

АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКУ ДВЗ

Доц. Бороденко Ю.М.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКУ ДВЗ

2.1. Аналіз технічних рішень систем пуску

- 2.1.1. Класифікація систем пуску
- 2.1.2. Особливості будови електростартерів
- 2.1.3. Аналіз технічних рішень систем керування стартером

2.2. Аналіз характеристик та критерії вибору елементів системи пуску

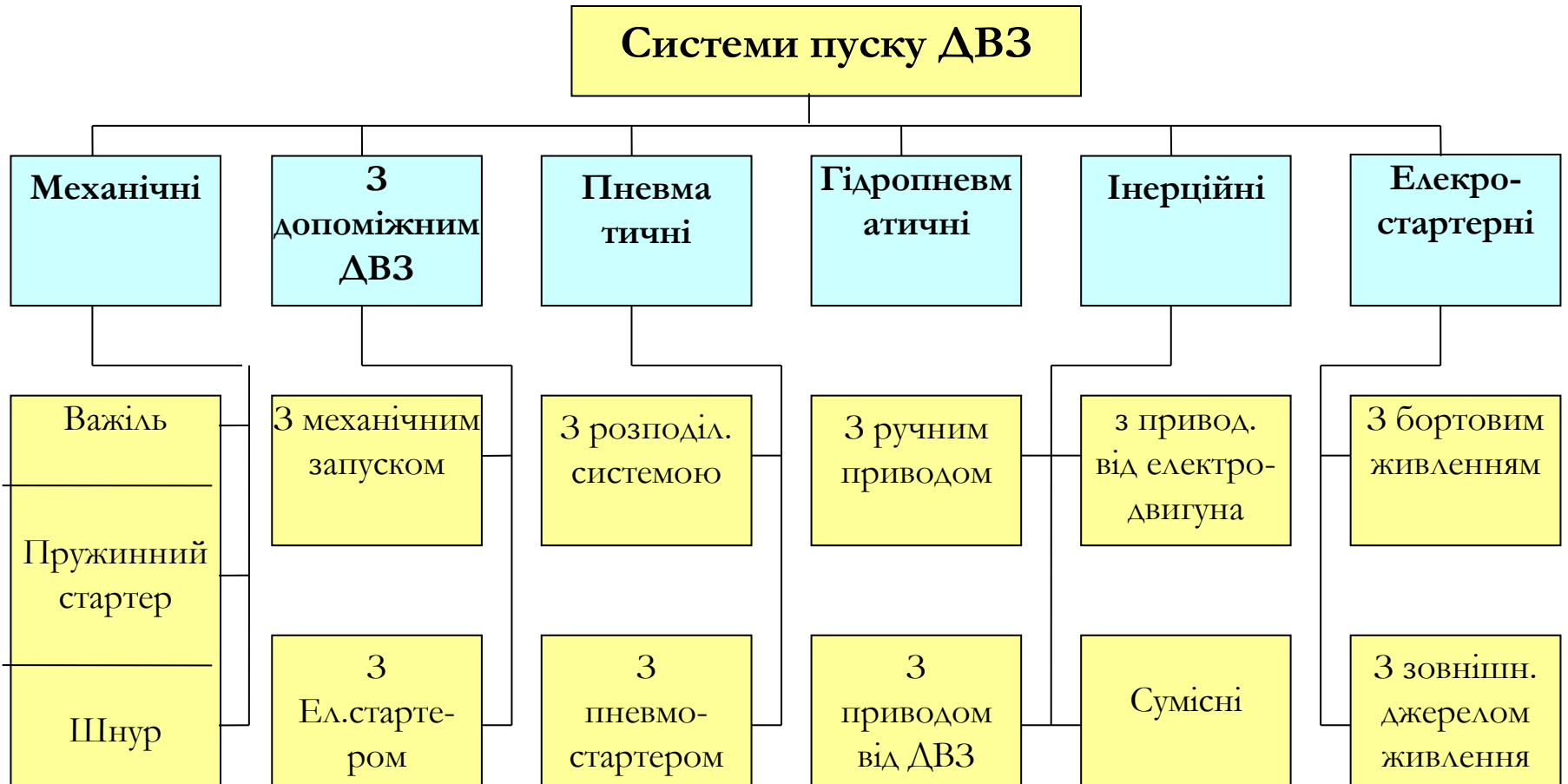
- 2.2.1. Аналіз пускових характеристик ДВЗ
- 2.2.2. Характеристики АКБ у режимі пуску
- 2.2.3. Критерії вибору та аналіз робочих характеристик стартерного електродвигуна
- 2.2.4. Характеристики стартерного електродвигуна при нерівномірному обертанні

2.3. Підбір елементів системи пуску та оптимізація її параметрів

- 2.3.1. Умова мінімізації маси елементів системи пуску
- 2.3.2. Підбір елементів системи пуску за номінальною потужністю
- 2.3.3. Підбір елементів системи пуску за опором стартера
- 2.3.4. Оптимізація передаточного числа приводу стартера
- 2.3.5. Визначення відносного опору й номінальної ємності АКБ для системи пуску мінімальної маси
- 2.3.6. Оптимізація параметрів стартерного проводу

Тема 2.1 Аналіз технічних рішень систем пуску

2.1.1. Класифікація систем пуску



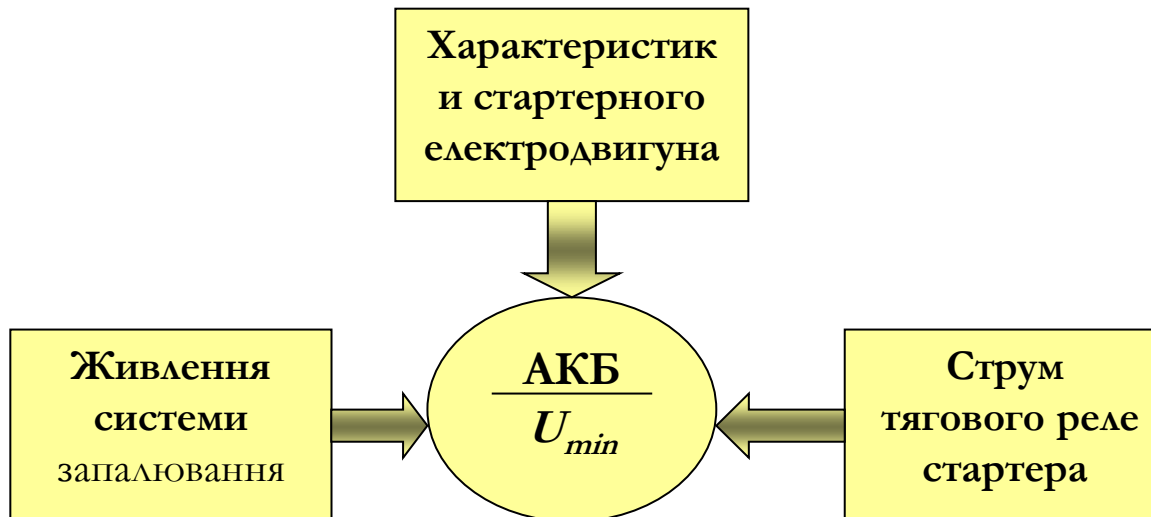
2.1.2. Особливості побудови електростартерів



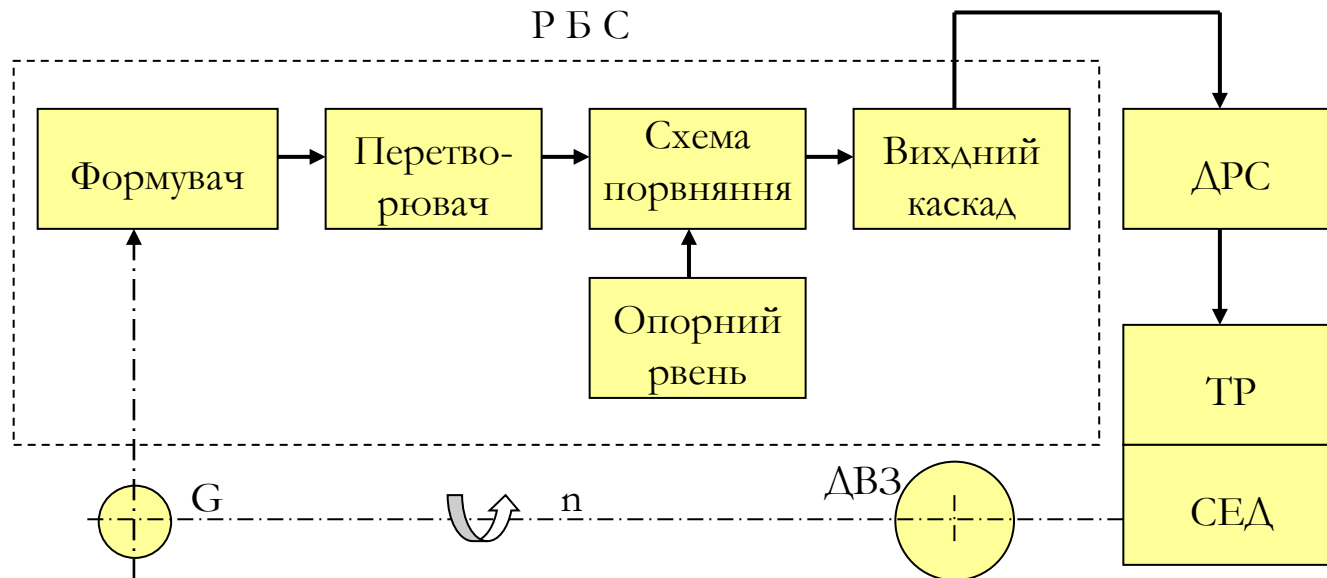
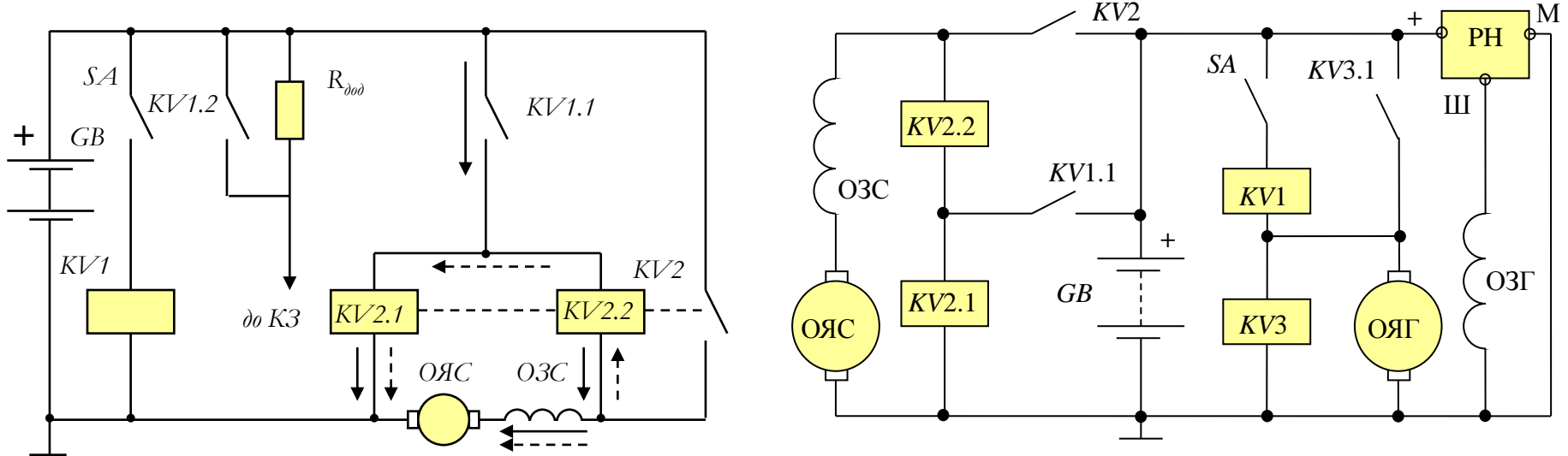
Варіанти МП

- З примусовим механічним або електромеханічним переміщенням шестірні привода
- З примусовим електромеханічним введенням шестірні й інерційним само вимиканням
- З введенням та виведенням шестерні за рахунок інерційної муфти
- З електромагнітним введенням шестірні в зачеплення за рахунок осьового переміщення якоря.

Вибір АКБ за критерієм припустимої знижки напруги

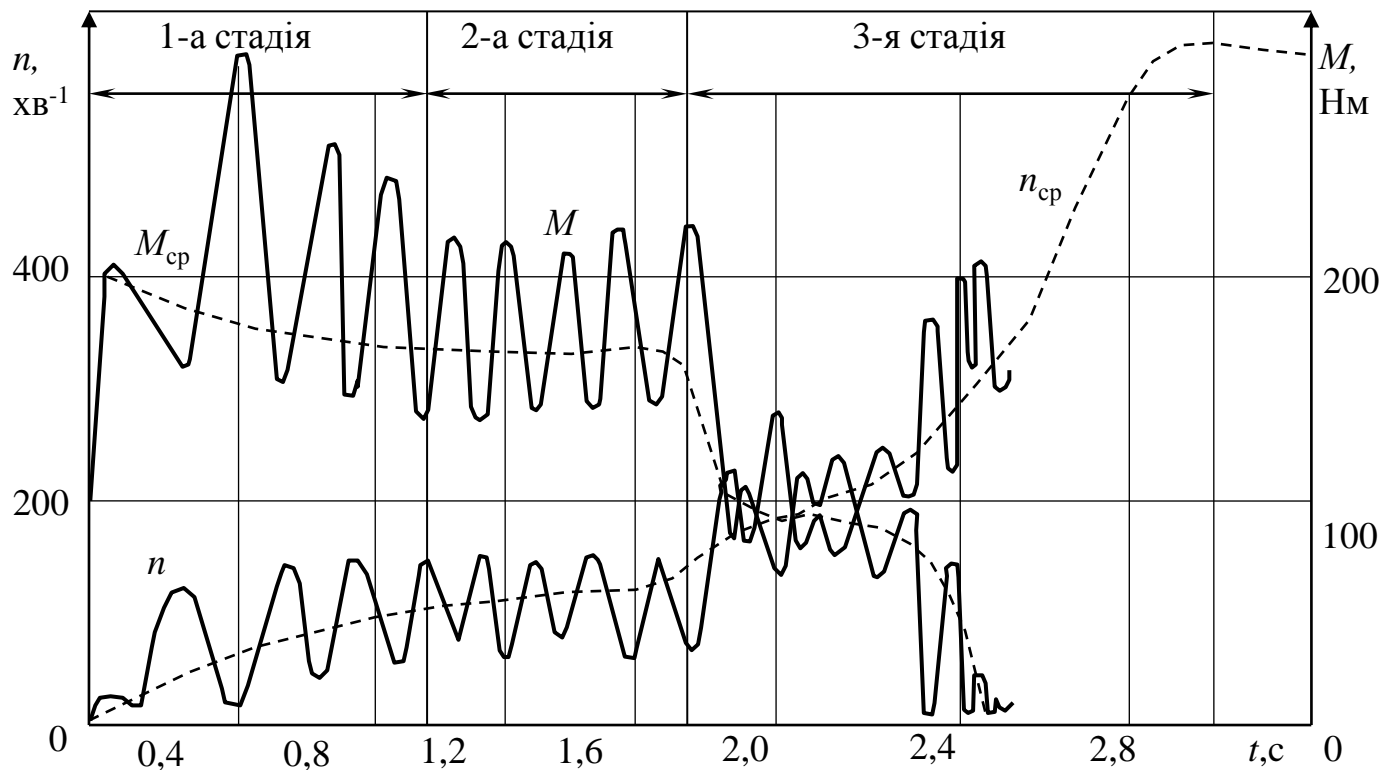


2.1.3. Аналіз технічних рішень систем керування стартером



Тема 2.2 Аналіз характеристик та критерії вибору елементів системи пуску

2.2.1. Аналіз пускових характеристик ДВЗ



$$M_O = M_T \pm M_K$$

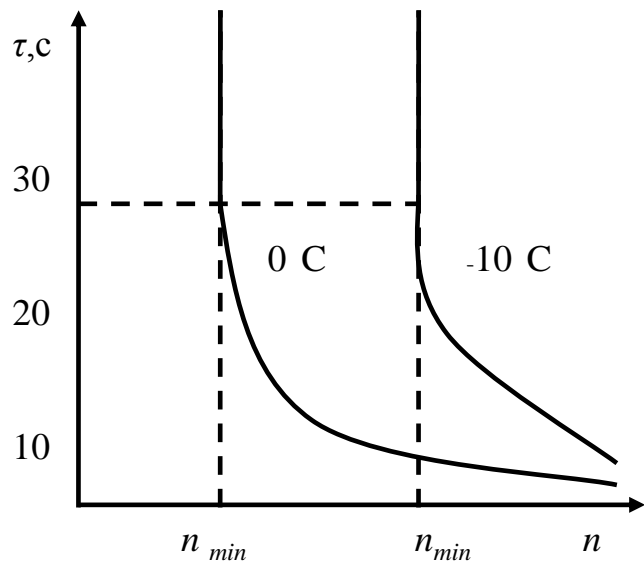
$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{СТ} i_{ДС} \eta_{П} - M_O$$

$$J = J_D + J_{СТ} i_{ДС}^2$$

Пускові характеристики ДВЗ

Мінімальна пускова частота обертання (n_{min})

Середній момент опору при n_{min}



$$M_O = 390V \left[\varepsilon + 6\sqrt{\delta_H} + k \left(1 + \frac{\delta_H^2}{8} \right) \sqrt{\frac{v\pi n}{30}} \right]$$

Коефіцієнт нерівномірності обертання

$$\delta_H = \frac{(\bar{n}_{max} - \bar{n}_{min})}{n_{cp}}$$

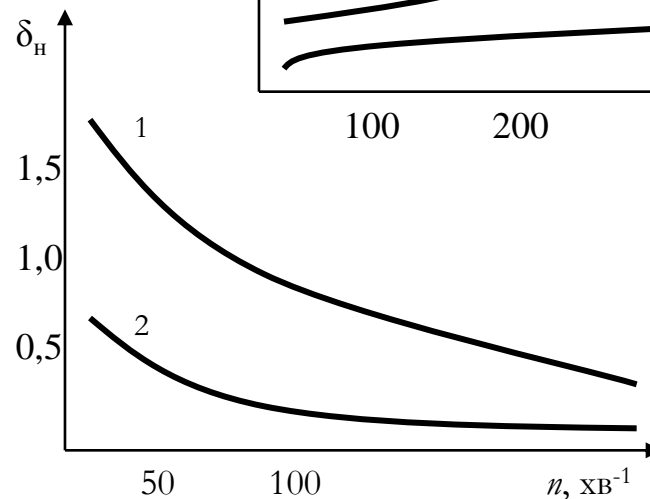
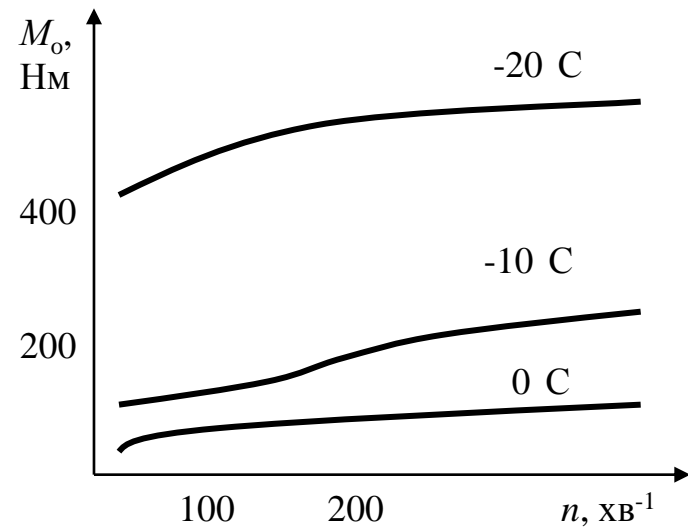
$$n_{cp} = (\bar{n}_{max} + \bar{n}_{min}) / 2$$

Середній тиск тертя

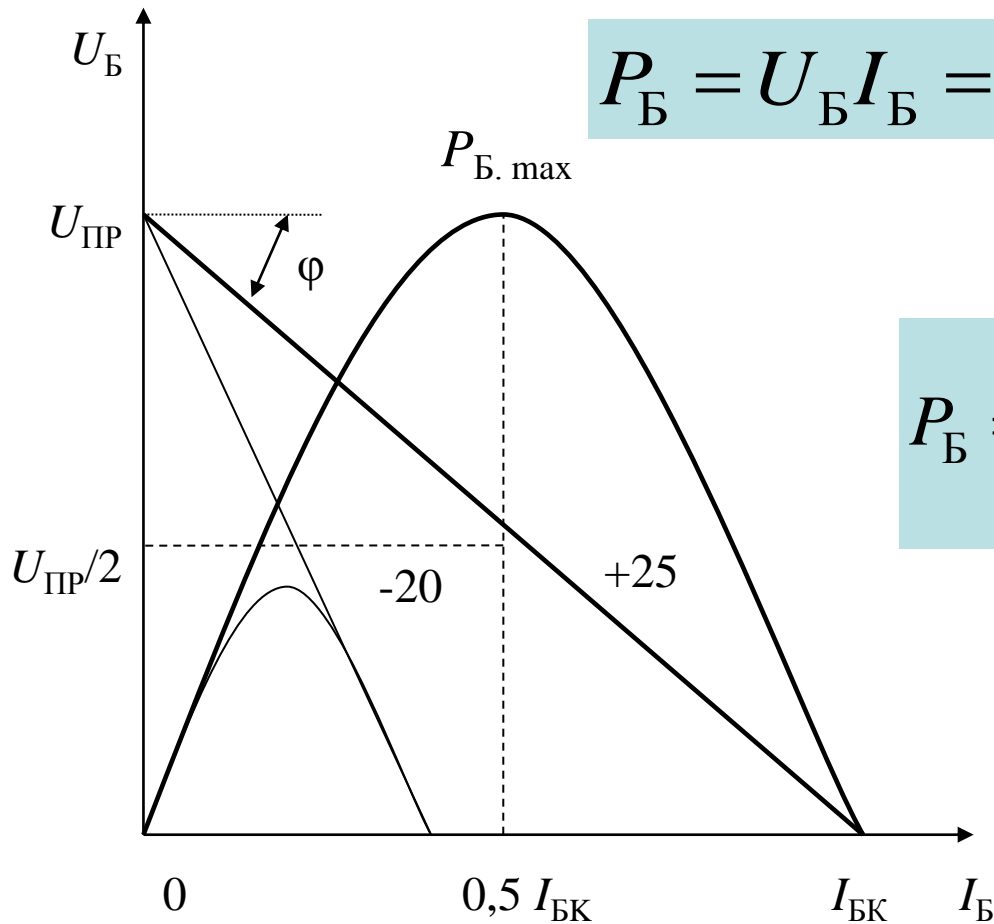
$$P_{cp} = \frac{1,256 \cdot 10^4 M_O}{iV}$$

Пускова потужність

$$P_{ПД} = M_O n_{min} \pi / 30$$



2.2.2. Характеристики АКБ у режимі пуску



$$P_B = U_B I_B = I_B^2 R_H$$

$$I_B = \frac{U_{\text{IP}}}{R_H + R_B}$$

$$P_B = \frac{U_{\text{IP}}^2 R_H}{(R_H + R_B)^2}$$

$$R_B = R_H$$

$$P_{B.\text{max}} = \frac{U_{\text{IP}}^2}{4R_B} = \frac{U_{\text{IP}} I_{\text{BK}}}{4}$$

$$U_{\text{IP}} = m(2,02 + 0,00136t^\circ - 0,001\Delta C_p)$$

2.2.3. Критерії вибору стартерного електродвигуна

Характеристики двигунів постійного струму

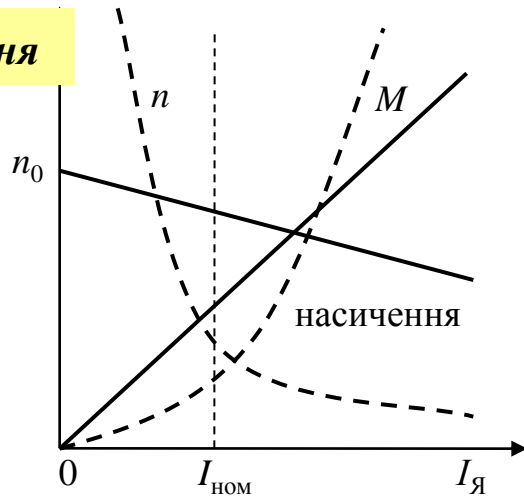
Паралельне збудження

$\Phi - \text{const}$

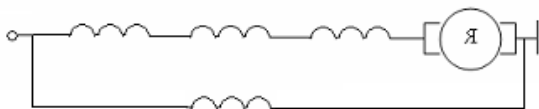
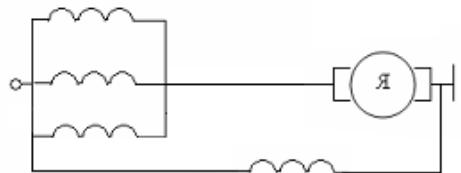
$M = C_1 I_{\text{Я}}$

$n = \frac{U}{C_2} - \frac{I_{\text{Я}} R_{\text{Я}}}{C_2}$

$n = \frac{U}{C_2} - \frac{M R_{\text{Я}}}{C_3}$



Змішане збудження



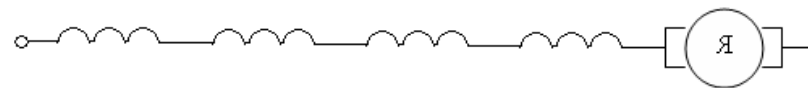
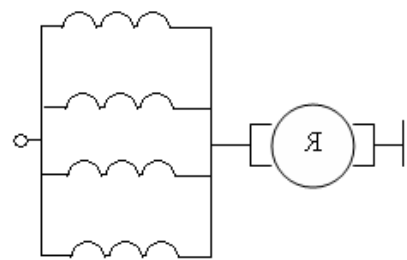
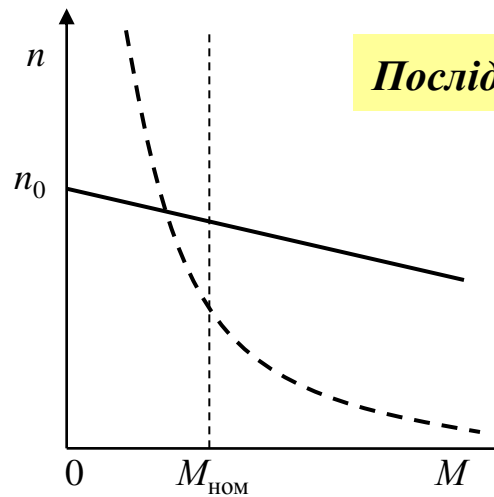
Послідовне збудження

$\Phi = f_1(I_{\text{Я}})$

$M = C_4 I_{\text{Я}}^2$

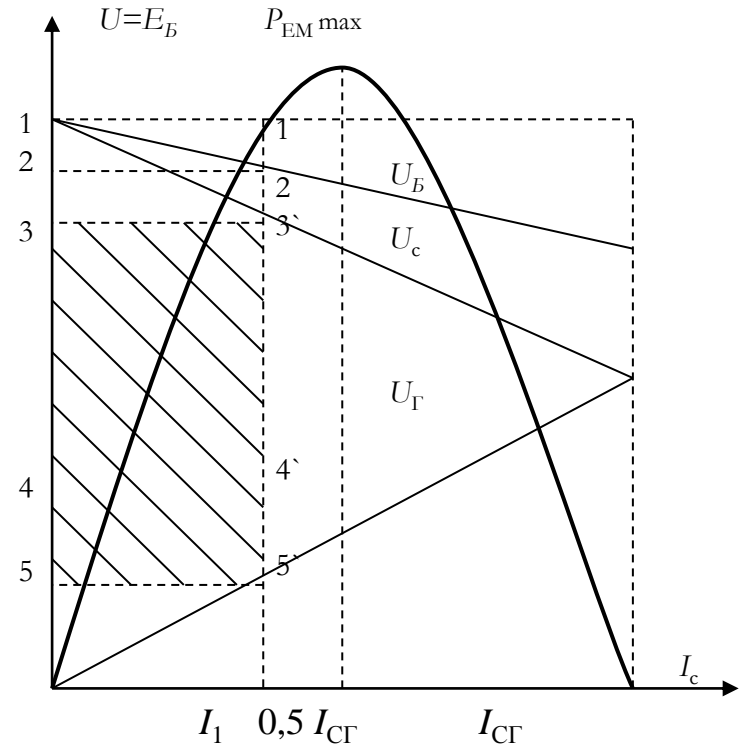
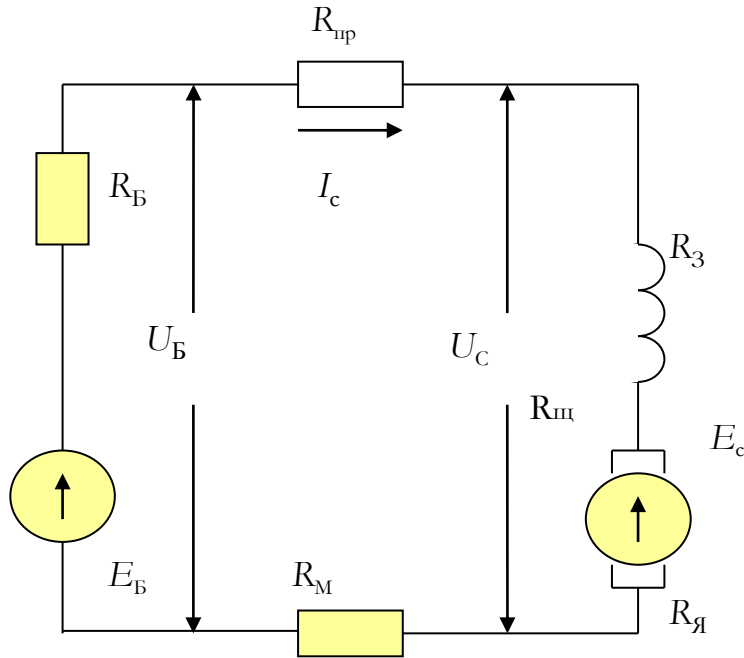
$n = \frac{U}{C_5 I_{\text{Я}}} - \frac{R_{\text{Я}}}{C_5}$

$n = \frac{U}{C_5 \sqrt{\frac{M}{C_4}}} - \frac{R_{\text{Я}}}{C_5}$



$M \rightarrow 0 \quad n \rightarrow \infty$

Аналіз режимів стартерної мережі



1-5 E_B

1-2 $\Delta U_B = I_1 R_B$

2-3 $\Delta U_M = U_B - U_C = R_{IP} + R_M I_1$

3-4 $E_C = C_E n \Phi$

4-5 $U_{\Gamma} = I_1 R_C, R_C = R_3 + R_{\text{Я}} + 2R_{\text{Щ}}$

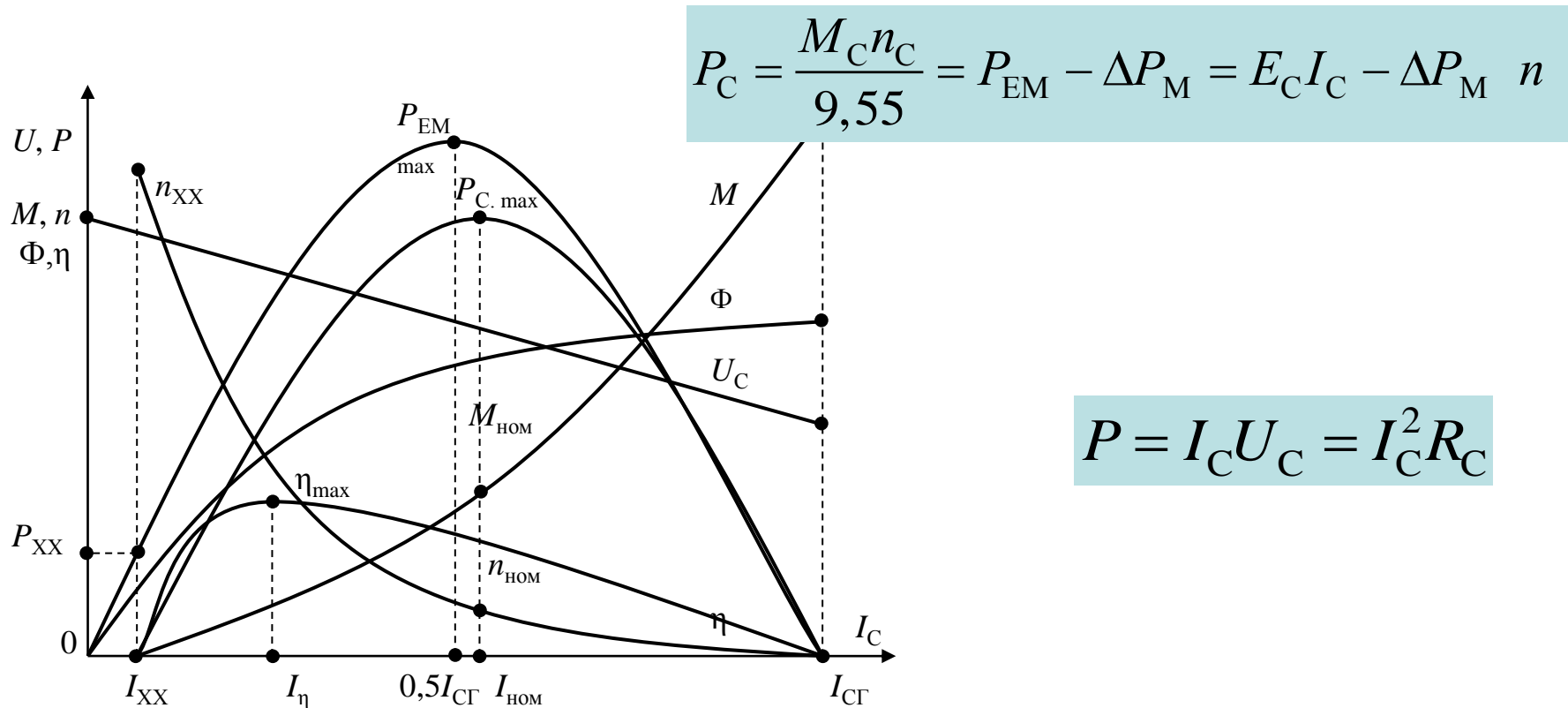
33'4'4 $P_{EM} = E_C I_C = E_B I_C - (R_B + R_{IP} + R_M + R_C) I_C^2$

11'2'2 $\Delta P_{AKB} = I_C (E_B - U_C) - I_C^2 (R_{IP} + R_M)$

22'3'3 $\Delta P_0 = I_C^2 (R_{IP} + R_M)$

44'-5'5 $\Delta P_C = I_C^2 R_C$

Робочі характеристики стартерного електродвигуна



$$P = I_C U_C = I_C^2 R_C$$

$$\eta_C n = \frac{P_C}{P} = \frac{E_B I_C - (R_B + R_{ПР} + R_M + R_C) I_C^2 - \Delta P_M n}{I_C^2 R_C}$$

$I_{нх}$, $I_{сг}$, $M_{сг}$, $n_{хх}$ – технічні параметри для аналізу та діагностування.

$I_{ном}$, $M_{ном.}$, $P_{с. max}$, $M_{ном}$, $n_{ном}$ – номінальний режим, вказуються на бирці стартеру.

I - режим максимального ККД.

2.2.4. Характеристики СЕД при нерівномірному обертанні

Миттєва кутова швидкість

$$\omega = \omega_{\text{CP}} \left(1 - \frac{\delta_{\text{H}}}{2} \sin 2\pi \frac{t}{T_{\text{П}}} \right)$$

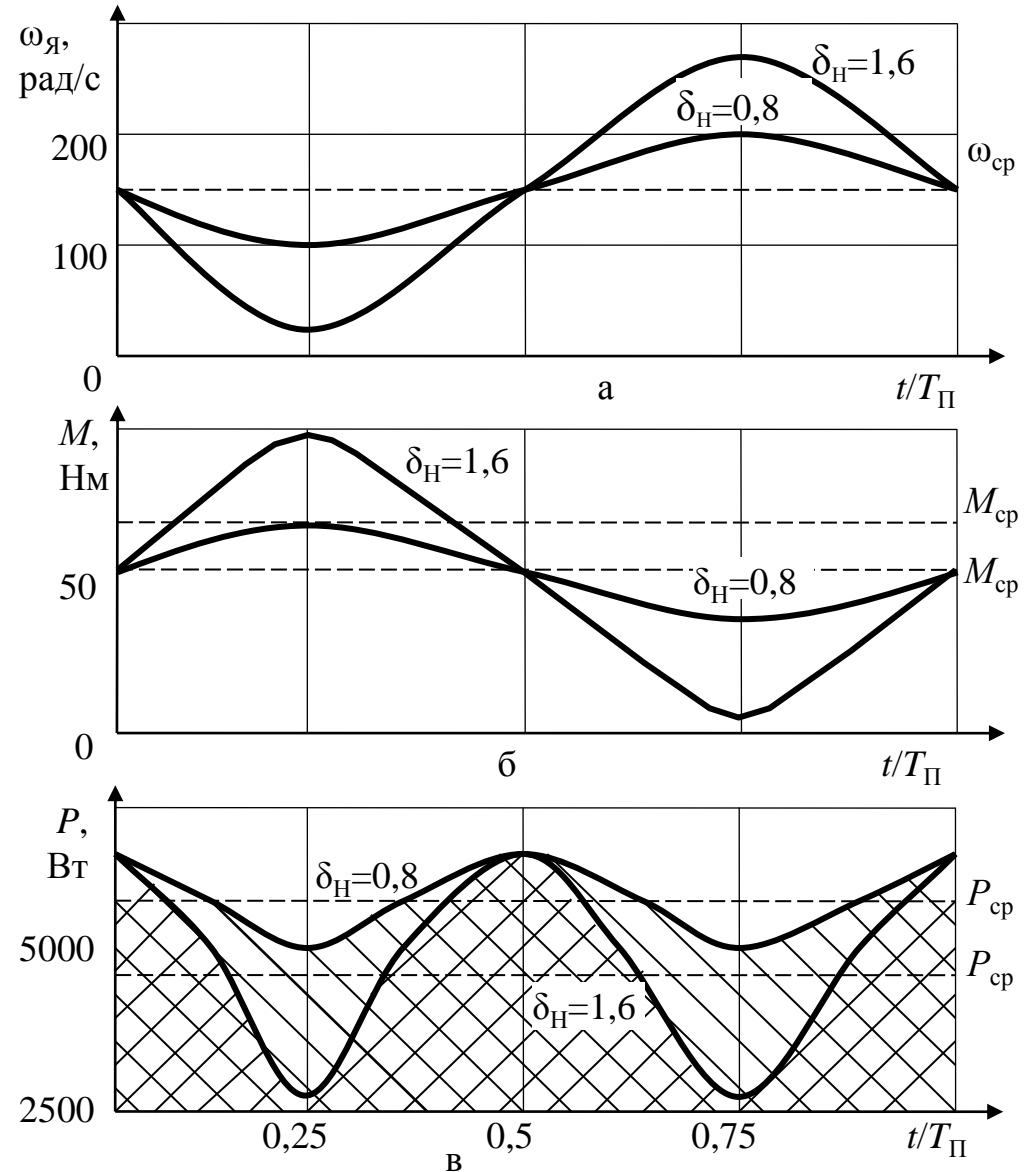
Миттєвий момент

$$M = a - b\omega$$

Миттєва потужність та енергія

$$P = M\omega$$

$$W = \int_0^{T_{\text{П}}} P dt$$

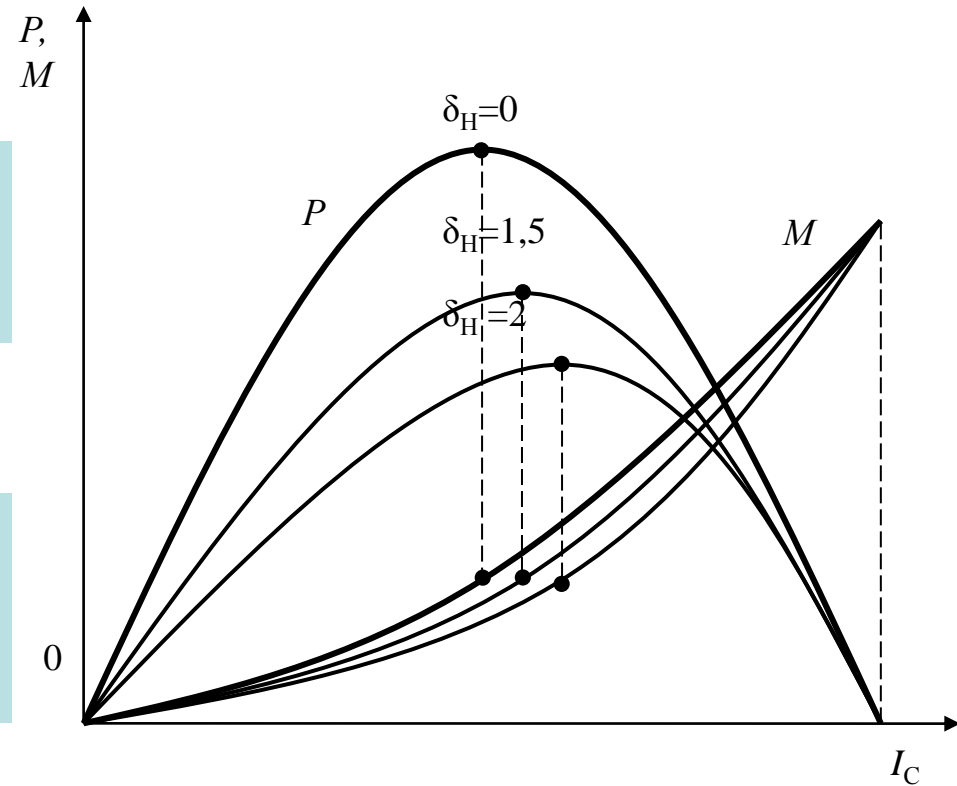


Вплив нерівномірності обертання СЕД на його робочі характеристики

Середні значення
силових параметрів

$$P_{\text{CP}} = \frac{W}{T_{\text{П}}} = \left[a - b\omega_{\text{CP}} \left(1 + \frac{\delta_{\text{H}}^2}{8} \right) \right] \omega_{\text{CP}}$$

$$M_{\text{CP}} = \frac{W}{\theta} = a - b\omega_{\text{CP}} \left(1 + \frac{\delta_{\text{H}}^2}{8} \right)$$



Тема 2.3 Підбір елементів системи пуску та оптимізація її параметрів

2.3.1. Умова мінімізації маси елементів системи пуску

$$P_{\text{Я}} = U_{\text{Я}}^2 / R_{\text{СЯ}} \quad \longrightarrow \quad R_{\text{СЯ}} = (U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^2 (1 - K)^2 / P \quad \longleftarrow$$

$$R'_{\text{АБ}} + R'_{\text{пр}} + R'_C = 1$$

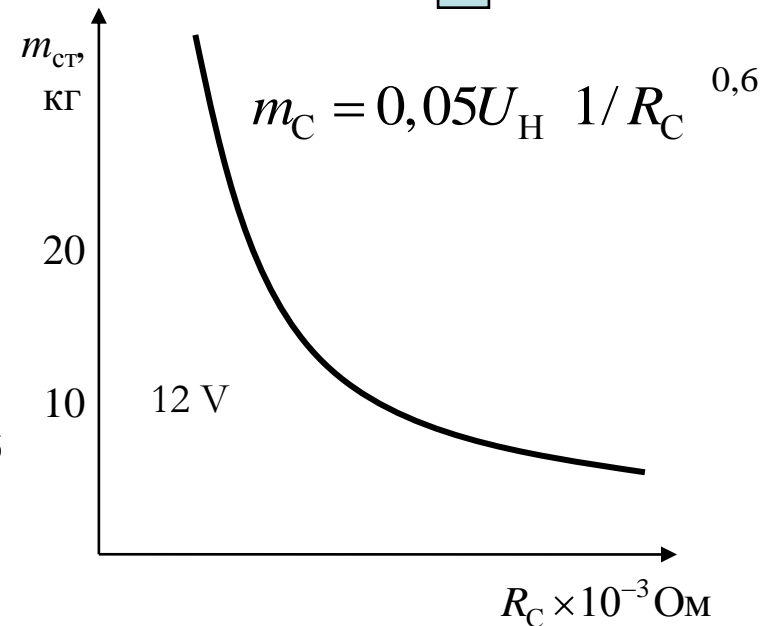
$$R'_{\text{АБ}} = \frac{R_{\text{АБ}}}{R_{\text{СЯ}}}, \quad R'_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{пр}}}{R_{\text{СЯ}}}, \quad R'_C = \frac{R_C}{R_{\text{СЯ}}}$$

$$K = K_C / K_{\text{СТ}}$$

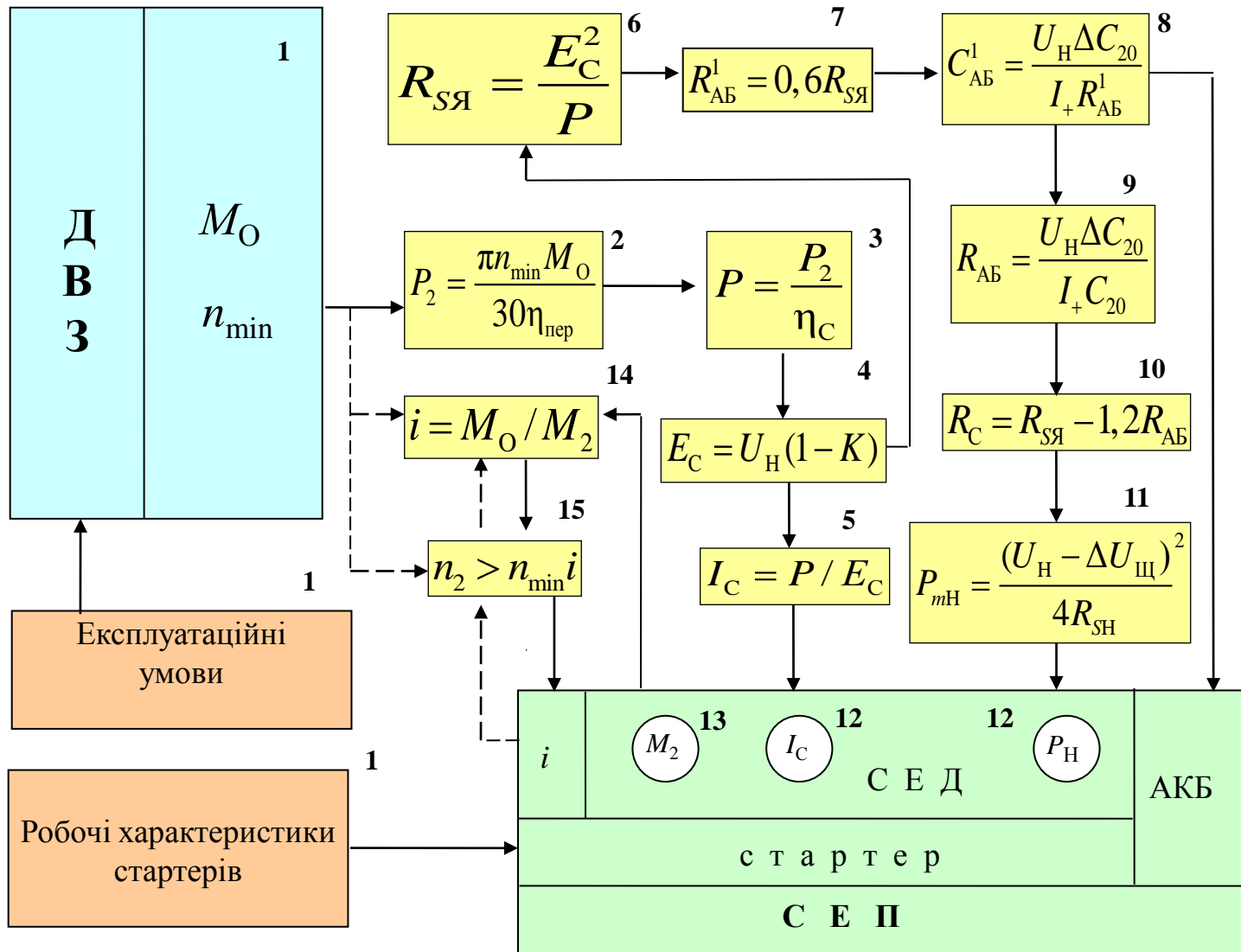
$$m_{\text{АБ}} = \frac{U_{\text{Н}} C_{20}}{W_{\text{АБ}}} = \frac{U_{\text{Н}}^2 P \Delta C_{20}}{(U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^2 (1 - K) K W'_{\text{АБ}} I + R'_{\text{АБ}}}$$

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \rho_{\text{пр}} = \frac{\rho_{\text{пр}} \rho_{R.\text{пр}} l_{\text{пр}}^2 P}{R'_{\text{пр}} (U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^2 (1 - K) K}$$

$$m_C = 1665 \rho_C (U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^{1,2} \left[\frac{1 - K}{B_{\delta} n_{\text{Я}}} \right]^{1,2} \left[\frac{R_{R.\text{Я}}}{R_C} \right]^{0,6}$$



2.3.2. Підбір елементів системи пуску за номінальною потужністю



$$I_+ = (a_{II} + b_{II} t_{ел} - c_{II} \Delta C_P) [1 - k_{II} (z_{II} - 1)]$$

$$R_{SH} = a_B U_H / C_{20} + R_{CH}$$

$$R_{CH} = R_C / k_t$$

$$P_H = P_{mH} \eta_C$$

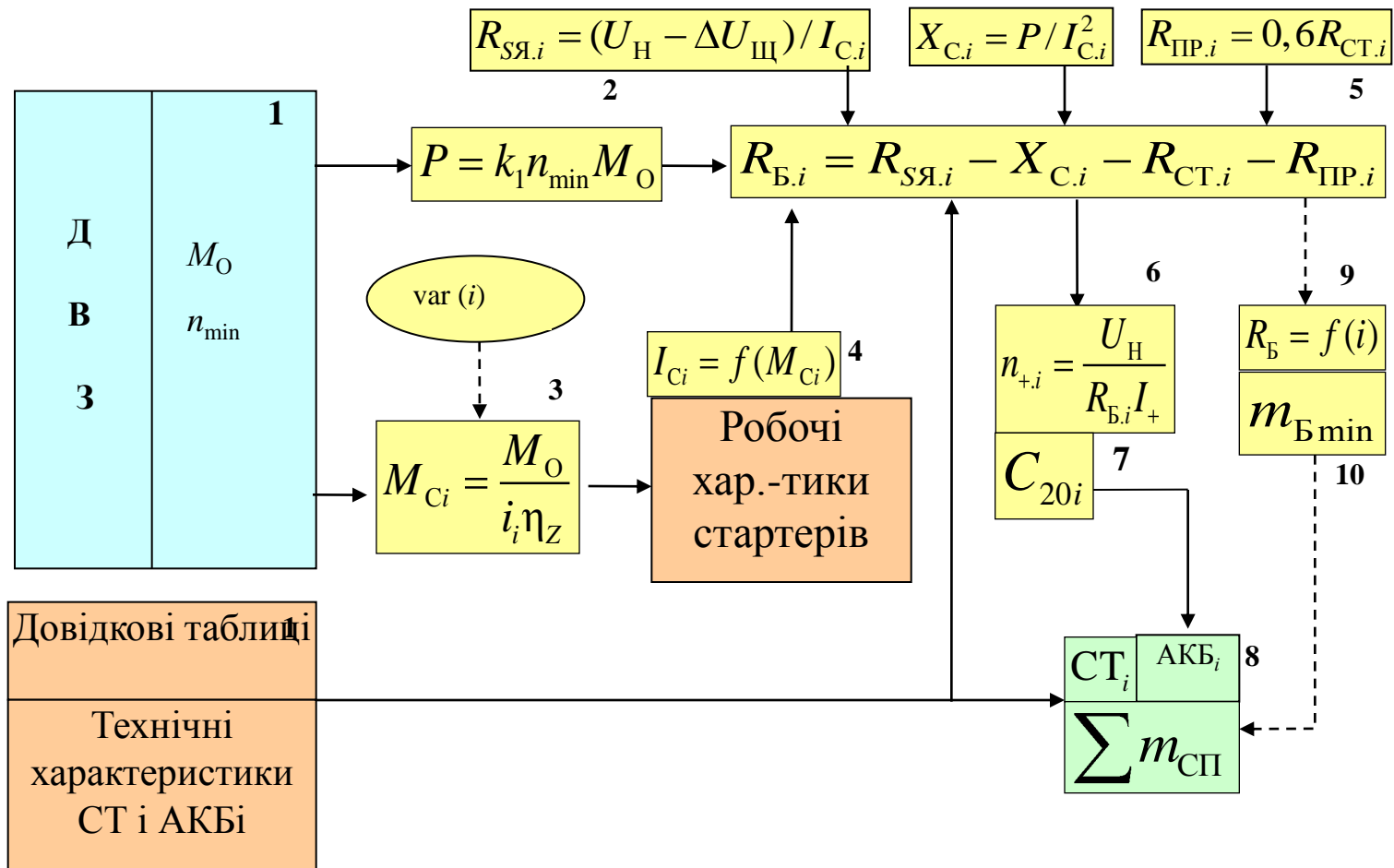
2.3.3. Підбір елементів системи пуску за опором стартера

Вихідні дані у вигляді довідкових таблиць

Тип ДВЗ	Роб. об'єм цилі V , л	Кількість циліндрів Z	Розташування циліндрів	Зовнішній діаметр стартеру D_p , м
Карбюраторний	1,5 – 2,0	2	V-образне	0,105 – 0,11
	2,0 – 2,5	4	Рядове	0,11 – 0,12
	.....	6	V-образне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,13 – 0,15
Інжекторний	1,5 – 2,0	2	V-образне	0,1 – 0,11
	2,0 – 2,5	4	Рядове	0,11 – 0,12
	.....	6	V-образне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,13 – 0,15
Дизельний	1,5 – 2,0	2	V-образне	0,12 – 0,13
	2,0 – 2,5	4	Рядове	0,14 – 0,16
	.....	6	V-образне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,2 – 0,22
Газо-дизельний	1,5 – 2,0	2	V-образне	0,11 – 0,12
	2,0 – 2,5	4	Рядове	0,12 – 0,13
	.....	6	V-образне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,13 – 0,15
Газовий	1,5 – 2,0	2	V-образне	0,1 – 0,11
	2,0 – 2,5	4	Рядове	0,11 – 0,12
	.....	6	V-образне	.....
	11,0 – 14,0	8	рядове	0,13 – 0,15

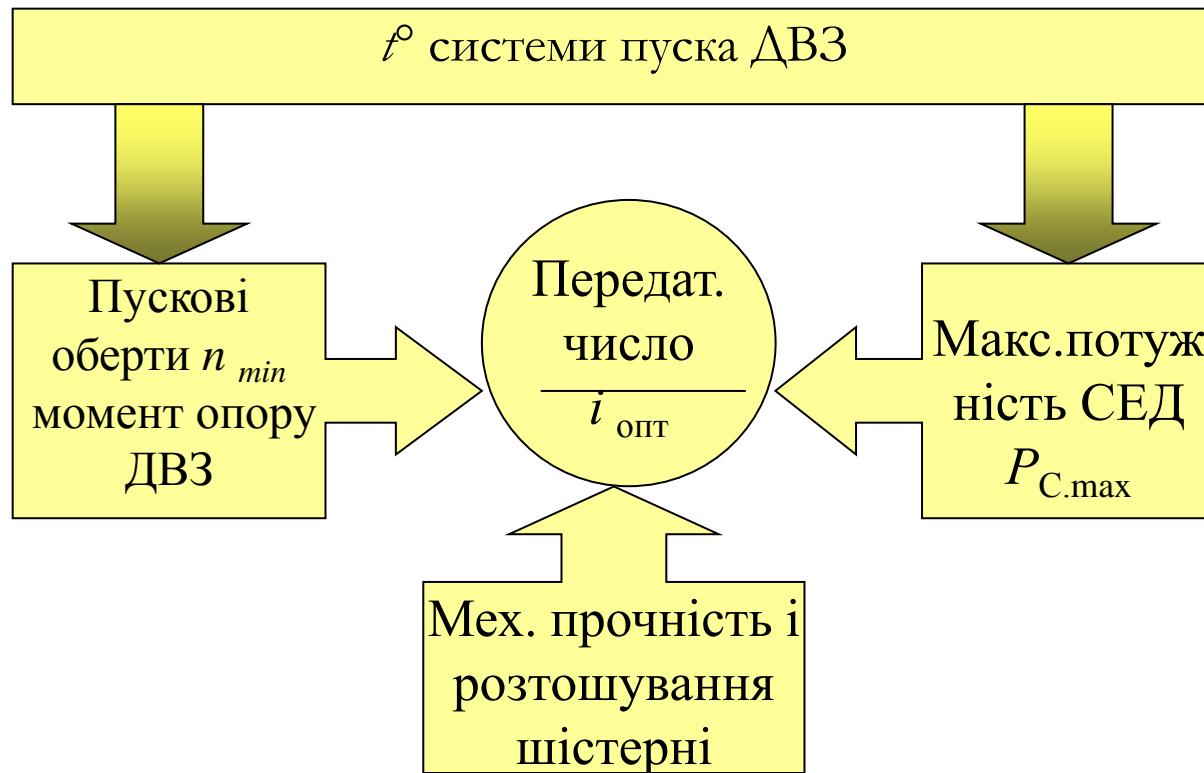
діаметр стартеру D_p , м	Тип стартеру	Тип АКБ	Оопір стартеру, Ом	Маса стартеру, кг	Маса АКБ, кг
0,105 – 0,11	СТ 221	6СТ55	0,01	8,5	12,2
0,11 – 0,12	СТ 230Б	6СТ75	0,0095	12,5	16,4
.....
0,13 – 0,18	16.3708	6СТ182	0,00275	53,0	24,6

Послідовність розрахунків при підборі елементів системи пуску за опором стартера

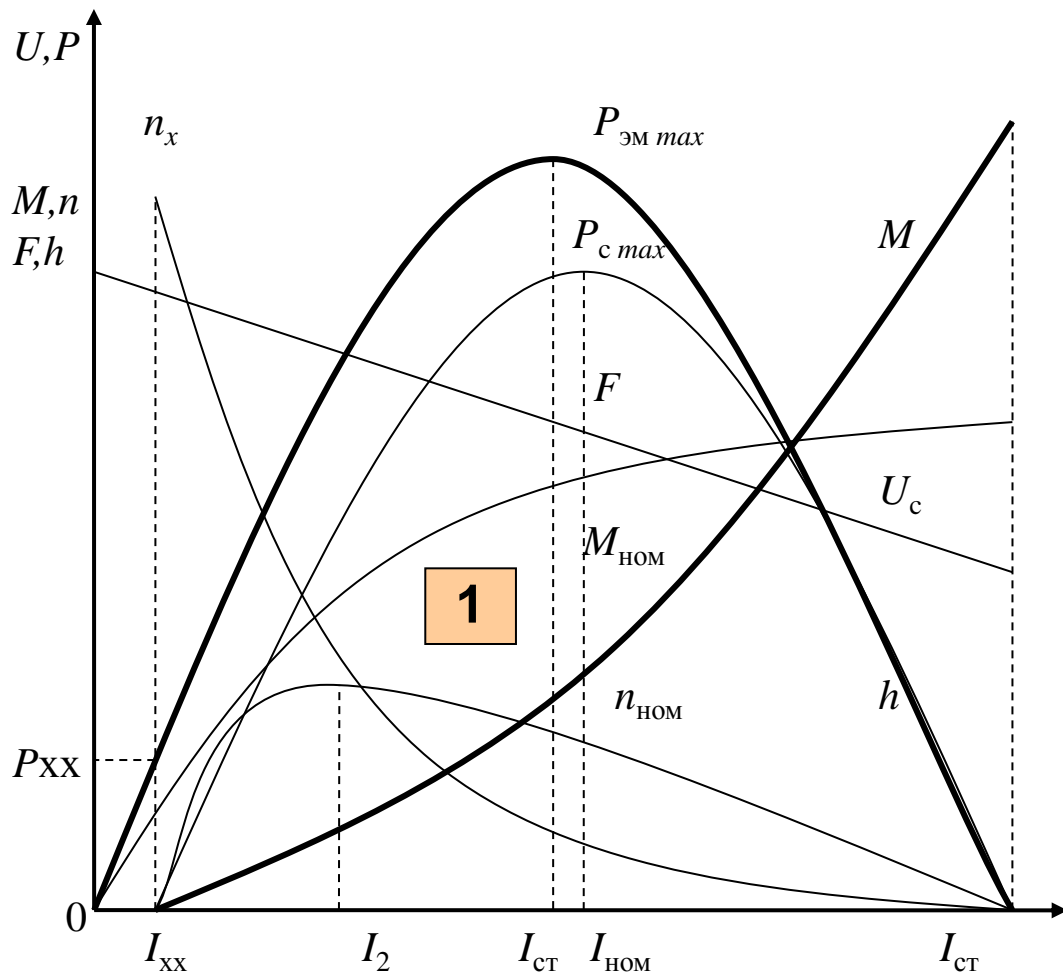


2.3.4. Оптимізація передаточного числа приводу стартера

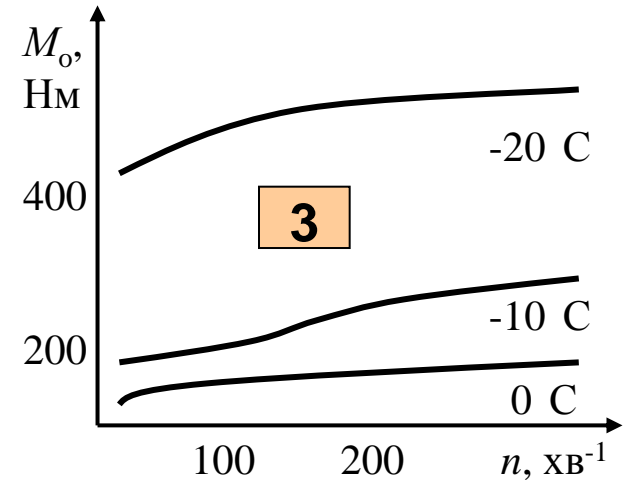
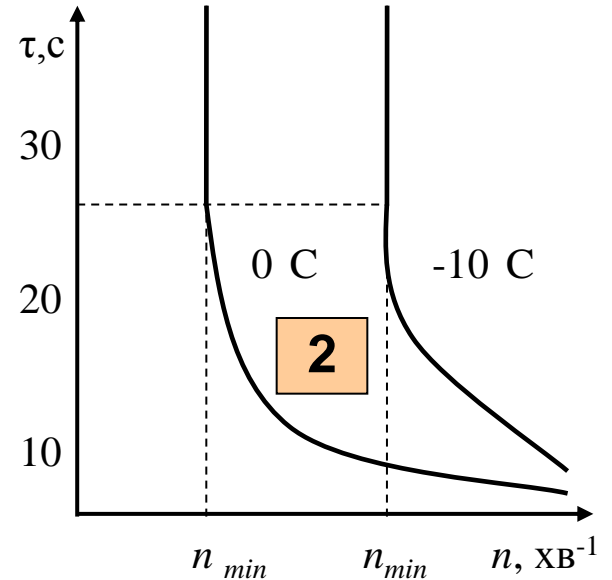
Завдання оптимізації передаточного числа



Залежності, щодо побудування суміщених характеристик



Робочі характеристики електродвигуна

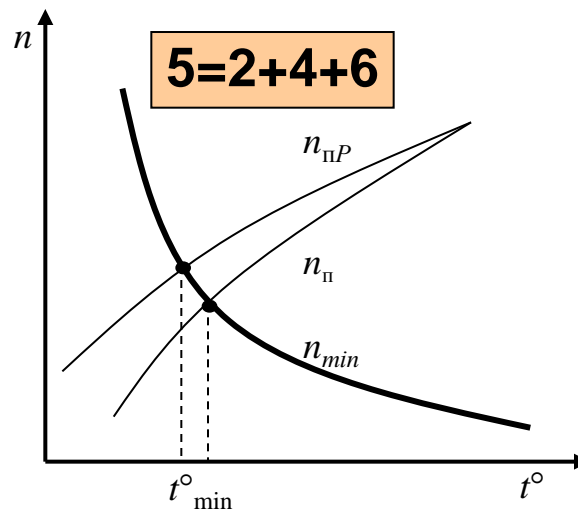
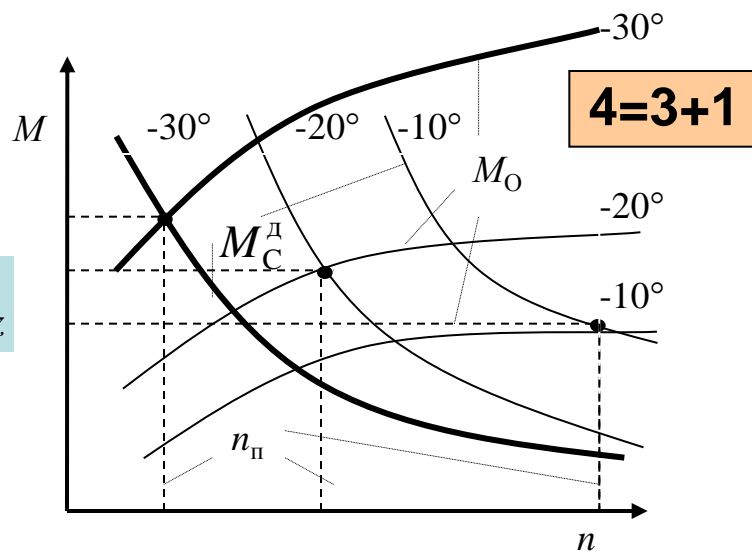


Пускові характеристики ДВЗ

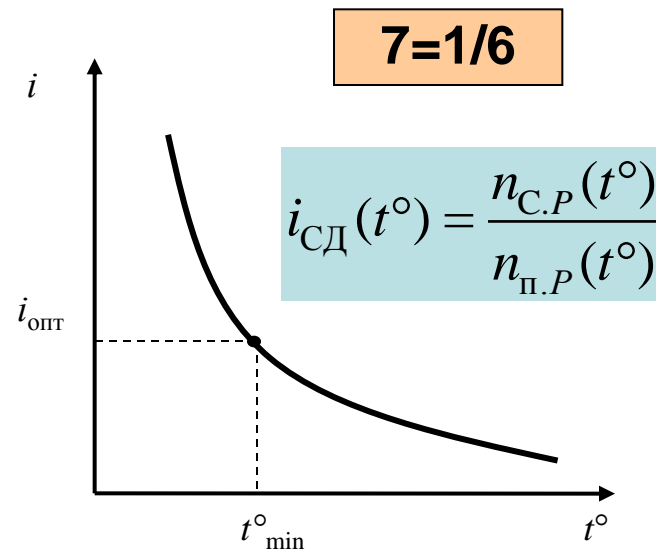
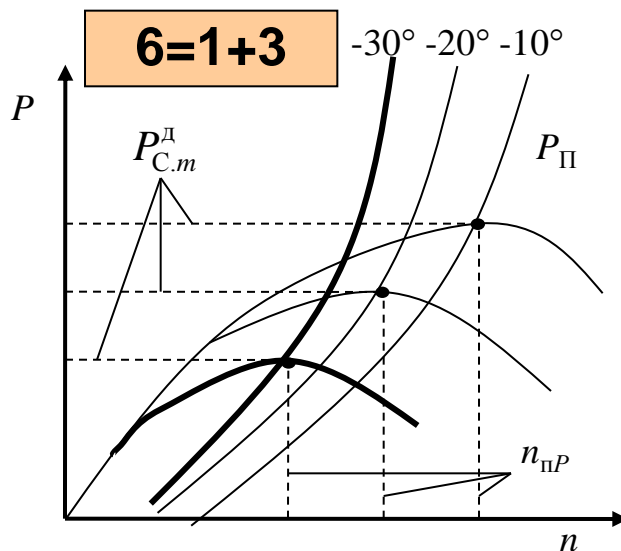
Графо-аналітичний розрахунок оптимального передаточного числа

$$M_C^D = M_C i_{CD} \eta_z$$

$$P_{C.m}^D = P_{C.m} \eta_z$$



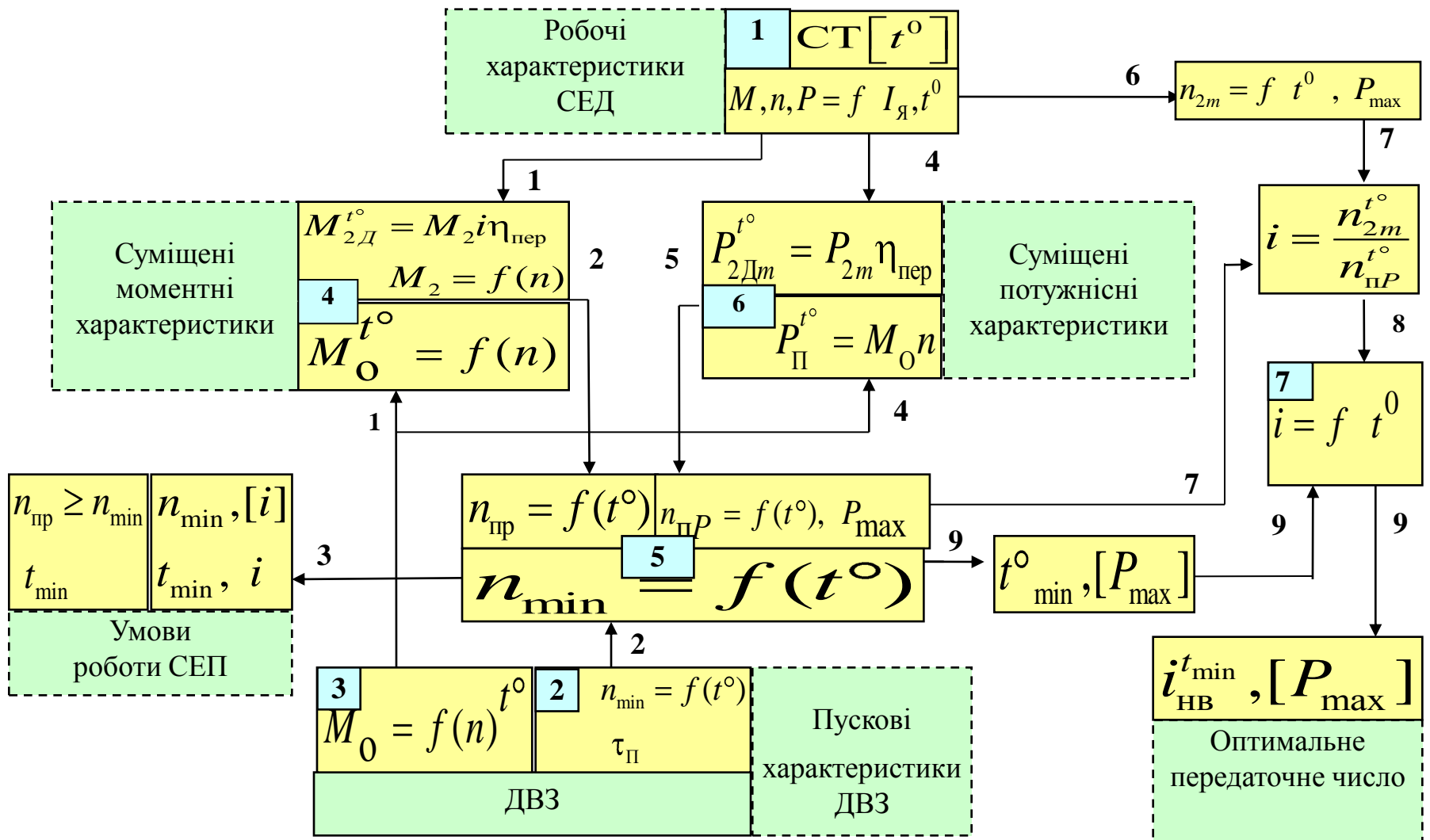
$$P_{\Pi} = M_O n_{min}$$



Суміщені характеристики

До розрахунку оптимальних параметрів

Структура оптимізації передаточного числа стартера



2.3.5. Оптимізація параметрів АКБ

Відносний опір АКБ для СП мін. маси

$$R'_{AB} = \frac{1 - R'_{пр}}{1 + \sqrt{\frac{I_+ W_{AB}^1 m_C R_C}{\Delta C_{20} U_H}}}$$

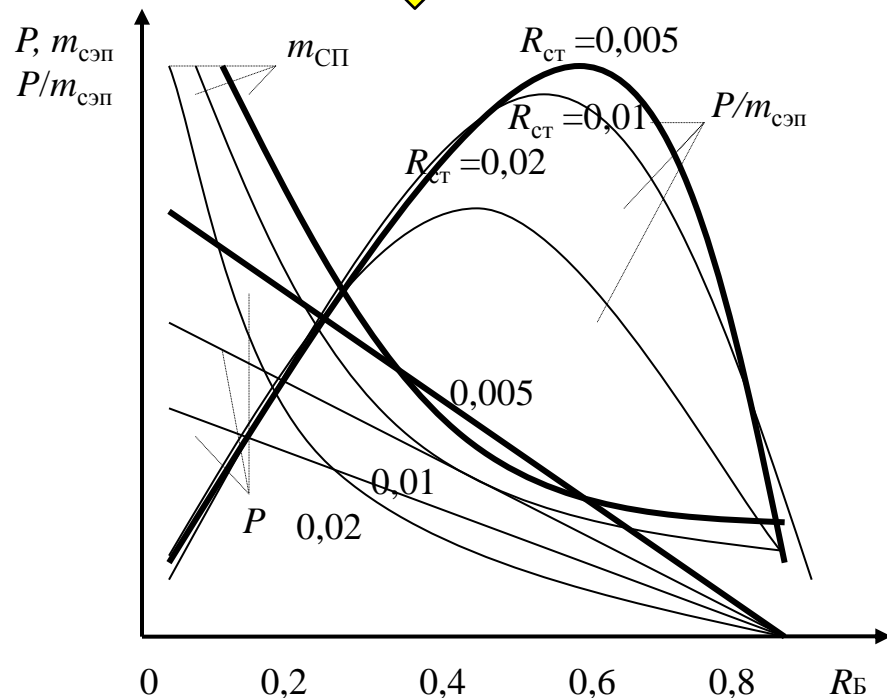
$$R'_{AB} + R'_{пр} + R'_C = 1$$

$$m_C = 0,05 U_H \ 1/R_C^{0,6}$$

$$m_{пр} = \frac{\rho_{пр} \rho_{R.пр} l_{пр}^2 P}{R'_{пр} U_H^2 (1 - K) K}$$

$$m_{AB} = \frac{P \Delta C_{20}}{(1 - K) K W'_{AB} I_+ R'_{AB}}$$

Вплив відносного опору АКБ на параметри СЕП



$$R_B = (0,6 - 0,7) R_{СЯ}$$

2.3.6. Оптимізація параметрів стартерного проводу

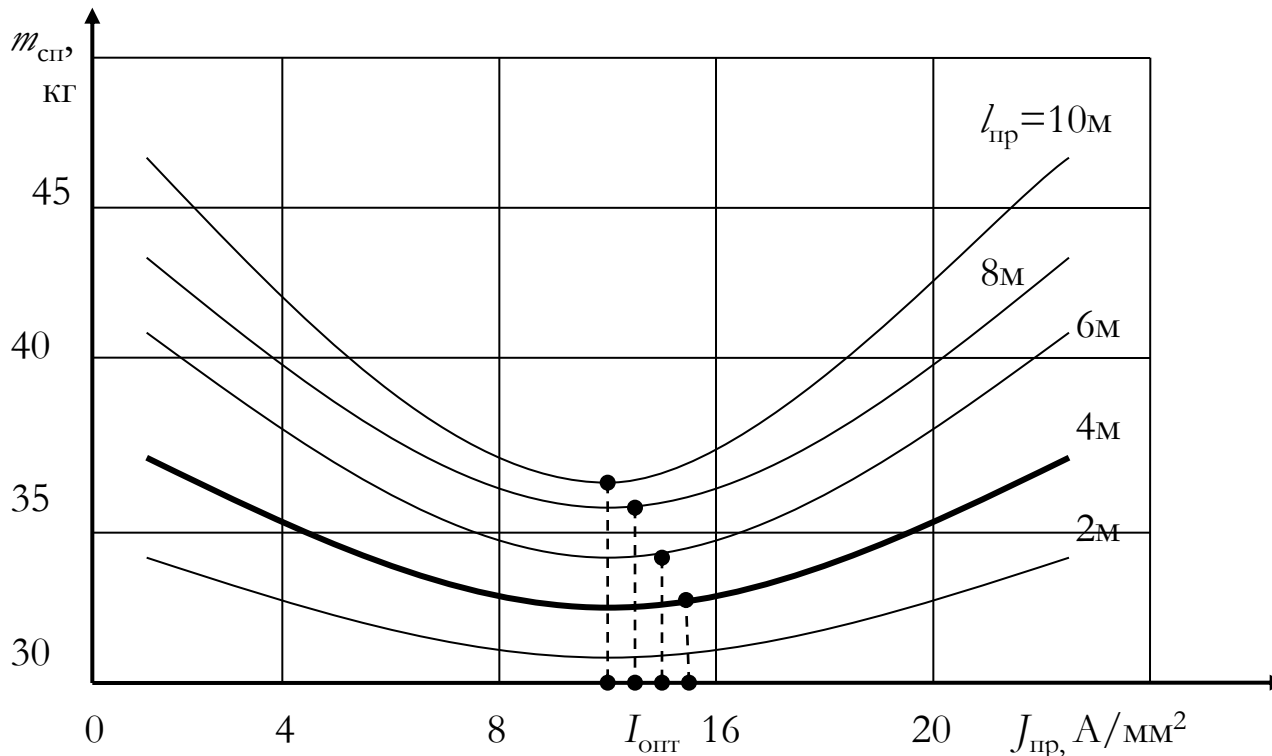
Втрати потужності

$$\Delta P_{\text{пр}} = I_{\text{Я}}^2 R_{\text{пр}} = \frac{P^2 R_{\text{пр}}}{(U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^2 (1 - K)^2}$$

$$\frac{\Delta P_{\text{пр}}}{P} = \frac{P R_{\text{пр}}}{(U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})^2 (1 - K)^2}$$

Аналітичне визначення маси

$$m_{\text{пр}} = \frac{\rho_{\text{пр}} l_{\text{пр}} P}{(U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})(1 - K) J_{\text{пр}}}$$



$R_{\text{пр}} = 0,002$ Ом,
 $0,2$ В на 100 А
 $U_{\text{Н}} = 12$ В
 $K = 0,5$
 $\Delta U_{\text{Щ}} = 1,5$ В
 $P = 5$ кВт
 $\Delta P/P = 36\%$.