



УДК 629.12.001.2:656.66.

В.И. Самулеев, к.т.н. профессор, кафедра Э и ЭОВТ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Т.Н. Гусакова, ст.преподаватель, кафедра Э и ЭОВТ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Ю.П. Мухин, соискатель,
603951 г. Нижний Новгород, ул. Нестерова,5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПИТАНИЯ СУДОВЫХ И БЕРЕГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии (ВИЭ), двигатели, гребные электрические установки (ГУ), преобразователи, плавучие ветродизельные электростанции (ПВДС).

В статье рассматриваются перспективы использования возобновляемых источников энергии на водном транспорте. Показано применение активных двигателей Антона Флеттнера, гребных электрических установок с различными преобразователями, винг-роторов, а также их использование на стоечных судах, плавучих электростанциях, плавучих ветропарках, плавмастерских.

Введение

10-11 апреля в Сочи прошла выставка-конференция «Альтернативные источники мировой энергии» ARWE 2018. Мероприятие объединило представителей крупнейших энергетических компаний, федеральных и региональных министерств и ведомств, регуляторов рынка с целью обсуждения дальнейших планов развития возобновляемых источников энергии (далее ВИЭ) в России. По словам генерального директора подразделений Vestas Russia и Vestas Manufacturing Russia Кимала Юсупова, процесс создания рынка ветроэнергетики в России запущен, а значит, он будет развиваться и дальше. Исходя из данных, постоянно появляющихся в СМИ, в России начата государственная программа по поддержке и реализации проектов развития применения ВИЭ и схем генераций на их основе. Учитывая зарубежный опыт, необходимым условием во всеобщем развитии данной программы может являться применение ВИЭ на транспорте и, в частности, на водном транспорте, а также использование акваторий не пригодных для плавания в качестве размещения стоечных судов, плавучих электростанций на основе ВИЭ. Одним из приоритетных направлений, в данном случае, является развитие ветроэнергетики.

Использование активных двигателей Антона Флеттнера

В [1] автор относит роторы Флеттнера (изображен на рис.1) к двигателям активной группы наравне с парусами. Также установки такого рода изучаются и проектируются некоторыми исследователями [2, 3] из Финляндии, Германии для многих типов судов. Чаще всего они используются как вспомогательные, однако произведёнными расчётами энергетических показателей авторы статьи не исключают использования данных систем в качестве основных энергетических установок судов.

Одним из результатов работ европейских исследователей и конструкторов является снижение расхода топлива в среднем на 30-40% на судне «E- Ship-1», построенном при совместном участии судостроительной верфи в Эмдене и немецкой фирмы «Enercon», которая также является и заказчиком судна. Это снижение достигается за счет использования в качестве движущей силы энергии ветра, набегающего на вращающиеся цилиндры высотой 27 метров и диаметром 4 метра (без учёта стабилизирующих шайб). В результате при определённой скорости вращения данных цилиндров возникает

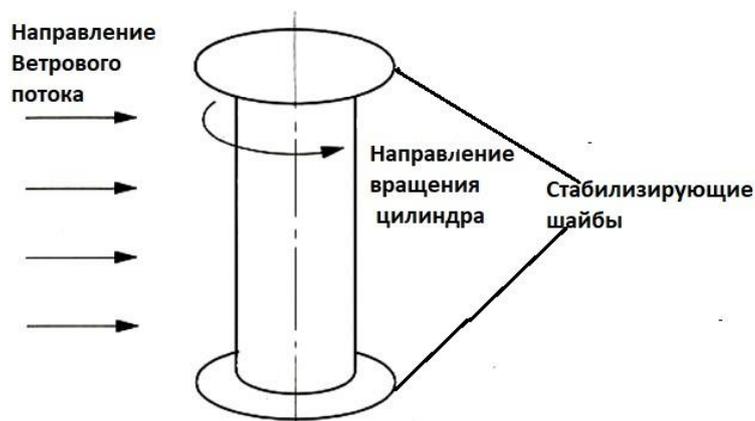


Рис.1. Ротор Флеттнера

необходимый упор, толкающий судно вперёд с заданной скоростью. Первым же судном, официально использующим так называемый эффект Магнуса, было судно «Букау» немецкого инженера Антона Флеттнера. Два цилиндра раскручивались от двигателей мощностью 60 кВт каждый, с частотой 160 оборотов в минуту. Схема электродвижения представляла собой классическую схему «Вард-Леонарда». Судно развивало ход до 12-16 узлов.

В статье [4] произведено технико-экономическое сравнение наиболее перспективных схем электродвижения с использованием систем активного движения:

- 1) Вариант гребной электрической установки (далее ГЭУ) на переменном токе с использованием преобразователей с широтно-импульсной модуляцией (далее ШИМ),
- 2) Вариант ГЭУ двойного рода тока с использованием индуктивно-ёмкостного преобразователя (далее ИЕП) [5].

Все цены предоставлены поставщиками товаров и услуг с привязкой к месту модернизации судна проекта 1809 (тип «Сахалин»).

При расчёте годовых затрат затраты на топливо оказались снижены по вариантам:

- 1) С 1234022 до 373672 рублей,
- 2) С 1234022 до 380152 рублей.

Также в статье [4] было произведено математическое моделирование имитационных моделей ГЭУ с использованием роторов Флеттнера.

Согласно расчётам и анализу данных среднегодовой скорости ветра с вероятностью 13% можно сказать, что среднегодовая скорость ветра в районах Татарского Пролива составляет не ниже 8 м/сек. По данным средней скорости ветра рассчитывается сечение роторов Флеттнера и стабилизирующих шайб.

Как известно из теории аэродинамики, цилиндр, вращающийся в потоке воздуха, имеет силу, перпендикулярную основному потоку (2) [5]:

$$P = S \cdot u \cdot v \cdot 8,1 \quad (2)$$

где:

P-сила выталкивающая цилиндр из потока (сила тяги),

S-площадь сечения цилиндра (имеется в виду диаметр умноженный на высоту цилиндра),

v-скорость ветра(м/с),

и-скорость вращения цилиндра,

8,1-коэффициент принятый для продувок цилиндров в аэродинамической трубе.

Однако, несмотря на универсальность данной формулы при расчётах активных двигателей, таких, как роторы Флеттнера, она не раскрывает всей природы воздействия ротора на привод, в данном случае на электропривод. В частности это обусловлено отсутствием в формуле плотности воздуха и различной природой воздействия ветра на вращение.

Известна более подробная формула (3), исключая данные недостатки[6]:

$$P = C_t \cdot \rho \cdot n \cdot V \cdot S \quad (3)$$

где:

P-сила тяги, (Н)

C_t-коэффициент момента,

n-скорость вращения (об/мин),

V-скорость ветра(воздуха, м/с),

S-площадь сечения.

Согласно произведённым расчётам формула (3) наиболее подходит для проведения моделирования.

Далее, данная формула собирается в виде имитационной модели (рис.2) в составе моделей ГЭУ для двух вариантов модернизации, а именно:

1) Вариант ГЭУ на переменном токе с использованием преобразователя с ШИМ (рис.3)

2) Вариант ГЭУ двойного рода тока с использованием ИЕП [5] (рис. 4).

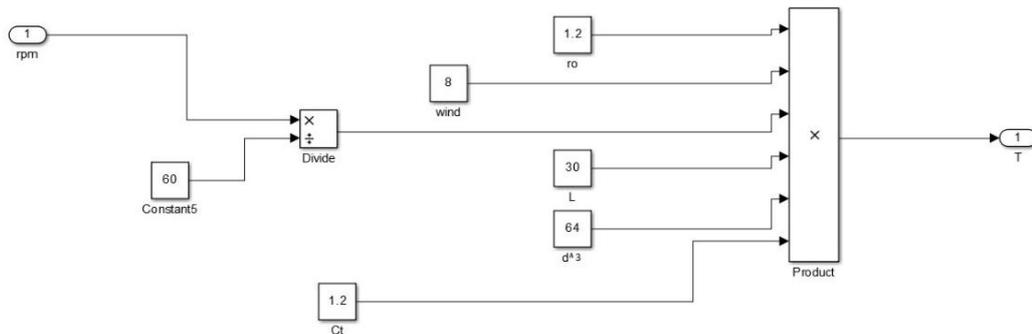


Рис.2. Имитационная модель ротора Флеттнера

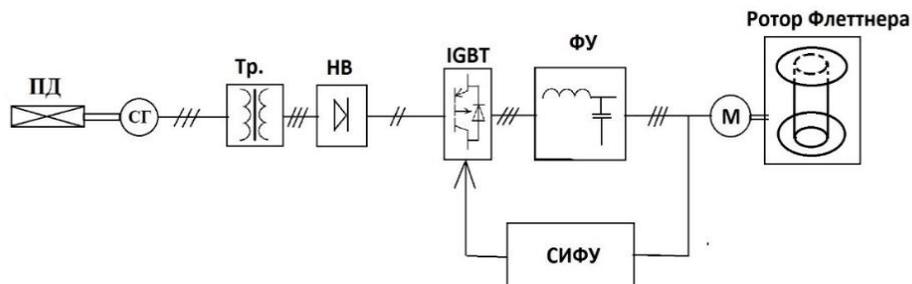


Рис.3. Имитационная модель ГЭУ на переменном токе с использованием преобразователей с ШИМ и систем активного движения

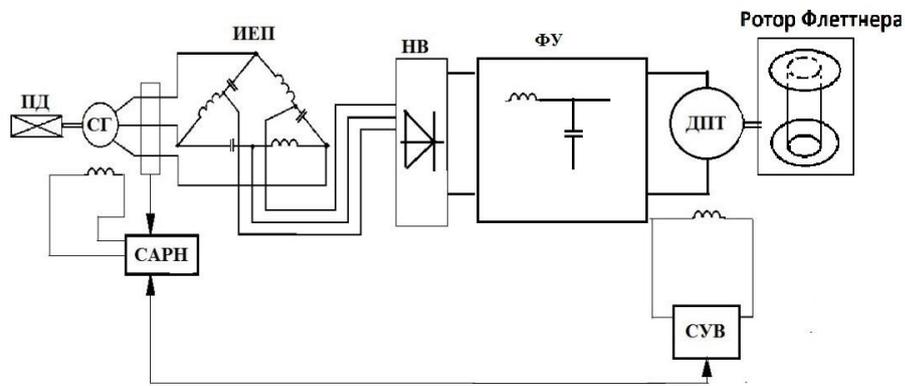


Рис.4. Имитационная модель двойного рода тока с использованием ИЕП и систем активного движения

После проработки обоих имитационных моделей были получены следующие графики, изображенные на рисунке 5 и рисунке 6.

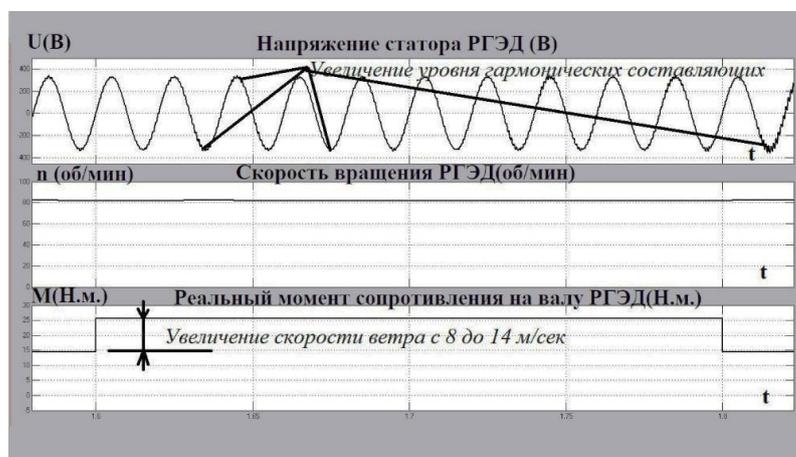


Рис.5. Графики напряжения статора, скорости вращения, момента сопротивления роторного гребного электродвигателя (РГЭД) ГЭУ переменного тока с использованием преобразователя с ШИМ

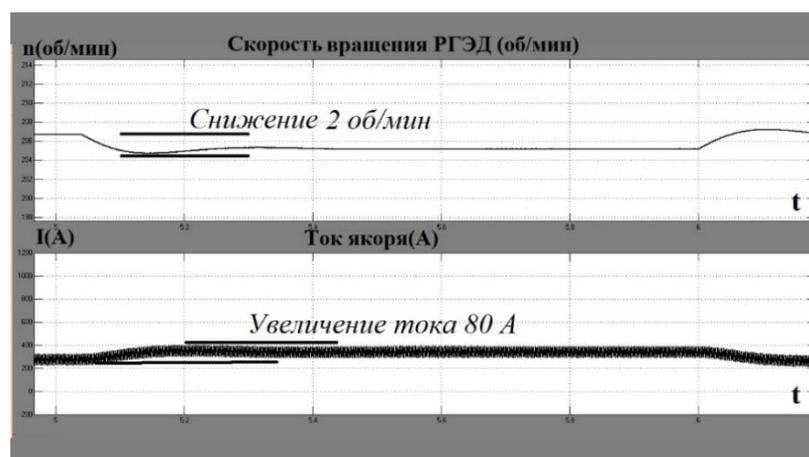


Рис.6. Графики напряжения статора, скорости вращения, момента сопротивления роторного гребного электродвигателя (РГЭД) ГЭУ двойного рода тока с использованием ИЕП

Из характеристик наглядно можно сделать вывод о том, что использование активных движителей Антона Флеттнера, согласно сравнительной экономической оценке по материалам европейских разработок, может снизить затраты на топливо в среднем на 30-40%. Однако при расчётах необходимо учитывать как факторы ценообразования на эти установки, так и факторы, связанные с производством таких вспомогательных установок в районе постройки судна.

Винг-роторы

Винг-роторы (роторы инженера Савониуса) могут являться как движителями активной группы, так и генераторами. Это колесо также вращается силой сопротивления. Его лопасти выполнены из тонких изогнутых листов прямоугольной формы, т. е. отличаются простотой и дешевизной. Из-за большого геометрического заполнения это ветроколесо обладает большим крутящим моментом. Соответственно, электрическая машина, работающая совместно с таким типом ветродвигателя, может работать как в генераторном, так и в двигательном режиме. А судно, в свою очередь, может получать энергию механического движения (при работе винг-ротора в режиме активного движителя), и электрическую энергию (при работе винг-ротора в режиме генератора). Универсальность, в данном случае, таких систем увеличивается вдвое. На Рис.7 изображён ротор инженера Савониуса. Отличие от ротора Флеттнера очевидно: ротор Флеттнера будто разрезан вдоль и получившиеся таким образом полуцилиндры смещены от центра. Поступающий поток воздуха сначала раскручивает данный ротор, а затем, после образования за счёт вращения такого ротора потоков воздуха, образуется сила, толкающая его, называемая эффектом Магнуса [5]. Согласно автору [5] использование этого явления (Магнус-Савониус) может существенно снизить мощность электропривода, приводящего в движение ротор.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что ротор Савониуса даже в двухлопастной конструкции более эффективен чем ротор Флеттнера.

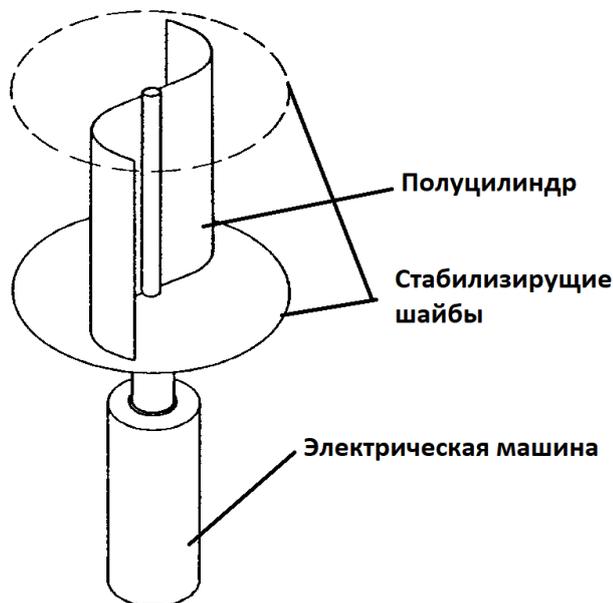


Рис.7. Винг-ротор (ротор инженера Савониуса)

Значительным вкладом в изучение таких установок может служить имитационное моделирование с использованием модели ротора Савониуса и её последующим моделированием при условии снижения и увеличения ветра, работы в генераторном режиме и работы в двигательном режиме.

Стоечные суда, плавучие электростанции, плавучие ветропарки, плавучие мастерские с использованием ВЭУ.

Перспективы применения стоечных судов на водном транспорте были подробно описаны в [7]. Согласно исследованию, произведенному и изложенному в данной статье, на Европейской части России, на участках водных путей могут устанавливаться тихоходные ветрогенераторы средней и большой мощности с числом лопастей от 4. Конструкция такой плавучей ветро-дизельной электростанции может включать в себя как дизель-генератор, так и любой другой источник механической энергии, например экологичные водородные, газотурбинные генераторы и т.п. В 1969 году на Тюменском судостроительном заводе были построены и введены в эксплуатацию несколько газотурбинных плавучих электростанций для питания посёлков Севера. Опыт строительства таких мощных плавучих электростанций имеется также и у Выборгского и Балтийского судостроительных заводов. На основе и принципах строительства и эксплуатации может быть спроектирована и плавучая ветро-дизельная электростанция (далее ПВДЭС).

Исследования в области изменения ветровых условий и внезапного короткого замыкания в цепи нагрузки для ветро-дизельной установки изложены в [8]. В качестве примера была использована установка Enercon E-30 мощностью 300кВт косинусом ϕ 0,89, дизель-генераторной установки мощностью 2x200кВт, косинусом ϕ генераторов ГСС-114-8 0,75.

Для выбора уставок автоматических выключателей был произведен расчёт токов короткого замыкания.

Согласно данным расчёта, при значении ударного тока короткого замыкания 7304,13 А, экспериментальное составило 5560А.

При действующем значении периодической составляющей в начальный момент КЗ 5,41 относительных единиц (далее о.е.) экспериментальное значение составило 5,1 о.е., а значит надёжность системы не ухудшилась а наоборот, качественно улучшилась, а следовательно, удовлетворяет требованиям Российского речного регистра. Графики, иллюстрирующие данные процессы приведены на рисунках 8, 9, 10.

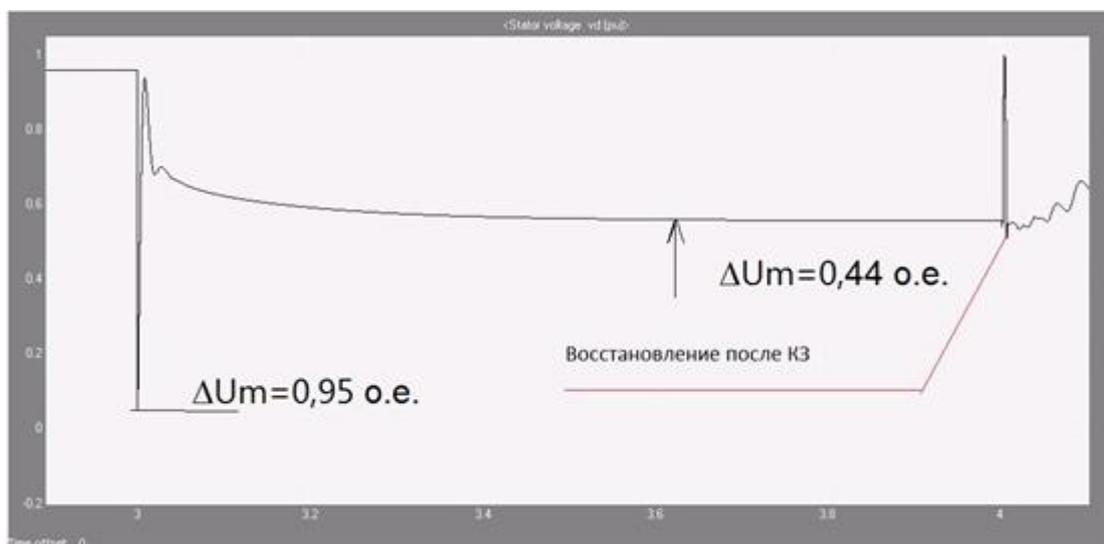


Рис.8. Напряжение на статоре по оси d (о.е.) за время короткого замыкания

Учитывая условия работы ВЭУ, регулирование необходимо производить как по ветру, который имеет неоднородную физическую природу, так и по нагрузке, которая также имеет случайный характер.

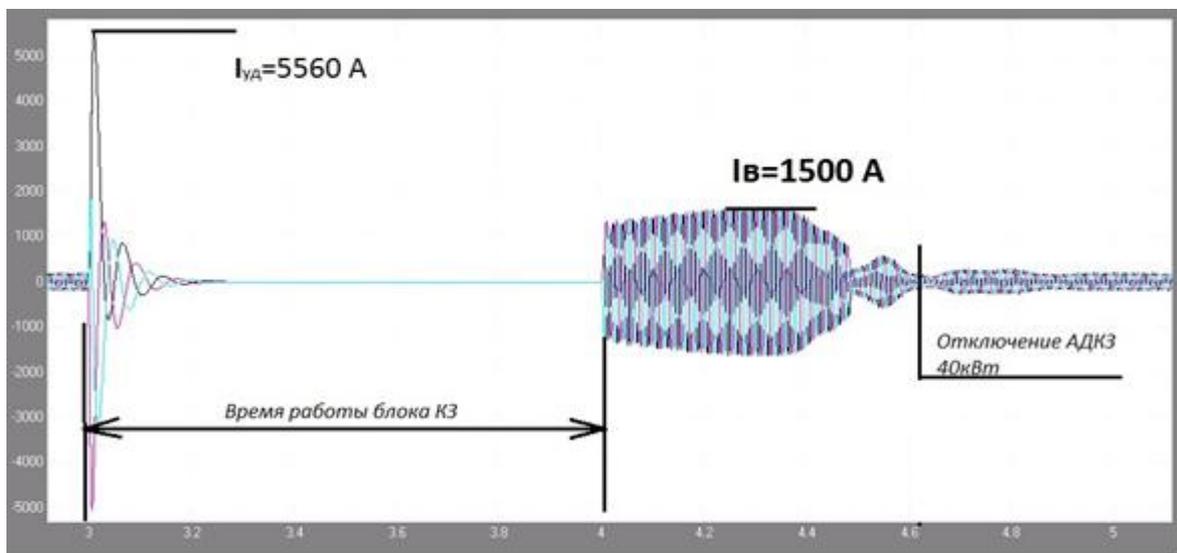


Рис.9. Изменения тока по всем трём фазам на шинах ГРЩ за время короткого замыкания

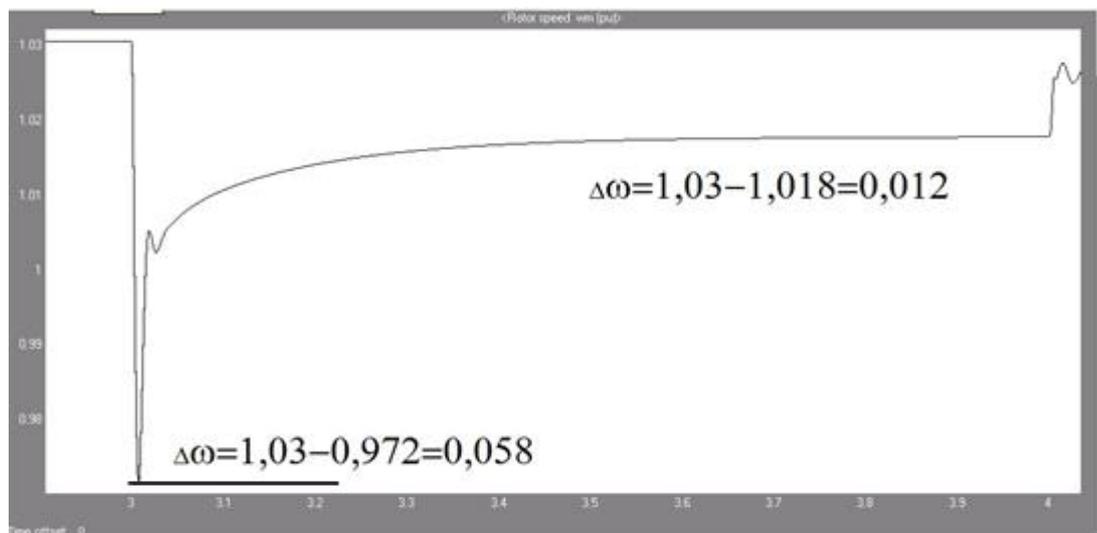


Рис.10. Изменение частоты вращения ротора генератора за время короткого замыкания

Выводы:

- 1) Использование в схемах электродвижения двойного рода тока и индуктивно-емкостного преобразователя, будет способствовать снижению затрат на обеспечение защиты таких установок;
- 2) Использование винг-роторной установки позволит снизить мощность электропривода а также сделать установку более универсальной;
- 3) Использование ПВДЭС и стоечных судов, таких как плавучие мастерские, плавучие доки совместно с ПВДЭС, позволит повысить автономность объектов водного транспорта, повысить энергообеспечение районов, удалённых от единой энергетической системы страны. Согласно исследованиям, разработка таких станций и судов должна производиться с расчётами и последующим имитационным моделированием опытов КЗ, внезапного изменения направления и скорости ветра, изменения судовой и береговой нагрузки.

Список литературы:

- [1] Полонский В.И. Электрооборудование и электродвижение судов. -М. Транспорт, 1965-330 с.,ил.
- [2] Norsepower [электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.norsepower.com>
- [3] International Wind ship Association [электронный ресурс].- Режим доступа: <http://wind-ship.org/en/grid-homepage/>
- [4] Анализ вариантов систем электродвижения с использованием роторов флеттнера при модернизации паромов проекта 1809. В.И. Самулеев, Ю.П. Мухин. / Вестник ВГАВТ. Вып. 53. - Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2017. – С. 90–98.
- [5]Авиационная подъёмно-транспортная система и ветроэнергетические устройства вихревого типа: монография / Л.В. Михненко. – М.: РИО МГТУ ГА, 2014. - 96 с., 64 рис.
- [6]Seifert J. Micro Air Vehicle lifted by a Magnus Rotor. A Proof of Concept./ American Institute of Aeronautics and Astronautics journal.2011.1-10pps.
- [7] Храмов М.Ю., Мухин Ю.П. Перспективы внедрения и применения ВЭУ на речном и морском транспорте. – Н.Новгород: Вестник ВГАВТ 2011г.
- [8] Самулеев В.И. Исследование переходных процессов в судовых электроэнергетических системах с применением ветроэнергетических установок(ВЭУ): «Возобновляемые источники энергии». Материалы всероссийской научной конференции с международным участием и 9 молодежной школы. Изд-во МГУ имени Ломоносова г.Москва г.2014.-с.70-78

USING OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR MARINE AND SHORE-BASED CONSUMERS

Samuleev V.I., Gusakova T.N., Mukhin Yu.P.

Key words: renewable energy sources, propulsors, electric propulsion installations, converters, floating wind-diesel power stations.

The article discusses the prospects for using of renewable energy sources in water transport. It shows applying of Anton Flettner active propulsors, electric propulsion installations with different converters, wing-rotors as well as their use on berth-connected ships, floating windparks and floating workshops.