

Задача 3

Определить эквивалентные (вторичные) параметры групповых двухпроводных цепей (с параллельно включенными приемниками).

Схема цепи приведена на рис. 1.

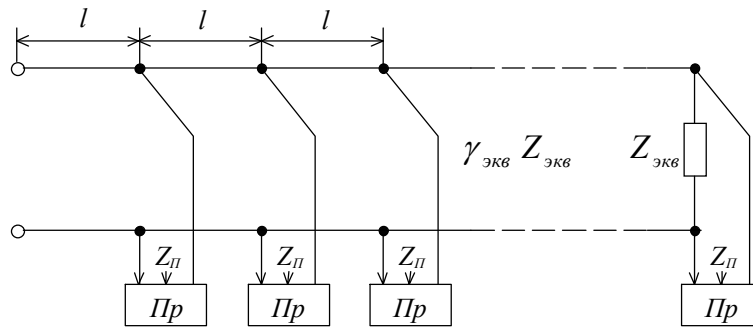


Рис. 1.

Исходные данные:

Частота тока $f = 5$ кГц;

Входное сопротивление приемника $Z_{П} = 60$ кОм, $\phi_{П} = 18^\circ$;

Среднее расстояние между пунктами включения устройств $l = 6.8$ км.

Первичные параметры цепи:

1) Кабельная медная

$R_1 = 33.25$ Ом/км, $L_1 = 0.824$ мГн/км, $G_1 = 4.1$ мкСм/км, $C_1 = 26.5$ нФ/км;

2) Воздушная стальная

$R_2 = 96.4$ Ом/км, $L_2 = 5$ мГн/км, $G_2 = 1.75$ мкСм/км, $C_2 = 6$ нФ/км;

3) Воздушная медная

$R_3 = 3.72$ Ом/км, $L_3 = 1.934$ мГн/км, $G_3 = 1.75$ мкСм/км, $C_3 = 6$ нФ/км;

Необходимо:

- рассчитать на заданной частоте волновые параметры (километрический коэффициент распространения волны и волновое сопротивление) однородных цепей всех трех видов;
- построить эквивалентную схему групповой цепи длиной 1 км с включенными параллельно приемниками;
- сравнить результаты расчетов волновых и эквивалентных параметров и оценить влияние параллельно включенных приемников на параметры цепи.

В итоге указать, где применяются групповые цепи.

Рассчитаем на заданной частоте тока волновые параметры (километрический коэффициент распространения волны и волновое сопротивление) однородных цепей всех трех видов.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 3.1416 \times 10^4 \text{ 1/с}$$

Сопротивление проводов $\underline{Z}_{np} = R + j\omega L$

Проводимость изоляции $\underline{Y}_{уз} = G + j\omega C$

Волновое сопротивление $\underline{Z}_B = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{np}}{\underline{Y}_{уз}}}$

Километрический коэффициент распространения волны $\underline{\gamma} = \sqrt{\underline{Z}_{np} \cdot \underline{Y}_{уз}}$

1) Кабельная медная цепь

$$\underline{Z}_{np1} = R_1 + j\omega L_1 = 33.25 + 25.887j = 42.14 \cdot e^{j 37.9^\circ} \text{ Ом/км};$$

$$\underline{Y}_{уз1} = G_1 + j\omega C_1 = 4.1 \times 10^{-6} + 8.325j \times 10^{-4} = 8.325 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.72^\circ} \text{ См/км};$$

$$\underline{Z}_{B1} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{np1}}{\underline{Y}_{уз1}}} = \sqrt{\frac{42.14 \cdot e^{j 37.9^\circ}}{8.325 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.72^\circ}}} = 225 \cdot e^{-j 25.91^\circ} = 202.4 - 98.3j \text{ Ом};$$

$$\underline{\gamma}_1 = \sqrt{\underline{Z}_{np1} \cdot \underline{Y}_{уз1}} = \sqrt{42.14 \cdot e^{j 37.9^\circ} \cdot 8.325 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.72^\circ}} = 0.0827 + 0.1681j \text{ 1/км.}$$

2) Воздушная стальная цепь

$$\underline{Z}_{np2} = R_2 + j\omega L_2 = 96.4 + 157.1j = 184.3 \cdot e^{j 58.46^\circ} \text{ Ом/км};$$

$$\underline{Y}_{уз2} = G_2 + j\omega C_2 = 1.75 \times 10^{-6} + 1.885j \times 10^{-4} = 1.885 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.47^\circ} \text{ См/км};$$

$$\underline{Z}_{B2} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{np2}}{\underline{Y}_{уз2}}} = \sqrt{\frac{184.3 \cdot e^{j 58.46^\circ}}{1.885 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.47^\circ}}} = 989 \cdot e^{-j 15.5^\circ} = 953 - 264.3j \text{ Ом};$$

$$\underline{\gamma}_2 = \sqrt{\underline{Z}_{np2} \cdot \underline{Y}_{уз2}} = \sqrt{184.3 \cdot e^{j 58.46^\circ} \cdot 1.885 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.47^\circ}} = 0.0515 + 0.1791j \text{ 1/км.}$$

3) Воздушная медная цепь

$$\underline{Z}_{np3} = R_3 + j\omega L_3 = 3.72 + 60.758j = 60.87 \cdot e^{j 86.5^\circ} \text{ Ом/км};$$

$$\underline{Y}_{uz3} = G_3 + j\omega C_3 = 1.75 \times 10^{-6} + 1.885j \times 10^{-4} = 1.885 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.47^\circ} \text{ См/км};$$

$$\underline{Z}_{B3} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{np3}}{\underline{Y}_{uz3}}} = \sqrt{\frac{60.87 \cdot e^{j 86.5^\circ}}{1.885 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.47^\circ}}} = 568 \cdot e^{-j 1.49^\circ} = 568 - 15j \text{ Ом};$$

$$\underline{\gamma}_3 = \sqrt{\underline{Z}_{np3} \cdot \underline{Y}_{uz3}} = \sqrt{60.87 \cdot e^{j 86.5^\circ} \cdot 1.885 \times 10^{-4} \cdot e^{j 89.47^\circ}} = 3.766 \times 10^{-3} + 0.107j \text{ 1/км}.$$

Построим эквивалентную схему групповой цепи длиной 1 км с включенными параллельно приемниками

Каждый приемник Πp вносит в линию в точке включения дополнительную проводимость, равную $1/\underline{Z}_{\Pi}$. Тогда дополнительная проводимость на 1 км линии будет составлять

$$\begin{aligned} \underline{Y}_{\Pi p} &= \frac{1}{l \cdot \underline{Z}_{\Pi p}} = \frac{1}{6.8 \cdot 6 \times 10^4 \cdot e^{j 18^\circ}} = 2.451 \times 10^{-6} \cdot e^{-j 18^\circ} = \\ &= (2.331 - 0.757j) \cdot 10^{-6} \text{ См/км}, \end{aligned}$$

$l = 6.8$ км – расстояние между приемниками.

Эквивалентная схема линии длиной 1 км с учетом дополнительной проводимости будет иметь вид, показанный на рис.2.

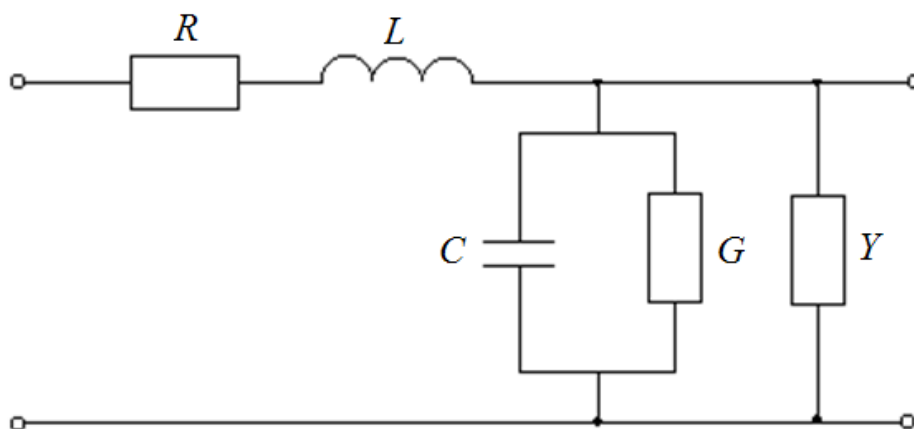


Рис. 2.

На рис. 2 величины R, L, G, C характеризуют первичные параметры линии. Километрический коэффициент распространения волны и волновое сопротивление групповой линии с учетом указанной схемы будут определяться из соотношений

$$\begin{aligned}\underline{\gamma}_{\text{экв}} &= \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C + \underline{Y}_{\text{Пп}})} = \sqrt{\underline{Z}_{\text{нр}} \cdot (\underline{Y}_{\text{уз}} + \underline{Y}_{\text{Пп}})} = \alpha_{\text{экв}} + j\beta_{\text{экв}} \\ \underline{Z}_{\text{Вэкв}} &= \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C + \underline{Y}_{\text{Пп}}}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{\text{нр}}}{\underline{Y}_{\text{уз}} + \underline{Y}_{\text{Пп}}}} = Z_{\text{Вэкв}} e^{j\phi_{\text{В}}}\end{aligned}\quad (1)$$

Вычисляем эквивалентные параметры групповой цепи по формулам (1).

1) Кабельная медная цепь

$$\begin{aligned}\underline{\gamma}_{1\text{экв}} &= \alpha_{1\text{экв}} + j\beta_{1\text{экв}} = \sqrt{\underline{Z}_{\text{нр1}} \cdot (\underline{Y}_{\text{уз1}} + \underline{Y}_{\text{Пп}})} = \\ &= \sqrt{42.139 \cdot e^{j 37.902^\circ} \cdot [(4.1 + 832.52j) + (2.33 - 0.757j)] \cdot 10^6} = \\ &= 0.1872 \cdot e^{j 63.730^\circ} = 0.083 + 0.168j \text{ 1/км};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{\text{Вэкв1}} &= Z_{\text{Вэкв1}} e^{j\phi_{\text{В1}}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{\text{нр1}}}{\underline{Y}_{\text{уз1}} + \underline{Y}_{\text{Пп}}}} = \\ &= \sqrt{\frac{42.139 \cdot e^{j 37.902^\circ}}{[(4.1 + 832.52j) + (2.33 - 0.757j)] \cdot 10^6}} = \\ &= 225.1 \cdot e^{-j 25.83^\circ} = 203 - 98j \text{ Ом}.\end{aligned}$$

$$\gamma_{1\text{экв}} = 0.083 + 0.168j \text{ 1/км}, \quad Z_{1\text{экв}} = 203 - 98j \text{ Ом};$$

$$\gamma_1 = 0.083 + 0.168j \text{ 1/км}, \quad Z_{B1} = 202 - 98j \text{ Ом}.$$

2) Воздушная стальная цепь

$$\begin{aligned}\underline{\gamma}_{2\text{экв}} &= \alpha_{2\text{экв}} + j\beta_{2\text{экв}} = \sqrt{\underline{Z}_{\text{нр2}} \cdot (\underline{Y}_{\text{уз2}} + \underline{Y}_{\text{Пп}})} = \\ &= \sqrt{184.30 \cdot e^{j 58.46^\circ} \cdot [(1.750 + 188.496j) + (2.331 - 0.757j)] \cdot 10^6} = \\ &= 0.1860 \cdot e^{j 73.61^\circ} = 0.052 + 0.178j \text{ 1/км};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{\text{Вэкв2}} &= Z_{\text{Вэкв2}} e^{j\phi_{\text{В2}}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{\text{нр2}}}{\underline{Y}_{\text{уз2}} + \underline{Y}_{\text{Пп}}}} = \\ &= \sqrt{\frac{184.30 \cdot e^{j 58.46^\circ}}{[(1.750 + 188.496j) + (2.331 - 0.757j)] \cdot 10^6}} = \\ &= 990.7 \cdot e^{-j 15.15^\circ} = 956 - 259j \text{ Ом}.\end{aligned}$$

$$\gamma_{2\varepsilon\kappa\theta} = 0.052 + 0.178j \text{ 1/км}, Z_{2\varepsilon\kappa\theta} = 956 - 259j \text{ Ом};$$

$$\gamma_2 = 0.051 + 0.179j \text{ 1/км}, Z_{B2} = 953 - 264j \text{ Ом}.$$

3) Воздушная медная цепь

$$\begin{aligned} \underline{\gamma}_{3\varepsilon\kappa\theta} &= \alpha_{3\varepsilon\kappa\theta} + j\beta_{3\varepsilon\kappa\theta} = \sqrt{\underline{Z}_{np3} \cdot (\underline{Y}_{u33} + \underline{Y}_{np})} = \\ &= \sqrt{60.87 \cdot e^{j 86.496^\circ} \cdot [(1.75 + 188.50j) + (2.331 - 0.757j)] \cdot 10^6} = \\ &= 0.1069 \cdot e^{j 87.625^\circ} = 0.0044 + 0.1068j \text{ 1/км}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{B\varepsilon\kappa\theta} &= Z_{B\varepsilon\kappa\theta} e^{j\phi_{B3}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{np3}}{\underline{Y}_{u33} + \underline{Y}_{np}}} = \\ &= \sqrt{\frac{60.87 \cdot e^{j 86.496^\circ}}{[(1.75 + 188.50j) + (2.331 - 0.757j)] \cdot 10^6}} = \\ &= 569.35 \cdot e^{-j 1.13^\circ} = 569 - 11j \text{ Ом}. \end{aligned}$$

$$\gamma_{3\varepsilon\kappa\theta} = 0.0044 + 0.1068j \text{ 1/км}, Z_{3\varepsilon\kappa\theta} = 569 - 11j \text{ Ом};$$

$$\gamma_3 = 0.0038 + 0.1071j \text{ 1/км}, Z_{B3} = 568 - 15j \text{ Ом}.$$