

## СИСТЕМЫ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Д.Б. Бородин, Р.Г. Калинин, В.А. Федотов

Научный руководитель: к.т.н., проф. В.Д. Семёнов

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники, Borodindanila@mail.ru

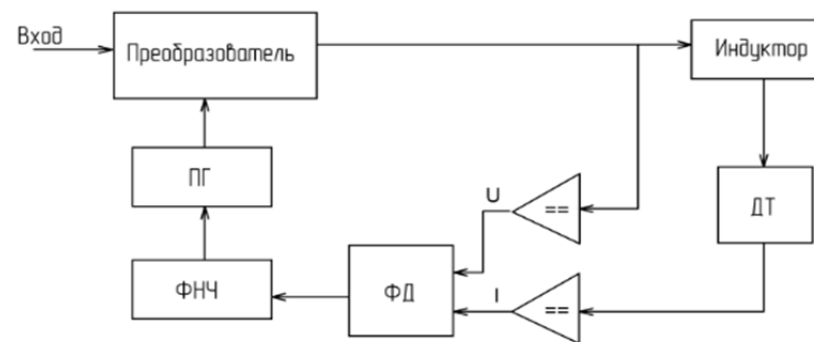
Одни из самых распространённых устройств, применяемых для нагрева металлических изделий и конструкций, являются устройства, в принципе действия которых лежит индукционный нагрев.

Индукционный нагрев – физическое явление, основанное на разогреве электрических проводников вихревыми токами, наводящимися при воздействии на нагреваемый объект переменным магнитным полем[1]. Для повышения эффективности нагрева, т.е. для повышения энергии, передаваемой в нагреваемое тело, индукционный нагрев принято применять на резонансе. В зависимости от «нагрузки» (габариты нагреваемого материала по отношению к индуктору, физические свойства нагреваемого материала и т.д.) резонансная частота контура индуктора колеблется в некотором диапазоне. Для повышения скорости и качества нагрева, необходимо использовать системы с подстройкой резонансной частоты. При этом, необходимо не допускать работу инвертора в емкостную область АЧХ. Другими словами, подстройка резонансной частоты должна осуществляться с наибольшей частоты устройства в сторону уменьшения, в правой части резонансной кривой.

Индукционный нагрев на резонансе, позволяет использовать преобразователи небольших габаритов, за счет применения энергии реактивного LC-контура. Кроме того, поскольку параметры резонансного контура в процессе работы меняются, то рабочая частота преобразователя должна быть больше частоты резонанса, чтобы избежать срыва в емкостную область.

Устройства индукционного нагрева с ручной подстройкой частоты, используются в производстве очень редко, из-за необходимости постоянно регулировать систему для вывода ее на резонансную частоту [2]. Поэтому применяются более сложные решения. К таким решениям относят минимизацию фаз сигналов тока и напряжения, снимаемых с нагрузки, т.е. системы с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). Такие системы обеспечивают

максимально точную подстройку инвертора на резонанс с нагрузкой[3]. Функциональная схема ФАПЧ представлена на рисунке 2.



ДТ – датчик тока  
ФД – фазовый детектор  
ФНЧ – фильтр нижних частот  
ПГ – подстраиваемый генератор

Рис. 2. Функциональная схема ФАПЧ.

Принцип работы рассмотренной ФАПЧ основан на равенстве фаз тока и напряжения в момент резонанса. Особенностью данной системы, как системы регулирования является то, что сигнал ошибки пропорционален разности фаз двух сигналов, подаваемых на фазовый детектор. Измеренные ток и напряжение с нагрузки преобразователя подаются на вход фазового детектора, в котором идет сравнение фаз и формирование управляющего сигнала для изменения частоты. Выходное напряжение фазового детектора через фильтр нижних частот подается на подстраиваемый генератор. Если подать на вход фазового детектора сигналы тока и напряжения с контура таким образом, чтобы равновесное состояние системы управления соответствовало нулевой разности фаз на фазовом детекторе, то ГУН будет генерировать точно на резонансной частоте нагрузки, обеспечивая тем самым нулевую разность фаз между током и напряжением[3].

АПЧ относительно датчика тока представлена на рисунке 3.

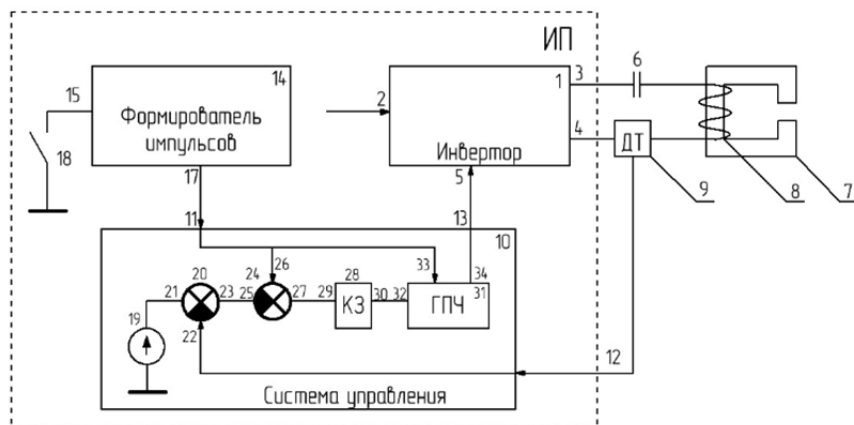


Рис. 3. Автоподстройка частоты по току.

Формирователь импульсов 14 запускает генератор переменной частоты 31 системы управления инвертором 10, на выходе которой формируется сигнал высокой частоты, поступающий на вход инвертора 1. В цепи Инвертор 1 – Конденсатор 6 – Обмотка индуктора 8 – Датчик тока 9 – Инвертор 1 будет протекать электрический ток с частотой, равной частоте напряжения на выходах 3, 4 инвертора. Сигнал с датчика тока 9 поступает в систему управления 10 и вычитается из эталонного значения тока задатчика тока 19, далее вычитается из сигнала формирователя импульсов 26, и, после корректирующего звена КЗ 26, поступает на генератор переменной частоты ГПЧ 31 и после – на инвертор 1[4].

Системы управления на основе ФАПЧ позволяют подстраивать резонансную частоту, но для регулирования уровня тока индуктора, необходимо вводить дополнительный контур. Схемы с автоподстройкой частоты по току, позволяют использовать одноконтурные системы управления.

#### Литература:

- 1) Слухоцкий А.Е. Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева. Л., «Энергия», 1974. – 264 с. с ил.
- 2) Кухтецкий С.В. Цифровой модулятор плотности импульсов для регулирования мощности инвертора[Электронный ресурс]/ Институт химии и химической технологии, СО РАН, г. Красноярск:

Красноярск: <http://www.icct.ru/Practicality/Papers/01-11-2010/Invertor-03.php>

- 3) Кухтецкий С.В. Способы подстройки частоты лабораторного инвертора[Электронный ресурс]/ Институт химии и химической технологии, СО РАН, г. Красноярск: <http://www.icct.ru/Practicality/Papers/08-04-2011/Invertor-04.php>
- 4) Артеев М.С., Сарин П.С., Семёнов В.Д. и др. Пат. 97011 РФ, МПК H02G1/12опубл. БИ №23 20.08.2010.