

ОХЛАДИТЕЛИ. СИСТЕМЫ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Таланин Ю.В.

начальник КБ ЗАО «Электровыпрямитель-ЗСП», г. Саранск

тел. (834-2) 29-21-87, E-mail: tyv1357@mail.ru

Аннотация. Представлены системы нагрева и охлаждения статических преобразователей, разработанных в КБ ЗАО «Электровыпрямитель-ЗСП»

Ключевые слова: статический преобразователь, нагрев, охлаждение, конструкция, Электровыпрямитель

Национальные проекты «Энергетическая стратегия России», «Реформа электроэнергетики, энергосбережение» повышающие темпы роста экономического потенциала России, являются одними из важнейших приоритетных направлений.

В России практически отсутствуют разработки статических преобразователей большой мощности (свыше 500 кВт), со степенями защиты IP54, IP64, то есть, пылезащищенном и пыленепроницаемом исполнениях, а также преобразователей, работающих в жестких климатических условиях при температуре от - 60° С до + 40° С, что особенно актуально для России с ее тяжелыми климатическими условиями. Предлагаемые на рынке отечественные преобразователи не могут эксплуатироваться при низких температурах, так как требуются специальные устройства для их обогрева. Однако и это не снимает проблему полностью, так как в некоторых случаях преобразователь должен длительно поддерживать готовность включения при низкой температуре эксплуатации, например, на обесточенном кране и должен быть включен в любое время и т. д.

Одной из причин создавшегося положения является отсутствие в России производства мощных эффективных охладителей для силовых полупроводниковых приборов, а также эффективных систем нагрева и охлаждения статических преобразователей.

Основным фактором, вызвавшим в последнее десятилетие резкое расширение разработок и объемов производства статических преобразователей, является прогресс в области силовых полупроводниковых приборов.

Разработка и создание новых силовых полупроводниковых приборов привели к увеличению тока через полупроводниковые приборы свыше 5000 А, значение тепловыделений достигает 7,0 кВт и более на один силовой прибор, что ставит перед необходимостью обеспечения их высокоэффективного охлаждения.

Одним из существенных факторов определяющим перегрев силовых полупроводниковых приборов является тепловое сопротивление охладителя. На внешнее тепловое сопротивление охладителя, в основном, влияют два параметра: коэффициент теплоотдачи и площадь теплоотдающей поверхности охладителя.

Коэффициент теплоотдачи зависит от множества факторов, в том числе: от способа передачи теплоты, скорости движения теплоносителя, его теплофизических свойств, разности средней температуры поверхности охладителя и теплоносителя и т. д.

В условиях естественной конвекции и излучения при избыточной температуре 20°С коэффициент теплоотдачи не превышает 10 Вт/м²·К, а максимальная поверхностная плотность теплового потока, отдаваемая охладителем, составляет примерно 0,4 Вт/см².

В связи с тем, что передача теплоты внутри охладителя передается на все более значительные расстояния и осуществляется за счет теплопроводности, температура охладителя, с увеличением расстояния от силового полупроводникового прибора, существенно падает, несмотря на высокую теплопроводность охладителя, что приводит к неэффективному использованию материала охладителя. Поэтому, при естественном

охлаждении силовых полупроводниковых приборов, увеличение габаритов и массы охладителей происходит быстрее, чем рост тока через прибор.

При принудительном воздушном охлаждении, при величинах скорости воздушного потока 12...15 м/сек. и избыточной температуре 20°C, коэффициент теплоотдачи находится в диапазоне 70...150 Вт/м²·К, а максимально отводимая охладителем плотность теплового потока равна 2...3 Вт/см².

Возможности принудительного воздушного охлаждения так же ограничены, увеличение скорости движения охлаждающего воздуха более 15 м/сек. экономически не оправдано, так как приводит к значительному росту аэродинамических сопротивлений, и мощности вентиляторов. Низкая интенсивность теплоотдачи в воздух, даже при принудительном воздушном охлаждении делает необходимым значительное увеличение поверхности охладителя, что в конечном итоге не приводит к желаемому результату на преобразователях большой мощности, даже при степенях защиты преобразователей IP20 и IP21.

При использовании принудительного жидкостного охлаждения коэффициент теплоотдачи находится в диапазоне (1...5)х10³ Вт/м²·К, а отводимая плотность теплового потока равна 5...10 Вт/см².

При изменении агрегатного состояния теплоносителя – кипении или испарении хладагента коэффициент теплоотдачи находится в диапазоне (30...45)х10³ Вт/м²·К, а плотность теплового потока равна 20...50 Вт/см².

Чем выше коэффициент теплопроводности, тем ниже тепловое сопротивление охладителя и, соответственно, выше его эффективность. Аналогичная ситуация складывается и в отношении теплоотдающей поверхности (которая определяется геометрическими параметрами охладителя) – чем больше площадь этой поверхности, тем ниже тепловое сопротивление охладителя, однако, излишнее увеличение площади поверхности теплообмена автоматически приводит к резкому увеличению габаритов и массы охладителя.

При разработке новых конструкций охладителей необходимо стремиться к одновременному увеличению, как коэффициента теплоотдачи, так и площади поверхности теплообмена, что позволит эффективно минимизировать внешнее термическое сопротивление охладителя в целом, при этом необходимо учитывать следующие принципы:

1. Создание благоприятных гидродинамических условий движения теплоносителя, позволяющих обеспечить опережающий рост коэффициентов теплоотдачи по сравнению с гидравлическим сопротивлением.

2. Создание развитых теплоотдающих поверхностей при малых значениях эквивалентных размеров, что позволяет резко увеличить компактность охладителя и уменьшить тепловое сопротивление.

3. Использовать более эффективные способы охлаждения силовых полупроводниковых приборов - жидкостное, испарительное и комбинированные способы охлаждения.

В настоящее время силовые блоки в преобразователях выполняются на беспотенциальных модулях: диодно-тиристорных, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) или IPM (Intelligent Power Modules), в которых высокие значения скоростей изменения сигнала di/dt, du/dt, возникающие при переключении силовых модулей, приводит к появлению переходных перенапряжений, шумов и помех. Для борьбы с ними в мощных импульсных преобразователях необходимо обеспечивать минимальное значение распределенных индуктивностей силовых линий связи. Все это накладывает определенные трудности при проектировании статических преобразователей средней и большой мощности, в связи с чем, силовые модули, драйверы, электролитические и снабберные конденсаторы должны размещаться на общем эффективном охладителе. В России охладителей для охлаждения статических преобразователей большой мощности с жидкостным и испарительным охлаждением не выпускают.

Поэтому, основным направлением в решении проблемы создания мощных статических преобразователей является разработка и производство высокоэффективных охладителей, а также применение более эффективных способов охлаждения, жидкостного, испарительного и комбинированного, позволяющих увеличить коэффициент теплоотдачи, а также уменьшить массу и габариты охлаждающих устройств и преобразователей в целом.

Реализация этого предложения даст возможность создания конкурентоспособной продукции российским производителям.

Представлены для рассмотрения и освоения производства охладители, для статических преобразователей большой мощности. (см. рис. 1...4).

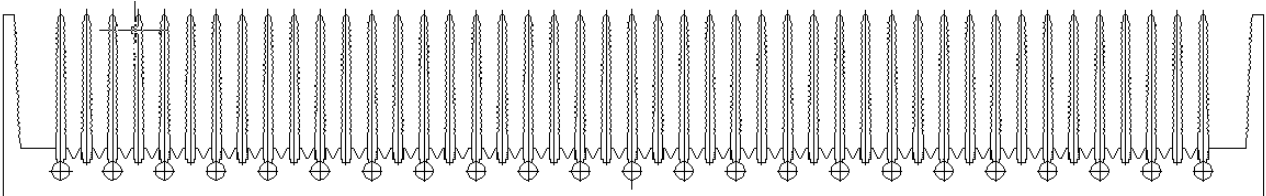


Рис. 1

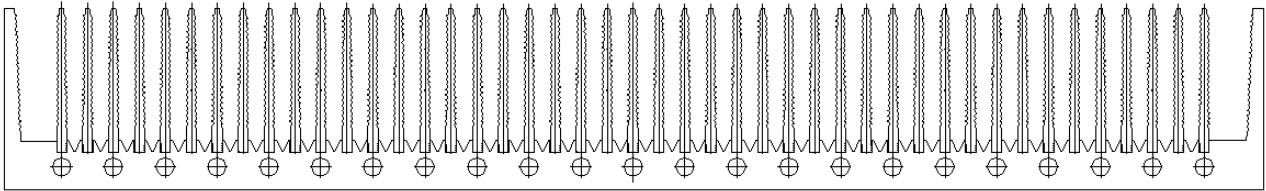


Рис. 2

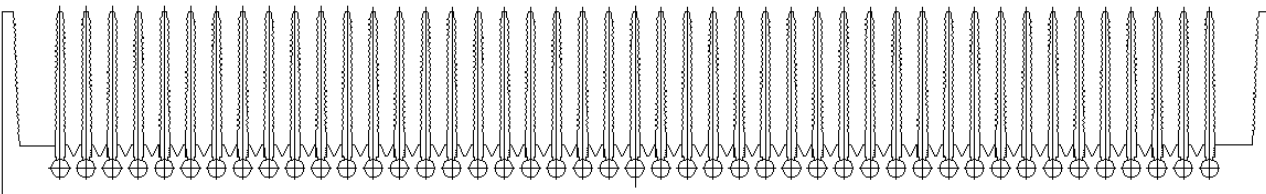


Рис. 3

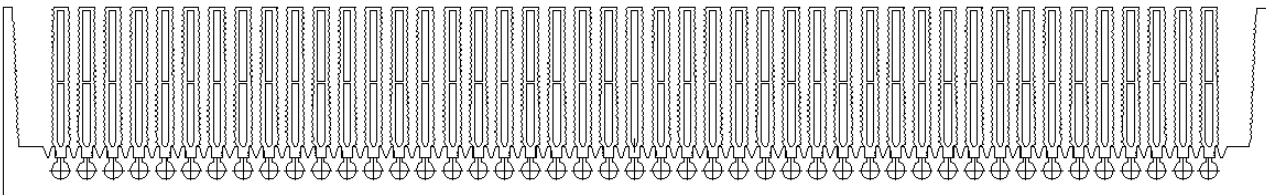


Рис. 4

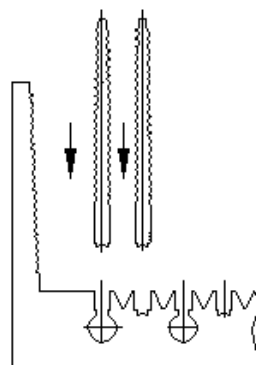


Рис. 5 Схема запрессовки ребер в основание

Охладители имеют одинаковые габаритные размеры, выполнены экструзивным способом, и состоят из основания, в котором по всей длине основания охладителя выполнены продольные каналы, и ребер имеющих рифления на боковых поверхностях,

установленных в основание, с последующей обжимкой ребер в основании охладителя (базовый вариант).

Прототипом предлагаемых радиаторов является радиатор типа SK-161, фирмы «Fischer Electronic» Федеративной Республики Германия.

В таблице 1 приведены технические характеристики охладителей.

Таблица 1

Тип охладителя	Периметр поверхности, мм	Площадь сечения, см ² .	Масса 1 м. длины, кг.
Охладитель Типа SK-161	13347	260,0	70,25
Предлагаемый охладитель (рис. 1)	14359	232	62,67
Предлагаемый охладитель (рис. 3)	14946	220	59,3

Сравнительный анализ предлагаемых охладителей с аналогичными охладителями, выпускаемыми промышленностью Германии, Австрии, КНР показал, что по основным показателям предлагаемые охладители превосходят иностранные аналоги по:

- площади поверхности теплообмена; (периметр предлагаемых охладителей больше на 7,5 % (рис. 1, 2) и на 7,9 %, (рис. 3);

- массам охладителей; (масса одного погонного метра охладителя легче на 5,7 кг., (рис. 1, 2), и на 8,3 кг., (рис. 3) по сравнению с охладителем типа SK-161.

Эффективность предлагаемых охладителей выше, так как в охладителе сильнее всего нагревается основание охладителя с установленными на нем силовыми полупроводниковыми приборами, поэтому теплоноситель, отводящий тепло от основания охладителя, наиболее эффективен, так как охлаждение идет от максимально нагретых мест охладителя – его основания, а также и от поверхности ребер.

Базовый радиатор может использоваться непосредственно в преобразователях с принудительным воздушным охлаждением или может быть доработан на универсальном оборудовании. Доработанные радиаторы могут быть применены в силовых блоках и статических преобразователях:

1. С принудительным воздушным охлаждением, с дополнительным эффектом охлаждения.

2. С принудительным жидкостным охлаждением.

3. С испарительным охлаждением.

4. С комбинированным охлаждением.

Принудительное воздушное охлаждение с дополнительным эффектом охлаждения

Базовый вариант охладителя дорабатывается, на концах продольных сквозных каналов выполняются спиральные проточки.

При принудительном воздушном охлаждении, воздух попадая в спиральные проточки закручивается и попадает в продольные каналы основания охладителя, в каналах закрученный воздух расслаивается: вдоль осей каналов движется горячий воздух, а вдоль стенок продольных каналов основания движется охлажденный воздух, который отбирает

тепло от охладителя и выносит его в окружающее пространство, эффективно понижая температуру охладителя.

Принудительное жидкостное охлаждение

Эффективность охлаждения достигается за счет повышенного коэффициента теплоотдачи и циркуляции жидкого теплоносителя по каналам в основании охладителя, а также естественной конвекции и излучения с большой площади поверхности охладителя.

Испарительное охлаждение

Эффективность охлаждения достигается за счет изменения агрегатного состояния теплоносителя и высокого коэффициент теплоотдачи.

Освоение производства предлагаемых охладителей позволит:

- освоить производство Отечественных охладителей, которые по массогабаритным показателям, эффективности охлаждения, универсальности, адаптируемости к конкретным изделиям, конкурентоспособности - превосходят иностранные аналоги.

Охладители защищены двумя патентами на изобретение Российской Федерации № 2206938 и № 2348087 «Охладитель».

В настоящее время при изготовлении преобразователей большой мощности используются охладители производимые иностранными фирмами.

Использование данных охладителей дает возможность пересмотреть и принципы охлаждения преобразовательной техники – выполнить их с применением: принудительного воздушного, жидкостного, испарительного или комбинированного охлаждения.

С данными охладителями проработана конструкция трех статических преобразователей частоты (ПЧ) мощностью 200, 250 и 315 кВт, с габаритными размерами 1800x800x600 мм. (см. рис. 6...17) которые могут быть выполнены со степенями защиты IP20, IP21, IP54, IP64, работающие в жестком температурном режиме от -60 °С до + 40 °С.

В данной конструкции предусмотрен подогрев силового блока и преобразователя в целом, перед их включением при отрицательной температуре и поддержание положительной температуры внутри шкафа при не работающем или периодически включаемом статическом преобразователе.

Проработанные конструкции статических преобразователей превосходят отечественные по:

- 1 - эффективности охлаждения;
- 2 - эффективности нагрева преобразователя;
- 3 - по массогабаритным показателям;
- 4 - по степени защиты по коду IP в соответствии с ГОСТ 14254-96;

В предлагаемых конструкциях со степенями защиты IP20, IP21, IP54, IP64 обеспечена преимущество узлов, блоков, без увеличения массогабаритных показателей, в результате чего цена преобразователя мало зависит от степени защиты по коду IP и будет намного меньше цены со степенями защиты IP54, IP64 Российских и иностранных производителей.

Предлагаемая конструкция включает в себя основные узлы: автоматический выключатель, входные силовые реакторы, выпрямитель на беспотенциальных силовых модулях, сглаживающий реактор и блок конденсаторов, инвертор на IGBT модулях, со снабженными цепями и драйверами, система управления, датчики тока.

Предлагаемая конструкция ПЧ защищена 2 патентами Российской Федерации на изобретение, № 2280294 «Силовой блок» и № 2345511 «Устройство для нагрева и охлаждения статического преобразователя».

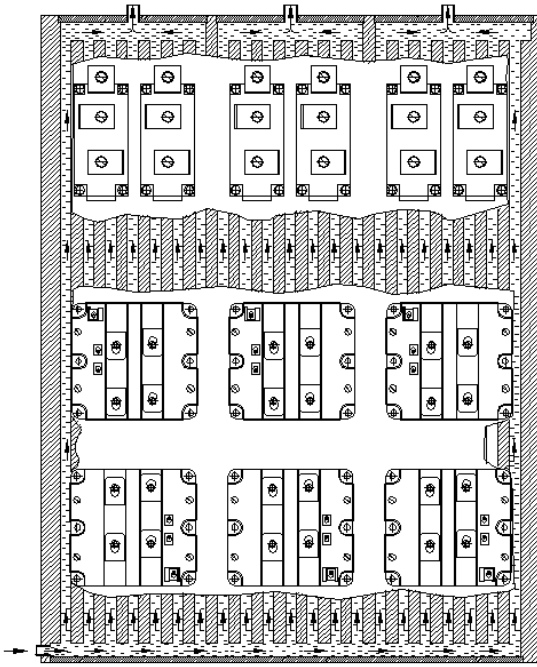


Рис.6

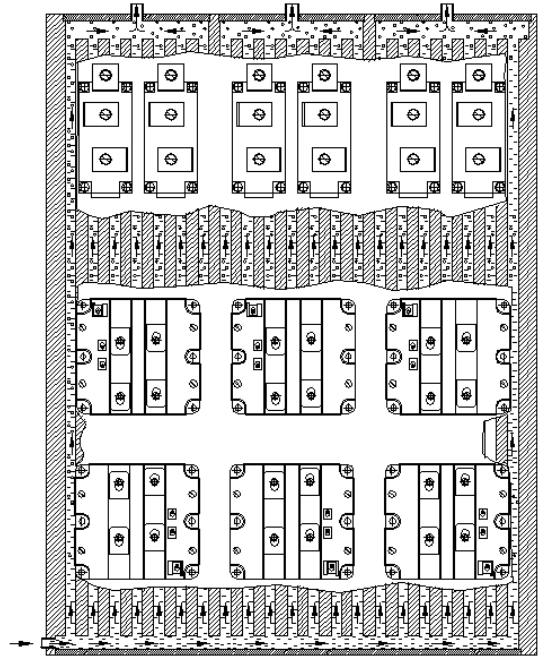


Рис.7

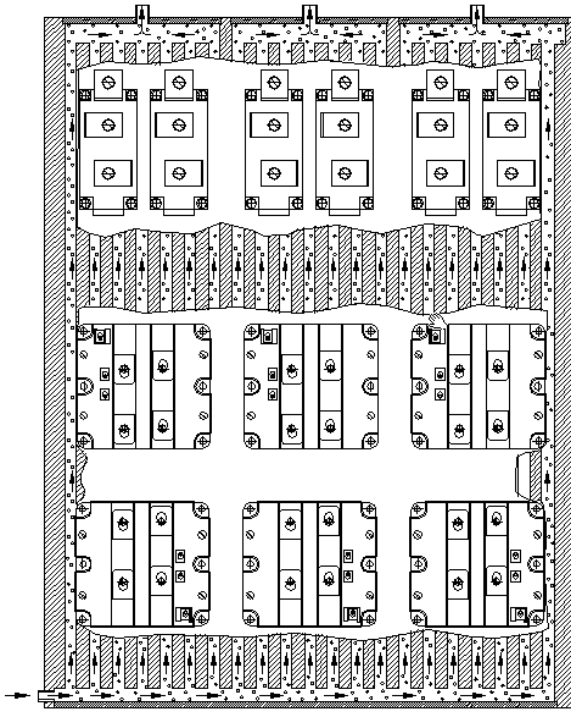


Рис.8

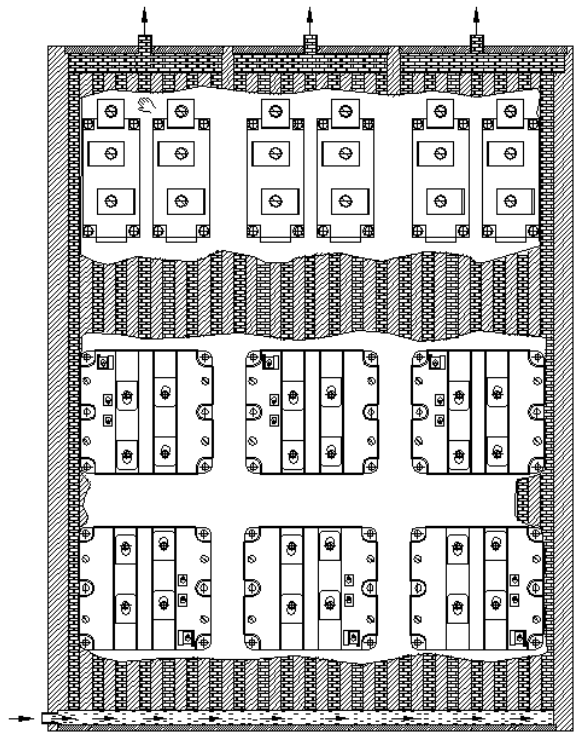


Рис.9

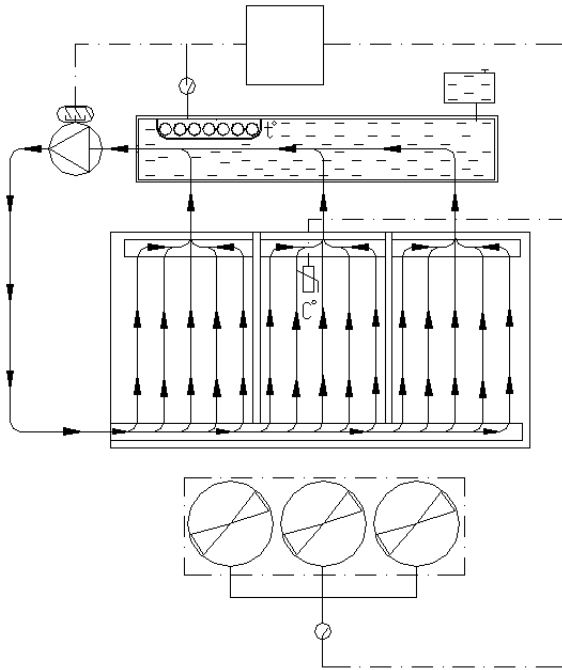


Рис.10

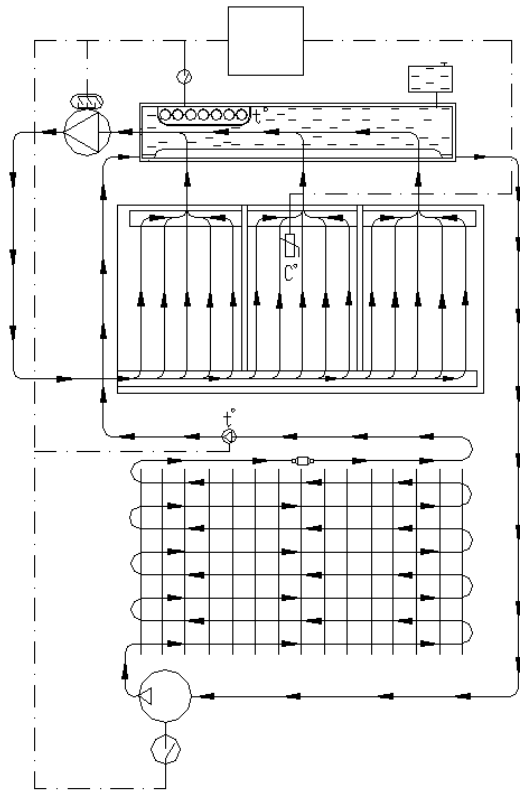


Рис.11

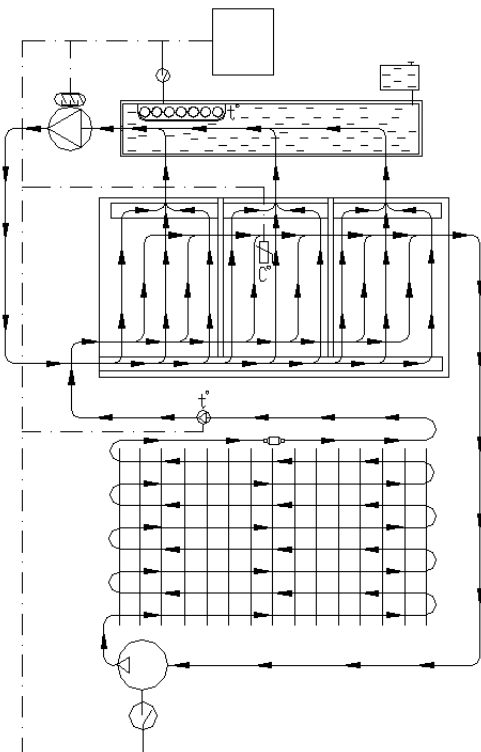


Рис.12

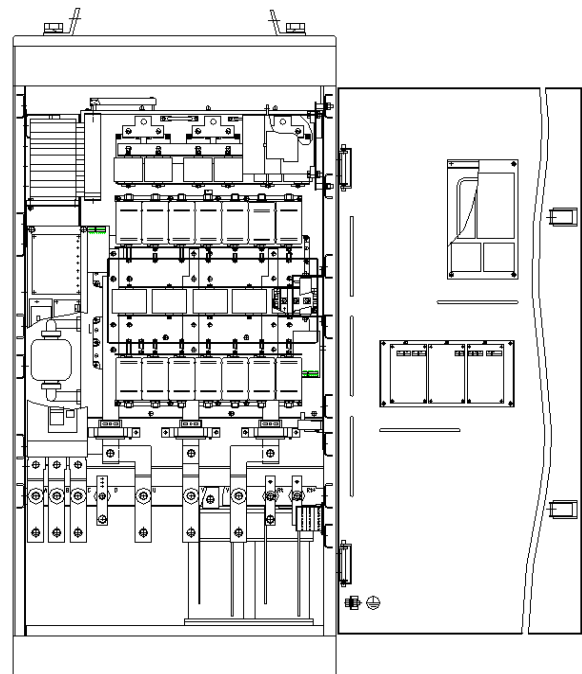


Рис.13

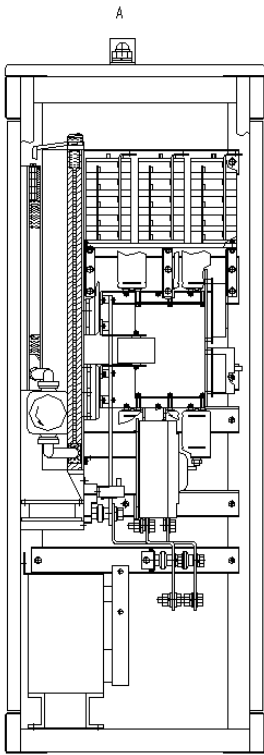


Рис.14

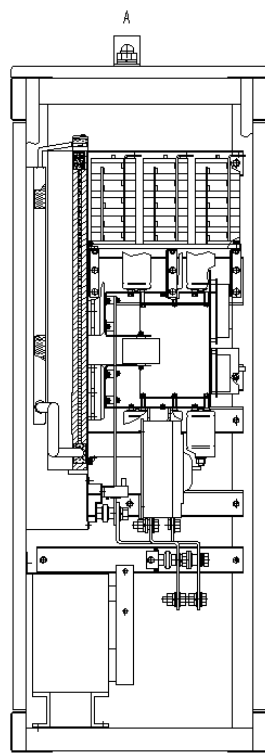


Рис.15

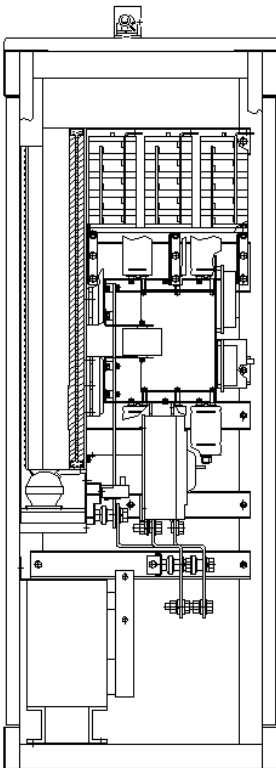


Рис.16

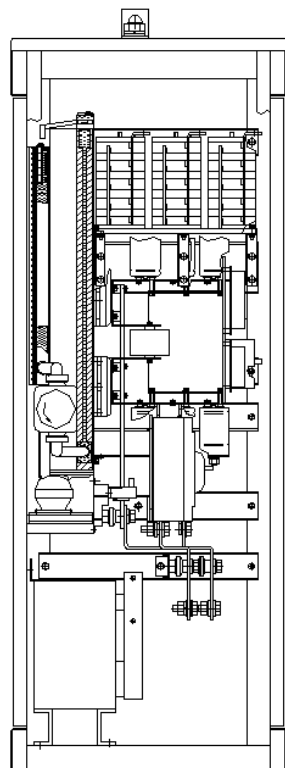


Рис.17

По эффективности нагрева и охлаждения, массогабаритным показателям и степени защиты IP предлагаемые ПЧ превосходят Российские аналоги. (И не только Российские).

Современное состояние исследований по данной проблеме, в мировой науке и практике

В каталогах ведущих фирм по охлаждающим устройствам практически отсутствуют охладители с жидкостным охлаждением (Германские, Австрийские, Китайские).

На международной выставке «СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА», проходившей в 2006 г. в г. Москве ведущий европейский производитель элементов систем охлаждения, Австрийская фирма «AUSTERLITZ ELECTRONIC» объявила «об одном из перспективных направлений, представленное компанией - системы и комплектующие жидкостного охлаждения.

Однако, наибольшая ширина предлагаемых компанией «AUSTERLITZ ELECTRONIC» жидкостных охладителей типа WK 200.22 составляет 200 мм, при использовании их в преобразователях большой мощности, обеспечение минимального значения распределенных индуктивностей силовых линий связи становится весьма затруднительным, потребуется стыковка нескольких охладителей, усложняются подвод и отвод теплоносителя, размещение электролитических и снабберных конденсаторов, драйверов и др. технические сложности.

Предлагаемые для освоения охладители, по сравнению с охладителями освоенными компанией «AUSTERLITZ ELECTRONIC», более эффективны в охлаждении, так как имеют намного большую поверхность охлаждения, более универсальны и легче адаптируются с современной идеологией построения преобразователей. Кроме того, изготовление охладителей экструзивным способом, с последующей запрессовкой ребер в основание, освоен всеми ведущими иностранными фирмами по производству охладителей и не требуют больших капитальных вложений и разработки нового оборудования для их производства.

Одна из ведущих мировых фирм по производству электротехнического оборудования, фирма «RITTAL» Федеративной Республике Германия предлагает обогреватели и холодильные установки.

Обогреватели представляют собой нагревательный элемент с размещенными на его поверхности алюминиевыми ребрами, с тепловой мощностью от 10 Вт до 1000 Вт.

Холодильные агрегаты, настенного и потолочного исполнения с полезной мощностью охлаждения от 225 Вт до 4000 Вт, устанавливаемых внутри шкафа.

Однако, все предлагаемые обогреватели и холодильные агрегаты фирмы «RITTAL» автономны, занимают значительный объем пространства шкафа, обладают локальным действием и уступают по эффективности нагрева и охлаждения предлагаемым устройствам для нагрева и охлаждения статических преобразователей.

Проблема, на решение которой направлено предложение

Освоение производства высокоэффективных конкурентно- способных охладителей в России и создание на их базе современной преобразовательной техники, с системами охлаждения которые могут быть выполнены со степенями защиты IP20, IP21, IP54, IP64, работающими в жестком температурном режиме от -60 ?С до + 40 ?С.

Литература

1. Каталог охладителей ФРГ фирмы «Fischer Electronic» 2007 г.
2. Каталог охладителей Австрийской фирмы «Austerlitz Electronic» 2007 г.
3. Каталог 32 фирмы «RITTAL».
4. Патент РФ на изобретение № 2206938 «Охладитель».
5. Патент РФ на изобретение № 2348087 «Охладитель».

6. Патент РФ на изобретение № 2280294 «Силовой блок».
7. Патент РФ на изобретение № 2345511 «Устройство для нагрева и охлаждения статического преобразователя».