

Интегральные стабилизаторы напряжения с двухполярным выходом¹

Маммано

Фирма Silicon General Inc.
(Вестминстер, шт. Калифорния)

Дано общее описание схмотехнической части и приведены основные рабочие характеристики пяти типов интегральных стабилизаторов напряжения с двухполярным выходом и автоматическим согласованием [погрешность 0,5%] выходов разной полярности. Описаны различные схемы защиты от коротких замыканий.

Недавно в продаже появились монолитные ИС стабилизаторов напряжения с двухполярным выходом, значительно расширившие возможности электронных систем на аналоговых ИС. Как и ранее разработанные интегральные стабилизаторы с однополярным выходом, новые ИС стабилизаторов можно располагать на печатных платах в непосредственной близости от ИС, получающих от них питание, причем нестабилизированное напряжение может подаваться от общего выносного источника питания сразу на несколько интегральных стабилизаторов. Стабилизатор с двухполярным выходом обеспе-

чивает одновременно как положительное, так и отрицательное выходное напряжение, причем одно из стабилизированных напряжений автоматически компенсирует колебания уровня другого.

Когда впервые появились линейные ИС, они дали разработчику возможность сосредоточить выполнение достаточно сложных аналоговых функций на одной небольшой схемной плате с печатным монтажом. Однако питание нескольких печатных плат от общего выносного источника питания со стабилизатором напряжения приводит к возникновению эксплуатационных трудностей, связанных с паразитной индуктивностью соединительных проводов и необходимостью развязки шин питания, а также с падением напряжения на сопротивлении соединительных проводов и переходных контактов. Чтобы исключить эти трудности, были разработаны местные стабилизаторы питания в форме ИС, каждая из которых располагается непосредственно на печатной плате и получает входное

¹ R. A. Mammano. Dual-polarity IC regulators aid design and packaging, pp. 108—111.

нестабилизированное напряжение от общего выносного блока питания системы. Таким образом, функция стабилизации напряжения стала осуществляться прямо возле нагрузки.

Первоначально интегральная технология позволяла создавать на одном кристалле только стабилизатор, обеспечивающий напряжение лишь одной полярности (положительное или отрицательное), но не двух полярностей сразу. Поскольку, однако, для большинства аналоговых схем требуется двухполярное питание, стабилизаторы с однополярным выходом не давали полного решения проблемы: для каждой печатной платы нужны при этом два интегральных стабилизатора. Между тем при двух независимых стабилизаторах не выполняется другое важное требование: обе шины питания должны быть согласованы между собой, т.е. напряжения на них должны изменяться одинаковым образом («следить» одно за другим).

Таким образом, рост применения линейных ИС вызвал спрос на интегральные стабилизаторы напряжения с двухполярным выходом, сформированные на одном монокристалле и обладающие согласованностью выходов: изменение выходного напряжения одной полярности автоматически приводит к такому же (по абсолютной величине) изменению выходного напряжения другой полярности. Это свойство обеспечено тем, что в схеме такого стабилизатора имеется лишь один опорный диод, обеспечивающий стабилизацию напряжения одной полярности, а из последнего создается опорный уровень для напряжения другой полярности.

В настоящее время выпускаются следующие интегральные стабилизаторы с двухполярным выходом: SG1501, SG1501A и SG1502 фирмы Silicon General; MC1568 фирмы Motorola; RC4195 фирмы Raytheon (поступил в продажу в самое последнее время). Первым по времени был разработан стабилизатор SG1501, у которого основные рабочие параметры следующие: выходной ток 100 мА; входное напряжение ± 30 В; выходное напряжение, устанавливаемое при заводской регулировке, ± 15 В; типовое значение колебаний выходных напряжений при изменениях нагрузки и входного напряжения в полном диапазоне не более 2 мВ. Возможна перестройка выходных напряжений в пределах от ± 8 до ± 23 В, но при этом несколько ухудшается температурная стабильность.

У стабилизаторов MC1568 и RC4195 характеристики по существу такие же, как у SG1501. При подключении внешних проходных транзисторов все эти стабилизаторы могут работать с выходным током до 2 А.

В стабилизаторе SG1501A, обеспечивающем ток нагрузки до 200 мА, дополнительно имеется внутренняя схема автоматического отключения,

когда температура на *pn*-переходе в кристалле ИС превышает безопасный уровень. Входное напряжение у этого стабилизатора повышено до ± 35 В.

У стабилизатора SG1502 основная схема такая же, как у SG1501, но он обладает двумя дополнительными особенностями. Во-первых, присоединив к нему внешние резисторы установки напряжения, обладающие малым температурным коэффициентом сопротивления (со стабилизатором не поставляются), можно обеспечить регулировку выходного напряжения в пределах от ± 8 до ± 28 В, сохраняя прекрасную температурную стабильность. Во-вторых, вместо схемы ограничения тока по некоторому верхнему пределу здесь предусмотрена схема защиты с переключением выходного тока, при которой ток короткого замыкания фактически уменьшается до значения, не превышающего максимального допустимого тока нагрузки, так что рассеяние мощности на внутреннем проходном транзисторе ограничивается на безопасном уровне.

Для успешного применения интегральных стабилизаторов с двухполярным выходом разработчики должны помнить, что их можно использовать только в таких режимах, когда рассеиваемая внутри стабилизатора мощность заведомо не превышает уровня, при котором перегрев кристалла ИС остается в допустимых пределах. В последующих разделах рассматриваются основы работы стабилизаторов с двухполярным выходом и уточняются методы регулирования рассеиваемой внутри ИС мощности, основанные на отводе тепла, ограничении тока и переключении выходного тока.

1. Основная схема стабилизатора

В показанной на рис. 1 основной схеме стабилизатора с двухполярным выходом, формируемого на одном кристалле в виде монокристаллической ИС, опорное напряжение, вырабатываемое кремниевым стабилитроном, подается на неинвертирующий вход дифференциального усилителя рассогласования по отрицательному выходу. На инвертирующий вход этого усилителя снимается напряжение со среднего отвода резистивного делителя $R_1 - R_2$; тем самым устанавливается требуемое значение отрицательного выходного напряжения. Поскольку усилитель рассогласования работает в следящей системе с замкнутым контуром обратной связи, выходное напряжение будет оставаться постоянным в широком диапазоне токов нагрузки и входных напряжений.

У усилителя рассогласования по положительному выходу неинвертирующий вход заземлен, т.е. подаваемое на него опорное напряжение равно нулю. Между отрицательным и поло-

жительным выходами включен резистивный делитель, состоящий из двух одинаковых сопротивлений R . Напряжение со средней точки этого делителя подается на инвертирующий вход усилителя рассогласования по положительному выходу. В установившемся состоянии напряжение на этой точке должно быть равно нулю. Если этого нет, верхняя (на рисунке) следящая система будет обрабатывать таким образом, чтобы

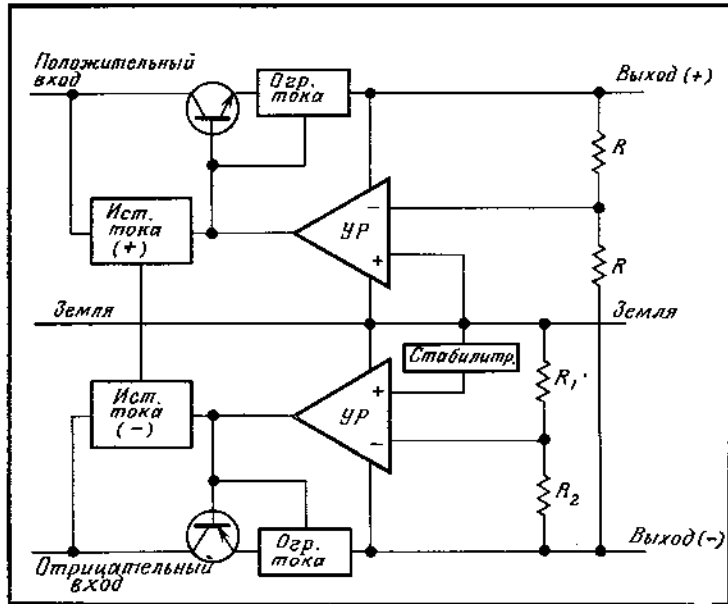


РИС. 1. УР — усилитель рассогласования.

положительное выходное напряжение изменилось в соответствующую сторону и напряжение на инвертирующем входе усилителя пришло бы к нулю. После этого напряжение на положительном выходе будет равно по абсолютной величине напряжению на отрицательном выходе. Подобным же образом работает и стабилизатор MC1568 фирмы Motorola, с той лишь разницей, что опорное напряжение от стабилитрона подается здесь на вход усилителя рассогласования по положительному выходу.

Любое изменение уставки напряжения на отрицательном выходе приведет к изменению напряжения на положительном выходе в точности на такой же процент. Это слежение будет осуществляться с погрешностью не более 0,5% при выходных напряжениях, лежащих в границах от значения чуть выше опорного напряжения, которое равно 6,2 В, до значения, лежащего примерно на 2 В ниже входного напряжения питания.

2. Выделение мощности

В процессе поддержания неизменного выходного напряжения независимо от изменения входного напряжения и выходного тока стаби-

лизатор действует как автоматически регулируемое сопротивление. Выделяемая на этом «сопротивлении» мощность равна сумме двух членов, из которых первый представляет собой произведение падения напряжения на стабилизаторе и тока нагрузки, а второй — мощность покоя, т. е. мощность, выделяемую, когда ток нагрузки равен нулю. Последняя составляет примерно 10% максимальной мощности.

Максимальная допустимая общая выделяемая мощность должна быть такой, чтобы температура на переходах у любого из многочис-

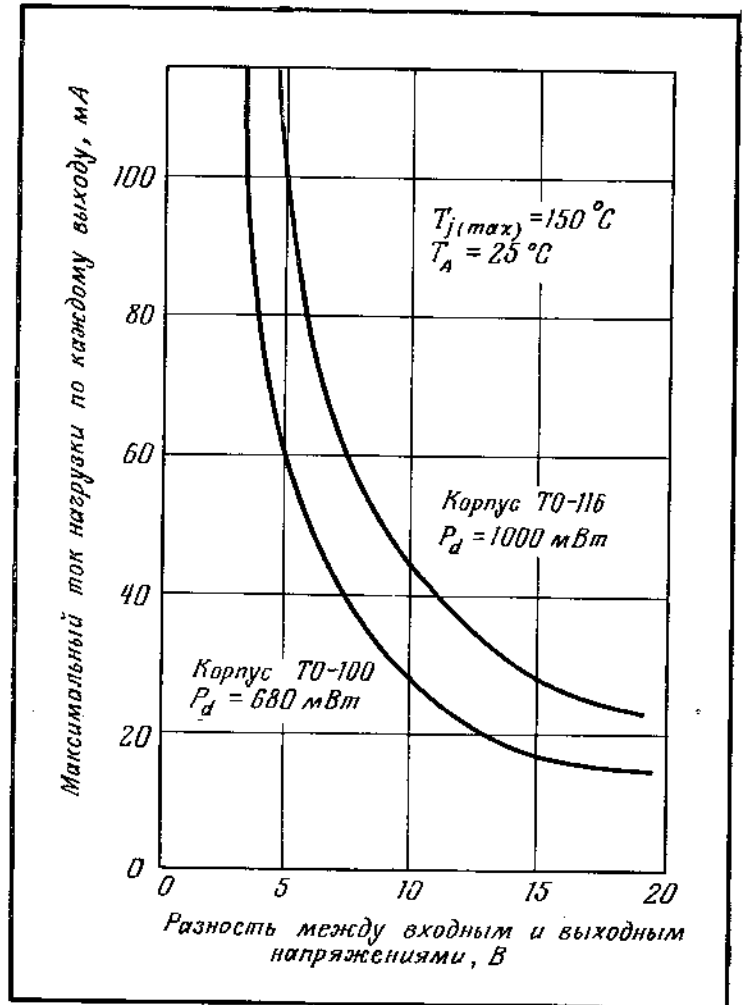


РИС. 2.

ленных транзисторов, составляющих схему стабилизатора, не превышала 170°C. Для большей надежности эту температуру обычно ограничивают 150°C.

Максимальная допустимая мощность, а следовательно, и максимальный допустимый выходной ток стабилизатора зависят от разности входного и выходного напряжений. Максимальный допустимый перегрев перехода в транзисторе $\Delta T_j = 150^\circ\text{C} - T_{a(\max)}$, где $T_{a(\max)}$ — максимальная температура окружающей среды. Тогда максимальная допустимая выделяемая мощ-

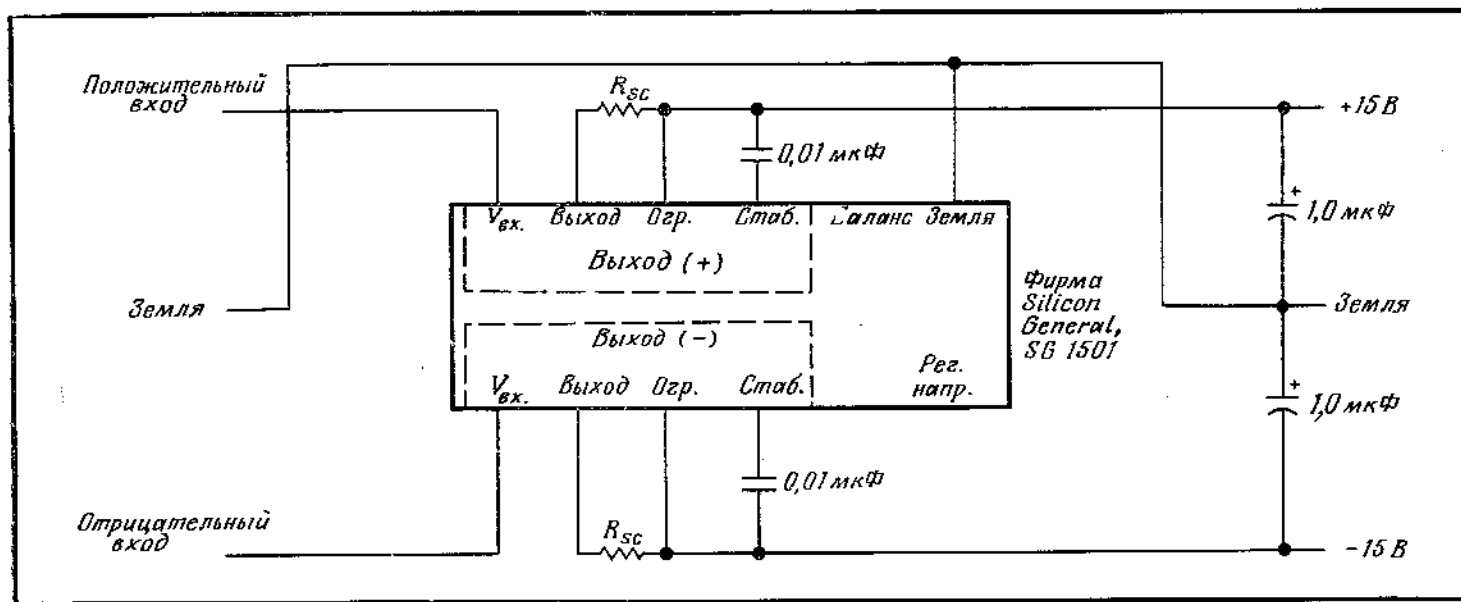


РИС. 3.

ность $P_d = \Delta T_j / \theta_{ja}$, где θ_{ja} — тепловое сопротивление между переходом и окружающей средой. Оно зависит от степени охлаждения, обеспечиваемого конвекционным теплообменом, принудительным воздушным охлаждением и контактным отводом тепла. Например, для стабилизатора в металлическом корпусе TO-100 при работе в условиях спокойного наружного воздуха тепловое сопротивление равно $185^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а для стабилизатора в керамическом корпусе TO-116 с двусторонним расположением выводов в тех же условиях тепловое сопротивление равно $125^\circ\text{C}/\text{Вт}$. При установке теплоотвода эти величины значительно уменьшаются. Так, при использовании теплоотвода модели TXFB-032-025 (фирма IERC), надеваемого на корпус TO-100, тепловое сопротивление снижается до $130^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а при использовании теплоотвода модели LIC-214A-2B на корпусе TO-116 — до $50^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Далее надо вычесть из общей мощности P_d мощность покоя P_{sb} . Разность будет равна величине мощности, выделяемой при протекании тока нагрузки под воздействием разностей напряжений вход—выход по каждому выходу стабилизатора и не приводящей к опасному возрастанию температуры переходов. На рис. 2 приведены для двух распространенных типов корпусов ИС зависимости максимального тока нагрузки по каждому выходу стабилизатора от разности между входным и выходным напряжением.

3. Ограничение тока нагрузки

В простой схеме включения, показанной на рис. 3, стабилизатор SG1501 выдаст напряжения $\pm 15\text{ В}$. Для разработчика главное — обеспечить такой режим работы стабилизатора, чтобы его максимальный выходной ток ограничивался значением, при котором температуры на переходах транзисторов не превышают безопасного предела. Применяв контактный отвод тепла, можно повысить допустимое выделение мощности, а следовательно, и максимальный допустимый выходной ток.

В обеих половинах схемы стабилизатора имеются регулирующие транзисторы, включенные последовательно, т. е. так, что через них проходит весь ток нагрузки, относящийся к данной половине стабилизатора. Ограничение тока нагрузки обеспечивается тем, что при токе нагрузки, превышающем некоторую наперед заданную величину, часть сигнала, управляющего регулирующим (проходным) транзистором, начинает отводиться из базовой цепи этого транзистора. Это достигается при помощи еще одного транзистора, который до начала ограничения находится в непроводящем состоянии. Между базой и эмиттером этого транзистора включается внешнее (находящееся вне корпуса ИС) сопротивление, которое на рис. 3 обозначено R_{sc} . Для того чтобы ограничительный транзистор включился, между его базой и эмиттером должно развиваться напряжение около $0,6\text{ В}$ при температуре перехода 25°C , а при температуре перехода 125°C это напряжение снижается приблизительно до $0,4\text{ В}$. Указанное напряжение, которое мы назовем напряжением ограничения, появляется в виде падения напряжения на со-

¹ В оригинале опечатка — T_j вместо ΔT_j . — Прим. перев.

противлении R_{sc} , вызванного током нагрузки. Обычно в качестве предельного допустимого значения тока нагрузки (тока короткого замыкания) принимают 150% максимального рабочего тока.

Тогда величина ограничительного сопротивления R_{sc} равна частному от деления напряжения ограничения при максимальной температуре перехода T_j на допустимое значение тока короткого замыкания. Поскольку напряжение ограничения зависит от температуры перехода, то при увеличении мощности, выделяемой внутри ИС стабилизатора, значение выходного тока, при котором наступает ограничение, автоматически снижается.

4. Повышение допустимой мощности

Когда интегральный стабилизатор сам по себе не может выдержать требуемый ток нагрузки, можно добавить к одной или обоим половинам его схемы внешние мощные транзисторы. Основой для выбора этих транзисторов являются требования по току, напряжению и устойчивости к механическим воздействиям. При этом предпочтительно выбирать низкочастотные транзисторы, чтобы уменьшить опасность самовозбуждения. Конденсаторы, отмеченные на рис. 4 звездочкой, должны быть танталовыми, поскольку конденсаторы этого типа обладают меньшим эквивалентным последовательным сопротивлением, особенно на высоких частотах, чем обычные электролитические конденсаторы. Резисторы на 75 Ом в базовых цепях внешних транзисторов обеспечивают в стабилизаторе цепи для прохождения токов покоя в условиях холостого хода.

Мощность, выделяющаяся в этих внешних регулирующих транзисторах при коротком за-

мыкании на выходе стабилизатора, может быть в два-три раза больше нормальной. Поэтому для внешних транзисторов могут потребоваться мощные теплоотводы. Это относится также и к внешним транзисторам, подключаемым к стабилизатору SG1501, хотя у него имеется внутренняя схема защиты по максимальной температуре: эта схема отключает нагрузку, когда достигает предельного уровня температура кристалла ИС, а не температура внешних транзисторов. Чтобы исключить необходимость в дополнительном отводе тепла при условиях короткого замыкания, разработан интегральный стабилизатор SG1502, у которого имеется схема защиты с переключением выходного тока. Эта схема рассматривается в следующем разделе.

5. Схема защиты с переключением тока

Эта схема, придающая интегральному стабилизатору с двухполярным выходом важные дополнительные возможности, позволяет при коротком замыкании на выходе автоматически переключить выходной ток на значение, меньшее нормального или максимального рабочего уровня. Это значит, что, когда в результате короткого замыкания напряжение на выходе стабилизатора падает до нуля (а при этом разность между входным и выходным напряжениями становится максимальной), выходной ток уменьшается так, что выделяемая в стабилизаторе мощность падает.

При этом исключается необходимость в дополнительном теплоотводе, позволяющем схеме выдерживать перегрузки по току. В показанной на рис. 5 схеме на основе стабилизатора SG 1502 выходное напряжение V_0 делится на сопротивлениях R_1 , R_2 , создавая смещение, которое

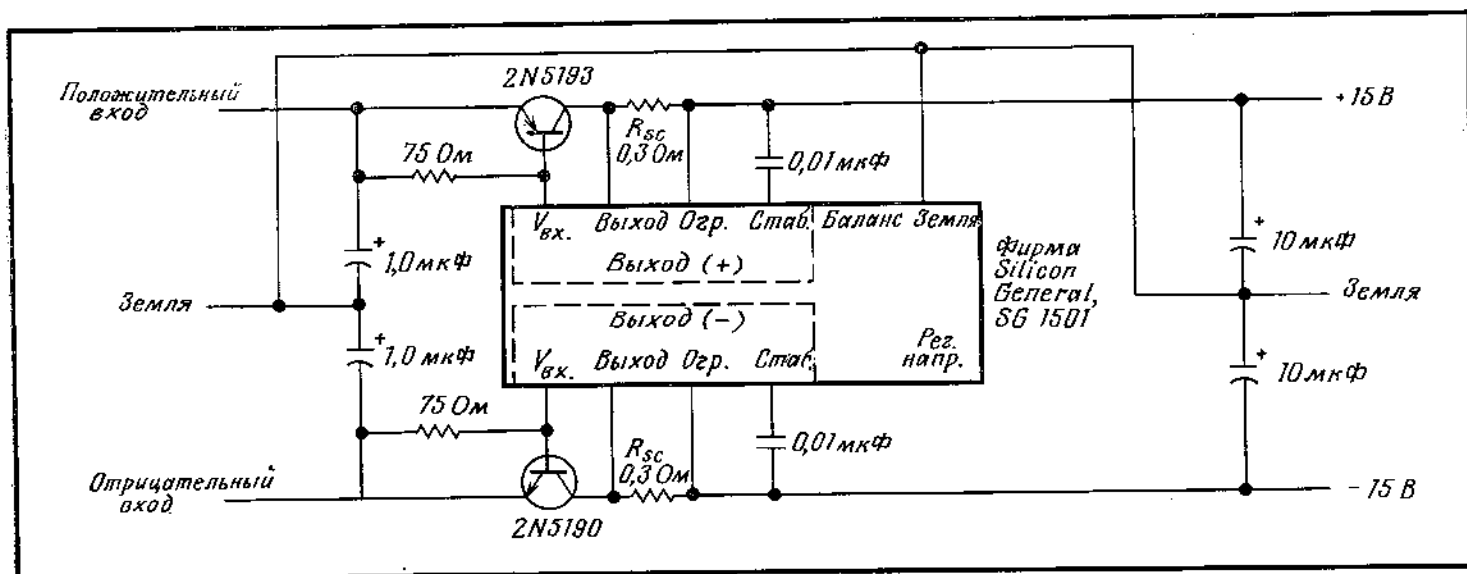


РИС. 4.

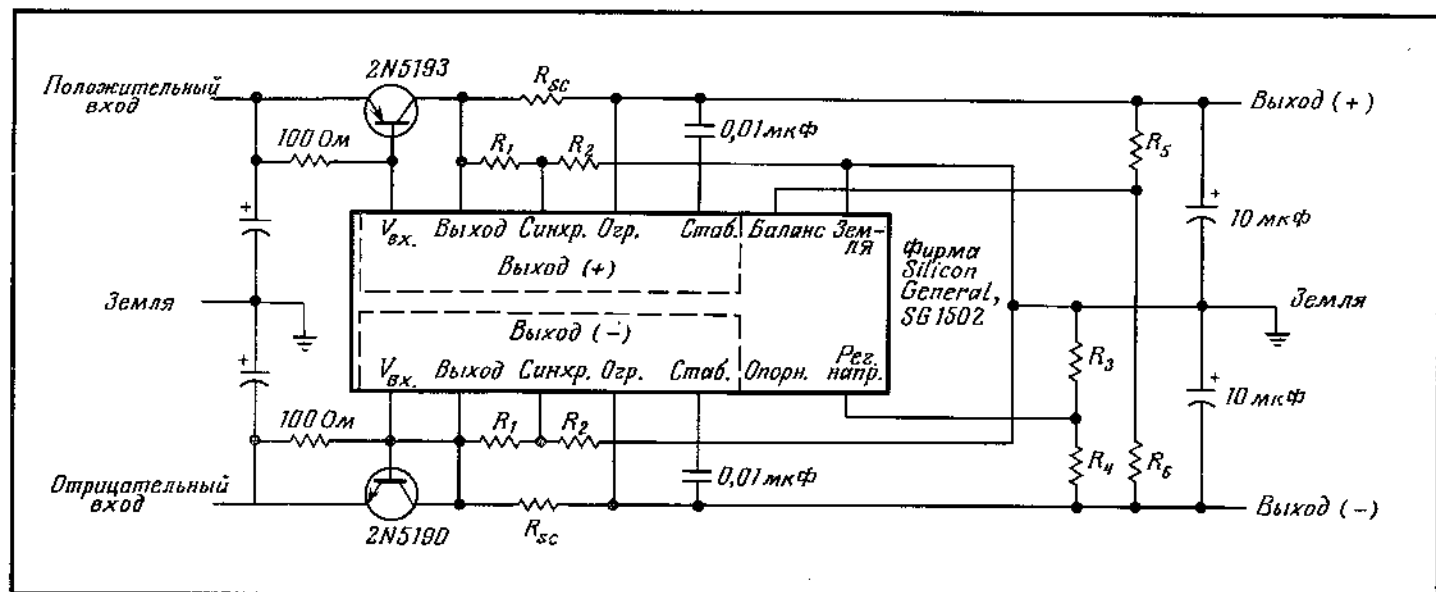


РИС. 5.

сильно изменяет величину напряжения ограничения, необходимую для включения ограничительного транзистора.

Значения R_1 и R_2 приблизительно определяются итерационным способом из уравнений для максимального тока нагрузки и тока короткого замыкания:

Максимальный ток нагрузки = $[(\text{Напряжение ограничения}) + (R_1 V_0 / R_2)] / R_{sc}$.

Ток короткого замыкания = $(\text{Напряжение ограничения}) / R_{sc}$.

Исследование первого уравнения на условия нормальной работы показывает, что, когда имеет место короткое замыкание, V_0 падает до нуля, откуда и получается второе уравнение. Следовательно, схема защиты с переключением тока

снижает ток короткого замыкания до величины, меньшей максимального рабочего тока. Чем больше падение напряжения на ограничительном сопротивлении R_{sc} , тем больше коэффициент переключения выходного тока.

Помимо схемы защиты с переключением тока, стабилизатор SG1502 отличается еще тем, что у него выходные напряжения могут сильно отличаться от обычных ± 15 В. Два резистивных делителя на выходах этого стабилизатора обеспечивают независимую регулировку обоих выходных напряжений. При этом на отрицательном выходе $V_0 = 6,2(R_3 + R_4) / R_3$, а на положительном выходе $V_0 = R_5$ (отрицательное V_0) / R_6 .

В первом уравнении коэффициент 6,2 — это опорное напряжение, создаваемое кремниевым

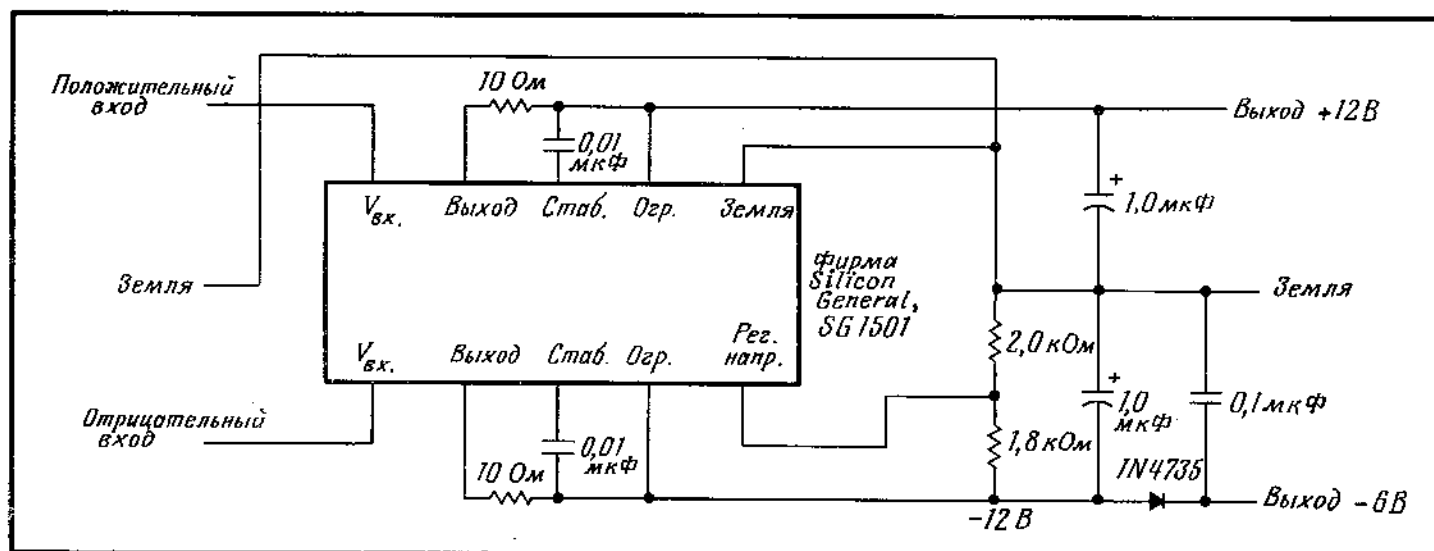


РИС. 6.

стабилитроном. Из уравнений видно, что характеристика хорошей согласованности выходов сохраняется при выходном напряжении не менее примерно 8 В.

6. Подгонка выходных уровней

В аналоговых схемах широко используют интегральные компараторы напряжения типов 710 и 711. Для питания этих ИС необходимы напряжения $+12$ и -6 В. Напряжение 6 В меньше минимального напряжения, обеспечиваемого стабилизатором SG1501, но можно, во-первых, снизить отрицательное выходное напряжение стабилизатора с -15 до -12 В; для этого достаточно установить в выходном делителе сопротивления 1,8 кОм и 2 кОм. Тогда, в силу того

что выходы согласованы, напряжение $+15$ В также снизится до $+12$ В, что и требуется. Затем можно уменьшить отрицательное выходное напряжение с -12 до требуемых -6 В, включив на отрицательном выходе опорный стабилитрон 1N4736, имеющий напряжение стабилизации 6 В.

Поскольку этот стабилитрон не входит в контур обратной связи, могут иметь место незначительные изменения выходного напряжения -6 В, связанные с температурными влияниями и изменениями динамического сопротивления стабилитрона в зависимости от тока нагрузки. Однако, так как в компараторе отрицательное напряжение используется только для смещения высокоимпедансных источников тока, изменения этого напряжения не окажут заметного влияния на работу компаратора.