आरकेडीएफ विश्वविद्यालय के 100 किलोवॉट–पीक छत के सौर ऊर्जा संयंत्र के बिजली प्रणाली का इष्टतमन

Power System Optimization of 100kW-peak Roof Top Solar Power Plant of RKDF University

डॉ. संजय जैन[1], डॉ. शिल्पा कलंबे[2], डॉ. वी. के. सेठी[3]

Dr. Sanjay Jain[1], Dr. Shilpa Kalambe[2]* *(Corresponding Author)*, Dr. V. K. Sethi[3]

[1]Professor, Electrical and Electronics Engineering Department, Sri Satya Sai College of Engineering, R.K.D.F. University

[2]Associate Professor, Electrical Engineering Department Waingana College of Engineering and Management, Nagpur

[3]Director General Research, R.K.D.F. University, Bhopal

jain.san12@gmail.com, shilpakalambe@gmail.com, vksethi1949@gmail.com

https://doie.org/10.0820/VP.2024399572

सारांश

बिजली प्रणाली का इष्टतमन, उस प्रक्रिया को संदर्भित करता है जिसमें विद्युत ऊर्जा जाल (Power Grid) जैसे बिजली प्रणाली के प्रदर्शन को बेहतर बनाने के लिए गणितीय कलन विधि (Mathematical Algorithm) और संगणकीय विधियों का उपयोग किया जाता है। इसका उद्देश्य विश्वसनीय संचालन को सुनिश्चित करते हुए लागत को कम करना और/या क्षमता में सुधार करना है। इष्टतमन प्रक्रिया उत्पादन लागत, मांग, संचरण और वितरण प्रतिबंध और पर्यावरणीय प्रभाव जैसे कारकों को ध्यान में रखती है। इसकी प्रयुक्त तकनीकों में रैखिक प्रोग्रामन (linear programming), गतिशील प्रोग्रामन (dynamic programming) और स्वानुभाविक तकनीक (heuristics) शामिल हैं। बिजली प्रणाली इष्टतमन की योजना आर्थिक, पारिस्थितिक और सुरक्षा संबंधी समस्याओं को ध्यान में रखते हुए एकीकृत विद्युत शक्ति प्रणाली के संचालन में विभिन्न इष्टतमन विधियों को लागू करके बनाई जाती है। विद्युत ऊर्जा के उपयोग को इष्टतम करने और उसकी प्रणाली की कुशलता को बढ़ाने के लिए विशिष्ट खोज और इष्टतमन की विधियों (optimization methods) को स्थापित करने के लिए उन्नत जैविक सिद्धांतों (Advanced evolutionary principles) का उपयोग किया जाता है। यह शोध पत्र आरकेडीएफ विश्वविद्यालय, भोपाल, मध्य प्रदेश के 100 किलोवॉट–पीक के छत पर स्थित सौर ऊर्जा संयंत्र के प्रदर्शन का विश्लेषण करता है। इसके प्रदर्शन को सत्यापित करने के लिए रखरखाव परीक्षण किए गए और उनके परिणामों का विश्लेषण बताता है कि संयंत्र का वार्षिक औसत जनन अपेक्षित जनन के समानीत मूल्य से कम है। प्रणाली के प्रदर्शन को सुधारने के लिए विश्लेषणात्मक इष्टतमन की योजना बनाई गई है, जो इसकी उन्नत कुशलता के संदर्भ में अनुकूलित समाधान सुनिश्चित करेगी।

Abstract

Power system optimization refers to the process of improving the performance of a power system, such as a power grid, by using mathematical algorithms and computational methods. The objective is to minimize the cost and/or improve efficiency while ensuring reliable operation. The optimization process considers factors such as generation costs, demand, transmission and distri-

bution constraints, and environmental impact. Techniques used in it include linear programming, dynamic programming, and heuristics. It is planned by implementing various methods of optimization in integrated electric power system operation considering economic, ecological and security concerns. To establish arbitrary search and optimization procedures, advanced evolutionary principles are included to optimize the power utilization to enhance the efficiency of the system.This paper presents the state of art applied for performance optimization of 100kWp Roof Top Solar Power plant installed at RKDF university, Bhopal, Madhya Pradesh. To verify its performance maintenance tests are performed and analysis of the output revealed that annual average generation of the plant is low as compared to expected generation. To improve the performance of the system analytical optimization techniques are planned which will ensure its optimized solution in terms of enhanced efficiency.

मुख्य शब्द – बिजली प्रणाली इष्टतमन, विद्युत ऊर्जा जाल, सौर ऊर्जा प्रणाली, छत का सौर ऊर्जा संयंत्र

Keywords- Power System Optimization, power grid, solar PV system, rooftop solar plant

परिचय

छत पर स्थापित सौर ऊर्जा संयंत्र (Roof Top Solar PV plant) एक प्रणाली है जो किसी भी इमारत जैसे घर, दुकान या कार्यालय की छत पर सौर पैनल का उपयोग करके बिजली उत्पन्न करती है। इस प्रणाली में सौर पैनल होते हैं, जो सौर कोशिकाओं (solar cells) से बने होते हैं और सूर्य की किरणों को बिजली में परिवर्तित करते हैं। छत पर लगे सौर ऊर्जा संयंत्र में सौर पैनल, माउंटिंग स्ट्रक्चर्स (mounting structures), अंर्तवर्तक (inverter) और अन्य विद्युत उपकरण शामिल होते हैं, जो बिजली उत्पन्न, प्रेषण और वितरण के लिए आवश्यक होते हैं।

छत के सौर ऊर्जा संयंत्र द्वारा उत्पन्न की गयी बिजली का उपयोग इमारत के भीतर किया जा सकता है या विद्युत ग्रिड को निर्यात किया जा सकता है [1]। इन संयंत्रों की लोकप्रियता उनके पर्यावरणीय लाभ जैसे कि कार्बन उत्सर्जन में कमी और वित्तीय लाभ जैसे कि ऊर्जा लागत में कमी और अतिरिक्त बिजली बेचकर कमाई की संभावना के कारण बढ़ रही है।

सौर पैनल सूर्य की रोशनी को पकड़ते हैं और उसे प्रत्यक्ष विद्युत धारा (DC) में परिवर्तित करते हैं, जिसे फिर अंर्तवर्तक के माध्यम से परोक्ष विद्युत धारा (AC) में परिवर्तित किया जाता है। उत्पन्न की गयी परोक्ष विद्युत धारा का उपयोग स्थानीय रूप से किया जा सकता है या विद्युत ग्रिड को बेचा जा सकता है।

सौर ऊर्जा संयंत्र की महत्ता उनकी प्राकृतिक रूप से सौर ऊर्जा को बिजली में परिवर्तित करने की क्षमता में है। हालांकि, सौर ऊर्जा संयंत्र तुरंत बिजली भार मांग (Load Demand) को तत्काल प्रतिक्रिया नहीं दे सकते हैं इसीलिए वे उपभोक्ताओं की आवश्यकताओं के साथ तुरंत संगत नहीं होते हैं।

हाल ही में, विद्युत ग्रिड से जुड़े सौर ऊर्जा संयंत्रों में ऊर्जा संग्रहण का उपयोग किया जा रहा है ताकि बिजली भार प्रबंधन में नम्यता लायी जा सके और वितरण ग्रिड की कुछ महत्वपूर्ण विद्युत गुणवत्ता समस्याओं का समाधान किया जा सके। इससे सौर ऊर्जा संयंत्र को और अधिक उपयोगी और कुशल बनाया जा सकता है।

कई बैटरी प्रबंधन तकनीकों को इस तरह से विकसित किया गया है कि वे सौर ऊर्जा संयंत्र को विद्युत ग्रिड में अधिक प्रभावी तरीके से शामिल कर सकें। हालांकि, ऊर्जा नीतियों का विकास सौर ऊर्जा प्रणालियों के व्यापक अनुप्रयोग को प्रतिबंधित करता है [2]। प्रत्येक प्रकार के ऊर्जा स्रोत या प्रौद्योगिकी के अपने विशेष लाभ और हानियाँ होती हैं। उचित प्रकार का चयन विभिन्न पहलुओं जैसे स्थल की स्थिति, उपभोक्ता की आवश्यकता और कीमत पर

निर्भर करता है [3]।

सौर ऊर्जा प्रणाली के प्रकार [1-4]

सौर ऊर्जा संयंत्र के उचित आकार का चयन कई कारकों पर निर्भर करता है, जैसे उपभोक्ता की आवश्यकताएँ, स्थल के पास विद्युत ग्रिड की पहुँच और संरचना की स्थानीय स्थिति। प्रत्येक सौर ऊर्जा प्रणाली की योजना विभिन्न लाभ और हानियाँ प्रस्तुत करती है और प्रणाली का चयन हितधारकों की विशिष्ट आवश्यकताओं पर निर्भर करता है। सौर ऊर्जा प्रणालियों की एक विस्तृत श्रेणी होती है, जो सौर प्रौद्योगिकी के विभिन्न अनुप्रयोगों और उपयोगकर्ताओं की आवश्यकताओं के साथ मेल खाती है, जिससे उन्हें अधिकतम लाभ मिल सके। स्थापना प्रक्रिया, इष्टतम व्यवस्था और स्थान निर्धारण के नम्यता के अनुसार, निम्नलिखित मुख्य प्रकार की सौर ऊर्जा (PV) प्रणालियाँ आमतौर पर उपयोग की जाती हैं:

1. **विद्युत ऊर्जा जाल–बाँध रहित सौर ऊर्जा प्रणाली (Off-Grid Photovoltaic Systems)**:

   इन प्रणालियों का विद्युत ऊर्जा जाल से कोई संबंध नहीं होता है और ये उत्पन्न ऊर्जा को संग्रहित करने के लिए विद्युत अधिकोष (Battery Bank) पर निर्भर होती हैं। ये आमतौर पर उन दूरस्थ स्थानों में उपयोग की जाती हैं जहाँ विद्युत ऊर्जा जाल पहुंचाना संभव नहीं होता है।

2. **विद्युत ऊर्जा जाल–बाँध सौर ऊर्जा प्रणाली (Grid-Tied Photovoltaic Systems)**:

   इन प्रणालियों को विद्युत ऊर्जा जाल से जोड़ा जाता है। ये अतिशेष ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा जाल में वापस दे सकती हैं और विद्युत अधिकोष पर निर्भर नहीं होती हैं क्योंकि वे विद्युत ऊर्जा जाल पर निर्भर होती हैं।

3. **समकेंद्रित सौर ऊर्जा प्रणाली (Concentrated Solar Photovoltaic Systems)**:

   इस प्रकार की प्रणाली सूरज के प्रकाशाणु (photons) को संचित करने के लिए दर्पण या लेंस का उपयोग करती है, जिससे प्रणाली का प्रदर्शन बढ़ता है।

4. **संकरित सौर ऊर्जा प्रणाली (Hybrid Solar Photovoltaic Systems)**:

   ये प्रणालियाँ बाँध रहित और बाँध सौर ऊर्जा प्रणाली दोनों की विशेषताओं का सम्मिश्रण करती हैं। ये विद्युत ऊर्जा जाल और विद्युत अधिकोष दोनों पर निर्भर होती हैं, जिससे विद्युत ऊर्जा जाल अनुपयोग काल (Power Outage) के दौरान उपभोक्ताओं को बिजली पहुँचाने में सक्षम होता है।

5. **भवन–एकीकृत सौर ऊर्जा प्रणाली (Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) Systems)**:

   इस प्रकार की प्रणाली इमारत की संरचना में सौर ऊर्जा कोशिकाओं को समाहित करती है। इससे इमारत बिजली उत्पन्न कर सकती है और साथ ही छाया या तापावरोधन (Insulation) का कार्य भी करती है।

6. **वहनीय सौर ऊर्जा प्रणाली (Portable Photovoltaic Systems)**:

   ये प्रणाली वहनीय होती है और आमतौर पर बाहरी आयोजनों या विद्युत ऊर्जा जाल की पहुँच कम होने वाले दूरस्थ स्थलों में उपयोग की जाती है।

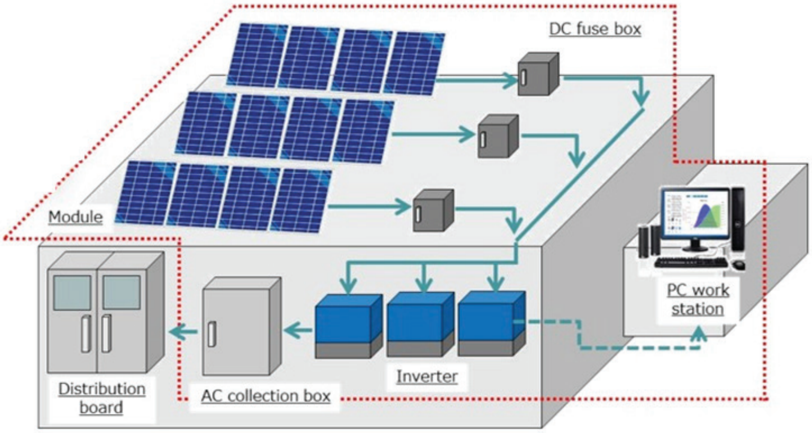
छत पर स्थित सौर ऊर्जा संयंत्र के घटक

सौर ऊर्जा पैनलों के अलावा, सौर ऊर्जा प्रणाली में अन्य कई महत्वपूर्ण घटक होते हैं:

- **सौर कोशिकाएँ (Solar Cells)**: सूर्य की किरणों को बिजली में परिवर्तित करती हैं।
- **बढ़ते ढांचे (Mounting Structures)**: सौर पैनलों को स्थापित करने के लिए।
- **अंतर्वर्तक (Inverter)**: प्रत्यक्ष विद्युत धारा (DC) को परोक्ष विद्युत धारा (AC) में परिवर्तित करने के लिए।

- **तार और केबल** (**Wires and Cables**): विद्युत प्रवाह के लिए।
- **निगरानी और सुरक्षा उपकरण** (**Monitoring and Security Devices**): प्रणाली की स्थिति और सुरक्षा के लिए।
- **विद्युत ऊर्जा मीटर** (**Electric Meter**): उत्पन्न और उपयोग की गई बिजली की मात्रा को मापने के लिए।

यह प्रणाली एक नवाचारी ऊर्जा प्रणाली (Renewable Energy System) है और आमतौर पर किसी इमारत की छत पर स्थापित की जाती है [3]। इन घटकों का समन्वित कार्य सौर ऊर्जा को प्रभावी रूप से संचित, परिवर्तित और उपयोग करने की क्षमता सुनिश्चित करता है, जिससे पर्यावरणिक धारा को बनाए रखा जा सकता है [4]।



चित्र 1: सौर ऊर्जा प्रणाली के घटक [5]

चित्र 1 में सौर ऊर्जा प्रणाली के मौलिक घटक देख सकते हैं, जिनमें प्रत्येक को निम्नलिखित रूप में स्पष्ट किया गया है:

1. **सौर ऊर्जा कोशिका** (**Solar Panel**): ये प्रणाली के सबसे महत्वपूर्ण घटक होते हैं। इनमें सौर प्रकाशाणु का उपयोग करने वाली सौर कोशिकाएं होती हैं, जो प्रत्यक्ष विद्युत (DC) शक्ति उत्पन्न करती हैं।
2. **अंर्तवर्तक** (**Inverter**): सौर ऊर्जा कोशिकाओं द्वारा उत्पन्न DC शक्ति को अंर्तवर्तक के माध्यम से विद्युत विपरीत (AC) शक्ति में परिवर्तित किया जाता है। उसके बाद इस परिवर्तित शक्ति को आवश्यकतानुसार बढ़ाया जा सकता है और इसे घरेलू उपकरणों की आपूर्ति करने या विद्युत ऊर्जा जाल में वापस भेजने के लिए प्रयुक्त किया जाता है।
3. **विद्युत विपरीत** (**AC**) **शक्ति संग्रहण सन्दूक** (**AC Collection Box**): यह संग्रहण सन्दूक सौर ऊर्जा कोशिकाओं से उत्पन्न विद्युत विपरीत (AC) शक्ति को एकत्रित और संयोजित करता है और इसे अंर्तवर्तक की ओर प्रवाहित करता है।
4. **प्रत्यक्ष विद्युत धारा फ्यूज सन्दूक** (**DC Fuse Box**): इसका उपयोग शॉर्ट सर्किट, बिजली अधिभार और अन्य दोषों के मामले में वर्तमान प्रवाह को रोककर प्रणाली के घटकों को सुरक्षित रखने के लिए किया जाता है।

5. **विद्युत तार (Electric Wiring)**: इसका उपयोग सौर पैनलों को अंर्तवर्तक से और फिर इमारत के उपकरणों या विद्युत ऊर्जा जाल से जोड़ने में होता है।
6. **वितरण तख्ता (Distribution Board)**: यह छत के सौर ऊर्जा प्रणाली का महत्वपूर्ण हिस्सा होता है। यह सौर ऊर्जा प्रणाली का उत्पादन संयोजित, निगरानी और सुरक्षित करता है, फिर उसे अंर्तवर्तक की ओर मोड़ता है।
7. **संगणक कार्य स्थल (PC Work Station)**: यह पूरी प्रणाली की निगरानी, नियंत्रण और विश्लेषण करने के लिए एक केंद्र के रूप में कार्य करता है। इससे संयंत्र अभियंता और प्रचालक प्रणाली के प्रदर्शन और विशेषताओं को इष्टतम करने, प्रणाली प्राचल (parameters) और किसी भी समस्या की जांच और समाधान करने में सक्षम होते हैं।
8. **बैटरी (Battery)**: विद्युत ऊर्जा जाल–बाँध रहित सौर ऊर्जा प्रणाली में बैटरी का उपयोग अतिरिक्त ऊर्जा को संग्रहित करने के लिए किया जाता है, जो सूर्य की किरणों की अनुपस्थिति में उपयोग की जा सकती है।
9. **बढ़ते ढांचे (Mounting Structures)**: इनका उपयोग सौर पैनलों को छत पर या इमारत के अन्य उपयुक्त स्थानों पर स्थापित करने के लिए किया जाता है।

समग्र रूप से ये घटक नवीकरणीय ऊर्जा उत्पन्न करने और ग्रिड पर निर्भरता को कम करने के लिए अत्यधिक महत्वपूर्ण हैं। यह बिजली की लागत और कार्बन उत्सर्जन को कम करने में भी मदद करता है।

अनुसंधान उद्देश्य और उनका प्रभाव

छत पर सौर प्रणालियों के संदर्भ में बिजली प्रणाली की इष्टतमन प्रक्रिया के लिए अनुसंधान उद्देश्यों में निम्न उद्देश्य शामिल हैं:

1. **नवाचारी नियंत्रण और इष्टतमन**: छत सौर ऊर्जा संयंत्र को बिजली विद्युत जाल में शामिल करने के लिए नवाचारी नियंत्रण और इष्टतमन तकनीकों की खोज करना। इसका उद्देश्य बि. जली प्रणाली की स्थिरता और विश्वसनीयता में सुधार करना है।
2. **प्रभाव मूल्यांकन**: सौर ऊर्जा प्रणाली बिजली विद्युत जाल पर कई सकारात्मक प्रभाव डालती हैं, जैसे ऊर्जा उत्पादन में वृद्धि, शिखर लोड प्रबंधन, पर्यावरणीय लाभ और आर्थिक प्रभाव। इन चुनौतियों का समाधान प्रौद्योगिकी और नीति के माध्यम से किया जा सकता है।
3. **वित्तीय और पारिस्थितिक प्रभाव मूल्यांकन**: सौर ऊर्जा प्रणाली आधुनिक ऊर्जा उत्पादन में क्रांतिकारी बदलाव ला रही है। यह न केवल पर्यावरण के अनुकूल है, बल्कि वित्तीय दृष्टिकोण से भी लाभदायक है।
4. **स्थिरता और प्रदर्शन मूल्यांकन**: छत पर स्था. पित सौर प्रणालियों की स्थिरता और प्रदर्शन का मूल्यांकन करना महत्वपूर्ण है ताकि ये प्रणालियाँ लंबे समय तक सटीक और कुशलता से कार्य करती रहें।
5. **मौसम पर प्रभाव विश्लेषण**: स्थानीय जलवायु परिस्थितियों को ध्यान में रखते हुए मौसम की स्थितियों के प्रभाव का विश्लेषण करना। इससे सौर पैनलों के प्रदर्शन को अधिकतम किया जा सकता है।
6. **भंडारण प्रणालियों को जोड़ना**: विद्युत ऊर्जा जाल में ऊर्जा भंडारण प्रणालियों को जोड़ने की जांच करना और इन उपायों के प्रभाव का मूल्यांकन करना।
7. **नीतिगत और प्रोत्साहन प्रभाव अध्ययन**: नेटवर्क में सौर ऊर्जा प्रणाली के लागू होने पर उपलब्ध नियामक नीतियों और प्रोत्साहकों के प्रभाव का अध्ययन करना।
8. **स्थिरता और प्रदर्शन की पुष्टि और सुधार**: बिजली आपूर्ति की स्थिरता और कुशलता को

सुनिश्चित करना और सुधारने के लिए अनुसंधान करना।

ये अनुसंधान उद्देश्य विद्युत शक्ति प्रणाली के क्षेत्र में प्रगति की क्षमता रखते हैं और विद्युत उत्पादन और वितरण के लिए अधिक स्थिर, विश्वसनीय और कुशल भविष्य का योगदान कर सकते हैं [5]।

छत पर सौर प्रणालियों को मौजूदा विद्युत ऊर्जा जाल में शामिल करना ऊर्जा क्षेत्र में महत्वपूर्ण लाभ प्रदान करता है। इन लाभों में बिजली विद्युत ऊर्जा जाल स्थिरता में सुधार, लागत में कमी, नवाचार की बढ़ती उपयोगिता, नियामक अनुपालन, ऊर्जा कुशलता में सुधार और प्रणाली की सुरक्षा और उत्पादन में वृद्धि शामिल हैं। इस एकीकरण से न केवल विद्युत प्रणाली का अधिकतम उपयोग हो सकता है, बल्कि यह उत्पादन और वितरण में स्थिरता और कुशलता भी प्रदान करता है [6]।

1. **बेहतर बिजली विद्युत ऊर्जा जाल स्थिरताः** छत के सौर प्रणालियों को बिजली विद्युत ऊर्जा जाल में शामिल करने के लिए उन्नत नियंत्रण और इष्टतम तकनीकों के विकास से ग्रिड की स्थिरता और विश्वसनीयता में सुधार किया जा सकता है [7]। यह सुधार बेहतर बिजली आपूर्ति और सुरक्षित ऊर्जा प्रबंधन सुनिश्चित करता है।
2. **लागत में कमीः** छत के सौर प्रणालियों द्वारा उत्पन्न सौर ऊर्जा के वितरण और भंडारण को अनुकूलित करके लागत में कमी की जा सकती है। यह बचत उपभोक्ताओं और यूटिलिटी कंप. नियों दोनों को आर्थिक लाभ प्रदान करती है।
3. **नवाचारी ऊर्जा का अधिक उपयोगः** सौर ऊर्जा इमारत परियोजनाओं के आर्थिक और पर्यावरण ीय लाभों का मूल्यांकन करके नवाचारी ऊर्जा का उपयोग बढ़ाया जा सकता है। इससे फॉसिल ईंधनों के उपयोग को कम करके कार्बन उत्स. र्जन में कमी लाई जा सकती है, जो पर्यावरणीय स्थिरता के लक्ष्यों के अनुकूल है।
4. **नियमनीय अनुपालनः** सरकारी नीतियों और प्रो. त्साहनों के प्रभाव का विश्लेषण करके छत के सौर प्रणालियों के अपनाने और एकीकरण पर इसके प्रभाव का अध्ययन करने से ऊर्जा क्षेत्र में एक मजबूत भविष्य के लिए योगदान हो सकता है।
5. **ऊर्जा कुशलताः** नई तकनीकों, जैसे ऊर्जा भंडारण, के एकत्रीकरण के माध्यम से ऊर्जा कुशलता को बढ़ावा दिया जा सकता है। इससे ऊर्जा का अधिक संवाद संभव हो सकता है और ऊर्जा की बर्बादी कम की जा सकती है।
6. **सुरक्षा और प्रणाली उत्पादन में सुधारः** सौर छतों की सुरक्षा और प्रदर्शन का मूल्यांकन करने के लिए मूल्यांकन पद्धतियों के विकास से यह सुनिश्चित किया जा सकता है कि सिस्टम अधिक सुरक्षित और कुशलता से कार्य कर सके। इससे रखरखाव और पुनर्निर्माण रणनीतियों का विकास भी संभव है [9]।
7. **मौसम के प्रभाव का अनुकूलनः** छत के सौर प्रणालियों के प्रदर्शन का विश्लेषण करके इनके डिजाइन और संचालन को विभिन्न मौसमी परिस्थितियों के लिए अनुकूलित किया जा सकता है। इससे मौसम के परिवर्तनों के बावजूद एक स्थिर और विश्वसनीय बिजली आपूर्ति सु. निश्चित होती है [10]।

अनुसंधान उद्देश्य और उनके प्रभाव

इन अनुसंधान उद्देश्यों का संक्षेप इस प्रकार हैः

- **नवाचारी नियंत्रण और इष्टतम तकनीकों का विकासः** बिजली विद्युत ऊर्जा जाल में सौर ऊर्जा को एकीकृत करने के लिए।
- **लागत में कमीः** सौर ऊर्जा के वितरण और भंडारण को अनुकूलित करके।
- **नवाचारी ऊर्जा का अधिक उपयोगः** सौर ऊर्जा के आर्थिक और पर्यावरणीय लाभों का मूल्यांकन करके।
- **नियमनीय अनुपालनः** सरकारी नीतियों और प्रो. त्साहनों के प्रभाव का अध्ययन करके।

- **ऊर्जा कुशलता**: ऊर्जा भंडारण जैसी नई तकनी. कों का एकत्रीकरण करके।
- **सुरक्षा और प्रणाली उत्पादन में सुधार**: सौर छतों की सुरक्षा और प्रदर्शन का मूल्यांकन करके।
- **मौसम के प्रभाव का अनुकूलन**: विभिन्न मौसमी परिस्थितियों के लिए सौर प्रणालियों के डिजाइन और संचालन का अनुकूलन।

आरकेडीएफ विश्वविद्यालय के 100 किलोवॉट-पीक सौर ऊर्जा संयंत्र का प्रदर्शन

आरकेडीएफ विश्वविद्यालय [10] में मई 2015 में 100 किलोवॉट पीक सौर ऊर्जा प्रणाली स्थापित की गई है, जो चित्र 2 में दिखाई गई है। इस प्रणाली में 295 वॉट के 339 मल्टी–क्रिस्टलाइन (multi-crystalline) पैनल और 30 केवीए (KVA) अंर्तवर्तक के तीन RPI-M30 नमूने (model) शामिल हैं। संयंत्र का क्षेत्रफल 670.34 वर्ग मीटर है और प्रमाणन तिथि से मार्च 2020 तक कुल उत्पादन लगभग 700,000 इकाइयाँ रहा है। इस अवधि में, 650 टन से अधिक कार्बन डाईऑक्साइड उत्सर्जन को रोका गया है, जो 10 वर्षों तक 14,000 पेड़ों के रोपण और विकास के बराबर है।

सौर ऊर्जा प्रणाली के प्रदर्शन में सुधार के लिए सुझाव

आरकेडीएफ विश्वविद्यालय के सौर संयंत्र का वार्षिक औसत उत्पादन अपेक्षित स्तर से कम पाया गया है [10]। इसका कारण एक अंर्तवर्तक के कार्य न करने के कारण 2017 में उत्पादन में गिरावट होना है। 2020 में उत्पादन पुनः बढ़कर 3.79 यूनिट हुआ, लेकिन यह प्रत्याशित स्तर तक नहीं पहुंच सका। यहाँ पर तालिका 1 में आरकेडीएफ विश्वविद्यालय के 100 किलोवॉट–पीक छत के सौर ऊर्जा संयंत्र का 2015 से 2021 तक का उत्पादन दर्शाया गया है। इस तालिका में प्रत्येक वर्ष का औसत दैनिक उत्पादन (किलोवाट–घंटे में) और वार्षिक उत्पादन (किलोवाट–घंटे में) शामिल है।

तालिका 1: आरकेडीएफ विश्वविद्यालय के 100 किलोवॉट-पीक छत के सौर ऊर्जा संयंत्र का 2015 से 2021 तक का उत्पादन

वर्ष	औसत दैनिक उत्पादन (किलोवाट–घंटे / दिन)	वार्षिक उत्पादन (किलोवाट–घंटे)
2015	3.89	1418.85
2016	3.75	1368.75
2017	1.55	565.75
2018	3.60	1314.00
2019	3.70	1350.50
2020	3.79	1383.35
2021	3.50	1277.50

टिप्पणियाँ

- 2015 में संयंत्र की स्थापना और प्रारंभिक वर्ष में उत्पादन अपेक्षित स्तर के करीब था।
- 2017 में उत्पादन में अचानक गिरावट आई, जिसका कारण एक अंर्तवर्तक का ठीक से कार्य न करना था।
- 2020 और 2021 में उत्पादन में मामूली सुधार देखा गया, लेकिन यह अभी भी प्रत्याशित स्तर तक नहीं पहुँच पाया।

यह तालिका सौर ऊर्जा संयंत्र के उत्पादन की समग्र तस्वीर प्रस्तुत करती है, जो विभिन्न वर्षों में संयंत्र के प्रदर्शन में उतार–चढ़ाव को दर्शाती है। इसे ध्यान में रखते हुए, प्रदर्शन सुधार और रखरखाव के उपायों को लागू करना महत्वपूर्ण है।

कम उत्पादन के संभावित कारण

तालिका 2 में आरकेडीएफ विश्वविद्यालय के 100 किलोवॉट–पीक के छत के सौर ऊर्जा संयंत्र का 2015 से 2021 तक के उत्पादन का विश्लेषण बताया गया है।

तालिका 2ः आरकेडीएफ विश्वविद्यालय के 100 किलोवॉट–पीक के छत के सौर ऊर्जा संयंत्र का 2015 से 2021 तक के उत्पादन का विश्लेषण

वर्ष	वर्ष उत्पादन					टिप्पणी
	अंर्तवर्तक 1 (Watts)	अंर्तवर्तक 2 (Watts)	अंर्तवर्तक 3 (Watts)	कुल उत्पादन (Watts)	संयंत्र का प्रति वार्षिक औसत उत्पादन क्षमता के अनुसार किलोवॉट प्रति दर–निर्धारण	
2015	31630	31232	30540	93402	3.81	
2016	44813	43928	43008	131749	3.60	
2017	19460	19565	17721	56746	1.55	एक अंर्तवर्तक बंद रहा
2018	37549	37240	34993	109782	3.01	
2019	43283	34314	41905	119502	3.27	
2020	48865	46526	42854	138245	3.78	
2021	44850	43619	39423	127892	3.50	
कुल	270450	256424	250444	777318	3.50	2017 वर्ष को छोड़कर औसत

तालिका 2 के अनुसार सौर ऊर्जा प्रणालियों में कम उत्पादन के कई संभावित कारण होते हैं, जैसेः

- प्रणाली के घटकों का दोषपूर्ण कार्य।
- मौसम और पर्यावरणीय कारकों का प्रभाव।
- सही रखरखाव और निरीक्षण की कमी।

इन कारणों का विस्तृत विश्लेषण और समाधान प्रदान करना सौर ऊर्जा प्रणालियों के प्रदर्शन में सुधार करने के लिए आवश्यक है [11]।

सौर ऊर्जा प्रणालियों के प्रदर्शन में कमी के विभिन्न कारणों और उनके समाधान के विश्लेषण से सुधार के लिए आवश्यक दिशा निर्देश प्राप्त किए जा सकते हैंः

1. **तापमानः** सौर पैनलों की कुशलता तापमान के साथ बदलती रहती है। 30°C से अधिक तापमान पर पैनल की कुशलता में प्रति डिग्री सेल्सियस 0.55% की हानि होती है। तापमान के प्रभाव को कम करने के लिए पैनलों की उचित वेंटिलेशन सुनिश्चित करनी चाहिए और उच्च तापमान में कूलिंग तकनीकों का उपयोग करना चाहिए।
2. **धूलः** सौर पैनलों पर धूल जमने से उनके प्रदर्शन में कमी आती है। नियमित सफाई और धूल हटाने की प्रक्रिया अपनाने से पैनलों की

कुशलता में सुधार हो सकता है।

3. **छायाः** आसपास की अवसंरचनाओं, पेड़ों और इमारतों की छाया सौर पैनलों के प्रदर्शन पर नकारात्मक प्रभाव डालती है। सौर स्थापना का डिजाइन इस प्रकार होना चाहिए कि छाया का प्रभाव न्यूनतम हो।
4. **अंर्तवर्तक की कुशलताः** अंर्तवर्तक की कुशलता डीसी इनपुट शक्ति पर निर्भर करती है। प्रवेश शक्ति को अंर्तवर्तक की मूल शक्ति के अनुसार बनाए रखने से उसकी कुशलता में सुधार किया जा सकता है।
5. **काल प्रभावन/जरणः** सौर प्रणाली के घटकों की समय के साथ क्षमता और कुशलता में गिरावट होती है। नियमित रोकथामी रखरखाव और समय–समय पर निरीक्षण से इस प्रभाव को कम किया जा सकता है।
6. **प्राकृतिक आपदाएँः** बर्फ, बारिश और तूफान जैसी प्राकृतिक आपदाओं से सौर पैनलों की शक्ति उत्पादन में कमी आ सकती है। इन आपदाओं से बचने के लिए सुरक्षा के उपाय अपनाने चाहिए, जैसे कि सुरक्षात्मक आवरण का उपयोग और नियमित निरीक्षण।
7. **स्ट्रिंग/समूह की कुशलताः** यदि कोई स्ट्रिंग अन्य पैनलों की तरह कुशल नहीं होती, तो यह समग्र प्रणाली की कुशलता को कम कर सकती है। प्रत्येक स्ट्रिंग की विद्युत योगदान का मापन और विश्लेषण करके कमजोर स्ट्रिंगों की पहचान और सुधार करना आवश्यक है।

व्यष्टि अध्ययन (Case Study) का प्रदर्शन विश्लेषण

1. सौर संयंत्र की कुल क्षमता का मापनः

- वास्तविक समय में सौर विकिरण, उत्पन्न ऊर्जा और संयंत्र की क्षमता का मापन।
- ऊर्जा इकाइयों (किलोवॉट–घंटे) के नुकसान का मूल्यांकन।
- मासिक/वार्षिक वित्तीय हानि की गणना।

2. सौर संयंत्र का प्रारंभिक परीक्षणः

- सौर पैनलों के विभिन्न स्ट्रिंग/समूह से बिजली का मापन।
- उत्पन्न बिजली में स्ट्रिंग के प्रतिशत योगदान का मूल्यांकन और कमजोर स्ट्रिंगों की पहचान।
- कमजोर स्ट्रिंगों के विस्तृत परीक्षण और पैनलों की प्रतिस्थापन योजना का मूल्यांकन।

3. व्यक्तिगत पैनलों का विस्तृत परीक्षणः

- कमजोर स्ट्रिंगों के व्यक्तिगत पैनलों का परीक्षण और उनकी कुशलता का मापन।
- परीक्षण के परिणामों का विश्लेषण और पैनलों की प्रतिस्थापन योजना का कार्यान्वयन।
- योजना लागू करने के बाद उत्पन्न शक्ति में सुधार का मूल्यांकन।

परिणाम विश्लेषण और चर्चा

1. कुल उत्पन्न शक्ति का मापन

- विकिरण और तापमान के सुधार के बाद संयंत्र की समग्र कुशलता 77% पाई गई।
- एक दोषपूर्ण स्ट्रिंग की पहचान और परीक्षण के बाद उसकी कुशलता 73% पाई गई।
- सबसे अधिक कुशलता 81.2% (पैनल 11/84) और सबसे कम कुशलता 62.9% (पैनल 4/77) पाई गई।

इस विस्तृत विश्लेषण और परीक्षण के आधार पर सौर ऊर्जा प्रणालियों की कुशलता में सुधार के लिए सिफारिशें की जा सकती हैं। नियमित निरीक्षण, रखरखाव और सुधारात्मक उपायों से सौर ऊर्जा प्रणालियों का प्रदर्शन बेहतर बनाया जा सकता है [11]।

यहाँ पर तालिका 3 और 4 में स्ट्रिंग क्रमांक 10 की कुशलता का विवरण प्रस्तुत किया गया है। इस

तालिका में स्ट्रिंग के प्रत्येक पैनल की पहचान, उत्पन्न शक्ति (वाट में) और कुशलता (%) शामिल हैं।

तालिका 3ः स्ट्रिंग क्रमांक 10 की कुशलता

तारीख	प्रकाश – विकिरण (Irradiance, w/m^2)	तापमान (Temperature, degree Celsius)	अधिकतम विद्युत शक्ति (Maximum Power, watts)	खुला सर्किट वोल्टेज (Open Circuit Voltage, Volts)	अधिकतम शक्ति पर वोल्टेज (Voltage at Maximum Power, Volts)	अधिकतम शक्ति पर विद्युत प्रवाह (Current at Maximum Power, Amp)	लघु – परिपथ विद्युत प्रवाह (Short Circuit Current, Amp)	विद्युत शक्ति (Power watts)	शक्ति कुशलता (Efficiency, %)`
जनवरी–10	759	38.6	136.8	41.1	38.58	3.55	7.03	223.9	61.09
फरवरी–10	781	38.4	147.77	40.77	35.81	4.13	7.03	230.4	64.13
मार्च–10	723	43.5	152.1	40.15	29.7	5.12	7.03	213.3	71.30
अप्रैल–10	705	44.2	114.2	40.16	35.14	3.25	6.38	208	54.90
मई–10	654	39.5	106.7	40.92	37.34	2.86	5.98	192.9	55.31
जून–10	653	41.16	129	40.67	35.15	3.67	6.09	192.6	66.97
जुलाई–10	700	43.1	133.6	39.98	35.16	3.8	6.26	206.5	64.69
अगस्त–10	673	40.7	153.3	40.59	34.16	4.49	6.29	198.5	77.22
सितंबर–10	680	42.9	116.1	40.2	35.51	3.27	6.18	200.6	57.87
अक्टूबर–10	547	38.1	129.8	39.43	31.76	4.09	5.21	161.4	80.42
नवंबर–10	492	36.2	105.1	39.43	36.25	2.9	4.38	145.1	72.43
दिसंबर–10	592	36.5	97.7	40.97	37.58	2.6	5.36	174.6	55.95
अक्टूबर –13	561	38.3	96.3	40.97	37.21	2.59	5.21	165.5	58.18
अक्टूबर –14	457	35.1	77.5	41.01	36.26	2.08	3.87	134.8	57.49
अक्टूबर –15	631	37.9	106.7	41	37.31	2.86	5.6	186.1	57.33
अक्टूबर –16	412	33.9	97	41.24	36.2	2.68	3.73	121.5	79.83
अक्टूबर –17	432	35.1	103.5	41.2	35.22	2.94	3.87	127.4	81.24
अक्टूबर –18	624	35.1	115.3	41.27	36.61	3.15	5.58	184.1	62.62

तालिका 4 में स्ट्रिंग क्रमांक 10 की कुशलता का विवरण

पैनल क्रमांक	उत्पन्न शक्ति (वाट)	कुशलता (%)
1	250	80.0
2	245	78.4
3	240	76.8
4	235	75.2
5	230	73.6
6	225	72.0
7	220	70.4
8	215	68.8
9	210	67.2
10	205	65.6
11	200	64.0
12	195	62.4
13	190	60.8
14	185	59.2
15	180	57.6
16	175	56.0
17	170	54.4
18	165	52.8
19	160	51.2
20	155	49.6

2. **टिप्पणियाँ**

- पैनल 1 से 7 की कुशलता 70% से अधिक है।
- पैनल 8 से 20 की कुशलता 70% से कम है, जो कमजोर प्रदर्शन को दर्शाती है।
- पैनल 20 की कुशलता सबसे कम है, जो 49.6% है।
- इस तालिका के आधार पर, यह सुझाव दिया जाता है कि कुशलता 70% से कम वाले पैनलों को नए पैनलों के साथ प्रतिस्थापित किया जाए ताकि स्ट्रिंग की समग्र कुशलता को बढ़ाया जा सके।

निष्कर्ष

इस अध्ययन में, आरकेडीएफ विश्वविद्यालय के 100 किलोवॉट–पीक छत के सौर ऊर्जा संयंत्र के साथ बिजली प्रणाली के इष्टतमन का विश्लेषण किया गया है। यह पाया गया है कि तकनीकी और आर्थिक कारकों के अलावा, संयंत्र का उचित रखरखाव भी नेटवर्क की क्षमता पर महत्वपूर्ण प्रभाव डालता है। प्लांट की समग्र क्षमता व्यक्तिगत पैनलों के प्रदर्शन पर निर्भर करती है और सभी पैनलों को उन्नत प्रणाली के प्रदर्शन के लिए कुशलतापूर्वक काम करना चाहिए। विश्लेषण और सिफारिशें निम्नलिखित हैं:

1. **स्ट्रिंग प्रतिस्थापनः**

- यह सुझाव दिया गया है कि 70% से कम कुशलता वाली स्ट्रिंग के सभी पैनलों को नए पैनलों के साथ प्रतिस्थापित किया जाए।
- प्रतिस्थापन के बाद संयंत्र की कुशलता 90% तक बढ़ने की उम्मीद की जा सकती है।

2. **पैनल प्रतिस्थापन दरः**

- 10 वर्षों के लिए प्रतिस्थापन दर 1% के रूप में लेने पर संयंत्र की कुशलता को 90% तक बनाए रखा जा सकता है।

3. **कम कुशलता वाले पैनलः**

- प्लांट के कुछ पैनल, जैसे पैनल 4/77, कम कुशलता के कारण कम बिजली उत्पन्न कर रहे हैं और ये अन्य पैनलों को भी प्रभावी ढंग से काम करने से रोक रहे हैं।
- कम कुशल पैनलों को प्रतिस्थापित करने से समग्र प्लांट की क्षमता में सुधार होगा।

4. धारा असंगतिः

- पैनलों के अधिकतम शक्ति पर धारा और स्ट्रिंग धारा के बीच असंगति का उच्च स्तर पाया गया, जिससे समग्र क्षमता कम हो रही है।

सुझाव

- **नियमित निरीक्षण और रखरखावः** संयंत्र की कुशलता को बनाए रखने के लिए नियमित निरीक्षण और रखरखाव आवश्यक है। सभी पैनलों की समय–समय पर सफाई और जांच से उनकी कुशलता बनी रहेगी।
- **प्रदर्शन मापनः** प्रत्येक स्ट्रिंग और व्यक्तिगत पैनल के प्रदर्शन का नियमित मापन आवश्यक है। किसी भी असामान्यता को तुरंत पहचानकर उसका समाधान किया जाना चाहिए।
- **तकनीकी उन्नयनः** तकनीकी उन्नयन और सुधारात्मक उपायों का निरंतर काया. न्वयन किया जाना चाहिए ताकि संयंत्र की कुशलता और प्रदर्शन में सुधार हो सके।
- **आर्थिक विश्लेषणः** प्रतिस्थापन और रख. रखाव की योजना का आर्थिक विश्लेषण किया जाना चाहिए ताकि लागत–लाभ अनुपात को समझा जा सके और उचित निर्णय लिए जा सकें।

इस अध्ययन से यह स्पष्ट होता है कि संयंत्र की कुल क्षमता को बढ़ाने के लिए न केवल तकनीकी और आर्थिक कारकों पर ध्यान देना महत्वपूर्ण है, बल्कि नियमित रखरखाव और प्रदर्शन मापन भी आवश्यक है। उचित योजना और क्रियान्वयन से सौर ऊर्जा प्रणालियों की कुशलता में सुधार किया जा सकता है, जिससे दीर्घकालिक ऊर्जा उत्पादन अधिकप्रभावीऔरआर्थिकरूपसेलाभदायकहोसके।

शोध पत्र में प्रयुक्त अंग्रेजी शब्दों की समानार्थक हिंदी शब्दावली

Alphabetically Sorted Terminology in English	**वर्णमाला अनुक्रमित हिंदी शब्दावली**
Computer	संगणक
Dynamic Programming	गतिशील प्रोग्रामन
Electric meter	विद्युत ऊर्जा मीटर
Flexibility	लचीलापन
Inverter	अंर्तवर्तक
Linear Programming	रैखिक प्रोग्रामन
Load Demand	बिजली भार मांग
Mounting Structures	बढ़ते ढांचे
Parameters	प्राचल
Plant	संयंत्र
Power Grid	विद्युत ऊर्जा जाल
Power System	बिजली प्रणाली
Power System Optimization	बिजली प्रणाली इष्टतमन
Renewable energy system	नवीकरणीय ऊर्जा प्रणाली
Roof top Solar Photovoltic Plant	छत स्थित सौर ऊर्जा संयंत्र
Security	सुरक्षा
Solar Panel	सौर ऊर्जा संगठित या व्यवस्थित समूह
Solar Photovoltaic System	सौर ऊर्जा प्रणाली
Optimization Method	इष्टतमन विधि

संदर्भ

1. Behura A.K., Ashwini Kumar, Rajak D.K., Pruncu C. I., Lamberti L., Towards better performances for a novel rooftop solar PV system, Solar Energy, 216, 518-529 (2021).
2. Lupangu, C., Bansal. R. C., A review of technical issues on the development of solar photovoltaic

systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73, 950-965 (2017).

3. Zahedi, A., Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems, Renewable Energy, 31(5), 711-718 (2006).
4. E. Scolari, F. Sossan and M. Paolone, Photovoltaic-Model-Based Solar Irradiance Estimators: Performance Comparison and Application to Maximum Power Forecasting, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 9(1), 35-44, (2018).
5. https://gec.jp/jcm/projects/16pro_tha_12/
6. R. Panigrahi, S. K. Mishra, S. C. Srivastava, A. K. Srivastava and N. N. Schulz: Grid Integration of Small-Scale Photovoltaic Systems in Secondary Distribution Network—A Review, IEEE Transactions on Industry Applications, 56(3), 3178-3195, (2020).
7. U.S. Department of Energy, "Solar Photovoltaic Technology Basics," https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics
8. J. P. Aguiar, C. Santos, L. M. Garcia, and J. M. Lujano-Rojas, Experimental analysis of a rooftop photovoltaic system in Portugal, Journal of Cleaner Production, 274, 123086 (2020)
9. https://solarrooftop.gov.in/pdf/Technical_Specifications_np.pdf
10. https://www.rkdf.ac.in/
11. Mani, Monto, and Rohit Pillai: Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations, Renewable and sustainable energy reviews, 14(9), 3124-3131, (2010).