

נוסחאון עזר להנדסאי חשמל

מנוע השראה אסינכרוני

מרצה: רועי שחר

Copy Rights
Roy Shahar

שם הסטודנט:

כיתה : חשמל ב-1

תרגומון מה"ט

בשפה שלנו	נתון בשאלה
$U_{Line} = U_{ph}$	כל עוד לא נאמר אחרת, מתח ההזנה למנוע מחובר במשולש
$\Delta P_{add} = 0[W]$	כל עוד לא אמרו לנו שיש הפסדים נוספים, נציין בתשובה:
RV נגד בטור לרוטור :	Rj
$E_{2O} =$	בין טבעות החליקה נמדד מתח
$\frac{M_{Start}}{M_n}$ חשב את היחס בין מומנט ההתנעה למומנט הנקוב	גודל המומנט ככפולה של המומנט הנקוב
$P_n = P_2$	ההספק הנקוב של המנוע
$M_n = M_2$	המומנט המפותח ע"י המנוע
$E_{2O} =$	המתח בין טבעות ההחלקה ברוטור. כא"מ רוטור שאינו זז (בלום)
$\Delta P_{RV} = ?$	הספק פיזור החום בנגדים שנוספו לסלילי הרוטור?
$\Delta P_{Mech} = 0 \Rightarrow P_2 = P_{mech}$	הפסדי הברזל וההפסדים המכניים ברוטור זניחים
$P_2 = P_{mech}$	הפסדים מכניים זניחים
$R2 =$	התנגדות מעגל הרוטור למופע
$Io_{ph} =$ הזרם שזורם בענף המגנט	זרם הריקים
$RV =$ חשב את	חשב את גודל הנגדים שיש לחבר בטור למעגל הרוטור על מנת לקבל ...
$I_{1ph} = ?$	מהו הזרם בסלילי הסטטור
$MK = ?$	מהו המומנט בחליקה קריטית?
$n_{cr} = n_1 \cdot (1 - SK)$	מהי מהירות קריטית?
n_1	מהירות בסטטור
n_2	מהירות ציר גל המנוע
M_n	מומנט הפיתול המרבי
כל הנוסחאות לחישוב מומנט (קריטי, נקוב, התנעה)	נוסחת קלוס
$\frac{U_{1ph}}{E_{2o}ph} = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}}$ תשתמש בנוסחת יחס השנאה	ניתן להזניח את השפעת ענף המגנט ניתן להזניח את זרם הריקים
$\frac{MK}{M_n} = \frac{Mcr}{M_n} = \frac{T_{max}}{T_n}$	נתון בשאלה: יחס בין מומנט קריטי למומנט נקוב
רוטור מחובר בחיבור כוכב.	רוטור מלופף
$F_2 [Hz]$	תדירות זרמי הרוטור
$F_1 [Hz]$	תדר אספקה
$F_1 [Hz]$	תדר עבודה

Δ חיבור משולש



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

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

Y חיבור כוכב



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

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

$$P_1 = U_{Line} \cdot I_{Line} \cdot \cos_{\phi} \cdot \sqrt{3}$$

$$\eta_n = \frac{P_2}{P_1}$$
$$I_n = \frac{P_1}{U_n \cdot \cos_\varphi \cdot \sqrt{3}}$$
$$I_{Line_{1n}} = \text{זרם מנוע נקוב}$$

P_{2n} = הספק יציאה נקוב

$$\eta_n = \text{נצילות}$$

$E_{20}ph_n =$ כא"מ רוטור בלום נקוב

$$\frac{E_{2o}ph'}{E_{2o}ph_n} = \frac{F_{1'}}{F_{1n}}$$

F_{1n} = תדר סטטור נקוב

כא"מ רוטור בלום לא נקוב (תג) $E_2 ph' =$

F_1 = תדר סטטור לא נקוב

ביחס השנאה נשתמש רק כאשר ניתן להזניח את ענף המיגנוט

$$\frac{U_1 ph}{E_{2o} ph} = \frac{I_2 ph}{I_1 ph}$$

$U_1 ph =$ מתח פאזי בכניסה למנוע

כא"מ פאזי ברוטור E_{ph}

$I_1 ph =$ זרם פאזי בכניסה למנוע

$I_2 ph =$ זרם פאזי ברוטור

לשים לב: הכל פאזי

• עיקרון חישוב מספר זוגות הקטבים:

מס' זוגות הקטבים חייב להיות מספר שלם (1,2,3...) n_1 חייב להיות גדול מ n_2 .

נחלק את (F1·60) במספר שלם עד אשר נמצא את המספר הקרוב ביותר ל n_2 אך לא יותר קטן מ n_2 .

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

n_1 = מהירות הסטטור [RPM]
 F_1 = תדר הרשת (בסטטור) [HZ]
 p = מספר זוגות הקטבים

(נוסחת בן חורין) מהירות מנוע נקובה $n_2 = n_n$ $n_2 = n_1 \cdot (1 - S_n)$

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

S_n = חליקה נקובה
 n_1 = מהירות סטטור
 $n_2 = n_n$ מהירות מנוע נקובה

שינוי חליקה:
 תשנה את ערכי P_2, P_{em}
 ואת המהירות n_2'

$$S_n = \frac{\Delta P_{cu2n}}{P_{em_n}}$$

ΔP_{cu2n} = איבודי הספק ברוטור
 P_{em_n} = הספק אלקטרו מגנטי

$$S' = \frac{n_1 - n_2'}{n_1}$$

חישוב חליקה לא נקובה (תג)
 כאשר מהירות מנוע לא נקובה

$$P_{em_n} = \frac{P_{mech}}{1 - S_n}$$

$$S_n = \frac{\Delta P_{cu2n}}{P_{em_n}}$$

עיון בדף דיאגרמת הספקים

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

n_1' = מהירות סטטור לא נקובה (תג)
 F_1' = תדר לא נקוב (תג)
 p = מס' זוגות קטבים (נתון קבוע)

$$F_{2n} = F_1 \cdot S_n$$

תדר זרם ברוטור \ תדירות זרמי הרוטור F_{2n}

**מומנט קריטי MK משתנה רק כאשר משנים מתח הזנה!
חליקה קריטית משתנה רק אם מוסיפים נגד או שינוי תדר!**

כאשר מחלצים נתון מהנוסחאות בעזרת Shift Solve
יש לרשום את ערך החליקה הנקובה כאשר המחשבון מבקש Solve for X
(אחרת יכולים לצאת שתי תשובות)

$$SK_n = \frac{MK}{M_n} \cdot S_n \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{MK}{M_n} \right)^2} \right]$$

$SK_n = Scr$ חליקה מרבית (קריטית) נקובה
 S_n חליקה נקובה
 M_n מומנט נקוב
 $MK =$ מומנט מרבי max/(קריטי)

$$MK = M_{max}$$

$$Scr = SK = \frac{n_1 - n_{cr}}{n_1}$$

Scr חליקה קריטית
 n_{cr} מהירות קריטית

$$SK_n = \frac{R2'}{\sqrt{R1^2 + (X1 + X2_0')^2}}$$

חישוב חליקה קריטית בעזרת מרכיבי תמורה

$$M_n = \frac{2 \cdot MK}{\frac{SK_n}{S_n} + \frac{S_n}{SK_n}}$$

M_n מומנט נקוב\מומנט על הציר
 $SK_n = Scr$ חליקה מרבית (קריטית) נקובה
 S_n חליקה נקובה
 MK מומנט קריטי

$$M' = \frac{2 \cdot MK}{\frac{SK_n}{S'} + \frac{S'}{SK_n}}$$

כאשר המומנט לא נקוב
 יש צורך לחשב חליקה חדשה
 ובעזרתה לחשב מהירות חדשה

$$M_n = \frac{P_2 \cdot 9.55}{n_{n2}}$$

חישוב ממונט נקוב:
ראה גם דף דיאגרמת הספקים

$$MK = \frac{M_n}{2} \cdot \left(\frac{SK_n}{S_n} + \frac{S_n}{SK_n} \right)$$

MK מומנט קריטי\מומנט מירבי\מומנט מקסימלי

Copy Rights
Roy Shahar

מומנט התנעה

$$M_{Start_n} = \frac{2 \cdot MK}{\frac{SK_n}{1} + \frac{1}{SK_n}}$$

M_{Start_n} = מומנט התנעה נקוב

MK = מומנט מרבי (קריטי) / max

SK_n = חליקה מרבית (קריטית) נקובה

חישוב מומנט אלקטרו מגנטי בהתנעה:

Mem'_{start} = מומנט אלקטרו מגנטי בהתנעה

M_{start} = מומנט התנעה

ΔMo = איבודי מומנט קבועים

Mem_n = מומנט אלקטרו מגנטי נקוב

M_n = מומנט נקוב

$$Mem'_{start} = M_{start} + \Delta Mo$$

$$\Delta Mo = Mem_n - M_n$$

כאשר מבקשים לדעת מהו מומנט ההתנעה במתנע כוכב משולש או לחבר את המנוע באמצעות חיבור כוכב משולש נעזר בנוסחא:

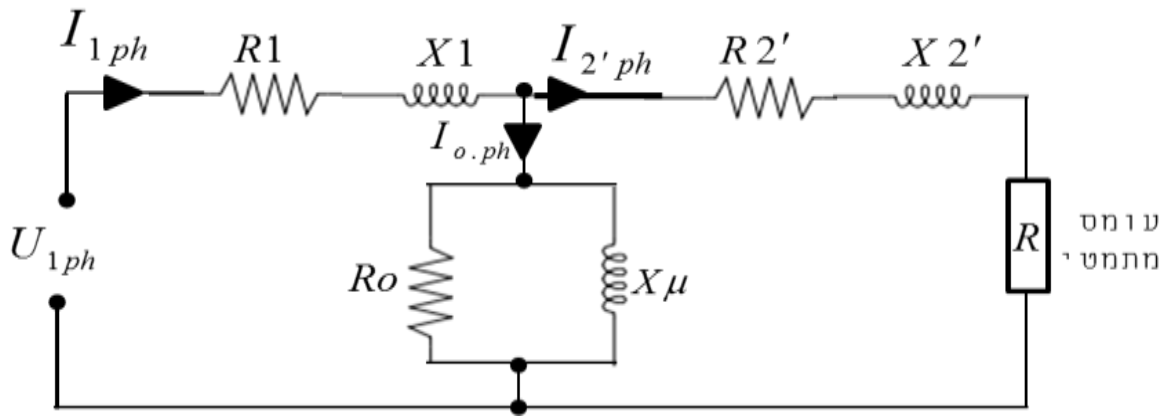
$$M_{start} Y = \frac{M_{start} \Delta}{3}$$

$M_{start} Y$ = מומנט התנעה חיבור כוכב

$M_{start} \Delta$ = מומנט התנעה חיבור משולש

Copy Rights
Roy Shahar

מעגל תמורה מנוע אסינכרוני



$$\vec{I}_{1ph} = \vec{I}_{o.ph} + \vec{I}_{2'ph}$$

$$\begin{aligned} \vec{I}_{1ph} &= \text{זרם פאזי בכניסה לסטטור (גודל וזווית)} \\ \vec{I}_{o.ph} &= \text{זרם פאזי בענף המגנט (גודל וזווית)} \\ \vec{I}_{2'ph} &= \text{זרם פאזי רוטור משוקף (גודל וזווית)} \end{aligned}$$

זווית
תמיד
במינוס

$$I_{2'ph} = I_{2ph} \cdot \frac{E_{2o.ph}}{U_{1ph}}$$

$$I_{2'ph} = \text{זרם פאזי רוטור משוקף (גודל וזווית)}$$

$$I_{2ph} = \text{זרם פאזי אמיתי ברוטור (גודל וזווית)}$$

$$I_{2ph} = I_{2'ph} \cdot \frac{U_{1ph}}{E_{2o.ph}}$$

$$E_{2o.ph} = \text{מתח פאזי בלום ברוטור}$$

$$U_{1ph} = \text{מתח פאזי בכניסה לסטטור (גודל וזווית)}$$

$$R = R2' \cdot \frac{1-S}{S}$$

חישוב עומס מתמטי

$$R2' = R2 \cdot \left(\frac{U_{1ph}}{E_{2o.ph}} \right)^2$$

חישוב התנגדות רוטור משוקפת

$$X2' = X2 \cdot \left(\frac{U_{1ph}}{E_{2o.ph}} \right)^2$$

חישוב היגב משוקף של הרוטור

$$R2' = \frac{\Delta P_{cu2n}}{I_{2ph'}^2 \cdot 3}$$

חישוב איבודי הספק בעזרת התנגדות וזרם משוקפים ברוטור

$$Z_T = (R1 + R2' + R) + (x1 + x2')j$$

חישוב עכבת המנוע

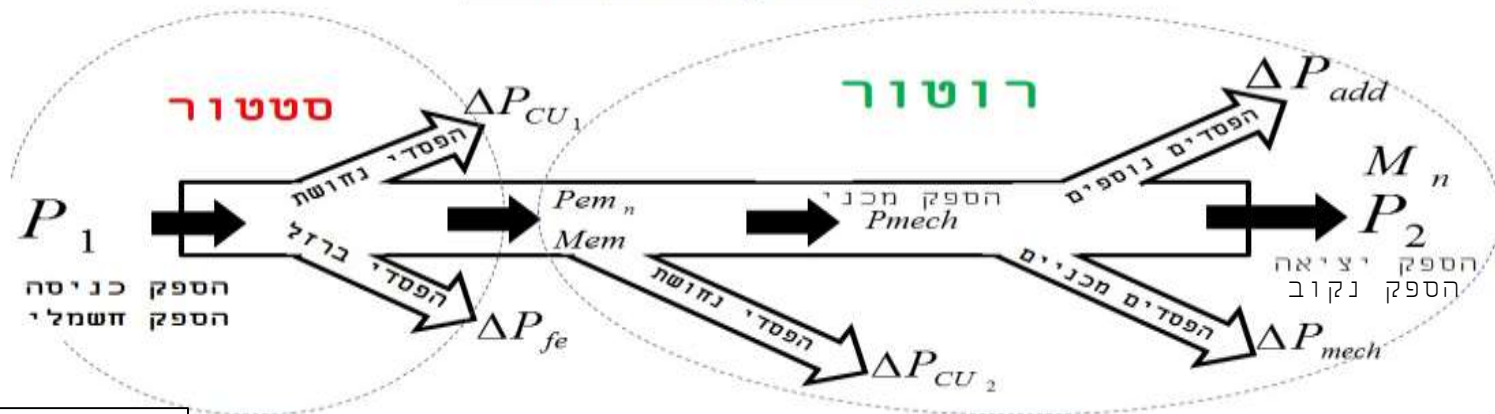
$$I_{1ph} = \frac{U_{1ph}}{Z_T}$$

זרם פאזי בכניסה למנוע

$$I_{1Start\ ph} = \frac{U_{ph1}}{\sqrt{(R1 + R2')^2 + (x1 + X2'o)^2}}$$

חישוב זרם התנעה במוליכי הקו

דיאגרמת הספקים מנוע השראי



$$P_2 = P_n \quad \text{הספק נקוב}$$

$$\Delta P_0 = \Delta P_{fe} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{add} \quad \text{הפסדים בניסוי ריקם}$$

$$P_1 = P_{em} + \Delta P_{fe} + \Delta P_{cu1} \quad P_1 = \text{הספק כניסה למנוע \textbackslash הספק חשמלי}$$

$$P_{mech} = P_2 + \Delta P_{add} + \Delta P_{mech} \quad P_{mech} = \text{הספק מכני [w]}$$

$$P_{em_n} = P_{mech} + \Delta P_{cu2} \quad P_{em_n} = \text{הספק אלקטרו מגנטי [w]}$$

$$P_{em_n} = \frac{P_{mech}}{1 - S_n}$$

$$\Delta P_{cu1_n} = I_{1ph_n}^2 \cdot 3 \cdot R1 \quad \text{הפסדי נחושת בסלילי הסטטור}$$

$$\Delta P_{cu2_n} = I_{2ph_n}^2 \cdot 3 \cdot R2 \quad \Delta P_{cu2_n} = \text{הפסדי נחושת בסלילי הרוטור}$$

$$\Delta P_{cu2_n} = P_{em_n} - P_{mech}$$

$$S_n = \frac{\Delta P_{cu2_n}}{P_{em_n}}$$

$$Mem_n = \frac{P_{em_n} \cdot 9.55}{n_1} \quad Mem_n = \text{מומנט אלקטרו מגנטי נקוב [N.M]} \quad (\text{ניוטון מטר})$$

$$M_n = \frac{P_2 \cdot 9.55}{n_{n2}} \quad M_n = \text{מומנט נקוב \textbackslash מומנט על הציר}$$

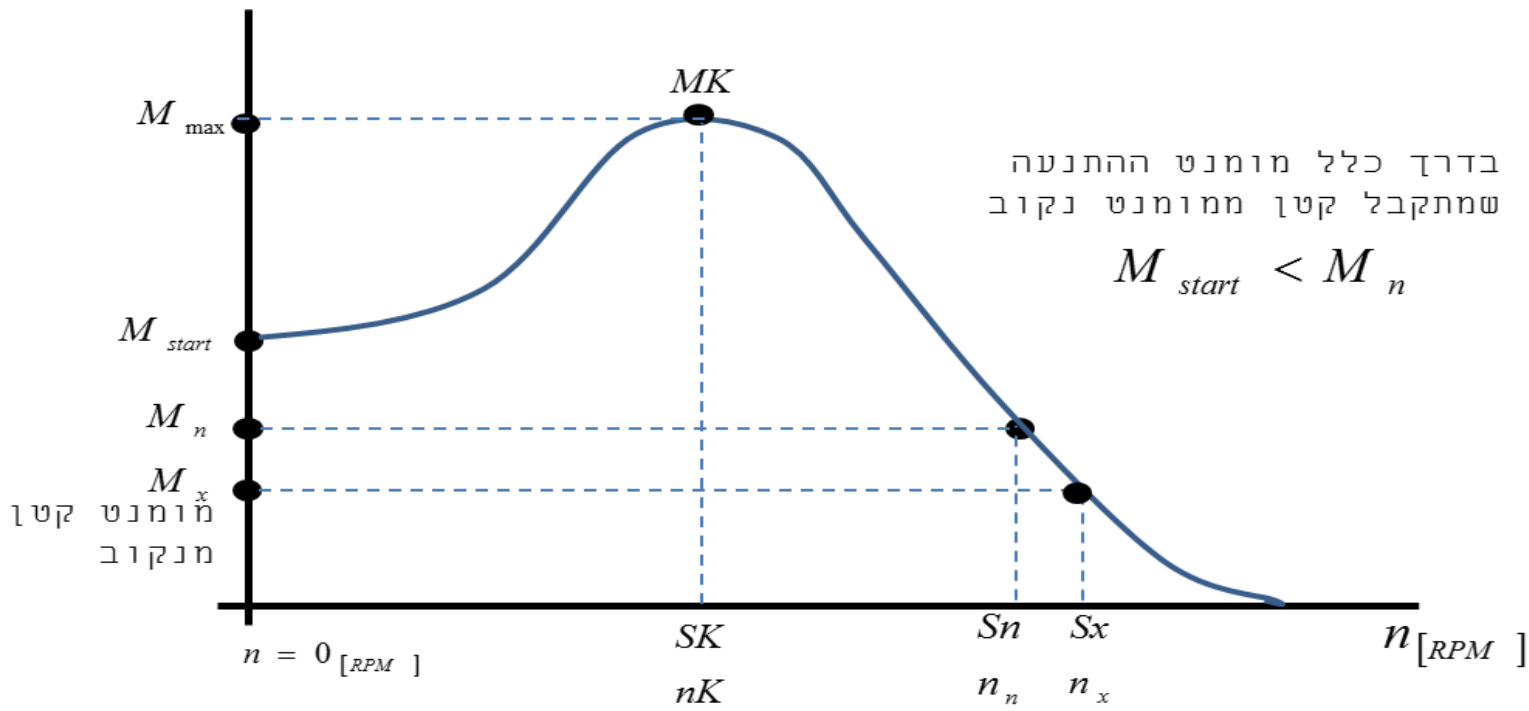
$P_2 = \text{הספק ביציאה}$

$n_{n2} = \text{מהירות ברוטור}$

$$P_2 = \frac{M_n \cdot n_{n2}}{9.55}$$

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi \quad Q_{1[var]} = \text{הספק עיוור בכניסה למנוע}$$

גרף מנוע השראה אסינכרוני:
(התוצאה בתשובה יכולה לצאת הפוכה מהגרף)



שינוי מתח הזנה למנוע:

* חליקה קריטית לא משתנה עם שינוי מתח ההזנה. לכן: $SK_n = Scr = SK'$

חישוב מומנט מרבי/קריטי/מקסימלי חדש (MK'),
כאשר המנוע אינו מוזן במתח הזנה נקוב!

$$\frac{MK'}{MK_n} = \left(\frac{U_1 ph'}{U_1 ph} \right)^2$$

מומנט מרבי (קריטי) / max לא נקוב $MK' =$
מתח פאזי לא נקוב $U_1 ph' =$
מומנט מרבי (קריטי) / max נקוב $MK_n =$
מתח פאזי נקוב $U_1 ph =$

לחישוב מומנט התנעה חדש,

כאשר המנוע אינו מוזן במתח הזנה נקוב (לשים לב למתח הפאזי)

$$\frac{M_{Start}'}{M_{Start_n}} = \left(\frac{U_1 ph'}{U_1 ph_n} \right)^2$$

מומנט התנעה חדש $M_{Start}' =$
מומנט התנעה נקוב $M_{Start_n} =$
מתח פאזי חדש $U_1 ph' =$
מתח פאזי חדש נקוב $U_1 ph_n =$

לחישוב מתח פאזי חדש כאשר מומנט ההתנעה משתנה

$$U_1 ph' = \sqrt{\frac{U_1 ph_n^2 \cdot M_{Start}'}{M_{Start_n}}}$$

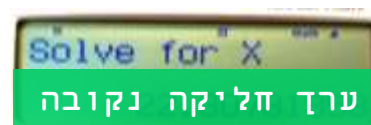
(לשים לב למתח הפאזי)

כאשר משנים את מתח ההזנה, החליקה הקריטית SK_n לא משתנה.

כדיי לחשב את המהירות החדשה. נניח שהמומנט לא השתנה $M_n = M_{n'}$
נחלץ את $S_{n'}$ בעזרת Shife solve

$$M_{n'} = \frac{2 \cdot MK'}{\frac{SK_n}{S_{n'}} + \frac{S_{n'}}{SK_n}}$$

במקום ה-X נקליד את ערך החליקה הנקובה.



לאחר שחישבנו את החליקה הלא נקובה $S_{n'}$ של המנוע
נציב בנוסחא הנ"ל לחישוב המהירות החדשה n_2'

$$n_2' = n_1 \cdot (1 - S_{n'})$$

Copy Rights
Roy Shahar

חישוב נגד בטור לרוטור RV כאשר נתון לנו מומנט התנעה חדש.

נחשב חליקה קריטית חדשה בעזרת נוסחת קלוס:

(מומנט קריטי MK נשאר ללא שינוי)

$$M_{Start'} = \frac{2 \cdot MK_n}{\frac{SK'}{1} + \frac{1}{SK'}}$$

$SK' =$ חליקה קריטית חדשה (תג)

$M_{start'} =$ מומנט התנעה חדש (תג)

$MK_n =$ מומנט קריטי נקוב ללא שינוי

נחשב את ערכו של RV בעזרת הנוסחה:

$$RV = \left(\frac{SK' \cdot R2}{SK_n} \right) - R2$$

$RV =$ הנגד שנוסף לרוטור $\left[\frac{\Omega}{ph} \right]$

$R2 =$ התנגדות סלילי הרוטור

$SK' =$ חליקה קריטית חדשה (תג)

$SK_n =$ חליקה קריטית נקובה

חישוב מומנט התנעה כאשר נתון לנו ערכו של נגד שנוסף בטור לרוטור.

נחשב חליקה קריטית חדשה (תג) בעזרת הפיתוח של רועי (יש להעתיק למחברת הבחינה את כל הפיתוח).

$$\frac{SK'}{SK_n} \approx \frac{\frac{R2' + RV'}{X1 + X2o'}}{R2'} \Rightarrow \frac{SK'}{SK_n} \approx \frac{R2' + RV'}{X1 + X2o'} \cdot \frac{X1 + X2o'}{R2'}$$

להעתיק כמו שזה

$$\frac{SK'}{SK_n} \approx \frac{R2' + RV'}{R2'} \Rightarrow \frac{SK'}{SK_n} \approx \frac{(R2 + RV) \cdot K^2}{(R2) \cdot K^2}$$

$$\frac{SK'}{SK_n} \approx \frac{R2 + RV}{R2}$$

להציב נתונים ולחשב SK'

ובעזרת נוסחת קלוס נחשב את מומנט ההתנעה החדש (תג)

$$M_{Start'} = \frac{2 \cdot MK_n}{\frac{SK'}{1} + \frac{1}{SK'}}$$

Copy Rights
Roy Shahar

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

חישוב הספק המתבזבז על הנגדים שנוספו בטור לעוגן

פתרון שבלוני בנושא:

הוספת נגד בטור לרוטור למטרת שינוי מהירות (הנוסחא אינה תקפה להתנעה!)

אפשרות 1.

כאשר נתונה לנו מהירות חדשה $n_{2'}$ ומבקשים לחשב איזה נגד יש להוסיף בטור לרוטור על מנת לקבל את המהירות החדשה, נחשב את החליקה החדשה SV בעזרת הנוסחא:

$$Sv = \frac{n_1 - n_{2'}}{n_1} \quad \begin{array}{l} \text{חליקה חדשה} \\ \text{מהירות חדשה שנתונה} \end{array}$$

$$RV = R2 \cdot \left[\frac{Sv}{Sn} - 1 \right]$$

לאחר חישוב החליקה החדשה SV נציב בנוסחא הנ"ל לחישוב הנגד RV
 RV = נגד שנוסף בטור לרוטור
 $R2$ = התנגדות סלילי הרוטור
 Sv = חליקה חדשה
 Sn = חליקה נקובה

Copy Rights
Roy Shahar

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

במידה ומבקשים לחשב את ההספק המתבזבז על הנגדים שנוספו נעזר בנוסחא הנ"ל

אפשרות 2.

כאשר נתונה לנו מהירות חדשה $n_{2'}$ וגם נתון שהמומנט השתנה Mn' . ומבקשים לחשב את ערכו של הנגד שנוסיף בטור לרוטור RV

תחילה נחשב חליקה חדשה SV

$$Sv = \frac{n_1 - n_{2'}}{n_1} \quad \begin{array}{l} \text{חליקה חדשה} \\ \text{מהירות חדשה שנתונה} \end{array}$$

לאחר מיכן נחשב את ערכו של הנגד RV בעזרת הנוסחא:

$$RV = R2 \cdot \left[\frac{Mn}{Mv} \cdot \frac{Sv}{Sn} - 1 \right]$$

RV = נגד שיש להוסיף בטור לרוטור

Mn = מומנט נקוב

Mv = מומנט חדש

Sv = חליקה קיימת או דרושה

Sn = חליקה נקובה

$R2$ = התנגדות סלילי הרוטור

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

במידה ומבקשים לחשב את ההספק המתבזבז על הנגדים שנוספו נעזר בנוסחא הנ"ל

המשך פתרון שבלוני בנושא:

הוספת נגד בטור לרוטור למטרת שינוי מהירות (הנוסחא אינה תקפה להתנעה!)

אפשרות 3.

נתון לנו שנוסף נגד בטור לרוטור ומבקשים לחשב את המהירות החדשה של המנוע $n_{2'}$ כאשר הוא עמוס במומנט נקוב.
תחילה נחלץ את החליקה החדשה SV בעזרת הנוסחא הנ"ל (Shift solve)

$$RV = R2 \cdot \left[\frac{Sv}{Sn} - 1 \right]$$

נגד שנוסף בטור לרוטור $RV =$

חליקה חדשה $Sv =$

חליקה נקובה $Sn =$

התנגדות סלילי הרוטור $R2 =$

$$R2 = \frac{\Delta P_{cu2n}}{I_{2ph}^2 \cdot 3}$$

במידה ולא נתון לנו את התנגדות סלילי הרוטור נעזר בנוסחא:

לאחר שחושבה החליקה החדשה נציב בנוסחא לקבלת המהירות החדשה

$$n_{2'} = n_1 \cdot (1 - Sv)$$

חליקה חדשה $Sv =$

מהירות חדשה שמחפשים $n_{2'} =$

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

במידה ומבקשים לחשב את ההספק המתבזבז על הנגדים שנוספו נעזר בנוסחא הנ"ל

אפשרות 4.

כאשר נתון לנו את ערכו של הנגד שנוסף בטור לעוגן RV, וגם נתון שיש שינוי בזרם הרוטור $I_{2'}$ ומבקשים לחשב מהירות חדשה $n_{2'}$ נעזר בנוסחא הנ"ל לחישוב החליקה החדשה SV:

$$RV = R2 \cdot \left[\frac{I_{2n}}{I_{2'}} \cdot \frac{Sv}{Sn} - 1 \right]$$

זרם נקוב בסליל הרוטור $I_{2n} =$

זרם חדש בסלילי הרוטור $I_{2'} =$

חליקה חדשה $Sv =$

חליקה נקובה $Sn =$

נגד שנוסף בטור לעוגן $RV =$

התנגדות סלילי הרוטור $R2 =$

בעזרת הנוסחא הנ"ל נחשב את המהירות החדשה $n_{2'}$

$$n_{2'} = n_1 \cdot (1 - Sv)$$

חליקה חדשה $Sv =$

מהירות חדשה $n_{2'} =$

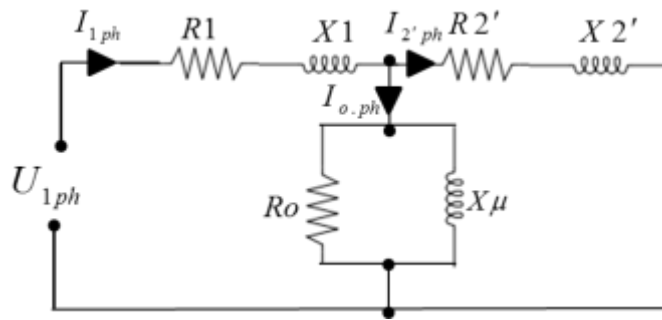
במידה ומבקשים לחשב הספק על הנגדים יש להשתמש בזרם הרוטור החדש $I_{2'ph}$

$$\Delta P_{RV} = I_{2'ph}^2 \cdot 3 \cdot RV$$

חישוב הספק על הנגדים RV

פתרון שבלוני: כאשר נתונים בשאלה ערכים של מרכיבי התמורה:

$$R1 = \quad R2' = \quad X1 = \quad X2' =$$



מעגל התמורה יראה כך:

חישוב עכבת המעגל כאשר "ניתן להתעלם ממעגל המיגנוט"

(לבצע במחשבון במצב מוד 2, הזווית שתתקבל עם העכבה היא מקדם ההספק של המנוע)

$$\vec{Z}_T = \left(R1 + \frac{R2'}{S} \right) + (X1 + X2')j$$

$\vec{Z}_T$ = עכבה כוללת של המנוע

$R1$ = התנגדות סלילי הסטטור

$\frac{R2'}{S}$ = התנגדות כללית משוקפת של הרוטור
(כולל ההתנגדות של העומס המכני)

$X1$ = היגב הסטטור

$X2'$ = היגב משוקף של הרוטור

חישוב זרמי המנוע:

$$I_{1ph} = I_{2ph'} = \frac{U_{1ph}}{|Z_T|}$$

I_{1ph} = זרם פאזי בכניסה למנוע

$I_{2ph'}$ = זרם פאזי משוקף (תג) ברוטור

U_{1ph} = מתח פאזי בכניסה למנוע

$|Z_T|$ = עכבת המנוע (גודל בלבד)

$$\Delta P_{cu2} = I_{2ph'}^2 \cdot R2' \cdot 3$$

ΔP_{cu2} = איבודי הספק ברוטור

$R2'$ = התנגדות משוקפת (תג) סלילי הרוטור

$I_{2ph'}^2$ = זרם פאזי משוקף (תג) ברוטור
בריבוע

$$\Delta P_{cu1} = I_{1ph}^2 \cdot R1 \cdot 3$$

ΔP_{cu1} = איבודי הספק בסטטור

$R1$ = התנגדות הסלילים בסטטור

I_{1ph}^2 = זרם פאזי בסטטור **בריבוע**

$$I_{1Start\ ph} = \frac{U_{ph1}}{\sqrt{(R1 + R2')^2 + (X1 + X2')^2}}$$

כאשר מבקשים לחשב זרם התנעה במוליכי הקו

פתרון שבלוני: כאשר נתון שהפסדי המגנוט זניחים או ניתן להזניח את ענף המגנוט

ניתן לומר ש: $\Delta P_{fe} = 0$
 שלבי פתרון לתרגיל מסוג זה

הנתונים בשאלה:

U_{1n}	$P_2 = P_n$	η_n	$\cos \varphi_n$	P	F	E_{2o}	R_2
----------	-------------	----------	------------------	-----	-----	----------	-------

נתון בשאלה: הפסדים מכניים זניחים $P_2 = P_{mech}$

א. חשב את: תדר זרמי הרוטור, מהירות המנוע

n_{2n}	F_{2n}
----------	----------

שלבי פתרון:

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

חישוב הספק חשמלי נקוב של המנוע

$$I_{1.Line} = \frac{P_1}{U_1 \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}$$

חישוב זרם נקוב בכניסה למנוע:

$$I_{2.ph} = \frac{U_{1ph} \cdot I_{1ph}}{E_{2ph}}$$

חישוב זרם נקוב ברוטור
לשים לב שהכל בפאזי

$$\Delta P_{cu2n} = I_{2ph}^2 \cdot R_2 \cdot 3$$

חישוב הספק בסלילי הרוטור:
לשים לב לזרם בריבוע

$$P_{em} = \Delta P_{cu2n} + P_2$$

חישוב הספק אלקטרו מגנטי נקוב:

$$S_n = \frac{\Delta P_{cu2n}}{P_{em}}$$

חישוב חליקה נקובה:

$$n_{1n} = \frac{F_1 \cdot 60}{P}$$

חישוב מהירות נקובה בסטטור n_1

$$n_{2n} = n_{1n} \cdot (1 - S_n)$$

חישוב מהירות נקובה של המנוע:

$$F_{2n} = F_1 \cdot S_n$$

חישוב תדר ברוטור:

פתרון שבלוני: שינוי מתח הזנה או תדר הזנה והשפעתם על המהירות

כאשר משנים תדר הזנה יש לשנות גם את מתח ההזנה ולהפך!
מה שיגרום לשינוי מהירות בסטטור, וכתוצאה ישירה גם למהירות ברוטור
מצ"ב נוסחאות לפתרון שאלות מסוג זה:

(דוגמא המתאימה לחישוב מתח ההזנה כאשר נתונה לנו מהירות סטטור חדשה)

$$n_1 = \frac{n_2'}{1-S}$$

n_1 = המהירות הנתונה בשאלה

S = החליקה הנתונה בשאלה

n_2' = המהירות של הסטטור החדשה

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

F_1' נחשב תדר חדש
בעזרת מהירות הסטטור החדשה

במידה ולא צויין בשאלה "לשמור על הספק נקוב"
נציין בתשובה: **"אני מניח שלא צריך לשמור על הספק נקוב"**
נחלץ את הנתון החסר בעזרת הנוסחא:

$$U_1' = \frac{F_1' \cdot U_{1n}}{F_{1n}}$$

U_1' = מתח לא נקוב

F_1' = תדר לא נקוב

U_{1n} = מתח נקוב

F_{1n} = תדר נקוב

במידה ומצוין לשמור על הספק נקוב נעזר בנוסחא:

$$\frac{U_1'}{U_{1n}} = \sqrt{\frac{F_1'}{F_{1n}}}$$

כאשר נתון תדר חדש ומבקשים מתח הזנה חדש (יעיל מרבית)

$$U_1' = \frac{F_1' \cdot U_{1n}}{F_{1n}}$$

חישוב מתח הזנה חדש

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

לחישוב מהירות סטטור חדשה

$$n_2' = n_1' \cdot (1-S)$$

לחישוב מהירות רוטור חדשה
מהירות ציר גל המנוע

פתרון שבלוני: כאשר נותנים מתח הזנה חדש ושואלים אם ניתן לחבר את המנוע
 שיעבוד בתנאים נקובים למתח זה?
 במידה וכן מה צורת החיבור ?

א. לחשב מהו הזרם הפאזי במנוע כאשר הוא מוזן במתח המקורי

$$I_n = \frac{P_1}{U_n \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{ph} = I_n$$

במידה והמנוע
 בחיבור כוכב

$$I_{ph} = \frac{I_n}{\sqrt{3}}$$

במידה והמנוע
 בחיבור משולש

הזרם הפאזי שחושב הוא הזרם שמותר שיזרום בסלילי הסטטור.

ב. נחשב את הזרם שיזרום בסלילי הסטטור I_n כאשר נחבר את המתח החדש U'
 בחיבור כוכב.

$$I_n = I_{ph} = \frac{P_1}{U' \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}$$

ג. נחשב את הזרם שיזרום בסלילי הסטטור I_n כאשר נחבר את המתח החדש U'
 בחיבור משולש.

$$I_n = \frac{P_1}{U' \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{ph} = \frac{I_n}{\sqrt{3}}$$

נחשב את הזרם הפאזי
 שיזרום בסלילי הסטטור

כעת נבדוק מהו החיבור (כוכב או משולש) שבו הזרם הפאזי
 שווה ערך לזרם הפאזי הנקוב של המנוע.

בחיבור זה המנוע יכול לעבוד בתנאים נקובים!

פתרון שבלוני: ביצוע ניסוי למנוע \ סיבוב המנוע נגד כיוונו

כאשר נתון בשאלה כי סובבו את הרוטור בניגוד לכיוונו, ונדרש לחשב את התדר הנקוב והתנגדות מעגל הרוטור, נעזר בנוסחא:

לשים לב לנתונים הפאזים

$$\frac{E_{2o}ph'}{E_{2o}ph_n} = \frac{F_{1'}}{F_{1n}} \quad E_{2o}ph' = \text{מתח פאזי בין טבעות החלקה \textbackslash} \text{כא"מ בלום בניסוי}$$

$$E_{2o}ph = \text{מתח פאזי בין טבעות החלקה \textbackslash} \text{כא"מ בלום נקוב}$$

$$F_{1'} = \text{תדר העבודה בזמן הניסוי}$$

$$F_{1n} = \text{תדר העבודה הנקוב}$$

$$R2 = \frac{\Delta P_{cu2n}}{I_{2ph_n}^2 \cdot 3} \quad \text{חישוב התנגדות מעגל הרוטור כדאי דרך הנוסחא: הנ"ל:}$$

$$Pem_n = \frac{P_{mech}}{1 - S_n} \quad \text{במידה ולא נתון לנו את הספק איבודי הנחושת, נחשב הספק אלקטרו מגנטי}$$

$$\Delta P_{cu2n} = Pem_n - P_{mech} \quad \text{נחסיר הספק אלקטרו מגנטי מהספק מכני}$$

כאשר מבקשים לחשב את גודל מומנט ההתנעה ככפולה של המומנט הנקוב.

$$\frac{M_{Start}}{M_n} \quad \text{יש לבצע את החישוב הבא:}$$

$$M_n = \frac{P_2 \cdot 9.55}{n_{n2}} \quad \text{נחשב את המומנט הנקוב:}$$

$$\frac{MK}{M_n} = \text{במידה ובשאלה נתון היחס בין המומנט הנקוב לקריטי}$$

נעזר ביחס הנ"ל לחישוב החליקה הקריטית SK

$$SK = \frac{MK}{M_n} \cdot S_n \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{MK}{M_n} \right)^2} \right]$$

בעזרת הנוסחא נחשב מומנט התנעה:

$$M_{Start} = \frac{2 \cdot MK_n}{\frac{SK}{1} + \frac{1}{SK}}$$

$$\frac{M_{Start}}{M_n} = \text{לסיום נבצע את החישוב גודל מומנט ההתנעה ככפולה של המומנט הנקוב:}$$

פתרון שבלוני ביצוע ניסוי למנוע \ סיבוב המנוע נגד כיוונו (המשך)

כאשר מבקשים לחשב את גודל הנגדים שיש לחבר למעגל הרוטור על מנת לקבל מומנט התנעה הגדול פי כמה מהמומנט הנקוב. החישוב יתבצע על נגד אחד שנוסף לכל סליל משלושת סלילי הרוטור. בתשובה לציין $\left[\frac{\Omega}{ph} \right]$

נחשב את החליקה הקריטית החדשה SK'

$M_{Start'} = \frac{2 \cdot MK_n}{\frac{SK'}{1} + \frac{1}{SK'}}$	$M_{start'}$ = מומנט התנעה חדש SK' = חליקה קריטית לא חדשה (תג) MK_n = מומנט קריטי נקוב לא משתנה עם הוספת נגד
---	--

נחשב את הנגד שהוספנו לכל סליל ברוטור בעזרת הנוסחה:

$RV = \left(\frac{SK' \cdot R2}{SK_n} \right) - R2$	$\left[\frac{\Omega}{ph} \right]$ גודל נגד שיש לחבר בטור לסליל הרוטור RV SK_n = חליקה קריטית נקובה $R2$ = התנגדות סלילי הרוטור SK' = חליקה קריטית חדשה
--	--

כאשר מבקשים לחשב הספק המתבזבז בנגדים שהוספנו בטור לעוגן לצורך הגדלת מומנט ההתנעה.
נעזר בנוסחה:

$\Delta P_V = I_{2ph}^2 \cdot 3 \cdot RV$	ΔP_V = הספק המתבזבז בנגדים I_{2ph}^2 = זרם פאזי נקוב ברוטור בריבוע RV = גודל הנגד שהוספנו $\left[\frac{\Omega}{ph} \right]$
---	--

כאשר מבקשים לחשב את מהירות המנוע לאחר הוספת נגדים להגדלת מומנט ההתנעה, ובתנאי שהמומנט נקוב.
נעזר בנוסחה:

$RV = R2 \cdot \left[\frac{Mn}{Mv} \cdot \frac{Sv}{Sn} - 1 \right]$	RV = ערך נגד שנוסף בטור לעוגן $R2$ = התנגדות סלילי הרוטור
--	--

במידה ונתון שהזרם ברוטור השתנה, אז המומנט חייב להשתנות. לכן נציב זרמים במקום מומנט!

$RV = R2 \cdot \left[\frac{I_{2n}}{I_{2'}} \cdot \frac{Sv}{Sn} - 1 \right]$
--

$\frac{Mn}{Mv}$ = המומנט הזה לכן נמחק

Sv = החליקה החדשה של המנוע

Sn = החליקה הנקובה של המנוע

בעזרת החליקה החדשה שמצאנו נחשב מהירות חדשה:

$n_2' = n_{1n} \cdot (1 - Sv)$

n_2' = מהירות חדשה

Sv = חליקה חדשה

פתרון שבלוני לשאלה (שינוי מהירות)

כאשר נתון לנו בשאלה הנתונים הבאים:

U_n	P_n	I_{1n}	$F_{(Hz)}$	n_n	E_{2o}	I_{2n}	ΔP_{fe1}
-------	-------	----------	------------	-------	----------	----------	------------------

וכתוב לנו: אין איבודי אנרגיה מכנית במנוע ואין איבודי ברזל ברוטור.

נכתוב: $P_n = P_{mech} \quad \Delta P_{add} = 0$

בנוסף כתוב בשאלה: $R1 = R2'$

(ההתנגדות בסטטור שווה להתנגדות המשוקפת ברוטור)

א. מבקשים לחשב את ההספק האלקטרו מגנטי P_{em} שלבי ביצוע:

חישוב מהירות בסטטור n_1 : $n_1 = \frac{F_1 \cdot 60}{p}$ (את מספר זוגות הקטבים אנחנו קובעים)

חישוב חליקה נקובה S_n : $S_n = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

חישוב P_{em} בעזרת הנוסחה

$$P_{em_n} = \frac{P_{mech}}{1 - S_n}$$

מבקשים לחשב הספק חשמלי P_1 שלבי ביצוע:

נחשב איבודי הספק ברוטור: $\Delta P_{cu2_n} = P_{em_n} - P_{mech}$

נחשב את גודלו של $R2$ (לשים לב לזרם הפאזי) $R2 = \frac{\Delta P_{cu2_n}}{I_{2ph_n}^2 \cdot 3}$

נחשב מה ערכו של $R2'$ (לשים לב לנתונים הפאזים) $R2' = R2 \cdot \left(\frac{U_{1ph}}{E_{2_0ph}} \right)^2$

נתון בשאלה: $R1 = R2'$

בעזרת $R1$ נחשב איבודי הספק בסטטור: $\Delta P_{cu1_n} = I_{1ph_n}^2 \cdot 3 \cdot R1$

כעת נחשב את P_1 הספק חשמלי של המנוע:

$$P1 = P_{em} + \Delta P_{fe1} + \Delta P_{cu1}$$

המשך:

פתרון שבלוני לשאלה שינוי מהירות: המשך...

הנתונים בשאלה:

U_n	P_n	I_{1n}	$F_{(Hz)}$	n_n	E_{2o}	I_{2n}	ΔP_{fe1}
-------	-------	----------	------------	-------	----------	----------	------------------

הנתונים שחישבנו בסעיף הקודם:

P_{em}	S_n	$R2$	$R2'$	$R1$	ΔP_{cu1}	ΔP_{cu2}	P_1
----------	-------	------	-------	------	------------------	------------------	-------

בסעיף ב' מבקשים לחשב נצילות:
נעזר בנוסחא:

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

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{U_n \cdot I_{1n} \cdot \sqrt{3}}$$

בנוסף מבקשים מקדם הספק של המנוע, נעזר בנוסחא:

בסעיף ג' משנים מהירות n_2'

וכותבים שהמומנט גדל ב X אחוזים.

(לדוגמא אם המומנט גדל ב 20% נרשום בנוסחא: $M_{n'} = M_n \cdot 1.2$)

מבקשים לחשב איזה נגד (RV) נוסיף בטור לרוטור (על סליל אחד)

שלבי ביצוע:

חישוב חליקה חדשה S_v

$$S_v = \frac{n_1 - n_2'}{n_1}$$

S_v = חליקה חדשה

n_2' = מהירות מנוע חדשה

n_1 = מהירות סטטור נקובה

נציב בנוסחא לחישוב הנגד שהוספנו RV

$$RV = R2 \cdot \left[\frac{Mn}{Mv} \cdot \frac{Sv}{Sn} - 1 \right]$$

הנגד שהוספנו בטור לסליל הרוטור

$R2$ = התנגדות סלילי הרוטור

Mn = מומנט הנקוב של המנוע

Mv = המומנט החדש של המנוע

Sv = החליקה החדשה של המנוע

Sn = החליקה הנקובה של המנוע

ד. מבקשים לחשב הספק פיזור החום הנדרש משלושת הנגדים. (בקיזור חשב את: ΔP_{RV})

$$\Delta P_{RV} = I_{2ph'}^2 \cdot 3 \cdot RV$$

נציב בנוסחא לקבלת ההספק

$$\Delta P_{RV} = I_{2ph'}^2 \cdot (1.2) \cdot 3 \cdot RV$$

(במידה והמומנט גדל ב 20%
גם הזרם גדל ב 20%
לכן נכפיל ב 1.2 לקבלת ההספק)