

УДК 621.313 (Технические науки)

## СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Григораш Олег Владимирович, д.т.н., профессор,  
заведующий кафедрой электротехники,  
теплотехники и возобновляемых источников  
энергии  
grigorasch61@mail.ru  
SPIN-код: 4729-2767

Богатырев Николай Иванович, к.т.н., доцент,  
профессор кафедры электрических машин  
и электропривода  
bogatyrevn@yandex.ru  
SPIN-код: 1473-9680

Хицкова Алина Олеговна, аспирантка

*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*

Перспективным в настоящее время является применение асинхронных генераторов с емкостным возбуждением в качестве источника электроэнергии в автономных системах электроснабжения. Привод асинхронных генераторов могут осуществлять как тепловой двигатель, так и ветроколесо ветроэлектрической установки или турбина малой гидроэлектростанции. В статье рассматриваются структурно-схемные решения стабилизаторов напряжения и частоты тока асинхронных генераторов с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками. Техническая новизна конструктивных решений магнитной системы и стабилизаторов параметров электроэнергии асинхронного генератора подтверждена патентами на изобретение РФ. Предложенные техническое решение стабилизатора напряжения асинхронных генераторов, позволяют уменьшить массу блоков конденсаторов возбуждения и компенсации реактивной мощности, а также упростить систему управления силовая схема которой содержит меньшее количество силовых электронных приборов. Для ветроэлектрических установок важным является вопрос не только стабилизации напряжения генератора, но и частоты тока. Предложены функциональные схемы стабилизаторов параметров электроэнергии, выполненные на непосредственных преобразователях частоты с искусственной и естественной коммутацией силовых электронных приборов. Предложено также в составе систем стабилизации напряжения использовать однофазно-трёхфазные трансформаторы с вращающимся магнитным полем, уменьшить уровень электромагнитных помех создаваемых

UDC 621.313

## VOLTAGE REGULATORS ASYNCHRONOUS GENERATORS

Grigorash Oleg Vladimirovich,, Doctor of  
Engineering, Professor, Head of the Department of  
Electrical Engineering, Thermal Engineering and  
renewable energy sources  
grigorasch61@mail.ru  
SPIN-code: 4729-2767

Bogatyrev Nikolai Ivanovich, Candidate of  
Technical Sciences, associate professor, Professor of  
the Department of electrical machines and actuator  
bogatyrevn@yandex.ru  
SPIN-code: 1473-9680

Hitskova Alina Olegovna, graduate student

*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,  
Russia*

A promising is currently the use of asynchronous generators with capacitive excitation as a source of electricity in stand-alone power systems. Drive asynchronous generators may exercise as a thermal engine and wind wheel wind power plant or turbines of small hydropower plants. The article discusses the structural and schematics of voltage stabilizers and frequency of asynchronous generators with improved operational and technical specifications. Technical novelty of design solutions of the magnetic system and stabilizers asynchronous generator of electricity parameters confirmed by the patents for the invention of the Russian Federation. The proposed technical solution voltage stabilizer asynchronous generators, can reduce the weight of the block capacitors excitation and reactive power compensation, as well as to simplify the control system power circuit which has less power electronic devices. For wind power plants it is an important issue not only to stabilize the voltage of the generator, but also the frequency of the current. Recommend functionality stabilizer schemes parameters of electric power made for direct frequency converters with artificial and natural switching power electronic devices. It is also proposed as part of stabilization systems use single-phase voltage, three-phase transformers with rotating magnetic field, reduce the level of electromagnetic interference generated by power electronic devices for switching, enhance the efficiency and reliability of the stabilizer.

силовыми электронными приборами при коммутации, повысить КПД и надёжность работы стабилизатора.

Ключевые слова: АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР, АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

Keywords: ASYNCHRONOUS GENERATOR, INDEPENDENT POWER SUPPLY SYSTEM, VOLTAGE REGULATOR, DIRECT FREQUENCY CONVERTER

Перспективным в настоящее время является применение асинхронных генераторов с емкостным возбуждением (АГ) в качестве источника электроэнергии в автономных системах электроснабжения (АСЭ) [1, 2, 3]. Привод АГ могут осуществлять как тепловой двигатель (дизельный, газопоршневой и т. п.) так и ветроколесо ветроэлектрической установки (ВЭУ) или турбина малой гидроэлектростанции (МГЭС) [4, 5].

Две основные причины, которые сдерживали применение АГ:

- 1) отсутствие малогабаритных конденсаторов, обеспечивающих возбуждение и компенсацию реактивной мощности нагрузки;
- 2) сложные системы, обеспечивающие стабилизацию напряжения и частоты тока.

Известные технические решения конденсаторов в настоящее время имеют высокие показатели удельной массы, как правило, не превышающие 0,1 кг/кВА. Эксплуатационно-технические характеристики силовых электронных приборов (транзисторов, тиристоров) также значительно улучшились. Таким образом, в настоящее время снимаются ограничения по применению АГ в составе АСЭ [3, 6].

В статье рассматриваются структурно-схемные решения стабилизаторов параметров электроэнергии АГ с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками. Техническая новизна конструктивных решений магнитной системы и стабилизаторов параметров электроэнергии АГ подтверждена патентами на изобретение РФ [7 – 15].

На рисунке 1 приведена функциональная схема трехфазного стабилизатора напряжения АГ, выполненная на оптосимисторах. Оптосимисторы предназначены для коммутации ответвлений в статорных обмотках АГ. Включенные между генератором и стабилизатором блоки конденсаторов возбуждения БКВ<sub>1</sub> и БКВ<sub>2</sub>, выполняют не только функции возбуждения генератора и компенсации реактивной мощности нагрузки, но и являются входными фильтрами стабилизатора, что позволяет при коммутации оптосимисторов не искажать форму генерируемого напряжения.

Применение в составе системы стабилизации напряжения оптосимисторов позволяет обеспечить гальваническую развязку между силовой частью стабилизатора и его системой управления, что повышает надёжность работы системы.

Стабилизатор напряжения, кроме блоков возбуждения содержит следующие основные функциональные узлы (рисунок 1): три блока стабилизации напряжения БСН<sub>1</sub>, БСН<sub>2</sub>, БСН<sub>3</sub>; блок питания БП. Каждый из блоков стабилизации напряжения содержит по два оптосимистора (VS<sub>5</sub> и VS<sub>6</sub>), нуль-орган НО, генератор пилообразного напряжения ГПН, компаратор К, формирователи импульсов ФИ<sub>1</sub> и ФИ<sub>2</sub>.

Применение трех блоков стабилизации напряжения позволяет стабилизировать напряжение АГ в несимметричных режимах, снизить инерционность системы стабилизации и тем самым повысить её быстродействие.

На примере блока стабилизации напряжения фазы С (БСН<sub>3</sub> рисунок 1) рассмотрим принцип работы системы управления. В номинальном режиме работы фазное напряжение U<sub>Н</sub> (рисунок 2, а) поступает на вход нуль-органа, на выходе которого формируются импульсы, синхронные с нулевыми значениями напряжения генератора U<sub>Н</sub> (рисунок 2, б). Синхронизирующие импульсы через первый

формирователь импульсов  $\Phi И_1$  поступают на управляющий вход оптосимистора  $VS_5$ , который открывается, и на выводах генератора 0 и  $C_1$  формируется напряжение  $U_{OC1}$  (рисунок 2, д). Синхронизирующие импульсы поступают также на вход генератора пилообразного напряжения ГПН, на выходе которого формируется опорный сигнал  $U_{OC}$  пилообразной формы (рисунок 2, в).

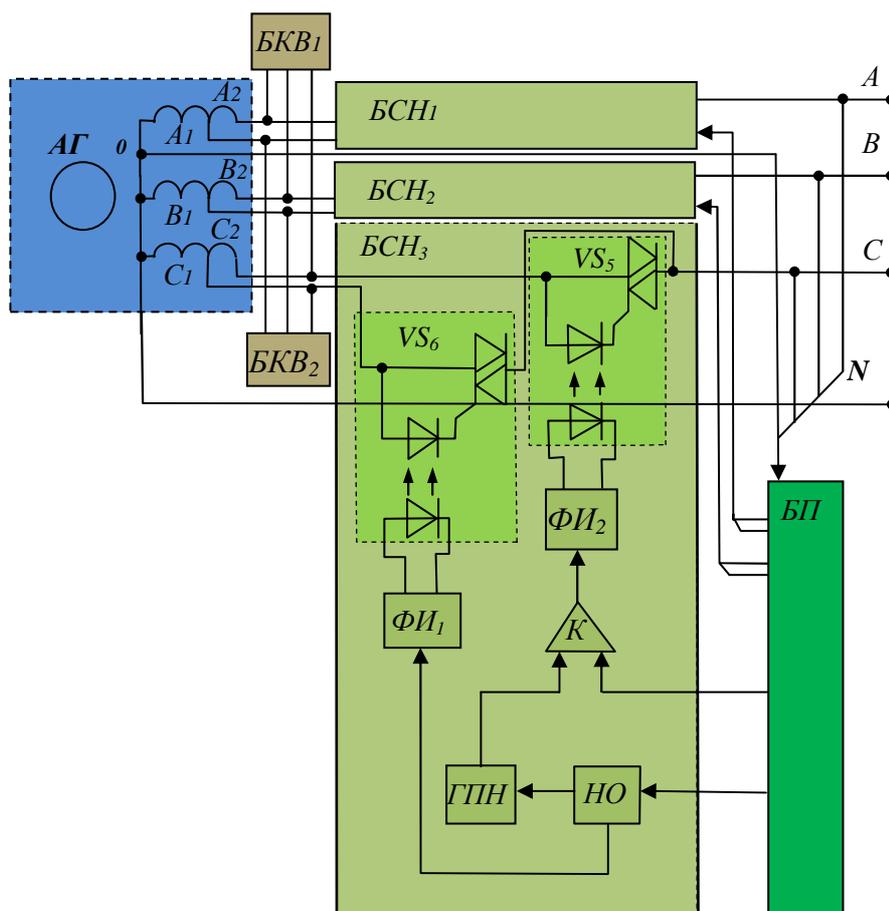


Рисунок 1 – Функциональная схема стабилизатора напряжения АГ на оптосимисторах

Сигнал пилообразной формы поступает на первый вход компаратора  $K$  (рисунок 1). На второй вход компаратора поступает ведущий сигнал  $U_{BC1}$  (рисунок 2, в), который пропорционален напряжению на выводах АГ. Когда величина опорного сигнала больше, чем величина ведущего сигнала, т.е. когда  $U_{OC} > U_{BC1}$ , на выходе компаратора формируются управляющие

импульсы (рисунок 2, з), которые через формирователь импульсов управления поступают на управляющий вход оптосимистора  $VS_6$  (рисунок 1). Оптосимистр  $VS_6$  включается, что приводит к естественной коммутации (закрытию) оптосимистора  $VS_5$ , и на выводах статорной обмотки генератора 0 и  $C_2$  формируется напряжение  $U_{OC2}$  (рисунок 2, д).

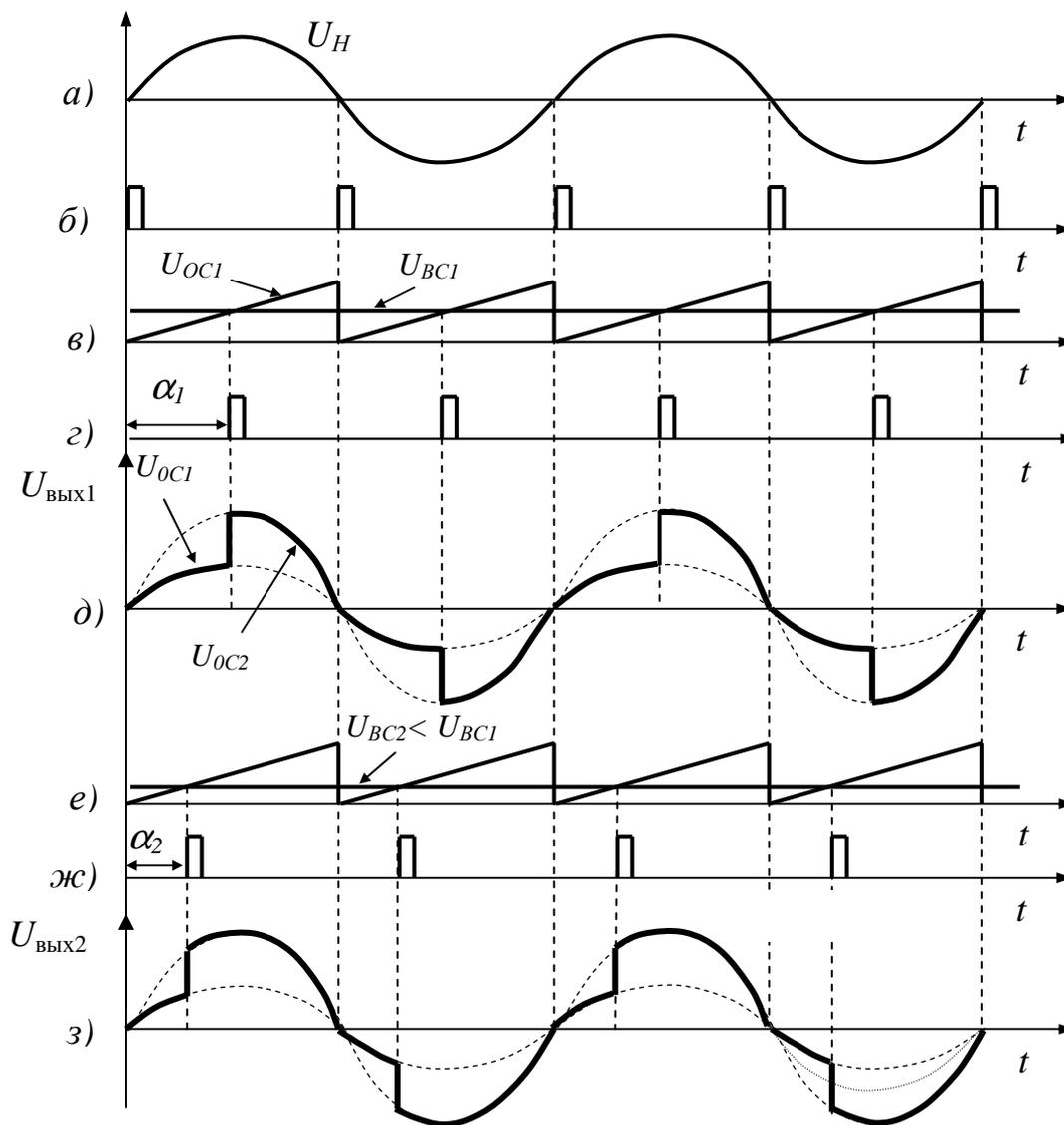


Рисунок 2 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы стабилизатора напряжения АГ, выполненного на оптосимисторах

После того как изменится полярность напряжения, прикладываемого к оптосимистору  $VS_6$ , он закрывается, и далее физические процессы

повторяются. В результате при поочередной работе оптосимисторов  $VS_5$  и  $VS_6$  формируется напряжение  $U_{\text{вых1}}$  (рисунок 2, д). Если, к примеру, напряжение на нагрузке уменьшается, тогда уменьшается величина напряжения источника ведущего сигнала, т.е.  $U_{\text{BC2}} < U_{\text{BC1}}$ , (рисунок 2, е). Угол управления оптосимисторами  $VS_6$  уменьшится ( $\alpha_2 < \alpha_1$ , рисунок 2, з, ж), а напряжение  $U_{\text{вых2}}$  увеличится ( $U_{\text{вых2}} > U_{\text{вых1}}$ , рисунок 2, д, з).

На рисунке 3 приведена функциональная схема стабилизатора напряжения АГ. Система стабилизации напряжения АГ содержит блок трансформаторов БТ, содержащий три однофазных повышающих трансформатора, первичные обмотки которых  $W_{11}$ ,  $W_{21}$  и  $W_{31}$  подключены к выходу трехфазного генератора АГ. Первая группа вторичных обмоток однофазных трансформаторов  $W_{12}$ ,  $W_{22}$  и  $W_{32}$  подключена к блоку конденсаторов возбуждения  $C_1$ , а вторая группа их вторичных обмоток  $W_{13}$ ,  $W_{23}$  и  $W_{33}$  подключена параллельно к блоку конденсаторов компенсации реактивной мощности  $C_2$  и к встречно-параллельно соединенным тиристорам  $VS_1$  и  $VS_2$ . При этом, система управления СУ содержит трансформаторно-выпрямительный блок ТВБ, формирователь импульсов ФИ, генератор пилообразного напряжения ГПН, датчик полярности напряжения ДПН, логические элементы И ( $I_1$  и  $I_2$ ), усилители импульсов УИ<sub>1</sub> и УИ<sub>2</sub>.

Система стабилизации напряжения работает следующим образом. При протекании тока по первичным обмоткам однофазных повышающих трансформаторов БТ в первой и во второй группах вторичных обмоток  $W_{12}$ ,  $W_{22}$ ,  $W_{32}$  и  $W_{13}$ ,  $W_{23}$ ,  $W_{33}$  индуцируется трехфазная система напряжений. Так как две вторичные обмотки в первой группе ( $W_{12}$ ,  $W_{22}$ ) и во второй ( $W_{13}$ ,  $W_{23}$ ) соединены согласно, а третья обмотка первой группы  $W_{32}$  и во второй  $W_{33}$  включены встречно двум другим соответственно, напряжения на блоках конденсаторов возбуждения и компенсации реактивной мощности будут определяться по формулам

$$\bar{U}_{C1} = \bar{U}_{W12} + \bar{U}_{W22} + \bar{U}_{W32}; \quad \bar{U}_{C2} = \bar{U}_{W13} + \bar{U}_{W23} + \bar{U}_{W33},$$

где  $\bar{U}_{W12}, \bar{U}_{W22}, \bar{U}_{W32}$  и  $\bar{U}_{W13}, \bar{U}_{W23}, \bar{U}_{W33}$  – векторы напряжений на выводах вторичных обмоток повышающих трансформаторов.

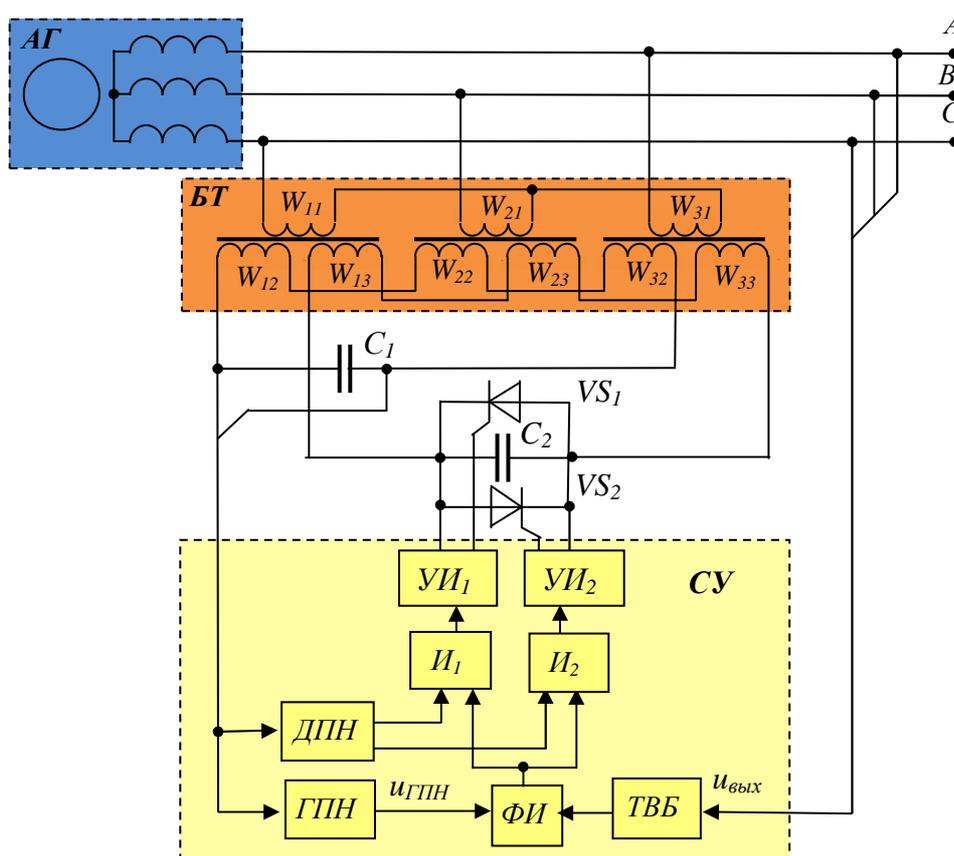


Рисунок 3 – Функциональная схема стабилизатора напряжения АГ на повышающих трансформаторах

Под действием напряжения  $U_{C1}$  по блоку конденсаторов возбуждения  $C_1$  будет протекать ток, который, трансформируясь в первичные обмотки повышающих трансформаторов, протекает также по статорным обмоткам АГ, обеспечивая возбуждение генератора.

При подключении нагрузки к выводам А, В, С генератора АГ (рисунок 3) стабилизация напряжения осуществляется за счет изменения величины емкостного тока, протекающего через блок конденсаторов конденсатор  $C_2$ .

Стабилизация напряжения АГ происходит следующим образом. С выходов АГ напряжение поступает на трансформаторно-выпрямительный блок ТВБ системы управления СУ, где преобразуется в ведущий сигнал постоянного напряжения  $U_{\text{вых}}$  (рисунок 4, б), который поступает на один из входов формирователя импульсов ФИ. На второй вход формирователя импульсов ФИ поступает опорный сигнал  $U_{\text{ГПН}}$  (рисунок 4, б) от генератора пилообразного напряжения ГПН, работа которого синхронизирована с напряжением вторичных обмоток БТ. Когда сигнал  $U_{\text{ГПН}} < U_{\text{вых}}$ , формирователь импульсов ФИ формирует импульсы управления  $U_y$  (рисунок 4, в), которые поступают на один из входов логических элементов  $I_1$  и  $I_2$ . На вторые входы логических элементов поступает сигнал от датчика полярности напряжения ДПН.

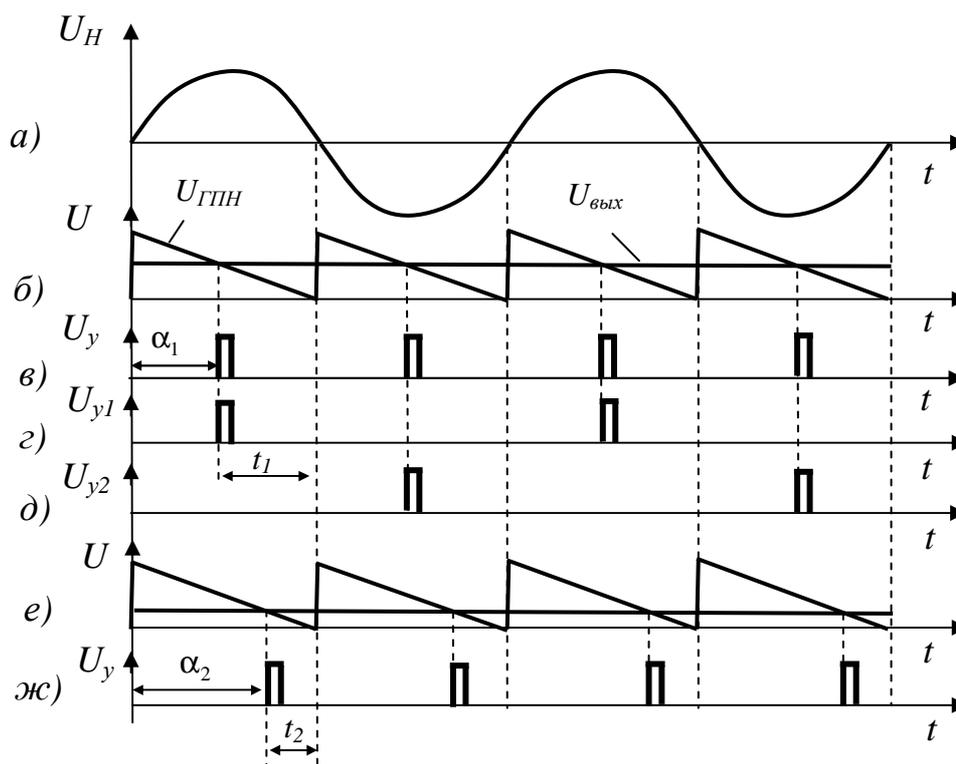


Рисунок 4 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы устройства стабилизации напряжения (рисунок 3)

При положительной полуволне напряжения на блоке конденсаторов возбуждения  $C_1$  срабатывает логический элемент  $I_1$  и сигнал управления  $U_{y1}$  (рисунок 4, *з*) через усилитель импульсов  $УИ_1$  поступает на управляющий электрод тиристора  $VS_1$ , при отрицательном полуволне напряжения на блоке конденсаторов возбуждения  $C_1$  срабатывают соответственно элементы  $I_2$  и  $УИ_2$ , и управляющий сигнал  $U_{y2}$  (рисунок 4, *д*) поступает на управляющий электрод тиристора  $VS_2$ . Если, к примеру, напряжение на выходе АГ уменьшится, тогда уменьшится напряжение постоянного тока на выходе ТВБ и увеличится угол управления тиристорами  $VS_1$  и  $VS_2$  ( $\alpha_2 > \alpha_1$ , рисунок 4, *е, ж*), что приведет к уменьшению времени открытого состояния тиристоров  $VS_1$  и  $VS_2$  от  $t_1$  до  $t_2$  (рисунок 4, *з, ж*) и увеличению емкостного тока в статорной обмотке АГ и, как следствие, к повышению напряжения на его выводах.

Предложенное техническое решение стабилизатора напряжения АГ, позволяет уменьшить массу блоков конденсаторов возбуждения и компенсации реактивной мощности за счет приложения к ним повышающего напряжения, а также упростить систему управления, силовая схема которой содержит только два тиристора.

Для ветроэлектрических установок (ВЭУ) важным является вопрос не только стабилизации напряжения генератора, но и частоты тока. Применение в составе ВЭУ непосредственных преобразователей частоты (НПЧ), выполняющего функции стабилизатора напряжения и частоты тока, позволит упростить конструкцию редуктора скорости ВЭУ и улучшить показатели КПД ветроустановки [17]. Здесь важно, чтобы АГ генерировал напряжение с частотой тока не менее 200 Гц, что может быть достигнуто изменением передаточного числа редуктора скорости или изменением числа пар полюсов генератора [2, 6, 18].

Один из вариантов функциональной схемы стабилизатора напряжения и частоты тока АГ, выполненного на непосредственном

преобразователе частоты с регулируемым углом сдвига фаз на входе (НПЧР) приведен на рисунке 5.

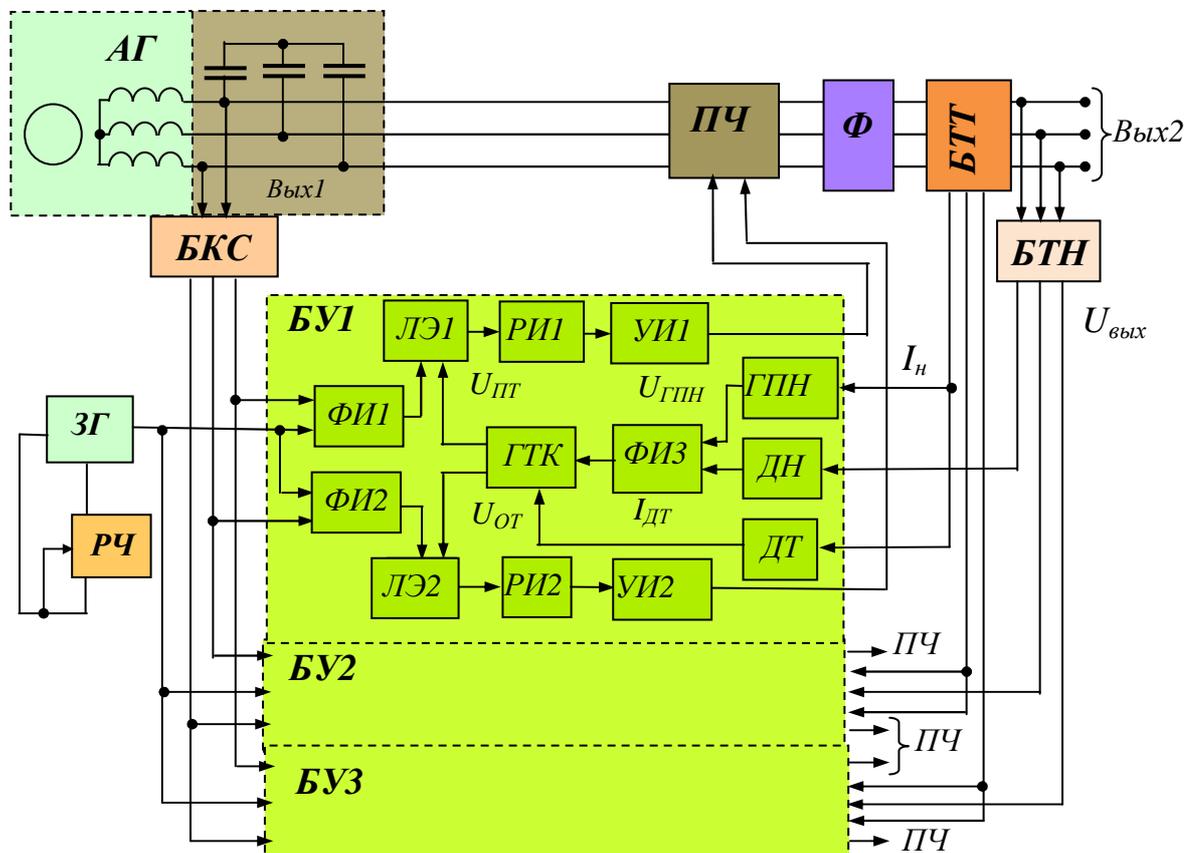


Рисунок 5 – Функциональная схема устройства стабилизации напряжения и частоты тока на НПЧР

Принцип стабилизации напряжения АГ заключается в регулировании реактивной мощности, потребляемой генератором, за счет изменения угла сдвига фаз на входе НПЧР. Изменение угла сдвига фаз происходит путем непрерывного смещения участков кривых выходных напряжений положительного и отрицательного типов, формирующихся непосредственным преобразователем частоты относительно полярности тока нагрузки. При этом угол сдвига фаз на входе преобразователя может изменяться от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$  [19].

Работу стабилизатора параметров электроэнергии АГ на НПЧР,

рассмотрим на примере блока БУ1, формирующего импульсы управления для формирования напряжения фазы А. Косинусные синхронизирующие кривые, формирующие блоком косинусной синхронизации БКС являются ведущим сигналом, опорный сигнал синусоидальной формы формируется задающим генератором ЗГ. При равенстве напряжений косинусных синхронизирующих кривых и задающего генератора в формирователях импульсов ФИ1, ФИ2 формируется сигнал, который с их выходов поступает на первые входы логических элементов И1, И2, на вторые входы которых поступает сигнал от генератора типа кривой ГТК.

Генератор типа кривой ГТК подает сигнал на соответствующий логический элемент И ЛЭ1 или ЛЭ2. Так, в номинальном режиме работы устройства сигнал о полярности тока нагрузки  $I_n$  через датчик тока ДТ (рисунок 6, а, б) поступает на второй вход генератора типа кривой ГТК, на первый вход которого поступают импульсы от третьего формирователя импульсов ФИЗ. Импульсы на выходе формирователя импульсов ФИЗ формируются тогда, когда выходное напряжение постоянного тока  $U_{вых}$ , обратнопропорциональное выходному напряжению фазы А асинхронного генератора, поступающее от делителя напряжения ДН, будет равно напряжению  $U_{ГПН}$  от генератора пилообразного напряжения ГПН (рисунок 6, в, г). При этом работа генератора пилообразного напряжения ГПН синхронизирована с полярностью тока нагрузки  $I_n$  (рисунок 6, а, в). Генератор типа кривой ГТК подает сигнал на логический элемент И ЛЭ1 в том случае, когда ток нагрузки имеет положительную полярность, а на логический элемент ЛЭ2, когда ток нагрузки отрицательной полярности.

Сигналы от генератора типа кривой ГТК подаются в момент времени формирования импульсов на выходе формирователя импульсов ФИЗ. В результате генератор типа кривой ГТК определяет временные участки, на которых должны формироваться кривые напряжений положительного типа  $U_{ПТ}$  и отрицательного  $U_{ОТ}$  типов (рисунок 6, д, е). С выходов логических

элементов И ЛЭ1 или ЛЭ2 через соответствующие распределители импульсов РИ1 или РИ2 и усилители импульсов УИ1 или УИ2 управляющие сигналы поступают на силовые ключи НПЧР, на выходе которого формируются кривые напряжений положительного или отрицательного типов.

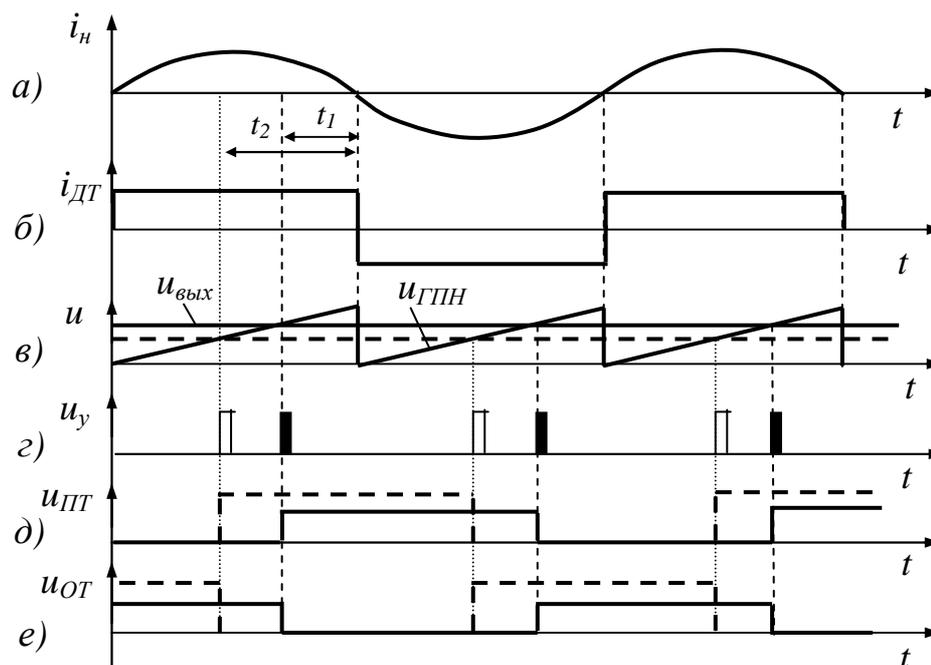


Рисунок 6 – Диаграммы поясняющие принцип работы стабилизатора напряжения на НПЧР

Если, к примеру, напряжение на выводах *Вых2* (рисунок 5) увеличится, уменьшится напряжение на выходе делителя напряжения *ДН* (рисунок 6, в, пунктирная прямая). Произойдет смещение участков, формирующих кривые напряжений положительного и отрицательного типов (рисунок 6, д, е, участки показаны пунктирным импульсом). Время формирования кривой напряжения положительного типа при положительной полярности тока нагрузки увеличится от  $t_1$  до  $t_2$  (рисунок 6, а, д), а значит угол, опережения входного тока непосредственного преобразователя частоты относительно фазного напряжения

уменьшится, что приведет к уменьшению напряжения на выводах асинхронного генератора и выводах  $V_{yx2}$  соответственно.

Важным является то, что при совместной работе АГ и НПЧР исключаются из работы конденсаторы, применяемые для компенсации реактивной мощности нагрузки [6].

Для уменьшения уровня электромагнитных помех, создаваемых при коммутации силовыми электронными приборами, повышения КПД и надёжности работы разработана функциональная схема стабилизатора параметров электроэнергии НПЧ с естественной коммутацией (НПЧЕ) на однофазно-трёхфазном трансформаторе с вращающимся магнитным полем [20, 21, 22].

Функциональная схема стабилизатора (рисунок 7), содержит три пары включенных встречно-параллельно тиристоров  $VS1 - VS6$ , фильтр  $\Phi$ , однофазно-трёхфазный ТВМП содержащий первую и вторую первичные обмотки  $W_{11}$  и  $W_{12}$ , фазосдвигающий конденсатор  $C$ , вторичные обмотки  $W_{21}-W_{23}$ , систему управления  $СУ$  содержащую блок синхронизации  $БС$ , генераторы пилообразного напряжения  $ГПН1-ГПН3$ , компараторы  $K1-K3$ , логические элементы «И»  $И1-И6$ , генератор задающей частоты  $ЗГ$ , трансформаторно-выпрямительный блок  $ТВБ$ . На рисунке 7 показаны выводы  $A1, B1$  и  $C1$  для подключения АГ, вывод нейтрального провода источника  $N$  и выводы  $A2, B2$  и  $C2$  для подключения нагрузки.

Работа стабилизатора. Трёхфазное напряжение АГ  $u_{вх}$  (рисунок 8, в) прикладывается к входным выводам преобразователя  $A1, B1$  и  $C1$  (рисунок 7). Система управления  $СУ$  преобразователя формирует управляющие сигналы для каждой фазы включенных встречно-параллельно тиристоров  $VS1-VS2, VS3-VS4, VS5-VS6$ , таким образом, что происходит естественная их коммутация.

На выходе НПЧ формируются кривые однофазного напряжения  $u_1$  (рисунок 8, в) стабилизированные по частоте и амплитуде. Причем при

работе тиристоров  $VS1$ ,  $VS3$  и  $VS5$  на выходе  $НПЧ$  формируется положительная полуволна напряжения, а при работе тиристоров  $VS2$ ,  $VS4$  и  $VS6$  – отрицательная полуволна напряжения.

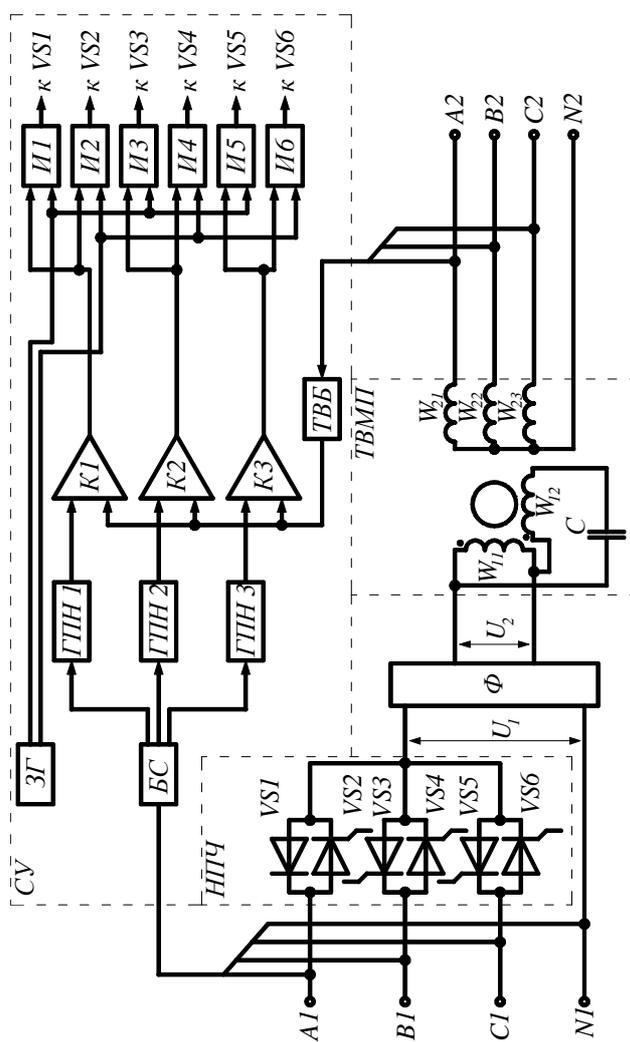


Рисунок 7 – Функциональная схема стабилизатора напряжения и частоты тока на НПЧЕ

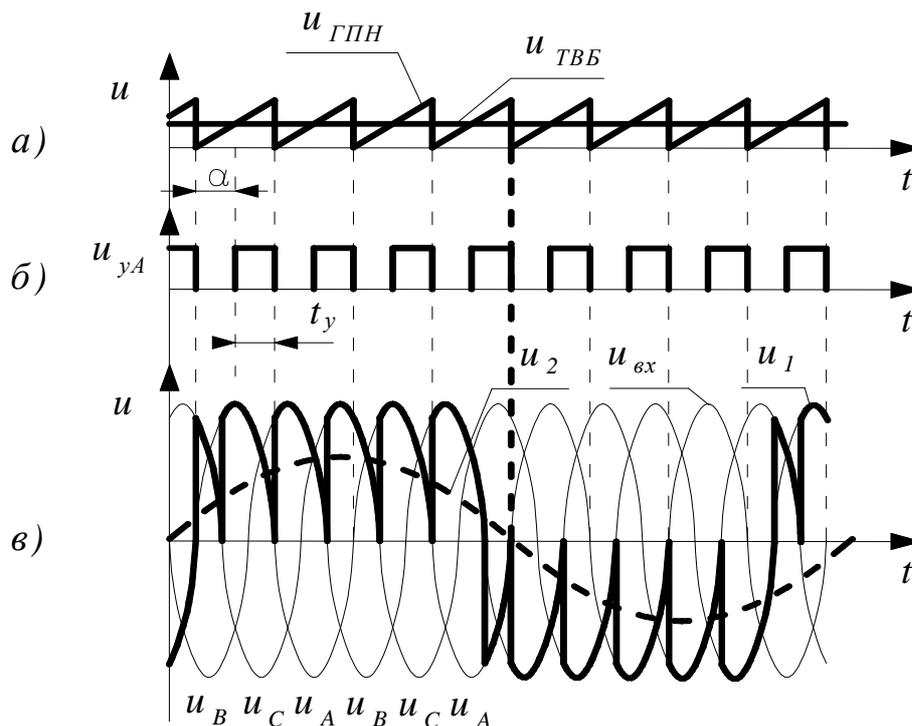


Рисунок 8 – Диаграммы поясняющие принцип работы НПЧЕ, выполненного на однофазно-трехфазном ТВМП

Напряжение  $u_1$  сглаживается фильтром  $\Phi$  ( $u_2$ , рисунок 8, в) и прикладывается к первичным обмоткам  $W_{11}$  и  $W_{12}$  ТВМП. Поскольку первая и вторая первичные обмотки трансформатора смещены в пространстве одна относительно другой на угол  $90^\circ$  и подключены между собой через фазосдвигающий конденсатор  $C$ , то они образуют вращающееся магнитное поле, вызывающее ЭДС во вторичных обмотках  $W_{21} - W_{23}$  [16]. Вторичные обмотки сдвинуты одна относительно другой на угол  $120^\circ$ , поэтому на выводах  $A2$ ,  $B2$  и  $C2$  преобразователя формируется симметричная трехфазная система переменного напряжения с частотой, устанавливаемой задающим генератором частоты  $3\Gamma$ .

Рассмотрим принцип формирования управляющих сигналов на примере фазы А. С выхода блока синхронизации  $БС$  высокочастотный сигнал поступает на вход генератора пилообразного напряжения  $ГПН1$ . Выходной сигнал  $u_{ГПН}$  (рисунке 8, а) генератора пилообразного

напряжения  $U_{ГПН}$  поступает на первый вход компаратора  $K1$ , на второй вход которого поступает сигнал напряжения постоянного тока  $U_{ТВБ}$  (рисунок 8, а) который пропорционален выходному напряжению преобразователя. В компараторе  $K1$  происходит сравнение сигналов и при условии когда  $U_{ГПН} > U_{ТВБ}$  на выходе компаратора формируется управляющий сигнал  $U_{УА}$  с углом управления  $\alpha$  и длительностью  $t_y$  (рисунок 8, б), этот сигнал поступает одновременно на первые входы логических элементов  $I1$  и  $I2$ , на вторые входы которых поступает поочередно сигнал от задающего генератора  $ЗГ$ . Причем при подаче сигнала на логический элемент  $I1$  открывается тиристор  $VS1$  и на выходе преобразователя формируется положительная полуволна напряжения, а при подаче сигнала на логический элемент  $I2$  открывается тиристор  $VS2$  и на выходе преобразователя формируется отрицательная полуволна напряжения.

Закрытие тиристоров  $VS1$  и  $VS2$  происходит после приложения к их выводам обратного напряжения.

Стабилизация напряжения на выходе преобразователя осуществляется следующим образом. К примеру, напряжение на выходных выводах преобразователя  $A2$ ,  $B2$  и  $C2$  уменьшится. Это приведет к уменьшению напряжения на выходе трансформаторно-выпрямительного блока  $ТВБ$  (рисунок 8, а,  $U_{ТВБ}$ ) и уменьшению угла управления  $\alpha$  тиристорами  $VS1 - VS6$ , что приведет к увеличению длительности управляющего сигнала  $t_y$  (рисунок 8, б) и увеличению выходного напряжения преобразователя.

Таким образом, применение рассмотренных структурно-схемных решений стабилизаторов напряжения АГ позволит улучшить эксплуатационно-технические характеристики АИЭ в комплексе.

### Список литературы

1. Птицын О.В., Григораш О.В. Генераторы переменного тока: состояние и перспектива. Электротехника. 1994. № 9. С. 2 – 6.
2. Григораш О.В., Божко С.В., Нормов Д.А. и др. Модульные системы гарантированного электроснабжения. Краснодар. 2005. С.306.
3. Богатырев Н.И., Ванурин В.Н., Джанибеков К.А. Электрические машины переменного тока. Научное издание к 90-летию Кубанского ГАУ. Краснодар, 2011.
4. Григораш О.В., Стрелков Ю.И. Нетрадиционные автономные источники электроэнергии. Промышленная энергетика. 2001. № 4. с.37-40.
5. Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. Краснодар. 2012. С. 272.
6. Григораш О.В., Божко С.В., Попов А.Ю. и др. Автономные источники электроэнергии: состояние и перспективы. Краснодар, 2012. С. 174.
7. Богатырев Н.И., Ванурин В.Н., Григораш О.В. и др. Статорная комбинированная обмотка асинхронного генератора. Патент на изобретение RUS 2249290 01.09.2003.
8. Богатырев Н.И., Ванурин В.Н., Григораш О.В. и др. Статорная обмотка двухчастотного асинхронного генератора. Патент на изобретение RUS 2248083 01.09.2003.
9. Богатырев Н.И., Ванурин В.Н., Григораш О.В. и др. Статорная обмотка двухчастотного асинхронного генератора. Патент на изобретение RUS 2248083 01.09.2003.
10. Григораш О.В., Хамула А.А., Пыдык А.Н. и др. Устройство для стабилизации частоты и напряжения автономных бесконтактных генераторов. Патент RUS 2366071 21.07.2008.
11. Богатырев Н.И., Григораш О.В., Курзин Н.Н. и др. Устройство для стабилизации частоты и напряжения автономного асинхронного генератора. Патент RUS 2216097 10.11.2003.
12. Богатырев Н.И., Григораш А.О., Ильченко Я.А., и др. Устройство для стабилизации напряжения асинхронного генератора. Патент RUS 2337465 27.10.2008.
13. Богатырев Н.И., Екименко П.П., Степура Ю.П. и др. Стабилизатор напряжения асинхронных генераторов для автономных источников, ветроэнергетических установок, малых гидростанций. Патент RU S 2366073 27.08.09.
14. Богатырев Н.И., Баракин Н.С., Вронский А.В. и др. Устройство для регулирования и стабилизации напряжения автономного асинхронного генератора. Патент RUS 2373630 20.11.09.
15. Богатырев Н.И., Баракин Н.С., Попов А.Ю. и др. Устройство для регулирования и стабилизации напряжения многофункционального автономного асинхронного генератора. Патент RUS 2457612 27.07.2012.
16. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А., Шхалахов Р.С. Статические преобразователи электроэнергии. Краснодар. 2006. С.264.
17. Григораш О.В., Божко С.В., Нефедовский В.А., Столбчатый Д.А. Непосредственные преобразователи частоты. Краснодар. 2008. С.148.
18. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. Краснодар. 2011. С.188.
19. Григораш О.В., Дацко А.В., Мелехов С.В. К вопросу электромагнитной совместимости узлов САЭ. Промышленная энергетика. 2001. № 2. С.44-47.
20. Григораш О.В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения. Промышленная энергетика. 1997. № 7. С.21-25.

21. Григораш О.В., Кабанков Ю.А. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии. Электротехника. 2002. № 3. С.22-26.

### Spisok literatury

1. Pticyн O.V., Grigorash O.V. Generatory peremennogo toka: sostojanie i perspektiva. Jeлектrotehnika. 1994. № 9. S. 2 – 6.
2. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Normov D.A. i dr. Modul'nye sistemy garantirovannogo jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2005. S.306.
3. Bogatyrev N.I., Vanurin V.N., Džhanibekov K.A. Jelektрические машины переменного тока. Nauchnoe izdanie k 90-letiju Kubanskogo GAU. Krasnodar, 2011.
4. Grigorash O.V., Strelkov Ju.I. Netradicionnye avtonomnye istochniki jelektroenergii. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 4. s.37-40.
5. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Sulejmanov R.A. i dr. Vozobnovljaemye istochniki jelektroenergii. Krasnodar. 2012. S. 272.
6. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Popov A.Ju. i dr. Avtonomnye istochniki jelektroenergii: sostojanie i perspektivy. Krasnodar, 2012. S. 174.
7. Bogatyrev N.I., Vanurin V.N., Grigorash O.V. i dr. Statornaja kombinirovannaja obmotka asinhronnogo generatora. Patent na izobrenie RUS 2249290 01.09.2003.
8. Bogatyrev N.I., Vanurin V.N., Grigorash O.V. i dr. Statornaja obmotka dvuhchastotnogo asinhronnogo generatora. Patent na izobrenie RUS 2248083 01.09.2003.
9. Bogatyrev N.I., Vanurin V.N., Grigorash O.V. i dr. Statornaja obmotka dvuhchastotnogo asinhronnogo generatora. Patent na izobrenie RUS 2248083 01.09.2003.
10. Grigorash O.V., Hamula A.A., Pydyk A.N. i dr. Ustrojstvo dlja stabilizacii chastoty i naprjazhenija avtonomnyh beskontaktnykh generatorov. Patent RUS 2366071 21.07.2008.
11. Bogatyrev N.I., Grigorash O.V., Kurzin N.N. i dr. Ustrojstvo dlja stabilizacii chastoty i naprjazhenija avtonomnogo asinhronnogo generatora. Patent RUS 2216097 10.11.2003.
12. Bogatyrev N.I., Grigorash A.O., Il'chenko Ja.A., i dr. Ustrojstvo dlja stabilizacii naprjazhenija asinhronnogo generatora. Patent RUS 2337465 27.10.2008.
13. Bogatyrev N.I., Ekimenko P.P., Stepura Ju.P. i dr. Stabilizator naprjazhenija asinhronnykh generatorov dlja avtonomnykh istochnikov, vetrojenergetičeskikh ustanovok, malyh gidrostantsij. Patent RU S 2366073 27.08.09.
14. Bogatyrev N.I., Barakin N.S., Vronskij A.V. i dr. Ustrojstvo dlja regulirovanija i stabilizacii naprjazhenija avtonomnogo asinhronnogo generatora. Patent RUS 2373630 20.11.09.
15. Bogatyrev N.I., Barakin N.S., Popov A.Ju. i dr. Ustrojstvo dlja regulirovanija i stabilizacii naprjazhenija mnogofunkcional'nogo avtonomnogo asinhronnogo generatora. Patent RUS 2457612 27.07.2012.
16. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A., Shhalahov R.S. Sticheskie preobrazovateli jelektroenergii. Krasnodar. 2006. S.264.
17. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Nefedovskij V.A., Stolbchatyj D.A. Neposredstvennye preobrazovateli chastoty. Krasnodar. 2008. S.148.
18. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnykh sistem jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2011. S.188.
19. Grigorash O.V., Dacko A.V., Melehov S.V. K voprosu jelektromagnitnoj sovmestimosti uzlov SAJe. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 2. S.44-47.

20. Grigorash O.V. Preobrazovateli jelektricheskoj jenerгии na baze transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem dlja sistem avtonomnogo jelectrosnabzhenija. Promyshlennaja jenergetika. 1997. № 7. S.21-25.

21. Grigorash O.V., Kabankov Ju.A. K voprosu primeneniya transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelectrojenerгии. Jelectrotehnika. 2002. № 3. S.22-26.