המעגל בתהודה: $Q_L = Q_C$ או $X_L = X_C$ או $E_L = E_C$ או $E_R = E_{\max R}$ $Q_L = Q_{\max L}$ או $Q_C = Q_{\max C}$ או $P_R = P_{\max R}$ $I = I_{\max}$ או $Z_T = Z_{T \min} = R$</p>			
$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$	תדירות התהודה ביחידות הרץ.	f_r	[Hz]
$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$	תדירות תהודה מעגלית ביחידות רדיאן לשנייה.	ω_r	[rad/sec]
$Q_r = \frac{\omega_r \cdot L}{R} = \frac{2\pi \cdot f_r \cdot L}{R}$	גורם הטיב של מעגל תהודה.	Q_r	

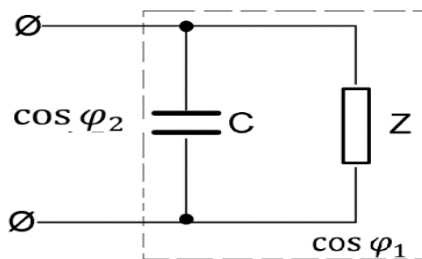
רוחב הפס



$BW = \frac{f_r}{Q_r} = f_2 - f_1 = \frac{R}{2\pi \cdot L}$	רוחב הפס ביחידות הרץ.	BW	[Hz]
	תדר מחצית ההספק המקסימלי ביחידות הרץ.	f_1	[Hz]
	תדר מחצית ההספק המקסימלי ביחידות הרץ.	f_2	[Hz]

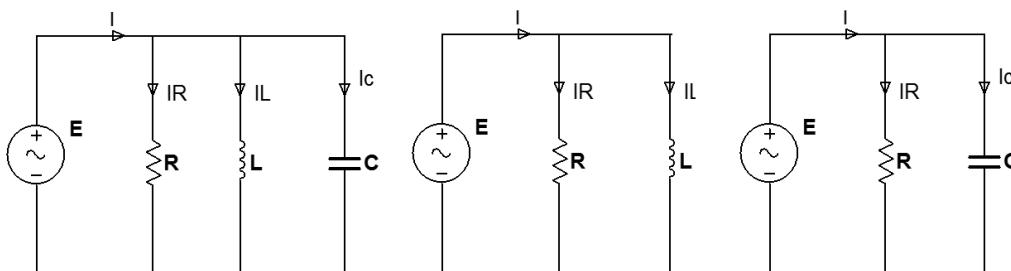


שיפור מקדם ההספק ע"י חיבור קבל במקביל למעגל



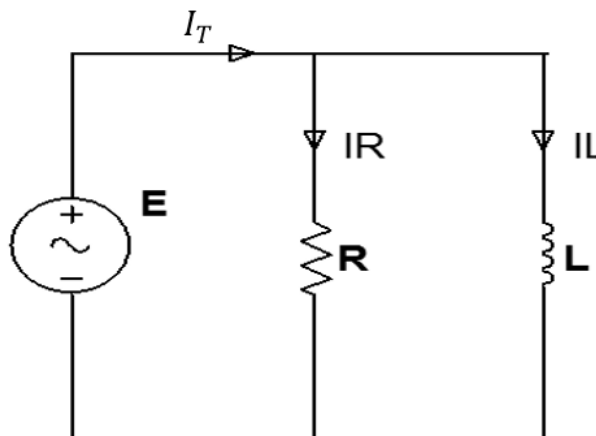
$C = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{2\pi \cdot f \cdot E^2}$ $C = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{\omega \cdot E^2}$	<p>ערך הקבל הדרוש לשיפור מקדם ההספק מ- $\cos \varphi_1$ ל $\cos \varphi_2$.</p>	C	[F]
$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$	<p>ההספק ההיגבי של הקבל הדרוש לשיפור מקדם ההספק מ- $\cos \varphi_1$ ל $\cos \varphi_2$.</p>	Q_C	[VAR]
$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C}$	<p>ערך הקבל</p>	C	[F]
	<p>תדירות מתח המקור ביחידות הרץ.</p>	f	[Hz]
	<p>התדירות המעגלית רדיאן לשנייה.</p>	ω	$\left[\frac{rad}{sec} \right]$
	<p>זווית המופע לפני השיפור.</p>	φ_1	[°]
	<p>זווית המופע אחרי השיפור.</p>	φ_2	[°]
	<p>ההספק הממשי של המעגל.</p>	P	[W]
	<p>מתח המקור.</p>	E	[V]

מעגלים מקביליים בזרם חילופין





מעגל RL מקבילי



$I_R = \frac{E}{R}$	הזרם העובר בנגד.	I_R	[A]
$I_L = \frac{E}{X_L}$	הזרם העובר בסליל.	I_L	[A]
$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$	הזרם הכללי במעגל.	I_T	[A]
$Z = \frac{E}{I_T}$	עכבת העגל.	Z	[Ω]
	מתח המקור.	E	[V]
הספקים במעגל RL מקבילי:			
$S = E \cdot I_T = I_T^2 \cdot Z = \frac{E^2}{Z}$ $S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$	ההספק המדומה של המעגל.	S	[VA]
$P = E \cdot I_T \cdot \cos \varphi = I_R^2 \cdot R = \frac{E^2}{R}$	ההספק הממשי הפעיל של מעגל.	P	[w]
$Q_L = E \cdot I_T \cdot \sin \varphi = \frac{E^2}{X_L} = I_L^2 \cdot X_L$	ההספק העיוור של הסליל.	Q_L	[VAR]

יחסים טריגונומטריים במעגל RL מקבילי

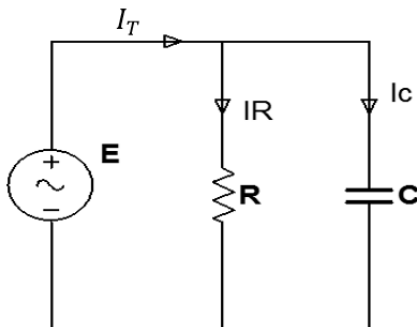
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{I_R}{I_T} = \frac{Z}{R}$$

$$\sin \varphi = \frac{Q_L}{S} = \frac{I_L}{I_T}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_L}{P}$$



מעגל RC מקבלי



$I_R = \frac{E}{R}$	הזרם העובר בנגד.	I_R	[A]
$I_C = \frac{E}{X_C}$	הזרם העובר בקבל.	I_C	[A]
$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$	הזרם הכללי במעגל.	I_T	[A]
$Z = \frac{E}{I_T}$	עכבת העגל.	Z	[Ω]
	מתח המקור.	E	[V]
הספקים במעגל RC מקבילי:			
$S = E \cdot I_T = I_T^2 \cdot Z = \frac{E^2}{Z}$ $S = \sqrt{P^2 + Q_C^2}$	ההספק המדומה של המעגל.	S	[VA]
$P = E \cdot I_T \cdot \cos \varphi = I_R^2 \cdot R = \frac{E^2}{R}$	ההספק הממשי הפעיל של מעגל.	P	[w]
$Q_C = E \cdot I_T \cdot \sin \varphi = \frac{E^2}{X_C} = I_C^2 \cdot X_C$	ההספק העיוור של הקבל.	Q_C	[VAR]

יחסים טריגונומטריים במעגל RC מקבילי

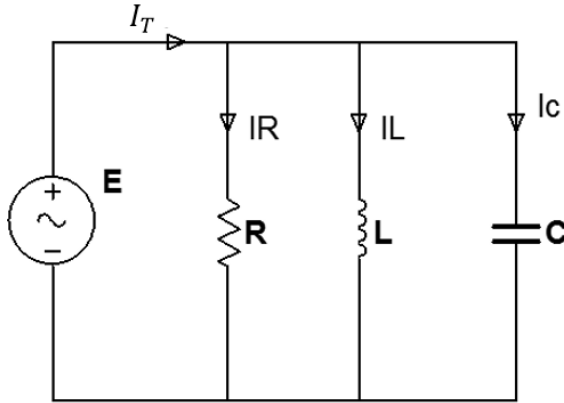
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{I_R}{I_T} = \frac{Z}{R}$$

$$\sin \varphi = \frac{Q_C}{S} = \frac{I_C}{I_T}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_C}{P}$$



מעגל RLC מקבלי



$I_R = \frac{E}{R}$	הזרם העובר בנגד.	I_R	[A]
$I_L = \frac{E}{X_L}$	הזרם העובר בסליל.	I_L	[A]
$I_C = \frac{E}{X_C}$	הזרם העובר בקבל.	I_C	[A]
$I_T = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$	הזרם הכללי במעגל.	I_T	[A]
$Z = \frac{E}{I_T}$	עכבת העגל.	Z	[Ω]
	מתח המקור.	E	[V]
הספקים במעגל RLC מקבילי :			
$S = E \cdot I_T = I_T^2 \cdot Z = \frac{E^2}{Z}$ $S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$	ההספק המדומה של המעגל.	S	[VA]
$P = E \cdot I_T \cdot \cos \varphi = I_R^2 \cdot R = \frac{E^2}{R}$	ההספק הממשי הפעיל של מעגל.	P	[w]
$Q_T = Q_L - Q_C $ $Q_T = E \cdot I_T \cdot \sin \varphi$	ההספק הריאקטיבי השקול.	Q_T	[VAR]
$Q_L = \frac{E^2}{X_L} = I_L^2 \cdot X_L$	ההספק העיוור של הסליל.	Q_L	[Var]
$Q_C = \frac{E^2}{X_C} = I_C^2 \cdot X_C$	ההספק העיוור של הקבל.	Q_C	[VAR]

יחסים טריגונומטריים במעגל RLC מקבילי

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{I_R}{I_T} = \frac{Z}{R}$$

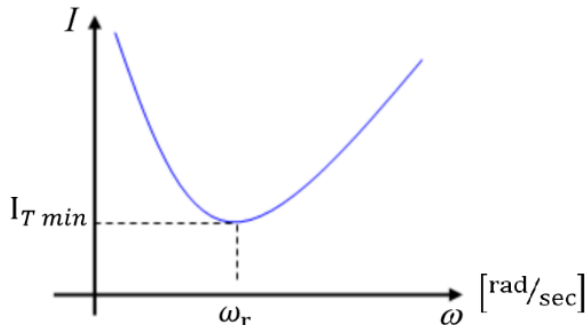
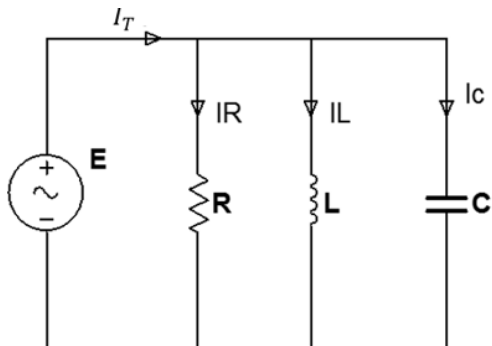
$$\sin \varphi = \frac{Q_T}{S} = \frac{|I_L - I_C|}{I_T}$$

$$\tan \varphi = \frac{|Q_L - Q_C|}{P}$$



מעגל תהודה RLC מקבלי

במעגל RLC מקבלי, בדומה למעגל RLC טורי, כשהיגב הסליל שווה להיגב הקבל המעגל מצוי בתהודה. אף על פי כן יש הבדלים במאפייני התהודה המקבליים לעומת התהודה הטורית.



המעגל המקבלי נמצא בתהודה אם מתקיים אחד התנאים:

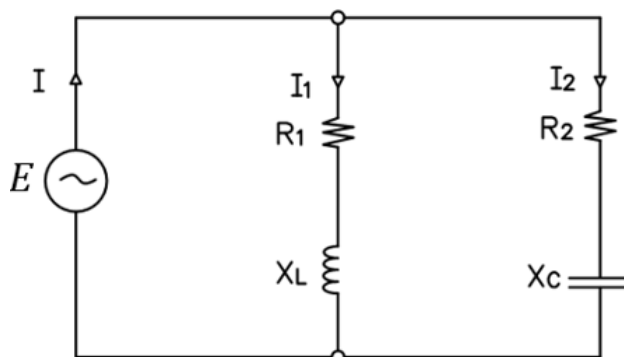
$Q_L = Q_C$ או $X_L = X_C$

$I_T = I_T \text{ min}$ או $Z_T = Z_{T\text{max}} = R$

$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$	תדירות התהודה ביחידות הרץ.	f_r	[Hz]
$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$	תדירות תהודה מעגלית ביחידות רדיאן לשנייה.	ω_r	[rad/sec]
$Q_r = \frac{R}{\omega_r \cdot L} = \frac{R}{2\pi \cdot f_r \cdot L}$	גורם הטיב של מעגל תהודה.	Q_r	
$BW = \frac{f_r}{Q_r}$	רוחב הפס ביחידות הרץ.	BW	[Hz]



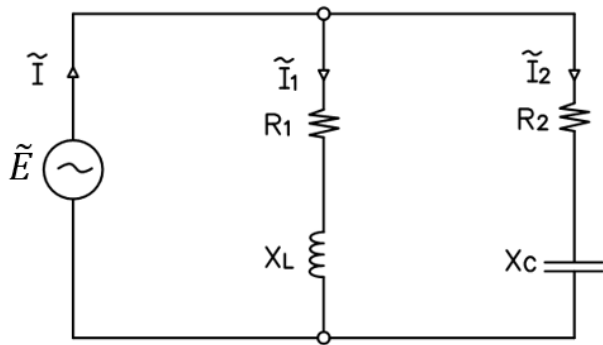
מעגלים מורכבים בזרם חילופין



הזרם הכללי במעגל:		I_T	[A]
$I_T = \sqrt{(I_1 \cdot \cos\varphi_1 + I_2 \cdot \cos\varphi_2)^2 + (I_1 \cdot \sin\varphi_1 - I_2 \cdot \sin\varphi_2)^2} = \frac{S}{E}$			
הזרם בענף R_1 והסליל .		I_1	[A]
הזרם בענף R_2 והקבל.		I_2	[A]
זווית המופע של הענף הראשון.		φ_1	[°]
זווית המופע של הענף השני.		φ_2	[°]
ההספק המדומה של המעגל.		S	[VA]
$S = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + (Q_L - Q_C)^2}$			
$P_1 = I_1^2 \cdot R_1$	ההספק הממשי של הענף הראשון.	P_1	[w]
$P_2 = I_2^2 \cdot R_2$	ההספק הממשי של הענף השני.	P_2	[w]
$Q_L = I_1^2 \cdot X_L$	ההספק ההיגבי של הסליל.	Q_L	[VAR]
$Q_C = I_2^2 \cdot X_C$	ההספק ההיגבי של הקבל.	Q_C	[VAR]



ניתוח מעגלים מעורבים לז"ח בעזרת מספרים קומפלקסים



$$X_L = j \cdot \omega \cdot L = |X_L| \angle 90$$

$$X_C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot c} = |X_C| \angle -90$$

$$|X_L| = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$|X_C| = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

עכבות במעגל

$$Z_1 = R_1 + jX_L = |Z_1| \angle \varphi_1$$

$$Z_2 = R_2 - jX_C = |Z_2| \angle \varphi_2$$

$$Z_T = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{|Z_1| \angle \varphi_1 \cdot |Z_2| \angle \varphi_2}{|Z_1| \angle \varphi_1 + |Z_2| \angle \varphi_2} = |Z_T| \angle \varphi_T = \frac{\tilde{E}}{\tilde{I}}$$

זרמים במעגל:

$$\tilde{I}_1 = \frac{\tilde{E}}{Z_1} ; \tilde{I}_2 = \frac{\tilde{E}}{Z_2} ; \tilde{I} = \frac{\tilde{E}}{Z_T} ; \tilde{I} = \tilde{I}_1 + \tilde{I}_2$$

הספקים בענפים:

$$\tilde{S}_1 = \tilde{E} \cdot \tilde{I}_1^* = P_1 + jQ_1 = |S_1| \angle \varphi_1$$

$$\tilde{S}_2 = \tilde{E} \cdot \tilde{I}_2^* = P_2 - jQ_2 = |S_2| \angle -\varphi_2$$

\tilde{I}^* הצמוד של \tilde{I} ;

$$\tilde{I} = |I| \angle \varphi_I ; \tilde{I}^* = |I| \angle -\varphi_I$$

$$\tilde{S}_T = \tilde{E} \cdot \tilde{I}^* = P_T + jQ_T = |S_T| \angle \varphi$$

$$Q_L = Q_C$$

תנאי לתהודה במעגלים מורכבים

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \cdot \sqrt{\frac{L}{C} - R_1} \cdot \sqrt{\frac{L}{C} - R_2}$$

תדירות תהודה מעגלית ביחידות רדיאן לשנייה.

$$\omega_r \quad [\text{rad/sec}]$$

$$f_r = \frac{\omega_r}{2\pi}$$

תדירות תהודה.

$$f \quad [\text{Hz}]$$

היגב השראתי.

$$X_L \quad [\Omega]$$

ערך מוחלט של היגב השראתי.

$$|X_L| \quad [\Omega]$$

היגב קיבולי.

$$X_C \quad [\Omega]$$

ערך מוחלט של היגב קיבולי.

$$|X_C| \quad [\Omega]$$

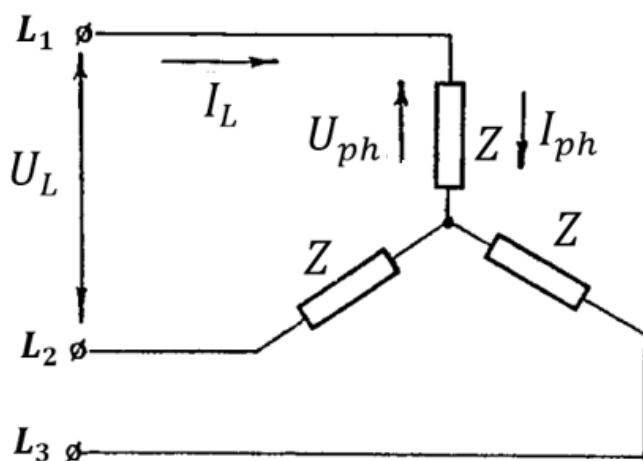


פזור הזרם בענף הראשון.	\tilde{I}_1	[A]
פזור הזרם בענף השני.	\tilde{I}_2	[A]
פזור הזרם הכללי.	\tilde{I}	[A]
פזור הזרם הצמוד של ענף או כללי.	\tilde{I}^*	[A]
פזור המתח, במעגל מקבילי ומעורב – רצוי לקחת את זווית המתח $[0^\circ]$.	\tilde{E}	[V]
עכבת ענף או עכבת כללית של המעגל.	Z	$[\Omega]$
הערך המוחלט של עכבת כללית.	$ Z $	$[\Omega]$
עכבת של ענף שתיים.	Z_2	$[\Omega]$
הערך המוחלט של עכבת בענף 2.	$ Z_2 $	$[\Omega]$
הערך המוחלט של עכבת בענף 1.	$ Z_1 $	$[\Omega]$
ההספק הממשי של ענף מספר 1.	P_1	[W]
ההספק הריאקטיבי של ענף מספר 1.	Q_1	[VAR]
הספק מדומה של ענף מספר 1.	S_1	[VA]
ההספק הממשי של ענף מספר 2.	P_2	[W]
ההספק הריאקטיבי של ענף מספר 2.	Q_2	[VAR]
הספק מדומה של ענף מספר 2.	S_2	[VA]
ההספק הממשי הכללי של המעגל.	P_T	[W]
ההספק הריאקטיבי הכללי של המעגל.	Q_T	[VAR]
ההספק המדומה הכללי של המעגל.	S_T	[VA]
הערך המוחלט של ההספק המדומה S_1 .	$ S_1 $	[VA]
הערך המוחלט של ההספק המדומה S_2 .	$ S_2 $	[VA]
הערך המוחלט של ההספק הכללי S_T .	$ S_T $	[VA]
הזרם המוחלט של הפזור I .	$ \tilde{I} $	[A]
זווית המופע של ענף מספר 1.	φ_1	$[\circ]$
זווית המופע של ענף מספר 2.	φ_2	$[\circ]$

מעגלים תלת מופעיים



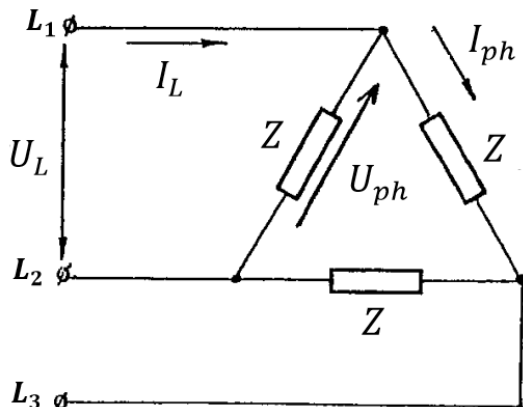
מעגל תלת מופעי (פזי) בחיבור כוכב:



$I_{ph} = I_L ; I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z}$	הזרם הפזי העובר בעומס Z .	I_{ph}	[A]
	הזרם בקו אספקה (הזרם הקווי).	I_L	[A]
$U_L = \sqrt{3} \cdot U_{ph}$	המתח השלוב, המתח בין שני קווי אספקה.	U_L	[V]
$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$	המתח הפזי, המתח בין קו אספקה לנקודת האפס.	U_{ph}	[V]
	העכבה של העומס בכל פאזה.	Z	[Ω]
$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$	ההספק המדומה במעגל.	S	[VA]
$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$	ההספק הממשי במעגל.	P	[W]
$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$	ההספק העיוור (הריאקטיבי במעגל).	Q	[VAR]



מעגל תלת מופעיים בחיבור משולש:



$U_L = U_{ph}$	המתח השלוב, המתח בין שני קווי אספקה.	U_L	[V]
	המתח הפזי, המתח בין הדקי העומס.	U_{ph}	[V]
$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph}$	הזרם בקו אספקה (הזרם הקווי).	I_L	[A]
$I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z} ; I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$	הזרם הפזי העובר בעומס Z .	I_{ph}	[A]
	העכבה של העומס בכל פאזה.	Z	[Ω]
$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$	ההספק המדומה במעגל.	S	[VA]
$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$	ההספק הממשי במעגל.	P	[W]
$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$	ההספק העיוור (הריאקטיבי במעגל).	Q	[VAR]



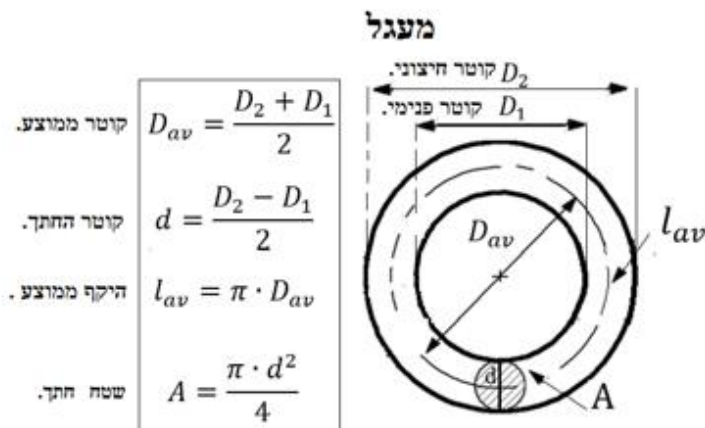
נספח:

$$\begin{aligned} \text{IK} &= 10^3 \rightarrow \text{EXP } 3 \\ \text{IM} &= 10^6 \rightarrow \text{EXP } 6 \\ \text{IG} &= 10^9 \rightarrow \text{EXP } 9 \\ \text{IT} &= 10^{12} \rightarrow \text{EXP } 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{lm} &= 10^{-3} \rightarrow \text{EXP } -3 \\ \text{l}\mu &= 10^{-6} \rightarrow \text{EXP } -6 \\ \text{l}\eta &= 10^{-9} \rightarrow \text{EXP } -9 \\ \text{l}p &= 10^{-12} \rightarrow \text{EXP } -12 \end{aligned}$$

המרת יחידות

מילימטר	(mm) → (m)	מטר EXP 3	10^{-3}
מילימטר מרובע	(mm ²) → (m ²)	מטר EXP 6	10^{-6}
סנטימטר	(cm) → (m)	מטר EXP 2	10^{-2}
סנטימטר מרובע	(cm ²) → (m ²)	מטר EXP 4	10^{-4}
מטר	(m) → (mm)	מילימטר EXP 3	10^3
מטר מרובע	(m ²) → (mm ²)	מילימטר EXP 6	10^6
מטר	(m) → (cm)	סנטימטר EXP 2	10^2
מטר מרובע	(m ²) → (cm ²)	סנטימטר EXP 4	10^4



$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$$

צורה כללית של משוואה ריבועית:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

נוסחה לפתרון משוואה ריבועית: