

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.З. Трубников

*Статья посвящена проблеме разработки генераторов переменного тока повышенных частот для питания резонансных электрических систем транспортирования электроэнергии.*

*Ключевые слова: генератор переменного тока, резонансная электрическая система, инвертор.*

Резонансный метод передачи электроэнергии на повышенных рабочих частотах по однопроводным линиям электропередачи обладает целым рядом эксплуатационных и коммерческих преимуществ, заключающихся в повышении пропускной способности и защищенности от коротких замыканий, снижении материалоемкости и капиталовложений при строительстве, снижении электрических потерь, а также затрат на эксплуатацию [1].

Одним из основных элементов комплекта оборудования РЭС является регулируемый генератор переменного тока повышенной частоты. В настоящей работе представлены результаты выполненных разработок по созданию генератора мощностью 50 кВт, а также описаны генераторы другого назначения. В основу разработки положены результаты предшествующих работ в области резонансных способов передачи электрической энергии.

Разработанный генератор предполагается использовать в качестве экспериментального источника питания для отработки схем и исследования режимов работы резонансных электрических систем, а именно:

- разработка методов увеличения передаваемой мощности;
- экспериментальное исследование режимов работы генераторов переменного тока повышенной частоты при работе с трехфазной резонансной сетью;
- экспериментальное исследование работы генераторов переменного тока повышенной частоты при работе инвертора, нагруженного на последовательные или параллельные резонансные нагрузки;
- отработка методов конструирования инверторных мостов с точки зрения оптимизации температурных режимов;
- отработка методов и макетирование программ управления силовыми ключами генератора при синтезе систем беспроводной

передачи энергии с бесконтактной коммутацией энергопотребителей;

- наработка экспериментального материала с целью формирования перечня практических рекомендаций для создания надежного, не нуждающегося в сложном регламентном обслуживании оборудования для резонансных энергосистем.

Корпус генератора выполнен из листового железа толщиной 2 мм, он конструктивно “завязан” по бокам на алюминиевые охладители с вертикальными, конвективно охлаждаемыми окружающим воздухом, ребрами.

Сзади корпус генератора по периметру крепится к прямоугольной несущей раме из стального уголка 25×25. Рабочее положение корпуса генератора вертикальное с допустимым отклонением от вертикали  $\pm 15^{\circ}$ . К вертикальным несущим конструкциям генератор крепится четырьмя болтами, для чего в раме имеются технологические “косынки” с отверстиями для болтов.

Спереди корпус герметично закрывается крышкой с уплотнением, обеспечивающим защиту на уровне IP-20. Корпус генератора покрыт коррозионно-стойкой краской, устойчивой к поражению грибом.

Внешний вид генератора представлен на рисунке 1.

Внутри корпуса имеются высоконадежные продувочные вентиляторы для выравнивания температур на тепловыделяющих элементах, а так же для исключения образования “карманов” с перегретым воздухом.

На рисунке 2 представлено размещение силовых элементов внутри корпуса генератора, для чего снята передняя крышка и показан правый охладитель с IGBT- столбами.

Выходной силовой каскад генератора выполнен в виде трех параллельных по питанию инверторных мостов на столбах IGBT с рабочим напряжением 1200 В и до-

пустимым током в импульсе 150 А (тип SKM 150 GB 123D, SEMIKRON). Столбы (6 штук) установлены на предварительно отполированную поверхность алюминиевых охладителей. Посадка на поверхность охладителя осуществлена через теплопроводящую пасту.



Рисунок 1 – Внешний вид генератора повышенной частоты



Рисунок 2 – Размещение силовых элементов в генераторе

Блок-схема электрических соединений компонентов генератора представлена на рисунке 3.

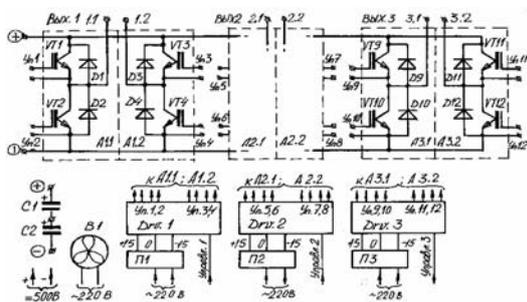


Рисунок 3 – Блок-схема электрических соединений компонентов генератора

На каждом из охладителей установлено по три столба.

В звене постоянного тока применены силовые электролитические конденсаторы 3300

мкФ, 450 В фирмы PHILIPS. По постоянному току преобразователь частоты питается от выпрямительного устройства, конструктивно не входящего в состав генератора.

Управление затворами IGBT транзисторов осуществляется с помощью драйверов SKH160H 4,0 SEMIKRON, конструктивно размещенных на трех самостоятельных платах. Драйверы обеспечивают питание входных цепей IGBT, контроль длительности “мертвого времени”, контроль режима насыщения коллекторного перехода, а также гальваническую “развязку” цепей затворов катодных и анодных транзисторов между собой и с цепями низковольтных устройств, формирующих управляющие сигналы. Электрическая прочность “развязки” - 4,0 кВ. В производстве плат использована технология поверхностного печатного монтажа с последующей защитой электропроводящих поверхностей и установленных на них активных и пассивных электронных и электротехнических компонентов. Платы драйверов питаются напряжением (+15В)-0-(-15В) от вторичных источников питания производства фирмы “Ирбис”.

Источники питания выполнены с применением поверхностного печатного монтажа, питаются от сети 220 В, 50 Гц, имеют на выходе самовосстанавливающуюся защиту от КЗ и перегрузок. Электрическая прочность развязки между выходными и входными цепями 2,5 кВ. В генераторе используются 6 вторичных источников питания с выходной мощностью 15 Вт.

Выходные цепи силовых инверторных мостов могут быть запараллелены или разъединены, обеспечивая питанием, таким образом, электрически объединенные или разъединенные нагрузки (в том числе и разной мощности). Каждый из мостов обладает выходной мощностью 20 кВт, при электрически запараллеленном режиме обеспечивается мощность до 60 кВт. Предусматривается возможность управления ключами с фазовым сдвигом во времени на 120°. Этот режим работы предполагается использовать при исследовании особенностей работы трансформаторов Тесла в группе из трех образцов, с подачей энергии в один энергетический канал.

Проведены предварительные испытания генератора с определением следующих показателей:

- функционирование;

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ (РЭС)

- проверка работоспособности в частотном диапазоне 0-20 кГц на холостом ходу при номинальном напряжении питания;
- проверка работоспособности каждого из выходных каналов путем подключения активной нагрузки в виде ламп накаливания общей мощностью 30 кВт к каждому из выходов I, II, III. При отдельном нагружении два оставшихся канала работали в режиме холостого хода. Время работы под нагрузкой не менее 10 минут;
- проверка работоспособности при параллельном включении каналов попарно (I,II), (I,III), (II, III) путем подключения нагрузки в виде ламп накаливания к запараллеленным каналам. Оставшийся канал работал в режиме холостого хода. Время испытания не менее 10 мин.;
- проверка работоспособности при параллельном включении на одну нагрузку трех каналов путем подключения нагрузки в виде ламп накаливания к запараллеленным каналам (I, II, III). Время испытания не менее 10 минут.

Блок-схема стенда для предварительных испытаний генератора переменного тока повышенной частоты приведена на рисунке 4.

Здесь А, В, С, N - силовая электрическая трехфазная сеть (3x380) В, 50 Гц. П - устройство для подключения испытательной станции к силовой сети. Тр - трехфазный регулируемый трансформатор. Клеммы а 2, б 2, с 2 предназначены для подключения к выходным обмоткам трехфазного трансформатора низкочастотного трехфазного выпрямителя В1. Вольтметр постоянного тока V служит для контроля выпрямленного напряжения, подаваемого на вход испытуемого генератора Пч.1.

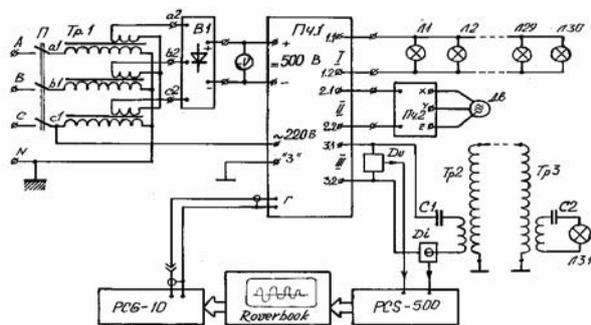


Рисунок 4 – Блок-схема соединений узлов при проведении испытаний генератора

Л1 ÷ Л30- лампы накаливания, выполняющие роль активной нагрузки, мощность каждой 1,0 кВт, напряжение 220 В. Пч. 2- SVO37 H-4U

RUS – русифицированная версия преобразователя частоты (Южная Корея) с высокочастотным выпрямителем на входе для преобразования электрической энергии повышенной частоты до 20 кГц в промышленный стандарт (3x380) В, 50 Гц для питания трехфазного асинхронного двигателя ДВ. Мощность преобразователя Пч.2 – 5,5 кВт, мощность двигателя 2,2 кВт. Тр.2, Тр.3- резонансные трансформаторы мощностью 20 кВт. С1, С2 – электрические конденсаторы для организации резонансного режима работы передающего Тр.2 и принимающего Тр.3 резонансных трансформаторов. Ду, D<sup>I</sup> - датчики напряжения и тока, служат для наблюдения формы напряжения и тока. Коэффициент преобразования датчика напряжения 0,01 В/В, номинальное напряжение на выходе датчика – 10 В. Диапазон рабочих частот 0 ÷ 200 кГц. Тип датчика LP-20. Коэффициент преобразования датчика тока 0,1 В/А, номинальное напряжение на выходе датчика – 10 В. Диапазон рабочих частот 0 ÷ 250 кГц. Тип датчика LEM-100. Прочность электрической “развязки” между испытываемыми цепями и выходами датчиков 2,5 кВ, питание от двупольных источников постоянного напряжения ± 15 В, типа “Ирбис” (на блок-схеме не указаны). PCS –500 – цифровой двухканальный осциллограф, управляемый от ноутбука. PCG-10 – цифровой генератор управляющих Пч.1 сигналов. PCG-10 управляется ноутбуком. Roverbook- управляющий осциллографом и генератором ноутбук. PCS-500, PCG-10 и Roverbook питаются от сети переменного тока 220 В, 50 Гц через автономные адаптеры (на блок-схеме не указаны). Фирма-производитель PCS-500, PCG-10 и программного обеспечения к ним – Welleman.

Для подключения к внешним устройствам генератор переменного тока Пч.1 снабжен входными клеммами питания, а также выходными клеммами для вывода мощности по трем идентичным каналам I, II, III, (маркировка клемм 1.1, 1.2; 2.1, 2.2; 3.1, 3.2.). Управляющий сигнал переменной частоты 0-20 кГц подается в генератор через разъем “Г”. Для питания вентилятора и внутренних вторичных источников питания в генератор Пч.1 подается питание промышленного формата 220 В, 50 Гц. Корпус генератора заземляется с помощью приваренного болта заземления “З” (M8x30) на контур защитного заземления лабораторного корпуса голым, гибким, многожильным проводом, сечением 16 мм<sup>2</sup>.

Во время испытаний генератора определены основные электроэнергетические параметры. Динамические характеристики будут исследоваться в последующих экспериментах.

Коротко результаты испытаний могут быть представлены следующим образом. Параметры выходного тока:

- форма напряжения – меандр;
- форма тока при нагружении на резонансную нагрузку – синус;
- напряжение на выходе преобразователя при номинальной нагрузке по амплитуде меандра - не менее 480 В;
- частотный диапазон выходного тока 0,5 Гц ÷ 20 кГц.

Секционирование энергии на выходе генератора:

- три автономных выхода с индивидуальными энергетическими возможностями не менее 19 кВт;
- общая выходная мощность не ниже 50 кВт;
- коэффициент полезного действия не хуже 0,97.

Указанный КПД достигнут за счет того, что коммутация силовых ключей производится при переходе выходного тока через нуль.

Виды защит:

- защита от сквозных токов в ключах инверторных мостов;
- защита от неполного открывания ключей;
- защиты от КЗ по выходам мостов;
- обеспечивается “мягкий” пуск при автономном режиме работы генератора.

Управление:

- управляющие импульсы генерируются персональным компьютером.

Защита от воздействия окружающей среды: уровень защиты не хуже IP-20.

Конструкция корпуса защищена патентом РФ на полезную модель N 42728 “Устройство защиты от внешних воздействий и стабилизации температуры электрической схемы” [2].

С целью обеспечения возможности натурного макетирования испытаний и корректировки при изготовлении силовых узлов преобразователя был разработан и изготовлен испытательный стенд – резонансная электрическая система мощностью 30 кВт [3], [4], [5]. Стенд включает в себя все элементы типовой резонансной системы для передачи электрической энергии, а именно, на передающей стороне: управляемый по частоте

генератор переменного тока; повышающий резонансный трансформатор; передающую линию длиной 0,475 км; на приёмной стороне: понижающий резонансный трансформатор; нагрузочный модуль, содержащий 30 электрических однокиловаттных ламп накаливания. Лампы объединены в группы с возможностью регулирования величины нагрузки.

Входной генератор переменного тока выполнен на твердотельных силовых IGBT-ключках с номинальными значениями допустимого тока 150 А и допустимого напряжения 1200 В. Тип ключей: SKM 150 GB 122 D, Semikron.

Генератор работает с изменяемым напряжением в звене постоянного тока. С этой целью во входном модуле стенда кроме генератора переменного тока имеются два устройства, обеспечивающие возможность задания в звене постоянного тока генератора любого напряжения в диапазоне (0 ÷ 520) В.

При исследованиях узлов маломощных резонансных систем передачи электрической энергии используется трёхфазный трансформаторный регулируемый вход и выпрямляющий мост Ларионова в структуре генератора (для систем с мощностью не выше 20 кВт). При исследованиях узлов резонансных систем мощностью до 35 кВт используется автономный, регулируемый по углу открывания, тиристорный двухполупериодный трёхфазный мост. Выпрямленное напряжение при этом подаётся непосредственно на конденсаторную батарею звена постоянного тока генератора стенда, минуя нерегулируемый выпрямляющий мост на его силовом входе.

Повышающий резонансный трансформатор выполнен в виде многослойной катушки с внешним диаметром 900 мм, намотан медным проводом сечением 1 мм<sup>2</sup>, тип ПВВ-1, в полиэтиленовой изоляции с внешним диаметром по изоляции 8 мм. Поверх повышающей обмотки намотана катушка накачки. Сечение провода катушки накачки 25 мм<sup>2</sup>. Катушка накачки подключается к выходу питающего генератора переменного тока с управляемой частотой через разделительный конденсатор 1,5 мкФ. Конденсатор не только защищает выход генератора от нештатной ситуации (короткое замыкание) при прекращении переключения напряжения на ключах, но и обеспечивает резонансный режим накачки трансформатора.

Передающая линия выполнена тем же проводом, что и высоковольтная обмотка повышающего трансформатора (ПВВ-1).

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ (РЭС)

Понижающий трансформатор на приёмной стороне выполнен аналогично передающему, обеспечивая при этом симметричность преобразования напряжения вдоль канала передачи энергии. Концы высоковольтных обмоток передающего (повышающего) и принимающего (понижающего) трансформаторов, прилежащие к низковольтным обмоткам, заземлены. Высоковольтные (внутренние) выводы резонансных трансформаторов соединены с передающей линией. В местах выхода линии из испытательного зала используются проходные керамические изоляторы.

Блок-схемы передающего и принимающего модулей стенда резонансной системы передачи электрической энергии приведены на рисунке 5 и рисунке 6.

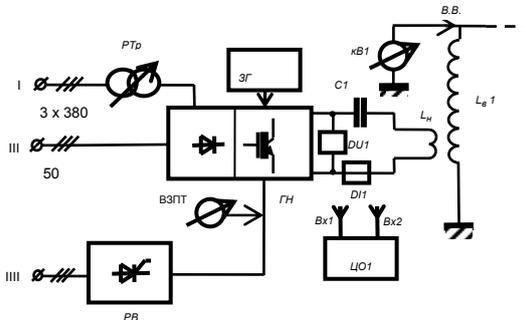


Рисунок 5 – Блок-схема резонансной системы передачи электрической энергии (передающий модуль стенда)

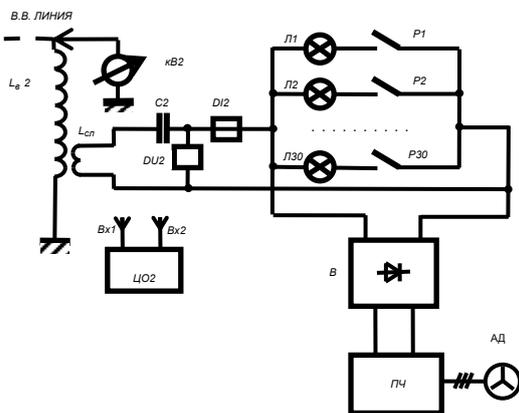


Рисунок 6. – Блок-схема резонансной системы передачи электрической энергии (принимающий модуль стенда)

Здесь: I, II, III – варианты подачи трёхфазного питающего напряжения на резонансную систему, PTr – регулируемый трёхфазный трансформатор, ГН – генератор переменного тока с управлением по частоте, ВЗПТ – вольтметр в звене постоянного тока генератора, ВВ – ре-

гулируемый тиристорный выпрямитель, ЗГ – задающий генератор звуковой частоты, С1, С2 – конденсаторы в цепях накачки и слива, ДТ1, ДТ2 – датчики тока в цепях накачки и слива, Lн, Lсл – катушки накачки и слива, Lв1 – высоковольтная передающая катушка, В.В. – высоковольтная принимающая катушка, кВ1, кВ2 – киловольтметры на передающей и принимающей сторонах, ДУ1, ДУ2 – датчики напряжения накачки и слива, Р1 ÷ Р30 – рубильники нагрузочного модуля, Л1 ÷ Л30 – киловаттные лампы, В – высокочастотный выпрямитель, ПЧ – преобразователь частоты, АД – асинхронный двигатель, ЦО – двухканальный цифровой осциллограф.

Для измерения напряжения в линии использовались киловольтметры типа С196 с пределами 7,5 кВ, 15 кВ, 30 кВ. Напряжение на звене постоянного тока генератора измерялось вольтметром типа М42301 с номиналом измеряемого напряжения 600 В.

При экспериментах фиксировались величины токов накачки и нагрузки, напряжений в высоковольтной линии и в звене постоянного тока питающего генератора переменного тока с изменяемой частотой при различных величинах нагрузки на выходе стенда и различных питающих напряжениях со стороны силового входа резонансной сети.

Перед началом экспериментов система передачи энергии путём изменения частоты на задающем генераторе настраивалась в резонанс. При резонансе форма тока накачки принимала синусоидальную форму. На рисунке 7 приведён пример снятых на стенде зависимостей напряжения на высоковольтной линии от величины питающего напряжения переменного тока при различных величинах нагрузки.

Резонансная частота составляла 4,7 кГц.

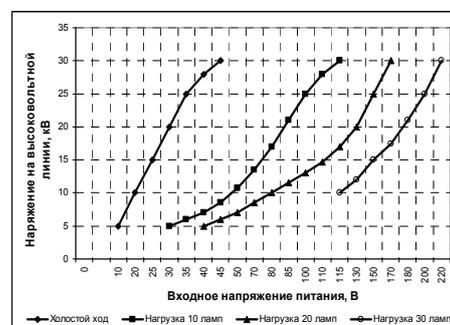


Рисунок 7. – Зависимость напряжения на высоковольтной линии от напряжения питания

Внешний вид входного модуля с генератором переменного тока представлен на рисунке 8. На рисунке 9 представлен повышающий трансформатор. Понижающий трансформатор внешне ничем не отличается.



Рисунок 8 – Входной модуль стенда

При испытаниях и настройке стенда промоделирован режим совместной работы на активную нагрузку (лампы накаливания) и на промышленные инверторы - преобразователи для управляемого привода на базе асинхронных двигателей.



Рисунок 9 – Повышающий трансформатор



Рисунок 10 – Модуль преобразователей частоты

На инверторах-преобразователях (см. рисунок 10) заданы вентиляторные силовые

характеристики. Один инвертор используется для питания 400-герцовых АД, другой – для АД на 50 Гц. На выход 50-герцового инвертора подключён АД с генератором постоянного тока на валу. Мощность мотор-генераторного агрегата – 2,2 кВт. Номинальная мощность питающего инвертора-преобразователя - 5,5 кВт. Для питания инверторов-преобразователей напряжение, снимаемое со сливной обмотки резонансного понижающего трансформатора, выпрямлялось и подавалось непосредственно на конденсаторные батареи инверторов.

Для питания экспериментальной резонансной системы снабжения электрической энергией мобильных агрегатов на базе полученных в ВИЭСХ теоретических и экспериментальных результатов в области резонансных методов передачи электрической энергии разработан высоко-частотный резонансный генератор (далее ВРГ-25).

Генератор ВРГ-25 представляет собой специализированный статический инвертор с изменяемой частотой выходного тока, блок-схема представлена на рисунке 11.

Генератор ВРГ-25 в своем составе имеет:

- на входе, выпрямитель трехфазный, на оптоуправляемых тиристорах ТО– 80 – 12;
- на выходе, трехканальный силовой инвертор на базе IGBT столбов, управляемый от местного автономного контроллера;
- систему внутреннего мониторинга и диагностики режимов работы генератора и состояния выходных силовых характеристик электрической энергии;
- систему защиты выходного инверторного модуля от нештатных отраженных энерготранспортирующим устройством энергетических импульсов;
- устройство защиты силовых ключей от сквозного тока;
- устройство приема и обработки сигналов обратной связи для защиты силовых ключей от превышения выходного тока;
- устройство токового ограничения на входе генератора в режиме пуска.

Драйвер и внутренние потребители электрической энергии питаются от АС-ДС преобразователей с выходными напряжениями + 15В и -15 В. АС-ДС преобразователи имеют самовосстанавливающуюся защиту от КЗ и длительной перегрузки.

Электрическая прочность развязки между входными и выходными цепями АС-ДС преобразователей 2, 5 кВ, выходная мощность 15 Вт.

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ (РЭС)

### Технические характеристики ВРГ-25

Выходная мощность, кВт.....25;  
 Напряжение питания,.....3 фазы 380 (50 Гц);  
 Частота выходного тока, Гц.....100-15000;  
 Напряжение на выходе, В.....380;  
 Габариты, мм.....450X170X220;  
 Масса, кг.....18.

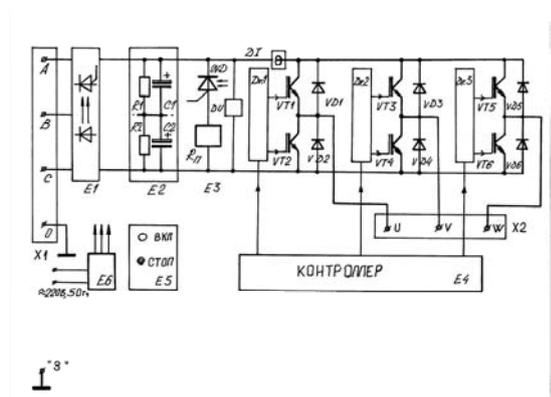


Рисунок 11 – Блок-схема генератора электропитания

Здесь: X1 – клеммная колодка для подключения ВРГ-25 к питающей электросети переменного тока (380×220) В, 50 Гц;

X2 – клеммная колодка для подключения резонансных трансформаторов сети мобильных потребителей;

E1 – трёхфазный выпрямляющий мост на оптоуправляемых тиристорах;

E2 – конденсаторный накопитель в звене постоянного тока. Показан один столб C1 – C2 с выравнивающим резисторным делителем R1 – R2;

E3 – устройство аварийного слива отражённой от потребителя электрической энергии. OVD – оптоуправляемый от датчика перенапряжения тиристор. R<sub>п</sub> – поглощающая нагрузка;

E4 – управляющий микропроцессорный контроллер;

E5 – панель управления генератором;

E6 – вторичные преобразователи напряжения AC – DC для питания электроэнергией внутренних потребителей генератора;

DU – датчик напряжения (перенапряжения) в звене постоянного тока;

DI – датчик тока для защиты от длительных перегрузок (временаковая защита);

Dr.1, Dr.2, Dr.3 – драйверы для управления затворами силовых ключей;

VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6 – IGBT – ключи выходного инверторного моста;

VD1 ÷ VD6 – обратные скоростные диоды силовых ключей.

“3” – клемма защитного заземления генератора электропитания ВРГ-25.

Подключение энерготранспортирующего устройства к ВРГ-25 производится через резонансные трансформаторы к выходной силовой клеммной колодке “ВЫХОД” в соответствии со схемой на рисунке 12.

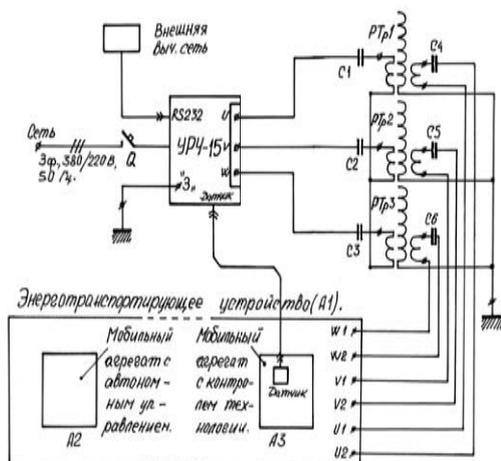


Рисунок 12 – Структурная схема подключения ВРГ-25

Здесь: Q – автомат для подключения стенда к питающей сети 3 фазы 380 В, 50 Гц;

A1 – энерготранспортирующее устройство;

PTr1, PTr2, PTr3 – резонансные трансформаторы;

УРЧ-15 – устройство с регулируемой частотой выходного тока (ВРГ-25), верхняя частота 15 кГц.

Генератор размещается в вертикальном положении на расстоянии не более 30 м от резонансных трансформаторов сети мобильных потребителей. Корпус ВРГ-25 подлежит обязательному заземлению.

### Выводы

1. Разработан и изготовлен экспериментальный образец трёхканального генератора переменного тока повышенной частоты (до 20 кГц) с общей выходной мощностью 50 кВт. Генератор способен питать от одной до трёх резонансных систем передачи электрической энергии, позволит опытным путём проверить

### ТРУБНИКОВ В.З.

теоретические наработки по созданию резонансных сетей с фазностью более одной.

2. Для экспериментальной проверки функционирования вновь разрабатываемых узлов резонансных электрических сетей изготовлен стенд - резонансная система передачи электрической энергии мощностью 30 кВт, позволивший в опытном режиме эксплуатации довести силовые узлы генератора мощностью 50 кВт, экспериментально подтвердить и уточнить возможность 3-х кратного умножения частоты выходного тока.

3. Разработан инвертор-преобразователь питания экспериментального резонансного магнитоиндукционного энерготранспортирующего устройства для мобильных энергопотребителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стребков, Д.С., Резонансные методы передачи и применения электрической энергии/ Д.С. Стребков, А.И. Некрасов– М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. - 352 с.

2. Патент на полезную модель РФ № 42728. Устройство защиты от внешних воздействий и стабилизации температуры электрической схемы./

Трубников В.З., Константиныди В.К. // Б.И. 2004. – № 34.

3. Некрасов А.И., «Резонансная система передачи электрической энергии мощностью 30 кВт.» III Конференция / А.И. Некрасов, Д.С. Стребков, В.З. Трубников– 2008 «Консолидация усилий электроэнергетики и электротехники в условиях роста инвестиций. Перспективные технологии и электрооборудование». Доклад П-4.09. ТРАВЭК. ВЭИ, (28-29) май, 2008, Московская обл. Россия.

4. Трубников, В.З. «Полуволновые линии передачи электроэнергии на резонансных трансформаторах»./ В.З. Трубников / Техника в сельском хозяйстве. 2009. № 6 – С. 39-41.

5. Стребков Д.С. Некрасов А.И., Трубников В.З. Резонансная система передачи электрической энергии / Д.С. Стребков, А.И. Некрасов, В.З. Трубников Материалы Всеросс. научно-техн. конференции «Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования». – Томск, ТПУ, 2010. – С. 205-207.

**Трубников В.З.**, научный сотрудник отдела электроснабжения, Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ), тел.: 8 (495) 171-19-20, 8 (495) 171-02-74, E-mail: [viesh@dol.ru](mailto:viesh@dol.ru)