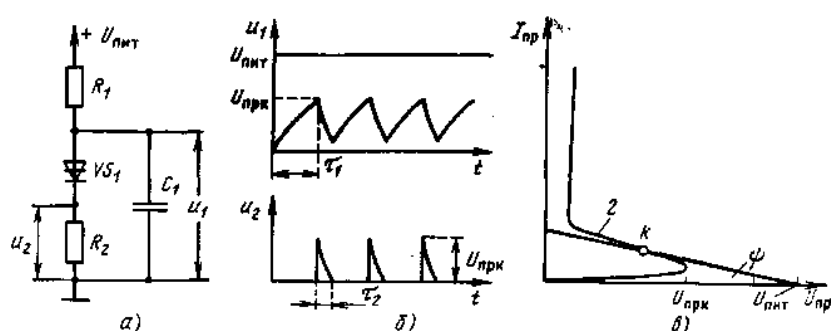


## Генераторы пилообразного напряжения

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 кГц). 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  $U_{пит}$ , которое выбирается из условия  $U_{пит} > U_{прк}$ , конденсатор  $C_1$  начинает

заряжаться через резистор  $R_1$ . Напряжение на конденсаторе, а следовательно, и на аноде динистора  $VS_1$  нарастает по экспоненте до тех пор, пока несколько не превысит напряжение переключения  $U_{\text{прк}}$  динистора. В этот момент динистор переключается в открытое состояние и конденсатор разряжается через динистор и резистор  $R_2$ , на котором возникает импульс с амплитудой, примерно равной  $U_{\text{прк}}$ . Через открытый динистор протекают ток разряда конденсатора и ток от источника питания (через  $R_1$ ). Сопротивление резистора  $R_1$  выбирается таким, чтобы для тока, протекающего через прибор от источника, выполнялось условие  $U_{\text{пит}}/R_1 < I_{\text{уд}}$ ; поэтому после окончания разряда конденсатора динистор вновь закроется и цикл переключений будет повторяться. Резистор  $R_2$  ограничивает ток разряда конденсатора  $C_1$  до безопасного для динистора значения.

Пилообразное напряжение  $u_1$ , амплитуда которого практически равна  $U_{\text{прк}}$  динистора, снимается с конденсатора  $C_1$ . На резисторе  $R_2$  получаются импульсы «2 положительной полярности с крутым передним фронтом, длительность которых определяется временем разряда конденсатора, а амплитуда примерно равна значению  $U_{\text{прк}}$  (рис. 47,6).

Элементы схемы генератора выбираются из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} U_{\text{пит}} &> U_{\text{прк}}, \\ (U_{\text{пит}} - U_{\text{прк}})/R_1 &> I_{\text{прк}}, \\ U_{\text{пит}}/R_1 &< I_{\text{уд}}, \\ R_2 &\ll R_1, \\ U_{\text{прк}}/R_2 &> I_{\text{уд}}. \end{aligned}$$

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  $K$  на участке 2 (рис. 47, в). Угол наклона нагрузочной прямой  $\alpha$  прямо пропорционален значению  $\operatorname{arctg} 1/R_1$ . Положение рабочей точки на этом участке неустойчиво, что и обуславливает режим автоколебаний. Для обеспечения этого режима необходим тщательный подбор сопротивления резистора  $R_1$ . Длительность пилообразных импульсов определяется формулой

$$\tau_1 \approx R_1 C_1 \ln \frac{U_{\text{пит}}}{U_{\text{пит}} - U_{\text{прк}}}.$$

Длительность импульсов  $T_2$ , снимаемых с резистора  $R_2$ ,

$$\tau_2 \approx R_2 C_1 \ln \frac{U_{\text{прк}}}{I_{\text{уд}} R_2}.$$

Обычно  $T_1 > T_2$ , и поэтому частота повторения импульсов (частота собственных колебаний) генератора  $F = 1/T_1$ . Регулировка частоты повторения осуществляется, как правило, изменением емкости конденсатора  $C$ . Для получения хорошей линейности пилообразного напряжения и повышения стабильности частоты повторения необходимо, чтобы  $U_{\text{пит}} > U_{\text{прк}}$ .

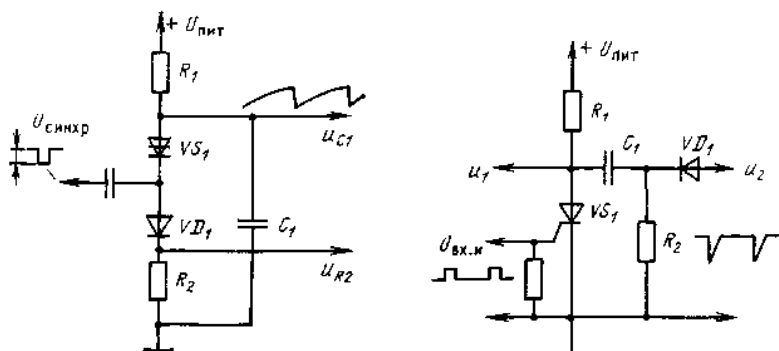
Генератор можно синхронизировать на более высокой частоте, чем частота собственных колебаний, подачей внешних импульсов. В качестве примера на рис. 48 приведена схема генератора, синхронизируемого импульсами отрицательной полярности.

Генератор будет запускаться в тот момент, когда сумма напряжения на конденсаторе  $U_{C1}$ , которое нарастает по экспоненте, и напряжения синхронизирующего импульса

$U_{\text{синхр}}$  превысит напряжение переключения динистора  $U_{\text{прк}}$ , т. е.

$$u_{C1} + |U_{\text{синхр}}| > U_{\text{прк}}$$

Такой генератор с внешней синхронизацией может быть использован как делитель частоты. Действительно, если в момент прихода синхронизирующего импульса нарастающее напряжение  $u_{C1}$  на конденсаторе таково, что еще  $u_{C1} + |U_{\text{синхр}}| < U_{\text{прк}}$ , 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 триносторе**

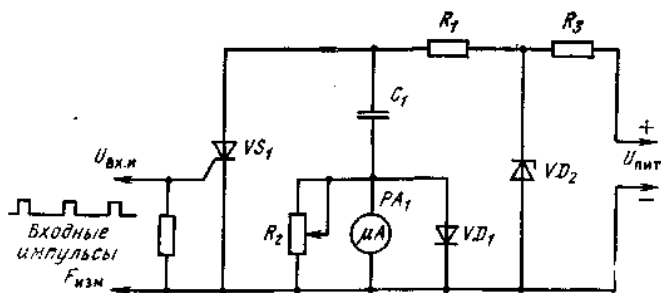
Генератор пилообразного напряжения на триносторе (рис. 49) работает в ждущем режиме и запускается внешними импульсами. В интервалах между импульсами

тринистор  $VS_1$  закрыт, а конденсатор  $C_1$  заряжается примерно до напряжения  $U_{c1}=U_{пит}$  и затем быстро разряжается через резистор  $R_2$  и тринистор  $VS_1$ , когда на последний подается отпирающий импульс  $U_{Вх.и}$ . После разряда конденсатора тринистор выключается, что обеспечивается соответствующим выбором сопротивления резистора  $R_1$  по условию (6). Напряжение пилообразной формы  $U_1$  снимается с анода тринистора, а выходное напряжение «2, представляющее собой короткие импульсы отрицательной полярности с крутым фронтом, — с резистора  $R_2$ . Амплитуды выходных импульсов  $u_1$  и  $u_2$  примерно равны напряжению источника питания. При работе генератора в диапазоне частот (от  $F_{min}$  до  $F_{max}$ ) амплитуды выходных импульсов сохраняются постоянными, если значение постоянной времени зарядной цепи, равное  $(R_1+R_2)C_1$ , отвечает условию  $1/F_{max} > 3(R_1+R_2)C_1$ . При выполнении этого требования конденсатор  $C_1$  успевает практически полностью зарядиться в течение самых коротких интервалов  $T_{min} = 1/F_{max}$  между импульсами.

Резистор  $R_2$  ограничивает ток разряда конденсатора до безопасного для тринистора значения, его сопротивление рассчитывается по формуле  $R_2 > U_{пит}/I_{ос.п}$ . Диод  $VD_1$  устраняет на выходе в паузе между импульсами  $U_j$  положительные выбросы за счет зарядного тока конденсатора  $C_1$ .

Рассмотренные генераторы (рис. 47,а, 49) помимо пилообразного напряжения 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  $t_{зар}$ , пока происходит медленный заряд конденсатора, в электрическом поле последнего накапливается некоторое количество энергии  $W_e$ . Затем при открывании тринистора (динистора) накопленная энергия в течение короткого промежутка времени  $t_{раз}$  выделяется в разрядной цепи (практически не ограничивающем резисторе). Мощность, расходуемая источником питания в процессе заряда конденсатора, пропорциональна  $W_c/t_{зар}$ , а импульсная мощность при разряде составляет  $W_c/t_{раз}$ . Поскольку  $t_{зар} > t_{раз}$ , то мощность, потребляемая от источника, оказывается в  $t_{зар}/t_{раз}$  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  $R_2$  включается первичная обмотка катушки зажигания.



**Рис. 50. Схема частотомера на тринисторе**

На рис. 50 приведена простая и надежная

схема частотомера, выполненного на тринисторном генераторе (рис. 49). Здесь параллельно резистору  $R_2$  подключен измерительный прибор  $PA_1$  — микроамперметр, через который протекает часть разрядного тока конденсатора  $C_1$ . Импульсы, частоту следования  $F_{\text{пям}}$  которых необходимо измерить, подаются на управляющий электрод тринистора  $VS_1$ . Последний отпирается с приходом каждого импульса и разряжает конденсатор  $C_1$ . Среднее значение разрядного тока  $I_{p.cp}$  определяется емкостью конденсатора  $C_1$ , напряжением  $U_{c1}$ , до которого он заряжается к моменту включения тринистора, и частотой разряда, т. е.  $I_{p.cp} = C_1 U_{c1} F_{\text{изм}}$ . Таким образом, при постоянных значениях  $C_1$  и  $U_{c1}$  показания прибора пропорциональны только частоте входных импульсов и не зависят от их длительности и амплитуды.

Для уменьшения погрешности измерений постоянная времени зарядной цепи  $R_1 C_1$  должна быть примерно на порядок меньше минимального периода повторения входных импульсов  $1/F_{\text{изм max}}$ , т. е.  $R_1 C_1 < 1/10 F_{\text{изм max}}$ , а зарядное напряжение следует стабилизировать (стабилитрон  $VZ_2$ ). Сопротивление резистора  $R_1$  выбирается по условию (6). Шунтирующий диод  $VD_1$  устраняет прохождение зарядного тока конденсатора через измерительный прибор  $PA_1$ . В частотомере можно применить маломощный тринистор типа КУ101 и др.

Тринисторы можно использовать в качестве переключающих элементов для получения пилообразных токов в устройствах строчной развертки телевизоров на электронно-лучевых трубках с большими экранами. Подобные схемы позволяют получать большие по сравнению с транзисторными устройствами отклоняющие

токи и потребляют значительно меньшую мощность, чем устройства развертки на электронных лампах. В схемах строчной развертки телевизионных приемников, выпускавшихся в прошлые годы, просто заменить коммутирующий прибор (лампу, транзистор) тринистором нельзя, так как по принципу работы таких устройств коммутирующий прибор должен полностью закрываться при прохождении через него большого тока.

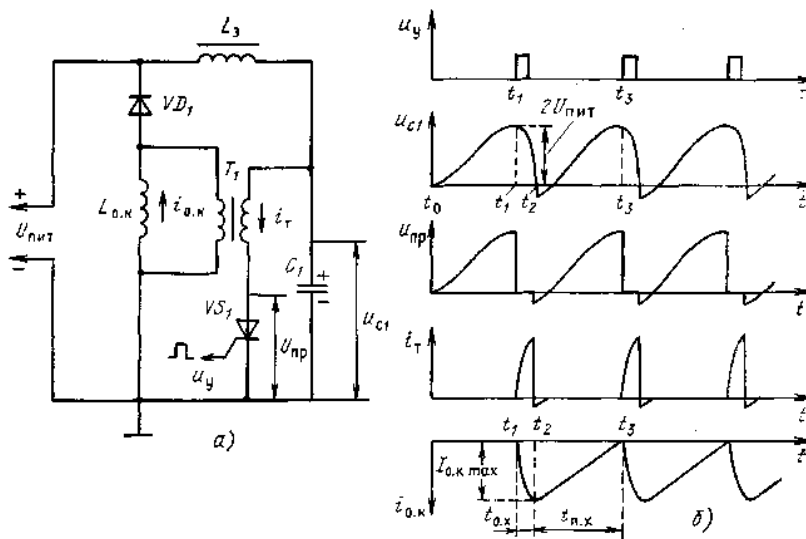
На рис. 51,а показана упрощенная схема выходного каскада строчной развертки с тринистором. Здесь для закрывания тринистора  $VS_1$  используется специальный конденсатор  $C_1$ , называемый конденсатором обратного хода развертки.

Рассмотрим работу устройства, воспользовавшись графиками рис. 51,б. После включения напряжения источника питания  $U_{\text{ПИТ}}$  (момент  $t_0$ ) конденсатор  $C_1$  резонансно заряжается через дроссель  $L_3$ . Пусть к моменту  $t_1$  процесс заряда закончится (напряжение на конденсаторе  $u_{c1}$  будет примерно равно  $2U_{\text{ПИТ}}$ ). Если в этот момент на тринистор  $VS_1$  подать включающий импульс ИУ, то энергия, накопленная в конденсаторе, через трансформатор  $T_1$  начнет поступать в отклоняющие катушки строчной развертки  $L_{0\cdot K}$ . Индуктивность отклоняющих катушек  $L_{0\cdot K}$ , емкость конденсатора  $C_1$  и параметры трансформатора  $T_1$  выбираются такими, чтобы разряд конденсатора имел колебательный характер. Через четверть периода собственных колебаний конденсатор  $C_1$  разрядится, тринистор закроется, а ток  $i_{0\cdot K}$  в катушках достигнет максимального значения  $I_{0\cdot K\text{max}}$  (момент  $t_2$ ). В этот момент на катушке  $L_{0\cdot K}$  возникает ЭДС самоиндукции, стремящаяся поддержать ток в катушке. Значение этой ЭДС превышает напряжение  $U_{\text{ПИТ}}$ , а ее полярность такова, что диод  $VD_1$  включается в прямом направлении



и таким образом источник питания  $U_{\text{ПИТ}}$  непосредственно соединяется с катушкой  $L_{0\cdot K}$ . В цепи  $L_{0\cdot K} - VD_1 - U_{\text{ПИТ}}$  возникает ток  $i_{0\cdot K}$ , возвращающий энергию в источник питания. Этот ток изменяется линейно и используется для создания прямого хода развертки. Момент  $t_3$ , когда ток через катушку  $L_{0\cdot K}$  становится равным нулю, должен совпадать с началом следующего цикла.

После закрывания тристора  $VS_1$  конденсатор  $C_1$  вновь резонансно заряжается через дроссель  $L_3$  (интервал  $t_2 - t_3$ ), и к концу прямого хода (момент  $t_3$ ) напряжение на нем снова будет приблизительно равно  $2U_{\text{ПИТ}}$ . В момент  $t_3$  на тристор подается следующий включающий импульс, и цикл повторяется.



**Рис. 51.** Упрощенная схема выходного каскада строчной развертки на тринисторе (а) и временные диаграммы, поясняющие работу каскада (б) ( $i_T$  — ток через первичную обмотку трансформатора и тринистор;  $t_{a.s.}$  — время прямого хода развертки)

Время включения тринистора должно быть примерно на порядок меньше продолжительности обратного хода развертки  $t_{0.х}$ , т. е.  $t_{у.вкл} < (0,1 \dots 0,2)t_{0.т}$ , а его напряжение в закрытом состоянии  $U_{зс} > 2U_{Пит}$ .