

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621. 314.522, 621.316.717

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ КЛЮЧЕЙ В УСТРОЙСТВАХ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

CHARACTERISTICS POWER SWITCHES SIMULATION SOFT STARTERS INDUCTION MOTORS

Соколов Игорь Александрович,
канд.техн.наук, доцент, e-mail: skelvin@mail.ru

Sokolov Igor A.,
PhD in Technical,

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация

Актуальность работы: Широкое распространение устройств, называемых Soft Starter, устройств плавного пуска (УПП), а также устройств безударного пуска (УБП), созданных для ограничения негативной динамики пусковых токов и электромагнитных моментов асинхронных электродвигателей (АД) с короткозамкнутым ротором, стало результатом эффективного соотношения «цена/качество» для УПП. Однако, проблема реальной, количественной оценки преимуществ и недостатков использования УПП для АД остается актуальной.

К сожалению, визуализацию изменений динамических механических характеристик пуска с конкретным УПП и без него, обнаружить довольно проблематично. Но существуют апробированные инструментальные средства имитационного моделирования, позволяющие получить полную информацию о динамическом состоянии схемы электроснабжения, содержащей УПП и АД. Особый интерес представляет моделирование силовых ключей, входящих в состав УПП. Таким образом, задача детального рассмотрения элементов динамической имитационной модели УПП, для анализа и прогноза поведения системы электропривода на основе АД, является актуальной.

Цель работы: Анализ вариантов использования силовых полупроводниковых ключей в динамических имитационных моделях УПП, коммутирующих АД к системе электроснабжения.

Методы исследований: Основаны на использовании математических моделей электропривода, включающего: 3-х фазный АД с вентиляторной нагрузкой на валу ротора, протяженную кабельную сеть и УПП. Имитационные модели реализованы средствами MatLab (SimuLink).

Результаты: Продемонстрированы основные режимы вариантов использования силовых полупроводниковых ключей и приведены динамические характеристики процесса пуска АД через УПП.

Abstract

The urgency of the discussed issue: Widespread soft starters, shock-free starters - it is the result of the effective value for money. However, the problem of real quantitative assessment of the advantages and disadvantages of using soft starter for induction motor is actual.

Unfortunately, it is difficult to detect changes in the visualization of dynamic mechanical characteristics of the start with or without a soft starter. But there are proven tools of simulation, allowing to receive full information about the dynamic state of power supply circuit, comprising a soft starter and induction motor. Modeling of power switches in the composition of soft starters, is particularly interesting. In this way, the issue of a detailed review of elements of a dynamic simulation model of the soft starter, for the analysis and prediction of the behavior of the electric drive system based on the induction motor is important.

The main aim of the study: Analysis of the options for using the power semiconductor switches in dynamic simulation models of soft starters, switching asynchronous motor to the power supply system.

The methods used in the study: Methods based on the use of mathematical models of induction motor, comprising: 3-phase induction motor, with ventilator load on the rotor shaft, the length of the cable network and the soft starter. Simulation models are implemented tools MatLab (SimuLink).

The results: Demonstrate the main options for the use of modes of power semiconductors and given the dynamic characteristics of the process of starting an asynchronous motor via the soft starter.

Ключевые слова: 3-х фазный асинхронный электродвигатель, режим пуска, устройство плавного пуска, взаимное влияние через систему электроснабжения.

Keywords: 3-phase asynchronous motor, start mode, the soft starter, mutual influence through the power supply system.

Введение.

Несмотря на значительное количество публикаций в открытом доступе на тему УПП, (поисковая машина Google на запрос «Soft starter» выдает результат- примерно 5 950 000 документов на всех языках и примерно 53 700 документов на русском языке) конкретных принципиальных электрических схем УПП, с прозрачной элементной базой и известными параметрами схемы крайне мало.

Производители УПП публикуют подробные и многостраничные документы о выпускаемых УПП и свободно распространяют их через глобальную сеть интернет. Однако, к сожалению, даже лучшие из распространяемых по сети документов, содержат информацию преимущественно о монтажных и пуско-наладочных работах, например, [1-4]. Очень подробно описывается интерфейс устройств, правила эксплуатации и детально представлены схемы монтажа оборудования (для [1] это 220 стр. из 244, для [1] это 236 стр. из 255). В тоже время о подробной принципиальной электрической схеме УПП, алгоритме его работы, а

также о итоговых результатах использования УПП, информации крайне мало (для [1] это 8 стр. из 244, для [2] это 6 из 255 стр.).

Даже такие транснациональные корпорации, несомненные лидеры рынка систем электрооборудования как ABB и Siemens в разделах «принципиальная электрическая схема» демонстрируют УПП формате серого ящика [1] (см. рисунок 1) или для [1] (см. рисунок 2).

Крупные отечественные компании, специализирующиеся на разработке и реализации электрооборудования, действуют аналогичным образом [6]. Поэтому получить актуальную имитационную модель конкретного УПП представляется достаточно сложной задачей. А в общем УПП представляет собой тиристорный регулятор напряжения ТРН. Его принципиальная электрическая схема не является секретом.

Отдельные энтузиасты-электронщики не просто публикуют свои наработки [8], а демонстрируют в формате познавательного видеокурса весь

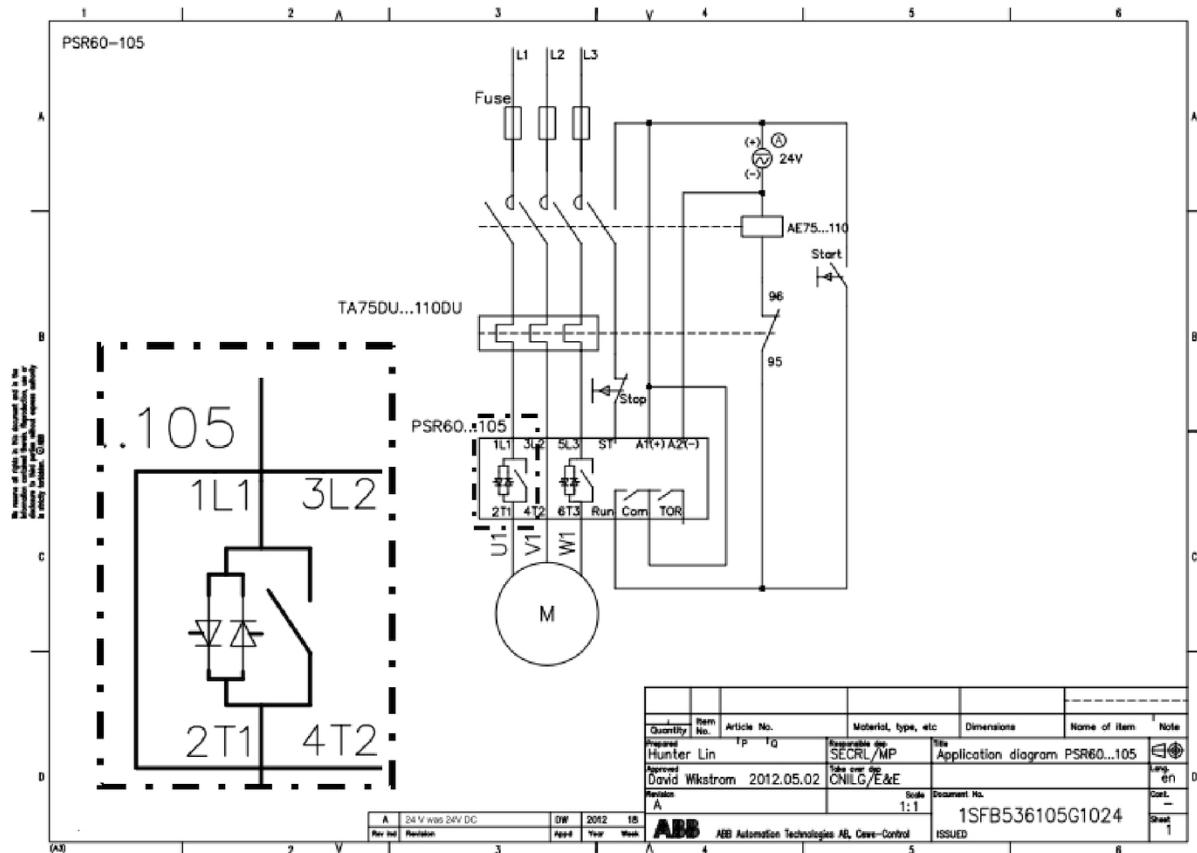


Рис. 1 – Принципиальная схема из [4] (Application diagram , Soft starter, PSR60 to PSR105 with MMS for 24V AC/DC)

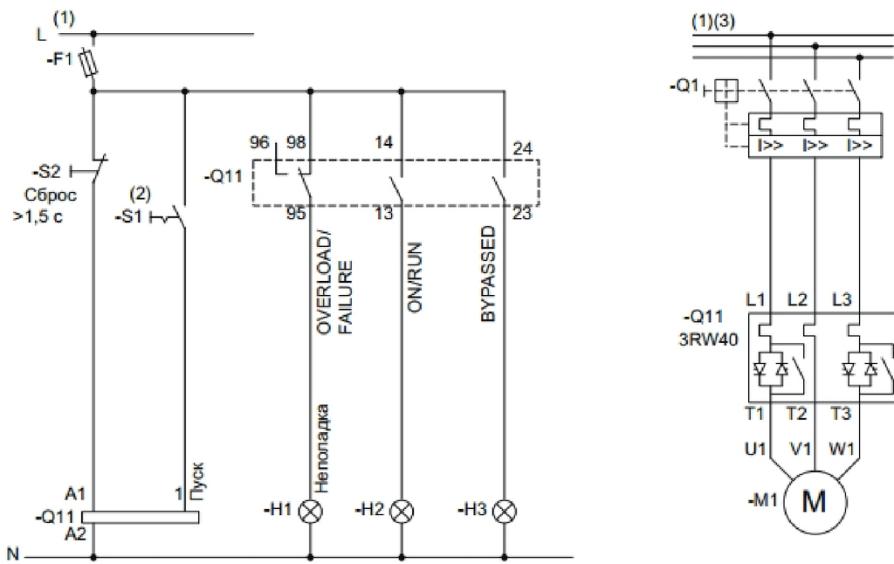


Рис. 2- Принципиальная электрическая схема Soft Starter 3RW40 2 – 3RW40 4 из [1].

процесс проектирования, реализации и тестирования ТРН (см. рисунок 3). Однако существует несколько «ключевых» особенностей, осложняющих использование ТРН в качестве УПП.

Обратите внимание на элементы выделенные штрих-пунктирной линией на схемах УПП (см. рисунки 1,2). На схемах видно, что в качестве силовых ключей использованы триодные тиристоры. Согласно ГОСТ 2.730-73 [5] обозначения, применимые в указанных схемах УПП это «Тиристор триодный. Общее обозначение».

Принцип действия триодного тиристора общеизвестен, и многократно описан, например - в [7]:

«...Тиристор является силовым электронным не полностью управляемым ключом. Поэтому иногда в технической литературе его называют однооперационным тиристором, который может сигналом управления переводиться только в проводящее состояние, т. е. включаться».

Для его выключения (при работе на постоянном токе) необходимо принимать специальные меры, обеспечивающие спадание прямого **тока** до нуля.

Тиристорный ключ может проводить ток только в одном направлении, а в закрытом состоянии способен выдержать как прямое, так и обрат-

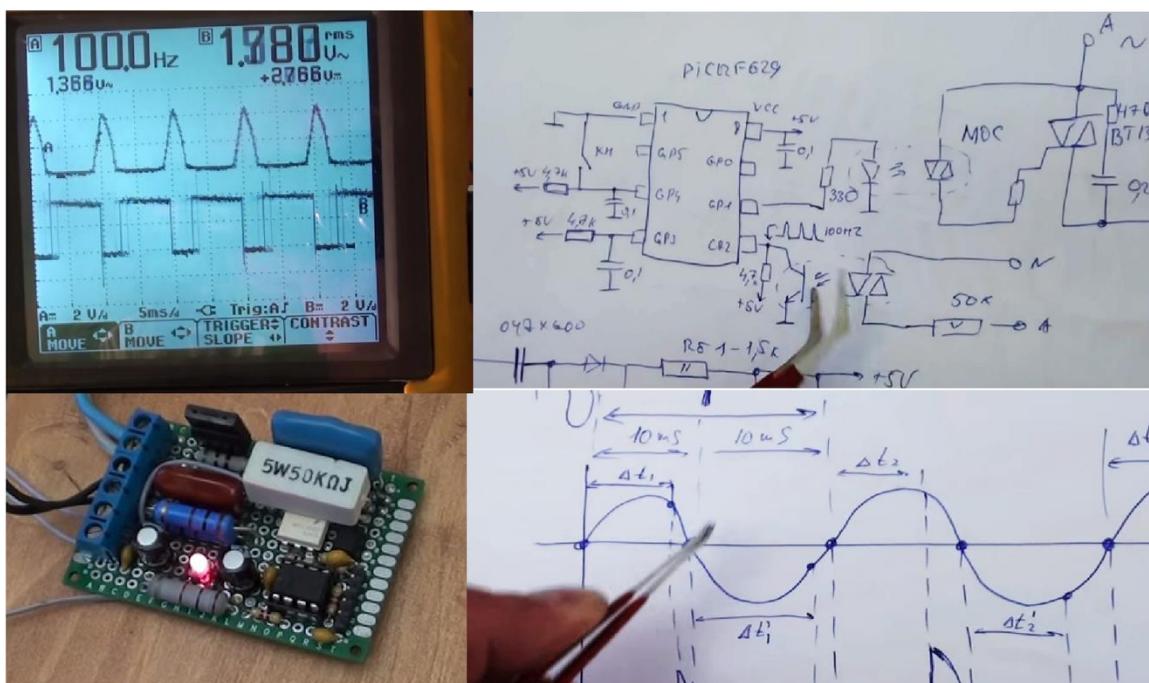


Рис. 3- Разработка УПП с видеокурса Дениса Корноушенко

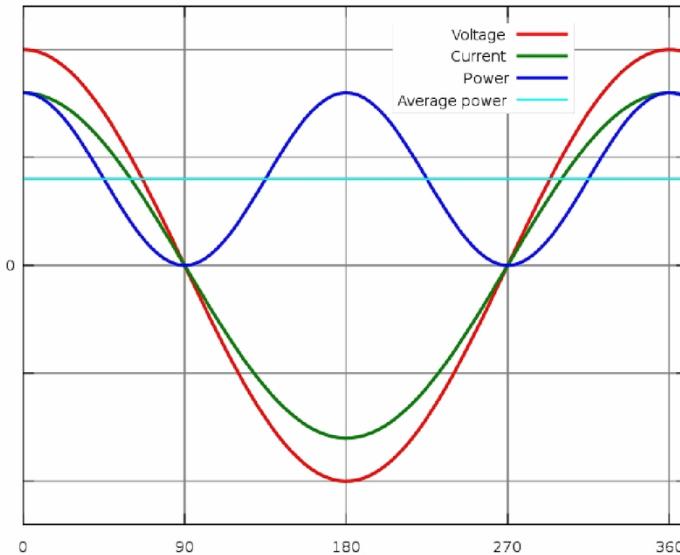


Рис. 4 - Синусоидальное напряжение (красная линия) и ток (зелёная линия) синфазны — между ними нет фазового сдвига $\varphi=0^\circ$, $\cos(\varphi)=1$ — нагрузка полностью активная, нет реактивной составляющей. Мгновенная мощность (синяя линия) и активная мощность (голубая линия) рассчитаны с коэффициентом мощности, равным 1

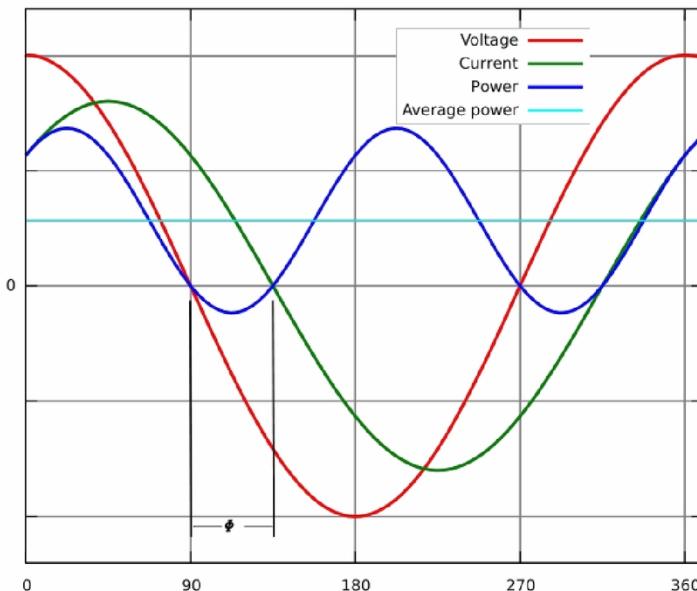


Рис. 5 - Синусоидальное напряжение (красная линия) и ток (зелёная линия) имеют фазовый сдвиг $\varphi=45^\circ$, $\cos(\varphi)=0,71$ — нагрузка имеет и активную, и реактивную составляющие. Мгновенная мощность (синяя линия) и активная мощность (голубая линия) рассчитаны из переменного напряжения и тока с коэффициентом мощности,

ное напряжение...» равным 0,71.

В [8] автор видеокурса упоминает о том, что на практике, при изменении нагрузки на ТРН, а именно, замена активной нагрузки (лампа накаливания) на активно-индуктивную (асинхронный электродвигатель) может вызывать в схеме некорректную работу силовых ключей. И причина, указывается: «... появившаяся индуктивность в це-

пи...». Доля истины в этом тезисе присутствует, но лишь отчасти.

Рассмотрим влияние характера нагрузки на поведение силовых полупроводниковых ключей.

При подключении к ТРН электродвигателя коэффициент мощности сети становится меньше 1.

Коэффициент мощности показывает, насколько сдвигается по фазе переменный ток, протека-

ющий через нагрузку, относительно приложенного к ней напряжения. На рисунках 4,5 из [5] видно, как смещается точка перехода графика тока через ось абсцисс.

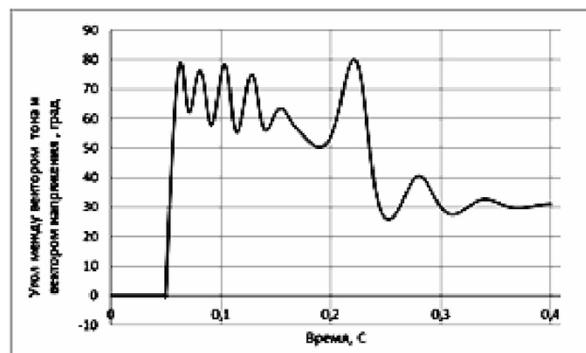


Рис. 6- Изменение угла между вектором тока и напряжения в процессе пуска АД

Как уже упоминалось, запирается тиристор при прохождении прямого тока через ноль, а при наличии реактивной составляющей в нагрузке

то разброс параметров реактивных составляющих разных АД, формирует долю погрешностей в работе УПП.

Основная же проблема состоит в том, что угол между вектором тока и напряжения значительно меняется в переходном процессе даже при штатном режиме работы, например, в процессе пуска двигателя (см. рисунки 6,7).

На рисунке 7 показано максимальное смещение вектора тока относительно вектора напряжения в диапазоне с 0,2 до 0,25 с. На рисунке 6 видно, что значительные изменения угла между векторами тока и напряжения происходят во время разгона двигателя (с 0,05 с. до 0,3 с.), а в установившемся режиме амплитуда колебаний угла между векторами напряжения и тока не превышает 5 градусов (после 0,3 с.).

Те есть не уделяется достаточное внимание состоянию АД в переходном процессе, что подтверждается наличием исключительно статических механических характеристик, например, в [1].

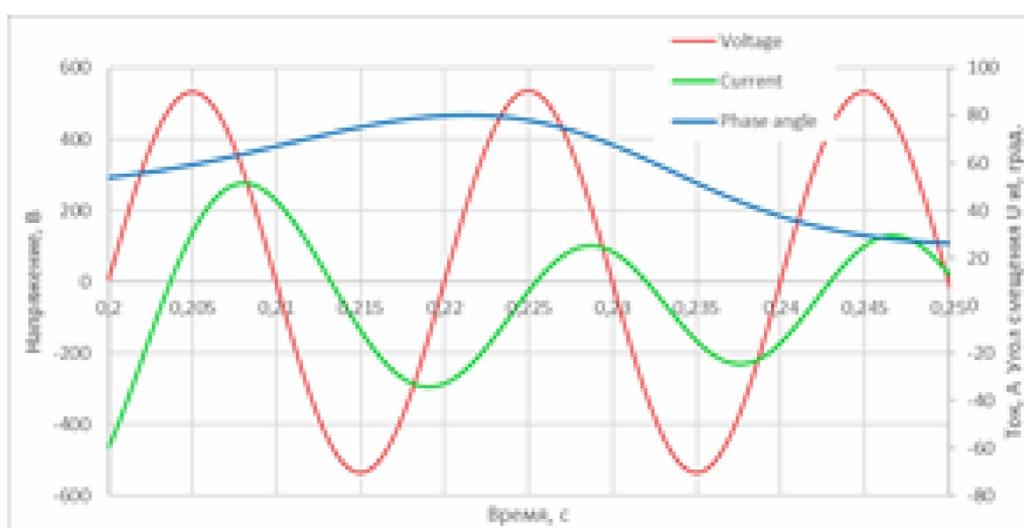


Рис. 7 – Диаграммы изменения тока и напряжения в процессе пуска АД, в диапазоне максимального изменения угла ϕ

неизбежно смещение вектора тока относительно вектора напряжения, и изменение времени в течении, которого тиристор остается открытым.

Однако, проблемы корректной работы тиристорных полупроводниковых ключей в составе УПП заключаются не в том, что существует угол между током и напряжением, а в том, что этот угол является изменяющейся величиной.

В первую очередь расхождение параметров разных экземпляров АД, присутствующие даже для абсолютно новых двигателей, только что выпущенных с конвейера. В процессе эксплуатации, и тем более у двигателей, побывавших в ремонте, эти параметры приобретают еще больший разброс значений. Поскольку УПП не содержит каналов обратных связей, по которым Soft Starter настраивается на параметры коммутируемого в сеть АД,

Для того чтобы исключить неопределенность в работе электропривода, связанную с состоянием силовых ключей в УПП, предлагается в моделях использовать полностью управляемые тиристоры (GTO)

Выводы.

При моделировании электромеханических систем в состав которых входит УПП, для сохранения адекватности модели, важно формировать дополнительные обратные связи по току (соответствующей статорной обмотки) либо использовать полностью управляемые тиристоры (GTO). В противном случае получить реальные характеристики динамической нагруженности электропривода не представляется возможным. И как следствие, затруднительно дать количественную оценку эф-

фективности использования УПП, для конкретного АД, в конкретных условиях его эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://www.siemens-ru.com/doc/52_Files_1351171684_manual_sirius_softstarter_ru-ru.pdf
2. <http://www.celmont.ru/staff/service/mat/instructions/Siemens/3rw44.pdf>
3. <http://www.google.com/patents/US6586905>
4. <http://www.google.com/patents/US7859217>
5. <https://library.e.abb.com/public/604154a6a9cb694ec1257c0d005280be/1SFB536105G1024,A.pdf>
6. <http://www.abb.ru/product/seitp329/d17decaf0d3f0471c12571840036ac30.aspx>
7. http://www.opengost.ru/iso/01_gosty/01080_gost_iso/0108040_gost_iso/1433-gost-2.730-73-eskd.-oboznacheniya-uslovnye-graficheskie-v-shemah.-pribyrory-poluprovodnikovye.html
8. <http://www.electrotechnica.ru/dmsmanual.pdf>
9. <http://electricalschool.info/main/electroshemy/455-tiristory-princip-dejjstvija.html>
10. <http://electricvdele.ru/elektrooborudovanie/elektrodvigateli/plavnyj-pusk-asinhronnogo-elektrodvigatelya.html>

REFERENCES

1. http://www.siemens-ru.com/doc/52_Files_1351171684_manual_sirius_softstarter_ru-ru.pdf
2. <http://www.celmont.ru/staff/service/mat/instructions/Siemens/3rw44.pdf>
3. <http://www.google.com/patents/US6586905>
4. <http://www.google.com/patents/US7859217>
5. <https://library.e.abb.com/public/604154a6a9cb694ec1257c0d005280be/1SFB536105G1024,A.pdf>
6. <http://www.abb.ru/product/seitp329/d17decaf0d3f0471c12571840036ac30.aspx>
7. http://www.opengost.ru/iso/01_gosty/01080_gost_iso/0108040_gost_iso/1433-gost-2.730-73-eskd.-oboznacheniya-uslovnye-graficheskie-v-shemah.-pribyrory-poluprovodnikovye.html
8. <http://www.electrotechnica.ru/dmsmanual.pdf>
9. <http://electricalschool.info/main/electroshemy/455-tiristory-princip-dejjstvija.html>
10. <http://electricvdele.ru/elektrooborudovanie/elektrodvigateli/plavnyj-pusk-asinhronnogo-elektrodvigatelya.html>

Поступило в редакцию 27.08.2016
Received 27 August 2016