

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ
ГІБРИДНОГО МЕТОДУ ПОБУДОВИ
МАКРОМОДЕЛЕЙ
НЕЕЛЕКТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ
МЕМС**

НТУУ «КПІ» ННК «ІПСА»

кафедра СП-САПР

Кот Дмитро Миколайович

ЗАДАЧІ, ЩО ВИКОНУВАЛИСЯ

- Дослідження особливостей існуючих алгоритмів скорочення розмірів математичних моделей складних об'єктів
- Виявлення недоліків гібридного методу скорочення та пошук шляхів їх усунення
- Розробка універсальної макромоделі неелектричних складових МЕМС та експериментальне дослідження її ефективності
- Дослідження ефективності гібридного методу для побудови макромоделей схем, скорочених алгоритмом Y-Δ перетворення

МЕТОДИ СКОРОЧЕННЯ

1. Математичні методи
2. Методи, що використовують $Y-\Delta$ перетворення
3. Гібридні (матричні) методи

ГІБРИДНИЙ МЕТОД

Мета - побудова макромоделі схеми в вигляді чотирьохполісника у формі:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_a \\ \mathbf{I}_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{aa} & \mathbf{Y}_{ab} \\ \mathbf{Y}_{ba} & \mathbf{Y}_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_a \\ \mathbf{U}_b \end{bmatrix} \quad (1)$$

Рівняння отримуються по матриці провідності схеми відповідно до виразу:

$$(2) \quad \mathbf{Y}_{tp}(i) = \frac{1}{\Delta_{aa,bb}} \begin{bmatrix} \Delta_{bb} & -\Delta_{ba} \\ \Delta_{ab} & \Delta_{aa} \end{bmatrix}$$

ГІБРИДНИЙ МЕТОД

Обернена матриця схеми:

$$Y^{-1} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{21} \cdots & g_{n1} \\ g_{12} & g_{22} \cdots & g_{n2} \\ g_{1n} & g_{2n} \cdots & g_{nn} \end{bmatrix}$$

Параметри скороченої моделі:

$$Y_{aa} = g_{bb} / g_{aa,bb}; \quad g_{aa,bb} = g_{aa} g_{bb} - g_{ab} g_{ba}$$

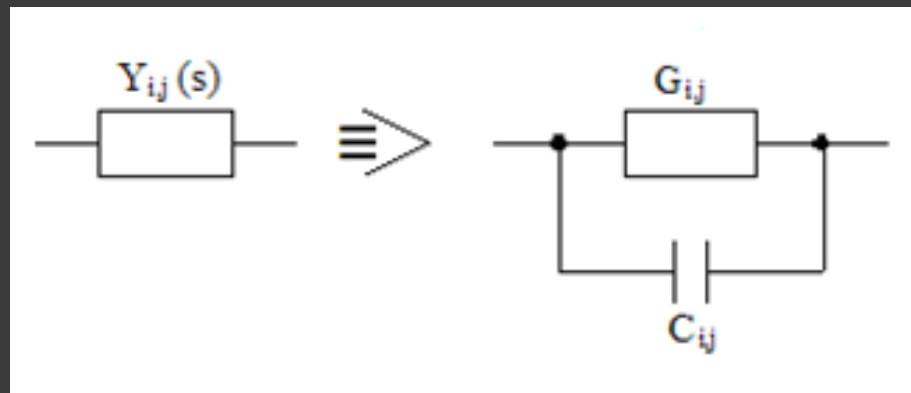
$$Y_{ab} = -Y_{ba} = g_{ba} / g_{aa,bb};$$

$$Y_{bb} = g_{aa} / g_{aa,bb}.$$

СХЕМОТЕХНІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Параметри макромоделі : $Y_{ij} = a_0 + ia_1$

● у випадку $a_0 > 0, a_1 > 0$:

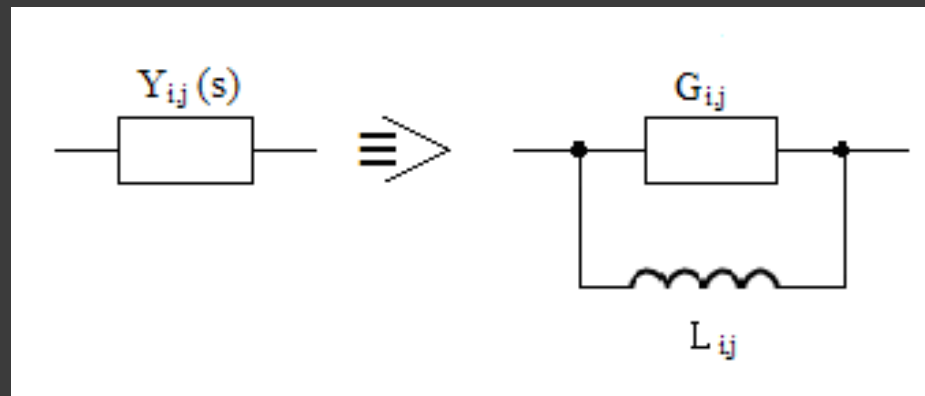


$$G_{i,j} = \text{Re}(Y_{i,j}), \quad C_{i,j} = \text{Im}(Y_{i,j}) / \omega_0$$

СХЕМОТЕХНІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Параметри макромоделі : $Y_{ij} = a_0 + ia_1$

● у випадку $a_0 > 0, a_1 < 0$:



$$G_{i,j} = \text{Re}(Y_{i,j}), L_{i,j} = 1 / (\text{Im}(Y_{i,j})\omega_0)$$

НЕДОЛІКИ ГІБРИДНОГО МЕТОДУ

- процедура скорочення потребує велику кількість обчислень, що накладає обмеження на розміри початкової схеми
- точність макромоделі залежить від способу схемотехнічної інтерпретації комплексних параметрів чотириполюсника

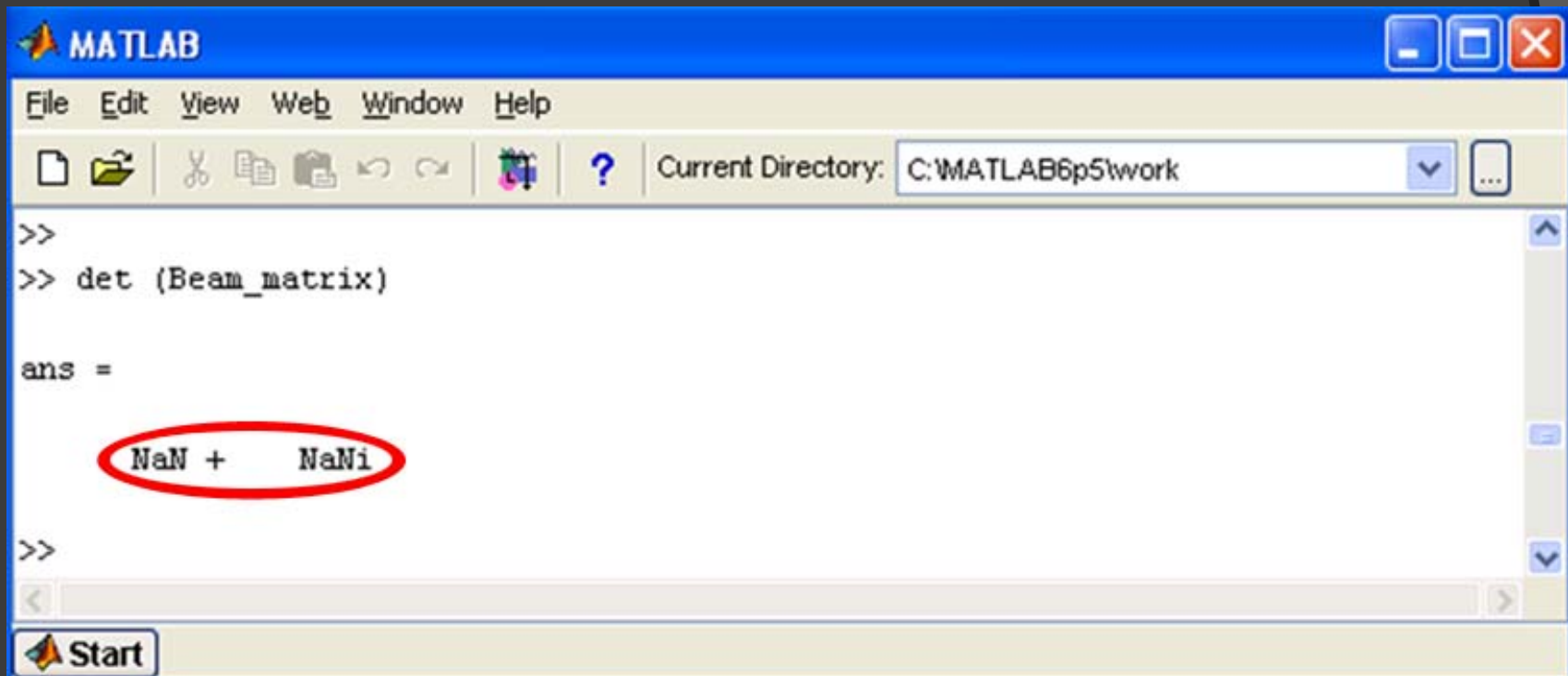
ОБУМОВЛЕНІСТЬ МАТРИЦЬ

Число обумовленості матриці провідності еквівалентної схеми закріпленої неоднорідної балки з трьома ступенями свободи:

$$\text{cond}(Y) = 2.7639e+009$$

ОБУМОВЛЕНІСТЬ МАТРИЦЬ

Спроба обчислити визначник матриці провідності в пакеті MATLAB:

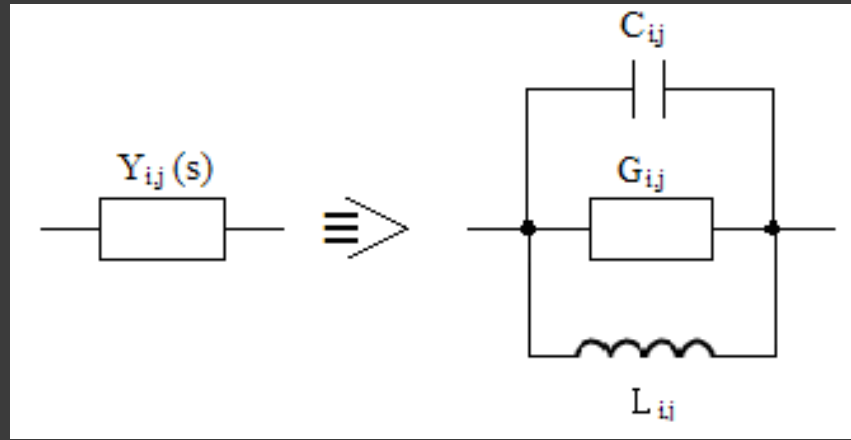


The screenshot shows the MATLAB Command Window interface. The title bar reads "MATLAB". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Web", "Window", and "Help". The toolbar contains icons for file operations and a "Current Directory" field showing "C:\MATLAB6p5\work". The Command Window contains the following text:

```
>>  
>> det (Beam_matrix)  
  
ans =  
  
    NaN + NaNi
```

The result "NaN + NaNi" is circled in red, indicating a numerical error (Not a Number) due to the matrix being singular or ill-conditioned.

УНІВЕРСАЛЬНА МАКРОМОДЕЛЬ



- у випадку $a_0 > 0, a_1 > 0$:

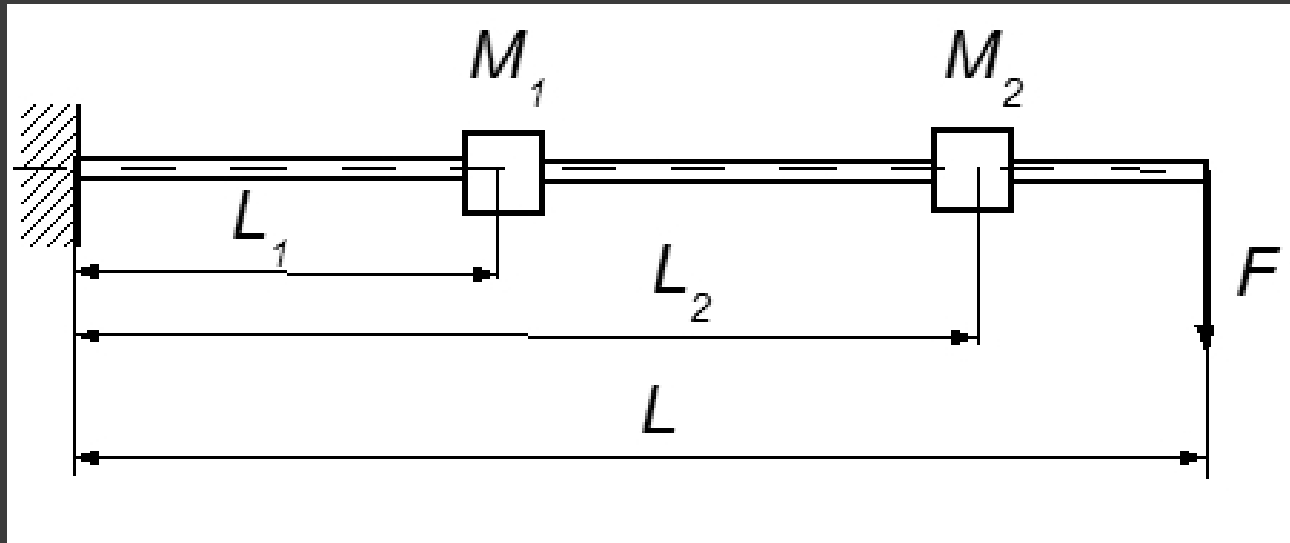
$$G_{i,j} = \operatorname{Re}(Y_{i,j}), \quad C_{i,j} = k \operatorname{Im}(Y_{i,j}) / \omega_0, \quad L_{i,j} = 1 / ((k-1) \operatorname{Im}(Y_{i,j}) \omega_0)$$

- у випадку $a_0 > 0, a_1 < 0$:

$$G_{i,j} = \operatorname{Re}(Y_{i,j}), \quad C_{i,j} = (k-1) \operatorname{Im}(Y_{i,j}) / \omega_0, \quad L_{i,j} = 1 / (k \operatorname{Im}(Y_{i,j}) \omega_0)$$

k - коефіцієнт, що показує співвідношення між номіналами реактивних елементів

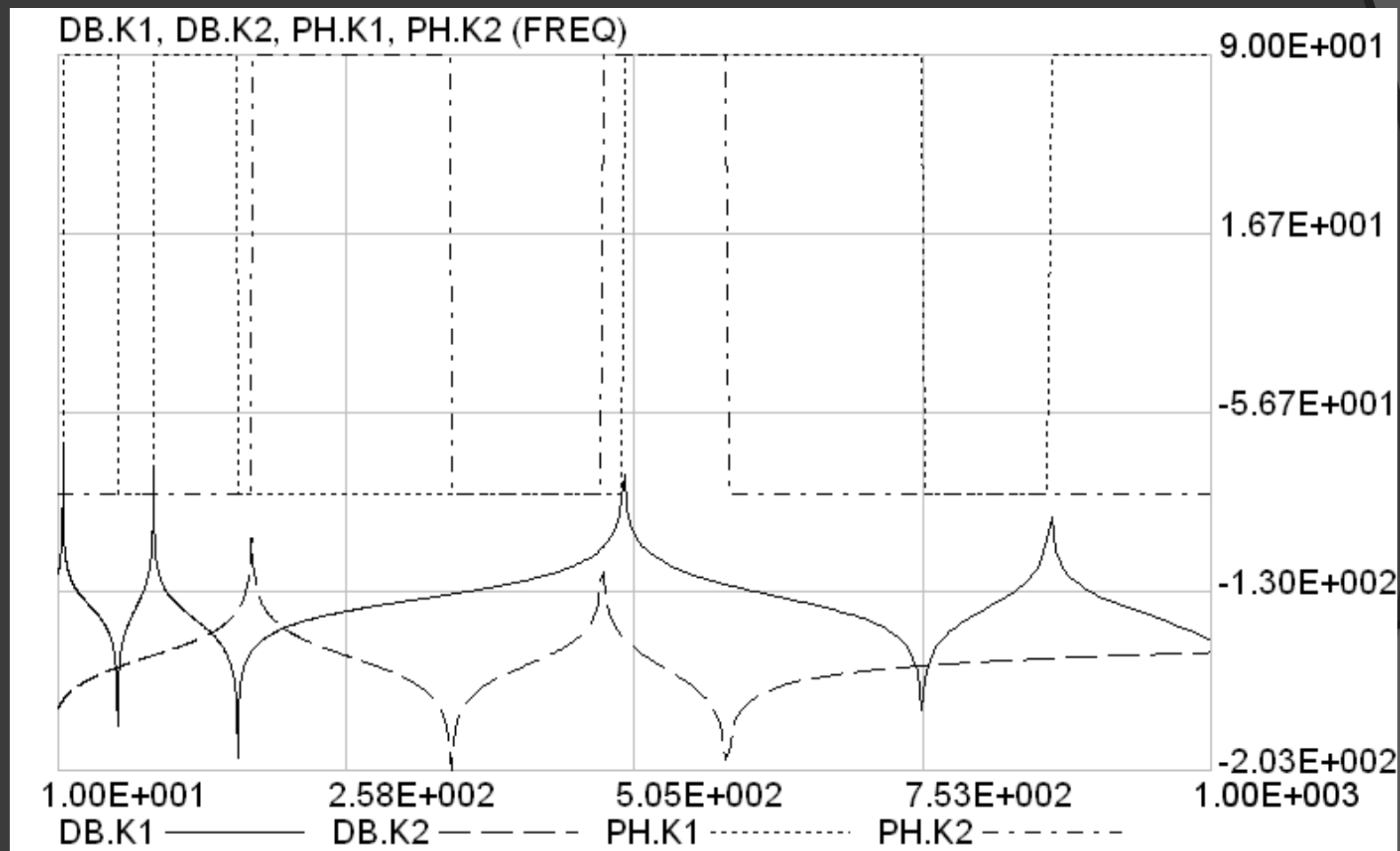
МОДЕЛЬ БАЛКИ



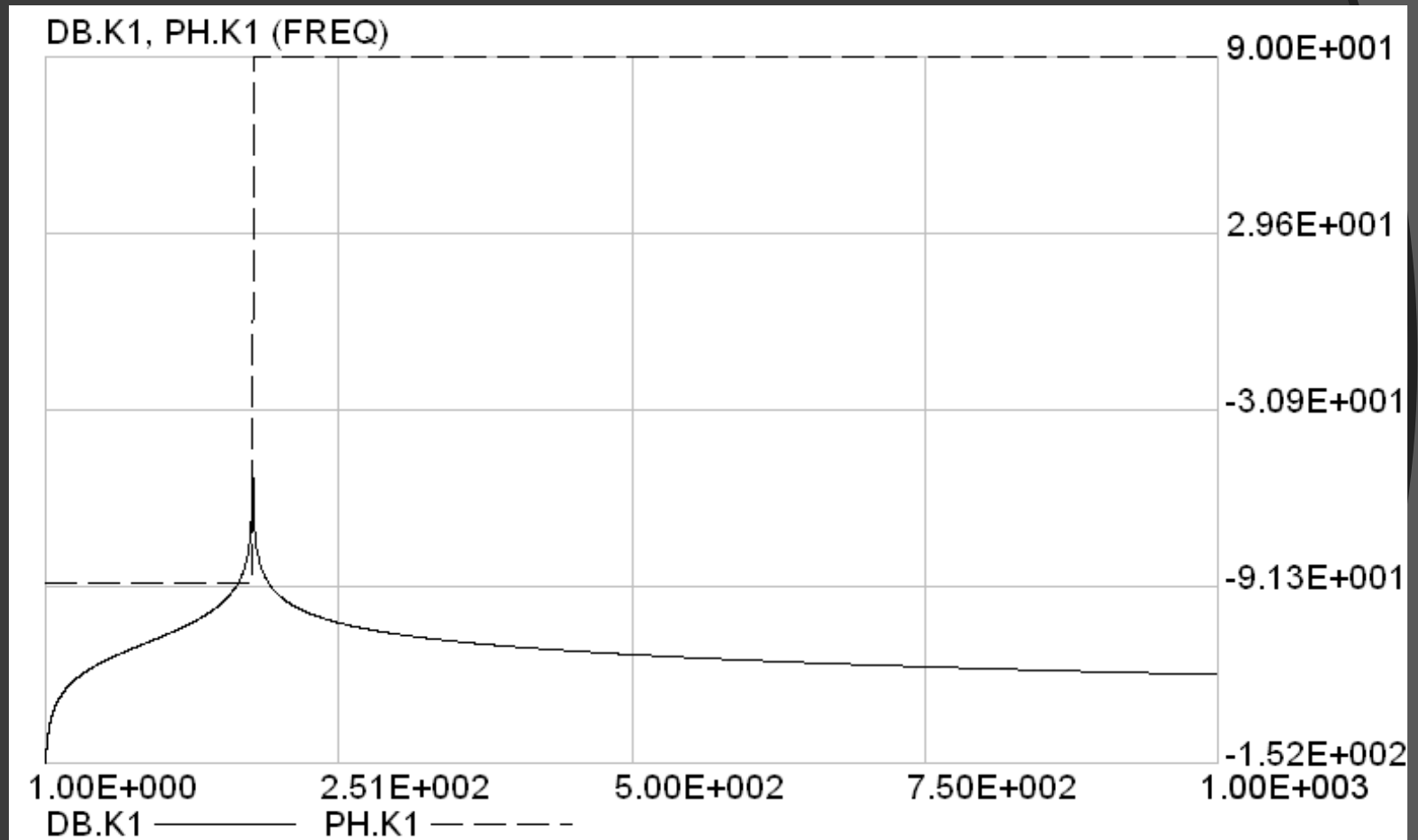
Параметри схеми заміщення закріпленої неоднорідної балки з трьома ступенями свободи:

- ❖ Кількість вузлів – 151
- ❖ Загалом елементів – 776

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОЧАТКОВОЇ СХЕМИ



РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ МАКРОМОДЕЛІ



РЕЗУЛЬТАТИ СКОРОЧЕННЯ

	Початков е коло	Базова макромодель	Універсальна макромодель		
			3	2	1.11
Коефіцієнт k	-	-	3	2	1.11
1- мода, Гц	13.988	13.988	13.988	13.988	13.988
2- мода, Гц	91.794	91.794	91.794	91.794	91.794
3- мода, Гц	176.29	200.38	187.90	183.94	177.48
4- мода, Гц	477.44	429.14	452.71	460.82	474.77
5- мода, Гц	495.51	495.53	495.52	495.52	495.51
6- мода, Гц	861.82	861.83	861.82	861.82	861.82
Максимальна похибка, %	-	13.67	7.08	4.34	0.68

ГІБРИДНИЙ МЕТОД + АЛГОРИТМ Y-Δ ПЕРЕТВОРЕННЯ

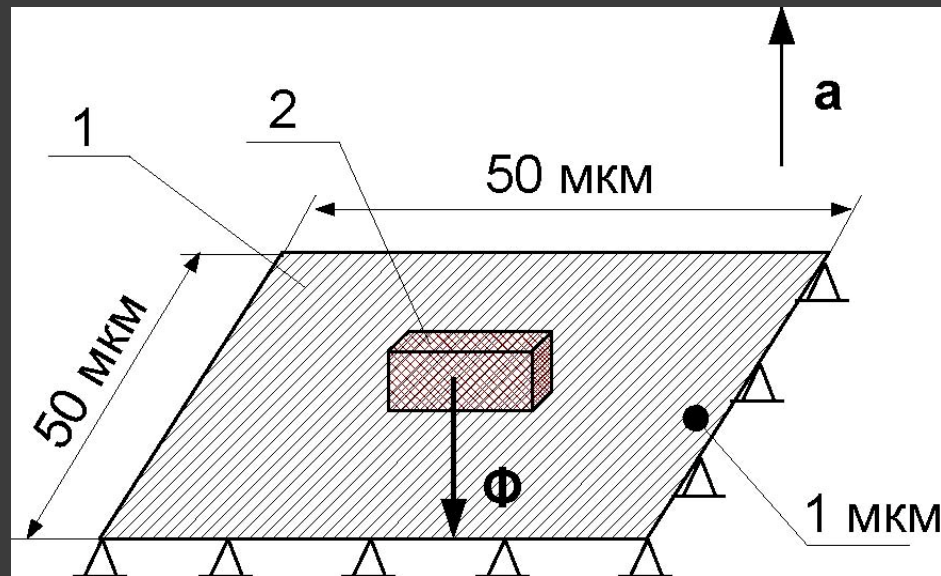
I етап

Розбиття початкової схеми на n підсхем, проведення скорочення паралельним алгоритмом Y-Δ перетворення з подальшим з'єднанням отриманих схем.

II етап

Побудова макромоделей скорочених схем за допомогою гібридного методу.

МОДЕЛЬ МІКРОАКСЕЛЕРОМЕТРА



Параметри схеми

- ❖ Кількість вузлів – 1883
- ❖ Загалом елементів – 62826

РЕЗУЛЬТАТИ СКОРОЧЕННЯ

	Початкове коло	Гібридний метод	Паралельний алгоритм Y-Δ перетворення	Гібридний метод + Паралельний алгоритм Y-Δ перетворення
1- мода, кГц	181.36	187.55	181.32	181.39
2- мода, кГц	1018.1	1054.5	-	1001.5
3- мода, кГц	1018.1	1054.5	-	1001.5
4- мода, кГц	3427.8	3613.2	3906.2	3340.4
Максимальна похибка, %	-	5.41	13.96	2.55
Час, с	-	1494	695	652

ВИСНОВКИ

- Досліджено гібридний метод побудови макромоделей еквівалентних схем, виявлено його недоліки та запропоновано підходи щодо їх усунення.
- Розроблено універсальну макромодель механічних складових МЕМС, яка забезпечує підвищену точність в порівнянні з базовою.
- Експериментально доведено ефективність розробленої макромоделі.
- Показано, що застосування паралельного алгоритму $Y-\Delta$ перетворення в комбінації з гібридним методом дозволяє значно зменшити як час побудови макромоделі, так і відносну похибку скорочення.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!