

УДК 621.3

Г.В. Тамахін, В.Д. Дзівіцький

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ДЖЕРЕЛ ДО НЕЛІНІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

У статті досліджено проблему ефективної передачі електричної енергії від джерел електричної енергії гармонійного струму у нелінійне навантаження. Проведено аналіз явищ, що призводять до втрат енергії у разі такої передачі. Запропоновано схему компенсації енергетичних втрат при змінних параметрах номінального навантаження.

Ключові слова: передача електричної енергії, ефективність, витрата енергії, несинусоїдальні струми, устаткування компенсації.

Вступ

Проблема передачі електричної енергії при несинусоїдальних напрузі та струмі, що виникає у випадку несинусоїдального навантаження в електричній мережі, є актуальною для електротехніки. Це питання висвітлено у значній кількості публікацій, які пропонують вирішення проблеми різними шляхами.

Результати аналізу проблеми передачі електричної енергії при нелінійних навантаженнях та запропоновані схеми оптимізації передачі енергії досить ефективно розв'язують поставлене питання.

Основна частина

Проблема ефективної передачі електричної енергії від джерел електричної енергії в навантаження була актуальною у всі часи існування електротехніки як науки.

При гармонійних режимах роботи процес передачі енергії і оптимізація цього режиму обумовлювалися наявністю в електричному колі реактивної потужності та її компенсацією.

Хоча реактивна потужність не була визначеною, подібна ситуація влаштовувала електротехніків.

Аналіз процесу передачі енергії в електричних цілях ускладнювався, коли поняття реактивної потужності спробували перенести на кола з негармонічними режимами роботи. Такі режими можуть виникати в колах з кількома джерелами енергії і нелінійними навантаженнями.

Рух електричної енергії від генератора до навантаження визначається теоремою Умова-Пойнтенга [1].

$$-\oint[\vec{E} \times \vec{H}]d\vec{s} = p(t) + \frac{\partial}{\partial t}(W_E +)W_M$$

Теорема вказує двохнаправленість процесу енергопередачі: енергія може розповсюджуватися як від генератора до навантаження, так і навпаки.

Така двохнаправленість зменшує ефективність електропередачі і погіршує енергетичні показники кола.

Оптимізація такого процесу призводить до того, щоб зробити його однонаправленим.

Для оцінки ефективності енергопередачі при синусоїдальному режимі використовується ряд критеріїв:

- активна потужність P ,
- реактивна потужність Q ,
- повна потужність S ,
- коефіцієнт потужності $\cos \varphi$.

Оптимізація процесу передачі енергії при цьому відбувається до підвищення коефіцієнта потужності, що приводить до підвищення активної потужності, зменшенню втрат в лінії передачі та генераторі, збільшенню коефіцієнту корисної дії (ККД) системи електропередачі.

Відповіді на питання про оптимальність енергопередачі при негармонійному режимі неможливо, так як навіть при відсутності у колі накопичувачів енергії L і C різниця між повною потужністю S і активною Q не дорівнює нулю.

Для виправлення енергетичних співвідношень вводять додатковий критерій T , який називають потужністю «спотворень».

Співвідношення між критеріями потужностей в колі виглядає так:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + T^2.$$

Потужність спотворення розуміється як потужність, що виникає в електричних колах при неспівпаданні форм струму й напруги.

Таким чином, оптимізація режиму передачі електроенергії зводиться до забезпеченню однаковості форм струму та напруги, при цьому:

$$\frac{u(t)}{i(t)} = R,$$

де R — лінійний опір по миттєвим величинам.

Цей режим характеризується максимальною середньою потужністю, що поступає в навантаження:

$$S = U \cdot I = P$$

При дії гармонічної напруги на нелінійне навантаження у навантаженні, лінії передачі і джерелі напруги виникає не гармонійний (відмінний від синусоїдального) струм.

Форми струму та напруги періодичні та відмінні один від одного.

У спектрі струму виникають комбіновані гармоніки вищих частот, які і обумовлюють зміну форми струму.

Таким чином:

$$u(t) = U_M \cos(\omega t + \psi_u) ;$$

$$i_i(t) = I_0 + I_{M1} \cos(\omega t + \psi_{i1}) + I_{M2} \cos(2\omega t + \psi_{i2}) + \dots$$

В зв'язку з вищесказаним, будемо виходити з можливості реалізації деякого спеціального керуваного джерела, яке додатково вмикається в схему, працюючи в неоптимальному режимі.

Це джерело приводить схему в оптимальний режим роботи.

Пристрої такого виду можуть розглядатися як джерела струму та ЕРС і вмикається як паралельно, так і послідовно з нелінійним елементом. Їх число визначається якістю оптимізації і повинно характеризуватися параметром неспоживання і невіддачі енергії за період:

$$\int_0^T j(t)u(t)dt = 0 ;$$

$$\int_0^T E(t)i(t)dt = 0 ,$$

де $u(t)$ та $i(t)$ – напруга та струм оптимізуючого джерела енергії.

Таким чином, робота оптимізуючого джерела енергії полягає в перерозподілі енергії по часу – накопиченню енергії на одному інтервалі і віддача її в рівній кількості на іншому.

При нелінійному навантаженні та наявності в колі гармонічного струму схема оптимізації може мати вигляд, наведений на рис. 1.

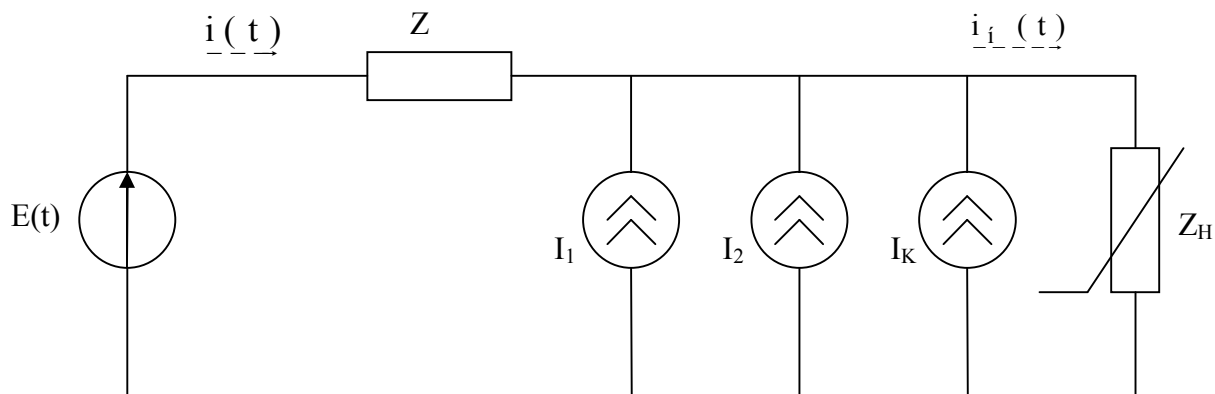


Рис. 1. Компенсатор гармонійних складових струму

У такій схемі джерела струму компенсують вплив гармонійних з частотами кратними частоті ω , присутніми в струмі нелінійного навантаження. В результаті цього $i(t)$ по формі стає близьким до $E(t)$, що сприяє оптимізації передачі енергії від джерела до навантаження. При цьому параметри джерел струму I_1, I_2, \dots, I_n повинні відповідати параметрам гармонік струму нелінійного навантаження.

Очевидно що якість оптимізації передачі електроенергії буде залежати від кількості джерел струму і від степені відповідності їх параметрів параметрам гармоні.

Параметри нелінійного навантаження, тобто параметри гармонік з часом можуть змінюватися в широких межах. Ця обставина призводить до необхідності неперервного керування оптимізуєчим

приладом таким чином, щоб утворюючи цим приладом струми компенсували гармоніки струму нелінійного пристрою у будь-який час. Таким чином, оптимізація процесу передачі електричної енергії при нелінійних навантаженнях зводиться до процесів зміни параметрів гармонік струму нелінійного елемента та налаштування компенсуючих пристроїв у відповідності з параметрами гармонік. Схема оптимізації передачі електричної енергії при нелінійних навантаженнях буде мати вигляд, наведений на рис. 2.

Вимірювач параметрів гармонік (ВПГ), використовуючи алгоритм швидкого перетворення Фур'є (БПФ) розраховує амплітуди і початкові фази гармонік струму нелінійного елемента $i_n(t)$ і формує управляючий сигнал, який подається на керуючий активний фільтр гармонік (КАФГ).

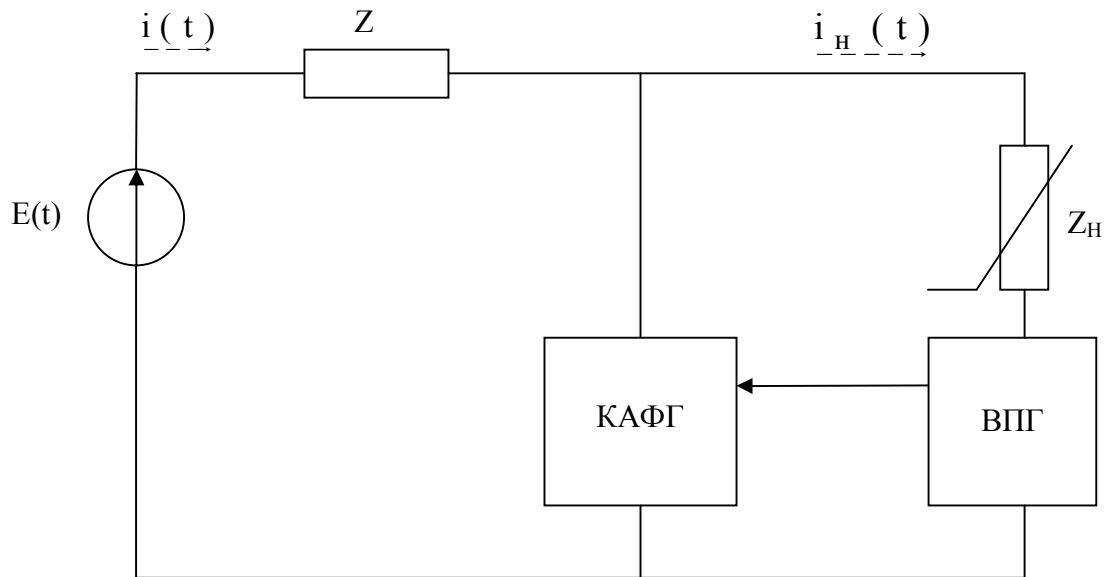


Рис. 2. Оптимізатор передачі електроенергії від джерела до нелінійного споживача

Робота цього фільтру відповідає роботі керованих джерел струму, в результаті чого форма струму $i(t)$ приблизно відповідає формі $E(t)$, тобто, виконується умова оптимізації передачі електричної енергії від джерела в нелінійне навантаження.

Висновки

Розглянуті схеми компенсації енергетичних втрат при передачі електричної енергії гармонійного струму в нелінійних навантаженнях, показують, що якість оптимізації передачі електроенергії буде залежить від кількості джерел струму і від ступеня відповідності їх параметрам гармонік.

Список літератури

1. Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники / Л.Р. Нейман, К.С. Деминчан. – Т. 1, 2. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 948 с.

2. Дрехслер Р. Коэффициент мощности и потери в сети при несимметричном и нелинейном потреблении / Р. Дрехслер // Электричество : научн. журнал. – 1982. – № 2. – С. 12 – 16.

3. Шидловський А.К. Частотно-регулируемые источники реактивной мощности / А.К. Шидловський, В.С. Федий. – К.: Наукова думка, 1980. – 304 с.

4. Солодуха Я.Ю. Реактивная мощность в сетях с несинусоидальными токами и статистические устройства для ее компенсации / Я.Ю. Солодуха. – М.: Информэлектро, 1981. – 88 с.

5. Жарков Ф.П. Оптимизация энергопередачи при несинусоидальных режимах / Ф.П. Жарков. – М.: МЭИ, 1992. – 56 с.

Надійшла до редакції 23.03.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ИСТОЧНИКА К НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКЕ

Г.В. Тамахин, В.Д. Дзивицкий

В статье исследована проблема эффективной передачи электрической энергии от источников электрической энергии гармонического тока к нелинейной нагрузке. Проведен анализ явлений, приводящих к потерям энергии в случае такой передачи. Предложена схема компенсации энергетических потерь при переменных параметрах номинальной нагрузки.

Ключевые слова: передача электрической энергии, эффективность, расход энергии, несинусоидальные токи, оборудование компенсации.

ELECTRIC POWER TRANSMISSION FROM SOURCE TO NON-LINEAR LOAD OPTIMIZING

H.V. Tamakhin, V.D. Dzivitskiy

The article studies problem of electrical energy efficient transmission from harmonic current electrical energy source to non-linear load. The analysis of events leading to loss of energy in such transfer case performed. Scheme of variable parameters nominal load energy losses compensation proposed.

Keywords: electric energy transmission, efficiency, power consumption, non-sinusoidal currents, compensation equipment.