

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ТЕ10

Дослідження характеристик трансформатора

10.1. Мета роботи

Вивчення особливостей роботи трансформатора як елемента електричного кола. Вивчення режимів роботи трансформатора. Результатом засвоєння роботи повинно бути вміння будувати часові і векторні діаграми струмів і напруги трансформатора, а також використовувати трансформатори для узгодження напруг, струмів, опорів електричних кіл.

10.2. Основні теоретичні положення

Трансформатор – це статичний електромагнітний апарат, що перетворює електричну енергію змінного струму з одними параметрами на електричну енергію з іншими параметрами. У трансформатора перетворюється напруга, струм та початкова фаза. Незмінною залишається сила струму.

Для спрощених досліджень процесів в трансформаторі використовують таке поняття як ідеальний трансформатор. Це трансформатор, у якого відсутні магнітні потоки розсіяння, а активні опори обмоток дорівнюють нулеві. У реальному трансформаторі обмотки мають як активний опір, так і опір розсіяння, тобто, крім основного магнітного потоку, що проймає обидві обмотки, є потоки розсіяння первинної та вторинної обмоток. У теоретичних дослідженнях і при побудові схеми заміщення трансформатора користуються таким поняттям як зведений трансформатор. Це еквівалентний реальному трансформатор, у якого коефіцієнт трансформації дорівнює одиниці. Для заміни реального трансформатора зведеним треба витримати принципи еквівалентності енергетичного стану. Рівняння балансу енергії для реального і зведеного трансформатора виглядає так:

$$E_2 I_2 = E'_2 I'_2.$$

Важливою характеристикою трансформатора є коефіцієнт трансформації, котрий звичайно визначається як відношення вхідної напруги до вихідної в режимі холостого ходу. Коефіцієнт трансформації визначається за такою формулою:

$$K_T = E_1/E_2 = U_1/U_2 = w_1/w_2 = I_1/I_2,$$

де w_1 та w_2 – кількість витків первинної та вторинної обмоток.

З цієї формули випливає, що трансформатор знижує напругу і разом з тим підвищує струм (та навпаки).

Первинне та вторинне кола трансформатора зв'язані тільки магнітним зв'язком, тобто кола електрично роз'єднані. Ця властивість трансформаторів використовується у розділених трансформаторах, що мають $K_T = 1$.

Трансформатор може працювати в режимі холостого ходу, коли вторинне коло розімкнене (навантаження відсутнє), тобто:

$$Z_H = \infty, \quad I_2 = 0.$$

Режим навантаження здійснюється, коли на вторинну обмотку увімкнено навантаження Z_H , а у вторинному колі протікає струм I_2 .

Режим короткого замикання – це аварійний режим роботи трансформатора. У режимі короткого замикання опір навантаження $Z_H = 0$. В цьому режимі встановлюються великі струми короткого замикання в обмотках. Ці значення настільки великі, що приводять до виходу з ладу обмоток трансформатора. Струм короткого замикання звичайно у 20-30 разів більший за номінальний і тому треба відрізнати режим короткого замикання від досліду короткого замикання. Дослід проводять при зниженій напрузі U_1 настільки, щоб у вторинному колі протікав струм, що дорівнює номінальному.

10.3. Використання віртуальної лабораторії EWB для виконання роботи

Для виконання лабораторної роботи використовуються ті самі складові віртуальної лабораторії, які використовувались у попередніх дослідженнях.

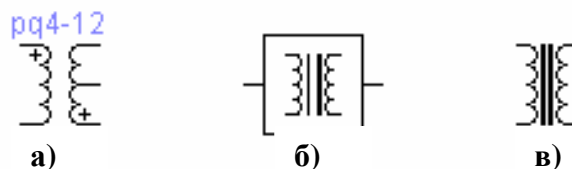


Рис. 10.1.

Трансформатор вибирається з бібліотеки базових компонентів. Серед трансформаторів, які використовуються в EWB (Рис.10.1) для проведення досліджень, необхідно вибрати найпростіший (Рис.10.1а), оскільки трансформатори зображені на рис. 10.1б,в мають велику кількість параметрів, які детально вивчаються в спеціальних курсах.

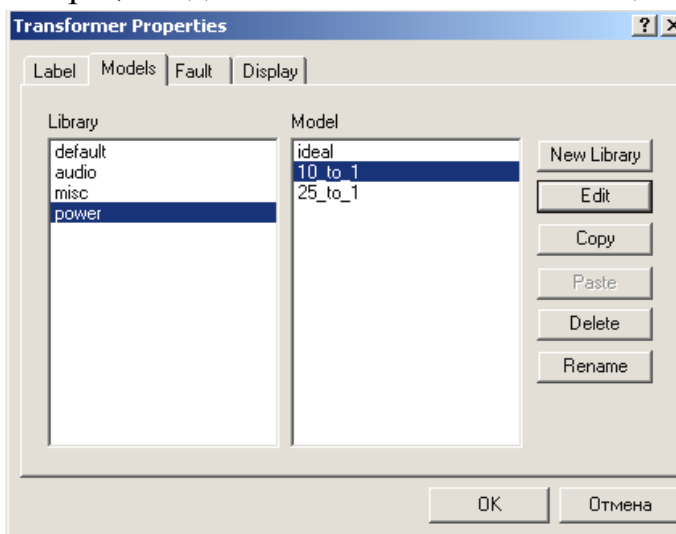


Рис. 10.2.

Після вибору трансформатора необхідно задати його робочими параметрами. Подвійне натиснення лівої кнопки “миші” приводить до появи вікна **Transformer Propertier**, яке зображене на рис. 10.2. З бібліотеки трансформаторів необхідно вибрати **Power**, а в вікні **Model** вибирається модель ідеального трансформатора **Ideal**.

Після цього необхідно натиснути кнопку **Edit** і на екрані з’явиться вікно **Transformer Model “Ideal”**,

яке зображено на рис.10.3. У вікні вибору параметрів трансформатора можна встановити відповідні до варіанта значення:

Primary-to-secondary turns ratio (N) – відношення кількості витків первинної обмотки до вторинної, тобто коефіцієнт трансформації.

Leakage inductance (LE) – індуктивність розсіювання, приведена до первинної обмотки, Н.

Magnetizing inductance (LM) – індуктивність намагнічування, Н.

Primary winding resistance (RP) – активний опір первинної обмотки.

Secondary winding resistance (RS) – активний опір вторинної обмотки.

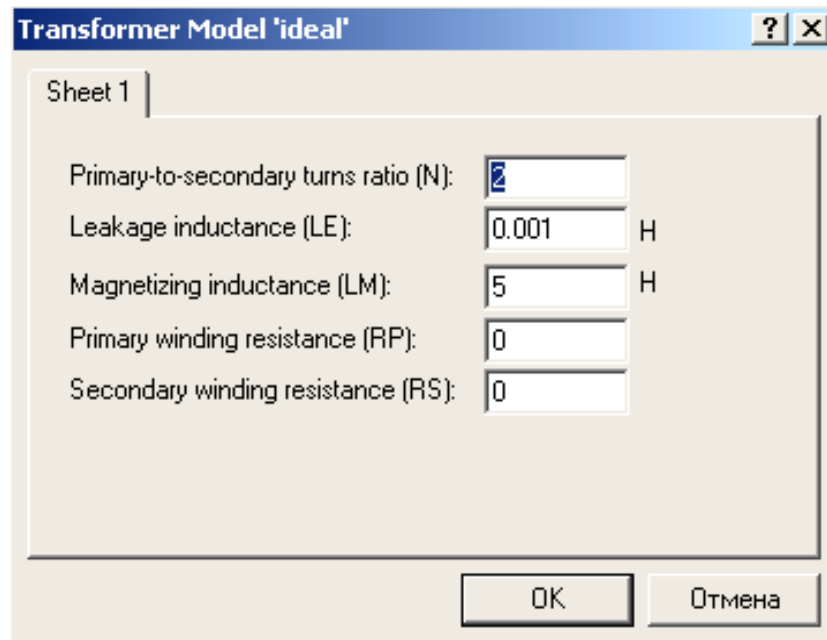


Рис. 10.3.

Усі параметри задаються у відповідності до варіантів виконання роботи.

10.4. Порядок виконання роботи

10.4.1. Встановити параметри трансформатора у відповідності до заданого варіанту.

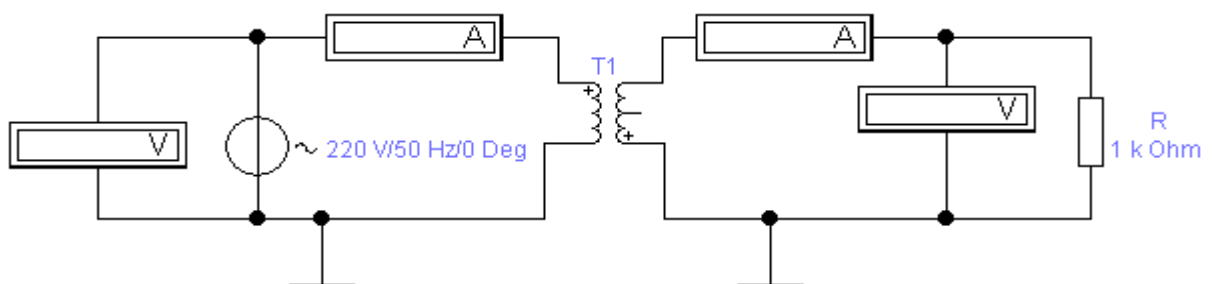


Рис. 10.4.

10.4.2. Зібрати електричну схему у відповідності до рис. 10.4.

Не слід забувати, що вимірювальні прилади після установки в схему необхідно переналагодити для роботи в колах змінного струму, оскільки за замовчуванням вони встановлені для проведення вимірювань у колах постійного струму.

10.4.3. Дослідження трансформатора в режимі холостого ходу. Вторинну обмотку трансформатора залишити розімкнутою. Включити схему і провести заміри струму й напруги первинної обмотки трансформатора й напруги на вторинній обмотці трансформатора. Отримані результати використати для обчислення коефіцієнта трансформації по напрузі, а також обчислення величини індуктивності намагнічування.

Провести зворотній дослід. До вторинної обмотки трансформатора приєднати джерело напруги, а первинну обмотку залишити розімкнутою. Напругу джерела, що приєднане до вторинної обмотки, встановити рівним напрузі, яка була заміряна в попередньому досліді. Результати замірів струму вторинної обмотки й напруги первинної - використати для обчислення коефіцієнта трансформації, як відношення напруг первинної й вторинної обмоток.

10.4.4. Дослідження трансформатора при навантаженні зі сторони вторинної обмотки трансформатора. Для заданої величини опору навантаження заміряти показання амперметрів і вольтметрів, приєднаних до первинної й вторинної обмоток трансформатора. Зменшуючи опір навантаження, виконати заміри струмів первинної й вторинної обмоток трансформатора й напруги на навантаженні. Отримані результати використати для побудови зовнішньої характеристики трансформатора (ВАХ).

10.4.5. Збільшити в установках параметрів трансформатора активні опори його обмоток (на 30%) і провести повторні заміри для побудови ВАХ. Повторити дослід із попередніми активними опорами і збільшеним значенням індуктивності розсіювання обмоток трансформатора. Побудувати ВАХ трансформатора для кожного з проведених дослідів і зробити висновки по впливу активних і індуктивних опорів на вигляд зовнішньої характеристики. Параметри взяти з таблиці в додатку.

10.4.6. Проведення досліду короткого замикання. Для проведення цього досліду необхідно, щоб в установках трансформатора були встановлені активні опори обмоток, або індуктивності розсіювання обмоток, або перші й другі параметри. В схемі, яка досліджується, вторинну обмотку закортити через амперметр, а напругу джерела живлення встановити в нуль. Дослід проводиться в наступній послідовності:

1. Встановити напругу джерела живлення первинної обмотки на рівні одного відсотка від номінального значення й перевірити величину струму вторинної обмотки. Якщо величина струму менша, ніж струм при навантаженні, у відповідності до досліду 10.4.4, то напругу джерела живлення збільшити.
2. Збільшення напруги джерела проводиться до того часу, поки величина струму вторинної обмотки не досягне величини струму в досліді 10.4.4 при навантаженні. Заміряна напруга при вказаному значенні струму називається напругою короткого замикання. Вона використовується для обчислення індуктивних опорів розсіювання обмоток трансформатора.

10.5. Вимоги до звіту

- 10.5.1. Привести результати обчислень потужності, заміряні на стороні первинної і вторинної обмоток трансформатора.
- 10.5.2. Пояснити зв'язок між коефіцієнтами трансформації трансформатора по напрузі і струму.
- 10.5.3. Привести еквівалентні опори, обчислені для первинної і вторинної обмоток і пояснити їх взаємозв'язок із коефіцієнтами трансформації.
- 10.5.4. Для кожного з проведених дослідів виконати розрахунки напруг і струму навантаження вторинної обмотки.
- 10.5.5. Побудувати T-образну схему трансформатора для заданого режиму.

10.6. Питання до атестації

- 10.6.1. Пояснити взаємозв'язок між струмами і напругою первинної й вторинної обмоток трансформатора.
- 10.6.2. Пояснити основні режими роботи трансформатора.
- 10.6.3. Пояснити, від чого залежить величина напруги на вторинній обмотці трансформатора.
- 10.6.4. Пояснити фізичні процеси, що відбуваються в трансформаторі.
- 10.6.5. Привести приклади використання трансформаторів.
- 10.6.6. Який пристрій називається трансформатором? Які параметри електричного кола він перетворює?
- 10.7.7. На якому струмі можлива робота трансформатора?
- 10.7.8. Пояснити термін «коефіцієнт трансформації».

10.7. Задачі

- 10.7.1. Визначити коефіцієнт трансформації однофазного знижувального трансформатора, якщо кількості витків його первинної та вторинної обмоток відповідно дорівнює 300 та 12.
- 10.7.2. Визначити коефіцієнт трансформації однофазного двохобмоткового знижувального трансформатора, якщо ЕРС, індуковані в первинній та вторинній обмотках, відповідно дорівнюють 500 і 127 В.
- 10.7.3. Є однофазний двохобмотковий трансформатор на номінальну первинну напругу 500 В та з кількістю витків первинної обмотки – 2000. Визначити кількість витків вторинної обмотки цього ж трансформатора, потрібну для одержання на її затискачах при холостому ході напруги 227 В.
- 10.7.4. Є однофазний двохобмотковий трансформатор на номінальну напругу в первинній обмотці – 500 В та з кількістю витків первинної обмотки – 2000. Яка напруга буде на вторинній обмотці при холостому ході цього ж трансформатора, якщо кількість витків вторинної обмотки – 440?
- 10.7.5. Визначити ЕРС первинної обмотки трансформатора, яка має 450 витків, якщо трансформатор підключили до мережі змінного струму з частотою 50 Гц, а магнітний потік у сердечнику $\Phi = 2,17 \cdot 10^{-3}$ Вб.

10.7.6. Вказати вираз для визначення діючого значення ЕРС, що індукована во вторинній обмотці трансформатора основним магнітним полем.

$$1. e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt}. \quad 2. e_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt}. \quad 3. E_2 = 4,44 fw_2 \Phi_m.$$

$$4. E_2 = fw_2 \Phi_m. \quad 5. e_2 = \sqrt{2}E_2 \sin(\omega t - 90^\circ).$$

10.7.7. Вказати рівняння рівноваги миттєвих значень напруг для первинної обмотки трансформатора при холостому ході.

$$1. \dot{U}_{10} = -\dot{E}_{10} + Z_1 \dot{I}_{10}. \quad 2. e_{10} = u_{10} + Z_1 i_{10}. \quad 3. u_{10} = -e_{10}.$$

$$4. \dot{U}_{10} = R_1 \dot{I}_{10} + jX_1 \dot{I}_{10}. \quad 5. u_{10} = -e_{10} + R_1 i_{10} + L_1 \frac{di_{10}}{dt}.$$

10.7.8. Вказати рівняння рівноваги комплексних діючих значень напруг для первинної обмотки трансформатора при холостому ході.

$$1. \dot{U}_{10} = -\dot{E}_{10} - Z_1 \dot{I}_{10}. \quad 2. \dot{E}_{10} = \dot{U}_{10} + Z_1 \dot{I}_{10}. \quad 3. \dot{U}_{10} = (R_1 + jX_1) \dot{I}_{10}.$$

$$4. \dot{U}_{10} = -\dot{E}_{10} + (R_1 + jX_1) \dot{I}_{10}. \quad 5. u_{10} = -e_{10} + (R_1 + jX_1) i_{10}.$$

10.7.9. Вказати рівняння рівноваги комплексних діючих значень напруг для первинної обмотки навантаженого трансформатора.

$$1. \dot{E}_1 = \dot{U}_1 + Z_1 \dot{I}_1. \quad 2. \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + Z_1 \dot{I}_1. \quad 3. \dot{U}_1 = (R_1 + jX_1) \dot{I}_1.$$

$$4. e_1 = -u_1 + Z_1 i_1. \quad 5. u_1 = -e_1 + Z_1 i_1.$$

10.7.10. Вказати рівняння рівноваги комплексних діючих значень напруг для вторинної обмотки навантаженого трансформатора.

$$1. e_2 = u_2 - Z_2 i_2. \quad 2. e_2 = u_2 + Z_2 i_2. \quad 3. \dot{E}_2 = \dot{U}_2 + R_2 \dot{I}_2.$$

$$4. \dot{U}_2 = \dot{E}_2 + Z_2 \dot{I}_2. \quad 5. \dot{E}_2 = \dot{U}_2 + Z_2 \dot{I}_2.$$

10.7.11. Вказати рівняння рівноваги миттєвих значень напруг для вторинної обмотки трансформатора при короткому замиканні.

$$1. e_{2к} = R_2 i_{2к} + L_2 \frac{di_{2к}}{dt}. \quad 2. e_{2к} = u_{2к} + Z_2 i_{2к}. \quad 3. e_{2к} = R_k i_{2к}.$$

$$4. \dot{E}_{2к} = Z_2 \dot{I}_{2к}. \quad 5. \dot{U}_{2к} = R_k \dot{I}_{2к}.$$

10.7.12. Вказати рівняння рівноваги комплексних діючих значень напруг для вторинної обмотки трансформатора при короткому замиканні.

$$1. \dot{E}_{2к} = Z_k \dot{I}_{2к}. \quad 2. \dot{E}_{2к} = Z_2 \dot{I}_{2к}. \quad 3. \dot{U}_{2к} = R_k \dot{I}_{2к}.$$

$$4. e_{2к} = Z_2 i_{2к}. \quad 5. u_{2к} = Z_2 i_{2к}.$$

10.7.13. Визначити ЕРС вторинної обмотки трансформатора Е'2, зведену до кількості витків первинної обмотки, якщо дійсне значення ЕРС вторинної обмотки – 100В, а коефіцієнт трансформації – 2.

10.7.14. Вказати правильну залежність між дійсним E_2 та зведеним E'_2 значеннями ЕДС вторинної обмотки трансформатора з коефіцієнтом трансформації K .

1. $E'_2 = \frac{E_2}{K}$. 2. $E'_2 = \frac{E_2}{K^2}$. 3. $E'_2 = KE_2$. 4. $E'_2 = K^2 E_2$.
5. $E'_2 = E_2$.

10.7.15. Вказати правильну залежність між дійсним I та зведеним I' значеннями струмів вторинної обмотки трансформатора з коефіцієнтом трансформації K .

1. $I'_2 = \frac{I_2}{K}$. 2. $I'_2 = \frac{I_2}{K^2}$. 3. $I'_2 = KI_2$. 4. $I'_2 = K^2 I_2$. 5. $I'_2 = I_2$

10.7.16. Визначити струм вторинної обмотки трансформатора, зведений до кількості витків первинної обмотки, якщо дійсне значення струму вторинної обмотки – 100А, а коефіцієнт трансформації – 10.

10.7.17. Вказати правильну залежність між дійсним R_2 та зведеним R'_2 значеннями активних опорів вторинної обмотки трансформатора з коефіцієнтом трансформації K .

1. $R'_2 = R_2$. 2. $R'_2 = KR_2$. 3. $R'_2 = \frac{R_2}{K}$. 4. $R'_2 = \frac{R_2}{K^2}$. 5. $R'_2 = K^2 R_2$.

10.7.18. Визначити активний опір вторинної обмотки трансформатора, зведений до кількості витків первинної обмотки, якщо дійсне значення активного опору – 0,5 Ом, а коефіцієнт трансформації – 4.

10.7.19. Вказати правильну залежність між дійсним X_2 та зведеним X'_2 значеннями індуктивних опорів розсіювання вторинної обмотки трансформатора з коефіцієнтом трансформації K .

1. $X_2 = KX'_2$. 2. $X_2 = \frac{X'_2}{K^2}$. 3. $X_2 = \frac{X'_2}{K}$. 4. $X_2 = X'_2$. 5. $X_2 = K^2 X'_2$.

10.7.20. Визначити індуктивний опір розсіювання вторинної обмотки трансформатора X'_2 , зведений до кількості витків первинної обмотки, якщо дійсне значення опору вторинної обмотки – 0,8 Ом, а коефіцієнт трансформації – 2.

10.7.21. Серед зображених на рис.10.5 зовнішніх характеристик трансформатора для активного, індуктивного, ємнісного та активно-індуктивного навантаження вказати характеристику:

- а) для активного навантаження;
б) для індуктивного навантаження;
в) для ємнісного навантаження;
г) для активно-індуктивного навантаження.

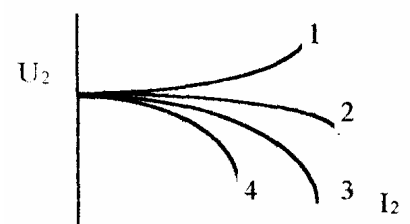


Рис. 10.5.

10.7.22. Як зміниться магнітний потік у магнітопроводі трансформатора якщо збільшити струм навантаження в 2 рази.

10.7.23. Трансформатор потужністю 10кВА підключено до мережі 220В, напруга на вторинній обмотці при холостому ході дорівнює $U_{2ХХ}=130В$. Кількість витків вторинної обмотки $w_2=80$. Визначити коефіцієнт трансформації K_T , кількість витків первинної обмотки w_1 , а також струми $I_{1Н}$ та $I_{2Н}$.

10.7.24. Первинна обмотка трансформатора підключена до мережі змінного струму напругою $U=220В$. До трьох вторинним обмоткам трансформатора w_1, w_2, w_3 підключені резистори з опором $R_1=R_2=R_3=20$ Ом, в яких проходять струми $I_1=0,25А, I_2=0,315А, I_3=0,6А$. Визначити коефіцієнти трансформації для трьох вторинних обмоток.

10.7.25. В режимі холостого ходу струм в первинній обмотці трансформатора с активним опором $R=15$ Ом та індуктивністю $L=0,16Гн$ дорівнює $I_1=2,5А$. Знайти діюче значення напруги на первинній і вторинній обмотках і коефіцієнт потужності, якщо коефіцієнт трансформації дорівнює 60.

10.7.26. Трансформатор підключили до мережі змінного струму з напругою $U=660В$. До вторинної обмотки під'єднана освітлювальна мережа з $\cos\phi=1$, яка розрахована на напругу $U=220В$. Чому дорівнює струм вторинної обмотки, якщо струм в первинній обмотці дорівнює 2А?

10.7.27. Втрати при холостому ході трансформатора дорівнюють $P_X=500Вт$, при короткому замиканні $P_K=1400Вт$. Визначити ККД трансформатора, якщо номінальна потужність $P_{НОМ}=25кВт$.

10.7.28. Однофазний трансформатор з номінальною потужністю $S_{НОМ}=1600кВ\cdot А$ ввімкнули в мережу змінного струму з напругою $U=10000В$. При холостому ході трансформатора напруга на затискачах вторинної обмотки $U=400В$. Визначити коефіцієнт трансформації і кількість витків первинної обмотки, якщо кількість витків вторинної обмотки $w_2=32$.

10.7.29. Трансформатор під'єднали до мережі електропередачі напругою $U=6000В$. Визначити коефіцієнт трансформації трансформатора і кількість витків первинної обмотки, якщо кількість витків вторинної обмотки $w_2=250$, а напруга в режимі холостого ходу на вторинній обмотці $U_2=220В$.

10.7.30. Кількість витків первинної обмотки трансформатора $w_1=900$, вторинної $w_2=35$. Визначити напругу холостого ходу на вторинній обмотці, якщо трансформатор під'єднан до мережі змінного струму з напругою $U=6000В$.

10.7.31. Трансформатор напруги має первинну і вторинну обмотки з кількістю витків $w_1=20000, w_2=200$. Визначити коефіцієнт трансформації.

10.7.32. Первинна обмотка автотрансформатора має $w_1=600$, коефіцієнт трансформації $n=20$. Визначити кількість витків вторинної обмотки.

10.7.33. Як зміниться магнітний потік у магнітопроводі трансформатора якщо зменшити струм навантаження в 2 рази.

10.8. Додаток

Таблиця варіантів до схеми, яка приведена на рис. 10.4.

Номер варіанту	$E_1, В$	$LE, Гн$	$R, Ом$	K_{TP}	$LM, Гн$	RP	RS
1	10	0,001	50	0,5	1	0,1	0,1
2	20	0,002	60	2	2	0,1	0,1
3	30	0,003	70	3	3	0,2	0,2
4	40	0,004	80	4	4	0,2	0,2
5	50	0,005	90	5	5	0,3	0,3
6	55	0,006	95	3	6	0,3	0,3
7	60	0,007	100	4	7	0,1	0,1
8	65	0,008	200	2	8	0,1	0,1
9	70	0,009	300	0,5	9	0,2	0,2
10	75	0,001	400	4	1,5	0,2	0,2
11	80	0,002	500	3	1,2	0,3	0,3
12	85	0,003	600	2	1,4	0,3	0,3
13	90	0,004	700	0,5	1,6	0,1	0,1
14	95	0,005	800	5	1,8	0,2	0,2
15	10	0,002	60	1,5	1	0,1	0,1