

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯТОРОВ

Методические указания к лабораторным работам № 6,7

КУБЫШЕВ 1983

УДК 621.396.61

Методические указания к лабораторным работам № 6,7 являются составной частью цикла лабораторных работ по курсу "Радиопередающие устройства".

Рассмотрены две схемы осуществления импульсной модуляции в СВЧ автогенераторах: модулятор с частичным разрядом накопительной емкости и модулятор с искусственной линией. Описана лабораторная установка, на которой выполняются обе работы.

Предназначены для студентов четвертого курса специальности 0701.

Составитель В.Ф.Широков

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯТОРОВ

Установка предназначена для исследования импульсного модулятора с частичным разрядом накопительной емкости, когда в качестве коммутатора используется электронная лампа, и импульсного модулятора с полным разрядом накопительной емкости, когда в качестве накопителя энергии используется искусственная накопительная линия, а в качестве коммутаторной лампы — тиратрон. Установка содержит импульсные модуляторы, измерительные приборы, источник питания и элементы управления.

ИМПУЛЬСНЫЕ МОДУЛЯТОРЫ

Принципиальная схема установки показана на рис. 1. Импульсный модулятор с полным разрядом накопительной емкости состоит из разрядного сопротивления, искусственной накопительной линии, сопротивления нагрузки и тиратрона.

Напряжение питания и контрольно-измерительные приборы подключаются к модулятору при включении переключателей $B2 (S_{2.1})$, $B10 (S_{11})$ в положение "I" соответственно.

Зарядные сопротивления $R1 - R3$ сменные и могут изменяться с помощью переключателя $B3 (S_3)$
Величина сопротивлений:

$$R1 = 100 \text{ кОм}$$

$$R2 = 200 \text{ кОм}$$

$$R3 = 1 \text{ мОм}$$

Искусственная линия, разомкнутая на конце и в процессе заряда, эквивалентная накопительной емкости, состоит из восьми ~~ячеек~~ ячеек.

Индуктивность каждой ячейки $L1 - L8$ постоянная и составляет 1060 мкГн, однако путем исключения емкостей в линии можно изменять величину индуктивностей каждой ячейки в целое число раз за счет изменения общего числа ячеек линии в то же самое число раз. Емкости ячеек линии С-С сменные и могут изменяться с помощью переключателей: $B4 + B9 (S_{4.1} + S_{4.2}, S_{10.1} + S_{10.2})$ Переключатель $B1 (S_1)$ позволяет закортить индуктивность Нагрузка модулятора ($R_n = 5,6 \text{ кОм}$) линейная в виде активного переменного сопротивления, имитирующая цепь постоянной составляющей анодного тока триодного или магнетронного генератора.

В качестве коммутаторной лампы Л1 используется тиратрон типа Т1-1-01/0,3.

Для устойчивой работы на управляющую сетку тиратрона подается небольшое отрицательное смещение через делитель R4-R5 от двухполупериодного выпрямителя, собранного на диодах Д1-Д2. Запускающие импульсы подаются на управляющую сетку тиратрона от генератора, импульсов типа МП1-1 через емкость С12 при включении переключателя В10 (S11) в положение "1".

Импульсный модулятор с частичным разрядом состоит из зарядного сопротивления, накопительной емкости, коммутаторной лампы и нагрузки, подключенной к модулятору с помощью импульсного трансформатора "ИТ". Зарядное сопротивление и накопительная емкость изменяются с помощью переключателей В11 (S12) и В12 (S13) на семь положений и могут принимать следующие значения (табл. I)

Таблица I

Положение переключателей В11 (S12), В12 (S13)	Величина зарядного сопротивления R (кОм)	Величина накопи- тельной емкости зар: C _{нак} (мкФ)
1	10	0,001
2	20	0,002
3	40	0,003
4	60	0,004
5	100	0,01
6	200	0,1
7	500	0,25

Нагрузка модулятора изменяется с помощью переключателя В13 (S14) на семь положений и представляет собой либо чисто активное сопротивление, либо активно-емкостное. Емкость включенная параллельно активному сопротивлению, имитирует паразитные емкости C_{ак} и C_{монтажа} генераторной лампы или магнитрона. Значения нагрузки приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Положения переключателя В13 (С14)	: Величина нагрузки
1	10 кОм
2	4 кОм
3	1 кОм
4	1 кОм, 500 пФ
5	1 кОм, 1000 пФ
6	1 кОм, 1500 пФ
7	1 кОм, 2000 пФ

В качестве коммутаторной лампы Л2 используется лучевой тетрод типа 6ЭС. В исходном состоянии, при отсутствии запускающего импульса, лампа закрыта отрицательным напряжением, подаваемым с выпрямителя на управляющую сетку через содпротивленные уточки R7. Запускающий импульс на сетку коммутаторной лампы подается через емкость С12 от генератора импульсов типа МП1-1 при включении переключателя В2 (se.1) в положение II.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Питание установки осуществляется через трансформатор от выпрямителя при включении переключателя "Сеть" в положение "КЛ". При этом напряжение питания подается либо на модулятор с полным разрядом $C_{\text{нак}}$, либо на модулятор с частичным разрядом $C_{\text{нак}}$ в зависимости от положения переключателя В2 (С2.1). Источник смещения тиратрона и электронной лампы расположен непосредственно в установке и выполнен по схеме двухполупериодного выпрямления на диодах Д1-Д2.

ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

На передней панели вынесены следующие органы управления и контроля:

Переключатель:

"Сеть" - для включения питания установки.

- B1 (S5)** - для закорачивания индуктивности ячейки линии β в модуляторе с полным разрядом ;
B2 (S2.1) - для включения питания на модулятор с частичным разрядом (положение II) , либо на модулятор с полным разрядом (положение I) и для контроля импульсов на нагрузке в модуляторе с частичным $C_{\text{нак}}$ (положение II) либо в модуляторе с полным разрядом $C_{\text{нак}}$ (положение I);
B3 (S 3) - для изменения величины зарядного сопротивления в модуляторе с полным разрядом $C_{\text{нак}}$;
B4 + B9 - для изменения емкостей конденсаторов ячеек линии в модуляторе с полным разрядом $C_{\text{нак}}$;
(S4.1 + S4.2, S10.1 + S10.2)
B10(S11) для подачи запускающих импульсов на коммутатор в модуляторе с частичным разрядом $C_{\text{нак}}$ (положение II), либо в модуляторе с полным разрядом $C_{\text{нак}}$ (положение I);
B8 (S12) - для изменения величины зарядного сопротивления в модуляторе с частичным разрядом ;
B12 (S13) - для изменения величины накопительной емкости в модуляторе с частичным разрядом ;
B13 (S14) - для изменения нагрузки модулятора с частичным разрядом $C_{\text{нак}}$.
B14 (S15) - для подключения осциллографа $OM-I$ и генератора импульсов $MI-I$
Резистор R_n - для изменения сопротивления нагрузки в модуляторе с полным разрядом $C_{\text{нак}}$.

РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА С ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДОМ НАКОПИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ

Настоящая работа ставит целью:

1. Изучить работу импульсного модулятора при частичном разряде накопительной емкости;
2. Исследовать зависимость формы импульса на нагрузке от режима коммутаторной лампы и параметров схемы;

3. Исследовать зависимость формы импульсов от длительности запусковых импульсов

ЗАДАНИЕ

А. ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.
3. Рассчитать ряд теоретических зависимостей, которые будут проверяться экспериментально:

а) зависимость коэффициента формы импульса от величины накопительной емкости:

$$\beta_c = f(C_{\text{нак}})$$

Зависимость рассчитывается по формуле:

$$\beta = \frac{\Delta U_n}{U_{n, \text{ном.}}} = \frac{R'_n}{R'_n + R_m} \left(\frac{1}{C_{\text{нак}} \cdot R_n} + \frac{R_m}{L_1} \right) \tau_s$$

Здесь:

β - коэффициент формы импульса;

ΔU_n - максимальное уменьшение амплитуды импульса на вершине от номинального значения;

U_n - номинальная амплитуда импульса;

$R'_n = \frac{R_n}{n^2}$ - приведенное к первичной обмотке трансформатора сопротивление нагрузки в Ом; $R_n = 1 \cdot 10^3$ Ом;

n - коэффициент трансформации в данной установке $n = 1$.

R_m - внутренне сопротивление модуляторной лампы.

При амплитуде запускового импульса $U_{\text{зап}} = 60\text{В}$; $R_m = 650$ Ом

$C_{\text{нак}}$ - накопительная емкость в Фарадах.

L_1 - индуктивность первичной обмотки трансформатора в Генри

$$L_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

τ_s - длительность запускового импульса в секундах
принять $\tau_s = 2 \cdot 10^{-6}$ сек.

Рассчитать 7 точек в интервале изменения $C_{\text{нак}}$ от $0,001 \cdot 10^{-6}$ Ф до $0,25 \cdot 10^{-6}$ Ф.

На графике построить зависимость:

$$\beta = f(C_{\text{нак}})$$

б) зависимость формы импульса от величины сопротивления нагрузки:

$$\beta = f(R_n).$$

Зависимость рассчитывается по той же формуле, что и в пункте "а". В расчетах принять

$C_{\text{наг}} = 0,25 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$, а значения остальных величин такие же, как и в пункте "а". Сопротивление нагрузки изменять в пределах от 1 кОм до 10 кОм. Рассчитать 5 точек.

По полученным результатам построить график:

$$\beta = f(\tau_s)$$

в) зависимость коэффициента формы импульса от длительности запускающего импульса:

$$\beta = f(\tau_s).$$

Зависимость рассчитывается по той же формуле, что и в пункте "а". Значения величин R_n , n , R_m , $C_{\text{наг}}$, L_1 , принять те же, что и в пункте "а".

Длительность запускающего импульса изменять от 1 мксек до 10 мксек.

По полученным данным построить график:

$$\beta = f(\tau_s)$$

4. Прочитать остальные разделы описания, продумать порядок выполнения работы в лаборатории и нарисовать ожидаемый характер графиков.

5. ВЫПОЛНЯЕТСЯ В ЛАБОРАТОРИИ:

5. Проверить схемы соединения приборов согласно рис.2.

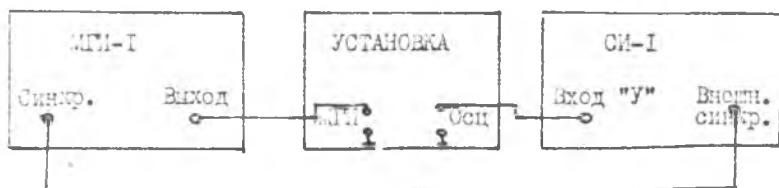


Рис.2

6. Переключатели В2(52.1), В10(5.11) поставить в положение II.
7. Исследовать зависимость коэффициента формы импульса от величины емкости накопительного конденсатора. Установить длительность запускающего импульса $T_3 = 2$ мксек с амплитудой $U_3 = 60$ В и частотой повторения $F = 2$ кГц. Сопротивление нагрузки $R_n = 1$ кОм, зарядное сопротивление $R_3 = 60$ кОм. Изменяя величину накопительной емкости с помощью переключателя В12(5.13), всякий раз определить коэффициент формы импульса и зарисовать форму импульса (рис.3.)

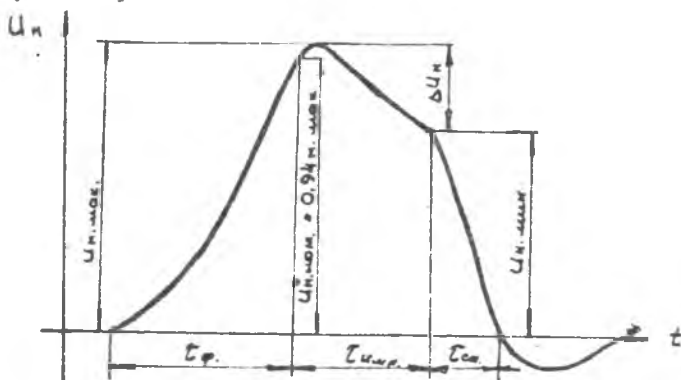


Рис. 3 Форма импульса

Коэффициент формы импульса определяется как:

$$\beta = \frac{U_{n \max} - U_{n \text{ ном}}}{U_{n \text{ ном}}} = \frac{\Delta U_n}{U_{n \text{ ном}}}$$

Результаты занести в таблицу I.

Таблица I

$C_{\text{нак.}}$ (мкФ)					
$\beta_{\text{расч.}}$					
$\beta_{\text{эксп.}}$					

По полученным данным на одном графике строятся зависимости:

$$\beta_{\text{расч.}} = f(C_{\text{нак.}})$$

$$\beta_{\text{эксп.}} = f(C_{\text{нак.}})$$

8. При тех же параметрах запускающего импульса (см. п. 7) исследовать зависимость коэффициента формы импульса на нагрузке от величины сопротивления нагрузки, для чего установить

$$R_{зар} = 60 \text{ кОм},$$

$$C_{нак} = 0,25 \text{ мкФ}.$$

Сопротивление R_n изменять от 1 кОм до 10 кОм. Определить коэффициент формы и зарисовать осциллограммы импульсов.

Полученные результаты заносятся в таблицу 2

Таблица 2

R_n (кОм)					
$\beta_{расч}$					
$\beta_{эксп.}$					

По полученным данным на одном графике строятся зависимости:

$$\beta_{расч.} = f(R_n),$$

$$\beta_{эксп.} = f(R_n).$$

9. Исследовать зависимость формы импульса от длительности запускающего импульса, для чего установить:

$$R_{зар} = 60 \text{ кОм},$$

$$C_{нак} = 0,25 \text{ мкФ},$$

$$R_n = 1 \text{ кОм},$$

$$U_{з.} = 60 \text{ В},$$

$$F_{а.} = 2 \text{ кГц},$$

Изменяя длительность запускающего импульса от 1 до 10 мксек, определить коэффициент формы импульса и зарисовать осциллограммы импульсов.

Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

T_3 (мксек)					
$\beta_{расч}$					
$\beta_{эксп.}$					

По полученным данным на общем графике строятся зависимости:

$$\beta_{\text{расп.}} = f(\tau_s),$$

$$\beta_{\text{расп.}} = f(\tau_s).$$

Ю. Исследовать зависимость длительности фронта и длительности импульса от величины емкости нагрузки для чего установить:

$$\begin{aligned} R_{\text{зар}} &= 60 \text{ кОм}, \\ C_{\text{нак}} &= 0,25 \text{ мкФ}, \\ \tau_{\text{в.}} &= 2 \text{ мксек}, \\ F_{\text{н.}} &= 2 \text{ кГц}, \\ U_{\text{в.}} &= 60 \text{ В}. \end{aligned}$$

Определить $\tau_{\text{см.}}$, $\tau_{\text{ф}}$ и зарисовать осциллограммы импульса для следующих значений нагрузки:

- а) $C = 0$ $R_{\text{н}} = 1 \text{ кОм};$
- б) $C = 0,0005 \text{ мкФ}$ $R_{\text{н}} = 1 \text{ кОм};$
- в) $C = 0,001 \text{ мкФ}$ $R_{\text{н}} = 1 \text{ кОм};$
- г) $C = 0,0015 \text{ мкФ}$ $R_{\text{н}} = 1 \text{ кОм};$
- д) $C = 0,002 \text{ мкФ}$ $R_{\text{н}} = 1 \text{ кОм}.$

Данные занести в таблицу 4

Таблица 4

C (мкФ)					
$\tau_{\text{ф}}$ мксек					
$\tau_{\text{см.}}$ мксек					

По полученным данным строятся зависимости:

$$\tau_{\text{ф.}} = f(C),$$

$$\tau_{\text{см.}} = f(C).$$

Л. Исследовать влияние на коэффициент формы импульса величины зарядного сопротивления, для чего установить:

$$\begin{aligned} C_{\text{нак}} &= 0,003 \text{ мкФ}, \\ \tau_{\text{в.}} &= 2 \text{ мксек}, \\ U_{\text{в.}} &= 60 \text{ В}, \\ F_{\text{н.}} &= 2 \text{ кГц}, \\ R_{\text{н.}} &= 1 \text{ кОм}. \end{aligned}$$

Изменяя зарядное сопротивление от 10 до 500 кОм, определить коэффициент формы импульсов и зарисовать их осциллограммы. Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5

$R_{зар}$ (кОм)				
β				

По полученным результатам построить график

$$\beta = f(R_{зар})$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены:

1. Принципиальная схема модулятора с частичным разрядом
2. Теоретические и экспериментальные зависимости:

$$\beta = f(C_{н.к.}),$$

$$\beta = f(R_{н.}),$$

$$\beta = f(\tau_3).$$

3. Экспериментальная зависимость $\beta = f(R_{зар})$

4. Экспериментальные зависимости: $\tau_{ф} = f(C),$

$$\tau_{н.к.} = f(C).$$

5. Краткие выводы по проделанной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.С. Нейман Курс радиопередающих устройств. Сов радио, М. IV §1-3 1967г., гл.V §1-4, 8-12, 1956г.
2. Иванов А.Б., Л.Н. Сосновкин Импульсные передатчики СВЧ. Сов. радио, 1956г. Раздел III, гл VII § 1-3, 8, 6-8, 9, гл. IX, XI-XII.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать принципиальную схему импульсного модулятора с частичным разрядом при работе на магнетрон, на триодный автогенератор. Рассказать принцип работы модулятора.
2. Почему импульсные модуляторы для импульсных генераторов имеют, как правило, накопительный элемент?
3. Как изменится работа схемы (рис.1), если выбрать зарядное сопротивление, накопительную емкость и внутреннее сопротивление модуляторной лампы слишком большой или слишком малой величины?
4. Как влияет на форму импульса напряжение на нагрузке изменения величины:
 - а) зарядного сопротивления;
 - б) нагрузочного сопротивления;
 - в) дунтирующей паразитной емкости;
 - г) длительности запускающего импульса;
 - д) индуктивности первичной обмотки трансформатора;
 - е) индуктивности рассеяния импульсного трансформатора.
5. Почему в импульсном модуляторе с частичным разрядом в качестве модулятора используется вакуумная лампа, а не тиратрон?
6. Какими требованиями должна удовлетворять модуляторная лампа?
7. Как выбирается режим работы модуляторной лампы?
8. Объяснить причины расхождения теоретических и экспериментальных зависимостей.
9. Какие требования предъявляются к форме модулирующего импульса при работе модулятора на магнетронный генератор, на триодный автогенератор?
10. В чем отличие модуляторных ламп от генераторных? Можно ли в качестве модуляторной лампы использовать генераторную?
11. Дать сравнительную характеристику модуляторов типов емкостный накопитель с частотным разрядом $C_{\text{нак}}$: накопитель на искусственной линии, индуктивный накопитель.
12. Из каких соображений выбирается тип и число модуляторных ламп?

13. Как перемещается рабочая точка по статистической характеристике лампы на разных амплитудах запускающего импульса на сетке, как это влияет на форму импульса напряжения на нагрузке?
14. Как следует выбрать смещение на сетке модулятора?
15. Как изменится к.п.д. цепи заряда, если уменьшить скважность с $S=1000$ до $S=10$?
16. Каким образом в данной работе можно определить к.п.д. заряда и к.п.д. модулятора?
17. Как определить мощность, рассеиваемую на зарядном и нагрузочном сопротивлениях за время заряда и разряда?
18. Как ориентировочно определить мощность потребляемую цепью сетки модулятора?

Работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА С ПОЛНЫМ РАЗРЯДОМ НАКОПИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ

- Цель работы: 1. Изучить работу импульсного модулятора с полным разрядом накопительной емкости, где в качестве накопителя применяется искусственная линия.
2. Исследовать влияние согласования нагрузочного сопротивления с волновым сопротивлением линии на форму импульса на нагрузке и влияние параметров линии на форму и длительность импульса.

ЗАДАНИЕ

А. ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.
3. Рассчитать величину емкости и индуктивности ячеек линии, работающей на согласованную нагрузку ($R_n = W$), равную 2,3 кОм и формирующую импульсы длительностью 7,4 мксек, 15 мксек. Число ячеек $n=8$.

Расчет вести по формулам:

$$W = \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad R_n = W; \quad t_n = 2n\sqrt{L \cdot C}$$

Здесь: W — волновое сопротивление линии в Ом.

R_n — сопротивление нагрузки в Ом.

t_n — длительность импульса в сек.

n — число ячеек.

L — индуктивность каждой ячейки в Генри.

C — емкость каждой ячейки в Фарадах.

4. Рассчитать величину зарядного сопротивления R_3 для данной линии, имеющей частоту повторения импульсов 100 Гц и длительность сформированного модулирующего импульса $t_n = 7,4$ мксек. Расчет произвести по формуле:

$$R_3 \leq \frac{\rho}{3c \cdot n} \approx \frac{1}{3 \cdot c \cdot n \cdot F}$$

Здесь: Θ — промежуток между импульсами

$$\Theta = T - \tau_u$$

C — емкость ячейки линии,

n — число ячеек.

F — частота следования импульсов.

5. Рассчитать длительность импульса для различных емкостей ячеек линии по формулам, приведенным в пункте 3 настоящего задания, приняв $n = 8$, $L = 1060$ мкГн.

Для значений емкостей $C = 200$ пФ, $C = 300$ пФ, $C = 500$ пФ рассчитать значения τ_u , R_n .

По расчетным данным построить график зависимости:

$$\tau_u, \text{ пс} = f(C)$$

6. Прочитать остальные разделы описания, продумать порядок выполнения работы в лаборатории и нарисовать ожидаемый характер графиков.

Б. ВЫПОЛНЕНИЕ В ЛАБОРАТОРИИ

1. Установить на макете рассчитанные значения зарядного сопротивления и емкости ячеек линии для длительности импульса $\tau_u = 7,4$ мксек. Величина $R_n = 2,3$ кОм, частоте запускающих импульсов $F_n = 1000$ Гц, длительность их в пределах 5–10 мксек, так как длительность запускающих импульсов не определяет длительность модулирующего импульса.
2. Включить питание на модулятор, для чего переключатель "Сеть" поставить в положение "вкл". Переключатель $B2(S2)$ $B3(S3)$ поставить в положение I. Переключатель $B1(S5)$ в положение "откл". Переключатели $B4(S6)$, $B5(S7)$, $B6(S8)$, $B7(S9)$ в положение "вкл".
3. Проверить с помощью осциллографа форму импульса и его длительность. Осциллограмму зарисовать.
4. Исследовать зависимость формы импульса напряжения на нагрузочном сопротивлении от величины этого сопротивления. Для трех нижеуказанных случаев нагрузки R_n зарисовать в масштабе форму импульса, определить длительность τ_u импульса и его ступеней и напряжение U импульса и его ступеней:

а) сопротивление нагрузки

$$R_n = W = 2,3 \text{ кОм}$$

б) сопротивление нагрузки $R_n = W$ в 1,5-2 раза

в) сопротивление нагрузки $R_n < W$ в 1,5-2 раза

Параметры линии, величина R_3 , положения переключателей остаются теми же, что и в предыдущих пунктах.

5. Исследовать влияние числа ячеек линии на форму импульса

Для параметров модулятора:

$$n = 8$$

$$C = 200 \text{ пФ}$$

$$L = 1060 \text{ мкГн}$$

$$R_3 = 200 \text{ кОм}$$

$$F_n = 1000 \text{ Гц}$$

$$\tau_3 = 5-10 \text{ мкГн}$$

$$R_n = W = 2,3 \text{ кОм}$$

$$\tau_4 = 7,4 \text{ мксек}$$

При этом переключатели поставить в следующие положения:

84(S6), 85(S7), 86(S8) 87(S9) - "ВКЛ"

88(S4.1+54.8) 89(S10.1+10.8) - "1"

83(S3) - "2"

Зарисовать форму импульса и определить его длительность τ_4 и длительность переднего фронта импульса τ_f в соответствии с рис.2.

Затем собрать линию с числом ячеек в два раза меньшим, чем в предыдущем случае, но параметры самих ячеек должны быть в два раза больше, чтобы длительность импульса осталась прежней.

Параметры модулятора при этом следующие:

$$n = 4$$

$$C = 400 \text{ пФ}$$

$$L = 2120 \text{ мкГн}$$

$$R_3 = 200 \text{ кОм}$$

$$R_n = W = 2,3 \text{ кОм}$$

$$\tau_4 = 7,4 \text{ мксек}$$

$$F_n = 1000 \text{ Гц}$$

$$\tau_3 = 5-10 \text{ мксек}$$

При этом переключатели поставить в следующие положения:

83(S3) - "2"

84(S6) 86(S8) - "ВКЛ"

88(S4.1+54.8) - "1"

89(S10.1+10.8) - "2"

Зарисовать осциллограмму импульса, измерить его длительность

и длительность переднего фронта.

Затем снова в два раза уменьшить число ячеек, одновременно в два раза увеличивая их параметры:

$$n = 2$$

$$C = 800 \text{ пФ}$$

$$L = 4240 \text{ мкГн}$$

При этом переключатели поставить в следующие положения:

В3(В3) - "2"

В4(В6) - "ВКЛ"

В8(В4.1 + В4.2) - "I"

В9(В10.1 + В10.2) - "3"

Сделать измерения аналогичные предыдущему пункту. Данные занести в таблицу I.

Таблица I

Число ячеек :	8	:	4	:	2	:
τ_u (мксек)						
τ_{φ} (мксек)						

По полученным результатам строится график: $\frac{\tau_{\varphi}}{\tau_u} = f(n)$

6. Исследовать влияние величины индуктивности, ближайшей к нагрузке, ячейки линии, на форму импульса. В этом случае сопротивление нагрузки равно волновому. Путем соответствующих переключений емкостей число ячеек в линии сохранить постоянным и равным 6, для чего в ячейки линии необходимо установить емкости по 200 пФ каждая и измерения производить при следующих комбинациях включения:

- выключением переключателя В6(В8), В7(В9) установить $L_3 = 3L$
- включением переключателя В4(В6), В1(В3) установить $L_3 = 2L$
- выключением переключателей В4(В6), В5(В7) установить $L_3 = L$
- выключением переключателей В4(В6), В5(В7) и одновременно замыканием переключателя В1(В3) шунтирующего индуктивность последней ячейки; установить $L_3 = 0$

Здесь индуктивность $L = 1060 \text{ мкГн}$

При этом переключатели поставить:

в положение "I" В8(В4.1 + В4.2)

в положении "I" В9(В10.1 + В10.2)

Осциллограммы зарисовать ,результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

L_s (мкГн)	$L_s = 0$	$L_s = L$	$L_s = 2L$	$L_s = 3L$
τ_{φ} (мксек)				
τ_{ψ} (мксек)				

По полученным данным построить график:

$$\frac{\tau_{\varphi}}{\tau_{\psi}} = f(L_s)$$

7. Исследовать зависимость длительности импульса от величины емкости ячеек линии . Число ячеек линии оставляют постоянным и равным $n = 8$. В этом случае конденсаторы одинаковой емкости включают во все ячейки макета. Переключатель 81 (85) поставить в положение "откл".

Исследовать влияние величины емкостей ячеек линии по 200 пФ (89(84.1)+810.8) поставить в положение "1", 300 пФ (88(84.1+84.8) поставить в положение "2" и 500 пФ (88(84.1+84.8) поставить в положение "3" на длительность импульса .

Величину нагрузки установить в каждом случае равной волновому сопротивлению линии в соответствии с расчетом п.3. Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3.

C (пФ)	:	200 пФ	:	300 пФ	:	500 пФ
τ_{ψ} (мксек)	:		:		:	

По полученным данным построить зависимости на общем графике:

$$\tau_{\psi \text{ экон.}} = f(C)$$

$$\tau_{\psi \text{ расч.}} = f(C)$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены:

1. Принципиальная схема с полным разрядом.
2. Расчеты величин индуктивностей и емкостей ячеек

- искусственной линии, работающей на согласованную нагрузку при длительностях импульсов $\tau_{\text{н}} = 7,4$ мксек и $\tau_{\text{н}} = 15$ мксек.
3. Расчет величины зарядного сопротивления.
 4. Расчет длительностей импульсов при различных емкостях ячеек линии.
 5. Осциллограмма импульса напряжения на нагрузке, снятая при расчетных параметрах линии. Для сравнения на этом же графике нарисовать идеальный прямоугольный импульс.
 6. Осциллограммы импульса напряжения на нагрузке для $R_{\text{н}} = W$, $R_{\text{н}} > W$, $R_{\text{н}} < W$ с указанием длительности элементов импульсов и величины напряжений импульса.
 7. Осциллограммы импульсов для линий с различным числом ячеек и экспериментально снятая зависимость

$$\frac{\tau_{\text{н}}}{\tau_{\text{н}}} = f(n)$$
 8. Осциллограммы импульсов для линий с одинаковым числом ячеек, но с различными наборами емкостей. Графики зависимостей

$$\tau_{\text{расч}} = f(c), \quad \tau_{\text{эксп}} = f(c)$$
 9. Осциллограммы импульсов при различных величинах индуктивности ячейки, убывающей к нагрузке. Экспериментальный график зависимости

$$\frac{\tau_{\text{н}}}{\tau_{\text{н}}} = f(L_{\text{с}})$$

ЛИТЕРАТУРА

- М.С. Нейман Курс радиопередающих устройств .гл.IV §1-5, гл V § 1,2;5-12 1965г.
 А.Б. Иванов, Л.Н. Сосновкин Импульсные передатчики СВЧ. Раздел III гл.VIII §8.1-8.2,8.6-8.7 гл.X ,гл.XII.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить зависимость формы импульса при разряде линии на активную нагрузку от отношения сопротивления нагрузки к волновому сопротивлению линии.
2. От каких параметров модулятора зависит длительность импульса на нагрузке?
3. Как зависит форма импульса при разряде линии на активное сопротивление линии от числа ячеек.
4. Какие изменения и почему произойдут в форме импульса, если в согласованной линии емкость ячеек увеличить в 2 раза?
5. Почему в качестве ключа, коммутирующего линию, целесообразно применять тиратрон, а не тетрод?
Охарактеризовать этот вид коммутаторов.
6. Изобразить пространственную картину изменения напряжения на линии с распределенными параметрами в процессе разряда в моменты времени: $t = 0$; $\frac{\tau_u}{8}$; $\frac{\tau_u}{4}$; $\frac{\tau_u}{2}$; $\frac{3\tau_u}{4}$; τ_u
Рассмотрите случаи, когда $R_n = W$; $R_n > W$; $R_n < W$
7. Нарисовать принципиальную схему модулятора на искусственной линии с импульсным трансформатором и зарядом линии через зарядное сопротивление, зарядный дроссель, зарядный дроссель и диод. Отметить достоинства и недостатки этих схем. Как выбираются элементы зарядной цепи?
8. Почему при анализе процесса заряда линии её можно рассматривать как емкость?
9. Какими элементами схемы определяется к.п.д. модулятора? Какой порядок его величины?
10. Определить параметры источника постоянного напряжения для питания импульсного модулятора (ток, напряжение, мощность) при следующих данных: мощность импульса в нагрузке 1000 кВт, напряжение на нагрузке 25 кВ, скважность 1000. Коэффициент трансформации импульсного трансформатора 3, к.п.д. импульсного трансформатора и к.п.д. цепей заряда и разряда заданы.

9. Нарисовать и объяснить статические и модуляционные характеристики $I(c_m), U(c_m)$ при двух значениях амплитуды колебаний в контуре.
10. Изобразить зависимости $I(c_m), U(c_m)$ при двух значениях сопротивления автосмещения диодов.
11. Сопоставить требования к источнику модулирующего напряжения E_m для модуляторов с варикапами и ключевыми диодами.
12. Изобразить колебательный контур и частотный модулятор с ключевыми диодами, меняющими время включения дополнительной индуктивности в контур.
13. Изобразить временные диаграммы токов и напряжений ключевых диодов при двух значениях:
- сопротивления автосмещения;
 - амплитуды колебания;
 - напряжения внешнего смещения.
14. Начертить АГ по схеме индуктивной трехточки с двухтактным модулятором на ключевых диодах, меняющих время включения индуктивности в контур.

Составитель: Юрий Федорович Широков

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯТОРОВ

Методические указания к лабораторным работам №

Подписано в печать 13.04.83г.

Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.

Оперативная печать. Усл. п.л. 1,39. Уч.-изд.л. 1,3.

Т. 50 экз. Заказ № 202 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт им. С.П.Королева, г.Куйбышев, ул.Молодогвардейская, 161.

Офсетный участок КуАИ, г.Куйбышев, ул.Ульяновская, 18.