

НВЧ-конвективне сушіння, післязбиральна обробка, динамічні властивості, ідентифікація.

The results of investigations of the dynamic properties of the grain mass at a microwave-convective drying are given. It was found that for a qualitative description of the behavior of the grain layer when the transfer function is required equation of the third degree.

Microwave-convective drying, postharvest handling, dynamic properties, identification.

УДК 621.316

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СИСТЕМИ «МЕРЕЖА-АКТИВНИЙ ФІЛЬТР ГАРМОНІК», ЯКА ВПЛИВАЄ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

**В.Я. БУНЬКО, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»**

Проаналізовано електромагнітну ситуацію системи «мережа-активний фільтр вищих гармонік», яка впливає на якість електричної енергії системи електропостачання. Проведено дослідження в області електромагнітної сумісності, які показують, що при введенні в експлуатацію та в процесі застосування технічних засобів повинно бути регламентоване дотримання вимог щодо обмеження емісії електричним обладнанням і апаратами електромагнітних перешкод у навколишнє середовище, здатних порушити функціонування іншого устаткування.

Індуктивність, вищі гармоніки, якість електричної енергії, коефіцієнт несиметрії, згладжувальний фільтр, нелінійне навантаження, пульсація напруги, активний фільтр, фільтруючий дросель.

Забезпечення необхідної якості електроенергії для приймачів – це комплекс складних завдань, які розв'язують під час проектування та експлуатації електропостачальних систем. Якість електроенергії суттєво впливає на технологічний процес виробництва та якість продукції, втрати електроенергії, параметри самої ЕПС та її режиму роботи і залежить не тільки від енергосистеми як джерела живлення, але і від споживачів, оскільки на сучасних підприємствах є значна кількість особливих електроприймачів, які негативно впливають на якість електроенергії. Наявність у системах електропостачання потужних дугових електропечей, регульованих вентильних перетворювачів та інших електроприймачів і споживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками та приймачів із різкозмінним навантаженням створюють проблеми, пов'язані з їхньою електромагнітною

© В.Я. БУНЬКО, 2015

сумісністю з ЕПС. Успішне вирішення цих проблем забезпечує раціональну роботу як таких приймачів, так і всіх інших, приєднаних до тієї самої системи (освітлення, електродвигуни тощо).

Питання щодо поліпшення якості електроенергії актуальні не тільки в Україні, але і за кордоном. Показники якості електроенергії визначають за стандартами та нормами. Розробка норм і стандартів є складною проблемою. Ця робота проводиться постійно в багатьох країнах світу та міжнародних галузевих організаціях. Останнім часом міжнародними організаціями прийнято низку нормативних документів, в основу яких покладено стандарти провідних країн світу. Так, Європейським комітетом нормалізації в галузі електротехніки у 1994 р. було прийнято та розроблено багато стандартів, якими нормують показники якості електроенергії в різних мережах, зокрема і промислових, та визначають умови приєднання споживачів до мереж.

Питанню покращення якості електричної енергії присвячені роботи як українських, так і зарубіжних науковців та вчених [1,3,6]. Про це свідчать наукові конференції, присвячені питанню електромагнітної сумісності та якості електроенергії: CIGRE (Міжнародна конференція по великих електричних системах), CIRED (Міжнародна конференція з систем розподілу електроенергії) та ін.

Мета досліджень – аналіз електромагнітної ситуації системи «мережа-активний фільтр вищих гармонік», яка впливає на якість електричної енергії систем електропостачання.

Матеріали та методика досліджень. Проаналізовано системи електромагнітної сумісності «мережа-активний фільтр гармонік», стан якості електричної енергії в системах електропостачання, а також розглянуто наслідки, які викликані погіршенням якості електроенергії, при чому особливу увагу приділено вищим гармонікам складових струму і напруги, як найскладнішому для інженерної оцінки фактору.

Результати досліджень. Проведені дослідження в області електромагнітної сумісності показують, що при введенні в експлуатацію та процесі застосування технічних засобів повинно бути регламентоване дотримання двох вимог:

- обмеження емісії електричним устаткуванням і апаратами електромагнітних перешкод у навколишнє середовище, здатних порушити функціонування іншого устаткування;
- забезпечення усталеної роботи електричного устаткування та апаратів при впливі зовнішніх перешкод штучного і природного походження.

Електромагнітна емісія від технічних засобів призводить до «забруднення» навколишнього середовища польовими та кондуктивними електромагнітними перешкодами, здатними порушити нормальне функціонування інших технічних засобів, іноді може вплинути на людину.

Порушення нормальної роботи технічних засобів при впливі на них електромагнітних перешкод в умовах експлуатації може мати різні наслідки: перешкоди в роботі побутової радіоелектронної апаратури, можливі відмови в роботі систем керування технологічними процесами,

які можуть призвести до браку продукції і виникненню небезпеки для життя та здоров'я людей, заподіяння шкоди майну і навколишньому середовищу. Технічне регулювання в області електромагнітної сумісності має на меті виключити або обмежити зазначені наслідки.

При здійсненні технічного регулювання в області електромагнітної сумісності повинно враховуватися те, що існуючі проблеми у всіх розвинених країнах загострюються. Загострення проблем електромагнітної сумісності пов'язано із широким впровадженням мікроелектроніки, обчислювальної техніки та засобів радіозв'язку, що призводить до підвищення електромагнітної сприйнятливості технічних засобів і до більшої залежності якості їхнього функціонування від електромагнітних перешкод у навколишній електромагнітній обстановці. Тому, технічне регулювання в області електромагнітної сумісності є необхідною умовою існування і стійкого розвитку сучасного суспільства.

На рис.1 наведено спрощену еквівалентну схему поширення кондуктивних перешкод у системі «мережа електроживлення – активний фільтр гармонік – навантаження». На схемі суцільними лініями показано шляхи поширення несиметричних перешкод, а пунктирними – симетричних. Також умовно зображено напрямки поширення перешкод з боку мережі електроживлення і напрямку поширення перешкод, створювані самим активним фільтром гармонік. Джерела перешкод позначені так: $\Gamma_{пс}$ – генератор перешкод з боку мережі електроживлення, $\Gamma_{п-АФГ}$ – активний фільтр гармонік як генератор перешкод.

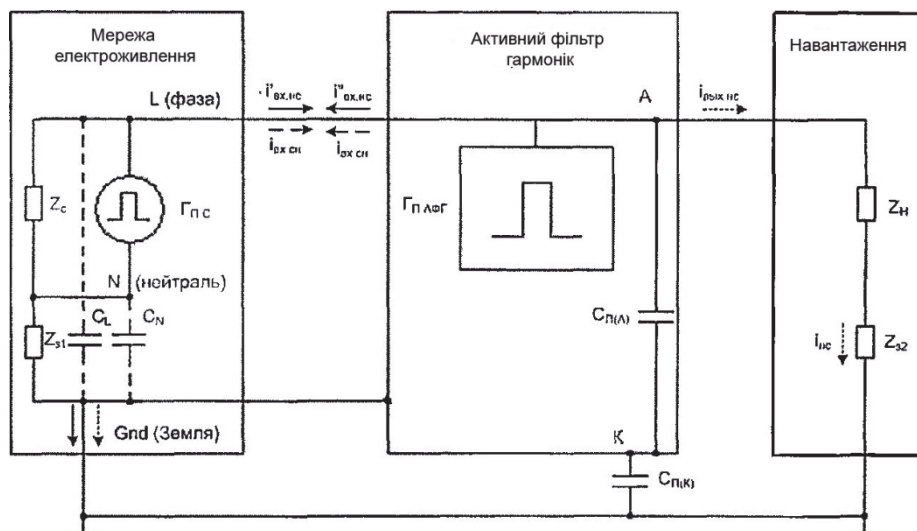


Рис. 1. Спрощена еквівалентна схема поширення кондуктивних перешкод в системі «мережа електроживлення – активний фільтр гармонік – навантаження»

На схемі прийняті такі позначення: Z_c , Z_n – опір мережі навантаження відповідно; $Z_{з1}$, $Z_{з2}$ – опір провідників заземлення нейтралі та одного (наприклад, від'ємного) полюса навантаження; $C_{п(А)}$, $C_{п(В)}$, $C_{п(К)}$ – паразитні ємності вихідних полюсів (затискачів) активного фільтра відносно корпусу і корпусу відносно «землі» [3,4,5].

Несиметричні перешкоди замикаються на «землю» через струмоведучі кола і відповідні паразитні ємності. Слід зауважити, що величина (амплітуда) струмів несиметричних перешкод залежить як від амплітуди сигналів перешкод, так і від величини паразитних зв'язків із шиною заземлення.

Активні фільтри гармонік дуже небезпечні через генерацію високочастотних електромагнітних шумів, обумовлених наявністю в конструкції фільтра силових перетворювачів з швидкозмінними напругою і струмом. Оскільки удосконалення силової частини активного фільтра призвело до збільшення частоти перемикавання, то вимоги до зниження електромагнітних шумів тільки підсилюються. Таким чином, вимоги щодо електромагнітної сумісності активного фільтра гармонік як технічного засобу є головними.

Основні принципи, які викликають електромагнітні шуми, відносно прості. Суттєво те, що задача потребує розпізнавання полів, викликаних швидкозмінними струмом і напругою. В той час як ці характеристики кількісно описані рівнянням Максвелла, необхідно зазначити, що шум може бути викликаний взаємним впливом елементів схеми за допомогою магнітних або електричних полів [4].

Відповідно до закону електромагнітної індукції магнітне поле змушує струм, який змінюється в одному провіднику викликати напругу в другому відповідно:

$$e = -M \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

де M – взаємна індуктивність між джерелом і приймачем, Гн.

Точно так напруга, яка змінюється, змушує електричне поле на поверхні збуджувати протікання струму в другому провіднику:

$$i = C \frac{du}{dt}, \quad (2)$$

де C – ємність між джерелом і приймачем, Ф.

Рівняння (1) і (2) свідчать про це, що там, де є швидкозмінюючі струми, наприклад у провідниках, ввімкнених послідовно із силовими ключами активного фільтра, можна очікувати генерування напруги в інших провідниках, пов'язаних взаємною індукцією. І там, де є високі значення $\frac{du}{dt}$, як на виводах потужних перемикаючих IGBT – транзисторів, інша паразитна ємність може викликати струм в іншій лінії.

Найпростішим і, як наслідок, поширеним способом обмеження рівня генеруючих активним фільтром гармонік перешкод є застосування на виході силової частини фільтрів різних згладжувальних фільтрів (рис. 2), принцип дії яких базується на тому, що для вищих гармонік напруги індуктивність являє собою більший опір, а ємність – менший. В результаті вищі гармоніки послаблюються в більшій мірі, як перша (основна) гармоніка. Звідси й істотний недолік одноланкового фільтра: він послаблює не тільки вищі гармоніки, але і першу. Цей недолік усунений у фільтрі, основними ланками якого є послідовне $L1C1$ – і паралельне $L2C2$ – кола. Враховуючи елементи фільтра ідеальними, тобто такими, які не

мають активних втрат, при точному дотриманні умов резонансу можна вважати, що сигнал із силовою частиною активного фільтра подається в навантаження без спотворень [4,5].

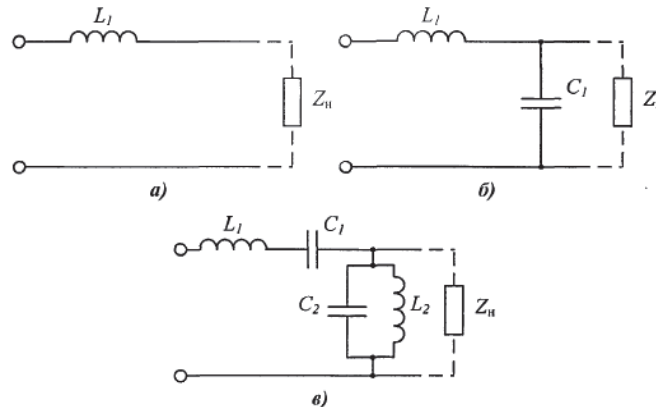


Рис.2. Схеми згладжувальних фільтрів:

а – лінійний дросель; б – одноланковий; в – подібний фільтр;
г – дволанковий; г – подібний фільтр

Генерація потужності спотворень активним фільтром гармонік спрямована на компенсацію вищих гармонік струму навантаження, викликає пульсації напруги на накопичувальному конденсаторі. Оскільки допустимий рівень змінної складової напруги на електролітичних конденсаторах знижується зі зростанням частоти, то необхідна перевірка за рівнем пульсації на кожній фільтруючій частоті.

Найхарактернішим нелінійним навантаженням для сучасних систем електропостачання побутового та офісного типу малої потужності є випрямляч з ємнісним фільтром. Для такого електроприймача вид споживаного струму наведено на рис. 3.

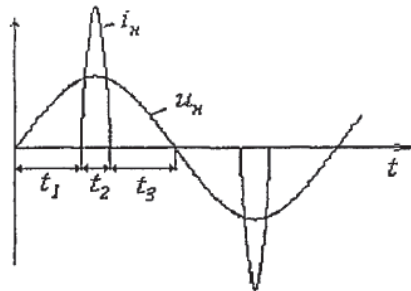


Рис.3. Криві струму і напруги при навантаженні у вигляді випрямляча з ємнісним фільтром

Протягом часу t_1 навантаження не споживає енергії і надлишок енергії мережі компенсується збільшенням напруги на накопичувальному конденсаторі. В нормальному режимі потужність мережі рівна потужності навантаження, за час t_2 навантаженням споживається енергія, рівна енергії мережі за півперіоду, що викликає зменшення напруги конденсатора. Протягом часу t_3 відбувається підвищення напруги накопичувального конденсатора.

Таким чином, у нормальному режимі відбувається коливання напруги конденсатора відносно середнього значення.

Приблизна оцінка коливання напруги на накопичувальному конденсаторі дозволяє зробити висновок про те, що $t_2 < t_1, t_3$, тоді різниця енергії конденсатора при коливанні напруги на ньому за півперіод рівна:

$$\frac{C_d (U_{c_{d \text{ роб}}} + \Delta U_{c_{d n}})^2}{2} - \frac{C_d (U_{c_{d \text{ роб}}} - \Delta U_{c_{d n}})^2}{2} = \frac{P_n T}{2}, \quad (3)$$

де $U_{c_{d \text{ роб}}}$ – номінальна робоча напруга на накопичувальному конденсаторі, В; $\Delta U_{c_{d n}}$ – допустимий рівень пульсації, В; C_d – ємність накопичувального конденсатора, Ф; P_n – активна потужність навантаження, Вт.

Звідси отримаємо:

$$\Delta U_{c_{d n}} \leq \frac{P_n T}{4 C_d U_{c_{d \text{ роб}}}}. \quad (4)$$

Залежність дозволяє оцінити рівень пульсації, викликані навантаженням у вигляді випрямляча з С – фільтром.

Індуктивність згладжувального фільтра розраховується, виходячи із таких міркувань: спектральний склад струму активного фільтра може бути різним, оскільки він визначається спектральним складом струму навантаження. Тому, при розрахунку індуктивності згладжувального фільтра необхідно враховувати найгірший випадок розподілення вищих гармонік струму, при якому напруга на дроселі максимальна [4].

Напруга на виході перетворювача активного фільтра не повинна перевищувати номінальної робочої напруги накопичувального конденсатора:

$$\frac{U_{c_{d \text{ роб}}}}{m (U_{\text{ном.мер.}} + U_{L1} + \sum_{n=2}^N U_{Ln})} \geq 1, \quad (5)$$

де $U_{\text{ном.мер.}}$ – номінальна напруга мережі, В; U_{L1} і U_{Ln} – відповідно напруга на фільтруючому дроселі на основній частоті і на вищих гармоніках струму активного фільтра, В.

Оскільки фільтруючий дросель повинен забезпечувати фільтрацію модуляційної складової струму фільтра гармонік, який негативно впливає на мережі, то значення коефіцієнта спотворення можна визначити за формулою:

$$K_{\text{мод}} = \frac{I_{\text{мод}}}{I_{\text{мер}}}, \quad (6)$$

де $I_{\text{мод}}$ і $I_{\text{мер}}$ – дійсні значення гармоніки струму на частоті модуляції і струму мережі відповідно, А.

Дійсні значення гармоніки струму на частоті модуляції:

$$I_{\text{мод}} = \frac{U_{c_{d \text{ роб}}} K_M}{\sqrt{2} \omega_{\text{мод}} L}, \quad (7)$$

де $\omega_{\text{мод}} = 2\pi f_{\text{мод}}$, K_M – коефіцієнт послаблення амплітуди гармоніки напруги перетворювача на частоті модуляції відносно робочої напруги накопичувального конденсатора.

Підставимо рівняння (7) у (6) і, спростивши відносно L , одержимо:

$$L = \frac{U_{сд\text{ рсб}} K_M}{\sqrt{2} \omega_{\text{мод}} K_{\text{мод}} I_{\text{мер}}}. \quad (8)$$

Отримане значення індуктивності згладжувального фільтра повинно задовольняти вимоги рівняння (5). Скоректувати значення індуктивності можна двома способами: або підвищенням частоти модуляції, або зниженням якості фільтрації модуляційної складової.

Висновки. Проаналізувавши роботу віртуальної моделі трифазного активного фільтра можна зробити висновок про коректну та ефективну роботу цього пристрою у всіх змодельованих режимах. Якість компенсації вищих гармонік задовольняє вимоги ГОСТ 13109-97. Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги після ввімкнення активного фільтра гармонік знижується в середньому в 12 разів, що свідчать про ефективність цієї системи з використанням активних фільтрів.

Список літератури

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 186 с.
2. Иванова Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. транспорта, 2006. – 432 с.
3. Люtareвич А.Г. Анализ электромагнитной обстановки в системе «сеть — активный фильтр гармоник» / А.Г. Люtareвич // Омский научный вестник. — 2009. — №2 (80). — С. 171–173.
4. Наумов И.В. Качество электрической энергии в сельских сетях 0,38 кВ / И.В. Наумов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2002. — № 3. — С. 19–20.
5. Шрейнер Р.Т. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода / Р.Т. Шрейнер, А.А. Ефимов // Электричество. — 2000. — № 3. — С. 46–54.
6. Эраносян С. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания. Ч.1 / С. Эраносян, В. Ланцов // Силовая электроника. — 2006. — №4. — С. 58–64.

Проанализирована электромагнитная ситуация системы «сеть-активный фильтр высших гармоник», которая влияет на качество электрической энергии системы электроснабжения. Проведены исследования в области электромагнитной совместимости, которые показывают, что при введении в эксплуатацию и процессе применения технических средств должно быть регламентировано соблюдение требований по ограничению эмиссии электрическим оборудованием и аппаратами электромагнитных помех в окружающую среду, способных нарушить функционирование другого оборудования.

Индуктивность, высшие гармоники, качество электрической энергии, коэффициент несимметрии, сглаживающий фильтр, нелинейная нагрузка, пульсация напряжения, активный фильтр, фильтрующий дроссель.

It is studied analysis of electromagnetic system " network - active filter of higher harmonics" which influences quality of electric energy of supply system. It is conducted researches in field of electromagnetic compatibility showing that at introduction to operation and in course of application of technical means has to be regulated by requirements to issue restriction with electric equipment and devices of electromagnetic hindrances in environment capable to break functioning of other equipment.

Inductance, higher harmonics, quality of electric energy, asymmetry coefficient, smoothing filter, nonlinear load, voltage tension, active filter, filter throttle.

УДК 621.3:636.5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УГЛОМ НАКЛОНА НЕПОДВИЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И ВЗВЕШИВАНИЯ СЫПУЧЕЙ КОРМОВОЙ СМЕСИ В ПОТОКЕ

***А.В. ДУБРОВИН, доктор технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Предложен принцип технологически наилучшего автоматического управления углом наклона неподвижной поверхности скольжения и качения по ней частичек взвешиваемой сыпучей кормовой смеси для животных и птицы. В соответствующем устройстве отсутствует традиционный электропривод для перемещения смеси в горизонтальной плоскости, в результате чего экономится электрическая энергия при сохранении в целом точности процесса взвешивания и производительности измерителя массы сыпучей смеси в потоке.

Угол наклона поверхности движения, сыпучая смесь, взвешивание в потоке.

Известные устройства высокоточного взвешивания сыпучих материалов в потоке на движущейся в горизонтальной плоскости ленте транспортёра [1, 2 и др.] традиционно используют искусственный источник энергии, как правило, электричество. Вынуждается применение достаточно мощного электропривода, существенно усложняющего и удорожающего конструкцию устройства и увеличивающего эксплуатационные энергетические затраты при работе устройства.

Существуют многочисленные математические модели, алгоритмы расчёта и управления, технические решения достаточно точного измерения массового расхода и дозирования сыпучих материалов [1, 2 и др.]. Все они предполагают горизонтальное расположение в пространстве весоизмерительной поверхности для наиболее полного учёта вертикально

© А.В. ДУБРОВИН, 2015