

РЕЛЕЙНО-ИМПУЛЬСНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. И. ЗАЙЦЕВ, С. А. КИТАЕВА

(Представлена научным семинаром электромеханического факультета)

Надежность работы современной радиотехнической и электронной аппаратуры, электрические показатели устройств во многом определяются постоянством питающих напряжений. Поэтому важное место в автоматизации производственных процессов отводится созданию регуляторов напряжения генераторов постоянного и переменного тока.

Важнейшими показателями регуляторов, напряжения являются точность поддержания напряжения, быстродействие, диапазон регулирования, надежность в работе. Улучшение этих показателей — актуальная задача электротехники.

За последнее время опубликовано ряд работ по созданию различных вариантов регуляторов напряжения с применением полупроводниковых приборов, работающих в импульсном режиме [1—5].

Однако вопросы теоретического исследования систем возбуждения генераторов при помощи импульсных полупроводниковых элементов освещены еще недостаточно полно. Системы возбуждения, содержащие полупроводниковые элементы, имеют свои особенности и требуют теоретического исследования.

В данной статье предлагается вариант регулятора напряжения генератора постоянного тока на полупроводниковых элементах, использующих принцип импульсного регулирования током возбуждения. Схема регулятора представлена на рис. 1.

Измерительный орган регулятора выполнен на основе блокинг-генератора и измерительного моста. Блокинг-генератор имеет два входа и содержит обмотки положительной и отрицательной обратной связи. На один из входов через диод D_7 подается стабилизированный сигнал с кремниевого стабилитрона, на второй вход — через диод D_8 — поступает сигнал, пропорциональный напряжению на якоре генератора. Блокинг-генератор не генерирует, если входные сигналы на диодах D_7 и D_8 равны по величине. Для усиления сигналов измерительного устройства применены предварительные каскады усиления на триодах $ПТ_4$ и $ПТ_3$. Каскад усиления на триоде $ПТ_4$ выполнен с трансформаторным входом. Оконечный каскад усиления содержит силовой триод $ПТ_1$ и трансформатор обратной связи $ТОС1$. Нагрузкой триода $ПТ_1$ служит обмотка возбуждения генератора. Питание обмотки возбуждения осуществляется через триод $ПТ_1$, обмотку ω_P трансформатора обратной связи. Непре-

рывность тока нагрузки обеспечивается вентилем D_2 и обмоткой возврата ω_B трансформатора ТОО1. Триод $ПТ_1$ управляется триодом $ПТ_2$ и обмоткой обратной связи ω_{oc} . Все триоды в схеме работают в ключевом режиме.

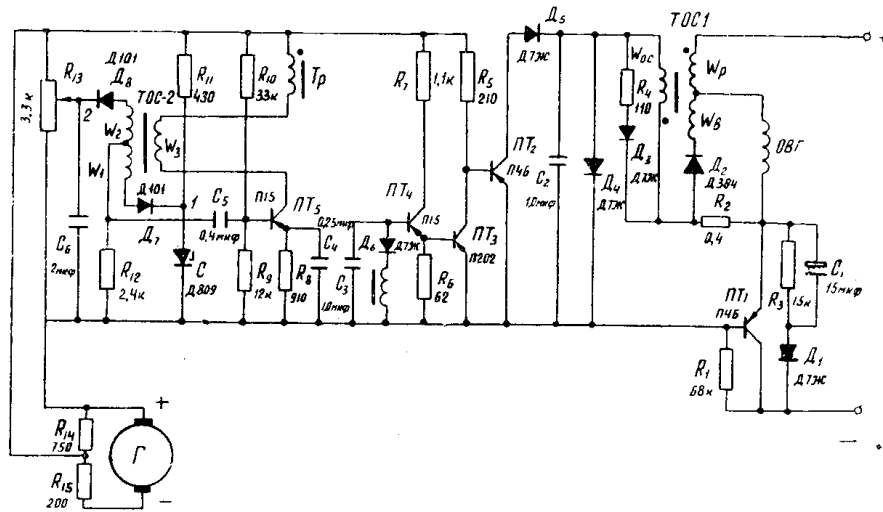


Рис. 1.

Работа регулятора происходит следующим образом. После подачи напряжения питания на оконечный каскад усилителя и измерительный орган на вход измерительного блокинг-генератора через диод D_8 подается сигнал, вызывающий генерацию последнего. Высокочастотные импульсы блокинг-генератора трансформируются через трансформатор Tr в цепь базы предварительного усилителя $ПТ_1$ и усиленные усилителем $ПТ_5$ поступают на вход управляющего триода $ПТ_2$ оконечного усилителя. Триод $ПТ_2$ открывается, что соответствует открытому состоянию силового триода $ПТ_1$. По обмотке возбуждения протекает ток, оконечный каскад усилителя работает с большим коэффициентом заполнения, генератор возбуждается. Как только напряжение генератора достигает напряжения уставки (уставка изменяется с помощью сопротивления R_{13}), открывается диод D_8 и блокинг-генератор срывает генерацию. В результате триод $ПТ_2$ закрывается, уменьшается коэффициент заполнения триода $ПТ_1$, уменьшается ток возбуждения генератора и снижается напряжение на якоре генератора. Снижение напряжения на якоре генератора приводит к уменьшению сигнала на диоде D_8 измерительного устройства, появляется сигнал рассогласования, запирается диод D_8 и открывается D_7 , блокинг-генератор начинает генерировать. При этом управляющий триод открывается, что приводит к увеличению коэффициента заполнения триода $ПТ_1$. В результате увеличивается ток возбуждения генератора, и напряжение генератора восстанавливается до заданной величины.

В описанном варианте регулятора напряжения применена система импульсного регулирования тока возбуждения, когда обмотка возбуждения питается от источника с постоянным напряжением через периодически открывающийся и закрывающийся полупроводниковый ключ. Упрощенная схема питания обмотки возбуждения представлена на рис. 2.

При рассмотрении процессов, связанных с установлением тока возбуждения, приняты допущения:

- 1) диод, шунтирующий обмотку возбуждения, идеальный;
- 2) потери в стали, обусловленные пульсирующим током, малы ввиду незначительных пульсаций;

- 3) реакции якоря отсутствуют;
- 4) индуктивность обмотки возбуждения постоянна при изменении тока возбуждения;
- 5) активным сопротивлением и индуктивностью обмоток ω_p и ω_b трансформатора ТОС1 пренебрегаем ввиду их малости;
- 6) величиной сопротивления смещения пренебрегаем, так как $r_c \ll R$.

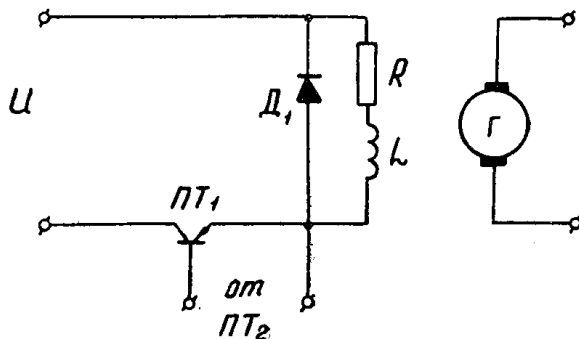


Рис. 2.

На обмотку возбуждения поступают прямоугольные импульсы напряжения с амплитудой u_1 периодом повторения T_1 и T_2 и скважностью γ_1 и γ_2 . Различная скважность импульсов обусловлена импульсным режимом работы управляющего триода ПТ₂, на который подаются прямоугольные импульсы с периодом повторения T и скважностью γ . В период, когда триод ПТ₂ открыт, оконечный каскад генерирует импульсы со скважностью γ_1 и периодом T_1 , когда ПТ₂ закрыт — импульсы скважностью γ_2 и периода T_2 . Скважность импульсов γ_1 и γ_2 , период повторения T_1 и T_2 определяются параметрами оконечного каскада усилителя [5].

Период повторения T и их скважность γ определяются параметрами переключения измерительного органа и зависят от свойств самой системы.

Диаграмма напряжения на обмотке возбуждения генератора представлена на рис. 3.

Рассмотрим процессы установления тока в обмотке возбуждения генератора. Ввиду того, что на обмотку возбуждения поступают импульсы напряжения различной длительности с разным периодом повторения, процесс установления тока рассматривается для 2-х интервалов времени — для интервала времени, когда на обмотке возбуждения поступают импульсы с γ_1 и T_1 и когда на обмотке возбуждения импульсы со скважностью γ_2 и периодом повторения T_2 .

Процессы установления тока возбуждения в интервалах времени $nT \leq t \leq T(n + \gamma)$ и $T(n + \gamma) \leq t \leq T(n + 1)$, где n — целое число, подробно описаны в [6].

На основании выражений, приведенных в [6], можно определить максимальное и минимальное значение тока, коэффициент пульсации тока, полный размах пульсаций тока.

Максимальное значение тока i_{\max} при работе регулятора определяется как

$$i_{\max} = \frac{(1 - e^{-\beta_1 T_1}) u}{(1 - e^{-\beta_1 T}) R}, \quad (1)$$

где

$$\beta_1 = \frac{T_1}{T_n}, \quad T_n = \frac{L}{R},$$

T_H — постоянная времени обмотки возбуждения.
 Полный размах пульсаций тока возбуждения

$$\Delta i = \frac{U}{R} + \left\{ \frac{u \cdot e^{-\beta_2 \gamma_2} [1 - e^{-\beta_2(1-\gamma_2)}] (1 - e^{-\beta_2 K_2})}{R (1 - e^{-\beta_2})} - \frac{U}{R} \right\} e^{-\beta_2(1-\gamma_2)}. \quad (2)$$

В этом уравнении

$$\beta_2 = \frac{T_2}{T_H},$$

K_2 — число интервалов импульсов со скважностью γ_2 ,
 U — напряжение питания оконечного усилителя.
 Минимальное значение тока в обмотке возбуждения

$$i_{\min} = i_{\max} - \Delta i = \frac{U}{R} \frac{(1 - e^{-\beta_2 \gamma_1}) (1 - e^{-\beta_2}) - [1 - e^{-\beta_2(1-\gamma_2)}] [1 - e^{-\beta_2(1+K_2)}] (1 - e^{-\beta_2})}{(1 - e^{-\beta_2}) (1 - e^{-\beta_2})}. \quad (3)$$

Коэффициент пульсаций определяется как отношение максимального установившегося тока к минимальному значению

$$x = \frac{i_{\max}}{i_{\min}} = \frac{(1 - e^{-\beta_2 \gamma_1}) (1 - e^{-\beta_2})}{(1 - e^{-\beta_2 \gamma_1}) (1 - e^{-\beta_2}) - [1 - e^{-\beta_2(1-\gamma_2)}] [1 - e^{-\beta_2(1+K_2)}] (1 - e^{-\beta_2})}. \quad (4)$$

При незначительном размахе пульсаций тока Δi процесс установления тока в обмотке возбуждения достаточно полно характеризуется непрерывной кривой — гладкой составляющей, проведенной через точки, соответствующие среднему значению тока на каждом интервале времени T .

Среднее установившееся значение тока

$$I_{cp} = I \gamma_1 \gamma + I \gamma_2 (1 - \gamma), \quad (5)$$

где γ_1 и γ_2 — скважность импульсов, вырабатываемых оконечным каскадом усилителя;

γ — скважность импульсов, поступающих на управляющий триод оконечного каскада усилителя.

Таким образом, среднее установившееся значение тока прямо пропорционально скважности импульсов оконечного каскада усилителя и продолжительности импульсов, поступающих на оконечный каскад.

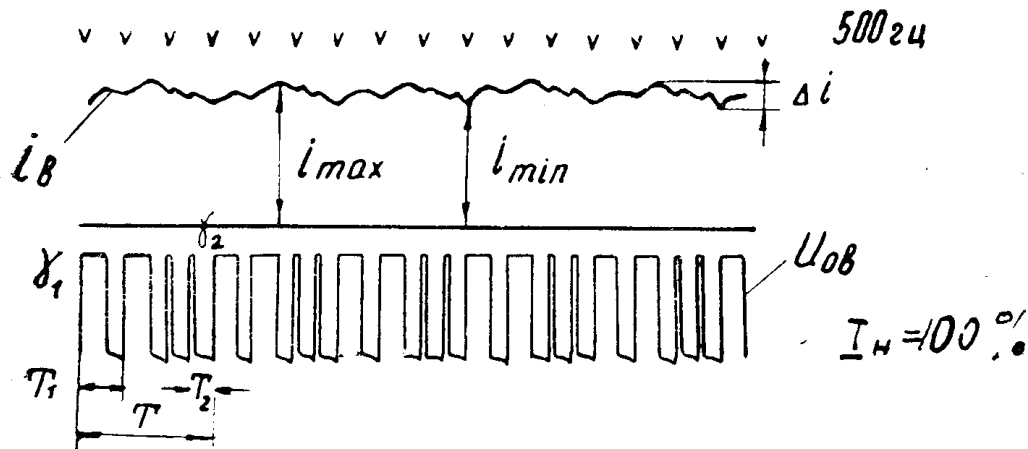


Рис. 3. Осциллограммы тока возбуждения и напряжения на обмотке возбуждения при $I_H = 100\%$.

Экспериментальному исследованию подвергся регулятор напряжения для генератора постоянного тока преобразователя типа ППН-27.

Основные параметры схемы указаны на схеме, приведенной на рис. 1. Все экспериментальные исследования регулятора проводились в установившемся тепловом режиме. При исследованиях определялась точность регулирования при изменении нагрузки от 0 до 100%, величина коэффициента пульсаций тока возбуждения, быстродействие регулятора.

Характер изменения тока возбуждения, напряжения на обмотке возбуждения иллюстрируется приведенными осциллограммами на рис. 3.

По уравнениям (1, 3, 4, 5) определены коэффициенты пульсации тока возбуждения, величина среднего установившегося тока при различной величине нагрузки. Результаты расчетных и экспериментальных данных приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ пп	Режим работы регулят.	β_1	β_2	γ_1	γ_2	γ	K_2	α		$I_{cp} (a)$		Расхожд. эксп. и расч. %	
								расч.	эксп.	расч.	эксп.	α	I_{cp}
1	Холостой ход	0,04	0,015	0,5	0,1	0,65	2	1,13	1,17	4,0	3,8	2,35	5,55
2	Нагрузка 100%	0,035	0,02	0,6	0,1	0,7	3	1,22	1,21	4,5	4,6	0,82	3,85

Выводы

1. Разработанная схема регулятора напряжения позволяет получить точность поддержания напряжения при изменении нагрузки от 0 до 100% $\pm 1\%$.

2. Наибольшее время переходного процесса при сбросе и набросе нагрузки не более 0,1 сек.

3. Предложенная схема регулятора может быть использована как для генераторов постоянного тока, так и для генераторов переменного тока.

4. Сопоставление экспериментальных данных с расчетными по выведенным уравнениям дает малое расхождение.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Кулебакин, В. Д. Нагорский, Ю. Е. Воскресенский. Полупроводники в автоматике. Изд. АН СССР, 1963.
2. Применение управляемых полупроводниковых вентилях в промышленности. Материалы семинара, сб. 1, М., Изд. «Энергия», 1964.
3. Г. М. Веденеев. Полупроводниковые регуляторы и стабилизаторы в импульсном режиме, Электричество, 9, 1964.
4. А. А. Здрок, М. Н. Фесенко. О применении кристаллических триодов в схемах регулирования напряжения, ВЭП, № 9, 1959.
5. Р. А. Липман, М. В. Ольшванг. Магнитно-полупроводниковый усилитель. Автоматика и телемеханика, т. XXI, № 7, 1960.
6. А. П. Зайцев. Разработка и исследование некоторых импульсных устройств для управления эл. машинами. Диссертация, ТПИ, 1964.