

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**GÜC ELEKTRONİKASI ÇEVİRİCİLƏRİ ÜÇÜN
İNTELLEKTUAL İDARƏETMƏ SİSTEMİNİN İŞLƏNMƏSİ**

**İxtisas: 3337.01 – İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri
(sahələr üzrə)**

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: Yusubov Elvin Vəli oğlu

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

1

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Sürətlə artan enerji tələbatı, ənənəvi enerji mənbələrinin ətraf mühitə vurduğu ziyanın miqyasının genişlənməsi, eyni zamanda bu mənbələrin tükənmək üzrə olması bərpa olunan enerji mənbələrinə xüsusi maraq oyatmışdır. Günəş enerjisi bərpa olunan enerji mənbələrindən biri olub, yüksək perspektivlərə malikdir. Ekoloji cəhətdən ən təmiz enerji növü hesab edilən günəş enerjisi elektrik enerjisinə xüsusi yarımkeçirici materiallardan hazırlanmış fotovoltaiq elementlərdən təşkil olunmuş modullar vasitəsi ilə çevrilir. Lakin, fotovoltaiq modulların çıxış gərginliyinin günəş şüalarının intensivliyi və temperatur kimi faktorlardan asılı olması onların çıxış gərginliyinin verilmiş dayaq qiymətində sabilliyini təmin etmək üçün xüsusi sabit cərəyan güc elektronikasası çeviriciləri vasitəsi ilə yük dövrəsinə qoşulmağını zəruri edir. Sabit cərəyan güc elektronikasası çeviricilərinin əsas vəzifəsi giriş gərginliyi və yük cərəyanının müəyyən dəyişmə diapazonunda çıxış gərginliyinin sabilliyini təmin etməkdir. Sabit cərəyan güc elektronikasası çeviriciləri mikroşəbəkələr adlanan kiçik elektrik şəbəkələri daxilində fotovoltaiq modullara qoşulurlar. Fotovoltaiq modullara qoşulmuş sabit cərəyan çeviriciləri isə öz aralarında adətən, çıxışları ümumi magistral sabit gərginlik şininə birləşdirilmiş formada paralel strukturda qoşulurlar.

Mövcud idarəetmə sistemlərinin nisbi mürəkkəbliyi, idarəetmənin lokal-lokal və lokal-üst səviyyələri arasında zəif struktur-funksional əlaqə, idarəetmənin müxtəlif səviyyələrində insan müdaxiləsinə ehtiyacın olması, müxtəlif təsir amilləri şəraitində zəif adaptivlik, dayanıqlıq və enerji itkiləri bu idarəetmə sistemlərinin ən böyük çatışmazlıqlarıdır. Çeviricilərin və bu çeviricilərdən təşkil olunmuş mikroşəbəkənin adaptivliyinin, çeviricilərin qoşulduğu paralel şin gərginliyinin dayanıqlığı kimi keyfiyyət göstəricilərinin, mikroşəbəkənin daxili funksional blokları arasında, eləcə də bu mikroşəbəkənin digər elektrik şəbəkələri ilə optimal enerji mübadiləsinə təşkil edən, enerji itkilərini minimallaşdıran intellektual mərkəzi idarəetmə sisteminin qurulmasına ehtiyac vardır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Dissertasiya işinin obyektı sabit cərəyan mikroşəbəkələrində sabit cərəyan çeviriciləri və bu çeviricilərdən, bərpa olunan enerji mənbələrindən və yük dövrlərindən ibarət olan mikroşəbəkədir. Dissertasiya işinin predmeti isə mikroşəbəkənin idarəetmə sisteminin intellektual modelinin işlənməsidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin əsas məqsədi müxtəlif həyəcanlandırıcı təsirlər şəraitində güc elektronikasını çeviricilərindən, bərpa olunan enerji mənbələrindən, akkumulyatorlardan və yük dövrlərindən ibarət olan sabit cərəyan mikroşəbəkələrində idarəetmənin müxtəlif səviyyələrində insan müdaxiləsini minimallaşdırmağa imkan verən intellektual idarəetmə sisteminin işlənməsidir. Dissertasiya işinin əsas vəzifələri aşağıdakılardır:

- 1) Mikroşəbəkənin qeyri-müəyyənlik şəraitində avtonom, adaptiv və dayanıqlı iş rejiminin təmin edilməsi;
- 2) Sabit cərəyan güc elektronikasını çeviricilər arasında güc paylaşması məsələlərinin həlli;
- 3) Fotovoltaik modullardan maksimum çıxış gücünün əldə edilməsi məsələlərinin həlli;
- 4) Mikroşəbəkələrdə bərpa olunan enerji mənbələri, enerji yığıma-vermə modulları və digər elektrik şəbəkələri arasında koordinasiya məsələlərinin həlli;
- 5) Mikroşəbəkənin intellektual informasiya-ölçmə və idarəetmə sisteminin yeni struktur-funksional modelinin işlənməsi.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində metaevristik optimallaşdırma metodlarından, ölçmə və xətlər nəzəriyyəsi, qeyri-xətti idarəetmədən, virtual müqavimətlər metodundan, fotovoltaik modullardan maksimum gücün əldə edilməsi alqoritmlərindən, avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi istifadə olunmuşdur. Kompüter simulyasiyaları MATLAB və SİMULİNK mühitində aparılmışdır.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiya işində aşağıdakı müddəalar müdafiyyə təqdim olunur:

-Sabit cərəyan mikroşəbəkələrində sabit cərəyan güc elektronikasası çeviricilərinin çıxış gücləri arasında fərqlərin minimallaşdırılması;

-Mikroşəbəkələrdə idarəetmənin hər üç səviyyəsində iştirak edən çoxsaylı PİD tənzimləyicilərinin intellektuallaşdırılması;

-Sabit cərəyan mikroşəbəkələrində yarımkölgə fiziki hadisəsinin təsiri altında olan fotovoltaiik modullardan maksimum çıxış gücünün əldə edilməsi üçün yeni üsulun işlənilməsi;

-Sabit cərəyan mikroşəbəkələrində yük dövrlərinin fasiləsiz enerji ilə təmin olunması məsələlərini optimal həll edən intellektual idarəetmə sisteminin yeni funksional modelinin işlənilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Tədqiqatın əsas elmi yenilikləri aşağıdakılardır:

- İlk dəfə olaraq sabit cərəyan mikroşəbəkələrində sabit cərəyan güc elektronikasası çeviriciləri arasında gücün paylanması məsələlərini həll etmək imkanına malik olan virtual müqavimətlər metodu intellektual metaevristik MOS-FLEYM alqoritmi ilə optimallaşdırılmış və müvafiq məqsəd funksiyasının modeli işlənilmişdir [5, 6];
- Qeyri-xətti xarakteristikaya malik sabit cərəyan güc elektronikasası çeviricilərinin çıxış xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması üçün bu çeviricilərin PİD tənzimləyicilərinin intellektuallaşdırılması məsələsi həll edilmişdir [1-4];
- Fotovoltaiik modullardan maksimum çıxış gücünün əldə edilməsinə imkan verən metaevristik MOS-FLEYM alqoritmində əsaslanan maksimum güc nöqtəsini izləyən yeni üsul işlənilmişdir [5, 7, 8];
- Sabit cərəyan mikroşəbəkələrində yük dövrlərinin fasiləsiz enerji ilə təmin olunması üçün mikroşəbəkənin daxili funksional blokları, eləcə də bu mikroşəbəkənin başqa mikroşəbəkələrlə və ya dövlət enerji şəbəkəsi ilə optimal enerji mübadiləsini həyata keçirmək imkanına malik olan yeni funksional model işlənilmişdir [10,12,15].

Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti. Əldə edilmiş əsas nəticələr mühüm nəzəri və tətbiqi əhəmiyyətə malikdir.

İşin nəzəri əhəmiyyəti– Dissertasiya işində müasir intellektual metaevristik alqoritmlər vasitəsi ilə mikroşəbəkələrdə güc elektronikasını çeviricilərinin mürəkkəb idarəetmə məsələlərinin optimal həlli imkanları geniş tədqiq edilmiş; metaevristik MOS-FLEYM alqoritmi ilə mikroşəbəkənin idarəetmə metodlarının optimallaşdırılmasının yeni üsulları işlənilib təqdim edilmiş; sabit cərəyan mikroşəbəkələrinin intellektual idarəetmə sisteminin qurulması üçün müvafiq güc elektronikasını çeviricilərinin seçilmə metodikası verilmiş; bu çeviricilərin vəziyyət tənzimləri, ötürmə funksiyaları, eləcə də sirkulyasiya cərəyanlarının riyazi modeli əldə edilmişdir. Təqdim edilmiş metod və modellər universal xarakter daşıyır və bu sahədə nəzəri tədqiqatların davam etdirilməsi nöqtəyindən nəzərdən xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

İşin praktiki əhəmiyyəti– təklif edilən metodlar uzaqlaşdırılmış ölçmə-nəzarət məntəqələrinin, seysmik, telekommunikasiya və meteoroloji stansiyaların, biotibbi avadanlıqların, ucqar yaşayış və tibb məntəqələrinin, ağıllı şəhər və kəndlərin, elektrik avtomobillərin, pilotsuz uçan aparatların, gəmilərin və digər hərəkət edən obyektlərin qismən və ya tam enerji təchizatı məsələlərinin həllində müvəffəqiyyətlə tətbiq oluna bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas tədqiqat və praktiki nəticələrinin Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin «Cihaz mühəndisliyi» kafedrasında tədris olunan “Kompüterli-informasiya ölçmə sistemlərində intellektual ölçmə vasitələri”, “Elektronika və sxemotexnika” fənlərinin mühazirə və laboratoriya dərslərinin yerinə yetirilməsində, həmçinin «Cihaz mühəndisliyi» kafedrasında aparılmış elmi-tədqiqat işlərində istifadə olunması tətbiq akt ilə təsdiq edilmişdir. Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı beynəlxalq konfranslarda müzakirə olunmuşdur:

1. International Conference Automatics and Informatics (ICAI-2021), 30 Sept.-2 Oct. 2021, Varna, Bulgaria;
2. International Scientific and Practical Conference «Intellectual Systems and Information Technologies», September 13–19, 2021, Odesa, Ukraine;

3. International Conference Automatics and Informatics (ICAI-2022), 6-8 Oct. 2022, Varna, Bulgaria;
4. The third international scientific – practical conference – Modern Information, Measurement, and Control systems: problems, applications and perspectives (MIMCS-2022), November 04-05, 2022, Antalya, Türkiye;
5. IFAC Workshop on Control for Smart Cities (CSC 2022), 27–30 June 2022, Sozopol, Bulgaria;
6. International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES 2023), June 21-23, 2023, Kavala, Greece;
7. International Conference on Industry Sciences & Computer Sciences Innovation (iSCSi'23), October 04-06, 2023, Lisbon, Portugal.

Dissertasiya işinin mövzusunə uyğun 15 elmi iş, o cümlədən 8 məqalə, 7 elmi-konfrans materialı, 2 həmmüəllifsiz məqalə dərc etdirilmişdir. Bunlardan, 8-i “SCOPUS”, 1-i isə “Web of Science” elmi bazalarında indekslənməmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat: Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin «Cihaz mühəndisliyi» kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Müəllifin şəxsi iştirakı: Dissertasiya işinin məqsədi, müdafiəyə çıxarılan müddəalar, müqayisəli təhlillər, işlənmiş yeni intellektual üsul və struktur-funksional modellər, aparılmış riyazi hesabatlar, sxemlərin tərtibatı, əldə edilmiş simulyasiya və eksperimental nəticələr şəxsən müəllifə aiddir.

Dissertasiyanın həcmi və quruluşu: Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyası tərəfindən qoyulan tələblərə uyğun qaydada yazılmışdır. Dissertasiya işi giriş, üç fəsil, nəticə və istinad olunan ədəbiyyatdan ibarətdir.

Dissertasiya işinin girişi 32898, I fəsil 47141 işarə, II fəsil 64608 işarə, III fəsil 54459 işarə, nəticə 999 işarədən ibarət olmaqla ümumilikdə 200105 işarədən ibarət mətnə şərh olunmuşdur.

İŞİN QISA MƏZMUNU

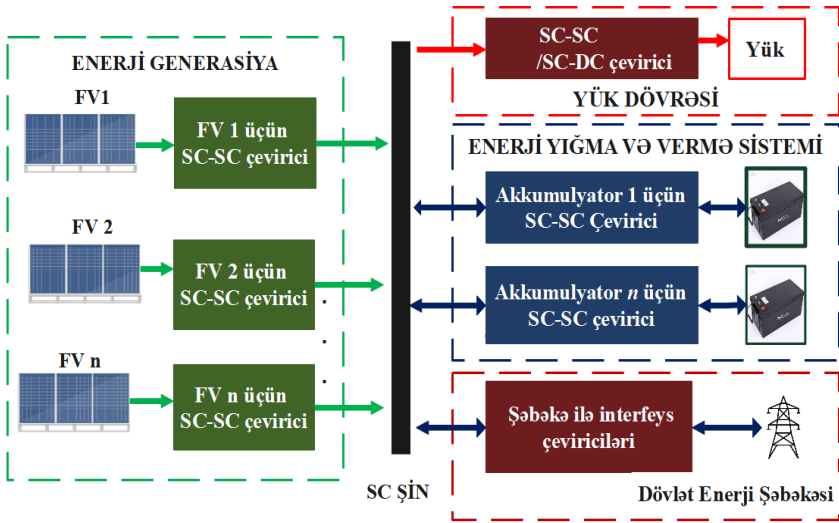
Girişdə mövzu sahəsinin aktuallığı, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqat metodları, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti qeyd olunmuşdur.

Fəsil 1-də güc elektronikasını çeviricilərinin geniş təsnifatlandırılması aparılmış, onların əsas növləri müqayisəli formada tədqiq edilmiş, sabit cərəyan (SC) mikroşəbəkələrində rolu nəzərdən keçirilmiş, FV modullara qoşulmaq üçün bir istiqamətli SEPİK sxemli, akkumulyatorla interfeysin təşkili üçün iki istiqamətli SEPİK-ZETA sxemli sabit cərəyan çeviriciləri seçilmiş, onların vəziyyət təhliləri, ötürmə funksiyaları işlənmişdir.

Güc elektronikasını çeviricilərinin SC mikroşəbəkələrində əsas vəzifəsi paylanmış enerji mənbələri ilə yük dövrəsinin qoşulduğu SC şini arasında interfeys rolunda çıxış etməkdir. Mikroşəbəkə dedikdə enerji mənbələri, yük dövrələri və güc elektronikasını çeviricilərdən ibarət müstəqil fəaliyyət göstərə bilən kiçik elektrik şəbəkələri nəzərdə tutulmuşdur. SC mikroşəbəkələrində çeviricilərin paralel strukturda qoşulduğu şin gərginliyi sabit gərginlikdir. SC güc elektronikasını çeviricilərinin əsas vəzifəsi isə mərkəzi kontrollerdən gələn siqnalara müvafiq olaraq SC şin gərginliyini və gücünü tənzimləməkdir. Dəyişən cərəyan (DC) mikroşəbəkələri ilə müqayisədə SC mikroşəbəkələrinin aşağıdakı əsas üstünlükləri müəyyən edilmişdir:

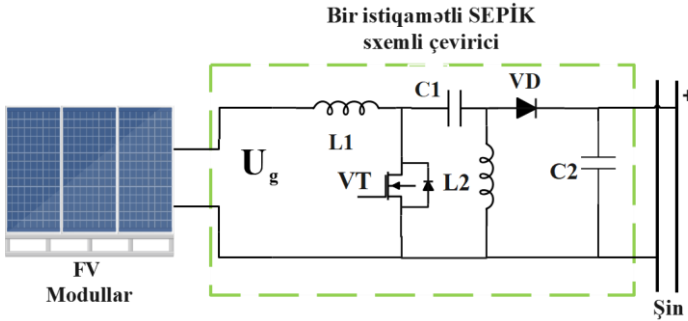
1. Aralıq enerji çevirmə modullarının (dəyişən-sabit) sayının az olması səbəbindən bərpa olunan enerji mənbələrinə daha asan inteqrasiya imkanı;
2. SC sistemlərdə reaktiv güclərin idarə olunması kimi məsələlərin mövcud olmaması;
3. Akkumulyatorlu enerji yığıma və vermə sistemləri vasitəsi ilə yük dövrəsinin fasiləsiz enerji ilə təminatının daha səmərəli olması.

Şəkil 1-də avtonom SC mikroşəbəkələrinin struktur sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1. Sabit cərəyan mikroşəbəkələrinin struktur sxemi

Şəkil 2-də bir istiqamətli SEPİK sxemli çeviricinin FV modula və şinə qoşulma sxemi verilmişdir.



Şəkil 2. Bir istiqamətli SEPİK sxemli çeviricinin FV modula və şinə qoşulma sxemi

Giriş gərginliyi ilə müqayisədə daha böyük və ya kiçik çıxış gərginlikləri yarada bilmə imkanına sahib olması, döyünən yük cərəyanına malik olmaması, çıxış gərginliyinin inverslənməyən

olması və daha yüksək faydalı iş əmsalına malik olması səbəbindən SEPİK sxemli çeviricilər FV modullara qoşulmaq üçün bir istiqamətli çevirici olaraq seçilmişdir. SEPİK sxemli SC çeviricisi $L1$ və $L2$ induktiv sargılarından, $C1$ və $C2$ kondensatorlarından, elektron açar rejimində fəaliyyət göstərən VT sahə tranzistorundan, VD diodundan, U_g giriş gərginlik mənbəyindən və R yük müqavimətindən ibarətdir. Bu çeviricilər yüksəldici sxemli çeviricilər üzərində qurulmuşdur.

SC güc elektronika çeviricilərinin dinamik modelləri onların vəziyyət tənlikləri ilə müəyyən edilir. SC çeviricilərinin ümumiləşdirilmiş vəziyyət tənlikləri, bu çeviricilərdə elektron açar rejimində fəaliyyət göstərən tranzistorların qapalı və açıq rejimlərini xarakterizə edən dinamik tənliklərinin ümumiləşdirilmiş riyazi modeldə birləşdirilməsi ilə əldə edilmişdir. SEPİK sxemli çeviricinin ümumiləşdirilmiş vəziyyət tənlikləri aşağıda verilmiş riyazi ifadə ilə göstərilmişdir:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_{L1}}{dt} \\ \frac{di_{L2}}{dt} \\ \frac{du_{C1}}{dt} \\ \frac{du_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{-(1-d)}{L1} & \frac{-(1-d)}{L1} \\ 0 & 0 & \frac{d}{L2} & \frac{-(1-d)}{L2} \\ \frac{(1-d)}{C1} & \frac{-d}{C1} & 0 & 0 \\ \frac{(1-d)}{C2} & \frac{(1-d)}{C2} & 0 & \frac{-1}{RC2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ u_{C1} \\ u_{C2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [U_g], \quad (1)$$

$$\mathbf{Y} = [0 \ 0 \ 0 \ 1] \begin{bmatrix} i_{L1} \\ i_{L2} \\ u_{C1} \\ u_{C2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} U_g. \quad (2)$$

Burada, i_{L1} və i_{L2} induktiv sargı cərəyanlarını, u_{C1} və u_{C2} kondensatorların üzərindəki gərginlik düşkülərini, U_g giriş gərginliyini, d və $1-d$ doldurma əmsalları olub, tranzistorun qapalı və açıq kommutasiya rejimlərini xarakterizə edir.

Vəziyyət tənliklərindən istifadə edərək SEPİK sxemli çeviricinin tranzistoruna verilən impulsun davam etmə müddətini

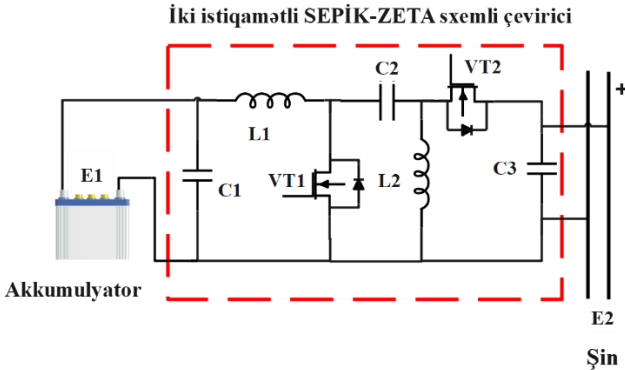
xarakterizə edən doldurma əmsalının qiyməti və çıxış gərginliyini əlaqələndirən ötürmə funksiyasını əldə etmək mümkündür. İnduktiv sarğac $L1$ və $L2$ -nin qiymətləri 3.6mH, kondensator $C1$ və $C2$ -nin qiymətləri 19mF, yük müqaviməti 5 Om seçilmişdir. Verilənləri nəzərə alaraq aşağıdakı ötürmə funksiyası əldə edilmişdir:

$$\frac{U_{\text{çıkış}}(s)}{d(s)} = \frac{-1.74 \cdot 10^{-7} s^3 + 4 \cdot 10^{-5} s^2 - 0.0018 s + 0.5887}{1.3 \cdot 10^{-9} s^4 + 2 \cdot 10^{-8} s^3 + 1.8 \cdot 10^{-5} s^2 + 1.7 \cdot 10^{-4} s + 0.05} \quad (3)$$

SEPIK sxemli çeviricinin giriş və çıxış gərginliyini əlaqələndirən ötürmə funksiyası əldə edilmişdir:

$$\frac{U_{\text{çıkış}}(s)}{U_{\text{giriş}}(s)} = \frac{1.3 \cdot 10^{-4} s^2 + 1.4}{1.5 \cdot 10^{-8} s^4 + 2.5 \cdot 10^{-7} s^3 - 2 \cdot 10^{-4} s^2 + 0.002 s + 1.4 \cdot 10^{-4}} \quad (4)$$

İki istiqamətli SC-SC güc elektronikasısı çeviriciləri akkumulyatorların şin ilə interfeysinin təşkil edilməsində xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Dissertasiya işində iki istiqamətli çevirici kimi SEPIK-ZETA sxemli çevirici seçilmişdir. Şəkil 3-də iki istiqamətli SEPIK-ZETA sxemli çeviricinin akkumulyatorlara və SC şinə qoşulma sxemi verilmişdir.



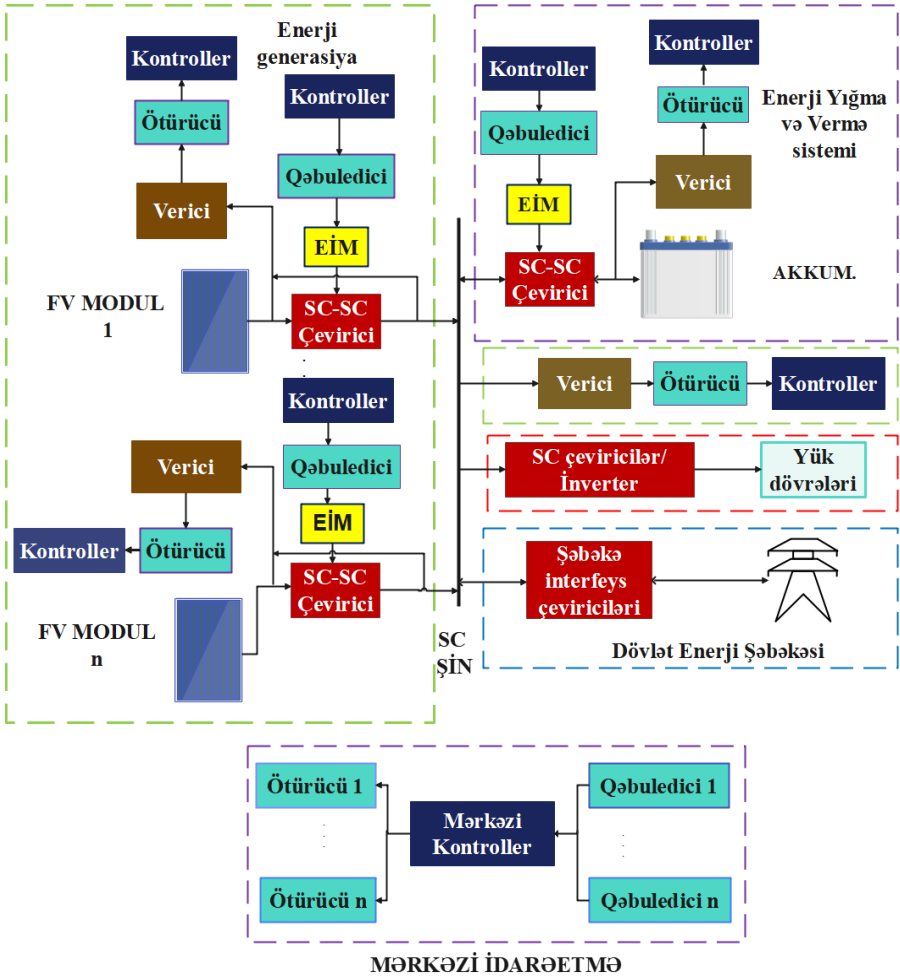
Şəkil 3. İki istiqamətli SEPIK-ZETA sxemli çeviricinin akkumulyatorlara və SC şinə qoşulma sxemi

İki istiqamətli çevirici kimi SEPİK-ZETA sxemli çeviricinin seçilməsinin ən böyük üstünlüyü akkumulyatorların dolması və boşalması əməliyyatlarının icra edilməsi üçün, SC şin gərginliyini artırıb, azaltmağa ehtiyacın olmamasıdır. Beləcə, stabil şin gərginliyi vasitəsi ilə akkumulyatorları doldurub-boşaltmaq mümkündür. Akkumulyatorların boşalma rejimində çevirici SEPİK sxemi, dolma rejimində isə ZETA sxemi üzrə fəaliyyət göstərir.

Fəsil 2-də güc elektronikasısı çeviricilərinin əsas idarəetmə metodlarının müqayisəli təhlili aparılmış, SC mikroşəbəkələrinin üç səviyyəli iyerarxik idarəetmə sisteminin hər bir səviyyəsinin mövcud çatışmazlıqları və üstünlükləri nəzərdən keçirilmiş, ənənəvi və metaevristik optimallaşdırma metodlarının müqayisəli təhlili aparılmış və intellektual idarəetmə sisteminin qurulması üçün metaevristik MOS-FLEYM optimallaşdırma metodu seçilmişdir. Bu fəsilə həmçinin SC mikroşəbəkələrdə meydana gələn sirkulyasiya cərəyanlarının riyazi modeli və sabit cərəyan mikroşəbəkələrinin informasiya-ölçmə sisteminin yeni struktur-funksional modeli işlənmişdir.

FV SC mikroşəbəkələrində intellektual idarəetmə sisteminin qurulması üçün müvafiq informasiya-ölçmə və idarəetmə sisteminin struktur-funksional modelinin işlənilməsi zəruridir. FV SC mikroşəbəkələrinin informasiya-ölçmə sistemi özündə Mikroşəbəkənin avtomatik ölçmə və nəzarət, texniki-diaqnostika, çıxış gücünü proqnozlaşdırma sistemlərini cəmləşdirir. SC mikroşəbəkələrində çeviricilərin çıxış gərginliyinin stabilliyi, çıxış gücünün paylanması, FV modullardan maksimum gücün əldə edilməsi kimi zəruri məsələlərinin həlli üçün çeviricilərin və modulların çıxış gərginlik və cərəyanlarının qiymətlərinin real-zamanda ölçülməsinə ehtiyac vardır.

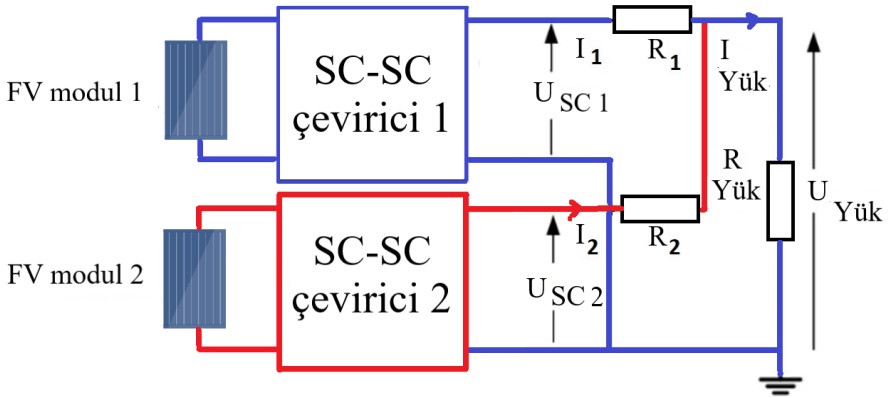
Şəkil 4-də təklif edilmiş informasiya-ölçmə və idarəetmə sisteminin struktur modeli verilmişdir.



Şəkil 4. Fotovoltaik mikroşəbəkələr üçün informasiya-ölçmə və idarəetmə sisteminin struktur modeli

Çoxsaylı SC-SC çeviricilərinin SC mikroşəbəkələrində paralel birləşdirilməsi zamanı diqqət yetirilməli əsas məqamlara çeviricilərin çıxış gərginliklərinin tənzimlənməsi, onlar arasında gücün paylanma fərqlərinin minimalaşdırılması və sirkulyasiya cərəyanının

mövcudluğu daxildir. Paralel strukturda eyni gərginlik şinə birləşdirilmiş çeviricilərin çıxış gərginliklərinin qiyməti bərabər olduğu halda, çeviricilərin çıxış cərəyanlarının bərabər paylanması mümkün olur. Çeviricilərin çıxış gərginliklərinin qeyri-bərabər qiymətləri elektron dövrədəki kommutasiya rejimində işləyən elementlərin elektrik yüklənməsinin artmasına və onların uzun ömürlülüğünün azalmasına səbəb olur. Şəkil 5-də FV modullarla sabit gərginliklə işləyən yük dövrəsini əlaqələndirən iki SC-SC çeviricisi təsvir edilmişdir.



Şəkil 5. Paralel strukturda vahid şinə qoşulmuş müxtəlif çıxış gərginlikli sabit cərəyan çeviriciləri

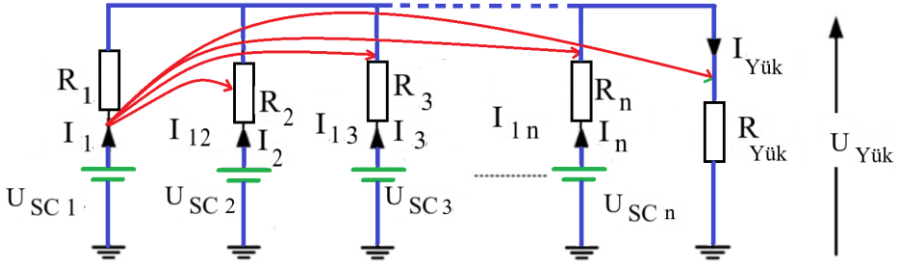
Burada U_{SC1} , U_{SC2} , R_1 və R_2 müvafiq olaraq birinci və ikinci çeviricinin çıxış gərginlikləri və naqilin parazit müqavimətləridir. İki çeviricili sistem üçün sirkulyasiya cərəyanının Kirxhofun qanunları əsasında riyazi analizi aşağıda aparılmışdır:

$$I_{12} = -I_{21} = \frac{U_{SC1} - U_{SC2}}{R_1 + R_2} = \quad (5)$$

$$= \frac{I_1 - I_2}{2} \quad (\text{əgər } R_1 = R_2) = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{əgər } R_1 \neq R_2).$$

Burada, I_1 və I_2 müvafiq olaraq birinci və ikinci çeviricinin çıxış cərəyanları, I_{12} isə birinci çeviricidən ikinci çeviriciyə doğru istiqamətlənmiş sirkulyasiya cərəyanıdır.

Şəkil 6-da sabit gərginlikli yük müqaviməti üçün paralel birləşdirilmiş n saylı çeviricilər göstərilmişdir.



Şəkil 6. Vahid şinə qoşulmuş müxtəlif çıxış gərginlikli n saylı sabit cərəyan çeviricilərinin ekvivalent elektrik sxemi

Çeviricilərin sayı birdən çox olduqda, yuxarıda qurulmuş düsturlar aşağıdakı ifadə ilə ümumiləşdirilmişdir:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_j \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{m \neq 1}^n \left(\frac{1}{R_1 + R_m} \right) & \left(\frac{-1}{R_1 + R_m} \right) & & \\ & \vdots & & \\ & \left(\frac{-1}{R_n + R_1} \right) & & \dots \sum_{m \neq n}^{n-1} \left(\frac{1}{R_1 + R_m} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{SC1} \\ \vdots \\ U_{SCj} \\ \vdots \\ U_{SCn} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$j = 1, 2, \dots, n.$$

Yuxarıda aparılmış analizdən aydın olur ki, çıxış gərginlikləri qeyri-bərabər olduqda, çeviricilər yük cərəyanından əlavə sirkulyasiya cərəyanı da ötürür. Beləcə, cərəyanın paylanma fərqi hər bir çeviricinin çıxış gərginliyi və onun naqıl müqaviməti ilə təyin edilmiş olur.

Bu fəsilə, həmçinin ənənəvi optimallaşdırma üsulları ilə intellektual metaevristik optimallaşdırma üsulları müqayisəli təhlil

edilmişdir. SC mikroşəbəkələrin intellektual idarəetmə sisteminin qurulmasında metaevristik alqoritmlərin aşağıdakı üstünlüklərə malik olması müəyyən edilmişdir:

1. Özünüöyrətmə mexanizmlərinə malik olması;
2. Kəsilən, törəməsi müəyyən olmayan nöqtələrə malik məqsəd funksiyalarına tətbiq edilə bilmə imkanı;
3. Diferensial tənliklərdən istifadə edilməməsi;
4. Lokal ekstremumda ilişməməsi;
5. Məhdud və qeyri-müəyyən informasiyaya malik olan proseslərə tətbiqi imkanı;
6. Mikrokontrollerlərin verilənləri emal prosesini asanlaşdırması;
7. Adaptivlik və avtonomluq;
8. Qısa müddət ərzində optimal həllə çatma imkanının olması.

Fəsil 3-də metaevristik MOS-FLEYM optimallaşdırma (MFO) metodu ilə SC mikroşəbəkələrinin intellektual idarəetmə sisteminin funksional modeli, optimallaşdırma üçün müvafiq məqsəd funksiyalarının modeli işlənmiş və müvafiq simulyasiyalar yerinə yetirilmişdir.

Mikroşəbəkənin idarəetmə sisteminin hər üç səviyyəsində iştirak edən çoxsaylı PİD tənzimləyicilərinin sazlanma məsələlərinin həll edilməsi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. İntellektual sistemin qurulmasına PİD tənzimləyicilərinin sazlanma parametrlərinin adaptivləşdirilməsi ilə başlanılmışdır. PİD tənzimləyiciləri SC mikroşəbəkəsinin iyerarxik idarəetmə strukturunun müxtəlif səviyyələrində, idarəedici tənzimləmələri həyata keçirirlər. Statik parametr qiymətlərinə malik olan PİD tənzimləyicilərinin SC çeviricilərində mövcud olan qeyri-xətti, mürəkkəb və dinamik proseslərdə arzuolunan dinamik və statik xarakteristikalarına malik olmaması müəyyən edilmişdir. Belə şərtlər daxilində PİD tənzimləyicilərin xarakteristikalarını yaxşılaşdırmaq üçün tənzimləyici parametrlərin MFO alqoritmi ilə seçilməsi təklif edilmiş və müvafiq adaptivləşdirmə əməliyyatları aparılmışdır. Dissertasiya işində intellektual alqoritm olaraq metaevristik MOS-FLEYM alqoritmi seçilmişdir. Metaevristik alqoritmlər qrupuna daxil olan MOS-FLEYM optimallaşdırma metodu digər metodlarla müqayisədə

optimal həllə yüksək yaxınlaşma sürəti ilə seçilir¹. MOS-FLEYM alqoritmi ilə xarakteristikaları yaxşılaşdırılmış PİD tənzimləyici adaptiv sazlama parametrlərinə malik olmaqla dinamik, mürəkkəb proseslərin real-zamanlı idarə edilməsində yüksək effektivliyə nail olmuşdur.

Populyasiya əsaslı olan bu alqoritm ilə dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş PİD tənzimləyicisinin yaxşılaşdırılması məsələlərinin alqoritmik həlli üçün əvvəlcə təsadüfi M_{PID} potensial həllər matrisi qurulmuşdur. PİD tənzimləyicilərin xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması zamanı isə potensial həllər matrisində MFO kontrolleri ilə generasiya edilmiş proporsional, inteqral və diferensial sazlama parametrlərinin qiymətləri saxlanılmışdır. PİD tənzimləyicinin yaxşılaşdırılması zamanı üç sazlanma parametrlərinin mövcudluğuna görə üç ölçülü potensial həllər matrisi seçilmişdir:

$$M_{PID} = \begin{bmatrix} m(p)_{1,1} & m(i)_{1,2} & m(d)_{1,3} \\ m(p)_{2,1} & m(i)_{2,2} & m(d)_{2,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ m(p)_{n,1} & m(i)_{n,2} & m(d)_{n,3} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Burada n -potensial həllərin sayıdır. Sütunların sayı dəyişənlərin (sistemin ölçüsü) sayıdır.

Güc paylanması məsələlərini həll edən virtual müqavimətlər metodunun MOS-FLEYM alqoritmi ilə optimallaşdırılması zamanı və maksimum çıxış gücünü izləmə kontrolleri üçün bir ölçülü potensial həllər matrisindən istifadə edilmişdir:

$$M_{VM,MGNI} = \begin{bmatrix} m_{1,1} \\ m_{2,1} \\ \vdots \\ m_{3,1} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

¹ Elvin Yusubov, Lala Bekirova, A Moth-Flame Optimized Robust PID controller for a SEPIC in Photovoltaic Applications, IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 11, 2022, Pages 120-125, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.08.059>.

Potensial həllərin ilkin çoxluğunun generasiyası aşağıdakı funksiya müvafiq olaraq həyata keçirilir²:

$$\mathbf{M}_{i,j} = (\mathbf{ub}(i) - \mathbf{lb}(j)) * \text{rand}() + \mathbf{lb}(i). \quad (9)$$

Göründüyü kimi burada aşağı və yuxarı hədləri müəyyənləşdirən, müvafiq olaraq qeyd edilmiş \mathbf{lb} və \mathbf{ub} vektorlarından istifadə edilmişdir.

Məqsəd funksiyanın qiymətini saxlamaq üçün müvafiq \mathbf{OM} matrisi qurulmuşdur:

$$\mathbf{OM}_{PID,VM,MGNi} = \begin{bmatrix} OM_1 \\ OM_2 \\ \vdots \\ OM_n \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Burada n -potensial həllərin sayıdır.

Bənzər qaydada \mathbf{F} əlverişli həllər matrisi qurulmuşdur. Qeyd etmək lazımdır ki, potensial və əlverişli həllər matrislərinin hər ikisi də həllərdir. Potensial həllər -verilmiş məsələnin həlli üçün təklif edilmiş həllər çoxluğu; əlverişli həllər isə bu potensial həllər arasından seçilmiş və verilmiş optimallaşdırma məsələsi üçün ən münasib həllər vektorlarıdır. Əsas yeniləmə mexanizmi olaraq ənənəvi spiral funksiyası seçilmişdir:

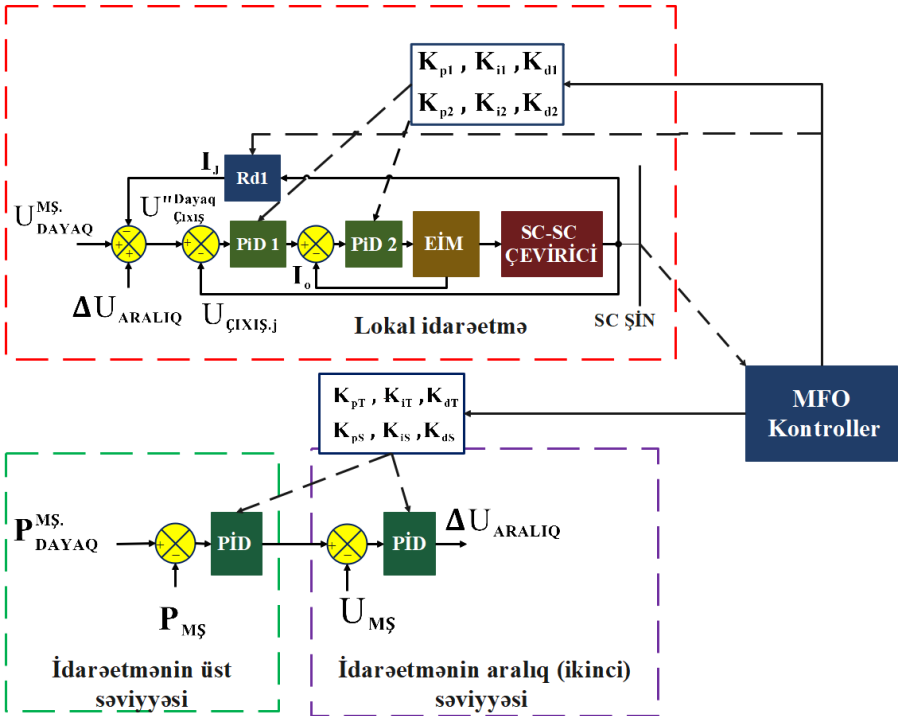
$$S(\mathbf{M}_i, \mathbf{F}_j) = |\mathbf{F}_j - \mathbf{M}_i| e^{bk} \cos(2\pi k) + \mathbf{F}_j. \quad (11)$$

Burada, \mathbf{M}_i - i -ci potensial həlli, \mathbf{F}_j - j -ci əlverişli həlli, S isə spiral funksiyanı təsvir edir; b -spiralın formasını müəyyən edən əmsal, k isə $(-1, 1)$ intervalında seçilmiş təsadüfi ədəddir.

Şəkil 7-də MFO alqoritmi ilə yaxşılaşdırılmış PİD tənzimləyicili SC mikroşəbəkələrinin iyerarxik idarəetmə sisteminin struktur-funksional sxemi verilmişdir. İşlənmiş modeldən göründüyü kimi

² Mirjalili S. Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm. Knowl Based Syst, 2015 Nov; 89:228-49. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.07.006>

idarəetmənin hər üç səviyyəsində yerləşən çoxsaylı PİD tənzimləyicilərinin parametrlərini MFO kontrolleri vasitəsi ilə sazlamaq mümkündür.

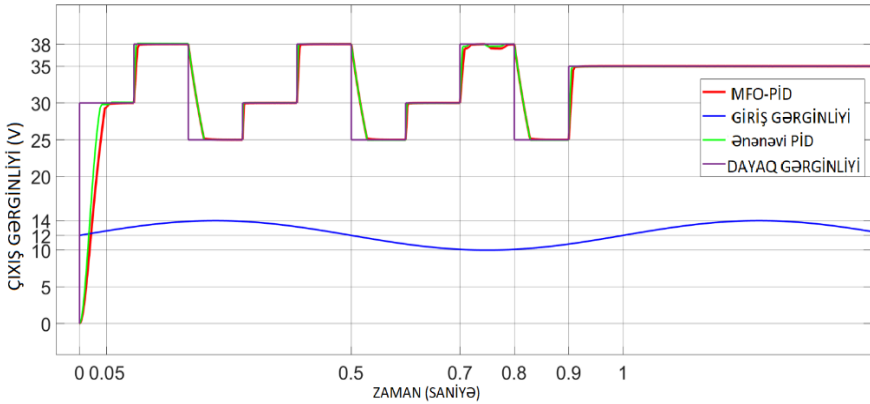


Şəkil 7. MFO algoritmi ilə optimallaşdırılmış PİD tənzimləyicili SC mikroşəbəkələrinin iyerarxik idarəetmə sisteminin modeli

İşlənmiş MFO-PİD tənzimləyicinin dinamik və statik xarakteristikalarının qiymətləndirilməsi üçün müvafiq kompüter simulyasiyaları “MATLAB/SIMULINK” mühitində edilmiş və fiziki model işlənmişdir. Simulyasiyalar iki mərhələdə aparılmışdır. Birinci mərhələdə, işlənmiş MFO-PİD tənzimləyicinin dayaq gərginliyini izləmə qabiliyyəti FV modulunun çıxış gərginliyinin temperatur və günəş şüalarının intensivliyindən asılı dəyişmələrini

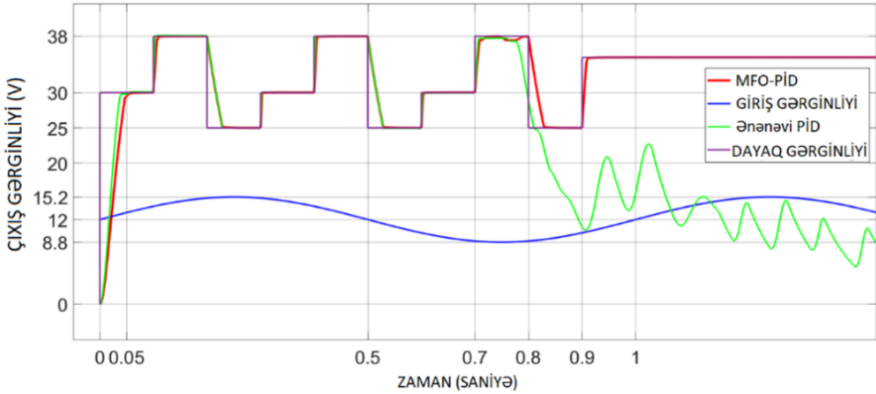
imitasiya edən giriş gərginliyinin variasiyaları daxilində həyata keçirilmişdir. İkinci mərhələdə, yük müqavimətinin fərqli qiymətlərində dayaq gərginliyinin izlənmə qabiliyyəti sınaqdan keçirilmişdir.

Şəkil 8-də MFO və ənənəvi Ziqler-Nikols metodları ilə sazlanmış PİD tənzimləyicilərin giriş gərginliyinin 10V-dan 14V-a qədər 1Hz tezlikdə və 7Ω yük müqavimətinin təsiri altında keçid xarakteristikaları göstərilmişdir. Simulyasiya nəticələrindən görüldüyü kimi, hər iki tənzimləyici giriş gərginliyinin 10-14V dəyişmələrində arzuolunan göstəricilərə malikdir. Lakin, giriş gərginliyinin 8.8V to 15.2V dəyişmələrində MFO-PİD tənzimləyicisinin yüksək göstəricilər nümayiş etdirməsinə baxmayaraq, ənənəvi PİD tənzimləyici dayaq gərginliyini izləyə bilməmiş və öz dayanıqlığını itirmişdir.



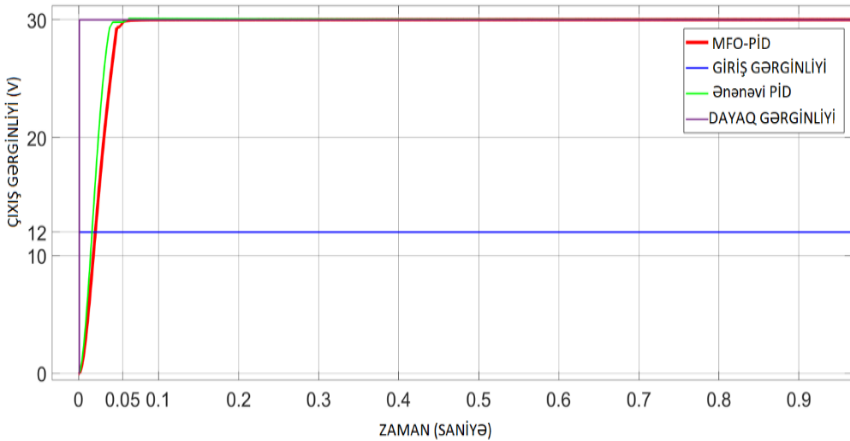
Şəkil 8. 4V giriş gərginliyi variasiyasında keçid prosesi

Şəkil 9-da MFO və ənənəvi Ziqler-Nikols metodları ilə sazlanmış PİD tənzimləyicilərin giriş gərginliyinin 8.8V-dan 15.2V-a qədər 1Hz tezlikdə və 7Ω yük müqavimətinin təsiri altında keçid xarakteristikaları göstərilmişdir

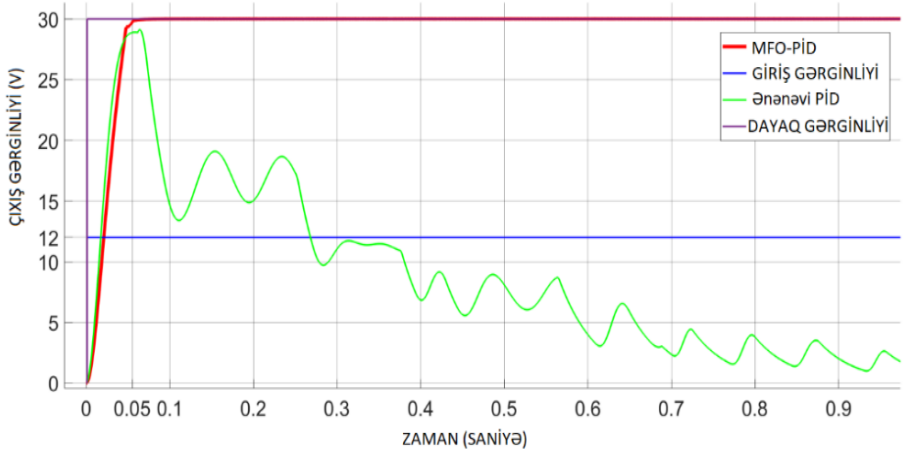


Şəkil 9. 6.4V giriş gərginliyi variasiyasında keçid prosesi

Şəkil 10 və Şəkil 11-də hər iki tənzimləyicinin giriş gərginliyinin 12V, dayaq gərginliyinin isə 30V qiymətlərində yük müqavimətinin 7Ω -dan 5Ω -a dəyişməsi vəziyyətində keçid xarakteristikalarını təsvir edilmişdir.



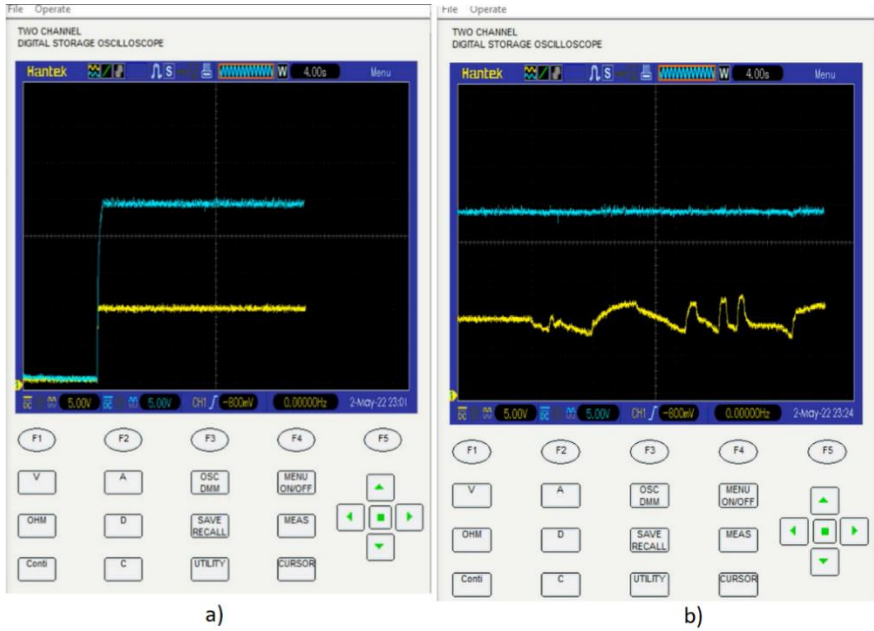
Şəkil 10. Yük müqavimətinin 7Ω qiymətində keçid xarakteristikası



Şəkil 11. Yüklə müqavimətinin 5Ω qiymətində keçid xarakteristikası

Simulyasiya nəticələrindən göründüyü kimi, hər iki tənzimləyici 7Ω yüklə müqavimətində qəbul edilə bilən keçid xarakteristikalarına malik olsa da bu müqavimətin 5Ω -a azalması vəziyyətində klassik xətti PİD tənzimləyici arzu edilən dayaqlı gərginliyini izləyə bilməməklə qeyri-stabil xarakteristika nümayiş etdirmişdir. Yaxşılaşdırılmış PİD tənzimləyicili SC mikroşəbəkələrinin fiziki modelinin qurulması üçün seçilmiş STM32F407ZE mikrokontroller modulu seçilmişdir. Verilənlər çeviricinin giriş və çıxışına qoşulmuş “HANTEK DSO5202P” real ossiloqrafından əldə edilmiş və kompüterə ötürülmüşdür. SC çeviricisinin girişinə 12 voltluq vahid təkan siqnalı verilmiş və çıxışda dayaqlı siqnalı 25V, 0.05% dəqiqliklə uğurla izlənmişdir. Eksperimentdən göründüyü kimi dayaqlı siqnalı uğurla izlənmişdir

Şəkil 12(a)-da fiziki MFO-PİD tənzimləyicinin keçid xarakteristikaları (25V dayaqlı gərginliyi) nümayiş etdirilmişdir. Şəkil 12(b)-də SC çeviricinin girişinə 12V ətrafında təsadüfi gərginlik variasiyaları verilmiş və çıxışda dayaqlı siqnalı 25V, 0.065% dəqiqliklə uğurla izlənmişdir.



a)

b)

Şəkil 12. İşlənmiş MFO-PİD tənzimləyicinin fiziki modelinin a) keçid xarakteristikaları (25V dayaq gərginliyi), b) giriş gərginliyi variasiyasında statik çıxış xarakteristikası

Qeyd etmək lazımdır ki, giriş gərginlik variasiyaları burada, FV modulların çıxışında mövcud olan gərginlik variasiyalarını imitasiya edir.

Lokal səviyyədə SC çeviriciləri arasında çıxış güclərinin paylanma fərqlərini minimallaşdırmaq üçün üçün virtual müqavimətlər metodu seçilmiş və optimallaşdırılmışdır. Bu metod, çeviricilərin çıxış cərəyanı və gücünün artırılıb/azaldılması üçün hər bir çeviricinin çıxışına fiziki olmayan virtual müqavimətlərin qoşulmasına əsaslanır. Virtual müqavimətlərin qiymətlərinin dəyişdirilməsi ilə çeviricilərin çıxış güc və cərəyanının qiymətlərini tənzimləmək mümkündür. Ənənəvi virtual müqavimətlər metodunda, virtual müqavimətlərin qiyməti statik xarakter daşıyır, əvvəlcədən şinə paralel strukturda qoşulmuş hər bir çevirici üçün fərdi qaydada

müəyyən olunur və real-zamanda adaptiv olaraq dəyişdirilmə imkanına malik deyildir. Bu səbəbdən gücün real-zamanlı dinamik paylanmasına imkan vermir. Dinamik proseslər zamanı çeviricilər arasında gücün paylanma fərqlərinin minimallaşdırılması üçün virtual müqavimətlərin də real-zamanda adaptiv tənzimlənməsinə ehtiyac olması müəyyənləşdirilmişdir.

İki çeviricili virtual müqavimətlərə əsaslanan kontrollerin riyazi modeli aşağıda verilmişdir:

$$U''_{jYENİDAYAQ} = U'_{jDAYAQ} - I_j R_{VMj}, \quad (12)$$

$$\Delta U_{sc} = |U_{sc\ dayaaq} - U_{sc}| \leq \Delta U_{sc\ maks}. \quad (13)$$

Burada tənzimlənən dayaq gərginlikləri (U'_{1DAYAQ} , and U'_{2DAYAQ}), çıxış cərəyanları (I_1 and I_2), virtual müqavimətlər (R_{VM1} and R_{VM2}), ilə işarə edilmişdir. ΔU_{sc} -çıxış gərginliyinin deviasiyası, $\Delta U_{sc\ max}$ isə çıxış gərginliyinin deviasiyasının maksimum qiymətidir.

Buraxıla bilən gərginlik hədləri üçün virtual müqavimətin qiyməti aşağıdakı düsturla verilmişdir:

$$R_{VMj} = \frac{(U'_{ojDAYAQ} - U''_{ojYENİDAYAQ})_{max}}{I_{oj}} \quad (14)$$

SC çeviricilərinin çıxış gücləri arasında paylanma fərqlərini minimallaşdırmaq üçün intellektual metaevristik MOS-FLEYM alqoritmi ilə optimallaşdırılmış virtual müqavimətlər (VM) metodu əsaslı tənzimləyici kontroller qurulmuşdur. MFO-VM kontroller üçün işlənmiş məqsəd funksiyası SC çeviricilərinin çıxış güclərinin orta-kvadratik meyletmə qiymətinin 0-a yaxınlaşdırılmasına əsaslanır.

MFO ilə optimallaşdırılmanın həyata keçirilməsi üçün məqsəd funksiyasının qurulmasına ehtiyac vardır. Məqsəd funksiyasının iki əsas mərhələdə qurulmuşdur. Birinci mərhələdə çıxış cərəyanları arasında fərqlərin minimallaşdırılması məsələlərinə baxılmışdır. Fərz edək ki, müvafiq çıxış cərəyanları ($I_1, I_2, I_3, \dots, I_N$) olan n ədəd SC-SC çeviricisi mövcuddur. Qarşıya qoyulan əsas məqsəd çıxış cərəyanları arasındakı fərqi azaltmaq üçün bu çıxış cərəyanlarının orta-kvadratik meyletmə qiymətini MFO alqoritmi ilə minimallaşdırmaqdır. İşlənmiş məqsəd funksiyasının ilk həddi aşağıda verilmişdir:

$$\min \sigma_I = \sqrt{\frac{\sum(I_j - \bar{I})^2}{N}} = \sqrt{\frac{(I_1 - \bar{I})^2 + (I_2 - \bar{I})^2 + \dots + (I_N - \bar{I})^2}{N}}. \quad (15)$$

Burada, σ_I – çıxış cərəyanlarının orta kvadratik meyletməsi; I_j – j -ci çeviricinin cari çıxış cərəyanı; \bar{I} – n ədəd çeviricinin çıxış cərəyanlarının orta qiymətidir.

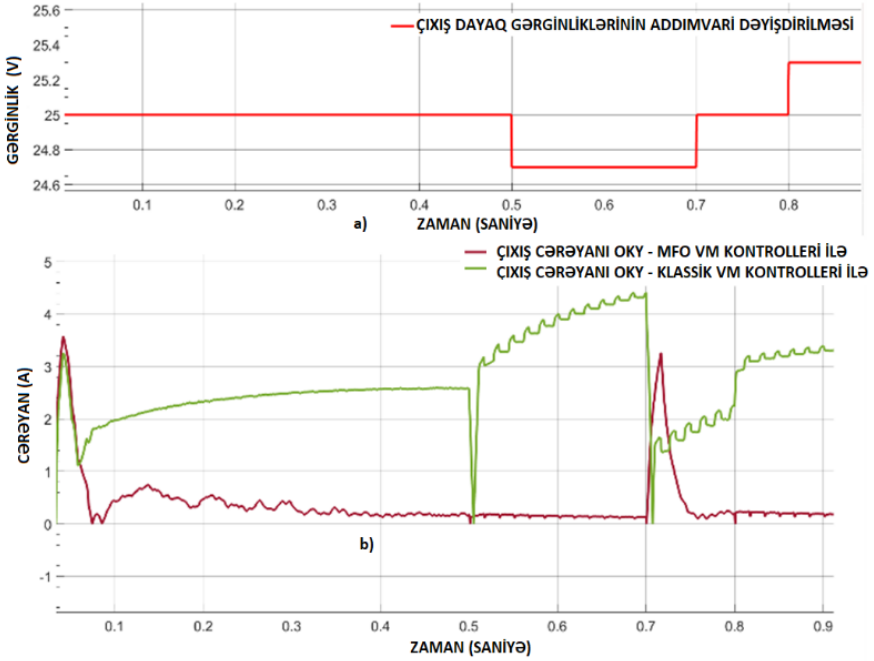
Bununla belə çıxış cərəyan fərqlərinin azaldılması şin gərginliyinin arzuolunmaz dəyişmələrinə səbəb olur. Gərginlik və cərəyan variyasiyaları arasında balansın qorunması üçün, əlavə olaraq gərginlik deviasiyasını aradan qaldıran riyazi hədd əlavə edilmişdir. İkinci mərhələdə çıxış cərəyanlarının orta kvadratik meyletməsinin minimallaşdırılması ilə yanaşı çeviricilərin cari çıxış gərginlikləri ilə dayaq gərginlikləri arasındakı fərqin də azaldılmasına baxılmışdır. İşlənmiş məqsəd funksiyasının yenilənmiş forması aşağıda verilmişdir:

$$\min z = \sqrt{\frac{\sum(I_j - \bar{I})^2}{N}} + \sum |U'_{çix.day.J} - U_{çix.J}|. \quad (16)$$

Burada, $\Delta U_{xəta j}$ – şindəki gərginlik deviasiyası, $U'_{çix.day.J}$ – j -ci çeviricinin dayaq gərginliyi, $U_{çix.J}$ – cari çıxış gərginliyidir.

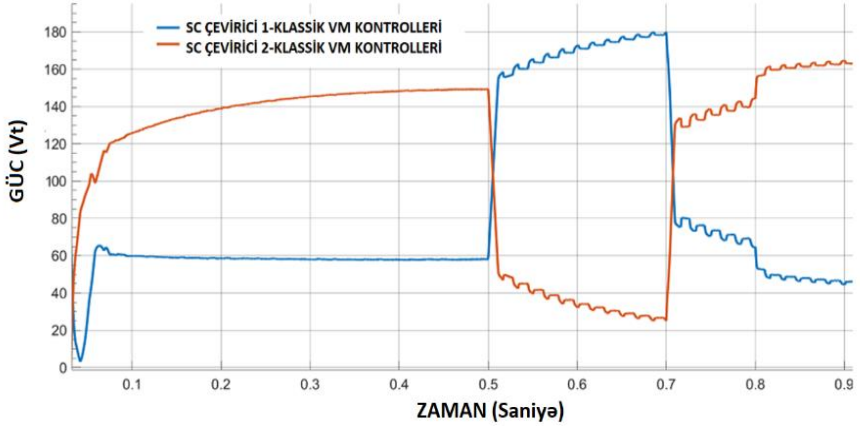
Şəkil 13(b)-də çeviricinin çıxış cərəyanlarının orta-kvadratik meyletməsinin (OKY) statik və adaptiv parametrlı VM kontrolleri göstərilmişdir. Daha yüksək çıxış göstəricilərinə malik adaptiv parametrlı VM kontrollerin OKY-sı 0-a yaxınlaşsa da, statik əmsallı VM kontrollerin OKY-sı 2 ətrafında qərarlaşmışdır. Çeviricilərin çıxış dayaq gərginlikləri, Şəkil 13(a) təsvir edildiyi kimi, 24.75V-dan 25.25V-a kimi dəyişdirilmişdir. Burada müvafiq olaraq çeviricinin çıxış cərəyanlarının orta-kvadratik meyletməsi, ənənəvi və adaptiv müqavimətlər parametri qiymətləri ilə təsvir edilmişdir. Hər iki çevirici eyni şinə qoşulmuşdur. İkinci çeviricinin dayaq gərginlikləri çeviricilərinin çıxış gərginliklərində süni fərq yaratmaq üçün ± 0.25 V addımı ilə zamana görə dəyişdirilmişdir. Ənənəvi VM idarəetmə ilə müqayisədə, MFO-VM metodu ilə cərəyanın paylanma xətasının

minimallaşdırılmasına nail olmuşdur. Bu metod vasitəsi ilə gərginlik deviasiyası və cərəyan paylanması xətarlarını minimallaşdırmaqla müxtəlif daxili və xarici faktorların təsirini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmaq mümkündür.

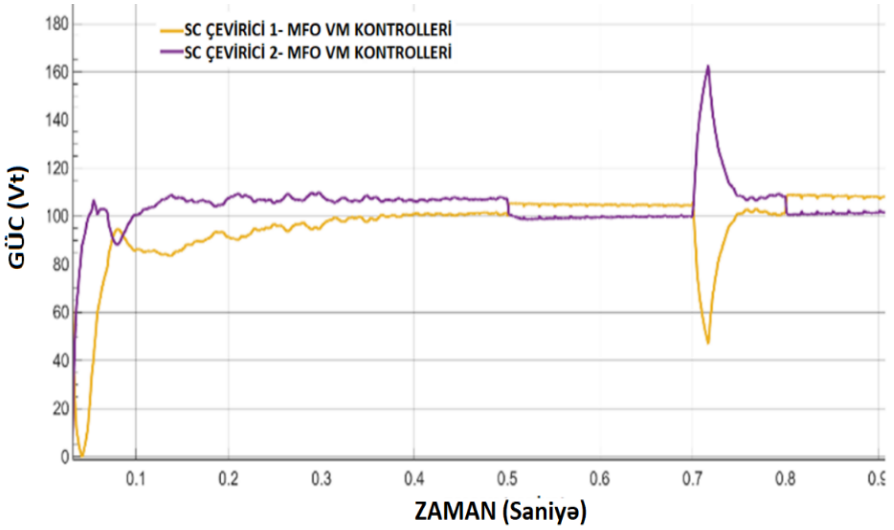


Şəkil 13. Çıxış cərəyanlarının orta-kvadratik meylətməsi

Nəticələrdən görüldüyü kimi təklif edilmiş MFO-VM kontrolleri ilə güc paylanması xətası əhəmiyyətli dərəcədə VM kontrolleri ilə güc paylanması xətasına nisbətən çox kiçikdir. Optimallaşdırılmış yeni üsul gücün dinamik olaraq real-zamanda bərabər paylanmasına imkan verir. Şəkil 14 və Şəkil 15-də çeviricinin çıxış gücləri arasındakı fərqlər nümayiş etdirilmişdir. Simulyasiyanın ədədi nəticələri isə cədvəl 1-də verilmişdir.



Şekil 14. Statik parametrlı VM kontrollerli SC çeviricisinin ıxıř gc



Şekil 15. Adaptiv parametrlı MFO-VM kontrollerli SC çeviricisinin ıxıř gc

Cədvəl 1**Klassik VM və MFO-VM kontrollerin müqayisəli simulyasiya nəticələri**

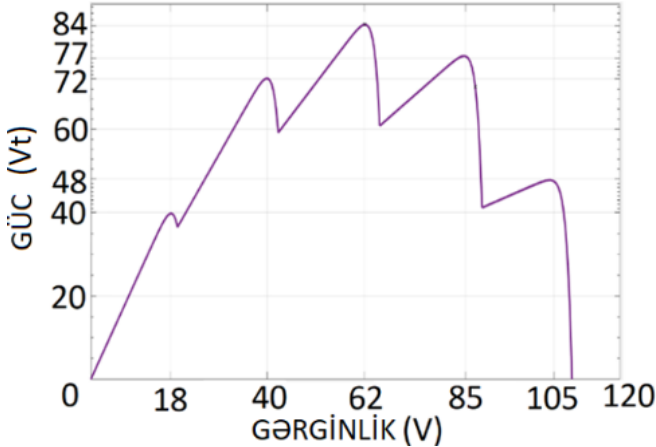
Dayaq gərginlikləri	25 V	24.75 V	25.25 V
Cərəyanın OKY-si	2.35/0.4	4/0.2	3.4/0.25
Orta cərəyan fərqi (A)	3.4 /0.15	5.5/2	4.6/0.35
Orta güc fərqi (Vt)	80/6	140/7.8	110/8
Orta gərginlik fərqi (V)	0.05/0.01	0.2/0.23	0.1/0.12

Pertubasiya, inkremental keçiricilik kimi əhəmiyyətli maksimum güc nöqtəsini izləyən (MGNI) idarəetmə metodları ilə idarəolunan çeviricilərdə fotovoltaiik modulun güc-gərginlik xarakteristikaları müqayisəli təhlil edilmiş və məlum olmuşdur ki, yarımkölgə fiziki hadisəsinin təsiri altında FV modullarının çıxış xarakteristikalarında birdən artıq maksimumun yaranması müşahidə edilmişdir. Əhəmiyyətli metodlara əsaslanan kontrollerlərin çıxış xarakteristikalarında tək maksimuma malik güclərin uğurla izlənməsi məlum olmuşdur. Lakin, yarımkölgə fiziki hadisəsinin təsiri altında olan modulların çıxış xarakteristikalarından birdən artıq lokal maksimumlar müşahidə edildiyi üçün, əhəmiyyətli metodların lokal maksimum güc nöqtəsini tapıb onun ətrafında qərarlaşması, bunun da nəticəsində maksimum güc nöqtəsinin aşkar oluna bilməməsi və modulun faydalı iş əmsalının əhəmiyyətli dərəcədə azalması ilə nəticələndiyi müəyyən edilmişdir. Metaevristik optimallaşdırma metodlarının çox ekstremumlu funksiyalarda maksimum nöqtənin tapılmasında effektiv olmasını nəzərə alaraq, verilmiş məsələ üçün metaevristik alqoritmin seçilməsi daha məqsədəuyğun hesab edilmişdir. Təklif edilmiş MFO-MGNI metodunun effektivliyini nümayiş etdirmək üçün, əhəmiyyətli pertubasiya və zərrəctiklərin sürü intellekti əsaslı ZSI-MGNI kontrollerləri işlənilmiş və simulyasiyalar aparılmışdır.

Seçilmiş bütün fotovoltaiik modullar identik olub, yarımkölgə şəraiti ilə imitasiya edilmişdir. MGNI kontrolleri fotovoltaiik modulun çıxış gərginliyi və cərəyanını ölçərək maksimum güc nöqtəsinin təyini üçün MFO alqoritmindən istifadə edir. Kontrollerin çıxış siqnalı isə

kommutasiya elementi üçün impulsun enini müəyyən edən doldurma əmsalıdır.

Pertubasiya, ZSİ və MFO ilə yaxşılaşdırılmış MGNİ kontrollerləri, yarımkölgə fiziki hadisəsinin yaratdığı şəraiti nəzərə almaqla modelləşdirilmişdir. Şəkil 16-da fotovoltaiq modulun çıxış güc-gərginlik xarakteristikasını təsvir edilmişdir.

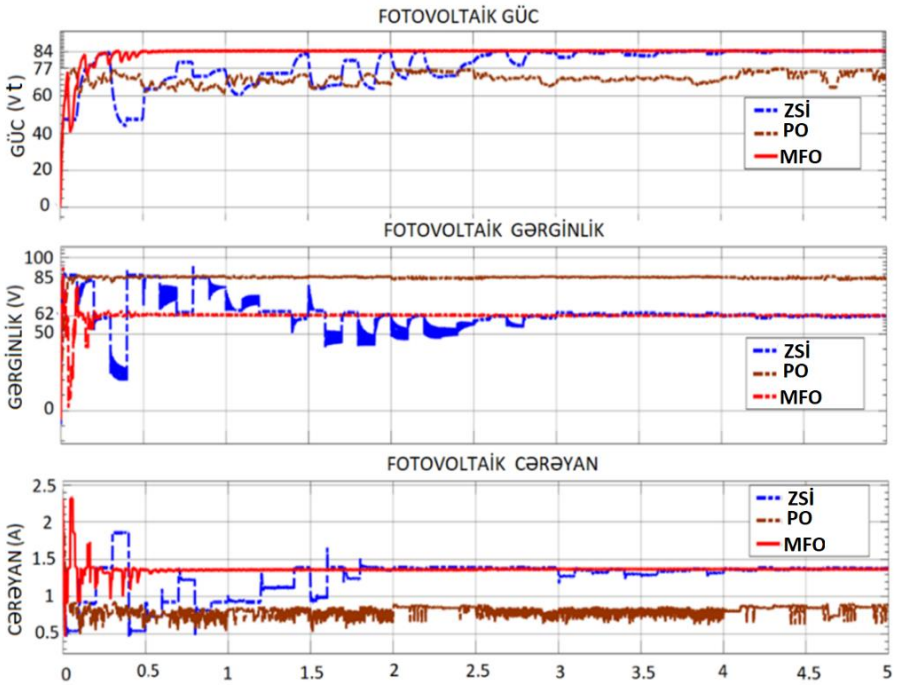


Şəkil 16. Yarımkölgə şəraitində FV modullar çıxış xarakteristikası

Əyrinin formasından görüldüyü kimi, yarımkölgə şəraiti səbəbindən verilmiş fotovoltaiq modul dörd ədəd lokal, bir ədəd isə qlobal maksimum nümayiş etdirmişdir. Kontrollerlər maksimum nöqtəni izləmə qabiliyyətinin qiymətləndirilməsi üçün müəyyən sınaqlardan keçirilmişdir. Günəş şüaları intensivliyinin müxtəlif səviyyələri və 25 selsi temperatur simulyasiya parametrləri olaraq seçilmiş və cədvəl 3-də verilmişdir. Qrafikdən görüldüyü kimi maksimum güc 84 Vt-a 62 V-da nail olunmuşdur. Lokal maksimumlar isə 18V-da 40 Vt, 40V-da 72Vt, 85V-da 77 Vt və 105V-da 48 Vt kimi müşahidə edilmişdir.

Şəkil 17-də hər üç kontroller tərəfindən izlənilmiş fotovoltaiq çıxış gücünün simulyasiya nəticələri verilmişdir. MFO və zərrəciklərin sürü intellektinə əsaslanan (ZSİ) MGNİ kontrollerləri qlobal maksimum nöqtəsi olan 84Vt-ı izləyə bilsələr də ZSİ-MGNİ

alqoritmi lokal maksimumda ilişərək 77 Vt qiymətini əldə etmişdir. Baxmayaraq ki, ZSİ və MFO-MGNİ kontrollerləri hər ikisi qlobal maksimumu aşkar edə bilmişdir, təklif edilmiş MFO alqoritmi buna qərarlaşma müddətinin 0.6 saniyəsi ilə nail olmuşdur. ZSİ-MGNİ kontrollerində isə qərarlaşma müddəti 5 dəfə çox, yəni 3 saniyə olmuşdur. Maksimum gücün müşahidə olunduğu gərginlikləri ZSİ, MFO və pertubasiya kontrollerində müvafiq olaraq 62 V, 62 V və 85 V-dır. Ölçmələrin ədədi qiymətləri isə müvafiq olaraq cədvəl 2-də verilmişdir.



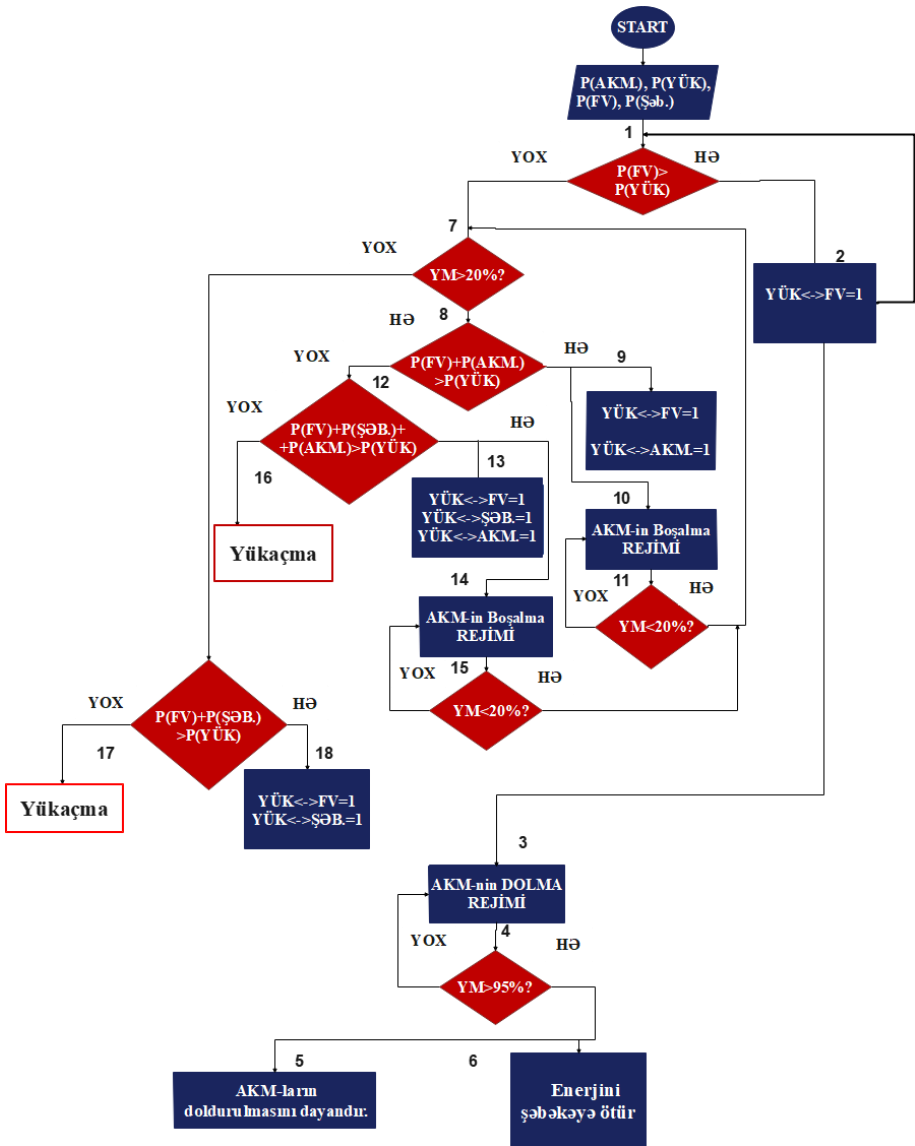
Şəkil 17. MGNİ kontrollerlərinin yarım kölgə şəraitində çıxış xarakteristikası

**ZSİ, Pertubasiya və MFO-MGNİ kontrollerin müqayisəli
simulyasiya nəticələri**

MGNİ kontrollerləri	Pertubasiya	ZSİ	MFO
İzlənən maksimum güc	61-77 Vt	84 Vt	84 Vt
Gərginlik	85 V	62 V	62 V
Nisbi yaxınlaşma sürəti	Aşağı	Orta	Sürətli

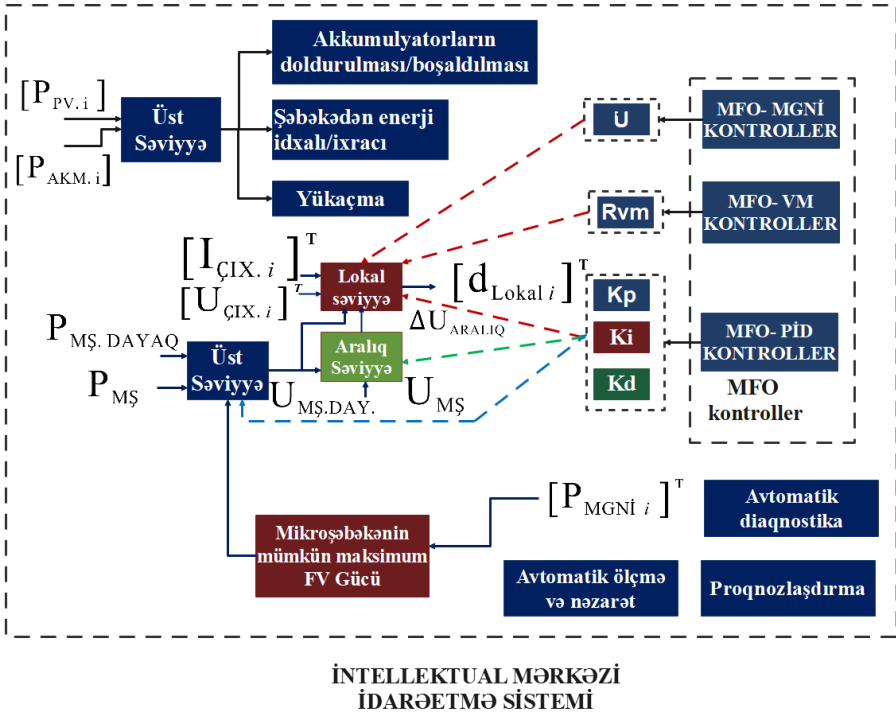
Mikroşəbəkənin mərkəzi kontrollerinin digər əhəmiyyətli vəzifələrindən biri də yük dövrəsinin fasiləsiz enerji təminatını həyata keçirməkdir. Lakin bəzi hallarda FV modulların çıxış güclərinin cəmi yük dövrəsinin fasiləsiz enerji təminatı üçün kifayət olmaya bilər. Akkumulyatorların və dövlət enerji şəbəkəsinin əsas məqsədi bu kimi hallarda tələb edilən gücün yük dövrəsinə çatdırılmasını həyata keçirməkdir. Burada $\sum_1^N P_{FV}$ - FV modullarının çıxış güclərinin cəmi, $\sum_1^N P_{AKM}$, akkumulyatorların çıxış güclərinin cəmi, $P_{ŞƏB}$, - şəbəkə gücü, $\sum_1^N P_{YÜK}$ - yük dövrələrinin tələb etdiyi gücdür. Mərkəzi kontroller, $\sum_1^N P_{FV}$, $\sum_1^N P_{AKM}$, $P_{ŞƏB}$, $\sum_1^N P_{YÜK}$ -ün qiymətlərindən asılı olaraq, yük dövrəsinə müvafiq enerji mənbələrinin qoşulması həyata keçirilir. Qoşulmanın məntiqi vəziyyət qiyməti 1- müvafiq mənbənin yük dövrəsinə qoşulduğunu, 0-isə mənbənin yük dövrəsindən ayrıldığını göstərir. Akkumulyatorlar isə dolma (+1 məntiqi vəziyyəti), boşalma (-1 məntiqi vəziyyəti) və gözləmə (0 məntiqi vəziyyəti) ilə xarakterizə edilirlər. Akkumulyatorlarda yük miqdarının maksimal həddi olaraq 95%, minimal həddi olaraq isə 20% seçilmişdir. Bu da akkumulyatorların həddindən artıq dolma və boşalma məsələlərinin qarşısını almaqla onların uzunömürlülüyünün artırılmasına xidmət edir.

Şəkil 18-də SC mikroşəbəkənin enerji axımının ümumiləşdirilmiş idarəetmə alqoritmini təsvir edilmişdir.



Şəkil 18. Sabit cərəyan mikroşəbəkəsində enerji axımının ümumiləşdirilmiş idarəetmə alqoritmi

Təklif edilmiş alqoritmin əsas üstünlüyü isə hasil edilən güc ilə tələb edilən güc arasında balansı qorumaq qabiliyyətidir. Bir digər üstünlüyü isə iki istiqamətli SEPİK-ZETA sxemli çeviricisindən istifadə edərək sabit şin gərginliyi ilə akkumulyatorların dolma və boşalma əməliyyatlarının yerinə yetirilməsidir ki, bu da şin gərginliyinin stabilliyinin artırılmasına hesablanmışdır. Funksional modelin işlənməsi zamanı yalnız zəruri hallarda dövlət enerji şəbəkəsindən enerji idxalının olmasına, akkumulyatorların yük miqdarını nəzərə almaqla onların uzunömürlülüyünün artırılmasına və yük dövrlərinin fasiləsiz enerji təminatı məsələlərinə xüsusi diqqət ayrılmışdır. Şəkil 19-da SC mikroşəbəkələrinin təklif edilmiş yeni intellektual idarəetmə sisteminin funksional modeli təsvir edilmişdir.



Şəkil 19. Sabit cərəyan mikroşəbəkələrinin intellektual idarəetmə sisteminin yeni funksional modeli

Sabit cərəyan mikroşəbəkələrinin idarəetmə sisteminin işlənmiş yeni funksional modeli özündə hər üç səviyyə üzrə PID tənzimləyicilərinin parametrlərinin sazlanması, gücün paylanması üçün virtual müqavimətlərin qiymətlərinin hesablanması, FV modullardan maksimum gücün əldə edilməsi, akkumulyatorların dolma-boşalma rejimlərinin seçilməsi, SC mikroşəbəkələrə daxil və xaric olan enerji miqdarının idarə olunması kimi məsələləri intellektual metodlarla həll etmək imkanına malik olan alt sistemlərin idarəetmə modellərini özündə cəmləşdirir.

DİSSERTASIYA İŞİNİN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ

Dissertasiya işində əldə edilmiş əsas elmi nəticələr aşağıdakı kimidir:

- 1) Güc elektronikasası çeviricilərinin geniş təsnifatlandırılması aparılmış, onların əsas növləri müqayisəli formada tədqiq edilmiş, sabit cərəyan (SC) mikroşəbəkələrində rolu nəzərdən keçirilmişdir [1,2,11];
- 2) SC mikroşəbəkənin intellektual idarəetmə sisteminin işlənməsi üçün fotovoltaik modullara qoşulmaq üçün bir istiqamətli SEPİK sxemli, akkumulyatorla interfeysin təşkili üçün iki istiqamətli SEPİK-ZETA sxemli çeviricilərin seçilmə səbəbləri əsaslandırılmış, onların müvafiq vəziyyət tənliləri və ötürmə funksiyaları işlənmişdir [10,11];
- 3) SC mikroşəbəkələrində meydana gələn sirkulyasiya cərəyanlarının riyazi modeli işlənmişdir [5,6];
- 4) Ənənəvi və metaevristik optimallaşdırma üsullarının müqayisəli təhlili aparılmış və mikroşəbəkənin idarəetmə sisteminin intellektual modelinin qurulması üçün sürü intellektinə əsaslanan MOS-FLEYM alqoritminin seçilmə səbəbləri əsaslandırılmışdır [3,4,5,6,8,14];
- 5) Sabit cərəyan mikroşəbəkələrində sabit cərəyan güc elektronikasası çeviriciləri arasında gücün paylanma məsələlərini həll etmək imkanına malik olan virtual müqavimətlər metodu intellektual metaevristik MOS-FLEYM alqoritmı ilə optimallaşdırılmış və müvafiq məqsəd funksiyasının yeni modeli işlənmişdir [5,6];
- 6) SC mikroşəbəkələri üçün intellektual informasiya-ölçmə və idarəetmə sisteminin yeni struktur-funksional modeli işlənmişdir [12];
- 7) Mikroşəbəkənin hər üç idarəetmə səviyyəsinin PİD tənzimləyicilərinin intellektuallaşdırılması məsələsi həll edilmişdir [1,2,3,4];

- 8) Xarakteristikaları yaxşılaşdırılmış intellektual PİD tənzimləyicisinin “STM32F407” mikrokontrolleri əsasında fiziki modeli realizə edilmişdir [1,2, 4];
- 9) Fotovoltaik modullardan maksimum çıxış gücünün əldə edilməsi üçün metaevristik MOS-FLEYM alqoritminə əsaslanan maksimum güc nöqtəsini izləməyə imkan verən yeni üsul təklif edilmiş və funksional model işlənmişdir [5,7];
- 10) Mikroşəbəkələrdə idarəetmənin hər üç səviyyəsində iştirak edən çoxsaylı PİD tənzimləyicilərini sazlamaq, virtual müqavimətlərin qiymətlərini hesablamaq, fotovoltaik modullardan maksimum çıxış gücünü əldə etmək kimi məsələləri həll etmək qabiliyyətinə malik olan intellektual idarəetmə sisteminin yeni funksional modeli işlənmişdir [4,5,7];
- 11) Yük dövrlərinin fasiləsiz enerji ilə təmin olunması üçün mikroşəbəkənin daxili funksional blokları, eləcə də bu mikroşəbəkənin digər enerji şəbəkələri ilə optimal enerji mübadiləsini həyata keçirmək imkanına malik olan yeni funksional model işlənmişdir [9,10,12,13,15].

Dissertasiya işinin mövzusunə dair dərc olunmuş elmi əsərlərin siyahısı

1. Yusubov E. and Bakirova L., «A Self-Tuning Fuzzy PID Controller for SEPIC Based on Takagi-Sugeno Inference System,» International Conference Automatics and Informatics (ICAI), 2021, pp. 54-57, doi: 10.1109/ICAI52893.2021.9639804.
2. Yusubov E. and Bakirova L. “ Design and Simulation of the Auto-Tuning TS-Fuzzy PID Controller for the DC-DC ZETA Converter, “ International Scientific and Practical Conference «Intellectual Systems and Information Technologies», September 13–19, 2021, Odesa, Ukraine ISSN- 1613-0073. <http://ceur-ws.org/Vol-3126/paper36.pdf>

3. Yusubov E. and Bakirova L., A Moth-Flame Optimized Robust PID controller for a SEPIC in Photovoltaic Applications, IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 11, 2022, Pages 120-125, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.08.059> .
4. Yusubov E. and Bakirova L., Development of an improved hierarchical control system using the metaheuristic PID tuner for DC microgrids. Advanced Information Systems, 6(3), 42–47, 2022, ISSN-2522-9052, <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.3.06>
5. Yusubov E. and Bakirova L., «A Robust Metaheuristic Central Controller for the Hierarchical Control System with the Adaptive Power sharing and MPPT in DC Microgrids ‘International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE) Journal, Issue 53, Vol. 14, No. 4, December 2022. <https://www.ijotpe.com/IJTPE/IJTPE-2022/IJTPE-Issue53-Vol14-No4-Dec2022/54-IJTPE-Issue53-Vol14-No4-Dec2022-pp392-399.pdf>
6. Yusubov E. and Bakirova L., "Adaptive Metaheuristic Moth-Flame Optimized Droop Control Method for DC Microgrids," 2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), 2022, pp. 204-209, doi: 10.1109/ICAI55857.2022.9960119
7. Yusubov E. and Bakirova L., "Metaheuristic Maximum Power Point Tracking for PV systems under Partial Shading Conditions," 2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), 2022, pp. 355-360, doi:10.1109/ICAI55857.2022.9960006.
8. Yusubov E., “Metaheuristic optimized DC microgrids”. The third international scientific – practical conference – modern information, Measurement, and control systems: problems, applications and perspectives (MIMCS- 2022), pp.26, ASOIU, 2022. <https://zenodo.org/records/8217335>
9. Mammadov R., Aliew F., Yusubov E., “Development of a power stability system”. The third international scientific –

practical conference – modern information, Measurement, and control systems: problems, applications and perspectives (MIMCS- 2022),p.9, ASOIU, 2022.
<https://zenodo.org/records/8217335>

10. Yusubov, E., and Bekirova, L. The optimized power flow control system for the photovoltaic DC microgrid. E3S Web of Conferences, 404, 03001. 2023.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340403001>
11. Yusubov, E., Selection of the non-isolated unidirectional dc-dc converters for photovoltaic applications. Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions, Volume 33 (04) ISSUE 10 2023, pp 110-120, ASOIU, Baku, Azerbaijan, 2023. <https://zenodo.org/records/8338483>
12. Yusubov, E., Design of an intelligent information measurement system for photovoltaic dc microgrids. Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions, ASOIU, Volume 34, Issue 11, pp 54-64, 2023.
<https://zenodo.org/records/10062961>
13. Yusubov, E., Bakirova L., A load-shedding mechanism using the binary number generator in photovoltaic DC microgrids. iSCSi'23 - International Conference on Industry Sciences & Computer Sciences Innovation, Lisbon, Portugal, 04.10.2023.
14. Khudaverdiyeva M., Yusubov E., Ismayil S., A Fuzzy Controller for a Mobile Robot with Obstacle Avoidance 3rd « Proceedings of the international research, education & training center”, The Baltic Scientific Journal, volume 27 issue 06, ISSN: 2613-5817; e-issn:2613-5825, 2023, doi prefix: 10.36962/piretc
15. Yusubov, E., Bakirova L., A Standalone DC Microgrid Energy Management Strategy Using The Battery State of Charge. Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, Poland, 3/2023, pp 75-78.
<https://doi.org/10.35784/iapgos.5320> .

Həmmüəlliflərlə birgə işlərdə iddiaçının şəxsi fəaliyyəti:

[1-4,14]- Kompleks, qeyri xətti proseslərdə idarəetmə məsələləri, PİD tənzimləyicilərin qeyri-xətti sistemlərdə xarakteristikalarının tədqiqi, çeviricilərin vəziyyət tənlikləri və ötürmə funksiyalarının işlənməsi, simulyasiyaların aparılması, PİD tənzimləyicilərin metaevristik MOS-FLEYM alqoritmi ilə optimallaşdırılması;

[6]- Mikroşəbəkənin lokal idarəetmə səviyyəsində meta-evristik mərkəzi kontroller üçün orta-kvadratik yayınma xətasının iterativ azaldılmasına əsaslanan məqsəd funksiyasının işlənməsi və kompüter simulyasiyası;

[7]- Meta-evristik MOS-FLEYM optimallaşdırma metodu ilə yarımkölgə şəraitində güc elektronikasını çeviricilərinin maksimum güc izləmə kontrollerinin işlənməsi;

[9, 10, 13, 15]-Mikroşəbəkədə tələb edilən və generasiya edilən güc balansının saxlanması üçün yeni funksional modelin işlənməsi;

[4, 5]- Sabit cərəyan mikroşəbəkəsinin iyerarxik idarəetmə sisteminin metaevristik optimallaşdırılması, kompüter simulyasiyaları, yeni struktur-funksional modelin işlənməsi, mikroşəbəkənin enerji yığıma və idarəetmə sisteminin işçi rejimlərinin müəyyən olunması;

Çapa imzalanıb: **XX.XX**.2024
Kağızın formatı: A5
Həcm: 47326
Tiraj: xx

