**20. Генераторы импульсов специальной формы**

Наряду с рассмотренными схемами релаксационных генераторов с по­мощью динисторов и тринисторов можно создавать различные устройства, фор­мирующие импульсные напряжения и токи специальной формы.

Генератор ступенчатого напряжения. На рис. 55,а показана схема генера­тора на динисторах, выходное напряжение которого имеет ступенчатую форму (рис. 55,6). Напряжение такой формы используется в различных счетных уст­ройствах. Напряжение источника питания Uпит генератора выбирают примерно в 1,5 — 2 раза больше суммы напряжений переключения Uпрк1 + UПрк2обоих его динисторов VS1 и *VS2.* Емкость конденсатора Ci (например 0.01... 0,05 мкФ) должна быть примерно на порядок меньше емкости конденсатора *С2* (напри­мер, 0,2 ...0,5 мкФ).



**Рис. 55. Схема генератора ступенчатого напряжения на динисторах (а) и фор­ма выходного напряжения (б)**

Генератор работает следующим образом. При замыкании выключателя QI все напряжение источника питания Uпит оказывается приложенным к дини-стору *VS1* (конденсаторы *С1* и *С2* не заряжены, и в момент сразу после ком­мутации напряжение на них останется равным нулю). Поскольку условие Uпит>Uпрк1 выполняется с запасом, динистор VS1 откроется и включенныг последовательно с ним конденсаторы С1 и *С2* начнут заряжаться (цепь заряда конденсаторов показана на схеме сплошной линией). По мере заряда конден­саторов ток через динистор VS1 будет уменьшаться, и, когда он станет мень­ше удерживающего тока, динистор выключится. К концу зарядного интервала напряжение *и1* на конденсаторе *С1* будет существенно больше напряжения *и2* на конденсаторе *С2,* так как С2>С1, а как известно, u*1/u2 = C2/C1.* При закры­том динисторе *VS2* конденсатор *С2* почти не разряжается (цепь разряда кон­денсаторов показана на схеме штриховой линией) и напряжение на нем прак­тически не изменяется. В то же время конденсатор С1 разряжается через ре­зистор *R1,* напряжение *и1* на нем уменьшается, а напряжение *иД1* на динисторе *VS1,* равное uД1 = UПит — u1 — u2, возрастает, и, когда это напряжение достигает значения UПРК1, динистор *VS1* вновь открывается. Затем цикл повторяется.

В результате таких следующих один за другим циклов напряжение на кон­денсаторе С2 ступенчато возрастает до напряжения переключения UПРк2 дини­стора *VS2.* При открывании динистора *VS2* конденсатор С2 разряжается, фор­мирование ступенчатого сигнала прекращается и генератор возвращается в исходное состояние.

Сопротивление резистора *R1* определяет время разряда конденсатора *Ci* и, следовательно, длительность каждой ступеньки. Если это сопротивление зна­чительно больше сопротивления, через которое происходит заряд конденсаторов C1 и С2 (т. е. внутреннего сопротивления открытого динистора *VSi),* то фронт ступеньки получается во много раз короче ее длительности. Резистор *R2* ограничивает ток разряда конденсатора С2 до безопасного для динистора *VS2* значения. Сопротивление внешней нагрузки должно быть до­статочно большим (единицы мегаом), чтобы предотвратить заметную утечку заряда с конденсатора С2 в процессе построения ступенчатого сигнала.

Амплитуда каждой ступеньки ДUВЫх выходного сигнала определяется вы­ражением



 а максимальное число ступенек:

Генераторы мощных импульсов треугольной формы. На рис. 56 приведены две схемы генераторов, питающихся от сети переменного тока и формирующих импульсы, синхронные с частотой сети. В обоих генераторах используется прин­цип формирования мощных коротких импульсов, форма которых близка к тре­угольной, путем разряда предварительно заряженного конденсатора Ci через первичную обмотку выходного трансформатора, т. е. получение мощных им­пульсов с помощью накопителя энергии. При использовании повышающего вы­ходного трансформатора на его вторичной обмотке можно получать импульсы высокого напряжения, а при понижающем трансформаторе — мощные импульсы тока.

Генератор (рис. 56,а) может подключаться к питающей сети непосредст­венно, а генератор (рис 56,6) — через трансформатор с двумя вторичными об­мотками.



**Рис. 56. Генераторы мощных треугольных импульсов:**

***а —* схема генератора с тринистором и динистором; б — схема генератора с тринистором**

После включения генератор (рис. 56,а) работает следующим образом. В тот полупериод напряжения сети, когда положителен верхний (по схеме) про­вод питания, конденсатор C*1* заряжается через диод *VD1* и резистор *R1* до амплитудного значения напряжения сети. В отрицательный полупериод заряжается конденсатор С2 через диоды *VD2* и *VD3* и резистор *R2* (полярность напряжения на С2 показана на схеме). Когда напряжение на *С2* становится равным напря­жению переключения динистора *VS2,* т. е. uс2>Uпрк, динистор открывается и разрядный ток конденсатора *С2,* протекая через цепь управления тринистора *VS1,* открывает его. Конденсатор C*1* разряжается через тринистор *VSi* и пер­вичную обмотку трансформатора *Т1,* со вторичной обмотки которого импульс подается на нагрузку. После разряда *С1* тринистор выключается, а в следую­щий положительный полупериод конденсатор Ci вновь заряжается, и цикл повторяется. Таким образом, генератор срабатывает при каждом отрицательном полупериоде напряжения сети и частота следования выходных импульсов равна частоте сети.

Задержка выходных импульсов относительно начала отрицательного полу­периода зависит от сопротивления резистора *R2.* Если сопротивление резистора *R2* увеличить настолько, чтобы конденсатор *С2* заряжался до напряжения UПрк динистора не за один, а за несколько отрицательных полупериодов, то частота выходных импульсов будет меньше частоты питающей сети.

Емкость конденсатора C1 определяет мощность и длительность выходных импульсов, ее типовое значение около 1 мкФ. Емкость конденсатора С2 выби­рается примерно на порядок меньше емкости *С1,* т. е. С1/С2>10.

Напряжение Uпрк динистора должно отвечать условию Uпрк>Uу.от+Iу.отR4, где Uу.от и Iу.от — отпирающие напряжение и ток управления три­нистора.

Работу генератора (рис. 56,6) удобно начать рассматривать с момента вре­мени, соответствующего полупериоду переменного напряжения сети, когда на­пряжение на обмотках II и III трансформатора *Т1* имеет полярность, показан­ную на рисунке. При такой полярности напряжения на обмотках диод *VD,* оказывается в проводящем состоянии и накопительный конденсатор Ci заряжа­ется до амплитудного значения напряжения на обмотке II (полярность напря­жения на конденсаторе *С1* обозначена на схеме). В то же время в течение это го полупериода диод *VD2* закрыт и тринистор *VSi* также остается закрытым. При смене полярности напряжения на обмотках в следующий полупериод на­пряжения сети диод *VDi* закрывается, а диод *VD2* оказывается в проводящем состоянии. При этом напряжение с обмотки III подается на управляющий элек­трод тринистора *VSi,* и он отпирается, в результате чего конденсатор Ct раз­ряжается через первичную обмотку выходного трансформатора *Т2* и открытый тринистор. В следующий полупериод вновь происходит смена состояний дио­дов *VDi* и *VD2,* и процессы повторяются. Таким образом, генератор формиру­ет импульсы, частота следования которых равна частоте сети и не регулиру­ется.

Напряжение на обмотке III трансформатора *Т1* должно обеспечивать вклю­чение тринистора в начале полупериода, для чего на этой обмотке необходимо иметь переменное напряжение с амплитудой 40 ... 60 В. При этом тринистор от­пирается в моменты времени, когда крутизна синусоидального напряжения на обмотке достаточно большая, и поэтому стабильность угла отпирания, кото­рая определяет стабильность частоты следования выходных импульсов, оказы­вается высокой.

Резистор *R2* служит для ограничения тока управляющего электрода, a *Rt* ограничивает ток заряда конденсатора *C1.*

Мощный генератор прямоугольных импульсов. Хорошие ключевые свойства тринисторов позволяют с успехом использовать их в генераторах мощных им­пульсов, форма которых приближается к прямоугольной. Работа таких уст­ройств основана на принципе накопления энергии (см. § 18). Они могут ис­пользоваться в качестве импульсных модуляторов генераторов высокой часто­ты, в квантовой технике и т. д.

**Схема ждущего генератора мощных прямоугольных импульсов приведена на рис. 57.** По существу, эта схема представляет собой разновидность генера­тора рис. 49, в котором зарядный резистор заменен дросселем L3 и диодом *VD1,* а конденсатор — искусственной линией *Z* из LC-звеньев, служащей для формирования импульса необходимой длительности и формы.

Работа генератора складывается из двух циклов: зарядного и разрядного.

В паузах между импульсами, когда тринистор *VS1* закрыт, конденсаторы линии заряжаются от источника постоянного напряжения Uпит через дроссель *L3* и диод *VD1.* Использование в зарядной цепи дросселя позволяет получать резонансный заряд конденсаторов линии, поэтому в конце зарядного цикла напряжение на конденсаторах линии *Uл* max примерно равно 2UПИт. Таким об­разом, роль накопителя энергии здесь выполняют конденсаторы искусственной линии. Включение в зарядную цепь диода *VD1* препятствует разряду конденса­торов линии и позволяет сохранить напряжение *U*л max на них до прихода уп равляющего импульса на тринистор.

Разрядный цикл начинается при подаче управляющего импульса на трини­стор *VS1.* Тринистор включается, и линия формирования разряжается через-тринистор на сопротивлении нагрузки *RH,* которое должно быть равно волно­вому сопротивлению линии рл, т. е. Rн=рл. На нагрузке формируется импульс, длительность которого ти определяется параметрами линии, а амплитуд» UBЫХ.И = 0,5Uл mах~Uпит. Во время разряда линии через тринистор проходит импульс тока с амплитудой Iи = Uл mах/(Rн + рл) = Uвых.иАRн.

Тринистор остается открытым в течение времени ти, пока происходит разряд линии. При этом через тринистор, кроме разрядного тока линии, протекает ток от источника Uпит через дроссель L3 и диод *VD1.* Чтобы тринистор выключился, когда линия полностью разрядится, ток, протекающий через него от источника, питания, за время ти не должен успеть возрасти до значения Iуд. Это выпол­няется, если индуктивность зарядного дросселя L3 удовлетворяет условию: **L3 > ти UПИТ/IУД**

**Рис. 57. Схема ждущего генератора мощных прямоугольных импульсов**;

Элементы схемы генератора при заданных параметрах выходного импульса (длительности ти, частоте повторения *F* и амплитуде Uвых.и) и известном со­противлении нагрузки Rн рассчитываются по следующим формулам.

Суммарная емкость линии

**Сл = тн/2 Rn.**

Суммарная индуктивность линии

**Lл *=* ти Rн/2.**

Индуктивность зарядного дросселя

**L3<1/п2F2Сл.**

Емкость и индуктивность одной ячейки линии

**C' = Culk; L' = Lnlk,**

где *k* — число ячеек линии. Чем больше *k,* тем лучше форма выходного импуль­са приближается к прямоугольной, обычно выбирают k>4 ... 6.

Напряжение источника питания UПИТ= (1,15 ...1.2) UВЫХ.И.

Обычно искусственные линии имеют волновые сопротивления рл = =|/ L*Л/СЛ,* равные нескольким десяткам ом (рл = 10... 80 Ом). Поэтому для согласования сопротивления нагрузки с волновым сопротивлением линии часто используется повышающий импульсный трансформатор, первичная обмотка ко­торого включается вместо сопротивления нагрузки. Если коэффициент транс­формации равен n, то сопротивление нагрузки *RH,* подключенной ко вторичной обмотке и пересчитанное в первичную обмотку трансформатора, окажется

**R'н = Rн/n2.**

При использовании трансформатора условием согласования волнового со­противления искусственной линии и сопротивления нагрузки будет равенство рл = R'н. Применение повышающего импульсного трансформатора позволяет по­лучить напряжение на нагрузке большее, чем напряжение источника питания генератора.

Тринистор для генератора выбирается таким, чтобы его анодное напряже­ние было Uзс>2Uпит, импульсный ток Iос.п>Iи, а средний ток Iос>IиFТи.

Длительность внешних управляющих импульсов тВх.и должна быть Твх.и>tу.вкл, где tу.вкл — время включения тринистора.

**Глава 4**

**ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА**

**НА ДИОДНЫХ И ТРИОДНЫХ ТИРИСТОРАХ**

**18. Генераторы пилообразного напряжения**

Схема генератора пилообразного напряжения на динисторе (рис. 47,а) идентична обычной схеме релаксационного генератора на неоновой лам­пе, но имеет лучшие характеристики по сравнению с последней. Так, напри­мер, время выключения динистора меньше времени деионизации газонаполнен­ной (неоновой) лампы, и поэтому частота повторения импульсов в генераторе с динистором может быть получена более высокой (до нескольких десятков килогерц). Падение напряжения на динисторе значительно меньше, чем на лампе при возникновении тлеющего разряда (примерно 40... 50 В), поэтому коэффициент использования напряжения источника питания в генераторе с динистором получается значительно большим.

**Рис. 47. Генератор пилообразного напряжения на динисторе:**

***а* — схема генератора; б — форма выходного напряжения; *в* — положение нагрузочной пря­мой генератора**

Генератор (рис. 47,а) работает следующим образом. После включения на­пряжения источника питания UПит, которое выбирается из условия UПит>Uпрк, конденсатор *С1* начинает заряжаться через резистор *R1.* Напряжение на кон­денсаторе, а следовательно, и на аноде динистора *VS1* нарастает по экспонен­те до тех пор, пока несколько не превысит напряжение переключения UПрк динистора. В этот момент динистор переключается в открытое состояние и конденсатор разряжается через динистор и резистор R2, на котором возника­ет импульс с амплитудой, примерно равной Uпрк. Через открытый динистор протекают ток разряда конденсатора и ток от источника питания (через *RI).* Сопротивление резистора *R1* выбирается таким, чтобы для тока, протекающего через прибор от источника, выполнялось условие UПИТ/R1<Iуд; поэтому пос­ле окончания разряда конденсатора динистор вновь закроется и цикл пере­ключений будет повторяться. Резистор *R2* ограничивает ток разряда конден­сатора С*1* до безопасного для динистора значения.

Пилообразное напряжение *и1,* амплитуда которого практически равна Uпрк динистора, снимается с конденсатора *С1.* На резисторе *Rz* получаются импульсы «2 положительной полярности с крутым передним фронтом, длительность ко­торых определяется временем разряда конденсатора, а амплитуда примерно равна значению UПрк (рис. 47,6).

Элементы схемы генератора выбираются из следующих соотношений:

Первое, второе и последнее соотношения обеспечивают устойчивое включение динистора, третье — его выключение. При выполнении первых трех условий

прямая нагрузки пересекает вольт-амперную характеристику динистора в одной точке *К* на участке *2* (рис. *47,в).* Угол наклона нагрузочной прямой г|э прямо пропорционален значению arctg 1*/R1.* Положение рабочей точки на этом участ­ке неустойчиво, что и обусловливает режим автоколебаний. Для обеспечения этого режима необходим тщательный подбор сопротивления резистора Rь Длительность пилообразных импульсов определяется формулой



Длительность импульсов Т2, снимаемых с резистора *R2,*

Обычно T1>T2, и поэтому частота повторения импульсов (частота собст­венных колебаний) генератора F=l/т1. Регулировка частоты повторения осу­ществляется, как правило, изменением емкости конденсатора d. Для получе­ния хорошей линейности пилообразного напряжения и повышения стабильности частоты повторения необходимо, чтобы Uпит>Uпрк.

Генератор можно синхронизировать на более высокой частоте, чем частота собственных колебаний, подачей внешних импульсов. В качестве примера на рис. 48 приведена схема генератора, синхронизируемого импульсами отрицатель­ной полярности.

Генератор будет запускаться в тот момент, когда сумма напряжения на конденсаторе *ис1,* которое нарастает по экспоненте, и напряжения синхронизи­рующего импульса Uсинхр превысит напряжение переключения динистора Uпрк, т. е.

**uC1 + | UсинхР | > UпРк**

Такой генератор с внешней синхронизацией может быть использован как делитель частоты. Действительно, если в момент прихода синхронизирую­щего импульса нарастающее напряжение *ис1* на конденсаторе таково, что еще uc1+ |Uсинхр|<Uпрк, то динистор в открытое состояние не переключится. Со­ответствующим выбором амплитуды синхронизирующих импульсов можно добиться, чтобы динистор переключался не от первого, а от второго или третьего импульса и т. д.; тогда частота следования выходных импульсов будет в два, три раза и т. д. меньше частоты следования синхронизирующих импульсов.

**Рис. 48. Схема генератора пилооб­разного напряжения с внешней син­хронизацией на динисторе**

**Рис. 49. Схема генератора пилооб­разного напряжения на тринисторе**

Генератор пилообразного напряжения на тринисторе (рис. 49) работает в ждущем режиме и запускается внешними импульсами. В интервалах между импульсами тринистор *VS1* закрыт, а конденсатор *С1* заряжается примерно до напряжения *Uc1=Uпит* и затем быстро разряжается через резистор *R2* и три­нистор *VS1,* когда на последний подается отпирающий импульс UВх.и. После разряда конденсатора тринистор выключается, что обеспечивается соответст­вующим выбором сопротивления резистора *R1* по условию (6). Напряжение пилообразной формы U1 снимается с анода тринистора, а выходное напряже­ние «2, представляющее собой короткие импульсы отрицательной полярности с крутым фронтом, — с резистора R2. Амплитуды выходных импульсов *и1* и *и2* примерно равны напряжению источника питания. При работе генератора в ди­апазоне частот (от Fmin до Fmax) амплитуды выходных импульсов сохраняют­ся постоянными, если значение постоянной времени зарядной цепи, равное *(R1+R2)C1,* отвечает условию l/Fmax>3(R1+R2)C1. При выполнении этого требования конденсатор C1 успевает практически полностью зарядиться в те­чение самых коротких интервалов Tmin *= 1/Fтax* между импульсами.

Резистор *R2* ограничивает ток разряда конденсатора до безопасного для тринистора значения, его сопротивление рассчитывается по формуле R2>Uпит/Iос.п. Диод *VD{* устраняет на выходе в паузе между импульсами Uj положительные выбросы за счет зарядного тока конденсатора *С1.*

Рассмотренные генераторы (рис. *47,а,* 49) помимо пилообразного напряжении позволяют формировать короткие мощные импульсы, длительность которых оп­ределяется процессом разряда конденсатора. Формирование этих импульсов ос­новано на принципе накопления энергии, суть которого состоит в следующем. В интервале времени tзар, пока происходит медленный заряд конденсатора, в электрическом поле последнего накапливается некоторое количество энергии *We.* Затем при открывании тринистора (динистора) накопленная энергия в течение короткого промежутка времени Iраз выделяется в разрядной цепи (практически не ограничивающем резисторе). Мощность, расходуемая источни­ком питания в процессе заряда конденсатора, пропорциональна *Wc/tзap,* а им­пульсная мощность при разряде составляет *Wc/tpa3.* Поскольку IЗар>tраз, то мощность, потребляемая от источника, оказывается в tзар/tраз раз меньше мощности формируемого импульса. Таким образом, генератор, питаемый от маломощного источника, позволяет получать импульсы значительной мощности. Это обусловило широкое использование таких генераторов, главным образом на тринисторах, в различных устройствах. Генератор (рис. 49), например, мо­жет быть использован в полупроводниковых системах зажигания для автомо­бильных двигателей внутреннего сгорания; в этом случае вместо резистора R2 включается первичная обмотка катушки зажигания.

**23. Импульсные источники света с накопителем энергии**

Принцип накопления энергии, понятие о котором было дано в § 18, позволяет от маломощного источника питания получать мощные световые вспыш­ки. На этом принципе основана работа устройства (рис. 64), создающего «мига­ющий» свет.

После включения напряжения питания на базу транзистора *VT1* (через рези­стор *R1)* подается положительное напряжение и транзистор начинает проводить ток, заряжая конденсатор *С1* по цепи: плюс источника — резистор *R4* — открытый транзистор *VT1* — лампа *HL1* — конденсатор *C1* — минус источника. Сопротивление резисто­ра *R1* выбирается таким, чтобы в начальной стадии заряда конденсатора *C1,* когда заряд­ный ток максимален и примерно равен UПИТ/R4, лампа *HLi* оставалась погашенной. Напряже­ние на конденсаторе *UC1* (и в точке а*)* нара­стает по экспоненциальному закону. Это напря­жение создает в цепи управляющего электрода тринистора *VS1* ток, равный (uc1 + uл — *Uу)/R2,* где *ил* — падение напряжения на погашенной лампе *HLi, а* Uу — напряжение между управ­ляющим электродом и катодом тринистора. Когда ток в цепи управления Iу становится до­статочным для открывания тринистора, послед­ний включается в проводящее состояние. При этом конденсатор С4 разряжается через лам­пу *HLi,* диод *VDi* и тринистор *VS1* и лампа на короткое время загорается. Таким образом, энергия, запасенная в электриче­ском поле конденсатора, расходуется на импульсное питание нити лампы нака­ливания. Падение напряжения на диоде *VDi* от разрядного тока конденсатора включает переход база — эмиттер транзистора *VTi* в обратном направлении, и он закрывается. Сопротивление резистора *R1* выбирается из условия (6), следо­вательно, когда разрядный ток конденсатора Ci становится меньше удерживаю­щего тока тринистора, последний выключается. При закрытом тринисторе вновь начинает проводить транзистор, и цикл повторяется.

**Рис. 64. Схема устройства с накопительным конденсатором для создания «мигающего» света**

Продолжительность интервала «включено» в этом устройстве не регули­руется. Частота вспышек практически определяется постоянной времени *RiCi* и сопротивлением резистора *R2.* Емкость конденсатора Ci выбирается в преде­лах нескольких сотен микрофарад. Напряжение питания устройства 20... 25 В. В качестве источника света можно использовать лампу накаливания на напря­жение 24... 26 В мощностью 15... 25 Вт( например, типов СМ26-15, С24-25 и др.).

Такое устройство весьма экономично, может питаться от батареи или ак­кумулятора, сохраняя работоспособность даже при значительном снижении на­пряжения питания.

Динисторы и тринисторы применяются в устройствах поджига импульсных газоразрядных ламп (например, типа ИФК-120), которые широко используют­ся в фотографии, стробоскопах, светосигнализации и т. д. Схемное выполнение устройств поджига разнообразно, однако во всех устройствах используется принцип накопления энергии.

**Рис. 65. Схема генератора мощных световых импульсов**

В генераторе мощных световых импульсов (рис. 65) поджиг газоразрядной лампы осуществляется от генератора импульсов на динисторе *VS1,* который фактически представляет собой генератор импульсов (рис. 47,а). После включе­ния устройства в те полупериоды напряжение сети, когда положителен верх­ний (по схеме) провод питания, основной накопительный конденсатор *Ci* заря­жается через диод *VD1* и ограничивающий резистор *R1* примерно до амплитуд­ного значения напряжения сети. Одновременно через резистор R2 (сопротив­ление которого R2>R1) относительно медленно заряжается конденсатор Сг, и когда напряжение на нем достигает значения UПрк динистора *VSlt* послед­ний открывается. Конденсатор *С2* разряжается через динистор и первичную обмотку повышающего трансформатора T1 Импульс высокого напряжения, по­являющийся на вторичной обмотке, поджигает газоразрядную лампу *VL1,* через которую разряжается накопительный конденсатор *С1,* при этом возникает мощный световой импульс. Затем цикл повторяется.

**Рис. 66. Схема импульсного источни­ка света (лампа-вспышка)**

Частота вспышек лампы *VL1* может регулироваться резистором *R2;* она уменьшается при увеличении сопротивления этого резистора.

На рис. 66 показана схема лампы-вспышки, используемой в фотографии. Питание устройства производится от батареи *GB1,* а в генераторе поджига ис­пользован тринистор *VS1.* Принцип работы лампы-вспышки такой же, как и генератора световых импульсов.

После замыкания выключателя Q*1* конденсатор C*1* заряжается до напря­жения, равного ЭДС батареи, а конденсатор *С2* — до напряжения, определяе­мого делителем R2R3. Лампа-вспышка срабатывает при кратковременном замы­кании синхронконтактов S*1*, включенных в цепь управления тринистора VS». При этом тринистор открывается и конденсатор *С2* разряжается через него и первичную обмотку трансформатора T*1*, на вторичной обмотке которого возни­кает импульс высокого напряжения, поджигающий лампу *VL1.* Через лампу разряжается накопительный конденсатор *С1,* и при этом генерируется мощный световой импульс. Когда лампа погаснет, конденсаторы *С1* и *С2* вновь заря­жаются, и при очередном замыкании контактов *S1* вспышка повторяется.

Делитель *R2, R3* выбирается исходя из ЭДС используемой батареи и выб­ранного типа тринистора таким, чтобы напряжение в точке *а* было *Ua<U3C,* а его суммарное сопротивление составляло несколько сотен килоом. Сопротив­ление резистора *R4* в цепи управления выбирается из условия (8). Электриче­ская нагрузка на синхроконтакты мала, поскольку через них протекает незна­чительный ток управляющего электрода тринистора.

Емкость накопительного конденсатора *С1* и напряжение, до которого он заряжается, в обоих устройствах определяют мощность вспышек. Емкость кон­денсатора *С2* выбирается примерно 0,1 ... 0,5 мкФ.

**Глава 6**

**ВЫПРЯМИТЕЛИ и РЕГУЛЯТОРЫ мощности** **НА ТРИОДНЫХ ТИРИСТОРАХ**

**24. Выпрямительные устройства**

Проводящий тринистор, как и обычный полупроводниковый диод, име­ет вентильную характеристику: он представляет небольшое сопротивление для прямого тока и весьма значительное — для обратного. Однако наличие у три­нистора третьего, управляющего, электрода придает ему свойства, которых обычный диод не имеет. Действительно, если на управляющий электрод сиг-кал не подан, то тринистор не проводит ток в обоих направлениях. Это каче­ство тринисторов позволяет создавать на их основе выпрямительные устрой­ства, обладающие свойствами, реализация которых у обычных выпрямителей затруднительна или же невозможна. Так, тринисторные выпрямители позволяют, во-первых, при необходимости автоматически отключать нагрузку и, во-вторых, плавно регулировать выходное напряжение. Тринисторные выпрямители вы­полняются по известным схемам (одно-, двухполупериодные, мостовые и т. д.), в которых диоды частично или полностью заменяются тринисторами. Описание одно- и трехфазных схем выпрямителей на тринисторах можно найти, напри­мер, в [7].

Для плавного регулирования выходного напряжения в выпрямителях ис­пользуются принципы фазового управления тринисторами, так что на регули­рование практически не затрачивается дополнительной энергии.

В двухполупериодном выпрямителе с регулируемым выходным напряже­нием (рис. 67) управление тринисторами *VS1* и VS2 осуществляется импульсно-фазовым способом. Управляющие импульсы формируются релаксационным ге­нератором на однопереходном транзисторе *VT1* (см. § 8) из каждого полупе­риода переменного напряжения. Для открывания обоих тринисторов в разные полупериоды используется один релаксационный генератор. Генератор питается выпрямленным диодами *VD1* и *VD2* пульсирующим напряжением, которое ог­раничивается и стабилизируется стабилитроном *VD3,* и поэтому имеет трапецеи­дальную форму. После открывания соответствующего тринистора *(VSi* или У52) генератор шунтируется проводящим прибором и выключается. К началу каждого полупериода конденсатор Ci оказывается разряженным, и, таким об­разом, генератор синхронизируется с частотой питающей сети.

Угол отпирания тринисторов определяется постоянной времени *(Ri + R2)C1,* т. е. задержкой момента включения однопереходного транзистора относительно начала каждого полупериода, и может изменяться примерно от 5 до 180°. Тем самым выходное напряжение регулируется от максимального значения до нуля и имеет хорошую стабильность во всем диапазоне. Расчет релаксационного генератора производится по формулам (13) — (16).

В тринисторных выпрямителях с регулируемым выходным напряжением обычно используются фильтры, начинающиеся с индуктивности или резистора, чтобы уменьшить броски тока через открывающийся тринистор, обусловленные зарядным током конденсаторов фильтра.

Обратные напряжения на тринисторах в выпрямительных устройствах и токи, которые должны пропускать приборы, можно определять по формулам, используемым для расчета соответствующих выпрямительных схем на обычных диодах.

**Рис. 67. Схема тринисторного выпрямите­ля с регулируемым выходным напряжением**

**Рис. 68. Схема бестрансфор­маторного низковольтного три­нисторного выпрямителя**

На рис. 68 показана схема бестрансформаторного однополупериодного три-нисторного низковольтного выпрямителя. Тринистор здесь выполняет две функции: служит выпрямительным элементом и стабилизирует уровень выходного напряжения. После подачи напряжения питания (220 В) в те полупериоды напряжения сети, когда положителен верхний (по схеме) провод питания, три-нистор *VS1* открывается и выходной конденсатор *С1* заряжается. Управляющее напряжение на тринистор подается через резистор *R2* и диод *VD1.* От этой же цепи выпрямленным однополупериодным напряжением питается транзистор VT1, который управляет работой тринистора. В эмиттерную цепь транзистора включен стабилитрон *VD2,* а на базу через ограничивающий резистор Rз пода­ется выходное напряжение. Пока выходное напряжение Uвых меньше напряже­ния стабилизации UСТ2 стабилитрона *VD2,* т. е. Uвых<Uст2, транзистор закрыт и на работу тринистора не влияет. Когда напряжение UВых становится Uвых*>UCT2,* транзистор открывается и шунтирует цепь управления тринистора, который остается закрытым в течение всего периода переменного напряжения, Если же выходное напряжение снижается до значения UВых<Uст2, транзистор закрывается, и при очередном положительном полупериоде напряжения сети вновь включается тринистор и выходной конденсатор *С1* начинает подзаря­жаться.

Тринистор *VS1* и диод *VD1* должны иметь обратное напряжение не менее амплитудного значения напряжения сети питания. Напряжение стабилизации стабилитрона определяет выходное напряжение выпрямителя (обычно 10 .„ ...30 В). Резистор *R1* ограничивает анодный ток тринистора и коллекторный ток транзистора до допустимого значения. Сопротивление резистора *R2* рас­считывается по формуле (12). Конденсатор Ci должен иметь емкость несколько сотен микрофарад.