

УДК 621.313

UDC 621.313

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ
СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ****VOLTAGE REGULATORS OF
SYNCHRONOUS GENERATORS**

Григораш Олег Владимирович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,
grigorasch61@mail.ru
SPIN-код: 4729-2767

Grigorash Oleg Vladimirovich
Dr.Sci.Tech., professor, head of the chair,
grigorasch61@mail.ru
SPIN-code: 4729-2767

Корзенков Павел Геннадьевич
магистр

Korzenkov Pavel Gennadyevich
master degree student

Попучиева Марина Александровна
студентка
*Кубанский государственный аграрный университет,
Краснодар, Россия*

Popuchieva Marina Aleksandrovna
student
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russia*

Синхронные генераторы являются основным источником электроэнергии автономных, в том числе, резервных систем электроснабжения. Они также используются в составе электромашиных преобразователей электроэнергии, и нашли широкое применение в возобновляемой энергетике в составе ветроэлектрических установок малых, мини и микро гидроэлектростанций. Повысить быстродействие и точность системы стабилизации напряжения синхронных генераторов возможно за счёт разработки комбинированных систем, содержащих несколько стабилизаторов. Приведены функциональные схемы стабилизаторов напряжения и частоты тока синхронных генераторов (электромагнитного возбуждения и с возбуждением от постоянных магнитов) и рассмотрены особенности их работы, в том числе в двух и трёхагрегатных электромашиных преобразователей электроэнергии, применяемых в системах бесперебойного электроснабжения. Для улучшения технических характеристик системы стабилизации предложены функционально-схемные решения стабилизаторов синхронных генераторов, выполненные на непосредственных преобразователях частоты и трансформаторе с вращающимся магнитным полем. Для повышения надёжности работы и улучшения эксплуатационных характеристик автономных источников электроэнергии предложено основные функциональные блоки, элементы системы стабилизации конструировать по модульному принципу. Рассмотренные в статье функционально-схемные решения стабилизаторов напряжения синхронных генераторов и особенности их работы, повысят эффективность предпроектных работ при разработке новых технических решения стабилизаторов напряжения и частоты тока синхронных генераторов автономных систем электроснабжения

Synchronous generators are the primary source of electrical power autonomous electrosupply systems, including backup systems. They are also used in a structure of rotating electricity converters and are widely used in renewable energy as part of wind power plants of small, mini and micro hydroelectric plants. Increasing the speed and the accuracy of the system of the voltage regulation of synchronous generators is possible due to the development of combined systems containing more stabilizers. The article illustrates the functional schemes of circuit voltage stabilizers and frequency synchronous generators (with electromagnetic excitation and permanent magnet excitation) and describes the features of their work, including two and three-aggregate rotating converters of electricity used in uninterruptible power supply systems. To improve the technical characteristics of the system of stabilization we have proposed functional solutions for stabilizers of synchronous generators made on the base of direct frequency converters and using a transformer with a rotating magnetic field. To improve the reliability of and to improve the operational characteristics of the autonomous independent sources of electricity we suggest creating the main functional blocks and the elements of the stabilization system in a modular way. The functional circuit solutions of voltage regulators of synchronous generators and the characteristics of their work considered in the article, are able to improve the efficiency of pre-design work in the development of new technical solutions for stabilizing the voltage and the frequency in synchronous generators of electrosupply autonomous systems

Ключевые слова: СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР, СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, СТАБИЛИЗАТОР ЧАСТОТЫ ТОКА, НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ТРАНСФОРМАТОР С ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Keywords: SYNCHRONOUS GENERATOR, VOLTAGE REGULATOR, CURRENT FREQUENCY STABILIZERS, DIRECT FREQUENCY CONVERTER, TRANSFORMER WITH A ROTATING MAGNETIC FIELD

Синхронные генераторы (СГ) являются основным электромеханическим источником электроэнергии автономных, в том числе, резервных систем электроснабжения. Они используются в составе электромашинных преобразователей электроэнергии [1, 2]. СГ также нашли широкое применение в возобновляемой энергетике в составе ветроэлектрических установок малых, мини и микро гидроэлектростанций [3].

Известно, что стабилизация напряжения СГ, так же как и стабилизация напряжения генераторов постоянного тока, осуществляется за счет изменения тока возбуждения генератора.

В качестве регуляторов напряжения СГ могут использоваться полупроводниковые стабилизаторы непрерывного и дискретного действия, которые применяются для стабилизации напряжения генераторов постоянного тока [4]. Основное отличие заключается в том, что измерительные органы полупроводниковых регуляторов должны подключаться к выводам СГ через трехфазный выпрямитель.

Отличительной особенностью стабилизации напряжения СГ в сравнении с генераторами постоянного тока является необходимость обеспечения регулирования активной и реактивной мощности, а также СГ, как правило, содержат устройства стабилизации частоты тока [1].

Повысит быстродействие и точность системы стабилизации напряжения СГ возможно за счёт разработки комбинированных систем, содержащих несколько стабилизаторов.

Комбинированный стабилизатор СГ, как правило, содержит регулятор по отклонению, обеспечивающего высокую точность

регулирования напряжения генератора, и регулятор по возмущению, обеспечивающего быстрое действие регулирования. Известно, что в электротехнике принято называть стабилизацию напряжения по току компаундированием, а регулирование по величине фазы тока нагрузки – фазовым компаундированием. Для осуществления фазового компаундирования необходимо обеспечить геометрическое сложение двух сигналов, один из которых пропорционален току нагрузки, а другой – напряжению генератора.

На рисунке 1 представлена функциональная схема комбинированного стабилизатора напряжения СГ. Схема содержит: трехфазный трансформатор тока ТТ, осуществляющего функцию измерительного элемента регулятора по возмущению; корректор напряжения КН, осуществляющего функцию измерительного элемента регулятора по отклонению; трехфазный дроссель Д с обмоткой подмагничивания, осуществляющего функцию сумматора сигналов от трансформатора тока и корректора напряжения; выпрямитель возбуждения ВВ – исполнительный орган комбинированного регулятора; выпрямитель независимого возбуждения ВНВ, осуществляющего начальное возбуждение генератора.

Ток возбуждения СГ (рисунок 2) определяется по формуле

$$I_{ОВГ} = I_{ВНВ} + (I_{ТТ} - I_{Г}). \quad (1)$$

Алгоритм работы комбинированного регулятора напряжения с учётом уравнения (1). К примеру, уменьшилось напряжение на выходе генератора, за счёт изменения тока нагрузки $I_{Н}$. Тогда увеличатся значения токов $I_{ТТ}$ и $I_{ОВГ}$ и напряжение генератора $U_{Г}$.

Однако увеличение тока СГ при активно-индуктивной нагрузке согласно внешней характеристике генератора вызовет уменьшение

величины напряжения. Таким образом, алгоритм работы корректора напряжения КН должен быть таким, чтобы компенсировать это изменение напряжения. Следовательно, ток управления дросселя I_y , в этом случае, должен уменьшаться. Это вызовет уменьшение тока в рабочих обмотках дросселя I_Γ , а, следовательно, увеличится ток $I_{ОВГ}$, согласно уравнения (1).

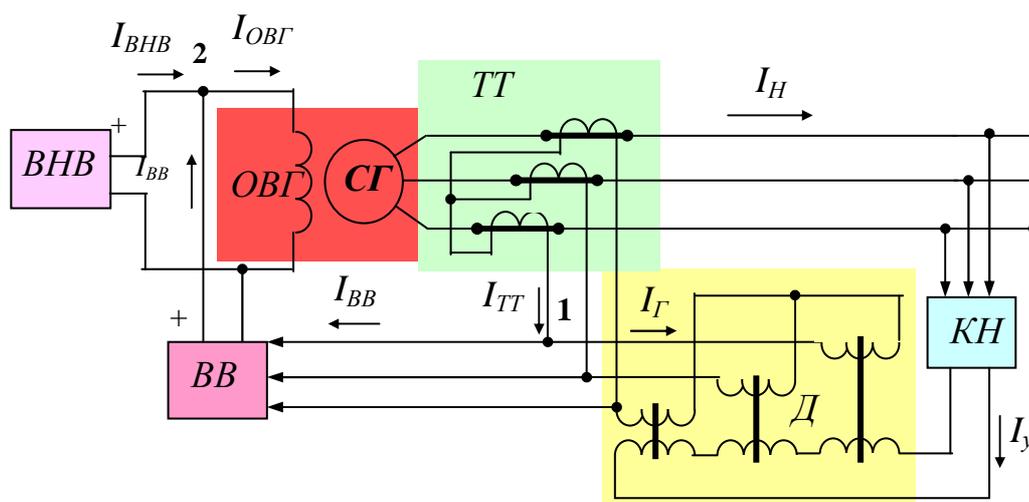


Рисунок 2 – Функциональная схема комбинированного стабилизатора напряжения синхронного генератора автономной системы электроснабжения

Электромашинные преобразователи (ЭМП) используются в системах бесперебойного электроснабжения и предназначены, как правило, для преобразования напряжения постоянного тока аккумуляторных батарей в однофазное или трехфазное напряжение переменного тока частотой.

КПД ЭМП, выполненного на двух электрических машинах (двигателя постоянного тока и СГ) находится в пределах 63 – 70 %.

Функциональная схема комбинированного стабилизатора напряжения СГ двухмашинного ЭМП приведена на рисунке 2.

Регулятор частоты РЧ обеспечивает стабилизацию частоты выходного напряжения U_n синхронного генератора СГ за счет изменения числа оборотов двигателя М. В его состав входят: ТН2 – трансформатор напряжения; РЦ – резонансная цепь; КФС – кольцевая фазочувствительная схема; ФФ – фильтр-формирователь; ПУ – полупроводниковый усилитель.

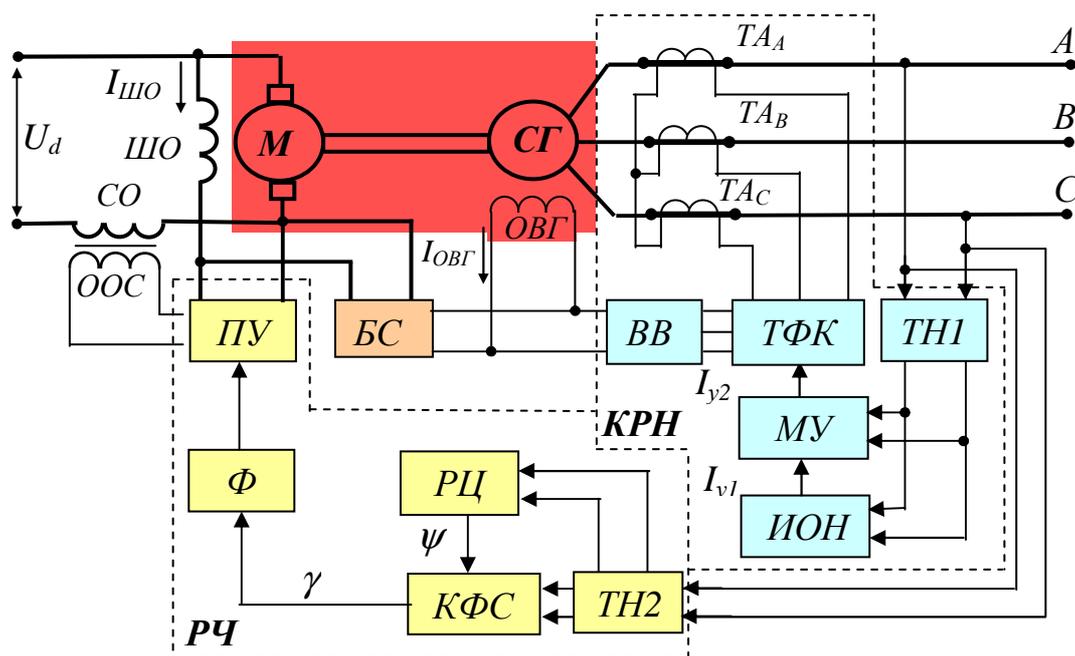


Рисунок 2 – Функциональная схема стабилизатора напряжения и частоты тока синхронного генератора электромашинного преобразователя

Комбинированный регулятор напряжения КРН обеспечивает стабилизацию выходного напряжения U_n , как по его отклонению от номинального значения, так и по изменению величины и характера нагрузки преобразователя за счет управления величиной тока возбуждения генератора $I_{ОВГ}$. В его состав входят: ТА – трансформаторы тока нагрузки; ТФК – трансформатор фазового компаундирования; МУ – магнитный усилитель; ИОН – измерительный орган напряжения; ВВ – выпрямитель возбуждения.

Функциональная схема стабилизатора напряжения работает следующим образом. При подаче напряжения постоянного тока U_d на двигатель M , имеющий смешанное возбуждение (серийная обмотка СО и шунтовая обмотка ШО), он запускается и приводит во вращение вал СГ.

Часть напряжения U_d через блок сопротивлений БС используется для начального возбуждения СГ. В последующей работе преобразователя осуществляется контроль нагрузки (I_n, φ_n) , параметров выходного напряжения (U_n, f) и обеспечивается их стабилизация в зависимости от величины и характера нагрузки и величины входного напряжения постоянного тока U_d .

При изменении тока нагрузки I_n или его характера φ_n информация в виде изменения тока в обмотке возбуждения генератора $I_{ОВГ}$ через трансформатор ТФК, выпрямитель ВВ поступает в обмотку ОВГ, что приводит к изменению величины напряжения на нагрузке U_n . Таким образом, обеспечивается быстрое действие регулирования по возмущению.

Изменение напряжения на нагрузке U_n контролируется измерительным органом ИОН, где сравнивается с заданной величиной и формируется сигнал управления I_{y1} . Этот сигнал усиливается в магнитном усилителе МУ и в качестве тока управления I_{y2} воздействует через трансформатор ТФК и выпрямитель ВВ на обмотку ОВГ, обеспечивая необходимое изменение тока $I_{ОВГ}$. В этом случае повышается точность измерения и соответственно стабилизации напряжения СГ.

Измерение частоты тока f СГ осуществляется блоком резонансной цепи РЦ и преобразуется в фазовый угол ψ между двумя переменными напряжениями. Последующая обработка изменения фазы оценивается схемой КФС, которая формирует переменный ток с различным соотношением длительностей положительного и отрицательного

полупериода (скважностью γ). Далее для управления полупроводниковым усилителем ПУ фильтр Φ выделяет только одну полярность сигнала КФС, тем самым, сохраняя скважность γ и формируя пилообразные импульсы тока. В усилителе ПУ с помощью фильтра Φ пилообразные импульсы преобразуются в прямоугольные импульсы сформировавшейся скважности γ . Величина скважности γ определяет среднее значение тока возбуждения $I_{\text{шо}}$ обмотки ШО двигателя M , а, следовательно, и величину его магнитного потока Φ . Таким образом, изменение частоты тока f приведёт к изменению фазового сигнала ψ и соответственно скважности импульсов тока γ в обмотке ШО, что приведет к изменению числа оборотов двигателя M . При изменении числа оборотов двигателя постоянного тока с помощью обмотки обратной связи ООС осуществляется отрицательная гибкая обратная связь, что обеспечивает высокое качество стабилизации.

Стабилизация частоты вращения двигателя постоянного тока, и соответственно, частоты генерируемого напряжения, осуществляется изменением величины тока в шунтовой обмотке ШО, за счет изменения времени открытого состояния силового транзистора ПУ, включенного последовательно с шунтовой обмоткой.

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей электроэнергии в составе автономных систем электроснабжения применяются трёхмашинные преобразователи. Функциональная схема такого преобразователя приведена на рисунке 3, в состав которого входят: двигатель постоянного тока – $M1$; асинхронный двигатель – $M2$; синхронный генератор – СГ.

Система стабилизации напряжения в себя включает станцию управления СУ, содержащую блок регулирования частоты БРЧ, блок токовой защиты БТЗ, блок регулирования напряжения БРН, блок

пропорциональное частоте напряжения СГ. Входной усилитель ВУ усиливает сигнал, приходящий от ЧД. Фазосдвигающее устройство ФУ предназначено для изменения угла управления тиристором выпрямителя, а узел управления УУ непосредственно формирует импульсы управления для тиристоров однофазной мостовой схемы выпрямителя В (рисунок 3).

Источником электроэнергии выпрямительного моста В является СГ. Обмотка возбуждения двигателя ОВД включена на выход выпрямителя. Ток в обмотке возбуждения изменяется от нуля до максимального значения и определяется временем открытого состояния тиристором выпрямителя В и сопротивлением цепи обмотки возбуждения.

Блок токовой защиты БТЗ осуществляет функции защиты источника и потребителей электроэнергии переменного тока от коротких замыканий. Блок регулирования напряжения БРН предназначен для стабилизации напряжения СГ путем изменения величины тока обмотки его возбуждения ОВГ.

Блок контроля напряжения переменного тока БКН осуществляет автоматический контроль напряжения цепей переменного тока и формирует сигналы о состоянии контролируемой сети путем замыкания или размыкания контактов исполнительного реле.

Блок защиты БЗ содержит блок управления тиристорами БУТ и измерительный орган ИО. Он предназначен для защиты асинхронного двигателя М2 при обрыве фазы, при пропадании питающего напряжения от недопустимых отклонений (симметричного снижения и асимметрии питающего напряжения) и подачи сигнала на отпирание тиристором в якорной цепи двигателя постоянного тока. При этом измерительный орган ИО контролирует изменение параметров электроэнергии, а блок управления тиристорами БУТ является исполнительным устройством.

Преобразователь ПСС служит для заряда аккумуляторной батареи АБ. При включении двигателя постоянного тока М1 в работу происходит его автоматическое отключение.

Станция управления СУ осуществляет запуск двигателя постоянного тока М1 от аккумуляторной батареи АБ через пусковое сопротивление ПС. После разгона двигателя СУ осуществляет включение его непосредственно на напряжение АБ.

Как только частота вращения двигателя достигает номинальных значений и при достижении напряжения на генераторе $0,9U_n$, СУ отключает его, и привод синхронного генератора осуществляется от асинхронного двигателя М2, питание которого обеспечивается внешней сетью.

При исчезновении внешней сети привод источника электроэнергии также осуществляет двигатель постоянного тока М1, питание которого происходит от АБ.

Под действием внешних факторов (изменение параметров нагрузки или уменьшения напряжения питания якоря двигателя постоянного тока) уменьшается частота вращения двигателя, что приводит к уменьшению напряжения на выходе частотного датчика ЧД. Это, в свою очередь, способствует уменьшению угла сдвига фаз выходного напряжения фазосдвигающего устройства ФУ по отношению к напряжению на тиристорах выпрямительного моста В. Импульсы управления поступают, на тиристоры выпрямителя со сдвигом по фазе относительно напряжения на тиристорах (угол сдвига фаз определяется величиной напряжения на выходе ЧД). В результате ток возбуждения двигателя постоянного тока уменьшится, что приведет к увеличению его оборотов.

Если под воздействием внешних факторов увеличивается частота вращения двигателя, схема обрабатывает сигнал так, что

увеличивается ток возбуждения двигателя, а это приводит к уменьшению его оборотов.

При изменении величины или характера нагрузки происходят изменения напряжения СГ, в этом случае стабилизацию напряжения осуществляет блок регулирования напряжения БРН путем изменения величины тока, протекающего через обмотку возбуждения генератора ОВГ.

Перспективным направлением является применение в составе автономных систем электроснабжения бесконтактных синхронных генераторов с постоянными магнитами (СГПМ). СГПМ отличаются от контактных генераторов с электромагнитным возбуждением повышенной надежностью работы, а также они имеют выше КПД. Основной недостаток СГПМ – это сложность стабилизации выходного напряжения, поскольку с одной стороны рабочий поток постоянных магнитов нельзя изменять в широких пределах, а с другой – характеристики постоянных магнитов зависят от температуры [1].

Поэтому для стабилизации напряжения СГПМ используются различные способы, заключающиеся в применении дополнительных устройств (конденсаторов, дросселей с обмоткой подмагничивания и т.п.), осуществляющих стабилизацию напряжения. При этом дополнительные устройства оказывают значительное влияние на массогабаритные показатели автономного источника электроэнергии.

Эффективным способом, обеспечивающим стабилизацию напряжения СГПМ, является использование в его конструкции дополнительной обмотки постоянного тока. Обмотка подмагничивания изменяет степень насыщения магнитопровода электрической машины, и изменяя тем самым внешнюю магнитную проводимость по отношению к магниту. Дополнительная обмотка укладывается в те же пазы статора генератора, что и основная.

Функциональная схема стабилизатора напряжения СГПМ с обмоткой подмагничивания приведена на рисунке 4.

В состав системы стабилизации напряжения СГПМ входят: измерительный элемент ИЭ, состоящий из схемы выпрямления, регулировочного реостата R_p , конденсаторного фильтра C и стабилитрона $VD1$, выполняющего функции источника опорного напряжения; исполнительный орган ИО, в качестве которого используется обмотка подмагничивания ОП и выпрямитель на диодах $VD2$ и $VD3$ с трансформатором напряжения TV ; усилитель $У$, выполненный на базе магнитного усилителя МУ с рабочей обмоткой W_p и обмоткой управления W_y .

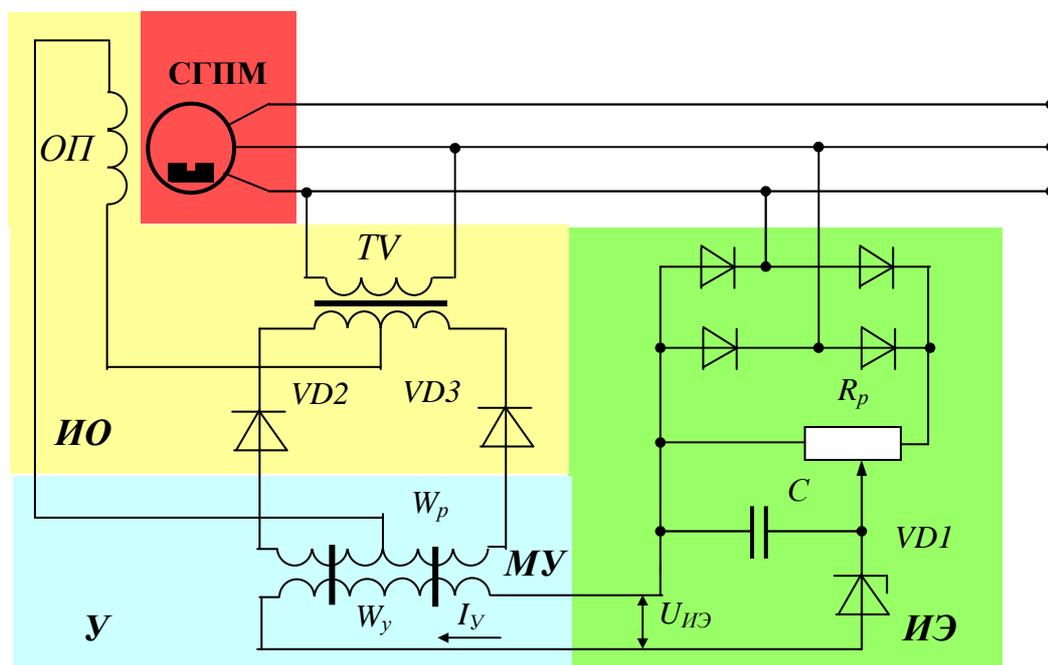


Рисунок 4 – Функциональная схема стабилизатора напряжения СГПМ

Стабилизатор напряжения работает следующим образом. В измерительном элементе ИЭ происходит сравнение напряжения

конденсатора C , которое пропорционально напряжению генератора, с опорным напряжением стабилитрона $VD1$. Напряжение на выходе измерительного элемента определяется как разность двух напряжений

$$U_{ИЭ} = U_C - U_{VD1}. \quad (2)$$

Если величина напряжения $U_C > U_{VD1}$, то в обмотке управления магнитного усилителя МУ увеличится ток управления I_y , увеличится значение тока в рабочей обмотке усилителя, а, следовательно, и в обмотке подмагничивания. При этом магнитная проницаемость спинки статора и рабочий магнитный поток генератора уменьшаются, соответственно и уменьшается и напряжение генератора G до номинального значения. Если же под действием нагрузки напряжение СГПМ уменьшается, то ток в обмотке подмагничивания ОП будет автоматически уменьшаться, а напряжение генератора будет увеличиваться.

Перспективным является направление использование в качестве стабилизатора напряжения и частоты тока СГПМ непосредственных преобразователей частоты [5, 6, 7].

Важным преимуществом НПЧ является то, что они одновременно обеспечивают стабилизацию напряжения и частоты тока генератора электроэнергии.

Функциональная схема стабилизатора параметров электроэнергии СГПМ, выполненная с использованием НПЧ с естественной коммутацией приведена на рисунке 5. НПЧ обеспечивает преобразование и стабилизацию частоты тока за счет естественной коммутации силовых электронных приборов (тиристоров), управление тиристорами и стабилизация напряжения осуществляется блоком стабилизации БСН.

В состав силовой схемы (рисунок 5) входят: бесконтактный синхронный генератор с постоянными магнитами БГ; блок силовых

электронных приборов непосредственного преобразователя частоты НПЧ; выходной фильтр ВФ.

Блок стабилизации напряжения БСН работает следующим образом. Трансформаторно-выпрямительный блок ТВБ преобразует напряжение генератора в напряжение постоянного тока, которое является опорным сигналом для системы управления СУ. В СУ происходит сравнение ведущего сигнала с опорным. И, к примеру, если напряжение на выходе генератора уменьшилось, то система управления СУ увеличивает время открытого состояния транзистора VT увеличивая тем самым емкостной ток, протекающего по замкнутому контуру (эмиттер-коллекторный переход транзистора VT, диоды выпрямителя В, конденсаторы возбуждения КВ, статорные обмотки генератора), что обеспечивает компенсацию реактивной мощности нагрузки и соответственно повышению напряжения.

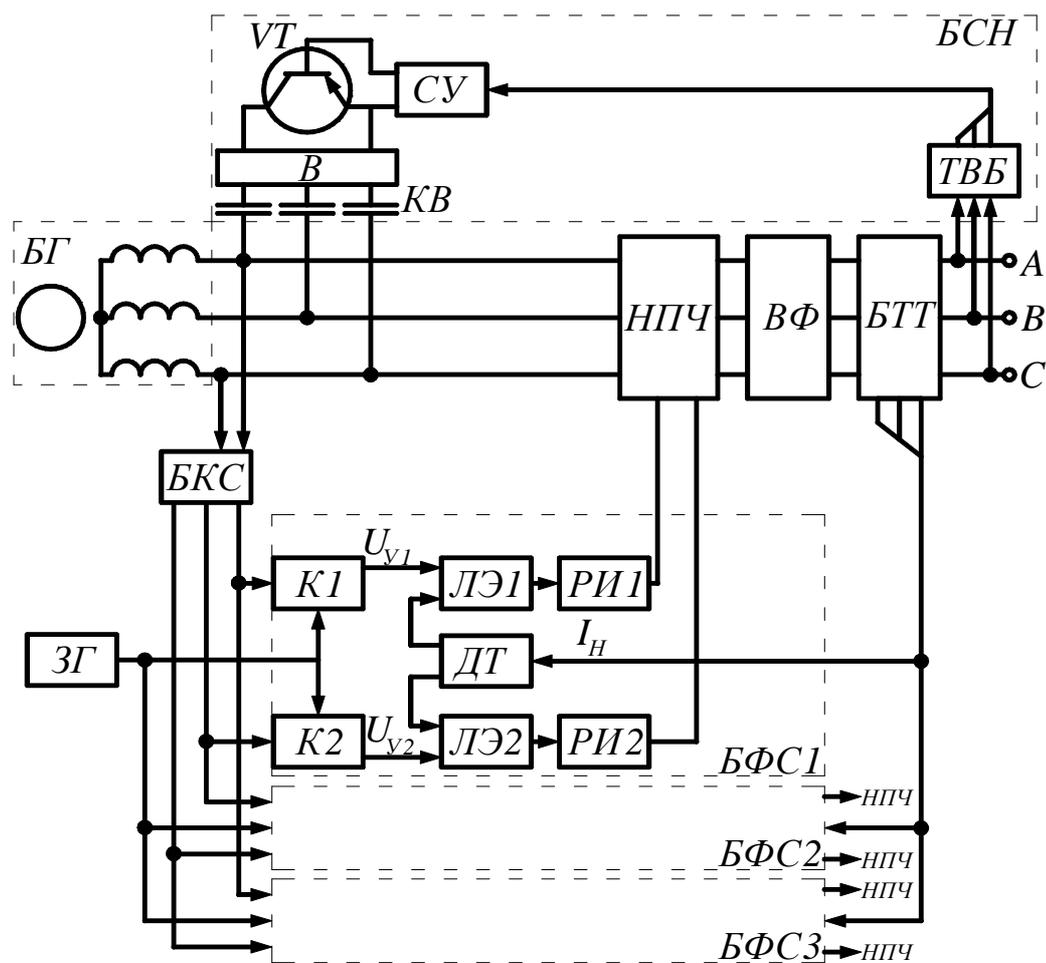


Рисунок 5 – Функциональная схема устройства стабилизации частоты тока и напряжения СГПМ

Стабилизация частоты тока осуществляется следующим образом. Блок косинусной синхронизации БКС формирует ведущий сигнал синхронизированный с частотой тока генератора электроэнергии (см. рисунок 5). Задающий генератор ЗГ формирует опорный сигнал с частотой тока 50 Гц. В блоках формирования управляющих сигналов БФС1, БФС2 и БФС3 происходит сравнение этих сигналов (в компараторах К1 и К2) и в зависимости от полярности тока нагрузки, которую контролирует датчик тока ДТ, логические элементы ЛЭ1 и ЛЭ2 через распределители импульсов РИ1 и РИ2 направляют импульсы управления на тиристоры для формирования напряжения фаз А, В и С с частотой тока 50 Гц [6].

Для обеспечения естественной коммутации силовых

полупроводниковых приборов НПЧ каждый раз, когда ток нагрузки имеет положительную полярность, на выходе НПЧ формируются кривые напряжения положительного типа, а когда ток нагрузки отрицательной полярности – кривые напряжения отрицательного типа [6, 7].

Для уменьшения уровня электромагнитных помех, создаваемых при коммутации силовых электронных приборов, необходимо в составе автономного источника электроэнергии использовать однофазную силовую схему НПЧ, а трёхфазную симметричную систему напряжений получать за счёт применения однофазно-трёхфазного трансформатора с вращающимся магнитным полем (ТВМП) [8]. Применение трансформатора с вращающимся магнитным полем позволит уменьшить количество силовых электронных приборов НПЧ, упростить систему стабилизации частоты тока и напряжения СГПМ, и повысить, тем самым КПД и показатели надёжности автономного источника электроэнергии [9, 10].

На рисунке 6 приведена функциональная схема стабилизатора напряжения и частоты тока, выполненная на однофазном НПЧ и однофазно-трёхфазном ТВМП.

Силовая схема НПЧ содержит два комплекта тиристоров $VS1$ и $VS2$. В состав схемы входит управляющий дроссель D с рабочей обмоткой W_p и обмоткой управления W_y , ТВМП, система стабилизации напряжения ССН, содержащая трансформаторно-выпрямительный блок ТВБ, формирователь импульсов ФИ, генератор пилообразного напряжения ГПН, усилитель импульсов УИ и транзистор VT .

Принцип работы устройства стабилизации. Трёхфазное напряжение источника электроэнергии повышенной частоты f_1 прикладывается к входным выводам преобразователя $A1$, $B1$ и $C1$ соответственно (см. рисунок 6). Система управления СУ формирует управляющие сигналы для комплектов тиристоров $VS1$ и $VS2$ и обеспечивает их естественную

коммутацию таким образом, что на выходе преобразователя формируется однофазное напряжение стабилизированное по частоте, которое прикладывается к рабочей обмотке W_P управляющего дросселя D и к первичным обмоткам W_{11} и W_{12} ТВМП.

При протекании тока в первичных обмотках ТВМП W_{11} , W_{12} и фазосдвигающем конденсаторе C в его магнитопроводе создается вращающееся магнитное поле, вызывающее действие переменной ЭДС во вторичных обмотках W_{21} , W_{22} , W_{23} и на выходных выводах которых $A2$, $B2$ и $C2$ соответственно формируется симметричная трехфазная система напряжений с частотой тока f_2 . С выхода трансформаторно-выпрямительного блока TBB системы стабилизации напряжения $ССН$, сигнал напряжения постоянного тока u_{TBB} пропорциональный величине выходного напряжения преобразователя, поступает на первый и второй входы формирователя импульсов $ФИ$. На третий вход формирователя импульсов $ФИ$ поступает сигнал $u_{ГПН}$ от генератора пилообразного напряжения $ГПН$, работа которого синхронизирована с входным напряжением источника преобразователя фаз $u_{ВХ}$.

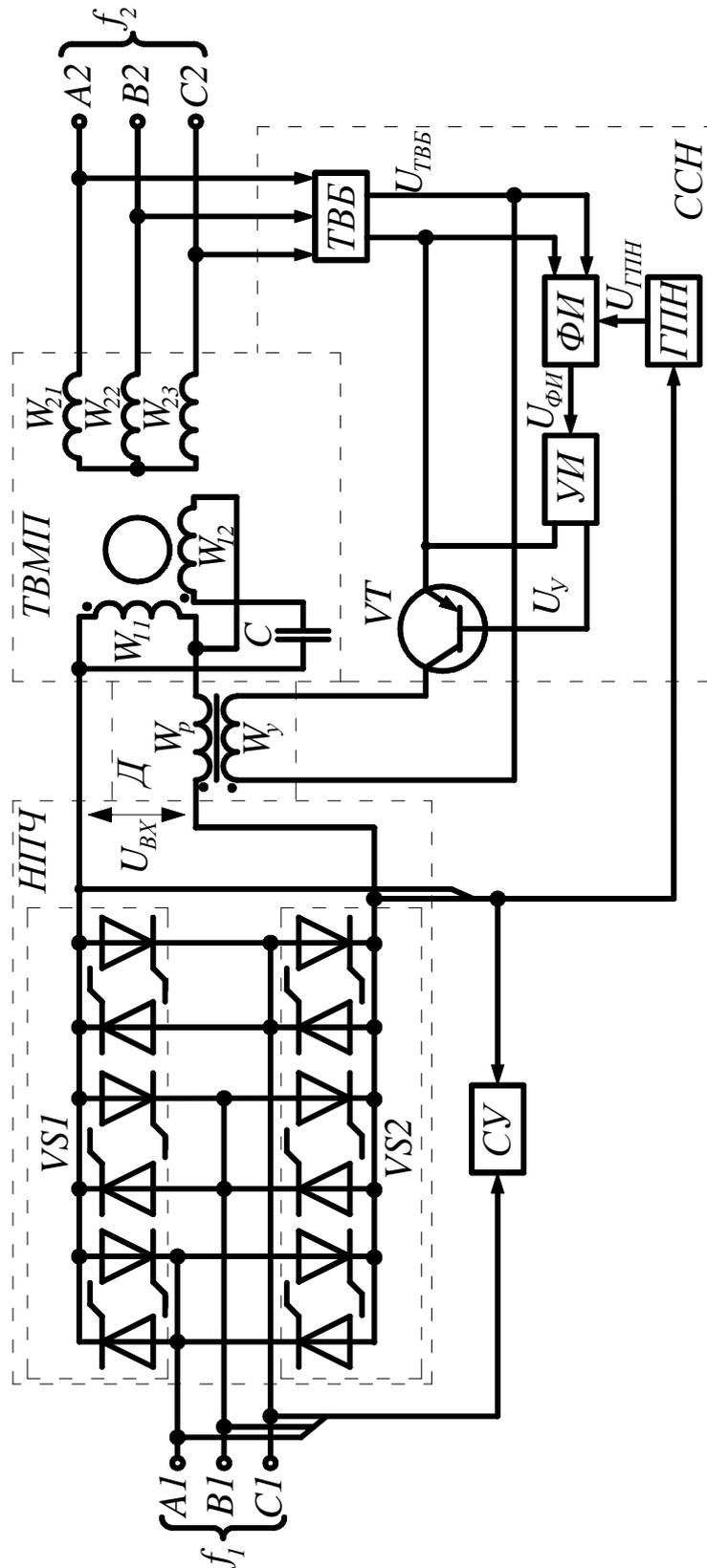


Рисунок 6 – Функциональная схема стабилизатора напряжения и частоты тока на однофазном НПЧ и однофазно-трёхфазном ТВМП

Когда сигнал $u_{ГПН} > u_{ТВБ1}$ формирователь импульсов *ФИ* формирует импульсы управления u_y , которые через усилитель импульсов *УИ*

поступают на управляющие электроды транзистора VT . Транзистор VT открывается на время длительности управляющих импульсов. Угол управления транзистором α_l [6].

При возникновении дестабилизирующих факторов в нагрузке преобразователя фаз система стабилизации напряжения $ССН$ изменяет время открытого состояния транзистора VT таким образом, что выходное напряжение преобразователя остается неизменным.

Для повышения надёжности работы автономных источников электроэнергии система стабилизации напряжения и частоты тока СГ должны быть построена по модульному принципу. Т. е. основные функциональные блоки, элементы системы должны быть модульными, что позволит исключать из работы, в аварийных ситуациях не полностью систему стабилизации, а только один из функциональных её устройств [11].

Таким образом, рассмотренные в статье функционально-схемные решения стабилизаторов напряжения СГ и особенности их работы, повысят эффективность предпроектных работ при разработке новых технических решения стабилизаторов напряжения и частоты тока СГ.

Список литературы

1. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Квитко А.В. Возобновляемые источники электроэнергии: термины, определения, достоинства и недостатки. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 32. С. 189-192.
2. Птицын О.В., Григораш О.В. Генераторы переменного тока: состояние и перспектива. Электротехника. 1994. № 9. С. 2 – 6.
3. Григораш О.В., Стрелков Ю.И. Нетрадиционные автономные источники электроэнергии. Промышленная энергетика. 2001. № 4. с.37-40.
4. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. Краснодар. 2011. С.188.
5. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А., Шхалахов Р.С. Статические преобразователи электроэнергии. Краснодар. 2006. С.264.
6. Григораш О.В., Божко С.В., Нефедовский В.А., Столбчатый Д.А. Непосредственные преобразователи частоты. Краснодар. 2008. С.148.
7. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А., Шхалахов Р.С. Статические преобразователи электроэнергии. Краснодар. 2006. С.264.

8. Григораш О.В., Дацко А.В., Мелехов С.В. К вопросу электромагнитной совместимости узлов САЭ. Промышленная энергетика. 2001. № 2. С.44-47.

9. Григораш О.В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения. Промышленная энергетика. 1997. № 7. С.21-25.

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

11. Григораш О.В., Божко С.В., Нормов Д.А. и др. Модульные системы гарантированного электроснабжения. Краснодар. 2005. С.306.

References

1. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Kvitko A.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii: terminy, opredelenija, dostoinstva i nedostatki. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. № 32. S. 189-192.

2. Pticyн O.V., Grigorash O.V. Generatory peremennogo toka: sostojanie i perspektiva. Jelektrotehnika. 1994. № 9. S. 2 – 6.

3. Grigorash O.V., Strelkov Ju.I. Netradicionnye avtonomnye istochniki jelektrojenergii. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 4. s.37-40.

4. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2011. S.188.

5. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A., Shhalahov R.S. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii. Krasnodar. 2006. S.264.

6. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Nefedovskij V.A., Stolbchatyj D.A. Neposredstvennye preobrazovateli chastoty. Krasnodar. 2008. S.148.

7. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A., Shhalahov R.S. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii. Krasnodar. 2006. S.264.

8. Grigorash O.V., Dacko A.V., Melekov S.V. K voprosu jelektromagnitnoj sovместимости uzlov SAJe. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 2. S.44-47.

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

10. Grigorash O.V., Kabankov Ju.A. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenergii. Jelektrotehnika. 2002. № 3. S.22-26.

11. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Normov D.A. i dr. Modul'nye sistemy garantirovannogo jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2005. S.306.