

СИКОЛЕНКО В. П.
1685/89

Б2-9-89-114



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЗМБЕ

Б2-9-89-114

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1989

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

Сиколенко В.Ф.

Б2-9-89-114

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ВВОДА И КОММУТАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЯ НА ИНФЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИНАХ
ИНЪЕКТОРА ЦИКЛОТРОНА

21 02 89

Дубна, 1988г.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Напряжение на пластинах - 40 кВ \pm 0,1%
2. Время разряда \leq 0,1 мкс
3. Остаточное напряжение в течение 1 мс после разряда \leq 2% от номинального
4. Длина пластин $l = 1500$ мм
5. Ширина $d = 80$ мм
6. Расстояние между пластинами - 75 мм
7. Равномерность поля при конфигурации пластин (рис. I) $\frac{\Delta E}{E} = 2 \cdot 10^{-3}$

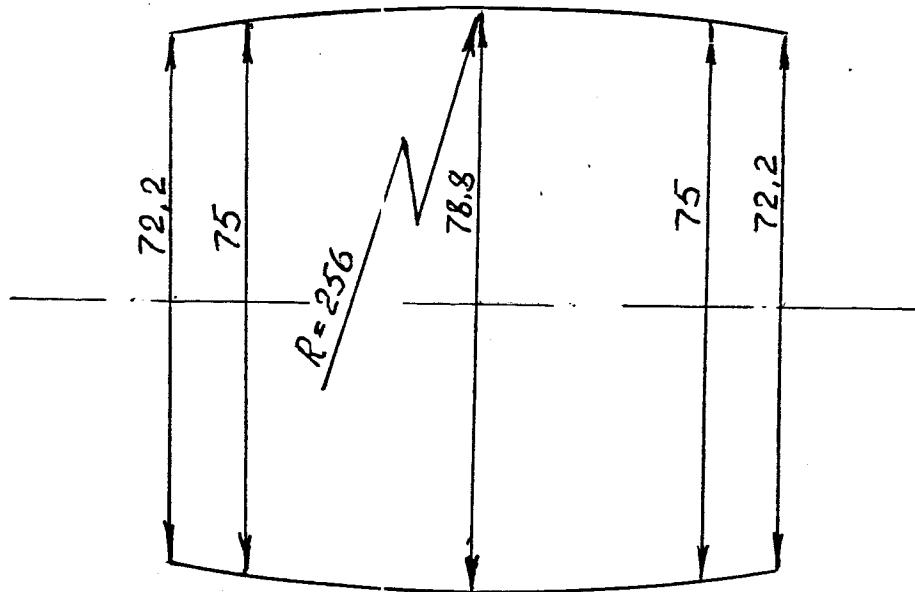
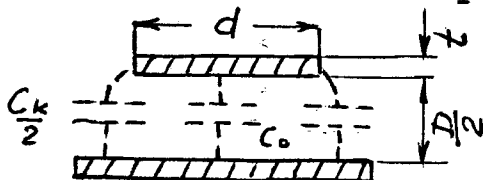


Рис. I. Инфлекторные пластины

Кривизну поверхности инфлекторных пластин можно аппроксимировать дугой радиуса $R = 256$ мм.

РАСЧЕТ ЕМКОСТИ ПЛАСТИН

Если пластины рассматривать как несимметричную ленточную



линию, то при малых значениях толщины ленты t , с учетом емкости краевого поля C_k , емкость линии можно определить /1/.

$$C_1 = 17,7 \varepsilon \left\{ 1 + \frac{d}{D} + \frac{1}{\pi} \frac{t}{D} \left[1 + \ln \left(1 + \frac{D}{t} \right) \right] \right\}; \text{ pF/m}$$

$\varepsilon = 1, d = 0,08 \text{ m}; \frac{D}{2} = 0,075 \text{ m}; t = 0,005 \text{ m}$

$$C_1 = 17,7 \cdot 1 \left\{ 1 + \frac{80}{150} + \frac{1}{\pi} \frac{5}{150} \left[1 + \ln \left(1 + \frac{150}{5} \right) \right] \right\} = 27,97 \text{ pF/m}$$

Тогда емкость пластин

$$C_{пл} = C_1 \cdot l = 27,97 \cdot 1,5 = 41,96 \text{ pF} \quad C_{пл} = 42 \text{ pF}$$

Разряд емкости пластин должен происходить по аperiodическому закону (по условиям допускаются колебания $\leq 2\%$).

Определим допустимую индуктивность выводов инфлекторных пластин.

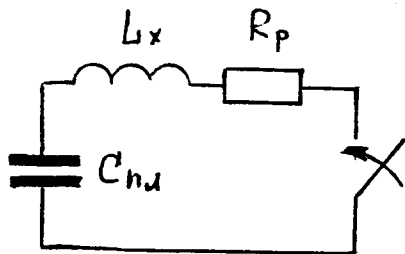


Рис. 2.

Если использовать коммутирующий тиратрон типа ТИМ-1-2500/50, то для него по паспорту допустимая скорость роста анодного тока $7000 \text{ A}/\mu\text{s}$, что при анодном напряжении $E_a = 50 \text{ кВ}$ и длительности фронта 50 нс ограничивает максимальный ток через тиратрон:

$I_m = 7000 \cdot 0,05 = 350 \text{ А}$. Следовательно, необходимое ограничивающее (разрядное) сопротивление должно быть

$$R_p = \frac{50 \cdot 10^3}{350} = 143 \Omega$$

Процесс будет аperiodическим, если в контуре выполнится условие

$\rho \leq \frac{R_p}{2}$, где $\rho = \sqrt{\frac{L_x}{C_{пл}}}$ - волновое сопротивление контура (рис. 2). Отсюда $L_x \leq \rho^2 C_{пл}$; $L_x \leq \frac{R_p^2}{4} C_{пл}$

$$L_x \leq \frac{143^2}{4} \cdot 42 \cdot 10^{-12}; \quad L_x \leq 0,214 \mu\text{H}$$

Если предположить, что общая длина выводов соединяющих инфлекторных пластин с тиратроном составит 1 м (с учетом размеров кожуха) при толщине провода $2 \tau_0 = 5 \text{ мм}$, то его индуктивность будет $1/2$:

$$L_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r_0} - 1 + \frac{1}{4} \mu_R \right) l; \text{ H/m, где } \mu = \mu_0 \mu_R$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m; } \mu_R = 1$$

$$L_x = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \left(\ln \frac{2 \cdot 1000}{2,5} - 1 + \frac{1}{4} \cdot 1 \right) \cdot 1 = 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ H/m} = 1,19 \mu\text{H}$$

т.е. индуктивность таких выводов существенно больше допустимой, что не обеспечит апериодического процесса разряда пластин.

Уменьшить индуктивность выводов можно, если использовать для соединения инфлекторных пластин с тиратроном симметричную полосковую линию.

Расчет полосковой линии

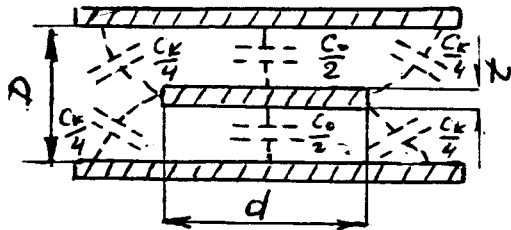


Рис. 3.

Емкость полосковой линии /И/.

(рис. 3).

$$C_0 = C_0 + C_k \varepsilon = \varepsilon \left[35,4 \frac{d}{D(1-t/D)} + C_k \right]; \text{ pF/m}$$

где C_k в pF/m

Емкость с учетом краевого поля определяется:

$$C_k = \frac{35,4 \varepsilon}{\pi} \left\{ \frac{2}{1-t/D} \ln \left(\frac{1}{1-t/D} + 1 \right) - \left(\frac{1}{1-t/D} - 1 \right) \ln \left[\frac{1}{(1-t/D)^2} - 1 \right] \right\}; \text{ pF/m}$$

Для отношений $\frac{d}{D-t} \geq 0,35$ формула дает погрешность 1% /И/.

Волновое сопротивление симметричной полосковой линии можно определить:

$$Z_0 = \frac{94,15 (1-t/D)}{\sqrt{\varepsilon} \left[\frac{d}{D} + 0,028 (1-t/D) C_k \right]}; \Omega$$

Размеры полосковой линии следует увязать с размерами тиратрона (рис. 4), тогда $D = 210$ мм; $d = 80$ мм; $t = 10$ мм.

Для этих параметров:

$$C_k = \frac{35,4 \cdot 1}{\pi} \left\{ \frac{2}{1 - \frac{10}{210}} \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{10}{210}} + 1 \right) - \left(\frac{1}{1 - \frac{10}{210}} - 1 \right) \ln \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{10}{210} \right)^2} - 1 \right] \right\} = 18,27 \text{ pF/m}$$

$$Z_0 = \frac{94,15 \left(1 - \frac{10}{210} \right)}{\sqrt{\pi \left[\frac{80}{210} + 0,028 \left(1 - \frac{10}{210} \right) \cdot 18,27 \right]}} = 103,28 \ \Omega$$

т.к. $\frac{d}{D-t} = \frac{80}{210-10} = 0,4 > 0,35, \text{ то}$

Погонная емкость линии:

$$C_{10} = \frac{\sqrt{\mu \epsilon}}{3 \cdot 10^8 Z_0} = \frac{\sqrt{1 \cdot 1}}{3 \cdot 10^8 \cdot 103,28} = 32,27 \text{ pF/m}$$

Погонная индуктивность линии

$$L_{10} = C Z_0^2 = 32,27 \cdot 10^{-12} \cdot 103,28^2 = 0,344 \ \mu\text{H}$$

При фронте разряда $t_f = 50 \text{ ns}$ максимальная частота спектра

$$f_{\max} = \frac{1}{2\pi t_f} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-9}} = 3,18 \text{ MHz}$$

что соответствует длине волны

$$\lambda = \frac{c}{f_{\max}} = \frac{3 \cdot 10^8}{3,18 \cdot 10^6} = 94 \text{ м}$$

Линия будет иметь емкостное сопротивление, если ее длина будет меньше $\lambda/8$, т.е. $\frac{94}{8} = 11,75 \text{ м}$.

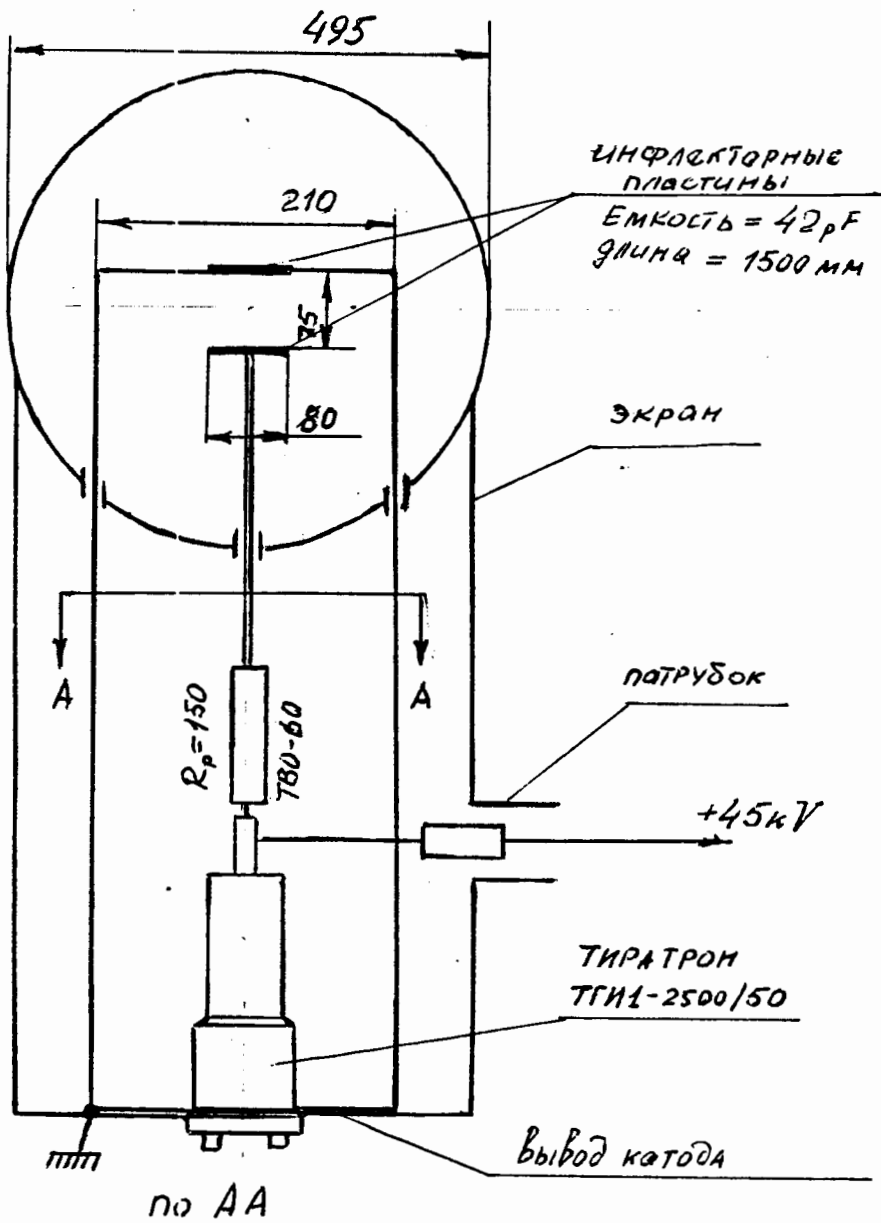
Следовательно, если соединительная линия конструкции рис. 4 будет менее 11,75 м, переходный процесс гарантировано будет иметь аperiodический характер (индуктивность отсутствует).

Из предыдущих расчетов получено $R_p = 142,86 \ \Omega$. Ближайший номинал из ряда Е6 будет 150 Ω . Исходя из этого, найдем допустимую величину емкости системы пластин при условии, что длительность фронта разряда должна составлять 50 нс (т.е.

$$\tau = 0,25 t_f).$$

$$C_{\max} = \frac{0,25 t_f}{R_p} = \frac{0,25 \cdot 50 \cdot 10^{-9}}{150} = 83 \text{ pF}$$

т.е. при емкости пластин 42 pF, емкость полосковой линии



полосковая линия

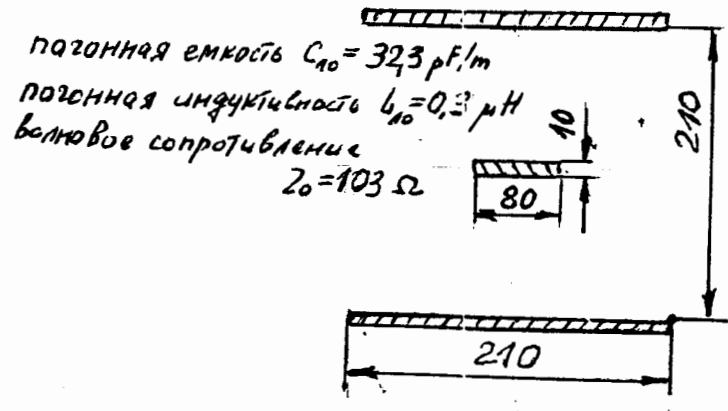


Рис. 4

плюс неучтенные паразитные емкости могут составить $83 - 42 = 41 \text{ pF}$, что вполне реально.

Конструктивно совместить полосковую линию с тиратроном можно как показано на рис. 4. Заземление внешних проводников полосковой линии следует осуществлять только в одной точке - у катода тиратрона. Это обеспечит протекание тока только по элементам линии.

Экранировка

Пиковая мощность, выделяющаяся при разряде емкости системы пластин, составит: $P_m = I_m \cdot U_{m\lambda} = 350 \cdot 50 \cdot 10^3 = 17,5 \cdot 10^6 \text{ Вт}$.

т.е. система является источником интенсивных помех.

Для предотвращения излучения полосковой линии, всю систему, включая тиратрон, следует поместить в экран.

Швы и щели в экране должны быть менее $1/100 \lambda$ [3], т.е. в нашем случае, менее 100 см, что можно обеспечить без особых затруднений, однако, учитывая возможную близость чувствительной диагностической аппаратуры, целесообразно все соединения экрана выполнить через проводящие прокладки (из оплетки кабеля (коаксиального)), чтобы понизить уровень возможных помех до минимума. С этой же целью, все выводы из экрана (шланги охлаждения, высокое напряжение и т.п.) необходимо осуществлять через патрубки (см. рис. 4).

Исходя из условия обеспечения изоляции по поверхности 4 кВ/см , при напряжении на аноде тиратрона 50 кВ , первое касание к экрану трубки охлаждения анода может быть на длине не менее 125 см.

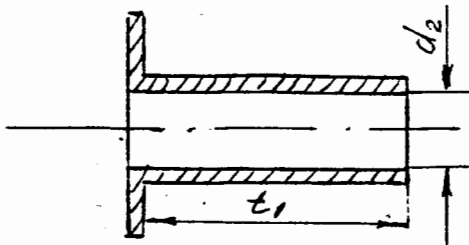


Рис. 5.

Пусть патрубок будет иметь длину $l_1 = 120$ мм и внутренний диаметр $d_2 = 30$ мм (рис. 5). Для такого "волновода" частота среза:

$$f_{cp} = \frac{1,75 \cdot 10^{11}}{d_2} = \frac{1,75 \cdot 10^{11}}{30} = 5,8 \cdot 10^9 \text{ Hz.}$$

Поскольку максимальная частота спектра помехи значительно меньше частоты среза, ослабление излучения патрубком будет:

$$K_2 = 32 \frac{l_1}{d_2} [\text{dB}] = 32 \frac{120}{30} = 128 \text{ dB, т.е. в } 2 \cdot 10^5 \text{ раз.}$$

Или излученная мощность помехи составит:

$$P'_{изл} = \frac{P_m}{K_2} = \frac{17,5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^5} = 8,8 \text{ Вт}, \text{ что вполне приемлемо.}$$

Если экран выполнить из алюминия толщиной 1 мм, поглощение энергии экраном составит:

$$K_2 = 0,131 t \sqrt{f_m \cdot \mu \sigma_{отн}} [\text{dB}]$$

где f_m - частота в Hz

$\mu = 1$ - для алюминия

$$\sigma_{отн} = \frac{\sigma_{алюминия}}{\sigma_{меди}} \text{ - относительная удельная проводимость. Для алюминия } \sigma_{отн} = 0,61$$

t - толщина экрана в мм, тогда

$$K_2 = 0,131 \cdot 1 \cdot \sqrt{3,2 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,61} = 183 \text{ dB, т.е. в } 1,41 \cdot 10^9 \text{ раз.}$$

Через экран будет излучаться мощность:

$$P''_{изл} = \frac{P_m}{K_2} = \frac{17,5 \cdot 10^6}{1,41 \cdot 10^9} = 0,012 \text{ Вт}$$

Таким образом, предлагаемая конструкция обеспечивает необходимый вид переходного процесса при разряде инфлекторных пластин и надежную их экранировку как источника помех.

A handwritten signature or set of initials in the bottom right corner of the page.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. И.Е.Ефимов "Радиочастотные линии передачи". Советское радио. М., 1964.
2. Г.Кнопфель "Сверхсильные импульсные магнитные поля". "Мир". М., 1972.
3. Г.Отт "Методы подавления шумов и помех в электронных системах". "Мир". М., 1979.