

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ **”ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ”**,
З РОЗДІЛУ **“СПЕЦІАЛЬНІ МАШИНИ”**
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗА НАПРЯМАМИ 6.050702 – «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА» І
6.050701 – «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ»
(У ТОМУ ЧИСЛІ ДЛЯ СКОРОЧЕНОГО ТЕРМІНУ НАВЧАННЯ)

Кременчук 2010

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни “Електричні машини”, розділ “Спеціальні машини” для студентів денної та заочної форм навчання за напрямками 6.050702 – «Електромеханіка» і 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» (у тому числі для скороченого терміну навчання)

Укладачі: к.т.н., професор В. О. Некрасов,
к.т.н., доцент А. В. Некрасов,
д.т.н., с.н.с., професор А.П. Ращепкін
асист. Р.М. Донченко,
асист. В.В. Ромашина

Рецензент к.т.н., доц. В.В. Прус

Кафедра електричних машин та апаратів

Затверджено методичною радою КНУ імені Михайла Остроградського

Протокол № ____ від _____ 2010

Заступник голови методичної ради _____ доц. С.А. Сергієнко

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Загальні відомості щодо виконання лабораторних робіт та техніка безпеки	5
Перелік лабораторних робіт	
Лабораторна робота №14 Широкодіапазонне регулювання частоти обертання двигуна постійного струму (система генератор-двигун).....	8
Лабораторна робота №15 Дослідження тахогенератора	18
Лабораторна робота №16 Дослідження універсального колекторного двигуна.....	22
Лабораторна робота №17 Випробування електромашинного підсилювача поперечного поля.....	28
Список літератури.....	35

ВСТУП

Курс "Спеціальні електричні машини" призначений для оволодіння теоретичними та практичними знаннями процесів електромеханічного перетворення енергії, загальними принципами роботи, функціональної та конструкторської побудови електричних машин.

Знання, набуті студентами під час освоєння курсу, використовують під час вивчення наступних професійно-орієнтованих дисциплін.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з вивчення навчальної дисципліни „Електричні машини" для студентів за напрямками «електромеханіка» і «електротехніка та електротехнології», мають за мету поглибити знання під час виконання лабораторних робіт.

Для підготовки до захисту після кожної лабораторної роботи наведені питання, на які студент повинен дати вірні відповіді.

Лабораторні роботи з курсу „ Спеціальні електричні машини" є невід'ємною частиною курсу. Даними методичними вказівками передбачено виконання чотирьох лабораторних робіт.

Дані лабораторні роботи виконують в обсязі згідно із робочою програмою.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Виконання лабораторних робіт

1. Виконання лабораторної роботи складається з роботи студента у лабораторії, а також самостійної роботи.
2. Самостійно робота студента передбачає:
 - а) теоретичну підготовку до наступної роботи;
 - б) підготовку відповідей на контрольні запитання, що наведені у роботі;
 - в) аналіз результатів дослідів, що виконувались у лабораторії;
 - г) оформлення звітів про виконання лабораторних робіт.
3. Теоретична підготовка до наступної лабораторної роботи передбачає:
 - а) проробку розділів теорії, що визначають зміст та методику досліджень;
 - б) проробку методичних вказівок до лабораторної роботи з використанням рекомендованих підручників та посібників;
 - в) оформлення бланку до звіту про виконання лабораторної роботи.
4. Робота студента у лабораторії передбачає наступні етапи:
 - а) отримання допуску до лабораторної роботи;
 - б) отримання дозволу на ввімкнення лабораторної установки (стенда);
 - в) проведення дослідів та запис результатів вимірів;
 - г) захист звітів про виконання лабораторних робіт.

Оформлення звітів про виконання лабораторних робіт

1. Звіти про виконання лабораторних робіт складаються окремо для кожної лабораторної роботи.
2. До складу кожного звіту повинні входити: номер, назва, мета, програма роботи, електрична схема, таблиці, розрахункові формули та висновок.
3. Після виконання останньої в семестрі лабораторної роботи оформлюється загальна титульна сторінка для всіх робіт.

Захист звітів про виконання лабораторних робіт

1. Захист звітів про виконання лабораторних робіт здійснюється кожним студентом окремо.
2. Захист звітів про виконання лабораторних робіт здійснюється як під час проведення лабораторних робіт за розкладом, так і під час додаткових консультацій.
3. Студенти, які не виконали всі лабораторні роботи або не захистили всі звіти, передбачені навчальним планом, не допускаються до екзамену (заліку).

Техніка безпеки

У лабораторії «Електричні машини» використовується напруга змінного і постійного струму до 380 В. При недотриманні правил техніки безпеки така напруга становить серйозну небезпеку.

Опір тіла людини визначається головним чином опором шкірного покриву, що істотно залежить від ступеня зволоження, наявності ушкоджень і т.д. Тому цей опір може змінюватися в дуже широких межах. У розрахунках з техніки безпеки звичайний опір тіла людини беруть рівним 1 кОм.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, виконує тепловий, хімічний і біологічний вплив. Хімічна дія струму веде до електролізу крові та інших розчинів, які містяться в організмі, що призводить до зміни їхнього хімічного складу. Біологічна дія електричного струму виявляється в небезпечному порушенні живих клітин організму, що може супроводжуватися судомогами, явищами паралічу.

Ступінь ураження людини і величина електричного удару залежать головним чином від значення струму, який проходить через тіло людини, а також шляху проходження струму в тілі людини і тривалості його проходження.

Основні правила з техніки безпеки

1. Перед початком складання схеми необхідно переконатися в тому, що автоматичний вимикач на стенді знаходиться у вимкненому стані.
2. Вимірювальні прилади і досліджувані апарати необхідно розміщати таким чином, щоб у процесі виконання роботи була виключена можливість випадкового дотику до оголених струмоведучих частин.
3. Не допускається використання приладів та апаратів з несправними затискачами, провідників з ушкодженою ізоляцією, несправних реостатів, тумблерів та іншого устаткування.
4. Складання схеми необхідно виконувати за можливості без перехрещування провідників, не можна натягувати і згинати провідники. Використані провідники необхідно прибрати з робочого місця.
5. Категорично забороняється проводити будь-які операції на головних розподільних щитах, а також за межами робочого місця.
6. Напругу на схему подають тільки після дозволу викладача, попередивши про це всіх студентів, які працюють на даному робочому місці. При цьому рукоятки регуляторів напруги повинні знаходитися на нульовій позначці.
7. У випадку припинення досліду або перерви в роботі схему необхідно відключити від мережі живлення.
8. Під час лабораторної роботи забороняється: робити перекомутації провідників схеми, яка знаходиться під напругою; торкатися до оголених струмоведучих частин; вмикати схему після будь-яких змін у ній до перевірки викладачем; залишати без догляду схему, яка знаходиться під напругою.
10. У всіх випадках виявлення несправного устаткування, вимірювальних приладів, провідників, з появою специфічного запаху, диму, потрібно вимкнути напругу і негайно сказати про це викладачеві.
11. Після закінчення роботи необхідно вимкнути напругу, розібрати схему, упорядкувати робоче місце.

Лабораторна робота 14

Широкодіапазонне регулювання частоти обертання двигуна постійного струму (система генератор-двигун) (стенди № 3 і 4)

Мета роботи - визначення експлуатаційних властивостей системи генератор - двигун (Г-Д) шляхом зняття її механічних характеристик.

14.1. Програма роботи

14.1.1. Вивчити по рекомендованій літературі, учбовим плакатам, діафільмам, кінофільмам і лабораторним стендам способи регулювання частоти обертання двигуна постійного струму (ДПС) в системі (ГД), побудування механічних характеристик і методику їх зняття.

14.1.2. Здійснити пуск ДПС в системі Г-Д.

14.1.3. Зняти експериментальні дані і побудувати механічні характеристики ДПС при регулюванні його частоти обертання вниз від номінальної зміною напруги на ньому.

14.1.4. Зняти експериментальні дані і побудувати механічні характеристики ДПС при регулюванні його частоти обертання вгору від номінальної ослабленням поля. Здійснити зупинку системи Г-Д.

14.1.5. Провести аналіз механічних характеристик ДПС із широкодіапазонним регулюванням його частоти обертання і зробити висновки про експлуатаційні властивості системи Г-Д.

14.2 Опис установки, устаткування і прилади

Електрична схема системи Г-Д з широкодіапазонним регулюванням частоти обертання ДПС приведена на рис. 14.1 і включає два лабораторні стенди (№ 3 і 4, які аналогічні стендам в роботі 6).

Лабораторний стенд № 3 містить у собі механічно з'єднані на одному валі Зф СД, генератор постійного струму (ГПС), тахометр для вимірювання частоти

їх обертання (ТАХ2). Крім того, в стенд №3 входять 1ф ЛАТР1, який призначений для регулювання випрямленої мостом В1 постійної напруги для живлення обмотки збудження (Ш1 і Ш2) ГПС; щитові вимірювальні прилади, апаратура для пуску і зупинки синхронного двигуна СД, що приводить до обертання ГПС. Частина схеми, обведені пунктиром, складено в середині стенда.

Подача і зняття змінної напруги на стенд №3 здійснюється автоматом пусковим АП, який знаходиться справа на бічній панелі стенда (праворуч - увімкнений, ліворуч - вимкнений). Подавання змінної напруги на обмотки приводного СД здійснюється автоматом пусковим АПс (вгору - увімкнений, вниз - вимкнений). Ключ S1 (вгору - увімкнений, вниз - вимкнений) слугує для комутації первинного ланцюга 1ф ЛАТРа1; ключ S3 - для комутації ланцюга обмотки збудження приводного СД. У нижньому положенні S3 підключає якірний ланцюг збудника В (на одному валу з СД) для живлення обмотки збудження приводного СД постійним струмом; у верхньому положенні S3 замикає обмотку збудження приводного СД на пусковий опір R_n (при асинхронному пуску приводного СД).

Регулювальні реостати $R_{ОВВ1}$ і $R_{ОВВ2}$ слугують для регулювання струму в ланцюзі обмотки збудження ОВВ збудника В і зрештою - струму збудження приводного СД. Напруга мережі і напруга приводного СД контролюються по U6 і U7. Вольтметр U7 має перемикач меж на 150В і на 300В (у роботі використовується межа 300В). Частота струму приводного СД і мережі контролюється по частотомірах Hz9 і Hz10. Струм збудження приводного СД і струм його статора контролюються по A11 і A12 . Напруга збудження і струм збудження, напруга якоря і струм якоря ГПС контролюються відповідно по V14 і A14, V15 і A15. Вольтметр V14 має перемикач меж на 150 В і 300 В (у роботі використовується межа 300 В). Показання V15 стенду № 3 і стенду № 4 дублюються. Синхроскоп С13 в даній роботі не використовується (оскільки він приєднаний усередині стенду, то на схемі показаний і використовується в роботі № 5 при дослідженні Зф СГ). Характер навантаження приводного СД

визначається за настільним вимірювачам коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ (у даній роботі не відіграє суттєвої ролі і використовується в роботі № 6 при дослідженні 3φ СД). Подача і зняття настільної напруги із стенду № 3 на стенд № 4 здійснюється відповідно за допомогою кнопок "Пуск 4" і "Стоп 4" з клем \pm СД стенду № 3 на клеми \pm СД Стенду № 4.

Лабораторний стенд № 4 (його схема на рис.14.1 обведена штрих-пунктиром) включає механічно сполучені на одному валу досліджуваний двигун постійного струму (ДПС), що є навантаженням ГПС у системі Г-Д і електромагнітне гальмо Т, яким навантажується ДПС, а також тахометр ТАХ1 з перемикачем П1, (у даній роботі він - в лівому положенні). Крім того, в стенда № 4 входять: 1ф ЛАТР1, який призначений для регулювання випрямленої мостом В1 постійної напруги для живлення обмотки електромагнітного гальма Т; щитові вимірювальні прилади; апаратура для подачі і зняття змінної напруги на 1ф ЛАТР1 (кнопки "Пуск 1" і "Стоп 1") Ключ S1, (вгору - увімкнений, вниз - вимкнений) слугує для комутації первинного ланцюга 1ф ЛАТР1; S2 (вгору - увімкнений, вниз - вимкнений) - для комутації ланцюга постійного струму електромагнітного гальма Т. Реостат $R_{\text{овш}}$ (знаходиться зліва, під горизонтальною панеллю стенду № 4) слугує для регулювання струму збудження в ланцюзі паралельної обмотки збудження ОВШ досліджуваного ДПС. Напруга на якорі ДПС і його струм збудження контролюються по V2 і А6 . Показання моментомера в кГм необхідно брати за нижньою шкалою, а для перекладу в Нм їх необхідно збільшувати в 9,8 раз. Показання ТАХ1 зменшувати в два рази (але це необхідне робити тільки при обчисленнях, а при вимірюваннях робити відліки за стрілкою). Частина схеми, обведені пунктиром, складено в середині стенда.

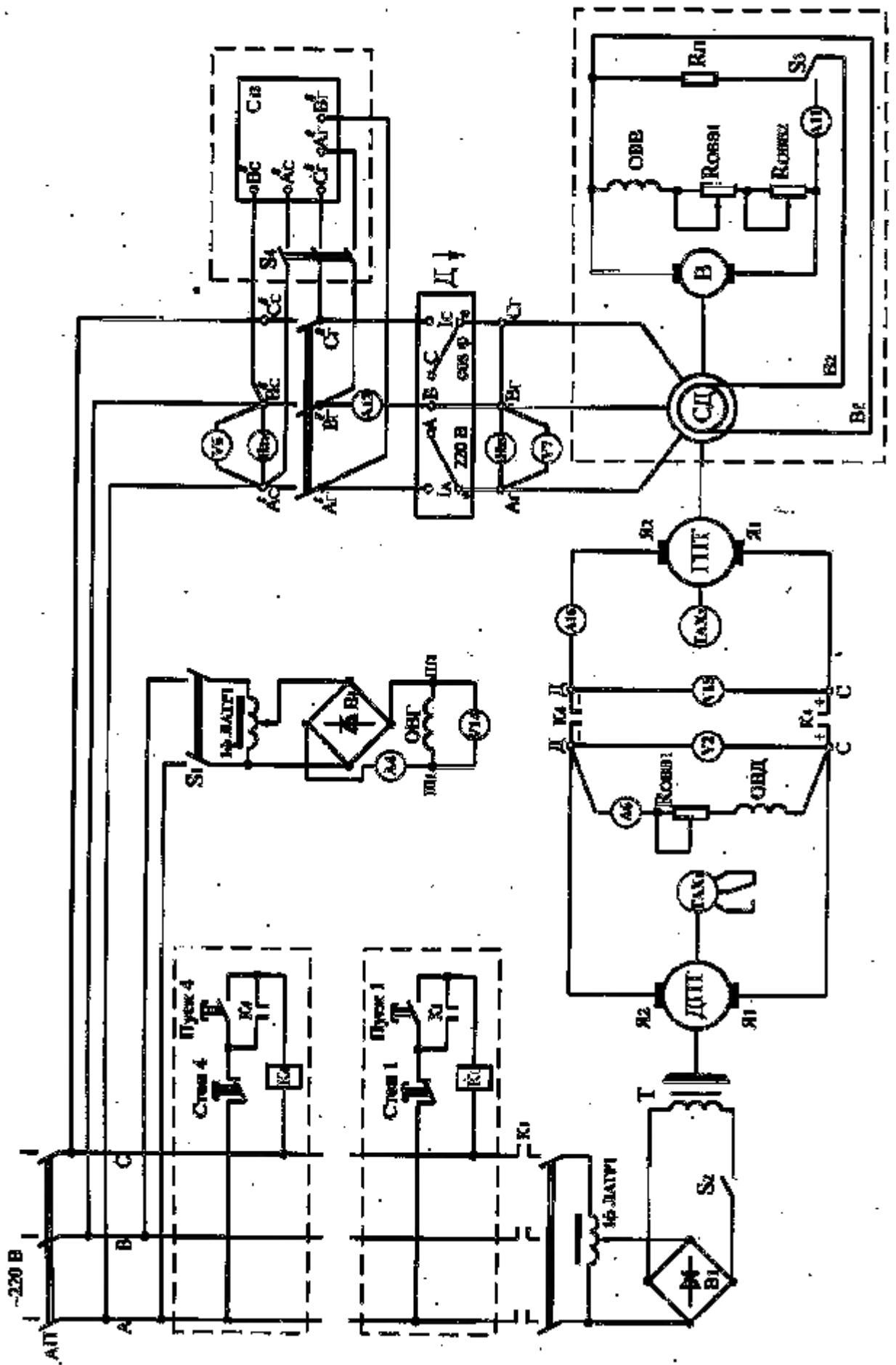


Рис 14.1

14.3 Порядок виконання роботи

14.3.1. Записати паспортні дані приводного СД, ГПС і досліджуваного ДПС в системі Г-Д формою, приведеної на їх заводських табличках.

14.3.2. Скласти схему згідно рис.14.1. Початкове положення апаратури по стенду № 3: АП, АПс, S1, S4 - вимкнені; ручка 1ф ЛАТРa1 в крайньому лівому положенні; S3 - в нижньому положенні (ланцюг якоря збудника В замкнутий на обмотку збудження приводного СД); ручки R_{ОВВ1} і R_{ОВВ2} - у крайніх лівих положеннях; перемикач вольтметрів V7 і V14 - в правому положенні на 300 В.

Початкове складання апаратури по стенду № 4: S1, S2 - вимкнені; перемикач П тахометра ТАХ1, ручка 1ф ЛАТРa1 і повзунок реостата R_{ОВШ} – у крайніх лівих положеннях, що відповідає мінімальній напрузі, що подається з 1ф ЛАТРa1 на гальмо Т і мінімальному опору в ланцюзі обмотки збудження ОВД досліджуваного ДПС.

14.3.3. Здійснити пуск ДПС в системі Г-Д. Для цього необхідно здійснити асинхронний пуск приводного СД

14.3.3.1. Вімкнути АП (вправо), при цьому по V6 $U=230$ В, по Hz10 $f=60$ Гц.

14.3.3.2. Ручки: R_{ОВВ1} - вправо до упору, R_{ОВВ2} – вправо на: 180°.

14.3.3.3. S3 – вгору (ланцюг ротора приводного СД, тобто його обмотка збудження замкнена на пусковий опір R_п).

14.3.3.4 Вімкнути АПс (вгору) і приблизно через 3 секунди (коли по ТАХ2 частота обертання ротора приводного СД буде передсинхронною, тобто $n=1490$ об/хв, свідчення ТАХ2 зменшувати удвічі) S3 перемкнути вниз (при цьому ел. коло ротора приводного СД живитиметься постійним струмом від збудника В). Пуск СД здійснено.

14.3.3.5. Підключити ГПС до ДПС шляхом натиснення кнопки "Пуск 4" на стенді № 3; натиснути кнопку "Пуск1" і включити S1 і S3 на стенді № 4, ніж забезпечити подачу напруги на 1ф ЛАТР1 і гальмо Т досліджуваного ДПС.

14.3.3.6. Вімкнути S1 на стенді №3 і ручкою 1ф ЛАТРa1 установити в ел. колі збудження ГПС за V14 і A4 відповідно $V=230$ В і $I=0,7$ А. Цьому

збудженню відповідають за V15 і V2 $U_{ГПС} = U_{ДПС} = 185 \text{ В}$. При цьому спостерігати по ТАХ1 стенду № 4 збільшення частоти обертання ДПС. Пуск ДПС в системі Г-Д закінчений.

14.3.3.7. Ручкою $R_{ОВВ2}$ встановити такий струм збудження приводного СД (по А11 $I=6\text{А}$ при якому $\cos\phi=1$, а струм статора СД по $I=1,9 - 2 \text{ А}$. Система Г-Д підготовлена для зняття механічних характеристик досліджуваного ДПС. Записати показання приладів до табл.14.1. Хоча для побудови характеристик $n=f(M)$ необхідно знати частоту обертання $n_{ДПС}$ і його момент $M_{ДПС}$, але в табл. 14.1 наведено й інші параметри системи Г-Д, які необхідні для аналізу її роботи.

14.3.4. Зняти експериментальні дані для побудови механічних характеристик досліджуваного ДПС у системі Г-Д при регулюванні частоти обертання ДПС вниз від номінальної зміною напруги на двигуні:

$n = f(M)$ при $I_{ВДПС}=I_{ВН}=\text{const}$, $U_{ГПС}=U_{ДПС} < U_{Н} = \text{const}$, зразковий вид яких показаний на рис.14.2 (сімейство характеристик, що починаються з $n_0, n_{01}, n_{02}, n_{03}, n_{04}$ і відповідних $U_{ДПС}, U_{1ДПС}, U_{2ДПС}, U_{3ДПС}, U_{4ДПС}$.

14.3.4.1. Повертаючи на стенді №4 ручку 1ф ЛАТРа1 вправо (5 вимірів), завантажувати ДПС і записувати показання приладів до табл. 14.1. Граничне значення моментомера ДПС не більш 15 Нм. Повертанням ручки 1ф ЛАТРа1 уліво на стенді № 4 дає змогу розвантажити ДПС.

14.3.4.2. Ручкою 1ф ЛАТРа1 на стенді №3 установити за V14 і А4 такі напругу і струм збудження ГПС, яким відповідають по V15 і V2 $U_{ГПС}=U_{ДПС} =160 \text{ В}$.

Таблиця 14.1

Вид харак-теристіки	Значення параметрів	№ п/п	Прилади стенду 3										Прилади стенду 4			
			TAX2	A11		V7	A12	V14	A4	V13	V16		V2	A6	TAX1	
				Исд	Ивсд	Исд	U _{вГПС}	I _{вГПС}	U _{ГПС}	I _{ГПС}	cosφ	M _{дпс}	U _{дпс}	I _{вдпс}	n _{дпс}	
			об/м	A	B	A	B	A	B	A			B	A	об/м	
Зміна напруги на ДПС	U _{дпс} = 185В															
	U _{1дпс} = 160В															
	U _{2дпс} = 140В															
	U _{3дпс} = 100В															
	U _{4дпс} = 100В															
Ослаблення поля ДПС	I _{вдпс} = 0,35А															
	I _{вдпс} = 0,25А															

Рекомендовані масштаби:

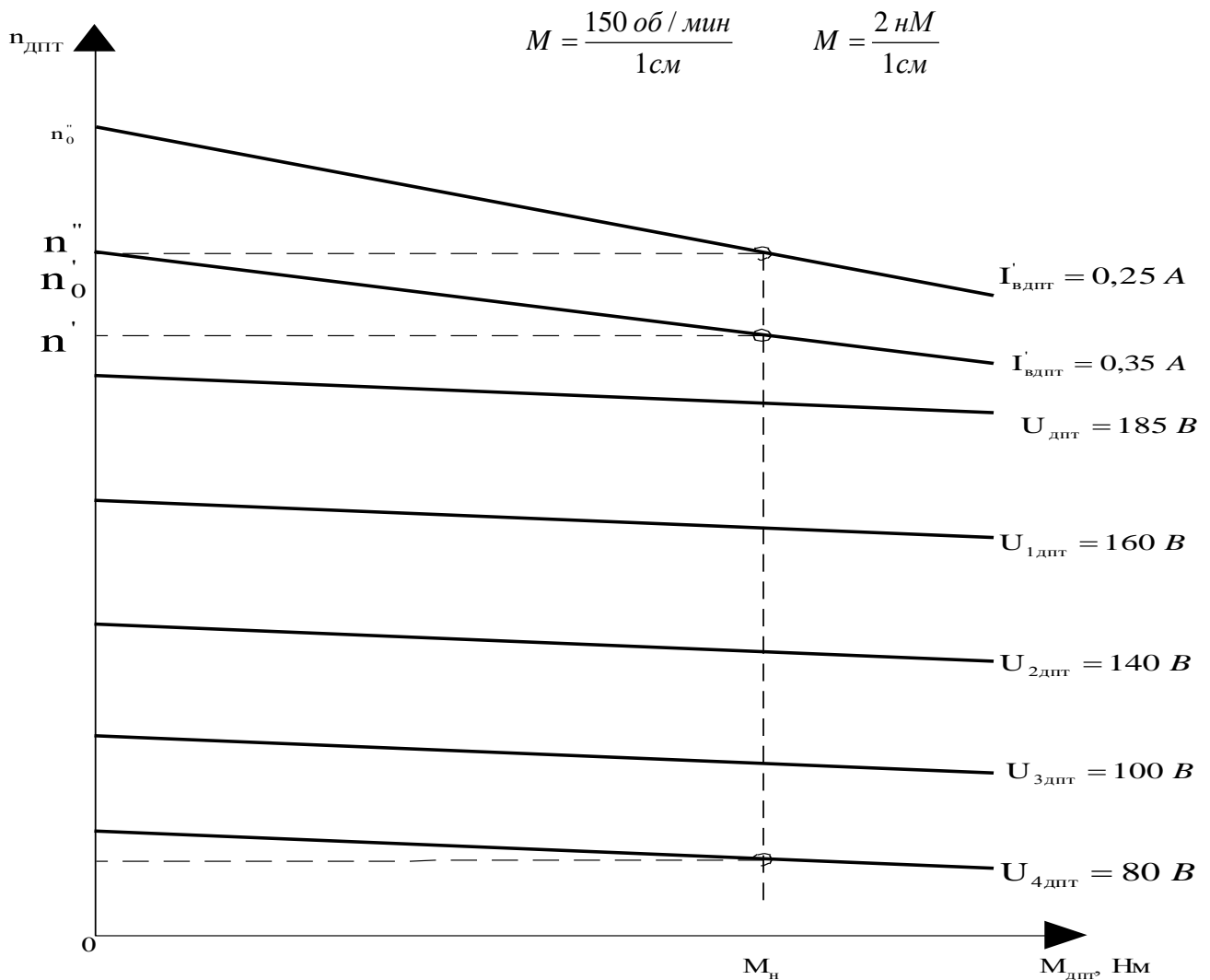


Рис. 14.2

Потім поворотом ручки вправо 1ф ЛАТРа1 на стенді № 4 (5 вимірів) завантажувати ДПС і записувати показання приладів в.табл.14.1.

14.3.4.3. За аналогією з п.14.3.4.2 зняти механічні характеристики ДПС для напруг $U_{ГПС}=U_{ДПС}=140, 100$ і 60 В. І щоразу записувати показання до табл. 14.1. Потім розвантажити ДПС поворотом ручки уліво 1ф ЛАТРа1 стенду № 4, а поворотом вправо ручки 1ф ЛАТРа1 стенду № 3 встановити в ланцюзі збудження ГПС по V14 і A4 відповідно $U=230$ У і $I = 0,7$ А.

Потім поворотом ручки вправо 1ф ЛАТРа1 на стенді № 4 (5 вимірів) завантажувати ДПС і записувати показання приладів в табл. 14.1.

14.3.4.4. За аналогією з п.14.3.4.2 зняти механічні характеристики ДПС для напруг $U_{ГПС}=U_{ДПС} = 140, 100$ і 60 В. І щоразу записувати показання в табл.14.1. Потім розвантажити ДПС поворотом ручки вліво 1ф ЛАТРа1 стенду № 4, а поворотом вправо ручки 1ф ЛАТРа1 стенду № 3 встановити в ланцюзі збудження ГПС по V14 і А4 відповідно $U=230$ В і $I = 0,7$ А.

14.3.5. Зняти експериментальні дані для побудови механічних характеристик досліджуваного ДПС в системі Г-Д при регулюванні його частоти обертання вгору від номінальної ослабленням поля двигуна: $n=f(M)$ при $U_{ГПС}=U_{ДПС} = \text{const}$, $I_{вДПС} < I_{вн} \neq \text{const}$ зразковий вид яких показаний на рис.14.2 (сімейство характеристик, що починаються з n'_0 і n''_0 і відповідних $I'_{вДПС}$ і $I''_{вДПС}$).

14.3.5.1. Встановити повзунок реостата $R_{овш}$ у середнє положення, якому відповідає по А6 $I'_{вДПС} = 0,35$ А.

14.3.5.2. Згідно п.14.4.4.1 зняти механічну характеристику ДПС.

14.3.5.3. Установити повзунок реостата $R_{овш}$ в праве крайнє положення, якому відповідає по А6 $I''_{вДПС} = 0,25$ А і повторити згідно п.14.3.5.2 зняття механічної характеристики ДПС.

14.3.5.4. Вивести повзунок $R_{овш}$ у ліве крайнє положення.

14.3.5.5. Зупинити систему Г-Д, для чого на стенді № 4 повернути ручку 1ф ЛАТРа1 вліво до упору, вимкнути S1 і S2 і натиснути "Стоп1"; на стенді № 3 натиснути "Стоп4", повернути ручку 1ф ЛАТРа вліво до упору, вимкнути S1, АПс і АП.

Робота закінчена.

14.4 Обробка результатів. Звіт

Після закінчення роботи слід обробити результати і скласти звіт, в якому повинні бути:

14.4.1. Найменування, мета і програма роботи.

14.4.2. Паспортні дані приводного СД, ГПС і досліджуваного ДПС формою, вказаної в їх заводських табличках.

14.4.3. Схема установки системи Г-Д згідно мал. 14.1.

14.4.4. Табл.14.1 з одержаними експериментальними даними.

14.4.5. Механічні характеристики досліджуваного ДПС в системі Г-Д згідно рис.14.2.

14.4.6. Аналіз одержаних характеристик досліджуваного ДПС в системі Г-Д, висновки про її експлуатаційні властивості.

14.4.7. Діапазон регулювання частоти обертання досліджуваного ДПС в системі Г-Д при значенні $M_{\text{ДПС}} = M_n, N_n$ (см.рис.14.2), який визначається

$$D = \frac{n''}{n_n} ; \quad M_n = \frac{9750 P_n}{n_n},$$

де P_n (кВт) і n_n (об/хв) беруться з паспортних даних досліджуваного ДПС стенду №4.

Контрольні питання

1. Схема системи Г-Д і способи регулювання частоти обертання досліджуваного ДПС (вниз і вгору від номінальної).
2. Порядок підготовки системи Г-Д для зняття механічних характеристик досліджуваного ДПС.
3. Порядок і методика зняття механічних характеристик досліджуваної ДПС зміною напруги на ньому (регулювання частоти обертання ДПС вниз від номінальної).
4. Порядок і методика зняття механічних характеристик досліджуваного ДПС ослабленням його поля, (регулювання частоти обертання ДПС вгору від номінальної).
5. Яку енергію і рід струму споживають і віддають агрегати в системі Г-Д (СД, ГПС, ДПС, В)?

6. Яким чином впливає навантаження ДПС на частоту його обертання і на частоту обертання СД?

7.Що таке діапазон регулювання частоти обертання ДПС в системі Г-Д?

Лабораторна робота 15

Дослідження тахогенератора

(стенд 7)

Мета роботи - дослідження експлуатаційних властивостей тахогенератора постійного струму і визначення можливості його застосування в системах автоматичного управління електроприводами.

15.1 Програма роботи

15.1 Вивчити за рекомендованою літературою, навчальними плакатами, лабораторними стендами пристрій і принцип дії тахогенератора з постійними магнітами, його основні характеристики та методику їх зняття. Зняти залежність вихідної напруги $U=f(n)$ від швидкості обертання тахогенератора на холостому ході (х.х.).

15.2 Зняти залежність вихідної напруги $U=f(n)$ від швидкості обертання тахогенератора при еквівалентному навантаженні.

15.3 Визначити реальну чутливість тахогенератора в мВ/об/хв.

15.4 Провести аналіз знятих характеристик, визначити межі лінійності характеристик і зробити висновки про експлуатаційні властивості тахогенератора.

15.2. Опис установки, устаткування і прилади

Лабораторний стенд для дослідження тахогенератора (ТГ) містить механічно зеднані на одному валу приводний двигун з великою межею регулювання швидкості (0-4000) об/хв, тахогенератор ТМГ-30 з постійними магнітами для збудження, диск з шістьма щілинами з електронним датчиком

для вимірювання швидкості обертання валу тахогенератора. Для вимірювання напруги тахогенератора застосований цифровий електронний вольтметр ВК-7-20; для вимірювання швидкості обертання тахогенератора - електронний цифровий тахометр ЦАТ-3М. Регулювання швидкості обертання двигуна здійснюється зміною напруги, що підводиться до клем приводного двигуна, за допомогою ЛАТРа.

Схема для дослідження тахогенератора приведена на рис.15.1. Всі елементи схеми складено в стенді. На передню панель виведені клеми для підключення вольтметра, а також клеми для подавання напруги на приводний двигун. Вимикач В1 встановлений на станині машин, перемикач Р реверсу двигуна - на датчику швидкості. Для ввімкнення установки для роботи необхідно подати напругу на затискач ЛАТРа, увімкнути кнопку "мережа" на лицевій панелі вольтметра і електронного тахометра. У диску датчика швидкості прорізано шість щілин. Тахометр вимірює кількість імпульсів в секунду. Для відліку швидкості в об/хв необхідно показання тахометра помножити на 10.

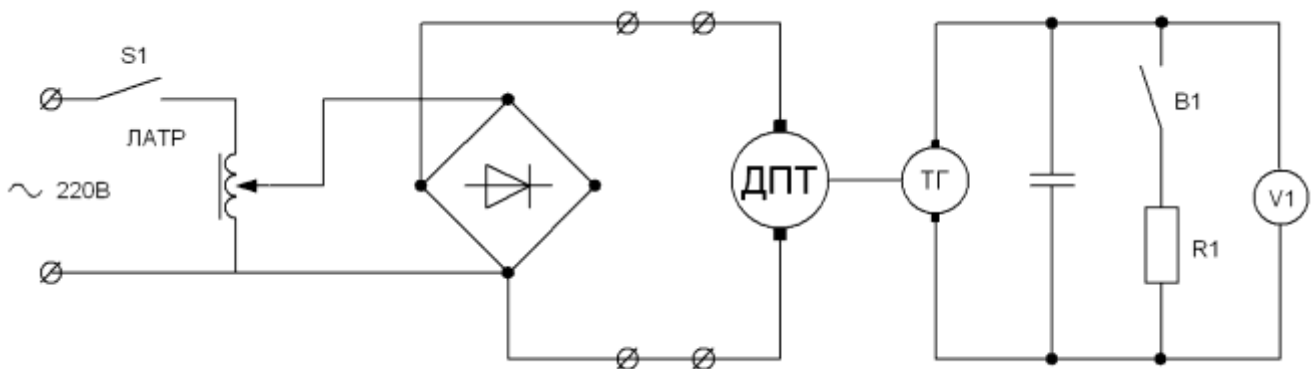


Рис. 15.1

15.3. Порядок виконання роботи

15.3.1. Записати паспортні дані тахогенератора:

Тип тахогенератора

Швидкість обертання

Чутливість

Збудження

Навантаження номінальне

15.3.2. Скласти схему згідно рис.15.1. Початкове положення ручок керування: тумблер S1 - в нижньому положенні; ручка ЛАТРа - в крайньому лівому, що відповідає нульовій напрузі в ланцюзі двигуна; вимикач В1 відключений (положення "на себе"), тобто навантаження тахогенератора відключене; перемикач реверсу двигуни П - у положенні "на себе", що відповідає обертанню двигуна вправо.

15.3.3. Увімкнути стенд, натиснувши кнопку "ПУСК" в лівій частині стенду. Увімкнути тумблер S1 у верхнє положення. Увімкнути вольтметр ВК-7-20 і цифровий тахометр ЦАТ-3М, при цьому цифрові табло висвітять нулі.

15.3.4. Змінюючи за допомогою ЛАТРа напругу на двигуні зняти характеристику $U=f(n)$ на холостому ході при обертанні тахогенератора вправо. Швидкість двигуна змінювати в межах 0-4000 об/мин. Напругу на затискачах тахогенератора контролювати на ВК-7-20, а швидкість обертання - по ЦАТ-3М.

Повернути ручку ЛАТРа в початкове положення, зреверсувати двигун, перемкнувши тумблер П в положення "від себе", і зняти ту ж характеристику при обертанні вліво. Дані занести в табл. 15.1.

Таблиця 15.1

Номер досліджу	Напруга тахогенератора, В		Швидкість обертання, об/хв	
	вправо	уліво	вправо	уліво

1

2

...

8

15.3.5. Зняти характеристику $U=f(n)$ при еквівалентному навантаженні тахогенератора, для чого увімкнути тумблер $У_1$ та провести дослід по п.15.3.4. Дані занести в табл.15.2.

Таблиця 15.2

Номер досліджу	Напруга тахогенератора, У		Швидкість обертання, об/хв		Чутливість, мВ/обхв	
	вправо	уліво	вправо	уліво	вправо	уліво
1						
2						
...						
8						

15.3.6. Після зняття експериментальних даних повернути всі ручки керування у вихідне положення, вимкнути ВК-7-20 і ЦАТ-3М, вимкнути стенд натисканням кнопки "СТОП" у його лівій частині.

15.4. Обробка результатів. Звіт

Після обробки результатів оформити звіт, куди повинні увійти:

15.4.1. Найменування, мета і програма роботи.

15.4.2. Паспортні дані тахогенератора.

15.4.3. Схема установки згідно із рис.15.1.

15.4.4. Табл.15.1 и 15.2 з експериментальними даними і розрахунковими значеннями чутливості тахогенератора при навантаженні, що визначається за формулою, $\frac{мВ}{об / хв}$

$$S = \frac{U}{n},$$

де $U, мВ$ і $n, об/хв$ - відповідна вихідна напруга і число обертів тахогенератора.

15.4.6. Вихідні характеристики, побудовані в одній системі координат:

$$U=f(n) \quad \text{при х.х}$$

$$U=f(n) \quad \text{при навантаженні}$$

15.4.6. Аналіз отриманих характеристик і висновки про експлуатаційні властивості тахогенератора.

Контрольні питання

1. Пристрій і принцип дії тахогенератора постійного струму з постійними магнітами.
2. Переваги і недоліки тахогенератора постійного струму.
3. Рівняння вихідної характеристики тахогенератора.
4. Залежність кута нахилу вихідної характеристики від опору навантаження.
5. Причини відхилення реальних вихідних характеристик від лінійного закону.
6. Чи можливо застосування тахогенераторів при змінному навантаженні?
7. Порядок зняття вихідної характеристики $U=f(n)$.
8. Необхідна умова для використання машин постійного струму в якості тахогенераторів.

Лабораторна робота 16

Дослідження універсального колекторного двигуна

(стенд № 8)

Мета роботи - дослідження експлуатаційних властивостей універсального колекторного двигуна і визначення можливості його увімкнення в мережу перемінного і постійного струму.

16.1. Програма роботи

I. Вивчити за навчальною літературою, що рекомендується, навчальними плакатами, діафільмами і лабораторними стендами пристрій, принцип дії універсального колекторного двигуна (УКД), його основні характеристики, методику їхнього зняття на постійному і змінному струмі.

2. Зняти експериментальні дані залежності швидкості обертання якоря від величини підвідної напруги постійного струму і змінного на холостому ході (х.х.).

3. Зняти швидкісну характеристику електродвигуна при живленні його постійним і змінним струмом під навантаженням.

Визначити величину коефіцієнта потужності електродвигуна при живленні його змінним струмом для різного навантаження на валу.

5. Провести аналіз робочих характеристик і зробити висновки про експлуатаційні властивості УКД на постійному і змінному струмі.

16.2. Опис установки, устаткування і приладів

Лабораторний стенд для дослідження УВС (стенд № 8) містить у собі механічно з'єднані на одному валі УКД, електричне гальмо (Т) і тахометр для виміру частоти обертання (ТАХ). Крім того, до стенд входять щитові прилади й апаратура для регулювання постійної і змінної напруги.

Для дослідження УКД складають дві окремі схеми для живлення його постійним (мал.16.1а) і змінним (мал.16.1б) струмами, у кожній з яких передбачена необхідна вимірювальна апаратура. Частина схеми на рис.16.1, обведені пунктиром, зібрані усередині стенда.

Регулювання напруги постійний і перемінний токи, підведеного до електродвигуна, здійснює ЛАТР1 у межах 0-250 В.

Регулювання струму гальма Т здійснює ЛАТР1.

Подача і зняття напруги змінного струму на виходи ЛАТРів здійснюється автоматичним вимикачем A_1 , що знаходиться в нижній частині стенда.

За допомогою вимикачів S_1 і S_2 подається напруга відповідно на ЛАТР1 і ЛАТР2, а вимикач S_3 , відключає струм гальма Т.

При живленні УВС постійним струмом струм двигуна і напруга на ньому контролюються відповідно амперметром A_{12} і вольтметром V_9 . При живленні УВС змінним струмом для виміру струму, напруги й активної потужності,

споживаної двигуном, слугують відповідно амперметр A_{12} , вольтметр V_{14} настільний ваттметр W .

Настільний вольтметр вимірює напругу на гальмі T .

16.3. Порядок виконання роботи

16.3.1. Записати паспортні дані УВС:

$$U_{\sim} = \quad \text{В}; \quad n = \quad \text{об/хв};$$

$$I_n = \quad \text{А}; \quad h_n =$$

$$I_{\sim} = \quad \text{А}; \quad h_{\sim} =$$

$$P_n = \quad \text{Вт}; \quad \cos\varphi =$$

$$P_{\sim} = \quad \text{Вт};$$

16.3.2. Зібрати схему для живлення УВС постійним струмом згідно рис.16.1а. Вихідне положення ручок керування апаратури: автоматичний вимикач HA_1 - у нижньому положенні (напруга на клеммах А, У, З відсутня); тумблери S_1, S_2, S_3 - у нижньому положенні; ручки ЛАТРів - у крайньому лівому, що відповідає мінімальній напрузі на виході ЛАТРів.

Після перевірки схеми керівником зробити пуск двигуна ввімкнення A_1 і S_2 .

16.3.3. Зняти експериментальні дані для визначення залежності швидкості обертання двигуна від підвідної постійної напруги на холостому ході (х.х.). Для цього необхідно змінювати напругу на двигуні ЛАТРом від 0 до 150 В, контролюючи її вольтметром V_9 . Швидкість обертання вимірювати тахометром ТАХ (показання ТАХ потрібно множити на 100). Результати спостережень занести в табл.16.1.

Таблиця 16.-1

Номер Дослід	Напруга постійного струму, В	Швидкість обертання, об/хв
--------------	------------------------------	----------------------------

1

2

3

...

8

16.3.4. Зняти експериментальні дані для побудови швидкісної характеристики УВС при двох напругах живлення $U=U_1$ і $U=0.9U_1$

16.3.4.1. Установити ЛАТРоМ2 напругу (за V_9) $U=U_1=120$ В.

16.8.4.2. Увімкнути тумблер S_1 і S_3 , подавши тим самим напругу на ЛАТР1 і замкнувши ланцюг гальма Т.

16.3.4.3. За допомогою ЛАТРа1 змінювати напругу на гальмі Т від нуля до значення, що відповідає споживаному струмові двигуна 0,7 А. Напругу контролювати по V , а струм I_g - по A_{12} .

При кожному встановленому навантаженні тахометром вимірювати швидкість обертання вала двигуна.

Під час випробування УВС під навантаженням необхідно з допомогою ЛАТРа2 підтримувати незмінною напругу на затискачах УКД (по V_9).

16.3.4.4. Повернути ручку ЛАТРа1 у крайнє ліве положення.

16.3.4.5. Установити за допомогою ЛАТРа2 напругу $U_2=0.9U_1$.

16.3.4.6. Повторити дослід за п.16.3.4.3.

16.3.4.7. Після зняття експериментальних даних установити ручки ЛАТРів у крайнє ліве положення, вимкнути S_1 , S_2 , S_3 .

16.3.4.6. Результати дослідів занести в табл.16.2.

16.3.6. Зібрати схему для дослідження УКД при живленні змінним струмом (мал.16.16).

Після перевірки схеми викладачем зробити пуск двигуна ввімкненням A_1 і S_2 .

16.3.6. Повторити дослід, описані в пп.16.3.3 і 16.3.4. При цьому напругу на двигуні контролюють за вольтметром V_{14} , а струм двигуна - за A_{12} .

Результати дослідів занести в табл.16.3 і 16.4.

Таблиця 16.2

Номер Дослід у	Вимірювання на постійному струмі					
	Номінальна напруга			Знижена напруга		
	Напруга U_n , В	Струм I_g , А	Швидкість n , об/хв	Напруга U_n , В	Струм I_g , А	Швидкість n , об/хв

1

2

3

...

8

Таблиця 16.3

Номер Дослід	Напруга змінного струму, В	Швидкість обертання, об/хв
-----------------	----------------------------	----------------------------

1

2

...

8

Таблиця 16.4

Номер дослід	Зміни на змінному струмі							
	Номінальна напруга				Знижена напруга			
	напруга U_n , В	струм I_g , А	потуж ність P , Вт	швид кість об/хв	напруга U_n , В	струм I_g , А	потуж ність P , Вт	швид кість об/хв

1

2

...

...

16.4. Обробка результатів. Звіт.

16.4.1. Найменування, мета і програма роботи.

16.4.2. Привести паспортні дані УКД.

16.4.3. Схема дослідження УКД при живленні постійним і змінним струмом.

16.4.4. Табл.16.1-16.4 з експериментальними даними і розрахунковими значеннями $\cos \varphi$, що визначається по формулі

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I_g}$$

де P - активна потужність, споживана УНД, УТ;

U - напруга живлення УКД, У;

I_g - струм, споживаний двигуном, А.

16.4.5. Побудувати в одній системі координат графіки залежності $n=f(I_g)$ швидкості двигуна від напруги постійного і змінного струмів на х.х. Масштаб для напруги постійного і перемінного струмів прийняти однаковим.

16.4.6. Побудувати в одній системі координат швидкісні характеристики $n=f(I_g)$ при живленні УВС постійним і змінним струмами при напругах U_1 і $0,9U_1$.

16.4.7. Побудувати залежність $\cos\varphi=f(I_g)$ для напруг живлення УКД U_1 і $0,9U_1$.

16.4.8. Зіставити властивості досліджуваного УКД при живленні його постійним і змінним струмами.

Контрольні питання

1. Які електродвигуни називаються універсальними і як вони улаштовані?
2. Як і чому змінюється швидкість обертання якоря УКД, що працює при постійній величині напруги, але при змінному навантаженні на валу?
3. Яким способом можна регулювати швидкість обертання УКД?
4. Схеми з'єднання обмоток УКД.
5. Як можна змінити напрямок обертання якоря УКД?

6. Чому в УКД застосовуються різні схеми включення обмоток збудження навіть при однаковому значенні живильної напруги постійного і змінного струмів?

Лабораторна робота 17

Випробування електромашинного підсилювача поперечного поля (стенд №8)

Мета роботи - дослідження експлуатаційних властивостей електромашинного підсилювача поперечного поля шляхом зняття характеристик холостого ходу і зовнішніх характеристик.

17.1. Програма роботи

I. Вивчити за рекомендованою літературою, навчальним плакатам, Діафільмам, лабораторним стендам пристрій, принцип дії електромашинного підсилювача поперечного поля (ЕМП), його основні характеристики, методику їхнього зняття.

Зняти характеристику холостого ходу і зовнішні характеристики ЕМП.

3. Визначити величину коефіцієнта підсилення по потужності.

4. Провести аналіз отриманих характеристик ЕМП і зробити висновки про його експлуатаційні властивості.

17.2. Опис установки, устаткування і прилади

Лабораторний стенд для дослідження ЕМП (стенд № 8) містить у собі агрегат, що складається з ЕМП і приводного електродвигуна Д, змінний навантажувальний опір R_2 , регульовальний реостат R_1 , джерело напруги, вимірювальні прилади й апаратуру для пуску і зупинки двигуна.

Схема установки для випробування ЕМП приведена на рис.17.1. Частина схеми, обведені пунктиром, зібрані усередині стенда. Як приводний двигун Д застосований трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором, швидкість обертання якого при всіх режимах роботи ЕМП можна

вважати практично незмінної. Пуск і зупинка двигуна здійснюється кнопками ПІ "ПУСК" і СТОП". Одна з керуючих обмоток ЕМП ОУ1 живиться від регульованого джерела напруги, що змінюється в межах 0-12 В. Напруга і струм керуючої обмотки вимірюється відповідно вольтметром V_{10} і настільним міліамперметром A_y . Вихід ЕМП включений на змінний навантажувальний опір R_2 , що представляє собою п'ять паралельно з'єднаних реостатів. Реостати включаються в ланцюг навантаження тумблерами $S_{4 \div 8}$. Струм і напруга на виході ЕМП фіксуються амперметром A_{15} і настільним вольтметром V . Регулювальний реостат R_1 служить для зміни впливу компенсаційної обмотки на роботу ЕМП. Струм компенсаційної обмотки вимірюють амперметром.

17.3. Порядок виконання роботи

17.3.1. Ознайомитися з приладами, машинами й іншим устаткуванням стенда і записати технічні характеристики ЕМП і Д за формою, зазначеної на їхніх заводських таблицях. Указати також величину опору ланцюга якоря ЕМП $r_{я} = 1,7 \text{ Ом}$.

17.3.2. Зібрати схему випробування ЕМП згідно рис. 17.1. Вихідне положення ручок керування; автоматичний вимикач A_1 - у нижньому положенні (напруга на клеммах А,У,З відсутня); ручка регулятора джерела, що задає напругу - у крайньому лівому положенні, що відповідає найменшому значенню напруги на обмотці, що задає, ОУ1; тумблери $s_{\div 4} 8$ вимкнені (у лівому положенні), т.е. навантаження відключене. Особливу увагу звернути на те, щоб при зборці схеми клеми А,У,З пускача ПІ були відповідно з'єднані з клеммами А,У,Із двигуна Д, у протилежному випадку обертання якоря ЕМП не буде відповідати напрямкові, у вказаному стрілкою на його корпусі, що неприпустимо навіть на короткий час.

17.3.3. Зняти характеристику холостого ходу (х.х.) ЕМП. Для цього необхідно ввімкнути вимикач A_1 натиснути кнопку "ПУСК" пускача ПІ (у лівій частині стенда), запустивши тим самим двигун Д. Після розгону агрегату збудити ЕМП до напруги 150-160 В поворотом ручки регулятора, який задає

напругу, у крайнє праве положення. Потім повертати ручку плавно вліво і поступово зменшувати струм порушення до нуля, фіксуючи при цьому ЕДС на виході ЕМП за вольтметром V , а струм порушення - за A_y . Після цього знову плавно збільшувати струм порушення до первісного значення, відзначаючи і записуючи результати спостережень у табл.17.1.

Таблиця 17.1

Номер досліджу	Електрорушійна сила на виході ЕМП $E_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$	Струм управління $I_y, \text{ А}$
1		
2		
...		
...		
20		

17.3.4. Досліджувати вплив компенсаційної обмотки на величину напруги на виході ЕМП при різному ступені компенсації.

17.3.4.1. На х.х. установити такий струм порушення, щоб на виході ЕМП установилася ЕДС $E_{\text{ВЫХ}}$ номінальній напрузі U_n машини. Движок реостата R_1 (розташований під кришкою столу стенда) перевести в крайнє праве положення, що відповідає максимальній величині опору R_1 .

17.3.4.2. Зняти зовнішню характеристику ЕМП при встановленому струмі порушення, для чого змінювати величину навантажувального опору послідовним включенням тумблерів $S_{4 \div 8}$. При цьому фіксувати величину вихідної напруги $U_{\text{ВЫХ}}$ ЕМП, струм на виході і струм компенсаційної обмотки $I_{\text{КОМП}}$. Виключити тумблери $S_{4 \div 8}$.

17.3.4.3. Повторити дослід за п.17.3.4.2 ще при двох положеннях повзунка реостата R_1 (при менших значеннях опору R_1). Результати дослідів звести в табл.17.2.

17.3.4.4. Повернути ручку регулятора, що задає напругу, у крайнє ліве положення, виключити A_1 , натиснути кнопку "СТОП" пускача П1.

Роботу закінчено.

Таблиця 17.2

Номер дослідів	Напруга на виході ЕМП $U_{\text{ВЫХ}}$, В	Струм на виході ЕМП $I_{\text{ВЫХ}}$, А	Струм компенсаційної обмотки $I_{\text{КОМП}}$, А	Напруга на керуючій обмотці U_y , В	Струм керуючої обмотки I_y , А	Примітка
----------------	--	--	--	---------------------------------------	----------------------------------	----------

1

2

...

6

1

2

...

6

1

2

...

6

17.4. Обробка результатів. Звіт

Після обробки результатів варто оформити звіт, у якому повинно бути;

17.4.1. Найменування, мета і програма роботи.

17.4.2. Паспортні дані ЕМП і Д.

17.4.3. Схема установки згідно мал.17.1

17.4.4. Табл. 17.1 і 17.2 з експериментальними даними. У табл. 17.2 у графі примітка вказати співвідношення величин $U_{\text{вих}}$ і $(U_{\text{н}} - I_{\text{вих}} \cdot r_{\text{я}})$. Рівність $U_{\text{вих}} = (U_{\text{н}} - I_{\text{вих}} \cdot r_{\text{я}})$ відповідає повної компенсації; при $U_{\text{вих}} < U_{\text{н}} - I_{\text{вих}} \cdot r_{\text{я}}$ має місце недокомпенсація; при $U_{\text{вих}} > U_{\text{н}} - I_{\text{вих}} \cdot r_{\text{я}}$ - перекомпенсація.

17.4.5. Побудувати характеристику холостого ходу ЕМП $E_{\text{вих}} = f(I_{\text{у}})$.

17.4.6. Побудувати в одну система координат зовнішні характеристики ЕМП $U_{\text{вих}} = f(I_{\text{у}})$ при різному ступені компенсації подовжньої реакції якоря.

17.4.7. Підрахувати величини вихідної і вхідної потужностей, а також коефіцієнт підсилення за потужністю для всіх дослідів за пп.17.3.4.2 і 17.3.4.3 використовуючи наступні формули:

$$P_{\text{вх}} = U_{\text{у}} \cdot I_{\text{у}} \quad [\text{Вт}],$$

де $U_{\text{у}}$ [У] і $I_{\text{у}}$ [А] - напруга і струм керуючої обмотки,

$$P_{\text{вих}} = U_{\text{вих}} \cdot I_{\text{вих}} \quad [\text{Вт}],$$

де $U_{\text{вих}}$ [У] і $I_{\text{вих}}$ [А] напругу і струм на виході ЕМП

$$K_{\text{у}} = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} .$$

Результати розрахунків звести в табл.17.3

Номер досліджу	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$	$I_{\text{ВЫХ}}, \text{А}$	$P_{\text{ВЫХ}}, \text{Вт}$	$U_y, \text{В}$	$I_y, \text{А}$	$P_{\text{ВХ}}, \text{Вт}$	K_y	Примітка
----------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------	-----------------	----------------------------	-------	----------

1

2

...

6

1

2

...

6

1

2

...

6

17.4.8 Побудувати в одній системі координат криві $K_y=f(P_{\text{ВЫХ}})$ для всіх проведених дослідів.

17.4.9 Зробити аналіз отриманих характеристик і зробити висновки щодо експлуатаційних властивостей ЕМП.

Контрольні питання.

1. Як побудований ЕМП поперечного поля і де він використовується?
2. Чим відрізняється характеристика х.х. ЕМП від такої характеристики звичайного генератора постійного струму?
3. Для чого потрібна компенсаційна обмотка ЕМП?
4. Що називається коефіцієнтом підсилювання ЕМП за потужністю, від чого він залежить і як визначається?

5. Якими особливостями відрізняється ЕМП від інших підсилювачей потужності?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Копилов І.П. Електричні машини: Підр. для вузів. – М. : Енергоатоміздат, 1986. – Гл.5, § 5.9, 5.10, 5.12; гл.6, § 6.1-6.3.
2. Брускін Д.Е. і ін. Електричні машини: в 2 ч. – Ч.2: Підруч. Для електротехнічних спеціальностей вузів. – 2-ге видання. перероб. і доп. /Д.Е. Брускін, А.Є. Зорохович, В.С. Хвостов. – М.: Висч. Шк., 1987. – Гл. 8, § 8,12; гл. 9, § 9.1.
3. Вольдек О.І. Електричні машини: Підр. Для студентів висч. навч. закладів. – 3 – е вид., перероб. – Л.: Енергія, 1978. – Гл.10, § 10.4; гл.11, § 11.3; гл.43, § 43.1.
4. Конспек лекцій з курсу „Електричні машини”.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни “Електричні машини”, розділ “Спеціальні машини” для студентів денної та заочної форм навчання за напрямками 6.050702 – «Електромеханіка» і 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» (у тому числі для скороченого терміну навчання)

Укладачі: к.т.н., професор В.О.Некрасов,
к.т.н., доцент А.В.Некрасов,
д.т.н., с.н.с., професор А.П. Ращепкін,
асист. Р.М. Донченко,
асист. В.В. Ромашина

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. В.Д. Стрижак

Підп. до др. _____. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ КНУ імені Михайла Остроградського
39614, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20