

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2786935

СПОСОБ ЗАЩИТЫ ЛИНЕЙНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ С МАЛЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПОТЕРЯМИ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Орел Евгений Александрович (RU), Шпенст Вадим Анатольевич (RU)*

Заявка № 2022111322

Приоритет изобретения **26 апреля 2022 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **26 декабря 2022 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **26 апреля 2042 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G05F 1/573 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022111322, 26.04.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.04.2022

Дата регистрации:
26.12.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 26.04.2022

(45) Опубликовано: 26.12.2022 Бюл. № 36

Адрес для переписки:
190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,
Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):
Орел Евгений Александрович (RU),
Шпенст Вадим Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 1151937 A1, 23.04.1985. SU
1836672 A3, 23.08.1993. SU 991393 A1, 23.01.1983.
US 5485109 A1, 16.01.1996. US 7923978 B2,
12.04.2011. US 3697861 A1, 10.10.1972.

(54) СПОСОБ ЗАЩИТЫ ЛИНЕЙНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ С МАЛЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПОТЕРЯМИ

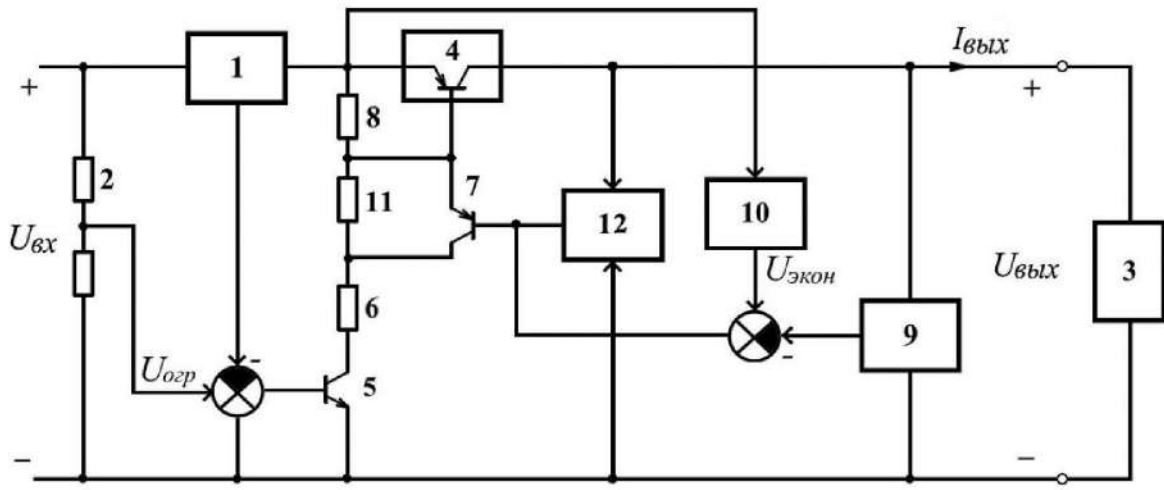
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники, в частности к способам защиты линейных стабилизаторов напряжения постоянного тока от перегрузки и короткого замыкания. Техническим результатом является снижение тепловых потерь и повышение надежности токовой защиты линейных стабилизаторов напряжения постоянного тока. Способ заключается в том, что в схеме защиты используются два контура обратной связи: по выходному току и по выходному напряжению со

своими порогами срабатывания, в результате чего удастся организовать работу защиты таким образом, что при перегрузке по току она сначала плавно ограничивает ток путем уменьшения проводимости регулирующего элемента, а затем, если выходное напряжение снижается ниже допустимого порогового уровня, в работу вступает контур обратной связи по напряжению и переводит регулирующий элемент в экономичный режим с низким энергопотреблением. 5 ил., 1 табл.

RU 2 786 935 C1

RU 2 786 935 C1



Фиг. 1

RU 2786935 C1

RU 2786935 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G05F 1/573 (2022.08)

(21)(22) Application: **2022111322, 26.04.2022**

(24) Effective date for property rights:
26.04.2022

Registration date:
26.12.2022

Priority:

(22) Date of filing: **26.04.2022**

(45) Date of publication: **26.12.2022** Bull. № 36

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2,
Patentno-litsenziyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Orel Evgenii Aleksandrovich (RU),
Shpenst Vadim Anatolevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet» (RU)**

(54) **METHOD FOR PROTECTING LINEAR DC VOLTAGE STABILIZER FROM SHORT CIRCUIT WITH LOW HEAT LOSSES**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to the field of electrical engineering, in particular to methods for protecting DC linear voltage regulators from overload and short circuit. The method consists in the fact that the protection circuit uses two feedback loops: on the output current and on the output voltage with their own thresholds, as a result of which it is possible to organize the operation of the protection in such a way that, in case of overcurrent, it first smoothly limits the current

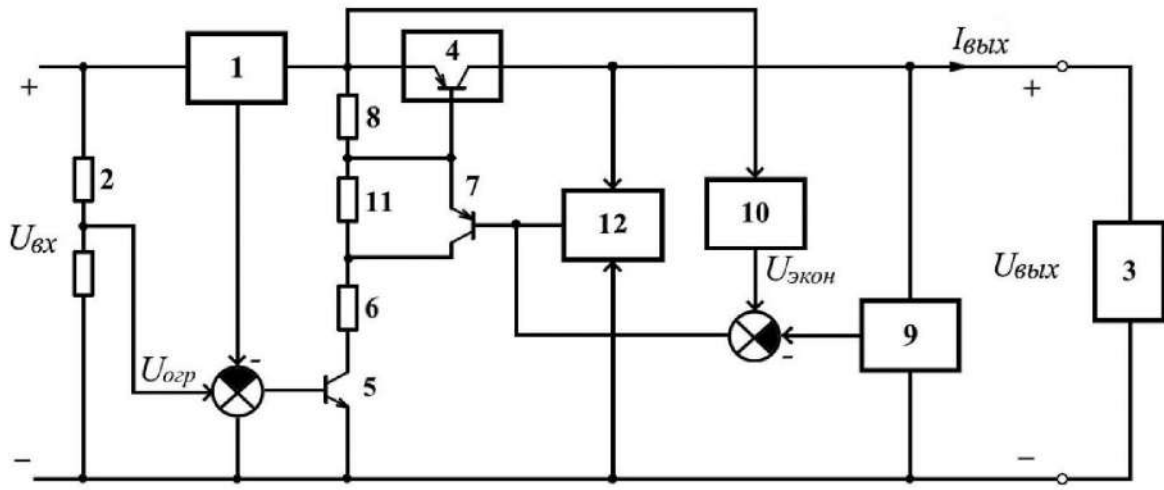
by reducing the conductivity control element, and then, if the output voltage drops below an acceptable threshold level, a voltage feedback loop comes into operation and puts the control element into an economical mode with low power consumption.

EFFECT: reduction of heat losses and increase in the reliability of current protection of linear DC voltage stabilizers.

1 cl, 5 dwg, 1 tbl

RU 2 786 935 C1

RU 2 786 935 C1



Фиг. 1

RU 2786935 C1

RU 2786935 C1

Изобретение относится к области электротехники, в частности к способам защиты линейных стабилизаторов напряжения постоянного тока от перегрузок и короткого замыкания. Данное изобретение может быть использовано для повышения энергоэффективности их работы.

5 Известен способ защиты стабилизатора напряжения от перегрузки и короткого замыкания (Карпов В.М. Полупроводниковые компенсационные стабилизаторы напряжения и тока. М., «Энергия», 1967, с. 81-84), согласно которому измеряют падение напряжения на резистивном датчике тока, затем измеренное значение сравнивают с установленным пороговым уровнем срабатывания защиты и, в случае его превышения,
10 производят ограничение проводимости регулирующего элемента, в качестве которого выступает биполярный или полевой силовой транзистор.

Недостатком способа является то, что в режиме защиты от перегрузки схема потребляет значительную мощность, в результате чего на силовом транзисторе происходит интенсивное тепловыделение, что создает проблему обеспечения рассеяния
15 мощности и ухудшает удельные показатели стабилизатора.

Известен способ защиты от перегрузок и коротких замыканий источника питания постоянного тока и устройство для его осуществления (авторское свидетельство СССР № 991393, опубл. 23.01.1983), согласно которому при превышении током нагрузки допустимого порогового уровня сперва производится ограничение тока путем
20 контролируемого уменьшения напряжения на нагрузке, а затем регулирующий элемент полностью запирается, размыкая цепь питания нагрузки.

Недостатком способа является работа схемы по принципу «защелки», для перезапуска которой после устранения аварии требуется снять и подать заново напряжение питания, что ограничивает возможную область ее применения.

25 Известен способ защиты вторичного источника электропитания от короткого замыкания с регулирующим элементом в режиме автоматического повторного включения (авторское свидетельство СССР № 1836672, опубл. 23.08.1993), согласно которому при превышении током, измеряемым резистивным датчиком тока, порогового уровня происходит запирающее действие регулирующего элемента, после чего через некоторое
30 время следует попытка автоматического повторного включения путем плавного повышения напряжения на базе регулирующего элемента, причем если окажется, что крутизна роста выходного тока регулирующего элемента превышает крутизну роста выходного напряжения, что характерно для режима короткого замыкания, то в результате регулирующий элемент снова запретится, и цикл будет повторяться до тех
35 пор, пока не будет устранена авария.

Недостатком данного способа является то, что схема защиты переходит в режим автоматического повторного включения независимо от продолжительности времени токовой перегрузки. Срабатывание схемы может произойти и при кратковременной перегрузке, например, во время запуска схемы при подключенной к ней большой
40 емкостной нагрузке. Схема не сможет запуститься, поскольку будет находиться в режиме автоматического повторного включения неопределенное количество времени, что ограничивает возможную область ее применения.

Известен способ защиты линейного стабилизатора напряжения от перегрузок и коротких замыканий, при котором в схему после регулирующего элемента добавлен
45 резистивный делитель напряжения, в средней точке которого формируется вспомогательное напряжение смещения (Додик С.Д. Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. М., «Советское радио», 1980, с. 265, рис. 10.5 а, б). После превышения напряжением на резистивном датчике тока порогового уровня

базовый ток регулирующего элемента начинает уменьшаться пропорционально разности между падением напряжения на резистивном датчике тока и уровнем вспомогательного напряжения смещения, что обеспечивает плавную регулировку и снижает тепловыделение на регулирующем элементе.

5 Недостатком способа является ограниченная область его применения. Оно возможно только для стабилизаторов с фиксированным выходным напряжением, поскольку при регулировании этого напряжения также будет изменяться и вспомогательное напряжение смещения, что может приводить к ложным срабатываниям защиты и требует обеспечения большего запаса по току на этапе проектирования устройства.

10 Известен способ защиты регулируемого стабилизатора напряжения от перегрузок и короткого замыкания (авторское свидетельство СССР № 1151937, опубл. 23.04.1985), принятый за прототип, согласно которому к резистивному делителю, формирующему вспомогательное напряжение смещения, добавлен токостабилизирующий элемент, в результате чего порог срабатывания защиты фиксирован и не меняется при
15 регулировании выходного напряжения. При этом с целью снижения потерь мощности работа токостабилизирующего элемента организована так, что чем больше перегрузка по току, тем меньше становится ток токостабилизирующего элемента и, следовательно, меньше ток через регулирующий силовой транзистор.

Недостатком способа является низкая энергоэффективность при малых перегрузках по току. Проводимость регулирующего элемента ограничивается по мере роста тока нагрузки, поэтому, если при больших перегрузках схема энергоэффективна, то при
20 малых перегрузках на регулирующем элементе выделяется достаточное для перегрева количество тепла, что снижает надежность и ухудшает удельные показатели стабилизатора.

25 Техническим результатом является снижение тепловых потерь и повышение надежности работы токовой защиты линейных стабилизаторов напряжения постоянного тока.

Технический результат достигается тем, что дополнительно измеряют выходное напряжение схемы резистивным датчиком напряжения и сравнивают измеренное
30 значение с пороговым уровнем, который формируют вспомогательным источником напряжения смещения, при снижении выходного напряжения ниже этого уровня закрывают управляющий транзистор в цепи управления регулирующим элементом, и направляют весь ток базы регулирующего элемента через соединенный параллельно с управляющим транзистором токоограничивающий резистор, при этом ток базы
35 уменьшают и переводят регулирующий элемент в экономичный режим работы, при этом снижают потери мощности при перегрузках, уменьшают тепловыделение в схеме.

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - структурная схема линейного стабилизатора напряжения с токовой защитой;

фиг. 2 - вольт-амперная характеристика токовой защиты;

40 фиг. 3 - математическая модель проверки способа;

фиг. 4 - осциллограмма тока нагрузки в момент запуска схемы;

фиг. 5 - осциллограмма тока нагрузки при возникновении короткого замыкания,

где:

1 - датчик тока нагрузки;

45 2 - резистор источника смещения;

3 - нагрузка;

4 - регулирующий элемент;

5 - токоограничивающий транзистор;

6 - резистор нижнего плеча делителя напряжения;

7 - управляющий транзистор;

8 - резистор верхнего плеча делителя напряжения;

9 - резистивный датчик напряжения;

5 10 - вспомогательный источник напряжения смещения;

11 - токоограничивающий резистор;

12 - измерительно-усилительный блок.

Способ осуществляется следующим образом. Измеряется падение напряжения на датчике тока нагрузки 1 (фиг. 1) и сравнивается с пороговым уровнем $U_{огр}$

10 формируемым резистором источника смещения 2. Ток нагрузки 3 при этом определяется выражением

$$I_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{R_{\text{н}}} \quad (1)$$

15 где $I_{\text{ВЫХ}}$ - выходной ток схемы

$U_{\text{ВЫХ}}$ - выходное напряжение схемы,

$R_{\text{н}}$ - сопротивление нагрузки 3.

Если сигнал с датчика тока нагрузки 1 превышает уровень $U_{огр}$, выполняется

20 уменьшение управляющего тока регулирующего элемента 4 токоограничивающим транзистором 5 пропорционально разности падений напряжений на датчике тока нагрузки 1 и резисторе источника смещения 2, начиная с момента изменения знака этой разности, определяемого заданным порогом. Управляющий ток $I_{б}$ регулирующего

25 элемента 4 в этот момент равен

$$I_{б} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бэ}} - U_{\text{кэ5}}}{R_{6}} = I_{б\text{огр}} \quad (2)$$

где $U_{\text{ВХ}}$ - входное напряжение схемы,

30 $U_{\text{бэ}}$ - напряжение база-эмиттер регулирующего элемента 4,

$U_{\text{кэ5}}$ - напряжение коллектор-эмиттер токоограничивающего транзистора 5,

R_{6} - сопротивление резистора нижнего плеча делителя напряжения 6,

$I_{богр}$ - управляющий при осуществлении ограничения.

35 Управляющий транзистор 7 при этом полностью открыт и через него протекает сумма управляющего тока регулирующего элемента 4 и тока резистора верхнего плеча делителя напряжения 8. Ток нагрузки $I_{\text{ВЫХ}}$ равен

$$I_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бэ}} - U_{\text{кэ5}}}{R_{6}} \beta = I_{огр} \quad (3)$$

40 где β - коэффициент усиления регулирующего элемента 4,

$I_{огр}$ - выходной ток схемы при осуществлении ограничения.

Выходное напряжение равно

$$45 \quad U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бэ}} - U_{\text{кэ5}}}{R_{6}} \beta R_{\text{н}} = I_{огр} R_{\text{н}} \quad (4)$$

Ограничение тока приводит к снижению выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ схемы.

Выходное напряжение измеряется резистивным датчиком напряжения 9 и сравнивается

с пороговым уровнем $U_{ЭКОН}$, формируемым вспомогательным источником напряжения смещения 10. При снижении выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ ниже порогового уровня $U_{ЭКОН}$

$$U_{ВЫХ} < U_{ЭКОН} \tag{5}$$

закрывается управляющий транзистор 7, для перехода в экономичный режим, направляя весь ток базы регулирующего элемента 4 через токоограничивающий резистор 11, вследствие чего этот ток уменьшается в несколько раз, переводя регулирующий элемент 4 в экономичный режим работы с малым выходным током $I_{ВЫХ}$. Управляющий ток регулирующего элемента 4 в экономичном режиме $I_{БЭКОН}$ определяется по формуле

$$I_{БЭКОН} = \frac{U_{вх} - U_{бэ}}{R_6 + R_{11}} = \frac{I_{Богр}}{K} \tag{6}$$

где $I_{Богр}$ - управляющий ток при осуществлении ограничения,
 R_6 - сопротивление резистора нижнего плеча делителя напряжения 6,
 R_{11} - сопротивление токоограничивающего резистора 11,
 K - коэффициент, величина которого зависит от номиналов используемых электронных компонентов.

Следовательно, ток нагрузки $I_{ВЫХ}$ в этом случае равен

$$I_{ВЫХ} = I_{ЭКОН} = \frac{U_{вх} - U_{бэ}}{R_6 + R_{11}} \beta = \frac{I_{огр}}{K}, \tag{7}$$

где $I_{ЭКОН}$ - выходной ток схемы в экономичном режиме работы.

Выходное напряжение в экономичном режиме равно

$$U_{ВЫХ} = I_{ЭКОН} R_H \tag{8}$$

При исчезновении перегрузки по току схема самостоятельно возвращается к исходному состоянию линейной стабилизации выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ под управлением измерительно-усилительного блока 12. Вольт-амперная характеристика, поясняющая переход к экономичному режиму, приведена на фиг. 2. На характеристике показано, что возможна регулировка пороговых уровней срабатывания защиты.

Способ поясняется следующими примерами.

Был проведен расчет по параметрам, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры схемы			
Исходные данные для расчета			
Входное напряжение	$U_{ВХ} =$	12	В
Выходное напряжение линейного стабилизатора	$U_{ВЫХ} =$	10	В
Номинальное сопротивление нагрузки	$R_H =$	10	Ом
Коэффициент усиления регулирующего элемента	$\beta =$	3000	-
Пороговый уровень тока перегрузки	$I_{огр} =$	6	А
Пороговый уровень выходного напряжения для перехода в экономичный режим	$U_{ЭКОН} =$	4	В
Резистор нижнего плеча делителя напряжения	$R_6 =$	30	кОм
Резистор верхнего плеча делителя напряжения	$R_8 =$	10	кОм
Токоограничивающий резистор	$R_{11} =$	90	кОм

Выходной ток схемы при безаварийной работе равен

$$I_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{R_H} = \frac{10}{10} = 1 \text{ А}$$

Управляющий ток регулирующего элемента при этом равен

$$I_{\text{б}} = \frac{I_{\text{вых}}}{\beta} = \frac{1}{3000} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Потери мощности на регулирующем элементе составляют

$$P = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}) I_{\text{вых}} = (12 - 10) \cdot 1 = 2 \text{ Вт}$$

Пусть сопротивление нагрузки в результате аварии уменьшилось до величины $R_H = 0,6 \text{ Ом}$. Выходной ток, который соответствует этой нагрузке, равен

$$I_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{R_H} = \frac{10}{0,6} = 16,6 \text{ А}$$

Однако, схема защиты от перегрузки по току в соответствие с формулой (3) ограничит его на уровне

$$I_{\text{вых}} = I_{\text{огр}} = 6 \text{ А}$$

Управляющий ток регулирующего элемента в этом случае равен

$$I_{\text{б огр}} = \frac{I_{\text{огр}}}{\beta} = \frac{6}{3000} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Потери мощности на регулирующем элементе в этот момент составят

$$P = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}) I_{\text{вых}} = (12 - 10) \cdot 6 = 12 \text{ Вт}$$

Однако, из-за ограничения тока выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ с течением времени будет снижаться и вместо 10 В упадет до значения

$$U_{\text{вых}} = I_{\text{огр}} R_H = 6 \cdot 0,6 = 3,6 \text{ В}$$

Данное значение ниже порогового уровня $U_{\text{ЭКОН}}$, в результате чего произойдет перевод регулирующего элемента в экономичный режим работы в соответствие с формулой (6) с током базы

$$I_{\text{б экон}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{бэ}}}{R_6 + R_{11}} = \frac{12 - 0,8}{(30 + 90) \cdot 10^3} = 0,09 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Выходной ток в экономичном режиме в соответствие с формулой (7) составит

$$I_{\text{вых}} = I_{\text{экон}} = I_{\text{б экон}} \beta = 0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 = 0,27 \text{ А}$$

Выходное напряжение по формуле (8) равно

$$U_{\text{вых}} = I_{\text{экон}} R_H = 0,27 \cdot 0,6 = 0,16 \text{ В}$$

Коэффициент K отношения тока нагрузки при ограничении и при экономичном режиме составит

$$K = \frac{I_{\text{огр}}}{I_{\text{экон}}} = \frac{6}{0,27} = 22$$

Потери мощности на регулирующем элементе в экономичном режиме составят

$$P = (U_{вх} - U_{вых}) I_{вых} = (12 - 0,16) \cdot 0,45 = 3,1 \text{ Вт}$$

Таким образом, в результате применения способа удается снизить потери мощности при перегрузках, уменьшить тепловыделение в схеме.

5 Проверка предлагаемого способа линейного ограничения тока с малыми тепловыми потерями проведена посредством имитационного компьютерного моделирования в среде MATLAB/Simulink. Разработанная математическая модель (фиг.3) составлена для условий: входное напряжение $U_{вх} = 12 \text{ В}$, стабилизированное выходное напряжение $U_{вых} = 10 \text{ В}$, сопротивление нагрузки $R_H = 10 \text{ Ом}$, сопротивление датчика тока нагрузки $R_2 = 0,1 \text{ Ом}$, пороговый уровень тока перегрузки $I_{огр} = 6 \text{ А}$, пороговый уровень напряжения нагрузки для перехода в экономичный режим $U_{экон} = 4 \text{ В}$. Визуализация измеренного значения тока нагрузки производится датчиком «Current», измерение выходного напряжения производится датчиком «Vsensor». Пороговым элементом, на котором проводится сравнение сигнала с датчика тока со значением $U_{огр}$ является транзистор $Q2$. Пороговым элементом, на котором проводится сравнение выходного напряжения $U_{вых}$ с пороговым значением $U_{экон}$, является стабилитрон $D3$.

На фиг. 4 показан процесс запуска схемы при подаче питания. Поскольку изначально выходное напряжение схемы $U_{вых}$ меньше уровня $U_{экон}$ ток нагрузки сначала равен $I_{экон}$. Этим током производится заряд выходного емкостного накопителя, включенного параллельно нагрузке. По мере заряда емкости при повышении выходного напряжения выше порогового уровня $U_{экон}$ выходной ток увеличивается до величины $I_{огр}$. После полного заряда емкости до номинального напряжения 10 В выходной ток снижается до номинального значения. Тем самым в момент запуска схемы удается избежать существенного броска пускового тока, вызванного зарядом емкостного накопителя.

На фиг. 5 показан процесс ограничения тока при возникновении короткого замыкания в момент времени $t = \ll \text{к.з.} \gg$. Сначала производится ограничение выходного тока на уровне $I_{огр}$. Затем, по мере разряда выходного емкостного накопителя, включенного параллельно нагрузке, ниже порогового уровня $U_{экон}$ регулирующий элемент переводится в экономичный режим работы с током $I_{экон}$ и будет находиться в этом режиме до момента исчезновения короткого замыкания.

Разработанный способ линейного ограничения тока с малым тепловыделением позволяет повысить энергоэффективность работы схемы при перегрузках по току и коротких замыканиях, снижая тепловые потери и повышая надежность электропитания потребителей постоянного тока.

(57) Формула изобретения

Способ защиты линейного стабилизатора напряжения постоянного тока от короткого замыкания с малыми тепловыми потерями, включающий регулирующий элемент, датчик тока нагрузки и резистор источника смещения, путем уменьшения управляющего тока регулирующего элемента пропорционально разности падений напряжений на датчике тока нагрузки и резисторе источника смещения, начиная с момента изменения знака этой разности, определяемого заданным порогом, отличающийся тем, что дополнительно измеряют выходное напряжение схемы резистивным датчиком напряжения и сравнивают измеренное значение с пороговым уровнем, который формируют вспомогательным источником напряжения смещения, при снижении выходного напряжения ниже этого уровня закрывают управляющий транзистор в цепи

управления регулирующим элементом и направляют весь ток базы регулирующего
элемента через соединенный параллельно с управляющим транзистором
токоограничивающий резистор, при этом ток базы уменьшают и переводят
регулирующий элемент в экономичный режим работы, при этом снижают потери
5 мощности при перегрузках, уменьшают тепловыделение в схеме.

10

15

20

25

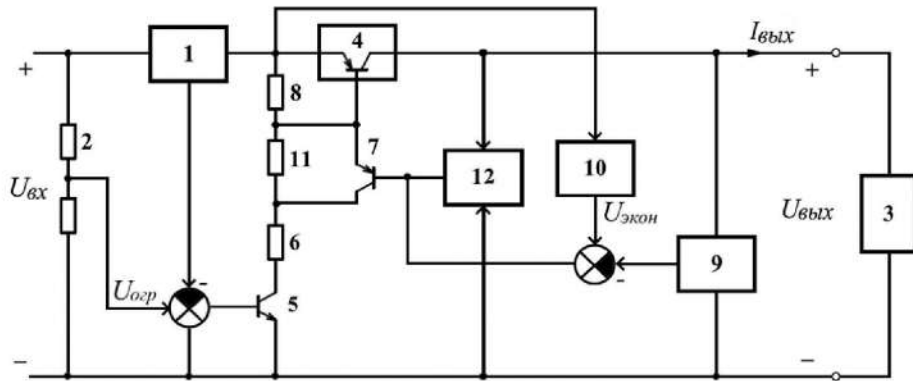
30

35

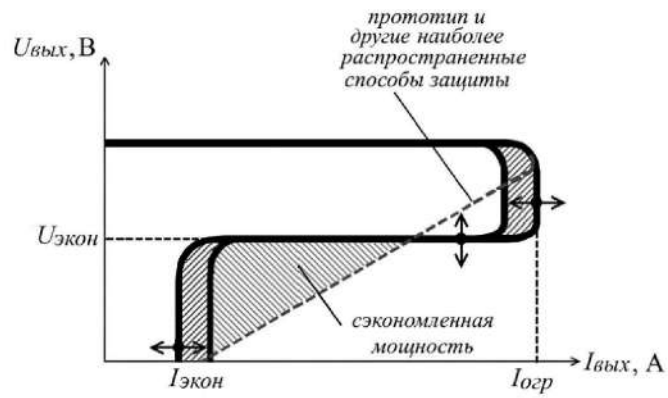
40

45

1

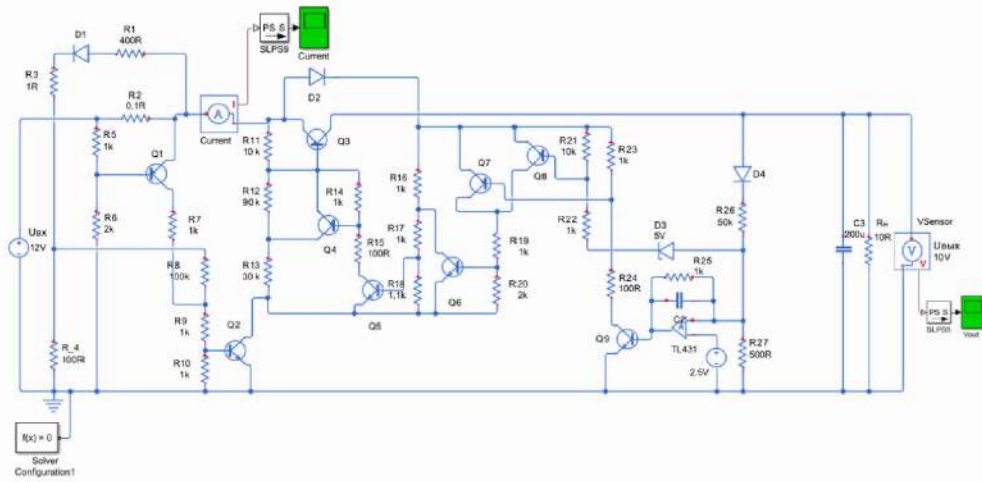


Фиг. 1

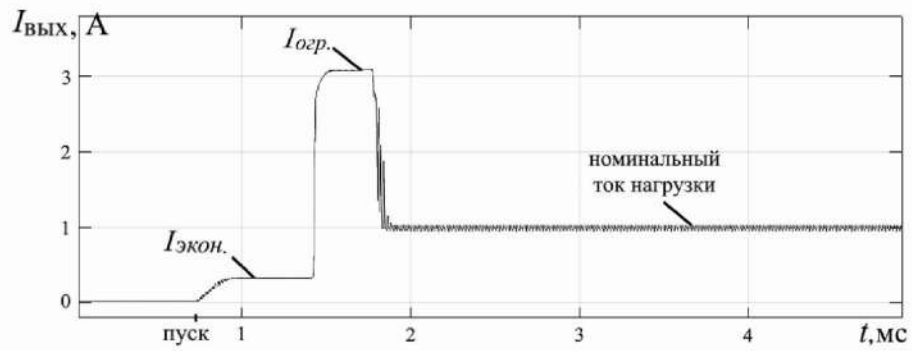


Фиг. 2

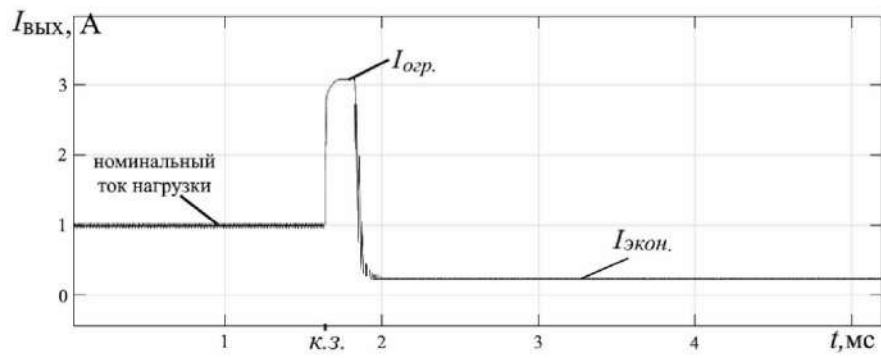
2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5