



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ТРЕХКАНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

DESIGN OF A HIGH-VOLTAGE THREE-CHANNEL VOLTAGE REGULATOR FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

А.С.Силаев*, к.т.н., (ORCID: 0000-0002-0048-7731), В.В.Полевиков*, к.т.н., (ORCID: 0000-0002-3508-7906), Д.П.Шомахмадов*, магистр, (ORCID: 0000-0002-2665-0875), С.А.Степанов*, магистр, (ORCID: 0000-0002-1653-6403), В.С.Мариненко*, специалист, (ORCID: 0000-0001-6214-8535), С.В.Сорока*, магистр, (ORCID: 0000-0001-7858-6484), Э.О.Литвиненко*, бакалавр, (ORCID: 0000-0001-5313-6348), А.С.Юров*, к.т.н., (ORCID: 0000-0002-1053-3287), Д.Н.Калбазов*, магистр, (ORCID: 0000-0002-0307-0069), С.А.Никифорова*, магистр, (ORCID: 0000-0003-0178-9640), Е.Н.Андриенко*, (ORCID: 0000-0003-2683-9093), А.Р.Гуляева*, бакалавр, (ORCID: 0000-0002-8758-0946), Ю.А.Мещеряков*, специалист, (ORCID: 0000-0002-0307-0069) / shomahmadov@zntc.ru
A.S.Silaev*, Cand. of Sci. (Technical), V.V.Polevnikov*, Cand. of Sci. (Technical), D.P.Shomahmadov*, Master, S.A.Stepanov*, Master, V.S.Marinenko*, Specialist, S.V.Soroka*, Master, E.O.Litvinenko*, Bachelor, A.S.Yurov*, Cand. of Sci. (Technical), D.N.Kalbazov*, Master, S.A.Nikiforova*, Master, E.N.Andrienko*, A.R.Gulyaeva*, Bachelor, Y.A.Mescheryakov*, Specialist

DOI: 10.22184/1993-8578.2021.14.7-8.412.423

Получено: 9.11.2021 г.

В статье представлены принципы проектирования трехканального стабилизатора напряжения. Современные технологии интеллектуального управления питанием позволяют реализовать сложную функциональность в рамках одной схемы. Одним из возможных применений систем управления питанием является их использование в качестве стабилизаторов напряжения. Важную роль играют такие параметры системы, как генерируемые уровни напряжения и/или тока, контроль температуры в реальном времени и различные виды ошибок, о которых такой ключ сообщает центральному контроллеру в режиме реального времени. Минимальное время переключения такого регулятора снижает вероятность возникновения ошибки, связанной с шумами от цепей питания микросхемы. Интеллектуальные технологии управления питанием позволяют разрабатывать различные специализированные системы, такие как антиблокировочная система тормозов, управление подушками безопасности или управление двигателем в автомобильной электронике. Похожи по структуре и системы в области промышленной электроники, телекоммуникаций и обработки данных. Имеющиеся в настоящее время системы позволяют управлять питанием и внешними системами, а также исследовать системы на наличие ошибок или опасных условий. Предлагаемое решение позволяет обеспечить стабильное выходное напряжение 5В в широком диапазоне входных напряжений от 5,5 до 45 В, с выходным током до 450 мА по основному каналу и до 150 и 50 мА – по вспомогательным. В статье описаны основные функции устройства, такие как функция ограничения выходного тока, защита от обратной полярности, температурная защита, функция ограничения превышения выходного напряжения, а также цифровая функция встроенного таймера watch dog, предназначенного для подключения конструкции к блоку микроконтроллера.

* АО "Зеленоградский нанотехнологический центр" Москва, Зеленоград, Россия / JSC "Zelenograd Nanotechnology Center" Moscow, Zelenograd, Russia.



The paper presents the principles of designing a three-channel voltage regulator. Modern technologies for intelligent power management allow of implementing complex functionality within a single circuit. One of the possible applications of power management systems is their use as voltage regulators. Here, an important role is played by such system parameters as the generated voltage levels and / or currents, real-time temperature monitoring and various types of errors that such a key reports to the central controller in real time. The minimum switching time of such a regulator reduces likelihood of an error associated with noise from the power supply circuits of the microcircuit. Intelligent power management technologies allow the development of a variety of specialized systems such as anti-lock brakes, airbag control or engine management in car electronics. As well as the systems similar in structure in the fields of industrial electronics, telecommunications and data processing. Currently available systems allow to manage power and external systems and analyze systems for errors or hazardous conditions. The proposed solution allows to provide a stable output voltage of 5 V in a wide range of input voltages from 5.5 to 45 V, with an output current of up to 450 mA in the main channel and up to 150 and 50 mA in the auxiliary ones. The paper describes the main functions of the design, such as the function of limiting the output current, protection against reverse polarity, temperature protection, the function of limiting the excess of the output voltage, as well as the digital function of the built-in "watch dog" timer intended for connecting the design to a microcontroller unit.

ВВЕДЕНИЕ

Основой систем интеллектуального управления питанием являются интегральные схемы источников вторичного питания [1, 2], а именно, линейные регуляторы напряжения, формирующие на выходе стабильное напряжение с расширенным функционалом и интерфейсом с основными типами современных микроконтроллеров (микропроцессоров).

Интеллектуальные интегральные схемы управления питанием приобретают большое распространение в различных сферах микроэлектроники, особенно в тех, которые требуют системной интеграции. Современные технологии интеллектуального управления питанием позволяют реализовывать сложный функционал в рамках одной

схемы, обеспечивая повышенную надежность при экономии места и веса. Области применения таких систем являются:

- автомобильная электроника, так как ее растущие требования к безопасности и комфорту ведут к увеличению числа электронных компонентов, используемых в современных автомобилях;
- промышленная электроника, а именно интеллектуальные системы управления машинами и механизмами, в том числе управление электродвигателями различной мощности;
- системы телекоммуникаций, в которых необходимо реализовывать системы, совмещающие передачу сигналов высокой мощности с приемом сигналов на уровне милливатт.

INTRODUCTION

The integrated circuits for secondary power supplies [1, 2], namely linear voltage regulators that form a stable voltage at the output with extended functionality and interface with the main types of modern microcontrollers (microprocessors) make the basis of the intelligent power management systems.

Intelligent integrated circuits for power management are

becoming more common in various branches of microelectronics, especially in those that require system integration. Today's intelligent power management technologies make it possible to implement complex functionality within a single circuit, providing increased reliability while saving space and weight. Applications for such systems include:

- automotive electronics, as its increasing demands for safety

and comfort are leading to an increase in the number of electronic components used in modern vehicles;

- industrial electronics, namely, intelligent control systems for machines and mechanisms; this includes the control of electric motors of various capacities;
- telecommunication systems, where it is necessary to implement systems that combine



Разрабатываемая ИС предназначена для формирования питающих напряжений модуля питания и будет использована в системах управления приводами и двигателями различной мощности и различного типа, такими как двигатели постоянного тока коллекторные, бесколлекторные, вентильные, двигатели переменного тока синхронные и асинхронные, шаговые двигатели. Двигатели могут быть одно-, двух- и трехфазными. За счет своей универсальности указанные выше системы могут применяться практически везде, где используются электродвигатели.

АРХИТЕКТУРА ТРЕХКАНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Трехканальный регулятор (рис.1) напряжения состоит из следующих блоков:

- предстабилизатор отвечает за создание условия для старта основных блоков системы;
- источник опорного напряжения формирует термостабильное опорное напряжение системы;
- источник опорных токов формирует стабильные режимные токи;
- буферные усилители, которые входят в состав локальных регуляторов напряжений;
- температурный сенсор формирует сигнал превышения предельной температуры кристалла;
- генератор опорного напряжения формирует стабильную частоту 10 кГц;

transmission of high-power signals with reception of signals at milli-watt level.

The developed IC is designed to generate power module supply voltages and will be used in control systems of drives and engines of different power and different types, such as DC commutator, brushless and inverter-fed motors, synchronous and asynchronous AC motors, stepper motors; motors can be one, two and three-phase. Due to their versatility, the above mentioned systems can be used almost anywhere where electric motors are used.

THREE-CHANNEL VOLTAGE REGULATOR ARCHITECTURE

The three-channel voltage regulator (Fig.1) consists of the following units:

- the pre-stabiliser is responsible for creating the start-up condition for the main units of the system;
- the reference voltage source forms the thermostable system reference voltage;
- the source of reference currents forms stable operating currents;
- buffer amplifiers that form part of the local voltage regulators;

- 1-й генератор сигнала "сброс" формирует сигнал сброс микроконтроллера;
- 2-й генератор сигнала "сброс" формирует сигнал сброс внутренних блоков системы;
- блок ограничения выходной мощности выполняет функцию защиты от превышения питающего напряжения и ограничения выделяемой в корпусе мощности;
- локальные регуляторы и регулятор тока короткого замыкания.

ПРЕДСТАБИЛИЗАТОР

Блок предстабилизатора предназначен для создания условий для старта основных функциональных блоков, обеспечивающих точные характеристики системы в целом для широкого диапазона значений питающего напряжения (от 5 до 40 В). К таким блокам относятся: источник опорного напряжения и источник опорных токов. Наличие предстабилизатора обеспечивает высокое значение коэффициента подавления помехи по питающему напряжению и, как следствие, высокую точность значений опорного напряжения и опорных токов. Такая архитектура позволяет использовать в составе основных схем МОП-транзисторы с малым и рабочими напряжениями "сток-исток", что гарантирует высокую точность значений выходных параметров источника опорных напряжений (ИОН) и источника опорных токов (ИОТ).

Принципиальная электрическая схема блока предстабилизатора представлена на рис.2.

- temperature sensor forms the signal when the crystal temperature limit is exceeded;
- reference voltage generator generates stable frequency of 10 kHz;
- 1st "reset" signal generator generates microcontroller reset signal;
- the 2nd "reset" signal generator generates the reset signal of the internal units of the system;
- the output power limitation unit performs the function of protection against excessive supply voltage and limitation of power allocated in the enclosure;

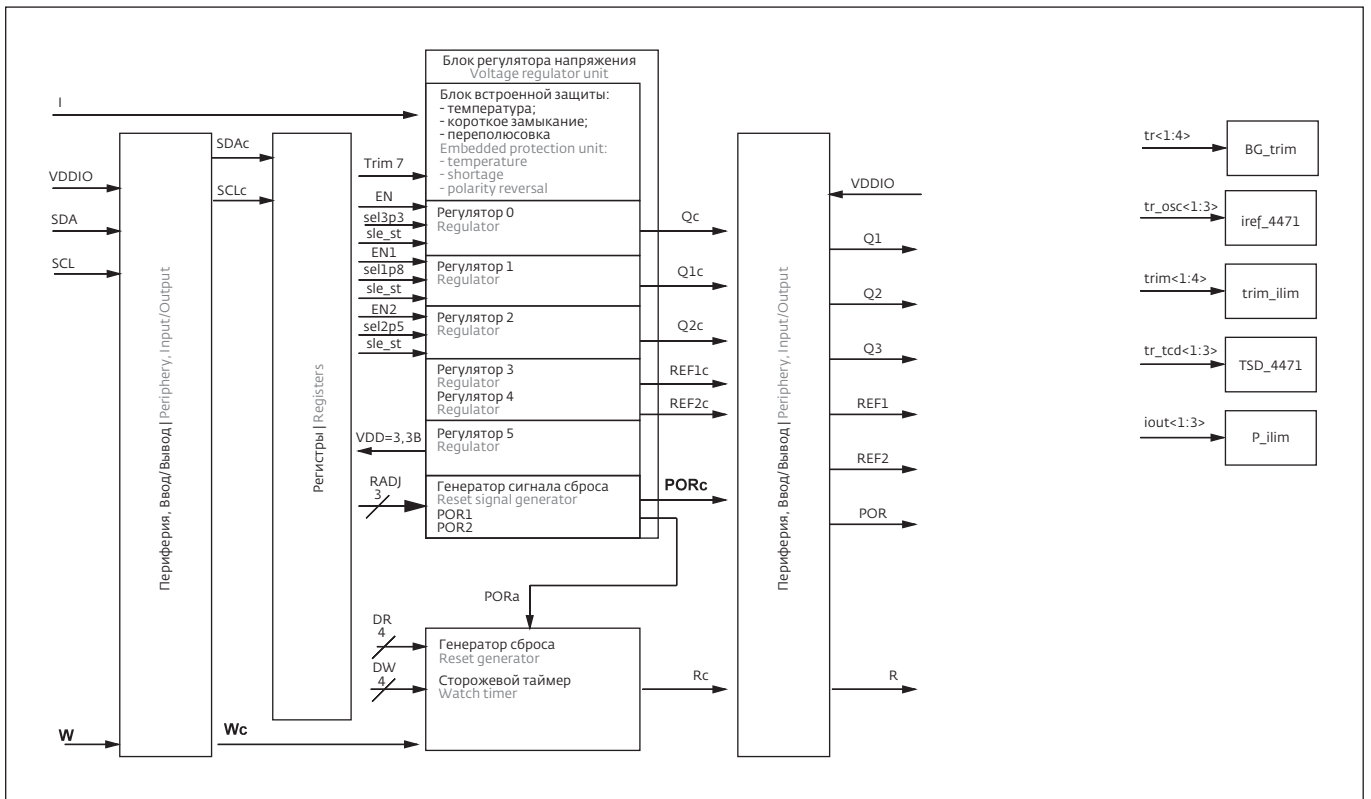


Рис.1. Структурная схема трехканального регулятора напряжения
Fig.1. Schematic diagram of a three-channel voltage regulator

БЛОК ОГРАНИЧЕНИЯ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ

Принципиальные электрические схемы проходного ключа и блока ограничения рассеиваемой мощности (ограничителя по току) представлены на рис.3, 4 соответственно. Проходной ключ включен в инверсном режиме с целью исключения тока в режиме переплюсовки питающего напряжения.

Конечно, целесообразно последовательно с ним включить такой же транзистор в прямом включении. Однако, в этом случае на ключе будет удвоенное падение напряжения при суммарном токе нагрузки 0,6 А и выполнение требования по номиналу выходного напряжения будет затруднительно. В активном режиме минимальное

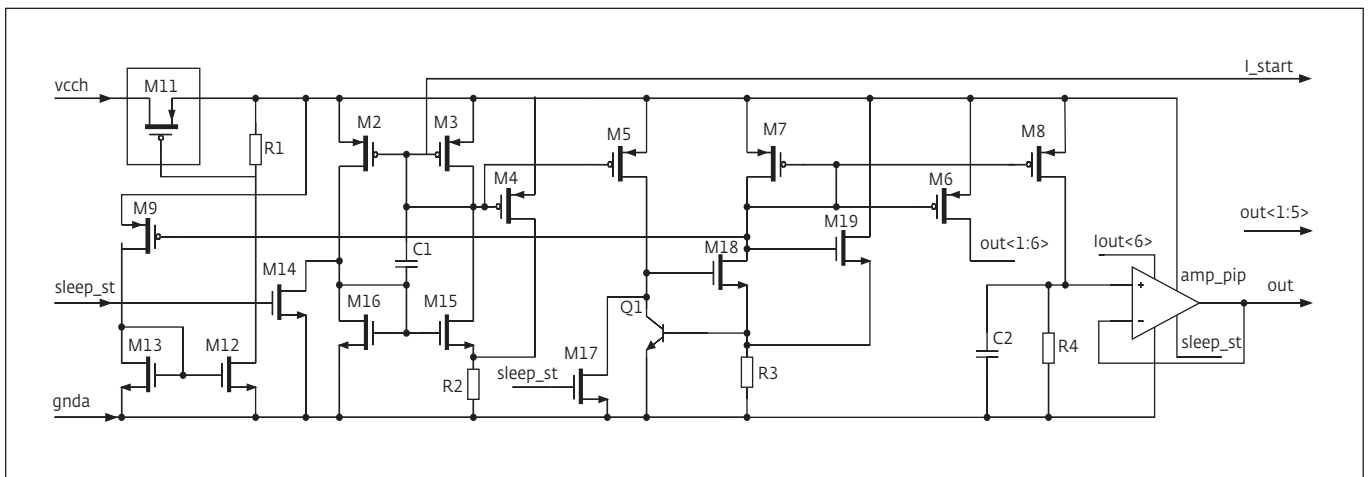


Рис.2. Принципиальная электрическая схема предстабилизатора
Fig.2. Pre-stabiliser circuit diagram

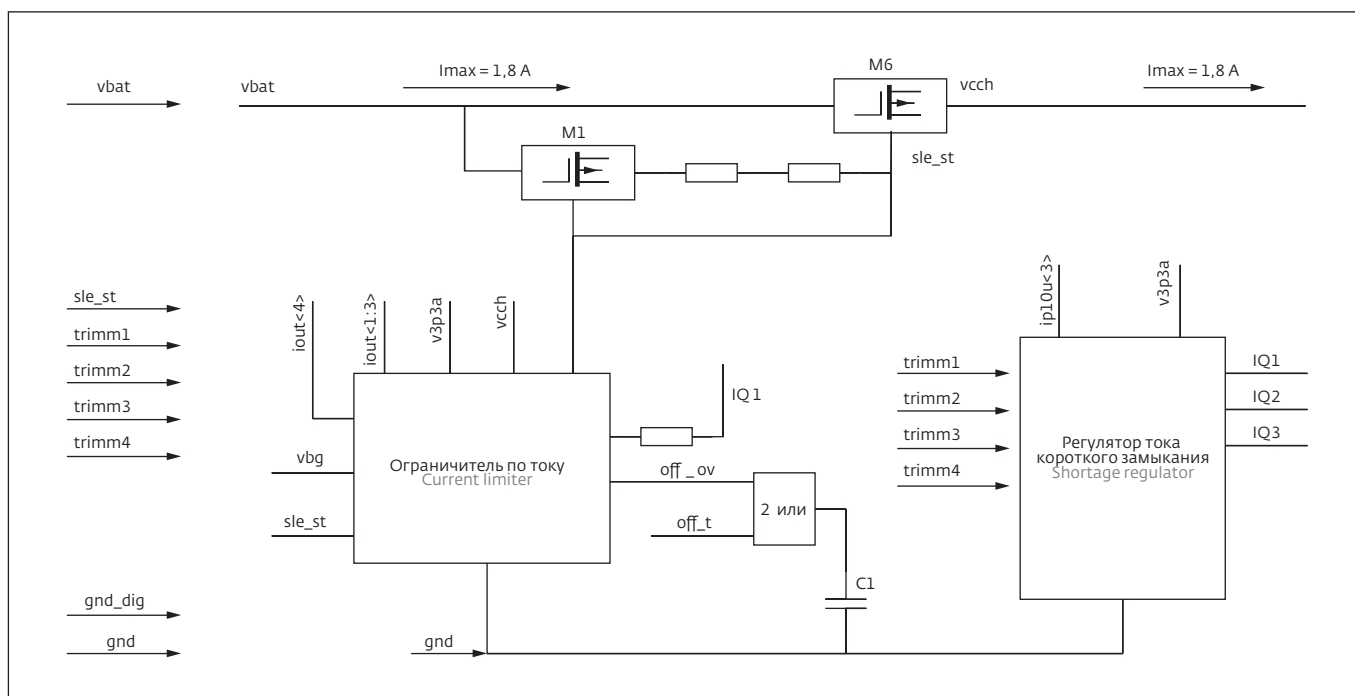


Рис.3. Принципиальная электрическая схема проходного ключа

Fig.3. Circuit diagram for the linear actuator

сопротивление ключа обеспечивается током блока-ограничителя, создающим на управляющем входе ключа отрицательное напряжение (около 5 В) относительно стока. В спящем режиме, когда этот ток отсутствует, минимальное потребление будет достигаться снятием нагрузки со стабилизаторов.

Блок ограничения по току выполняет несколько функций:

- защита делителя от переплюсовки напряжения питания;
- создание тока управления ключом;
- защита от превышения питающего напряжения и ограничение рассеиваемой мощности.

- local regulators and short-circuit current regulator.

PRE-STABILISER

The pre-stabiliser unit is designed to create the conditions for starting the main functional blocks to ensure accurate performance of the overall system for a wide range of supply voltages (5 to 40 V). These blocks include a reference voltage source and a reference current source. Presence of a pre-stabiliser provides a high supply voltage suppression coefficient and, consequently, a high accuracy of the reference voltage and current

values. This architecture enables to use MOS-transistors with small and low operating drain-source voltages in the main circuitry, which guarantees a high accuracy of the output parameters of the reference voltage source (RVS) and the source of reference currents.

The basic circuit diagram of the pre-stabiliser unit is shown in Fig.2.

OUTPUT POWER LIMITER

schematic diagrams of the in-line switch and the power dissipation limiter (current limiter) are shown in fig.3, 4, respectively. A transmission gate is switched in the inverse mode in

order to eliminate current in the reverse polarity mode of the supply voltage.

Of course, it is practical to connect the same transistor in direct connection. However, in this case there would be double voltage drop across the key with a total load current of 0.6 A and it would be difficult to meet the output voltage rating requirement. In active mode the minimum switch resistance is provided by the current limiting unit generating a negative voltage (approx. 5 V) relative to the drain at the control input of the switch. In sleep mode, when this

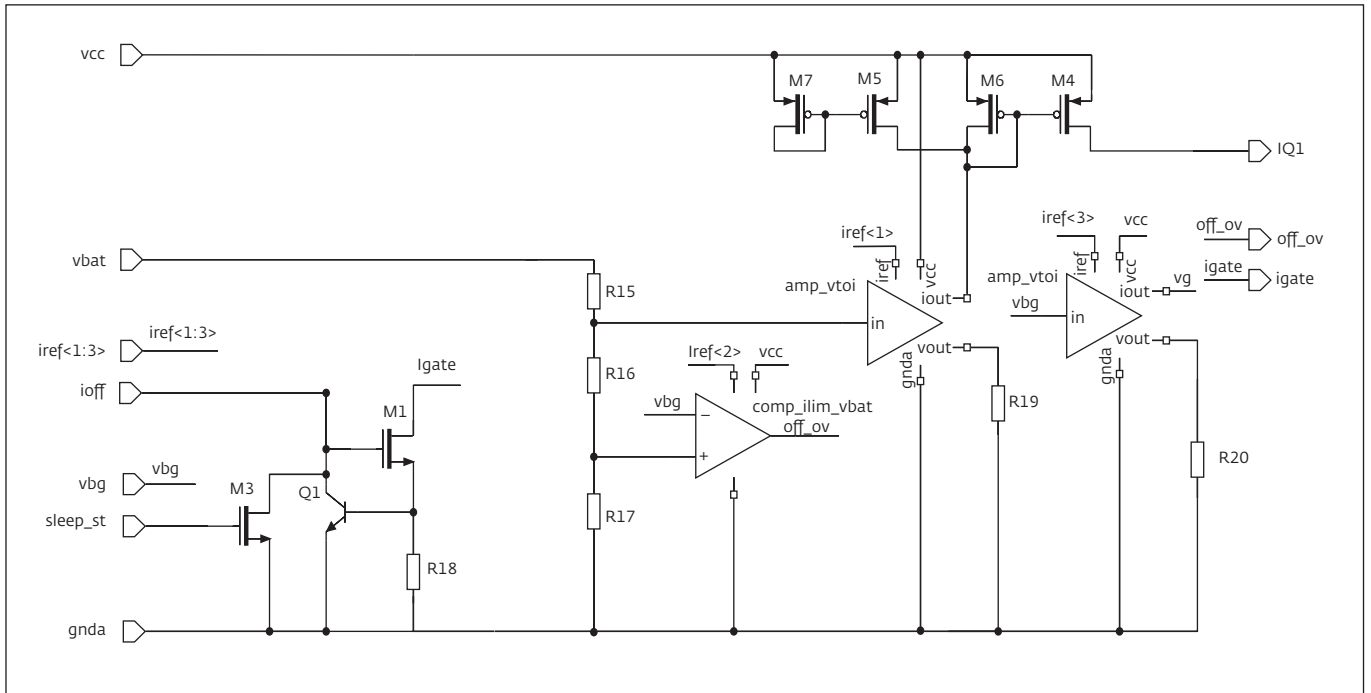


Рис.4. Принципиальная электрическая схема блока ограничения выходной мощности

Fig.4. Circuit diagram of the output power limiter

От схемы старта поступает несколько режимных токов, в частности, ток стока, поступающий на затворы проходных ключей, обеспечивает управление ключом и защиту делителя от переполюсовки.

Две другие функции выполняются:

- компаратором, обеспечивающим защиту от превышения питающего напряжения;

- двумя преобразователями напряжения в ток, выполняющими ограничение рассеиваемой мощности.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ СЕНСОР

Принципиальная электрическая схема блока тепловой защиты представлена на рис.5. Здесь,

current is not present, minimum consumption will be achieved by removing the load from the stabilisers.

The current-limiting unit has several functions:

- protection of the divider against polarity reversal of the supply voltage;
- creation of the key control current;
- over-voltage protection and power dissipation limitation.

Several mode currents are drawn from the start circuit, in particular the drain current flowing to the gate of the pass-through keys provides key control

and protection of the divider against polarity reversal.

The other two functions are performed by:

- a comparator that provides over-voltage protection;
- two voltage-to-current converters that perform power dissipation limitation).

TEMPERATURE SENSOR

A schematic diagram of the thermal protection unit is shown in Fig.5. Here, the voltage-to-current converter generates an output current, the nature of which is determined by R1 resistor. The circuit has

two operating modes: working and test.

Under typical operating conditions, a high level at the "work" node in the amplifier feedback, we set the block trip at 160 degrees and the value of the hysteresis. The temperature of 160 degrees is outside the temperature range of the chip, which makes thermal protection control undesirable.

In test mode, the unit is actuated at 100 degrees Celsius, which is within the temperature range of the chip and reduces the cost of monitoring the performance of the unit. Trim the unit in test

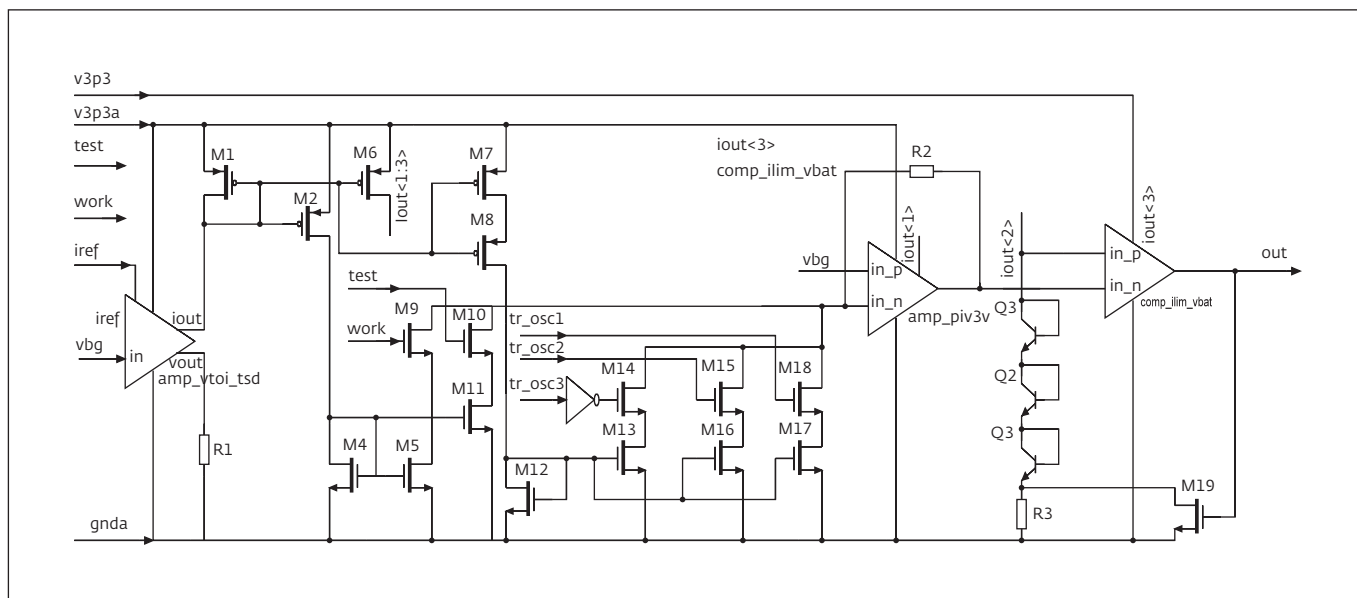


Рис.5. Принципиальная электрическая схема температурного сенсора

Fig.5. Temperature sensor wiring diagram

преобразователь напряжения в ток формирует выходной ток, природа которого определяется резистором R1. Схема имеет два режима работы: рабочий и тестовый.

В рабочем режиме в типовых условиях высокий уровень на узле work в обратной связи усилителя срабатывания блока настраивается при температуре 160 градусов и величина гистерезиса. Температура 160 градусов лежит вне температурного диапазона работы микросхемы,

что делает контроль тепловой защиты нежелательным.

В тестовом режиме срабатывание блока происходит при температуре 100 градусов, что находится в пределах температурного диапазона работы микросхемы и уменьшает затраты на контроль работоспособности блока. Тримминг блока осуществляется в тестовом режиме установкой срабатывания при 100 градусах. В этом случае, в рабочем

mode by setting triggering at 100 degrees. In this case, in the working mode, it is necessary to set the block actuation at 160 degrees.

LOCAL AND SHORT-CIRCUIT CURRENT REGULATORS

Figure 6 shows a short-circuit current regulator.

To adjust the short-circuit current and output voltage rating, a sensitive single transistor M29 is included in parallel with the output transistor M28.

In short-circuit mode, when the regulator output voltage is near zero, the current-limiting amplifier is enabled. This

activates the internal feedback of the amplifier, with a 1.25 V reference voltage applied to the non-inverting input of the amplifier.

Feedback balances the voltages at the amplifier inputs. By changing the rating of the resistors R32 and R24, we control the short-circuit current. So, by decreasing the resistor rating, more current is required from the sensitive transistor, and, hence, from the output transistor, to balance the voltages at the amplifier inputs. Thus, by pumping current through the "ireg" pin into the resistors R32 and R24, we reduce the short-circuit

current. The regulators "Q2" and "Q3" are made according to a similar circuit and differ only in the output transistors.

If there is no short circuit, the "amp_ilim_p" is de-energised and external feedback is activated, freeing up internal resources to achieve high accuracy.

The circuit for linear short-circuit current reduction above 22 V supply voltage operates as follows: the output current of the upper voltage-current converter is monitored by a divider and varies linearly with the change in supply voltage. The output current of the lower voltage-current converter is constant.

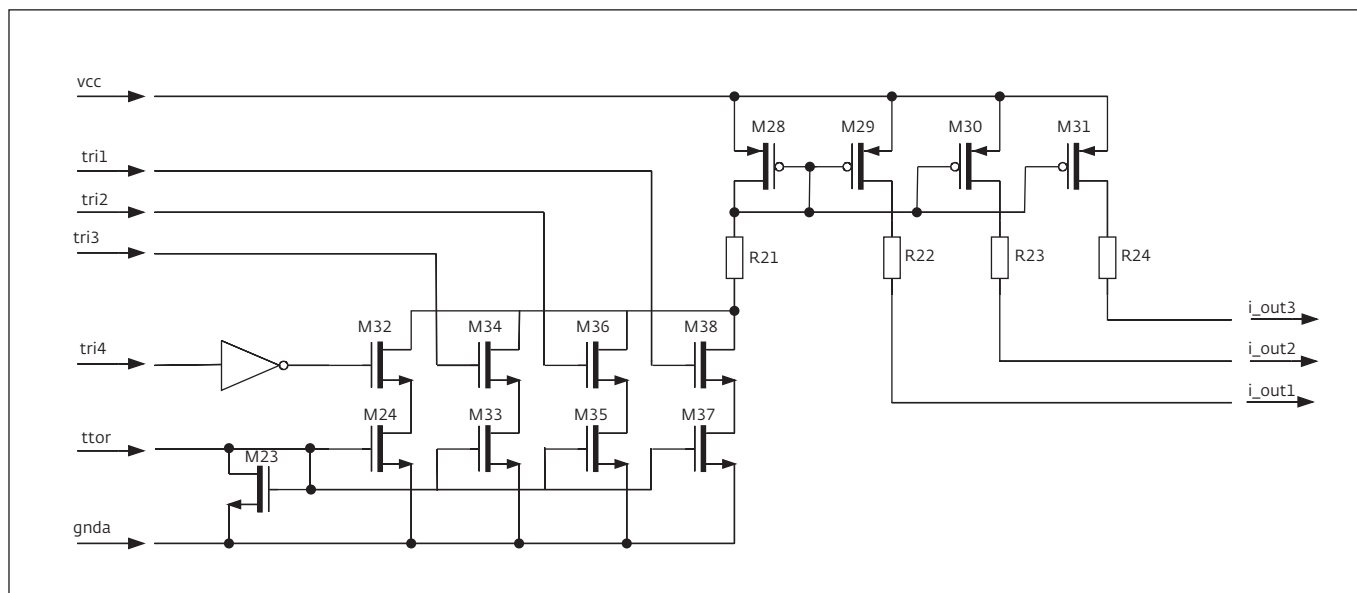


Рис.6. Принципиальная электрическая схема регулятора тока короткого замыкания

Fig.6. Short-circuit current regulator circuit diagram

режиме устанавливается срабатывание блока при температуре 160 градусов.

ЛОКАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ И РЕГУЛЯТОР ТОКА КОРТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

На рис.6 представлен регулятор тока короткого замыкания.

Для регулировки тока короткого замыкания и номинала выходного напряжения, параллельно выходному транзистору M28

включен сенсорный единичный транзистор M29.

В режиме короткого замыкания, когда на выходе регулятора напряжение близко к нулю, включен усилитель ограничителя по току. При этом включается внутренняя обратная связь усилителя, а на неинвертирующий вход усилителя подано опорное напряжение 1,25 В.

Обратная связь балансирует напряжения на входах усилителя. Изменяя номинал рези-

The output current of the upper inverter continues to increase, while that of the lower inverter remains the same, allowing the difference in these currents to be transferred to the output.

The output current in this case increases linearly with increasing supply voltage.

This current is then fed to the regulator block via the "ireg" pin, increasing the voltage at the inverting input of the "amp_ilim_p" amplifier, which results in a reduction of the short-circuit current. This current can be controlled by trimming, which is carried out by the short-circuit current regulator block.

REFERENCE VOLTAGE SOURCE UNIT

The schematic diagram of the reference voltage source unit, which no automatic control system can do without, is shown in Fig.7 [3, 4] (RVS). It acts as a unit of measurement in the system, the use of which ensures static accuracy of the product and determines the accuracy of output voltages of local regulators, acting as a reference element in local feedback circuits.

The "core" of the circuit is represented by the substrate PNP transistors (Q1, Q2), resistor R1 and transistors M1, M2. Moreover, transistor Q2 represents N

transistors of Q1. At the same time a voltage is allocated to resistor R1:

$$V = (k \cdot T / q) \cdot \ln(N) / R1 \quad (1),$$

where k is Boltzmann constant, q is the electron charge.

The circuit includes a trimmer which receives the drain current of the M5 transistor, which is a part of the core transistor current.

REFERENCE CURRENT SOURCE UNIT

As in the previous unit, the transistors M15 and M18 represent the start circuit. The "core" of the circuit is represented by transistors: M46, M47, M33, Q2,

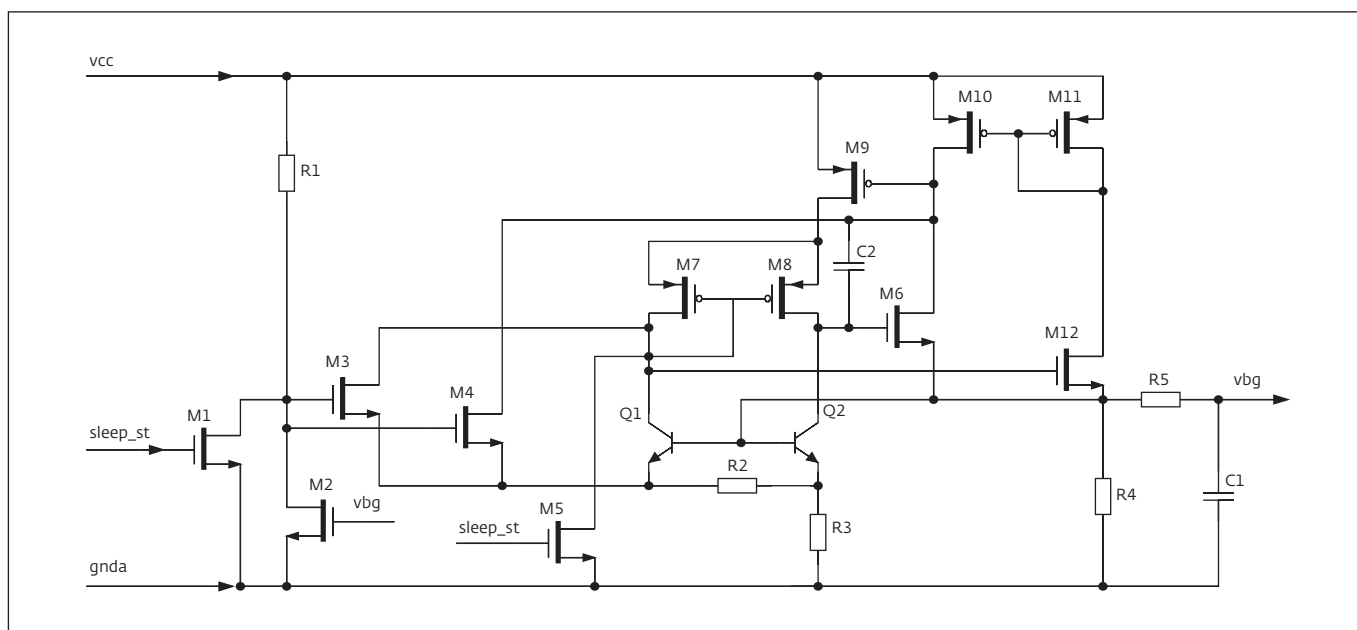


Рис.7. Принципиальная электрическая схема источника опорного напряжения

Fig.7. Circuit diagram of a reference voltage source

сторы R32 и R24, происходит управление током короткого замыкания. Так, при уменьшении номинала резисторов для баланса напряжений на входах усилителя требуется больший ток с сенсорного транзистора, а, следовательно, и с выходного транзистора. Таким образом, закачивая ток через пин *ireg* в резисторы R32 и R24, уменьшается ток короткого замыкания. Регуляторы Q2 и Q3 выполнены по аналогичной

схеме и отличаются лишь выходными транзисторами.

При отсутствии короткого замыкания усилитель *amp_lim_p* обесточен и при этом включается внешняя обратная связь, освобождая внутренние ресурсы для достижения высокой точности.

Схема линейного уменьшения тока короткого замыкания выше напряжения питания

Q3 and resistors: R3, R2, R14, R15. The emitter current density of transistor Q2, in this circuit, is eight times less than the emitter current density of transistor Q3 (Fig.8).

The collector current of transistor Q2 will have a positive temperature coefficient, and a corresponding voltage will be formed in resistor R3 according to expression (1). With the rating of resistor R3 we control the amount of current with a positive temperature coefficient. The sum of the resistors R2, R14 and R15, which are connected in parallel to the emitter base

junction of the bipolar transistors, we control the current with a negative temperature coefficient. By adding these currents on the M46 transistor and adjusting one of the currents, we achieve a temperature independent current at the output.

The circuit generates seven currents of 10 μA and one current for the oscillator (about 1.2 μA). The currents are trimmed in the same way as the RVS unit.

CIRCUIT TOPOLOGY

The topology [5] of the three-channel voltage regulator is shown in Fig.9.

The numbers indicate the following blocks:

1. pre-stabiliser;
2. a buffer amplifier;
3. source of reference voltage;
4. source of reference currents;
5. reference voltage generator;
6. 2nd "reset" signal generator;
7. 1st "reset" signal generator;
8. current limiter;
9. short-circuit current regulator;
10. regulator;

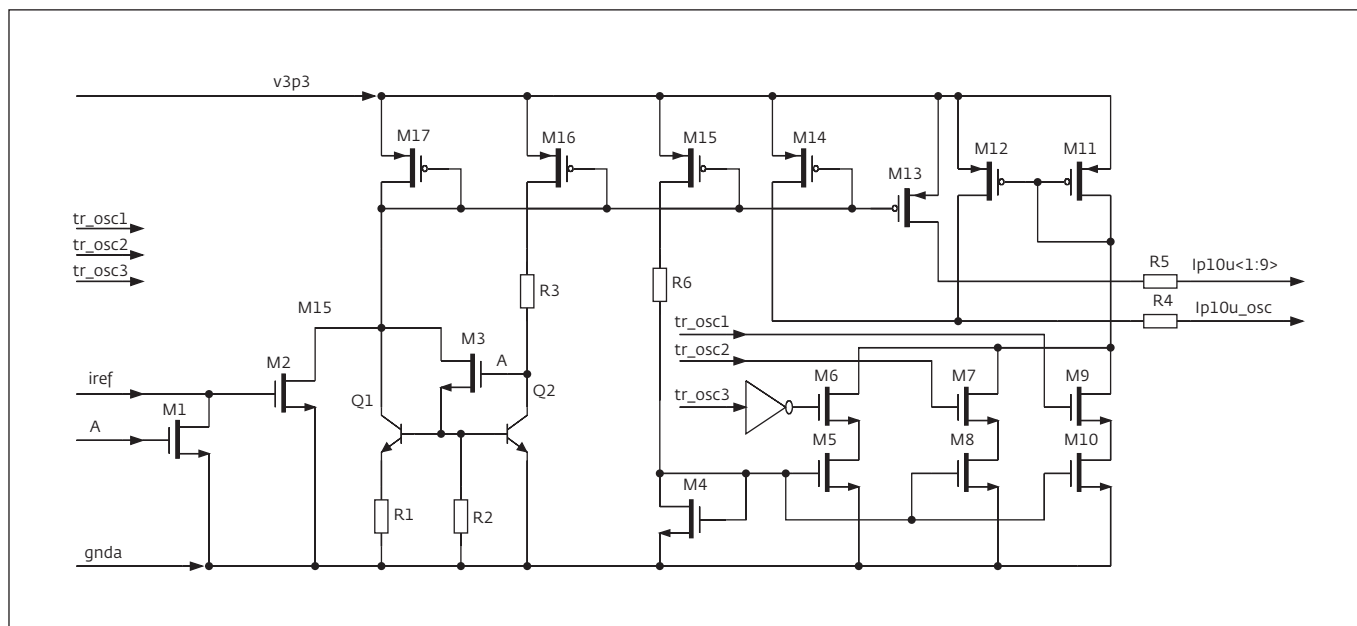


Рис.8. Принципиальная электрическая схема источника опорных токов
Fig.8. Circuit diagram of a reference current source

более 22 В работает следующим образом: выходной ток верхнего преобразователя "напряжение – ток" отслеживается делителем и изменяется линейно с изменением питающего напряжения. Выходной ток нижнего преобразователя "напряжение – ток" постоянен.

Далее выходной ток верхнего преобразователя продолжает увеличиваться, а нижнего – остается прежним, что позволяет разницу этих токов передать на выход.

Выходной ток в этом случае линейно возрастает с увеличением напряжения питания. Далее, этот ток поступает в блок регулятора через пин ireg, повышая напряжение на инвертирующем входе усилителя amp_ilim_p, что влечет за собой уменьшение тока короткого замыкания. Этот ток может управляться триммингом, который осуществляет блок регулятора тока короткого замыкания.

11. regulator 1;
12. regulator 2;
13. temperature sensor;
14. I2C;
15. "pass-through key".

SIMULATION RESULTS FOR A THREE-CHANNEL VOLTAGE REGULATOR

Plots of the output voltage of the reference voltage source and of each regulator are shown in Fig.11 and Fig.12, respectively.

The output results are shown in Fig.11. Based on these results, it can be said that the scatter of the output voltage by temperature at each output is 0.09 mV/°C.

PACKAGING

This chip is intended to be used in two case styles: PSOP and SOIC, which are shown in Fig.12.

CONCLUSIONS

As a result of designing a three-channel voltage regulator the following results have been obtained: a schematic circuit diagram of the microcircuit has been developed, circuit modeling with the use of technological libraries and specialized CAD tools has been performed, the topology of the integrated circuit has been developed and verified. Main electrical characteristics are determined: output

voltage, maximum output current, and open state key resistance. The measuring equipment was developed and laboratory measurements of key parameters were carried out. In future, additional laboratory measurements and testing of the chip are planned to determine additional parameters of the IC and enter the data into the specification. ■

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

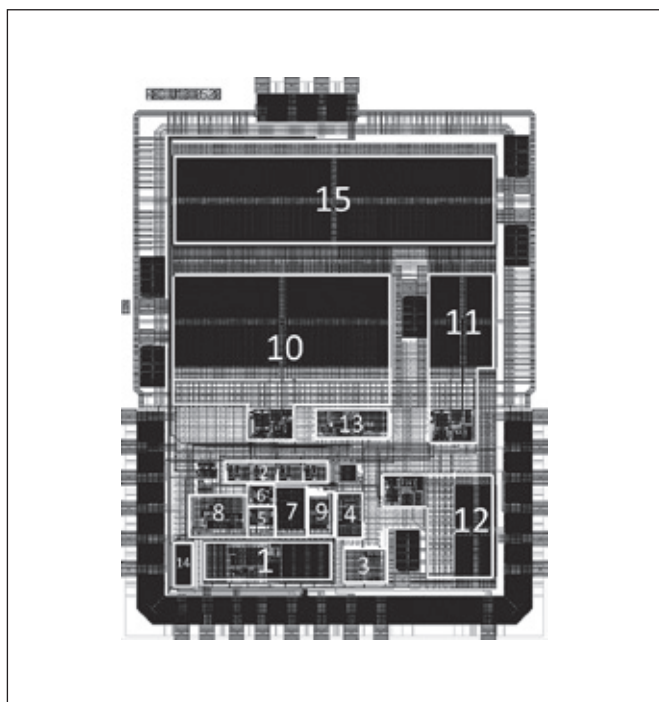


Рис.9. Топология трехканального регулятора напряжения
Fig.9. Three-channel voltage regulator topology

БЛОК ИСТОЧНИКА ОПОРНОГО НАПЯЖЕНИЯ

Принципиальная электрическая схема блока источника опорного напряжения, без которого не обходится ни одна система автоматического регулирования, представлена на рис.7 [3, 4] (ИОН). Он выступает в системе как единица измерения, использование

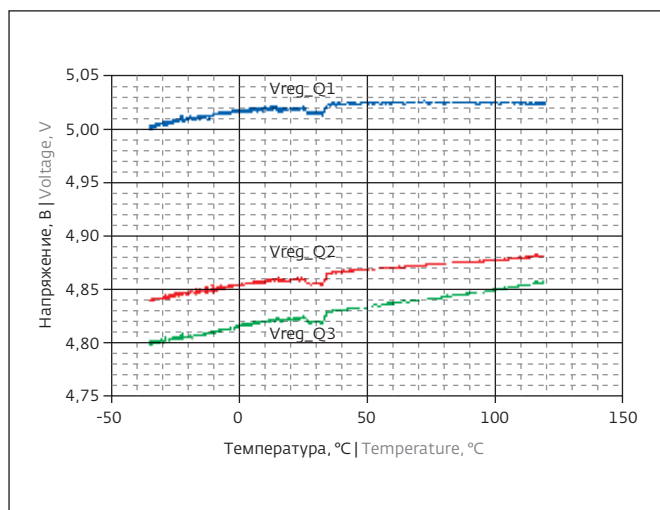


Рис.10. Выходные характеристики трехканального регулятора напряжения

Fig.10. Output characteristics of a three-channel voltage regulator

которой обеспечивает статическую точность изделия и определяет точность выходных напряжений локальных регуляторов, выступая как опорный элемент в локальных цепях обратной связи.

"Ядро" схемы представлено подложечными PNP-транзисторами (Q1, Q2), резистором R1 и транзисторами M1, M2. Причем, транзистор Q2 представляет собой N транзисторов Q1. При этом на резисторе R1 выделяется напряжение:

$$V = (kT/q) \cdot \ln(N)/R1 \quad (1),$$

где k - постоянная Больцмана; q - заряд электрона.

В схеме предусмотрен тримминг, на схему которого поступает ток стока транзистора M5, составляющий часть тока транзисторов "Ядра".

БЛОК ИСТОЧНИКА ОПОРНЫХ ТОКОВ

Как и в предыдущем блоке, транзисторы M15 и M18 представляют собой стартовую схему. "Ядро" схемы представлено транзисторами: M46, M47, M33, Q2, Q3 и резисторами: R3, R2, R14, R15. Плотность эмиттерного тока транзистора Q2, в данной схеме, в восемь раз меньше плотности эмиттерного тока транзистора Q3 (рис.8).

Коллекторный ток транзистора Q2 будет иметь положительный температурный коэффициент, а на резисторе R3, в соответствии с выражением (1), образуется соответствующее напряжение. Номиналом резистора R3 мы управляем величиной тока с положительным температурным коэффициентом.

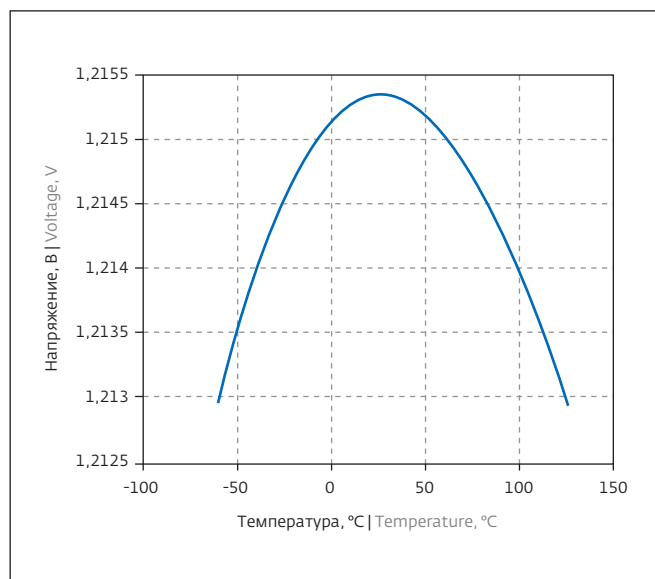


Рис.11. График выходного напряжения блока ИОН

Fig.11. Output voltage curve of the RVS unit

Суммой номиналов резисторов: R2, R14 и R15, включенных параллельно переходам "база – эмиттер" биполярных транзисторов, осуществляется управление током с отрицательным температурным коэффициентом. Суммируя эти токи на транзисторе M46 и регулируя один из токов, на выходе достигается независимый от температуры ток.

Схема формирует семь токов номиналом 10 мкА и один ток для генератора (около 1,2 мкА). Тримминг токов осуществляется аналогично блоку ИОН.

ТОПОЛОГИЯ СХЕМЫ

Топология [5] трехканального регулятора напряжения представлена на рис.9.

Цифрами обозначены следующие блоки:

1. предстабилизатор;
2. буферный усилитель;
3. источник опорного напряжения;
4. источник опорных токов;
5. генератор опорного напряжения;
6. 2-й генератор сигнала "сброс";
7. 1-й генератор сигнала "сброс";
8. ограничитель по току;
9. регулятор тока короткого замыкания;
10. регулятор;
11. регулятор 1;
12. регулятор 2;
13. температурный сенсор;
14. I2C;
15. "проходной ключ".

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХКАНАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Графики выходного напряжения источника опорного напряжения и каждого регулятора представлены на рис.11 и 12 соответственно.

Выходные результаты представлены на рис.11. По результатам можно сказать, что разброс выходного напряжения по температуре на каждом выходе составляет 0,09 мВ/°С.

КОРПУСИРОВАНИЕ

Предполагается использование данной микросхемы в двух типах корпусов: PSOP и SOIC, которые показаны на рис.12.

ВЫВОДЫ

В результате проектирования трехканального регулятора напряжения получены следующие результаты: разработана принципиальная электрическая схема микросхемы, проведено схемотехническое моделирование с использованием технологических библиотек и специализированных средств

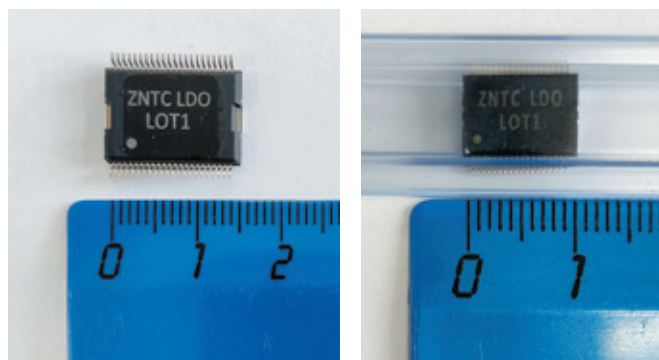


Рис.12. Фотографии корпусов

Fig.12. Photos of the packages

САПР, разработана и верифицирована топология интегральной микросхемы. Определены основные электрические характеристики: выходное напряжение, максимальный выходной ток, сопротивление ключа в открытом состоянии. Разработана измерительная оснастка и проведены лабораторные измерения ключевых параметров. В дальнейшем планируется провести дополнительные лабораторные измерения и тестирование микросхемы для определения дополнительных параметров ИМС и внесение данных в спецификацию.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Wolfgang Pribyl, Integrated Smart Power Circuits Technology, Design and Application, ESSCIRC '96: Proceedings of the 22nd European Solid-State Circuits Conference, pp 19–26.
2. Chang H., Jang J., Kim M., Lee E., Jang D., Park J., Park C. (2012). Advanced 0.13um smart power technology from 7V to 70. V. 2012. 24th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs
3. Brokaw A. (1974). A simple three-terminal IC bandgap reference. 1974 IEEE International Solid-State Circuits Conference. Digest of Technical Papers. <https://doi.org/10.1109/isscc.1974.1155346>
4. Radoias L., Zegheru C., & Brezeanu G. (2012). Substrate leakage current influence on bandgap voltage references in automotive applications. CAS 2012 (International Semiconductor Conference). <https://doi.org/10.1109/smicnd.2012.6400752>
5. Alan Hastings The art of analog layout // Prentice – Hall, 2001. 735 с.

Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.