

Лабораторна робота 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОНТАКТНИМИ КІЛЬЦЯМИ

3.1 Мета роботи

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

3.2 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 повинен 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 потужностей, втрат потужності, частоти обертання і обертового моменту тощо.

3.3 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 ротора і наявності контактних кілець. Про це можна більш докладно дізнатися з загальної теоретичної частини (додаток А). У двигунів обох типів однаковий 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 і 2.

Відмінності у виконанні цієї роботи пов'язані головним чином з тим, що відрізняється супутня дослідницька установка через використання декілька іншого складу обладнання, а також з новим додатковим завданням – виконання дослідів 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 даній роботі регулюється за допомогою трифазного автотрансформатора.

Зняття характеристик неробочого ходу $I_{so}(U_o)$, $P_{ino}(U_o)$ і $\cos \varphi_o(U_o)$ 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 U_o , споживана потужність АД P_{ino} , фазний струм обмотки статора I_{so} , коефіцієнт потужності $\cos \varphi_o$. Напругу U_o змінюють від мінімально можливої U_{min} , 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 регулюванні напруги U_k вимірюються сама вона, а також фазний струм обмотки статора I_{sk} і споживана потужність P_{ink} . У підсумку можна побудувати вимірні характеристики короткого замикання $I_{sk}(U_k)$, $P_{ink}(U_k)$, які звичайно доповнюють залежність коефіцієнта потужності $\cos \varphi_k(U_k)$.

Типовий вигляд характеристик короткого замикання поданий 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.), причому базою для них є номінальні напруга U_N , струм I_N і потужність P_N АД в нормальному робочому режимі (* – відносні значення).

На практиці у звичайних умовах напругу можна доводити до рівня U_{kN} , 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 потужності всередині АД значно перевищують його номінальну потужність.

За даними дослідження короткого замикання можна ще визначити:

❖ електричні втрати потужності в обмотці ротора при короткому замиканні:

$$P_{elrk} = P_{ink} - P_{elsk} - P_{magk}, \quad (3.1)$$

де $P_{elsk} = 3I_{sk}^2 R_s$ – електричні втрати потужності в обмотці статора; P_{magk} – магнітні втрати потужності, які треба брати з дослідження неробочого ходу при відповідній напрузі U_k ;

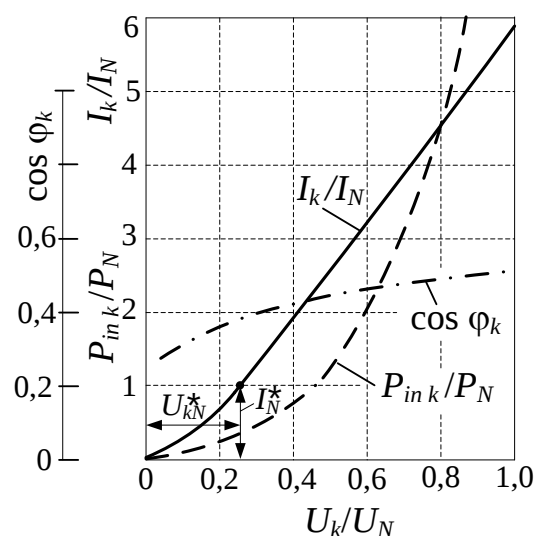


Рисунок 3.1 – Характеристики короткого замикання АД

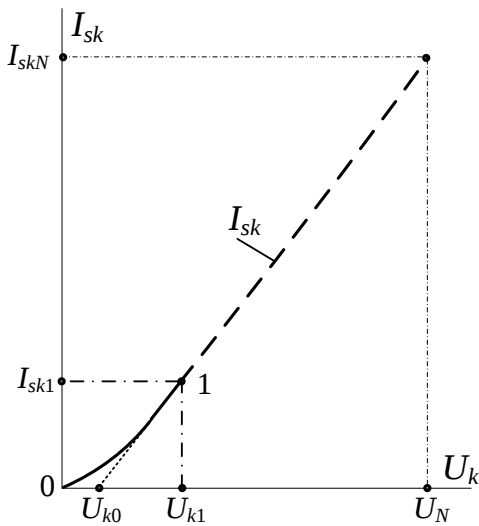


Рисунок 3.2 – Екстраполяція струмової характеристики короткого замикання АД

❖ початковий пусковий момент:

$$M_{1k} = \frac{P_{elrk}}{\Omega_s}, \quad (3.2)$$

де $\Omega_s = \frac{\pi n_s}{30}$ – кутова швидкість обертання магнітного поля в АД (А.27).

Незважаючи на обумовлені обмеження за струмом, все одно можна визначити фазний струм короткого замикання I_{skN} при номінальній напрузі U_N через залежність $I_{sk}(U_k)$, окремо подану на рис.3.2. Тут отримана з досліду нелінійна ділянка 0-1 звичайно прагне до прямої при струмі, вище номінального. Якщо провести до залежності $I_{sk}(U_k)$ дотичну, то визначимо напругу U_{k0} у точці перетину з віссю 0- U_k .

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

$$I_{skN} = \frac{U_N - U_{k0}}{U_{k1} - U_{k0}} I_{sk1}, \quad (3.3)$$

де U_{k1}, I_{sk1} – відповідно найбільші напруга і струм, отримані в досліді.

На цій підставі – початковий пусковий момент при номінальній напрузі:

$$M_1 = \left(\frac{I_{skN}}{I_{sk1}} \right)^2 M_{1k}, \quad (3.4)$$

де M_{1k} – момент, отриманий за формулою (3.2) за струму I_{sk1} .

Поняття робочих характеристик для АД з контактними кільцями (фазним ротором) відповідає їхньому загальному визначенню для асинхронних двигунів, тобто тому, що подано у підрозділі А.3 и проілюстровано на рис.А.10. А саме, це залежності підведеної потужності P_{in} , струму статора I_s , обертового моменту на валу M , частоти обертання ротора n , ковзання s , ККД η , коефіцієнту потужності $\cos\phi$ – від корисної потужності двигуна P . Експериментальне зняття робочих характеристик проводиться при номінальній напрузі АД шляхом зміни механічного навантаження на валу ротора. Діапазон навантажень встановлюється від неробочого ходу до номінального режиму, досягнення якого контролюється за обертовим моментом навантаження на валу або за струмом статора. За технічними умовами на АД звичайно допускається його короткочасне перевантаження за струмом статора на 10% вище номінального. При визначенні робочих характеристик обмежуються необхідним мінімумом вимірюваних 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 особливості, зважаючи на особливості виконання експериментів.

3.4 Опис експериментальної установки

Принципова схема експериментальної установки подана на рис.3.3.

Випробовуваним є трифазний асинхронний двигун (M) з контактними кільцями типу АК52-4-100. Обмотка статора з виводами U, V, W з'єднана за схемою «трикутник», виводи фазної обмотки ротора замкнені накоротко. Двигун має наступні номінальні дані: потужність $P_N = 4,5$ кВт; лінійна напруга $U_N = 220/380$ В (перше значення при схемі обмотки статора Δ , друге – при схемі Y); частота $f_{sN} = 50$ Гц; лінійний струм статора $I_N = 14/8$ А; частота обертання ротора $n_N = 1420$ об/хв; опір фазної обмотки статора $R_s = 1,25$ Ом. Якщо випробовуваним є інший АД, то слід записати і у подальшому використовувати саме його номінальні параметри.

Для регулювання вхідної напруги АД застосовується трифазний автотрансформатор (T). Комутації електричних кіл виконуються автоматичними вимикачами 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 K50. Він має систему вимірювань, орієнтовану на трифазне навантаження, з'єднане за схемою «зірка». Для цієї схеми він видає фазні напруги U_A, U_B, U_C (вольтметр PV), струми I_A, I_B, I_C (амперметр PA) і потужності P_A, P_B, P_C (ватметр PW) шляхом встановлення перемикача приладу в положення фаз $A0, B0, C0$. Тоді для схеми «трикутник», яка є чинною у даній роботі (рис.3.3), для АД визначаються:

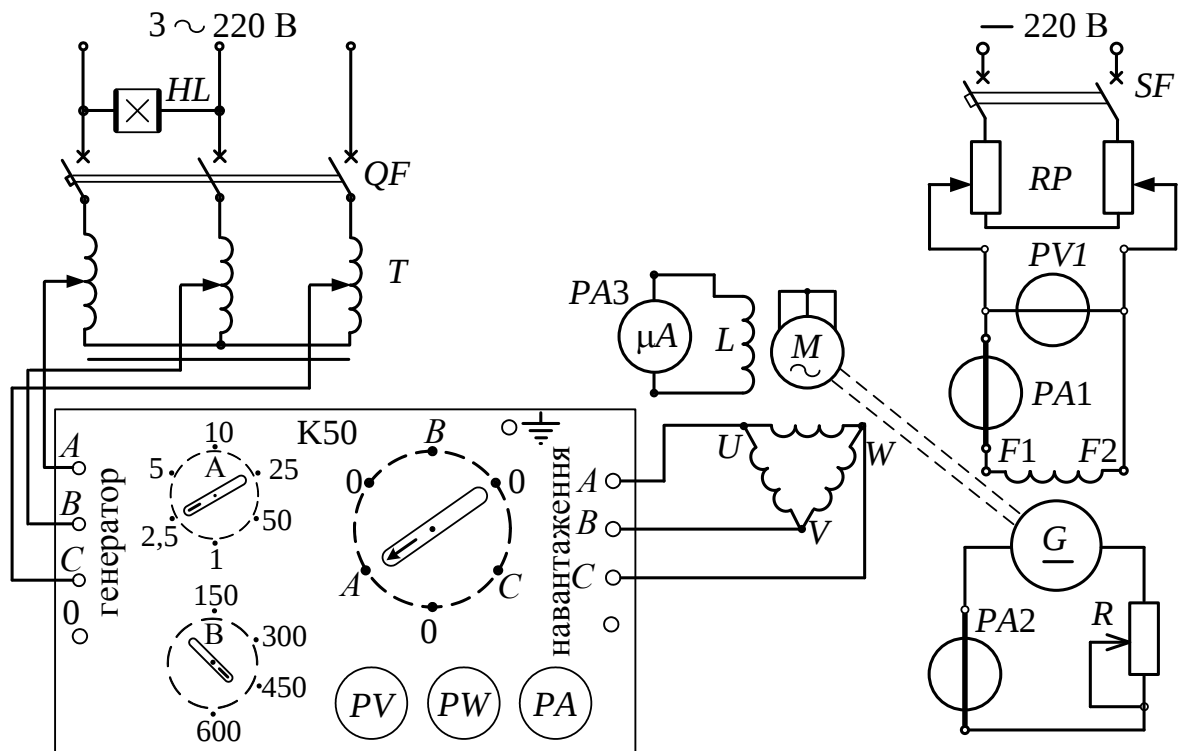


Рисунок 3.3 – Принципова схема дослідної установки

- ❖ лінійна (і одночасно – фазна) напруга обмотки статора:

$$U = U_s = \sqrt{3} U_{\phi Y}, \quad (3.5)$$

де $U_{\phi Y} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}$ – середнє значення фазної напруги для умовної «зірки»;

- ❖ лінійний і фазний струми обмотки статора:

$$I = I_{\phi Y}; \quad I_s = \frac{I}{\sqrt{3}}, \quad (3.6)$$

де $I_{\phi Y} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}$ – середнє значення лінійного (і фазного) струму для умовної «зірки»;

- ❖ підведена потужність:

$$P_{in} = P_A + P_B + P_C. \quad (3.7)$$

- ❖ коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi = \frac{P_{in}}{3 U_s I_s} \quad (3.8)$$

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

Навантаженням для АД служить пов'язаний з ним муфтою генератор постійного струму (ГПС) G з незалежним збудженням типу ПН 68. Він має номінальні параметри: потужність 6,5 кВт, напруга 220 В, струм 35 А і частота обертання 1500 об/хв. Регулюючи за допомогою потенціометра RP напругу і, відповідно, струм в обмотці збудження $F1-F2$ ГПС, можна змінювати його електромагнітний момент, який по відношенню до АД є гальмуючим. Обмотка збудження живиться з мережі постійного струму напругою 220 В через автоматичний вимикач SF . Напруга і струм збудження контролюються вольтметром $PV1$ і амперметром $PA1$, Якірна обмотка ГПС навантажена на реостат R і тут струм контролюється амперметром $PA2$.

Для непрямого вимірювання частоти обертання ротора АД використовується індукційний датчик у вигляді котушки індуктивності L . Ця котушка розташована так, що в ній магнітним полем розсіяння ротора індукується електричний сигнал з частотою f_r його струму. Індикаторним приладом слугує мікроамперметр $PA3$. Якщо відрахувати кількість повних коливань стрілки k_t цього приладу за визначений час t_k [с], то можна визначити ковзання ротора АД:

$$s = \frac{f_r}{f_s} = \frac{k_t}{t_k \cdot f_s}, \quad (3.9)$$

де частоту струму статора f_s можна прийняти рівною 50 Гц.

Маючи s , вже легко визначити й частоту обертання ротора n за формулою (А.6).

Для чистоти визначених експериментів усі вимірювання бажано було б виконувати при усталеній температурі обмоток, або кожного разу визначати їхні 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 прийmemo для подальших розрахунків активний опір фазної обмотки статора R_s , який вже задано вище. Власне на принцип визначення складових втрат потужності це не впливає, можливі лише деякі розбіжності у числових значеннях вимірюваних та розрахованих параметрів асинхронного двигуна.

3.5 Порядок виконання роботи

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

УВАГА! ПЕРЕД КОЖНИМ ВКЛЮЧЕННЯМ ЖИВЛЕННЯ АД НЕОБХІДНО ПЕРЕКОНАТИСЯ В ТОМУ, ЩО НАПРУГА НА ВИХОДІ АВТОТРАНСФОРМАТОРА T ДОРІВНЮЄ НУЛЮ.

2. **Провести дослід неробочого ходу.**

Роз'єднати муфту, що пов'язує випробовуваний двигун M з ГПС.

Встановити на вимірювальному пристрої К50 межі вимірювань: за струмом – (50...55)% від номінального струму; за напругою – (110...120)% від номінальної напруги.

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

Змінюючи напругу на статорі у межах $(1,1...0,3)U_N$ через кожних (15...20) В, провести виміри: U_A, U_B, U_C – фазні напруги у вхідній мережі (вимірюваний комплекс К50 орієнтований на з'єднання навантаження за схемою «зірка»), I_A, I_B, I_C – лінійні струми обмотки статора АД; P_A, P_B, P_C – потужності фаз АД.

Результати вимірювань занести до табл.3.1.

Автоматичним вимикачем QF вимкнути живлення АД.

Таблиця 3.1 – Дані дослід неробочого ходу

Виміряне									Обчислене							
U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	U_o	I_{so}	P_{ino}	$\cos\varphi_o$	P_{elso}	$P_{mag+mec}$	P_{mec}	P_{mag}
В	В	В	А	А	А	Вт	Вт	Вт	В	А	Вт	–	Вт	Вт	Вт	Вт

3. 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 $1,2I_N$. В процесі дослід 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 дослід короткого замикання

Виміряне									Обчислене: $I_{skN} =$ А; $M_1 =$ Н·м							
U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	U_k	I_{sk}	$P_{in k}$	$\cos \varphi_k$	$P_{el sk}$	$P_{mag k}$	$P_{el r k}$	M_{1k}
В	В	В	А	А	А	Вт	Вт	Вт	В	А	Вт	–	Вт	Вт	Вт	Н·м

4. 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 асинхронного двигуна, плавно підвищуючи напругу за допомогою автотрансформатора T і стежачи за тим, щоб струм I не перевищував допустимого для приладу К50 значення.

Встановити номінальну напругу U_N на обмотці статора і підтримувати її такою протягом усього дослід.

Включити обмотку збудження машини навантаження – ГПС на постійну напругу. Регулюючи струм в обмотці збудження ГПС, змінювати навантаження АД до значення струму в обмотці статора $1,25I_N$, так щоб мати 7..8 точок спостереження.

У кожній точці дослід навантаження треба фіксувати значення струму і споживаної потужності усіх фаз АД, а також кількість повних коливань k_t стрілки мікроамперметра $PA3$ і відповідний час t_k (бажано прийняти біля 10 с).

Результати дослід занести до табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Дані дослідів навантаження

Задано $U = U_s = U_N =$ В											
Виміряне								Обчислено			
I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	k_t	t_k	I_s	P_{in}	$\cos\varphi$	s
А	А	А	Вт	Вт	Вт	–	с	А	Вт	–	–

3.6 Обробка результатів

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

– лінійна (і одночасно – фазна U_{s_o}) напруга обмотки статора АД для схеми «трикутник» за формулою (3.5);

I_{s_o} – фазний струм за формулою (3.6);

P_{ino} – підведена активна потужність, яка втрачається в АД, за формулою (3.7);

$\cos\varphi_o$ – коефіцієнт потужності АД за формулою (3.8);

$P_{el s_o}$, $P_{mag+mec}$ – електричні й сумарні магнітно-механічні втрати потужності за формулами (2.1) і (2.2);

P_{mec} , P_{mag} – механічні і магнітні втрати потужності визначаються графічно за прикладом на рис.2.2 шляхом побудови залежностей $P_{mag+mec}\left(\frac{U_o}{U_N}\right)$ і $P_{mag+mec}\left(\left(\frac{U_o}{U_N}\right)^2\right)$.

За прикладом на рис.2.1, але у абсолютних одиницях виміру, побудувати характеристики неробочого ходу: $I_{s_o}(U_o)$, $P_{ino}(U_o)$ і $\cos\varphi_o(U_o)$.

2. За результатами дослідів короткого замикання (табл.3.2) визначити наступні дані та внести до цієї таблиці:

лінійну U_k і одночасно фазну напругу U_{sk} , фазний струм I_{sk} , споживану потужність $P_{in k}$ і коефіцієнт потужності $\cos\varphi_k$ 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 $P_{el sk}$, магнітні втрати потужності $P_{mag k}$, електричні втрати

потужності в обмотці ротора P_{elrk} і початковий обертальний момент M_{1k} .

За прикладом на рис.3.1, але у абсолютних одиницях виміру, побудувати характеристики короткого замикання: $I_{sk}(U_k)$, $P_{ink}(U_k)$ і $\cos\varphi_k(U_k)$.

Додатково за формулами (3.3) і (3.4) визначити струм короткого замикання I_{skN} при номінальній напрузі, використовуючи залежність $I_{sk}(U_k)$ за аналогією на рис.3.2, а також початковий пусковий момент M_1 при номінальній напрузі.

3. 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

$U = U_s = U_N =$ В; $n_s =$ об/хв.; $P_{mag} =$ Вт; $P_{mec} =$ Вт										
s	P_{els}	P_{em}	P_{elr}	P_{ad}	ΔP	P	η	M_{em}	n	M
–	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	–	Н·м	об/хв	Н·м

фазний струм I_s , споживана потужність P_{in} і коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ за формулами (3.6)-(3.8), діючи як і у попередніх дослідах;

n_s – частота обертання магнітного поля статора, яку треба взяти з відомого ряду її значень (А.5) – найближче зверху до n_N ;

P_{mag} , P_{mec} – магнітні і механічні втрати потужності беруться з досліду неробочого ходу при U_N (табл.3.1 і побудова графіку за прикладом рис.2.2);

s – ковзання ротора двигуна за формулою (3.9);

P_{els} – електричні втрати потужності в обмотці статора (2.4);

P_{em} – електромагнітна потужність (2.7);

P_{elr} – електричні втрати потужності в обмотці ротора (2.6);

P_{ad} – додаткові втрати потужності: приймаємо умовно $P_{ad} = 0,005 P_{in}$;

$\Delta P = P_{els} + P_{elr} + P_{mag} + P_{mec} + P_{ad}$ – сумарні втрати потужності при навантаженні АД;

$P = P_{in} - \Delta P$ – корисна механічна потужність на валу за формулою (2.9);

η – ККД за формулою (А.25);

$M_{em} = 30 \frac{P_{em}}{\pi n_s} = 9,549 \frac{P_{em}}{n_s}$ – електромагнітний момент (за аналогією (А.19);

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

$$M = 30 \frac{P}{\pi n} = 9,549 \frac{P}{n} \text{ – обертальний момент на валу (А.19).}$$

За результатами дослідів навантаження, тобто за даними табл.3.3 і 3.4, побудувати робочі характеристики АД (рис.А.10) – залежності $n(P)$, $M(P)$, $I_s(P)$, $\eta(P)$, $\cos\varphi(P)$ і $s(P)$.

4. Проаналізувати результати, отримані в табл.3.1-3.4 і проілюстровані побудованими характеристиками.

5. Звіт про виконану роботу повинен відповідати стандартам НТУ «ХП» і вимогам, викладеним у додатку В. Звіт має містити титульний лист, опис мети і завдань досліджень, схему експериментальної установки, таблиці зміряних і розрахункових даних, розрахункові формули, графіки обумовлених характеристик, висновки за роботою.

Контрольні питання

1. Пояснити будову і принцип дії асинхронного двигуна з контактними 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 дослідів неробочого ходу? Чому в режимі неробочого ходу двигун все ж таки споживає з мережі достатньо великий струм?
6. У чому полягає мета проведення дослідів 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.