

Мордовский Государственный
Университет Имени Н.П.Огарева

Институт Физики и Химии

Кафедра Радиотехники

Бардин В.М.

РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА.

ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

Саранск, 2005

УДК 621.376.3(076)

Составитель В.М Бардин

Рецензент – к.т.н., доцент Беспалов Н.Н.

Радиопередающие устройства.

Формирование импульсных радиосигналов: метод. указания/сост. В.М. Бардин. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2005. – 17 с.

В данном издании кратко изложено понятие о спектральном составе импульсных сигналов и приведены схемы формирования таких сигналов. Предназначено для студентов специальности «Радиотехника» очной и заочной форм обучения.

Печатается по решению научно-методического совета Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева

Введение

Энергетическая эффективность радиопередатчиков существенно повышается при переходе с аналоговых на импульсные системы передачи сигналов. Импульсная форма сигналов используется в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, радиотелеметрии, радиосвязи и в ряде других областей. Длительность импульсов может составлять от десятков и сотен миллисекунд до долей микросекунды, а импульсная мощность достигать сотен и тысяч киловатт.

Кроме чисто энергетического выигрыша повышается помехоустойчивость связи, разрешающая способность радиолокационных систем, уменьшаются масса и габариты радиопередатчиков, улучшается ряд других показателей, но одновременно усложняются схемотехнические решения, появляется необходимость в специальном программном обеспечении, в мощных накопителях электрической энергии и т.п.

В импульсной радиотехнике можно выделить две группы передатчиков. Первые формируют одиночные радиоимпульсы или периодическую последовательность радиоимпульсов не несущих никакой информации. Типичным примером является радиолокация. Ко второй группе относятся устройства для передачи цифровых сигналов, несущих вполне определенную информацию. Примерами являются радиотелеграфия, радиотелеметрия, радиотелефония и др. Естественно, что каждая из этих групп радиопередатчиков имеет свои особенности, некоторые из которых рассматриваются в данной работе.

1. Импульсные сигналы и их характеристики.

Импульсные сигналы разделяют на видеоимпульсы и радиоимпульсы, первые получают при коммутации цепей постоянного тока, вторые представляют собой кратковременные посылки синусоидального тока или напряжения радиочастоты (рис. 1)

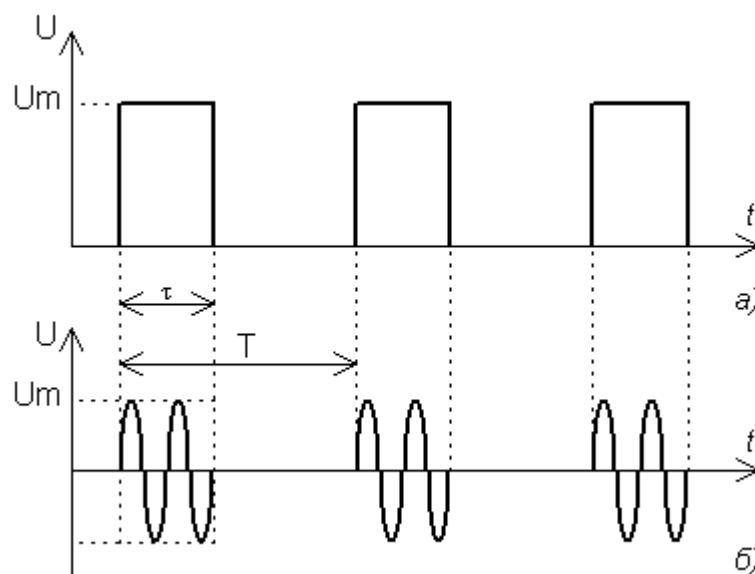


Рис. 1. Импульсные сигналы:

- а) видеоимпульсы
- б) радиоимпульсы

Периодическая последовательность импульсов характеризуется рядом параметров: амплитудой (U_m), длительностью (τ), периодом (T), частотой следования ($F = \frac{1}{T}$), скважностью ($Q = \frac{T}{\tau}$), коэффициентом заполнения ($K = \frac{\tau}{T}$), мощностью импульса ($P_i = 0,5U_m I_m$), средней мощностью ($P_{cp} = \frac{P_i}{Q}$). Кроме того, отдельный импульс (рис.2) также характеризуется рядом параметров: длительностью переднего фронта (τ_{Φ}), длительностью заднего фронта (τ_{cp}), спадом плоской вершины (Δ),

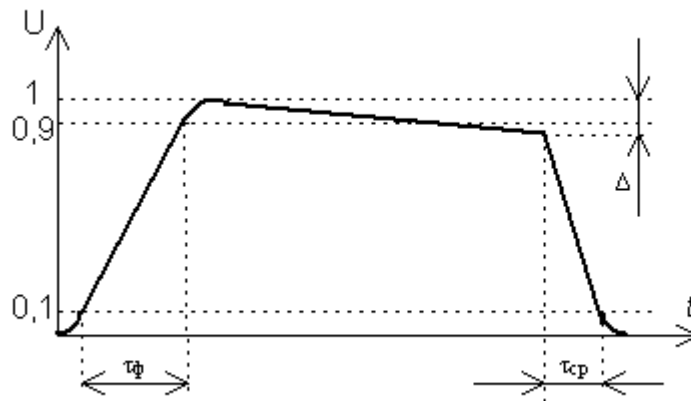


Рис. 2. Видеоимпульс и его параметры

Известно, что всякое периодическое несинусоидальное колебание в соответствии с теоремой Фурье можно представить в виде суммы бесконечного ряда гармонических и постоянной составляющей:

$$u(t) = U_0 + U_1 \cos \omega t + U_2 \cos 2\omega t + \dots + U_n \cos n\omega t + U_1 \sin \omega t + U_2 \sin 2\omega t + \dots + U_n \sin n\omega t \quad (1)$$

Все эти колебания составляют спектр последовательности видеоимпульсов (рис.3).

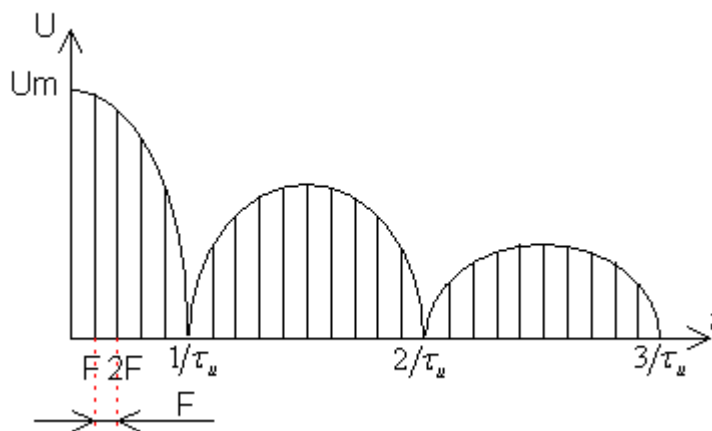


Рис. 3. Спектр последовательности видеоимпульсов

Как видно из рисунка спектр носит линейчатый характер и расширяется по мере сокращения длительности импульсов. Например, в радиорелейных линиях связи длительность прямоугольных импульсов составляет 0,3-0,5 мкс при частоте следования $F = 10$ кГц. Ширина спектра сигнала при этом достигает 20 МГц. Для

качественного воспроизведения таких импульсов радиоприемник должен иметь очень широкую полосу пропускания. Аналогичная проблема существует в радиолокации, радионавигации, радиотелетрии и др. Поэтому импульсные радиоустройства применяются только в диапазоне ультракоротких волн. В импульсных радиопередатчиках видеоимпульсы модулируют колебания высокочастотного генератора. В результате образуются радиоимпульсы. Радиоимпульсы можно рассмотреть как колебания высокой частоты f_0 , модулированные по амплитуде гармоническими составляющими спектра видеоимпульсов. Как известно, при амплитудной модуляции несущего колебания одной гармоникой низкочастотного колебания в спектре сигнала появляются три составляющие: f_0 , f_0+F , f_0-F . Число модулирующих гармоник определяется спектром видеоимпульса. Следовательно, спектр радиоимпульса оказывается в два раза шире спектра видеоимпульса (рис. 4).

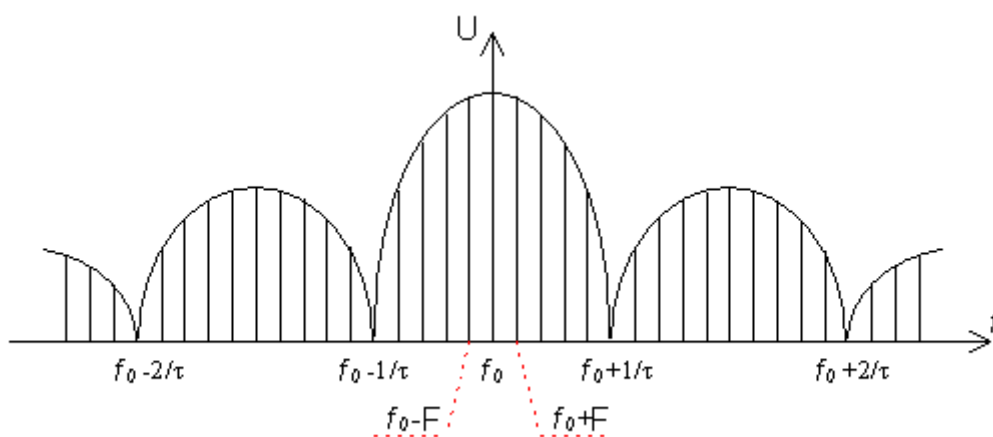


Рис 4. Спектр радиоимпульса

2. Формирование радиолокационных сигналов.

Радиолокационные передатчики работают в диапазоне дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн. В качестве оконечных усилительных элементов в них используются магнетроны, клистроны, ЛБВ, электронные лампы и СВЧ транзисторы. Напряжение на выходные электроды этих элементов поступает только на время импульса и отключается во время паузы. Фактически модулятор управляет мощностью источника питания и поэтому должен развивать большую импульсную мощность при малой средней. Для обеспечения такого режима обычно применяются различные накопители энергии, которые коммутируются быстродействующими электронными ключами. Различают два типа модуляторов: жесткие и мягкие. Жесткие модуляторы позволяют формировать импульсы любой формы, мягкие являются полуправляемыми и задают только режим включения. В качестве ключей в мягких модуляторах применяются тиратроны и тиристоры. Накопителем энергии и формирователем импульса обычно является длинная линия, состоящая из набора LC элементов. На рис. 5 приведено одно их схемных решений такого модулятора. Накопительным элементом здесь служит большая емкость C_{II} , а нагрузкой – магнетрон М.

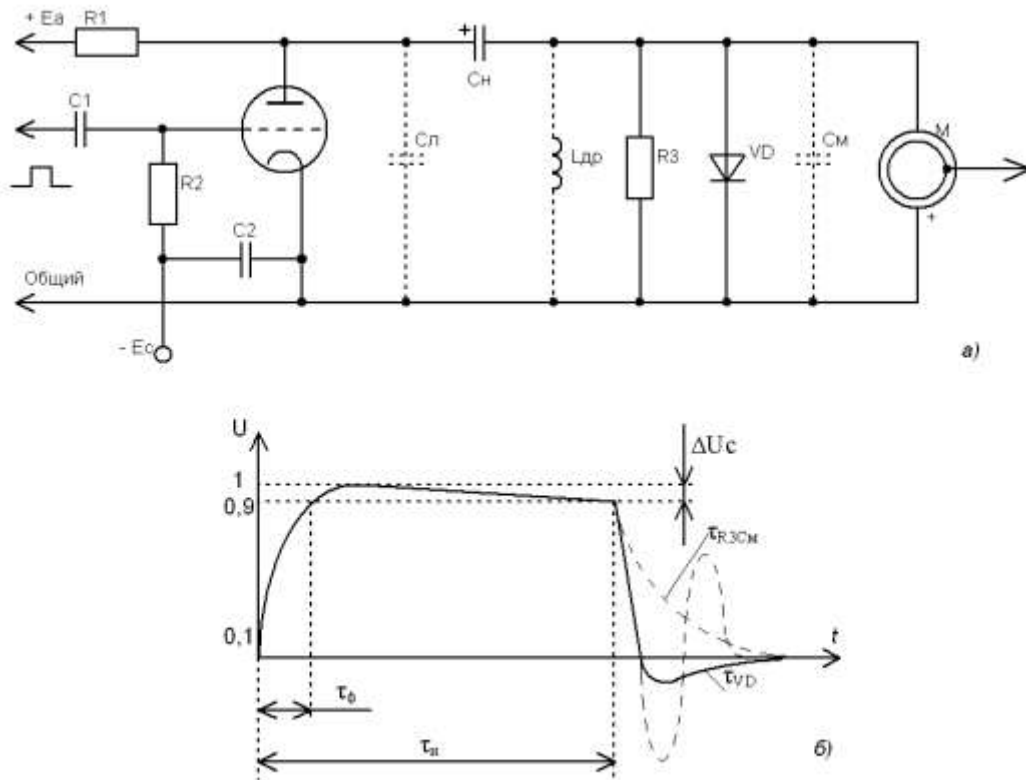


Рис. 5. Схема жесткого модулятора (а) и диаграмма формирования импульса (б)

В паузах между импульсами модуляторная лампа закрыта отрицательным смещением $-E_c$. В это время накопительный конденсатор C_n относительно медленно заряжается от источника $+E_a$ через резистор R_1 . При подаче на сетку лампы запускающего импульса она открывается и замыкает цепь разряда конденсатора C_n . Разрядный ток протекает через лампу и магнетрон. Поскольку сопротивление лампы незначительно, напряжение заряженного конденсатора полностью прикладывается к магнетрону и в нем возникают СВЧ колебания. По окончании запускающего импульса лампа закрывается и генерация колебания прекращается. Таким образом, длительность радиоимпульса определяется длительностью управляющего импульса. Для устойчивой работы магнетрона на его аноде необходимо поддерживать постоянное напряжение, т.е. модулирующий импульс должен иметь плоскую вершину. Из этого следует, что за время импульса накопительный конденсатор не должен существенно разряжаться, т.е. он должен иметь большую емкость. Резистор R_1 служит не только для ограничения зарядного тока, но и предотвращает короткое замыкание источника питания через открытую лампу. На работу схемы существенное влияние оказывают паразитные емкости лампы и магнетрона. Так, при отпирании лампы напряжение на магнетроне будет нарастать по мере заряда емкости C_m и передний фронт импульса будет завален. По окончании импульса емкость C_m оказывается полностью заряженной и на аноде магнетрона некоторое время сохраняется положительное напряжение. Поэтому затягивается и задний фронт генерируемого импульса. Когда магнетрон выключается окончательно разряд емкости C_m происходит через R_3 . Для ускорения разряда емкости C_m иногда вместо R_3 в схему включают дроссель $L_{др}$. Но $L_{др}$ и C_m образуют колебательный контур, в котором после запираия модуляторной лампы могут возникать медленно затухающие свободные колебания. Это может привести к появлению выбросов напряжения на аноде магнетрона. Для их исключения в

схему вводят демпфирующий диод VD. Во время рабочего импульса диод закрыт. При появлении на аноде диода положительного напряжения он открывается и шунтирует контур $L_{др}C_M$, превращая колебательный процесс в аperiodический.

В импульсных передатчиках большой мощности применяют модуляторы, в которых накопителем энергии является длинная линия, а коммутатором – водородный тиратрон или полупроводниковый тиристор. КПД таких модуляторов достигает 90-95%. Такое высокое значение определяется двумя особенностями схемы.

1. За счет колебательного процесса заряда на накопительной линии напряжение на ней может в несколько раз превышать напряжение источника питания.

2. Падение напряжения на тиратроне или тиристоре во время разряда очень мало (доли процента от напряжения линии)

Длительность и форма импульса в таком модуляторе определяется только параметрами линии. Одна из возможных схем такого модулятора приведена на рис.6.

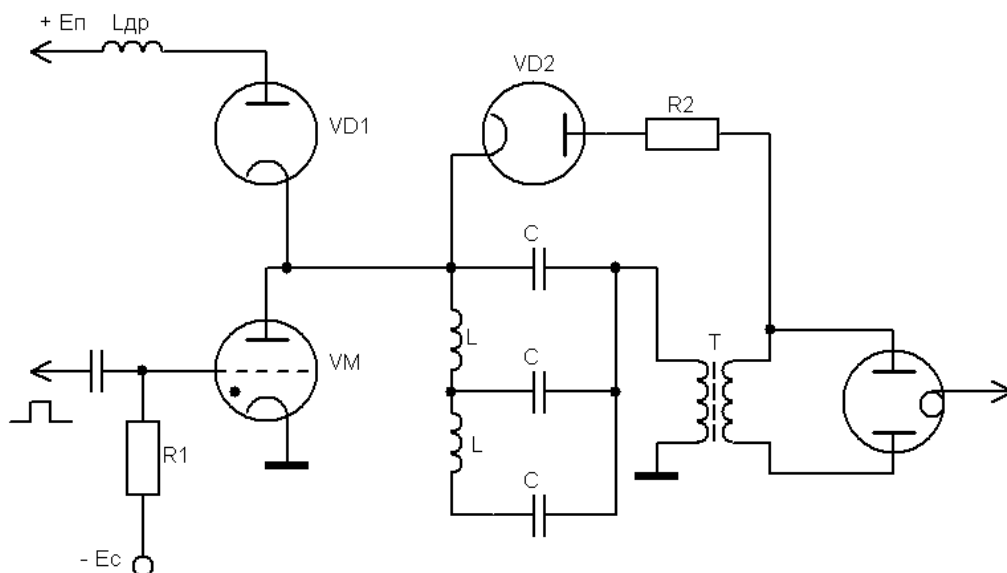


Рис 6. Схема модулятора на тиратроне

Во время паузы между импульсами тиратрон закрыт отрицательным напряжением смещения E_c . Накопительная линия относительно медленно заряжается от источника E_n через дроссель $L_{др}$ и трансформатор T. При соответствующем подборе величины $L_{др}$ можно обеспечить заряд линии до напряжения $2E_n$ и более. Величина энергии, накопленной в линии, определяется выражением

$$W = \frac{C_y U_{л}^2}{2}$$

где $C_y = nC$, $U_{л}$ – напряжение на линии.

При отпирании тиратрона линия разряжается через него и трансформатор T. После окончания запускающего импульса тиратрон не запирается, а продолжает пропускать ток до тех пор, пока напряжение на его аноде не упадет до нуля. В процессе работы в магнетроне иногда могут возникать кратковременные пробои, при которых сопротивление магнетрона резко падает. Нагрузка линии оказывается рассогласованной и энергия от первичной обмотки трансформатора возвращается в линию. Линия перезарядается с обратным знаком. Этот процесс носит

колебательный характер, поэтому напряжение на линии резко возрастает, что может привести к пробое модулятора. Для исключения этого в схему введен демпфирующий диод VD.

3. Принципы осуществления импульсной радиосвязи.

В радиолокационных передатчиках применяется простая (однократная) импульсная модуляция. Радиочастотные колебания модулируются по амплитуде периодической последовательностью прямоугольных видеоимпульсов с постоянными параметрами. Такие радиоимпульсы никакой информации не несут. Для передачи телефонной или иной информации используется двукратная импульсная модуляция, при которой периодическая последовательность радиоимпульсов является исходной, а передача сигнала осуществляется путем изменения какого-либо параметра этой последовательности по закону изменения передаваемого сигнала. Различают следующие виды импульсной модуляции:

1. Амплитудно- импульсную (АИМ);
2. Широтно- импульсную (ШИМ);
3. Частотно- импульсную (ЧИМ);
4. Фазо- импульсную (ФИМ);
5. Кодо- импульсную (КИМ).

Структура передатчика АИМ с двукратной модуляцией приведен на рис.7.

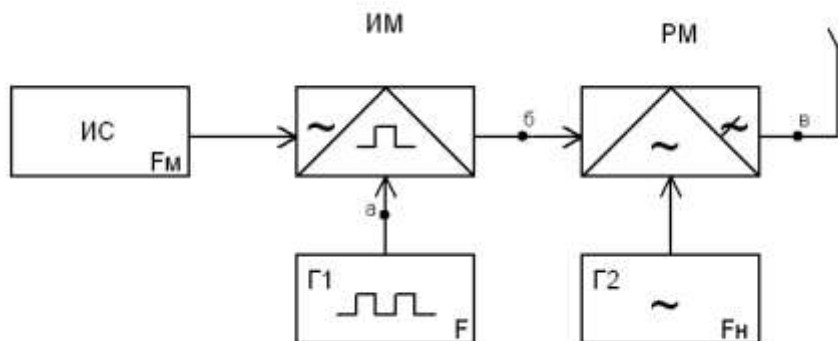


Рис. 7. Структура радиопередатчика с АИМ

На рис.7 ИС – источник сигнала, ИМ- импульсный модулятор, РМ- радиочастотный модулятор.

Импульсный модулятор Г1 создает первичную последовательность импульсов поступающих на импульсный модулятор ИМ. Сюда же поступает и модулирующий сигнал от источника сигнала ИС. Если для простоты изложения будем считать, что модулирующий сигнал является синусоидальным с частотой F_m , то при условии, что осуществляется амплитудная модуляция, спектр сигнала на выходе ИМ будет иметь вид, представленный на рис.8,б. Около каждой составляющей спектра импульсной последовательности появляются две боковые составляющие. Все составляющие спектра на выходе ИМ являются модулирующими частотами для колебания F_n высокочастотного генератора Г2. Таким образом, после вторичной амплитудной модуляции F_n спектр расширяется в два раза и вокруг несущей появляются боковые, определяемые спектром (б) промодулированной импульсной последовательности (в).

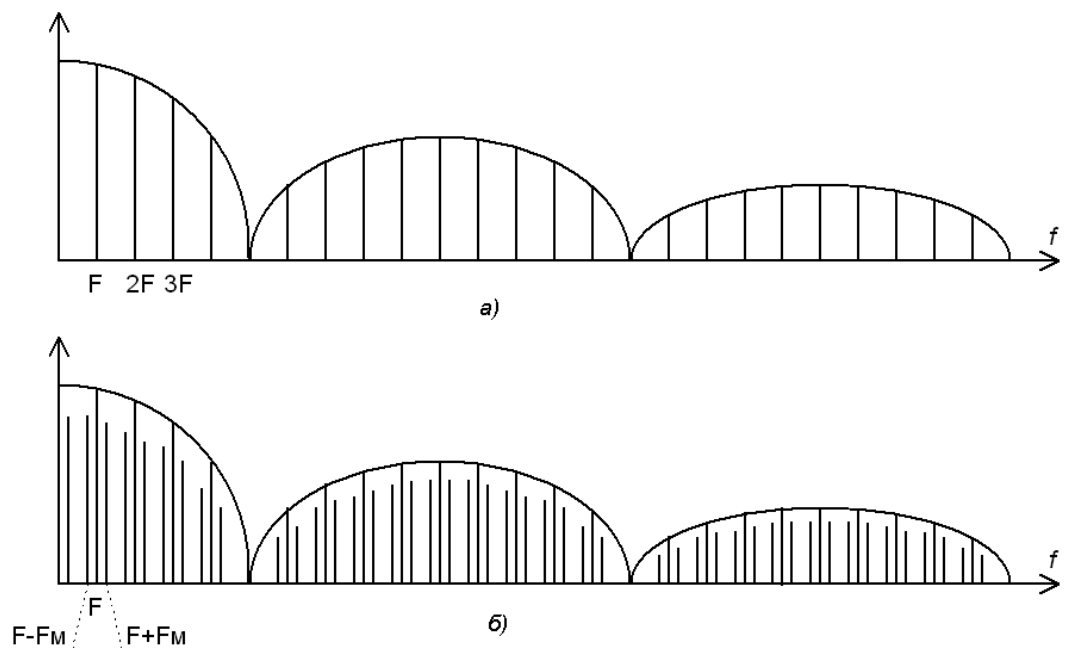


Рис 8. Спектр импульсной последовательности генератора Г1 (а) и спектр сигнала на выходе модулятора ИМ (б).

Импульсный генератор Г1 создает первичную последовательность импульсов, поступающих на импульсный модулятор ИМ. Сюда же поступает и модулирующий сигнал от источника сигнала ИС. Если для простоты изложения будем считать, что модулирующий сигнал является синусоидальным с частотой F_m , то при условии, что осуществляется амплитудная модуляция, спектр сигнала на выходе ИМ будет иметь вид, представленный на рис. 8, б. Около каждой составляющей спектра импульсной последовательности появляются две боковые составляющие. Все составляющие спектра на выходе ИМ являются модулирующими частотами для колебания F_n высокочастотного генератора Г2. Таким образом, после вторичной амплитудной модуляции спектр расширяется в два раза и вокруг несущей появляются боковые, определяемые спектром (б) промодулированной импульсной последовательности.

При ШИМ изменяется длительность видеоимпульсов при неизменной частоте их повторения. Помехоустойчивость ШИМ значительно выше, чем при АИМ, поскольку в приемнике с помощью ограничителя можно убрать все амплитудные помехи. Однако при малой длительности импульсов сильно расширяется спектр сигнала. А при расширении полосы пропускания приемника снижается его помехоустойчивость. Поэтому ШИМ, как правило, применяется только для преобразования ее в ФИМ. При ФИМ по закону изменения модулирующего сигнала изменяется положение импульсов относительно тактовых точек. Поскольку длительность и амплитуда импульсов не меняются, полоса частот при ФИМ получается не шире, чем при немодулированных импульсах. С учетом этих факторов помехоустойчивость при ФИМ получается наиболее высокой. При ЧИМ по закону изменения модулирующего сигнала изменяется частота следования импульсов. При ИКМ возможные значения модулирующего сигнала разделяются на ряд дискретных уровней. Каждому уровню соответствует свое число, которое в свою очередь, заменяется соответствующей кодовой комбинацией двоичных сигналов.

4. Импульсная манипуляция

Разновидностью импульсной модуляции является импульсная манипуляция, которая широко используется в радиотелеграфии. Радиотелеграфией называется передача информации с помощью телеграфного кода. Радиотелеграфия по сравнению с радиотелефонией обеспечивает значительно лучшую помехоустойчивость и занимает более узкие полосы частот. В телеграфии сообщение преобразуется в сигнал посредством двух операций: кодирования и манипуляции. Кодирование обеспечивает замену каждого информационного символа (например, буквы алфавита) своей кодовой комбинацией в принятой, например, двоичной системе счисления. В телеграфии наиболее широко применяются два кода: код Морзе и равномерный, равнозначный код Бодо (или МТК-2).

Код Морзе - это определенная комбинация коротких и длинных посылок («точек» и «тире»). Этот код не обеспечивает высокой скорости передачи, но его достоинством является возможность приема на слух и высокая помехоустойчивость. В МТК-2 для передачи любого знака используется комбинация из пяти элементарных посылок одинаковой продолжительности, но различной полярности (рис. 9)

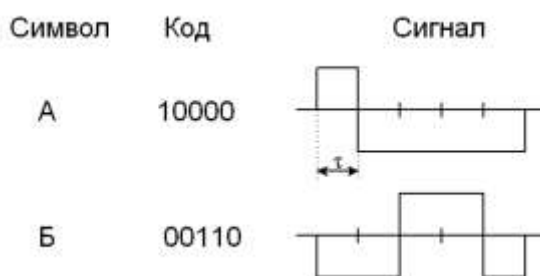


Рис. 9. Иллюстрация последовательности преобразования символа в сигнал в системе МТК-2

Скорость передачи в телеграфии измеряется числом элементарных посылок, передаваемых в одну секунду, т.е. $U_m = 1/\tau$. За единицу скорости принят один *бод*, соответствующий передаче одной элементарной посылки в секунду (1 бод = 1 бит/с). При ручной передаче с помощью ключа скорость не превышает 20 бод. Клавишные буквопечатающие аппараты обеспечивают скорость до 200 бод, трансмиттеры повышают скорость до 800 бод.

Для передачи по каналу связи закодированное сообщение превращается в высокочастотный сигнал, т.е. осуществляется процесс модуляции. В радиотелеграфии он называется *манипуляцией*. Различают три вида манипуляции: амплитудную, частотную и фазовую.

Амплитудная манипуляция.

Амплитудную манипуляцию можно рассматривать как 100-процентную амплитудную модуляцию прямоугольными импульсами (рис 10).

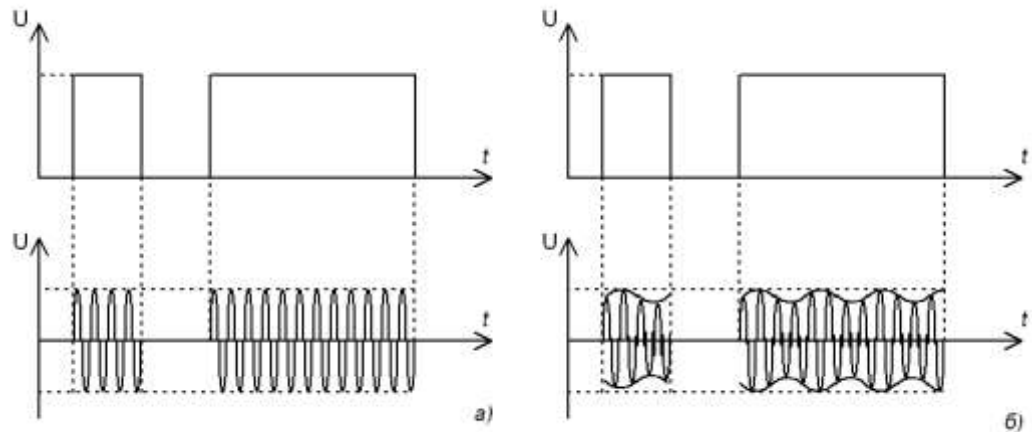


Рис. 10. Характер импульсов при амплитудной манипуляции.

Для обеспечения возможности приема сигналов на слух с помощью обычного приемника применяют тональную телеграфию (рис. 10, б). Для этого колебания несущей частоты вначале модулируют по амплитуде колебаниями звуковой частоты (600-1000 Гц), а затем манипулируют в соответствии с передаваемым кодом. Тональная телеграфия используется как для передачи текстовых сообщений, так и в радиомаяках, аварийных бужах.

Поскольку телеграфные послылки представляют собой последовательность прямоугольных импульсов, их спектр получается весьма широким и его приходится ограничивать. В простейшем случае из прямоугольных импульсов с помощью фильтров формируют колоколообразные импульсы. Достаточно пропустить через фильтр только 1 и 3-ю гармоники, т.к. они несут более 90% всей энергии сигнала. Поэтому полоса пропускания фильтров составляет всего 100-200 Гц.

Осуществлять амплитудную манипуляцию можно в любом каскаде передатчика. Но подключение цепей манипуляции к задающему генератору понижает стабильность его частоты, а манипуляция в выходных каскадах нежелательна из-за нецелесообразности прерывания больших токов. Поэтому манипуляцию обычно осуществляют в промежуточных каскадах. Одна из возможных схем манипулятора приведена на рис. 11.

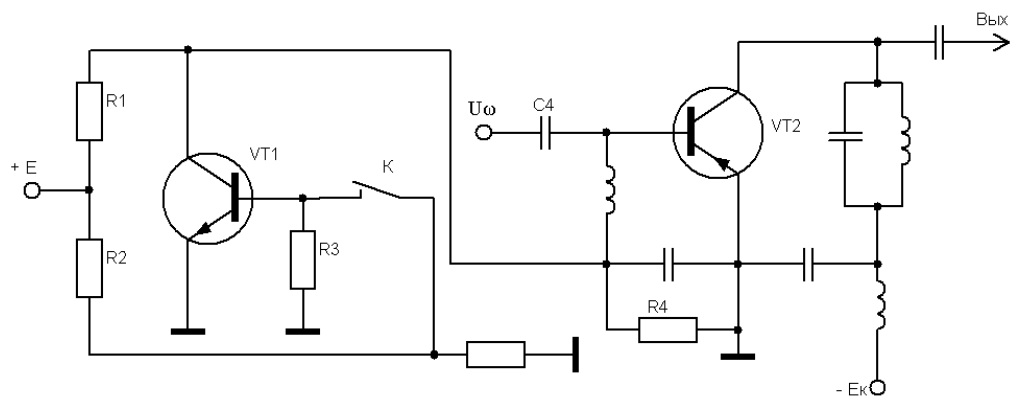


Рис. 11. Схема амплитудного манипулятора.

На транзисторе VT2 выполнен усилитель мощности радиочастоты, а на транзисторе VT1 - электронный ключ. В исходном состоянии электронный ключ

отпущен. На базу VT2 с R4 подается запирающее напряжение от источника +E, поэтому транзистор закрыт. При нажатии ключа K VT1 отпирается, шунтирует R4 и транзистор VT2 переходит в режим усиления сигнала $U\omega$.

Частотная манипуляция.

При частотной манипуляции в соответствии с передаваемым кодом изменяется частота несущих колебаний. Например, во время посылок частота излучения становится более высокой, чем во время пауз (рис 12).

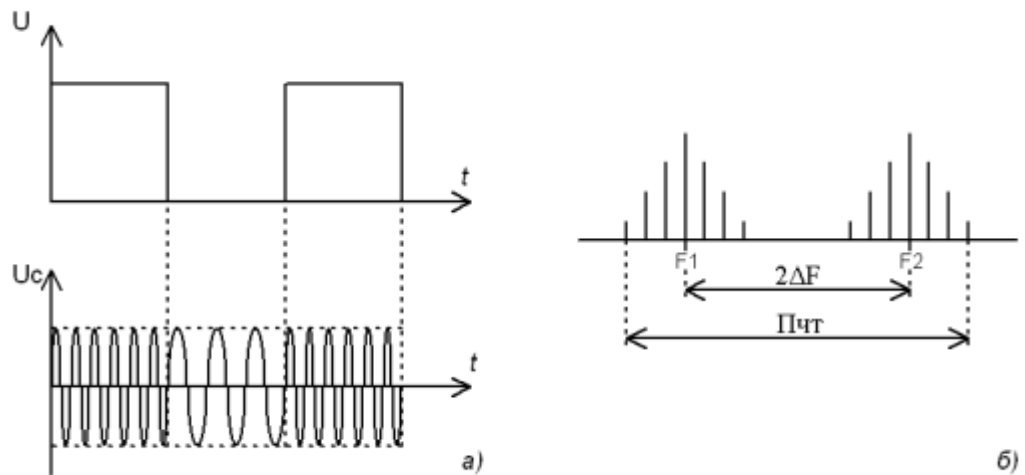


Рис. 12. Характер сигнала (а) и его спектра (б) при частотной манипуляции.

Разность частот $2\Delta F = F_2 - F_1$ называется сдвигом частот. Соответственно $\Delta F = 0,5(F_2 - F_1)$ - девиация частоты. Значения сдвигов частот стандартизованы. В диапазоне 0,5-30 МГц, где осуществляется большая часть радиотелеграфных связей, сдвиги частот составляют 125-500 Гц. При построении передатчиков ЧТ сигналов появляются дополнительные проблемы, связанные с широким спектром таких сигналов. При передаче периодической последовательности нулей и единиц спектр ЧТ сигнала можно представить в виде суммы спектров для несущих колебаний с частотами F_1 и F_2 , промодулированных по амплитуде (с $m=1$) с частотой манипуляции F . Как известно, такие сигналы имеют очень широкий спектр. Значительная часть спектральных составляющих не попадает в полосу пропускания приемника, но создает значительные уровни внеполосных помех. Для обеспечения действующих требований по электромагнитной совместимости РЭА эти составляющие должны быть подавлены в передатчике до уровня - (60-90) дБ. Поэтому при ЧТ обязательно необходимо принимать меры по ограничению спектра излучения передатчика.

Согласно рекомендациям МККР ширина спектра ЧТ сигнала при $1,5 \leq M_{чт} < 7$ должна быть в пределах

$$\Pi \approx 2,6\Delta F + 1,5B,$$

где $M_{чт} = \frac{\Delta F}{F_M}$, $F_M = \frac{B}{2}$; B - скорость передачи, бод

Например, если $B = 200$ бод ($F_M = 100$ Гц), сдвиг частоты $2\Delta F = 800$ Гц, то $M_{чт} = \frac{\Delta F}{F_M} = 4$ и $\Pi \approx 1,5$ кГц.

Постоянство амплитуды колебаний позволяет подавлять амплитудные помехи установкой в приемнике ограничителя. Это обеспечивает выигрыш на стороне приема, эквивалентной увеличению мощности передатчика в несколько раз по сравнению с режимом амплитудной манипуляции. Кроме того, при частотной манипуляции передатчик работает непрерывно и с полной мощностью и переходные процессы при переходе с одной частоты на другую проявляются незначительно, что уменьшает искажения сигналов и позволяет повысить скорость телеграфирования. Поэтому частотную телеграфию широко применяют на линиях магистральной радиосвязи.

Весьма жесткие требования в системах частотной телеграфии предъявляются к стабильности несущей и девиации частоты. Поэтому в передатчиках, как правило, используются кварцевые генераторы. При высокой стабильности частоту таких генераторов все же можно изменять в пределах нескольких процентов, что при ЧТ оказывается вполне достаточным. Одна из возможных схем манипулятора приведена на рис. 13.

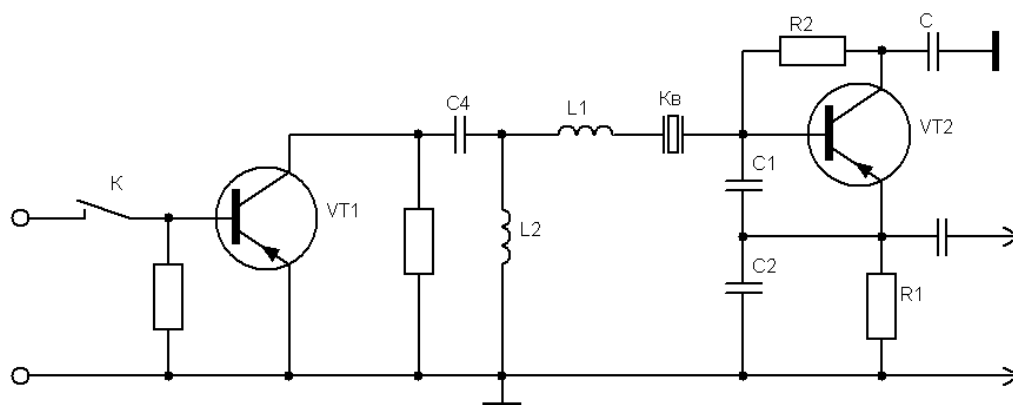


Рис. 13. Схема ЧТ манипулятора.

В данной схеме на VT1 собран оконечный каскад электронного манипулятора, а на VT2- автогенератор по схеме емкостной трехточки с кварцевой стабилизацией. Последовательно с кварцем включены манипуляционные индуктивности L1 и L2. При отпущенном ключе K транзистор VT1 закрыт, L1 и L2 включены последовательно с кварцем. Частота генератора будет меньше номинальной. При нажатом ключе VT1 переходит в насыщенное состояние и шунтирует L2. Частота возрастает по сравнению с номинальной. Обычно сдвиг частоты $2\Delta F$ составляет 170 Гц.

Сформировать ЧТ сигнал можно и другими способами, например, переключением частот двух независимых генераторов. Однако при этом будут иметь место скачки фазы колебаний до 180° , что вызовет появление внеполосных составляющих. Скачки фазы можно уменьшить или устранить путем усложнения схемы. Один из способов иллюстрируются на рис. 14.

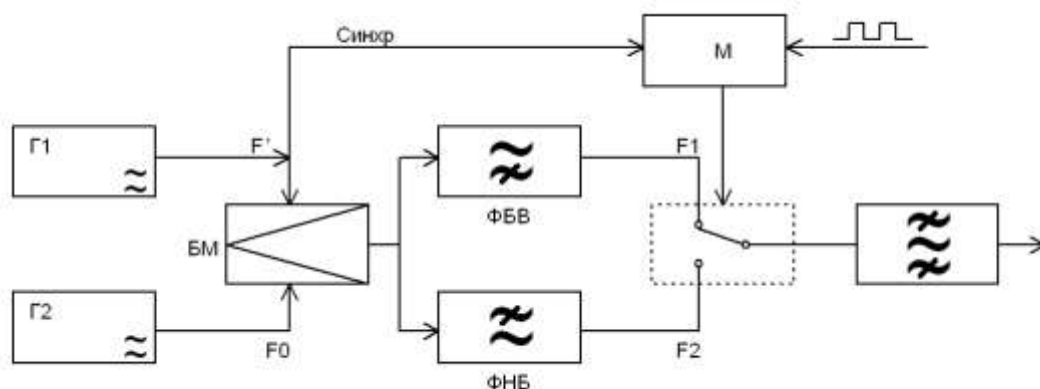


Рис. 14 Схема ЧТ манипулятора с переключением генераторов.

В схеме частота единицы ($F1$) и нуля ($F2$) образуются как боковые составляющие спектра АМ сигнала при модуляции колебания несущей частоты $F0$ сигналами частоты $F' = \Delta F$. Момент переключения частот синхронизированы с частотой F' так, что коммутация происходит в моменты перехода сигнала через ноль.

Имеются и другие, более сложные схемы формирования ЧТ сигналов, например, путем затягивания фронтов импульсов в момент переключения или с плавным изменением частоты в процессе переключения.

Фазовая манипуляция.

При фазовой манипуляции в соответствии с комбинацией импульсов передаваемого кода изменяется фаза несущего колебания. При фазовой телеграфии антенна передатчика непрерывно излучает колебания одной и той же частоты и постоянной амплитуды. По сравнению с частотной такая передача обеспечивает двукратный энергетический выигрыш, двукратное уменьшение полосы частот и лучшую помехоустойчивость. Различают два вида фазовой манипуляции: простую и относительную.

При простой фазовой манипуляции (ФМ) в зависимости от передаваемого двоичного символа, фаза может принимать одно из двух значений: 0° или 180° . Причем изменение фазы происходит при каждой смене символа с 0 на 1 или наоборот (рис. 15,б). При такой манипуляции в спектре сигнала полностью отсутствует несущая, а мощность боковых возрастает в два раза по сравнению с ЧМ и в четыре раза по сравнению с АМ. Однако при приеме сигналов ФМ возникают некоторые сложности, связанные с возможностью так называемой «обратной работы». Дело в том, что в приемнике принятый сигнал с определенной фазой колебаний сравнивается с фазой опорного колебания. По различным случайным причинам фаза опорного колебания при включении приемника может совпадать с фазой принятого колебания или отличаться на 180° . Поэтому и полярность импульсов на выходе фазового детектора может изменяться на обратную, что приведет к потере достоверности информации.

Этого недостатка лишена относительная фазовая телеграфия (ОФТ). Здесь информация о передаваемой посылке заложена в отношении фазы несущего колебания данной посылки к фазе колебания в предыдущей посылке. Например, при передаче импульса с уровнем «1» фаза несущего колебания по сравнению с предыдущей посылкой не изменяется, а при передаче импульса с уровнем «0» изменяется (рис. 15,в).

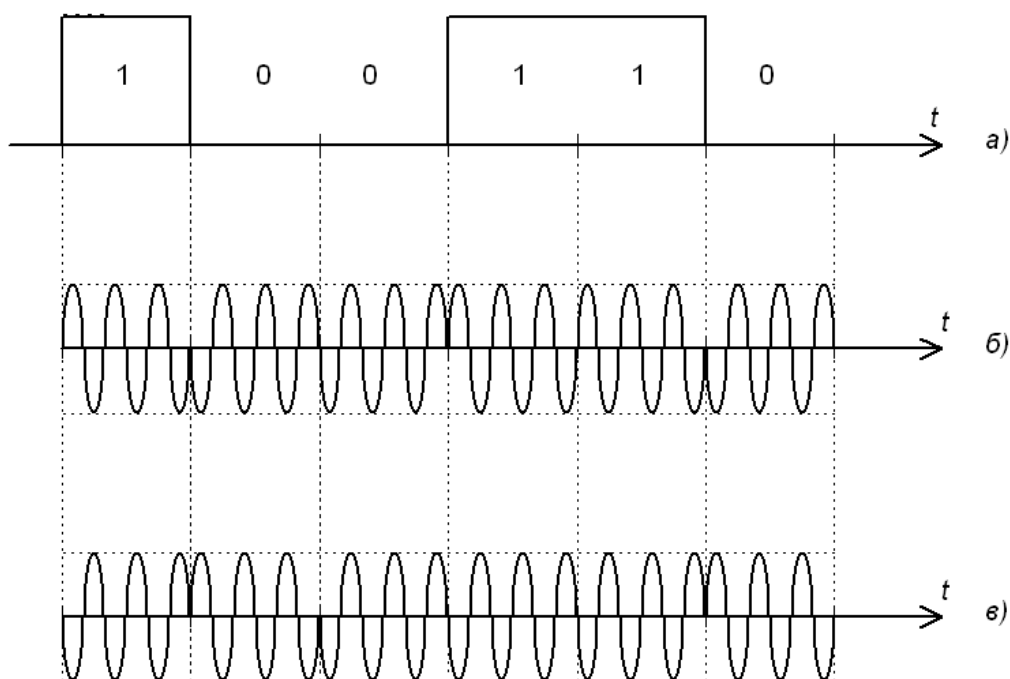


Рис. 15. Характер изменения фазы колебаний при передаче информации:
 б) простая ФТ
 в) относительная ФТ

На приемной стороне фаза принятой посылки сравнивается с фазой предыдущей посылки. При совпадении фаз вырабатывается импульс с уровнем «1», в противоположном случае – «0».

Дискретная модуляция фазы колебания может осуществляться путем коммутации полюсов источника колебаний. Существует достаточно много схем фазовых манипуляторов. Одной из самых простых, но обеспечивающих хорошее качество является схема кольцевого диодного модулятора (рис. 16,а). Допустим, что в исходном состоянии модулирующее (коммутирующее) напряжение не поступает. Напряжение несущей частоты на выход также не проходит. Этому препятствует закрытая пара диодов. Напряжение манипуляции, поданное на средние точки трансформаторов, открывает два диода. При подаче от манипулятора положительного импульса открываются диоды VD1 и VD2. При этом постоянный ток от источника манипулирующего напряжения протекает через диоды VD1, VD2 и обе полуобмотки трансформаторов. Так как токи в полуобмотках протекают в противоположных направлениях, то магнитные потоки в трансформаторах компенсируются. Ток несущей частоты от T1 протекает по цепи: т.1-VD1-т.3-т.4-VD2-т.2. В следующий полупериод ток пойдет по тому же пути, но в противоположном направлении. На выходе создается напряжение с частотой несущей. При изменении полярности модулирующего напряжения будут открыты диоды VD3 и VD4. Но при этом произойдет изменение фазы радиочастоты на 180°. В результате выходное напряжение окажется фазоманипулированным.

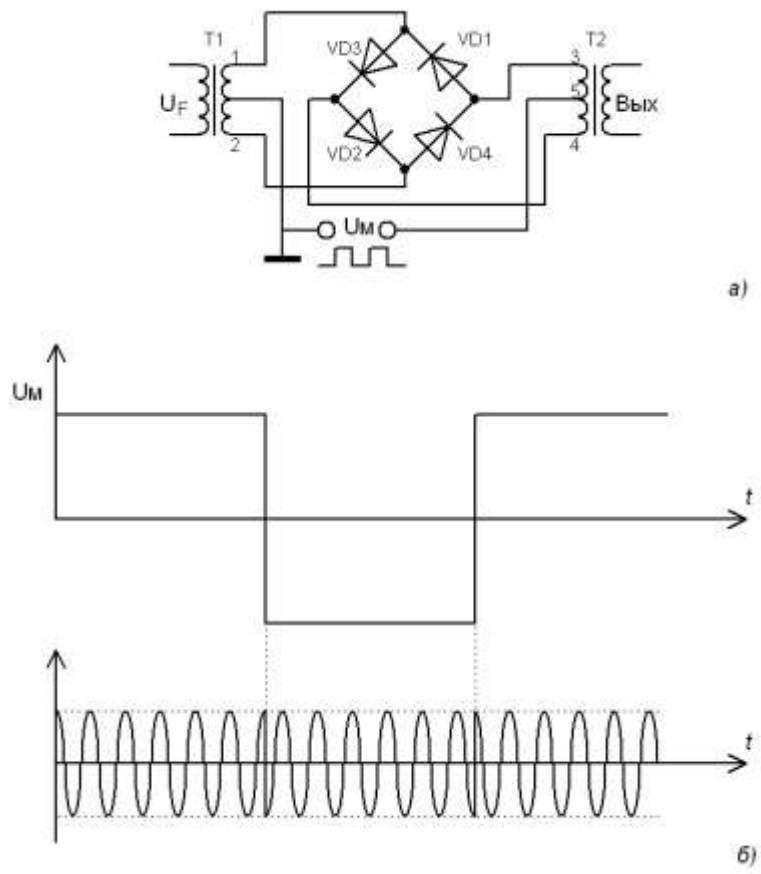


Рис. 16. Схема балансного модулятора (а) и временные диаграммы его работы (б)

5. Контрольные вопросы

1. Имеется две последовательности видеоимпульсов, следующих с частотой 1кГц. Длительность каждого импульса в первой последовательности составляет 10мкс, во второй 1мкс. Какая последовательность имеет более широкий спектр частот?
2. Какую функцию на рис. 5 выполняет диод VD?
3. В чем главное отличие жесткого модулятора от мягкого?
4. Чем определяется длительность на выходе модулятора по схеме рис. 6?
5. Изобразите примерный характер последовательности импульсов при различных видах модуляции (АИМ, ШИМ, ЧИМ, ФИМ).
6. Почему манипуляция УТ более выгодна по сравнению с АТ?
7. Поясните, почему через пару открытых диодов в схеме балансного модулятора проходят обе полуволны высокочастотного колебания с трансформатора Т1 (рис 16).