

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

СЗ44.3

K-172

23/11-79

13 - 12134

В.В.Калиниченко, А.Г.Комиссаров

1564/2-79

СТАБИЛИЗАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА

С ТРАНЗИСТОРНЫМ РЕГУЛИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1979

13 - 12134

В.В.Калиниченко, А.Г.Комиссаров

**СТАБИЛИЗАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА
С ТРАНЗИСТОРНЫМ РЕГУЛИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Стабилизатор постоянного тока с транзисторным
регулирующим элементом переменного тока

Описана схема стабилизатора постоянного тока с транзисторным регулирующим элементом переменного тока. Схема предназначена для стабилизации больших токов при низком напряжении на нагрузке, например в ускорительной технике. Приведены расчетные соотношения, позволяющие оценить установочную мощность регулятора. Приведены также результаты макетных испытаний стабилизатора. Нестабильность тока не превышает $1 \cdot 10^{-4}$ (для основного варианта). Схема стабилизации обеспечивает двадцатикратное подавление пульсаций выпрямленного напряжения.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Stabilized Direct Current Power Supply with
Transistorized Alternating Current Regulator

The stabilized D.C. power supply with a transistorized D.C. regulator is described. It is designed to stabilize a large load current when a low load voltage is required. The main application of the power supply is powering magnet elements of charged particle accelerators and of other equipments in nuclear physics laboratories. Equations for calculation of an available power of the regulator are given. Experimental results are given for a model of the power supply. It has a $1.0 \cdot 10^{-4}$ current stability and 20 time attenuation of rectified voltage ripple.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Для возбуждения магнитных элементов, используемых в физических установках, часто требуются стабилизированные источники постоянного тока на единицы или десятки килоампер /при этом потребляемые из сети мощности обычно достигают нескольких десятков или сотен киловатт/. К стабильности тока и величине его пульсаций предъявляются достаточно жесткие требования: допустимые значения неустойчивости тока и пульсаций обычно лежат в диапазоне $10^{-3} \div 10^{-5}$.

Указанным требованиям в отношении стабильности тока и величины пульсаций удовлетворяет компенсационный стабилизатор с последовательным транзисторным регулирующим элементом, работающим в линейном режиме^{1,2,3/}. Транзисторный регулирующий элемент, включенный непосредственно в цепь нагрузки, при указанных токах нагрузки должен содержать от одной до нескольких тысяч транзисторов, работающих параллельно. Большое количество силовых транзисторов снижает эксплуатационную надежность такого регулятора, его энергетические и весогабаритные показатели, повышает стоимость устройства.

Включение транзисторного регулирующего элемента на первичной стороне преобразовательного трансформатора, как показывают расчеты, позволяет во многих случаях существенно уменьшить количество силовых транзисторов в регулирующем элементе. Поэтому представляется целесообразным применить стабилизаторы тока именно такого типа для питания обмоток железно-токового канала, используемого в фазотроне с пространственной вариацией магнитного поля. Стабилизаторы должны обеспечить^{4,5/}:

а/ ток в основной обмотке - 11 кА, напряжение 12 В;

б/ ток в корректирующей обмотке - 3,1 кА, напряжение 12 В.

Относительная нестабильность и пульсации тока не должны составлять более 10^{-3} для обоих стабилизаторов при стандартных значениях нестабильности питающей сети, изменения температуры охлаждающей воды и температуры окружающей среды.

В процессе разработки выполнено макетирование выбранного типа стабилизатора тока. На рисунке представлена упрощенная принципиальная схема макета стабилизатора.

Элементы измерительной части стабилизатора /датчик тока - ДТ и усилитель сигнала ошибки - УСО/ выполнены по схемам, которые обсуждались в работах ^{6,7/}. Контроль величины нестабильности тока в нагрузке производился с помощью измерителя нестабильности тока ^{8/}.

В цепь вторичных обмоток трехфазного преобразовательного трансформатора Тр включен основной мостовой выпрямитель В1, к выходным зажимам которого через коммутирующие и измерительные устройства подсоединена нагрузка Z_H . Последовательно с первичными обмотками преобразовательного трансформатора Тр включены первичные обмотки дополнительных трансформаторов ТрА, ТрВ, ТрС. Вторичные обмотки этих трансформаторов соединены звездой и подключены к зажимам переменного тока дополнительного мостового выпрямителя В2. Выход постоянного тока этого выпрямителя через транзисторный регулирующий элемент, коммутационные и измерительные устройства также подсоединен к нагрузке Z_H . Дополнительные трансформаторы /ТрА, ТрВ, ТрС/, дополнительный выпрямитель /В2/ и транзисторный регулирующий элемент /ТРЭ/ образуют устройство, которое принято называть транзисторным регулирующим элементом переменного тока. Результирующий ток нагрузки равен сумме токов основного и дополнительного выпрямителей.

Преобразовательный трансформатор имеет коэффициент трансформации, равный ~ 48 . Трансформаторы ТрА, ТрВ, ТрС выполнены на тороидальных сердечниках из стали, имеющих сечение $S_{ст} = 48 \text{ см}^2$, коэффициент трансформации выбран равным $4 / W_{1g} = 80$ витков, $W_{2g} = 20$ витков/. В выпрямителях В1 и В2 используются вентили ВВ-200. Вентили основного выпрямителя /В1/ охлаждаются водой. Транзисторный регулирующий элемент ТРЭ выполнен на транзисторах типа П210Ш в виде единого блока с водяным охлаждением, схема и конструкция которого кратко обсуждались ранее ^{9/}. Устройства переключения УП1 и УП2 позволяют включать датчик тока

либо в цепь тока нагрузки Z_H /при положении переключек, показанном сплошной жирной линией/, либо в цепь тока ТРЭ /при положении переключек, показанном пунктирной линией/.

В таблице приведены основные данные, характеризующие работу макета стабилизатора в рабочем диапазоне регулирования тока. Здесь $U_{кэ}$ - падение напряжения на ТРЭ, $U_H \cdot I_H$ - напряжение и ток нагрузки, I_k - ток, протекающий через ТРЭ, U_{m1} - размах пульсаций напряжения на нагрузке.

В последнем столбце таблицы приведены параметры устройства в режиме короткого замыкания регулирующего элемента. В этом режиме размах пульсаций составляет $\sim 1200 \text{ мВ}$, а при нормальной работе ТРЭ - всего лишь 60 мВ . Таким образом, ТРЭ обеспечивает примерно двадцатикратное подавление пульсаций выпрямленного напряжения. Что касается величины нестабильности тока нагрузки, то ее значение при включении датчика тока в цепь нагрузки не превышает $1 \cdot 10^{-4}$ /за 7 часов/.

Амплитуда основной волны полного первичного тока управляемого выпрямителя согласно ^{10/} равна

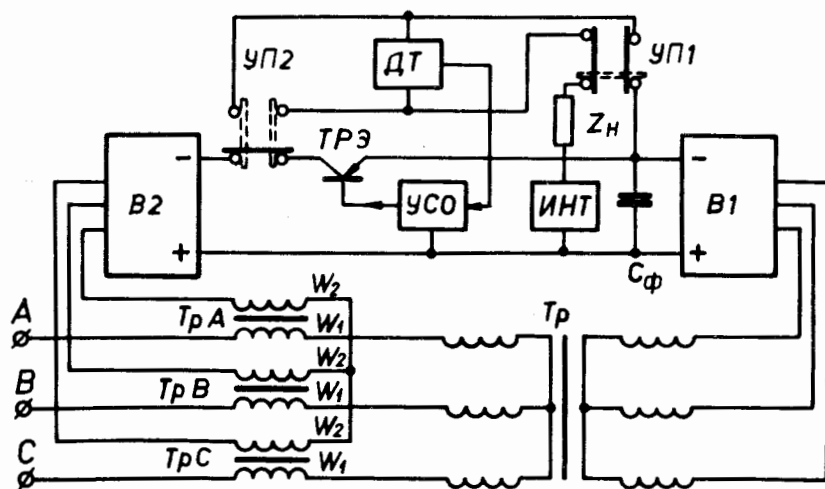
$$I_{1m} = [(i_B k_{m1} \cos \alpha + I_{0am})^2 + (i_B k_{m1} \sin \alpha + I_{\mu m})^2]^{1/2},$$

где k_{m1} - амплитуда первой гармоники коммутационной функции, $k_{m1} = \sin(\pi/m) / (\pi/m)$, m - периодичность выпрямителя, I_{0am} и $I_{\mu m}$ - соответственно активная и реактивная составляющие тока холостого хода трансформатора, i_B - выпрямленный ток, α - угол открывания. Из приведенного соотношения следует, что между первичным и выпрямленным током существует достаточно "жесткая" связь. Следовательно, имеется возможность включить датчик тока в первичную цепь выпрямителя /непосредственно или через трансформирующие устройства/. Это обстоятельство позволяет использовать в контуре стабилизации датчики на рабочие токи в сотни ампер /вместо датчиков на рабочие токи в единицы или десятки кА/.

Величина долговременной нестабильности тока нагрузки при включении датчика в цепь тока ТРЭ, измеренная на обсуждаемом макете стабилизатора, имеет порядок 10^{-3} . Следует подчеркнуть, что все стороны вопроса о включении датчика тока системы стабилизации в первичную цепь стабилизированного преобразовательного устройства требуют теоретического и экспериментального исследования.

Таблица

$U_{кэ}$, В	15	20	25	30	35	40	0
U_H , В	6,3	6	5,7	5,3	5	4,7	7,1
I_H , А	427	407	384	367	348	325	483
I_K , А	33,2	32	29,7	28	26,3	24,5	38,6
$U_{мп}$, В	70	60	60	60	60	60	1200



Упрощенная схема макета стабилизатора постоянного тока с транзисторным регулирующим элементом переменного тока: В1, В2 - основной и дополнительный мостовые выпрямители, Тр - силовой трансформатор, ТрА, ТрВ, ТрС - дополнительные трансформаторы, ТРЭ - транзисторный регулирующий элемент, ДТ - датчик тока, УСО - усилитель сигнала ошибки, Z_H - нагрузка, C_Φ - емкостный фильтр, ИНТ - измеритель неустойчивости тока, УП1, УП2 - устройства переключения.

Выбранная схема стабилизатора тока позволяет получить требуемый порядок величины неустойчивости и пульсаций и может быть применена в разрабатываемых стабилизаторах для питания обмоток железно-токового канала.

Приведем здесь без вывода расчетные соотношения, с помощью которых можно оценить мощность, рассеиваемую последовательным транзисторным регулирующим элементом для двух интересующих нас вариантов включения регулятора, а именно: а/ ТРЭ включен непосредственно в цепь постоянного тока нагрузки, б/ ТРЭ включен на первичной стороне преобразовательного устройства /по схеме транзисторного регулирующего элемента переменного тока/. При отсутствии фильтра на выходе выпрямителя и при обычных идеализирующих допущениях, принятых в преобразовательной технике, отношение мощности, рассеиваемой на последовательном регуляторе, к максимальной мощности, потребляемой нагрузкой, равно

$$P_{\text{рег}} / P_{H_{\text{max}}} = k(1+m-k),$$

где $P_{H_{\text{max}}} = U_{H_{\text{max}}} \cdot I_{H_{\text{max}}}$, $k = I_H / I_{H_{\text{max}}}$, I_H - ток в нагрузке; $U_{H_{\text{max}}}$, $I_{H_{\text{max}}}$ - соответственно максимальные значения напряжения и тока нагрузки, m - некоторый параметр. Значение m зависит от способа включения регулятора, и для варианта непосредственного включения регулятора в цепь постоянного тока нагрузки $m = m_0$. здесь

$$m_0 = \frac{k_{\Pi} + a + U_{кэ \text{ нас}} / U_{H_{\text{max}}}}{1 - k_{\Pi} - a},$$

где $U_{кэ \text{ нас}}$ - напряжение насыщения транзисторов регулятора, k_{Π} - коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, a - относительная величина снижения напряжения сети.

Для реализованного в макете варианта включения регулятора $m = m_{\sim}$, здесь

$$m_{\sim} = \frac{k_{\Pi} + a + U_{кэ \text{ нас}} / c U_{H_{\text{max}}}}{1 - k_{\Pi} - a},$$

где $s = n_{\Pi} / n_g$, n_{Π} - коэффициент трансформации преобразовательного трансформатора ($n_{\Pi} = W_{1\Pi} / W_{2\Pi}$), n_g - коэффициент трансформации дополнительного трансформатора ($n_g = W_{1g} / W_{2g}$).

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам Э.К.Батмановой, Л.И.Иванниковой, А.В.Мянееву, Х.Ф.Салахатдинову, принимавшим участие в изготовлении узлов и сборке макета стабилизатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fry M.G. *Proceedings of the 2nd International Conference on Magnet Technology, Oxford, 1967*, p. 432-450.
2. Денисов Ю.Н. и др. *ОИЯИ*, 13-5068, Дубна, 1970.
3. Gano J.J. *IEEE Trans. on Nucl.Sci.*, 1975, vol. NS-22, No. 3, p. 1229-1233.
4. Заплашин Н.Л., Самсонов Е.В., Чеснов А.Ф. *ОИЯИ*, Р9-9023, Дубна, 1975.
5. Василенко А.Т. и др. *ОИЯИ*, Р9-9119, Дубна, 1975.
6. Денисов Ю.Н., Калиниченко В.В., Комиссаров А.Г. *ОИЯИ*, 13-8420, Дубна, 1974.
7. Калиниченко В.В. *ОИЯИ*, 13-9577, Дубна, 1976.
8. Калиниченко В.В. *ОИЯИ*, 13-8573, Дубна, 1975.
9. Богомолова Л.К. и др. *ОИЯИ*, Р9-7339, Дубна, 1973, с. 62-74.
10. Булгаков А.А. *Новая теория управляемых выпрямителей*. "Наука", М., 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 декабря 1978 года.