



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 100285

(13) U

(51) МПК

G05F 1/56 (2006.01)

G05F 1/569 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки:	u 2014 11709	(72) Винахідник(и):	Дрьомов Сергій Тимофійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	29.10.2014	(73) Власник(и):	Дрьомов Сергій Тимофійович, пров. Коломийський, 10, кв. 66, м. Київ, 03127 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	27.07.2015	(74) Представник:	Дрьомов Сергій Тимофійович
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	27.07.2015, Бюл.№ 14		

(54) ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ КОМПЕНСАЦІЙНИЙ СТАБІЛІЗАТОР ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ ДРЬОМОВА**(57) Реферат:**

Високоєфективний стабілізатор постійної напруги містить регулюючий елемент, колектор керуючого транзистора якого через послідовно з'єднані переходи база-емітер узгоджуючого та силового транзисторів сполучений з вхідним виводом, емітер безпосередньо з'єднаний з колектором узгоджуючого транзистора, через перший напівпровідниковий елемент сполучений з вихідним виводом та колектором силового транзистора, а через обмежувальний резистор - з загальною шиною, база через перехід колектор - емітер струмозадавального транзистора з'єднана з вихідним виводом і безпосередньо підключена до колектора запускаючого транзистора, база якого сполучена з виходом джерела позитивного зміщення, а емітер через перший резистор з'єднаний з вхідним виводом, підсилювач зворотного зв'язку, виконаний по диференціальній схемі, колектор вхідного транзистора якого безпосередньо з'єднаний з базою струмозадавального транзистора, а через вирівнюючий резистор підключений до його емітера, база з'єднана з виходом джерела опорної напруги, емітер через другий резистор сполучений з загальною шиною і безпосередньо з'єднаний з емітером вихідного транзистора, база якого підключена до виходу вимірювального подільника вихідної напруги, а також вихідний елемент органу контролю, база першого транзистора якого з'єднана з емітером запускаючого транзистора, його колектор через паралельно сполучені перехід колектор-емітер другого транзистора та елемент індикації, виконаний, наприклад, на світлодіоді, підключений до загальної шини, емітер через третій резистор сполучений з вхідним виводом та безпосередньо сполучений з емітером третього транзистора, база якого з'єднана з виходом джерела позитивного зміщення, а колектор через четвертий резистор з'єднаний з базою другого транзистора, а також з одним із виводів накопичувального конденсатора, та одним із виводів п'ятого резистора, другі виводи яких з'єднані з загальною шиною. Вхідний елемент органу контролю виконаний на четвертому та п'ятому транзисторах, другому напівпровідниковому елементі, та шостому, сьомому і восьмому резисторах, причому шостий резистор ввімкнений між колектором вихідного транзистора підсилювача зворотного зв'язку та колектором струмозадавального транзистора, емітер четвертого транзистора через сьомий резистор з'єднаний з базою керуючого транзистора регулюючого елемента, його база безпосередньо підключена до колектора вихідного транзистора підсилювача зворотного зв'язку, а колектор через другий напівпровідниковий елемент сполучений з загальною шиною і безпосередньо приєднаний до бази п'ятого транзистора, емітер якого через восьмий резистор сполучений з загальною шиною, а колектор сполучений з емітером запускаючого транзистора.

UA 100285 U

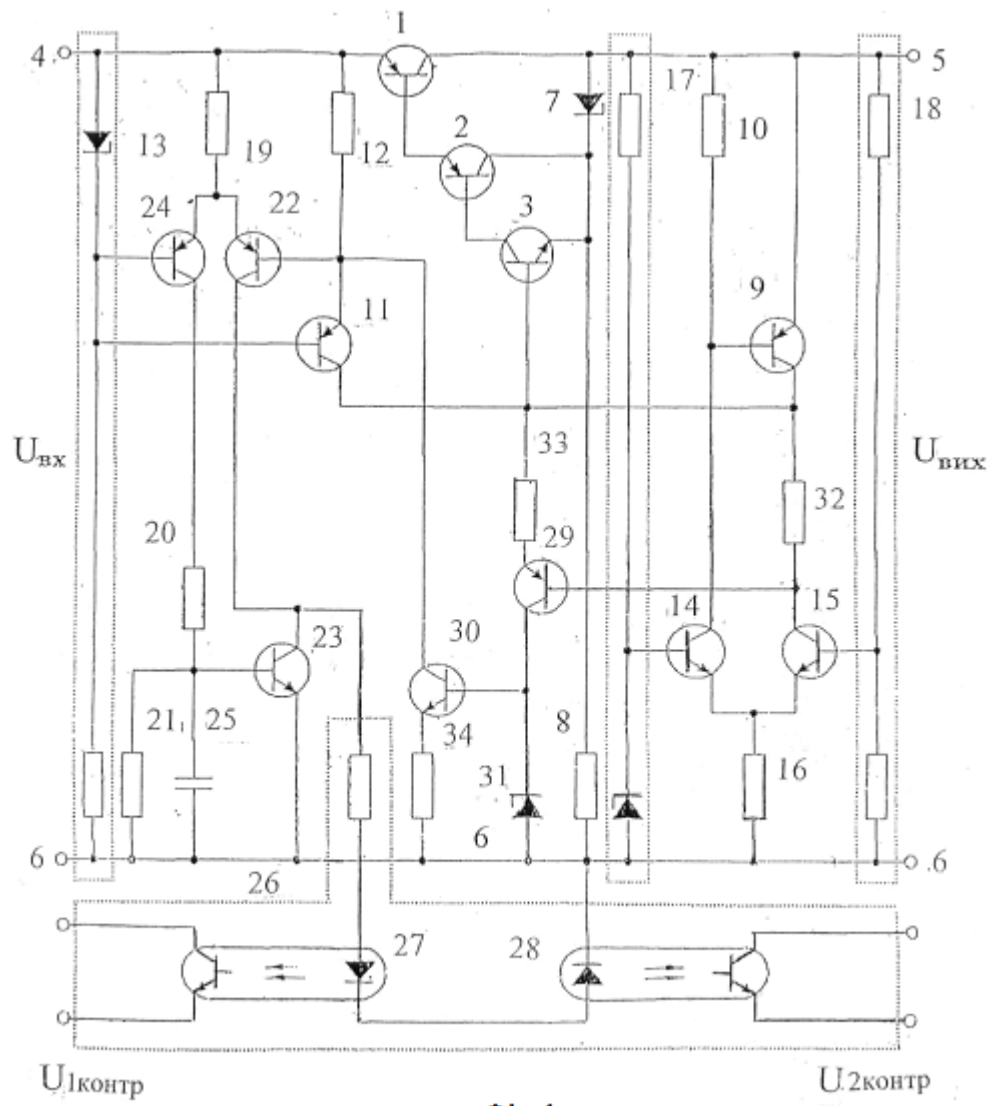


Fig. 1

Запропонована корисна модель належить до галузі електротехніки і може бути використана при проектуванні стабілізуючих пристроїв електроживлення ряду високочутливої радіоелектронної апаратури, наприклад, при проектуванні вискоефективних стабілізуючих пристроїв електроживлення електронної апаратури радіолокаційних станцій та систем нового покоління.

Відомі вискоефективні компенсаційні стабілізатори постійної напруги, які володіють високою якістю вихідної напруги, малим мінімальним падінням напруги та містять у собі органи індикації нормальної роботи.

Один з відомих стабілізаторів (дивись авт. св. СРСР № 1136135, кл. G05F 1/56, G05F 1/569, 1983) містить в собі регулюючий елемент, який ввімкнутий в його силовий ланцюг та виконаний на силовому, узгоджуючому і керуючому транзисторах з розділеними вихідними колекторними та емітерними ланцюгами за допомогою застосування напівпровідникового елемента та обмежувального резистора, а також вузол керування і орган індикації вихідної напруги. Відомий стабілізатор має понижене значення мінімального падіння напруги, оскільки в ньому розділені вихідні ланцюги транзисторів регулюючого елемента, та забезпечує можливість формувати вихідний сигнал індикації про наявність вихідної напруги. Недоліками відомого стабілізатора є низька якість вихідної напруги, невисока точність спрацювання органа індикації, а також недостатньо мале значення мінімального падіння напруги.

В другому відомому стабілізаторі (дивись авт. св. СРСР №1302257, кл. G05F 1/569, 1985), який складається з силового, узгоджуючого та керуючого транзисторів, вузла розділу їх вихідних колекторних та емітерних ланцюгів, а також з підсилювача зворотного зв'язку та органу індикації, забезпечується більш висока точність спрацювання органу індикації, оскільки в його ланцюг входить частина колекторної напруги силового транзистора. Недоліками другого відомого стабілізатора залишаються низька якість вихідної напруги, недостатньо мале значення мінімального падіння напруги, а також недостатньо високі точність та ефективність спрацювання органа індикації.

З відомих стабілізаторів постійної напруги більш близьким за технічною суттю та прийнятим за прототип (дивись патент України № 70856, кл. G05F 1/56, 2005) є вискоефективний компенсаційний стабілізатор постійної напруги, що містить регулюючий елемент, колектор керуючого транзистора якого через послідовно з'єднані переходи база-емітер узгоджуючого та силового транзисторів сполучений з вхідним виводом, емітер безпосередньо з'єднаний з колектором узгоджуючого транзистора, через перший напівпровідниковий елемент, сполучений з вихідним виводом та колектором силового транзистора, а через обмежувальний резистор - з загальною шиною, база через перехід колектор-емітер струмозадавального транзистора з'єднана з вихідним виводом і безпосередньо підключена до колектора запускаючого транзистора, база якого сполучена з виходом джерела позитивного зміщення, а емітер через перший резистор з'єднаний з вхідним виводом, підсилювач зворотного зв'язку, виконаний по диференціальній схемі, колектор вхідного транзистора якого безпосередньо з'єднаний з базою струмозадавального транзистора, а через вирівнюючий резистор підключений до його емітера, база з'єднана з виходом джерела опорної напруги, емітер через другий резистор сполучений з загальною шиною і безпосередньо з'єднаний з емітером вихідного транзистора, база якого підключена до виходу вимірювального подільника вихідної напруги, а також вихідний елемент органу контролю, база першого транзистора якого з'єднана з емітером запускаючого транзистора, його колектор через паралельно сполучені перехід колектор-емітер другого транзистора та елемент індикації, виконаний, наприклад, на світлодіоді, підключений до загальної шини, емітер через третій резистор сполучений з вхідним виводом та безпосередньо сполучений з емітером третього транзистора, база якого з'єднана з виходом джерела позитивного зміщення, а колектор через четвертий резистор сполучений з базою другого транзистора, а також з першими виводами накопичувального конденсатора, та п'ятого резистора, другі виводи яких з'єднані з загальною шиною.

Даний стабілізатор має достатньо високу якість вихідної напруги внаслідок живлення базового ланцюга керуючого транзистора регулюючого елемента і колекторного ланцюга вихідного транзистора підсилювача зворотного зв'язку стабільною вихідною напругою через струмозадавальний транзистор, дуже малим мінімальним падінням напруги, оскільки в ньому роз'єднані колекторні та емітерні вихідні ланцюги силового, узгоджуючого та керуючого транзисторів за допомогою першого напівпровідникового елемента та обмежувального резистора, а також порівняно високою точністю спрацювання органа контролю номінальної величини вихідної напруги, так як орган контролю спрацьовує в момент, коли вихідна напруга стабілізатора досягає своєї номінальної величини та високої якості.

Однак суттєвими недоліками зазначеного стабілізатора є недостатньо висока надійність роботи, складність проектування, налагодження та експлуатації, недостатньо висока якість вихідної напруги та недостатньо мала величина вихідних пульсацій, а також недостатньо висока точність роботи органу контролю, особливо при створенні уніфікованого ряду високоефективних малощумних стабілізаторів постійної напруги.

Ці недоліки пояснюються тим, що режим роботи запускаючого, першого, другого та третього транзисторів, а також першого, другого, третього, четвертого та п'ятого резисторів залежить від коливань напруги живлення, оскільки, в цих умовах змінюється величина струму, який повинен забезпечувати підвищену величину падіння напруги на першому резисторі для забезпечення надійного закритого режиму роботи запускаючого транзистора після досягнення вихідної напруги стабілізатора своєї номінальної величини та одночасного формування високоточного сигналу органу контролю. Такий режим роботи вказаних елементів змушує приймати ряд додаткових схемотехнічних заходів для збереження необхідної надійності їх роботи, що дещо збільшує розкид вихідних параметрів стабілізатора, підвищує величину вихідних пульсацій, особливо при живленні стабілізатора постійною напругою з певним рівнем пульсацій і відповідним коливанням.

В основу запропонованої корисної моделі поставлена задача створення такого високоефективного компенсаційного стабілізатора постійної напруги, в якому шляхом одночасного забезпечення стабільного режиму роботи запускаючого, першого, другого та третього транзисторів, а також першого, другого, третього, четвертого та п'ятого резисторів при коливаннях напруги живлення, суттєво підвищена надійність роботи, понижений рівень вихідних пульсацій, спрощені процеси проектування, налагодження та експлуатації, підвищена точність роботи органу контролю та індикації, забезпечена можливість створення уніфікованого ряду малощумних стабілізаторів постійної напруги.

Поставлена задача вирішується тим, що в високоефективному стабілізаторі постійної напруги, що містить регулюючий елемент, колектор керуючого транзистора якого через послідовно з'єднані переходи база-емітер узгоджуючого та силового транзисторів сполучений з вхідним виводом, емітер безпосередньо з'єднаний з колектором узгоджуючого транзистора, через перший напівпровідниковий елемент сполучений з вихідним виводом та колектором силового транзистора, а через обмежувальний резистор - з загальною шиною, база через перехід колектор-емітер струмозадавального транзистора з'єднана з вихідним виводом і безпосередньо підключена до колектора запускаючого транзистора, база якого сполучена з виходом джерела позитивного зміщення, а емітер через перший резистор з'єднаний з вхідним виводом, підсилювач зворотного зв'язку, що виконаний по диференціальній схемі, колектор вхідного транзистора якого безпосередньо з'єднаний з базою струмозадавального транзистора, а через вирівнюючий резистор підключений до його емітера, база з'єднана з виходом джерела опорної напруги, емітер через другий резистор сполучений з загальною шиною і безпосередньо з'єднаний з емітером вихідного транзистора, база якого підключена до виходу вимірювального подільника вихідної напруги, а також вихідний елемент органу контролю, база першого транзистора якого з'єднана з емітером запускаючого транзистора, його колектор через паралельно сполучені перехід колектор-емітер другого транзистора та елемент індикації, виконаний, наприклад, на світлодіоді, підключений до загальної шини, емітер через третій резистор сполучений з вхідним виводом та безпосередньо сполучений з емітером третього транзистора, база якого з'єднана з виходом джерела позитивного зміщення, а колектор через четвертий резистор сполучений з базою другого транзистора, а також з першими выводами накопичувального конденсатора, та п'ятого резистора, другі виводи яких з'єднані з загальною шиною, вхідний елемент органу контролю виконаний на четвертому та п'ятому транзисторах, другому напівпровідниковому елементі, а також шостому, сьомому і восьмому резисторах, причому шостий резистор ввімкнений між колектором вихідного транзистора підсилювача зворотного зв'язку та колектором струмозадавального транзистора, емітер четвертого транзистора через сьомий резистор з'єднаний з базою керуючого транзистора регулюючого елемента, його база безпосередньо підключена до колектора вихідного транзистора підсилювача зворотного зв'язку, а колектор через другий напівпровідниковий елемент сполучений з загальною шиною і безпосередньо приєднаний до бази п'ятого транзистора, емітер якого через восьмий резистор сполучений з загальною шиною, а колектор сполучений з емітером запускаючого транзистора.

Проведений аналіз науково-технічної та патентної літератури не виявив аналогічних технічних рішень.

На Фіг. 1 показана електрична схема запропонованого високоефективного компенсаційного стабілізатора постійної напруги,

на Фіг. 2 - діаграми напруг та струмів, що пояснюють суть роботи основних елементів та органів стабілізатора.

Запропонований високоефективний компенсаційний стабілізатор постійної напруги містить в собі регулюючий елемент, виконаний на силовому 1, узгоджуючому 2 та керуючому 3 транзисторах, вхідний 4 та вихідний 5 виводи, загальну шину 6, перший напівпровідниковий елемент 7, обмежувальний резистор 8, струмозадавальний транзистор 9, вирівнюючий резистор 10, запускаючий транзистор, перший резистор 12, джерело позитивного зміщення 13, підсилювач зворотного зв'язку, який складається з вхідного 14 та вихідного 15 транзисторів, другого резистора 16, джерела 17 опорної напруги та вимірювального подільника 18 вихідної напруги, а також вихідний елемент органу контролю, що включає третій 19, четвертий 20 та п'ятий 21 резистори, перший 22, другий 23 та третій 24 транзистори, накопичувальний конденсатор 25, орган індикації 26 який виконаний на оптоелектронних елементах 27, 28 і вхідний елемент органу контролю, що включає четвертий 29 та п'ятий 30 транзистори, другий напівпровідниковий елемент 31, а також шостий 32 сьомий 33 та восьмий 34 резистори.

Колектор керуючого транзистора 3 регулюючого елемента через послідовно з'єднані переходи база-емітер узгоджуючого 2 та силового 1 транзисторів сполучений з вхідним виводом 4, емітер безпосередньо з'єднаний з колектором узгоджуючого транзистора 2, через перший напівпровідниковий елемент 7 зв'язаний з вихідним виводом 5 та колектором силового транзистора 1, а через обмежувальний резистор 8 приєднаний до загальної шини 6. База керуючого транзистора 3 через перехід колектор-емітер струмозадавального транзистора 9 з'єднана з вихідним виводом 5 і безпосередньо сполучена з колектором запускаючого транзистора 11, база якого з'єднана з виходом джерела позитивного зміщення 13, а емітер через перший резистор 12 сполучений з вхідним виводом 4. Колектор вхідного транзистора 14 підсилювача зворотного зв'язку з базою струмозадавального транзистора 9 з'єднаний безпосередньо, а з емітером - через вирівнюючий резистор 10, його база підключена до виходу джерела опорної напруги 17, а емітер через другий резистор 16 з'єднаний з загальною шиною 6 і безпосередньо підключений до емітера вихідного транзистора 15, база якого з'єднана з виходом вимірювального подільника 18 вихідної напруги. Шостий резистор 32 вихідного елемента органу контролю ввімкнутий поміж колекторами струмозадавального 9 та вихідного 15 транзисторів, сьомий резистор 33 ввімкнутий між колектором струмозадавального 9 та емітером четвертого 29 транзисторів. База четвертого транзистора 29 підключена до колектора вихідного транзистора 15, а його колектор безпосередньо підключений до бази п'ятого транзистора 30, через другий напівпровідниковий елемент 31 підключений до загальної шини 6 та до одного з виводів восьмого резистора 34. Емітер п'ятого транзистора 30 сполучений з другим виводом восьмого резистора 34, а колектор з'єднаний з емітером запускаючого транзистора 11 та базою першого транзистора 22. Колектор першого транзистора 22 через паралельно сполучені перехід колектор-емітер другого транзистора 23 та ланцюг, що складається з послідовно з'єднаних світлодіодів оптоелектронних елементів 27, 28 органу індикації 26 підключений до загальної шини 6, емітер через третій резистор 9 з'єднаний з вхідним виводом 4 та безпосередньо підключений до емітера третього транзистора 24. База третього транзистора 24 підключена до виходу джерела 13 позитивного зміщення, а його колектор через послідовно сполучені четвертий 20 та п'ятий 21 резистори підключений до загальної шини 6. До точки сполучення четвертого 20 та п'ятого 21 резисторів приєднана база другого транзистора 23, а накопичувальний конденсатор 25 при цьому включений паралельно п'ятому 21 резистору.

Запропонований високоефективний компенсаційний стабілізатор постійної напруги працює наступним чином. Після ввімкнення напруга живлення стабілізатора підвищується від нульового значення до величини, яка забезпечує формування номінального значення вихідної напруги. При цьому спрацьовує орган контролю і формується сигнал, який дає достовірну інформацію про нормальну роботу стабілізатора та номінальне значення вихідної напруги високої якості. Для пояснення роботи схеми стабілізатора в цілому та його органу контролю на Фіг. 2 показані шість етапів, що включають періоди, коли вхідна напруга з певним рівнем пульсації підвищується від величини, яка менша від номінального значення напруги, до величини, яка спочатку досягає рівень номінального значення вихідної напруги, а далі перевищує її величину на (20-60) %. При цьому в момент досягнення вихідної напруги своєї номінальної величини забезпечується спрацювання органу контролю.

На першому етапі ($t_0 - t_1$, Фіг. 2) вхідна напруга, яка складається з постійної та змінної (пульсація напруги живлення) складових, не досягає величини номінального значення вихідної напруги. Вихідний транзистор 15 підсилювача зворотного зв'язку при цьому знаходиться в закритому стані (I_{15} , $t_0 - t_1$, Фіг. 2), і струм запускаючого транзистора 11, (I_{11}), який

визначається напругою джерела позитивного зміщення 13 (U_{13}), напругою переходу база - емітер запускаючого транзистора 11 ($U_{\text{бe11}}$) та опором першого резистора 12 (R_{12}) згідно з формулою:

$$I_{11} = \frac{U_{13} - U_{\text{бe11}}}{R_{12}},$$

5 повністю втікає в базовий ланцюг керуючого транзистора 3 регулюючого елемента та забезпечує насичений режим роботи силового транзистора 1.

В результаті вхідна напруга живлення ($U_{\text{вх}}$, Фіг. 2) повністю надходить на вихід стабілізатора ($U_{\text{вих}}$, Фіг. 2). Цей період характеризується наступними режимами роботи елементів стабілізатора.

10 Відсутність колекторного струму вихідного транзистора 15 забезпечує закритий режим роботи четвертого транзистора 29 (падіння напруги на шостому резисторі 32 має нульову величину) та, відповідно, п'ятого 30 транзистора. Тобто в першому періоді транзистори 15, 29 та 30 знаходяться в закритому стані (I_{15} , I_{29} , I_{30} , $t_0 - t_1$ Фіг. 2). А відсутність колекторного струму п'ятого транзистора 30 при цьому не впливає на початкове мале падіння напруги на першому
15 резисторі 12 U_{12} , яке визначається виразом ($U_{12} = U_{13} - U_{\text{бe11}}$), та забезпечує також закритий стан першого транзистора 22 (I_{22} , $t_0 - t_1$, Фіг. 2) і відкритий стан третього транзистора 24 (I_{24} , $t_0 - t_1$, Фіг. 2). При цьому накопичувальний конденсатор 25 за допомогою колекторного струму третього транзистора I_{24} , який визначається напругою джерела позитивного зміщення U_{13} , напругою переходу емітер-база третього транзистора 24 ($U_{\text{еб24}}$) та опором третього
20 резистора 19 (R_{19}) згідно з формулою:

$$I_{24} = \frac{U_{13} - U_{\text{еб24}}}{R_{19}}$$

заряджений до величини U_{25} (U_{25} , $t_0 - t_1$, Фіг. 2), яка забезпечує надійний відкритий режим другого транзистора 23 (U_{23} , $t_0 - t_1$, Фіг. 2), відсутність вихідного сигналу органу контролю 26 (U_{26} , $U_{1\text{контр}}$, $U_{2\text{контр}}$, $t_0 - t_1$, Фіг. 2).

25 На другому етапі ($t_1 - t_2$) напруга живлення ($U_{\text{живл}}$, $t_1 - t_2$, Фіг. 2) підвищується, і в період ($t_{11} - t_{12}$) її амплітудне значення перевищує номінальну величину вихідної напруги. Період ($t_{11} - t_{12}$) другого етапу характеризується появою номінального значення вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ ($U_{\text{вих}}$, $t_{11} - t_{12}$, Фіг. 2), відкритим станом вихідного транзистора 15 диференційного підсилювача зворотного зв'язку, появою напруги на шостому резисторі 32, відкриттям четвертого 29
30 транзистора, появою напруги на другому напівпровідниковому елементі 31, відкриттям п'ятого транзистора 30, та закриттям запускаючого транзистора 11 за рахунок підвищення закриваючої для нього напруги першого резистора 12 (U_{12} , $t_{11} - t_{12}$, Фіг. 2) до величини:

$$U_{12} = \frac{U_{31} - U_{\text{бe30}}}{R_{34}} \cdot R_{12}.$$

В результаті відкривається перший транзистор 22, закривається третій транзистор 24
35 (U_{24} , $t_{11} - t_{12}$, Фіг. 2), і через другий транзистор 23, який залишається у відкритому стані під дією напруги накопичувального конденсатора 25 (U_{25} , $t_{11} - t_{12}$, Фіг. 2), протікає струм I_{23} , величина якого визначається напругою резистора 12, напругою переходу емітер-база першого транзистора 22 ($U_{\text{еб22}}$) та опором третього резистора 19 (R_{19}) згідно з формулою:

$$I_{23} = \frac{U_{12} - U_{\text{еб22}}}{R_{19}}.$$

40 Орган індикації 26 (елемент контролю) при цьому залишається зашунтований другим транзистором 23 і знаходиться в непрацюючому стані (U_{26} , $U_{1\text{контр}}$, $U_{2\text{контр}}$, $t_0 - t_1$, Фіг. 2).

На третьому ($t_2 - t_3$, Фіг. 2) та четвертому ($t_3 - t_4$, Фіг. 2) етапах напруга живлення підвищується більшою мірою, і періоди ($t_{21} - t_{22}$) та ($t_{31} - t_{32}$), під час яких напруга живлення перевищує номінальну величину вихідної напруги, становляться більшими. Особливістю цих
45 етапів є те, що накопичувальний конденсатор 25 підзаряджається струмом I_{24} протягом меншого періоду часу, але величина напруги зарядженого накопичувального конденсатора 25

залишається ще достатньою для забезпечення надійного відкритого режиму роботи третього транзистора 23 ($U_{23}, t_2 - t_3, t_3 - t_4$, Фіг. 2), який шунтує орган індикації 26. При цьому вихідний сигнал органа індикації (контролю) 26 відсутній ($U_{26}, U_{1\text{контр}}, U_{2\text{контр}}, t_2 - t_3, t_3 - t_4$, Фіг. 2), що дає інформацію про ненормальну роботу стабілізатора та про невідповідність вихідної напруги номінальному значенню.

На п'ятому етапі роботи ($t_4 - t_5$) вся напруга живлення (включаючи амплітуду пульсацій) перевищує номінальну величину вихідної напруги. Цей етап роботи стабілізатора характеризується тим, що вихідний транзистор 5 диференціального підсилювача зворотного зв'язку відкривається та переходить у безперервний лінійний режим роботи. Колекторний струм вихідного транзистора 15 I_{15} , що протікає по ланцюгу шостого резистора 32 створює на ньому падіння напруги U_{32} , яке забезпечує безперервний відкритий режим роботи четвертого транзистора 29 ($U_{29}, t_4 - t_5$, Фіг. 2). За рахунок протікання колекторного струму четвертого транзистора 29 на другому напівпровідниковому елементі 31 з'являється напруга, що забезпечує відкритий режим роботи п'ятого транзистора 30 (I_{30} Фіг. 2), колекторний струм якого (I_{30}) підвищує падіння напруги на першому резисторі 12 (I_{12}) до величини, що забезпечує закритий режим роботи запускаючого транзистора 11, відкритий режим роботи першого транзистора 22 та закритий режим роботи третього транзистора 24.

При цьому колекторний струм першого транзистора 22 визначається величиною падіння напруги на першому резисторі 12 U_{12} , напругою на його переході база-емітер $U_{\text{бе}22}$ та опором третього резистора 19 і характеризується формулою:

$$I_{22} = \frac{U_{12} - U_{\text{бе}22}}{R_{19}}.$$

Так як падіння напруги на третьому резисторі 19 (U_{19}) перевищує величину напруги позитивного зміщення 13 (U_{13}) згідно з формулою:

$$\frac{U_{31} - U_{\text{бе}30}}{R_{34}} \cdot R_{12} - U_{\text{бе}22} > U_{13},$$

на п'ятому етапі забезпечується надійний закритий режим роботи третього транзистора 24 вихідного елемента органу контролю, що усуває можливість підзаряду накопичувального конденсатора 25. В результаті суттєво зменшується величина напруги на накопичувальному конденсаторі 25 і, як наслідок, надійно закривається другий транзистор 23 ($U_{23}, t_4 - t_5$). Резистор 21 в цей момент суттєво прискорює процес розрядження накопичувального конденсатора 25. Оскільки на цьому етапі другий транзистор 23 не шунтує послідовно ввімкнені світлодіоди оптоелектронних елементів 27, 28 органу індикації 26, орган індикації 26 спрацьовує ($U_{26}, U_{1\text{контр}}, U_{2\text{контр}}, t_4 - t_5$), що дає інформацію про вихід стабілізатора на нормальний режим роботи, відповідність вихідної напруги своїй номінальній величині та про високу якість вихідної напруги ($U_{1\text{контр}}, U_{2\text{контр}}, t_4 - t_5, t_5 - t_6$, Фіг. 2). Одночасно відкритий режим фототранзисторів оптоелектронних елементів 27, 28, забезпечує можливість створення ланцюга зовнішньої високоточної системи контролю та ланцюга, що призначений для організації необхідного порядку надійного ввімкнення вихідних каналів системи вторинного електроживлення радіоелектронної апаратури ($U_{1\text{контр}}, U_{2\text{контр}}$, Фіг. 1).

На шостому етапі роботи ($t_5 - t_6$, Фіг. 2) величина напруги живлення перевищує номінальну величину вихідної напруги ($U_{\text{вх}}, t_5 - t_6$ Фіг.).

Напруга перевищення може досягати величини (20-60) % і більше з урахуванням одночасного скиду навантаження стабілізатора. Режим роботи основних елементів стабілізатора при цьому залишаються незмінними. Тобто вихідний транзистор 5 підсилювача зворотного зв'язку знаходиться в відкритому лінійному режимі роботи. Запускаючий транзистори, а також другий 23 та третій 24 транзистори вихідного елемента органу контролю знаходяться у закритому режимі, а перший транзистор 22 - у відкритому лінійному режимі для живлення органу індикації 26. При цьому колекторний струм першого транзистора 22, що протікає через послідовно ввімкнені світлодіоди оптоелектронних елементів 27, 28 органу індикації 26, залишається стабільним.

Стабільність величини колекторного струму першого транзистора 22 забезпечує стабільний режим роботи світлодіодів оптоелектронних елементів 27, 28 та органу індикації 26 в цілому.

Виконання вхідного елемента органу контролю на четвертому 29 та п'ятому 30 транзисторах, другому напівпровідниковому елементі 31, а також шостому 32 сьомому 33 та восьмому 34 резисторах забезпечує суттєве спрощення процесів проектування виробництва та налагодження стабілізаторів постійної напруги, особливо при створенні уніфікованого ряду

малощумних стабілізаторів, підвищити надійність їх роботи, покращити якість вихідної напруги та підвищити точність спрацювання органу індикації 26.

Пояснюється це наступним чином. Шостий 32 та сьомий 33 резистори, а також четвертий транзистор 29 вхідного елемента органу контролю утворюють перший струмостабілізуючий двополюсник, який живить стабільним струмом I_{29} другий напівпровідниковий елемент 31:

$$I_{29} = \frac{I_{15} \cdot R_{32} - U_{\text{бе}29}}{R_{33}};$$

Одночасно з цим другий напівпровідниковий елемент 31, п'ятий транзистор 30 та восьмий резистор 34 вхідного елемента органу контролю створюють другий струмостабілізуючий двополюсник, який за допомогою струму I_{30} забезпечує необхідне підвищення падіння напруги на першому резисторі 12 (U_{12}), для надійного закриття запускаючого транзистора 11 на початку п'ятого режиму роботи (при входженні стабілізатора в нормальний режим роботи) та протягом шостого періоду:

$$I_{30} = \frac{U_{31} - U_{\text{бе}30}}{R_{34}}, \quad U_{12} = \frac{U_{31} - U_{\text{бе}30}}{R_{34}} \cdot R_{12};$$

Оскільки напруга на першому резисторі 12 (U_{12}) має стабільну величину при коливаннях напруги живлення та при зміні струму навантаження, зворотна напруга переходу база-емітер запускаючого транзистора 11 $U_{\text{бе}11 \text{ звор.}}$ яка визначається формулою:

$$U_{\text{бе}11 \text{ звор.}} = U_{12} - U_{13},$$

також стабільна в умовах експлуатації. П'ятий та шостий періоди характеризуються також стабільною величиною струму, який живить ланцюг контролю, що складається з третього резистора 19, переходу емітер-колектор першого 22 транзистора та оптоелектронних елементів 27, 28 органу індикації 26. При цьому другий 23 та третій 24 транзистори знаходяться в надійному закритому стані, падіння напруги на четвертому 20 та п'ятому 21 резисторах, а також напруга на накопичувальному конденсаторі 25 відсутні.

Вищевикладене свідчить про те, що при зміні величини напруги живлення, а також струму навантаження стабілізатора режими роботи основних елементів стабілізатора залишаються незмінними, що забезпечує суттєве спрощення процесів проектування виробництва та налагодження стабілізаторів постійної напруги, особливо при створенні уніфікованого ряду малощумних стабілізаторів, підвищити надійність їх роботи, покращити якість вихідної напруги та підвищити точність спрацювання органу індикації 26.

Підвищення якості вихідної напруги та зменшення величини вихідних пульсацій в порівнянні з відомим вискоєфективним компенсаційним стабілізатором постійної напруги пояснюється наступним чином. У відомому стабілізаторі висока якість вихідної напруги досягається тим, що після закриття запускаючого транзистора 11 базовий ланцюг керуючого транзистора 3 регулюючого елемента та колекторний ланцюг вихідного транзистора 15 диференційного підсилювача зворотного зв'язку живляться колекторним струмом струмозадавального транзистора 9 з виходу стабілізатора, тобто струмом, який:

1) не залежить від якості напруги живлення (величини, пульсації, та зміни),

2) змінюється в протифазі зі струму вихідного транзистора 15 (ΔI_{k15}) диференційного підсилювача зворотного зв'язку, що пояснюється формулами:

$$\Delta I_{k15} = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{S_{15}}, \quad \Delta I_{k14} = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{S_{14}}, \quad \Delta I_{k9} = -\frac{\Delta I_{k15} \cdot R_{10}}{S_9}, \text{ де}$$

$\Delta U_{\text{вих}}$ - допустима величина зміни вихідної напруги,

S_{15}, S_{14}, S_9 величина крутизни, відповідно, вихідного 15 та вхідного 14 транзисторів диференційного підсилювача зворотного зв'язку та струмозадавального транзистора 9, $\Delta I_{k15}, \Delta I_{k14}, \Delta I_{k9}$ - зміна колекторних струмів, відповідно, вихідного 15 та вхідного 14 транзисторів диференційного підсилювача зворотного зв'язку, а також струмозадавального транзистора 9, R_{10} - величина опору вирівнюючого резистора 10.

При цьому у разі збільшення вихідної напруги, наприклад, на величину $\Delta U_{\text{вих}}$, провідність регулюючого елемента зменшується за рахунок зменшення базового струму керуючого транзистора 3 ($\Delta I_{\text{б3}}$), що викликане не тільки збільшенням колекторного струму вихідного транзистора 15 (ΔI_{15}) диференціального підсилювача зворотного зв'язку, але й зменшенням колекторного струму струмозадавального транзистора 9 ($\Delta I_{\text{к9}}$) згідно з формулою:

$$\Delta I_{\text{б3}} = (-\Delta I_{\text{к9}}) - \Delta I_{\text{к15}} = \frac{-\Delta I_{\text{к15}} \cdot R_{10}}{S_9} - \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{S_{15}} = \frac{\Delta I_{\text{к15}} \cdot R_{10} + \Delta U_{\text{вих}}}{S_9}.$$

(для спрощення $S_{15} = S_9$).

В запропонованому високоефективному компенсаційному стабілізаторі постійної напруги додаткове зменшення нестабільності вихідної напруги та її пульсації пояснюється тим, що у разі збільшення вихідної напруги, наприклад, на величину $\Delta U_{\text{вих}}$, провідність регулюючого елемента зменшується за рахунок зменшення базового струму його керуючого транзистора 3 ($\Delta I_{\text{б3}}$), яке викликане не тільки відповідним збільшенням колекторного струму вихідного транзистора 15 (ΔI_{15}) диференціального підсилювача зворотного зв'язку та суттєвим зменшенням колекторного струму струмозадавального транзистора 9 ($\Delta I_{\text{к9}}$), але і автоматично сформованим збільшенням величини колекторного струму четвертого транзистора 29 ($\Delta I_{\text{к29}}$) згідно з формулою:

$$\Delta I_{\text{к29}} = \frac{\frac{\Delta U_{\text{вих}}}{S_{15}} \cdot R_{32} - U_{\text{бе29}}}{R_{33}},$$

Величина базового струму керуючого транзистора 3 ($\Delta I_{\text{б3}}$) при цьому зменшується більшою мірою, що пояснюється наступною формулою:

$$\Delta I_{\text{б3}} = \frac{\Delta I_{\text{к15}} \cdot R_{10}}{S_9} - \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{S_{15}} = \frac{\frac{\Delta U_{\text{вих}}}{S_{15}} \cdot R_{32} - U_{\text{бе29}}}{R_{33}}.$$

Провідність регулюючого елемента в результаті також зменшується більшою мірою, що і забезпечує підвищення якості вихідної напруги та зменшення величини вихідних пульсацій.

У цьому режимі перший резистор 12, перехід емітер-колектор запускаячого транзистора 11, перехід колектор-база струмозадавального транзистора 9, а також вирівнюючий резистор 0 створюють ланцюг, який забезпечує суттєве зниження струму короткого замикання ($I_{\text{к3}}$) згідно з формулою:

$$I_{\text{к3}} = \frac{\frac{U_{13} - U_{\text{еб11}}}{R_{12}} \cdot R_{10} + U_{\text{к69}} - U_{\text{бе3}}}{R_8} \cdot \beta_1 = \frac{U_{13} - U_{\text{еб11}}}{R_{12} \cdot R_8} \cdot R_{10} \cdot \beta_1,$$

β_1 - коефіцієнт підсилення силового транзистора 1,

R_8 - опір обмежувального резистора 8.

Таким чином одержаний стабілізатор, який має надто малу величину мінімального падіння напруги, малий струм короткого замикання, високий коефіцієнт подавлення вхідних пульсацій та одночасно має високу точність спрацювання органу контролю номінальної величини вихідної напруги та високої її якості, так як орган контролю 26 спрацьовує в момент, коли вихідна напруга стабілізатора досягає своєї номінальної величини та високої якості (U_{26} , t_4 , Фіг. 2).

Діаграми, які пояснюють роботу органу контролю, показують, що у відомому стабілізаторі напруги (прототипі) орган індикації починає спрацьовувати, коли вихідна напруга стабілізатора не досягла номінальної величини і високої якості (U_{26} , t_{11} , Фіг. 2). Це пояснюється наявністю величини пульсації напруги живлення.

Експериментальні дослідження підтвердили працездатність та позитивні якості запропонованого високоефективного компенсаційного стабілізатора постійної напруги. У стабілізаторі з вихідною напругою 9В і струмом навантаження 1А при пульсації напруги живлення 1В орган контролю спрацьовує при вихідній напрузі, яка на 0,01 % менше від номінального значення, пульсація вихідної напруги при цьому має значення < 10 мкВ. Мінімальне падіння напруги на регулюючому елементі запропонованого стабілізатора

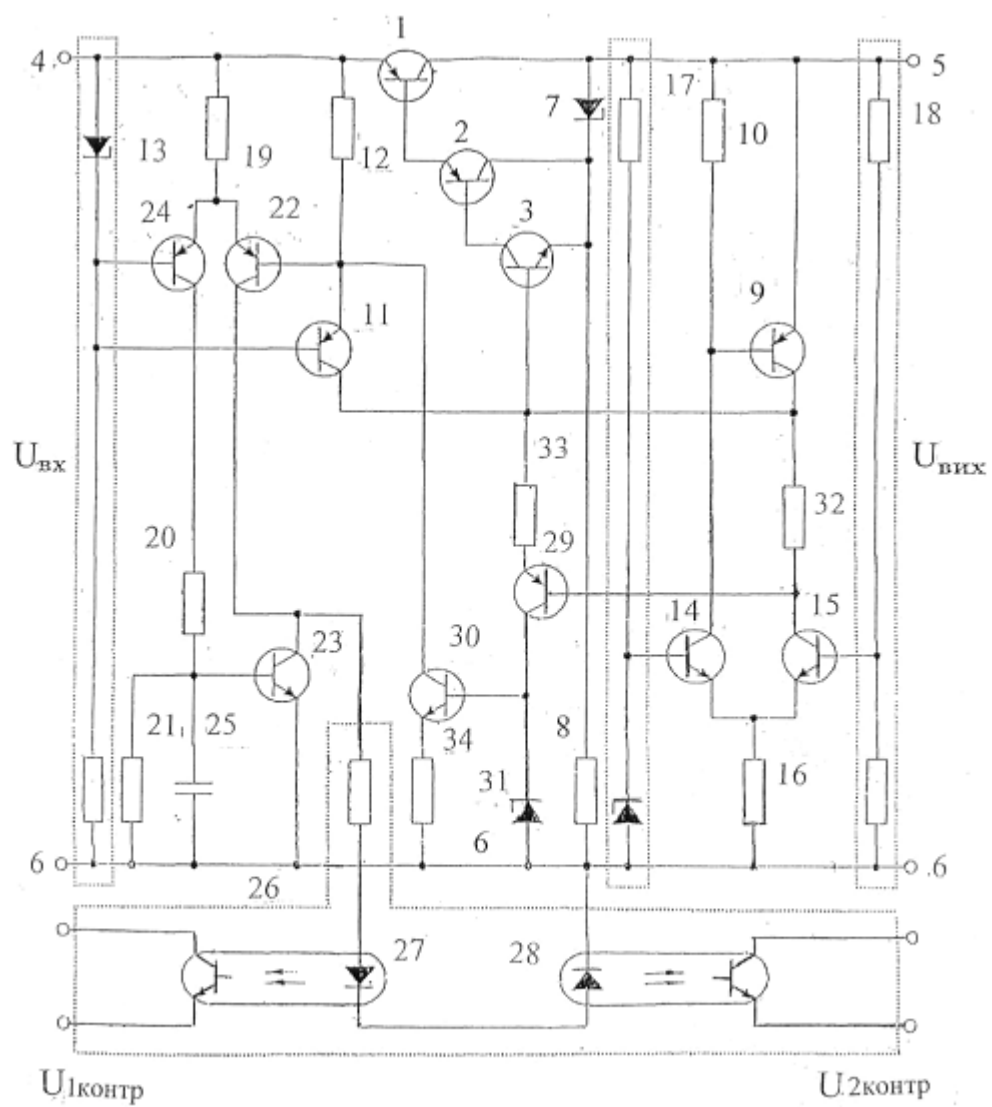
($U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}$) зменшується до величини 0,1В, струм короткого замикання залишається на рівні 0,1А, коефіцієнт подавлення вхідних пульсацій підвищується до величини (120–130)дБ.

В порівнянні з відомими рішеннями запропоноване технічне рішення дозволяє підвищити надійність роботи стабілізатора, суттєво спростити процеси його налагодження та експлуатації. Орган контролю дає інформацію навіть про незначне відхилення вихідної напруги від номінального значення, що є важливим при живленні високочутливої радіоелектронної апаратури. Запропоноване технічне рішення може бути використаним при розробці високоефективних мікроелектронних стабілізаторів.

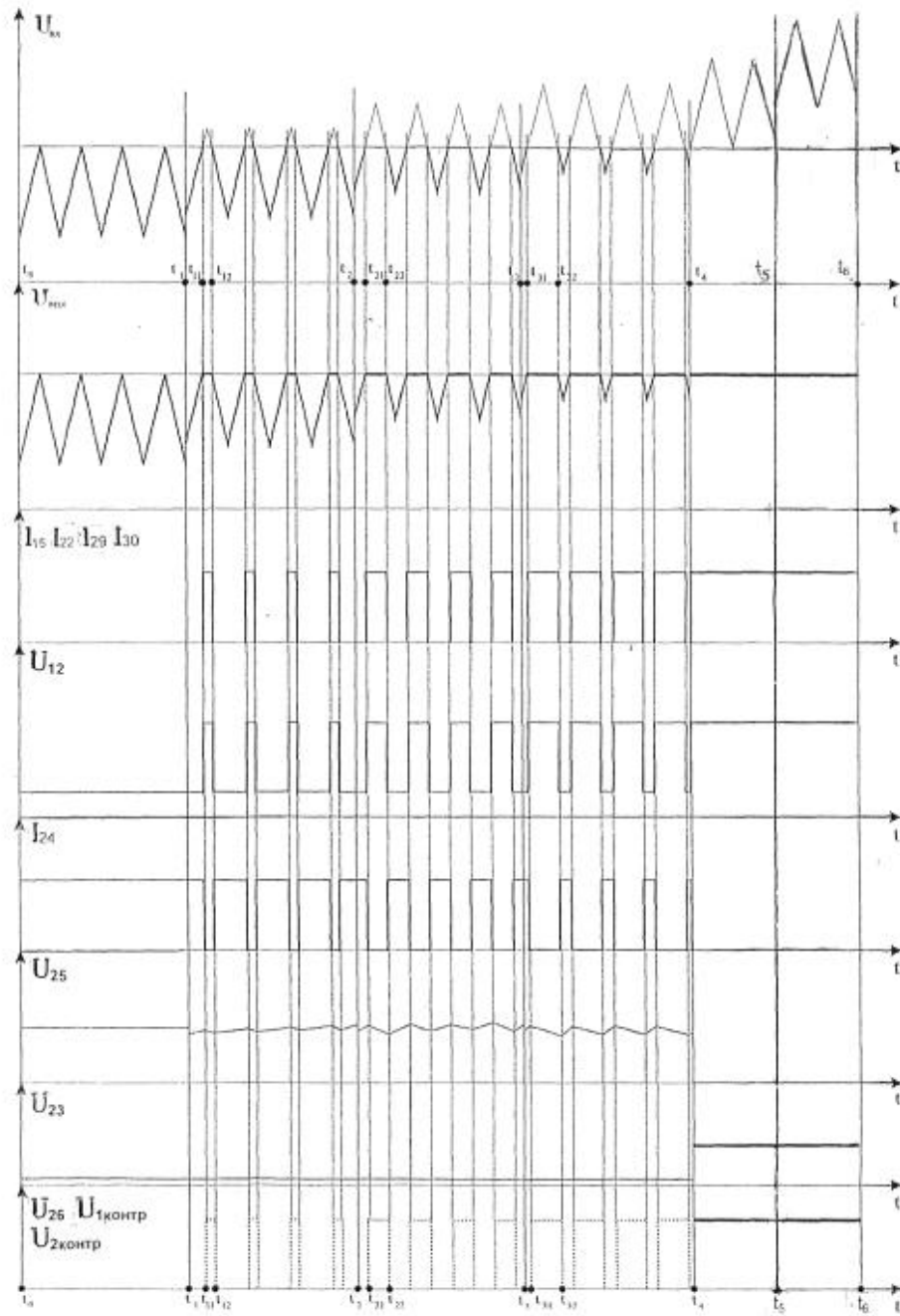
Запропонований високоефективний компенсаційний стабілізатор постійної напруги використаний при розробці двоканального модуля живлення ІВЭП 04, шестиканального модуля живлення ІВЭП 05 та модуля живлення підсилювача потужності ІВЭП 07, які призначені для живлення високочутливої апаратури радіолокаційних станцій та систем нового покоління. При розробці та налагодженні серії модулів живлення ІВЭП 04, ІВЭП 05, ІВЭП 07 підтвердились високі якості роботи запропонованого високоефективного компенсаційного стабілізатора постійної напруги в складі модулів живлення та високі якості роботи модулів живлення ІВЭП 04, ІВЭП 05, ІВЭП 07 в складі ряду різних радіолокаційних станцій та систем.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Високоефективний стабілізатор постійної напруги, що містить регулюючий елемент, колектор керуючого транзистора якого через послідовно з'єднані переходи база-емітер узгоджуючого та силового транзисторів сполучений з вхідним виводом, емітер безпосередньо з'єднаний з колектором узгоджуючого транзистора, через перший напівпровідниковий елемент сполучений з вихідним виводом та колектором силового транзистора, а через обмежувальний резистор - з загальною шиною, база через перехід колектор-емітер струмозадавального транзистора з'єднана з вихідним виводом і безпосередньо підключена до колектора запускаючого транзистора, база якого сполучена з виходом джерела позитивного зміщення, а емітер через перший резистор з'єднаний з вхідним виводом, підсилювач зворотного зв'язку, виконаний по диференціальній схемі, колектор вхідного транзистора якого безпосередньо з'єднаний з базою струмозадавального транзистора, а через вирівнюючий резистор підключений до його емітера, база з'єднана з виходом джерела опорної напруги, емітер через другий резистор сполучений з загальною шиною і безпосередньо з'єднаний з емітером вихідного транзистора, база якого підключена до виходу вимірювального подільника вихідної напруги, а також вихідний елемент органу контролю, база першого транзистора якого з'єднана з емітером запускаючого транзистора, його колектор через паралельно сполучені перехід колектор-емітер другого транзистора та елемент індикації, виконаний, наприклад, на світлодіоді, підключений до загальної шини, емітер через третій резистор сполучений з вхідним виводом та безпосередньо сполучений з емітером третього транзистора, база якого з'єднана з виходом джерела позитивного зміщення, а колектор через четвертий резистор з'єднаний з базою другого транзистора, а також з одним із виводів накопичувального конденсатора, та одним із виводів п'ятого резистора, другі виводи яких з'єднані з загальною шиною, який відрізняється тим, що вхідний елемент органу контролю виконаний на четвертому та п'ятому транзисторах, другому напівпровідниковому елементі та шостому, сьомому і восьмому резисторах, причому шостий резистор ввімкнений між колектором вихідного транзистора підсилювача зворотного зв'язку та колектором струмозадавального транзистора, емітер четвертого транзистора через сьомий резистор з'єднаний з базою керуючого транзистора регулюючого елемента, його база безпосередньо підключена до колектора вихідного транзистора підсилювача зворотного зв'язку, а колектор через другий напівпровідниковий елемент сполучений з загальною шиною і безпосередньо приєднаний до бази п'ятого транзистора, емітер якого через восьмий резистор сполучений з загальною шиною, а колектор сполучений з емітером запускаючого транзистора.



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601