

УДК 620

СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ ТОКА ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЧАСТОТЫ

Григораш Олег Владимирович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,
grigorasch61@mail.ru

Квитко Андрей Викторович
старший преподаватель
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

В статье рассматриваются технические решения стабилизаторов напряжения и частоты тока асинхронных генераторов ветроэлектрических установок, выполненных с использованием непосредственных преобразователей частоты, и проводится их сравнительный анализ

Ключевые слова: ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА, АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР, НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

UDC 620

VOLTAGE REGULATORS AND FREQUENCY OF CURRENT OF ASYNCHRONOUS GENERATORS OF WIND POWER INSTALLATIONS

Grigorash Oleg Vladimirovich
Dr.Sci.Tech., professor, head of the chair
grigorasch61@mail.ru

Kvitko Andrey Viktorovich
senior lecturer
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

In the article we have considered the technical solutions of voltage regulators and the frequency of current of the asynchronous generators of the wind power installations executed with the help of the direct frequency transformers. The comparative analysis of them has been carried out as well

Keywords: RENEWAL SOURCES OF ENERGY, ASYNCHRONOUS GENERATOR, WIND POWER INSTALLATION, DIRECT FREQUENCY TRANSFORMER

В настоящее время технический потенциал ветровой энергетики в России составляет более 6500 млрд кВт ч в год. Поэтому перспективным является направление разработки и внедрения ветроэлектрических установок (ВЭУ) в регионах России, где средняя годовая скорость ветра превышает 3 м/с [1].

Важными функциональными элементами ВЭУ являются автономный источник и стабилизатор параметров электроэнергии, от которых зависят КПД, показатели надёжности, в том числе ресурс работы ВЭУ. Стабилизация частоты тока генерируемой автономным источником электроэнергии (АИЭ) осуществляется в основном за счёт механических редукторов скорости (мультипликаторов), а для упрощения стабилизации напряжения, в том числе устройств, обеспечивающих параллельную работу ВЭУ, применяются генераторы постоянного тока или генераторы переменного тока с выпрямителями. Кроме того, постоянный ток необходим

для подзарядки аккумуляторных батарей, которые являются резервными источниками электроэнергии в случае безветрия. Поэтому мощность генераторов электроэнергии ВЭУ, как правило, рассчитана с учётом мощности резервных источников энергии – аккумуляторных батарей.

Основными потребителями ВЭУ – это потребители переменного тока, поэтому обязательными элементами в таких системах являются автономные инверторы (АИ), преобразующие напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока.

Таким образом, основными недостатками схем стабилизации параметров электроэнергии ВЭУ являются: сложная конструкция механической части, обеспечивающая стабилизацию частоты вращения ветроколеса; двойное преобразование электроэнергии (напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока, а затем в обратном порядке). Эти факторы приводят к значительному снижению КПД и показателей надёжности ВЭУ.

Известно, что не всегда целесообразно использовать в качестве резервных источников электроэнергии аккумуляторные батареи, с экономической точки зрения иногда выгодно применять, к примеру, газопоршневые электростанции, генерирующие напряжение переменного тока [1].

Одно из перспективных направлений, позволяющее улучшить характеристики ВЭУ, связано с применением в их составе бесконтактного генератора переменного тока – асинхронного генератора с ёмкостным возбуждением (АГ). Благодаря разработке высокоэффективных конденсаторов, обеспечивающих возбуждение и компенсацию реактивной мощности, а также развитию силовой электроники, осуществляющей бесконтактное управление ёмкостью, в настоящее время сняты ограничения по применению АГ как источников электроэнергии в автономных системах электропитания [2].

Раскрываются в настоящее время также перспективы применения в качестве стабилизатора напряжения и частоты тока АГ непосредственных преобразователей частоты (НПЧ).

Для эффективного применения НПЧ в составе ВЭУ необходимо, чтобы генератор генерировал напряжение частотой от 150 Гц (чем выше частота, тем лучше качество выходного напряжения НПЧ). Это может быть достигнуто за счёт увеличения числа пар полюсов или частоты вращения ротора электрической машины. Применение НПЧ позволит, отказавшись от автоматической системы стабилизации частоты вращения ветроколеса, упростить конструкцию механического редуктора и систему стабилизации параметров электроэнергии (напряжения и частоты тока) ВЭУ [3, 4].

Силовые электронные схемы НПЧ могут быть выполнены на биполярных транзисторах (IGBT) или управляемых тиристорах. Схемы НПЧ на биполярных транзисторах значительно усложняют алгоритм работы и конструкцию системы управления и защиты преобразователя, кроме того, стоимость транзисторов с изолированным затвором в 4–5 раз превышает стоимость тиристорov [1].

В качестве стабилизаторов параметров электроэнергии АГ могут использоваться два типа НПЧ – с естественной коммутацией силовых электронных приборов (НПЧЕ) и с искусственной коммутацией, обеспечивающей регулирование угла сдвига фаз на входе преобразователя (НПЧР).

Качество выходного напряжения НПЧЕ и НПЧР от способа управления силовыми электронными ключами не зависит, а зависит от соотношения входной частоты к выходной, поэтому параметры выходных фильтров преобразователей определяются по однотипным методикам [3].

Структурная схема ВЭУ, выполненная с использованием НПЧЕ приведена на рисунке 1. АГ нормально работает в диапазоне частоты вращения 750 – 1500 об/мин, выдает мощность на преобразователь в диапазоне

частот 200 – 400 Гц. Выходной фильтр Φ , обеспечивает непрерывность и соответственно синусоидальность выходного напряжения.

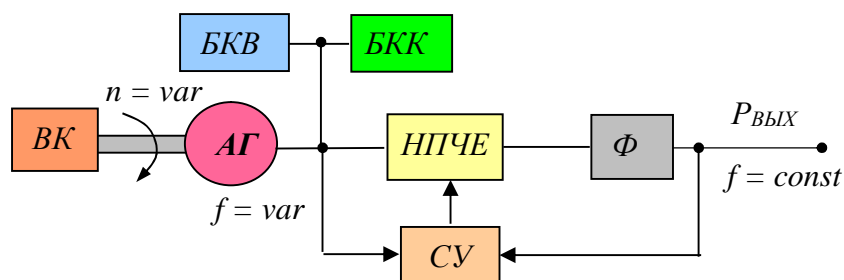


Рисунок 1 – Структурная схема ВЭУ на НПЧЕ: ВК – ветроколесо; АГ – асинхронный генератор; БКВ и БКК – блоки конденсаторов возбуждения и компенсации реактивной мощности нагрузки, соответственно; СУ – система управления; Φ – выходной фильтр

Оригинальной системой генерирования мощности ВЭУ является система, состоящая из АГ и НПЧР.

Если на статорные обмотки АГ подается реактивная мощность, то он может генерировать активную мощность к присоединенной к нему внешней нагрузке. Потребность в реактивной мощности нагрузки и электрической машины должны обеспечиваться от внешних источников (конденсаторов, синхронных компенсаторов). Однако каждый из этих источников значительно ухудшает технические характеристики ВЭУ.

Особенность работы НПЧР, заключается в его способности изменять реактивную составляющую входного тока и, ее знак. Поэтому НПЧР можно использовать в двух целях: во-первых, для преобразования мощности с повышенной и изменяющейся частотой, генерируемой АГ, в выходную мощность постоянной более низкой частоты и, во-вторых, для питания АГ регулируемой реактивной мощностью, т.е. для регулирования его возбуждения [4].

Знак входного тока НПЧР зависит от способа формирования выходного напряжения. На выходе НПЧ могут формироваться два типа кривых: положительного типа $u_{ПТ}$, когда в момент включения силовых полупро-

водниковых приборов напряжение источника питания больше чем желаемая величина выходного напряжения, и отрицательного типа $u_{от}$, когда в момент включения силовых полупроводниковых приборов напряжение источника питания меньше чем желаемая величина выходного напряжения преобразователя

Если на выходе НПЧ формировать кривую напряжения положительного типа $u_{пт}$ когда ток нагрузки i_n имеет отрицательную полярность и кривую напряжения отрицательного типа $u_{от}$ когда ток нагрузки i_n имеет положительную полярность, то на входе НПЧ угол сдвига фаз будет опережающим, т. е. преобразователь для источника электроэнергии будет активно-индуктивной нагрузкой. Если же изменить тип кривой напряжения, формирующий на выходе преобразователя, относительно тока нагрузки, в сравнении рассмотренным примером, то НПЧ для источника будет активно-емкостной нагрузкой (см. таблицу 1) [4].

Таблица 1 – Сдвиг фаз между напряжением и током на входе НПЧ при различных комбинациях типа кривой выходного напряжения и полярности выходного тока

Кривые напряжения на выходе	Полярность выходного тока (тока нагрузки)	Угол сдвига фаз на входе
Положительного типа	Положительная	Отстающий
	Отрицательная	Опережающий
Отрицательного типа	Положительная	Опережающий
	Отрицательная	Отстающий

Структурная схема ВЭУ, в которой используются АГ и НПЧР приведена на рисунке 2.

Если не принимать во внимание вопрос возбуждения генератора, то механизм управления этой системой оказывается идентичным тому, который используется для НПЧЕ. Возбуждение генератора и напряжение на входных выводах НПЧР регулируется путем сравнения фазных напряжений генератора с заданными и использования сигналов рассогласования для изменения фазы коммутирующих сигналов, обеспечивающих форми-

рование кривых напряжений. Генератор коммутирующих сигналов является неотъемлемой частью системы импульсно-фазового управления.

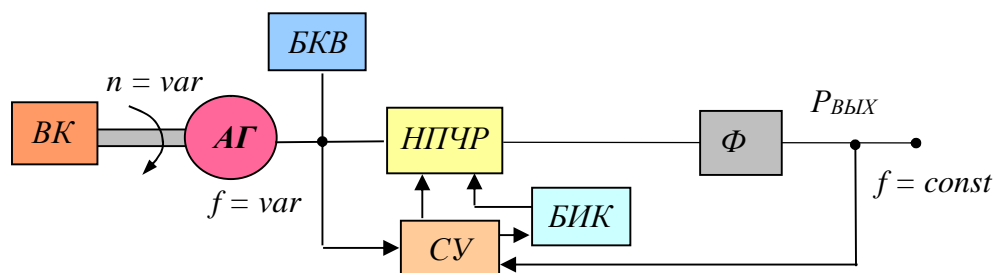


Рисунок 2 – Структурная схема ВЭУ на НПЧР: *БК* – ветроколесо; *АГ* – генератор; *БКВ* – блок конденсаторов возбуждения; *СУ* – система управления; *БИК* – блок искусственной коммутации; *Ф* – выходной фильтр

Блок конденсаторов возбуждения БКВ (см. рисунки 1 и 2) кроме подавления коммутационных перенапряжений, во время работы НПЧ, уменьшают также искажение токов генератора и улучшают форму кривой напряжения на его выводах. Таким образом, эти конденсаторы косвенно влияют на уменьшение искажения формы кривой выходного напряжения, которая формируется из участков кривых входного напряжения.

Для обеспечения должного возбуждения без нагрузки необходимо, чтобы общий ток генератора, составленный из тока конденсатора на входе и максимально достигаемого емкостного входного тока НПЧР, благодаря току фильтра на выходе был бы равен или больше тока возбуждения ненагруженного АГ при минимальной рабочей скорости. На практике этот критерий обычно удовлетворяется сам собой, поэтому емкость конденсаторов фильтра не должна быть увеличена сверх той, которая требуется по другим причинам.

Важным вопросом является пуск АГ. Поскольку до пуска к АГ не приложено напряжение, то его конденсаторы сами по себе не смогут обеспечить требуемое начальное возбуждение. Однако асинхронные машины имеют некоторую остаточную намагниченность и даже если не имеют ее,

это легко сделать путем введения только одного импульса тока в обмотку статора. Эта остаточная намагниченность обеспечивает начальное самовозбуждение естественным путем под действием положительной обратной связи. При вращении ротора в обмотке статора возникает небольшое напряжение благодаря остаточной намагниченности. Это напряжение создает некоторый ток через конденсаторы фильтров на входе, что в свою очередь увеличивает напряжение генератора. Когда напряжение на выводах генератора превысит какой-то установленный уровень, НПЧР включается в работу. Если желаемое напряжение генератора поддерживается замкнутой системой регулирования коэффициента сдвига НПЧР, то при пуске будет автоматически установлено наибольшее возможное опережающее значение коэффициента сдвига, обеспечивающее быстрое завершение начального возбуждения генератора. По достижении требуемого напряжения на выводах АГ замкнутая система регулирования НПЧР непрерывно регулирует реактивную составляющую входного тока так, чтобы поддерживать это напряжение.

Обязательным условием является применение низкочастотных фильтров на выходе НПЧ для обеспечения непрерывности кривой выходного напряжения и требуемого его качества. При стабильной частоте выходного напряжения на выходе НПЧЕ необходимо применение LC Г-образного фильтра.

Выбор фильтров НПЧ обусловлен выполнением ряда требований: обеспечение требуемого гармонического состава на выходе фильтра; фильтр не должен вносить заметных ослаблений амплитуды основной гармоники; ограничение фазового сдвига, вносимого фильтром; обеспечение максимального КПД и минимальных массогабаритных показателей (МГП).

Выходные фильтры НПЧ в значительной степени определяют МГП преобразователей. Поэтому, чтобы масса и габариты этих фильтров

были небольшими, кратность частот напряжений преобразователя ($f_{ВХ} / f_{ВЫХ}$) должна быть не менее трёх [4].

Основным достоинством НПЧЕ, применяемых в качестве стабилизатора напряжения и частоты тока АГ является относительно не сложная силовая схема, содержащая только вентильные комплекты ВК1–ВК3 (см. рисунок 3) и система управления, а основным недостатком стабилизатора, выполненного на НПЧЕ является то, что на входе преобразователя угол сдвига фаз постоянно отстающий, т.е. НПЧЕ для АГ является активно-индуктивной нагрузкой, что требует повышенную ёмкость конденсаторов, обеспечивающих компенсацию реактивной мощности нагрузки.

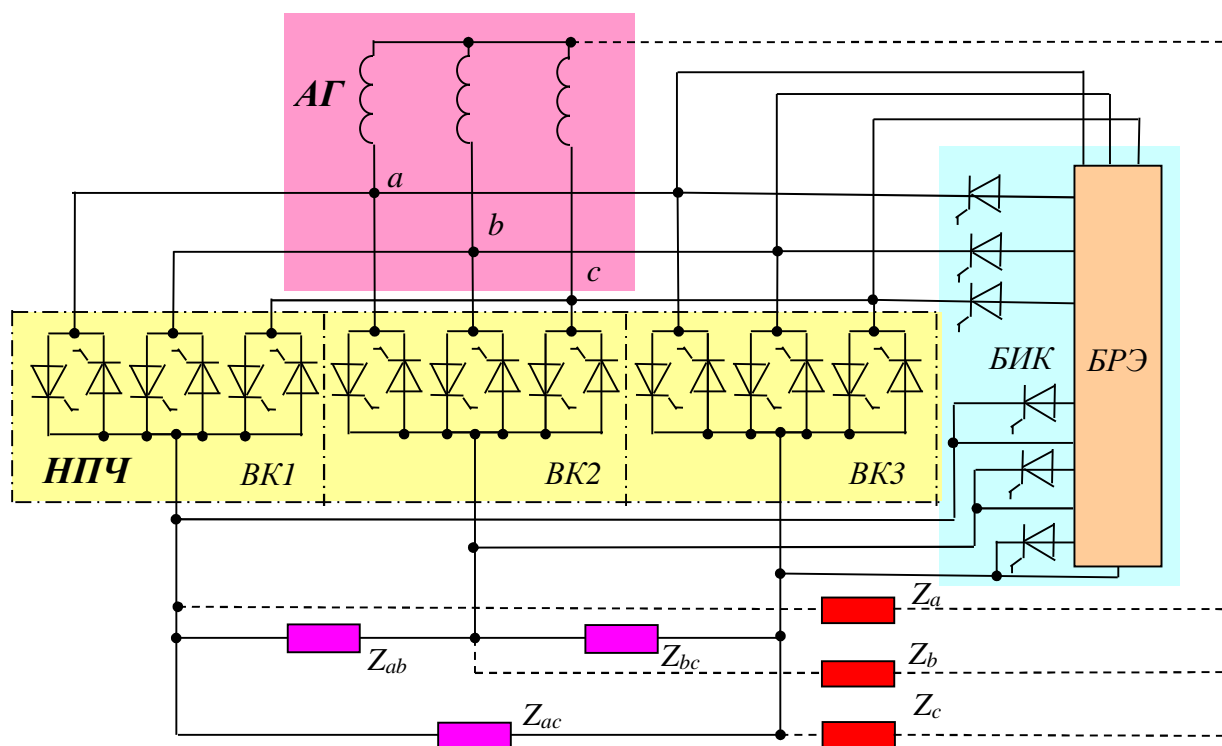


Рисунок 3 – Принципиальная силовая электрическая схема НПЧ: ВК1 – ВК3 – вентильные комплекты полупроводниковых приборов; БИК – блок искусственной коммутации; BRЭ – блок реактивных элементов

Основным достоинством НПЧР, применяемого в составе ВЭУ является то, что на его входе ток опережает напряжение, а значит, преобразователь для АГ является активно-емкостной нагрузкой, что позволяет зна-

чительно уменьшить массу конденсаторов, применяемых для возбуждения генератора, и практически исключить из схемы блок конденсаторов компенсации БКК (рисунок 2). Основными недостатками НПЧР как стабилизатора параметров электроэнергии являются: сложная силовая часть, из-за применения блока искусственной коммутации БИК (см. рисунок 3), в состав которого входит блок реактивных элементов БРЭ и силовые полупроводниковые ключи, и соответственно усложнена система управления, обеспечивающая не только стабилизацию параметров электроэнергии, но и искусственную коммутацию силовых полупроводниковых приборов.

Разработаны функциональные схемы стабилизации параметров электроэнергии АГ на НПЧ с улучшенными техническими характеристиками, новизна технических решений которых подтверждена патентами РФ [5–7]. Для повышения эффективности предпроектного этапа целесообразно рассмотреть особенности работы устройств стабилизации, выполненных на НПЧЕ и НПЧР.

На рисунке 4 приведена функциональная схема стабилизатора параметров электроэнергии АГ, выполненная на НПЧЕ, а на рисунке 5 – диаграммы напряжений и токов, поясняющие принцип его работы. На рисунке 4 показаны выходной фильтр Φ , блок трансформаторов тока БТТ, предназначенный для определения полярности фазного тока автономного источника электроэнергии, блок стабилизации частоты БСЧ и блок стабилизации напряжения БСН.

Работу БСЧ рассмотрим на примере блока управления БУ1, формирующего напряжение одной фазы (см. рисунок 4). Задающий генератор ЗГ формирует ведущий сигнал синусоидальной формы $u_{ЗГ}$ (рисунок 5 а), который через сумматор С2 поступает на первые входы компараторов К1 и К2. В сумматоре происходит сложение сигнала рассогласования Δu , поступающего с выхода НПЧЕ через измеритель отклонения напряжения

ИОН, с сигналом $u_{зг}$, что повышает быстродействие системы стабилизации напряжения.

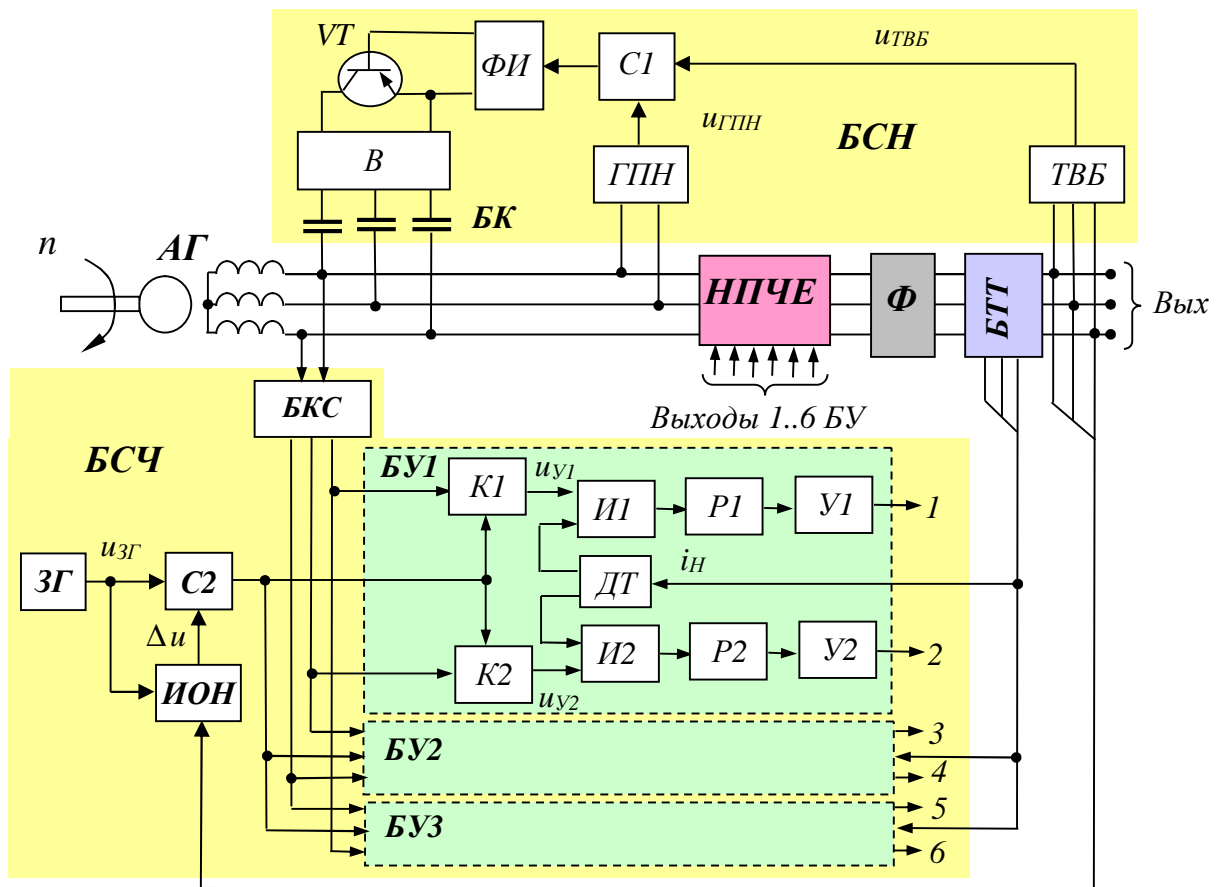


Рисунок 4 – Функциональная схема стабилизатора параметров электроэнергии АГ на НПЧЕ

Блок косинусной синхронизации БКС, выполненный на базе однофазно-трёхфазного трансформатора с вращающимся магнитным полем [4], формирует опорные косинусоидальные сигналы $u_{КС}$ (рисунок 5 а), которые поступают на вторые входы компараторов К1 и К2. При равенстве ведущего и опорного сигналов на выходе компараторов формируются управляющие сигналы $u_{у1}$ и $u_{у2}$ (рисунок 5 б, г), которые поступают на первые входы логических элементов И (И1 и И2, рисунок 4).

Для обеспечения естественной коммутации силовых полупроводниковых приборов НПЧЕ при положительной полярности тока нагрузки $i_{н1}$ (рисунок 5 е) датчик тока ДТ подаёт сигнал на первый логический элемент

И1, а при отрицательной полярности – на второй логический элемент И2 (рисунок 4). Далее управляющие импульсы u_{y1} и u_{y2} через распределители импульсов Р1 и Р2 и усилители импульсов У1 и У2 поступают на управляющие электроды тиристоров НПЧЕ (см. рисунок 5). В результате на выходе НПЧЕ поочередно формируются кривые напряжения положительного и отрицательного типов $u_{ПТ}$ и $u_{ОТ}$ (рисунок 5 д) состоящие из участков кривых напряжения повышенной частоты тока генерируемого АГ.

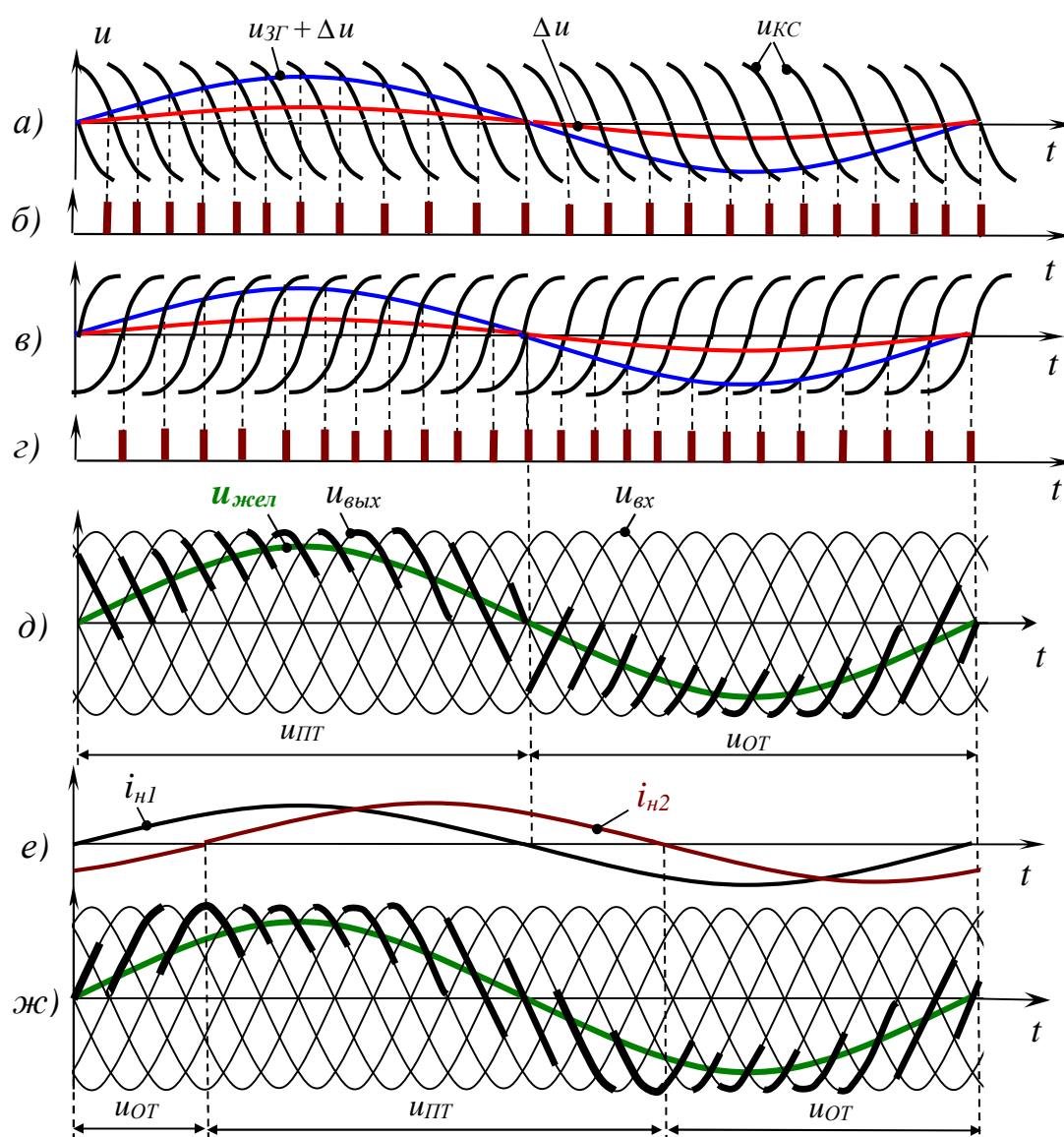


Рисунок 5 – Диаграммы напряжений и тока, поясняющие работу блока стабилизации частоты НПЧЕ

Блок стабилизации напряжения БСН работает следующим образом (см. рисунок 4). На входы сумматора С1 поступает сигнал постоянного тока от трансформаторно-выпрямительного блока (ТВБ) $u_{ТВБ}$, пропорциональный выходному напряжению НПЧЕ, и сигнал с выхода генератора пилообразного напряжения (ГПН) $u_{ГПН}$, синхронизированный с напряжением АГ. В случае когда $u_{ГПН} > u_{ТВБ}$ формирователь импульсов ФИ формирует управляющий сигнал для транзистора VT (рисунок 4), он открывается, и через блок конденсаторных батарей БК будет протекать емкостной ток, обеспечивающий возбуждение АГ и компенсацию реактивной мощности нагрузки. В случае, когда напряжение на выходе НПЧЕ уменьшится, то уменьшится и напряжение постоянного тока $u_{ТВБ}$. Увеличатся длительность управляющего сигнала для транзистора VT и емкостной ток конденсаторных батарей БК, что приведёт к компенсации реактивной мощности нагрузки и восстановлению напряжения на выходе НПЧЕ до номинального значения.

На рисунке 6 приведена функциональная схема стабилизатора параметров электроэнергии АГ, выполненная на НПЧР. На рисунке 6 показаны блок искусственной коммутации БИК, содержащий реактивные элементы и управляемые силовые полупроводниковые приборы, блок трансформаторов тока БТТ и трансформатор напряжения ТН.

Принцип стабилизации напряжения АГ заключается в регулировании реактивной мощности, потребляемой генератором, за счёт изменения угла сдвига фаз на входе НПЧР. Оно происходит из-за смещения участков кривых выходного напряжения положительного и отрицательного типов, формируемых на выходе НПЧР, относительно полярности тока нагрузки. При этом угол сдвига фаз между напряжением и током на входе НПЧР независимо от характера нагрузки может иметь положительный или отрицательный знак (см. рисунок 5 д – ж).

Частота на выходе НПЧР устанавливается задающим генератором 3Г (см. рисунок 6). Стабилизацию напряжения рассмотрим на примере одной фазы А, т. е. работы блока управления БУ1. На выходе компараторов К1 и К2 генерируются управляющие импульсы для формирования кривых напряжения положительного и отрицательного типа на выходе НПЧР, как в работе НПЧЕ.

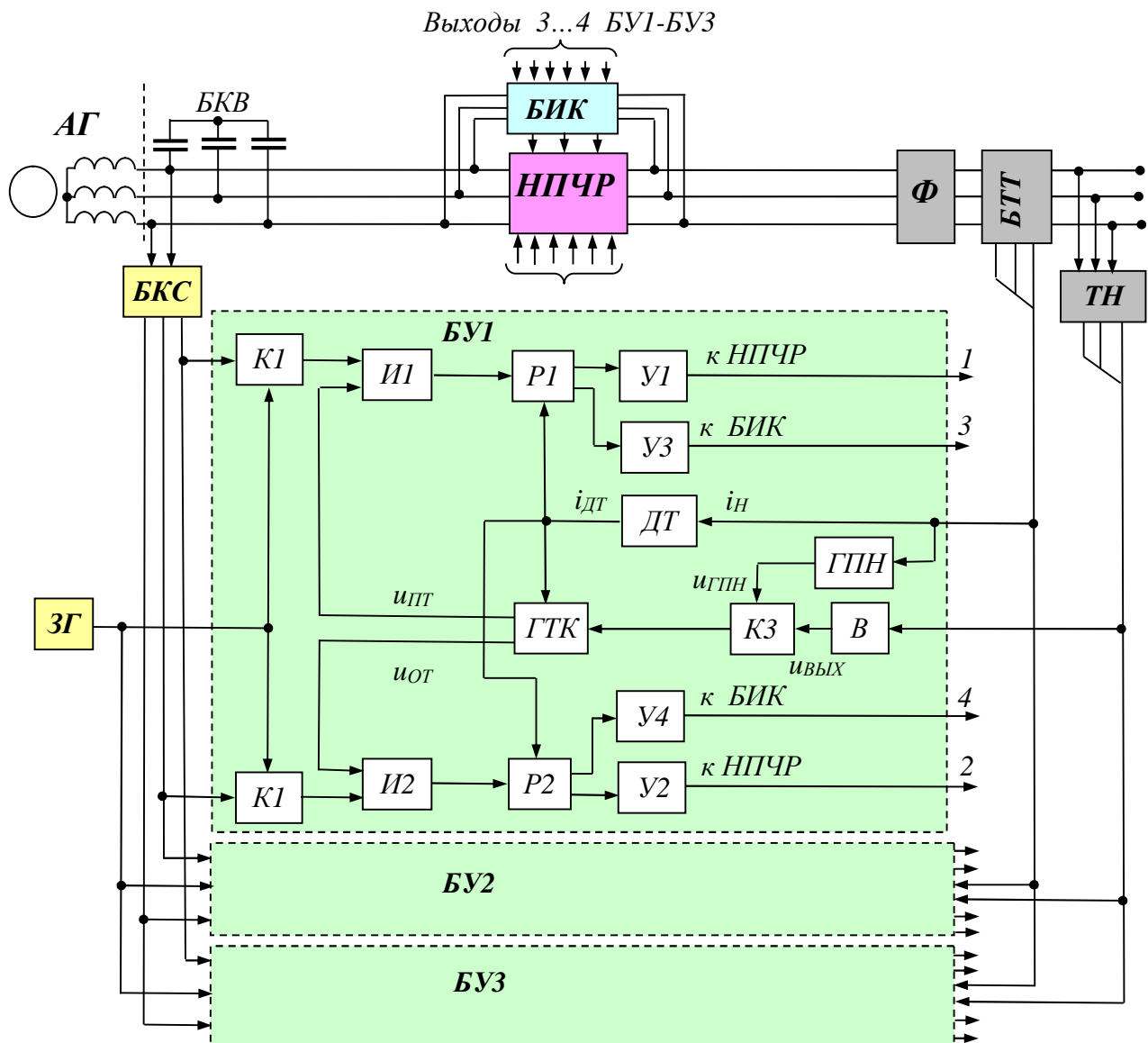


Рисунок 6 – Функциональная схема стабилизатора параметров электроэнергии АГ на НПЧР

Импульсы на выходе компаратора К3, определяющие длину участков формирования кривых положительного и отрицательного типа, обра-

зуются тогда, когда выходное напряжение постоянного тока выпрямителя V $u_{\text{вых1}}$ пропорциональное напряжению фазы A , будет равно напряжению ГПН $u_{\text{ГПН}}$. При этом работа ГПН синхронизирована с частотой тока нагрузки i_{H} .

С выхода компаратора КЗ импульсы поступают на первый вход генератора типа кривой (ГТК), на второй вход которого поступает сигнал о полярности тока нагрузки i_{H} от датчика тока ДТ (см. рисунок 6). ГТК формирует сигнал $u_{\text{ГТ}}$, поступающий на логический элемент И1, и сигнал $u_{\text{ОТ}}$, поступающий на логический элемент И2, которые определяют временные участки формирования кривых положительного и отрицательного типа на выходе НПЧР.

С выходов логических элементов И1 и И2 соответственно через распределители импульсов Р1 и Р2 и усилители импульсов У1 и У2 сигналы поступают на управляющие электроды силовых полупроводниковых приборов НПЧР. Когда на выходе НПЧР необходимо формировать кривые положительного типа, а ток нагрузки i_{H} имеет отрицательную полярность, или в противоположном случае, управляющие сигналы от распределителей импульсов Р1 и Р2, усилители импульсов У3 и У4, поступают на управляющие электроды силовых полупроводниковых приборов блока искусственной коммутации (БИК), обеспечивая искусственную коммутацию силовых полупроводниковых приборов НПЧР.

Если, к примеру, напряжение на выходе автономного источника электроэнергии уменьшится, то уменьшится и напряжение на выходе выпрямителя V до уровня $u_{\text{вых}}$. В результате угол опережения входного фазного напряжения НПЧР относительно фазного тока уменьшится, и это приведёт к увеличению напряжения на выходе автономного источника электроэнергии.

Результаты расчёта показали, что автономный источник электроэнергии для ВЭУ, выполненный на базе системы АГ – НПЧЕ в сравнении с

системой АГ–НПЧР мощностью 40–50 кВт имеет КПД на 4 – 5% выше, наработку до первого отказа на 3000–3300 ч больше, чем у системы АГ – НПЧР. Автономный источник системы АГ – НПЧЕ незначительно уступает по массе системе АГ – НПЧР.

Список литературы

1. Григораш О. В. Возобновляемые источники энергии: Монография / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, Р.А. Сулейманов, Е.А. Власенко, А.Г. Власов; под общ. ред. О.В. Григораш. – Краснодар: КубГАУ, 2012, – 272 с.
2. Григораш О.В. Асинхронные генераторы в системах автономного электро-снабжения // Электротехника. 2002. № 1. С. 30 – 35.
3. Григораш О. В., Алмазов В. В., Сулейманов Р. А. К расчёту гармонического состава выходного напряжения непосредственных преобразователей частоты // Труды КубГАУ. – Краснодар. 2011. № 4. С. 263 – 266.
4. Григораш О. В. Непосредственные преобразователи частоты: Монография / О. В. Григораш, С. В. Божко, В. А. Нefeldовский, Д. А. Столбчатый. – Краснодар: КубГАУ, 2008, – 148 с.
5. Пат. РФ 2421867, МПК Н02М 5/27. Непосредственный трёхфазный преобразователь частоты с естественной коммутацией / О.В. Григораш, А.В. Квитко, В.В. Алмазов и др. Оpubл. БИ № 17, 20.06.2011.
6. Пат. РФ 2366071, МПК Н02Р 9/46. Устройство для стабилизации частоты и напряжения автономных бесконтактных генераторов / О.В. Григораш, А.А. Хамула, Е.А. Денисенко и др. Оpubл. БИ № 24, 27.08.2009.
7. Пат. РФ 2216097, МПК Н02Р 9/46, Н02J 3,16. Устройство для стабилизации частоты и напряжения автономного асинхронного генератора / Н.И. Богатырёв, О.В. Григораш, А.С. Креймер и др. Оpubл. БИ № 31, 10.11.2003.

References

1. Grigorash O. V. Vozobnovljaemye istochniki jenergii: Monografija / O.V. Grigorash, Ju.P. Stepura, R.A. Sulejmanov, E.A. Vlasenko, A.G. Vlasov; pod obshh. red. O.V. Grigorash. – Krasnodar: KubGAU, 2012, – 272 s.
2. Grigorash O.V. Asinhronnye generatory v sistemah avtonomnogo jelektrosnabzhenija // Jelektrotehnika. 2002. № 1. S. 30 – 35.
3. Grigorash O. V., Almazov V. V., Sulejmanov R. A. K raschjotu garmonicheskogo sostava vyhodnogo naprjazhenija neposredstvennyh preobrazovatelej chastoty // Trudy KubGAU. – Krasnodar. 2011. № 4. S. 263 – 266.
4. Grigorash O. V. Neposredstvennye preobrazovateli chastoty: Monografija / O. V. Grigorash, S. V. Bozhko, V. A. Nefeldovskij, D. A. Stolbchatyj. – Krasnodar: KubGAU, 2008, – 148 s.
5. Pat. RF 2421867, MPK N02M 5/27. Neposredstvennyj trjohfaznyj preobrazovatel' chastoty s estestvennoj kommutaciej / O.V. Grigorash, A.V. Kvitko, V.V. Almazov i dr. Opubl. BI № 17, 20.06.2011.
6. Pat. RF 2366071, MPK N02R 9/46. Ustrojstvo dlja stabilizacii chastoty i naprjazhenija avtonomnyh beskontaktnyh generatorov / O.V. Grigorash, A.A. Hamula, E.A. Denisenko i dr. Opubl. BI № 24, 27.08.2009.

7. Pat. RF 2216097, MPK N02R 9/46, N02J 3,16. Ustrojstvo dlja stabilizacii chastoty i naprjazhenija avtonomnogo asinhronnogo generatora / N.I Bogatyrjov, O.V. Grigorash, A.S. Krejmer i dr. Opubl. BI № 31, 10.11.2003.