

नवीन सौर फोटोवोल्टिक सरणी पुनर्विन्यासन रणनीतिक आंशिक छाया की स्थिति में विद्युत ऊर्जा रूपांतरण में वृद्धि

Innovative Solar Photovoltaic Array Reconfiguration Enhances Electrical Energy Conversion in Strategic Partial Shade Conditions

स्मिता पारीक¹ एवं कुलवंत सिंह²

Smita Pareek¹ and Kulwant Singh²

¹B K Birla Institute of Engineering & Technology, Pilani, Rajasthan

²Skill Faculty of Engineering & Technology, Shri Vishwakarma Skill University, Haryana

¹smitapareek.bkbiet@gmail.com, ²eculwant@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15564520>

सारांश

आंशिक छायांकन (PS), सौर फोटोवोल्टिक (SPV) सरणी पर गैर-समान विकिरण की एक घटना है जो SPV सरणी की आउटपुट शक्ति में कमी की ओर ले जाती है। आंशिक छायांकन स्थितियों के तहत विद्युत ऊर्जा रूपांतरण और आउटपुट शक्ति को बढ़ाने के लिए, इस शोध पत्र में एक नई सौर फोटोवोल्टिक सरणी पुनर्संरचना रणनीति प्रस्तावित की गई है। सौर सरणियों के बीच कनेक्शन की पुनर्संरचना इस प्रकार से की जाती है कि बिजली की हानि, वायरिंग कनेक्शन की संख्या और लागत कम हो जाती है। प्रस्तावित पुनर्संरचना रणनीति के प्रदर्शन की तुलना पारंपरिक कुल क्रॉस टाइड (TCT) विन्यास से की जाती है। प्रस्तावित विन्यास के प्रदर्शन विश्लेषण के लिए, 6×4 SPV सरणी पर पाँच विभिन्न आंशिक छायांकन मामलों की जाँच की जाती है और अधिकतम पावर पॉइंट (MPP) और प्रदर्शन अनुपात (PR) को मापा जाता है। परिणामों के अनुसार, यह अनुमान लगाया गया है कि प्रस्तावित विन्यास तकनीक TCT विन्यास की तुलना में अधिकतम आंशिक छायांकन में बेहतर आउटपुट शक्ति देती है। इसके अतिरिक्त, इसमें TCT की तुलना में कम वायरिंग कनेक्शन का लाभ है, जो जटिलता, वायरिंग समय और वायरिंग हानि को कम करता है। इसका उपयोग छोटे और बड़े SPV प्रणालियों में पैनल स्थापना के लिए (TCT) अभिविन्यास के अच्छे प्रतिस्थापन के रूप में किया जा सकता है, क्योंकि क्रॉस टाई की कम संख्या के कारण यह अधिक किफायती है।

Abstract

Partial Shading (PS) is a phenomenon of non - uniform irradiance on solar photovoltaic (SPV) array which leads to reduction in output power of SPV array. To enhance the electrical energy conversion and output power under partial shading conditions, a novel solar photovoltaic array reconfiguration strategy is proposed in this research paper. The connections between solar arrays are reconfigured in such a way that power losses, number of wiring connections as well as cost are reduced. The performance of the proposed reconfiguration strategy is compared with conventional TCT configurations. For the performance analysis of proposed configuration, five various partial shading cases are investigated on a 6×4 SPV array and measure maximum power point (MPP) and performance ratio (PR). According to the results, it is anticipated that the proposed configuration technique gives better output power in maximum partial shading when compared to TCT configuration. Additionally, it has the benefit of less wiring connections compared to TCT, which minimize complexity, wiring time, and wiring losses. It can be used as a good replacement of TCT configuration for panel installation in small as well as large SPV systems because it is more economical due to the reduced number of cross ties.

मुख्य शब्द: ब्रिज लिंकड (बीएल), बाईपास डायोड, हनीकॉम्ब (एचसी), आंशिक छायांकन स्थिति, श्रृंखला समानांतर (एसपी), छायांकन मामले, सौर फोटोवोल्टिक सेल, कुल क्रॉस टाइड (टीसीटी)।

Key Words: Bridge Linked (BL), Bypass Diode, Honeycomb (HC), Partial Shading Condition, Series Parallel (SP), Shading Cases, Solar Photovoltaic Cell, Total Cross Tied (TCT).

परिचय

सूर्य ऊर्जा का सबसे प्रचुर स्रोत है, और इसका उपयोग वर्तमान और भविष्य की ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए कई तरीकों से किया जा सकता है। सौर ऊर्जा का उपयोग करने का सबसे आम और सीधा तरीका सौर फोटोवोल्टिक (एसपीवी) तकनीक है। एसपीवी कोशिकाओं का उपयोग करके सौर विकिरण को सीधे बिजली में परिवर्तित किया जाता है। अन्य नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों की तुलना में, एसपीवी तकनीक लगातार तेजी से बढ़ रही है और यह सबसे प्रमुख नवीकरणीय विकल्प है^[1,2] कई कारक संभावित रूप से सौर फोटोवोल्टिक (एसपीवी) कोशिकाओं के बिजली उत्पादन को कम करते हैं, लेकिन आंशिक छायांकन (पीएस) मुख्य कारण है और उनमें से सबसे प्रमुख है।^[3] आंशिक रूप से छायांकित सेल आंशिक छायांकन के दौरान अ-छायांकित सेल की तुलना में कम विकिरण प्राप्त करते हैं। प्रत्येक सौर सेल के माध्यम से समान मात्रा में धारा प्रवाहित होनी चाहिए क्योंकि वे आमतौर पर श्रृंखला में जुड़े होते हैं। छायांकित सेल गैर-छायांकित सेल के समान धारा खींचने के लिए उत्क्रम अभिनति (Reverse Bias) क्षेत्र में काम करना शुरू करते हैं। परिणामस्वरूप छायांकित सेल ऊर्जा का उपयोग करना शुरू कर देता है। इससे एक उच्च बायस वोल्टेज उत्पन्न हो सकता है, जो छायांकित सेल के टूटने का कारण बनेगा और एक हॉट स्पॉट का निर्माण करेगा। साहित्य में PS प्रभावों को कम करने और इन मुद्दों को संबोधित करने के लिए विभिन्न तरीकों पर चर्चा की गई है।^[4] शोधकर्ताओं ने आंशिक छायांकन के प्रभावों को दूर करने और उत्पादित बिजली की मात्रा को बढ़ाने के लिए अधिकतम संभव बिजली निकालने के तरीकों की खोज पर ध्यान केंद्रित किया है। सभी उपलब्ध समाधानों में से, पीवी सेल/एरे के समानांतर में बाईपास डायोड का कनेक्शन सबसे आम समाधानों में से एक है। यदि जुड़े हुए पैनलों में से एक छायांकित है, तो बिना छायांकित पैनल का करंट बाईपास डायोड से होकर बहता है और यह सौर कोशिकाओं को नुकसान पहुंचाने से रोकता है।^[5] हालांकि, डायोड के साथ पीवी सरणियों का उत्पादन प्रणाली की समग्र

लागत को बढ़ाता है। बाईपास डायोड एसपीवी वक्र की जटिलता को बढ़ाते हैं और पावर-वोल्टेज और करंट-वोल्टेज वक्रों को कई मैक्सिमा के साथ बेहद गैर-रैखिक बनाते हैं। अन्य सभी स्थानीय अधिकतम पावर पॉइंट्स के बीच वैश्विक अधिकतम पावर पॉइंट (जीएमपीपी) का पता लगाने के लिए, यह पारंपरिक अधिकतम पावर पॉइंट (एमपीपी) तकनीकों (एलएमपीपी) को गुमराह करता है। साहित्य में कई एमपीपीटी तकनीकों का वर्णन किया गया है। ये तकनीकें सिस्टम की प्रतिक्रियाशीलता को बढ़ा सकती हैं। हालांकि, कुछ एमपीपीटी तकनीकें एक विशेष छायांकन पैटर्न के लिए काम करती हैं और अन्य छायांकन पैटर्न के लिए विफल हो जाती हैं। इसके अलावा, कुछ एमपीपीटी तकनीकें केवल सिमुलेशन परिणामों द्वारा समर्थित हैं, हालांकि, वास्तविक मामला काफी अलग होगा क्योंकि पर्यावरणीय पैरामीटर कई कारकों (जैसे- प्रकाश की तीव्रता, तापमान, उम्र बढ़ने, धूल और आंशिक छायांकन) पर निर्भर करता है। विभिन्न अनुप्रयोगों के लिए अलग-अलग एमपीपीटी एल्गोरिथ्म उपयुक्त हैं। प्रत्येक प्रणाली में, एक एल्गोरिथ्म समान परिणाम नहीं दे सकता है, जो उपलब्ध विकल्पों के बीच चयन को चुनौतीपूर्ण बनाता है।^[6,8]

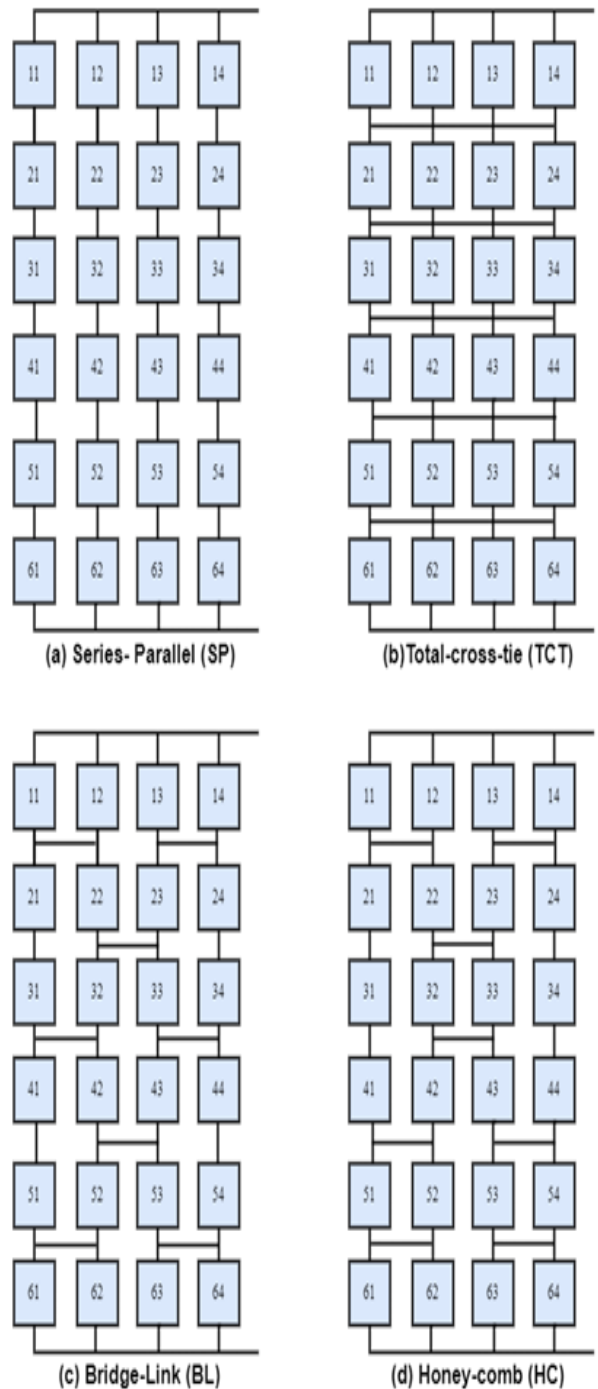
पीएस नुकसान से निपटने के लिए साहित्य में बताई गई अन्य तकनीकों में एसी पैनल, जनरेशन कंट्रोल सर्किट, माइक्रो-कनवर्टर, मल्टी-लेवल कन्वर्टर, मुआवजा, बैटरी इक्वालाइजर, ऊर्जा रिकवरी आदि शामिल हैं। इन तकनीकों में शामिल उच्च लागत और हार्डवेयर की जटिलता और इसके कार्यान्वयन एक आम खामी है, जो उन्हें कम लोकप्रिय बनाती है।^[9-13]

साहित्य में पीएस प्रभाव को दूर करने के लिए एक वैकल्पिक विधि पीवी सरणियों का अंतर्संबंध है। सरणी के भीतर पीवी सरणियों को जोड़ने के अभिविन्यास को एक अंतर्संबंध योजना या पीवी विन्यास के रूप में परिभाषित किया गया है। साहित्य में, पीवी पैनलों के अंतर्संबंध के लिए विभिन्न पारंपरिक विन्यासों का उल्लेख किया गया है। मौजूदा विन्यासों में एसपी (सीरीज-समानांतर), बीएल (ब्रिज-लिंकड), टीसीटी (टोटल-क्रॉस-टाइड), एचसी (हनीकॉम्ब), आदि शामिल हैं, जैसा कि चित्र 1 में दिखाया गया

है।^[14-17] आवश्यक आउटपुट पावर प्रदान करने के लिए, SP व्यवस्था SPV पैनलों को पहले श्रृंखला में और फिर समानांतर में जोड़ती है। जंक्शन की पंक्तियों में संबंधों को जोड़कर, TCT विन्यास SP विन्यास को संशोधित करता है। विन्यास में, चार आसन्न मॉड्यूल के समूह एक सेतु दिष्टकारी (Bridge Rectifier) सर्किट जैसा दिखने वाले तरीके से जुड़े होते हैं, जहाँ पहले दो मॉड्यूल अगले दो मॉड्यूल के साथ श्रृंखला में और फिर उनके साथ समानांतर में जुड़े होते हैं। HC व्यवस्था में पैनल एक षट्कोणीय ढांचे में जुड़े होते हैं। साहित्य के अनुसार, अधिकांश आंशिक छाया स्थितियों में, SP, BL और HC (PSCs) की तुलना में TCT विन्यास में बिजली प्राप्ति अधिक होती है। हालांकि, क्रॉसटाई की लागत और उच्च वायरिंग प्रतिरोध नुकसान पर उनके प्रभाव को TCT कनेक्टिविटी डिजाइन में नहीं माना जाता है।^[18-25]

मौजूदा तरीकों की कमियों को दूर करना और मौजूदा स्थिति के लिए सभी मौजूदा तरीकों के समग्र प्रभाव पर विचार करने के बाद एक ऐसा तरीका बनाना आवश्यक है जो कार्यात्मक और उपयुक्त हो। मौजूदा पारंपरिक इंटरकनेक्शन योजनाओं की कमियों को ध्यान में रखते हुए, वर्तमान अध्ययन एक संशोधित-TCT (MTCT) विन्यास का प्रस्ताव करता है, जिसमें TCT विन्यास के वायरिंग संबंधी मुद्दों (जैसे अतिरेक आदि) को दूर करने और PSC के तहत बेहतर आउटपुट पावर बनाए रखने की क्षमता है। TCT की तुलना में इस विन्यास में क्रॉस टाई की कमी से वायरिंग का समय, वायर लॉस और कुल लागत कम हो जाती है। यह PSC के तहत आउटपुट पावर को अनुकूलित करने में भी फायदेमंद है। प्रस्तावित पुनर्संरचना तकनीक कम और उच्च रेटेड SPV सिस्टम के लिए लागू हैं।

इस शोध पत्र की संरचना इस प्रकार है: भाग-2 में, प्रस्तावित संशोधित TCT विन्यास की PV सरणी कार्यान्वयन रणनीति के मॉडलिंग पर चर्चा की गई है। भाग-3 में, प्रस्तावित विन्यास और TCT विन्यास की आउटपुट पावर की तुलना के आधार पर परिणामों को विभिन्न छायांकन मामलों के तहत समझाया गया है। भाग-4 में इस क्षेत्र में निष्कर्ष और भविष्य के काम पर चर्चा की गई है।



चित्र 1. विभिन्न एसपीवी (6x4) विन्यास (a) श्रृंखला-समानांतर, (b) कुल-क्रॉस-टाईड, (c) ब्रिज-लिंक, (d) हनी-कॉम्ब

क्रियाविधि

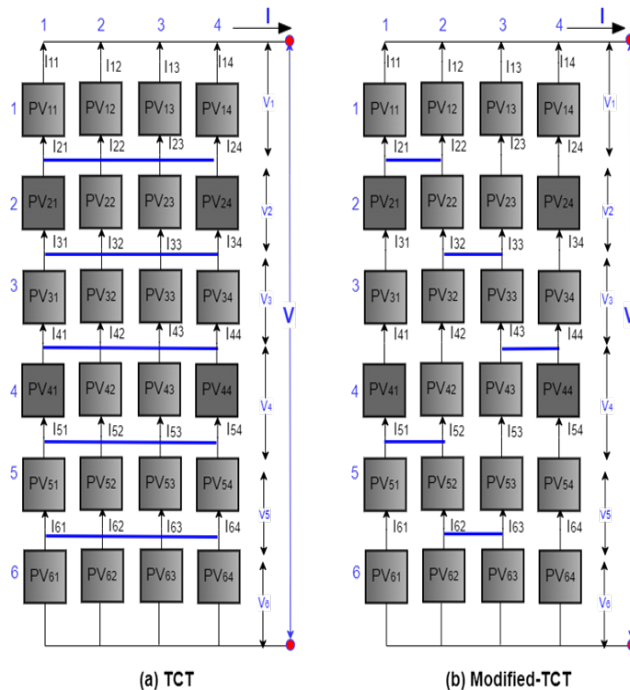
सौर फोटोवोल्टिक प्रणाली का मॉडलिंग

फोटोवोल्टिक कोशिकाओं के अनुकरण और कार्यान्वयन के लिए, कई मॉडलों का उपयोग किया जाता है। प्रत्येक मॉडल एक अतिरिक्त घटक के साथ पूर्व की तुलना में एक उन्नति है। इसके विपरीत, प्रत्येक उन्नति के साथ मॉडल की जटिलता और लागत बढ़ जाती है। सभी के बीच एक और दो-डायोड मॉडल मुख्य रूप से पसंद किए जाते हैं। अन्य मॉडलों के नुकसान यह हैं कि या तो उनकी सटीकता कम होती है या मॉडल बनाने के लिए कई मापदंडों की आवश्यकता होती है। दो-डायोड मॉडल की तुलना में एकल डायोड मॉडल को लागू करना आसान है, क्योंकि इसे लागू करने के लिए पाँच मापदंडों की आवश्यकता होती है। साहित्य में, वास्तविक बाहरी परिस्थितियों में प्रदर्शन मूल्यांकन के लिए एक डायोड मॉडल की सिफारिश की जाती है। एक डायोड मॉडल को सौर सेल का प्रतिनिधित्व करने के लिए सबसे सरल दृष्टिकोण माना जाता है, इसलिए इसका उपयोग वर्तमान अध्ययन कार्य में भी किया जाता है।^[26-30]

प्रस्तावित संशोधित टीसीटी कॉन्फिगरेशन की कार्यान्वयन रणनीति

वर्तमान कार्य में एक नया संशोधित-TCT (MTCT)

विन्यास प्रस्तावित किया गया है जो मौजूदा TCT विन्यास का संशोधन है। MTCT डिजाइन में, क्रॉसटाइज के बीच कनेक्शन सीढ़ियों की उड़ानों द्वारा प्रेरित होता है। पहली पंक्ति में, क्रॉसटाइज पहले और दूसरे कॉलम के बीच जुड़े होते हैं। दूसरी पंक्ति में, पैटर्न एक कॉलम से आगे बढ़ता है और क्रॉसटाइज दूसरे और तीसरे कॉलम के बीच जुड़े होते हैं। कनेक्शन की शिफ्टिंग तीसरी, चौथी पंक्तियों के लिए जारी रहती है। MTCT डिजाइन TCT की तुलना में आवश्यक क्रॉसटाइज को कम करने के लिए प्रस्तावित है। इसके अतिरिक्त, क्रॉसटाइज की कम संख्या निर्माण के दौरान कम वायरिंग समय और इसी के अनुरूप कम वायर लॉस और लागत में योगदान देती है। चित्र 2. 6×4 TCT (सभी मॉड्यूल पंक्ति में बंधे हैं) और MTCT (केवल दो मॉड्यूल एक पंक्ति में बंधे हैं) डिजाइन किए गए PV सरणियों की एक सरणी दिखाता है। तालिका 1 प्रत्येक डिजाइन के लिए क्रॉसटाइज संख्याओं को प्रदर्शित करती है। TCT में 6×4 के लिए क्रॉसटाइज की सबसे अधिक संख्या 15 है। यह माना जाता है कि एमटीसीटी में संबंधों की संख्या पांच है, जो टीसीटी, बीएल और एचसी संरचनाओं से काफी कम है, अर्थात् क्रमशः 15, 8 और 8।



चित्र 2. (a) टीसीटी (6x4) और (b) संशोधित-टीसीटी (6x4) की सरणी संरचना और विद्युत कनेक्शन

तालिका 1. विद्यमान और प्रस्तावित विन्यासों के लिए घनत्व और क्रॉस टाई की संख्या की तुलना

प्राचल	अभिविन्यास प्रकार				
	सपा	टीसीटी	नीला	कोर्ट	एमटीसीटी (प्रस्तावित)
क्रॉस टाई की संख्या	0	15	8	8	5
घनत्व % में	0	100	53	53	33

प्रदर्शन अनुपात (पीआर) की गणना

एसपीवी में, पीआर वह कारक है जिसका उपयोग एसपीवी प्रणाली की वास्तविक दक्षता की गणना करने के लिए किया जाता है। यह सौर विकिरण के अधूरे उपयोग और लोड पर उपलब्ध आउटपुट के अंश को दर्शाता है। यह किसी भी आकार और विभिन्न विकिरणों के तहत आंशिक रूप से छायांकित पीवी सरणियों की तुलना करने की अनुमति देता है।^[31] उच्चतर का अर्थ है उच्चतर प्रणाली दक्षता। PR इस प्रकार दिया गया है:

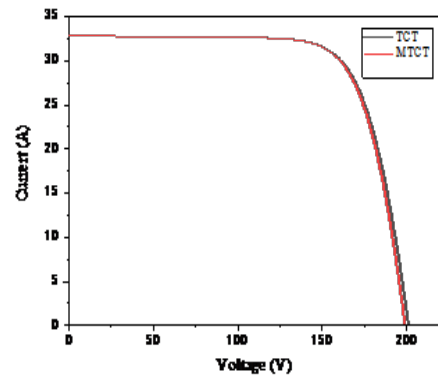
$$PR = \frac{PA}{IRA} * \frac{G}{Pdc} \quad (1)$$

जहाँ, W में सरणी की आउटपुट शक्ति है, W/m² में सरणी का कुल विकिरण स्तर है, संदर्भ विकिरण स्तर W/m² है और W में सरणी की dc रेटिंग है। साहित्य के अनुसार, यह देखा गया है कि क्रॉस टाई नुकसान भी सिस्टम के प्रदर्शन को प्रभावित करते हैं। पिछले अध्ययन में उल्लेख किया गया है कि 6×4 PV सरणी के लिए केबल के 4mm² के पार अनुभागीय क्षेत्र के लिए क्रॉस टाई और कनेक्शन नुकसान के कारण बिजली की हानि कुल आउटपुट पावर का 0.6% है। टीसीटी और एमटीसीटी विन्यास में क्रॉस टाई के कारण बिजली की हानि पर विचार करते हुए पीआर की गणना की गई है।^[32-34] क्रॉस टाई के कारण बिजली की हानि की गणना प्रति क्रॉस टाई बिजली की हानि का पता लगाकर की जाती है जो 0.03% है। जैसा कि तालिका 1 में बताया गया है, टीसीटी में अधिकतम क्रॉस टाई 15 है, इस प्रकार टीसीटी विन्यास के कारण अतिरिक्त बिजली की हानि 0.45% होती है, दूसरी ओर 5 क्रॉस टाई के साथ एमटीसीटी विन्यास में कुल बिजली उत्पादन का 0.15%

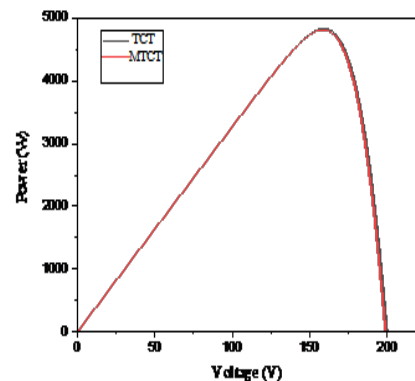
बिजली की हानि होती है। वर्तमान अध्ययन में, टीसीटी और एमटीसीटी विन्यास में मौजूद अतिरिक्त क्रॉस टाई के कारण अतिरिक्त बिजली की हानि पर विचार करके शुद्ध पीआर की गणना की जाती है।

नतीजे और चर्चाएं

मानक परीक्षण स्थितियों के तहत एकसमान विकिरण स्थिति (1000 W/m²) में 6×4 PV सरणी द्वारा उत्पादित अधिकतम शक्ति 4857 वाट है। यह देखा गया है कि एकसमान विकिरण के तहत दोनों विन्यास एक ही अधिकतम शक्ति का उत्पादन कर रहे हैं जैसा कि चित्र 3 में छायांकन के बिना TCT और MTCT विन्यास के वर्तमान-वोल्टेज और पावर-वोल्टेज विशेषता वक्रों में दिखाया गया है। सरणी और मॉड्यूल MPP शक्ति के साथ-साथ विभिन्न छायांकन मामलों के लिए सरणी का समग्र प्रदर्शन अनुपात (PR) अगले अनुभाग में दिखाया गया है।



(a) धारा-वोल्टेज



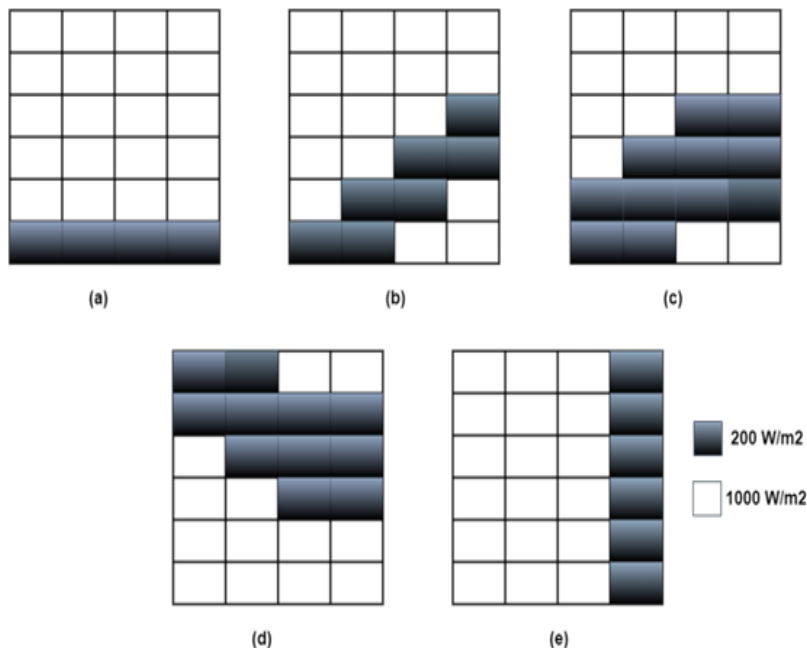
(b) पावर-वोल्टेज

चित्र 3. (a) धारा-वोल्टेज (b) शक्ति-वोल्टेज छायांकन के बिना टीसीटी और एमटीसीटी विन्यास के अभिलक्षणिक वक्र

वर्तमान कार्य में प्रयुक्त छायांकन केस उदाहरण

इस कार्य में PS स्थितियों के तहत TCT और MTCT विन्यास की जांच का विश्लेषण करने के लिए विभिन्न छायांकन मामलों पर विचार किया गया है। चित्र 4 में छायांकन के पाँच मामले दिखाए गए हैं जो साहित्य

में सबसे अधिक रिपोर्ट किए गए हैं^[35, 36] ये छायांकन मामले हैं मामला 1-नीचे एकल पंक्ति मामला 2-विकर्ण मामला 3-काल्पनिक 1 मामला 4- काल्पनिक 2 मामला 5-ऊर्ध्वाधर दायां स्तंभ।



चित्र 4. 6×4 पीवी सरणी के लिए विभिन्न छायांकन मामले: (a) निचली एकल पंक्ति, (b) विकर्ण, (c) काल्पनिक 1, (d) काल्पनिक 2, (e) ऊर्ध्वाधर दायां स्तंभ

एस पीवी सरणी के पावर आउट पुट पर विभिन्न आंशिक छायांकन मामलों का परिणाम विश्लेषण

शेडिंगकेस 1 (नीचे एकल पंक्ति): इस मामले में, प्रदर्शन का मूल्यांकन करने के लिए विकिरण के दो स्तरों का उपयोग किया जाता है। समूह एक (शीर्ष पांच पंक्तियाँ) 1000W/m² और समूह दो (नीचे की पंक्ति) 200W/m² विकिरण प्राप्त करता है। इस PS स्थिति में, पूरी अंतिम पंक्ति छायांकित है और अंतिम पंक्ति को छोड़कर सभी पंक्तियाँ पूर्ण विकिरण प्राप्त करता है। इस छायांकन मामले के लिए पावर आउटपुट और PR तालिका 2 में दिए गए हैं। TCT और MTCT विन्यास का प्रदर्शन अनुपात समान है, यानी 0.95। साथ ही, दोनों विन्यासों में ऊर्जा का अपव्यय करने वाले मॉड्यूल की संख्या समान है, यानी 4। TCT में अधिक क्रॉस टाई के कारण अतिरिक्त लागत को ध्यान में रखते हुए, समान आउटपुट पावर के साथ MTCT बेहतर विकल्प है।

प्रदर्शन अनुपात (पीआर) की गणना:

सरणी पर कुल विकिरण

$$= (\text{अछायांकित अनुखंडों की संख्या} \times 1000) + (\text{छायांकित अनुखंडों की संख्या} \times 200) \\ = 20 \times 1000 + 4 \times 200 = 20800$$

IRA की गणना इस प्रकार की जा सकती है

$$IRA = \frac{\text{सरणी पर कुल विकिरण}}{\text{सरणी में कुल अनुखंड}}$$

$$\Rightarrow \frac{20800}{24} = 866.66 \text{ W / m}^2$$

Pdc = सरणी में अनुखंडों की संख्या * एकल अनुखंड की MPP शक्ति = 24 * 202

TCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{4000}{866.66} \times \frac{1000}{24 \times 202} = 0.95$$

MTCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{3985}{866.66} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.95$$

छायांकन केस 2 (विकर्ण): इस मामले में, समूह एक (17 पैनल) को 1000W/m^2 विकिरण प्राप्त होता है और समूह 2 (विकर्ण 7 पैनल) 200W/m^2 विकिरण प्राप्त करते हैं। इस PS स्थिति में, छायांकन के अंतर्गत आने वाले सभी पैनल SPV सरणी की विभिन्न पंक्तियों से संबंधित हैं। विकर्ण छायांकन स्थितियों के दौरान पावर आउटपुट और PR तालिका 2 में दिए गए हैं। यह देखा जा सकता है कि विकर्ण छायांकन स्थितियों के तहत, MTCT विन्यास TCT विन्यास की तुलना में अधिक अधिकतम शक्ति उत्पन्न कर रहा है। MTCT का प्रदर्शन अनुपात 0.87 है, जो TCT (0.82) से बेहतर है। हालांकि परिणामों से यह भी देखा गया है कि ऊर्जा का अपव्यय करने वाले मॉड्यूल की संख्या TCT में उल्लेखनीय रूप से कम हो गई है यानी 11 यहाँ MTCT विन्यास को लागू करने का गुण यह है कि यह TCT की तुलना में कम क्रॉस टाई के कारण बेहतर शक्ति के साथ-साथ लागत को कम करता है।

प्रदर्शन अनुपात की गणना:

TCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{3088}{766.66} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.82$$

MTCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{3239}{766.66} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.87$$

छायांकन स्थिति 3 (काल्पनिक 1): इस मामले में समूह एक (वैकल्पिक पंक्तियों के 12 पैनल) को 1000W/m^2 विकिरण प्राप्त होता है और समूह 2 (12 पैनल) को 200W/m^2 विकिरण प्राप्त होता है। काल्पनिक 1 छायांकन के दौरान बिजली उत्पादन और PR तालिका 2 में दिए गए हैं। यह देखा जा सकता है कि काल्पनिक 1 छायांकन के तहत MTCT विन्यास TCT की तुलना में 0.81 के प्रदर्शन अनुपात के साथ बेहतर बिजली का उत्पादन कर रहा है जो 0.79 है। हालांकि इस छायांकन मामले में ऊर्जा का अपव्यय करने वाले मॉड्यूल की संख्या TCT में कम है यानी 8 जबकि MTCT में 10 मॉड्यूल हैं। इस छायांकन मामले के लिए, TCT की तुलना में MTCT आउटपुट पावर के साथ-साथ लागत

कारक पर विचार करने के लिए एक बेहतर विकल्प है।

प्रदर्शन अनुपात की गणना:

TCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{2327}{600} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.79$$

MTCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{2360}{600} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.81$$

छायांकन स्थिति 4 (काल्पनिक 2): इस मामले में, समूह एक (13 पैनल) 1000W/m^2 विकिरण प्राप्त करता है और समूह 2 (11 पैनल) 200W/m^2 विकिरण प्राप्त करता है। काल्पनिक 2 छायांकन स्थिति के दौरान बिजली उत्पादन और PR तालिका 2 में दिए गए हैं। यह देखा जा सकता है कि काल्पनिक 2 छायांकन के तहत MTCT विन्यास 0.66 PR वाले TCT विन्यास की तुलना में अच्छे प्रदर्शन अनुपात यानी 0.67 के साथ बेहतर अधिकतम शक्ति प्रदान कर रहा है। TCT में ऊर्जा का अपव्यय करने वाले मॉड्यूल की संख्या 8 है जो MTCT (9) की तुलना में कम है। इसके अलावा काल्पनिक 2 छायांकन मामले में, TCT की तुलना में MTCT आउटपुट पावर के साथ-साथ लागत कारक पर विचार करने के लिए एक बेहतर विकल्प है।

प्रदर्शन अनुपात की गणना:

TCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{2036}{633.33} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.66$$

MTCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{2075}{633.33} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.67$$

छायांकन केस 5 (ऊर्ध्वाधर दायां स्तंभ): इस मामले में, समूह एक (18 पैनल) को 1000W/m^2 विकिरण प्राप्त होता है और समूह 2 (6 पैनल) को 200W/m^2 विकिरण प्राप्त होता है। इस PS स्थिति में, पूरा चौथा स्तंभ छायांकित होता है और पहला, दूसरा और तीसरा स्तंभ पूर्ण विकिरण प्राप्त करता है। ऊर्ध्वाधर दाएँ दोहरे स्तंभ छायांकन की स्थिति के दौरान पावर आउटपुट और PR तालिका 2 में दिए गए हैं। यह देखा जा सकता है कि ऊर्ध्वाधर दाएँ स्तंभ छायांकन के तहत MTCT और TCT विन्यास 0.98 के प्रदर्शन अनुपात के साथ समान अधिकतम शक्ति प्रदान कर रहे हैं। परिणामों से यह भी देखा गया है कि इस छायांकन

मामले में कोई भी मॉड्यूल ऊर्जा का अपव्यय नहीं कर रहा है। ऊर्ध्वाधर छायांकन मामलों के लिए, TCT की तुलना में MTCT एक बेहतर विकल्प है क्योंकि समान आउटपुट पावर के साथ TCT में अधिक क्रॉस टाई के कारण अतिरिक्त लागत होती है।

प्रदर्शन अनुपात की गणना:

TCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{3086}{800} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.98$$

MTCT का PR इस प्रकार दिया जा सकता है

$$PR = \frac{3810}{800} * \frac{1000}{24 * 202} = 0.98$$

प्राप्त परिणाम से अवलोकन

परिणाम दर्शाते हैं कि एकसमान विकिरण के तहत, TCT और MTCT विन्यास समान आउटपुट पावर दे रहे हैं। हालाँकि, MTCT को प्राथमिकता दी जा सकती है क्योंकि इसमें क्रॉस टाई कम होती है और इसलिए यह कम खर्चीला होता है।

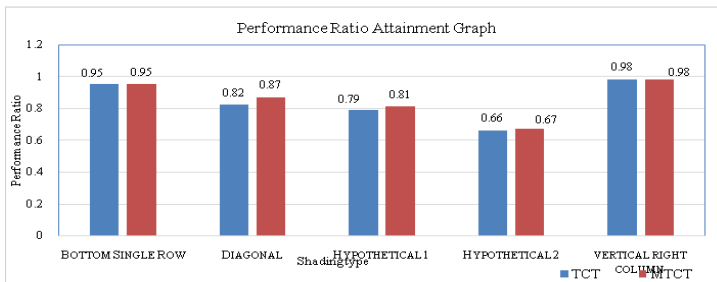
पांच विभिन्न आंशिक छायांकन स्थितियों के अंतर्गत, यह पाया गया कि MTCT ने तीन छायांकन मामलों (विकर्ण, काल्पनिक छाया मामला 1 और काल्पनिक छाया मामला 2) में तुलनात्मक रूप से अधिक अधिकतम शक्ति उत्पन्न की और दो छायांकन मामलों (नीचे पंक्ति छायांकन और ऊर्ध्वाधर दायीं स्तंभ छायांकन) में समान शक्ति उत्पन्न की। इसका मतलब है कि MTCT अधिकांश मामलों में TCT की तुलना में बेहतर प्रदर्शन करता है और इस प्रकार यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि अधिकतम छायांकन परिदृश्यों में MTCT एक उपयुक्त विकल्प हो सकता है।

ऐसे मामलों में जहां एमटीसीटी और टीसीटी विन्यास से समान आउटपुट पावर प्राप्त होती है, वहां भी एमटीसीटी को प्राथमिकता दी जा सकती है, क्योंकि इसमें एक-तिहाई क्रॉस टाई (अंतर-संयोजनों की कम संख्या

और इस प्रकार कम वायरिंग हानियां और जटिलताएं) होती हैं और इस प्रकार टीसीटी की तुलना में इसकी लागत 66% कम होती है, वह भी किसी भी आकार के पीवी सरणी की।

निष्कर्ष एवं भविष्य का काम

इस शोधपत्र में संशोधित TCT (MTCT) नामक एक नवीन PV व्यवस्था प्रस्तावित की गई है। वर्तमान कार्य में, PV 6×4 सरणी का उपयोग करते हुए पाँच छायांकन स्थितियों के लिए कुल क्रॉस टाईड (TCT) और MTCT विन्यास तथा MPP पर उनके प्रभाव की जाँच की गई है। परिणामों से यह देखा गया है कि समान विकिरण के तहत दोनों विन्यासों में प्राप्त अधिकतम शक्ति समान है। आंशिक छायांकन स्थितियों के तहत, MTCT अधिकांश छायांकन परिदृश्यों में TCT से बेहतर प्रदर्शन करता है। TCT एक बहुत मजबूत कनेक्शन है तथा इसके लिए बड़ी संख्या में अंतर्संबंधों तथा क्रॉस टाई की आवश्यकता होती है। सभी छायांकन स्थितियों का मूल्यांकन करने के बाद, MTCT सेटअप को शक्ति पूर्ति के लिए अनुकूलित दिखाया गया है। प्रस्तावित प्रक्रिया ने लगभग बराबर या बेहतर माप की शक्ति बनाने में TCT के साथ कम जटिलता तथा कम लागत के साथ वायरिंग समस्याओं (जैसे अतिरेक) को अनिवार्य रूप से कम किया है। MTCT व्यवस्था हर आजमाई गई स्थिति में विश्वसनीय रूप से अच्छा प्रदर्शन करती है। परिणामों को विभिन्न अन्य छायांकन परिदृश्यों पर भी मान्य किया गया है, लेकिन स्थान की आवश्यकताओं के कारण यहाँ नहीं दिखाया गया है। इसके अतिरिक्त, MTCT का प्रदर्शन अधिकांश छायांकन मामलों में सुसंगत है, जो बड़े PV ढांचे की विश्वसनीयता और स्थिरता सुनिश्चित करता है। इसलिए, यह साबित हो गया है कि प्रस्तावित सेटअप बड़े PV ढांचे के अनुप्रयोगों में बहुत अधिक ध्यान आकर्षित करेगा।



चित्र 5. प्रदर्शन अनुपात प्राप्ति ग्राफ

सन्दर्भ

1. Khan J, Arsalan MH. "Solar power technologies for sustainable electricity generation—A review: Renew Sustain Energy Rev, vol. 55, pp 414–425, (2016).
2. Ali Bidram, Ali Davoudi, and Robert S. Balog, Senior Member, IEEE "Control and Circuit Techniques to Mitigate Partial Shading Effects in Photovoltaic Arrays, IEEE Journal of Photovoltaic, Vol. 2, No. 4, pp 532-547, (2012).
3. J. Ahmed and Z. Salam, "A critical evaluation on maximum power point tracking methods for partial shading in PV systems," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 47, pp. 933-953, (2015).
4. Lei, P., Li, Y., Seem, J.E., "Sequential ESC-based global MPPT control for photovoltaic array with variable shading, IEEE Trans. Sustain. Energy 2 (3), pp. 348-358, (2011).
5. Paraskevadaki, E.V., Papathanassiou, S.A., "Evaluation of MPP voltage and power of mc-Si PV modules in partial shading conditions,, IEEE Trans. Energy Convers. 26 (3), pp. 923–932, (2011).
6. Dileep, G, S.N Singh, "Application of soft computing techniques for maximum power point tracking of SPV system," Solar Energy, vol. 141, pp. 182-202, (2017).
7. J. Prasanth Ram, T. Sudhakar Babu, N. Rajsekar "A comprehensive review on solar PV maximum power point tracking techniques" Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 67, pp. 826-847, (2017).
8. Ruddin Syafa, E. Karatepe and T. Hiyama, "Artificial neural network-polar coordinated fuzzy controller based maximum power point tracking control under partially shaded conditions," Renewable Power Generation, vol. 3, no. 2, pp. 239-253, (2009).
9. Hester Richard K., Christopher Thornton, Sairaj Dhople, Zeng Zao, Nagarajan Sridhar, and Dave Freeman, "High efficiency wide load range buck/boost/bridge photovoltaic microconverter," Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp. 309-313, (2011).
10. Velasco, Quesada Guillermo, Francisco Guinjoan-Gispert, Robert Piqué-López, Manuel Román-Lumbreras and Alfonso Conesa-Roca, "Electrical PV array reconfiguration strategy for energy extraction improvement in grid-connected PV systems," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 11, pp. 4319-4331, (2009).
11. Spagnuolo Giovanni, Giovanni Petrone, Brad Lehman, Carlos Andres Ramos Paja, Ye hZao and Martha Lucia Orozco Gutierrez, "Control of photovoltaic arrays: dynamical reconfiguration for fighting mismatched conditions and meeting load requests," IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 9, no. 1, pp. 62-76, (2015).
12. Ji Young & Hyok, Doo-Yong Jung, Jae-Hyung Kim, Chung-Yuen Won and Dong-Sung Oh, "Dual mode switching strategy of flyback inverter for photovoltaic AC modules," IEEE International Power Electronics Conference (IPEC), pp. 2924-2929, (2010).
13. L.F.L. Villa, T.Ho, J.C. Crebier and B. Raison, A power electronics equalizer application for partially shaded photovoltaic modules,, IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 60, no. 3, pp. 1179–1190, (2013).
14. S. Vijayalekshmy, S. Ramalayer, and B. Beevi, "Analysis of solar photovoltaic array configurations under changing illumination conditions," in 2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies ICCPCT-2014, pp. 1032-1037, (2014).
15. S. Khatoon, Ibraheem, and M. F. Jalil, "Analysis of solar photovoltaic array under partial shading conditions for different array configurations," in 2014 Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their impact on Humanity (CIPECH), 2014, pp. 452-456.
16. F. Belhachat and C. Larbes, "Modeling, analysis and comparison of solar photovoltaic array configurations under partial shading conditions," Solar Energy, vol. 120, pp. 399-418, (2015).
17. R. Ramabadran and B. Mathur, "Effect of shading on series and parallel connected Solar PV modules," Modern Applied Science, vol. 3, no. 10, p. 32, (2009).
18. R. Candela, V. d. Dio, E. R. Sanseverino, and P. Romano, "Reconfiguration Techniques of Partial Shaded PV Systems for the Maximization of Electrical Energy Production," in 2007 International Conference on Clean Electrical Power, 2007, pp. 716-719.
19. M. Jazayeri, S. Uysal, and K. Jazayeri, "A comparative study on different photovoltaic array topologies under partial shading conditions," in 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition, pp. 1-5, (2014).
20. R. D. d. O. Reiter, L. Michels, J. R. Pinheiro, R. A. Reiter, S. V. G. Oliveira, and A. Péres, "Comparative analysis of series and parallel photovoltaic arrays under partial shading conditions," in 2012 10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, pp. 1-5, (2012).
21. J. Kumar and S. Vadhera, "Maximum power of PV plant for SP and TCT topologies under different shading conditions," in 2014 IEEE 6th India International Conference on Power Electronics (IICPE), pp. 1-4, (2014).
22. SangramBana and R.P Saini "Experimental investigation on power output of different photovoltaic array configurations under uniform and partial shading scenarios" in Energy Volume 127, Pages 438-453, (2017).
23. N.K. Gautam and N.D. Kaushika, "Reliability

- evaluation of solar photovoltaic arrays," *Solar Energy*, vol. 72, no. 2, pp. 129-141, (2002).
24. N. K. Gautam and N. D. Kaushika, "An efficient algorithm to simulate the electrical performance of solar photovoltaic arrays," *Energy*, vol. 27, no. 4, pp. 347-361, (2002).
 25. D. Picault, B. Raison, S. Bacha, J. de la Casa, and J. Aguilera, "Forecasting photovoltaic array power production subject to mismatch losses," *Solar Energy*, vol. 84, no. 7, pp. 1301-1309, (2010).
 26. S. Hamdi, D. Saigaa, and M. Drif, "Modeling and simulation of photovoltaic array with different interconnection configurations under partial shading conditions for fill factor evaluation," *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, pp. 25-31, (2014).
 27. C.A. Ramos-Paja, J.D. Bastidas, A.J. Saavedra-Montes, F. Guinjoan-Gispert, and M.Goez, "Mathematical model of total cross-tied photovoltaic arrays in mismatching conditions," *IEEE 4th Colombian Workshop on Circuits and Systems (CWCAS)*, pp. 1-6, (2012).
 28. S. Mohammadnejad, A. Khalafi, and S. M. Ahmadi, "Mathematical analysis of total-cross-tied photovoltaic array under partial shading condition and its comparison with other configurations," *Solar Energy*, vol. 133, pp. 501-511, (2016).
 29. R.Ramaprabha and B.L. Mathur, "A Comprehensive Review and Analysis of Solar Photovoltaic Array Configurations under Partial Shaded Conditions," *International Journal of Photoenergy*, Article pp. 1-16, (2012).
 30. R.K Pachauri, O.P. Mahela, "Impact of Partial Shading on Various PV Array Configurations and Different Modeling Approaches: A Comprehensive Review," *IEEE Power & Energy Society Section*, pp.181375-181403, Vol. 8 (2020).
 31. M. Sankar, R. Ramabadran, "Comprehensive analysis on the role of array size and configuration on energy yield of photovoltaic systems under shaded conditions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 672-679, (2015).
 32. R.Pachauri, R.Singh, "Experimental analysis to extract maximum power from PV array reconfiguration under partial shading conditions," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, pp 109-130, vol. 22, Feb (2019).
 33. M.Prabhu, "Sudoku Reconfiguration Technique to Enhance the Maximum Power under Partial Shading Conditions in PV arrays," *International Journal of Scientific Development and Research*, pp. 275-282, vol. 5, (2020).
 34. N.Rajan, K.Shrikant, "Solar PV array reconfiguration using the concept of Standard deviation and Genetic Algorithm," *Energy Procedia*, pp.1062-1069, vol. 117, (2017).
 35. A. Ajmal, S. Thanikanti "Static and dynamic reconfiguration approaches for mitigation of partial shading influence in photovoltaic arrays," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, (2020).
 36. H. Sahu, S. Nayak, "Maximizing the Power Generation of a Partially Shaded PV Array," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Jan. (2015).
 37. A. Yadav, R. Pachauri, "Performance enhancement of partially shaded PV array using novel shade dispersion effect on magic&square puzzle configuration," *Solar Energy*, pp 780-797, vol.144, (2017).
 38. S. Vijayalekshmy, Bindu G R "A novel Zig-Zag scheme for power enhancement of partially shaded solar arrays," *Solar Energy*, pp 92-102, vol.135, Oct (2016).
 39. V. Tatabhatla, A. Agarwal "A generalized chaotic baker map configuration for reducing the power loss under shading conditions," *Electrical Engineering*, pp 2227-2244, vol. 102, (2020).
 40. K. Yadav, B. Kumar, "Mitigation of Mismatch Power Losses of PV Array under Partial Shading Condition using novel Odd Even Configuration," *Energy Reports*, pp 427-437, vol. 6, (2020).
 41. G.Velasco-Quesada, F.Guinjoan-Gispert, R.Pique-Lopez, M.Roman-Lumbreras, and A. Conesa-Roca, "Electrical PV Array Reconfiguration Strategy for Energy Extraction Improvement in Grid-Connected PV Systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 11, pp. 4319-4331, (2009).
 42. Khanna V, Das B, Bisht D, Singh P "A three diode model for industrial solar cells and estimation of solar cell parameters using PSO algorithm," *Renew Energy*, pp 105-113, vol 78, (2015).
 43. V.Tamrakar, S. Gupta, "Single-Diode PV Cell Modeling and Study of Characteristics of Single and Two-Diode Equivalent Circuit," *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ)*, pp 13-24, vol 4, (2015).
 44. V. Madhanmohan, A. Saleem, "An Algorithm for Enhanced Performance of Photovoltaic Array Under Partial Shading Condition," *IEEE Access*, pp 176947-176959 vol 8, (2020).
 45. Pendem SR, Mikkili S. "Modeling, simulation and performance analysis of solar PV array configurations (Series, Series-Parallel and Honey-Comb) to extract maximum power under Partial Shading Conditions," *Energy Report*, pp 274-87, (2018).
 46. Performance ratio – quality factor for the PV plant. SMA. <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI&en&11.pdf> 'Retrieved 15/09/2016.
 47. S. Ekici, M A Kopru, "Investigation of PV System Cable Losses," *International Journal of Renewable Energy Research*, pp. 807-815, vol. 7, (2017).
 48. <https://www.aurorasolar.com/blog/understanding-pv-system-losses-part-2-wiring-connections-and-system-availability/>

