



**נוסחאון מורחב במכונות חשמל**

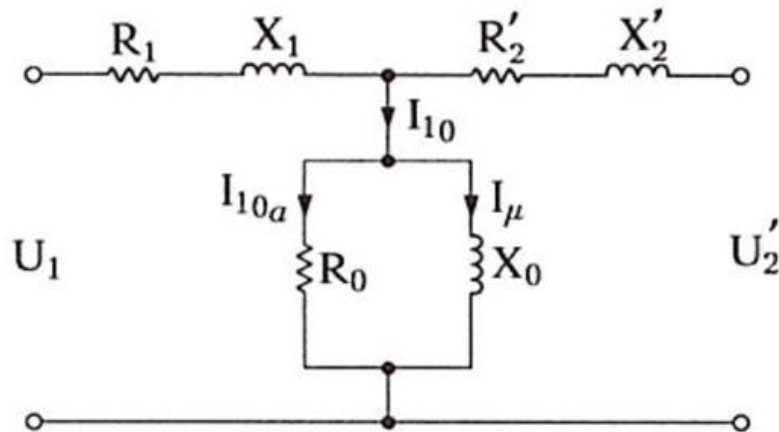
$$1[N.m] = \frac{1}{9.81}[Kg.m]$$

| נוסחה   | תיאור  | גדלים        | יחידות                        |
|---|--|--------------|-------------------------------|
| <b>שנאים חד פאזים</b>   |  |              |                               |
| $E = 4.44 \cdot f \cdot N \cdot \phi_{max}$                                 | כא"מ מושרה אפקטיבי.                                | $E$          | [V]                           |
|   | מספר כריכות.                                       | $N$          | [T]                           |
|   | תדירות.  | $f$          | [Hz]                          |
| $\phi_{max} = B_{max} \cdot A$  |  |              |                               |
| $E_1 = 4.44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \phi_{max}$                             | כא"מ מושרה אפקטיבי בראשוני                         | $E_1$        | [V]                           |
| $E_2 = 4.44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \phi_{max}$                             | כא"מ מושרה אפקטיבי בשניוני                         | $E_2$        | [V]                           |
|   | השטף המגנטי המירבי בגרעין                          | $\phi_{max}$ | [Wb]                          |
|   | השראה מגנטית מירבית.                               | $B_{max}$    | $\left[\frac{Wb}{m^2}\right]$ |
| <b>שנאי אידיאלי</b>   |  |              |                               |
| $K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$ | תמסורת השנאי, מקדם השנאה<br>(transformation ratio) | $K$          |                               |
|   |  | $N_1$        | [T]                           |
|   |  | $N_2$        | [T]                           |
| <b>שנאי מעשי</b>  |  |              |                               |
| $K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$       | תמסורת השנאי, מקדם השנאה<br>(transformation ratio) | $K$          |                               |
| <b>שנאי חד-מופעי</b>  |  |              |                               |
| $S_n = U_n \cdot I_n$   | הספק מדומה נקוב.                                   | $S_n$        | [VA]                          |
|   | מתח נקוב בראשוני.                                  | $U_{1n}$     | [V]                           |
|   | מתח נקוב בשניוני.                                  | $U_{2n}$     | [V]                           |
|   | זרם נקוב בראשוני                                   | $I_{1n}$     | [A]                           |
|   | זרם נקוב בשניוני.                                  | $I_{2n}$     | [A]                           |
| $E_\sigma = I \cdot X$  | כא"מ פיזור.  | $E_\sigma$   | [V]                           |



|   |                                    |       |                               |
|---|------------------------------------|-------|-------------------------------|
| $K = \frac{U_{1ph}}{U_{2ph}} = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}}$ | יחס בין מתחים וזרמים פאזיים.       | $K$   |                               |
|   | יחס תמסורת. (Transformation ratio) | $K$   |                               |
| $A = \frac{\pi d^2}{4}$                                 | שטח חתך המוליך הראשוני.            | $A_1$ | $[mm^2]$                      |
|   | שטח חתך המוליך השניוני             | $A_2$ | $[mm^2]$                      |
| $\frac{A_2}{A_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$                 | יחס שטחי חתך לקוטר המוליך          |       |                               |
| $J = \frac{I}{A}$                                       | זרם בליפוף                         | $I$   | $[A]$                         |
|   | צפיפות זרם.                        | $J$   | $\left[\frac{A}{mm^2}\right]$ |
|   | קוטר המוליך בליפוף הראשוני.        | $d_1$ | $[mm]$                        |
|   | קוטר המוליך בליפוף המשני.          | $d_2$ | $[mm]$                        |

**מעגל תמורה לשנאי**



|   |          |                                |
|---|----------|--------------------------------|
| מתח משני מיוחס לצד ראשוני (המתח המשני משוקף לצד ראשוני).          | $U'_2$   | $[V]$                          |
| המתח בצד הראשוני.   | $U_1$    | $[V]$                          |
| היגב השראתי של שטף הפיזור בליפוף הראשוני.                         | $X_1$    | $[\Omega]$                     |
| היגב השראתי של שטף הפיזור בליפוף המשני.                           | $X_2$    | $[\Omega]$                     |
| היגב השראתי של שטף הפיזור בליפוף המשני מיוחס (משוקף) לצד הראשוני. | $X'_2$   | $[\Omega]$                     |
| השראות הפיזור.  | $L_0$    | $[Hy]$                         |
| תדירות זוויתית.   | $\omega$ | $\left[\frac{rad}{sec}\right]$ |
| התנגדות מייצגת את הפסדי הברזל בשנאי.                              | $R_0$    | $[\Omega]$                     |

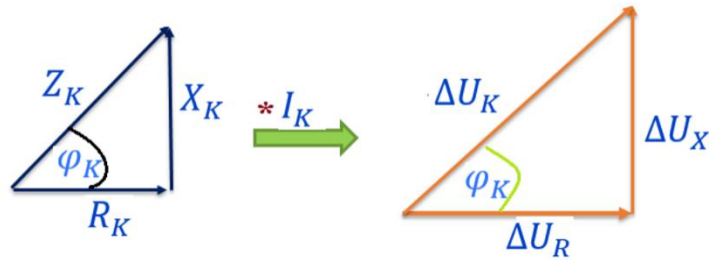
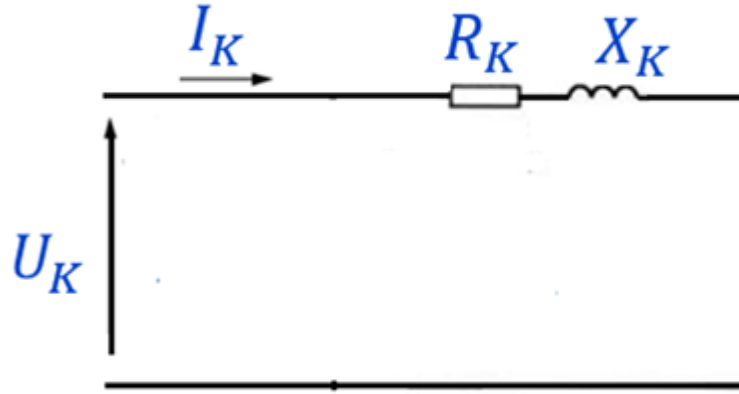


|  |  |                     |            |
|--|--|---------------------|------------|
|  | היגב מייצג את השטף המגנטי בשנאי.                   | $X_0$               | $[\Omega]$ |
|  | התנגדות הסליל הראשוני.                             | $R_1$               | $[\Omega]$ |
|  | התנגדות הסליל השניוני.                             | $R_2$               | $[\Omega]$ |
|  | התנגדות הסליל השניוני מיוחס (משקפת) לצד הראשוני.   | $R'_2$              | $[\Omega]$ |
|  | זרם ריקם בראשוני.                                  | $I_{10}$            | $[A]$      |
|  | זרם ריקם אקטיבי נקרא גם זרם הפסדי ברזל. $(I_{fe})$ | $I_{10a}$           | $[A]$      |
|  | זרם מייגנוט.                                       | $I_\mu$             | $[A]$      |
| <p><b>פעולת שנאי בריקם (ניסוי ריקם)</b></p> <p><math>U_0 = U_{1n}</math><br/>מעגל תמורה בריקם</p> <p>בעזרת ניסוי ריקם מוצאים את הפסדי הברזל ורכיבי ענף המגנוט.</p> |  |                     |            |
| $P_0 = \Delta P_{fe} + \Delta P_{cu10} \approx \Delta P_{fe}$  | הספק יעיל בריקם.                                   | $P_0$               | $[W]$      |
| $\Delta P_{fe} = P_0 = U_{1n} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_{10}$  | הפסדי ברזל.  | $\Delta P_{fe}$     | $[W]$      |
|  | הפסדי נחושת בראשוני בריקם.                         | $\Delta P_{cu10}$   | $[W]$      |
|  | מקדם הספק בראשוני בריקם.                           | $\cos \varphi_{10}$ |            |
| $X_0 = \frac{U_{1n}}{I_\mu} = \frac{U_{1n}^2}{Q_0}$  | היגב מייצג את השטף המגנטי בשנאי.                   | $X_0$               | $[\Omega]$ |
|  | הספק ריאקטיבי בריקם.                               | $Q_0$               | $[VAR]$    |
| $R_0 = \frac{U_{1n}}{I_{10a}} = \frac{U_{1n}^2}{P_0}$  | התנגדות מייצגת את הפסדי הברזל בשנאי.               | $R_0$               | $[\Omega]$ |
| $I_{10a} = \frac{P_0}{U_{1n}} = I_{10} \cdot \cos \varphi_{10}$  | $I_\mu = I_{10} \cdot \sin \varphi_{10}$           |                     |            |



$$I_{10}^2 = I_{10a}^2 + I_{\mu}^2 \quad ; \quad I_{10} = \sqrt{I_{10a}^2 + I_{\mu}^2}$$

**פעולת השנאי בקצר (ניסוי קצר)**  
**מעגל תמורה בקצר**



בעזרת ניסוי קצר מוצאים את הפסדי הנחשת ורכבי הסלילים

**פעולת שנאי בקצר כאשר**

$$U_k = U_{kn}$$

$$\beta_k = 1$$

$$I_{1k} = I_{1n}$$

|   |                                   |                   |     |
|---|-----------------------------------|-------------------|-----|
|   | זרם הקצר.                         | $I_{1k}$          | [A] |
| $\Delta P_{cu1n} = I_{1n}^2 \cdot R_1$                        | הפסדי נחשת בעומס נקוב בצד ראשוני. | $\Delta P_{cu1n}$ | [W] |
| $\Delta P_{cu2n} = I_{2n}^2 \cdot R_2$                        | הפסדי נחשת בעומס נקוב בצד משני.   | $\Delta P_{cu2n}$ | [W] |
| $P_{Kn} = \Delta P_{cun} = \Delta P_{cu1n} + \Delta P_{cu2n}$ | הפסדי נחשת בעומס נקוב.            | $\Delta P_{cun}$  | [W] |
| $P_{Kn} = I_{1n}^2 \cdot R_K$                                 | הספק הקצר של השנאי.               | $P_{Kn}$          | [W] |
| $R_K = R_1 + R_2 \cdot K^2 = R_1 + R_2'$                      | התנגדות הקצר                      | $R_K$             | [Ω] |
| $X_K = X_1 + X_2 \cdot K^2 = X_1 + X_2'$                      | היגב הקצר.                        | $X_K$             | [Ω] |



|   |   |                  |     |
|---|---|------------------|-----|
| $Z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1K}} = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \frac{U_{1nk}}{I_{1n}}$                             | עכבת הקצר.  | $Z_K$            | [Ω] |
| $\cos \varphi_k = \frac{P_K}{U_K \cdot I_K} = \frac{P_{Kn}}{U_{Kn} \cdot I_{1n}}$                         | מקדם ההספק בקצר.  | $\cos \varphi_k$ |     |
| $U_{Kn} \% = \frac{U_{Kn}}{U_{1n}} \cdot 100$   | מתח הקצר באחוזים.   | $U_{Kn} \%$      |     |
|   | מתח הקצר נקוב.  | $U_{Kn}$         | [V] |
| $X_1 = X_2 = \frac{X_K}{2} ; R_1 = R_2 = \frac{R_K}{2}$   | מקובל להניח:  |                  |     |
| $P_K = U_K \cdot I_K \cdot \cos \varphi_K = P_{Kn} = U_{Kn} \cdot I_{1n} \cdot \cos \varphi_{Kn}$         |   |                  |     |
| <b>פעולת השנאי בקצר כאשר</b>  |   |                  |     |
| $U_K \neq U_{Kn}$   | $I_K \neq I_{1n}$   | $\beta_k \neq 1$ |     |
|   | מקדם העמסה הקצר.  | $\beta_K$        |     |
| $P_k = \Delta P_{cu1} + \Delta P_{cu2} = \Delta P_{cu} = U_K \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k$              |   |                  |     |
| $\Delta P_{cu1} = I_{1k}^2 \cdot R_1$   | $\Delta P_{cu2} = I_{2k}^2 \cdot R_2$   |                  |     |
| $\beta_k = \frac{I_{1k}}{I_{1n}}$   | $\Delta P_{cu} = \beta_k^2 \cdot \Delta P_{cun} = \beta_k^2 \cdot P_{kn}$       |                  |     |
| $\Delta P_{cun} = I_{1n}^2 \cdot R_1 + I_{2n}^2 \cdot R_2 = I_{1n}^2 \cdot R_k = \Delta P_{cun} = P_{kn}$ |   |                  |     |
| $U_k \% = \frac{U_k}{U_{1n}} \cdot 100$   | $U_{kn} \% = \frac{U_{kn}}{U_{1n}} \cdot 100$                                   |                  |     |
| $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$  | $U_k \% = U_{kn} \% \cdot \beta_k ; U_k = U_{kn} \cdot \beta_k$                 |                  |     |
| $Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{U_{kn}}{I_{1n}}$   | $U_{Rk} \% = U_{Rkn} \% \cdot \beta_k$  |                  |     |
| $R_k = \frac{\Delta P_{cu}}{I_k^2} = \frac{P_k}{I_k^2}$   | $U_{Xk} \% = U_{Xkn} \% \cdot \beta_k$  |                  |     |
| $\cos \varphi_k = \frac{P_k}{I_k \cdot U_k} = \frac{\Delta P_{cu}}{I_k \cdot U_k}$                        | $P_k = \Delta P_{cu} = \beta_k^2 \cdot \Delta P_{cun} = \beta_k^2 \cdot P_{kn}$ |                  |     |



|  |   |                   |     |
|--|---|-------------------|-----|
| $U_k = I_k \cdot Z_k$  | $U_k \% = \frac{U_k}{U_{1n}} \cdot 100$   |                   |     |
| $U_{Rk} = I_k \cdot R_k$   | $U_{Rk} \% = \frac{U_{Rk}}{U_{1n}} \cdot 100 = \frac{\Delta P_{cu}}{S} \cdot 100$ |                   |     |
| $U_{Xk} = I_k \cdot X_k$   | $U_{Xk} \% = \frac{U_{Xk}}{U_{1n}} \cdot 100$                                     |                   |     |
| <b>מפלי מתח ומתחי עבודה בשנאי</b>  |   |                   |     |
| $U_{Rkn} \% = \frac{\Delta P_{cun}}{S_n} \cdot 100$<br>$U_{Rkn} \% = \frac{I_{1n} \cdot R_K}{U_{1n}} \cdot 100$  | מפל מתח התנגדותי נומינלי בקצר באחוזים.  | $U_{Rkn} \%$      |     |
| $U_{Xkn} \% = \frac{I_{1n} \cdot X_K}{U_{1n}} \cdot 100$   | מפל מתח היגבי נומינלי בקצר באחוזים.   | $U_{Xkn} \%$      |     |
| $U_{Kn} \% = \sqrt{(U_{Rkn} \%)^2 + (U_{Xkn} \%)^2}$   | מפל מתח נומינלי בקצר באחוזים.   | $U_{Kn} \%$       |     |
| $\Delta U_n \% = \beta \cdot (U_{Rkn} \% \cos \varphi_2 \pm U_{Xkn} \% \sin \varphi_2)$  | + צרכן השראתי.<br>- צרכן קיבולי.  |                   |     |
|  | מפל מתח כללי.   | $\Delta U \%$     |     |
| $\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{I_1}{I_{1n}} = \frac{I_2}{I_{2n}}$  | מקדם העמסה.   | $\beta$           |     |
|  | מקדם ההספק של הצרכן.  | $\cos \varphi_2$  |     |
| $U_2 = U_{20} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U \%}{100}\right)$  | המתח בצד מדני..   | $U_2$             | [V] |
| $U_2 = U_{20} \cdot \left[1 - \beta \cdot \frac{U_{Kn} \%}{100} \cdot \cos(\varphi_k - \varphi_2)\right]$  |   | $U_{20} = U_{2n}$ |     |
|  | מפל מתח כללי נקוב.  | $\Delta U_n \%$   |     |
| <b>נצילות השנאי</b>  |   |                   |     |
|  | נצילות השנאי בכל עומס   | $\eta$            |     |
| $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{fe} + \Delta P_{cu}}$   |   |                   |     |
| $\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{fe} + \beta^2 \cdot \Delta P_{cun}}$  |   |                   |     |
| $\eta_{max} = \frac{\beta_{\eta_{max}} \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta_{\eta_{max}} \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{fe} + \beta_{\eta_{max}}^2 \cdot \Delta P_{cun}}$ | נצילות מקסימלית   |                   |     |



|   |   |   |      |
|---|---|---|------|
| $\beta_{\eta_{max}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{fe}}{\Delta P_{cun}}}$                                    | מקדם העמסה בו הנצילות היא מקסימלית.               | $\beta_{\eta_{max}}$                                  |      |
| <b>שנאי עצמי</b>  |   |   |      |
| $K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$   | תמסורת השנאי, מקדם השנאה . (transformation ratio) | $K$   |      |
| $S = U_2 \cdot I_2 = U_2 \cdot I_1 + U_2(I_2 - I_1)$  | הספק מדומה.                                       | $S$   | [VA] |
| $S = \frac{U_1 \cdot I_1}{K} + \frac{U_1 \cdot I_1}{K} \cdot (K - 1)$                                 |   |   |      |
| <p style="text-align: center;">שנאי עצמי מוריד מתח</p>  |   | <p style="text-align: center;">שנאי עצמי מעלה מתח</p> |      |
| <b>שנאים תלת פאזים</b>  |   |   |      |
| <u>שנאי אידיאלי תלת פאזי:</u>   |   |   |      |
| $\Delta P_{fe} = \Delta P_{cu} = 0$   |   |   |      |
| $\eta = 1$  | $E_{1n} = U_{1n}$                                 | $E_{2n} = U_{2n}$                                     |      |
| $\eta\% = 100\%$  | $P_1 = P_2$                                       |   |      |
| $K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_{1nph}}{E_{2nph}} = \frac{U_{1ph}}{U_{2ph}} = \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}}$ |   |   |      |
| $I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}}$  |   | $U_{1n} = U_{1L}$                                     |      |
| $I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2n}}$  |   | $U_{2n} = U_{2L}$                                     |      |
| $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1n} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$  |   | $I_{1n} = I_{1L}$                                     |      |



|  |  |  |                              |
|--|--|--|------------------------------|
| $P_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2n} \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$   |  | $I_{2n} = I_{2L}$                            |                              |
| <b>שנאי מעשי תלת פאזי:</b>   |  |  |                              |
| $\Delta P_{fe} \neq 0 ; \Delta P_{cu} \neq 0 ; \eta < 1$   |  |  |                              |
| $K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_{1ph}}{E_{2ph}} \cong \frac{U_{1nph}}{U_{2nph}}$  | $P_1 \neq P_2$   |  |                              |
| $I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}}$   | $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1n} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$                                 |  |                              |
| $I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2n}}$   | $P_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$                                    |  |                              |
| <b>ניסוי בריקם למציאת הפסדי הברזל בשנאי תלת פאזי</b>   |  |  |                              |
| $P_0 = \Delta P_{fe}$  |  |  |                              |
| $P_0 = \sqrt{3} \cdot U_{1n} \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 \cong \Delta P_{fe}$                                       |  |  |                              |
| $I_{10} = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_0}$  | זרם הריקם השלוב.   | $I_{10}$                                     | [A]                          |
| $I_{a0ph} = \frac{U_{1nph}}{R_0}$  | $I_{\mu ph} = \frac{U_{1nph}}{X_0}$  |  |                              |
| $I_{10ph} = \sqrt{I_{a0ph}^2 + I_{\mu ph}^2}$  |  |  |                              |
| $I_{a0ph} = I_{10ph} \cdot \cos \varphi_0$   |  | $I_{\mu ph} = I_{10ph} \cdot \sin \varphi_0$ |                              |
| <b>ניסוי בקצר למציאת הפסדי נחושת בשנאי תלת פאזי כאשר:</b>  |  |  |                              |
| $I_k = I_{Kn} = I_{1n} ; \beta_k = 1 ;$<br>$I_{kph} = I_{Knph} = I_{1nph} ; P_k = \Delta P_{cun} ; U_{kph} = U_{knph}$ |  |  |                              |
| $P_{kn} = \sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k = 3 \cdot I_{kph}^2 \cdot R_k = \Delta P_{cun}$            |  |  |                              |
| $Z_k = \frac{U_{kph}}{I_{kph}} = \frac{U_{knph}}{I_{knph}}$  | $R_k = \frac{\Delta P_{cu}}{3 \cdot I_{1kph}^2} = \frac{\Delta P_{cun}}{3 \cdot I_{1kph}^2}$ |  | $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$ |
|  |  | מתח הקצר השלוב.                              | $U_k$ [V]                    |
|  |  | זרם הקצר השלוב.                              | $I_k$ [A]                    |





| <b><u>מציאת מתח משני בכל עומס בשנאי תלת פאזי</u></b>  |  |                |
|---|--|----------------|
| $U_{2L} = U_{2n} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_L \%}{100}\right)$  |  |                |
| $\Delta U_L = \sqrt{3} \cdot \frac{I_{1nph}}{U_{1nph}} \cdot (R_k \cos \varphi_2 \pm X_k \sin \varphi_2)$             | + צרכן השראתי<br>- צרכן קיבולי   |                |
| $\Delta U_L \% = \Delta U_L \cdot 100$  |  |                |
| <b><u>ניסוי בקצר למציאת הפסדי נחושת בשנאי תלת פאזי כאשר:</u></b>  |  |                |
| $I_k \neq I_{1n} \quad I_{kph} \neq I_{1nph} \quad U_k \neq U_{kn} \quad \beta_k = \frac{I_{1k}}{I_{1n}}$             |  |                |
| $P_k = \Delta P_{cu} = \sqrt{3} \cdot U_{1k} \cdot I_{1k} \cdot \cos \varphi_k$                                       |  |                |
| $Z_k = \frac{U_{kph}}{I_{1kph}} = \frac{U_{knph}}{I_{1nph}}$  | $R_k = \frac{\Delta P_{cu}}{3 \cdot I_{1kph}^2} = \frac{\Delta P_{cun}}{3 \cdot I_{1kph}^2}$ |                |
| $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$  | $\beta_k = \left(\frac{I_{1kph}}{I_{1nph}}\right) = \frac{I_{1k}}{I_{1n}}$                   |                |
| $\Delta P_{cu} = \beta_k^2 \cdot \Delta P_{cun}$  | $\Delta P_{cun} = \frac{\Delta P_{cu}}{\beta_k^2}$   |                |
|   | זרם שלוב בקצר בראשוני.   | $I_{1k}$ [A]   |
|   | זרם שלוב בנומינלי בראשוני.   | $I_{1n}$ [A]   |
|   | זרם קצר פאזי בראשוני.  | $I_{1kph}$ [A] |
|   | זרם פאזי נומינלי בראשוני.  | $I_{1nph}$ [A] |
| <b><u>מציאת מתח משני בכל עומס בשנאי תלת פאזי</u></b>  |  |                |
|   | מתח שלוב נומינלי במשני.  | $U_{2n}$ [V]   |
| $U_{2L} = U_{2n} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_L \%}{100}\right)$  | $U_{rkn} \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{1nph}}{U_{1nph}} \cdot R_k \cdot 100$                  |                |
| $\beta = \frac{I_1}{I_{1n}} = \frac{S}{S_n}$  | $U_{xkn} \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{1nph}}{U_{1nph}} \cdot X_k \cdot 100$                  |                |
| $\Delta U_L = \sqrt{3} \cdot \beta \cdot \frac{I_{1nph}}{U_{1nph}} \cdot (R_k \cos \varphi_2 \pm X_k \sin \varphi_2)$ |  |                |



| <b><u>נצילות השנאי התלת פאזי:</u></b>  |  |  |                      |
|--|--|--|----------------------|
| $\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{fe} + \beta^2 \cdot \Delta P_{cun}}$  |  | $\eta = \frac{P_2}{P_1}$               |                      |
| $\Delta P_{fe} = P_0$  |  |  |                      |
| $I_{kn} = I_{1n}$  |  | $\Delta P_{cun} = P_{kn}$              |                      |
| הפסדי נחושת נומינליים בעבודה.  |  |  | $P_{kn}$             |
| $\eta_{max} = \frac{\beta_{\eta_{max}} \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2}{\beta_{\eta_{max}} \cdot S_n \cdot \cos \varphi_2 + \Delta P_{fe} + \beta_{\eta_{max}}^2 \cdot \Delta P_{cun}}$ נצילות מקסימלית |  |  |                      |
| $\beta_{\eta_{max}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{fe}}{\Delta P_{cun}}}$   |  | מקדם העמסה בו נצילות השנאי מקסימלית.   | $\beta_{\eta_{max}}$ |
| $P_1 = P_2 + \Delta P_{fe} + \Delta P_{cun}$   |  |  |                      |
| $\Delta P_{cun} = 3 \cdot I_{1nph}^2 \cdot R_1 + 3 \cdot I_{2nph}^2 \cdot R_2 = 3 \cdot I_{1nph}^2 \cdot R_k$  |  |  |                      |
| <b>שנאים במקביל</b>  |  |  |                      |
| $\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{S_{nI}}{S_{nII}} = \frac{U_{kII} \%}{U_{kI} \%}$   |  | הספק מדומה של שנאי I –                 | $S_I$ [VA]           |
| $\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{Z_{kII}}{Z_{kI}}$  |  | הספק מדומה של שנאי II –                | $S_{II}$ [VA]        |
| $S_A = \frac{S_1}{\sum_{m=1}^n \left( \frac{S_{nm}}{U_{km} \%} \right)} \cdot \frac{S_{nA}}{U_{kA} \%}$  |  | הספק מדומה ששנאי כלשהו-A מוסר לצרכנים. | $S_A$ [VA]           |
|  |  | אינדקס – מתייחס לשנאי כלשהו            | $m$                  |
|  |  | אינדקס – מספר השנאים המחוברים במקביל.  | $n$                  |
| <b>שני שנאים במקביל</b>  |  |  |                      |



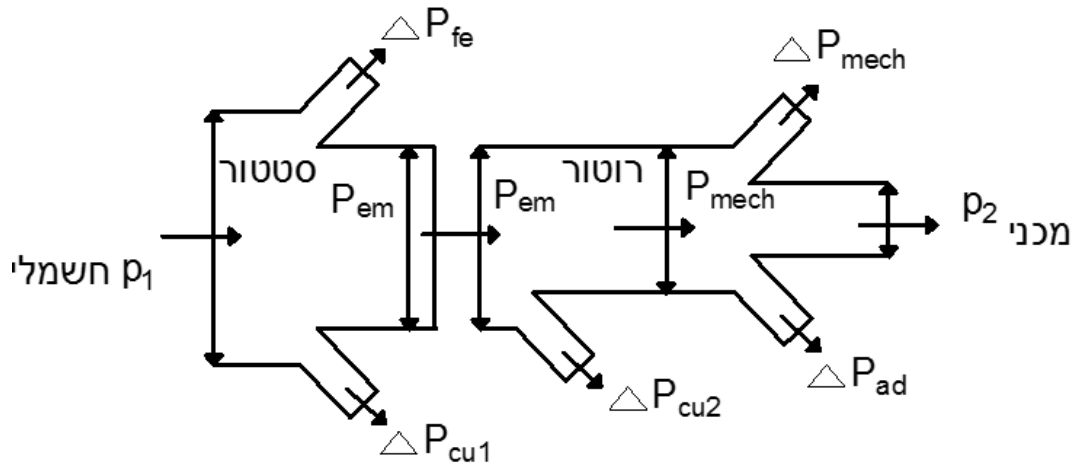
|   |   |            |  |
|---|---|------------|--|
| $S_t = S_1 + S_2$   | הספק מדומה נקוב של שנאי כלשהו - m                           | $S_{nm}$   | [VA]   |
|   | ההספק המדומה שמספקים כל השנאים יחד לצרכן                    | $S_t$      | [VA]   |
| <b>מנוע השראתי תלת-מופעי</b>                                    |   |            |  |
| $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$                                  | מהירות השדה המסתובב.  | $n_1$      | [rpm]  |
| $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$                                     | חליקה   | $s$        |  |
|   | תדירות הרשת   | $f_1$      | [Hz]   |
| $n_2 = n_1(1 - s)$  | מהירות הרוטור.  | $n_2$      | [rpm]  |
|   | מהירות זוויתית.   | $\omega$   | $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}}\right]$ |
| $\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60}$                   | מהירות זוויתית הדשה המגנטי.                                 | $\omega_1$ | $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}}\right]$ |
| $\omega_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_2}{60}$                   | מהירות זוויתית של הרטור.                                    | $\omega_2$ | $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}}\right]$ |
| $f_2 = f_1 \cdot s$   | תדירות זרמי הרוטור.   | $f_2$      | [Hz]   |
|   | מספר זוגות הקטבים.  | $p$        |  |
| $E_{2sph} = E_{20ph} \cdot s$                                   |   |            |  |
| $E_{1ph} = 4.44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \Phi_{max} \cdot K_1$ |   |            |  |
| $E_{20ph} = 4.44 \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot \Phi_{max} K_2$      |   |            |  |
|   | כא"מ מושרה בסלילי ברוטור למופע. במצב הרוטור בתנועה סיבובית. | $E_{2sph}$ | [V]  |
|   | כא"מ מושרה בסלילי ברוטור למופע. במצב מעגל הרוטור פתוח.      | $E_{20ph}$ | [V]  |
|   | כא"מ מושרה לפאזה בסלילי הסטטור.                             | $E_{1ph}$  | [V]  |
|   | מספר הכריכות לפאזה בסלילי הרוטור.                           | $N_2$      | [T]  |



|   |  |                        |
|---|--|------------------------|
| מספר הכריכות לפאזה בסלילי הסטטור.   | $N_1$  | [T]                    |
| מקדם הליפוף של סלילי הסטטור מוערך ב 0.98  | $K_1$  |                        |
| מקדם הליפוף של סלילי הרוטור מוערך בין 0.97 – 0.98                               | $K_2$  |                        |
| <b>זרמים במנוע השראה</b>  |  |                        |
| $I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1}$                     | זרם קווי בסטטור.                                     | $I_1$ [A]              |
| $I_{2ph} = \frac{E_{20ph}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{20}^2}}$     | זרם ברוטור למופע.                                    | $I_{2ph}$ [A]          |
| $I'_{2ph} = \frac{U_{1ph}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_T^2}}$ |  |                        |
| $X_t = X_1 + X'_{20}$   |  |                        |
| $U_L = \sqrt{3} \cdot U_{ph} \quad I_L = I_{ph}$                                | בכוכב.   |                        |
| $U_L = U_{ph} \quad I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph}$                                | במשולש.  |                        |
|   | גורם הספק.   | $\cos \varphi_1$       |
|   | זרם שלוב בסלילי הסטטור..                             | $I_{1L}$ [A]           |
|   | זרם שלוב בסלילי הסטטור בריקם.                        | $I_{1L0}$ [A]          |
| $U_n = U_1 = U_L$   | מתח שלוב בכניסה למנוע..                              | $U_L$ [V]              |
|   | התנגדות למופע של הרוטור.                             | $R_2$ [ $\Omega$ ]     |
|   | היגב למופע של הרוטור. במצב מעגל הרוטור פתוח ונייח.   | $X_{20}$ [ $\Omega$ ]  |
|   | זרם מופעי ברוטור משוקף לסטטור.                       | $I'_{2ph}$ [A]         |
|   | התנגדות למופע של הרוטור משוקפת לסטטור.               | $R'_2$ [ $\Omega$ ]    |
|   | היגב למופע של הרוטור המשוקף לסטטור כאשר הרוטור נייח. | $X'_{20}$ [ $\Omega$ ] |
|   | היגב למופע כולל.                                     | $X_T$ [ $\Omega$ ]     |



דיאגרמה אנרגטית של מנוע אסינכרוני



$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_{1L} \cdot \cos \varphi_1$$

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_s \quad ; \quad \Delta P_s = \Delta P_{fe} + \Delta P_{cu1}$$

$$\Delta P_{fe} = P_0 - \Delta P_{cu10}$$

$$P_0 = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_{1L0} \cdot \cos \varphi_0$$

$$\Delta P_{cu1} = 3 \cdot I_{1ph}^2 \cdot R_1$$

$$\Delta P_{cu2} = 3 \cdot I_{2ph}'^2 \cdot R_2' = S \cdot P_{em}$$

$$P_{mech} = P_{em} \cdot (1 - s)$$

נצילות המנוע

$$1HP = 736W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad ; \quad \eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad ; \quad \eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \quad ; \quad \eta\% = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \cdot 100$$

$$\Delta P = \Delta P_{cu1} + \Delta P_{cu2} + \Delta P_{fe} + P_{mech} + \Delta P_{add}$$



|  |  |       |      |
|--|--|-------|------|
| נצילות   | $\eta$   |       |      |
| נצילות באחוזים.  | $\eta\%$   |       |      |
| הספק כניסה למנוע הספק חשמלי.   | $P_1$  | [W]   |      |
| הפסדי הספק בנחושת של סלילי הסטטור.   | $\Delta P_{cu1}$   | [W]   |      |
| הפסדי הספק בליבת הסטטור, הפסדי הברזל..   | $\Delta P_{fe}$  | [W]   |      |
| הפסדי הספק כללי בסטטור.  | $\Delta P_s$   | [W]   |      |
| הספק חשמלי / אלקטרומגנטי העובר מהסטטור לרוטור.   | $P_{em}$   | [W]   |      |
| הפסדי הספק בנחושת של סלילי הרוטור.   | $P_{cu2}$  | [W]   |      |
| הספק מכני של המנוע.  | $P_{mech}$   | [W]   |      |
| הפסדי הספק כללי בסטטור.  | $\Delta P_{mech}$  | [W]   |      |
| הספק חשמלי / אלקטרומגנטי העובר מהסטטור לרוטור.   | $\Delta P_{add}$   | [W]   |      |
| הספק יציאה / מכני של המנוע.  | $P_2$  | [W]   |      |
| <b>מומנטים במנוע השראה</b>   |  |       |      |
| בעומס נומינלי $M_2 = M_n = \frac{9.55 \cdot P_2}{n_2}$   | $M_0 = \Delta M_{mech} = \frac{9.55 \cdot \Delta P_{mech}}{n_2}$ |       |      |
| $M_{em} = \frac{9.55 \cdot P_{em}}{n_1}$   | $M_{em} = M_n + M_0$   |       |      |
| $M_{em} = \frac{9.55 \cdot 3 \cdot U_{1ph}^2 \cdot \frac{R_2}{s}}{n_1 \left[ \left( R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X_{20})^2 \right]}$ | $M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$<br>בהתנעה $s = 1$                   |       |      |
| $M_K = \frac{9.55 \cdot 3 \cdot U_{1ph}^2}{2 \cdot n_1 \cdot (X_1 + X_{20})}$  | מומנט קריטי.   | $M_k$ | [Nm] |
| $S_k = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_{20})^2}} \approx \frac{R'_2}{X_1 + X'_{20}}$   | חליקה קריטית.  | $S_k$ |      |
| $M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{S_K}{s} + \frac{s}{S_K}}$  | נוסחת קלאוס  |       |      |



|  |   |            |      |
|--|---|------------|------|
|  | מומנט מכני מיציאה של המנוע בעומס נומינלי .      | $M_2$      | [Nm] |
|  | מומנט נומינלי.                                  | $M_n$      | [Nm] |
|  | מומנט אלקטרומגנטי העובר מהסטטור לרוטור.         | $M_{em}$   | [Nm] |
|  | הפסדי הספק כוללים.                              | $\Delta P$ | [W]  |
|  | מומנט חיכוך.                                    | $M_0$      | [Nm] |
|  | הספק נקוב ביציאה.                               | $P_n$      | [W]  |
| <b>התנעה בכוכב משולש</b>   |   |            |      |
| $I_\gamma = \frac{I_{L\Delta}}{3}$                                     | זרם קוי בחיבור כוכב                             | $I_\gamma$ | [A]  |
|  | זרם קוי בחיבור משולש                            | $I_\Delta$ | [A]  |
| <b>התנעה עם שנאי עצמי</b>  |   |            |      |
| $I = K^2 \cdot I_{קו}$   | מקדם השנאה.                                     | K          |      |
| <b>זרם התנעה</b>   |   |            |      |
| $I'_{2st} = \frac{U_{1ph}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_{20})^2}}$ | זרם ההתנעה ברוטור למופע המיוחס לסטטור.          | $I'_{2st}$ | [A]  |
| <b>ויסות מהירות מנוע השראתי עם רוטור מלופף</b>                         |   |            |      |
| $R = R_2 \cdot \left( \frac{M_n \cdot s}{M \cdot s_n} - 1 \right)$     | התנגדות נוספת במעגל הרוטור לויסות מהירות מנוע . | R          | [Ω]  |
|  | החליקה במהירות: n.                              | s          |      |
|  | מומנט במהירות: n.                               | M          | [Nm] |



### מכונות לזרם ישר

|  |   |            |                   |
|--|---|------------|-------------------|
| $E = K_e \cdot \phi \cdot n$   | הכא"מ המשרה ברוטור.                     | $E$        | [V]               |
|  | מהירות סיבוב הרוטור.                    | $n$        | [rpm]             |
|  | שטף לזוג קטבים.                         | $\Phi$     | [Wb]              |
| $K_e = \frac{2 \cdot p \cdot N}{2 \cdot a \cdot 60} = \frac{p \cdot N}{a \cdot 60}$  | קבוע של כא"מ.                           | $K_e$      |                   |
| $n^*$ מספר המוליכים ברוטור פעילים מגנטית. כאשר ברוטור יש $n$ סלילים ובכל סליל יש $n^*$ כריכות אז מספר המוליכים הפעילים מגנטית יהיה $N = 2 \cdot n \cdot n^*$ |   | $N$        |                   |
| $p = a$  | עבור ליפוף עניבה פשוט:                  |            |                   |
| $a = 1$  | עבור ליפוף גלי פשוט:                    |            |                   |
|  | מספר זוגות הקטבים.                      | $p$        |                   |
|  | מספר הקטבים.                            | $2p$       |                   |
|  | מספר זוגות ענפים מקבילים בליפוף הרוטור. | $a$        |                   |
|  | מספר מסלולי הזרם המקבילים.              | $2a$       |                   |
| $P = U \cdot I$  | הספק חשמלי.                             | $P$        | [V]               |
| $P_{em} = E \cdot I_a$   | הספק אלקטרומגנטי.                       | $P_{em}$   | [W]               |
| $M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{9.55 \cdot P_n}{n_n}$  | מומנט נקוב.                             | $M_n$      | [Nm]              |
| $M = \frac{P}{\omega} = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n}$  | מומנט.                                  | $M$        | [Nm]              |
|  | מהירות זוויתית.                         | $\omega$   | $\frac{rad}{sec}$ |
|  | מהירות זוויתית נומינלית.                | $\omega_n$ | $\frac{rad}{sec}$ |
| $M_{em} = K_m \cdot \phi \cdot I_a$  | מומנט אלקטרומגנטי.                      | $M_{em}$   | [Nm]              |
| $K_m = \frac{2p}{2a} \cdot \frac{N}{2\pi} = \frac{60}{2\pi} \cdot K_e = 9.55 \cdot K_e$  | קבוע של המומנט.                         | $K_m$      | [Nm]              |





| גנרטור לזרם ישר                      |              |     |
|--------------------------------------|--------------|-----|
| מתח על הדקי המכונה.                  | $U$          | [V] |
| מפל מתח על המברשות.                  | $\Delta U_b$ | [V] |
| התנגדות סליל העירור.                 | $R_e$        | [Ω] |
| התנגדות העוגן.                       | $R_a$        | [Ω] |
| התנגדות סליל העירור הטורי.           | $R_{es}$     | [Ω] |
| התנגדות סליל העירור המקבילי.         | $R_{ep}$     | [Ω] |
| גנרטור עירור מקבילי                  |              |     |
| $U = E - I_a \cdot R_a - \Delta U_b$ |              |     |
| $I_a = I + I_e$                      |              |     |
| $I_e = \frac{U}{R_e}$                |              |     |
| $I = \frac{P_2}{U}$                  |              |     |
| גנרטור עירור טורי                    |              |     |
| $U = E - I(R_a + R_e) - \Delta U_b$  |              |     |
| $I_a = I = I_e$                      |              |     |
| $I = \frac{P_2}{U}$                  |              |     |

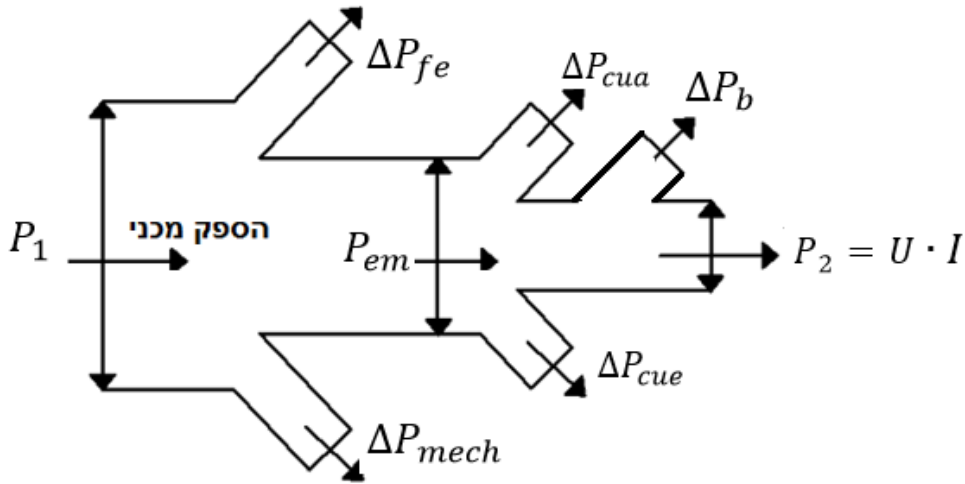


| גנרטור עירור זר                                       |   |
|---|---|
| $U = E - I \cdot R_a - \Delta U_b$                    |   |
| $I_a = I$   |   |
| $R_e = \frac{U_e}{I_e}$                               |   |
| $I = \frac{p_2}{U}$                                   |   |
| גנרטור עירור מעורב ארוך                               |   |
| $U = E - I_a(R_a + R_{es}) - \Delta U_b$              |   |
| $I_a = I_e + I$                                       |   |
| $I_e = \frac{U}{R_{ep}}$                              |   |
| $I = \frac{p_2}{U}$                                   |   |
| $U = E - I_a(R_a + R_{es})$                           | בהזנחת מפל המתח על המברשות $\Delta U_b$ |
| גנרטור עירור מעורב קצר                                |   |
| $U = E - I_a \cdot R_a - I \cdot R_{es} - \Delta U_b$ |   |
| $I_a = I + I_e$                                       |   |
| $I_e = \frac{U'}{R_{ep}}$                             |   |
| $U' = U + I \cdot R_{es}$                             |   |



מפה אנרגטית של גנרטור לזרם ישר.

$$1\text{HP}=736\text{W}$$



$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \quad ; \quad P_1 = P_2 + \Delta P \quad ; \quad P_2 = U \cdot I \quad ; \quad P_{em} = E \cdot I_a$$

|   |                                       |                   |     |
|---|---------------------------------------|-------------------|-----|
| $\Delta P^* = \Delta P_{fe} + \Delta P_{mech} = P_0$      | הפסדי הספק הקבועים של הגנרטור.        | $\Delta P^*$      | [W] |
|   | הפסדי הספק בברזל של הגנרטור.          | $\Delta P_{fe}$   | [W] |
|   | הפסדי הספק מחיכוך של הגנרטור.         | $\Delta P_{mech}$ | [W] |
| $P_{em} = P_2 + \Delta P_{cu} + \Delta P_b = E \cdot I_a$ | הספק חשמלי/אלקטרומגנטי של הגנרטור.    | $P_{em}$          | [W] |
| $\Delta P_{cu} = \Delta P_{cua} + \Delta P_{cue}$         | הפסדי הספק בנחשת הכללים תלויים בעומס. | $P_{cu}$          | [W] |
| $\Delta P_{cua} = I_a^2 \cdot R_a$                        | הפסדי הספק בנחשת של סלילי הרוטור.     | $\Delta P_{cua}$  | [W] |
| $\Delta P_{cue} = I_e^2 \cdot R_e$                        | הפסדי הספק בנחשת של סלילי ההסטור.     | $\Delta P_{cue}$  | [W] |
| $\Delta P_b = \Delta U_b \cdot I_a$                       | הפסדי הספק על המברשות.                | $\Delta P_b$      | [W] |
|   | מפל מתח על המברשות.                   | $\Delta U_b$      | [V] |
| $P_1 = P_{em} + \Delta P^*$                               | הספק כניסה לגנרטור הספק מכני.         | $P_1$             | [W] |
| $P_2 = P_1 - \Delta P$                                    | הספק היציאה/גנרטור החשמלי.            | $P_2$             | [W] |



|   |  |   |               |
|---|--|---|---------------|
| $\Delta P = \Delta P^* + \Delta P_{cu} + \Delta P_b = \Delta P_{fe} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{cu1} + \Delta P_{cu2} + \Delta P_b$ |  |   |               |
| הפסדי הספק הכללים של הגנרטור.   |  | $\Delta P$                                    | [W]           |
| <b>נצילות הגנרטור</b>   |  |   |               |
| $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$  |  | נצילות הגנרטור.                               | $\eta$        |
| $\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{fe} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{cu1} + \Delta P_{cu2} + \Delta P_b}$                             |  |   |               |
| $\eta\% = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \cdot 100$   |  | נצילות הגנרטור באחוזים.                       | $\eta\%$      |
| <b>מומנטים בגנרטור</b>  |  |   |               |
| $M_1 = M_n = \frac{9.55 \cdot P_1}{n_2}$ – בעומס נומינלי  |  | מומנט הכניסה לגנרטור המומנט המניע את הגנרטור. | $M_1$ [Nm]    |
| $M_{em} = K_m \cdot \Phi \cdot I_a$   |  | מומנט חשמלי/אלקטרומגנטי/ מומר של הגנרטור.     | $M_{em}$ [Nm] |
| $K_m = \frac{2p}{2a} \cdot \frac{N}{2\pi}$  |  | קבוע המכונה של המומנט האלקטרומגנטי.           | $K_m$         |
| $p = a$ : עבור ליפוף עניבה פשוט   |  |   |               |
| $a = 1$ : עבור ליפוף גלי פשוט   |  |   |               |
| $M_1 = M_{em} + M_0$  |  | מומנט הכניסה לגנרטור המומנט המניע את הגנרטור. | $M_1$ [Nm]    |
| $M_0 = \Delta M_{mech} = \frac{9.55 \cdot \Delta P_{mech}}{n}$  |  | מומנט החיכוך של הגנרטור.                      | $M_0$ [Nm]    |
| <b><u>מנוע לזרם ישר</u></b>   |  |   |               |
| מתח על הדקי המכונה.   |  | $U$   | [V]           |
| מפל מתח על המברשות.   |  | $\Delta U_b$                                  | [V]           |
| התנגדות סליל העירור.  |  | $R_e$   | [ $\Omega$ ]  |



|   |                              |  |            |
|---|------------------------------|--|------------|
|   | התנגדות העוגן.               | $R_a$  | $[\Omega]$ |
|   | התנגדות סליל העירור הטורי.   | $R_{es}$   | $[\Omega]$ |
|   | התנגדות סליל העירור המקבילי. | $R_{ep}$   | $[\Omega]$ |
| <b>מנוע עירור מקבילי.</b>   |                              |  |            |
| - האינדקסים 1 ו-2 מציינים את הפרמטרים בעומסים שונים.  |                              |  |            |
| $E = U - I_a \cdot R_a - \Delta U_b$  |                              |  |            |
| $\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_2}{E_1}$   |                              |  |            |
| $\frac{M_{em2}}{M_{em1}} = \frac{I_{a2}}{I_{a1}}$ ;<br>$M_{em} = K_m \cdot \Phi \cdot I_a$                      |                              |  |            |
| $I = \frac{P_1}{U}$ ; $I_e = \frac{U}{R_e}$   |                              |  |            |
|   | $I = I_a + I_e$              |  |            |
| עבור ליפוף גלי פשוט: $a = 1$  |                              | עבור ליפוף עניבה פשוט: $p = a$   |            |
| כאשר ברוטור יש n סלילים ובכל סליל יש $n^*$ כריכות אז מספר המולכים הפעילים מגנטית יהיה $N = 2 \cdot n \cdot n^*$ |                              | $K_m = \frac{2p}{2a} \cdot \frac{N}{2\pi}$ קבוע המכונה של המומנט האלקטרומגנטי. |            |
| <b>זרמי התנעה של מנוע מקבילי</b>  |                              |  |            |
| <b><u>בהתנעה ישירה ללא נגד התנעה</u></b>  |                              |  |            |
| $n_{st} = 0 \Rightarrow E_{st} = 0 \Rightarrow I_{ast} = \frac{U}{R_a}$   |                              |  |            |
| אם לא צויין שקיים התנגדות $R_r$ אז ערכו 0.  |                              |  |            |



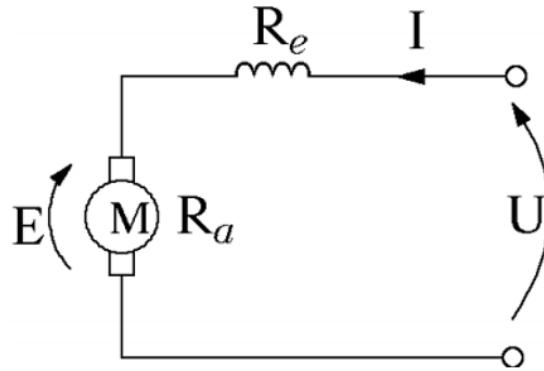
|  |   |             |       |
|--|---|-------------|-------|
| $I_e = \frac{U}{R_e + R_r}$  |   |             |       |
| זרם בסלילי הרוטור בהתנעה ישירה.  |   | $I_{ast}$   | [A]   |
| $I_{st} = I_{ast} + I_e$   | הזרם של המנוע מהתנעה ישירה.   | $I_{st}$    | [A]   |
| הכא"מ המושרה ברוטור בהתנעה.  |   | $E_{st}$    | [V]   |
| מהירות המנוע בתנעה.  |   | $n_{st}$    | [Rpm] |
| התנגדות סלילי הרוטור.  |   | $R_a$       | [Ω]   |
| מתח הזנה למנוע.  |   | $U$         | [V]   |
| <b>התנעה לא ישירה הכוללת נגד התנעה <math>R_{st}</math></b>   |   |             |       |
| $I_{ast}^* = \frac{U}{R_a + R_{st}} \quad \Leftarrow \quad E_{st}^* = 0 \quad \Leftarrow \quad n_{st} = 0$ |   |             |       |
| $R_{st} = \frac{U}{I_{ast}^*} - R_a$   | התנגדות התנעה המחוברת לסלילי הרוטור בטור על מנת להקטין את זרם התנעה ברוטור ואת הזרם הכללי שצורך המנוע מהרשת בהתנעה. | $R_{st}$    | [Ω]   |
| $I_e = \frac{U}{R_r + R_e}$  | הזרם בסלילי הסטטור (סלילי השדה).  | $I_e$       | [A]   |
| התנגדות לוויסות השדה האלקטרומגנטי המחוברת בטור לסלילי הסטטור. אם לא צויין שקיים התנגדות $R_r$ אז ערכו 0.   |   | $R_r$       | [Ω]   |
| $I_{st}^* = I_{ast}^* + I_e$   | זרם המנוע בהתנעה כאשר התנעה אינה ישירה, התנגדות $R_{st}$ מחוברת לסלילי הרוטור בטור.                                 | $I_{ast}^*$ | [A]   |
| הזרם של המנוע מהתנעה לא ישירה.   |   | $I_{st}^*$  |       |



**מנוע עירור טורי**

חישוב המהירות והמומנט בעומס במנוע טורי הם בהזנחת תגובת העוגן ובהנחה שהמנוע לא הגיע לרוויה מגנטית.

$$E = U - I_a(R_a + R_e) - \Delta U_b$$



בתחום העבודה הלינארי :

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{I_{1a}}{I_{2a}}$$

בתחום העבודה הלא לינארי :

$$\Phi_1 \approx \Phi_2$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_2}{E_1}$$

בתחום העבודה הלינארי :

$$I = I_a = I_e$$

$$\frac{M_{em2}}{M_{em1}} = \frac{I_{2a}^2}{I_{1a}^2}$$

בתחום העבודה הלא לינארי :

$$I = \frac{p_1}{U}$$

$$\Phi_1 \approx \Phi_2$$

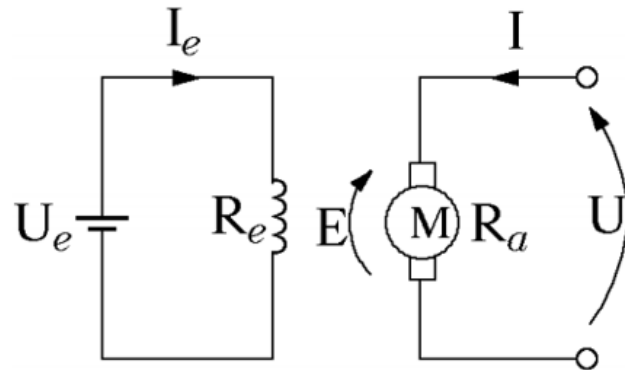
$$\frac{M_{em2}}{M_{em1}} = \frac{I_{2a}}{I_{1a}}$$

**מנוע עירור זר**

$$E = U - I_a \cdot R_a - \Delta U_b$$

$$I_e = \frac{U_e}{R_e}$$

$$I = \frac{p_1}{U}$$



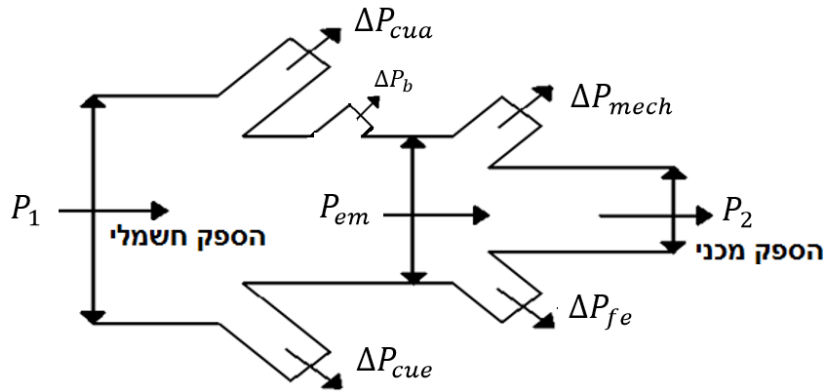
$$I = I_a$$

**מנוע עירור מעורב ארוך**



|   |  |
|---|--|
| $E = U - I_a(R_a + R_{es}) - \Delta U_b$              |  |
| $R_{ep} = \frac{U}{I_e}$                              |  |
| $I = I_a + I_e$                                       |  |
| $I = \frac{P_2}{U}$                                   |  |
| <p>מנוע עירור מעורב קצר</p>                           |  |
| $E = U - I_a \cdot R_a - I \cdot R_{es} - \Delta U_b$ |  |
| $R_{ep} = \frac{U'}{I_e}$                             |  |
| $U' = U - I \cdot R_{es}$                             |  |
| $I = \frac{P_2}{U}$                                   |  |
| <p>מפה אנרגטית של מנוע לזרם ישר<br/>1HP=736W</p>      |  |





– כאשר העומס הינו נומינלי  $P_2 = P_{2n}$

|   |  |                   |     |
|---|--|-------------------|-----|
| $P_1 = U \cdot I$   | הספק כניסה למנוע הספק חשמלי.           | $P_1$             | [W] |
| $P_2 = P_{em} - \Delta P_{fe} - \Delta P_{mech}$  | הספק היציאה/מכני של המנוע.             | $P_2$             | [W] |
| $\Delta P_{cua} = I_a^2 \cdot R_a$  | הפסדי ההספק בנחושת של סלילי הרוטור.    | $\Delta P_{cua}$  | [W] |
| $\Delta P_{cuc} = I_e^2 \cdot R_e = \frac{U_e^2}{R_e}$                                      | הפסדי הספק בנחושת של סלילי הסטטור.     | $\Delta P_{cuc}$  | [W] |
| $\Delta P_b = \Delta U_b \cdot I_a$   | הפסדי הספק על המברשות.                 | $\Delta P_b$      | [W] |
|   | מפל מתח על המברשות.                    | $\Delta U_b$      | [V] |
| $\Delta P_{cu} = \Delta P_{cua} + \Delta P_{cuc} + \Delta P_b$                              | תלויים הפסדי ההספק כללים בנחושת בעומס. | $\Delta P_{cu}$   | [W] |
| $P_{em} = E \cdot I_a$<br>$P_{em} = P_1 - \Delta P_{cua} - \Delta P_{cuc} - \Delta P_b$     | הספק חשמלי/אלקטרומגנטי של המנוע.       | $P_{em}$          | [W] |
| $\Delta P^* = \Delta P_{fe} + \Delta P_{mech}$  | הפסדי הספק הקבועים של המנוע.           | $\Delta P^*$      | [W] |
|   | הפסדי ההספק בברזל של המנוע.            | $\Delta P_{fe}$   | [W] |
|   | הפסדי הספק מחיכוך של המנוע.            | $\Delta P_{mech}$ | [W] |
|   | הפסדים כללים של המנוע.                 | $\Delta P$        | [W] |
| $\Delta P = \Delta P_{fe} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{cua} + \Delta P_{cuc} + \Delta P_b$ |  |                   |     |
| $P_2 = P_1 - \Delta P$  |  |                   |     |



| <b>נצילות במנוע זרם ישר</b>   |   |          |      |
|---|---|----------|------|
| $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1}$   | נצילות<br>המנוע<br>באחוזים                                | $\eta\%$ |      |
| $\eta = \frac{P_1 - (\Delta P_{fe} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{cua} + \Delta P_{cue} + \Delta P_b)}{P_1}$ |   |          |      |
| $\eta\% = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \cdot 100$   |   |          |      |
| <b>מומנטים במנוע זרם ישר</b>  |   |          |      |
| $M_2 = M_n = \frac{9.55 \cdot P_{2n}}{n}$ – בעומס נומינלי   | מומנט היציאה של המנוע<br>$M_2 = M_n$ , כאשר העומס נומינלי | $M_n$    | [Nm] |
| $M_0 = \Delta M_{mech} = \frac{9.55 \cdot \Delta P_{mech}}{n}$  | מומנט החיכוך של המנוע.                                    | $M_0$    | [Nm] |
| $M_{em} = K_m \cdot \Phi \cdot I_a$   | מומנט אלקטרומגנטי של המנוע                                | $M_{em}$ | [Nm] |
| $K_m = \frac{2p}{2a} \cdot \frac{N}{2\pi}$  | קבוע המכונה במומנט<br>האלקטרומגנטי                        | $K_m$    |      |
| עבור ליפוף עניבה פשוט: $p = a$  |   |          |      |
| עבור ליפוף גלי פשוט: $a = 1$  |   |          |      |
| $M_2 = M_{em} - \Delta M_{mech}$  | מומנט היציאה של המנוע.<br>(המומנט על ציר המנוע)           | $M_2$    | [Nm] |
| $M_2 = M_{em} - M_0$  |   |          |      |