

# נוסחאון עזר להנדסאי חשמל

## מנוע סינכרוני

מרצה: רועי שחר

Copy Rights  
Roy Shahr

שם הסטודנט:

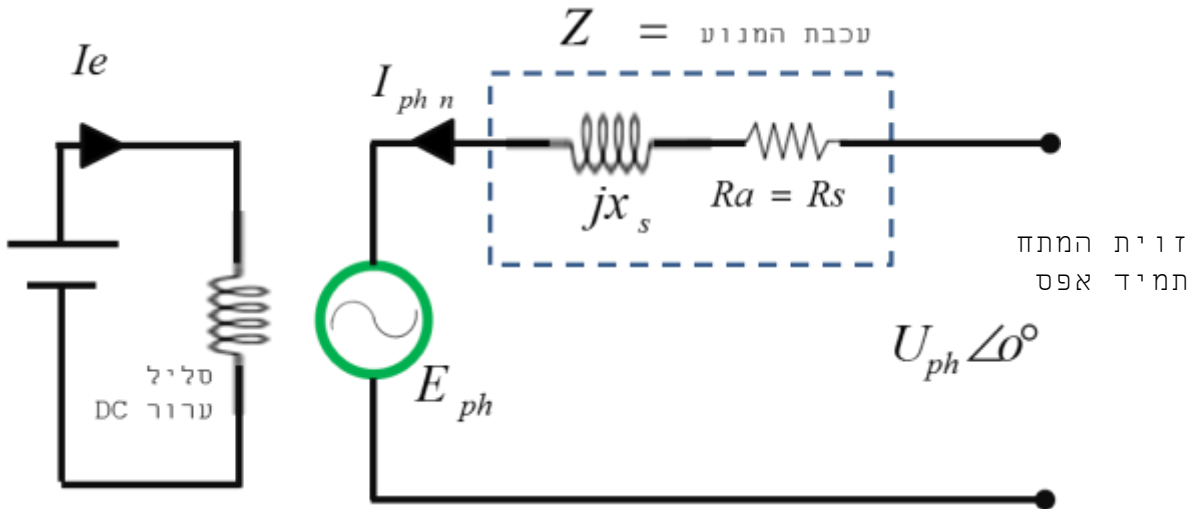
---

כיתה : חשמל ב-1

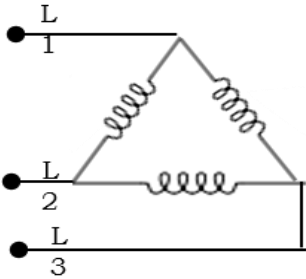
---

# מנוע סינכרוני - נוסחאות

כל עוד לא נאמר אחרת. המנוע השראי!



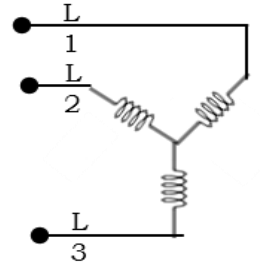
## חיבור משולש $\Delta$



$$U_{PH} = U_{LINE}$$

$$I_{PH} = \frac{I_{LINE}}{\sqrt{3}}$$

## חיבור כוכב $Y$



$$U_{PH} = \frac{U_{LINE}}{\sqrt{3}}$$

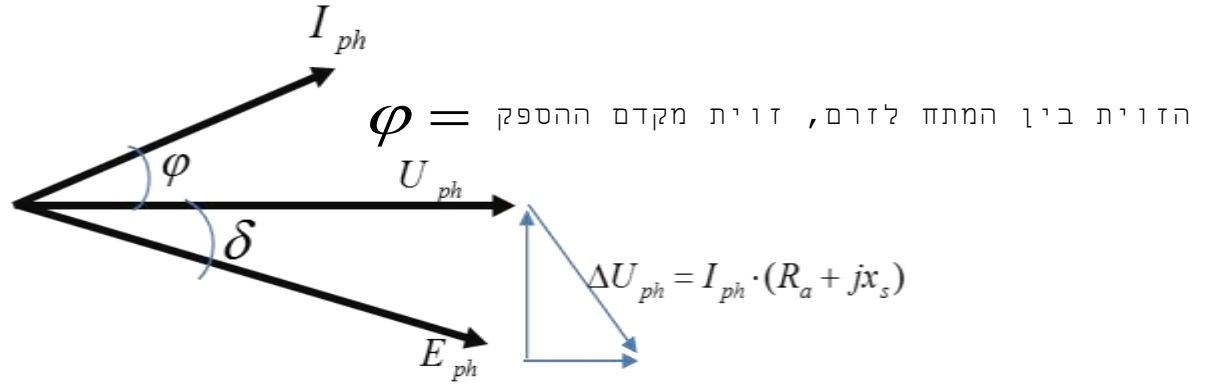
$$I_{PH} = I_{LINE}$$

- במצב עבודה השראי של המנוע זווית הכא"מ מפגרת אחרי זווית המתח
- במצב עבודה קיבולי של המנוע גודל הכא"מ יהיה גדול יותר מגודל מתח ההזנה
- כאשר הספק\אופי המנוע קיבולי זווית הזרם בפלוס (מקדים את המתח) כאשר הספק\אופי המנוע השראי זווית הזרם במינוס

Copy Rights  
Roy Shahar

# דיאגרמת המתחים והזרמים מנוע סינכרוני

כהגדרה במנוע זווית הכא"מ שלילית וזווית המתח שווה לאפס.



מנוע עובד באופי קיבולי זווית הזרם חיובית.  
מנוע עובד באופי השראי זווית הזרם שלילית.

$$\vec{E}_{ph} = (\vec{U}_{ph} \angle 0^\circ) - (\vec{I}_{ph}) \cdot (Ra + jx_s)$$

זרם פאזי גודל וזווית  $\vec{I}_{ph}$  כא"מ פאזי גודל וזווית תמיד במינוס  $\vec{E}_{ph}$   
 עכבת המנוע  $(Ra + jx_s) =$  מתח פאזי גודל וזווית תמיד אפס  $\vec{U}_{ph} \angle 0^\circ$

$$\vec{I}_{ph} = \frac{(\vec{U}_{ph} \angle 0^\circ) - (\vec{E}_{ph} \angle -^\circ)}{(Ra + jx_s)}$$

זרם פאזי גודל וזווית  $\vec{I}_{ph}$   
 מתח פאזי גודל וזווית תמיד אפס  $\vec{U}_{ph} \angle 0^\circ$   
 כא"מ פאזי גודל וזווית תמיד במינוס  $\vec{E}_{ph}$   
 עכבת המנוע  $(Ra + jx_s) =$

$$P1 = U_{Line} \cdot I_{Line} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}$$

$$I_{Line} = \frac{P1}{U_{Line} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{Line} = \frac{P2}{\eta \cdot U_{Line} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{Line} = \frac{S}{U_{Line} \cdot \sqrt{3}}$$

$$n_1 = n_2 = \frac{F_1 \cdot 60}{p}$$

זווית הזרם כגודל, היא זווית מקדם ההספק  $\cos \varphi$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

נצילות

חישוב מקדם ההספק

$$\varphi_{Z ph} = \varphi_{U ph} - \varphi_{I ph}$$

$\delta =$  זווית מכנית = זווית העומס = זווית הפיסוק  
 זווית המתח תמיד 0  
 פחות זווית הכא"מ שהיא תמיד שלילית  
**(זווית הפיסוק תמיד תהיה חיובית)**

$$\delta = \varphi_{U ph} - \varphi_{E ph}$$

כאשר מנוע עובד בדיוק עם אותו הספק פעיל נקבל בדיוק את המשוואה הנ"ל

$$\underbrace{|E_{ph}''| \cdot \text{Sin}(\delta)}_{\text{חדש}} = \underbrace{|E_{ph}'| \cdot \text{Sin}(\delta)}_{\text{קודם}}$$

$$\text{Sin}(\delta)_{new} = \frac{|E_{ph}'| \cdot \text{Sin}(\delta)_{old}}{|E_{ph}''|}$$

נמיר במחשבון את הסינוס לזווית

$$\text{Shift} \_ \text{Sin}(\delta) = \angle \delta^\circ$$

$$(\delta)_{new} =$$

$$|E_{ph}'| = \text{כא"מ פאזי קודם גודל בלבד}$$

$$\text{Sin}(\delta)_{old} =$$

$$|E_{ph}''| = \text{כא"מ פאזי חדש גודל בלבד}$$

### ויסות הספקים במנוע סינכרוני

$$U > E \quad Ie_0 > Ie$$

תת עירור:

#### תת עירור:

המנוע צורך הספק היגבי בפועל QL ולמנוע צפוי אופי השראי, ומתח הדקי המנוע צפוי להיות גדול מהכא"מ

$$E > U \quad Ie > Ie_0$$

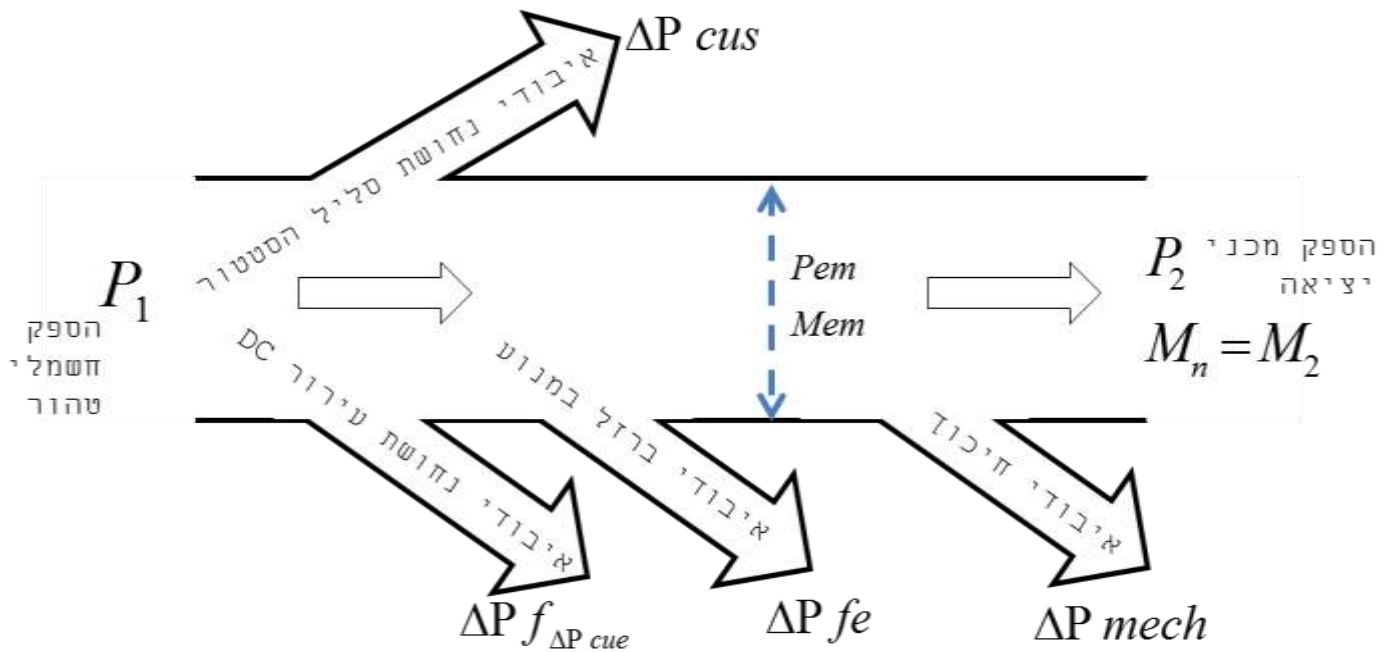
עירור יתר

#### עירור יתר

כאשר זרם העירור גדול מערך היחוס המנוע צפוי לייצר הספק היגבי בעל אופי קיבולי וצפוי לשפר את מקדם ההספק של הרשת המנוע ייצר כא"מ גדול ממתח ההזנה.

Copy Rights  
Roy Shahar

# דיאגרמת הספקים מנוע סינכרוני



$$\Delta P_{cus} = I_{ph}^2 \cdot 3 \cdot R_s$$

$\Delta P_{cus}$  = איבודי נחושת בסלילי הסטטור  
איבודי הספק משתנים  
 $R_s$  = התנגדות סלילי הסטטור

$$R_s = \frac{\Delta P_{cus}}{I_{ph}^2 \cdot 3}$$

$$\Delta P_{cus} = \frac{\Delta P_{Total}}{Z}$$

$$\Delta P_{f(\Delta P_{cue})} = I_e^2 \cdot R_e$$

$\Delta P_{f(\Delta P_{cue})} =$   
 $I_e^2$  = זרם בסליל הרוטור (עירור)  
 $R_e =$

Copy Rights  
Roy Shahar

$$\Delta P_{Total} = \begin{cases} \Delta P_K = \Delta P_{CUS} & \text{איבודים הספק משתנים} \\ & \text{איבודי הספק בסלילי הסטטור} \\ \Delta P_0 = \Delta P_f + \Delta P_{fe} + \Delta P_{mech} & \text{איבודים קבועים} \end{cases}$$

$$P_1 = (U_{Line} \cdot I_{Line} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}) + \Delta P_f$$

$$M = \frac{P_2 \cdot 9.55}{n_1}$$

כאשר מנוע חסר הפסדים ניתן לחשב:

$$P_1 = P_2 = P_{em} = 3 \cdot E_{ph} \cdot U_{ph} \cdot \frac{\sin(\delta)}{x_s}$$

# פתרון שבלוני לתרגיל חישוב זרמי מנוע

נתון בשאלה: חיבור כוכב

$U_n = U_{Line}$	$F_n =$	$p =$	$x_s =$	$\delta =$	$E_{Line} = \% \cdot U_{Line}$
מתח הזנה	תדר הרשת	מס' זוגות קטבים	היגב הסטטור	זווית הפיסוק	הכא"מ שווה לאחוז ממתח ההזנה

מבקשים לחשב: זרם (גודל זווית ואופי) והספק שהמנוע צורך

כהגדרה במנוע זווית הכא"מ **שלילית** וזווית המתח שווה **לאפס**. נציב בנוסחא לחישוב זווית הכא"מ

$$\delta = \varphi_{U_{ph}} - \varphi_{E_{ph}}$$

קיבלנו את ערך זווית הפיסוק רק שהזווית במינוס.

$$U_{ph} = \frac{U_{Line}}{\sqrt{3}}$$

מאחר ונתון שהחיבור כוכב נחשב מתח הזנה פאזי:

$$E_{ph} = \% \cdot U_{ph}$$

נחשב מה ערך הכא"מ כאשר נתון לנו שהוא באחוזים ממתח ההזנה.

נציב בנוסחא לקבלת הזרם הפאזי שהוא גם הזרם הקווי (למה? חיבור כוכב)

$$\vec{I}_{Line} = \vec{I}_{ph} = \frac{(\vec{U}_{ph}) - (\vec{E}_{ph})}{(x_s)j}$$

נחשב במחשבון (מוד 2)

Shift 2,3

נקבל את הזרם גודל וזווית

במידה והזווית יצאה לנו במינוס, זה אומר שהאופי של הזרם **השראי** הזרם מפגר אחרי המתח

$$P1 = U_{Line} \cdot I_{Line} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}$$

לחישוב ההספק שנצרך מהרשת נעזר בנוסחא: כאשר את זווית מקדם ההספק ניקח מזווית הזרם שחישבנו בשלב הקודם.

Copy Rights  
Roy Shahar

# פתרון שבלוני לתרגיל חישוב זרמי מנוע(המשך)

נתון בשאלה: חיבור כוכב

$U_n = U_{Line}$	$F_n =$	$p =$	$x_s =$	$\delta =$	$E_{Line} = \% \cdot U_{Line}$
------------------	---------	-------	---------	------------	--------------------------------

מתח הזנה

תדר הרשת

מס' זוגות קטבים

היגב הסטטור

זווית הפיסוק

הכא"מ שווה לאחוז ממתח ההזנה

בסעיף ב מבקשים לחשב זווית פיסוק חדשה וזרם מנוע חדש (גודל זווית ואופי) כאשר הכא"מ עלה ב X%

$$E_{ph}'' = \% \cdot U_{ph} \quad E'' \text{ של הכא"מ החדש}$$

נציב בנוסחא הנ"ל לקבלת זווית הפיסוק החדשה:

$$\underbrace{|E_{ph}''| \cdot \sin(\delta)}_{\text{חדש}} = \underbrace{|E_{ph}'| \cdot \sin(\delta)}_{\text{קודם}}$$

נקליד במחשבון בצורה הנ"ל ונלחץ Shift\_Solve

$$E_{ph}'' \cdot X = E_{ph}' \cdot \sin(\delta)$$

כא"מ חדש גודל בלבד      כא"מ קודם גודל בלבד      זווית הפיסוק

נקבל X מספר עשרוני בעזרת Shift\_Sin

נמיר לזווית ונקבל זווית פיסוק חדשה. (חצי תשובה יש)

$$\delta = \varphi_{U_{ph}} - \varphi_{E_{ph}}$$

נחשב מהי זווית הכא"מ החדשה כאשר זווית המתח תמיד 0

כעת כשיש לנו את כל הנתונים ניתן להציב בנוסחא לחישוב הזרם (מוד 2)

$$\vec{I}_{Line} = \vec{I}_{ph} = \frac{(\vec{U}_{ph}) - (\vec{E}_{ph})}{(x_s)j}$$

זרם הפאזי שווה לזרם הקווי (חיבור כוכב) במידה והזווית שקיבלנו היא חיובי, משמע האופי קיבולי הזרם מקדים את המתח.

Copy Rights Roy Shaha