

# Преобразователь частоты для индукционной пайки

При индукционной пайке твердыми припоями широко используются ламповые генераторы и установки типа ВЧГ, которые имеют ряд недостатков, затрудняющих их использование в условиях малых предприятий с мелкосерийным производством: большие габариты, малый срок службы, низкий КПД и т. п. Таких недостатков лишены источники питания на основе тиристорных и транзисторных инверторов.

**Виктор Яров**

tehnotron@tehnotron.ru

**Илья Кудров**

ilya@tehnotron.ru

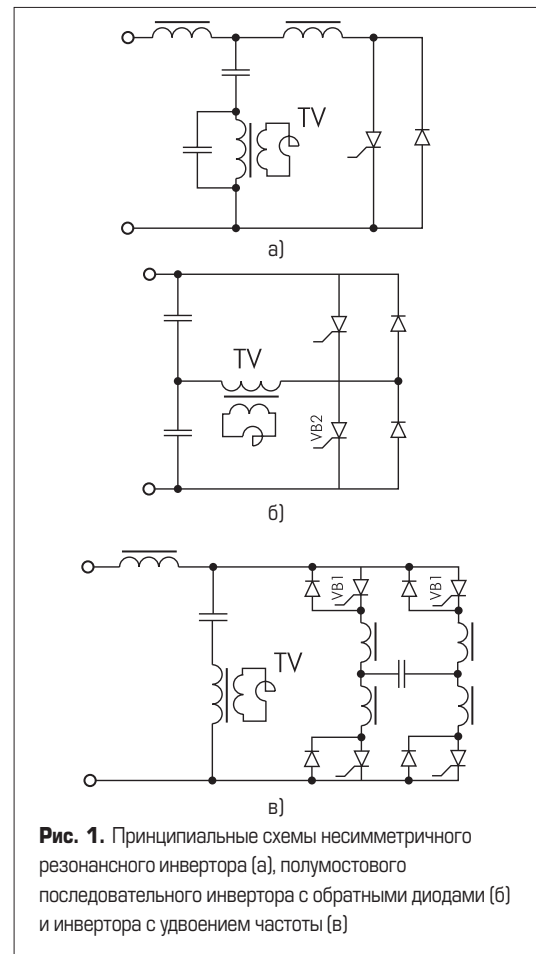
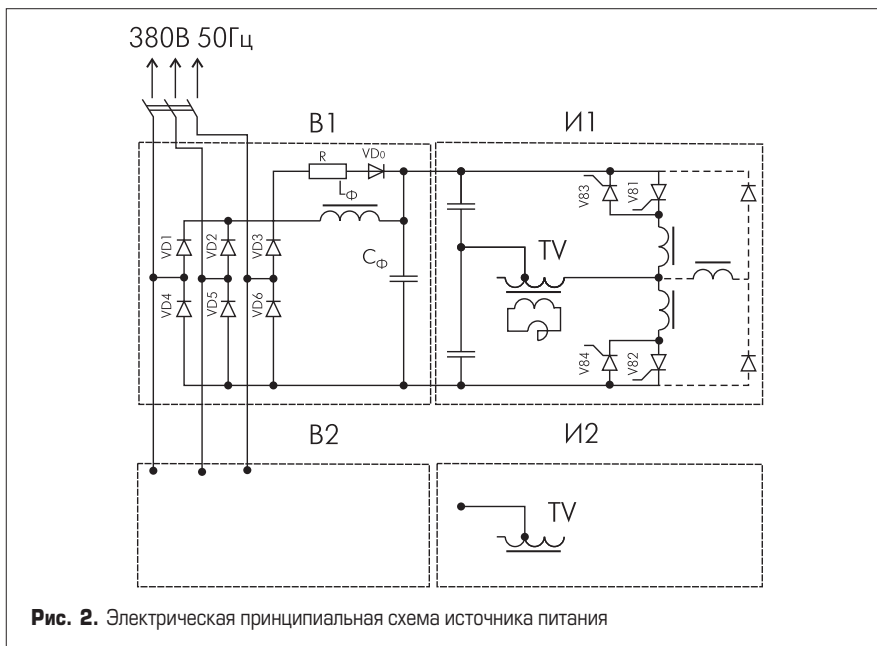
При индукционном нагреве под пайку необходимо правильно выбрать режим: частоту и мощность высокочастотного источника питания, а также время пайки — в соответствии с рекомендациями [1, 2].

Полупроводниковые источники питания, используемые в электротехнологических установках, обычно работают в диапазоне от одного до нескольких сот килогерц. Диапазон до 30 кГц охватывает тиристорные источники, а выше — транзисторные.

Выбор инвертора в первую очередь должен определяться возможностью его работы без аварийных режимов при колебаниях нагрузки практически от холостого хода до короткого замыкания.

Из литературы [3] известно большое количество схем инверторов, однако универсальной схемы, пригодной на все случаи жизни, на наш взгляд, не существует. У каждого производителя есть свои пристрастия. Для частот выше 2,5 кГц предпочтительнее резонансные инверторы (рис. 1).

Схема на рис. 1а наиболее проста и находит применение для индукционной пайки [4, 5], однако она, как правило, требует последовательного соединения тиристоров, а для ликвидации режима срыва инвертирования используется тиристорный выключатель постоянного тока [4]. В схеме на рис.1б



отсутствуют перенапряжения на тиристорах, но при той же мощности нагрузки может потребоваться параллельное соединение тиристоров. Схема на рис.1б способна работать в режимах холостого хода и короткого замыкания, однако она требует большой индуктивности на входе инвертора, и поэтому ее массогабаритные показатели могут быть хуже по сравнению со схемой на рис. 1б. Ниже рассмотрен другой вариант резонансного инвертора.

В состав преобразователя частоты (рис. 2) входят:

- неуправляемые выпрямители В1 и В2;
- два инвертора И1 и И2, работающие на общую нагрузку;
- система управления СУ (рис. 3).

Выпрямитель собран по трехфазной мостовой схеме на диодах VD1 — VD6. Выход выпрямителя

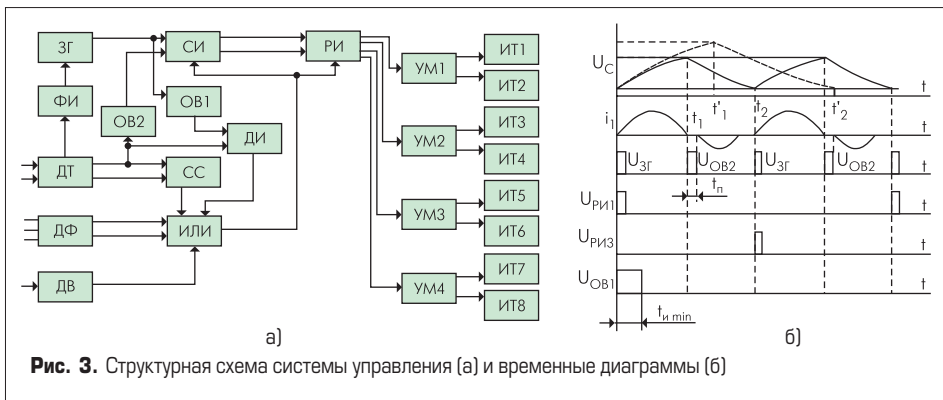


Рис. 3. Структурная схема системы управления (а) и временные диаграммы (б)

подключается к входу инвертора через сглаживающий фильтр  $L_{\phi} C_{\phi}$ .

Выпрямленное напряжение подается на вход инверторов И1, И2, которые преобразуют его в переменное напряжение повышенной частоты.

Инверторы И1, И2 выполнены по схеме резонансного инвертора со встречно-параллельными тиристорами [6]. В этом случае устраняется зависимость времени выключения тиристора от величины обратного напряжения, так как на интервале до включения обратных тиристортов к основным тиристорам прикладывается обратное напряжение, что позволяет повысить частоту инвертирования. При срыве инвертирования (одновременно включились силовые тиристоры VS1, VS2) ток разряда конденсатора  $C_{\phi}$  при правильно выбранной индуктивности дросселя  $L_{\phi}$  не переходит на встречно включенные вентили, и силовые тиристоры выключаются [7]. Для снижения перенапряжений на конденсаторе  $C_{\phi}$  параллельно дросселю  $L_{\phi}$  включена цепочка VD0 Rш. В качестве сердечника выходного трансформатора использовано аморфное железо.

Как видно из рис. 2, источник построен по модульному принципу, что позволяет наращивать мощность нагрузки или регулировать ее без изменения выходной частоты.

Выбор параметров инвертора можно проинформировать на основе [3, 8].

1. Собственную частоту колебаний резонансного контура  $L_{\kappa} C_{\kappa}$  выбираем на 10–30% больше двойной частоты инвертирования

$$\omega_0 = 2(1,1 \dots 1,3)\omega_{и}$$

2. Потребляемый от выпрямителя ток

$$I_d = \frac{P_n}{U_d \eta}$$

где  $P_n$  — мощность нагрузки,  $U_d$  — выпрямленное напряжение сети,  $\eta$  — КПД источника.

3. Ток первичной обмотки выходного трансформатора

$$I_1 = \frac{I_d}{2} \sqrt{\frac{\pi^3(1+K_d)}{2\lambda(1-K_d)^2}},$$

где  $\lambda$  — длительность протекания тока тиристора;  $\frac{\pi}{K_d} = e^{-\frac{\pi}{2Q}}$ ;  $Q$  — добротность колебательного контура.

4. Емкость коммутирующего конденсатора

$$C_{\kappa} = \frac{I_d(1+K_d)}{2fU_d(1-K_d)}$$

$$C_1 = C_2 = \frac{C_{\kappa}}{2}$$

5. Суммарная индуктивность колебательного контура

$$L_{\Sigma} = \frac{1}{\omega_0^2 C_{\kappa}} \left(1 - \frac{1}{4Q^2}\right)$$

6. Требуемый коэффициент трансформации

$$K_T = \sqrt{\frac{1}{QR_n}} \sqrt{\frac{L_{\Sigma}}{C_{\kappa}}};$$

7. Среднее значение тока тиристора и диода

$$I_{ам} = \frac{\pi I_d}{2\lambda(1-K_d)}$$

$$I_{ад} = K_d I_{ам}$$

8. Максимальные значения тока тиристора и диода

$$I_{ам\max} = \frac{\pi^2 I_d}{2\lambda(1-K_d)}$$

$$I_{ад\max} = K_d I_{ам\max}$$

9. Максимальное напряжение на коммутирующем конденсаторе

$$U_{c\max} = \frac{E}{2} \times \frac{(1+K_d)^2}{1+K_d^2}$$

Структурная схема системы управления (рис. 3а) содержит задающий генератор ЗГ, импульсы которого поступают на счетчик импульсов СИ, управляющий распределителем импульсов РИ, далее сигналы усиливаются усилителями мощности УМ1–УМ4 и через импульсные трансформаторы ИТ1–ИТ8 поступают на управляющие электроды тиристортов. В момент  $t_1$  (рис. 3б) ток тиристора становится равным нулю и сигнал с датчика тока ДТ через формирователь импульсов ФИ воздействует на порог срабатывания ЗГ, вызывая разряд времязадающего конденсатора. В результате такого построения длительность интервала  $t_1 - t_2$  становится пропорциональной длительности интервала  $0 - t_0$ . Если ток тиристора станет равным нулю в момент  $t_1'$ , то интервал  $t_1' - t_2'$  возрастет. Задающий генератор ЗГ одновременно запускает одновибратор ОВ1, вырабатывающий импульс  $t_{и\min}$ , соответствующий максимальному времени выключения тиристортов инвертора. Если длительность импульсов тиристора меньше  $t_{и\min}$ , то дискриминатор длительности импульса ДИ выдает через схему ИЛИ сигнал запрета

на СИ и РИ. В результате инвертор выключается. Если одновременно с проводящим состоянием одного тиристора включается другой, то сигнал со схемы совпадения СС через схему ИЛИ запрещает работу СИ и РИ.

Сигналами с датчика токов ДТ после окончания проводимости силовых тиристортов запускается одновибратор ОВ2, формирующий интервал паузы  $t_{п}$  (рис. 3б). Сигналы ОВ2 поступают вместе с импульсами ЗГ на СИ и далее через распределитель РИ на отпирание встречно-параллельно включенных тиристортов.

При отсутствии напряжения одной фазы датчик наличия фазы ДФ вырабатывает сигнал запрета, поступающий через схему ИЛИ на СИ и РИ, выключая инвертор. При уменьшении напряжения в сети ниже допустимого уровня срабатывает защита по напряжению аналогично ДФ. Такая же блокировка осуществляется датчиком наличия воды ДВ.

Система управления несколько упрощается, если вместо обратных тиристортов использовать обратные диоды с дросселем насыщения (на рис. 2 подключение показано пунктиром).

Технические характеристики источников приведены в таблице. Напряжение питания — 380 В при 50 Гц. В течение ряда лет эти источники используются на заводах для индукционной пайки твердыми припоями.

Таблица. Технические характеристики источников индукционного нагрева

Параметр	Тип источника	
	ИИН-2	ИИН-3
Частота выходного напряжения, Гц	2500	8000
Потребляемая мощность, кВт	10	10
Масса силового блока, кг	41	24
Масса трансформаторного блока, кг	18	6

## Литература

- Вологдин В. В., Куц Э. В. Индукционная пайка. Л.: Машиностроение. 1979. (Библиотечка высокочастотника-электротермиста. Вып. 6.)
- Вологдин В. В., Куц Э. В., Асамов В. В. Индукционная пайка / Под ред. А. Н. Шамова. 5-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение. 1989. (Библиотечка высокочастотника-электротермиста.)
- Тиристорные преобразователи частоты. Л.: Энергия. 1973.
- Белкин А., Исхаков И. и др. Индукционная установка для напайки алмазных сегментов к отрезным кругам // Компоненты и технологии: Силовая электроника. 2004. № 1.
- Белкин А. К., Костокова Т. П., Рогинская Л. Э., Шуляк А. А. Тиристорные преобразователи частоты. М.: Энергоатомиздат. 2000.
- Пат. России № 1802765. Преобразователь постоянного тока для дуговой сварки. Иванов А. М., Яров В. М. от 9.10.92.
- Глух Е. М., Зеленев В. Е. Защита полупроводниковых преобразователей. М.: Энергия. 1970.
- Яров В. М., Гитгарц Д. А. Автоматическое управление тиристорными преобразователями частоты. Чебоксары: Изд. ЧувГУ. 1979.