

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 **“СИНХРОННІ 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 “Синхронні 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 №5 Дослідження трифазного синхронного генератора..... | 8 |
| Лабораторна робота №6 Дослідження трифазного синхронного двигуна..... | 21 |
| Список літератури..... | 33 |

ВСТУП

Курс "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 „Електричні машини” є невід’ємною частиною курсу. Даними методичними вказівками передбачено виконання двох лабораторних робіт з розділу: синхронні машини.

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 №5

Дослідження трифазного синхронного генератора (стенд №3)

Мета роботи - визначення експлуатаційних властивостей трифазного синхронного генератора шляхом експериментального зняття основних характеристик і увімкнення його на паралельну роботу з мережею

5.1 Програма роботи

5.1.1 Вивчити за літературою, що рекомендується, навчальними плакатами, діафільмами і кінофільмами, лабораторними макетними стендами конструкцію, принцип дії трифазного синхронного генератора, його основні характеристики, методику їх зняття, а також порядок увімкнення синхронного генератора на паралельну роботу з мережею.

5.1.2 Здійснити пуск синхронного генератора, зняти експериментальні дані і побудувати його характеристику холостого ходу (ХХ).

5.1.3 Зняти експериментальні дані та побудувати зовнішню (навантажувальну) характеристику синхронного генератора.

5.1.4 Зняти експериментальні дані й побудувати регульовальну характеристику синхронного генератора.

5.1.5 Здійснити увімкнення трифазного синхронного генератора на паралельну роботу з трифазною мережею змінного струму.

5.1.6 Провести аналіз отриманих основних характеристик трифазного синхронного генератора і зробити висновки про його експлуатаційні властивості.

5.2 Опис установки, устаткування і прилади

Електрична схема для дослідження трифазного синхронного генератора наведена на рис.1.

Лабораторний стенд за схемою, наведеною на рис.1, включає механічно з'єднані на одному валі трифазний синхронний генератор, приводний двигун постійного струму (ДПС), тахометр для виміру частоти їх обертання (ТАХ2), а також установлений на окремому фундаменті трифазний синхронний двигун (АД) з розташованим з ним на одному валі електромагнітним гальмом (Г) і тахометром (ТАХ1).

Трифазний асинхронний двигун служить навантаженням трифазному синхронному генератору. У стенд також входить трифазний ЛАТР, ручкою 1 якого регулюється величина змінної напруги на статорі асинхронного двигуна, що подається з клем A_2, B_2, C_2 , а ручкою 2 - величина напруги, що подається з клем A_3, B_3, C_3 , випрямленої мостом Ларіонова (B_3) постійної напруги на якорі ДПС (ліві крайні положення ручок 1 і 2 відповідають мінімальному, а праві крайні - максимальному значенню напруги трифазного ЛАТРа). Однофазний ЛАТР1 призначений для регулювання випрямленого мостом B_1 постійної напруги живлення обмотки збудження ($Ш_1, Ш_2$) ДПС, а однофазний ЛАТР2 – для регулювання випрямленої мостом B_2 напруги живлення обмотки гальма Г, що служить навантаженням АД. У стенді є щитові вимірювальні прилади, апаратура для пуску і зупинки АД, ДПС і увімкнення синхронного генератора на паралельну роботу з мережею.

Частини схеми, обведені пунктиром, зібрані всередині стенда. Подача і зняття змінної напруги на стенд здійснюється пусковим автоматом (АП), розташованим праворуч на бічній панелі стенда (вправо – ввімкнений, уліво - вимкнений).

Увімкнення синхронного генератора на паралельну роботу з мережею здійснюється пусковим автоматом АП_С (вгору - ввімкнений, униз - вимкнений). Ключі S_1 і S_2 (вгору - увімкнені, униз - вимкнені) служать для комутації первинних ланцюгів відповідно однофазного ЛАТРа1 і однофазного ЛАТРа2, ключ S_3 - для комутації ланцюга обмотки збудження синхронного генератора. У нижньому положенні S_3 підключає якірний ланцюг збуджувача З (на одному валі із синхронним генератором) для живлення обмотки збудження

синхронного генератора постійним струмом, у верхньому положенні S_3 замикає обмотку збудження синхронного генератора на пусковий опір R_{II} (для асинхронного пуску синхронного двигуна СД, що розглядається в лабораторній роботі з дослідження СД). Регулювальні реостати R_{O331} і R_{O332} служать для регулювання струму в ланцюзі обмотки збудження збуджувача Z і, врешті-решт - струму збудження синхронного генератора.

Лінійні струми, напруга і потужність асинхронного двигуна контролюються відповідно за A_1, A_2, A_3, V_6 і kW_8 ; струм в обмотці його гальма - за A_5 перемикачем тахометра ТАХ1 у даній роботі не користуються (він увесь час у правому положенні).

Напруга мережі та напруга синхронного генератора контролюються за V_6 і V_7 . При цьому V_6 треба приєднувати на клеми A'_c і B'_c мережі. V_7 має перемикач меж на 150 і 300 В (у роботі його треба встановити на 300В).

Частота струму синхронного генератора і мережі контролюється за частотомірами Hz_9 і Hz_{10} , струм збудження синхронного генератора і струм його статора - за A_{11} і A_{12} . Напруга збудження і струм збудження, напруга якоря і струм якоря ДПС контролюються відповідно за V_{14} і A_4 .

Вольтметр V_{14} має перемикач меж на 150 і 300В (у даній роботі використовується межа 300В). Момент увімкнення синхронного генератора на паралельну роботу з мережею визначається за синхроноскопі S_{13} , увімкнення (вгору) і вимикання (вниз) якого здійснює S_4 . Характер навантаження синхронного генератора визначається за настільним вимірювачем коефіцієнта потужності ($\cos\phi$) - косинусфіметра. Для дослідження синхронного генератора перемикач на косинусфіметрі необхідно поставити в положення Г (генератора), для дослідження синхронного двигуна перемикач – у положення Д (двигуна). Якщо ж такого перемикача немає, то необхідно перевірити правильність увімкнення косинусфіметра, що повинно відповідати схемі, показаній на рис.2а -для Г (генератора), на рис.2б – для Д (двигуна).

У даній роботі використана схема увімкнення вимірника коефіцієнта потужності тільки для Г (генератора, тобто рис.2а).

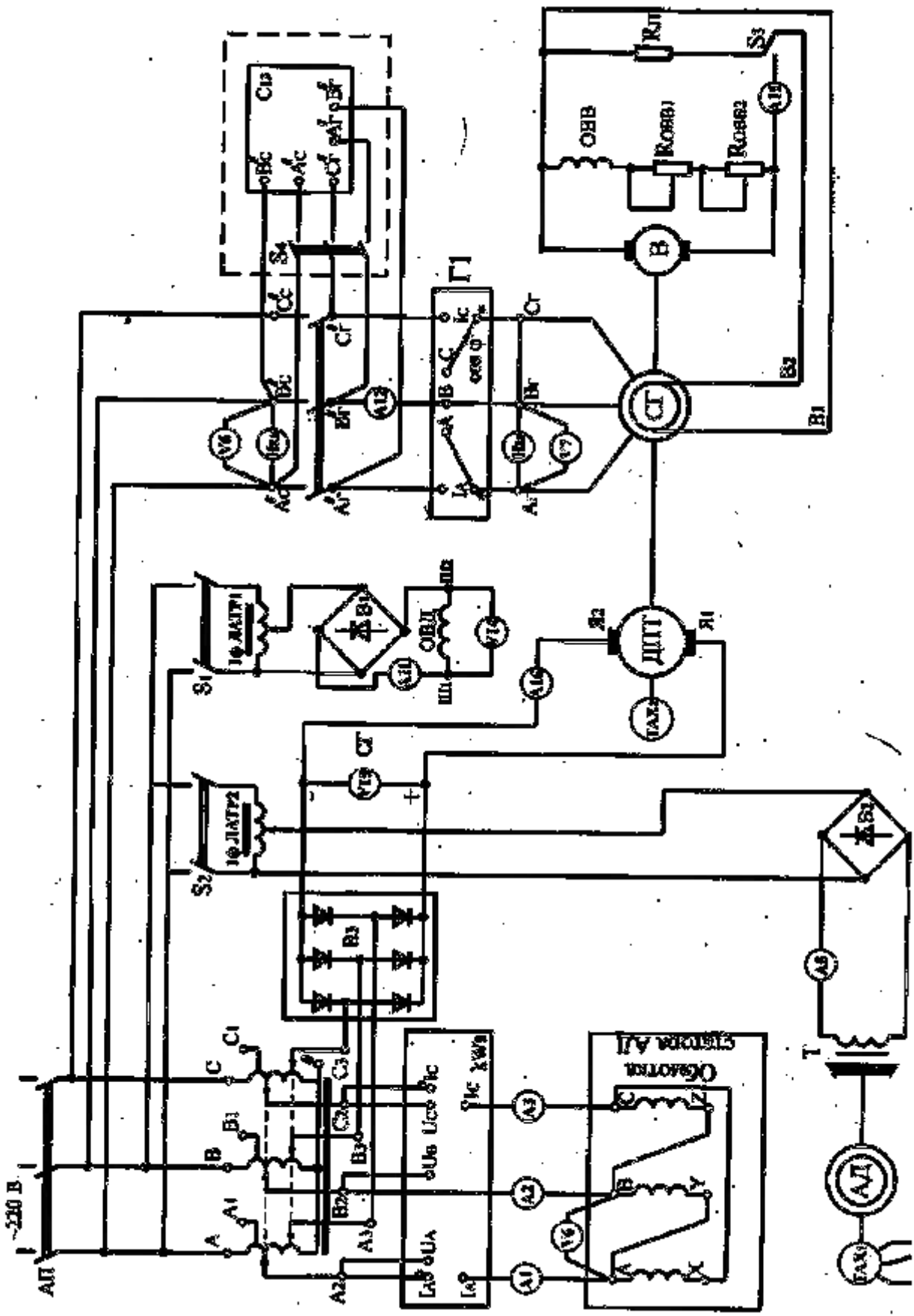


Рис.1

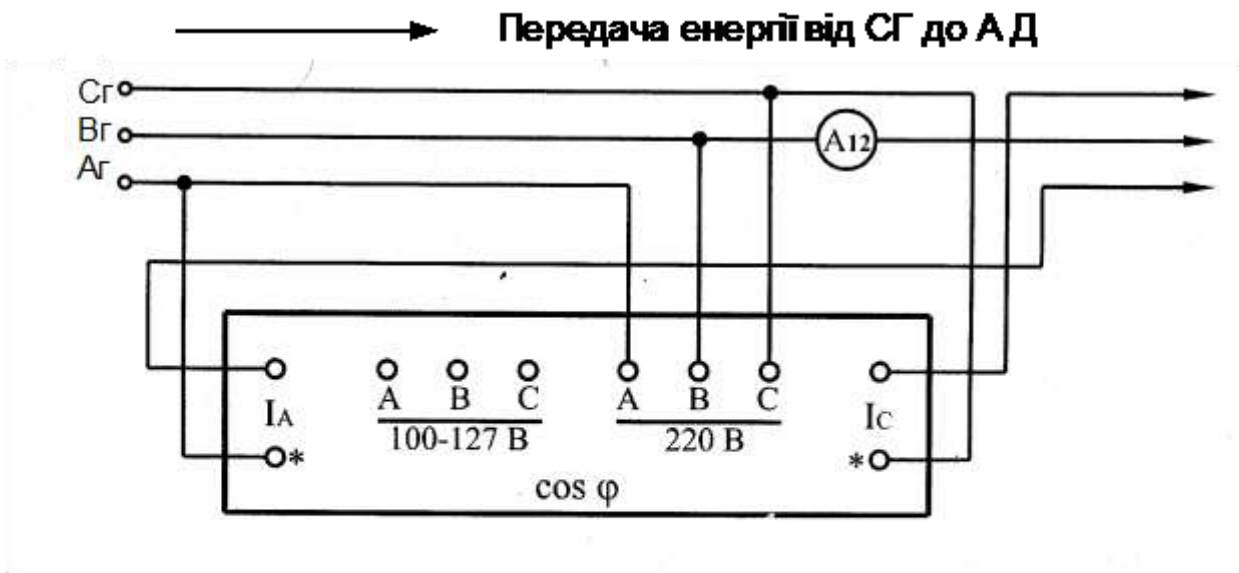


рис. 2а

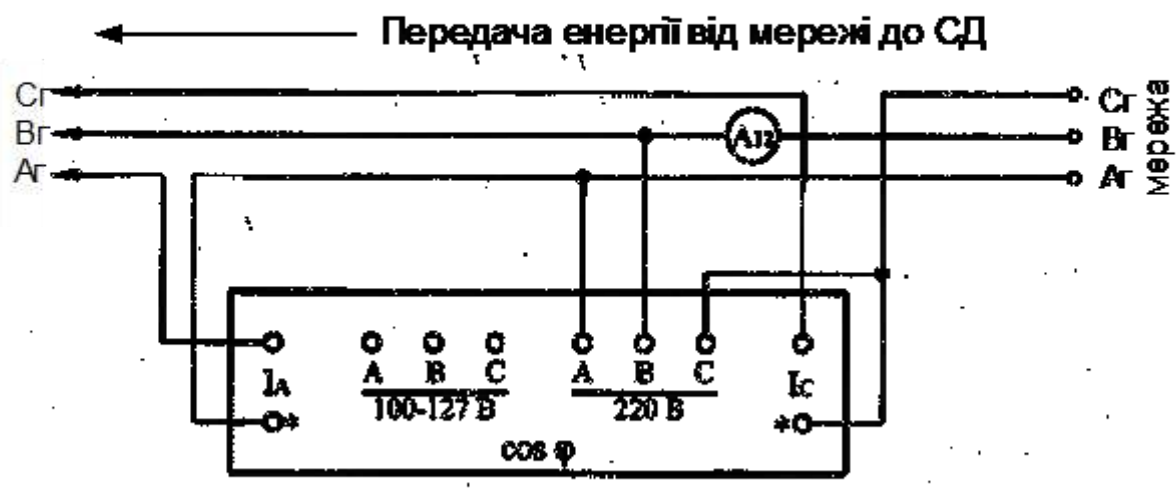


рис. 2б

5.3 Порядок виконання роботи

5.3.1 Записати паспортні дані синхронного генератора, приводного ДПС і навантажувального асинхронного двигуна за формою, що зазначена на їх заводських табличках.

5.3.2 Зібрати схему згідно із рис.1, вихідне положення апаратури: АП, АП_с, S₁, S₂, S₄ вимкнені; ручки трифазного ЛАТРа1 і 2, а також ручки однофазного ЛАТРа1 і однофазного ЛАТРа2 - у крайньому лівому положенні; перемикач ТАХ1П у правому положенні, S₃ - у нижньому положенні; R_{ОЗЗ1} і R_{ОЗЗ2} повернуті вліво до упору, що відповідає максимальному опору обмотки збудження збудника ОЗЗ; косинусфіметр cosφ підключений відповідно до схеми Г↑ (рис.2а); перемикачі вольтметрів V₇ і V₁₄ у правому положенні на 300В.

5.3.3 Здійснити пуск синхронного генератора.

5.3.3.1 Увімкнути АП (вправо) і S₁, установити поворотом управо ручки однофазного ЛАТРа1 напругу на ОЗД за V₁₄ U=230В, що відповідає струму збудження за A₄ I≈0,7А.

5.3.3.2 Плавним поворотом ручки 2 трифазного ЛАТРа збільшувати напругу на якорі ДПС, при цьому довести частоту обертання якоря за ТАХ2 n_н=1500об/хв (показання тахометра ділити на два), якій відповідає напруга на якорі ДПС за V₁₅ U=185В.

Пуск закінчено.

Записати показання приладів до табл.1 (точка А, рис.3), при цьому перемикач на V₇ поставити на 150В.

Таблиця 1

| Гілка ХХ | Параметр | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Висхідна | I _в , А за A ₁₁ | | | | | | | | | | | |
| | E _г , В за V ₇ | | | | | | | | | | | |
| Спадна | I _в , А за A ₁₁ | | | | | | | | | | | |
| | E _г , В за V ₇ | | | | | | | | | | | |

5.3.4 Зняти ХХХ синхронного генератора (приблизний вигляд якої показано на рис.3): $E_2=f(I_3)$ при $I_T=0$; $U=const$.

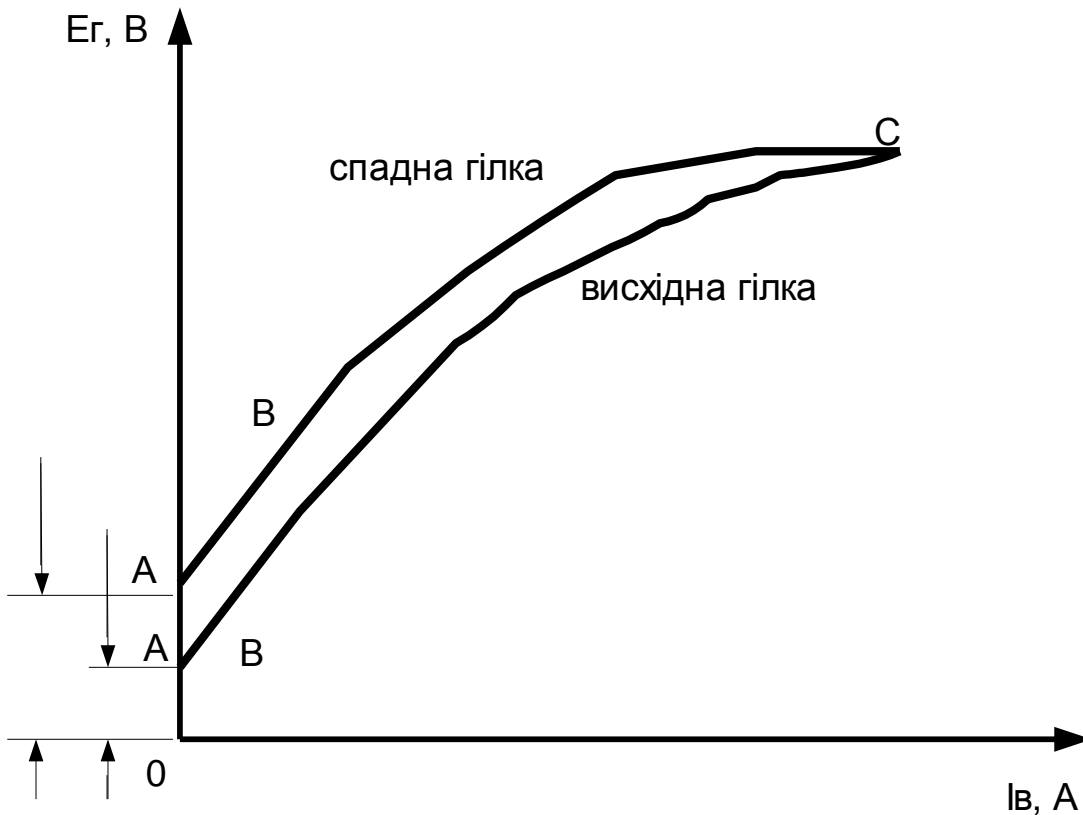
5.3.4.1 Повернути ручку R_{0331} вправо до упору і записати показання приладів у табл.1. (точка В, рис.3).

5.3.4.2 Плавним поворотом ручки R_{0332} вправо збільшувати за A_{11} $I_3 \approx 7A$, записуючи щораз показання приладів у табл.1. (точка С, рис.3, висхідна гілка ХХХ). При зашкалюванні V_7 його перемикач поставити на 300В.

5.3.4.3 Повертаючи ручку R_{0332} вліво до упору, зняти низхідну вітку ХХХ синхронного генератора, записуючи щораз показання приладів у табл.1. (точка В', рис.3). При необхідності перемикач на V_7 поставити на 150В.

5.3.4.4 Повернути ручку R_{0332} уліво до упору і записати показання приладів у табл.1 (точка А' рис.3).

Характеристику холостого ходу синхронного генератора знято.



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_I=1A/cm; M_U=20V/cm$$

Рис.3

5.3.5 Здійснити зупинку синхронного генератора.

5.3.5.1 Плавним поворотом ручки 2 трифазного ЛАТРа вліво до упору зняти напругу з якоря ДПС за V_{15} до $U=0$.

5.3.5.2 Поворотом ручки однофазного ЛАТРа1 уліво до упору зняти напругу збудження на обмотці ОЗЗ за V_{14} $U=0$, при цьому за A_4 $I_3=0$.

5.3.5.3 Вимкнути АП і S_1 .

Синхронний генератор зупинено.

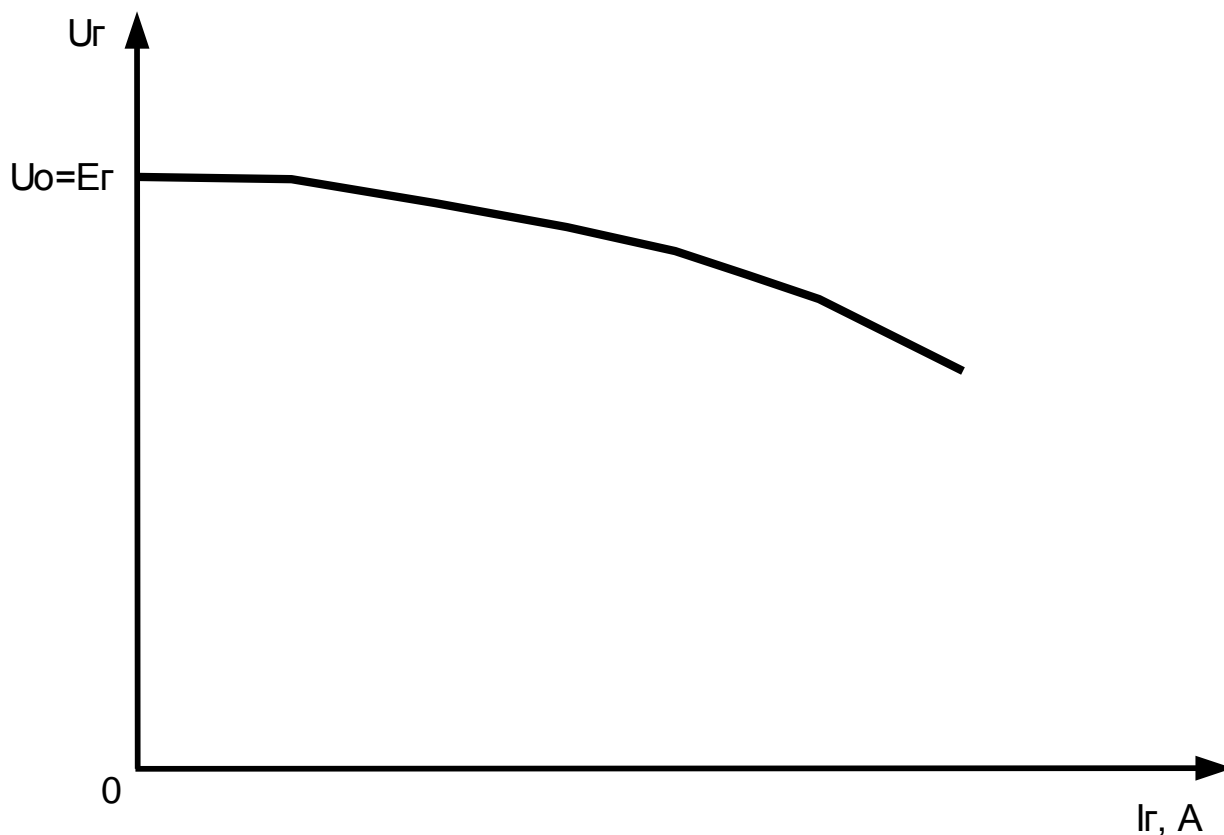
5.3.6 Зняти дані для побудови зовнішньої (навантажувальної) характеристики синхронного генератора, приблизний вигляд якої наведено на рис.4: $U_T=f(I_T)$ при $n_2=const$, $I_{3T}=const$.

5.3.6.1 Від'єднати струмові й напружні затискачі навантажувального асинхронного двигуна (A_2 , B_2 , C_2) і приєднати їх відповідно на затискачі синхронного генератора (A'_T , B'_T , C'_T).

5.3.6.2 Здійснити пуск синхронного генератора згідно із п.5.3.3. При цьому ручкою R_{O332} збільшувати струм збудження синхронного генератора за A_{11} до $I=6\div 7A$, але щоб за V_6 і V_7 напруга U не перевищувала 220В, а струми за A_1 , A_2 , A_3 при розгоні асинхронного двигуна не перевищували 5А. Пуск закінчено, про що свідчать наступні показання приладів: за ТАХ1 $n_1\approx 1475$ об/хв, за ТАХ2 $n_2\approx 1500$ об/хв, за A_1 , A_2 , A_3 $I\approx 1,9A$; за A_4 $I_B\approx 0,65A$; за V_6 і V_7 напруга $U\approx 220V$; за kW_8 $P\approx 0,2кВт$; за H_{z10} $f\approx 49,5$ Гц; за H_{z10} $f\approx 49,7$ Гц; за A_{11} $I\approx 7A$; A_{12} $I_1\approx 2A$; за V_{14} $U\approx 230V$; за V_{15} $U\approx 190V$; за A_{16} $I\approx 5A$.

Цей режим відповідає роботі синхронного генератора на асинхронний двигун при ХХ

5.3.6.3 Увімкнути S_2 і плавним поворотом ручки однофазного ЛАТРа2 збільшувати за A_5 струм гальма асинхронного двигуна до $I\leq 2A$ (5-6 вимірів), тобто навантажувати асинхронний двигун, а значить, і синхронний генератор. Сталість $n_2=1500$ об/хв досягається ослабленням поля ДПС поворотом ручки однофазного ЛАТРа1 уліво. При цьому слід стежити, щоб показання моментоміра асинхронного двигуна не перевищували 7Нм, а струм за A_1 , A_2 , A_3 не перевищував 5А. Показання приладів слід записувати до табл.2.



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_I=0,5\text{A/cm}; M_U=20\text{B/cm}$$

Рис.4

5.3.6.4 Розвантажувати синхронний генератор необхідно, розвантажуючи асинхронний двигун поворотом ручки однофазного ЛАТРа2, одночасно підтримуючи $n_2=1500$ об/хв поворот ручки однофазного ЛАТРа1 вправо (посиленням поля ДПС).

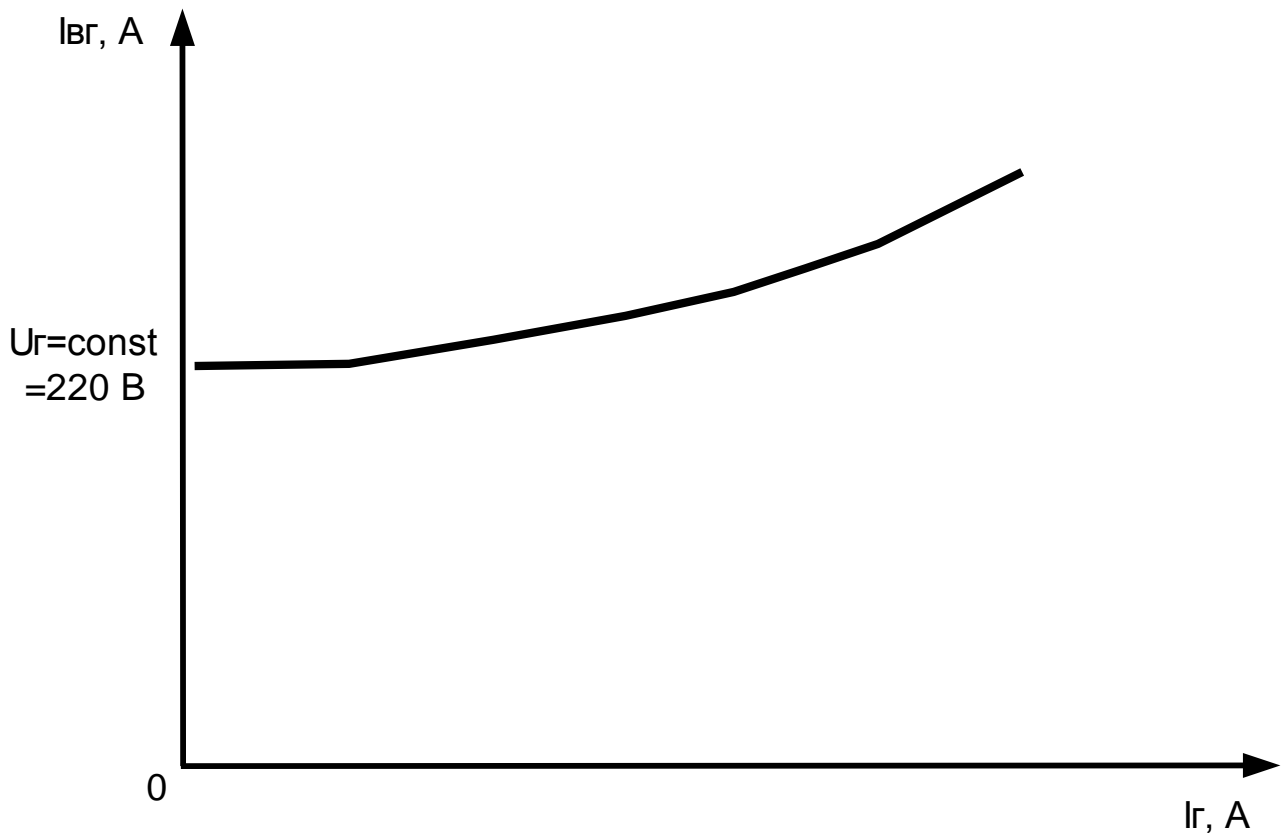
Таблиця 2

| № п/п | U_{Γ} за $V_{7, B}$ | I_{Γ} за $A_{12, A}$ | M, Hm | $\cos \varphi$ | $n_1, \text{об/хв}$ | $n_2, \text{об/хв}$ | $P_{\text{АД}}$ за $\text{kW}_8, \text{kBт}$ | $U_{\text{здПС}}$ за $V_{14, B}$ | $I_{\text{здПС}}$ за A_4, A | $I_{\text{ААД}}$ за A_1, A | $I_{\text{ЗГ}}$ за $A_{11, A}$ | $I_{\text{ядПС}}$ за $A_{16, A}$ | $U_{\text{ядПС}}$ за $V_{15, B}$ | $\eta, \%$ |
|-------|----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|--|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | | | | |

5.3.6.5 Зупинити синхронний генератор, для цього вивести ручки R_{0331} , R_{0332} , ручку трифазного ЛАТРа і ручку однофазного ЛАТРа1 у ліві крайні положення; вимкнути S_1 , S_2 і АП.

5.3.7 Зняти дані для побудови регулювальної характеристики синхронного генератора

$I_3=f(I_r)$ при $n_2=const$; $U_r=const$ приблизний вигляд якої наведений на рис.5.



Масштаби, що рекомендуються:

$$M_{I_3}=1\text{A/см}; M_{I_r}=0,5\text{A/см}$$

Рис.5

Для її зняття необхідно:

5.3.7.1 Здійснити пуск синхронного генератора згідно із п.5.3.6.2.

5.3.7.2 Навантажувати синхронний генератор згідно із п.5.3.6.3. При цьому щораз відновлювати $U_r=220\text{В}$ поворотом ручки R_{0332} управо і записувати показання приладів до табл.3.

5.3.7.3 Розвантажити синхронний генератор згідно із п.5.3.6.4. При цьому підтримувати $U_r=220\text{В}$ поворотом ручки R_{0332} щоразу вліво.

5.3.7.4 Зупинити синхронний генератор згідно із п. 5.3.6.5.

5.3.7.5 Від'єднати струмові та напругові затискачі асинхронного двигуна з затискачів $A'_Г, B'_Г, C'_Г$ на затискачі A_2, B_2, C_2 .

Таблиця 3

| № п/п | $U_Г$ за $V_7, В$ | $I_Г$ за $A_{12}, А$ | $M, Нм$ | $\cos \varphi$ | $n_1, об/хв$ | $n_2, об/хв$ | $P_{АД}$ за $кW_8, кВт$ | $U_{здпс}$ за $V_{14}, В$ | $I_{здпс}$ за $A_4, А$ | $I_{ААД}$ за $A_1, А$ | $I_{зГ}$ за $A_{11}, А$ | $I_{ядпс}$ за $A_{16}, А$ | $U_{ядпс}$ за $V_{15}, В$ | $\eta, \%$ |
|-------|-------------------|----------------------|---------|----------------|--------------|--------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | | | | |

5.3.8 Здійснити увімкнення трифазного синхронного генератора на паралельну роботу з трифазною мережею змінного струму.

5.3.8.1 Переєднати V_6 з клем АВ (на АД) на клема $A'_C B'_C$ (мережа).

5.3.8.2 Здійснити пуск синхронного генератора згідно із п.5.3.3.

5.3.8.3 Ручкою R_{0332} домогтися рівності напруги синхронного генератора (по V_7) з напругою мережі (по V_6), ручкою трифазного ЛАТРа - рівності частоти синхронного генератора (по Hz_9) частоті мережі (по Hz_{10}).

5.3.8.4 Увімкнути ключ S_4 синхроскопа (вгору). Його стрілка повинна як можна повільніше обертатися. Її швидкість регулюють ручками R_{0332} і трифазним ЛАТРОм.

УВАГА! Як тільки стрілка синхроскопа набуде вертикального положення, увімкнути синхронний генератор на паралельну роботу з мережею за допомогою АПс (угору). Це увімкнення робити тільки за присутності викладача.

5.3.8.5 Доказом того, що синхронний генератор увімкнено на паралельну роботу з мережею, служить сталість $U_Г$ по V_7 при зміні $I_{зГ}$ за A_{11} за допомогою ручки R_{0332} (уліво, вправо). Прослідити при цьому, як змінюється $\cos \varphi$ при

перезбудженні й недозбудженні синхронного генератора. Встановити за A_{11} такий I_G , при якому $\cos\varphi=1$, чому за A_{12} відповідає мінімальний I_G .

5.3.8.6 Відключити трифазний синхронний генератор від трифазної мережі, для цього вимкнути АПС, S_4 і зупинити синхронний генератор згідно із п.5.3.6.5.

5.3.8.7 Відімкнути клеми V_6 з $A_C B_C$ на АВ обмоток асинхронного двигуна.

5.4 Обробка результатів. Звіт

5.4.1 Навести паспортні дані синхронного генератора, ДПС і асинхронного двигуна за формою, зазначеною в їх заводських табличках.

5.4.2 Схема установки згідно із рис.1.

5.4.3 Табл.1-3 з експериментальними даними і розрахунковими величинами η' і η .

Розрахункові формули

$$\eta' = \frac{P_{СГ}}{P_{ДПС}} = \frac{mU_G I_G}{U_A I_A + U_B I_B} 100[\%],$$

де η' - ККД двигун-генераторного перетворювача (ДПС - СГ);

$P_{СГ}$ - електрична потужність, що віддається синхронним генератором навантажувальному асинхронному двигуну;

$m=3$ - число фаз синхронного генератора;

$P_{ДПС}$ - електрична потужність, споживана приводним ДПС з мережі,

$$\eta = \frac{P_{АД}}{P_{ДПС}} 100\% ,$$

де η - ККД установки ДПС - СГ - АД,

$P_{АД}$ – механічна потужність на валі АД, кВт,

$$P_{ад} = \frac{Mn_1}{9750}.$$

5.4.4 Побудувати ХХХ, зовнішню (навантажувальну) і регулювальну характеристики синхронного генератора згідно із рис.3 - 5.

5.4.5 Провести аналіз отриманих характеристик синхронного генератора і зробити висновки про його експлуатаційні властивості.

Контрольні запитання

1. Схема, конструкція і принцип дії трифазного синхронного генератора.
2. Порядок пуску синхронного генератора.
3. Порядок і методика зняття ХХХ, зовнішньої та регулювальної характеристик синхронного генератора.
4. Порядок увімкнення трифазного синхронного генератора на паралельну роботу з трифазною мережею змінного струму.
5. Як здійснюється регулювання реактивної потужності синхронного генератора?
6. Умови увімкнення синхронного генератора на паралельну роботу з мережею.
7. За якою ознакою визначають, що синхронний генератор включений на паралельну роботу з мережею?
8. Чим досягається рівність $U_{Г}=U_{С}$?
9. Чим досягається рівність $f_{Г}=f_{С}$?
10. Яким способом (крім використання синхроноскопа) можна визначити момент увімкнення синхронного генератора на паралельну роботу з мережею?
11. Яку енергію (чи струм) віддає чи споживає синхронний генератор при паралельній роботі з мережею при перезбудженні та недозбудженні?
12. Чому струм синхронного генератора у випадку $\cos\varphi=1$ мінімальний?

Лабораторна робота №6

Дослідження трифазного синхронного двигуна (стенди №3, 4)

Мета роботи - асинхронний пуск трифазного синхронного двигуна (СД) і визначення його експлуатаційних властивостей шляхом експериментального зняття механічних і регульовальних (U - подібних) характеристик.

6.1 Програма роботи

6.1.1 Вивчити за літературою, що рекомендується, навчальними плакатами, діафільмами і кінофільмами, лабораторними макетними стендами конструкцію, принцип дії і пуск трифазного синхронного двигуна, його основні характеристики і методику їх зняття.

6.1.2 Здійснити асинхронний пуск синхронного двигуна і його зупинку.

6.1.3 Зняти експериментальні дані та побудувати механічну характеристику синхронного двигуна.

6.1.4 Зняти експериментальні дані та побудувати регульовальні (U - подібні) характеристики синхронного двигуна.

6.1.5 Провести аналіз отриманих характеристик трифазного синхронного двигуна і зробити висновки про його експлуатаційні властивості.

6.2 Опис установки, устаткування і прилади

Електрична схема для дослідження трифазного синхронного двигуна (рис.1.) включає два лабораторних стенди (3-й і 4-й).

Лабораторний стенд 3 (розглянутий у роботі №5 “Дослідження трифазного синхронного генератора”) включає механічно з'єднані на одному валі трифазний синхронний двигун, генератор постійного струму (ГПС), тахометр

для виміру частоти їх обертання (ТАХ2). Крім того, у стенд 3 входять: однофазний ЛАТР1, призначений для регулювання випрямленої мостом B_1 постійної напруги для живлення обмотки збудження ($Ш_1Ш_2$) генератора постійного струму, щитові вимірювальні прилади, апаратура для пуску і зупинки синхронного двигуна.

Частини схеми, обведені пунктиром, зібрані усередині стенда. Подача і зняття змінної напруги на стенд 3 здійснюється пусковим автоматом (АП), розташованим справа на бічній панелі стенда (вправо - ввімкнено, вліво - вимкнено). Подача змінної напруги на обмотки статора СД здійснюється пусковим автоматом АПс (вгору – ввімкнено, униз - вимкнено). Ключ S_1 (вгору - ввімкнено, униз - вимкнено) служить для комутації первинного ланцюга однофазного ЛАТРа1, ключ S_3 - для комутації ланцюга обмотки збудження СД. У нижньому положенні S_3 підключає якірний ланцюг збуджувача 3 (на одному валі із синхронним двигуном) для живлення обмотки збудження синхронного двигуна постійним струмом; у верхньому положенні S_3 замикає обмотку збудження синхронного двигуна на пусковий опір R_{Π} (при асинхронному пуску синхронного двигуна).

Регулювальні реостати R_{C331} і R_{C332} служать для регулювання струму в ланцюзі обмотки збудження ОЗЗ збуджувача 3 і, як наслідок, - струму збудження синхронного двигуна.

Напруга мережі й напруга синхронного двигуна контролюються за V_6 і V_7 . V_7 має перемикач меж на 150 і 300В (у роботі його треба встановити на 300В). Частота струму синхронного двигуна в мережі контролюється частотомірами H_z_9 і H_z_{10} . Струм збудження синхронного двигуна і струм його статора контролюються за A_{11} і A_{12} . Напруга збудження і струм збудження, напруга якоря і струм якоря генератора постійного струму контролюються відповідно за V_{14} і A_4 , V_{15} і A_{16} . Вольтметр V_{14} має перемикач меж 150 і 300В (у даній роботі використовується межа 300В). Показання V_{15} стенда 3 і V_2 стенда 4 дублюються.

Синхроноскоп C_{13} у даній роботі не використовується (оскільки він приєднаний усередині стенда, то на схемі показаний і використовувався в роботі №5 "Дослідження трифазного синхронного генератора"). Характер навантаження синхронного двигуна визначається за настільному вимірнику коефіцієнта потужності $\cos\phi$.

Подача і зняття постійної напруги зі стенда 3 на стенд 4 здійснюється відповідно за допомогою кнопок "Пуск4" і "Стоп4" з клем синхронного двигуна стенда 3 на клеми "±" синхронного двигуна стенда 4.

Лабораторний стенд 4 (його схема на рис.1. обведена штрих-пунктиром) включає механічно з'єднані на одному валі двигун постійного струму (є навантаженням генератора постійного струму) і електромагнітне гальмо Γ , яким навантажується двигун постійного струму, а також тахометр $TAX1$ з перемикачем $П1$ (у даній роботі він у лівому положенні).

У стенд 4 також входять однофазний ЛАТР1, що призначений для регулювання випрямленої мостом $B1$ постійної напруги для живлення обмотки електромагнітного гальма Γ ; щитові вимірювальні прилади, апаратура для подачі та зняття змінної напруги на однофазний ЛАТР1 (кнопки "Пуск1" і "Стоп1"). Ключ S_1 (угору - ввімкнено, вниз - вимкнено) служить для комутації первинного ланцюга однофазного ЛАТРа1; S_2 - (вгору - ввімкнено, униз - вимкнено) - для комутації ланцюга постійного струму електромагнітного гальма Γ .

Реостат $R_{OЗШ}$ (знаходиться під горизонтальною панеллю стенда 4 і в даній роботі не використовується) служить для регулювання струму збудження в ланцюзі паралельної обмотки збудження ОЗШ ДПС.

Напруга на якорі двигуна постійного струму і його струм збудження контролюються за V_2 і A_6 . Показання моментоміра в кілограм-метрах необхідно брати за нижньою шкалою, а для перекладу в ньютон-метри їх необхідно помножити на 9,8. Показання $TAX1$ зменшувати в два рази (але це необхідно робити тільки при обчисленнях, а при вимірах - робити відрахунок за стрілкою). Частина схеми, обведені пунктиром, зібрані всередині стенда.

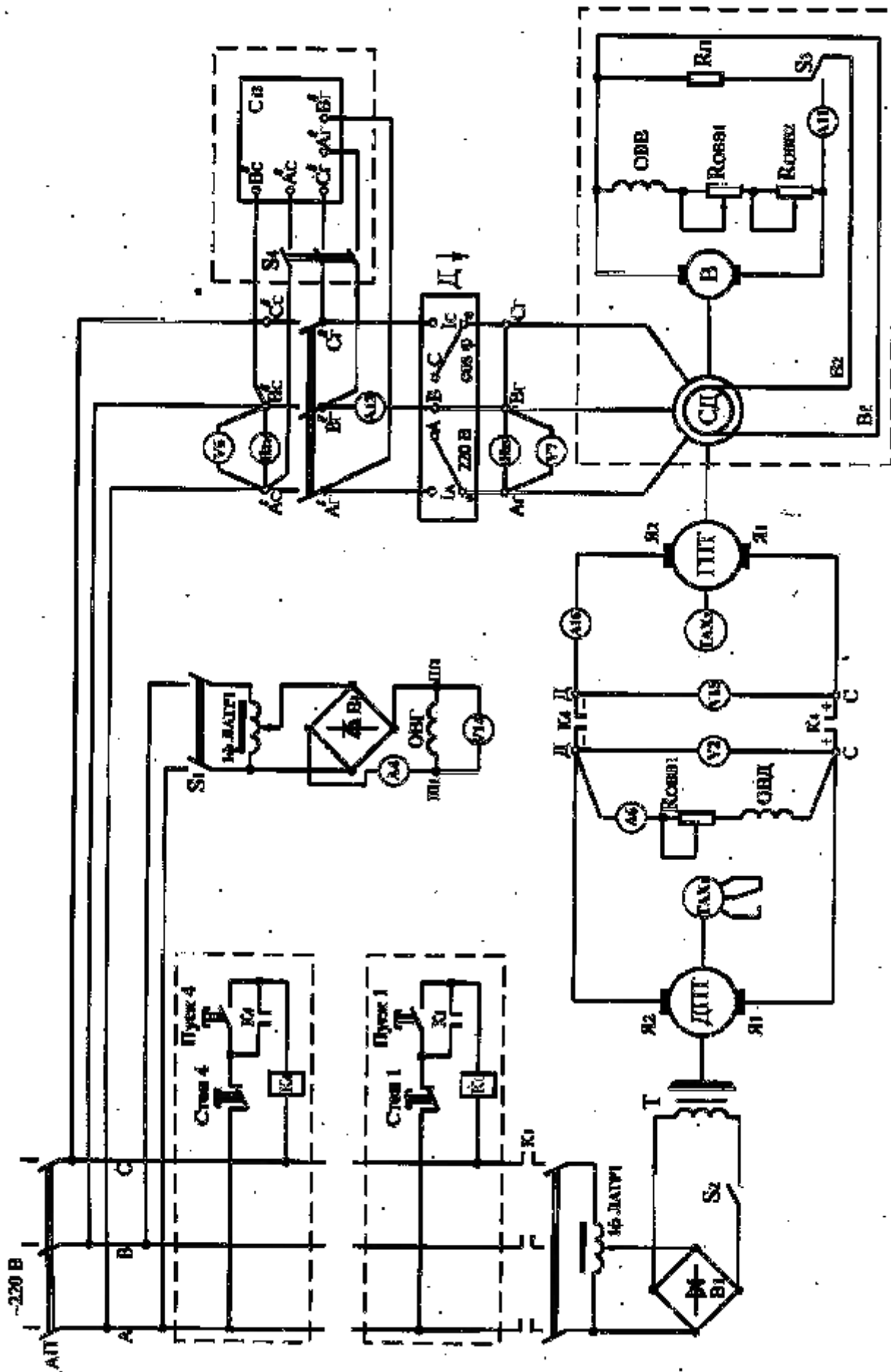


Рис.1

6.3 Порядок виконання роботи

6.3.1 Записати паспортні дані синхронного двигуна, генератора постійного струму і навантажувального двигуна змінного струму за формою, зазначеною на їх заводських табличках.

6.3.2 Зібрати схему згідно із рис.1.

Вихідне положення апаратури за стендом 3: АП, АП_С, S₁, S₄ вимкнені; ручка однофазного ЛАТРа1 - у крайньому лівому положенні; S₃ - у нижньому положенні (ланцюг якоря збуджувача З замкнений на обмотку збудження синхронного двигуна); ручки R_{ОЗ31} і R_{ОЗ32} у крайніх лівих положеннях; косинусфіметр cosφ підключений відповідно до схеми Д↓ (рис.2б); схема (рис.2а) для генератора Г↑ у даній роботі не використовується. Перемикачі вольтметрів V₇ і V₁₄ - у правому положенні на 300В.

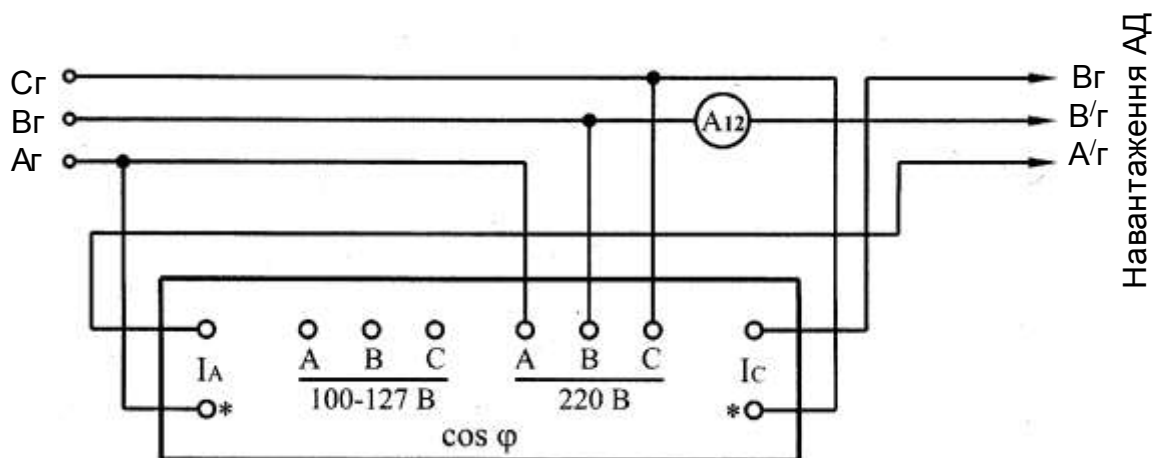


Рис.2а

Вихідне положення апаратури за стендом 4: S₁, S₂ вимкнено; перемикач П₁ тахометра ТАХ1, ручка однофазного ЛАТРа1 і повзунок реостата R_{ОЗШ} - у крайніх лівих положеннях, що відповідає мінімальній напрузі, подаваній з однофазного ЛАТРа1 на гальмо Г і мінімальному опору в ланцюзі обмотки збудження (ОЗД) двигуна змінного струму.

6.3.3 Здійснити асинхронний пуск синхронного двигуна.

6.3.3.1 Увімкнути АП (управо). При цьому за V₆ U≈230В, за Hz₁₀ f=50Гц.

6.3.3.2 Ручки R_{ОЗ31} - управо до упору, R_{ОЗ32} управо на 180°.

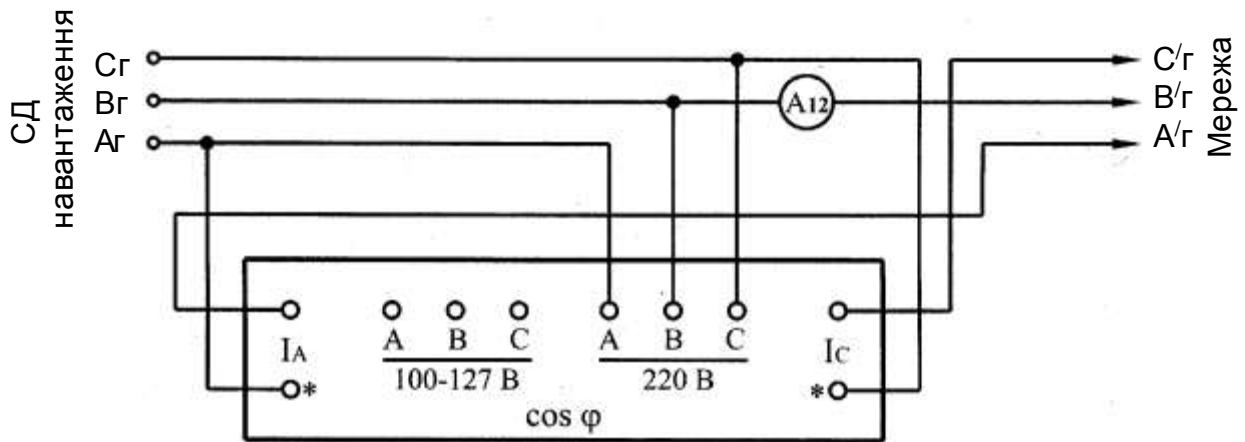


Рис.2б

6.3.3.3 S_3 - вгору (ланцюг ротора синхронного двигуна, тобто його обмотка збудження замкнута на пусковий опір R_{II}).

6.3.3.4 Вимкнути АП_С (вгору) і приблизно через 3с (коли за ТАХ2 частота обертання ротора синхронного двигуна буде під-синхронною, тобто $n \approx 1490$ об/хв, показання ТАХ2 зменшувати вдвічі) S_3 переключити вниз (при цьому ланцюг ротора, тобто його обмотка збудження, буде живитися постійним струмом від збудника З).

Пуск синхронного двигуна здійснено.

При ненавантаженому синхронному двигуні спостерігаються його коливання, що підтверджується на слух і за показниками A_{11} , A_{12} , ТАХ1, V_7 , $\cos\phi$.

6.3.3.5 Зупинити синхронний двигун, для чого виключити АП_С і АП.

6.3.4 Зняти експериментальні дані для побудови механічної характеристики синхронного двигуна:

$$n=f(M),$$

приблизний вигляд якої показаний на рис.3.

6.3.4.1 Здійснити пуск синхронного двигуна згідно із пп.6.3.3.1. - 6.3.3.4.

6.3.4.2 Підключити генератор змінного струму до двигуна змінного струму шляхом натискання кнопки "Пуск 4" на стенді 3; натиснути кнопку "Пуск 1" і

увімкнути S_1 і S_2 на стенді 4, чим забезпечити подачу напруги на однофазний ЛАТР1 і електромагнітне гальмо Γ двигуна змінного струму.

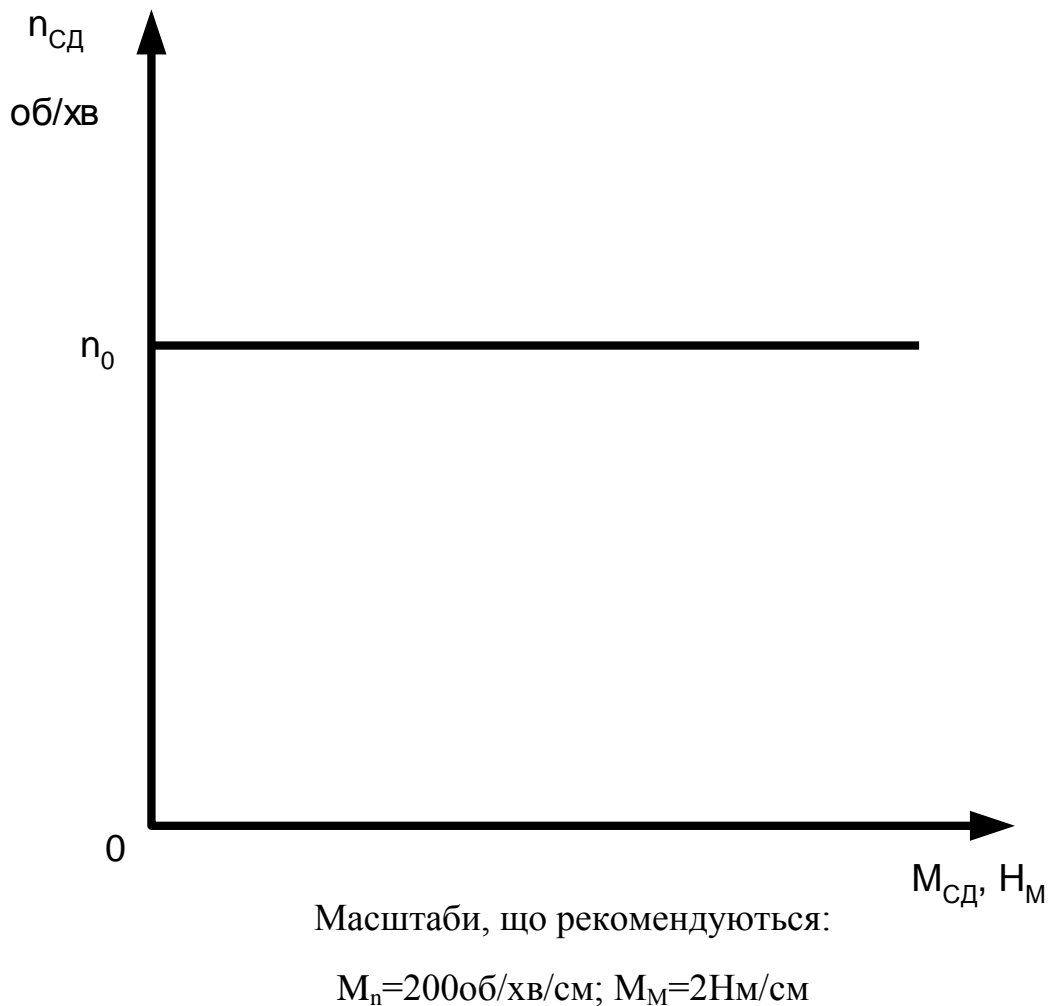


Рис.3

6.3.4.3 Увімкнути S_1 на стенді 3 і ручкою однофазного ЛАТР1 установити в ланцюзі збудження генератора змінного струму за V_{14} і A_4 відповідно $U \approx 230\text{В}$ і $I \approx 0,7\text{А}$.

6.3.4.4 Ручкою R_{0331} встановити такий струм збудження синхронного двигуна (по A_{11} $I \approx 6\text{А}$), при якому $\cos\varphi \approx 1$, а струм статора синхронного двигуна за A_{12} $I \approx 1,9\text{А}$ (точка 2, рис.4).

6.3.4.5 Плавню повертаючи на стенді 4 ручку однофазного ЛАТР1 вправо (5-6 вимірів), завантажувати двигун змінного струму, а отже, і синхронний двигун і записувати показання приладів до табл.1. При цьому стежити, щоб за A_{12} $I \leq 6\text{А}$.

6.3.4.6 Після зняття вимірів на стенді 4 установити ручку однофазного ЛАТРа1 у ліве крайнє положення, вимкнути S_1, S_2 і натиснути кнопку "Стоп1".

6.3.4.7 На стенді 3 натиснути кнопку "Стоп4", ручку ЛАТРа1 перевести в ліве крайнє положення, вимкнути $S_1, АП_C, АП$.

6.3.5 Зняти експериментальні дані для побудови регульовальних (U-подібних) характеристик синхронного двигуна, приблизний вигляд яких наведено на рис.4: $I_{CD}=f(I_{3CD})$ при $n=const; P_{CD}\neq const$.

6.3.5.1 Здійснити пуск синхронного двигуна згідно із пп.6.3.3.1 - 6.3.3.4.

6.3.5.2 Підготувати синхронний двигун до навантаження згідно із пп.6.3.4.2. - 6.3.4.4. Цьому випадку (кінець п. 6.3.4.4.) відповідає точка 2 (рис.4). Точку 1 і відповідну їй U - подібну характеристику (11' і 11'' для потужності P_1) ми не одержимо (і будувати не треба), тому що це режим і.ХХ синхронного двигуна, а його через втрати ми не досягнемо.

6.3.5.3 Встановити ручкою R_{O332} струм збудження синхронного двигуна (по $A_{11} I\approx 6A$), при якому $\cos\varphi=1$, а струм статора синхронного двигуна за A_{12} (точка 2, рис.4) $I=1,9A$.

Табл.1

| № п/п | Прилади стенда 3 | | | | | | | | | Прилади стенда 4 | | | |
|-------|------------------------|--------------|-------------|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------------|----------------------|--------------|--------------|-------------------------|
| | ТAX2 | A_{11} | V_7 | A_{12} | V_{14} | A_4 | V_{15} | A_{16} | | V_2 | A_6 | ТAX1 | |
| | $n_{CD}, \text{об/хв}$ | I_{3CD}, A | U_{CD}, B | I_{CD}, A | $U_{3ГПС}, B$ | $I_{3ГПС}, A$ | $U_{ГПС}, B$ | $I_{ГПС}, A$ | $\cos \varphi$ | $M_{ГПС}, \text{Нм}$ | $U_{ДПС}, B$ | $I_{ДПС}, A$ | $n_{ДПС}, \text{об/хв}$ |
| 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | |

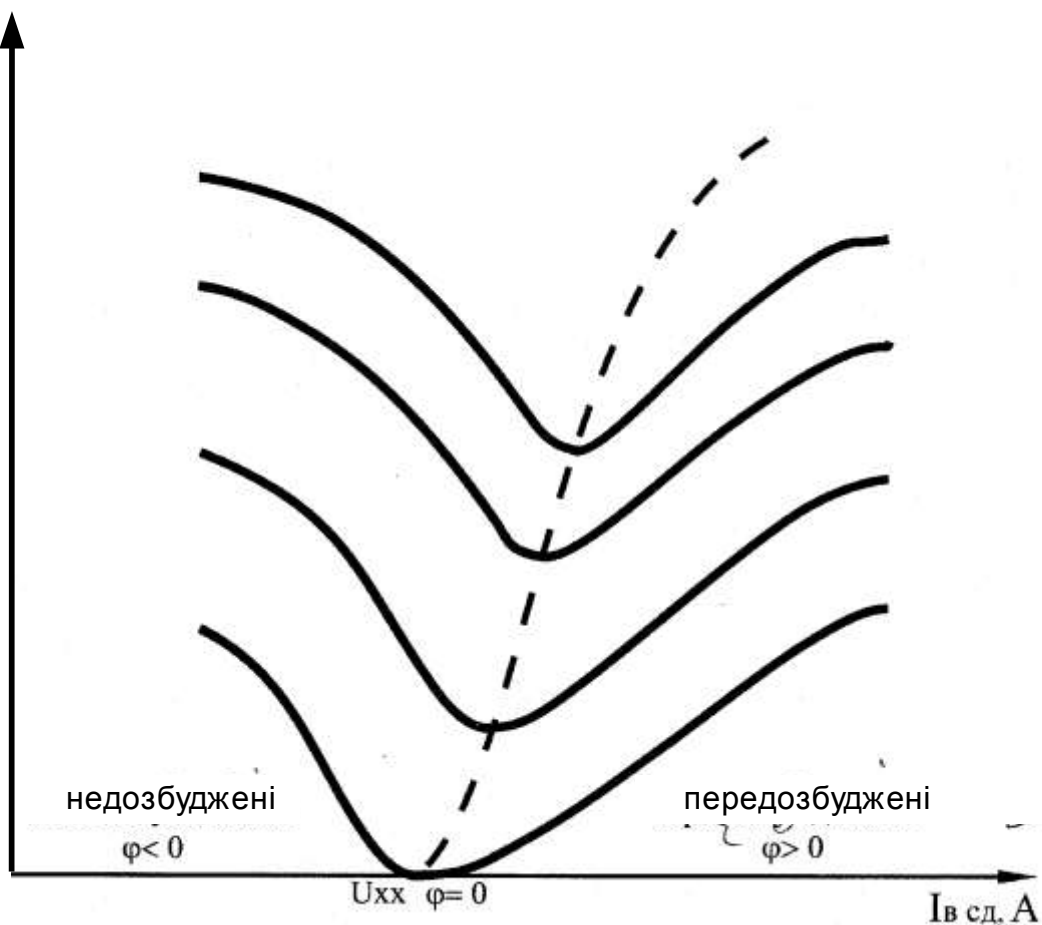


Рис.4

6.3.5.4 Плавно ручкою R_{0332} спочатку збільшуючи (вправо) I_{3CD} за A_{11} (від 6А вгору), а потім зменшуючи (уліво) I_{3CD} за A_{11} (від 6А вниз), записувати показання приладів до табл.2. (по 5 вимірів для кожної гілки характеристик 22' і 22''). При цьому стежити, щоб при 5 вимірах показання $\cos\varphi$ не виходили за межі його шкали. Після зняття обох гілок U – подібної характеристики відновити ручкою R_{0332} за A_{12} струм статора $I_{CD} \approx 1,9A$, тобто той, котрий і був до зняття характеристики і $\cos\varphi=1$.

Характеристику 22' і 22'' знято.

6.3.5.5 Установити на стенді 4 поворотом ручки однофазного ЛАТРа1 вправо такий гальмівний момент, якому відповідає на стенді 3 за A_{12} струм статора $I_{CD}=3A$. Потім зняти U – подібну характеристику 33' і 33'', як зазначено в п.6.3.5.4, записуючи показання приладів до табл.2. Відновити ручкою R_{0332} за A_{12} струм статора $I_{CD}=3A$ і $\cos\varphi=1$.

Таблиця 2

| Потужність СД | | № характеристики | | Прилади стенда 3 | | | | | | | | | | Прилади стенда 4 | | | | |
|----------------------|-----|------------------|--|------------------|--|------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|----------------|----------------|------|
| | | | | №п/п | | TAX2 | A ₁₁ | V ₇ | A ₁₂ | V ₁₄ | A ₄ | V ₁₅ | A ₁₆ | cosφ | M _{дпс, Нм} | V ₂ | A ₆ | TAX1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P ₂ , кВт | 22' | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22'' | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P ₃ , кВт | 33' | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33'' | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P ₄ , кВт | 44' | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44'' | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Характеристику 33' і 33" знято.

6.3.5.6 Встановити на стенді 4 поворотом ручки однофазного ЛАТРа1 вправо такий гальмовий момент, якому відповідає на стенді 3 за A_{12} струм статора $I_{CD}=4A$. Потім зняти U - подібну характеристику 44' і 44", як зазначено у п.6.3.5.4, записуючи показання приладів до табл.2. Відновити ручкою R_{O332} струм статора за A_{12} $I_{CD}=4A$ і $\cos\varphi=1$.

Характеристику 44' і 44" знято.

6.3.5.7 На стенді 4 вивести ручку однофазного ЛАТРа1 вліво до упору, виключити S_1 і S_2 ; натиснути "Стоп1".

6.3.5.8 На стенді 3 натиснути "Стоп4", вивести ручку однофазного ЛАТРа1 вліво до упору, вимкнути S_1 , вимкнути АП_С, АП, вивести ручки R_{O332} і R_{O332} уліво до упору.

6.4 Обробка результатів. Звіт

6.4.1 Назва, мета і програма роботи.

6.4.2 Навести паспортні дані синхронного двигуна, генератора постійного струму і двигуна змінного струму за формою, зазначеною в їхніх заводських табличках.

6.4.3 Схема установки згідно із рис.1.

6.4.4 Табл.1 і 2 з експериментальними даними і розрахунковими значеннями потужності синхронного двигуна, що визначається за формулою

$$P_{CD} = \sqrt{3}U_{CD}I_{CD}10^{-3},$$

де U_{CD} [В] і I_{CD} [А] - відповідно лінійні напруга і струм синхронного двигуна.

6.4.5 Побудувати механічну характеристику синхронного двигуна згідно із рис.3.

6.4.6 Побудувати U - подібні характеристики синхронного двигуна згідно із рис.4.

6.4.7 Зробити аналіз отриманих характеристик синхронного двигуна і зробити висновки про його експлуатаційні властивості.

Контрольні запитання

1. Схема, конструкція і принцип дії трифазного синхронного двигуна.
2. Порядок асинхронного пуску і зупинки синхронного двигуна.
3. Порядок і методика зняття механічної і U - подібних регулювальних характеристик синхронного двигуна.
4. Як здійснюється регулювання активної потужності синхронного двигуна?
5. Як здійснюється регулювання реактивної потужності синхронного двигуна?
6. Чому при ХХ спостерігається хитання синхронного двигуна?
7. Яку енергію (чи струм) споживає чи віддає синхронний двигун при перезбудженні та недозбудженні?
8. Підведення і відведення енергій і видів струму в синхронному двигуні.
9. Чому у випадку $\cos\varphi=1$ струм статора синхронного двигуна мінімальний?
10. Чи впливає величина навантаження на частоту обертання синхронного двигуна?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Копылов И.П. Электрические машины: Учеб. для вузов. -М.: Энергоатомиздат, 1966, - Гл. 4.
2. Брускин Д.Э. и др. Электрические машины: В 2-х ч. - Ч. 2: Учеб. для электротехн. спец. вузов. - 2-е изд. перераб. и доп./Д.Э.Брускин, А.Е.Зорохович, В.С. Хвостов. -М.: Высш.шк., 1987. - Гл. 6.
3. Вольдек А.И. Электрические машины: Учеб. для студентов высш. техн. учебн. завед. - 3-е изд., перераб. - Л.: Энергий, 1978. - Гл.32, 33, 35, 37, 39.

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни “Електричні машини”, розділ “Синхронні 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