

ОТНОСНО ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ФИЛТРОКОМПЕНСИРАЩИ УСТРОЙСТВА В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ НА ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ

Панчев Х.И., Дуганов М.С., Луков М.Л.

hr_panchev@abv.bg, msduganov@abv.bg, momo.lukov00@gmail.com

**Технически университет - Варна
ул. „Студентска“ 1, 9010 Варна
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: Методи на компенсиране, филтрокомпенсиращи устройства, пасивни филтри, активни филтри.

Резюме: Филтрокомпенсиращите устройства (ФКУ) са предназначени за повишаване на качеството на електрическата енергия (ЕЕ) и постигане на ефективна, компенсация на реактивните товари. В работата са представени и анализирани схемотехнически постановки за реализация на ФКУ, съставени от едно звено и от няколко звена. Извършено е изследване на паралелни и последователни пасивни и активни филтри по критерии електроенергийна ефективност. Направена е класификация на база конвектори, топология, вида на захранващата система и алгоритъма за управление. Активните филтри със специфично приложение са анализирани в зависимост от вида на компенсацията, като е разгледана токова, напреженова и смесена компенсация, представляваща комбинация от активен паралелен и активен последователен филтър. Представени са методически указания за изчисляване и оптимизация на параметрите на ФКУ.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Иновативните съвременни технологии изискват електронизация, въвеждане на регулируеми полупроводникови задвижвания и управление на електрическите процеси в мощните потребители, като електродъгови пещи, заваръчни агрегати, електролизни уредби, електрически багери, кранове, електровози и тролей, промишлено осветление и др. Тези потребители и електронните им системи за контрол, регистрация и управление, предизвикват сериозни смущения, като отклонение и колебания на напрежението и тока, несиметрия и несинусоидалност на напрежението и тока, както и повишена вероятност за прекъсване на електроснабдяването от най-различен характер, т.е. имат основен дял за влошаване на качеството на ЕЕ. Компютърни системи за обработка на информация и управление на технологични процеси са изключително чувствителни към влошените показатели по качество на ЕЕ (ПКЕЕ). Освен до загуба на информация и предизвиканите от това повреди лошото качество на ЕЕ има сериозен икономически ефект, изразяващ се в повишените загуби на мощност и ел. енергия, ускоряване на

стареенето на изолацията, нарушаване работата на телемеханичните устройства, релейните защиты и др. За подобряване качеството на ЕЕ изключително ефективно средство е прилагането на ФКУ.

II. ТЕОРЕТИЧЕН ПОДХОД НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Използваните ФКУ биват два основни вида: **активни и пасивни филтри**.

Пасивните филтри са използват преди всичко за да намалят амплитудата на тока или напрежението, на една или няколко фиксирани честоти (**паралелни филтри**). Когато е необходимо да се избегне проникването на токове с определена честота в отделни възли на преобразователните станции или части на електрическата система, могат да се използват **последователни филтри**, състоящи се от паралелно включени кондензатори и бобини, създаващи голямо съпротивление за протичащия ток на избраната честота. По принцип е възможно създаването на комбинирани последователни и паралелни пасивни филтри за намаляване на хармониците на тока и напрежението, въпреки че се получават големи загуби на електрическа мощност и са необходими много средства [1,3].

За настроен филтър, качественият фактор се определя като съотношение на съпротивлението на индуктивността или капацитета при резонанс ω_0 , към активното му съпротивление R или чрез ω_n и p [1]:

$$(1) \quad Q = \frac{X_0}{R}$$

Качественият фактор е свързан с широчината на честотната лента и се изразява със следното съотношение:

$$(2) \quad Q = \frac{\omega_n}{p}$$

където: ω_n - настроената честота, rad/s ; p - ширина на честотната лента.

Точността на настройка на филтъра H и пропускането на високите честоти е обратно-пропорционална на качествения фактор, т.е.

$$(3) \quad H = \frac{R}{X}$$

Степента на несъответствие на настройката на филтъра за номинална честота се характеризира с коефициента δ , отчитащ изменението на основната (захранваща честота) ω :

$$(4) \quad \delta = \frac{(\omega - \omega_n)}{\omega}$$

Освен това изменението на индуктивността и капацитета да кажем с 2% предизвиква същата разстройка на филтъра, както изменението на честотата на системата 1%.

Изчислителната процедура при ФКУ започва с определяне на реактивната мощност $Q_{\text{фк}}$ на филтъра за фаза по формулата [1,2,8]:

$$(5) \quad Q_{\text{фк}} = U.I. \sin \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right)$$

където: U - фазно напрежение в точката на присъединяване на филтъра; I - фазен ток на мрежата; α и γ - ъгли на управление и комутация на преобразувателя (изправителя)

Вторият етап на изчислителната процедура е избора на схемата и изчисляване на параметрите на филтъра - капацитет C_ϕ , индуктивност L_ϕ , индуктивно съпротивление $X_{\phi\gamma}$ на честотата на настройката на филтъра и качествения фактор Q , определени съответно от изразите:

$$(6) \quad C_\phi = \frac{\gamma^2 + 1}{\gamma^2} \cdot \frac{Q}{\omega \cdot U^2} \quad ; \quad L_\phi = \frac{1}{\omega_\gamma^2 \cdot C_\phi} \quad ; \quad X_{\phi\gamma} = \omega_\gamma + C_\phi = \sqrt{\frac{L_\phi}{C_\phi}} \quad ; \quad Q = \frac{X_{\phi\gamma}}{R}$$

където: γ - номер на хармоника за настройка на филтър; Q_ϕ - реактивна мощност на филтъра за основната честота, ω - ъглова честота за основния хармоник; U - ефективна стойност на напрежението; ω_γ - ъглова честота на настройка на филтъра; R - активно съпротивление на филтъра на честотата на настройката. Активните филтри се развиват в последната четвърт на миналия век като за тях се създават различни конфигурации на управляващите елементи и алгоритми за управление. Най-общо АФ се използват за премахване на висшите хармоници в тока, за регулиране на напрежението и за потискане колебанието на напрежението в трифазни системи и за компенсация на реактивните товари. Този широк обхват на приложение се достига индивидуално или в комбинации, зависещи от изискванията за управление. Тези различни конфигурации са разработени за трите типа нелинейни товари на хранящите системи. За еднофазните товари, като битово осветление, печки, телевизори, компютри, принтери и др., имащи нелинеен характер на товара и причиняващи проблеми с качествените показатели на енергията, се разработват еднофазни активни филтри.

През 1971г. много конфигурации, като активните последователни филтри, активните паралелни филтри и комбинация от тях са създадени и комерсиализирани също като UPS (universal power supply). За направата на еднофазни активни филтри се използват две концепции: първата базирана на генератор на ток, използващ за съхранение на реактивната енергия бобина, и втората базирана на генератор на напрежение, използващ за съхранение на реактивната енергия кондензатор. В промишлените предприятия нелинейните потребители са трифазни. Активните последователни и активните паралелни филтри, както и комбинация от двата навлизат в практиката като активни устройства за подобряване качеството на ел. енергия. Създават се много алгоритми за управление, базирани на отчитане на реактивната мощност, реализиране на различни видове преобразувания като d-q, a- β и др.

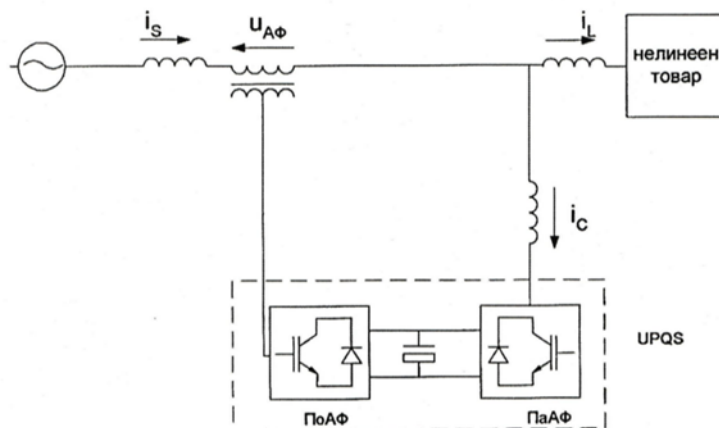
През 1978г. за решаването на проблема с нулевата последователност на тока, дължащ се на нелинейния и несиметричен товар се създават активни филтри за трифазни четирипроводни системи, които същевременно компенсират хармониците и реактивната мощност, симетрират товарите и елиминират токовете с нулева последователност. Теорията за реализирането на тези филтри се базира на измерването и изследването на различни величини, като активна, реактивна мощност и т.н., при наличие на висши хармоници в хранящи системи с нелинейни товари. Различни теории и концепции се прилагат за генериране на управляващите сигнали на активните филтри и системи за измерване на висшите хармоници и степента на несиметрия. За ефективността на активните филтри е важно създаването на добри измервателни системи и това дава нов тласък за развитието на инструменталната технология в тази област. Един от главните фактори за развитие на технологията на активните филтри е появата на бързи, саморегулиращи се устройства. В началото BJT и MOSFET - транзисторите са били използвани за разработването на активни филтри, а по-късно основни елементи на филтрите се явяват SIT (static induction thyristors) и GTO (gate-

turn-off thyristors) тиристорите. С въвеждането на IGBT (insulated gate bipolar transistors) транзисторите, технологията за производство на активни филтри се издига на високо ниво и се смята за най-добрата в настоящия момент. Използването на датчици на Хол в схемите на активни филтри, намалява цената им до приемливи стойности [4, 5, 6]

Следващата стъпка за разработване на активни филтри е в резултат на развитието на микроелектрониката, започващо с използването на дискретни, аналогови и цифрови компоненти до прогреса на микропроцесорите, микроконтролерите и DSP (digital signal processors). Съставени са алгоритъм за контрол на АФ на разумна цена, с използването на P - I (пропорционално-интегрални) регулатори, размита логика, променливо - структурен контрол и невронни мрежи за подобряване на динамиката и устойчивостта на филтрите. С тези подобрения АФ имат възможност да работят в реално време. Повечето от тях са разработени за да компенсират висшите хармоници в електрическата мрежа [4,7].

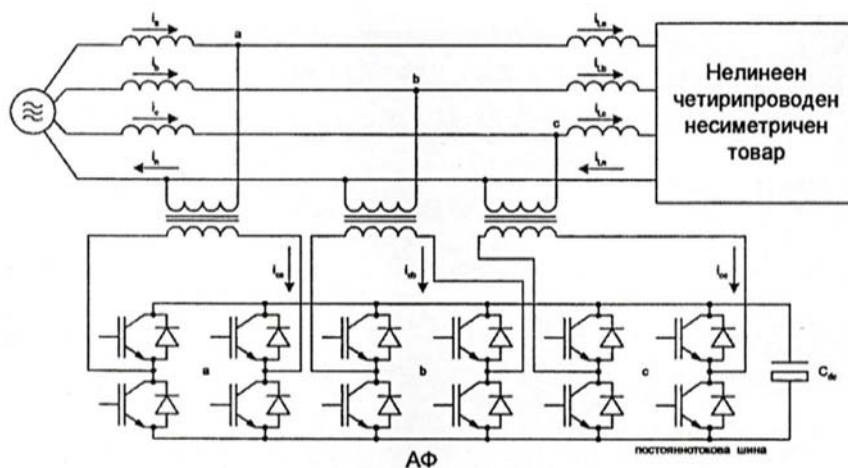
АФ се класифицират на базата на типа на **конвертора, на топологията и по броя на фазите**. Структурата на конверторния тип е като генератор на напрежение или генератор на ток. Топологията може да бъде паралелна, последователна или комбинация от двете. Третата класификация е въз основа на броя на фазите - еднофазни, трифазни и трифазни с нулев проводник.

На фиг. 1 е показан универсален филтър, представляващ комбинация от активен паралелен (ПаАФ) и активен последователен (ПоАФ) филтър.



Фиг. 1. Универсален АФ

Постояннотоковата връзка се явява акумулатор на енергия между двата токови и напреженови моста, работещи като активен последователен и активен паралелен компенсатор. Схемата може да бъде изпълнена като еднофазна или трифазна и представлява идеалния активен филтър, имащ възможност да елиминира токовете и напреженовите хармоници и да отдава качествена енергия на останалите консуматори. Има възможност за балансиране и регулиране на напрежението на входа и премахване на токовете с обратна последователност. Недостатъци са високата му цена и сложният контрол, поради високият брой на управляваните устройства, включени в него. Трите еднофазни мостови конфигурации, показани на фиг.2. позволяват съвсем общо да се опише същината на използване на устройства с непрекъснат контрол и повишената надеждност като активни филтри [1, 5].



Фиг. 2.

III. ПРАКТИЧНО-ПРИЛОЖНИ РЕЗУЛТАТИ ОТ ТЕОРЕТИЧНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

Съществуват голям брой конфигурации, които отговарят на нуждите на индивидуалния потребител. В Табл.1. са систематизирани видовете АФ, подходящи за отделния потребител и вида на компенсацията в предпочитан ред [1].

Табл.1. Приложение на видовете АФ

Вид компенсация	Вид филтър			
	АПоФ	АПаФ	АПоФ ППаФ	АПаФ АПоФ
1.Токови хармоници		**	***	*
2.Реактивна мощност		***	**	*
3.Симетриране на товара		*		
4. Токове с нулева последователност		**	*	
5. Напреженови хармоници	***		**	*
6.Регулиране на напрежението	***	*	**	*
7.Симетриране на напрежението	***		**	*
8.Напреженов фликер ефект	**	***		*
9. Напреженови провали	***	*	**	*
10. 1+2		***	**	*
11. 1+2+3		**		*
12. 1+2+3+4		*		
13. 5+6	**			*
14. 5+6+8+9	**			*
15. 1+5			**	*
16. 1+2+4+6			*	**
17. 6+7	**		*	
18. 2+3		*		
19. 2+3+4		*		
20. 1+2+6		**	*	
21. 1+3		*		
22. 1+4+7		*	**	

** *** *-предпочитани конфигурации във възходящ ред;

АПоФ - активен последователен филтър;

АПаФ - активен паралелен филтър;

ППаФ - пасивен паралелен филтър;

Токова компенсация.

Токовата компенсация се характеризира с компенсация на токовете хармоници и реактивната мощност, балансиране на товара и компенсация на токовете с нулева последователност. Тази компенсация може да бъде индивидуална или комбинирана за отделните потребители. За компенсацията на токовете хармоници, идеално устройство е активния паралелен филтър, но комбинация от активен последователен с активен паралелен филтър е по-подходяща заради ниската цена и по-малкия брой на силовите електронни елементи. Компенсацията на реактивна мощност се постига с използването на активен паралелен филтър за променливи товари. Симетрирането на товарите при три и четирипроводна мрежа и компенсирането на токовете с нулева последователност основно се осъществява с активни паралелни филтри.

Напреженова компенсация

Напреженовата компенсация се характеризира като компенсация на напрежените хармоници, регулиране на напрежението, баланс на напрежението и намаляване на напреженовия фликер ефект. За компенсация на напрежените хармоници в повечето случаи се използват активни последователни филтри, но напреженовия фликер ефект се компенсира с паралелни филтри. АФ могат да коригират напрежението и да компенсират напреженови провали с много кратка продължителност.

Напреженова и токова компенсация

Много приложения се нуждаят от едновременна компенсация на токовете и напреженията. Комбинация от активен последователен и активен паралелен филтър е целесъобразния избор. Смесица от двата филтъра също е достатъчно подходяща за индивидуална напреженова и токова компенсация, обаче мощността, размерите и цената на тези унифицирани подобрители на качеството на мощността (UPQS) не са достатъчно добри.

В световната практика се наблюдават тенденции за използване нетрадиционни методи за потискане на висшите хармоници във формата на кривата на тока и напрежението основаващи се предимно на импулсни добавки във кривите на тока и напрежението. Обобщението на тези е илюстрирано на табл.2 [1].

Табл.2. Комбинирани системи от пасивен филтър и импулсен коректор

	Система с токово добавяне	Система с напреженово добавяне
Топология на схемата		
Силова верига с активна корекция	Източника е ШИМ инвертор с генератор на ток	Източника е ШИМ инвертор без генератор за ток
Функция на активния коректор	Компенсатор на хармоници	Изолира хармониците от мрежата
Предимства	Намаля се мощността на активния коректор. Прилага се конвенционален активен коректор.	Намаля се мощността на последователния активен коректор. Използва се пасивен филтър.
Резултат	Хармониците на тока се компенсират от активния коректор и пасивния филтър.	Изоляция и защита чрез последователния активен коректор

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Активните филтри най-общо се използват за компенсиране на токовете и напрежените хармоници, но в много случаи те имат и други функции като компенсация на реактивната мощност, токов и напрежен баланс, компенсиране на токовете с нулева последователност, премахване на фликер ефекта и регулиране на напрежението. Повечето от напрежените компенсации се изпълняват с последователни филтри, докато токовите компенсации се изпълняват с паралелни активни такива. Понякога структурата им е подобна на активни филтри, основно използвани за други цели, като компенсатори на реактивна енергия, филтри за симетриране на товари, за регулиране на напрежението и др.

Предоставените изследвания дават възможност за реализиране в реални условия на разнообразни аспекти за подобряване качеството на ЕЕ, ограничаване на хармоничните замърсявания и подобряване режимите на компенсация на реактивните товари.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Чиков В. Ч., Електромагнитна съвместимост Варна, 2016.
- [2]. Бош В.И., Резонансные явления от гармонических составляющих в системах электроснабжения, ПЭ, 2006, №7.
- [3], Аррилага, Дж., Бродли, Д., Боджер, П., Гармоники в электрических системах, Энергоатомиздат, Москва, 1990г.
- [4], Зевекс, Г.,В., Монкин, П., А., Нетушенко, А., В., Страхов, А., В., Основы теории цепей, Энергоатомиздат, Москва, 1990г.
- [5], Singh, B., Al-Haddad, K., A Review of Active Filters for Power Quality 3 Improvement, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 46, NO. 5, OCTOBER 1999
- [6]. Akagi, H., Trends in active power line conditioners, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 9, NO. 3, MAY 1994
- [7]. Василев, Н., Сидеров, С., Електроснабдяване на промишлени предприятия, Техника, София, 1991г.
- [8]. Добрусин Л.А., Автоматизация расчета фильтрокомпенсирующих устройств для электрических сетей, питающих преобразователи, ПЭ, №5, 2004.

POSSIBILITIES OF USING FILTER COMPENSATING DEVICES IN ELECTRICITY SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL FACILITIES

Panchev H.I., Duganov M.S., Lukov M.L.

hr_panchev@abv.bg, msduganov@abv.bg, momo.lukov00@gmail.com

Technical University - Varna
1 "Studentska" St., 9010 Varna
REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *Compensation methods, filter compensating devices, passive filters, active filters.*

Abstract: *Filter compensating devices (FCU) are designed to increase the quality of electrical energy (EE) and achieve effective compensation of reactive loads. The work presents and analyzes the circuit and technical layouts for the implementation of the FCU, composed of one unit and several units. A study of parallel and series passive and active filters was carried out according to energy efficiency criteria. A classification was made based on converters, topology, type of power supply system and control algorithm. Application-specific active filters are analyzed depending on the type of compensation, considering current, voltage and mixed compensation, representing a combination of active parallel and active series filter. Methodological guidelines for calculating and optimizing the parameters of the FCU are presented.*