

УДК 321.313.333.2

МЕТОД ПЕРІОДИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Вовк О.Ю., к.т.н.,

Безменнікова Л.М., к.т.н.,

Квітка С.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-32-63

Анотація – Представлено метод діагностування асинхронних електродвигунів, який спрямований на підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів на підприємствах агропромислового комплексу шляхом періодичного діагностування їх роботоздатності.

Ключові слова – асинхронний електродвигун, роботоздатність, діагностування, втрати потужності.

Постановка проблеми. Асинхронні електроприводи становлять близько 95 % загальної кількості електроприводів і споживають більше половини електроенергії галузі, але у процесі експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу України щорічно відмовляє в середньому 20 – 25 % наявного парку електродвигунів (при випробуваннях на надійність за цей термін відмовляє 2 – 3 %), що призводить до незапланованих матеріальних витрат, пов'язаних з раптовою зупинкою технологічних ліній, а також на ремонт асинхронних двигунів. Причина – недостатній рівень експлуатації означених електродвигунів на підприємствах агропромислового комплексу, зокрема – відсутність достатньої інформації про їх стан [1, 2]. Тому одна із складових підвищення рівня експлуатації асинхронних електродвигунів – це своєчасний контроль асинхронних електродвигунів як системи взаємопов'язаних вузлів, для чого необхідно розроблення та впровадження раціонального методу діагностування асинхронних електродвигунів.

Аналіз останніх досліджень. Методи періодичного діагностування асинхронних електродвигунів, що існують на цей час, можна розподілити на три групи. До першої групи слід віднести методи, які спрямовані на контроль роботоздатності одного з вузлів електродвигуна (найчастіше – обмотки статора або підшипників). Друга група – це методи, що передбачають контроль роботоздатності електродвигу-

на за одним узагальнюючим параметром (наприклад, силою споживаного струму або ковзанням). Третя група – це послідовний функціональний аналіз роботоздатності вузлів електродвигуна [3]. Аналіз зазначених методів виявив наступні недоліки відносно їх застосування в умовах агропромислового комплексу України: висока вартість технічної реалізації методів, неповний контроль стану електродвигуна, спрямованість виключно на пошук пошкоджень із значною витратою часу на діагностування, відсутність контролю роботоздатності електродвигуна при роботі в заданому режимі.

Формулювання цілей статті. Отже, розроблення і впровадження методу діагностування асинхронних електродвигунів, який забезпечить всебічну оцінку їх стану, а також спростить практичну реалізацію діагностування в порівнянні з існуючою, є актуальним завданням. Контроль роботоздатності електродвигунів в експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу України – складний процес, що вимагає методів, які повинні забезпечувати скорочення часу контролю і бути розраховані на мобільні малогабаритні пристрої для діагностування, а також дозволяти періодично контролювати роботоздатність всіх вузлів електродвигунів і визначати несправності.

Основна частина. Для діагностування асинхронних електродвигунів обрано метод розділення втрат потужностей, внаслідок того, що він не потребує додаткової електричної машини для навантаження асинхронного електродвигуна. Виходячи із вимог до випробувань асинхронного електродвигуна щодо його нагрівання [4], електродвигун перед початком діагностування повинен знаходитись у холодному стані.

Першим виконується дослід короткого замикання. Електродвигун встановлюється на стільницю та закріплюється, його ротор гальмується спеціальним пристроєм. За допомогою регулятора напруги (індукційного регулятора) сила струму піднімається від нуля до номінального значення. В досліді виконуються вимірювання (за допомогою вимірювального комплексу К-500) для кожної фази електродвигуна, тобто номінальний струм встановлюється для кожної фази по черзі. Вимірюються активна потужність, споживана кожною фазою електродвигуна ($\Delta P_{K,A}$ – фазою A ; $\Delta P_{K,B}$ – фазою B ; $\Delta P_{K,C}$ – фазою C), струм у кожній фазі, що дорівнює номінальному струму ($I_{K,A}$ – у фазі A ; $I_{K,B}$ – у фазі B ; $I_{K,C}$ – у фазі C ; $I_{K,A} = I_{K,B} = I_{K,C} = I_N$), напруга на затискачах кожної фази ($U_{K,A}$ – фази A ; $U_{K,B}$ – фази B ; $U_{K,C}$ – фази C). По закінченні дослідів вимірюються опори постійному струму кожної з фаз електродвигуна ($R_{I_{A,K}}$ – фази A ; $R_{I_{B,K}}$ – фази B ; $R_{I_{C,K}}$ – фази C) за допомогою чотирьохплечого моста.

За результати вимірювань в досліді короткого замикання визначають сумарну активну потужність $\Delta P_K = \Delta P_{K,A} + \Delta P_{K,B} + \Delta P_{K,C}$, що споживає електродвигун у досліді, середнє значення фазної напруги

$U_K = (U_{K.A} + U_{K.B} + U_{K.C}) / 3$ та середнє значення фазного струму $I_{K.H} = (I_{K.A} + I_{K.B} + I_{K.C}) / 3$. Також визначають середнє значення опору постійному струму фази електродвигуна $R_{1K} = (R_{1A.K} + R_{1B.K} + R_{1C.K}) / 3$. Далі знаходять втрати активної потужності в обмотці статора при номінальному струмі в досліді:

$$\Delta P_{E1} = 3 \cdot R_{1K} \cdot I_{K.H}^2, \quad (1)$$

втрати активної потужності в обмотці ротора при номінальному струмі:

$$\Delta P_{E2} = \Delta P_K - \Delta P_{E1} - \Delta P_{MG} \left(\frac{U_K}{U_H} \right)^2, \quad (2)$$

де ΔP_{MG} – втрати в магнітопроводі електродвигуна при номінальній напрузі (визначаються з досліді холостого ходу), Вт;
 U_H – номінальна фазна напруга електродвигуна, В.

Потім виконується дослід холостого ходу. Спочатку електродвигун вмикається на номінальну напругу, яка встановлюється за допомогою регулятора напруги, і працює 15 хвилин для встановлення усталеного теплового стану. Після цього виконуються вимірювання для кожної фази електродвигуна, тобто номінальна напруга встановлюється для кожної фази по черзі. Вимірюються активна потужність, споживана кожною фазою електродвигуна ($\Delta P_{X.A}$ – фазою А; $\Delta P_{X.B}$ – фазою В; $\Delta P_{X.C}$ – фазою С), струм у кожній фазі ($I_{X.A}$ – у фазі А; $I_{X.B}$ – у фазі В; $I_{X.C}$ – у фазі С), напруга на затисках кожної фази, що дорівнює номінальній напрузі ($U_{X.A}$ – фази А; $U_{X.B}$ – фази В; $U_{X.C}$ – фази С; $U_{X.A} = U_{X.B} = U_{X.C} = U_H$). Потім напругу на затисках електродвигуна знижують до $U_{X.A1} = U_{X.B1} = U_{X.C1} = 0,7 \cdot U_H$ та вимірюють ті ж самі величини при цій напрузі: активну потужність, споживану кожною фазою електродвигуна ($\Delta P_{X.A1}$ – фазою А; $\Delta P_{X.B1}$ – фазою В; $\Delta P_{X.C1}$ – фазою С), струм у кожній фазі ($I_{X.A1}$ – у фазі А; $I_{X.B1}$ – у фазі В; $I_{X.C1}$ – у фазі С), напругу на затисках кожної фази, що дорівнює зниженій в 0,7 рази відносно номінальної напруги ($U_{X.A1}$ – фази А; $U_{X.B1}$ – фази В; $U_{X.C1}$ – фази С; $U_{X.A1} = U_{X.B1} = U_{X.C1} = 0,7 \cdot U_H$). По закінченні досліді вимірюються опори постійному струму кожної з фаз електродвигуна ($R_{1A.X}$ – фази А; $R_{1B.X}$ – фази В; $R_{1C.X}$ – фази С) за допомогою чотирьохплечого моста.

За результатами вимірювань в досліді холостого ходу визначають сумарну активну потужність $\Delta P_X = \Delta P_{X.A} + \Delta P_{X.B} + \Delta P_{X.C}$, що споживає електродвигун у досліді при номінальній напрузі U_H , сумарну активну потужність $\Delta P_{X1} = \Delta P_{X.A1} + \Delta P_{X.B1} + \Delta P_{X.C1}$, що споживає електродвигун у досліді при зниженій в 0,7 рази відносно номінальної напруги, а також середнє значення фазного струму $I_X = (I_{X.A} + I_{X.B} + I_{X.C}) / 3$ при номінальній напрузі U_H та середнє значення фазного струму $I_{X1} = (I_{X.A1} + I_{X.B1} + I_{X.C1}) / 3$ при зниженій напрузі. Також визна-

чають середнє значення опору постійному струму фази електродвигуна $R_{1X} = (R_{1A,X} + R_{1B,X} + R_{1C,X}) / 3$. Далі знаходять втрати активної потужності в обмотці статора при номінальній напрузі в досліді:

$$\Delta P_{E1,X} = 3 \cdot R_{1X} \cdot I_X^2, \quad (3)$$

втрати активної потужності в обмотці статора при зниженій в 0,7 рази відносно номінальної напруги в досліді:

$$\Delta P_{E1,X,1} = 3 \cdot R_{1X} \cdot I_{X1}^2, \quad (4)$$

механічні втрати:

$$\Delta P_{MX} = \frac{U_H^2 (\Delta P_{X1} - \Delta P_{E1,X,1}) - 0,49 \cdot U_H^2 (\Delta P_X - \Delta P_{E1,X})}{U_H^2 - 0,49 \cdot U_H^2}, \quad (5)$$

або

$$\Delta P_{MX} = \frac{\Delta P_{X1} - \Delta P_{E1,X,1} - 0,49 \cdot (\Delta P_X - \Delta P_{E1,X})}{0,51}, \quad (6)$$

втрати в магнітопроводі при номінальній напрузі:

$$\Delta P_{MF} = \Delta P_X - \Delta P_{MX} - \Delta P_{E1,X}. \quad (7)$$

За отриманими результатами визначають поточні сумарні втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні при номінальній потужності на валу P_H і номінальній напрузі на затискачах U_H :

$$\Delta P_{H,\Pi} = \Delta P_{E1} + \Delta P_{E2} + \Delta P_{MF} + \Delta P_{MX} + 0,005 \cdot \frac{P_H}{\eta_H}, \quad (8)$$

та поточний коефіцієнт корисної дії асинхронного електродвигуна:

$$\eta_{H,\Pi} = \frac{P_H}{P_H + \Delta P_{H,\Pi}}. \quad (9)$$

Метод діагностування, в основу якого покладні досліди короткого замикання та холостого ходу, ґрунтується на порівнянні поточного коефіцієнту корисної дії асинхронного електродвигуна з допустимим, яке відповідно до [5] визначається наступним чином:

$$\eta_{\text{доп}} = \eta_H - 0,15(1 - \eta_H), \quad (10)$$

де $\eta_{\text{доп}}$ – допустиме значення коефіцієнта корисної дії асинхронного електродвигуна;

η_H – номінальне значення коефіцієнта корисної дії асинхронного електродвигуна.

У разі $\eta_{H,\Pi} < \eta_{\text{доп}}$ роботоздатність електродвигуна знизилась і його функціональний стан став неномінальним, внаслідок чого двигун необхідно ремонтувати.

Виходячи з викладеного вище метод діагностування складається з наступних операцій:

- операція 1: дослід короткого замикання для визначення втрат активної потужності в обмотках асинхронного електродвигуна;

- операція 2: вимірювання опорів постійного струму обмотки статора асинхронного електродвигуна для визначення їх значень після досліду короткого замикання та після досліду холостого ходу;
- операція 3: дослід холостого ходу для визначення втрат активної потужності в магнітопроводі та механічних втрат асинхронного електродвигуна;
- операція 4: визначення сумарних втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні та його коефіцієнту корисної дії, який порівнюють з допустимим.

Схематично виконання вказаних операцій можна відобразити наступним чином (рис. 1).

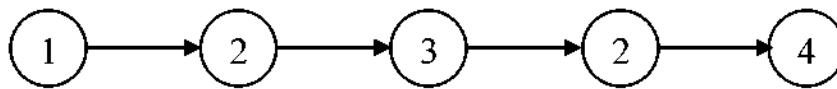


Рис. 1. Послідовність виконання діагностичних операцій

В основу метода діагностування асинхронних електродвигунів покладена технологія періодичного діагностування, яка складається з наступних операцій: збору початкових даних, виконання технічних операцій з діагностування, виконання розрахункових операцій з діагностування; та ґрунтується на періодичному порівнянні коефіцієнта корисної дії асинхронного електродвигуна при номінальній потужності на валу і номінальній напрузі на затискачах з припустимим значенням (10). Перед виконанням діагностичних операцій асинхронний електродвигун відключають від приводного елемента робочої машини, очищають і оглядають відповідно до технології технічного обслуговування даного електродвигуна. Як метрологічний пристрій для вимірювання значень опорів обмоток використовують вимірювальний міст постійного струму типу Р-333 або більш досконалий. Як метрологічний пристрій для вимірювання значень необхідних фізичних величин використовують вимірювальний комплект типу К-500 або більш досконалий. Як обчислювальний використовують комп'ютер. Розрахунки значень величин, необхідних для діагностування, виконуються в редакторі "Ms Excel" по складеній програмі. Таким чином, блок-схема методу діагностування асинхронних електродвигунів буде мати такий вигляд (рис. 2).

Здійснено експериментальну перевірку розробленого методу діагностування асинхронних електродвигунів. Завдання експериментальної перевірки полягало в перевірці його здатності виявляти несправності електродвигуна, які є характерними для нього при виробничій експлуатації. При перевірці методу діагностування був використаний прискорений експеримент у лабораторних умовах, що застосовується в промисловості для перевірки надійності електричних машин

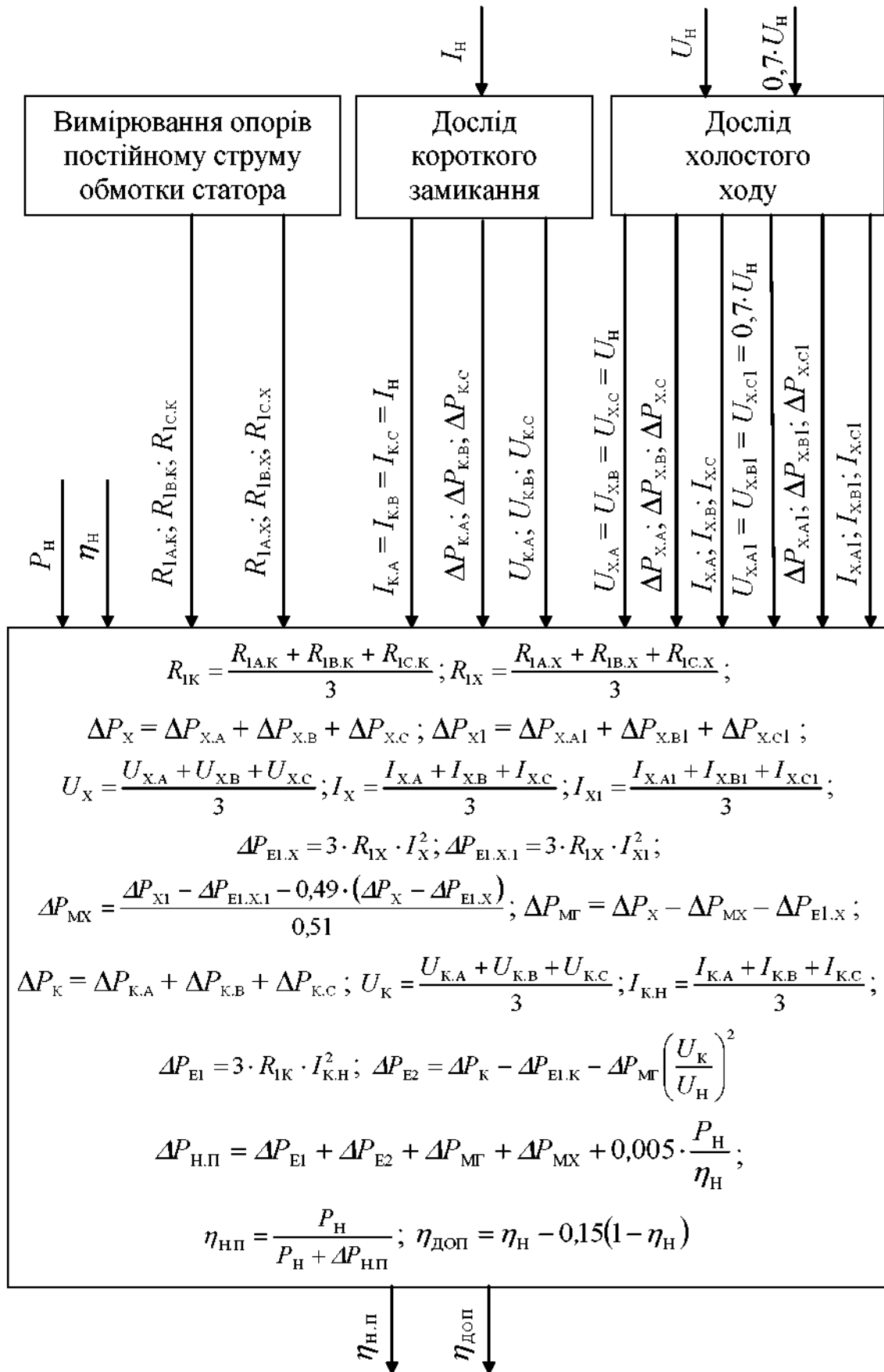


Рис. 2. Блок-схема методу діагностування асинхронних електродвигунів

(зокрема їх ізоляції) [5]. Прискорення експерименту полягало в навмисному введенні певної несправності в один з вузлів електродвигуна (“навмисної поломки”) і наступному знаходженні функціонального стану електродвигуна запропонованим методом.

У якості контрольованого був узятий асинхронний електродвигун типу 4А80В2У3, який має наступні паспортні дані: $P_H = 1,1 \text{ кВт}$, $U_{\phi, H} = 220 \text{ В}$, $I_{\phi, H} = 2,47 \text{ А}$, $\eta_H = 77,5 \%$ [5].

Результати експериментальної перевірки методу діагностування асинхронних електродвигунів зведено до таблиці 1 (значення основних фізичних величин, що визначались при діагностуванні).

Таблиця 1 – Результати експериментальної перевірки методу діагностування

Фізична величина	Значення фізичної величини		Відносне відхилення, %
	Електродвигун справний	Електродвигун несправний	
Електричні втрати в обмотці статора, <i>Вт</i>	114,4	182,3	+ 59,4
Електричні втрати в обмотці ротора, <i>Вт</i>	71,1	71,2	+ 0,1
Втрати в магнітопроводі, <i>Вт</i>	111,3	111,2	- 0,09
Механічні втрати, <i>Вт</i>	18,3	18,9	+ 3,3
Коефіцієнт корисної дії	0,774	0,738	- 4,7

З таблиці 1 видно, що електричні втрати в обмотці статора збільшилися на 59,4 % внаслідок збільшення струму, що споживає електродвигун, а це відбулося тому, що в обмотці статора виникла несправність.

Електричні втрати в обмотці ротора незначно збільшилися (на 0,1 %), що обумовлено збільшенням струму в обмотці ротора внаслідок збільшення струму, що споживає електродвигун, а це відбулося тому, що в обмотці статора виникла несправність.

Втрати в магнітопроводі незначно зменшилися (на 0,09 %), тому що збільшилось спадання напруги в обмотці статора внаслідок збільшення струму, що споживає електродвигун, а це відбулося тому, що в обмотці статора виникла несправність.

Механічні втрати збільшилися на 3,3 %, що обумовлено виникненням гальмівних моментів, які виникають при роботі несправного електродвигуна.

Коефіцієнт корисної дії електродвигуна зменшився на 4,7 % внаслідок збільшення втрат активної потужності в електродвигуні, а це відбулося тому, що в обмотці статора виникла несправність.

Висновки. Таким чином, запропонований метод діагностування асинхронних електродвигунів здатен визначати функціональний стан електродвигуна, що діагностується. Узагальненим діагностичним па-

раметром, що всебічно характеризує роботоздатність асинхронних електродвигунів та не потребує дуже коштовних технічних засобів для визначення, є коефіцієнт корисної дії. Методом навантаження асинхронних електродвигунів, технічна реалізація якого буде раціональною, є досліди холостого ходу і короткого замикання, при цьому коефіцієнти корисної дії визначається за складовими втрат активної потужності

Література

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В.В. Овчаров. – К.: УСХА, 1990. – 168 с.
2. *Єрмолаєв С.О.* Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК / С.О. Єрмолаєв, В.О. Мунтян, В.Ф. Яковлев. – К.: Мета, 2003. – 534 с.
3. *Хорольский В.Я.* Теоретические основы эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий: Учебное пособие / В.Я. Хорольский. – Ставрополь: Ставр. с/х ин-т, 1992. – 149 с.
4. *Коварский Е.М.* Испытание электрических машин / Е.М. Коварский, Ю.И. Янко. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320с.
5. *Копылов И.П.* Справочник по электрическим машинам: В 2-х т., Т.1. / И.П. Копылов, Б.К. Клоков – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

МЕТОД ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Вовк А.Ю., Безменникова Л.Н., Квитка С.А.

Аннотация

Представлен метод диагностирования асинхронных электродвигателей, который направлен на повышение эксплуатационной надежности асинхронных электродвигателей на предприятиях агропромышленного комплекса путем периодического диагностирования их работоспособности.

METHOD PERIODIC MONITORING OF THE ASYNCHRONOUS MOTORS

O. Vovk, L. Bezmennikova, S. Kvitka

Summary

The paper is dedicated to method of monitoring asynchronous electric motors, which is directed on increasing to serviceability of the asynchronous electric motors in agriculture by periodic diagnosing of their functional condition.