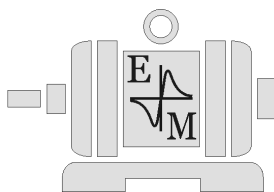


Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет



Кафедра електричних машин



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

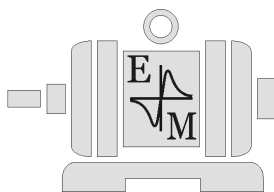
до виконання лабораторних робіт
з дисциплін " ЕЛЕКТРОТЕХНІКА,
ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНИКИ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ",
"ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНИКИ",
"ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ"
для студентів напрямів 0902 Інженерна механіка;
0903 Гірництво; 0707 Геологія
(Розділи "Трансформатори" та "Асинхронні машини")

Дніпропетровськ
2007

Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет



Кафедра електричних машин



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисциплін " ЕЛЕКТРОТЕХНІКА,
ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ",
"ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ",
"ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ"
для студентів напрямів 0902 Інженерна механіка;
0903 Гірництво; 0707 Геологія
(Розділи "Трансформатори" та "Асинхронні машини")

Дніпропетровськ
НГУ
2007

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін "Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки", "Електротехніка та основи електроніки", "Основи електротехніки" для студентів напрямів: 0902 Інженерна механіка; 0903 Гірництво; 0707 Геологія (Розділи "Трансформатори" та "Асинхронні машини") /Упорядн.: Д.В. Ципленков – Д.: НГУ, 2007. – 32 с.

Упорядник: Ципленков Д.В., канд. техн. наук., доц.

Методичні вказівки написані на основі багаторічного досвіду, накопиченого на кафедрі електричних машин при викладанні дисципліни "Електричні машини" та суміжних з нею дисциплін.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри електричних машин
Ф.П. Шкрабець, д-р техн. наук, проф.

ВСТУП

Кожен трансформатор або асинхронна машина, що виготовляються заводом, проходять контрольне випробування з метою перевірки доброякісності виготовлення. Кожна нова типова конструкція трансформатора або асинхронної машини підлягає типовим випробуванням. Обсяг і характер контрольних і типових випробувань визначаються державним стандартом.

У програму лабораторних робіт входять деякі контрольні, а також інші випробування, що дозволяють досліджувати різні режими роботи трансформатора або асинхронної машини при різних схемах з'єднання, різних умовах навантаження.

Перед складанням схеми для проведення лабораторних випробувань необхідно підрахувати очікувані граничні значення вимірюваних величин струму, напруги і потужності та підібрати прилади (амперметри, вольтметри і ватметри) з найближчими найбільшими межами вимірів.

Неправильний вибір меж виміру приладів може стати причиною зниження точності вимірів, якщо обрані прилади з надмірно великими межами, або до uszkodження приладів, якщо обрані малі межі вимірів.

Деякі прилади, що застосовуються в лабораторії, мають кілька меж виміру на різних затискачах або при різних положеннях перемикача. Ватметри можуть мати на послідовній обмотці дві межі виміру, наприклад, 5 і 10 А, а на паралельній обмотці кілька, наприклад, 30; 75; 150; 300 В. Вольтметри можуть мати межі 75; 150; 300; 600 В. Для таких приладів рекомендується перед увімкненням схеми встановити найбільші можливі межі, а після увімкнення перейти на межі виміру, більш близькі вимірюваним величинам. При увімкненні схеми рекомендується також, якщо це можливо, зашунтувати амперметри, послідовні обмотки ватметрів і первинні обмотки трансформаторів струму.

Витяг з "Правил безпеки" при роботі в лабораторії електричних машин

При роботі в лабораторії електричних машин необхідно:

- Працювати тільки на тому стенді, що зазначений викладачем, і не торкатися схем, зібраних на інших стендах. Забороняється вільне пересування лабораторією.
- Вмикати зібрану схему під напругу тільки після перевірки її і з дозволу викладача.
- Не торкатися схеми, що знаходиться під напругою. Усі необхідні пере-з'єднання робити тільки після її відключення від мережі.
- При виявленні будь-яких несправностей чи ненормальної роботи схеми (перегоряння запобіжників, поява іскор, спалахів, тощо) негайно відключити схему від мережі і доповісти про це викладачу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9/1

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРА ТА ПРИБЛИЗНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО НОМІНАЛЬНИХ ВЕЛИЧИН

Мета роботи Вивчити будову трансформатора, встановити його придатність для експлуатації за рівнем ізоляції струмопровідних частин, ознайомитися з методами орієнтовного визначення даних трансформатора: коефіцієнта трансформації, допустимих струмів первинної і вторинної обмоток, первинних і вторинних напруг і потужності.

Програма роботи

1. Вивчення конструкції трифазного трансформатора.
2. Вимірювання опору ізоляції обмоток.
3. Перевірка обмоток трансформатора на відсутність обривів.
4. Визначення числа витків обмоток і коефіцієнта трансформації.
5. Наближене визначення допустимих струмів обмоток.
6. Обчислення значень фазних напруг і струмів обмоток, а також потужності трансформатора.
7. Складання паспорта трансформатора.
8. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Вивчення конструкції трифазного трансформатора

Вивчити конструкцію трансформатора ТМШ-50-6/0.4, що є в лабораторії та встановити:

- спосіб складання сердечника: шихтований або стиковий;
- спосіб пресування листів сталі;
- спосіб ізоляції листів сталі;
- форму поперечного перерізу стержнів і ярма;
- визначити обмотки високої (ВН) і низької (НН) напруг;
- спосіб регулювання напруги.

Ознайомитися з конструкцією бака і введів.

Етап 2. Вимір опорів ізоляції обмоток

2.1. Мегомметром виміряти опір ізоляції усіх фаз обмоток ВН і НН щодо корпусу (κ), а також між собою. Дані вимірів занести до табл. 1.1.

Розрахувати мінімально допустимий опір ізоляції $R_{\text{доп}}$ з урахуванням робочої напруги та записати в табл. 1.1. Згідно з ДСУ, опір ізоляції машин низької напруги, апаратів і ліній повинен бути не менше 1000 Ом на кожен вольт робочої напруги.

Результати виміру опору ізоляції та розрахунку

Виміряно									Розраховано
R_{A-K}	R_{B-K}	R_{C-K}	R_{A-a}	R_{B-b}	R_{C-c}	R_{a-K}	R_{b-K}	R_{c-K}	Мінімально допустимий опір
МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм	МОм

2.3. Порівнявши результати вимірів з обчисленими припустимими значеннями опору ізоляції, зробити висновок про придатність трансформатора для використання за рівнем ізоляції обмоток.

Етап 3. Перевірка обмоток трансформатора ТСШ-2,5/0,5 на відсутність обривів і правильність маркування виводів обмоток

3.1. Зібрати схему згідно з рис. 1.1 і після перевірки її викладачем виконати пробне вмикання. Перевірити контрольну лампу, для чого потрібно замкнути кінці щупів між собою (щупи тримати за ізольовані частини).

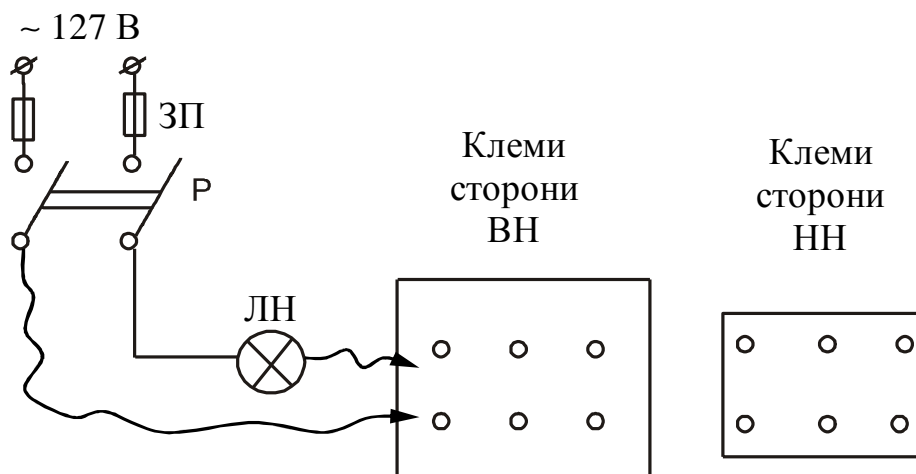


Рисунок 1.1 – Схема перевірки обмоток на відсутність обривів і правильність маркування виводів обмоток

3.2. Перевірити обмотки трансформатора ТСШ-2,5/0,5 на відсутність обривів. На ескізах клемних складань вказати маркування виводів обмоток ВН і НН.

Етап 4. Визначення числа витків обмоток і коефіцієнта трансформації

Число витків фази первинної W_1 і вторинної W_2 обмоток визначається за допомогою допоміжної третьої обмотки, яку потрібно намотати (для зручності така обмотка вже намотана $W_3 = 20$ витків – **затискачі 1-2**).

Для визначення числа витків фази первинної W_1 і вторинної W_2 обмоток потрібно зібрати схему за рис. 1.2. Після перевірки її викладачем увімкнути та

зробити виміри напруги обмоток. Результати вимірів і розрахунків занести до табл. 1.2.

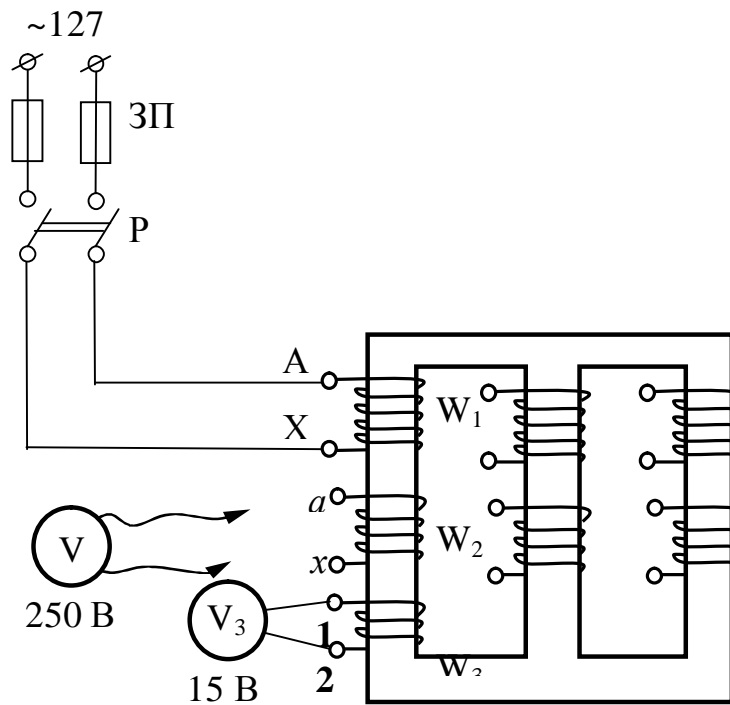


Рисунок 1.2 – Схема для визначення числа витків обмоток і коефіцієнта трансформації

Таблиця 1.2.

Результати визначення числа витків обмоток та коефіцієнта трансформації. Робоче місце № _____

Заміряно			Розраховано		
U_{AX}	U_{ax}	U_{12}	$k = \frac{U_{AX}}{U_{ax}}$	$W_1 = \frac{U_{AX}}{U_{12}} \cdot W_3$	$W_2 = \frac{W_1}{k}$
В	В	В	–	ВИТКІВ	ВИТКІВ

Етап 5. Наближене визначення струмів обмоток

5.1. Визначити діаметр проводу d_1 ($d_1 = 2$ мм) і розрахувати переріз q_1 проводу обмотки ВН, мм².

5.2. Визначити допустимий фазовий струм обмотки ВН:

$$I_{1\phi} = Jq_1, \text{ А,}$$

де J - допустима густина струму для обмоток трансформаторів, А/мм².

Для сухих закритих трансформаторів допустима густина струму знаходиться в межах:

$$J = (1,2 \div 1,4), \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

5.3. Визначити допустимий фазовий струм обмотки НН:

$$I_{2\phi} = kI_{1\phi}, \text{ А},$$

де k – коефіцієнт трансформації.

Етап 6. Обчислення орієнтовних значень ЕРС обмоток і потужності трансформатора.

6.1 Зробити ескіз поперечного перерізу стержня, вказати розміри та визначити його площу $\Pi_{ст}, \text{ см}^2$.

6.2 Обчислити площу поперечного перерізу сталі сердечника:

$$\Pi_c = k_3 \Pi_{ст}, \text{ см}^2,$$

де k_3 – коефіцієнт заповнення перерізу стержня сталлю. Величина k_3 залежить від роду межлистової ізоляції:

$$k_3 = (0,92 \div 0,95) \text{ – для листів, ізольованих лаком.}$$

6.3 Визначити фазові ЕРС обмоток:

$$E_{1\phi} = 4,44 f_1 W_1 B_m \Pi_c \cdot 10^{-4}, \text{ В},$$

де $B_m = (1,0 \div 1,2)$, $Tл$ – рекомендовані значення індукції в стержнях сухих трансформаторів; $f_1 = 50 \text{ Гц}$ – частота струму мережі.

$$E_{2\phi} = \frac{E_{1\phi}}{k}, \text{ В}.$$

6.4 Оскільки $U_{1\phi} \approx E_{1\phi}$, а $U_{2\phi} \approx E_{2\phi}$, то отримані значення ЕРС округлити до найближчих стандартних.

Стандартні напруги обмоток трансформаторів до 1000 В:

обмоток ВН: ... 127; 220; 380; 660 В,

обмоток НН: ... 133; 230; 400; 690 В.

6.5 Розрахувати потужність трансформатора:

$$S = 3U_{1\phi} I_{1\phi} \cdot 10^{-3}, \text{ кВ}\cdot\text{А}$$

Отримане розрахункове значення потужності округлити до найближчого стандартного.

Стандартний ряд потужностей шахтних освітлювальних сухих трансформаторів:

1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,3, ... кВ}\cdot\text{А}

6.6 Розрахувати номінальні струми обмоток з урахуванням прийнятих в п.п. 6.4 та 6.5 значень $U_{1нф}$, $U_{2нф}$ та S_n :

$$I_{1нф} = \frac{S_n \cdot 10^3}{3U_{1нф}}, \text{ А};$$

$$I_{2нф} = I_{1нф}k, \text{ А}.$$

Етап 7. Складання паспорта трансформатора

7.1 Розрахувати лінійні напруги і струми трансформатора при різних схемах з'єднання обмоток та записати їх у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Паспортні дані трансформатора

S_n , кВ·А	Схема з'єднання обмоток	Обмотки ВН		Обмотки НН	
		$U_{1л}$, В	$I_{1л}$, А	$U_{2л}$, В	$I_{2л}$, А
	Y/Y				
	Δ/Δ				

Етап 9. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

- 9.1. Найменування роботи, її мету та програму.
- 9.2. Результати вимірювань і обчислень по всіх пунктах програми, що занесені в таблиці 1.1, 1.2, 1.3.
- 9.3. Схеми за рис. 1.1, 1.2.
- 9.4. Ескіз поперечного перерізу стержня трансформатора з розмірами.

Контрольні запитання

1. Що називають трансформатором? Яке призначення має трансформатор?
2. Де застосовують трансформатор?
3. Призначення і будова окремих елементів трансформатора: магнітної системи, обмоток, бака, виводів, а також системи охолодження?
4. Як мають будову однофазові трансформатори стержневого і броньового типів?
5. Як має будову трифазний трансформатор?

6. Які матеріали використовуються для виготовлення магнітної системи силових трансформаторів?
7. Які існують способи складання магнітопроводів трансформаторів?
8. Які існують способи ізоляції листів сталі? Яке призначення має ізоляція листів сталі?
9. З якою метою стержні силових трансформаторів виконуються з поперечним перерізом східчастої форми?
10. Дайте пояснення, чому магнітний потік трансформатора практично не залежить від навантаження.
11. Чому трансформатори не працюють від мережі постійного струму?
12. Що таке коефіцієнт трансформації напруги? Чим відрізняється фазний коефіцієнт трансформації від лінійного?
13. Як визначити фазовий і лінійний коефіцієнти трансформації розрахунковим шляхом?
14. Як визначити коефіцієнт трансформації експериментальним шляхом? Схема досліду. Чи можна визначити коефіцієнт трансформації при напрузі, що відрізняється від номінальної?
15. Як визначити допустимі струми в обмотках трансформатора?
16. Як визначити напруги обмоток трансформатора?
17. Назвіть можливі схеми з'єднання обмоток трифазних трансформаторів? Як вибрати необхідну схему з'єднання обмоток?
18. Чи можна вмикати трансформатор на постійну напругу, що дорівнює номінальній.

Список рекомендованої літератури

1. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навч. посібник. /Ф.П. Шкрабець, Д.В. Циценков, Ю.В. Куваєв та ін. – Д.: НГУ, 2004. – 515 с. (§ 7.1 – 7.3, с. 143 – 162).
2. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навч. посібник – Д.: НГУ, 2003. – 327 с. (§ 1.1 – 1.5. с. 7 – 25).
3. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины. – М.: Высш. шк., 1990. – 528 с. (§ 2.1 – 2.4 с. 15 – 32).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9/2

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ТРИФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Мета роботи: 1. Вивчити конструкцію трифазних асинхронних двигунів з фазним та короткозамкненим роторами; умови створення обертового магнітного поля.

2. З'ясувати принцип дії асинхронного двигуна.
3. Виконати наладку асинхронного двигуна, здійснити його пуск і реверсування.

Програма роботи

1. Вивчення будови асинхронних двигунів з фазовим і короткозамкненим роторами.
2. Вивчення умов створення обертового магнітного поля.
3. Зображення статора, фазного та короткозамкненого роторів.
4. Встановлення можливості вмикання двигуна.
5. Маркування виводів фаз обмотки статора та визначення опору ізоляції обмоток.
6. Вмикання двигуна в мережу і реверсування.
7. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Вивчення будови асинхронних двигунів з фазним і короткозамкненим роторами

Ознайомитися з номінальними даними трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, що досліджується, та розрахувати:

- номінальний момент – $M_{ном}$;
- синхронну частоту обертання – n_1 ;
- споживану потужність – $P_{1ном}$;
- номінальне ковзання – $s_{ном}$;
- кількість полюсів – $2p$.

При розрахунках прийняти, що частота мережі складає 50 Гц .

Номінальні дані двигуна та результати розрахунку занести в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Номінальні дані асинхронного двигуна та результати розрахунку. Робоче місце № ____

Номінальні дані двигуна							Розрахункові дані					
$U_{1ном}$ В	$I_{1ном}$ А	$P_{2ном}$ кВт	$n_{ном}$ об/хв	$h_{ном}$ %	$\cos \phi$	f_1 Гц	$2p$	n_1 об/хв	$s_{ном}$	$W_{ном}$ рад/с	$M_{ном}$ Н·м	$P_{1ном}$ Вт

Етап 2. Вивчення умов створення обертового магнітного поля

Використовуючи діючий макет трифазної обмотки, переконатися у можливості створення:

- магнітного поля однієї фази;
- магнітного поля трьох фаз;

- магнітного поля двох фаз при живленні двофазною несиметричною системою струмів;
- магнітного поля двох фаз при живленні однофазним струмом.

Одна фазна обмотка, живлячись змінним струмом, створює нерухоме в просторі магнітне поле, вісь якого перпендикулярна площині котушки цієї фази.

Дві фазові обмотки, що живляться змінним струмом також створюють результуюче поле, яке нерухоме у просторі, вісь якого при відповідному з'єднанні обмоток ($H_1-K_1-H_2-K_2$) перпендикулярна площині котушки третьої фази.

Трифазна симетрична обмотка, яка живиться трифазною системою струмів, при правильному (відповідному) з'єднанні обмоток (див. методичні вказівки до етапу 5) створює магнітне поле, що обертається в просторі.

Кількість полюсів машини можна визначити експериментально, якщо приєднати одну з фаз статора з вийнятим ротором до джерела постійного струму. В якості індикатора використовують сталеву стрілку.

Підключивши цей статор до джерела трифазного змінного струму, за допомогою сталеві стрілки можна встановити наявність обертового магнітного поля і напрям його обертання.

Розташуйте на внутрішній поверхні осердя статора металеву кульку. Дайте пояснення, чому кулька перекочується по внутрішній поверхні зі значно меншою частотою обертання вбік, протилежний напрямку обертання обертового магнітного поля.

Етап 3. Зображення статора, фазного та короткозамкненого роторів

Накреслити ескізи статора і двох роторів з фазною і короткозамкненою обмотками, на яких чітко відзначити характерні деталі: осердя, обмотки, контактні кільця, щітки.

Етап 4. Встановлення можливості вмикання двигуна

Перевірити справність механічних елементів двигуна: цілість корпусу, підшипникових щитів, кришок ввідного пристрою, наявність мастила підшипників та інше. Обертаючи рукою вал двигуна, переконатися, що ротор не зачіпляється за осердя статора, вентилятор – за корпус, немає затирання в підшипниках.

В АД з фазним ротором перевіряють також стан та якість контактних кілець та щіткового апарата, щільність прилягання щіток до кілець.

Деякі асинхронні двигуни виготовляються для живлення від мереж з напругою одного значення (наприклад, двигуни з $U_{Iном} = 660 \text{ В}$). У цьому випадку на клемну панель двигуна виводяться тільки три виводи – початки фазних обмоток, а міжфазові з'єднання за відповідною схемою виконуються в лобових

частинах обмоток (так звані "глуха зірка" або "глухий трикутник").

Більшість двигунів може підключатися до мереж двох рівнів напруги, відрізняються в $\sqrt{3}$ раз (220/380; 380/660). В цьому випадку на клемній панелі двигуна розташовуються обидва виводи від кожної фази. Фазові обмотки з'єднуються між собою в "трикутник" при низькій напрузі в мережі або в "зірку" – при підключенні до мережі з напругою в $\sqrt{3}$ раз більшою. При цьому фазні напруги на обмотках двигуна залишаються однаковими. Для правильного з'єднання фазних обмоток між собою треба знати "початки" і "кінці" фазних обмоток.

Етап 5. Маркування виводів фаз обмотки статора та визначення опору ізоляції обмоток

Обов'язковою умовою створення колового обертового магнітного поля є симетричність обмотки, що створює це поле. Симетричні обмотки складаються з декількох (m) однакових фазних обмоток, зсунутих в пазах статора на однаковий кут. Якщо в асинхронній машині кількість пар полюсів більше ніж 1 ($p > 1$), то фазові обмотки рівномірно зсунуті в просторі на кут $\alpha = \frac{360}{m \cdot p}$ електричних градусів (ел. град.).

Позначення виводів трифазних машин змінного струму залежно від призначення обмоток наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Позначення виводів трифазних машин змінного струму

Виводи обмоток	Згідно з нормативними документами (ДСТУ)	Згідно зі стандартами МЕК ¹	У навчальній літературі
Початки фазних обмоток статора	C ₁ ; C ₂ ; C ₃	U ₁ ; V ₁ ; W ₁	A; B; C
Кінці фазних обмоток статора	C ₄ ; C ₅ ; C ₆	U ₂ ; V ₂ ; W ₂	X; Y; Z
Виводи фазних обмоток ротора	P ₁ ; P ₂ ; P ₃	K; L; M	P ₁ ; P ₂ ; P ₃

При виконанні лабораторних робіт рекомендується користуватися загальноприйнятим маркуванням, що використовується в навчальній літературі.

У процесі експлуатації заводське маркування може бути загублене або не відповідати дійсності (наприклад, після ремонту). Тому важливою при налагодці двигунів є задача визначення початків і кінців фазних обмоток, розв'язання якої наведено нижче.

5.1. Виводи фазних обмоток приєднуються до щитка (у лабораторних умовах) у довільному порядку і за допомогою омметра, вольтметра або лампи розжарювання визначаються виводи фазних обмоток, які помічаються цифрами: 1 – 1'; 2 – 2'; 3 – 3'.

При використанні лампи розжарювання збирається схема, яка зображена

¹ МЕК – міжнародна електротехнічна комісія.

на рис. 2.1.

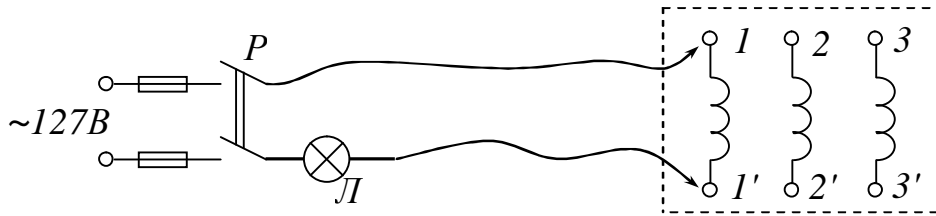


Рисунок 2.1 – Схема для визначення виводів фаз обмотки статора

У результаті виконання даного досліду виводи однієї фази повинні розташовуватися один над одним. Якщо виявиться, що виводи однієї фази розташовані на різних клеммах (наприклад, на клемі, позначеній цифрою 1 та на клемі, позначеній цифрою 2') необхідно поміняти місцями виводи обмотки статора асинхронного двигуна, які приєднані відповідно до клем позначених цифрою зі штрихом (відповідно до наведеного прикладу виводи, приєднані до клем 2' та 1').

5.2. Після цього виводи однієї з фаз маркується буквами "А" і "Х" (довільно) і збирається схема за рис. 2.2.

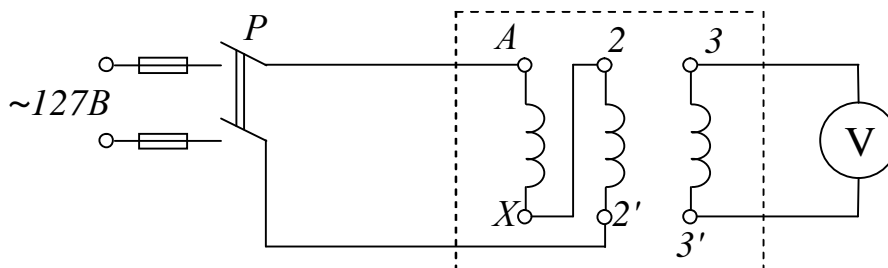


Рисунок 2.2 – Схема для здійснення маркування виводів обмоток статора

За цією схемою кінець першої фази X з'єднується з будь-яким виводом другої фази (2 – 2'). До послідовно увімкнених фаз підводиться однофазна змінна напруга. На затискачі вільної фази (3 – 3') вмикається вольтметр. Якщо після вмикання рубильника P вольтметр покаже наявність напруги на виході третьої обмотки, робиться висновок, що кінець першої фази "X" з'єднаний з початком другої фази "B" (пояснення цього ефекту описано в методичних вказівках до роботи). Відсутність показань вольтметра свідчить про те, що кінець першої фази "X" з'єднаний з кінцем другої фази "Y".

У разі відсутності показань вольтметра рекомендується переконатися в тому, що це не зв'язано з обривом електричного кола. Якщо в колі обмоток протікає струм, то магнітний потік, що створюється у магнітній системі двигуна, викликає "магнітні шуми", які можна відчувати, приклавши руку до корпусу двигуна.

При відсутності показань вольтметра необхідно змінити взаємне положення проводів обмотки 2 – 2', що йдуть від двигуна на протилежне та добитися показання вольтметра.

Аналогічним чином маркуються виводи третьої фази "CZ".

Після закінчення цього дослідження на верхніх затискачах повинні бути розташовані всі початки обмоток, а на нижніх – кінці.

5.3. За допомогою мегомметра виміряти опір ізоляції кожної фази щодо корпусу (K) та між фазами. Дозволяється подавати на обмотки двигуна напругу, якщо рівень їх ізоляції не нижче за нормованого. Допустиме мінімальне значення опору ізоляції для двигунів низької напруги – 1000 Ом на 1 В робочої напруги. Результати вимірювань занести у табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Результати вимірювання опору ізоляції

Опір ізоляції кожної фази щодо корпусу		Опір ізоляції між виводами фаз	
$R_{AK}, МОм$		$R_{AB}, МОм$	
$R_{BK}, МОм$		$R_{BC}, МОм$	
$R_{CK}, МОм$		$R_{CA}, МОм$	

Етап 6. Увімкнення двигуна в мережу і реверсування

Визначити, за якою схемою (Δ або Y) необхідно з'єднати обмотки статора двигуна при підключенні до даної трифазної мережі.

Схема вмикання двигуна в мережу складається з врахуванням напруги мережі. Вона повинна містити:

- апарат управління – автоматичний вимикач;
- апарат захисту від коротких замикань – плавкі запобіжники.

Після збірки схему перевіряє викладач, далі здійснюється запуск в хід двигуна, а потім – зміна напрямку обертання його – реверсування.

Якщо при запуску двигун працює ненормально (підвищені шуми, знижена частота обертання) його треба негайно вимкнути, знайти і усунути несправності: перевірити правильність збірки схеми та маркування виводів.

Етап 7. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Заводські дані машини і додаткові дані, отримані розрахунковим шляхом (табл. 2.1).
3. Схеми експериментальних досліджень (рис. 2.1 і 2.2) та схему увімкнення двигуна в мережу.
4. Величини опору ізоляції між фазами і кожної фази щодо корпусу

(табл. 2.3).

5. Розрахунки значень n_1 , $s_{ном}$, $2p$, $w_{ном}$, P_1 та $M_{ном}$ за номінальними даними двигуна.

6. Описання методу визначення початків та кінців обмоток з необхідними рисунками.

7. Ескізи статора та ротора трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим та фазним ротором.

Методичні вказівки

До етапу 1

Номінальний момент двигуна

$$M_{ном} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n_{ном}} = \frac{P_{ном}}{w_{ном}}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (1.1)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність двигуна (потужність на валу), кВт ; $n_{ном}$ – частота обертання ротора при номінальному навантаженні, об/хв ; $w_{ном}$ – кутова частота обертання ротора при номінальному навантаженні, рад/с

$$w_{ном} = \frac{2p \cdot n_{ном}}{60} = \frac{p \cdot n_{ном}}{30}, \text{ рад/с}, (с^{-1}). \quad (1.2)$$

Споживана потужність двигуном з мережі

$$P_1 = \sqrt{3} U_{ном} I_{ном} \cos \varphi_{ном} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (1.3)$$

або

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{h_{ном}}, \text{ кВт}. \quad (1.4)$$

Номінальне ковзання

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1}, \quad (1.5)$$

де n_1 – синхронна частота обертання магнітного поля, об/хв .

Синхронна частота обертання (частота обертання поля машини)

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \text{ об/хв}, \quad (1.6)$$

де f_1 – частота струму мережі, Гц ; p – кількість пар полюсів машини.

Якщо кількість пар полюсів обмотки статора визначити не вдається, синхронну частоту обертання можна визначити як найближче, більше по відношенню до $n_{ном}$ синхронне число. Ряд синхронних частот обертання (при частоті мережі 50 Гц): 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 об/хв і т.д.

До етапу 5

Обмотки статора трифазних двигунів складаються з трьох фаз, мають однакові параметри і зсунуті у просторі на 120 ел. град .

Для можливості використання двигуна при двох стандартних напругах мережі на клемну коробку двигуна, як правило, вмонтовуються 6 виводів – по два від кожної фази. Для правильного виконання схеми трифазної обмотки необхідно знати виводи кожної фази (початки та їх кінці).

Виводи кожної фази визначаються мегомметром, вольтметром або лампою як два затискачі, між якими існує електричний зв'язок.

Один з методів, що дозволяє визначити початки і кінці фазних обмоток, ґрунтується на такому ефекті.

Розглянемо найпростішу трифазну машину змінного струму, кожна фаза якої складається з однієї котушки та $2p = 2$. Початки котушок позначені A, B, C , кінці, відповідно, X, Y, Z .

Кожна котушка, по якій протікає змінний струм, створює пульсуюче магнітне поле, вектор якого перпендикулярний площині котушки, а його напрямок в кожному мить часу визначається правилом буравчика. Дві послідовно з'єднані котушки, які живляться змінним струмом, створюють результуюче пульсуюче магнітне поле, орієнтація вектора якого щодо третьої котушки залежить від способу увімкнення двох перших.

Якщо ці дві котушки увімкнені таким чином, щоб кінець першої котушки був з'єднаний з початком другої, то вектор результуючого пульсуючого поля буде орієнтований перпендикулярно площині третьої котушки і в ній індукватиметься ЕРС.

У цьому легко переконатися, розглянувши схему на рис. 2.3, задавшись для якої-небудь миті часу напрямом змінного струму. Магнітні потоки першої котушки ($A-X$) – Φ_A та другої котушки ($B-Y$) – Φ_B , підсумовуючись, створюють результуючий магнітний потік $\Phi_{рез}$, вектор якого перпендикулярний площині третьої котушки ($C-Z$) та індукує в ній ЕДС, наявність якої визначається вольтметром V .

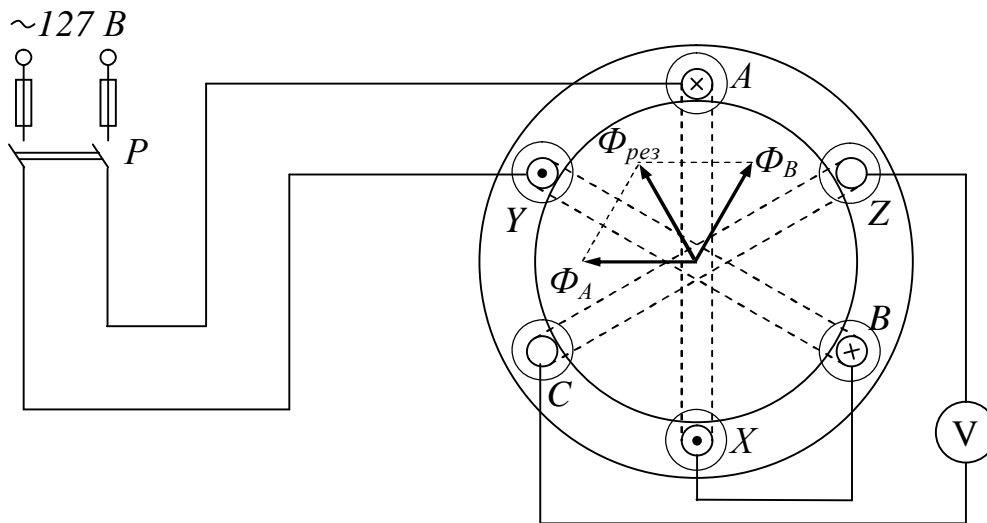


Рисунок 2.3 – Схема, до пояснення ефекту визначення початків і кінців фазних обмоток

Якщо розглянуті дві котушки увімкнуті таким чином, щоб кінець першої котушки був з'єднаний з кінцем другої, то вектор результуючого пульсуючого поля $\Phi_{рез}$ буде лежати в площині третьої котушки і ЕРС в ній індукуватися не буде (можна переконатися в цьому, склавши відповідну схему і виконавши необхідні побудови).

До етапу 6

Фазові обмотки з'єднуються між собою в "трикутник" при низькій напрузі в мережі або в "зірку" при підключенні до мережі з напругою в $\sqrt{3}$ раз більшою.

Наприклад, в асинхронних двигунів, у яких в паспортній таблиці зазначено, що вони працюють при напрузі 220/380 В, обмотку статора з'єднують за схемою "трикутник" при роботі в мережі з лінійною напругою 220 В, а коли в мережі лінійна напруга складає 380 В обмотку статора вмикають за схемою "зірка". В обох випадках фазна напруга на обмотках двигуна буде складати 220 В.

Схему вмикання необхідно складати з урахуванням конкретних умов лабораторії.

При розробці схеми увімкнення двигуна в мережу слід враховувати, що вона повинна містити пускову апаратуру (автоматичні вимикачі, магнітні пускачі, пускові реостати для двигунів з фазним ротором) і апаратуру захисту (плавкі запобіжники, теплові, струмові реле та інші апарати захисту).

Для здійснення реверсування асинхронного двигуна необхідно змінити порядок чергування фаз двигуна, що викличе зміну напрямку обертання магнітного поля, а воно, у свою чергу, – зміну напрямку обертання вала двигуна.

Контрольні запитання

1. Дайте словесне визначення поняття "асинхронна машина".
2. Дайте визначення поняття "синхронна частота обертання" та наведіть ряд синхронних частот обертання для частоти мережі 50 Гц.
3. Укажіть умови для створення обертового магнітного поля.
4. Поясніть принцип дії асинхронного двигуна.
5. Укажіть переваги і недоліки асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.
6. Укажіть переваги і недоліки асинхронних двигунів з фазним ротором.
7. Укажіть взаємозв'язок між числом полюсів, частотою живильної напруги і частотою обертання ротора асинхронної машини.
8. У чому складається дослідний та розрахунковий способи визначення числа полюсів машини?
9. Яким способом можна встановити, що обмотка створює обертове магнітне поле?
10. З якою метою треба вимірювати опір ізоляції обмоток двигуна?
11. Яким чином можна змінити напрям обертання ротора асинхронного двигуна (реверсувати двигун)?
12. За якою схемою треба з'єднати фазові обмотки статора, якщо на щітку заводських даних вказана номінальна напруга 380/660 В, а в цеху є трифазна мережа змінного струму з лінійною напругою 660 В?
13. Трифазний двополюсний асинхронний двигун при номінальному навантаженні має ковзання 5,4 %. Чому дорівнює частота обертання ротора, якщо частота змінного струму статора 50 Гц?
14. Чи може трифазний асинхронний двигун при наявності трьох пар полюсів і критичному ковзанні 12 % мати частоту обертання 860 об/хв?
15. Трифазний асинхронний двигун споживає від мережі потужність 9,55 кВт при струмі 36,36 А та напрузі 220 В. Визначити ККД і $\cos \phi$, якщо корисна потужність на валу двигуна 27,5 кВт.
16. На якому принципі ґрунтується метод визначення початків і кінців виводів обмоток статора?
17. Дайте визначення поняттям:

– номінальна напруга (лінійна та фазна);	– номінальний струм;
– номінальна потужність;	– номінальна частота обертання;
– номінальний ККД;	– номінальний $\cos \phi$;
– номінальне ковзання;	– потужність, що споживається.

Список рекомендованої літератури

1. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навч. посібник. /Ф.П. Шкрабець, Д.В. Ципленков, Ю.В. Куваєв та ін. – Д.: НГУ, 2005. – 515 с. (§ 8.1, с. 178 – 181).
2. Півняк Г.Г, Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навч. посібник. – Д.: НГУ, 2003. – 327с. (§ 8.1 – 8.5. с. 92 – 123).
3. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и

микромашини: Учебник. – М.: Высш. шк., 1990. – 528 с. (§ 5.1 – 5.2. с. 160 – 168).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9/3

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Мета роботи Ознайомитися з технікою і методикою дослідження двигунів методом безпосереднього навантаження; отримані експериментально дані використати для побудови робочих характеристик асинхронного двигуна.

Програма роботи

1. Вивчення лабораторного стенду.
2. Розрахунок моментів навантаження.
3. Проведення експерименту, обробка даних та побудова робочих характеристик.
4. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Вивчення будови лабораторного стенду

Оглянути двигун, перевірити його механічну справність, встановити напрям обертання. Заводські дані двигуна записати в табл. 3.1.

Ознайомитися з особливостями лабораторного стенду (рис. 3.1) та принципом дії електромагнітного гальма.

Таблиця 3.1.

Заводські дані двигуна. Робоче місце № _____

<i>Тип двигуна, Схема з'єднання обмоток</i>	<i>$P_{ном}$ кВт</i>	<i>$U_{1ном}$ В</i>	<i>$I_{1ном}$ А</i>	<i>$n_{ном}$ об/хв</i>	<i>f_1, Гц</i>	<i>$\eta_{ном}$ %</i>	<i>$\cos\varphi_{ном}$</i>

Етап 2. Розрахунок моментів навантаження

Рекомендується при експерименті створювати на валу двигуна моменти навантаження, рівні приблизно $M_{нав} = (1,2; 1,0; 0,75; 0,5; 0,25; 0) \cdot M_{ном}$. Розрахунок моментів навантаження здійснюється в такому порядку :

- визначається номінальний момент двигуна $M_{ном} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n_{ном}}$, $H \cdot m$,

де $P_{ном}$ – номінальна потужність двигуна, кВт;

- розраховується момент навантаження.

Отримані значення моменту навантаження на валу двигуна (з точністю до другого знака після коми), що створюється за допомогою електромагнітного гальма, записати у табл. 3.2, а за шкалою електромагнітного гальма, при виконанні досліду відкладати ці значення.

Етап 3. Дослідження робочих характеристик двигуна

Підключити вимірювальні пристрої (амперметр, вольтметр та ватметр) та додатковий резистор до відповідних ділянок та виводів схеми (рис. 3.1).

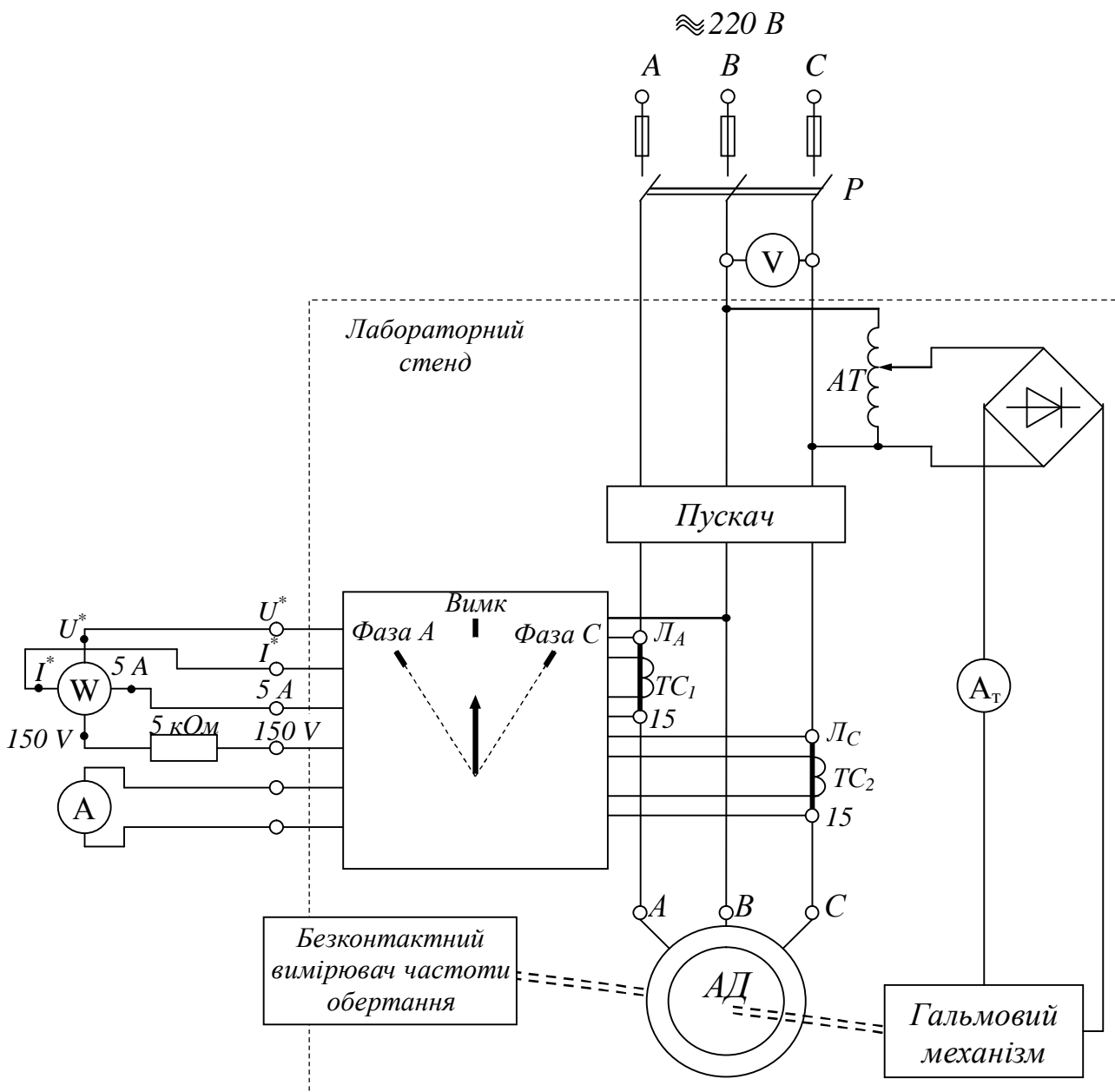


Рисунок 3.1 – Схема увімкнення асинхронного двигуна при безпосередньому навантаженні

Визначити ціну поділку приладів, під'єднаних до стенда, з врахуванням того що додатковий опір у колі обмотки напруги ватметра збільшує межу виміру приладу по напрузі у два рази, а коефіцієнт трансформації трансформаторів струму ТС₁ та ТС₂ $K_T = 3$:

$$C_I = \quad A/\text{поділок}; \quad C_V = \quad V/\text{поділок}; \quad C_W = \quad \text{Вт}/\text{поділок}.$$

Після перевірки викладачем правильності складання схеми подати напругу живлення та встановити в колі гальмового механізму мінімальний струм (мінімальне показання амперметра A_T) за допомогою автотрансформатора AT , створивши тим самим мінімальне навантаження на валу двигуна. Встановити перемикач приладів у середнє положення "Вимк" та здійснити пуск двигуна за допомогою пускача.

За допомогою електромагнітного гальма (змінюючи положення регулятора автотрансформатора AT) створити необхідне навантаження на валу двигуна. При цьому стрілка на шкалі електромагнітного гальма зі зміною струму в колі гальмового механізму буде відхилятися на деякий кут, який відповідає навантаженню, що прикладається до валу двигуна.

Переводячи перемикач в положення "Фаза А" та положення "Фаза С" зняти показання приладів, з врахуванням впливу на їх ціни поділок трансформаторів струму та додаткових резисторів (коефіцієнт трансформації трансформаторів струму ТС₁ та ТС₂ $K_T = 3$). Зняти показання приладів для кожного з розрахованих значень моменту навантаження на валу двигуна $M = (1,2; 1,0; 0,75; 0,5; 0,25; 0) \cdot M_{ном}$. Результати вимірювань занести в табл. 3.2. та розрахувати робочі параметри двигуна при заданих значеннях навантажувального моменту M (потужність, що споживається P_1 ; корисну потужність на валу P_2 ; коефіцієнт корисної дії h ; коефіцієнт потужності $\cos j$ та ковзання s) за формулами:

$$P_1 = P_A + P_C, \text{ Вт}; \quad P_2 = \frac{n \cdot M}{9.55}, \text{ Вт}; \quad h = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%;$$

$$\cos j_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 I_1}; \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1},$$

де n_1 – частота обертання магнітного поля (синхронна частота обертання) визначається як і в роботі **ЕМ-9/2**.

Результати розрахунку занести в табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Дослідження робочих характеристик двигуна

№ п/п	Виміряно							Розраховано					
	M , $H \cdot m$	n , $об/хв$	U_1 , V	I_A , A	I_C , A	P_A , $Вт$	P_C , $Вт$	I_1 , A	P_1 , $Вт$	P_2 , $Вт$	η , $\%$	$\cos \varphi_1$, –	s , –

Примітка: Показання ватметрів записувати з врахуванням знаків.

За даними табл. 3.2 побудувати в одній системі координат (у масштабі) робочі характеристики двигуна:

$$P_1=f(P_2); I_1=f(P_2); M=f(P_2); n=f(P_2); \eta=f(P_2); \cos\phi=f(P_2); s=f(P_2).$$

Етап 4. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.
2. Таблицю 3.1 з заводськими даними двигуна.
3. Схему експериментальних досліджень (рис. 3.1).
4. Таблицю 3.2 з результатами вимірювань та розрахунків.
5. Розрахунок робочих параметрів двигуна для номінального моменту.
6. Робочі характеристики двигуна в одній системі координат (у масштабі).

Методичні вказівки

До етапу 1

Дослідний стенд складається з асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором, навантажувального механізму, безконтактного датчика частоти обертання вала двигуна, електромагнітного пускача та частково зібраного електричного кола вмикання двигуна. Для завершення складання електричного кола необхідно ввімкнути ватметр з додатковим опором, амперметр та вольтметр.

Навантажувальний механізм являє собою електромагнітне гальмо, в якому навантажувальний момент M створюється за рахунок силової взаємодії вихрових струмів, що створюються магнітним полем електричних котушок з сталевим диском, закріпленим на валу двигуна. Котушки закріплені разом з вантажем з можливістю повороту навколо осі таким чином, що їх кут повороту, разом з покажчиком гальмового механізму відповідає моменту навантаження M . Навантажувальний момент M встановлюється шляхом регулювання струму в котушках за допомогою автотрансформатора AT . При цьому, при збільшенні

струму в котушках збільшується сила взаємодії сталевго диска з магнітним полем котушок, внаслідок чого збільшується кут повороту котушок з вантажем. Механічна енергія двигуна, при цьому, витрачається головним чином на нагрів сталевго диска.

Контрольні запитання

1. Які переваги та недоліки має асинхронний двигун з короткозамкненим ротором в порівнянні з асинхронним двигуном з фазним ротором?
2. Яке призначення має автотрансформатор, що вмикається в коло гальмового механізму?
3. Чому при роботі двигуна без навантаження струм статора не дорівнює нулю?
4. Чому струм холостого ходу асинхронного двигуна відносно великий у порівнянні з струмом холостого ходу трансформатора?
5. Чому частота обертання ротора двигуна, що працює без навантаження, не дорівнює синхронній частоті?
6. Які види втрат мають місце в асинхронному двигуні?
7. Чому магнітні втрати в осерді ротора не враховують?
8. На які види втрат впливають величина повітряного зазору і товщина пластин сердечника статора?
9. Побудуйте енергетичну діаграму активної потужності асинхронного двигуна. Дайте характеристику її фізичному змісту.
10. Чому дорівнює ККД двигуна при холостому ході?
11. При якому навантаженні ККД двигуна максимальний? Чому?
12. Чому двигуни будують таким чином, що ККД має максимальне значення не при номінальному навантаженні?
13. Поясніть вид робочих характеристик асинхронного двигуна.
14. У яких межах змінюється ковзання, частота обертання вала двигуна та електромагнітний момент у генераторному режимі роботи асинхронної машини, у режимі двигуна, у режимі електромагнітного гальма?
15. Чому при малих навантаженнях двигуна його $\cos j_1$ має низьке значення?
16. Потужність, що підводиться до асинхронного двигуна, 19,3 кВт. Визначити ККД двигуна, якщо сумарні втрати складають 2300 Вт.
17. Знайти сумарну потужність втрат асинхронного двигуна АО2-62-2, що має ККД 90 % і потужність на валу 17 кВт.
18. Трифазний асинхронний двигун з фазним ротором МТ-42-8 споживає від мережі потужність 19,4 кВт при струмі 73,8 А та напрузі 220 В. Знайти ККД і $\cos \phi$, якщо потужність на валу двигуна 16 кВт.
19. Крановий трифазний шестиполісний асинхронний двигун з фазним ротором увімкнений у мережу змінного струму з напругою 380 В і переборює момент опору 70 Нм при ковзанні 53 %. Визначити коефіцієнт потужності, частоту обертання ротора, потужність на валу двигуна і ККД, якщо відомо, що по-

тужність, що підводиться до двигуна, 7,5 кВт при лінійному струмі 12,5 А.

Список рекомендованої літератури

1. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навч. посібник. /Ф.П. Шкрабець, Д.В. Ципленков, Ю.В. Куваєв та ін. – Д.: НГУ, 2004. – 515 с. (§ 8.4 с. 205 –207).
2. Півняк Г.Г, Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навч. посібник – Д.: НГУ, 2003. – 327 с. (§ 10.1 – 10.4. с. 136 – 145).
3. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины: Учебник. – М. : Высш. шк., 1990. – 528 с. (§ 5.9. с. 197 – 201).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9/4

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПУСКУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Мета роботи Вивчити і дослідити способи пуску асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

Програма роботи

1. Ознайомлення із заводськими даними двигуна. Підбір пускової апаратури і вимірювальних приладів для здійснення різних способів пуску.
2. Дослідження пуску двигуна прямим увімкненням в мережу.
3. Дослідження пуску двигуна перемиканням фаз обмотки статора із зірки на трикутник.
4. Порівняльна оцінка різних способів пуску асинхронних короткозамкнених двигунів.
5. Складання звіту.

Порядок виконання роботи

Етап 1. Ознайомлення із заводськими даними двигуна. Підбір апаратури і вимірювальних приладів для здійснення різних способів пуску

Ознайомитися з номінальними даними досліджуваного трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та записати їх у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Номинальні данні асинхронного двигуна. Робоче місце № _____

Тип двигуна,	Схема з'єднання обмоток	$U_{1ном}$ В	$I_{1ном}$ А	$P_{ном}$ кВт	$n_{ном}$ об/хв	$\cos\phi_{ном}$ –	$\eta_{ном}$ %

Визначити орієнтовно величину пускового струму при прямому увімкненні двигуна в мережу:

$$I_{1п} = (4 \div 7) \cdot I_{1ном}$$

Згідно з номінальними даними двигуна підібрати відповідний автоматичний вимикач, вольтметри і амперметри.

Етап 2. Дослідження пуску двигуна прямим увімкненням в мережу

Зібрати схему з'єднання обмотки статора з урахуванням заводських даних двигуна і напруги у лабораторії. Зібрати схему пуску двигуна прямим увімкненням в мережу за рис. 4.1.

Здійснити пробний пуск двигуна при незагальмованому роторі, звернувши увагу на стрибок пускового струму.

Визначити пусковий струм двигуна, для чого:

- застопорити двигун стрічковим гальмом;
- увімкнути автоматичний вимикач АІ і заміряти струм статора.

Щоб уникнути перегріву двигун стопорити не більше 2-3 с.

Привести значення пускових струмів в мережі і двигуні до номінальної напруги. Визначити кратність пускових струмів $K_I = \frac{I_{пном}}{I_{1ном}}$.

Дані вимірювань і обчислень записати у табл. 4.2.

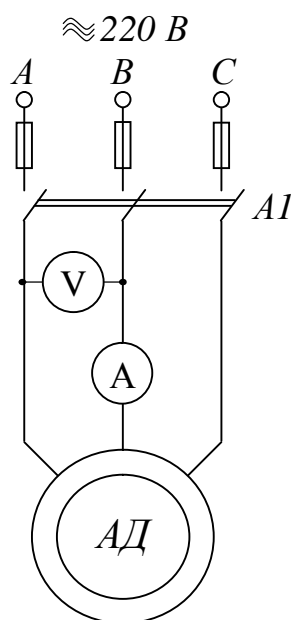


Рисунок 4.1 – Схема пуску двигуна прямим вмиканням в мережу

Таблиця 4.2.

Результати досліджень пуску двигуна прямим увімкненням в мережу

В и м і р ю в а н н я		Р о з р а х у н о к		
U_m, B	I_n, A	$I_{n.m.ном}, A$	$I_{n.d.ном}, A$	$K_I = \frac{I_{n.ном}}{I_{1ном}}$

де U_m – напруга мережі; $I_{n.m.ном} = I_n \cdot \frac{U_{1ном}}{U_m}$ – значення пускового струму мережі, приведене до номінальної напруги, $I_{n.d.ном} = I_{n.m.ном}$ – пусковий струм двигуна.

Етап 3. Дослідження пуску двигуна перемиканням фаз обмотки статора із зірки на трикутник

Зібрати схему пуску двигуна за рис. 4.2. Провода розташувати таким чином, щоб вони не заважали перемикачі перемикач П.

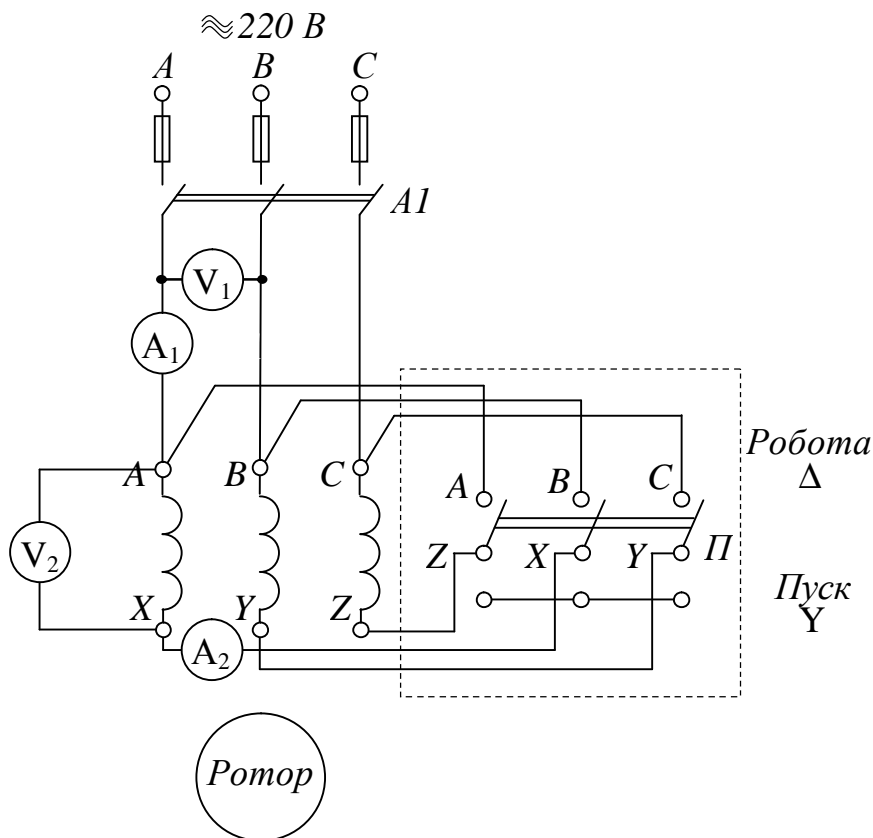


Рисунок 4.2 – Схема пуску двигуна перемиканням фаз обмотки статора із зірки на трикутник

Здійснити пробний пуск двигуна при з'єднанні фаз обмотки статора зіркою. Звернути увагу на кидок пускового струму та збільшення тривалості пуску у порівнянні з попереднім випадком. Після розгону двигуна обмотку статора перемкнути на трикутник. Після опробування двигун відключити.

Визначити пусковий струм двигуна при з'єднанні фаз обмотки статора зіркою. Для цього:

- застопорити ротор стрічковим гальмом;
- перемикач "П" поставити в положення "пуск";
- увімкнути двигун і визначити значення пускового струму двигуна

$I_{п.д.}^Y$, пускового струму у мережі $I_{п.м.}$, фазну напругу двигуна $U_{ф.д.}$, напругу у мережі U_m .

Результати вимірювань записати в табл. 4.3.

Привести значення пускових струмів в мережі і двигуні до номінальної напруги:

Таблица 4.3.

Результати дослідження пуску двигуна при перемиканні обмотки статора із зірки на трикутник

Виміряно	Розраховано
----------	-------------

U_M B	$U_{\phi.\delta}$ B	$I_{n.m}$ A	$I_{n.d}^Y$ A	$\frac{U_M}{U_{\phi.\delta}}$	$I_{n.m.ном}$ A	$I_{n.d.ном}$ A	$\frac{I_{n.m.ном}}{I_{1ном}^\Delta}$	$\frac{I_{n.d.ном}}{I_{1ном}^\Delta}$

$$I_{n.m.ном} = I_{n.m} \cdot \frac{U_{1ном}}{U_M}; \quad I_{n.d.ном} = I_{n.d}^Y \cdot \frac{U_{1ном}}{U_M}.$$

Визначити кратність пускових струмів в мережі і двигуні при з'єднанні фаз обмотки статора зіркою:

$$K_{I_M} = \frac{I_{n.m.ном}}{I_{1ном}^\Delta}; \quad K_{I_\delta} = \frac{I_{n.d.ном}}{I_{1ном}^\Delta},$$

де $I_{1ном}^\Delta$ – номінальний струм двигуна, при з'єднанні фаз обмотки статора трикутником.

Етап 4. Порівняльна оцінка різних способів пуску асинхронних короткозамкнених двигунів

Виконати порівняльну оцінку різних способів пуску двигуна за ознаками:

- по складності схем,
- величині пускових струмів
- величині кратності зменшення пускових моментів.

Величину кратності зменшення пускових моментів визначати як відношення пускового моменту при прямому пуску до пускового моменту при перемиканні обмоток статора з зірки на трикутник

$$m_n = \frac{M_n^\Delta}{M_n^Y} = \left(\frac{U_{\phi.m}}{U_{\phi.\delta}} \right)^2.$$

Результати розрахунків занести у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Порівняльна оцінка різних способів пуску асинхронного двигуна

Спосіб пуску	$\frac{U_{\phi.m}}{U_{\phi.\delta}}$	$K_{I_M} = \frac{I_{n.m.ном}}{I_{1ном}^D}$	$K_{I_\delta} = \frac{I_{n.d.ном}}{I_{1ном}^D}$	$m_n = \left(\frac{U_{\phi.m}}{U_{\phi.\delta}} \right)^2$
Пряме вмикання в мережу	–			1.0
Перемикання із зірки на трикутник				

Етап 6. Складання звіту

Звіт по даній лабораторній роботі повинен містити:

1. Найменування роботи, її мету та програму.

2. Таблицю 4.1 із паспортними даними двигуна.
3. Приблизне значення пускового струму.
4. Схеми експериментальних досліджень (рис. 4.1, 4.2).
5. Таблиці 4.2, 4.3 з результатами вимірювань та розрахунків.
6. Таблицю 4.4 з порівняльною оцінкою різних способів пуску.
7. Розрахунки величин, що входять до таблиць.
8. Висновки.

Методичні вказівки.

До етапу 2

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором завдяки простоти будови низької вартості і надійності в експлуатації отримали більш широке застосування.

Пуск двигунів цього типу здійснюється в більшості випадків прямим увімкненням в мережу. Особливістю асинхронних короткозамкнених двигунів є значна величина пускових струмів, які досягають значень $I_n = (4 \div 7) \cdot I_{ном}$. Пускові струми викликають втрату напруги в живильних ЛЕП і трансформаторах. Якщо потужність пускового двигуна одного порядку з потужністю мережі, спад напруги в мережі при пуску великий, що негативно позначається на режимах роботи інших споживачів, що живляться від тієї ж мережі. У таких випадках застосовують спеціальні способи пуску, при яких пускові струми в мережі зменшуються.

До етапу 3

Пуск перемиканням фаз обмотки статора із зірки на трикутник можна здійснити, якщо:

- 1) для номінальної напруги мережі нормальна схема з'єднання фаз обмотки статора – трикутник;
- 2) усі 6 кінців фазних обмоток статора виведено на клемний щиток;
- 3) двигун працює з навантаженням не більше ніж $0,3M_{ном}$.

Для реалізації цього способу пуску необхідно мати перемикач, який дозволяє без зупинки двигуна перемкнути обмотку статора із зірки на трикутник. Таким перемикачем може бути триполюсний трипозиційний рубильник або пускач спеціальної конструкції.

Спочатку цим перемикачем забезпечується з'єднання фаз обмотки статора в зірку і здійснюється пуск двигуна в хід. Після розгону двигуна до певної швидкості перемикач переставляється в положення, при якому забезпечується нормальна схема з'єднання фаз обмотки статора – трикутник. Застосування вказаного способу дозволяє знизити пускові струми в лінії у 3 рази.

Дійсно, пускові струми при з'єднанні фаз обмотки статора трикутником:

- а) у фазах обмотки двигуна

$$I_{n.\phi}^D = \frac{U_\phi^D}{Z_\phi} = \frac{U_m}{Z_\phi}, \text{ оскільки } U_\phi^D = U_m;$$

б) в лініях мережі

$$I_{n.m}^D = \sqrt{3} \cdot I_{n.\phi}^D = \sqrt{3} \cdot \frac{U_m}{Z_\phi},$$

де Z_ϕ – повний опір фази обмотки статора.

Пускові струми при з'єднанні фаз обмотки статора зіркою:

а) у фазах обмотки двигуна

$$I_{n.\phi}^Y = \frac{U_\phi^D}{Z_\phi} = \frac{U_m}{\sqrt{3} \cdot Z_\phi}, \text{ так як } U_\phi^D = \frac{U_m}{\sqrt{3}};$$

б) в лініях мережі

$$I_{n.m}^Y = \frac{U_m}{\sqrt{3} \cdot Z_\phi}.$$

Відношення пускових струмів в мережі

$$\frac{I_{n.m}^D}{I_{n.m}^Y} = \frac{(\sqrt{3}U_m)/Z_\phi}{U_m/(\sqrt{3}Z_\phi)} = 3$$

Оскільки пусковий момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату фазної напруги, то $M_n^Y = M_n^D/3$, з чого виходить, що цей спосіб застосовується при "легких" пусках.

Істотний недолік розглянутого способу пуску – розмикання кола обмоток фаз статора при перемиканнях, що служить причиною появи комутаційних перенапружень і виключає можливість застосування його для двигунів високої напруги через небезпеку пробоею ізоляції.

Контрольні запитання

1. Від яких параметрів асинхронного двигуна залежить пусковий струм.
2. Чому початковий кидок пускового струму значно перевищує номінальний струм?
3. Як залежить стрибок пускового струму від величини навантаження на валу двигуна?
4. Як впливає стрибок пускового струму двигуна на роботу інших споживачів, що живляться від тієї ж мережі?
5. Чому зменшується пусковий струм в мережі при перемиканні фаз обмотки статора із зірки на трикутник і в скільки разів?
6. Як змінюється пусковий момент при перемиканні фаз обмотки стато-

ра із зірки на трикутник?

7. В яких випадках рекомендується використовувати прямий пуск двигуна, в яких – пуск двигунів із застосуванням перемикачів обмотки статора із зірки на трикутник?

8. Порівняти значень пускового моменту асинхронних двигунів з фазним і короткозамкненим роторами.

9. Які існують ще способи пуску асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Які вони мають особливості? Накреслить електричну схему увімкнення двигуна та механічні характеристики.

10. Які існують способи пуску асинхронних двигунів з фазним ротором. Які вони мають особливості. Накреслить електричну схему вмикання двигуна та механічні характеристики.

Список рекомендованої літератури

1. Електротехніка, основи електроніки та мікропроцесорної техніки: Навч. посібник. /Ф.П. Шкрабець, Д.В. Циценков, Ю.В. Куваєв та ін.– Д.: НГУ, 2004. – 515 с. (§ **8.5** с. **207–210**).

2. Півняк Г.Г, Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навч. посібник – Д.: НГУ, 2003. – 327 с. (§ **12.3 – 12.4**. с. **165 – 172**).

3. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины: Учебник. – М. : Высш. шк., 1990. – 528 с. (§ **5.10**. с. **201 – 210**).

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

1. Шкрабець Ф.П., Циценков Д.В. Збірник задач з електротехніки та основ електроніки. – Д.: НГУ, 2006. – 258 с.
2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высш. шк., 2002. – 542 с.
3. Общая электротехника / Под ред. А. Т. Блажкина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 592 с.
4. Задачник по общей электротехнике с основами электроники: Учеб. пособие для неэлектротехнических специальностей техникумов. /Т.Ф. Березкина, Н.Г. Гусев, В.В. Маслеников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 380 с.
5. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 2002. – 469 с.
6. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

З М І С Т

Вступ	3
Лабораторна робота ЕМ–9/1 Вивчення конструкції трансформатора та приблизне визначення його номінальних величин	4
Лабораторна робота ЕМ–9/2 Дослідження конструкції та принципу дії трифазних асинхронних двигунів.....	10
Лабораторна робота ЕМ–9/3 Дослідження робочих властивостей асинхронного двигуна методом безпосереднього навантаження	19
Лабораторна робота ЕМ–9/4 Дослідження способів пуску асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором	24
Список додаткової літератури	31

Упорядник:
Ципленков Дмитро Володимирович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисциплін " ЕЛЕКТРОТЕХНІКА,
ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ",
"ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ",
"ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ"
для студентів напрямів 0902 Інженерна механіка;
0903 Гірництво; 0707 Геологія
(Розділи "Трансформатори" та "Асинхронні машини")

Редактор
Чуїщева Л.О.

Підписано до друку 09.11.04. Формат 30x42/4.
Папір Rollux. Ризографія. Умовн. друк. арк. 2,6.
Обліково-видавн. арк. 2,5. Тираж 300 прим. Зам. №

Національний гірничий університет
49027, м. Дніпропетровськ-27, просп. К. Маркса, 19.