



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G05F 1/565 (2022.01)

(21)(22) Заявка: 2021115208, 27.05.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.05.2021

Дата регистрации:  
17.03.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.05.2021

(45) Опубликовано: 17.03.2022 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12,  
Ставропольский ГАУ, ОИС (патентный отдел)

(72) Автор(ы):

Бондарь Сергей Николаевич (RU),  
Жаворонкова Мария Сергеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Ставропольский  
государственный аграрный университет»  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2672474 C1, 15.11.2018. RU  
2466493 C1, 10.11.2012. US 4795961 A, 03.01.1980.  
SU 748373 A1, 15.07.1980. EP 2037588 A1,  
18.03.2009.

(54) Способ снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием

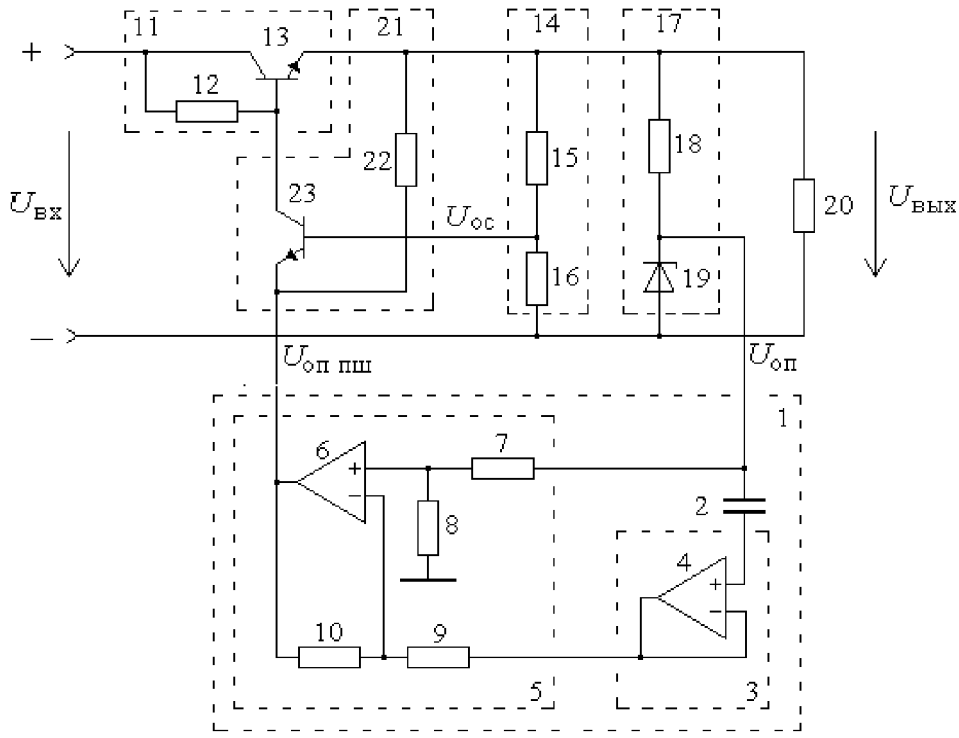
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в построении малощумящих компенсационных стабилизаторов напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием, выполненных на базе источников опорного напряжения широкого применения. Техническим результатом является снижение напряжения шума при одновременном увеличении коэффициента стабилизации компенсационных стабилизаторов напряжения постоянного тока с непрерывным

регулированием. Способ снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием осуществляется при выполнении операций формирования напряжения обратной связи, формирования опорного напряжения, формирования напряжения рассогласования, усиления напряжения рассогласования, регулирования выходного напряжения, подавления шума опорного напряжения. 7 ил.

RU  
2 767 490  
C 1

RU  
2 767 490  
C 1



Фиг. 4



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G05F 1/565 (2022.01)*

(21)(22) Application: **2021115208, 27.05.2021**

(24) Effective date for property rights:  
**27.05.2021**

Registration date:  
**17.03.2022**

Priority:

(22) Date of filing: **27.05.2021**

(45) Date of publication: **17.03.2022** Bull. № 8

Mail address:

**355017, g. Stavropol, per. Zootekhnicheskij, 12,  
Stavropolskij GAU, OIS (patentnyj otdel)**

(72) Inventor(s):

**Bondar Sergei Nikolaevich (RU),  
Zhavoronkova Mariia Sergeevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Stavropolskii gosudarstvennyi  
agrarnyi universitet» (RU)**

(54) **METHOD FOR REDUCING THE NOISE LEVEL OF A COMPENSATION DC VOLTAGE STABILIZER WITH CONTINUOUS REGULATION**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to the field of electrical engineering and can be used in the construction of low-noise compensation DC voltage stabilizers with continuous regulation, made on the basis of reference voltage sources of wide application. A method for reducing the noise level of a compensation DC voltage stabilizer with continuous regulation is carried out when performing the operations of

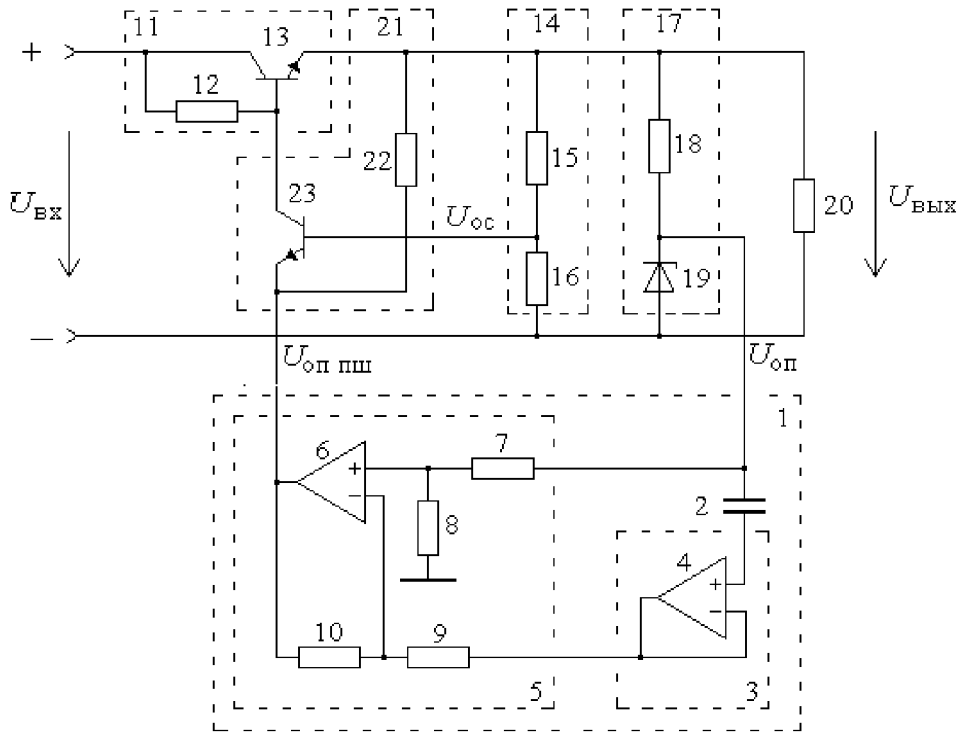
generating a feedback voltage, generating a reference voltage, generating a mismatch voltage, amplifying the mismatch voltage, regulating the output voltage, and suppressing the noise of the reference voltage.

EFFECT: reduction of noise voltage while increasing the stabilization factor of compensation DC voltage stabilizers with continuous regulation.

1 cl, 7 dwg

RU 2 767 490 C1

RU 2 767 490 C1



Фиг. 4

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в построении малошумящих компенсационных стабилизаторов напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием, выполненных на базе источников опорного напряжения широкого применения.

Уровень техники

Известен способ построения компенсационных стабилизаторов напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием [Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. «Электропитание устройств связи», М.: Связь, 1975 г., с. 187, рис. 8.8], [Б.И. Артамонов, А.А. Бокуняев. «Источники электропитания радиоустройств», М.: Энергоиздат, 1982 г., с. 145, рис. 5.10], [Л.Ф. Захаров, М.Ф. Колканов. «Электропитание устройств связи», М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007 г., с. 128, рис. 5.9], представляющих собой замкнутую систему автоматического регулирования с отрицательной обратной связью, характеризующейся:

- коэффициентом стабилизации по входному напряжению

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}}} \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \Big|_{I_{\text{н}} = \text{const}}, \quad (1)$$

где  $\Delta U_{\text{вх}}$ ,  $\Delta U_{\text{вых}}$  - изменение напряжения на входе, выходе стабилизатора;

$U_{\text{вх}}$ ,  $U_{\text{вых}}$  - напряжения на входе, выходе стабилизатора;

$I_{\text{н}}$  - ток нагрузки;

- коэффициентом сглаживания пульсаций

$$K_{\text{сп}} = \frac{U_{\text{вх}\sim}}{U_{\text{вых}\sim} + U_{\text{вых}\xi}} \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \Big|_{I_{\text{н}} = \text{const}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{вх}\sim}$ ,  $U_{\text{вых}\sim}$  - амплитуды пульсации входного и выходного напряжений стабилизатора;

$U_{\text{вых}\xi}$  - напряжение шума на выходе стабилизатора,

и базирующейся на выполнении ряда операций:

- 1) формирование напряжения обратной связи;
- 2) формирование опорного напряжения;
- 3) формирование напряжения рассогласования;
- 4) усиление напряжения рассогласования;
- 5) регулирование выходного (стабилизированного) напряжения.

Возможным вариантом реализации способа построения компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием служит схема последовательного стабилизатора [Б.И. Артамонов, А.А. Бокуняев. «Источники электропитания радиоустройств», М.: Энергоиздат, 1982 г., с.149, рис.5.12] состоящая из следующих функциональных узлов: регулирующий элемент (РЭ) - транзистор VT1; схема сравнения (СС) состоит из резистивных делителей напряжения R1, R2, R3 и входной цепи транзистора VT2; усилитель постоянного тока (УПТ) - транзистор VT2 с коллекторной нагрузкой R<sub>y</sub>; источник опорного напряжения (ИОН) представляет собой однокаскадный параметрический стабилизатор напряжения, состоящий из стабилитрона VD1 и гасящего резистора R<sub>г</sub>. Для плавной регулировки выходного

напряжения стабилизатора в делитель напряжения включен потенциометр R2, с движка которого напряжение подается на базу транзистора VT2. К эмиттеру транзистора VT2 подводится опорное напряжение стабилитрона. Верхнее плечо делителя обозначается как RI, а нижнее - RII. Для обеспечения устойчивой работы стабилизатора на выходе включена емкость C.

Согласно данному способу, стабилизатор работает следующим образом. Допустим, что напряжение на входе стабилизатора увеличилось, тогда должно возрасти напряжение на выходе стабилизатора, а также напряжение на нижнем плече делителя (RII) схемы сравнения  $U_{RII} = U_{62}$ . Увеличение потенциала базы транзистора VT2 приводит к увеличению как тока базы транзистора VT2, так и тока коллектора  $I_{K2}$ . В результате увеличивается падение напряжения на нагрузке УПТ

$$U_{Ry} = I_{K2} \cdot R_y, (3)$$

что ведет к возрастанию напряжения между коллектором и базой регулирующего транзистора VT1. Поэтому сопротивление между коллектором и эмиттером транзистора VT1 увеличивается, падение напряжения  $U_{KЭ1}$  возрастает, обеспечивая стабилизацию выходного напряжения. Стабилизация выходного напряжения предполагается и в случае изменения тока нагрузки. При увеличении тока нагрузки уменьшается величина как выходного напряжения, так и напряжения на нижнем плече делителя схемы сравнения  $U_{RII}$ . Вследствие этого уменьшается ток базы транзистора VT2 и ток коллектора  $I_{K2}$ . Следовательно, уменьшается падение напряжения на резисторе  $R_y$ , поэтому сопротивление между коллектором и эмиттером регулирующего транзистора VT1 уменьшается, и уменьшается  $U_{KЭ1}$ , обеспечивая стабилизацию выходного напряжения.

В силу того, что стабилизатор представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования с отрицательной обратной связью, то при наличии дестабилизирующих факторов - изменений входного напряжения ( $\Delta U_{вх}$ ), тока потребителя ( $\Delta I_{н}$ ), напряжения на выходе источника опорного напряжения ( $\Delta U_{оп}$ ), так же будет иметь место и изменение выходного напряжения ( $\Delta U_{вых}$ ), выражение (4)

$$\Delta U_{вых} = \frac{\Delta U_{вх}}{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha \cdot \alpha' + K_1} + \frac{\Delta U_{вх} \cdot r_{Ky} \cdot K_1}{(r_{Ky} + R_y) \cdot (1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha \cdot \alpha' + K_1)} + \frac{(\Delta U_{оп} + U_{оп,ξ}) \cdot K_1 \cdot K_y \cdot \alpha'}{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha \cdot \alpha' + K_1} - \frac{\Delta I_{н} \cdot r_{K1}}{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha \cdot \alpha' + K_1}, (4)$$

где  $K_1$  - коэффициент передачи по напряжению транзистора VT1 в схеме включения с общим эмиттером;

$K_y$  - коэффициент передачи по напряжению УПТ (транзистора VT2 в схеме включения с общим эмиттером);

$r_{K1}$  - сопротивление коллекторного перехода транзистора VT1;

$r_{Ky}$  - сопротивление коллекторного перехода транзистора VT2;

$\alpha$  - коэффициент передачи резистивного делителя CC

$$\alpha = \frac{R_I}{R_{II}} (5)$$

$\alpha'$  - коэффициент передачи резистивного делителя СС, учитывающий влияние входного сопротивления УПТ (транзистора VT2)

$$\alpha' = \frac{R_{\text{ex.y}}}{R_{\text{ex.y}} + \frac{R_I \cdot R_{II}}{R_I + R_{II}}} \quad (6)$$

$U_{\text{оп.}\xi}$  - напряжение собственных шумов ИОН, порождающее напряжение шума на выходе стабилизатора

$$U_{\text{вых.}\xi} = \frac{U_{\text{оп.}\xi} \cdot K_1 \cdot K_y}{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha \cdot \alpha'} \quad (7)$$

С учетом допущений, что  $\Delta U_{\text{н}} = 0$ ,  $\Delta U_{\text{оп}} = 0$  коэффициент стабилизации примет вид

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}}} \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha \cdot \alpha' + K_1}{1 + \frac{r_{\text{Ку}} \cdot K_1}{r_{\text{Ку}} + R_y} + \frac{U_{\text{оп.}\xi} \cdot K_1 \cdot K_y \cdot \alpha'}{\Delta U_{\text{вх}}}} \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \quad (8)$$

Как следует из анализа выражений (7), (8) и (2), величина напряжения шума на выходе стабилизатора, коэффициентов стабилизации и сглаживания, в значительной степени определяются как коэффициентами усиления РЭ  $K_1$ , УПТ  $K_y$ , так и напряжением шума ИОН.

Снижение шума ИОН (использование малошумящего ИОН) способствует увеличению коэффициентов стабилизации и сглаживания при одновременном снижении напряжения шума на выходе стабилизатора.

На фиг.1 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей ИОН (ИМС SPX385-2.5). ИМС SPX385-2.5 характеризуется среднеквадратическим напряжением шума 120 мкВ в полосе частот 10 Гц÷10 кГц, что эквивалентно напряжению шума генерируемого резистором с сопротивлением 87,5 МОм в полосе 10 кГц при температуре 25 °С, то есть напряжению шума пик-пик

$$U_{\text{оп.}\xi \text{ п-п}} = 0,8 \text{ мВ.}$$

На фиг.2 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей напряжения шума на выходе стабилизатора при  $K_1 \cdot K_y = 5$  (напряжение шума пик-пик  $U_{\text{вых.}\xi \text{ п-п}} = 1,3 \text{ мВ}$ ).

На фиг.3 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей напряжения шума на выходе стабилизатора при  $K_1 \cdot K_y = 100$  (напряжение шума пик-пик  $U_{\text{вых.}\xi \text{ п-п}} = 2,1 \text{ мВ}$ ).

Изменение  $\Delta U_{\text{вх}}$  на  $\pm 10\%$  от  $U_{\text{вх}}$  привело к изменению  $\Delta U_{\text{вых}}$  на 0,68% при  $K_1 \cdot K_y = 5$  и на 0,15% при  $K_1 \cdot K_y = 100$ .

Недостатком данного способа и данного варианта его реализации является низкий коэффициент стабилизации при значительном влиянии собственных шумов ИОН на уровень выходных шумов стабилизатора

Возможным вариантом реализации способа построения компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием служит схема последовательного стабилизатора [Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин. «Промышленная электроника», М. : Энергоатомиздат, 1988 г., с. 209, рис. 5.11], выполненная с использованием УПТ на базе операционного усилителя (ОУ).

Схема стабилизатора состоит из следующих функциональных узлов: РЭ - транзистор VT; СС - резистивный делитель напряжения R1, R2; УПТ - операционный усилитель DA; ИОН - параметрический стабилизатор напряжения, состоящий из стабилитрона VD и балластного резистора Rб.

В качестве особенности данной схемы является установление разностного напряжения подаваемого на УПТ (напряжения снимаемого со СС и ИОН) близкого к нулю с последующим значительным усилением (более 1000), обеспечивающим формированием

$K_{ст} > 10^3$ . Столь высокий коэффициент стабилизации является несомненным

достоинством данного варианта реализации способа построения компенсационного стабилизатора напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием, но лишь в случае использования малошумящего ИОН.

Высокий коэффициент усиления с учетом широкополосности шума ИОН, при его значительном уровне, в силу инерционности усилительных элементов, а так же реактивности нагрузки и емкости блокировочных конденсаторов (используемых при построении устройств электропитания), приводит к фазовому сдвигу цепи обратной связи, что в свою очередь, порождает динамическую ошибку замкнутой системы регулирования (снижение коэффициента обратной связи преимущественно в области низких и высоких).

Недостатком данного способа и данного варианта его реализации в случае использования ИОН широкого применения является фактическое:

- снижение устойчивости стабилизатора как системы автоматического регулирования;
- сужение диапазона допустимого изменения входного напряжения;
- существенное снижение коэффициента сглаживания относительно коэффициента

стабилизации;

- высокий уровень напряжения шума на выходе стабилизатора.

Раскрытие изобретения

Технический результат, который может быть достигнут с помощью предлагаемого изобретения, сводится к снижению напряжения шума при одновременном увеличении коэффициента стабилизации компенсационных стабилизаторов напряжения постоянного тока с непрерывным регулированием.

Технический результат достигается тем, что в способ снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием, так же, как и прототип, базирующийся на выполнении ряда операций:

- 1) формирование напряжения обратной связи;
  - 2) формирование опорного напряжения;
  - 3) формирование напряжения рассогласования;
  - 4) усиление напряжения рассогласования;
  - 5) регулирование выходного (стабилизированного) напряжения,
- введена операция - подавление шума опорного напряжения (шума выходного напряжения ИОН).

Краткое описание чертежей

На фиг.1 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой



составляющей ИОН (ИМС SPX385-2.5).

На фиг.2 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей напряжения шума на выходе стабилизатора при  $K_1 \cdot K_y = 5$ .

На фиг.3 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей напряжения шума на выходе стабилизатора при  $K_1 \cdot K_y = 100$ .

На фиг.4 представлен вариант функциональной схемы устройства реализации способа снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием и УПТ на транзисторе.

На фиг.5 представлен вариант функциональной схемы устройства реализации на транзисторах способа снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием и УПТ на ОУ.

На фиг.6 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей на выходе блока ПШ, реализованного с использованием: DA1, DA2 - ОУ ОР07С ( $U_{\text{ОУ.гп-п}} = 0,38$  мкВ (пик-пик) в полосе частот  $0,1 \div 10$  Гц); С1 - 33 нФ; R1 ÷ R4 - 51 кОм).

На фиг.7 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей напряжения шума на выходе стабилизатора с блоком ПШ при

$K_1 \cdot K_y = 200$ .

Осуществление изобретения

Сущность предлагаемого способа заключается в выполнении следующих операций:

- 1) формирование напряжения обратной связи;
- 2) формирование опорного напряжения;
- 3) подавление шума опорного напряжения;
- 3) формирование напряжения рассогласования;
- 4) усиление напряжения рассогласования;
- 5) регулирование выходного (стабилизированного) напряжения.

Устройство реализации способа снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием фиг.4 (фиг.5), содержит: подавитель шума (ПШ) 1 - разделительный конденсатор 2, повторитель напряжения (ПН) 3, вычитатель 5; регулирующий элемент 11 - транзистор 13, резистор 12; резистивный делитель напряжения 14 - резисторы 15, 16; ИОН 17 - резистора 18, стабилитрон 19; сопротивление нагрузки 20; УПТ 21 - резистор 22, транзистор 23, (ОУ 22, фиг.5), причем коллектор транзистора 13 подключен к первому выводу резистора 12 и входу положительной полярности устройства, а эмиттер к первым выводам резисторов 15, 18 и через сопротивление нагрузки 20 к аноду стабилитрона 19, второму выводу резистора 16 и входу отрицательной полярности устройства; второй вывод резистора 15 соединен с первым выводом резистора 16 и базой транзистора 23 (неинвертирующим входом ОУ 22, фиг.5), коллектор транзистора 23 (выход ОУ 22, фиг.5) соединен со вторым выводом резистора 12 и базой транзистора 13; второй вывод резистора 18 соединен с катодом стабилитрона 19 и входом ПШ 1, выход которого соединен с эмиттером транзистора 23 и через резистор 22 с эмиттером транзистора 13 (неинвертирующим входом ОУ 22, фиг.5); вход ПШ 1 соединен с первым входом вычитателя 5 и через последовательно соединенные разделительный конденсатор 2 и ПН 3, со вторым входом вычитателя 5, выход которого служащим выходом ПШ 1.

ПН 3 содержит ОУ 4, причем неинвертирующий вход ОУ 4 служит входом повторителя напряжения, а инвертирующий вход, соединенный с выходом ОУ 4, служит

выходом ПН 3.

Вычитатель 5 содержит ОУ 6 и резисторы 7÷10, причем первый вывод резистора 7 служит первым входом вычитателя 5, а второй вывод соединен с неинвертирующим входом ОУ 6 и первым выводом резистора 8, второй вывод которого заземлен; первый вывод резистора 9 служит вторым входом вычитателя 5, а второй вывод соединен с инвертирующим входом ОУ 6 и первым выводом резистора 10, второй вывод которого соединен с выходом ОУ 6 и выходом вычитателя 5.

Устройство реализации способа снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием работает следующим образом.

Допустим, что напряжение  $U_{вх}$  на входе стабилизатора увеличилось, тогда должно возрасти напряжение  $U_{вых}$  на выходе стабилизатора, а также напряжение  $U_{ос}$  поступающее на вход УПТ 21 (базу транзистора 23, фиг.4; инвертирующий вход ОУ 22, фиг.5), что, в свою очередь, приведет к подзапиранию транзистора 13. Ток транзистора 13 уменьшится и напряжение  $U_{вых}$  на сопротивлении нагрузки 20 снизится почти до первоначального значения.

Допустим, что напряжение  $U_{вх}$  на входе стабилизатора уменьшилось, тогда должно уменьшится напряжение  $U_{вых}$  на выходе стабилизатора, а также напряжение  $U_{ос}$  поступающее на вход УПТ 21 (базу транзистора 23, фиг.4; инвертирующий вход ОУ 22, фиг.5), что, в свою очередь, приведет к транзистора 13. Ток транзистора 13 увеличится и напряжение  $U_{вых}$  на сопротивлении нагрузки 20 возрастет почти до первоначального значения.

Как и в случае прототипа, уровень выходного шума стабилизатора, коэффициенты стабилизации и сглаживания определяются уровнем шума на эмиттере транзистора 23, фиг.4 (неинвертирующем входе ОУ 22, фиг.5) и, с учетом допущений, что  $\Delta U_H = 0$ ,

$\Delta U_{ос} = 0$ , определяются соотношениями:

- в случае реализации УПТ 21 на базе транзистора 23, фиг.4

$$U_{вых\xi} = \frac{U_{ос.пш.\xi} \cdot K_1 \cdot K_y}{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha \cdot \alpha'} \quad (9)$$

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}} \cdot \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha \cdot \alpha' + K_1}{1 + \frac{r_{кy} \cdot K_1}{r_{кy} + R_y} + \frac{U_{ос.пш.\xi} \cdot K_1 \cdot K_y \cdot \alpha'}{\Delta U_{вх}}} \cdot \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, \quad (10)$$

- в случае реализации УПТ 21 на базе ОУ 22, фиг.5, (так как  $R_{вх.ОУ} \uparrow \Rightarrow \alpha' \approx 1$ )

$$U_{вых\xi} = \frac{U_{ос.пш.\xi} \cdot K_1 \cdot K_y}{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha} \quad (11)$$

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}} \cdot \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{1 + K_1 \cdot K_y \cdot \alpha + K_1}{1 + \frac{U_{ос.пш.\xi} \cdot K_1 \cdot K_y}{\Delta U_{вх}}} \cdot \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, \quad (12)$$

где  $U_{ос.пш.\xi}$  - напряжение шумов на выходе блока ПШ 1.

ПШ 1 работает следующим образом.

Выходной сигнал ИОН 17, содержит шумовую составляющую  $U_{оп.ξ}$ , выделяемую из выходного сигнала с помощью конденсатора 2 и поступающую на вход ПН 1.

Так как ПН 1 выполнен по схеме неинвертирующего усилителя со стопроцентной обратной связью, характеризуется параметрами:

$$\left. \begin{aligned} R_{вх.ПН} &= R_{вх.ОУ} \cdot (1 + K_{ОУ}) \\ K_{ПН} &= 1 \\ R_{вых.ПН} &= R_{вых.ОУ} / (1 + K_{ОУ}) \end{aligned} \right\}, (13)$$

где  $R_{вх.ОУ}$ ,  $R_{вых.ОУ}$ ,  $K_{ОУ}$  - входное (дифференциальное), выходное сопротивления и коэффициент усиления ОУ 4;

$R_{вх.ПН}$ ,  $R_{вых.ПН}$ ,  $K_{ПН}$  - входное, выходное сопротивления и коэффициент усиления (передачи) ПН 1.

В общем случае, имеет место выполнение условия:

$$R_{вых.ПН} \approx R_{вых.ИОН} \quad (14)$$

где  $R_{вых.ИОН}$  - выходное сопротивление ИОН 17.

Выделенная шумовая составляющая, с выхода ПН 1, и выходной сигнал ИОН 17 поступают на входы вычитателя 5, осуществляющего компенсацию (подавление) шумовой составляющей.

Степень подавления шумовой составляющей в значительной мере определяется постоянной времени  $\tau_{ПН}$  цепи ПН 1 образованной конденсатором 2 и входным сопротивлением  $R_{вх.ПН}$  ПН 1, являющейся, по сути, RC-фильтром высоких частот. Что обеспечивает фазовый сдвиг шумовой составляющей  $\varphi_{\xi}(\omega)$ , в соответствии с выражением (15)

$$\varphi_{\xi}(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctg(\omega \cdot \tau_{ПН}), (15)$$

$$\text{где } \tau_{ПН} = C1_2 \cdot R_{вх.ПН} = \tau_{ФВЧ}, (16)$$

где  $C1_2$  - емкость конденсатора 2;

$\tau_{ФВЧ}$  - постоянная времени фильтра высоких частот ПШ 1,

и постоянной времени цепи ИОН 17  $\tau_{ИОН}$

$$\tau_{ИОН} = C1 \cdot R_{вых.ИОН} \quad (17)$$

При этом на  $\tau_{ФВЧ}$ ,  $\tau_{ИОН}$  накладываются условия:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{ФВЧ} &\rightarrow \infty \\ \tau_{ИОН} &\rightarrow 0 \end{aligned} \right\} (18)$$

На сопротивления резисторов 7÷10 вычитателя 5 накладывается условие

$$R1_7 = R2_8 = R3_9 = R4_{10} \quad (19)$$

где  $R1_7, R2_8, R3_9, R4_{10}$  - 1 ÷ 4 резисторы (элементы 7÷10) вычитателя 5.

В качестве особенности схемной реализации ПШ 1, следует отметить единичные

коэффициенты передачи ПН 3 и вычитателя 5, а так же некоррелированность их шумовых напряжений, что на фоне некоррелированности с шумом ИОН 17, определяет  $e_{оп.пш.ξ}$  - среднеквадратичное напряжение шума на выходе ПШ 1.

$$e_{оп.пш.ξ}(\omega) = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{17.ξ_{п-п}}(\omega)}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot K_{пш}(\omega)}\right)^2 + \left(\frac{U_{4.ξ_{п-п}}(\omega)}{2 \cdot \sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{6.ξ_{п-п}}(\omega)}{2 \cdot \sqrt{2}}\right)^2}}{3}, \quad (20)$$

где  $K_{пш}(\omega)$  - коэффициент подавления шума ПШ;

$U_{17.ξ_{п-п}}(\omega)$  - напряжение шума пик-пик  $U_{оп.ξ_{п-п}}$  ИОН 17;

$U_{4.ξ_{п-п}}(\omega)$ ,  $U_{6.ξ_{п-п}}(\omega)$  - напряжение шума пик-пик ( $U_{оу.ξ_{п-п}}$ ) ОУ 4, 6.

На фиг.6 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей на выходе блока ПШ 1, реализованного с использованием: ОУ 4, 6 - ОУ ОР07С ( $U_{оу.ξ_{п-п}} = 0,38$  мкВ пик-пик в полосе частот  $0.1 \div 10$  Гц); конденсатора 2 - С1 = 33 нФ; резисторов  $7 \div 10$  - R1-R4 = 51 кОм), (напряжение шума пик-пик  $U_{оп.пш.ξ_{п-п}} = 0,54$  мкВ).

На фиг.7 представлены временная диаграмма и спектрограмма шумовой составляющей напряжения шума на выходе стабилизатора с блоком ПШ при  $K_1 \cdot K_y = 200$  (напряжение шума пик-пик  $U_{вых.ξ_{п-п}} = 2,3$  мкВ, при существенном снижении уровня высокочастотных гармоник).

Изменение  $\Delta U_{вх}$  на  $\pm 10\%$  от  $U_{вх}$  привело к изменению  $\Delta U_{вых}$  на 0,059% при

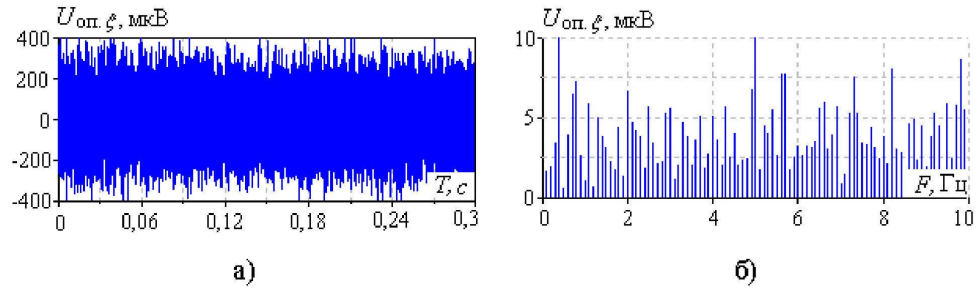
$$K_1 \cdot K_y = 200.$$

Разработанный способ снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием обеспечивает понижение уровня выходного шума при одновременном повышении устойчивости системы автоматического регулирования, а значит обеспечивает потенциальную возможность повышения коэффициентов стабилизации и сглаживания.

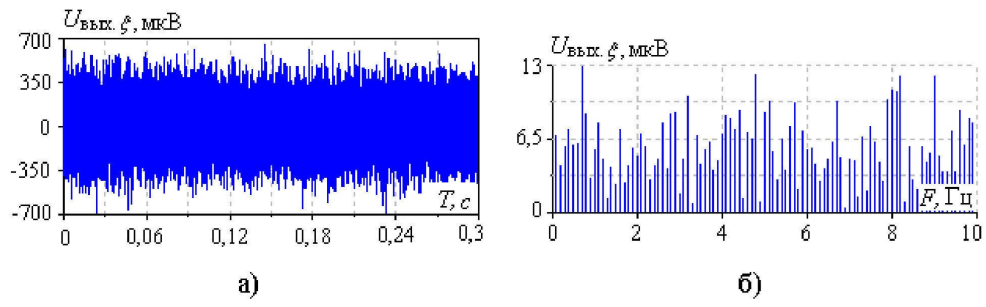
#### (57) Формула изобретения

Способ снижения уровня шума компенсационного стабилизатора постоянного напряжения с непрерывным регулированием, включающий операции формирования напряжения обратной связи, формирования опорного напряжения, формирования напряжения рассогласования, усиления напряжения рассогласования, регулирования выходного напряжения, отличающийся тем, что введена операция подавления шума опорного напряжения.

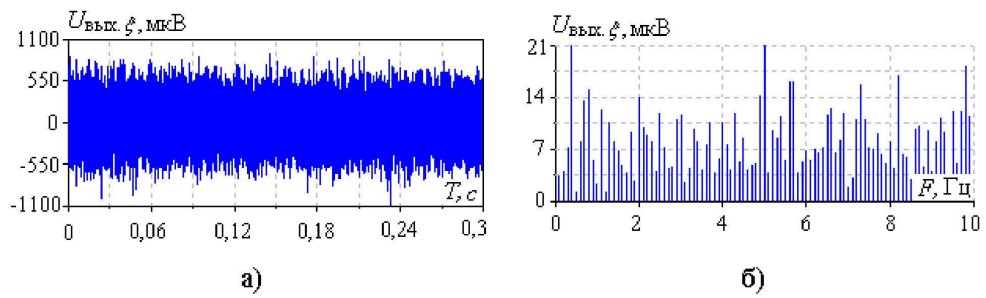
1



Фиг. 1

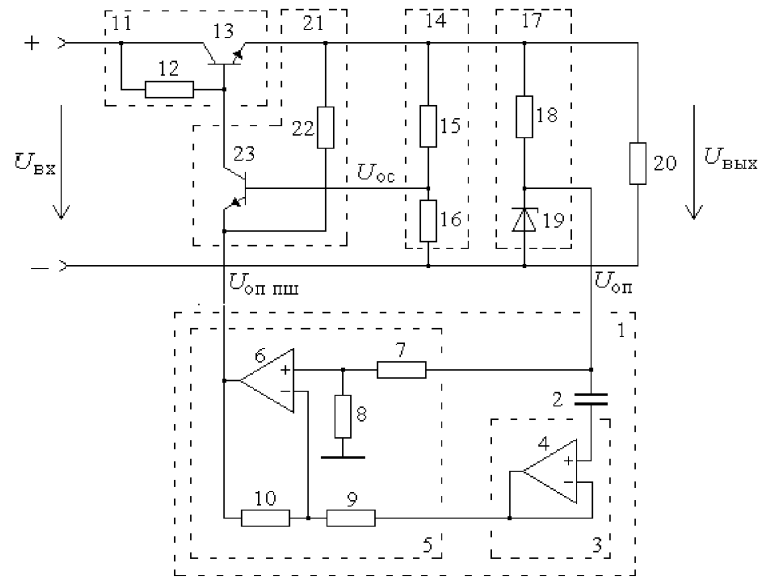


Фиг. 2

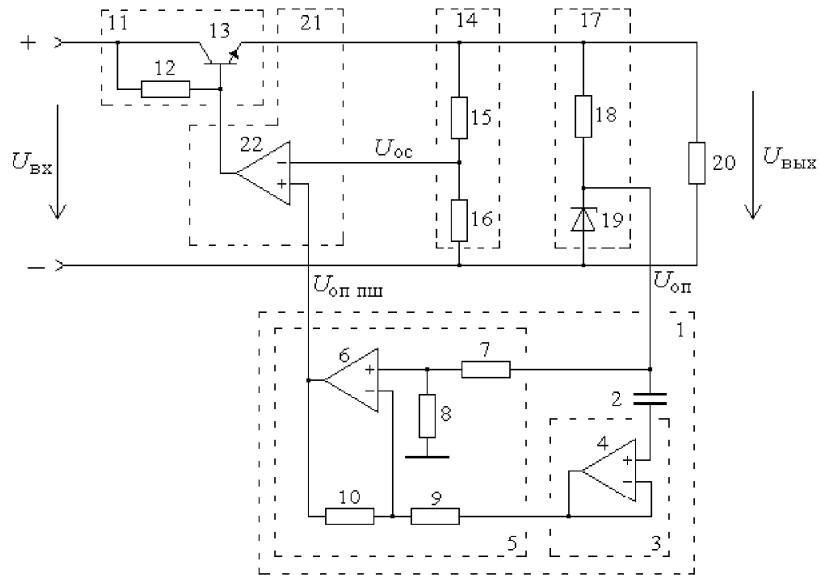


Фиг. 3

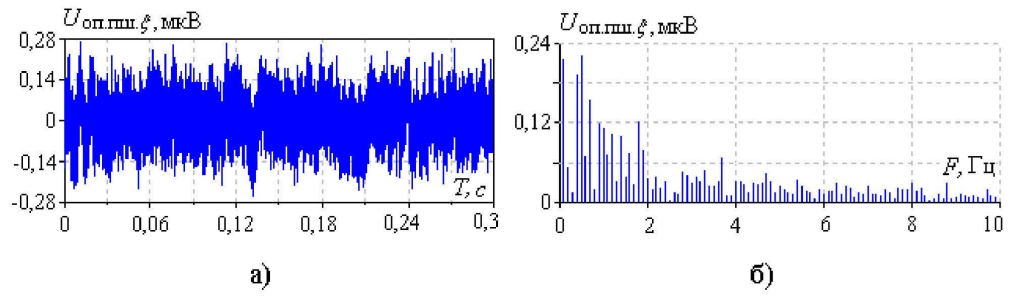
2



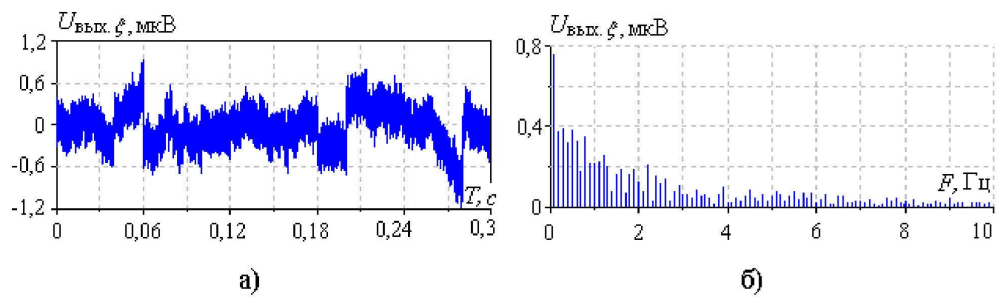
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7