

EN-50598 – נצילות ווסתי מהירות ומערכות הנעה

טדי ניקולייבסקי, אילת 2016

נצילות ווסתי מהירות ומערכות הנעה – מה אנחנו יודעים על זה?

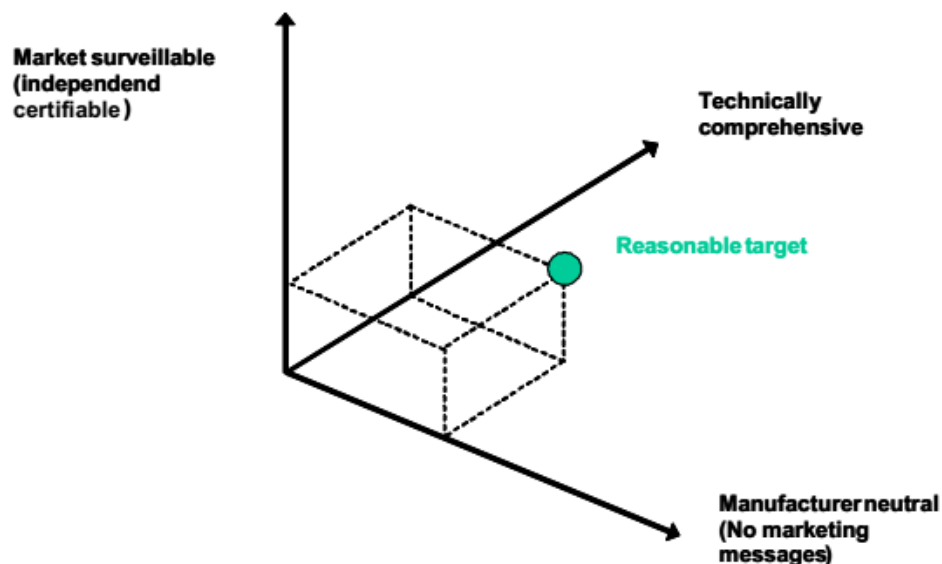
פעם רוב המנועים היו מופעלים "ישר על הקו" או ע"י מתנע רך. במקרה כזה, נצילות של מערכת הנעה החשמלית שווה לנצילות המנוע עצמו פלוס הפסדים של מגען או מתנע רך:
כאשר מדובר במערכת הנעה הכוללת מגענים הפסדי הספק במגען הם 0.1 % מהספק של המנוע (EN 50598-2)
כאשר מדובר במתנע רך אזי ההפסדים שלו שווים לאלו של מגען (0.1 % מהספק המנוע) היות ומתנע רך עובד פרק זמן קצר (בדרך כלל עד 30 שניות) ואחר כך מנוע עובד עם מגען עוקף (EN 50598-2)

התכונות והתיאוריה של מנועי חשמל ידועים כבר למעלה מ-100 שנים ונלמדים בכל קורס להמרת אנרגיה. התקן הבינלאומי לחישוב ובדיקה של נצילות מנועי חשמל קיים משנת 1955 – אז יצאה לאור גרסה ראשונה של תקן IEC 60034-2. בקטלוג היצרנים ניתן למצוא את ערכי הנצילות של המנוע המופעל "ישר על הקו" בעומס של 100%, 75% ו-50%. ערכים אחרים ניתן לחשב ע"י אינטרפולציה או לשאול את היצרן.
 עם השנים תקן לנצילות מנועים התפתח, התעדכן והשתכלל עד שבשנת 2008 יצאה תקן IEC 60034-30 אשר הגדיר לראשונה דרגות לנצילות מנועי חשמל.



נצילות ווסתי מהירות ומערכות הנעה – מה אנחנו יודעים על זה?

היום, כאשר רוב המנועים אינם מופעלים "ישר על הקו" אלא ע"י ווסת מהירות נשאלת השאלה – מה היא נצילות המערכת?



כאשר מדובר בווסת מהירות אז משתמשים ב"חוק אצבע" שאומר הפסדים של ווסת מהירות "רגיל" הינם 2% מהספק המנוע. בדרך כלל ניתן למצוא ערכים של הפסדי הספק של ווסת מהירות בקטלוג של היצרן בעומס מלא. אך נתונים הללו מעוררים הרבה שאלות:

-איך נמדדו או חושבו הפסדים הללו?

-מה הם ההפסדים כאשר ווסת עובד בעומס חלקי?

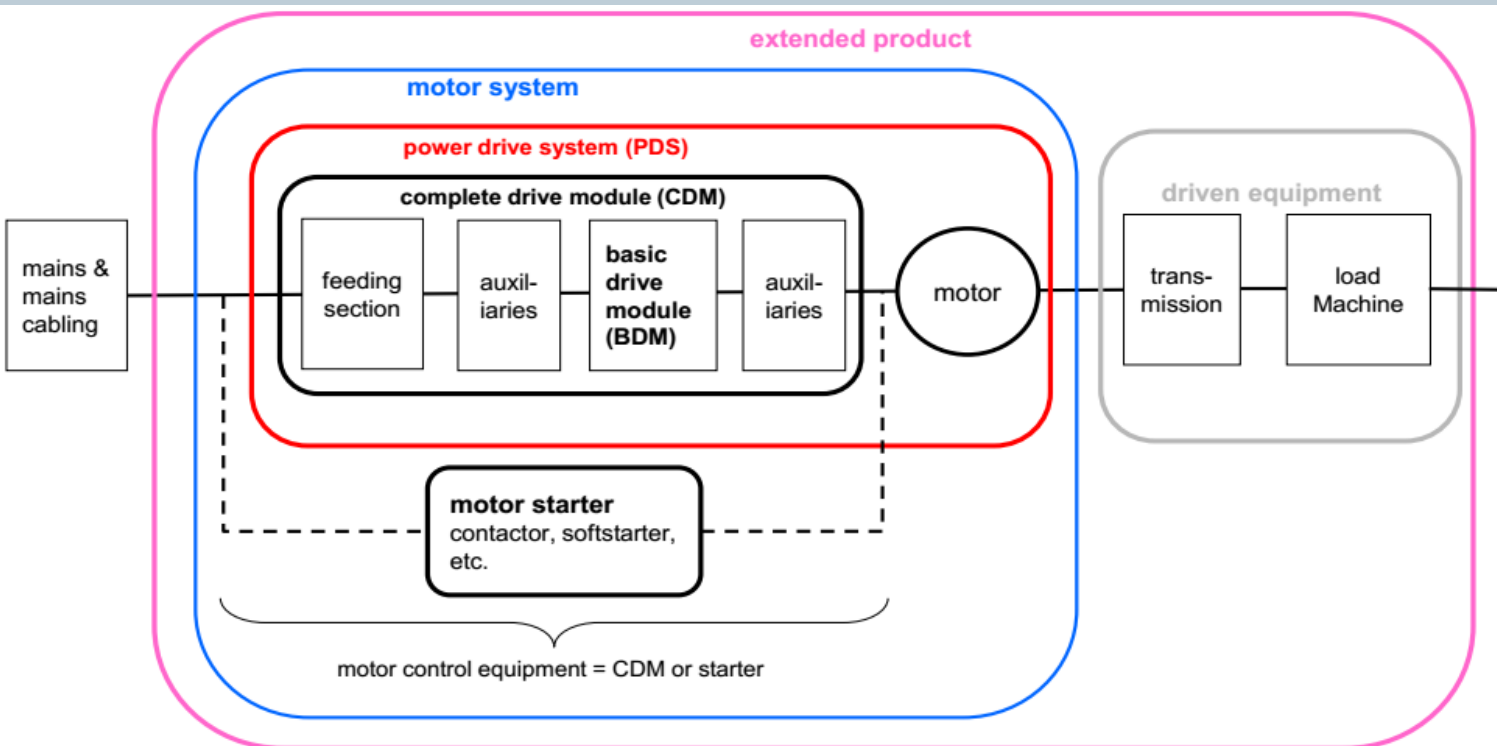
-האם הפסדי הספק הנ"ל כוללים כול המערכות פיקד ומערכות נלוות?

-האם הפסדים הנ"ל כוללים הפסדים של אביזרים כמו משנקים, מסננים וכו'?

באיזה עומס נמדד הספק היות ולכול ווסת מהירות יש שתי הגדרות של הספק נקוב עבור עומס "קל" ועומס "קשה"?

על מנת לענות על כול השאלות הללו ולקבוע "כללי משחק", בראשונה בעולם בסוף שנת 2014 יצאה לאור תקן EN 50598 הקובע שיטות לבדיקה וחישוב נצילות של ווסתי מהירות ומערכות הנעה כוללות. בנוסף התקן קובע דרגות של נצילות לווסתי מהירות ומערכות הנעה.

השנה התקן התקבל כתקן ישראלי.



CDM - drive module, consisting of the electronic power converter connected between the electric supply and a motor as well as extension such as protection devices, transformers and auxiliaries

PDS - system consisting of a CDM and a motor

Reference CDM - complete

drive module defined by mathematical equations and/or power losses, used as a basis for determining the IE class of an individual CDM

Reference Motor - motor defined by mathematical equations and/or power losses, used as a basis for comparing other motors

מנוע יחוס (Reference motor)

לפני שנגשים לחישובי נצילות של ווסת מהירות צריך לדעת באיזה עומס הוא יעבוד. עומס או זרם ביציאה מהווסת תלויים בנתוני מערכת הבאים:

1. עומס מכאני על ציר של המנוע ושינוי שלו כתלות במהירות.

2. נתונים של המנוע – מקדם הספק ונצילות.

על מנת למנוע אי וודאות ותלות ביצרן או מנוע ספציפי התקן קובע "מנוע יחוס" (Reference Motor) אשר מבוסס על מנוע 4 קטבים עם נצילות IE2 לפי תקן IEC 60034-30-1. נצילות של המנוע עודכנה ע"י הוספת הפסדים הנגרמים ע"י ווסת מהירות P_{LHL} .

הפסדים P_{LHL} נקבעו כ-15% עבור מנועים עם הספק נקוב עד 90 KW ו-25% מההפסדים הנקובים של המנוע בעבודה ישר על הקו עם הספק נקוב מעל 90 KW
על מנת לפשט חישובים של הפסדים בווסת מהירות התקן קובע מקדם הספק וזרם של "מנוע יחוס" בהתאם להספק הנקוב שלו וכתלות במומנט על הציר

מנוע יחוס (Reference motor)

torque producing current /%	Test load displacement factor $\cos \phi$ for the apparent power range $S_{r,eq}$ of				
	0,278kVA (0,12kW) to <1,29kVA (0,75kW)	1,29kVA (0,75kW) to <7,94kVA (5,5kW)	7,94kVA (5,5kW) to <56,9kVA (45kW)	56,9kVA (45kW) to <245kVA (200kW)	245kVA (200kW) to <1209kVA (1000kW)
25	0,34	0,38	0,49	0,54	0,57
50	0,51	0,60	0,71	0,75	0,78
75	0,64	0,72	0,80	0,83	0,85
100	0,73	0,79	0,85	0,86	0,87



torque producing current /%	Test load current $\frac{I_{out}}{I_{r,out}}$ / % for the apparent power range $S_{r,eq}$ of				
	0,278kVA (0,12kW) to <1,29kVA (0,75kW)	1,29kVA (0,75kW) to <7,94kVA (5,5kW)	7,94kVA (5,5kW) to <56,9kVA (45kW)	56,9kVA (45kW) to <245kVA (200kW)	245kVA (200kW) to <1209kVA (1000kW)
25	0,79	0,58	0,45	0,42	0,39
50	0,81	0,71	0,60	0,58	0,56
75	0,89	0,82	0,79	0,78	0,77
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

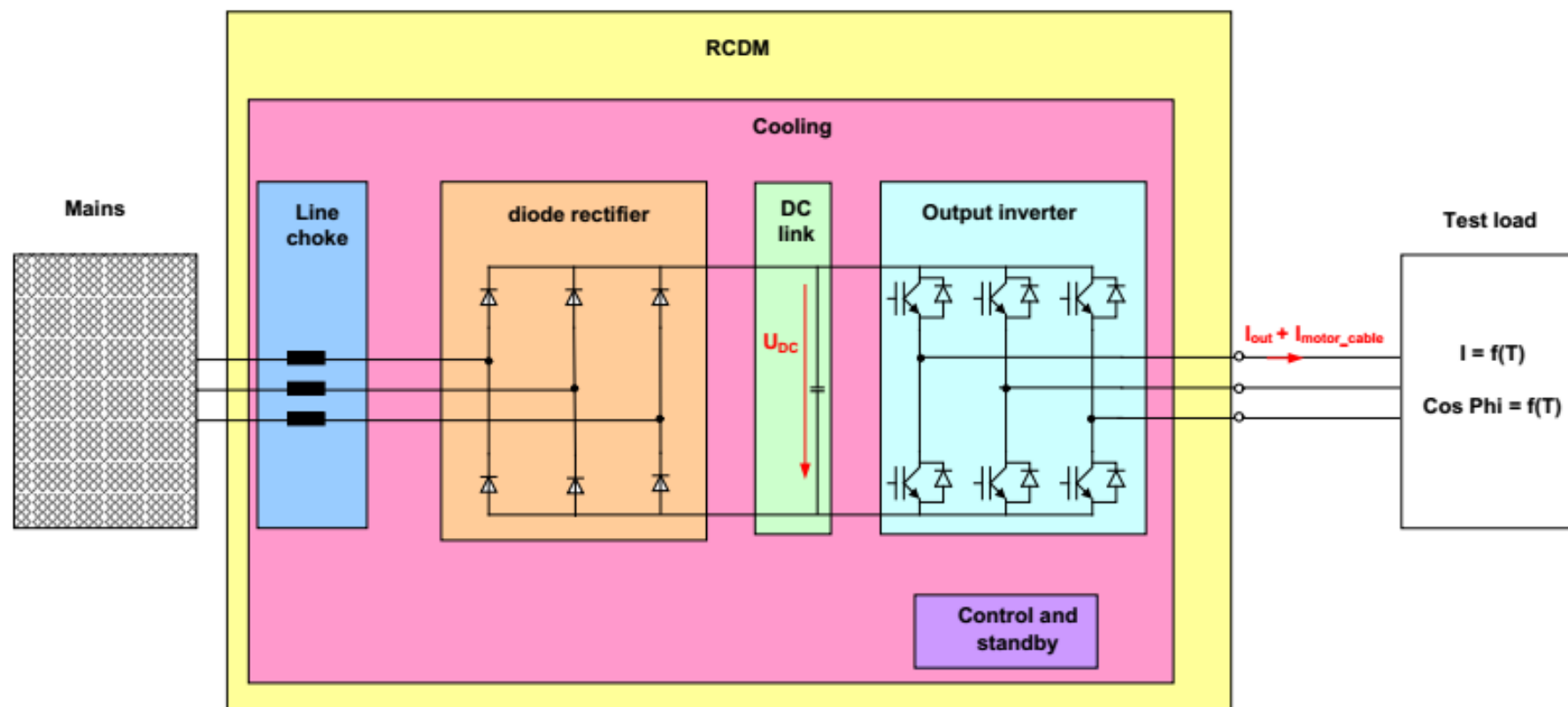
מנוע יחוס (Reference motor)

להלן טבלת הפסדים של מנועי יחוס

P_N / kW	$P_{L, \text{RM}} (100, 100) / \% \text{ of } P_N$	$P_{L, \text{RM}} (100, 100) / \text{W}$
0,12	79,6	96
0,18	62,7	113
0,25	52,9	132
0,37	43,2	160
0,55	34,2	188
0,75	29,5	221
1,1	26,3	289
1,5	23,9	358
2,2	21,4	471
3	19,5	585
4	17,8	712
5,5	16,1	887
7,5	14,7	1099
11	13,1	1437
15	11,9	1790
18,5	11,1	2053
22	10,5	2320
30	9,6	2878
37	9,1	3351

45	8,5	3835
55	8,0	4397
75	7,3	5505
90	7,1	6373
110	7,3	8003
132	7,0	9234
160	6,7	10748
200	6,4	12881
250	6,4	16101
315	6,4	20288
355	6,4	22864
400	6,4	25762
500	6,4	32203
560	6,4	36067
630	6,4	40576
710	6,4	45728
800	6,4	51525
900	6,4	57965
1000	6,4	64406

חישוב הפסדים של ווסת מהירות יחוס (Reference Complete Drive Module)

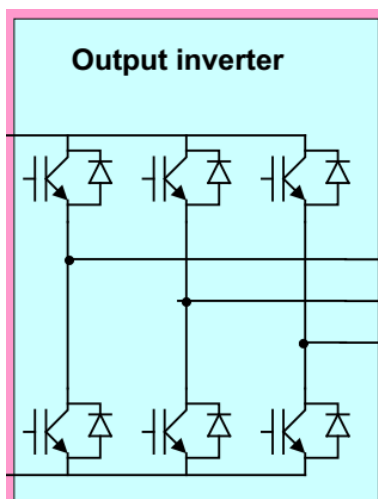


$$P_{L,CDM} = P_{L,inverter} + P_{L,rectifier} + P_{L,choke} + P_{L,rails} + P_{L,DC_link} + P_{L,control} + P_{L,cooling}$$

חישוב הפסדים של ווסת מהירות יחוס. הפסדי מהפך $P_{L,inverter}$

הפסדי מהפך מחשבים עבור מספר רכיבי כוח (IGBT) שהוא כולל:

$$P_{L,inverter} = 6 \cdot (P_{L,on,T} + P_{L,on,D} + P_{L,sw,T} + P_{L,sw,D})$$



כאשר $P_{L,on,T}$ – הפסדי טרנזיסטור במצב מוליך

$$P_{L,on,T} = \sqrt{2} \cdot I_{out} U_{T,th} \cdot \left(\left(\frac{1}{2\pi} \right) + \frac{1,22 \cdot m \cdot \cos \phi}{8} \right) + \frac{U_{T,r} - U_{T,th}}{I_{r,out}} \cdot 2 \cdot I_{out}^2 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{1,22 \cdot m \cdot \cos \phi}{3\pi} \right)$$

$P_{L,on,D}$ – הפסדי דיודה במצב מוליך

$$P_{L,on,D} = \sqrt{2} \cdot I_{out} U_{D,th} \cdot \left(\left(\frac{1}{2\pi} \right) - \frac{1,22 \cdot m \cdot \cos \phi}{8} \right) + \frac{U_{D,r} - U_{D,th}}{I_{r,out}} \cdot 2 \cdot I_{out}^2 \cdot \left(\frac{1}{8} - \frac{1,22 \cdot m \cdot \cos \phi}{3\pi} \right)$$

$U_{T,th}$ – מתח סף של טרנזיסטור, V 1

U_{Tr} – מפל מתח על הטרנזיסטור במצב מוליך, V 2.3

$U_{D,th}$ – מתח סף של דיודה, V 1.1

U_{Dr} – מפל מתח על דיודה במצב מוליך, V 2.4

$I_{r,out}$ – זרם יציאה נקוב של הווסת

m – מקדם מודולציה, יחס בין תדר נקוב של המנוע לתדר יציאה של הווסת

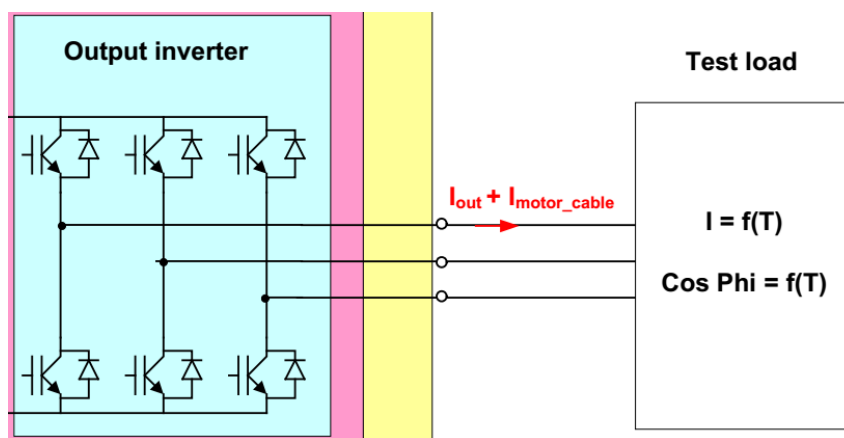
חישוב הפסדים של ווסת מהירות יחוס. הפסדי מהפך $P_{Linverter}$

$$P_{L,sw,T} = \frac{E_T}{\pi} \cdot U_{DC} \cdot \sqrt{2} \cdot (I_{out} + I_{motor_cable}) \cdot f_{sw}$$

P_{LswT} – הפסדי מיתוג של הטרנזיסטור

$$P_{L,sw,D} = \frac{E_D}{\pi} \cdot U_{DC} \cdot \sqrt{2} \cdot (I_{out} + I_{motor_cable}) \cdot f_{sw}$$

P_{LswD} – הפסדי מיתוג של הדיודה



הפסדי מיתוג אינם תלויים במהירות המנוע!

E_T	Switching loss energy of the power transistor (IGBT) per volt and per ampere	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$\frac{J}{V \cdot A}$
U_{DC}	CDM DC link voltage	540	V
I_{motor_cable}	motor cable current, relevant for increased switching losses	$I_{motor_cable} = 4$ for $I_{r,out} \leq 4A$ $I_{motor_cable} = I_{r,out}$ for $4A < I_{r,out} < 10A$ $I_{motor_cable} = 10$ for $I_{r,out} \geq 10A$	A
f_{sw}	CDM switching frequency	4000 for a CDM up to 90kW 2000 for a CDM above 90kW	Hz
E_D	Switching loss energy of the power diode per volt and per ampere	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$\frac{J}{V \cdot A}$

חישוב הפסדים של ווסת מהירות יחוס. הפסדי מהפך $P_{Linverter}$

תדר מיתוג של הטרנזיסטורים בתקן הינו בין 2 ל-4 kHz היות ורוב הווסתים בהספקים קטנים ובינוניים (עד 630 kW) עובדים בתדרים הללו. יותר מזה, כפי שניתן לראות מעקומות מטה בתווך תדרים הללו נצילות של המערכת הנעה כולה הינה מרבית

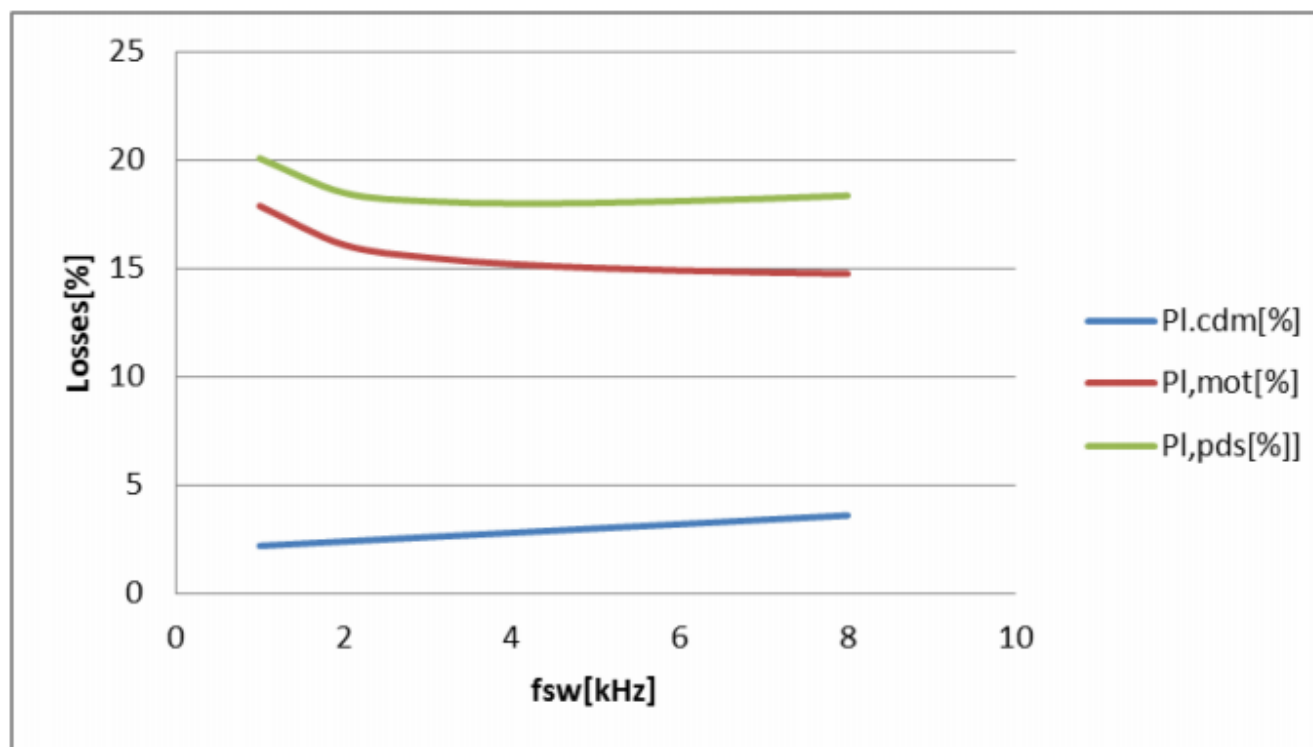
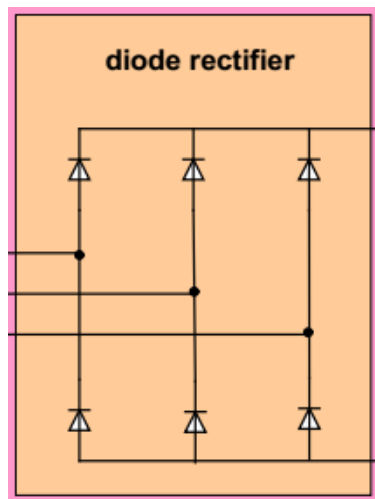


Figure 14 — Example of the relative power losses versus switching frequency

חישוב הפסדים של ווסת מהירות יחוס. הפסדי מיישר $P_{L,rectifier}$

בווסת מהירות עם מיישר פאסיבי המבוסס על דיודות או תריסטורים או מיישר אקטיבי העובד בתדר נמוך (F3E) הפסדים $P_{L,rectifier}$ מחשבים לפי נוסחה הבאה:



$$P_{L,rectifier} = 6 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot m \cdot \cos \phi \cdot I_{out} \cdot U_{D,th,rectifier} + \frac{U_{D,r,rectifier} - U_{D,th,rectifier}}{\cos \phi_r \cdot I_{r,out}} \cdot \left(\frac{m \cdot \cos \phi \cdot I_{out}}{\lambda} \right)^2 \right)$$

כאשר $U_{D,th,rectifier}$ – מתח סף של דיודת המיישר, $V \ 0.9$
 $U_{D,r,rectifier}$ – מפל מתח על דיודה של מיישר במצב מוליך, $V \ 2.2$
 λ – מקדם הספק כולל של מיישר בכניסה

מקדם הספק λ בכניסה תלוי בסוג המיישר שמשתמשים בווסת. בווסתים "סטנדרטיים" מקדם הספק הינו 0.7

Input converter topology	Value of λ
Large DC link capacitor with 0,5 % input choke	0,6
Large DC link capacitor with 4 % input choke	0,7
Small DC link capacitor according to IEC/TS 62578	0,9
Active infeed converter with high switching frequency	1,0

$$\lambda = \frac{P_{equ}}{S_{equ}} = \frac{3 \cdot U_{mL1} \cdot I_{1,equ} \cdot \cos \varphi_{equ}}{3 \cdot U_{mL1} \cdot I_{equ}} = \frac{I_{1,equ} \cdot \cos \varphi_{equ}}{I_{equ}}$$

וא

$$TPF = \frac{P}{S} = \frac{\sqrt{3} I_1 U \cdot DPF}{\sqrt{3} I_{RMS} U} = \frac{DPF}{\sqrt{1 + THD^2}}$$

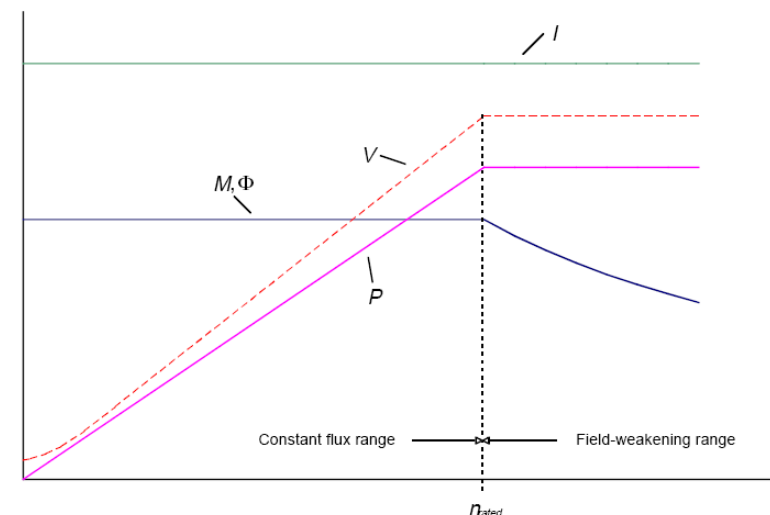
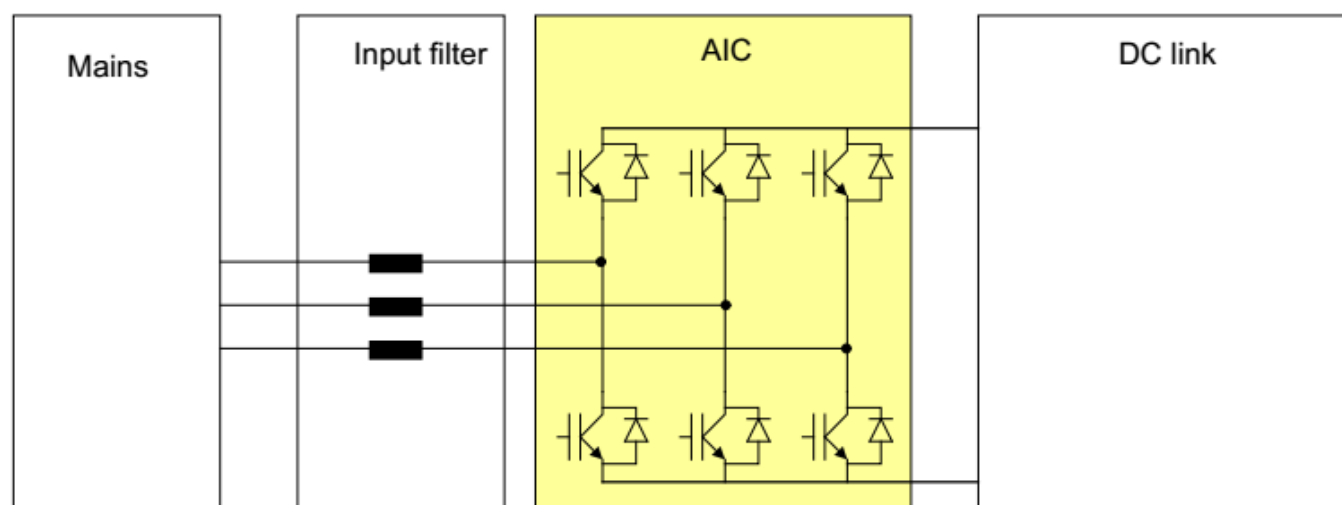
חישוב הפסדים של ווסת מהירות יחוס. הפסדי מיישר $P_{Lrectifier}$

בווסת מהירות עם מיישר אקטיבי המבוסס על טרנזיסטורים שממותגים בתדר גבוה (Active Infeed Converter) הפסדים מחשבים לפי אותן נוסחאות כמו למהפך. ההבדל הוא בערכים של כמה פרמטרים:

$m=1$ היות ותדר כניסה למיישר זהה לתדר הרשת

$\cos \varphi=1$ היות ומקדם הספק של מיישר אקטיבי ניתן לשינוי ע"י תוכנה מ-0.9 עד -0.9. כסטנדרט מקדם הספק של מיישר אקטיבי הינו 1.

$I_{in}=I_{out} \cdot m \cdot \cos \varphi$ כאשר $\cos \varphi$ ו- m הם ערכים עבור מנוע ולא עבור מיישר. בגלל שווסת עובד עם מקדם הספק 1 כלפי רשת חשמל ומתח רשת קבוע אזי זרם כניסה שלו יהיה נמוך מזרם של המנוע.



שינוי זרם במנוע כתלות בהספק ומהירות

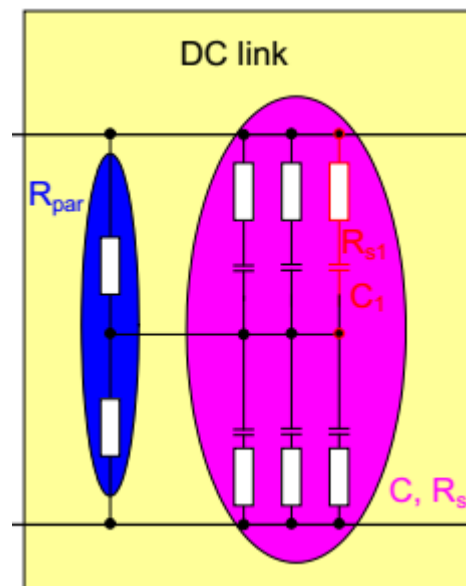
חישוב הפסדים של ווסת מהירות יחוס. הפסדי משנק כניסה P_{Lchoke} ופס מתח ישר $P_{Ldc\ link}$

הפסדים של משנק כניסה במתח משתנה או במתח ישר מחשבים לפי אותה נוסחה. אם ווסת בעל מסנן פאסיבי בכניסה אזי הפסדים שלו מחשבים לפי אותה נוסחה כמו הפסדים של משנק כניסה היות והפסדים של קבלים במסנן פאסיבי קטנים מאוד וניתן לא לקחת אותם בחשבון.
הפסדים בפס מתח DC נובעים בעיקר בגלל נגדי איזון והתנגדות זליגה של הקבלים.

$$P_{L,choke} = k1_{choke} \cdot k2_{choke} \cdot 3 \cdot \frac{\left(\frac{m \cdot \cos \phi \cdot I_{out}}{\lambda} \right)^2}{\cos \phi_r \cdot I_{r,out}} \cdot U_{mL1}$$

$$P_{L,dc_link} = k1_{DC_link} \cdot I_{r,out} \cdot U_{DC}^2 + k2_{DC_link} \cdot \frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{1,35} \cdot \frac{m \cdot \cos \phi \cdot I_{out}}{1 + 50 \cdot k1_{choke}} \right)^2}{I_{r,out}}$$

$k1_{choke}$	choke impedance, relative to the rated CDM impedance	0,02	
$k2_{choke}$	relative voltage drop on the resistive part of the choke	0,25	
U_{mL1}	Phase to ground voltage of the supply network	230	V
$k1_{DC_link}$	load independent DC link loss parameter	$8 \cdot 10^{-7}$	$\frac{1}{\Omega \cdot A}$
$k2_{DC_link}$	load dependent DC link loss parameter	0,5	$\Omega \cdot A$



חישוב הפסדים של ווסת מהירות יחוס. הפסדים במוליכים פנימיים $P_{L,rails}$, מעגלי פיקוד $P_{L,control}$ ואורור $P_{L,cooling}$

חישוב של הפסדים על מוליכים פנימיים של הווסת $P_{L,rails}$ מבוססים על הנחה שמפל מתח על המוליכים U_{rails} הינו 0.7 V.

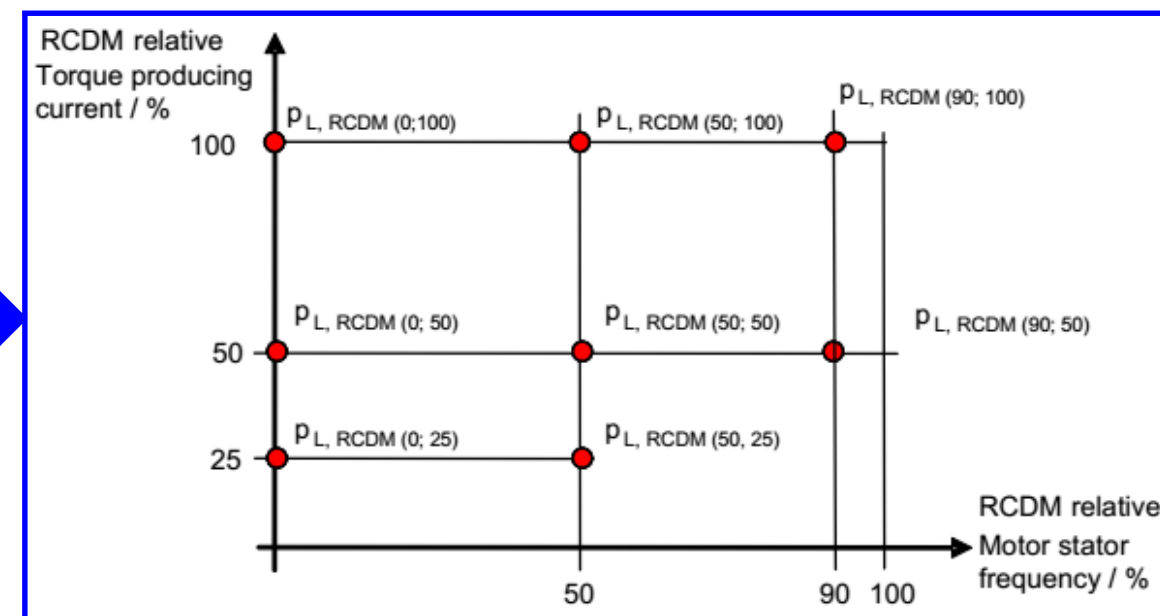
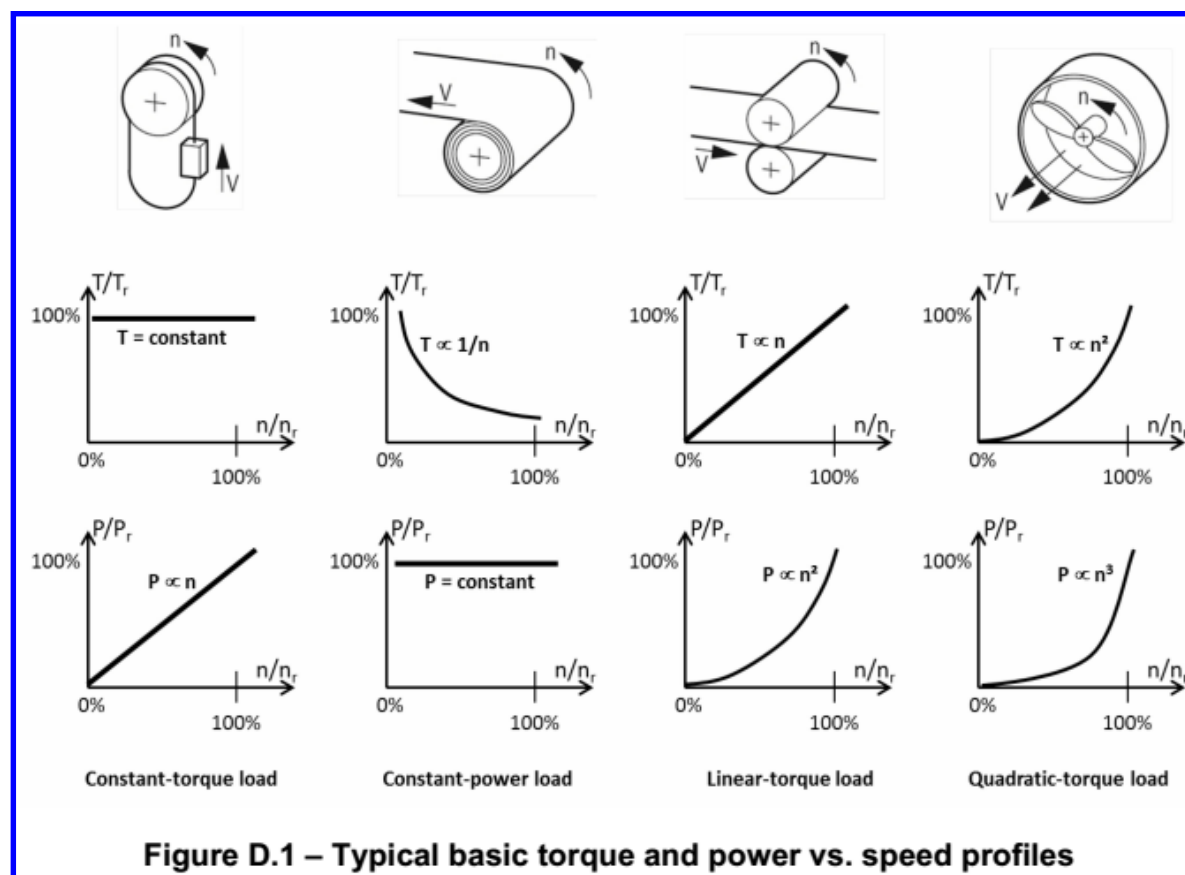
$$P_{L,rails} = \frac{U_{rails}}{I_{r,out}} I_{out}^2$$

הפסדים של מעגלי פיקוד $P_{L,control}$ נלקח כערך קבוע של 50 W.
 הפסדים של אורור $P_{L,cooling}$ נקבעו כ-20% מסכום של כול שאר ההפסדים ב-100% של העומס:
 $P_{L,cooling} = 0.2(P_{L,inverter} + P_{L,rectifier} + P_{L,DClink} + P_{L,choke} + P_{L,control} + P_{L,rails})$

$$P_{L,CDM} = P_{L,inverter} + P_{L,rectifier} + P_{L,choke} + P_{L,rails} + P_{L,DC_link} + P_{L,control} + P_{L,cooling}$$

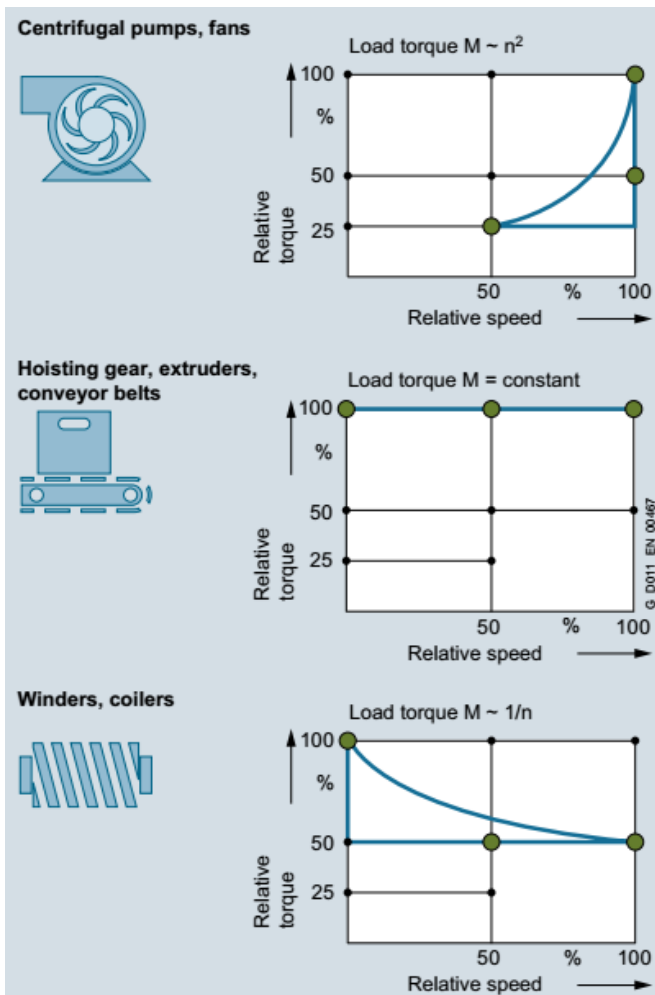
הפסדים של ווסת מהירות בנקודות עבודה שונות

לפי התקן היצרן חייב לציין הפסדים ב-W ובאחוזים מההספק הכולל S של הווסת עבור CDM ב-8 נקודות עבודה לפחות. 8 נקודות עבודה נבחרו על מנת לחסות נקודות עבודה עיקריות לרוב סוגים עומסים מכאניים.

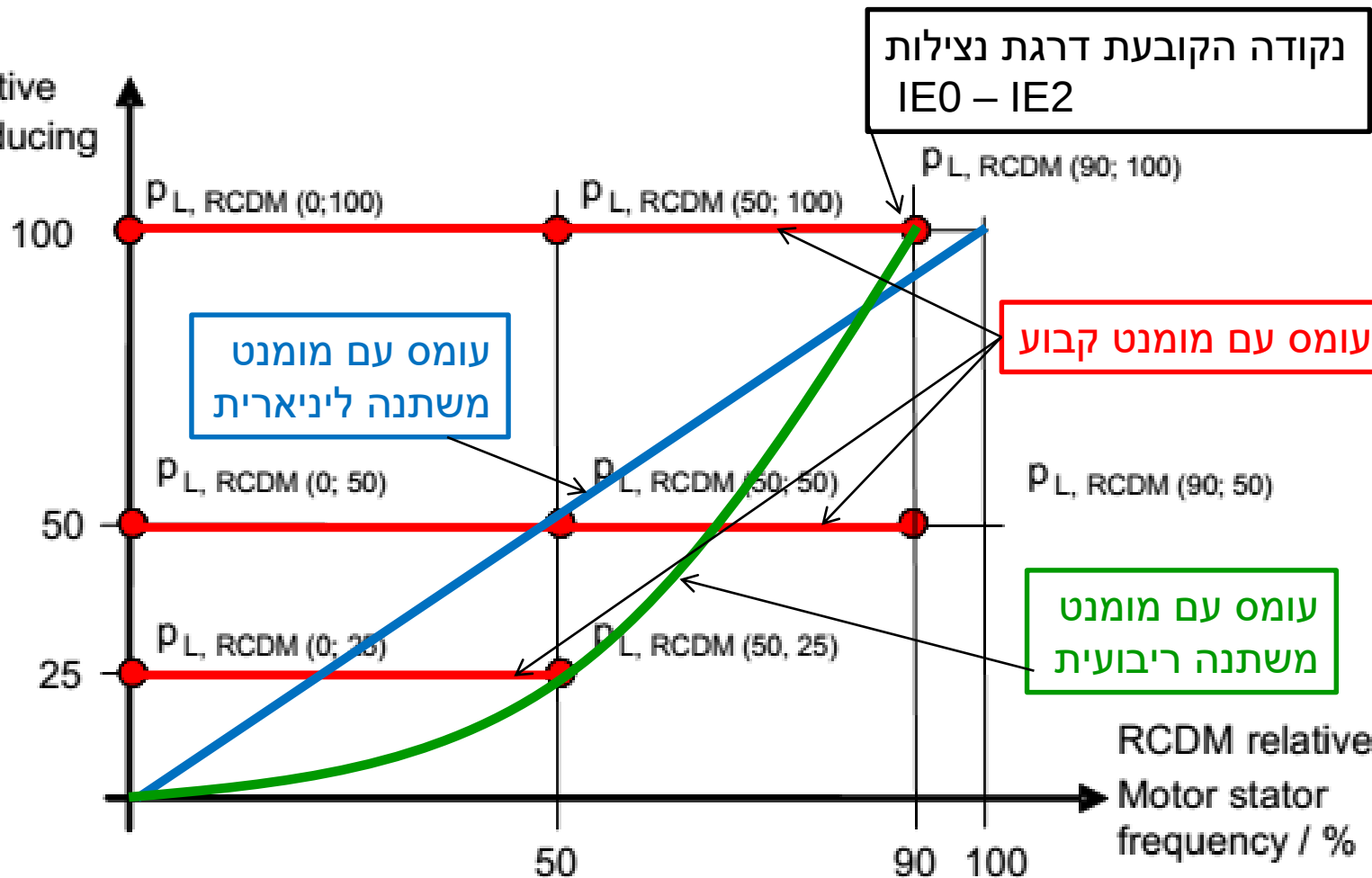


הפסדים של וסת מהירות בנקודות עבודה שונות

8 נקודות עבודה נבחרו על מנת לחסות נקודות עבודה עיקריות לרוב סוגים של עומסים מכאניים



RCDM relative
Torque producing
current / %



הפסדים של וסת מהירות בנקודות עבודה שונות

אינטרפולציה ליניארית

$$P_{L,R1}(f_z) = P_{L,C} + \frac{P_{L,D} - P_{L,C}}{f_D - f_C} \cdot (f_z - f_C)$$

$$P_{L,R2}(f_z) = P_{L,A} + \frac{P_{L,B} - P_{L,A}}{f_B - f_A} \cdot (f_z - f_A)$$

$$p_{L,Z}(iq_z) = p_{L,R2} + \frac{p_{L,R1} - p_{L,R2}}{iq_{R1} - iq_{R2}} \cdot (iq_z - iq_{R2})$$

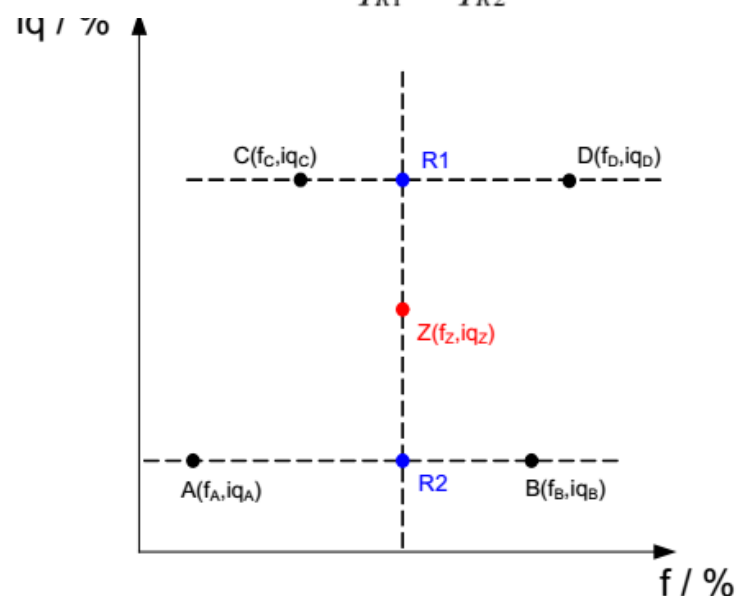


Figure G.2 — Two-dimensional interpolation

הפסדים בנקודות עבודה אחרות מחשבים לפי שיטות הבאות:

1. חישוב לפי מודל מתמטי המוצג מעלה
2. אינטרפולציה ליניארית
3. הפסדים של אחד מ-8 נקודות הקרובות עם ערך הפסדים הגבוה ביותר

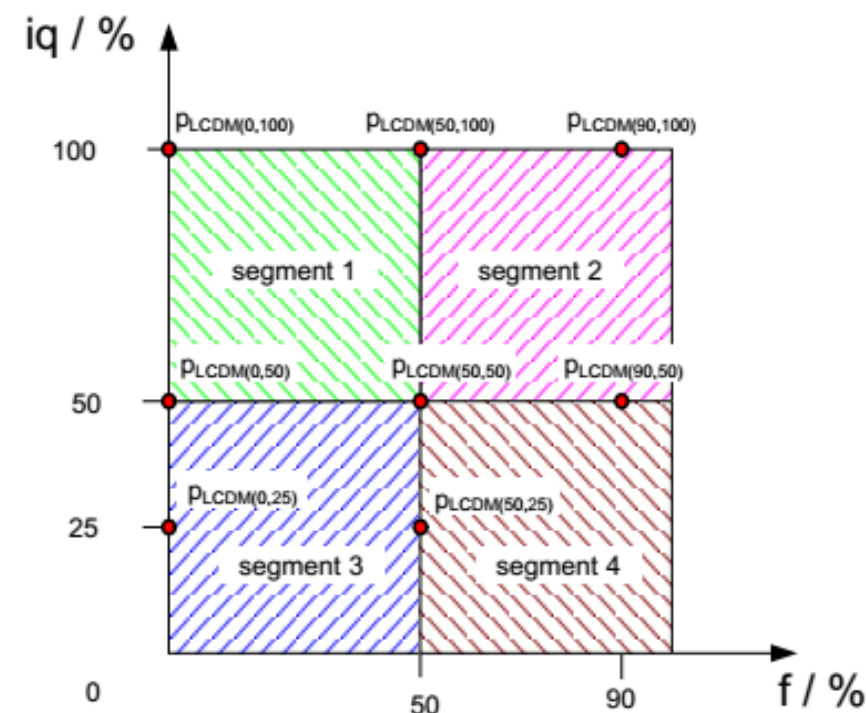
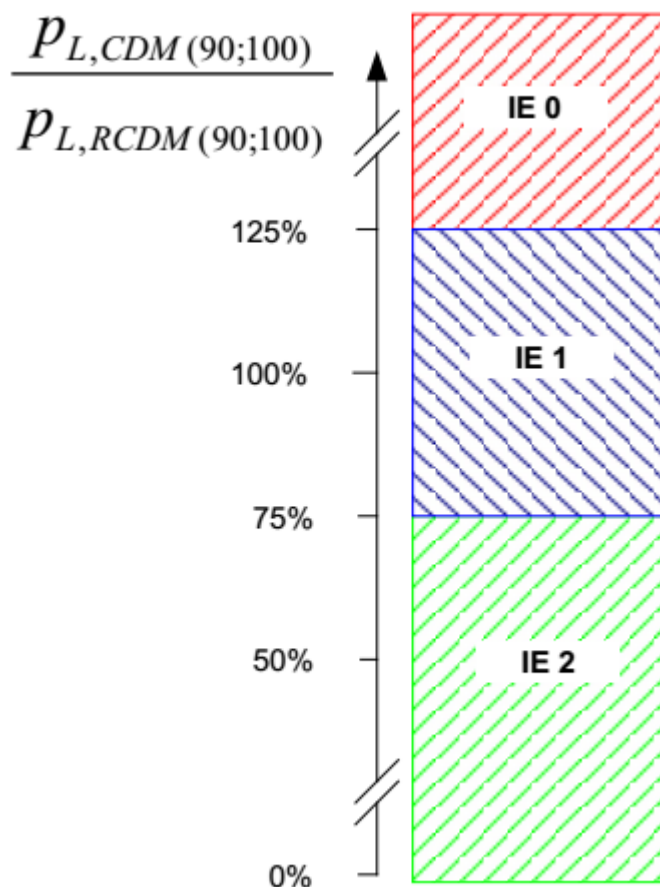


Figure G.1 — Segments of operating points

קביעת דרגות נצילות של וסתי מהירות – IE Class

לפי שיטה לחישוב הפסדים של וסתי מהירות המוסברת מעלה התקן קובע הפסדים נקובים של וסתי יחוס עבור הספקים מ-0.12 עד 1000 KW במתח מ-100 עד 1000 וולט. על בסיס הפסדים של וסתי יחוס התקן קובע דרגות נצילות (IE Class) לוסתים כדלקמן:



- ווסתים עם הפסדים $\pm 25\%$ מהפסדים של וסתי יחוס מוגדרים כדרגת נצילות IE1
- ווסתים עם הפסדים מעל 125% מההפסדים של וסתי יחוס מוגדרים כדרגת נצילות IE0
- ווסתים עם הפסדים פחות מ-75% מההפסדים של וסתי יחוס מוגדרים כדרגת נצילות IE2

דירוג נצילות הנ"ל מתייחס אך ורק לוסתים הממירים מתח משתנה למתח משתנה.
דירוג נצילות נקבע לפי נקודת עבודה של זרם נקוב של הוסתי ו-90% ממהירות הנקובה של המנוע. נקודת עבודה של 90% ממהירות המנוע נבחרה עקב כך שווסתי רגיל לא יכול לספק מתח יציאה מעל 90% ממתח הכניסה. על מנת להוציא מתח גבוה מ-90% משתמשים בטכנולוגיות של מודולציות יתר שהן שונות בין יצרן ליצרן. על מנת לא להיות תלויים בטכנולוגיה מסוימת ולבצע השוואה שווה הוחלט להשתמש בנקודה של 90% ממהירות המנוע שבה מתח יציאה גם שווה ל-90% ממתח הנקוב.

קביעת דרגות נצילות של ווסתי מהירות – IE Class

דירוג נצילות נקבע לפי חישוב או בדיקת הפסדים. הדיוק נקבע לפי שיטת חישוב או בדיקת

$$P_{L,CDM} = P_{L,CDM,determined} + \Delta P_{L,CDM} = P_{L,CDM,determined} \cdot (1 + \Delta p_{L,CDM} / 100)$$

הפסדים:

לפי התקן דרגת נצילות נקבעת לפי אחת השיטות הבאות:

- חישוב. היצרן יכול להשתמש בשיטת החישוב ששונה מזו המוצגת בתקן ודיוק החישוב באחריות היצרן
- בדיקת הספקים בכניסה ויציאה
- בדיקה קלורימטרית

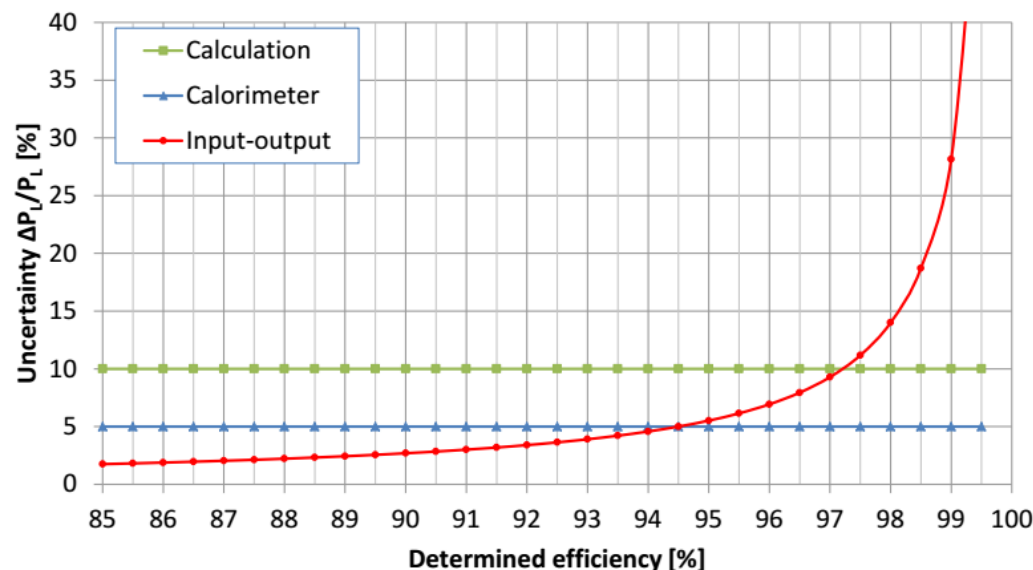


Figure H.1 — Typical standard uncertainties with normal distribution for different CDM and PDS power loss determination methods

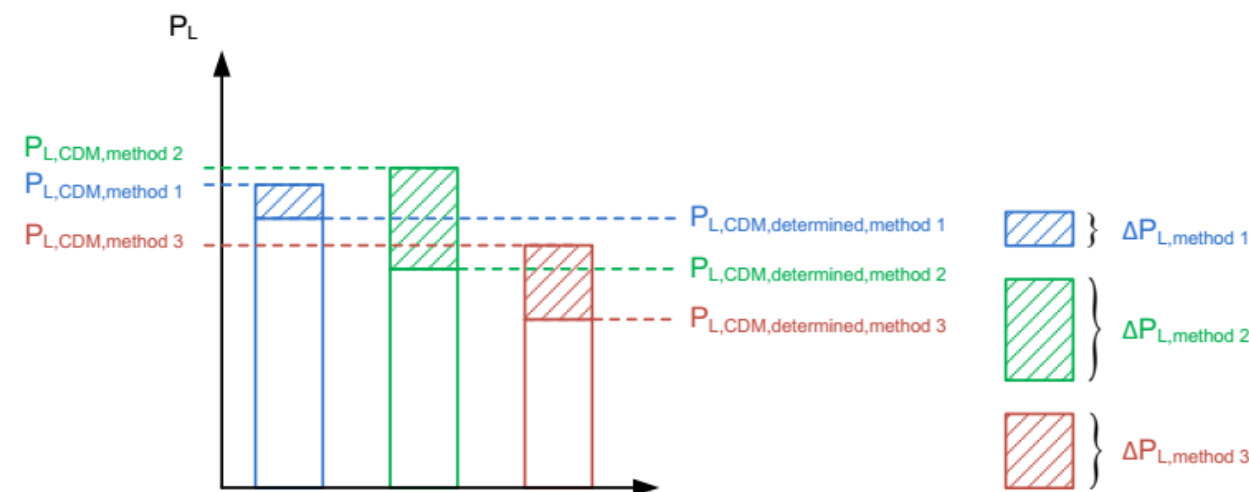


Figure 18 — Power loss of CDM is a sum of determined loss value and an uncertainty of the used determination method.

קביעת דרגות נצילות של ווסתי מהירות – IE Class

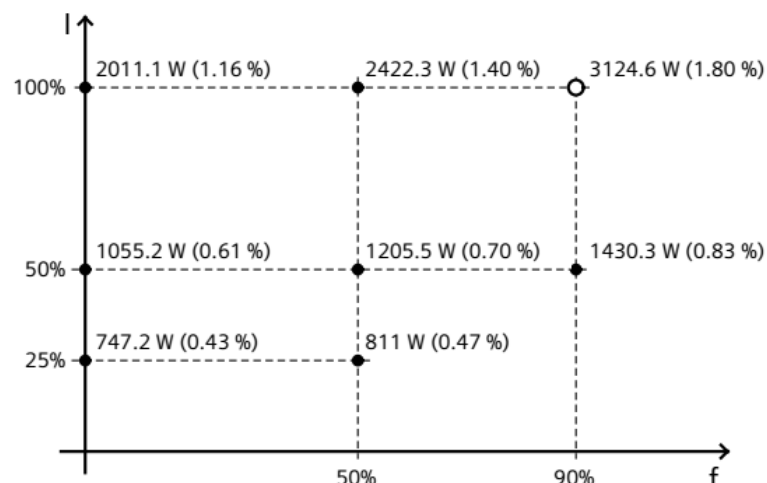
דוגמה של דפי נתונים של ווסתי מהירות סימנס בהספקים 2.2 ו-132 KW. את כול מידע ניתן למצוא באינטרנט בכתובת

הבאה: www.siemens.com/dt-configurator או

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/94059311>

Converter losses to EN 50598-2*

Efficiency class	IE2
Comparison with the reference converter (90% / 100%)	-0.44 %



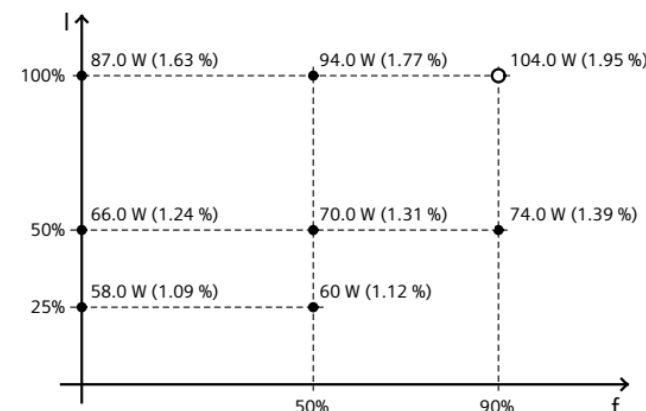
The percentage values show the losses in relation to the rated apparent power of the converter.

The diagram shows the losses for the points (as per standard EN 50598) of the relative torque generating current (I) over the relative motor stator frequency (f). The values are valid for the basic version of the converter without options/components.

*calculated values; increased by 10% according to the standard

Converter losses to EN 50598-2*

Efficiency class	IE2
Comparison with the reference converter (90% / 100%)	-70.98 %



The percentage values show the losses in relation to the rated apparent power of the converter.

The diagram shows the losses for the points (as per standard EN 50598) of the relative torque generating current (I) over the relative motor stator frequency (f). The values are valid for the basic version of the converter without options/components.

*calculated values; increased by 10% according to the standard

קביעת דרגות נצילות של וסתי מהירות – IE Class

טבלת הפסדים נקובים של וסתי יחוס עבור הספקים מ-0.12 עד 1000 KW במתח מ-100 עד 1000 וולט

Table 20 — Reference CDM losses for IE class 1 definition

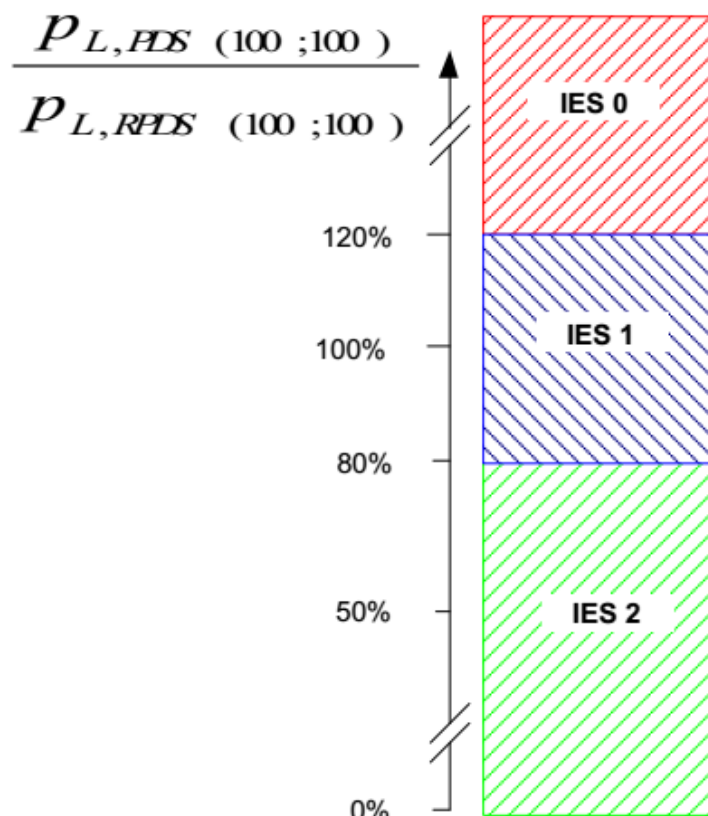
P_{rM} / kW	$S_{r,eq}$ / kVA	$I_{r,out}$ / A of the 400V RCDM	$P_{L,RCDM} (90,100) / \%$ of $S_{r,eq}$	$P_{L,RCDM} (90,100) / W$	P_{rM} / kW	$S_{r,eq}$ / kVA	$I_{r,out}$ / A of the 400V RCDM	$P_{L,RCDM} (90,100) / \%$ of $S_{r,eq}$	$P_{L,RCDM} (90,100) / W$
0,12	0,278	0,401	35,85	100	45	56,9	82,1	4,75	2700
0,18	0,381	0,550	27,30	104	55	68,4	98,7	4,74	3239
0,25	0,500	0,722	21,80	109	75	92,8	134	4,69	4350
0,37	0,697	1,01	16,84	117	90	111	160	4,66	5169
0,55	0,977	1,41	13,21	129	110	135	195	4,11	5554
0,75	1,29	1,86	11,02	142	132	162	234	4,10	6645
1,1	1,71	2,47	9,51	163	160	196	283	4,09	8018
1,5	2,29	3,31	8,21	188	200	245	353	4,07	9976
2,2	3,30	4,77	7,20	237	250	302	436	4,10	12382
3	4,44	6,41	6,72	299	315	381	550	4,09	15594
4	5,85	8,44	6,39	374	355	429	619	4,09	17538
5,5	7,94	11,5	6,01	477	400	483	698	4,09	19764
7,5	9,95	14,4	5,84	581	500	604	872	4,08	24667
11	14,4	20,8	5,43	781	560	677	977	4,08	27628
15	19,5	28,1	5,18	1010	630	761	1099	4,08	31064
18,5	23,9	34,4	5,05	1207	710	858	1239	4,08	35006
22	28,3	40,8	4,97	1408	800	967	1396	4,08	39434
30	38,2	55,2	4,87	1858	900	1088	1570	4,08	44336
37	47,0	67,8	4,79	2253	1 000	1209	1745	4,08	49267

קביעת דרגות נצילות של מערכת הנעה – IES Class

היות ותקן קובע מנוע יחוס ווסת יחוס אזי ניתן לקבוע גם מערכת הנעה יחסית. הפסדים של מערכת הנעה יחסית מחושבים כדלקמן:

$$P_{L,RPDS(100;100)} = P_{L,RCDM(90;100)} + x \cdot P_{L,RM(100;100)}$$

$$x = \frac{U_{r,mot}}{U_{fundamental,CDM}} = \frac{1}{0.9} = 1.11$$



לפי שיטה לחישוב הפסדים של מערכת הנעה יחסית התקן קובע הפסדים נקובים של מערכת יחסית עבור הספקים מ-0.12 ועד 1000 KW במתח מ-100 ועד 1000 וולט. דרגות נצילות של מערכות נקבעות כדלקמן:

- מערכות עם הפסדים $\pm 20\%$ מהפסדים של מערכת יחסית מוגדרים כדרגת נצילות IES1
- מערכות עם הפסדים מעל 120% מהפסדים של מערכת יחסית מוגדרים כדרגת נצילות IES0
- מערכות עם הפסדים פחות מ-80% מהפסדים של מערכת יחסית מוגדרים כדרגת נצילות IES2

הפסדים של ווסת ומערכת הנעה

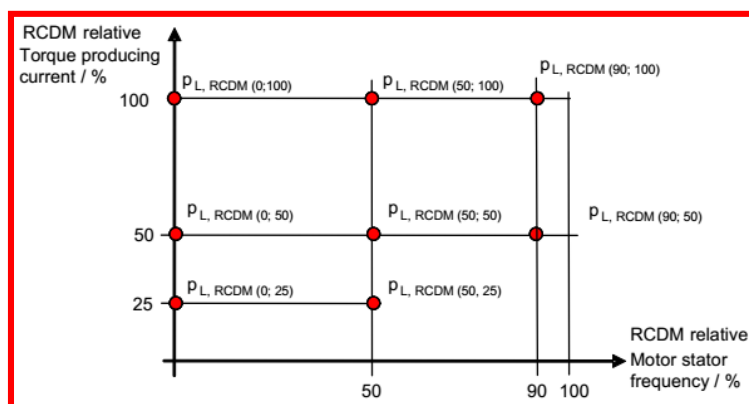
הפסדים כוללים של מערכת הנעה בכול נקודת מהירות ומומנט מחשבים לפי נוסחה הבאה:

$$P_{L,PDS(n;T)} = P_{L,CDM(n;T)} + P_{LAux(n;T)} + P_{LMot(n;T)}$$

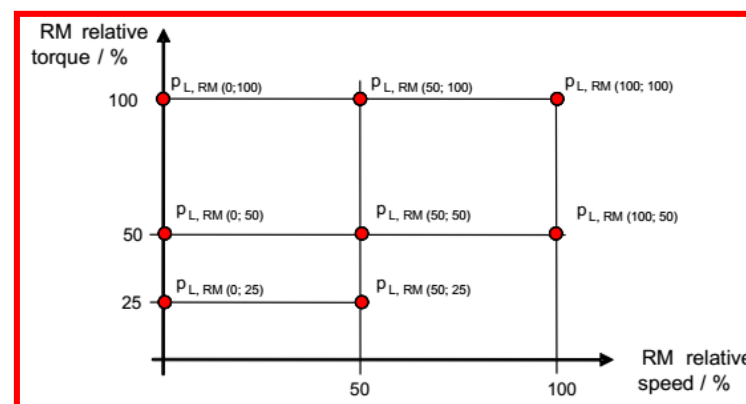
כאשר P_{LAux} – הפסדים של מערכות ואביזרים כמו מסננים, כבלים שנאים וכו' אשר לא כלולים במערכת יחוס. אם הפסדים הללו מעל 0.1% מהספק של CDM או מעל W5 ולא כלולים בהפסדים של CDM היצרן חייב לציין הפסדים של אביזרים ומערכות נלוות ב-100% של העומס ועם דיוק של $\pm 25\%$ בדפי נתונים של המערכת.

בנוסף היצרן חייב לציין הפסדים של המערכת במצב המתנה (standby mode).

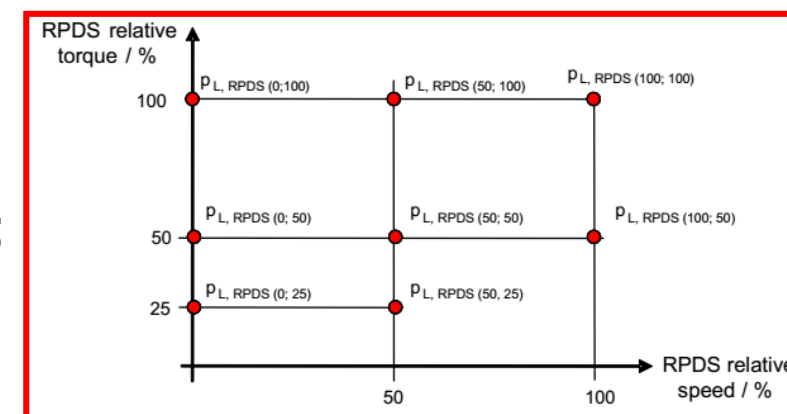
לפי התקן היצרן חייב לציין הפסדים ב-W ובאחוזים מהספק המנוע עבור PDS ב-8 נקודות עבודה לפחות



+



=



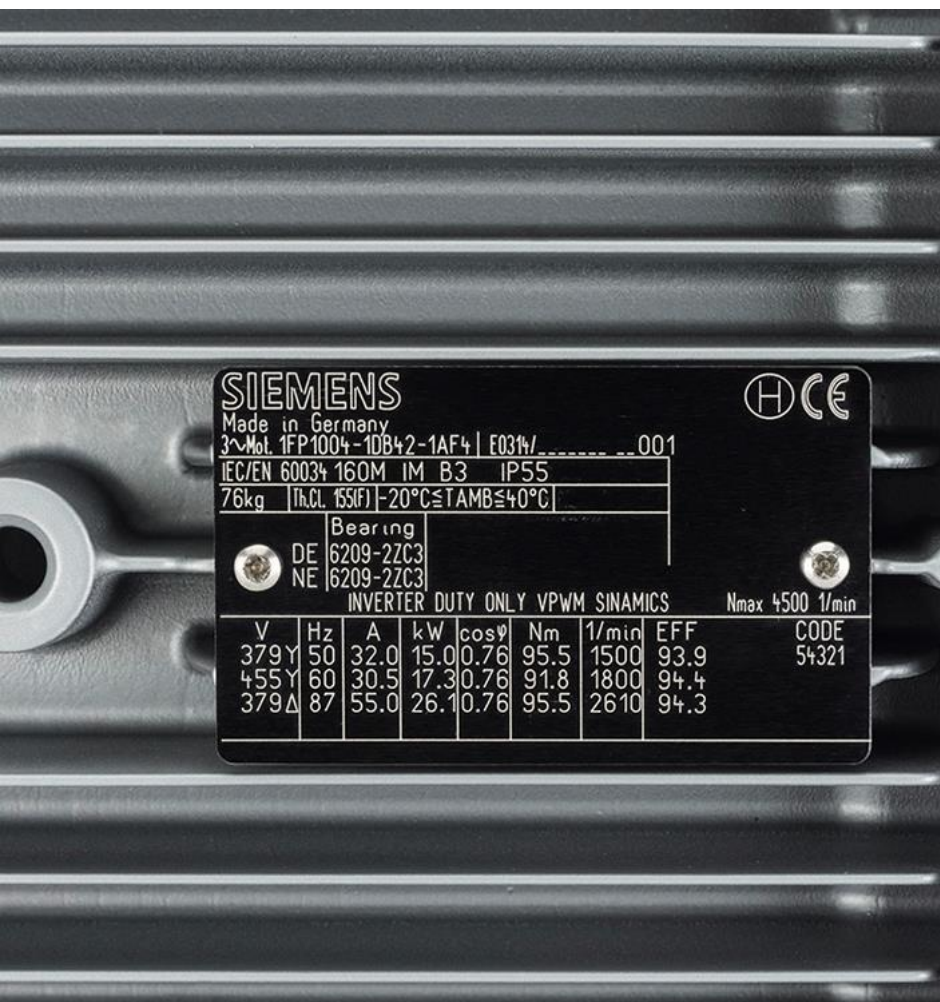
כרגע מדובר בתקן אירופי ולא בתקן בינלאומי – תקן IEC. תקן אירופי הנ"ל מתוכנן להפוך לסדרה של תקני IEC:

IEC 61800-9-1 Ed.1: Adjustable speed electrical power drive systems - Part 9-1: Energy efficiency of power drive systems, motor starters, power electronics and their driven applications - General requirements for setting energy efficiency standards for power driven equipment using the Extended Product Approach (EPA) and semi analytic model (SAM)

IEC 61800-9-2 Ed.1: Adjustable speed electrical power drive systems - Part 9-2: Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics & their driven applications - Energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters

בנוסף מתוכנן לצאת תקן חדש לדירוג נצילות של מנועים לוויסות מהירות. התקן יחול לא רק על מנועי השראה אלא גם על מנועים סינכרוניים עם או ללא ממגנטים קבועים. בדומה לתקן לנצילות של ווסתי מהירות גם למנועים יידרש לקבוע נצילות ב-8 נקודות עבודה שונות

IEC 60034-30-2 Ed.1: Rotating electrical machines - Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code)



טדי ניקולייבסקי
חטיבה: תהליך והנע

כתובת: רחוב המלאכה 14, פרק תעשיות אפק

4809, ראש העין

טלפון: 054-4553827

דואר אלקטרוני:

teddy.nikolayevsky@siemens.com

siemens.com