

**Комплекс теоретических и экспериментальных исследований возможности разработки новой технологии защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов на основе простых печатных структур**

**Проект № 18-37-00339 мол\_а**

(Материал, в научно-популярной форме, иллюстрирующий основные результаты)

**1. Один виток меандровой микрополосковой линии (МПЛ)**

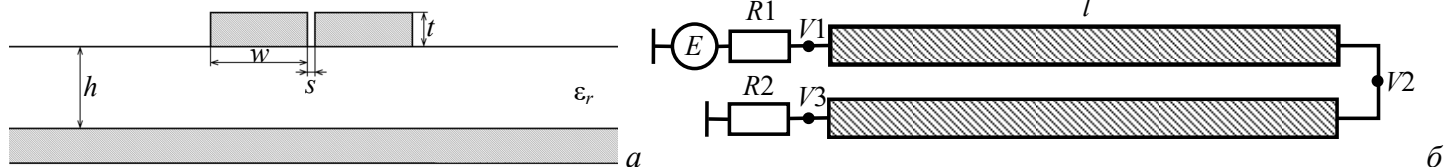


Рисунок 1 – Поперечное сечение (а) и схема соединений (б) витка меандровой МПЛ

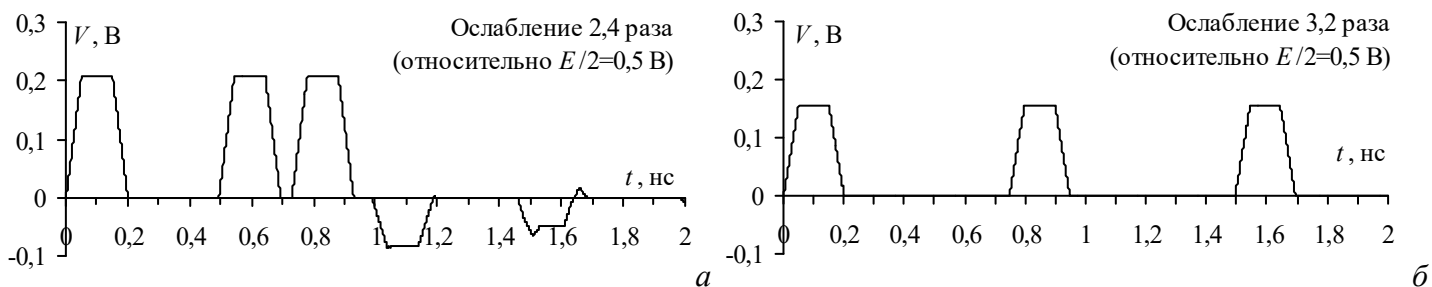


Рисунок 2 – Формы напряжения в конце витка меандровой МПЛ при обеспечении сформулированных условий  $2l\tau_{min} \geq t_r + t_d + t_f$ ,  $2l|\tau_e - \tau_o| \geq t_r + t_d + t_f$ ,  $s=23$  мкм и при  $l=45$  мм и  $R1=R2=(Z_e Z_o)^{0,5}$  (а), где  $Z_e, Z_o$  – волновые сопротивления четной и нечетной мод линии соответственно, а  $t_r, t_d, t_f$  – длительности фронта, спада и плоской вершины воздействующего импульса соответственно; при обеспечении условия  $\tau_{max}=2\tau_{min}$  и  $R1=R2=23$  Ом (б), где  $\tau_{max}, \tau_{min}$  – максимальное и минимальные значения из значений погонных задержек нечетной ( $\tau_o$ ) и четной мод ( $\tau_e$ ) линии

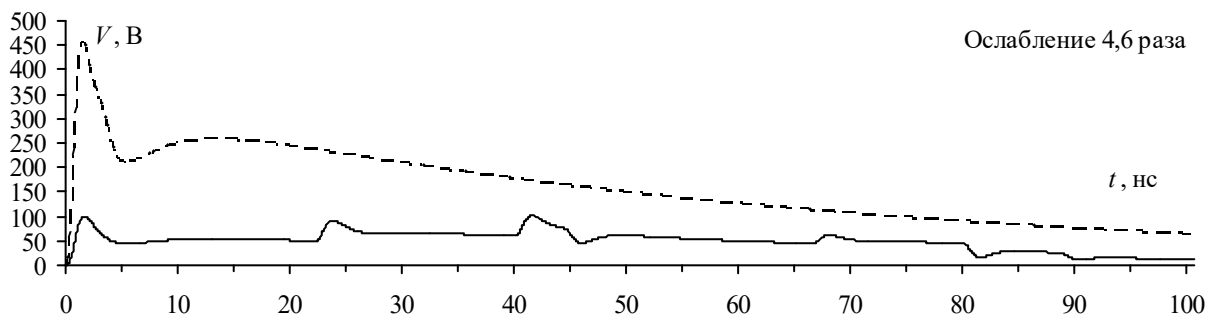
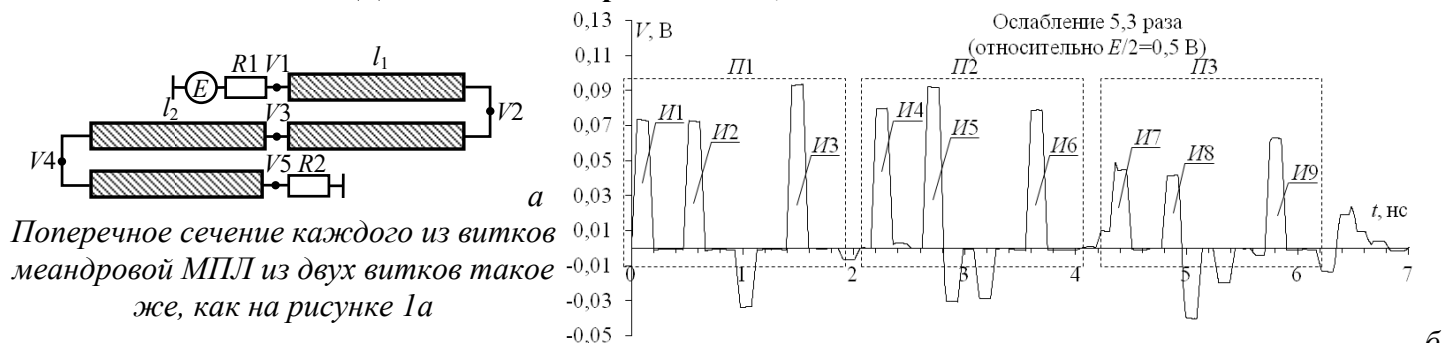


Рисунок 3 – Форма напряжения электростатического разряда в начале (---) и конце (—) витка меандровой при  $2l|\tau_e - \tau_o| \approx 4$  нс, а также при  $s=1$  мкм,  $l=3$  м и  $R1=R2=(Z_e Z_o)^{0,5}$

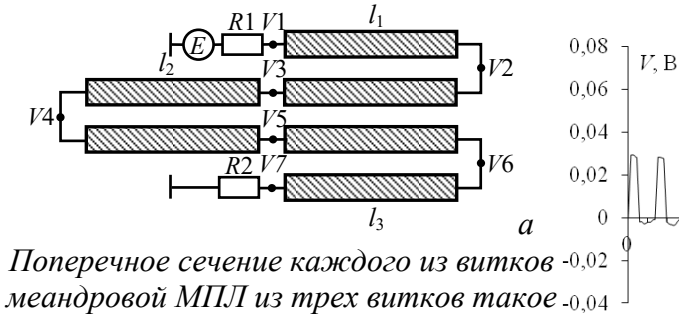
**2. Два витка меандровой МПЛ, соединенных каскадно**



Поперечное сечение каждого из витков меандровой МПЛ из двух витков такое же, как на рисунке 1а

Рисунок 4 – Схема соединений меандровой МПЛ из двух каскадов (а) и форма сигнала на ее выходе (б) при обеспечении сформулированных условий  $\tau_{max1}=2\tau_{min1}$ ,  $\tau_{max2}=3\tau_{min2}$ ,  $2l_2\tau_{o2} \geq t_\Sigma$ ,  $2l_2|\tau_{e2} - \tau_{o2}| \geq t_\Sigma$ ,  $2l_1\tau_{o1} - 2l_2\tau_{e2} \geq t_\Sigma$ ,  $2l_1|\tau_{e1} - \tau_{o1}| - 2l_2\tau_{e2} \geq t_\Sigma$ , а также при  $l_1=45$  мм,  $l_2=25$  мм,  $R1=(Z_{e1}Z_{o1})^{0,5}$ ,  $R2=(Z_{e2}Z_{o2})^{0,5}$ , где  $t_\Sigma$  – длительность СКИ,  $\tau_{max1}, \tau_{min1}, \tau_{max2}, \tau_{min2}$  – максимальные и минимальные значения из значений погонных задержек нечетной ( $\tau_o$ ) и четной мод ( $\tau_e$ ) первого и второго витков линии

### 3. Три витка меандровой МПЛ, соединенных каскадно



Поперечное сечение каждого из витков меандровой МПЛ из трех витков такое же, как на рисунке 1а

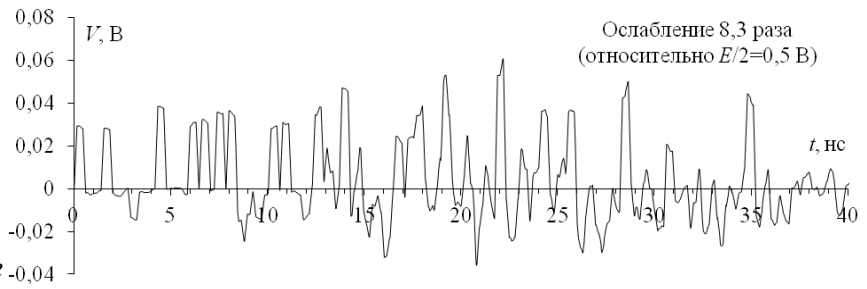


Рисунок 5 – Схема соединений меандровой МПЛ из трех каскадов (а) и форма сигнала на ее выходе (б) при обеспечении сформулированных условий  $\tau_{max1}=2\tau_{min1}$ ,  $\tau_{max2}=3\tau_{min2}$ ,  $2l_3\tau_{o3}\geq t_{\Sigma}$ ,  $2l_3|\tau_{e3}-\tau_{o3}|\geq t_{\Sigma}$ ,  $2l_2\tau_{o2}\geq 2l_3\tau_{e3}+t_{\Sigma}$ ,  $2l_2\tau_{e2}\geq 2l_2\tau_{o2}+2l_3\tau_{e3}+t_{\Sigma}$ ,  $2l_1\tau_{o1}\geq 2l_2\tau_{e2}+2l_3\tau_{e3}+t_{\Sigma}$ ,  $2l_1\tau_{e1}\geq 2l_1\tau_{o1}+2l_2\tau_{e2}+2l_3\tau_{e3}+t_{\Sigma}$ , а также при  $l_1=45$  мм,  $l_2=25$  мм,  $l_3=105$  мм,  $R1=(Z_{e1}Z_{o1})^{0,5}$ ,  $R2=(Z_{e3}Z_{o3})^{0,5}$

### 4. Виток меандровой линии с лицевой связью

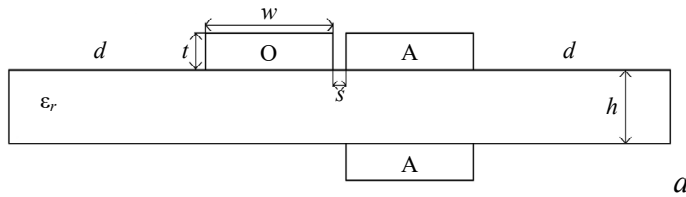


Схема соединений линии с лицевой связью такая же, как на рисунке 1б

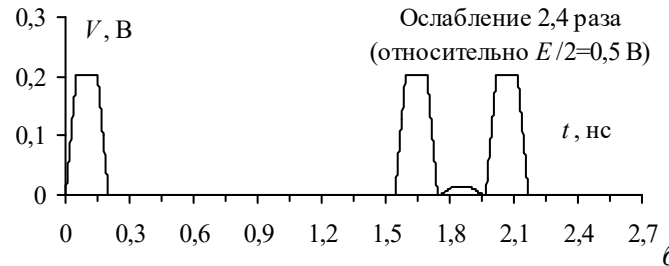


Рисунок 6 – Поперечное сечение (а) меандровой линии с лицевой связью из одного каскада и форма сигнала на ее выходе (б) при обеспечении условий  $2l\tau_{min}\geq t_r+t_d+t_f$ ,  $2l|\tau_e-\tau_o|\geq t_r+t_d+t_f$ , а также при  $h=540$  мкм,  $l=45$  мм и  $R1=R2=(Z_eZ_o)^{0,5}$

### 5. Два витка меандровой линии с лицевой связью, соединенных каскадно

Схема соединений линии с лицевой связью из двух каскадов такая же, как на рисунке 4а, а поперечное сечение каждого из витков, как на рисунке 6а

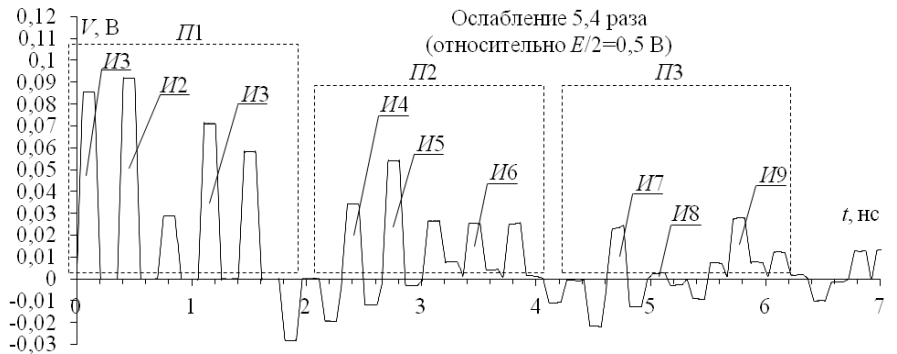


Рисунок 7 – Форма сигнала на выходе меандровой линии с лицевой связью из двух каскадов при обеспечении сформулированных условий  $\tau_{max1}=2\tau_{min1}$ ,  $\tau_{max2}=3\tau_{min2}$ ,  $2l_2\tau_{e2}\geq t_{\Sigma}$ ,  $2l_2|\tau_{e2}-\tau_{o2}|\geq t_{\Sigma}$ ,  $2l_1\tau_{e1}-2l_2\tau_{o2}\geq t_{\Sigma}$ ,  $2l_1(\tau_{o1}-\tau_{e1})-2l_2\tau_{o2}\geq t_{\Sigma}$ , а также при  $l_1=35$  мм,  $l_2=15$  мм,  $R1=(Z_{e1}Z_{o1})^{0,5}$ ,  $R2=(Z_{e2}Z_{o2})^{0,5}$

### 6. Три витка меандровой линии с лицевой связью, соединенных каскадно

Схема соединений линии с лицевой связью из трех каскадов такая же, как на рисунке 5а, а поперечное сечение каждого из витков, как на рисунке 6а

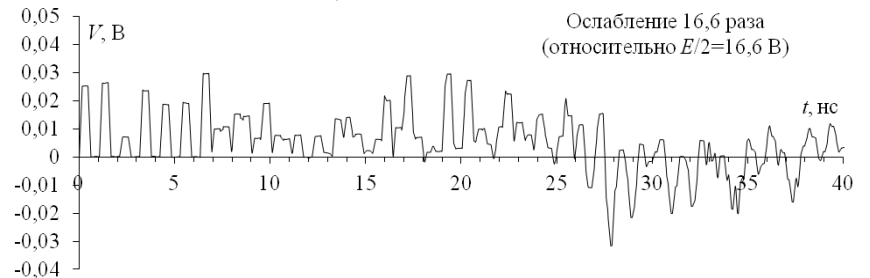


Рисунок 8 – Форма сигнала на выходе меандровой линии с лицевой связью из трех каскадов при обеспечении сформулированных условий  $\tau_{max1}=2\tau_{min1}$ ,  $\tau_{max2}=3\tau_{min2}$ ,  $2l_3\tau_{e3}\geq t_{\Sigma}$ ,  $2l_3|\tau_{e3}-\tau_{o3}|\geq t_{\Sigma}$ ,  $2l_2\tau_{e2}\geq 2l_3\tau_{o3}+t_{\Sigma}$ ,  $2l_2\tau_{o2}\geq 2l_2\tau_{e2}+2l_3\tau_{o3}+t_{\Sigma}$ ,  $2l_1\tau_{e1}\geq 2l_2\tau_{o2}+2l_3\tau_{o3}+t_{\Sigma}$ , а также при  $l_1=35$  мм,  $l_2=15$  мм,  $l_3=75$  мм,  $R1=(Z_{e1}Z_{o1})^{0,5}$ ,  $R2=(Z_{e3}Z_{o3})^{0,5}$