

## ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРУГИ НОМ-10 ДЛЯ ЧАСТОТ ВІЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ВНУТРІШНІХ ПЕРЕНАПРУГ МЕРЕЖІ

© Никонець Л.О., Гуцин Є.Ю., Климук П.П., 2013

На синтезованій математичній моделі трансформатора напруги НОМ-10 з достатньою точністю отримані результати дослідів, не були безпосередньо використані для синтезу цієї моделі. Математична модель НОМ-10 для частот вільної складової внутрішніх перенапруг мережі адекватно відтворює електромагнітні процеси в трансформаторі НОМ-10 і може бути використана для наукових досліджень.

**Ключові слова:** математична модель, адекватність моделі, частотна характеристика, комплексні невідомі, порівняння результатів

A synthesized mathematical model of a voltage transformer “NOM-10” (Single-phase Oil Transformer-10) was used to get experimental results with quite high level of accuracy, which, however, weren't used in synthesizing of the model. The mathematical model recreates electromagnetic processes in a “NOM-10” transformer and can be used for further researches.

**Key words:** mathematic modeling, adequacy of the model, frequency characteristic, complex unknown, comparison of results

### Постановка проблеми

У [1] показано, що явище внутрішнього резонансу за дії перенапруг мережі, головна причина пошкоджуваності електрообладнання з обмотками високої напруги. Дослідження цього явища можливе винятково методами математичного моделювання. Отже, від адекватності математичних моделей залежить достовірність отриманих результатів та конкретні рекомендації щодо підвищення надійності роботи електрообладнання.

### Аналіз сучасних досягнень та публікацій

Викладені в [1, 2] принципи синтезу математичних моделей та приклади моделей для конкретних видів електрообладнання являють собою розумне поєднання частотного методу для моделювання лінійних елементів електрообладнання з класичним підходом для моделювання нелінійних елементів (магнітної системи) обладнання.

Модель [2] отримана в результаті розв'язання системи рівнянь з 216 комплексними невідомими.

### Задача досліджень

Оцінити адекватність наведеної в [2] моделі трансформатора НОМ-10 шляхом порівняння даних, отриманих на моделі з даними дослідів на реальному об'єкті.

### Виклад основного матеріалу досліджень

З метою оцінювання результатів математичного моделювання двополюсників моделі, що відображають властивості ізоляції, були порівняні частотні характеристики відповідних двополюсників оригіналу і моделі.

На рис. 1 наведено результати моделювання частотних характеристик двополюсників  $Z_{BK}$ ,  $Z_{CK}$ ,  $Z_{HK}$ ,  $Z_{BH}$ ,  $Z_{CH}$  структурної схеми трансформатора НОМ-10, що відображають властивості ізоляції.

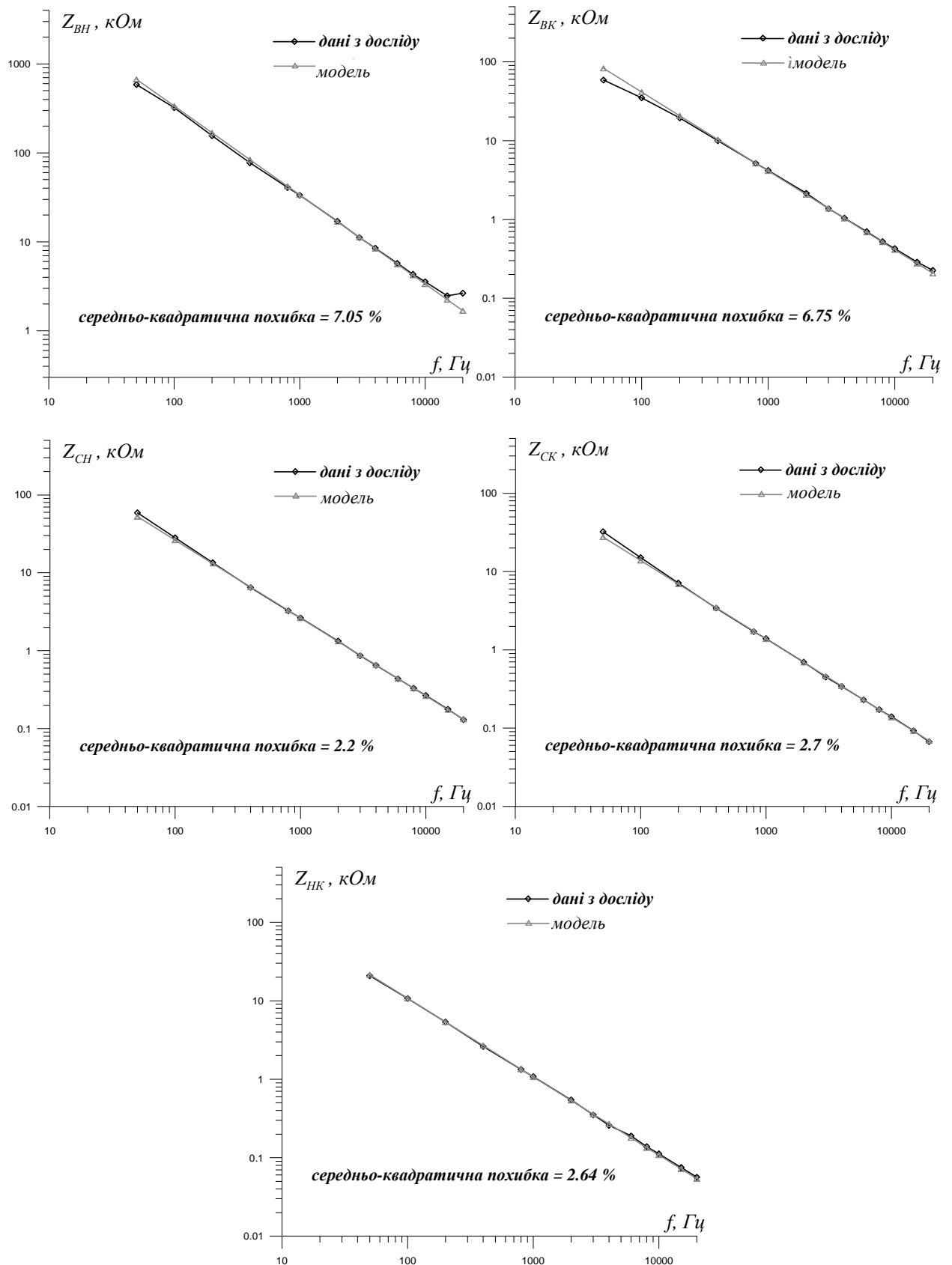


Рис. 1. Результати моделювання двополюсників, що відображають властивості ізоляції НОМ-10

Як видно з рис. 1, моделі двополюсників створені з достатньою точністю і можуть бути використані в моделі НОМ-10.

Для оцінки результатів моделювання двополюсників  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_H$ , що відтворюють властивості опорів половин обмотки ВН ( $Z_1$  і  $Z_2$ ) та обмотки НН ( $Z_H$ ) порівняні експериментально отримані частотні характеристики сумарних значень опорів  $Z_{1\Sigma}$ ,  $Z_{2\Sigma}$  для різних незалежних дослідів, а також розрахункові значення  $Z_1$  і  $Z_2$ , отримані за методикою [1].

На рис. 2 наведені частотні характеристики розрахункових значень опорів половин обмотки ВН  $Z_1$  і  $Z_2$  та їх моделей, утворених послідовно з'єднаними ланками, кожна з яких складається з паралельно з'єднаних елементів  $R_i$ ,  $C_i$ ,  $L_i$ .

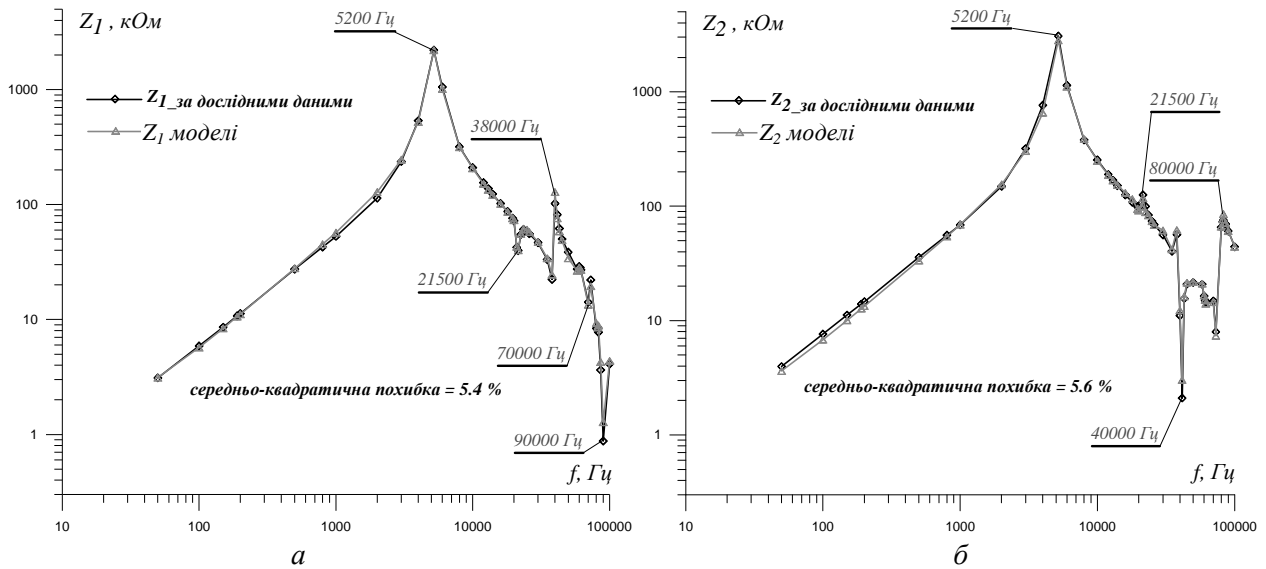


Рис. 2. Частотні характеристики опорів частин обмотки ВН  $Z_1$  (а) і  $Z_2$  (б)

Як видно з рис. 2, середньоквадратична похибка моделювання не перевищує 5,4 – 5,6 %.

Важливо перекопатись, що модель з опорами  $Z_1$  і  $Z_2$  може адекватно відтворити результати фізичного експерименту, які були вихідними даними для розрахунку значень  $Z_1$  і  $Z_2$ . Схеми дослідів з визначення сумарних опорів  $Z_{1\Sigma}$  і  $Z_{2\Sigma}$  та результати порівняння оригінала і моделі наведені на рис. 3.

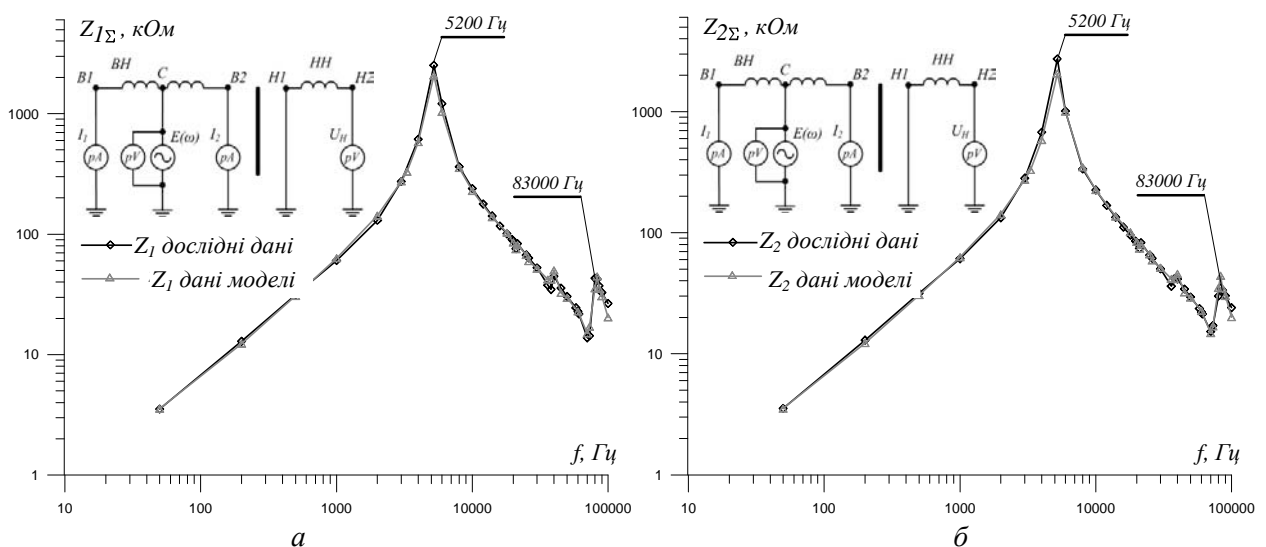


Рис. 3. Схеми дослідів та частотні характеристики сумарних опорів  $Z_{1\Sigma}$  (а) і  $Z_{2\Sigma}$  (б) половин обмотки ВН НОМ-10

На рис. 4 наведені результати відтворення на моделі характеристик дослідів КЗ НОМ-10. Відхилення значень на певних ділянках характеристик пояснюються похибкою під час моделювання.

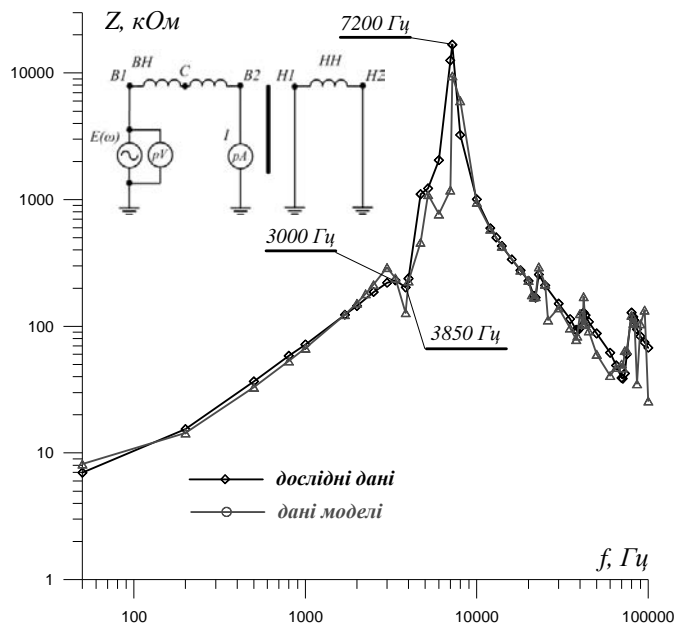


Рис. 4. Схема та частотні характеристики досліду КЗ НОМ-10

З рис. 3–4 видно, що модель з прийнятною точністю відтворює результати реальних дослідів на трансформаторі НОМ-10, результати яких були використані для створення моделі.

Для комплексної оцінки адекватності розробленої моделі необхідно порівняти результати дослідження процесів в реальному об'єкті, які не були використані під час синтезу моделі, з аналогічними результатами на синтезованій моделі. Як такий обрано процес резонансного перерозподілу напруги між частинами обмотки ВН за дії на цю обмотку напруги різної частоти. Результати порівняння даних моделі та оригінала за роботи обмотки НН в режимі неробочого ходу наведені на рис. 5, а при роботі в режимі короткого замикання – на рис. 6.

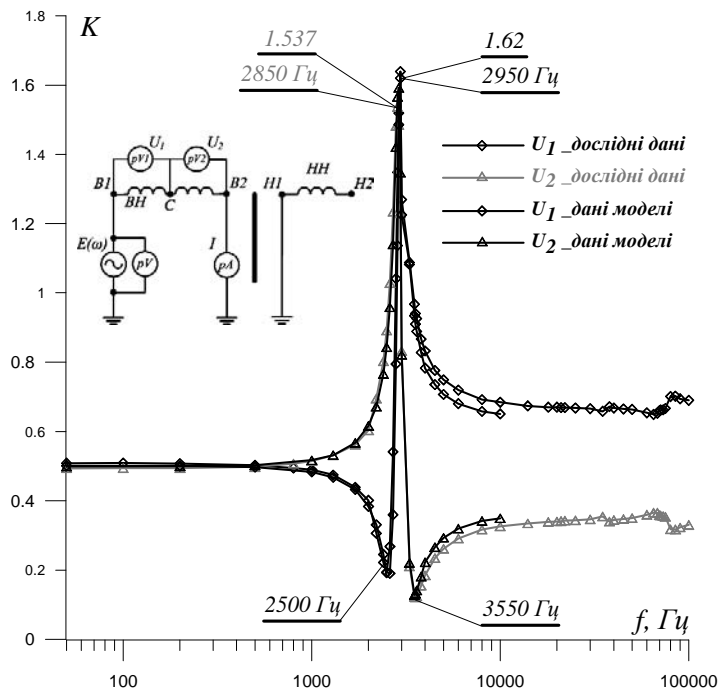


Рис. 5. Залежність від частоти розподілу напруг половин обмотки ВН НОМ-10 за розімкненої обмотки НН

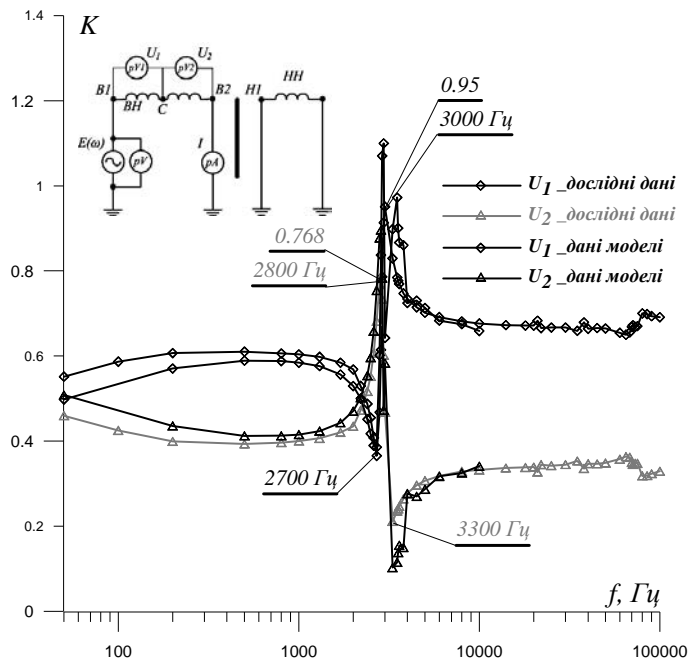


Рис. 6. Залежність від частоти розподілу напруг половин обмотки ВН НОМ-10 при замкненій обмотці НН

Як видно з рис. 5–6 модель з прийнятною точністю відображає розподіл напруг на половинах обмотки ВН НОМ-10.

Також для оцінки адекватності моделі були використані результати дослідження залежності від частоти напруги в середній точці НОМ-10 в робочому режимі (рис. 7) і напруги в середній точці та на всій обмотці в аварійному режимі роботи (рис. 8).

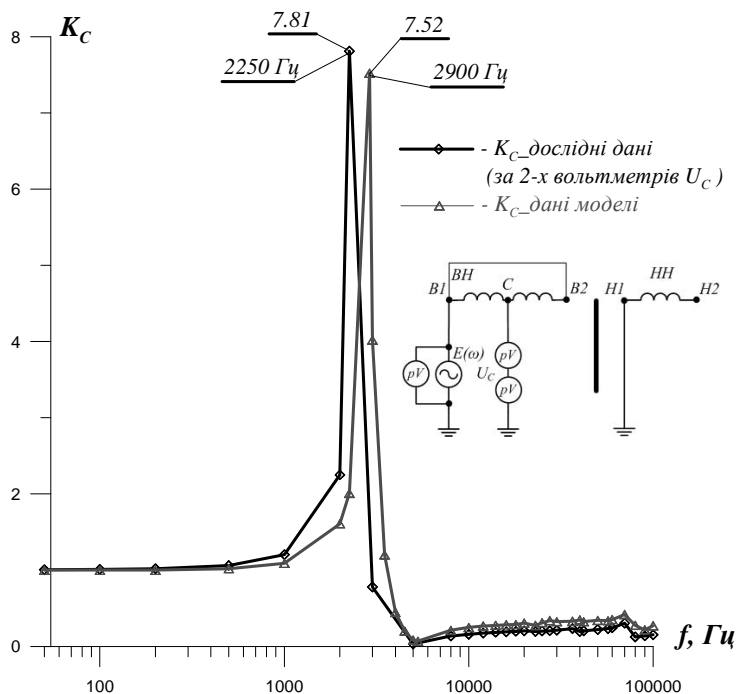


Рис. 7. Схема дослідів та залежність від частоти відносних значень напруг середини обмотки ВН

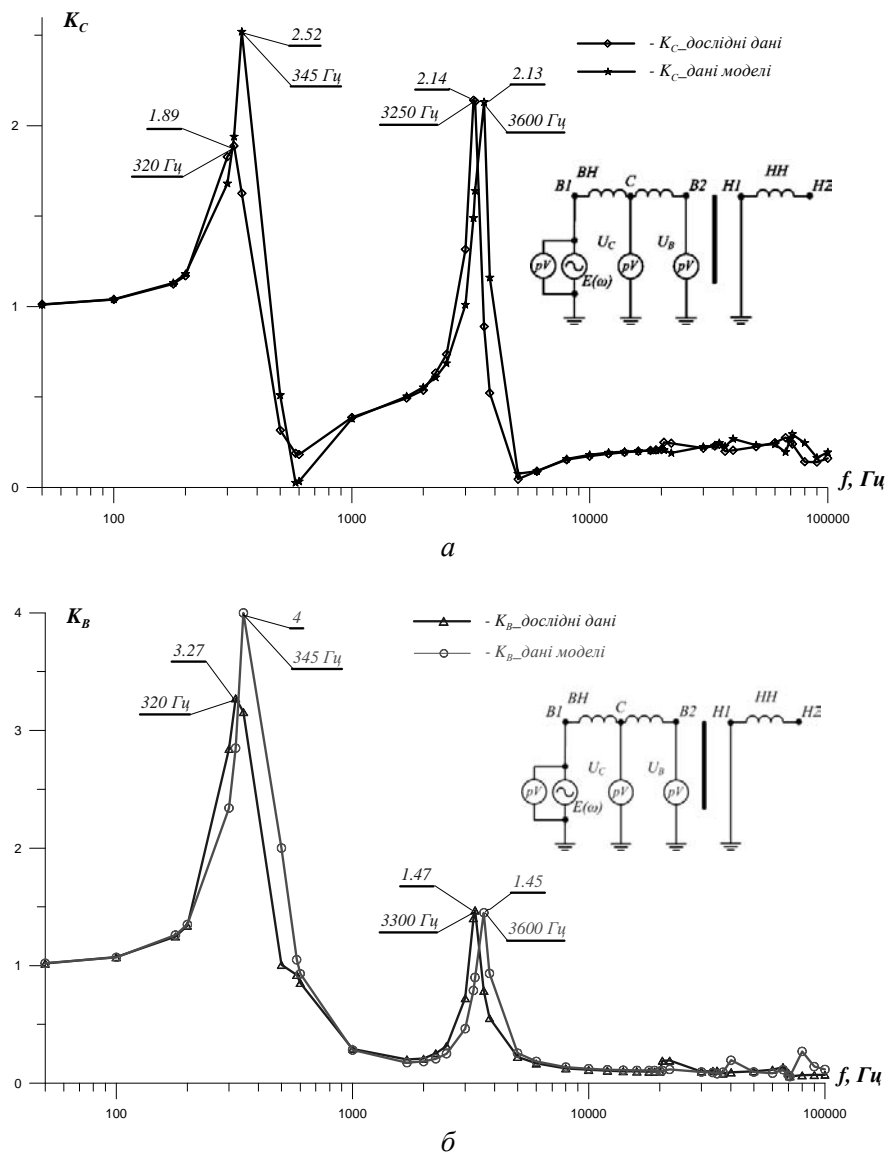


Рис. 8. Схеми дослідів та залежності від частоти відносних значень напруги середини (а) та всієї обмотки ВН (б)

### Висновки

1. На синтезованій математичній моделі трансформатора напруги НОМ-10 з достатньою точністю отримані результати дослідів, що не були безпосередньо використані для синтезу цієї моделі.

2. Математична модель НОМ-10 для частот вільної складової внутрішніх перенапруг мережі адекватно відтворює електромагнітні процеси в трансформаторі НОМ-10 і може бути використана для наукових досліджень.

1. Физические явления внутреннего резонанса в электрооборудовании с обмотками высокого напряжения / И.Р. Бучковський, М.М. Молнар, А.Л. Никонец, Л.А. Никонец, М.Б. Сабат; Под ред. Л.А. Никонца. – Львов: НВФ "Українські технології", 2012. – 167 с. 2. Маліновський А.А., Гуцин Є.Ю., Никонець О.Л. Математична модель трансформатора напруги ном–10 для частот вільної складової внутрішніх перенапруг мережі // Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка”. – 2013.