

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **024576**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2016.09.30

(51) Int. Cl. **G05F 3/16** (2006.01)
H05B 33/08 (2006.01)

(21) Номер заявки
201400094

(22) Дата подачи заявки
2012.06.22

(54) **РЕГУЛЯТОР ТОКА**

(31) **1111359.4; 1210561.5**

(56) **WO-A1-2010122513**
EP-A1-2282248
US-A1-2010277091
US-A1-2004021425

(32) **2011.07.04; 2012.06.14**

(33) **GB**

(43) **2014.06.30**

(86) **PCT/GB2012/051448**

(87) **WO 2013/005002 2013.01.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭККБЮРИК ЛТД. (RU)

(72) Изобретатель:
Бэннистер Дейв (GB)

(74) Представитель:
Перегудова Ю.Б. (RU)

(57) Изобретение описывает регулятор тока для формирования регулируемого тока из входного напряжения. Регулятор тока содержит схему регулятора напряжения, выполненную с возможностью формирования регулируемого напряжения, которая содержит множество диодов Зенера, соединенных параллельно.

024576

B1

024576

B1

Настоящее изобретение относится к устройству для регулировки тока. В частности, настоящее изобретение относится к регулятору тока, подходящему для подачи тока возбуждения в устройства, такие как светоизлучающие диоды (СИД), и в другие устройства, которые чувствительны к флуктуациям тока.

Низкая стоимость и продолжающееся улучшение характеристик СИД привели в последние годы к росту их применения. Они широко применяются, например, в качестве осветительных элементов в приложениях, связанных с задней подсветкой, например задней подсветке жидкокристаллических дисплеев (ЖКД). Подсветка этого типа используется для обеспечения равномерного и постоянного освещения матрицы элементов ЖКД, из которых состоит дисплей. СИД также широко применяются в других приложениях, например в осветительных сборках, индикаторах состояния и дисплеях, установленных на большом количестве оборудования и установок. В этих приложениях СИД обычно размещаются в виде последовательно соединенных цепочек и на них подается, по существу, постоянный ток через драйвер постоянного тока. Поэтому такие драйверы включают в себя средство для регулировки тока.

Известно, что изменения тока возбуждения, подаваемого на СИД или цепочку СИД, которая образует часть осветительной системы, может оказывать негативное влияние на характеристики системы. Например, в многочисленных осветительных рекламных приложениях нестабильность тока возбуждения может привести к соответствующей нестабильности потребляемой мощности. Такая нестабильность, в общем, нежелательна в контексте светотехники, поставляемой на рынок, исходя из экономии энергии. К тому же, изменения тока могут в некоторых приложениях, требующих, например, смещения красно-зелено-синего (RGB) цветов, привести к изменениям хроматических свойств освещенной части, такой как знак. Кроме того, срок службы СИД и последовательно соединенной цепочки СИД связан с температурой перехода СИД/каждого СИД, которая, в свою очередь, частично связана с током, протекающим через СИД/каждый СИД. Поэтому точное управление током СИД может привести к повышению предсказуемости срока службы СИД. Кроме того, известно, что изменения тока, подаваемого драйвером СИД, могут возникать в результате изменений свойств компонентов вследствие либо изменений в процессе изготовления либо в результате изменений температуры. Другие требования к характеристикам драйверов СИД для осветительных систем относятся к надежности драйвера. Обычно она выражается через показатель, который называется средним временем между сбоями (MTBF). Для заданной электронной сборки и при использовании надежных компонентов этот показатель можно легко вычислить при условии, что известны электрические и термические напряжения, которые действуют на каждый компонент во время работы. В результате смешивания компонентов, обычно используемых в традиционных, так называемых драйверах СИД с режимом переключения, которые включают в себя полевые транзисторы со структурой металл-оксид-полупроводник (MOSFET) и электролитические конденсаторы, каждая из которых, как известно, имеют ограничения с точки зрения надежности при длительной эксплуатации. Соответствующие ограничения имеют место в отношении MTBF таких драйверов. С другой стороны, драйверы, использующие линейные средства регулировки тока вместо средств, работающих в переключательном режиме, обычно страдают от изменений тока, упомянутых ранее.

Поэтому весьма желательно, чтобы на СИД или цепочку СИД подавался, по существу, постоянный ток возбуждения. В частности, желательно, чтобы, по существу, постоянный ток возбуждения вырабатывался за счет использования электронных сборок с высоким MTBF, которые используют высоконадежные компоненты, такие как биполярные транзисторы, и которые избегают или, по меньшей мере, ограничивают потребность в электролитических конденсаторах. В случае драйверов СИД, работающих в переключательном режиме, в которых функция регулировки тока выполняется путем изменения формы сигнала напряжения, что позволяет успешно заряжать и разряжать элемент схемы, такой как индуктор, причем такой разряд имеет место через цепочку СИД, при этом в цепочке СИД можно вырабатывать, по существу, постоянный ток. Ток, поданный в цепочку СИД с помощью такого драйвера, работающего в переключательном режиме, зависит от ряда факторов, включающих в себя часть времени, в течение которого напряжение переключения находится в состоянии "ВКЛ.", во время которого заряд подается в цепочку СИД (эта часть называется "рабочим циклом" переключающего сигнала). Однако этот процесс переключения приводит к выработке сигналов электромагнитной помехи (EMI), которые делают необходимым использование структур фильтрующих EMI, которые, в свою очередь, используют электролитические конденсаторы. Поэтому с точки зрения возможности максимизации MTBF драйвера, может быть преимущественным построения драйвера СИД постоянного тока на основании схемы регулировки тока, которая не использует какие-либо элементы, работающие в переключательном режиме, при условии, что можно будет поддерживать точность тока, включая постоянство тока в зависимости от температуры. Общая цель настоящего изобретения состоит в обеспечении регулируемого тока, исходя из входного напряжения для того, чтобы обеспечить стабильный или, по существу, постоянный ток возбуждения для подачи в осветительные устройства, такие как СИД, или в другие устройства, которые подвержены неблагоприятному влиянию или чувствительны к флуктуациям тока. Предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения пытаются достичь этой цели предпочтительно без использования схемы, работающей в переключательном режиме, в рамках регулятора тока, тем самым проявляя тенденцию к увеличению надежности при длительной эксплуатации регулятора, а также уменьшая или устраняя потребность в электролитических конденсаторах в драйвере СИД на основании регулятора, тем самым

увеличивая дополнительно надежность при длительной эксплуатации драйвера СИД.

Известны устройства или схемы регулятора тока, которые пытаются обеспечить подачу тока в СИД или цепочку СИД, который является регулируемым или, по существу, постоянным по отношению к напряжению питания. Так называемые "регуляторы постоянного тока" можно реализовать в двухвыводных или трехвыводных топологиях. Фиг. 1а иллюстрирует случай двухвыводного регулятора, тогда как на фиг. 1b показан трехвыводной регулятор тока.

Однако даже при использовании устройства с регулятором тока могут по-прежнему возникать изменения тока возбуждения, подаваемого на цепочку СИД, по ряду причин. Разброс параметров при изготовлении, то есть изменения в пределах производственного допуска элементов схемы, определяющих ток, является одной из главных причин изменений, возникающих в токе питания/возбуждения СИД. Изменения также возникают вследствие "температурного коэффициента" схемы регулятора тока - другими словами, вследствие зависимости характеристик регулятора от температуры внешней среды или р-п перехода.

Из последующего обсуждения, относящегося к ранее рассмотренным регуляторам постоянного тока, станет ясно, что существует ряд недостатков, связанных с уровнем техники.

На фиг. 2 показана схема для типичного трехвыводного регулятора тока, который предназначен для возбуждения цепочки СИД (который также упоминается в патенте Бриеда и др. US2010/0277091). Минимальное "падение напряжения" на концах регулятора тока согласно схеме, показанной на фиг. 2, составляет приблизительно 1,3 В, что равно удвоенному падению напряжения база-эмиттер (v_{be}) (параллельно транзисторам Q1 и Q2). Одно из падений "падений напряжения v_{be} ", то есть на переходе база-эмиттер транзистора Q1, происходит на R1, что приводит к протеканию тока через R1, равного $v_{be1}/R1$. При условии, что транзистор Q2 пропускает пренебрежимо малый базовый ток, ток, протекающий через СИД, также равен $v_{be1}/R1$, где v_{be1} - напряжение база-эмиттер транзистора Q1. Следовательно, из-за характерной температурной зависимости v_{be} , вариация тока СИД, связанная с температурой, выраженная в виде доли номинального тока СИД, имеет вид

$$TC = (\delta I_{LED}/\delta T)/I_{LED} = (\delta v_{be1}/\delta T)/v_{be1_{nom}} \quad (1)$$

где $v_{be1_{nom}}$ - номинальное значение v_{be1} при стандартной температуре (300K). В схеме, показанной на фиг. 2, $v_{be1_{nom}}$ составляет приблизительно 0,6V и $\delta v_{be1}/\delta T$ составляет с очень хорошим инженерным приближением -2 мВ/К. Следовательно, наименьшее достижимое значение температурного коэффициента, TC, для этой схемы составляет $-0,0033 \text{ K}^{-1}$ (-0,33% на градус Кельвина или -3300 ppm (частей на миллион) на градус Кельвина). Токи, представленные для этого "стандартного решения" Бриедой и др. в табл. 1, показывают изменение, равное -0,35% на градус Кельвина. Это значение TC вызовет ток, подаваемый в цепочку СИД, изменяющийся в пределах +/- 9,25% во всем температурном диапазоне +/- 55 градусов по шкале Кельвина.

Решение, предложенное Бриедой и др., имеет недостаток, связанный с температурным коэффициентом TC, равным -0,0650% на градус Кельвина (-650 ppm/K). Это приводит в результате к изменению тока СИД +/- 3,6% в пределах +/- 55 градусов по шкале Кельвина. Это изменение делает решение Бриеда неподходящим для многих приложений, где возможны флуктуации температуры окружающей среды, и где оптический выход в единицах светового потока и/или хроматических индексах сборки СИД требуется сохранять, по существу, постоянным.

Поэтому, подводя итог вышесказанному, хотя схема Бриеда имеет некоторые преимущества с точки зрения экономической эффективности, эта схема позволяет получать минимальные значения температурного коэффициента TC, равного по величине приблизительно 650 ppm/K. Эта величина TC является по-прежнему значительной и ведет к изменениям приблизительно +/- 4% тока СИД во всем диапазоне специфических температур 30°C - +80°C.

В технике также известна обобщенная топология двухвыводной схемы, которая позволяет обеспечить, по существу, постоянный ток, ограниченный возможностями управления током и напряжением кремневого биполярного транзистора. Эта обобщенная топология показана на фиг. 3.

В рамках этой топологии устройство для регулировки напряжения (VRD) используется для регулировки напряжения параллельно последовательной комбинации из напряжения v_{be} база-эмиттер и резистора R, задающего ток. Если регулируемое напряжение на VRD равно V_{reg} , то ток, протекающий через резистор имеет вид

$$I_r = (V_{reg} - v_{be})/R \quad (2)$$

Позволяя двум таким токам смещать переходы база-эмиттер двух биполярных транзисторов, показанных на фиг. 3, общий регулируемый ток, протекающий через регулятор, определяется по формуле

$$I_T = 2 \cdot I_r = 2 \cdot (V_{reg} - v_{be})/R \quad (3)$$

Температурный коэффициент этого тока, который определяется (как и ранее) в виде относительного изменения тока I_T от температуры, определяется по формуле

$$TC = (\delta I_T/\delta T)/I_T = (\delta V_{reg}/\delta T - \delta v_{be}/\delta T)/(V_{reg} - v_{be}) \quad (4)$$

В технике известно, что для кремниевого биполярного транзистора значение $\delta v_{be}/\delta T$ составляет приблизительно -2mV/K, и что v_{be} (напряжение на прямо смещенном кремниевом р-п переходе) состав-

ляет приблизительно 0,7V.

Поэтому тепловой режим при регулировке тока зависит от характера и теплового режима VRD. В свете вышесказанного была раскрыта конкретная схема на основе этой обобщенной топологии, в которой VRD содержит последовательную комбинацию из диода с прямо смещенным p-n переходом и диода, работающего как "источник опорного напряжения, определяемого шириной запрещенной зоны". Эта схема показана на фиг. 4. Для этой схемы напряжение V_{reg} регулировки определяется по формуле

$$V_{reg} = V_{diode} + V_{bg} \quad (5)$$

Свойством диода, работающего как источник опорного напряжения, определяемого шириной запрещенной зоны, является то, что напряжение V_{bg} (типично 1,23В) на нем является, по существу, неизменным в зависимости от температуры, тогда как напряжение V_{diode} на диоде с прямо смещенным p-n переходом будет изменяться в зависимости от температуры таким же образом, как и переход база-эмиттер (который также представляет собой прямо смещенный p-n переход, пропускающий, по существу, тот же самый ток, как и диод). Поэтому тепловой режим V_{reg} будет идентичен тепловому режиму v_{be} , тем самым получая нулевой температурный коэффициент ТС для тока регулятора.

Однако существуют ограничения, налагаемые на характеристики и стоимость регуляторов этой конфигурации. В частности, кремниевый диод, работающий как источник опорного напряжения, определяемого шириной запрещенной зоны, поддерживающий на своих концах, равного 1,23В, работает вплоть типичного максимального тока 20 мА. Это определяет верхний предел общего тока регулятора I_T регулятора, равного 40 мА.

Кроме того, очень низкий дифференциальный импеданс диода с напряжением запрещенной зоны (который типично составляет менее 1 Ом) затрудняет параллельное соединение устройств этого типа наряду с перераспределением тока между ними. Фиг. 5 иллюстрирует данную проблему. На ней изображены вольтамперные характеристики двух диодов с напряжением запрещенной зоны, расположенные (для иллюстрации наихудшего случая) в каждом конце производственного разброса V_{bg} - для типичного диода диода с напряжением запрещенной зоной кремния, этот разброс ($V_{bg_2} - V_{bg_1}$) составляет приблизительно 8 мВ. Можно легко увидеть, что если два таких диода разместить параллельно, то диод с наименьшим значением V_{bg} (V_{bg_1}) будет иметь некоторую величину тока (который показан как I_{bg_1}), прежде чем другой диод начнет принимать ток. В результате, будет диапазон тока VRD, в пределах которого не будет происходить перераспределения тока и в пределах которого поэтому возможности управления током VRD и, следовательно, регулятором тока в целом будут ограничены возможностями управления током одного диода, работающего как источник опорного напряжения, определяемого шириной запрещенной зоны.

Изучая вольтамперную характеристику диода с напряжением запрещенной зоны с возможностью управления максимальным током 20мА (таким как LT1004-1.2) можно заметить, что напряжение на диоде 1 с напряжением запрещенной зоны на фиг. 5 имеет значение, которое, по существу, на 8 мВ выше, чем свое номинальное (малый ток) значение, тем самым гарантируя, что диод 2 с напряжением запрещенной зоны включается тогда, когда ток, протекающий через диод 1 с напряжением запрещенной зоны, достиг значения приблизительно 14 мА. Это означает, что диод 1 с напряжением запрещенной зоны и диод 2 с напряжением запрещенной зоны не перераспределяют ток до тех пор, пока ток, протекающий через диод 1 с напряжением запрещенной зоны, не достигнет значения, которое только на несколько миллиампер меньше своего максимально допустимого значения.

Кроме того, вследствие нелинейного характера вольтамперной характеристики диода с напряжением запрещенной зоны, где дифференциальный импеданс (скорость изменения напряжения в зависимости от тока) значительно выше при малом токе, чем при высоком токе, так как ток, протекающий через диод 1 с напряжением запрещенной зоны, увеличивается на 6 мА вплоть до своего предельно максимального значения 20 мА, при этом ток, протекающий через диод 2 с напряжением запрещенной зоны, будет увеличиваться на значительно меньшее значение по сравнению с ним (приблизительно 3 мА).

Следовательно, замена диода с напряжением запрещенной зоны в каждом VRD схемы согласно фиг. 4 на параллельную комбинацию из двух таких же диодов с напряжением запрещенной зоны, которое учитывает изменение V_{bg} при изготовлении, позволяет достоверно предположить повышение возможности управления током каждого VRD всего лишь на 9 мА по сравнению с желательным 20 мА. Поэтому достоверно предполагаемое повышение возможности управления током регулятора тока в целом будет только приблизительно 18 мА в отличие от желательного тока 40 мА. Действительно процесс уменьшения повторяется с точки зрения управления током на себестоимость единицы продукции. Важность этого является значительной в связи с тем, что диоды, работающие как источник опорного напряжения, определяемого шириной запрещенной зоны, не являются диодами с простой структурой, а представляют собой довольно сложные интегральные схемы, содержащие несколько элементов схемы. Типичный диод с опорным напряжением, определяемым шириной запрещенной зоны, 1,23 В содержит приблизительно 13 биполярных транзисторов и 8 резисторов, что вносит значительный вклад в общую стоимость регулятора тока.

В альтернативном подходе, в случае схемы согласно конфигурации, показанной на фиг. 4, будут сформированы параллельные комбинации взятого в целом VRD с малым рабочим током (где каждый

такой VRD с малым рабочим током представляет собой, как показано, последовательную комбинацию из диода с прямо смещенным р-n переходом и диода, работающего как источник опорного напряжения, определяемого шириной запрещенной зоны) для формирования VRD с высоким рабочим током. Однако это будет означать замену как диода с напряжением запрещенной зоны и диода с р-n переходом, тем самым снова значительно повышая себестоимость регулятора.

Как таковая, реализация общей топологии, показанная на фиг. 4, не предлагает экономически эффективного решения для сложной задачи обеспечения регулятора тока с низким температурным коэффициентом, который является программируемым во всем широком диапазоне постоянных токов.

Варианты осуществления настоящего изобретения пытаются облегчить проблемы и недостатки, связанные с ранее рассмотренными устройствами регуляторов тока. Рассмотрение требований к драйверу СИД для диапазона различных приложений приводит к наблюдению того, что существует потребность в устройстве регулятора тока, имеющего улучшенные тепловые характеристики вместе с возможностями точной установки тока, и которое предпочтительно работает во всем широком диапазоне заданных значений тока. Кроме того, принимая чувствительность к цене многих из этих приложений, драйверы СИД, нацеленные на исполнение этих потребностей, должны идеальным образом быть экономически эффективными. В терминах конфигурации схемы это означает реализацию решений, которые используют простые токовые топологии и простые компоненты. Например, экономически эффективным решением будет то, которое поддерживает малое количество транзисторов. Дополнительным преимуществом будет максимизация MTBF регулятора тока и, таким образом, драйвера СИД, входящего в его состав. К тому же желательно выполнить устройство регулятора тока, которое проявляет более низкую чувствительность в производственном допуске элементов схемы, определяющих ток, по сравнению с ранее рассмотренными решениями.

Согласно первому аспекту настоящего изобретения выполнен регулятор тока для обеспечения регулируемого тока из входного напряжения. Причем регулятор тока содержит
схему драйвера, содержащую резистор и транзистор; и
схему регулятора напряжения с возможностью обеспечения регулируемого напряжения в упомянутой схеме драйвера, где упомянутая схема регулятора напряжения содержит множество диодов Зенера, соединенных параллельно.

Предпочтительно схема драйвера и схема регулятора напряжения образуют первую схему регулятора тока. Предпочтительно первая схема регулятора тока перекрестно соединена со второй схемой регулятора тока. Предпочтительно в этом случае вторая схема регулятора тока может содержать
вторую схему драйвера, содержащую резистор и транзистор; и
вторую схему регулятора напряжения, выполненную с возможностью обеспечения регулируемого напряжения в упомянутой второй схеме драйвера, где упомянутая схема регулятора напряжения содержит множество диодов Зенера, соединенных параллельно.

Альтернативно, схема драйвера и схема регулятора напряжения образуют первую схему регулятора тока, которая соединена с резистивной суммирующей схемой.

Согласно второму аспекту настоящего изобретения выполнен регулятор тока для обеспечения регулируемого тока из входного тока, причем регулятор тока содержит
первую схему регулятора тока и вторую схему регулятора тока, где выход первой схемы регулятора тока перекрестно соединен с упомянутой второй схемой регулятора тока, при этом каждая из первой и второй схем регулятора тока содержит
схему драйвера, содержащую резистор и транзистор; и
схему регулятора напряжения, выполненную с возможностью обеспечения регулируемого напряжения в соответствующей схеме драйвера, где упомянутая схема регулятора напряжения содержит множество диодов Зенера, соединенных параллельно.

Согласно вариантам осуществления второго аспекта настоящего изобретения выход первой схемы регулятора тока перекрестно соединен с упомянутой второй схемой регулятора тока таким образом, чтобы коллектор транзистора первой схемы регулятора тока был соединен с положительным выводом схемы регулятора напряжения второй схемы регулятора тока.

Предпочтительно диоды Зенера схемы регулятора напряжения/каждой схемы регулятора напряжения содержат кремниевые диоды Зенера. Транзисторы, которые используются в перекрестно соединенной схеме регулятора тока этого типа предпочтительно образуют "комплементарную пару", где один транзистор является кремниевым биполярным транзистором р-n-p типа, а другой - кремниевым биполярным транзистором n-p-n типа.

Согласно третьему аспекту настоящего изобретения выполнена схема регулятора напряжения для использования в схеме регулятора тока, содержащего множество диодов Зенера, соединенных параллельно.

Варианты осуществления настоящего изобретения преимущественно используют вполне определенное напряжение пробоя диодов Зенера в качестве средства для регулировки напряжения, прикладываемого к схеме драйвера устройства регулятора тока для того, чтобы вырабатывать стабилизированный ток для подачи в заданную нагрузку.

Обеспечение множества диодов Зенера, которые соединены параллельно для образования схемы регулятора напряжения согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, является преимуществом в том, что оно без труда облегчает выработку широкого диапазона регулируемых значений (I_T) тока. В частности, диапазон программирования токов регулятора тока, осуществляющего настоящее изобретение, можно преимущественно выбрать в соответствии с количеством диодов Зенера, которые используются в каждой схеме регулятора напряжения, или в устройстве регулятора напряжения (VRD). Таким образом, согласно вариантам осуществления настоящего изобретения отсутствует необходимость в параллельном соединении или дублировании всей схемы для того, чтобы достичь диапазона значений постоянных токов. Таким образом, части, которые дублируются согласно настоящему изобретению (то есть диоды Зенера), являются простыми, относительно недорогими элементами схемы. Это преимущественно обеспечивает очень экономически эффективные решения проблемы обеспечения диапазона регулируемых значений тока, тем самым делая пригодными варианты осуществления настоящего изобретения для стабилизации схемы возбуждения для разнообразных приложений.

Для кремниевых диодов Зенера с напряжениями V_Z Зенера менее чем приблизительно 5,5 В существует значение тока $I_{z,opt}$, протекающего через диод Зенера, при котором скорость изменения напряжения Зенера в зависимости от температуры, по существу, равно скорости изменения напряжения v_{be} база-эмиттер кремниевого биполярного транзистора (по существу, -2 мВ/К). Однако диоды Зенера с этими напряжениями Зенера отличаются как по значению $I_{z,opt}$, при котором удовлетворяется это условие теплового баланса, так и по значению импеданса Зенера Z_Z при любом заданном токе. В предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения используется тот факт, что в перекрестно соединенной схеме VRD можно спроектировать с использованием низковольтных диодов Зенера, которые выбираются на основании наличия тока $I_{z,opt}$, при котором скорость изменения напряжения Зенера в зависимости от температуры, по существу, равна скорости изменения напряжения v_{be} база-эмиттер кремниевого биполярного транзистора в зависимости от температуры.

Кроме того, согласно особенно предпочтительному варианту осуществления диоды Зенера выбираются таким образом, чтобы скорость изменения напряжения Зенера от температуры $\delta V_Z/\delta T$ имела бы минимальное изменение от тока для значений тока Зенера, равных приблизительно $I_{z,opt}$, тем самым обеспечивая широкий диапазон программируемых токов, протекающих через регулятор, воплощающий настоящее изобретение, в пределах которого зависимость от температуры каждого тока во всем этом программируемом диапазоне является преимущественно маленькой.

Таким образом, согласно предпочтительным вариантам настоящего изобретения диоды Зенера проявляют низкое напряжение Зенера, то есть менее чем 5,5 В. Предпочтительно диоды Зенера проявляют напряжение Зенера между 2,0 и 3,0 В. Специалистам в данной области техники будет очевидно, что напряжение Зенера данного диода Зенера определяется в соответствии с определением номинального напряжения Зенера как напряжение на диоде при определенном токе, протекающем через диод. Типичный ток диода Зенера, при котором измеряется измерение Зенера, составляет 5 мА.

В предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения используется тот факт, что кремниевые диоды Зенера с низкими значениями напряжения Зенера склонны иметь более высокие значения дифференциального импеданса Зенера Z_Z по сравнению как с высоковольтными диодами Зенера, так и с диодами с напряжением запрещенной зоны. Эти более высокие значения Z_Z преимущественно гарантируют в пределах ограничений, определяемых производственным допуском на напряжение Зенера, то, что такие диоды Зенера можно соединять параллельно, и они могут перераспределять приблизительно равномерно, ток, протекающий через параллельную комбинацию. Это преимущественно гарантирует то, что можно выбрать несколько диапазонов токов регулятора, в пределах которых температурная зависимость тока будет маленькой и будет иметь значение, равное нулю, в пределах этого диапазона. Каждый упомянутый диапазон относится к заданному числу диодов Зенера на одно VRD.

Предпочтительно варианты осуществления настоящего изобретения пытаются облегчить проблему, которая обычно возникает в результате изменений параметров напряжения Зенера при изготовлении в любом заданном диоде Зенера или на самом деле изменений при изготовлении выпрямительных диодов, таких как те, которые используются в уровне техники (см. ссылку 2), то есть соответствующих изменениям программируемого тока I_T регулятора. Это выполняется за счет гарантии того, что ток, протекающий через регулятор согласно настоящему изобретению, изменяется в соответствии со средним напряжением Зенера в пределах каждого параллельного стека диода Зенера, где изменения этого среднего значения будут подчиняться статистическому распределению, определяемому центральной предельной теоремой статистики, посредством чего среднеквадратическое отклонение среднего напряжения Зенера в пределах каждого VRD уменьшается на фактор квадратного корня из числа диодов Зенера на одно VRD по сравнению со среднеквадратическим отклонением напряжением Зенера для одного диода Зенера. Это приводит к уменьшенному изменению среднего напряжения Зенера в пределах VRD и поэтому к уменьшенным относительным изменениям регулируемого тока в вариантах с более высоким током схемы регулятора тока согласно настоящему изобретению.

Как будет обсуждено более подробно здесь, устройство для регулировки напряжения (VRD) согласно вариантам осуществления настоящего изобретения является особенно преимущественным в том,

что параллельная комбинация диодов Зенера служит не только для выполнения функции регулировки напряжения, но также в предпочтительных вариантах осуществления может служить для компенсации температурной зависимости транзистора возбуждения для того, чтобы достичь функции теплового баланса во всем диапазоне токов, содержащем ряд поддиапазонов, где каждый поддиапазон соответствует конкретному числу параллельных диодов Зенера на одно VRD. Схемы регулятора тока согласно настоящему изобретению предпочтительно обеспечивают регулируемый ток, для которого температурная зависимость регулируемого тока преимущественно уменьшается до значения, измеренного в десятках частей на миллион на градус Кельвина. Действительно, согласно особо предпочтительным вариантам осуществления настоящего изобретения значение температурного коэффициента ТС, по существу, равно нулю при специфических предпочтительных токах в пределах каждого поддиапазона.

Кроме того, будет оценено, что поскольку можно достичь этих характеристик согласно вариантам осуществления настоящего изобретения посредством схемы, содержащей только биполярные транзисторы, диоды Зенера и резисторы, варианты осуществления настоящего изобретения представляют собой особенно экономически эффективный регулятор тока. Таким образом, варианты осуществления настоящего изобретения находят конкретное применение в осветительных устройствах на основе СИД, в устройствах подсветки на основе СИД, включая подсветки для больших дисплеев общего пользования, а также СИД-дисплеи, архитектурное освещение и приложения, связанные с подсветкой наружной рекламы, не прибегая к дополнительным средствам для коррекции температурного дрейфа тока регулятора.

Таким образом, предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения преимущественно обеспечивают экономически эффективную схему регулировки с улучшенной температурной характеристикой (то есть со значениями температурных коэффициентов, которые меньше тех, которые связаны с ранее рассмотренными решениями), которая позволяет работать во всем диапазоне заданных значений токов и которая имеет возможность точной установки.

Согласно четвертому аспекту настоящего изобретения выполнен осветительный аппарат, содержащий один или более СИД, причем осветительный аппарат содержит регулятор тока согласно варианту осуществления первого или второго аспекта.

Осветительный аппарат может, например, содержать осветительный прибор, содержащий СИДы, вместе с одним или более драйверами СИД, где каждый из упомянутых драйверов СИД содержит один или более текущих регуляторов.

Для лучшего понимания настоящего изобретения и чтобы показать то, как то же самое можно привести в исполнение, будет дана ссылка посредством примера на сопроводительные чертежи, на которых

на фиг. 1 показаны обобщенные топологии схем регуляторов тока согласно уровню техники;

на фиг. 2 показаны обобщенные топологии трехвыводной схемы регулятора тока согласно уровню техники;

на фиг. 3 показана обобщенная топология двухвыводной схемы регулятора тока согласно уровню техники;

на фиг. 4 показана конфигурация схемы регулятора тока согласно уровню техники;

на фиг. 5 изображено графическое представление вольтамперных характеристик (ВАХ) двух диодов с напряжением запрещенной зоны;

на фиг. 6 показана схема регулятора тока согласно варианту осуществления настоящего изобретения;

на фиг. 7 показана схема регулятора тока согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения и

на фиг. 8 изображено графическое представление вольтамперных характеристик (ВАХ) диодов Зенера.

На фиг. 6 показана двухвыводная схема регулятора тока согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения, причем схема регулятора тока имеет первую схему С1 регулятора тока, перекрестно соединенную со второй схемой С2 регулятора тока. Первая схема С1 регулятора тока содержит схему драйвера, имеющую резистор R1 и биполярный транзистор T1. Первая схема регулятора тока также содержит схему VRC1 регулятора напряжения, содержащую множество диодов Зенера $Z1_1, Z1_2... Z1_n$, соединенных параллельно. Вторая схема С2 регулятора тока содержит схему драйвера, имеющую резистор R2 и биполярный транзистор T2. Вторая схема регулятора тока также содержит схему VRC2 регулятора напряжения, содержащую множество диодов Зенера $Z2_1, Z2_2... Z2_n$, соединенных параллельно.

Источник напряжения возбуждает ток IT в узле W, который соединяет резистор R1 и положительный вывод схемы VRC1 регулятора напряжения первой схемы С1 регулятора тока таким образом, чтобы ток IT был поделен между резистором R1 и VRC1. Резистор R1 соединен с эмиттером e транзистора T1. Ток коллектора биполярного транзистора T1, который определяется с помощью значения R1, напряжения, вырабатываемого VRC1, и напряжения Vbe база-эмиттер транзистора T1, подается на положительный вывод схемы VRC2 регулятора напряжения второй схемы С2 регулятора тока и на базу транзистора T2 в узле Y. Узел X соединяет отрицательный вывод VRC1, базу T1 и коллектор T2. Резистор Rn является проточным источником теплового шума, который используется для "запуска" схемы.

Предполагается, что пренебрежимо малый базовый ток I_{VRD1} при T2 равен току коллектора при T2.

Кроме того, ток коллектора T2 определяется с помощью значения R2, напряжения, полученного с помощью VRC2 и напряжения vbe база-эмиттер транзистора T2. Отрицательный вывод VRC2 соединен с R2, образуя выходной узел Z, через который протекает IT в заданную нагрузку.

В силу перекрестного соединения этой схемы два транзистора преимущественно выполнены с токами смещения базы.

Согласно вышеупомянутому варианту осуществления один из резисторов может сохранять постоянное значение, тогда как другой используется в качестве резистора для программирования тока. Альтернативно оба резистора могут быть переменными для того, чтобы они оба служили в качестве резисторов для программирования тока.

Согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения, показанному на фиг. 7, схема C1 регулятора тока соединена с резистивной суммирующей схемой RSC.

Специалисты в данной области техники оценят, что возможны различные конфигурации для резистивной суммирующей схемы. Например, в конкретном примере, показанном на фиг. 7, резистивные суммирующие схемы содержат множество резисторов, соединенных параллельно.

Ниже описаны свойства и принципы предпочтительных вариантов осуществления настоящего изобретения.

Установка точности: "Установка точности" регулятора тока согласно вариантам осуществления настоящего изобретения обсуждена здесь с точки зрения изменений тока, выполняемых таким регулятором, которые вызваны случайными изменениями свойств элементов схемы. Следует отметить, что хотя как случайные ошибки, так и детерминированные ошибки происходят в любой схеме, случайные ошибки вызывают разброс характеристик схемы. Детерминированные ошибки вызывают фиксированные "отклонения" между проектными и реальными характеристиками. Точность установки любой схемы постоянного тока, по существу, выражается в виде относительного изменения регулируемого тока. Таким образом, для схемы по общей топологии, показанной на фиг. 3:

$$\Delta I_T / I_T = (\Delta V_{reg} + \Delta v_{be}) / (V_{reg} - v_{be}) \quad (6)$$

где ΔV_{reg} - производственный разброс V_{reg} , и Δv_{be} - производственный разброс напряжений v_{be} . В настоящем изобретении напряжение V_{reg} регулировки обеспечивается с помощью низковольтных диодов Зенера, и поэтому $\Delta V_{reg} = \Delta V_z$. Этот разброс по V_{reg} значительно больше (на множитель, равный приблизительно 10), чем разброс напряжений v_{be} . Поэтому

$$\Delta I_T / I_T \approx \Delta V_z / (V_{reg} - v_{be}) \quad (7)$$

Типично для диода Зенера с низким напряжением (<5,5 В) ΔV_z статистический разброс напряжения Зенера составляет приблизительно 10%, приравненный к разбросу +/-5% по V_z . Уравнение (6) показывает, что использование диодов Зенера низкого напряжения вызовет при отсутствии какого-либо средства коррекции большое изменение I_T с производственным допуском V_z , иными словами, плохую точность установки тока. Поэтому становится желательным, в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения объединить диоды Зенера таким образом, чтобы улучшить этот эффект.

Согласно вариантам осуществления настоящего изобретения используется статистическая теорема, известная как центральная предельная теорема. Один результат этой теоремы состоит в том, что если переменная x распределена согласно нормальному распределению со средним μ и среднеквадратическим отклонением σ , то среднее значение выборок с размером N будет распределено согласно нормальному распределению с тем же самым средним μ и среднеквадратическим отклонением σ/\sqrt{N} .

Рассмотрим случай диода Зенера с номинальным напряжением V_z Зенера и производственным допуском ΔV_z . Значение ΔV_z будет относиться к среднеквадратическому отклонению σ (V_z) статистики "от пластины к пластине" V_z . Типично значение, приведенное для производственного разброса V_z , будет составлять приблизительно +/- 3. $\sigma(V_z)$ - "шесть сигма разброса".

Если выборки из N диодов Зенера получаются из этого "глобального распределения" для формирования каждого параллельного стека диодов, то среднее значение напряжения Зенера $\langle V_z \rangle$ в пределах каждой выборки будет иметь среднее значение $\langle \langle V_z \rangle \rangle$, равное номинальному напряжению V_z Зенера и среднеквадратическому отклонению $\sigma(V_z)/\sqrt{N}$.

Согласно вариантам осуществления настоящего изобретения, в которых используется схема регулировки напряжения (VRC), выполнена VRC/каждая VRC, которая содержит параллельный стек диодов Зенера, каждый из которых имеет одинаковое номинальное напряжение V_z Зенера.

Регулятор, имеющий два стека диодов, пропускающих токи I_{s1} и I_{s2} , имеет общий регулируемый ток I_T , представленный с помощью уравнения

$$I_T = I_{s1} + I_{s2} \quad (8)$$

Таким образом,

$$I_T = [(\langle V_{z2} \rangle - v_{be}) + (\langle V_{z1} \rangle - v_{be})] / R \quad (9)$$

Изменение этого общего тока имеет вид

$$\text{Var}(I_T) = (\text{Var}(\langle V_{z2} \rangle) + \text{Var}(\langle V_{z1} \rangle)) / R^2 \quad (10)$$

Из центральной предельной теоремы

$$\text{Var}(\langle V_{z2} \rangle) = \text{Var}(\langle V_{z1} \rangle) = \text{Var}(V_z) / N \quad (11)$$

Поэтому

$$\text{Var}(I_T) = 2 \cdot \text{Var}(V_Z) / (N \cdot R^2) \quad (12)$$

Можно показать, что номинальный регулируемый ток $I_{T\text{ном}}$, проходящий через регулятор, имеет вид

$$I_{T\text{ном}} = 2 \cdot (V_Z - v_{be}) / R \quad (13)$$

где V_Z принимает свое номинальное значение, которое указано в спецификации производителя.

Стандартное отклонение I_T определяется по формуле

$$\sigma(I_T) = \text{SqrtVar}(I_T) = \text{Sqrt}(2/N \cdot R^2) \cdot \sigma(V_Z) \quad (14)$$

"Установка точности" I_T задается разбросом I_T (ΔI_T) в виде дробной части $I_{T\text{ном}}$, где разброс равен $6 \cdot \sigma(I_T)$. Аналогичным образом, производственный V_Z (ΔV_Z) равен $6 \cdot \sigma(V_Z)$.

Поэтому

$$\Delta(I_T) = \text{Sqrt}(2/N \cdot R^2) \cdot \Delta(V_Z) \quad (15)$$

$$\Delta(I_T) I_{T\text{ном}} = \text{Sqrt}(2/N \cdot R^2) \cdot \Delta(V_Z) / I_{T\text{ном}} \quad (16)$$

$$\Delta(I_T) I_{T\text{ном}} = \Delta(V_Z) / [\text{Sqrt}(2 \cdot N) \cdot (V_Z - v_{be})] \quad (17)$$

где N - число диодов Зенера в каждом стеке. Поэтому эта относительная ошибка тока регулятора для регулятора согласно настоящему изобретению уменьшается в зависимости от числа диодов Зенера в стеке на множитель $\text{Sqrt}(2 \cdot N)$.

Температурный коэффициент и диапазон программирования тока

Температурный коэффициент тока для регулятора, воплощающего вариант осуществления определяется с помощью уравнения

$$TC = (\delta V_Z / \delta T - \delta v_{be} / \delta T) / (V_Z - v_{be}) \quad (18)$$

Этот температурный коэффициент, по существу, равен нулю, когда ток, протекающий через каждый диод Зенера равен $I_{Z,\text{opt}}$ (значение тока Зенера, при котором $\delta V_Z / \delta T = \delta v_{be} / \delta T$). Следовательно, существует значение тока регулятора I_T , при котором TC , по существу, равен нулю. Поэтому для оптимальной тепловой характеристики эти значения I_T становятся предпочтительными рабочими токами для регулятора, воплощающего настоящее изобретение.

Так как ток Зенера I_Z отклоняется от этого оптимального значения, значение TC изменяется. Предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения пытаются обеспечить диапазон программирования токов, в пределах которого TC отклоняется от нуля только на маленькую величину. В иллюстративных целях предположим, что этот диапазон программирования токов будет представлять собой диапазон, в пределах которого значение TC ограничено в пределах диапазона ± 75 ppm на градус Кельвина. Поэтому при определении верхнего и нижнего граничных значений температурного коэффициента TC , как $TC_U = 7,5 \times 10^{-5}$ на градус по шкале К и $TC_L = -7,5 \times 10^{-5}$ на градус по шкале К, верхнее и нижнее значения $\delta V_Z / \delta T$, соответствующие двум границам диапазона программирования токов имеют вид:

$$(\delta V_Z / \delta T)_L = TC_L \cdot (V_{Z_U} - v_{be}) + \delta v_{be} / \delta T \quad (19)$$

и

$$(\delta V_Z / \delta T)_U = TC_U \cdot (V_{Z_L} - v_{be}) + \delta v_{be} / \delta T \quad (20)$$

где TC_U - верхнее граничное значение TC , которое соответствует нижней границе тока Зенера; TC_L - нижняя граница TC , которая соответствует верхней границе тока Зенера; V_{Z_U} и V_{Z_L} обозначают значения напряжения Зенера для верхнего и нижнего пределов тока Зенера соответственно. Эти значения V_Z можно точно аппроксимировать, предполагая априори, что диапазон токов, протекающих через средний диод Зенера в пределах каждого стека, составляет приблизительно 10-20 мА. Этот диапазон токов центрируется по значению тока Зенера, которое соответствует значению $I_{Z,\text{opt}}$ для диода Зенера с напряжением 2,4В, выбранным по причинам, приведенным позже. Затем точные значения I_Z ($I_{Z,U}$ и $I_{Z,L}$), соответствующие нижнему верхнему значению $\delta V_Z / \delta T$, соответственно, можно обычно получить из спецификации производителя на диоды Зенера. Соответствующее значение I_T имеет вид

$$I_{T,U} = 2 \cdot N \cdot I_{Z,U} \text{ и } I_{T,L} = 2 \cdot N \cdot I_{Z,L} \quad (21)$$

Предполагая, что биполярные транзисторы имеют высокие значения $\beta(I_C/I_B)$, общий ток, протекающий через регулятор в центре своего диапазона программирования для заданного значения N , определяется из уравнения

$$I_{T,\text{cen}} = 2 \cdot N \cdot I_{Z,\text{opt}} \quad (22)$$

Из уравнения (9) значение программирующего резистора, соответствующего этому центральному значению тока, определяется из уравнения:

$$R = 2 \cdot (\langle V_Z \rangle - v_{be}) / I_{T,\text{cen}} \quad (23)$$

где $\langle V_Z \rangle$ принимает значение номинального напряжения Зенера при $I_{Z,\text{opt}}$. Для значений общего тока регулятора в другом месте в пределах диапазона программирования

$$R = 2 \cdot (\langle V_Z \rangle - v_{be}) / I_T \quad (24)$$

Перераспределение тока

В технике известно, что возникают трудности при параллельном соединении диодов Зенера. Эти трудности относятся к степени, с которой диоды Зенера перераспределяют ток - аналогично случаю опорных диодов с напряжением запрещенной зоны, которые используются в уровне техники, изобра-

женном на фиг. 4. Если дифференциальный импеданс Зенера (скорость изменения напряжения V_z Зенера в зависимости от тока) при приблизительно рабочем токе на один диод Зенера ($I_{z,opt}$) является недостаточно высоким или если производственный разброс V_z (ΔV_z) является слишком высоким, то диод Зенера с наименьшим напряжением Зенера в стеке будет принимать весь (или, по меньшей мере, большую часть) ток. Чтобы противодействовать этой проблеме и тем самым обеспечить, чтобы все диоды Зенера в каждом стеке были включены, предпочтительно использовать диоды Зенера с маленьким производственным разбросом по напряжению Зенера и номинальным напряжением Зенера, для которого импеданс Зенера при $I_{z,opt}$ составляет больше нескольких Ом. Таким образом, согласно предпочтительным вариантам осуществления маленькое изменение существует между напряжениями Зенера диодов Зенера. Дифференциальный импеданс Зенера обычно рассматривается как "паразитный" или нежелательный импеданс. Однако в контексте настоящего изобретения это значительно облегчает перераспределение тока.

Это показано путем ссылки на фиг. 8, на которой изображены вольтамперные характеристики (ВАХ) диодов Зенера Z_1 и Z_2 , причем напряжения Зенера лежат на границах диапазона производственных допусков для заданного номинального напряжения Зенера. Напряжение Зенера каждого диода Зенера определяется, в соответствии с определением номинального напряжения Зенера, как напряжение на диоде при определенном токе диода, который обычно составляет 5 мА. Кроме того, принимая во внимание конфигурацию регулятора, использующего такие диоды Зенера, посредством чего номинальный ток Зенера составляет $I_{z,opt}$, токи, протекающие через диоды Zener 1 и Zener 2, показанные на фиг. 6, расположены на любой стороне от этого значения. Поэтому при проектировании зависимость между $(I_{z_1} - I_{z_2})$ и $(V_{z_2} - V_{z_1})$ имеет вид

$$(I_{z_1} - I_{z_2}) = (V_{z_2} - V_{z_1})/R_z \quad (25)$$

где R_z - сопротивление Зенера (действительная часть импеданса Зенера Z_z) при $I_{z,opt}$. Для типичного кремниевого диода Зенера с напряжением 2,4 В (упомянутым по причинам, приведенным позже) R_z составляет приблизительно 350 м, и $I_{z,opt}$ составляет, по существу, 14,5 мА. Производственный разброс V_z ($V_{z_2} - V_{z_1}$) составляет типично 0,24 В. Поэтому разность токов, протекающих через диоды Zener 1 и Zener 2, в наихудшем случае составляет приблизительно 7 мА. Это означает, что диод Zener 1 пропускает ток $I_{z,opt}$ плюс 3,5 мА ($I_{z_1} = 18$ мА), тогда как диод Zener 2 пропускает ток $I_{z,opt}$ минус 3,5 мА ($I_{z_2} = 11$ мА). При проверке теплового режима типичного кремниевого диода Зенера с напряжением 2,4 В, типичной скорости изменения V_{z_1} и V_{z_2} в зависимости от температуры составляют (при 18 и 11 мА, соответственно), по существу, -2,1 мВ/К и -1,9 мВ/К. Поэтому средняя скорость изменения напряжения Зенера в зависимости от температуры составляет, по существу, -2,0 мВ/К, что желательно для оптимального теплового режима ($\delta V_z/\delta T - \delta v_{be}/\delta T$) при номинальном токе в диоде Зенера $I_{z,opt}$.

Поэтому в отличие от схемы, использующей комбинации диодов с прямо смещенным p-n переходом и опорных диодов с напряжением запрещенной зоны, схема, воплощающая вариант осуществления, преимущественно использует опорные напряжения с перераспределением токов (низковольтные диоды Зенера) в пределах каждого VRD. С учетом того, что в отличие от опорных диодов с напряжением запрещенной зоны, такие низковольтные диоды Зенера представляют собой простые структуры с p-n переходом, это обеспечивает экономически эффективное средство, с помощью которого возможность управления и, таким образом, диапазон программирования токов регулятора тока можно выбирать согласно количеству таких низковольтных диодов Зенера, используемых в каждом VRD.

Полезность этого обхода показана путем ссылки на ряд различных вариантов осуществления, каждый из которых отличается с точки зрения числа диодов Зенера в VRD.

Предпочтительными критериями выбора для диодов Зенера, используемых в предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения, являются с учетом нижеизложенного:

1. Значение ΔV_z (производственный разброс для V_z - то есть изменения, возникающие между напряжениями Зенера у множества диодов Зенера, которые содержатся в данном VRD) должно быть низким. Это преимущественно гарантирует хорошую установку точности и облегчает перераспределение тока.

2. Импеданс Z_z Зенера должен быть высоким при рабочем токе на диод $I_{z,opt}$ для того, чтобы преимущественно обеспечить перераспределение тока.

3. V_z при $I_{z,opt}$ должно быть низким для того, чтобы достичь низкого "напряжения отпускания", которое равно $2xV_z$.

4. Скорость изменения $\delta V_z/\delta T$ в зависимости от тока ($\delta V_z/\delta T \cdot \delta I_z$) должна быть низкой для токов, равных приблизительно $I_{z,opt}$, для того, чтобы преимущественно достичь широкого диапазона программируемых токов.

5. Значение $I_{z,opt}$ должно быть низким для случаев, где особенно важной является точность установки заданного тока, так как это заставляет N быть высоким для любого заданного значения тока регулятора.

Проверка данных теплового режима для нескольких коммерчески доступных кремниевых диодов Зенера показывает, что первые четыре из этих критериев, по существу, удовлетворяют выбору диода Зе-

нера с низким напряжением Зенера или предпочтительно с самым низким доступным напряжением Зенера - обычно 2,4 В при опорном токе напряжения Зенера 5 мА. Для приложений, в которых точность установки заданного тока является особенно важной, можно выбрать немного выше напряжение Зенера (по существу, 3,0 В при 5 мА), так как это соответствует более низкому значению $I_{z,opt}$, удовлетворяющему предпочтительному критерию 5 выбора.

Примерные варианты осуществления

Для типичного кремниевого диода Зенера с напряжением 2,4 В, где напряжение Зенера измерено при токе Зенера 5 мА, напряжение Зенера при $I_{z,opt}$ (которое равно, по существу, 14,5 мА) составляет 2,9 В. К тому же, для типичного n-p-n или p-n-p кремниевого транзистора, пропускающего значительный ток эмиттера, $v_{be} \approx 0,7\text{В}$.

$$\Delta V_z = 0,24 \text{ В}$$

$$I_{z,opt} = 14,5 \text{ мА}$$

$$Z_z @ I_{z,opt} = 35 \text{ Ом}$$

$$V_z @ I_{z,opt} = 2,9 \text{ В}$$

$$V_z @ 10 \text{ мА (значение, принятое для } V_{zL}) = 2,75 \text{ В}$$

$$V_z @ 20 \text{ мА (значение, принятое для } V_{zU}) = 3,1 \text{ В}$$

$$(\delta V_z / \delta T)_U = -1,85 \text{ мВ/К}$$

$$(\delta V_z / \delta T)_L = -2,18 \text{ мВ/К}$$

$$I_{z,L} = 9,5 \text{ мА}, I_{z,U} = 23,5 \text{ мА}$$

Метрику характеристики можно вычислить из этих фигур, предполагая, что резисторы (R) имеют нулевой температурный коэффициент. На практике, резисторы со сверхнизким температурным коэффициентом показывают значительный рост стоимости. Однако в настоящее время толсто пленочные бескорпусные резисторы являются доступными и имеют температурные коэффициенты $\pm 25 \text{ ppm/K}$ во всем требуемом диапазоне сопротивлений и точность сопротивления $\pm 0,1\%$. Метрика характеристики для диапазона N от 1 до 6 представлена в таблице.

N	Центральный ток $I_{T,cen}$ (мА) (при котором $TC = 0$)	R @ $I_{T,cen}$ (Ом)	Точность установки тока @ $I_{T,cen}$	Диапазон программируемых токов, в пределах которого $-75 \text{ ppm/K} < TC < +75 \text{ ppm/K}$	
				$I_{T,L}$ (мА)	$I_{T,U}$ (мА)
1	29	151,7	$\pm 5,5 \%$	19	47
2	58	75,86	$\pm 3,9 \%$	38	94
3	87	50,57	$\pm 3,2 \%$	57	141
4	116	37,93	$\pm 2,7 \%$	78	188
5	145	30,34	$\pm 2,4 \%$	97	235
6	174	25,29	$\pm 2,2 \%$	116	282

Это показывает, что варианты осуществления настоящего изобретения преимущественно обеспечивают топологию для регулятора тока, на основании которой можно проектировать регуляторы, которые обеспечивают диапазон заданных токов от приблизительно 20 до приблизительно 280 мА, в котором поддерживается температурный коэффициент тока, принимающий значение между -75 ppm на градус Кельвина и $+75 \text{ ppm}$ на градус по шкале Кельвина ($-0,0075\%$ на градус по шкале Кельвина и $+0,0075\%$ на градус по шкале Кельвина). Каждый вариант осуществления настоящего изобретения содержит два биполярных кремниевых транзистора и ряд низковольтных кремниевых диодов Зенера, преимущественно обеспечивающих решение с низкой себестоимостью.

Производственные вариации значения $I_{z,opt}$ будут заметно отрегулированы за счет спецификации изделия, спроектированного согласно конкретному варианту осуществления настоящего изобретения, во всем более узком диапазоне программируемых токов. Реальный диапазон токов, в пределах которого можно специфицировать температурный коэффициент, равный $\pm 75 \text{ ppm}$ на градус Кельвина, будет составлять приблизительно 25-220 мА. В случаях, где низкое напряжение отпуская и поэтому низкое напряжение Зенера является менее важным, чем точность установки, преимущественным будет использование диодов Зенера, имеющих немного выше напряжение Зенера, в соответствии с потребностью поддержания высокого импеданса Зенера. Такие диоды Зенера с незначительно более высоким напряжением (например, 3,0В) имеют более низкие значения $I_{z,opt}$. Это означает, что для любого заданного тока регулятора, потребуется более высокое число диодов Зенера в каждом стеке, что приведет в силу центральной предельной теоремы к большей точности установки для этого тока регулятора. В случаях, где требуется значение TC, по существу, равно нулю при специфическом токе I_{spec} или в пределах маленького диапазона заданных токов с центральным током I_{spec} , можно выбрать значение напряжения Зенера, для которого кремниевые диоды Зенера имеют значение $I_{z,opt}$, определяемое по формуле:

$$I_{z,opt} = I_{spec} / 2 \cdot N \quad (26)$$

где N - целое число и соответствует количеству диодов Зенера в VRD в такой схеме регулятора.

Например, можно показать, что для $V_z = 2,7 \text{ В}$, соответствующее значение $I_{z,opt}$ для кремниевого диода Зенера составляет типично 5 мА. Поэтому можно спроектировать схему регулятора тока, вопло-

шающую настоящее изобретение, которая использует два таких диода Зенера в VRD и которая имеет температурный коэффициент тока ТС, равный, по существу, нулю для общего регулятора тока I_T , равного 20 мА.

Кроме того, для того, чтобы облегчить программирование тока, можно использовать регулятор, воплощающий настоящее изобретение, где один из программирующих резисторов поддерживается постоянным (на центральном значении тока для заданного N), тогда как другой используется в качестве программирующего резистора.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Регулятор тока для формирования регулируемого тока из входного напряжения, содержащий драйвер, содержащий резистор и транзистор; и регулятор напряжения, выполненный с возможностью формирования регулируемого напряжения для упомянутого драйвера, при этом упомянутый регулятор напряжения содержит множество диодов Зенера, соединенных параллельно,

причем каждый диод Зенера имеет напряжение Зенера менее 5,5 В и вариация напряжения Зенера между диодами Зенера в указанном множестве диодов Зенера составляет от 0,1 до 0,3 В.

2. Регулятор тока по п.1, в котором упомянутый драйвер и упомянутый регулятор напряжения образуют первый регулятор тока и упомянутый первый регулятор тока перекрестно связан со вторым регулятором тока.

3. Регулятор тока по п.2, в котором упомянутый второй регулятор тока содержит второй драйвер, содержащий резистор и транзистор; и

второй регулятор напряжения, выполненный с возможностью формирования стабилизированного опорного напряжения для упомянутого второго драйвера, при этом упомянутый второй регулятор напряжения содержит множество диодов Зенера, соединенных параллельно, причем каждый диод Зенера имеет напряжение Зенера менее 5,5 В и вариация напряжения Зенера между диодами Зенера в указанном множестве диодов Зенера составляет от 0,1 до 0,3 В.

4. Регулятор тока по п.1, в котором упомянутый драйвер и упомянутый регулятор напряжения образуют первый регулятор тока, причем упомянутый первый регулятор тока соединен с резистивной суммирующей схемой.

5. Регулятор тока для формирования регулируемого тока из входного напряжения, содержащий первый регулятор тока и второй регулятор тока, причем выход первого регулятора тока перекрестно связан с упомянутым вторым регулятором тока, при этом каждый из первого и второго регуляторов тока содержит

драйвер, содержащий резистор и транзистор;

регулятор напряжения, выполненный с возможностью формирования регулируемого напряжения для соответствующего драйвера, при этом упомянутый регулятор напряжения содержит множество диодов Зенера, соединенных параллельно, причем каждый диод Зенера имеет напряжение Зенера менее 5,5 В и вариация напряжения Зенера между диодами Зенера в указанном множестве диодов Зенера составляет от 0,1 до 0,3 В.

6. Регулятор тока по любому из пп.1-5, в котором регулятор тока содержит двухвыводную схему.

7. Регулятор тока по любому из пп.1-6, в котором диоды Зенера каждой схемы регулятора напряжения содержат кремниевые диоды Зенера.

8. Регулятор тока по любому из пп.1-7, в котором диоды Зенера каждой схемы регулятора напряжения имеют напряжение Зенера между 2,0 и 3,0 В.

9. Регулятор тока по любому из пп.1-8, в котором схема выполнена с возможностью формирования программируемого регулируемого тока между 25 и 220 мА.

10. Регулятор тока по любому из пп.1-9, в котором напряжение Зенера диодов Зенера в каждой схеме регулятора тока выбрано так, что

$$I_{z,opt} = I_{spec}/2.N,$$

где $I_{z,opt}$ - ток, при котором коэффициент изменения напряжения Зенера в зависимости от температуры, по существу, равен коэффициенту изменения напряжения v_{be} база-эмиттер транзистора схемы регулятора тока, N - целое число диодов Зенера в схеме регулятора напряжения и I_{spec} - ток регулятора тока, при котором температурный коэффициент равен, по существу, нулю.

11. Регулятор тока по любому из пп.1-10, в котором транзистор каждой схемы драйвера содержит кремниевый биполярный транзистор.

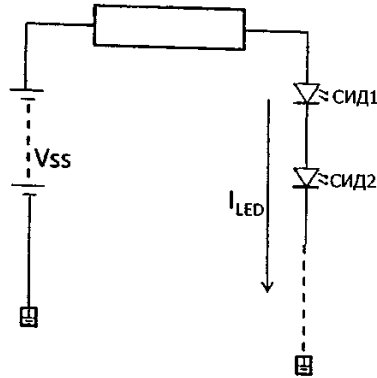
12. Регулятор тока по п.11, в котором кремниевый биполярный транзистор представляет собой транзистор n-p-n или p-n-p типа.

13. Регулятор тока по п.12, при добавлении к п.3 или 5, в котором транзистор первой или второй схемы регулятора тока представляет собой транзистор p-n-p типа, а транзистор другой схемы регулятора тока представляет собой транзистор n-p-n типа, так чтобы транзисторы образовывали комплементарную пару.

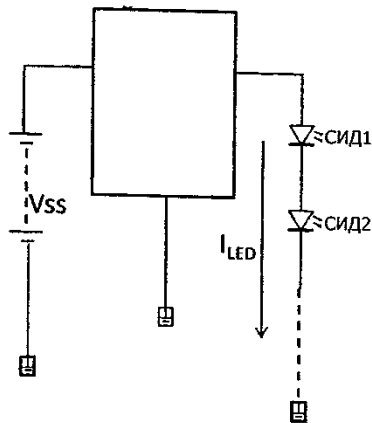
14. Регулятор тока по любому одному из пп.5-13, в котором резистор первой и/или второй схемы драйвера выполнен с возможностью изменения для того, чтобы служить в качестве резистора для программирования тока.

15. Регулятор напряжения для использования в регуляторе тока по п.1, содержащий множество диодов Зенера, соединенных параллельно, причем каждый диод Зенера имеет напряжение Зенера менее 5,5 В и вариация напряжения Зенера между диодами Зенера в указанном множестве диодов Зенера составляет от 0,1 до 0,3 В.

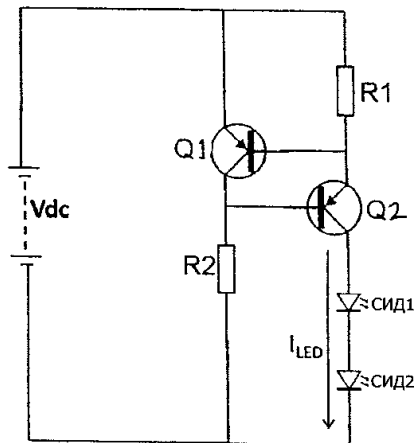
16. Осветительный аппарат, содержащий один или более СИД и регулятор тока по любому одному из пп.1-14.



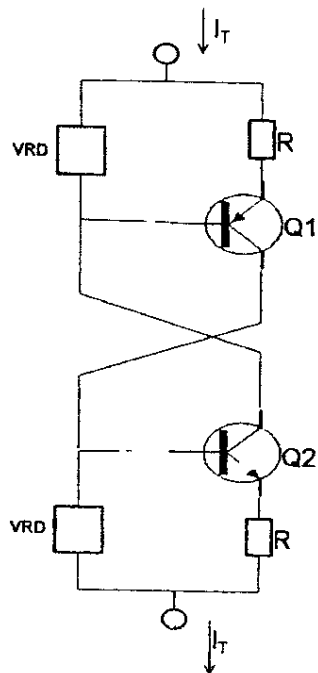
Фиг. 1(а)



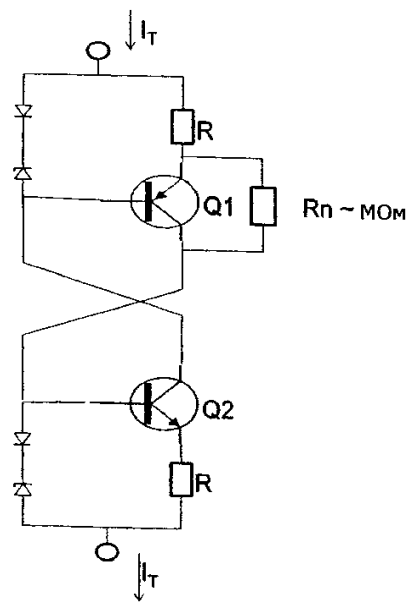
Фиг. 1(б)



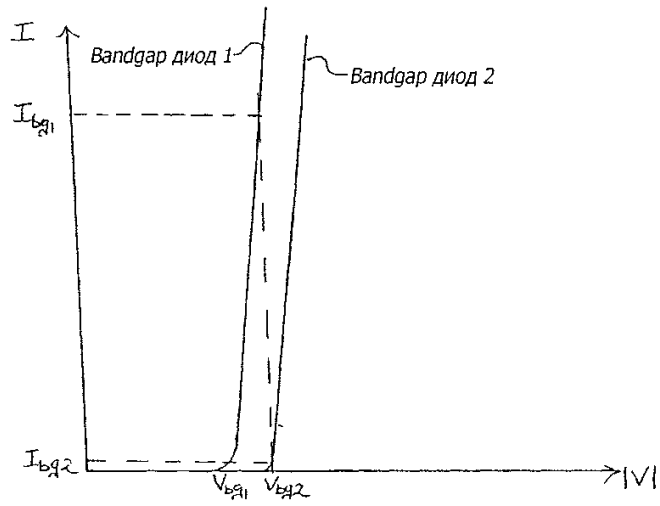
Фиг. 2



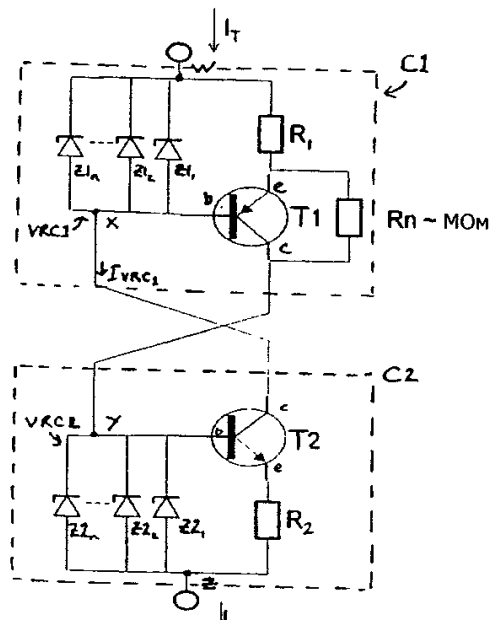
Фиг. 3



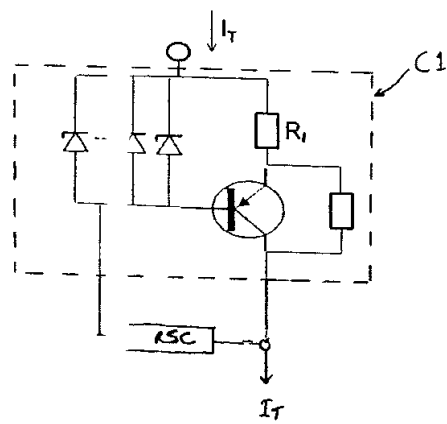
Фиг. 4



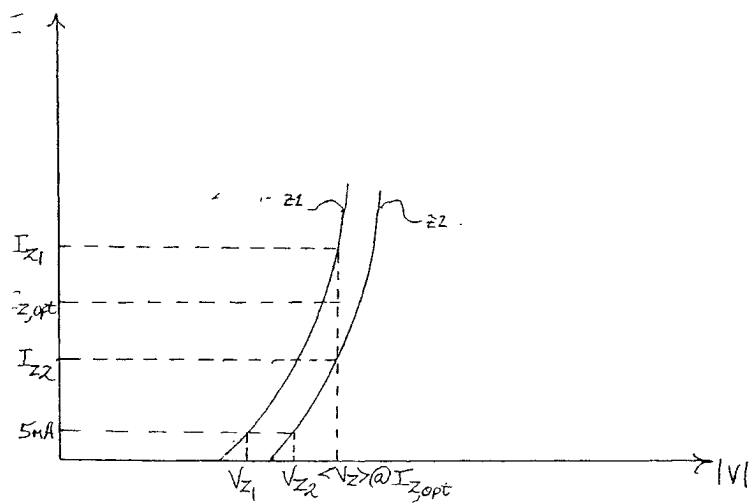
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8