

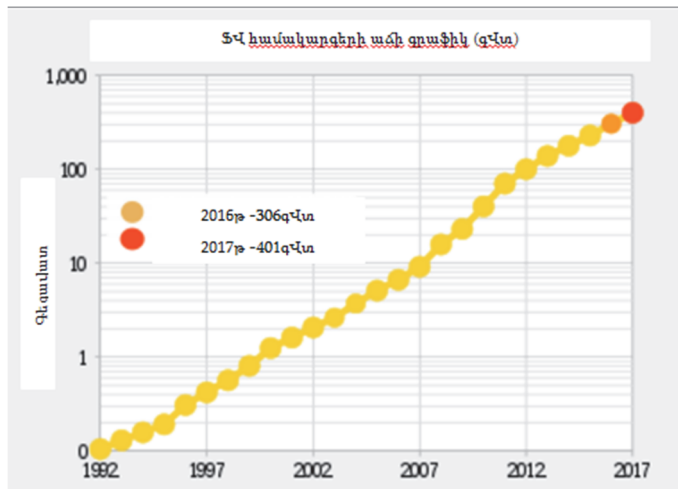
Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Ս.Ն. ՄՈՍՈՅԱՆ

**ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՎՐԱ ՄԵԾԱԾԱՎԱԼ ՖՈՏՈՎՈԼՏԱՅԻՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Ներկայացվել է հզոր և մեծածավալ արևային համակարգերի՝ էներգահամակարգի վրա ազդեցության վերլուծությունը: Դրված խնդիրը լավագույնս իրականացնելու համար քննարկվել են արևային կայանների աշխատանքի սկզբունքը և դրանց առանձնահատկությունները: Կատարվել է արևային կայանների ազդեցությունների վերլուծություն համակարգի պլանավորման, էլեկտրաէներգիայի որակի և համակարգի ռելեական պաշտպանության տեսանկյուններից:

Առանցքային բաներ. Ֆոտովոլտային համակարգ, ինտեգրում էներգահամակարգին, էներգիայի որակ, պաշտպանություն:

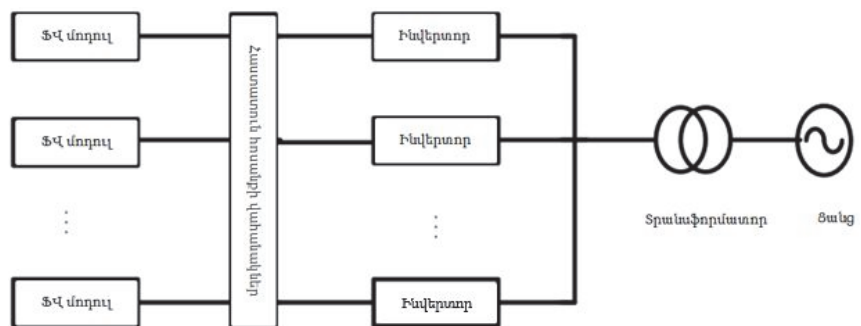
Ներածություն. Վերջին տարիներին, հանածո վառելիքի պաշարների նվազմանը և շրջակա միջավայրի աղտոտման խնդիրների մեծացմանը զուգընթաց, շարունակաբար մեծանում է վերականգնվող էներգիայի պահանջարկը: Համաձայն վերջին վիճակագրության՝ ֆոտովոլտային կայանների գումարային հզորությունը կազմում է ավելի քան 401 ԳՎտ (նկ.1) [1]: Այս ցուցանիշը մոտավորապես չորս անգամ ավելին է 2012 թվականի ցուցանիշից: ՖՎ համակարգերի այդպիսի կտրուկ աճը կապված է ոչ միայն փոքր ներտնային արևային համակարգերի համատարած կիրառմամբ, այլև հզոր, ինդուստրիալ նշանակության արևային ՖՎ կայանների կառուցմամբ [2]: Այսպիսով, մեծածավալ, ցանցին միացված ՖՎ համակարգերը աստիճանաբար դառնում են արևային էներգիայի կիրառման հիմնական ձևերը: Արևային ֆոտոէլեկտրական 1-2 ՄՎտ հզորությամբ կայաններն էլեկտրական ցանցին միացման սկզբունքային սխեմաները դիտարկվել էին [3] աշխատանքում, իսկ կայանների կառուցվածքային և ստվերման խնդիրները՝ [4]-ում: Սակայն հզոր ֆոտովոլտային կայաններն էլեկտրական ցանցին ինտեգրելու խնդիրները պահանջում են նոր մոտեցումներ: Էներգահամակարգին միացված ՖՎ կայանների գումարային հզորության մեծացմանը զուգընթաց՝ ավելանում է նաև դրանց ազդեցությունները բաշխիչ համակարգի վրա: Սակայն ՖՎ համակարգերի ելքային հզորությունը փոփոխական է, անորոշ և ընդհատվող: Այդ պատճառով այն դժվար կառավարելի է՝ ի համեմատ ավանդական գեներատորների: Այս առանձնահատկություններից ելնելով՝ էլեկտրական ցանցին միացված ՖՎ համակարգերը բավականին մեծ խնդիրներ են ստեղծում բաշխիչ ցանցերի կայուն աշխատանքի համար [5] [6]: Հաշվի առնելով վերը նշված հանգամանքները, անհրաժեշտություն է առաջանում՝ վերլուծելու մեծածավալ ՖՎ համակարգերի ազդեցությունները էներգահամակարգի վրա:



Նկ. 1. ՖՎ համակարգերի գլոբալ աճի գրաֆիկը

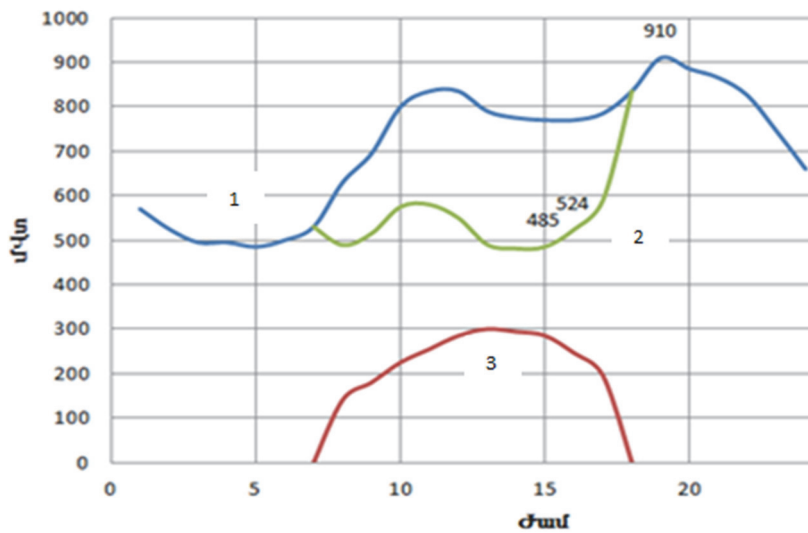
Մեծածավալ ՖՎ էլեկտրակայանների կառուցվածքային սխեման և աշխատանքի բնութագիրը. ՖՎ համակարգերը բաղկացած են ֆոտովոլտային մոդուլների շարքերից, միացման արկղերից, ինվերտորներից, տրանսֆորմատորներից և էներգիայի տեղափոխման գծերից: Նկ. 2-ում բերված է էներգահամակարգին միացված խոշոր ՖՎ էլեկտրակայանի կառուցվածքային սխեման: Խոշոր ՖՎ համակարգերն ունեն հետևյալ առանձնահատկությունները.

1. Դրանց ելքային հզորությունը տատանվում է՝ կախված եղանակային պայմաններից: Բացի այդ, առանձին ՖՎ շարքերի ջերմաստիճանները ժամանակի տվյալ պահին կարող են տարբեր լինել, և հետևաբար՝ տարբեր կլինի նաև ելքային հզորությունը [7]:
2. Խոշոր ՖՎ էլեկտրակայաններում բավականին հաճախ օգտագործվում են ցածր լարման բազմաթիվ ինվերտորներ, որոնց զուգահեռ աշխատանքի ժամանակ կարող են առաջանալ բարձր հարմոնիկներ [8]:



Նկ. 2. Ցանցին միացված խոշոր ՖՎ կայանի կառուցվածքային սխեման

3. Արևային կայանի առավելագույն արտադրողականության ժամանակահատվածը հաճախ համընկնում է բեռի պահանջակրի մինիմումին [9]: Այս հանգամանքը բացասաբար է անդրադառնում համակարգի բեռի մինիմումի և պիկային հզորության տարբերության վրա: Այդպիսի տարբերության դեպքում պետք է հաշվի առնել, թե արդյոք համակարգի ճկունությունը կարող է բավարարել անհրաժեշտ պայմանները [10]: Որպես օրինակ նկ. 3-ում դիտարկվում է 2018 նոյեմբերի 2-ի դրությամբ ՀՀ ԷԷՀՕ հրապարակած բեռի գրաֆիկը (կոր 1): Գործող համակարգում 300ՄՎտ գումարային առավելագույն հզորությամբ ՖՎ համակարգ ինտեգրելիս (կոր 3) փոխվում է ավանդական գեներացիայի բեռի գրաֆիկը (կոր 2): ՖՎ համակարգերի արտադրությունը հասնում է մաքսիմումի ցերեկը 13:00-14:00-ի սահմաններում, այն դեպքում, երբ համակարգի բեռն այդ նույն ժամանակահատվածում գտնվում է ցերեկային մինիմումի սահմանում: Իսկ երեկոյան պիկի ժամանակ (19:00) ՖՎ արտադրությունն ընդհանրապես բացակայում է: Հետևաբար, պահանջարկը բավարարելու համար, ավանդական գեներացիայի էլքային հզորությունը ժամը 16:00-19:00 ընթացքում պետք է մեծանա 1.75 անգամ՝ 520ՄՎտ-ից հասնելով 910ՄՎտ-ի: Տեխնիկապես այս խնդիրը լուծելու համար անհրաժեշտ է իրական ժամանակում գնահատել համակարգի ճկունությունը:



Նկ. 3. ՀՀ ԷԷՀ բեռի գրաֆիկը 02.08.18թ-ի դրությամբ

Խոշոր ՖՎ էլեկտրակայանների ազդեցությունները էներգահամակարգի վրա. Հաշվի առնելով ՖՎ համակարգերի՝ վերը նշված առանձնահատկությունները, ավանդական էներգահամակարգերին խոշոր ՖՎ էլեկտրակայանների ին-

տեգրմանը զուգընթաց առաջանում են խնդիրներ՝ կապված համակարգի պլանավորման, էլեկտրաէներգիայի որակի, համակարգի պաշտպանության հետ:

1. Ազդեցությունը համակարգի պլանավորման վրա.

ՖՎ էլքային հզորության փոփոխականության հետևանքով անհրաժեշտություն է առաջանում ցուցաբերել այլ մոտեցումներ համակարգի պլանավորման տեսանկյունից [11]: Ավանդական գեներացիայի պլանավորումը կախված է բեռի ճշգրիտ կանխատեսումից: Փաստորեն, բեռի ճշգրիտ կանխատեսումը հանդիսանում է որակյալ պլանավորման հիմնաքարը: Խոշոր ՖՎ էլեկտրակայանների էլքային հզորությունը եղանակային պայմանների փոփոխության պատճառով կարող է ենթարկվել զգալի փոփոխությունների: Այդ պատճառով բեռի կարճաժամկետ կանխատեսումը դառնում է դժվար, ինչը և դժվարացնում է ճշգրիտ պլանավորման գործընթացը:

2. Ազդեցությունը էներգիայի որակի վրա.

Խոշոր ՖՎ էլեկտրակայանների՝ ցանցին միացման պահին, ինչպես նաև էլքային հզորության փոփոխականությունը կարող են հանգեցնել լարման փոփոխությունների: Արևի ճառագայթման նվազման պատճառով առաջացած հզորության կորուստը պետք ապահովի տեղային էներգահամակարգը: Եթե լարման կարգավորումը չի իրականացվում բավականին հարթ և արագ, ապա լարման տատանումները կլինեն բավականին մեծ:

Բացի այդ, ՖՎ էլեկտրակայանները բաղկացած են ինվերտորներից, որոնք պարունակում են մեծ քանակի ուժային էլեկտրոնիկայի կոմպոնենտներ: Երբ հաստատուն հոսանքը ինվերտորների միջոցով դառնում է փոփոխական, հարմոնիկների առաջացումն անխուսափելի է, ինչն էլ իր հերթին «աղտոտում» է էներգահամակարգը [12]: Գործող ՖՎ համակարգերի հզորության մեծացմանը զուգընթաց՝ մեծաքանակ ուժային էլեկտրոնիկայի սարքավորումները կառաջացնեն մեծաթիվ հարմոնիկներ, ինչը կհանգեցնի լրացուցիչ կորուստների և էլեկտրաէներգիայի որակի անկման: Ինվերտորների շահագործման միաջգային փորձը ցուց է տալիս, որ զուգահեռ աշխատող ինվերտորների առաջացրած հարմոնիկները 1 ինվերտորի հաշվով շատ ավելին են, քան առանձին աշխատող 1 ինվերտորի առաջացրած հարմոնիկը [13]:

3. Ազդեցությունը համակարգի պաշտպանության վրա.

Այն դեպքում, երբ ՖՎ համակարգը բավականին մեծ է, համեմատած բաշխիչ համակարգի հզորությանը, այն կունենա զգալի ազդեցություն պաշտպանության առանձնահատկության վրա [14]: Որպես օրինակ կարելի է բերել ՀՀ միջին և ցածր լարման բաշխիչ ցանցը: Այստեղ համակարգի չեզոքը մեկուսացված է, և ենթակայանների և էլեկտրահաղորդման գծերի պաշտպանությունները

հիմնված են միջֆազային հոսանքային պաշտպանությունների վրա: Բացի այդ, սնող բջիջները սարքավորված են ավտոմատ կրկնակի միացման համակարգերով: ՖՎ գործող համակարգերը կարող են մեծապես ազդել բաշխիչ համակարգի կարճ միացման հոսանքների մեծության, տևողության և ուղղության վրա: Այդպիսով, կարճ միացման պահին պաշտպանության սարքավորումներով անցնող հոսանքի մեծությունը կարող է փոխվել: Դրա հետ մեկտեղ՝ կփոխվի նաև պաշտպանության զգայնությունը: Ընդհանուր առմամբ, պաշտպանության վրա ադեցությունները կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ.

Ա) Խոշոր ՖՎ կայանների կառուցումը գործող համակարգը դարձնում է ավելի բազմակողմանի սնուցվող, որի հետևանքով փոխվում են կարճ միացման հոսանքների մեծությունը, ուղղությունն ու տևողությունը: Այդ պատճառով գոյություն ունեցող պաշտպանության սարքավորումները կարող են չբավարարել պաշտպանությանը առաջադրվող ընտրողականության և զգայնության պահանջները [15] [16]:

Բ) Տրանսֆորմատորի միացման ձևից կախված՝ դրանց միացված ինվերտորները կարող են ստեղծել զրոյական հոսանքների լրացուցիչ շղթաներ, որը կարող է ազդել զրոյական հաջորդականության հոսանքի վրա. կարող է աճել ֆազ-հող լարումը միաֆազ կարճ միացման ժամանակ: Բացի այդ, կփոխվեն ռելեական պաշտպանության գործարկման պայմանները [14]:

Եզրակացություն. Հաշվի առնելով վերը նշվածը, կարելի է պնդել, որ ՖՎ համակարգերը շարունակելու են մնալ վերականգնվող էներգետիկայի ամենաարագ աճող ճյուղերից մեկը հաջորդ տասնամյակի ընթացքում: Սակայն դրանք ունեն մի շարք բացասական ազդեցություններ ավանդական էներգահամակարգի վրա: Չկան ՖՎ ինտեգրման ծավալների հստակ սահմաններ որոշակի էներգահամակարգերի համար: Դրանք մեծապես կախված են տվյալ էներգահամակարգի բնութագրերից, ինչպես նաև տիպից, գտնվելու վայրից և ՖՎ համակարգերի աշխարհագրական բազմազանությունից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. "Snap shot of Global PV Markets" IEA-PVPS - 27 October 2017.
2. He F.B, Zhao Z. M. Overview of Large-scale Grid-connected Photovoltaic Power Plants // Automation of Electric Power Systems.-2013.- Vol. 35, no. 12.
3. Փանոսյան Ժ.Ռ., Թարջումանյան Վ.Ռ., Գալստյան Լ.Ս. Ցանցին միացված 1 ՄՎտ հզորությամբ ֆոտոէներգետիկական համակարգի սկզբունքային սխեմայի մշակումը // ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) Լրաբեր.-2011.- Հ. 3, N 1. - էջ 351-355:

4. **Փանոսյան Ճ.Ռ., Ավետյան Ա.Է., Խաչիկյան Ջ.Մ.** Ցանցին միացված 2 ՄՎտ հզորությամբ արևային ֆոտոգեներատորի կառուցվածքի մշակում// ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) Լրաբեր.-2014.- Մ. 2.- էջ 406-412:
5. **Kouchi K., Nakanishi Y., Yoshida K.** Centralized Control of Clustered PV Generations for Loss Minimization and Power Quality // Proceedings of IEEE Power and Energy Society General Meeting. - Pittsburgh, USA, 2008.-P.225-227.
6. **Hatano H., Fuma Y., Hojo M.** Voltage Rise Suppression by Reactive Power Control with Cooperating Photovoltaic Generation Systems // Proceedings of the 20th International Conference and Exhibition of Electricity Distribution.- Prague, 2011.
7. **Zhao Z.M., Yuan Li. Q., Hu S. D., Wang X. S., Deng Y.** IGBT Model for Analysis of Complicated Circuits // Proceedings of the CSEE.-2010.-Vol. 3.-P. 85-89.
8. **Luo A., Ma F. J., Xie N.** Harmonic Interaction between Large-scale Photovoltaic Power Stations and Grids // Proceedings of the CSEE.-2013.- Vol. 33, no. 34.-P.-24-25.
9. **Clyde Loutan Mark Rothleder,** Case Study–Renewable Integration: Flexibility Requirement, Potential Overgeneration, and Frequency Response Challenges // Practical Management of Variability, Uncertainty, and Flexibility in Power Grids.- 2014.- P. 67-69.
10. **Panosyan Zh.R., Mosoyan S.N.** The importance of the power system flexibility. Evaluation of the system flexibility //Proceedings of NPUA.-2018.- Vol. 1.-P.56-63.
11. **Salama M., Varma R.** Large-scale Photovoltaic Solar Power Integration in Transmission and Distribution Networks // Proceedings of IEEE Power and Energy Society General Meeting.- Detroit, 2011.-P.36-40.
12. **Ishikawa T.** Survey of Inverter and Related Protection Equipments.- IEA-PVPS, Tokyo, 2012.
13. **Bai X. M., Zhu N.H., Dong W.J.** Discussion on the Power Quality Under Grid-connection of Intermittent Power Sources // Power System Technology.-2013.- Vol. 37, no. 5.-P.63-70.
14. **Huang J. D., Duan X. B, Zang Z. Y.** Influence of Photovoltaic Power Generation System on Relay Protection of Distribution Network During Grid—connecting // Hebei Electric Power.-2010.- Vol. 29, no. 3.-P.15-19.
15. **Wang X. W., Qiang S. Q., Shi Z. G.** Influence of Grid Connected Photovoltaic Power System on Line Protection of Distribution Network // *East China Electric Power*.-2010.- Vol. 01, no. 38.-P.40-41.
16. **Leach M. A., Hawkes A. D.** Modelling High Level System Design and Unit Commitment for a Microgrid // Applied Energy.-2009.- Vol. 86, no. 17.-P.146-149.

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 բառեր. 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-