

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СОЛЯНОЙ ПЕЧИ НА БАЗЕ ПОДМАГНИЧИВАЕМОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В. П. ОБРУСНИК, М. А. ТЫРЫШКИН

(Рекомендована научным семинаром электромеханического факультета).

Регулирование и стабилизация температуры отечественных соляных печей и ванн для термической обработки стальных изделий осуществляется с помощью релейно-контакторных схем. В основу процесса стабилизации положено периодическое отключение и включение (частичное или полное) напряжения питающего печного трансформатора в зависимости от того — выше или ниже контролируемая температура относительно заданной. Переключения осуществляются непосредственно в силовой цепи с помощью контакторов, что является причиной ряда недостатков таких схем, наиболее существенными из которых являются следующие:

1. Частый ремонт и большая амортизация силовых контакторов и промежуточных реле. Необходимость в постоянном наблюдении за работой системы.

2. Нарушение нормального технологического режима и даже аварии (взрыв перегретой соли) по причине перекоса и залипания контактов электромагнитных аппаратов.

3. Неудовлетворительная работа контрольно-измерительных приборов, вызываемая резкими изменениями электростатических и магнитных полей в печи.

4. Шум в цехе от работы контакторов, периодические толчки тока в сети, радиопомехи.

Названные недостатки являются крайне нежелательными при эксплуатации соляных нагревательных печей и ванн, особенно в условиях производств, где термическая обработка относится к главным участкам технологического цикла изготовления продукции. Они полностью устраняются при замене существующих релейно-контакторных схем бесконтактной системой регулирования на рис. 1, разработанной и апробированной в производственных условиях на печах СП-2-35 авторами данной статьи. Внешне схема отличается от известных лишь тем, что в ней нерегулируемый трансформатор заменен трансформатором, регулируемым подмагничиванием шунтов (ТРПШ), а электромагнитное промежуточное реле — магнитным реле (МР).

Релейный принцип управления в предлагаемой системе сохранен, что при большой тепловой инерционности печей (8÷12 мин.) обеспечи-

вадет более быстрое их нагревание и остывание в процессе стабилизации температуры, чем это возможно при непрерывном регулировании.

После разжигания и предварительного прогрева печи указатель $У$ измерительного устройства, встроенного в измерительный прибор электронного потенциометра ЭПД, устанавливают на деление шкалы, со-

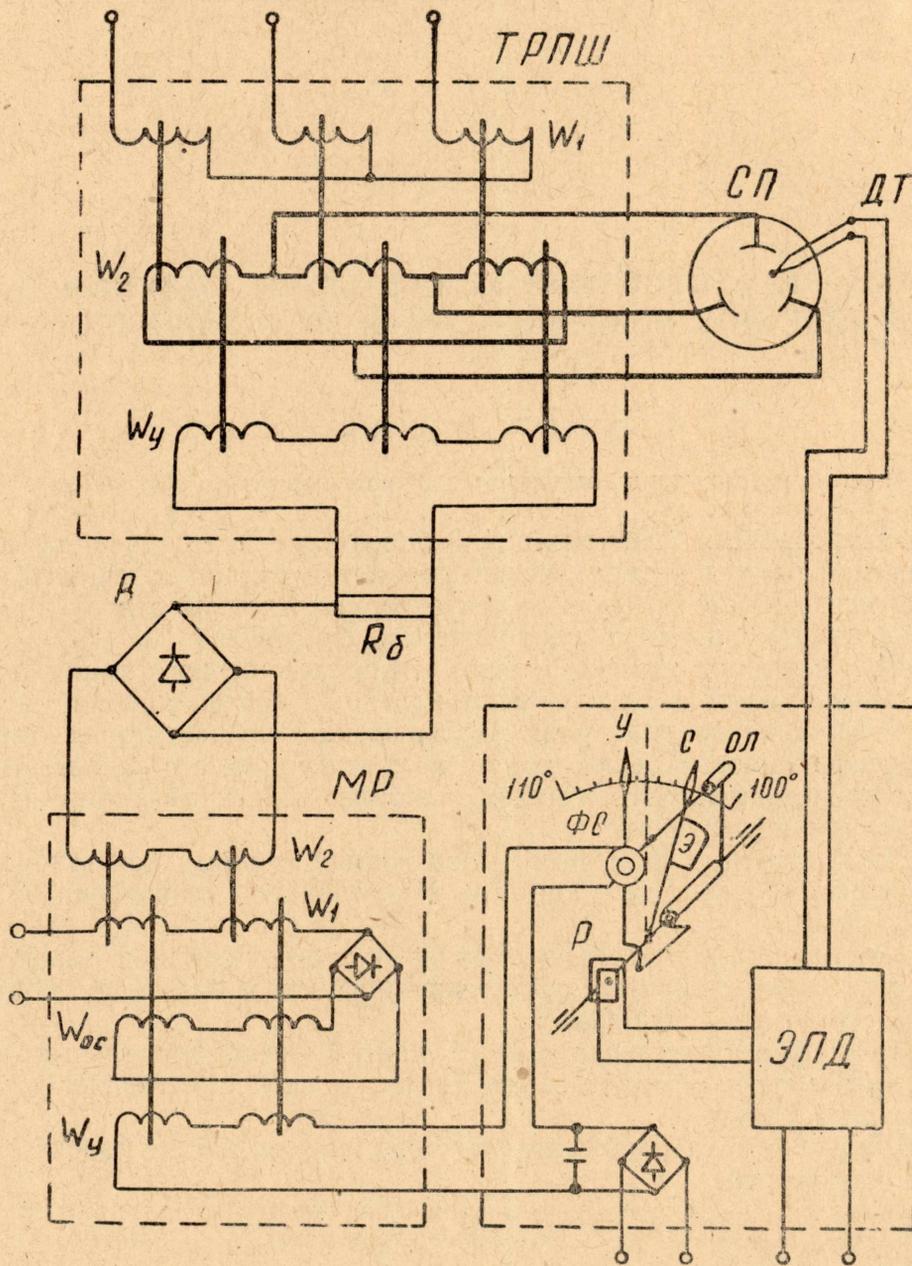


Рис. 1:

ответствующее заданной рабочей температуре. Жестко связанные с указателем камера фотосопротивления ΦC и осветитель $ОЛ$ займут положение, обусловленное местом нахождения указателя (см. рис. 1). Пока температура печи ниже заданной, стрелка прибора не заслоняет направленный на фотоэлемент световой луч и сопротивление ΦC минимально, ток в управляющей обмотке ТРПШ максимален, а напряжение на электродах соляной печи СП максимально. При достижении

заданной температуры или ее превышении, стрелка прибора заслоняет от фотоэлемента луч осветителя, фотосопротивление становится очень большим, ток в обмотке W магнитного реле резко падает и оно снимает напряжение с управляющей обмотки ТРПШ. Подведенная к печи мощность скачков уменьшается и печь начинает остывать; стрелка опять освобождает луч и процесс регулирования повторяется.

Система на рис. 1 дает возможность удобным и простым способом отключать в период остывания печи не все выходное напряжение трансформатора, а только часть его, достаточную для обеспечения снижения температуры. Это позволяет намного затянуть время остывания печи в процессе регулирования, а тем самым — уменьшить частоту подмагничивания ТРПШ, частоту толчков тока в сети и изменений электростатических полей ванны в несколько раз. Качество термообработки при этом повышается. Причем, сам процесс изменения названных величин происходит не резко, а плавно. Этому положительному фактору способствует электромагнитная инерционность ТРПШ и МР.

Экспериментальные кривые температуры печи СП-2-35 в установленном режиме показаны на рис. 2. Жирная кривая получена в си-

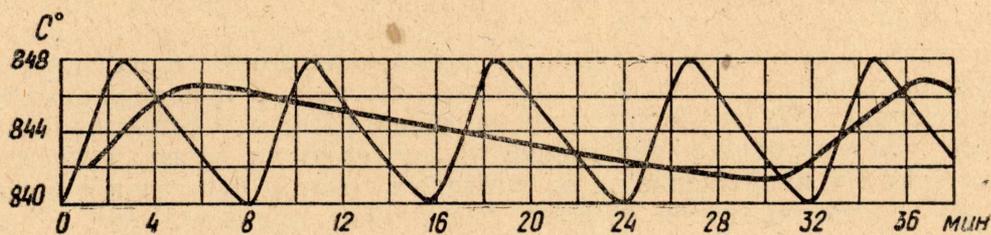


Рис. 2.

стеме на рис. 1, при изменениях выходного напряжения ТРПШ от 0,6 до 1 номинального, тонкая — в релейно-контактной схеме, полностью отключающей напряжение на период охлаждения.

Трансформатор, регулируемый подмагничиванием шунтов и магнитное реле, в отличие от контакторов и реле, которые теперь заменяются в схеме, при нормальной эксплуатации имеют практически неограниченный срок службы. Их расчет и изготовление возможны в любой электромастерской предприятия ТРПШ может быть выполнен по любой известной конструкции 3-х фазным или групповым из трех однофазных ТРПШ, см. [1, 2]. Для опытной установки он был выполнен по конструкции на рис. 3 путем несложной переделки печного трансформатора ТНТ-35АО, к магнитопроводу с первичными обмотками которого добавлен шунт с катушками управляющей обмотки, а вторичная обмотка при тех же значениях числа витков и сечения сделана охватывающей оба магнитопровода.

Магнитное реле МР удобно выполнять на однофазном ТРПШ, у которого обмотка обратной связи W_{oc} наматывается с числом витков, равным $(1,1 \div 1,07) W_1$, или $(1,15 \div 1,1) W_2$ соответственно ее последовательному включению с первичной или вторичной рабочими обмотками.

Специфичными для бесконтактной системы регулирования температуры соляных печей являются расчеты сечения шунта ТРПШ и величины балластного сопротивления R_6 .

Оптимальное сечение шунта $S_{шоп}$ определяет минимальную, найденную из теплотехнических расчетов или опытно, мощность, которую ТРПШ должен отдавать печи в период остывания. Теоретические и экс-

периментальные анализы показали, что значение $S_{шоп}$ находится в пределах $0,75 \div 0,55$ от сечения основного магнитопровода S_0 , если последний и шунт выполняются из одинаковой трансформаторной стали. При широком диапазоне рабочих температур

$$S_{шоп} = (0,75 \div 0,7) S_0,$$

при работе печей на одной температуре,

$$S_{шоп} = (0,6 : 0,55) S_0.$$

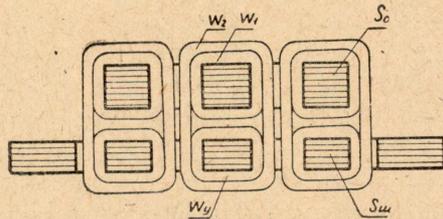


Рис. 3.

основного магнитопровода. Назначение R_0 — погасить напряжение гармоник, кратных трем. Для конструкций ТРПШ со вторичными обмотками охватывающими шунт и соединения рабочих обмоток по схеме λ/Δ утроенное значение э.д.с. этих гармоник будет всегда в открытом треугольнике катушек обмоток подмагничивания, а их значение может быть опасным для вентилей выпрямителя B и обслуживающего персонала. Шунтирование управляющей обмотки сопротивлением обеспечивает свободное протекание токов гармоник, кратных трем, и резко снижает напряжение на ее выводных концах. Выполнение специальной короткозамкнутой обмотки для ликвидации э.д.с. этих гармоник нецелесообразно, так как требуются дополнительные затраты на ее изготовление, увеличивается вес, габариты и нагрев ТРПШ. Шунтирование же емкостью выходных концов обмотки управления еще более усиливает э.д.с. гармоник.

Пренебрегая влиянием всех гармонических, кроме третьей, что вполне возможно ввиду малого удельного веса первых, при расчете R_0 можно воспользоваться выражениями для утроителей частоты, предложенными в [3]. Если кривые намагничивания магнитопроводов ТРПШ аппроксимируются по формуле

$$H = \alpha sh\beta B, \quad (1)$$

то для тока и индукции третьей гармоники его обмотки управления будет справедливо выражение

$$3 \sqrt{2} W_y I_{y3} = \alpha l \left[shR_3 \left(chR_a + 2ch\frac{R_a}{2} \right) + chR_3 \left(shR_a - 2sh\frac{R_a}{2} \right) \right], \quad (2)$$

где $R_3 = \beta B_3$, $R_a = \beta B$ — безразмерные величины;

B и B_3 — максимальное значение индукции основной и третьей гармоники;

α , β — коэффициенты аппроксимирующего уравнения;

l — средняя длина силовой линии основного магнитопровода ТРПШ;

W_y , I_{y3} — число витков и ток третьей гармоники управляющей обмотки.

Из выражения (2) для тока 3-й гармоники короткозамкнутой управляющей обмотки, когда $B_3=0$, получим

$$I_{y3к} = \frac{\alpha l \left(shR_a - sh\frac{R_a}{2} \right)}{3 \sqrt{2} W_y}, \quad (3)$$

а для разомкнутой обмотки, когда $I_{y3}=0$, найдем выражение 3-й гармоники индукции

$$thR_3 = - \frac{shR_a - 2sh \frac{R_a}{2}}{chR_a + 2ch \frac{R_a}{2}} \quad (4)$$

Поскольку

$$e^{2R_2} = \frac{1 + thR_3}{1 - thR_3} = A, \quad (5)$$

то

$$B = \frac{\lg A}{2\beta \lg e}. \quad (6)$$

Зная величину B_3 нетрудно найти суммарное значение напряжения третьих гармоник на концах управляющей обмотки:

$$U_{y30} = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \omega_3 \cdot B_3 \cdot S_{ш} \cdot W_y, \quad (7)$$

где ω_3 — угловая частота 3-й гармоники,

$S_{ш}$ — сечение шунта.

Рассматривая управляющую обмотку как генератор напряжения трехкратной частоты с внутренним сопротивлением

$$X_{y3} = \frac{U_{y30}}{I_{y3}}. \quad (8)$$

можно записать выражение для тока при любом значении балластного сопротивления R_6 :

$$I_{y3} = \frac{U_{y30}}{\sqrt{R_6^2 + X_{y3}^2}}. \quad (9)$$

Если считать, что напряжение на сопротивлении не должно превышать некоторое допустимое значение, то есть должно сохраняться условие

$$U_{доп} = I_{y3} \cdot R_6, \quad (10)$$

то из выражений (9, 10) получим

$$R_6 = \sqrt{\frac{U_{доп}^2 X_{y3}^2}{U_{y30}^2 - U_{доп}^2}}. \quad (11)$$

Опытная проверка показала, что выражения (3 ÷ 11) вполне применимы в инженерных расчетах величины R_6 . Например, для опытной системы к печи СП-2-35, имеющей данные ТРПШ: $U_1=220$ в, $W_1=58$ витк., $W_2=4$ витк., $W_y=450$ вт., $R_y=1,6$ ом, $S_0=144$ см², $S_{ш}=100$ см², $l=62$ см, $B=1,2$ тл, сталь Э-42, при $\alpha=0,07$ а/см, $\beta=4,72$ 1/тл, получены следующие расчетные и экспериментальные величины

U_{y30} (в)	$I_{y3к}$ (а)	$U_{доп}$ (в)	R_6 (ом)	
2040	3,4	30	8,8	Расчет
1900	3,2	28	8,8	Опыт

При выборе вентиля для выпрямителя B необходимо учитывать, что в течение одного полупериода переменные составляющие тока в управляющей обмотке будут протекать через вентили, минуя R_6 . Поэтому, они должны иметь запас по току на величину, не меньшую чем $0,5I_{узк}$.

Эксплуатация описанной бесконтактной системы регулирования (рис. 1) в производственных условиях показала, что она может успешно заменять существующие релейно-контакторные схемы, намного превосходя последние по надежности в работе и простоте обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Бамдас, В. А. Сомов, А. О. Шмидт. Трансформаторы и стабилизаторы, регулируемые подмагничиванием шунтов. Госэнергоиздат, 1959.
2. А. М. Бамдас, С. В. Шапиро, О. Д. Гетманенко. Определение оптимальных конструкций трансформаторов и автотрансформаторов, регулируемых подмагничиванием, и их расчет. Труды ГПИ, том XVIII, вып. 1, 1962.
3. Л. Л. Рожанский. Статические преобразователи частоты, Госэнергоиздат, 1962.