

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА
С ПОЛНЫМ РАЗРЯДОМ ИСКУССТВЕННОЙ ЛИНИИ

Утверждено редакционным
советом института в качестве
методических указаний
к лабораторной работе

Куйбышев 1983

УДК 621.376.5

Методические указания содержат описание лабораторной работы, посвященной исследованию импульсного модулятора радиолокационного передатчика, выполняемой студентами специальности 0705 при изучении курса "Основы радиоэлектроники". Приведены теоретические основы лабораторной работы, указания по подготовке и выполнению работы, а также контрольные вопросы.

Составитель — Н.А.М а л ы г и н

Рецензент — В.В.М о т о в

Ц е л ь р а б о т ы — изучение и экспериментальное исследование импульсного модулятора радиолокационного передатчика с полным разрядом искусственной длинной линии.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ [1, 2, 3]

Импульсная мощность передатчиков радиолокационных станций может достигать десятков тысяч киловатт при скважности (отношении периода повторения к длительности импульсов), достигающей сотен и тысяч. Длительность импульсов — от одной десятой до нескольких десятков и сотен микросекунд.

Для формирования столь коротких и мощных импульсов в схеме передатчика имеется специальное устройство — импульсный модулятор. В состав его входят: накопитель энергии (НЭ), электронный коммутатор, который подключает накопитель к генератору радиочастоты, источник питания, от которого заряжается НЭ в паузах между импульсами, и элементы, обеспечивающие заряд НЭ. Поскольку НЭ отдает энергию в течение очень малой длительности импульса, а накапливает во время сравнительно большой паузы, то требуемая мощность источника питания получается в скважность раз меньше, чем мощность, потребляемая генератором радиочастоты в импульсе.

В передатчиках малой и средней мощности (до 500 кВт) в качестве накопителя энергии применяют конденсаторы. Для получения импульсов прямоугольной формы их разряжают частично, при этом используется лишь 10–20% накопленной в них энергии. Поэтому с повышением мощности передатчика увеличение габаритов конденсаторов становится конструктивно неприемлемым.

Известно, что прямоугольный импульс можно получить при полном разряде отрезка l разомкнутой на конце длинной линии на активное сопротивление R , равное ее волновому сопротивлению Z_{λ} , (рис. 1а).

Перед замыканием ключа S напряжение вдоль линии распределено равномерно и равно E (рис. I, а). В распределенной емкости линии при этом запасена энергия $W = 0,5 CE^2$, где C - суммарная емкость линии.

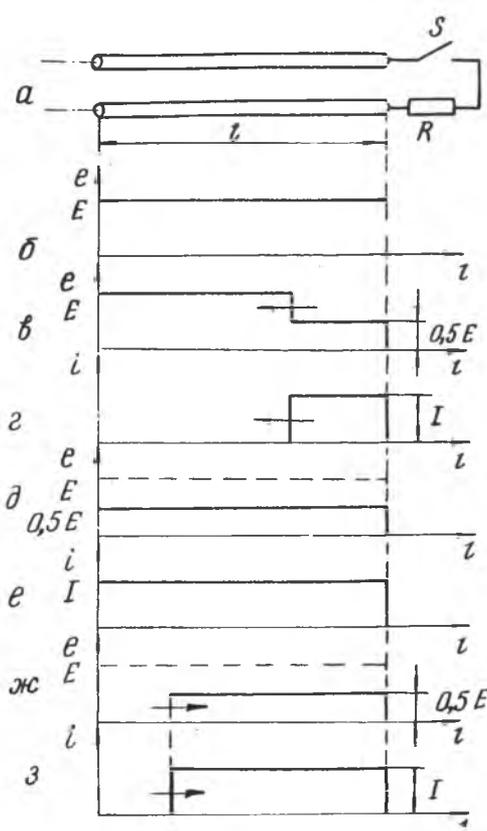


Рис. I

При замыкании ключа S в некоторый момент времени t_1 к заряженной линии подключается активная нагрузка и начинается процесс разряда линии на согласованное сопротивление. На нагрузке R появится напряжение, равное $0,5 E$ (т.к. $R = Z_{\lambda}$), и потечет ток I . В первый элементарный интервал времени разрядится ближайший к нагрузке элементарный участок линии и в нем установится ток I , в следующий момент разряд распространится на соседний участок и т.д. (рис. I, в, г.). Скорость распространения разряда равна скорости распространения электромагнитных колебаний в линии данной конструкции, т.е. скорости света в среде, окружающей проводники линии (для вакуума $v = 3 \cdot 10^8$ м/с). К моменту времени $t = t_1 + l/v$ (рис. I, д, е) вся линия разрядится до напряжения $0,5 E$, и по ней будет

протекать ток I . Далее разряд, отразившись от разомкнутого конца линии, начнет распространяться в обратную сторону, т.е. к нагрузке. Элементарные участки линии разряжаются последовательно, ток в них прекращается, а напряжение падает до 0 (рис. I, ж, з). В момент времени t_2 , который отстоит от t_1 на $2l/v$, линия полностью разрядится.

Напряжения на сопротивлении нагрузки R и ток, проходящий через него, станут равными нулю. Таким образом, вся запасенная в линии энергия W полностью выделяется в нагрузку в виде прямоугольного импульса амплитудой $0,5 E$ и длительностью $\tau_{и} = 2l/v$, т.е. равной удвоенному времени прохождения электромагнитных колебаний вдоль линии. Начало формирования импульса определяется моментом замыкания ключа S , окончание импульса от ключа не зависит, а определяется только параметрами линии: длиной l и скоростью электромагнитных волн в ней v . В качестве ключа для разряда линии применяют тиратроны, тиристоры, нелинейные индуктивности (дрессели, трансформаторы).

Для примера рассмотрим импульсный модулятор на тиратроне (рис.2). В паузах между импульсами тиратрон $V1$ закрыт нулевым напряжением на сетке, что обеспечивается включением резистора R_c .

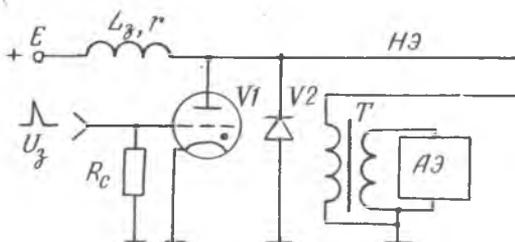


Рис.2

Накопитель энергии НЭ - разомкнутый отрезок длинной линии - заряжается через дроссель L_3, r от источника питания $+E$. При подаче на сетку положительного запускающего импульса напряжения U_3 (достаточно короткого импульса с крутым фронтом и амплитудой $170-200B$), тиратрон отключается, его сопротивление резко падает и НЭ начинает разряжаться на активный элемент АЭ генератора радиочастоты через импульсный трансформатор T_1 , который служит для согласования сопротивления АЭ с волновым сопротивлением линии. Через некоторое время запускающий импульс прекращается, однако тиратрон остается открытым и процесс разряда НЭ продолжается до тех пор, пока напряжение на аноде тиратрона не упадет практически до нуля, т.е. когда линия полностью разрядится. На нагрузке АЭ формируется прямоугольный импульс.

Для повышения к.п.д. модулятора на практике применяют резонансный заряд линии через индуктивность. Разомкнутая линия при заряде (сравнительно медленном процессе) ведет себя как суммарная емкость C и вместе с дросселем образует последовательный колебательный контур с малыми потерями (рис. 3,а).

Собственная частота контура $\Omega_0 = 1/\sqrt{L_3 C}$, характеристическое сопротивление $\varrho = \Omega_0 L_3 = 1/\Omega_0 C = \sqrt{L_3/C}$, добротность $Q = \varrho/r$, где r - суммарное сопротивление потерь. Известно, что заряд емкости от источника постоянного напряжения в таком контуре происходит по колебательному закону (рис.3,б), причем через время $t = \pi/\Omega_0$ (полпериода) после начала заряда напряжение на емкости достигает максимального значения $U_{max} \approx 2E$ (при добротности $Q > 10$).

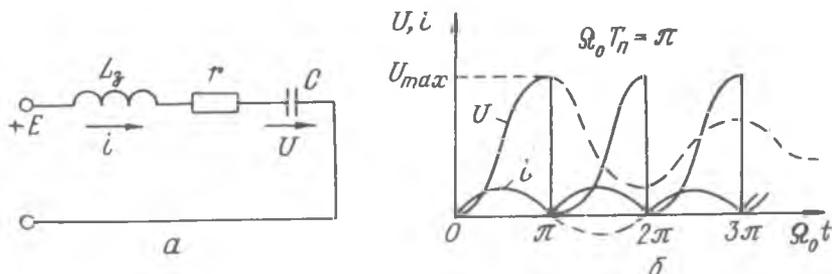


Рис. 3

Выбирая период повторения импульсов T_n равным или близким половине периода собственных колебаний зарядной цепи ($T \approx \pi/\Omega_0$) можно, следовательно, с высоким к.п.д. разрядить линию до удвоенного напряжения источника питания и сформировать прямоугольный импульс на первичной обмотке импульсного трансформатора амплитудой, примерно равной E .

Остановимся подробнее на конструктивном выполнении НЭ. Например, для формирования импульса длительностью 1 мкс линия должна иметь длину 150 м. Высоковольтный коаксиальный или двупроводный кабель такой длины, даже свернутый в бухту, имеет значительные габариты, вес и стоимость. Во избежание этого на практике вместо кабеля применяют искусственные линии - двухполюсники, составленные из конечного числа реактивных элементов. Чаще используют цепочечные линии (рис.4а), но применяют также искусственные линии, составленные из параллельных (рис.4,б) или последовательных (рис.4,в) контуров. Чем больше число ячеек линии, тем в большей степени форма импульса приближается к прямоугольной, но линия получается более громоздкой. На практике применяют обычно линии, состоящие из $3 - 8$ ячеек.

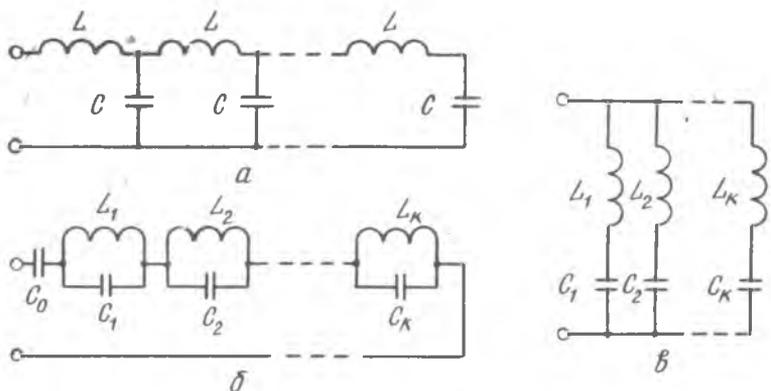


Рис. 4

Рассмотрим схему импульсного модулятора с полным разрядом искусственной линии (рис.5). Кроме накопителя энергии, эта схема отличается от схемы, представленной на рис.2, наличием двух диодов $V1$ и $V3$.

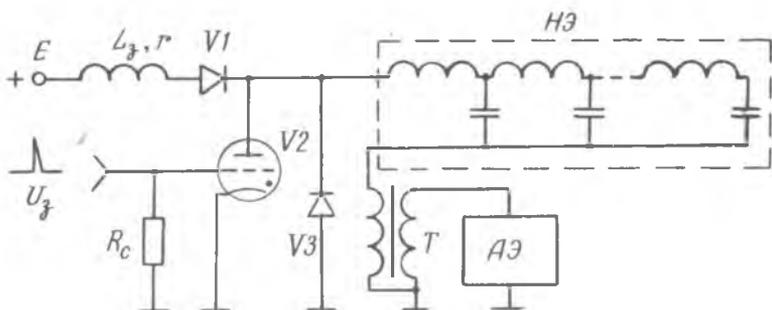


Рис. 5

Диод $V1$ включен последовательно с зарядным дросселем и отключает от зарядной цепи искусственную линию, когда напряжение на ней достигает максимума, при этом напряжение на линии остается неизменным до момента прихода следующего импульса запуска (рис.6). Таким образом, наличие диода $V1$ дает возможность менять частоту повторения импульсов, что расширяет тактические возможности радиолокационной станции.

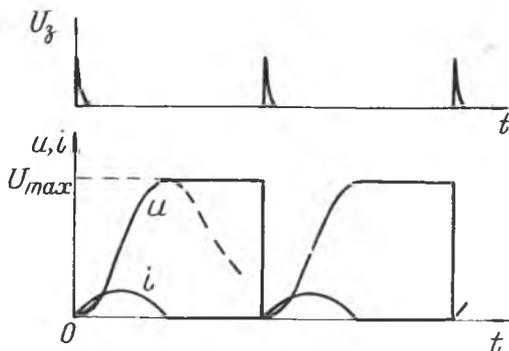


Рис. 6

Поясним назначение защитного диода $V3$, шунтирующего тиратрон. При коротком замыкании АЭ (например, искрении в магнетроне) или неточном согласовании линии, когда $R < \rho_{\Lambda}$, во время разряда линия передает в нагрузку только часть энергии, а остальная отражается так, что меняет знак напряжения на линии и тиратрон закрывается, хотя линия имеет еще некоторый запас энергии. Новый цикл заряда НЭ начинается при отрицательном напряжении на линии, поэтому она зарядится до $U_{max} > 2E$. Этот процесс возрастания напряжения на линии будет продолжаться до пробоя тиратрона. Дiode $V3$ служит для разряда НЭ при отрицательных напряжениях на НЭ, защищая тем самым тиратрон от пробоя. На практике стараются выбрать диод $V3$ с сопротивлением в открытом состоянии $r_A \approx \rho_{\Lambda}$, чтобы при коротком замыкании нагрузки $R \approx 0$ энергия НЭ быстро рассеивалась.

Конструктивно импульсный модулятор с НЭ в виде искусственной линии сложнее модулятора с частичным разрядом накопительной емкости. Однако его к.п.д. выше и может достигать 75–80%, так как к.п.д. тиратрона больше к.п.д. вакуумной импульсной модуляторной лампы и равняется 85–90%. Кроме того, к.п.д. зарядной цепи при резонансном заряде несколько выше к.п.д. при аperiodическом заряде через резисторы.

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

1. Изучить настоящие методические указания, соответствующие разделы лекционного курса и указанной литературы [1, 2, 3].
2. Ответить на вопросы :

Что определяет длительность импульсов и период их следования в модуляторе с полным разрядом искусственной линии ?

Что можно использовать в качестве электронного коммутатора в модуляторе с полным разрядом накопителя ?

На какие параметры импульсов влияет нагрузка модулятора ?

В чем преимущество резонансного заряда искусственной линии перед аperiodическим зарядом ?

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

На лабораторном стенде (рис.7) собраны : генератор периодической последовательности импульсов на микросхемах D1 и D2 с регулируемой частотой следования; формирователь импульсов запуска на транзисторе V2 ; импульсный модулятор с полным разрядом искусственной линии и коммутатором на тиристоре V4 ; источник питания с напряжениями +5В для питания генератора импульсов и +12В для питания модулятора.

Регулировка периода повторения T_n импульсов производится переменным резистором R1 . С помощью переключателя S2 к импульсному модулятору подключается источник питания и подаются импульсы с генератора. С помощью переключателей S5 и S6 можно изменять "длину" искусственной линии (подключая дополнительное количество ячеек), а переключателем S8 - величину сопротивления нагрузки модулятора, причем R11 соответствует волновому сопротивлению линии $Z_{\lambda} = 1200 \text{ Ом}$, а $R12 = 330 \text{ Ом} < Z_{\lambda}$. Переключатель S7 служит для подключения параллельно тиристор V4 защитного диода V6.

Формирователь запускающих импульсов представляет собой усилитель на транзисторе V2 с дифференцирующим трансформатором T1. Со вторичной обмотки трансформатора импульсы положительной полярности поступают на запуск тиристора, отрицательные выбросы срезаются диодом V5.

Для экспериментального исследования работы модулятора на лицевую панель стенда выведены гнезда X4, X5, к которым может подключаться осциллограф типа С1-73 или аналогичный.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Включить питание стенда. С помощью осциллографа убедиться в наличии импульсов на выходе генератора (гнездо XI). Ручкой переменного резистора R3 установить максимальную длительность импульсов.

2. Исследовать процесс заряда искусственной линии.

2.1. Снять зависимость амплитуды напряжения на входе линии (гнездо X4) от периода следования запускающих импульсов при различном количестве ячеек искусственной линии. Результаты свести в таблицу.

2.2. Зарисовать осциллограммы напряжений на входе линии при $T_n = \text{const}$ и различных положениях переключателей S5 и S6.

3. Исследовать процесс разряда искусственной линии.

3.1. Измерить длительность импульсов на выходе модулятора от числа ячеек искусственной линии.

3.2. Убедиться в том, что длительность импульсов на выходе модулятора не зависит от длительности запускающих импульсов.

3.3. Зарисовать осциллограммы импульсов на выходе модулятора при согласованной и несогласованной нагрузке.

3.4. Исследовать влияние защитного диода V6 и зарисовать характерные осциллограммы импульсов на выходе модулятора.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель лабораторной работы.
2. Принципиальная схема лабораторной установки.
3. Таблицы, графики и осциллограммы, полученные при выполнении лабораторного задания.
4. Выводы и оценка полученных результатов.

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы

1. Нарисуйте схему импульсного модулятора с полным разрядом искусственной линии, поясните принцип ее действия и назначение элементов.

2. Нарисуйте эквивалентные схемы цепей заряда и разряда искусственной линии.

3. Какие элементы модулятора влияют на параметры выходных импульсов ?

4. Какие требования предъявляются к коммутатору и какие типы коммутаторов применяют в импульсных модуляторах с искусственной линией ?

5. Какие искажения формы импульсов происходят в импульсном модуляторе, чем они обусловлены и как их уменьшить ?
6. От чего зависит к.п.д. импульсного модулятора ?
7. Какие требования предъявляются к импульсному трансформатору ?
8. Укажите области применения различных типов импульсных модуляторов .

Литература

1. Радиопередающие устройства /Под ред. М.В.Благовещенского, Г.М.Уткина. - М.: Радио и связь, 1982, с.311-314, 316-321.
2. Шумилин М.С., Головин О.В. и др. Радиопередающие устройства. -М.: Высшая школа, 1981, с.253-262, 267-271.
3. Нейман М.С. Курс радиопередающих устройств. - М.: Сов.радио, 1965, с.384-387, 393-405.

Составитель - Николай Александрович
М а л ы г и н

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА
С ПОЛНЫМ РАЗРЯДОМ ИСКУССТВЕННОЙ ЛИНИИ**

Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Подписано в печать 30.II.83г. Формат 60x84 I/16.
Оперативная печать. Бумага оберточная белая.
Уч.-изд.л. 0,65. Усл.п.л. 0,7. Тираж 500 экз.
Заказ 8343 Бесплатно

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Молодогвардейская, 151.

Областная типография имени В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.