

Лекція №5

(частина 2)

ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

План лекції:

6. ДПС незалежного збудження.
7. ДПС паралельного збудження.
8. ДПС послідовного збудження.
9. ДПС змішаного збудження

6 ДПС незалежного збудження

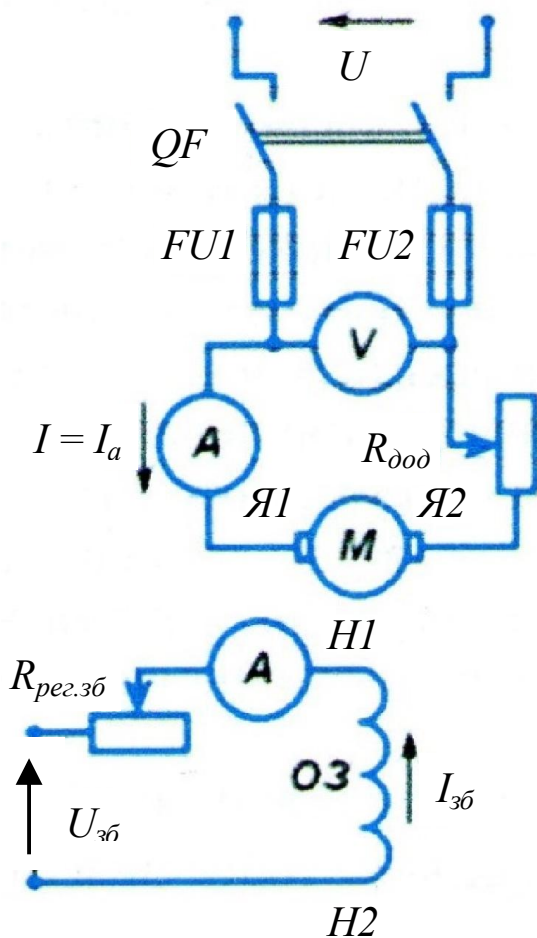


Рисунок 5.4 – Схема живлення ДПС незалежного збудження

До двигунів незалежного збудження відносяться двигуни, обмотка збудження яких живиться від незалежного джерела, або двигуни з магнітоелектричним збудженням. Схема, за якою можна знімати характеристики двигуна електромагнітного збудження наведена на рисунку 5.4. Межі вимірювання приладів у такій схемі вибирається за номінальними даними двигуна.

В коло обмотки якоря вмикається додатковий опір $R_{\text{дод}}$, який обмежує пусковий струм при реостатному пуску і дає можливість змінювати частоту обертання двигуна при заданому навантаженні. Резистором $R_{\text{рег.зб}}$ установлюється необхідний струм збудження, струм навантаження змінюється навантажувальним пристроєм, наприклад, електромагнітним гальмом, яке дозволяє змінювати момент навантаження

M_2 від нуля до $(1,1 - 1,25) M_{\text{ном}}$, що може бути визначений як

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} \quad (5.24)$$

або

$$M_{\text{ном}} = 9,55 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} \quad (5.25)$$

Робочі характеристики. Ці характеристики знімаються і будуються при номінальних незмінних значеннях напруги ($U = U_{ном} = const$), магнітного потоку н.х. ($\Phi_0 = \Phi_{0ном} = const$), що створюється обмоткою збудження чи постійними магнітами, та опору кола якоря ($\Sigma R_i = const$).

Для аналізу залежності $n = f(P_2)$, що практично є **природною швидкісною характеристикою**, використовується вираз (5.19) з якого видно, що на частоту обертання двигуна впливає, при незмінності величин U , Φ_0 та ΣR_i і збільшенні навантаження, тільки струм якоря I_a , збільшуючи падіння напруги в колі якоря, а отже знижуючи чисельник виразу. Крім цього, ріст струму якоря супроводжується зростанням реакції якоря, яка найчастіше викликає зменшення потоку Φ_0 на величину $\Delta\Phi$ і таким чином результатний потік $\Phi = \Phi_0 - \Delta\Phi$, тобто знижується не тільки чисельник (5.19), а і його знаменник. В залежності від співвідношення цього зниження, визначається і крива характеристики $n = f(P_2)$: якщо переважає зниження чисельника – суцільна лінія n (рисунок 5.5), коли ж знаменника – пунктирна.

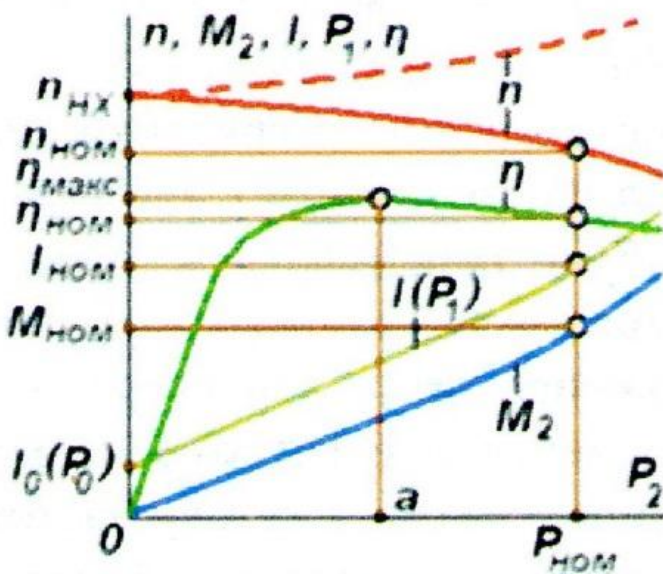


Рисунок 5.5 – Робочі характеристики ДПС незалежного збудження

двигуна – аварійний режим при якому зростання частоти обертання викликає такі відцентрові сили, що діють на ротор, від яких він руйнується.

Залежність струму навантаження I_a та потужності P_1 , що споживається з мережі, враховуючи, що $P_1 = UI$ (дивись (1.8) лекція 1) та незмінність напруги, можуть зображуватись однією кривою $I(P_1)$ (рису-

Слід зазначити, що стійка робота двигуна можлива тільки за умови падаючої характеристики (суцільна крива n), що буде показано дещо далі.

Робота двигуна, що супроводжується зростанням частоти обертання (пунктирна крива n) внаслідок розмагнічувальної дії реакції якоря недопустима, тому що при значних навантаженнях можливе необмежене зростання частоти обертання, так званий **рознос**

нок 5.5) за умови побудови характеристики в масштабах, які відрізняються на величину напруги. В режимі н.х. ($P_2 = 0$) на осі ординат характеристика відсікає точку $I_0(P_0)$ – струм н.х. та втрати н.х. (4.14) (лекція 4). Величина струму н.х. I_0 незначна (2-5) % від номінального струму, ним, у відповідності з (3.13) (лекція 3), створюється момент н.х. M_0 .

Характеристика $M_2 = f(P_2)$ визначається залежністю, аналогічно з виразу (5.25), $M_2 = 9,55P_2 / n$ і при $n = \text{const}$, мала б вигляд прямої. Однак зі зростанням навантаження частота обертання знижується, тому характеристика криволінійна.

Графік зміни ККД крива $\eta = f(P_2)$ має кілька характерних точок: в режимах н.х. та к.з. двигун, не виконуючи корисної роботи, має ККД рівний нулю, при навантаженні коли постійні втрати (магнітні та на збудження) рівні змінним (електричним та механічним) – **точка а** (рисунок 5.5), ККД досягає максимального значення, і дещо знижується при номінальному навантаженні $\eta_{\text{ном}}$.

При номінальному навантаженні $P_{\text{ном}}$ всі характеристики мають відповідні точки $n_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$, а точка $P_{1\text{ном}}$ на рисунку 5.5 співпадає з точкою $I_{\text{ном}}$.

Швидкісні та механічні характеристики. В процесі роботи магнітний потік двигуна знижується $\Phi = \Phi_0 - \Delta\Phi$, тому вираз швидкісної характеристики (5.19) можна представити

$$\omega = (U - I_a \cdot \Sigma R_i) / k \cdot (\Phi_0 - \Delta\Phi). \quad (5.26)$$

Враховуючи, що ця характеристика розглядається як робоча і вище описана, доцільно розглянути не лише її, а і штучні швидкісні характеристики, знехтувавши розмагнічувальною дією реакції якоря $\Delta\Phi$, і представивши (5.19) як

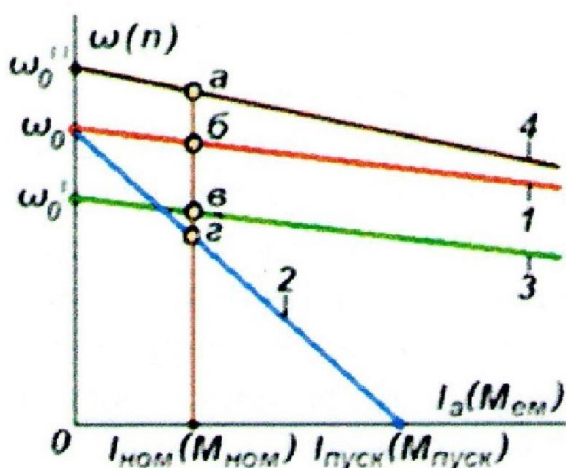
$$\omega = [U - I_a \cdot (\Sigma R_i + R_{\text{дод}})] / k \cdot \Phi, \quad (5.27)$$

почленний поділ (5.27) на знаменник виразу дає

$$\omega = \omega_0 - I_a \cdot (\Sigma R_i + R_{\text{дод}}) / k \cdot \Phi, \quad (5.28)$$

де $\omega_0 = U / k \cdot \Phi$ – кутова частота обертання ідеального н.х. (н.х., при якому ротор обертається, а струм рівний нулю, що неможливо в реальних умовах);

$I_a(\Sigma R_i + R_\delta) / k \cdot \Phi$ – нахил характеристики. На відміну від реальних характеристик, характеристики, побудовані за (5.28), будуть зображені прямими лініями (рисунок 5.6), тому що (5.28) виражає рівняння прямої $\omega = f(I_a)$.



1 – природна; 2 – штучна реостатна; 3 – штучна на зниженій напрузі; 4 – штучна на ослабленому полі

Рисунок 5.6 – Швидкісні та механічні характеристики ДПС незалежного збудження

Природна характеристика 1 розпочинається в точці ідеального н.х. і проходить з мінімальним нахилом до осі абсцис, маючи незначне зниження частоти обертання $\Delta\omega$

$$\Delta\omega = (\omega_0 - \omega_{ном}) \cdot 100 / \omega_{ном}, \quad (5.29)$$

що складає не більше (2-8) %, тому вона називається **жорстокою характеристикою**.

Додатковий опір штучної реостатної характеристики 2 на рисунку 5.6 вибраний таким чином, щоб пусковий струм $I_{пуск} \approx 2I_{ном}$, що забезпечує можливість реостатного пуску цього двигуна на даній характеристиці з точки $I_{пуск}(M_{пуск})$. Такий опір суттєво підвищує її нахил, тому вона називається **м'якою характеристикою**. Кутова частота обертання ідеального н.х. така ж, як і у природної характеристики. Як витікає із (5.28), зміна величини $R_{\delta\delta}$ не вплине на значення ω_0 , але пропорційно змінює нахил характеристики.

Штучна характеристика на зниженій напрузі 3, на відміну від реостатної характеристики, має такий же нахил, що і у природної (адже зміна напруги на нахил характеристики не впливає), але меншу кутову частоту обертання ідеального н.х. ω_0' . Подальша зміна напруги буде переміщувати **пряму 3** паралельно самій собі нижче при зниженні напруги і вище – при її підвищенні, не змінюючи жорсткості.

Для двигуна незалежного збудження з постійними магнітами неможливо зняти **характеристику при ослабленому полі**, тому така штучна характеристика має місце тільки у двигунів електромагнітного збудження – **пряма 4**. Ця характеристика, у порівнянні з природ-

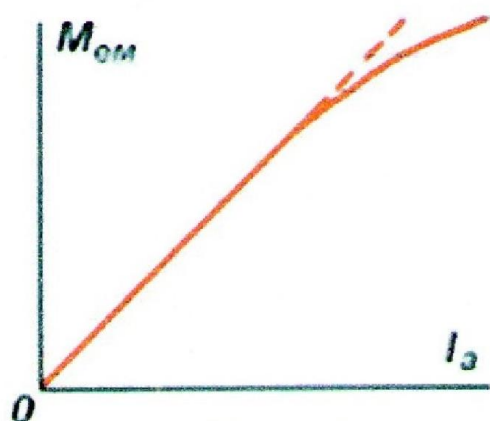
ною, має вищі і нахил, і кутову частоту обертання ідеального н.х. ω_0'' . Будь-яка зміна магнітного потоку буде відповідно змінювати обидва ці параметри характеристики.

Визначивши із (3.13) (лекція 3) значення струму якоря $I_a = M_{em} / (k \cdot \Phi)$ і підставивши його в (5.28), отримаємо аналітичний вираз механічних характеристик $\omega = f(M_{em})$:

$$\omega = \omega_0 - (R_a + R_d) / k^2 \cdot \Phi^2, \quad (5.30)$$

з якого витікає, що останні мають такий же вид, як і швидкісні характеристики. Побудовані для тих же значень напруги і потоку у відповідному масштабі вони будуть зображуватись тими ж лініями, що і швидкісні характеристики даного двигуна (рисунок 5.6).

Моментна характеристика. Залежність $M_{em} = f \cdot (I_a)$ (рисунок 5.7) випливає із формули електромагнітного моменту (3.13) і побудова такої



характеристики не має сенсу при незмінності магнітного потоку, тому вона будується для врахування розмагнічувальної дії реакції якоря на обертний момент двигуна

$$M_{em} = k \cdot (\Phi_0 - \Delta\Phi) \cdot I_a \quad (5.31)$$

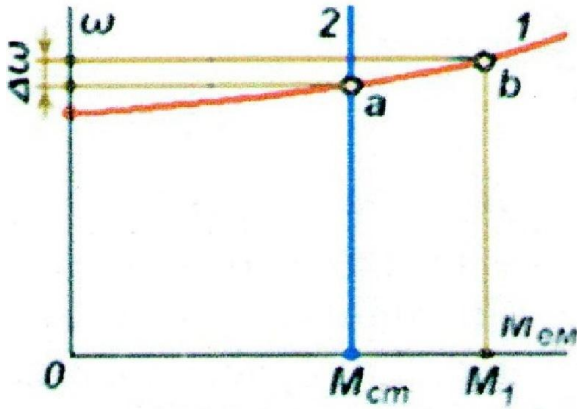
Рисунок 5.7 – Моментна характеристика ДПС незалежного збудження

Дійсна ж характеристика через зниження магнітного потоку буде відхилитися від прямої (суцільна лінія). Таке відхилення найчастіше незначне і в практичних розрахунках може не враховуватись.

Стійкість роботи двигуна. В реальних умовах робота двигуна постійного струму незалежно від способу збудження може бути стійкою і нестійкою. Останнє має місце при зростаючих механічних характеристиках **крива 1** (рисунок 5.8). Тут же подана механічна характеристика виробничого механізму – **пряма 2** паралельна осі ординат з незмінним механічним моментом $M_{cm} = const$. В точці **a** спостерігається рівновага моментів

$$M_{em} = M_{cm}, \quad (5.32)$$

що відповідає усталеному режиму роботи при $\omega = const$.



1 – механічна характеристика двигуна; 2 – механічна характеристика механізму

Рисунок 5.8 – Характеристики до визначення стійкості двигуна з механізмом

но знизиться і момент, отже буде мати місце $(M_{ем} - M_{см}) < 0$, і частота обертання буде неухильно знижуватись до зупинки. Як і у попередньому випадку це буде аварійний режим, адже до нерухомого двигуна прикладена номінальна напруга (аварійне КЗ).

Аналогічно можна показати, що при падаючій механічній характеристиці робота приводу буде стійкою, тому що будь-яке відхилення кутової частоти обертання на $\pm \Delta\omega$, буде викликати появу надлишкового моменту, направлено на відновлення рівноваги. В загальному вигляді критерієм стійкої роботи електроприводу є нерівність

$$dM_{см} / d\omega < dM_{ем} / d\omega. \quad (5.33)$$

Іноді при проектуванні двигунів незалежного збудження з метою зниження їх габаритів і маси збільшується густина струму та індукція у повітряному проміжку. В таких двигунах розмагнічувальна дія реакції якоря особливо значна і отримати падаючу механічну характеристику неможливо. В таких машинах малої та середньої потужності передбачається спеціальна обмотка з кількох витків, що розташовується на полюсах і вмикається послідовно з обмоткою якоря. Магнітний потік цієї обмотки частково компенсує потік реакції якоря, стабілізуючи основний магнітний потік полюсів (звідси назва цієї обмотки – стабілізаційна). Механічні характеристики таких двигунів будуть падаючими, а робота стійкою. Незважаючи на наявність послідовної обмотки збудження такі двигуни не вважаються двигунами змішаного збудження.

Якщо з якоїсь причини кутова частота обертання зросте (наприклад, через розмагнічувальну дію реакції якоря) на величину $\Delta\omega$, то відповідно зросте і електромагнітний момент до значення M_1 , що відповідає роботі в точці **b**, де виникає до-

датний динамічний момент, тому що $(M_{ем} - M_{см}) > 0$. Під дією цього моменту частота обертання продовжить зростати до аварійного розносу. Якщо на такій характеристиці частота обертання знизиться, відповід-

7 ДПС паралельного збудження

Принципова схема такого двигуна представлена на рисунку 5.9.

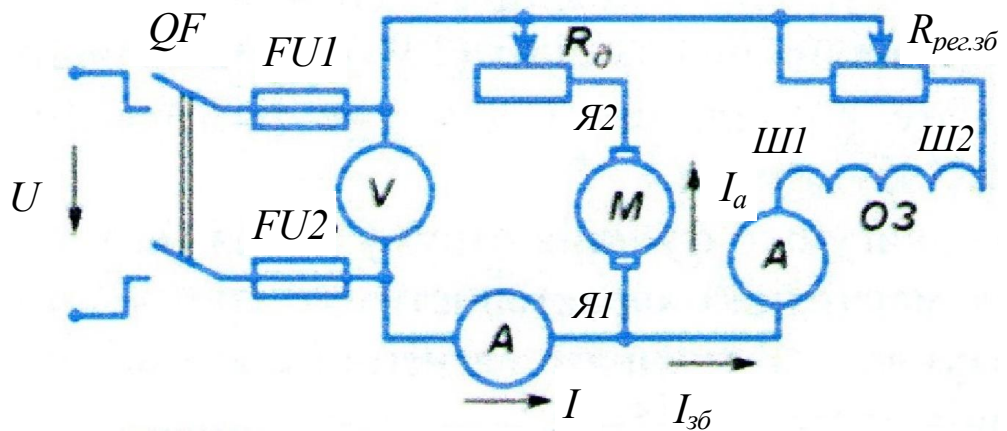


Рисунок 5.9 – Схема живлення ДПС паралельного збудження

В коло обмотки якоря вмикається додатковий опір $R_{\text{дод}}$, який обмежує пусковий струм при реостатному пуску і дає можливість змінювати частоту обертання двигуна при заданому навантаженні. Регулювальний опір $R_{\text{рег.зб}}$ в колі обмотки збудження дозволяє знизити струм збудження, а отже, і магнітний потік. В момент пуску він виставляється в положення, що відповідає нульовому значенню опору.

Враховуючи, що коло обмотки збудження ввімкнене на напругу мережі U , що є незмінною, як і напруга незалежного джерела, то всі характеристики такого двигуна будуть такими ж, як і характеристики двигуна незалежного збудження, і їх окремий розгляд немає сенсу.

8 ДПС послідовного збудження

Характерною особливістю двигунів послідовного збудження є те, що струм якоря I_a є одночасно і струмом збудження $I_{\text{зб}}$, тому що відповідні їх обмотки сполучені послідовно (рисунок 5.10).

Як і у схемах двигунів незалежного та паралельного збудження, в електричній схемі двигуна послідовного збудження використовуються додатковий $R_{\text{дод}}$ та регулювальний $R_{\text{рег.зб}}$ резистори, останній, на відміну від схеми двигунів незалежного та паралельного збу-

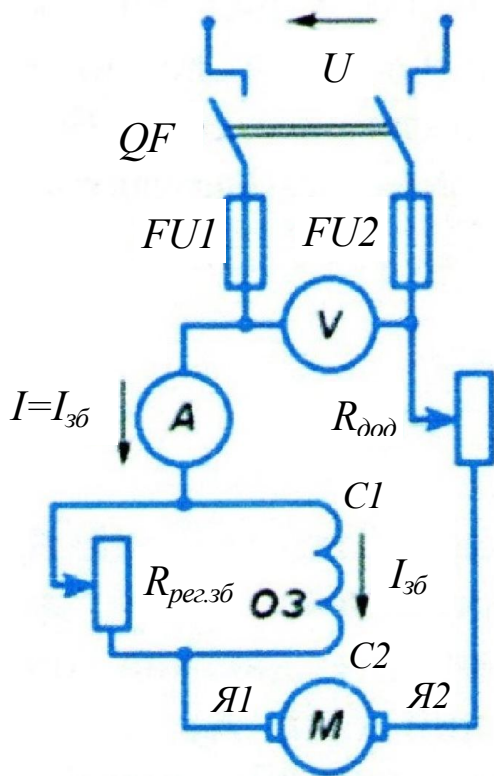


Рисунок 5.10 – Схема живлення ДПС послідовного збудження

ної системи, що залежність між потоком і струмом якоря лінійна, пунктирна лінія на (рисунок 5.11), то

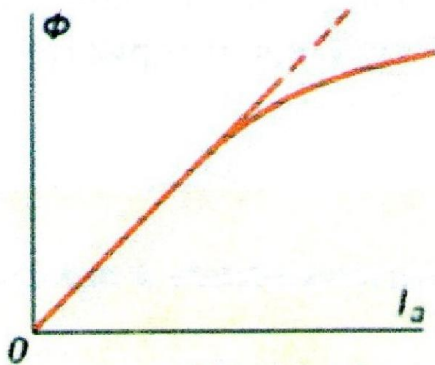


Рисунок 5.11 – Магнітна характеристика ДПС послідовного збудження

($M_{em} \equiv I_a^2$), тоді як у інших двигунів постійного струму така залежність пряма. Ця обставина суттєво впливає на вигляд всіх характеристик двигуна послідовного збудження та на можливості його використання.

дження, вмикається паралельно обмотці збудження, шунтуючи (при необхідності регулювання) її, і тим самим зменшуючи величину струму збудження у порівнянні зі струмом якоря.

Послідовне сполучення обмоток збудження та якоря суттєво впливає на характеристики цього двигуна, хоча рівняння швидкісних (5.28) та механічних (5.30) характеристик мають такий же вигляд, що і для уже розглянутих двигунів незалежного та паралельного збудження.

Так як магнітний потік такого двигуна є функція струму якоря ($I_a = I_{zб}$), то залежність $\Phi = f(I_a)$ називається магнітною характеристикою (рисунок 5.11). Якщо для спрощення вважати, нехтуючи насиченням магніт-

$$\Phi = k_{\Phi} \cdot I_a, \quad (5.34)$$

де k_{Φ} – коефіцієнт пропорційності між потоком і струмом, враховуючи (3.13) (лекція 3), електромагнітний обертовий момент такого двигуна можна представити

$$M_{em} = k \cdot k_{\Phi} \cdot I_a^2 \quad (5.35)$$

Як видно із (5.35) момент, що його розвиває двигун послідовного збудження, пропорційний квадрату струму якоря

Робочі характеристики. Ці характеристики (рисунок 5.12) знімаються за електричною схемою (рисунок 5.10). При цьому двигун навантажується, наприклад електромагнітним гальмом, до значення струму $(1,15-1,25)I_{ном}$, а потім навантаження поступово зменшується до величини $P_{мін}$, нижче якої через надмірне зростання частоти обертання двигун розвантажувати не можна. Таким чином характеристики двигуна послідовного збудження не мають точок в режимі н.х. через ймовірність розносу. $P_{мін}$, як правило, не нижче (20-25) % від $P_{ном}$.

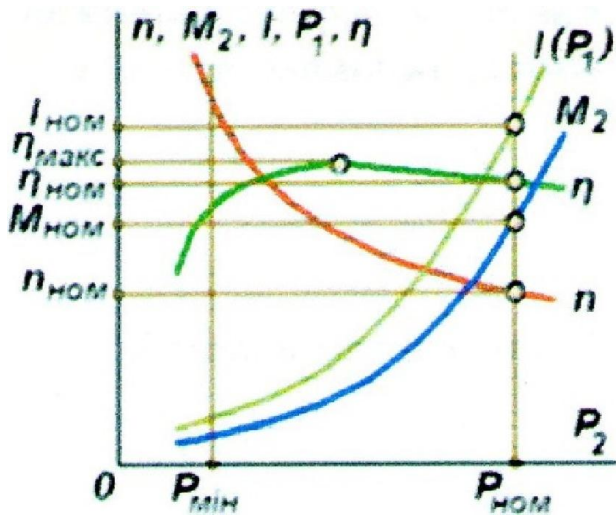


Рисунок 5.12 – Робочі характеристики ДПС послідовного збудження

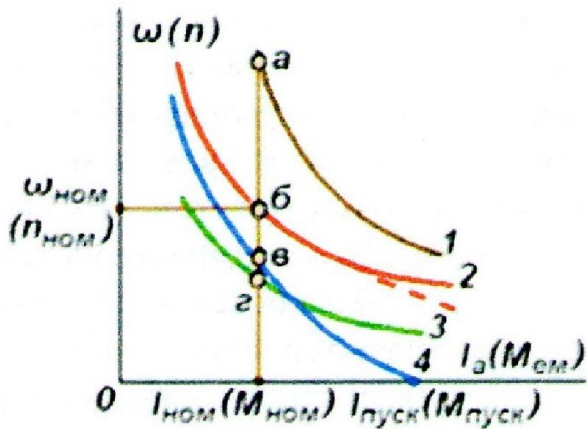
Слід зазначити, що мікродвигуни (потужністю до 100 Вт) послідовного збудження можуть працювати в режимі н.х., тому що у них момент M_0 , зумовлений втратами у самому двигуні, відносно великий. Щоб запобігти розносу, вали потужних двигунів послідовного збудження жорстко з'єднуються з робочим механізмом муфтою або зубчатою передачею. Застосування ремінних з'єднань не допускається, так як при обриві, чи скиданні ременю, двигун може піти в рознос. Залежності $I = f(P_2)$, $P_1 = f(P_2)$, $M_2 = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$ мають приблизно такий же характер, як і у двигунів незалежного та паралельного збудження, а залежність $n = f(P_2)$ має різко виражений нелінійний характер (така характеристика називається м'якою). Різке зростання частоти обертання при зниженні навантаження зумовлюється не тільки зростанням чисельника виразу (5.19), а і зниженням його знаменника.

Швидкісні та механічні характеристики. Як уже зазначалось, рівняння цих характеристик ті ж, що і у двигунів незалежного та паралельного збудження і визначаються виразами (5.26) та (5.28). Якщо ж (5.34) підставити у (5.19) то частоту обертання двигуна послідовного збудження можна виразити

Швидкісні та механічні характеристики. Як уже зазначалось, рівняння цих характеристик ті ж, що і у двигунів незалежного та паралельного збудження і визначаються виразами (5.26) та (5.28). Якщо ж (5.34) підставити у (5.19) то частоту обертання двигуна послідовного збудження можна виразити

$$\omega = (U - I_a \cdot \Sigma R_i) / k \cdot k_\Phi \cdot I_a \quad (5.36)$$

Так як падіння напруги в колі якоря $I_a \cdot \Sigma R_i$ незначне і при $I_a = I_{a\text{ном}}$ складає (2-4) % від $U_{\text{ном}}$, то зміна числівника (5.36), при зміні струму якоря, досить незначна, у порівнянні зі зміною знаменника, і природна швидкісна (механічна) **характеристика 2** (рисунк 5.13) $\omega = f(I_2)$ [$\omega = f(M_{em})$] носить гіперболічний характер. Особливістю цієї характеристики є її значна крутизна при малих струмах навантаження.



1 – штучна на ослабленому полі; 2 – природна; 3 – штучна на зниженій напрузі; 4 – штучна реостатна

Рисунок 5.13 – Швидкісні та механічні характеристики ДПС послідовного збудження

Збільшення частоти обертання при таких навантаженнях зумовлене відповідним зниженням магнітного потоку. Дійсна характеристика $\omega = f(I_a)$ при струмах, що перевищують $(0,7-0,8)I_{\text{ном}}$, буде відхилятися від гіперболічної залежності (штрихова лінія). Пов'язано це з тим, що при значних струмах, у зв'язку з насиченням магнітного кола, магнітний потік, із зростанням струму, зростає на менше значення, ніж витікає із (5.34), через що кутова частота обертання стає дещо більшою. Крім цього розмагнічувальна дія реакції якоря також знижує магнітний потік, а це ще збільшує частоту обертання.

Штучна реостатна характеристика цього двигуна 4 має ще більш м'який характер і дозволяє здійснити пуск при відносно незначному пусковому моменті $M_{\text{пуск}}$. Досягається така характеристика шляхом ввімкнення додаткового опору в коло двигуна. Характеристика двигуна на зниженій напрузі 3 при незначних навантаженнях має більш крутий нахил, а при навантаженнях близьких до номінальних, практично, повторює, при нижчій частоті обертання, природну характеристику. Штучна при ослабленому полі характеристика двигуна 1 може бути отримана шляхом шунтування обмотки збудження регульовальним опором $R_{\text{рег.зб}}$ (рисунк 5.10).

Враховуючи особливості двигуна послідовного збудження, а саме, квадратичну залежність електромагнітного моменту від струму

якоря (5.35), такі двигуни використовують там, де існують важкі умови пуску і роботи та необхідно регулювати частоту обертання в широких межах, наприклад, електротранспорт, електропривод прокатних станів тощо. Пояснюється це тим, що при значних змінах навантаження, що супроводжуються поштовхами моменту, струм і потужність, що споживаються з мережі, будуть змінюватися у меншій мірі, ніж у двигунів незалежного та паралельного збудження. Так для двигуна послідовного збудження струм якоря, відповідно до (5.34)

$$I_a = \sqrt{M} / k \cdot k_\Phi, \quad (5.37)$$

тобто для такого двигуна $I_a \equiv \sqrt{M_{em}}$ тоді як у двигунів паралельного збудження при $\Phi = const$, згідно (3.13) (лекція 3) $M_{em} \equiv I_a$. Враховуючи незмінність напруги мережі, відповідну пропорційність має і потужність, що споживається з мережі $P_1 = U \cdot I$.

9 ДПС змішаного збудження

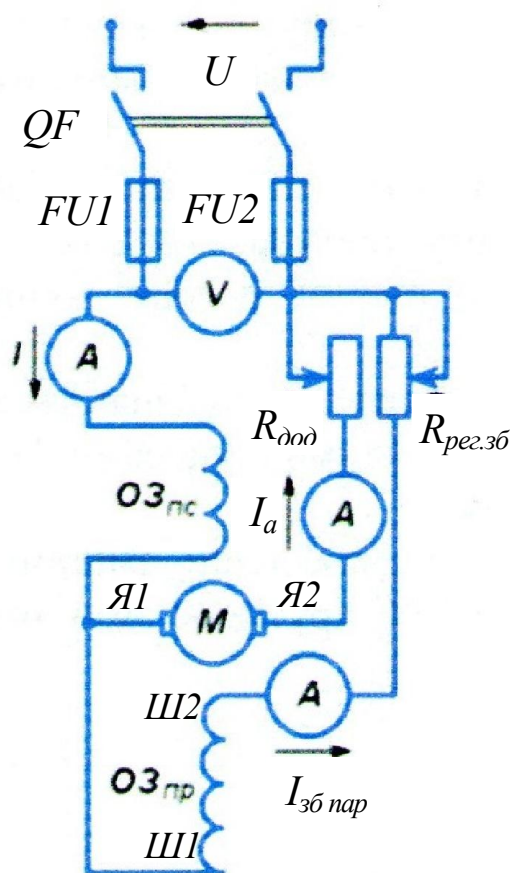


Рисунок 5.14 – Схема живлення ДПС змішаного збудження

Принципова електрична схема живлення двигуна змішаного збудження зображена на рисунку 5.14, вона включає в себе, як і схеми двигунів з іншими способами збудження, вимірювальні прилади, підібрані за номінальними даними двигуна, додатковий $R_{дод}$ та, ввімкнутий у коло паралельної обмотки збудження $ОЗ_{пар}$, регулювальний $R_{рег.зб}$ резистори. В таких двигунах послідовна $ОЗ_{пос}$ і паралельна $ОЗ_{пар}$ обмотки збудження вмикаються так, щоб магнітні потоки, які вони створюють, співпадали

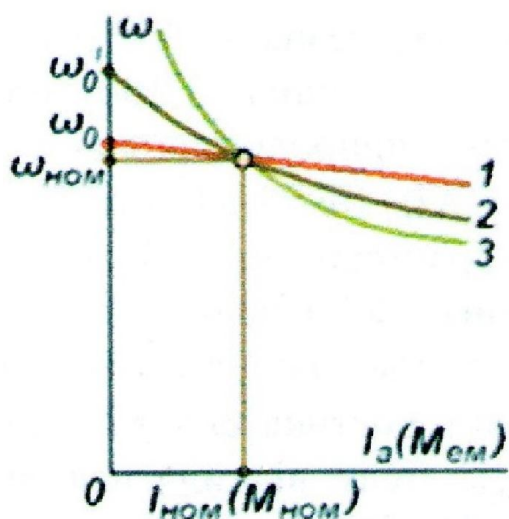
$$\Phi = \Phi_{пар} + \Phi_{пос}, \quad (5.38)$$

де $\Phi_{пар}$ – магнітний потік, створюваний паралельною обмоткою, Вб;

$\Phi_{пос}$ – магнітний потік, створюваний послідовною обмоткою збудження, Вб.

Результуючий потік Φ за рахунок обмотки послідовного збудження буде зростати зі зростанням струму якоря. Збільшення магнітного потоку буде тим значніше, чим більше витків має ця обмотка. Зустрічне ввімкнення обмоток збудження веде до зниження результуючого потоку і, як наслідок, зростання частоти обертання при збільшенні навантаження. В такому випадку (див. п.6) робота двигуна виявиться нестійкою, а отже і неможливою.

Всі характеристики двигунів змішаного збудження займають проміжні положення між відповідними характеристиками двигунів паралельного та послідовного збудження. Якщо послідовна обмотка збудження має незначну кількість витків (називається така обмотка слабкою), то характеристики наближаються до характеристик двигуна паралельного збудження, якщо ж ця обмотка сильна – до характеристик двигуна послідовного збудження. На рисунку 5.15 представлені для порівняння природні швидкісні (механічні) характеристики двигуна незалежного (паралельного) збудження 1, двигуна змішаного збудження 2 та двигуна послідовного збудження 3. При цьому вважається, що всі три двигуна мають однакові номінальні дані. Частота обертання при ідеальному н.х. ($I_a = 0$ та $M_{em} = 0$) ω'_a у двигуна змішаного збудження має кінцеве значення і визначається потоком $\Phi_{нар}$.



1 – двигун незалежного (паралельного збудження); 2 – двигун змішаного збудження; 3 – двигун послідовного збудження

Рисунок 5.15 – Швидкісні (механічні) характеристики ДПС

збудження 2 та двигуна послідовного збудження 3. При цьому вважається, що всі три двигуна мають однакові номінальні дані. Частота обертання при ідеальному н.х. ($I_a = 0$ та $M_{em} = 0$) ω'_a у двигуна змішаного збудження має кінцеве значення і визначається потоком $\Phi_{нар}$.

Двигуни змішаного збудження використовуються, в залежності від **магніторушійної сили** послідовної обмотки збудження, або замість двигунів паралельного, або замість двигунів послідовного збудження, а також там, де необхідні значні пускові моменти, швидке прискорення при розгоні, стійка робота, що допускає лише незначне зниження частоти обертання при збільшенні навантаження на валу (прокатні стани, вантажні підйомники, насоси, компресори тощо).

Контрольні запитання

1. Зобразіть і поясніть електричні схеми двигунів незалежного та паралельного збудження?
2. Чому швидкісні та механічні характеристики двигунів незалежного і паралельного збудження можна вважати прямолінійними?
3. Чому при збільшенні навантаження частота обертання двигунів незалежного і паралельного збудження може і знижуватись і зростати?
4. Що розуміють під поняттям “рознос” двигуна?
5. В яких електроприводах використовуються двигуни постійного струму незалежного і паралельного збудження?
6. Зобразіть і поясніть електричну схему двигунів послідовного збудження?
7. Які опори і як вмикають у електричну схему двигуна послідовного збудження?
8. Що таке магнітна характеристика двигуна послідовного збудження?
9. В чому переваги двигуна послідовного збудження при роботі в складних умовах пуску та роботи?
10. В яких електроприводах використовуються двигуни послідовного збудження?
11. Зобразіть і поясніть електричну схему двигунів змішаного збудження?
12. Порівняйте характеристики двигуна змішаного збудження з характеристиками двигунів паралельного і послідовного збудження.
13. Які характеристики називають робочими, як вони знімаються і будуються для двигунів незалежного збудження?
14. Де застосовуються двигуни змішаного збудження?