DOI: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-21-25

УДК 621.314

СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ

Бєлоха Г.С., Шевченко І.С.

FREQUENCY CONVERTER IN THE SYSTEM ENERGY GENERATION WIND TURBINES

Bielokha H.S., Shevchenko I.S.

Сучасний регульований електропривод як постійного так і змінного струмів має у своєму складі перетворювачі, які є нелінійним, вони спотворюють криву вхідного струму, що є неприпустимим з точку зору якості електроенергії. Застосування силових активних фільтрів дозволяє формувати в мережі живлення струм синусоїдальної форми, при цьому не має потреби змінювати існуючу систему електропривода. Силовий активний фільтр під'єднаний до мережі та навантаження паралельно. Схема запропонованого фільтру складається з трифазного моста на повністю керованих транзисторах з зворотними діодами. На його виході конденсатор. Система керування вентилями фільтру релейна. У статті розглянуто систему керування активним фільтром незалежно від навантаження та принципи формування струму споживаного з мережі: регулювання за відхиленням, таке регулювання найбільш бажане в тих системах керування електроприводом в яких неможливо або важко технічно здійснювати вимірювання струму та напруги якірної обмотки двигунів постійного струму або статорної обмотки асинхронних двигунів; регулювання за збуренням, для більш точного регулювання, та комбіноване регулювання. За допомогою цифрового моделювання в програмі Matlab проведено дослідження принципів формування завдання на струм мережі живлення та виконаний аналіз струмів на вміст гармонік струму споживаного з мережі та струму споживаного нелінійним навантаженням. Отримані осцилограми підтверджують працездатність силового активного фільтру, струм споживаний з мережі синусоїдальний та синфазний напруги живлення. Гармонійний аналіз для різних значень потужності показав, що запропонований силовий активний фільтр гармонік забезпечує високу якість споживаного струму мережі, показники якості задовольняють умовам представлених у міжнародних стандартах на якість електроенергії (THD<5%).

Ключові слова: *силовий активний фільтр, релейне керування, електропривод*

Вступ. Згідно з вимогами пред'явленими до якості електроенергії всі показники якості повинні перебувати в межах, обумовлених в державних та міжнародних стандартах [1,2].

Проблема якості електроенергії тісно пов'язана з надійністю і довговічністю різного роду навантаження.

Характерною особливістю систем електропостачання сучасних великих промислових підприємств є велика питома вага навантажень, вольт-амперна характеристика яких нелінійна.

До нелінійних навантажень відносяться вентильні перетворювачі, установки електрозварювання, електродугові печі, газорозрядні лампи і силові трансформатори.

Нелінійне навантаження споживає з мережі несинусоїдальний струм, який призводить до спотворення кривої напруги живлення та впливає на роботу під'єднаних до неї споживачів. Разом з цим, нелінійне навантаження промислових підприємств є споживачем реактивної потужності.

Сучасний регульований електропривод змінних та постійних струмів неможливо уявити без одного з основних його елементів - силового напівпровідникового перетворювача, який забезпечує формування та регулювання напруги або струму електродвигунів.

Протягом досить тривалого періоду часу в якості трифазних перетворювачів застосовувалися або некерований діодний випрямляч, або тиристорний перетворювач.

Існує декілька рішень для обмеження поширення і впливу гармонік в електричних мережах: використання пасивних фільтруючих пристроїв, використання активних фільтруючих пристроїв, використання активних випрямлячів для корекції коефіцієнта потужності мережі.

Якщо з різних міркувань небажано змінювати систему електропривода, то найкращим рішення э використання силових активних фільтрів [3,4].

Мета роботи – дослідження роботи активного силового паралельного фільтру з релейною систе-

мою керування, та способи регулювання та формування струму мережі в системах керування електроприводом.

Матеріали досліджень. Функціональна схема запропоновано активного силового паралельного фільтру [5] з навантаженням у вигляді трифазного некерованого випрямляча представлена на рисунку 1. Навантаження RL імітує якірний ланцюг електропривода постійного струму.

Для підключення та роботи активного фільтра необхідно в існуючу систему електропривода вводити датчики струму та напруги якірної обмотки, якщо вони не були передбачені в системі керування.

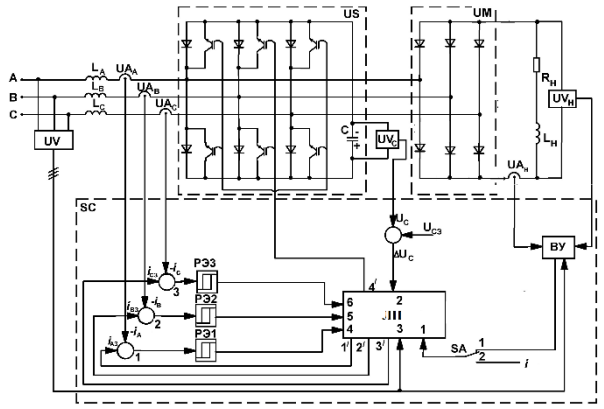


Рис. 1. Функціональна схема

До складу трифазної системи входить паралельний активний фільтр (ПАФ) (на схемі US), виконаний за трифазною мостовою схемою на IGBT - транзисторах і підключений до мережі через формуючі дроселі L_A, L_B, L_C і датчики споживаних з мережі струмів UA_A, UA_B, UA_C, випрямляч UM, виконаний за трифазною мостовою схемою, датчик напруги на конденсаторі UV_C, блок датчиків напруги мережі UV, датчик напруги UVн на навантаженні і система управління SC. Система управління забезпечує формування, споживаних з мережі, струмів синусоїдальної форми.

Система керування релейна, завдяки такому принципу управління досягається мала чутливість джерела до дії різних збурень, а також гранична швидкодію у відпрацюванні заданих сигналів.

Принцип роботи пристрою можна пояснити, розглядаючи незалежно два контури: контур відпрацювання заданих синусоїдальних струмів $i_{Аз}$, $i_{Вз}$, $i_{Сз}$, споживаних з мережі, та контур навантаження.

Перед початком роботи необхідно, щоб конденсатор ПАФ був заряджений до напруги $U_C > U_{мл}$, де $U_{мл}$ - амплітудне лінійна напруга мережі живлення. Попередній заряд конденсатора С проводиться при відключенні випрямляча UM. Логічне пристрій, при цьому, задає амплітуду фазних струмів, які споживаються з мережі. При досягненні заданої напруги $U_{Сз}$ на конденсаторі С, логічний пристрій забезпечує відключення зарядного пристрою.

Для забезпечення працездатності двох контурів необхідно, щоб виконувався баланс потужностей: споживаної потужності з мережі $P_с$ і потужності навантаження $P_н$:

$$P_с = kP_н,$$

де k - коефіцієнт, що враховує втрати в активному фільтрі.

Забезпечення балансу потужностей здійснюється відповідним завданням амплітуди $I_{mз}$ фазних струмів, які споживаються з мережі, тобто регулюванням $P_с$. Слід також зазначити, що якщо не виконується баланс потужностей, то напруга на конденсаторі буде змінюватися (зменшуватися або збільшуватися) в залежності від знака розбалансу потужності. Тому в даному пристрої можливі (забезпечуються логічним пристроєм) такі варіанти формування величини амплітуди заданих фазних струмів, які споживаються з мережі:

- з умови відхилення напруги на конденсаторі ПАФ від заданого значення (регулювання по відхиленню, ключ SA в положення 2), таке регулювання найбільш бажане в тих системах керування електроприводом в яких неможливо або важко технічно здійснювати вимірювати струм та напругу якірної обмотку для двигунів постійного струму або статорної обмотки асинхронних двигунів (рис. 2а); визначається відхилення ΔU_C, яке надходить на вхід логічного пристрою (регулятор напруги конденсатора), на виході якого формується сигнал пропорційний необхідної амплітуді $I_{mз}$.

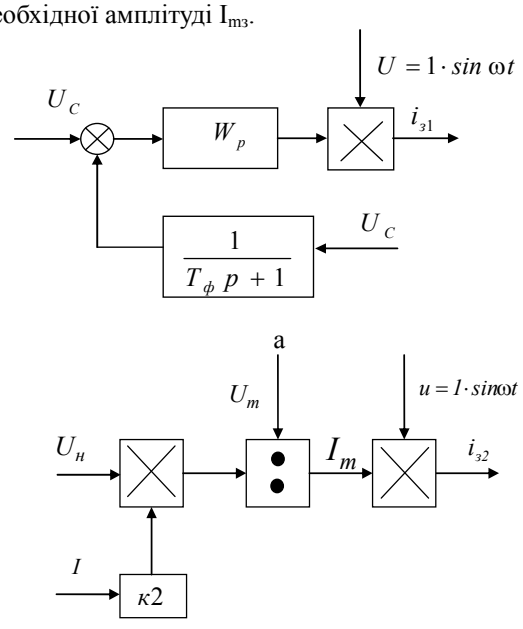


Рис. 2. Структурні схеми формування $i_з$ по відхиленню (а) U_C від середнього заданого значення і з обчисленням $I_{зт}$ (б) за умови виконання балансу потужності

- з умови забезпечення рівності $P_с = kP_н$ (регулювання по збуренню потужності навантаження, ключ SA в положення 1) (рис. 2.б); в обчислюваль-

ному пристрої обчислюється потужність на навантаженні (обурення) за сигналами, що надходять з датчиків UA_H струму навантаження і датчика UVн напруги на навантаженні, а потім визначається амплітуда струмів споживаних з мережі.

- одночасним забезпеченням першого і другого умов (регулювання по відхиленню і збуренню).

При одночасному регулюванні (формуванні) $i_з$ по відхиленню і обуренню струм визначається

$$i_з = \alpha_1 i_{з1} + \alpha_2 i_{з2}$$

де α1 и α2 – вагові коефіцієнти за відповідним контуром регулювання.

Сигнали з блоку датчиків напруги UV надходять на третій вхід ЛП. З цих сигналів формуються сигнали синусоїдальної форми одиничної амплітуди, що збігаються по фазі з фазними напругами мережі. Сигнал різниці між сигналом завдання на величину напруги на конденсаторі $U_{Cз}$ і фактичним напругою U_C надходить на сьомий вхід ЛП. Залежно від того з яким знаком буде цей сигнал він буде додаватися до сигналу $I_{нз}$ або відніматися, збільшуючи або зменшуючи його.

В результаті сигнали, що надходять з першого, другого і третього виходів ЛП, будуть пропорційні струмів завдання $i_{Aз}$, $i_{Bз}$, $i_{Cз}$, які повинні споживатися з мережі, і будуть також збільшуватися (якщо потужність на вході джерела P_c буде менше, ніж вимагає навантаження $P_н$) або зменшуватися, якщо Pc> $P_н$. Зміна струмів $i_{Aз}$, $i_{Bз}$, $i_{Cз}$ припиниться як тільки настане рівність $P_c = P_н$.

Примусове формування струмів синусоїдальної форми, споживаних з мережі, відбувається таким чином. Розглянемо на прикладі однієї з фаз (наприклад, фази А). Як тільки дійсний струм в дроселі L_A стане менше, ніж заданий струм $i_{Aз}$, на виході сумматора 2 з'явиться позитивний сигнал помилки. Якщо він перевищує ширину петлі гістерезису релейного елемента РЕ1, то останній переключається і на виході (4 /) ЛП з'являються імпульси які відкриють IGBT - транзистори ПАФ (US). Конденсатор С при цьому з'єднується послідовно з дроселем L~~A~~ так, що під дією напруги U_C струм в дроселі починає збільшуватися. Як тільки дійсний струм перевищить заданий струм $i_{Aз}$ на величину ширини петлі гістерезису РЕ1, останній знову переключиться і на виході (4 /) ЛУ з'являться імпульси, які закриють проводили струм IGBT - транзистори. В результаті напруга конденсатора включається в ланцюг дроселя L_A зустрічно струму в ньому, що призводить до його зменшення і т.д. Коливання струму i_A відбуваються щодо синусоїди струму $i_{Aз}$. Аналогічні процеси формування струмів відбувається в фазах В і С.

Результати досліджень. На цифровій моделі у Matlab було проведено моделювання.

Отримані результати у вигляді осцилограм представлені на рис. 3 при комбінованому регулюванні. На ньому представлено струми ПАФ, навантаження та мережі живлення.

На рисунку 4 представлені фазні струми та напруга мережі при різних видах регулювання. Також представлена напруга конденсаторів..

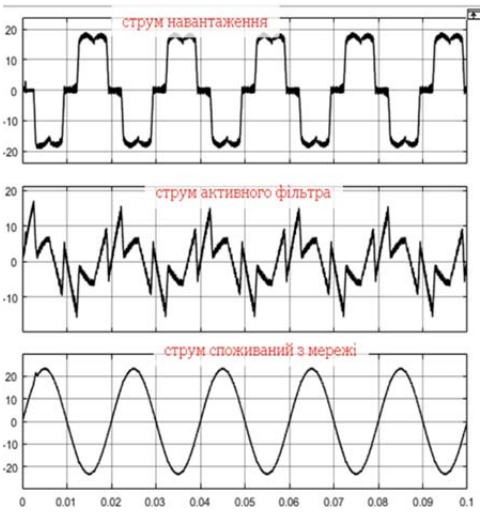


Рис. 3. Струми САФ, навантаження та мережі живлення ($P_н$=3кВт)

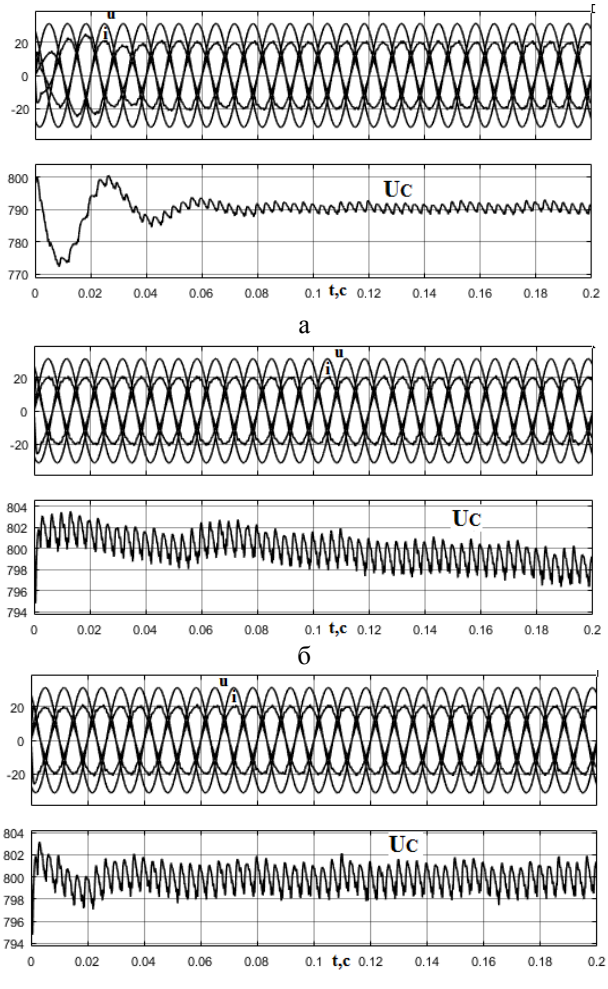
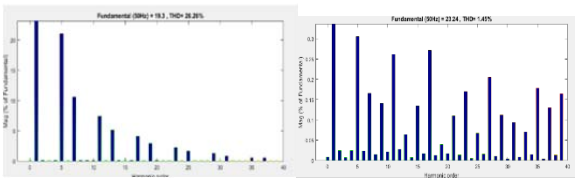


Рис. 4. Робота системи з регулювання по відхиленню (а), по збуренню (б) та комбінована (в)

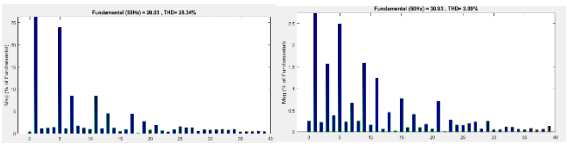
У випадку регулювання по відхиленню струм мережі має більш довший перехідний процес з встановлення струму мережі і є ймовірність при більших зміненнях навантаження, напруга конденсатора зменшиться нижче амплітудного значення напруги мережі, та зірветься релейний режим. Регулювання по збуренню дає найменші значення тривалості перехідного процесу, але через те що втрати в перетворювачі враховуються постійним коефіцієнтом можливо розряд конденсатора . Кращим є варіант з комбінованим керування.

Проведено аналіз гармонік струму мережі без активного фільтру (рис.5а) та з використанням САФ (рис 5б) для потужності 3 кВт для потужності навантаження та 1,5 кВт (рис 6). THD струму без САФ дорівнює 28%, з САФ THD у межах 1.45-4%, що у межах норми.



а б

Рис. 5. Гармоній склад струму мережі без ПАФ (а) та з ПАФ (б) для потужності 3кВт



а б

Рис. 6. Гармоній склад струму мережі без ПАФ (а) та з ПАФ (б) для потужності 3кВт

Висновки. Систему керування активним фільтром гармонік можна формувати незалежно від системи керування електроприводом. При формування струму мережі за керуванням по відхиленню не треба додатково встановлювати датчики напруги та струму навантаження. Менший перехідний процес можна спостерігати при керуванню по збуренню. Але такий спосіб керування потребує враховувати втрати у активному фільтрі. Кращим є варіант з комбінованим керування.

Гармонійний аналіз показав, що запропонований активний фільтр забезпечує хорошу якість споживаної енергії. THD істотно менше 5% встановлених стандартом.

Література

1. CEI, 61000-1-1 : Electromagnetic compability (EMC), Part 1 : General, section 1 : application and interprettion of fundemantal definitions and terms, 2001.
2. IEEE-519. ШЕЕ Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems,.W.: JSC, 1992.,65 p.
3. Riad, Toufouti & Zoubir, Chelli. (2015). Hysteresis Control for Shunt Active Power Filter under Unbalanced Three-Phase Load Conditions. Journal of Electrical and Computer Engineering. 2015/03/01
4. Reduction of THD in Single Phase PAF With PSD Method for Reference CurrentGeneration International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) Volume-1, Issue-5, June 2012. 31-34 pp
5. Высокоэффективные источники электропитания: Монография / Ю. П. Самчелеев, В. Г. Дрючин, Г. С. Белоха, Н. И. Андреева.Алчевск: ДонГТУ, 2013. – 219 с.

References

1. CEI, 61000-1-1 : Electromagnetic compability (EMC), Part 1 : General, section 1 : application and interprettion of fundemantal definitions and terms, 2001.
2. IEEE-519. ШЕЕ Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems,.W.: JSC, 1992.,65 p.
3. Riad, Toufouti & Zoubir, Chelli. (2015). Hysteresis Control for Shunt Active Power Filter under Unbalanced Three-Phase Load Conditions. Journal of Electrical and Computer Engineering. 2015/03/01
4. Reduction of THD in Single Phase PAF With PSD Method for Reference CurrentGeneration International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) Volume-1, Issue-5, June 2012. 31-34 p
5. Vysokoeffektivnyye istochniki elektropitaniya: Monografiya / Yu. P. Samcheleyev, V. G. Dryuchin, G. S. Belokha., N. I. Andreyeva.Alchevsk: DonGTU. 2013. 219 p

Bielokha H.S., Shevchenko I.S. Methods for regulating the network current in electric drive control systems with an active filter

Converter and rectifier are largely used in modern electric AC and DC drive systems leading to an increase of the higher harmonics pollution in the network. The intensive use of nonlinear converter has increased the demand for harmonics suppression and reactive power compensation. The use of passive and active filters solves the problem of non-linear loads. The designed shunt active power filter with hysteresis current control is a three-phase voltage source inverter, connected in parallel with the network. There is a constant voltage capacitor at the output. It is the power supply for the active filter. The load is an uncontrolled diode three-phase bridge rectifier with RL load. The use of active filters solves the problem of non-linear loads. The hysteresis current control principle ensures maximum response speed and accuracy of the specified signal processing. The switching frequency changes along with the current waveform. In this paper has demonstrated and confirmed the effectiveness of the proposed control method a shunt active filter. This paper presents methods of regulating the current in the shunt active power filter in the electrical drive control systems. The article discusses the active filter control system regardless of the load control system. The principles of the formation of the amplitude value of the current consumed from the network are presented: regulation by deviation; disturbance regulation and combined regulation. In this study, dynamic simulation and control of an active power filter is done using MATLAB/Simulink. Simulation results show that the input current reach the desired operating values, the current of load and current filter. The results simulation are presented in this here to show the effectiveness of the proposed control strategy and principles of the formation

of the network current. Active power filter is electromagnetically compatible with the network. The total harmonic distortion (THD) of current in network 1,5%, which meets the standards international for the quality of electricity (IEEE 519 standards). The total harmonic distortion of current nonlinear load is 30%.

Keywords: *power active filter, relay control, electric drive*

Бєлоха Г.С. – к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, pointage13@gmail.com

Шевченко І.С. – к.т.н., професор кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля ,

Стаття подана 13.05.2021.