

**"Dual Input DC-DC Converters
for Renewable Energy
Processing"
(„Convertoare CC-CC cu două
intrări pentru procesarea
energiei regenerabile”)**

Teza de față dorește să ofere o posibilă soluție la problema interconectării a două sau mai multe surse de energie prin intermediul convertoarelor de CC cu mai multe intrări. O scurtă prezentare a principalelor convertoare de CC cu mai mulți intrări au fost propuse în literatura de specialitate și un studiu comparativ al acestora a fost prezentat în teza. Noi topologii de convertoare CC-CC cu două intrări au fost propuse. Au în componența atât celule clasice cât și structuri hibride de comutație cu condensatoare/ inductivități. Studiu analitic, modurile de operare, rezultate de simulare și rezultate experimentale au fost incluse în teză. După un studiu comparativ al convertoarelor coborâtoare propuse o topologie de convertor a fost aleasă iar o descriere completă cu analiza modului de conducere la limita a fost dat. În cele din urmă o aplicație cu surse regenerabile de energie a fost propus pentru integrarea convertorului ales. Descrierea sistemului și a strategiei de control adecvată a fost dat. Două simulări au fost efectuate pentru sistemul propus: o cosimulation între Matlab și PLECS pentru studiul funcționării convertorului, și o simulare doar în Matlab pentru pregătirea implementării experimentale a sistemului. Un prototip al sistemului a fost construit iar rezultatele preliminare sunt prezentate

În **Capitolul 1** se găsesc motivațiile și obiectivele activității de cercetare, precum și descrierea pe capitole a structurii tezei.

În **Capitolul 2** este prezentarea stadiului actual al cercetărilor din domeniul abordat. Sunt trecute în revistă cele mai de seamă soluții tehnice utilizate la realizarea convertoarelor de c.c. având multiple intrări. Autoarea pune accent deosebit pe prezentarea principiilor de bază utilizate la combinarea celulelor de tip sursă de tensiune și sursă de curent, respectiv pe structurile de bază ale convertoare de c.c cu două intrări (în variantele clasică, *buck* și *buck-boost*). În acest studiu se găsesc și descrierile diverselor

moduri de funcționare ale circuitelor, ale formelor de undă și relațiile de bază dintre tensiunile de intrare și ieșire, etc. Sunt trecute în revistă și principalele convertoare cu magistrale comune de c.c., cu transformatoare având mai multe înfășurări primare, etc. Capitolul se încheie cu prezentarea principalelor elemente de control care pot coordona aceste convertoare de c.c. Studiile din acest capitol sunt bazate pe o listă bibliografică vastă și recentă, formată din nu mai puțin de 58 de titluri. Informațiile cuprinse aici pot fi foarte valoroase pentru toți care doresc să-și aprofundeze cunoștințele în acest domeniu.

În **Capitolul 3** sunt detaliate mai multe structuri de bază ale convertoarelor de c.c cu două intrări în variantele clasice și de tip *hybrid buck*. Într-un tabel foarte sugestiv se prezintă toate combinațiile posibile dintre 10 tipuri de convertoare. În tabel se pot identifica 80(!) de posibilități de combinare ale diverselor tipuri de convertoare de c.c. Dintre această multitudine de posibilități autoarea tezei studiază în detalii trei variante de combinații: *buck – hybrid buck L*, *buck-hybrid buck C*, respectiv *hybrid buck C-hybrid buck L*. Fiecare variantă studiată este descrisă atât analitic (luând în considerare diverse moduri de funcționare), cât și prin simulări performante efectuate cu ajutorul programului *PSIM* al companiei Powersim, conceput special pentru simularea circuitelor electronice de putere. Convertorul selectat pentru un studiu mai aprofundat este obținut prin combinația variantelor *hybrid buck C* și *hybrid buck L*. Un exemplu al acestei variante (dat în Fig. 6.1), realizat cu tranzistoare de tip IGBT și lucrând la o frecvență de comutație de 7,8 kHz, este studiat atât teoretic prin simulări efectuate cu ajutorul programului *LTSpice*, cât și practic prin măsurătorile de laborator. În figurile de la sfârșitul capitolului se poate observa buna concordanță dintre rezultatele obținute prin simulări și măsurători. Eficiența structurii de 94% o face o soluție promițătoare pentru toate aplicațiile vizate.

Capitolul 4 este dedicat în totalitate studiului convertorului de c.c. cu intrare dublă de tipul *Hybrid Buck LC (HBLC)*. În această structură cele două condensatoare comutate se găsesc în circuitul de intrare inferior, cel care are masă comună cu ieșirea convertorului. Autoarea tezei prezintă foarte clar modul de funcționare a acestui tip de convertor, oferind și expresiile analitice ale tensiunii de ieșire în diferitele faze ale funcționării. Studiile analitice sunt efectuate atât pentru *Continuous Conduction Mode (CCM)*, cât și *Boundary Conduction Mode (BCM)*. Pentru dimensionarea filtrului de la ieșirea

convertorului s-a determinat valoarea relativă medie a curenților din inductivitățile schemei în funcție de factorii de umplere și de raportul tensiunilor de la intrare. Dat fiind complexitatea expresiilor analitice problema putea fi soluționată doar cu ajutorul programului *Mathematica*. Pentru simularea digitală a convertorului s-a elaborat un program *SIMULINK* cu ajutorul blocurilor din biblioteca dedicată *PLECS Blockset*. Convertorul propus a fost construit de data aceasta cu tranzistoare MOSFET și poate lucra la o frecvență de comutație de 100 kHz, mult mai mare decât cea din schema menționată anterior. Eficiența acestui convertor este identică cu cea prezentată în capitolul anterior. Și de data aceasta rezultatele simulărilor sunt în perfectă concordanță cu cele obținute prin măsurători de laborator.

Capitolul 5 este cea mai valoroasă a tezei. Aici se prezintă o aplicație de interes major a convertorului de c.c. cu intrare dublă de tipul *Hybrid Buck LC*, analizat detaliat în capitolul anterior. Aplicația este din domeniul utilizării resurselor regenerabile de energie. Energia electrică este convertită de două sisteme de conversie: unul cu celule fotovoltaice, respectiv altul cu o turbină de vânt. Configurația sistemului mai conține pe lângă convertorul în studiu o baterie de acumulatori și un inverter de tensiune monofazat conectat la ieșirea acestuia cu consumatorii aferenți. Controlul întreg sistemului este realizat cu ajutorul unei unități de management al energiei (*energy management unit – EMCU*). După identificarea fiecărei componente a sistemului aplicația este studiată atât în regim cuplat la rețea, cât și autonom.

Pentru fiecare regim studiat se propune o schemă logică a sarcinilor de control. Acestea permit armonizarea controlului celor două sisteme de conversie a energiei în toate regimurile studiate. Simularea sistemului complex se efectuează prin două abordări. Cea mai complexă este bazată pe un program de co-simulare în care sistemul de conversie al energiei este simulat în *SIMULINK* și convertorul de c.c. în *PLECS*. Dat fiind complexitatea sistemului cu acest program nu s-a putut simula comportamentul sistemului pe o perioadă mai lungă. Acestui scop s-a elaborat un alt program de simulare bazat pe un model matematic simplificat.

Rezultatele simulărilor au fost validate cu ajutorul măsurărilor efectuate pe o platformă de testare complexă. Sistemul de control a fost implementat pe un sistem de dezvoltare *dSpace* de tipul *DS1103*. Panourile fotovoltaice au fost implementate printr-un emulator industrial (de

Regatron). Turbina de vânt a fost echivalată în schemă cu ajutorul unei surse reglabile de c.c. Standul experimental mai conține o baterie de acumulatori de mică capacitate (7 Ah) și rezistențe utilizate ca și sarcină. Platforma experimentală a fost completată de sisteme de măsură avansate.

Rezultatele testelor de laborator au validat atât simulările efectuate, cât și corecta proiectare a convertorului de c.c. cu două intrări de tipul HBLC.

În **Capitolul 6** sunt prezentate în detaliu toate componentele de bază ale platformei experimentale utilizată la testările de laborator prezentate în teză. Accentul este pus pe cele două convertoare de c.c. cu două intrări analizate. Capitolul poate fi deosebit de util celor care doresc să elaboreze standuri asemănătoare.

În **ultimul capitol** se prezintă concluziile generale ale autoarei, contribuțiile sale teoretice și experimentale originale, respectiv și direcțiile viitoare ale cercetării în acest domeniu de interes deosebit.

Teza este completată de trei **Anexe**, conținând secvențe de surse ale programelor pentru DSP de tipul *TMS320F28335*, cablajele plăcilor proiectate și funcția de interpolare obținut cu ajutorul programului *Mathematica*.