ENERGY MANAGEMENT OF A GRID INTERACTIVE PHOTOVOLTAIC CLUSTER BASED ECO-FRIENDLY GREENHOUSE FARMING ENVIRONMENT

ANURADHA TOMAR

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

JUNE 2019

ENERGY MANAGEMENT OF A GRID INTERACTIVE PHOTOVOLTAIC CLUSTER BASED ECO-FRIENDLY GREENHOUSE FARMING ENVIRONMENT

by

ANURADHA TOMAR

Department Of Electrical Engineering

Submitted

in fulfilment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

JUNE 2019

Dedicated to my loving & caring Parents . . .

Certificate

This is to certify that the thesis entitled "**Energy Management of a Grid Interactive Photovoltaic Cluster Based Eco-Friendly Greenhouse Farming Environment**" being submitted by **Ms. Anuradha Tomar** for the award of the degree of **Doctor of Philosophy** is a record of bonafide research work carried out by her in the Department of Electrical Engineering at Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi.

Ms. Anuradha Tomar has worked under my supervision and has fulfilled the requirements for the submission of this thesis, which to my knowledge has reached the requisite standard. The results obtained here, have not been submitted to any other University or Institute for the award of any degree.

Date:

Prof. Sukumar Mishra
Professor,
Department of Electrical Engineering
Indian Institute of Technology Delhi,
New Delhi, Pin: 110016, India.

Acknowledgments

It is very difficult to express my deepest gratitude and indebtedness in form of words to Prof. Sukumar Mishra for providing me a lifetime opportunity to work under his guidance and supervision, which has culminated in this Ph.D. thesis. His constant support, motivation, and encouragement will be cherished throughout my life. He has always provided sufficient time for discussions which have succeeded in showing me the appropriate direction and systematic approach.

I am thankful to Prof. S. D. Joshi, Head, Electrical Engineering Department, Indian Insitute of Technology, Delhi for the facilities he provided during this work.

I am also thankful to Prof. Bhim Singh, Dr. N. Senroy and Dr. Ashu Verma for their valuable suggestions and advice. I must thank Prof. B. K. Panigrahi for their suggestions and encouragement provided during the period of work.

I must acknowledge my co-researchers Dushyant Sharma, Dr. Deepak Reddy Pullaguram, Dr. Hasmat Malik, Dr. Subham Sahoo, Ayesha Firdaus, Rishi Sharma, Surya Prakash, T. Sathiyanarayanan, for their kind cooperation and help provided.

I express my deepest and warmest gratitude to my parents Devesh Singh Tomar and Kamla Tomar for their unconditional love, support, encouragements, believing in me; without whom it would not be possible to pursue and complete my Doctoral Degree. Finally, I would like to thanks my husband Krishna Vir Singh and son Rudra Singh Chauhan for their love, support, and patience.

Date: **Anuradha Tomar**

Place: New Delhi

Abstract

This work is focused on photovoltaic application in farming sector (but equally applicable in other fields) through design, development and experimental research implementation in the field to address a few primary issues based on interaction with farmers. The total research is segmented in four sections including; (1) The PV energy enhancement, (2) PV resources integration and their utilization, (3) Micro level Photovoltaic summation technology of unsymmetrical PV modules with higher efficiency as per load matching and designing and (4) Development of low cost yet high tech automated PV based protected environment controlled farming (PV_PECF) system for climate control as per crop stage development and studying its impact on crop yield, energy management and economy in comparison to open field farming.

The issues pertaining to PV energy enhancement (chapter 3); are addressed with a new dual layer MPPT (DLMPPT) concept; which is based on summation of energy yield due to distributed MPPT across PV module (DMPPT) and central MPPT (CMPPT) across PV arrays. The scheme is implemented using programmable logic controller (PLC) as standard hardware and its software with modified Incremental Conductance (IC) algorithm by adapting subroutine jump control (ASJC) technique to address speedy reduction of multiple maxima points under shadowing trees in the field. The energy flow from PV sources up to inverter stage through common dc bus is dynamically balanced through quick transfer as per load demand.

The second research part (chapter 4), is a comprehensive global solution for integration of neighboring PV resources of farmers through CMPVI using MIDO scheme to enhance total capacity (doubled capacity at no extra investment for two farmers) for solving diminishing water discharge due to increasing ground water level. Through utilization of PV capacities during morning and evening times (concept hardly visible in

literature) additional energy extraction by 13.68% and alternate agro machineries the PV energy cost per watt is reduced by 14.89% and water discharge is improved by 24.74%.

The third research work part (chapter 5), is related to micro level PV module summation technology through add on module hardware (AOMH) as interface between MISO dc bus for addition and subtraction of PV capacity as per load demand and thus avoiding thermal heating and unwanted system energization which ultimately helps in additional reliability while improving efficiency.

The fourth segment of proposed work in (chapter 5 and 6), focus on design and development of PV_PECF system featuring automation within affordable budget; provides climate control as per plant process stage and growth using agro baskets as substrates and encourages farming even on unfertile or hilly land at remotely located farms. It is a unique experimental prototype to explore MPPT through AOMH module as an interface between MISO bus at 24V and connected with photo active radiation (PAR) LED, irrigation, fertigation, sprinklers, fogging devices, ventilation and water pumps and mostly are DC load in nature with PWM duty cycle control for energy saving. The P&O MPPT applied individually to both PV modules which are inclined like upper hut structure; could provide average combined additional energy gain as 10.32% as compared to without MPPT; despite of MISO load variation during morning, evening ,day and night times. The efficiency of interleaved DC-DC boost converter as pre-stage of micro inverter is 77.74% to 96.90% at varying load from 10 to 100%. The micro inverter efficiency is found as 86.88% and 92.59% at 10% and rated load respectively.

Compared to open field, comparative primary data confirms a conservative growth of tomato fruit yield more by 53.13% in PV_PECF system. The ROI for developed PV_PECF system is 9.24% with a return period as 10.82 years.

सार

यह काम किसानों के साथ बातचीत के आधार पर कुछ प्राथमिक मुद्दों को संबोधित करने के लिए क्षेत्र में डिजाइन, विकास और प्रयोगात्मक अनुसंधान कार्यान्वयन के माध्यम से खेती के क्षेत्र में फोटोवोल्टिक अनुप्रयोग (लेकिन अन्य क्षेत्रों में समान रूप से लागू) पर केंद्रित है। कुल शोध चार खंडों में खंडित है; (1) पीवी ऊर्जा वृद्धि, (2) पीवी संसाधनों का एकीकरण और उनका उपयोग, (3) माइक्रो लेवल फोटोवोल्टिक समन टेक्नॉलॉजी ऑफ अनसिमिटेड पीवी मॉड्यूल्स विथ हाई एफिशिएंसी विथ लोडिंग और डिजाइनिंग और (४) निम्न विकास का उच्च तकनीक। स्वचालित पीवी आधारित संरक्षित पर्यावरण नियंत्रित खेती (PV_PECF) फसल नियंत्रण के अनुसार जलवायु नियंत्रण के लिए प्रणाली और खुले खेत की खेती की तुलना में फसल की उपज, ऊर्जा प्रबंधन और अर्थव्यवस्था पर इसके प्रभाव का अध्ययन।

पीवी ऊर्जा वृद्धि (अध्याय 3) से संबंधित मुद्दे; एक नई दोहरी परत MPPT (DLMPPT) अवधारणा के साथ संबोधित किया जाता है; जो PV सरणियों में वितरित MPPT (DMPPT) और केंद्रीय MPPT (CMPPT) के बीच ऊर्जा की उपज के योग पर आधारित है। इस योजना को प्रोग्रामेबल लॉजिक कंट्रोलर (पीएलसी) को मानक हार्डवेयर के रूप में लागू किया गया है और इसके सॉफ्टवेयर को संशोधित वृद्धिशील चालकता (IC) एल्गोरिथ्म के साथ उप-प्रादुर्भावी छलांग नियंत्रण (ASJC) तकनीक से जोड़ा गया है ताकि क्षेत्र में पेड़ों की कटाई के तहत कई अधिकतम बिंदुओं की त्वरित कमी का पता लगाया जा सके। सामान्य डीसी बस के माध्यम से इन्वर्टर चरण तक पीवी स्रोतों से ऊर्जा प्रवाह लोड की मांग के अनुसार त्वरित हस्तांतरण के माध्यम से गतिशील रूप से संतुलित है।

दूसरा अनुसंधान भाग (अध्याय 4), बढ़ती क्षमता के कारण घटते पानी के निर्वहन को सुलझाने के लिए MIDO योजना (दो किसानों के लिए कोई अतिरिक्त निवेश पर दोगुनी क्षमता) बढ़ाने के लिए CMPVI के माध्यम से किसानों के पड़ोसी पीवी संसाधनों के एकीकरण के लिए एक व्यापक वैश्विक समाधान है। भूजल स्तर। सुबह और शाम के समय में पीवी क्षमता का उपयोग (अवधारणा शायद ही साहित्य में दिखाई देती है) अतिरिक्त ऊर्जा निष्कर्षण 13.68% और वैकल्पिक कृषि मशीनरी द्वारा प्रति वाट पीवी ऊर्जा लागत 14.89% कम हो जाती है और पानी के निर्वहन में 24.44% सुधार होता है।

तीसरा अनुसंधान कार्य भाग (अध्याय 5), माइक्रो लेवल पीवी मॉड्यूल सम्मिलन तकनीक से संबंधित है, जो मॉड्यूल हार्डवेयर (एओएमएच) के माध्यम से एमओएसओ डीसी के बीच इंटरफेस के रूप में है, इसके अलावा लोड की मांग के अनुसार पीवी क्षमता और घटाव के लिए घटाव और इस प्रकार थर्मल हीटिंग से

बचा जा सकता है। अवांछित प्रणाली ऊर्जाकरण जो अंततः दक्षता में सुधार करते हुए अतिरिक्त विश्वसनीयता में मदद करता है।

(अध्याय 5 और 6) में प्रस्तावित काम का चौथा खंड, सस्ती बजट के भीतर स्वचालन की विशेषता PV_PECF प्रणाली के डिजाइन और विकास पर ध्यान केंद्रित; संयंत्र प्रक्रिया चरण के अनुसार जलवायु नियंत्रण प्रदान करता है और सबस्ट्रेट्स के रूप में एग्रो बास्केट का उपयोग करते हुए और दूर स्थित खेतों में भी बेघर या पहाड़ी भूमि पर खेती को प्रोत्साहित करता है। यह 24V में MISO बस के बीच इंटरफेस के रूप में AOMH मॉड्यूल के माध्यम से MPPT का पता लगाने के लिए एक अनूठा प्रयोगात्मक प्रोटोटाइप है और फोटो सक्रिय विकिरण (PAR) एलईडी, सिंचाई, प्रजनन, छिड़काव, उपकरणों, वेंटिलेशन और पानी के पंपों के साथ जुड़ा हुआ है और ज्यादातर डीसी लोड में हैं ऊर्जा की बचत के लिए पीडब्लूएम कर्तव्य चक्र नियंत्रण के साथ प्रकृति। पी एंड ओ एमपीपीटी दोनों पीवी मॉड्यूल के लिए व्यक्तिगत रूप से लागू होता है जो ऊपरी हट संरचना की तरह झुका हुआ होता है; MPPT के बिना औसत संयुक्त अतिरिक्त ऊर्जा लाभ 10.32% प्रदान कर सकता है; MISO लोड भिन्नता के बावजूद सुबह, शाम, दिन और रात के समय के दौरान। माइक्रो इनवर्टर के प्री-स्टेज के रूप में इंटरलेसीड डीसी-डीसी बूस्ट कनवर्टर की दक्षता 10 से 100% तक अलग-अलग लोड पर 77.74% से 96.90% है। माइक्रो इन्वर्टर की दक्षता 86.88% और 92.59% 10% और रेटेड लोड के रूप में क्रमशः पाई जाती है।

खुले मैदान की तुलना में, PV_PECF प्रणाली में तुलनात्मक प्राथमिक डेटा 53.13% से अधिक टमाटर फलों की उपज के रूढ़िवादी विकास की पुष्टि करता है। विकसित PV_PECF प्रणाली के लिए ROI 10.4 वर्षों की वापसी अवधि के साथ 9.24% है।

Table of Contents

List of Figures

List of Tables