

Преобразователь частоты типа «Петра-0133»

для индукционного нагрева со встроенной теплообменной станцией

В статье представлен транзисторный преобразователь частоты «Петра-0133» бесконтактного нагрева металлов ТВЧ (тока высокой частоты) для индукционного нагрева со встроенной теплообменной станцией, его устройство и основные технические характеристики. Также рассмотрены система управления транзисторным преобразователем «Петра» и особенности подключения индуктора к выходу преобразователя частоты.

Юрий Зинин, к. т. н.

umz42@mail.ru

Юрий Ройзман
Станислав Кашлаков
Дарья Мамаева

Введение

Развитие элементной базы, связанные с этим новые решения в области силовой схемотехники и появление цифровых систем управления обуславливают моральное устаревание тиристорных преобразователей частоты, имеющих аналоговые системы управления.

Специалисты Уфимской школы силовой электроники разрабатывают преобразователи повышенной частоты для современной технологии индукционного нагрева. Ранее мы уже рассказывали о таких новых устройствах силовой электроники — компактных и эффективных установках индукционного нагрева типа «Петра» [1–4].

В статье рассмотрены новые силовые устройства ООО НКВП «Петра» — современные тиристорные и транзисторные преобразователи частоты и приведены их технические характеристики.

Транзисторные преобразователи частоты «Петра-0133» предназначены для питания индукторов индукционных электротермических установок. Они заменяют применявшиеся ранее преобразователи частоты типа ТПЧ-160, ТПЧ-320 и машинные преобразователи частоты типа ВПЧ. В составе индукционных установок «Петра-0501» заменяют ламповые генераторы ВЧИ, ВЧГ [5, 6].

Малогабаритные установки индукционного нагрева ТВЧ «Петра» используются во многих отраслях промышленности для выполнения эффективных технологических процессов электротермической обработки изделий — там, где требуется быстрый бесконтактный нагрев металлов.

Преобразователь частоты — это наиболее ответственная и технически сложная часть индукционной установки. От его добротности и эффективности зависит надежность всей электротермической установки.

Преобразователь частоты «Петра-0133» со встроенной теплообменной станцией

Транзисторные преобразователи частоты «Петра-0133» предназначены для питания индукторов индукционных электротермических установок.

Преобразователи «Петра-0133» имеют свою особенность — встроенную в шкаф преобразователя теплообменную станцию. При этом габариты шкафа остаются такими же, как у преобразователя «Петра-0132».

Преобразователи «Петра-0133» рассчитаны на мощности 60 и 100 кВт в частотном диапазоне 10–44 кГц.

Наиболее распространенное применение данных решений — в составе индукционных закалочных установок и различных установок индукционного нагрева и для ТВЧ-пайки инструмента. В составе индукционных установок «Петра-0501» они заменяют применявшиеся ранее ламповые генераторы.

Электроэнергия от сети преобразователями частоты сейчас потребляется более эффективно, исключены пусковые токи, перегружающие питающую сеть.

Технические характеристики преобразователя частоты «Петра-0133»:

- напряжение сети: 380 В × 50 Гц (60 Гц);
- напряжение на выходе преобразователя, $U_{\text{вых}}$: 400, 800, 1600 В;
- выпрямитель коэффициента мощности потребления: 0,95;
- диапазон регулирования мощности преобразователя $P_{\text{вых}}$: 5–100%;
- частота бесконтактного отключения мощности: до 30 раз/мин;
- КПД преобразователя частоты: 0,93–0,94.

На рис. 1 показан шкаф с преобразователем частоты, вид спереди и изнутри.



Рис. 1. Общий вид преобразователя частоты



Рис. 2. Варианты для бокса преобразователя Петра-0133

Подключение силовых сетевых кабелей, а также выключателя после его срабатывания выполняется персоналом преобразователя «Петра-0133». Конструкция шкафа преобразователя частоты обеспечивает степень защиты IP54. Все подключения преобразователя осуществляются снаружи шкафа.

Преобразователь частоты «Петра-0133» реализован с системой защиты и блокировок.

Особенности преобразователя частоты типа «Петра»:

- входная цепь — встроенный силовой контактор для отключения нагрузки от сети;
- выпрямитель — коэффициент мощности потребления не менее 0,95;
- эффективная работа в широком диапазоне нагрузок;
- инвертор обеспечивает сохранение работоспособности при замыкании или обрыве в индукторе;
- значительный диапазон нагрузок, полная мощность в индукторе по сравнению с аналогами;
- работа на индуктор с параллельной компенсацией;
- система защиты — активное ограничение перенапряжений, быстрое бесконтактное отключение, прямой контроль температуры кристалла полупроводников.

На рис. 2 представлен пылезащищенный бокс преобразователя частоты силового автоматического выключателя и разъемы для управления.

Конструкция бокса преобразователя частоты содержит:

- силовой автоматический выключатель, который установлен в отдельном, закрытом на ключ боксе на боковой стенке преобразователя;
- разъемы для подключения пульта дистанционного управления и внешних сигналов, вынесенные на боковую стенку преобразователя частоты;
- применение промышленных разъемов обеспечивает надежную фиксацию, контакт и защиту при эксплуатации в агрессивных производственных условиях;
- подключение силовых сетевых кабелей, а также взведение выключателя после его срабатывания производится допущенным персоналом.

Таблица. Технические параметры преобразователя частоты «Петра-0133»

$P_{\text{выхл}}$ кВт	$F_{\text{нагр}}$ кГц	Расход воды, м ³ /ч	Масса, кг
60	10, 22, 44	0,5–0,6	380–390
100	8, 10, 22, 44	0,8–1,1	420–430

Примечание.

Параметры разработанного оборудования могут отличаться от указанных в таблице.

Система управления «Петра» транзисторным преобразователем

На рис. 3 показана система управления транзисторным преобразователем частоты, панель управления при открытой двери шкафа пре-



Рис. 3. Система управления преобразователем частоты «Петра-0133»



Рис. 4. Лицевая панель преобразователя частоты

образователя и контрольно-измерительные приборы.

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

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

Система управления:

- позволяет регулировать и стабилизировать выходную мощность в диапазоне 5–100% независимо от добротности нагрузки;
- обеспечивает связь с внешним оборудованием, в том числе по шине стандарта RS-485;
- обеспечивает бесконтактное технологическое и аварийное отключение;
- контролирует состояние нагрузки, поддерживая работу инвертора в области безопасных режимов.

На рис. 4 изображена лицевая панель преобразователя частоты.

Панель преобразователя частоты:

- полностью цифровой интерфейс с выводом информации на цветной ЖК-дисплей;
- простая и наглядная индикация режимов работы позволяет оперативно получать информацию о функционировании преобразователя, состоянии системы блокировок и защит;
- на лицевую панель преобразователя вынесены кнопки «Пуск», «Стоп» и ручка управления мощностью.

Панель управления остается во фронтальном положении при открывании двери. Это очень удобно, поскольку лицевая панель имеет магнитную защелку и отводится в сторону при необходимости обслуживания плат, расположенных за ней.

На рис. 5 показаны блоки преобразователя частоты «Петра-0133» и система управления.

В состав установки входит транзисторный преобразователь частоты «Петра-0133» мощ-

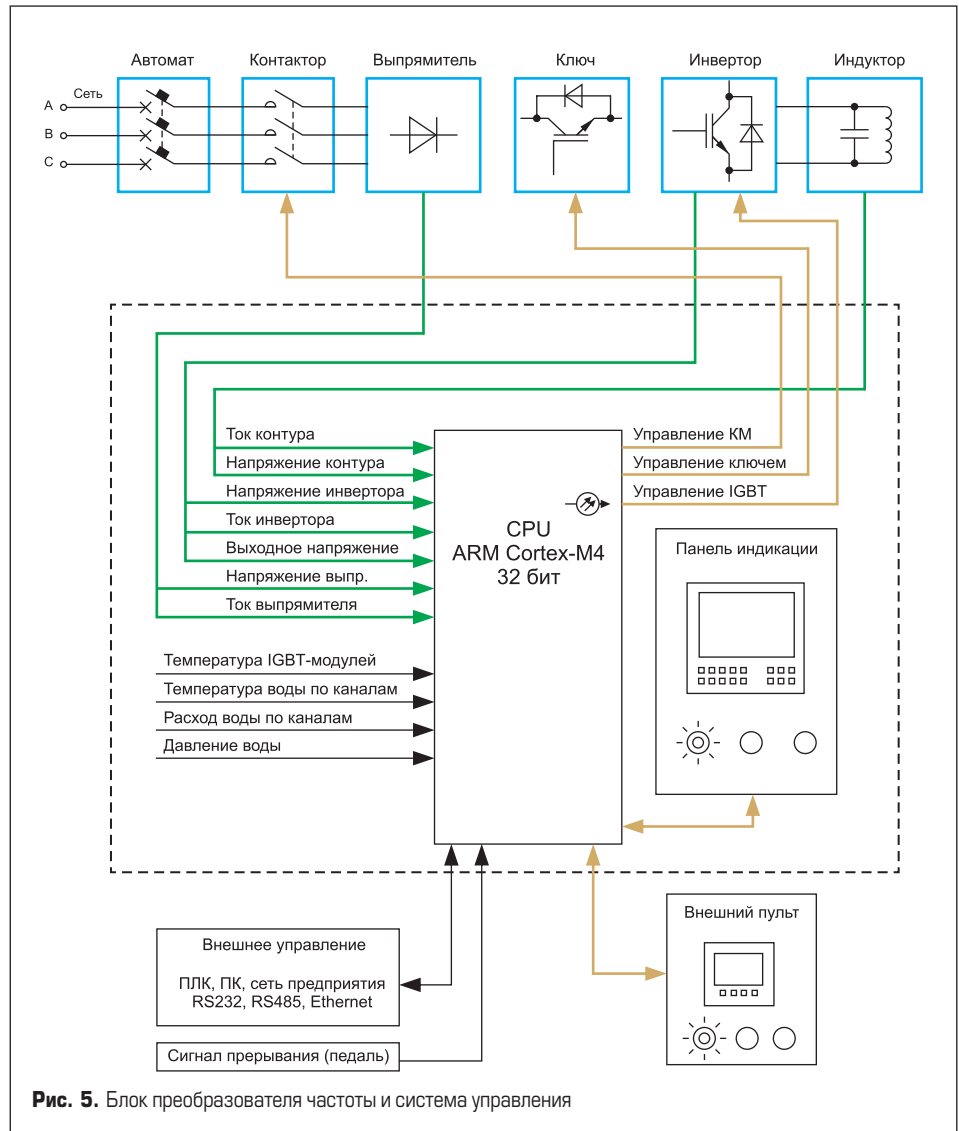


Рис. 5. Блок преобразователя частоты и система управления

ностью 100 кВт со встроенной теплообменной станцией и блок индуктора со встроенной компенсирующей батареей. Нагрев оснастки по заданному температурному режиму обеспечивает блок управления преобразователя.

На рис. 6 представлены экраны панелей индикации преобразователя частоты.

Система управления построена на высокоскоростном 32-разрядном микроконтроллере с RISC-архитектурой на ядре ARM Cortex-M4:

- позволяет регулировать и стабилизировать выходную мощность преобразователя независимо от добротности нагрузки;
- выполняет мониторинг и контроль параметров работы транзисторов, системы охлаждения;
- обеспечивает связь преобразователя с внешним оборудованием установки;
- предусматривает бесконтактное технологическое и аварийное отключение;
- контролирует состояние нагрузки, поддерживая работу инвертора в области безопасных режимов;
- ведет архив событий и параметров работы преобразователя.

На рис. 7 изображена теплообменная станция преобразователя частоты «Петра-0133».

Теплообменная станция встроена в шкаф преобразователя частоты. Благодаря этому

для охлаждения применяется цеховая обратная вода, которая подается непосредственно на вход преобразователя [4, 5].

Подключение индуктора к выходу преобразователя частоты

Преобразователи «Петра» обычно используют индукторы с параллельной компенсацией. Это означает, что реактивная мощность индуктора компенсируется параллельно подключенными к нему конденсаторами. Параллельная компенсация применялась и применяется во всех отечественных установках и также в большинстве импортных.

Использование ПЧ «Петра» предоставляет широкие возможности для согласования выходного напряжения с напряжением индуктора. Если напряжение индуктора равно выходному напряжению ПЧ «Петра», то применяется прямое подключение на параллельный контур нагрузки.

Если напряжение индуктора меньше выходного напряжения преобразователя, то к индуктору подключаются через понижающий трансформатор. Такое подключение обычно применяется в установках для ТВЧ-пайки и закалочных установках, поэтому и понижающий трансформатор принято называть закалочным.

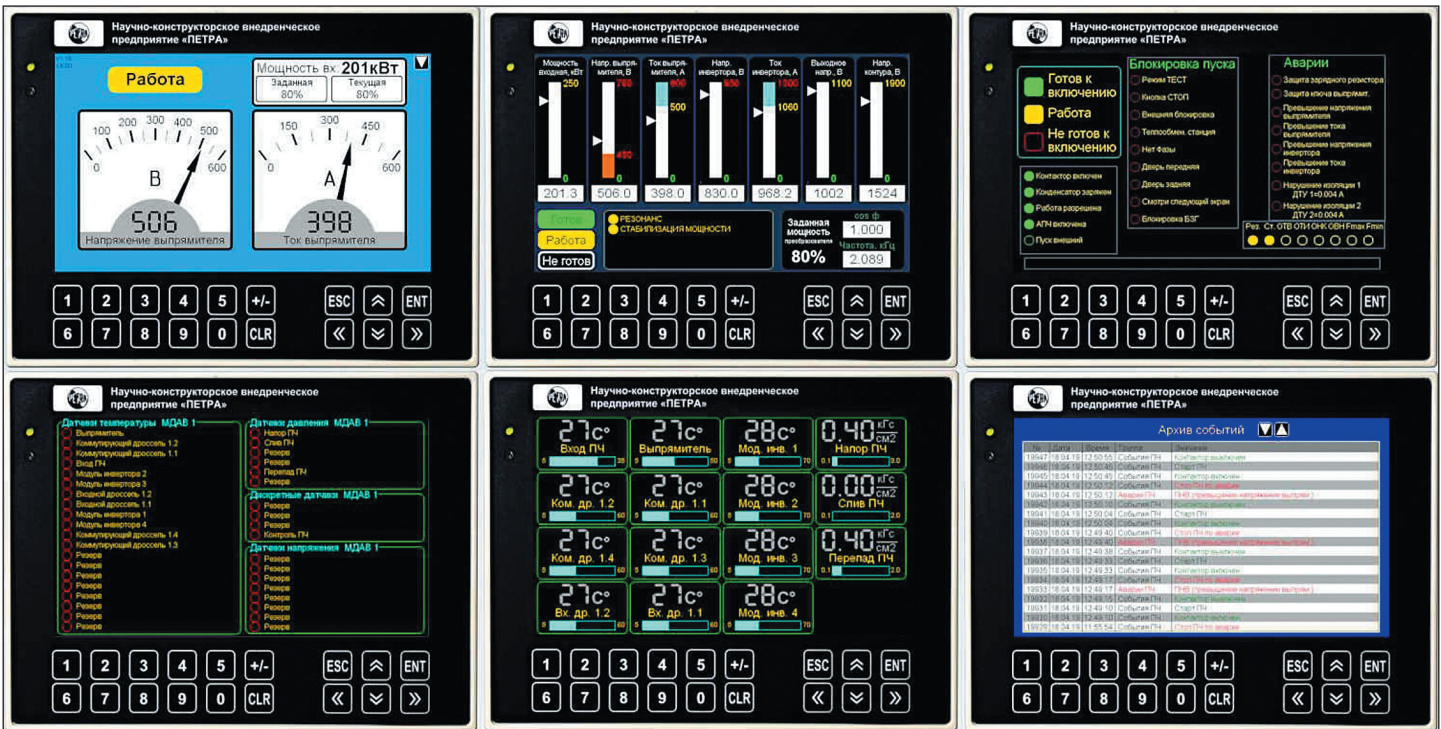


Рис. 6. Экраны панелей индикации преобразователя частоты



Рис. 7. Теплообменная станция преобразователя частоты

Питание индукционного нагревательного поста осуществляется от преобразователя частоты «Петра». Система автоматического управления преобразователей позволяет стабилизировать напряжения индуктора или мощность, потребляемую из сети, на заданном уровне [6–8].

КПД преобразователей индукционного нагрева:

- машинный генератор: 70–85%;
- ламповый генератор: 50–65%;
- преобразователь частоты на тиристорах: 90%;
- преобразователь частоты на IGBT-транзисторах: 90–94%.

Если напряжение индуктора превышает выходное напряжение преобразователя, то ПЧ «Петра» можно подключить к индуктору четырьмя способами: с помощью автотрансформатора, с помощью разделительно-согласующего трансформатора, по схеме конденсаторного умножения напряжения или на отпайку индуктора.

Эффективная плавка металлов в индукционных электропечах и нагрев в индукторах,

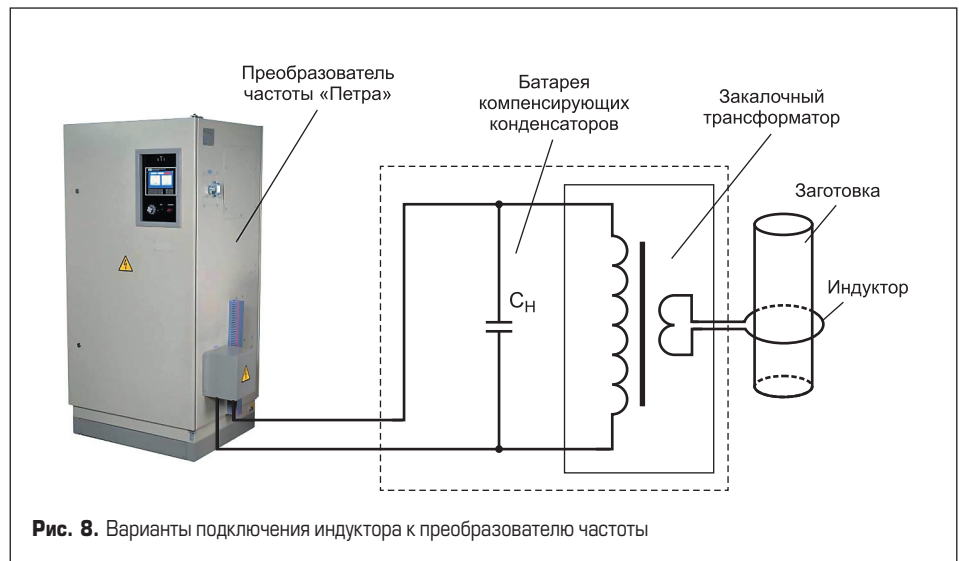


Рис. 8. Варианты подключения индуктора к преобразователю частоты

подключенных к статическим преобразователям частоты, обеспечивается регулировкой в необходимом диапазоне рабочей частоты.

Разработка требует системы управления, осуществляющей изменение рабочей частоты при переменной нагрузке индуктора и приведение ее к резонансной частоте колебательного контура нагрузки. Это снижает удельный расход электроэнергии при постоянной емкости компенсирующих конденсаторов. Кроме того, поддержание на максимальном уровне коэффициента мощности инверторно-индукционной установки позволяет сократить время плавки.

На рис. 8 показан вариант подключения индуктора к преобразователю частоты.

Ранее для индукционной плавки применялись машинные генераторы с постоянной выходной частотой, а изменение режимов нагрева компенсировалось переключением электротермических конденсаторов, подсо-

единенных к индукционной нагрузке, что усложняло нагрев установки и уменьшало надежность ее работы.

Индукционный нагреватель металла «Петра» оснащен высокочастотным закалочным трансформатором. Органы переключения коэффициента трансформации вынесены на внешние панели нагревательного поста. Информацию с датчиков собирает установленный блок микроконтроллера и передает ее на пульт.

Для подключения охлаждения индуктора на блоке нагревательном служат отдельные вводы для технической воды.

В составе энергокомплекта преобразователя частоты «Петра» предусмотрены батарея компенсирующих конденсаторов, теплообменная станция, шинопроводы, гибкие водоохлаждаемые кабели, индуктор, пульт управления электронного блока.

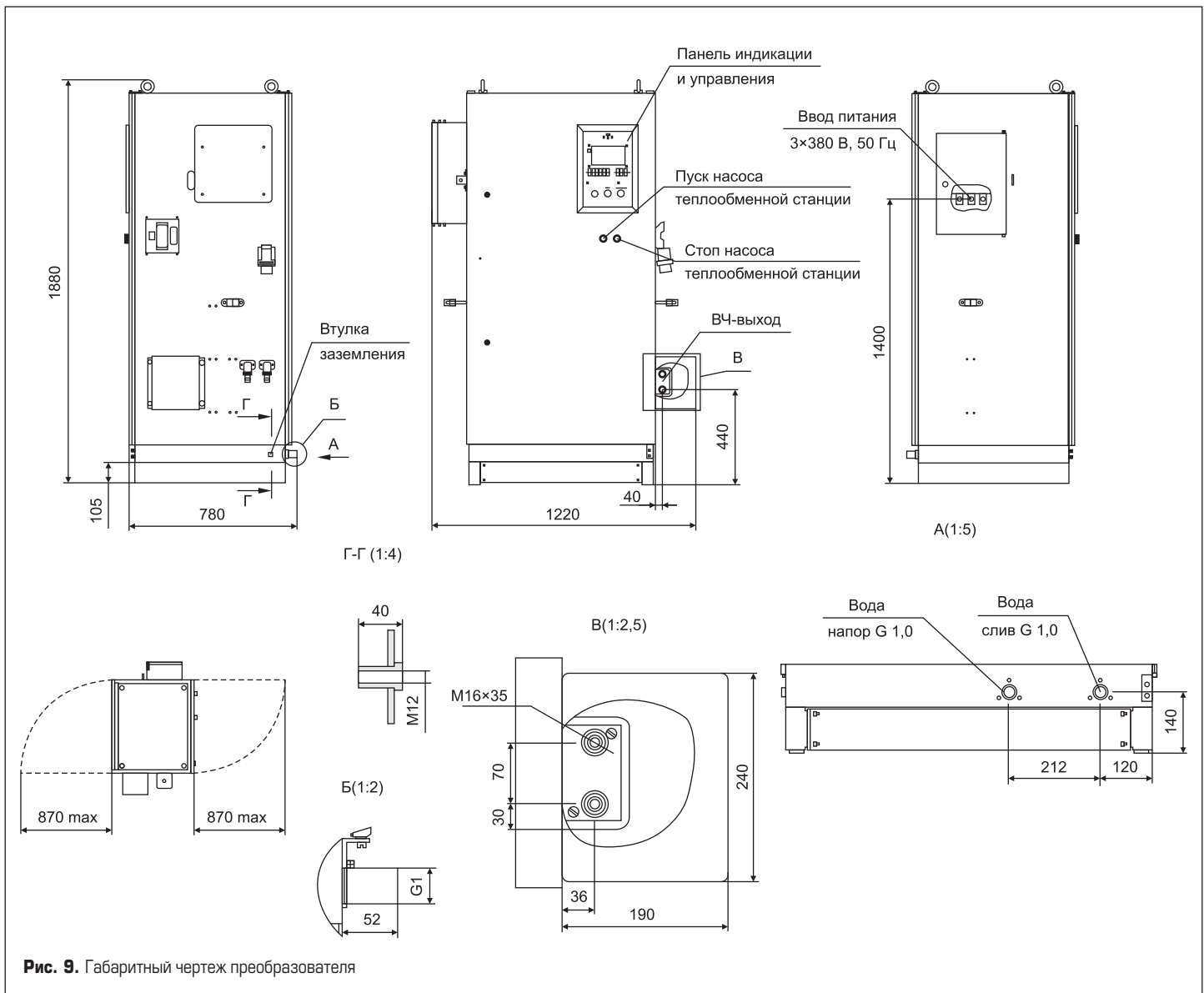


Рис. 9. Габаритный чертеж преобразователя

На рис. 9 показан габаритный чертеж преобразователя.

Наиболее эффективный способ улучшить работу старой индукционной установки — провести модернизацию, заменив транзисторный преобразователь частоты преобразователем «Петра». В качестве примера можно привести замену тиристорных преобразователей на транзисторные преобразователи.

Прежде замена производилась без каких-либо изменений в технологической части установки (индуктор, трансформатор, конденсаторная батарея). При этом, кроме очевидного улучшения надежности в смысле замены «старого на новое», появились и качественные сдвиги в этом направлении [9, 10].

Например, система управления транзисторного преобразователя частоты «Петра» отслеживает больше параметров, не позволяя выходить им за допустимые пределы. Более того, это касается параметров, не относящихся напрямую к собственно преобразователю частоты, таких как напряжение на компенсирующих конденсаторах. Превышение этого напряжения ранее приводило к выходу конденсаторов из строя.

Благодаря тому что преобразователи «Петра» имеют неуправляемый выпрямитель

и мощный фильтр в звене постоянного тока, регулирование мощности, например, производится без помех в питающую сеть.

Внедрение транзисторной индукционной установки «Петра» позволило улучшить точность нагрева и снизить затраты электроэнергии минимум на 10% по сравнению с тиристорными предшественниками преобразователей частоты.

Замена машинного преобразователя транзисторным преобразователем частоты «Петра-0133» ПЧ-100-8,0 произведена с сохранением оборудования индукционной установки — конденсаторной батареи, трансформатора, индукторов, кабелей.

Литература

- Шапиро С. В., Зинин Ю. М., Иванов А. В. Системы управления с тиристорными преобразователями частоты для электротехнологии. М.: Энергоатомиздат, 1989.
- Мамаева Д., Зинин Ю., Кашлаков С., Ройзман Ю. Индукционная установка «Петра-0501» для нагрева ТВЧ в кольцевом индукторе для закалки шестерен // Силовая электроника. 2019. № 1.

- Мамаева Д., Зинин Ю., Ройзман Ю. Преобразователь частоты со встроенной теплообменной станцией типа ПЕТРА-0133 и разработка малогабаритных закалочных трансформаторов ТВЧ // Силовая электроника. 2018. № 3.
- Мамаева Д., Зинин Ю., Ройзман Ю. Индукционные установки ТВЧ для поверхностной закалки крупномодульных зубчатых колес // Силовая электроника. 2018. № 6.
- www.nkvp-petra.ru/tools/preobrazovatel-chastoty-petra-0132
- www.nkvp-petra.ru
- Болотовский Ю., Мельникова Е., Таназлы Г., Шуляк А. Англо-русский словарь по индукционному нагреву металлов. УГАТУ, 2003.
- Зинин Ю. М., Ветошкин А. В., Ройзман Ю. П. Патент № 2215361 РФ. Мостовой инвертор // Бюллетень. 2003. № 30.
- Кацнельсон С. М., Зинин Ю. М. Авторское свидетельство № 306535 (СССР). Многоячейковый последовательный инвертор // БИ. 1971. № 19.
- Ройзман П., Зинин Ю., Марон В., Иванов А. Метод базового режима для инженерного расчета автономных инверторов с обратными диодами // Электромеханика. 1981. № 4.