

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ



Державний біотехнологічний університет

**Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних
технологій**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

“ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА”

(розрахунок та побудова механичних характеристик
двигунів постійного струму незалежного збудження)

**Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальностей:**

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Затверджено
на засіданні кафедри ЕРБМІЕ
протокол №1 від 03.09.2024р.

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
Факультету ФЕРКТ
Протокол № 1
від 22.10.2024 р.

Харків 2024

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних
технологій

Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії
та електротехніки

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ОФОРМЛЕННЯ
РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

“ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА”

(розрахунок та побудова механічних характеристик
двигунів постійного струму незалежного збудження)

**Для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальностей:**

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Затверджено рішенням Науково-методичної ради
Факультету ФЕРКТ

Протокол № 1

від 22.10.2024 р.

Харків
2024

УДК 621.3

E11

Схвалено
на засіданні кафедри
електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та
електротехніки

Протокол № 1
Від 03.09.2024

Основи електропривода: Методичні вказівки до оформлення розрахунково-графічної роботи “розрахунок і побудова механичних характеристик двигунів постійного струму незалежного збудження” для здобувачів першого (бакалаврського) РВО, денної та заочної форми навчання спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. / Держ. біотехнол. у-т; упоряд.: Ю.М. Хандола, В.В. Гузенко. - Харків: [б. в.], 2024. - 38 с.

Методичні вказівки складені у відповідності до навчального плану. Видання включає рекомендації призначені для отримання практичних навичок в вирішенні практичних задач з дисципліни.

Рецензенти:

Рецензенти:

Н.Г. Косуліна, доктор технічних наук, професор кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки (ДБТУ)

М.Ю. Середин, консультант з обслуговування та ремонту електронного обладнання бурового верстату, бурового управління “УКРБУРГАЗ”.

Відповідальний за випуск : В.В. Гузенко, канд. техн. наук, доцент.

© Хандола Ю.М., Гузенко В.В. упорядкування, 2024

© ДБТУ, 2024

ВСТУП

Електропривод (ЕП) в даний час є не тільки основною енергетичною базою стаціонарних технологічних процесів, але і служить головною ланкою в організації та управлінні технологічним виробництвом.

Мета дисципліни - формування у майбутніх інженерів-енергетиків знання, що дозволяють самостійно і творчо вирішувати задачі проектування та експлуатації раціональних автоматизованих електроприводів, а також їх дослідження в експлуатаційних умовах для визначення напрямку вдосконалення та модернізації елементів і систем електроприводів.

Як показує практика, у зв'язку з автоматизацією управління виробничими процесами і механізмами розширюється область застосування малопотужних двигунів постійного струму загального застосування потужністю від одиниць до сотень ват.

Тільки там, де вимагається великий діапазон регулювання швидкості та більша точність підтримання швидкості обертання привода, саме з високим пусковим моментом, з успіхом і на цей сучасний час використовують двигуни постійного струму.

Методичні вказівки допоможуть студентам у вирішенні розрахункового завдання по двигунам постійного струму (ДПС) з будь-яким збудженням. Саме на першочерговому етапі дослідження електродвигунів виникають задачі по розрахунку характеристик, які виражають всі основні властивості самих двигунів. У посібнику зібрано основний лекційний та практичний матеріал, який для студента є цінним та стане невідомою частиною із порад для виконання індивідуальних завдань.

І. ДВИГУНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ

1. Електромеханічна та механічна характеристика двигуна постійного струму незалежного збудження

Якщо обмотку збудження ввімкнути паралельно обмотці якоря, то одержимо ДПС паралельного збудження. Так як ці електродвигуни (ЕД) мають однакові властивості, то розглядати будемо тільки ДПС НЗ.

Скористуємося (рис. 1) і одержимо математичну модель електропривода (ЕП) постійного струму, що описує усталені (статичні) режими:

$$U = E + I_{я} R = E + I_{я} (R_{\partial\partial} + R_{\partial}). \quad (1)$$

$$M = k \Phi I_{я} = c I_{я}; \quad (2)$$

$$E = k \Phi \omega = c \omega, \quad (3)$$

де U – напруга, прикладена до якірного кола, В; $I_{я} R$ – спад напруги в якірному колі, В; $I_{я}$ – струм у колі якоря, А; $R = R_{\partial\partial} + R_{\partial}$ – сумарний опір якірного кола, який складається з внутрішнього опору якірного кола $R_{\partial\partial}$ та додаткового опору R_{∂} , Ом. Внутрішній опір якірного кола ЕД складається з опору обмотки якоря $r_{я}$, обмотки додаткових полюсів $r_{\partial n}$, компенсаційної обмотки $r_{к}$ і щіткового контакту $r_{щ}$, тобто $R_{\partial\partial} = r_{я} + r_{\partial n} + r_{к} + r_{щ}$; E – електрорушійна сила (ЕРС) якоря, В; Φ – магнітний потік, Вб; $k = \frac{pN}{2\pi \cdot a}$ – конструктивна стала двигуна, при цьому необхідно урахувати, що в системі СІ кутова швидкість ЕД ω має основну одиницю виміру $\frac{\text{рад}}{с}$ і додаткову $с^{-1}$, а електромагнітний момент M , Н·м, то коефіцієнти

пропорційності між E і ω та M і $I_{\text{я}}$: $k_e = k_m = k$, а $k\Phi_{\text{ном}} = c_{\text{ном}}$ - номінальний коефіцієнт пропорційності; p - число пар полюсів; N - кількість активних провідників обмотки якоря; a - кількість паралельних витків обмотки якоря.

Електричні схеми вмикання двигунів постійного струму

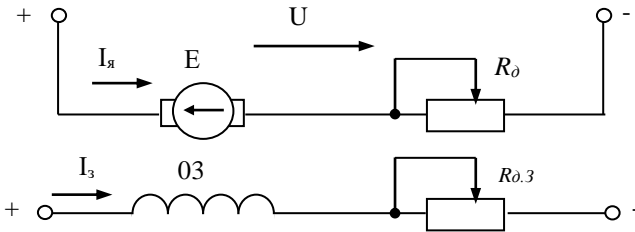


Рис. 1. – Схема вмикання ДПС НЗ

В теорії електропривода є поняття електромеханічної (EMX) і механічної характеристик електродвигуна. Електромеханічною (механічною) характеристикою електродвигуна оберտального руху називають залежність кутової швидкості його вала від струму якоря $\omega(I)$ (електромагнітного оберտового моменту) $\omega(M)$. Електромеханічні і механічні характеристики можуть бути природними і штучними. Природними називають характеристики електродвигуна одержані при номінальних параметрах живильної мережі (номінальних значеннях напруги і частоти), номінальному магнітному потоці і при відсутності додаткових опорів у колі якоря (ротора і статора). Якщо природні характеристики не задовольняють тих або інших вимог виробничого механізму, використовують штучні механічні (електромеханічні) характеристики. Вони також являють собою залежність кутової швидкості вала двигуна від його моменту (струму), але при неномінальних параметрах.

Аналітичний вираз статичної EMX $\omega(I_{\text{я}})$ ДПС НЗ одержимо після сумісного розв'язання рівнянь (1) і (3) відносно ω :

$$\omega = \frac{U - I_{я} \cdot (R_{\partial\delta} + R_{\partial})}{k \cdot \Phi}. \quad (4)$$

Підставивши в рівняння (4) значення струму з формули (2) одержимо рівняння статичної МХ $\omega(M)$:

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - M \frac{(R_{\partial\delta} + R_{\partial})}{(k \cdot \Phi)^2}. \quad (5)$$

Інколи рівняння (4) і (5) записують у такій формі:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega \quad (6)$$

де $\Delta\omega$ - перепад кутової швидкості, який визначається:

$$\Delta\omega = \frac{I_{я}(R_{\partial\delta} + R_{\partial})}{c_{ном}} = \frac{M(R_{\partial\delta} + R_{\partial})}{c_{ном}^2}. \quad (7)$$

В цих виразах не відомий внутрішній опір кола якоря ДПС НЗ і якщо заводські дані відсутні, то його величину можна приблизно визначити припускаючи, що половина номінальних втрат потужності $\Delta P_{ном}$ - це втрати в меді обмотки, тобто постійні та змінні втрати при номінальному навантаженні однакові: $0,5 \Delta P_{ном} = I_{я.ном}^2 \cdot R_{\partial\delta}$, звідки:

$$R_{\partial\delta} \approx 0,5(1-\eta_{ном}) \frac{U_{ном}}{I_{я.ном}} = 0,5(1-\eta_{ном}) R_{ном} \quad (8)$$

де $\eta_{ном}$ - номінальний коефіцієнт корисної дії (ККД); $R_{ном}$ - номінальний опір ДПС НЗ, при нерухомому якорі і номінальній напрузі знижає струм в якорі до номінальної величини $I_{я.ном}$;

Коли номінальний струм відсутній в каталозі, то його визначають:

$$I_{я.ном} = \frac{P_{ном} 10^3}{U_{ном} \eta_{ном}}. \quad (9)$$

Із рівнянь (4) і (5) випливає, що при параметрах $U_{ном}$, $\Phi_{ном}$ і $R_{\delta\phi}$ ЕМХ і МХ ДПС НЗ у прямокутній системі координат зображаються прямими лініями рис. 2а і 3а з ординатами ω_0 та кутовими коефіцієнтами $\frac{R_{\delta\phi}}{k\Phi_{ном}}$ і $\frac{R_{\delta\phi}}{(k\Phi_{ном})^2}$, які є тангенсами кутів нахилу ліній ЕМХ і МХ до осі абсцис.

де $\frac{R_{\delta\phi}}{(k\Phi_{ном})^2} = K_{м.о}$ – коефіцієнт пропорційності між моментом і відхиленням кутової швидкості двигуна (коефіцієнт чутливості ДПС НЗ до моменту), $c^{-1}/H \cdot м$.

При постійному магнітному потоці кут нахилу ліній ЕМХ і МХ пропорційний опору якірного кола. Параметр кутової швидкості ω_0 називають швидкістю ідеального холостого ходу двигуна яка має місце при $I_{я} = 0$ для ЕМХ і $M = 0$ для МХ.

Оскільки природні ЕМХ і МХ зображуються похилими прямими лініями, то їх можна побудувати за координатами двох із трьох характерних точок, координати яких визначають за паспортними даними двигуна.

2. Визначення координат характерних точок природних ЕМХ і МХ

Характерні точки МХ і ЕМХ це є: точка ідеального холостого ходу; точка номінального режиму роботи двигуна і точка режиму пуску (короткого замикання). Координати точки ідеального холостого ходу: $\omega = \omega_0$, $M(I_{я}) = 0$. Координати точки номінального режиму: $\omega = \omega_{ном}$, $M(I_{я}) = M_{ном}(I_{я.ном})$.

Координати точки режиму пуску (короткого замикання):
 $\omega = 0, M(I_{\text{я}}) = M_{\text{к.з}} (I_{\text{я.пуск}} = I_{\text{я.к.з}})$

Для природних ЕМХ і МХ кутову швидкість ідеального холостого ходу можна визначити:

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{ном}}}{k \cdot \Phi_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{ном}}}{c_{\text{ном}}}, \quad (10)$$

де $c_{\text{ном}} = k \cdot \Phi_{\text{ном}}$ - коефіцієнт пропорційності між ЕРС і кутовою швидкістю, та між електромагнітним моментом і струмом якоря при незмінному номінальному магнітному потоці збудження $\Phi_{\text{н}}$, який можна визначити з рівняння (4), записаного для точки номінального режиму роботи двигуна:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{я.ном}} \cdot R_{\text{дв}}}{c_{\text{ном}}}. \quad (11)$$

Після розв'язання рівняння (11) відносно $c_{\text{ном}}$ визначимо:

$$c_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{я.ном}} \cdot R_{\text{дв}}}{\omega_{\text{н}}}. \quad (12)$$

Вирази для визначення величин кутової швидкості ідеального холостого ходу ω_0 і номінального електромагнітного моменту $M_{\text{ном}}$ без визначення $k \cdot \Phi_{\text{ном}}$

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{ном}} \cdot \omega_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} - I_{\text{я.ном}} \cdot R_{\text{дв}}}. \quad (13)$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{я.ном}} \cdot R_{\text{дв}}}{\omega_{\text{ном}}} I_{\text{я.ном}}. \quad (14)$$

Величину кутової швидкості ідеального холостого ходу ω_0 і коефіцієнта пропорційності $c_{ном}$ можна визначити іншим шляхом.

Перемножимо ліву і праву частини рівняння (1) на величину $I_{я}$, одержимо рівняння балансу потужностей в двигунному режимі роботи:

$$U I_{я} = E I_{я} + I_{я}^2 R, \quad (15)$$

де $U I_{я} = \frac{P_2}{\eta} = P_1$ – потужність, яка споживається з джерела живлення і частково перетворюється на електромагнітну $E \cdot I_{я} = P_{ем} = M \cdot \omega$ та в формі механічної передається на вал ЕД, а частково втрачається в опорах якірного кола $I_{я}^2 R = \Delta P_{\text{дв}}$

Номінальна електромагнітна потужність, яку двигун споживає з мережі живлення може бути визначена як через механічні так і через електричні величини:

$$P_{e.ном} = M_{ем.ном} \omega_o = U_{ном} \cdot I_{ном}. \quad (16)$$

Із формули (16) визначаємо:

$$\omega_0 = \frac{P_{e.ном} 10^3}{M_{e.ном}}. \quad (17)$$

Номінальний коефіцієнт пропорційності визначається:

$$k\Phi_{ном} = c_{ном} = \frac{U_{ном}}{\omega_0} i, \quad \text{В} \cdot \text{с} \quad (18)$$

В практичних розрахунках потрібно знати номінальний момент на валу ЕД:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{\omega_{ном}} \quad (19)$$

де $\omega_{ном}$ - номінальна кутова швидкість ЕД, рад/с.

$$\omega_{ном} = \frac{2\pi \cdot n_{ном}}{60} \approx 0,105n_{ном}. \quad (20)$$

Номінальний електромагнітний момент $M_{е.ном}$ в двигунному режимі роботи більший, ніж номінальний момент на його валу $M_{ном}$ на величину, яку називають моментом холостого ходу ($M_{х.х}$), або моментом втрат на тертя в підшипниках і вентиляцію та втрат в сталі:

$$M_{х.х} = M_{ем} - M_{ном} \quad (21)$$

Момент холостого ходу $M_{х.х}$ порівняно малий, тому з достатньою для практики точністю при розрахунках МХ можна ним нехтувати і вважати, що момент на валу ЕД дорівнює його електромагнітному моменту.

При використанні аналітичних виразів МХ ЕД момент втрат відносять до моменту навантаження, тобто вважають, що підшипники ЕД і його вентилятор є елементами РМ. У цьому випадку заміна моменту на валу ЕД електромагнітним не дає суттєвих відхилень в результатах розрахунків.

Якщо нехтувати реакцією якоря і вважати магнітний потік сталим, то струм і момент короткого замикання визначають за формулами:

Струм прямиго пуску або короткого замикання для природної характеристики:

$$I_{пуск} = I_{к.з} = \frac{U_{я.ном}}{R_{об}}, \text{ А} \quad (22)$$

Пусковий момент або момент короткого замикання:

$$M_{\text{пуск}} = M_{\text{к.з}} = M_{\text{ном}} \frac{I_{\text{к.з}}}{I_{\text{ном}}}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (23)$$

Для природної МХ момент короткого замикання буде найбільший, тому що струм короткого замикання обмежує лише внутрішній опір якірного кола ЕД. При цьому рівняння МХ можна написати так:

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{M}{M_{\text{к.з}}}\right). \quad (24)$$

Аналіз рівняння (24) показує, що при $M = 0$ швидкість $\omega = \omega_0$. Якщо $M = M_{\text{к.з}}$, то швидкість $\omega = 0$. За визначеними координатами точок на *рис. 2а* побудовані природні ЕМХ і на *рис 3а* – МХ.

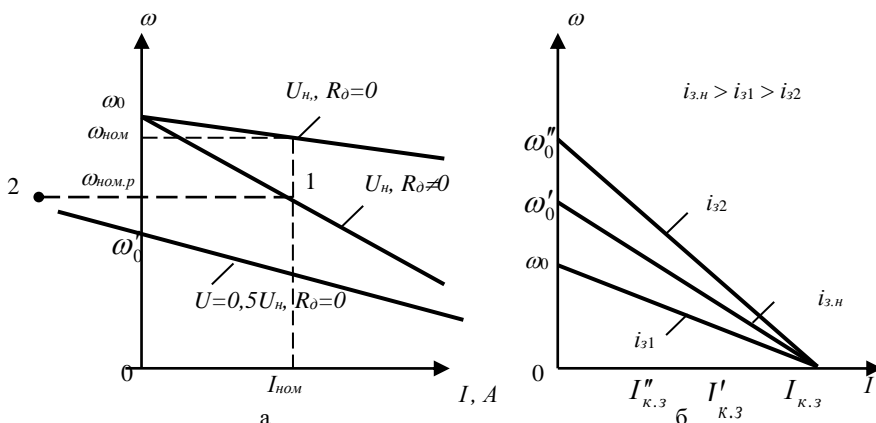


Рис. 2 — Електромеханічні характеристики ДПС НЗ:
а) при номінальному магнітному потоці; б) при ослабленому магнітному потоці.

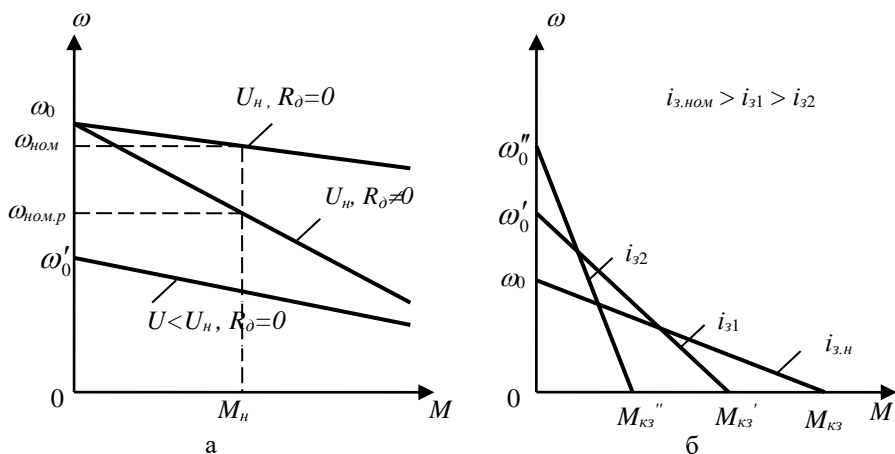


Рис. 3 — Механичні характеристики ДПС НЗ:

а) при номінальному магнітному потоці; б) при ослабленому магнітному потоці.

3. Визначення координат характерних точок штучних ЕМХ і МХ для режимів не прямого пуску і регулювання кутової швидкості обертання ДПС НЗ зміною магнітного потоку

3.1. Реостатний пуск ДПС НЗ при введенні опору пускового реостата в коло якоря

3.1.1. Допустимий пусковий струм якоря визначається:

$$I_{я.доп} = k I_{я.ном} \succ I_{пуск} \quad (25)$$

де $k = 2 - 3$ - кратність допустимого струму якоря.

3.1.2. Визначаємо опір пускового реостата при одноступінчастому пуску:

$$R_p = \frac{U_{ном}}{I_{я.пуск}} - R_{де} \quad (26)$$

3.1.3. Визначаємо пусковий струм ($I_{пуск} = I_{к.з}$) при введеному в коло якоря пускового реостату:

$$I_{пуск.Р} = I_{к.з.Р} = \frac{U_{ном}}{R_{дв} + R_p} . \quad (27)$$

3.1.4. Визначаємо швидкість, яку матиме ЕД при номінальному струму (моменту) і введеному в коло якоря додатковому опорі:

$$\omega_{M_{ном.Р}} = \frac{U_{ном} - I_{я.ном}(R_{дв} + R_\delta)}{U_{ном} - I_{я.ном}R_{дв}} \omega_{ном} = [1 - \frac{I_{я.ном}(R_{дв} + R_\delta)}{U_{ном}}] \omega_0. \quad (28)$$

3.1.5. Координати характерних точок штучної ЕМХ при реостатному пуску ДПС НЗ:

1. $\omega = \omega_0, [10,13,17], I_{я} = 0;$
2. $\omega = \omega_{I_{я.ном.Р}}, [28], I_{я} = I_{я.ном} [9];$
3. $\omega = 0, I_{я} = I_{пуск.Р} = I_{к.з.Р}, [27].$

За визначеними координати характерних точок будемо (рис.2а) штучну ЕМХ ЕД при номінальних значеннях напруги і магнітного потоку та при наявності в колі якоря додаткового опорю.

3.1.6. Визначаємо пусковий момент при введеному в коло якоря пускового реостату:

$$M_{пуск.Р} = M_{к.з.Р} = c_{ном} I_{пуск.Р} \quad (29)$$

3.1.7. Координати характерних точок штучної МХ при реостатному пуску ДПС НЗ:

1. $\omega = \omega_0, [10,13,17], M_{я} = 0;$

$$2. \omega = \omega_{I_{я.ном.R}}, [28], M_{я} = M_{я.ном} [14,19];$$

$$3. \omega = 0, M_{я} = M_{пуск.R} = M_{к.з.R}, [29].$$

За визначеними координати характерних точок будемо (рис.3а) штучну МХ ЕД при номінальних значеннях напруги і магнітного потоку та при наявності в колі якоря додаткового опору

3.2. Пуск ДПС НЗ при зниженій напрузі живлення кола якоря

3.2.1. Задаємо бажану величину пускового струму $I_{я.пуск_U} = I_{к.з.U} < I_{я.доп}$ при зниженій напрузі живлення кола якоря і визначаємо пусковий момент ЕД:

$$M_{пуск_U} = M_{к.з.U} = c_{ном} I_{пуск_U} \quad (30)$$

Визначаємо величину зниженої напруги, яка забезпечує задану величину пускового струму:

$$U_U = I_{я.пуск_U} R_{дв}. \quad (31)$$

3.2.2. Визначаємо швидкість ідеального холостого ходу при зниженій напрузі:

$$\omega_{0_U} = U_U / c_{ном}. \quad (32)$$

3.2.3. Визначаємо швидкість, яку матиме ЕД при номінальних значеннях струму якоря (моменту) і магнітного потоку при зниженій напрузі:

$$\omega_{I_{я.ном_U}} = \omega_{M_{ем.ном}} = \frac{U_U - I_{я.ном} R_{дв}}{c_{ном}}. \quad (33)$$

3.2.4. Координати характерних точок штучної ЕМХ в режимі пуску ДПС НЗ при зниженій напрузі живлення кола якоря:

1. $\omega = \omega_{0U}$, [32], $I_y = 0$;
2. $I_y = I_{y.ном}$ [9], $\omega = \omega_{I_{y.номU}}$ [33];
3. $\omega = 0$, $I_y = I_{k.3.U} = I_{пуск.U}$ (3.2.1.)

За визначеними координати характерних точок будуюмо (рис.2а) штучну ЕМХ ЕД в режимі пуску при зниженій напрузі живлення кола якоря.

3.2.5. Координати характерних точок штучної МХ в режимі пуску ДПС НЗ при зниженій напрузі живлення кола якоря:

1. $\omega = \omega_{0V}$, [31], $I_y = 0$;
2. $M = M_{ем.ном}$ [14,19], $\omega = \omega_{M_{ем.номU}}$ [32];
3. $\omega = 0$, $M = M_{k.3} = M_{пуск}$ [30].

За визначеними координати характерних точок будуюмо (рис.3а) штучну МХ ЕД в режимі пуску при зниженій напрузі живлення кола якоря.

3.3. Регулювання кутової швидкості ДПС НЗ зниженням струму збудження (магнітного потоку ЕД).

3.3.1. Загальні питання.

Двигуни постійного струму серії 2П і 4П допускають регулювання кутової швидкості зниженням струму збудження (магнітного потоку). Якщо двигуни призначені для регулювання швидкості лише вниз від номінального значення (однозонне регулювання), то в каталожних даних наведені лише номінальні частоти обертання (двигуни серії П). Двигуни серії 4П дозволяють регулювати швидкість вгору від номінального значення. Це двигуни двозонного регулювання швидкості обертання. Основною ознакою цих двигунів є каталожне

значення максимальної швидкості. Регулювання швидкості ДПС НЗ зменшенням магнітного потоку характеризується порівняно не великою потужністю в колі обмотки збудження.

Для двигунів серії 4П номінальний струм обмотки збудження становить 7-10 % номінального струму двигуна.

При номінальному навантаженні ЕД його система практично насичена. Тому залежність $\Phi = f(I_3)$ є нелінійна (рис. 4), що унеможливорює аналітичне розв'язання залежностей $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$. Допустимим навантаженням на ЕД при зміні магнітного потоку слід вважати номінальний струм, тому: $M_{\text{доп}} = k\Phi I_{\text{яном}}$ Регулювання швидкості обертання якоря ДПС НЗ зміною магнітного потоку здійснюється за умови: $U_{\text{я}} = U_{\text{ном}}$, $I_{\text{я}} = I_{\text{ном}}$, отже $P = P_{\text{ном}}$. Допустимий момент за заданих умов має таку залежність: $M_{\text{доп}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega}$ (рис. 5).

На рис. 4 наведена, крива намагнічування ДПС. При заданих значеннях струму збудження у відносних одиницях визначають значення магнітного потоку у відносних одиницях, а за його величиною визначають величину кФ у відносних одиницях.

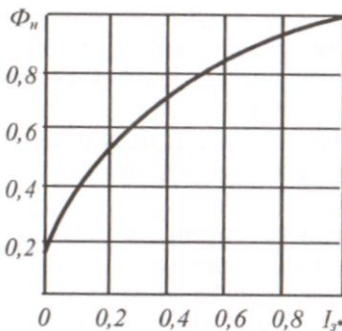


Рис. 4 – Крива намагнічування двигуна постійного струму

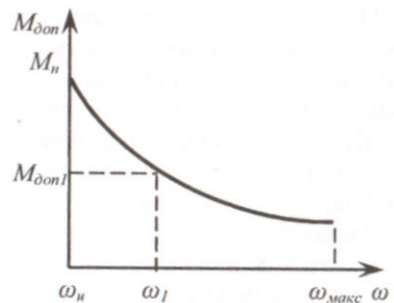


Рис. 5 – Залежність допустимого моменту від швидкості обертання при зміні магнітного потоку

З аналізу ЕМХ і МХ видно, що швидкість ідеального холостого ходу (10) із зменшенням збудження ЕД збільшується. Оскільки струм двигуна при нерухомому якорі не залежить від величини магнітного потоку, то природна і штучні ЕМХ при цьому перетинаються в точці з координатами: $\omega = 0, I_{я} = I_{к.з} = I_{пуск}$.

Механічні характеристики при ослабленні магнітного потоку не мають спільної точки на осі моментів, оскільки кожному значенню магнітного потоку відповідає певне значення моменту короткого замикання (початкового пускового моменту) (рис.3б).

Штучні МХ мають менший модуль жорсткості, ніж природна характеристика і, як наслідок, погіршується стабільність регулювання швидкості обертання.

Діапазон регулювання $D = \omega_{макс} / \omega_{мін}$ швидкості ЕД серії 4П становить 3-8, а серії 2П – 2-4. Мінімальна швидкість при зміні магнітного потоку має місце при номінальному струму збудження.

Регулювання швидкості обертання зменшенням магнітного потоку найкраще використовувати в приводах робочих машин, статичний момент яких зворотно пропорційний швидкості обертання.

3.3.2. Визначення максимально допустимої кутової частота обертання якоря:

$$\omega_{макс} = \frac{2\pi}{60} n_{макс}, \text{ рад/с} . \quad (34)$$

3.3.3. Значення коефіцієнта пропорційності при $\omega_{макс}$:

$$\kappa\Phi = \frac{U_{ном} - I_{я}R_{ном}}{\omega_{макс}}. \quad (35)$$

3.3.4. Значення магнітного потоку при $\omega_{макс}$:

$$\Phi_{мін} = \frac{\kappa\Phi}{\kappa\Phi_{ном}}. \quad (36)$$

3.3.5. Мінімальне значення струму збудження (рис.4) при $\Phi_{мін} = 0,25$ відповідає $I_{зб.мін} = 0,05I_{зб.ном}$

3.3.6. Номінальний струм обмотки збудження:

$$I_{ном.зб} = (0,07 - 0,1)I_{я.ном}. \quad (37)$$

3.3.7. Побудувати ЕМХ і МХ для заданих струмів збудження (наприклад, 0,7 і 0,5 $I_{зб.ном}$) і визначити діапазон регулювання кутової швидкості обертання якоря:

$$D = \frac{\omega_{макс}}{\omega_{мін}}. \quad (38)$$

3.3.8. Даним струмам на рис. 4 відповідають значення магнітних потоків Φ , відповідно 0,9 і 0,8, це означає, що $c_{ном\Phi_1} = \kappa\Phi_1 c_{ном} = 0,9c_{ном}$

3.3.9. Швидкість і.х.х. для і-того магнітного потоку Φ_i для обох ЕМХ:

$$\omega_1 = \omega_{0\Phi_1} = \frac{U_{ном}}{c_{ном\Phi_1}}; \quad \omega_2 = \omega_{0\Phi_2} = \frac{U_{ном}}{c_{ном\Phi_2}} \quad (39)$$

3.3.10. Координати точки пускового режиму штучних ЕМХ відповідають координатам точки природної ЕМХ:

$$\omega = 0, I_{к.з} = \frac{U_{НОМ}}{R_{дв}} \quad (40)$$

3.3.11. Визначаємо швидкість, яку матиме ЕД при номінальному струму якоря $I_{я.ном}$ і зниженому магнітному потоку Φ_i :

$$\omega_{I_{ном\Phi_i}} = \frac{U_{ном}}{C_{ном\Phi_i}} - \frac{I_{я.ном} R_{дв}}{C_{ном\Phi_i}} \quad (40)$$

2.3.12. Координати характерних точок обох штучних ЕМХ при зменшенні магнітного потоку:

- 1) $\omega_1 = \omega_{01\Phi_1}, I_{я1} = 0$ - 1ЕМХ; $\omega = \omega_{02\Phi_2}, I_{я2} = 0$ - 2ЕМХ.
- 2) $\omega = \omega_{I_{ном\Phi_1}}, I_{я1} = I_{я1ном}$; $\omega = \omega_{I_{ном\Phi_2}}, I_{я2} = I_{я2ном}$.
- 3) $\omega = 0, I_{пуск\Phi_1}$ $\omega = 0, I_{пуск\Phi_2}$

За визначеними координатами характерних точок будемо обидві штучні ЕМХ.

2.3.13. Координати характерних точок обох штучних МХ при зменшенні магнітного потоку:

3.3.13.1. Координати точки і.х.х. для обох штучних МХ відповідають координатам цих точок відповідних штучних ЕМХ:

для $МХ_{\Phi_1}$: $\omega = \omega_{0\Phi_1} = \frac{U_{ном}}{C_{ном\Phi_1}}$;

для $МХ_{\Phi_2}$: $\omega = \omega_{0\Phi_2} = \frac{U_{ном}}{C_{ном\Phi_2}}$.

3.3.13.2. Координати точки режиму пуску:

для $МХ_{\Phi_1}$: $M_{пуск\Phi_1} = C_{ном\Phi_1} I_{пуск}$;

для $МХ_{\Phi_2}$: $M_{пуск\Phi_2} = C_{ном\Phi_2} I_{пуск}$

де $I_{к.з} = I_{пуск} = \frac{U_{я.ном}}{R_{об}}$ - струм прямого пуску (короткого

замикання) для природної характеристики.

За визначеними координатами двох характерних точок будуюмо обидві штучні МХ на (рис. 3б).

Приклад 1. На основі паспортних даних ДПС НЗ типа 4ПНМ112МО4: $M_{е.ном} = 23,9 Н \cdot м$; $P_{ном} = 2,5 кВт$; $U_{ном} = 110 В$; $n_{ном} = 1000 об/хв.$; $I_{я.ном} = 29,0 А$; $\eta_{ном} = 78,4\%$; $n_{макс} = 4000 хв^{-1}$ визначити величини, що характеризують його роботу у номінальному режимі та побудувати природні і штучні ЕМХ і МХ при:

- 1) реостатному пуску електродвигуна (ЕД);
- 2) пуску електродвигуна при зниженні напруги живлення кола якоря;
- 3) регулювання кутової швидкості обертання ЕД зміною магнітного потоку.

Рішення:

1. Визначаємо величини, що характеризують роботу ДПС НЗ типа 4ПНМ112МО4 у номінальному режимі та побудова природних електромеханічних і механічних характеристик

1.1. Номінальна кутова швидкість якоря:

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \square 105 \text{ рад/с}$$

1.2. Номінальна електромагнітна потужність, яку двигун споживає з мережі живлення:

$$P_{е.ном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 2,5 / 0,784 = 3,19 \text{ кВт}$$

1.3. або $P_{е.ном} = U_{ном} \cdot I_{ном} = 110 \cdot 29 = 3,19 \text{ кВт}$

1.4. Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{P_{е.ном} \cdot 10^3}{M_{е.ном}} = \frac{3190}{23,9} = 133,5 \square 134 \text{ рад/с}$$

1.5. Номінальний коефіцієнт пропорційності:

$$k\Phi = c_{ном} = \frac{U_{ном}}{\omega_0} = \frac{110}{134} = 0,82 \text{ В} \cdot \text{с}$$

1.6. Номінальний момент на валу ЕД:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{\omega_{ном}} = \frac{2,5 \cdot 10^3}{105} = 23,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

1.7. Внутрішній опір ярірного кола:

$$R_{ов} = \frac{U_{ном} - \omega_{ном} c_{ном}}{I_{ном}} = \frac{110 - 105 \cdot 0,82}{29} = 0,82 \text{ Ом}$$

1.8. Струм короткого замикання для природної ЕМХ:

$$I_{к.з} = \frac{U_{НОМ}}{R_{ов}} = 110 / 0,82 = 134,14 = 134 \text{ А.}$$

1.9. Момент короткого замикання для природної МХ:

$$M_{к.з} = M_{е.ном} I_{к.з} / I_{ном} = 23,9 \cdot 134 / 29 = 110,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

1.10. Номінальний опір ЕД:

$$R_{ном} = U_{ном} / I_{ном} = 110 / 29 = 3,79 \text{ Ом.}$$

1.11. Номінальний спад напруги в ярірному колі:

$$\Delta U_{ном} = I_{ном} R_{дв} = 29 \cdot 0,82 = 23,78 = 24 \text{ В.}$$

1.12. Номінальна е.р.с.:

$$E_{ном} = U_{ном} - \Delta U_{ном} = 110 - 24 = 86 \text{ В.}$$

або

$$E_{ном} = c_{ном} \omega_{ном} = 0,82 \cdot 195 = 86,1 = 86 \text{ В}$$

1.13. Повні номінальні втрати потужності у ЕД:

$$\Delta P_{ном} = P_{ном} \cdot (1 - \eta_{ном}) / \eta_{ном} = 2,5 \frac{1 - 0,784}{0,784} = 0,69 \text{ кВт}$$

1.14. Момент холостого ходу (момент втрат):

$$M_{х.х} = M_{е.ном} - M_{ном} = 23,9 - 23,8 = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

1.15. Номінальний статичний перепад кутової швидкості:

$$\Delta\omega_{ном} = \frac{I_{я.ном} R_{\text{дв}}}{c_{ном}} = \frac{29 \cdot 0,82}{0,82} = 29 \text{ рад/с}$$

1.16. Номінальна кутова швидкість якоря у відносних величинах:

$$\omega_{ном}^* = \frac{\omega_{ном}}{\omega_0} = \frac{105}{134} = 0,78 \text{ в.о.}$$

1.17. Жорсткість природної МХ:

$$\beta^* = \frac{M_0^* - M_H^*}{\omega_0^* - \omega_H^*} = \frac{0 - 1}{1 - 0,78} = 4,55 \text{ в.о.}$$

1.18. Кутова швидкість холостого ходу:

$$\begin{aligned} \omega_{х.х} &= \omega_0 - \Delta\omega_{х.х} = \frac{U_{ном}}{k\Phi_{ном}} - M_{х.х} \cdot \frac{R_{\text{дв}}}{(k\Phi_{ном})^2} = \\ &= 134 - 0,1 \frac{0,82}{0,82^2} = 133,8 \text{ рад/с} \end{aligned}$$

1.19. Коефіцієнт чутливості ДПС НЗ до моменту:

$$K_{м.о} = \frac{R_{\text{дв}}}{(k\Phi_{ном})^2} = \frac{0,82}{0,82^2} = 1,22 \text{ с}^{-1} / \text{Н} \cdot \text{м.}$$

1.20. Координати характерних точок природної ЕМХ:

1.20.1. Точка ідеального холостого ходу:

$$\omega = \omega_0 = 134 \text{ рад/с}, I_{я} = 0;$$

1.20.2. Точка номінального режиму:

$$\omega = \omega_{ном} = 105 \text{ рад/с}, I_{я} = I_{я.ном} = 29 \text{ А};$$

1.20.3. Точка режиму пуску (короткого замикання) :

$$\omega = 0, I_{я} = I_{я.пуск} = I_{я.к.з} = 134 \text{ А}$$

1.21. Координати характерних точок природної МХ:

1.21.1. Точка ідеального холостого ходу:

$$\omega = \omega_0 = 134 \text{ рад/с}, M = 0;$$

1.21.2. Точка номінального режиму:

$$\omega = \omega_{ном} = 105 \text{ рад/с}, M = M_{ном} = 23,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

1.21.3. Точка режиму пуску (короткого замикання):

$$\omega = 0, M_{пуск} = M_{к.з.} = 110,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

1.22. За координатами двох із трьох характерних точок на рис.6 і рис.7 побудовані ЕМХ і МХ.

2. Розрахунок координат характерних точок і побудова штучних пускових ЕМХ і МХ при непрямому пуску електродвигуна.

2.1. Реостатний пуск введенням в коло якоря опору пускового реостата

2.1.1. Допустимий пусковий струм якоря:

$$I_{я.доп} = \kappa I_{я.ном} = 2,4 \cdot 29 = 70 \text{ А}$$

де $\kappa = 2 - 3$ - кратність допустимого струму якоря.

2.1.2. Опір пускового реостата увімкненого в коло якоря:

$$R_p = \frac{U_{ном}}{I_{я.пуск}} - R_{об} = \frac{110}{70} - 0,82 = 0,75 \text{ Ом}$$

2.1.3. Пусковий струм якоря:

$$I_{пуск} = I_{к.з} = \frac{U_{ном}}{R_{об} + R_p} = \frac{110}{0,82 + 0,75} = 70 \text{ А}$$

Приймаємо пусковий струм $I_{пуск} = I_{я.доп} = 70 \text{ А}$ при $\kappa = 2,4$.

2.1.4. Координати точок реостатної пускової ЕМХ: 1 точка – режим ідеального холостого ходу $\omega = \omega_0 = 134 \text{ рад/с}$, $I = 0$; 2 точка – режим пуску $\omega = 0$, $I = I_{к.з} = I_n = 70 \text{ А}$.

За координатами двох точок на рис.б, побудована реостатна пускова ЕМХ.

2.1.5. Координати точок реостатної пускової МХ: 1 точка – режим ідеального холостого ходу $\omega = \omega_0 = 134$ рад/с, $M=0$; та наступна 2 точка – режим пуску (короткого замикання):

$$\omega = 0, M_{\text{пуск}} = M_{\text{к.з}} = M_{\text{ном}} \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{я.ном}}} = 23,9 \frac{70}{29} = 57,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

За координатами двох точок на *рис.7*, побудована реостатна пускова МХ.

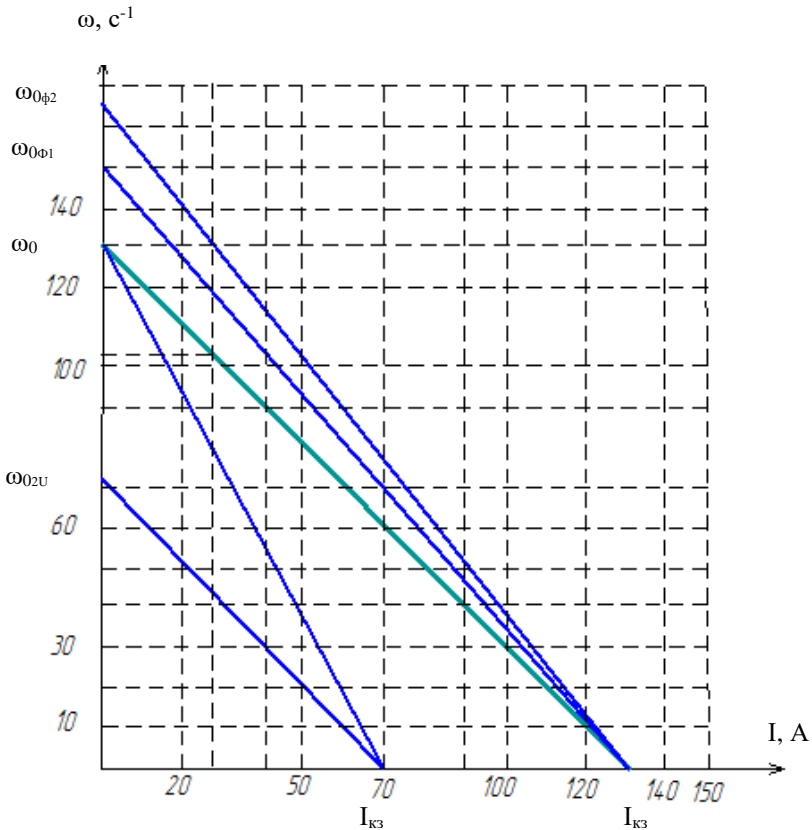


Рис. 6 – Електромеханічні характеристики ДПС НЗ

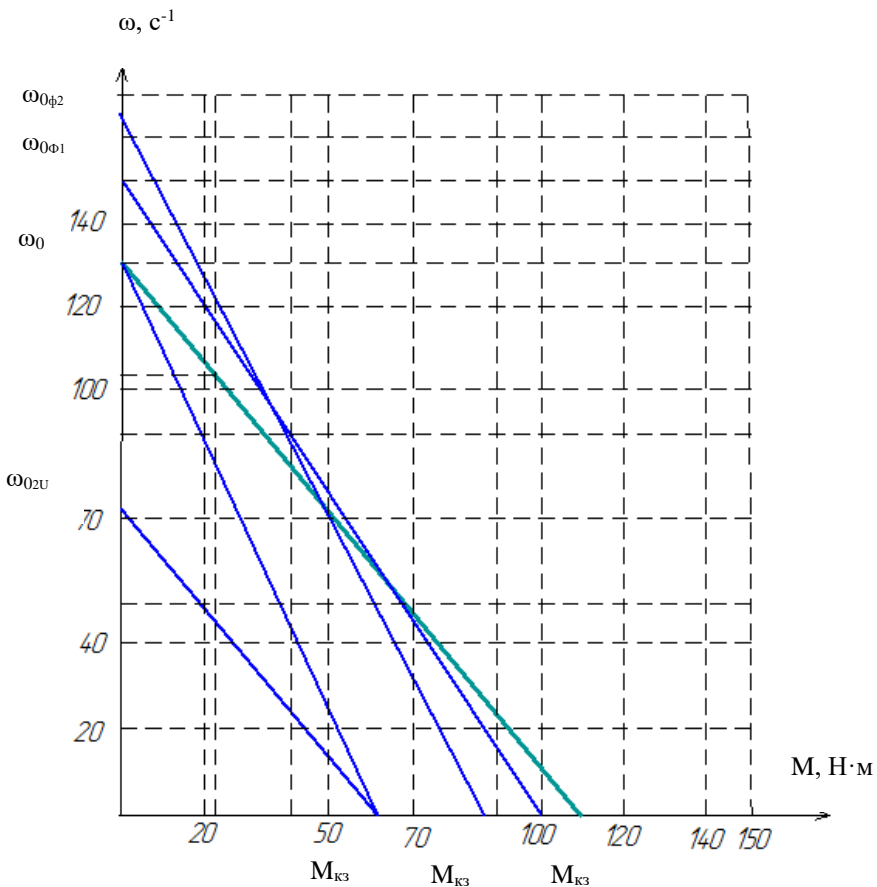


Рис. 7 – Механічні характеристики ДПС НЗ

Можна визначити координати точки, що відповідає номінальному електромагнітному моменту $M = M_{ном} = 23,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$,

$$\omega_{M_{ном.R}} = \frac{U_{ном} - I_{я.ном} (R_{\delta\phi} + R_{\delta})}{U_{ном} - I_{я.ном} R_{\delta\phi}} \omega_{ном} = \frac{110 - 29(0,82 + 0,75)}{110 - 29 \cdot 0,82} 105 = 78,5 \text{ рад/с}$$

2.2. Пуск електродвигуна при зниженій напрузі

2.2.1. Пусковий струм при зниженій напрузі:

$$I_{n-U} = kI_{я.ном} = 2,4 \cdot 29 = 69,6 = 70A$$

2.2.2. Величина зниженої напруги на якорі:

$$U_{номU} = I_{к.3} \cdot R_{дв} = 70 \cdot 0,82 = 57,4В$$

2.2.3. Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_{0_{2U}} = \frac{U_{номU}}{c_{ном}} = \frac{57,4}{0,82} = 70 \text{ рад/с}$$

2.2.4. або $\omega_{0_{2U}} = \frac{I_{n-U} \cdot \omega_0}{I_n} = \frac{70 \cdot 134}{134} = 70 \text{ рад/с}$

2.2.5. Кутова частота обертання якоря при номінальному струму ЕД:

$$\omega_{I_{я.номU}} = \frac{U_{номU} - I_{я.ном} R_{дв}}{c_{ном}} = \frac{57,4 - 29 \cdot 0,82}{0,82} = 41 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

2.2.6. Кутова частота обертання якоря при номінальному моменті ЕД:

$$\omega_{M_{номU}} = \frac{U_{номU} - M_{ном} R_{дв}}{c_{ном}^2} = \frac{57,4 - 23,9 \cdot 0,82}{0,82^2} = 56,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

2.2.5. Координати характерних точок пускової ЕМХ:

1. $\omega = \omega_{0_{2U}} = 70 \text{ рад/с}, I = 0;$

2. $\omega = \omega_{I_{я.номU}} = 41 \text{ рад/с}, I = I_{я.ном} = 29A;$

3. $\omega = 0, I = I_{к.3,2} = I_{n,2} = 70A.$

За даними координатами характерних точок на *рис.6* побудована пускова ЕМХ при зниженій напрузі.

2.2.7. Координати характерних точок пускової МХ при зниженні напруги:

1. $\omega = \omega_{0_{2U}} = 70 \text{ рад/с}, M = 0;$

2. $\omega = \omega_{M_{я.номU}} = 56,2 \text{ рад/с}, M = M_{ном} = 23,9Н \cdot м;$

3. $\omega = 0, M = M_{к.3} = c_{ном} I_{к.3} = 0,82 \cdot 70 = 57,4Н \cdot м$

За даними координатами характерних точок на рис.7 побудована пускова МХ при зниженій напрузі.

3. Визначаємо координати характерних точок і побудова двох штучних ЕМХ і МХ при регулюванні швидкості обертання якоря ЕД

3.1. Максимальна допустима кутова частота обертання якоря

$$\omega_{\max} = \frac{2\pi}{60} n_{\max} = 0,1047 \cdot 4000 = 419 \text{ рад/с}$$

3.2. Значення коефіцієнта пропорційності при ω_{\max} :

$$k\Phi = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{я}} R_{\text{ном}}}{\omega_{\max}} = \frac{110 - 29 \cdot 0,82}{419} = 0,206 \text{ В} \cdot \text{с}$$

3.3. Значення магнітного потоку при ω_{\max} :

$$\Phi_{\min} = \frac{k\Phi}{k\Phi_{\text{ном}}} = \frac{0,206}{0,82} = 0,25 \text{ в.о}$$

3.4. Значення струму збудження при $\Phi_{\min} = 0,25$ відповідає $0,05 I_{\text{зб.ном}}$ (рис.4).

Номінальний струм обмотки збудження становить 7–10 % номінального струму двигуна.

3.5. Номінальний струм обмотки збудження приймаємо 10%:

$$I_{\text{ном.зб}} = 0,1 I_{\text{я.ном}} = 2,9 \text{ А}$$

3.6. Струм збудження, що відповідає максимальній кутовій швидкості

$$I_{\text{зб.}} = 0,05 I_{\text{зб.ном}} = 0,05 \cdot 2,9 = 0,145 \text{ А}$$

Змінюючи струм обмотки збудження від 2.9А до 0,145 А, буде змінюватися кутова швидкість якоря від номінальної до максимально допустимої $\omega_{\max} = 419 \text{ рад/с}$

3.7. Діапазон регулювання кутової швидкості обертання якоря $D = \omega_{\text{макс}} / \omega_{\text{мін}} = \frac{419}{105} = 4$.

3.8. Побудувати ЕМХ і МХ для струмів збудження 0,7 і 0,5 $I_{\text{зб.ном}}$

Даним струмам відповідають (рис.4.) значення магнітних потоків Φ , відповідно 0,9 і 0,8, це означає, що коефіцієнти пропорційності: $c_{\text{ном}\Phi_1} = 0,9 \cdot 0,82 = 0,738$ і $c_{\text{ном}\Phi_2} = 0,8 \cdot 0,82 = 0,656$

4. Визначаємо координати характерних точок ЕМХ і МХ

4.1. Швидкість ідеального х.х. для першої ЕМХ

$$\omega_{0\Phi_1} = \frac{U_{\text{ном}}}{c_{\Phi_1}} = \frac{110}{0,738} = 149 \text{ рад/с}$$

4.2. Швидкість ідеального х.х. для другої ЕМХ

$$\omega_{0\Phi_2} = \frac{U_{\text{ном}}}{c_{\Phi_2}} = \frac{110}{0,656} = 168 \text{ рад/с}$$

4.3. Координати точки режиму при номінальному струму якоря і зниженому магнітному потоку Φ_1 і Φ_2 для першої і другої ЕМХ

$$\omega_{I_{\text{я.ном}}\Phi_1} = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{я.ном}} R_{\text{дв}}}{c_{\text{ном}\Phi_1}} = \frac{110 - 29 \cdot 0,82}{0,738} = 117 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{I_{\text{я.ном}}\Phi_2} = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{я.ном}} R_{\text{дв}}}{c_{\text{ном}\Phi_2}} = \frac{110 - 29 \cdot 0,82}{0,656} = 131 \text{ рад/с}$$

4.4. Координати точки пускового режиму штучних ЕМХ відповідають координатам точки режиму пуску природної ЕМХ

$$\omega = 0, I_{\text{к.з}} = \frac{U_{\text{ном}}}{R_{\text{об}}} = \frac{110}{0,82} = 134 \text{ А}$$

4.5. Координати точки режиму пуску першої МХ:

для MX_{ϕ_1} $M_{\text{пуск}\phi_1} = c_{\text{ном}\phi_1} I_{\text{пуск}} = 0,738 \cdot 134 = 99H \cdot m$

$$\text{де } I_{\text{к.з}} = I_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{я.ном}}}{R_{\text{об}}} = \frac{110}{0,82} = 134A.$$

4.6. Координати точки режиму пуску другої МХ:

для MX_{ϕ_2} $M_{\text{пуск}\phi_2} = c_{\text{ном}\phi_2} I_{\text{пуск}} = 0,656 \cdot 134 = 88H \cdot m$

4.7. Числові значення координат характерних точок для побудови штучних ЕМХ і МХ:

1. ЕМХ. 1. $\omega = \omega_{0\phi_1} = 149 \text{ рад} / \text{с}, I_{\text{я}} = 0;$

2. $\omega = \omega_{0\phi_1} = 117 \text{ рад} / \text{с}, I_{\text{я}} = I_{\text{я.ном}} = 29A;$

3. $\omega = 0, I_{\text{я}} = I_{\text{к.з}} = 134A.$

2. ЕМХ 1. $\omega = \omega_{0\phi_2} = 168 \text{ рад} / \text{с}, I_{\text{я}} = 0;$

2. $\omega = \omega_{0\phi_2} = 131 \text{ рад} / \text{с}, I_{\text{я}} = I_{\text{я.ном}} = 29A;$

3. $\omega = 0, I_{\text{я}} = I_{\text{к.з}} = 134A.$

1. МХ. 1. $\omega = \omega_{0\phi_1} = 149 \text{ рад} / \text{с}, M = 0;$

2. $\omega = 0, M = M_{\text{к.з}\phi_1} = M_{\text{пуск}\phi_1} = 99H \cdot m.$

2. МХ. 1. $\omega = \omega_{0\phi_2} = 168 \text{ рад} / \text{с}, M = 0;$

2. $\omega = 0, M = M_{\text{к.з}\phi_2} = M_{\text{пуск}\phi_2} = 88H \cdot m.$

4.8. За визначеними координатами точок будуюмо ЕМХ (рис.6) і МХ (рис.7)

4.9. Діапазон регулювання кутової швидкості ЕД 4ПНМ12МО4 при зміні струму збудження в межах від 0,7 до 0,5 $I_{\text{зб.ном}}$ становить:

$$D = \frac{\omega_{0\phi_1}}{\omega_{0\phi_2}} = 168 / 149 = 1.13$$

Розрахунково-графічна домашня робота № 1
“Побудова механічних та електромеханічних характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження”.

Вимоги до оформлення розрахунково-графічної роботи

Студент повинен виконувати розрахункову роботу на стандартному форматі *A4* у рукописному або друкованому вигляді. Оформлення роботи повинно бути виконано акуратно, згідно *ДСТУ 3008-95*.

Відповідно з Вашим номером в журналі і номером групи випишіть технічні каталожні дані ДПС НЗ серії 4 П з таблиці 2.

На основі паспортних даних ДПС НЗ типа 4П... необхідно:

1. Накреслити схему вмикання ДПС НЗ і визначити величини, що характеризують його роботу у номінальному режимі;

2. Визначити координати характерних точок і побудувати природні ЕМХ і МХ;

3. Визначити координати характерних точок і побудувати штучні ЕМХ і МХ при:

3.1. Реостатному пуску електродвигуна (ЕД);

3.2. Пуску ЕД при зниженні напруги живлення кола якоря;

3.3. Регулювання кутової швидкості обертання ЕД зміною магнітного потоку;

4. Висновки.

5. Перелік посилань.

Особливо слід зазначити, що вищої оцінки заслуговує та робота, яка містить у собі теоретичні відомості, формули та рішення з системою виміру одиниць та пояснення деяких моментів з побудови графічної частини.

Всі листи повинні бути пронумеровані, окрім титульного і листа з даними.

Вказівки та рекомендації:

1. Після виконання і в кінці кожного розділу давати висновки;

2. Самостійно приймати значення величини в заданих межах, наприклад:

а) $k = 2 - 3$ - кратність допустимого струму якоря;

б) Для двигунів серії 4П номінальний струм обмотки збудження становить 7-10 % номінального струму двигуна;

в) діапазон регулювання швидкості обертання тощо.

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунково-графічної роботи №1

Но- мер п/п	Тип двигуна	Потужність, кВт	Напруга, В	Номіна- льна частота обертання, об/хв	ККД, %	Макси- мальна частота обертан., об/хв
1	4ПБМ112МО4	1,40	110	2240	79	4000
2		1,80	110	2900	81	4000
3		2,00	220	3150	82	4000
4	4ПБМ112ЛО4	1,28	110	1500	76	4000
5		1,32	220	1500	77	4000
6		1,85	110	2180	80	4000
7		2,36	110	3150	83	4000
8		2,5	220	3250	84	4000
9	4ПБМ132МО4	1,12	110	710	69	2700
10		1,12	220	710	70	2500
11		1,60	110	1180	78	4000
12		1,60	220	1030	76	3000
13		2,36	110	1500	80	4000
14		3,75	220	2500	86	3750
15		5,00	220	3150	87	4000
16	4ПБМ132ЛО4	1,32	110	670	71	2500
17		1,40	220	710	72	2500
18		2,0	110	1060	79	4000
19		2,9	110	1450	82	4000
20		3,15	220	1450	83	4000
21		5,60	220	3070	88	4000
22	4ПБМ1600МО4	2,06	110	730	77	3000
23		3,00	110	1060	82	4000

24		4,25	110	1450	85	4000
25		4,75	220	1600	86	4000
26		6,5	220	2240	88	4000
27		8,00	220	3070	89	4000
28	4ПБМ160ЛО4	2,50	110	750	80	3000
29		2,80	220	750	80	2500
30		3,55	110	1030	83	4000
31		3,75	220	1030	84	3000
32		5,80	220	1600	88	4000
33	4ПБМ160ЛО4	8,0	220	2180	90	4000
34	4ПБМ180МО4	3,35	110	710	81	2700
35		3,75	220	775	81	2500
36		4,75	110	1030	85	3700
37		5,00	220	1030	85	3000
38		6,30	110	1320	86	3700
39		7,10	220	1500	88	3700
40	4ПБМ180ЛО4	4,00	110	690	82	2700
41		4,12	220	750	83	2500
42		5,80	220	1090	86	3000
43		8,50	220	1450	89	3700
44		0,90	110	900	58	4000
45	4ПНМ112ЛО4	0,80	110	630	59	2500
46		1,32	110	850	62	4000
47		1,40	220	950	66	3500
48		2,50	220	1500	73	4000
49		3,35	110	2000	75	4000
50		3,35	220	2120	78	4000
51		5,30	110	3000	80	4000
52	4ПНМ132МО4	1,60	110	750	66	3000
53		2,50	220	1000	71	3000
54		4,00	110	1600	78	4000
55		4,00	220	1500	79	4000
56		7,10	220	2240	82	4000
57		10,6	220	3000	84	4000
58	4ПНМ132ЛО4	2,00	220	710	69	2500
59		3,15	220	1000	74	3000
60		5,50	220	1500	80	4000
61	4ПНМ160МО4	7,5	110	1400	81	4000

Контрольні питання для перевірки знань

1. Із яких елементів складається внутрішній опір якірного кола ДПС НЗ?
2. Як вивести рівняння механічної (електромеханічної) характеристики ДПС НЗ?
3. Які припущення роблять при виведенні рівняння механічної (електромеханічної) характеристики ДПС НЗ?
4. Які припущення роблять при виведенні рівняння МХ ДПС НЗ?
5. Як вивести рівняння механічної (електромеханічної) характеристики ДПС НЗ? Напишіть ці рівняння і проаналізуйте їх.
6. Чому дорівнює момент холостого ходу ДПС НЗ?
7. Як можна змінити швидкість ідеального холостого ходу ДПС НЗ?
8. Чому дорівнює перепад кутової швидкості ЕД?
9. Як змінюється жорсткість механічних і електромеханічних характеристик ДПС НЗ при регулюванні кутової швидкості його якоря зміною додаткового опору в якірному колі?
10. Як впливають різні фактори на величину діапазону зміни швидкості ДПС НЗ при регулюванні кутової швидкості його якоря зміною додаткового опору в якірному колі?
11. Як впливає зміна додаткового опору в якірному колі ДПС НЗ на плавність регулювання його кутової швидкості?
12. Як визначити номінальний момент ЕД при відомих номінальних даних потужності і швидкості?
13. Як визначити номінальну кутову швидкість ЕД за каталоговими даними?
14. Як визначити величину опору внутрішнього кола якоря ДПС НЗ за даними каталогу?
15. Як визначити струм короткого замикання ДПС НЗ?
16. Як визначити момент короткого замикання ДПС НЗ?
17. Як визначити струм якоря у двигунному режимі ДПС НЗ?
18. Напишіть рівняння механічної характеристики ДПС НЗ при рекуперативному гальмуванні.
19. Як визначити струм якоря у режимі рекуперативного гальмування ДПС НЗ?

20. Як визначити струм якоря у режимі гальмування противмикання ДПС НЗ?
21. Напишіть рівняння механічної характеристики ДПС НЗ у режимі генератора послідовно з електричною мережею при активному моменту статичного опору?
22. Напишіть рівняння механічної характеристики ДПС НЗ у режимі генератора послідовно з електричною мережею при реактивному моменту статичного опору?
23. Напишіть рівняння механічної характеристики ДПС НЗ у режимі його роботи генератором не залежно від електричної мережі?
24. Докажіть аналітично за якими умовами ДПС НЗ „іде врознос”.
25. Як зміниться швидкість ідеального холостого ходу ДПС НЗ при зниженні напруги живлення обмотки якоря? Покажіть на графіку.
26. Як зміниться швидкість ідеального холостого ходу ДПС НЗ при зниженні напруги живлення обмотки збудження? Покажіть на графіку.
27. Як зміниться швидкість ідеального холостого ходу ДПС НЗ при одночасному зниженні напруги живлення обмотки якоря і зменшенні опору в обмотці збудження? Покажіть на графіку.
28. Як залежать струм і момент короткого замикання ДПС НЗ при зміні струму в обмотці збудження? Покажіть на графіку.

Список літератури для вивчення курсу:

Основна

1. Лисиченко М.Л., Савченко П.І., Тищенко О.К., Гузенко В.В. Основи електропривода в питаннях і відповідях. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – 530 с.
2. О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай, Електропривод: ч.1. за ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 208 с.
3. Савченко П.И. Основы автоматизированного электропривода сельскохозяйственных машин в вопросах и задачах. Учебн. пособие – К.: УСХА, 1990. – 120 с.
4. Ключёв В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
5. Чиликин М.Г., Сандлер А.С, Общий курс электропривода. - М.: Энергия, 1981.

Додаткова

1. Теория электропривода. Підручник/М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г. Поповича.-К.: Вища школа, 1993.-494с.: іл.
2. Москаленко В.В, Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат; 1986.-416с: ил.
3. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами: Учебное пособие для студентов вузов. - М.: Высшая школа, 1979.-318с., ил.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ОФОРМЛЕННЯ
РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

“ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА”

(розрахунок та побудова механичних характеристик
двигунів постійного струму незалежного збудження)

Для студентів 3 курсу денної форми навчання, напряму
підготовки – бакалавр:

141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії
та електротехніки

Відповідальний за випуск: В.В. Гузенко

Комп’ютерний набір та верстка: В.В. Гузенко

Підп. до друку 10.09.24

Зам. № 27

Формат паперу 60×84 1/16 Обл.-вид. арк..1,5

Тираж 100

Ризограф TR 1510 № 80654645

ДБТУ, 61002, м.Харків, вул.. Алчевських 44, кім. 101

Підготовлено та надруковано Навчально-методичним відділом
Державним біотехнологічним університетом