

# **МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ АТЗ**

Доц. Бороденко Ю.М.

## **ЗМІСТ РОЗДІЛУ**

### **5.1. РОЗРАХУНОК ТЯГОВОГО РЕЛЕ СТАРТЕРА**

- 5.1.1. Етапи проектування та структура розрахунку.
- 5.1.2. Аналіз вихідних даних та вибір типу магнітної системи.
- 5.1.3. Визначення головних розмірів електромагнітного приводу.
- 5.1.4. Розрахунок магнітного кола.
- 5.1.5. Розрахунок обмотки реле.
- 5.1.6. Побудування тягової характеристики та оцінка працездатності тягового реле.

### **5.2. РОЗРАХУНОК СТАРТЕРНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ**

- 5.2.1. Етапи розробки та структура розрахунку.
- 5.2.2. Визначення головних розмірів.
- 5.2.3. Синтез конструкції якоря.
- 5.2.4. Розрахунок магнітної системи.
- 5.2.5. Синтез обмотки збудження.

### **5.3. РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ З ДЗЬОБОПОДІБНИМ РОТОРОМ**

- 5.3.1. Етапи проектування та структура розрахунку.
- 5.3.2. Особливості побудови та розрахунку.
- 5.3.3. Попередній розрахунок та синтез конструкції генератора.
- 5.3.4. Розрахунок магнітного кола генератора та побудування характеристики холостого ходу.
- 5.3.5. Розрахунок обмотки збудження.
- 5.3.6. Методика побудування струмо-швидкісної характеристики.

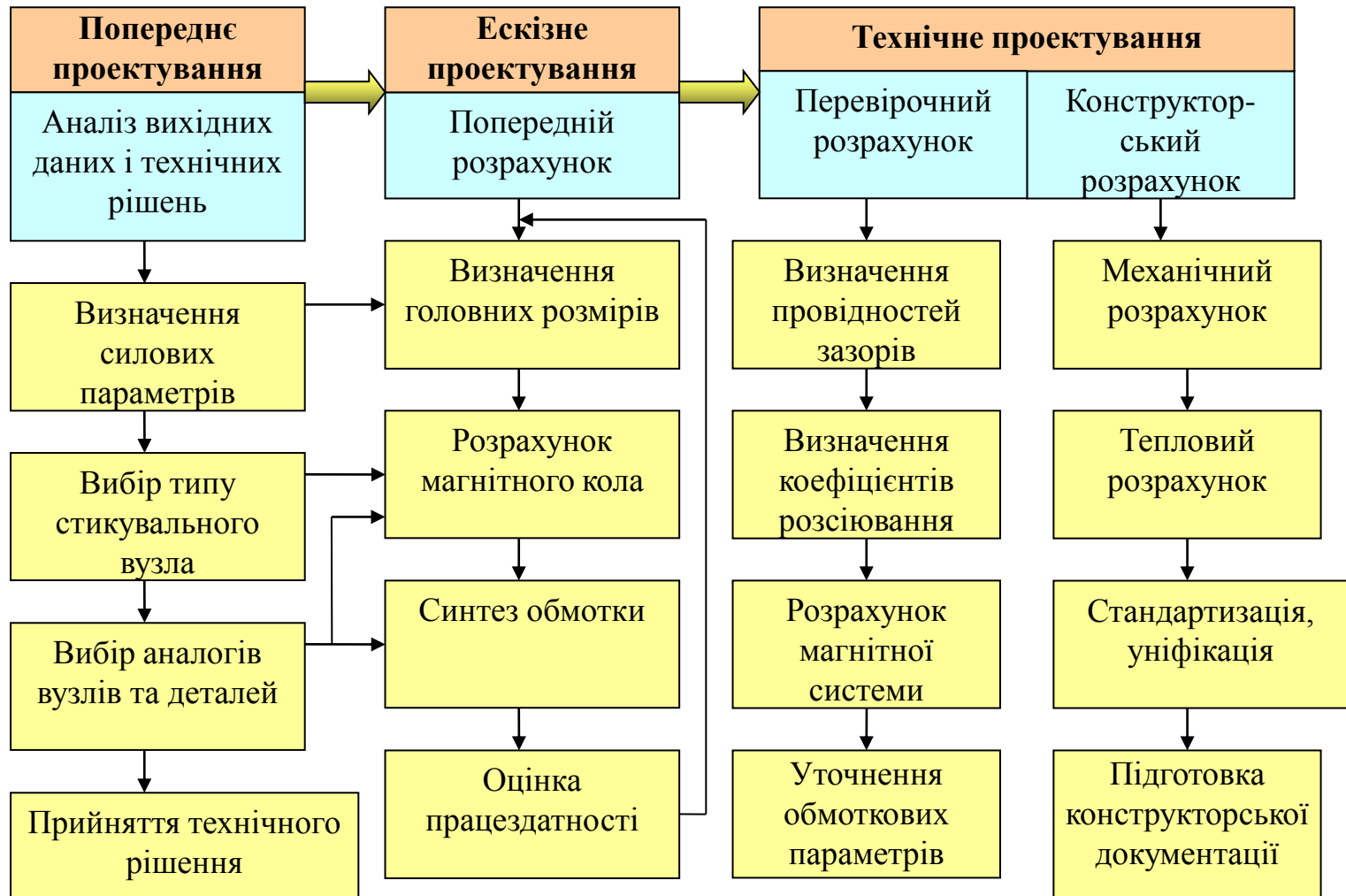
## **5.4. РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ІНДУКТОРНОГО ТИПУ**

- 5.4.1. Особливості розрахунку генераторів з пульсуючим полем
- 5.4.2. Аналіз електромагнітних процесів в індукторних генераторах
- 5.4.3. Методи визначення магнітної провідності робочого зазору
- 5.4.4. Розрахунок магнітної системи та побудування характеристики холостого ходу
- 5.4.5. Розрахунок струмо-швидкісної характеристики

## **5.5. РОЗРАХУНОК КОТУШОК ЗАПАЛЮВАННЯ**

- 5.5.1. Передумови до розрахунку котушки запалювання та аналіз вихідних даних
- 5.5.2. Оптимізація параметрів котушки запалювання
- 5.5.3. Розрахунок магнітної системи та обмоткових даних.

## 5.1.1. Етапи проектування та структура розрахунку

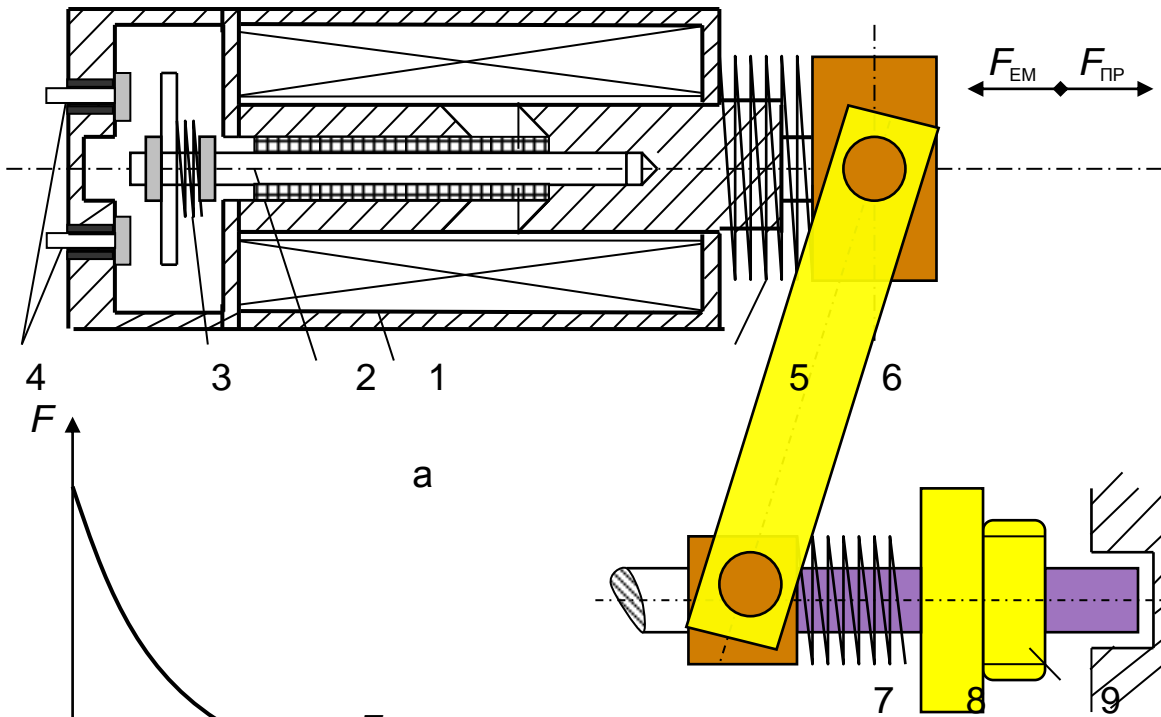


## 5.1.2. Аналіз вихідних даних та вибір типу магнітної системи

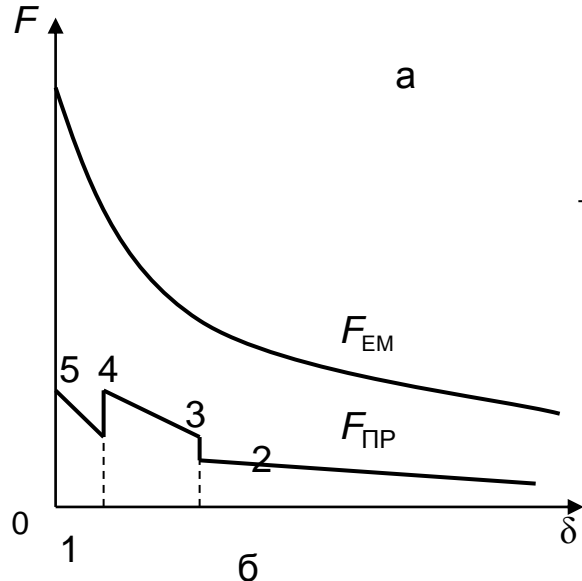
### Вихідні дані для розрахунку тягового реле

1. Напругу обмотки електромагніту  $U_{ор}$ , виходячи з параметрів АКБ (номінальна напруга та ємність) і електростартера (номінальна потужність).
2. Потужність  $P_{ор}$  або струм  $I_{ор}$ , що споживається обмоткою, виходячи з потужності стартерного електродвигуна.
3. Початкове тягове зусилля  $F_{еп}$ , виходячи з початкового тиску пружини, що повертає у механізмі приводу.
4. Хід якоря (початковий зазор), виходячи з конструкції механізму приводу (хід ведучої шестерні, співвідношення пліч коромисла).
5. Коефіцієнт повернення  $k_{п}$ , виходячи з допустимої підсадки напруги  $\Delta U_{акб}$  під час вмикання стартерного електродвигуна.
6. Матеріал магнітопроводу, виходячи з економічних міркувань і вимог до габаритних розмірів реле.
7. Температуру навколишнього середовища (повітря), виходячи з умов експлуатації (обирається максимальна плюсова).
8. Режим включення обмотки (тривалість старту, тривалість перерви між спробами старту, кількість спроб) виходячи з пускових характеристик ДВЗ для найважчих умов (при мінімальній температурі пуску) та експлуатаційних вимог.

# Механізм приводу тягового реле стартера



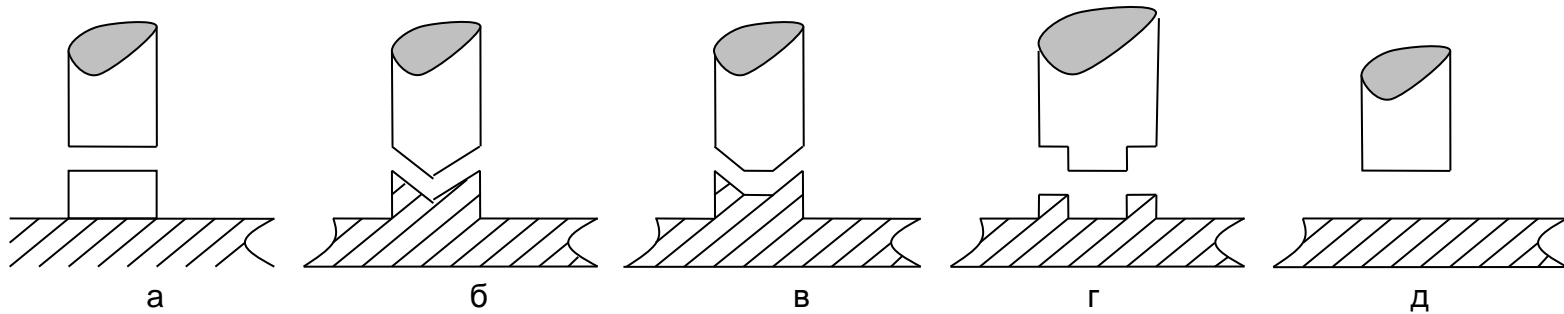
- 1 - обмотка електромагніта;
- 2 - якор тягового реле;
- 3 - пружина, що демпфірує;
- 4 - силові контакти;
- 5 - пружина, що повертає;
- 6 - важіль приводу;
- 7 - буферна пружина;
- 8 - муфта вільного ходу;
- 9 - шестірня приводу.



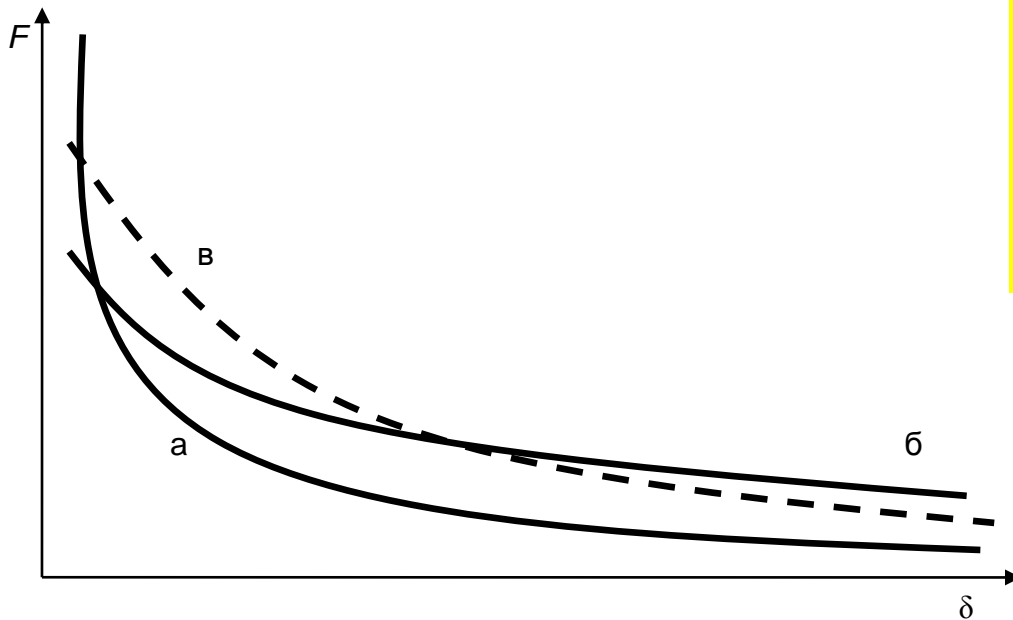
- 1 - початковий тиск пружини, що повертає;
- 2 - стискування пружини, що повертає;
- 3 - упор шестерні у прокладки;
- 4 - стискування буферної пружини та пружини, що повертає;
- 5 - вхід шестерні у зачеплення й замикання контактної групи;
- 6 - стискування пружини, що демпфірує, пружини, що повертає та буферної пружини одночасно.

Тягова та протидіюча характеристики

## Вибір типу магнітної системи



Стикувальні вузли : а - з плоскими торцями; б - з конічними торцями; в - у вигляді усіченого конусу; г - клапанного типу; д - без основи



Тягова характеристика електромагніту

### Критерії вибору:

Нахил протидіючої характеристики  
коефіцієнт повернення  $k_{пов}$ ,  
час спрацьовування (відпускання);  
бажаний коефіцієнт корисної дії;  
конструктивні параметри силових контактів.

### 5.1.3. Визначення головних розмірів електромагнітного приводу

$$\Pi_K = \frac{\sqrt{F_{\text{ЕП}}}}{\delta_{\text{П}}} \equiv \frac{\sqrt{S}}{l} \equiv \frac{d}{l}$$

$$S = \frac{F_{\text{ЕП}}}{kB_{\delta}^2}$$

$$d = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$l_K = (1,1 \dots 1,3)\delta_{\text{П}}$$

$$h_K = l_K / l_h \quad h_K$$

$\Pi_K \leq 0,2$  – без основи

$\Pi_K = 1,2 - 5$  – конічний з кутом  $60^\circ$

$\Pi_K = 5 - 16$  – конус з кутом  $90^\circ$ .

$\Pi_K \geq 16$  – з плоскими торцями.

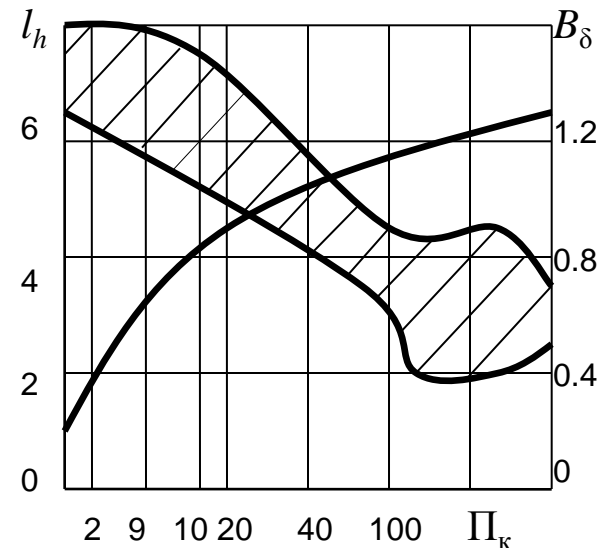
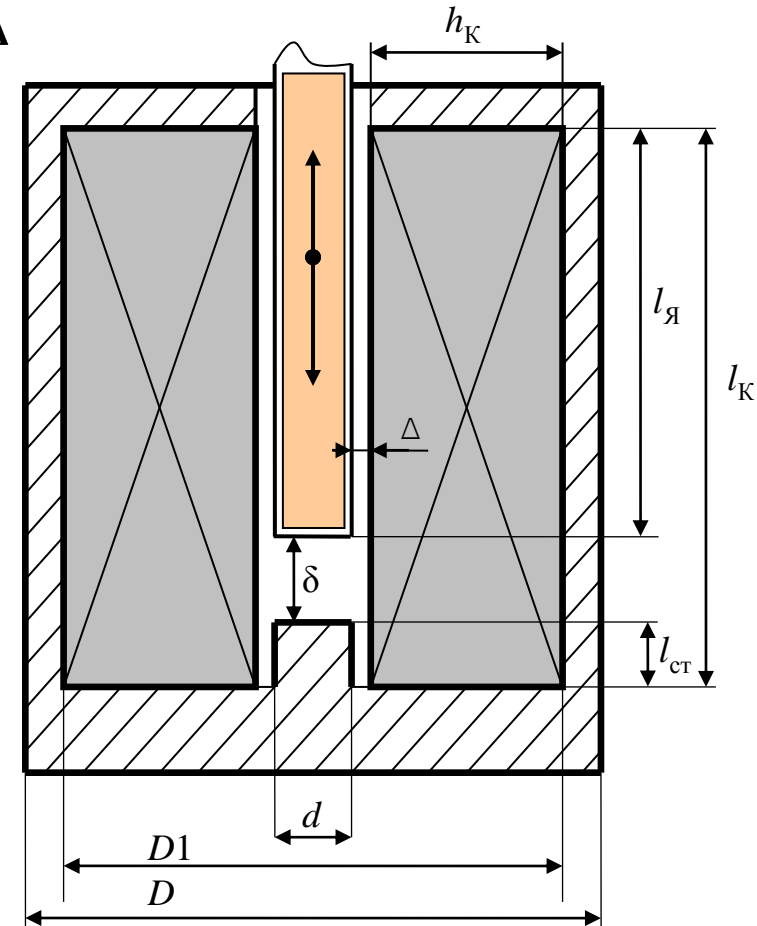
$\Pi_K = 2,6 - 26$  – клапанного типу

$$D_1 = d + 2h_K + 2\Delta$$

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(D^2 - D_1^2)}{4}$$

$$D = \sqrt{D_1^2 + d^2}$$

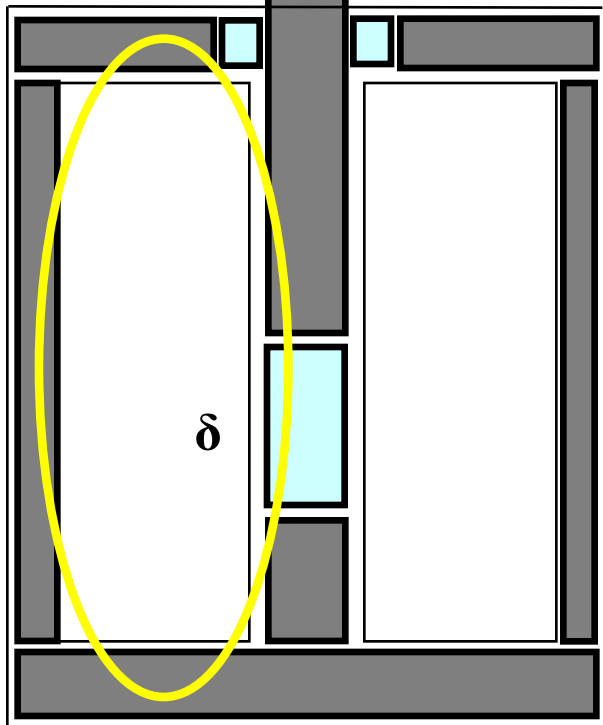
$$l_{\text{ТР}} = 2(D - D_1) + l_K$$



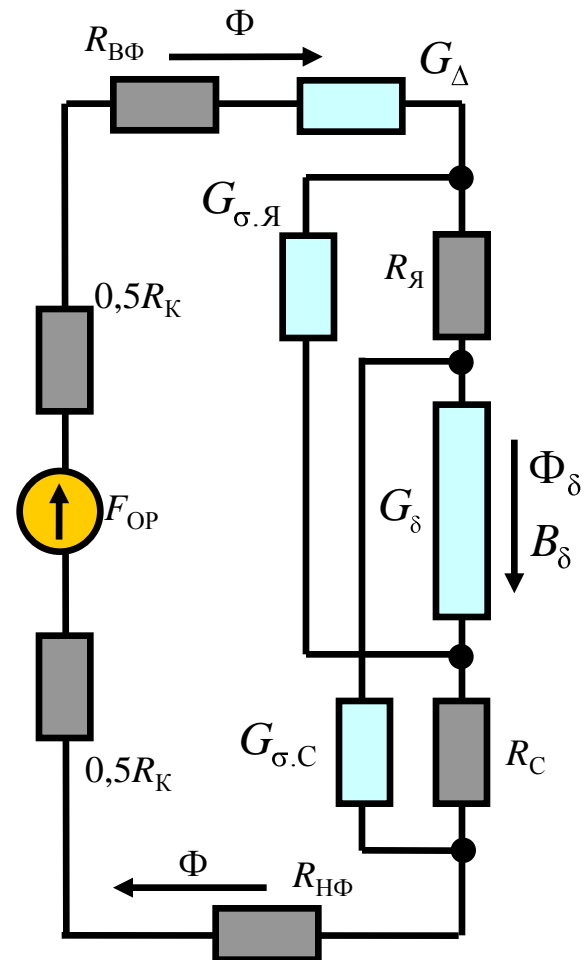
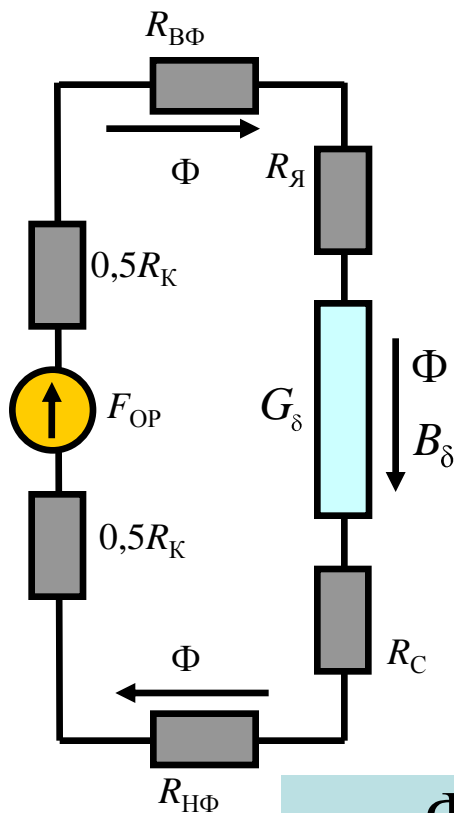


## 5.1.4. Розрахунок магнітного кола

$$B(l) = \Phi / S - const$$



$$F_{OP} = F_{\delta} + \sum F_i$$



$$F_{OP} = (1,1 - 1,2) F_{\delta}$$

$$G_{\delta} = \mu_0 S / \delta$$

$$F_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{G_{\delta}} = \frac{B_{\delta} S_{\delta}}{G_{\delta}}$$

$$\sigma_i = \Phi_i / \Phi_{\delta}$$

$$B_i = \sigma_i \Phi_{\delta} / S_i$$

$$H_i = f(B_i)$$

$$F_i = l_i H_i$$

## Розрахунок параметрів магнітного кола

$$\sigma_{я\ C} = 1 + \frac{l_{я\ C} - 0,25d \ g_s \delta_{\Pi}}{2l_K G_{\delta}}$$

$$G_{\Delta} = \frac{\mu_0 S_{\Delta}}{\Delta} = \frac{\mu_0 \pi d (D - D_1)}{2\Delta}$$

$$F_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{G_{\delta}} = \frac{B_{\delta} S_{\delta}}{G_{\delta}}$$

$$F_{\Delta} = \frac{\sigma_{я} \Phi_{\delta}}{G_{\Delta}}$$

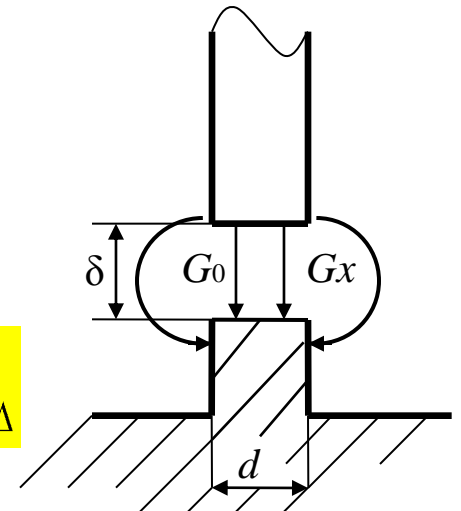
$$B_i = \sigma_i \Phi_{\delta} / S_i \Rightarrow H_i = f(B_i) \Rightarrow F_i = l_i H_i$$

$$F_{OP} = F_{\delta} + \sum F_i = F_{\delta} + F_{я} + F_C + F_{B\Phi} + F_{H\Phi} + F_K + F_{\Delta}$$

$$G_{\delta} = G_0 + G_x$$

$$G_0 = \mu_0 \left( \frac{\pi d^2}{4\delta} + 0,58d \right)$$

$$G_x = \mu_0 \frac{\pi d \left( \frac{2h_K}{\pi} - \frac{\delta}{2} \right)}{0,22\pi d + 0,8h_K - 0,2\pi\delta}$$



### 5.1.5. Розрахунок обмотки реле

$$P_{OP} = \% P_{CT}$$

$$F_{OP} = w_{OP} I_{OP}$$

$$l_{cp} = \pi(h_K + d + 2\Delta)$$

$$r_{OP} = \frac{U_{OP} w_{OP}}{F_{OP}} = r_{OP} = \frac{4\rho w_{OP} l_{cp}}{\pi d_{\Pi}^2}$$

$$d_{\Pi} = \sqrt{\frac{4\rho l_{cp} F_{OP}}{\pi U_{OP}}}$$

$$w_{OP} = \frac{\pi d_{\Pi}^2 r_{OP}}{4\rho l_{cp}}$$

$$< w_{OP}^* = \frac{4l_K h_K k_M}{\pi d_{\Pi}^2}$$

$$r_{OP} = \frac{U_{AB} - \Delta U_{AB}}{I_{OP}} = \frac{(U_{AB} - \Delta U_{AB})^2}{P_{OP}} \quad \Delta U_{AB} = U_{AB} (1 - k_{пов})$$

## Розрахунок обмотки реле 2

$$J_M \leq J_{\text{доп}}$$

$$F_{\text{OP}} = w_{\text{OP}} I_{\text{OP}}$$

$$r_{\text{OP}} = \rho \frac{w_{\text{OP}} l_{\text{cp}}}{S_M}$$

$$r_{\text{OP}} = \frac{U_{\text{OP}} w_{\text{OP}}}{F_{\text{OP}}}$$

$$r_{\text{OP}} = \frac{4\rho w_{\text{OP}} l_{\text{cp}}}{\pi d_{\text{II}}^2}$$

$$S_M = \frac{F_{\text{OP}} l_{\text{cp}} \rho}{U_{\text{OP}}}$$

$$d_{\text{II}}$$

$$S_M = \frac{\pi d_{\text{II}}^2}{4}$$

$$r_{\text{OP}} = \frac{U_{\text{OP}}}{I_{\text{OP}}}$$

$$w_{\text{OP}} = \frac{U_{\text{OP}}}{\rho l_{\text{cp}} J_M}$$

<

$$w_{\text{OP}}^* = \frac{4l_K h_K k_M}{\pi d_{\text{II}}^2}$$

$$J_M = \frac{I_{\text{OP}}}{S_M}$$

$$w_{\text{OP}} = \frac{r_{\text{OP}} F_{\text{OP}}}{U_{\text{OP}}} = \frac{\pi d_{\text{II}}^2 r_{\text{OP}}}{4\rho l_{\text{cp}}} = \frac{S_M U_{\text{OP}}}{\rho l_{\text{cp}} I_{\text{OP}}} = \frac{U_{\text{OP}}}{\rho l_{\text{cp}} J_M}$$

## Розрахунок обмотки реле 3

 $S_B$ 

$$S_B = l_K h_K k_M$$

$$S_M = \frac{F_{OP} l_{cp} \rho}{U_{OP}}$$

$$d_{II} = \sqrt{\frac{4\rho l_{cp} F_{OP}}{\pi U_{OP}}}$$

$$w_{OP} = U_{OP} \frac{k_M S_B}{\rho l_{cp} F_{OP}}$$

$$r_{OP} = \frac{U_{OP} w_{OP}}{F_{OP}}$$

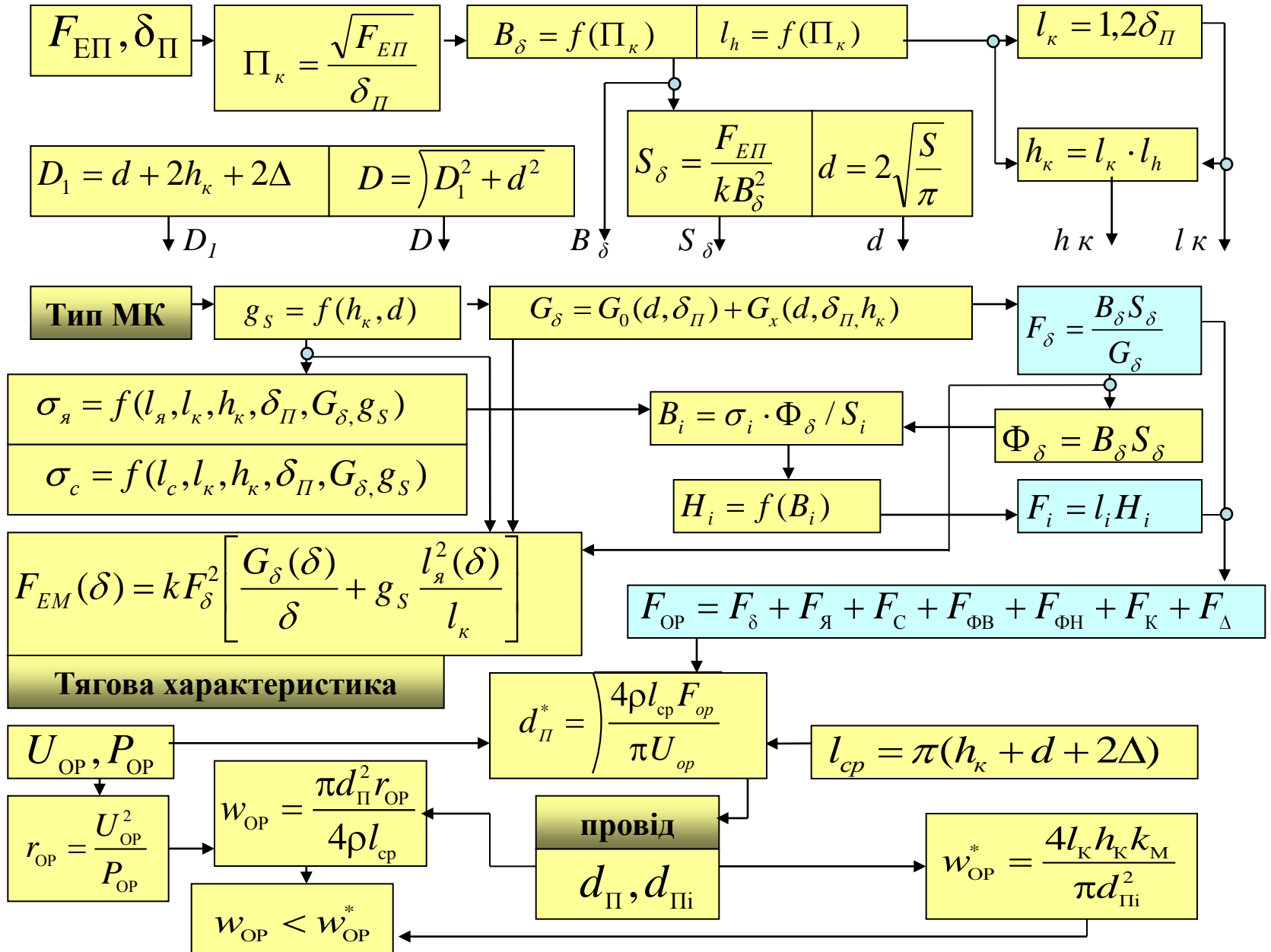
$$r_{OP} = \frac{4\rho w_{OP} l_{cp}}{\pi d_{II}^2}$$

$$I_{OP} = \frac{U_{OP}}{r_{OP}} \leq I_{доп}$$

$$J_M = \frac{I_{OP}}{S_M} \leq J_{доп}$$

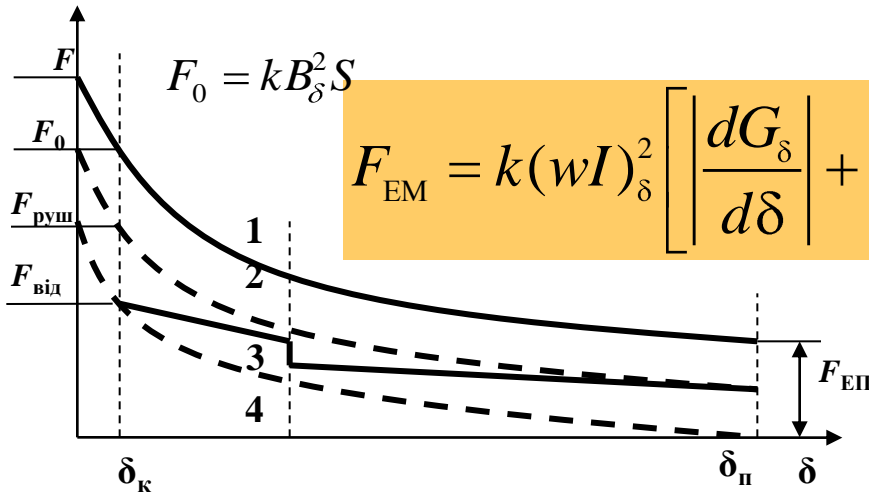
$$P_{OP} = r_{OP} I_{OP}^2 \leq P_{доп}$$

## 5.1.6. Побудування тягової характеристики



# Оцінка працездатності тягового реле

$$F_{EM} = F_{\delta}^2 G_{\delta} \equiv U^2 / R = P$$



$$F_{EM} = k(wI)_{\delta}^2 \left[ \left| \frac{dG_{\delta}}{d\delta} \right| + g_s \frac{l_{Я}^2}{l_{К}^2} \right]$$

$$F_{EM}(\delta) = kF_{\delta}^2 \left[ G_{\delta}(\delta) + g_s \frac{l_{Я}^2(\delta)}{l_{К}^2} \right]$$

$$G_{\delta} = G_0 + G_x$$

1 – тягова ; 3 - протидіюча ; 2 - вмикання ; 4 – повернення

$$L_{OP} = w_{OP}^2 G_e$$

$$I_{руш} = F_{OP} / w_{OP}$$

$$i = \frac{U}{R} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{tR}{L}\right) \right]$$

$$t_{руш} = \frac{L_{OP}}{r_{OP}} \ln\left(\frac{r_{OP} I_{руш} - U_{OP}}{U_{OP}}\right)$$

$$k_{пов} = \sqrt{\frac{F_{від}}{F_{руш}}} = \frac{I_{від}}{I_{руш}}$$

$$G_e = G_{\delta} + g_s \frac{l_{Я}^3 + l_{ст}^3}{3l_{К}^2}$$

$$T_{наг} = \frac{cm_{кот}}{\alpha_T S_{ox}}$$

$$\vartheta_K = \vartheta_{доп}$$

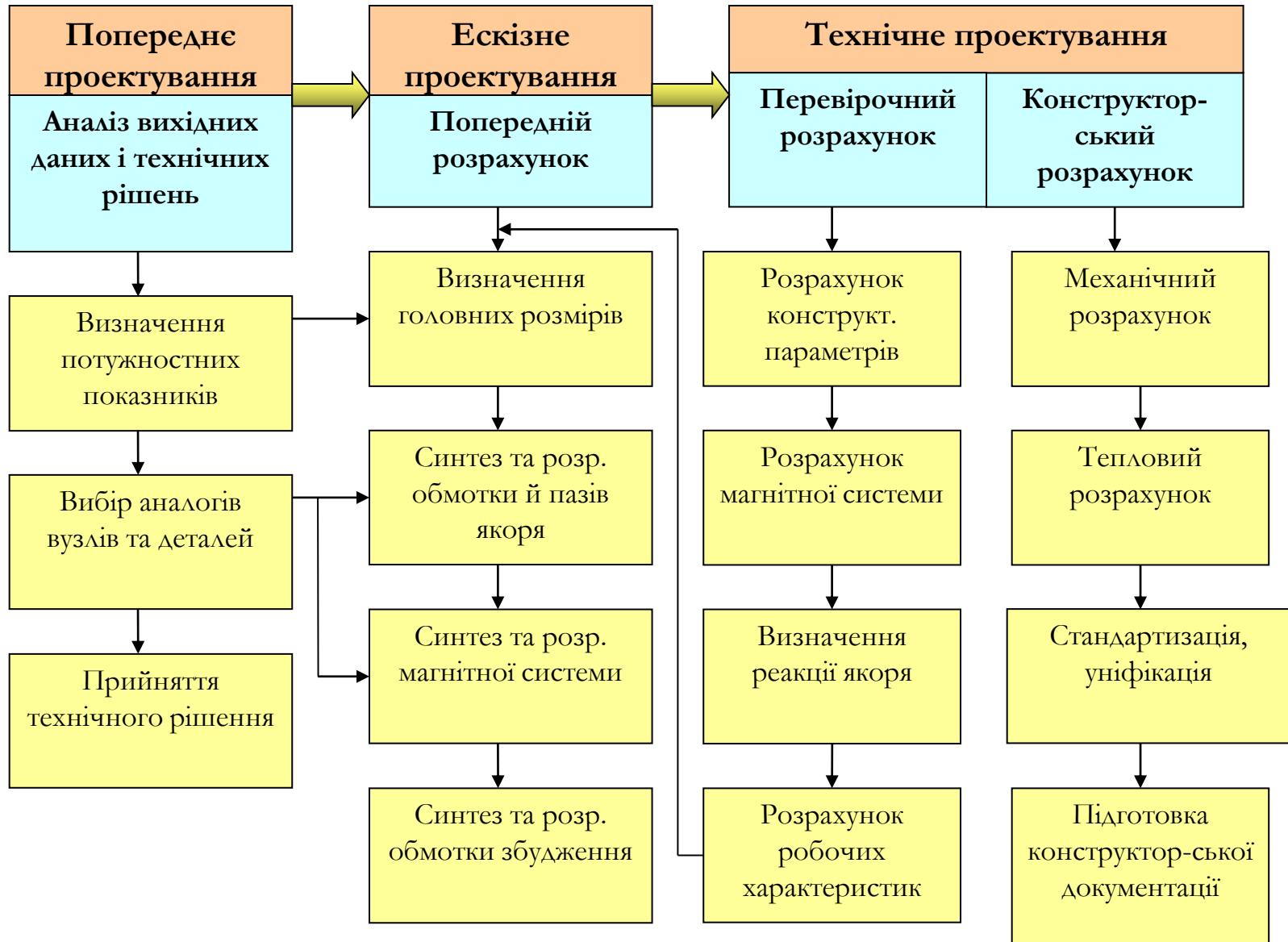
$$\vartheta_C = \frac{P}{\alpha_T S_{ox}} - t_{оп}^{\circ}$$

$$\vartheta_K(t) = \frac{U^2}{R\alpha_T S_{ox}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_{наг}}\right) \right]$$

$$t_{роб} = T_{наг} \ln\left(\frac{\vartheta_{доп} r_{OP} \alpha_T S_{ox} - U_{OP}^2}{U_{OP}^2}\right)$$

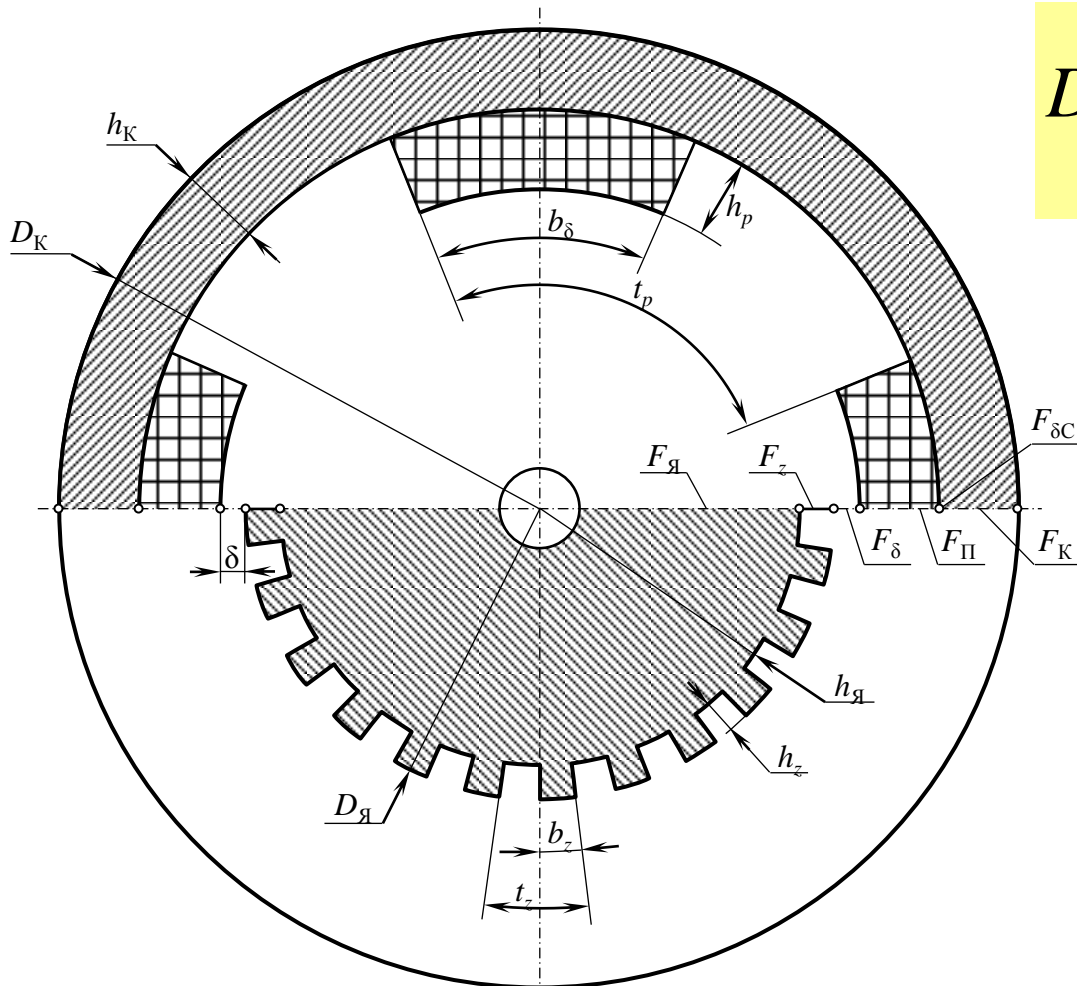
## Тема 5.2

### 5.2.1. Етапи проектування та структура розрахунку



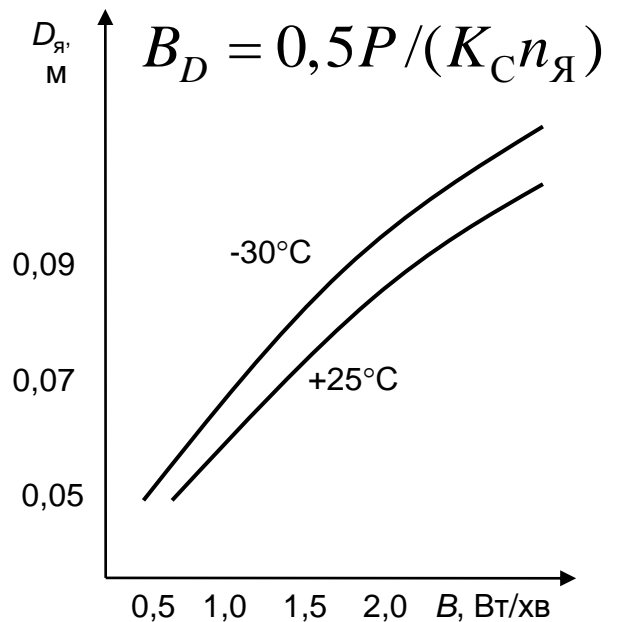


## 5.2.2. Визначення головних розмірів електродвигуна



$$D_{Я}^2 l_{Я} = \frac{6,1P}{B_{\delta} A_{Я} \gamma_{p.c} n_{Я}} = \frac{C_{Я} P}{n_{Я}}$$

$$\gamma_{p.c} = \frac{b_{\delta}}{t_p} \quad t_p = \frac{\pi D_{Я}}{2p}$$

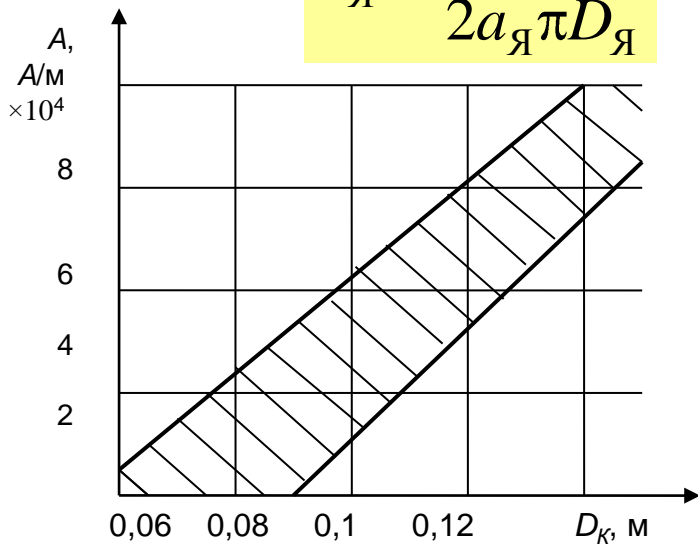


+2*p* зменшується  $\Phi$  через полюс і струмове навантаження щіток (зменшити перетин окремих ділянок МП і підвищити ресурс щіток), але збільшується трудомісткість виготовлення, підвищуються частота перемагнічування (магнітні втрати).

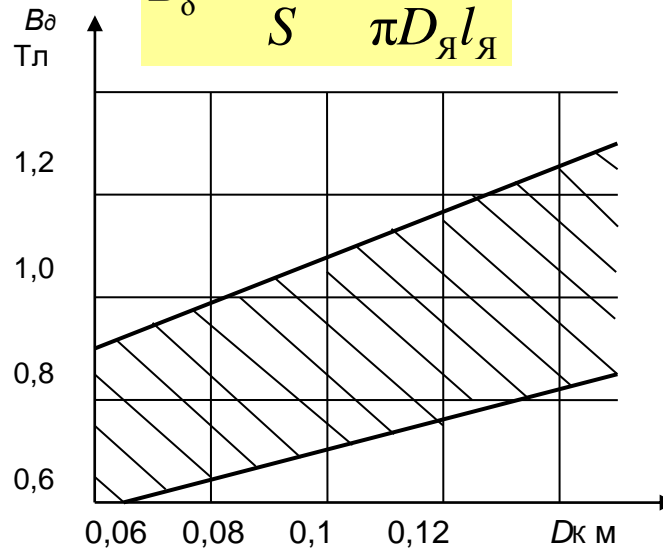
## Рекомендовані значення параметрів

$$M = C_M \Phi I_{Я}$$

$$A_{Я} = \frac{I_{Я} N_{Я}}{2a_{Я} \pi D_{Я}}$$



$$B_{\delta} = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi 2p}{\pi D_{Я} l_{Я}}$$



$$D_{Я}^2 l_{Я} = \frac{6,1P}{B_{\delta} A_{Я} \gamma_{p.c} n_{Я}}$$

$$\gamma_{p.c} = 0,5 - 0,78$$

$$l_{Я} = \frac{C_{Я} P}{n_{Я} D_{Я}^2}$$

$$b_{\delta} = \gamma_{p.c} \pi D_{Я} / 2p$$

$$l_{К} = (1,6 - 2,0) l_{Я}$$

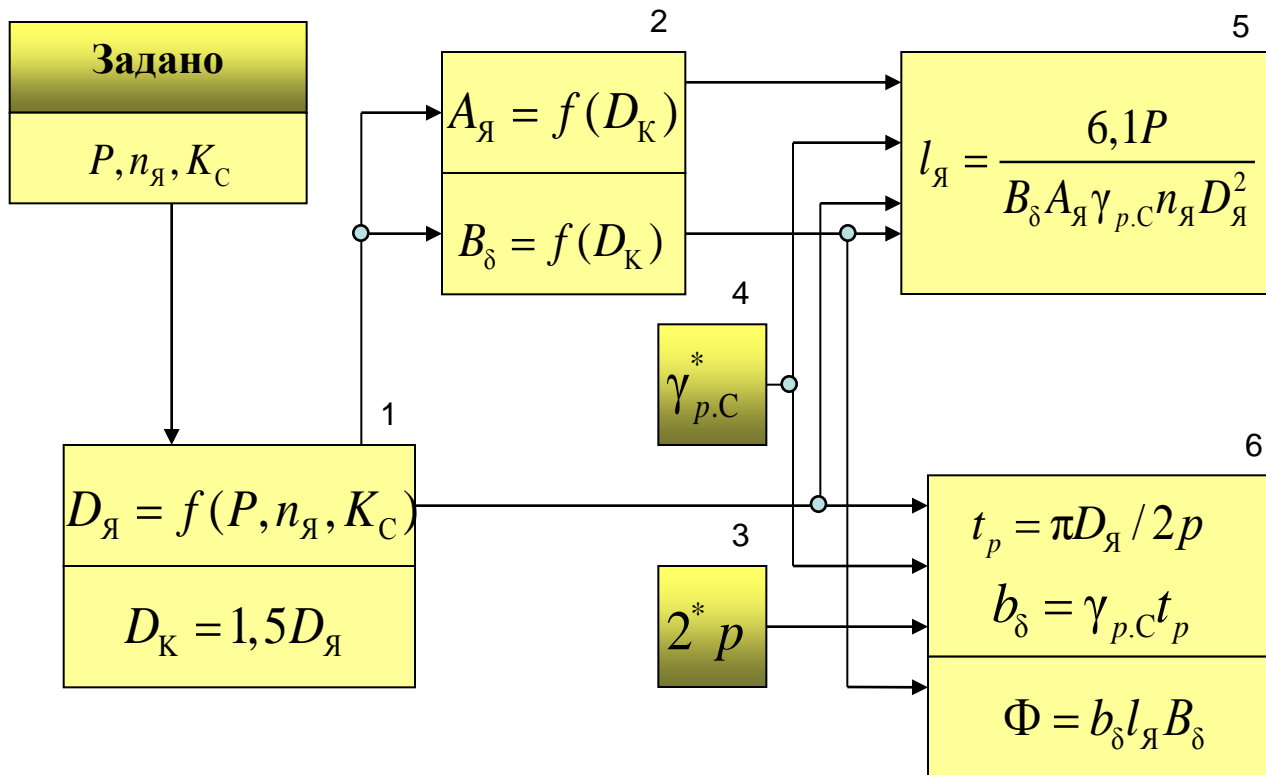
$$D_{К} = (1,45 - 1,65) D_{Я}$$

$$\Phi = b_{\delta} l_{Я} B_{\delta}$$

+  $A_{Я}$ , +  $B_{\delta}$  зменшуються розміри якоря, однак +  $A_{Я}$  збільшується теплове навантаження якоря, погіршується комутація, зростає реакція якоря.  $B_{\delta}$  зростають МРС залізних ділянок та потрібна МРС ОЗ.

+ КПД зменшується об'єм якоря, але збільшується розсіювання магнітних потоків полюсів і погіршуються умови комутації.

# Структура розрахунку головних розмірів електродвигуна.



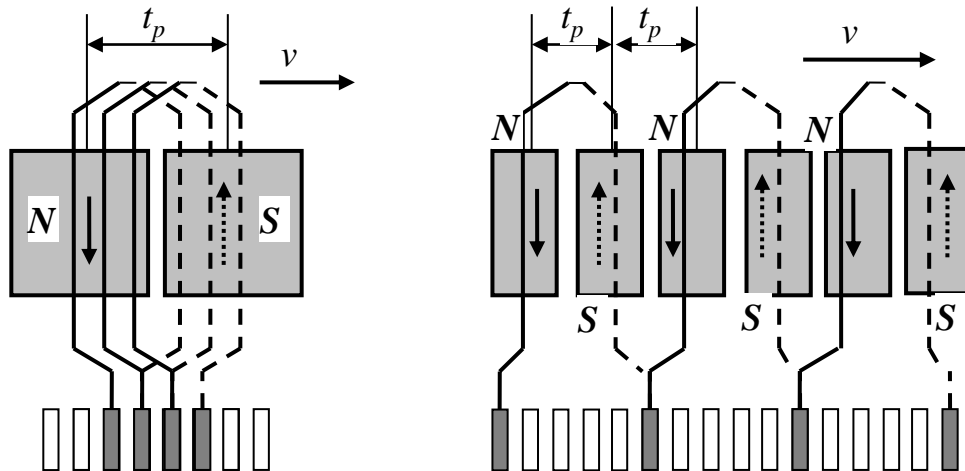
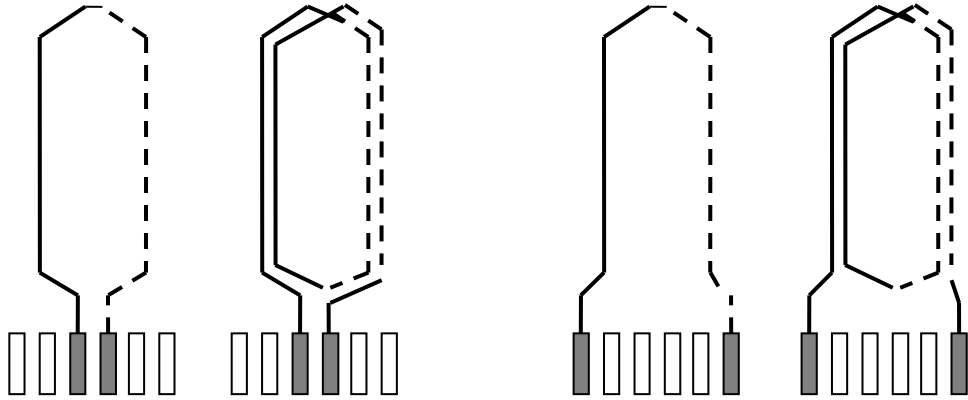
$$\lambda_{\text{Я}} = l_{\text{Я}} / D_{\text{Я}} = 0,75 \dots 1,25$$

### 5.2.3. Синтез конструкції якоря

$z_{\Pi} = 18 - 40$ , для хвильові обмотки  $z_{\Pi}$  непарне, для петлі – парне.

+ $z_{\Pi}$  зменшується ширина зубця, ускладнюється виготовлення та вартість.

- $z_{\Pi}$  знижується використання сталі й збільшуються габаритні розміри.



Синтез обмотки якоря ДПС

$$B_{\delta} = \frac{\Phi 2p}{\pi D_{\text{я}} l_{\text{я}}}$$

$$v = \frac{\pi D_{\text{я}} n_{\text{я}}}{60}$$

$$E = Blv$$

$$E_{\text{я}} = EN_{\text{я}}/2a_{\text{я}}$$

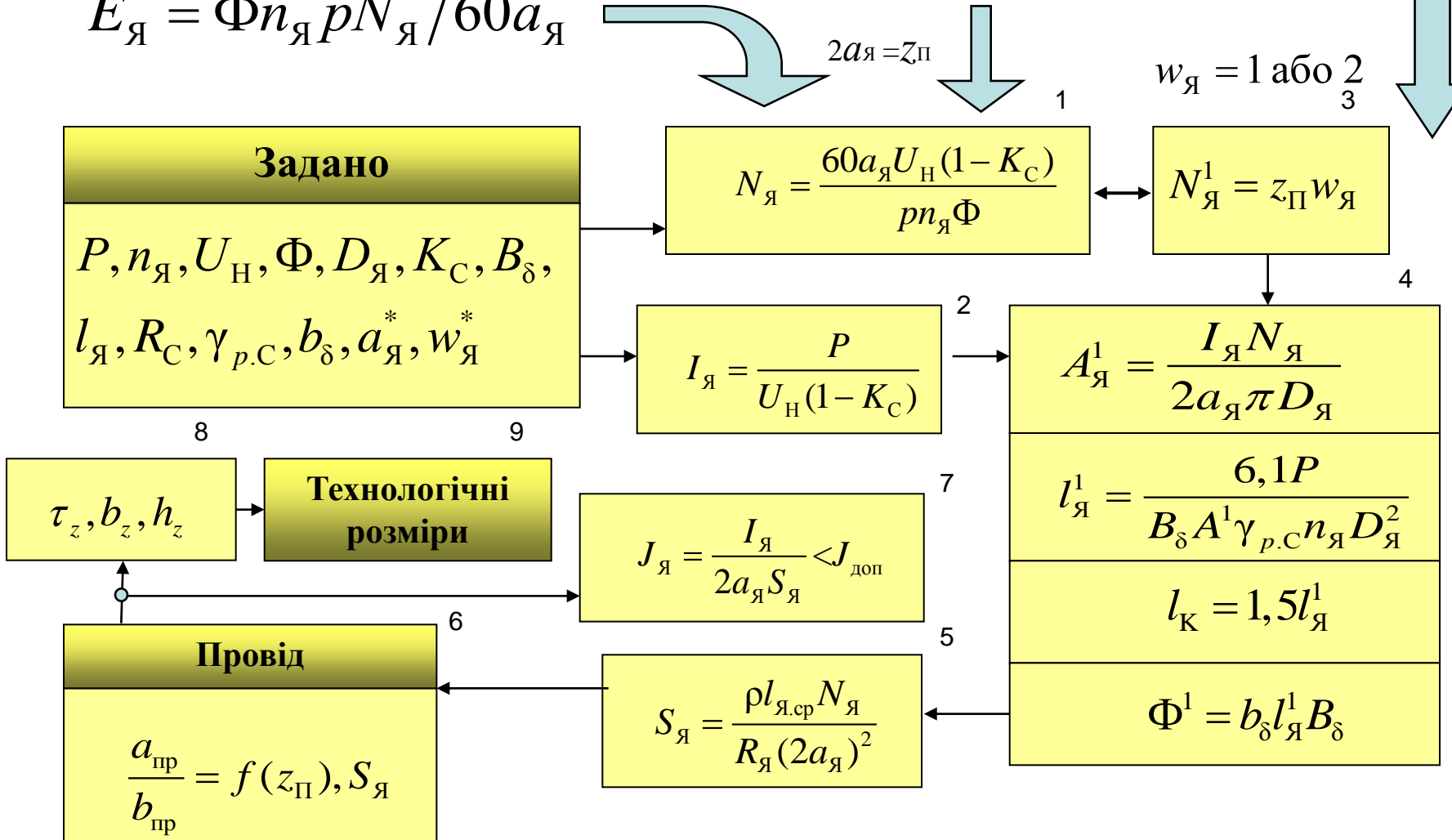
$$E_{\text{я}} = \Phi n_{\text{я}} p N_{\text{я}} / 60 a_{\text{я}}$$

# Структура розрахунку обмотки й пазів якоря.

$$N_{\text{Я}} = \frac{A_{\text{Я}} 2a_{\text{Я}} \pi D_{\text{Я}}}{I_{\text{Я}}}$$

$$E_{\text{Я}} = \Phi n_{\text{Я}} p N_{\text{Я}} / 60 a_{\text{Я}}$$

$$E_{\text{Я}} = (U_{\text{Н}} - \Delta U_{\text{Щ}})(1 - K_{\text{С}})$$

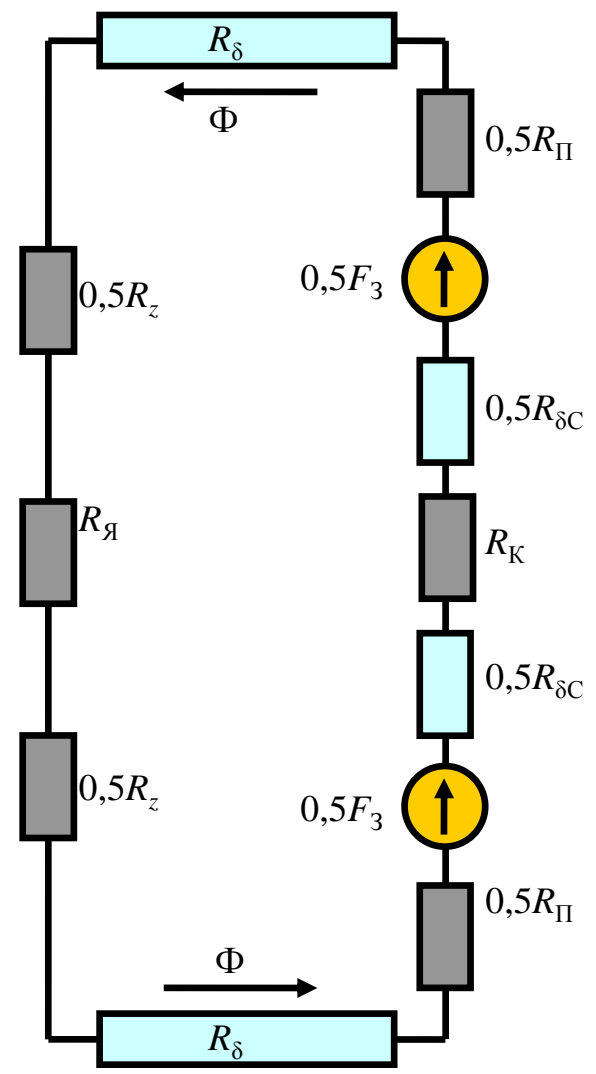
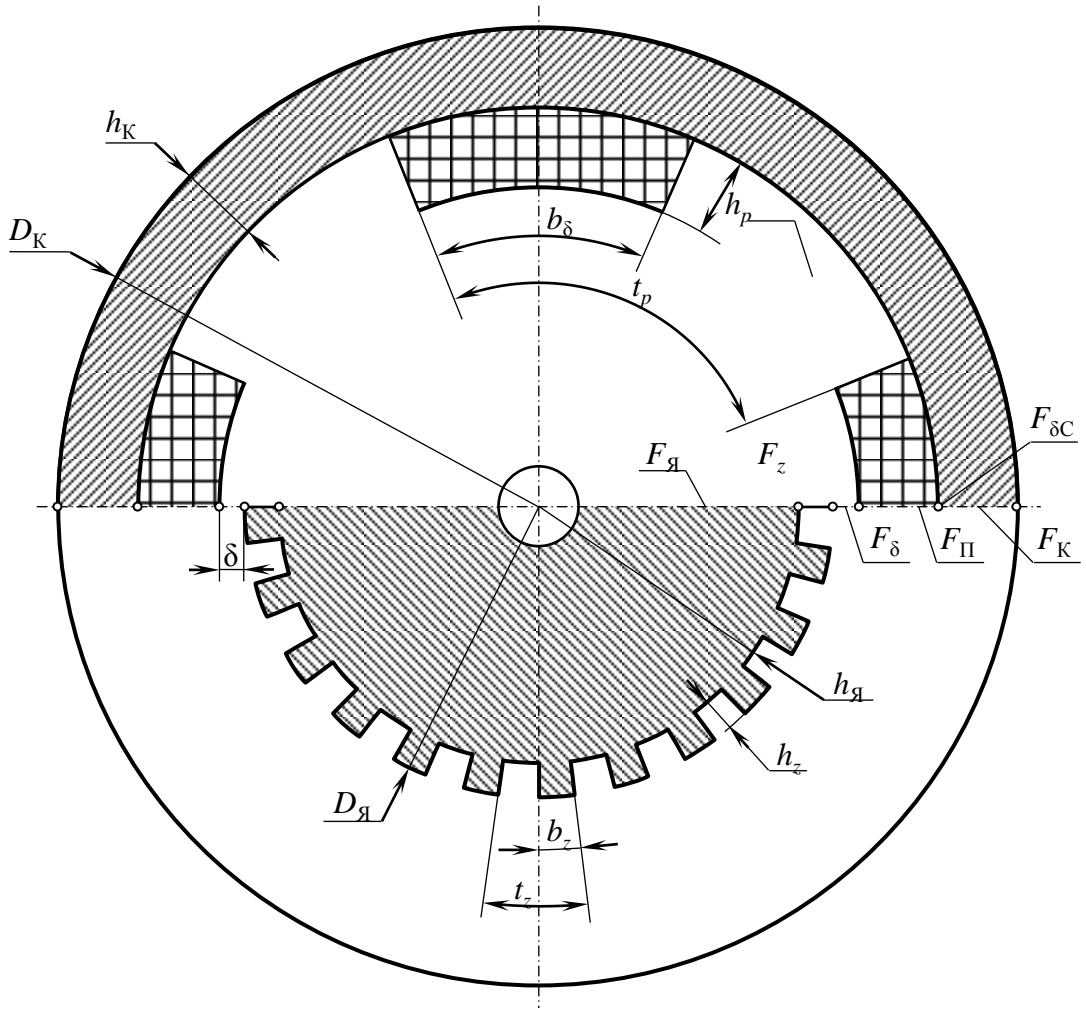


$$z_{\text{П}} = 18 - 40$$

$$R_{\text{Я}} = (0,45 \dots 0,65) R_{\text{С}}$$

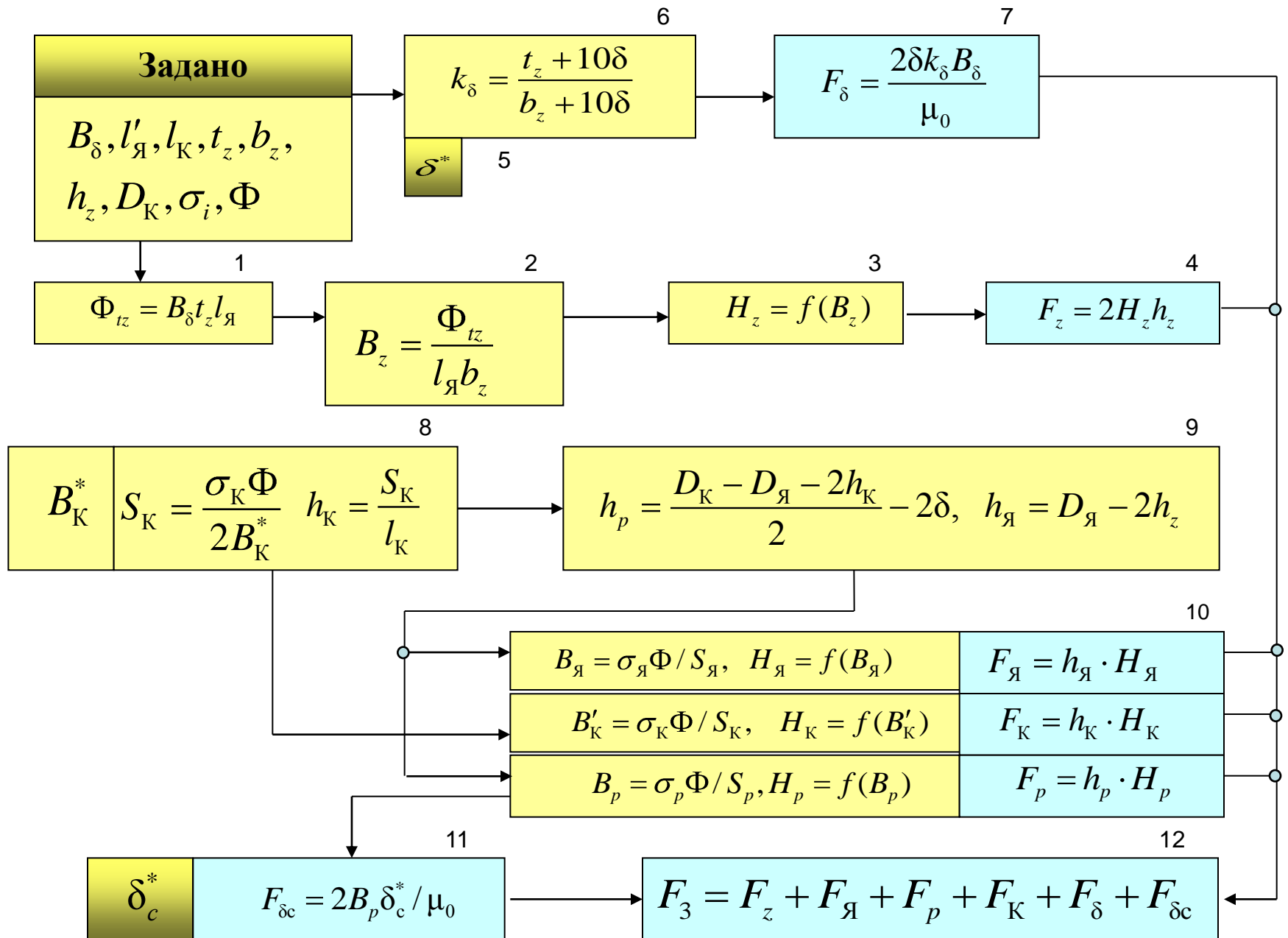
# 5.2.4. Розрахунок магнітної системи

## Магнітна система ДПС

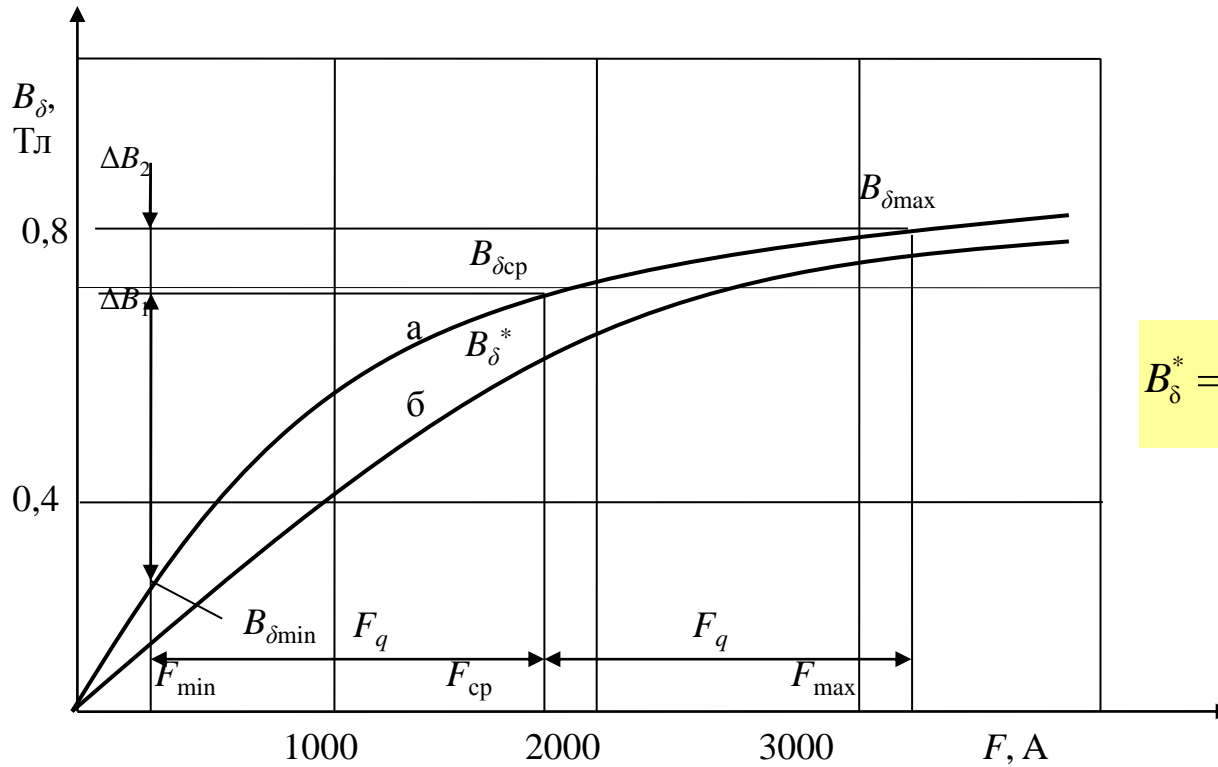


$$F_3 = F_z + F_\delta + F_p + F_K + F_\delta + F_{\delta.C}$$

# Структура розрахунку магнітної системи стартерного електродвигуна



# Характеристика намагнічування стартерного електродвигуна



$$k_H = F_3 / F_{\delta}$$

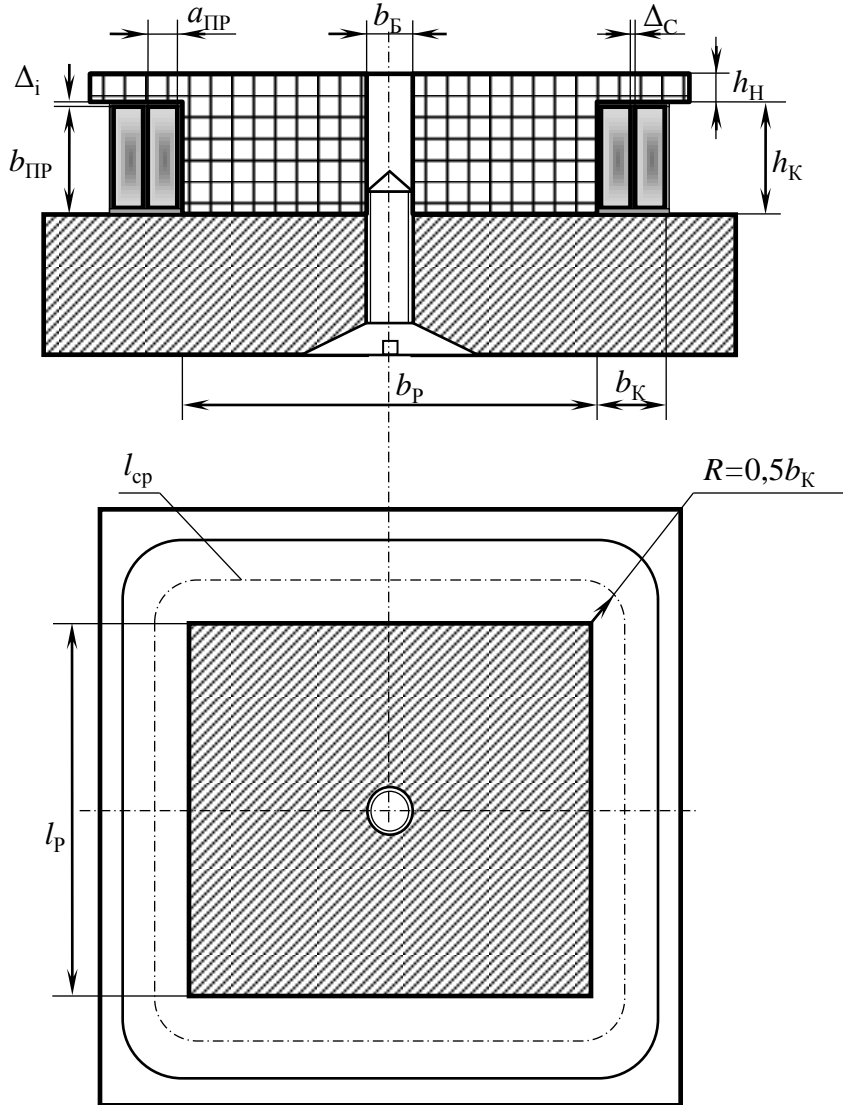
$$F_q = b_{\delta} A$$

$$B_{\delta}^* = \frac{B_{\delta \min} + 2B_{\text{cp}} + B_{\delta \max}}{4F_q} (F_{\text{cp}} - F_{\min})$$

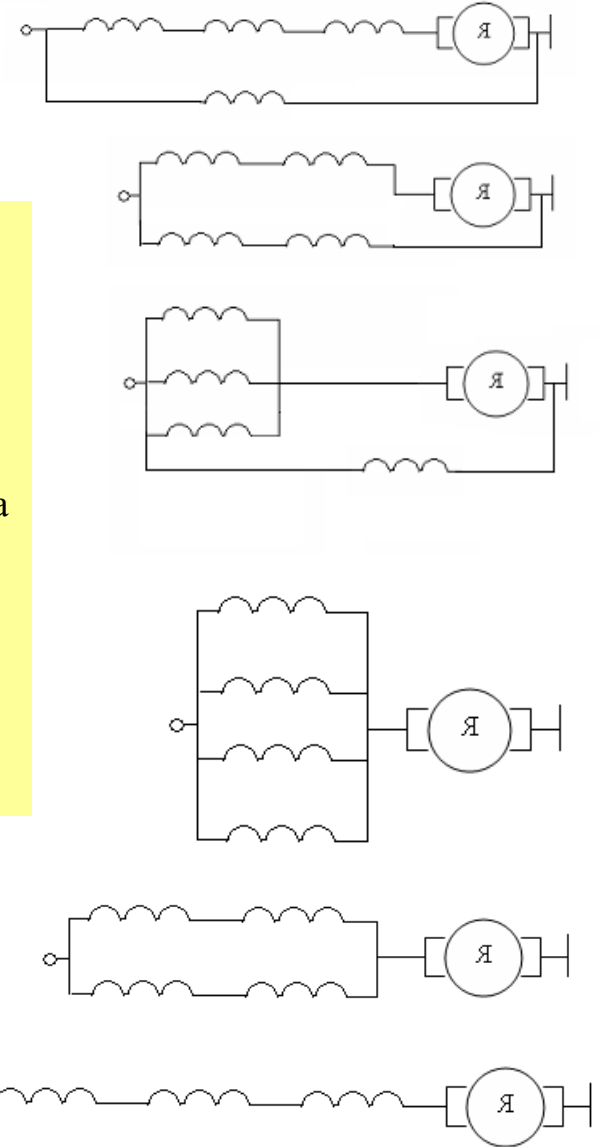
а – без урахування реакції якоря; б – з урахуванням реакції якоря.



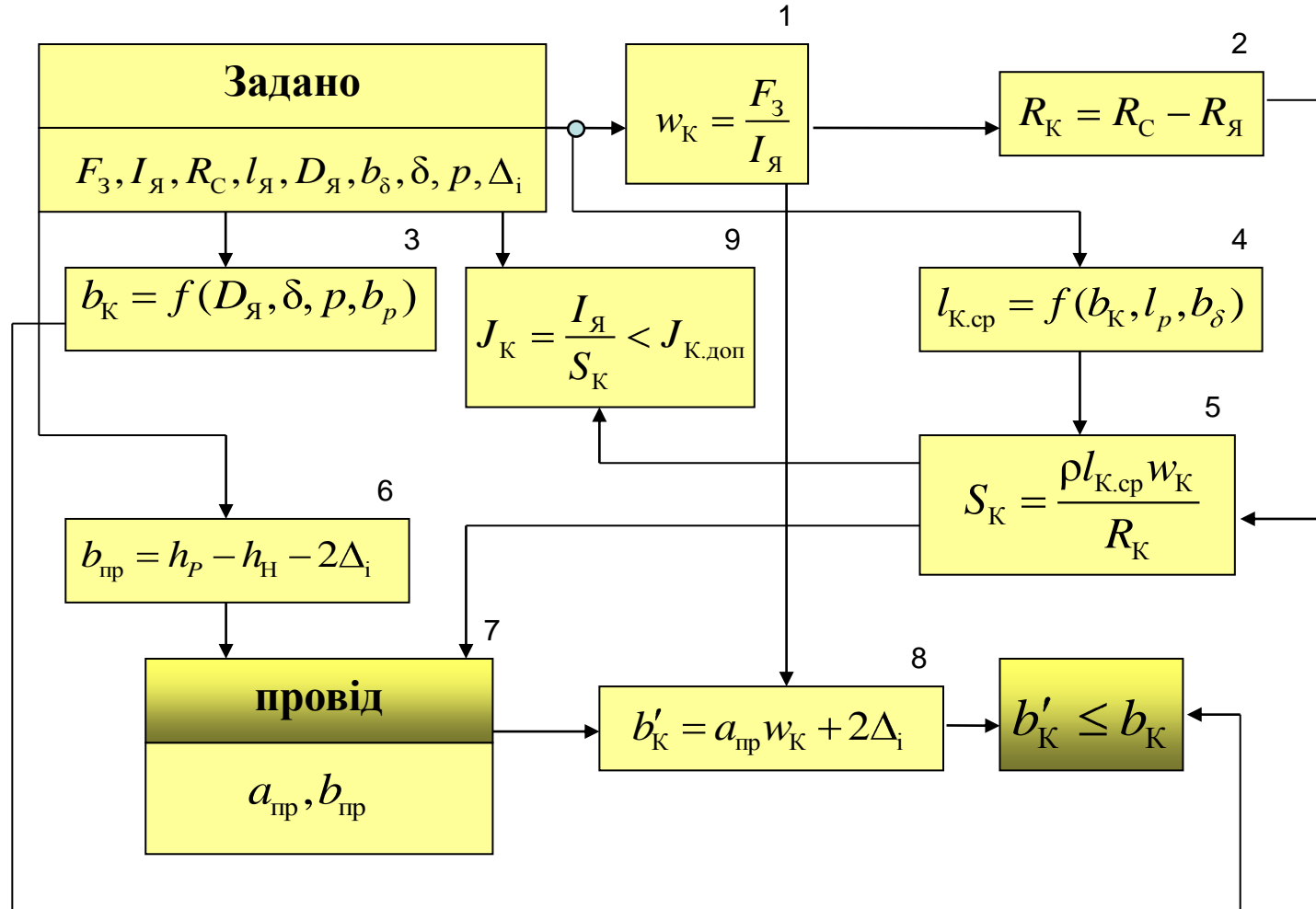
## 5.2.3. Синтез обмотки збудження



- $R$  радіус закруглення
- $a_{ПР}$  товщина проводу
- $b_{ПР}$  ширина проводу
- $h_K$  висота котушки
- $b_K$  ширина котушки
- $h_H$  висота наконечника
- $\Delta_i$  товщина ізоляції
- $b_P$  ширина полюсу
- $l_P$  довжина полюсу
- $l_{CP}$  довжина витка
- $b_B$  діаметр болта



# Структура розрахунку послідовної обмотки збудження



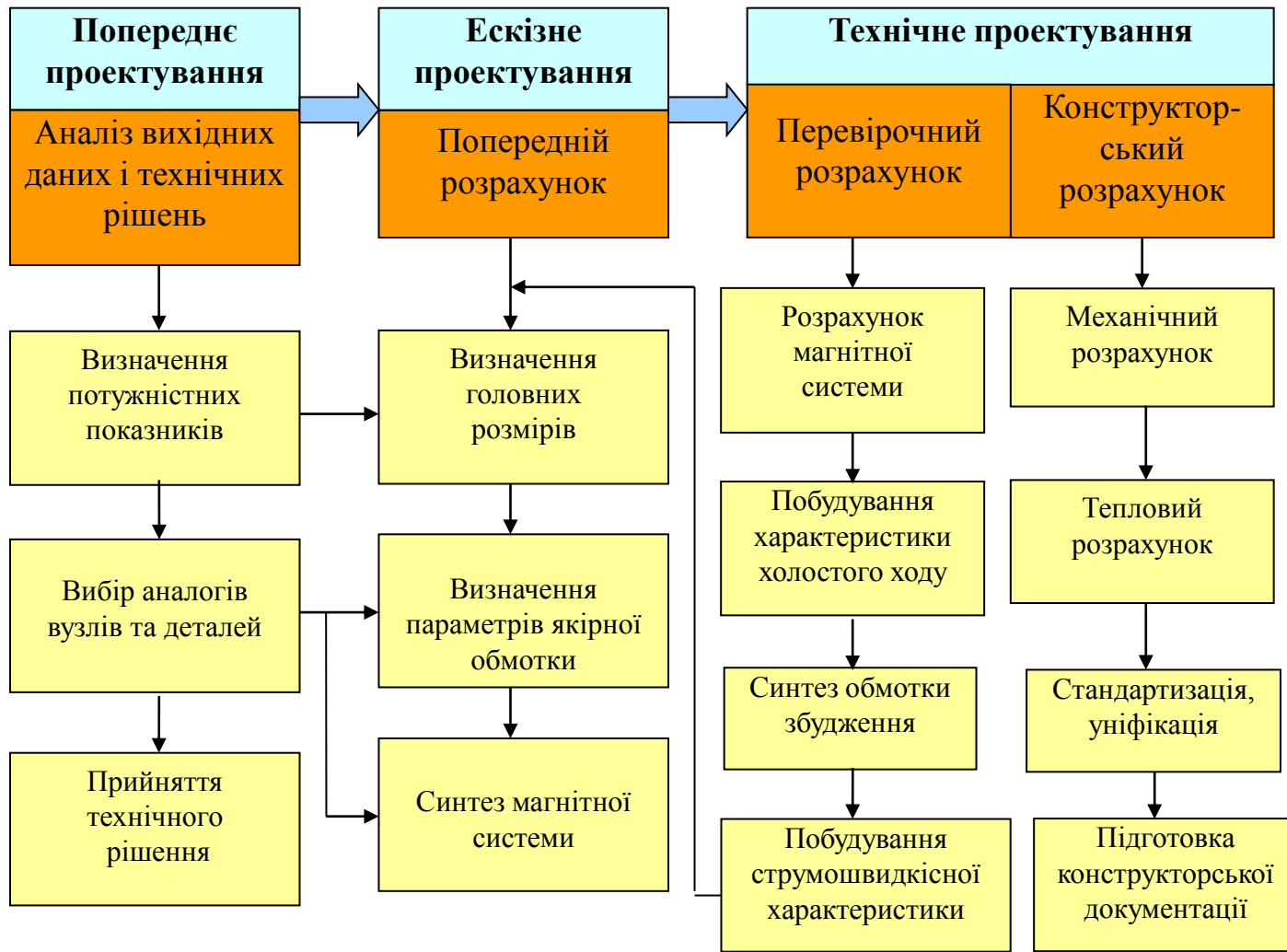
$$\Delta P_{\text{пш}} = 0,03 P_{\text{max}} n_{Я} / n_{Я.\text{max}}$$

$$\Delta P_z = 2B_T^2 m_z (0,044 f_{Я} + 2240 \Delta_{\text{пЯ}}^2 f_{Я}^2)$$

$$\Delta P_{\text{Щ}} = 0,005 \pi D_{\text{кол}} F_{\text{Щ}} N_{\text{Щ}} n_{Я}$$

$$\Delta P_{Я} = 2B_{Я}^2 m_{Я} (0,044 f_{Я} + 2240 \Delta_{\text{пЯ}}^2 f_{Я}^2)$$

## 5.3.1. Етапи проектування та структура розрахунку



## 5.3.2. Особливості побудови та розрахунку

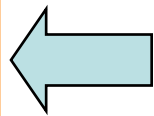
розрахунок ел. кіл на одну фазу,  
магнітної системи, на два полюси.

$$q = z_1 / (2z_2 m) < 2, X_\sigma$$

$$2\Delta U(VD), k_b, k_{cx}, U_\Phi = k_1 U_G, I_\Phi = k_2 I_G$$

$$\text{Var } n_G, \text{Var } I_G, PH$$

$$G_\sigma = \mu_0 \frac{D_P \lambda_\sigma}{p}$$



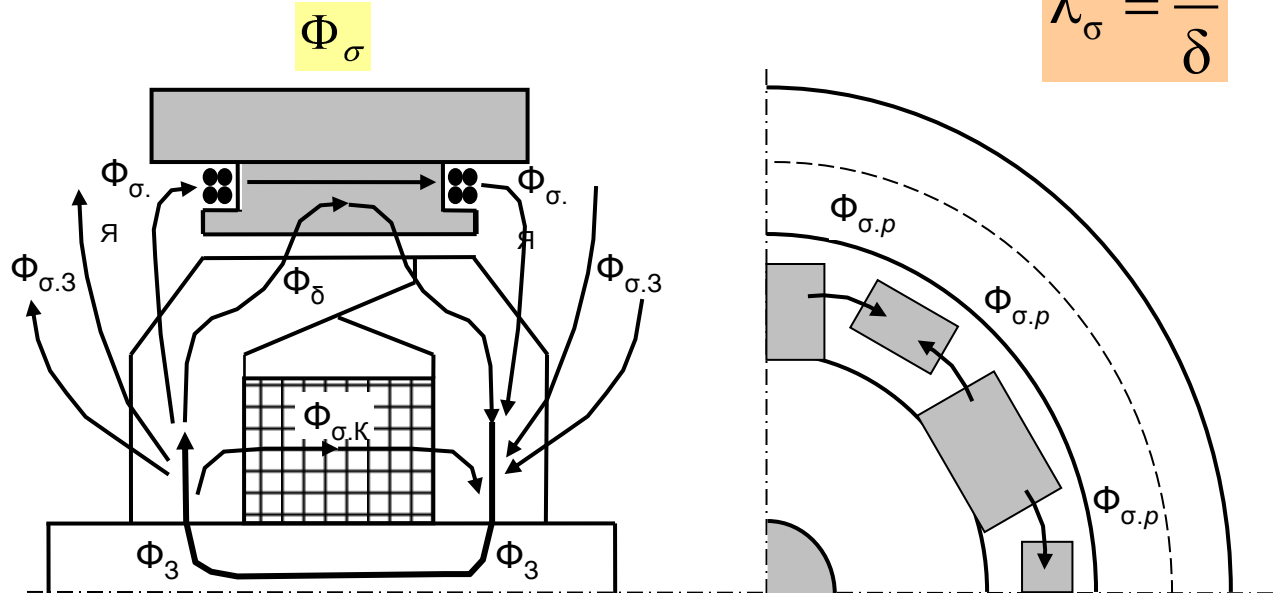
$$G_\delta = \mu_0 S / \delta = \mu_0 \lambda_\sigma$$

$$U_{\Phi X} = U_{\Phi H}$$

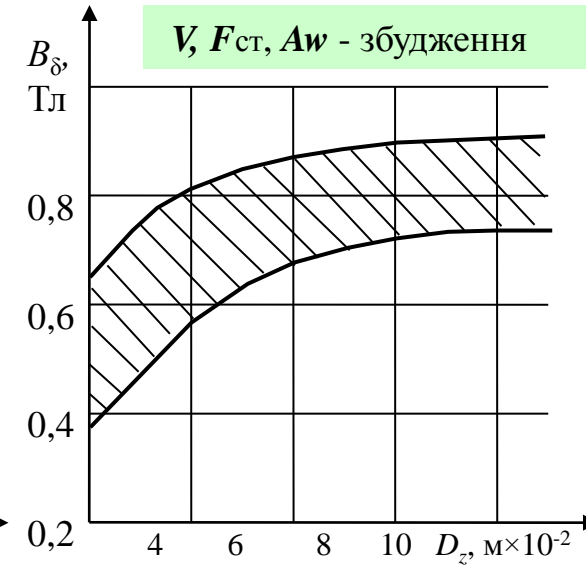
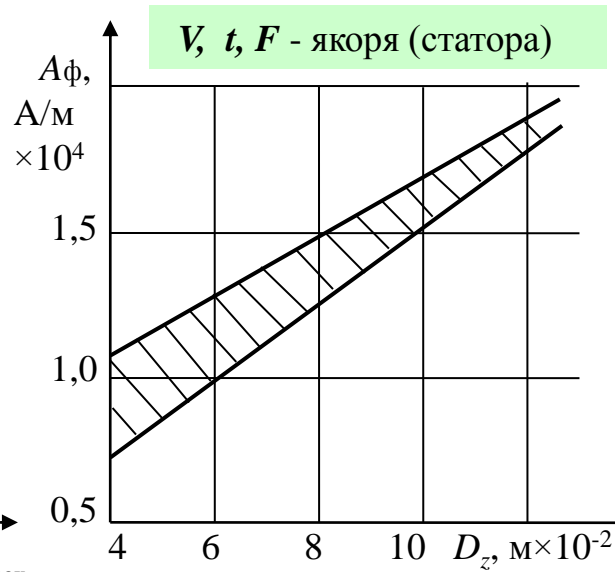
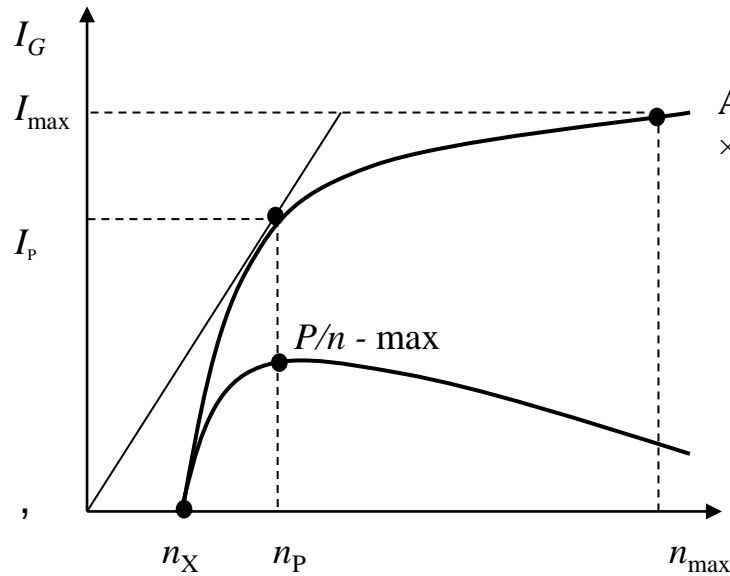
$$\lambda_\sigma = \frac{S}{\delta}$$

$$\lambda_{\sigma.3} = \frac{\ln\left(\frac{\pi D_P}{l_P}\right)}{2\left(1 - \frac{l_P}{\pi D_P}\right)}$$

$$\lambda_{\sigma.K} = \frac{\pi (2D_O^2 - D_O D_{BT} - D_{BT}^2)}{12 D_P l_{BT}}$$



### 5.3.3. Попередній розрахунок та синтез конструкції генератора

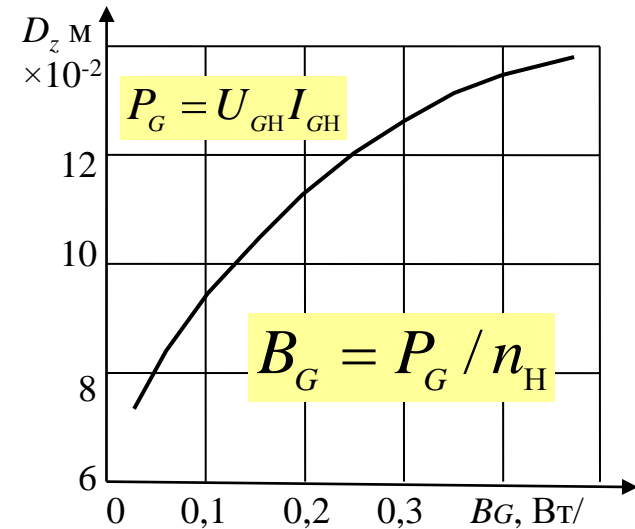


$$\begin{cases} U_{\Phi X} = k_{\Phi} k_o n_X w_{\Phi} \gamma_{p.P} l_z D_z B_{\delta.X} \pi / 30 \\ I_{\Phi.max} = (U_{\Phi X} n_{max} k_{\mu}) / (x_L n_X) \\ D_z^2 l_z = (6,1 k_E I_{\Phi P} U_{\Phi X}) / (\gamma_{p.P} k_B k_o A_{\Phi P} B_{\delta.P} n_P) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} k_o &= 0,966 \\ k_B &= 1,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_E &= 1,2 \\ k_{\mu} &= 0,9 \end{aligned}$$

$$k_{\Phi} = 1,05$$



$$2p=6,12,18 \quad 0,5 < q < 2 \quad 0,5 < \gamma_{p.P} < 0,75$$

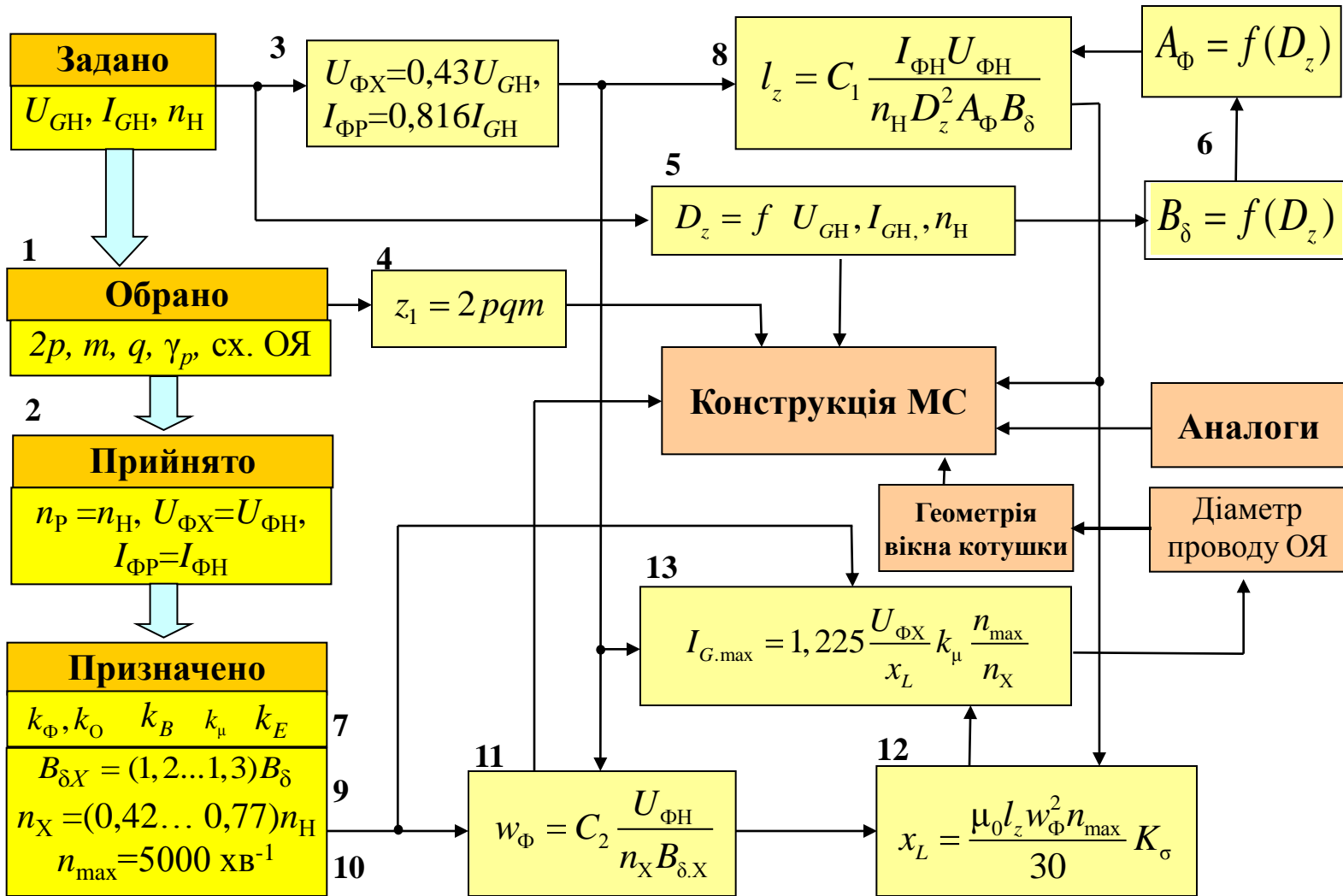
$$n_P = n_H, U_{\Phi X} = U_{\Phi H}, I_{\Phi P} = I_{\Phi H}.$$

«зірка»  $U_{\Phi} = 0,43 U_G, I_{\Phi} = 0,816 I_G$   
 «трикутник»  $U_{\Phi} = 0,87 U_G, I_{\Phi} = 0,52 I_G$

$$A_{\Phi P} = I_{\Phi P} w_{\Phi} / \pi D_z$$

$$A_{я} = \frac{I_{я} N_{я}}{2 a_{я} \pi D_{я}}$$

# Структура попереднього розрахунку генератора

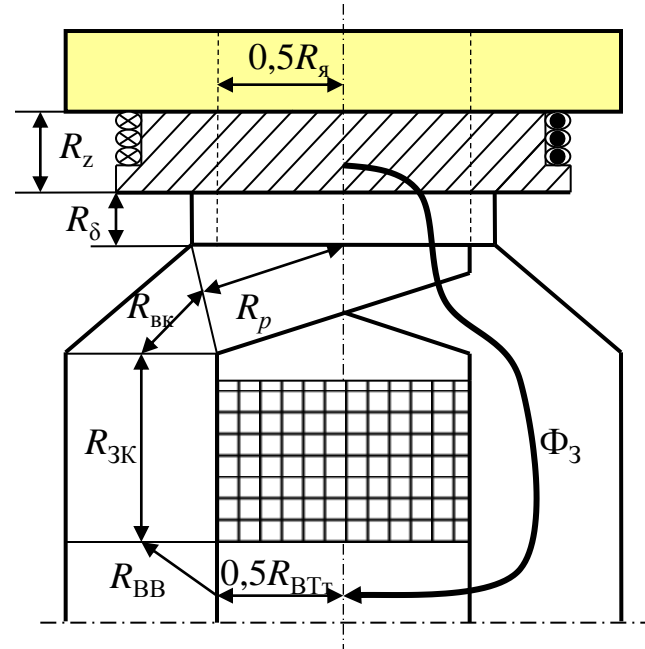
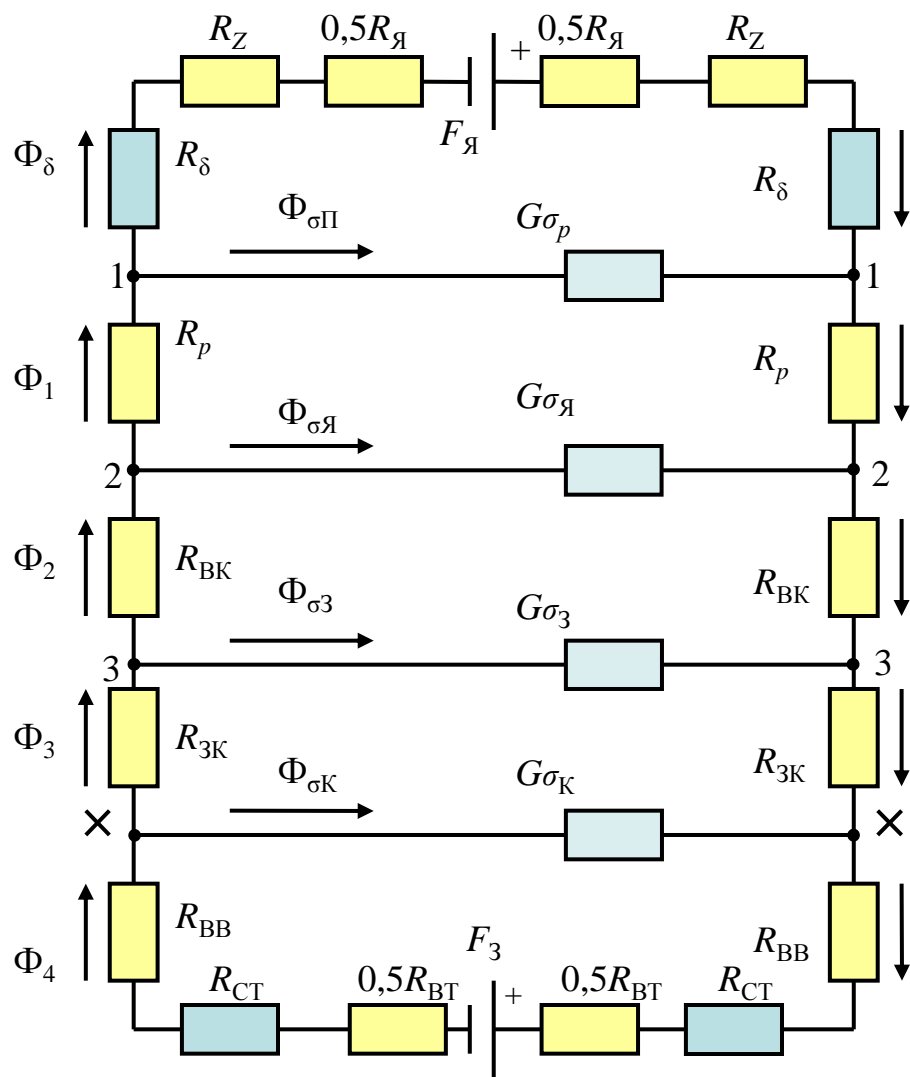


$$\begin{cases} U_{\Phi X} = k_\Phi k_O n_X w_\Phi \gamma_{p.p} l_z D_z B_{\delta X} \pi / 30 \\ I_{\Phi.\max} = (U_{\Phi X} n_{\max} k_\mu) / (x_L n_X) \\ D_z^2 l_z = (6,1 k_E I_{\Phi P} U_{\Phi X}) / (\gamma_{p.p} k_B k_O A_{\Phi P} B_{\delta.p} n_P) \end{cases}$$

$$\lambda_z = l_z / D_z = 0,2 \dots 0,4$$

# 5.3.4. Розрахунок магнітного кола генератора

## Схема заміщення магнітної системи генератора



$$\Phi_{\sigma} = U_{i-i} G_{\sigma} \quad G_{\sigma} = \mu_0 \frac{D_p \lambda_{\sigma}}{p}$$

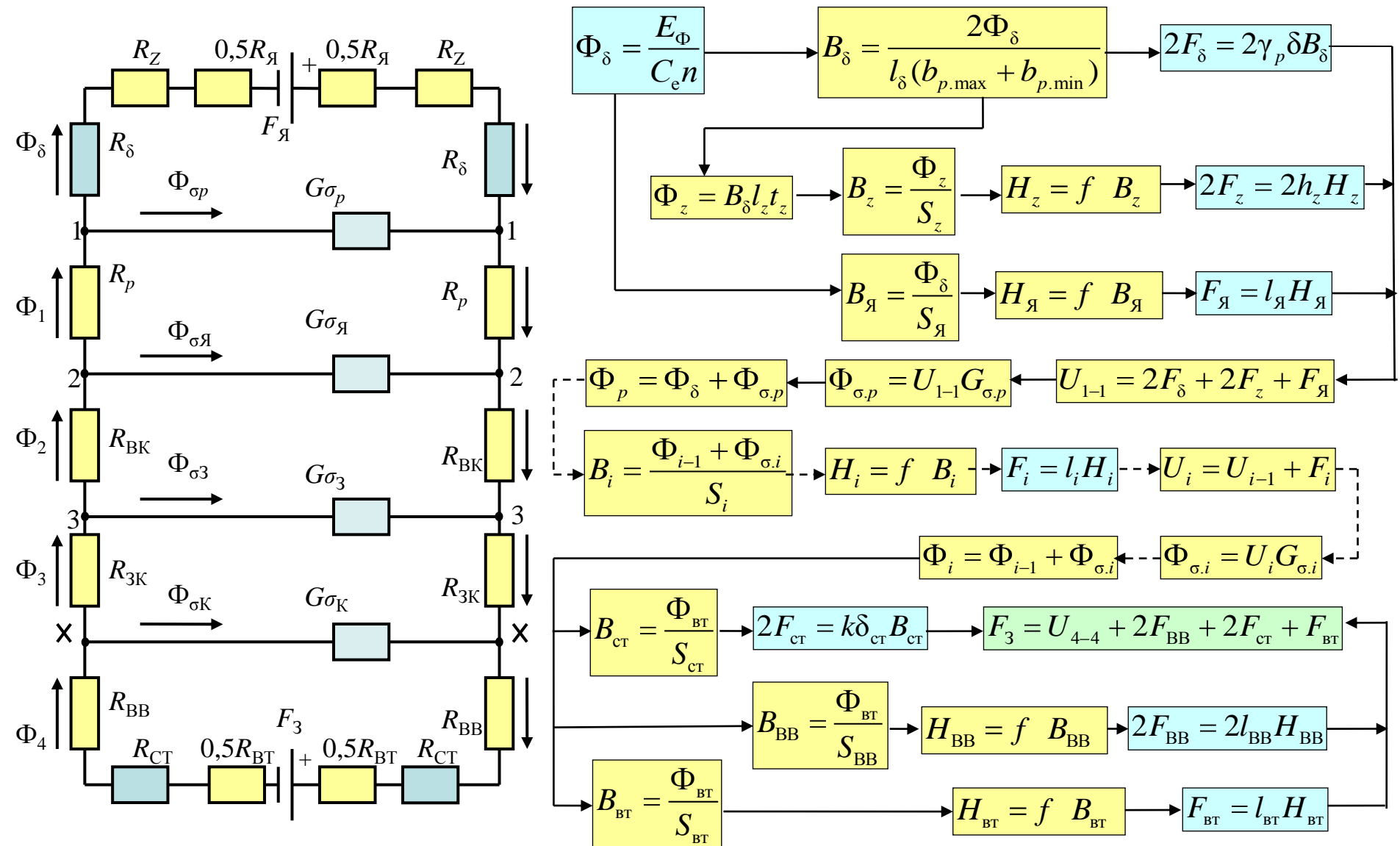
$$\sum H \Delta l = I w \quad F_3 = \sum F_i + 2F_{\delta}$$

$$\sum F_i = F_{БТ} + 2F_{СТ} + 2F_{BB} + 2F_{3К} + 2F_{ВД} + 2F_p + 2F_z + F_{Я}$$





# Структура розрахунку магнітної системи генератора

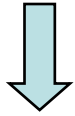


### 5.3.5. Розрахунок обмотки збудження

$$F_3 = w_{O3} I_3$$

$$E_G = 2,33 w_3 f(I_3)$$

$$l_{cp} = \pi \left( \frac{D_o - D_{BT}}{2} - D_{BT} \right)$$



$$r_{O3} = \frac{U_G w_{O3}}{F_3}$$

$$r_{O3} = \frac{4 \rho w_{O3} l_{cp}}{\pi d_{\Pi}^2}$$



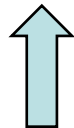
$$d_{\Pi} = \sqrt{\frac{4 \rho l_{cp} F_3}{\pi U_G}}$$



$$w_{O3} = \frac{\pi d_{\Pi}^2 r_{O3}}{4 \rho l_{cp}}$$

<

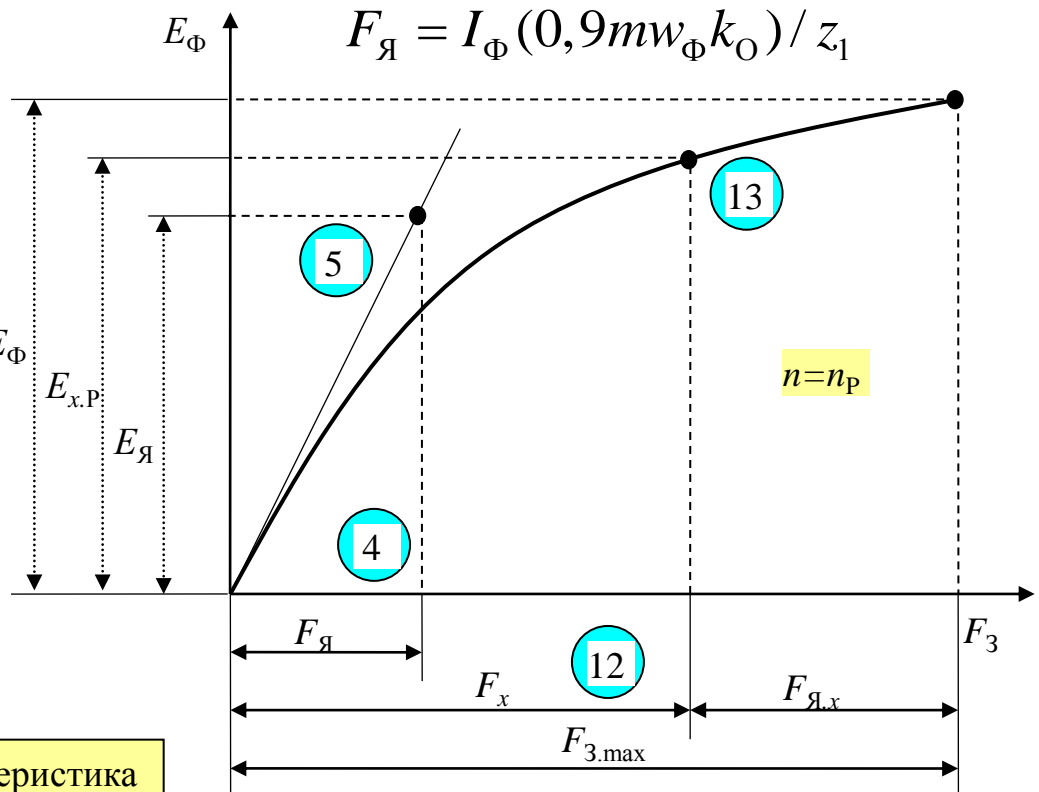
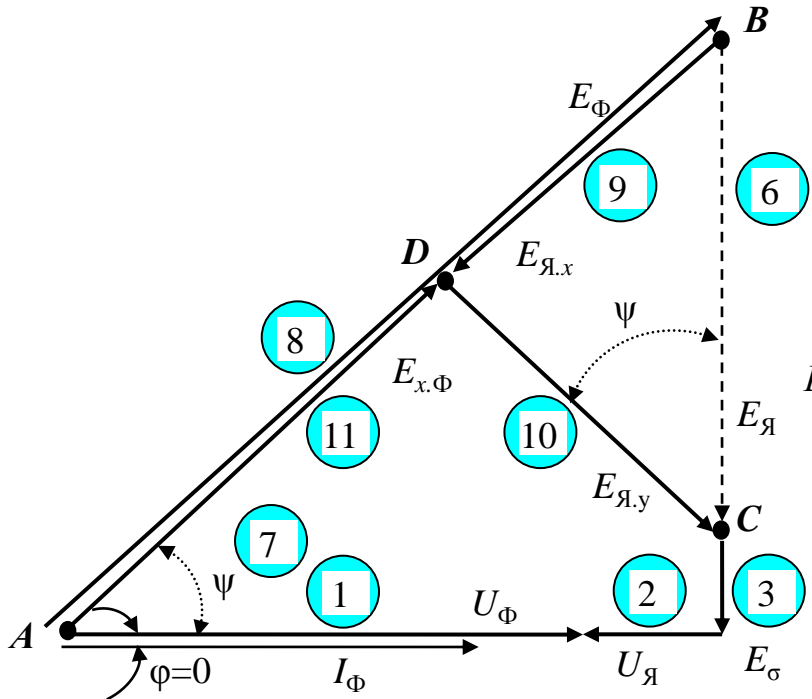
$$w_{O3}^* = \frac{4 l_K h_K k_M}{\pi d_{\Pi}^2}$$



$$r_{O3} = \frac{U_G}{I_{3.max}} = \frac{U_G^2}{P_3}$$

$$J_{доп} \geq \frac{4 I_{3.max}}{\pi d_{\Pi}^2}$$

### 5.3.6. Методика побудовання струмо-швидкісної характеристики



Діаграма  
Блонделя  
 $E_X = f(I_Я)$

$$\frac{E_X' = E_X}{n}$$

Характеристика  
холостого ходу  
 $E_X' = f_2(n)$

Струмо – швидкісна  
характеристика  
 $I_Я = f_3(n)$

$$\bar{U}_\Phi = \bar{E}_\Phi + \bar{E}_{ЯX} + \bar{E}_{ЯY} + \bar{E}_\sigma + \bar{U}_Я$$

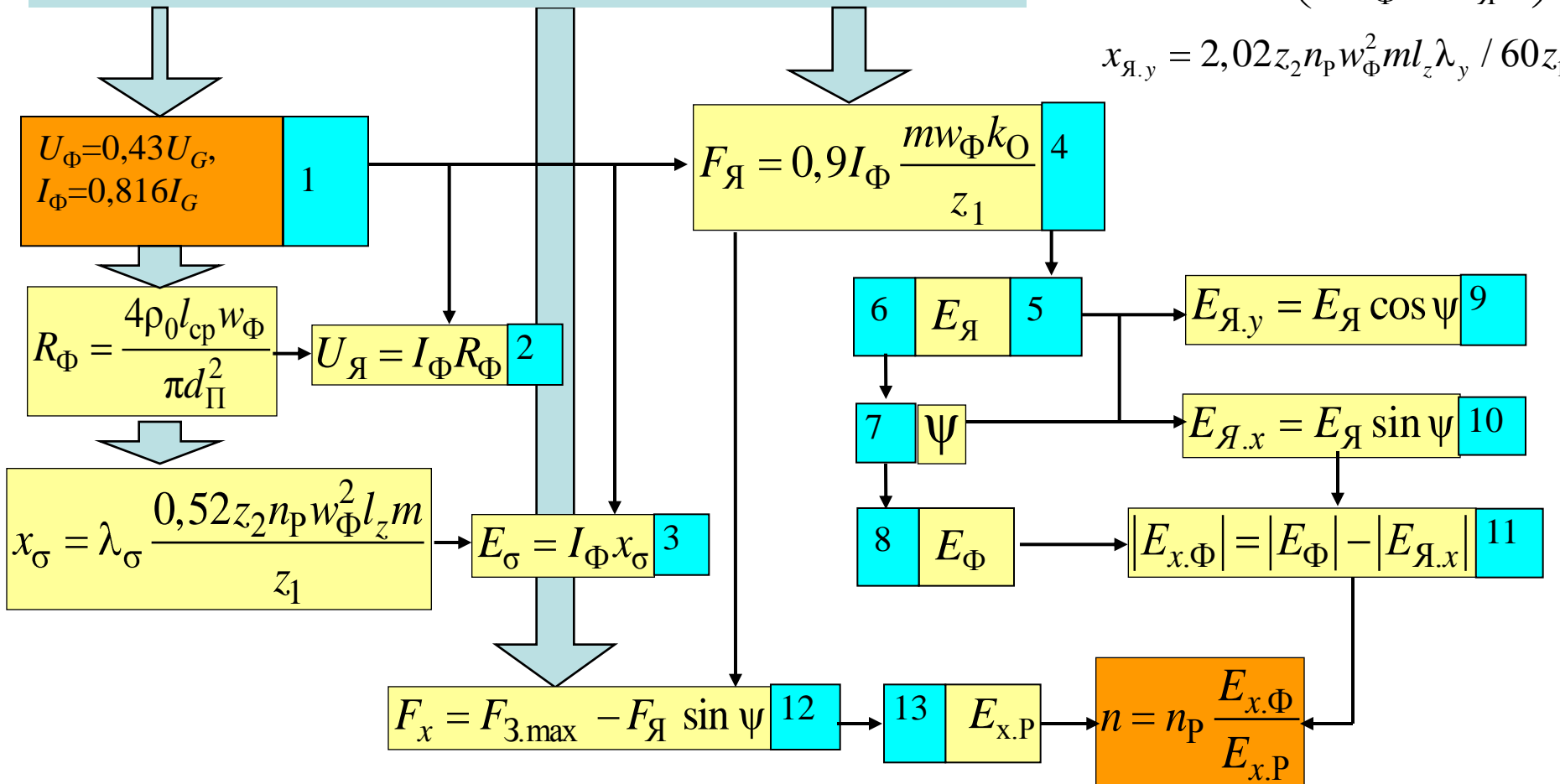
$$\dot{U}_\Phi = \dot{E}_\Phi - jx_{Яx} I_{\Phi x} - jx_{Яy} I_{\Phi y} - jx_\sigma I_\Phi - R_\Phi I_\Phi$$

$$F_X = F_{3.max} - F_{ЯX} = F_{3.max} - F_Я \sin \psi$$

$$E_\Phi(n) = E_{\Phi P} \frac{n}{n_p} \Rightarrow n = n_p \frac{E_{x,\Phi}}{E_{x,P}}$$

# Структура розрахунку струмо-швидкісної характеристики генератора

Задано:  $U_G, I_G, m, w_\Phi, d_\Pi, k_0, z_1, z_2, l_j, b_z, a_\delta, F_{3,max}$



### 5.4.1. Особливості розрахунку генераторів з пульсуючим полем

Обмотка збудження та якірні обмотки розташовані на статорі.

Поділяють на різноіменно полюсні (з тангенціальним збудженням) та однойменно полюсні машини (з коаксіальним збудженням).

Електрорушійна сила в обмотці якоря однойменно полюсного генератора виникає внаслідок зчеплення обмотки з пульсуючим полем, що періодично змінюється внаслідок зміни магнітної провідності зубцевої зони при обертанні ротора (ферромагнітної маси).

Розрахунок магнітної системи індукторного генератора включає: розрахунок магнітної системи у поперечному перерізі (визначення коефіцієнтів провідності зубцевої зони) і розрахунок у поздовжньому перетині (визначення результуючого потоку збудження).

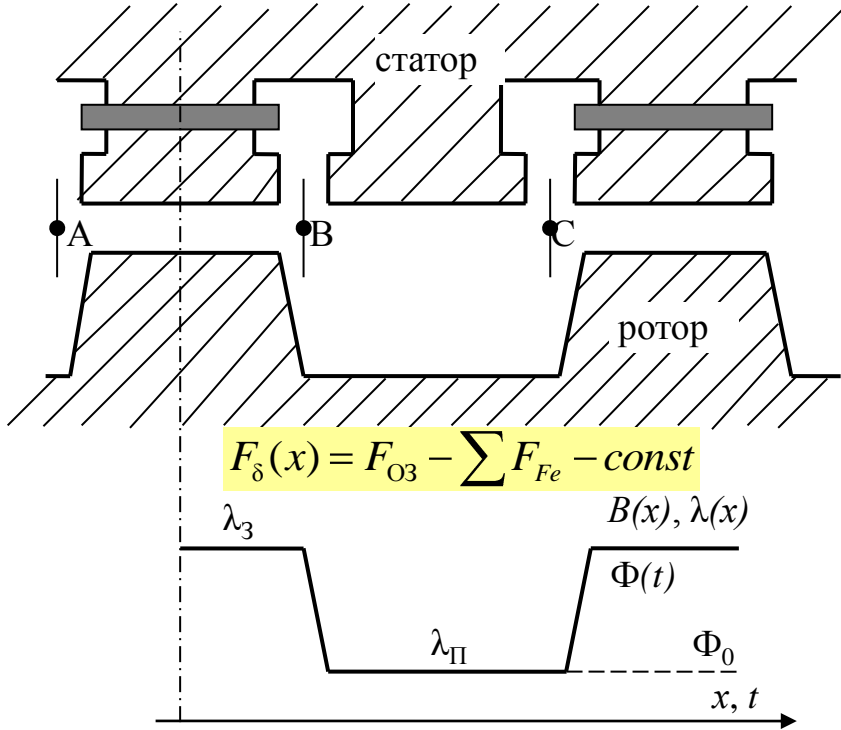
Особливості розрахунку магнітної системи індукторного генератора пов'язані з значним відкриттям пазів (ширина і глибина пазів порівнянні із шириною зубців). При цьому необхідно враховувати збільшення потоку в зубці ротора відносно потоку в зубці статора за рахунок приходу потоку від найближчих сусідніх зубців статора.

Для індукторного однойменно полюсного генератора розрахунок магнітної системи проводять для всієї машини.

Зміна потоку в полюсах індукторного генератора при його обертанні відбувається не за синусоїдальним законом, а визначається профілем зубцевої зони ротору.

## 5.4.1. Аналіз електромагнітних процесів в індукторних генераторах

В однофазній  $t_{Z2} = 2t_{Z1}$   $\lambda(x) = A_0 + A_1 \cos \frac{\pi}{t_{Z1}} x + A_2 \cos 2 \frac{\pi}{t_{Z1}} x + A_3 \cos 3 \frac{\pi}{t_{Z1}} x$



$$\lambda(t) = \lambda_0 + \lambda_1 \cos \omega t + \lambda_3 \cos 3\omega t$$

$$\Phi_{AB}(t) = F_{\delta} \mu_0 \lambda_{AB}(t) l \quad \lambda_0 = (\lambda_3 + \lambda_{II}) / 2$$

$$\lambda_1 = (\lambda_3 - \lambda_{II}) / 2$$

$$\Phi_{AC}(t) = \Phi_{AB}(t) + \Phi_{BC}(t) = F_{\delta} \mu_0 l \lambda_0 - const$$

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt} = 2\pi f F_{\delta} l w \mu_0 (\lambda_1 \sin \omega t + 3\lambda_3 \sin 3\omega t)$$

б

$$E_w = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} w l F_{\delta} \mu_0 \lambda_1 = \frac{\pi f}{\sqrt{2}} w (\Phi_3 - \Phi_{II})$$

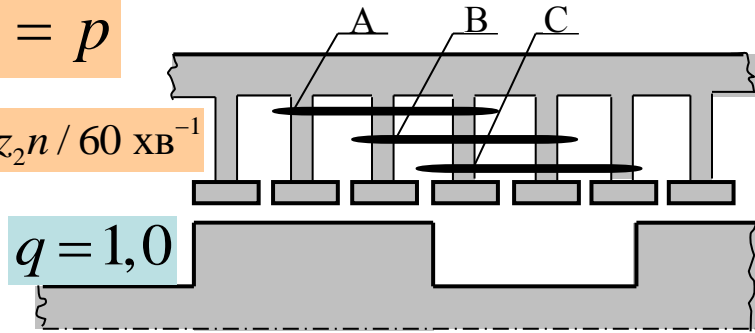
$$E_{wS} = 2\pi f w l F_{\delta} \mu_0 \lambda_1 \sqrt{\sum_1^K \frac{2K}{\pi} \int_0^{\pi/2K} K^2 \lambda_K^2 \sin^2 Kx dx}$$

# Утворення ЕРС в якірних обмотках індукторного генератора

$$z_2 = p$$

$$f = z_2 n / 60 \text{ XB}^{-1}$$

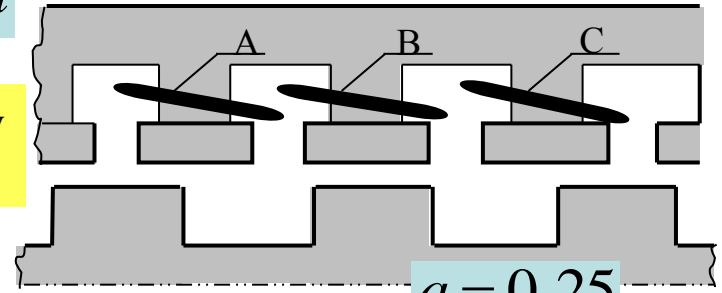
$$q = 1,0$$



а)

$$q = z_1 / 2z_2 m$$

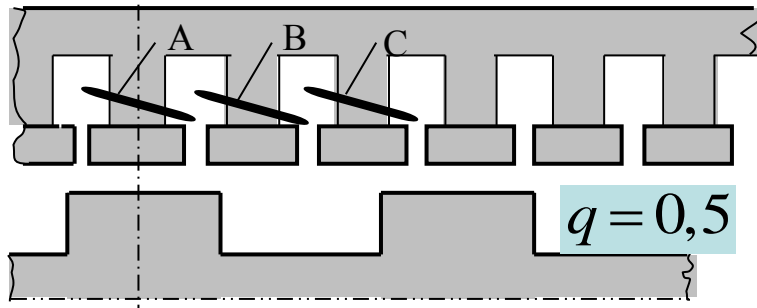
$$\text{Кут охопту} \\ \alpha_y = 4\pi/3$$



б)

$$q = 0,25$$

$$k_O = \sin 0,5 K \alpha_y = 0,865$$



в)

$$q = 0,5$$

$$\lambda_t = \lambda_0 + \sum_1^K A_K \frac{t_{z1}}{K\pi} 2 \sin K \frac{\alpha_y}{\pi} \cos K\omega t$$

$$E_A = E_B = E_C = \frac{2\pi f N_K}{\sqrt{2}} k_O w l F_\delta \mu_0 \lambda_1$$

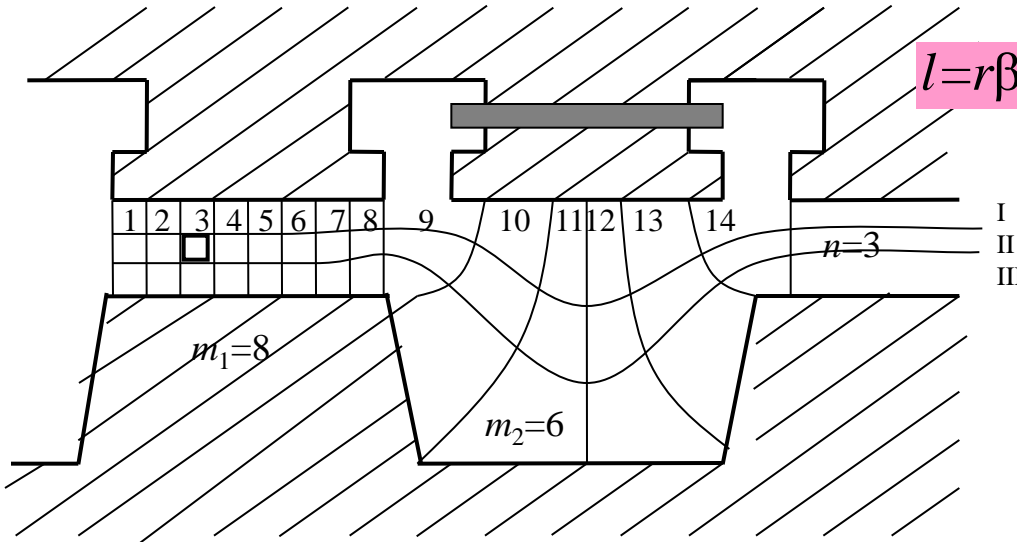
$$\Phi_t = F_\delta l \mu_0 \lambda_0 + 0,865 \lambda_1 \cos \omega t - 0,865 \lambda_2 \cos 2\omega t + 0,865 \lambda_4 \cos 4\omega t$$

$$e = 2\pi f w l F_\delta \mu_0 0,865 \lambda_1 \sin \omega t - 2\lambda_2 \sin 2\omega t + 4\lambda_4 \sin 4\omega t$$

$$E_{AS} = E_{BS} = E_{CS} = \frac{2\pi f N}{\sqrt{2}} k_O w l F_\delta \mu_0 \lambda_1 \sqrt{1 + \frac{4\lambda_2^2}{\lambda_1^2} + \frac{16\lambda_4^2}{\lambda_1^2} + \frac{25\lambda_5^2}{\lambda_1^2}}$$

### 5.4.3. Методи визначення магнітної провідності робочого зазору

$$\lambda_x = \mu_0 / n \quad \lambda_3 = \mu_0 m_3 / n \quad \lambda_{\Pi} = \mu_0 m_{\Pi} / n$$



$$\alpha = \text{rad} \times \beta$$

$$\lambda_a = \int_0^{b_{z2}} \frac{dx}{\delta} = \frac{x}{\delta} \Big|_0^{b_{z2}} = \frac{b_{z2}}{\delta}$$

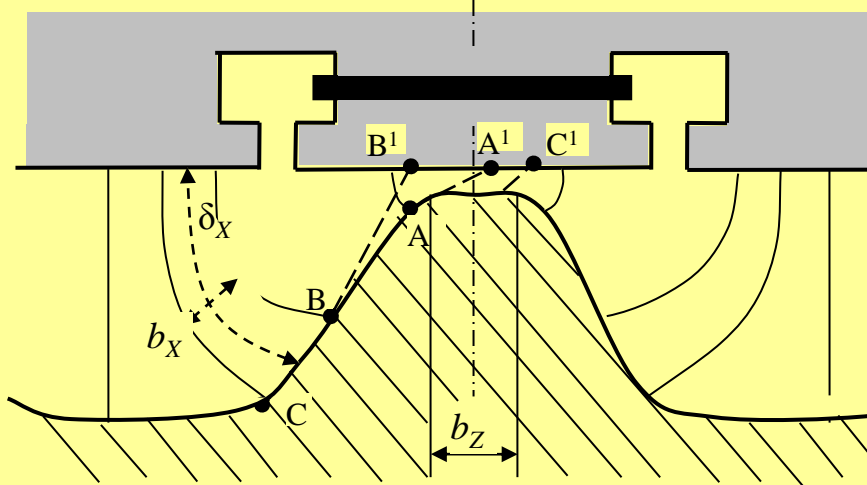
$$\beta = \alpha^\circ \times \alpha'$$

$$\lambda_b = \int_0^{0,5 b_{z1} - b_{z2}} \frac{dx}{\delta + \beta x} = \frac{1}{\beta} \ln \left[ 1 + \frac{\beta (b_{z1} - b_{z2})}{2\delta} \right]$$

$$\lambda_c = \int_0^{0,5 b_{\Pi}} \frac{dx}{\delta + \beta x + \beta [0,5 b_{z1} - b_{z2} + x]} = \frac{1}{\beta} \ln \left[ 1 + \frac{2\beta b_{\Pi}}{2\delta + \beta (b_{z1} - b_{z2})} \right]$$

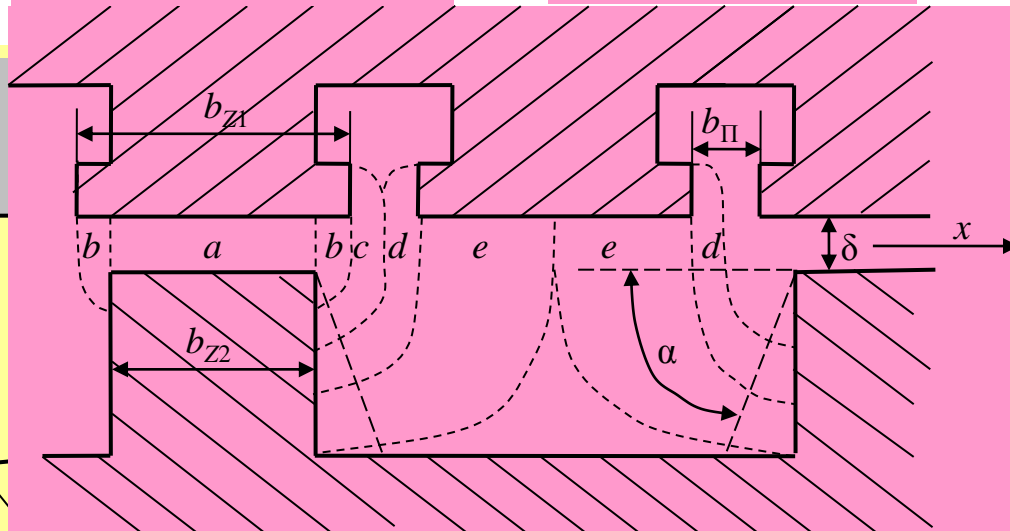
$$\lambda_{\Pi} = \sum \lambda_x = \sum \mu_0 \frac{b_x}{\delta_x}$$

$$\lambda_3 = \mu_0 b_z / \delta$$



$$\lambda_{\max} = \lambda_3 = \lambda_a + 2\lambda_b + 2\lambda_c$$

$$\lambda_{\min} = \lambda_{\Pi} = 2\lambda_d + 2\lambda_e$$



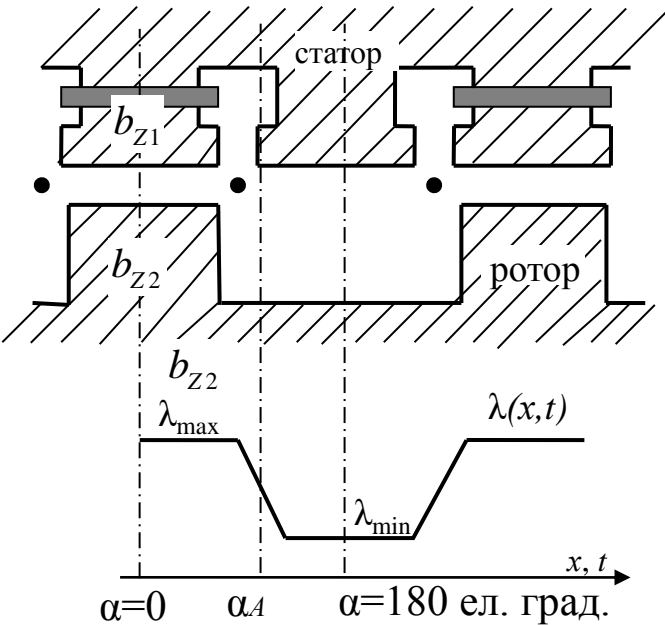


# Апроксимація кривої провідності робочого зазору

$$b_{Z1} = b_{Z2}$$

$$\lambda_{\max} = 1,4 \cdot 10^{-6} \frac{b_{Z1}}{\delta}$$

$$\lambda_A = 1,4 \times 10^{-6} \ln \left[ \left( 1 + \frac{b_{\Pi 1}}{2\delta} \right) \left( 1 + \frac{b_{\Pi 2}}{2\delta} \right) \right]$$



$\alpha=0$

$$\alpha_A = 360 \frac{b_{Z2}}{t_{Z2}}$$

$\alpha=180$  ел. град.

$$\lambda_{\min} = 2 \cdot 10^{-6} \frac{b_{\Pi 2}}{b_{\Pi 2} - b_{Z1}}$$

$$\lambda_K = \frac{360 \lambda_{\max} - \lambda_A}{\pi^2 K^2 \alpha_A} \left[ 1 - \cos \left( K \alpha_A \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{\lambda_{\max} - \lambda_A} \right) \right]$$

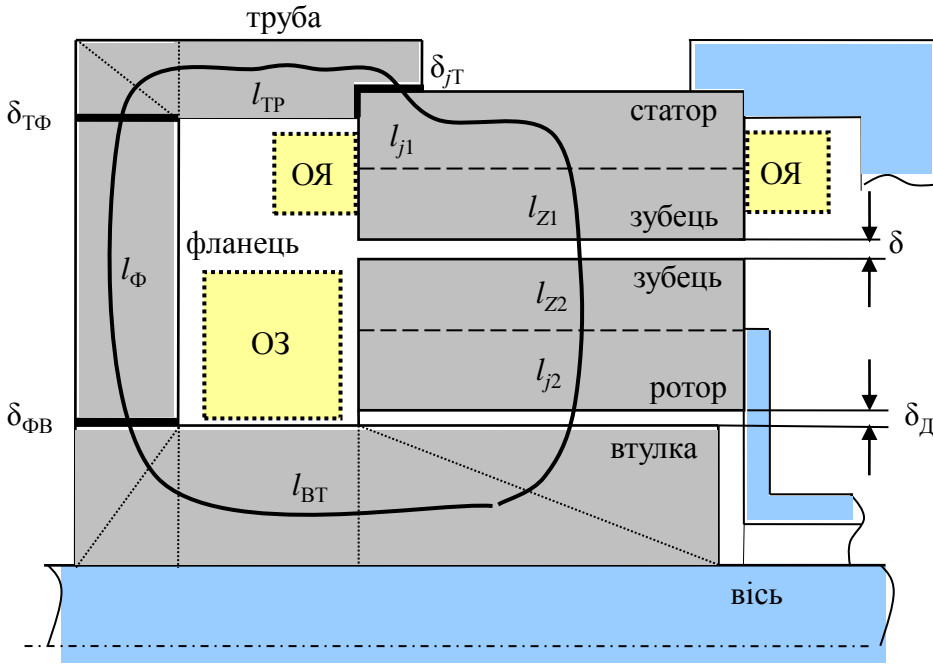
$$\lambda(t) = \lambda_0 + \lambda_1 \cos \omega t + \lambda_3 \cos 3\omega t$$

$$E_{AS} = E_{BS} = E_{CS} = \frac{2\pi f N}{\sqrt{2}} k_o w l F_{\delta} \mu_0 \lambda_1 \sqrt{1 + \frac{4\lambda_2^2}{\lambda_1^2} + \frac{16\lambda_4^2}{\lambda_1^2} + \frac{25\lambda_5^2}{\lambda_1^2}}$$

## 5.4.4. Розрахунок магнітної системи

$$\lambda_x \quad \lambda = f \alpha \quad \lambda_K$$

$$\Phi_S = N \sum_{i=1}^n F_\delta \lambda(\alpha_i) l_\delta$$



$$F_\delta = k B_\delta \delta$$

$$\Phi_{Z1} = F_\delta \lambda_3 l_1$$

$$B_{Z1} = \Phi_{Z1} / (b_{Z1} l_1 k_{CT})$$

$$F_{Z1} = H_{Z1} h_{Z1}$$

$$F_{Z2} = H_{Z2} h_{Z2}$$

$$\Phi_{Z2} = \Phi_{Z1} + 2F_\delta l_2 \lambda^1$$

$$B_i = \sigma_i \Phi_S / S_i \quad H_i = f(B_i)$$

$$F_i = l_i H_i$$

$$\sigma_i = \Phi_i / \Phi_S$$

$$\lambda^1$$

$$\lambda = f(\alpha) \quad \alpha^1 = 360 \left( 1 - \frac{z_2}{z_1} \right)$$

$$F_3 = F_\delta + F_{Z1} + F_{Z2} + \sum F_{CT} + \sum F_i$$

$$E_\Phi(B_\delta) = \frac{\pi n}{30\sqrt{2}} z_2 k_O w_\Phi l_\delta \mu_0 \lambda_1 F_3(B_\delta) - \Delta F(B_\delta) = C_{eF} n F_3(B_\delta) - \Delta F(B_\delta)$$

## 5.4.5. Розрахунок струмо-швидкісної характеристики

Несиметрична картина поля  
Верхні гармоніки напруги  
Нерівноцінність процесів в вентилях  
Із від додаткового випрямляча  
Використання постійних магнітів.

$$K_I = \frac{I_\Phi}{I_d}$$

$$K_U = \frac{U_\Phi}{U_d}$$

$$x_\sigma = \frac{15,8 f w_\Phi^2 l_j (\lambda_{\text{паз}} + \lambda_{\text{лоб}} + \lambda_{\text{диф}})}{z_2 q}$$

$$x_\sigma = \lambda_\sigma \frac{0,52 z_2 n_p w_\Phi^2 l_j m}{z_1}$$

Фази	$m=3$		$m=5-(13524)$		$m=7-(1234567)$		$m=7-(1357246)$	
$I_d, A$	$K_I$	$K_U$	$K_I$	$K_U$	$K_I$	$K_U$	$K_I$	$K_U$
0	0,52	0,87	0,4	0,7	0,21	0,86	0,27	0,66
10	0,47	0,94	0,31	0,79	0,21	0,94	0,22	0,79
20	0,45	0,95	0,33	0,86	0,21	0,96	0,19	0,89
30	0,45	0,95	0,3	0,94	0,21	0,97	0,18	0,94
40	0,45	0,95	0,28	1,0	0,21	0,98	0,17	0,98
50	0,45	0,95	0,26	1,03	0,21	0,98	0,16	0,99
60	0,45	0,95	0,25	1,03	0,21	0,98	0,16	1,0

$$F_{\text{Я}} = 0,91 I_\Phi w_\Phi \frac{m}{z_1} \cdot \frac{\lambda_{\text{max}} + \lambda_{\text{min}}}{\lambda_{\text{max}} - \lambda_{\text{min}}} \sin \psi$$

$$F_{\text{Я}} = 0,91 I_\Phi \frac{m w_\Phi k_0}{z_1}$$

$$\lambda_{\text{max}} = 1,4 \cdot 10^{-6} \frac{b_{z1}}{\delta}$$

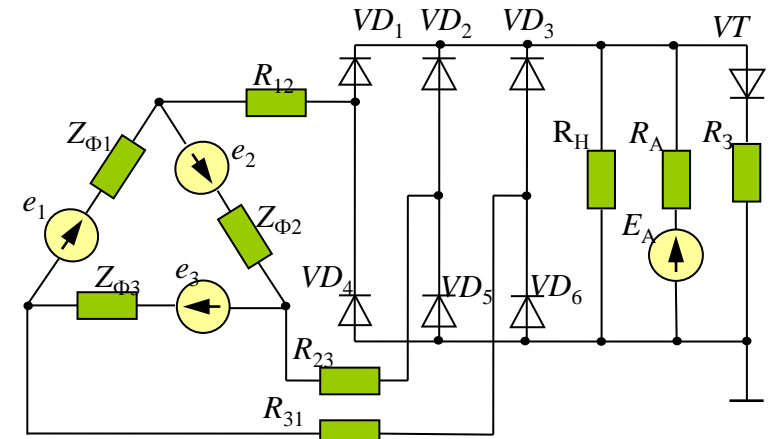
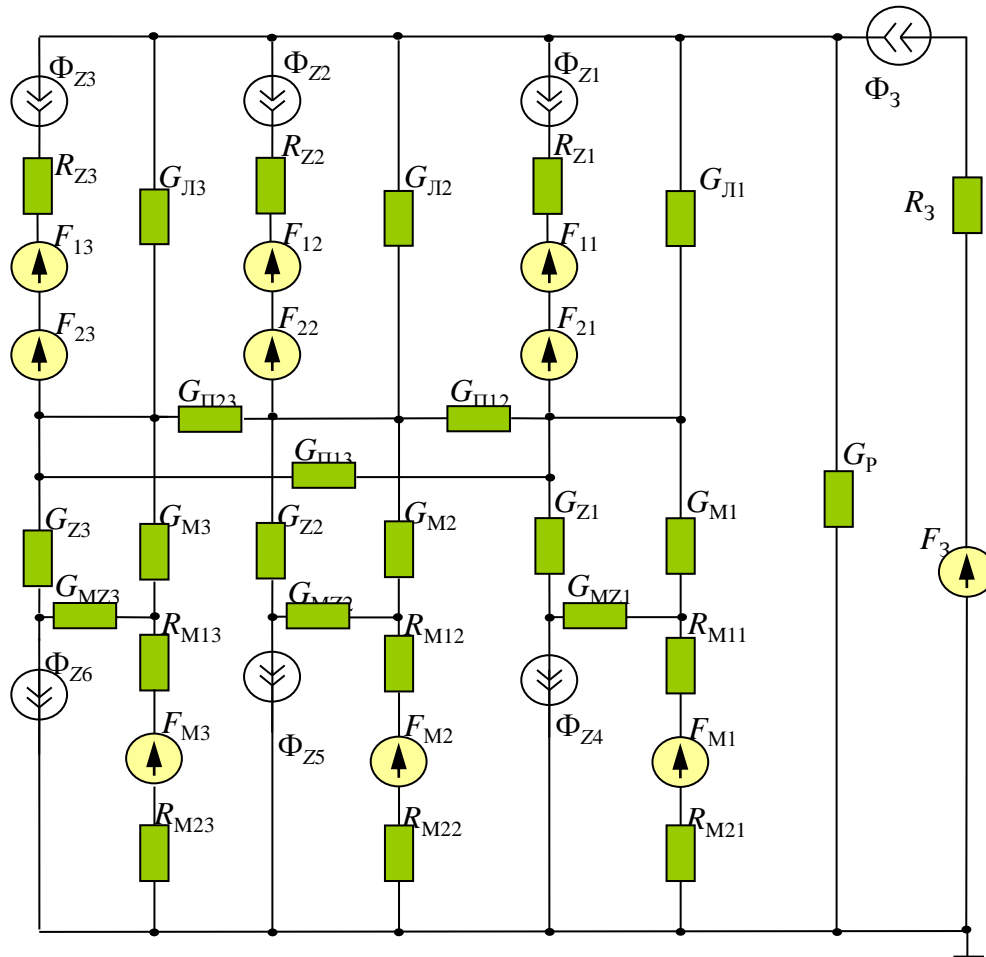
$$\lambda_{\text{min}} = 2 \cdot 10^{-6} \frac{t_{z2} - b_{z2}}{t_{z2} - (b_{z2} + b_{z1})}$$

$$\lambda_{\text{паз}} = \frac{1}{b_{\text{пл}}} (0,38 h_{z1} + h_{z2}) \left( \sin 180 \frac{z_2}{z_1} \right)^2 10^{-6}$$

$$\lambda_{\text{диф}} = 3 \cdot 10^{-9} \frac{t_{z2} t_{z1} + b_{z1} + 10\delta}{q\delta t_{z1} + 10\delta}$$

$$\lambda_{\text{лоб}} = 4,5 \cdot 10^{-8} \frac{t_{z2}}{l_j}$$

# Схеми заміщення магнітного та електричного кіл індукторного генератора



$$F_{1k} = w_{\Phi} \frac{m}{z_1} i_k$$

$$F_{2k} = \frac{d\Phi_k}{dt} \cdot \frac{1}{R_e}$$

$$e_k = w_{\Phi} \frac{m}{z_1} \cdot \frac{d\Phi_k}{dt}$$

$$R_e = 0,38 \frac{z_1 l_i b_{z1}}{mh_{z1}}$$

$$i_k = \frac{e_k}{Z_k}$$

$$\Phi_{AB}(t) = F_{\delta} \mu_0 \lambda_{AB}(t) l \quad \lambda(t) = \lambda_0 + \lambda_1 \cos \omega t + \lambda_3 \cos 3\omega t$$

$$e = 2\pi f w l F \delta \mu_0 0,865 \lambda_1 \sin \omega t - 2\lambda_2 \sin 2\omega t + 4\lambda_4 \sin 4\omega t$$

# Визначення параметрів елементів схеми заміщення

$\Phi_Z$  – потоки в зубцях;

$R_Z$  – магнітний опір зубців;

$F_1$  – МРС фазних обмоток (котушок);

$F_2$  – МРС вихрових струмів;

$F_M$  – МРС постійних магнітів;

$R_{M1}$  – потужнісна характеристика (внутрішній опір) постійного магніта;

$R_{M2}$  – магнітний опір зазору між спинкою впадини ротору і магнітом;

$G_{\Pi}$  – магнітна провідність розсіювання пазів статора;

$G_L$  – магнітна провідність розсіювання лобових частин статорних обмоток;

$G_Z$  – магнітна провідність між зубцями статора і ротору;

$G_M$  – магнітна провідність між зубцями статора і магнітами;

$G_{MZ}$  – магнітна провідність розсіювання постійних магнітів;

$$G_{MZ} = \frac{5 \cdot 10^{-6} z_1 z_2 l_M [h_{Z2} - 0,4 t_{Z2} - b_{Z2} - b_M]}{m [2\pi D_1 - 0,8 t_{Z2} - b_{Z2} - b_M - 2\pi h_{Z2} - b_{Z2} + b_M]}$$

$$G_Z = \lambda_{\delta} l_1 \frac{z_1}{m} = l_1 \frac{z_1}{m} \sum \lambda_{\delta i}$$

$$G_M = \lambda_M l_1 \frac{z_1}{m} = l_1 \frac{z_1}{m} \sum \lambda_{M i}$$

$$R_Z = 0$$

$$F_M = H_M h_M$$

$$R_{M1} = \frac{F_M m}{B_M S_M z_1}$$

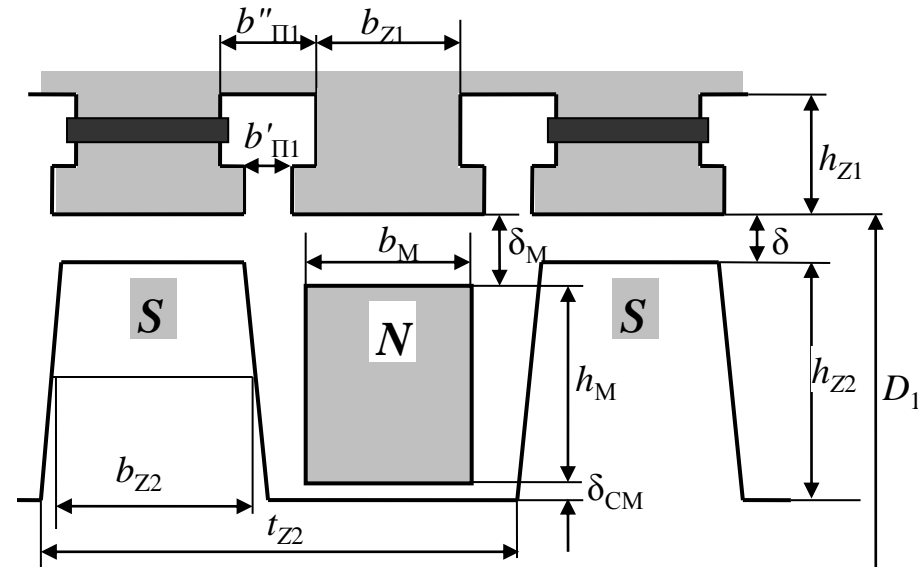
$$R_{M2} = \frac{8 \cdot 10^5 \delta_{CM} m}{z_1 b_M l_M}$$

$$G_{\Pi} = \frac{2,5 \cdot 10^{-6} h_{Z1} l_1 z_1}{m b'_{\Pi} + b''_{\Pi}}$$

$$G_L = 3,5 \cdot 10^{-8} \frac{\pi D}{m}$$

$$R_{M3} = \frac{\sum F_i + \sum F_{CT}}{\Phi_S}$$

$$F_3 = I_{3,max} w_{O3} = E_A w_{O3} / R_3$$



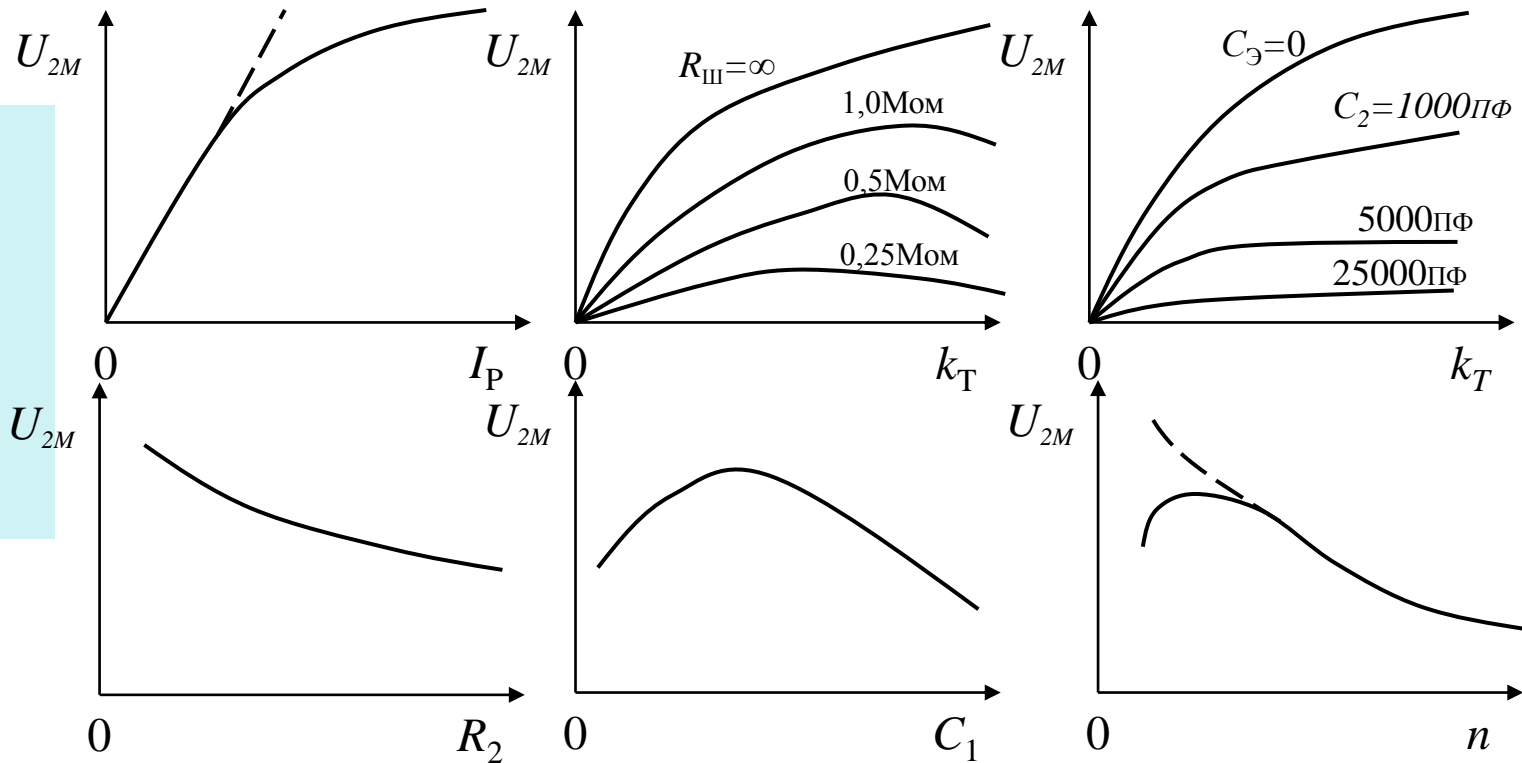
5.5.1. Передумови до розрахунку котушки запалювання

$$\tau_1 = L_1 / R_1 \implies L_1, I_p, U_{1m} \implies r_{w1} R_1 L_1 k_T \implies w_1 w_2$$

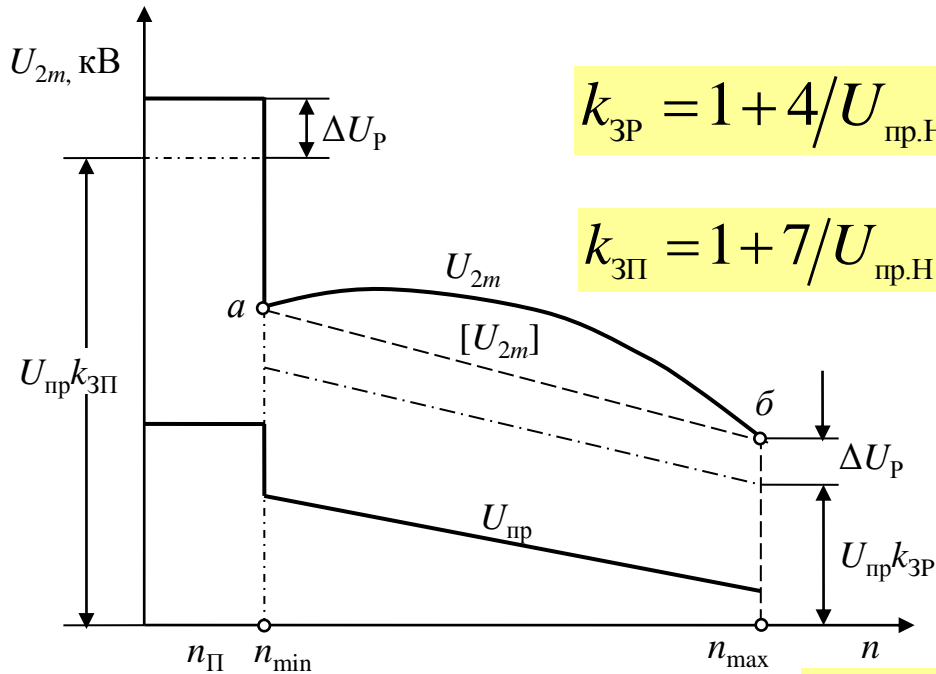
$$U_{2m} = \frac{U_B}{R_1} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{120\gamma R_1}{zL_1 n}\right) \right] k_L k_D k_T \eta \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_T^2}}$$

$$\Delta W_D = 0,5 L_1 I_P^2 - I_P'^2$$

**Питома Потужність.  
Накопичувальна здатність.  
Температурна Сійкість.  
Електрична міцність.**



# Вихідні дані



$$k_{3P} = 1 + 4/U_{пр.H}$$

$$k_{3П} = 1 + 7/U_{пр.H}$$

$$P_1 = U_{AB} I_C = r_{wl} I_C^2 \leq P_{доп}$$

$$U_{2m} = U_{пр} k_3 + \Delta U_P$$

$$R_e = R_B R_{III} / [k_T^2 (R_B + R_{III})]$$

$$k_T = \frac{U_{2m \max}}{U_{KE \max} - U_{AB}}$$

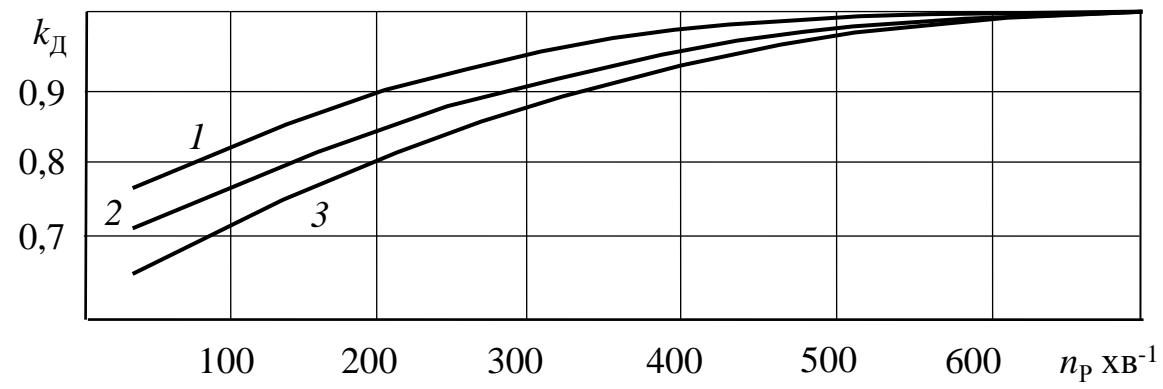
$$R_B = 0,7 \sqrt{k_T}$$

$$C_e = C_1 + C_2 k_T^2$$

$$R_{III} = 6 \dots 12 \text{ МОм}$$

$$C_2 z_{ц} = C_K + C_{III} \quad z_{ц} = C_K + C_P + C_{пр} + C_{св}$$

Джерело ЕДС  
 Споживач потужності  
 Перетворювач напруги  
 Вторинне джерело напруги  
 Нерезидентна напруга.



## 5.5.2. Оптимізація параметрів котушки запалювання

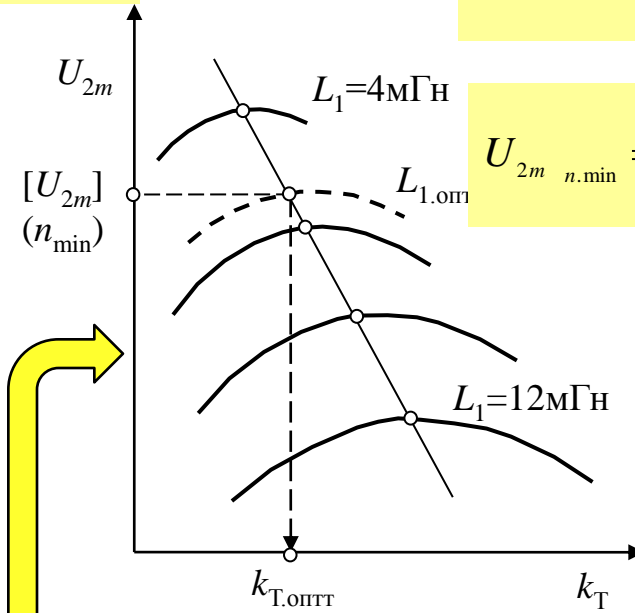
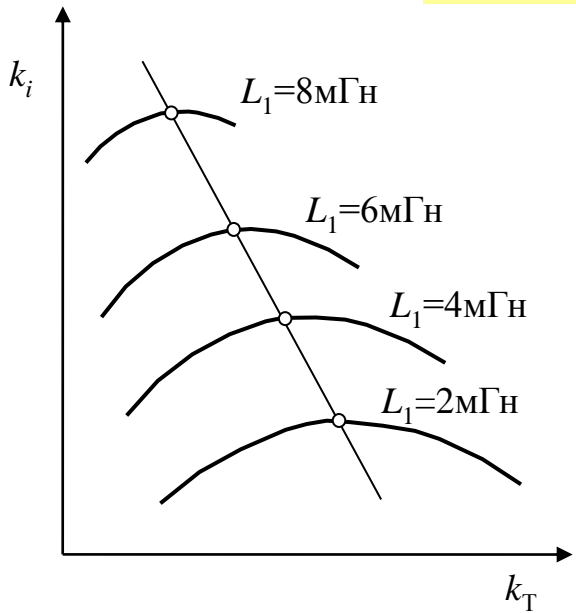
$$U_{2m} = I_P k_T \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_T^2}}$$

$$I_P = \frac{U_1}{R_1} \left[ 1 - \exp\left(-t_3 \frac{R_1}{L_1}\right) \right]$$

$$k_i = \frac{U_{2m}}{I_P} = f k_T$$

$$U_{2m \ n.\max} = \frac{U_{AB}}{R_1} k_{Д \ n.\max} k_i \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_{3 \ n.\max}}{\tau_1}\right) \right]$$

$$U_{2m \ n.\min} = \frac{U_{AB}}{R_1} k_{Д \ n.\min} k_i \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_{3 \ n.\min}}{\tau_1}\right) \right]$$



$$k_{Д(n.\max)} = 1$$

$$\tau_1 = \frac{t_{3 \ n.\max}}{\ln\left(1 - k_{Д \ n.\min} \frac{U_{2m \ n.\max}}{U_{2m \ n.\min}}\right)}$$

$$U_{2m} = I_P k_L k_T \eta \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_T^2}}$$

$$I_P = \frac{U_{AB}}{R_1} = \frac{U_{AB} k_D \tau_1}{L_1}$$

$$U_{2m} k_T, L_1 = \frac{U_{AB} \tau_1}{\sqrt{L_1 C_e}} k_D k_L k_T \eta$$

$$\eta_{k_T, L_1} = \exp\left(-\frac{\text{arctg}\sqrt{\frac{4 R_B R_{III} / [k_T^2 (R_B + R_{III})]^2 C_1 + C_2 k_T^2}{L_1} - 1}}{\sqrt{\frac{4 R_B R_{III} / [k_T^2 (R_B + R_{III})]^2 C_1 + C_2 k_T^2}{L_1} - 1}}\right)$$



# Розрахунок електричних параметрів котушки запалювання

$$U_{2m \text{ II}} = U_{\text{пр. II}} k_{3\text{II}} + \Delta U_{\text{P}}$$

$$U_{2m \text{ n.min}} = U_{\text{пр}(n.\text{min})} k_{3\text{P}} + \Delta U_{\text{P}}$$

$$U_{2m \text{ n.max}} = U_{\text{пр}(n.\text{max})} k_{3\text{P}} + \Delta U_{\text{P}}$$

$$\tau_1 = \frac{\alpha_3}{6n_{\text{max}} \ln \left( 1 - k_{\text{Д}(n.\text{min})} \frac{U_{2m \text{ n.max}}}{U_{2m \text{ n.min}}} \right)}$$

$$k_{\theta.\text{II}} = 1 + \alpha_t \theta_{\text{II}} - 20$$

$$k_{\theta.\text{P}} = 1 + \alpha_t \theta_{\text{P}} - 20$$

$$t_3 = \alpha_3 / 6n$$

$$k_{\text{T.min}} = \frac{U_{2m \text{ n.min}}}{U_{1m}}$$

$$R_{\text{B}} = 0,7 \sqrt{k_{\text{T.min}}}$$

$$R_{1\text{P}} = L_{1.\text{опт}} / \tau_1$$

$$k_I = \frac{[U_{2m}]_{n.\text{min}}}{I_{\text{P.max}}} = \frac{[U_{2m}]_{n.\text{min}} R_{1\text{P}}}{U_{\text{АБ}} k_{\text{Д} n.\text{min}}}$$

$$r_{w1} = \frac{U_{\text{БП}} k_I k_{\text{ДП}}}{U_{2m \text{ II}} k_{\theta.\text{II}}}$$

$$I_{\text{P}} = \frac{U_{2m \text{ n.min}}}{k_I} = \frac{U_{\text{АБ}}}{r_{w1}} \leq I_{\text{P.доп}}$$

$$I_{\text{рп}} = \frac{U_{2m \text{ II}}}{k_I} = \frac{U_{\text{БП}}}{r_{w1}} \leq I_{\text{рп.доп}}$$

$$P_1 = I_{\text{P}}^2 r_{w1} k_{\theta.\text{P}} \leq 40\text{Вт}$$

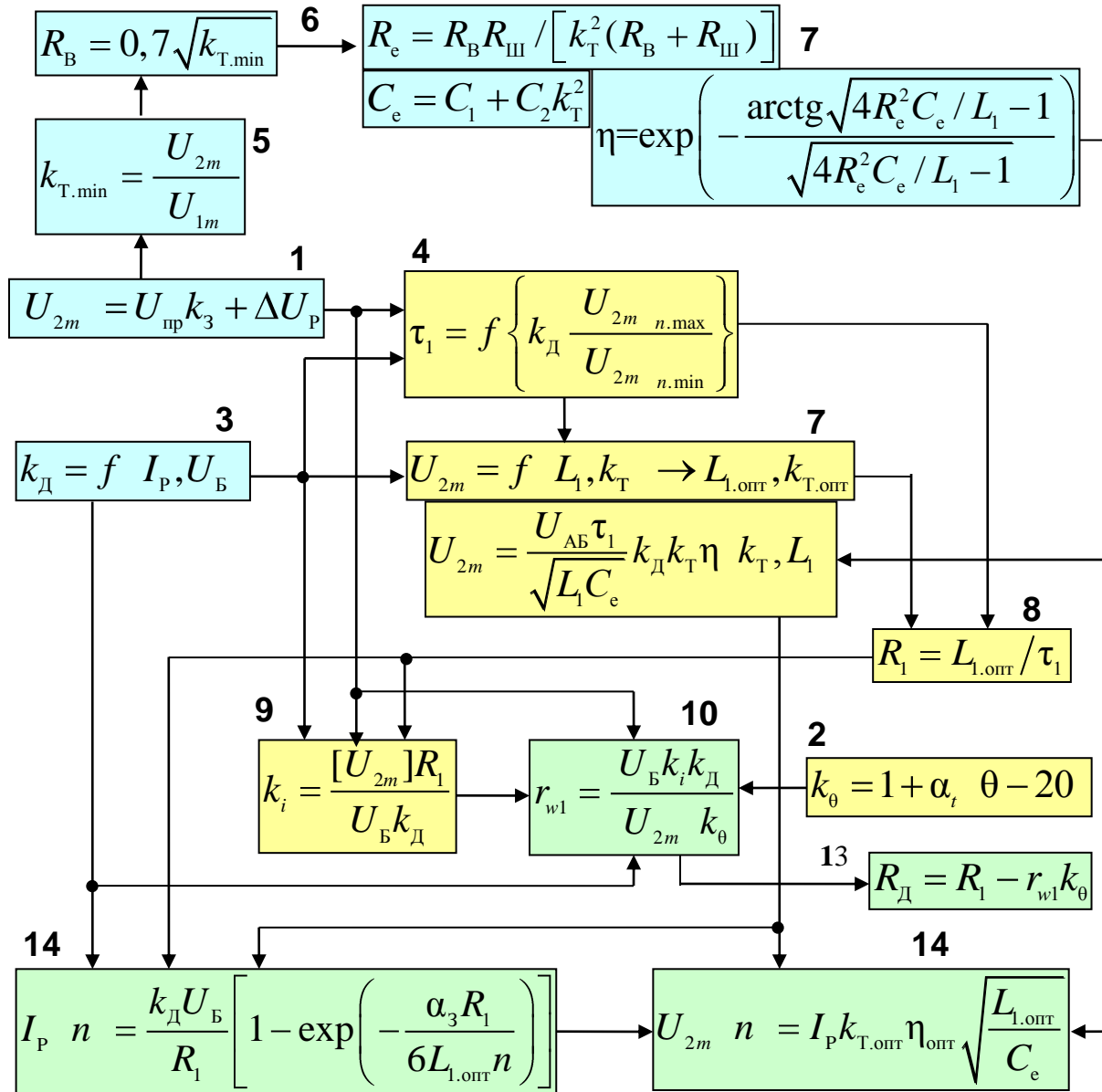
$$R_{\text{ДI}} = R_{1\text{P}} - r_{w1} k_{\theta.\text{P}}$$

$$k_3 = \frac{U_{2m} - 1,5\text{кВ}}{U_{\text{пр}}}$$

$$U_{2m \text{ n}} = \frac{U_{\text{АБ}}}{R_{1\text{P}}} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{120\gamma R_{1\text{P}}}{z_{\text{II}} L_{1.\text{опт}} n} \right) \right] k_L k_{\text{Д}} k_{\text{T.опт}} \eta_{\text{опт}} \sqrt{\frac{L_{1.\text{опт}}}{C_1 + C_2 k_{\text{T.опт}}^2}}$$

$$U_{2m \text{ n.min}} = U_{2m \text{ II}} \cdot \frac{k_{\theta.\text{II}}}{k_{\theta.\text{P}}} \cdot \frac{k_{\text{ДП}}}{k_{\text{Д}(n.\text{min})}} \cdot \frac{U_{\text{АБ}}}{U_{\text{БП}}}$$

# Структура розрахунку системи запалювання



### 5.5.3. Розрахунок магнітної системи та обмоткових даних

$(r_{w1}, L_1, k_T)$

На підставі параметрів базової КЗ

$$L_1 = G w_1^2 \Rightarrow G_0 = \frac{L_{01}}{w_{01}^2} \Rightarrow w_1 = \sqrt{\frac{L_1}{G_0}} = w_{01} \sqrt{\frac{L_1}{L_{01}}}$$

$$r_{w1} = \rho \frac{4D_{1cp} w_1}{d_1^2}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4\rho D_{1cp} w_1}{r_{w1}}}$$

$$J = \frac{4I_{P.max}}{\pi d_1^2}$$

$$w_2 = w_1 k_T$$

$$d_2 = 0,06 \dots 0,075 \text{ мм}$$

$$S_1 = \frac{w_1 \pi d_1^2}{4k_{M1}}$$

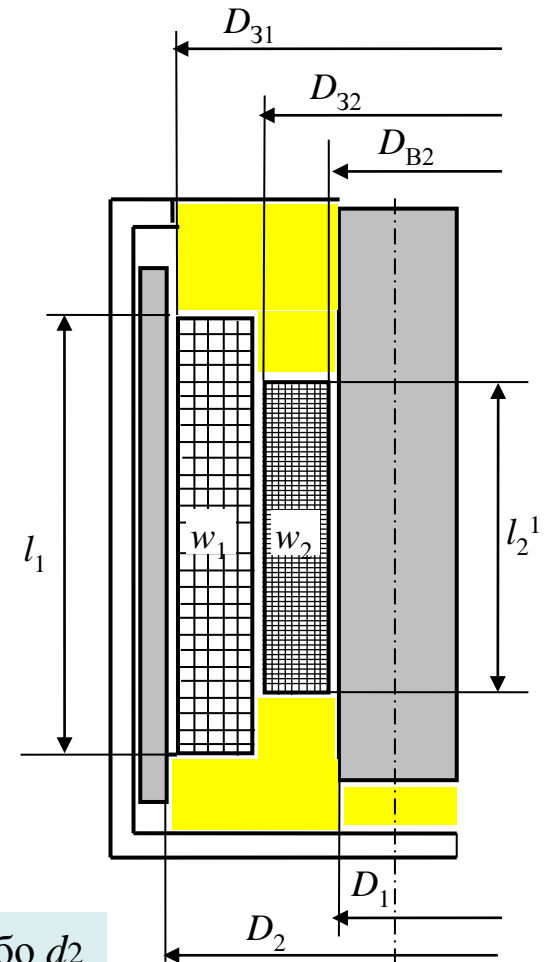
$$D_{32} = D_{3.01} - 2S_1 / l_{01}$$

$$S_2 = \frac{w_2 \pi d_2^2}{4k_{M2}}$$

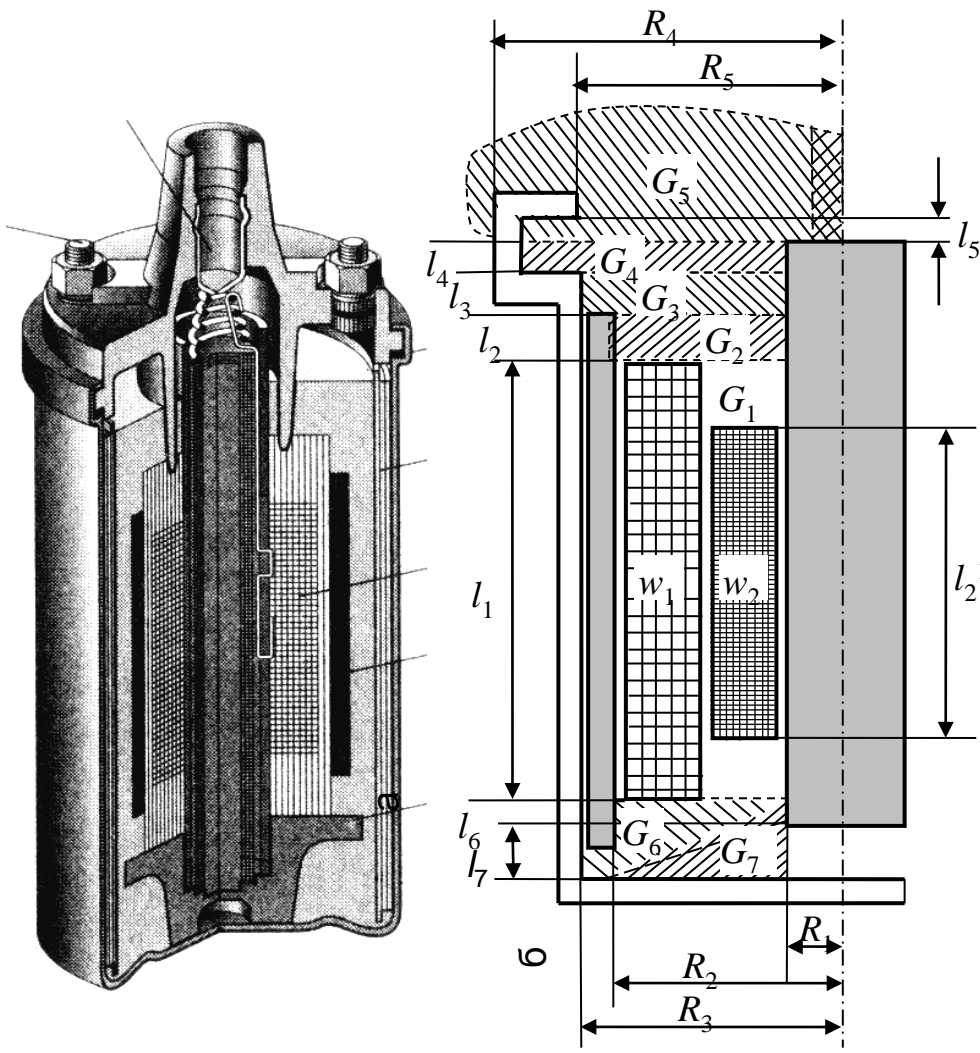
$$l_2^1 = \frac{2S_2}{D_{32} - D_{B.02}}$$

$$\Delta G = \Delta l_1 \frac{\pi \mu_0}{12 \ln \left( \frac{D_2}{D_1} \right)}$$

Якщо  $S < f(w, d)$  коректують  $l_1$  або  $d_2$



# Розрахунок первинної магнітної провідності КЗ



$$G = G_1 + \frac{G_2 + G_3 + G_4 + G_5 \cdot G_6 + G_7}{G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7}$$

$$G_i = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{D_i}{D_0}\right)} l_i$$

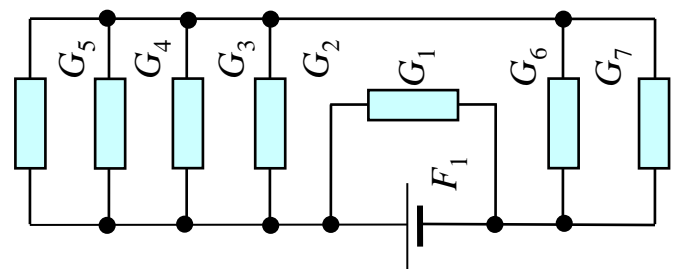
$$G_i = \mu_i \frac{S_i}{l_i}$$

$$G_1 = \frac{\pi\mu_0}{6 \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} l_1$$

$$G_2 = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} l_2$$

$$G_3 = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{R_3}{R_1}\right)} l_4$$

$$G_4 = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{R_4}{R_1}\right)} l_4$$



$$G_6 = \frac{2\pi\mu_0 A l_6}{R_2 - R_1 \ln\left[\frac{R_2 R_1 + A}{R_1 R_2 + A}\right]}$$

$$G_7 = \mu_0 \frac{2\pi R_1 R_2}{l_7}$$

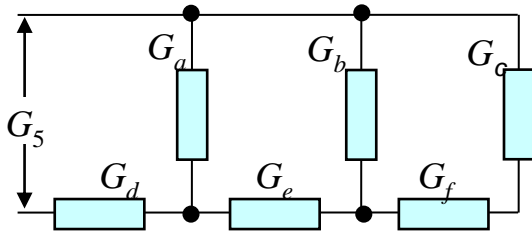
$$A = \frac{l_6}{l_7} R_2 - R_1 - R_1$$

## Розрахунок магнітної провідності торцевої частини

- максимум потоку в сердечнику співпадає з площиною симетрії первинної обмотки;
- падіння магнітного потенціалу в сердечнику дорівнює нулю;
- всі лінії магнітного поля проходять через сердечник.

$$G_i = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{D_i}{D_0}\right)} l_i$$

$$G_i = \mu_i \frac{S_i}{l_i}$$



$$G_b = \mu_0 \frac{S_b}{l_b} = \frac{\mu_0 \pi R_4^2 - R_2^2}{\sqrt{\left(\frac{R_4^2 - R_2^2}{4R_1}\right)^2 - R_4 - R_1}^2}$$

$$G_d = \mu_0 \frac{2\pi R_1^2}{l_5}$$

$$G_c = \mu_0 \frac{S_c}{l_c} = \frac{\mu_0 2\pi R_4 R_4 - R_5}{\pi l_4 - \sqrt{\left(\frac{R_4^2 - R_2^2 + R_4 R_4 - R_5}{4R_1} - l_4\right)^2 - R_4 - R_1}^2}$$

$$G_a = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} l_3$$

$$G_f = \mu_0 \frac{4\pi^2 R_1^3}{S_b + S_c} = \mu_0 \frac{4\pi R_1^3}{R_4^2 - R_2^2 + 2R_4 R_4 - R_5}$$

$$G_e = \mu_0 \frac{4\pi^2 R_1^3}{S_b} = \mu_0 \frac{4\pi R_1^3}{R_4^2 - R_2^2}$$