

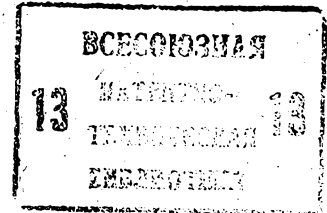


СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1159180** **A**

4(51) Н 05 В 7/148

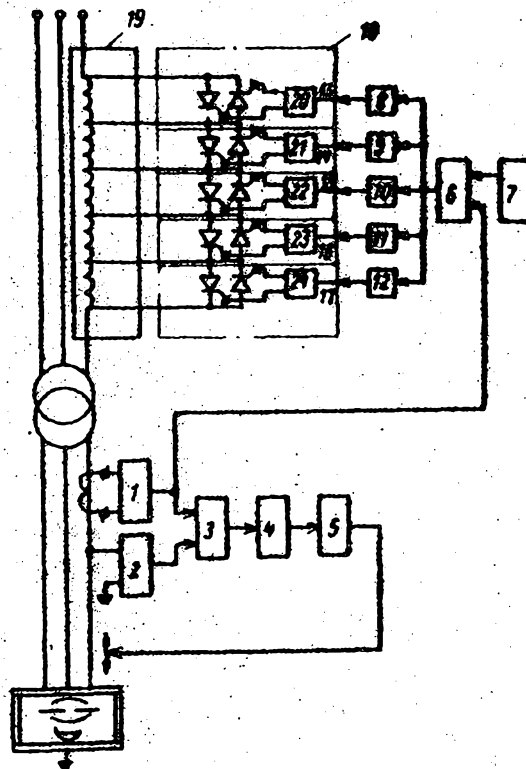
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ



# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (61) 1042211
- (21) 3653178/24-07
- (22) 17.10.83
- (46) 30.05.85. Бюл. № 20
- (72) Б.Д.Денис, О.Ю.Лозинский  
и Я.С.Паранчук
- (71) Львовский ордена Ленина поли-  
технический институт им.Ленинского  
комсомола
- (53) 621.365.22(088.8)
- (56) 1. Авторское свидетельство СССР  
№ 1042211, кл. Н 05 В, 7/148, 1982.
- (54)(57) РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ ДУГОВОЙ  
МНОГОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ по авт.св.  
№ 1042211, отличающийся

тем, что, с целью повышения качества регулирования путем снижения содержания высших гармонических составляющих тока дуги, регулируемый дроссель выполнен по крайней мере двухсекционным, блок регулирования индуктивного сопротивления дросселя выполнен с числом каналов, равным числу секций дросселя, выход каждого канала подключен к соответствующей секции дросселя, а вход каждого канала связан с выходом блока регулирования тока дуги через дополнительно введенный элемент "Зона нечувствительности-ограничение".



Фиг.1

(19) **SU** (11) **1159180** **A**

Изобретение относится к электро-термии.

По основному авт.св. № 1042211 известен регулятор мощности дуговой многофазной печи, содержащий для каждой фазы регулируемый дроссель, включенный в цепь первичной обмотки силового трансформатора, и датчики тока и напряжения дуги, подключенные выходами к входам блока сравнения, выход которого через усилитель связан с исполнительным механизмом перемещения электрода этой фазы, подключенный к управляющему входу дросселя, блок регулирования индуктивного сопротивления дросселя с входом которого соединен выход блока регулирования тока дуги, к входам которого подключены датчик и задатчик тока дуги [1].

Недостаток этого регулятора - увеличение содержания высших гармонических составляющих в кривой тока дуги, что приводит к снижению производительности печи и увеличению потерь в печном трансформаторе и питающей сети. Это является следствием того, что в процессе регулирования электрического режима эквивалентное значение индуктивного сопротивления дросселя изменяется путем шунтирования всего дросселя на определенную часть полупериода питающего напряжения, чем вносится нелинейность в цепь протекания тока дуги. А так как индуктивное сопротивление дросселя соизмеримо с сопротивлениями других элементов силовой цепи электропечной установки, то это приводит к существенному увеличению содержания высших гармонических составляющих в кривой тока дуги.

Цель изобретения - повышение качества регулирования путем снижения содержания высших гармонических составляющих тока дуги.

Поставленная цель достигается тем, что в регуляторе мощности дуговой многофазной электропечи регулируемый дроссель выполнен по крайней мере двухсекционным, блок регулирования индуктивного сопротивления дросселя выполнен с числом каналов, равным числу секций дросселя, выход каждого канала подключен к соответствующей секции дросселя, а вход каждого канала связан с выходом блока регулирования тока дуги через

дополнительно введенный элемент "Зона нечувствительности - ограничение".

На фиг. 1 представлена функциональная схема предлагаемого регулятора мощности дуговой многофазной электропечи при использовании пяти элементов "Зона нечувствительности - ограничение"; на фиг. 2 - диаграммы настройки отдельных элементов "Зона нечувствительности - ограничение" (а, б, в, г, д) т.е. зависимости напряжения на выходе отдельного элемента "Зона нечувствительности - ограничение" ( $U_{вых}$ ) от его входного напряжения ( $U_{вх}$ ).

Регулятор для каждой фазы содержит датчик 1 тока дуги, датчик 2 напряжения дуги, выходы которых соединены с входами блока 3 сравнения, а сигнал с выхода последнего поступает на вход усилителя 4. Выход усилителя 4 соединен с входом исполнительного механизма 5, выходной сигнал которого воздействует на положение электродов. Входы блока 6 регулирования тока дуги подключены к выходу датчика 1 тока дуги и к выходу задатчика 7 тока дуги, а выход блока 6 соединен с входами элементов "Зона нечувствительности и ограничение" 8 - 12, выходы которых соединены с соответствующими входами каналов 13-17, блока 18 регулирования индуктивного сопротивления дросселя, а выход каждого канала подключен к соответствующей секции дросселя 19. Управляющие электроды каждой пары встречно-параллельно включенных тиристоров блока 18 подключены к выходам своих элементов импульсно-фазового управления 20-24, входы которых являются входами каналов блока 18 регулирования индуктивного сопротивления дросселя.

В предлагаемом регуляторе обработка возмущений электрического режима производится двумя независимыми контурами регулирования. Первый контур регулирования, включающий датчик 1 тока дуги, датчик 2 напряжения дуги, блок 3 сравнения, усилитель 4 и исполнительный механизм 5, осуществляет обработку возмущений электрического режима, вызвавших смещение рабочей точки печи в сторону короткого замыкания или обрыва дуги, путем перемещения электрода в сторону

ликвидации возмущения. В этом контуре реализован известный дифференциальный закон регулирования электрического режима, а в качестве регулируемого параметра  $U_{рас}$  используется разность сигналов, пропорциональных току дуги  $J_2$  и напряжению дуги  $U_A$ .

$$U_{рас} = aU_A - bJ_A,$$

где  $a$  и  $b$  - постоянные коэффициенты, определяющие установку регулятора.

Установленному режиму работы электропечи, который определяется равенством напряжения и тока дуги установленным значениям ( $J_A = J_{уст}$ ,  $U_A = U_{уст}$ ), соответствует нулевое значение регулируемого параметра  $U_{рас} = 0$ . Этот контур регулирования представляет собой электромеханическую систему и обладает низким быстродействием. Быстродействие его ограничено с одной стороны максимальной скоростью перемещения электрода, определяемой областью устойчивой работы регулятора, а с другой стороны - максимальным ускорением привода, определяемым механической прочностью электрода и электрододержателя. Помимо инерционности электромеханической системы перемещения электрода, увеличивающей время регулирования, отрицательное влияние на быстродействие этого контура оказывают запаздывания, возникающие за счет люфтов, зазоров и проскальзываний.

Второй контур регулирования включает датчик 1 тока дуги, задатчик 7 тока дуги, блок 6 регулирования тока дуги, элементы "Зона нечувствительности - ограничение" 8-12, блок 18 регулирования индуктивного сопротивления дросселя и многосекционный дроссель 19. Этот контур, представляя собой чисто электрический контур регулирования, обладает высоким быстродействием (постоянная времени регулирования  $T_k = 0,005-0,01$  с) и компенсирует возмущение путем автоматического регулирования эквивалентного значения индуктивного сопротивления дросселя 19 в функции увеличения тока дуги над заданным  $J_{A,ст}$ . При отработке возмущений электрического режима в диапазоне частот 0-5 Гц благодаря высокому быстродействию этот контур регулирования является квазиазиатическим по току дуги, а при отработке

возмущений типа скачка (например, внезапного короткого замыкания) время регулирования составляет порядка 0,02-0,03 с.

Каждая секция дросселя 19, на которые он разделяется при изготовлении, шунтируется двумя встречно-параллельно включенными тиристорами, входящими в состав блока 18 регулирования индуктивного сопротивления дросселя. Минимальное, но не менее двух, количество секций дросселя можно определить по формуле:

$$N = [\sqrt{2} U_{AP}] / U_{повт},$$

где  $U_{AP}$  - расчетное напряжение дросселя;

$U_{повт}$  - повторяющееся напряжение шунтирующих секций дросселя тиристоров.

Управление каждой парой встречно-параллельно включенных тиристоров осуществляется от своего канала импульсно-фазового управления, в функции которого входит формирование и регулирование фазы управляющих импульсов для каждого из тиристоров данной пары. Регулирование фазы управляющих импульсов осуществляется в функции напряжения управления  $U_y$ , которое поступает на вход данного канала (т.е. на соответствующий вход канала блока 18 регулирования индуктивного сопротивления дросселя) с выхода соответствующего элемента "Зона нечувствительности - ограничение". Изменение напряжения управления  $U_y$  на входе канала импульсно-фазового управления от нуля до максимального значения  $U_{y, max}$  вызывает изменение угла открывания тиристоров, подключенных к выходу этого канала, относительно точки естественного открывания от минимального значения  $\alpha_{min}$  до максимального  $\alpha_{max}$ . Каждый из каналов импульсно-фазового управления, входящих в состав блока 18 регулирования индуктивного сопротивления дросселя, может быть реализован, например, на основе системы импульсно-фазового управления однофазного тиристорного регулятора напряжения типа РНТО-330-600.

Элементы "Зона нечувствительности - ограничение" предназначены для формирования напряжения управления соответствующих каналов импульсно-фазового управления в функции напряжения  $U$  на выходе блока 6 регулирования

тока дуги. Каждый элемент "Зона нечувствительности - ограничение" может быть реализован, например, по известным схемам на диодно-резисторных элементах. Для настройки отдельных элементов "Зона нечувствительности - ограничение" необходимо определить напряжение на входе  $i$ -го элемента  $U_i'$ , соответствующее началу открытия этого элемента, и напряжение на его входе  $U_i''$ , соответствующее переходу элемента в полностью открытое состояние (фиг. 2). Эти напряжения настройки элементов "Зона нечувствительности - ограничение" можно определить, например, согласно выражениям:

$$U_i' = (i-1) \frac{U_m}{N};$$

$$U_i'' = i \frac{U_m}{N};$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  - расчетный номер настраиваемого элемента "Зона нечувствительности - ограничение";  
 $U_m$  - максимальное напряжение на выходе блока 6 регулирования тока дуги;  
 $N$  - количество элементов "Зона нечувствительности - ограничение".

Величина максимального сигнала на выходах элементов "Зона нечувствительности - ограничение" устанавливается равной максимальному значению сигнала управления соответствующего канала импульсно-фазового управления.

Блок регулирования тока дуги 6 предназначен для формирования сигнала управления, поступающего на входы элементов "Зона нечувствительности - ограничение" в функции разности фактического значения тока дуги, поступающего с выхода датчика 1 тока дуги, и заданного значения тока стабилизации, поступающего с выхода задатчика 7 тока дуги. Блок 6 регулирования тока дуги может иметь, например, пропорционально-интегральную харак-

теристику и может быть реализован на стандартных устройствах, входящих в состав унифицированной блочной системы регулирования (УБСР-АИ). Задатчик 7 тока дуги может представлять собой, например, потенциометр напряжения, а величина его выходного напряжения пропорциональна значению  $J_{A,ст}$ .

В процессе работы регулятора при отработке возмущений электрического режима, вызывающих увеличение тока дуги над величиной тока стабилизации  $J_{A,ст}$ , необходимо изменять величину эквивалентного индуктивного сопротивления дросселя  $\chi_{др. экв}$  от максимального значения (короткое замыкание) до нуля (при  $J_A < J_{A,ст}$ ). Это осуществляется в функции выходного напряжения  $U$  блока 6 регулирования тока дуги путем изменения соотношения между числом секций дросселя, постоянно включенных на протяжении всего полупериода питающего напряжения ( $\alpha = \alpha_{max}$ ), эквивалентное индуктивное сопротивление которых максимально, и числом секций, которые включены на минимальную часть полупериода питающего напряжения (соответствующему  $\alpha = \alpha_{min}$ ), эквивалентное индуктивное сопротивление этих секций равно минимальному, приближающемуся к нулю, значению, а также путем изменения эквивалентного индуктивного сопротивления одной из секций дросселя посредством регулирования угла открывания тиристоров этой секции в диапазоне  $\alpha_{min} < \alpha < \alpha_{max}$ , что приводит к изменению эквивалентного индуктивного сопротивления этой секции от минимального до максимального значения. В процессе регулирования выходное напряжение  $U$  блока 6 в любой момент времени принадлежит диапазону  $U_i' < U < U_i''$  одного из элементов ( $i$ -го) "Зона нечувствительности - ограничение", а выходное напряжение этого элемента посредством соответствующих каналов импульсно-фазового управления и пары встречно-параллельно включенных тиристоров приводит к установлению соответствующего этому напряжению угла  $\alpha$  открывания тиристоров, а значит и к установлению соответствующей величины эквивалентного индуктивного сопротивления  $i$ -й секции дросселя, при этом выходной сигнал элементов "Зона нечувствительности - ограничение", расчетный номер которых меньше  $i$ , равен максимальному зна-

чению, т.е. эквивалентное индуктивное сопротивление соответствующих им секций дросселя равны максимальным значениям, а в остальных элементах "Зона нечувствительности - ограничение", расчетный номер которых больше  $i$ , выходной сигнал равен нулю, значит, эквивалентные индуктивные сопротивления соответствующих им секций равны минимальному значению. При изменении напряжения  $U$  в процессе регулирования изменяется угол  $\alpha$ , а значит, и величина эквивалентного индуктивного сопротивления одной из секций дросселя изменяется от минимального к максимальному значению, а также перераспределяется число секций, постоянно включенных на протяжении всего полупериода питающего напряжения, и число секций, включенных на минимальную часть полупериода питающего напряжения, т.е. происходит регулирование величины эквивалентного индуктивного сопротивления дросселя, равного сумме эквивалентных индуктивных сопротивлений секций дросселя. Нелинейным элементом в этом случае является индуктивное сопротивление одной из секций дросселя, время включения которой на протяжении полупериода питающего напряжения регулируется путем изменения  $\alpha$ . Так как величина индуктивного сопротивления этой секции составляет небольшую величину по отношению к величине индуктивного сопротивления дросселя ( $\frac{1}{N}$ ) и по отношению к другим сопротивлениям электропечи в процессе обработки возмущений, то нелинейность, вносимая в цепь протекания тока дуги, при таком способе регулирования эквивалентного индуктивного сопротивления дросселя сводится к минимуму.

Регулятор работает следующим образом.

Пусть под одним из электродов печи возникло возмущение, вызвавшее увеличение тока дуги над заданным значением  $J_{A.ст}$ . Разность сигналов, пропорциональных фактическому и заданному значению тока дуги, снимаемых с выходов датчика 1 и датчика 7 тока дуги соответственно, поступает на вход блока 6 регулирования тока дуги и определяет его выходное напряжение. Величина этого напряжения определяет в соответствии

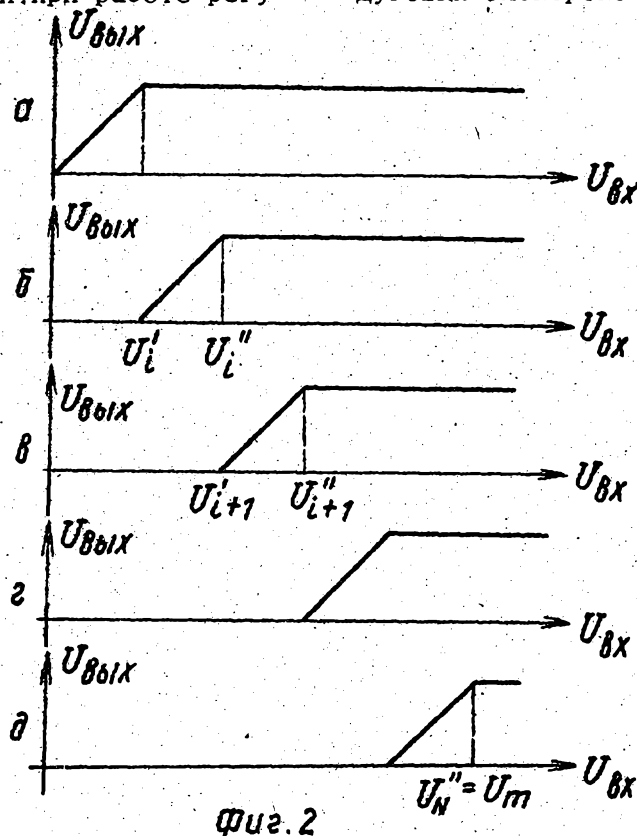
с диаграммами настройки отдельных элементов "Зона нечувствительности - ограничение" выходные напряжения этих элементов, т.е. напряжения на соответствующих входах блока регулирования индуктивного сопротивления дросселя, которые посредством соответствующих каналов импульсно-фазового управления и пар встречно-параллельно включенных тиристоров, входящих в состав блока 18 регулирования индуктивного сопротивления дросселя, устанавливают такую величину эквивалентного индуктивного сопротивления дросселя, при котором в силовой цепи устанавливается заданное значение тока дуги  $J_{A.ст}$ . Одновременно сигналы с выходов датчика 1 тока дуги и датчика 2 напряжения дуги, поступающие на входы блока сравнения 3, вызывают на его выходе появление сигнала рассогласования, знак и величина которого посредством усилителя 4 и исполнительного механизма 5 приводят к перемещению электрода в направлении ликвидации рассогласования. При перемещении электрода в процессе ликвидации рассогласования изменяется выходное напряжение блока 6 регулирования тока дуги, величина которого определяет требуемое для поддержания заданного тока дуги  $J_{A.ст}$  значение эквивалентного индуктивного сопротивления дросселя. Благодаря высокому быстродействию второго контура (постоянная времени блока 18 регулирования индуктивного сопротивления дросселя  $T_{\mu} = 0,005 - 0,01$  с) процесс восстановления установленного значения тока дуги происходит при токе, равном току стабилизации  $J_{A.ст}$ . При отработке регулятором возмущений электрического режима, вызывающих уменьшение тока дуги от заданного значения, выходное напряжение блока 6 равно нулю, а эквивалентное индуктивное сопротивление дросселя равно минимальному значению, соответствующему углу  $\alpha_{min}$ .

Таким образом, благодаря введению линейного индуктивного сопротивления в цепь протекания тока дуги, которые составляют секции дросселя, постоянно включенные на протяжении всего полупериода питающего напряжения, и уменьшения величины нелинейного индуктивного сопротивления, вносимо-

го в силовую цепь тока дуги лишь одной секцией дросселя, при работе регулятора происходит существенное снижение содержания высших гармонических составляющих тока дуги, которые, как известно, увеличивают активное сопротивление силового контура из-за поверхностного эффекта и особенно его индуктивное сопротивление, вследствие чего снижается полезная мощность печи и ухудшаются технико-экономические показатели ее работы. Поэтому при работе регулятора благодаря снижению содержания высших гармонических составляющих тока дуги увеличивается мощность, выделяемая в дугах, а значит, и производительность электропечи, увеличивается также электрический коэффициент полезного действия и уменьшается удельный расход электроэнергии. Снижение содержания высших гармонических составляющих тока дуги при работе регу-

лятора приводит к уменьшению коэффициента несинусоидальности напряжения в "общей точке" электрической сети общего назначения, от которой питается дуговая электропечь, что также является преимуществом данного регулятора. Так как коэффициент мощности электропечной установки при наличии высших гармонических составляющих тока дуги прямо пропорционален коэффициенту искажения, то благодаря снижению уровня высших гармонических составляющих тока дуги при работе регулятора повышается коэффициент мощности и, как следствие, снижается необходимая мощность компенсирующих устройств.

Предлагаемое устройство можно использовать для регулирования электрического режима эксплуатируемых, серийно выпускаемых и проектируемых дуговых электропечей.



Фиг. 2

Составитель Г. Тараканова

Редактор М. Циткина

Техред С. Йовжий

Корректор В. Синицкая

Заказ 3611/57

Тираж 794

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
по делам изобретений и открытий  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4