

УДК 621.314

Мельничук Г.В., Колесник П.С.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕРІОДИЧНИХ КОНДУКТИВНИХ ЗАВАД НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМАХ З ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Анотація – розглянуто особливості роботи системи електроживлення з перетворювачами електроенергії під дією періодичних імпульсних кондуктивних завад. За допомогою математичних методів та програмного забезпечення було проаналізовано вплив зміни параметрів завад на роботу системи в цілому

Анотация – рассмотрено особенности работы системы электропитания с преобразователями электроэнергии под действием периодических импульсных кондуктивных помех. С помощью математических методов и программного обеспечения было проанализировано влияние изменения параметров помех на работу системы в целом.

Annotation – Have been considered peculiarities of the power system with power converter under the action of periodic impulse conducted emissions. With the help of mathematical methods and software have been analyzed the effects of changing parameters of the noises on the system as a whole.

Одна з ключових проблем роботи систем розсосередженої генерації з пристроями силової електроніки є нормальна робота системи під дією імпульсних періодичних завад. При роботі системи електроживлення використовуються різноманітні перетворювачі електроенергії, які є джерелом завад в мережі. Через дію завад змінюється графік навантажувальної, передаточної характеристик, коливаються діючі значення робочого струму та амплітуди. Чим більша потужність використаного перетворювача, тим більші завади він вносить в систему, тому слід більш докладно дослідити питання впливу періодичних імпульсних завад на роботу системи електроживлення.

Для моделювання роботи системи під дією таких завад розглянемо випадок дії прямокутних періодичних імпульсів зі змінною полярністю. Слід зазначити, що імпульси завад може бути довільної форми (трикутні, трапецеїдальні тощо) та періоду, тому візьмемо найпростіший для обрахування варіант періодичних прямокутних завад..

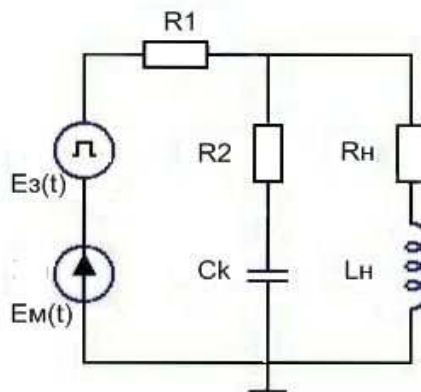


Рис 1. Модель системи живлення з генератором імпульсних завад

Вирішення проблеми нормальної роботи системи під дією періодичних завад слід розглядати на моделі генератор — ємнісний компенсатор — навантаження, що є спрощеним виглядом роботи системи електроживлення з перетворювачами електроенергії.. Використовуючи таку модель зручно прослідкувати зміни в роботі компенсатора при подачі періодичних імпульсів завад в системі, в нашому випадку – періодичних прямокутних завад зі змінною полярністю.

Проаналізуємо вплив імпульсних завад на роботу компенсатора реактивної потужності (C_k). За допомогою генератора синусоїдальної напруги мережі ($E_M(t)$) та генератора періодичних імпульсів завад ($E_3(t)$) будемо подавати живлення в систему та прямокутні завади змінної полярності. Для остаточного аналізу за допомогою методу накладання ми об'єднаємо графіки роботи двох генераторів та проаналізуємо зміни відносно системи без впливу імпульсів спотворень. Будемо мати ($E_{\Sigma}(t)$):

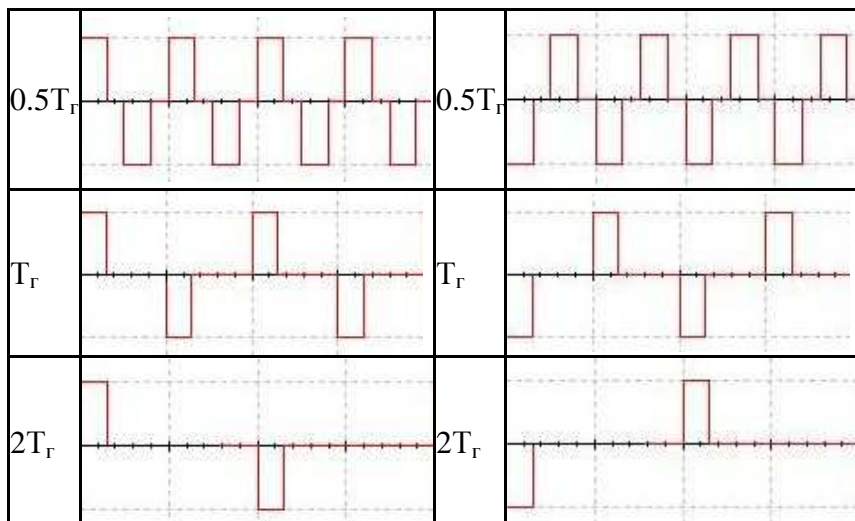
$$E_{\Sigma}(t) = E_3(t) + E_M(t)$$

Для того, щоб визначити, як впливають періодичні прямокутні завади на роботу системи електроживлення будемо змінювати параметри роботи генератора імпульсів завад ($E_3(t)$) та генератора живлення мережі ($E_M(t)$), а саме: фазу імпульсу завад (φ), тривалість імпульсу завад ($T_{имп}$), період роботи генератора завад (T_3) відносно періоду роботи генератора живлення (T_M), шпаркність (γ) та амплітуду імпульсу завад (U_3) відносно амплітуди синусоїдального генератора (U_M). Для визначення впливу завад на синусоїдальний генератор і подальшого порівняння результатів, знайдемо струм на компенсаторі (I_k) без дії імпульсів завад. Зміна заданих параметрів впливає на миттєві та діючі значення робочих струмів та напруг як у навантаженні, так і в компенсаторі, що спотворює графіки їх навантажувальних та керувальних характеристик.

Розглянемо роботу системи під час вмикання генератора періодичних прямокутних імпульсів змінної полярності. Для цього розглянемо роботу системи при трьох сталих значеннях періоду роботи генератора завад $E_3(t)$ відносно періоду роботи генератора мережевої напруги $E_M(t)$: 1) $T_3=0,5T_M$; 2) $T_3=T_M$; 3) $T_3=2T_M$ (див. таблиця 1) та трьох сталих значеннях амплітуди імпульсів завад U_3 відносно амплітуди генератора живлення U_M : 1) $U_3 = U_M$, $U_3 = 0,5U_M$, $U_3 = 1.5U_M$. Будемо брати до уваги один період роботи генератора живлення і генератора завад.

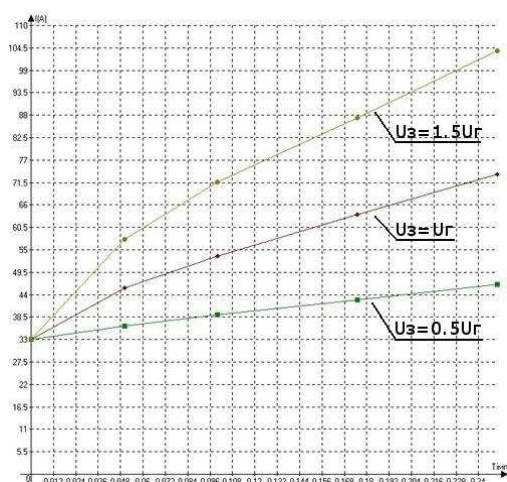
Таблиця 1

T_3		T_3	
-------	--	-------	--

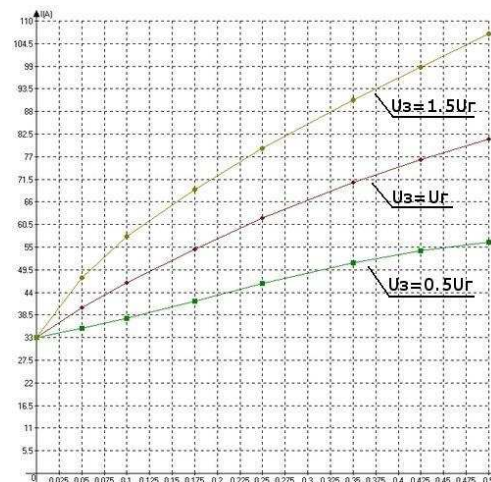


На основі вимірних даних при різних значеннях амплітуди імпульсів спотворення та періоду роботи генератора спотворення побудуємо сімейства характеристик, за якими можна спостерігати зміну струму на компенсаторі реактивної потужності при зміні описаних вище параметрів. Такий аналіз покаже, який параметр має найбільший вплив на роботу системи електроживлення під дією прямокутних періодичних завад. Загалом, отримані сімейства характеристик вказують на те, що струм на компенсаторі поступово збільшується за експоненціальним законом при збільшенні амплітуди генератора завад та при збільшенні тривалості імпульсів завад. При подальшому збільшенні періоду роботи генератора завад його вплив на роботи системи нівелюється.

За наведеними графіками (рис. 2) можна зробити висновок, що зі збільшенням тривалості імпульсу завад $T_{имп}$ пропорційно збільшується і діюче значення струму на компенсаторі. При збільшенні періоду роботи генератора завад T_z спостерігається тенденція до зменшення миттєвого значення струму на компенсаторі реактивної потужності. Зі збільшенням амплітуди імпульсів завад U_z збільшуються і діючі значення струму на компенсаторі незалежно від тривалості імпульсу завад.



а) $T_3 = 0.5T_r$



б) $T_3 = T_r$

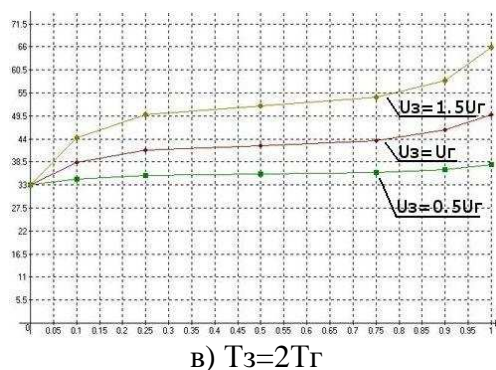
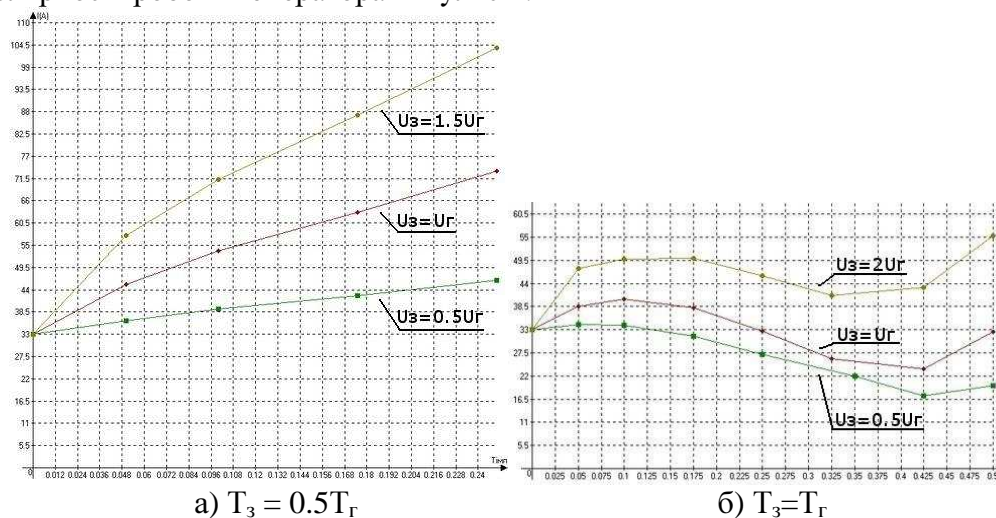


Рис. 2. $I_k = f(T_{имн})$, синфазна робота генераторів

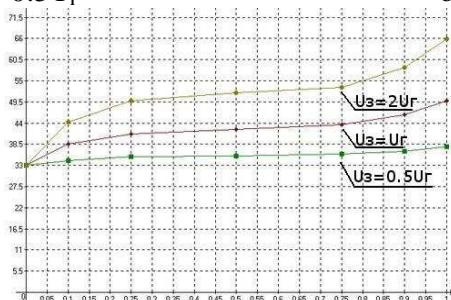
Можна зробити висновок, що залежність діючих струмів у компенсаторі має прямо пропорційний характер відносно тривалості імпульсів генератора завад $T_{имн}$ та відносно амплітуди імпульсів спотворень T_3 (при співпадінні фаз імпульсів завад та фази синусоїди живлення). Це можна пояснити збільшенням площі під графіком напруги завдяки накладанню графіка імпульсів завад на графік напруги живлення мережі.

При зміні полярності імпульсів завад спостерігаються подібні зміни в роботі системи (рис. 3), як було описано вище. Очевидна відмінність є тільки при однаковому періоді роботи генератора живлення $E_M(t)$ та генератора завад $E_3(t)$. При співпадінні фази імпульсів спотворення з синусоїдальною напругою живлення отримаємо найбільшу різницю значень струму, що на рис. 4 відображене відрізком з найбільшою різницею між графіками по значенню струму. В цілому режим роботи системи має незначні зміни відносно зміни полярності імпульсів завад і головні описані закономірності мають місце і у випадку зі зміною полярності роботи генератора імпульсів.



а) $T_3 = 0.5T_g$

б) $T_3 = T_g$



в) $T_3=2T_1$

 Рис. 3. $I_k = f(T_{imn})$, протифазна робота генераторів

Отримані графіки показують збільшення пікового імпульсного значення струму та значне спотворення графіка напруги живлення. Цього ефекту можна позбутися введення в систему фільтруючих пристроїв, які будуть фільтрувати високочастотну складову напруги живлення. Також увагу слід приділити роботі системи при рівних періодах генератора завод та генератора живлення. Значення струму в такому режимі може мати найбільш протилежне значення через спів падіння або не спів падіння фаз роботи генераторів.

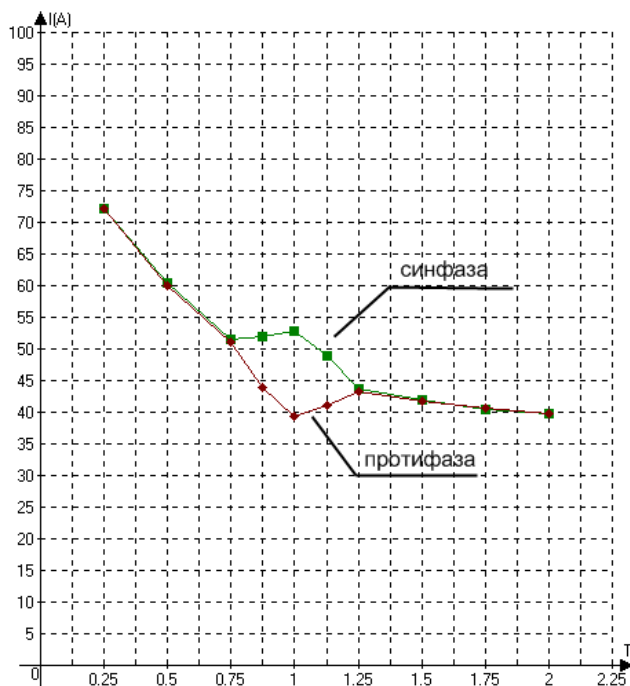


Рис. 4. Залежність діючого значення струму на компенсаторі від періоду роботи генератора завод

Одним з найбільш оптимальних шляхів розв'язання подібних задач у моделях генератор – навантаження (здійснення інженерних розрахунків при проектуванні, вибір оптимальних параметрів елементів систем з перетворювачами електроенергії, оптимізація процедур у системах керування, кількісний та якісний аналіз вихідних характеристик та проведення енергоаудиту систем з перетворювачами електроенергії тощо) є розширення використання аналізу на основі методу окремих складових.

Даний метод дозволяє формувати у аналітичній формі співвідношення між періодами функції напруги генератора T_G та функції зміни параметрів навантаження T_H , наведених у табл. 1, а також визначати аналітичний розклад сигналів струму навантаження у гармонічний спектр, аналітичні вирази активної потужності P , реактивної потужності Q , потужності Фризе Q_Φ , а також створює можливості для здійснення параметричного аналізу роботи системи з перетворювачами електроенергії при зміні початкових параметрів генератора та навантаження, зміні закону керування тощо.

Згідно метода окремих складових, оригінал струму на інтервалі $i_i(t)$ знаходиться як різниця перехідного струму $i_{pi}(t)$ (результат роботи генератора на інтервалі, який розглядається) і вільного струму $i_{vi}(t)$ (результат роботи генераторів на всіх інших інтервалах, окрім того, що розглядається):

$$i_i(t) = i_{Pi}(t) - i_{Vi}(t)$$

Розрахунок здійснюється на основі формул визначення струмів на інтервалах для різних видів функцій змін параметрів еквівалентного генератора та еквівалентного навантаження за наступними етапами:

1. Визначення початкових часових констант моделі $\{Г\}$ – $\{Н\}$.
2. Побудова графіків $U_I(t)$, $R_H(t)$, визначення періодів роботи генератора та навантаження, формування матриць моментів комутацій T_U , T_R , аналіз синхронності переключень генератора та навантаження для визначення спільних моментів комутацій.
3. Визначення початкових параметрів системи на інтервалах та представлення їх у вигляді матриць початкових параметрів напруги U_{MI} та опору R_{MI} .
4. Визначення параметрів струмів навантаження на інтервалах через матриці параметрів вільних та перехідних струмів на поточному періоді, проведення розрахунків для кожного наступного інтервалу періоду T_T .

Вирішення цієї поставленої задачі було здійснено з використанням пакету програм MOSM-1.0 на основі методу окремих складових. За основу розробки програмного модуля розрахунків електромагнітних процесів у системах з перетворювачами електроенергії з циклічно змінюваними параметрами (MOSM-1.0) обрано середовище програмування C++ Builder 6.0, яке суміщає в собі можливість роботи з будь-якими функціями на мові C++ та візуалізації розробленого коду за допомогою впроваджених засобів побудови інтерфейсу програми з мови програмування Delphi. Зазначимо, що у програмному середовищі C++ Builder існує можливість використати вже готові графічні компоненти при зміні математичної моделі алгоритму і в результаті отримати інтерактивний інтерфейс для розрахунку та аналізу виділеного режиму роботи моделей систем з перетворювачами електроенергії. При обранні лінійної функції генератора існує можливість розрахунку роботи системи під дією імпульсних періодичних завад.

Список літератури:

1. Денисюк С.П., Мельничук Г.В. Формування системи рівнянь змінних стану для розрахунку процесів у електричних колах з циклічно змінними режимами // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2005. – № 3(12). – С. 132–137.
2. Кириленко О.В., Жуйков, В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. К. «Текст», 2006, – 488 с.
3. Денисюк С.П., Мельничук Г.В., Колесник П.С. Розрахунок електромагнітних процесів у системах з перетворювачами електроенергії для технологічних систем з циклічно змінюваними параметрами // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 20010. – № 25. – С. 140–144.
4. Денисюк С.С., Сафроненко Є. Оптимізація відбору потужності та максимального струму генераторів в системі електроживлення з пристроями силової