ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова
Департамент электронной инженерии

КУРС: ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №4

«ДЛИННЫЕ ЛИНИИ»

Ефремов Виктор Васильевич
БИТ-203
Вариант 6

Москва
2021

Входные данные:

$R_0 = 25 * 10^3$ Ом/м
$L_0 = 25 * 10^{-6}$ Гн/м
$C_0 = 2 * 10^{-9}$ Ф/м
$g_0 = 1$ См/м
$f = 1 * 10^9$ Гц
$d = 1 * 10^{-3}$ м
$n = 10$

Комплексные сопротивление и проводимость

$$Z_0 = R_0 + j\omega L_0 = 25 * 10^3 + j * 2 * 3.1415926 * 1 * 10^9 * 25 * 10^{-6} = (25 + j157.070) * 10^3 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

$$Y_0 = g_0 + j\omega C_0 = 1 + j * 2 * 3.1415926 * 1 * 10^9 * 2 * 10^{-9} = 1 + j12.566 \frac{\text{См}}{\text{м}}$$

$$Z_C = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = \sqrt{\frac{(25 + j157.070) * 10^3}{1 + j12.566}} \approx 112.239 - j4.404$$

$$\gamma = \sqrt{Z_0 Y_0} = \sqrt{\left((25 + j157.070) * 10^3\right) * (1 + j12.566)} \approx 167.575 + j1405.995 = \alpha + j\beta$$

Сопротивление имеет емкостной характер, т.к. $Im(Z_C) < 0$

$$C_C = \frac{1}{2 * 3.1415926 * 1 * 10^9 * 4.404} \approx 36.139 * 10^{-12} \text{ Ом}$$

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2 * 3.1415926 * 1 * 10^9}{1405.995} \approx 4.469 * 10^6 \text{ м/с}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2 * 3.1415926}{1405.995} \approx 4.469 * 10^{-3} \text{ м}$$

Параметры секции:

$$R_M = \frac{R_0 d}{n} = \frac{25 * 10^3 * 1 * 10^{-3}}{10} = 2.5 \text{ Ом}$$

$$L_M = \frac{L_0 d}{n} = \frac{25 * 10^{-6} * 1 * 10^{-3}}{10} = 2.5 * 10^{-9} \text{ Гн}$$

$$C_M = \frac{C_0 d}{n} = \frac{2 * 10^{-9} * 1 * 10^{-3}}{10} = 0.2 * 10^{-12} \text{ Ф}$$

$$g_M = \frac{g_0 d}{n} = \frac{1 * 1 * 10^{-3}}{10} = 10^{-4} \text{ См}$$

$$R_g = \frac{1}{g_M} = 10^4 \text{ Ом}$$

cir-файлы и скрины вывода спайса для разных пунктов задания ниже. cir-файлы отличаются друг от друга только в RL и CL строках. Графики в самом конце.

7. Согласованая нагрузка

```
V 1 0 AC=1V
R1 1 2 1n
R2 3 4 1n
R3 5 6 1n
R4 7 8 1n
R5 9 10 1n
R6 11 12 1n
R7 13 14 1n
R8 15 16 1n
R9 17 18 1n
R10 19 20 1n
RL 21 22 112.2
CL 22 0 36.1p
X1 2 0 3 TLINE
X2 4 0 5 TLINE
X3 6 0 7 TLINE
X4 8 0 9 TLINE
X5 10 0 11 TLINE
X6 12 0 13 TLINE
X7 14 0 15 TLINE
X8 16 0 17 TLINE
X9 18 0 19 TLINE
X10 20 0 21 TLINE
.subckt TLINE 1 2 6
R 1 3 1.25
R1 4 5 1.25
L 3 4 1.25n
L1 5 6 1.25n
```

Rg 4 2 10k

C 4 2 200f

.ends

.AC LIN 1 1g 1g

.PRINT AC I(R1) I(R2) I(R3) I(R4) I(R5) I(R6) I(R7) I(R8) I(R9) I(R10) I(RL)

.PRINT AC V(2) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12) V(14) V(16) V(18) V(20) V(21)

7. Согласованая нагрузка

```
       --- AC Analysis ---

frequency:     1e+009         Hz
V(2):          mag:           1 phase: -1.98494e-011°       voltage
V(4):          mag:     0.98335 phase:   -8.07519°          voltage
V(6):          mag:     0.96704 phase:   -16.1499°          voltage
V(8):          mag:    0.951057 phase:   -24.2233°          voltage
V(10):         mag:    0.935389 phase:   -32.2944°          voltage
V(12):         mag:    0.920017 phase:   -40.3622°          voltage
V(14):         mag:     0.90492 phase:    -48.426°          voltage
V(16):         mag:    0.890075 phase:   -56.4855°          voltage
V(18):         mag:    0.875459 phase:   -64.5406°          voltage
V(20):         mag:     0.86105 phase:   -72.5917°          voltage
V(21):         mag:    0.846828 phase:   -80.6395°          voltage
I(Rl):         mag: 0.00754166 phase:   -78.3893°          device_current
I(R10):        mag: 0.00767053 phase:   -70.3118°          device_current
I(R9):         mag: 0.00780212 phase:   -62.2382°          device_current
I(R8):         mag: 0.00793631 phase:   -54.1684°          device_current
I(R7):         mag:  0.0080731 phase:   -46.1027°          device_current
I(R6):         mag: 0.00821217 phase:   -38.0416°          device_current
I(R5):         mag: 0.00835333 phase:   -29.9846°          device_current
I(R4):         mag: 0.00849642 phase:   -21.9308°          device_current
I(R3):         mag: 0.00864158 phase:   -13.8788°          device_current
I(R2):         mag: 0.00878877 phase:   -5.82831°          device_current
I(R1):         mag: 0.00893802 phase:    2.22139°          device_current
```

8. Холостой ход

```
V 1 0 AC=1V
R1 1 2 1n
R2 3 4 1n
R3 5 6 1n
R4 7 8 1n
R5 9 10 1n
R6 11 12 1n
R7 13 14 1n
R8 15 16 1n
R9 17 18 1n
R10 19 20 1n
RL 21 0 1G
*CL 22 0 12.2p
X1 2 0 3 TLINE
X2 4 0 5 TLINE
X3 6 0 7 TLINE
X4 8 0 9 TLINE
X5 10 0 11 TLINE
X6 12 0 13 TLINE
X7 14 0 15 TLINE
X8 16 0 17 TLINE
X9 18 0 19 TLINE
X10 20 0 21 TLINE
.subckt TLINE 1 2 6
R 1 3 1.25
R1 4 5 1.25
L 3 4 1.25n
L1 5 6 1.25n
```

Rg 4 2 10k

C 4 2 200f

.ends

.AC LIN 1 1g 1g

.PRINT AC I(R1) I(R2) I(R3) I(R4) I(R5) I(R6) I(R7) I(R8) I(R9) I(R10) I(RL)

.PRINT AC V(2) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12) V(14) V(16) V(18) V(20) V(21)

8. Холостой ход

```
       --- AC Analysis ---

frequency:     1e+009         Hz
V(2):          mag:           1 phase: -1.55329e-009°       voltage
V(4):          mag:     1.43182 phase:    -19.6976°          voltage
V(6):          mag:     1.92283 phase:     -29.589°          voltage
V(8):          mag:     2.40933 phase:    -35.2318°          voltage
V(10):         mag:      2.8637 phase:    -38.7896°          voltage
V(12):         mag:     3.26974 phase:    -41.1736°          voltage
V(14):         mag:     3.61602 phase:    -42.8169°          voltage
V(16):         mag:     3.89393 phase:     -43.946°          voltage
V(18):         mag:     4.09699 phase:    -44.6858°          voltage
V(20):         mag:     4.22065 phase:    -45.1059°          voltage
V(21):         mag:     4.26217 phase:    -45.2423°          voltage
I(Rl):         mag: 4.26217e-009 phase:    -45.2423°        device_current
I(R10):        mag: 0.00537276 phase:     40.2124°          device_current
I(R9):         mag:  0.0106411 phase:     40.3435°          device_current
I(R8):         mag:  0.0157019 phase:     40.5726°          device_current
I(R7):         mag:  0.0204575 phase:     40.9025°          device_current
I(R6):         mag:  0.0248153 phase:      41.331°          device_current
I(R5):         mag:  0.0286908 phase:     41.8708°          device_current
I(R4):         mag:  0.0320109 phase:     42.5318°          device_current
I(R3):         mag:  0.0347123 phase:     43.3273°          device_current
I(R2):         mag:  0.0367451 phase:     44.2755°          device_current
I(R1):         mag:   0.038074 phase:     45.4005°          device_current
```

9. Короткое замыкание

V 1 0 AC=1V

R1 1 2 1n

R2 3 4 1n

R3 5 6 1n

R4 7 8 1n

R5 9 10 1n

R6 11 12 1n

R7 13 14 1n

R8 15 16 1n

R9 17 18 1n

R10 19 20 1n

RL 21 0 1n

*CL 22 0 12.2p

X1 2 0 3 TLINE

X2 4 0 5 TLINE

X3 6 0 7 TLINE

X4 8 0 9 TLINE

X5 10 0 11 TLINE

X6 12 0 13 TLINE

X7 14 0 15 TLINE

X8 16 0 17 TLINE

X9 18 0 19 TLINE

X10 20 0 21 TLINE

.subckt TLINE 1 2 6

R 1 3 1.25

R1 4 5 1.25

L 3 4 1.25n

L1 5 6 1.25n

Rg 4 2 10k

C 4 2 200f

.ends

.AC LIN 1 1g 1g

.PRINT AC I(R1) I(R2) I(R3) I(R4) I(R5) I(R6) I(R7) I(R8) I(R9) I(R10) I(RL)

.PRINT AC V(2) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12) V(14) V(16) V(18) V(20) V(21)

9. Короткое замыкание

```
       --- AC Analysis ---

frequency:     1e+009         Hz
V(2):          mag:           1 phase: 7.85728e-011°       voltage
V(4):          mag:    0.965098 phase:   -1.12475°         voltage
V(6):          mag:    0.911705 phase:   -2.07243°         voltage
V(8):          mag:    0.840757 phase:   -2.86743°         voltage
V(10):         mag:     0.75356 phase:    -3.5279°         voltage
V(12):         mag:    0.651762 phase:   -4.06755°         voltage
V(14):         mag:    0.537311 phase:   -4.49693°         voltage
V(16):         mag:    0.412412 phase:    -4.8237°         voltage
V(18):         mag:    0.279486 phase:   -5.05345°         voltage
V(20):         mag:    0.141118 phase:   -5.18987°         voltage
V(21):         mag: 8.91544e-012 phase:   -86.2076°        voltage
I(Rl):         mag: 0.00891544 phase:   -86.2076°          device_current
I(R10):        mag: 0.00882859 phase:   -86.0712°          device_current
I(R9):         mag: 0.00856993 phase:    -85.651°          device_current
I(R8):         mag: 0.00814517 phase:   -84.9116°          device_current
I(R7):         mag: 0.00756383 phase:   -83.7838°          device_current
I(R6):         mag: 0.00683947 phase:   -82.1406°          device_current
I(R5):         mag: 0.00599011 phase:   -79.7573°          device_current
I(R4):         mag: 0.00503966 phase:   -76.1997°          device_current
I(R3):         mag: 0.00402198 phase:   -70.5583°          device_current
I(R2):         mag: 0.00299489 phase:   -60.6668°          device_current
I(R1):         mag: 0.00209151 phase:   -40.9709°          device_current
```

10. Активная нагрузка

```
V 1 0 AC=1V
R1 1 2 1n
R2 3 4 1n
R3 5 6 1n
R4 7 8 1n
R5 9 10 1n
R6 11 12 1n
R7 13 14 1n
R8 15 16 1n
R9 17 18 1n
R10 19 20 1n
RL 21 0 224.5
*CL 22 0 12.2p
X1 2 0 3 TLINE
X2 4 0 5 TLINE
X3 6 0 7 TLINE
X4 8 0 9 TLINE
X5 10 0 11 TLINE
X6 12 0 13 TLINE
X7 14 0 15 TLINE
X8 16 0 17 TLINE
X9 18 0 19 TLINE
X10 20 0 21 TLINE
.subckt TLINE 1 2 6
R 1 3 1.25
R1 4 5 1.25
L 3 4 1.25n
L1 5 6 1.25n
```

Rg 4 2 10k

C 4 2 200f

.ends

.AC LIN 1 1g 1g

.PRINT AC I(R1) I(R2) I(R3) I(R4) I(R5) I(R6) I(R7) I(R8) I(R9) I(R10) I(RL)

.PRINT AC V(2) V(4) V(6) V(8) V(10) V(12) V(14) V(16) V(18) V(20) V(21)