

Ю.В. Степанковський

**Методичні вказівки
до лабораторних робіт з дисципліни
«Перетворюючі пристрої»
(«Електричні мікромашини»)**

**Київ
2013**

ББК 32.96-04

С-79

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(протокол № 3/13 від 02 квітня 2013 р.)*

Рецензент: **Антонюк В.С.**, професор кафедри виробництва
приладів, доктор техн. наук, професор

Відповідальний редактор д.т.н., професор **Бурау Н.І.**

Степанковський Ю.В.

С-79 Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Перетворюючі пристрої» («Електричні мікромашини») // Електронне видання. – К.: НТУУ «КПІ», 2013, –74 с.

Методичні вказівки складаються з опису лабораторних робіт, що рекомендовані програмою за курсом «Електричні мікромашини». В описах робіт зазначені мета досліджень, дані теоретичні обґрунтування робіт і методичні вказівки до їх виконання.

Призначено для студентів приладобудівних спеціальностей вищих технічних учбових закладів.

УДК 621.313-181.48

ББК 32.96-04

©**Степанковський Ю.В.**

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
ВСТУП	4
Лабораторна робота №1. Дослідження двигунів постійного струму	7
Лабораторна робота №2. Дослідження тахогенераторів постійного і змінного струмів	14
Лабораторна робота №3. Дослідження електричних гіродвигунів.....	25
Лабораторна робота №4. Дослідження обертових трансформаторів	31
Лабораторна робота №5. Дослідження однофазних сельсинів	41
Лабораторна робота №6. Дослідження динамічних характеристик виконавчих двигунів на ЕОМ.	47
Лабораторна робота №7. Дослідження ферозондів.....	52
Лабораторна робота №8. Дослідження статичних тягових характеристик силового електромагніта	57
Лабораторна робота № 9. Дослідження електромагнітних реле.....	61
Лабораторна робота №10. Дослідження динамічних процесів перемагнічування феромагнітних сердечників.....	65
ДОДАТКИ.....	70
Додаток 1. Методика визначення швидкості обертання ротора гіромотора в режимі вибігу за допомогою електронного осцилографа і звукового генератора	71
Додаток2. Методика експериментального визначення моменту інерції ротора методом крутильних коливань.....	72
Додаток 3. Методика визначення моментів опору обертанню ротора гіромотора при вибігу	73
Додаток 4. Методика визначення фазового зсуву двох напруг за допомогою електронного осцилографа.....	74

ПЕРЕДМОВА

Дані методичні вказівки є посібником при виконанні студентами спеціальності «Прилади і системи орієнтації та навігації» лабораторних робіт з дисципліни «Перетворюючі пристрої» («Електричні мікромашини»). Методичні вказівки містять короткі відомості про принцип дії і конструкції досліджуваних елементів, програму і методику проведення експериментальних досліджень, а також контрольні питання для самоперевірки. Перелік лабораторних робіт, включених у методичні вказівки, визначається програмою дисципліни.

При постановці лабораторних робіт і складанні даних вказівок автор виходив з наступних цілей виконання робіт:

1. Ознайомлення з конструкцією і технічними параметрами типових мікромашин і перетворювачів.
2. Експериментальне дослідження властивостей і особливостей мікромашин і перетворювачів.
3. Ознайомлення з методами експериментального визначення параметрів і характеристик мікромашин і перетворювачів, а також з апаратурою, що використовується.

ВСТУП

Порядок виконання лабораторних робіт при випробуванні мікромашин і перетворюючих пристроїв

1. Вимоги до студентів.

Студент зобов'язаний самостійно підготуватися до роботи. Підготовка полягає в ознайомленні з принципом дії, конструкцією, основами теорії випробуваної мікромашини, у засвоєнні змісту роботи. Студент зобов'язаний знати всі необхідні за програмою характеристики, продумати і пояснити порядок зняття тієї або іншої характеристики, техніку необхідних вимірів.

Кожен студент заздалегідь повинен підготувати протокол майбутньої роботи (схеми і таблиці вимірюваних величин), у який під час роботи вносяться необхідні результати вимірів і необхідні розрахунки. Для успішного виконання лабораторної роботи корисно заздалегідь ознайомитися також зі схемою лабораторної установки, приладами і устаткуванням, установленим на робочому місці. По остаточно оформленій роботі (з усіма графіками і висновками) студент звітує перед викладачем.

Звіт виконується на окремих аркушах розміром А4 або в зошиті. Протокол повинен мати титульний аркуш, на якому записуються: назва лабораторної роботи; прізвище і ініціали студента; група, курс і факультет; дата проведення роботи, прізвище і ініціали викладача. Далі слідує: загальна робоча схема; паспортні дані випробуваного пристрою і вимірювальних приладів; приводяться: програма роботи; результати досліджень у формі таблиць і графіків; розрахунки; оцінка похибки, допущеної при проведенні вимірів; висновки по роботі. При цьому висновки повинні базуватися на отриманих результатах і бути зіставлені з теоретичними. Звіт по лабораторній роботі скла-

дається самостійно кожним студентом і здається викладачу перед початком чергової роботи. Студенти, які не здали звіт по виконаній роботі, до чергової роботи не допускаються.

Перед початком лабораторної роботи викладач перевіряє готовність студента до майбутньої роботи. При незадовільній підготовці студент до роботи не допускається.

Починати виконання лабораторної роботи треба з вивчення конструкції елементів, що підлягають дослідженню, користуючись навчальними екземплярами елементів, лабораторними стендами, кресленнями і плакатами. Потім приступають до складання схеми. Зібрані схеми перевіряються викладачем. Включення схем та будь-які перемикання в ході роботи без дозволу викладача не дозволяється. У випадку порушень цих вимог студент може бути відсторонений від роботи, а при псуванні обладнання несе матеріальну відповідальність. Розбирання схеми дозволяється тільки після того, як студенти погодять результати випробувань із викладачем.

2. Складання схеми.

Перш ніж приступити до складання схеми, студенти зобов'язані ознайомитися з робочим місцем: щитом живлення, вмиканням і вимиканням напруг на робочому місці, з'ясувати величину подаваної напруги та її характер. У лабораторії на лицьовій панелі робочого стола виведені клеми 28 В постійного струму, напруга змінного струму 220 В, 50 Гц, а також 36 В, 400 Гц (три фази).

При складанні схеми необхідно раціонально розташувати прилади і допоміжні елементи схеми, тому що від цього залежить зручність і швидкість зняття показань приладів.

Складання схеми варто провадити в такий спосіб: почавши з одного затискача джерела живлення, пройти спочатку струмовий, послідовний, ланцюг і закінчити її на іншому затискачі джерела. Потім до цього ланцюга поступово підключаються всі паралельні ланцюги відповідно до схеми. Провідники, що з'єднують клеми машин, реостатів і вимірювальних приладів, повинні бути щільно приєднані.

3. Включення схеми під напругу.

Після обов'язкової перевірки схеми викладачем студенти мають право включити напругу. Щоб переконатися в тому, що схема працює правильно, студенти повинні в момент включення напруги спостерігати за показаннями вимірювальних приладів. Це дозволяє вчасно виявити несправності і неточності в схемі (обриви в ланцюгах, невідповідні вимірюваним величинам межі приладів і т.д.).

Далі візуально по приладах проглядається чергова характеристика в необхідному діапазоні. Тільки після того, як вимірювальні прилади будуть давати задовільні показання, можна приступати до проведення даного дослідження.

4. Проведення дослідження

Показання вимірювальних приладів заносяться в заздалегідь підготовлену чернетку після того, як всі необхідні умови проведення дослідження (напри-

клад, постійна швидкість обертання, постійна напруга і т.п.) будуть виконані. Відлік показань вимірювальних приладів необхідно робити в діленнях шкали. Після закінчення кожного досліду необхідно перевести показання приладу в абсолютні значення за допомогою ціни ділення шкали. Потім, не розбираючи схеми, на чернетці у відповідному масштабі будують графіки досліду. У більшості випадків саме розташування точок кривої може вказати на неточність ряду відліків, помилки у вимірах, недотримання умов проведення досліду і т.п. Точки, що випали, повинні бути перевірені ще раз. У деяких випадках для зменшення погрішності доцільно повністю кілька разів повторити досвід і взяти для кожної точки середнє значення. Результати досліду показують викладачу, після чого можна переходити до наступного пункту випробувань. Вид обов'язків кожного студента в різних дослідах варто міняти з таким розрахунком, щоб всі студенти бригади набули більш повних навичок по випробуванню мікромашин.

Після закінчення проведення лабораторної роботи результати випробувань із чернетки заносять до підготовленого протоколу.

Робота вважається закінченою після здачі викладачу звіту по роботі і позитивній співбесіді з ним.

5. Техніка безпеки при виконанні робіт

Всі студенти на першому занятті зобов'язані прослухати інструкцію з техніки безпеки, дотримання якої потрібно протягом усього циклу лабораторних робіт. Студенти, що не пройшли інструктаж з техніки безпеки в лабораторії, до занять не допускаються.

Забороняється доторкатися до неізольованих частин сполучних провідників і контактів при включеній схемі. Напруга змінного струму 220 В є небезпечною для життя. Забороняється також залишати включену схему і прилади без догляду.

Категорично забороняється робити приєднання і перемикання в схемі, що перебуває під напругою.

У випадку враження струмом, обриву проводів, що знаходяться під напругою, утворення неприпустимого іскріння в машинах і інших екстрених випадках треба негайно вимкнути напругу.

Невиконання правил техніки безпеки може призвести до травми, виходу з ладу досить дорогих вимірювальних приладів, допоміжних пристроїв і самої випробуваної машини.

Лабораторна робота №1. Дослідження двигунів постійного струму

Мета роботи: ознайомлення з конструкціями двигунів постійного струму (ДПС), набуття навичок експериментального визначення їхніх характеристик.

Обладнання, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, джерела постійного струму, вольтметр, амперметр, тахометр, магазин опорів.

1. Основні теоретичні відомості

За призначенням електродвигуни автоматичних систем діляться на силові і виконавчі (керовані).

Особливістю виконавчих двигунів (ВД), що працюють зазвичай у слідкуючих системах, є те, що вони практично ніколи не працюють у номінальному режимі - при номінальній швидкості обертання. Для їхньої роботи, на відміну від силових двигунів, характерні часті пуски, зупинки, реверси. З метою скорочення часу перехідних процесів, у яких майже постійно знаходяться виконавчі двигуни, їх прагнуть виконати малоінерційними.

У даний час як виконавчі двигуни найбільш часто використовуються:

- 1) двофазні асинхронні двигуни з підвищеним опором ротора;
- 2) двигуни постійного струму з незалежним збудженням або постійними магнітами;
- 3) синхронні - крокові двигуни.

У деяких випадках у потужних слідкуючих системах використовуються трифазні асинхронні виконавчі двигуни.

Характер вимог до ВД, визначається специфікою їхньої роботи в слідкуючих системах. Такі вимоги, як максимум корисної потужності, високий коефіцієнт корисної дії (ККД), які є основними для силових двигунів, у виконавчих двигунів зміщуються на другий план.

До них пред'являються наступні основні вимоги:

- відсутність самоходу, тобто відсутність обертання ротора після зняття сигналу з обмотки керування;
- широкий діапазон регулювання швидкості обертання;
- стійкість роботи у всьому діапазоні швидкостей;
- лінійність механічних і регулювальних характеристик;
- висока швидкодія;
- мала потужність керування;
- мала напруга зрушення;
- збереження характеристик при зміні в досить широкому діапазоні температури, тиску, вологості;
- незмінність характеристик при будь-якому просторовому положенні двигуна;
- відсутність радіоперешкод;
- малі габарити і маса;
- висока надійність.

Необхідність строгого виконання тих або інших вимог визначається призначенням і областю застосування конкретного ВД.

ВД мають, як правило, дві обмотки - збудження і керування. Перша постійно підключена до джерела живлення, а на обмотку керування через підсилювач подається керуючий електричний сигнал.

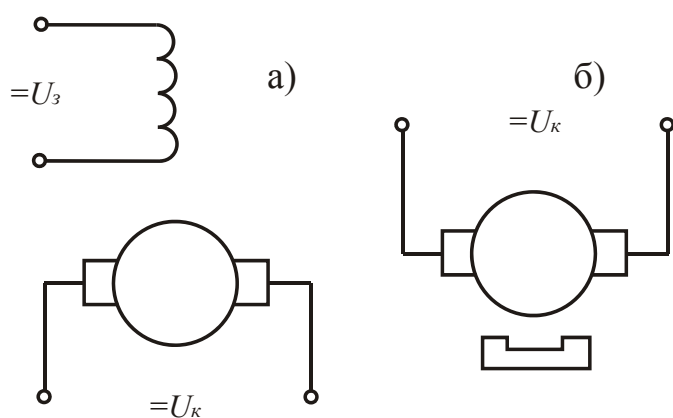


Рис.1. Електричні схеми ДПС:

а) з електромагнітним збудженням;

б) з магнітоелектричним збудженням.

У даній лабораторній роботі досліджується двигун постійного струму (ДПС).

В залежності від способу створення потоку збудження (електромагнітом або постійним магнітом), розрізняють двигуни з електромагнітним збудженням і двигуни з магнітоелектричним збудженням. Схеми їхнього включення наведені на рис.1.

До переваг виконавчих двигунів постійного струму на-

лежать:

- можливість одержання (теоретично) будь-яких, як завгодно малих і великих швидкостей обертання;
- можливість просто, плавно, економічно і у широкому діапазоні регулювати швидкість обертання;
- стійкість роботи практично при будь-яких швидкостях обертання;
- лінійність механічних і регулювальних характеристик;
- відсутність самоходу;
- значний пусковий момент;
- малі габарити і маса - значно менші, ніж у виконавчих двигунів змінного струму;
- порівняно невелика електромеханічна постійна часу.

Основним недоліком найпоширеніших колекторних виконавчих двигунів постійного струму, що обмежують їхнє використання, є наявність у них ковзних контактів - колектора і щіток, що знижують надійність двигуна, ресурс його роботи і спричиняють появу радіоперешкод. Крім того, керування двигунами на постійному струмі через складності підсилювача постійного струму завжди було більше важким, ніж керування двигунами на змінному струмі.

Для елементів двигунів постійного струму звичайно використовується наступна термінологія: частина машини, призначена для створення постійного поля збудження, називається індуктором, а частина ДПС, по якій протікають струми, що комутуються, - якорем.

За конструкцією якоря колекторні виконавчі двигуни можна розділити на двигуни з якорем звичайного виконання (барабанним) - з напіввідчиненими пазами на його циліндричній поверхні; двигуни з гладким якорем, у яких

якірна обмотка розташована безпосередньо на шихтованому гладкому циліндричному якорі і закріплена на ньому за допомогою клею; двигуни з малоінерційними якорями (циліндричним порожнім і дисковими), у яких при їхній роботі обертається лише обмотка якоря з колектором, а ярмо якоря залишається нерухомим.

На рис. 2 зображена конструктивна схема електричної машини постійного струму з барабанним якорем.

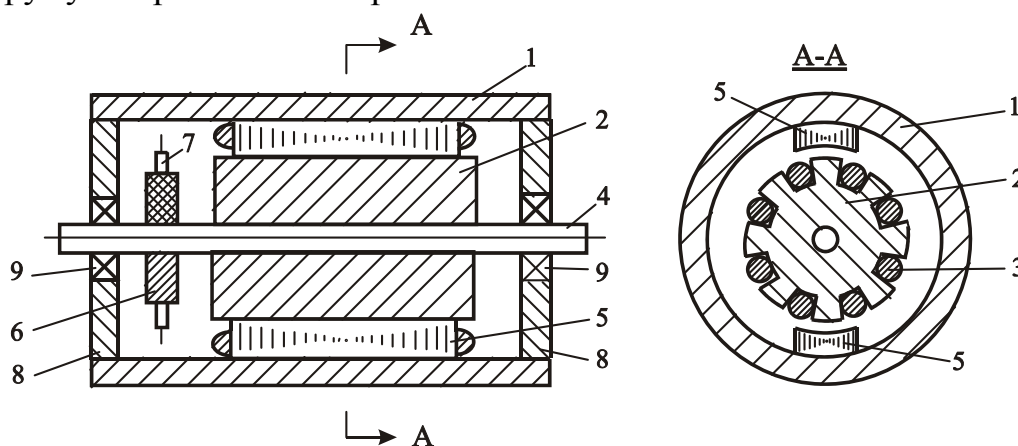


Рис.2. Конструкція ДПС з електромагнітним збудженням

До круглої станини 1 (корпусу) кріплять два підшипникових щити 8 і полюса 5; усередині корпусу міститься якор 2, закріплений на осі 4, що обертається в підшипниках 9, установлених у щитах; напруга на якор подається через щітки 7 і колектор 6. Якор має по утворюючій пази, в які укладаються провідники 3, з'єднані відповідним чином з колектором 6. На статорі зображеної на малюнку машини розташована так звана зосереджена обмотка.

Крім колекторних (контактних) виконавчих двигунів постійного струму зараз широко використовуються безколекторні двигуни постійного струму, у яких механічний колектор замінений електронним комутатором з датчиком положення ротора.

Керування двигунами постійного струму з електромагнітним збудженням може бути здійснено трьома способами:

- а) зміною напруги на якорі (якірне керування);
- б) зміною потоку збудження (полюсне керування);
- в) зміною опору регульовального реостата в ланцюзі якоря.

У двигунах з магнітоелектричним збудженням є тільки одна обмотка - якірна. Ці двигуни працюють у системах за схемою якірного керування.

Щоб вид характеристики не залежав від номінальної потужності і конструктивних особливостей двигунів, зручно користуватися відносними (безрозмірними) одиницями.

Напругою керування у відносних одиницях (коефіцієнтом сигналу) будемо називати відношення напруги керування U_{κ} , що подається в якор, до напруги збудження $U_{\text{з}}$ (для двигунів з електромагнітним збудженням): $\alpha = U_{\kappa} / U_{\text{з}}$. Для двигунів з магнітоелектричним збудженням $\alpha = U_{\kappa} / U_{\text{ном}}$, де

$U_{ном}$ - номінальна напруга.

Моментом двигуна у відносних одиницях будемо називати відношення електромагнітного моменту двигуна M до пускового моменту двигуна $M_{к0}$ (при нерухомому роторі) при $\alpha=1$, прийнятому за одиничний момент:

$$m = M/M_{к0}.$$

За одиницю швидкості у відносних одиницях приймемо швидкість холостого ходу ω_0 , тобто швидкість ненавантаженого двигуна при $\alpha=1$. Швидкість обертання якоря у відносних одиницях буде $v = \omega/\omega_0$.

Швидкість холостого ходу є величиною постійною і цілком визначеною для кожного двигуна.

З огляду на все вищевикладене, рівняння механічної характеристики в безрозмірній формі має вигляд

$$m = \alpha - v, \quad (1)$$

а рівняння регулювальної характеристики

$$v = \alpha - m. \quad (2)$$

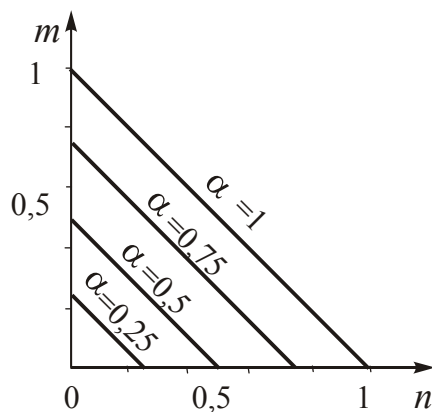


Рис.3. Механічні характеристики ДПС

З рівняння (1) видно, що обертаючий момент виконавчого двигуна з якірним керуванням є лінійною функцією швидкості обертання і коефіцієнта сигналу.

На рис. 3 зображене сімейство механічних характеристик виконавчого двигуна з якірним керуванням $M/M_{к0} = f(\omega/\omega_0)$. Максимальний (пусковий) момент двигуна у відносних одиницях дорівнює коефіцієнту сигналу $M/M_{к0} = \alpha = U_{к}/U_{з}$, тому що при цьому $\omega=0$. Отже, пусковий момент пропорційний напрузі керування. При зменшенні напруги керування $U_{к}$ механічні характеристики двигуна зміщуються паралельно самим собі у бік менших швидкостей і моментів. Жорсткість (нахил) характеристик при цьому не міняється.

Регулювальні характеристики виконавчого двигуна з якірним керуванням (2) також мають лінійний характер, і швидкість обертання пропорційна напрузі керування. При ідеальному холостому ході характеристика проходить через початок координат.

Двигун, що має навантаження на валу, почне обертатися тільки після того, як напруга керування перевищить напругу зрушення U_{mp} , при цьому момент двигуна буде дорівнює моменту навантаження M_n .

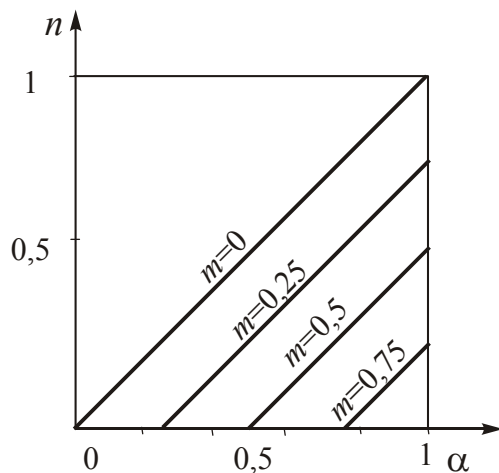


Рис.4. Регулювальні характеристики ДПС

Регулювальні характеристики двигуна постійного струму з якірним керуванням представлені на рис. 4.

У межах від $U_k = 0$ до $U_k = \pm U_{mp}$ буде перебувати зона нечутливості. Для мікродвигунів величина напруги зрушення може досягати 5% від номінального значення.

Лінійність механічних і регулювальних характеристик виконавчих двигунів постійного струму з якірним керуванням є цінною якістю цих двигунів. Слід зазначити, що цієї властивості не має більше жоден двигун ні при яких способах керування.

Потужність керування

$$P_k = U_k I_k = \alpha U_k \frac{\alpha U_B - \nu U_B}{R_J} = \frac{\alpha U_B^2 (\alpha - \nu)}{R_J},$$

де R_J - активний опір якірної обмотки.

Через порівняно малий опір якірної обмотки потужність керування може бути досить великою.

Прийнявши за одиничну потужність керування при короткому замиканні ($\omega=0$) і $\alpha=1$, тобто $P_{kk}=U_3^2/R_J$, потужність керування у відносних одиницях

$$p_3 = \alpha(\alpha - \nu). \quad (3)$$

Графік отриманої залежності представлений на рис. 5,а.

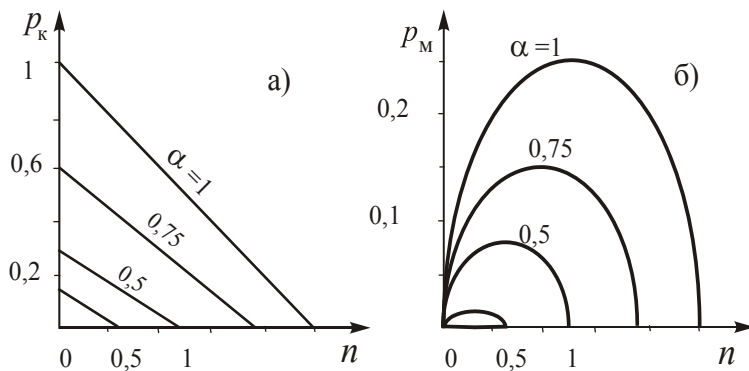


Рис.5. Залежності потужності від швидкості обертання: а) керування; б) механічної.

Ця потужність є майже всією потужністю, споживаною двигуном, за винятком потужності збудження $P_3 = I_3^2 R_J = U_3^2 / R_J$ (для двигунів з електромагнітним збудженням), що є величиною постійною і не залежною від навантаження. Для двигунів з постійними магнітами потужність

керування - вся споживана потужність.

Порівняно велика потужність керування є серйозним недоліком двигуна з якірним керуванням, тому що при цьому потрібен підсилювач досить великої потужності.

Потужність керування різко збільшується зі збільшенням коефіцієнта сигналу.

Механічна потужність виконавчого двигуна у відносних одиницях являє собою добуток відносної швидкості обертання на відносний момент:

$$p_m = \nu \cdot m = \nu(\alpha - \nu). \quad (4)$$

Величину максимальної механічної потужності $p_{m \max}$ і відповідну шви-

дкість обертання $v_{кр}$ можна визначити, поклавши $dp_m/dv=0$. При цьому одержимо

$$p_{m\max}=\alpha^2/4; \quad v_{кр}=0,5\alpha=0,5v_0. \quad (5)$$

На рис. 5,б показані залежності $p_m=f(v)$ при різних значеннях коефіцієнта сигналу. При пуску ($v=0$) і холостому ході ($m=0$) механічна потужність дорівнює нулеві.

Максимум механічної потужності пропорційний, як і для потужності керування, квадрату коефіцієнта сигналу. Зменшення потужності керування за рахунок зменшення напруги керування призводить до зменшення максимального значення механічної потужності, тобто до поганого використання номінальної потужності двигуна.

Виконавчі двигуни постійного струму з електромагнітним збудженням мають порівняно високий коефіцієнт корисної дії - у двигунах потужністю до 10 Вт він дорівнює 25...30%, а у двигунах потужністю 200...250Вт - до 60%. Двигуни з магнітоелектричним збудженням мають ще більший коефіцієнт корисної дії.

Відзначимо, що керування виконавчими двигунами з електромагнітним збудженням можливо також через полюсну обмотку з подачею напруги збудження в якірну обмотку (полюсне керування). Однак такі двигуни не знайшли широкого застосування в схемах автоматики через погані (нелінійні і неоднозначні) механічні і регульовальні характеристики.

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для дослідження двигунів постійного струму містить два однакових двигуни постійного струму зі збудженням від постійних магнітів типу ДПМ- 20, ротори яких з'єднані між собою. Один із двигунів – випробуваний, другий виконує роль електромагнітного гальма. Він закріплений за вісь ротора, а на його корпусі закріплений маятник. Така кінематика дозволяє вимірювати момент, який долається досліджуваним двигуном. Живлення двигунів здійснюється від незалежних регульованих джерел живлення постійного струму. Ціна ділення шкали вимірника моменту становить 1 Г·см/градус. Для вимірювання швидкості обертання використовується цифровий частотомір, шкала якого проградуєвана в одиницях швидкості (тахометр). Імпульси, що подаються на вхід частотоміра, формуються за допомогою обертового переривника світлового променя, випромінюваного світлодіодом.

Паспортні дані випробуваного двигуна:

Тип двигуна - ДПМ - 20-Н1-01;

Номінальна напруга живлення - 29 В постійного струму;

Швидкість холостого ходу - 9000 об/хв;

Номінальний момент - 4,9 Гсм;

Пусковий момент - 49 Гсм;

Вихідна номінальна потужність - 0,46 Вт.

III. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкціями двигунів, наявними в лабораторії.
2. Зняти сімейство механічних характеристик двигуна для трьох коефіцієнтів сигналу - $\alpha = 1$, $\alpha = 0,75$ і $\alpha = 0,5$. Характеристики доцільно починати знімати із точки холостого ходу (обмотка двигуна - гальма знеструмлена). Зміна навантаження на двигун здійснюється шляхом зміни струму керування у двигуні - гальмі. При цьому полярності напруг повинні бути підібрані таким чином, щоб двигуни оберталися в протилежні сторони. Для кожної точки характеристики необхідно робити вимірювання споживаного випробовуваним двигуном струму.
3. Зняти сімейство регулювальних характеристик двигуна для трьох значень моменту на валу. Сталість моменту при цьому необхідно підтримувати шляхом зміни струму у двигуні - гальмі.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені електричні схеми проведення дослідів, необхідні таблиці, графіки експериментальних механічних і регулювальних характеристик, розрахункові графіки залежностей споживаної і корисної потужності двигуна як функції швидкості обертання, висновки по роботі.

V. Контрольні питання

1. Назвіть переваги і недоліки виконавчих двигунів постійного струму.
2. Які моменти діють на двигун у режимі холостого ходу? Який порядок цих моментів?
3. Чи можна в конкретному двигуні зменшити електромеханічну постійну часу?
4. Яке призначення щітково - колекторного вузла двигуна постійного струму?
5. Поясніть принцип дії асинхронного двигуна.
6. У чому полягає сутність імпульсний спосіб керування двигуном постійного струму?
7. Чи можна силовий двигун постійного струму з барабанним якорем використовувати у якості виконавчого?

Список літератури.

1. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины. / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. – М.: Высшая школа, 1981. – 432 с.
2. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. / Ф.М. Юферов. -М.: Высшая школа, 1988. - 479 с.
3. Арменский Е.В. Электрические микромашины. / Арменский Е.В., Г.Б. Фалк. - М.: Высшая школа, 1985. - 231 с.
4. Кенио Т. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами. / Т. Кенио, С. Нагамори. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 181 с.
5. Степанковский Ю.В. Преобразующие устройства приборов. Т. 1. Электродвигатели (силовые микромашины). / Ю.В. Степанковский – К.: Корнійчук, 2002. - 207 с.

Лабораторна робота №2. Дослідження тахогенераторів постійного і змінного струмів

Мета роботи: ознайомлення з конструкціями тахогенераторів постійного і змінного струмів, набуття навичок експериментального визначення їхніх характеристик.

Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, джерела постійного і змінного струмів, вольтметри, тахометр, магазини опорів.

1. Основні теоретичні відомості

Тахогенератори (ТГ) - електричні інформаційні мікромашини, що призначені для перетворення механічного обертання вала в електричний сигнал.

Тахогенератори діляться на ТГ постійного струму і ТГ змінного струму. Останні, у свою чергу, діляться на асинхронні й синхронні.

Тахогенератори застосовуються:

- для виміру швидкості обертання машин і механізмів;
- для осцилографування кривих зміни швидкості обертання валів як функції часу, наприклад, при розгоні, гальмуванні, реверсі електродвигунів;
- для здійснення зворотного зв'язку в слідкуючих системах.

Основні вимоги, які пред'являються до ТГ відносно точності:

- лінійність вихідної характеристики $U_{ВИХ} = f(n)$, де $U_{ВИХ}$ - вихідна напруга ТГ; n - швидкість обертання. Практично це означає мінімум амплітудної погрішності, що виражається як різниця між ординатами ідеальної (лінійної) і реальної вихідних характеристик. Допустима амплітудна погрішність може становити одиниці відсотків;

- мінімум фазової погрішності - мінімум зміни фази вихідної напруги при зміні швидкості обертання (для ТГ змінного струму);

- симетричність вихідної характеристики - незмінність її крутості при зміні напрямку обертання;

- мінімальна вихідна напруга при нерухомому роторі і мінімальна зона нечутливості;

- мінімальні пульсації вихідної напруги.

Крім вимог точності, слід зазначити інші:

- велика крутість вихідної характеристики;
- стабільність вихідних характеристик при зміні умов експлуатації - температури, тиску, вологості, вібрацій при допустимих коливаннях напруги збудження;

- надійність, простота конструкції;

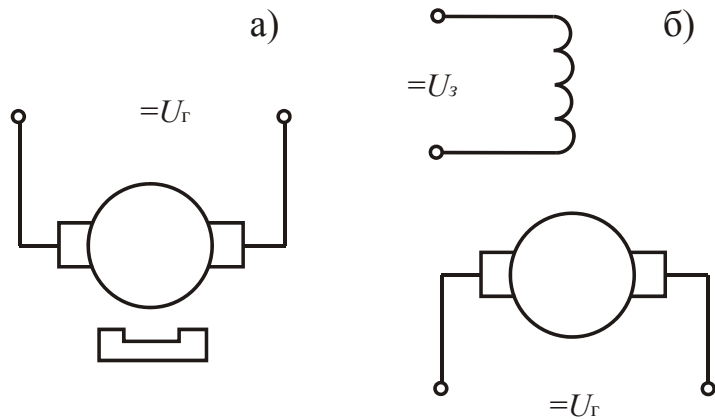
- мінімум радіоперешкод і шумів;

- мінімум власного моменту опору (особливо при рушанні) і інерційності ротора;

- мінімальна вага і габарити.

Тахогенератори постійного струму.

В залежності від системи збудження ТГ постійного струму бувають із збудженням від постійних магнітів (з магнітоелектричним збудженням) і з



електромагнітним збудженням. Електричні схеми відповідних тахогенераторів показані на рис. 1.

Конструкції тахогенераторів постійного струму практично нічим не відрізняються від конструкцій виконавчих двигунів постійного струму.

Рис.1. Електричні схеми ТГ постійного струму

При незмінному потоці збудження Φ електро-рушійна сила (ЕРС) генера-

торної (якірної) обмотки пропорційна швидкості обертання n :

$$E = c_e \Phi n, \quad (1)$$

що є основою для використання машини постійного струму як тахогенератора. Його вихідна напруга

$$U = E - I_{\text{я}} R_{\text{я}} = E - \left(\frac{U}{R_{\text{н}}} \right) R_{\text{я}}, \quad (2)$$

де $I_{\text{я}} R_{\text{я}}$ - падіння напруги в обмотці якоря; $R_{\text{я}}, R_{\text{н}}$ - опори обмотки якоря і навантаження відповідно; $I_{\text{я}}$ - струм якоря.

З виразів (1) і (2) отримаємо рівняння вихідної характеристики тахогенератора

$$U = \frac{E}{1 + R_{\text{я}}/R_{\text{н}}} = \frac{c_e \Phi n}{1 + R_{\text{я}}/R_{\text{н}}} = kn, \quad (3)$$

де c_e - постійний коефіцієнт, що залежить тільки від конструктивних особли-

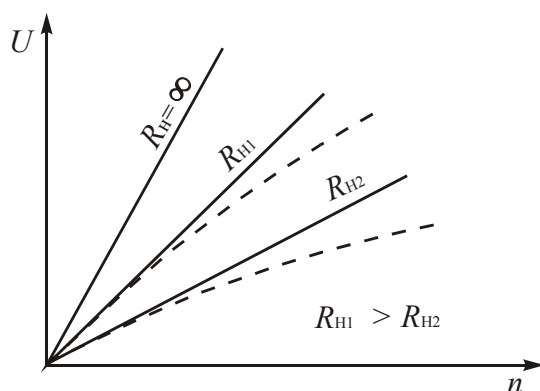


Рис. 2. Вихідна характеристика ТГ

востей машини; $k = \frac{c_e \Phi}{1 + R_{\text{я}}/R_{\text{н}}}$ - крутість вихідної характеристики ТГ.

З останнього виразу слідує, що при ідеалізованих умовах ($\Phi = const$ і $R_{\text{я}} = const$) характеристики ТГ є лінійними, а їхній кут нахилу до осі абсцис (крутість характеристики) зменшується при зниженні опору навантаження (суцільні лінії на рис. 2).

Крутість вихідної характеристики сучасних ТГ постійного струму при холостому ході становить 3...100 мВ/(об/хв.).

На практиці вихідна характеристика відхиляється від лінійної залежно-

сті в результаті таких причин:

- 1) дії реакції якоря, що розмагнічує (пунктирні лінії на рис. 2).;
- 2) зміни струму збудження через збільшення опору обмотки збудження при її нагріванні;
- 3) наявності нелінійного опору в перехідному контакті між колектором і щітками.

Вплив реакції якоря в ТГ постійного струму проявляється в зменшенні потоку збудження Φ на деяку величину $\Delta\Phi$ при протіканні по якорній обмотці струму і створення відповідного потоку якоря. Оскільки струм $I_{\text{я}}$ збільшується при збільшенні швидкості обертання, відповідно зменшується і крутість характеристики. Щоб зменшити вплив дії реакції якоря, що розмагнічує, у ланцюзі навантаження бажано мати максимально великий опір $R_{\text{н}}$ і працювати при невеликих відносних швидкостях обертання.

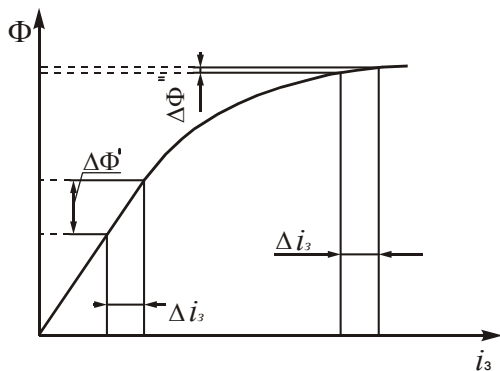


Рис. 3. Зміна потоку збудження

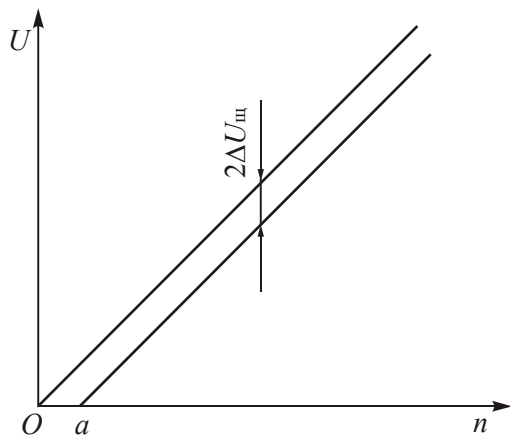


Рис. 4. Зона нечутливості

Зменшення крутості характеристики викликається також зменшенням потоку збудження Φ через зменшення струму збудження (у ТГ із електромагнітним збудженням). Останнє відбувається при зменшенні напруги живлення і нагріванні обмотки збудження. Причому вплив нагрівання є більш істотним, ніж коливання напруги джерела збудження. Наприклад, нагрів обмотки на 25°C викликає збільшення її опору на 10%. Рис. 3 показує ступінь зміни потоку збудження в сильно насичених ($\Delta\Phi''$) і слабо насичених ($\Delta\Phi'$) магнітних ланцюгах. Тому магнітна система ТГ із електромагнітним збудженням зазвичай виконується сильно насиченою, щоб звести до мінімуму вплив реакції якоря і нагрівання обмотки збудження. У цьому сенсі потік, створюваний постійними магнітами, є більш стабільним. Крім того, часто послідовно з обмоткою збудження включають або терморезистор, що стабілізує опір ланцюга збудження, або досить великий додатковий

резистор, зроблений з матеріалу з малим температурним коефіцієнтом опору.

Нелінійний характер опору щіткового контакту також може створювати певну погрішність у порівнянні з ідеалізованою характеристикою. З огляду на те, що спадання напруги під парою щіток ($2\Delta U_{\text{щ}}$) можна приблизно вважати постійним і незалежним від струму навантаження, рівняння (3) можна записати у вигляді

$$U = \frac{E - 2\Delta U_{щ}}{1 + R_{я}/R_{н}} = \frac{c_e \Phi n}{1 + R_{я}/R_{н}} - \frac{2\Delta U_{щ}}{1 + R_{я}/R_{н}}.$$

При цьому вихідна характеристика залишається лінійною, однак в області малих швидкостей обертання ТГ стає нечутливим до зміни n - з'являється зона нечутливості Oa (рис. 4). Для зменшення цього виду погрішності в ТГ постійного струму застосовуються щітки з низьким падінням напруги перехідного контакту (металографітові, зі срібними і золотими напайками). При цьому зона нечутливості практично зводиться до нуля.

Вихідна напруга ТГ постійного струму має певні пульсації. Розрізняють наступні види пульсацій: якірні, зубцеві і колекторні.

Якірні пульсації мають частоту $f_{я} = 2n/60$ Гц, зубцеві мають частоту $f_z = zn/60$ Гц і колекторні – частоту $f_k = kn/60$ Гц. Тут n - швидкість обертання ротора, об/хв; z - число зубців якоря; k - число колекторних пластин. Величина пульсацій може досягати декількох відсотків від середнього значення вихідної напруги. Основними заходами для боротьби із зазначеними пульсаціями є конструктивно - технологічні і використання фільтрів.

Крім зазначених можливі також погрішності, обумовлені неточністю установки щіток на геометричну нейтраль. Таке явище призводить, зокрема, до асиметрії вихідної напруги, тобто до різної крутості характеристики при правому і лівому обертанні ротора. При цьому під помилкою асиметрії вихідної напруги розуміють різницю між вихідними напругами при правому і лівому обертанні з однаковою швидкістю. Ця помилка може досягати величини $\pm 3\%$.

Перевагами тахогенераторів постійного струму є:

- відсутність для них погрішності (амплітудної і фазової), пов'язаної з характером навантаження (активної, індуктивної, ємнісної);
- досить висока крутість характеристики.

До недоліків ТГ постійного струму, в першу чергу, варто віднести наявність ковзного контакту, що знижує надійність, вносить погрішність і нестабільність вихідної напруги і появу іскріння під щітками, що створює радіоперешкоди.

Тахогенератори змінного струму.

Тахогенератори змінного струму поділяються на синхронні і асинхронні.

Синхронні ТГ зазвичай виконуються як однофазні із зіркоподібним ротором з постійних магнітів. У їхній конструкції відсутні ковзні контакти. При обертанні ротора в генераторній обмотці наводиться ЕРС, амплітуда і частота якої пропорційні швидкості обертання ротора. Це призводить до зміни реактивних опорів як самого ТГ, так і навантаження, що істотно спотворює вихідну характеристику. У приладобудуванні синхронні ТГ використовуються порівняно рідко, в основному в системах, де інформаційним параметром є частота сигналу.

Асинхронні ТГ (АТ) конструктивно нічим не відрізняються від двофазних виконавчих асинхронних двигунів з порожнім немагнітним ротором.

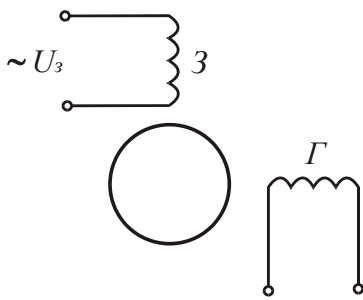


Рис.5. Електрична схема асинхронного ТГ

Електрична схема такого ТГ наведена на рис. 5. АТ має два статори (зовнішній і внутрішній), у повітряному зазорі між якими поміщається немагнітний ротор у вигляді порожнього циліндра. Дві обмотки виконуються так, щоб їхні осі були зсунуті одна відносно іншої на 90° . Одна обмотка називається обмоткою збудження (З), інша - генераторною (Г). Конструктивно обмотки можуть розташовуватися: а) обидві обмотки на зовнішньому статорі; б) одна обмотка на зовнішньому статорі, а інша - на внутрішньому статорі. В останньому випадку шляхом відносного зсуву статорів вдається одержати більш точну взаємну перпендикулярність осей обмоток.

Обмотка збудження включається в мережу змінного струму напругою U_3 і при протіканні по ній змінного струму створює потік Φ_d , що пульсує із частотою f_1 , тобто із частотою прикладеної напруги.

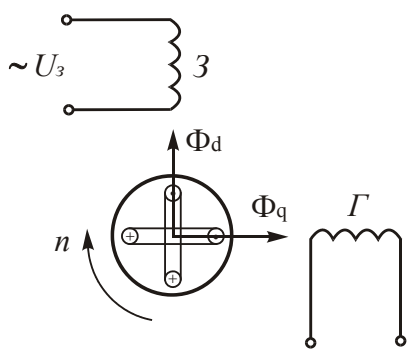


Рис.6. До принципу дії асинхронного ТГ

Вісь цього потоку збігається з віссю обмотки збудження (рис. 6), що називається поздовжньою віссю. Відповідно потік, створюваний обмоткою збудження, називають поздовжнім. Вісь, перпендикулярну осі обмотки збудження, називають поперечною.

При нерухомому роторі пульсуючий магнітний потік Φ_d наводить у роторі трансформаторну ЕРС, що створює струм I_d . Оскільки цей потік перпендикулярний до осі генераторної обмотки Г, то ЕРС у ній при нерухомому роторі наводиться не буде.

При обертанні ротора яким-небудь стороннім механізмом з кутовою швидкістю n в кожному елементі тіла ротора крім трансформаторної ЕРС індуктується ще і ЕРС обертання, пропорційна Φ_d і n . Напрямок її може бути визначені за правилом правої руки. Під дією цієї ерс виникають поперечний струм ротора I_p і поперечний потік Φ_q , які змінюються в часі із частотою мережі і пропорційні швидкості обертання ротора. Поперечний магнітний потік Φ_q індуктує у генераторній обмотці Г ЕРС

$$E_r = cn,$$

де c – постійний коефіцієнт; n - швидкість обертання.

Частота ЕРС генераторної обмотки не залежить від кутової швидкості обертання ротора і завжди дорівнює частоті мережі, від якої живиться обмотка збудження.

Таким чином, в ідеалізованому тахогенераторі ЕРС у вихідній обмотці прямо пропорційна швидкості обертання ротора (його вихідна характеристика є лінійною). У реальних умовах роботи ТГ ця характеристика відхиляється

від лінійної залежності, тобто з'являється амплітудна погрішність. Причинами, що викликають появу цієї погрішності, є:

- а) технологічні неточності при виготовленні;
- б) електромагнітна реакція ротора, що змінює величину потоків Φ_d і Φ_q при зміні режиму роботи ТГ (швидкості обертання і навантаження);
- в) зміна деяких параметрів ТГ при зміні швидкості обертання (наприклад, опору порожнього ротора);
- г) зміна опору обмоток і магнітного опору по різних осях при зміні зовнішніх умов.

Через технологічні погрішності при виготовленні ТГ (насамперед відхилень обмоток З і Г від взаємно перпендикулярного положення, допусків у величині повітряного зазору і товщині порожнього ротора) у вихідній обмотці при нульовій швидкості ротора індуктується деяка залишкова ЕРС $E_{ост}$, що називається нульовим сигналом. Приблизний характер її зміни залежно

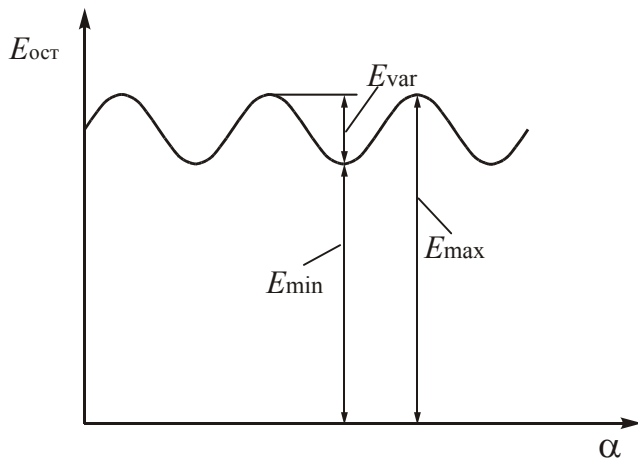


Рис.7. Характер зміни залишкової ЕРС

від кута повороту ротора показаний на рис. 7. У асинхронних ТГ, що випускаються серійно, залишкова ЕРС становить 25...100 мВ; змінна складова її має значення 3...7 мВ. При малих швидкостях обертання ротора, коли E_r має невелику величину, це дає велику відносну погрішність. Для зменшення $E_{ост}$ дослідним шляхом здійснюють відносне зміщення внутрішнього і зовнішнього статорів, якщо обмотки З і Г розмі-

щені на двох статорах.

При розгляді ідеалізованого ТГ передбачається, що величина потоку Φ_d залишається незмінною у всіх режимах роботи машини. У дійсності цей потік змінюється при зміні швидкості обертання і струму навантаження в обмотці Г у зв'язку з такими причинами.

По-перше, під дією потоку Φ_q в елементах порожнього ротора індуктується ЕРС обертання E'_{BP} і виникають відповідні струми I'_{BP} , які розподілені щодо осей машини так само, як і струми I_{TP} , створювані трансформаторними ЕРС E_{TP} . При цьому в машині з'являється додаткова поздовжня складова потоку, що змінює струм в обмотці збудження. У результаті змінюється ЕРС, поздовжній потік і ЕРС E_r у вихідній обмотці. Тому що потік Φ_q пропорційний швидкості обертання ротора, то ЕРС E'_{BP} і струми I'_{BP} будуть пропорційні вже квадрату цієї частоти. Тому зі збільшенням швидкості обертання вони будуть нелінійно зменшувати магнітний потік Φ_q і ЕРС E_r . Пог-

рішності, викликані зміною поздовжнього потоку від реакції ротора, можна зменшити підвищенням активного опору ротора. Для цього застосовують як матеріал ротора фосфористу бронзу, питомий опір якої в 2 рази вище, ніж в алюмінію при досить малому температурному коефіцієнті опору. При цьому, щоправда, знижується крутість вихідної характеристики. Для її підвищення необхідно збільшувати число витків генераторної обмотки, що пов'язане зі збільшенням її внутрішніх опорів.

По-друге, при підключенні генераторної обмотки до зовнішнього навантажувального опору z_H по ній протікає струм I_r і створюється відповідний потік. Тому результуючий потік по поперечній осі в цьому випадку відрізняється від потоку при холостому ході. Крім того, вихідна напруга ТГ при навантаженні буде менше, ніж при холостому ході, за рахунок падіння напруг у генераторній обмотці.

Погрішність, обумовлена зміною потоку Φ_d і підключенням навантаження, буде тим більше, чим більше опір z_B і z_r обмоток статора і менше опір навантаження. Тому часто ТГ працюють у режимі, близькому до режиму холостого ходу ($z_H \approx \infty$).



Рис. 8. Вихідні характеристики некаліброваного (а) та каліброваного (б) АТГ

Амплітудну погрішність можна зменшити також шляхом відповідного калібрування ТГ, під якою розуміють установлення такого нахилу ідеальної характеристики (рис. 8, б, крива 2), при якому відхилення в середньому реальної характеристики 1 від ідеальної було б мінімальним.

В асинхронних ТГ погрішність вихідної характеристики є комплексною величиною, тобто при зміні режиму роботи машини вихідна напруга змінюється не тільки за величиною але і за фазою, що в ряді випадків приводить до небажаних наслідків. У всіх випадках – при зміні швидкості обертання, зовнішнього навантаження, опору ротора від нагрівання, має місце зміна фази вихідного сигналу. Фазову погрішність визначають як різницю між фазовими зсувами ідеального $\psi_{вих.ид}$ і реального $\psi_{вих}$ ТГ:

$$\Delta\psi = \psi_{\text{вых.ид}} - \psi_{\text{вых.}}$$

Оскільки величина фазової погрішності $\Delta\psi$ залежить від тих же причин, що і величина амплітудної погрішності, шляхи зменшення їх ті самі. Однак є і деякі особливості. На рис. 9 наведені графіки зміни амплітуди (рис.

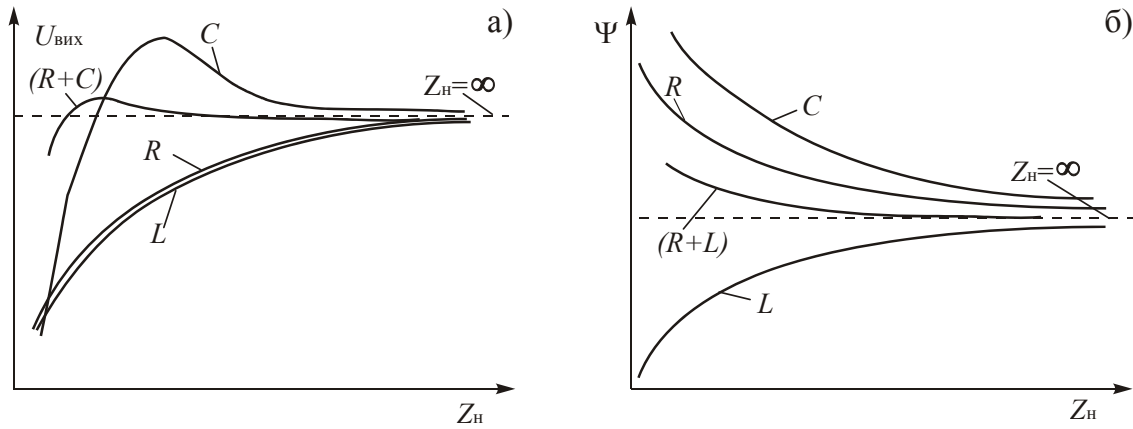


Рис. 9. Амплітудна та фазова похибки АТГ

9, а) і фази (рис. 9, б) від величини і характеру навантаження при постійній швидкості обертання, а на рис. 10 - амплітудної і фазової погрішностей від

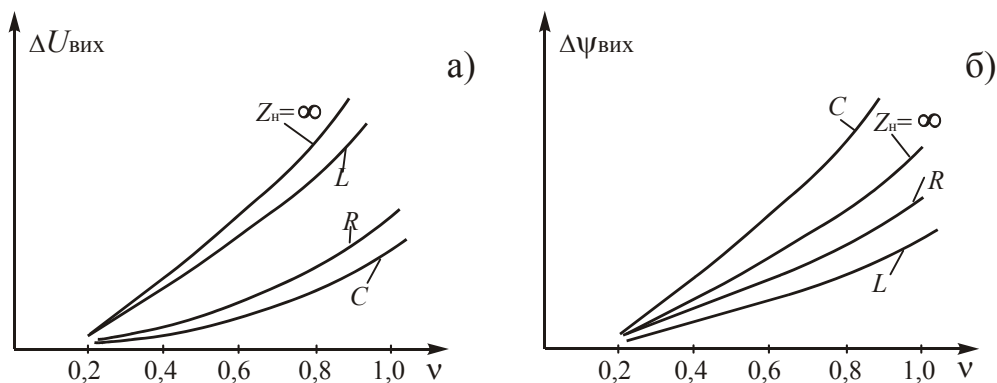


Рис.10. Залежність похибок АТГ від швидкості

характеру навантаження і швидкості обертання. Із цих залежностей слідує, що фазова погрішність зменшується при активно - індуктивному навантаженні, але при цьому зростає амплітудна погрішність. Найменша амплітудна погрішність має місце при ємнісному навантаженні; найменша фазова погрішність - при індуктивному навантаженні.

Для зменшення фазової погрішності треба до активного навантажувального опору додавати індуктивний опір; але при цьому зростає амплітудна погрішність. Для зменшення амплітудної погрішності треба до активного навантажувального опору додавати ємнісний опір, але при цьому зростає фазова погрішність.

Істотний вплив на точність асинхронного ТГ надає зміна його опорів при нагріванні під час роботи. Для усунення температурної погрішності ротор зазвичай виконують із матеріалів з низьким температурним коефіцієнтом опору або застосовують спеціальну температурну компенсацію.

Переваги асинхронних тахогенераторів перед ТГ постійного струму полягають у наступному:

- простота конструкції, відсутність ковзних контактів і більш висока надійність;

- малий момент інерції ротора і малий власний момент тертя - $(2...10) \cdot 10^{-4}$ Нм.

До недоліків асинхронних ТГ варто віднести наявність фазової погрішності, залежність крутості вихідної характеристики від характеру навантаження, наявність нульового сигналу при нерухомому роторі, малу крутість вихідної характеристики ($1...10$ мВ/(об/хв.)), малу вихідну потужність.

Динамічні властивості тахогенераторів.

Динамічні властивості ТГ визначаються їх електромагнітною постійною часу T_{EM} . Диференціальне рівняння, що зв'язує вихідний сигнал $U_{ВИХ}$ із вхідним – кутом повороту його вала θ , має вигляд

$$T_{EM} \frac{dU_{ВИХ}}{dt} + U_{ВИХ} = k_Y \frac{d\theta}{dt}, \quad (4)$$

де k_Y - статичний коефіцієнт підсилення по напрузі, що обумовлений крутістю вихідної характеристики ТГ.

Відповідно до виразу (4) передатна функція тахогенератора відносно кута повороту його вала має вигляд

$$W_{\theta}(p) = \frac{\theta(p)}{U_{ВИХ}(p)} = \frac{k_Y p}{T_{EM} p + 1}, \quad (5)$$

а відносно кутової швидкості обертання його вала

$$W_{\omega}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{ВИХ}(p)} = \frac{k_Y}{T_{EM} p + 1}. \quad (6)$$

Постійна часу T_{EM} визначається в основному швидкістю протікання електромагнітних процесів у машині, тобто активними і реактивними опорами машини і її навантаження, тому

$$T_{EM} \approx (L_{ТГ} + L_{Н}) / (R_{ТГ} + R_{Н}).$$

У тому випадку, якщо T_{EM} можна знехтувати, вирази (5) і (6) приймають вигляд

$$W_{\theta}(p) = \frac{\theta(p)}{U_{ВИХ}(p)} = k_Y p; \quad W_{\omega}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{ВИХ}(p)} = k_Y. \quad (7)$$

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить дві електричні мікромашини - постійного струму з магнітоелектричним збудженням і асинхронну двофазну, які змонтовані у спільному корпусі. Вали машин механічно з'єднані. Вони приводяться в обертання за допомогою двигуна постійного струму з магнітоелектричним збудженням, що живиться від регульованого джерела постійного струму. На панель лабораторної установки виведені кінці обмоток всіх машин для приєднання вимірювальних приладів, джерел живлення і опорів навантаження.

III. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкціями тахогенераторів.

Для ТГ постійного струму:

2. Зняти і побудувати вихідні характеристики тахогенератора $U_{ВИХ} = f(n)$ для трьох значень опорів навантаження. Визначити крутість цих характеристик. Значення опорів навантаження варто вибирати в діапазоні $R = \infty \dots 500 \text{ Ом}$.

Попередження. Проводячи вимірювання швидкості не можна допускати влучення випромінювання лампи стробоскопа в очі.

3. Повторити дослід по п. 2 при протилежному напрямку обертання ротора ТГ. Визначити асиметрію вихідної напруги ТГ як $\Delta U_A = \frac{U_{ПР} - U_{ЛІВ}}{0,5(U_{ПР} + U_{ЛІВ})} \cdot 100\%$ для декількох значень модуля швидкості при правому і лівому обертанні.

4. Побудувати зовнішню характеристику ТГ $U_{ВИХ} = f(R)$.

Для асинхронного ТГ:

5. Зняти і побудувати залежність залишкової ЕРС ТГ як функції кута повороту ротора (при нерухомому роторі). При цьому виміри можна проводити, фіксуючи ротор приблизно через 30° у межах повного обороту.

6. Зняти і побудувати вихідні характеристики тахогенератора $U_{ВИХ} = f(n)$ для трьох значень опорів активного навантаження, Визначити крутість цих характеристик. Значення опорів навантаження варто вибирати в діапазоні $R = \infty \dots 500 \text{ Ом}$.

7. Повторити дослід по п. 6 при протилежному напрямку обертання ротора ТГ. Визначити асиметрію вихідної напруги ТГ як $\Delta U_A = \frac{U_{ПР} - U_{ЛІВ}}{0,5(U_{ПР} + U_{ЛІВ})} \cdot 100\%$ для декількох значень модуля швидкості при правому і лівому обертанні.

8. Побудувати зовнішню характеристику ТГ $U_{ВИХ} = f(R)$.

9. Приймаючи різні ідеальні характеристики тахогенераторів, побудувати графіки погрешностей.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені електричні схеми проведення дослідів, таблиці і графіки отриманих залежностей, перелік використовуваних приладів, висновки по роботі.

V. Контрольні питання

1. Чим конструктивно відрізняється тахогенератор постійного струму від двигуна постійного струму?
2. Назвіть основні переваги тахогенераторів постійного і змінного струмів.
3. Які основні способи підвищення лінійності характеристики тахо-

генераторів?

4. Чим визначається крутість характеристики тахогенератора?
5. Назвіть причини появи і способи зменшення погрішностей тахогенераторів постійного і змінного струмів?
6. Приведіть електричні схеми тахогенераторів.
7. Де використовуються тахогенератори? Приведіть приклади схем.
8. Що є причиною появи залишкової ЕРС в асинхронних тахогенераторах і як боротися з цією похибкою?
9. Які динамічні властивості тахогенераторів?
10. Ротор тахогенератора обертається зі швидкістю $n=1000$ об/хв. Яку крутість лінійної вихідної характеристики ($V \cdot c$) він повинен мати, щоб при цьому його вихідна напруга $U_{ВИХ}=5$ В?
11. Поясніть принцип дії синхронного тахогенератора.
12. Поясніть принцип дії тахогенератора постійного струму.

Список літератури.

1. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины. / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. – М.: Высшая школа, 1981.–432 с.
2. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. / Ф.М. Юферов. - М.: Высшая школа, 1988. - 479 с.
3. Арменский Е.В. Электрические микромашины. / Арменский Е.В., Г.Б. Фалк. - М.: Высшая школа, 1985. - 231 с.

Лабораторна робота №3. Дослідження електричних гіродвигунів

Мета роботи – ознайомлення з особливостями роботи електричних гіродвигунів, з методами визначення їхніх основних параметрів і дослідження впливу на них зміни зовнішніх умов.

Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, джерело змінного струму, амперметр, генератор звукової частоти, осцилограф, компресор, барокамера.

I. Короткі теоретичні відомості

У більшості класичних гіроскопічних приладів ротор гіроскопа приводиться в обертання електродвигуном. Сукупність ротора, електропривода, роторних опор, що називаються головними опорами гіроскопа, і елементів, що кріплять двигун на рамі гіроскопа, являє собою гіромотор (гіродвигун).

Особливості конструкції, устрій і властивості гіромоторів визначаються вимогами, які пред'являються до гіроскопів, основними з яких є: великий кінетичний момент, сталість кінетичного моменту, малий час розгону до номінальної швидкості, великий ресурс роботи.

У цей час, за винятком деяких спеціальних випадків, використовуються гіромотори змінного струму - асинхронні і синхронні із трифазною статорною обмоткою.

Кінетичний момент дорівнює добутку моменту інерції ротора J на кутову швидкість його обертання ω_2 :

$$H = J\omega_2. \quad (1)$$

У свою чергу, осьовий момент інерції циліндра дорівнює $J = mr^2/2$, де m , r – маса і радіус циліндра відповідно.

Для одержання максимально можливого моменту інерції ротора в заданих габаритах гіромотори виконуються за оберненою схемою - на відміну від звичайного двигуна статор гіромотора розміщується усередині його ротора. Таке компонування дозволяє значно збільшити розміри обертового ротора і одержати в заданих габаритах максимально можливий момент інерції і, відповідно, кінетичний момент ротора.

Масу ротора гіромотора також прагнуть зробити максимально можливою. Це досягається шляхом запресовування безпосередньо на ротор масивного ободу з міцного матеріалу з досить великою щільністю (сталі або латуні).

Швидкість обертання ротора ω_2 прагнуть зробити також досить високою. Для цього використовують підвищені частоти живлення (400 Гц і більше), а також застосовують статорні обмотки з малим числом пар полюсів (звичайно одна пара). Збільшення швидкості обертання обмежується границею механічної міцності, що допускає матеріал ротора, а також терміном служби підшипників.

Основним режимом роботи гіродвигуна є обертання ротора з максимальною швидкістю, що для звичайних електродвигунів є режимом холодого ходу. При цьому з вала гіродвигуна не знімається корисна потужність. Однак

для гіродвигунів цей режим вважається номінальним, тому що навантаження на двигун близькі до граничного саме при сталому режимі роботи. Це пояснюється обставинами, обумовленими оберненою конструкцією двигуна і прагненням віддати максимальний об'єм машини обертовим частинам, що створюють кінетичний момент. Тому внаслідок більших габаритів і маси ротора гальмівний момент сил тертя об повітряне середовище і у підшипниках значно більше, ніж у звичайних електродвигунах; потужність двигуна внаслідок меншої площі, займаної обмоткою статора, і гірших умов охолодження, значно нижче.

Важливим режимом роботи для гіродвигуна є пусковий. У процесі розгону момент, що розвиває гіродвигун, іде на подолання великого динамічного моменту $M_d = d\omega_2 dt$, а також моментів тертя в підшипниках і об повітря або інше навколишнє середовище. Внаслідок великого моменту інерції ротора і відносно малого електромагнітного моменту пуск електричного гіродвигуна без застосування спеціальних заходів може бути тривалим за часом, іноді до 20...30 хвилин.

При досягненні ротором сталої швидкості обертання динамічний момент стає рівним нулю і момент, що розвиває гіродвигун, урівноважується моментами тертя. По його значенню можна визначити корисну потужність гіродвигуна

$$P_2 = M\omega_2. \quad (2)$$

Потужність, споживана гіромотором, цілком іде на покриття втрат у ньому, тобто виділяється у вигляді тепла в магнітному ланцюзі, обмотках, підшипниках і т.д.

Для зменшення часу розгону, що часто еквівалентно скороченню часу готовності всього приладу, у деяких схемах на час пуску збільшують амплітуду напруги, що підводиться до двигуна, застосовують спеціальні джерела живлення, що дозволяють плавно підвищувати частоту і амплітуду живлячої напруги, застосовують енергію стисненого газу, порошу, спіральної пружини. Всі методи форсованого запуску гіромоторів у тій або іншій ступені вирішують поставлене завдання, однак, вимагають або істотного ускладнення конструкції двигуна, або ускладнення відповідної апаратури.

При проектуванні гіродвигунів прагнуть усіляко зменшити моменти тертя. З цією метою підбираються спеціальні шарикопідшипники найвищого класу точності; для зменшення аеродинамічного опору середовища ротори гіродвигунів роблять обтічними, поліруючи їхню поверхню і скошуючи грані. З цією ж метою іноді гіромотори поміщають у герметичні кожухи, усередині яких створюється вакуум або розріджене газове середовище.

У вакуумних гіромоторах залишковий тиск усередині гірокамери становить 1...5 мм рт. ст., тобто газове середовище практично відсутнє. Це дозволяє знизити потужність, споживану гіромотором, тому що практично виключається момент аеродинамічного опору, а також зменшити час розгону ротора. Однак вакуумування має і негативні сторони: 1) поганий тепловідвід від внутрішніх деталей і вузлів гіромотора, тому що відсутній найбільш ефективний спосіб відводу тепла - конвекція, що спричиняє нерівномірний про-

грів конструкції; 2) погіршення умов роботи підшипників, тому що звичайні мастила в умовах вакууму випаровуються, а стійкі до вакууму мастила мають знижені характеристики.

Гірокамери газонаповнених гіромоторів заповнюються газовою сумішшю (звичайно воднем з домішкою гелію), що має оптимальні тиск, газодинамічні і теплові характеристики. При цьому потужність, споживана гіромотором, трохи підвищується (у порівнянні з вакуумованим), але зате практично виключаються недоліки, характерні для вакуумних гіромоторів. Сучасні прецизійні гіромотори виконуються газонаповненими.

Слабкою ланкою в традиційних конструкціях гіромоторів є кульковий підшипник. Його зношування, нерівномірний випар і перетікання мастила, осьові зсуви сепаратора викликають зсув центра ваги гіромотора і, отже, дрейф гіроприладу; неідеальність виготовлення і монтажу підшипника обумовлюють вібрацію гіромотора; довговічність підшипника, як правило, визначає термін служби гіромотора і гіроприладу в цілому.

Однороторні гіромотори в більшості конструкцій мають істотний недолік – розкриття ротора при високих швидкостях

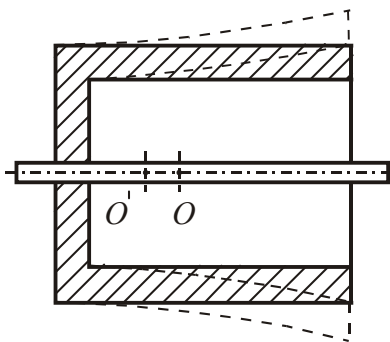


Рис.1. Розкриття ротора

обертання під дією відцентрових сил, що призводить до зсуву центра ваги всієї конструкції, тобто розбалансу гіроприладу (рис. 1).

Розглянемо приклад, що ілюструє погрішність триступеневого гіроприладу від зсуву центра ваги. Нехай кінетичний момент гіромотора $H=4,9$ Нмс, вага $G=19,6$ Н, зсув центра ваги $\Delta l=10^{-6}$ м, об'єкт, на якому встановлений прилад, рухається із прискоренням a . Тоді швидкість відходу $\omega_y = ((19,6 \cdot 10^{-6} / 4,9) \cdot a = 0,86 \cdot a$

град/годину.

Таким чином, зсув центра ваги гіроскопа навіть на 1 мікрон, призводить до істотних погрішностей приладу, особливо при прискореному русі об'єкта.

Для усунення шкідливого впливу розкриття ротора при його обертанні

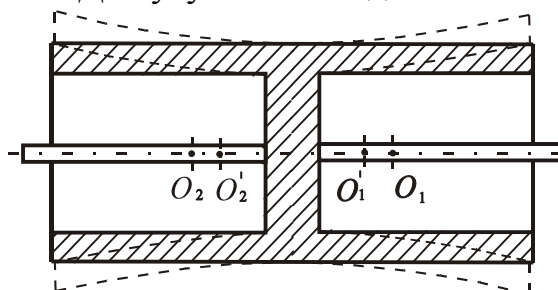


Рис.2.Схема двустаторного ГМ

застосовуються двостаторні гіромотори. Їхньою особливістю і характерною ознакою є наявність двох гіродвигунів, що обертають спільний симетричний маховик. При обертанні обидві половинки ротора розкриваються, але зсуви відбуваються в протилежних напрямках, тому положення центра ваги всього гіромотора не змінюється (рис. 2). Недоліки таких гіромоторів пов'язані з наявністю двох гіродвигунів. Двигун, розділений на дві половини, вимагає для свого розміщення більшого об'єму, споживає більшу

енергію, ніж звичайний гіродвигун. Крім того, він має більшу вагу і розміри, що збільшує інерційний момент і зсув центра ваги.

потужність, ніж єдиний двигун, що розвиває такий же обертовий момент.

По роду струму гіромотори можна розділити на мотори постійного і змінного струмів. Останні можуть бути асинхронними або синхронними.

Гіродвигуни постійного струму в цей час практично не застосовуються через наявність у них швидкозношуваного і малонадійного щітково - колекторного вузла.

Асинхронні гіромотори виконуються трифазними оберненими (дуже рідко однофазними) і мають короткозамкнений ротор у вигляді "білячої клітки". З метою одержання "жорсткої" механічної характеристики в зоні робочої швидкості обмотка ротора має малий активний опір.

До одного з недоліків асинхронних гідромоторів потрібно віднести порівняно великий час розгону. Це пояснюється труднощами одержання одно-

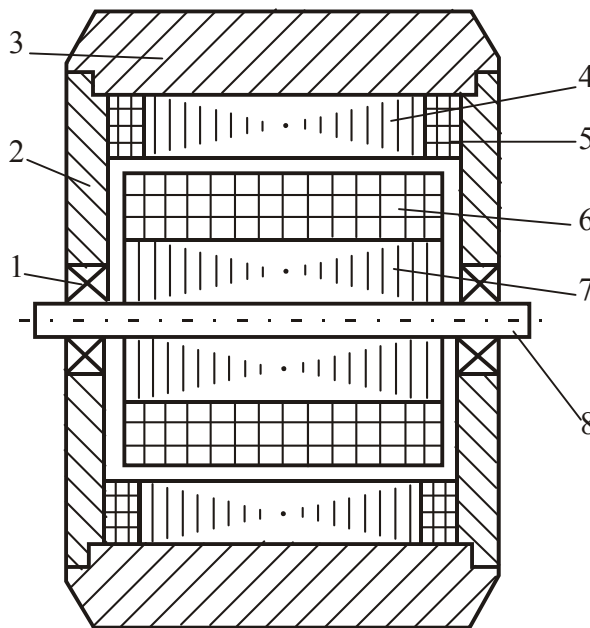


Рис.3. Конструктивна схема АГМ

часно жорсткої механічної характеристики в зоні робочих швидкостей і великого пускового моменту.

Іншим недоліком асинхронних гідромоторів є деяка нестабільність швидкості обертання при зміні умов експлуатації - температури і тиску, амплітуди напруги живлення.

Для досягнення необхідної сталості швидкості обертання іноді прибігають до стабілізації амплітуди і частоти напруги живлення.

У відповідальних приладах знаходять застосування гіродвигуни з вбудованим датчиком швидкості для керування відповідними параметрами джерела живлення. Це дозволяє істотно підвищити точність ста-

білізації швидкості обертання ротора. На рис. 3 зображена конструктивна схема одного з типів асинхронних гідромоторів. Його особливістю є наявність необертової осі і складового ротора. В цілому, гідромотор складається з вузла статора, вузла ротора і шарикопідшипникових вузлів.

Пакет статора 7 набирається зі штампованих тонких пластин електротехнічної сталі. Кожна пластина перед збиранням в пакет змазується клеєм. Пакет статора збирається на латунній втулці, кінець якої розвальцюється. Пакет із втулкою запресовують на сталеву вісь 8.

У пазах сердечника статора вкладається трифазна обмотка 6, з'єднана зіркою. Вивідні кінці обмотки проходять через отвір в осі.

Пакет ротора 4 набраний з тонких штампованих пластин електротехнічної сталі, склеєних клеєм. У пази сердечника заливається алюмінієвий сплав, утворюючи «білячу клітку» 5.

На ротор напресований циліндричний латунний або сталевий обід 3 з

конічними поверхнями з торців. Обід має поліровану зовнішню поверхню і внутрішнє розточення під біляче колесо, фланець і кришку. Сума мас перерахованих елементів складає масу обертових частин, що забезпечує велике значення моменту інерції ротора гіроскопа щодо головної осі обертання.

З одного боку ротор прикривається сталевим фланцем, а з іншого - сталевою кришкою. Цапфи фланця і кришки встановлені в підшипники 1.

Більшість деталей гіромоторів виготовляється з допусками найвищих класів точності і високою чистотою поверхні. Ротор гіромотора піддається ретельному динамічному балансуванню на спеціальному устаткуванні. Балансування провадиться висвердлюванням отворів на конічній поверхні обіду 3.

У якості синхронних гіромоторів використовуються, як правило, гістерезисні. Це пояснюється їх хорошими пусковими властивостями і легкістю входу в синхронізм. При постійній частоті напруги живлення ці двигуни мають абсолютно "жорстку" механічну характеристику, забезпечуючи абсолютну стабільність середньої швидкості обертання при зміні в певних межах моментів опору.

За побудовою гістерезисні гіродвигуни аналогічні асинхронним. Різниця складається у відмінності конструкції ротора. Замість магнітопроводу і "білячої клітки" запресовані кільця з вікалою. Синхронні гістерезисні гіромотори звичайно проектується для точних гіроприладів і мають симетричний маховик і два внутрішніх статори.

До основних недоліків гістерезисних гіромоторів можна віднести менший, ніж в асинхронних, коефіцієнт корисної дії і коливання миттєвої швидкості ротора при зміні зовнішніх умов.

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить асинхронний гіромотор, поміщений у барокамеру.

Паспортні дані досліджуваного гіромотора:

гіромотор ГМА-4000;

тип двигуна - асинхронний трифазний;

напруга живлення - 36 В, 400 Гц;

пусковий струм - не більше 1,5 А;

робочий струм - не більше 0,35 А;

число пар полюсів - 1;

кінетичний момент - 0,4 Нмс;

швидкість обертання ротора - 21500 об/хв;

Барокамера має герметичну конструкцію і у ній можна імітувати підйом на висоту шляхом створення розрідження, викачуючи повітря за допомогою компресора. Відповідна висота контролюється барометричним висотоміром, встановленим у барокамері. Живлення на мотор подається через гермовводи, розташовані на бічній стінці барокамери.

На амперметрі, що входить до складу макета, є перемикач діапазону вимірів струму.

III. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкціями гіромоторів і їхніх вузлів, наявних у лабораторії.

2. Виміряти час розгону асинхронного гіромотора при нормальному атмосферному тиску. Час розгону визначається за допомогою секундоміра і амперметра, включеного в одну з фаз статора. Усталене значення струму свідчить про сталу швидкість обертання ротора. У процесі збільшення швидкості обертання і відповідного зменшення струму необхідно користуватися перемикачем діапазону вимірів амперметра. Зафіксувати пускове і усталене значення струмів. Визначити електромеханічну постійну часу гіромотора і величину ковзання.

3. Зняти криву вибігу гіромотора, тобто залежність зміни швидкості обертання від часу при виключеному живленні. При цьому необхідно прагнути одержати максимальну кількість точок ближче до максимальної швидкості обертання. Методика визначення швидкості двигуна на вибігу зазначена у Додатку 1. Побудувати відповідний графік.

4. Повторити виміри по п.п. 2 і 3 для зниженого тиску в барокамері, імітуючи підйом на висоту 8000 м. Відповідне розрідження в барокамері створюється за допомогою компресора. Залежності по п.п. 3 і 4 доцільно будувати на одному графіку.

5. По отриманих кривих визначити моменти сил опору обертанню ротора для нормального і зниженого атмосферних тисків. Побудувати графіки цих моментів для нормального і зниженого атмосферних тисків в функції швидкості та часу. Методика визначення моментів сил опору викладена в Додатку 3, а методика визначення моменту інерції ротора - у Додатку 2.

6. Визначити корисну потужність гіромотора і його коефіцієнт корисної дії при нормальному і зниженому тисках.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені таблиці, графіки і розрахункові величини для гіромотора, отримані при виконанні пп. 2 - 6 попереднього розділу, а також виводи по роботі.

V. Контрольні питання

1. Поясніть, чому в зоні робочої швидкості асинхронний гіромотор повинен мати "жорстку" механічну характеристику.
2. Як досягається висока "жорсткість" механічної характеристики асинхронного гіромотора в зоні робочої швидкості?
3. Чим визначається час розгону гіромотора?
4. Чим визначається стабільність швидкості обертання гіромотора?
5. Укажіть способи зменшення часу розгону гіромоторів.

Список літератури

1. Степанковский Ю.В. Преобразующие устройства приборов. Т. 1. Электродвигатели (силовые микромашины). / Ю.В. Степанковский. – К.: Корнійчук, 2002. - 207 с.

Лабораторна робота №4. Дослідження обертових трансформаторів

Мета роботи: ознайомлення з конструкціями і схемами включення обертових трансформаторів, набуття навичок експериментального визначення їхніх характеристик.

Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, джерела змінного струму, вольтметр, магазини опорів.

I. Основні теоретичні відомості

Обертові (поворотні) трансформатори (ОТ) - електричні інформаційні мікромашини змінного струму, призначені для перетворення кута повороту в напругу, пропорційну деяким функціям кута (наприклад, синусу або косинусу) або самому куту повороту ротора. Обертові трансформатори використовуються в системах дистанційної передачі (ДП) кута підвищеної точності; як датчики кута; лічильно – вирішальних елементів аналогових і аналогово-цифрових обчислювальних пристроїв для розв'язання геометричних, тригонометричних і векторних задач, пов'язаних з аналізом трикутників, перетворенням координат, розкладанням і побудовою векторів і т.д. Для цих цілей звичайно використовуються ті самі ОТ при різних способах включення їхніх обмоток.

Є кілька режимів роботи обертових трансформаторів в залежності від схеми включення їхніх обмоток.

1. Синусно - косинусні ОТ (СКОТ), у яких вихідна напруга однієї обмотки пропорційна синусу кута повороту ротора, а іншої обмотки - косинусу цього кута.

2. Лінійні ОТ (ЛОТ), у яких вихідна напруга пропорційна в досить великому діапазоні куту повороту ротора.

3. Масштабні ОТ (МОТ), у яких вихідна напруга пропорційна вхідній і коефіцієнт пропорційності (масштаб) визначається кутом повороту ротора.

4. Перетворювачі координат, що здійснюють поворот осей декартової системи координат або перехід до полярної системи координат (ОТ - побудовники вектора).

5. Первинні перетворювачі кута для індукційних фазообертачів, що перетворюють просторовий кут у часовий.

Основна вимога, що пред'являється до ОТ, як і до всіх інформаційних пристроїв, - висока точність перетворення вхідної величини (у цьому випадку кута) у вихідну (у даному випадку напругу по заданому функціональному закону).

У загальному випадку на статорі і роторі СКОТ розміщують по дві, звичайно однакові, однофазні розподілені обмотки, що зміщені між собою в просторі на 90° . Магнітопровід виготовляють із листів пермалоя або електротехнічної сталі, ізолюваних один від одного. Первинні обмотки, які в більшості ОТ розташовуються на статорі, називаються: одна - обмоткою збудження (ОЗ), інша - квадратурною або компенсаційною обмоткою (ОК), а вторинні - синусною і косинусною. Виводи обмоток статора ОТ маркірують-

ся буквами С1...С4, а ротора - Р1...Р4.

Крім двополюсних випускаються також багатополюсні ОТ різного конструктивного виконання. Вони застосовуються у двоканальних системах синхронного зв'язку для каналу точного відліку.

Розглянемо коротко основні схеми включення обертових трансформаторів.

1. Робота ОТ у режимі СКОТ. Симетрування ОТ. Розглянемо дві обмотки ОТ – обмотку збудження (ОЗ) на статорі С1-С2 і обмотку на роторі Р1-Р2 (рис. 1). При подачі синусоїдальної напруги U_1 на обмотку збудження створюється пульсуючий поздовжній магнітний потік Φ_1 , що індукуює в ОЗ ЕРС E_1 . У режимі холостого ходу ($Z_H = \infty$) у роторній обмотці виникає трансформаторна ЕРС

$$E_s = kE_1 \sin \alpha = E_2 \sin \alpha, \quad (1)$$

де $k = E_2/E_1 = w_{\alpha 2}/w_{\alpha 1}$ - коефіцієнт трансформації, що визначається як відношення діючих значень ЕРС в обмотках при $\alpha = 0$ або ефективних витків обмоток Р1-Р2 і С1-С2; α - кут повороту ротора, значення якого визначається кутом між перпендикуляром до нерухомої осі ОЗ на статорі і віссю обмотки ротора.

Оскільки обмотка ротора Р3-Р4 зміщена щодо обмотки Р1-Р2 на кут 90° , те ЕРС, наведена в ній, має вигляд

$$E_C = E_2 \cos \alpha. \quad (2)$$

Таким чином, при холостому ході в обмотках ротора індукуються ЕРС пропорційні синусу і косинусу кута повороту ротора відносно потоку збудження. Відповідно обмотка Р1-Р2 називається синусною (S), а Р3-Р4 – косинусною (C).

Обмотка С3-С4 перпендикулярна до обмотки С1-С2, тому потік у ній не індукуює ЕРС.

При підключенні до обмотки Р1-Р2 опору навантаження $Z_H \neq \infty$ залежність ЕРС роторної обмотки від α не буде синусоїдальною, якщо не прийняти спеціальних заходів. Причина порушення синусоїдальної залежності полягає в тому, що при цьому по обмотці Р1-Р2 протікає струм і створюється магнітний потік Φ_s , спрямований по осі обмотки Р1-Р2. Цей потік можна розкласти на дві складові – поздовжню Φ_{sd} (по осі $d-d$), спрямовану уздовж осі основного потоку збудження, але зустрічно йому, і поперечну Φ_{sq} (по осі $q-q$), перпендикулярну потоку збудження (рис. 1).

Як видно з рис. 1, поздовжня складова потоку Φ_{sd} спрямована проти потоку збудження Φ_1 , і прагне розмагнітити ОТ. Однак цього практично не відбувається, тому що зменшення Φ_1 знижує протиЕРС первинної обмотки. Ця обставина викликає збільшення струму обмотки збудження, що веде до зростання потоку, що компенсує поздовжню складову потоку. Таким чином, розмагнічуюча дія поздовжньої складової компенсується збільшенням струму збудження в первинному ланцюзі, що доводить потік збудження до попе-

реднього значення. Таким чином, розмагнічування практично не відбувається.

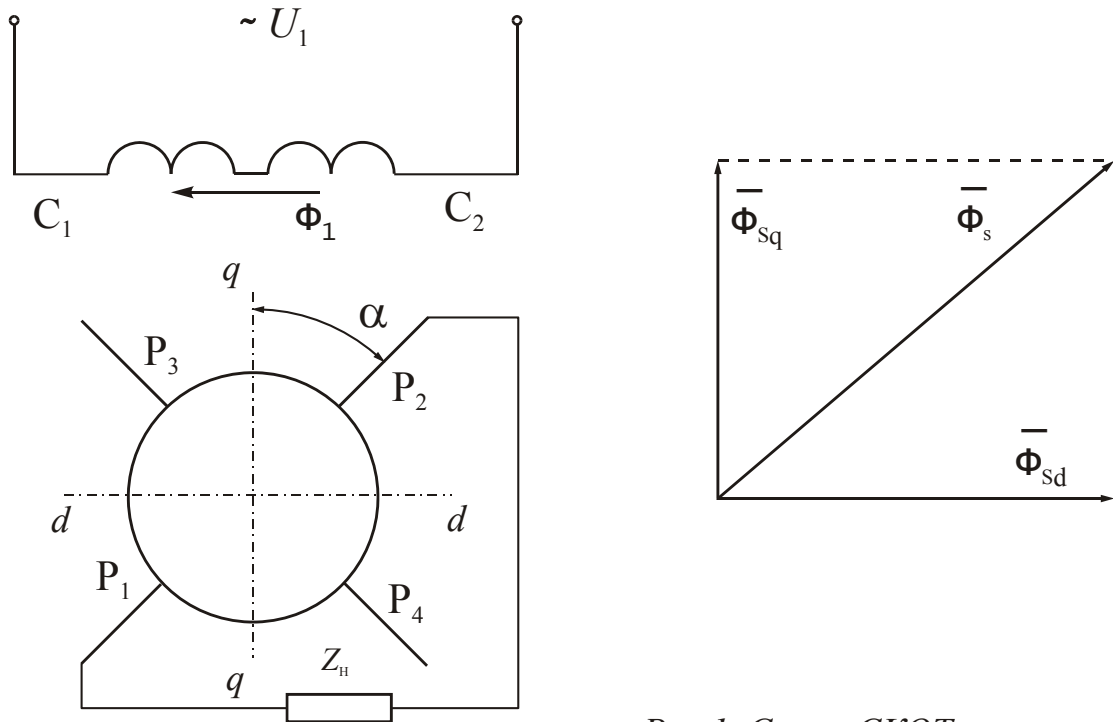


Рис.1. Схема СКОТ

ся, однак зміна струму збудження істотно залежить від навантаження і кута повороту ротора.

Поперечна складова потоку Φ_{sq} перпендикулярна основному потоку і нічим не компенсується. Цей потік наводить в обмотці P1-P2 додаткову ЕРС, порушуючи синусоїдальну залежність (1).

Основна вимога, що висувається до СКОТ, полягає в тому, щоб вихідна напруга як можна точніше відповідала закону синуса або косинуса кута повороту ротора.

Для виконання цієї вимоги необхідно усунути вплив поперечної складової магнітного потоку Φ_{sq} . Це може бути досягнуто або роботою ОТ на високоомне навантаження (наближення до режиму холостого ходу - що проблематично), або її компенсацією. Останнє досягається симетруванням обмоток ротора і статора. Суть симетрування полягає в ослабленні (часткове симетрування) або в усуненні (повне симетрування) поперечного потоку. Розрізняють два види симетрування: первинне і вторинне.

Вторинне симетрування здійснюється за допомогою другої роторної (косинусної) обмотки P3-P4. Електрична схема ОТ із вторинним симетруванням показана на рис. 2. При цьому до обох роторних обмоток підключаються опори навантаження: Z_{HS} до синусної і Z_{HC} - до косинусної. У цьому випадку струм протікає по обох обмотках. Магнітний потік Φ_C , створений косинусною обмоткою, перпендикулярний до Φ_S і стосовно осей машини має поздовжню Φ_{Cd} і поперечну Φ_{Cq} складові.

Повздовжня складова потоку Φ_{Cd} діє так само, як і Φ_{sd} , тобто приво-

дить до подальшого збільшення струму збудження для компенсації Φ_{cd} .

Поперечні ж складові Φ_{sq} й Φ_{cq} направлені зустрічно (рис. 2,б) і при

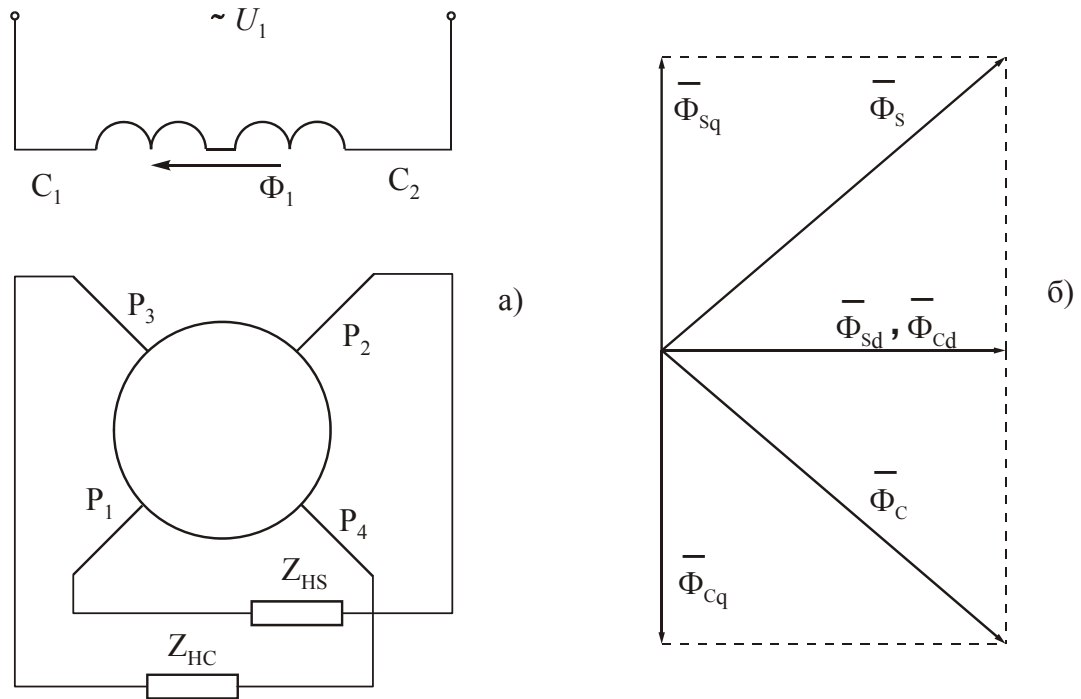


Рис.2. Вторинне симетрування

ідентичності обмоток P1-P2 і P3-P4, а також рівності навантажувальних опорів Z_{HS} і Z_{HC} , взаємно компенсуються. Тому спотворень вихідних ерс, викликаних його впливом, не буде при будь-яких поворотах ротора. Крім того, симетрія вторинних ланцюгів СКОТ характеризується ще однією важливою властивістю - сталістю струму збудження і потужності збудження незалежно від кута повороту ротора (тобто сталістю вхідного опору з первинної сторони).

Очевидно, що якщо виконано неповне вторинне симетрування, то спотворення у вихідних напругах зберігаються, однак при цьому вони будуть значно менші, ніж у випадку, якщо одна з обмоток навантажена, а друга працює в режимі холостого ходу.

Розглянутий метод симетрування має практичне застосування тільки при постійному опорі навантаження.

При первинному симетруванні для зменшення поперечного потоку компенсаційну (квадратурну) обмотку ОК підключають до опору (рис 3). Тому що вісь ОК збігається з напрямком поперечного магнітного потоку ротора, останній наводить у ній ерс і в ОК протікає струм, тобто стосовно поперечної складової потоку ОК є вторинною обмоткою трансформатора. При малому значенні z_K взаємна розмагнічуюча дія обмоток S і ОК настільки велика, що результуючий магнітний потік Φ_q прагне до нуля при будь-якому значенні z_{HS} . Умовою первинного симетрування, якщо обмотки S і ОК

ідентичні, є рівність симетруючого опору зовнішньому опору ланцюга ОЗ, тобто вихідному опору джерела живлення. Для досить потужного джерела цю умову можна записати у вигляді

$$z_K \approx 0. \quad (3)$$

Умова симетрування від опору навантаження не залежить.

Для досягнення найменшого спотворення вихідних функціональних залежностей ОТ первинне і вторинне симетрування практично завжди застосовують спільно.

Розглянуті методи компенсації поперечного потоку дозволяють у якості вихідної використати як синусну, так і косинусну обмотки, тобто одержувати вихідну напругу, пропорційну синусу або косинусу кута повороту ротора. Тому такі ОТ називаються синусно - косинусними (СКОТ).

Залежно від величини

погрішності СКОТ діляться на шість класів точності (див. таблицю 1).

Таблиця 1.

Параметр точності	Клас точності					
	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
Погрішність відображення синусної залежності, %	±0,005	±0,01	±0,02	±0,05	±0,1	±0,2
Асиметрія нульових точок, кут. сек.	±10	±20	±40	±100	±200	400
ЕРС квадратурної обмотки, %, не більше	0,04	0,08	0,12	0,3	0,6	1,2
Залишкова ЕРС, %, не більше	0,003	0,006	0,01	0,025	0,05	0,1
Різниця коефіцієнтів трансформації, %, не більше	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2

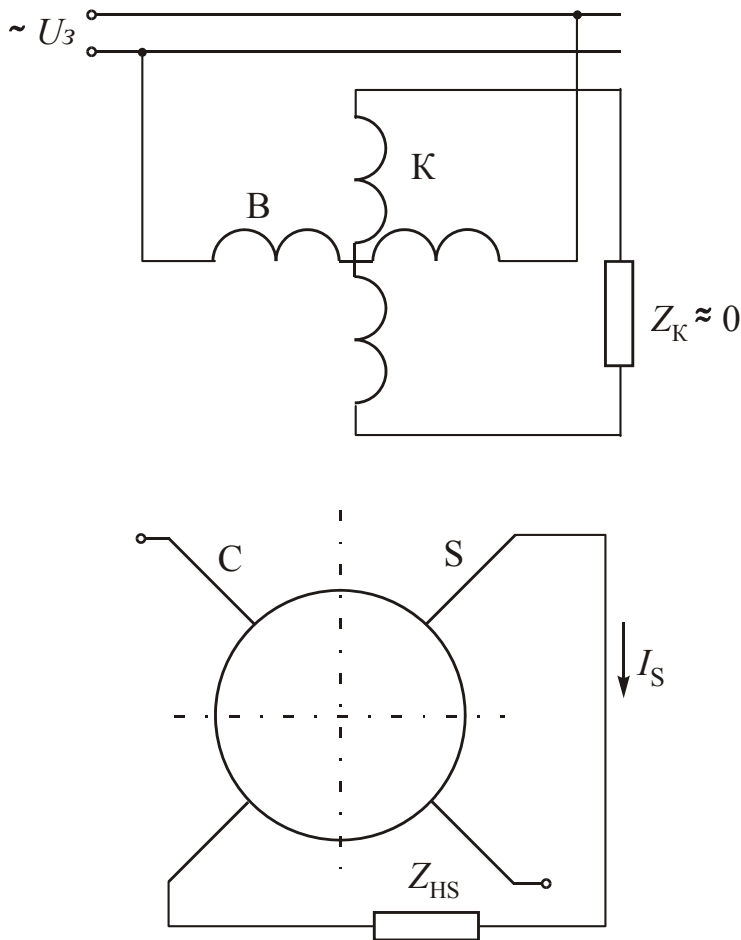


Рис.3. Первинне симетрування

2. Побудовні ОТ. Обертвий трансформатор - практично ідеальний пристрій з погляду пристосованості до вирішення різних задач з перетворення координат. За допомогою ОТ можна перетворювати координати вектора з декартової системи в полярну і з однієї декартової системи в іншу, повернену щодо першої на деякий кут. Працюючий у такому режимі ОТ називається побудовником. Робота схеми перетворення декартових координат у полярні зводиться до визначення гіпотенузи (як по модулю, так і куту) прямокутного трикутника по двох заданих катетах a і b . При цьому на обмотки статора С1-С2 і С3-С4 подаються напруги, пропорційні катетам: $U_1 \sim a$, $U_2 \sim b$. Результуючий потік первинних обмоток Φ_C буде дорівнює геометричній сумі поздовжнього Φ_a і поперечного Φ_b потоків. Значення потоку можна визначити за значенням ЕРС кожної з обмоток ротора, якщо його повернути так, щоб вісь обмотки збігалася з напрямком потоку. Прийнемо за таку обмотку Р1-

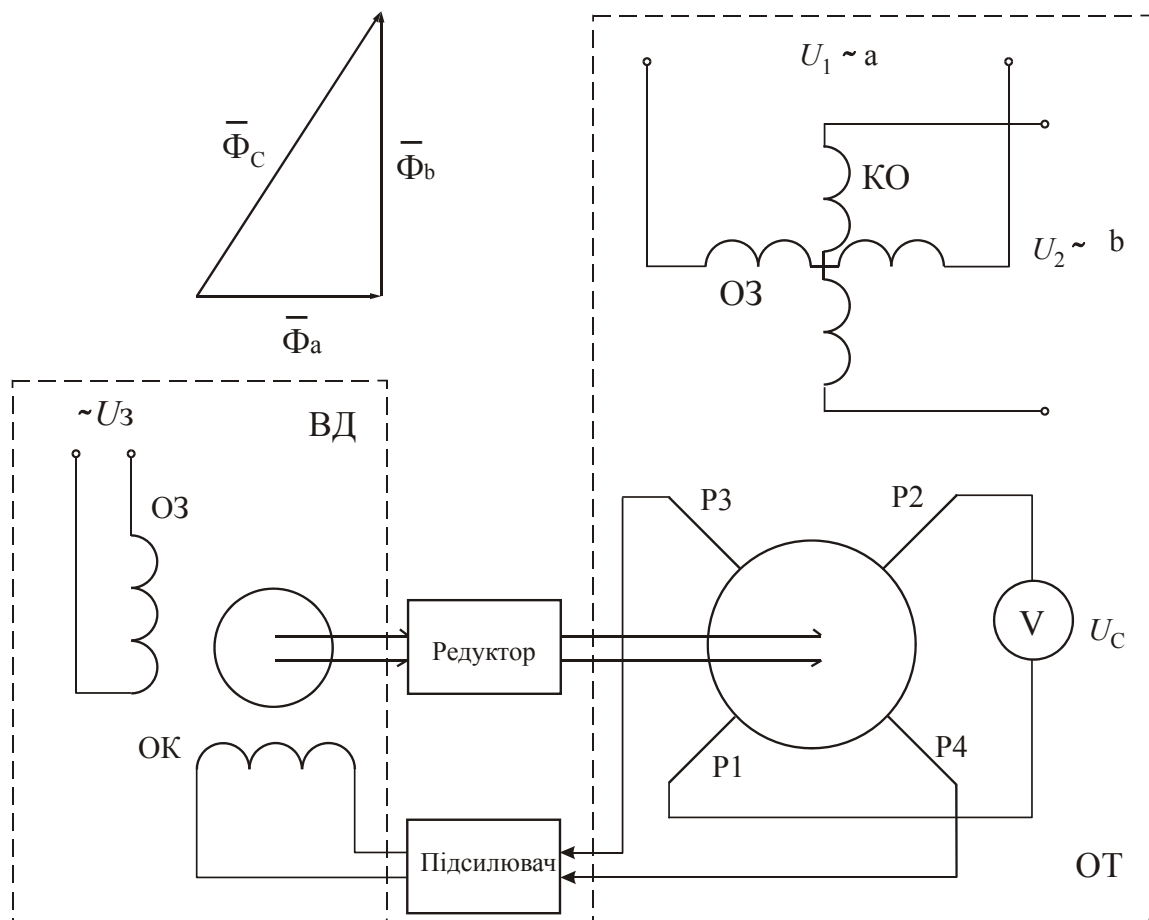


Рис.4. Режим будівника вектора

Р2. При збігу її осі з напрямком потоку Φ_C ерс обмотки Р1-Р2 буде максимальною. ЕРС іншої обмотки ротора, Р3-Р4, (назвемо її сигнальною) буде в цьому випадку дорівнює нулю, тому що її вісь перпендикулярна потоку Φ_C .

Максимальна ЕРС (U_{P1-P2}) прямо пропорційна модулю вектора. Таким чином, U_{P1-P2} у деякому масштабі виражає модуль вектора в полярній системі координат, а кут повороту ротора α - аргумент вектора.

На практиці розглянуте перетворення координат відбувається автоматично за допомогою нескладної слідкуючої системи, у яку, крім ОТ, входять підсилювач, виконавчий двигун ВД і редуктор (рис. 4). Напряга сигнальної обмотки РЗ -Р4 подається через підсилювач на обмотку керування (ОК) ВД, вал якого через редуктор з'єднаний з валом ротора ОТ. При подачі напруг на обмотки С1-С2 і С3-С4 у сигнальній обмотці РЗ-Р4 наводиться ЕРС, що через підсилювач впливає на виконавчий двигун. Ротор двигуна обертається доти, поки обмотка РЗ-Р4 не займе положення, перпендикулярного до потоку Φ_c .

3. Обертові трансформатори в системах дистанційної передачі кута.

На рис. 5 показана одна з таких схем. До її складу входять два ОТ, підсилювач і виконавчий двигун з редуктором. Один з поворотних трансформаторів виконує роль датчика (ОТД), другий – приймача (ОТП). Ротори їх кінематично пов'язані з відповідними валами систем. Така система - приклад найпростішого і, можна сказати, найпоширенішого каскадного з'єднання двох ОТ: ОТД працює в режимі СКОТ, ОТП - у режимі побудовника вектора. Відповідні обмотки їх з'єднані між собою, напряга живлення подається на первинну обмотку датчика ОЗ. Квадратурна обмотка звичайно закорочується.

Якщо ротор ОТ датчика повернути на кут α_o , з його роторних обмоток будуть зніматися напруги, обумовлені виразами (1) і (2), які подаються на обмотку збудження і квадратурну обмотку ОТ приймача.

Струми, що проходять по статорних обмотках приймача, викликають появу двох магнітних потоків (поздовжнього і поперечного), зсунутих один щодо іншого на 90 електричних градусів. Значення кожного із цих потоків буде пропорційне відповідним напругам на роторних обмотках датчика.

Результуючий магнітний потік приймача буде дорівнює геометричній сумі поздовжнього і поперечного потоків і повернутий на кут α_n щодо осі обмотки збудження приймача. Якщо ротор ОТП повернуть на кут $\alpha_n = \alpha_o$, одна з його обмоток установиться перпендикулярно до осі результуючого магнітного потоку і напряга на ній буде дорівнює нулю. При погодженому положенні вихідного і вхідного валів системи напряга на вході підсилювача відсутня і виконавчий двигун не обертається. При наявності кута неузгодженості між осями задаючого і приймаючого пристроїв ($\alpha_n \neq \alpha_o$) на вході підсилювача з'являється напряга - сигнал неузгодженості. Ця напряга підсилюється до значення, необхідного для керування виконавчим двигуном ВД. Двигун обертається і через редуктор повертає ротор ОТП і навантаження. При цьому в ідеальному випадку напряга керування стає рівною нулю і двигун зупиняється.

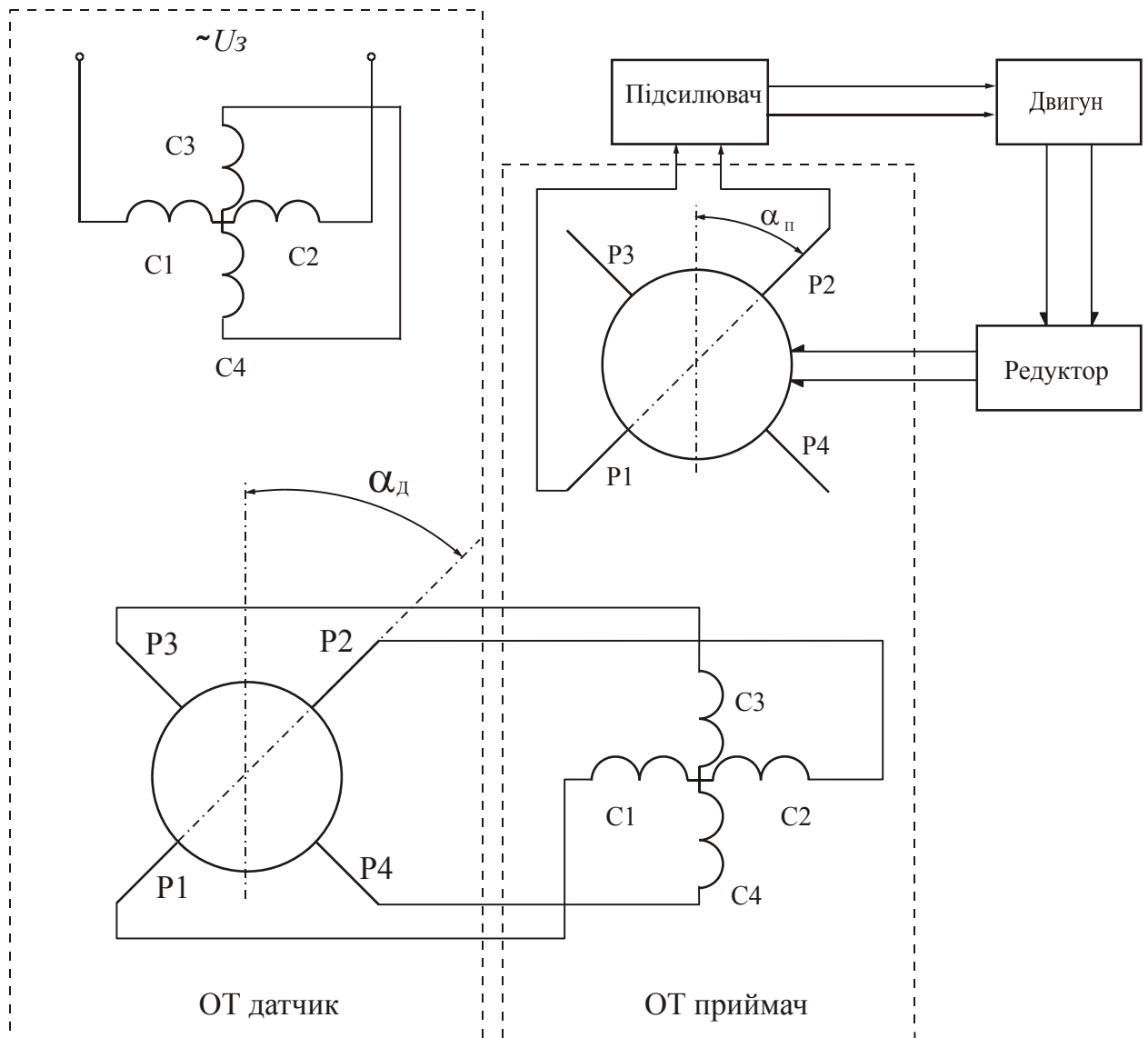


Рис.5. Дистанційна передача кута

В залежності від величини погрішності в трансформаторній системі передачі кута ОТ діляться на сім класів точності (див. таблицю 2).

Таблиця 2.

Параметр точності	Клас точності						
	1	2	3	4	5	6	7
Погрішність проходження в дистанційній передачі кута в трансформаторному режимі, кут. хв.	±1	±2	±3	±5	±10	±20	±30

У реальних схемах після відпрацювання сигналів неузгодженості в сталому режимі існує деяка неузгодженість між входними і вихідними валами, яка називається статичною помилкою. Причини її появи - погрішності

ОТ, тертя в механізмі, погрішності підсилувача.

При безперервному обертанні датчика виникає додатковий кут неузгодженості (динамічна помилка).

Один зі шляхів підвищення статичної точності синхронної передачі - створення двоканальних систем, що працюють по методу грубого і точного відліків.

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для проведення дослідів являє собою два однакових ОТ типу ВТ-5, встановлених на двох поворотних столиках. Останні дозволяють повертати ротор відносно статора; ціна розподілу шкали точного відліку - 1 кутова хвилина. На ізольовані від столиків плати виведені кінці всіх обмоток трансформаторів: С1-С4, Р1-Р4. При проведенні дослідів по п. 3.2 використовується один поворотний столик, при проведенні дослідів по п. 3.4 використовуються обидва столики. Відлік кута повороту ротора ОТП до погодженого положення визначається по мінімуму напруги, що знімається з відповідної роторної обмотки приймача. Всі необхідні схеми збираються студентами самостійно.

До складу лабораторної установки входить також ОТ із двома парами полюсів, встановлений на поворотному столику.

III. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкціями наявних обертових трансформаторів і паспортними даними досліджуваного ОТ.

2. Зняти і побудувати залежності напруги вихідних обмоток ОТ від кута повороту ротора в режимі СКОТ і порівняти їх з ідеальними:

а) без симетрування при холостому ході і двох – трьох кінцевих значеннях опорів навантаження $Z_H = R_H$.

Визначити коефіцієнт трансформації досліджуваної машини. Побудувати графік залежності вихідної напруги від опору навантаження при фіксованих кутах повороту ротора;

б) з первинним, вторинним і змішаним симетруванням.

Повторити виконання п. 2 для ОТ із двома парами полюсів.

3. Визначити крутість вихідної напруги однополюсного і двополюсного СКОТ при малих кутах повороту ротора.

4. Зібрати і дослідити роботу ОТ у режимі трансформаторної синхронної передачі кута:

а) зняти і побудувати залежності напруги в одній з обмоток ОТП від кута неузгодженості між датчиком і приймачем;

б) побудувати графік погрішності відпрацьовування кута ОТ – приймачем залежно від кута повороту ротора ОТ – датчика. При цьому ротор ОТД варто повертати на фіксовані кути через 30° у межах одного обороту.

Повторить досвід п. 4б, імітуючи подовження ліній зв'язку шляхом підключення відповідних активних опорів.

5. Зробити висновки за результатами виконаної роботи.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені електричні схеми, що збирають при дослідженнях, отримані таблиці і графіки, висновки по роботі і перелік приладів, використаних при вимірюваннях.

V. Контрольні питання

1. Для рішення яких задач може бути використаний обертовий трансформатор?
2. Поясніть появу погрішності несиметрованного ОТ під навантаженням.
3. Укажіть умови первинного, вторинного і змішаного симетрування ОТ.
4. Поясніть принцип дії трансформаторної системи передачі кута на обертових трансформаторах.

Список літератури

1. Баканов М.В. Информационные микро - машины следящих и счетно-решающих систем (вращающиеся трансформаторы, сельсины). / М.В. Баканов, В.А. Лыска, В.В. Алексеев. - М.: Сов. радио, 1977. - 88 с.
2. Чернышев В.О. Поворотные трансформаторы и их применение в вычислительных и автоматических устройствах. / В.О. Чернышев. - Л.: Энергия, 1965. - 104 с.
3. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств. / В.В. Хрущев - Л.: Энергия, 1976. - 384 с.
4. Ахметжанов А.А. Системы передачи угла повышенной точности. / А.А. Ахметжанов. - М.: Энергия, 1966. - 272 с.

Лабораторна робота №5. Дослідження однофазних сельсинів

Мета роботи: ознайомлення з конструкціями і схемами включення сельсинів, набуття навичок експериментального визначення їхніх характеристик.

Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, джерела змінного струму, вольтметр, магазин опорів.

I. Основні теоретичні відомості

Системи синхронного зв'язку знаходять застосування в ланцюгах автоматичного контролю, керування і регулювання.

Під системою синхронного зв'язку розуміють сукупність пристроїв, що слугують для передачі на відстань кутових або лінійних переміщень, а також для синхронного і синфазного обертання двох або більше механічно не зв'язаних осей.

Систему синхронного зв'язку, що підтримує синхронне обертання осей (валів), часто називають системою електричного валу. Систему синхронного зв'язку, що передає електричним шляхом на відстань кутові переміщення, називають системою передачі кута або синхронного повороту.

Часто в зазначених системах як основні елементи використовують сельсини. У системах електричного валу застосовують трифазні сельсини, а в системах передачі кута - однофазні сельсини.

Існують різні конструктивні виконання сельсинів, але при цьому обов'язково наявність обмоток збудження і синхронізації. Обмотка збудження в однофазних сельсинах однофазна, а в трифазних - трифазна.

Обмотки синхронізації складаються із трьох однофазних обмоток, осі яких зміщені в просторі на кут 120° .

Виводи роторних обмоток сельсина маркуються буквою Р, а статорних - буквою С незалежно від призначення обмоток.

Для самосинхронізації в межах одного обороту сельсини виконуються з однією парою полюсів.

Конструктивно сельсини діляться на контактні і безконтактні.

Однофазні сельсини використовують в індикаторному і трансформаторному режимах. При цьому система незалежно від режиму роботи складається із сельсина - датчика (СД) і одного або декількох сельсинів - приймачів (СП). СД механічно пов'язаний з об'єктом контролю або органом керування. СП або безпосередньо відпрацьовує кут повороту, що задається датчиком (індикаторний режим), або перетворює його в електричний сигнал, що відпрацьовується виконавчим двигуном (трансформаторний режим).

Індикаторний режим може бути використаний, якщо на валу сельсина - приймача знаходиться вимірювальний прилад з досить малим моментом спротиву (наприклад, шкала, збалансована стрілка) і вимоги до точності передачі не дуже високі.

Електрична схема роботи сельсинів в індикаторному режимі представлена на рис. 1.

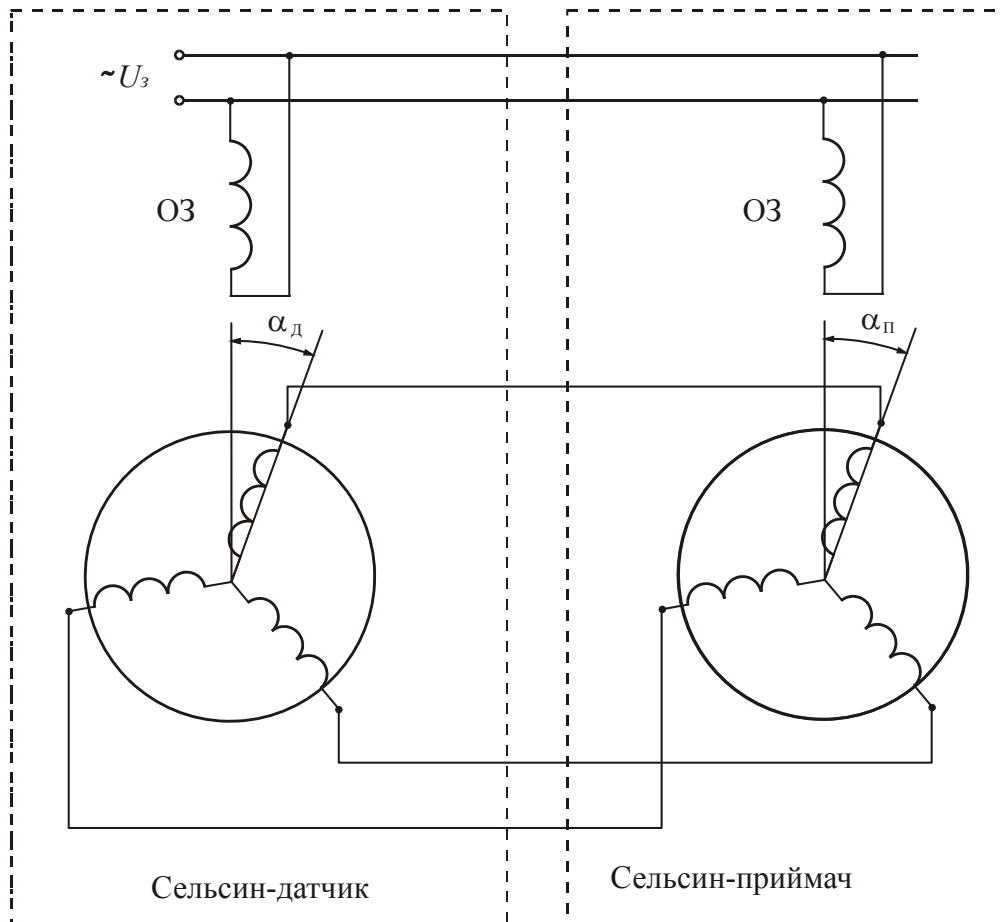


Рис.1. Індикаторний режим

Обмотки збудження (O3) сельсинів датчика і приймача живляться від одного джерела змінного струму. Струми, що протікають в O3, створюють у цих обмотках потоки збудження, які індуктують в обмотках синхронізації ЕРС. Значення цих ЕРС у кожному сельсині залежать від взаємного положення осей обмотки збудження і обмоток синхронізації.

Якщо в якості датчика і приймача обрані ідентичні сельсини, то при однаковому положенні роторів СД і СП щодо обмоток статорів, ЕРС в обмотках синхронізації будуть рівні по величині і протилежні по фазі. Струм у лінії зв'язку відсутній. Таке положення датчика і приймача називають погодженим. Кут неузгодженості $\alpha = \alpha_d - \alpha_p = 0$.

Якщо $\alpha_d \neq \alpha_p$, те ЕРС в обмотках синхронізації СД і СП будуть відрізнятися. Внаслідок цього по лініях зв'язку і обмоткам синхронізації потечуть зрівнювальні струми, які, взаємодіючи з потоками збудження, створять електромагнітні моменти, що прагнуть повернути ротори сельсинів у погоджене положення. Ротор датчика звичайно пов'язаний з механізмом, що задає, і позбавлений свободи обертання. Тому повертатися буде тільки ротор приймача, поки не настане знову погоджене положення роторів. Момент, що повертає ротор приймача, називається синхронізуючим. Його значення наближено визначається залежністю

$$M_c \approx k \sin \alpha \quad (1)$$

де k - коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей сельсина і параметрів живлення.

Реальна залежність $M_c = f(\alpha)$ відрізняється від синусоїди за рахунок гальмівного моменту, обумовленого поперечною складовою потоку. Для її зменшення індикаторні сельсини часто виконують із короткозамкненою обмоткою по поперечній осі, або явнополюсними, у яких великий повітряний зазор по поперечній осі.

Точність роботи сельсинів в індикаторному режимі залежить від наступних факторів:

- питомого синхронізуючого моменту;
- власного моменту тертя СП і моменту опору на його валу;
- опору лінії зв'язку;
- магнітної і електричної асиметрії машини;
- кількості приймачів, що працюють від одного датчика;
- дебалансу ротора приймача;
- напруги і частоти живлення.

Практично між роторами СД і СП завжди існує неузгодженість - кут статичної помилки, що обумовлена перерахованими вище факторами. Найбільший кут статичної похибки визначає величину зони нечутливості системи:

$$\beta = \pm M_T / m_{\text{вд}} \quad (2)$$

де M_T - сума шкідливих моментів; $m_{\text{вд}}$ - питомий синхронізуючий момент, тобто синхронізуючий момент при $\alpha = 0$.

В залежності від величини погрішності в індикаторній системі передачі кута сельсини діляться на чотири класи точності (див. таблицю 1).

Таблиця 1.

Параметр точності	Клас точності			
	1	2	3	4
Погрішність проходження в дистанційній передачі кута в індикаторному режимі, кут. хв.	±30	±45	±60	±90

Значення синхронізуючого моменту і, відповідно, точність індикаторної передачі, зменшується при збільшенні опорів ліній зв'язку, так як це призводить до зменшення зрівнювальних струмів при однакових кутах неузгодженості.

У схемах автоматики часто застосовують схеми, де від одного датчика працює кілька приймачів. У таких випадках як датчик використовують потужніший сельсин, ніж приймачі.

Трансформаторний режим застосовується для дистанційної передачі кутових переміщень об'єкту, момент опору якого вище моменту, що розвиває сельсин в індикаторному режимі при досить високій точності відпрацювання переміщення.

Електрична схема роботи сельсинів у трансформаторному режимі представлена на рис. 2.

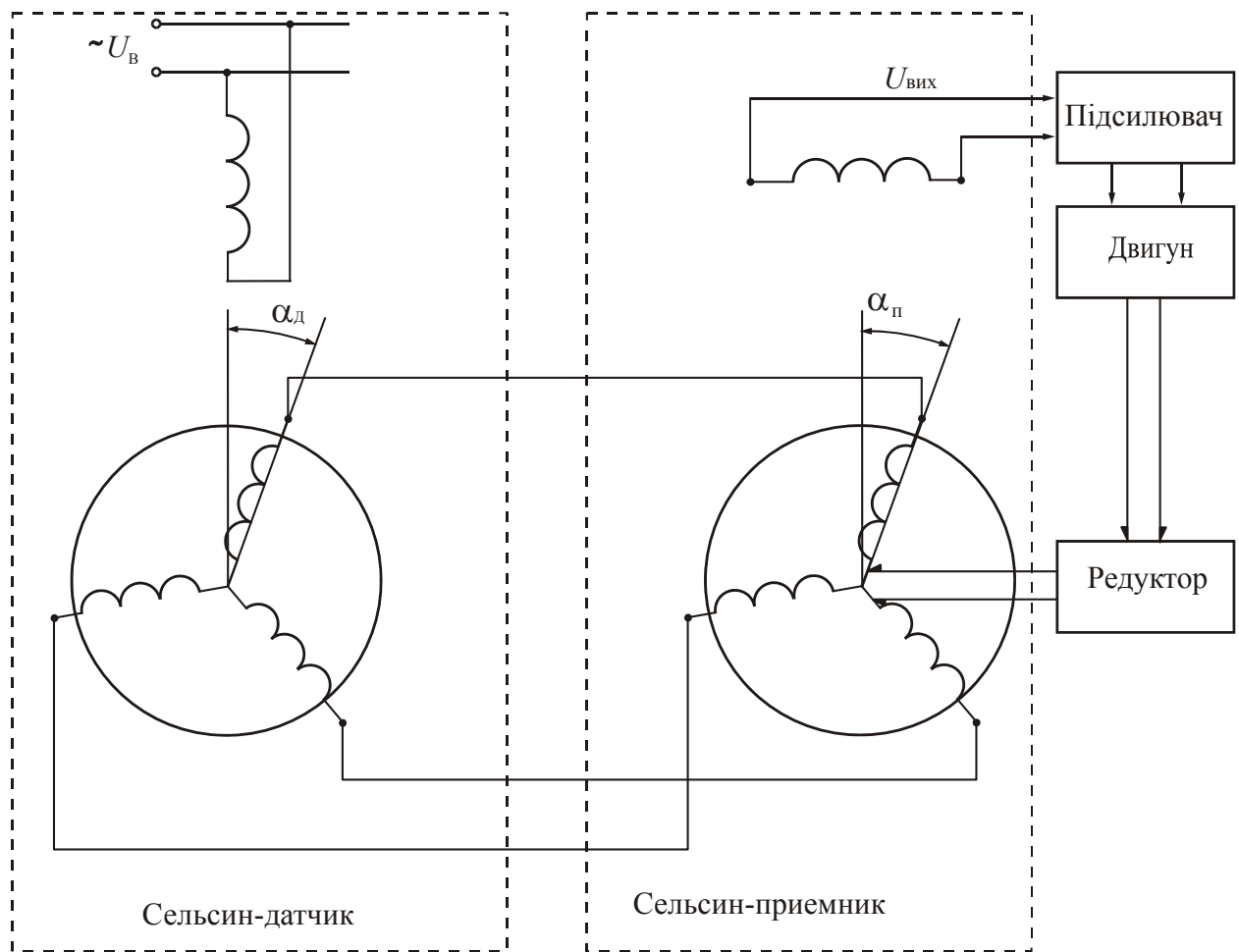


Рис.2. Трансформаторний режим

Схема складається із сельсина - датчика, сельсина - приймача, ліній зв'язку, підсилювача, виконавчого двигуна і редуктора.

При подачі напруги на обмотку збудження СД і деякому куті неузгодженості α між положеннями роторів датчика і приймача на обмотці збудження СП виникає напруга $U_{ВИХ}$. Вона підсилюється підсилювачем і надходить на обмотку керування виконавчого двигуна, що через редуктор обертає ротор СП. Обертання здійснюється доти, поки напруга $U_{ВИХ}$ не стане рівною нулю, тобто коли наступить погоджене положення роторів СД і СП.

Точність роботи сельсинів у трансформаторному режимі залежить від наступних факторів:

- значення залишкової ЕРС;
- розподілі індукції в повітряному зазорі;
- крутизни вихідної напруги СП.

Залежно від величини погрішності в трансформаторній системі передачі кута сельсини діляться на сім класів точності (див. таблицю 2).

Таблиця 2.

Параметр точності	Клас точності						
	1	2	3	4	5	6	7
Погрішність проходження в дистанційній передачі кута в трансформаторному режимі, кут. хв..	±1	±2	±3	±5	±10	±20	±30

Точність роботи сельсинів у трансформаторному режимі вище, ніж в індикаторному. Це обумовлено тим, що в трансформаторному режимі момент опору навантаження долається досить великим моментом виконавчого двигуна.

Одним зі шляхів подальшого підвищення точності передачі кута є створення двоканальних систем, що працюють по методу грубого і точного відліків.

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить сельсин – датчик, поміщений на поворотному столику, і три сельсини – приймача (рис. 3), поміщених в окремий корпус.

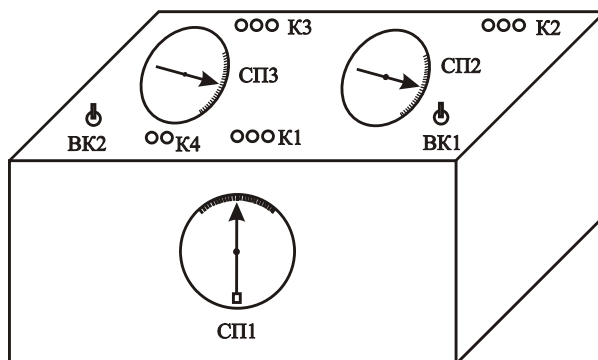


Рис. 3. Макет установки

Сельсин - приймач СП1 розміщений на передній стінці установки і призначений для виміру моменту, що виникає при наявності неузгодженості між СД і СП. Ціна великого ділення шкали при вимірі моменту становить 1 Гсм. Сельсин - приймач СП2 призначений для виміру погрішності передачі в індикаторному режимі, а СП3 - у трансформаторному.

Вимикачі ВК1 і ВК2 підключають джерела живлення (27 В постійного струму і 36 В, 400 Гц) до лабораторної установки. Клеми К1, К2 і К3 являються виводами обмоток синхронізації сельсинів. Клеми К4 являються виводами обмотки збудження сельсина СП3.

III. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з принципом дії і конструкціями сельсинів.
2. Зняти і побудувати залежність напруги на обмотці синхронізації сельсина – датчика від кута повороту його ротора. Виміри необхідно проводити через кожні 30° у межах одного оберту ротора.
3. Для індикаторного режиму виміряти і побудувати графіки:

а) залежності синхронізуючого моменту СП і струмів у лініях зв'язку від кута неузгодженості роторів при опорах ліній зв'язку $R_{3B} \approx 0$ Ом і $R_{3B} \approx 100$ Ом;

б) залежності погрішності передачі кута від кута повороту ротора СД при опорах ліній зв'язку $R_{3B} \approx 0$ Ом і $R_{3B} \approx 100$ Ом. Вимірювання необхідно проводити через кожні 30° у межах одного оберту ротора.

4. Для трансформаторного режиму виміряти і побудувати графіки:

а) залежності напруги на обмотці збудження сельсина – приймача і струмів у лініях зв'язку від кута неузгодженості при опорах ліній зв'язку $R_{3B} \approx 0$ Ом і $R_{3B} \approx 100$ Ом;

б) залежності погрішності передачі кута від кута повороту ротора СД при опорах ліній зв'язку $R_{3B} \approx 0$ Ом й $R_{3B} \approx 100$ Ом.

5. Зробити висновки по проробленій роботі.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені електричні схеми, використовувані при дослідженнях, отримані таблиці і графіки, висновки по роботі і перелік приладів, використаних при вимірюваннях.

V. Контрольні питання

1. Поясніть принцип дії індикаторної системи передачі кута на сельсинах.

2. Поясніть принцип дії трансформаторної системи передачі кута на сельсинах.

3. Назвіть фактори, що визначають точність передачі кута в індикаторному режимі.

4. Назвіть фактори, що визначають точність передачі кута в трансформаторному режимі.

5. Які недоліки безконтактних сельсинів в порівнянні з контактними?

Список літератури.

1. Баканов М.В. Информационные микро - машины следящих и счетно-решающих систем (вращающиеся трансформаторы, сельсины). / М.В. Баканов, В.А. Лыска, В.В. Алексеев. - М.: Сов. радио, 1977. - 88 с.

2. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств. / В.В. Хрущев - Л.: Энергия, 1976. - 384 с.

3. Ахметжанов А.А. Системы передачи угла повышенной точности. / А.А. Ахметжанов. - М.: Энергия, 1966. - 272 с.

Лабораторна робота №6. Дослідження динамічних характеристик виконавчих двигунів на ЕОМ.

Мета роботи: вивчення постійних часу виконавчих двигунів.

Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: персональний комп'ютер.

I. Короткі теоретичні відомості

Однією з основних вимог, що висувуються до виконавчого двигуна, є його висока швидкодія, під якою розуміють час від моменту подачі сигналу U_V в обмотку керування до моменту досягнення ротором заданої швидкості обертання. Швидкодія двигуна визначається швидкістю протікання двох процесів - механічного і електромагнітного, які мають місце після включення обмотки керування під напругу. При цьому розрізняють електромеханічну і електромагнітну постійні часу, що характеризують протікання відповідних процесів.

Передатна функцію двигуна по кутовій швидкості в загальному випадку визначається виразом

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{U_V(p)} = \frac{k_{ДВ}}{T_{II}^2 p^2 + 2\xi T_{II} p + 1}, \quad (1)$$

де: p - оператор Лапласа; $T_{II} = \sqrt{\tau_m \tau_{эм}}$; $\xi = 1/2 \cdot \sqrt{\tau_m / \tau_{эм}}$ - коефіцієнт загасання; $\tau_{эм} = L_{Я}/R_{Я}$ - електромагнітна постійна часу; $\tau_m = J_P \omega_{про}/M_K = J_{ДВ}/F$ - електромеханічна постійна часу; J_P - момент інерції ротора; ω_0 - швидкість холостого ходу; M_K - момент короткого замикання (пусковий момент); $F = M_K/\omega_0$ - коефіцієнт внутрішнього демпфірування, що визначає крутість механічної характеристики, $L_{Я}$ - індуктивність обмотки якоря; $k_{ДВ}$ - коефіцієнт.

Величини постійних часу визначаються типом двигуна і його конструктивними параметрами.

Передатна функція відображає процеси зміни струму в обмотці (електромагнітний процес) і швидкості обертання ротора (механічний процес). Якщо коефіцієнт загасання $\xi < 1$, то перехідний процес має коливальний характер, а якщо $\xi > 1$ ($\tau_m > 4\tau_{эм}$), то перехідний процес носить аперіодичний характер. В останньому випадку передатна функція (1) може бути апроксимована наступним виразом:

$$W(p) = \frac{k_{ДВ}}{(\tau_{эм} p + 1)(\tau_m p + 1)}. \quad (2)$$

При подачі до двигуна, наприклад, стрибка напруги зміна струму якоря відбувається із запізненням, пропорційним електромагнітній постійній часу $\tau_{эм}$. У відповідь на зміну струму якоря відбувається запізнення росту швидкості обертання ротора, яке пропорційне електромеханічній постійній часу τ_m .

Останнє ілюструється рис. 1.

Якщо між постійними часу має місце співвідношення

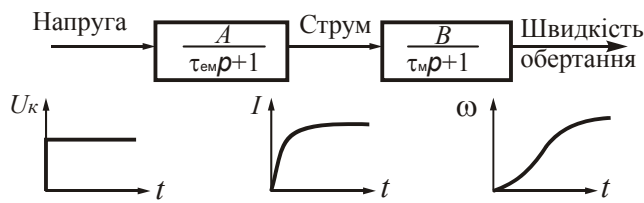


Рис.1. Ілюстрація рівняння 2.

$\omega(t)$ у функції часу, то з вирзу (4) можна одержати

$$\omega(t) = \frac{U_Y}{C_{ДВ}} (1 - e^{-t/\tau_M}) . \quad (5)$$

У відповідь на стрибкоподібний керуючий вплив, відбувається запізнення росту швидкості обертання, що ілюструється рис. 2. Двигун набирає значення швидкості обертання в 0,633 від сталої за час τ_M .

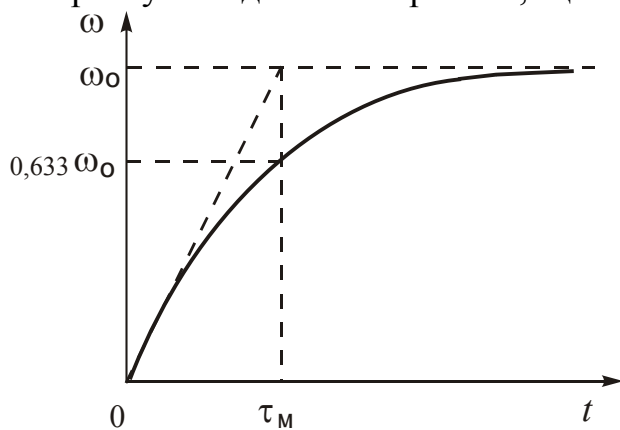


Рис.2 . Перехідний процес по швидкості

то з передатної функції (2) отримуюмо

$$W(p) = \frac{k_{ДВ}}{\tau_M p + 1} . \quad (4)$$

Якщо необхідно розрахувати зміну швидкості обертання

На практиці умова (3) для колекторних двигунів постійного струму з якірним керуванням і виконавчих двофазних асинхронних двигунів виконується практично завжди, тому для них використовують передатну функцію у вигляді (4). Для безколекторних двигунів постійного струму в деяких випадках через велику індуктивність обмоток величини електро-

магнітної і електромеханічної постійних часу можуть бути близькими за значеннями. У цьому випадку необхідно користуватися передатною функцією (2) або (1).

У виконавчому двигуні змінного струму, так само і у двигунах постійного струму, при включенні має місце два перехідних процеси - електромагнітний й електромеханічний. Однак через великий активний опір ротора електромагнітний перехідний процес, обумовлений електромагнітною постійною часу $\tau_{эм} = L/R$, дуже швидкоплинний у порівнянні з електромеханічним перехідним процесом. Тому на практиці при дослідженні систем, що містять асинхронний виконавчий двигун, використовують передатні функції у вигляді (4).

Електромеханічна постійна часу двигуна постійного струму при якірному керуванні і асинхронного при фазовому керуванні не залежить від коефіцієнта сигналу, що є наслідком паралельності їхніх механічних характеристик при різних коефіцієнтах сигналу. При амплітудному керуванні електромеханічна постійна часу τ_M збільшується зі зменшенням коефіцієнта сигналу α . Пояснюється це зниженням жорсткості (нахилу) механічних характеристик при зменшенні α , тобто зростання відношення $\omega_{хх}/M_{II}$ і зменшення ко-

ефіцієнта внутрішнього демпфірування F .

Якщо під вихідною величиною двигуна розуміти кут повороту його вихідного вала φ , то, з урахуванням $\omega = d\varphi/dt$, передатна функція в цьому випадку має вигляд

$$W_{\varphi}(p) = \frac{k_{ДВ}}{p(T_{\Pi} p^2 + 2\xi T_{\Pi} p + 1)} \quad (6)$$

або при $\tau_M \gg \tau_{ЭМ}$

$$W_{\varphi}(p) = \frac{k_{ДВ}}{p(\tau_{ЭМ} p + 1)} \quad (7)$$

В останньому випадку двигун може бути представлений структурною схемою, що складається із трьох послідовно з'єднаних ланок:

- а) підсилювальної ланки з коефіцієнтом підсилення $k_{об}$;
- б) інтегруючої ланки з передатною функцією $1/p$;
- в) аперіодичної ланки з передатною функцією $1/(\tau_M p + 1)$.

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері шляхом моделювання в середовищі Simulink.

III. Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему, представлену на рис. 3. Розірвати зворотний зв'язок.

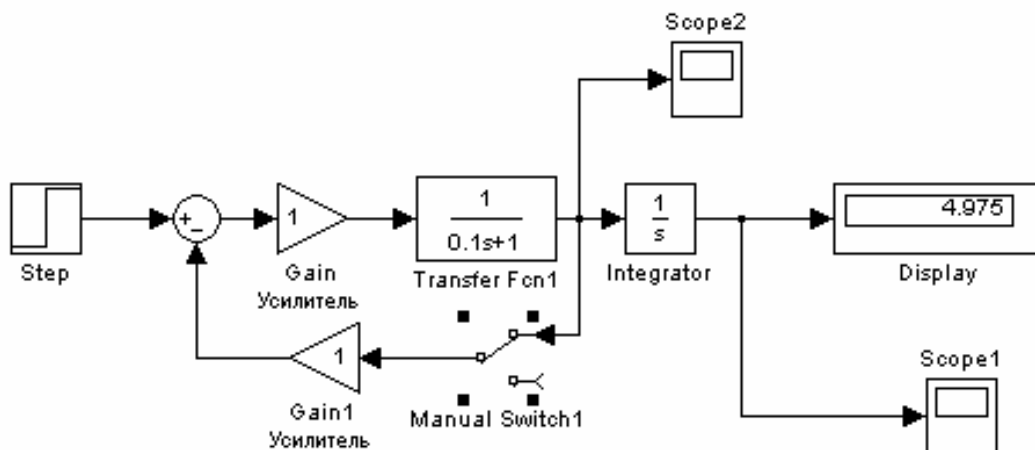


Рис. 3. Схема набору

Задаючи три значення постійної часу аперіодичної ланки в діапазоні $0,1 \dots 1$ с, визначити ці постійні часу графічним методом. Вивчити вплив коефіцієнта підсилення підсилювача в прямому ланцюзі на перехідні процеси по швидкості і куту. Переконайтеся в дієвості методики графічного визначення постійної часу.

2. Замкнути зворотний зв'язок на схемі рис. 3. Задаючи при незмінному коефіцієнті підсилення в прямому ланцюзі три значення коефіцієнта підсилення підсилювача зворотного зв'язку, визначити його вплив на постійну ча-

су ланцюга і рівень вихідного сигналу.

3. Увести у зворотний зв'язок схеми рис. 3 аперіодичну ланку, вивчити вплив постійної часу тахогенератора на перехідні процеси по кутовій швидкості і куту. Постійну часу тахогенератора змінювати в межах 0,01...0,005 с.

4. Замінивши блок “Step” на блок “Sine Wave”, дослідити вплив постійної часу прямого ланцюга на фазовий зсув і амплітуду вихідного сигналу.

5. Змінюючи в діапазоні 0,1...100 Гц частоту сигналу, що генерується блоком “Sine Wave”, побудувати амплітудно – частотну та фазо – частотну характеристики прямого ланцюга.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені схеми проведення дослідів, необхідні таблиці і графіки перехідних процесів, висновки по роботі.

V. Контрольні питання

1. Двофазний симетричний асинхронний виконавчий двигун з фазовим керуванням при живленні обмотки збудження напругою $U_B = U_m \sin \omega t$ і обмотки керування напругою $U_Y = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$ обертається зі швидкістю холостого ходу ω_0 . Який фазовий зсув напруги керування стосовно напруги збудження необхідно забезпечити, щоб швидкість зменшилася в два рази?

2. Визначити електромеханічну постійну часу двигуна АД-25В за наступними його паспортними даними: номінальна швидкість $n_H = 4000$ об/хв, пусковий момент $M_H = 3,5 \cdot 10^{-3}$ Нм, номінальний момент $M_H = 1 \cdot 10^{-3}$ Нм, момент інерції ротора $J_p = 2,25 \cdot 10^{-7}$ кгм².

3. Двофазний симетричний асинхронний виконавчий двигун розрахований на роботу при амплітуді напруги живлення обох обмоток 36 В. При фазовому зсуві цих напруг у 90° швидкість холостого ходу n_0 . У скільки разів зменшиться швидкість цього двигуна при підключенні його до трифазної мережі (без проміжних елементів) з амплітудою напруги 36 В и без зміни інших умов роботи?

4. Чому дорівнює час розгону ненавантаженого електродвигуна до сталої швидкості обертання (з погрішністю 5%) при стрибкоподібному включенні номінальної напруги живлення, якщо його електромеханічна постійна часу $T_M = 0,06$ с?

5. Двигун постійного струму має наступні характеристики: момент інерції ротора $J_p = 10^{-6}$ кгм²; пусковий момент $M_H = 0,01$ Нм; швидкість холостого ходу $\omega_0 = 6000$ об/хв; опір якірної обмотки $R_J = 10$ Ом; індуктивність якірної обмотки $L_J = 0,01$ Гн. Чи можна передатну функцію по швидкості такого двигуна представити у виді аперіодичної ланки першого порядку?

6. Покажіть можливі передатні функції виконавчого двигуна як динамічної ланки системи керування.

7. Як зміниться передатна функція виконавчого двигуна, якщо охопити його зворотним зв'язком за допомогою тахогенератора? Визначте постійну

часу ланцюга при таких вихідних даних: $k_{\text{ТГ}}=0,1$ В/с, $k_{\text{ДВ}}=10$ с/В, $k_{\text{У}}=10$.

Список літератури.

1. Армeнский Е.В. Электрические микромашины. / Армeнский Е.В., Г.Б. Фалк. - М.: Высшая школа, 1985. - 231 с.
2. Кенио Т. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами. / Т. Кенио, С. Нагамори. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 181 с.
3. Степанковский Ю.В. Преобразующие устройства приборов. Т. 1. Электродвигатели (силовые микромашины). / Ю.В. Степанковский – К.: Корнійчук, 2002. - 207 с.

Лабораторна робота №7. Дослідження ферозондів

Мета роботи – дослідження ферозондів з поздовжнім збудженням
Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, аналізатор спектра, осцилограф.

I. Основні теоретичні відомості

Ферозондами (ФЗ) називаються магнітні елементи, для вимірювання напруженості зовнішніх магнітних полів (в основному постійних і повільно мінливих). Ферозондові пристрої застосовують у навігаційних системах, для розвідки корисних копалин, для вивчення магнітного поля Землі і космічного простору і т.д.

Як основні переваги ферозондів можна відзначити малий поріг чутливості, прийнятну для практичних цілей погрішність, високу надійність, простоту конструкції, малі габарити, масу і споживану потужність.

Ферозонд як чутливий елемент містить феромагнітний сердечник. Вихідна ЕРС у ньому (при постійному вимірюваному полі) виникає за рахунок зміни в часі (періодичної) магнітної проникності сердечника, виконаного з високоякісного магнітом'якого матеріалу. Ця зміна досягається магнітним впливом на сердечник за допомогою обмоток збудження, підключених до джерела змінного струму.

Ферозонди відрізняються один від одного режимом роботи, способом накладення допоміжного поля, схемою і конструктивним виконанням.

Найбільш проста схема ферозонда, виконана на одному сердечнику, приведена на рис. 1,а. Тут $w_{з1}$ і $w_{з2}$ – обмотки збудження, включені зустріч-

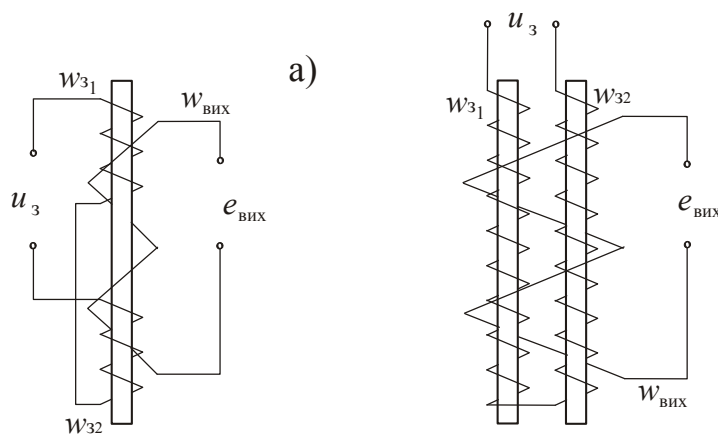


Рис. 1. Схеми ферозондів

но, $w_{вих}$ – вихідна (сигнальна) обмотка. Сердечник ферозонда виконується із залізонікелевого сплаву - пермалоя, що має дуже високу магнітну проникність.

Зустрічне включення обмоток збудження, розташованих симетрично щодо середини сердечника, забезпечує розв'язку ланцюгів збудження і виходу, і дозволяє звести до

мінімуму величину вихідної напруги під час відсутності зовнішнього поля.

При подачі в обмотки збудження змінної напруги $u_z = u_{zm} \sin \omega t$ магнітна проникність сердечника стає функцією часу, відповідно періодично змінюється індуктивність вихідної обмотки. При цьому, відповідно до закону електромагнітної індукції, при наявності зовнішнього поля (наприклад, магнітного поля Землі) у ній виникає електрорушійна сила, пропорційна компоненті H_0 вимірюваного поля, яка збігається з поздовжньою віссю сердечни-

ка. При цьому вихідний корисний сигнал через нелінійність характеристики $B = B(H)$ сердечника, являє собою суму парних (стосовно частоти збудження) гармонік, амплітуда яких пропорційна напруженості вимірюваного поля:

$$\sum_{n=1}^{\infty} e_{2n} = H_0 \sin \theta \sum_{n=1}^{\infty} k_{2n} \sin 2\omega t, \quad (1)$$

де $H_0 \sin \theta$ - проекція вектора напруженості вимірюваного поля на вісь чутливості ФЗ (його витягнуту вісь).

Амплітуди парних гармонік вихідного сигналу k_{2n} є функціями параметрів обмоток, напруги збудження і характеристик феромагнітного сердечника; при цьому $k_{2n} \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$ і найбільшу амплітуду має друга гармоніка, крутість якої для сучасних ферозондів становить 20...30 мкВ/γ. Тому для використання ферозондів потрібен вибірний підсилювач, настроєний на частоту другої гармоніки. Після фільтрації вихідний сигнал ФЗ буде

$$e_2 = H_0 \sin \theta \cdot k_2 \sin 2\omega t. \quad (2)$$

Вираз (1) може мати місце тільки при строгій ідентичності первинних обмоток і сердечників. На практиці спектр вихідного сигналу ферозонда являє собою суму і парних, і непарних гармонік. При цьому непарні гармоніки не несуть інформації про зовнішнє магнітне поле, тобто є перешкодою.

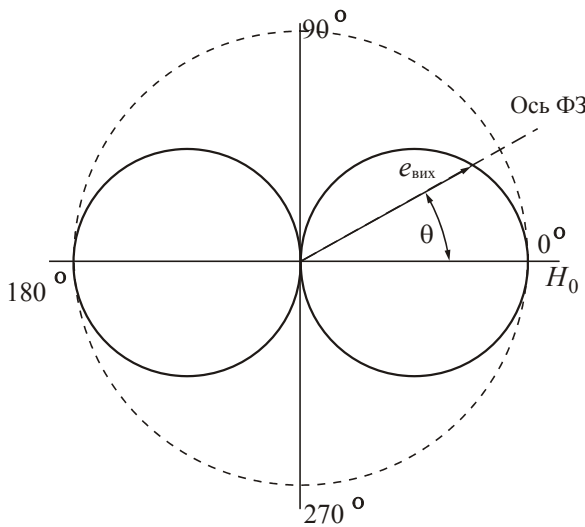


Рис. 2. Діаграма спрямованості

Недоліком ФЗ, що використовує один сердечник, є досить велика погрішність виміру, обумовлена тим, що в середньому перетині сердечника відсутнє змінне магнітне поле. Тому найпоширенішою практичною схемою ферозонда є схема, виконана на двох сердечниках (рис. 1,б). У цій схемі розташовані строго паралельно сердечники мають роздільні обмотки збудження, включені зустрічно щодо однієї загальної, що охоплює обидва сердечники, сигнальної обмотки.

Потужність збудження, необхідна для роботи ферозонда, становить 50...100 мВт, а поріг їхньої чут-

ливості при вимірюванні постійних полів – одиниці γ.

За принципом своєї роботи ферозонд є компонентним вимірювачем, тобто, він вимірює тільки проекцію вектора напруженості магнітного поля на вісь своєї чутливості (див. також вираз 1). На рис. 2 представлена так звана діаграма спрямованості ферозонда – побудована в полярних координатах залежність амплітуди вихідного сигналу від кута між віссю чутливості ФЗ і напрямком вектора напруженості вимірюваного постійного поля θ .

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка виконана на основі індукційного датчика курсової системи "Гребінь" і містить у собі:

- двофазний індукційний датчик типу ИД-6, змонтований на алюмінієвій штанзі, встановлений на поворотному столі;
- звуковий генератор;
- пульт;
- аналого - цифровий перетворювач (АЦП);
- комп'ютер.

Індукційний датчик включає два взаємно перпендикулярних диференціальних ферозонда, розташованих на горизонтованій за допомогою фізичного маятника площадці. Для зменшення погрішностей датчика всі його елементи, крім ферозондів, виконані з немагнітних матеріалів, а маятник задемпфований шляхом поміщення в рідину. При установці на літальному апараті вісь чутливості одного ФЗ сполучається з поздовжньою віссю об'єкта, а вісь іншого - з поперечною віссю.

Для подачі вхідної напруги збудження на ФЗ і зняття вихідних сигналів ферозондів використовується пульт.

Для збудження ферозондів використовується напруга від звукового генератора. Напруга збудження повинна бути 5 В, частотою 2250 Гц.

Як прилад, що реєструє вихідний сигнал ферозондів, використовується аналого - цифровий перетворювач АЦП m-DAQ 14, що дозволяє провести аналіз складного в спектральному відношенні сигналу ФЗ на ЕОМ.

Вихідний сигнал ферозонда подається на роз'єм АЦП, що з'єднується з ЕОМ через шину USB. При правильному з'єднанні АЦП на ньому загоряється світловий індикатор.

Програмний інтерфейс аналізу вихідних сигналів ФЗ ADC Application.exe. представлений на рис. 3.

У графічному вікні на 3 рис. 3 відображається сигнал з вихідної обмот-

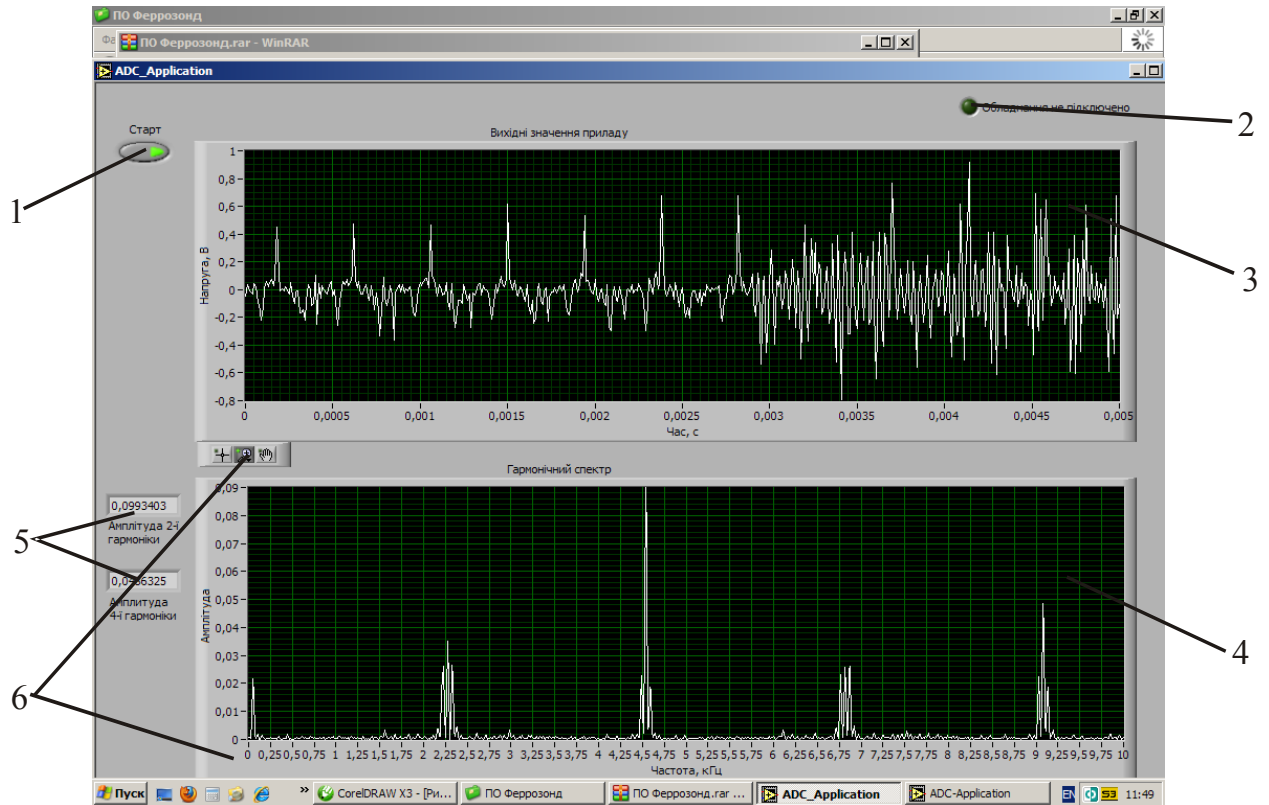


Рис. 3. Програмний інтерфейс аналізу сигналів ФЗ

ки ферозонда. У графічному вікні 4 відображаються амплітуди перших чотирьох гармонік вихідного сигналу із вказівкою відповідної частоти гармоніки. Індикатори 5 відображають максимальні значення 2-ї і 4-ї гармонік. Для збереження зображення сигналу необхідно натиснути на графічному вікні 3 або 4 правою клавішею мишки і вибрати Export Simplified Image...; вибрати тип файлу, вказати каталог і ім'я файлу.

III. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією приладу, лабораторною установкою і програмним забезпеченням.

2. Підключити АЦП до комп'ютера. Підключити обмотки збудження ферозондів до напруги 5 В, 2250 Гц через пульт, а сигнальні обмотки ФЗ до входу АЦП через пульт. Переконайтеся, що сигнальна лампа на АЦП горить.

3. Загрузити файл ADC Application.exe.

4. Нажавши клавішу «Старт» (1 на рис. 3), почати зчитувати вихідний сигнал одного ферозонда.

5. Повертаючи поворотний стіл на кут 360° з дискретністю 15° , послідовно вимірювати амплітуди перших чотирьох гармонік вихідного сигналу ФЗ.

В області малих значень сигналу виміри слід проводити з меншою дискретністю і знайти кут, при якому сигнал мінімальний.

6. Повторити п. 5 для другого ферозонда.

7. Окремо для кожної гармоніки побудувати діаграму спрямованості. При цьому слід проводити графічне згладжування графіків.

8. Розглянути зміну сигналу при внесенні в зону датчика феромагнітних мас.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені електрична схема датчика, отримані таблиці, графіки і діаграми, висновки по роботі і перелік приладів, використаних при вимірюванні.

V. Контрольні питання

1. Яку форму має вихідний сигнал ферозонда?
2. Чому у вихідному сигналі ферозонда є присутньою перша гармоніка?
3. Чим визначається поріг чутливості ферозонда і як можна його зменшити?
4. Чи можна побудувати індукційний компас на одному ферозонді?
5. Поясніть, яку діаграму спрямованості має ферозонд.
6. Як за допомогою ферозонда виміряти повний вектор напруженості магнітного поля Землі?
7. Чому при внесенні в зону ферозонду феромагнітних мас суттєво змінюється його вихідний сигнал?

Список літератури.

1. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. / В.П. Миловзоров. - М.: Высшая школа, 1974. - 416 с.

Лабораторна робота №8. Дослідження статичних тягових характеристик силового електромагніта

Мета роботи – ознайомлення з електромагнітами і методами визначення їх основних параметрів.

Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, джерело постійного струму, амперметр, вольтметр.

I. Короткі теоретичні відомості

У системах автоматичного керування летальними апаратами широко застосовуються електромагніти як елементи силового дистанційного привода, що перетворюють електричну енергію в механічну. Електромагніти (ЕМ) використовуються також у релейних пристроях, що перемикають різні електричні ланцюги.

В залежності від характеру руху рухомого елемента (якоря) електромагніти поділяються на утяжні і поворотні. Утяжний електромагніт складається з наступних основних елементів (рис. 1): корпусу (ярма) 1, рухомого якоря 2,

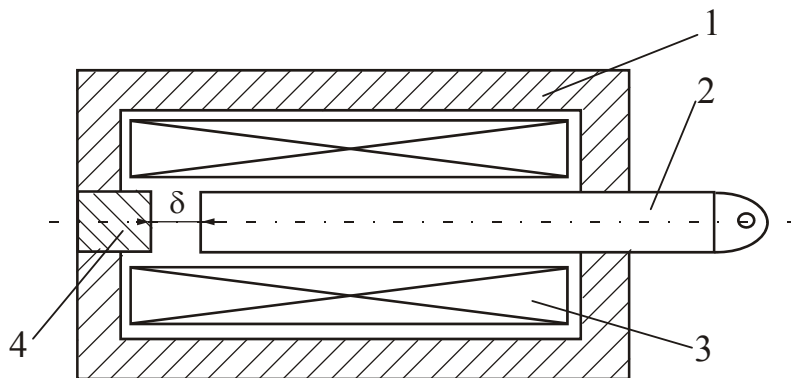


Рис. 1. Конструкція електромагніту

двох кришок, що утворюють магнітопровід, за звичай виконаний з магнітом'якої стали. Між якорем і стопом (сердечником) 4 задньої кришки є повітряний робочий зазор δ . При протіканні струму по обмотці 3 електромагніту створюється магнітний потік Φ , що проходить по магнітопроводу, паразитному $\delta_{\text{п}}$ і робочому повітряному δ зазорам.

В останньому створюється електромагнітна сила $F_{\text{э}}$, що прагне притягти якір електромагніта до стопу.

У знеструмленому стані якір 2 відводиться в крайнє праве положення пружиною (на рис. 1 не показана). При досягненні струмом в обмотці значення струму спрацьовування $I_{\text{сп}}$ якір притягається до сердечника, надаючи руху пов'язаним з ним пристроєм.

Електромагнітне зусилля визначається залежністю

$$F_E \approx k \frac{(Iw)^2}{\delta^2}, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей електромагніта; I - струм в обмотці; w - кількість витків обмотки; δ - зазор.

З виразу (1) видно, що електромагнітне зусилля залежить від квадрата струму, тому воно не залежить від напрямку струму. При роботі на змінному струмі в обидва напівперіоди зусилля спрямоване у бік зменшення зазору.

Середнє значення цього зусилля пропорційно квадрату діючого значення струму, що протікає по обмотці.

Статичною тяговою характеристикою називається залежність електромагнітної сили притягання F_E , що розвиває електромагніт, від переміщення якоря δ при струмі в обмотці $I = const$.

Якщо змінювати струм, то кожному новому його постійному значенню буде відповідати своя статична тягова характеристика. Сімейство статичних тягових характеристик для одного з типів електромагніта зображене на рис.

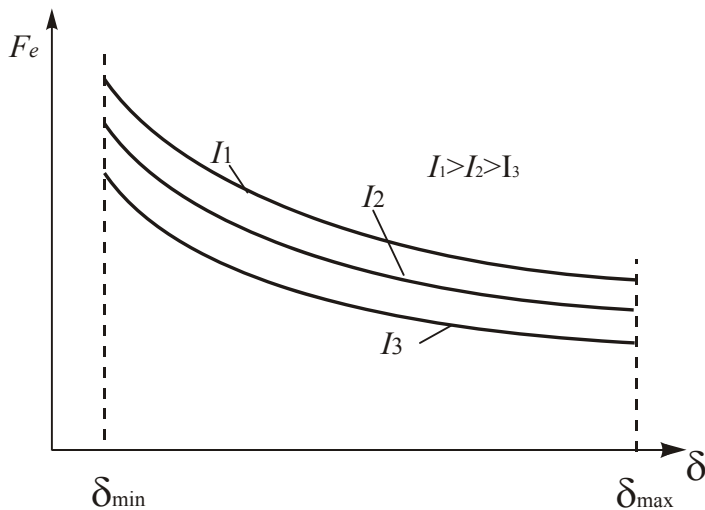


Рис. 2. Статична тягова характеристика

механічних сил (або моментів), подоланих під час руху якоря, у функції ходу,

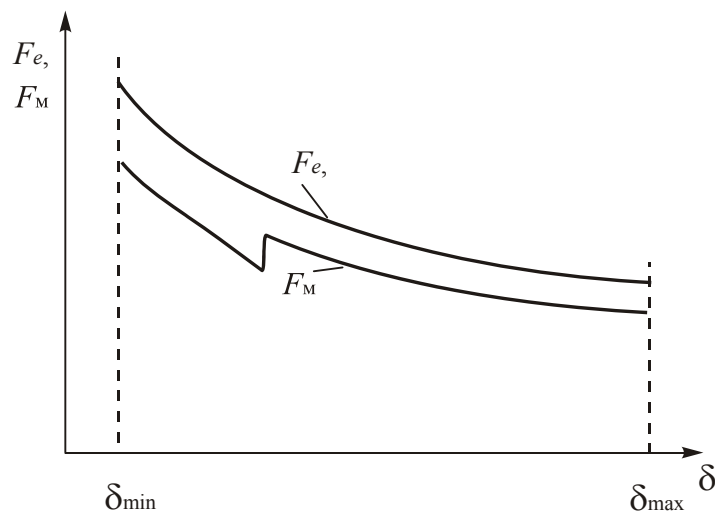


Рис.3. Узгоджені механічна і тягова характеристики

ною характеристикою механізму, показаний на рис. .3

Розглянуті електромагніти нечутливі до напрямку струму в обмотці і називаються нейтральними. Електромагніти, чутливі до напрямку струму в обмотці, називаються поляризованими. Їхня поляризація здійснюється вве-

2. Від статичної тягової характеристики варто відрізнити динамічну тягову характеристику, що характеризує електромагнітну силу притягання під час руху якоря електромагніта.

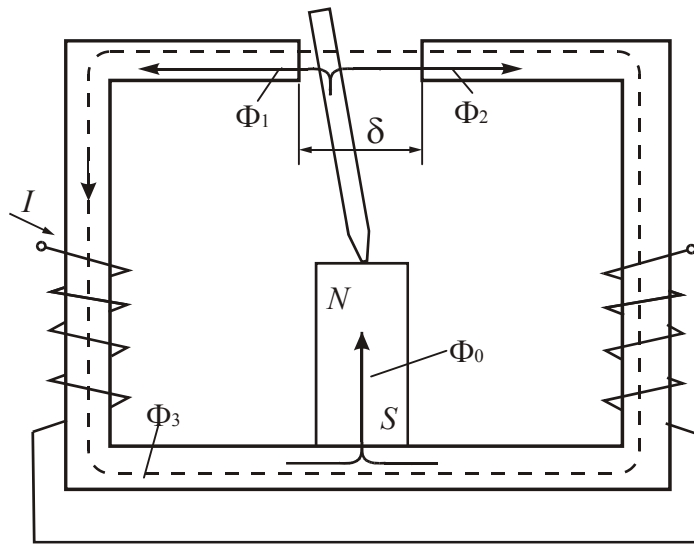
Вигляд статичної тягової характеристики для електромагніта, зображеного на рис. 1, істотно залежить також від кута заточення стопа і п'яти якоря.

При русі якоря долаються сили опору, створювані реальним механізмом. Залежність механічних сил (або моментів), подоланих під час руху якоря, у функції ходу, називається механічною характеристикою електромагніта: $F_M = F_M(\delta)$.

Вид механічної характеристики залежить від конструктивних особливостей механізму, що приводиться у дію електромагнітом. Для надійної роботи електромагніта необхідно погодити механічну і тягову характеристики так, щоб остання була розташована вище механічної. Приклад статичної тягової характеристики електромагніта, погодженої з механі-

денням у конструкцію постійного магніту.

У цьому випадку по магнітопроводу поляризованого ЕМ (рис. 4) можуть протікати потік Φ_3 від обмоток, обтічних електричним струмом, і потік Φ_0 від постійного магніту. Якір переміщається в зазорі залежно від сумарної дії цих потоків.



дії цих потоків.

Поляризовані магніти можуть бути трьох типів настроювання. Реле на рис. 4 є двопозиційним. Його якір залежно від полярності струму в обмотці переходить в одне із двох крайніх положень і залишається там після припинення струму в обмотці.

Рис. 4. Схема поляризованого ЕМ

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить досліджуваний електромагніт утяжного типу, динамометр і амперметр. Для установки заданого зазору є латунний мікрогвинт, закріплений на кронштейні. Величина виставленого зазору контролюється лінійкою.

Для виміру величини зусилля, створюваного ЕМ при конкретному зазорі і струмі, необхідно виставити зазор, підключити магніт до джерела живлення, відпустити пружину динамометра за допомогою відповідної гайки, тим самим давши можливість якору зайняти положення із заданим зазором. Після цього необхідно обертати гайку динамометра до моменту відриву якора зусиллям пружини і визначити по шкалі динамометра зусилля електромагніта.

III. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкціями і принципом дії електромагнітів.
 2. Зняти і побудувати сімейство статичних тягових характеристик $F_E = F_E(\delta)$ при різних струмах в обмотці електромагніта.
 3. Зняти і побудувати сімейство характеристик $F_E = F_E(I)$ при різних зазорах.
 4. Повторити зазначені в пп. 2, 3 вимірювання тричі і усереднити отримані результати.
 5. Зробити висновки за результатами роботи.
- Вимірювання рекомендується проводити для трьох значень зазору -

$\delta_1 = 0$ мм, $\delta_2 = 1$ мм і $\delta_3 = 2$ мм. Діапазон зміни струму в обмотці ЕМ визначається можливостями динамометра.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути наведені отримані таблиці, графіки $F_E = F_E(\delta)$ при різних струмах в обмотці електромагніта, графіки $F_E = F_E(I)$ при різних зазорах, а також висновки по роботі.

V. Контрольні питання

1. Який конструктивний захід дозволяє зробити електромагніт чутливим до напрямку струму в обмотці?
2. Поясніть роботу електромагніта при живленні його від джерела змінного струму.
3. Де застосовуються електромагніти?
4. Чому повинні бути погоджені механічна і тягова характеристики електромагніта?

Список літератури.

1. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. / В.П. Миловзоров. - М.: Высшая школа, 1974. - 416 с.
2. Буль Б.К. Электромеханические аппараты автоматики. / Б.К. Буль, О.Б. Буль, В.А. Азанов. - М.: Высшая школа, 1988. - 303 с.

Лабораторна робота № 9. Дослідження електромагнітних реле

Мета роботи: ознайомлення з конструкціями і схемами включення електромагнітних реле, набуття навичок експериментального визначення їхніх характеристик.

Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, джерело постійного струму, вольтметр, амперметр, генератор звукової частоти, частотомір – хронометр.

I. Основні теоретичні відомості

Реле - це пристрій, у якому при досягненні вхідною величиною певного значення стрибкоподібно змінюється вихідна величина.

В залежності від того, на яке фізичне явище реагує сприймаюча система, реле бувають електромагнітні, оптичні, хімічні, механічні, пневматичні і ін.

Реле використовуються для керування режимами роботи апаратури або окремих її блоків, систем, пристроїв, приладів і елементів, а також для посилення, перетворення, контролю, запам'ятовування, кодування і т.п.

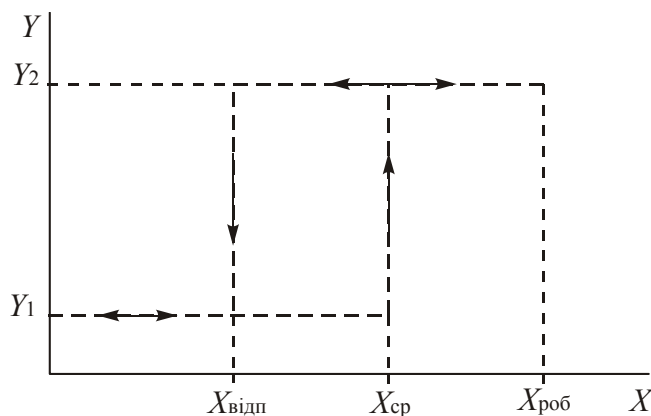


Рис. 1. Характеристика реле

Типова характеристика реле показана на рис. 1. Зміна вхідної величини X від 0 до $X_{ср}$ не змінює вихідну величину Y , що залишається постійною і рівною Y_1 (найчастіше нулю). У момент, коли вхідна величина стане рівної $X_{ср}$, вихідна величина стрибком зміниться від Y_1 до Y_2 . Це явище називається спрацюванням реле, а відповідне значення вхідної величини – величиною спрацювання.

Подальша зміна вхідної величини не викликає зміни вихідної величини. Вона залишається рівною Y_2 .

При зменшенні вхідної величини до $X_{отп}$ вихідна величина залишається рівною Y_2 . Досягнення вхідною величиною значення $X_{отп}$ призводить до стрибкоподібної зміни вихідної величини від Y_2 до Y_1 . Це явище зветься відпускання реле, а відповідне значення $X_{отп}$ - величиною відпускання. При зменшенні X до нуля значення Y залишається рівним Y_1 .

Електромагнітні реле являють собою сполучення електромагніта і контактної групи для стрибкоподібного керування електричними ланцюгами шляхом їхнього замикання і розмикання. При цьому в обмотку електромагніта подається сигнал керування.

В залежності від типу електромагніта, використовуваного в конструкції реле, розрізняють нейтральні і поляризовані реле. Перші не реагують на по-

лярність вхідного сигналу, поляризовані реле - реагують.

Електромагнітні реле по роду струму живлення поділяються на реле постійного струму і реле змінного струму.

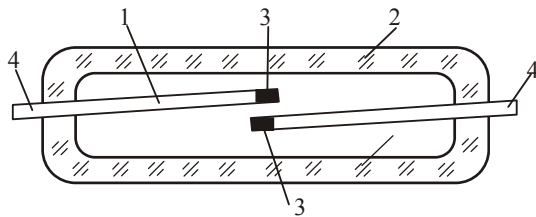


Рис 2. Геркон

Геркони (герметизовані контакти) або магнітокервані контакти являють собою (рис. 2) дві пластинки з пермалю (магніт'якого матеріалу) 1, упаяних у колбочку (скляну трубочку) 2. Пластинки виконують одночасно роль магнітопроводу і контактних пружин, а їхні кінці 3 є контактами. Простір усередині колбочок заповнено азотом або інертним газом. До зовнішніх кінців 4 пластинок припаюються проводи.

Пластинки в колбочці впаяні так, що в нормальному положенні контакти розімкнуті. Якщо геркон помістити в магнітне поле, спрямоване уздовж пластинок, то в повітряному зазорі між контактами виникне електромагнітне зусилля. Контакти замкнуться, якщо це зусилля більше механічних сил пружності пластинок.

Магнітне поле, яке управляє контактами, створюється струмами в обмотці, що представляє собою соленоїд, усередині якого поміщений геркон.

Герконові реле, подібно звичайним, можна виконати нейтральними і поляризованими, а також замикаючими, розмикальними і перемикаючими. Великими перевагами герконових реле є висока надійність комутації в будь-якому середовищі і тривалий термін служби (до $10^8 - 10^9$ спрацьовувань).

Сучасні мініатюрні електромагнітні реле призначені для комутації струмів у діапазоні від 1 мкА до 5 А и напруг від 10 мВ до 250 В.

Найбільш важким режимом роботи контактів реле є розмикання ланцюга постійного струму з індуктивністю. При цьому різниця потенціалів між

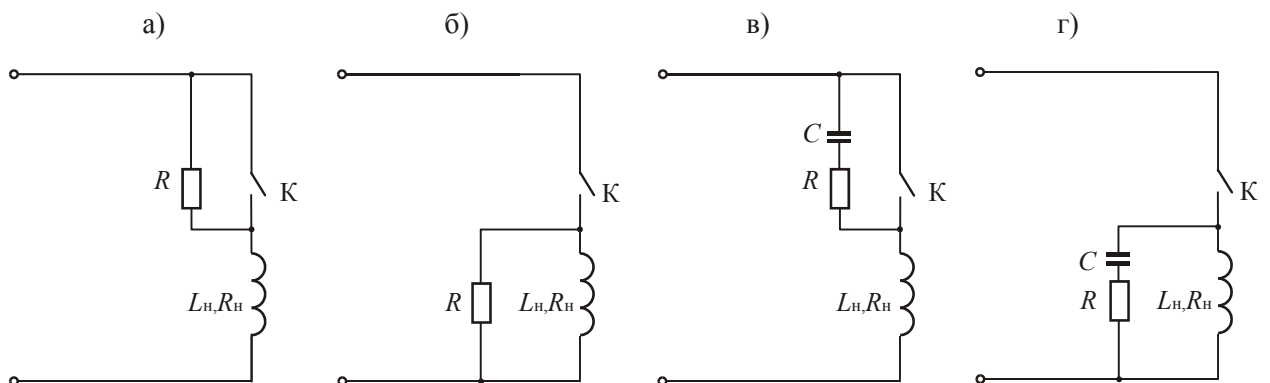


Рис. 3. Схеми іскрогасіння

контактами може досягати тисяч вольтів навіть при робочій напрузі в 27 В. Це призведе до іскріння і швидкого зношування контактів. Для запобігання цього явища застосовують схеми іскрогасіння, показані на рис. 3. Тут прийняті позначення: L_H, R_H - індуктивність і активний опір навантаження відпо-

відно; C - конденсатор; R - активний опір.

Відношення величини відпускання реле до величини спрацьовування називається коефіцієнтом повернення реле:

$$k_B = \frac{X_{\text{отп}}}{X_{\text{сп}}}.$$

Під величинами відпускання і спрацьовування можна розуміти струм, напругу або потужність.

У даній лабораторній роботі досліджуються електромагнітні реле трьох типів - нейтральні (НР), поляризовані (ПР) і реле з магнітокерованими контактами (герконами).

II. Опис лабораторної установки

Схема лабораторної установки представлена на рис. 4. У її склад входить три типи реле – Р1 нейтральне (НР) типу РЕС-48, Р2 герконове (ГР) типу РЕС-82 і Р3 поляризоване (ПР) типу РПС32-Б-ОС. Міліамперметр мА і вольтметр V служать для виміру напруги, підведеного до обмотки, і струму,

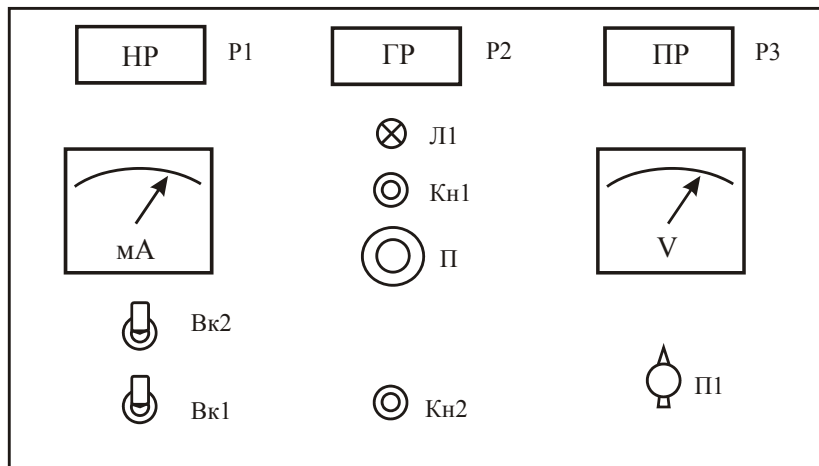


Рис. 4. Схема лабораторної установки

що протікає по обмотці. Перемикач П1 служить для підключення до схеми відповідного реле. Сигнальна лампочка Л1 служить для сигналізації спрацьовування реле. Тумблер Вк1 підключає до лабораторної установки джерело постійного струму ($=28$ В) і генератор звукової частоти (ГЗЧ). Тумблер Вк2 визначає вимір, що проводиться – потужності спрацьовування і відпускання ($P_{\text{сп}}$ $P_{\text{отп}}$) і часу спрацьовування ($t_{\text{сп}}$). Кнопка Кн2 подає імпульс струму в обмотку випробуваного реле при вимірюванні часу його спрацьовування, а кнопка Кн1 дозволяє повернути поляризоване реле при вимірюванні часу його спрацьовування у вихідний стан. Потенціометр П дозволяє плавно змінювати струм в обмотці досліджуваного реле при вимірюванні струму спрацьовування і відпускання.

III. Порядок виконання роботи

1. Підключити установку до джерела постійного струму, визначити струми, напруги і потужності спрацьовування і відпускання реле всіх типів. При цьому за допомогою потенціометра П необхідно плавно змінювати струм в обмотці досліджуваного реле. Сигналом про те, що реле спрацювало, є загоряння лампочки Л1.

2. За допомогою частотоміра - хронометра визначити час спрацьовування реле всіх типів.

3. Підключивши установку до генератора звукової частоти і плавно збільшуючи частоту сигналу, визначити максимальну частоту спрацьовування реле всіх типів.

IV. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені таблиці з дослідними даними, схеми включення реле і висновки по роботі.

V. Контрольні питання

1. Яка частота перемикання реле при живленні його від генератора звукової частоти?
2. Чим визначається потужність спрацьовування реле?
3. Чим визначається час спрацьовування реле?
4. Де використовуються електромагнітні реле?
5. Назвіть основні переваги і недоліки електромагнітних реле.

Список літератури.

1. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. / В.П. Миловзоров. - М.: Высшая школа, 1974. - 416 с.
2. Буль Б.К. Электромеханические аппараты автоматики. / Б.К. Буль, О.Б. Буль, В.А. Азанов. - М.: Высшая школа, 1988. – 303 с.

Лабораторна робота №10. Дослідження динамічних процесів перемагнічування феромагнітних сердечників

Мета роботи: ознайомлення з магнітними властивостями феромагнітних матеріалів і методів одержання кривих намагнічування.

Устаткування, вимірювальні прилади та інструменти: лабораторна установка, вольтметр, амперметр, генератор звукової частоти, осцилограф.

I. Короткі теоретичні відомості

Динамічні процеси перемагнічування феромагнітних сердечників розглядають при перемагнічуванні їх змінним струмом або в імпульсних полях.

У даній роботі досліджуються динамічні характеристики сердечників у режимі змінного намагнічування при періодичній зміні напруженості зовнішнього поля від позитивного до негативного значення, при цьому залежність $B = B(H)$ приймає вид петлі гістерезису (рис. 1).

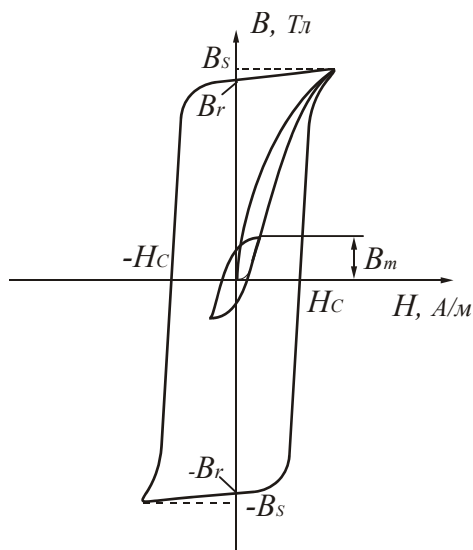


Рис.1. Петля гістерезису

Феромагнетики характеризуються параметрами, які можуть бути однозначно і безпосередньо виміряні. Цими параметрами є:

- індукція насичення B_s ;
- залишкова індукція B_r ;
- індукція при заданій напруженості поля B_m ;
- коерцитивна сила H_c .

Відношення магнітної індукції B до напруженості поля H визна-

чає абсолютну магнітну проникність

$$\mu_a = B/H, \quad (1)$$

яку можна представити у вигляді добутку

$$\mu_a = \mu_0 \mu, \quad (2)$$

де μ_0 - абсолютна магнітна проникність вакууму; μ - відносна магнітна проникність, безрозмірна, що не залежить від вибору системи одиниць.

Значення μ_0 й μ_a залежать від вибору системи одиниць.

Якщо сердечник намагнічується по часткових циклах, то крива, що проходить через вершини симетричних петель гістерезису, називається основною кривою намагнічування (рис. 1).

Від основної кривої намагнічування варто відрізнити первісну криву намагнічування, одержувану при намагнічуванні попередньо розмагніченого зразка.

Часто при розрахунках користуються середньою кривою намагнічування, що може бути побудована за наступним правилом:

при визначенні величини індукції напруженість поля для середньої

кривої намагнічування може бути визначена як середнє між значеннями напруженостей для висхідної $\vec{H}(B)$ і спадної $\vec{H}(B)$ гілок петлі гістерезису (рис. 1)

$$H'(B) = \frac{\vec{H}(B) + \bar{H}(B)}{2}. \quad (3)$$

Величину $\mu(H)$ можна визначити, якщо задано основну криву намагнічування $B(H)$. Тому що $\mu_a = B/H$, то максимальна μ_{\max} і початкова μ_{\min} можуть бути виражені через тангенси кута нахилу дотичних до основної кривої намагнічування

$$\mu_{\max} = \frac{1}{\mu_0} \operatorname{tg} \alpha_1; \quad \mu_{\min} = \frac{1}{\mu_0} \operatorname{tg} \alpha_0.$$

Якщо залежність $\mu(H)$ будується по середній кривій намагнічування $B'(H)$, то початкова магнітна проникність $\mu_{\text{поч}}$ дорівнює її максимальному значенню μ_{\max} . Крутість окремих ділянок петлі гістерезису визначається диференціальною магнітною проникністю

$$\mu_{\partial} = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} \approx \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta B}{\Delta H}. \quad (4)$$

Повітряні зазори в магнітопроводі використовуються для зменшення залишкової намагніченості сердечника і для одержання більш лінійної залежності $B(H)$. Наявність стиків і повітряних зазорів призводить до значного зменшення магнітної проникності.

Осцилографічні методи вимірювання петлі гістерезису дають можливість візуального спостереження динамічної петлі в широкому діапазоні частот, а також дозволяють оцінити вплив на характеристики феромагнітних сердечників різних факторів: повітряних зазорів, деформації магнітопроводу і т.п.

Розглянемо схему, представлену на рис. 2. При протіканні струму по первинній обмотці, що намагнічує w_1 , на вторинній обмотці w_2 наводиться ЕРС, миттєве значення якої визначається за законом електромагнітної індукції

$$e_2 = w_2 \frac{d\Phi}{dt} = w_2 S_2 \frac{dB}{dt}.$$

Напруга на конденсаторі C за умови, що $R_2 \gg \frac{1}{\omega C}$, де ω - частота напруги живлення, може бути записане у вигляді

$$U_c = \frac{1}{C} \int_0^t i_2 dt = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{l_2}{R_2} dt = \frac{1}{R_2 C} \int_0^t w_2 S_c \frac{dB}{dt} dt,$$

звідки

$$B = \frac{U_c R_2 C}{w_2 S_2}. \quad (8)$$

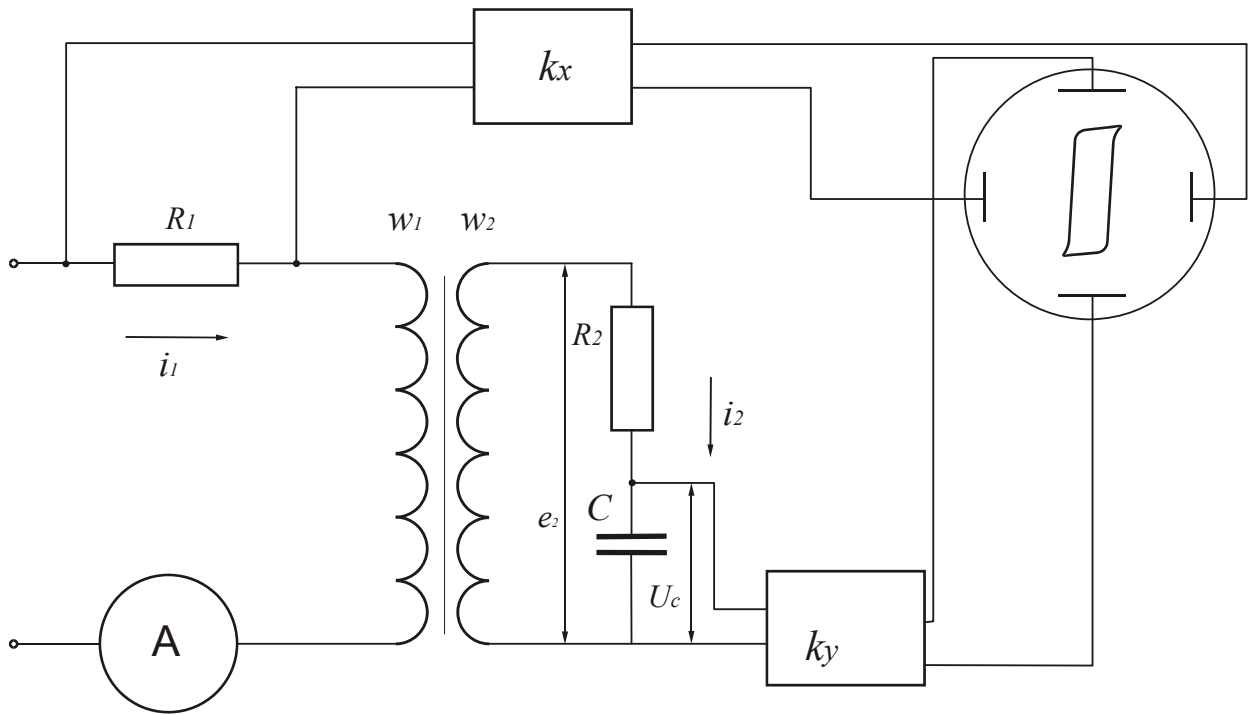


Рис. 2. Схема установки

З виразу (8) витікає, що напруга на конденсаторі пропорційно індукції в сердечнику.

Послідовно з обмоткою, що намагнічує, включений опір R_1 , спадання напруги на якому пропорційно струму, що намагнічує, а значить і напруженості поля в сердечнику.

Осцилографічним методом можна зняти і залежність диференціальної магнітної проникності матеріалу сердечника $\mu_\partial = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH}$ від напруженості магнітного поля, тобто $\mu_\partial(H)$. У цьому випадку на вертикальні пластини осцилографа подається ЕРС, що наводиться у вимірювальній обмотці w_2

$$e_2 = w_2 S_c \frac{dB}{dt} = w_2 S_2 \frac{dB}{dH} \frac{dH}{dt} = w_2 S_2 \frac{dH}{dt} \mu_0 \mu_\partial.$$

У випадку, коли $dH/dt = const$, ЕРС e_2 буде пропорційна μ_∂ . Якщо струм, що намагнічує, а отже, і напруженість поля мають форму синусоїди, то

$$H = H_m \sin \omega t = \frac{I_m w_1}{l_c} \sin \omega t. \quad (9)$$

Умова $dH/dt = const$ виконується, якщо амплітуда напруженості настільки велика, що сердечник насичується при малих значеннях кута ωt , для яких можна записати умову (9).

Тоді

$$\frac{dH}{dt} = H_m \omega = \frac{I_{m1} w_1}{l_c} \omega = const.$$

Отже

$$e_2 = w_2 S_2 \frac{I_{m1} w_1}{l_c} \omega \mu_0 \mu_\delta. \quad (10)$$

Залежність $\mu_\delta(H)$ може бути побудована з великою точністю, якщо струм, що намагнічує, буде мати пилкоподібну форму. У цьому випадку найбільш точно забезпечується рівність $dH/dt = const$.

II. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить у собі:

- лабораторний стенд, зібраний за схемою рис. 4, до якого підключений звуковий генератор ЗГ і електронний осцилограф. Досліджуваний сердечник підключається перемикачем «Сердечник»;
- звуковий генератор ЗГ, що змінює робочу частоту і амплітуду напруги на входній обмотці досліджуваного сердечника;
- електронний осцилограф, на екрані якого спостерігаються залежності $B(H)$ і $\mu(H)$;

III. Порядок виконання роботи

1. Перемикач $B - \mu$ перевести в положення B . Індукцію B_s і напруженість H_c визначити за формулами:

$$B_s = \frac{k U_{1\max}}{w_2 S_c}; \quad H_c = \frac{k U_{2\max}}{R l_c}.$$

Значення $U_{1\max}$ і $U_{2\max}$ визначаються по осцилографу.

Для розрахунку величин B_s і H_c необхідно використати наступні дані сердечників:

- замкнутого - $s_c = 16,5 \text{ мм}^2$; $l_c = 40,8 \text{ мм}$; $w_1 = 83$ витки; $w_2 = 170$ витків; $R = 4,7 \text{ Ом}$; $k = 0,893 \cdot 10^{-3}$;
- розімкнутого - $s_c = 13,5 \text{ мм}^2$; $l_c = 40,8 \text{ мм}$; $w_1 = 83$ витки; $w_2 = 170$ витків; $R = 4,7 \text{ Ом}$; $k = 0,893 \cdot 10^{-3}$.

2. Перемикач $B - \mu$ перевести в положення μ і спостерігати на екрані осцилографа залежність $\mu_\delta(H)$. Досліджувати вплив поля, що підмагнічує, на величину μ_δ .

IV. Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- короткі теоретичні відомості;
- схему лабораторної установки;
- залежності $B(H)$ і $\mu(H)$ з розрахованими значеннями B_s й H_c .
- висновки по роботі.

V. Контрольні питання

1. Якими параметрами характеризуються феромагнетики?
2. Що називається основною кривою намагнічування?
3. Яким чином впливають стики і немагнітні зазори на магнітну проникність?
4. У чому полягає сутність осцилографічного методу дослідження динамічних процесів перемагнічування феромагнітних сердечників?
5. Що таке відносна і абсолютна магнітні проникності?
6. По якій ознаці феромагнетики діляться на магнітом'яки і магнітотверди?

Список літератури.

1. Миловзоров В.П. Электромагнитные устройства автоматики. / В.П. Миловзоров. - М.: Высшая школа, 1974. - 416 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1. Методика визначення швидкості обертання ротора гіромотора в режимі вибігу за допомогою електронного осцилографа і звукового генератора

При вибігу ротора гіроскопічний двигун працює в режимі трифазного синхронного генератора, оскільки ротор завжди має невелику залишкову намагніченість. Частота ЕРС, що наводиться в статорних обмотках, дорівнює частоті обертання ротора.

Якщо при вимкненому розгорненні на вертикальний вхід електронного осцилографа подати напругу зі статорних обмоток гіромотора, що працює в режимі вибігу, а на горизонтальний вхід - напругу зі звукового генератора, то при рівності частот цих напруг на екрані можна спостерігати еліпс (рис. Д1), а домігшись рівності указаних напруг - коло.

Послідовно зменшуючи частоту сигналу зі звукового генератора, можна спостерігати на екрані еліпс кожного разу, коли буде мати рівність частот указаних вище напруг.

Для експериментального визначення кривих вибігу (побудові залежності кутової швидкості обертання ротора гіромотора від часу при виключеному живленні) рекомендується наступна послідовність дій:

1. При частоті напруги живлення 400 Гц установити на звуковому генераторі (ЗГ) частоту напруги 375 Гц.
2. Одночасно з вимиканням живлення гіромотора (ГМ) почати відлік часу за допомогою секундоміра.
3. З появою на екрані осцилографа (Осц) еліпса не виключаючи секундомір зробити першу позначку часу.
4. Установити на звуковому генераторі частоту напруги 350 Гц і, доче-

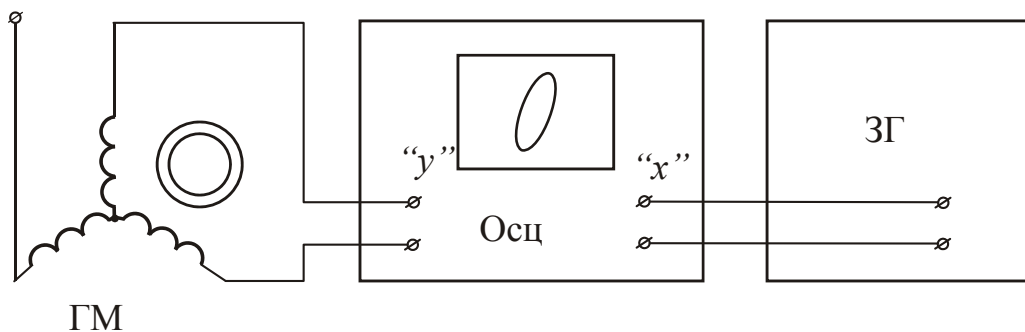


Рис. Д.1. Схема вимірювання швидкості

кавшись появи еліпса, знову зробити позначку часу.

5. Послідовно дискретно знижуючи частоту напруги звукового генератора і роблячи позначку часу з появою на екрані еліпса, зняти залежність частоти напруги, що генерується гіромотором, від часу.

6. Зробити перерахунок частоти в значення кутової швидкості в об/хв або 1/с і побудувати графік $\Omega = \Omega(t)$.

Додаток 2. Методика експериментального визначення моменту інерції ротора методом крутильних коливань

Для експериментального визначення моменту інерції ротора відносно деякої осі його необхідно підвісити на пружній струні так, щоб лінія підвісу являла собою продовження осі обертання, відносно якої необхідно визначити момент інерції. Після повороту на деякий кут і звільнення ротора він буде здійснювати крутильні коливання відносно осі підвісу.

Період крутильних коливань дорівнює

$$T = 2\pi\sqrt{J/k},$$

де J - шуканий момент інерції ротора; $k = EJ_p/l$ - жорсткість струни на крутіння; E - модуль пружності другого роду матеріалу струни; $J_p = \pi d^2/32$ - полярний момент інерції перетину струни; l - довжина струни; d - діаметр струни.

З цієї формули випливає

$$J = \frac{kT^2}{4\pi} = \frac{Ed^4}{128\pi l} T^2. \quad (1)$$

Щоб визначити величини E, d, l , що характеризують властивості струни, замість досліджуваного ротора можна підвісити еталонний ротор, момент інерції якого відомий. Виконуючи підвіс еталонного ротора, необхідно домогтися, щоб вільна довжина струни l не змінилася.

Еталонний ротор приводиться в стан крутильних коливань і визначається їхній період. Параметри струни залишилися незмінними, тому можна записати

$$J_0 = \frac{kT_0^2}{4\pi} = \frac{Ed^4}{128\pi l} T_0^2. \quad (2)$$

Розділивши рівняння (2) на рівняння (1), одержимо $T^2/T_0^2 = J/J_0$, відкіля

$$J = J_0 (T/T_0)^2.$$

Отримана формула є вихідною для експериментального визначення шуканого моменту інерції.

Якщо величина моменту інерції еталонного ротора J_0 невідома, то необхідно вимірити його масу m і радіус r , а потім обчислити по формулі $J_0 = mr^2/2$. Нагадаємо, що остання формула справедлива для визначення осьового моменту інерції суцільного циліндра.

Для визначення періоду крутильних коливань варто повернути ротор на кут $20...30^\circ$. Звільняючи його, необхідно одночасно почати відлік часу і рахувати число повних коливань. Потім по формулі $T = t/n$ визначити період крутильних коливань, де t - час, відлічений по секундоміру; n - число повних коливань ротора. Необхідно пам'ятати, що чим більше n , тим менше помилка у визначенні T . Для підвищення точності доцільно виміри зробити кілька разів і знайти середнє значення.

Додаток 3. Методика визначення моментів опору обертанню ротора гіромотора при вибігу

Рух ротора гіромотора при вибігу описується рівнянням

$$J\Omega^2/2 = M_c \cdot \varphi,$$

де M_c - момент сил опору; J, Ω, φ - момент інерції, кутова швидкість обертання і кут повороту ротора відповідно.

Рівняння руху ротора в інтервалі часу від t_1 до t_2 має вигляд

$$J\Omega_1^2/2 - J\Omega_2^2/2 = M_c \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} d\varphi \text{ або } J(\Omega_1^2 - \Omega_2^2) = 2M_c(\varphi_1 - \varphi_2), \text{ звідки}$$

$$M_c = \frac{J(\Omega_1^2 - \Omega_2^2)}{2(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

Запишемо вираз для моменту сил опору в такій формі

$$M_c = J \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} (\Omega_1 - \Omega_2) \frac{1}{\int_{t_2}^{t_1} \Omega dt}.$$

Із кривої вибігу (рис. Д.3) отримаємо:

$$\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} = MK; \quad \Omega_1 - \Omega_2 = AB; \quad \int_{t_2}^{t_1} \Omega dt = S_{ABt_2t_1} = MK(t_1 - t_2),$$

де AB, MK – відповідні відрізки на графіку рис. Д. 3.

З урахуванням уведених позначень вираз для моменту сил опору приймає вид

$$M_c = J \frac{AB}{(t_1 - t_2)} m, \quad (1)$$

де m - масштаб по осі ординат.

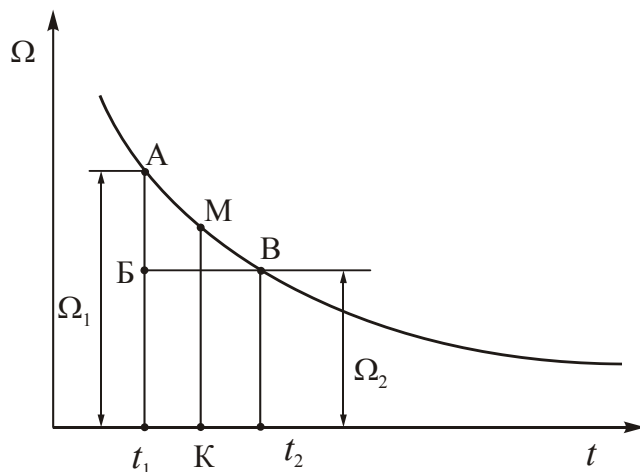


Рис. Д.3. Крива вибігу

При визначенні моменту сил опору обертанню ротора по кривій вибігу рекомендується наступна послідовність дій.

1. Прямими, паралельними осі ординат, розбити криву вибігу на ряд ділянок. При цьому інтервал часу однієї ділянки не повинен перевищувати 10...30 с.

2. Знаючи момент інерції ротора, інтервал часу ділянок, масштаб і, визначаючи відрізок AB для кожної ділянки, обчислити по формулі (1) величину мо-

менту сил опору для кожної ділянки.

3. Використовуючи результати обчислень пункту 2, побудувати залежність $M_c = f(\Omega)$.

Додаток 4. Методика визначення фазового зсуву двох напруг за допомогою електронного осцилографа

Спосіб визначення різниці фаз двох електричних напруг за допомогою електронного осцилографа полягає в розгляді фігури Ліссажу, утвореної на екрані осцилографа цими двома напругами. Для утворення фігури Ліссажу необхідно при вимкненому розгорненні осцилографа одну напругу подати на його вертикальний вхід, а другу - на горизонтальний.

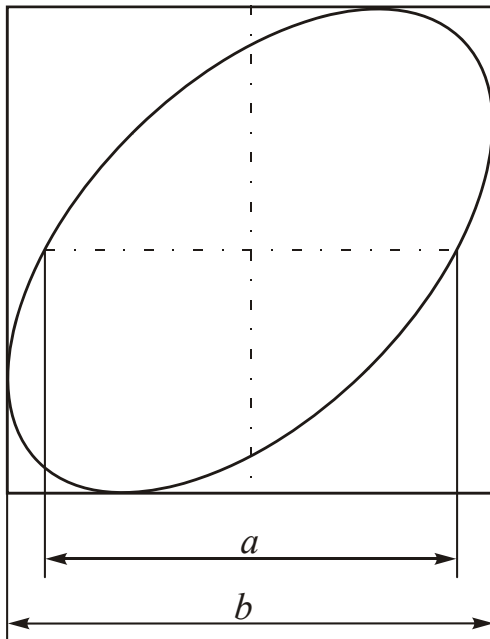


Рис. Д.4. Фігура Ліссажу

Щоб різне співвідношення амплітуд двох напруг не впливало на форму кривої Ліссажу, необхідно зрівняти амплітуди відхилень променя осцилографа по обох осях. Це досягається роздільним розглядом відхилення променя по вертикальній і горизонтальній осях і регулюванням за допомогою вхідних потенціометрів до одержання однаковості відхилень. Після зрівнювання амплітуд відхилень променя по двох осях крива Ліссажу буде мати вигляд прямої, нахиленої до вертикальної і горизонтальної осі під кутом 45° , якщо фазовий зсув між напругами дорівнює нулеві. При фазовому зсуві 90° фігура Ліссажу буде мати форму кола. У загальному випадку фігура Ліссажу має форму еліпса, вписаного в квадрат зі стороною, що дорівнює відрегульованій амплітуді відхилення променя. Параметри еліпса дозволяють визначити величину фазового зсуву φ за формулою

$$\sin \varphi = \frac{a}{b},$$

де a - відрізок горизонтальної осі, укладений всередині еліпса; b - сторона квадрата, у яку вписаний еліпс (рис. Д4).