

Генератор тока (источник тока). Различия и сходства стабилизаторов тока и напряжения.

Бурыкин Валерий Иванович

<https://b-valery.ru/category/наука-и-техника/электроника>

Генератор тока и генератор напряжения. В чём разница? Что такое Генератор тока и каковы области его применения.

По работе нужно было найти какое-либо внятное описание того, что собой представляет **генератор тока (стабилизатор тока, источник тока)**, его области применения и примеры расчёта. Ничего приемлемого найти не удалось.

Пришлось самому приступить к написанию статьи отвечающей на эти вопросы.

28.02.2012г.

Первое, что нам необходимо понять — это то в чём различия генератора тока и стабилизатора напряжения.

Стабилизатор напряжения.

Другие названия:

— *источник напряжения;*

— *генератор напряжения;*

— *источник опорного напряжения (в схемах его обычно обозначают как ИОН).*

Основное требование - *напряжение на выходе источника неизменно и не зависит от сопротивления нагрузки:*

$$U_{\text{вых.}} = \text{const.}$$

При этом **ток в нагрузке** подключенной к выходу стабилизатора напряжения **изменяется** в зависимости от величины $R_{\text{нагр.}}$.

Идеальный режим работы стабилизатора напряжения соответствует $R_{\text{нагр.}} = \text{бесконечности.}$

Идеальный генератор (источник) напряжения создаёт на сопротивлении нагрузки *напряжение* стабильной величины. При этом его внутреннее сопротивление равно нулю ($R_u = 0$). Ток в нагрузке определяется по формуле:

$$I_{\text{нагр.}} = U_{\text{вых.}} / R_{\text{нагр.}}$$

Из этого можно сделать вывод:

— так как напряжение стабильно, то при изменении $R_{\text{нагр.}}$ будет изменяться ток, протекающий через нагрузку, Рис. 1.

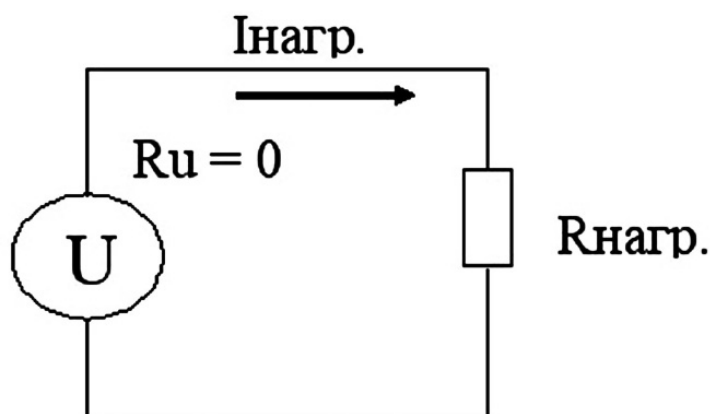


Рис. 1 Схема идеального источника напряжения.

Идеальный источник напряжения при уменьшении $R_{\text{нагр.}}$ до нуля способен создавать ток бесконечно большой величины.

Но в жизни ничего идеального не существует, все источники напряжения имеют некоторое внутреннее сопротивление — R_u .

Это приводит к тому, что напряжение источника делится между внутренним сопротивлением R_u и сопротивлением нагрузки $R_{\text{нагр.}}$, Рис. 2

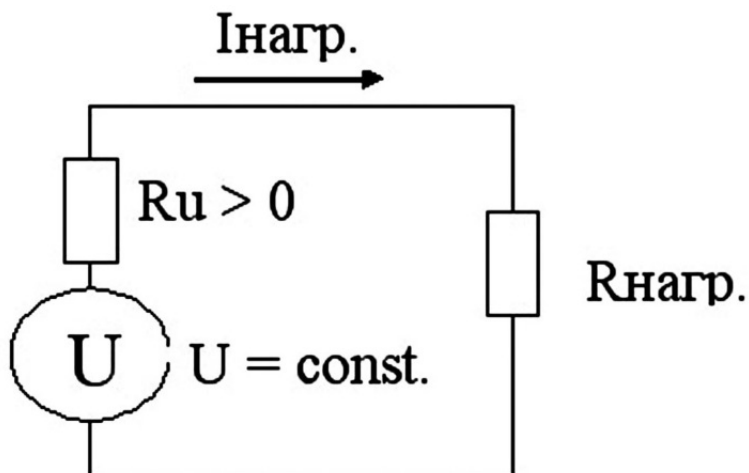


Рис. 2 Функциональная схема реального источника напряжения.

Поэтому ток в нагрузке от источника напряжения вычисляется по формуле:

$$I_{\text{нагр.}} = U / (R_u + R_{\text{нагр.}})$$

Максимальный ток возникает при $R_{\text{нагр.}} = 0$ ($I_{\text{max}} = U/R_u$).

Из формулы видно — ток в нагрузке зависит от напряжения, развиваемого источником, а также от величины суммы сопротивлений $R_{\text{нагр.}}$ и R_u .

Как правило, внутреннее сопротивление источника напряжения (R_u) выбирается как минимум в **100 раз меньше минимально возможного** значения сопротивления нагрузки ($R_{\text{нагр. min}}$). В этом случае напряжение на выходе источника при изменении сопротивления нагрузки от бесконечности до $R_{\text{нагр. min}}$ будет изменяться не более чем на 1%.

Т.е. желательно, чтобы соблюдалось условие:

$$R_u \leq R_{\text{нагр. min}} / 100$$

В данном случае мы не рассматриваем вопрос о мощности источника напряжения. Мощность зависит от принципа построения источника, реализуемой схемы и применяемых компонентов.

Теперь посмотрим, что собой представляет генератор тока

Генератор тока.

Другие названия:

- источник тока;
- стабилизатор тока.

Основное требование:

Ток в нагрузке неизменный и не зависит от сопротивления нагрузки:

$$I_{\text{вых.}} = \text{const.}$$

При этом **напряжение** на нагрузке **не является постоянной** величиной и **изменяется** в зависимости от величины $R_{\text{нагр.}}$.

Идеальный режим работы стабилизатора тока возникает при **$R_{\text{нагр.}} = 0$**

Идеальный источник тока создаёт в нагрузке **стабильный ток**, то есть — ток, величина которого не зависит от сопротивления нагрузки, Рис. 3.

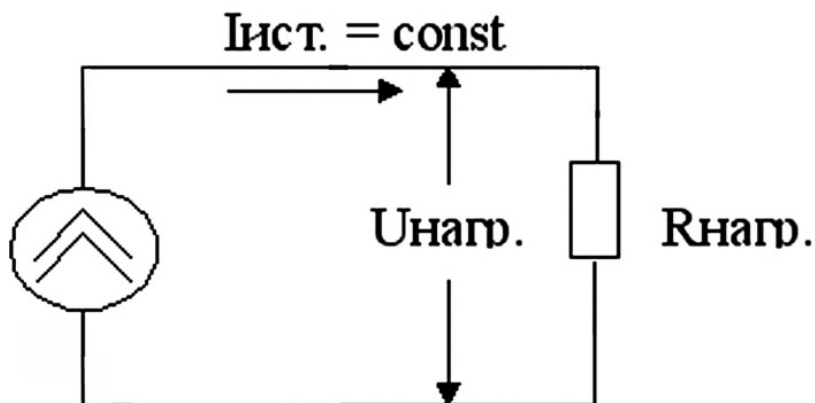


Рис. 3 Функциональная схема идеального источника тока.

Так как ток источника не зависит от величины сопротивления нагрузки то при изменении $R_{нагр.}$ пропорционально будет изменяться и $U_{нагр.}$

$$U_{нагр.} = I_{ист.} * R_{нагр.}$$

Идеальным генератором тока считается такой источник, через который протекает ток неизменной величины и не зависящий от $R_{нагр.}$

В таком случае если $R_{нагр.}$ стремится к бесконечности, то $U_{нагр.}$ так же стремится к бесконечности. Такая ситуация на практике неосуществима.

Реальные генераторы тока поддерживают стабильный ток в нагрузке только в пределах от $R_{нагр.} = 0$ до некоторой величины $R_{нагр. max}$.

Эквивалентные схемы генераторов тока, приводимые в академической литературе малопонятны, а формулы, описывающие их работу, вряд ли когда-либо понадобятся в практических расчетах.

Поэтому я начну сразу с практических схем.

Наиболее доступная и простая как в понимании, так и в расчётах схема выглядит так:

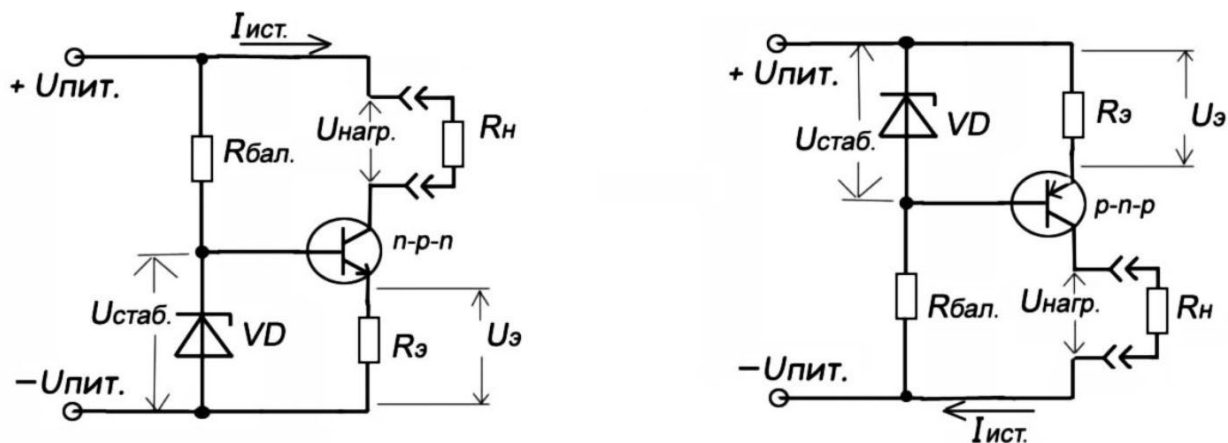


Рис. 4 Практические схемы простых генераторов тока на биполярных транзисторах.

На рисунке изображены две одинаковые схемы простых генераторов тока. Разница состоит только в том, что применены транзисторы разной проводимости. Другое отличие — это то, к какому полюсу источника питания подключена нагрузка.

В обоих случаях применена схема включения транзистора с общим коллектором (эмиттерный повторитель). Эмиттерным повторителем она названа за то, что изменение напряжения на эмиттере ($U_{\text{э}}$) повторяет изменение напряжения на базе, в нашем случае это $U_{\text{стаб.}}$.

Повторяет именно изменение напряжения, а не само напряжение так как существует падение напряжения на эмиттерном переходе транзистора. Поэтому в случае усилителя постоянного тока напряжение $U_{\text{э}}$ будет определяться по формуле:

$$U_{\text{э}} = U_{\text{стаб.}} - U_{\text{бэ}}$$

где $U_{\text{бэ}}$ — падение напряжения на переходе база — эмиттер транзистора.

Поскольку $U_{\text{э}}$ зависит только от напряжения стабилизации стабилитрона и от напряжения $U_{\text{бэ}}$, а значения этих напряжений можно считать константами, то в идеальном случае $U_{\text{э}}$ не будет зависеть от изменения $U_{\text{пит.}}$ и $R_{\text{н}}$.

Ток протекающий через $R_{\text{э}}$ является одновременно и током, протекающим в коллекторе через нагрузку, то есть $I_{R_{\text{э}}} = I_{\text{ист.}}$.

Соответственно **$I_{\text{ист.}}$** вычисляется по формуле:

$$I_{\text{ист.}} = U_{\text{э}} / R_{\text{э}}$$

где: **$U_{\text{э}}$ и $R_{\text{э}}$ константы**, следовательно, **$I_{\text{ист.}}$** — так же константа.

На самом деле стабильность напряжения $U_{\text{э}}$ зависит от того насколько стабилитрон VD чувствителен к изменению протекающего через него тока и к воздействию окружающей температуры.

То же самое относится и к переходу база — эмиттер транзистора.

Пока будем считать, что эти факторы нас не касаются.

В этом случае мы будем находиться в счастливом заблуждении, что наши расчёты абсолютно точны.

Основные параметры источника (генератора) тока:

1. Величина требуемого СТАБИЛЬНОГО тока — **Иист.**

Т. е. тока, который питает нагрузку и не изменяется под воздействием внешних факторов.

2. Максимальное сопротивление нагрузки — **Рнагр. max.**

3. Минимально возможное напряжение источника питания для нашей схемы — **Упит. min.**

Что нужно для расчёта источника тока.

Самый тяжёлый вариант входных условий.

Здесь вас пытаются уложить в Прокрустово ложе тем, что лишают манёвра.

Требования заказчика:

а. Ток источника тока (генератора тока) = **Иист.**

б. Сопротивление нагрузки, которое меняется от **Рнагр. min** до **Рнагр. max.**

Замечу — нижний предел сопротивления нагрузки (**Рнагр. min**) для генератора тока всегда можете смело принимать за ноль.

Рнагр. max. — определяется из характеристик питаемого оборудования и важен для расчёта.

в. Напряжение питания = **Упит.**

Методика расчёта генератора тока.

Первое, что нужно определить это то какое максимальное напряжение необходимо развить на **Рнагр.**

$$U_{\text{нагр. max}} = I_{\text{ист.}} * R_{\text{нагр. max}}$$

Далее определить то, каким запасом по напряжению мы располагаем.

$$U_{\text{зап.}} = U_{\text{пит.}} - U_{\text{нагр. max}}$$

Нужно понимать, что напряжение запаса должно поделиться между $U_{кэ}$ и $U_{э}$.

Значение напряжения $U_{кэ}$, которое снижается до минимального значения при максимальном значении $R_{нагр}$, желательно принять не менее 3 Вольт. Конечно, чем больше, тем лучше.

Далее можем вычислить с каким максимальным напряжением стабилизации при заданных условиях можно выбрать стабилитрон.

$$U_{стаб. \max} = U_{зап.} - U_{кэ} + U_{бэ}$$

Сопротивление $R_{э}$ рассчитываем по формуле:

$$R_{э} = (U_{стаб.} - U_{бэ}) / I_{ист.}$$

Из этой формулы видно, что током генератора тока мы можем управлять двумя способами:

— изменяя $U_{стаб.}$;

— изменяя $R_{э}$.

$U_{бэ}$ — константа и изменению не подлежит.

Есть ещё один подводный камень, это соотношение напряжений $U_{бэ}$ и $U_{стаб.}$

Из последней формулы видно, что если $U_{стаб.}$ окажется меньше или равно $U_{бэ}$, то в этом случае $R_{э}$ должно быть либо равным нулю, либо отрицательным. И то, и другое невозможно.

Таким образом, если $U_{стаб.}$ получится меньше или равно $U_{бэ}$ то схема окажется неработоспособной, так как в этом случае мы не сможем открыть транзистор и создать хоть какое либо падение напряжения на $R_{э}$.

Желательно получить $U_{стаб.}$ в шесть — семь раз превышающее $U_{бэ}$.

Если $U_{стаб.}$ получается близким по значению к $U_{бэ}$ то необходимо изменять входные условия. Если вы не можете повлиять на параметры нагрузки: (уменьшить $R_{нагр. \max}$) или согласовать уменьшение тока от генератора тока, остается только один вариант — увеличить напряжение питания. Если и это невозможно согласовать тогда откажитесь от этого заказа.

Пример расчета простого генератора тока на биполярном транзисторе Тяжёлый вариант.

Требования заказчика:

а. $I_{ист.} = 20\text{мА}$;

б. $R_{нагр. \max} = 3\text{кОм}$;

в. $U_{пит.} = 50\text{В}$.

г. нагрузка привязана к $+U_{пит.}$

Это и есть то самое *Прокрустово* ложе.

Простейшая для понимания схема будет такова:

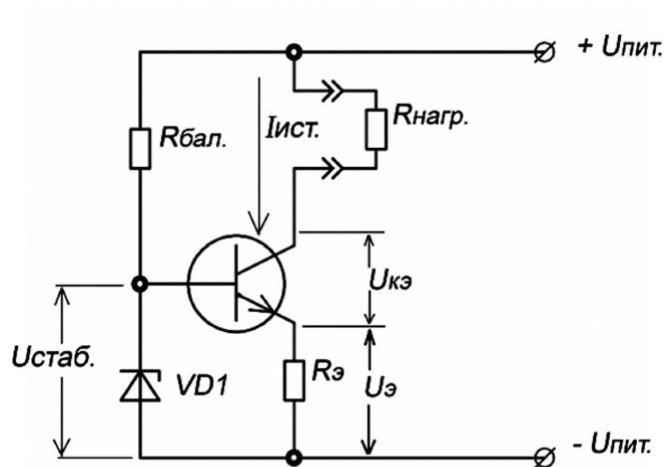


Рис. 5

Пример расчета:

Первое что нужно сделать, это проверить возможность создания такого генератора тока.

Попробуем произвести расчёт.

$$I_{нагр. \max} = I_{ист.} * R_{нагр. \max} = 0.02 * 3\ 000 = 60\text{В}$$

Видим неприятную картину.

Заданное $U_{пит.}$ (50В) меньше требуемого $U_{нагр. \max}$ (60В). Следовательно, мы не сможем обеспечить требуемый ток в нагрузке при максимальном сопротивлении $R_{нагр.}$

Что делать?

Самое удобное для нас это уменьшить ток генератора тока. Как было сказано ранее этого можно добиться либо, уменьшая $U_{стаб.}$, либо увеличивая $R_{э.}$

Ток при этом определяется по формуле:

$$I_{ист.} = (U_{стаб.} - U_{бэ}) / R_{э}$$

Допустим, нам удалось согласовать изменение величины тока.

Посмотрим, какая величина $I_{ист.}$ нас устроит.

Как уже говорилось $U_{стаб.}$ желательно выбрать не менее $6 * U_{бэ}$. Среднее значение $U_{бэ}$ для кремниевых транзисторов составляет 0,65 В. Оно может изменяться в зависимости от выбранного транзистора, но незначительно (если конечно вы не выберете составной транзистор). Рассчитаем величину $U_{стаб.}$

$$U_{\text{стаб.}} = U_{\text{бэ}} * 6 = 0,65 * 6 = 3,9\text{В}$$

Обращаемся к справочнику по диодам, находим там раздел «Стабилитроны». Видим там стабилитрон 2С139А, его и выберем.

Он обладает следующими параметрами:

Тип прибора	Uст ном, В при (Iст ном, mA)	Pmax, мВт	Значения параметров при T=25°C, Iпр ном					Предельные значения параметров при T=25°C		Tк max, °C	Корпус
			Uст min, В	Uст max, В	rст, Ом	rст, Ом при Iст min	аст, 10-2 % / °C	Iст min, mA	Iст max, mA		
2С139А	3,9 (10)	300	3,51	4,29	60	180	-10	3	70	125	1

Здесь:

Uст — напряжение стабилизации стабилитрона

Uст ном — номинальное напряжение стабилизации стабилитрона

Iст — ток стабилизации стабилитрона

Iст ном — номинальный ток стабилизации стабилитрона

Pmax — максимально-допустимая рассеиваемая мощность на стабилитроне

rст — дифференциальное сопротивление стабилитрона

аст — температурный коэффициент стабилизации стабилитрона

Tк max — максимально-допустимая температура корпуса стабилитрона

Далее определим необходимый запас по напряжению.

$$U_{\text{зап.}} = U_{\text{стаб.}} - U_{\text{бэ}} + U_{\text{кэ}} = 3,9 - 0,65 + 3 = 6,25 \text{ В}$$

Вычитаем из величины питающего напряжения напряжение запаса и получаем максимально возможное напряжение на нагрузке.

$$U_{\text{нагр.}} = U_{\text{пит.}} - U_{\text{зап.}} = 50 - 6,25 = 43,75 \text{ В}$$

Полученную величину Uнагр. делим на Rнагр. max. и получаем то значение тока, которое нас устроит.

$$I_{\text{ист.}} = U_{\text{нагр.}} / R_{\text{нагр. max}} = 43,25 / 3000 = 0,0144 \text{ А}$$

Итак, нам удалось изменить требования заказчика, теперь они выглядят так:

а. Iист. = 14,4мА;

б. Rнагр. max. = 3кОм;

в. Uпит. = 50В.

г. нагрузка привязана к + Uпит.

Значит, мы можем приступить к окончательному расчёту элементов схемы.

$$R_{\text{бал.}} = (U_{\text{пит.}} - U_{\text{стаб.}}) / I_{\text{ст ном}} = (50 - 3,9) / 0,01 = 4610 \text{ Ом}$$

Где: Iст ном — взято из справочника.

Выбираем ближайшее значение $R_{бал.}$ (желательно в меньшую сторону):

$$R_{бал.} = 4,3 \text{ кОм.}$$

Определим величину сопротивления $R_э.$

$$R_э = (U_{стаб.} - U_{бэ}) / I_{ист.} = (3,9 - 0,65) / 0,0144 = 225,6944 \dots \text{ Ом.}$$

Опять же принимаем ближайшее значение и снова в меньшую сторону.

$$R_э = 220 \text{ Ом.}$$

В итоге получаем окончательную схему.

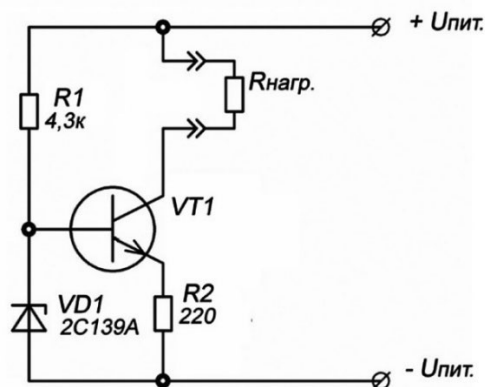


Рис. 6 Результат расчёта.

Какой выбрать транзистор VT1?

Да любой биполярный pnp транзистор.

Нужно помнить только, что у нас задано $U_{пит.} = 50 \text{ В.}$ А это говорит о том, что допустимое напряжение $U_{кэ}$ должно быть не менее этого значения (лучше раза в полтора больше). Максимальную мощность, рассеиваемую на корпусе транзистора можно рассчитать исходя из предельного режима, когда $R_{нагр.} = 0.$

В этом случае $U_{кэ}$ будет равно $U_{пит.} - U_э.$

Значит, мощность рассеяния можно определить из формулы:

$$P_{к \text{ max}} = (U_{пит.} - (U_{стаб.} - U_{бэ})) * I_{ист.}$$

В нашем случае:

$$P_{к \text{ max}} = (50 - (3,9 - 0,65)) * 0,0144 = 0,673 \text{ W}$$

где: $P_{к}$ — мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора и выбирается она из справочника. (Надеюсь нет смысла объяснять почему нужно выбрать транзистор с несколько большим $P_{к}$?).

В этом расчёте мы исходим из условия короткого замыкания в нагрузке.

Можно конечно произвести расчёт из условия $R_{нагр.} = R_{нагр. \text{ min}},$ т.е. то минимальное сопротивление которое задано заказчиком. В этом случае $P_{к \text{ max}}$.

получится меньше, но в тоже время источник может оказаться слишком чувствительным к короткому замыканию в нагрузке.

Может случиться так, что заказчик не пойдет на то чтобы изменить входные параметры.

В этом случае нужно понять: какую сумму он готов заплатить за готовое изделие.

Физика есть физика и её законы не изменишь.

Если заказчик готов раскошелиться, то в схему можно ввести дополнительный источник питания, позволяющий напряжение питания 50В преобразовать в то напряжение, которое позволит нам вписаться в исходные условия.

Рассчитаем какое минимальное $U_{пит.}$ нам необходимо для удовлетворения первоначальных условий.

Вот эти условия:

- а. $I_{ист.} = 20\text{мА}$;
- б. $R_{нагр. max.} = 3\text{кОм}$;
- в. $U_{пит.} = 50\text{В}$.
- г. нагрузка привязана к $+ U_{пит.}$.

$U_{э}$ и $U_{кэ}$ можно оставить прежними, к ним у нас претензий быть не должно.

То, какое максимальное напряжение на нагрузке при данных условиях мы должны развить уже было рассчитано ($U_{нагр. max} = 60\text{ В}$).

В этом случае (если мы снова возьмём стабилитрон 2С139А) минимальное значение напряжения питания можно определить из формулы:

$$U_{пит. min} = U_{нагр. max} + U_{э} + U_{кэ} = 60 + 3,25 + 3 = 66,25\text{ В}$$

где $U_{э} = U_{стаб.} - U_{бэ}$.

Для ровного счёта примем $U_{пит. min} = 67\text{ В}$.

В этом случае схема примет следующий вид:

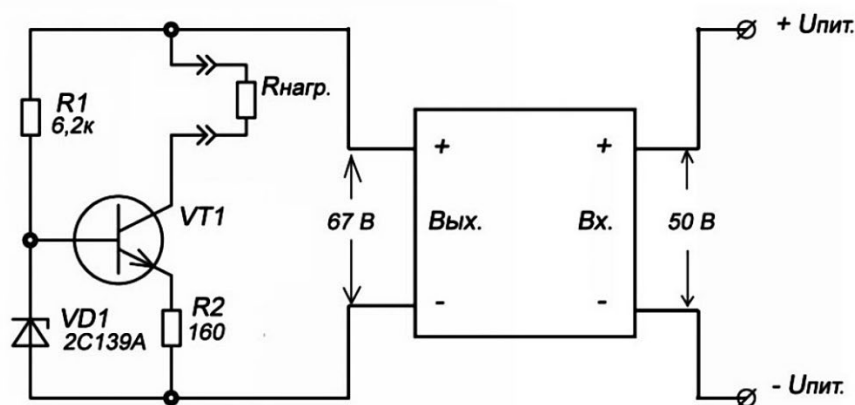


Рис. 7 Генератор тока с внутренним источником напряжения.

Есть одно НО! Добавление этого квадратика может увеличить стоимость схемы в сотню раз. Хотя желание заказчика мы при этом удовлетворим.

Иногда в схему генератора тока вводят операционный усилитель (другое название — дифференциальный усилитель). Это позволяет создать большой коэффициент усиления в цепи отрицательной обратной связи и исключить влияние $U_{бэ}$ транзистора на стабильность выходного тока.

Пример такой схемы приведён на Рис. 8.

Расчёт такой схемы отличается только тем, что **нужно забыть об $U_{бэ}$** .

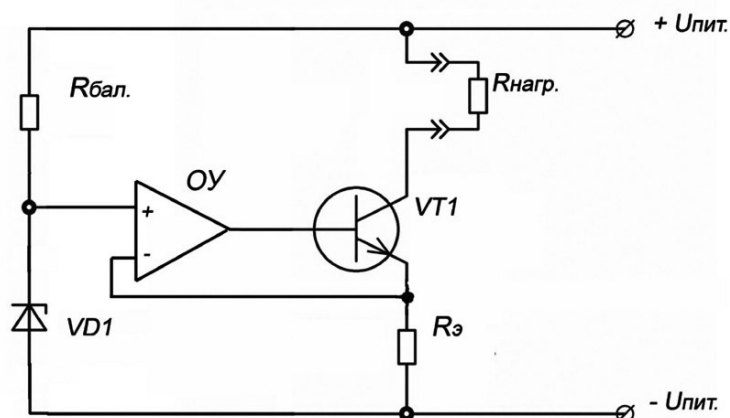


Рис. 8 Генератор тока с дифференциальным (операционным) усилителем.

Можно пойти дальше и создать стабилизатор тока с регулируемым значением $I_{ист.}$

В этом случае желательно заменить стабилитрон на маломощный линейный стабилизатор напряжения. Обычно такие стабилизаторы напряжения в схемах обозначаются как ИОН (источник опорного напряжения).

Вот пример такой схемы:

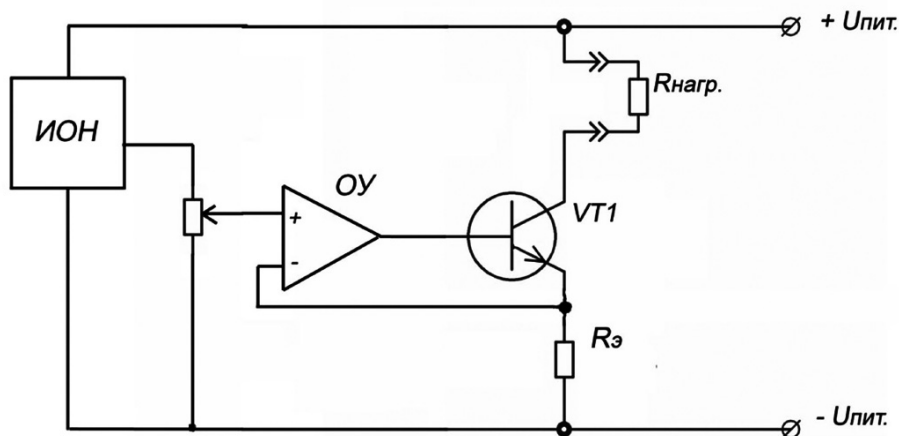


Рис. 9 Регулируемый генератор тока.

Ну вот, кажется всё основное, то что касается построения и расчёта генераторов тока я изложил.

Теперь встаёт вопрос.... Зачем нужен такой источник?

Стабилизаторы напряжения... — тут всё понятно!

Источники напряжения широко применяются в бытовой и промышленной электронике. Ни одно современное электронное устройство не обходится без них.

А зачем нужно устройство, которое не может поддерживать стабильное напряжение на нагрузке, и это напряжение постоянно «гуляет», а величина этого напряжения будто привязана к величине $R_{нагр}$,?

Ведь здесь величина выходного напряжения изменяется пропорционально изменению величине сопротивления нагрузки.

Рассмотрим некоторые области применения генераторов тока (стабилизаторов тока, источников тока).

Первая и, наверное, самая распространённая область — это источники стабильного напряжения, как раз то без чего не обходится практически ни одно современное электронное устройство.

В простейшем случае общая схема стабилизатора напряжения выглядит так:

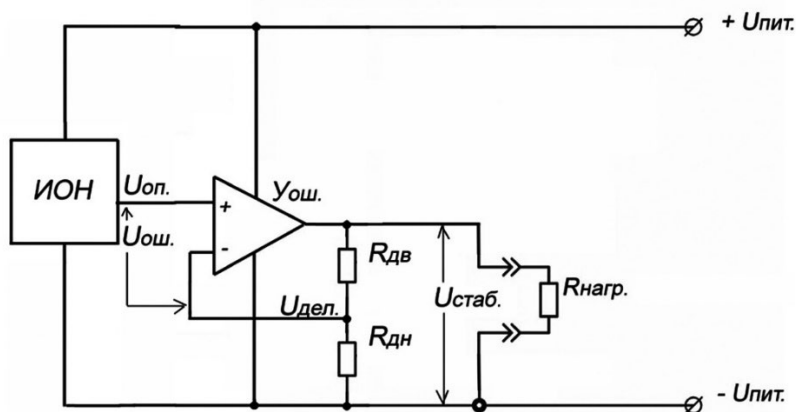


Рис. 10 Функциональная схема стабилизатора напряжения.

Обозначения в схеме:

ИОН — источник опорного напряжения;

Уош. — усилитель ошибки;

Uоп. — опорное напряжение;

Uдел. — напряжение, снимаемое с делителя, подключенного к выходному напряжению стабилизатора напряжения.

Uош. — напряжение ошибки, оно вычисляется как $U_{оп.} - U_{дел.}$.

Напряжение на выходе стабилизатора зависит от величины $U_{оп.}$ и коэффициента деления делителя.

$$U_{стаб.} = U_{оп.} * (R_{дв} + R_{дн}) / R_{дн}$$

Усилитель ошибки сравнивает два напряжения $U_{оп.}$ и $U_{дел.}$, его главная задача поддерживать $U_{ош.}$ близким к нулю, а следовательно следить за тем, чтобы $U_{стаб.}$ оставалось неизменным.

Допустим мы имеем почти идеальный $U_{ош.}$, способный удерживать $U_{ош.}$ в десятки тысяч раз меньшим чем $U_{оп.}$ (такие дифференциальные каскады сейчас существуют)

В этом случае мы можем пренебречь влиянием элементов схемы $U_{ош.}$ на величину $U_{стаб.}$ и главным виновником в нестабильности выходного напряжения при изменении $U_{пит.}$ будет ИОН.

Простейший источник опорного напряжения выглядит так:

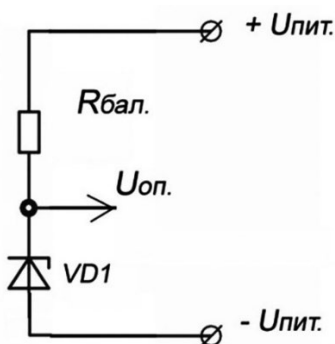


Рис. 11 Простой источник опорного напряжения.

Допустим, в процессе эксплуатации, $U_{пит.}$ может изменяться от 18 до 36 Вольт.

Мы располагаем всё тем же стабилитроном 2С139А (учтите, буквы русские).

Первое что нужно сделать это рассчитать $R_{бал.}$ Оно рассчитывается исходя из минимальной величины $U_{пит.}$, при этом следует задаться минимальным током стабилитрона $I_{стаб. min}$.

Из справочных данных следует что рабочий диапазон токов стабилитрона лежит в пределах 3 — 70 mA. Номинальный ток — 10 mA. Подбираться слишком близко к нижнему пределу не стоит, так как при этом слишком сильно возрастает $R_{ст.}$ Определимся с минимальным током стабилитрона равным 7mA.

Тогда:

$$R_{бал.} = (U_{пит. min} - U_{стаб.}) / I_{стаб. min} = (18 - 3.9) / 7 = 2.014 \text{ кОм.}$$

Ближайшее значение 2 кОм.

При $R_{\text{бал.}} = 2 \text{ кОм}$ и дельта $U_{\text{пит.}}$:

$$dU = 36 - 18 = 18 \text{ В}$$

$dU_{\text{оп.}}$ составит 0,54В так как:

Динамическое сопротивление стабилитрона: $r_{\text{ст}} = 60 \text{ Ом}$ (См. таблицу выше).

$$dI = dU / 2 \text{ кОм} = 9 \text{ мА}$$

$$dU_{\text{оп.}} = dI * r_{\text{ст.}} = 0.009 * 60 = \mathbf{0.54 \text{ В}}$$

Разделив $dU_{\text{оп.}}$ на номинальное напряжение стабилитрона, определим величину нестабильности напряжения такого ИОН:

$$0,53 / 3,9 = 0,135$$

Т.е. нестабильность ИОН будет равна 13,5%. Понятно, что напряжение на выходе стабилизатора напряжения будет изменяться по такому же закону. И его нестабильность так же составит 13,5%.

Посмотрим на сколько при таком изменении напряжения питания изменяется ток, протекающий через стабилитрон.

Изменение тока, протекающего через стабилитрон можно вычислить по следующей формуле:

$$dI_{\text{стаб.}} = (U_{\text{пит. max}} - U_{\text{пит. min}}) / R_{\text{бал.}}$$

Тогда:

$$dI_{\text{стаб.}} = (36 - 18) / 2000 = 9 \text{ мА.}$$

Изменение тока составило 129% так как:

$$dI_{\text{стаб.}} / I_{\text{стаб. min}} = 9 / 7 = 1,29$$

Но нестабильность по напряжению в 13,5% нас не устраивает. Что делать?

Вот здесь нам и придёт на помощь его величество Генератор Тока.

Давайте запитаем стабилитрон, с которого будем снимать опорное напряжение, через это самое величество, Рис. 12.

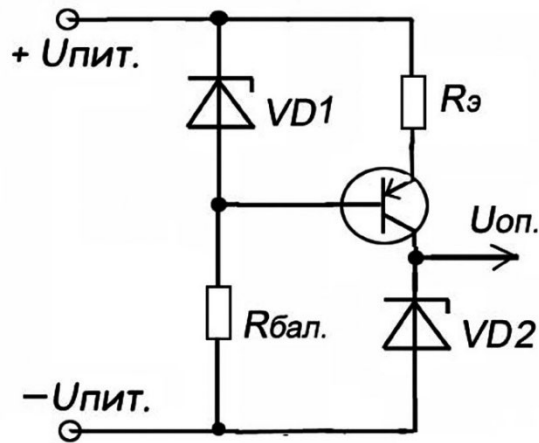


Рис. 12 Схема ИОН с повышенной стабильностью $U_{оп.}$

Допустим VD1 и VD2 будут всё те же 2C139A. В этом случае $R_{бал.}$ так же будет равно 2 кОм.

Зададимся током через VD2. По справочнику номинальный ток этого стабилитрона 10 мА. Не мудрствуя лукаво примем это за истину.

Вычислим величину $R_э$.

$$R_э = (U_{VD1} - U_{бэ.}) / I_{VD2} = (3.9 - 0.65) / 10 = 0.325 \text{ кОм.}$$

Принимаем ближайшее значение 330 Ом.

Изменение тока, протекающего через $R_э$, а значит и через VD2 при изменении $U_{пит.}$ на 18 Вольт будет таким же как и изменение напряжения на VD1 рассчитанное ранее, т.е. 13,5% (в схеме на Рис. 11 - 129%).

Абсолютная величина изменения тока VD2 составит: $10\text{mA} * 13.5\% = 1,35\text{mA}$, в отличии от 9 мА в VD1. Это приведёт к изменению напряжения на стабилитроне VD2 на 0,081V. Нестабильность опорного напряжения снизится до 2,1%.

Вместо 13,5% на VD1!

И это притом, что я выбрал не самый лучший стабилитрон. Хотите получить меньшую нестабильность выбирайте стабилитрон с меньшим $r_{ст.}$

Ну вот, с одной областью применения генераторов тока кажется разобрались.

Что же ещё? Где ещё нам может понадобится источник стабильного тока?

Да там, где используются резистивные датчики.

Фоторезисторы, термосопротивления, резистивные тензодатчики и т.д. и т.п.

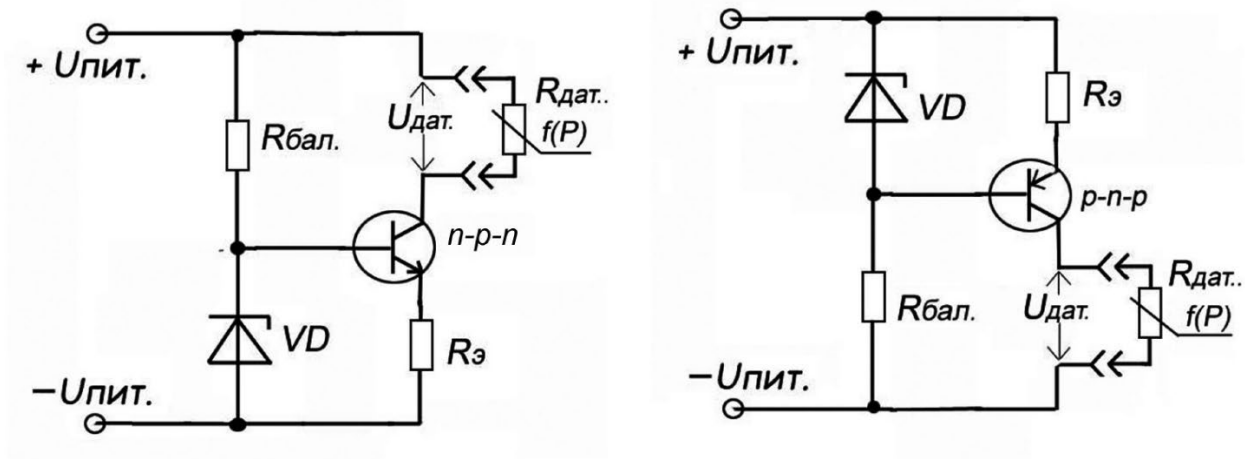


Рис. 13 Один из вариантов подключения датчиков к генератору тока.

Сопротивление таких датчиков является функцией какого-либо внешнего параметра — температуры, освещённости, давления. Обозначим зависимость $R_{дат.}$ от величины параметра (P) как $f(P)$.

Как правило, сопротивление связано с измеряемым параметром определённой математической формулой. Ток протекающий через датчик в случае использования идеального источника тока не зависит от $U_{пит}$ и $f(P)$.

Падение напряжения на $R_{дат.}$ будет определяться по формуле:

$$U_{дат.} = I_{ист.} * f(P).$$

Так как $I_{ист.} = const$, то $U_{дат.}$ будет изменяться по тому же закону что и $R_{дат.}$ Вот здесь нам и пригодилось то, что напряжение на выходе генератора тока «привязано» к $R_{нагр.}$

А дальше всё просто: берём контроллер на основе микропроцессора, закладываем в него софт, состоящий из многих программ предназначенных для расчёта различных $f(P)$, программу опроса множества датчиков, величины критических значений измеряемых параметров и подключаем всё это к центральному компьютеру межзвёздного корабля.

Теперь дежурная вахта в любой момент может получить информацию о величине температуры, освещения и давления воздуха в сотнях, а может и тысячах отсеках корабля, и даже о том, с каким ускорением летит корабль.

Лифт сможет сообщить о том, каков вес груза, находящегося в кабине.

Вот кажется и всё то основное, что я хотел рассказать о генераторе тока.

Теперь вернёмся к началу статьи. В чём всё-таки сходства и различия генераторов (стабилизаторов, источников) тока от устройств, поддерживающих на своём выходе стабильное напряжение (стабилизаторов напряжения)?

Составим таблицу сравнительных характеристик.

Параметр	Стабилизатор напряжения	Генератор тока
Основное свойство	$U_{\text{вых.}} = \text{const}$	$I_{\text{вых.}} = \text{const}$
Идеальный режим работы	$R_{\text{нагр.}} = \infty$	$R_{\text{нагр.}} = 0$
Влияние $R_{\text{нагр.}}$	Изменение $R_{\text{нагр.}}$ приводит к изменению тока.	Изменение $R_{\text{нагр.}}$ приводит к изменению напряжения.
Предельные значения $R_{\text{нагр.}}$	$R_{\text{нагр. min}} = U_{\text{вых.}} / I_{\text{вых. max}}$	$R_{\text{нагр. max}} = (U_{\text{пит.}} - U_{\text{зап.}}) / I_{\text{ист.}}$

Отсюда видно, что генератор тока и стабилизатор напряжения представляют собой зеркальное отражение друг друга.

Я описал лишь некоторые области применения источников тока. На самом деле их намного больше.

Дерзайте.

Если вы заметили в статье я постоянно «путал» названия: генератор, источник, стабилизатор.

Это сделано специально. Т.к. в различной литературе по электронике и электротехнике вы можете столкнуться с любым из них.

И ещё.

Часто производители в описании своей продукции делают большую ошибку.

Вот пример:

С сайта «FG Wilson (Engineering) Ltd» :

Схема стабилизатора напряжения R438 обеспечивает управление по замкнутому циклу для выходного напряжения генератора переменного тока регулированием тока поля возбуждителя. R438 может получать питание от поля системы с бесщеточным самовозбуждением или ПМГ и, как вариант, устанавливается на следующих генераторах переменного тока:

*Генераторы переменного тока серии 1000**

Генераторы переменного тока серии 2000

Генераторы переменного тока серии 3000

В стабилизаторе напряжения R438 предусмотрена возможность проведения следующих регулировок (перед проведением регулировок

необходимо внимательно ознакомиться с руководством по установке и техническому обслуживанию генератора переменного тока)

Я не буду воспроизводить всю статью, но и из этой выдержки видно, что для того, кто писал описание этого устройства нет разницы между генератором напряжения и генератором тока.

На самом деле это совершенно разные устройства.

Если мы говорим о генераторе тока, то это означает, что нормирован ток.

Если мы говорим о генераторе напряжения, то это означает, что нормировано напряжение.

Дополнительно о стабилизаторах тока и напряжения читайте в статье **«Стабилизатор тока и стабилизатор напряжения»**.