

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САР МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

В. А. БЕЙНАРОВИЧ, Э. С. АСТАПЕНКО, Н. Г. ВОЛКОВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

При проектировании САР наиболее сложной является задача получения заданных динамических свойств, которые оцениваются обычно по виду переходного процесса отработки типового воздействия. Для системы регулирования мощности дуговой сталеплавильной печи характерным воздействием является ступенчатая форма возмущения. В линейных САР задача расчета переходного процесса и оценка динамических свойств может быть решена аналитически, т. е. в общем виде. При этом на основе известных методов (например, частотных) можно определить влияние отдельных параметров на динамику системы, а также выбрать параметры корректирующих устройств, обеспечивающих заданные динамические свойства, т. е. осуществить синтез САР.

В нелинейных САР не может быть проведен расчет переходных процессов в общем виде. Вследствие этого возможности аналитической оценки влияния отдельных параметров на динамику САР весьма ограничены, а наличие нескольких нелинейностей в САР практически исключает такую возможность. Поэтому анализ влияния изменения параметров САР на ее динамические свойства и решение инженерных задач синтеза нелинейных САР производят в настоящее время с помощью вычислительных машин. Особенно удобны для решения подобных задач аналоговые вычислительные машины (АВМ), позволяющие решать нелинейные дифференциальные уравнения. Работа на АВМ не требует большой специальной подготовки по вычислительной технике и программированию, особенно при использовании метода структурного моделирования. Электронная модель дает возможность полной физической интерпретации настроек и процессов. Ввиду большого быстродействия АВМ решения получаются быстро и индицируются на регистрирующих приборах, допуская визуальный контроль. Это позволяет за короткое время просмотреть и исследовать влияние на переходный процесс многих параметров САР.

В настоящей работе излагаются методика и результаты исследования и синтеза параметров САР мощности дуговой сталеплавильной печи типа ДСВ-3,5 с использованием АВМ. Структурная схема САР представлена на рис. 1. На рис. 2 представлена схема ее электронной модели.

Измерительные и преобразующие элементы, включающие трансформаторы тока и напряжения, автотрансформатор уставки вводимой в печь мощности представлены линейными звеньями 2, а, 2, б (рис. 1), выпрямители и емкостной сглаживающий фильтр представлены аперио-

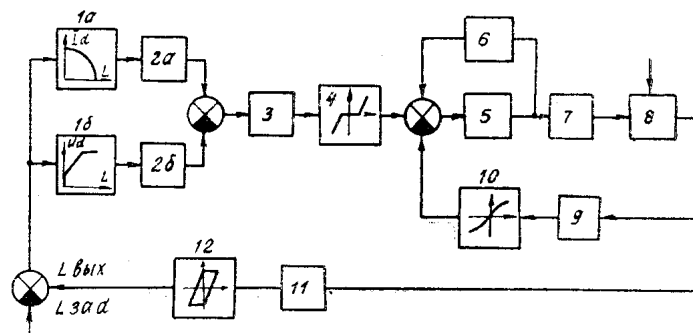


Рис. 1.

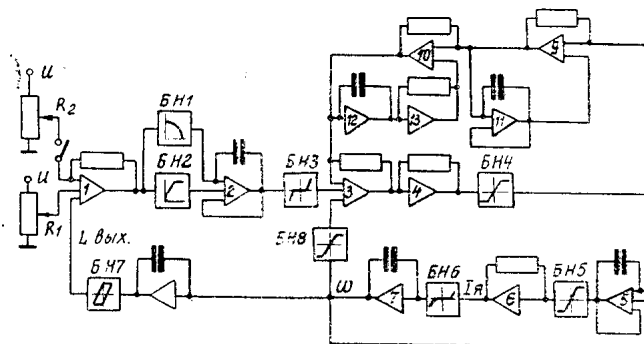


Рис. 2.

дическим звеном 3 (рис. 1). В электронной модели эти звенья реализуются усилителем 2 (рис. 2). Промежуточный усилитель (звено 5, рис. 1; усилители 3, 4, рис. 2) с цепями коррекции (интегрирующее звено 6, рис. 1; усилители 9—13, рис. 2) и тиристорный преобразователь (линейное звено 7, рис. 1) соответствуют параметрам комплектного реверсивного тиристорного электропривода серии ПТЗР. Для перемещения электродов использован электродвигатель с гладким якорем типа ПГТ-4 (звено 8, рис. 1; усилители 5—7, рис. 2) и тахогенератором ТГ1 (звено 9, рис. 1) и редуктор с реечной передачей (звено 11, рис. 1; усилитель 8, рис. 2).

САР мощности дуговой сталеплавильной печи содержит существенно нелинейные звенья:

1. Нелинейную отрицательную обратную связь по скорости двигателя перемещения электродов (звено 10, рис. 1). Вид характеристики обратной связи, набираемой на блоке БН8 (рис. 2), представлен на рис. 3.

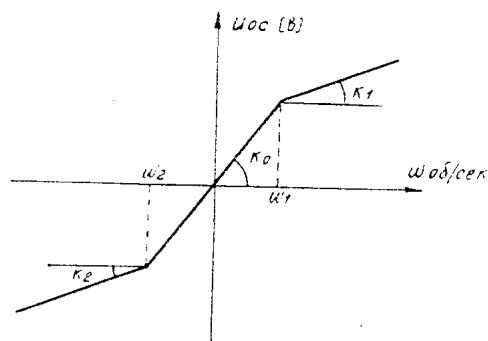


Рис. 3.

2. Нелинейные электрические характеристики дуговой печи (блоки БН1 и БН2 на рис. 2), представляющие зависимость тока I_d и напряжения дуги U_d от длины дуги L (звенья 1а, 1б рис. 1), при этом коэффициент передачи по напряжению дуги β может изменяться в десять раз от $\beta=12$ В/мм в начале плавки до $\beta=1,2$ В/мм в конце ее.

3. Нелинейную характеристику звена 12 (рис. 1), представляющую люфт в редукторно-реечной передаче (блок БН7 рис. 2).

4. Регулируемую зону нечувствительности по величине контролируемого параметра (звено 4 рис. 1); блок БН3 (рис. 2).

5. Характеристику промежуточного усилителя с насыщением (блок БН4 рис. 2).

6. Токоограничение в цепи якоря двигателя (блок БН5 рис. 2).

7. Статическую нагрузку двигателя типа несимметричного сухого трения (блок БН6 рис. 2).

С потенциометра R_1 (рис. 2) на вход суммирующего усилителя 1 подается напряжение, соответствующее номинальной длине дуги $L_{ном}$, а потенциометром R_2 задается величина возмущения по изменению длины дуги ΔL . Моделирование производилось на АВМ ЭМУ-10.

Исследования проводились с целью выявления влияния нелинейностей вида люфта в исполнительном механизме, насыщения усилителя, ограничения тока якоря исполнительного двигателя, зоны нечувствительности по контролируемому параметру, а также оценки влияния изменения в процессе плавки передаточного коэффициента по напряжению дуги β на динамические свойства регулятора мощности дуги. Другой задачей являлось определение оптимальной настройки варьируемых параметров регулятора.

За критерий оптимальности был принят минимум времени отработки скачкообразного уменьшения длины дуги при ограничении перерегулирования до 20% (при большем перерегулировании происходит обрыв дуги).

Методика исследования заключалась в том, что при поочередном изменении (в реально возможных пределах) величины одного из регулируемых параметров (при прочих постоянных) записывался переходный процесс и определялся его характер, время регулирования, величина перерегулирования, количество колебаний, время достижения первого согласования. По результатам таких исследований определялись наилучшие сочетания величин настраиваемых параметров нелинейных характеристик.

На рис. 4а, б, в, г, д показаны переходные процессы изменения скорости двигателя $\omega(t)$ и длины дуги $L(t)$ при отработках ступенчатого уменьшения длины дуги в САР с различными настройками. В табл. 1 приведены некоторые сочетания настраиваемых параметров регулятора и изменяющихся параметров объекта регулирования, обозначенные порядковыми номерами от 1 до 10, а в табл. 2 приведены показатели динамических свойств САР при этих сочетаниях.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для увеличения быстродействия САР и улучшения электрических показателей дуговой печи величина уставки токоограничения должна иметь значение, максимально допустимое для используемого типа двигателя (рис. 4, а).

2. С этой же целью уровень насыщения промежуточного усилителя должен иметь возможно высокое значение (рис. 4, б).

3. Наиболее сильное влияние на динамику САР мощности дуги оказывает изменение в процессе плавки коэффициента передачи объекта по напряжению (рис. 4, г). Если при $\beta=8$ переходный процесс имеет удовлетворительные показатели (п. 6 табл. 2), то при $\beta=12$ значительно увеличивается время регулирования, величина перерегулирова-

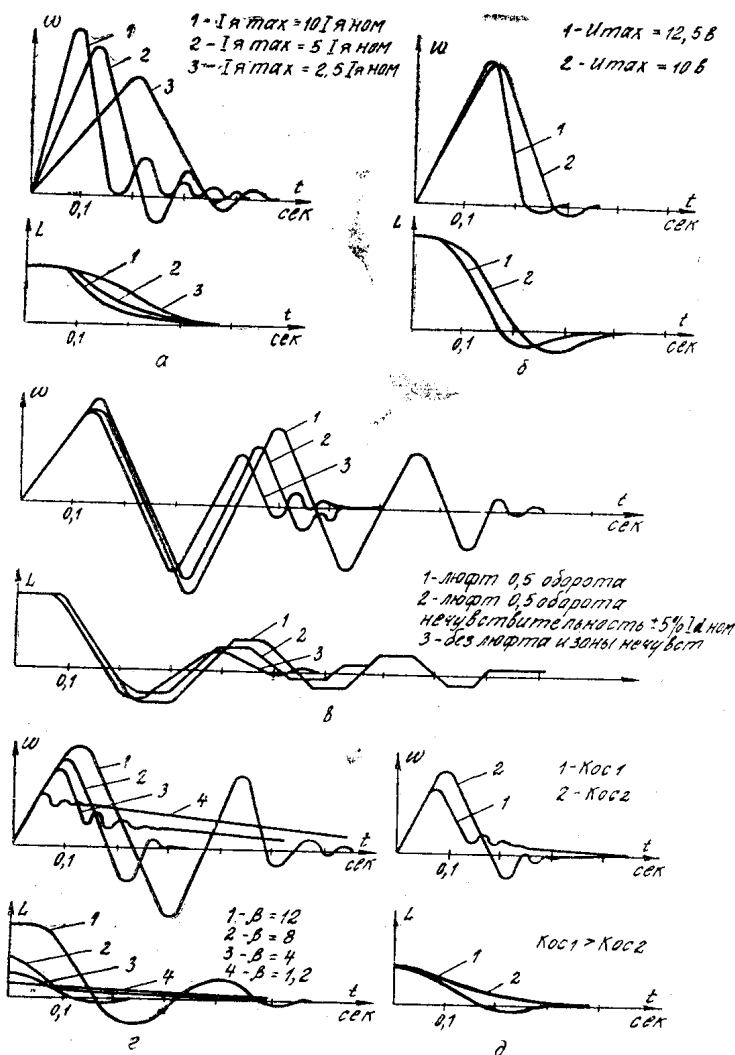


Рис. 4.

Таблица 1

№ п.п.	Объект	Люфт	Зона нечувствительности		Характеристика обратной связи				
					K_1	ω_1	K_0	ω_2	
	β	оборот	%	K_2					
1	12	нет	нет	2	0,33	20	1,33	10	
2	12	0,5	нет	2	0,33	20	1,33	10	
3	12	0,5	$\pm 5\%$	2	0,33	20	1,33	10	
4	12	нет	нет	3,4	0,54	20	2,26	10	
5	12	0,5	нет	3,4	0,54	20	2,26	10	
6	8	нет	нет	2	0,33	20	1,33	10	
7	4	нет	нет	2	0,33	20	1,33	10	
8	4	нет	нет	1,2	0,2	20	0,8	10	
9	1,2	нет	нет	2	0,33	20	1,33	10	
10	1,2	нет	нет	0,2	0,033	20	0,133	10	

ния, колебательность (п. 1, табл. 2). При уменьшении коэффициента β переходный процесс очень затянут, время отработки велико (пп. 7, 9, табл. 2).

4. Люфт в исполнительном механизме регулятора оказывает значительное влияние на динамику САР в том случае, когда переходный процесс имеет колебательный характер (пп. 1, 2, табл. 2), еще более

Таблица 2

№ п.п.	$t_{пер}, \text{сек}$	Перерегулирование, %	Количество перерегулирований, шт.	Время первого согласования, сек.	Примечание
1	0,47	40	2	0,156	рис. 4 в, г
2	1,06	44	6	0,16	рис. 4 в
3	0,6	39	3	0,16	рис. 4 в
4	0,26	16,5	1	0,16	
5	0,3	18	1	0,165	
6	0,32	11	1	0,18	рис. 4 г
7	0,3	нет	нет	0,3	рис. 4 г, д
8	0,12	нет	нет	0,12	рис. 4 д
9	0,53	нет	нет	0,53	рис. 4 г
10	0,165	нет	нет	0,165	

увеличивая число перерегулирований, их величину и общее время отработки возмущений. При больших значениях люфта (2 оборота двигателя и более) в системе возникают незатухающие колебания. Если система имеет переходный процесс с одним перерегулированием незначительной величины (меньше 20%) или апериодический, то влияние люфта сказывается в меньшей степени (пп. 4, 5, табл. 2). Время отработки увеличивается за счет выбора люфта в начале разгона и при реверсе.

5. При изменении передаточного коэффициента регулирования по напряжению дуги β изменяется общий коэффициент усиления САР. Для поддержания его на уровне, обеспечивающем оптимальный переходный процесс, необходимо изменять коэффициент усиления регулятора, например, за счет изменения коэффициента отрицательной обратной связи по скорости двигателя (рис. 4, д). Это вытекает также из сравнения переходных процессов, снятых при различных значениях β с постоянным коэффициентом обратной связи (пп. 1, 6, 7, 9, табл. 2), с переходными процессами, снятыми при тех же значениях β , но с подстраиваемым коэффициентом обратной связи (пп. 4, 6, 8, 10, табл. 2), который необходимо увеличивать при возрастании β .

6. Для уменьшения влияния люфта в направлении ухудшения динамических свойств и запаса устойчивости САР при изменяющемся коэффициенте усиления объекта β необходимо осуществлять настройку варьируемых параметров системы таким образом, чтобы переходный процесс мало отличался от оптимального (пп. 1, 2 и 4, 5, табл. 2).

7. Расширение зоны нечувствительности по контролируемому параметру регулятора в пределах $\pm 5\%$ от номинального значения снижает колебательность и величину перерегулирования (п. 3, табл. 2), но не может полностью компенсировать влияние люфта. Компенсировать влияние люфта на динамику САР можно при одновременном расширении зоны нечувствительности и изменении коэффициента обратной связи по скорости двигателя.

8. По мере уменьшения коэффициента β в ходе плавки ширину зоны нечувствительности регулятора следует уменьшать, сводя ее до минимального значения к концу плавки ($\pm 0,5\%$), что ведет к повышению точности регулирования мощности дуги при сохранении требуемых динамических характеристик САР.

Таким образом, для обеспечения оптимального переходного процесса при наличии люфта в исполнительном механизме регулятора и из-

менении в процессе плавки электрических характеристик дуговой сталеплавильной печи, САР мощности дуги должна содержать контур самонастройки, который в функции передаточного коэффициента объекта регулирования по напряжению подстраивает коэффициент отрицательной обратной связи по скорости двигателя перемещения электродов и ширину зоны нечувствительности по контролируемому параметру.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Лебедев, В. А. Найдис, Р. Т. Орлова, А. В. Пальцев, В. Ф. Юферов. Тиристорный следящий электропривод. М., «Энергия», 1972.
2. Е. А. Архангельский, А. А. Знаменский, Ю. А. Лукомский, Э. П. Чернышев. Моделирование на аналоговых вычислительных машинах. Л., «Энергия», 1972.