

Ph. D. értekezés tézisei

Szabó István:

NAPELEMES TÁPELLÁTÓ RENDSZEREKBE ALKALMAZOTT
NÖVELT HATÁSFOKÚ, ANALÓG MAXIMÁLIS
TELJESÍTMÉNYKÖVETŐ ÁRAMKÖR ANALÍZISE

Konzulens:
dr. Szabó József

Budapest, 1997.

1./ Bevezetés.

Tápellátó rendszerek tervezésekor a feladat az elektronikus rendszer számára megfelelő paraméterű villamos energia időben meghatározott mennyiségének „100%-os” megbízhatósággal való előállítása. A hálózatra kapcsolódó készülékek esetében a hálózat kimaradása a modellben szereplő feszültséggenerátor véletlen lekapcsolásával modellezhető. A megszakítás nélküli tápellátó rendszerek (Uninterruptible Power System, UPS) a hálózat teljes hiánya esetén is zavartalan energia-hozzáférést biztosítanak a kimenetükön. A hálózattal szemben a természeti erőforrások (vízi erőmű, ár-apály erőmű, szélgenerátor, napenergia, stb.), mint elsődleges energiaforrások az idő jelentős részében nem állnak rendelkezésre a kimeneti igényeknek megfelelő mértékben. Ekkor minden esetben energiatárolót kell építeni az energiaellátó rendszerbe (Háromszög koncepció).

A napelemes rendszerek drágák, melyeket ma többnyire kísérleti jelleggel használnak, valamint ott, ahol más energiaforrás csak drágábban (vagy egyáltalán nem) érhető el (pld. űreszközök vagy távoli területek tápellátása (Remote Area Power Supply, RAPS)). A napelemes tápellátó rendszerek egyik kritikus problémája szintén az időben és mennyiségben korlátozott energia-hozzáférés.

A napelemes tápellátó rendszerek két karakterisztikus alkatrészt tartalmaznak, melyek mind költség, tömeg, mind pedig a tervezés tekintetében meghatározóak: a napelem és az akkumulátor. A rendszer tervezése - ezen alkatrészeket tekintve - kétféle, egymástól alapvetően eltérő szemlélettel történik: Maximális Teljesítményű Pont Követés (MPP Tracking), vagy akkumulátor élettartam-optimalizáló töltési eljárás megvalósítása (Battery management).

2./ A kutatási feladat.

Az alkalmazott technológia költségoptimalizálásának, a napelem-felület minimalizálásának egy hatékony és széles körben elterjedt módszere az MPP Követés. A feladat megvalósítására számos megoldás született és a téma ma is az aktuális kutatások középpontjában helyezkedik

el. Az Értekezés foglalkozik az MPP Követés már ismert, alkalmazott megoldásainak ismertetésével.

Az Értekezésem célkitűzése egy már megvalósított, szabadalmaztatott analóg MPP Követő áramkör és annak továbbfejlesztésével létrehozott áramkör-család olyan mélységű modellezése, amely lehetőséget nyújt konkrét tervezési feladat megoldására.

A napelem kimeneti karakterisztikájának a környezeti paraméterek megváltozására adott változásainak nyomon követésével a követési feladat megoldható. A követési stratégiák abban (is) különböznek egymástól, hogy kialakításukkor a napelem-karakterisztikát, vagy annak reprezentatív leképezését felhasználja-e a stratégia során, vagy sem. Minél több információ áll rendelkezésre egy adott napelemről, a stratégiák annál egyszerűbbé tehetők.

A dolgozatban vizsgált ún. Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő áramkörök kitűnnek egyszerűségükkkel, melyek véleményem szerint más MPP Követő megoldásokhoz képest szerényebb képességűek, ellenben bizonyos esetekben kielégítő megoldáshoz juthatunk, a várakozás szerint jelentősen olcsóbban.

3./ Kutatási módszerek

A kitűzött cél elérése érdekében végzett tevékenységünk három szignifikáns szakaszra bontható: Reprodukció, analízis, szintézis.

I. Reprodukció. A Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő áramkörök első példányáról megjelent cikkek nem tartalmazzak elegendő információt ahhoz, hogy helyesen funkcionáló megvalósítás birtokába juthasson bárki. A reprodukció során több ponton is olyan kérdés merült fel, melyet csak intuíciókkal tudtunk helyesen megválaszolni. Az információhiányt anyagi jellegű problémák szinergikus hatása fokozta. Kellő megfontolások után sikerült olyan működő áramkört, mérési elrendezést felállítani, amellyel az ilyen típusú MPP Követő áramkörök követési tulajdonságát egyértelműen kimutathatóvá tettük [5].

A vizsgálat menetének kialakítása elméleti és gyakorlati feladatok kidolgozását igényelte.

Megalkottam Napelem besugárzási modelljét, amelyben egy frekvenciafüggetlen, de hőmérséklet- és intenzitásfüggő energiaátalakítási hatásfokkal ($\eta_{o(T, I)}$) számolunk, de nem foglalkozunk a megvalósítás és a besugárzás inhomogenitásaival, anomáliáival. A besugárzási modell alkalmas a napelemnek, mint energia-átalakító eszköznek energetikai szempontból egyszerű leírására, ezáltal az áramkörös szempontból fontos generátor-tulajdonságok kiemelésére.

Szükségessé vált egy objektív mérőszám megalkotása az MPP Követés jóságának mérésére, mely Követési hatásfok definíció szerűen: Az MPPT konverter bemenetén mérhető villamos teljesítmény / Az adott besugárzási viszonyok között elviekben elérhető maximális napelemteljesítmény. A definíció abban az értelemben különösen experimentális szemléletű, hogy feltételez egy állapotot a vizsgálat előtt, ahol a rendszer már MPP-ben volt és előír némi rendszerezettséget a méréshez. Kellő számú, szisztematikus méréssorozat után a Követési hatásfok adatok birtokában, adott beállítás esetén teljes bizonyossággal kijelenthettük, hogy a realizált Visszatáplált kimenettel vezérelt MPPT modelláramkör valóban alkalmas napelemes tápellátó rendszerben az MPP bizonyos pontosságú követésére [5][6]

II. Analízis. Az analízis során igyekeztem információt nyerni az MPPT áramkör üzemi paramétereit befolyásoló tervezési-beállítási követelményeiről. A vizsgálódás módszerét áthelyeztem áramköri szintről a számítógépes szimulációra. A modellezés általános dilemmája annak a legegyszerűbb, legkezelhetőbb modellnek a létrehozása, amely a vizsgálandó probléma leírását még a kívánatos pontossággal engedélyezi.

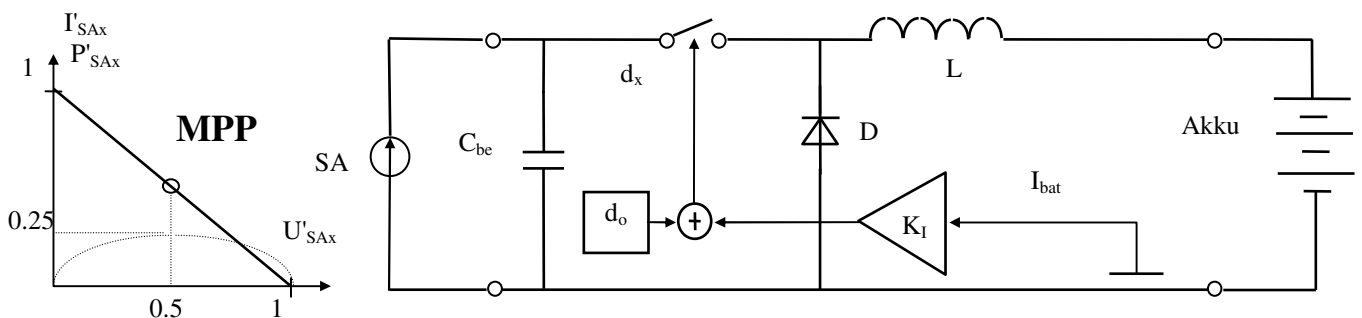
A szoftver áramkör-specifikus napelem-modelljének megalkotására egy töréspontokkal definiálható, programozható generátort használtunk. A programozható generátor feladata a napelem-karakterisztika változások leírása. A karakterisztika-változás megjelenítésének alkalmasnak kell lennie egy szimulációs folyamatban a vizsgált MPPT konverter Követési hatásfokának a meghatározására. A napelem több különböző környezeti feltételek mellett érvényes feszültség-áram karakterisztikáját, mint pillanatfelvételeket rögzítettünk a

memóriában és így a szimulációs idő alatt hirtelen átkapcsolásokkal hozhattunk létre "felhősödést" vagy hőmérséklet-változást [9].

A számítógépes modellel végzett analízis eredménye, hogy a megvalósított áramköri modell eredményeit reprodukáltuk, igazoltuk a követőt, valamint a napelemet modellező leképezés helyességét. Intuitív áramköri beállítással a Követési hatásfok növelésében jelentős áttörést nem értünk el.

III. Szintézis. A Vizsgálatok súlypontjának alapvető megváltoztatását eredményezte a matematikai modellezés. Olyan modell vált szükségessé, amely magasabb rendszerbe olvasztja az eddig tárgyalt analitikus szemléletű vizsgálatokat és lehetőséget nyújt a Követő optimális beállításának meghatározására. A modellel szemben támasztott technikai követelmény, hogy legyen egyszerű, ugyanakkor elégséges mélységben írja le az áramkör működését. További követelményként jelentkezik a modell bővíthetősége, kiterjeszhetősége más, hasonló elvű követő-áramkörökre. Azt az igényt is megfogalmaztuk, hogy a korábbi modellek, mérések ill. szimulációs futtatások is ellenőrizhetőek legyenek.

A modell megalkotását a Visszatáplált kimenettel vezérelt követő áramkörök családjának legegyszerűbb tagjával, a Buck konverterre épülő MPPT-vel kezdtem (1. ábra). Bevezettem a korlátozott teljesítményű generátor egy egyenessel történő egyszerűsített leírását.

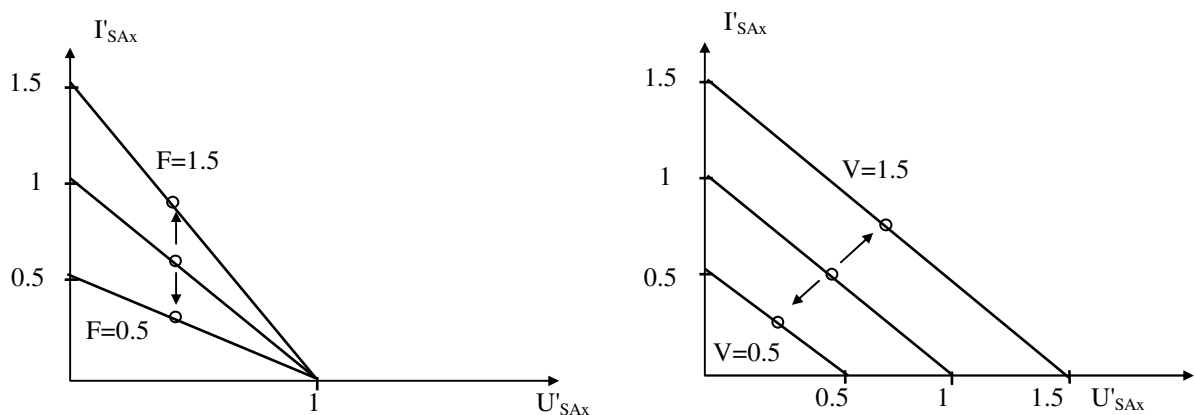


1. ábra. Visszatáplált kimenettel vezérelt MPPT konverter vizsgálati modellje
Buck konverter felhasználásával.

A modell működését ideálisnak tételeztem fel. Hasonlóan a számítógépes szimulációhoz, itt is a korlátozott teljesítményű generátor ill. a követő leírásának minél teljesebb megvalósítása okozza a nehézségeket. A számításokat normalizálással egyszerűsítettem, célszerűen a napelem üresjárási paramétereit (U_{SA0} , I_{SA0}) választottam normalizáló értékeknek.

A korlátozott teljesítményű generátor paramétereinek módosítására bevezettem egy koordináta-geometriai transzformációt. A generátor paraméterek változtatását F és V transzformációnak neveztük el. Az F (függőleges) eltolással a modellezett napelemet érő intenzitásváltozásból fakadó, a V (de csak nevében vízszintes) eltolással pedig a napelem hőmérséklet-változásából fakadó karakterisztika-változása írható le (2. ábra).

Állítjuk, hogy a leírt eltolások lineáris kombinációjával bármilyen irányú karakterisztika-változás és bármilyen irányú Maximális Teljesítményű Pont eltolódás leírható. A modell által generált MPP változás megfeleltethető egy valóságos napelem MPP változásának, azzal a matematikai modell számára elhanyagolható különbséggel, hogy egy F ill. V eltolás során a környezeti állapot ugrásszerűen változik meg, szemben a gyakorlati folyamatos, folytonos megváltozással (felhősödés, napfelkelte).



2. ábra. F és V irányú eltolások

A konverter működését leíró egyenletek, a generátort leíró koordináta-geometriai egyenlet, valamint a vezérlés együttesen határozzák meg egy adott struktúrában felépített követő matematikai modelljének karakterisztikus egyenletét. A Buck konverterrel felépített, az 1.

ábrán látható generátor feltételezése mellett a Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő karakterisztikus egyenlete a

$$0 = (U'_{SAx})^3 - V \cdot (U'_{SAx})^2 + \frac{(U'_{bat})^2}{K_I \cdot F} \cdot \left(1 - \frac{d_o}{U'_{bat}} \cdot U'_{SAx} \right) \quad (1)$$

kifejezéssel felírható. Állításunk szerint (1) tartalmaz minden információt, ami szükséges bármilyen eltolási transzformáció után a követő munkapontjának meghatározásához, feltéve, hogy $F=1$ és $V=1$ esetén a rendszer MPP-ben van. A kifejezésben szereplő K_I és d_o paraméterek a Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő vezérlési stratégiáját reprezentáló értékek (1. ábra).

Ezek után már adott egy olyan kalkulációs módszer, amellyel konkrét esetben, ideális feltételek mellett egy adott beállítású Visszatáplált kimenetű MPPT konverter munkapontja, követési tulajdonságai adott "környezeti változások" esetén egzakt módon meghatározhatók.

4./ Tézisek.

A kutatási tevékenységem során nyert eredményeimet foglalom össze, amelyek elsősorban a matematikai modell analizálása során megállapított új ismerteket taglalják.

1.

Kimutattam, hogy a Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő kitöltési tényezőjének alkalmas megválasztásával a korlátozott teljesítményű generátor tetszőleges munkapontja beállítható.

Létezik egy-egyértelmű megfeleltetés az $I_{SAx} \Leftrightarrow d_x$ ill. az $U_{SAx} \Leftrightarrow d_x$ között (1. lemma, Értekezés 8.1. fejezet).

2.

Kifejtettem, hogy a Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő konverter vezérlése minden esetben megválasztható úgy, hogy a korlátozott teljesítményű generátor munkapontja (U_{SA} , I_{SA}) MPP-be kerüljön.

Meghatározható az a vezérlési szabály, amellyel a konkrét környezeti paraméter-változásnak megfelelő aktuális karakterisztika MPP-je elérhető. Azaz egy adott, MPP-ben működő rendszer a megváltozott karakterisztikán is MPP-be kerül, bármilyen környezeti paraméter-megváltozás után (2. lemma, 8.1. fejezet)

3.

Megállapítottam, hogy rögzített áramköri struktúrával a Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő áramkör adott vezérlés ($d_x = d_o + K_I \cdot I_{bat}$) mellett csak egy meghatározott munkagörbe mentén képes haladni.

Más szavakkal ez azt jelenti, hogy rögzített áramköri struktúrával a Visszatáplált kimenettel vezérelt MPPT bemeneti munkapontja (ami megegyezik a korlátozott teljesítményű generátor munkapontjával / U_{SA}, I_{SA} /) mindig ugyanazon koordinátapontokon halad az U_{SA} - I_{SA} síkon, függetlenül attól, hogy a korlátozott teljesítményű generátor kimeneti karakterisztikájának alakja, helyzete hogyan változik. A munkagörbe és a korlátozott teljesítményű generátor karakterisztikájának metszéspontja határozza meg az aktuális munkapontot (Tétel, 8.1. fejezet).

4.

Kimutattam, hogy a vezérlési szabály ($d_x = d_o + K_I \cdot I_{bat}$) módosításával a Visszatáplált kimenettel vezérelt MPPT bemeneti munkagörbe menete az U_{SA} - I_{SA} síkon eltolható.

Adott kezdeti munkaponthoz képest, rögzített struktúra és változtatható vezérlési paraméterek mellett az eltolt munkagörbékkel a teljes U_{SA} - I_{SA} sík elérhető.

Rögzített vezérlés esetén, adott optimalizálási feladat megoldásához a vezérlési paramétereket úgy kell megválasztani, hogy az alkalmazás tartama alatt a mindenkori (P_{MPP} - P_{akt}) teljesítménykülönbség átlagos értéke minimális legyen (Tétel, Értekezés 8.1. fejezet).

5.

Megalkottam a Nem-valódi MPP Követők vizsgálati módszerét, amely alkalmas a követés gyakorlati és elméleti minősítésére.

A napelem-karakterisztikát hatványfüggvénnyel közelítettem (1-4. fokú). Bevezettem az F (függőleges) és a V („vízszintes”) koordináta-geometriai transzformációkat, melyek

segítségével a napelem-karakterisztika változásai leírhatók. A vizsgálati módszer eredménye a Követési hatások, amely az adott struktúra karakterisztika-változás hatására beálló munkapontját jellemzi követési jóság szempontjából (7.2, 8.1. fejezet).

5./ Az eredmények gyakorlati alkalmazási lehetőségei.

- a. Felismertem, hogy a [26] ill. [27] /Értekezés/irodalomban említett, szabadalommal védett áramkör nem egyedi megoldás, hanem az elv alkalmazható más /alap/konverterek Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő alkalmazás megvalósítására, ezáltal lehetőség nyílik a követés szempontjából másodlagos, de az energiakezelés vagy rendszertechnika szemszögéből lényeges kritériumok teljesítésére is. Bevezettem a Visszatáplált kimenettel vezérelt MPP Követő elnevezést a csoport megjelölésére.
- b. Megmutattam, hogy d kitöltési tényező változtatása esetén adott DC/DC konverter bemeneti impedanciája széles határok között változik. Megállapítottam Buck konverterrel valamint a polaritásváltó ill. Čuk konverterrel felépített PPCS MPP Követő esetén a bemeneti impedancia ill. a kimeneti terhelés kapcsolatát. Kvalitatívan meghatároztam ohmos és akkumulátor terhelés esetén a konverter bemeneti impedanciájának mértani helyét az U-I koordinátarendszerben.
- c. Bevezettem a fenti konverterek bemenetén fizikailag is észlelhető "virtuális akkumulátor" fogalmát. Akkumulátor, mint terhelés alkalmazásakor a konverter bemenetére redukált terhelő impedancia (0 belső ellenállású feszültséggenerátor) szintén feszültséggenerátor lesz (\Rightarrow virtuális akkumulátor). A 3. tézis, valamint a virtuális akkumulátor jellege miatt a korlátozott teljesítményű generátor-karakterisztika MPP követésekor csak az MPP feszültség-koordináta környezeti paraméterfüggését kell egzaktul leírni, az MPP áramkoordináta-függése érdektelenné válik. Az MPP feszültség-koordináta környezeti paraméterektől való függése a hardverrel direkt módon előállítható. A leírt követési stratégia és a bemutatott áramkör (Kompenzált Pszeudo MPPT konverter) is a Nem-valódi

MPP Követők családtagja, mert a rendszer működése során nem nyer semmilyen információt arról, hogy mekkora az adott pillanatban az objektív követési hiba.

A gyakorlatban az akkumulátortöltőként működő MPP Követők szívesen alkalmazott megoldások, hiszen alkalmasak a Háromszög-koncepció egyik felvetett problémája, az időben és mennyiségben különböző energiaigények kielégítésére is. A Kompenzált Pszeudo MPPT konverter megvalósításától a hasonló kategóriájú egyszerű MPPT-knél olcsóbb megoldást várunk.

Irodalomjegyzék

- [1] Istvan Szabo: Dynamic Analysis of Power Converters, Periodica Polytechnica Serial Electrical Engineering, Vol. 37, No. 3, pp. 211-221.
- [2] Istvan Szabo: Dynamic Analysis of Power Converters, előadás a TEMPUS konferencián Budapesten, 1993. Június.
- [3] Szabó István: Szünetmentes IBM PC tápegység fejlesztése, cikk a Híradástechnika folyóiratban, 1993. December.
- [4] Istvan Szabo-Jozsef Szabo: Maximum Power Point Tracker for Solar Array, előadás a TEMPUS konferencián Budapesten, 1994. Június.
- [5] Istvan Szabo, Jozsef Szabo: A Novel Analogue Maximum Power Point Tracker for Solar Array, Proc. of 5th OPTIM'96 Conf. Brasow, 15-17. May 1996, Vol. 6, pp. 1674-1680.
- [6] Istvan Szabo, Jozsef Szabo: Simplified Analogue MPP Tracker with Improved Efficiency, PEMC Proceedings Vol. 3. pp. 624-629. Budapest, September 1996.
- [7] A. Szimler, A. Gschwindt, A. Banfalvi, I. Szabo, J. Szabo: Mission Oriented On-board Power Systems, PEMC Proceedings Vol. 3. pp. 619-623. Budapest, September 1996.
- [8] A. Szimler, A. Gschwindt, A. Banfalvi, I. Szabo, J. Szabo: Mission Oriented On-board Power Systems, Telescon '97 2nd International Telecommunications Energy Special Conference Budapest, April 22-27, 1997; Proceedings pp. xx-xx.
- [9] Gerőfi Szilárd: Diplomaterv, BME Mikrohullámú Híradástechnika Tsz, 1996.

Fájlnév: TEZIS
Könyvtár: D:\Asztal IBM\Dissertation\PHD
Sablon: C:\Users\sony\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Cím: Ph. D. értekezés tézisei
Tárgy:
Szerző: Makk Marci
Keresőszavak:
Megjegyzések:
Létrehozás dátuma: 1997.11.07. 12:38:00
Változat: 4
Utolsó mentés dátuma: 1997.11.07. 13:03:00
Utoljára mentette: BHG-AT kft
Szerkesztési idő: 18 perc
Utolsó nyomtatás: 2011.11.17. 11:26:00
Mint az utolsó teljes nyomtatáskor
Oldalak száma: 11
Szavak száma: 2 126 (kb.)
Betűk száma: 14 675 (kb.)