

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний морський технічний університет
імені адмірала Макарова

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ЕЛЕКТРИЧНИХ
МАШИН**

Частина 3

Спеціальні електричні машини

Під редакцією А.А. Ставинського

Рекомендовано Методичною радою УДМТУ

Миколаїв 2003

Кімстач О.Ю., Ставинський А.А., Чекунов В.К. Методичні вказівки до лабораторних робіт з електричних машин: У 3 ч. – Ч. 3. Спеціальні електричні машини / Під ред. А.А. Ставинського. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 36 с.

Кафедра суднових електроенергетичних систем

Досліджуються окремі типи електричних машин систем автоматики та спеціального призначення. Наведені основні аналітичні співвідношення, які пояснюють електромагнітні особливості та необхідні для обробки результатів випробувань. Подані методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з курсу "Спеціальні електричні машини".

Призначено для студентів електротехнічного факультету УДМТУ.

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. Ю.Д. Жуков;
канд. техн. наук, доц. А.П. Гуров

© Український державний морський
технічний університет, 2003
© Видавництво УДМТУ, 2003

ВСТУП

До спеціальних електричних машин належать електро-механічні та електромагнітні перетворювачі, які відрізняються призначенням, параметричним або конструктивним виконанням від загальнопромислових генераторів, двигунів і трансформаторів єдиних серій. Указані машини призначені для генерування та перетворення електричної енергії в спеціальних системах, механізмах та умовах експлуатації, а також в електромеханічних системах автоматики, виконавчих пристроях і приладних комплексах.

Спеціальні електричні машини мають підвищену конструктивну пристосованість до конкретних типів механізмів та приладів, інші відношення активно-індуктивних параметрів, а також специфічні особливості, які необхідно враховувати при теоретичних та експериментальних дослідженнях.

Пошук та обґрунтування ефективних проектних рішень в електромеханічних системах автоматизації, транспортних електричних системах і комплексах, а також інформаційно-приладних комплексах можливі тільки після якісного засвоєння курсу спеціальних електромашин.

Методичні вказівки дають можливість вивчення зазначених вище особливостей окремих типів спеціальних електромашин, а також названої галузі електромеханіки в цілому.

ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ

Для виконання лабораторних робіт студенти повинні пройти інструктаж із техніки безпеки.

Перед тим як приступити до складання схеми, студенти повинні ознайомитися з устаткуванням і записати паспортні дані електричних машин та апаратів. Перед складанням схеми необхідно переконатися, що всі автомати і рубильники на робочому місці вимкнені.

Студенти бригади повинні самостійно зібрати схему установки і подати її викладачу для перевірки. Вмикати установку можна тільки з дозволу викладача. Усі зміни в схемі, що пов'язані з приєднанням проводів, повинні робитися при відключеному живленні і нерухомих машинах. Робота під напругою допускається тільки з дозволу викладача із вжиттям відповідних заходів безпеки.

По закінченні роботи бригада подає викладачу для перевірки протокол дослідів. Схему можна розібрати з дозволу викладача. Якщо робота не буде виконана у встановлений розкладом термін, слід погодити з викладачем час додаткових занять. На чергове заняття кожний студент повинен подати звіт з попередньої роботи. Звіт оформляється студентом індивідуально. До одного зі звітів бригади додається протокол дослідів, підписаний викладачем.

Звіт слід оформляти окремо з кожної роботи або з усіх робіт в одному зошиті. Він має містити: паспортні дані електричних машин та апаратів; принципові схеми дослідів; дані дослідів і результати розрахунків у табличній формі з зазначенням одиниць вимірів; розрахункові формули і короткі пояснення отриманих результатів; висновки по роботі.

Звіт повинен бути оформлений акуратно. Усі схеми і криві слід будувати з застосуванням креслярських інструментів. Розрахункові й опорні точки на графіках треба чітко позначати. Криві проводити так, щоб розкид точок був рівномірним.

Координатні осі графіків слід градувати від нульових значень. При побудові декількох графіків з одним аргументом для кожної величини проводиться своя вісь з відповідним градуванням.

Елементи схем повинні зображуватися у відповідності до стандартів ЄСКД. Усі розрахунки виконуються в одиницях СІ. До кож-

ної характеристики для однієї з точок повинен бути проведений типовий розрахунок. При виконанні великого числа однотипних розрахунків рекомендується використовувати ЕОМ.

Робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ В ОДНОФАЗНОМУ РЕЖИМІ

1. Обсяг роботи

1.1. Зробити пуск двигуна в трифазному режимі і замірити пускові струми; зняти, розрахувати і побудувати робочі характеристики двигуна в трифазному режимі.

1.2. Запустити двигун у трифазному режимі, зробити обрив фази; зняти, розрахувати і побудувати робочі характеристики двигуна в однофазному режимі.

1.3. Здійснити пуск двигуна в однофазному режимі з пусковою ємністю; замірити пускові струми; визначити величину пускової ємності. Зняти, розрахувати і побудувати робочі характеристики двигуна в однофазному режимі з робочою ємністю; визначити величину робочої ємності.

1.4. Порівняти між собою робочі характеристики двигуна в зазначених режимах.

2. Короткі теоретичні відомості

Трифазні асинхронні двигуни можуть використовуватися як однофазні. Найбільш розповсюджені схеми вмикання трифазних АД в однофазну мережу подані на рис. 1.1. При таких вмиканнях обмотки зрушені відносно одна одної на електричний кут 90° , а конденсатор забезпечує зрушення струмів, тому поле в зазорі близьке до кругового. Двигуни, що можуть використовуватися як трифазні та однофазні, називаються універсальними.

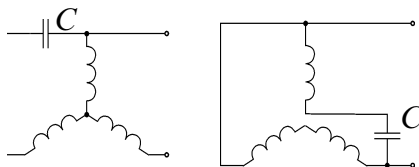


Рис. 1.1

Для створення пускового моменту в однофазному режимі, близького до пускового моменту в трифазному режимі, пуск асинхронного двигуна роблять з пусковою ємністю C_p , що потім відключається. Якщо двигун при нормальній частоті обертання продовжує працювати з пусковою ємністю, то при невеликих ковзаннях можливий резонанс напруги, у результаті котрого напруги на обмотках, а також на затискачах конденсаторної батареї можуть перевищити напругу мережі в два-три рази. Для запобігання цьому пускову ємність зменшують до значення робочої ємності C_p з таким розрахунком, щоб двигун міг розвивати можливо більший момент при струмах у статорних обмотках, які не перевищують номінальні значення при трифазному режимі.

При роботі трифазного асинхронного двигуна з обірваною фазою створюються такі ж умови, як і в однофазному двигуні, тобто його результуючий момент $M_{рез} = M_{пр} - M_{зв} = 0$ ($M_{пр}$, $M_{зв}$ – моменти від прямої та зворотної складових магнітного поля). Якщо ротор двигуна в момент обриву обертається, то $M_{пр} > M_{зв}$, і при $M_{рез} > M_n$ двигун продовжує обертатися, проте максимальний момент M_{max} виявляється істотно меншим, ніж при непошкодженій фазі. При переході двигуна в однофазний режим частота обертання практично не змінюється, тому потужність на валу також залишається приблизно однаковою. Але відношення струмів у цих режимах $I_1/I_3 = (\sqrt{3}\eta_3 \cos\varphi_3)/(\eta_1 \cos\varphi_1)$, де індекс 1 відноситься до режиму обриву фази, а 3 – до трифазного. Тому при $\eta_3 = \eta_1$ і $\cos\varphi_3 = \cos\varphi_1$ струм I_1 в $\sqrt{3}$ рази більший, ніж у трифазному режимі. У дійсності ж ККД і $\cos\varphi$ при обриві фази зменшуються, унаслідок чого струм I_1 зростає в ще більшому ступені. Якщо двигун працює при навантаженні, близькому до номінального, то при обриві фази його струм стає значно більшим від номінального і двигун швидко перегрівається та виходить з ладу. Тривала робота двигуна в однофазному режимі можлива при потужності на валу, яка дорівнює 50...60 % від потужності в трифазному режимі.

3. Вказівки до виконання роботи

Для дослідів за пп. 1.1 і 1.2 збирають схему відповідно до рис. 1.2, а за п. 1.3 – рис. 1.3.

Як навантаження двигуна використовується генератор постійного струму (ЕМП).

3.1. *Пуск двигуна в трифазному режимі* здійснюється прямим вмиканням у мережу.

Перед пуском перемикач меж виміру амперметра вимірювального комплексу (ВК) установлюють на максимальне значення. У момент пуску фіксують максимальне показання амперметра (пусковий струм). Після запуску двигуна цей перемикач установлюють на межу виміру, що відповідає струму двигуна.

Дослід навантаження проводиться при номінальній напрузі на затискачах двигуна. Двигун запускають і навантажують за допомогою генератора постійного струму. Навантаження змінюють у межах від значень, що відповідають $I_1 = (1,5...2,0)I_{1н}$, до холостого ходу. Дані заносять у табл. 1.1.

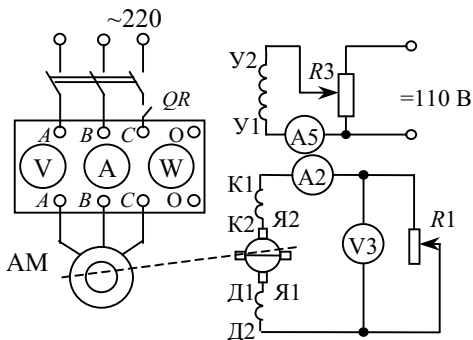


Рис. 1.2

3.2. *Обрив фази двигуна.* Двигун навантажують приблизно до 75 % від номінальної потужності. Вимикачем QR обривають одну з фаз живильної мережі. Поступово розвантажуючи двигун, знімають робочі характеристики в однофазному режимі.

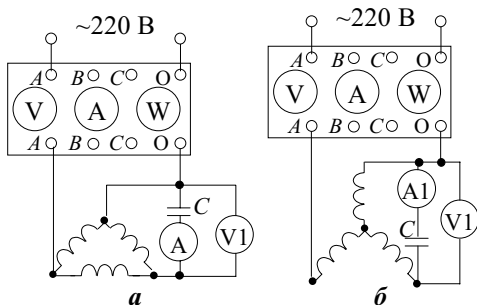


Рис. 1.3

3.3. *Двигун в однофазному режимі з конденсатором.* Запускають двигун в однофазному режимі за схемою з пусковою ємністю (див. рис. 1.3). Перемикач амперметра ВК при цьому повинен бути встановлений на максимальну межу вимірів. У момент пуску фіксують максимальне показання амперметра ВК

Таблиця 1.1

U_1 , В	I_1 , А	P_1 , Вт	N , об/хв	$U_{я}$, В	$I_{я}$, А	i_3

(пусковий струм). Після запуску двигуна заміряють струм $I_{\text{сп}}$ і напругу $U_{\text{сп}}$ на пусковій ємності.

Потім переключають батарею конденсаторів на робочу ємність і знімають робочі характеристики двигуна в однофазному режимі з робочою ємністю. Для визначення величини робочої ємності заміряють струм $I_{\text{р}}$ і напругу $U_{\text{р}}$ на робочій ємності.

Примітка. Переключення на робочу ємність у лабораторному стенді може здійснюватися автоматично з витримкою часу.

Увага! Після відключення батареї конденсаторів на її затискачах може зберігатися висока напруга, яка небезпечна для життя. Розряд конденсаторної батареї на опір, призначений для гасіння цієї напруги, відбувається автоматично тільки при відключенні асинхронного двигуна від мережі.

4. Обробка результатів дослідів

4.1. *Розрахунок робочих характеристик.* Потужність P_1 , споживана двигуном із мережі, вимірюється приладом ВК.

Корисну потужність на валу двигуна визначають за потужністю, що віддається навантажувальним генератором постійного струму:

$$P_2 = U_{\text{я}} I_{\text{я}} + \Sigma p,$$

де $\Sigma p = p_{\text{ст}} + p_{\text{мех}} + p_{\text{щ}} + p_{\text{дод}} + p_E$ – сума втрат у навантажувальному генераторі; $U_{\text{я}} I_{\text{я}}$ – потужність на затискачах навантажувального генератора; $p_{\text{ст}} + p_{\text{мех}}$ – втрати в сталі і механічні, що задаються для генератора в залежності від його ЕРС при навантаженні $E_{\text{я}} = U_{\text{я}} + (I_{\text{я}} R_{\text{я}} + 2)$; $p_E = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$ – електричні втрати в обмотці якоря; $p_{\text{щ}} = 2 I_{\text{я}}$ – втрати в щітковому контакті; $p_{\text{дод}} = 0,01 U_{\text{я}} I_{\text{я}}$ – додаткові втрати в генераторі.

Момент на валу двигуна

$$M_2 = \frac{P_2}{2\pi n} \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де n – частота обертання ротора, об/с.

ККД двигуна

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Коефіцієнт потужності двигуна визначається за формулами:

$$\cos \varphi_3 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 I_1} \text{ для трифазного режиму;}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_1} \text{ для однофазного режиму.}$$

Результати розрахунків робочих характеристик для всіх трьох випадків зводять у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

$U_{я}I_{я},$ Вт	Утрати в генераторі				P_2	P_1	$\cos \varphi,$	$M_2,$	$\eta,$
	$I_{я}^2R_{я}$	$2I_{я}$	$p_{ст}+p_{мех}$	Σp			в.о.	Н·м	в.о.
	Вт								

4.2. *Розрахунок робочих і пускових ємностей.* Робоча і пускова ємності визначаються за формулою

$$C_{п(р)} = \frac{10^6 I_{сп(р)}}{2\pi f_1 U_{сп(р)}} \text{ мкФ,}$$

де $f_1 = 50$ Гц – частота змінного струму.

Запитання для самоконтролю

1. Чому при обриві фази трифазного асинхронного двигуна може виникнути його перевантаження?
2. Як виглядає механічна характеристика однофазного асинхронного двигуна і чим відрізняються механічні характеристики силового та виконавчого конденсаторних двигунів?
3. Чим відрізняються і як впливають на характеристики способи пуску та управління відповідно однофазних і виконавчих асинхронних двигунів?

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАШИННОГО ПІДСИЛЮВАЧА З ПОПЕРЕЧНИМ ПОЛЕМ

1. Обсяг роботи

1.1. Зняти і побудувати: характеристики холостого ходу електромашинного підсилювача (ЕМП) при замкнутому і розімкнутому колі поперечних щіток; зовнішні характеристики ЕМП при різних ступенях компенсації і струмах управління; зовнішню характеристику ЕМП з негативним зворотним зв'язком по струму якоря.

1.2. Розрахувати коефіцієнти підсилення ЕМП при номінальному струмі якоря для всіх випадків.

1.3. Оформити звіт по роботі.

2. Короткі теоретичні відомості

Електромашинний підсилювач поперечного поля (амплідин). У генераторах незалежного збудження потужність збудження P_3 складає 1...5 % потужності генератора P_2 . Коефіцієнт підсилення

$$КП = P_2 / P_3 = 20...100.$$

У системах автоматичного управління бажано мати більший коефіцієнт підсилення, щоб зменшити масу проміжних блоків посилення. Електромашинні підсилювачі – це генератори постійного струму з коефіцієнтом підсилення $10^3...10^4$.

Електромашинний підсилювач (ЕМП) поперечного поля має на якорі дві пари щіток, причому щітки по поперечній осі машини qq замкнуті накоротко (рис. 2.1). Невеликий струм I_1 в обмотці управління (ОУ) створює невеликий потік управління Φ_1 по подовжній осі dd машини. Потік управління наводить у накоротко замкнутому

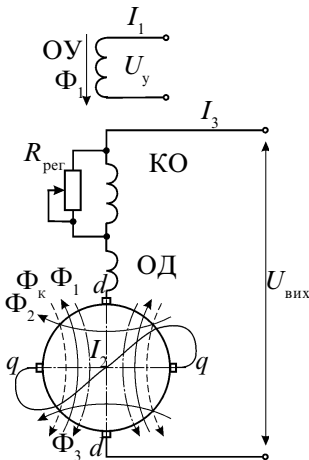


Рис. 2.1

контурі по поперечній осі машини струм I_2 , що створює потік Φ_2 . Потік Φ_2 нерухомий відносно щіток, а у витках обмотки якоря, що обертаються в поперечному полі, наводиться ЕРС E_3 . Ця ЕРС на щітках у подовжній осі створює вихідну напругу $U_{\text{вих}}$. Струм навантаження I_3 наводить потік реакції якоря Φ_3 , що спрямований назустріч потокові Φ_1 . Щоб компенсувати дію потоку навантаження на потік управління, в ЕМП поперечного поля встановлюється компенсаційна обмотка (КО). Для точної компенсації в ЕМП поперечного поля є регулювальний резистор $R_{\text{рег}}$, за допомогою якого здійснюється налаштування компенсації.

У витках обмотки якоря складаються струми в накоротко замкненому контурі I_2 і струм навантаження I_3 . У кожній чверті обмотки якоря струми відрізняються один від одного, що вносить лише деякі особливості в розрахунок електричних утрат в обмотці якоря.

Обмотка додаткових полюсів ОД обтікається струмом I_3 .

На рис. 2.1 також показані напрямки потоків у ЕМП поперечного поля: потік реакції якоря Φ_3 від струму навантаження (суцільна лінія); потік компенсаційної обмотки Φ_k (штрихова лінія); результуючий потік у подовжній осі машини дорівнює потокові обмотки управління Φ_1 (штрихпунктирна лінія), тому що МРС компенсаційної обмотки і поперечної реакції від струму навантаження в сумі рівні нулю.

Сталь якоря ЕМП має звичайну конфігурацію. Статор – неявнополюсний з пазами, що мають різні профілі. Обмотка додаткових полюсів, якою постачається ЕМП для поліпшення комутації струму навантаження, розташовується на зубці по подовжній осі машини dd . Компенсаційна обмотка, що складається з котушок різної ширини, поміщається в пазах між віссю dd і великим пазом на осі qq . У великому пазу розташовуються обмотки управління, котрих звичайно в ЕМП буває дві або чотири, та одна сторона котушки компенсаційної обмотки. Висота спинки магнітопроводу над великим пазом усього декілька міліметрів, тому що над цим пазом замикається тільки потік управління.

В ЕМП поперечного поля об'єднані два генератори незалежного збудження. Перший каскад – обмотка управління і поперечний накоротко замкнутий контур. Другий каскад – поперечний накоротко замкнений контур із струмом збудження I_2 і вихід –

подовжній струм I_3 та напруга $U_{\text{вих}}$. Таким чином, коефіцієнт підсилення по потужності ЕМП поперечного поля

$$k_p = k_{p1} k_{p2},$$

де k_{p1} і k_{p2} – коефіцієнти підсилення по потужності першого і другого каскадів.

Звичайно ЕМП поперечного поля виконуються в одному агрегаті з приводним двигуном. Випускаються ЕМП на потужність від сотень ватів до десятків кіловатів.

3. Вказівки до виконання роботи

Робота виконується на стенді № 2.

Для зняття характеристик за п. 1.1 і 1.2 збирають схему, подану на рис. 2.2. ЕМП приводиться в обертання асинхронним двигуном АМ, частота обертання якого при зміні навантаження залишається практично постійною.

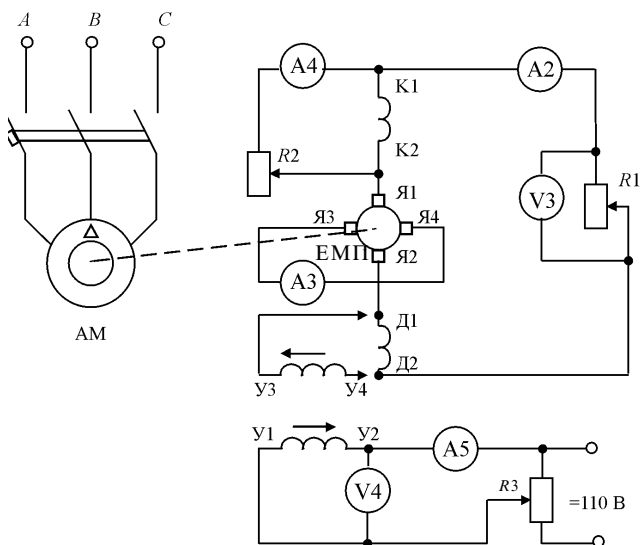


Рис. 2.2

3.1. Характеристика холостого ходу при замкнутому колі поперечних щіток – це залежність $E_d = f(i_y)$ при $I_d = 0$ і $n = n_n = \text{const}$,

де E_d – ЕРС на подовжніх щітках $\mathbf{Я}_1\text{--}\mathbf{Я}_2$; i_y – струм в обмотці управління $\mathbf{Y}_1\text{--}\mathbf{Y}_2$; I_d – струм у колі подовжніх щіток.

При знятті характеристики коло подовжніх щіток розмикають, а струм i_y змінюють у межах від $i_y = 0$ до $i_y = i_{y\max}$, що відповідає напрузі $E_d = 1,3U_n$ (U_n – номінальна напруга ЕМП). Знімають висхідну і спадну гілки характеристики. Коло поперечних щіток $\mathbf{Я}_3\text{--}\mathbf{Я}_4$ при цьому замкнуто на амперметр, за допомогою якого вимірюють струм I_q у цьому колі. Дані заносять у табл. 2.1.

3.2. *Характеристика холостого ходу при розімкненому колі поперечних щіток* – це залежність

$$E_q = f(i_y) \text{ при } I_d = 0 \text{ та } I_q = 0, n = n_n = \text{const},$$

де E_q – ЕРС на поперечних щітках $\mathbf{Я}_3\text{--}\mathbf{Я}_4$.

У цьому досліді розмикають також і коло подовжніх щіток. Струм в обмотці управління змінюють у тих же межах, що і в попередньому досліді. Дані заносять у табл. 2.2.

Унаслідок неточного встановлення щіток по подовжній осі і наявності полів розсіювання, на подовжніх щітках може індукуватися невелика ЕРС, значення котрої також записують у табл. 2.2.

3.3. *Зовнішніми характеристиками ЕМП* називаються залежності напруги на подовжніх щітках U_d від струму навантаження в колі подовжніх щіток I_d при постійному струмі управління, частоті обертання і при незмінному ступені компенсації:

$$U_d = f(I_d) \text{ при } i_y = \text{const}, n = n_n = \text{const}, r_k = \text{const},$$

де r_k – опір, що шунтує компенсаційну обмотку (КО) ЕМП, від нього залежить ступінь компенсації.

Зовнішні характеристики варто зняти для струмів управління $i_y = i_{y.n}$ та $i_y = 0,6i_{y.n}$ при трьох значеннях r_k для кожного струму: $r_k = r_{k.n}$; $r_k > r_{k.n}$ і $r_k < r_{k.n}$, де $i_{y.n}$ і $r_{k.n}$ – значення, що відповідають номінальному режиму роботи ЕМП при повній компенсації.

Характеристики знімають у такому порядку: спочатку настроюють повну компенсацію, для чого встановлюють точку номінального навантаження ЕМП ($U_d = U_{dn}$, $I_d = I_{dn}$) і підбирають

Таблиця 2.1

№	i_y , А	E_d , В	I_q , А
1			
...			

Таблиця 2.2

№	i_y , А	E_q	E_d
		В	
1			
...			

таке значення r_{κ} , щоб при зміні струму навантаження від номінального до нуля струм у колі поперечних щіток I_q залишався незмінним. Достатньо домогтися рівності струмів I_q у крайніх точках – холостого ходу і номінальній ($I_d = I_{dн}$). Струм в обмотці управління й опір, що відповідають цьому режиму, беруть за номінальні: $i_y = i_{yн}$ і $r_{\kappa} = r_{\kappaн}$. Після настроювання компенсації навантажують ЕМП в межах від $I_d = 0$ до $I_d = 1,2I_{dн}$ і знімають ряд точок, записуючи показання приладів, у тому числі струм у шунтовому опорі $i_{r\kappa}$, у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

№	I_d	U_d	I_q	i_y	U_y	$i_{r\kappa}$
	А	В	А		В	А
1						
...						

Потім роблять настроювання перекомпенсації, для чого підбирають $r_{\kappa} > r_{\kappaн}$ так, щоб зміна напруги ЕМП при зміні навантаження від холостого ходу до номінального склала 10...20 %. Настроювання перекомпенсації варто робити обережно,

щоб не викликати самозбудження ЕМП. Зовнішню характеристику знімають так само, як і в попередньому випадку, дані заносять у табл. 2.3.

Недокомпенсацію настроюють зменшенням опору r_{κ} відносно номінального значення, домагаючись зміни напруги в межах 10...20 %, після чого знімають зовнішню характеристику, записуючи дані в табл. 2.3.

Наступні три зовнішні характеристики знімають у такому ж порядку, як зазначено вище, для струму управління $i_y = 0,6i_{yн}$.

3.4. Для зняття зовнішньої характеристики ЕМП з *негативним зворотним зв'язком по струму якоря* попередньо встановлюють номінальний опір $r_{\kappaн}$ і струм управління $i_{yн}$. Потім паралельно обмотці додаткових полюсів Д1–Д2 підключають додаткову обмотку управління У3–У4. Після цього запускають ЕМП і навантажують його, змінюючи опір навантажувального реостата від максимального до мінімально можливого. Величина струму якоря ЕМП при цьому обмежується дією додаткової обмотки управління, магнітний потік якої спрямований назустріч основному потокові. Дані дослідів записують у табл. 2.3.

4. Обробка результатів дослідів

4.1. *Зовнішні характеристики ЕМП.* Нахил зовнішньої ха-

характеристики ЕМП при визначеному ступені компенсації залежить від струму в обмотці управління, а також від частоти обертання.

При введенні негативного зворотного зв'язку по струму за допомогою додаткової обмотки управління, включеної зустрічно стосовно основного поля, зовнішня характеристика стає круто падаючою з обмеженим струмом короткого замикання.

Зняті дослідним шляхом зовнішні характеристики ЕМП для всіх випадків варто побудувати в одних координатних осях; порівнюючи їх, виявити вплив ступеня компенсації, струму управління і зворотного зв'язку на вигляд характеристик.

4.2. *Коефіцієнт підсилення.* Для кожної з характеристик визначити коефіцієнт підсилення, що відповідає номінальному струму навантаження $I_{дн}$:

$$k_p = \frac{U_d I_d}{U_y i_y}.$$

Запитання для самоконтролю

1. Які обмотки має ЕМП?
2. Як визначається коефіцієнт підсилювання ЕМП?
3. Для чого в коло подовжніх щіток включаються додаткові полюси?

Робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОДНОФАЗНИХ СЕЛЬСИНІВ У СИСТЕМІ СИНХРОННОГО ЗВ'ЯЗКУ

1. Обсяг роботи

1.1. Ознайомитися з конструкцією сельсинів і принципом роботи системи синхронного зв'язку.

1.2. Визначити статичну помилку сельсинів.

1.3. Визначити залежність зміни струмів в обмотках синхронізації сельсинів від кута неузгодженості.

1.4. Визначити залежність синхронізуючого моменту від кута неузгодженості.

1.5. Визначити залежність вихідної напруги сельсина, що працює в трансформаторному режимі, від кута неузгодженості.

2. Короткі теоретичні відомості

Системи синхронної передачі призначені для виміру і передачі на відстань кутових переміщень або для підтримки синхронного обертання осей механізмів, механічно не зв'язаних один з одним.

У системах синхронної передачі можуть застосовуватися різні типи електричних машин. Однак у системах малої потужності найбільш поширені індукційні, або асинхронні машини. За свою здатність при наявності визначених електричних з'єднань самостійно синхронізуватися вони одержали назву "сельсини".

У найпростішому випадку схема передачі кута за допомогою контактних сельсинів, тобто індукційна передача, що самостійно синхронізує, складається з двох електрично зв'язаних та однакових за конструкцією сельсинів, виконаних як асинхронні машини із фазним ротором, але значно менших розмірів.

У залежності від призначення в схемах передачі кута сельсини можна розділити на сельсин-датчики, сельсин-приймачі, сельсин-трансформатори і диференціальні сельсин-датчики та приймачі.

Обмотки датчика і приймача, з'єднані між собою лінією зв'язку (передачі), називають обмотками синхронізації. Обмотки, що приєднані до мережі живлення і створюють магнітний потік, називають обмотками збудження.

Обмотки збудження однофазних сельсинів живляться від однофазної мережі. Обмотки синхронізації виконуються як звичайні трифазні обмотки двигунів і з'єднуються в зірку. Для можливості самосинхронізації сельсинів у межах одного оберту число полюсів у них дорівнює двом.

У даний час значного поширення набули однофазні безконтактні сельсини. Вони не мають на роторі обмоток. У безконтактних сельсинах обмотки збудження і синхронізації нерухомі, а ротор складається з двох пакетів сталі, розділених косим немагнітним проміжком. При обертанні ротора повертається вісь потоку збудження, і потокозчеплення з обмотками синхронізації буде змінюватися за тим же законом, що й у контактних сельсинах.

Індукційні системи синхронного зв'язку в залежності від величини моменту, що вони розвивають, поділяються на індикаторні і силові.

Індикаторна система синхронного зв'язку призначена для передачі кутових переміщень, що задаються датчиком при невеликому моменті опору приймача. Для показання кутових переміщень на валу приймача безпосередньо кріпиться зрівноважена стрілка (індикатор).

У силових системах на валу приймача є відносно великий момент опору виконавчого двигуна. Тому як приймач звичайно використовується однофазний сельсин, що працює в трансформаторному режимі. Цей режим характеризується тим, що напруга на обмотці статора сельсин-приймача є функцією кута повороту ротора датчика. Потім цей сигнал може бути посилений і поданий на виконавчий механізм.

Обмотки синхронізації сельсин-датчика з'єднані з відповідними обмотками синхронізації сельсин-приймача. Обмотки збудження включені в мережу змінного струму і створюють пульсуючі магнітні потоки. Ці потоки індукують у фазах обмоток синхронізації ЕРС, величина яких залежить від просторового положення осей обмоток синхронізації і потоку збудження. При однаковому положенні обмоток синхронізації датчика і приймача відносно осі потоку збудження ЕРС у відповідних фазах обмоток синхронізації рівні за величиною і протилежні за напрямком. Результируюча ЕРС у кожній парі з'єднаних між собою фазних обмоток синхронізації дорівнює нулю, і струм у лінії зв'язку відсутній.

Якщо ротор датчика повернути на деякий кут відносно ротора приймача, то у фазах обмоток синхронізації ЕРС виявляться різними за величиною. У цьому випадку результируюча ЕРС не буде дорівнювати нулю, і в лінії зв'язку виникнуть зрівняльні струми.

Від взаємодії результируючих МРС обмоток синхронізації з потоками збудження в датчику і в приймачу створюються синхронізуючі моменти, що мають протилежні напрямки. Якщо ротор приймача не загальмований, то синхронізуючий момент повертає його в синхронне положення з ротором датчика. Однак унаслідок наявності навантаження на валу приймача, тертя й інших факторів, між осями роторів датчика і приймача після повороту буде залишатися деякий кут $\theta = \alpha - \beta$, названий кутом неузгодженості.

На рис. 3.1 наведена крива зміни синхронізуючого моменту у функції кута неузгодженості ($M_c = M_{c.m} \sin\theta$). У датчику синхронізуючий момент спрямований назустріч напрямку обертання ротора, а в приймачі – згідно з ним. Отже, синхронізуючі моменти

датчика і приймача завжди прагнуть повернути ротори таким чином, щоб зменшити кут неузгодженості.

Кут неузгодженості між осями роторів датчика і приймача після закінчення перехідного процесу називають статичною помилкою.

Точність синхронної передачі визначається питомим синхронізуючим моментом m_{π} , тобто моментом, що розвивається на валу приймача при куті неузгодженості $\theta = 1^\circ$:

$$m_{\pi} = M_{\text{с.м}} \sin 1^\circ = 0,0175 M_{\text{с.м}}.$$

Якщо ротор приймача загальмувати в положенні $\alpha = 0$ та обертати ротор датчика, тобто змінювати кут неузгодженості θ , то залежності $I = f(\theta)$ будуть мати вигляд, поданий на рис. 3.2.

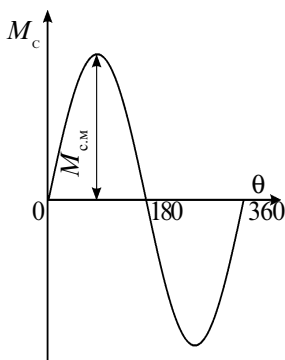


Рис. 3.1

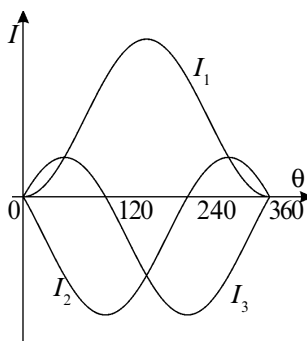


Рис. 3.2

При роботі сельсинів у трансформаторному режимі тільки обмотка збудження датчика живиться від мережі змінного струму. Обмотки синхронізації датчика і приймача з'єднані між собою лінією зв'язку. Обмотка збудження сельсин-приймача відносно обмоток синхронізації є вторинною, і з неї знімається напруга, що залежить від кута неузгодженості роторів сельсинів, тобто

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{м}} \cos \theta.$$

Для практичних цілей зручно, щоб при погодженому положенні ротора $U_{\text{вих}} = 0$. Це досягається тим, що між роторами сельсинів створюється постійний кут неузгодженості, рівний 90° (ротор сельсин-приймача загальмовується в іншому положенні). І тоді

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{м}} \sin \theta.$$

Опис лабораторної установки. Схема для дослідження однофазних сельсинів в індикаторному і трансформаторному режимах наведена на рис. 3.3, де QF – автомат; $C1, C2$ – затискачі обмоток збудження; $Д$ – датчик; $П$ – приймач; a, b, c – затискачі обмоток синхронізації. При роботі сельсинів в індикаторному режимі перемикач SA повинен знаходитися в положенні I, у трансформаторному режимі – в положенні II.

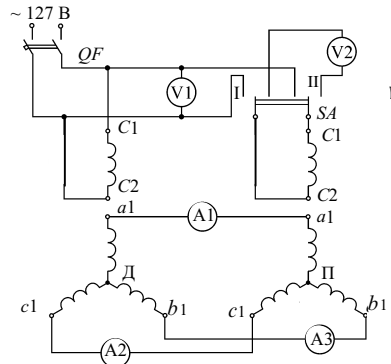


Рис. 3.3

3. Вказівки до виконання роботи

3.1. Ознайомитися з конструкцією сельсинів і принципом роботи системи синхронного зв'язку.

3.2. Визначити статичну помилку сельсинів, для чого перемикач SA поставити в положення I. Подати живлення на обмотки збудження сельсинів. Установити показчики сельсинів у синфазне нульове положення.

Після цього датчик плавно повертають за годинниковою стрілкою, а потім – проти годинникової стрілки. При поворотах через кожні 20° фіксують положення ротора датчика і визначають положення ротора приймача, дані записують у табл. 3.1.

3.3. Визначити залежність зміни струмів в обмотках синхронізації сельсинів від кута неузгодженості, для чого подати номінальну напругу на обмотки збудження сельсинів. Закріпити ротор сельсин-приймача в нульовому положенні. Змінюючи кут неузгодженості шляхом повороту ротора сельсин-датчика, виміряти струми в обмотках синхронізації. Зміну кута провести від 0° до 360° через кожні 30° . Отримані дані звести в табл. 3.2.

3.4. Визначити залежність синхронізуючого моменту від кута неузгодженості, для чого подати номінальну напругу на обмот-

Таблиця 3.1

θ_d , град	
θ_n , град	

Таблиця 3.2

θ , град	
I_A , А	
I_B , А	
I_C , А	

ки збудження сельсинів. Закріпити ротор сельсин-датчика в нульовому положенні. Для виміру величини синхронізуючого моменту на вал сельсин-приймача підвищують різні тягарці, поступово їх збільшуючи. При цьому визначають кут повороту ротора приймача, що дорівнює куту неузгодженості, і вагу тягарця. Кут неузгодженості змінюють від 0° до 90° за рахунок збільшення ваги тягарців. Дані дослідів звести в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

θ , град	
G , Н	
M_c , Н·м	

закріпити в нульовому положенні. Повертаючи ротор датчика через кожні 10° (від нуля до 90°), визначити напругу $U_{\text{вих}}$ на виході сельсин-приймача.

Таблиця 3.4

θ , град	
$U_{\text{вих}}$, В	
$U'_{\text{вих}}$, В	

3.5. Визначити залежність вихідної напруги сельсина, що працює в трансформаторному режимі, від кута неузгодженості. Для цього подати на обмотку сельсин-датчика номінальну напругу. Перемикач SA поставити в положення II. Ротор приймача повернути в нульовому положенні. Повертаючи ротор датчика через кожні 10° (від нуля до 90°), визначити напругу $U_{\text{вих}}$ на виході сельсин-приймача.

Повернувши ротор сельсин-приймача на 90° відносно початкового положення, провести аналогічні виміри напруги $U'_{\text{вих}}$. Дані дослідів звести в табл. 3.4.

4. Обробка результатів дослідів

4.1. *Клас точності сельсинів.* Половина суми абсолютних значень максимальних позитивної і негативної помилок приймача при повороті датчика за годинниковою стрілкою і проти годинникової стрілки дає абсолютну максимальну помилку, за величиною якої встановлюється клас точності сельсина

$$\Delta\theta = \frac{|-\Delta\theta_1| + |+\Delta\theta_2|}{2}.$$

4.2. *Залежність струмів обмоток синхронізації від кута неузгодженості.* Побудувати залежності I_A , I_B , $I_C = f(\theta)$. Оскільки алгебрична сума струмів фаз обмотки синхронізації повинна дорівнювати нулю, то умовно беремо струм у фазі A як позитивний, а в двох інших фазах струми будуть негативні.

4.3. *Залежність синхронізуючого моменту від кута неузгодженості.* Момент на валу сельсин-приймача підраховують за формулою

$$M_c = G l ,$$

де G – вага тягарця, Н; $l = 30$ мм – довжина плеча.

Побудувати криву $M_c = f(\theta)$ і визначити питомий синхронізуючий момент.

4.4. *Трансформаторний режим роботи сельсинів.* Визначити питому вихідну ЕРС за формулою

$$e_{\pi} = E_{\text{м}} \sin 1^{\circ} = 0,0175 E_{\text{м}}.$$

Побудувати на одному графіку залежності $U_{\text{вих}}$ і $U'_{\text{вих}} = f(\theta)$ і визначити питому вихідну напругу.

Дати короткі висновки по роботі.

Запитання для самоконтролю

1. Які режими роботи сельсинів бувають?
2. Які типи сельсинів бувають?
3. Що таке кут неузгодженості?
4. Як залежить вихідна напруга від кута неузгодженості при роботі сельсинів у трансформаторному режимі?

Робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВОРОТНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1. Обсяг роботи

1.1. Ознайомитися з конструкцією і паспортними даними випробуваного поворотного трансформатора (ПТ).

1.2. Зняти, а потім побудувати залежності напруг вихідних обмоток від кута повороту ротора в режимі синусно-косинусного поворотного трансформатора (СКПТ):

а) для синусної і косинусної обмоток при холостому ході ($Z_{\text{н}} = \infty$) і розімкнутій квадратурній обмотці;

б) для синусної обмотки при навантаженні ($Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} = R = 220$ Ом) і при розімкнутих косинусній і квадратурній обмотках;

в) для синусної обмотки при навантаженні ($Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} = 220$ Ом)

при замкнутій накоротко квадратурній і розімкнутій косинусній обмотках;

г) для синусної і косинусної обмоток при симетричному навантаженні ($Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} = 220 \text{ Ом}$) і розімкнутій квадратурній обмотці.

1.3. Зняти і побудувати залежності вихідної напруги від напруги збудження при постійному куті повороту ротора ($\alpha_1 = 30^\circ = \text{const}$, $\alpha_2 = 90^\circ = \text{const}$) для навантажень: $Z_{\text{н}} = \infty$; $Z_{\text{н}} = R_{\text{н}} = 220 \text{ Ом}$.

1.4. Зняти, а потім побудувати залежність вихідної напруги від кута повороту ротора в режимі лінійного поворотного трансформатора (ЛПТ).

1.5. Дослідити роботу поворотного трансформатора в режимі побудовника.

1.6. Зробити висновки по роботі.

2. Короткі теоретичні відомості

Поворотні (обертові) трансформатори застосовуються в системах автоматичного управління для перетворення механічного переміщення (кута повороту ротора) у вихідну напругу. Конструктивно вони являють собою двигуни з двофазною обмоткою ротора, виведеною на контактні кільця. Особливістю їхньої конструкції є ретельне виконання магнітної системи та обмоток, у результаті чого зменшується число просторових гармонік, що забезпечує високу точність поворотних трансформаторів.

Поворотні трансформатори використовуються як синусні поворотні трансформатори, у яких $u = U_m \sin \alpha$; синусно-косинусні поворотні трансформатори, у котрих $u_A = U_m \sin \alpha$, $u_B = U_m \cos \alpha$; лінійні поворотні трансформатори, у яких $U = k\alpha$.

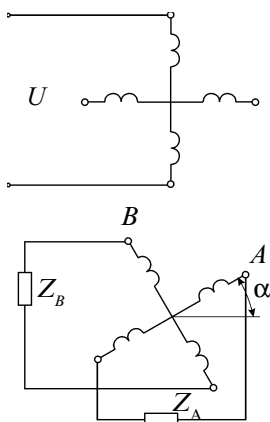


Рис. 4.1

Поворотні трансформатори також використовуються як побудовники та фазообертачі. Вони можуть заміняти сельсини. Завдяки тому, що поворотні трансформатори – симетричні машини, у них досягається більша точність, ніж у сельсинах.

Схема вмикання синусно-косинусного поворотного трансформатора показана на рис. 4.1. При обертанні ротора поворотного трансформатора в обмотці А наводиться ЕРС, що змінюється за законом синуса, а в обмотці В – за законом косинуса.

Якщо в поворотному трансформаторі використовується одна обмотка на роторі, такий трансформатор називається синусним поворотним трансформатором.

При заданих з'єднанні і значенні параметрів обмоток можна в широкому діапазоні зміни кута одержати лінійну зміну $U = f(\alpha)$. Такі поворотні трансформатори називаються лінійними.

За максимальною похибкою (відхиленням від синусної або лінійної залежності від кута α і ряду інших показників) поворотні трансформатори поділяють на шість класів точності. У високо-точних трансформаторах похибка не перевищує декілька секунд. У залежності від показників ПТ поділяються на декілька класів точності (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Похибки	Клас точності			
	0-й	1-й	2-й	3-й
Асиметрія нульових положень (у кутових хвилинах)	3	8	16	30
Максимальне значення ЕРС квадратурної обмотки (у відсотках від U_3)	0,4	0,6	0,9	1,2
Максимальна похибка в режимі СКПТ (у відсотках від E_A)	0,06	0,11	0,22	0,33
Максимальна похибка в режимі ЛПТ (у відсотках від $U_{\text{вих}}$)	—	0,11	0,22	0,33

3. Вказівки до виконання роботи

3.1. Для зняття залежності вихідних напруг від кута повороту ротора $U_{\text{вих}} = f(\alpha)$ у режимі СКПТ необхідно зібрати схему, що наведена на рис. 4.2. Амперметр у колі обмотки збудження С1–С2 ставиться для контролю.

Для зняття залежності вихідних напруг від кута повороту ротора (п. 1.2, а–г) необхідно подати на обмотку збудження напругу $U_{\text{з.н}} = 60 \text{ В}$ і, обертаючи ротор, домогтися на виході синусної обмотки Р1–Р2 мінімальної (≈ 0) напруги, в той час як на

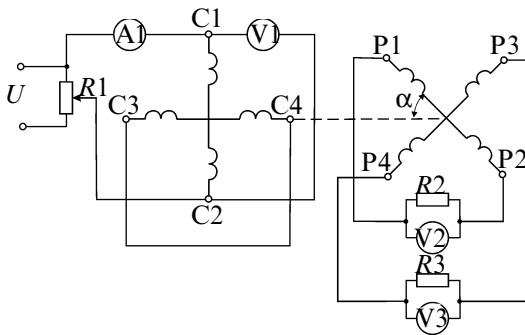


Рис. 4.2

затискачах косинусної обмотки Р3–Р4 $U_{\cos} = U_{\max}$. При цьому обмотки С3–С4, Р1–Р2 і Р3–Р4 розімкнуті, а стрілка на валу ПТ приводиться в нульове положення.

Цією операцією досягається узгодження шкали і стрілки. У випадку невідповідності нульових значень необхідно ввести поправки, вважаючи, що при знайденому значенні осі обмоток збудження (С1–С2) і синусної (Р1–Р2) взаємно перпендикулярні. Це положення беруть за початок відліку кута повороту ротора, тобто $\alpha = 0$. Надалі відлік за всіма пунктами (а–г) для простоти знімається через кожні 10° . Щоб уникнути впливу кутової похибки відліку в дослідах за п. 1.2 (що важливе для порівняння характеристик), зазначені залежності від кута повороту ротора знімаються не послідовно (одна за іншою), а паралельно, тобто для одного встановленого положення ротора шляхом переключень у схемі знімається одна точка кожної характеристики, для іншого положення ротора – інша точка кожної характеристики і т. д. Наприклад, порядок проведення досліду в режимі СКПТ (див. п. 1.2) полягає в наступному. Значення напруг на синусній і косинусній обмотках (п. 1.2,а) записуються при розімкнутих обмотках С3–С4, Р1–Р2, Р3–Р4 і $U_{3.н} = 60$ В. Потім, замкнувши обмотку Р1–Р2 на опір, не змінюючи положення ротора і знову встановивши $U_3 = 60$ В, виміряють напругу на синусній обмотці при навантаженні реостатом 220 Ом і напругу на квадратурній обмотці U_k (п. 1.2,б). Далі, замкнувши обмотку С3–С4 (тобто здійснивши первинне симетрування) і виставивши $U_3 = 60$ В, знову виміряють напругу на синусній обмотці (п. 1.2,в); замкнувши Р3–Р4 на опір 220 Ом і розімкнувши С3–С4 (вторинне симетрування), записують напруги на синусній і косинусній обмотках (п. 1.2,г). Задавшись наступним кутом повороту ротора (при розімкнутих обмотках С3–С4, Р1–Р2 і Р3–Р4), записують ті ж показання, проводячи експеримент у такій же послідовності, що описано вище. Слід звернути увагу на величину напруги обмотки збудження, підтримуючи її постійною при виконанні кожного пункту досліду.

При досліді ПТ у режимі СКПТ досить змінювати кут повороту ротора α від 0 до 180° . Дані досліду записуються в табл. 4.2.

3.2. Для дослідження залежності вихідної напруги від вхідної, тобто від напруги обмотки збудження, необхідно встановити кут повороту ротора $\alpha = 30^\circ = \text{const}$ від установленого нуля відліку на шкалах, а потім, змінюючи напругу на обмотці збудження за

допомогою опору R_1 від 10 до 60 В, зафіксувати шість-десять значень напруги на синусній обмотці при $Z_H = \infty$ і $Z_H = R_H = 220$ Ом. Аналогічний дослід виконати для $\alpha = 90^\circ = \text{const}$. Результати занести в табл. 4.3.

Таблиця 4.2

№	α , град	$Z_H = \infty$		$Z_H = R_H = 220$ Ом			
		а		б		в	г
		$U_{\sin}$	$U_{\cos}$	$U_{\sin}$	U_K	$U_{\sin}$	$U_{\sin}$ $U_{\cos}$
		В					
1							

Таблиця 4.3

№	U	$\alpha = 30^\circ$		$\alpha = 90^\circ$	
		$Z_{\text{H}} = \infty$	$Z_{\text{H}} = R_{\text{H}} = 220 \text{ Ом}$	$Z_{\text{H}} = \infty$	$Z_{\text{H}} = R_{\text{H}} = 220 \text{ Ом}$
		$U_{\text{вих}}$	$U_{\text{вих}}$	$U_{\text{вих}}$	$U_{\text{вих}}$
В					
1					

Дослід проводиться за схемою рис. 4.2. Косинусна і квадратурна обмотки при всіх дослідях розімкнуті.

З метою економії часу слід, установивши визначену напругу на обмотці збудження, зафіксувати величини вихідної напруги при розімкнутій ($Z_H = \infty$) і замкнутій синусній обмотці. Отримані характеристики показують можливість використання ПТ як помножувача, тому що при $\alpha = \text{const}$ $U_{\text{вих}} = k U_{\text{вх}} \sin \alpha$, а якщо використовувати косинусну обмотку, то $U_{\text{вих}} = k U_{\text{вх}} \cos \alpha$, тобто вихідні напруги пропорційні добутку двох величин: $U_{\text{вх}} \sin \alpha$ або $U_{\text{вх}} \cos \alpha$.

3.3. Робоча схема ПТ у режимі ЛПТ наведена на рис. 4.3. Для зняття характеристики необхідно, подавши напругу на обмотку збудження 60 В, записати значення напруг на опорі навантаження ($Z = R_H = 220$ Ом), змінюючи кут повороту ротора від -70° до $+70^\circ$. Відлік кута виконується від положення ротора, при якому ЕРС у колі обмоток Р1Р2–С3С4 дорівнює нулю.

Підібраний опір у колі косинусної обмотки ($Z_H = R = 220$ Ом) дозволяє здійснити вторинне симетрування. Дані заносять у табл. 4.4.

3.4. Для дослідження ПТ у режимі побудовника зібрати схему

за рис. 4.4. Необхідно з допомогою ПТ-побудовника визначити гіпотенузу прямокутного трикутника за двома заданими катетами.

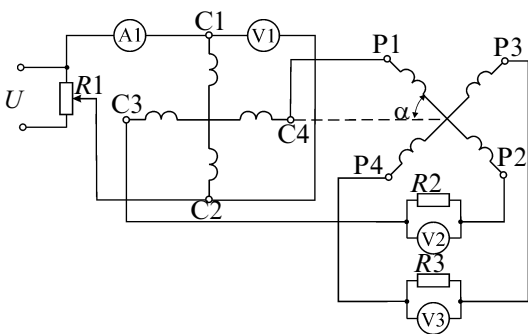


Рис. 4.3

На обмотку збудження подається напруга $U_3 = 60 \text{ В} = \text{const}$ (величина одного з заданих катетів), а на квадратурну обмотку напруга не подається ($U = 0$). Потім, обертаючи ротор, домогтися такого положення, при якому значення напруги на синусній обмотці мак-

Таблиця 4.4

α , град	
U , В	

симальне, а на косинусній дорівнює нулю. Це положення ротора беруть за нуль відліку кутів повороту ротора. Масштабний коефіцієнт при цьому дорівнює коефіцієнту трансформації K .

Після цього послідовно задаються напругами на квадратурній обмотці U_k . Для кожного значення U_k , обертаючи ротор, домагаються такого положення, при якому напруга на синусній обмотці максимальна, а на косинусній обмотці дорівнює нулю. Величини напруг і кутів, що задаються та одержуються, заносяться в табл. 4.5.

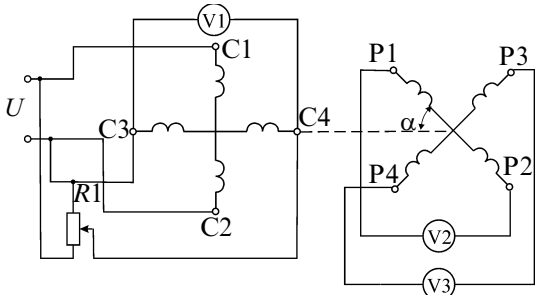


Рис. 4.4

Таблиця 4.5

№	U_{κ}	$U_{\sin}$	α , град	$kU_{\sin} = c$	Розрахункові	
					$U'_{\sin}$	α' , град
	В		В			
1						

4. Обробка результатів дослідів

4.1. За даними дослідів 1.2 і 1.3 будуються характеристики роботи ПТ у режимі СКПТ. На рис. 4.5 наведені зразкові залежності напруг на синусній 2, косинусній 3 і квадратурній 1 обмотках при холостому ході, навантаженні без симетрування 5 і навантаженні з первинним симетруванням 4.

4.2. Лінійна залежність між вихідною напругою і кутом повороту ротора α має місце в СКПТ, але тільки в початковій частині синусоїди 1. При заданій величині похибки 1 % вихідна напруга в режимі СКПТ змінюється лінійно (2) в межах від 0 до 14° кута α (рис. 4.6). Схема ЛПТ дозволяє одержати лінійну залежність вихідної напруги від кута повороту з досить високою точністю в межах від -60° до 60° (див. рис. 4.6). Це досягається, якщо одержати зміну вихідної напруги в залежності від кута повороту α пропорційно функції $f(\alpha) = k \sin \alpha / (1 + m \cos \alpha)$, причому найкраще наближення до лінійної залежності виходить при $m = 0,54$.

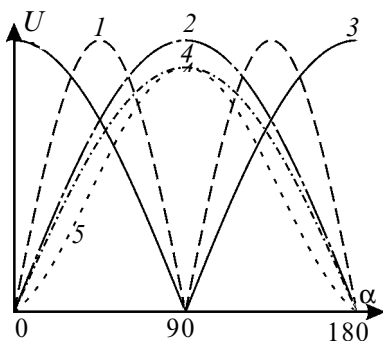


Рис. 4.5

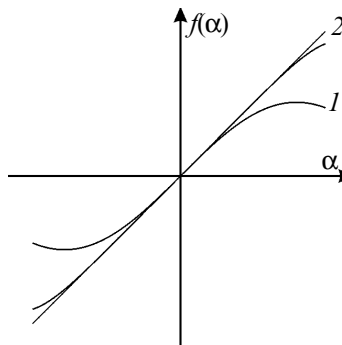


Рис. 4.6

За даними дослідів 1.4 побудувати залежність напруги на опорі R_2 від кута повороту α .

4.3. *Поворотний трансформатор у режимі побудовника.* Отримані за п. 1.5 експериментальні дані порівнюються з розрахунковими, які визначаються за формулами

$$U'_{\sin \text{ розп}} = \sqrt{U_3^2 + U_K^2} = \sqrt{a^2 + b^2} ; \quad \alpha'_{\text{розп}} = \arctg \frac{U_K}{U_3} = \arctg \frac{b}{a}.$$

Запитання для самоконтролю

1. Які режими роботи поворотних трансформаторів бувають?
2. Що таке симетрування поворотного трансформатора і для чого воно потрібне?
3. Як здійснюються первинне та вторинне симетрування?

Робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНО-АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

1. Обсяг роботи

1.1. Провести дослід холостого ходу, короткого замикання та навантаження трансформаторно-асинхронного електромеханічного перетворювача (ТАЕМП) при номінальній і зниженій напрузі.

1.2. За даними дослід холостого ходу розрахувати і побудувати характеристики холостого ходу $I_0 = f(U_0)$, $P_0 = f(U_0)$ і $\cos\varphi_0 = f(U_0)$.

1.3. За даними дослід короткого замикання розрахувати і побудувати характеристики короткого замикання $I_k = f(U_k)$, $P_k = f(U_k)$, $\cos\varphi_k = f(U_k)$, $z_k = f(U_k)$, $r_k = f(U_k)$, $x_k = f(U_k)$.

1.4. За даними дослід навантаження розрахувати і побудувати робочі n (або s), P_1 , M , $\cos\varphi$, $\eta = f(P_2)$ та електромеханічні I_1 , $M = f(s)$ характеристики ТАЕМП.

1.5. За даними дослід навантаження при зниженій напрузі розрахувати і побудувати електромеханічні характеристики I_1 , $M = f(s)$.

2. Короткі теоретичні відомості

Електропривід механізмів герметичних пристроїв піддається впливу різноманітних хімічно активних компонентів, високих температур і тисків; ця обставина обумовлює швидке старіння і руйнування ізоляційних елементів електричної частини. Вирішення даної проблеми за допомогою електроприводів, заснованих на використанні двигунів з немагнітними гільзами для герметизації статора, виявляється неповним, тому що при значній товщині ізолюючої гільзи проходження магнітного потоку через неї утруднено.

Це завдання можна вирішити за допомогою трансформатор-

но-асинхронного електро механічного перетворювача, конструкція якого зображена на рис. 5.1. Він складається з трьох основних частин: трансформатора-перетворювача (ТП), лінії зв'язку (гермовводів) і двигуна. Трансформатор виконано у вигляді загальмованої АМ, вторинна обмотка виготовлена з мідних стержнів, які за допомогою гермовводів з'єднані зі стержнями статорної обмотки двигуна. Трансформатор перетворює трифазну напругу мережі в знижену багатозфазну напругу, у якій кількість фаз дорівнює числу стержнів вторинної обмотки ТП (кількості стержнів статорної обмотки двигуна). Ізоляція первинної обмотки ТП захищена від руйнівного впливу навколишнього середовища герметичним корпусом, у котрий замкнутий ТП. Двигун ТАЕМП відрізняється від двигунів звичайного виконання тим, що обмотка статора виконана з мідних стержнів, які з одного боку накоротко замкнені кільцем, а з другого боку обмотка підключена до гермовводів. Така конструкція двигуна має суттєву перевагу – відсутність електричної ізоляції.

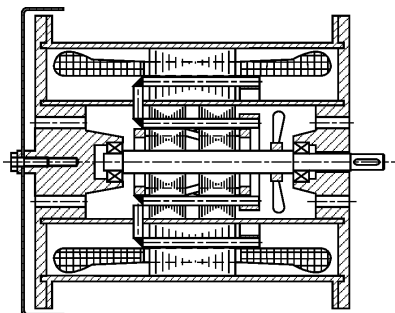


Рис. 5.1

Аналіз роботи і синтез ТАЕМП здійснюються за допомогою двокаскадної схеми заміщення, що зображена на рис. 5.2. Для ТП використовується Т-подібна схема заміщення, а двигун відображається Г-подібною схемою.

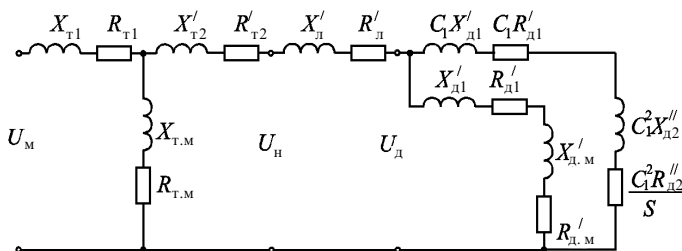


Рис. 5.2

3. Вказівки до виконання роботи

Опис установки. Схема для дослідів трансформаторно-асинхронного електромеханічного перетворювача, виміри в якій робляться за допомогою вимірювального комплексу, наведена на рис. 5.3. Для плавної зміни напруги, що підводиться до ТАЕМП, він підключається до мережі через автотрансформатор.

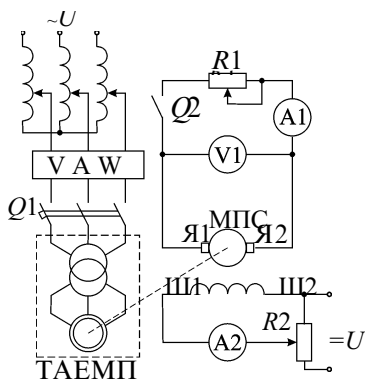


Рис. 5.3

Навантаження перетворювача здійснюється за допомогою зчленованого з ним генератора постійного струму, що, у свою чергу, навантажується рідинним реостатом.

3.1. Дослід холостого ходу ТАЕМП проводиться при відсутності гальмівного моменту на його валу, для чого розмикається коло якоря і відключається збудження генератора постійного струму. Запустивши ТАЕМП, змінюють напругу, що підводиться до нього, від максимальної для даного трансформатора (але не більше 1,2 номінальної напруги ТАЕМП) до мінімально можливої, при якій ТАЕМП ще працює стійко.

Дані досліду заносять у табл. 5.1, де U та I_1 – середні за фазами напруга і струм ТАЕМП; n – частота обертання; P – потужність за всіма фазами.

Таблиця 5.1

U , В	I_1 , А	P , Вт	n , об/хв	$U_{я}$, В	$I_{я}$	i_z
					А	

3.2. Режим короткого замикання ТАЕМП здійснюється при загальмованому роторі і підключеній до мережі первинній обмотці трансформатора.

При номінальній напрузі струм короткого замикання в тришість разів перевищує номінальний: $I_k = (3...6)I_{1н}$. При цьому двигун перегрівається і може вийти з ладу. Тому в умовах навчальної лабораторії дослід короткого замикання проводиться при зниженій напрузі: загальмувавши механічним шляхом ротор двигуна ТАЕМП, подають на його обмотки напругу, близьку до нуля, і підвищують її до значень, при яких струм короткого замикання $I_k < (1,5...2,0)I_{1н}$.

При цьому напруга $U_{\kappa} < (0,3...0,5)U_{\text{н}}$. Дані досліді короткого замикання заносять у табл. 5.1.

3.3. Дослід навантаження ТАЕМП проводиться при номінальній напрузі на затискачах перетворювача. Двигун ТАЕМП запускають і навантажують за допомогою генератора постійного струму. Навантаження змінюють у межах від значень, що відповідають $I_1 \approx 1,5I_{\text{н}}$, до холостого ходу. Дані заносять у табл. 5.1.

3.4. Дослід навантаження ТАЕМП при зниженій напрузі проводиться при напрузі на затискачах перетворювача $0,7...0,8$ та $0,4...0,5$ від номінальної напруги. Напругу ТАЕМП змінюють за допомогою автотрансформатора. Спочатку двигун ТАЕМП запускають при номінальній напрузі, а потім зменшують її. Навантаження змінюють у межах від значень, що відповідають $I_1 \approx 1,5I_{\text{н}}$, до холостого ходу. Дані заносять у табл. 5.1.

4. Обробка результатів дослідів

4.1. *Характеристики холостого ходу* ТАЕМП. Потужність $P_{\text{х.х}}$, що споживається ТАЕМП із мережі на холостому ходу, витрачається на покриття електричних утрат в обмотках ТАЕМП та гермовводах p_{ϵ} ; утрат у сталі магнітних систем трансформатора та двигуна $p_{\text{ст}}$ і механічних утрат двигуна та генератора $p_{\text{мех}} + p_{\text{мех.г}}$:

$$P_{\text{х.х}} = p_{\epsilon} + p_{\text{ст}} + p_{\text{мех}} + p_{\text{мех.г}} = P_0 + p_{\text{мех.г}},$$

де P_0 – потужність холостого ходу ТАЕМП.

Для побудови характеристик холостого ходу ТАЕМП потрібно зробити поділ утрат між ТАЕМП і генератором. Оскільки механічні втрати не залежать від напруги, то, використовуючи величину $p_{\text{мех.г}}$, розраховують значення $P_0 = P_{\text{х.х}} - p_{\text{мех.г}}$ і будують характеристики холостого ходу двигуна $I_0 = f(U_0)$, $P_0 = f(U_0)$ і $\cos\phi_0 = f(U_0)$, де коефіцієнт потужності визначається за формулою

$$\cos\phi_0 = \frac{P_{\text{х.х}}}{\sqrt{3}U_0I_0}.$$

4.2. *Характеристики короткого замикання*. За даними досліді короткого замикання будують залежності $I_{\kappa} = f(U_{\kappa})$, $P_{\kappa} = f(U_{\kappa})$, $\cos\phi_{\kappa} = f(U_{\kappa})$, а також $z_{\kappa} = f(U_{\kappa})$, $x_{\kappa} = f(U_{\kappa})$, $r_{\kappa} = f(U_{\kappa})$, де параметри короткого замикання розраховуються так само, як і для трансформаторів.

4.3. За даними дослідів навантаження розраховують робочі s , P_1 , M , I_1 , $\cos\phi$, $\eta = f(P_2)$ та електромеханічні I_1 , $M = f(s)$ характеристики ТАЕМП. Для цього визначають корисну потужність на валу двигуна $P_2 = P_{\text{г}} + \Sigma p_{\text{г}}$, де $P_{\text{г}} = U_{\text{г}} I_{\text{г}}$ – електрична потужність генератора. Сумарні втрати генератора постійного струму

$$\Sigma p_{\text{г}} = p_{\text{мех.г}} + p_{\text{ст.н}} (U_{\text{я}} / U_{\text{я.н}})^2 + I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} + P_{\text{дод.г}} + 2 I_{\text{я}} U_{\text{щ}}.$$

Додаткові втрати $P_{\text{дод.г}} = 0,01 P_{\text{г.н}} (I_{\text{я}} / I_{\text{я.н}})^2$. Ковзання $s = (n_1 - n) / n_1$. ККД перетворювача

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Механічна потужність на валу двигуна ТАЕМП

$$P'_2 = P_2 + p_{\text{д}} + p_{\text{мех.д}}.$$

Момент на валу двигуна ТАЕМП

$$M_2 = \frac{P'_2}{2\pi n},$$

де n – частота обертання, об/с.

Результати розрахунків заносять у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

U , В	I_1 , А	P_1 , Вт	$\cos\phi_1$	$P_{\text{г.я}}$	$P_{\text{г.щ}}$	$P_{\text{ст.г}}$	$P_{\text{дод.г}}$	Σp	P_2	P'_2	η , %	s	M_2 , Н·м
				Вт									

Запитання для самоконтролю

1. Як можна спростити схему заміщення ТАЕМП для режимів холостого ходу та короткого замикання?
2. Від чого залежить величина магнітних утрат у ТАЕМП?
3. Як впливає наявність трансформатора в ТАЕМП між двигуном та мережею?
4. Як зміниться потужність, що розвивається двигуном ТАЕМП, якщо обірвати одну його фазу?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Бертинов А.И., Бут Д.А., Мизюрин С.Р.* Специальные электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 552 с.
2. Испытание электрических микромашин / *Н.В. Астахов, Б.Л. Крайз, Е.М. Лопухина* и др. – М.: Высшая школа, 1984. – 352 с.
3. *Хрущев В.В.* Электрические машины систем автоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 364 с.
4. *Юферов Ф.М.* Электрические машины автоматических устройств. – М.: Высшая школа, 1976. – 416 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
Вимоги до виконання лабораторних робіт та оформлення звітів	4
<i>Робота № 1.</i> Дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в однофазному режимі	5
<i>Робота № 2.</i> Дослідження електромашинного підсилювача з поперечним полем	10
<i>Робота № 3.</i> Дослідження роботи однофазних сельсинів у системі синхронного зв'язку	15
<i>Робота № 4.</i> Дослідження поворотного трансформатора	21
<i>Робота № 5.</i> Дослідження трансформаторно-асинхронного електромеханічного перетворювача	28
Рекомендована література	33

Олег Юрійович КІМСТАЧ
Андрій Андрійович СТАВИНСЬКИЙ
Володимир Костянтинович ЧЕКУНОВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Частина 3

Спеціальні електричні машини

Під редакцією А.А. Ставинського

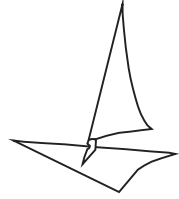
Видавництво УДМТУ, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Редактор М.Д. Белікчі
Комп'ютерна правка Ю.В. Зайцева
Комп'ютерна верстка Н.В. Чудновцева
Коректор Н.О. Шайкіна

Підписано до друку 11.03.03. Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 2,1. Тираж 150 прим.
Вид. № 16. Зам. № 378. Ціна договірна.



ВИДАВНИЦТВО УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО МОРСЬКОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



Шановні панове!

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать оперативне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника в повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі IBM PC, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ аркушепідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізку на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублюкатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо Вам потрібно надрукувати *підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки*, – ми до Ваших послуг.

© Український державний морський технічний університет

✉ Україна, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5,

видавництво УДМТУ

☎ 8(0512) 37-33-42; 39-81-46, 39-73-39, fax 8(0512) 39-73-26;

E-mail: publishing@usmtu.edu.ua