

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни

«Основи електропривода»

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***173 Авіоніка
(Авіоніка)***

**за темою № 5 – Регулювання швидкості обертання електродвигунів
постійного струму паралельного і послідовного збудження**

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1.

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Волканін Є.Є.

Рецензенти:

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Регулювання швидкості обертання електродвигуна паралельного збудження шляхом зміни величини потоку збудження.
2. Регулювання швидкості обертання електродвигуна паралельного збудження шляхом зміни опору в колі обмотки якоря.
3. Регулювання швидкості обертання електродвигуна паралельного збудження шляхом зміни напруги, що підводиться.
4. Регулювання швидкості обертання електродвигуна з послідовним збудженням шляхом зміни опору в головному колі.
5. Регулювання швидкості обертання електродвигуна з послідовним збудженням із застосуванням схеми незалежного живлення обмотки збудження.

Рекомендована література:

Основна література:

1. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
2. Харченко В.П. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. – К.: НАУ, 2013. – 272 с.
3. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т.П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.
4. Aircraft General Knowledge 2 - Electrics and Electronics – 2014.

Допоміжна література:

1. Introduction to Avionics Systems R.P.G. Collinson BScEng(Hons)., CEng., FIET., FRAeS Formerly Manager of the Flight Automation Research Laboratory of GEC Avionics, Rochester, Kent, UK (now part of BAE Systems) Third Edition - 2011. – 547 p.
2. Методичні вказівки до виконання практичних та самостійних робіт з дисципліни "Теорія електропривода" (для студентів 3, 4 курсів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070203 «Електричний транспорт») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О. В. Донець, П. М. Пушков, М. І. Шпіка. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 39 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Avionics>
2. <https://www.geaerospace.com/systems/avionics>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=e9wZstVoP9s>

Текст лекції

1. Регулювання швидкості обертання електродвигуна паралельного збудження шляхом зміни величини потоку збудження

Для зміни величини потоку збудження в коло обмотки збудження послідовно вводиться додатковий опір R_1 (рис. 1), який призводить до зміни потоку збудження. На рисунку 2 показані механічні характеристики залежності кутової швидкості ω від моменту обертання на валу M та струму збудження I_z .

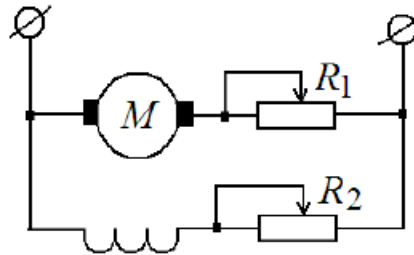


Рисунок 1 – Схема вмикання регулювального реостата в ланцюг обмотки збудження електродвигуна

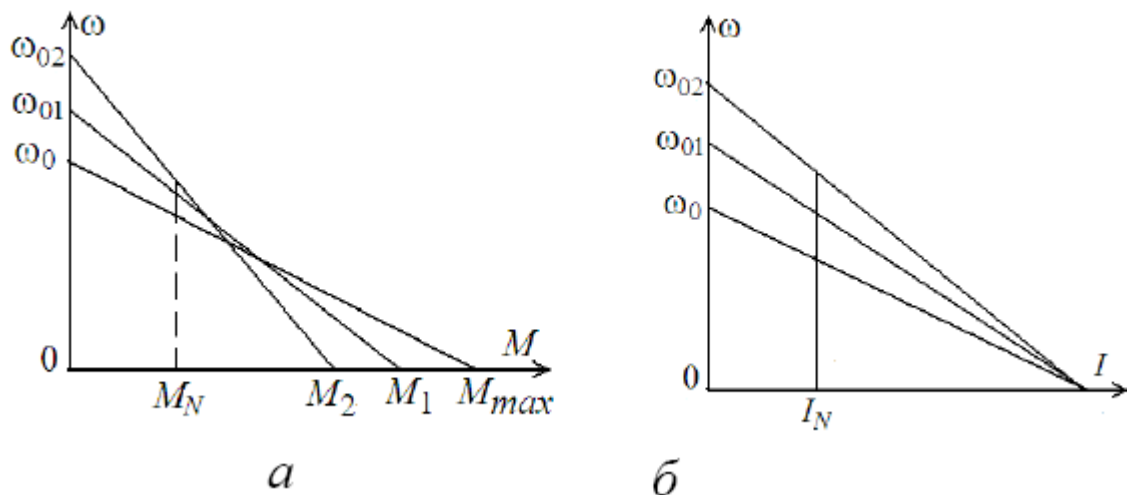


Рисунок 2 – Характеристики двигуна з паралельним збудженням:
а – при введенні зовнішнього опору в ланцюг обмотки збудження; б – при різних значеннях потоку збудження

Природна характеристика визначається максимальним магнітним потоком збудження Φ і швидкістю обертання ω_0 при неробочому ході (НХ). При ослабленні магнітного потоку Φ_1 швидкість ходу двигуна:

$$\omega_{01} = \omega_0 \cdot \frac{\Phi}{\Phi_1} \quad \text{відповідно з} \quad \omega_0 = \frac{U}{k\Phi}, \quad \omega_{01} = \frac{U}{k\Phi_1} \quad (1)$$

Перепад швидкостей при незмінному значенні номінального обертаючого моменту M_N і для потоку збудження Φ_1 :

$$\Delta\omega_1 = \Delta\omega \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_1} \right)^2 = \Delta\omega \cdot \left(\frac{\omega_{01}}{\omega_0} \right)^2 \quad (2)$$

Як видно з рисунку 5.3, а величина максимального моменту $M_{max} = k\Phi I_{max}$ зменшується при збільшенні швидкості ω_0 холостого ходу (тобто при зменшенні потоку збудження Φ). На рисунку 3, б всі швидкісні характеристики перетинаються в одній точці, тому що при нерухомому якорі електродвигуна номінальний струм двигуна I_N і струм якоря I_a постійні (тобто $I_N = I_a = U / R = \text{const}$) при будь-якому значенні потоку збудження Φ .

Даний спосіб регулювання швидкості є економічним, тому що втрати енергії незначні, а також забезпечується плавність регулювання за рахунок зниження жорсткості характеристики.

Недолік способу: погіршення умов комутації, тому що зростає реактивна ЕДС, що може викликати іскріння колектора. Зі збільшенням швидкості струм якоря не перевищує номінального значення. Але при цьому не збільшується і потужність на валу двигуна, оскільки потужність $P = M \cdot \omega = \text{const}$.

Граничне допустиме значення швидкості обмежена механічною міцністю якоря і умовами комутації колектора електродвигуна. Дана величина вказується в каталогах.

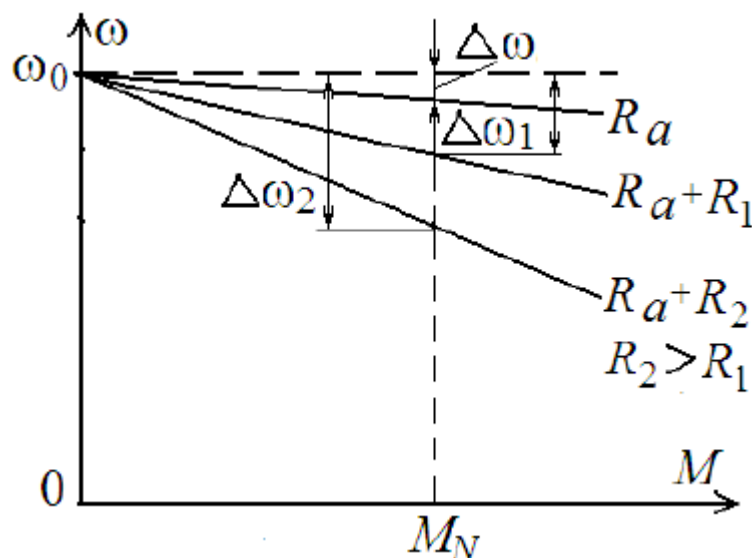


Рисунок 3 – Характер зміни швидкості обертання двигуна з паралельним збудженням при введенні опору в коло обмотки якоря

2. Регулювання швидкості обертання електродвигуна паралельного збудження шляхом зміни опору в ланцюзі обмотки якоря

Даний спосіб регулювання швидкості електродвигуна здійснюється шляхом запровадження зовнішнього опору або шляхом шунтування якоря.

Розглянемо особливості способів.

Введення зовнішнього опору R_a в коло обмотки якоря (послідовно з якорем електродвигуна). При цьому знижується напруга на затискачах якоря і

швидкість обертання двигуна. Жорсткість характеристик при цьому зменшується і при збільшенні навантаження швидкість обертання електродвигуна різко падає (рис. 3).

Межі регулювання швидкості обертання електродвигуна залежать також від струму навантаження. При малих навантаженнях регулювання швидкості ускладнене, тому що для отримання значного її зміни потрібен значний зовнішній опір. Регулювання швидкості відбувається в головному колі електродвигуна, що робить цей спосіб неекономічним через значні втрати потужності в регульованих опорах.

Шунтування якоря (рис. 4, рис. 5). При такому способі регулювання можна отримати невеликі швидкості при будь-якому навантаженні і при роботі двигуна в режимі НХ. Кут нахилу характеристики і швидкість обертання залежать від опорів R_1 і R_2 . Така схема застосовується для точної зупинки механізму в заданому положенні.

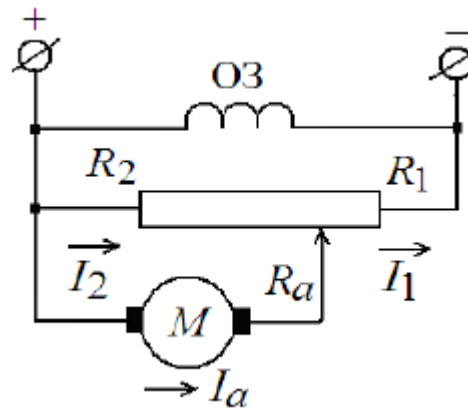


Рисунок 4 – Схема шунтування обмотки якоря двигуна з паралельним збудженням (I_1 – струм, що споживається з мережі; I_2 – струм в шунтуючому опорі R_2)

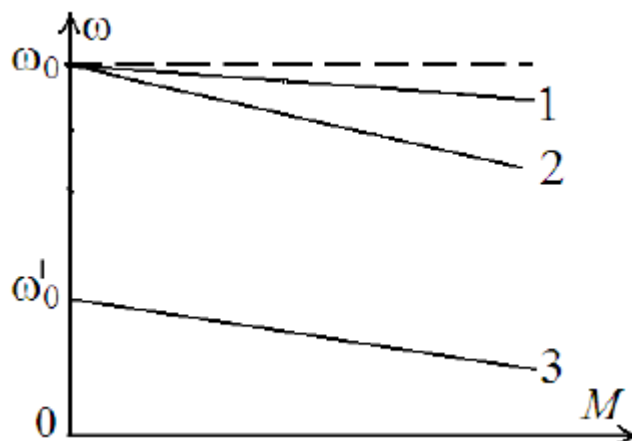


Рисунок 5 – Механічна характеристика двигуна з паралельним порушення при шунтуванні обмотки якоря (1 – природна характеристика; 2 – реостатна характеристика; 3 – характеристика при шунтуванні якоря)

Така схема застосовується для точної зупинки механізму в заданому положенні. Застосування її доцільно при короткочасному режимі роботи

двигуна, оскільки при тривалому регульовальному режимі схема не економічна через додаткові втрати потужності в опорах.

3. Регулювання швидкості обертання електродвигуна паралельного збудження шляхом зміни напруги, що підводиться

У випадках, коли необхідно широке регулювання швидкості, застосовуються схеми, де якорь електродвигуна з паралельним збудженням живиться від окремого джерела (генератора, керованих перетворювачів, електромашинних або електромагнітних підсилювачів).

Регулювання швидкості двигуна зміною напруги, що підводиться до якоря доцільно проводити за допомогою системи з незалежним джерелом регулювання напруги. Наприклад, живлення якоря електродвигуна здійснюється від керованого генератора (рис. 6).

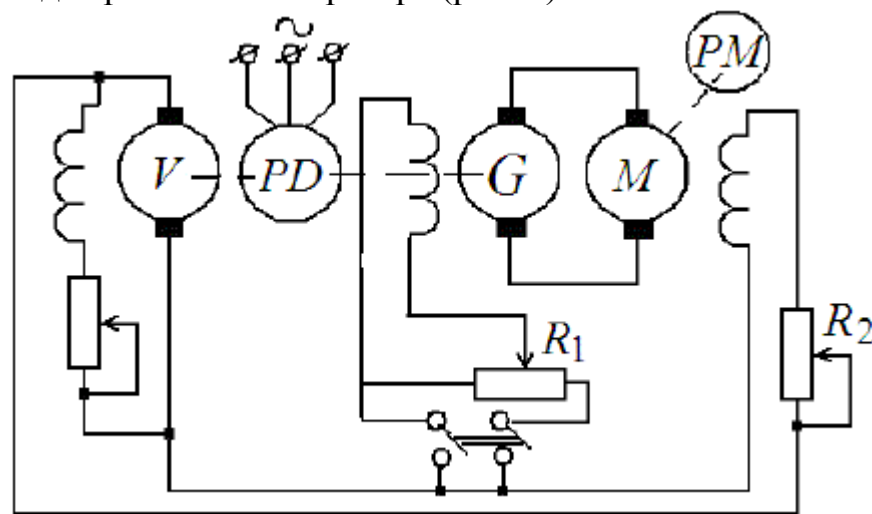


Рисунок 6 – Схема регулювання швидкості обертання електродвигуна з керованим генератором (система G – M)

Система називається генератор-двигун (G - M) і застосовується для приводів з тривалим регульовальним режимом.

Основні елементи схеми: PM – робочий механізм; M – двигун постійного струму з незалежним збудженням (приводить в дію PM); G – генератор постійного струму (живить двигун M); PD – привідний двигун (асинхронний або синхронний); V – збудник; R1, R2 – регульовальні опори в ланцюзі збудження генератора G і двигуна M.

Дана схема полегшує пуск вхід двигуна M, забезпечує широке регулювання його швидкості обертання, зміна напрямку обертання, плавне гальмування.

Всі зазначені режими здійснюються шляхом зміни струму в обмотці збудження генератора.

Широке регулювання швидкості обертання електродвигуна при даній схемі здійснюється за допомогою зміни ЕРС генератора, а також шляхом зміни струму збудження самого електродвигуна (рис. 7).

Плавність регулювання швидкості обертання може бути досить високою за рахунок багатоступеневості регулювання, яка залежить від апаратів керування, встановлених в ланцюзі збудження генератора і електродвигуна.

Гальмування електродвигуна здійснюється в головному ланцюгу шляхом перемикання регулювальних опорів. Спочатку виводиться опір R_2 в ланцюзі збудження електродвигуна, потім вводиться опір R_1 в ланцюзі збудження генератора. В результаті зменшується магнітний потік в генераторі і зростає ЕДС в двигуні, яка стає більше, ніж у генератора, і двигун переходить в генераторний режим. Генератор при цьому працює як електродвигун. Коли генераторна потужність перевищує втрати в машинах, то приводний електродвигун PD працює в режимі генератора і віддає енергію в мережу.

4. Регулювання швидкості обертання електродвигуна з послідовним збудженням шляхом зміни опору в головному колі

Даний спосіб регулювання для двигунів з послідовним збудженням здійснюється також, як і двигунів з паралельним збудженням, тобто шляхом запровадження зовнішнього опору і шунтування якоря.

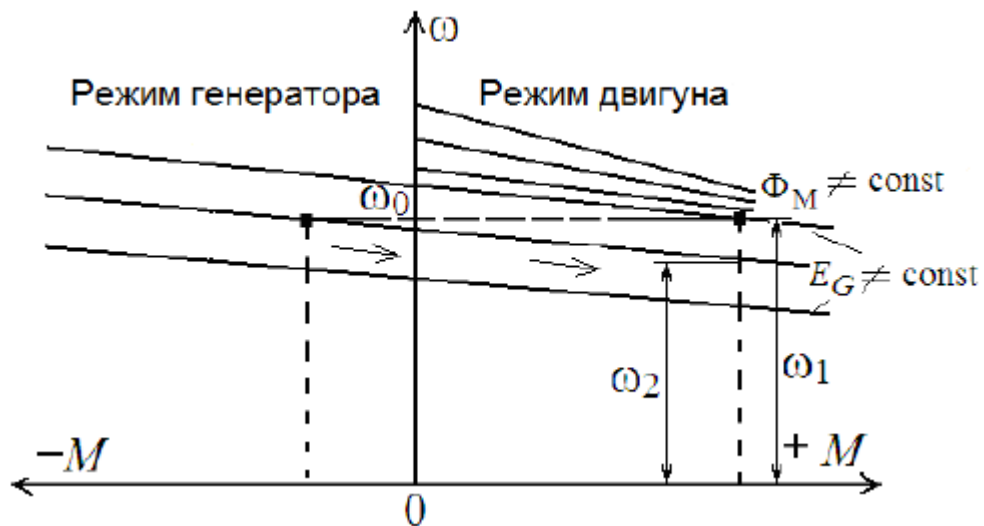


Рисунок 7 – Механічні характеристики електродвигуна з незалежним збудженням у системі G – M

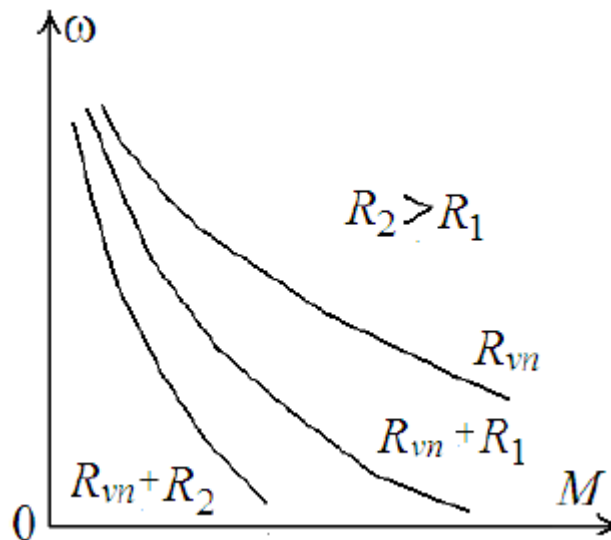


Рисунок 8 – Механічна характеристика електродвигуна з послідовним збудженням при введенні в головне коло зовнішнього опору

Введення зовнішнього опору здійснюється також шляхом послідовно його підключення в коло якоря електродвигуна, що призводить до зниження напруги на затискачах якоря і відповідно до зниження швидкості його обертання (рис. 8, де R_{vn} – внутрішній опір). При збільшенні навантаження межі регулювання швидкості знижуються, оскільки при незмінному моменті потужність, що споживана з мережі постійна (тобто $P = \text{const}$) незалежно від зниження швидкості при регулюванні.

Даний спосіб регулювання швидкості є неекономічним і застосовується тільки при необхідності короточасного зниження швидкості обертання електродвигуна.

Шунтування в колі якоря. Цей спосіб регулювання застосовується в двигунах, які використовуються в приводних підйомних механізмах.

Схема включення (рис. 9) дозволяє регулювати швидкість обертання зміною величини потоку збудження і напруги на затискачах якоря електродвигуна. Завдяки включенню шунтуючого опору R_2 в коло якоря

повний струм дорівнює: $I_1 = I_2 + I_{\text{я}}$.

При відсутності навантаження на валу двигуна і струмі якоря (тобто $M \approx 0$, $I_{\text{я}} \approx 0$) по обмотці збудження двигуна проходить струм, А:

$$I_1 = I_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

Кінцева швидкість обертання:

$$\omega_0 = \frac{I \cdot R_2}{k\Phi} = \frac{U r_2}{k\Phi \cdot (R_1 + R_2)} \quad (4)$$

При зміні опорів R_1 і R_2 змінюється швидкість двигуна при НХ.

Механічні характеристики при цьому виходять більш жорсткі, за рахунок послідовного включення опору (рис. 10, де R_v – зовнішній опір кола).

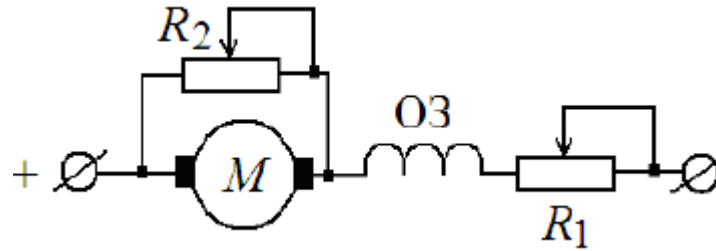


Рисунок 9 – Схема шунтування обмотки якоря електродвигуна з послідовним збудженням

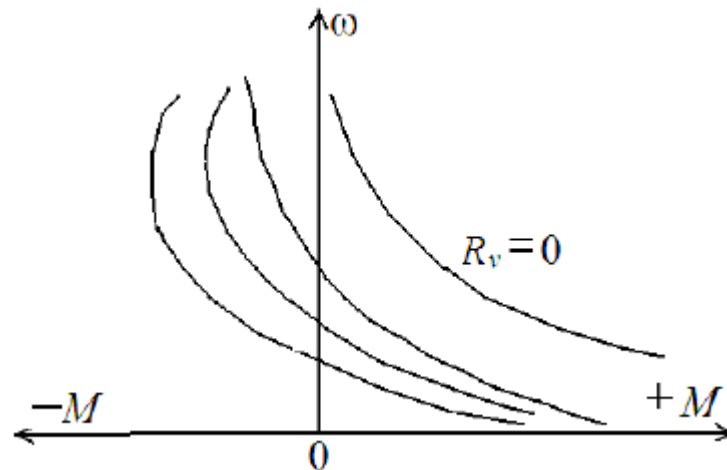


Рисунок 10 – Механічні характеристики двигуна з послідовним збудженням при шунтуванні обмотки якоря

При цьому опір змінюється незначно із зміною навантаження на валу двигуна та напруга на затискачах якоря більш стабільна. Це говорить про те, що двигун може стійко працювати і при малих навантаженнях.

Даний спосіб регулювання малоекономічен, оскільки є значні втрати в регулювальних опорах. Тому застосування такої схеми доцільно тільки на короткі проміжки часу.

5. Регулювання швидкості обертання електродвигуна з послідовним збудженням із застосуванням схеми незалежного живлення обмотки збудження

Схема з незалежним живленням обмотки збудження електродвигуна з послідовним збудженням застосовується для регулювання швидкості обертання електродвигуна в приводах підйомних механізмів.

Якір двигуна включається паралельно з обмоткою збудження (рис. 11). Послідовно з кожної з обмоток включені додаткові регульовані опору R_1 і R_2 і зовнішній опір R .

Опір R_2 обмежує величину струму, що проходить по обмотці збудження електродвигуна, оскільки внутрішній опір обмотки незначний.

Змінюючи величину опорів R , R_1 , R_2 , можна регулювати швидкість обертання електродвигуна, яка визначається на підставі виразу швидкісної характеристики:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{I_a(R_a + R_1)}{k\Phi} - \frac{I \cdot R}{k\Phi} \quad (5)$$

При збільшенні R і R_1 швидкість електродвигуна зменшується при роботі в руховому режимі і зростає при роботі в генераторному режимі. При збільшенні R_2 швидкість електродвигуна в обох випадках зростає у зв'язку зі зменшенням величини магнітного потоку і струму збудження, оскільки:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}, \quad \Phi = \frac{E}{k\omega} \quad (6)$$

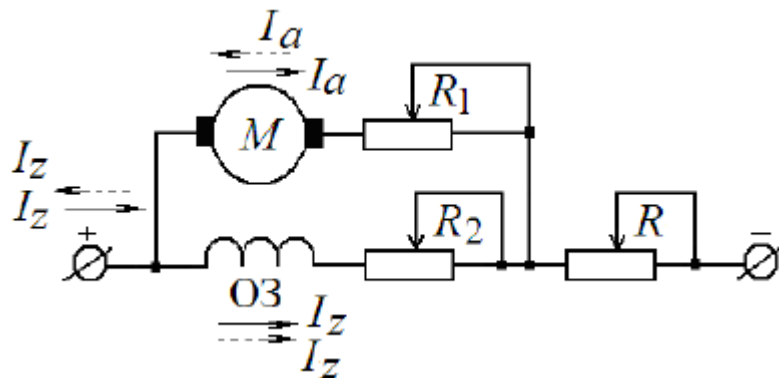


Рисунок 11 – Схема з незалежним живленням обмотки збудження електродвигуна з послідовним збудженням

При значних за часом переходах регулювання швидкості схема (див. рис. 11) неекономічна, оскільки робота двигуна супроводжується додатковими втратами потужності в опорах R , R_1 , R_2 .

Контрольні питання

1. Які використовуються заходи для регулювання швидкості обертання електродвигуна паралельного збудження?
2. Достоїнства та недоліки способів регулювання швидкості двигуна.
3. Які особливості регулювання електродвигуна паралельного збудження при зміні опору в ланцюзі обмотки якоря?
4. Як відбувається регулювання швидкості обертання електродвигуна паралельного збудження шляхом зміни напруги, що підводиться?
5. Як відбувається регулювання швидкості обертання електродвигуна з послідовним збудженням?
6. Особливості регулювання швидкості обертання електродвигуна з послідовним збудженням із застосуванням схеми незалежного живлення обмотки збудження.