



Стыскин А. В.
Styskin A. V.

*кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Электромеханика»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация*



Уразбахтина Н. Г.
Urazbakhtina N. G.

*кандидат технических наук,
доцент кафедры «Электромеханика»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация*

УДК 621.314.075

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ САМОЗАПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

Поскольку мощность электрических станций постоянно увеличивается и мощность электродвигателей собственных нужд (СН) также растет, то очень важно исследовать динамические характеристики двигателей собственных нужд, а именно пусковые характеристики не только при включении, но и характеристики выбега и самозапуска после кратковременного по времени аварийного отключения электрической сети или глубокой посадки напряжения до некоторого остаточного значения, т.е. исследовать способность электродвигателя или группы электродвигателей восстанавливать нормальный режим работы без вмешательства персонала.

В связи с этим был проведен анализ и исследование вопросов самозапуска электродвигателей собственных нужд путем имитационного моделирования режимов работы одного асинхронного двигателя повышенной мощности и группы двигателей (совместно) с различного вида нагрузкой на валу для обеспечения их динамической устойчивости при кратковременных перерывах электроснабжения. На основании проведенного анализа была разработана методика проверки успешного самозапуска электродвигателей собственных нужд. Разработанная имитационная модель может применяться как для исследования самозапуска единичного двигателя, так и для исследования поведения группы двигателей (более двух). Модель включает в себя модели асинхронных двигателей как наиболее часто применяемых для агрегатов собственных нужд, блоки нагрузки с переменными параметрами, а также модель источника питания, имитирующую сеть неограниченной мощности с возможными аварийными ситуациями во времени, от полного отсутствия напряжения до некоторого остаточного значения. Разработанная компьютерная имитационная модель для исследования электромагнитных процессов, происходящих при самозапуске асинхронных двигателей СН, обладает довольно простой структурой, что облегчает работу практическому пользователю. При всей простоте компьютерная модель позволяет: осуществить проверку правильности выбора асинхронных двигателей СН и нагрузочных механизмов по мощности, проверив потребляемый ток и время выбега; проверить обеспеченность успешного самозапуска как одиночных двигателей, так и группового самозапуска (более двух в группе) и выбрать рациональное время ступенчатого включения, на основании этой проверки выявить агрегаты, которые не обеспечивают самозапуск, и подключить к ним автоматику; осуществить проверку самозапуска группы асинхронных двигателей СН не только на нормированной паузе напряжения питания, но и при других возможных временах аварии, изменяя заданное время таймера включения.

Ключевые слова: асинхронный двигатель собственных нужд, самозапуск, имитационное моделирование, пуск, выбег, самозапуск, вентиляторная нагрузка.

MODELING AND ANALYSIS OF OPPORTUNITIES SELF INDUCTION MOTORS OWN NEEDS

Since the power of power stations is constantly increasing, power of electric motors of own needs is also increasing, it is important to explore the dynamic characteristics of the engine's own needs, namely, starting performance not only at startup, but also the characteristics of run-down and self after a short time of emergency power outage or deep planting voltage up to some residual value, i.e., the ability of the electric motor or motors group to restore normal operation without human intervention.

In this connection, an analysis of and study on their own self-starting motor needs (SN) through simulation modeling performance levels of high-power induction motor and the engine group, together with various types of load on the shaft to ensure their dynamic stability during short interruptions of power supply. method of verification of successful self-starting motor own needs has been developed on the basis of the analysis. The developed simulation model can be used for self-study of a single motor, and to study the behavior of a group of engines (more than two). The model includes a model of induction motors, the most commonly used units for their own use, load units with variable parameters, as well as the power supply model simulates unlimited capacity network with possible emergencies in time, from the total absence of residual voltage to a certain value.

Developed a computer simulation model for the study of electromagnetic processes occurring during the self-induction motors, has a relatively simple structure that facilitates the work of the practical user. Despite the simplicity of a computer model, you can: to verify the correctness of the choice of induction motors HF and loading mechanisms for power, check the current consumption and run-time; check to ensure the successful self as a single engine and group self (more than two per group) and choose a time efficient step-inclusion on the basis of this test to identify the units that do not provide self-starting and connect them to the automation; to verify the self-SN group of asynchronous motors not only on hiatus normalized supply voltage, but also at other times of possible accident, change the time on-time.

Key words: asynchronous motor's own needs, self-starting, simulation, commissioning, run-on, self-starting, fan load.

Автономность мощных энергоблоков электростанций требует решения вопросов надежности работы агрегатов его собственных нужд (СН) как относительно самих схем электропитания, так и надежности работы механизмов СН в переходных и аварийных режимах. В связи с этим, актуальным является вопрос о возможности и способах обеспечения самозапуска ответственных электромеханизмов, в частности, электродвигателей (ЭД) собственных нужд электростанций [1, 2].

Вид и исполнение электродвигателя привода, управляющего механизмами СН большой мощности на электрических станциях, зависит от назначения, ответственности и места установки агрегата. При этом важно исследовать динамические характеристики двигателей СН, т.е. пусковые характеристики при включении, выбеге и самозапуске в аварийных режимах работы. В связи с этим необходимо решение вопроса устойчивого самозапуска электродвигателей после огра-

ниченного по времени аварийного отключения электрической сети или резкого снижения напряжения до некоторой остаточной величины, т.е. способность ЭД или группы ЭД восстанавливать нормальный режим работы без вмешательства персонала.

Для обеспечения безаварийной работы агрегатов и механизмов СН требуется проведение либо тщательного расчетного, либо экспериментального исследования указанных режимов их работы, возникающих при аварийных ситуациях (коротких замыканиях, переключениях источников питания, пусках, переключениях ЭД и др.). До настоящего времени теоретические расчёты самозапуска ЭД СН проводятся по механическим характеристикам или по математическим моделям тепловых процессов [1, 3, 4]. На основании этих расчетов делается вывод об успешности или неуспешности самозапуска, а также намечаются мероприятия, которые бы облегчили условия самозапуска. Как правило, подобные расчеты трудоёмки и неточны

вследствие значительных упрощений физических процессов, происходящих в электрических двигателях.

Данные о самозапуске, полученные практическим путем при испытаниях электродвигателей СН, также обладают недостаточными информативными возможностями из-за невозможности вывода испытываемой части оборудования из работы, а также ограниченностью возможных ситуаций самозапуска ЭД СН. Имеются единичные работы, посвященные моделированию поведения оборудования СН, состоящие из сложных фундаментальных программных комплексов, выполняющих кроме расчетов самозапуска ЭД расчеты исходного установившегося режима, режима короткого замыкания, группового выбега ЭД и группового самозапуска ЭД после восстановления нормального режима [5]. Не каждому энергетическому предприятию разработка или приобретение подобного комплекса по силам с финансовой точки зрения.

В настоящей статье приведены результаты исследования вопросов самозапуска электродвигателей собственных нужд электрических станций путем математического и имитационного моделирования режимов работы одного асинхронного двигателя повышенной мощности или группы двигателей совместно с различного вида нагрузкой на валу для обеспечения их динамической устойчивости при кратковременных перерывах электроснабжения. Ранее авторами было проведено исследование поставленной задачи в среде MATLAB & Simulink [6]. Однако на практике подобная модель вызывала затруднения в связи со сложной структурой. Поэтому для упрощения восприятия решения задачи в качестве среды моделирования был выбран прикладной пакет MATLAB & Simulink & SimPowerSystems, в котором была реализована не только модель асинхронного двигателя повышенной мощности с постоянной и вентиляторной нагрузкой, которая обычно присутствует у двигателей СН, но и получить модель системы электропитания при аварийной ситуации как по времени, так и по величине проседания напряжения.

Моделирование проводилось для двигателя марки 4А3М-160, параметры которого следующие: $U_{\text{ном}} = 6$ кВ; мощность двигателя $P_{\text{ном}} = 16000$ кВт; номинальный ток $I_{\text{н}} = 107$ А;

частота $f = 50$ Гц; число оборотов в минуту $n_{\text{ном}} = 1500$ об./мин; число пар полюсов статора $p_{\text{н}} = 2$; сопротивление обмотки статора $R_1 = 0,5$ Ом; приведенное сопротивление обмотки ротора $0,58$ Ом; собственная индуктивность обмотки статора $L_1 = 0,02$ Гн; приведенная собственная индуктивность обмотки ротора $L_2 = 0,0003$ Гн; взаимная индуктивность обмоток статора и ротора $L_{12} = 1,06$ Гн; момент инерции $J = 30$ кг·м².

Для обеспечения самозапуска необходимо правильно выбрать мощность неотключаемых двигателей ответственных механизмов, исходя из условия возможности их самозапуска, т.е. обеспечить при самозапуске такое восстанавливающееся напряжение, чтобы двигатели смогли развернуться до нормальной скорости при допустимом дополнительном нагреве их обмоток.

Для двигателей с ответственными нагрузками самозапуск, согласно нормам времени, должен быть произведен сразу же после аварии, т.е. в горячем состоянии, через 2,5 с. В зависимости от класса изоляции обмоток статора превышение температуры двигателя может быть принято 135 °С.

За время пуска двигателя СН потребляют от сети ток в 4–5 раз больше $I_{\text{ном}}$. Допускается, что двигатели СН питаются, как правило, от сети неограниченной мощности, и дополнительное падение напряжения в трансформаторе питания имеет небольшую величину, поэтому считается, что запуск единичного двигателя происходит при напряжении $U_{\text{ном}}$. Если выдержана норма времени аварийного состояния и единичный двигатель обеспечивает самозапуск из горячего состояния, то время самозапуска должно быть меньше времени пуска, и превышение температуры не будет выше допустимого независимо от типа нагрузки.

Если же авария длится более нормированного времени, или двигатель СН имеет нагрузку более номинальной, или не выполняются требования в групповом запуске (включение реакторов в цепь статора каждого двигателя, обеспечивающего для группы двигателей условия как для единичного), то выбег двигателей может закончиться их остановкой.

В этом случае самозапуск длится дольше, чем пуск, при этом обмотки двигателя нагре-

ваются. Поэтому успешным считается такой самозапуск, когда выбег двигателя не оканчивается остановкой, после восстановления питания двигателя разгонятся до рабочей скорости, при этом температура обмоток не превысит допустимого значения.

Основные допущения, принятые при моделировании:

— время аварии (отсутствия напряжения питания двигателей) — 2,5 с;

— двигатели одинаковой мощности, отличающиеся типом нагрузки (постоянная и вентиляторная);

— при групповом запуске двух двигателей в цепь статора была введена индуктивность реактора;

— основным пакетом моделирования был выбран пакет структурного моделирования электротехнических устройств и систем в Simulink SimPowerSystems, позволяющий моделировать сложные многодвигательные системы;

— пуск и самозапуск двигателей осуществляется совместно с нагрузкой на валу;

— при групповом пуске включение двигателей осуществляется ступенчато.

На рисунке 1 показана структурная схема для моделирования самозапуска единичного асинхронного двигателя с вентиляторной и постоянной нагрузками.

Подсистемы 1, 2, 3 (рисунок 2) представляют собой три идеальных ключа, программируемых с помощью таймера, с помощью которых задается время прерывания напряжения — время аварии. На рисунке 3 показаны осциллограммы, снятые на модели при разной величине вентиляторной нагрузки.

На рисунке 4 представлена структурная схема моделирования группового самозапуска асинхронных двигателей СН, на рисунке 5 показаны осциллограммы, снятые при моделировании.

Пуск двигателей осуществляется со сдвигом во времени на 1,1 с, время аварии и восстановление напряжения зафиксировано через 3,5 с. Двигатели нагружены вентиляторной нагрузкой как наиболее часто применяемой для двигателей СН. Нагрузка второго двигателя в два раза больше, чем у первого.

Осциллограммы показывают, что самозапуск обоих двигателей успешный, время самозапуска меньше, чем при пуске, т.к.

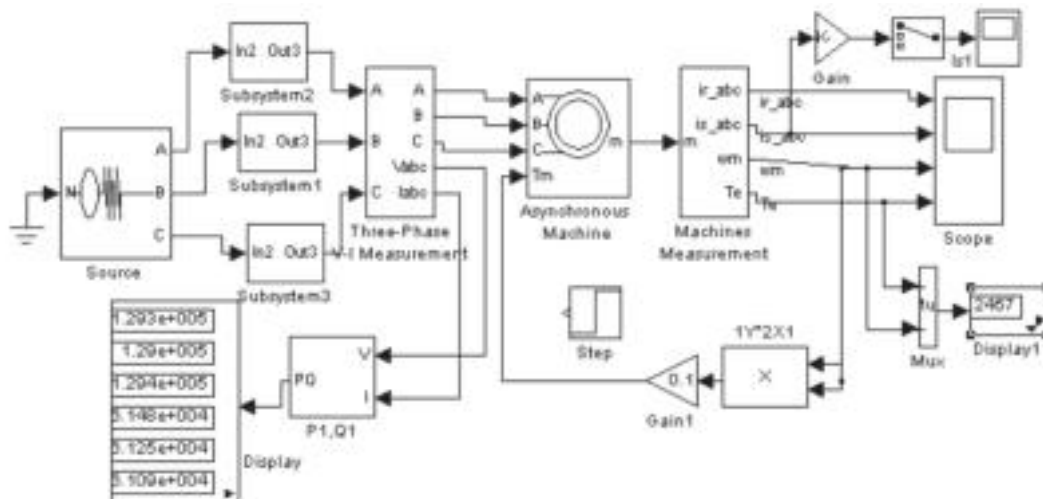


Рисунок 1. Структурная схема моделирования самозапуска единичного асинхронного двигателя

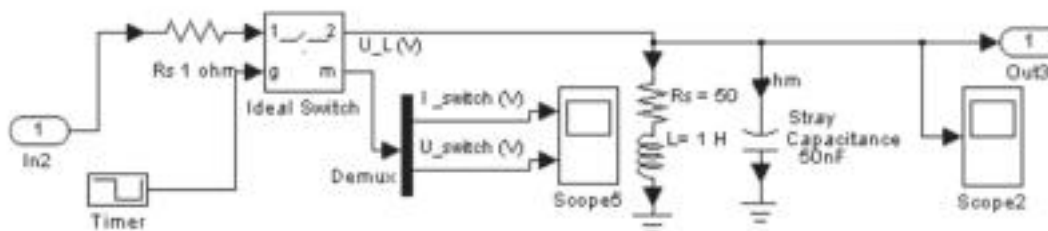


Рисунок 2. Структурная схема модели, имитирующей аварию на электростанции с последующим включением

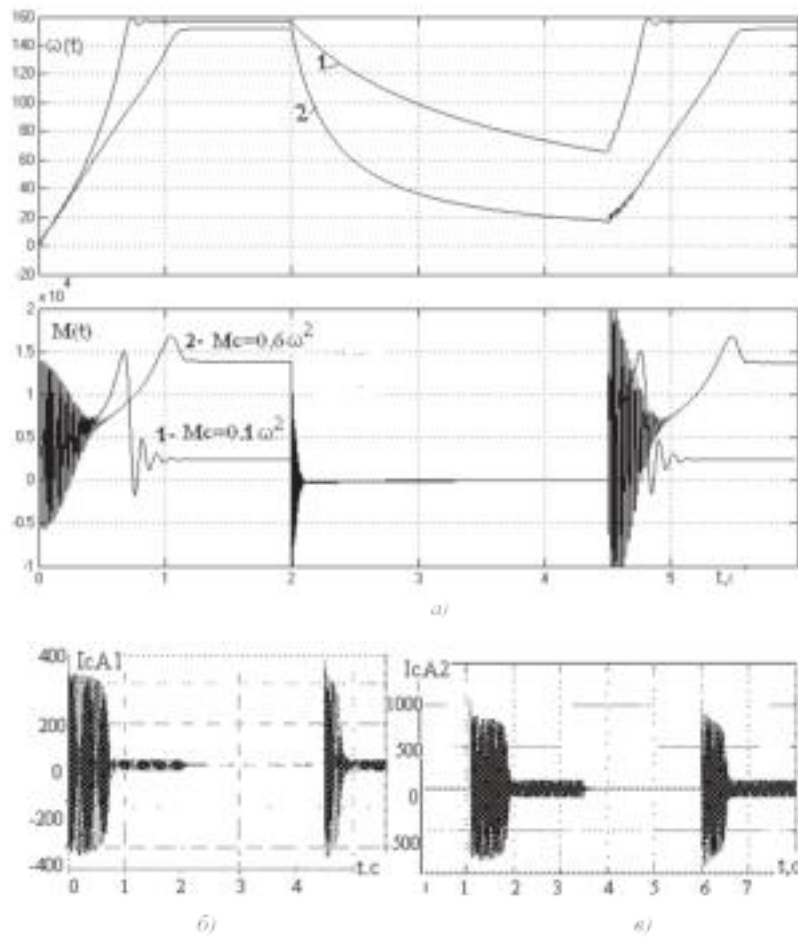


Рисунок 3. Осциллограммы единичного самозапуска асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузкой $M_c = 0.1\omega^2$: $\omega(t)$, $M(t)$ (а); $I_{cA}(t)$ (при нагрузке $M_c = 0.1\omega^2$) (б); $I_{cA}(t)$ (при нагрузке $M_c = 0.6\omega^2$) (в)

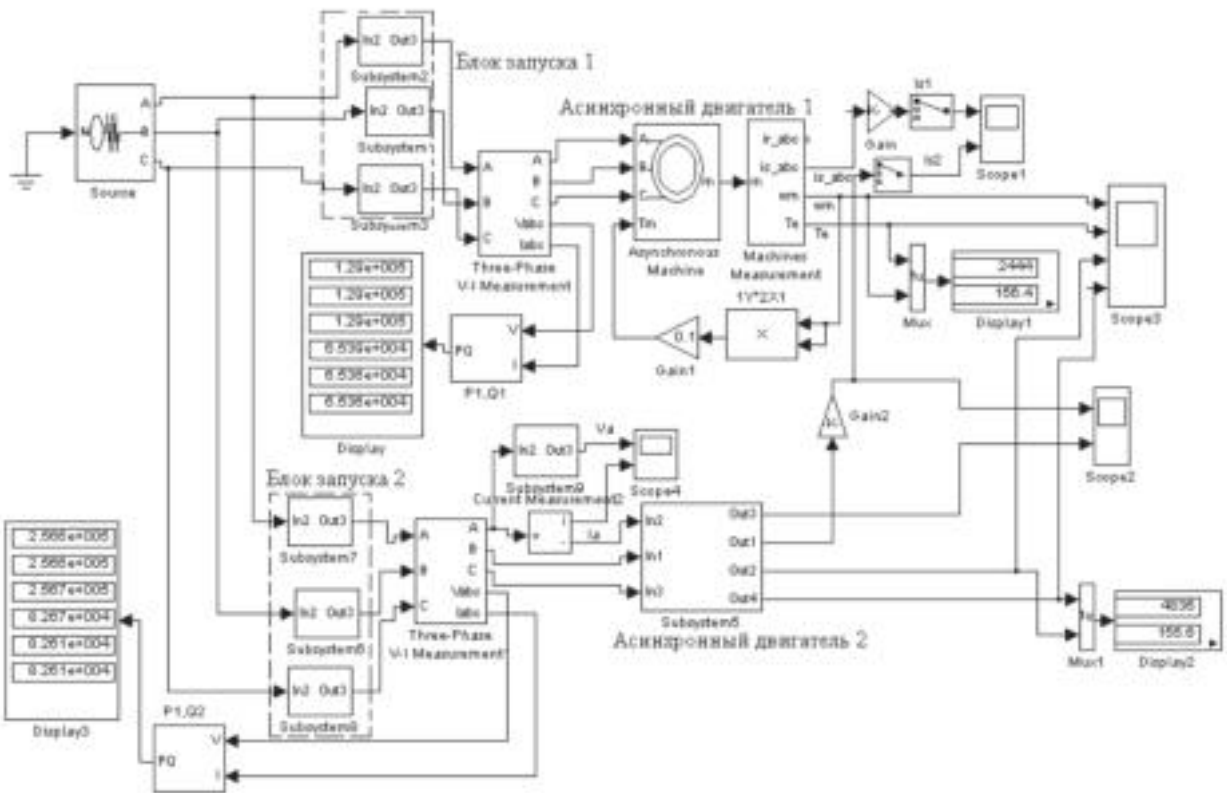
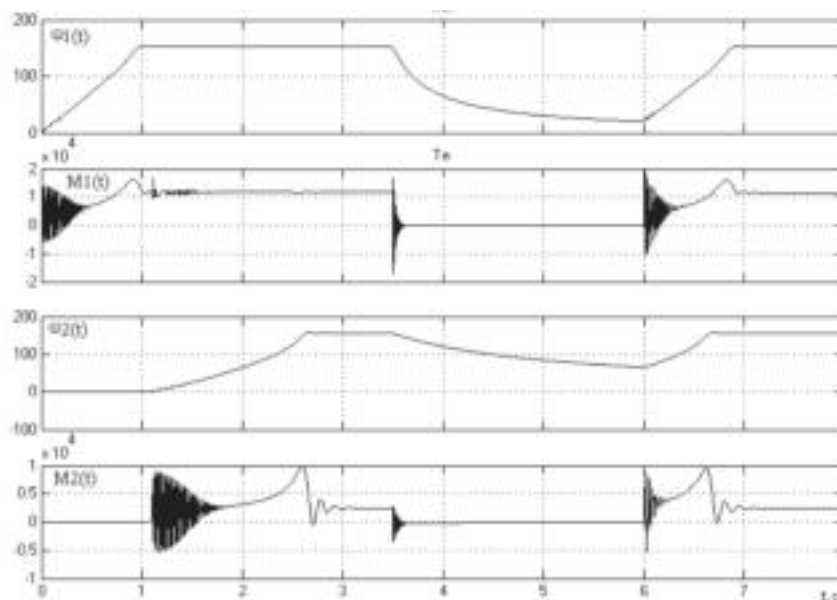


Рисунок 4. Структурная схема моделирования группового самозапуска асинхронных двигателей



Риснок 5. Осциллограммы группового самозапуска асинхронных двигателей с вентиляторной нагрузкой

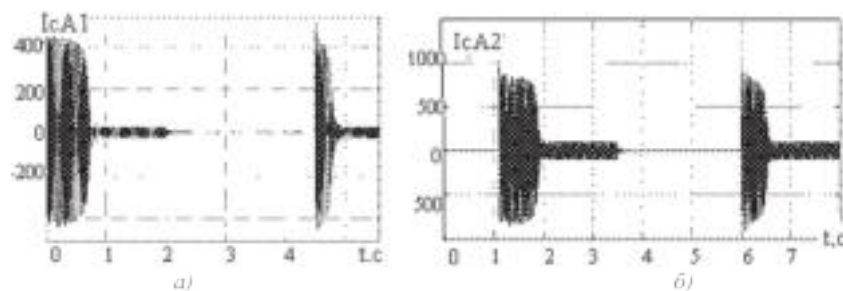


Рисунок 6. Осциллограммы токов статора двух двигателей при самозапуске: ток статора менее нагруженного первого двигателя (а); ток статора более нагруженного второго двигателя (б)

самозапуск происходит при горячем состоянии двигателей. Осциллограммы фазных токов, приведенные на рисунке 6, показывают, что токи при выбеге и при самозапуске не превышают номинальных значений как по величине, так и по времени, что тоже говорит об успешном самозапуске.

Выводы

Разработанная компьютерная имитационная модель для исследования электромагнитных процессов, происходящих при самозапуске асинхронных двигателей СН, обладает довольно простой структурой, что облегчает работу практическому пользователю. При всей простоте компьютерная модель позволяет:

1) осуществить проверку правильности выбора асинхронных двигателей СН и нагру-

зочных механизмов по мощности, проверив потребляемый ток и время выбега;

2) проверить обеспеченность успешного самозапуска как одиночных двигателей, так и группового самозапуска (более двух в группе) и выбрать рациональное время ступенчатого включения, на основании этой проверки выявить агрегаты, которые не обеспечивают самозапуск и подключить к ним автоматику;

3) осуществить проверку самозапуска группы асинхронных двигателей СН не только на нормированной паузе напряжения питания, но и при других возможных временах аварии, изменяя заданное время таймера включения.

Список литературы

1. Курбангалеев У.К. Самозапуск двигателей собственных нужд электростанций. М.: НТФ Энергопрогресс, 2001. 64 с.
2. Голоднов Ю.М. Самозапуск электродвигателей. М.: Энергоатомиздат, 1985. 136 с.
3. Эрнст А.Д. Самозапуск асинхронных электродвигателей: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. 46 с.
4. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учеб. для электроэнергетических вузов. М.: Высш. шк., 1985. 536 с.
5. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л.Г. Мамиконянца. М.: Энерглатомиздат, 1984. 240 с.
6. Георгиади В.Х. Поведение энергоблоков ТЭС при перерывах электроснабжения собственных нужд. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2003. 88 с.
7. Стыскин А.В., Уразбахтина Н.Г., Шуртаева О.К. Исследование самозапуска асинхронного двигателя на имитационных моделях // Энергетические и электротехнические системы: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2015. Вып. 2. С. 195–204.

References

1. Kurbangaleev U.K. Samozapusk dvigatelej sobstvennyh nuzhd jelektrostancij. M.: NTF Jenergoprogress, 2001. 64 s.
2. Golodnov Ju.M. Samozapusk jelektrodvigatelej. M.: Jenergoatomizdat, 1985. 136 s.
3. Jernst A.D. Samozapusk asinhronnyh jelektrodvigatelej: uchebn. posobie. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2006. 46 s.
4. Venikov V.A. Perehodnye jelektromehpnicheskie processy v jelektricheskijh sistemah: ucheb. dlja jelektrojenergeticheskijh vuzov. M.: Vyssh. shk., 1985. 536 s.
5. Syromjatnikov I.A. Rezhimy raboty asinhronnyh i sinhronnyh dvigatelej / Pod red. L.G. Mamikonjanca. M.: Jenerglatomizdat, 1984. 240 s.
6. Georgiadi V.H. Povedenie jenergoblokov TJeS pri pereryvah jelektrosnabzhenija sobstvennyh nuzhd. M.: NTF «Jenergoprogress», 2003. 88 s.
7. Styskin A.V., Urazbahtina N.G., Shurtaeva O.K. Issledovanie samozapuska asinhronnogo dvigatelja na imitacionnyh modeljah // Jenergeticheskie i jelektrotehnicheskie sistemy: mezhvuz. sb. nauch. tr. Magnitogorsk: Magnitogorsk.gos.tehn. un-t im. G.I. Nosova, 2015. Vyp. 2. S. 195–204.