

УДК 621.314

Т.М. Шелепетень, П.М. Баран
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електричних систем та мереж

ПАРАМЕТРИ СТРУМІВ ЗБУДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

© Шелепетень Т.М., Баран П.М., 2003

Методами комп'ютерного симулювання розраховано та виконано гармонійний аналіз струмів збудження однофазного трансформатора в режимах вмикання та усталення.

With the help of computer program we have calculated the harmonic analysis of exciting currents of the single-phase transformer in its switching on and steady-state conditions

Постановка проблеми

Вмикання трансформатора в електричну мережу супроводжується перехідним процесом, характер якого визначається, в основному, параметрами трансформатора, передусім нелінійними індуктивностями. Нелінійні параметри трансформаторів проявляються також і в усталеному режимі. Значна тривалість перехідного процесу вмикання (деколи кілька хвилин) та наявність гармонік у струмі збудження трансформатора можуть викликати небажані резонансні явища в мережі. В електричних мережах високої напруги, у разі виникнення резонансу струмів для певної гармоніки, згасання таких струмів проходить повільно з причини високої добротності контурів, у яких виникли резонансні струми. Тривале протікання струмів вищих гармонік спричиняє додаткове нагрівання електричних машин та хибну роботу пристроїв захисної автоматики. Тому дослідження характеру струмів збудження трансформаторів є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень

Розрахунки режимів роботи мережі з джерелом гармонік струмів можна провести, маючи значення струмів кожної гармоніки. У літературі [1–3] мало даних про склад гармонік у струмах ненавантажених трансформаторів. Осцилографування струмів для режиму трансформатора без навантаження є складним експериментом і до того ж не є достатньо точним. Вмикання трансформатора в заданій фазі неможливо виконати для потужного високовольтного трансформатора, складові струму дуже спотворюються під час пересилання їх через трансформатори струму. Отже, доцільним є комп'ютерне симулювання режимів роботи трансформаторів та гармонійний аналіз отриманих дискретних осцилограм-цифрограм.

Постановка задачі

Метою роботи є розрахунок та аналіз гармонійного складу струмів збудження однофазного трансформатора в режимах вмикання та усталення методами комп'ютерного симулювання.

Виклад основного матеріалу

Для отримання достовірних даних комп'ютерного симулювання використано адекватну квазіеталонну модель трансформатора з обчисленням єдиного магнетного поля апарата, без розділення на робоче поле та розсіювання [4]. Ця модель використовує, як первинні параметри,

геометричні розміри електромагнетного апарата, кількість витків обмоток та характеристики матеріалів, з яких виготовлено трансформатор. Комп'ютерне симулювання інтегральних параметрів (паспортних) трансформатора ТДТН-10000/110/35/11 [5] підтвердило високу адекватність моделі без розділення магнетного поля на робоче та розсіювання.

Симулювання режимів роботи трансформатора за допомогою такої квазіеталонної моделі виключає випадкові збурення, притаманні фізичним випробуванням. Для симулювання процесів вмикання трансформатора та усталених режимів використано одну схему, в якій враховано резистанси та реактанси системи й навантажень трансформатора. Моделювання вмикання ненавантаженого трансформатора здійснено шляхом задання резистансів та реактансів навантажень на рівні параметрів ізоляції мережі. Усталення режиму здійснювалось шляхом лінійної зміни амплітуди ЕРС системи від нуля до номінального значення протягом одного періоду. Багаторазові експерименти підтвердили стабільний вихід на усталений режим в разі зміни амплітуди ЕРС протягом одного періоду промислової частоти (20 мс).

Досліджувались однофазний трансформатор та трифазний триобмотковий, бо характер струмів збудження цих трансформаторів відмінний. В даній статті наведені результати дослідження однофазного трансформатора. Результати комп'ютерного симулювання подані у відносних одиницях для зручності визначення параметрів трансформаторів іншої потужності, але подібної конструкції. Струми збудження, увімкнення, амплітудні значення гармонійних складових зведені до номінального амплітудного значення струму обмотки, на яку подавалось живлення.

На рис. 1 показано цифрограму струму збудження трансформатора в усталеному режимі в разі номінальної напруги живлення, отриману шляхом комп'ютерного симулювання за допомогою квазіеталонної моделі трансформатора. Усталення режиму, як видно з рис. 1, спостерігається з другого періоду.

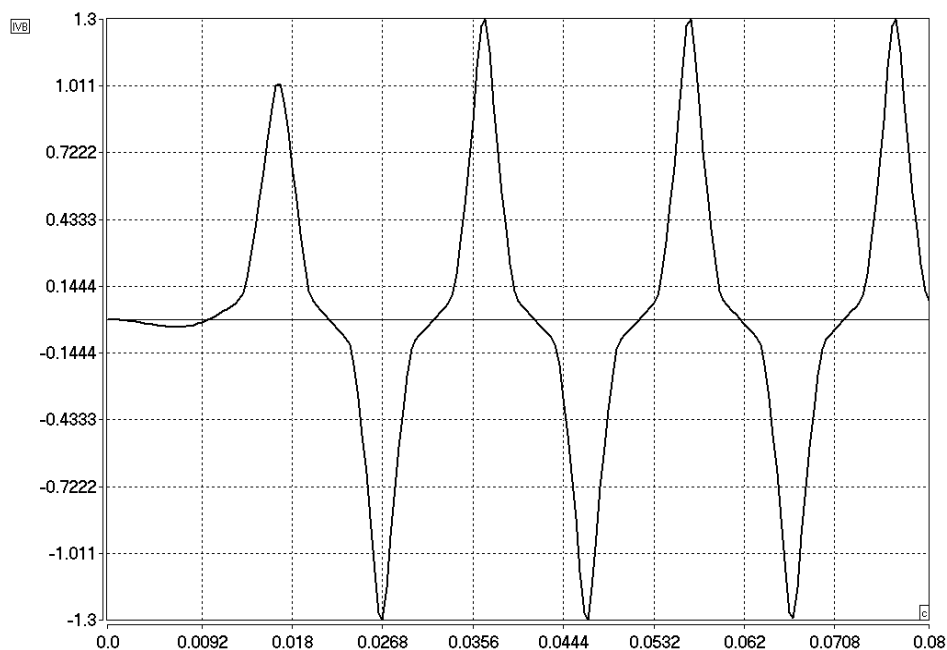


Рис. 1. Струм ненавантаженого трансформатора в усталеному режимі

Значення амплітуд гармонік струму, зображеного на рис. 1, в усталених режимах з різними значеннями напруг живлення від $0,9 U_{\text{ном.}}$ до $1,2 U_{\text{ном.}}$ відносно амплітуди першої

гармоніки наведено в табл. 1. Для порівняння точності симулювання в цій же таблиці наведено значення гармонік струму однофазного трансформатора згідно з [1].

Таблиця 1

Відносні значення амплітуд гармонік у відсотках до амплітуди струму першої гармоніки в усталеному режимі

U \ №	3	5	7	9	11
0,9 U _{НОМ}	39.2	8.8	2.5	0.8	1.2
0,95 U _{НОМ}	41.4	9.4	1.1	0.9	1.7
1,0 U _{НОМ}	45,6	13,5	3,1	3,4	2,1
1,0 U _{НОМ} згідно [1]	50	10	2	1	0,5
1,05 U _{НОМ}	52.1	20.2	7.7	4.8	1.5
1,1 U _{НОМ}	57.2	24.6	9.3	3.4	0.5
1,15 U _{НОМ}	60.1	26.2	8.4	1.3	1.6
1,2 U _{НОМ}	62.0	27.1	8.0	0.7	1.1

Для можливості перерахунків значень струмів гармонік трансформаторів різних потужностей в табл. 2 наведено амплітудні значення гармонік у відсотках до амплітуди номінального струму трансформатора. Ці ж параметри, для оцінки зміни амплітуд гармонік зображено на рис. 2, з якого слідує, що всі гармоніки зростають із зростанням напруги живлення трансформатора. До того ж третя та п'ята гармоніки зростають суттєво, інші – менш відчутно.

Таблиця 2

Відносні значення амплітуд гармонік у відсотках до амплітуди номінального струму трансформатора в усталеному режимі

U \ №	3	5	7	9	11
0,9 U _{НОМ}	0.24	0.05	0.02	0.01	0.01
0,95 U _{НОМ}	0.33	0.07	0.01	0.01	0.01
1,0 U _{НОМ}	0.48	0.14	0.03	0.04	0.02
1,05 U _{НОМ}	0.79	0.30	0.12	0.07	0.02
1,1 U _{НОМ}	1.26	0.54	0.20	0.08	0.01
1,15 U _{НОМ}	1.93	0.84	0.27	0.04	0.05
1,2 U _{НОМ}	2.82	1.23	0.37	0.03	0.05

У режимі вмикання ненавантаженого трансформатора найбільше проявляються парні та непарні гармоніки в разі комутації трансформатора у фазі $\varphi = 0^\circ$ відносно напруги. Величина струму вмикання залежить також і від напруги мережі. Методами комп'ютерного симулювання досліджувались струми вмикання на різні напруги. Форма струму вмикання та його параметри для номінальної напруги мережі зображені на рис. 3, а значення амплітуд гармонік цього струму у відсотках до амплітуди першої гармоніки наведені в табл. 3.

Для можливості перерахунку гармонік струмів вмикання стосовно трансформаторів інших потужностей в табл. 4 наведено залежності амплітуд гармонік протягом першого періоду перехідного процесу у відсотках до амплітуди номінального струму трансформатора. Залежність гармонік від напруги мережі показано також на рис. 4.

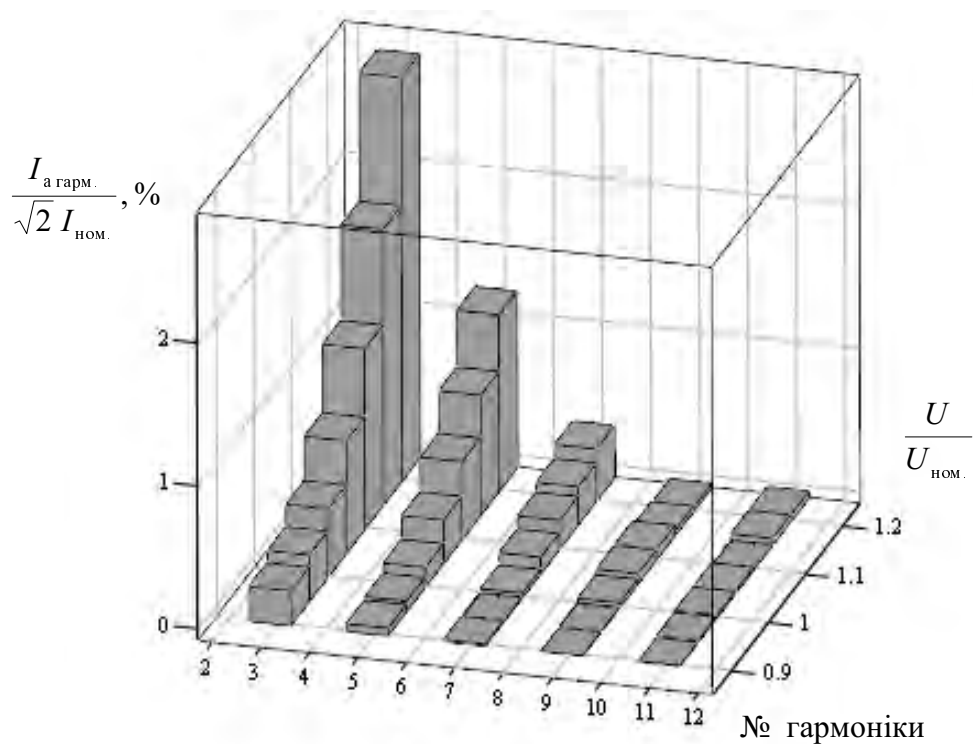


Рис. 2. Відносні значення амплітуд гармонік струму збудження трансформатора в усталеному режимі

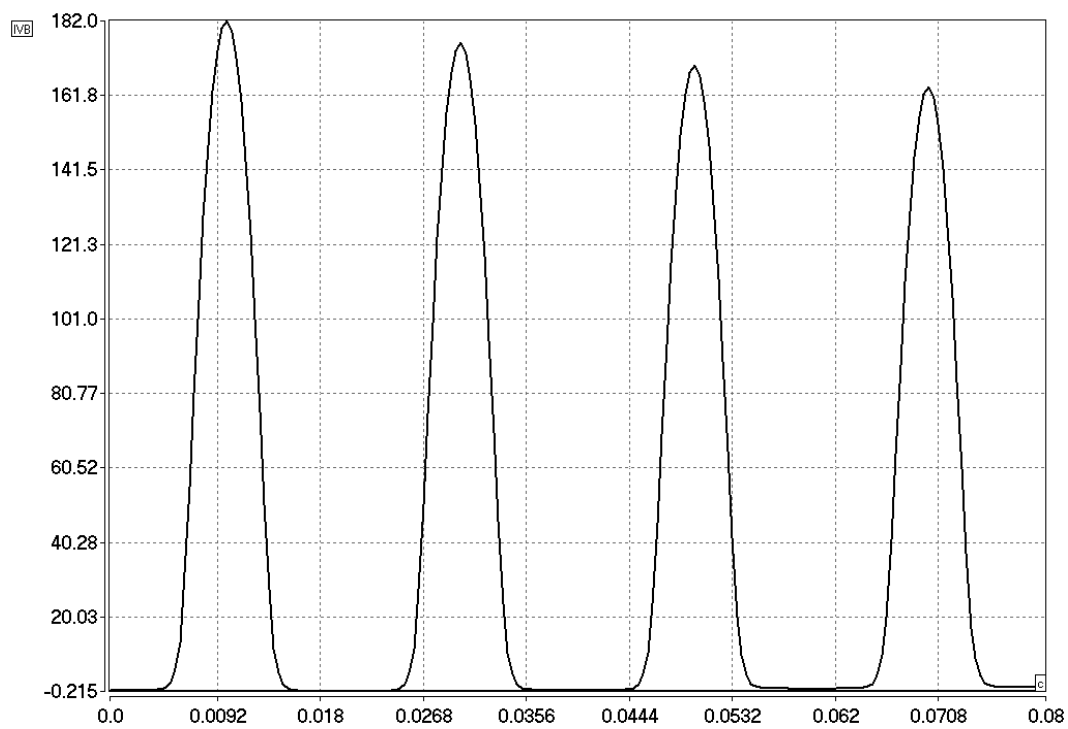


Рис. 3. Струм в перехідному режимі вмикання трансформатора на номінальну напругу

Таблиця 3

Відносні значення амплітуд гармонік у відсотках до амплітуди струму першої гармоніки в режимі вмикання трансформатора

U \ №	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,9 U _{НОМ}	64.9	28.6	4.9	3.9	3.6	0.8	0.9	0.9	0.2	0.4
0,95 U _{НОМ}	62.1	24.2	1.4	5.1	3.0	0.2	1.3	0.7	0.2	0.5
1,0 U _{НОМ}	59.0	19.7	1.8	5.6	1.9	1.1	1.2	0.02	0.6	0.3
1,05 U _{НОМ}	56.4	16.0	3.9	5.6	0.9	1.6	1.0	0.3	0.6	0.1
1,1 U _{НОМ}	53.6	12.4	5.6	5.0	0.3	1.9	0.6	0.6	0.3	0.3
1,15 U _{НОМ}	51.2	9.6	6.7	4.3	1.1	2.0	0.1	0.8	0.2	0.4
1,2 U _{НОМ}	49.0	7.1	7.3	3.4	1.8	1.7	0.4	0.8	0.1	0.4

Таблиця 4

Відносні значення амплітуд гармонік у відсотках до амплітуди номінального струму в режимі вмикання трансформатора

U \ №	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,9 U _{НОМ}	43.88	19.34	3.32	2.65	2.44	0.54	0.59	0.61	0.12	0.28
0,95 U _{НОМ}	53.73	20.93	1.19	4.44	2.57	0.21	1.14	0.58	0.19	0.43
1,0 U _{НОМ}	62.88	20.94	1.89	6.01	2.01	1.21	1.27	0.02	0.61	0.3
1,05 U _{НОМ}	71.35	20.28	4.96	7.12	1.20	2.05	1.25	0.43	0.77	0.15
1,1 U _{НОМ}	79.08	18.37	8.22	7.34	0.39	2.85	0.81	0.84	0.48	0.39
1,15 U _{НОМ}	86.31	16.18	11.26	7.26	1.89	3.34	0.17	1.39	0.36	0.72
1,2 U _{НОМ}	92.39	13.41	13.71	6.43	3.38	3.20	0.67	1.51	0.12	0.69

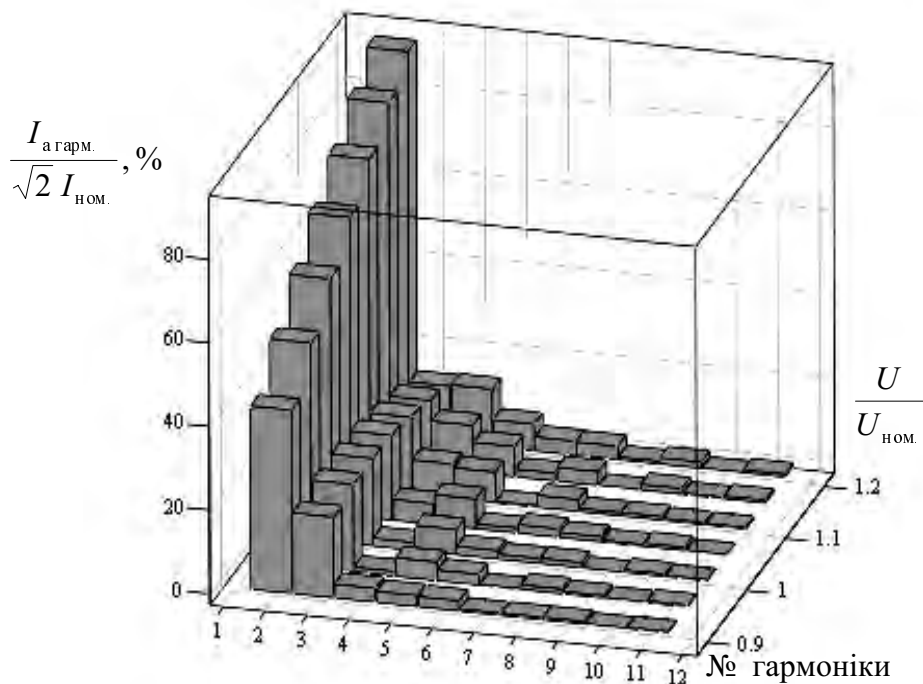


Рис. 4. Відносні значення амплітуд гармонік струму збудження трансформатора в режимі вмикання

Висновки

Методами комп'ютерного симулювання за допомогою квазіеталонних моделей трансформатора можливо з високою адекватністю обчислити гармонічний склад струмів збудження трансформатора. Отримані результати можна використовувати для трансформаторів інших потужностей, бо вони зведені до номінального струму. Гармонічний склад струму збудження трансформатора можна використовувати для обчислення розповсюдження гармонік в електричній мережі та виявляти можливі резонансні явища.

1. Васютинский С.Б. *Вопросы теории и расчета трансформаторов*. – Л., 1970. – 432 с.
2. Лейтес Л.В. *Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов*. – М., 1981. – 392 с.
3. Либкин М.С. *Высшие гармоники, генерируемые трансформаторами*. – М., 1962. – 104 с.
4. Перхач В.С. и др. *Уравнения электромагнитного состояния трансформатора с насыщенным магнитопроводом и их решение // Теоретическая электротехника*. – 1974. – Вып. 17. – С. 60–67.
5. Шелепеть Т.М. *Обчислення інтегральних параметрів електромагнетних апаратів з допомогою цифрових моделей // Технічна електродинаміка*. – 1998. – Спец. випуск. – С. 169–172.
6. Варецький Ю.О. *Вибір параметрів фільтрових реакторів // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2000. – № 400. – С. 3–10.

УДК 621.313.2:536.755

І.З. Щур, Л.Д. Костинюк, А.Р. Когут

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електропривода і автоматизації промислових установок

ЕЛЕКТРОПРИВІД ЗА СИСТЕМОЮ “ДЖЕРЕЛО СТРУМУ – ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ” ЯК ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЕНЕРГІЇ

© Щур І.З., Костинюк Л.Д., Когут А.Р., 2003

Вперше описано і досліджено електропривід з двигуном постійного струму, який живиться від джерела струму, як термодинамічний перетворювач енергії, що дало можливість отримати низку універсальних аналітичних і графічних залежностей між основними параметрами і показниками електропривода у відносних одиницях.

It is for the first time that the electric drivers with direct current motor supplying from the current sours as thermodynamic energy converters were described and researched mathematically as a result of which there appeared an opportunity to obtain a series of universal analytical and graphic dependencies between major parameters and indicators of the electric driver in relative units.

Постановка проблеми

Електроприводи постійного струму, виконані за системою “джерело струму – двигун постійного струму” (ДС-ДПС), дають можливість простими засобами по одному малопотужному каналу (обмотці збудження машини) формувати різноманітні механічні характеристики. При цьому електропривід відзначається широким діапазоном регулювання