

**МАЛОИНЕРЦИОННОЕ УПРАВЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО
ДЛЯ РЕГУЛЯТОРОВ МОЩНОСТИ ДУГОВЫХ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ**

В. А. БЕЙНАРОВИЧ, Н. Г. ВОЛКОВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ при ТПИ)

В настоящее время большинство отечественных дуговых сталеплавильных печей оснащено регуляторами мощности дуги, содержащими электромашинный (или магнитный) усилитель, исполнительный двигатель постоянного тока и устройство управления, называемое задатчиком мощности дуги, упрощенная схема которого показана на рис. 1.

Недостатком таких регуляторов является большая инерционность исполнительного двигателя и усилителя, что приводит к значительному перерасходу электроэнергии в процессе плавки, особенно в период расплавления, когда режимы короткого замыкания (при обвале шихты) чередуются с режимами холостого хода (при обрывах дуги).

Повышение быстродействия регуляторов мощности позволяет повысить производительность печей, снизить стоимость передела одной тонны стали и улучшить ее качество.

При разработке быстродействующих регуляторов мощности дуги возникают проблемы снижения инерционности исполнительного привода перемещения электродов, минимизация инерционности усилителя и устройства управления. Средства для реализации быстродействующих электромеханических систем известны — применение двигателей с гладким якорем, использование безынерционных тиристорных усилителей, создание оптимальных по быстродействию систем управления. Необходимым условием нормальной работы быстродействующего регулятора, очевидно, является также и безынерционность устройства задатчика мощности дуги.

Рассмотрим работу схемы рис. 1. На вход задатчика мощности дуги поступают два сигнала (рис. 2): переменное напряжение U_2 , пропорциональное напряжению дуги U_d , и переменное напряжение U_2 , пропорциональное току дуги I_d . Напряжение U_1 отстает по фазе от U_2 на угол φ , определяемый фазовым сдвигом тока дуги относительно напряжения. Угол φ изменяется в зависимости от режима работы печи. Форма напряжений U_1 и U_2 для реального режима работы (один из периодов плавки) показана сплошной кривой, усредненная — пунктирной. В результате двухполупериодного выпрямления и алгебраического суммирования напряжений U_1 и U_2 на выходе задатчика мощности дуги получается напряжение U_y . При равенстве мощности дуги заданной величине напряжение U_y имеет пилообразную форму (рис. 2), но среднее значение напряжения U_y равно нулю. Амплитуда напряжения U_y составляет в этом режиме около 50% от амплитуды входных напряжений U_1 и U_2 (при $\varphi \cong 30^\circ$).

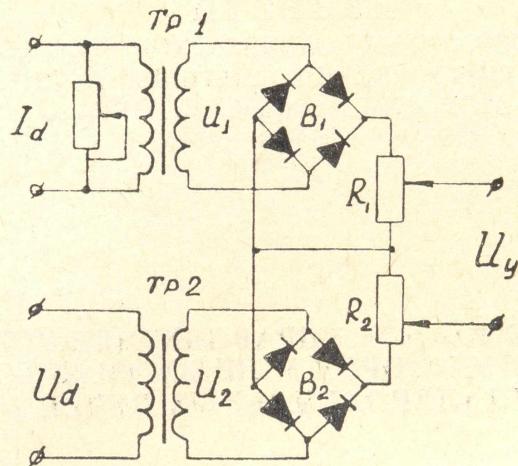


Рис. 1. Задатчик мощности дуги.

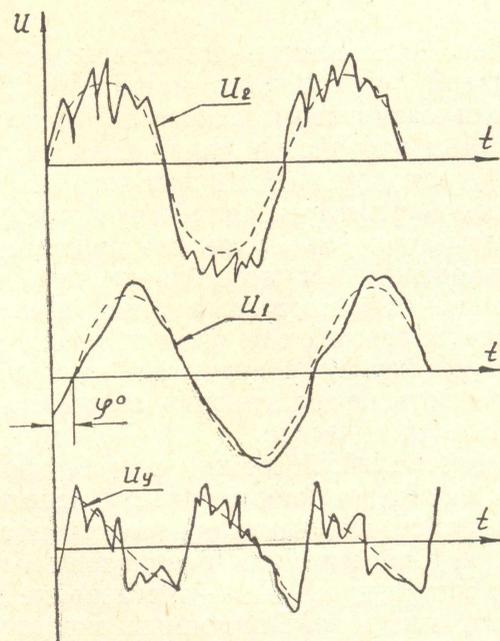


Рис. 2. Формы напряжений задатчика мощности дуги

Использование напряжения U_y такой формы для управления электроприводами с электромашинным или магнитным усилителем и двигателем нормального исполнения не приводит к возникновению пульсаций тока и пульсирующих перемещений из-за значительной инерционности таких электроприводов.

При использовании быстродействующих электроприводов пульсации напряжения U_y уже воспринимаются системой как полезный сигнал, что приводит к появлению переменного тока в якоре исполнительного двигателя и может вызвать пульсирующие перемещения. Кроме того, в безынерционных тиристорных усилителях использование пульсирующего напряжения U_y (рис. 2) вообще не допустимо, так как вызывает ложные отпираания тиристоров. Применение же сглаживающих фильтров ведет к увеличению инерционности задатчика мощности дуги и, следовательно, к снижению быстродействия регулятора.

Для снижения пульсаций напряжения на выходе задатчика мощ-

ности дуги без существенного увеличения его инерционности можно использовать искусственное увеличение числа фаз выпрямления напряжений U_1 и U_2 на основе параметрических фазовращательных схем. На рис. 3 показана схема такого задатчика мощности.

Исследования [2] показали, что при увеличении числа фаз выпрямления с двух до шести быстродействие слежения за изменением среднего значения входного сигнала увеличивается примерно в 30 раз при условии одинаковой пульсации выпрямленного напряжения. С увеличением числа фаз выпрямления всё в большей степени уменьшается пульсация и повышается быстродействие задатчика мощности при заданном уровне пульсации, что позволяет значительно повысить частоту пропускания системы регулирования в целом.

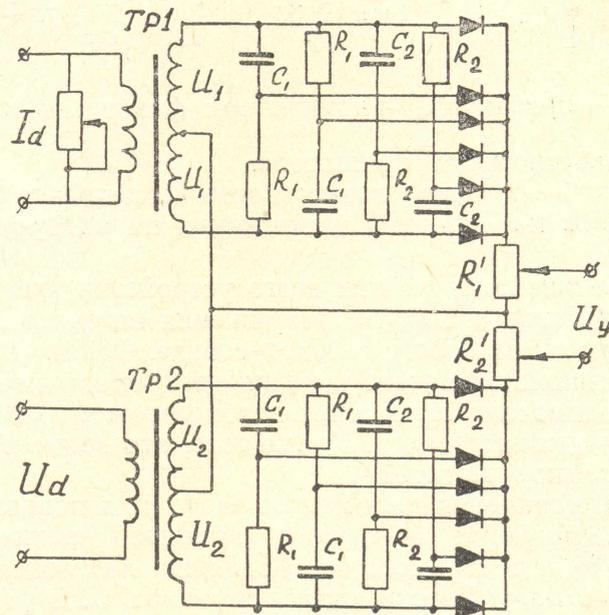


Рис. 3. Задатчик мощности дуги с увеличенным числом фаз выпрямления до шести

Определим основные соотношения для выбора параметров схемы рис. 3.

Рассмотрим в общем случае один мост фазовращателя, содержащий вторичную обмотку трансформатора со средней точкой и напряжением каждого плеча U , плечо с реактивным элементом Z (емкостное или индуктивное), плечо с резистором R и резистором нагрузки R_H , включенным в диагональ моста. На основании законов Кирхгофа для моста фазовращателя можно записать следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} I_R R - I_H R_H &= \dot{U} \\ I_H R_H + I_Z Z &= \dot{U} \\ I_R + I_H - I_Z &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где I_R , I_Z и I_H — соответственно токи плеч моста и нагрузки. Из (1) выражение для напряжения нагрузки будет иметь вид

$$\dot{U}_H = I_H R_H = \dot{U} \frac{(R - Z R_H)}{R R_H + (R + R_H) Z}, \quad (2)$$

откуда фазовый сдвиг напряжения на нагрузке U_H относительно питающего напряжения U на основной частоте определится

$$\varphi = \arctg \frac{ZR(R + 2R_H)}{R^2R_H - Z^2(R + R_H)}, \quad (3)$$

где $Z = \omega L$ — для активно-индуктивного фазовращателя и $Z = \frac{1}{\omega C}$ для активно-емкостного фазовращателя.

Из выражения (3) определим величину R , которая обеспечивает получение заданного фазового сдвига φ при известных параметрах Z и R_H :

$$R = \frac{(Z^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi + 2ZR_H) \pm \sqrt{(Z^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi + 2ZR_H)^2 + 4(R_H \operatorname{tg} \varphi - Z)Z^2R_H \cdot \operatorname{tg} \varphi}}{2(R_H \operatorname{tg} \varphi - Z)}. \quad (4)$$

Относительное значение модуля напряжения на нагрузке определяется

$$\frac{|U_H|}{|U|} = \sqrt{\frac{[K^2 - R_H(R + R_H)]^2 + K^2(R + 2R_H)^2}{[K^2 + (R + R_H)^2]^2}}, \quad (5)$$

где $K = \frac{RR_H}{\omega L}$ — при активно-индуктивном фазовращателе и $K = RR_H\omega C$ при активно-емкостном фазовращателе.

Выражения (3—5) дают возможность исследовать влияние выбора параметров схемы на величину напряжения на нагрузке при заданном фазовом сдвиге.

Наилучшим режимом работы всего устройства, очевидно, будет такой режим, при котором модуль напряжения на заданной нагрузке остается постоянным при любом фазовом сдвиге. Однако исследования показывают, что выполнение этого условия требует значительного повышения мощности задатчика вследствие необходимости увеличения токов в плечах мостов фазовращателей. Кроме того, это ведет к увеличению габаритов реактивных элементов.

Оптимальные значения параметров задатчика мощности могут быть найдены из выражений (3—5) для заданной величины сопротивления нагрузки R_H и требуемого соотношения напряжения на нагрузке U_H к напряжению полуобмотки трансформатора U . В результате проведенных исследований получены показанные на рис. 4 оптимальные зависимости емкости C реактивного плеча фазовращателя от величины нагрузки R_H при постоянстве отношения напряжения U_H к напряжению U , обеспечиваемом при любом фазовом сдвиге.

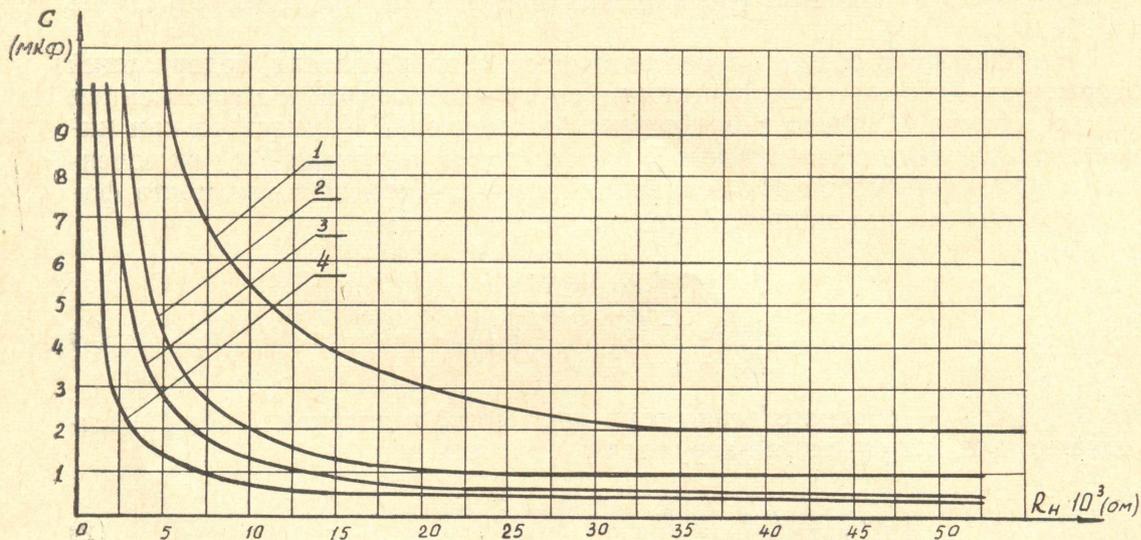


Рис. 4. Зависимость ёмкости C от сопротивления нагрузки R_H в диагонали моста для отношений напряжения U_H на нагрузке к напряжению U полуобмотки трансформатора равным: 1 — 98%, 2 — 95%, 3 — 90%, 4 — 75%.

Аналогичным образом можно получить и оптимальные значения индуктивности реактивного плеча фазовращателя.

Для малоинерционного выпрямительного устройства с активноемкостными фазовращателями можно рекомендовать следующий порядок расчета:

1) по зависимостям рис. 4 или из выражений (3—5) определяется значение емкости C при заданных величине сопротивления нагрузки R_n и отношении U_n к U ;

2) из условий допустимой пульсации напряжения на нагрузке выбирается число фаз выпрямления m и определяется фазовый сдвиг

$$\varphi = \frac{2\pi}{m},$$

3) по выражению (4) определяется величина сопротивления плеча каждого n -го фазовращателя из условий получения фазового сдвига $\varphi = n\varphi_0$ (где $n=1,2, \dots, m$).

Рассмотренная схема задатчика мощности дуги позволяет значительно уменьшить инерционность в цепи управления САР и снизить пульсации выпрямленного напряжения, что существенно увеличит быстродействие регуляторов мощности дуги. Рекомендованная методика расчета позволяет определить необходимые параметры схемы для любой фазности выпрямления и, следовательно, получить пульсации желаемой величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Булгаков. Электронные устройства автоматического управления. Госэнергоиздат, 1958.
2. В. В. Тормасов. Новый способ сглаживания напряжения однофазного выпрямителя. Труды Норильского вечернего индустриального института, Физико-электротехнический выпуск, сборник № 2, 1964.
3. Г. И. Атабеков. Теоретические основы электротехники, часть 1. «Энергия», 1966.