



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR
ELEKTRONIKAI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK INTÉZET
MŰSZERTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI TANSZÉK



SZAKDOLGOZAT



OE-KVK
2023.

Farkas Nóra
T009171/FI12904/K



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Műszertechnikai és Automatizálási Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Farkas Nóra

Szakedolgozat száma: SZD2309040923436753

Törzskönyvi száma: T009171/FI12904/K

Neptun kódja:

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Műszer-automatika specializáció

A dolgozat címe: Hatékonyság növelő megoldások a fotovoltaiikus háztartási méretű kiserőművek területén

A dolgozat címe angolul: Efficiency-enhancing solutions for household-scale small-scale photovoltaic power plants

A feladat részletezése: Eltérő típusú fotovoltaiikus panelek esetén megvalósított háztartási méretű kiserőművek kialakításának vizsgálata Matlab segítségével a maximális hatásfok elérése érdekében. Az egyes panelek paramétereit figyelembe véve dolgozzon ki egy optimalizált elosztási rendszert.

Intézményi konzulens neve: Papp József Péter

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 12. 31.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2023. 11. 13.

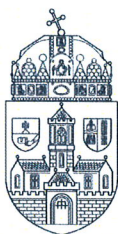


Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

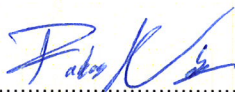
KANDÓ KÁLMÁN VILLAMOSMÉRNÖKI KAR
ELEKTRONIKAI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK INTÉZET
MŰSZERTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI TANSZÉK



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 20. 23. 12. 15......


.....
hallgató aláírása

Hatékonyság növelő megoldások a fotovoltaikus háztartási méretű kiserőművek területén

Szerző: Farkas Nóra

Budapest 2023

Tartalomjegyzék

1.	Feladat definiálása.....	4
1.1.	Kutatási eredmények [1], [2].....	6
2.	Elméleti áttekintő	8
2.1.	Fotovoltaikus cella [3]	9
2.1.1.	Monokristályos modul	9
2.1.2.	Polikristályos modul	10
2.1.3.	Vékonyréteg vagy vékonyfilm modul.....	11
2.1.4.	Hibrid napelem	12
2.2.	Napelemes rendszerek [8].....	13
2.2.1.	Hálózatra csatolt rendszer (On-Grid, Grid paralell)	13
2.2.2.	Szigetüzemű rendszer (Off-Grid)	14
2.2.3.	Vegyes üzemű rendszer (Biomal).....	15
2.3.	Inverter.....	16
2.4.	HMKE rendszer.....	18
3.	Megoldási javaslat kifejtése.....	25
3.1.	Matlab Simulink szimulációs környezet.....	26
3.2.	Alkalmazott modellek ismertetése.....	27
3.2.1.	Feladat ismertetés	27
3.2.2.	Simulink modellezés.....	28
3.2.3.	Konstans értékek	32
3.2.3.	Solar kábel.....	34
4.	Feladat implementálása	35
4.1.	Modell felépítése.....	36
4.2.	Kezdeti adatok megadása	37

5. Tesztelési forgatókönyvek	38
5.1. Első tesztelési szcenárió	39
5.2. Második tesztelési szcenárió	40
5.3. Harmadik tesztelési szcenárió	41
5.4. Negyedik tesztelési szcenárió	42
6. Adatok ábrázolása	43
6.1. Összevetés	44
6.2. Optimális elrendezés meghatározása	45
Összefoglalás	46
Summary	47
Köszönetnyilvánítás	48
Hivatkozások	49

1. Feladat definiálása

A 21. században a fenntartható energiaforrások kiemelt fontosságúvá váltak, mivel az éghajlatváltozás és a kimerülő fosszilis energiahordozók miatt az energiaágazatnak új, környezetbarát megoldásokra kell összpontosítania. A napelemes rendszerek terén bekövetkező technológiai fejlődés és azok széleskörű elterjedése napjainkban a megújuló energiaforrások egyik sarkalatos pontjává teszi a napenergiát.

A napenergia alkalmazása a környezettudatosság és üzleti racionalitás ideális összehangolását teszi lehetővé. Az éghajlatváltozás kihívásai és a fosszilis energiahordozók korlátozott rendelkezésre állása miatt a napelemek használatával elért energia előállítása nem csupán gazdaságos, hanem környezetbarát megoldás is. Ebben a kontextusban kutatásom középpontjában a napelemes rendszerek teljesítményoptimalizálása áll, figyelembe véve a költségoptimalizációt is.

Kutatásom fő célja, hogy bebizonyítsam, hogy mennyire gazdaságos és hatékony különböző típusú napelemek alkalmazása egy adott napelemes rendszerben. A gyakorlatban, például egy kivitelező cégnél maradt típusonként egy-egy darab panel felhasználásával kívánom megvizsgálni, hogy lehet-e ezekből hatékony és gazdaságos, teljes jól működő napelemes rendszert kialakítani.

A vizsgálatom során a napelemek elrendezéseinek különböző aspektusait elemzem. Megvizsgálom, hogy a különböző típusú paneleket hogyan érdemes elhelyezni annak érdekében, hogy a rendszer kivehető teljesítménye a lehető legnagyobb legyen. Ez azt jelenti, hogy a rendszer tervezésének során nemcsak az anyagi szempontokat kell figyelembe venni, hanem olyan optimalizált megoldásokat kell találni, amelyek maximalizálják a teljesítményt. Mindemellett, fontos szempontok közé tartozik annak a vizsgálata is, hogy a különböző típusú paneleket hogyan érdemes elhelyezni, annak függvényében, hogy a napelemes hálózat a leghatékosabban működjön.

A MATLAB nevű programot használok a teszteléshez, mivel ismerem a környezetet, és rendelkezik olyan napelem modellekkel, amelyekkel hatékonyan tudom elvégezni a vizsgálatokat. A program segítségével különböző elrendezéseket modellezek és elemzem, hogy hogyan befolyásolják ezek a változók a kimeneti teljesítményt és feszültséget. Fontos szerepet játszik a sztring elhelyezése, hogy a nagyobb teljesítményű napelemek a sztring végére vagy elejére, és hogy az elrendezésnek milyen hatása van a kimeneti teljesítményre teljesítmény és feszültség szempontjából.

A környezettudatosság napjainkban egyre fontosabb szerepet játszik, és az energiaágazatban tett erőfeszítések kiemelkedő jelentőségűek. A napelemek elterjedése nem csupán egy technológiai előrelépés, hanem egy olyan mozgalom része is, amely a fenntartható energiaforrások iránti elkötelezettséget tükrözi. A napelemek környezetbarát termelése és üzemeltetése révén hozzájárulnak a káros kibocsátások csökkentéséhez, és a napenergia tiszta, megújuló forrássá válásával, illetve hozzájárulnak az éghajlatváltozás elleni küzdelemhez.

A napenergia iránti kereslet egyre növekszik, mivel az egyének, vállalkozások és kormányok egyaránt felismerik a napenergia gazdasági és környezeti előnyeit. A kisebb, háztartási méretű kiserőművek terjedése szintén része ennek a trendnek, amely a decentralizált energia előretörését jelzi, ahol az egyéni háztartások is aktív szerepet játszanak az energia előállításában.

Ez a kutatás tehát nemcsak technikai szempontból érdekes, hanem gazdasági és fenntarthatósági szempontból is, miközben hozzájárul a napenergia optimális kiaknázásához és az energiatermelés hatékonyságához. Az eredmények remélhetőleg segítenek a jövő napelemes rendszerek tervezésében, amelyek nem csak hatékonyak és költséghatékonyak, hanem környezetbarát megoldások is.

1.1. Kutatási eredmények [1], [2]

Szakedolgozatomban során arra fókuszálok, hogy különböző típusú napelemek összekapcsolása milyen mértékben befolyásolhatja a teljes napelembeli rendszer teljesítményét és hatékonyságát. A kutatásom alapvetően azon kérdésekre koncentrálódik, hogy a különböző napelem típusok és teljesítmények kombinálása érdemes-e, illetve a napelembeli rendszer teljesítményére milyen mértékben van kihatással.

Az alternatív energiaforrások, különösen a napenergia kiaknázása terén folytatott kutatásoknak kiemelt jelentősége van a fenntartható energiaellátás előmozdításában. Ebben a dinamikus kutatási területen azonban különböző tudományos eredmények megragadása és értelmezése kulcsfontosságú. Más kutatások eredményeinek megismerése és figyelembevétele elősegíti a széleskörűbb megértést és a tudományos fejlődést.

A kutatásommal kapcsolatban több hasonló cikket is találtam, melynek kutatási eredményeik azt hangsúlyozzák, hogy az energiaveszteségek jelentős mértékben függenek attól, hogy hogyan kapcsoljuk össze a különböző típusú napelemeket egy rendszerben. A kutatásokban több különböző napelem típusok soros, illetve párhuzamos kapcsolásának lehetőségét szemlélítették, valamint azt, hogy hogyan lehet mégis a különböző panelek esetén egy olyan rendszert építeni, ahol minimalizálni tudjuk a teljesítmény veszteséget.

Párhuzamos kapcsolás esetén az áramkülönbségek okozta veszteség mérsékelte, mivel az összesített áram mindig a kisebb értékhez igazodik. Ugyanakkor, soros kapcsolás során a feszültségkülönbségek nagyobb mértékű teljesítményveszteséghez vezetnek, mivel az összesített feszültség mindig a kisebb értékhez igazodik. Amikor különböző áramú paneleket párhuzamosan kötünk össze, az összesített áramot a kisebb érték határozza meg, ami csökkenti a teljesítményt. Ugyanebben az esetben soros kapcsolás során a feszültség a kisebb értékhez igazodik, ami további teljesítményveszteséget eredményez. Ezen megfigyelések azt sugallják, hogy az azonos vagy közel azonos áramú és feszültségű modulok kombinálása kulcsfontosságú a hatékony napelembeli rendszer tervezéséhez, és az eredmények alapján hangsúlyozza az optimalizált összekapcsolás fontosságát a veszteségek minimalizálása érdekében.

A kutatásban felvetésre kerül két megoldási módszer is, az egyik, ahol a napkollektorok és a töltővezérlő ugyanarra a rendszerfeszültségre vannak tervezve. Például, ha két különböző 12 V-os napkollektor (100 W és 50 W) összekapcsolásával, ezek lehetnek eltérő típusú típusúak, eltérő gyártótól származó PV panelek. Ezt a módszert nem csak különböző panelek esetén használják, hanem külső környezeti tényező (pl. árnyék) által okozott esetleges teljesítmény romlás kiküszöbölésére. A második megoldási módszer az, amikor a napelemek névleges feszültsége nagyobb, mint a rendszer feszültsége. A két magasabb feszültségű napkollektort (100 W / 24 V és 200 W / 24 V) csatlakoznak egy már működő 12 V-os napelemes rendszerhez. Ebben az esetben egy lefelé lépő MPPT töltővezérlőt kell alkalmazni annak érdekében, hogy a 24 V-os napkollektorok feszültségét 12 V-ra csökkenteni lehessen. Az MPPT vezérlők a feszültségkülönbséget hatékonyan átalakítják, és majdnem kétszeres kimeneti áramot biztosítanak a PWM vezérlőkhöz képest, így a teljesítményük is majdnem kétszerese lehet.

A kutatásból kiderül, hogy ámbár állításuk szerint, nem tilos, de nem is javasolt több, különböző napelemek keverése. A probléma az eltérő elektromos jellemzők (feszültség, áramerősség, teljesítmény) eltérése okozza, ezáltal kulcsfontosságú, hogy úgy kombináljuk, hogy közel azonos áramú és feszültségű modulok legyenek, hogy hatékonyan működjön a rendszer.

2. Elméleti áttekintő

Szakdolgozatom fókuszában a különböző napelem panelek összekapcsolásának kutatása áll, kiemelve a napenergia hatékonyabb felhasználásának lehetőségeit. A témaválasztás mögötti motivációt az energiahatékonyság iránti növekvő társadalmi igény adja, különféle kihívásokkal nézve szembe az energiaszektorban. A napenergia kiaknázásának fontosságát nem csupán környezetvédelmi szempontok alapján hangsúlyozom, hanem az energiahatékonyság és fenntartható energiaellátás előmozdítása szempontjából is.

A fotovoltaiikus cellák az elektromos áramot közvetlenül napfényből termelik. Kutatásomban alaposan kifejtem ennek a technológiának a lényegét, azaz hogyan képesek a fotovoltaiikus cellák a napenergiát villamos árammá alakítani. Részletezem a különböző fotovoltaiikus cella típusokat, beleértve a szilícium alapú mono- és polikristályos cellákat, valamint a vékonyrétegű cellákat. Emellett bemutatom ezek alkalmazásának előnyeit, például a környezetbarát energiaelőállítás és a hosszú élettartamot. A napelem rendszerek sokféleségét is részletesen elemzem, figyelembe véve a technológiai fejlődés sokszínűségét. Kitérek a hagyományos, hálózatra kapcsolt rendszerekre, valamint az autonóm, off-grid rendszerekre. A kutatásom során feltárom, hogyan alkalmazkodnak ezek a rendszerek a változatos felhasználási területekhez, beleértve a háztartási, ipari és mezőgazdasági alkalmazásokat. A háztartási méretű kiserőművek bemutatásánál részletesen kifejtem ezek felépítését és azokat az alapvető tartozékokat, amelyek elengedhetetlenek a hatékony működésükhöz. Az inverterek szerepét, a napelemek rögzítését és az akkumulátorok szerepét is részletezem, kiemelve, hogy ezek a komponensek miként segítik elő a megújuló energiával való hatékony gazdálkodást.

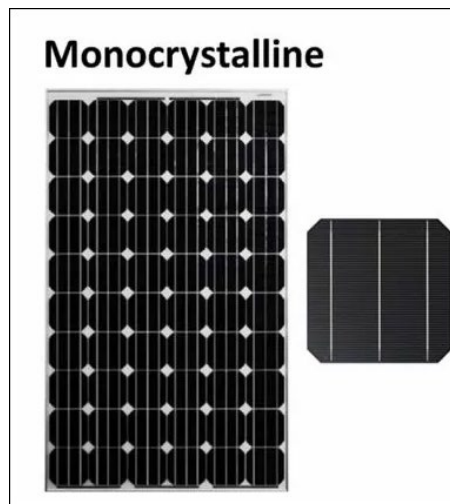
Kutatásom nem csupán technológiai szempontból kiemelkedő fontosságú, hanem azt is hangsúlyozom, hogy a napenergia hatékony kihasználása milyen mértékben járul hozzá az energiahatékonyság növeléséhez és a fenntartható energiaellátás előmozdításához. Ezenfelül azt, hogy az alternatív energiaforrások hatékony kiaknázása miként illeszkedik a társadalmi felelősségvállalás és a globális környezetvédelmi törekvések szélesebb keretrendszerébe.

2.1. Fotovoltaikus cella [3]

A napelem fajtákat két nagy csoportra lehet osztani, a kristályos és a vékonyfilm típusúak. A kristályos típusúak között megkülönböztetünk monokristályos és polikristályos napelemeket. A vékonyrétegű napelemek gyártásánál a hordozórétegre gőzölik fel a félvezető rétegeket, ezáltal akár hajlékony panel is elkészíthető. Az ilyen jellegű eszközöknek a hatásfoka nem túl jó 5-8% körül van, illetve ugyanakkora teljesítmény esetében is a kristályos napelemek nagyjából háromszor kisebb helyet foglalnak el. A kristályos napelemek szilícium cellákból épülnek fel, amik egy edzett üveglap és egy többrétegű műanyag hátlap között vannak. A monokristályos cellák fekete-szürke árnyalatúak és nyolcszögletűek, míg a polikristályos modul kék-lila színű és négyyszöglet alakúak.

2.1.1. Monokristályos modul

A szilíciumot a monokristályos napelemre egy elektromos térben húzzák henger alakúra, ami egy tömb szerkezetben szárad meg, majd ezt szeletelik. Ennek a típusnak a hatásfoka 14-17% között van. Kifejezetten érzékeny az árnyékhatasra, tehát nagyon fontos a jó dőlésszög és a megfelelő tájolás megtervezése.



2.1.1.1. ábra: Monokristályos modul [4]

Ezek a modulfajták élettartama átlagosan 25 évnek mondható. A polikristályos szerkezettel összehasonlítva a fent említett drágább, viszont teljesítményük nagyobb. Hátránya, hogy az előállítása jóval drágább, mint a többi modul fajtánál, illetve nagy hőmérséklet hatására a teljesítménye csökken.

2.1.2. Polikristályos modul

A polikristályos modulok olcsóbbak, mint a monokristályos szerkezeté, hiszen előállításuk kevesebb időt és energiát igényel. A cellákat négyzet alapú tömbökben öntik ki, a szilícium több kristályszerkezetben dermed meg. Ennek a típusnak a hatásfoka 14-16% között van.

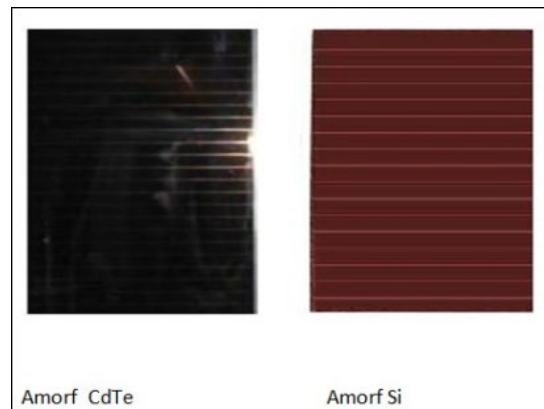


2.1.2.1. ábra: Polikristályos modul [5]

Érzékeny az árnyékhataásra, de kevésbé, mint a monokristályos, ezáltal a szórt fényt is jobban viseli. A legnagyobb előnye neki, hogy a magas hőmérsékletre teljesítménycsökkenéssel tud reagálni. A legelterjedtebb típusnak számít, erőműveknél, illetve háztartási méretű napelemes rendszereknél alkalmazzák. Hátránya, hogy a magas hőmérséklet következtében a teljesítménye csökken.

2.1.3. Vékonyréteg vagy vékonyfilm modul

Leggyakoribb fajtái: amorf szilícium (aSI), kadmium-tellurid technológia (CdTe), illetve a réz-indium-diszelenid (CIS). A vékonyréteg modulok egy egységesen bevont felülettel készülnek, néhány mikron vastagságban viszik fel a félvezető réteget.



2.1.3.1. ábra: Vékonyréteg modul [6]

A napelemen lézeres bevágások vannak, amik a Volt-Amper kedvezőbb beállítása miatt szükségesek. Hatásfoka alacsony, 6-8% között van. Az előbb fent említett két típus közül ez az, ami a legkevésbé érzékeny a szórt fényre és az árnyékhataásra. Megfelelő dőlésszög beállítása 30-60° között van, míg az első kettő esetében nagyjából 45°-ra tehető. Előnye, olcsó, hajlítható, tehát domború felületek is lehet alkalmazni, illetve, hogy nagy hőtűrő képessége van, ezért például sivatagokban is tudják alkalmazni.

Hátránya, hogy nagy felületre van szükség, hogy érdemi energiatermelés legyen, rövidebb az élettartama, mint a kristályos szerkezetűeknek.

2.1.4. Hibrid napelem

A hibrid napelem technológia két eljárásnak az ötvözete. Ez a PV modulfajta egyszerre működik napkollektorként, illetve hagyományos napelemként is, azaz meleg víz és energia termelésére is alkalmas egyszerre.



2.1.4.1. ábra: Hibrid napelem [7]

A panelen lévő szilícium rétegek napfény hatására előállítja a villamosenergiát, ezzel párhuzamosan a modulra szerelt folyadék keringető a felmelegedést biztosítja. A teljesítmény stabilitását az biztosítja, hogy amíg a felmelegedést tudja biztosítani, vele párhuzamosan a folyadék hűti is a panelt.

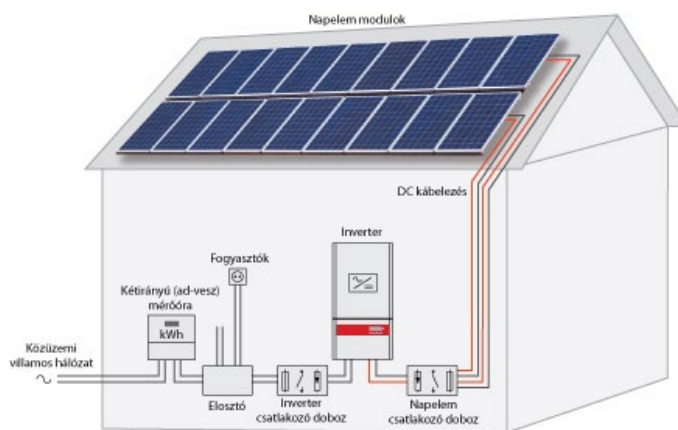
A rendszer hátránya az, hogy a komplexitása miatt probléma esetén bonyolult a javítás, illetve drága.

2.2. Napelemes rendszerek [8]

Napelemes rendszerek különböző típusokban léteznek, amelyek alkalmazkodnak a különféle energiaigényekhez és felhasználási területekhez. A két fő kategória a hálózatra kapcsolt (grid-tied) és az autonóm, off-grid rendszerek. A kettő ötvözete, a hibrid rendszerek, melynél lehetőség van a hálózat csatlakozására, miközben rendelkeznek önfenntartó képességekkel is.

2.2.1. Hálózatra csatolt rendszer (On-Grid, Grid paralell)

A hálózatra csatolt rendszer fő részei az áramszolgáltató tulajdonú inverterek, tömb DC leválasztó, töltésvezérlő és a teljesítménymérő. Ennél a kialakítási rendszernél nincsen akkumulátor használat, hanem a pluszban megtermelt, illetve fel nem használt energiákat visszatápláljuk az áramszolgáltató tulajdonában levő elektromos hálózatba. Ezért szükséges az áramszolgáltató által jóváhagyott invertereknek a használata, hiszen fontos biztonsági előírásoknak kell megfelelni.

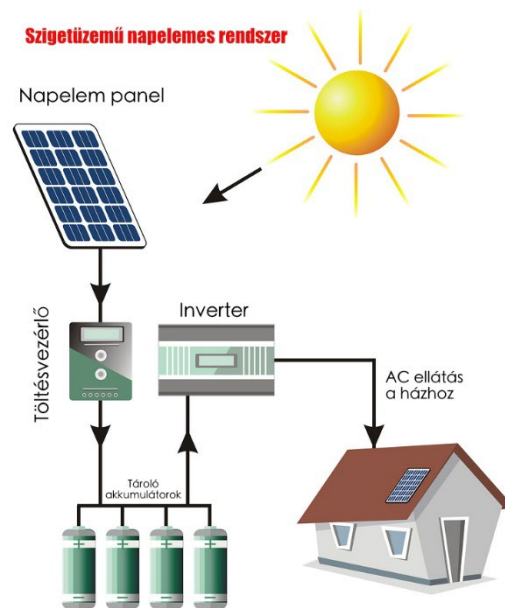


2.2.1.1. ábra: Hálózatra kapcsolt napelem rendszer felépítése [9.]

Ha az áramszolgáltató által biztosított hálózaton áramkimaradás van, akkor a rendszer inverterének is azonnal le kell kapcsolódnia a hálózatról. Ezen rendszereket használják a legtöbb háznál, lakóhelyen. Eme rendszer előnye, hogy könnyebb, egyszerűbb fenntarthatóság a többi rendszerrel szemben, költséghatékony telepítés, egyszerű szinkronizálás.

2.2.2. Szigetüzemű rendszer (Off-Grid)

A szigetüzemű rendszer fő részei a napelemes töltésvezérlő, rács nélküli inverter, DC leválasztó kapcsoló, tartalék generátor, illetve az akkumulátor. Az Off-Grid rendszer az On-Grid rendszer ellenkezője. Ennek a rendszernek előnye, hogy nem csatlakozunk a villamosenergia hálózathoz, hanem önállóan működik.



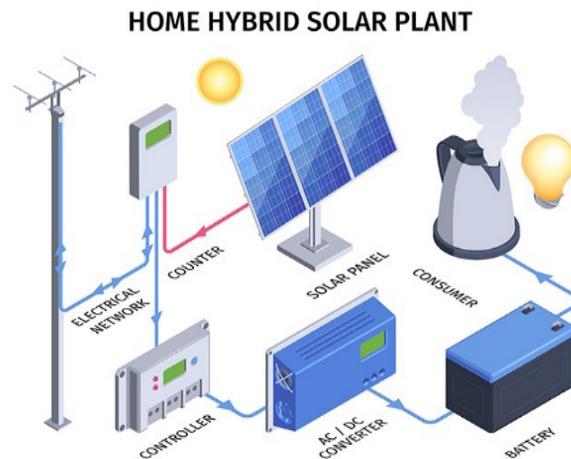
2.2.2.1. ábra: Szigetüzemű rendszer felépítése [10.]

A megtermelt energiát közvetlenül fel tudjuk használni vagy az akkumulátorokba töltjük későbbi felhasználás céljából. A szigetüzemű rendszerek nagy előnye, hogy teljesen függetlenséget jelent a hálózattól, illetve a legtöbb napelem rendszernél szükség van valamilyen gázolajjal működő generátorra, ami drágább, illetve környezetszennyezőbb.

Ezeknek a kiépítése általában olyan helyeken történik, ahol nincsen áramszolgáltató vagy csak korlátozott elérhetőséggel, mint például a tanyak. Ezen rendszerek hátránya, hogy energiapazarlás, magas ár, illetve megbízhatatlanság jellemzi a hosszabb távú, kevésbé kedvező időben.

2.2.3. Vegyes üzemű rendszer (Biomal)

A harmadik típusú rendszer a hibrid napelemes rendszer. Ez az első két rendszer legjobb tulajdonságainak az ötvözte. Egyaránt van az áramszolgáltatói hálózathoz csatlakoztatva, illetve a megfelelő akkumulátorokkal is el van látva.



2.2.3.1. ábra: Vegyes üzemű rendszer felépítése [11.]

Az erőt, amit közvetlenül a nap energiájának elnyelésével termel, váltóárammá alakítja át és ezt viszi át azonnal a hálózatra. A hálózatról a ház közvetlenül táplálja az áramot és a felesleges energiát itt is az akkumulátorokban tárolják.

Ha nem tud már több villamos energiát eltárolni, akkor az átvitel leáll, visszairányítják vagy a hálózathoz csatlakozó egyéb helyekre átirányítják. Ennek a rendszernek előnye, hogy bővíthető, jobb energiagazdálkodás, illetve a rugalmasság, a rendszer és a hálózat korlátozás nélküli használata.

Hátránya, hogy magas karbantartási költsége van, nagyon nagy helyet foglal, magas telepítési költség jellemzi.

2.3. Inverter

Az inverter működése két fő lépésből áll. Először is, a napelem modulok által termelt egyenáram (DC) egy DC/DC inverterbe kerül, ahol egy transzformátor 320-400 voltos egyenárammá alakítja azt. Ezt követően az energia tovább halad a DC/AC átalakítóba, ahol tranzisztorok gondoskodnak a kimenet váltakozó árammá történő átalakításáról, mely már a megszokott 230V/50Hz-es szabvány szerint működik.



2.3.1. ábra: Inverter [12.]

Az inverter kiválasztásánál kulcsfontosságú tényező az inverter hatásfoka. A hatásfok azt mutatja, mennyi energia veszteséggel jár az átalakítás folyamatában. A transzformátoros inverterek általában 95-96%-os hatásfokkal rendelkeznek (csupán 4-5% veszteség), míg a modern inverterek hatásfoka elérheti a 96-98%-ot.

Az inverterek méretezése is fontos az optimális működéshez. A piacon különböző teljesítményű inverterek állnak rendelkezésre, és kiválasztásuknál figyelembe kell venni a napelem rendszer csúcsteljesítményét. Túl nagy inverter esetén jelentős veszteségek keletkezhetnek, míg az alulméretezett inverter nem hasznosítja ki teljes mértékben a rendszer potenciálját.

Kisebb napelem rendszer esetén egyfázisú inverter is elegendő lehet, míg nagyobb teljesítményű rendszereknél háromfázisú inverter szükséges. Az inverterek különböző típusai különböző szükségletekre szabott megoldásokat nyújtanak a napenergia-rendszerekben. A hagyományos, hálózatiüzemű inverterek megbízhatóak és tartósak, de nem képesek energiát tárolni.

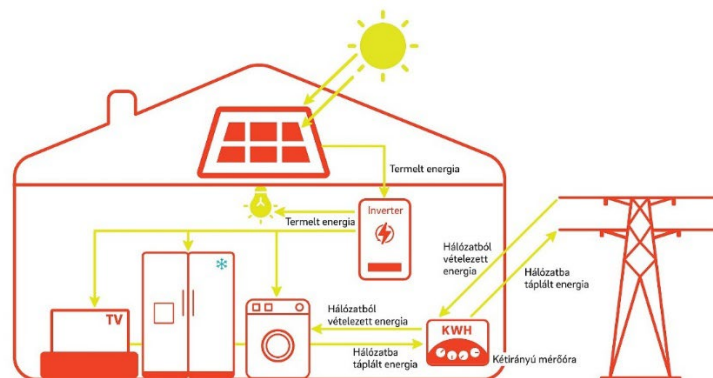
A mikro inverterek kisebbek, önállóan szabályozhatók, de több karbantartást igényelnek. A smart inverterek optimalizálják a teljesítményt, még neheztett körülmények között is és online monitorozást biztosítanak. A hibrid inverterek saját akkumulátorral rendelkeznek, lehetővé téve az energiatárolást és az önálló energiaellátást. A szigetüzemű inverterek önálló szigetként működnek, ideálisak olyan helyeken, ahol nincs hálózati áram, például tanyákon vagy távoli házakban.

A napelem inverterek elhelyezésénél ajánlott, olyan beltéri helyiséget választani, ami hűvös, száraz és pormentes. Bár az áramátalakítók rendelkeznek időjárásállósággal, a tetőtér vagy padlás nem ideális, mivel a nyári hőmérséklettel könnyen túlmelegedhetnek, ami kockázatot jelenthet.

2.4. HMKE rendszer

A HMKE (Háztartási Méretű Kiserőművek) azon villamosenergia-termelő berendezéseket jelenti, amelyek közcélú kisfeszültségű hálózathoz vagy kisfeszültségű magán- vagy összekötő vezeték hálózatra csatlakoznak, ahol az erőművi névleges teljesítőképesség nem haladja meg a felhasználó rendelkezésre álló teljesítményét és maximum 50 kVA. [13.]

A napelemtáblák soros és párhuzamos kapcsolásával szabályozható az áramátalakító (inverter) bemeneti feszültsége, amely az egyenáramú energiát alakítja át a hálózati feszültségnek megfelelő váltakozó árammá. Egy 1 kW teljesítményű napelemrendszer évente körülbelül 1000-1100 kWh villamos energiát szolgáltat.



2.4.1. ábra: HMKE rendszer felépítése [14.]

A napelemrendszerek típusai között jelenleg az amorf és a kristályos (mono- és polikristályos) napelemek használata jellemző. Az amorf napelemek kedvezőbb árral rendelkeznek, de élettartamuk és hatásfokuk körülbelül a fele a kristályos napelemekének. A kristályos napelemek között a polikristályos változat szórt fénynél teljesít jobban, míg a monokristályos tiszta napsütésnél. A különbség az éves termelt energiamennyiségben nem számottevő.

A napelemrendszer részei tartószerkezetre rögzített napelemmodulok, tartószerkezet, csatlakoztatást biztosító speciális kábelek, valamint az áramátalakító (inverter).

A Háztartási Méretű Kiserőművek rendszerének hatékony és biztonságos működése érdekében két fő védelmi szintet alkalmaznak: DC (egyenáram) oldali és AC (váltakozó áram) oldali védelem.

DC (egyenáram) oldali védelem részei:

- Túlvezeték-védelem (DC SPD): Az egyenáramú oldalon található túlvezeték-védők célja, hogy megakadályozzák a napelemek túlvezetéknek való kitettséget, különösen villámcsapások esetén. Ezek a berendezések elvezetik a túlvezetéseket, védelmet nyújtva ezzel a napelemeknek és az egyenáramú oldalnak.
- Áramkör megszakadás-érzékelők: Az ilyen eszközök a napelemek vagy a kapcsolódó kábelek megszakadását észlelik, gyorsan kikapcsolva az érintett részeket. Ez minimalizálja a rendszer hatékonyságvesztését és hozzájárul a hosszú élettartamhoz.
- AC (váltakozó áram) oldali védelem:
- Túlvezeték-védelem (AC SPD): Az inverter kimenetén telepített túlvezeték-védők megvédik az invertert a váltakozó áram oldalon jelentkező túlvezetésektől.
- Áramszakadás-védelem: Az áramszakadást vagy rendellenességeket a váltakozó áram oldalon észlelő eszközök azonnal lekapcsolják az érintett részeket, biztosítva a rendszer és az épület biztonságát.

A Háztartási Méretű Kiserőművek (HMKE) napelemrendszerek hatékony működése és biztonsága érdekében számos védelmi intézkedést alkalmaznak mind az egyenáramú (DC), mind a váltakozó áramú (AC) oldalon. Az egyenáramú oldalon túlfeszültség-védelmi eszközök védik a napelemeket villámcsapások esetén, míg az áramkör megszakadás-érzékelők gyorsan reagálnak a megszakításokra, minimalizálva ezzel a rendszer hatékonyságvesztését.

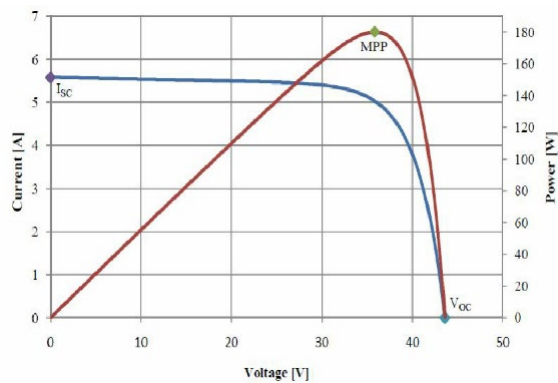
A váltakozó áram oldalon túlfeszültség-védők védik az invertert a váltakozó áram túlfeszültségeitől, míg az áramszakadás-védelmi eszközök azonnal lekapcsolják az érintett részeket rendellenesség esetén. Ezek a védelmi rétegek összességében biztosítják a HMKE rendszerek stabil és biztonságos működését, hozzájárulva a fenntartható energiaellátáshoz és környezetvédelemhez.

2.5. Működési karakterisztikák

A napelemek működési karakterisztikáinak ábrázolása különböző grafikonok és jelleggörbék segítségével lehetővé teszi a napenergia rendszerek tervezői és üzemeltetői számára, hogy megértsék és optimalizálják a napelemek teljesítményét különböző körülmények között. Az alábbiakban részletesebben kifejtem, miért fontosak ezek a karakterisztikák és hogyan segítenek a napelemek működésének megértésében.

A napelemcella a legnagyobb áramot nulla feszültség alatt adja le, ez a rövidzárási áram. Feszültség növelése mellett az áram kezdetben állandónak tűnik, majd hirtelen csökken. A vízszintes tengelymetszetét a görbének, ha áram nem folyik rajta, az az üresjárási feszültség. Az ábrán látható, a teljesítmény feszültség görbéje is a napelemnek, ami a villamos teljesítményt a feszültség függvényében ábrázolja.

A napelemek legnagyobb teljesítménye olyan pontra esik, ahol az áram és feszültség értékei viszonylag magasan vannak. Ez a pont lesz az MPP pont (Maximum Power Point). A napelemek üzemeltetése során célszerű arra törekedni, hogy a napelemek működése minél közelebb kerüljön az MPP-hez. [15.]



2.5.1. ábra: Napelem áram-feszültség és teljesítmény-feszültség jelleggörbéje [16]

A rövidzárási áram képlete:

$$I_{sc} = I_{ph}$$

[17]

ahol,

- I_{sc} -névleges rövidzárási áramerősség,
- I_{ph} -fotóáram referencia érték

Az üresjárási feszültséget az alábbi képlet alapján lehet meghatározni:

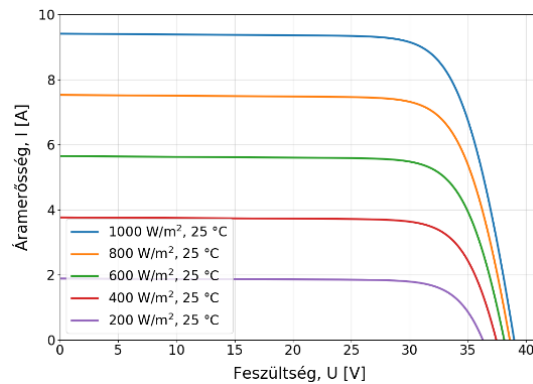
$$U_{oc} = \frac{k * T}{e} * \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s}\right) + 1 = U_t * \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right)$$

[18.]

ahol,

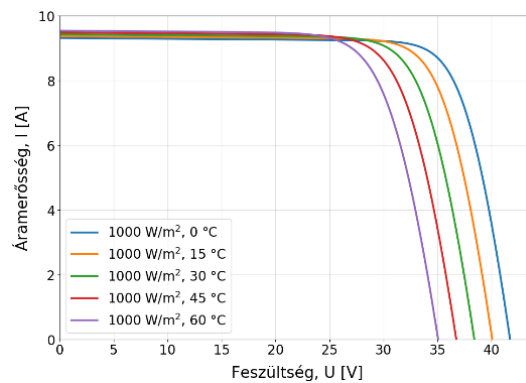
- U_{oc} - Üresjárási feszültség
- k - Boltzmann-állandó
- T - Hőmérséklet
- e - Napelem anyagára jellemző tiltottsáv szélessége
- U_t - Termikus feszültség

Jelleggörbék időjárásfüggése:



2.5.2. ábra: Napelem-feszültség jelleggörbéi, eltérő fényintenzitások esetén [19.]

Az ábrán látható, hogy a napelem kimeneti feszültsége hogyan változik a különböző fényintenzitások mellett. A fényintenzitás jelentős csökkenésekor a rövidzárási áram is hasonló mértékben csökken, azonban az üresjárási feszültség csak néhány voltot csökken, így azt jó közelítéssel konstansnak tekinthetjük a fényintenzitás függvényében. [20.]



2.5.3. ábra: Napelem sugárzásfüggésének jelleggörbéje [21.]

A napelemcellák hőmérséklete elsősorban az üresjárási feszültséget befolyásolja, mely közel lineárisan csökken a hőmérséklet emelkedésével. A hőmérséklet emelkedése növeli a rövidzárási áramot is, de ennek hatása jóval kisebb arányban érinti a feszültséget.

A jelleggörbék időjárásfüggéséből következtetni lehet arra például, hogy hogyan változik a napelemek teljesítménye és hatásfoka különböző környezeti feltételek mellett. A jelleggörbék fontosak a rendszerek méretezése során is, hogy biztosíthassuk például az inverterre csatlakoztatott napelemek áramának és feszültségének mindig az inverter működési tartományában való maradását.

Összességében a napelem jelleggörbéinek időjárásfüggése és a különböző fényintenzitások mellett készült jelleggörbék kulcsfontosságú információkat szolgáltatnak a napelemek teljesítményének és működésének megértéséhez. Az időjárásfüggő jelleggörbék segítik a hatásfok változásának nyomon követését, különböző időjárási körülmények között.

Emellett a napelem-feszültség és áram-feszültség jelleggörbék segítik a rendszertervezést, lehetővé téve a megfelelő konfiguráció kiválasztását és a maximális teljesítmény elérését eltérő fényintenzitások mellett. Ezek az információk esszenciálisak a napelem rendszerek hatékony méretezéséhez és optimális működéséhez, valamint segítik a rendszer karakterisztikáinak átfogó megértését az időszakos változások és környezeti tényezők függvényében.

3. Megoldási javaslat kifejtése

Szakedolgozatom középpontjában a különböző napelem típusok kombinációjának hatása áll a napelemes rendszer teljesítményére és hatékonyságára. A kutatás célja, hogy megvizsgálja, milyen mértékben befolyásolja a napelemrendszer teljesítményét, ha különböző típusú és teljesítményű napelemeket kombinálunk. A vizsgálatok során három különböző gyártótól származó és eltérő típusú napelemeket használok, és a rendszer részletes modellezését és szimulációját a MATLAB Simulink szimulációs környezet segítségével végzem el.

A MATLAB Simulink környezete hatékony eszközöket nyújt a dinamikus rendszerek modellezéséhez, szimulációjához és teszteléséhez. A program rendelkezik számos beépített blokkal és szolgáltatással, amelyek lehetővé teszik a napenergiarendszerek pontos és részletes modellezését. Az eredményeknek a rögzítését különböző blokk segítségével lehet, ami lehetővé teszi a szimuláció eredményeinek könnyű további elemzéseit, összehasonlításait és vizsgálatait a MATLAB munkaterületén.

A teszteléseknél négy forgatókönyvet alkalmazok:

- Az első tesztben a legalacsonyabb áramerősségű napelemek kerülnek közel az inverterhez.
- A második teszt során a legnagyobb áramerősségű napelemeket helyezem közel az inverterhez.
- A harmadik teszt vegyes elrendezést alkalmazok, ahol az alacsony és magas áramerősségű panelek felcserélésre kerülnek, így az inverterhez közel mind a két áramerősségű napelem kerül.
- Az utolsó tesztelés során a közel azonos feszültségű, de nagyobb áramerősségű napelemek kerül az inverter közelébe.

3.1. Matlab Simulink szimulációs környezet

A MATLAB Simulink szimulációs környezet kiválóan alkalmas a rendszerek modellezésére és szimulálására, amelyeket a valós világban nehéz lenne más módszerekkel vizsgálni. A program intuitív grafikus felülete lehetővé teszi, hogy a felhasználók könnyedén létrehozzanak és testre szabjanak blokkokat, így akár komplex rendszerek is könnyen modellezhetők. Ennek köszönhetően a Simulink segítségével a felhasználók gyorsan és hatékonyan tudnak megvalósítani és vizsgálni különböző rendszereket.

A szakdolgozatomban azért választottam a MATLAB Simulink tervezői környezetet, mert mély ismeretekkel rendelkezem a programról, illetve kiválóan tudom alkalmazni a szakdolgozatomban szereplő napenergia-rendszerek teljesítményének modellezésére. Az egyik kiemelkedő tulajdonsága a karakterisztika táblázat kirajzolására való alkalmassága. Ez a funkció rendkívül hasznos a napelem típusok karakterisztikáinak pontos modellezéséhez és azok hatásainak részletes elemzéséhez a rendszer teljesítményére. A program segítségével könnyen modellezhető, hogy egy adott napelem típusa hogyan befolyásolja a rendszer teljesítményét. Az átlátható blokkok és kapcsolatok segítik a rendszer összetettségének megértését. A szimulációs eredmények vizualizációja tovább segít a rendszer dinamikájának és a különböző paraméterek változásainak hatásainak megértésében. [22.]

A MATLAB Simulink széleskörű alkalmazhatóságát hatékonyan kamatoztatom a napenergia-rendszerek modellezése terén. A program átlátható felülete és sokoldalúsága révén könnyen vizualizálhatom a rendszer viselkedését és megérthetem, hogy a különböző napelem típusok alkalmazása milyen hatással van a rendszer teljesítményére. A karakterisztika táblázat kirajzolásának képessége tovább fokozza a modellezés pontosságát, elősegítve a szakdolgozatban bemutatott eredmények magas színvonalú és érthető prezentációját. Ennek eredményeként a kutatásom hozzájárul a napenergia-rendszerek teljesítményének jobb megértéséhez és optimalizálásához.

3.2. Alkalmazott modellek ismertetése

3.2.1. Feladat ismertetés

Napjainkban a megújuló energiaforrások, különösen a napenergia, egyre inkább előtérbe kerülnek az energiatermelés terén, hozzájárulva a fenntartható és környezetbarát energiatermelés fejlődéséhez. Ebben a kontextusban a napelemrendszerek teljesítményének optimalizálása és hatékonyságának növelése kiemelkedő jelentőségűvé válik. A szakdolgozatom célja, hogy mélyrehatóan megvizsgáljam, hogyan befolyásolja egy rendszer teljesítményét több különböző típusú napelem panel kombinációja.

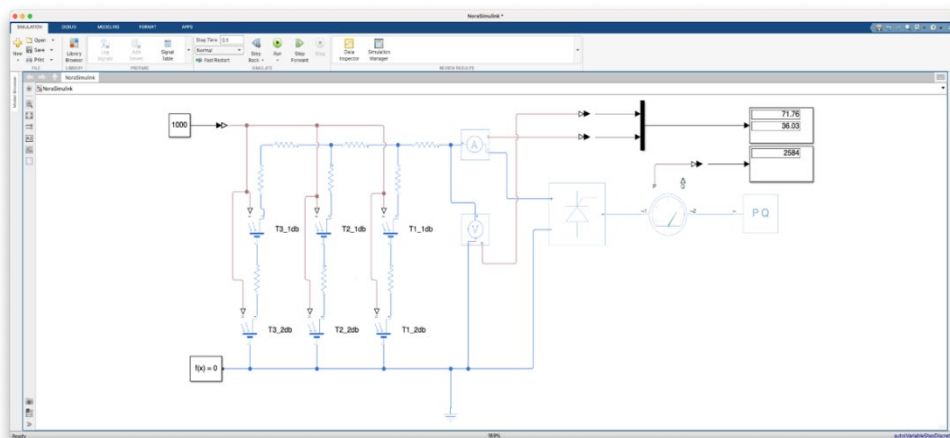
Ezen tanulmány keretében három különböző gyártótól származó napelem típus felhasználásával vizsgálom a rendszert. A különböző gyártóktól származó napelemek használata sokszínűséget és lehetőségeket teremthet a rendszer tervezése során. A gyártók által alkalmazott technológiák, anyagok és tervezési jellemzők eltérése miatt a különböző típusú napelemek különböző karakterisztikákkal rendelkeznek.

A MATLAB Simulink szimulációs környezetet választottam a rendszer modellezéséhez és szimulációjához. Ennek a döntésnek az alapja az, hogy a MATLAB Simulink rendkívül hatékony eszköz a dinamikus rendszerek modellezéséhez és a komplex rendszerek viselkedésének szimulálásához. A program lehetővé teszi számomra, hogy valósághűen modellezhessem a különböző napelem típusokat, és vizsgálhassam, hogy ezeknek a különféle típusoknak a kombinációja miként befolyásolja a rendszer teljesítményét.

Ezen bevezetés alapján a továbbiakban részletesen elemzem majd a három különböző gyártó által szállított napelem típus jellegzetességeit, majd a MATLAB Simulink segítségével kidolgozott modelleket használva bemutatom a rendszer teljesítményének szimulációját és az eredmények értelmezését.

3.2.2. Simulink modellezés

A MATLAB Simulink szimulációs környezetet a szakdolgozatomban azért választottam, mert rendelkezem mély ismeretekkel a programról, és hatékonyan tudom alkalmazni a napenergia-rendszerek teljesítményének modellezésére. A program átlátható felülete és karakterisztika táblázat kirajzolásának képessége segítségével pontosan modellezhetem a különböző napelem típusok hatását a rendszer teljesítményére. A szimulációs eredmények vizualizációja segíti a rendszer viselkedésének és paraméterváltozások hatásainak megértését.



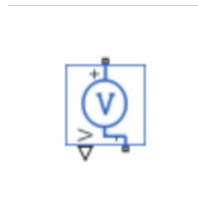
23. ábra: Megvalósított kapcsolás Simulinkben [saját ábra]

A fenti ábrán látható, a napelemes rendszer felépítése, benne három különböző gyártójú, különböző teljesítményű napelemek használata.

A rendszerben megtalálható elemek, blokkok:

Feszültségérzékelő:

A Feszültségérzékelő blokk egy ideális feszültségérzékelőt reprezentál, azaz egy eszközt, amely az elektromos áramkör két pontja között mért feszültséget fizikai jelekké alakítja át, arányosan a mért feszültséghez.

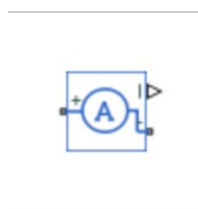


3.2.2.2. ábra: Feszültségérzékelő blokk [24.]

A + és - portokat használja a szenzor párhuzamosan történő csatlakoztatásához azon blokkokkal (vagy több blokkal), ahol a feszültséget szeretné mérni. A V porton keresztül juttatja ki a mérés eredményét fizikai jelként.

Áramérzékelő:

Az Áramérzékelő blokk egy ideális áramérzékelőt reprezentál, azaz egy eszközt, amely árammérést végez bármely elektromos ágba, és fizikai jelekké alakítja át az áramhoz arányosan.



3.2.2.3. ábra: Áramérzékelő blokk [25.]

Használja a + és - portokat az érzékelő sorosan történő csatlakoztatásához azokkal a blokkokkal, ahol az áramot mérni kívánja. Az I porton keresztül juttatja ki a mérés eredményét fizikai jelek formájában.

Teljesítményérzékelő:

A Teljesítményérzékelő blokk egy ideális érzékelőt valósít meg aktív és reaktív teljesítményméréshez kiegyensúlyozott vagy kiegyensúlyozatlan háromfázisú szakaszokban. Kiegyensúlyozott szakaszok esetén a blokk minden időpillanatban helyes értéket ad az aktív és reaktív teljesítményre. Ez a preferált lehetőség egy terhelésáramlás elemzéshez.

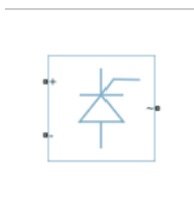


3.2.2.4. ábra: Teljesítményérzékelő blokk [26.]

Kiegyensúlyozatlan szakaszok esetén a magnitúdót és fázist az blokk függetlenül méri a három feszültség és áram fázorok alkalmazásával, egy mozgóperiódusú Fourier-transzformáció segítségével. Ezért a kimeneti magnitúdó és fázis az első periódus során nulla.

Inverter:

Az átlagérték inverter (háromfázisú) blokk egy átlagértékű, teljeshullámú invertert modellez. Ez egyenáramú feszültséget alakít át háromfázisú váltóáramú feszültséggé, és háromfázisú váltóáramú teljesítményigényt alakít át egyenáramú teljesítményigénnyé. A megfelelő egyenáramú teljesítményigény a fix teljesítményveszteség és a váltóáramú teljesítményigény összegével egyenlő.

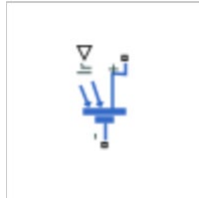


3.2.2.5. ábra: Inverter blokk [27.]

Az inverter egyenáramú feszültség vezérelte váltóáramú feszültségforrásként viselkedik.

Napelem modell:

A blokk egy napelemáramforrást reprezentál. A napelem modell tartalmazza a nap okozta

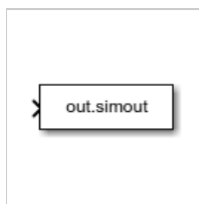


3.2.2.6. ábra: Napelem blokk [28.]

áramot, a hőmérsékletfüggést, hőmérsékleti csatlakozót, illetve az előre definiált paraméterezést.

To Workspace:

A "To Workspace" blokk rögzíti a hozzá csatlakoztatott bemeneti portján érkező adatokat a Simulink modellben. A naplózott adatok a base workspace-be kerülnek. Ha egy modellt programozottan szimulál egy függvényen belül, akkor a naplózott adatok a függvény workspace-be kerülnek. A szimuláció során a naplózott adatok elérhetők a Simulation Data Inspectorban. A naplózott adatok a szimuláció szüneteltetése vagy leállítása során kerülnek írásra a workspace-be.



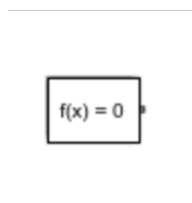
3.2.2.7. ábra: „To Workspace” blokk [29.]

A "To Workspace" blokk használható adatok naplózásához jelhez, buszhoz vagy busztömbhöz. A blokk támogatja a skalár és többdimenziós adatok naplózását, beleértve a változó méretű jeleket is. A naplózott adatokat tároló változó nevét és formátumát lehet konfigurálni, illetve a blokk paramétereinek beállításával, hogy milyen értékeket naplózzon.

3.2.3. Konstans értékek

A MATLAB szimuláció során az egyszerűbb és látványosabb szemléltetés érdekében alkalmazok konstans értékeket. A besugárzási érték a standard 1000W/m^2 érték, ami azt jelenti, hogy átlag 25 Celsius fokon, körülbelül 45 fokos irányítási szögben elhelyezett napelemet, 1000 W/m^2 teljesítményű napsugárzás éri.

A rendszerben található a Solver Configuration, ami minden fizikai hálózat, amit egy összekötött Simscape blokksémát reprezentál, szimulációhoz szükséges szimulációs paraméterekkel rendelkezik.



3.2.2.8. ábra: Solver Configuration blokk [30.]

A Solver Configuration blokk határozza meg azokat a szimulációs paramétereket, amelyekre a modellnek szüksége van a szimuláció elkezdése előtt.

A "Constant Power Load" blokk egy állandó teljesítményű terhelést valósít meg egy DC vagy AC tápellátáshoz. Jelen esetben a szimulációmban használt blokk DC terhelési típusra van állítva, melynek jelentősége, hogy a blokk a nominális besorolt teljesítményt adja ki mindaddig, amíg a DC táp feszültsége nagyobb vagy egyenlő a minimum tápfeszültség paraméter értékével.

Amikor a DC tápfeszültsége lecsökken a minimum tápfeszültség paraméter értéke alá, a terhelés viselkedése megváltozik, és a blokk állandó ellenállásként működik. Ha a tápfeszültség negatívvá válik, a blokk állandó inverz vezetésként működik. Jelen esetben a nálam beállított értékek, a minimum tápfeszültség értéke 20V, illetve a fogyasztott teljesítmény 100W nagyságú.

A rendszerben található még egy háromfázisú állandó teljesítményterhelés blokk.



3.2.2.9. ábra: Állandó teljesítményterhelő blokk [31.]

Az állandó teljesítményterhelés (háromfázisú) blokk egy állandó teljesítményű terhelést valósít meg egy háromfázisú tápegység számára.

A blokk egy nominális teljesítményt szolgáltat, amíg a háromfázisú tápegység feszültsége legalább annak az értéknek vagy annál nagyobbak bizonyul, amit a minimális tápfeszültség (fázis-fázis RMS) paraméterben meghatároztak.

Amikor a háromfázisú tápegység feszültsége lecsökken a minimális tápfeszültség (fázis-fázis RMS) értéke alá, a terhelés viselkedése megváltozik, és a blokk egy állandó impedanciájú terhelést modellez.

3.2.3. Solar kábel

A solar kábel olyan elektromos vezeték, amelyet kifejezetten napenergia-rendszerekhez terveztek. Ezek a kábelek rendkívül ellenállóak a napelemek üzemeltetése során fellépő környezeti hatásokkal és károsító tényezőkkel szemben. A hosszú távú UV-sugárzás vezethet a kábelek idő előtti előregedéséhez és hanyatlásához, ezért a solar kábelek kialakítása és anyaga ellenállóbb az UV-sugárzással szemben.



3.2.3.1. ábra: Solar kábel [32.]

Ezen kívül, mivel a napenergia-rendszerek kültéri környezetben vannak elhelyezve, a solar kábeleknek ellen kell állniuk az időjárási viszonyoknak is, mint például az eső, a szél, a hó és a jég. Ezek a kábelek ellenállóak az időjárási változásokból eredő mechanikai hatásokkal és nedvességgel szemben. A hőmérséklet-ingadozásokra való ellenállás is fontos, mivel a napenergia-rendszerek kábeleit kitéve vannak a napfénynek és az időjárási változásoknak, ami hőmérséklet-ingadozásokhoz vezethet. A solar kábelek kiváló hőmérséklet-tűrési tulajdonságokkal rendelkeznek.

A kiválasztott Solar kábel maximális ellenállás értéke:

$$R_{vez} = 5.09 \frac{\Omega}{km}$$

[33.]

Átváltva:

$$R_{vez} = 5.09 \frac{m\Omega}{m}$$

4. Feladat implementálása

Szakdolgozatom a napjainkban egyre inkább előtérbe kerülő megújuló energiaforrások közül a napenergia felhasználását vizsgálja. A fókuszban a napelemrendszerek teljesítményét befolyásoló tényezők elemzése áll, különös tekintettel a különböző típusú napelempanelek kombinációira. A kutatásban három különböző gyártótól és típustól származó napelemeket használok, és a MATLAB Simulink program segítségével modellezem és szimulálom a rendszert.

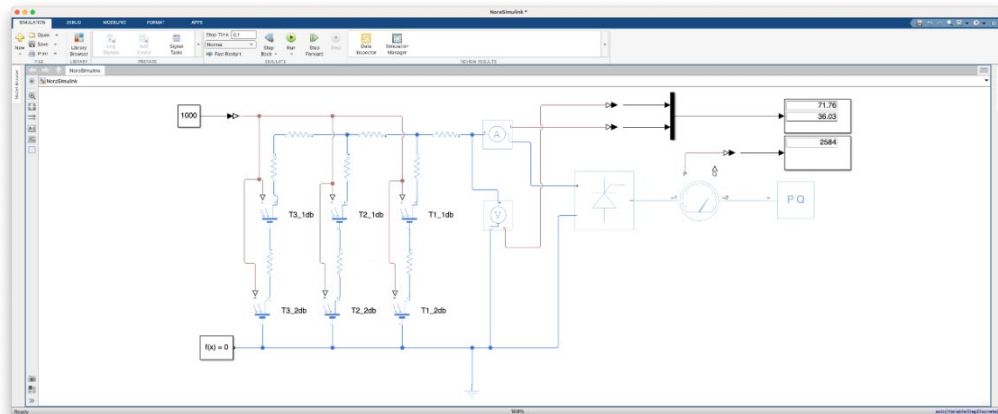
A MATLAB Simulink környezetének előnye az, hogy hatékony eszközökkel rendelkezik a dinamikus rendszerek modellezésére, szimulációjára és tesztelésére. A programnak számos beépített blokkja és szolgáltatása van, amelyek lehetővé teszik a napenergiarendszerek pontos és részletes modellezését. A "To Workspace" blokk segítségével rögzítem a szimuláció eredményeit a MATLAB munkaterületére, így könnyen további elemzéseket, összehasonlításokat, illetve vizsgálatokat lehet készíteni.

A modellt olyan elemblokkokkal építem fel, mint a solar kábel, a feszültség-, áram- és teljesítményérzékelők, inverterek és háromfázisú állandó teljesítményterhelés. A solver configuration segítségével optimalizálom a szimuláció időzítését és stabilitását. A modellezés során figyelembe veszem a standard 1000 W/m² besugárzási értéket.

Négy különböző tesztelési forgatókönyvet alkalmazok a rendszer teljesítményének értékelésére. Az első tesztnél kis áramerősségű napelem panelt helyezek el az inverter közelében, a második tesztelésnél nagy áramerősségű panelek kerülnek közel az inverterhez. A harmadik tesztnél vegyesen helyezem el a kis és nagy áramerősségű paneleket, míg az utolsó tesztnél azonos feszültségű napelemek cseréjével, viszont a nagyobb áramerősségű panel kerül az inverter közelében. Ezek az esetek különböző üzemeltetési körülményeket szimulálnak, és lehetővé teszik a rendszer teljesítményének változásainak alapos elemzését.

4.1. Modell felépítése

A MATLAB szimulációban egy összetett napenergia-rendszer modelljét hoztam létre, amely három különböző napelem típust tartalmaz. Ezek a napelemek eltérő áramerősségűek, feszültségűek és teljesítményűek.



34. ábra: Szimulációs modell felépítése [saját ábra]

A képen látható modell alapját a standard 1000 W/m² besugárzási érték adja. Az azonos típusú napelemek sorosan vannak kapcsolva, míg a különböző típusú napelemek párhuzamosan vannak elhelyezve a kapcsolásban. A modell részét képezik az ellenállások, amelyeket a solar kábel maximális ellenállása és a kábel hosszának szorzatával határoztam meg. Ezek után a kapcsoláshoz egy feszültségérzékelő és egy áramérzékelő csatlakozik. A feszültségérzékelő párhuzamosan van kapcsolva, míg az áramérzékelő sorosan követi azt. Ez a felépítés lehetővé teszi a rendszer pontos feszültség- és áramméréseit.

A kapcsoláshoz csatlakozik egy inverter, amely átalakítja a napelemek által generált egyenáramot váltóárammá. Ezt követi egy teljesítményérzékelő, amely figyeli a rendszer teljesítményét. A modellben található állandó teljesítményterhelés blokk biztosítja a háromfázisú tápegység állandó teljesítményű terhelését.

Összességében elmondható, hogy a modell részletesen szemlélteti a napenergia-rendszer komponenseit és azok kapcsolását. A feszültség-, áram- és teljesítményérzékelők, az inverter és az állandó teljesítményterhelés blokk hatékonyan működnek együtt a rendszer teljesítményének pontos elemzéséhez és értékeléséhez.

4.2. Kezdeti adatok megadása

A kutatási munkám során a szimuláció használatakor az alábbi kezdeti adatokkal és paraméterekkel végeztem el a teszteléseket. [35], [36], [37]

Napelem típusa:	Üresjárási feszültség VOC	Rövidzárási áram ISC
JA Solar 410 W	37,32 V	13,95A
LONGI Solar 580 W	52,21 V	14,20 A
Canadian Solar 400W	37,23 V	12,98A

A szimulációban szereplő napelem modellek, a cella karakterisztika beállításán belül a nyitott áramköri feszültségét mindegyiknél módosítottam:

JA Solar 410 W típusúnál az üresjárási feszültség 37,32 V a nyitófeszültséget 0,6 V-ra (egy darab cella feszültségének értéke) állítottam.

LONGI Solar 580 W típusú napelemnél az üresjárási feszültség 52,21 V a nyitófeszültség 0,8 V.

A harmadik napelem típus amivel foglalkoztam a Canadian Solar 400 W típusú napelem, aminek az üresjárási feszültsége 37,23 V, a cella karakterisztikájának nyitófeszültségét 0,9 V-ra állítottam.

Besugárzási értéknek 1000 W/m²-t adtam meg. Ez a standard érték azt jelenti, hogy egy négyzetméterre átlagosan 1000 watt teljesítményű napsugárzás érkezik ideális körülmények között.

A rendszerben Solar kábelt használtam, aminek a maximális ellenállás értéke:

$$R_{vez} = 5.09 \frac{\Omega}{km} = 5.09 \frac{m\Omega}{m}$$

A modellben található ellenállások értékét úgy határoztam meg, hogy az inverter és a napelem modul közötti távolságot 15 méternek írtam le, így a modellben található ellenállások értéke:

$$R_{vez} = 15 m * 5.09 \frac{m\Omega}{m} = 76.35 m\Omega$$

5. Tesztelési forgatókönyvek

Szakdolgozatomban négy különböző tesztelési forgatókönyvet vizsgáltam. Minden forgatókönyvben azonos elemeket tartalmazó napenergia-rendszer modellt alkalmaztam MATLAB szimulációban. A modell három eltérő napelem típust tartalmaz, amelyek különböznek egymástól áramerősségükben, feszültségükben és teljesítményükben. A rendszer alapját a standard 1000 W/m² besugárzási érték adja, ahol az azonos típusú napelemek sorosan, a különböző típusúak pedig párhuzamosan kapcsolódnak.

Az ellenállások értékeit a solar kábel maximális ellenállása és a kábel hosszának szorzatával határoztam meg. Ezt követően a rendszerhez feszültségérzékelő és áramérzékelő is csatlakozik, melyek párhuzamosan illetve sorosan kapcsolódnak a modellhez. Az ilyen felépítés lehetővé teszi a rendszer pontos feszültség- és áramméréseit.

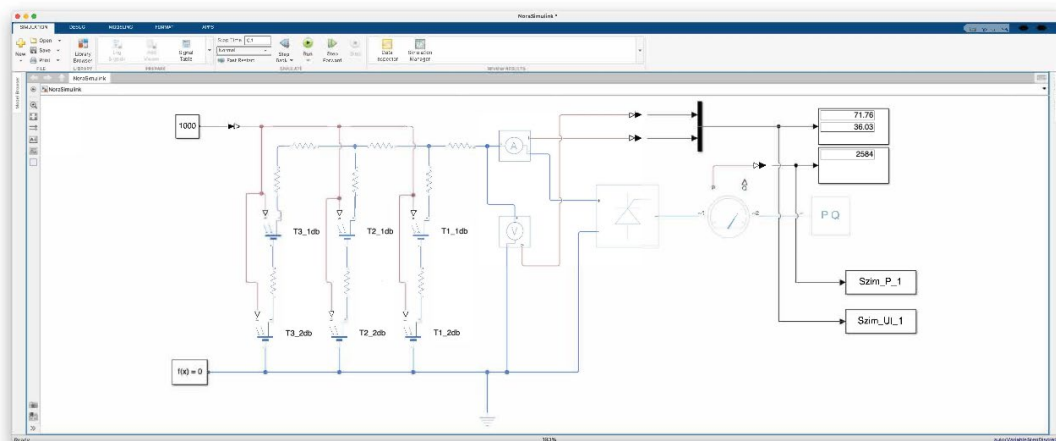
Az áramköri kapcsoláshoz csatlakozik egy inverter, amely átalakítja az egyenáramot váltóárammá, majd egy teljesítményérzékelő figyeli a rendszer teljesítményét. A modellezett rendszer állandó teljesítményterhelést tartalmaz a háromfázisú tápegység számára. A tesztelési adatok rögzítéséhez a kapcsoláshoz hozzáadtam a To Workspace blokkot.

A négy tesztelés során a napelemek elrendezését változtattam meg. Az első két tesztelésnél az inverterhez közel kis, illetve nagy áramerősségű napelemeket helyeztem el, míg a harmadiknál a két típus kombinációját alkalmaztam. Az utolsó tesztelésnél közel azonos feszültségű paneleket cseréltem ki, de a nagyobb áramerősségű volt közelebb az inverterhez. A tesztelések eredményeinek összegzésénél figyelembe veszem, hogy az elrendezés hogyan befolyásolja a napelemrendszer teljesítményét.

5.1. Első tesztelési szcenárió

Az első tesztelési szcenárióban a MATLAB szimuláció segítségével azt elemzem, hogy hogyan befolyásolja a rendszer teljesítményét az, ha a legkisebb áramerősségű napelemeket teszem legközelebb az inverterhez. A modell alapját három különböző napelem típus alkotja, melyek eltérők áramerősségben, feszültségben és teljesítményben.

Jelölések	Napelem típusok	V_{OC}	I_{SC}
T1_1, T1_2	Canadian Solar 400W	37,23 V	12,98A
T2_1, T2_2	JA Solar 410 W	37,32 V	13,95A
T3_1, T3_3	LONGI Solar 580 W	52,21 V	14,20 A

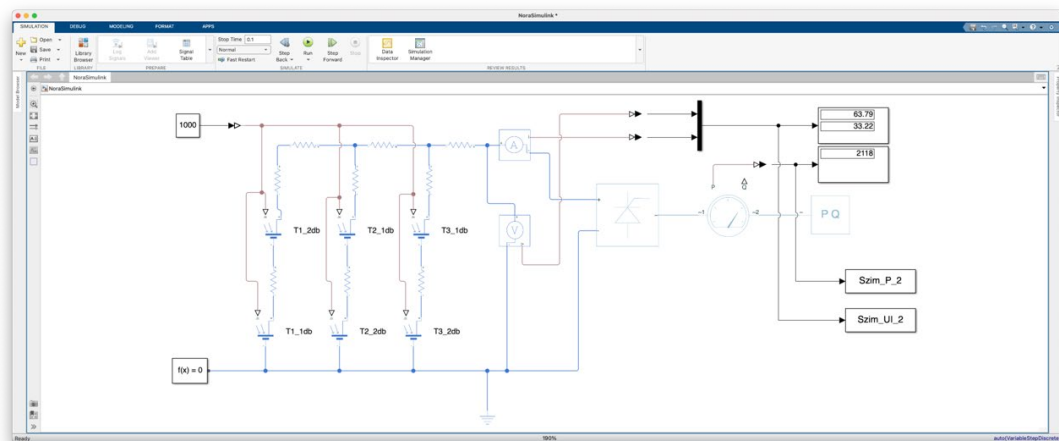


38. ábra: Első tesztelési modell felépítése [saját ábra]

Az első tesztelési forgatókönyvben a napelemek elrendezése balról jobbra haladva a következőképpen alakul: a T3_1, T3_2-es jelöléssel a Longi Solar típusú napelem, amelynek a legnagyobb az üresjárási feszültsége és rövidzárási árama. A közepén elhelyezett T2_1, T2_2 a Ja Solar típusú napelem, melynek értékei az összesített értékek között helyezkednek el. Az inverterhez legközelebb elhelyezett T1_1, T1_2-es jelöléssel a Canadian Solar típusú napelem található, aminek a legkisebb az üresjárási feszültsége és rövidzárási árama. A rendszer összteljesítménye 2584 W. A kapcsolásban található egy blokk, amely méri a rendszer összefeszültségét és leadott áramát. Jelen esetben az összefeszültség 71,76 V, míg a mért áram értéke 36,03 A.

5.2. Második tesztelési szcenárió

A második tesztelési forgatókönyvben a napelemek elrendezését az első teszteléssel összehasonlítva felcseréltük a legkisebb és legnagyobb teljesítményű, valamint áramerősségű napelemeket, tehát balról jobbra haladva a következő elrendezés alakult ki: T1_1, T1_2 - Canadian Solar, T2_1, T2_2 - Ja Solar és T3_1, T3_2 - Longi Solar. A Canadian Solar típusú napelemnek a legkisebb az üresjárási feszültsége és a rövidzárási árama. A Ja Solar értékei középső helyet foglalják el a másik két napelemhez képest, míg a Longi Solar a legközelebb helyezkedik el az inverterhez, aminek a legnagyobb az üresjárási feszültsége és a rövidzárási árama.



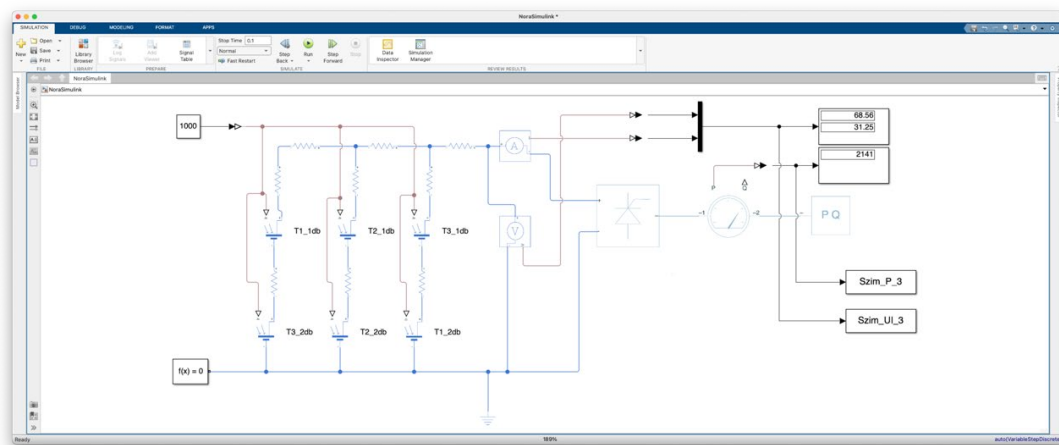
39. ábra: Második tesztelési modell felépítése [saját ábra]

A rendszer összteljesítménye a második tesztelés során 2118 W volt, a rendszer összefeszültsége 63,79 V, és a leadott áram mennyisége 33,22 A.

A második tesztelési forgatókönyvben tapasztalt csökkenő teljesítmény azt mutatja, hogy a nagyobb áramerősségű és feszültségű napelemek elhelyezése az inverter közelében negatívan befolyásolja a rendszer teljesítményét. A nagyobb áramerősségű és feszültségű napelemek elhelyezése az inverter közelében csökkentheti a rendszer hatékonyságát. Az áram és feszültség növekedése miatt növekedhetnek az átviteli veszteségek és az ellenállási hőveszteségek, illetve a nagyobb áramerősségű napelemek több hőt termelhetnek, ami befolyásolhatja az inverter hatékonyságát és a rendszer teljesítményét.

5.3. Harmadik tesztelési szcenárió

A harmadik tesztelési forgatókönyvben az elrendezést módosítottuk a legkisebb és a legnagyobb áramerősségű napelemek cseréjével. Így a bal felső pozícióban a T1_1-Canadian Solar napelem helyezkedik el, míg a bal alul található a T3_2-Longi Solar napelem. A középen elhelyezkedő két napelem sorba kötve a T2_1, T2_2-Ja Solar napelemek. Ezeket követően párhuzamosan helyezkedik el a T3_1-Longi Solar napelem, míg a jobb alul a T1_2-Canadian Solar napelem található. Ennek eredményeként az inverterhez legközelebb eső két napelem közül a T3_1 panel rendelkezik a legnagyobb rövidzárási árammal és üresjárási feszültséggel, míg az alatta lévő T1_2 napelemnek a legkisebb az üresjárási feszültsége és rövidzárási árama.



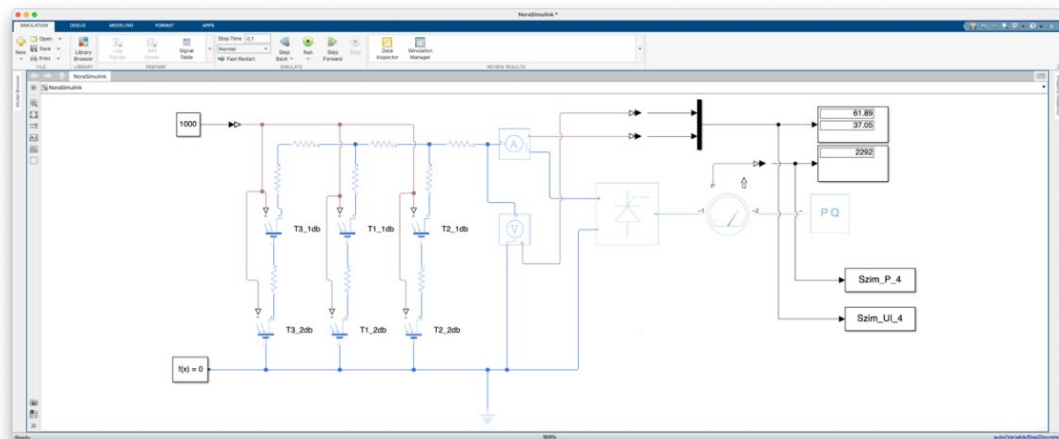
40. ábra: Harmadik tesztelési modell felépítése [saját ábra]

Ebben a konfigurációban a rendszer összteljesítménye 2141 W, az összefeszültség 68,56 V, és a mért áram értéke 31,25 A. Ezek az értékek azt mutatják, hogy az elrendezés módosítása hatással volt a rendszer teljesítményére az előző konfigurációhoz képest.

Az első és a második tesztelési eredmények közötti különbség azt mutatja, hogy a nagyobb áramerősségű és feszültségű napelemek elhelyezése az inverter közelében csökkentheti a rendszer teljesítményét. A harmadik tesztelésnél a rendszer teljesítménye kissé javult a másodikhoz képest, de még mindig alacsonyabb az első tesztelési forgatókönyvhöz képest. A kis áramú napelemek az inverter közelében tűnnek hatékonyabbnak, míg a nagy áramú napelemek esetén a távolabbi elrendezés lehet előnyös.

5.4. Negyedik tesztelési szcenárió

Az utolsó, azaz a negyedik szcenárióban a napelemek elrendezést módosítottam, kicserélve az azonos feszültségű (T1 és T2) napelemeket, és a nagyobb áramerősségű (T2_1 és T2_2) paneleket közelebb helyeztem az inverterhez. Így a bal oldalon a T3_1 és T3_2-Longi Solar panelek, középen a T1_1, T1_2-Canadian Solar panelek, majd párhuzamosan a T2_1 és T2_2-Ja Solar típusú panelek találhatók.



41. ábra: Negyedik tesztelési modell felépítése [saját ábra]

Ebben az elrendezésben a rendszer összteljesítménye 2292 W, az összefeszültség 61,89 V, és a mért áram értéke 37,05 A. Ezek az értékek azt mutatják, hogy az elrendezés módosítása pozitív hatással volt a rendszer teljesítményére az előző konfigurációhoz képest.

A negyedik tesztelésnél elért 2292 W-os rendszer teljesítmény még mindig kevesebb, mint az első tesztelési eredmény (2584 W), de magasabb a teljesítmény értéke, mint a második (2118 W) és a harmadik (2141 W) tesztelési eredménynél.

Az összefeszültség és mért áram szempontjából az első tesztelés mutatja a legmagasabb értékeket. A harmadik és negyedik tesztelésnél látszódik, hogy a harmadik szcenáriónál míg a rendszer összteljesítménye és áramerőssége alacsonyabb, addig a rendszer összefeszültsége magasabb, mint a negyedik tesztelési eredményhez képest.

Az eredmények azt mutatják, hogy az utolsó tesztelés során elért elrendezés (azonos feszültségű, de nagyobb áramerősségű napelemek közelebb az inverterhez) hatékonyabb volt, mint a második és harmadik tesztelésnél alkalmazott elrendezések.

6. Adatok ábrázolása

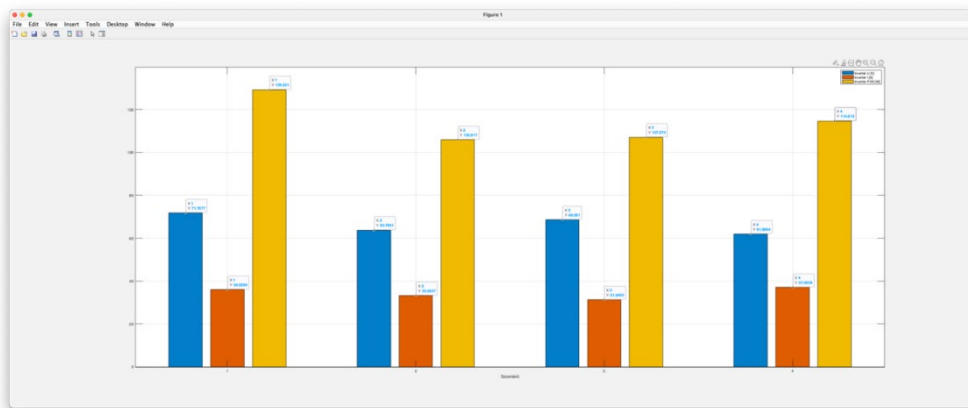
A tesztelések során a napelem blokkok elrendezésének változtatása kapcsán számos érdekes és fontos eredményt kaptam a napenergia-rendszer teljesítményével és hatékonyságával kapcsolatban. Az alábbiakban összefoglalom a négy tesztelési eredményt, és észrevételeket fogalmazok meg az optimalizálás lehetőségeiről.

Tesztelés száma	Elrendezés	Teljesítmény [W]	Feszültség [V]	Áram [A]
I.	Kis áramú napelemek az inverter közelében.	2584 W	71,76 V	36,03 A
II.	Nagy áramú napelemek az inverter közelében.	2118 W	63,79 V	33,22 A
III.	A legkisebb és a legnagyobb áramerősségű napelemek elhelyezése, vegyesen.	2141 W	68,56 V	31,25 A
IV.	Azonos feszültségű napelemek cseréje, nagyobb áramerősségűek közelébe.	2292 W	61,89 V	37,05 A

A négy tesztelési forgatókönyvet összehasonlítva, az első tesztelésnél, amikor a legkisebb áramerősségű és feszültségű napelem van az inverter közelében, akkor kaptam a legnagyobb összteljesítményt a rendszerre nézve, illetve itt a legnagyobb a feszültség, illetve az áramerősség. A második scenárióban azt a megállapítást tettem, hogy negatív hatással volt a rendszerre, hogy a legnagyobb áramerősségű és feszültségű napelemet raktam az inverter közelébe. Ez az elrendezés csökkentette a rendszer hatékonyságát, itt a legkisebb az összteljesítmény a négy tesztelés közül. A harmadik tesztelés alatt, a vegyes elrendezés minimálisan javított a teljesítményen az előző elrendezéshez képest. Az összefeszültség itt nagyobb, mint az előző scenáriónál, ellenben a leadott áram mennyisége csökkent. Az utolsó tesztelésnél, a rendszer teljesítménye javult a második, illetve a harmadik méréshez képest, de még mindig alacsonyabb az elsőhöz képest. A négy tesztelés közül itt a legkisebb a rendszerben termelt feszültség, ellenben az áramerősség a legnagyobb.

6.1. Összevetés

A kutatásom során elvégzett teszteléseknél a MATLAB Simulink programban létrehozott modellek közötti különbség, a napelemek elrendezése. Mindegyik tesztnél más- és más elrendezés alkalmaztam a napelemekre levetítve, és ezek alapján vizsgáltam a rendszer teljesítményének változásait. Minden modell eredményeit rögzítettem, illetve lementettem, ezek eredményét a jobb szemléltetés érdekében összesített oszlopdiagram formájában reprezentálom.



42. ábra: Tesztelési eredmények [saját ábra]

Az ábrán az x tengelyen az egyes scénáriók eredményei láthatóak, ahol a rendszer feszültségét (kék), áramerősségét (narancssárga) és teljesítményét (citromsárga) színnel ábrázolom. Az y tengelyen ezek értékei olvashatók le. A jobb láthatóság érdekében a teljesítményértékeket az ábrázolásnál, teljesítményérték/20 arányban jelenítettem meg. Az oszlopdiagramról leolvasható, hogy a legeredményesebb tesztelés a teljesítés szempontjából az első scénárió volt, ahol az inverterhez a legkisebb áramú napelemek kerültek, ennél a modellnél a legmagasabb a teljesítmény és a feszültség is. A második scénárióban, ahol a legnagyobb áramerősségű és feszültségű napelemet helyeztem az inverter közelébe, a rendszer hatékonysága csökkent, és az összteljesítmény a legalacsonyabb volt a négy teszt közül. A harmadik teszt során a vegyes elrendezés minimális javulást eredményezett a teljesítményben az előző elrendezéshez képest, az áramerősség itt a legkisebb a négy teszt közül. Az utolsó tesztelésnél a rendszer teljesítménye javult a második és harmadik méréshez képest, de még mindig alacsonyabb az elsőnél. Itt a legkisebb feszültséget van a rendszerben, viszont az áramerősség a legnagyobb volt.

6.2. Optimális elrendezés meghatározása

Kutatásom alapján és az elvégzett négy tesztelési forgatókönyv alapján észrevehető, hogy a napelemek elrendezése és távolságuk az invertertől jelentős hatással van a rendszer teljesítményére. Az első tesztelésnél, ahol a kisebb áramerősségű napelemek voltak az inverterhez közelebb, a rendszer teljesítménye a legmagasabb volt, elérve a 2584 W-ot. A második tesztelés során, ahol a nagyobb áramerősségű napelemek kerültek közel az inverterhez, a teljesítmény csökkent 2118 W-ra. Ez azt sugallja, hogy a nagyobb áramerősség és feszültség közel az inverterhez helyezése negatívan befolyásolja a rendszer hatékonyságát.

A harmadik tesztelésnél, ahol a legkisebb és legnagyobb áramerősségű és feszültségű napelemeket cseréltem meg, így az inverterhez közel két különböző típusú napelem van elhelyezve, ezzel a kialakítással a rendszer teljesítménye 2141 W-ra nőtt, de még mindig alacsonyabb maradt az első teszteléshez képest. Ebben a konfigurációban a kisebb áramerősségű napelemek az inverter közelében hatékonyabbnak tűnnek.

Az utolsó tesztelés során, ahol azonos feszültségű, de nagyobb áramerősségű napelemeket helyeztem közelebb az inverterhez, a rendszer teljesítménye 2292 W lett. Bár ez áll a legközelebb az első tesztelési eredményhez, még mindig magasabb, mint a második és a harmadik tesztelési forgatókönyvben szimulált értékek. Az összefeszültség szempontjából az első tesztelés volt a legmagasabb, míg a harmadik és negyedik tesztelések között a harmadik tesztelés mutatott magasabb értékeket.

Az összefoglalója a teszteredményemnek rámutat, hogy az első tesztelésnél, ahol a legalacsonyabb áramerősségű napelemek voltak az inverterhez közel, a rendszer teljesítménye a legmagasabb volt (2584 W). Ezek alapján azt lehet következtetni, hogy az alacsonyabb áramerősségű napelemek elhelyezése közelebb az inverterhez a legjobb elrendezés a vizsgált körülmények között. Ez a konfiguráció eredményezte a legnagyobb teljesítményt és optimális összefeszültség- és áramerősség-értékeket a rendszerben.

Összefoglalás

Szakdolgozatom témája az, hogy milyen hatással van a különböző típusú napelemek összekapcsolása a teljes napelemes rendszer teljesítményére és hatékonyságára. A kutatásom fókuszában az áll, hogy érdemes-e kombinálni különböző napelem típusokat és teljesítményeket, valamint milyen mértékben befolyásolja ez a napelemrendszer teljesítményét. A napenergia felhasználásának vizsgálata során három különböző gyártótól és típustól származó napelemeket használok a rendszer MATLAB Simulink segítségével történő modellezéséhez és szimulációjához.

A teszteredmények alapján megfigyelhető, hogy az alacsonyabb áramerősségű napelemek elhelyezése az inverter közelébe a legoptimálisabb teljesítményt eredményezi. Az első tesztelésnél, ahol a kisebb áramerősségű napelemek közel helyezkedtek el az inverterhez, a rendszer teljesítménye a négy tesztelés közül a legmagasabb volt (2584 W). Ezzel szemben a második scenáriónál a nagyobb áramerősségű napelemek elhelyezése az inverter közelében, csökkentette a rendszer teljesítményét (2118 W) és hatékonyságát.

A harmadik tesztelésnél, azaz a vegyes elrendezésnél, ahol a legkisebb, illetve a legnagyobb áramerősségű napelem van megcserélve, itt minimális javulást eredményezett a rendszer kialakítása a teljesítményben (2292 W).

Az utolsó scenáriónál, ahol közel azonos feszültségű napelemeket cseréltem meg és a nagyobb áramerősségű van az inverterhez közelebb. Ennél a kialakításnál, bár a rendszer teljesítménye emelkedett (2292 W) az előző két tesztelési forgatókönyvhöz képest, még mindig az első modell elrendezése és kialakítása tudja nyújtani a legnagyobb teljesítményt.

Összességében a teszteredmények azt mutatják, hogy az első tesztelés során, ahol a legalacsonyabb áramerősségű napelemeket közel helyeztem el az inverterhez, a rendszer teljesítménye a legmagasabb volt, elérve a 2584 W-ot. Ebből arra következtetek, hogy az alacsonyabb áramerősségű napelemek az inverter közelében történő elhelyezése a legoptimálisabb elrendezés a vizsgált körülmények között. Ennek a konfigurációnak köszönhetően sikerült elérni a legnagyobb teljesítményt és optimális összefeszültség- és áramerősség-értékeket a rendszerben.

Summary

The topic of my thesis is the impact of connecting different types of solar panels on the overall performance and efficiency of a solar panel system. The focus of my research is on whether it is worthwhile to combine different types and power ratings of solar panels and to what extent this influences the performance of the solar panel system. In the examination of solar energy utilization, I use solar panels from three different manufacturers and types for modeling and simulating the system with MATLAB Simulink.

Based on the test results, it is observed that placing lower current solar panels near the inverter results in the optimal performance. In the first test scenario, where lower current solar panels were placed near the inverter, the system performance was the highest among the four tests (2584 W). In contrast, in the second scenario, placing higher current solar panels near the inverter reduced the system performance (2118 W) and efficiency.

In the third test scenario, involving a mixed arrangement where the lower and higher current solar panels were swapped, there was a minimal improvement in system performance (2292 W).

In the last scenario, where I exchanged solar panels with similar voltage but higher current near the inverter, the system performance increased (2292 W) compared to the previous two test scenarios, but it still fell short of the performance achieved in the first model arrangement.

Overall, the test results indicate that in the first test scenario, where lower current solar panels were placed near the inverter, the system performance was the highest, reaching 2584 W. From this, I conclude that placing lower current solar panels near the inverter is the most optimal arrangement under the investigated conditions. This configuration resulted in the highest performance and optimal overall voltage and current values in the system.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani a témavezetőmnek, Papp József tanár Úrnak a diplomadolgozatom készítése során nyújtott segítségével.

Szeretném megköszönni Bencsik Józsefnek, hogy segítette szakdolgozatom elkészülését.

Továbbá köszönöm a családomnak a tanuló évek alatt nyújtott támogatást és türelmet.

Hivatkozások

- [1.]-[2.]: <https://solarpanelsvenue.com/mixing-solar-panels/> [2023.12.08.]
- <https://energyconnections.net.au/pages/can-i-mix-different-solar-panels> [2023.12.08.]
- [3.]: <https://www.eu-solar.hu/blog/napelem-fajtak/> [2023.12.08.]
- [4.]-[5.]: <https://www.prostarsolar.net/article/differences-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels.html> [2023.12.08.]
- [6]: <https://www.zoldvillany.hu/tudastar> [2023.12.08.]
- [7]: <https://www.todoensolar.com/300w-ecovolt-hybrid-solar-panel> [2023.12.08.]
- [8]: <https://www.beny.com/hu/on-grid-vs-off-grid-solar-system-all-you-need-to-know/> [2023.12.08.]
- [9]: <https://www.naplopo.hu/miert-napenergia/alkalmazasi-teruletek/napelemes-aramtermeles/halozatra-taplalo-napelemes-rendszerek> [2023.12.08.]
- [10]: <https://kyoceranapelem.hu/szigetuzemu-napelemes-rendszerek-vs-halozati-visszataplalas> [2023.12.08.]
- [11.]: <https://solargroup.hu/ujdontsagok/hibrid-napelemes-rendszer-visszwatt-vedelem/> [2023.12.08.]
- [12.]: <https://www.klimaman.hu/hybrid-inverter-1000-watt-12-volt-10307> [2023.12.08.]
- [13]: <https://voltagealarm.hu/napelem-eromuvek/> [2023.12.12.]
- [14]: <https://www.eon.hu/hu/hmke/tudnivalok.html> [2023.12.08.]
- [15]: https://sunformation.blog.hu/2020/02/14/napelem_jelleggorbek_938
- [16]: <https://www.mdpi.com/2673-4591/11/1/35> [2023.12.08.]
- [17]-[18.]: Dr. Nemcsics Ákos-A Napelem működése, fajtái és alkalmazása. Budapest, 1999. [2023.12.05.]
- [19.], [21]: https://sunformation.blog.hu/2020/02/14/napelem_jelleggorbek_938 [2023.12.10.]

[20]: <https://www.altestore.com/diy-solar-resources/electrical-characteristics-of-solar-panels-pv-modules/> [2023.12.10.]

[22.]: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> [2023.12.12.]

[23]:

[23.]: saját ábra [2023.12.12.]

[24]-[31]:

https://www.mathworks.com/help/simulink/simulation.html?s_tid=CRUX_lftnav
[2023.12.12.]

[32]: <https://www.onellato.com/Szolar-kabel-4-mm2> [2023.12.12.]

[33]: https://www.mixvill.hu/hu/kabelek-es-vezetkek/solar-kabelek/solar-kabel-1x4-mm2-fekete-h1z2z2-k-tuv-1000m_-tekercs [2023.12.12.]

[34]: saját ábra [2023.12.12.]

[35]: https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiDM_CS1U-MS_EN.pdf [2023.12.12.]

[36]:

https://static.longi.com/Hi_MO_6_Explorer_LR_5_72_HTD_550_580_M_V03_UT_aa561c61b7.pdf [2023.12.12.]

[37]: <https://www.solarpanelenergy.co.za/docs/JA%20Solar%20410W.pdf>
[2023.12.12.]

[38]-[42]: saját ábra [2023.12.12.]