

Ж.Р. ПАНОСЯН, С.Н. МОСОЯН

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ**

Представлен анализ влияния мощных и крупных солнечных систем на энергетическую систему. Для лучшей реализации поставленной задачи обсуждены принцип работы солнечных элементов и их особенности. Проведен анализ влияния солнечных электростанций на планирование системы, качество электроэнергии и релейную защиту системы.

Ключевые слова: фотовольтаическая система, интеграция в энергосистеме, качество энергии, защита.

J.R. PANOSYAN, S.N. MOSOYAN

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ON THE
ENERGY SYSTEM**

The analysis of large and powerful solar systems on the energy system is presented. The principle of operation of solar cells and their peculiarities have been discussed to better accomplish this task. The analysis of the influence of solar power plants on the system planning, power quality and relay protection of the system has been carried out.

Keywords: photovoltaic system, integration to the grid, quality of energy, safety.

ՀՏԴ 621.313

Ջ.Մ. ԽԱՉԻԿՅԱՆ

**ԲԱՐՁՐ ՀԱՐՄՈՆԻԿՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՈՒՄԸ ԵՎ ՊԱՇՏՊԱՆՄԱՆ
ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ**

Ուսումնասիրվել են բարձր հարմոնիկների առաջացման պատճառները և նրանց բացասական ազդեցությունը էներգետիկական համակարգի ու էլեկտրական սարքավորումների վրա: Դիտարկվել են բարձր հարմոնիկների մարման մեթոդները, որոնց շնորհիվ հնարավոր է փոքրացնել նրանց բացասական ազդեցությունը:

Առանցքային բաներ. էլեկտրական գեներատոր, բարձր հարմոնիկներ, ռեզոնանս, զտիչ:

Ժամանակակից արդյունաբերական ձեռնարկություններում տարածում են գտել բեռներ, որոնց վոլտ-ամպերային բնութագրերը ոչ գծային են: Նրանց թվին են պատկանում առաջին հերթին տարբեր տիպի վենտիլային փոխակերպիչները, գլխավորապես՝ տիրիստորայինները, աղեղային և կոնտակտային էլեկտրա-

եռակցման սարքավորումները, պողպատի հալման վառարանները, լուսավորման սարքավորումները, ուժային մագնիսական ուժեղացուցիչները և տրանսֆորմատորները: Այս բեռները ցանցից օգտագործում են հոսանք, որի կորը ոչ սինուսոիդային է. արդյունքում՝ առաջանում է լարման ոչ սինուսոիդային կոր՝ ոչ սինուսոիդային ռեժիմներ:

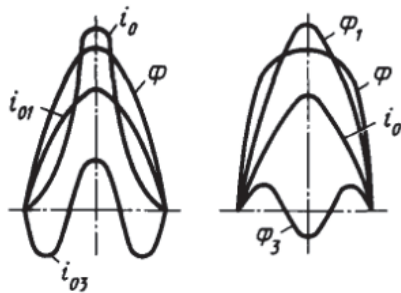
Ուղղիչ կամրջակները, դիոդների և տիրիստորների հիման վրա ստատիկ կերպափոխիչները հանդիսանում են հոսանքի բարձր հարմոնիկների աղբյուրներ: Այսպես, եռաֆազ կամրջակային սխեմայում լրիվ ուղղված հոսանքն առաջացնում է ցանցից ոչ սինուսոիդային հոսանքի օգտագործման անհրաժեշտություն:

Ոչ սինուսոիդային ռեժիմներն անբերանպաստ ազդեցություն են թողնում էներգահամակարգում տարբեր սարքավորումների աշխատանքի վրա՝ ուժային էլեկտրասարքավորումների, ռելեական պաշտպանության, ավտոմատիկայի, տելեմեխանիկայի և կապի վրա: Բարձր հարմոնիկների ազդեցության արդյունքում առաջացող փոխազդեցությունները հանգեցնում են տնտեսական վնասների, որոնք պայմանավորված են էներգետիկական ցուցանիշների վատացմամբ, էլեկտրական ցանցերի աշխատանքի հուսալիության նվազմամբ, լրացուցիչ կորուստների առաջացմամբ էլեկտրական մեքենաներում, տրանսֆորմատորներում և ցանցերում, կոնդենսատորային մարտկոցների միջոցով ռեակտիվ հզորության կոմպենսացիայի բարդացմամբ և էլեկտրասարքավորումների ծառայության ժամկետի նվազմամբ:

Հայտնի է, որ բացահայտ բևեռներով սինխրոն գեներատորի մագնիսական դաշտի ամբողջովին սինուսոիդային բաշխվածություն գործնականորեն ստանալ հնարավոր չէ, սակայն այդ նպատակին մոտենալու համար կառուցվածքային բնույթի տարբեր միջոցներ են ձեռնարկվում: Օրինակ՝ գրգռման դաշտի կորի համար բացահայտ բևեռներով սինխրոն գեներատորի բևեռների ծայրերին կորություն են հաղորդում: Այնուամենայնիվ, դաշտի կորը, բացի հիմնական հարմոնիկից, պարունակում է նաև կենտ բարձր հարմոնիկներ ($v=3, 5, 7 \dots$), որոնց կարգի աճման հետ մեկտեղ՝ նվազում է նաև նրանց ամպլիտուդը: Կատարում են նաև ստատորի փորակների շեղում ռոտորի ծայրերի նկատմամբ կամ հակառակը: Սակայն դիտարկված տարբերակներից բավարար արդյունքներ ստանալ հնարավոր չէ: Այդ իսկ պատճառով ձգտում են էլշուի բարձր հարմոնիկները մարել փաթույթի համապատասխան կոնստրուկցիայի միջոցով: Այդպիսի կոնստրուկտիվ բնույթի են՝ 1) փաթույթի քայլի կարճացումը, 2) փաթույթների այնպիսի բաշխումը փորակներով, որ խմբում կոճերի թիվը՝ $q>1$ և լինի կոտորակային թվով, 3) փաթույթի փորակների շեղումը: Երկայնական և ընդլայնական մագնիսական դիմադրությունների անհավասարության պատճառով

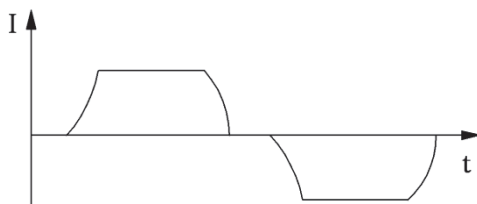
առաջանում է նաև հոսանքի 3-րդ հարմոնիկ՝ $3f_1$ հաճախությամբ: Տվյալ պարագայում ձգտում են փաթույթները եռանկյունաձև միացնելուց խուսափել, քանի որ այդ դեպքում առաջացող հոսանքի 3-րդ հարմոնիկներն առաջացնում են ավելորդ կորուստներ, և փաթույթները տաքանում են [1]:

Գործնականում հայտնի է, որ օպտիմալ տրանսֆորմատորները, չափսերի և քաշի փոքրացման նպատակով, նախագծում են այնպես, որ հոսքի առավելագույն արժեքի դեպքում տեղի է ունենում մագնիսալարի որոշակի հագեցում: Այս պայմաններում մագնիսացնող հոսանքը ստացվում է ոչ սինուսոիդային և սրացված տեսքով (նկ. 1), երբ կտրուկ արտահայտված է լինում 3-րդ հարմոնիկը, որի ամպլիտուդը կարող է հասնել հիմնական հարմոնիկի ամպլիտուդի 15-30%-ին, իսկ 5-րդ հարմոնիկը հասնում է մինչև 3-10% [1]:



Նկ. 1. Հոսքի և պարապ ընթացքի հոսանքի կորերը տրանսֆորմատորում

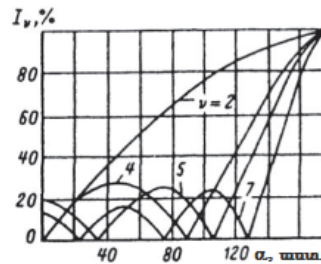
Արդյունաբերական ձեռնարկություններում ամենամեծ տարածումը գտել են վենտիլային փոխակերպիչների եռաֆազ կամրջակային սխեմաները: Այս սխեմաները նաև հիմք են հանդիսանում ավելի բարդ բազմակամրջակային փոխակերպիչների սխեմաների կառուցման համար [2]: Ուղղիչի հոսանքի կորը անողային տրանսֆորմատորի ցանցային փաթույթի աստղաձև միացման դեպքում ունի նկ. 2-ում պատկերված տեսքը:



Նկ. 2. Ուղղիչի առաջնային հոսանքի կորը

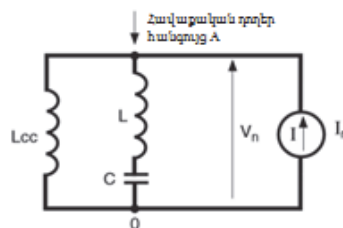
Ոչ սինետրիկ կառավարմամբ կամրջակային փոխակերպիչներն զգալի տարածում են գտել եռակցման և լիցքավորման ազդեցատներում, սինքրոն

մեքենաների գրգռման համակարգերում, ինչպես նաև օգտագործվում են ոչ մեծ հզորությամբ միակողմանի վենտիլային կառավարման մեջ: Դիտարկվող փոխակերպիչները գեներացնում են ինչպես կենտ, այնպես էլ զույգ բարձր հարմոնիկներ (նկ. 3):



Նկ. 3. Ոչ սիմետրիկ կառավարմամբ կամրջակային փոխակերպիչի հոսանքի հարմոնիկների կորերը

Բարձր հարմոնիկները փոքրացնելու և դրանցից պաշտպանելու նպատակով ստեղծվել են մի շարք մեթոդներ [3]: Դրանցից է պաշտպանիչ ռեակտորը, որը թույլ է տալիս պաշտպանել ռեակտիվ հզորության կոմպենսացիայի համար նախատեսված կոնդենսատորային մարտկոցները հոսանքի բարձր հարմոնիկների գերբեռնումից: Հիմնականում օգտագործվում է հետևյալ սխեման (նկ.4):

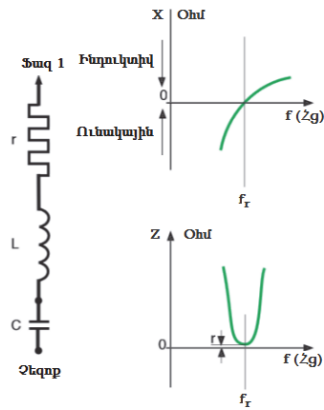


Նկ. 4. Կոնդենսատորին հաջորդաբար միացված ռեակտորի սխեման

Սխեմայում L ինդուկտիվությունն ընտրվել է այնպես, որ L-C ճյուղն (L-պաշտպանիչ ռեակտոր, C- ուժային կոնդենսատոր) ունենա ինդուկտիվ բնույթ հարմոնիկի ամբողջ սպեկտրում: Ակնհայտ է, որ այդ դեպքում այդ ճյուղի ռեզոնանսային հաճախությունը կգտնվի հարմոնիկի աղբյուրի հաճախականային սպեկտրից ներքև: L-C ճյուղ մտնող հոսանքները մեծ չեն, որը թույլ է տալիս պաշտպանել կոնդենսատորային մարտկոցը:

Ջտիչերի օգտագործման նպատակն է սահմանափակել լարման հարմոնիկները տրված մակարդակում: Գոյություն ունեն գտիչերի երեք դաս, որոնք թույլ են տալիս փոքրացնել լարման հարմոնիկները՝ ռեզոնանսային շունտ, դեմաֆերացված և ակտիվ գտիչեր:

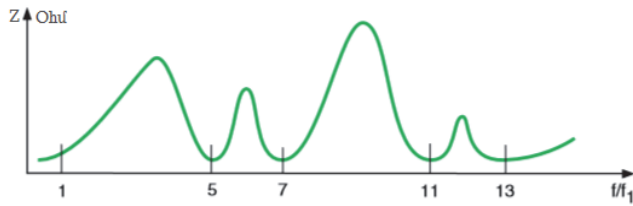
Ռեզոնանսային շունտը ձևավորված է հաջորդաբար միացված L-C-ից, որոնց ռեզոնանսային հաճախությունը համընկնում է լարման հարմոնիկին, որը պետք է վերացնել (նկ.5):



Նկ. 5. Հաջորդաբար միացված ռեզոնանսային շղթայի դիմադրությունը

Ռեզոնանսային f_r հաճախության վրա ռեզոնանսային շունտն ունի նվազագույն դիմադրություն՝ նվազեցված մինչև ռեակտորի ակտիվ դիմադրությանը: Այն համարյա ամբողջությամբ իր վրա է վերցնում հարմոնիկի աղբյուրից եկող հոսանքի հարմոնիկը՝ f_r հաճախությամբ, ապահովելով հարմոնիկի ցածր լարում f_r հաճախությամբ, որը հավասար է զտիչով անցնող r դիմադրության և հոսանքի արտադրյալին:

Նկ. 6-ում բերված է ցանցի հարմոնիկական դիմադրության օրինակ, զինված չորս՝ 5, 7, 11, 13 հարմոնիկների զտիչերի մարտկոցով:



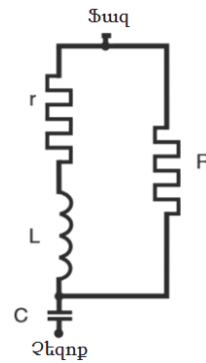
Նկ. 6. Ցանցի դիմադրությունը ռեզոնանսային շունտի առկայության դեպքում

Այն ցույց է տալիս, որ ունի նույնքան հակառեզոնանսներ, որքան զտիչեր: Այդ հակառեզոնանսները պետք է գտնվեն հարմոնիկների սպեկտրի միջև: Այդ պատճառով անհրաժեշտության դեպքում մարտկոցը սեկցիաների բաժանելու համար պետք է կատարել դիմադրության կորի մանրակրկիտ վերլուծություն:

Աղեղային վառարանների համար ռեզոնանսային շունտը պետք է լինի դեմպֆերացված: Աղեղային վառարանի անընդհատ սպեկտրի դեպքում հավա-

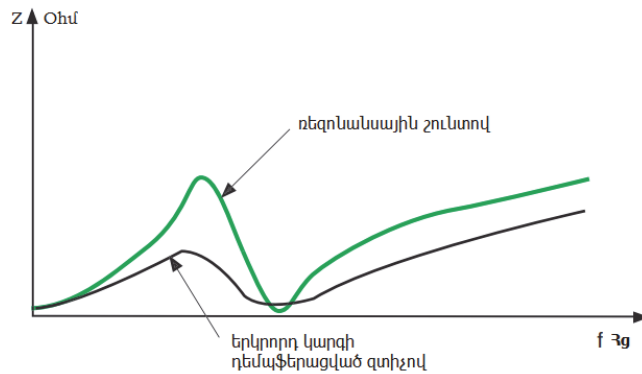
նականություն կա, որ վառարանից դուրս եկող հոսանքի հաճախությունը կհամընկնի հակառեզոնանսի հաճախության հետ: Այդ պատճառով էլ բավարար չէ նվազեցնել բնութագրական հարմոնիկների լարումը, պետք է փոքրացնել նաև հակառեզոնանսները, այսինքն՝ դեմաֆերացնել:

Երկրորդ կարգի դեմաֆերացված զտիչը կազմված է ռեզոնանսային շունտից՝ ռեակտորին զուգահեռ միացված դեմաֆերացնող R դիմադրության միացման եղանակով (նկ.7):



Նկ. 7. Երկրորդ կարգի դեմաֆերացված զտիչի սխեման

Նկ. 8-ում պատկերված է ցանցի դիմադրությունը՝ հաճախությունից կախված, ռեզոնանսային շունտի և երկրորդ կարգի դեմաֆերացված զտիչի առկայության դեպքում:



Նկ. 8. Ցանցի դիմադրությունը ռեզոնանսային շունտի և երկրորդ կարգի դեմաֆերացված զտիչի առկայության դեպքում

Հարմոնիկների մարման մեկ այլ մեթոդ է ակտիվ զտիչի օգտագործումը: Այն հնարավորություն է տալիս չեզոքացնել շեղումը, գեներացնելով շեղմանը հավասար մեծություն, բայց հակառակ ֆազով:

Եզրակացություն.

1. Բացահայտ բևեռներով սինխրոն գեներատորներում առաջացող բարձր հարմոնիկների դեմ պայքարելու համար կառուցվածքային բնույթի փոփոխություններ են կատարվում, սակայն դրանք կիրառելով՝ կատարյալ արդյունք հնարավոր չի լինում ստանալ:

2. Բարձր հարմոնիկների դեմ պայքարելու համար կարելի է օգտագործել ռելեական պաշտպանության նոր մեթոդներ: Հիմք ընդունելով դիֆերենցիալ պաշտպանությունը, ֆազերում հոսանքների համեմատման միջոցով կարելի է բացահայտել բարձր հարմոնիկները և կանխել դրանց հաղորդումը դեպի էլեկտրական սարքավորումներ:

3. Ռժային էլեկտրոնային սարքավորումներով գեներացվող բարձր հարմոնիկները կարող են գերբեռնել ռեակտիվ հզորության կոմպենսացիայի համար նախատեսված կոնդենսատորները: Արդյունքում՝ բարդանում է ռեակտիվ հզորության կոմպենսացիան:

4. Կարևորագույն հանգույցը՝ հիդրոգեներատոր-տրանսֆորմատոր համակարգը, կայուն աշխատանքային ռեժիմներ ապահովելու համար պետք է իր պաշտպանական համակարգում ունենա ռելեական և դիֆերենցիալ պաշտպանությունները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Вольдек А.И.** Электрические машины.- 3-е издание. –Л.: Энергия, 1978.- 832 с.
2. **Жежеленко И.В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий.-М.: Энергоатомиздат, 2000.
3. **Колломбет К., Люпен Ж. М., Шонек Ж.** Гармонические искажения в электрических сетях и их снижение //Schneider Electric.- 2008. – Вып. 22.

Յ.Մ. ԽԱՇԻԿՅԱՆ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Изучены причины возникновения высших гармоник и их негативное влияние на энергетическую систему и электрооборудование. Рассмотрены методы поглощения высших гармоник, которые могут снизить их негативное воздействие.

Ключевые слова: электрический генератор, высшие гармоники, резонанс, фильтр.

Z.M. KHACHIKYAN

THE OCCURENCE OF HIGH HARMONICS AND THEIR PROTECTION METHODS IN THE POWER SYSTEM

The causes of occurrence of high harmonics and their negative effect on the power system and electrical equipment are studied. High harmonic fading methods have been considered, which can minimize their negative effects.

Keywords: electrical generator, high harmonics, resonance, filter.

ՀՏԴ 621.3.084.865

Ա.Ա. ԴԻՆՈՅԱՆ, Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Ե.Վ. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ

ԱՐԵՎԻ ՇԱՐԺՄԱՆԸ ՀԵՏԵՎՈՂ ՀԱՅԵԼԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՎ ԵՎ ԹԱՓԱՆՑԻԿ ՖՐԵՆԵԼԱՅԻՆ ԽՏԱՐԱՐՆԵՐՈՎ ՍԱՐՔԻ ԼՈՒՍԸՆԿԱԼՄԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Կատարվել է արևի շարժմանը հետևող հայելային համակարգով և ֆրենելային խտարարներով սարքի լուսընկալման վերլուծությունը: Վերլուծության շրջանակներում հաշվարկվել են ֆրենելային խտարարների լուսավորված մակերեսների պրոյեկցիաները հայելային համակարգի պտտման առանցքի երեք անկյունների և արևի բարձրության տարբեր անկյունների դեպքերում: Նույն անկյունների համար հաշվարկվել են նաև խտարարների և հայելային համակարգի վրա ընկնող լուսավորված մակերեսների պրոյեկցիաների տոկոսային հարաբերությունները:

Առանցքային բառեր. ֆոտոէլեկտրական կերպափոխիչ, ֆրենելային լուսաթափանց խտարարներ, բարձրարդյունավետ կասկադային ֆոտոտարրեր, արևային ճառագայթների ինտենսիվության կորուստների վերլուծություն:

Ներածություն. 21-րդ դարում համատեղ զարգանում են վերականգնվող էներգիայի աղբյուրների (ՎԷԱ) կիրառման հիման վրա ստեղծված վերականգնվող էներգետիկայի տարբեր բնագավառներ: Դիտարկելով տարբեր ՎԷԱ-ների տարեկան միջին աճը՝ պարզ է դառնում, որ արևային միապատիկ ֆոտովոլտային սարքերի և կոնցենտրացված ճառագայթներով կասկադային ֆոտովոլտային սարքերի տարեկան աճերը, համապատասխանաբար՝ 42% և 35% ամենաբարձրն են վերականգնվող էներգետիկայի տարբեր աղբյուրների մեջ [1]:

Զարգացման այսպիսի առաջընթացի տեմպերի շարունակումը հանգեցնում է համոզմունք, որ այս դարի կեսերին էլեկտրաէներգետիկայի արտադրության հիմնական բաժինը նույնպես կապահովեն արևային ֆոտոէներգետիկական սարքերը: Ելնելով այս համոզմունքից ՀԱՊՀ-ում վերջին տարիներին կատարվել