

УДК 621.316.72

Стабилизатор мощности высокотемпературной печи установки экстракции газов УЭ-01.  
Ефис Ю.М. // Научное приборостроение. Методы и приборы биотехнологии. Л.: Наука,  
1988, с.65.

Рассматривается функциональная схема стабилизатора мощности, примененного в системе регулирования и стабилизации температуры высокотемпературной печи установки экстракции газов УЭ-01. Показано, что такое построение обеспечивает максимальное быстродействие измерения активной мощности и высокую точность ее измерения при значительных нелинейных искажениях. Лит. - 4 назв., ил. - 2.

## СТАБИЛИЗАТОР МОЩНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЕЧИ УСТАНОВКИ ЭКСТРАКЦИИ ГАЗОВ УЭ-01

Установка экстракции газов является частью исследовательских комплексов (в том числе на базе масс-спектрометров) для решения задач изотопной геохимии, космохимии, физики ядерных реакций и других областей науки. Установка экстракции газов предназначена для вакуумной экстракции инертных газов из твердых материалов, их очистки и разделения на фракции в автоматизированном режиме.

Важнейшей частью установки является реактор с тиглем, в котором происходит нагревание и плавление образца. Система питания высокотемпературной печи (ВТП) должна обеспечивать регулировку и стабилизацию температуры от 400 до 2000 °С при максимальной подводимой мощности 5 кВт и силе тока 750 А. Для установки и стабилизации температуры с точностью  $\pm 20$  °С необходимо стабилизировать мощность с погрешностью не более 0,5 % и ее регулирование от 350–500 Вт до 5 кВт. Плавную автоматическую регулировку мощности ВТП в широких пределах возможно производить с помощью автотрансформаторов [1], тиристорных ключей [2].

Однофазные автотрансформаторы на 5 кВт промышленность не выпускает, конструирование и изготовление такого автотрансформатора с приводным механизмом для управления и стабилизации мощности в автоматическом режиме представляется неоправдано сложным.

Использование тиристорных преобразователей для регулирования мощности ВТП во многих случаях целесообразно. Однако в разрабатываемой системе питания и управления тиристорными ключами необходимо коммутировать силу тока 750 А с использованием понижающего силового трансформатора. В конструкции ВТП нагреватель одним концом присоединен к корпусу прибора. Не исключена значительная утечка

на корпус с потенциального контакта нагревателя. Таким образом, можно ожидать значительных импульсных помех по земляному и нулевому проводу от работы тиристорных ключей в систему регистрации масс-спектрометра (при работе установки экстракции в линию с масс-спектрометром).

Канал питания ВТП с регулированием мощности нагревателя от 400 до 5000 Вт разработан с применением магнитного усилителя с двумя дросселями насыщения (ДН). Применение двух ДН позволяет достаточно просто согласовать активную нагрузку силового трансформатора с индуктивностью дросселей при заданном перекрытии по мощности. Изготовление небольших серий таких дросселей проще, чем изготовление трансформаторов типа ТРШШ, где требуется специальная оснастка для изготовления сердечника и намотки катушек.

Для измерения переменного напряжения сложной формы разработан специализированный преобразователь мощности, с помощью которого можно измерять переменный ток и напряжение сложной формы и управлять мощностью в автоматическом режиме.

Стандартные средства измерения мощности [3] позволяют измерять мощность с нелинейными искажениями порядка 20-30 % и изменением напряжения не более 50 %, что совершенно недостаточно для данной задачи.

Функциональная схема управления мощностью ВТП приведена на рис.1. Схема ра-

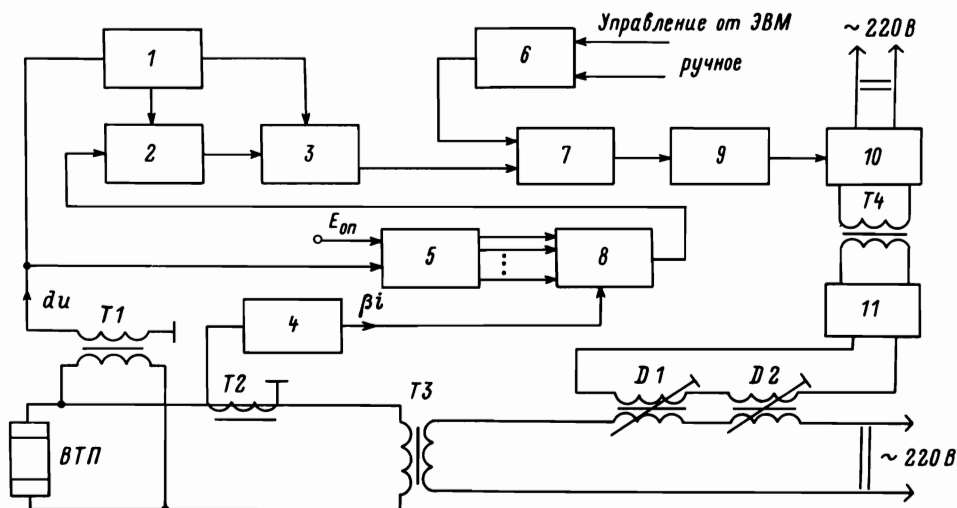


Рис.1. Функциональная схема канала установки и стабилизации мощности ВТП

ботает следующим образом. На ЦАП-1 6 подается 10-разрядный код установки мощности. На выходе ЦАП устанавливается напряжение, равное  $U_{ЦАП1} = \kappa E_{оп}$ , где  $E_{оп}$  - опорное напряжение, а  $\kappa = \frac{\sum_{n=0}^9 2^n}{2^{10}}$  - множитель преобразователя 10-разрядного ЦАП. Множительное устройство стабилизатора мощности состоит из АЩ 5 и четырехквadrантного ЦАП 2 8.

Измерительные входы АЩ 5 и ЦАП 2 8 через согласующий трансформатор напряжения Т1 и через трансформатор тока Т2 и согласующий усилитель 4 соединены с питанием ВТП. При появлении на измерительных входах мгновенных напряжений на выходе ЦАП образуется мгновенное напряжение

$$U = n\beta i,$$

где  $n$  - коэффициент деления ЦАП, определяемый поступающим цифровым кодом с АЦП, а  $\beta$  - коэффициент пропорциональности напряжения с выхода согласующего усилителя протекаемому току  $i$  через объект регулирования. В этот же момент времени в АЦП происходит измерение напряжения, поступающего с датчика напряжения, т.е.  $\alpha U = n E_{оп}$ , где  $\alpha$  - коэффициент пропорциональности напряжения объекта регулирования, поступающего с выхода согласующего трансформатора,  $n$  - коэффициент деления  $E_{оп}$  и определяется выходным цифровым кодом АЦП.

Таким образом,  $n = \alpha U / E_{оп}$  и, следовательно, мгновенное значение напряжения на выходе ЦАП будет составлять

$$U_{цап} = \frac{\alpha \beta}{E_{оп}} \cdot U i.$$

Это напряжение поступает на вход интегратора 2, который управляется задатчиком периода  $T$  измерения мощности. Интегратор интегрирует поданное напряжение за заданный период  $T$ , а затем выходное напряжение интегратора сбрасывается до нуля. Таким образом, на выходе интегратора образуется напряжение

$$U_{инт} = \frac{\alpha \beta}{E_{оп} \cdot \tau} \int_0^T U i dt,$$

где  $\tau$  - постоянная времени интегратора.

Пиковый детектор 3 запоминает значение интеграла в конце периода. Кроме того, перед отсчетом емкость пикового детектора соединяется с выходом интегратора с целью отслеживания убывающей мощности.

Напряжение с пикового детектора, поступающее на вход регулятора мощности, сравнивается с выходным напряжением ЦАП-I, поступающим на второй вход сравнивающего устройства 7, и тем самым происходит регулирование мощности до тех пор, пока  $U_{нг}$  станет равным напряжению ЦАП-I, т.е.

$$\kappa E_{оп} = \frac{\alpha \beta}{\tau E_{оп}} \int_0^T U i dt,$$

отсюда

$$\rho = \frac{1}{T} \int_0^T U i dt = \frac{\kappa E_{оп}^2 \cdot \tau}{\alpha \cdot \beta \cdot T}.$$

Таким образом, мощность устанавливается с помощью кода  $\rho$  и равна

$$\rho = \frac{E_{оп}^2 \cdot \tau}{\alpha \beta T} \cdot \frac{\sum_0^{\rho} 2^n}{2^{10}}.$$

Напряжение с выхода сравнивающего устройства через усилитель 6 постоянного тока 9 и тиристорный усилитель 10, понижающий трансформатор поступает на диодный мост 11 и далее на дроссели насыщения Д1 и Д2. С помощью дросселей насыщения, включенных в первичную обмотку понижающего трансформатора, происходит регулирование мощности ВП.

В отличие от широко распространенного подхода построения усредняющих устройств и воплощенных в измерителях мощности [3], выпускаемых промышленностью, и основанном на выделении постоянной составляющей от результата интегрирования в разработанном устройстве (рис.2) происходит решение определенного интеграла по основной теореме интегрального исчисления:

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a),$$

то есть

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = P(T) - P(0),$$

так как в начале периода выход интегратора устанавливается равным нулю, то, сле-

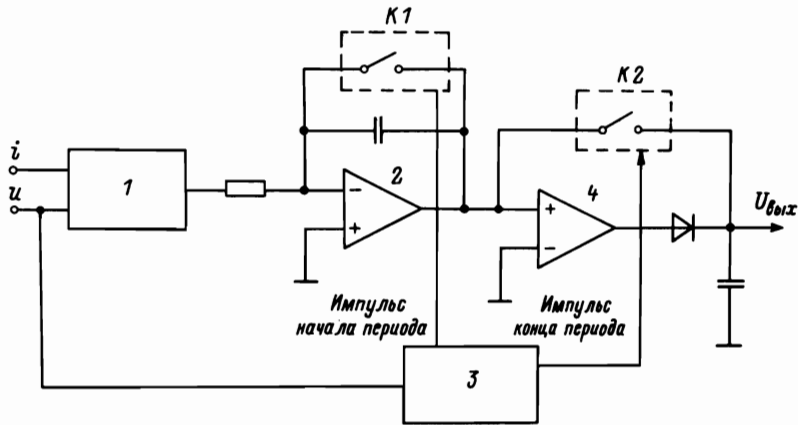


Рис.2. Упрощенная функциональная схема усредняющего устройства: 1 - множительное устройство; 2 - интегратор; 3 - синхронизатор сети; 4 - пиковый детектор

довательно, активная мощность за период равна  $P=P(T)$ . Таким образом, в конце периода  $T$  происходит запоминание значения интеграла, т.е. точное значение мощности достигается за первый полный период в отличие от известных устройств, в технических характеристиках которых значение мощности достигается за 0,5 и более секунд, причем по ГОСТ 24855-81 с точностью 5%. Кроме того, пульсация выходного напряжения после фильтра приводит к дополнительной погрешности при измерении мощности.

Применение итерационных сглаживающих фильтров [4] позволяет получать более быстродействующие устройства (реально три периода сети), но к недостаткам таких устройств следует отнести необходимость точной настройки фильтра, высокую стабильность конденсатора и сопротивления фильтра, стабильность измеряемой сети.

Таким образом, разработанный стабилизатор мощности имеет максимальное быстродействие и идеальное сглаживание напряжения, пропорциональное измеренной мощности.

Частота квантования цифровой части преобразования выбрана 30 кГц. Эта частота составляет 600-ю гармонику к частоте измерения 50 Гц и тем самым имеется возможность измерять активную мощность практически любой формы напряжения, как на активной, так и на активно-реактивной нагрузке.

Рассмотренный принцип стабилизации и управления мощностью ВТП проверен на макете установки экстракции газов и показал, что такое построение обеспечивает высокую повторяемость установки мощности, линейность приращения и измерение мощности с погрешностью не хуже 0,3% при высоких нелинейных искажениях питания объекта регулирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев Г.С.//ПТЭ, 1977, № I, с.248.
2. Шанин Л.Л.//Масс-спектрометрия и изотопная геология. М.: Наука, 1983, с.43.
3. Кизилев В.У. Измерительные преобразователи активной мощности энергообъектов. Харьков: Вища школа, 1983.
4. Гутников В.С.//Тр.Лен.политехнического ин-та, 1975, № 342, с.42-46.