

Транзисторный преобразователь частоты «Петра-0141»

мощностью 250–800 кВт индукционных плавильных установок типа ИСТ для теплообменной станции «Петра-0395»

В статье представлена новая разработка «Петра-0141» транзисторного преобразователя мощностью 250–800 кВт для электропитания установок индукционного нагрева плавильного оборудования токами средней частоты. Описан проект теплообменной станции индукционного оборудования «Петра-0395». Приведены примеры промышленного оборудования индукционных установок в составе преобразователей частоты. Разработанная индукционная плавильная печь типа ИСТ применяется в литейном производстве для открытой плавки черных и цветных металлов.

Юрий Зинин, к. т. н.

umz42@mail.ru

Дарья Мамаева

darya.mamaeva.95@mail.ru

Юрий Ройзман

info@nkvp-petra.ru

Владимир Куземский

info@sodnal.org

Введение

В современных условиях актуально внедрение инновационных электротехнических комплексов, использование которых приводит к повышению качества готовой продукции, снижению энергоемкости, уменьшению металлоемкости, увеличению производительности труда, сокращению вредного влияния на окружающую среду.

Преобразователи частоты (ПЧ) отечественного производства типа «Петра», предназначенные для установок индукционного нагрева (ТУ 3416-001-03716963-97), действуют в течение 25 лет на промышленных предприятиях страны. Преобразователи средней частоты 1–10 кГц и повышенной 20–60 кГц частоты (ТВЧ) выполнены на мощных высокочастотных или лавинных тиристорах, с водяным охлаждением индивидуальных радиаторов [1–4].

Преобразователь «Петра-0141» создан НКВП «ПЕТРА» (г. Уфа) совместно с предприятием «Содружество» (г. Челябинск) для оборудования нагрева, в частности плавильных установок индукционных печей, в настоящее время выполняется проектирование индукционного оборудования и ввод в эксплуатацию электротермического оборудования. Индукционная плавка в печах ТВЧ для ИСТ используется на промышленных заводах.

С 1992 года НПО «Параллель», НКВП «ПЕТРА» и предприятие «Содружество» совместно разрабаты-

вают различные статические преобразователи частоты теплообменных станций для плавильных печей и конденсаторных печных батарей. Все предприятия имеют соответствующие лицензии и сертификацию для проведения проектирования и изготовления установок индукционного оборудования.

Под руководством научных сотрудников С. М. Кацнельсона и С. В. Шапиро, основателей уфимской школы индукционного нагрева, был сделан ряд разработок силовых элементов и внесен большой вклад в преобразовательную технику, в частности в такой области, как индукционный нагрев токами повышенной частоты, что актуально во многих отраслях машиностроения и науки и в значительной степени способствует созданию и совершенствованию инверторно-индукционных электротехнических комплексов [5–8].

НКВП «Петра» постоянно распространяет техническую информацию в Интернете о новых разработках и совершенствовании преобразователей частоты.

Научные и технические специалисты предприятия совершенствуют классификацию Российского индекса научного цитирования — базу данных отечественных научных публикаций [9–12].

На рис. 1 показана плавильная установка с преобразователем частоты «Петра-0141» в составе индукционной печи для индукционной плавки.

Плавильная установка содержит следующее оборудование: транзисторный статический преобразо-

ватель частоты большой мощности; двухконтурную станцию охлаждения; пульт управления; батарею компенсирующих печных конденсаторов; индукционную плавильную среднечастотную печь с гидроприводом наклона [13–16].

Преобразователи частоты «Петра-0141»

Транзисторные преобразователи частоты предназначены для питания индукционных электротермических плавильных установок. Наибольшее распространение получили ПЧ в составе индукционных открытых плавильных печей большой мощности. Они заменяют применявшиеся ранее тиристорные преобразователи частоты, устаревшего типа ТПЧ, и машинные преобразователи частоты серии ПЧ.

Транзисторный преобразователь частоты, пришедший на смену тиристорному, отличается более высоким КПД, надежностью, малым весом и габаритами.

Преобразователь частоты «Петра-0141» УХЛ4 соответствует климатическому исполнению и требуемым условиям размещения по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89. Степень защиты шкафа преобразователя согласно ГОСТ 14254-96, исключая контакты для подключения индуктора, отвечает классу IP 54.

Товарные знаки «Петра» зарегистрированы в Государственном реестре и защищены свидетельствами Роспатента. В настоящее время промышленная эксплуатация мощных преобразователей частоты с силовыми IGBT-модулями свидетельствует о целесообразности принятых проектных решений и проводится разработка силовых преобразователей для установок индукционного нагрева металлов с управлением современной техникой.

Водяное охлаждение с полупроводниковыми силовыми приборами недостаточно эффективно в эксплуатации, когда автономные инверторы ПЧ и коммутирующие электромагнитные узлы — дроссели ПЧ, коммутирующие индуктивности и другие устройства охлаждаются от технической проточной воды.

В индукционном оборудовании, в первую очередь в полупроводниковых силовых приборах (тиристорах, диодах и транзисторах), применяют эффективные двухконтурные теплообменные станции (ТС) «Петра». Во внутреннем контуре ТС циркулирует дистиллированная вода в мощном преобразователе частоты, образованном теплообменным постом, насосом и охладителем.

Схема последовательного мостового инвертора преобразователя частоты этой серии отличается повышенным КПД и устойчивой работой в широком диапазоне изменения нагрузки. Питание ПЧ производится от сети обычно напряжением силовой трехфазной сети 3×570 В, 50 Гц. Неуправляемый выпрямитель обеспечивает эффективное функционирование питающей сети и уменьшение электромагнитных помех от регулируемых выпрямителей. Регулирование мощности в нагрузке производится изменением частоты выходного тока преобразователя.



Рис. 1. Установка плавильная с преобразователем частоты «Петра-0141» в составе индукционной печи

Особенностью подключения преобразователей «Петра» является увеличение мощности индукционной установки параллельным подключением преобразователей частоты.

При аварийных перенапряжениях быстродействующий бесконтактный выключатель предохраняет ПЧ, предупреждая замыкание индуктора, срыв инвертирования, отсутствие давления охлаждающей воды и т. д. Транзисторные ПЧ используются на основе мощных современных IGBT-модулей. Для бесконтактной, быстродействующей защиты ПЧ предусмотрен конденсаторный выключатель напряжения постоянного тока.

На рис. 2 показан общий вид преобразователя частоты «Петра-0141».

Конструкция шкафа обеспечивает степень защиты IP 54. Все подключения преобразователя выполняются снаружи шкафов. Промышленные разъемы для подсоединения



Рис. 2. Внешний вид шкафа преобразователя частоты «Петра-0141»

пульты дистанционного управления и внешних сигналов размещены на боковой стенке преобразователя частоты. Применение разъемов обеспечивает хорошую фиксацию, контакты надежны в агрессивных условиях производства.

Силовой автоматический выключатель установлен отдельно на боковой стенке преобразователя.

Технические параметры «Петра-0141»:

- КПД преобразователя частоты: не менее 93%;
- глубина регулирования мощности ПЧ при добротности нагрузки: 5–100%;
- коэффициент искажения по сети питания: 0,95;
- частота бесконтактного отключения мощности ПЧ: до 30 раз/мин.

На рис. 3 показана конструкция преобразователя «Петра-0141».



Рис. 3. Конструкция преобразователя «Петра-0141»



Рис. 4. Бокс для контактного выключателя «Петра-0141»



Рис. 5. Лицевая панель преобразователя частоты «Петра-0141»



Рис. 6. Система управления ПЧ типа «Петра-0141»

При перемещении специальная рама обеспечивает прочность сварного шкафа, конструкция поддерживает низкий уровень электромагнитных помех. При длительных перерывах в работе входная цепь трехфазной сети в силовом контакторе преобразователя «Петра» отключает цепь от промышленной сети в соответствии с ТБ (видимый разрыв).

Транзисторный преобразователь имеет быстродействующую защиту от неисправности в ПЧ или инверторе при обрыве в индукторе.

Система защиты транзисторного преобразователя предусматривает эффективное ограничение перенапряжений. Обеспечивает бесконтактное отключение при аварии ПЧ.

Система управления позволяет регулировать и стабилизировать выходную мощность ПЧ в диапазоне 5–100% при различной допустимости нагрузки.

Связь ПЧ с внешним оборудованием реализована по шине стандарта RS-485.

Технологическое и аварийное отключение преобразователя частоты контролирует состояние нагрузки, поддерживая работу инвертора в области безопасных режимов.

Система защиты ПЧ обеспечивает активное ограничение перенапряжений, бесконтактное отключение и прямой контроль температуры кристалла полупроводников от управления ТП и ТС.

На рис. 4 представлен бокс силового автоматического выключателя для ПЧ.

Контактный выключатель установлен в отдельном, закрытом на ключ боксе, на боковой стенке ПЧ. Повторное включение осуществляется только допущенным персоналом, без доступа внутрь ПЧ.

На рис. 5 изображен вид лицевых панелей управления и индикации транзисторного преобразователя.

ПЧ «Петра-0141» предлагается в двух вариантах исполнения:

- со светодиодной индикацией режимов со стрелочными индикаторами тока и напряжения;
- с цифровым интерфейсом с выводом информации на ЖК-дисплей.

Индикация режимов работы позволяет оперативным образом получать информацию о работе преобразователя, состоянии системы блокировок и защит.

Для максимальной помехозащищенности все платы имеют полную оптическую развязку по входным и выходным сигналам, а также гальваническую развязку по питанию.

Система управления, защиты и диагностики, помимо автоматического поддержания параметров техпроцесса, обеспечивает защиту от аварийных режимов и контролирует режим работы плавильной установки на буквенно-цифровом дисплее.

На рис. 6 показан блок управления ПЧ преобразователя частоты.

Блок управления обеспечивает доступ к платам при измерениях режимов. На лицевой панели преобразователя частоты вынесены кнопки «пуск», «стоп» и ручка управления мощностью.

Система управления выполнена в конструктиве COMBICON housing от Phoenix Contact, обеспечивает удобный доступ к платам при обслуживании.

Система управления ПЧ поддерживает выбранный оператором режим плавки:

- автоподстройка при изменении электрических параметров печи в процессе плавки;
- возможность плавки черных и цветных металлов без перенастройки оборудования;
- экономия электроэнергии благодаря быстрому выходу на рабочий режим;
- сокращение затрат на расходные материалы и протости;
- точное поддержание температуры;
- плавка ферромагнитных сплавов при наличии автоматического поддержания оптимальных режимов плавки.

На чертеже рис. 7 можно видеть внешние подключения преобразователя частоты «Петра-0141».

Ниже показаны: ВЧ-выход преобразователя; втулка заземления; ввод питания шкафа преобразователя; разъемы для подключения пульта управления и внешних датчиков.

Водоохлаждение (слив и напор) соответствует G1.0 преобразователя частоты «Петра-0141».

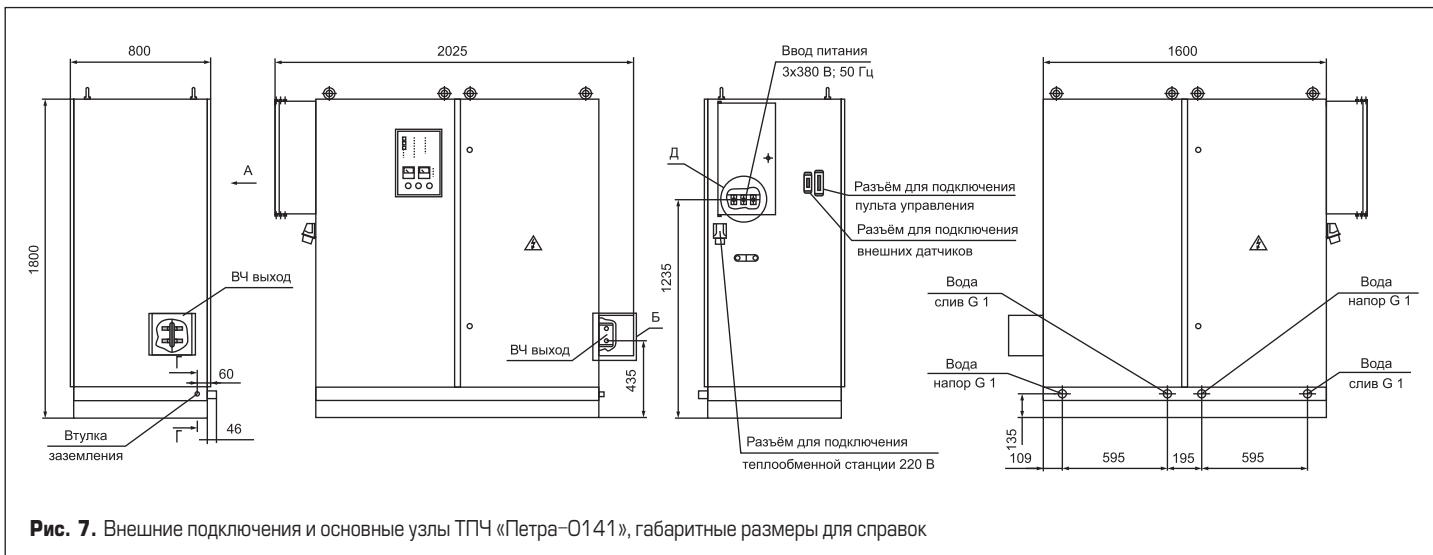


Рис. 7. Внешние подключения и основные узлы ТПЧ «Петра-0141», габаритные размеры для справок

Таблица 1. Основные технические характеристики преобразователя «Петра-0141»

$P_{\text{вых}}$, кВт	$F_{\text{нагр}}$, кГц	$U_{\text{пит}}$, В	$U_{\text{нагр}}$, В	Масса, кг	Расход воды, м ³ /ч
250	1	3×380	400, 800, 1600	500–520	2–2,5
320	1, 22	3×380	400, 800, 1600	580–550	3
500	1; 2,4; 4; 8; 10	3×380	400, 800, 1600	620–600	3,4
800	1; 2,4; 4; 8; 10	3×570	800, 1600	620	3,4

Примечания.
 Характеристики ПЧ могут отличаться от табличных.
 Обеспечиваются параметры КПД 0,94–0,96.
 Регулирование мощности диапазона ПЧ: 5–100%.

Станция теплообменная «Петра-0395»

Теплообменные станции (ТС) «Петра-0395» предназначены для водяного охлаждения установок индукционного нагрева преобразователей частоты, оборудования индукционных узлов. Такие станции защищают устройства и приборы от возможного загрязнения воды, образования накипи, коррозии под воздействием гальванических процессов и других негативных факторов.

Основным фактором, влияющим на срок эксплуатации индукционного оборудования ТВЧ, является эффективность охлаждающей воды. Если в воде содержатся соли, на внутренних стенках системы охлаждения ПЧ образуется накипь, которая уменьшает проток и ухудшает теплообмен между водой и охлаждаемым узлом. Электропроводность воды обуславливает протекание гальванических процессов, приводящих к электролизу.

Основным техническим параметром станций охлаждения отводимых тепловых потерь, при удельной теплоемкости воды с температурой +25 °С, можно считать 10 кВт при расходе воды 1 м³/ч при нагреве на 10 °С.

Во избежание появления росы температура охлаждающей воды находится в диапазоне +5...+25 °С и не должна быть ниже температуры охлаждающего воздуха в помещении.

Тепловой баланс системы, определяемый в системе охлаждения, рассчитывается из тепловой нагрузки рабочего и охлаждающего теплообменника. Гидравлическая схема двухконтурной станции оборотного водяного охлаждения подробнее показана в [16, 17].

На рис. 8 показана теплообменная станция, общий вид.

Двухконтурная станция типа «вода-вода» с ионообменным фильтром предназначена для охлаждения тиристорного преобразователя частоты и блока конденсаторов дистилли-

рованной водой, циркулирующей во втором контуре теплообменной системы «вода-вода». По первому контуру протекает проточная вода из обратной системы водоохлаждения цеха.

Система представляет собой теплообменник, выполненный из нержавеющей стали с системой нержавеющей трубопроводов, и состоит из ионообменного фильтра, полиэтиленового бака и датчиков температуры. Блок автоматики обеспечивает проток охлаждающей жидкости в обоих контурах. Высокое качество воды во внутреннем контуре ПЧ поддерживает надежную и долговременную работу оборудования комплекса.

На рис. 9 представлен двигатель насоса для теплообменника станции охлаждения.

Станция охлаждения имеет однофазный двигатель $U_{\text{пит}}$ 220 В с автономным питанием, система водооборотного водоснабжения оснащена насосом. Каналы протока воды в нем выполнены коррозионно-стойкими.

Характеристики теплообменника:

- давление дистиллированной воды: 0,2 МПа;
- диаметр условного проходного отверстия присоединенных патрубков: 1 дюйм;
- при расходе технической воды, не менее: 3,74 м³/ч;
- температура технической воды на входе, не более: +25 °С;
- максимальная температура дистиллированной воды на входе, не более: +45 °С.

На рис. 10 показан пластинчатый теплообменник типа «Петра-0395».

С помощью теплообменной станции производится двухконтурное охлаждение индукционного оборудования. Во внутреннем контуре, сформированном преобразователем частоты, нагревательным постом, насосом и теплообменным аппаратом, циркулирует дистиллированная вода объемом 30 л. Через теплообменник ТС передает тепло, нагревает воду во внешнем контуре — контуре техни-



Рис. 8. Теплообменная станция «Петра-0395», общий вид

ческой воды. Система водяного охлаждения индукционной установки изолирована от воздействия описанных выше вредных факторов технической воды.

Внутренний бак заполняется дистиллированной водой с удельным электрическим сопротивлением не менее 200 кОм см. Дистиллированная вода нормируется по ГОСТ 6709-72 «Вода дистиллированная». Для деонизированной воды применяется удельная электропроводность, которая составляет менее 5 мкСм/см.

На рис. 11 изображен встроенный пульт управления и индикации «Петра-0395».

Контроль обеспечивает цифровая индикация температуры дистиллированной и технической воды.

При выходе любого из этих параметров за установленные пределы система управления теплообменной станции отключает индукционное нагревательное оборудование. Канал, по которому произошло отключение оборудования, запоминается и отображается на лицевой панели блока управления.



Рис. 9. Двигатель-насос однофазный для «Петра-0395»



Рис. 10. Пластинчатый теплообменник типа «Петра-0395»



Рис. 11. Пульт управления и индикация теплообменника «Петра-0395»

На рис. 12 показана теплообменная станция «Петра-0395». Размеры для справок.

Разработка индукционной плавильной печи типа ИСТ

Индукционная плавильная печь ИСТ «Содружество» применяется в литейном производстве для открытой плавки черных и цветных металлов. Печи ИСТ обеспечивают небольшой угар металла, равномерный состав по высоте и температуру расплава во всем объеме тигля, ведение плавки в любом заданном температурном режиме, высокую производительность. Система управления с преобразователем частоты «Петра» автоматически поддерживает выбранный режим плавки.

В индукционных печах происходит перемешивание расплава металла электродинамическими силами, вызванными взаимодействием токов индуктора и садки печи.

При индукционной плавке расплав имеет равномерный состав и температуру расплава. Слив металла производится подъемом и переворотом печи относительно точки слива. Подъем печи выполняется гидравлической системой или тельфером.

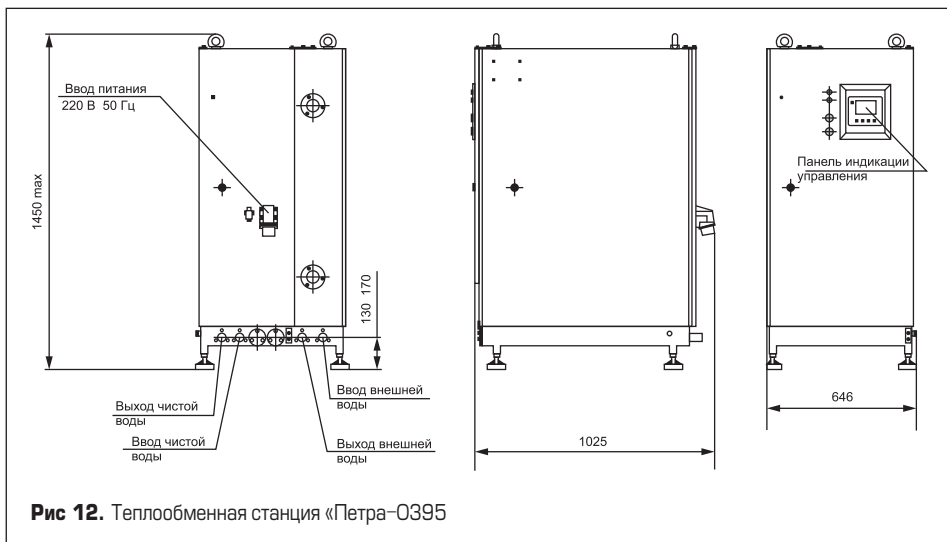


Рис 12. Теплообменная станция «Петра-0395»

На рис. 13 дан вид индукционной печи типа ИСТ «Содружество».

Каркас плавильных узлов изготовлен из алюминиевого сплава, разомкнут сзором, чтобы не наводились вихревые токи индуктора. Масса расплава в печи составляет 60 кг — 1 т.

Подина и верхняя плита выполнены из жаропрочного бетона, что существенно увеличивает стойкость футеровки и тиглей.

На рис. 14 представлен общий вид плавильных печей типа ИСТ, разработанных ООО «Содружество».

Выполнены печи индукционные тигельные средней частоты со статическим преобразователем ПЧ для плавки ферритовой стали.

Настоящий стандарт распространяется на вновь сооружаемые и реконструируемые опрокидывающиеся индукционные печи со статическим преобразователем.

Индуктор с тиглем помещается в каркас, который во избежание образования концентрических витков вокруг индуктора делится на отдельные части с зазором, изолированные друг от друга.

Преимущества индукционной плавки установки «Содружество»:

- плавка черных и цветных металлов без перенастройки оборудования;
- быстродействующая бесконтактная защита преобразователя «Петра»;
- контроль состояния футеровки печей;
- небольшие потери в шинопроводах;
- пульт управления с кабелем управления.

Силовые шинопроводы ТВЧ (рис. 15), расположенные в приемке, изготавливаются,

Таблица 2. Основные технические характеристики теплообменной станции «Петра-0395»

Площадь поверхности теплообмена, м ²	Отводимые тепловые потери, кВт	Масса, не более, кг
1,92	40	220
2,56	60	230
3,04	80	240
5,85	160	310
7,35	175	335

Примечания.
 Параметры выпускаемого оборудования могут отличаться от табличных.
 При расходе технической воды не менее 3,74 м³/ч.
 Давление дистиллированной воды на выходе 0,2 МПа.

Таблица 3. Показатели энергопотребления плавильных печей типа ИСТ

Масса тигля, т	Мощность преобразователя, кВт	Частота, кГц	Скорость расплавления, т/ч	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	Расход воды, м ³ /ч
0,06	100	2,4	0,1	1100	3,9
0,16	160	2,4	0,18	885	5,1
0,25	320	1	0,32	780	7,8
0,4	320	1	0,5	690	10
1	500	1	0,84	620	11



Рис. 13. Конструкция индукционной печи «Содружество»



Рис. 14. Общий вид печей типа ИСТ

как правило, между конденсаторной батареей и плавильным узлом из медных шин размером 100×10 мм. Конденсаторная батарея предназначена для компенсации реактивной мощности, которую создает индуктор.

Подвод электроэнергии к печи реализован медными шинами, обеспечивающими малые потери при передаче электроэнергии к индуктору печи.

ПЧ с параллельным колебательным контуром имеет две цепи переменного тока: цепь инвертора с относительно малыми токами и цепь нагрузки, в которой ток колебательной цепи превышает ток инвертора в 5–10 раз.

Для применяемых кабелей и шинопроводов следует учитывать поверхностный эффект и эффект близости на средних частотах.

Шины прямоугольного сечения должны располагаться как можно ближе широкими поверхностями друг к другу. Ограничение минимального расстояния между ними следует из условия обеспечения электрической прочности изоляции с учетом возможности пробоя по поверхности изоляции.

Дальнейшее увеличение толщины шины более неэффективно, поскольку не снижает ее сопротивления переменному току повышенной частоты. Шины располагают на ребро, в этом случае создаются благоприятные условия для распределения тока и лучшего охлаждения шин. Условия теплоотдачи улучшаются с увеличением расстояния между шинами в пределах 0,25–1 ширины. Необходимо учитывать электрический пробой 15–20 мм для шинопроводов до величины напряжения 1000 В. С ростом расстояния между шинами почти пропорционально увеличивается реактивное сопротивление шинопровода.

На рис. 16 показаны водоохлаждаемые силовые кабели ТВЧ, которые используются там, где подключается индуктор. Коаксиальные высокочастотные кабели являются эффективным устройством передачи энергии от ПЧ к индуктору на расстояние до 10 м.

Разработан специальный водоохлаждаемый кабель в гибкой металлической оболочке, позволяющий передавать электрическую энергию повышенной частоты на расстояние до 20 м.



Рис. 15. Силовые шинопроводы ТВЧ



Рис. 16. Водоохлаждаемые силовые кабели

В конденсаторную батарею (рис. 17) для индукционной печи с помощью медных шин объединены конденсаторы для получения необходимой емкости и напряжения. Эти параметры установки индукционной печи определяют габаритные размеры, материалоемкость и стоимость оборудования.

Индукторы (катушки индуктивности) и электротермические конденсаторы, как и другие элементы электрических схем силовой электроники, характеризуются специфическими параметрами. Для индуктивных катушек — это глубина проникновения тока в проводник на высокой частоте, для конденсаторов — величина установленной реактивной мощности.

Токи в несколько тысяч ампер, протекающие в нагрузочном колебательном контуре БК, определяют требования к конструкции компенсирующей конденсаторной батареи:

- устанавливается на изоляторах с учетом эффекта близости сборных шин;
- необходимую емкость конденсаторной батареи следует производить гибкими медными шинками или отрезками неизолированного гибкого провода достаточного сечения, во избежание повреждения изоляторов печных конденсаторов при температурных напряжениях токоведущих проводников;
- выходные шины предпочтительно подключать к корпусам компенсирующих конденсаторов;

- необходимую емкость конденсаторов целесообразно набирать из нескольких конденсаторов, при этом снижается токовая нагрузка на отдельные секции батареи;
- для емкостной трансформации нагрузочного колебательного контура можно уменьшить конденсаторную батарею.

БК предназначены для компенсации реактивной мощности печи и создания совместно с индуктивностью печи среднечастотного резонансного контура. Конденсаторная батарея выполнена в одном блочном конструктиве со токоподводом и водоохлаждением. При необходимости контроль оборудования реализуется на «землю».

В блок компенсирующих конденсаторов входят:

- печные среднечастотные конденсаторы;
- система охлаждаемых шинопроводов и контактных присоединений;
- гибкие компенсаторы — токоподводы;
- сборный коллектор водоохлаждения с датчиками протока и температуры охлаждающей жидкости.

Индукторы для плавильных печей типа ИСТ (рис. 18) выполнены в виде многovitковой спирали (число витков определяется волновым сопротивлением и собственной частотой колебательной цепи инвертора). Витки индуктора укрепляются к изолирующим стойкам. Медная трубка индуктора предварительно профилируется под квадратное или прямоугольное сечение. Это необходимо для обеспечения жесткости конструкции, а также для лучшего использования меди при прохождении тока средней частоты.

Выводы для подключения индуктора к ТПЧ выполнены таким образом, что по ним мо-



Рис. 17. Конденсаторная батарея для индукционной печи



Рис. 18. Индукторы для плавильных печей типа ИСТ

жет подаваться вода на охлаждение индуктора печи. В некоторых случаях электрическая энергия и вода к индуктору подводятся с помощью специальных гибких водоохлаждаемых кабелей.

Многовитковые индукторы (8–20 витков) допускают прямое подключение к ТПЧ, индукторы с меньшим числом витков должны подсоединяться к ТПЧ через согласующий, или понижающий, трансформатор (одна из возможных конструкций).

Следует отметить, что оптимальное согласование источника питания и эквивалентной нагрузки (компенсирующая батарея, индуктор и тигель с загрузкой) корректируется установкой определенного соотношения параметров колебательного контура и параметров КБ плавильной печи с компенсирующей батареей конденсаторов.

Каждая ВЧ-установка согласуется с индивидуальным индуктором, определяющим мощность индукционной нагревательной установки. Использование разных индукторов для одного источника питания подразумевает перенастройку параметров колебательного контура генератора для согласования с нагрузкой. В противном случае неизбежны потери мощности и КПД, если он вообще способен работать на «новую» нагрузку [18].

Набивная печь и футеровка тиглей производится на месте плавильных комплексов.

На рис. 19 показана плавильная установка индукционных печей с преобразователем частоты «Петра», габаритные и установочные размеры даны для справок.

Помимо преобразователя, в индукционной плавильной установке для нагрева ТВЧ необходимы индукционные печи ТВЧ и блок конденсаторной компенсации. В индукционной установке применяются различные коммутационные устройства, дистанционный пульт управления нагревом, станция охлаждения, различные приводы, измерители и регуляторы температуры, а также токопроводы, кабели и электрические жгуты, электрически связывающие элементы индукционного комплекса. Эти узлы подключаются при монтаже ППЧ на месте эксплуатации, в виде дополнительных компонентов индукционной установки.

Индукционные тигельные печи средней частоты со статическим преобразователем обеспечивают плавку ферритовой стали. Стандарт показателей энергопотребления распространяется на сооружаемые и реконструируемые индукционные тигельные печи средней частоты со статическим преобразователем [19].

Для применения, производства и разработки индукционных плавильных комплек-

сов необходимо специальное разрешение. Рекомендуемое размещение комплектующего оборудования индукционных печей для разработки проектно-конструкторской документации представлено в [3].

Авторы благодарят предприятие «Содружество» за предоставленные материалы.

Литература

1. www.power-e.ru
2. www.nkvp-petra.ru/about/general-info/
3. ООО «Содружество». Установки индукционного нагрева. www.sodnal.org
4. НПО «Параллель». www.prl.ru
5. Многоячейковый последовательный инвертор. АС № 306535 (СССР). Зинин Ю. М., Кацнельсон С. М. БИ. 1971. № 19.
6. Автономный инвертор. АС № 525214 (СССР). Кацнельсон С. М., Зинин Ю. М., Иванов А. В., Уржумсков А. М., Ройзман П. С. БИ. 1976. № 30.
7. Canadian Patent № 1,105,994. Shapiro S. V. and St. Series type independent inverter. Granted to Ufimsky Aviatsonny Institut im. Ordzhonikidze, USSR. 1981.
8. Шапиро С. В., Зинин Ю. М., Иванов А. В. Системы управления с тиристорными преобразователями частоты для электротехнологии. М.: Энергоатомиздат, 1989.
9. Зинин Ю. М., Ройзман Ю. П. Тиристорный преобразователь для индукционного нагрева металлов. НТД № 95-4. Академия наук Республики Башкортостан, 1995.
10. IJVC to market Russian induction technology in the western world. International joint venture consultants, Inc., 1992.
11. Зинин Ю. Моделирование тиристорных преобразователей частоты для электротермии. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
12. Силкин Е. Элементы классификации автономных инверторов и свойства согласованного инвертора с резонансной коммутацией. Часть 4 // Силовая электроника. 2018. № 1.
13. Мостовой инвертор. Патент № 2215361 (РФ). Зинин Ю. М., Ветошкин А. В., Ройзман П. С. БИ. 2003. № 30.
14. Зинин Ю. М., Ройзман Ю. П. Современные тиристорные преобразователи повышенной частоты «Петра». Аэрокосмическая техника и высокие технологии. Всероссийская научно-техническая конференция. Пермь, ПГТУ, 2002.
15. Зинин Ю., Ройзман Ю., Мамаева Д. Разработка транзисторного преобразователя частоты «Петра-0132» для вакуумных установок индукционного нагрева // Силовая электроника. 2018. № 1.
16. Зинин Ю., Мультенко М. Проектирование станций охлаждения для установок индукционного нагрева металлов // Силовая электроника. 2015. № 2.
17. Шевченко В. Г., Щербак Н. И. К вопросу о проектировании станции обратного охлаждения. В помощь разработчику // Индукционный нагрев. 2008. №3.
18. www.induktor.ru
19. ГОСТ 28721-90.

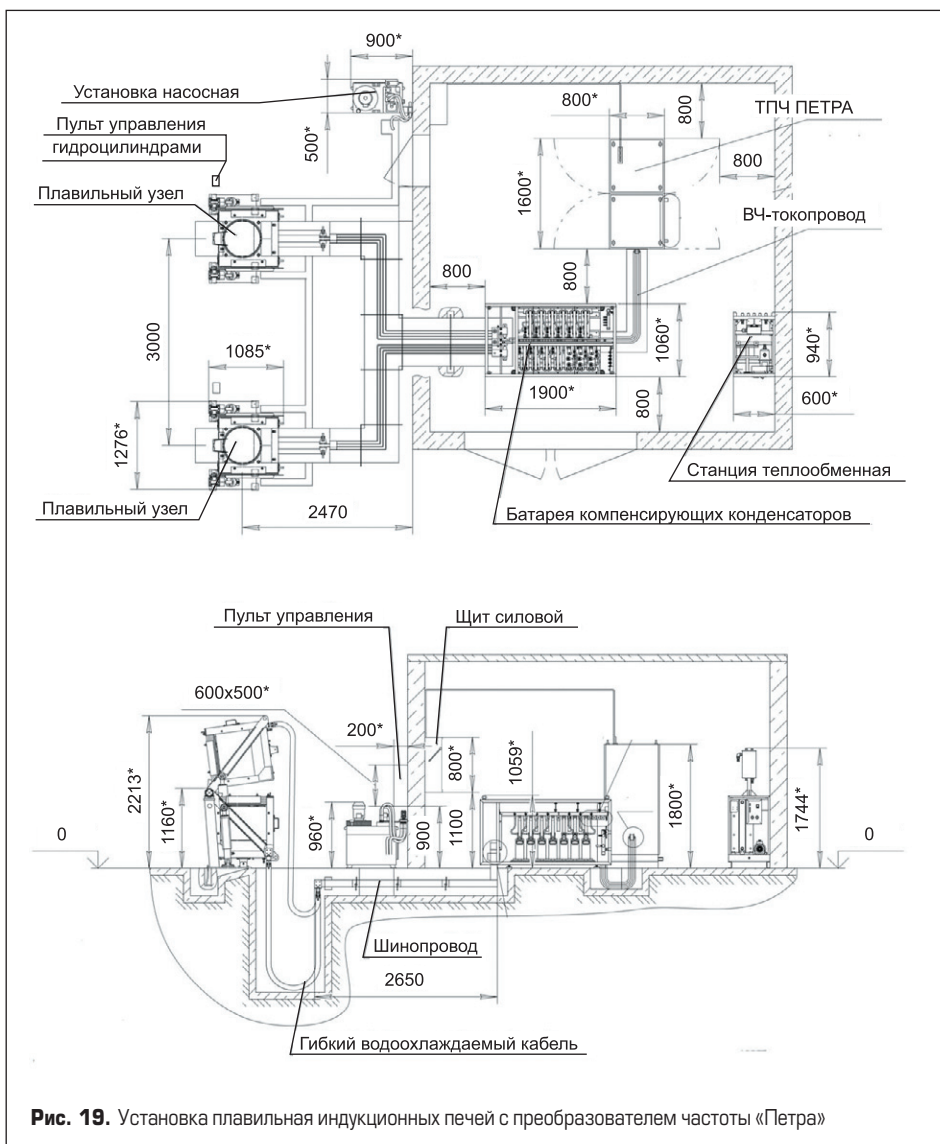


Рис. 19. Установка плавильная индукционных печей с преобразователем частоты «Петра»