

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

## Лабораторна робота з ОТК №6

на тему:

«ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІНІЙНИХ КІЛ»

**Виконав Дем'янчук Т. М.**  
**студент II-го курсу ФЕЛ**  
**3-ої бригади**  
**гр. ДК-12**

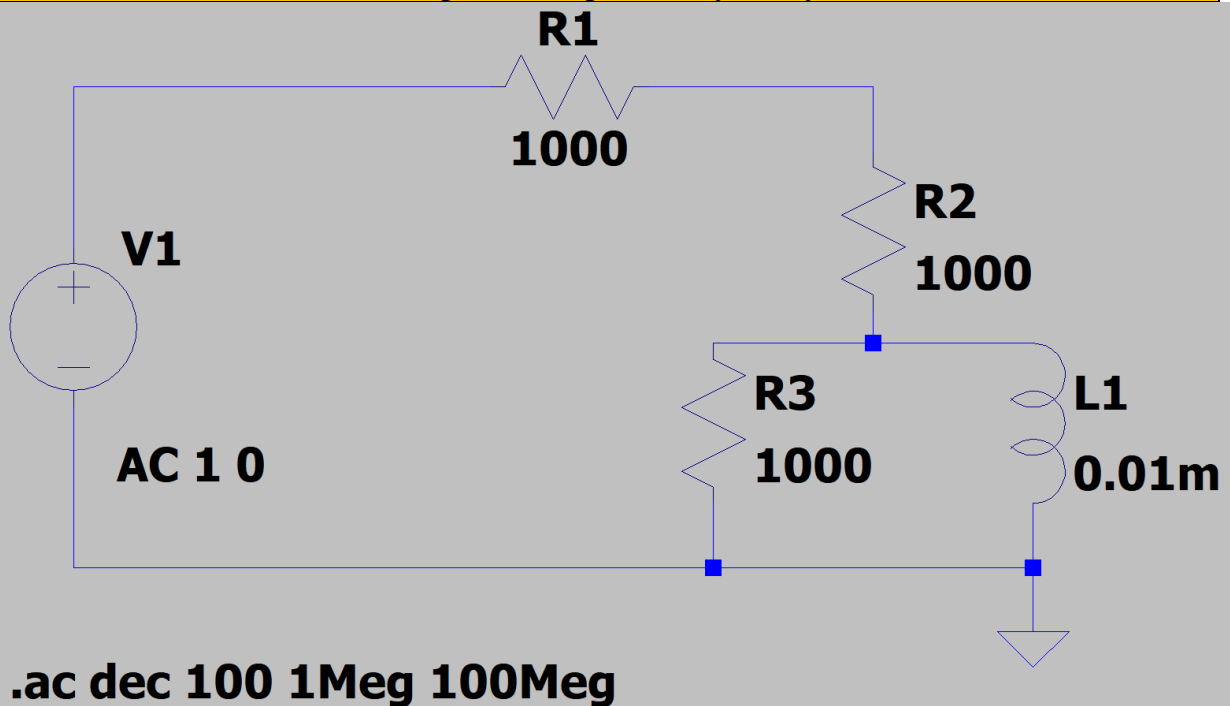
**Дата виконання: 14.11.2022**

**Перевірив:**  
**доцент Бондаренко В.М.**

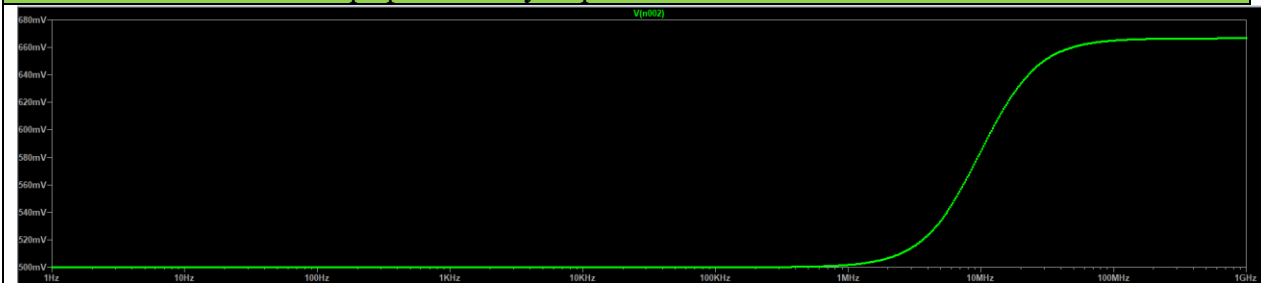
---

## ПРОГРАМА РОБОТИ

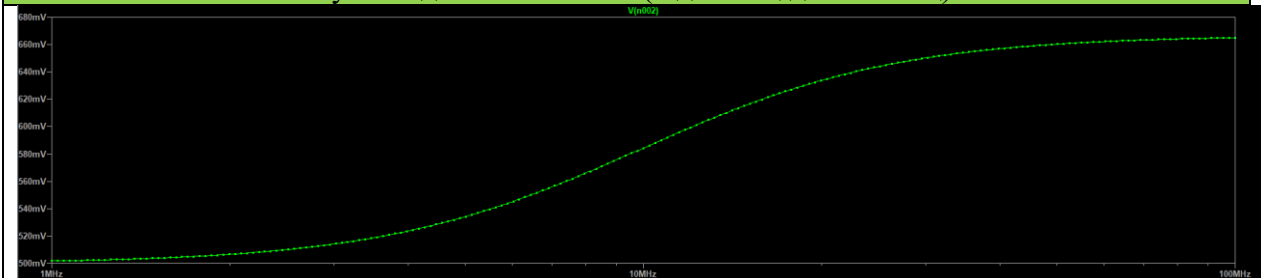
### 1. Зберемо вимірювальну схему.



### Повний графік амплітуд при зміні частоти від 1Гц до 1ГГц



### Звузимо діапазон частот (від 1МГц до 100МГц)



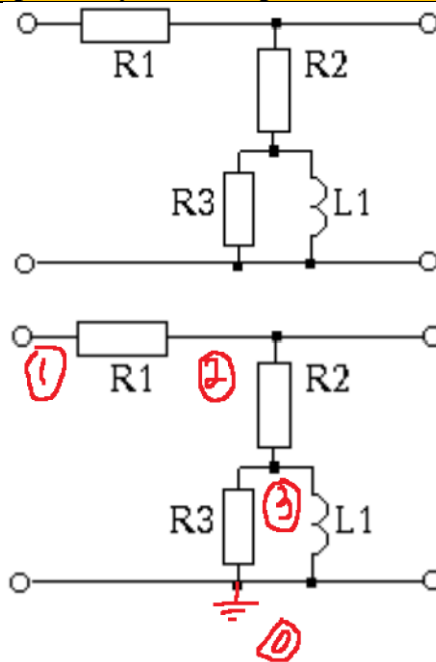
2. Змінюючи частоту вхідної напруги, знайдемо значення  $f_{вх}$ , при яких  $U_{вих}$  досягає свого максимального і мінімального значень.

Максимальна вихідна напруга (мВ)	Частота (МГц)
$U_{out\ min}$	1
$U_{out\ max}$	100

3. Отриманий інтервал ( $f_{max}$ ,  $f_{min}$ ) розділимо на 7...10 частин. У кожній точці її виміряємо  $|U_{вих}|$  і результати вимірів занесемо в таблицю.

2МГц	4МГц	7МГц	10МГц	12МГц	15МГц	23МГц	35МГц	50МГц
506.7мВ	523.8мВ	555.5мВ	584.4мВ	599.5мВ	616.2мВ	640.7мВ	654.2мВ	660.3мВ

4. Складемо матрицю вузлових провідностей для нашої схеми



$$\begin{bmatrix} G_1 & -G_1 & 0 \\ -G_1 & G_1 + G_2 & -G_2 \\ 0 & -G_2 & G_3 + G_2 + \frac{1}{pL_1} \end{bmatrix}$$

$$H_U = \frac{\Delta_{jk}}{\Delta_{jj}} = \frac{\Delta_{12}}{\Delta_{11}} = \frac{(-1)^3 \times \left( -G_1 \times \left( G_3 + G_2 + \frac{1}{pL_1} \right) \right)}{(-1)^2 \times (G_1 + G_2) \times \left( G_3 + G_2 + \frac{1}{pL_1} \right) - G_2^2} =$$

$$= \frac{G_1 \times \left( G_3 + G_2 + \frac{1}{pL_1} \right)}{G_3(G_1 + G_2) + G_2(G_1 + G_2) + (G_1 + G_2) \frac{1}{pL_1} - G_2^2} =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{10^{-3}(10^{-3} + 10^{-3} + \frac{1}{p10^{-5}})}{10^{-3}(10^{-3} + 10^{-3}) + 10^{-3}(10^{-3} + 10^{-3}) + (10^{-3} + 10^{-3})\frac{1}{p10^{-5}} - 10^{-6}} = \\
&= \frac{10^{-3}(2 \times 10^{-3} + \frac{10^5}{p})}{10^{-3}(2 \times 10^{-3}) + 10^{-3}(2 \times 10^{-3}) + (2 \times 10^{-3})\frac{10^5}{p} - 10^{-6}} = \\
&= \frac{2 \times 10^{-6} + 10^{-3} \times \frac{10^5}{p}}{4 \times 10^{-6} + (2 \times 10^2)\frac{1}{p} - 10^{-6}} = \frac{2 \times 10^{-6} + \frac{10^2}{p}}{3 \times 10^{-6} + (2 \times 10^2)\frac{1}{p}} = \\
&= \frac{10^{-6}(2 + \frac{10^8}{p})}{10^{-6}(3 + (2 \times 10^8)\frac{1}{p})} = \frac{2 + \frac{10^8}{p}}{3 + (2 \times 10^8)\frac{1}{p}} = \frac{10^8 + 2p}{2 \times 10^8 + 3p}
\end{aligned}$$

**5. Змінимо залежність виразу від комплексної частоти до залежності від циклічної частоти виконавши заміну:  $p = j\omega$**

$$\begin{aligned}
H_U &= \frac{10^8 + 2p}{2 \times 10^8 + 3p} = |\text{Виконаємо заміну: } p = j\omega| = \frac{10^8 + 2j\omega}{2 \times 10^8 + 3j\omega} = \\
&= \left[ \begin{array}{l} A_R(\omega) = 10^8; \quad A_I(\omega) = 2\omega \\ B_R(\omega) = 2 \times 10^8; \quad B_I(\omega) = 3\omega \\ H_R(\omega) = \frac{A_R(\omega)B_R(\omega) + A_I(\omega)B_I(\omega)}{B_R^2 + B_I^2}; \\ H_I(\omega) = \frac{A_I(\omega)B_R(\omega) - A_R(\omega)B_I(\omega)}{B_R^2 + B_I^2}, \end{array} \right] = \\
&= \frac{10^8 \times 2 \times 10^8 + 2\omega \times 3\omega}{(2 \times 10^8)^2 + (3\omega)^2} + j \frac{2\omega \times 2 \times 10^8 - 10^8 \times 3\omega}{(2 \times 10^8)^2 + (3\omega)^2} = \\
&= \frac{2 \times 10^{16} + 6\omega^2}{4 \times 10^{16} + 9\omega^2} + j \frac{4\omega \times 10^8 - 10^8 \times 3\omega}{4 \times 10^{16} + 9\omega^2} = \frac{2 \times 10^{16} + 6\omega^2}{4 \times 10^{16} + 9\omega^2} + j \frac{10^8\omega}{4 \times 10^{16} + 9\omega^2} \rightarrow \\
H_R(\omega) &= \frac{2 \times 10^{16} + 6\omega^2}{4 \times 10^{16} + 9\omega^2} \quad H_I(\omega) = \frac{10^8\omega}{4 \times 10^{16} + 9\omega^2}
\end{aligned}$$

$$|H(j\omega)| = H(\omega) = \sqrt{H_R^2(\omega) + H_I^2(\omega)} = \sqrt{\left(\frac{2 \times 10^{16} + 6\omega^2}{4 \times 10^{16} + 9\omega^2}\right)^2 + \left(\frac{10^8 \omega}{4 \times 10^{16} + 9\omega^2}\right)^2}$$

**Перевіримо правильність формули для  $|H(j\omega)| = H(\omega)$  підставивши замість  $\omega$  ту частоту, на якій виконувалися заміри напруги в програмі LTspice.**

Частота, МГц	2	4	7	10	12	15	23	35	50
Виміряна напруга, мВ	0.5067	0.5238	0.5555	0.5844	0.5995	0.6162	0.6407	0.6542	0.6603
Напруга отримана із виразу для $H(\omega)$ , В	0,5066	0,5236	0,5558	0,5843	0,5992	0,6161	0,6405	0,6542	0,6603

#### Висновок

Протягом виконання лабораторної роботи було досліджено амплітудо-частотну характеристику електричного кола, що наведене в пункті 1. В програмі LTspice ми виміряли амплітуду вихідного сигналу на різних вхідних частотах вхідного сигналу. Виміряні значення було занесено до відповідної таблички, що приведена в пункті 3. Після цього було також складено схемну функцію, метою якої було перевірити правильність наших вимірів. Після того як ми склали схемну функцію ми почали перевіряти, чи дійсно на такій то частоті у нас буде така то амплітуда вихідного сигналу. Аналітичний розрахунок показав практично ідентичні значення амплітуди, які були попередньо виміряні в програмі LTspice. А це, в свою чергу, свідчить про те, що ми правильно склали схемну функцію і відповідно матрицю провідностей. Також може виникнути запитання, чому на частотах від 2МГц до 23МГц у нас значення амплітуди вихідного сигналу різняться, а після тобто від частоти 35МГц і до 50МГц у нас значення ідентичні? Тут річ у тім, що якщо поглянути на графік наведений в пункті 1, то не складно буде помітити, що чим більша у нас частота вхідного сигналу, тим більш пологим є наш графік, і відповідно вимірюючи амплітуду сигналу на більш високих частотах, ми отримаємо все меншу і меншу різницю між виміряними амплітудами, це і пояснює чому у нас дві вихідні амплітуди сигналу абсолютно ідентичні на частотах 35МГц та 50МГц.