

**ВОРОБЬЕВ ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: tatiana49@mail.ru

**АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: asa-finance@yandex.ru

**ЗАГИНАЙЛОВ ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: energo-viz@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550,  
ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ ПРИ МАРКИРОВКЕ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Известные способы «подбора» и «трансформации» для осуществления маркировки статорных обмоток трехфазных электродвигателей отличаются большими затратами времени и значительным числом переключений. Предложен новый способ выполнения маркировки выводов статорных обмоток на основе анализа взаимодействия магнитных потоков внутри электродвигателя и явления электромагнитной взаимной индукции, существующего между фазами трехфазного электродвигателя. Сначала с помощью контрольной лампы, омметра, вольтметра и др. определяют принадлежность двух выводов к каждой из трех фаз электродвигателя. Затем три обмотки (фазы) соединяют последовательно (в открытый треугольник). Собранный таким образом электрическую цепь присоединяют к сети переменного тока напряжением 220 В и параллельно к каждой фазе подключают три одинаковых вольтметра. Если фазы электродвигателя оказались включенными согласно: начало-конец-начало-конец-начало-конец, то вольтметры покажут одинаковые значения напряжения. Если одна из фаз оказалась включенной в открытый треугольник встречно по отношению к двум другим, то вольтметр, подключенный к ней, покажет большее напряжение по сравнению с показаниями вольтметров на двух других фазах. Руководствуясь показаниями вольтметров, можно сразу осуществить разметку начал и концов фаз электродвигателя. Ввиду того что фазы трехфазных электродвигателей в процессе выполнения маркировки соединяют последовательно, разомкнутый треугольник можно включать на сетевое напряжение 220 В при собранном электродвигателе и при удаленном роторе. Большие различия в напряжениях на фазах возникают при удаленном роторе. Предложенный способ маркировки фаз трехфазных электродвигателей более удобен для использования в практике благодаря незначительным затратам времени и меньшему числу переключений.

**Ключевые слова:** трехфазный электродвигатель, маркировка статорных обмоток.

**Введение.** Трехфазные электродвигатели имеют три фазы-катушки, между которыми существует взаимная индукция. В практике эксплуатации, особенно после ремонта, встречаются электродвигатели, у которых отсутствует маркировка выводов, т.е. обозначения начал и концов фаз. Это не позволяет собрать схемы соединения обмоток «звездой» или «треугольником» в зависимости от соотношений напряжений сети и паспортных данных электродвигателя [1]. Электродвигатели с отсутствующей маркировкой нередко отправляют в утилизацию, что весьма расточительно. Ввиду этого возникает необходимость в определении начал и концов фаз электродвигателей. В разное время были предложены способы определения начал и концов фаз трехфазных электродвигателей, которые применяются достаточно широко и в настоящее время: способ

трансформации, способ подбора [2, 3]. У этих способов имеются существенные недостатки, связанные с необходимостью выполнять ряд переключений, которые требуют значительных затрат времени.

**Цель исследования** – обоснование и разработка простого способа маркировки статорных обмоток трехфазных электродвигателей.

**Материал и методика.** Материалом для исследований служили трехфазные электродвигатели с отсутствующей маркировкой статорных обмоток. В результате анализа взаимодействия магнитных потоков внутри трехфазных электродвигателей удалось предложить более простой способ определения начал и концов фаз электродвигателей.

**Результаты и обсуждение.** Новый способ определения начал и концов фаз трехфазных электродвигателей заключается в следующем. Сначала

известными способами с помощью контрольной лампы, омметра, вольтметра и др. определяют принадлежность двух выводов к каждой из трех фаз электродвигателя. Затем три обмотки (фазы) соединяют последовательно (в открытый треугольник) [4, 5], как показано на рисунке 1.

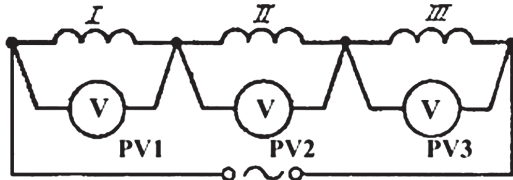


Рис. 1. Схема соединения фаз трехфазного электродвигателя в открытый треугольник

Собранную таким образом электрическую цепь присоединяют к сети переменного тока напряжением 220 В. Параллельно к каждой фазе подключают три одинаковых вольтметра. Можно измерять напряжение на каждой фазе и одним вольтметром.

Если фазы электродвигателя оказались включенными согласно: начало-конец-начало-конец-начало-конец, то вольтметры покажут одинаковые значения напряжения. Если одна из фаз оказалась включенной в открытый треугольник встречно по отношению к двум другим, то вольтметр, подключенный к ней, покажет большее напряжение по сравнению с показаниями вольтметров на двух других фазах. Руководствуясь показаниями

вольтметров, можно сразу осуществить разметку начал и концов фаз электродвигателя.

Существо процессов, происходящих при разметке выводов фаз электродвигателя описанным способом, можно выяснить при рассмотрении магнитной цепи трехфазного электродвигателя [6]. Следует иметь в виду, что каждая из фаз электродвигателя создает магнитные потоки самоиндукции и взаимоиндукции [7]. Разветвляющиеся магнитные потоки каждой фазы на два потока взаимоиндукции сцепляются с соседними фазами. Магнитные потоки взаимоиндукции каждой из трех фаз направлены навстречу друг другу (рис. 2). Этим объясняется равенство напряжений на зажимах всех трех фаз. Уравнения, характеризующие значения напряжения на зажимах фаз, имеют вид

$$u_1 = iR_1 \frac{di}{dt} + L_1 \frac{di}{dt} + M_{12} \frac{di}{dt} + M_{13} \frac{di}{dt} - M_{21} \frac{di}{dt} - M_{31} \frac{di}{dt};$$

$$u_2 = iR_2 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + M_{21} \frac{di}{dt} + M_{23} \frac{di}{dt} - M_{12} \frac{di}{dt} - M_{33} \frac{di}{dt};$$

$$u_3 = iR_3 \frac{di}{dt} + L_3 \frac{di}{dt} + M_{31} \frac{di}{dt} + M_{32} \frac{di}{dt} - M_{13} \frac{di}{dt} - M_{23} \frac{di}{dt},$$

где  $u_1, u_2, u_3$  – соответственно напряжения на фазах электродвигателя;  $I$  – значение силы тока в фазах;  $L$  – индуктивность фазы;  $R$  – сопротивление фазы;  $M$  – значение взаимоиндукции между фазами;  $di/dt$  – производная силы тока.

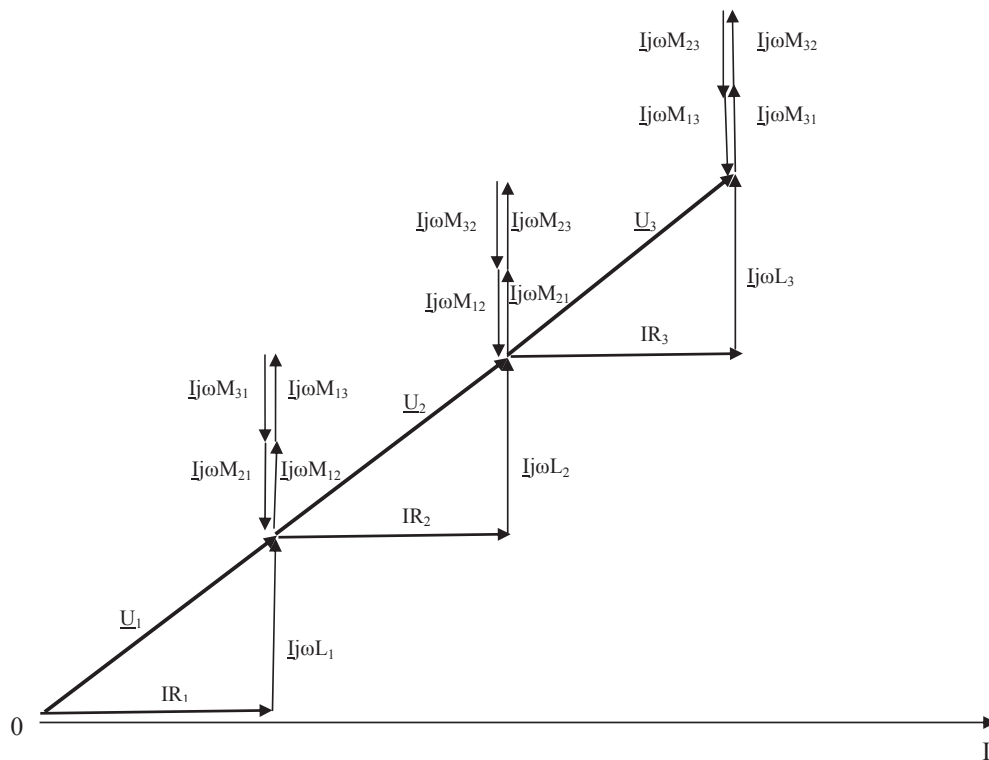


Рис. 2. Векторная диаграмма, соответствующая согласно включению фаз электродвигателя



Показан пример практического использования явления взаимной индукции, позволяющий существенно упростить процесс маркировки фаз трехфазных электродвигателей. Ввиду того что фазы трехфазных электродвигателей в процессе выполнения маркировки соединяют последовательно, разомкнутый треугольник можно включать на сетевое напряжение 220 В при собранном электродвигателе и при удаленном роторе. Большие различия в напряжениях на фазах возникают при удаленном роторе.

### Выводы

Выполняя несложные операции (попарную классификацию выводов статорных обмоток трехфазных электродвигателей) и измеряя напряжения на каждой фазе электродвигателя, можно быстро и качественно выполнить маркировку статорных обмоток электродвигателей. Многократное использование предлагаемого способа разметки выводов фаз трехфазных электродвигателей на практике показало его простоту и удобство.

### Библиографический список

1. Воробьев В.А. Практикум по электроприводу сельскохозяйственных машин. М.: БИБКМ, ТРАНСЛОГ, 2016. 224 с.

2. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. пособие для вузов. Ростов н/Д: Феникс, 2003. 480 с.

3. Кононенко В.В., Мишкович В.И. и др. Практикум по электротехнике и электронике: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.В. Кононенко. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 384 с.

4. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2007. 542 с.

5. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Равдоник В.С. Электротехника: Учебник. СПб.: Лань, 2006. 496 с.

6. Беневоленский С.Б., Марченко А.Л. Основы электротехники: Учеб. пособие для вузов. М.: Издательство «Физматлит», 2006. 568 с.

7. Жаворонков М.А., Кузин А.В. Электротехника и электроника: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2005. 400 с.

8. Ахмадеев Р.В., Вавилова И.В., Грахов П.А., Крымская Т.М. Электрические и магнитные цепи: Практикум по дисциплине «Электротехника и электроника». Уфа: УГАТУ, 2007. 78 с.

9. Рекус Г.Г. Основы электротехники и промышленной электроники в примерах и задачах с решениями: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2008. 227 с.

Статья поступила 12.01.2018

## PRACTICAL USE OF MUTUAL INDUCTION WHEN MARKING STATOR WINDING OF THREE-PHASE ELECTRIC MOTORS

**VIKTOR A. VOROBYEV, DSc (Eng), professor**

E-mail: tatiana49@mail.ru

**SERGEY A. ANDREYEV, PhD (Eng)**

E-mail: asa-finance@yandex.ru

**VLADIMIR I. ZAGINAILOV, DSc (Eng), professor**

E-mail: energo-viz@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The conventional methods of “selection” and “transformation” for marking stator windings of three-phase electric motors are characterized by considerable time consumption and significant number of switching operations. The authors offer a new method for marking stator windings, which is based on an analysis of the interaction of magnetic fluxes inside the electric motor and the phenomenon of electromagnetic mutual induction between phases of a three-phase electric motor. First, using a control lamp, an ohmmeter, a voltmeter, etc., one can determine the relationship between the two terminals and each of the three phases of an electric motor. Then three windings (phases) are connected in series (to form an open triangle). The electric circuit assembled in this way is connected to an alternating current network with a voltage of 220 V, and three identical voltmeters are connected in parallel to each phase. If the motor phases are turned on according to a “start-end-start-end-start-end” pattern, the voltmeters will show the same voltage values. If one of the phases in an open triangle turns out to be set in an opposite manner to the other two phases, a voltmeter connected to it will show a greater voltage than the voltmeter readings in the other two phases. Basing on the readings of voltmeters, one can immediately mark the beginnings and ends of the electric motor phases. Given the fact that the phases of three-phase motors are connected in series during the marking process, an open triangle can be connected to a mains voltage of 220 V with an assembled

electric motor and a remote rotor. Large differences in phase voltages are observed in case of a remote rotor. The proposed method for marking the phases of three-phase electric motors is more convenient for use in practice due to its decreased time consumption and fewer switching-over acts.

**Key words:** three-phase electric motor, marking of stator windings.

### References

1. Vorob'yev V.A. Praktikum po elektroprivodu sel'skokhozyaystvennykh mashin [Workshop on the electric drive of agricultural machines]. Moscow, BIB-KOM, TRANSLOG, 2016. 224 p. (In Rus.)
2. Aliyev I.I. Spravochnik po elektrotekhnike i elektrooborudovaniyu: Ucheb. posobiye dlya vuzov [Handbook of electrical engineering and electrical equipment: Study manual for universities]. Rostov n/D, Feniks, 2003. 480 p. (In Rus.)
3. Kononenko V.V., Mishkovich V.I. et al. Praktikum po elektrotekhnike i elektronike: Ucheb. posobiye dlya vuzov [Workshop on electrical engineering and electronics: Study manual for universities]; Ed. by Kononenko V.V. Rostov n/D, Feniks, 2007. 384 p. (In Rus.)
4. Kasatkin A.S., Nemtsov M.V. Elektrotekhnika: Ucheb. dlya vuzov [Electrical Engineering: Study manual for universities]. Moscow, Vyssh. shk., 2007. 542 p. (In Rus.)
5. Ivanov I.I., Solov'yev G.I., Ravdonik V.S. Elektrotekhnika: Uchebnik [Electrical Engineering Technologies: Textbook]. Sankt-Peterburg, Lan', 2006. 496 p. (In Rus.)
6. Benevolenskiy S.B., Marchenko A.L. Osnovy elektrotekhniki: Ucheb. posobiye dlya vtuzov [Fundamentals of Electrical Engineering: Study manual for universities]. Moscow, Izdatel'stvo Fiziko-matematicheskoy literatury, 2006. 568 p. (In Rus.)
7. Zhavoronkov M.A., Kuzin A.V. Elektrotekhnika i elektronika: Ucheb. posobiye dlya stud. vyssh. ucheb. Zavedeniy [Electrical Engineering and Electronics: Study manual for universities]. Moscow, Akademiya, 2005. 400 p. (In Rus.)
8. Akhmadeyev R.V., Vavilova I.V., Grakhov P.A., Krymskaya T.M. Elektricheskiye i magnitnyye tsepi: Praktikum po distsipline "Elektrotekhnika i elektronika" [Electric and magnetic circuits: Workshop on the "Electrical Engineering and Electronics" subject]. Ufa: UGATU, 2007. 78 p. (In Rus.)
9. Rekus G.G. Osnovy elektrotekhniki i promyshlennoy elektroniki v primerakh i zadachakh s resheniyami: Ucheb. posobiye [Fundamentals of electrical engineering and industrial electronics in practical examples and case studies: Textbook]. Moscow, Vyssh. shk., 2008. 227 s. (In Rus.)

*The paper was received on January 12, 2018*

УДК 621:542.04:631.417.2

DOI 10.26897/1728-7936-2018-3-69-73

**КУДРЯВЦЕВА ЕКАТЕРИНА АНАТОЛЬЕВНА**

E-mail: eafesyun@gmail.com

**СУДНИК ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: sudnikya@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПОЧВЕ

Разработана специальная методика проведения экспресс-контроля и мониторинга содержания гумуса в почве согласно новому способу определения содержания гумуса в почве с учётом её электрических свойств. Существенным отличием предлагаемой методики является то, что проводят измерения электрического сопротивления площади поверхности почвы между группами электродов. Такая методика предусматривает размещение зондирующих и измерительных электродов на значительной площади (до 10 кв. метров) почв. Щупы электродов при этом заглубляются в почву на глубину до 20 см на расстоянии до 10 м. Щупы измерительных электродов заглубляются в землю на линии размещения зондирующих электродов внутри них. Размещаются измерительные электроды симметрично центру между зондирующими электродами на рассто-