

## **5.3. Розрахунок вентильних генераторів з дзьобоподібним ротором**

### ***5.3.1. Етапи проектування та структура розрахунку***

Надійна та економічна робота генератора забезпечується при правильному виборі його номінальної потужності та швидкісного діапазону. Ці параметри визначаються у відповідності зі складом та режимами роботи бортових споживачів електроенергії, умов руху автомобіля в транспортному циклі та швидкісних характеристик ДВЗ. Завищена потужність генератора приводить до невиправданого росту габаритних розмірів, маси й вартості системи електропостачання, підвищених витрат палива на переборення гальмівного моменту генератора під навантаженням. При недостатній потужності – не підтримується зарядний баланс АКБ та як наслідок відбувається достроковий вихід з ладу АКБ.

Генератор нової конструкції розробляють вразі, якщо за результатами підбору елементів системи електропостачання не вдається обрати генератор промислового зразка з задовільними характеристиками (наприклад при оригінальних значеннях резидентної напруги борта в гібридних автомобілях) або в разі використання нових матеріалів та прогресивних технологій виготовлення електричних машин. Для розрахунку генератора необхідно мати технічне завдання на розробку. На практиці зазвичай вирішується напівзворотна задача коли як вихідні дані задаються номінальна напруга, електричне навантаження та спосіб збудження генератора, швидкісний діапазон ДВЗ. На рис. 5.3.1 показано структуру розрахунку генератора на різних етапах проектування.

На етапі попереднього проектування аналізуються вихідні дані (склад та характеристики споживачів, швидкісні режими ДВЗ, умови експлуатації транспортного засобу), визначається необхідна розрахункова потужність генератора. На підставі аналізу технічних рішень обираються конструктивні атрибути машини (див. рис. 3.1.1).

Попередній розрахунок генератора на етапі ескізного проектування полягає в послідовному визначенні основних структурних параметрів електричної машини і виборі окремих вузлів та деталей з переліку номенклатури, які задовольняють результатам розрахунку.

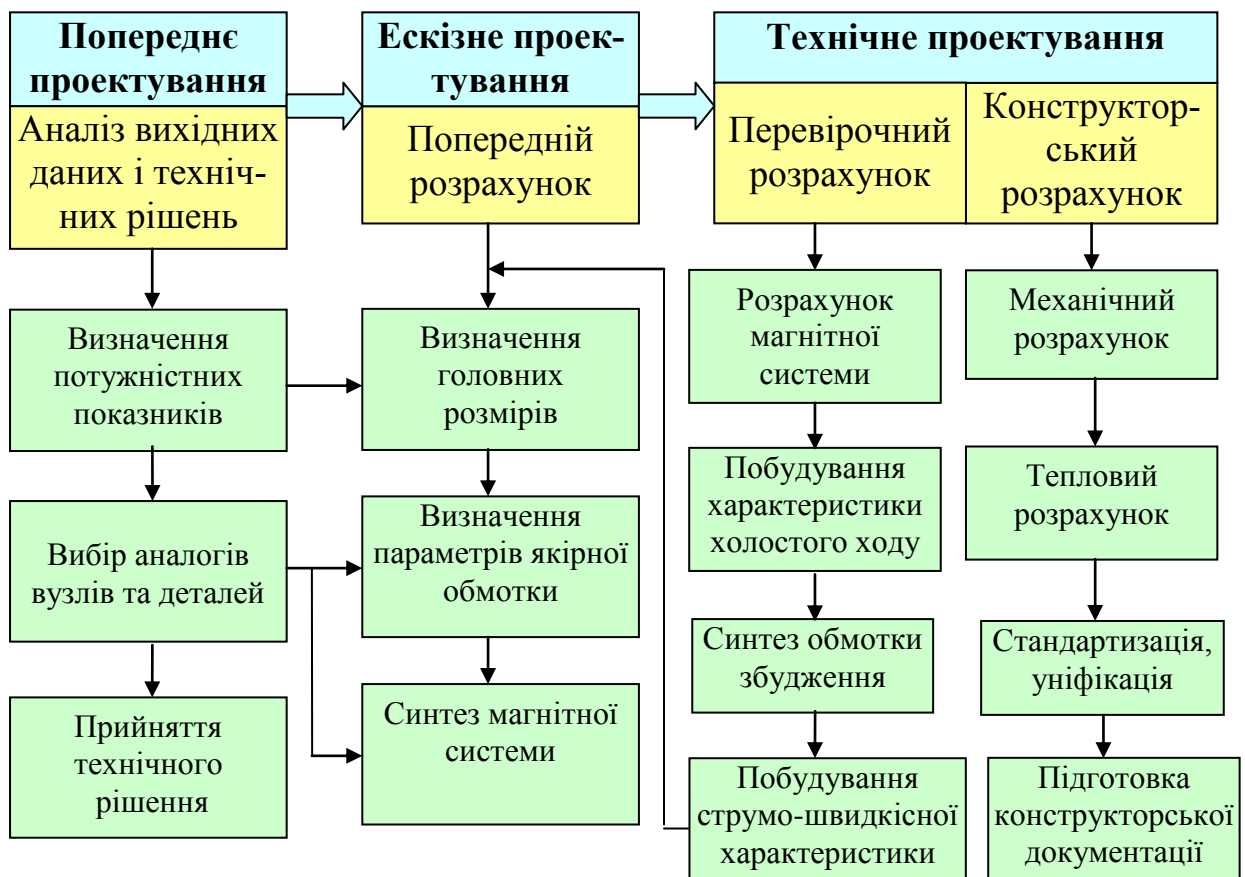


Рис. 5.3.1. Етапи проектування та структура розрахунку генератора з дзьобоподібним ротором

На цьому етапі вирішується зворотна задача з незамкненими умовами. Метою попереднього розрахунку є синтез конструкції магнітної системи та визначення параметрів якірної обмотки на підставі отриманих габаритних розмірів машини.

Деталізація конструкції машини полягає у виборі або розробці окремих деталей та вузлів генератора. Якщо промислових зразків деталей з необхідними розмірами знайти не вдається, нову конструкцію деталі можна отримати шляхом пропорційної зміни розмірів конструкції аналогу задовільної конфігурації.

На етапі перевірного розрахунку вирішується пряма задача з метою побудування робочих характеристик та перевірки придатності генератора до системи електропостачання. Перевірочний розрахунок вентильного генератора здійснюється у відповідності до визначеної конструкції магнітної системи і обраних параметрів (обмотувальних даних) котушок якірних обмоток. При розрахунку послідовно уточнюються магнітні провідності та потоки ділянок розсію-

вання синтезованої магнітної системи, підраховується значення магнітного потоку якоря, що послабляє потік збудження, враховуються втрати потужності в випрямлячі та щітковому вузлі. За результатами розрахунку магнітної системи синтезується обмотка збудження. Підсумком перевірного розрахунку є аналіз характеристики холостого ходу і струмо-швидкісної характеристики генератора. За допомогою отриманих характеристик аналізують баланс енергії борта й оцінюють придатність генератора, що проектується для системи електропостачання автомобіля.

Якщо після перевірного розрахунку отримані незадовільні результати, повторюють попередні розрахунки, обираючи нові структурні параметри в межах рекомендованих значень. Цей процес носить ітераційний характер.

На етапі конструкторського розрахунку вирішуються завдання, пов'язані з надійністю конструкції генератора та технологічністю його виготовлення. Метою конструкторського розрахунку є розробка конструкторської документації.

### ***5.3.2. Особливості побудови та розрахунку***

Автотракторні генератори змінного струму являють синхронну трьохфазну машину з незалежним електромагнітним збудженням з вмонтованим випрямлячем. В силу ідентичності побудови кожної фази, розрахунок трьохфазних генераторів проводять для однієї фази, а потім зводять результати розрахунку до трьохфазної системи джерел живлення. Так саме, розрахунок магнітної системи виконують на два полюси машини.

На відміну від синхронних генераторів загального застосування автотракторні мають наступні особливості, що ведуть до ускладнення їхнього розрахунку [4, 18].

1. Конструкція якоря характеризується малим числом пазів на полюс і фазу  $q = z_1 / (2z_2 m)$ , де  $z_1$ ,  $z_2$  - відповідно число зубців статора й ротора;  $m$  - число фаз. Така особливість призводить до виникнення верхніх гармонік в кривій потоку у робочому зазорі та підвищення індуктивного опору розсіювання в якірній обмотці.

2. Генератор працює з випрямлячем на реальних діодах, що обумовлює різний ступінь комутації при перетворенні  $m$  - фазного

струму в пульсуючий струм постійної напруги й спадання напруги на вентилях. В автомобільних генераторах в більшості випадків застосовуються трьохфазні мостові випрямлячі виконані за схемою Лаврентьєва (найбільший коефіцієнт передачі потужності та малий рівень пульсацій). Співвідношення між діючими значеннями фазних параметрів  $U_{\Phi}$ ,  $I_{\Phi}$  та випрямленими значеннями напруги  $U_G$  і струму  $I_G$  на виході генератора залежать від схеми підключення якірних обмоток (див. формули 1.34...1.42): для схеми «зірка»  $U_{\Phi}=0,43U_G$ ,  $I_{\Phi}=0,816I_G$ ; для схеми «трикутник»  $U_{\Phi}=0,87U_G$ ,  $I_{\Phi}=0,52I_G$ .

3. Генератор працює в широкому діапазоні частот обертання й струмових навантажень з регулятором напруги. Для генераторів змінного струму фазна напруга на обертах холостого ходу фактично дорівнює номінальним значенням  $U_{\Phi X}=U_{\Phi H}$  (завдяки роботі регулятора напруги)

4. Конструкція магнітної системи генератора характеризується значними потоками розсіювання (рис. 5.3.2).

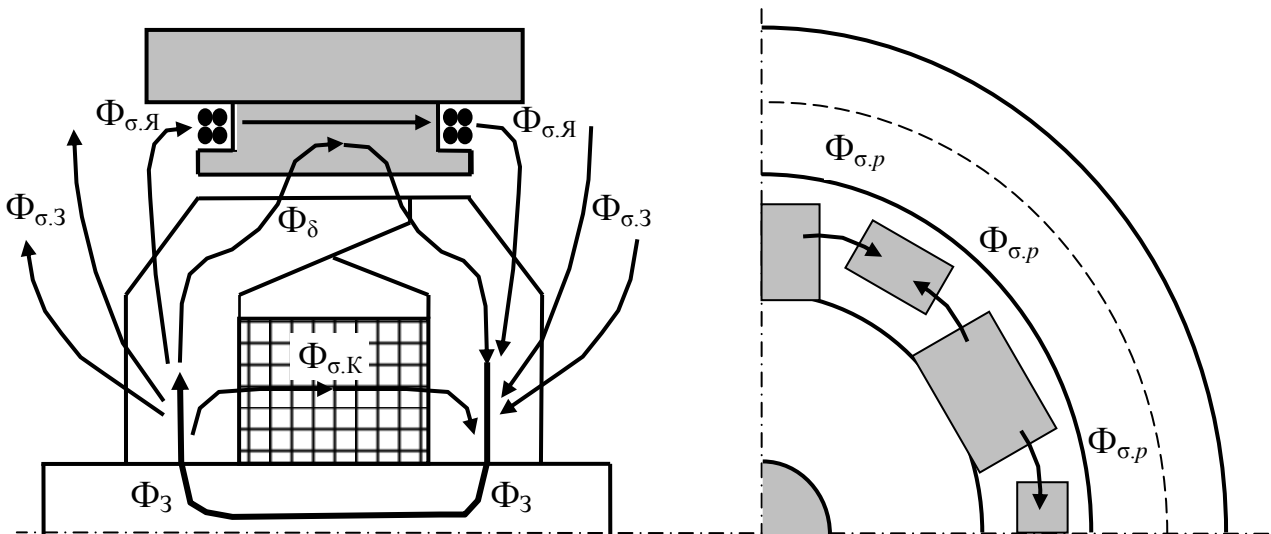


Рис. 5.3.2. Магнітна система генератора із дзьобоподібним ротором:  
 $\Phi_3$  - потік збудження;  $\Phi_{\sigma 3}$  - потік зовнішнього розсіювання;  $\Phi_{\sigma я}$  - потік розсіювання поперек пластин якоря;  $\Phi_{\sigma р}$  - потік міжполюсного розсіювання;  
 $\Phi_{\sigma к}$  - потік внутрішнього розсіювання (через котушку збудження);  
 $\Phi_{\delta}$  - потік у робочому зазорі.

Потоки розсіювання в дзьобоподібному роторі в значній мірі залежать від ступеню насичення магнітної системи, конструктивних розмірів та числа полюсів машини. Такі особливості конструкції не

дозволяють враховувати потоки розсіювання шляхом використання довідкових коефіцієнтів  $\sigma$  (як в машинах постійного струму і синхронних явно полюсних машинах загального застосування). В зв'язку з цим, при розрахунках магнітного кола автомобільного генератора розглядають магнітні провідності окремих ділянок розсіювання, які визначають аналітично.

Потоки розсіювання  $\Phi_{\sigma}$ , утворюються через провідності між елементами магнітної системи та замикаються у просторі минаючи робочий зазор. В загальному виді магнітна провідність розсіювання визначається через кількість полюсів машини  $p$ , зовнішній діаметр ротору  $D_p$  та відповідну питому магнітну провідність ділянки, що розглядається  $\lambda_{\sigma}$  [21]

$$G_{\sigma} = \mu_0 \frac{D_p \lambda_{\sigma}}{p} . \quad (5.3.1)$$

Питома магнітна провідність міжполюсного розсіювання  $\lambda_{\sigma,p}$  складається з паралельних гілок питомої провідності між боковими, торцевими та нахиленими поверхнями протилежних полюсів. Перелічені складові провідності між полюсами визначаються на підставі емпіричних формул в залежності від числа полюсів, коефіцієнту полюсного перекриття, куту скошу та відносної довжини полюса.

Питома провідність розсіювання поперек пластин якоря  $\lambda_{\sigma,я}$  також є багатопараметричною функцією від полюсного перекриття, скошу та довжини конусної частини полюсної системи ротору, робочого зазору, перекриття циліндричних поверхонь роторної та статорної частин. На практиці провідності  $\lambda_{\sigma,p}$ ,  $\lambda_{\sigma,я}$  визначають по довідковим залежностям, які надаються у виді багатомірних графіків.

Питома провідність для зовнішнього потоку розсіювання  $\lambda_{\sigma,з}$  та потоку через котушку збудження  $\lambda_{\sigma,к}$  розраховуються через основні розміри ротору на підставі емпіричних формул [4]

$$\lambda_{\sigma,з} = \frac{\ln\left(\frac{\pi D_p}{l_p}\right)}{2\left(1 - \frac{l_p}{\pi D_p}\right)}, \quad \lambda_{\sigma,к} = \frac{\pi 2D_o^2 - D_o D_{вт} - D_{вт}^2}{12D_p l_{вт}}, \quad (5.3.2)$$

де  $D_P, D_O, D_{BT}$  – зовнішні діаметри відповідно ротору, обойми обмотки збудження та втулки  
 $l_P, l_{BT}$  – осьова довжина відповідно ротору та втулки.

### 5.3.3. Попередній розрахунок та синтез конструкції генератора

На струмо-швидкісній характеристиці (СШХ) синхронного генератора виділяють три характерні режими (рис. 5.3.3).

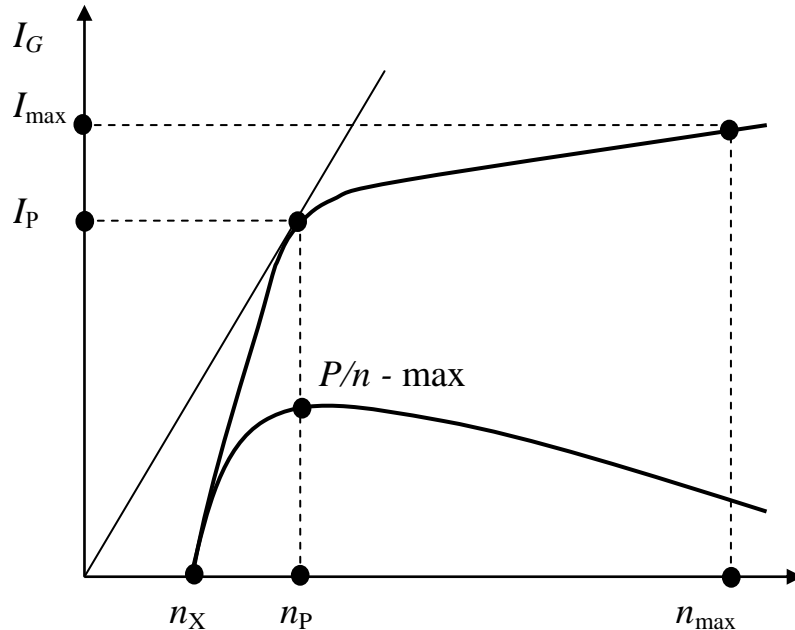


Рис. 5.3.3. Струмо-швидкісна характеристика вентильного генератора

1. Режим холостого ходу, коли магнітна індукція в повітряно-магнітопроводі максимальна (відсутність реакції якоря).
2. Режим максимального струму, коли  $I_G = I_{G,max}$ .
3. Розрахунковий режим, коли генератор має граничне теплове навантаження, тобто при максимумі відношення  $P/n$  (найгірші умови охолодження за рахунок обдування вентилятором генератора).

Для перерахованих режимів можна скласти рівняння. Система таких рівнянь встановлює зв'язок між конструктивними та електричними параметрами й швидкісним діапазоном генератора [18]

$$\begin{cases} U_{\Phi X} = k_{\Phi} k_O n_X w_{\Phi} \gamma_{p,P} l_z D_z B_{\delta,X} \pi / 30 \\ I_{\Phi,max} = (U_{\Phi X} n_{max} k_{\mu}) / (x_L n_X) \\ D_z^2 l_z = (6,1 k_E I_{\Phi P} U_{\Phi X}) / (\gamma_{p,P} k_B k_O A_{\Phi P} B_{\delta,P} n_P) \end{cases} \quad (5.3.3)$$

де  $k_\Phi, k_O, k_B, k_\mu, k_E$  - коефіцієнти відповідно: форми поля; обмотувальний; випрямлення; магнітного насичення; обумовлений відношенням результуючої ЕРС при розрахунковому навантаженні до фазної напруги;

$\gamma_{p.p} = b_{\min} + b_{\max} / 2t_p$  - коефіцієнт полюсного перекриття ротору;

$b_{p.\min}, b_{p.\max}$  - мінімальна та максимальна дуга активної частини полюса;

$t_p$  - полюсне ділення (5.2.3);

$D_z, l_z$  - відповідно діаметр розточення якоря (статора) і його розрахункова довжина;

$w_\Phi$  - число витків фази генератора (якірної обмотки);

$B_{\delta.X}$  - магнітна індукція у робочому зазорі на холостому ході;

$x_L$  - індуктивний опір фази якірної обмотки **на режимі максимального електричного навантаження генератора**;

$B_{\delta.p}$  - магнітне навантаження в розрахунковому режимі;

$A_{\Phi p} = I_{\Phi p} w_\Phi / \pi D_z$  - електричне лінійне навантаження фази в розрахунковому режимі.

Рівняння (5.3.3) являють математичну модель генератора, яка поєднує 18 параметрів. На етапі попереднього розрахунку як вихідні данні, зазвичай, обираються номінальні значення напруги  $U_{GH}$  й струму  $I_{GH}$  на виході генератора (виходячи з складу споживачів борта), які забезпечуються при його номінальних обертах  $n_H$  (виходячи з швидкісних характеристик ДВЗ). Як невідомі, в такому разі, розглядаються основні конструктивні розміри й число витків фази генератора  $w_\Phi$ . Головні розміри електричної машини - діаметр розточки  $D_z$  й розрахункова довжина  $l_z$  якоря (зубцевої зони статора) визначають ефективність використання активних (магнітних та струмопровідних) конструкційних матеріалів і досконалість конструкції генератора. Зв'язок між головними розмірами машини, потужністю  $P_G$  та обертами ротора генератора в розрахунковому режимі  $n_p$  встановлює третє рівняння системи (5.3.3).

Правильний вибір електромагнітних навантажень  $B_\delta$  і  $A_\Phi$  забезпечує екстремум показника якості електричної машини (максимум питомої потужності або мінімум об'єму, маси, вартості).

Щоб коректно сформулювати задачу, необхідно визначити 12 невідомих параметрів, виходячи з рекомендацій, довідкових даних та логічних міркувань. Для поменшання кількості невідомих вважаємо, що розрахунковий режим визначає номінальні параметри генератора (коефіцієнт навантаження дорівнює одиниці). Попередній розрахунок виконують у такий спосіб [4].

1. Визначають основні конструкційні атрибути генератора: кількість фаз  $m$ , кількість пар полюсів  $2p=z_2$ , число пазів на полюс та фазу  $q$ , коефіцієнт полюсного перекриття  $\gamma_{p,p}$ , схему з'єднання обмоток якоря. Кількість полюсів  $p$  обирається, виходячи з максимальної частоти обертання, заданої потужності генератора, вимог до якості напруги борта, технологічних міркувань. Критеріями до вибору числа пазів та коефіцієнту полюсного перекриття є з одного боку підвищення питомих характеристик генератора, з другого – підвищення технологічності та зниження собівартості виготовлення. Найбільш ефективними з цих позицій, для автомобільних генераторів, є конструкції трьохфазних машини з  $2p=6, 12$  або  $18$  полюсами, конструктивними параметрами у межах  $0,5 < q < 2$  та  $0,5 < \gamma_{p,p} < 0,75$ .

2. Вважають, що розрахунковий режим підтримується на номінальних обертах генератора  $n_p = n_H$ ,  $U_{ФХ} = U_{ФН}$ ,  $I_{ФР} = I_{ФН}$ .

3. Перераховують вихідні параметри генератора (випрямленні значення) до фазних згідно (1.37), (1.41) або (1.42).

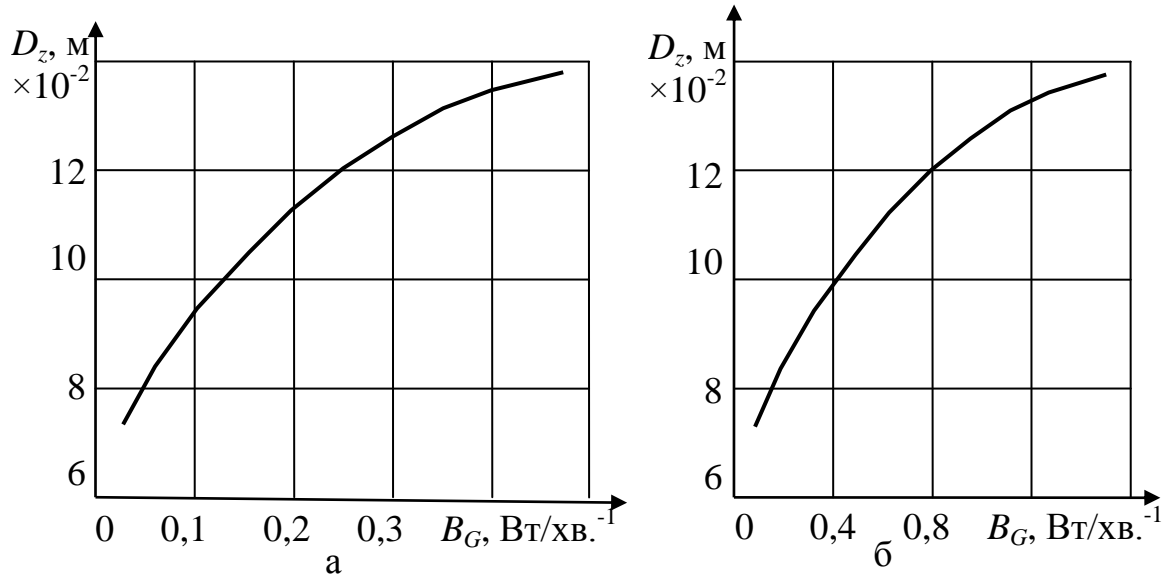
4. Визначають число пазів статора машини  $z_1 = 2pqt$ .

5. Обирають діаметр розточки статору  $D_z$  на підставі вихідних даних за рекомендованими значеннями. Для цього вводять розрахунковий параметр  $B_G = P_G / n_H$  та використовують довідкові залежності  $D_z = f B_G$  у табличному або графічному вигляді (рис. 5.3.4). Розрахункову потужність генератора без врахування втрат на випрямлячі можна визначити через вихідні дані  $P_G = U_{ГН} I_{ГН}$ .

6. Обирають електромагнітні навантаження виходячи з рекомендацій наступного характеру. Розміри машини зменшуються зі збільшенням лінійного навантаження  $A_\Phi$  й магнітної індукції  $B_\delta$  у робочому зазорі. Однак з ростом  $A_\Phi$  збільшується теплове навантаження поверхні статора та зростає реакція якоря, що послабляє потік збудження. При збільшенні  $B_\delta$  різко зростають магніторушійні



сили залізних ділянок магнітного кола і як наслідок, підвищується потрібна МРС обмотки збудження.



ис. 5.3.4. Залежності, щодо вибору діаметра генератора:  
а – на номінальну напругу 12 В; б – на номінальну напругу 24 В

Оптимальні значення навантажень  $B_\delta$  і  $A_\Phi$  для синхронних генераторів знаходяться у певних межах і вибираються з умови мінімального об'єму або маси електричної машини. На практиці для вибору електромагнітних навантажень використовують рекомендовані значення цих параметрів у вигляді довідкових таблиць або графіків залежностей  $B_\delta=f(D_z)$ ,  $A_\Phi=f(D_z)$  з коридором виправданих відхилень (рис. 5.3.5).

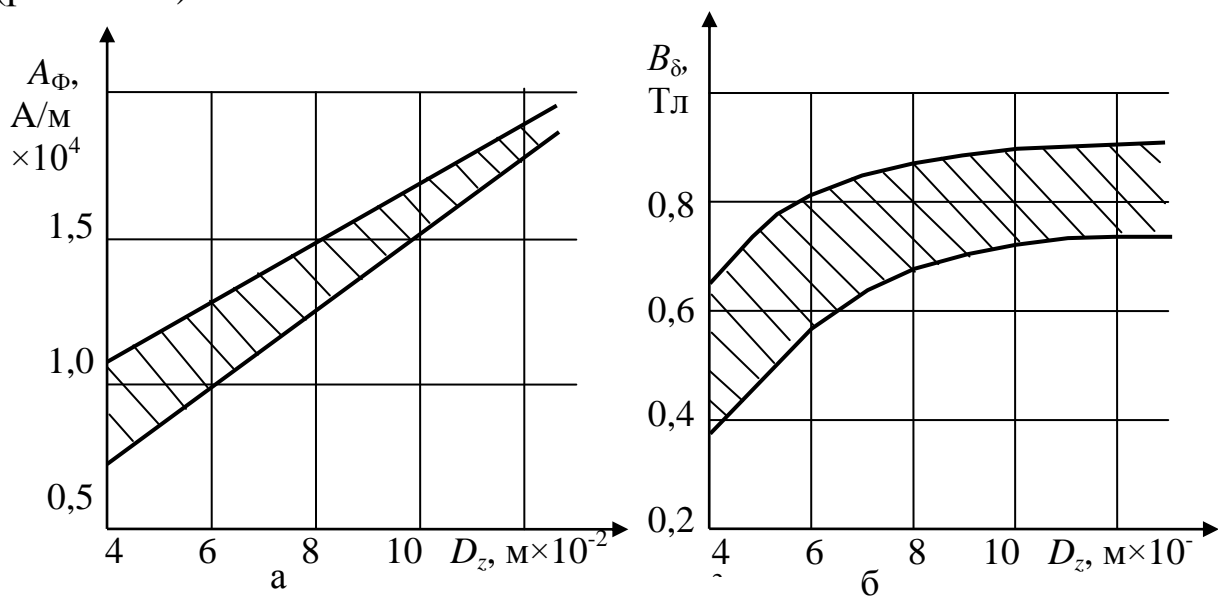


Рис.5.3.5. Рекомендовані значення електромагнітних навантажень синхронного генератора: а – лінійне навантаження; б – магнітна індукція

7. Призначають початкові значення коефіцієнтів, виходячи з аналогів конструкцій генераторів ( $k_\phi = 1,05$ ;  $k_o = 0,966$ ;  $k_E = 1,2$ ;  $k_\mu = 0,9$ ;  $k_B = 1,35$ ). Якщо для генератора, що проектується, обрано оригінальну конфігурацію зубцевої зони або укладку котушок обмоток, значення коефіцієнтів визначають на підставі аналізу картини поля в робочому зазорі.

8. Вирішують третє рівняння (5.3.3) відносно довжини якоря з урахуванням п.п.2, за умовою  $B_{\delta,p} = B_\delta$ ,  $A_{\phi p} = A_\phi$

$$l_z = C_1 \frac{I_{\phi H} U_{\phi H}}{n_H D_z^2 A_\phi B_\delta}, \quad (5.3.4)$$

де  $C_1 = \frac{6,1k_E}{\gamma_{p,p} k_B k_o}$  - конструктивна стала.

При оцінці конструкції генератора розглядають параметр форми  $\lambda_z = l_z / D_z$  який не повинен виходити за межі  $\lambda_z = 0,2 \dots 0,4$ . Якщо ця умова не виконується переглядають значення параметрів, які обирались за рекомендаціями ( $\gamma_{p,p}, B_\delta, A_\phi$ ), або задаються певним співвідношенням  $\lambda_z$  при визначеному об'ємі  $V_z = D_z^2 l_z$ .

9. Індукцію в робочому зазорі генератора на холостому ході (коли реакція якоря відсутня) приймають більшою за обрану на 20...30%,  $B_{\delta,x} = (1,2 \dots 1,3) B_\delta$ .

10. Призначають оберти при яких повинна забезпечуватись номінальна напруга генератора на холостому ході, виходячи з швидкісних режимів ДВЗ та характеру транспортного циклу. Для генераторів з дзьобоподібним ротором оберти холостого ходу складають відсоток від номінальних  $n_x = (0,42 \dots 0,77) n_H$ .

11. Вирішують перше рівняння (5.3.3) відносно числа витків фази якірної обмотки з урахуванням п.2

$$w_\phi = C_2 \frac{U_{\phi H}}{n_x B_{\delta,x}}, \quad (5.3.5)$$

де  $C_2 = \frac{30}{k_\phi k_o \gamma_{p,p} l_z \pi D_z}$  - конструктивна стала.

12. Визначають індуктивний опір фази на максимальних обертах ( $n_{\max}=5000 \text{ хв}^{-1}$ , або визначається за кратністю обертання ДВЗ через оберти холостого ходу)

$$x_L = \frac{\mu_0 l_z w_{\Phi}^2 n_{\max}}{30} K_{\sigma} , \quad (5.3.6)$$

де  $K_{\sigma}$  – конструктивний параметр, який враховує розсіювання.

Параметр  $K_{\sigma}$  визначається через конструктивні розміри магнітної системи та магнітні якості матеріалів. На першому кроці розрахунку приймають  $K_{\sigma}=1$ .

13. Знаходять струм, який забезпечує генератор на максимальних обертах при обраних параметрах. Для цього розглядають друге рівняння (5.3.3) з урахуванням співвідношень п.п.2, п.п.3

$$I_{G.\max} = 1,225 I_{\Phi.\max} = 1,225 \frac{U_{\Phi H}}{x_L} k_{\mu} \frac{n_{\max}}{n_X} . \quad (5.3.7)$$

Якщо результати розрахунку задовольняють технічному завданню на розробку, переходять до деталізації конструкції магнітного кола генератора.

Структура попереднього розрахунку генератора (рис. 5.3.6) може змінюватись залежно від постановки задачі. Результатом попереднього розрахунку, в будь-якому випадку, є синтез конструкції магнітної системи генератора на рівні ескізного **креслення**. Синтез конструкції генератора полягає в наступному.

У відповідності до визначених конструкційних атрибутів та головних розмірів машини обирають аналог генератора. Якщо повний аналог не знайдено, виконують перерахунок структурних типарозмірів магнітної системи пропорційно до головних розмірів машини, що проектується.

Обирається тип (діаметр) проводу якірної обмотки, виходячи з максимальних значень струму генератора та допустимої щільності струму в обмотці (за умовою допустимого нагріву).

Перевіряється заповнення вікна якірної котушки проводом з обраним діаметром на задану кількість витків. При незадовільних результатах виконують корегування розмірів статорної частини генератора.

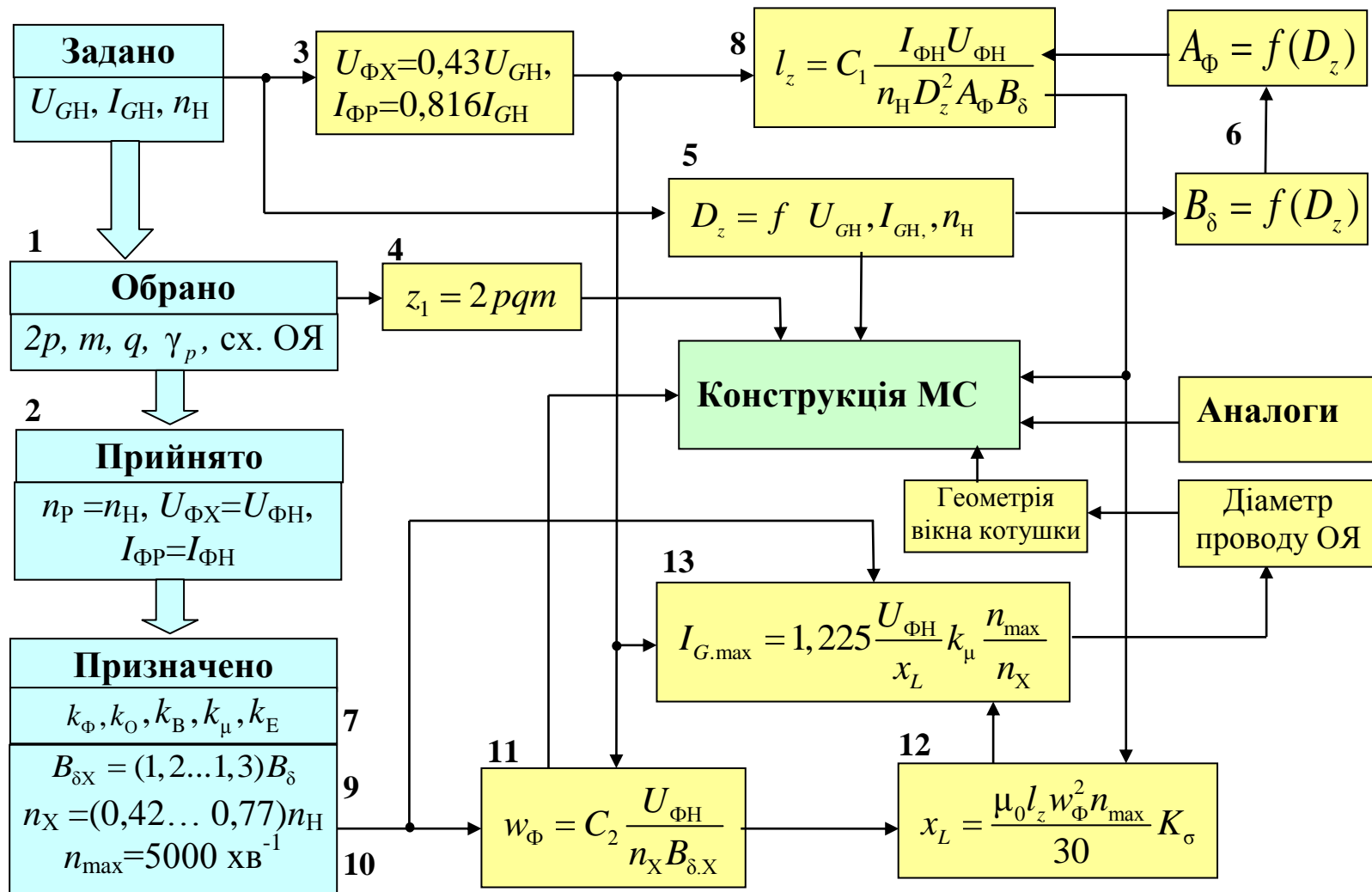


Рис. 5.3.6. Структура попереднього розрахунку генератора з дзьобоподібним ротором

### 5.3.4. Розрахунок магнітного кола генератора та побудовання характеристики холостого ходу

За аналогією з електричним колом можна розглядати й розраховувати магнітні кола електричної машини (див. табл. 1.1). Як магнітний опір у схемі наводять електричні опори в послідовності проходження магнітної силової лінії. Відгалуження потоків розсіювання, розглядають як шунтувальні кола з відповідними магнітними опорами. Магніторушійні сили, що створюються в генераторі, надають у вигляді джерел електрорушійних сил (ЕРС). Розрахунок складеної в такий спосіб схеми заміщення ведеться аналогічно розрахунку електричної схеми. На рис. 5.3.7 наведено спрощену схему заміщення магнітного кола генератора з дзьобоподібним ротором на два полюси машини [4, 18].

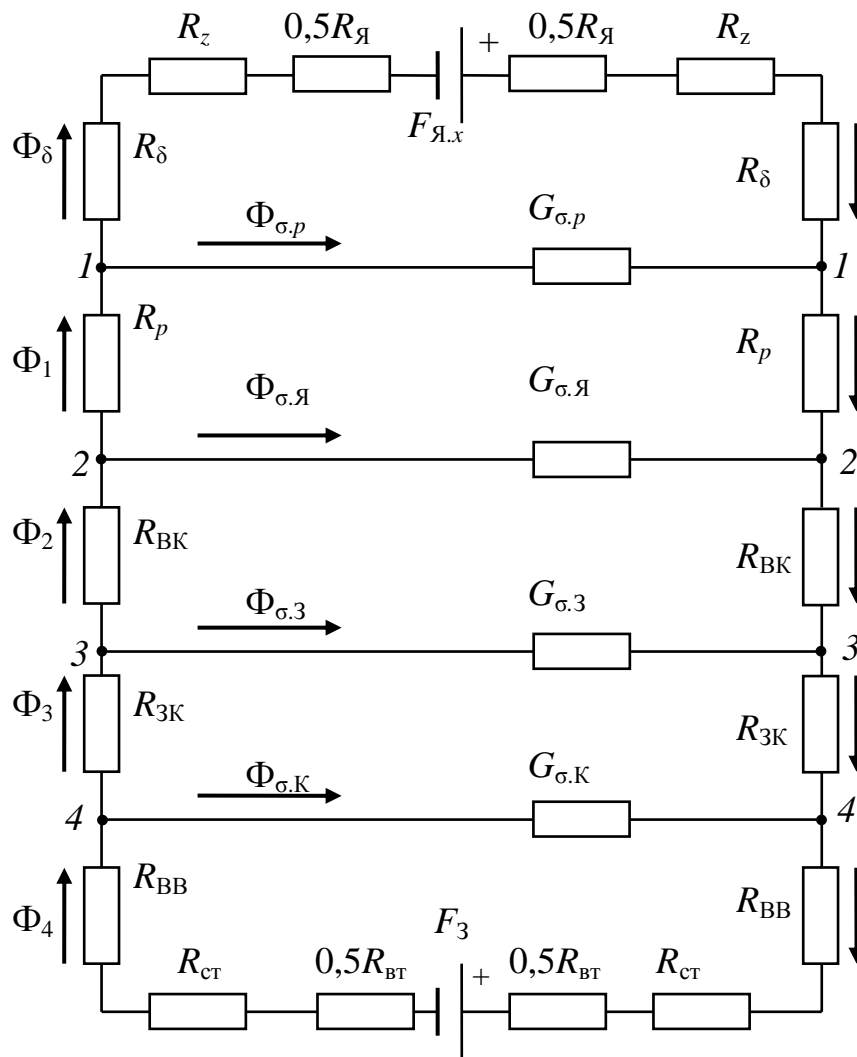


Рис. 5.3.7. Схема заміщення магнітного кола генератора

Вважаючи, що падіння магнітного потенціалу на полюсі мале в порівнянні з падінням між полюсами різної полярності, в наведеній схемі спростовується неоднакова ширина полюса.

Згідно рисунку:  $F_3$  - сила, що намагнічує, створена обмоткою збудження;  $F_{Я.х}$  - сила, що розмагнічує за рахунок поздовжньої складової реакції якоря;  $G_\sigma$  - магнітні провідності потоків розсіювання  $\Phi_\sigma$  (див. рис. 5.3.2);  $R$  - магнітні опори ділянок магнітної системи. Позначення ділянок магнітного кола наступне:  $\delta$  - робочий повітряний зазор,  $p$  - полюс (дзьоб), ВД - вигиб дзьоба, ЗК - збірне кільце, ВВ - вигиб втулки, СТ - стик кільце - втулка, ВТ - втулка, Z - зуб, Я - ярмо якоря. В основу розрахунку магнітного кола покладений закон повного струму (1.72)

Для режиму холостого ходу  $I_G=0$ , поздовжня реакція якоря відсутня  $F_{Я.х}=0$ . Тоді, за другим законом Кірхгофа, без врахування втрат можна записати

$$F_3 = \sum F_i + 2F_\delta, \quad (5.3.8)$$

$$\sum F_i = F_{ВТ} + 2F_{СТ} + 2F_{ВВ} + 2F_{ЗК} + 2F_{ВД} + 2F_p + 2F_z + F_{Я}.$$

Згідно наведеного виразу, сила, що намагнічує за рахунок обмотки збудження, врівноважується спаданнями магнітних потенціалів магнітного кола. Потік в зовнішньому колі (рис. 5.3.7) зменшується  $\Phi_\delta < \Phi_1 < \Phi_2 < \Phi_3 < \Phi_4$  через наявність розсіювання  $\Phi_\sigma$  (відповідно до першого закону Кірхгофа). Потік на ділянках розсіювання визначається за законом Ома для ділянки магнітного кола

$$\Phi_\sigma = U_{i-i} G_\sigma, \quad (5.3.9)$$

де  $U_{i-i}$  - різниця магнітних потенціалів між вузлами схеми заміщення (рис. 5.3.7), які визначають проміжок розсіювання;

$G_\sigma$  - магнітна провідність розсіювання на ділянці.

Синтез конструкції генератора виконують, виходячи зі значень головних розмірів, що отримані на підставі аналізу системи рівнянь (5.3.3) та типової конфігурації магнітної системи (рис. 5.3.8). В нижній частині креслення показано перекриття полюсів ротору зубцями статора по розгортці.

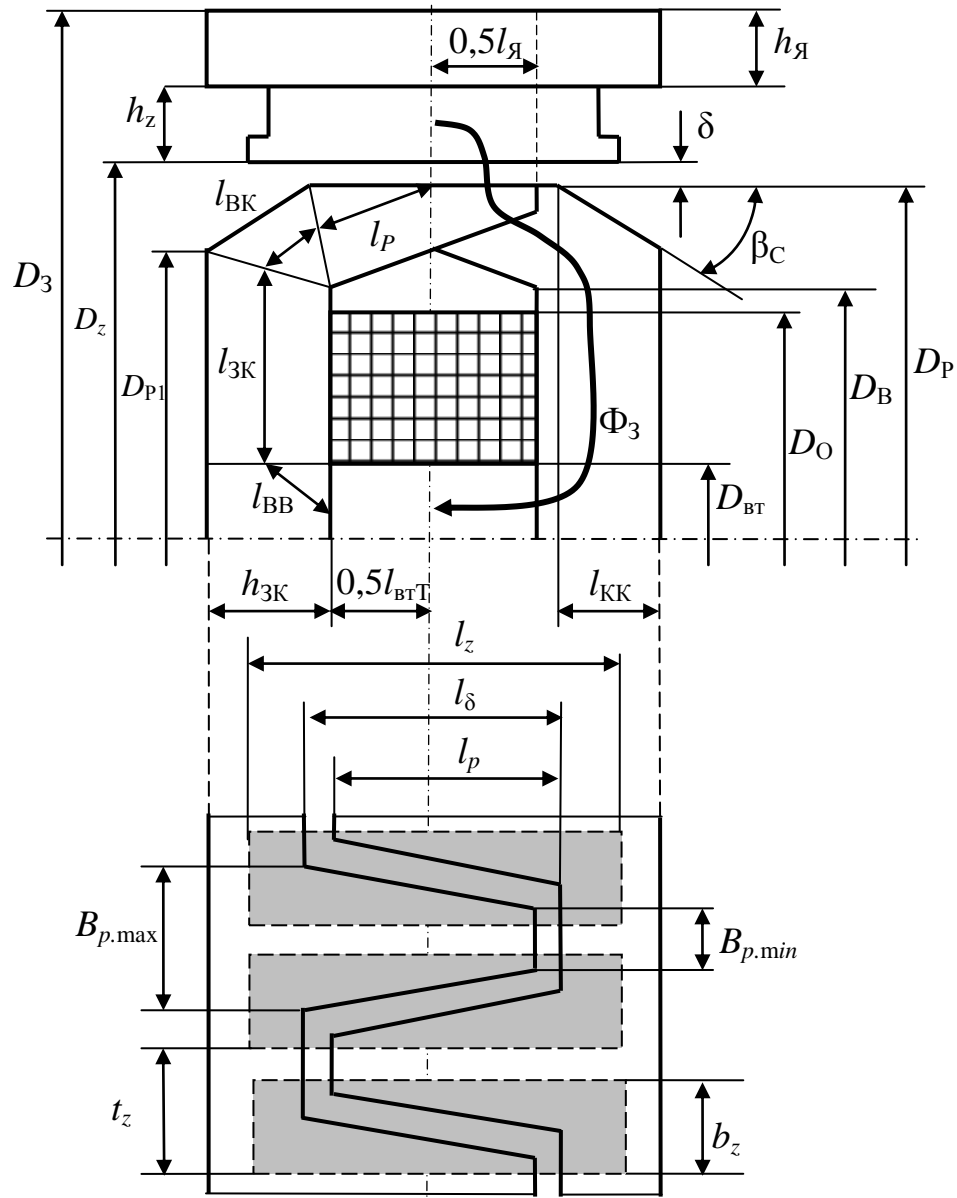


Рис. 5.3.8. Ескізне креслення, щодо розрахунку магнітної системи генератора з дзьобоподібним ротором

За результатами синтезу отримують структурні розміри елементів системи, що необхідні для розрахунку.

Фазна напруга на холостому ході (ЕРС синхронного генератора) може бути визначена через значення потоку збудження у робочому зазорі

$$E_{\Phi} n = C_{GX} \Phi_{\delta} n, \quad (5.3.10)$$

де  $C_{GX} = k_{\Phi} k_o w_{\Phi} p / 15$  - конструктивна стала генератора.

Розрахунок магнітного кола, виконують на пару полюсів, для заданого значення ЕРС, що утворюється у кожній фазі генератора при фіксованому значенні обертів  $n$ .

Як вихідні данні для розрахунку розглядаються: конструктивні атрибути (кількість полюсів  $p$  та пазів  $z_1$ , схема підключення якірних обмоток) та розміри синтезованої магнітної системи (рис. 5.3.8); кількість витків фазної обмотки  $w_\Phi$ ; конструктивні коефіцієнти  $k_\Phi$ ,  $k_0$ ; коефіцієнт полюсного перекриття  $\gamma_{p,p}$ .

Розрахунок магнітного кола виконують згідно схемі заміщення (рис. 5.3.7) в такий послідовності [4, 18].

1. Згідно (5.3.10) визначають величину потоку в робочому зазорі необхідну для забезпечення заданого значення  $E_\Phi$  при фіксованих обертах  $n$

$$\Phi_\delta = E_\Phi / (C_{GX} n) . \quad (5.3.11)$$

2. Розраховують магнітну індукцію в робочому зазорі

$$B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{S_\delta} = \frac{2\Phi_\delta}{l_\delta (b_{p.\max} + b_{p.\min})} , \quad (5.3.12)$$

де  $S_\delta$  - перекрита площа зазору над полюсом.

$l_\delta$  - перекрита довжина полюсної зони;

$b_p$  - ширина полюса ротора.

3. Розраховують падіння магнітної напруги на подвійному робочому зазорі

$$2F_\delta = 2\gamma_{p,p} \delta B_\delta . \quad (5.3.13)$$

Величина робочого зазору  $\delta$  обирається з технологічних міркувань в залежності від діаметру машини (довідкові дані).

4. Розраховують магнітний потік через зубцеве ділення статора

$$\Phi_z = B_\delta S_t = B_\delta l_z t_z , \quad (5.3.14)$$

де  $S_t$  - площа зубцевого ділення статора

$t_z = \pi D_z / z_1$  - розмір зубцевого ділення статора;

$D_z$  - діаметр розточки статора;



$z_1$  – число зубців (полюсів) статора (обирається в залежності від числа полюсів ротора та числа фаз);  
 $l_z$  – довжина активної зони полюса.

5. Визначають магнітну індукцію в зубці статора

$$B_z = \frac{\Phi_z}{S_z} = \frac{\Phi_z}{b_z l_z k_C}, \quad (5.3.15)$$

де  $S_z$  – перетин зубця (полюса статора);

$b_z$  – ширина зубця статора;

$k_C=0,9 \dots 0,95$  коефіцієнт заповнення пакету якоря сталлю.

6. Розраховують падіння магнітної напруги на подвійній довжині зубця якоря

$$2F_z = 2h_z H_z, \quad (5.3.16)$$

де  $h_z$  – висота зубця статора;

$H_z$  – магнітна напруженість в зубцях статора, визначається по кривих намагнічування  $H_z=f(B_z)$ .

7. Розраховують магнітну індукцію в ярмі якоря

$$B_{я} = \frac{\Phi_{\delta}}{S_{я}} = \frac{\Phi_{\delta}}{l_z k_C (D_3 - D_z - 2h_z)}, \quad (5.3.17)$$

де  $S_{я}$  – перетин ярма статора;

$D_3$  – зовнішній діаметр ярма якоря.

8. Розраховують падіння магнітної напруги у ярмі якоря

$$F_{я} = l_{я} H_{я} = H_{я} \frac{\pi(D_3 + D_z + 2h_z)}{4p}, \quad (5.3.18)$$

де  $H_{я}$  – магнітна напруженість в ярмі якоря;

$l_{я}$  – середня довжина силової лінії через ярмо якоря.

9. Визначають різницю магнітних потенціалів між полюсами ротору (ділянка 1-1, рис. 5.3.6) шляхом підсумку падінь магнітної напруги на статорній частині та робочому зазорі

$$U_{1-1} = 2F_{\delta} + 2F_z + F_{я}. \quad (5.3.19)$$

10. Визначають потік розсіювання між полюсами ротора через магнітну провідність (5.3.1), згідно закону Ома

$$\Phi_{\sigma,p} = U_{1-1} G_{\sigma,p} . \quad (5.3.20)$$

11. За першим законом Кірхгофа визначають магнітний потік в полюсі ротора

$$\Phi_p = \Phi_\delta + \Phi_{\sigma,p} . \quad (5.3.21)$$

Далі розрахунок ведеться аналогічно для кожної ділянки магнітної системи: визначають індукції  $B_i$  у відповідних перетинах  $S_i$  з урахуванням розсіювання, магнітні напруженості по кривих намагнічування матеріалу  $H_i=f(B_i)$ , відповідні їм МРС  $F_i$ , що спадають на довжині силової лінії кожної ділянки  $l_i$

$$B_i = (\Phi_{i-1} + \Phi_{\sigma,i}) / S_i , F_i = l_i H_i . \quad (5.3.22)$$

12. Визначають індукцію в полюсі ротору (розрахунковому перетині  $S_1$ )

$$B_p = \frac{\Phi_p}{S_p} = \frac{\Phi_p}{b_{p,\max} \sqrt{\left(\frac{D_p - D_B}{2}\right)^2 + h_{зк} - l_{кк}^2}} , \quad (5.3.23)$$

де  $S_p$  – перетин станини полюса;

$D_p$  – діаметр ротору;

$D_B$  – діаметр внутрішньої циліндричної частини ротору;

$h_{зк}$  – товщина збірної кільця;

$l_{кк}$  – довжина конусної частини збірної кільця.

13. Розраховують падіння магнітної напруги на полюсах

$$2F_p = 2l_p H_p , \quad (5.3.24)$$

де  $H_p$  - магнітна напруженість в полюсі (дзьобі);

$l_p$  – середня довжина силової лінії через дзьоб, визначається по кресленню (рис. 5.3.7).

14. Визначають різницю магнітних потенціалів між вигинами дзьобів різної полярності (дільниця 2-2, рис. 5.3.6)

$$U_{2-2} = U_{1-1} + 2F_p . \quad (5.3.25)$$

15. Визначають потік розсіювання вигину дзьоба (поперек пластин якоря) через магнітну провідність (5.3.1), згідно закону Ома

$$\Phi_{\sigma.я} = U_{2-2} G_{\sigma.я} . \quad (5.3.26)$$

16. За першим законом Кірхгофа визначають магнітний потік у вигині дзьоба

$$\Phi_{вд} = \Phi_p + \Phi_{\sigma.я} . \quad (5.3.27)$$

17. Визначають індукцію у вигині дзьобу (розрахунковому перетині  $S_2$ )

$$B_{вд} = \frac{\Phi_{вд}}{S_{вд}} = \frac{\Phi_{вд}}{b_{p.\max} \sqrt{\left(\frac{D_{р1} - D_B}{2}\right)^2 + h_{3к}^2}} , \quad (5.3.28)$$

де  $S_{вд}$  – перетин вигину дзьобу;

$D_{р1}$  – менший по конусу діаметр ротору.

18. Розраховують падіння магнітної напруги на вигинах дзьобу

$$2F_{вд} = 2l_{вд} H_{вд} = 2H_{вд} \frac{l_{кк}}{2\cos\beta_c} , \quad (5.3.29)$$

де  $H_{вд}$  - магнітна напруженість вигину дзьобу;

$l_{вд}$  – середня довжина силової лінії через вигин дзьобу;

$\beta_c$  - зовнішній скіс проточки ротору.

19. Визначають різницю магнітних потенціалів між станинами дзьобів різної полярності (дільниця 3-3, рис. 5.3.6)

$$U_{3-3} = U_{2-2} + 2F_{вд} . \quad (5.3.30)$$

20. Визначають потік зовнішнього розсіювання через відповідну магнітну провідність (5.3.1), (5.3.2) згідно закону Ома

$$\Phi_{\sigma.3} = U_{3-3} G_{\sigma.3} . \quad (5.3.31)$$

21. За першим законом Кірхгофа визначають магнітний потік через збірне кільце

$$\Phi_{3К} = \Phi_{ВД} + \Phi_{\sigma,3} . \quad (5.3.32)$$

22. Визначають індукцію у збірному кільці (розрахунковому перетині  $S_3$ )

$$B_{3К} = \frac{\Phi_{3К}}{S_{3К}} = \frac{\Phi_{3К} p}{\pi D_{вт} h_{3К}} , \quad (5.3.33)$$

де  $S_{3К}$  – перетин збірного кільця;

$D_{вт}$  – діаметр втулки ротору.

23. Розраховують падіння магнітної напруги на збірному кільці

$$2F_{3К} = 2l_{3К} H_{3К} = H_{3К} \left( \frac{D_{р1} + D_{в}}{2} - D_{вт} \right) , \quad (5.3.34)$$

де  $H_{3К}$  - магнітна напруженість в збірному кільці;

$l_{3К}$  – середня довжина силової лінії через збірне кільце.

24. Визначають різницю магнітних потенціалів між збірними кільцями різної полярності (дільниця 4-4, рис. 5.3.6)

$$U_{4-4} = U_{3-3} + 2F_{3К} . \quad (5.3.35)$$

25. Визначають потік розсіювання через простір котушки збудження. Магнітну провідність визначають за формулою (5.3.2)

$$\Phi_{\sigma,К} = U_{4-4} G_{\sigma,К} . \quad (5.3.36)$$

26. За першим законом Кірхгофа визначають магнітний потік через втулку

$$\Phi_{вт} = \Phi_{3К} + \Phi_{\sigma,К} . \quad (5.3.37)$$

27. Визначають індукцію вигину втулки

$$B_{ВВ} = \frac{\Phi_{вт}}{S_{ВВ}} = \frac{\Phi_{вт} 2p}{\pi D_{вт} \sqrt{0,25 D_{вт}^2 + h_{3К}^2}} , \quad (5.3.38)$$

де  $S_{ВВ}$  – перетин вигину втулки.

28. Розраховують падіння магнітної напруги на вигину втулки

$$2F_{\text{ВВ}} = 2l_{\text{ВВ}} H_{\text{ВВ}} = H_{\text{ВВ}} \sqrt{h_{\text{ЗК}}^2 + \frac{D_{\text{ВТ}}^2}{9}}, \quad (5.3.39)$$

де  $H_{\text{ВВ}}$  - магнітна напруженість у вигині втулки;

$l_{\text{ВВ}}$  – середня довжина силової лінії через вигін втулки.

29. Визначають індукцію в стику втулки з полюсною системою

$$B_{\text{СТ}} = \frac{\Phi_{\text{ВТ}}}{S_{\text{СТ}}} = \frac{\Phi_{\text{ВТ}} 4\rho}{\pi D_{\text{ВТ}}^2}, \quad (5.3.40)$$

де  $S_{\text{СТ}}$  – перетин стику.

30. Розраховують падіння магнітної напруги на подвійному зазорі стику втулки зі збірним кільцем

$$2F_{\text{СТ}} = 1,6 \cdot 10^6 \delta_{\text{СТ}} B_{\text{СТ}}, \quad (5.3.41)$$

Величина зазору  $\delta_{\text{СТ}} = 0 \dots 50 \cdot 10^{-6}$  м, обирається з технологічних міркувань та в залежності від механічних характеристик матеріалу деталей, що стикаються. (довідкові дані).

31. Визначають індукцію в матеріалі втулки

$$B_{\text{ВТ}} = \frac{\Phi_{\text{ВТ}}}{S_{\text{ВТ}}}, \quad (5.3.42)$$

де  $S_{\text{ВТ}}$  – перетин втулки.

32. Розраховують падіння магнітної напруги на втулці

$$F_{\text{ВТ}} = l_{\text{ВТ}} H_{\text{ВТ}}, \quad (5.3.43)$$

де  $H_{\text{ВТ}}$  - магнітна напруженість втулки;

$l_{\text{ВТ}}$  – середня довжина силової лінії через втулку.

32. В результаті розрахунку одержують значення МДС, яку повинна забезпечити обмотка збудження для проведення заданого потоку  $\Phi_{\delta}$  через робочий зазор та отримання заданої напруги  $E_{\Phi}$

$$F_3 = U_{4-4} + 2F_{\text{ВВ}} + 2F_{\text{СТ}} + F_{\text{ВТ}}. \quad (5.3.44)$$

Для поліпшення засвоєння матеріалу на рис. 5.3.9 наведено структуру розрахунку синтезованої магнітної системи генератора при заданих значеннях  $E_\Phi$  та  $n$ .

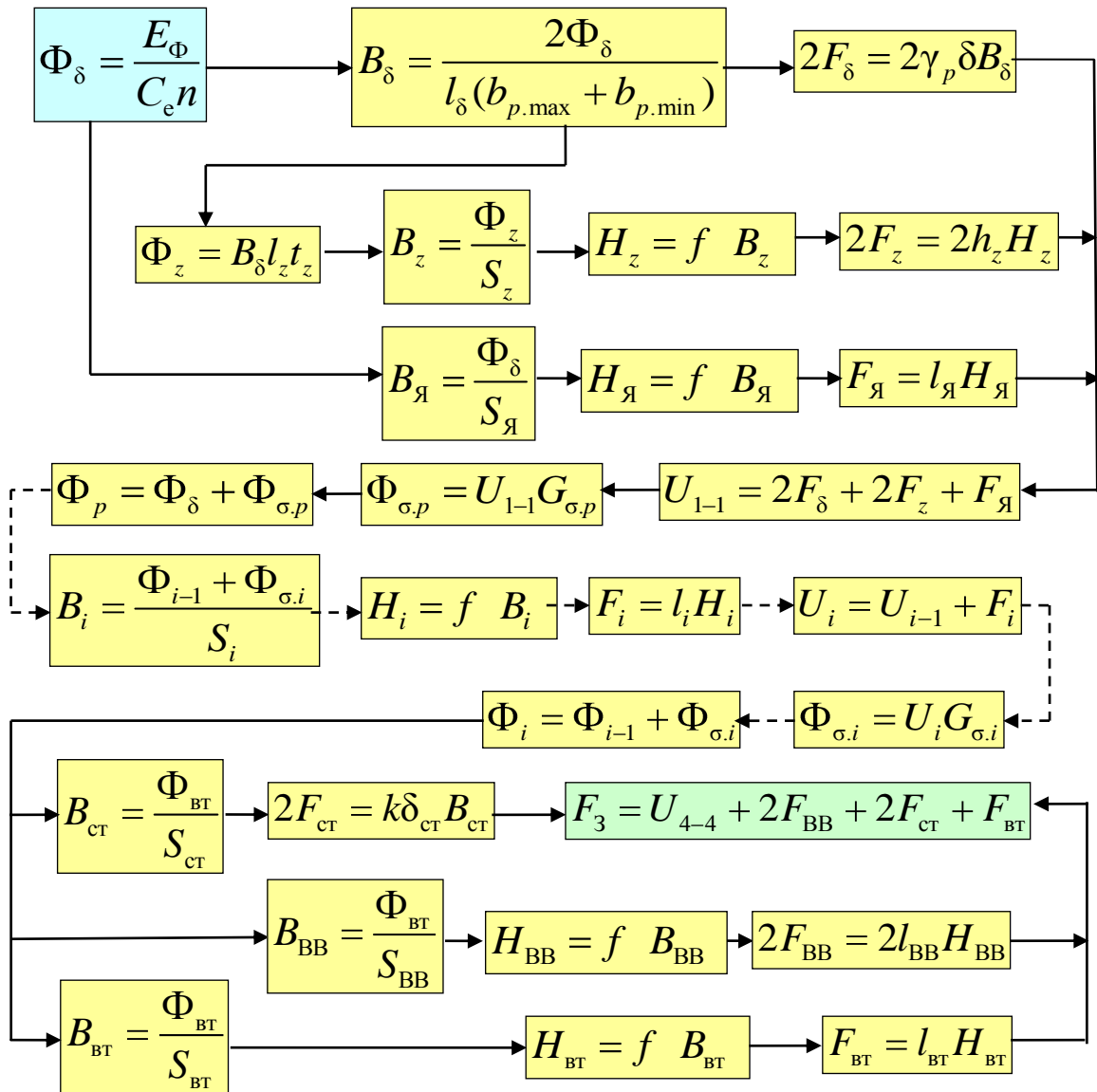


Рис. 5.3.9. Структурна схема розрахунку магнітної системи генератора з дзьобоподібним ротором

Побудування характеристики холостого ходу генератора виконують так. Задаються рядом поточних значень напруги генератора  $E_\Phi$  для фіксованих обертів  $n=const$  та знаходять відповідні значення потоків у робочому зазорі  $\Phi_\delta$  та результуючу МРС обмотки збудження  $F_3$ . Для генераторів з обмотками включеними за схемою «зірка» значення  $E_\Phi$  змінюють в межах  $0 \dots 0,5 U_G$ , для схеми «трикутник» -  $0 \dots 0,9 U_G$ .

За результатами розрахунку отримують залежності  $E_{\Phi} = f(F_3)$  для різних швидкісних режимів. В такому вигляді характеристика холостого ходу синхронного генератора використовується для побудовання струмо-швидкісної характеристики генератора, що проектується.

### 5.3.5. Розрахунок обмотки збудження

Щоб отримати характеристику вентильного генератора  $E_G = f(I_3)$  треба визначити кількість витків обмотки збудження  $w_{O3}$  та перейти від фазних значень напруги до випрямлених. Для схеми «зірка» характеристику можна надати у вигляді

$$E_G = 2,33w_{O3}f(I_3) . \quad (5.3.45)$$

Вихідними даними для розрахунку обмотки збудження є намагнічуюча сила  $F_3$ , напруга борта  $U_G$ , максимальний струм збудження  $I_{3,max}$ , конструктивні розміри ротору генератора  $D_O$ ,  $D_{BT}$ ,  $l_{BT}$ , довідкові таблиці по обмотувальним проводам. Розрахунок обмотки збудження виконують у такий спосіб.

1. На підставі ескізного креслення (рис. 5.3.8) розраховують середню довжину витка котушки збудження

$$l_{cp} = \pi \left( \frac{D_O - D_{BT}}{2} - D_{BT} \right) . \quad (5.3.46)$$

2. Розраховують діаметр проводу без ізоляції  $d_{\Pi}$  згідно (5.1.16).
3. По довідковим таблицям обирають марку проводу за ближчим більшим діаметром.
4. На основі закону Ома визначають опір обмотки  $r_{O3}$  по заданій напрузі живлення  $U_G$  та струму збудження  $I_{3,max}$ .
5. Визначають розрахункову кількість витків котушки  $w_{O3}$  з обраним проводом аналогічно (5.1.17).
6. Визначають можливе число витків у вікні котушки аналогічно (5.1.18). Можлива кількість витків повинна бути не менше розрахункової  $w_{O3}^* > w_{O3}$ . Якщо це не так, повертаються до визначення розмірів магнітної системи.

7. Перевіряють тепловий режим котушки за допустимою щільністю струму (довідкові дані).

$$J_{\text{доп}} \geq \frac{4I_{3.\text{max}}}{\pi d_{\text{II}}^2} . \quad (5.3.47)$$

Якщо умова не задовольняється, обирають провід більшого перетину та перевіряють умову п.п.б.

### 5.3.6. Методика побудування струмо-швидкісної характеристики

Діюче значення фазної напруги синхронного генератора  $U_{\Phi}$  можна визначити шляхом складання векторів окремих складових: ЕРС, що наводиться за рахунок потоку збудження  $E_{\Phi}$ ; ЕРС від реакції якоря  $E_{\text{я}}$ ; ЕРС розсіювання обмотки якоря  $E_{\sigma}$ , падіння напруги на активному опорі якірної обмотки  $U_{\text{я}}$  (1.111). Складові ЕРС реакції якоря наводяться відповідними складовими магнітного потоку, що утворює обмотка якоря. Складові потоку реакції якоря утворюються відповідними складовими струмів, що виникають в фазі обмотки. Повний (синхронний) індуктивний опір машини з явними полюсами  $x_L$ , складається з опору, що обумовлений потоком якоря  $x_{\text{я}}$  та опору, який спричиняється потоком розсіювання  $x_{\sigma}$ . Виходячи з цих міркувань, рівняння (1.111) можна розкрити у символічному вигляді [4, 18, 21]

$$\dot{U}_{\Phi} = \dot{E}_{\Phi} - jx_{\text{я.х}} \dot{I}_{\Phi.\text{х}} - jx_{\text{я.у}} \dot{I}_{\Phi.\text{у}} - jx_{\sigma} \dot{I}_{\Phi} - R_{\Phi} \dot{I}_{\Phi} , \quad (5.3.48)$$

де  $x_{\text{я.х}}$ ,  $x_{\text{я.у}}$  - індуктивні опори фази, що обумовлені полями поздовжньої та поперечної реакції якоря;

$I_{\Phi}$ ,  $R_{\Phi}$  - відповідно діюче значення струму й опір фази обмотки якоря.

$I_{\Phi.\text{х}}$ ,  $I_{\Phi.\text{у}}$  - поздовжня й поперечна складові фазного струму.

Генератор живить навантаження через випрямляч і тому реактивна потужність навантаження практично не виникає. В такому разі вважають, що навантаження генератора близьке до активного ( $\cos \varphi = 1$ ,  $\varphi = 0$ ). Для побудування струмо-швидкісної характерис-



тики генератора, водночас розглядають векторну діаграму синхронного генератора (рис. 5.3.10) та , характеристику холостого ходу, отриману за попередньою методикою (рис. 5.3.11).

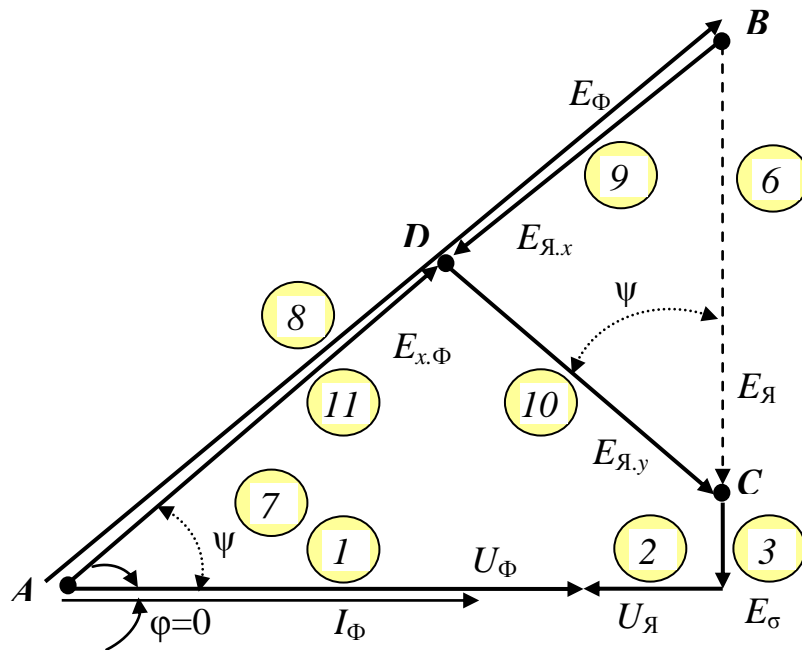


Рис. 5.3.10. Векторна діаграма синхронного генератора

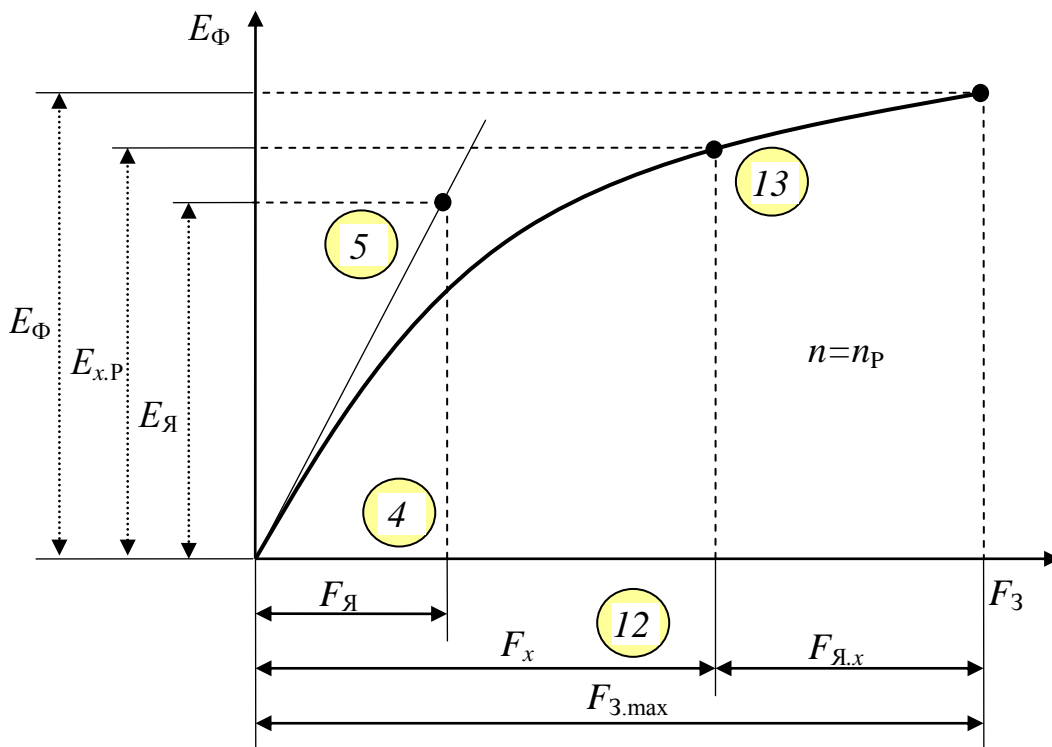


Рис. 5.3.11. Характеристика холостого ходу генератора

Фазні та випрямлені значеннями струмів і напруги, що розглядаються в наведених характеристиках, пов'язані відповідними співвідношеннями (1.37), (1, 41), (1.42). Таким чином, якщо задатися напругою на виході генератора  $U_G$  для якої будується СШХ та струмом  $I_G$  в точці цієї характеристики, можна вважати, що на векторній діаграмі задані фазні значення  $U_\Phi, I_\Phi$ . Визначенню, в такому разі, підлягає частота обертання  $n$ , що відповідає значенням  $I_G$  для обраної точки СШХ.

Безпосередній розрахунок СШХ ускладнюється тому, що реактивні опори обмотки залежать від частоти змінного струму  $f$  (швидкості обертання ротору  $n$ )

$$x_{L\Phi} = 2\pi f L_{O\Phi}, \quad f = \frac{z_2 n}{60} \quad , \quad (5.3.49)$$

де  $z_2$  – число полюсів ротора;

$L_{O\Phi}$  – індуктивність обмотки.

При розрахунках СШХ розглядають характеристику холостого ходу побудовану для фіксованої (розрахункової) частоти обертання  $n_p$ . Щоб визначити фактичну ЕРС слід привести її до обраної частоти обертання

$$E_\Phi(n) = E_{\Phi p} \frac{n}{n_p} \quad . \quad (5.3.50)$$

Таким чином точці СШХ відповідає частота обертання, для якої задовольняється умова

$$E_\Phi(n) - E_{\Phi p} = 0 \quad . \quad (5.3.51)$$

Графоаналітичний розрахунок СШХ полягає в підборі зв'язаних значень  $I_G$  й  $n$  при яких значення  $E_x$ , визначені на підставі векторної діаграми (діаграми Blondеля) й характеристики холостого ходу були б рівні [18]. Для визначення поздовжньої складової  $E_{x,\Phi}$  або самої  $E_\Phi$  досить задатися значеннями  $U_\Phi, I_\Phi, x_\sigma, R_\Phi$ .

Для розрахунку векторної діаграми генератора слід визначити такі вихідні дані: номінальну напругу генератора  $U_G$ ; максимальний струм генератора, який передбачається отримати  $I_{G,\max}$ ; число фаз  $m$ ; кількість витків фази  $w_\Phi$  та діаметр проводу  $d_\Pi$  обмотки яко-ря; обмотувальний коефіцієнт  $k_O$ ; число зубців статора  $z_1$  і (дзьобів)

ротора  $z_2$ ; конструктивні параметри магнітної системи  $l_z, b_z, \gamma_{p,p}$  (рис. 5.3.8). Для подування СШХ розглядають характеристику холостого ходу для фіксованих обертів з максимальним значення МРС збудження  $F_{z,\max}$ . Струмо-швидкісна характеристика будується у такий спосіб [4].

1. Поточне значення струму на виході генератора  $I_i < I_{G,\max}$  та значення напруги  $U_G$  для яких будується СШХ перераховують до фазних значень згідно (1.37), (1, 41) або (1.42).

2. Розраховують активний опір фазної обмотки

$$r_{\text{оф}} = \frac{4\rho_0 l_{\text{ср}} w_{\text{ф}}}{\pi d_{\text{п}}^2}, \quad (5.3.52)$$

де  $\rho_0$  – питомий опір міді (довідкові дані);

$l_{\text{ср}}$  – середня довжина витка фазної обмотки.

Середня довжина витка фазної обмотки визначається на підставі конструктивних параметрів  $l_z, b_z, \gamma_{p,p}$ . Діаметр проводу якірної обмотки обирається виходячи з допустимих значень щільності струму в обмотці (довідкові дані) та величини  $I_{G,\max}$ , за умовою допустимого нагріву.

3. Розраховують індуктивний опір обмотки якоря для розрахункової частоти струму

$$x_{\sigma} = \lambda_{\sigma} \frac{31,6 f w_{\text{ф}}^2 l_z m}{z_1} = \lambda_{\sigma} \frac{0,52 z_2 n_p w_{\text{ф}}^2 l_z m}{z_1}, \quad (5.3.53)$$

де  $\lambda_{\sigma}$  - коефіцієнт провідності розсіювання.

Коефіцієнт провідності розсіювання визначають по емпіричним формулам в залежності від кількості зубців та конструктивних параметрів зубцевої зони, або по довідковим даним.

4. Розраховують падіння напруги на активному опорі фази та ЕРС розсіювання фази обмотки якоря

$$U_{\text{я}} = I_{\text{ф}} r_{\text{оф}}, \quad E_{\sigma} = I_{\text{ф}} x_{\sigma} \quad (5.3.54)$$

Відкладають вектори розрахованих параметрів на діаграмі (позиції 1, 2, 3).

5. Визначають МРС реакції якоря та відкладають її на характеристиці холостого ходу (позиція 4)

$$F_{\text{я}} = I_{\Phi} (0,9mw_{\Phi}k_{\text{O}}) / z_1 . \quad (5.3.55)$$

6. По характеристиці холостого ходу, визначають ЕРС реакції якоря  $E_{\text{я}}$ , що відповідає значенню  $F_{\text{я}}$  для ненасиченої магнітної системи (позиція 5) та відкладають вектор  $E_{\text{я}}$  з точки  $C$  в продовження вектора  $E_{\sigma}$  (позиція 6).

7. З'єднують початок діаграми з кінцем вектору  $E_{\text{я}}$  (точка  $B$ ) та визначають кут  $\psi$  між векторами струму у фазі  $\overline{I_{\Phi}}$  (поток реакції якоря) і ЕРС, що утворюється потоком збудження  $\overline{E_{\Phi}}$  (позиція 7). Кут  $\psi$  також можна розрахувати аналітично

$$\psi = \text{arctg} \left( \frac{E_{\sigma} + x_{\text{я.у}} I_{\Phi}}{U_{\Phi} + U_{\text{я}}} \right) , \quad (5.3.56)$$

де  $x_{\text{я.у}} = 2,02z_2 n_p w_{\Phi}^2 m l_z g_y / 60z_1$  - поперечна складова індуктивного опору фази;

$g_y$  - питома магнітна провідність для потоків реакції якоря (визначається по емпіричним формулам в залежності від геометрії зубцевої зони).

Отриманий відрізок  $AB$  (позиція 8) визначається як вектор фазної ЕРС  $E_{\Phi}$  без урахування реакції якоря.

8. Визначають величини векторів складових ЕРС реакції якоря та добудовують векторну діаграму (позиції 9, 10)

$$E_{\text{я.х}} = E_{\text{я}} \sin \psi , \quad E_{\text{я.у}} = E_{\text{я}} \cos \psi . \quad (5.3.57)$$

9. Графічно або аналітично визначають величину (довжину) вектора (значення) поздовжньої складової ЕРС фази (позиція 11)

$$|E_{\text{х.}\Phi}| = |E_{\Phi}| - |E_{\text{я.х}}| . \quad (5.3.58)$$

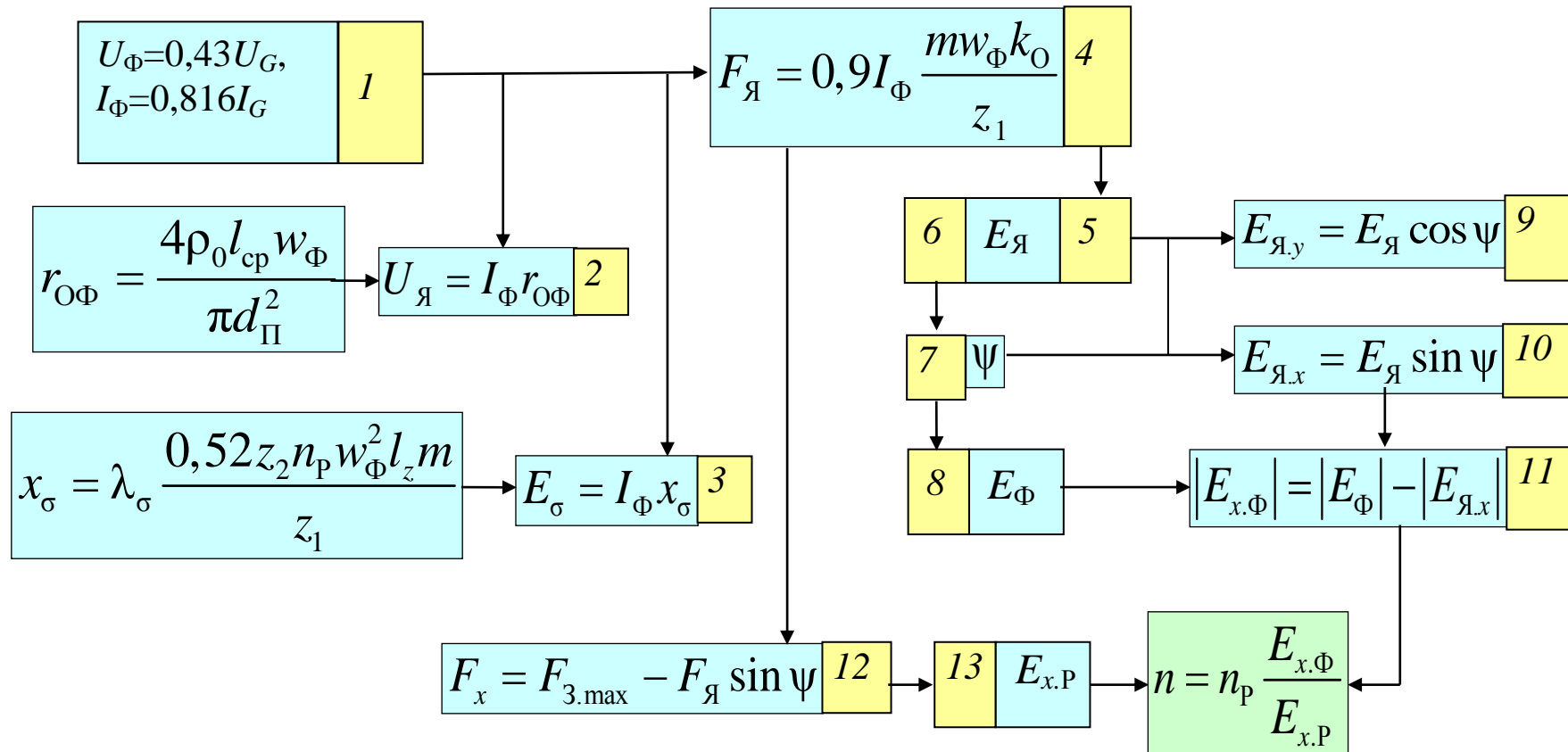


Рис. 5.3.12. Послідовність розрахунку струмо-швидкісної характеристики генератора з дзьобоподібним ротором

Поряд з визначенням  $E_{x,\Phi}$  по діаграмі Блонделя, її можна визначити по характеристиці холостого ходу через відповідну МРС збудження.

10. Визначать поздовжню складову МРС збудження (поз. 12)

$$F_x = F_{3.\max} - F_{Я.x} = F_{3.\max} - F_{Я} \sin \psi . \quad (5.3.59)$$

11. Відповідно до  $F_x$ , яка визначена для заданого струму  $I_G$ , по характеристиці холостого ходу знаходять розрахункову ЕРС  $E_{x.P}$  (позиція 13).

12. Згідно (5.3.55) підбирають оберти  $n$  для яких задовольняється умова (5.3.56).

$$n = n_p \frac{E_{x,\Phi}}{E_{x.P}} . \quad (5.3.60)$$

Таким чином, задаючись рядом значень  $I_G$  визначають відповідні значення  $n$  та будують струмо-швидкісну характеристику генератора  $I_G=f(n)$ . Для полегшення сприйняття матеріалу на рис. 5.3.12 наведено послідовність операцій розрахунку СШХ.