

Генераторы в эхолотирующих системах

Цель работы: Ознакомиться с принципом работы и схемными реализациями генераторов зондирующих сигналов ударного действия.

Теоретические сведения

Основной задачей построения генераторных блоков эхоимпульсных локаторов, используемых в различных промышленных системах, является выработка периодически повторяющихся электрических сигналов используемых для возбуждения преобразователей, излучающих в среду лоцирования импульсный акустический сигнал.

В эхоимпульсных локационных системах эти сигналы имеют специальное название “зондирующие сигналы”, а блоки, их вырабатывающие называют “Генераторами зондирующих сигналов”. В зависимости от способа возбуждения преобразователей различают генераторы зондирующих сигналов с ударным и с радиоимпульсным возбуждением.

Генераторы зондирующих сигналов являются составной частью большого количества приборов, используемых в различных областях науки и техники.

Таковыми приборами являются, например, эхоофтальмоскопы, эхофонокардиоскопы, аппараты УЗИ, ультразвуковые дефектоскопы, ультразвуковые толщиномеры, уровнемеры, измерители расстояний в газовых средах, эхолоты, рыболокаторы, гидролокаторы различного назначения.

Генераторы ударного действия

В генераторах ударного действия во время паузы между посылками происходит накопление энергии в каком-либо элементе генератора (конденсаторе, катушке индуктивности), а затем при излучении сигнала передача этой энергии в цепь, возбуждающую преобразователь. Простейшая схема генератора ударного действия представлена на рис.1, а эпюры напряжений в различных точках генератора – на рис.2.

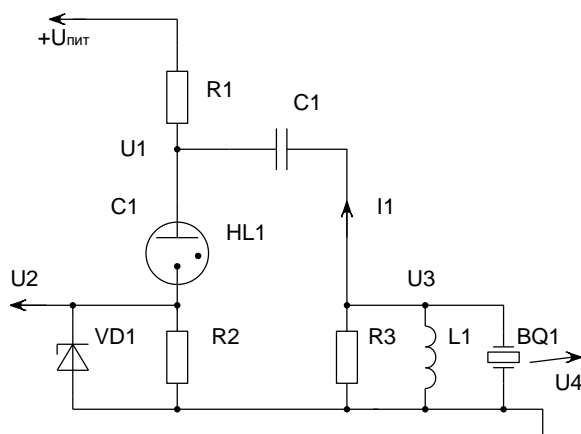


Рис.1

При подключении генератора к источнику питающего напряжения через резистор $R1$ происходит заряд конденсатора $C1$, пока напряжение $U1$ не станет равным напряжению U зажигания газоразрядной лампы $HL1$. При этом в лампе $HL1$ возникает лавинный пробой, и конденсатор $C1$ разряжается через лампу

$HL1$, резистор $R2$ и колебательный контур, образованный параллельно включенными элементами $L1$, $R3$ и $C0$, где $C0$ – собственная электрическая емкость пьезоэлектрического преобразователя $BQ1$. Сопротивление цепи разряда конденсатора равно $R_p = R2 + R_{iL} + R_k$ (R_{iL} – внутреннее сопротивление открытой лампы $HL1$,

R_k – сопротивление колебательного контура постоянному току). Так как R_p обычно мало и не превышает порядка нескольких десятков Ом, то разряд происходит за единицы и доли микросекунды. С целью наилучшей трансформации энергии заряда конденсатора в энергию акустической волны выбирают постоянную времени цепи разряда такой, чтобы длительность импульса тока разряда конденсатора равнялась около половины периода резонансной частоты колебательного контура, которую выбирают равной резонансной частоте преобразователя $BQ1$.

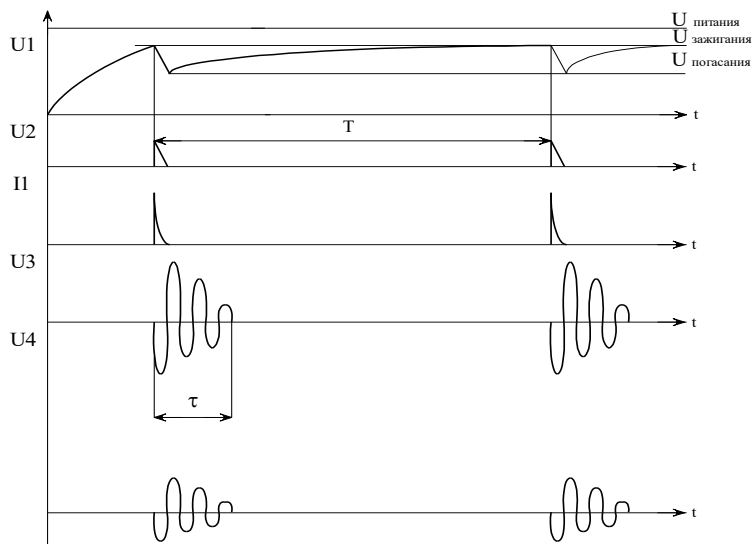


Рис.2

При разряде конденсатора до напряжения погасания лампы *HL1* ток через нее прекращается, и конденсатор опять начинает заряжаться, после чего весь цикл повторяется периодически через интервалы T . Импульсы $U2$ могут служить для синхронизации работы всех остальных блоков лоатора. Для стабилизации их амплитуды параллельно резистору $R2$ обычно включают стабилитрон $VD1$.

Импульс тока $I1$ создает в колебательном контуре затухающие электрические колебания $U3$ длительностью τ , которые воздействуют на преобразователь, излучающий в среду акустический сигнал $U4$. Для расчета характеристик данного генератора можно воспользоваться теоретическими результатами работ [1-3].

Рассмотренный генератор совмещает в себе функции синхронизатора и генератора зондирующих сигналов. Ему присущи, однако, недостатки: плохая повторяемость параметров из-за разбросов величин $U_{заж}$, $U_{пог}$ лампы *HL1*; плохое использование питающего напряжения. Эти недостатки устраняются, если генератор выполнить на электрически управляемых элементах, в качестве которых используются газонаполненные тиратроны (дефектоскоп УДМ-1М), тиристоры (дефектоскопы УДМ-3, ДУК-66П и другие). Рассмотрим схемную реализацию генератора зондирующих сигналов, выполненную на тиристоре (рис.3), эпюры напряжений для которого представлены на рис.4.

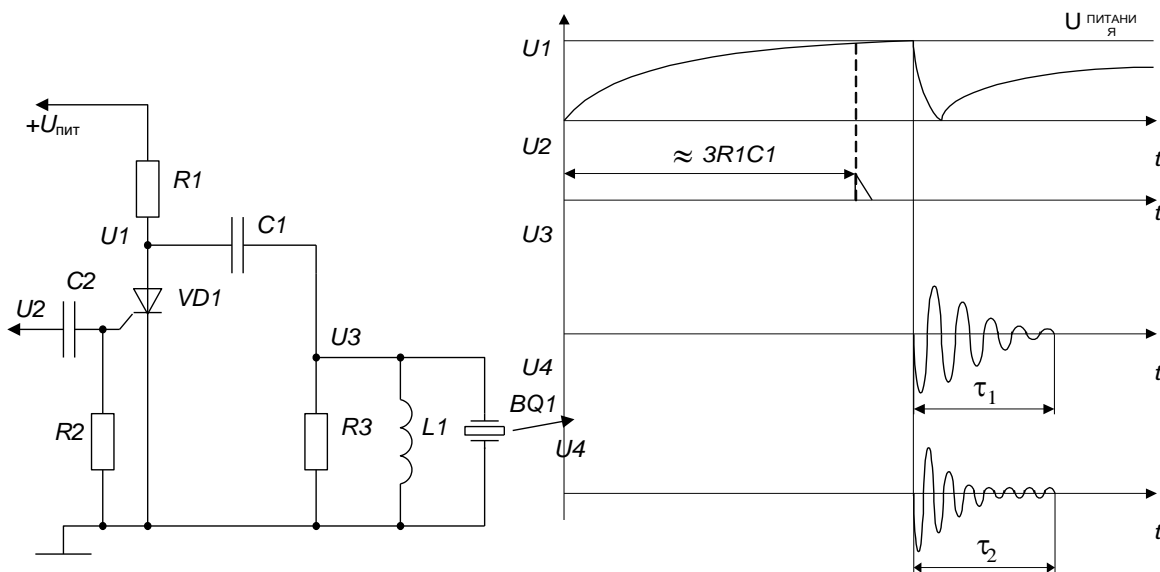


Рис.3

Рис.4

При подаче на генератор питающего напряжения $U_{пит}$ конденсатор $C1$ заряжается через резистор $R1$, и через время $3R1C1$ он зарядится практически до $U_{пит}$. При подаче на управляющий электрод тиристора запускающего синхронизирующего импульса $U2$ тиристор открывается, и происходит разряд конденсатора $C1$ через тиристор и колебательный контур $R3, L1, C0$, где $C0$ – собственная емкость пьезопреобразователя $BQ1$.

В колебательном контуре возникают электрические затухающие колебания $U3$, возбуждающие преобразователь, излучающий в среду лоцирования акустический сигнал $U4$. Длительность τ_1 радиоимпульса $U3$ будет зависеть от величины добротности Q_3 колебательного контура $R3, L1, C0$, а длительность посылки акустического сигнала τ_2 , кроме того, – от величины механической добротности Q_m преобразователя. Для получения максимальной амплитуды сигнала $U4$ рекомендуют устанавливать $Q_3 \approx Q_m$. Для уменьшения мертвой зоны и улучшения разрешающей способности локатора по дальности желательно уменьшение длительности τ_2 и соответственно τ_1 , что достигается дополнительным механическим демпфированием преобразователя и шунтированием колебательного контура резистором $R3$. При этом расширяется полоса пропускания преобразователя и колебательного контура, уменьшаются длительности τ_1 и τ_2 , но одновременно уменьшаются уровни сигналов $U3$ и $U4$; то есть мы сталкиваемся в данном случае с противоречивыми требованиями: необходимо уменьшить τ_2 , не ухудшая характеристик преобразователя. Это можно выполнить, если использовать, так называемое, электрическое демпфирование преобразователя.

Генераторы ударного действия с электрическим демпфированием преобразователя

Электрическое демпфирование преобразователей основано на том, что преобразователи (пьезоэлектрические, магнитострикционные и другие) в первом приближении являются линейными элементами, и для них справедлив принцип суперпозиции, то есть результирующая реакция преобразователя на сложные воздействия является суммой отдельных реакций на каждое воздействие.

Рассмотрим случай, когда на преобразователь воздействует скачок напряжений $U1$ (см. рис.5). Под воздействием этого скачка в преобразователе возбуждаются затухающие синусоидальные колебания $U2$. Через целое число периодов напряжения $U2$ подадим на преобразователь скачок $U3$, возбуждающий в преобразователе колебания $U4$.

Подобрав соответствующую амплитуду напряжения $U3$, получим сигнал $U4$ таким, что он будет идентичен второй части напряжения $U2$, но сдвинут относительно него на 180° . При суммировании реакций преобразователя на скачки $U1$ и $U3$ результирующие его колебания будут соответствовать сигналу $U5$, т.е. часть сигнала $U2$ и сигнал $U4$ компенсируют друг друга.

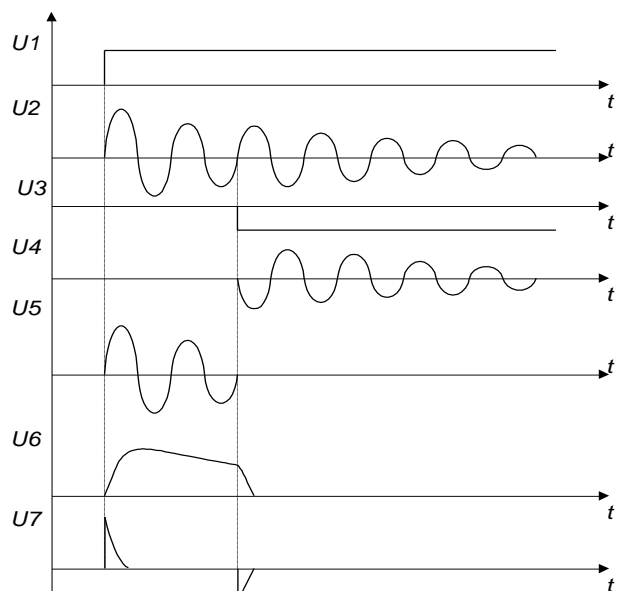


Рис.5

В реальных устройствах сформировать скачки напряжений $U1$ и $U3$ практически невозможно, поэтому возбуждают преобразователь, например, передним и задним фронтами видеоимпульса $U6$ (сигнал $U5$ представляет результирующие колебания преобразователя) или двумя сдвинутыми во времени видеоимпульсами $U7$.

Рассмотрим несколько практических схем генераторов ударного действия, реализующих этот принцип. На рис.6 представлена схема тиристорного генератора зондирующих сигналов, а на рис. 7 – его эюры напряжений. При подключении генератора к источнику питания конденсатор $C1$ заряжается через резистор $R5$ до напряжения $U_{пит}$. Синхронизирующий импульс $U1$, прикладываемый к первичной обмотке трансформатора $T1$, индуцируется во вторичной обмотке трансформатора, через диод $VD1$ поступает на управляющий электрод тиристора $VD3$ и открывает его. Конденсатор $C1$ через $VD3$ заряжает пьезоэлектрический преобразователь $BQ1$ до напряжения $U4 = U3 \cdot C1 / (C1 + C_0)$, где C_0 – собственная электрическая емкость преобразователя.

После того, как напряжения $U3$ и $U4$ выровняются, тиристор $VD3$ закрывается. После этого начинается разряд емкости преобразователя C_0 через цепочку $R3, R4$. Через интервал τ , равный целому числу периодов собственных резонансных колебаний преобразователя $BQ1$, на тиристор $VD4$ поступает запускающий импульс $U2$, который открывает его, и емкость C_0 разряжается через тиристор. Таким образом формируется видеоимпульс $U4$. Его передний фронт возбуждает в преобразователе $BQ1$ колебания $U5$, а задний фронт – колебания $U6$. Подобрав необходимое соотношение амплитуд фронтов сигнала $U4$, получим компенсацию части сигнала $U5$ сигналом $U6$, и излученный в среду лоцирования акустический сигнал будет соответствовать части сигнала $U5$ длительностью τ .

Следует отметить, что достаточную компенсацию части колебаний преобразователя $BQ1$ можно получить только для какого-либо его одного состояния. При изменении параметров канала лоцирования (толщины контактного слоя, акустического сопротивления материала контролируемого изделия и другие) необходимо подстраивать соотношение амплитуд фронтов сигнала $U4$ (для этого изменяют скорость разряда C_0 через резисторы $R3, R4$).

Генераторы зондирующих сигналов с электрическим демпфированием преобразователей нашли применение в ультразвуковых толщиномерах и в ряде других устройств.

Генераторы зондирующих сигналов на лавинных транзисторах

Зондирующие акустические сигналы, состоящие из одного периода высокочастотного колебания, получают при использовании, так называемых, апериодических преобразователей и генераторов, собранных на транзисторах, работающих в лавинном режиме [4-6].

На рис. 8 приведена принципиальная электрическая схема одного из вариантов такого генератора [5], выполненного на планарно-эпитаксиальных кремниевых лавинных транзисторах VT1 – VT3. Следует отметить, что свойством лавинного пробоя обладает большинство обычных транзисторов, например, типа КТ315, КТ361, КТ603 и др.

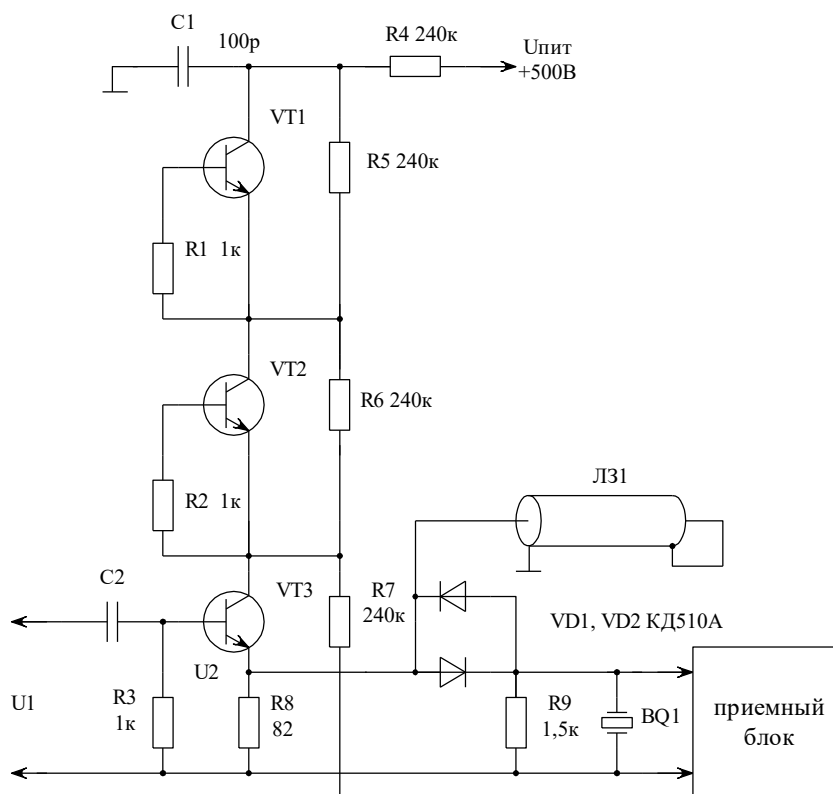


Рис.8

В данной схеме использованы транзисторы КТ315Г с напряжением лавинного пробоя около 140 В. В исходном состоянии они закрыты. При подаче на базу транзистора VT3 запускающего импульса U1 положительной полярности в нем происходит лавинный пробой, напряжение на нем резко уменьшается, что вызывает лавинный пробой транзисторов VT1 и VT2. Конденсатор C1 заряженный до напряжения около 375 В разряжается через резистор R8 и на нем формируется видеоимпульс U2 длительностью около 25 нс. Часть энергии этого импульса поступает в короткозамкнутый на конце отрезок коаксиального кабеля ЛЗ1 типа РК-75-11-1 длиной около 1,75 м. Время пробега сигнала в кабеле равно половине длительности видеоимпульса U2, то есть около 12,5 нс. При отражении сигнала от короткозамкнутого конца кабеля его полярность меняется. Таким образом, на резисторе R1 формируется электрический импульс с амплитудой 150 В в виде одного периода синусоиды частотой 20 МГц, то есть длительностью 50 нс. Этот импульс через диоды коммутатора VD1, VD2 поступает на апериодический пьезоэлектрический преобразователь BQ1, излучающий в среду лоцирования

акустический сигнал такой же формы. Отраженные эхосигналы принимаются тем же преобразователем и поступают на приемный блок, на входе которого также установлены элементы коммутатора.

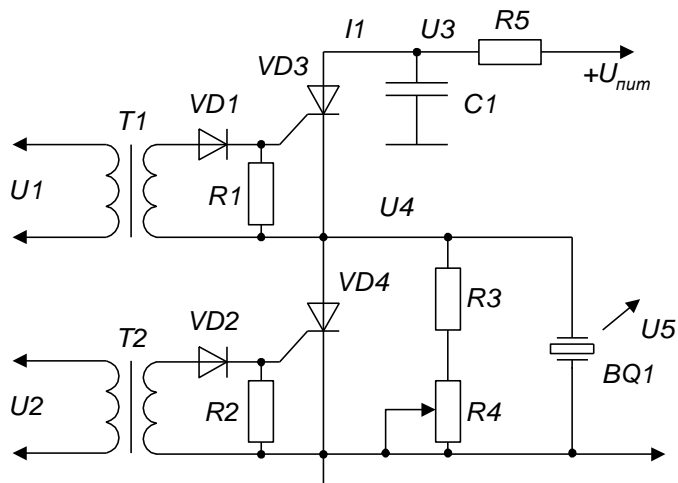


Рис.6

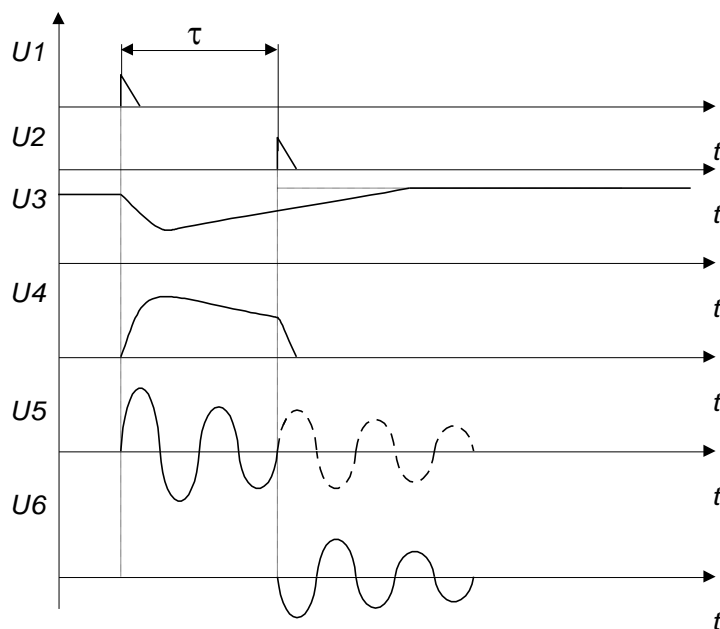


Рис. 7

Исследование генераторного тракта эхо импульсного локатора с прямоугольной огибающей зондирующего сигнала

Цель работы: ознакомиться с основными способами построения генераторов зондирующих сигналов с прямоугольной формой огибающей. Исследовать макет генераторного тракта локатора.

Основные принципы построения генераторов зондирующих сигналов с прямоугольной огибающей

В некоторых эхо импульсных системах предъявляются повышенные требования к постоянству амплитуды и фазы зондирующих сигналов. Для их формирования используют специальные схемы генераторов с прямоугольной огибающей. Рассмотрим основные принципы построения таких генераторов, а также их схемные реализации.

Одним из широко используемых способов получения радиоимпульсов является их выделение из непрерывного синусоидального сигнала, как это показано на рис. 10.

Синхронизатор вырабатывает периодически повторяющиеся видеоимпульсы U_1 , запускающие мультивибратор, работающий в ждущем режиме. На его выходе формируется видеоимпульс U_2 , длительностью τ , поступающий на управляющий вход нормально закрытого аналогового ключа, на сигнальный вход которого подается синусоидальный сигнал U_3 . Видеоимпульс U_2 открывает ключ, и на его выходе формируется радиоимпульс U_4 , который затем подается на вход повторителя и после усиления поступает на излучающий акустический преобразователь. Данный формирователь позволяет получать радиоимпульсы со стабильными амплитудными и фазовыми текущими характеристиками, но имеет существенный недостаток.

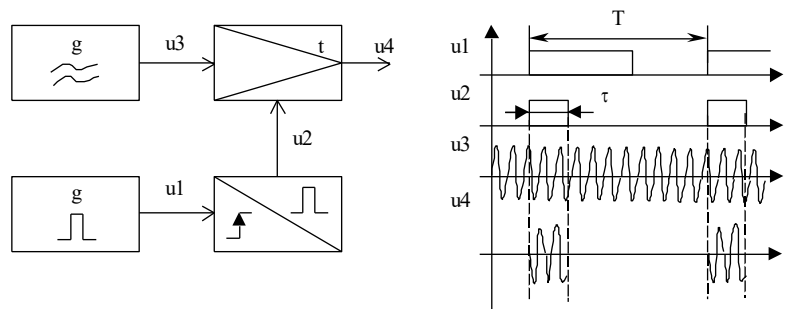


Рис.10

Так как рабочие циклы синхронизатора и генератора синусоидальных сигналов взаимно не коррелированы, то каждый радиоимпульс U_4 может начинаться с любой начальной фазы высокочастотного сигнала. Это создает значительные трудности, в частности, при наблюдении на осциллографическом индикаторе формы зондирующего и эхо-сигналов, а также при их обработке.

На рис.11 представлена функциональная схема генератора, в котором каждый зондирующий радиоимпульс начинается с одинаковой начальной фазы, а на рис. 3 - эпюры напряжения для него. Синхронизатор вырабатывает видеоимпульсы U_1 , запускающие ждущий мультивибратор, с выхода которого видеоимпульс U_2 длительностью τ_1 поступает на D-вход триггера, на тактовый вход которого поступает напряжение U_4 , сформированное компаратором из высокочастотного сигнала U_3 . На выходе триггера формируется видеоимпульс U_5 длительностью τ_2 , равной целому числу периодов напряжения U_3 . Передний и задний фронты сигнала U_5 привязаны к передним фронтам импульсов U_4 , то есть к одной и той же фазе сигнала U_3 . Сигнал U_5 открывает нормально закрытый аналоговый ключ, на сигнальный вход которого поступает высокочастотное напряжение U_3 . На выходе ключа формируется радиоимпульс U_6 , состоящий из целого числа высокочастотных колебаний с постоянной начальной фазой. После усиления этот радиоимпульс поступает на излучающий акустический преобразователь. Так как зондирующий сигнал U_6 имеет временную привязку к видеоимпульсу U_5 , то в качестве сигнала, синхронизирующего работу остальных блоков локатора, следует использовать не сигнал U_1 , а сигнал U_5 .

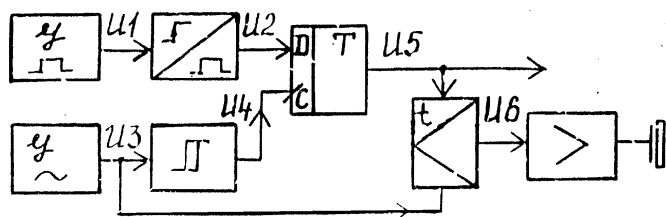


Рис.11

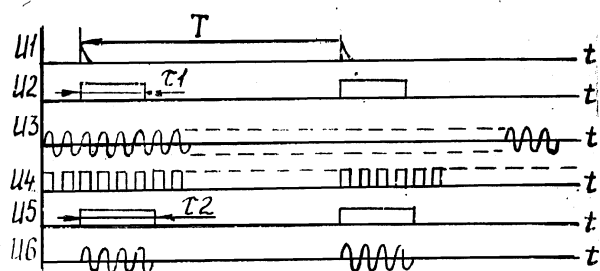


Рис.12

В генераторном блоке по схеме, представленной на рис. 12, формируется зондирующий сигнал U_6 , содержащий целое число высокочастотных колебаний. Его длительность τ_2 при изменении частоты сигнала U_3 будет изменяться в пределах периода сигнала U_3 . В тех же пределах могут отличаться друг от друга и периоды T рабочих циклов локатора.

Рассмотренный генераторный блок можно изменять в зависимости от предъявляемых к нему требований. Например, на рис. 13 представлена функциональная схема генератора с постоянным значением периода повторения T и с зондирующим сигналом, содержащим заданное число (n) высокочастотных колебаний. На рис. 14 показаны эпюры напряжений в различных точках схемы.

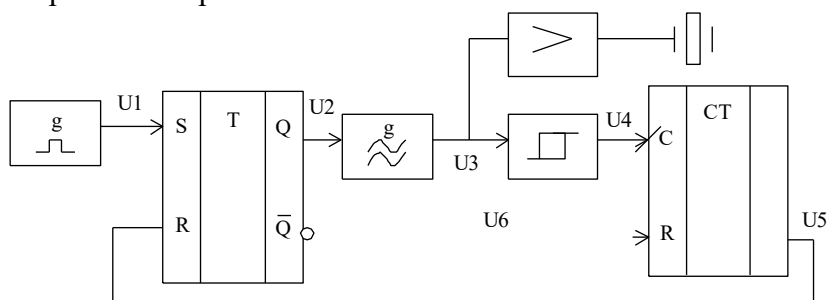


Рис.13

В исходном состоянии на выходе Q RS- триггера напряжение U_2 имеет низкий логический уровень, генератор высокочастотных колебаний заблокирован и сигнал U_3 на его выходе равен нулю. Синхроимпульс U_1 переводит Q -выход триггера в активный уровень (U_2 становится равным потенциалу логической 1) и разрешается работа ВЧ-генератора. На его выходе формируется радиоимпульсный сигнал U_3 , поступающий после усиления на акустический излучающий преобразователь, а также на вход компаратора, на выходе которого получают последовательность видеоимпульсов U_4 соответствующих, например, положительным полуволнам сигнала U_3 . Напряжение U_4 поступает на счетный вход счетчика с коэффициентом пересчета равным n . После поступления $(n+1)$ импульса U_4 на выходе счетчика вырабатывается импульс переполнения U_5 , который поступает на R -вход RS-триггера и сбрасывает его выход Q на 0, в результате чего прекращается работа ВЧ - генератора. Одновременно на инверсном выходе Q триггера вырабатывается напряжение U_6 , сбрасывающее счетчик на 0. В таком состоянии RS-триггер, ВЧ-генератор и счетчик будут находиться до прихода очередного синхроимпульса U_1 .

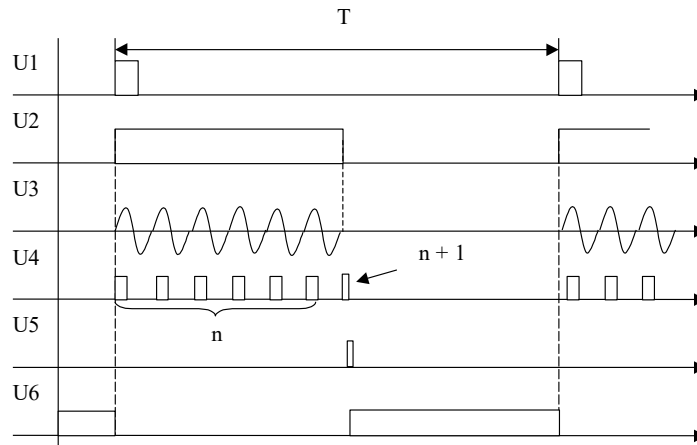


Рис.14

Управляемые генераторы синусоидальных сигналов можно реализовать различными способами. На рис. 15 представлена одна из возможных принципиальных электрических схем такого генератора.

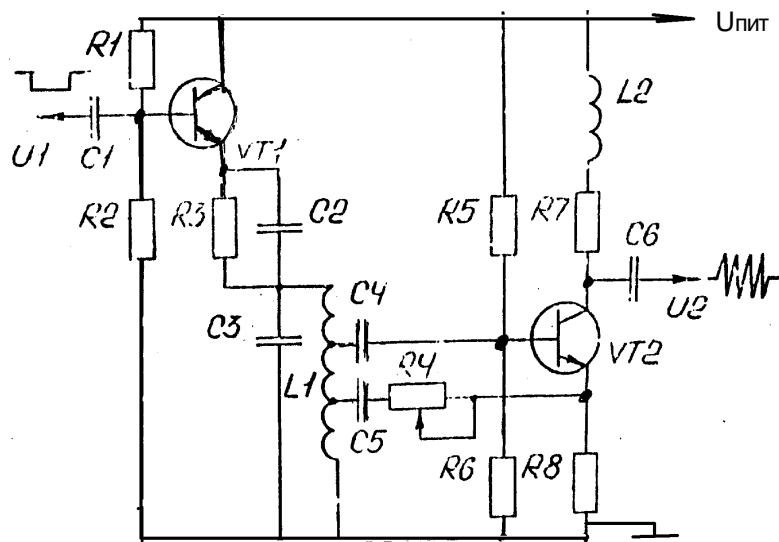


Рис.15

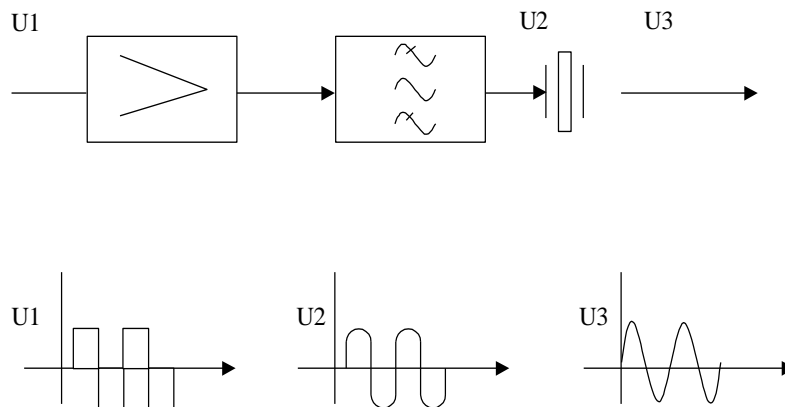


Рис.16

На транзисторе VT2 собран по схеме трехточки автоколебательный генератор синусоидальных колебаний с частотой, определяемой параметрами колебательного контура L1, C3. Транзистор VT1 нормально открыт, шунтирует колебательный контур и срывает в генераторе электрические колебания. Видеоимпульс U1 поступает на транзистор VT1 и закрывает его, шунтирование колебательного контура прекращается, и генератор формирует радиоимпульс U2, который через повторитель (истоковый или эмиттерный) подается на вход усилителя, а с его выхода на излучающий акустический преобразователь. Этот принцип хотя и с другими схемными реализациями, использован при формировании зондирующего сигнала, а гидроакустических эхолотов "Кальмар", "Лещ" и других, рассмотренных в работах (1-3).

Так как акустические преобразователи являются резонансными системами, то для их возбуждения возможна подача на них возбуждающего напряжения не с синусоидальным, а с прямоугольным высокочастотным заполнением. В этом случае сам преобразователь отфильтровывает высшие гармонические составляющие возбуждающего сигнала, и в среду излучается акустический сигнал синусоидальной формы. Для улучшения формы излучаемого сигнала перед преобразователем дополнительно устанавливают электрический фильтр, пропускающий первую (основную) гармонику высокочастотного возбуждающего сигнала, как это показано на рис.16.

Использование возбуждающего напряжения U1 прямоугольной формы позволяет значительно облегчить процесс формирования и усиления такого сигнала по сравнению с радиоимпульсным заполнением.

Так, если усиление синусоидального сигнала возможно с помощью усилителей класса В, имеющих максимальный коэффициент полезного действия около 78 %, то сигнал прямоугольной формы можно усиливать усилителями класса D с КПД, приближающимся к 100% (4, 5)

На рис. 17 представлен один из вариантов функциональной схемы генератора зондирующих сигналов с высокочастотным заполнением прямоугольной формы, а на рис. 18 – эпюры напряжений в различных точках схемы.

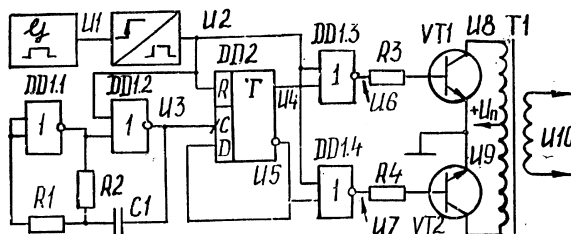


Рис.17

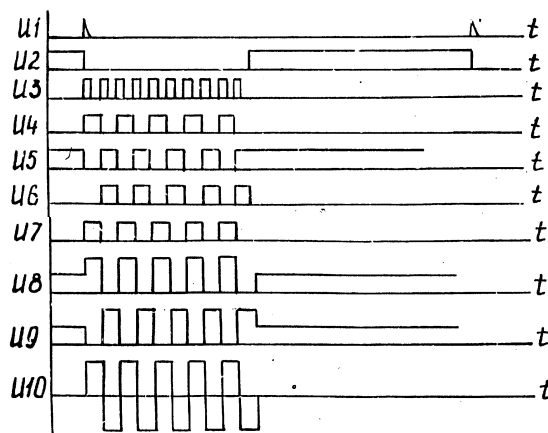


Рис 18

Синхронизирующие импульсы U_1 запускают ждущий мультивибратор, вырабатывающий видеоимпульс U_2 , разрешающий работу генератора, собранного на элементах DD1.1, DD1.2, и делителя частоты, собранного на микросхеме DD2. Видеоимпульсы U_3 поступают на синхронизирующий вход триггера DD2, на выходах которого формируются противофазные импульсные напряжения U_4 и U_5 , имеющие скважность, равную двум. Эти напряжения через элементы DD1.3 и DD1.4 и резисторы R3, R4 поступают на транзисторы VT1, VT2, работающие в ключевом режиме и нагруженные на трансформатор T1, к вторичной обмотке которого подсоединен излучающий пьезопреобразователь.

Как уже говорилось, акустический преобразователь является электромеханической резонансной системой, и при подаче на него возбуждающего электрического сигнала с прямоугольной огибающей излучаемый акустический сигнал представляет собой также радиоимпульс, но с затянутыми передним и задним фронтами. Можно возбудить в преобразователе механические колебания с прямоугольной огибающей, если возбуждать его электрическими сигналами сложной формы, например напряжением U_1 (рис.19).

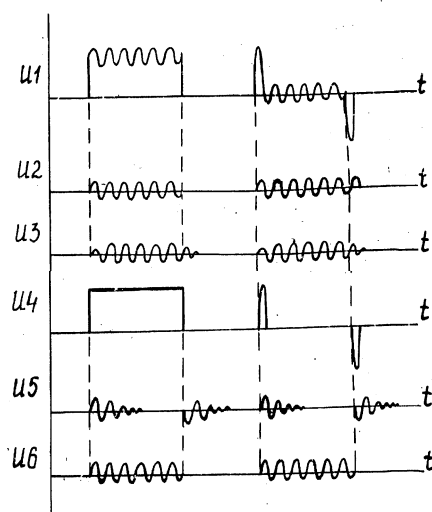


Рис.19

При этом сигнал U_1 состоит как бы из двух отдельных сигналов U_2 и U_4 , возбуждающих в преобразователе деформации U_3 и U_5 , суперпозиция которых дает результирующие колебания преобразователя с прямоугольной огибающей, как показано на эюре U_6 .

Возбуждающие сигналы сложной формы можно получить путем использования различных аналоговых схем или схем с цифровым формированием аналоговых сигналов.

Практические задания

Задание 1

1.Схемная реализация генераторов зондирующих сигналов, выполненную на тиристоре (рис.3), эпюры напряжений. Описать принцип работы такого генератора.

2. Объяснить от каких ЭРЭ зависит длительностью τ и амплитуда импульса. Достоинства и недостатки схемы.

Задание 2

1. Нарисовать схему и эпюры сигналов для генератора ударного действия на газоразрядной лампе и описать принцип работы такого генератора.

2. Объяснить от каких ЭРЭ зависит длительностью τ , импульса и частота повторения. Достоинства и недостатки схемы.

Задание 3

1. Нарисовать схему и эпюры сигналов генератора ударного действия с электрическим демпфированием преобразователя. Описать принцип работы такого генератора.

1. Объяснить от каких ЭРЭ зависит длительностью τ , импульса, от каких - амплитуда. Достоинства и недостатки схемы.

Задание 4

1. Нарисовать схему и эпюры сигналов генератора зондирующих сигналов на лавинных транзисторах. Описать принцип работы такого генератора.

2. Обосновать от каких ЭРЭ зависит длительностью τ , от каких - амплитуда импульса. Достоинства и недостатки схемы.

Задание 5

3. Нарисовать схему и эпюры сигналов генератора ударного действия с электрическим демпфированием преобразователя. Описать принцип работы такого генератора.

2. Объяснить от каких ЭРЭ зависит длительностью τ , импульса и частота повторения. Достоинства и недостатки схемы.

Контрольные вопросы

1. Назначение и область применения генераторов ударного действия.
2. Практические схемы генераторов ударного действия, их сравнительные характеристики.
3. Объяснить работу генератора ударного действия на неуправляемом газонаполненном диоде. Имеется ли полупроводниковый элемент с похожими характеристиками?
4. Как выглядит эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя в режиме излучения?
5. Можно возбудить в преобразователе механические колебания с прямоугольной огибающей, если возбуждать его электрическими сигналами сложной формы?
6. Является ли акустический преобразователь электромеханической резонансной системой? Какой вид акустического сигнала излучает акустический преобразователь при подаче на него возбуждающего электрического сигнала с прямоугольной огибающей?
7. Назначение синхронизирующих импульсов.
8. Объяснить назначение электрического фильтра, дополнительно устанавливаемого перед преобразователем.
9. Генераторы зондирующих сигналов на лавинных транзисторах.
10. Область применения генераторов зондирующих сигналов с электрическим демпфированием преобразователей.
11. Схема тиристорного генератора зондирующих сигналов, его эпюры напряжений.
12. Для чего применяют электрическое демпфирование преобразователей?
13. Какие параметры радиоимпульса влияют величины добротность Q_{ω} колебательного и механическая добротность Q_m преобразователя?
14. Как рекомендуют устанавливать Q_{ω} и Q_m для получения максимальной амплитуды сигнала на выходе генератора?
15. Способы уменьшения мертвой зоны и улучшения разрешающей способности локатора по дальности.
16. Перечислите типы генераторов зондирующих сигналов в зависимости от способов возбуждения преобразователей.
17. Резистор R_1 равен 33 кОм. При изменении резистора R_2 частота вырабатываемых сигналов меняется в 4 раза. Определить величину резистора R_2 .
18. Как выглядит ВАХ тиристора. Объяснить принцип его работы.
19. Что такое лавинный пробой транзистора? Чем он отличается от теплового пробоя?

Литература

1. Барышников С.Е. Генератор с системой индуктивно связанных контуров ударного возбуждения. Дефектоскопия, 1965, №2, с. 30-36.
2. Евдокимов Н.А., Касаткин Б.А., Мельканович А.Ф., Праницкий А.А. Работа пьезовибратора с двухсторонней нагрузкой в импульсном режиме. Дефектоскопия, 1969, №2, с. 90-99.
3. Максимов В. Н. Методическая разработка “Эхоимпульсные лоцирующие системы. Часть 1-3” №2124, Таганрог, ТРТУ, 1995. – 50 с.