

**Домашнее задание
к лабораторной работе №3**

**«Формирующие линии и их применение для генерации мощных прямоугольных видеоимпульсов и
компрессии энергии радиоимпульсов»**

2.1. Линейный модулятор

Выполняем инженерный расчет линейного модулятора на основе одинарной формирующей линии с рабочим коммутатором на основе тиратрона. Для этого:

2.1.1. Задаемся значением амплитуды импульса на нагрузке из диапазона 100÷300 кВ: $U_n = 150 \text{ кВ}$;

2.1.2. Задаемся значением импульсной мощности в нагрузке из диапазона 0,8÷1,5 МВт: $P = 1 \text{ МВт}$;

2.1.3. Определяем сопротивление нагрузки R_n : $R_n = \frac{U_n^2}{P} = 22,5 \text{ кОм}$

2.1.4. Оцените необходимость применения импульсного трансформатора, имея в виду возможности тиратронов, указанные в Табл. 1. Определите значение необходимого коэффициента трансформации k .

Трансформатор нужен, т.к. максимальное рабочее напряжение тиратрона 50 кВ, а на нагрузке нужно иметь 150 кВ. Берем тиратрон на 50 кВ. Это напряжение должно с запасом превышать зарядное напряжение E . В ОФЛ на согласованной нагрузке имеем $U_n = E/2$. Значит, $U_n \leq 25 \text{ кВ}$. Таким образом, минимально необходимый коэффициент трансформации должен быть $k \geq \frac{150 \text{ кВ}}{25 \text{ кВ}} = 6$. С учетом запаса выбираем $k = 7$.

2.1.5. Выбираем желаемую длительность t_u импульса из диапазона 5÷50 мкс: $t_u = 10 \text{ мкс}$.

2.1.6. На основе сделанного выше определяем полную емкость C_Σ искусственной формирующей линии и напряжение E ее заряда: $E = \frac{2U_n}{k} + U_{ост} = 43,4 \text{ кВ}$; $C_\Sigma = \frac{U_n^2 \cdot t_u \cdot 2\eta}{R_n \cdot E^2} = 9,58 \text{ нФ}$.

2.1.7. Выбираем допустимую длительность t_ϕ фронта импульса так, чтобы отношение t_u / t_ϕ находилось в диапазоне 4÷6: $t_\phi = 2 \text{ мкс}$.

2.1.8. Определяем число n звеньев искусственной линии передачи и параметры L и C этих звеньев:

$$n = \text{int} \left(0,5 + 1,1 \cdot \left(\frac{T}{t_\phi} \right)^{3/2} \right) = 4; \quad L = \frac{T \cdot R'_n}{1,1n} = 522 \text{ мкГн}, \quad C = \frac{T}{1,1n \cdot R'_n} = 2,47 \text{ нФ}; \quad R'_n = \frac{R_n}{k^2} = 459 \text{ Ом}.$$

2.1.9. Ориентируясь на параметры выбранного тиратрона, указанные в Табл. 1, определяем минимально допустимый период $T_{сл}$ следования импульсов. Он должен превосходить длительность импульса не менее чем в 100 раз. Для выбранного $T_{сл}$ выполните расчет элементов зарядных цепей формирующей линии в двух вариантах: резистивном и диодно-индуктивном.

По определению $T_{сл}$:

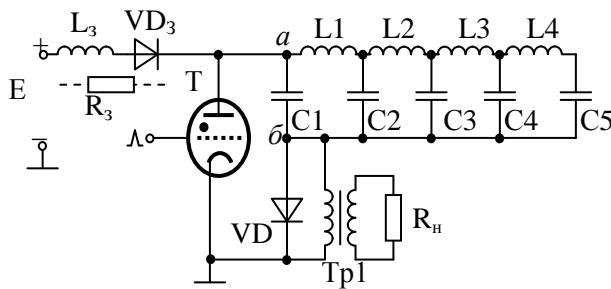
Для выбранного тиратрона ТГИ1-5000/50 $F_{max} = 3,7 \cdot 10^3$ (т.е., $T_{сл} = 0,27 \text{ мс}$). С другой стороны, параметр F_M у него равен $10^9 \text{ А} \cdot \text{В} \cdot \text{Гц}$. Мы определили, что амплитуда напряжения на тиратроне равна $E = 43,4 \text{ кВ}$. Амплитуда разрядного тока равна $I_m = \frac{E}{2R'_n} = 47,2 \text{ А}$. Тогда по критерию F_M максимальная частота повторения ограничена значением $F_{max} = 10^9 / E / I_m = 4,9 \text{ кГц}$ (т.е., $T_{сл} = 0,2 \text{ мс}$). Окончательно выбираем частоту из условия скважности: $Q \geq 100$, т.е. $T_{сл} = 1 \text{ мс}$ ($F = 1 \text{ кГц}$).

По расчету зарядной цепи:

1. Вариант с резистором. Требуем, чтобы $\tau_{заряда} = R_3 C_\Sigma < T_{сл} / 2,2$. Отсюда $R_3 = 42 \text{ кОм}$. При этом потребуется э.д.с. зарядного источника $E = 43,4 \text{ кВ}$.

2. Вариант с резонансным зарядом. Здесь $T_{сл} > \pi \sqrt{L_3 C_\Sigma}$, откуда $L_3 = 10,4 \text{ Гн}$ (!). Следует подчеркнуть, что при резонансном заряде э.д.с. зарядного источника требуется в 2 раза меньше, т.е. 21,7 кВ. На это же напряжение должны быть рассчитаны зарядный дроссель и диод.

2.1.10. Рисуем принципиальную схему модулятора, указываем на ней все необходимые элементы и значения их параметров:



$L1-L4: 522\text{мкГн};$
 $C1, C5: 1,235\text{ нФ};$
 $C2-C4: 2,47\text{ нФ};$
 $R_{н}: 22,5\text{ кОм};$
 $Tr1: k = 7.$
 $L_3: 10,4\text{ Гн};$
 $VD_3: 22\text{ кВ}, 0,66\text{ А};$
 $R_3: 42\text{ кОм};$
 $VD: 22\text{ кВ}, \text{ток зависит от } Tr1.$
 $E: 43,4\text{ кВ (вариант с резистором)}$
 $21,7\text{ кВ (вариант с дросселем)}$

2.1.11. Требования к вспомогательным элементам модулятора:

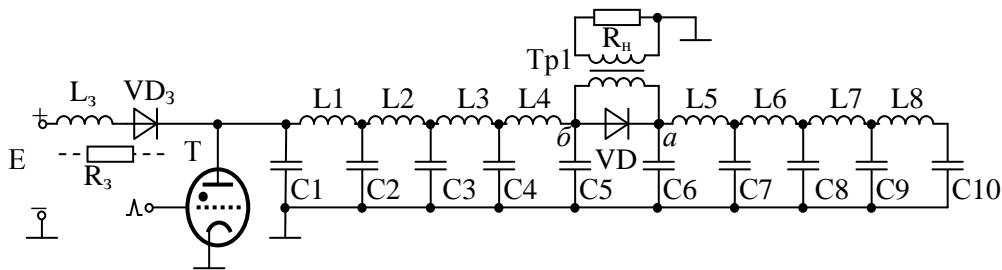
1. Импульсный трансформатор: $k = 7$; индуктивность намагничивания (первичной обмотки) $\frac{2L_1}{R'_н} \ll t_u$, чтобы

не было спада плоской вершины; индуктивность рассеяния и паразитная емкость – поменьше.

2. Диод зарядной цепи: обратное напряжение – 22 кВ, амплитуда тока – 0,66 А.

3. Диод разрядной цепи: предназначен для подавления обратного выброса напряжения, который возникает в паузе между импульсами из-за размагничивания сердечника импульсного трансформатора.

2.1.12. Принципиальная схема аналогичного модулятора на основе ДФЛ:



Основные отличия в конструкции и последовательности расчета по сравнению с ОФЛ:

- Появилась вторая искусственная линия.
- Вдвое увеличивается напряжение на нагрузке, значит, при том же трансформаторе можно понизить э.д.с.

зарядного источника. Так, при тех же параметрах импульса на нагрузке получим $E = \frac{U_n}{k} = 21,3\text{кВ}$. Это позволит применить другой тиристор, например, ТГИ1-1000/35 или даже ТГИ1-700/25.

- При этом, чтобы сохранить уровень запасенной энергии, потребуется увеличить полную емкость C_2 двух отрезков линии.
- Волновые сопротивления, индуктивности $L1-L8$ и емкости $C1-C10$ также придется пересчитать согласно требованию $2\rho = R'_н$.

2.2. Компрессор энергии радиоимпульсов

Выполняем подготовку к численному моделированию переходного процесса компрессии энергии радиоимпульса с помощью программы схемотехнического моделирования Micro-Cap. Конкретно:

2.2.1. Отрезки линий передачи (волноводы), входящие в состав компрессоров на основе ОФЛ и ДФЛ, представляем цепочками Т-образных $L/2-C-L/2$ звеньев.

2.2.2. Волновое сопротивление звеньев выбираем из ряда 1, 5, 10 и 50 Ом: $\rho = 1\text{ Ом}$.

2.2.3. Принимаем рабочую частоту компрессора равной 10 МГц.

2.2.4. Время задержки всех звеньев выбираем так, чтобы оно составляло $1/8$ периода колебаний сигнала накачки. Это означает, что для такого сигнала «длина» звена составит $\lambda_v/8$, а эквивалентная схема отрезка волновода длиной λ_v принимает вид рис. 36.

Значения индуктивностей и емкостей в этой схеме получаем из решения системы уравнений

$$\begin{cases} T_1 = 1,025\sqrt{LC}; \\ \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}. \end{cases}$$

Получаем $L = 12,2$ нГн, $C = 12,2$ нФ.