# Лабораторна робота 3

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОНТАКТНИМИ КІЛЬЦЯМИ**

# Мета роботи

Метою лабораторної роботи є отримання навичок експериментальної ро- боти з асинхронним двигуном з контактними кільцями шляхом його пуску і ви- конання дослідів неробочого ходу, короткого замикання і навантаження.

# Завдання щодо проведення лабораторної роботи

У експериментальній частині роботи виконуються наступні завдання:

* пуск ненавантаженого двигуна при зниженій напрузі;
* дослід неробочого ходу зі зняттям відповідних характеристик;
* дослід короткого замикання зі зняттям відповідних характеристик;
* дослід навантаження зі зняттям робочих характеристик двигуна.

У результаті теоретичної підготовки і проведення роботи студент пови- нен знати:

* дослідно-розрахункове отримання характеристик неробочого ходу, короткого замикання і робочих асинхронного двигуна з контактними кільцями з супутнім визначенням його параметрів, а саме, витраченої і корисної потуж- ностей, втрат потужності, частоти обертання і обертального моменту тощо.

# Теоретичні положення

Асинхронний двигун з контактними кільцями, який також називають асинхронним двигуном з фазним ротором, у цілому подібний асинхронному двигуну з короткозамкненим ротором, за виключенням виконання обмотки ро- тора і наявності контактних кілець. Про це можна більш докладно дізнатися з загальної теоретичної частини (додаток А). У двигунів обох типів однакові принцип дії і супутні електромагнітні процеси, подібні й їхні характеристики. Тому принципи проведення дослідів і визначення параметрів і характеристик асинхронного двигуна з контактними кільцями у даній лабораторній роботі в цілому подібні тому, що вже подано у лабораторних роботах 1 и 2.

Відмінності у виконанні цієї роботі пов’язані головним чином з тим, що відрізняється супутня дослідницька установка через використання декілька ін- шого складу обладнання, а також з новим додатковим завданням – виконання досліду короткого замикання.

Основною перевагою асинхронного двигуна з контактними кільцями є можливість введення в коло обмотки ротора регулювальних реостатів (рис.А.4). Але у даній роботі цього для запланованих дослідів не потрібно, тому зовнішні вивідні кінці обмотки ротора, які з’єднані зі щітками, замикаються накоротко.

Пуск АД здійснюється при зниженій напрузі АД (підрозділ А.4), яка у да- ній роботі регулюється за допомогою трифазного автотрансформатора.

Зняття характеристик неробочого ходу

*Is o* *Uo* ,

*Pin o* *Uo*  і

cos*o* *U o* 

проводиться з метою власне їхнього експериментального визначення (їхній типовий вигляд подано на рис.2.1), а також для визначення механічних і

магнітних втрат потужності. Тут позначені напруга живлення

*Uo* , споживана

потужність АД

*Pin o* , фазний струм обмотки статора

*Is o* , коефіцієнт потужності

cos*o* . Напругу *Uo*

змінюють від мінімально можливої

*Umin* , при якій ротор

вже стійко обертається, до трохи більшої від номінальної. Методика розділення втрат потужності режиму неробочого ходу відповідає викладеному у лабораторній роботі 2 і проілюстрована на рис.2.2.

Дослід короткого замикання зі зняттям відповідних характеристик проводиться при регулюванні напруги обмотки статора у таких межах, щоб

струм обмотки статора *I k*

не перевищував 1*,*2 *I N* , де *I N*

– номінальне значення

цього струму. Власне стан короткого замикання АД відповідає режиму з нерухомим ротором і забезпечується стопором останнього.

Як і у режимі неробочого ходу, у режимі короткого замикання при регу-

люванні напруги *U k*

вимірюються сама вона, а також фазний струм обмотки

статора

*Is k*

і споживана потужність

*Pin k* . У підсумку можна побудувати вимі-

ряні характеристики короткого замикання

*Is k* (*Uk* ) ,

*Pin k* (*Uk* ) , яки звичайно до-

повнюють залежністю коефіцієнта потужності

cos *k* (*U k* ) .

Типовий вигляд характеристик короткого замикання поданій на рис.3.1 у теоретично можливому діапазоні зміни напруги до номінального значення *U N* , де напруга, струм і потужність представлені у відносних одиницях (в.о.), при-

чому базою для них є номінальні напруга *U N* , струм *I N*

і потужність *PN*

АД в

нормальному робочому режимі (\* – відносні значення).

На практиці у звичайних умовах напругу можна доводити до рівня

*UkN* ,

коли струм *I* (тут лінійний) досягає значення *I N*

(рис.3.1), або трохи вище.

Якщо підвищувати напругу далі, то АД через достатньо малий час може вийти з

ладу через надмірний нагрів, бо втрати по- тужності всередині АД значно перевищу- ють його номінальну потужність.

За даними досліду короткого зами- кання можна ще визначити:

* електричні втрати потужності в обмотці ротора при короткому замиканні:

6

5

cos *k*

*Pin k* /*PN*

*IN*\*

*Uk*\**N*

*Ik /IN*

cos *k*

*Ik /IN*

4

0,6 3

*Pin k* /*PN*

*Pel r k*

 *Pin k*

* *Pel sk*

 *Pmagk* , (3.1)

0,4 2

де *Pel s k*

 3*I* 2 *Rs*

– електричні втрати по-

0,2 1

тужності в обмотці статора;

*s k*

*Pmagk* 

маг-

нітні втрати потужності, які треба брати з 0

досліду неробочого ходу при відповідній

0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0

*Uk*/*UN*

напрузі *U k* ;

Рисунок 3.1 – Характеристики короткого замикання АД

*IskN*

*Isk*

* початковий пусковий момент:

*Pel r k*

*M* 1*k*  , (3.2)



*s*

*Isk*

де  *s*

  *ns*

30

– кутова швидкість обертання ма-

*Isk*1 1

гнітного поля в АД (А.27).

Незважаючи на обумовлені обмеження за струмом, все одно можна визначити фазний

струм короткого замикання

*Is kN*

при номіналь-

0 *Uk*

ній напрузі *U N*

через залежність

*Is k* (*Uk* ) ,

*Uk*0

*Uk*1

*UN* окремо подану на рис.3.2. Тут отримана з дос-

Рисунок 3.2 – Екстраполяція струмової характеристики короткого замикання АД

ліду нелінійна ділянка 0-1 звичайно прагне до прямої при струмі, вище номінального. Якщо провести до залежності *Is k* (*Uk* ) дотичну, то ви-

значимо напругу

*U k* 0

у точці перетину з віссю

0-*U k* . Тоді, продовжуючи дотичну вгору за межі ділянки 0-1 (пунктир), маємо:

*I*  *UN*

 *Uk* 0 *I*

, (3.3)

*s k N*

*Uk*1  *Uk* 0

*s k*1

де *Uk*1, *Is k*1 

відповідно найбільші напруга і струм, отримані в досліді.

На цій підставі – початковий пусковий момент при номінальній напрузі:

 *I*

*М*  

2

*s kN*  *M*

, (3.4)

1  *Is k* 1  1*k*

 

де *M*1*k –* момент, отриманий за формулою (3.2) за струму

*Is k* 1 .

Поняття робочих характеристик для АД з контактними кільцями (фазним ротором) відповідає їхньому загальному визначенню для асинхронних двигу- нів, тобто тому, що подано у підрозділі А.3 и проілюстровано на рис.А.10. А

саме, це залежності підведеної потужності

*Pin* , струму статора

*I s* , обертального

моменту на валу *M* , частоти обертання ротора *n* , ковзання *s*, ККД , коефіціє-

нту потужності

cos

– від корисної потужності двигуна *P* . Експериментальне

зняття робочих характеристик проводиться при номінальної напрузі АД шля- хом зміни механічного навантаження на валу ротора. Діапазон навантажень встановлюється від неробочого ходу до номінального режиму, досягнення яко- го контролюється за обертальним моментом навантаження на валу або за стру- мом статора. За технічними умовами на АД звичайно допускається його корот- кочасне перевантаження за струмом статора на 10% вище номінального. При визначенні робочих характеристик обмежуються необхідним мінімумом вимі- рюваних параметрів таким чином, щоб усі передбачені характеристики потім можна було визначити або напряму, або шляхом додаткових розрахунків, як це визначено у лабораторних роботах 1 і 2, але у даній роботі це має свої особли- вості, зважаючи на особливості виконання експериментів.

# Опис експериментальної установки

Принципова схема експериментальної установки подана на рис.3.3. Випробовуваним є трифазний асинхронний двигун (*М*) з контактними кі-

льцями типу АК52-4-100. Обмотка статора з виводами *U*, *V*, *W* з’єднана за схе- мою «трикутник», виводи фазної обмотки ротора замкнені накоротко. Двигун

має наступні номінальні дані: потужність

*PN*  4,5

кВт; лінійна напруга

*U N*  220/ 380 В (перше значення при схемі обмотки статора , друге – при

схемі ); частота

*fsN*

 50 Гц; лінійний струм статора

*IN*  14 / 8 А; частота обе-

ртання ротора

*nN*  1420

об/хв; опір фазної обмотки статора

*Rs*  1,25

Ом. Як-

що випробовуваним є інший АД, то слід записати і у подальшому використову- вати саме його номінальні параметри.

Для регулювання вхідної напруги АД застосовується трифазний автотра- нсформатор (*Т*). Комутації електричних кіл виконуються автоматичними вими- качами *QF* і *SF*. Наявність напруги в мережі змінного струму контролюється світловим індикатором *HL*.

У схемі експериментальної установки для вимірювання напруг, струмів і потужностей використаний вимірювальний комплекс К50. Він має систему ви- мірювань, орієнтовану на трифазне навантаження, з’єднане за схемою «зірка».

Для цієї схеми він видає фазні напруги

*U A* ,

*U B* , *UC*

(вольтметр *PV*), струми

*I A* ,

*I B* , *IC*

(амперметр *РА*) і потужності

*PA* ,

*PB* , *PC*

(ватметр *PW*) шляхом

встановлення перемикача приладу в положення фаз *А*0, *В*0, *C*0. Тоді для схеми

«трикутник», яка є чинною у даній роботі (рис.3.3), для АД визначаються:

Рисунок 3.3 – Принципова схема дослідної установки

3

*HL*

220 В

220 В

*SF*

*QF*

*RP*

*T*

*PV1*

*PA*3

*A L*

*M*

*PA*1

*А В С*

0

5

10

А

K50

*В*

25

50

*U*

0

0

*W*

*F*1 *F*2

2,5

1

150

В

*А В*

*С*

*V*

*G*

*А*

*С*

300

0

*PA*2

*R*

450

600

*PV PW PA*

генератор

навантаження

* лінійна (і одночасно – фазна) напруга обмотки статора:

*U*  *Us*  3*U* , (3.5)

де *U*  *UA*  *UB*  *UC* – середнє значення фазної напруги для умовної «зірки»;

3

* лінійний і фазний струми обмотки статора:

*I*

*I*  *I* ;

*Is* 

, (3.6)

де *I*  *IA*  *IB*  *IC*

3

* середнє значення лінійного (і фазного) струму для умо-

3

вної «зірки»;

* + підведена потужність:
	+ коефіцієнт потужності:

*Pin*

 *PA*  *PB*  *PC* . (3.7)

cos 

*Pin*

3*Us Is*

(3.8)

На панелі комплексу К50 є перемикачі для встановлення необхідних гра- ниць вимірювань, а також інформація про ціни поділки шкал приладів.

Навантаженням для АД служить пов'язаний з ним муфтою генератор пос- тійного струму (ГПС) *G* з незалежним збудженням типу ПН 68. Він має номі- нальні параметри: потужність 6,5 кВт, напруга 220 В, струм 35 А і частота обе- ртання 1500 об/хв. Регулюючи за допомогою потенціометра *RP* напругу і, від- повідно, струм в обмотці збудження *F*1-*F*2 ГПС, можна змінювати його елект- ромагнітний момент, який по відношенню до АД є гальмуючим. Обмотка збу- дження живиться з мережі постійного струму напругою 220 В через автоматич- ний вимикач *SF*. Напруга і струм збудження контролюються вольтметром *PV*1 і амперметром *PA*1, Якірна обмотка ГПС навантажена на реостат *R* і тут струм контролюється амперметром *PA*2.

Для непрямого вимірювання частоти обертання ротора АД використову- ється індукційний датчик у вигляді котушки індуктивності *L*. Ця котушка роз- ташована так, що в ній магнітним полем розсіяння ротора індукується електри-

чний сигнал з частотою

*f r* його струму. Індикаторним приладом слугує мікро-

амперметр *РА*3. Якщо відрахувати кількість повних коливань стрілки *kt*

цього

приладу за визначений час *tk*

1. , то можна визначити ковзання ротора АД:

*s*  *fr*

*fs*

 *kt tk*  *fs*

, (3.9)

де частоту струму статора

*f s* можна прийняти рівною 50 Гц.

Маючи *s* , вже легко визначити й частоту обертання ротора *n* за форму- лою (А.6).

Для чистоти визначених експериментів усі вимірювання бажано було б

виконувати при усталеній температурі обмоток, або кожного разу визначати їх- ні температури та активні опори. Але під час виконання лабораторної роботи

відслідковувати зміни цих величин не є можливим. Тому зміни опорів обмоток за (2.11) враховувати не будемо і приймемо для подальших розрахунків актив-

ний опір фазної обмотки статора

*Rs* , який вже задано вище. Власне на принцип

визначення складових втрат потужності це не впливає, можливі лише деякі ро- збіжності у числових значеннях вимірюваних та розрахованих параметрів асин- хронного двигуна.

# Порядок виконання роботи

* 1. **Ознайомитися з номінальними даними** асинхронного двигуна і ГПС, приведеними на лабораторному стенді.

**УВАГА!** ПЕРЕД КОЖНИМ ВКЛЮЧЕННЯМ ЖИВЛЕННЯ АД НЕОБ- ХІДНО ПЕРЕКОНАТИСЯ В ТОМУ, ЩО НАПРУГА НА ВИХОДІ АВТОТРА- НСФОРМАТОРА *Т* ДОРІВНЮЄ НУЛЮ.

# Провести дослід неробочого ходу.

Роз'єднати муфту, що пов'язує випробовуваний двигун *M* з ГПC. Встановити на вимірювальному пристрої К50 межі вимірювань: за стру-

мом – (50...55)% від номінального струму; за напругою – (110...120)% від но- мінальної напруги.

Замкнути контакти автоматичного вимикача *QF* і, плавно підвищуючи напругу за допомогою автотрансформатора *Т*, пустити АД в хід.

Змінюючи напругу на статорі у межах (1,1…0,3)*U N*

через кожних

(15...20) В, провести виміри: *UА*, *UВ*, *UС* – фазні напруги у вхідній мережі (вимі- рюваний комплекс К50 орієнтований на з’єднання навантаження за схемою

«зірка»), *IА*, *IВ*, *IС* – лінійні струми обмотки статора АД; *PА*, *PВ*, *PС* – потужності фаз АД.

Результати вимірювань занести до табл.3.1. Автоматичним вимикачем *QF* вимкнути живлення АД.

Таблиця 3.1 – Дані досліду неробочого ходу

|  |  |
| --- | --- |
| Виміряне | Обчислене |
| *U А* | *U B* | *UC* | *I A* | *I B* | *IC* | *PA* | *PB* | *PC* | *Uo* | *Iso* | *Рin o* | сos*o* | *Р elso* | *Рmag+mec* | *Рmec* | *Рmag* |
| В | В | В | А | А | А | Вт | Вт | Вт | В | А | Вт | – | Вт | Вт | Вт | Вт |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

# Провести дослід короткого замикання.

Встановити на К50 межі вимірювань: за струмом – відповідний 120% від номінального; за напругою – 20 % від номінальної.

За допомогою спеціального пристрою загальмувати ротор АД.

Замкнути контакти автоматичного вимикача *QF* і плавно підвищувати

напругу на статорі АД до тих пір, поки струм не досягне значення

1,2 *IN* . В

процесі досліду зняти 6…7 точок, фіксуючи в кожній фазі АД значення напруг, струмів і споживаної потужності.

Результати експерименту занести до табл.3.2.

Автоматичним вимикачем *QF* вимкнути живлення АД. Зняти гальмо ротора АД.

Таблиця 3.2 – Дані досліду короткого замикання

|  |  |
| --- | --- |
| Виміряне | Обчислене: *I skN*  А; *M*1  Н·м |
| *U А* | *U B* | *UC* | *I A* | *I B* | *IC* | *PA* | *PB* | *PC* | *Uk* | *Isk* | *Pin k* | cos *k* | *Pel sk* | *Pmag k* | *Pel r k* | *M*1*k* |
| В | В | В | А | А | А | Вт | Вт | Вт | В | А | Вт | – | Вт | Вт | Вт | Н·м |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

# Виконати дослід навантаження.

Встановити на комплекті К50 межі вимірювань, відповідні номінальним значенням напруги і струму статора АД.

З'єднати за допомогою муфти АД з ГПС.

Замкнути контакти автоматичного вимикача *QF.* Провести пуск асинх- ронного двигуна, плавно підвищуючи напругу за допомогою автотрансформа- тора *Т* і стежачи за тим, щоб струм *I* не перевищував допустимого для приладу К50 значення.

Встановити номінальну напругу *U N*

такою протягом усього досліду.

на обмотці статора і підтримувати її

Включити обмотку збудження машини навантаження – ГПС на постійну напругу. Регулюючи струм в обмотці збудження ГПС, змінювати навантаження

АД до значення струму в обмотці статора спостереження.

1,25 *IN* , так щоб мати 7..8 точок

У кожній точці досліду навантаження треба фіксувати значення струму і

споживаної потужності усіх фаз АД, а також кількість повних коливань *kt*

стрі-

лки мікроамперметра *РА*3 і відповідний час *tk*

Результати досліду занести до табл.3.3.

(бажано прийняти біля 10 с).

Таблиця 3.3 – Дані досліду навантаження

|  |
| --- |
| Задано *U*  *Us*  *UN*  В |
| Виміряне | Обчислено |
| *I A* | *I B* | *IC* | *PA* | *PB* | *PC* | *kt* | *tk* | *Is* | *Pin* | cos | *s* |
| А | А | А | Вт | Вт | Вт | – | с | А | Вт | – | – |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

# Обробка результатів

1. За даними досліду неробочого ходу АД (табл.3.1) обчислити та внести до цієї таблиці:

– лінійна (і одночасно – фазна *U s o* ) напруга обмотки статора АД для схе- ми «трикутник» за формулою (3.5);

*Is o*

*Pino*

(3.7);

* фазний струм за формулою (3.6);
	+ підведена активна потужність, яка втрачається в АД, за формулою

cos*o*

* + коефіцієнт потужності АД за формулою (3.8);

*Pel s o* ,

*Pmag* *mec*

* + електричні й сумарні магнітно-механічні втрати потуж-

ності за формулами (2.1) і (2.2);

*Pmec* ,

*Pmag*

* + механічні і магнітні втрати потужності визначаються графіч-

но за прикладом на рис.2.2 шляхом побудови залежностей

*Pmag* *mec* *U o U*  і

*U*

 *N* 

2 

*Pmag* *mec*



*o*  .

*UN*  



За прикладом на рис.2.1, але у абсолютних одиницях виміру, побудувати

характеристики неробочого ходу: *Is o* *Uo* , *Pin o* *Uo*  і cos*o* *U o* .

1. За результатами досліду короткого замикання (табл.3.2) визначити на- ступні дані та внести до цієї таблиці:

лінійну *Uk*

і одночасно фазну напругу

*Us k* , фазний струм *Isk*, споживану

потужність

*Pin k*

і коефіцієнт потужності

*cos* *k*

за формулами (3.5)-(3.9), діючи

як і у попередньому досліді.

Також за методикою, поданою у підрозділі 3.3, зокрема, формулами (3.1) і (3.2), з врахуванням пояснень до них, визначити електричні втрати потужності

в обмотці статора

*Pel sk* , магнітні втрати потужності

*Pmag k* , електричні втрати

потужності в обмотці ротора

*Pel r k*

і початковий обертальний момент

*M*1*k* .

За прикладом на рис.3.1, але у абсолютних одиницях виміру, побудувати

характеристики короткого замикання: *Is k* *Uk* , *Pin k* *Uk*  і cos*k* *U k* .

Додатково за формулами (3.3) і (3.4) визначити струм короткого замикан-

ня *Is k N*

при номінальній напрузі, використовуючи залежність

*Is k* (*Uk* )

за ана-

логією на рис.3.2, а також початковий пусковий момент напрузі.

*M* 1 при номінальній

1. За даними досліду навантаження (табл.3.3) визначити наступні дані і занести їх до табл.3.3 і 3.4:

Таблиця 3.4 – Роздахункові дані режиму навантаження

|  |
| --- |
| *U*  *Us*  *UN*  В; *ns*  об/хв.; *Pmag*  Вт; *Pmec*  Вт |
| *s* | *Pel s* | *Pem* | *Pel r* | *Pad* | *P* | *P* |  | *M em* | *n* | *M* |
| – | Вт | Вт | Вт | Вт | Вт | Вт | – | Н∙м | об/хв | Н∙м |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

фазний струм

*I s* , споживана потужність

*Pin*

і коефіцієнт потужності

cos за формулами (3.6)-(3.8), діючи як і у попередніх дослідах;

*ns* – частота обертання магнітного поля статора, яку треба взяти з відомо-

го ряду її значень (А.5) – найближче зверху до

*nN* ;

*Pmag* ,

*Pmec* – магнітні і механічні втрати потужності беруться з досліду не-

робочого ходу при *UN* (табл.3.1 і побудова графіку за прикладом рис.2.2);

*s* – ковзання ротора двигуна за формулою (3.9);

*Pel s Pem Pel r*

* + електричні втрати потужності в обмотці статора (2.4);
* електромагнітна потужність (2.7);
* електричні втрати потужності в обмотці ротора (2.6);

*Pad*

* додаткові втрати потужності: приймаємо умовно

*Pad*

 0*,*005 *Pin* ;

*P*  *Pel s*  *Pel r*  *Pmag*  *Pmec*  *Pad*

нтаженні АД;

* сумарні втрати потужності при нава-

*P*  *Pin*  *P*

* корисна механічна потужність на валу за формулою (2.9);

 – ККД за формулою (А.25);

*M em*

(А.19);

 30 *Pem*

*ns*

 9,549 *Pem*

*ns*

* електромагнітний момент (за аналогією

*n* – частота обертання ротора за формулою (А.6);

*M*  30

*P*  9,549 *P*

*n n*

* обертальний момент на валу (А.19).

За результатами досліду навантаження, тобто за даними табл.3.3 і 3.4, по-

будувати робочі характеристики АД (рис.А.10) – залежності

*n*(*P*) ,

*M* (*P*) ,

*Is* (*P*) ,

(*P*) ,

cos(*P*)

і *s*(*P*) .

1. Проаналізувати результати, отримані в табл.3.1-3.4 і проілюстровані побудованими характеристиками.
2. Звіт про виконану роботу повинен відповідати стандартам НТУ «ХПІ» і вимогам, викладеним у додатку В. Звіт має містити титульний лист, опис мети і завдань досліджень, схему експериментальної установки, таблиці зміряних і ро- зрахункових даних, розрахункові формули, графіки обумовлених характерис- тик, висновки за роботою.

# Контрольні питання

1. Пояснити будову і принцип дії асинхронного двигуна з контактнимі кільцями.
2. Які способи пуску можливі для асинхронного двигуна?
3. Розкажіть про склад експериментальної установки та призначення її елементів.
4. Які методики застосовується для проведення дослідів неробочого ходу, короткого замикання і навантаження?
5. У чому полягає мета проведення досліду неробочого ходу? Чому в режимі неробочого ходу двигун все ж таки споживає з мережі достатьньо великий струм?
6. У чому полягає мета проведення досліду короткого замикання і якими параметрами обмежується цей дослід?
7. Порівняйте характеристики двигуна в режимах неробочого ходу і короткого замикання і дайте пояснення їхньої розбіжності.
8. Які втрати потужності притаманні асинхронним двигунам і яким чином визначаються ці втрати?
9. Як змінюються електричні і магнітні величини в асинхронному двигуні при зміні навантаження на валу АД?
10. Пояснити характер робочих характеристик АД.