

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА
С ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДОМ НАКОПИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ

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 и 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 с частичным разрядом накопительной емкости

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ [1, 2]

В радиолокации, радионавигации, радиорелейных линиях связи широко применяют импульсную модуляцию, при которой радиопередатчик вырабатывает мощные радиопульсы длительностью $\tau_{и}$ и периодом повторения $T_{п}$ (рис 1). Различные виды импульсной модуляции характеризуются отношением $q = T_{п}/\tau_{и}$, которое называется скважностью. Так, в радиолокации формируют импульсы с большой скважностью (сотни, тысячи) при длительности импульсов от одной десятой до нескольких десятков и сотен микросекунд. Мощность в импульсе до 10 МВт. В радиорелейных линиях связи с временным уплотнением каналов скважность $q = 2 - 10$, длительность импульса 0,5 - 3 мкс, мощность передатчиков - единицы или десятки ватт.

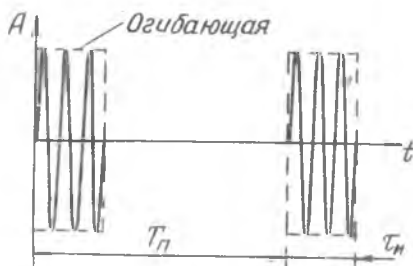


Рис. 1

Что касается формы применяемых импульсов, то наибольшее распространение в силу ряда преимуществ получили прямоугольные импульсы: во-первых, они имеют наибольшую энергию (напомним, что энергия импульса пропорциональна площади под ним) при заданной амплитуде, что обеспечивает наибольшую дальность действия радиоэлектронной системы, во-вторых, при приеме они обеспечивают высокую точность определения времени прихода (в радиолокации это позволяет повысить точность определения координат цели и разрешающую способность), в-третьих, режим работы электронного прибора при модуляции прямоугольным импульсом остается постоянным в пределах длительности $\tau_{и}$, что особенно важно при модуляции в автогенераторах для обеспечения высокой стабильности частоты.

Форма реального импульса (рис.2) отличается от идеальной прямоугольной и характеризуется следующими параметрами: амплитудой U_m ; длительностью $\tau_{и}$, считываемой чаще по уровню $0,5U_m$ (применяют также уровни 0,05; 0,1; 0,9 от U_m и другие); неравномерностью вершины ΔU ; длительностью фронта $\tau_{ф}$, т.е. временем нарастания импульса от $0,1U_m$ до $0,9U_m$; длительностью среза $\tau_{с}$, т.е. временем спада импульса

от $0,9U_m$ до $0,1U_m$. Все указанные параметры относятся как к модулирующему импульсу (см.рис.2), так и к отбаливающей радиоимпульса (см.рис.1).

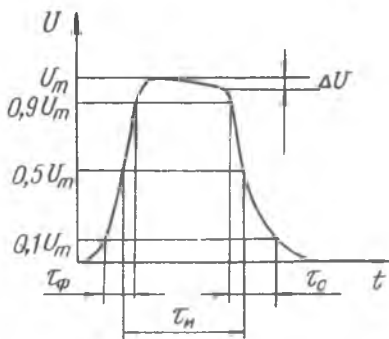


Рис. 2

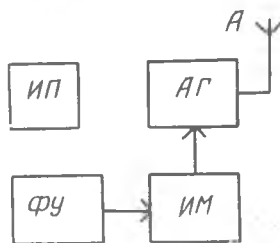


Рис. 3

Рассмотрим структурную схему простейшего однокаскадного передатчика с импульсной модуляцией (рис.3). Источник питания (ИП) служит для питания элементов схемы, формирующее устройство (ФУ) задает период повторения T_n и длительность импульсов $\tau_{и}$, импульсный модулятор (ИМ) управляет режимом работы активного элемента (АЭ) в автогенераторе (АГ), который и вырабатывает мощные радиоимпульсы.

Импульсный режим работы АЭ в автогенераторе можно реализовать по-разному. В схеме, представленной на рис.4,а импульсы напряжения от ИМ воздействуют на управляющий электрод АЭ, открывая его на время $\tau_{и}$ и запирая на время паузы. Достоинство метода-импульсный модулятор получается маломощным. Недостаток - напряжение питания от ИП действует на электродах АЭ непрерывно, это позволяет выбрать его достаточно большим (известно, что в течение коротких импульсов АЭ может выдержать без электрического пробоя в несколько раз большее напряжение, чем в непрерывном режиме).

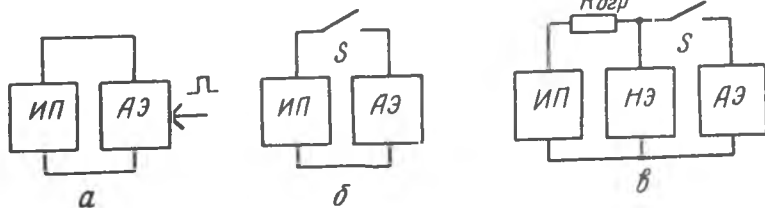


Рис. 4

Поэтому данный метод применяется в маломощных передатчиках или в промежуточных каскадах многокаскадного передатчика.

Другой метод реализации импульсной модуляции приведен на рис.4,б и заключается в периодическом подключении АЭ с помощью коммутатора S к источнику высокого напряжения ИП на время $\tau_{и}$ и отключения его на время паузы. Коммутатор S в данном случае является импульсным модулятором и управляет мощностью ИП. Недостаток метода в том, что ИП рассчитывается на импульсное значение потребляемой АЭ мощности и в паузах между импульсами "простаивает", что конструктивно и экономически невыгодно. Поэтому метод (рис.4,б) применяется только при малой скважности импульсов ($q = 2 - 5$) и сравнительно небольшой мощности передатчика, когда такое нерациональное использование ИП в какой-то мере допустимо.

В радиолокационных передатчиках применяют импульсные модуляторы с накопителем энергии (НЭ) (рис.4,в). В паузах между импульсами, когда коммутатор S разомкнут, происходит медленный заряд НЭ через ограничительное сопротивление $R_{огр}$ от ИП. На короткое время $\tau_{и}$ коммутатор S замыкается и активный элемент АЭ получает мощность от НЭ, а не от ИП, чему препятствует ограничительное сопротивление $R_{огр}$. Таким образом, импульсный модулятор преобразует энергию источника питания ИП во времени, при этом мощность ИП равна среднему значению мощности, потребляемой АЭ в импульсе (т.е. меньше последней в q раз!).

Схемы модуляторов с накопителем энергии сложнее, чем у устройств без накопителей, однако габариты, масса и стоимость их существенно ниже, особенно при больших значениях q . Вместе с тем, из-за более сложных переходных процессов в модуляторах с накопителями энергии в форму импульса вносятся больше искажений, что необходимо учитывать при проектировании таких устройств.

В качестве накопителя энергии в модуляторах чаще всего применяют электрический конденсатор, иногда используют индуктивные накопители.

В качестве электронных коммутаторов применяют электронные лампы, водородные тиратроны, тригатроны, тиристоры, транзисторы, нелинейные индуктивности и т.п.

Рассмотрим схему импульсного модулятора с частичным разрядом накопительной емкости и коммутатором на электронной лампе (рис.5). Работа схемы характеризуется двумя основными процессами - зарядом и разрядом накопительного конденсатора C_n . Заряд C_n от источника высокого напряжения E_0 (выпрямителя) происходит в паузах между импульсами, когда лампа V_1 заперта отрицательным напряжением смещения $E_{см}$.

Ток заряда i_3 течет от E_0 через ограничительное сопротивление R_1 , накопительную емкость C_H и сопротивление R_2 (оно необходимо потому, что активный элемент АЭ генератора в это время заперт и не может пропускать зарядный ток.). Вместо R_2 применяют также дроссель, первичную обмотку импульсного трансформатора, диод.

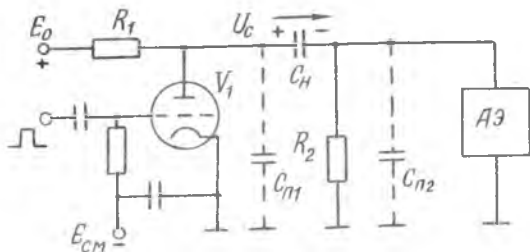


Рис. 5

Паразитные емкости запертой лампы C_{n1} и элементов нагрузки модулятора C_{n2} (в них входят также монтажные емкости) по величине много меньше накопительной емкости C_H и на процесс ее заряда не влияют. С учетом сказанного, на рис.6,а приведена эквивалентная схема цепи заряда накопителя C_H .

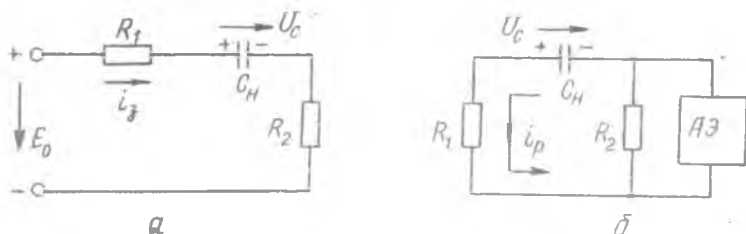


Рис. 6

Как известно, заряд емкости от источника постоянного напряжения через сопротивление происходит по экспоненциальному закону. Для того, чтобы емкость C_H в паузе между импульсами успела зарядиться практически до напряжения E_0 , необходимо выполнение условия

$$T_{\text{п}} - \tau_{\text{и}} \geq (2...3)(R_1 + R_2)C_H,$$

т.е. постоянная времени цепи заряда $(R_1 + R_2)C_H$ должна быть в 2-3 раза меньше длительности паузы $T_{\text{п}} - \tau_{\text{и}}$. Отсюда

$$R_1 + R_2 \leq (T_{\text{п}} - \tau_{\text{и}}) / (2...3)C_H.$$

При подаче на управляющую сетку модуляторной лампы V_1 положительного импульса лампа открывается, сопротивление ее анодной цепи скачком уменьшается до величины $R_M = e_{amin}/i_p$ (e_{amin} - остаточное напряжение на открытой модуляторной лампе; i_p - разрядный ток), и конденсатор C_H разряжается на сопротивление нагрузки R_H , состоящее из параллельно включенных R_2 и АЭ (см. эквивалентную схему цепи разряда на рис. 6,б).

Источник питания E_0 не влияет на процесс разряда C_H , так как величину сопротивления R_1 выбирает из условия, что ток, проходящий через него $-E_0/R_1$, был в 10 - 100 раз меньше разрядного тока

$$i_p = E_0 / (R_M + R_H).$$

Отсюда

$$R_1 = (10 \dots 100)(R_M + R_H).$$

Процесс разряда емкости на сопротивление, как известно, протекает по экспоненциальному закону:

$$U_C = U_{Cmax} \exp(-t/\tau_p),$$

где $\tau_p = C_H(R_M + R_H)$ - постоянная времени цепи разряда.

К моменту окончания импульса τ_H напряжение на емкости составит

$$U_{Cmin} = U_{Cmax} \exp(-\tau_H/\tau_p),$$

а относительная неравномерность вершины модулирующего импульса

$$G = \frac{\Delta U_C}{U_{Cmax}} = \frac{U_{Cmax} - U_{Cmin}}{U_{Cmax}} = 1 - e^{-\tau_H/\tau_p}.$$

В ламповых АГ допустимо $G = 0,05 - 0,1$; в магнетронных -

$G \leq 0,02$ (иначе могут возбудиться нежелательные соседние виды колебаний, что приведет к изменению частоты и мощности). Для уменьшения неравномерности вершины импульса необходимо, чтобы постоянная времени цепи разряда была много больше длительности импульса. Из последнего соотношения можно определить величину накопительной емкости, при которой относительная неравномерность вершины импульса не превышает заданное значение

$$C_H \geq \frac{\tau_H}{(R_M + R_H) \ln(1-G)}.$$

Итак, для формирования импульсов по форме, близкой к прямоугольной, необходимо применять накопительный конденсатор достаточно большой величины и разряжать его на нагрузку лишь частично.

Рассмотрим влияние паразитных емкостей $C_{П1}$ и $C_{П2}$ (рис.5) на форму импульса. К моменту окончания заряда накопителя паразитная емкость $C_{П1}$ оказывается заряженной до E_0 , а емкость $C_{П2}$ - разряженной практически до нуля. После открывания лампы V_1 , прежде чем напряжение накопительного конденсатора окажется приложенным к АЭ, емкость $C_{П1}$ должна разрядиться, а $C_{П2}$ - зарядиться.

Время разряда $C_{п1}$ и заряда $C_{п2}$ определяется их величиной и внутренним сопротивлением R_M модуляторной лампы. Следовательно, напряжение на АЭ генератора возрастает постепенно и импульс будет иметь длительность фронта τ_{ϕ} .

К моменту окончания действия управляющего импульса на сетке V_1 емкость $C_{п1}$ разрядится практически до нуля, а емкость $C_{п2}$ зарядится до U_{Cmin} . Когда модуляторная лампа закроется, напряжение на емкости $C_{п2}$ будет продолжать питаться АЭ автогенератора еще некоторое время. Следовательно, импульс имеет срез длительностью τ_c , обусловленный разрядом емкости $C_{п2}$ на сопротивление нагрузки R_N . Так как обычно $R_N > R_M$, то длительность среза оказывается больше длительности фронта $\tau_c > \tau_{\phi}$.

Для уменьшения τ_c вместо R_2 включают дроссель (его роль может выполнять первичная обмотка импульсного трансформатора, который включается для того, чтобы повысить напряжение на АЭ в 1,5–4 раза по сравнению с напряжением источника питания E_0 , а также изменить полярность импульса на противоположную).

Модуляторы с частичным разрядом накопительной емкости применяют в передатчиках малой и средней мощности (до 500 кВт в импульсе). С увеличением мощности передатчика растет требуемая накопительная емкость C_N и напряжение E_0 , что приводит к увеличению габаритов конденсатора и, следовательно, его паразитной емкости относительно корпуса, т.е. к увеличению τ_{ϕ} и τ_c .

К.п.д. модулятора с частичным разрядом накопительной емкости не превышает 70–75%. Получить более высокий к.п.д. не удастся из-за значительного остаточного напряжения на аноде открытой модуляторной лампы ($e_{amin} = 1 \dots 2$ кВ) и потерь энергии в цепи заряда накопительной емкости.

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

1. Изучить настоящие методические указания, соответствующие разделы лекционного курса и указанной литературы [1, 2].
2. Ответить на вопросы:
Как определить длительность реального прямоугольного импульса?
Какая структурная схема импульсного модулятора наиболее предпочтительна для радиолокационного передатчика?
На какие параметры импульса влияет величина накопительной емкости?
На какие параметры импульса влияет величина ограничительного сопротивления в модуляторе?
Что можно использовать в качестве электронного коммутатора в модуляторе с частичным разрядом накопительной емкости?

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

На лабораторном стенде (см. рис. 7) собраны : генератор периодической последовательности прямоугольных импульсов на микросхемах D1 и D2 , импульсный модулятор с частичным разрядом накопительной емкости (C4 и C5) и коммутатором на транзисторе V1 ; источник питания с напряжением +5В для питания генератора импульсов и +12В для питания модулятора. Регулировка длительности импульсов τ_i и периода их повторения T_p осуществляется независимо переменными сопротивлениями R3 и R1 соответственно. С помощью переключателя S1 к импульсному модулятору подключается источник питания +12В и подаются запускающие импульсы.

Переключателями S2 и S3 можно изменять соответственно величину ограничительного сопротивления и величину накопительной емкости. На лицевую панель стенда выведены также гнезда X1...X3 для экспериментального исследования электрических процессов в схеме модулятора с помощью осциллографа типа С1-73 (или аналогичного).

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Включить питание стенда.

С помощью осциллографа убедиться в наличии запускающих импульсов на выходе генератора (гнездо X1). Установить максимальную длительность запускающих импульсов.

2. Исследовать процесс зарядки накопительного конденсатора.

2.1. Снять зависимость амплитуды напряжения U_{cmax} на накопительной емкости (гнездо X2) от периода следования запускающих импульсов для двух значений ограничительного сопротивления ($R4 = 180 \text{ Ом}$; $R5 = 1 \text{ кОм}$) и накопительной емкости ($C4 = 0,25 \text{ мкФ}$; $C5 = 1 \text{ мкФ}$). Результаты свести в таблицу.

2.2. Зарисовать осциллограммы напряжений на накопительной емкости при $T = 0,5 \text{ мс}$ и указанных в п.2.1 значений R4, R5 и C4, C5.

3. Исследовать процесс разряда накопительной емкости.

3.1. Снять зависимость относительной неравномерности вершины импульса $\Delta U_c / U_{cmax}$ на выходе модулятора (гнездо X3) от длительности импульса τ_i при постоянном периоде повторения импульсов $T = 0,5 \text{ мс}$ для двух значений накопительной емкости (C4 и C5). Результаты свести в таблицу.

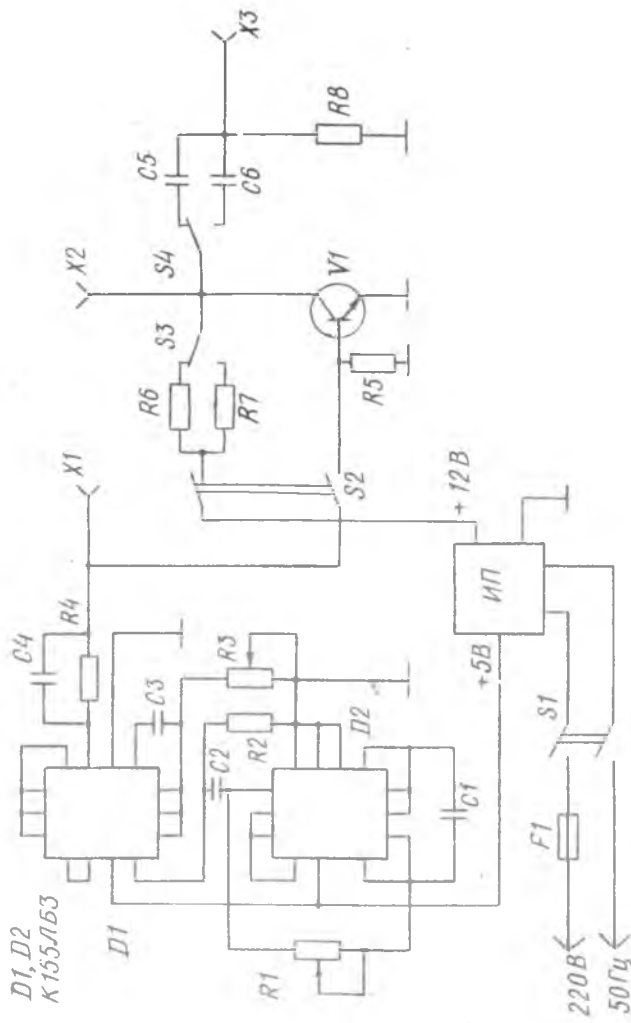


Рис. 7

3.2. Зарисовать осциллограммы импульсов на выходе модулятора при максимальных величинах их длительности и периода повторения для двух значений накопительной емкости (С4 и С5).

4. Исследовать влияние паразитных емкостей электронного коммутатора и нагрузки на форму выходных импульсов модулятора.

Примечание : П.4 включает элементы научных исследований и выполняется по указанию преподавателя. Необходимо самостоятельно составить порядок выполнения работы, подучить у лаборанта необходимые радиодетали и элементы.

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 частичным разрядом накопительной емкости, поясните принцип ее действия и назначение элементов.
2. Нарисуйте эквивалентные схемы цепей заряда и разряда накопительной емкости.
3. Какие элементы модулятора влияют на параметры выходных импульсов?
4. Какие требования предъявляются к коммутатору и какие типы коммутаторов применяются в импульсном модуляторе с частичным разрядом накопительной емкости ?
5. Какие искажения формы импульсов происходят в импульсном модуляторе, чем они обусловлены и как их уменьшить ?
6. Как на выходе импульсного модулятора обеспечить требуемую полярность прямоугольных импульсов?
7. От чего зависит к.п.д. импульсного модулятора ?
8. Какие требования предъявляются к импульсному трансформатору ?
9. Укажите области применения различных типов импульсных модуляторов.

Л и т е р а т у р а

1. Радиопередающие устройства : Учебник для вузов /Д.А.Белов, М.В.Благовещенский, В.М.Богачев и др./ Под ред. М.В.Благовещенского, Г.М.Уткина. - М. : Радио и связь, 1982, с.311-316.

2. Нейман М.С. Курс радиопередающих устройств : Учебник для вузов. - М. : Сов.радио, 1965, с.384-393.

Составитель - Н и к о л а й А л е к с а н д р о в и ч
М а л ы г и н

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА
С ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДОМ НАКОПИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ

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.83. Формат 60x84 I/16.

Оперативная печать. Бумага оберточная белая.

Усл.п.л. 0,7. Уч.-изд.л. 0,65. Т. 500 экз.

Заказ 8342 Бесплатно.

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

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