

УДК 621.313

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Марченко А.А., Портнягин Н.Н.

*Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: pornic1 @yandex.ru, marchenko21@mail.ru*

Данная статья посвящена проблеме определения неисправностей электрических машин в цехах по ремонту электрооборудования. Автор предлагает метод, позволяющий нагрузить асинхронный двигатель тормозным электромеханическим моментом без монтажа цепей механической нагрузки, теоретическое обоснование проводится методом имитационного моделирования с использованием возможностей пакета MATLAB с расширением Sim Power Systems. Также приводятся рекомендации по улучшению качества генераторного режима. Компьютерные модели прошли проверку на адекватность в условиях лабораторных испытаний, в статье прилагаются данные проведенных экспериментов по уменьшению биений напряжений сети и асинхронного электродвигателя в режиме отдачи электрической энергии в сеть. Введение в схему сопротивлений позволяет значительно увеличить время прохождения генераторного режима. Предлагаемый авторами метод при его реализации позволит создать испытательные стенды нового поколения высокой производительности и качества диагностирования судовых асинхронных двигателей, сократив сроки ремонта и повысив надежность работы судовых систем.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, динамическое нагружение, рекуперативное торможение, генераторный режим

RESEARCH OF DINAMIC LOADING OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

Marchenko A.A., Portnyagin N.N.

*Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatski,
e-mail: pornic1 @yandex.ru, marchenko21@mail.ru*

This article is devoted to a problem of determination of malfunctions of electric machines in shops on electric equipment repair. The author offers a method, allowing to load the asynchronous engine the brake electromechanical moment without installation of chains of mechanical loading, theoretical justification is carried out by a method of imitating modeling with use of possibilities of a MATLAB package with the SimPowerSystems expansion. Computer models passed check on adequacy in the conditions of laboratory researches, in article data of the carried-out experiments on reduction of palpation of tension of a network and the asynchronous electric motor in a mode of return of electric energy in a network are attached. Introduction in the scheme of resistance allows to increase time of passing of a generating mode. The method offered by authors at its realization will allow to create test benches of new generation of high efficiency and quality of diagnosing of ship asynchronous motors, having reduced terms of repair and having increased reliability of work of ship systems.

Keywords: asynchronous engine, dynamic loading, recuperative braking, generating mode

Задачи диагностирования асинхронных двигателей как во время эксплуатации их в составе судовых электроприводов, так и после выполнения ремонтных работ, требуют во время тестовых испытаний проверки не только электрической части асинхронной машины, но и снятия механических характеристик [5]. Наиболее эффективным решением является перевод асинхронного двигателя в генераторный режим с подачей механической нагрузки на ротор через воздействие тормозящего электромагнитного момента [2]. Это осуществляется при переключении источников питания электродвигателя от источника с большей частотой напряжения к источнику с меньшей. Подобный подход к диагностированию может быть применен при помощи преобразователей частоты. Однако в силу ряда обстоятельств генераторный режим асинхронной машины с активной нагрузкой является неустойчивым и возможен лишь на короткое время, пока энергии вращения ротора до-

статочно для удержания машины в режиме генерации. Это обстоятельство затрудняет проведение натуральных экспериментов, так как требует дополнительных исследований динамики процесса.

Целью работы является выявление наиболее приемлемого способа динамического нагружения асинхронного электродвигателя и проверка его на имитационных моделях и в реальных условиях.

Материалы и методы исследования

В этой ситуации компьютерное моделирование рассматриваемых процессов позволяет выбрать и оценить величины параметров, частоты, времени переходного процесса, биений и т.п. Поэтому нами предлагается модель, настроенная на компьютерный эксперимент, позволяющий снять параметры процесса генераторного режима при активной нагрузке.

Переключение питания электродвигателя от частотного преобразователя к сети [4] в момент максимальной скорости производится путем силовой коммутации, причем сеть будет работать как потребитель электрической энергии до установления двигатель-

ного режима. Скорость двигателя при этом изменяется периодически от максимального значения до минимального с частотой задания блока управления преобразователем частоты ПЧ. Данный способ сопровождается большими биениями напряжений сети и асинхронного двигателя в генераторном режиме.

Эффективным решением при схемотехнической реализации является решение с понижением частоты питания асинхронного двигателя с 50 до 25 Гц, что потребует разработки обратимого частотного пре-

образователя, питающегося от сети 50 Гц, или двух односторонних преобразователей с цепями коммутации, управляемых микропроцессором.

Основным недостатком переключения на сеть с напряжением 25 Гц является необратимость частотного преобразователя, поэтому для подтверждения эффективности предлагаемого метода на реальной установке была использована система «Тиристорный преобразователь-двигатель», изображенная на рис. 1.

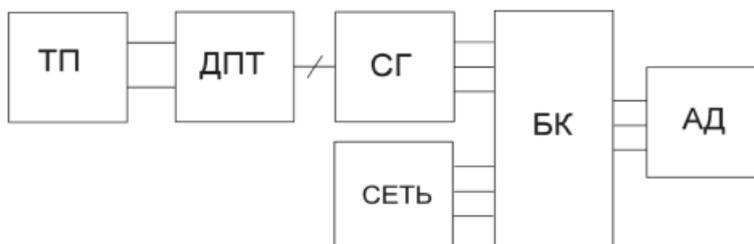


Рис. 1. Схема для поведения эксперимента:

ТП – тиристорный преобразователь; ДПТ – двигатель постоянного тока; СГ – синхронный генератор; БК – блок коммутации; АД – асинхронный двигатель

При проведении данного опыта сброс частоты вращения АД происходил при помощи резкого сброса напряжения якоря ДПТ изменением выходного напряжения ТП. В схеме не используется переключение при помощи ключа. Это является необязательным, так как отдаваемая в сеть электрическая энергия не достигнет полупроводникового ТП [3], будет израс-

ходована на трение ДПТ. По изменению напряжения статора АД можно судить об уменьшении времени переходного процесса.

Перед проведением эксперимента в реальных условиях предлагаемая модель была спроектирована в программе Matlab. Разработанная модель представлена на рис. 2.

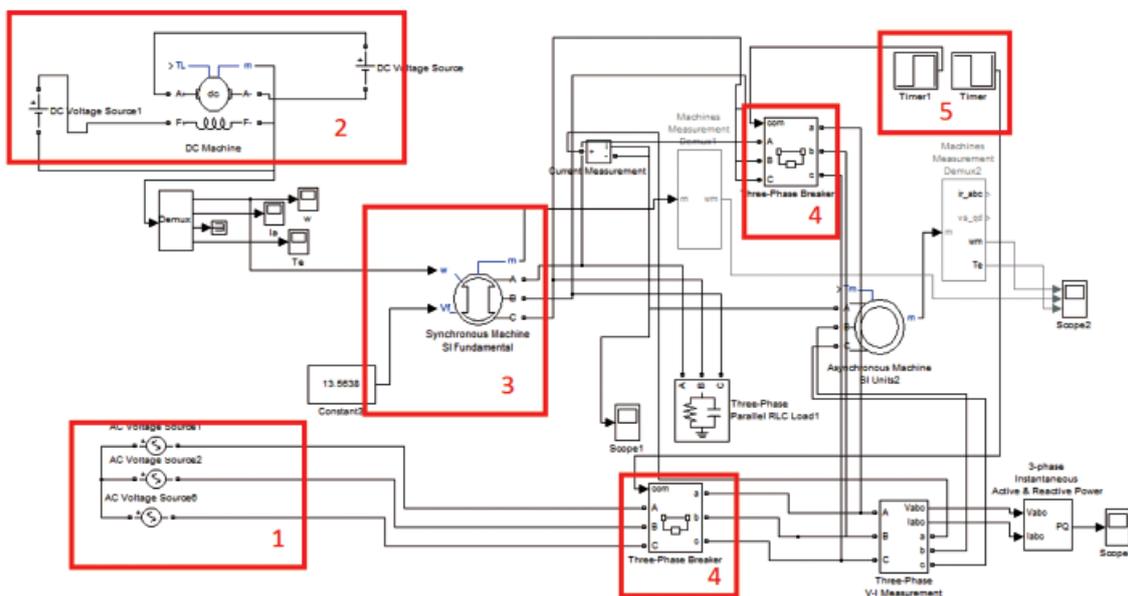


Рис. 2. Компьютерная модель с использованием синхронного генератора и приводного двигателя постоянного тока:

блок 1 – трехфазная сеть; блок 2 – двигатель постоянного тока; блок 3 – синхронный генератор; блок 4 – трехфазный переключатель; блок 5 – управляющий контроллер

Блок 1 представляет собой сеть частоты 50 Гц, сеть краткой частоты 25 Гц реализована при помощи двигателя постоянного тока, изменение скорости вращения которого осуществляется изменением напряжения на якоре (блок 2), приводящего во вращение синхронный генератор (блок 3). Механическое

соединение электрических машин реализовано при помощи связи по скорости, причем номинальная скорость вращения электродвигателя [6] соответствует номинальной скорости генератора. При этом уменьшение частоты питающего напряжения сети 2 привело к уменьшению скорости вращения синхронно-

го генератора и уменьшению скорости испытуемого электродвигателя в два раза соответственно. Блок 4 представляет собой ключ, управляемый при помощи микроконтроллера 5, реализующего управляющий сигнал по времени.

В момент времени 0,6 секунд происходит переключение источников питающего напряжения с частоты 50 Гц на источник с частотой 25 Гц. Результаты изменения кривых напряжения на статоре испытуемого двигателя представлены на рис. 4.

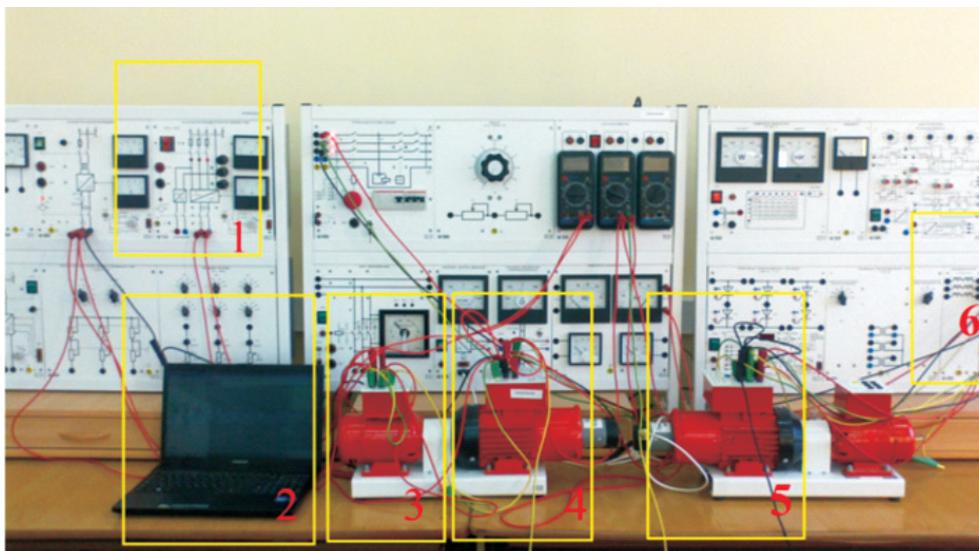


Рис. 3. Схема для проведения эксперимента в реальных условиях: блок 1 – тиристорный преобразователь; блок 2 – цифровой осциллограф; блок 3 – двигатель постоянного тока; блок 4 – синхронный генератор; блок 5 – асинхронный двигатель

Результаты исследования и их обсуждение

Из результатов моделирования на рис. 2 можно сделать вывод об уменьшении времени биений между напряжениями сети и асинхронного двигателя в генераторном режиме.

Наложение двух синусоидальных сигналов происходит на участке приблизительно от 0,6 до 0,75, что соответствует длительности переходного процесса приблизительно 0,15 с, далее по времени сигнал принимает форму синусоидально с устанавливающейся частотой 25 Гц, следовательно, предложенный метод позволяет достигнуть длительности режима приблизительно увеличенным в два раза.

Небольшое отличие в длительностях переходных процессов обусловлено неточным регулированием скорости при изменении напряжения на якоре двигателя постоянного тока.

Для поведения эксперимента в реальных условиях использовалась схема, собранная по принципу разработанной схемы рис. 1. Схема состоит из следующих блоков:

- 1 – Тиристорный преобразователь (ТП).
- 2 – Цифровой осциллограф.
- 3 – Двигатель постоянного тока (ДПТ).
- 4 – Синхронный генератор (СГ).
- 5 – Асинхронный двигатель (АД).
- 6 – Блок коммутационных элементов.

Данные, полученные при помощи цифрового осциллографа, представлены на рис. 4.

Переходный процесс занимает приблизительно 0,15 с. Кроме того, нужно учитывать, что при проведении эксперимента использовался осциллограф с делителем напряжения, что привело к уменьшению амплитуды напряжения на рисунке.

Для увеличения значения отрицательного электромагнитного момента целесообразным является нагружение двигателя в режиме генератора активным сопротивлением. Для этого в модели с использованием двигателя постоянного тока в цепь синхронного генератора включаются резистивные элементы. При подключении к синхронному генератору, выдающему напряжение с низкой частотой, асинхронный двигатель будет переходить в режим нагруженного генератора. Актуальным остается вопрос значения сопротивления нагрузки. Для этого проводился эксперимент с различными значениями нагрузочного сопротивления от 50 до 1 Ом с целью получения оптимального значения сопротивления на нагрузке, обеспечивающего максимальное время генераторного режима и максимальное значение нагрузочного электромагнитного момента.

На рис. 5 представлены результаты моделирования процесса нагружения асинхронного двигателя в генераторном режиме активным сопротивлением.

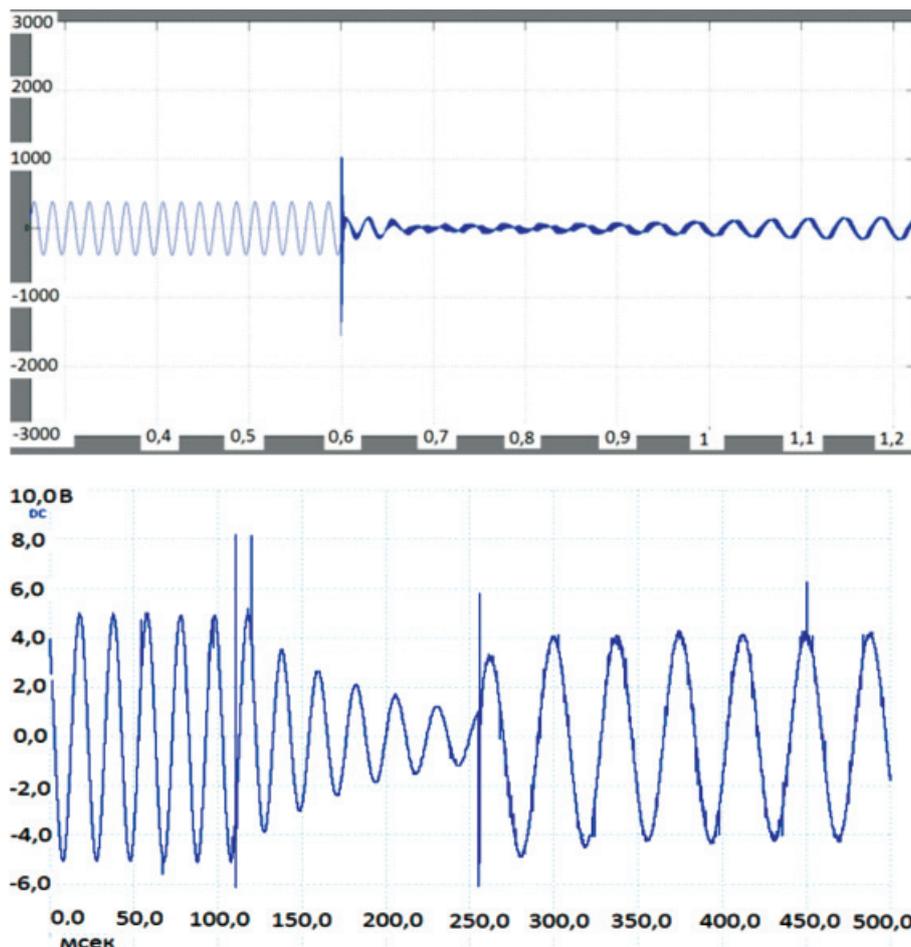


Рис. 4. Результаты проведения эксперимента

Подключение сопротивления порядка 100 Ом соответствует режиму отключения питания, резкому торможению и переходу в двигательный режим испытуемой машины, так как энергия сбрасывается в электрическую цепь.

Для определения оптимального значения на рис. 5, б приведена кривая электромагнитного момента при подключении сопротивления 50 Ом.

Рисунок является наглядным подтверждением увеличения отрицательного значения электромагнитного момента, что соответствует увеличению времени протекания генераторного режима. Из графика видно, что электромагнитный момент занимает отрицательное положение приблизительно от 0,65 до 0,77, что соответствует 0,12 с.

Полученное увеличение по времени генераторного режима испытуемого электродвигателя не является конечным результатом. Остается открытым вопрос об увеличении отрицательного значения электромагнитного момента и возможностью нагружения им испытуемого электродвигателя. Для этого подбираем сопротивление, результатом

подключения которого будет максимальный электромагнитный момент и максимальное время соответствующего режима.

При использовании сопротивлений порядка 10 Ом на рис. 5, б видно ярковыраженное увеличение значения отрицательного электромагнитного момента при установленном ранее времени генераторного режима. Дальнейшее уменьшение значения сопротивления приводит к увеличению как отрицательного значения электромагнитного момента, так и положительного. На рисунке отчетливо видно, что колебания момента затрагивают и положительную зону оси абсцисс. Уменьшение вводимого сопротивления от 10 Ом и ниже влечет за собой сокращение времени процесса нагружения при малых изменениях значения результирующего электромагнитного момента.

Результаты моделирования при подключении небольшого сопротивления представлены на рис. 5, в. На графике заметны слишком большие колебания и слишком резкое сокращение времени протекания генераторного режима, поэтому результаты моделирования неприемлемы.

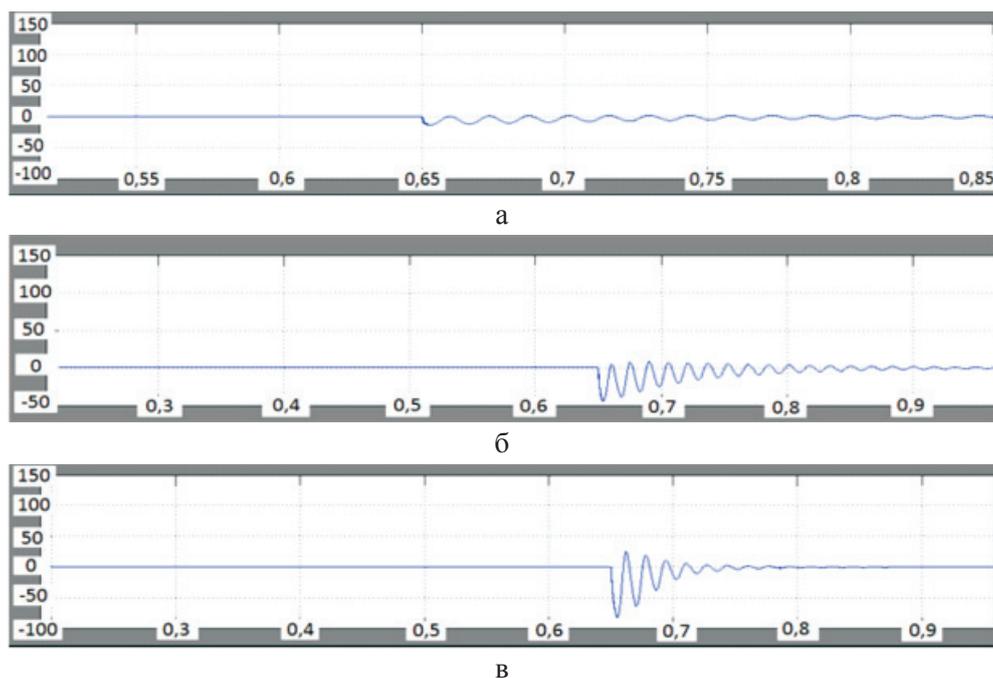


Рис. 5. Моделирование процесса нагружения асинхронного двигателя в генераторном режиме активным сопротивлением:
а – 50 Ом; б – 10 Ом; в – 1 Ом

Из проведенных компьютерных экспериментов по увеличению времени протекания режима нагружения электромагнитным моментом асинхронного электродвигателя и по максимальному увеличению отрицательного значения электромагнитного момента можно сделать выводы о целесообразности применения нагрузочных сопротивлений в диапазоне от 10 до 5 Ом.

Выводы

Из всего вышеперечисленного можно сделать следующие выводы.

При сравнении компьютерных и натуральных экспериментов можно сделать вывод об адекватности представленных компьютерных моделей, разработанных при помощи прикладного пакета Sym Power Systems программы Matlab.

Существенное увеличение времени генераторного режима асинхронного двигателя в целях проведения испытаний электрических машин с отдачей электрической энергии возможно при использовании источников напряжения с частотой 50 Гц (сети) и 25 Гц и циклического их подключения к испытуемому электродвигателю с частотой 0.12 секунд. Такое частое переключение может быть достигнуто при использовании микроконтроллерного управления и полупроводниковых управляемых ключей.

Список литературы

1. Вольдек А.И. Электрические машины: учеб. для высш. техн. заведений. – 3-е изд. – Ленинград: Энергия, 1978. – С. 510–514.
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – С. 233–239.

3. Голдберг О.Д. Испытание электрических машин: учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Высш.шк., 2000. – С. 164–166.

4. Осипов О.И. Частотно регулируемый асинхронный электропривод: учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – С. 46–48.

5. Слоним Н.М. Испытания асинхронных двигателей при ремонте. – 2-е изд. – Энергия, 1970. – С. 53–54.

6. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB Sim Power Systems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2008. – С. 167–172.

References

1. Voldek A.I. Electric machines: a textbook for the higher technical institutions. 3-e Izd. Leningrad: Energiya, 1978. pp. 510–514.
2. German-Galkin this YEAR. Computer simulation of semiconductor systems in the MATLAB 6.0: a Training manual SPb.: KORONA print, 2001. pp. 233–239.
3. Goldberg O.D.. Testing of electrical machines: a textbook for institutes of higher education 2-e Izd. M.: Высш.шк., 2000. pp. 164–166.
4. Osipov O.I. Frequency controlled asynchronous electric drive: a training manual-M.: Publishing house of Moscow power engineering Institute, 2004. pp. 46–48.
5. Slonim N.M. Tests of asynchronous motors in the repair. 2-e Izd. Energy, 1970. pp. 53–54.
6. Chernih I.V. Simulation of electro-technical devices in the MATLAB Sim Power Systems and Simulink. M.: DMK Press, 2008. pp. 167–172.

Рецензенты:

Егоров А.В., д.т.н., профессор кафедры «Теоретическая электротехника и электрификация нефтяной и газовой промышленности», Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, г. Москва;

Ершов М.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника и электрификация нефтяной и газовой промышленности», Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 29.12.2012.