

Intelligens szabályozó beágyazása kombinált napelemes szünetmentes rendszerbe

Boros Rafael Ruben, Bodnár István

Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet, Miskolc-Egyetemváros, Magyarország;
ruben.boros@uni-miskolc.hu, istvan.bodnar@uni-miskolc.hu

Absztrakt: A szünetmentes aszinkron motorhajtások egyre népszerűbbek, és egyre gyakrabban alkalmazzák őket ipari felhasználásra. Ezeknek a rendszereknek a bemenetén egyenirányító található, amely egy akkumulátor telepet tölt. Áramkimaradás esetén az inverter akkumulátorokból látja el a motort. Korábbi kutatásainkban szünetmentes aszinkron motorhajtások és szünetmentes tápegységek kombinációját fejlesztettük ki és vizsgáltuk. E kombináció elsődleges előnye, hogy a motort és az egyéb fogyasztókat egyaránt ellátó inverterek egy közös akkumulátorcsomagból működnek. Ezenkívül egy egyenirányító elegendő az akkumulátorok töltéséhez vagy a fogyasztók áramellátásához. Az invertereket egy univerzális közbenső egyenáramú körrel táplálják, mivel több inverter, akkumulátor telep, egyenirányító, DC/DC átalakító stb. csatlakoztatható hozzá. Az univerzális közbenső egyenáramú kör ráadásul egy feszültségnövelő DC/DC átalakító segítségével egy alacsonyabb feszültségű akkumulátorcsomagról is táplálható. Ebben az esetben az akkumulátorok egy MPPT (Maximum Power Point Tracking) szabályozó segítségével napelemes rendszerrel tölthetők, így a motorok és egyéb fogyasztók megújuló energiával táplálhatók, ezáltal csökken a hálózatról származó villamos energia igénye. Cikkünkben rávilágítunk arra, hogyan lehet egy intelligens szabályozót integrálni az ilyen rendszerekbe. Ez a szabályozó lehetővé teszi az villamos hálózat üzemirányító számára, hogy távolról felügyelje az villamos energiafogyasztást, az akkumulátor töltöttségi szintjét, állapotát stb. Az intelligens szabályozó arra is képes, hogy beállítsa a hálózatról és az akkumulátorokból (zöldenergia) felvett villamos energia arányát. Ez az arány a rendelkezésre álló fénysugárzás mennyisége alapján kerül beállításra. Mindemellett a szabályozó optimalizást is végez a mindenkori időjárási adatok, fogyasztási szokások, prioritások alapján. A MATLAB-szimulációkat használjuk a zöld energiaarány-szabályozó működésének magyarázatára.

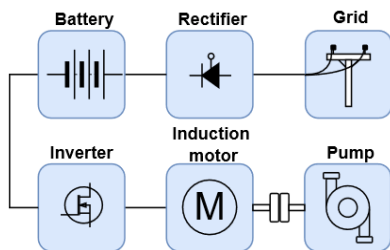
Kulcsszavak: napelem; aszinkron motor; szünetmentes ellátás; intelligens szabályozó

1 Bevezetés

Napjainkban a háromfázisú aszinkron motorok egyre népszerűbbek. Egyik fő előnyük a kommutátorok hiánya miatti tartósságuk, ami minimális karbantartási igényt eredményez. Költséghatékony megoldást kínálnak, és különböző méretekben kaphatók, a kis teljesítményűektől a nagy ipari kapacitásokig. Csak azokban az esetekben van szükség elektronikus átalakítóra, amikor változtatható fordulatszámra vagy lágyindításra van szükség. Az aszinkron motorok fordulatszáma frekvenciaváltókkal szabályozható [1].

A frekvenciaváltókban általában egy és háromfázisú inverter található. Az inverter lehetővé teszi a motor frekvenciájának fokozatmentes beállítását, ezáltal a motor fordulatszámának módosítását. A feszültség egyidejű beállítása alapvető fontosságú, és számos algoritmus segít a feszültség- és frekvenciaszabályozás összehangolásában. Ezeknek a frekvenciaváltóknak a bemenetén egyenirányítók találhatóak, amelyek felépülhetnek diódákból, tranzisztorokból (PWM egyenirányító) vagy tirisztorokból. Ha a közbenső egyenáramú kör változtatására van szükség, vezérelt tirisztoros egyenirányító alkalmazása célszerű, vagy tranzisztoros kapcsolás. Ha azonban csak diódás egyenirányítóból épül fel, akkor az impulzusszélesség-moduláció nélkülözhetetlenné válik az inverter kimeneti feszültségének megváltoztatásához [2].

Számos ipari folyamathoz szükséges a szünetmentes áramellátás. Ezt a szünetmentességet a tartalék áramellátó rendszerek biztosítják. Az ilyen rendszerekben szintén inverter található, amelyet akkumulátor táplál meg, és így állít elő 50 Hz-es váltakozó feszültséget. Bizonyos esetekben a motorokat szünetmentes frekvenciaváltóval szerelik fel. Ezeknek a rendszereknek a bevezetése létfontosságúvá válik a szünetmentes működést igénylő alkalmazásokban, például egy keringetőszivattyú esetében, vagy egy ipari környezetben, egy turbina kenését végző szivattyú esetében. Ezekben az alkalmazásokban a háromfázisú aszinkron motorok választása javasolt, mivel azok karbantartása minimális és jól szabályozható motorok. Azokban az esetekben, amikor a folyamatos működés elengedhetetlen, az akkumulátorokat a közbenső egyenáramú körbe integrálják. Ez természetesen szükségessé teszi az akkumulátortöltő rendszer, menedzsmentrendszerek (BMS), védelmi áramkörök stb. alkalmazását is. Az 1. ábra egy tipikus szünetmentes aszinkron motorhajtást mutat be [2]. A hálózat egyenirányítóval tölti az akkumulátorokat, és ezzel egyidejűleg egyenfeszültséggel látja el az invertert. Az inverter meghajtja az aszinkron motort, amelyet egy gép (pl. szivattyú) terhel. Áramkimaradás esetén az egyenirányító már nem táplálja az egyenáramú kört, de az akkumulátorok továbbra is táplálják a motort [2, 3].



1. ábra

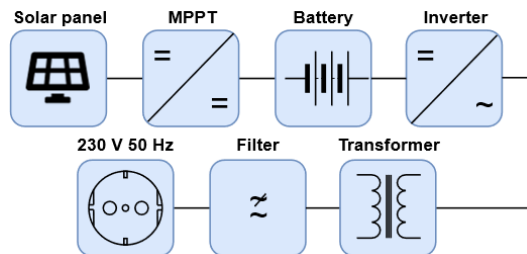
Szünetmentes aszinkron motorhajtás

Érdeemes megfontolni napelemes rendszer integrálását a szünetmentes aszinkron motorhajtásba. Az akkumulátorok ugyanis napelemek segítségével tölthetők. Hosszabb áramkimaradás esetén a napelemek további üzemidőt biztosíthatnak a fogyasztók számára. Ha egy fázisra (230 V 50 Hz feszültség) is szükség van szünetmentesen, érdemes megfontolni, több napelem panel telepítését rendszerbe, ebben az esetben egy szigetüzemű inverter egyszerűen csatlakoztatható az akkumulátorokhoz. Az egyenirányító kikapcsolása esetén olyan üzemmód is létezik, amelyben az akkumulátort és a motort csak a napelemek táplálják.

Mind az ipari, mind a háztartási alkalmazásokban széles körben használják az egyfázisú, szigetüzemű napelemes inverteket (2. ábra). A legtöbb esetben az inverter bemenetén alacsony feszültségre (12 V, 24 V, 36 V...) van szükség, és a feszültséget a kimeneten transzformátor segítségével 230 V-ra emelik. Az invertert egy akkumulátorhoz kell csatlakoztatni, amelyet a napelemek egy MPPT (Maximum Power Point Tracking) szabályozóval töltenek. Kivételt képeznek az olyan szigetüzemű inverteket, ahol az inverter bemenete közvetlenül a napelemhez van csatlakoztatva, itt az MPPT szabályozó az inverterbe van építve, nem külső eszközként csatlakozik a rendszerbe. Az MPPT-szabályozó egy DC/DC átalakító, amely a napelem maximális teljesítmény munkapontjának függvényében változtatja a kimenetén lévő feszültséget. A hullámzó feszültség az inverter bemenetén és a változó teljesítményfelvétele a fogyasztóknak a kimeneten a szabályozó miatt feszültség-hullámzást vagy oszcillációt okozna [4, 5]. Ennélfogva érdemes akkumulátort minden esetben beépítenie, így csökkentve a kimeneti zavarok csökkentését.

A szinuszos kimeneti feszültség előállításához az inverteket SPWM (szinuszos impulzusszélesség-moduláció) technikát használnak. Ebben a technikában egy szinuszos jelet és egy háromszög jelet komparálnak. Az így keletkező impulzus a szükséges PWM jel, amely a MOSFET-eket hajtja. A háromszögjel (vivő jel) frekvenciája befolyásolja a kapcsolási frekvenciát (pl. $f_{sw} = 22 \text{ kHz}$), a szinuszhullám frekvenciája pedig meghatározza az alapharmonikus frekvenciát (pl. $f = 50 \text{ Hz}$) a kimeneten [2]. Minél magasabb a kapcsolási frekvencia, annál jobban képes a szűrő csillapítani azt. Ez azt is jelenti, hogy a MOSFET-ek dinamikus teljesítményvesztése is megnő. Az aluláteresztő szűrő a kimeneten a

kapcsolási frekvencia szűrésére szolgál. A transzformátor kimenetéhez egy kondenzátor van csatlakoztatva. A transzformátor induktív jellege miatt a kondenzátorral együtt egy LC aluláteresztő szűrőt alkot. Az aluláteresztő szűrők csillapítása nem végtelen, ezért a kimeneti feszültség nem lesz tisztán szinuszos [4].



2. ábra

Typical solar off-grid SPWM inverter

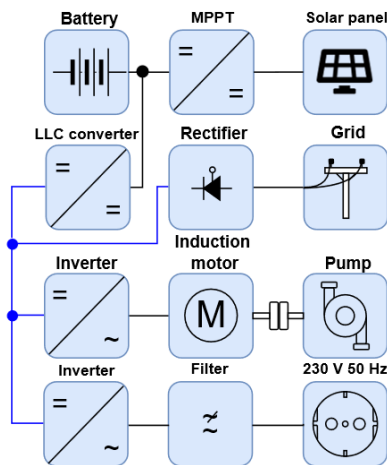
Korábbi kutatásunkban létrehoztunk egy olyan rendszert, ahol a szünetmentes aszinkron motorhajtás és a szünetmentes tápegység kombinálásra került. Mérések alá vetettük, ahol kiderült, hogy a két szünetmentes rendszer együtt képes működni (mint egy microgrid rendszer). A korábbi rendszerben manuálisan lehetett beállítani az egyenirányító és az LLC konverter teljesítményét. Ebben a kutatásban a meglévő rendszerbe ágyazunk be egy intelligens szabályozót és szimulációval vizsgáljuk a működését. Az intelligens szabályozó főbb feladata, hogy a hálózathoz felvett villamos energiát és az akkumulátorból és napelemekből felvett villamos energiát egyidejűleg szabályozza, ezzel optimalizálva a rendszert gazdasági aspektusból.

2 Szigetüzemű inverter kombinálása szünetmentes aszinkron motorhajtással

2.1 Kapcsolások és működési állapotok

Ha ugyanazon a helyen szünetmentes aszinkron motorhajtásra és szünetmentes egyfázisú tápegységre is szükség van, érdemes a két rendszert kombinálni. Az ilyen rendszerek nem elterjedtek, pedig a rendszerek kombinálása számos előnnyel járhat. Egy tipikus, szigetüzemű inverter nem integrálható közvetlenül egy szünetmentes aszinkron motorhajtásba. Olyan egyfázisú invertert kell megvalósítani, amelyben nincs transzformátor, legalább 340 V egyenfeszültségről, SPWM technológiát alkalmazva képes működni. A 3. ábra egy szünetmentes

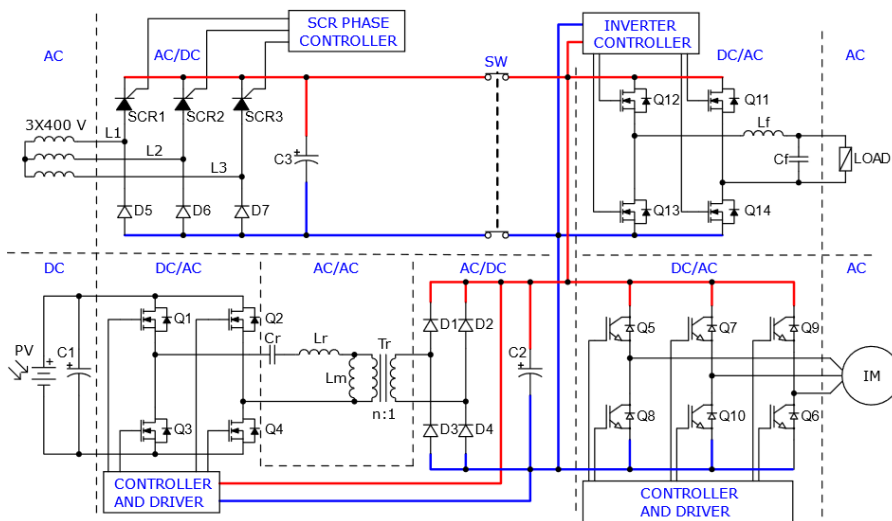
motorhajtással kombinált, szigetüzemű invertert mutat. A napelem egy MPPT-szabályozóval tölti az akkumulátorokat tipikus módon. Egy DC/DC átalakító az akkumulátor feszültségét (12 V, 24 V, 36 V...) a kívánt értékre ($230 V_{AC}$ esetén min. $340 V_{DC}$) növeli. Az egyenirányító és az LLC átalakító kimenete univerzális egyenáramú körnek tekinthető (kék vezeték az ábrán). Erre különböző inverterek, valamint további DC/DC átalakítók csatlakoztathatók a névleges teljes teljesítmény növelése érdekében. Ha az akkumulátorok lemerülnek, mert nincs elegendő fénysugárzás, vagy a terhelőáram nagyobb, mint a töltőáram, az egyenirányító képes teljes mértékben ellátni az egyfázisú fogyasztókat és a motort is. Áramkimaradás esetén a fogyasztókat a DC/DC átalakítón keresztül az akkumulátorról és a napelemről látja el, ha elegendő fényintenzitás áll rendelkezésre. A hálózat kikapcsolásakor a közbenső egyenáramú körben nem lépnek fel nagy kapcsolási tranziensek, mivel pufferkondenzátorok vannak beépítve, és ezek kisimítják a feszültségletörést. Továbbá az LLC átalakító szabályozója ebben az esetben azonnal beavatkozik.



3. ábra

Szigetüzemű inverter kombinálása szünetmentes aszinkron motorhajtással

A 4. ábra egy napelemes, szigetüzemű inverter és egy szünetmentes napelemes motorhajtás kombinációjának sematikus ábráját mutatja, amely akkumulátorral és anélkül is működhet tisztán napelemről (ez nem opcionális szünetmentes rendszerek eseténben). Ha ebben a kapcsolásban akkumulátor szerepel, akkor a napelemek kimenetéhez egy MPPT-szabályozóra is szükség van. Az MPPT-szabályozó szerepét az LLC átalakító nem töltheti be, mert ha így lenne, a kimeneti feszültség megváltozna. Az LLC átalakító célja, hogy az univerzális közbenső egyenáramú kört állandó $340 V$ -on tartsa.



4. ábra

Szünetmentes napelemes aszinkron motorhajtás egyfázisú inverterrel kapcsolási rajza.

A 4. ábra a bal felső sarokban elhelyezett félig-vezérelt háromfázisú egyenirányítót szemlélteti. Előnyös a diódákat és tiriszorokat tartalmazó háromfázisú egyenirányító használata a simább egyenfeszültség előállításához.

A piros és kék vezetékkel jelölt egyenáramú busz sokoldalúan használható, lehetővé téve különböző egyenirányítók, DC/DC átalakítók és több inverter csatlakoztatását. Az SW-kapcsoló zárása a DC-busz földpontját közvetlenül a hálózathoz kapcsolja. Mindazonáltal ez nem jelent problémát, mivel az LLC átalakítóban lévő transzformátor szigeteli a hálózat földjét mind a napelemtől, mind az akkumulátortól. Ez a leválasztás lehetővé teszi, hogy a hálózat az egyenirányítón keresztül táplálja a DC-buszt.

A háromfázisú inverter, amely az egyenáramú buszhoz kapcsolódik, változtatható frekvenciájú feszültséget állít elő a motor fordulatszámának szabályozásához. Ez az inverter működtethető egyszerű vezérléssel vagy olyan fejlett technikákkal, mint az SPWM, SVPWM (térvektoros impulzusszélesség-moduláció) vagy mezőorientált vezérlés. A bal alsó sarokban található LLC átalakító szintén hozzájárul az egyenáramú buszhoz táplálásához. Az LLC konverter egyfázisú inverterből, egy rezgőkörből, egy transzformátorból, egy egyenirányítóból és egy simító kondenzátorból áll. A közbenső egyenáramú kör az egyfázisú inverterhez csatlakozik, amely SPWM (szinuszos impulzusszélesség-modulációs) technológiát alkalmaz a szinuszos feszültség előállításához. Ezt a feszültséget ezután egy LC aluláteresztő szűrő tovább simítja, és a kimeneti terhelés (impedancia) tápellátását biztosítja.

A 4. ábrán látható, hogy a közbenső egyenáramú kör az egyenirányítóval és az LLC átalakítóval táplálható. Az egyenáramú busz azonban nemcsak egymástól függetlenül, hanem egyidejűleg is táplálható a két átalakítóval. Ennek eredményeképpen három üzemállapot lehetséges:

1. Az LLC átalakító ki van kapcsolva, csak az egyenirányító táplálja a fogyasztókat;
2. Az egyenirányító ki van kapcsolva, csak az LLC átalakító táplálja a fogyasztókat;
3. Mind az egyenirányító, mind az LLC átalakító egyidejűleg táplálja a fogyasztókat egy bizonyos sebességgel (zöldenergia-ráta).

2.2 Zöld energia és szabályozási stratégia

Ha napelemek kerülnek beépítésre az áramkörbe, a termelt villamos energia az akkumulátorok töltésére használható, vagy az LLC átalakítóval a fogyasztók láthatók el. Ha kombinált szünetmentes rendszer létesítésre kerül sor, akkor eldöntendő a vezérlési stratégia, amely a priorításra vonatkozik:

- I. mindig tartsa az akkumulátorokat teljesen feltöltve a szabályozó (100 %-os töltöttségi szint) - ez hosszabb üzemidőt biztosít áramszünet esetén.
- II. a töltöttségi állapot 100% alá csökkenjen - ezért a napelemes rendszer gazdasági megtérülése gyorsabb. Ugyanakkor több akkumulátorkapacitást kell telepíteni.

Látható, hogy ha az akkumulátorok 100%-os SOC (State of Charge) állapotban vannak, nem tanácsos a rendszert az 1. üzemállapotban használni. Ez azt eredményezné, hogy a napelem kimenetén nem folyik áram, és így az üresjárat üzem módban működne. Két megoldás létezik az üresjárat elkerülésére:

- a. Ha az I. prioritás van beállítva, akkor a 3. üzemállapotot kell használni.
- b. Ha a II. prioritás van beállítva, akkor mind a 2., mind a 3. üzem módot használható.

Az I. prioritás és a 3. üzemállapot használata esetén az LLC átalakítót úgy kell szabályozni, hogy a napelem maximális teljesítmény munkapontjának (MPP) megfelelő teljesítményt tápláljon az egyenáramú körbe. Ehhez olyan MPPT-szabályozóra van szükség, amely képes kommunikálni más eszközökkel, vagy egyedileg a napelem feszültségének és áramának mérésére. Az is egy lehetőség, hogy a BMS információt szolgáltat a töltési teljesítményről. Az ebből kiszámított teljesítmény lesz az alapjel az LLC konverter szabályozójának számára.

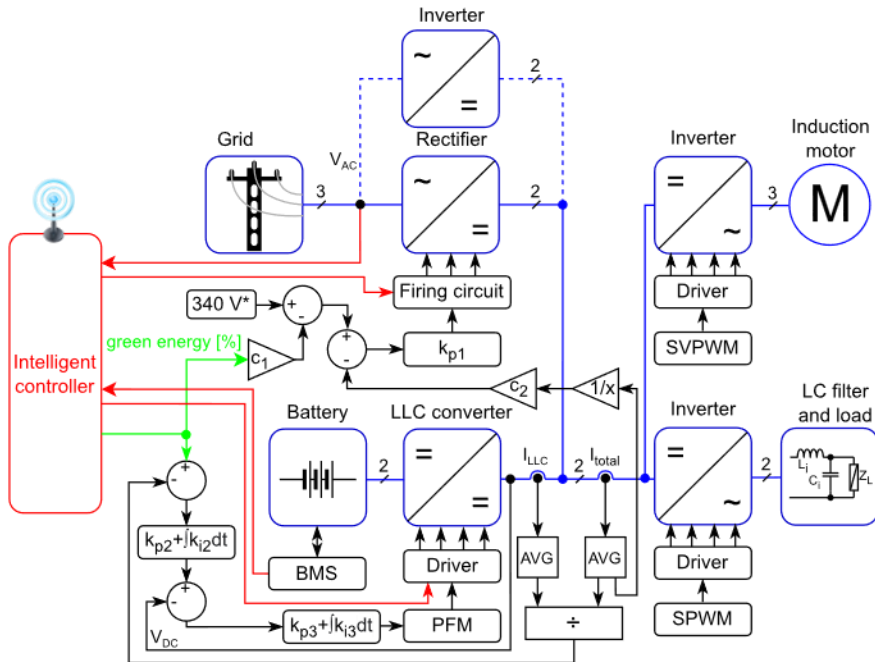
Cikkünkben zöld energiának neveztük el az LLC átalakító kimenetén lévő áramnak a összáramhoz viszonyított arányát. A összáram az LLC átalakító és az

egyenirányító kimenetén mért áramok összege. A 3. üzemállapot arány (zöld energia arány) az egyenirányító gyújtási szögének vagy az LLC átalakító PI-szabályozójának az alapjelével állítható be. Természetesen a magasabb egyenfeszültséget előállító átalakító nagyobb teljesítményt fog szolgáltatni a DC-busznak. Alapértelmezés szerint az egyenfeszültség átlagértékét nem kell megváltoztatni, de kimutatható, hogy a gyújtási szög beállításával az LLC átalakító és az egyenirányító áramának aránya beállítható. Ez a jelenség azért következik be, mert az LLC átalakítóban PI (arányos, integráló) szabályozó van, és ez rendelkezik minimális szabályozási hibával (állandósult állapotú hiba). Jó hangolással az állandósult feszültséghiba általában $V_{err} = 5\%$. Ezért az alapjel 5%-kal magasabbra van beállítva (357 V), mint a kívánt feszültség ($V_{0DC} = 340$ V). Ha a feszültség az egyenirányító miatt nő, az LLC átalakítóban lévő diszkrét PI szabályozó csökkenti a kimeneti feszültséget. Ha a gyújtási szöget addig csökkentjük, amíg a feszültség eléri a 357 V-ot, az LLC átalakító kikapcsol, mert a szabályozó bemenetén a hibafeszültség nulla lesz. Egy magasabb I tag a szabályozóban csökkenti az állandósult állapotú hibát, de dinamikai problémákat okoz.

Az alapvető követelmény azonban az, hogy az egyenáramú buszfeszültségnek a lehető legkisebb mértékben kell ingadoznia. Emiatt nem tanácsos az a szabályozási stratégia, hogy csak egy átalakítót használjunk a zöldenergia beállítására, mert ez az egyenáramú buszfeszültség jelentős változását okozza. Egyszerre kell szabályozni az LLC átalakítót és az egyenirányítót. Ha például az LLC átalakító alapjelét növeljük, akkor az egyenirányító alapjelét fordított arányossággal csökkenteni szükséges.

Tekintsük az 5. ábrát, amely a szünetmentes rendszert és a hozzá tartozó szabályozási stratégiát mutatja. Láthatóak az elektronikus átalakítók, a fogyasztók és a hálózat, az akkumulátor (napelem nincs ábrázolva, nem releváns a rajz szempontjából). Az ábra bal oldalán található az intelligens szabályozó, amely több paraméter alapján dönti el, hogy mennyi zöld energia alapjelet (zöld szín) kell beállítani az LLC átalakítót és az egyenirányítót gyújtó szabályozónak.

A közbenső egyenáramú körbe integrálható továbbá hálózatra visszatápláló inverter is. Ez abban az esetben szükséges, ha előfordulhat olyan üzemállapot, amikor nincs fogyasztó bekapcsolva, az akkumulátorok 100%-on vannak feltöltve, valamint termel a napelem. Ekkor a hálózatba érdemes betáplálni a villamos energiát, a korábban ismertetett prioritások figyelembevételével.



5. ábra

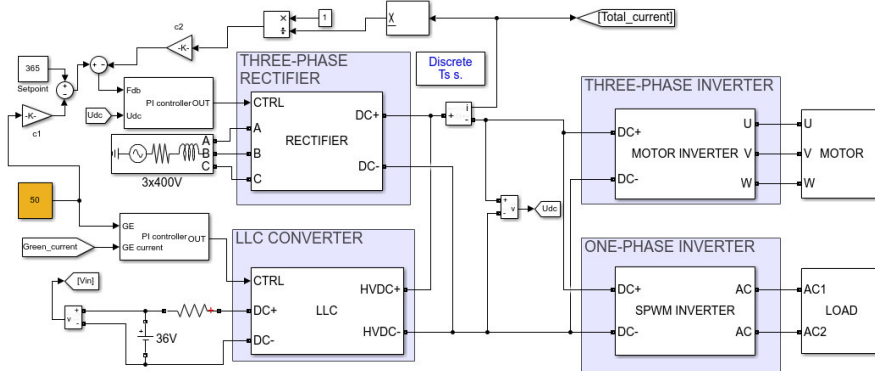
Intelligens szabályozó beágyazása a szünetmentes napelemes rendszerbe

A zöld energia alapjelből és a zöld energia kivonásából hibajel képződik, ez a bemenete a PI szabályozónak 2-es indexeléssel. A mért zöld energia az LLC konverter kimeneti áramának átlagértéke és az összáram átlagértékének hányadosát jelenti. Az átlagolással simább szabályozás hozható létre, így a bűgőfeszültség eliminálódik a mérésből. A PI szabályozó kimenetéből és az egyenfeszültség pillanatnyi értékéből a kivonó egy másik hibajelet képez a PI szabályozóhoz 3-as indexeléssel, amely az egyenfeszültséget állítja be. A szabályozó kimenete PFM (impulzusfrekvenciás moduláció) segítségével impulzusokká alakul, és meghajtja a SiC MOSFET-eket az LLC átalakítóban.

Az egyenirányítót egy arányos szabályozó vezérli, amelynek bemenete a kompenzált feszültség alapjel és az inverterek átlagos áramának kompenzált különbsége. A mért áram átlagértéke kompenzálja a feszültség hibajelét (feedforward szabályozó), így a DC-sín feszültsége kevésbé ingadozik, amikor a terhelés vagy a zöld energia aránya változik.

3 Zöld energia szabályozó szimulálása

Az alábbi fejezetben az 5. ábrán látható kapcsolás kerül szimulálásra. Cél, hogy a zöld energia szabályozó kör működése megfigyelhető legyen, továbbá hogyan változik a közbenső egyenáramú kör feszültsége, a váltakozó feszültség négyzetes középértéke, teljes harmonikus torzítás (THD) stb. A szimuláció a MATLAB Simulink szoftverében készült el. A szimulációs elrendezés fő áramköre a 6. ábrán látható, hálózatra visszatápláló inverter nélkül.

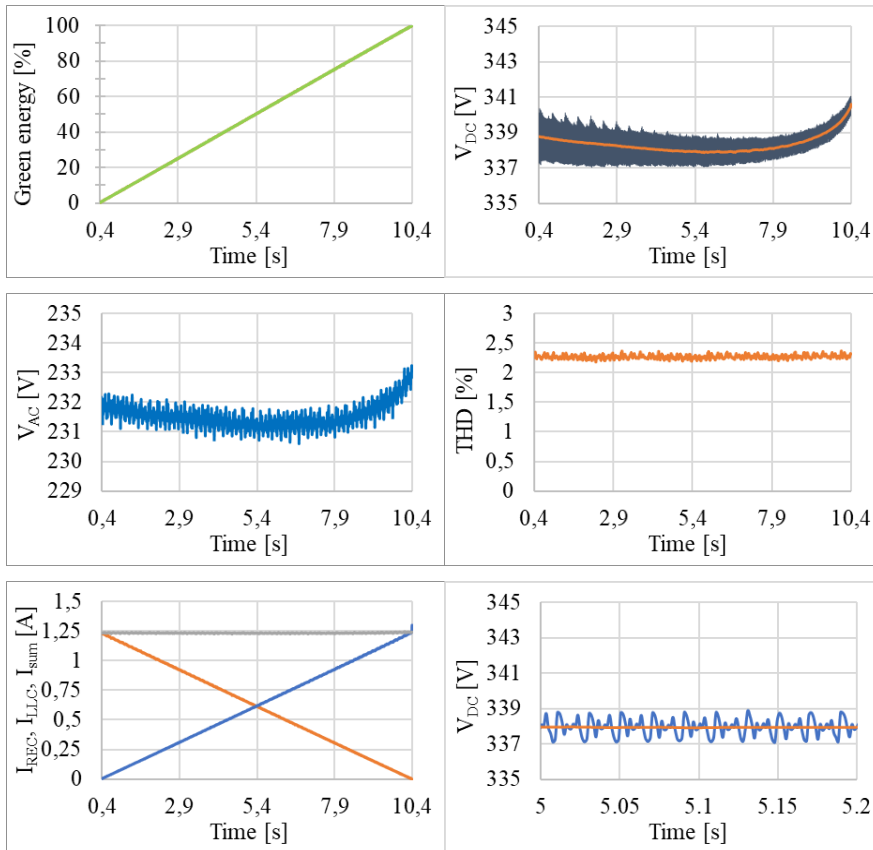


6. ábra

Főáramkör szimulációs elrendezése Simulinkben

3.1 Zöld energia alapjelének rámpázása

Az első szimuláció célja, hogy a zöld energia alapjelének változtatásával (0-100%) a keletkező káros tranziensek kimutathatók legyenek. A 7. ábrán látható a szimulációs eredmény. A bal felső ábrán a zöld energia 0%-tól 100%-ig változik. Ennek következményeképpen a közbenső egyenáramú kör feszültsége kismértékben megváltozik, amelynek nagysága közel 3 V nagyságú. Ennek hatására az inverter kimenetén is megváltozik a váltakozó feszültség négyzetes középértéke, mintegy 2 V nagyságban. Az előállított szinuszos feszültség teljes harmonikus torzítása végig konstans 2,3% volt, amely az MSZ-EN 50160 szabványnak megfelel. Látható továbbá, hogy az egyenirányító árama és az LLC konverter árama fordítottan arányos és az áramösszeg konstans. Így tehát a fogyasztókat nem zavarja meg a zöld energia arányának megváltoztatása. A jobb alsó ábra a DC busz feszültségének rövid kivonata.



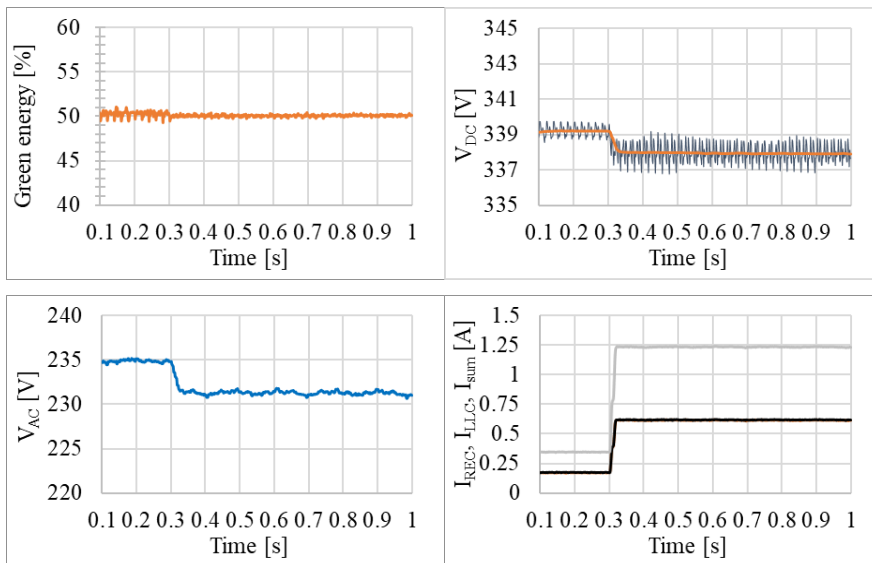
7. ábra

Zöld energia rámpázásának hatása a kimeneti feszültségre és az áramokra

3.2 Kimeneti teljesítmény hatása a zöld energia arányára

A következő szimuláció bemutatja (8. ábra), hogy a fogyasztók (motor, vagy bármilyen 50 periódusú más fogyasztó) teljesítményeinek megváltozásakor hogyan változik a zöld energia nagysága. A szimulációkor a zöld energia 50%-ra volt beállítva. A szimuláció kezdetekor az áramok összege 0,375 A volt, majd dinamikusan megváltozik a fogyasztó impedanciája, így közel 1,25 A-ra módosul a kimeneti áram. Látható, hogy a közbenső kör feszültsége kismértékben lecsökken, ez a PI szabályozók állandósult állapotú hibájának köszönhető. Ennek következménye, hogy a változó feszültség négyzetes középértéke csökken. A szimulációban olyan félvezetőket alkalmaztunk, amelyek valóságos, nem ideális paraméterekkel rendelkeznek, így az áram növekedésével a tranzisztorokon

feszültség esik, így a váltakozó feszültség nagyobb mértékben csökken a terhelés növekedésével, de szabványos értékek között.



8. ábra

Dinamikus teljesítményfelvétel növekedés hatása a kimeneti feszültségre és az áramokra

Következtetések

Összességében elmondható, hogy a szimulációs eredmények alapján a zöld energia arányt szabályozó kör, az elvártak szerint működik. Az arány változtatásával nem keletkezik káros tranziens, a szabályozók hangolása is megfelelő. Az intelligens szabályozó blokk állítja be a zöld energia alapjelet. Ennek az alapjelnek a meghatározásához egy optimalizáló algoritmus szükséges. Az optimalizáló algoritmust és az ehhez tartozó számításokat egy következő kutatásban ismertetjük.

Irodalomjegyzék

- [1] H. C. Chuang, G. De Li, and C. T. Lee, “The efficiency improvement of AC induction motor with constant frequency technology,” *Energy*, vol. 174, pp. 805–813, May 2019, doi: 10.1016/J.ENERGY.2019.03.019.
- [2] R. Tan, C. Chuin, and S. Solanki, “Modeling of single phase off-grid inverter for small standalone system applications,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 11, p. 1398, Feb. 2020

- [3] Hannan M. A., Ali J. A., Mohamed A., Hussain A. (2018): Optimization techniques to enhance the performance of induction motor drives: A review. *IEEE Access*, 81:1611–1626.
- [4] M. Escudero, M.-A. Kutschak, F. Pulsinelli, N. Rodriguez, and D. P. Morales, “On the Practical Evaluation of the Switching Loss in the Secondary Side Rectifiers of LLC Converters”. *Energies* 2021, 14, 5915. p. 23.
- [5] J. Aguila-Leon, C. Vargas-Salgado, C. Chiñas-Palacios, and D. Díaz-Bello, “Solar photovoltaic Maximum Power Point Tracking controller optimization using Grey Wolf Optimizer: A performance comparison between bio-inspired and traditional algorithms,” *Expert Syst Appl*, vol. 211, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2022.118700.