

Транзисторный преобразователь частоты ПЕТРА-0132

для вакуумных установок индукционного нагрева

В статье представлены новые разработки НКВП «Петра». Описаны назначение, состав, устройство и конструкция полупроводниковых преобразователей частоты (ПЧ) для электропитания установок индукционного нагрева токами высокой частоты. Особое внимание уделяется системе управления блока для современных транзисторных ПЧ типа ПЕТРА, приведены примеры промышленного оборудования вакуумных индукционных установок в составе ПЧ ПЕТРА-0132.

Юрий Зинин

umz42@mail.ru

Юрий Ройзман

info@nkvp-petra.ru

Дарья Мамаева

darya.mamaeva.95@mail.ru

Введение

Осенью 1968 г. в Москве на всесоюзной правительственной выставке «СЕТУНЬ» членам правительства СССР впервые был показан опытно-промышленный полупроводниковый тиристорный преобразователь частоты (ПЧ) мощностью 100 кВт частотой 2400 кГц. Этот выставочный образец полупроводникового ПЧ с кузнечным индукционным нагревателем токами высокой частоты (ТВЧ) впервые был разработан и изготовлен специалистами в Уфе. В этом городе в 1974 г. было образовано специальное конструкторско-технологическое бюро

полупроводниковых преобразователей частоты — СКТБ ППЧ.

К 1983 г. на опытном производстве НКТБ «Вихрь» (г. Уфа) было изготовлено свыше 400 тиристорных преобразователей, внедренных в эксплуатацию на предприятиях страны и фирмах Японии, Швейцарии, Германии, Венгрии, получены изобретения СССР и патенты для США, Канады и Швеции. [1, 2].

Предприятием-преемником НКТБ «Вихрь» стало НКВП «Петра» (рис. 1). В 1990 г. «Петра» стало производителем тиристорных ПЧ, которые используются в индукционном нагреве.

Сегодня предприятие нацелено на разработку и производство единой линейки ПЧ с унифицированными узлами. Это позволяет создавать новые конструкции, эффективно используя инновационные технологии.

Товарный знак «Петра» зарегистрирован в Государственном реестре и защищен свидетельством Роспатента № 105331.

Сегодня НКВП «Петра» — это коллектив разработчиков, конструкторов, наладчиков, имеющих многолетний опыт внедрения на предприятиях машиностроения, атомной, химической, нефтяной промышленности России.

Совместно НКВП «Петра» и ООО «Содружество» (г. Челябинск) с 1992 г. освоили выпуск индукционного оборудования для нагрева и термообработки металлов. «Содружество» производит электро-монтажные работы, обеспечивает пусконаладочные работы, эксплуатационные испытания и измерения в электрических вакуумных установках для индукционных плавильных печей, выпускает индукторы для



Рис. 1. НКВП «Петра»

плавильных вакуумных печей. Предприятие имеет сертификацию, лицензию на пусконаладочные работы ПЧ, производство низковольтного оборудования, а также лицензированную испытательную лабораторию [3, 4].

Новые разработки НКВП «Петра»:

- транзисторные преобразователи ПЕТРА-0132;
- преобразователи ПЕТРА-0141;
- преобразователи ПЕТРА-0133 со встроенной теплообменной станцией;
- индукционные установки нагревательные ПЕТРА-0501;
- станции теплообменные ПЕТРА-0395 СТ.

Разработка транзисторного ПЧ типа ПЕТРА-0132

С одной стороны, использование унифицированных узлов и силовых блоков позволяет существенно сократить сроки проектирования новых ПЧ для питания электротермических установок ТВЧ. С другой стороны, унификация конструкции не исключает внесения изменений в силовые узлы и блоки полупроводниковых ПЧ, улучшающих технические характеристики.

Отметим, что соотношение «частота–мощность» в конечном итоге определяет габариты ППЧ.

На рынке источников питания индукционных установок ТВЧ постоянно появляются все новые транзисторные ПЧ, снабженные современными регуляторами нагрева и отличающиеся конструкцией с незначительными вариациями силовых схем. Рассмотрим далее индукционную плавильную тигельную вакуумную установку ТВЧ, в которой присутствует полупроводниковый ПЧ с использованием IGBT-модулей.

На рис. 2 показан полупроводниковый ПЧ ПЕТРА-0132 мощностью 60–320 кВт для индукционного нагрева ТВЧ.

Транзисторные ПЧ ПЕТРА-0132 предназначены для питания индукторов индукционных электротермических установок.

Наиболее распространенное их применение — в составе индукционных плавильных печей емкостью до 400 кг, в составе индукционных закалочных установок и установок индукционного нагрева для ТВЧ-пайки инструмента, а также для индукционных кузнечных нагревателей. Они заменяют применявшиеся ранее ПЧ типа ТПЧ-160, ТПЧ-320 и машинные ПЧ типа ВПЧ, а в комплекте с нагревательным постом (в составе индукционных установок ПЕТРА-0501) заменяют ламповые генераторы ВЧИ, ВЧГ. Особенности рассматриваемых ПЧ:

- КПД не менее 93%;
- регулирование мощности 5–100%;
- коэффициент мощности по сети питания 0,95.

Для тиристорного ПЧ климатическое исполнение и требуемые условия размещения соответствуют ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89.

Степень защиты шкафа ПЧ, согласно ГОСТ 14254-96, исключая контакты для подключения индуктора, — IP54.

Климатические условия шкафа:

- закрытое помещение;
- высота над уровнем моря не более 1000 м;
- температура окружающего воздуха +15...+35 °С;
- относительная влажность до 80% при температуре +25 °С;
- температура охлаждающей воды +5...+20 °С;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных паров и газов, разрушающих изоляцию и металлы, отсутствие в охлаждающей воде примесей, образующих осадок;
- температура охлаждающей воды не ниже температуры окружающего воздуха более чем на 15 °С (во избежание появления росы).

Автоматический выключатель преобразователя установлен в боксе, закрытом под ключ. Все подключения преобразователя производятся снаружи шкафа. Подключение силовых сетевых кабелей, а также взведение выключателя после его срабатывания производится персоналом без доступа к ПЧ.

Разъемы для подключения пульта дистанционного управления и внешних сигналов расположены на боковой стенке шкафа ПЧ. Применение промышленных разъемов обеспечивает фиксацию, контакт и защиту при эксплуатации в агрессивных производственных условиях.

На рис. 3 показан разработанный транзисторный ПЧ ПЕТРА-0132 на основе автономного инвертора IGBT, полупроводниковые диоды, неуправляемый мостовой выпрямитель, бесконтактный выключатель защиты.



Рис. 2. Общий вид полупроводникового транзисторного преобразователя ПЕТРА-0132

Силовая сеть подключена к выпрямителю и контактору.

Выпрямитель преобразователя имеет коэффициент искажения не более 0,95.

Регулируется мощность в индукционной печи индуктора.



Рис. 3. Транзисторный преобразователь частоты ПЕТРА-0132



Система бесконтактной защиты ПЧ обеспечивает:

- активное ограничение аварийных перенапряжений;
- бесконтактный конденсаторный выключатель;
- непосредственный контроль температуры кристалла полупроводников.

Инвертор обеспечивает работоспособность при замыкании или обрыве в индукторе.

На рис. 4 показан чертеж с указанием размеров основных элементов ПЧ типа ПЕТРА-0132.

Примечание:

- напряжение трехфазной сети преобразователя, [В] — 3×380(±10%);
- перерывы бесконтактного отключения мощности ППЧ — до 30 раз/мин.

Система управления ПЧ ПЕТРА-0132

Система управления (СУ) позволяет регулировать и стабилизировать выходную мощность ППЧ.

Обеспечивается связь с внешним оборудованием, в т. ч. по шине стандарта RS-485, а также бесконтактное технологическое и аварийное отключение. СУ контролирует состояние нагрузки, поддерживая работу инвертора в области безопасных режимов.

На рис. 5 показана (в двух вариантах) лицевая панель СУ транзисторного ПЧ ПЕТРА-0132.

На лицевой панели находятся:

- светодиодная индикация режимов со стрелочными индикаторами тока и напряжения;
- цифровой интерфейс с выводом информации на цветной ЖК-дисплей;

Таблица 1. Основные технические характеристики ПЕТРА-0132

Р _{вых} , кВт	F _{нагр} , кГц	Расход воды, м ³ /ч	Масса, кг
60	10; 22; 44	0,5–0,6	350–370
100	2,4; 4; 8; 22	0,8–1,1	390–410
160	2,4; 4; 8; 22	1,5–1,7	430–460
250	2,4; 8	2–2,5	500–520
320	2,4; 4; 8; 10	3–3,2	560–580

- кнопки «ПУСК» и «СТОП»;
- ручка управления рабочими режимами ПЧ. Индикация режимов работы предоставляет информацию о работе ПЧ, состоянии системы блокировок и бесконтактной защиты.

На рис. 6 показан блок управления ПЧ ПЕТРА-0132, который размещен внутри шкафа. Он выполнен в конструктиве COMBICON housing от Phoenix Contact, предусмотрен доступ к платам при обслуживании и измерениях.



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

Панель управления остается во фронтальном положении при открывании двери при обслуживании контрольных приборов. Лицевая панель имеет магнитную защелку.

Оборудование вакуумных индукционных установок в составе преобразователей для ТВЧ

Индукционные вакуумные печи (ИВП) применяются, в основном, для плавки высококачественных металлов, сталей, прецизионных и жаропрочных сплавов, а также для варки высококачественного спецстекла и получения монокристаллов. Различают ИВП полунепрерывного и периодического действия. Различие относится к загрузке, разгрузке и вакуумированию печи. В печах периодического действия операции по установке и выгрузке форм или изложниц, зачистке, подготовке и загрузке тигля выполняются при открытой, заполненной воздухом плавильной камере. В печах полунепрерывного действия все эти операции производятся без нарушения вакуума. Это облегчает получение металла высокого качества, т. к. устраняет дополнительное поглощение воздуха элементами конструкции печи, находящимися внутри плавильной камеры.

На рис. 7 показана вакуумная установка НКВП «Петра» с уфимскими ПЧ. Совместно «Петра» и «Содружество» выполнили работы по монтажу и наладке систем электропитания и индукционных установок. Оборудование индукционных вакуумных установок — индукционная печь, конденсаторная батарея, шинопроводы, водоохлаждаемые кабели и индукторы.

На рис. 8 показана ИВП полунепрерывного действия со шлюзовой камерой для разливных форм (типа 0.0025НФ).

Современные ИВП периодического действия выпускаются в двух вариантах: с тиглем, наклоняющимся внутри неподвижной плавильной камеры, и в двухкамерном исполнении, с плавильной камерой, поворачивающейся совместно с тиглем и соединенной с неподвижной разливочной камерой с помощью поворотного уплотнения. В первом случае разливка производится непосредственно в изложницу или форму (обычно через приемную воронку), во втором металл поступает в камеру разливки или форму, находящейся в камере разливки, по футерованному желобу, проходящему сквозь поворотное уплотнение. Печи, рассчитанные на заливку нескольких изложниц или форм, снабжаются устройством, обеспечивающим поочередную подачу их под заливку. Промышленные ИВП имеют индуктор, находящийся внутри вакуумной камеры и непосредственно охватывающий тигель. К ним относятся такие печи, как УППФ-2М, ИСВ, ВИАМ, ВИП с емкостью тигля от 15 до 600 кг [5, 6].

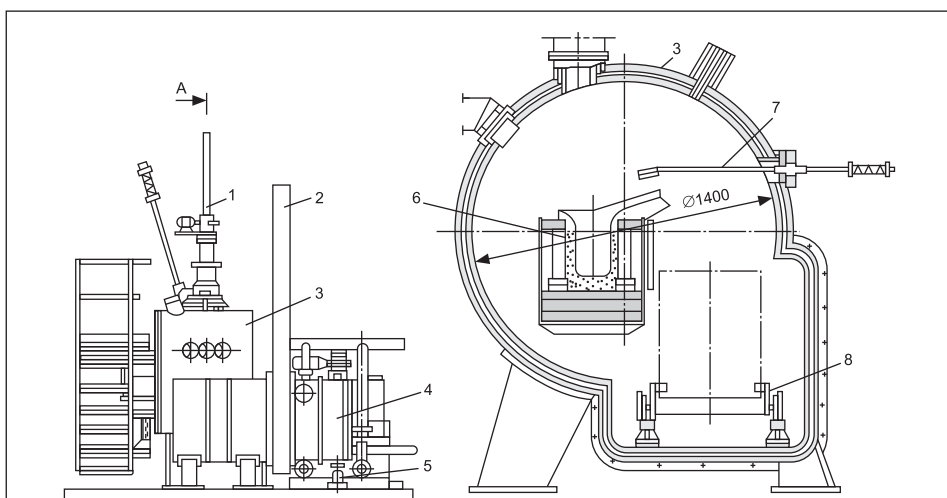


Рис. 7. Вакуумная установка с ПЧ ПЕТРА

Индукторы ИВП с низкой степенью разрезания рассчитаны на напряжение средней частоты не выше 400 В. Применение более высокого напряжения приводит к пробоям на корпус печи. Для получения пониженного напряжения применяется подключение преобразователя частоты через понижающий трансформатор. В этом случае дополнительно достигается изоляция выхода преобразователя от индуктора.

Для подачи напряжения средней частоты на индуктор, находящийся в вакуумной

камере, применяются специальные гермовводы. Для исключения нагрева металлоконструкций печи они, как правило, имеют коаксиальную конструкцию. Кроме того, гермовводы по конструкции различаются на изолированные (оба провода изолированы от корпуса печи) и неизолированные (один из проводов подключен к корпусу печи). Для работы на неизолированный гермоввод ПЧ должен быть подключен к нему через разделительный трансформатор, например ТС-250/2,4 или ТРС1-800.



- 1 — камера загрузки шихты, отделяемая вакуумным затвором;
- 2 — вакуумный затвор, отделяющий камеры 3 и 4;
- 3 — камера плавильная;
- 4 — камера загрузки формы;
- 5 — откачная система;
- 6 — плавильная печь емкостью 25 кг;
- 7 — устройство для чистки тигля;
- 8 — тележка для перемещения форм.

Рис. 8. Вакуумная индукционная печь полунепрерывного действия со шлюзовой камерой



Рис. 9. Установка индукционного оборудования вакуумной печи ИСВ-0,04 с преобразователем ПЕТРА-0132



Рис. 10. Литейный участок индукционных печей и установка центробежного литья

На рис. 9 показана установка индукционного оборудования вакуумной печи ИСВ-0,04 с преобразователем ПЕТРА-0132.

В цехе установлены ПЧ ПЕТРА, теплообменная станция, конденсаторная батарея индукционной печи и индуктор ТВЧ.

ТПЧ применен для батареи электротермических конденсаторов.

Для управления установкой ПЧ на рабочем месте плавильщика снабжен переносным пультом управления.

Нагрузкой преобразователя ПЕТРА-0132 служит индуктор для плавки в вакууме порции меди в графитовой оснастке с последующей центробежной заливкой. Для согласования применен среднечастотный трансформатор типа ТЗ4-800. Цикл плавки и заливки меди составляет 20 мин.

Для охлаждения ПЧ ПЕТРА-0132 применена теплообменная станция ПЕТРА-0371 двух-

контурной схемы охлаждения, оснащенная микропроцессорными блоками управления.

На рис. 10 показаны ИВП для плавки латуни, которые подключены к ПЧ ПЕТРА-0132.

Преобразователь обеспечивает питание напряжением средней частоты поочередно двух индукционных установок, плавильной печи ИСТ-0,06 и установки центробежной заливки роторов.

Индукционная печь ИСТ-0,06 с набивным тиглем применяется для плавки цветных металлов. Преобразователь ПЕТРА-0132 обеспечивает плавку 60 кг латуни за 35 мин. Печь подключена к конденсаторной батарее. Для управления установкой необходим на двух рабочих местах переносной пульт управления.

Второй нагрузкой преобразователя ПЕТРА-0132 является индуктор для плавки в вакууме порции меди в графитовой оснастке с последующей центробежной заливкой. Размеры

индуктора существенно отличаются от габаритов индуктора печи ИСТ-0,06, поэтому для согласования применен среднечастотный трансформатор типа ТЗ4-800.

Литература

1. IJVC to market Russian induction technology in the western world. International joint venture consultants, INC. 1992. № 1.
2. Зинин Ю. Дело жизни // Силовая электроника. 2013. № 5.
3. www.nkvp-petra.ru
4. <http://sodnal.org>
5. Шульга А. В. Вакуумная индукционная плавка. Уч. пособие. М.: Изд-во МИФИ, 2010.
6. Тир Л., Фомин Н. Современные методы индукционной плавки. М: Энергия, 1975.