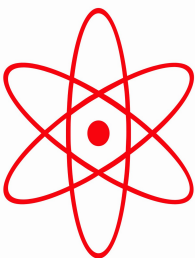


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



ФОЭЛ-11

**ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОРА В
АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ**

Тула, 2010 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОРА В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ.

Цель работы: исследовать теоретические принципы построения схемы блокинг — генератора, экспериментально изучить работу блокинг — генератора в автоколебательном режиме.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Введение.

Блокинг-генератор представляет собой релаксационную схему, содержащую усилительный элемент (например, транзистор), работающий в ключевом режиме, и трансформатор, осуществляющий положительную обратную связь. Достоинствами блокинг-генераторов являются сравнительная простота, возможность подключения нагрузки через трансформатор, присущая этим схемам способность формировать мощные импульсы, близкие по форме к прямоугольным. Эти и ряд других свойств схем обусловили их широкое применение в устройствах автоматики, регулирования и промышленной электроники.

Среди многообразия случаев использования блокинг-генераторов можно выделить четыре главные: в качестве формирователей импульсов, как сравнивающие устройства — компараторы, как импульсные автогенераторные схемы и как делители частоты.

При использовании в качестве формирователей импульсов блокинг-генераторы работают в ждущем режиме. Важнейшими их характеристиками являются: чувствительность к запуску, длительность формируемых импульсов и ее стабильность, предельно достигаемая частота срабатываний.

При использовании в качестве компаратора от блокинг-генератора прежде всего требуется высокая чувствительность к запуску, так как только при этом условии можно добиться, чтобы минимальная разность между сравниваемыми сигналами вызывала срабатывание устройства.

Важнейшим показателем блокинг-генератора, работающего в автоколебательном режиме, является частота генерируемых импульсов и ее стабильность, а работающего в режиме деления частоты — стабильность коэффициента пересчета, т. е. отношения частоты повторения входных импульсов к частоте повторения выходных.

Таким образом, блокинг-генератор представляет собой однокаскадный релаксационный генератор кратковременных импульсов с сильной индуктивной положительной обратной связью, создаваемой импульсным трансформатором. Вырабатываемые блокинг-генератором импульсы имеют большую крутизну фронта и среза и по форме близки к прямоугольным. Длительность импульсов может быть в пределах от нескольких десятков нс до нескольких сотен мкс. Обычно блокинг-генератор работает в режиме большой скважности, т. е. длительность импульсов много меньше периода их повторения. Скважность

может быть от нескольких сотен до десятков тысяч. Транзистор, на котором собран блокинг-генератор, открывается только на время генерирования импульса, а остальное время закрыт. Поэтому при большой скважности время, в течении которого транзистор открыт, много меньше времени, в течении которого он закрыт. Тепловой режим транзистора зависит от средней мощности, рассеиваемой на коллекторе. Благодаря большой скважности в блокинг-генераторе можно получить очень большую мощность во время импульсов малой и средней мощности.

При большой скважности блокинг-генератор работает весьма экономично, так как транзистор потребляет энергию от источника питания только в течении небольшого времени формирования импульса. Так же, как и мультивибратор, блокинг-генератор может работать в автоколебательном, ждущем режиме и режиме синхронизации.

Краткое описание этапов работы транзисторного блокинг — генератора.

Процессы в блокинг-генераторах, простейшие схемы которых представлены на рис. 1-1, можно разделить на четыре этапа: формирование фронта импульса, формирование вершины, этап формирования среза импульса и этап восстановления исходного состояния схемы.

Первый этап начинается с момента отпирания транзистора при действии через разделительную цепь $C_Э$ $R_Э$ запускающего импульса. После отпирания прибор работает в активном режиме, когда поступление в базу отпирающего тока вызывает накопление в ней заряда и пропорциональное заряду возрастание коллекторного тока. Сильная положительная обратная связь через резистор $R_{о.с.}$, осуществляемая импульсным трансформатором с первичной обмоткой ω_1 обмоткой обратной связи $\omega_{о.с.}$ и выходной обмоткой ω_H обуславливает лавинообразный характер нарастания токов в схеме (коллекторного, базового и тока нагрузки Z_H) и такой же характер уменьшения разности потенциалов между коллектором и эмиттером транзистора. В некоторый момент указанная разность потенциалов снижается почти до нуля, и прибор переходит в режим насыщения. На этом первый этап процесса заканчивается.

Если пренебречь активным сопротивлением первичной обмотки трансформатора и сопротивлением открытого прибора, то можно считать, что во время второго этапа к первичной обмотке приложено неизменное напряжение питания. Вследствие этого напряжения на остальных обмотках также неизменны. Что касается токов схемы, то характер их изменения во времени определяется характером цепей, включенных последовательно со вторичными обмотками трансформатора, а также магнитными свойствами его сердечника. Так, например, ток нагрузки постоянен, если нагрузка активная. Ток, задаваемый в базу транзистора цепью положительной обратной связи, постоянен в схеме на рис. 1-1, а, но этот ток уменьшается по мере заряда конденсатора $C_{о.с.}$ в схемах на рис. 1-1, б, в. Коллекторный ток транзистора

является суммой составляющих, трансформируемых в первичную обмотку из вторичных, и тока намагничивания. Последний монотонно возрастает, причем характер его изменения во времени определяется видом петли гистерезиса материала, из которого изготовлен сердечник трансформатора. Монотонность роста тока намагничивания означает увеличение во времени коллекторного тока.

Ограниченность базового тока и рост коллекторного приводят к тому, что транзистор выходит из состояния насыщения. Этап формирования вершины импульса на этом заканчивается.

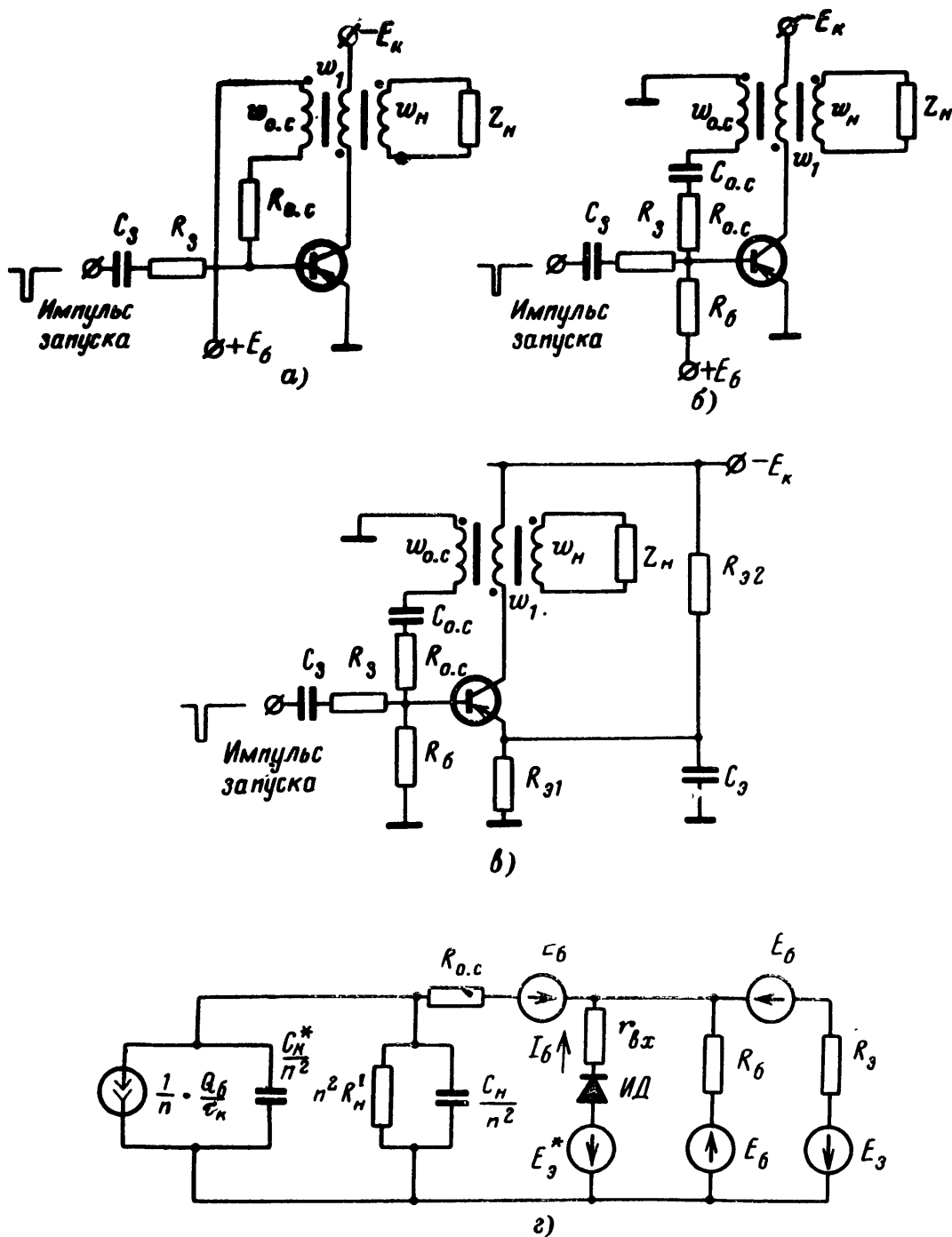


Рис. 1-1. Простейшие схемы блокинг-генераторов (а, б, в) и соответствующая им на стадии регенерации схема замещения (з).

Выход транзистора из насыщения означает, что коллекторный ток вновь становится зависящим от величины накопленного в базе заряда, а базовый ток уменьшается. Последнее вызвано возрастанием падения напряжения на вышедшем из состояния насыщения приборе и соответственно уменьшением напряжения, приложенного к первичной обмотке трансформатора. Из-за действия цепи положительной обратной связи начавшееся снижение базового тока протекает лавинообразно, вызывая запирающее транзистора. В это время на нагрузке формируется срез импульса.

После записывания прибора начинается этап восстановления исходного состояния блокинг-генератора. Сущность процессов на этом этапе сводится к рассеянию энергии, накопленной за время формирования импульса в реактивных элементах схемы. Рассеяние энергии, накопленной в сердечнике трансформатора, вызывает появление напряжений на его обмотках. Так как направления изменения индукции магнитного поля в сердечнике во время процессов накопления и рассеяния энергии противоположны, то полярности напряжений на обмотках трансформатора при формировании импульса и во время этапа восстановления также противоположны. Действие напряжения на обмотке обратной связи приводит к появлению на базе запирающего смещения, поддерживающего транзистор в режиме отсечки.

Запирающий потенциал на базе может быть обусловлен не только энергией, накопленной в трансформаторе, но и энергией других реактивных элементов. Например, в схемах на рис. 1-1,б, в запирающий потенциал появляется за счет заряда, накопленного на конденсаторе цепи положительной обратной связи за время формирования импульса.

Запирающее смещение, обусловленное энергией, накопленной в реактивных элементах схемы, можно назвать динамическим, имея в виду, что смещение уменьшается по мере рассеяния энергии. По завершении четвертого этапа, когда полностью рассеивается запасенная энергия, должно исчезнуть также и динамическое смещение. **Если после его исчезновения условия, необходимые для регенерации, не выполняются и на нагрузке не формируется новый импульс, то режим работы блокинг-генератора является ждущим. Если исчезновение динамического смещения ведет к формированию нового импульса, то режим работы схемы автоколебательный.**

Блокинг — генератор в автоколебательном режиме.

В автоколебательном режиме блокинг-генераторы чаще всего используются как источники тактовых импульсов. Важнейшими характеристиками этих схем является частота повторения генерируемых импульсов и ее стабильность. Частота повторения определяется выражением:

$$f = \frac{1}{T_{\text{и}} + T_{\text{п}}}, \quad (1.1)$$

где $T_{\text{и}}$ — длительность формируемых импульсов, а $T_{\text{п}}$ — длительность паузы между ними.

Из этого выражения следует:

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{\Delta T_{\text{и}} + \Delta T_{\text{п}}}{T_{\text{и}} + T_{\text{п}}} = -\left(\frac{\frac{\Delta T_{\text{и}}}{T_{\text{и}}}}{1 + \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{и}}}} + \frac{\frac{\Delta T_{\text{п}}}{T_{\text{п}}}}{1 + \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{и}}}} \right). \quad (1.2)$$

Для большинства блокинг-генераторов $T_{\text{п}} \gg T_{\text{и}}$, и, следовательно, для стабилизации частоты необходимо в первую очередь стабилизировать время паузы между импульсами.

Во время паузы положительная обратная связь блокирована, что обеспечивается, например, запирающим транзистором схемы или диодом, включенного последовательно с обмоткой положительной обратной связи. Блокирующее напряжение создается за счет энергии, накопленной в реактивных элементах схемы за время формирования импульса. По мере рассеяния энергии, блокирующее напряжение изменяется. Когда оно достигнет критического уровня, при которой в схеме вновь становится возможной регенерация, на нагрузке формируется очередной импульс.

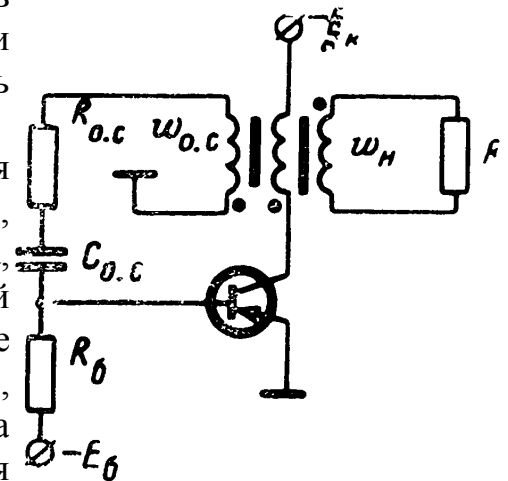


Рис. 1-2 Простейший автогенератор на основе блокинг-генератора с RC -обратной связью.

Стабилизация частоты генерируемых импульсов требует такого построения времязадающей цепи, чтобы время $T_{\text{п}}$ мало зависело от нестабильных параметров (падений напряжений на диодах, порога отпирания транзистора, его теплового тока и т. п.) и чтобы процесс раеcеивания энергии, накопленной в других реактивных элементах, не входящих во времязадающую цепь, минимально сказывался на процессах, происходящих в этой цепи. Второе требование означает, в частности, что полное рассеивание энергии в реактивных элементах, не входящих во времязадающую цепь, должно заканчиваться раньше, чем в схеме начнется формирование нового импульса.

По виду времязадающей цепи блокинг-генераторы можно разделить на схемы RC , RLC -времязадающими цепями, а также схемы, в которых длительность паузы определяется продолжительностью рассеяния энергии, накопленной в трансформаторе.

Простейшей из схем с RC -времязадающей цепью является классический блокинг-генератор с конденсатором, включенным

последовательно с обмоткой положительной обратной связи (рис. 1-2). На примере этой хорошо изученной схемы целесообразно рассмотреть некоторые особенности построения блокинг-генераторов с RC -времязадающей цепью.

Найдем выражение, позволяющее оценить продолжительность паузы T_n между импульсами. Для этого рассмотрим немного упрощенную схему, изображенную на рис. 1.3. Пусть сначала на конденсаторе C напряжение имеет положительную полярность (показанную на рис. 1-3, а) и достаточно большое значение. Тогда транзистор находится в запертом состоянии и конденсатор разряжается через R и вторичную обмотку трансформатора. Индуктивностью последней можно пренебречь, так как скорость изменения тока на этом этапе невелика. Строго говоря, разряд происходит не только через R , но и через цепь базы; это будет учтено при последующем анализе. Когда напряжение на конденсаторе, стремящееся к отрицательному уровню — E_6 , падает до нуля, транзистор отпирается и начинается второй этап переходного процесса. На этом этапе возрастающий коллекторный ток наводит на вторичной обмотке трансформатора э. д. с. отрицательной полярности, которая способствует форсированному отпиранию транзистора. Процесс развивается лавинообразно вплоть до насыщения транзистора, когда последний утрачивает усилительные свойства и положительная обратная связь нарушается. Коллекторное напряжение в течение второго этапа падает от величины — E_K практически до нуля. На третьем этапе происходит рассасывание накопленных в базе носителей. При этом

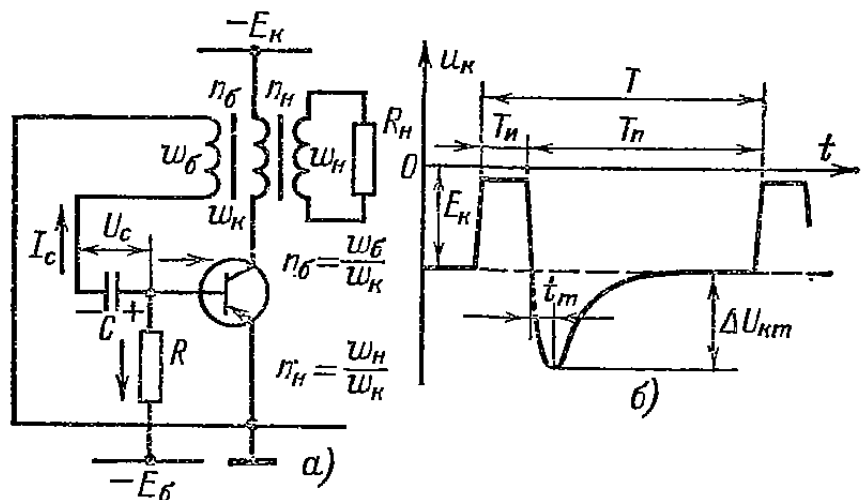


Рис. 1-3 . Простейшая схема блокинг-генератора (а) и временная диаграмма коллекторного напряжения (б).

напряжение $U_{кв}$ остается близким к нулю, т. е. формируется вершина импульса. Через некоторое время заряд неосновных носителей в базе уменьшается до такой величины, при которой транзистор выходит из насыщения. После этого наступает этап запира-ния, в течение которого коллекторный ток лавинообразно падает до нуля, а коллекторное напряжение снова достигает значения $-E_{к}$. Затем получается выброс, обусловленный рассеянием магнитной энергии, накопленной в сердечнике трансформатора. По окончании выброса схема возвращается в исходное состояние и рассмотренный цикл повторяется.

То положительное напряжение на конденсаторе, которое мы предположили в начале цикла, получается в процессе формирования вершины, когда через конденсатор протекает большой базовый ток. Фронты импульса обычно бывают короткими, и напряжение U_c за время фронта практически не меняется.

Интервал между двумя импульсами (время паузы) определяется временем разряда конденсатора от некоторого максимального напряжения U_{cm} до напряжения отпирания U_{c0} , близкого к нулю.

Напряжение отпирания величина условная. В данном случае под U_{c0} можно понимать то напряжение $U_{э-б}$, при котором коэффициент β , зависящий от тока, становится достаточным для лавинообразного процесса, характеризующего фронт импульса. Обычно напряжение U_{c0} соответствует коллекторным токам порядка 10-100 мкА и составляет 50 — 100 мВ для германиевых и 200 — 300 мВ для кремниевых транзисторов. Учет напряжения U_{c0} не носит принципиального характера, поэтому пренебрежем им в дальнейшем, считая что транзистор отпирается при $U_{c0}=0$ Вольт.

Транзистор на этом этапе заперт, но в цепи базы протекает некоторый остаточный ток I_0 [см., например, (15-1в)]. Кроме того, имеет место ток через соп и $R_{у.э}$, шунтирующие запертые переходы транзистора. На рис. 1.4 показана эквивалентная схема разряда конденсатора, исходя из которой можно записать уравнение разряда в следующем виде:

$$C \frac{dU_c}{dt} = I_c = - \frac{U_c + E_6}{R} - \frac{U_c}{R_{у.э}} - \frac{U_c + E_{к}}{R_{у.к}} - I_0. \quad (1.3)$$

Решая уравнение при начальном условии $U_c(0) = U_{cm}$ и полагая затем $U_c = 0$, находим время паузы:

$$T_{п} = \tau_{п} \ln \frac{U_{cm} + E_6 + \left(I_0 + \frac{E_{к}}{R_{у.к}} - \frac{E_6}{R_{у.к} \parallel R_{у.э}} \right) R^*}{E_6 + \left(I_0 + \frac{E_{к}}{R_{у.к}} - \frac{E_6}{R_{у.к} \parallel R_{у.э}} \right) R^*}, \quad (1.4)$$

где $\tau_{п} = CR^*$ — эквивалентная постоянная времени разряда; $R^* = R \parallel R_{у.к} \parallel R_{у.э}$ — эквивалентное

разрядное сопротивление.

Формула (1.4) имеет ту же структуру, что и формула для мультивибратора, и является обобщением последней. На практике резистор R присоединяют к шине источника питания; тогда $E_6 = E_k$ и сходство между обеими формулами делается еще более очевидным.

Поскольку время паузы T_n пропорционально постоянной времени τ_n , желательно, чтобы последняя по возможности не зависела от нестабильных сопротивлений утечек. Для этого нужно стремиться к выполнению условия

$$R \ll R_{y.k} \parallel R_{y.э}, \quad (1.5)$$

которое обычно соответствует значениям R , не превышающим 50 кОм.

Если положить $R_{y.k} = R_{y.э} = \infty$ и $I_0 = 0$, то выражение (1.4) упрощается и характеризует длительность паузы в идеализированной схеме, в которой отсутствуют дестабилизирующие факторы:

$$T_n = RC \ln \left(\frac{U_{cm}}{E_6} + 1 \right). \quad (1.6)$$

В отсутствие смещения ($E_6 = 0$) стабильность блокинг-генератора оказывается весьма низкой, так как при этом время паузы согласно (1.4) существенно зависит от обратного тока и сопротивлений утечек. Практически такая схема, как и схема мультивибратора без смещения, неработоспособна.

Таким образом, для схемы рис. 1.2 можно записать:

$$T_n = \tau_n \ln \frac{U_{C \text{ макс}} + E_6 + R_n \left[I_{к0} + \frac{E_k}{r_{y.k}} - \frac{E_6}{r_{y.k} \parallel r_{y.э}} \right]}{U_{кр} + E_6 + R_n \left[I_{к0} + \frac{E_k}{r_{y.k}} - \frac{E_6}{(r_{y.k} \parallel r_{y.э})} \right]}, \quad (1.7)$$

где $I_{к0}$ — тепловой ток транзистора; $r_{y.k}$ и $r_{y.э}$ — сопротивления утечки коллекторного и эмиттерного переходов; $R_n = [R_{0.6} + (R_6 \parallel r_{y.k} \parallel r_{y.э})]$; $\tau_n = C_{0.6} R_n$; $U_{C \text{ макс}}$ — напряжение на конденсаторе в момент окончания импульса на нагрузке; $U_{кр}$ — значение разности потенциалов между базой и эмиттером транзистора, соответствующее началу развития блокинг-процесса.

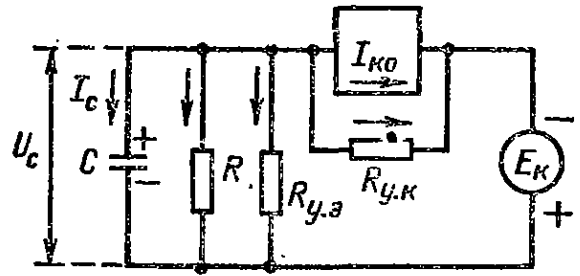


Рис. 1.4 Эквивалентная схема для интервала паузы.

Среди величин, входящих в выражение (1.7), только некоторые могут быть заданы с высокой точностью и являются стабильными ($R_{o.c.}$, R_6 , $C_{o.c.}$). Остальные либо имеют значительный технологический разброс и могут изменяться в процессе работы ($I_{к0}$, $r_{y.к.}$, $r_{y.э.}$, E_K , E_6), либо как, например, $\tau_{п.}$, $U_{C \text{ макс}}$ зависят от нестабильных параметров схемы. Поэтому схему блокинг-генератора необходимо выполнять так, чтобы до минимума уменьшить влияние нестабильных параметров на время $T_{п.}$

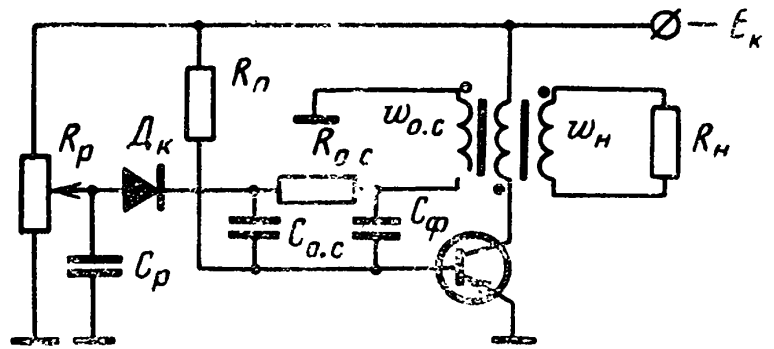


Рис. 1.5 Блокинг-генератор с цепью стабилизации длительности и частоты повторения генерируемых импульсов.

Для ослабления влияния на длительность паузы параметров $I_{к0}$, $r_{y.к.}$, $r_{y.э.}$ целесообразно уменьшать сопротивление резистора R_6 , через который происходит разряд конденсатора $C_{o.c.}$. Выбор этого сопротивления должен быть осуществлен так, чтобы обеспечилось одновременное выполнение неравенства $R_6 \ll (r_{y.к.} \parallel r_{y.э.})$; $I_{к0} \cdot R_6 B \ll E_6$.

Другим способом ослабления влияния параметров $I_{к0}$, $r_{y.к.}$, $r_{y.э.}$ на длительность паузы $T_{п.}$ является включение кремниевого диода последовательно с базой транзистора. Диод имеет значительно меньший, чем у транзистора, ток насыщения обратного смещенного перехода и значительно большее сопротивление утечки.

Если влиянием величин $I_{к0}$, $r_{y.к.}$, $r_{y.э.}$ на длительность паузы можно пренебречь, то:

$$T_{п.} \approx C_{o.c.} (R_{o.c.} + R_6) \ln \frac{U_{C \text{ макс}} + E_6}{U_{кр} + E_6}. \quad (1.8)$$

Из выражения (1.8) следует, что стабильность времени $T_{п.}$ зависит от значения дроби, стоящей под знаком логарифма. Постоянство этого значения при изменениях напряжения питания и параметров схемы можно обеспечить, если обеспечить пропорциональность между собой числителя и знаменателя дроби. Напряжение, до которого заряжается конденсатор за время формирования импульса:

$$U_{C \text{ макс}} \approx nU_1 \left[1 - \exp \left(-\frac{T_{п.}}{\tau_{o.c.}} \right) \right] \approx nE_K \left[1 - \exp \left(-\frac{T_{п.}}{\tau_{o.c.}} \right) \right] \quad (1.9)$$

пропорционально напряжению питания. Поэтому для повышения стабильности частоты схему целесообразно выполнять так, чтобы напряжение смещения E_6 было также пропорциональным E_K . Это достигается присоединением резистора R_6 либо к отрицательной шине питания ($E_6 = E_K$),

либо к движку потенциометра, включенного между шинами питания.

Более просто необходимое для стабилизации времени T_n ослабление влияния параметров транзистора, импульсного трансформатора и нагрузки на напряжение $U_{C \text{ макс}}$ достигается путем уменьшения до нуля сопротивления цепи положительной обратной связи. В этом случае конденсатор заряжается за время импульса практически до напряжения nE_k , действующего на обмотке $\omega_{o.c.}$. Однако при $R_{o.c.} = 0$ существенна неустойчивость длительности формируемого импульса, что отрицательно сказывается на стабильности частоты генерации.

Выражение (1.7), определяющее продолжительность паузы между импульсами, получено без учета обратного напряжения, возникающего «а обмотке $\omega_{o.c.}$ во время рассеивания энергии, накопленной в трансформаторе.

Указанная обмотка входит в контур разряда конденсатора $C_{o.c.}$ и поэтому напряжение на ней должно влиять на время паузы.

Для уменьшения этого влияния обмотку следует исключить из контура разряда конденсатора $\omega_{o.c.}$, как это сделано в схеме на рис. 1.6.

Кроме величин E_b и $U_{C \text{ макс}}$, в дробь под знаком логарифма в выражении (1.8) входит напряжение $U_{кр.}$. Его отличие от нуля обусловлено нелинейностью элементов схемы блокинг-генератора и, в первую очередь, его транзистора. Например, в схемах на рис. 1.2, 1.5, 1.6 для начала блокинг-процесса базовый и коллекторный токи при-бора должны возрасти до такой величины, при которой его входное сопротивление уменьшится, а коэффициент усиления по току возрастет настолько, что начнет выполняться условие регенерации. Чем больше базовый ток, при котором это произойдет, тем большее напряжение необходимо создать на базе для срабатывания схемы, а следовательно, тем больше $U_{кр.}$

Таким образом, необходимое для стабилизации времени уменьшение величины $U_{кр.}$ может быть достигнуто уменьшением входного тока, при котором начинается развитие блокинг-процесса, т. е. увеличением чувствительности схемы к запуску. Ряд средств для достижения этой цели, как, например, пороговое включение нагрузки, обеспечение открытого состояния транзистора перед срабатыванием, — можно использовать в блокинг-генераторах, работающих в автоколебательном режиме и имеющих RC-времязадающие цепи.

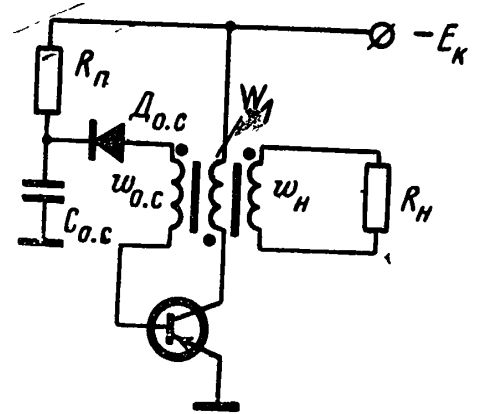


Рис. 1.6 Отделение времязадающей RC-цепи от остальной части схемы во время паузы с помощью диода.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Лабораторная работа выполняется на учебной установке ФОЭЛ-11, принципиальная блок — схема которой приведена на рис. 2.1.

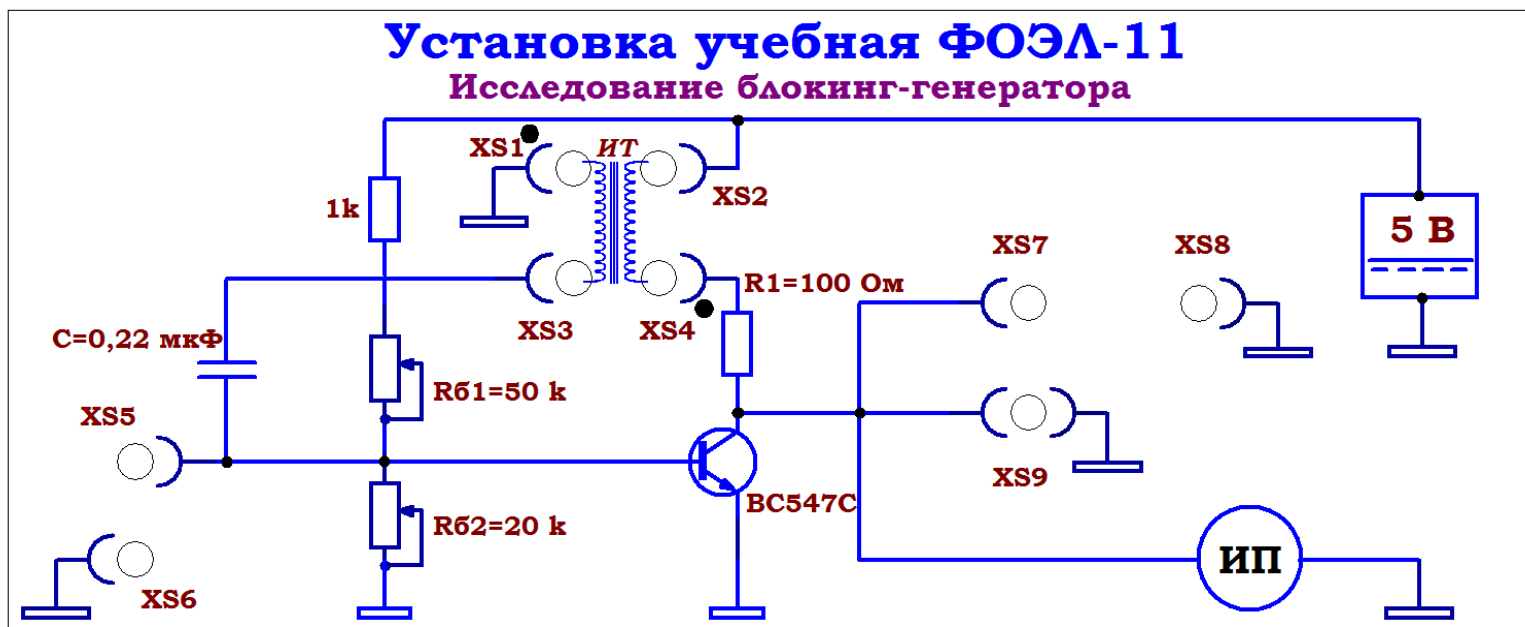


Рис. 2.1. Принципиальная электрическая упрощенная блок — схема учебной установки ФОЭЛ-11 для изучения работы блокинг — генератора.

На передней панели учебной установки расположен комбинированный измерительный прибор (омметр, условно обозначенный на схеме рис. 2.1 как ИП), позволяющий измерять сопротивления базового делителя R_{61} и R_{62} , устанавливаемые соответственно с помощью ручек « R_{61} » и « R_{62} ».

Исследуемая схема рис 2.1 представляет собой учебную модель блокинг — генератора в автоколебательном режиме работы (без внешней синхронизации) на холостом ходу (отсутствует нагрузочная обмотка ω_n и нагрузка). Схема практически полностью повторяет известные простейшие схемы блокинг — генератора рис. 1.2, 1.3. Импульсный трансформатор ИТ, расположенный в отдельном корпусе, подключается к схеме к клеммам XS1...XS4, соблюдая фазность обмоток (контакты XS1 — XS10 и XS4 — XS11, помеченные точками подключаются между собой попарно; не помеченные клеммы XS3 — XS12 и XS2 — XS13 также соединяются между собой попарно). Напряжение питания 5 Вольт поступает на исследуемую схему от стабилизированного источника питания. Для измерения основных характеристик сигнала (амплитуда, частота) предполагается использование электронного осциллографа, подключая вход Y осциллографа к выходу коллектора транзистора XS9. Предусмотрена возможность измерения падения напряжения на базе — эмиттер транзистора $U_{б-э}$, подключая универсальный мультиметр к клеммам XS5 — XS6; а также напряжения на переходе коллектор — эмиттер транзистора $U_{к-э}$, подключая мультиметр к выводам XS7 — XS8.

Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть необходимо убедиться в целостности сетевых и соединительных проводов. Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению, запрещается замыкать выходы контрольных точек.
2. Включить установку и электронный осциллограф в сеть ~ 220 В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель сеть на панели учебного модуля и электронного осциллографа в положение «ВКЛ», при этом должны загореться сигнальные индикатор «СЕТЬ».
3. Собрать схему рис. 2.1. Для этого следует подключить импульсный трансформатор ИТ к схеме к клеммам XS1 ... XS4, соблюдая фазность обмоток (контакты XS1 – XS10 и XS4 – XS11, помеченные точками подключаются между собой попарно; не помеченные клеммы XS3 – XS12 и XS2 – XS13 также соединяются между собой попарно).
4. Установить ручку «AC – GND – DC» осциллографа в положение «AC» для наблюдения только переменной составляющей.
5. Ручки «R61» и «R62» установить в рекомендуемые положения. Рекомендуемые положения: $R61 \approx 3 - 5$ кОм, $R62 \approx 0,5 - 2$ кОм по показаниям цифрового омметра.
6. Подключить измерительный провод типа «тюльпан — BNC» к клемме XS9 учебной установки и к входу Y электронного осциллографа.
7. Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ) и ручек POSITION осей X и Y на электронном осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала. Для дополнительной синхронизации можно использовать ручку LEVEL. Ручка «Y-LINE-EXT» метода синхронизации должна находиться в положении Y (внутренняя синхронизация). При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR. Рекомендуемые положения ручек электронного осциллографа: VOLTS/DIV ~ 2 В; TIME/DIV $\sim 50 - 20$ μ S.
8. Получить сигнал с выхода блокинг — генератора, сигнал должен иметь вид, аналогичный рис. 2.2. Зарисовать сигнал с экрана осциллографа по

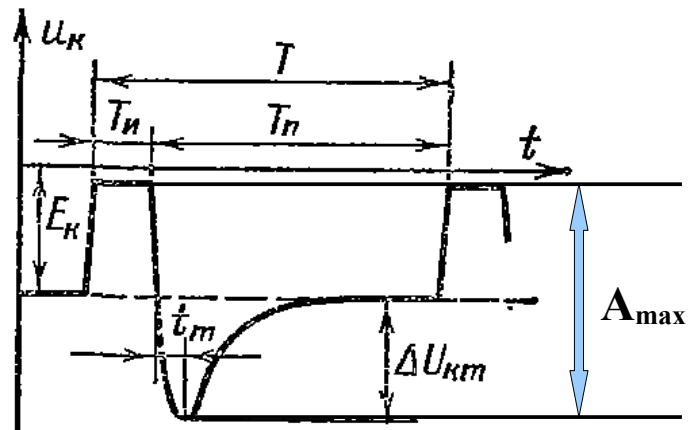


Рис. 2.2. Временная диаграмма коллекторного тока блокинг — процесса, получаемая на учебной установке ФОЭЛ-11.

клеткам на миллиметровую бумагу.

9. Убедиться в том, что при неправильном (не синфазном) включении обмоток импульсного трансформатора генерация не возникает.

10. Записать значения резисторов базового делителя $R_{б1}$ и $R_{б2}$ по показаниям цифрового омметра. При данном значении сопротивлений определить амплитуду (размах A_{max}), период импульсов T , частоту импульсов $\nu=1/T$, длительность импульса $T_{и}$, длительность паузы $T_{п}$; если это возможно, то длительность переднего фронта $t_{ф+}$, заднего фронта $t_{ф-}$ (см. поясняющие рис. 2.2, 2.3).

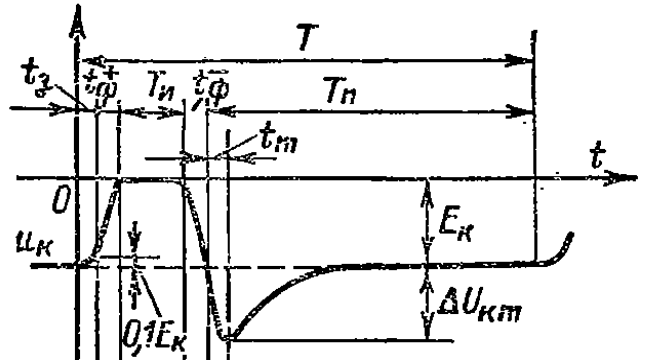


Рис. 2.3. Временная диаграмма коллекторного тока. Определения основных параметров импульса.

11. Подключить универсальный мультиметр к выводам XS5 – XS6 схемы и измерить падение напряжения на переходе база — эмиттер транзистора Уб-э. Переключатель диапазонов мультиметра установить в положение 20 V DC для измерения постоянного напряжения.
12. Подключить мультиметр к клеммам XS7 – XS8 лабораторной установки и замерить напряжение перехода коллектор — эмиттер транзистора Ук-э.
13. Оцените длительность паузы $T_{п}$ (время между окончанием предыдущего импульса и началом следующего) теоретически. Для этого можно воспользоваться теоретически полученной оценочной формулой (1.8), переписанной в виде $T_{п} = \alpha \cdot (R_{o.c.} + R_{б}) \cdot C_{o.c.}$, где $R_{o.c.} = 10 \text{ Ом}$ — активное сопротивление катушки самоиндукции (играет роль $R_{o.c.}$ в схеме рис. 1.2), $C_{o.c.} = 0,22 \text{ мкФ}$ — конденсатор в цепи обратной связи, принять $R_{б} = R_{б1}$ — сопротивление базового делителя (по показаниям

$$R_{б1} = R_{б1} \text{ встроенного омметра); } \alpha = \ln \frac{U_{с. макс.} + E_{б}}{U_{кр.} + E_{б}} \approx 0,2 \quad \text{—}$$

поправочный безразмерный коэффициент. Все вычисления производить в СИ. Приведенная формула справедлива при значениях резистора $R_{б2} = R_{б2} > 1 \text{ кОм}$.

14. Сравнить экспериментально определенные параметры импульсов с теоретическими оценками.
15. Установив значение $R_{б1} = 10 \text{ кОм}$, вращать резистор $R_{б2}$, наблюдая за изменением формы импульсов коллекторного тока блокинг — генератора. Исследовать зависимость периода импульсов T от значения сопротивления $R_{б2}$ при данном значении сопротивления резистора $R_{б1}$: $T = T(R_{б2})$. Установить, при каком значении резистора $R_{б2}$ происходит срыв генерации. Опыт проделать для двух — трех различных значениях $R_{б1}$.

16. Исследовать зависимость падения напряжения на переходе коллектор-эмиттер транзистора $U_{к-э}$ от значения сопротивления $R_{б2}$ при данном значении сопротивления резистора $R_{б1}$ (для этого подключить мультиметр к клеммам XS7 – XS8 лабораторной установки): $U_{к-э} = U_{к-э}(R_{б2})$. Установить при каком значении $U_{к-э}$ происходит срыв генерации. Опыт проделать для двух — трех различных значениях $R_{б1}$.
17. Исследовать зависимость падения напряжения на переходе база — эмиттер транзистора $U_{б-э}$ от значения сопротивления $R_{б2}$ при данном значении сопротивления резистора $R_{б1}$ (для этого подключить мультиметр к клеммам XS5 – XS6 лабораторной установки): $U_{б-э} = U_{б-э}(R_{б2})$. Установить при каком значении $U_{б-э}$ происходит срыв генерации. Опыт проделать для двух — трех различных значениях $R_{б1}$.
18. Установив значение $R_{б2}=1$ кОм, вращать резистор $R_{б1}$, наблюдая за изменением формы импульсов коллекторного тока блокинг — генератора. Исследовать зависимость периода импульсов T от значения сопротивления $R_{б1}$ при данном значении сопротивления резистора $R_{б2}$: $T = T(R_{б1})$. Установить, при каком значении резистора $R_{б1}$ происходит срыв генерации. Опыт проделать для двух — трех различных значениях $R_{б2}$.
19. Исследовать зависимость падения напряжения на переходе коллектор-эмиттер транзистора $U_{к-э}$ от значения сопротивления $R_{б1}$ при данном значении сопротивления резистора $R_{б2}$: $U_{к-э} = U_{к-э}(R_{б1})$. Установить при каком значении $U_{к-э}$ происходит срыв генерации. Опыт проделать для двух — трех различных значениях $R_{б2}$.
20. Исследовать зависимость падения напряжения на переходе база — эмиттер транзистора $U_{б-э}$ от значения сопротивления $R_{б1}$ при данном значении сопротивления резистора $R_{б2}$: $U_{б-э} = U_{б-э}(R_{б1})$. Установить при каком значении $U_{б-э}$ происходит срыв генерации. Опыт проделать для двух — трех различных значениях $R_{б2}$.
21. По окончании работы отключить электронный осциллограф и учебную установку от сети, поставить все сетевые переключатели в положение «ВЫКЛ».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что представляет собой блокинг — генератор? Перечислите основные элементы блокинг — генератора.
2. Приведите примеры использования блокинг — генератора?
3. Расскажите об основных процессах в блокинг — генераторе, используя схемы рис. 1.1
4. Что называют ждущим и автоколебательным режимом работы блокинг — генератора?
5. Приведите основные характеристики импульсов для схемы блокинг — генератора в автоколебательном режиме работы.
6. Расскажите об основных этапах работы блокинг — генератора на примере схемы рис. 1.2 — 1.3.
7. Выведите формулу (1.6) для длительности паузы T_{Π} между импульсами.
8. Поясните работу экспериментальной установки на примере блок — схемы рис. 2.1.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Азьян Ю. М., Берестовский Г. Н., Капцов Л. Н., Ржевкин К. С., Сенаторов К. Я. Полупроводниковые триоды в регенеративных схемах. М., Госэнергоиздат, 1959.
2. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. «Энергия», 1967.
3. Гольденберг М. М. Теория и расчет импульсных устройств на полупроводниковых приборах. «Связь», 1969.
4. Шац С. Я. Транзисторы в импульсной технике. М., «Судпромгиз», 1963.
5. Агаханян Т. М. Электронные ключи и нелинейные импульсные усилители. М., «Советское радио», 1966.
6. Яковлев В. Н. Импульсные генераторы на транзисторах. М., «Техника», 1968.
7. Фролкин В. Т. Импульсные устройства. М., «Машиностроение», 1966.
8. Агаханян Т. М., Фишман Л. Л., Исследование транзисторного блокинг-генератора. «Радиотехника», т. 18, 1963. № 4.
9. Глебов Б. А. Полупроводниковый ждущий блокинг-генератор с насыщающимся трансформатором. М., изд. МЭИ, 1963.
10. Beafou R., Sparkes J. J. The Junction Transistor as a Charge Controlled Device.—«ATE Journal», October, 1957.
11. Недолужко И. Г., Каганов И. Л. Расчет переходных процессов в полупроводниковых триодах методом заряда, Сб. статей «Полупроводниковые приборы и их применение», под редакцией Федотова Я. А. М., «Советское радио», № 13, 1964.
12. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. М., Гостехиздат, 1957.
13. Trousdale R. B. Transistor Circuit. Pat. № 2810080 (США). 307-88.5. 18.04.1955.
14. Тренкин Н. Т. Блокинг-генератор. Авт. свид. № 128898 (СССР). Кл. 21a¹, 36/02 от 1.06.1960. Оpubл. — «Бюллетень изобретений», 1960, № 11.
15. Тренкин Н. Т., Кирсеев А. Н. Бесконтактное распределительное устройство на блокинг-генераторах. Авт. свид. № 142816 (СССР). Кл. 42m³ 7/00 от 28.12.1961. Оpubл. — «Бюллетень изобретений», 1961, № 22.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**