

ОПТИМИЗАЦИЈА НА МИКРОМРЕЖИ ПОВРЗАНИ НА ДИСТРИБУТИВНА МРЕЖА СО ПРИМЕНА НА ПОДОБРЕН ГЕНЕТСКИ АЛГОРИТАМ

Наташа Димишковска Крстески, Атанас Илиев

*Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје, Факултет за електротехника и
информациони технологии*

e-mail(s): dimishkovskan@feit.ukim.edu.mk, ailiev@feit.ukim.edu.mk

Abstract: The energy crisis that the world is facing nowadays, as well as the need for clean and sustainable energy, brings microgrids to the center of the researcher's attention. Their operation has a positive impact on the power systems' operation, but due to the stochastic nature of the dispersed generators which are connected to them, the operation of the microgrids may have a negative impact on the power system if not appropriately managed. Hence, there is need for optimization of the microgrids which include more dispersed generators and different types of consumers. This paper will analyze the optimal unit commitment problem of grid-connected microgrids. The method proposed in this paper, suggests using a genetic algorithm with an improvement in the evaluation and selection process. The obtained results are compared with the results obtained using proven selection methods, which justifies the proposed improvement.

Key words: Microgrids, Genetic Algorithm, optimization, selection process

Куса содржина: Енергетската криза со која се соочува светот денес, како и потребата од чиста и одржлива енергија, ги ставаат микромрежите во центарот на вниманието на истражувачите. Нивната работа има позитивно влијание на работата на електроенергетските системи, но поради стохастичната природа на дисперзираните генератори од обновливите извори кои се поврзани на нив, работата на микромрежите може да има негативно влијание на електроенергетскиот систем доколку не е правилно управувана. Оттука, произлегува потребата за оптимизација на микромрежите. Во овој труд ќе биде разгледан проблемот со оптимално управување со токови на енергија во микромрежа која е поврзана на дистрибутивната мрежа. Методот на оптимизација во овој труд, предлага примена на генетски алгоритам со подобрување во делот на евалуација на потенцијалните решенија и селекција на индивидуи кои ќе генерираат нова генерација. Добиените резултати се споредени со веќе докажани методи за селекција и со тоа се оправдува предложеното подобрување.

1. ВОВЕД

Обновливите извори на енергија како еколошки прифатлива алтернатива за задоволување на потребите од електрична енергија, го обезбедуваат своето место и во дистрибутивната мрежа преку т.н. микромрежи. Микромрежите претставуваат мали електроенергетски системи (ЕЕС) опремени со микрогенератори и потрошувачи кои функционираат како една независна целина. Тие го помагаат ЕЕС со тоа што овозможуваат локално искористување на произведената електрична енергија, со што се намалува потребата од долги траси на водови за пренос на електрична енергија, а со тоа се намалуваат трошоците, како и загубите на електрична енергија. Но, поради стохастичноста во производството и потрошувачката, погрешниот начин на управување на микромрежите, може да ја загрози стабилноста на ЕЕС. Особено доколку има значително голем број на микромрежи приклучени во еден ЕЕС.

Оттука се јавува потребата за навремена оптимизација на микромрежите, по однос на токовите на моќност во рамки на системот. Правилната распределба на моќностите носи и финансиски бенефит, бидејќи недостатокот од електрична енергија се превзема од мрежа при поволни услови. Во спротивно, работата на микромрежите ќе биде неефикасна и ќе го оптоварува ЕЕС.

Бидејќи секоја микромрежа има различна топологија, не постои унифицирано решение за овој проблем, па затоа литературата изобилува со истражувања од оваа област. Притоа се анализираат различни оптимизациони методи, нивни хибриди со други методи, модификации и подобрувања. Оптимизацијата на микромрежите може да се разгледува од повеќе аспекти, во зависност од приоритетите: стабилноста на мрежата, или пак трошоците и/или приходите, напонот и фреквенцијата итн. Во литературата се познати повеќе оптимизациони методи кои се применуваат за оптимизирање на микромрежи. Според анализите направени во [1],[2],[3], генетскиот алгоритам е еден од најчесто употребуваните. Тој се карактеризира со широка и лесна примена во различни области, агилност и адаптација на разлчен тип на функции. Истражувањето спроведено во [4] покажува дека генетскиот алгоритам исто така е и еден од најпогодните методи за оптимизација во случај на микромрежи, кога се применува хипер-хеуристична потрага по оптимално решение, односно примена на поедноставни хеуристични методи за решавање на сложени проблеми. Една од причините е неговиот широк спектар на примена со голема агилност. Овој метод наоѓа примена за решавање на инженерски проблеми, проблеми од област на медицина, економија, логистика и други области [5]. Исто така, тој може да оптимизира различни типови на функции со повеќе локални минимума, функции со повеќе параметри, функции кои имаат недефинирани ограничувања, или функции кои се стохастични. Една од неговите најголеми предности е тоа што има способност за решавање на многу сложени проблеми, кои се предизвик за останатите оптимизациони методи.

Во литературата се среќаваат различни варијации на генетскиот алгоритам и негови комбинации со други оптимизациони методи, но целта е иста: оптимизација на трошоците за подобра работа на микромрежите. Примената на генетскиот алгоритам е присутна во многубројни истражувања за управување со енергија во микромрежи [6]. Во секое истражување се предложени различни модификации и подобрување на генетскиот алгоритам, а се забележува и негова примена на различни топологии на микромрежи.

Подобрувањето на стандардниот генетски алгоритам, кое е предложено во [7], го применува методот на селекција преку натпревар (Tournament Selection), со вкрстување (crossover) во една точка и степен на мутација 0,1 до 0,01. Алгоритмот применува концепт на вгнезден генетски алгоритам, каде секој индивидуален ген со хромозоми независно

применува друг генетски алгоритам. Функцијата на цел го адресира намалувањето на загубите на моќност во водовите со правилно планирање на изворите.

Во [8] се разгледува проблемот на оптимизација на повеќе поврзани микромрежи. Истражувањето се фокусира на интеракцијата помеѓу микромрежите со минимизација на трошоците и употреба на подобрен генетски алгоритам. Процесот на селекција се оптимира со примена на оценка за перформансот на индивидуите делејќи ги на елитни и катастрофални членови. Процесот на мутација се оптимира со примена на методот на рој честички (Particle Swarm Optimization-PSO). Подобрувањето е со надминување на проблемот на заглавување на алгоритмот во локален минимум и бавната итерација.

Случај на управување со токовите на енергија и оптимизација на оптоварувањето со примена на подобрен генетски алгоритам, во рамките на една микромрежа со оптоварување кое може да се регулира, е разгледан во [9]. Иницијализацијата на параметрите започнува со претходно дефинирана популација, која е веќе адаптирана на анализираниот случај, без притоа многу да се ограничи изборот. Вкрстувањето е според методот на симулирано бинарно вкрстување (Simulated Binary Crossover- SBX), а степенот на мутација е помеѓу 0,001 и 0,05. При евалуација на индивидуите, не се разгледуваат само трошоците за работа на микромрежата, туку и казнените трошоци за прекршување на зададени ограничувања и сличност помеѓу индивидуите. Во анализата се земени предвид и варијациите на напонот.

Во [10] применет е подобрен генетски алгоритам за намалување на трошоците на распоредување на оптоварувањето во рамките на една микромрежа, земајќи ги предвид побарувачката и моменталната цена. Иницијализацијата на параметрите се базира на линеарна комбинација со која секој генериран хромозом веќе ги познава границите во кои може да се движи неговата вредност. Иницијализацијата на популацијата се базира на повеќе параметарско генерирање на популација, која обединува повеќе параметри, како што се оценката од евалуацијата, хромозомите, поврзувањето на мрежата и батерискиот систем. Како метод за селекција е избран методот на рулетно тркало (Roulette Wheel).

Главен предизвик кај генетските алгоритми е нивната сложеност и долготрајност при потрагата на оптимално решение. Дополнително, кај нив постои ризик да потрагата по решението заглави во локален минимум, па да се добијат погрешни резултати. Правилниот избор на почетна (иницијална) популација, како и селекцијата на индивидуи кои понатаму ќе се репродуцираат, е еден од начините за надминување на овој проблем.

Во овој труд ќе биде предложена модификација на генетскиот алгоритам за надминување на гореспоменатите предизвици и истата ќе биде применета за оптимизирање на микромрежа составена од потрошувачи. Целната функција ги зема предвид трошоците и варијациите напонот во приклучните точки.

2. ДЕФИНИРАЊЕ НА ПРОБЛЕМОТ

Имплементацијата на микромрежите во стандардните ЕЕС е се поголема. Но, постојаниот развој на технологијата креира и нови решенија за инкорпорирање на уште повеќе ентитети во рамките на микромрежите. Современите микромрежи се значително посложени од нивните почетоци. Тие вклучуваат различни типови на микрогенератори од обновливи извори на енергија (фотоволтаични генератори, ветрогенератори, микро хидроцентрали, микро турбини на биогаз итн), генератори за резервно напојување (дизел генератори, горивни ќелии, генератори на водород), батериски систем, транспортен систем (електрични возила, електрични возови и автобуси), потрошувачи и потрошувачи произведувачи. Дополнително, ваквиот систем се усложнува и доколку е тој приклучен на локалната дистрибутивна мрежа.

Оптимизацијата на современите микромрежи е многу важна за нивна правилна работа и непреченост на локалната дистрибутивна мрежа на која се тие приклучени. Предизвикот при нивната оптимизација е стохастичноста на производството од приклучените генератори и потрошувачката на електрична енергија. Поради тоа, за решавање на овој проблем потребна е примена на сложени алгоритми за оптимизација, како што се генетските алгоритми. Примената на поедноставните алгоритми, како на пример динамичко програмирање, не се способни за решавање на ваков тип проблеми.

3. ПРЕДЛОЖЕН АЛГОРИТАМ ЗА РЕШАВАЊЕ НА ПРОБЛЕМОТ

Алгоритмот кој е предложен во овој труд има за цел да ги минимизира трошоците од работа на микромрежа која е поврзана на локалната дистрибутивна мрежа. Оптимизацијата во себе вклучува две функции на цел: првата која ги зема предвид трошоците за работа на микромрежата (1), а втората која ги зема предвид варијациите на напоните во приклучните јазли (2).

$$F_1(P_i) = \min \left\{ \sum_{i=1}^T (B_{DER,i} - C_{grid,i}) \Delta t \right\} \quad (1)$$

$$F_2(P_i) = \min \left\{ \frac{P_{DER} + P_{bat_dis,i} - P_{bat_ch,i} - P_{buy,i}}{V_n} \cdot l \cdot r + \frac{Q_{grid} - Q_{wind}}{V_n} \cdot l \cdot x - \Delta V \right\} \quad (2)$$

каде, T претставува анализиран временски период, а Δt е временски интервал на семплирање на податоци (1 час).

Добивката во мрежата (3) ги содржи вредностите на генерираната моќност од секој од инсталираните генератори поединечно во анализираниот период, вкупната преземена енергија од батеријата и вкупната продадена електрична енергија, помножени по соодветната цена. Трошоците во мрежата (4) ги содржат вкупната купена електрична енергија од мрежата и моќноста која се предава во батеријата, помножени по соодветната цена.

$$B_{DER} = P_{pv} \cdot p_{pv} + P_{wind} \cdot p_{wind} + P_{sell} \cdot p_{sell} + P_{bat_dis} \cdot p_{bat} \quad (3)$$

$$C_{grid} = P_{buy} \cdot p_{buy} + P_{bat_ch} \cdot p_{bat} \quad (4)$$

Влезните податоци во алгоритмот ги вклучуваат техничките ограничувања на инсталираните генератори, батерискиот систем, ограничувањата за тргување со мрежата, како и напонските ограничувања. Максималната генерирана моќност од инсталираните генератори на обновливи извори на енергија е претставена со равенките (5) и (6), за фотоволтаичниот и ветрогенераторот, соодветно.

$$P_{PV,min} \leq P_{DER,i} \leq P_{PV,max}, \forall i \in [0, T] \quad (5)$$

$$P_{wind,min} \leq P_{DER,i} \leq P_{wind,max}, \forall i \in [0, T] \quad (6)$$

Максималната и минималната моќност на батеријата, како и состојбата на наполнетост се претставени со равенките (7) и (8).

$$0 \leq P_{bat,i} \leq P_{bat,max}, \forall i \in [0, T] \quad (7)$$

$$0 \leq SoC_{bat,i} \leq 1, \forall i \in [0, T] \quad (8)$$

Со дефинирање на максималната и минималната разменета енергија со локалната мрежа на која е микромрежата приклучена, се намалува негативното влијание кое микромрежата би

можела да го има на локалната мрежа по однос на нејзината стабилност. Исто така, се намалуваат и варијациите во напонот кои би се јавиле во приклучните точки. Овие граници се регулирани од мрежата на која е приклучена микромрежата. Техничките ограничувања се претставени со равенките (9) и (10).

$$0 \leq P_{buy,i} \leq P_{buy,max}, \forall i \in [0, T] \quad (9)$$

$$0 \leq P_{sell,i} \leq P_{sell,max}, \forall i \in [0, T] \quad (10)$$

Равенката за биланс на моќностите е прикажана со равенките (11) и (12), а границите на варијација на напоните во јазлите се прикажани со равенките (13,14). Бидејќи се работи за нисконапонска мрежа, варијациите на напонот се ограничени на $\pm 10\%$ кон потрошувачите и $\pm 5\%$ кон генераторите.

$$P_{PV,i} + P_{wind,i} + P_{bat_dis,i} + P_{buy,i} = P_{load,i} + P_{sell,i} + P_{bat_ch,i}, \forall i \in [0, T] \quad (11)$$

$$Q_{bat_dis,i} + Q_{buy,i} = Q_{load,i}, \forall i \in [0, T] \quad (12)$$

$$0,97 \cdot V_r \leq V(t,i) \leq 1,03 \cdot V_r, \forall i \in [0, n_{nodes}] \quad (13)$$

$$0,95 \cdot V_r \leq V_{DER}(t,i) \leq 1,05 \cdot V_r, \forall i \in [0, n_{nodes}] \quad (14)$$

Напонот во секој од јазлите се пресметува со изразот (15). Притоа, за референтен јазол се зема напонот во последниот јазол каде што се приклучени потрошувачите.

$$V(t,i+1) = V(t,i) + \frac{(\sum P_i(t))rl + (\sum Q_i(t))xl}{V_n}, \forall i \in [0, n_{nodes}] \quad (15)$$

каде што, r е подолжна реактанса на водот, x е подолжна импеданса на водот, а l претставува должина на водот.

Покрај техничките ограничувања, податоците за временската прогноза, предвидената потрошувачка на електрична енергија, како и цените за тргување со електричната енергија се исто така влезни податоци во алгоритмот. Дополнително, потребни се податоци и за батеријата, како што се максимална моќност на полнење (P_{bat_ch}) и празнење (P_{bat_dis}) и состојба на наполнетост (SOC). Алгоритмот ги анализира податоците во секој интервал (час) и предлагава оптимално решение врз основа на вредностите на параметрите во претходниот час и моменталната ситуација. Потоа, условно оптималното решение се проверува и доколку ги задоволува условите, тоа се прифаќа, во спротивно, се бара ново решение.

Иницијализацијата на популација игра важна улога за добивање на точни решенија. Имено, малата популација може да резултира со лоши резултати, додека пак преголемата популација може да резултира со подолго време на извршување на алгоритмот. Во ова истражување се разгледува популација од 100 индивидуи.

Евалуацијата на индивидуите е направена со земање предвид на оценката која секоја од нив ја добила. Функцијата за оценување на секој од членовите на популацијата се напишана според зададената синтакса на Matlab, софтвер во кој е напишан програмскиот код за алгоритмот. Функцијата за определување на оценката се определува со изразот (16).

$$expectation_i = \frac{scores_i \cdot \sum_{k=1}^p nParents_k}{\sum_{j=1}^n scores_j}, i \in [1, n] \quad (16)$$

каде, $scalars$ претставува вектор од скалари за секој член на популацијата, $nParents$ е бројот на родители потребни за зададената популација, n претставува должина на векторот $scores$, p е должина на векторот $nParents$, а $expectation$ е вектор-колона со скалари со иста должина како $scores$, кој ги содржи скалираните вредности на секој член на популацијата.

Во наредната фаза се врши селекција на единки кои ќе претставуваат родители на наредната генерација единки. Селекцијата се врши според оценката добиена во претходната фаза. Притоа, за процесот на селекција е креирана функција која е напишана според дефинираните правила и синтаксата на Matlab. Во функцијата за селекција влезни параметри се променливата *expectation*, која ги содржи оценките на секоја од единките на популацијата, *nParents*- бројот на родители кои мора да бидат избрани и *options*- дефинирани услови за работа на генетскиот алгоритам. Во овој труд, условот за селекција е претставен со израз (17).

$$expectation_i \geq \max(expectation) \cdot \alpha, i \in [1, n] \quad (17)$$

Тежинскиот фактор α има вредност од 0 до 1 и со него се утврдува колкав процент од максималната оценка е услов за тоа кои единки ќе бидат земени предвид за репродукција. Пресметките покажаа дека најповолни резултати се добиваат кога тежинскиот фактор има вредност 0,9, па во овој труд земени се предвид единките кои имаат оценка повисока или еднаква на 90% од максималната оценка. Веројатноста за појава на оценката се определува со израз (18).

$$p_i = \frac{expectation_i}{\sum_{i=1}^n expectation_i}, i \in [1, n] \quad (18)$$

Избраните единки-родители се добиени со користење на вградена функција во Matlab претставена со израз (19). Функцијата генерира случајни броеви според зададени услови.

$$parents = \text{randsample}(accepted, nParents, true, p) \quad (19)$$

каде, *accepted* е множество на прифатени единки кои го исполнуваат условот во израз (17), *nParents* е големината на множеството кое треба да биде генерирано, *true* значи дека случајно генерираните броеви можат да се појават повеќепати во низата, а *p* е веројатноста да прифатената единка има соодветна вредност.

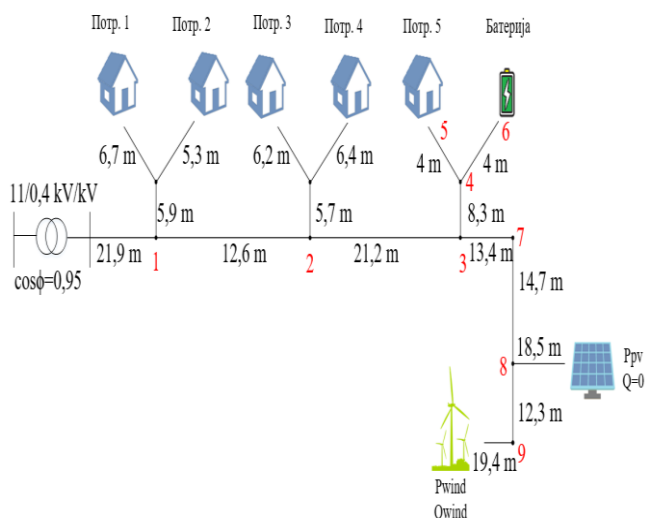
Вкрстувањето е процес во кој се врши размена на гени на индивидите кои биде избрани во процесот на селекција да бидат родители и да креираат нова генерација на индивиди (деца). Вкстувањето на гените може да се одвива на повеќе различни начини во зависност од типот на функцијата и зададените ограничувања. Во овој труд, за предложениот алгоритам е избрано т.н. аритметичко вкрстување, со кое новокреираната генерација носи гени од двата родители со еднаква веројатност.

Степенот на мутација треба да е со пониска вредност, за да добиените резултати бидат прифатливи. Понизок степен на мутација може да резултира со полоши резултати. Во овој труд за степенот на мутација се зема вредност од 0,001.

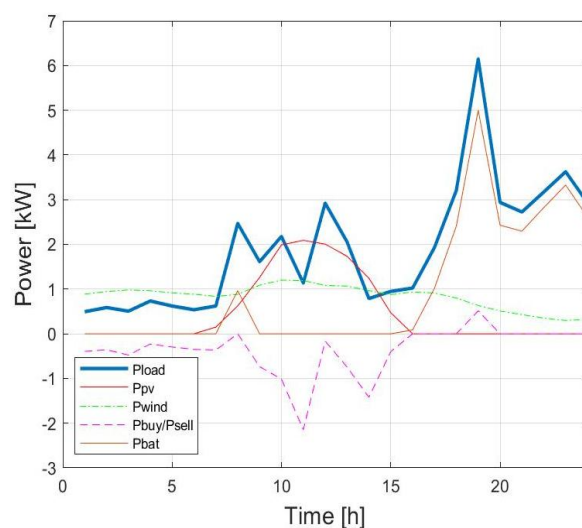
4. СИМУЛАЦИЈА И ДИСКУСИЈА НА РЕЗУЛТАТИ

Алгоритмот кој е предложен во овој труд е тестиран на микромрежа според [11], која се состои од 5 потрошувачи, една батерија, еден фотоволтаичен и еден ветрогенератор, како што е прикажано на сл. 1. На сл. 2 графички е прикажана распределбата на оптоварувањето во микромрежата. Анализираниот период е 24 часа. Техничките икарактеристики на инсталираната опрема, како и цените на електричната енергија кои се земаат предвид, се прикажани во Табела 1 и Табела 2, соодветно.

Резултатите добиени од извршената симулација се споредени се резултати добиени при примена на различни методи на селекција, како што е прикажано во Табела 3.



Сл. 1. Топологија на анализираната микромрежа



Сл. 2. Оптимална распределба на оптоварувањето во микромрежата

Табела 1. Технични карактеристики на инсталираната опрема во микромрежата

Параметар	Значење	Вредност	Единица
P_{pv}	Инсталиран капацитет на фотоволтаичен генератор	10	kW
P_{wind}	Инсталиран капацитет на ветрогенератор	3	kW
P_{bat_ch}	Максимална моќност на полнење на батерија	2	kW
P_{bat_dis}	Максимална моќност на празнење на батерија		
P_{buy_max}	Максимална моќност купена од мрежа	20	kW
P_{sell_max}	Максимална моќност продадена на мрежа	35	kW
C_{bat}	Капацитет на батерија	20	kWh
SoC_{bat_min}	Минимална состојба на наполнетост на батерија	10	%
SoC_{bat_max}	Максимална состојба на наполнетост на батерија	100	%
η_{ch}, η_{dis}	Коефициент на ефикасност на полнење/ празнење на батерија	95	%

Табела 2. Цени на електрична енергија

Единица	Фотоволтаичен генератор	Ветрогенератор	Енергија испорачана од мрежа	Батерија	Прекумерна реактивна енергија превземена од мрежа
Ознака	p_{pv}	p_{wind}	p_{grid}	p_{bat}	c_q
Цена (€ct)	16	8,9	6,9	0,3	7,5

Табела 3. Резултати од извршената симулација

Тип на селекција	Популација	Степен на мутација	Профит (€ct)	Продадена моќност (kW)	Купена моќност (kW)	Време на извршување (s)
Предложен алгоритам	100	0,001	299,08	9,0856	0,51348	56,7
Рулетно тркало	100	0,001	299,066	9,0845	0,51348	74,7
Униформна селекција	100	0,001	299,065	9,0832	0,51299	56,9
Натпревар (Tournament)	100	0,001	299,051	9,0853	0,51348	59,8
SUS	100	0,001	299,047	9,0855	0,51348	57,8

5. ЗАКЛУЧОК

Со цел непречена работа на ЕЕС кои вклучуваат и микромрежи, од голема важност е поединечната оптимизација на микромрежите. Нивната стабилна работа овозможува правилно искористување на произведената чиста енергија, намалување на загубите на моќност при пренос и пониски трошоци. Досегашното истражување покажа дека со земање предвид на напонот во процесот на оптимизација, правилно се распределува енергија која веќе постои во системот, а воедно и решението побрзо оптимира.

Со споредба на добиените резултати од предложениот алгоритам со резултатите добиени при примена на други докажани методи на селекција, се забележува подобрување на резултатите по однос на остварениот профит и времето за извршување на алгоритмот. Со тоа се докажува предложеното подобрување. Алгоритмот кој е предложен и тестван во овој труд, може да биде имплементиран во системот за управување со токови на енергија во микромрежи поврзани на локалната дистрибутивна мрежа и со тоа тој да добие и практична димензија. Воедно, истражувањето отвора врати за понатамошно надоградување и примена на посложени системи.

РЕФЕРЕНЦИИ

- [1] Akter, A., Zafi, E. I., N. H., Joysoyal, R., Sarker, S. K., Li, L., Kamwa, I. (2024). A review on microgrid optimization with meta-heuristic techniques: Scopes, trends and recommendation,. *Energy Strategy Reviews*, Vol. 51, 101298, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101298>.
- [2] Khan, A. A., Naeem, M., Iqbal, M., Qaisar, S., & Anpalagan, A. (2016). A compendium of optimization objectives, constraints, tools and algorithms for energy management in microgrids,. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 58, pp. 1664-1683, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.259>.
- [3] Gao, K., Wang, T., Han, C., Xie, J., Ma, Y., & Peng, R. (2021). A Review of Optimization of Microgrid Operation. *Energies*, vol. 14, 2842, <https://doi.org/10.3390/en14102842>.
- [4] Cabrera-Tobar, A., Massi Pavan, A., Petrone, G., & Spagnuolo, G. (2022). A Review of the Optimization and Control Techniques in the Presence of Uncertainties for the Energy Management of Microgrids. *Energies* 2022, 15, 9114, <https://doi.org/10.3390/en15239114>.
- [5] Katoch, S., Chauhan, S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimed Tools Appl*, vol. 80, pp. 8091–8126, <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>.
- [6] Elmouatamid, A., Ouladsine, R., Bakhouya, M., El Kamoun, N., Khaidar, M., & Zine-Dine, K. (2021). Review of Control and Energy Management Approaches in Micro-Grid Systems. *Energies* 14(1): 168, <https://doi.org/10.3390/en14010168>.
- [7] Sen, S., Gupta, K. D., Poudyal, S., & Ahsan, M. M. (2019). A Genetic Algorithm Approach to Optimize Dispatching for A Microgrid Energy System with Renewable Energy Sources. *5th International Conference on Computer Science and Information Technology (CSTY 2019)*, vol.9, no.14 (pp. 1-9, DOI: 10.5121/csit.2019.91401). Dubai, UAE: AIRCC Publishing Corporation .
- [8] He, Y., Han, Z., Sun, K., Wu, X., Du, X., Wang, H., & Lu, H. (2023). Economic optimization scheduling of multi-microgrid based on improved genetic algorithm. *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 17, no. 23, pp. 5298-5307, <https://doi.org/10.1049/gtd2.13043>.
- [9] Nemati, M., Bennimar, K., Tenbohlen, S., Tao, L., Mueller, H., & Braun, M. (2015). Optimization of microgrids short term operation based on an enhanced genetic algorithm. *2015 IEEE Eindhoven PowerTech* (pp. 1-6, doi: 10.1109/PTC.2015.7232801.). Eindhoven, Netherlands: IEEE.
- [10] Yin, T., Du, C., Chen, A., Jiang, T., Guo, S., & Zhang, H. (2020). Improved Genetic Algorithm-Based Optimization Approach for Energy Management Of Microgrid. *2020 IEEE 9th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC2020-ECCE Asia)* (pp. 3234-3239, doi: 10.1109/IPEMC-ECCEAsia48364.2020.9368162). Nanjing, China: IEEE.
- [11] Khan, M. A., & Hayes, B. (2020). *For paper "A Reduced Electrically-Equivalent Model of the IEEE European Low Voltage Test Feeder"*. DOI:10.21227/0d2n-j565: IEEE.