Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

Капаціла Ю.Б., Козбур І.Р., Шовкун О.П.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи
«Дослідження режимів роботи сельсинів»
з курсу «Приводи та автоматика мехатронних систем»
для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Тернопіль
2024

Методичні вказівки розроблено у відповідності з навчальним планом підготовки здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Укладачі: к.т.н., доцент Капаціла Ю.Б.;
ст. викладач Козбур І.Р.;
ст. викладач Шовкун О.П.

Рецензент: к.т.н., доцент Дозорський В. Г.

Відповідальний за випуск: к.т.н., доцент Капаціла Ю.Б.

Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв (протокол №1 від 27 серпня 2024 року).

Затверджено та рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії ТНТУ (протокол № 1 від 29 серпня 2024 року).

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 Основні теоретичні положення 7
2 Робота сельсинів в індикаторному режимі 12
3 Робота сельсинів в трансформаторному режимі 14
4 Послідовність виконання роботи 16
4.1 Дослідження індикаторного режиму роботи сельсинів. 16
4.2 Дослідження трансформаторного режиму роботи сельсинів 17
Зміст звіту 18
Контрольні питання 19
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 20

ВСТУП

В методичних вказівках наведені основні теоретичні положення і послідовність виконання лабораторної роботи «Дослідження режимів роботи сельсинів».

Дослідження режимів роботи сельсинів (синхронних трансформаторів) має важливе значення для розуміння їх принципів дії та застосування в різних технічних системах.

Виконання лабораторної роботи сприяє формуванню в студента таких компетентностей:

- здатність застосовувати знання фізики, електротехніки, електроніки і мікропроцесорної техніки, в обсязі, необхідному для розуміння процесів в системах автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологіях;
- здатність обґрунтовувати вибір технічних засобів автоматизації на основі розуміння принципів їх роботи аналізу їх властивостей, призначення і технічних характеристик з урахуванням вимог до системи автоматизації і експлуатаційних умов; налагоджувати технічні засоби автоматизації та системи керування;
- здатність обґрунтовувати вибір структури систем автоматики, засобів автоматики та мікропроцесорних систем управління.

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватись вимог техніки безпеки, зокрема «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів». Не допускається використання вимірювальних приладів, не зазначених у цих методичних вказівках. Для виключення ушкоджень обладнання необхідно перед роботою перевірити зібрану схему на предмет повної відповідності схемі, яка наведена методичних вказівках.

Тема. Дослідження режимів роботи сельсинів.

Мета роботи: ознайомлення з конструкцією і принципом дії сельсинів, дослідження роботи сельсинів в індикаторному і трансформаторному режимах.

1 Основні теоретичні положення

В сучасних мехатронних системах доволі часто виникає необхідність синхронізації обертання або повороту різних осей механізмів, що перебувають на значній відстані одна від одної і механічно між собою не зв’язаних. Це завдання найчастіше вирішується за допомогою електричних систем синхронного зв’язку.

Синхронним зв’язком називається такий електричний зв’язок, який забезпечує одночасне обертання або одночасний поворот двох або декількох механічно не зв’язаних осей механізмів, що перебувають на деякій відстані одна від одної.

В техніці одержали поширення два основні види систем синхронного зв’язку: система електричного валу (синхронного обертання) і система передачі кута (синхронного повороту).

Системи синхронного обертання застосовуються там, де потрібно здійснити синхронне обертання двох або декількох електричних машин, що перебувають на відстані одна від одної осей механізмів, які мають значні моменти опору. Синхронне обертання здійснюється за допомогою звичайних електричних машин, найчастіше трифазних асинхронних двигунів з фазним ротором. Обмотки роторів двигунів у цьому випадку з’єднуються одна з одною, обмотки статорів живляться від однієї й тієї ж мережі трифазного струму.

Системи синхронного повороту застосовуються для дистанційного керування, регулювання або контролю. Найчастіше синхронний поворот здійснюється за допомогою невеликих індукційних електричних машин – трифазних або однофазних сельсинів. Сельсинами (від англійського слова

«selfsinchroniring») називаються електричні мікромашини змінного струму, що мають властивість самосинхронізації. Одну з цих машин, механічно з'єднану з ведучою віссю називають давачем, а іншу, з'єднану з веденою віссю (безпосередньо або за допомогою проміжного виконавчого двигуна) – приймачем.

Розрізняють трифазні та однофазні сельсини. Трифазні сельсини конструктивно не відрізняються від звичайних асинхронних машин з фазним ротором. Найпростіша трифазна система синхронного зв'язку являє собою з'єднання двох однакових сельсинів: приймача і давача. Сельсини вмикаються в мережу змінного струму своїми первинними обмотками, якими можуть бути як обмотки статора, так і обмотки ротора (зазвичай первинною є обмотка статора). Кінці відповідних фаз вторинних обмоток обох сельсинів з'єднуються один з одним (рис. 1). Залежно від послідовності проходження фаз приймача і давача сельсини обертаються в одному або різних напрямках.

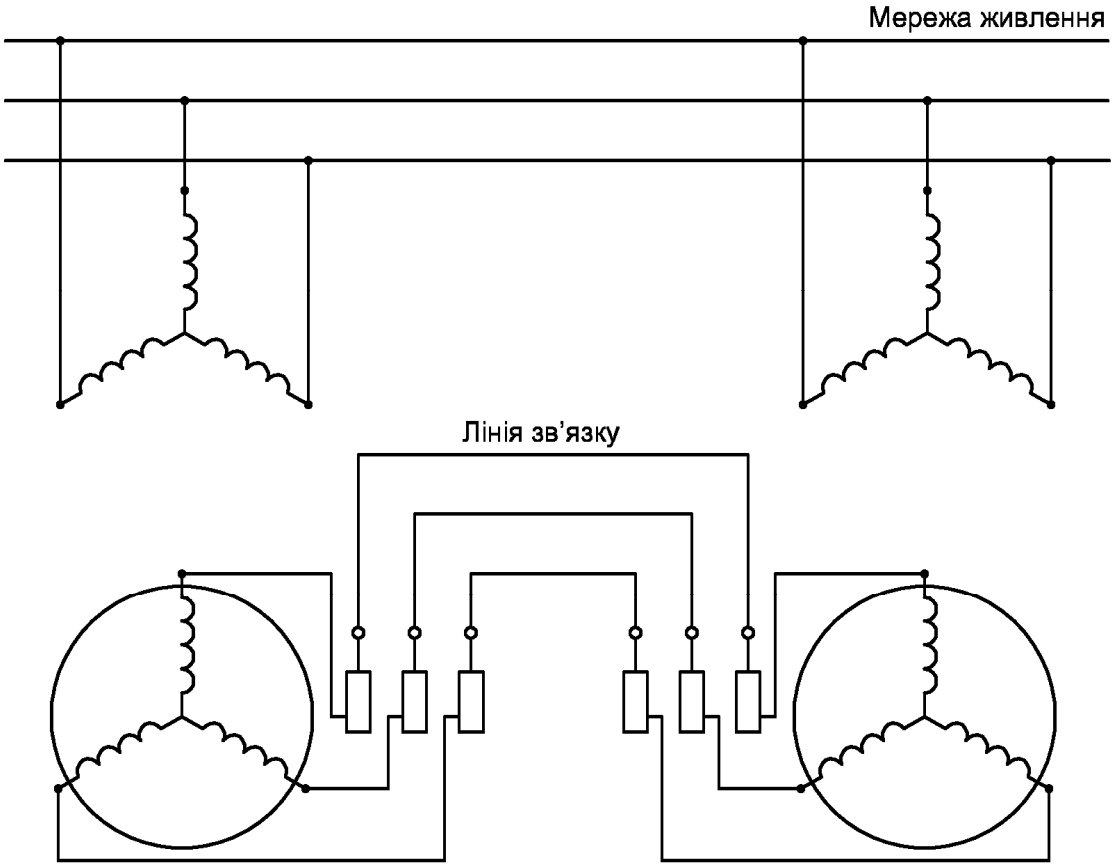

Рисунок 1 – Схема увімкнення трифазних сельсинів

Трифазні сельсини не набули значного поширення через нерівність синхронізуючих моментів при повороті ротора за полем та проти поля. Їх застосовують лише в системах електричного валу. Обмотку синхронізації в обох типах сельсинів зазвичай виконують трифазною.

Найбільшого поширення в наш час набули системи передачі кута за допомогою однофазних контактних і безконтактних сельсинів. Однофазні сельсини – це індукційні машини, які мають однофазну обмотку збудження і трифазну обмотку синхронізації. На рисунку 2 наведена схема однофазного контактного сельсина з обмоткою збудження на статорі і трифазною обмоткою синхронізації на роторі.

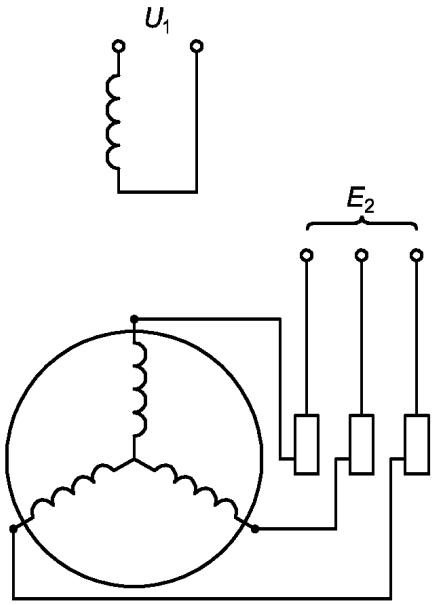

Рисунок 2 – Схема однофазного контактного сельсина

В системах автоматики передача кута здійснюється за двома схемами: індикаторною та трансформаторною.

При роботі в індикаторному режимі ротор сельсина-приймача з’єднують з веденою віссю. Він застосовується при малому значенні гальмівного моменту веденої осі, як правило, коли на осі стрілка індикатора (звідси назва – індикаторний).

При роботі в трансформаторному режимі сигнал неузгодженості між положеннями роторів сельсина-давача та сельсина-приймача подається на

двигун, який повертає вісь і ротор сельсина-приймача, ліквідуючи неузгодженість. При роботі в цьому режимі вихідний сигнал приймача пропорційний синусу кута неузгодженості, так само, як і в трансформаторі, що обертається, (звідси і назва). Трансформаторний режим застосовують у тих випадках, коли до веденої осі додано значний гальмівний момент; тобто коли потрібно приводити в дію якийсь механізм.

Сельсини складаються зі статора та ротора. Вони мають одну обмотку збудження і три обмотки синхронізації, зміщені на 120° і з'єднані зіркою.

Принцип дії сельсина не залежить від місця розташування кожної з обмоток. Однак, як правило, в сельсинах обмотку синхронізації розміщують на статорі, а обмотку збудження – на роторі (для зменшення кількості контактних кілець та підвищення надійності роботи).

Магнітна система контактних сельсинів може бути неявнополюсною або явнополюсною (рис. 3). В сельсинах з явнополюсною магнітною системою однофазна обмотка збудження зосереджена; вона розташовується на явно виражених полюсах ротора (рис. 3, б) або статора (рис. 3, в). В неявнополюсних сельсинах однофазна обмотка збудження розподілена (рис. 3, а); вона розташована в напівзакритих пазах ротора чи статора. Перший варіант кращий, так як має два кільця замість трьох. Обмотку синхронізації завжди виконують розподіленою та розміщують у пазах відповідно статора або ротора; фази її з'єднують за схемою Y. Для наближення форми кривої поля до синусоїди повітряний зазор у явнополюсних сельсинах виконують нерівномірним – збільшеним на краях полюсного наконечника.

Контактні сельсини зазвичай виконують двополюсними. Через те, що магнітне поле в сельсинах змінне, статор і ротор виконують з ізольованих аркушів електротехнічної сталі. Для підвищення надійності контакту та зниження його перехідного опору, кільця та щітки виготовляють з сплавів срібла. Кількість контактних кілець і щіток залежить від місця розташування обмоток: в сельсинах з обмоткою збудження на роторі розташовується два контактні кільця; на статорі – три.

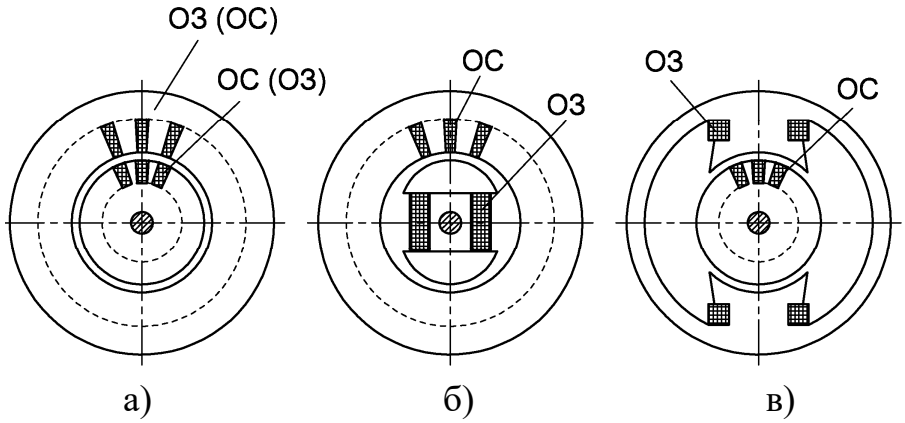

Рисунок 3 – Конструктивні схеми контактних сельсинів

Великим недоліком контактних сельсинів є наявність ковзного контакту, перехідний опір якого може змінюватися в досить широких межах. Це знижує точність передачі кута та зменшує надійність роботи систем синхронного зв’язку.

Безконтактні сельсини позбавлені цих недоліків, тому й набули широкого поширення. Ротор Р безконтактного сельсина (рис. 4) має два сталеві пакети, розділених немагнітним матеріалом НМ (зазвичай сплавом алюмінію). Пакети ротора шихтовані в поздовжньому напрямку. Статор складається з осердя О та двох кілець К. В пазах статора укладена обмотка синхронізації ОС, виконана трифазною.

До кільця примикають пакети зовнішнього магнітопроводу – ЗМ, також шихтованих у поздовжньому напрямку. Обмотка збудження – ОЗ виконана у вигляді двох кільцевих котушок.

Магнітний потік, створений обмоткою збудження, замикається шляхом, зображеним на рис. 4. З одного пакета ротора він проходить через невеликий повітряний проміжок у статор. Потім по його спинці проходить половину кола і виходить в інший пакет ротора. Відбиваючись від косого зазору, він по кільцю К та зовнішньому магнітопроводу ЗМ знову потрапляє у перший пакет ротора. При повороті ротора змінюється положення потоку збудження щодо обмоток синхронізації, тому ЕРС, що індукуються в них, залежатимуть від кута повороту ротора так само, як і в контактному сельсині.

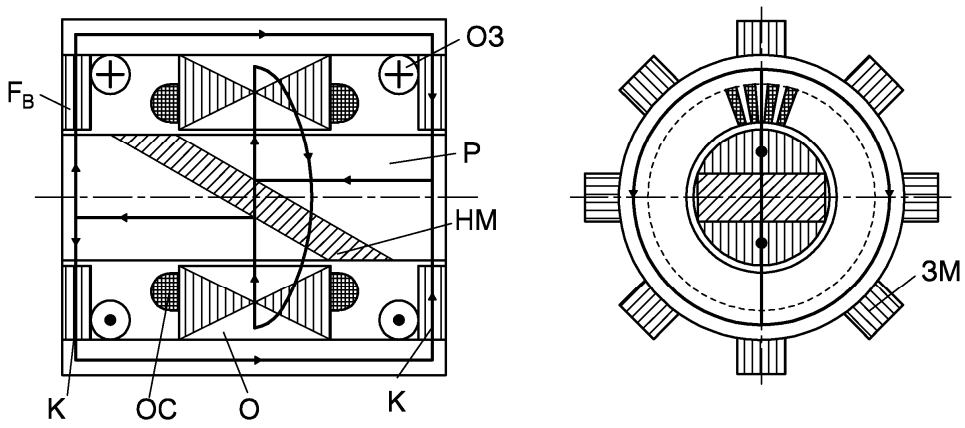

Рисунок 4 – Конструктивна схема та магнітний ланцюг безконтактного сельсина

Недоліком безконтактних сельсинів є гірше використання активних матеріалів. Їх маса приблизно в 1,5 рази більша, ніж контактних. Пояснюється це великими повітряними зазорами, внаслідок чого сельсини мають значні потоки розсіювання і великі струми намагнічування.

2 Робота сельсинів в індикаторному режимі

Найпростіша індикаторна схема синхронного зв’язку (рис. 5) для дистанційної передачі кута складається із двох однакових сельсинів (приймача і давача) і лінії зв’язку. Обмотки збудження (ОЗ) обох сельсинів підключаються до однофазної мережі змінного струму. Кінці фаз обмотки синхронізації приймача з’єднуються лінією зв’язку з кінцями фаз обмотки синхронізації давача.

Змінний струм обмотки збудження сельсинів створює магнітний потік, який індукує в обмотках синхронізації сельсинів електрорушійну силу (ЕРС). Величина ЕРС тієї чи іншої фази обмотки синхронізації залежить від її просторового розташування відносно обмотки збудження. Якщо фази обмоток синхронізації давача і приймача розташовані однаково відносно відповідних обмоток збудження ($\alpha_д = \alpha_п$), то в з’єднаних між собою лінією зв’язку фазах

обмоток синхронізації приймача і давача індукуються однакові і зустрічно-спрямовані ЕРС. Ці ЕРС врівноважують одна одну і у ланцюзі обмоток синхронізації струм відсутній. Таке положення ротора сельсинів називається узгодженим.

Змінний струм обмотки збудження сельсинів створює магнітний потік, який індукує в обмотках синхронізації сельсинів електрорушійну силу (ЕРС). Величина ЕРС тієї чи іншої фази обмотки синхронізації залежить від її просторового розташування відносно обмотки збудження.

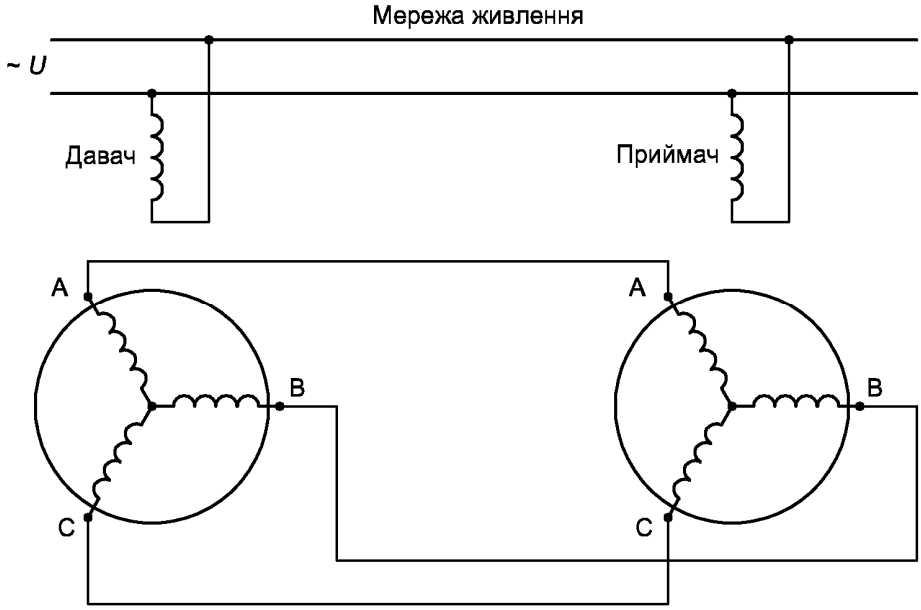

Рисунок 5 – Схема з’єднання сельсинів в індикаторному режимі

Якщо фази обмоток синхронізації давача та приймача розташовані однаково відносно відповідних обмоток збудження ($\alpha_д = \alpha_п$), то в з’єднаних між собою лінією зв’язку фазах обмоток синхронізації приймача і давача індукуються однакові і зустрічно-спрямовані ЕРС. Ці ЕРС врівноважують одна одну і у ланцюзі обмоток синхронізації струм відсутній. Таке положення ротора сельсинів називається узгодженим.

Якщо ротор давача поворотом на деякий кут $\alpha_д$ вивести з узгодженого режиму, то рівновага ЕРС, які індукуються в фазах обмоток синхронізації, порушиться. При цьому в обмотках синхронізації і лінії зв’язку з’являться

струми. В результаті взаємодії цих струмів з потоком обмотки збудження сельсина-приймача виникає обертаючий момент (синхронізуючий), який буде повертати ротор приймача доти, поки він не прийде в положення, узгоджене з ротором давача ($\alpha_д = \alpha_п$). Величина синхронізуючого моменту, що розвивається сельсином-приймачем, залежить від кута неузгодженості і параметрів сельсинів.

Через неідентичність обмоток синхронізації сельсинів і наявності тертя в осях сельсин-приймача має місце кут неузгодженості (помилка в повороті) $\theta = \alpha_д - \alpha_п$, який характеризує точність індикаторної системи.

Основною вимогою, яка висувається до сельсинів, є точність відпрацьовування сельсином-приймачем кута, заданого сельсин-давачем. Точність сельсинів в індикаторному режимі визначається похибкою $\Delta\theta$, яка являє собою півсуму максимального позитивного θ_{max1} і максимального негативного θ_{max2} відхилень при відхиленнях ротора приймача від узгодженого з ротором давача положення за один оберт:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{max1} + \theta_{max2}}{2}. \quad (1)$$

Похибка сельсинів визначається в статичному режимі таким чином: повертають ротор давача на 360° спочатку за годинниковою стрілкою, а потім проти годинникової стрілки, вимірюючи через кожні 10° кут неузгодженості (помилку). При цьому визначають і θ_{max1}, і θ_{max2}. Потім за формулою (1) визначають $\Delta\theta$.

3 Робота сельсинів в трансформаторному режимі

Найпростіша трансформаторна схема синхронного зв'язку (рис. 6) складається із двох сельсинів-приймача і давача, з'єднаних лінією зв'язку. В цьому режимі змінна напругу живлення подають тільки на обмотку збудження

сельсин-давача. В обмотку збудження сельсина-приймача підключається навантаження (або вимірювальний вольтметр).

Узгодженим положенням сельсинів у трансформаторному режимі називається таке положення роторів, при якому вихідна напруга приймача $U_{вих}$ дорівнює нулю.

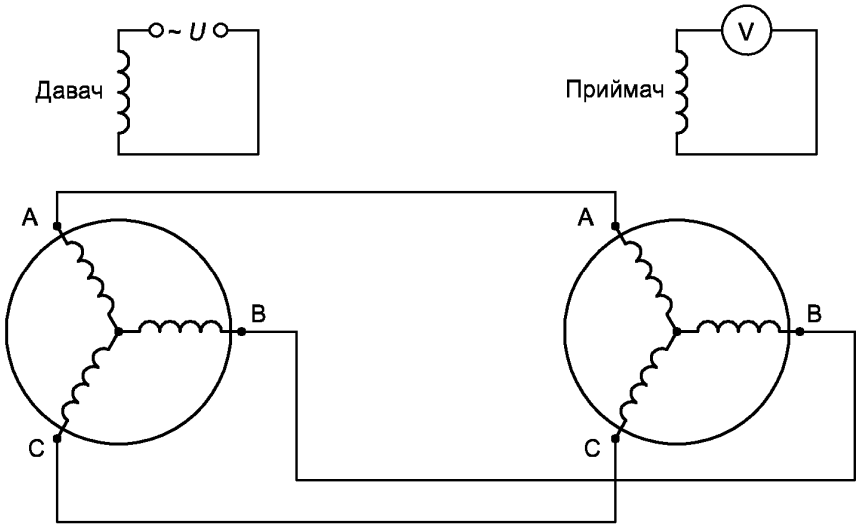

Рисунок 6 – Схема з’єднання сельсинів в трансформаторному режимі

Однофазна обмотка збудження сельсина давача (ОЗД) підключається до мережі змінного струму. Струм цієї обмотки створює пульсуюче магнітне поле, яке, зчеплюючись із обмоткою синхронізації, наводить у її фазах ЕРС:

$$E_{ad} = E_m \cos\alpha_д; \tag{2}$$

$$E_{bd} = E_m \cos(\alpha_д - 120°); \tag{3}$$

$$E_{cd} = E_m \cos(\alpha_д - 240°), \tag{4}$$

де E_m – максимальне значення ЕРС, яке виходить при співвісному положенні обмотки синхронізації і обмотки збудження, величина яких залежить від положення фаз обмотки синхронізації відносно обмотки збудження.

Під дією ЕРС E_{ad}, E_{bd}, E_{cd} у з’єднаних між собою однойменних фазах обмоток давача і приймача й лінії зв’язку виникають струми I_a, I_b, I_c, величина яких визначається величиною, що відповідає ЕРС, повними опорами фаз давача

$Z_{фд}$, приймача $Z_{фп}$ і лінії зв'язку. Ці струми, протікаючи по фазах обмотки синхронізації приймача, створюють пульсуюче магнітне поле $Ф_{an}$, $Ф_{bn}$, $Ф_{cn}$. Потоки фаз приймача $Ф_{an}$, $Ф_{bn}$, $Ф_{cn}$ утворюють результуючий магнітний потік $Ф_n$ обмотки синхронізації приймача, спрямований під кутом до однофазної обмотки збудження приймача (ОЗП), який залежить від неузгодженості. Потік $Ф_n$, пульсуючи із частотою мережі, наводить в однофазній (вихідний) обмотці приймача ЕРС – вихідну напругу приймача $U_{вих}$. Таким чином, поворот вала сельсин-давача $\alpha_д$ трансформується в напругу вихідної обмотки загальмованого сельсин-приймача $U_{вих} = U \sin\alpha_д$.

За початок відліку кутів у сельсині-приймачі застосовується положення ротора, зсуненого відносно ротора сельсина-давача на 90°. Напруга $U_{вих}$ змінюється за законом синуса.

4 Послідовність виконання роботи

4.1 Дослідження індикаторного режиму роботи сельсинів.

З'єднати сельсини за схемою згідно рис. 7. Подати на схему живлення.

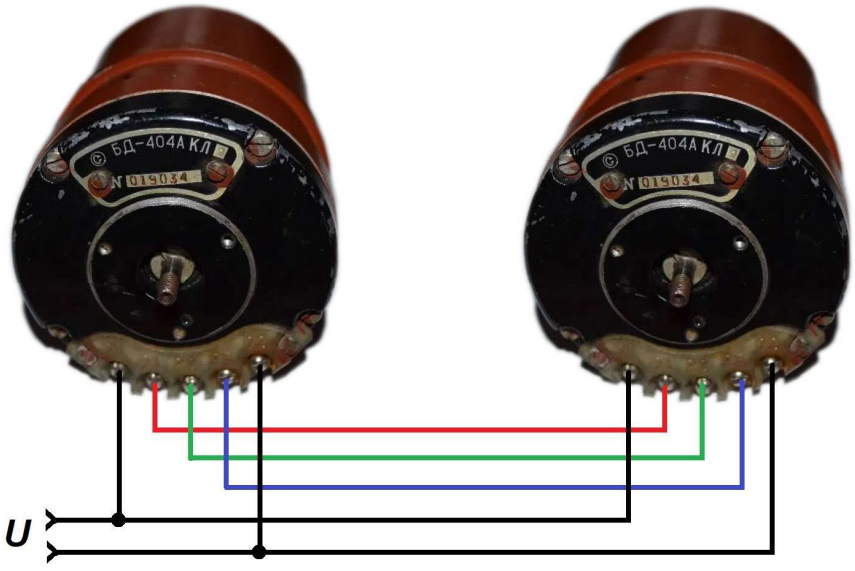

Рисунок 7 – Схема дослідження сельсинів в індикаторному режимі

Повертаючи ротор сельсина-давача, виміряти кут повороту ротора сельсина-приймача за і проти годинникової стрілки, обчислити значення похибки і записати в таблицю 1.

Вимкнути живлення.

Таблиця 1 – Результати дослідження індикаторного режиму роботи сельсинів

За годинниковою стрілкою																	
$\alpha_д$, °	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
$\alpha_п$, °																	
Δ																	
Проти годинникової стрілки																	
$\alpha_д$, °	340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20
$\alpha_п$, °																	
Δ																	

4.2 Дослідження трансформаторного режиму роботи сельсинів

Скласти схему згідно рис. 8.

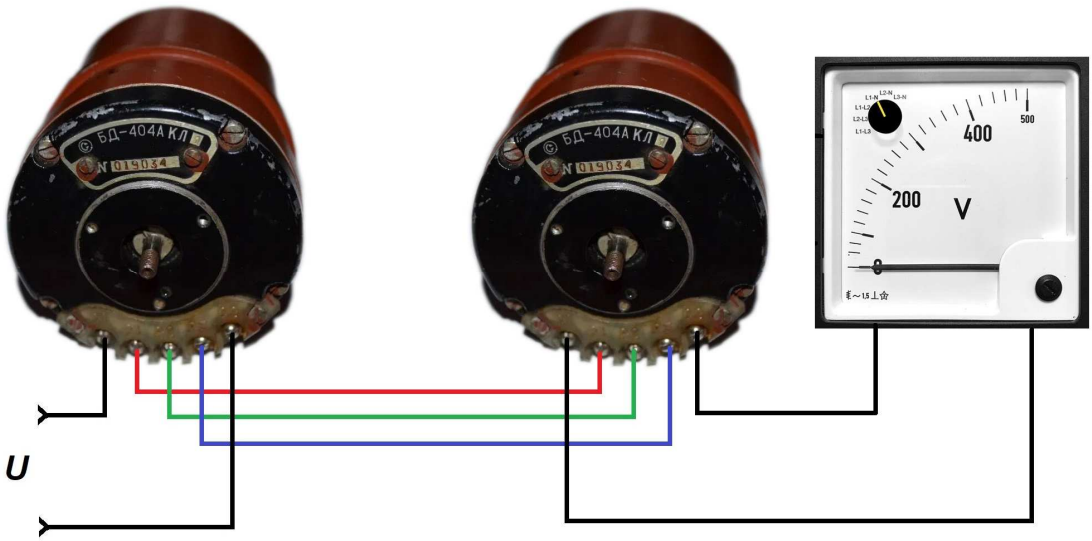

Рисунок 8 – Схема дослідження сельсинів в трансформаторному режимі

Зафіксувати ротор сельсина-приймача в нерухомому положенні. Подати на схему живлення. Повертаючи ротор сельсина-давача, зняти залежність напруги *U* на сельсині-приймачі (вольтметр V) від кута повороту α.

Занести значення кута повороту α напруги *U* в таблицю 2.

Вимкнути живлення.

Таблиця 2 – Результати дослідження трансформаторного режиму роботи сельсинів

α, °	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
U, В																			

Побудувати залежність напруги на приймачі від кута повороту ротора давача $U = f(\alpha)$.

Оформити звіт з роботи.

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Коротка характеристика лабораторного устаткування.
3. Послідовність виконання роботи.
4. Схеми дослідження сельсинів.
5. Таблиці з результатами вимірювань, графік залежності $U = f(\alpha)$.
6. Висновки.

Контрольні питання

1. Будова, принцип дії та особливості конструкції сельсинів.
2. Основні характеристики сельсинів.
3. Фактори, які впливають на точність сельсинів.
4. Сфера застосування сельсинів.
5. Переваги та недоліки контактних сельсинів.
6. Переваги та недоліки безконтактних сельсинів.
7. Особливості роботи сельсинів в індикаторній та трансформаторній схемах.
8. Приклади застосування сельсинів в мехатронних системах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андрейко І. І., Біляковський І. Є., Денис Б. Д. Електричні мікромашини. / Навч. посібник. Львів: НУ «ЛП», 2007.
2. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації : навч. посібник / О. М. Воробйова, Ю. В. Флейта. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. 208 с.
3. Діордієв В. Т. Засоби автоматизації електротехнічних комплексів: навчальний посібник / В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов, С. В. Дубініна, Г. В. Новіков. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2020. 220 с.
4. Проєктування електричних машин : навч. посіб. / Д.В. Ципленков, О.Б Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як. Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Д. : НТУ «ДП», 2020. 408 с.
5. Орловський Б. В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні: навч. посіб. Київ: КНУТД, 2018. 416 с.
6. Проць, Я.І. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.
7. Степанковський Ю.В. Перетворюючі пристрої приладів. Ч2. Інформаційні електричні мікромашини. Навчальний посібник // Електронне видання. К,: НТУУ «КПІ», 2014, 53 с.