

# पारंपरिक और मशीन लर्निंग आधारित टीसीएससी का उपयोग करके बिजली की चुनौतियों का सामना करना

## Meeting Power Challenges using Traditional and Machine Learning based TCSC

निहारिका अग्रवाल<sup>1</sup>, डॉ. फहीम अहमद खान<sup>2</sup> एवं डॉ. ममता गौड़ा<sup>3</sup>

Niharika Agrawal<sup>1</sup>, Dr. Faheem Ahmed Khan<sup>2</sup> and Dr. Mamatha Gowda<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Electrical and Electronics Engineering Department, Ghousia College of Engineering,  
Visvesvaraya Technological University, Ramanagaram, Karnataka 562159, India

<sup>3</sup>Electrical and Electronics Engineering Department, BGS College  
of Engineering and Technology, Bengaluru 560086, India

<sup>1</sup>niharika.svits@gmail.com, <sup>2</sup>faheemahmedkhan11@gmail.com

<sup>3</sup>mahesh.mamatha@gmail.com

### सारांश

बिजली की मांग खतरनाक दर से बढ़ रही है। बढ़ती बिजली की मांग को पूरा करने के लिए नए बिजली संयंत्रों और लाइनों के निर्माण की आवश्यकता है, लेकिन इसके लिए भारी खर्च की आवश्यकता होती है। इसलिए, मौजूदा ट्रांसमिशन लाइनें अधिभार हो जाती हैं, जिससे बिजली व्यवस्था की स्थिरता की समस्या होती है। प्रस्तावित कार्य में पावर इलेक्ट्रॉनिक्स आधारित सीरीज डिवाइस, थाइरिस्टर नियंत्रित श्रृंखला संधारित्र (Thyristor Controlled Series Capacitor–TCSC) का उपयोग मौजूदा सिस्टम की बिजली हस्तांतरण क्षमता को बढ़ाकर उपरोक्त समस्या को पूरा करने का प्रस्ताव है। फ्लेक्सिबल अल्टरनेटिंग करंट ट्रांसमिशन सिस्टम (Flexible Alternating Current Transmission System–FACTS) को अल्टरनेटिंग करंट ट्रांसमिशन सिस्टम के रूप में परिभाषित किया गया है जिसमें मौजूदा सिस्टम की नियंत्रणीयता बढ़ाने और विद्युत शक्ति हस्तांतरण क्षमता बढ़ाने के लिए पावर इलेक्ट्रॉनिक्स आधारित और अन्य स्टैटिक कंट्रोलर शामिल हैं। TCSC अन्य बिजली चुनौतियों का भी सामना करने में सक्षम है जैसे कि सिस्टम की पावर ऑसीलेशन डंपिंग क्षमता में सुधार, विभिन्न बिजली की गुणवत्ता की समस्याओं को हल करना, वोल्टेज प्रोफाइल में सुधार करना आदि। यहां, बिजली के बहाव को पहले पारंपरिक स्थिर संधारित्र और आनुपातिक इंटिग्रल (Proportional Integral–PI) कंट्रोलर आधारित TCSC के साथ बढ़ाया जाता है। फिर मशीन लर्निंग यादृच्छिक वन एल्गोरिथम (Random Forest Algorithm–RFA) के साथ बिजली के बहाव की जाँच की जाती है। बिजली की बढ़ती मांग, मौजूदा प्रणाली की बिजली हस्तांतरण क्षमता, बिजली की गुणवत्ता और बिजली प्रणाली स्थिरता जैसी विभिन्न बिजली चुनौतियों को TCSC के पारंपरिक PI और RFA आधारित TCSC दोनों प्रकार से सफलतापूर्वक पूरा किया जाता है। RFA के आधार पर TCSC द्वारा बिजली हस्तांतरण में अधिक वृद्धि हुई है।

### Abstract

The power demand is increasing at an alarming rate. In order to meet the rising power demand there is a need for construction of new power plants and lines, but this requires heavy expenditure. The existing transmission lines are overloaded which cause power system stability problems. In the proposed work the use of Power Electronics-based series FACTS device

TCSC is proposed to meet the above problem by increasing the power transfer capacity of the existing system. TCSC is capable to meet other power challenges also such as to improve the power oscillation damping capability of the system, to solve various power quality problems like voltage sag and voltage swell created due to disturbances or faults, to improve the voltage profile of the system. Here, the power flow is first increased with the traditional fixed capacitors (FC) and Proportional Integral (PI) controller based TCSC. Then TCSC based on machine learning Random Forest algorithm (RFA) is implemented in the system to further increase the power transfer capacity of the system. The power challenges are successfully met by both the types of TCSC which are the traditional PI and RFA based TCSC. There is more power transfer in the system with TCSC based on RFA.

मुख्य शब्द: बिजली की गुणवत्ता, आगमनात्मक, कैपेसिटिव, वोल्टेज संधारित्र, शक्ति

Keywords: Power quality, inductive, capacitive, voltage, capacitors, power.

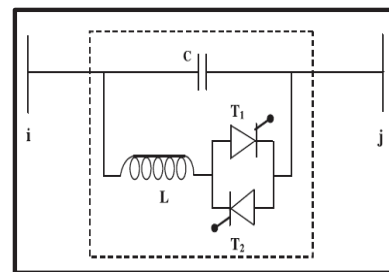
## 1 परिचय

विद्युत प्रणाली के विभिन्न भाग उत्पादन, पारेषण और वितरण हैं। तेजी से औद्योगिक विकास और जनसंख्या वृद्धि के रूप में बिजली की मांग में तेजी से वृद्धि के कारण। उत्पादन केंद्र आर्थिक, पर्यावरण और सुरक्षा कारणों से लोड केंद्रों से बहुत दूर स्थित हैं। ट्रांसमिशन लाइनों को बिजली उत्पादन स्टेशनों से लोड केंद्रों तक ले जाना पड़ता है। उत्पादन और पारेषण सुविधाओं का अभाव है, इसलिए मौजूदा प्रणाली का उपयोग अधिक बिजली की मांग को स्थानांतरित करने के लिए किया जाता है। यह वर्तमान प्रणाली के अत्यधिक दोहन का कारण बनता है और स्थिरता की समस्याओं को जन्म देता है। मौजूदा ट्रांसमिशन लाइनों की विद्युत शक्ति हस्तांतरण क्षमता को ट्रांसमिशन लाइनों के प्रतिबाधा को बदलकर स्थिर संधारित्र का उपयोग करके बढ़ाया जा सकता है, लेकिन उनमें उप तुल्यकालिक अनुनाद समस्याएं जुड़ी हुई हैं। इस स्थिति में FACTS उपकरणों का उपयोग प्रतिबाधा, वोल्टेज और चरण कोण जैसे मापदंडों को नियंत्रित करके सिस्टम में बिजली के प्रवाह को नियंत्रित करने के लिए किया जाता है।

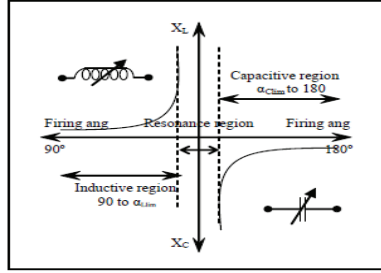
### 1.1 थाइरिस्टर नियंत्रित श्रृंखला संधारित्र

TCSC उपकरण में एक स्थिर संधारित्र और एक थाइरिस्टर नियंत्रित रिएक्टर (Thyristor

Controlled Reactor-TCR) होता है। TCR संधारित्र के समानांतर जुड़ा होता है। थाइरिस्टर के फायरिंग कोण को बदलकर, TCSC का उपयोग परिवर्तनीय मुआवजा प्रदान करने के लिए किया जाता है। TCSC के विभिन्न ऑपरेटिंग मोड हैं जो बाईपास मोड, अवरुद्ध थाइरिस्टर मोड और आंशिक रूप से संचालन मोड हैं। आंशिक रूप से संचालन मोड को फिर से दो प्रकारों में विभाजित किया जाता है: आगमनात्मक बढ़ावा मोड और कैपेसिटिव बूस्ट मोड। TCSC के इंडक्टिव मोड में बिजली का बहाव कम होता है और कैपेसिटिव मोड में बिजली का बहाव बढ़ता है। TCSC विभिन्न समस्या को हल करने, दोलनों को कम करने, सिस्टम की स्थिरता में सुधार करने में सक्षम है (1-2)। चित्र 1 TCSC मॉडल दिखाता है। चित्र 2 आगमनात्मक, कैपेसिटिव और अनुनाद क्षेत्रों को दिखाते हुए TCSC की प्रतिक्रिया विशेषता वक्र दिखाता है।



चित्र 1: TCSC



चित्र 2: प्रतिक्रिया विशेषता वक्र

$$X_L(\alpha) = X_L \frac{\pi}{\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha} \quad (1)$$

$$X_{TCSC}(\alpha) = -X_C + C_1(2(\pi - \alpha) + \sin(2(\pi - \alpha))) - C_2 \cos^2((\pi - \alpha)(\omega \tan(\omega(\pi - \alpha)) - \tan(\pi - \alpha))) \quad (2)$$

$$X_{LC} = \left( \frac{X_L * X_C}{X_C - X_L} \right) \quad (3)$$

$$C_1 = \left( \frac{X_C + X_{LC}}{\pi} \right) \quad (4)$$

$$C_2 = \left( \frac{4 * X_{LC}^2}{\pi * X_L} \right) \quad (5)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (6)$$

सिस्टम व्यवहार को नियंत्रित करने वाले विभिन्न समीकरण हैं :

इन समीकरणों का विवरण (3-4) में दिया गया है। फायरिंग कोण और प्रतिक्रिया के बीच TCSC रिएक्टेंस विशेषता वक्र TCSC के आगमनात्मक और कैपेसिटिव क्षेत्रों को दिखाने के लिए प्लॉट किया गया है। इन दो क्षेत्रों के बीच एक अनुनाद क्षेत्र है, जहां TCSC का संचालन निषिद्ध है। TCSC की अंतर्निहित संपत्ति लाइन में बिजली के प्रवाह में सुधार और सिस्टम की स्थिरता में सुधार करना है।

## 2 साहित्य सर्वेक्षण

विद्युत प्रवाह को पहले पारंपरिक विधि द्वारा स्थिर कैपेसिटर का उपयोग करके विश्लेषण किया गया और फिर TCSC का उपयोग बिजली प्रवाह नियंत्रण और सुधार के लिए सिमुलेशन मॉडल में

किया गया। क्लोज्ड लूप कंट्रोल सिस्टम विकसित किया गया और TCSC के विभिन्न कार्य मोड के साथ वास्तविक और प्रतिक्रियाशील शक्ति के मूल्यों को दिखाते हुए विभिन्न ग्राफ प्लॉट किए गए थे। TCSC को पारंपरिक PI आधारित नियंत्रक द्वारा नियंत्रित किया गया। TCSC का उपयोग उपकरणों के पावर फैक्टर में सुधार के लिए किया गया था। विभिन्न FACTS डिवाइस की तुलना पावर फ्लो, वोल्टेज आदि जैसे विभिन्न मापदंडों पर की गई थी। डिवाइस का हार्डवेयर कार्यान्वयन किया गया था। विभिन्न गुंजयमान वक्रों को प्लॉट किया गया था। यह दिखाया गया था कि TCSC प्रेरक और संधारित्र के मूल्यों को ठीक से चुना जाना चाहिए। रेजोनेंस क्षेत्र में TCSC का संचालन प्रतिबंधित था। स्थिर कैपेसिटर के बदलते मूल्यों के साथ पावर की भिन्नता को दर्शाने वाले रेखांकन को प्लॉट किया गया था। सिस्टम की स्थिरता का आकलन करने

के लिए पावर एंगल और पी-वी कर्ब का उपयोग किया गया था, जिससे पता चलता है कि TCSC का उपयोग करके सिंक्रोनस स्थिरता और वोल्टेज स्थिरता मार्जिन दोनों में सुधार हुआ है (5)। प्राप्त अंत वोल्टेज अलग-अलग लोड स्थितियों के तहत स्थिर पाया गया। नियंत्रक ने पारेषण प्रणाली में वांछित विद्युत प्रवाह को भी बनाए रखा। ट्रांसमिशन लाइन के समग्र अधिष्ठापन में वृद्धि हुई थी। आगमनात्मक मोड में विद्युत प्रवाह में कमी हुई थी। TCSC को गुंजयमान क्षेत्र में काम करने से रोकने के लिए अधिकतम प्रतिक्रिया सीमा ठीक से चुनी गई। कैपेसिटिव मोड में TCSC फायरिंग कोण के आधार पर ट्रांसमिशन लाइन की आगमनात्मक प्रतिक्रिया को कम करने वाले वेरिबल कैपेसिटेंस के रूप में कार्य करता है। TCSC के उपयोग से पारेषण लाइन की दक्षता वोल्टेज विनियमन में सुधार हुआ था। TCSC का हार्डवेयर कार्यान्वयन किया गया था। हार्डवेयर सर्किट की विभिन्न छवियों को कैप्चर किया गया था, और विभिन्न फायरिंग कोणों के लिए तरंगों को प्लॉट किया गया था (6-7)। खराबी के कारण कंपनी को नुकसान होता है, उपभोक्ताओं को नुकसान होता है। दूरियों के विभिन्न मूल्यों के लिए TCSC के विभिन्न तरीकों का अनुकरण किया गया। परिणाम ने लाइन में गलती की सटीक स्थिति का पता लगाने के लिए फॉल्ट सेक्शन इंडिकेटर की साजिश को दिखाया। पावर स्विंग के दौरान खराबी का पता लगाने पर चर्चा की गई (8)। एक मजबूत और अद्वितीय दोष पहचान एल्गोरिथम प्रस्तावित किया गया था। उपयोग किए गए एल्गोरिथम बैक प्रोपेगेशन (Back Propagation) और रेडियल बेसिस फंक्शन (Radial Basis Function) के रूप में थे। ये एल्गोरिथम कम समय में उत्कृष्ट कम्प्यूटेशनल परिणाम उत्पन्न करते हैं (10-11)। डेटा को पहले प्रशिक्षित किया जाता है और फिर नए डेटा के लिए परिणामों की भविष्यवाणी की जाती है। पवन ऊर्जा के प्रभावी उत्पादन

के लिए हमें वह स्थान उपयुक्त होना चाहिए जहाँ हवा की गति हमेशा उपलब्ध हो। हवा प्रकृति में बहुत अस्थिर है। इसलिए, अलग-अलग समय क्षितिज के लिए बिजली प्रणाली नेटवर्क में संतुलन बनाए रखने के लिए प्रभावी भविष्यवाणी बहुत अधिक आवश्यक है। पूर्वानुमान पद्धति को दृढ़ता, भौतिक, में विभेदित किया गया है। अन्य प्रकार हैं : सांख्यिकीय और सॉफ्ट कम्प्यूटिंग। हवा की गति के पूर्वानुमान के लिए कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क (Artificial Neural Network-ANN) का उपयोग किया गया था (12)। ANN के साथ सटीक और तेज भविष्यवाणी थी। सॉफ्ट कम्प्यूटिंग तकनीकों में जटिल समस्याओं को हल करने के लिए विशाल कम्प्यूटेशनल और गणितीय क्षमताएं हैं। पारंपरिक नियंत्रक को आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (Artificial Intelligence-AI) तकनीक का उपयोग करके यहां लागू किया गया था।

### 3 ज्ञान अंतराल

लाइन की बिजली हस्तांतरण क्षमता बढ़ाने के लिए निश्चित कैपेसिटर का उपयोग किया गया (2)। लेकिन ये उपकरण धीमे थे और टूट-फूट के अधीन थे। बिजली प्रवाह को बढ़ाने के लिए TCSC का उपयोग PI नियंत्रकों के साथ किया गया। लेकिन ये नियंत्रक पारंपरिक नियंत्रक थे। बिजली व्यवस्था की परिचालन स्थितियों को बदलने में इन नियंत्रकों की ट्यूनिंग मुश्किल थी। RFA आधारित नियंत्रक तेज है और बेहतर परिणाम देता है क्योंकि यह मशीन लर्निंग एल्गोरिथम पर आधारित है जिसमें व्यापक कम्प्यूटेशनल क्षमताएं हैं। TCSC को बिजली की बढ़ती मांग में सुधार करने, बिजली की गुणवत्ता की समस्या को पूरा करने के साथ-साथ सिस्टम की स्थिरता में सुधार करने में सक्षम होना चाहिए। बिजली की मांग की इन सभी चुनौतियों पर पूरी तरह से चर्चा नहीं की गई थी। यहां इन सभी चुनौतियों का सामना करने के लिए कृत्रिम होशियारी आधारित मशीन

लर्निंग एल्गोरिथम का उपयोग किया जाता है। इस RFA कम्प्यूटेशनल तकनीक का उपयोग करते हुए दोलनों को व्यवस्थित होने में कम समय लगता है, सिमुलेशन तेज है और बेहतर बिजली प्रवाह परिणाम उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार, प्रस्तावित कार्य में मौजूदा प्रणाली को बेहतर बनाने के लिए इस उत्कृष्ट एल्गोरिथम का उपयोग शामिल है।

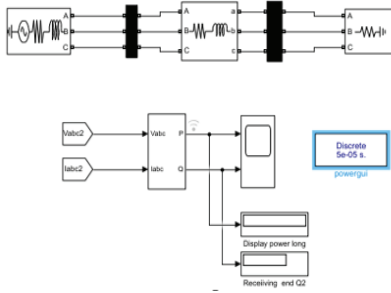
#### 4 कार्यप्रणाली / परीक्षण प्रणाली

TCSC के बिना बिजली प्रवाह नियंत्रण के परीक्षण के लिए पारंपरिक और RFA आधारित TCSC के साथ निम्नलिखित परीक्षण प्रणाली विकसित की गई थी। TCSC द्वारा श्रृंखला मुआवजा 400 केवी और 400 किमी लंबी पारेषण लाइन पर प्रस्तावित कार्य में किया जाता है। लाइन को 75% मुआवजे के लिए डिज़ाइन किया गया है रेखा का अधिष्ठापन 1.044 mH/km है। 400 km किमी लाइन का कुल अधिष्ठापन 0.4176 H है। ओम में कुल रेखा प्रतिघात 131.1929 है। 75% श्रृंखला क्षतिपूर्ति के लिए संधारित्र का मान 32.3503 $\mu$ F और प्रेरक का मान 0.07828 H है। अनुनाद कारक को 2 के रूप में लिया जाता है। इस प्रकार, अनुनाद कोण 45° है। 90% मुआवजे के लिए TCSC संधारित्र और प्रेरक के मूल्य 26.9722  $\mu$ F और 0.09400 H हैं। स्थिर संधारित्र का मान 85  $\mu$ F है। सिमुलेशन आरेख में ट्रांसमिशन लाइन, स्रोत, लोड, नियंत्रण प्रणाली, TCSC के लिए फायरिंग इकाई और सक्रिय शक्ति के लिए क्षेत्र, TCSC प्रतिबाधा और कोण शामिल हैं। पहले 0.5 सेकंड के लिए TCSC को बायपास किया जाता है। सिस्टम के प्रदर्शन का पहले पारंपरिक तरीकों से विश्लेषण किया जाता है जैसे कि स्थिर संधारित्र, PI नियंत्रक के साथ TCSC का उपयोग करना। सिस्टम का विश्लेषण TCSC के दो मॉड्यूल के साथ कैस्केड में प्रेरक और संधारित्र के मूल्यों के विभिन्न संयोजनों के साथ किया

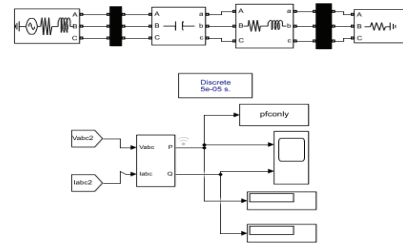
जाता है। फिर दूसरे काम में TCSC इंटेलिजेंट मशीन लर्निंग आधारित RFA एल्गोरिथम से लैस है। स्थिर संधारित्र और TCSC का उपयोग करके बिजली प्रवाह में सुधार के परिणाम तालिका संख्या 1 में दिए गए हैं। PI और RFA द्वारा बिजली प्रवाह में वृद्धि के परिणाम तालिका संख्या 4 में दिए गए हैं। सभी विभिन्न परिणाम दिखाए गए हैं।

#### 4.1 सिमुलेशन आरेख

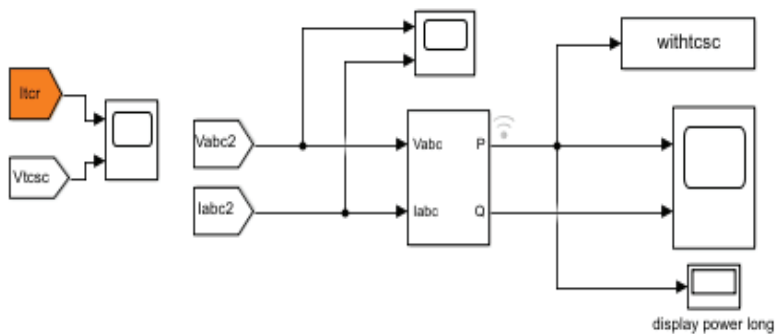
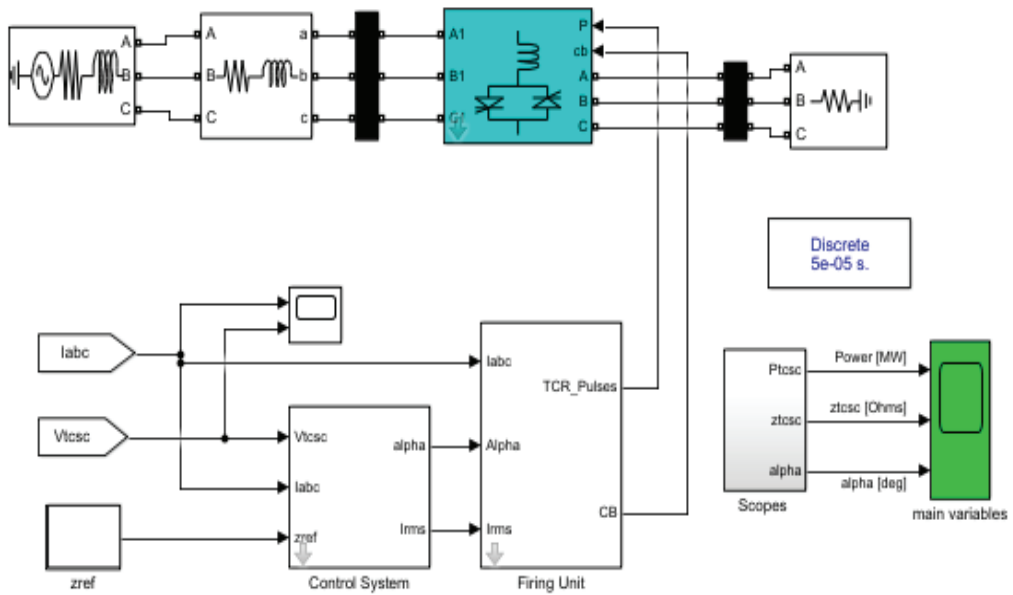
चित्र 3 बिना किसी मुआवजे के सिस्टम को दिखाता है। विभिन्न ब्लॉक तीन चरण एसी स्रोत, लोड, ट्रांसमिशन लाइन, स्कोप और डिस्प्ले हैं चित्र 4 निश्चित कैपेसिटर के साथ आरेख दिखाता है। सक्रिय और प्रतिक्रियाशील शक्ति को चित्र 3 और 4 दोनों में स्कोप में एकत्र किया जाता है। चित्र 5 TCSC के साथ सिस्टम को दिखाता है। TCSC के वोल्टेज और करंट को मापा जाता है और सिस्टम में इनपुट के रूप में फीड किया जाता है। इसका उपयोग TCSC प्रतिबाधा की गणना के लिए किया जाता है। TCSC ब्लॉक के अंदर कंट्रोल सिस्टम ब्लॉक और फायरिंग यूनिट ब्लॉक हैं। फायरिंग यूनिट में फायरिंग यूनिट ए फेज, फायरिंग यूनिट बी फेज और फायरिंग यूनिट सी फेज होती है। TCSC निरंतर प्रतिबाधा मोड में काम करता है। फायरिंग सर्किट में तीन सिंगल फेज चरण बंद लूप हैं। तुल्यकालन के लिए लाइन करंट का उपयोग किया जाता है। TCR पल्स जनरेटर एक TCR के लिए फायरिंग पल्स उत्पन्न करता है और अन्य TCR पल्स जनरेटर अन्य TCR के लिए फायरिंग पल्स उत्पन्न करता है। एक ब्लॉक है जो लाइन करंट के साथ सिंक्रोनाइज्ड स्क्वायर-वेव उत्पन्न करता है। सकारात्मक (सिंक +) और नकारात्मक (सिंक -) संक्रमण के लिए चित्र 6 स्थिर संधारित्र और TCSC दोनों के साथ एक ही प्रणाली दिखाता



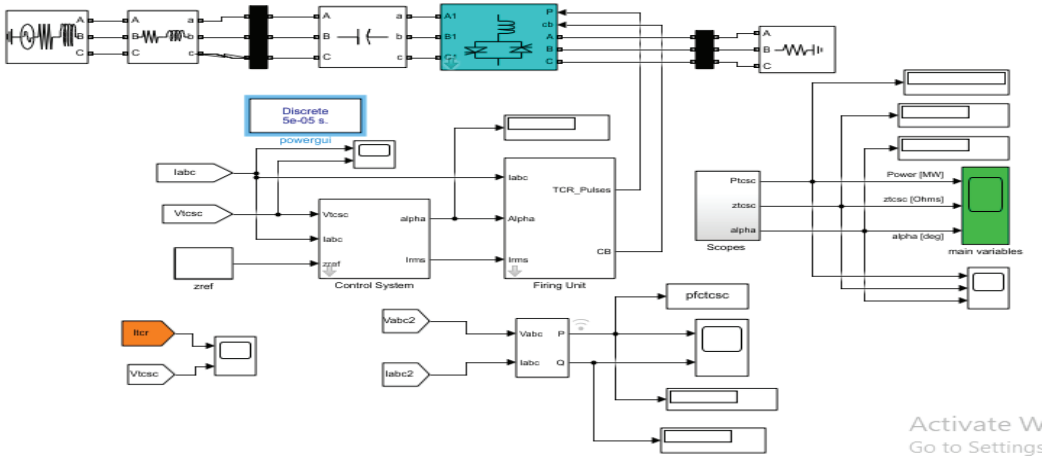
चित्र 3: मुआवजे के बिना प्रणाली



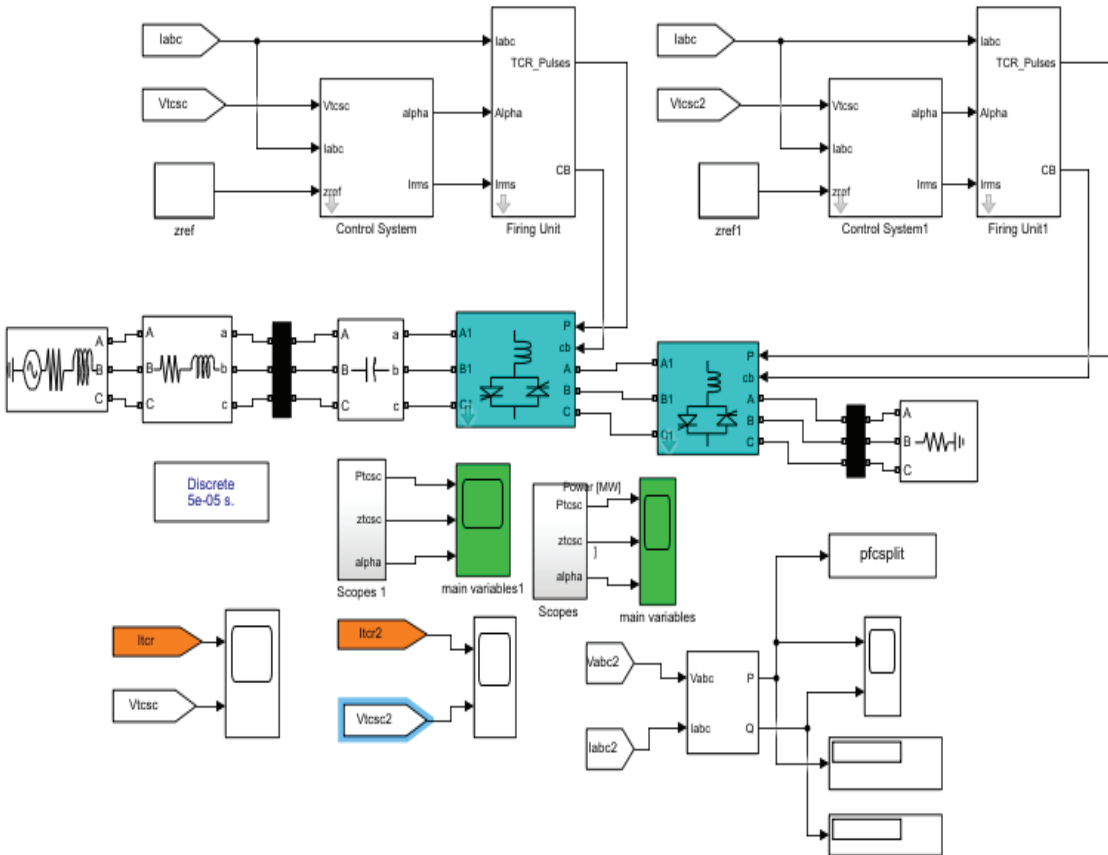
चित्र 4: केवल स्थिर संधारित्र वाला सिस्टम



चित्र 5: केवल TCSC के साथ सिस्टम



चित्र 6: स्थिर संधारित्र और TCSC दोनों के साथ सिस्टम



चित्र 7: स्थिर संधारित्र और TCSC के दो मॉड्यूल के साथ सिस्टम

है। चित्र 7 दिखाता है कि TCSC के दो मॉड्यूल कैस्केड में जुड़े हुए हैं।

## 5 प्रदर्शन जांच

TCSC द्वारा प्रदर्शन का विवरण पहले स्थिर संधारित्र और TCSC का उपयोग करके दिया गया है। स्थिर संधारित्र और TCSC के विभिन्न संयोजनों पर चर्चा की गई है। फिर PI और RFA के आधार पर प्रदर्शन दिया गया है।

### 5.1 स्थिर संधारित्र और TCSC का उपयोग करते हुए प्रदर्शन विश्लेषण

सक्रिय पावर ट्रांसफर की गणना विभिन्न मामलों के लिए की गई है और परिणाम तालिका 1 में दिखाए गए हैं। स्थिर संधारित्र, TCSC और TCSC के दो मॉड्यूल का उपयोग करके सिस्टम में पावर ट्रांसफर में वृद्धि हुई है।

तालिका: 1 स्थिर संधारित्र और TCSC सहित सक्रिय पावर ट्रांसफर

क्रमांक संख्या		सक्रिय पावर (मेगावाट)	परिणाम और विश्लेषण
1	मुआवजे के बिना	339.44	
2	फायरिंग कोण $30^\circ$ पर TCSC के साथ	258.65	$30^\circ$ कोण पर आगमनात्मक मोड में असम्पीडित मामले की तुलना में पावर ट्रांसफर कम हो जाता है
3	फायरिंग कोण $75^\circ$ पर TCSC के साथ	372.08	$75^\circ$ कोण पर कैपेसिटिव मोड में असम्पीडित मामले की तुलना में पावर ट्रांसफर में वृद्धि होती है
4	स्थिर संधारित्र और TCSC के साथ फायरिंग कोण $30^\circ$ .	277.05	गैर-क्षतिपूर्ति मामले की तुलना में पावर ट्रांसफर कम हो जाता है लेकिन स्थिर संधारित्र को शामिल करने के कारण केवल TCSC का उपयोग करने से अधिक होता है
5	स्थिर संधारित्र और TCSC के साथ फायरिंग कोण $75^\circ$	380.55	गैर-क्षतिपूर्ति मामले की तुलना में पावर ट्रांसफर में वृद्धि, लेकिन स्थिर संधारित्र को शामिल करने के कारण केवल TCSC का उपयोग करने से अधिक होती है
6.	स्थिर संधारित्र और TCSC के दो मॉड्यूल के साथ। TCSC प्रेरक और संधारित्र के दो मॉड्यूल की रेटिंग सामान्य TCSC प्रेरक और संधारित्र के समान है।	385.10	पावर ट्रांसफर बढ़ जाता है क्योंकि इसमें स्थिर संधारित्र और TCSC के दो मॉड्यूल होते हैं। दोनों की रेटिंग सामान्य TCSC जैसी ही है।



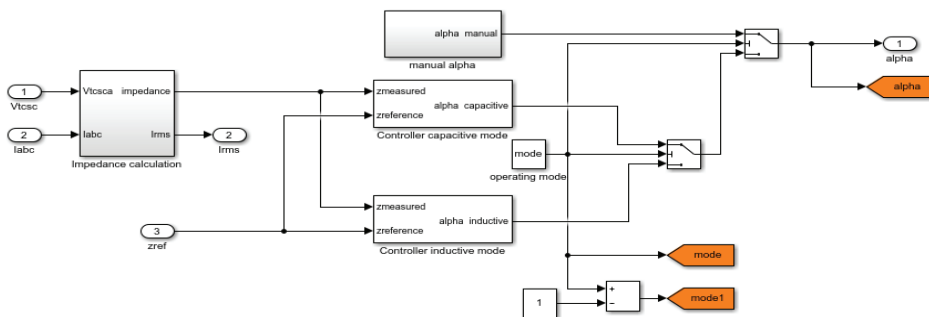
7.	स्थिर संधारित्र और TCSC के दो मॉड्यूल के साथ। प्रारंभ करनेवाला प्रेरक का मान सामान्य TCSC के प्रेरक के मान से आधा रखा जाता है। संधारित्र का मान सामान्य TCSC के संधारित्र के मान से दोगुना होता है। यह TCSC के दोनों दो मॉड्यूल के लिए किया जाता है।	380.55	स्थिर संधारित्र और TCSC के दो मॉड्यूल का उपयोग करने के कारण पावर ट्रांसफर बढ़ जाता है। लेकिन प्रेरक और संधारित्र के मूल्यों के कारण दो मॉड्यूल सामान्य TCSC की तरह व्यवहार करते हैं
----	--	--------	---

### 5.2 पारंपरिक PI आधारित TCSC

एक PI नियंत्रक एक फीडबैक कंट्रोल लूप है जो एक सिस्टम के आउटपुट के बीच अंतर को लेकर एक त्रुटि संकेत की गणना करता है। पावर सिस्टम में उपयोग किए जाने वाले विभिन्न पारंपरिक नियंत्रक हैं। फायरिंग कोणों की ट्यूनिंग PI नियंत्रक द्वारा की जाती है। नियंत्रक को ठीक से ट्यून करने से प्रतिबाधा त्रुटि कम हो जाती है और यह सिस्टम में बिजली के प्रवाह को बढ़ाता है। प्रतिबाधा त्रुटि मापी गई प्रतिबाधा और सिस्टम को दिए गए संदर्भ प्रतिबाधा के बीच का अंतर है। प्रदर्शन में सुधार के लिए सिस्टम को ठीक से ट्यून करना आवश्यक है और स्थिरता। सिमुलेशन सिस्टम में एक PI कंट्रोलर ब्लॉक, प्रतिबाधा माप ब्लॉक, फायरिंग यूनिट सबसिस्टम होता है। फायरिंग यूनिट सबसिस्टम ब्लॉक में फायरिंग यूनिट फेज ए, फायरिंग यूनिट फेज बी और फायरिंग यूनिट फेज सी के लिए ब्लॉक होते हैं। इसमें तीन पीएलएल होते हैं। फायरिंग सर्किट सबसिस्टम और यह लाइन करंट के साथ सिंक्रोनाइज़ होता है। लाइन वोल्टेज की तुलना में लाइन करंट का उपयोग सिंक्रोनाइज़ेशन के लिए किया जाता है। PI नियंत्रक प्रतिबाधा में परिवर्तन के अनुसार TCSC के फायरिंग कोण को ठीक से समायोजित करता है। इसके बाद फायरिंग कोण के अनुसार बिजली हस्तांतरण को नियंत्रित करेगा।

### 5.3 PI नियंत्रक पर आधारित नियंत्रण प्रणाली सबसिस्टम का आंतरिक विवरण

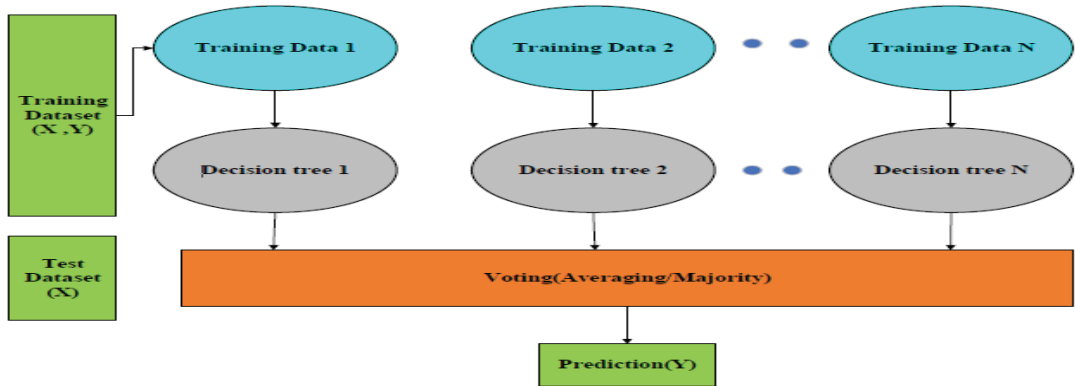
PI नियंत्रक के आंतरिक विवरण में विभिन्न ब्लॉक होते हैं जैसा कि चित्र 8 में दिखाया गया है। ये प्रतिबाधा नियंत्रण ब्लॉक और आगमनात्मक और कैपेसिटिव मोड नियंत्रण के लिए ब्लॉक हैं। मोड बदलने के लिए टॉगल स्विच है। कंट्रोलर को ठीक से ट्यून करने से लाइन में TCSC का उपयोग करके पावर फ्लो में सुधार होता है।



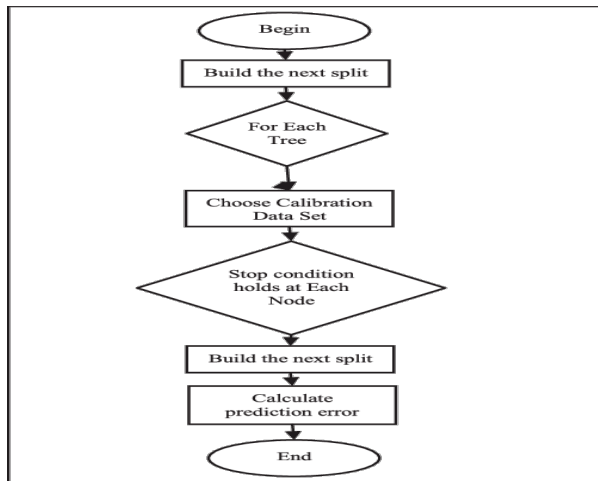
चित्र 8: PI आधारित नियंत्रक

### 5.4 रैंडम फॉरेस्ट क्रियाविधि

RFA वर्गीकरण और प्रतिगमन के लिए उच्च कम्प्यूटेशनल क्षमताओं पर्यवेक्षित मशीन लर्निंग एल्गोरिथम है। यह एन्सेम्बल लर्निंग की अवधारणा पर आधारित है, जो एक जटिल समस्या को हल करने और मॉडल के प्रदर्शन में सुधार करने के लिए कई वर्गीकरणों को संयोजित करने की प्रक्रिया है। यहां व्यक्तिगत नमूना मॉडल के संयुक्त परिणामों पर भविष्यवाणियां की जाती हैं। पहले निर्णय वृक्ष पद्धति का उपयोग किया जाता था जो प्रशिक्षित डेटा के साथ प्रभावी ढंग से काम करती थी, लेकिन इस पद्धति ने डेटा के परिणामों को पकड़ लिया जो तब परीक्षण डेटा में परिलक्षित होता है। इसलिए परिणाम प्रशिक्षित डेटा से प्रभावित होते हैं। Random Forest इसके विपरीत विधि है, डेटा सेट का प्रशिक्षण बैगिंग विधि द्वारा किया जाता है। इस पद्धति का उपयोग भविष्यवाणियों में भिन्नता को कम करने के लिए किया जाता है। इसमें दिए गए डेटा सेट के विभिन्न नमूनों पर निर्मित कई निर्णय वृक्षों के परिणामों को संयोजित किया जाता है। RFA पद्धति में निर्णय वृक्ष विधि की कमियों को दूर किया जाता है। RFA AI तकनीकों से संबंधित है। रैंडम फॉरेस्ट क्रियाविधि नीचे दिए गए चित्र 9 में दी गई है (9)।



चित्र 9: रैंडम फॉरेस्ट क्रियाविधि

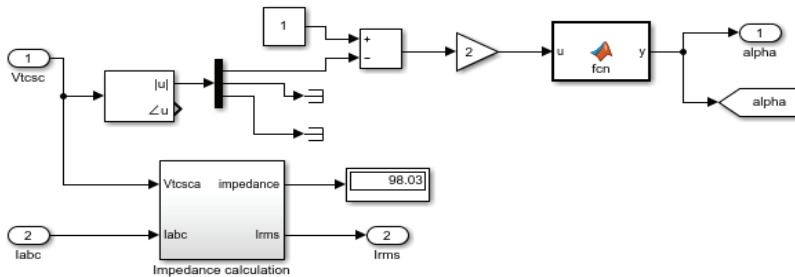


चित्र 10: RFA प्रवाह चार्ट

निर्णय लेने के लिए डेटा को विभाजित करने के लिए कई प्रश्न पूछे जाते हैं। डेटा के प्रत्येक विभाजन पर डेटा सेट के बारे में जानकारी प्राप्त की जाती है। इससे मॉडल की भविष्यवाणी क्षमता में वृद्धि हुई। निर्णय वृक्षों में डेटा की अधिकता की समस्या का समाधान RFA पर आधारित निर्णय वृक्षों द्वारा किया जाता है। RFA एल्गोरिथम के लिए प्रवाह चार्ट चित्र 10 में दिखाया गया है।

### 5.5 RFA आधारित TCSC

यहां एक कॉय फंक्शन बनाया गया है। कार्यक्षेत्र में उलकंजं.उंज फाइल से पावर और कोण का डेटा लोड किया गया है। वेरिएबल X को मेगावाट में पावर के लिए चुना गया है और वेरिएबल Y को डिग्री में आउटपुट फायरिंग कोण के लिए चुना गया है। पावर के मूल्यों को TCSC विशेषताओं के अनुसार चुना जाता है कि आगमनात्मक वर्नियर क्षेत्र में विद्युत प्रवाह घटता है और कैपेसिटिव वर्नियर क्षेत्र में वृद्धि होती है जैसे कि मेगावाट में पावर = (390 380 340 340 320 300 590 580 570 560) और डिग्री में फायरिंग कोण = ( 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90)। इस इनपुट डेटा को सिस्टम में लोड किया जाता है और RFA की वर्गीकरण पद्धति का प्रदर्शन किया जाता है। निर्णय वृक्षों का एक बैग बनाने के लिए इस फंक्शन में ट्री बैगर वर्ग का उपयोग किया जाता है। ट्री बैगर के प्रयोग से वृक्षों को आकार में और गहरा किया जाता है। इसलिए इसका उपयोग कार्य में किया जाता है। बूटस्ट्रैपिंग के लिए चुने गए बैग की संख्या 60 है। डेटा से विभिन्न नमूने लिए जाते हैं और कई निर्णय वृक्ष तैयार किए जाते हैं। जैसा कि उपरोक्त फंक्शन में वर्गीकरण का उपयोग किया जाता है, इसलिए निर्णय के लिए अधिकांश वोट लिए जाते हैं। डिफॉल्ट रूप से न्यूनतम पत्ती का आकार 1 है। अनुकूलन के बाद प्राप्त वर्ग नाम वेरिएबल Y के कोण हैं। RFA द्वारा फायरिंग कोण 78° पाया जाता है जैसा कि चित्र संख्या 12 में दिखाया गया है। यह फायरिंग कोण MATLAB फंक्शन का उपयोग करके TCSC के साथ सिस्टम की सिमुलेशन फाइल को सौंपा गया है। इस फंक्शन ने EVALIN और ASSIGNIN कमांड और कार्यक्षेत्र के डेटा का उपयोग किया। फंक्शन के अंदर लूप के लिए बनाया गया है जो उपयुक्त फायरिंग दालों को TCSC सिस्टम में सेट करता है जो अंततः RFA द्वारा अधिकतम पावर ट्रांसफर क्षमता में सुधार करता है (13)।



चित्र 11: RFA आधारित TCSC के लिए सिमुलेशन आरेख का आंतरिक विवरण

चुने गए विभिन्न मापदंडों के ट्रीबैगर मान चित्र 12 में दिखाए गए हैं। इस चित्र में X और Y दो प्रशिक्षण चर हैं। परिणाम MATLAB से उत्पन्न होता है।

चित्र 12: RFA में ट्रीबैगर के परिणाम

```

TreeBagger
Ensemble with 60 bagged decision trees:
      Training X:      [30x4]
      Training Y:      [30x1]
      Method:          classification
      NumPredictors:   4
      NumPredictorsToSample: 2
      MinLeafSize:     1
      InBagFraction:   1
      SampleWithReplacement: 1
      ComputeOOBPrediction: 1
      ComputeOOBPredictorImportance: 0
      Proximity:       []
      ClassNames:     ''seventy eight''
ans =
      1x1 cell array
      {'eighty'}
      {'seventy eight'}
    
```

एक निर्णय वृक्ष एक पेड़ के रूप में एक समस्या का प्रतिनिधित्व करने का तरीका है। वृक्ष में सभी संभावित समाधानों का प्रतिनिधित्व किया जाता है और कुछ शर्तों के आधार पर अंतिम परिणाम उत्पन्न होता है। वर्गीकरण पद्धति RFA द्वारा निर्णय वृक्ष बनाया गया है। निर्णय वृक्ष को दो तरह से दर्शाया गया है जैसा कि चित्र 13 और चित्र 14 में दिखाया गया है। पूरे डेटा सेट का उपयोग बैगैड एन्सेम्बल लर्निंग के आधार पर वर्गीकरण वृक्ष को प्रशिक्षित करने के लिए किया जाता है।

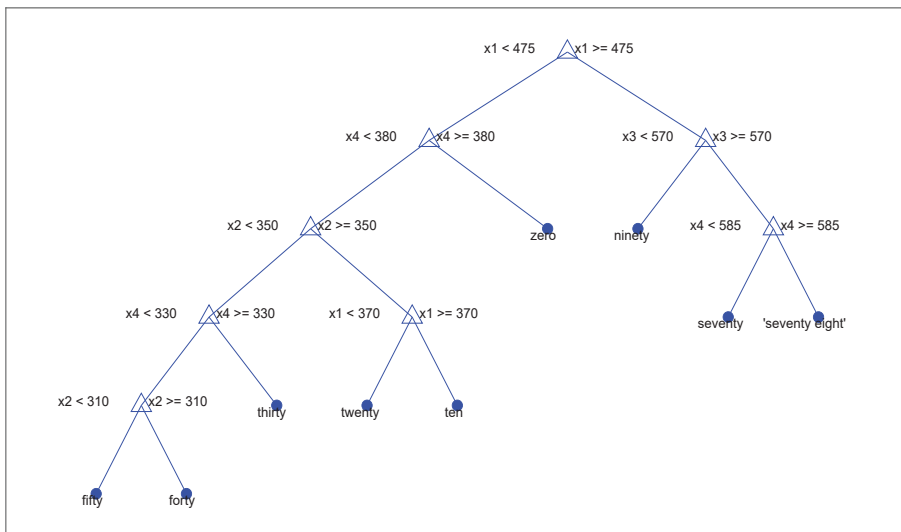
**Decision tree for classification**

```

1  if x1<475 then node 2 elseif x1>=475 then node 3 else ninety
2  if x4<380 then node 4 elseif x4>=380 then node 5 else thirty
3  if x3<570 then node 6 elseif x3>=570 then node 7 else ninety
4  if x2<350 then node 8 elseif x2>=350 then node 9 else thirty
5  class = zero
6  class = ninety
7  if x4<585 then node 10 elseif x4>=585 then node 11 else seventy
8  if x4<330 then node 12 elseif x4>=330 then node 13 else thirty
9  if x1<370 then node 14 elseif x1>=370 then node 15 else twenty
10 class = seventy
11 class = 'seventy eight'
12 if x2<310 then node 16 elseif x2>=310 then node 17 else fifty
13 class = thirty
14 class = twenty
15 class = ten
16 class = fifty
17 class = forty
    
```

चित्र 13: निर्णय वृक्ष प्रकार 1

नोड को विभाजित करने के रूप में निर्णय वृक्ष नीचे दिखाया गया है। RFA डेटा को संसाधित करता है और डेटा से यादृच्छिक रूप से कुछ नमूनों का चयन करता है और इसका उपयोग प्रशिक्षण के लिए किया जाता है। चुने गए डेटा के नमूनों से एक निर्णय वृक्ष बनता है। फायरिंग कोण का अंतिम मूल्य RFA से उत्पन्न होता



है। वर्गीकरण प्रकार की समस्याओं के लिए निर्णय वृक्ष सर्वोत्तम कार्य करते हैं। एल्गोरिथ्म आसान और सरल है। परिणाम बहुत तेज़ और समझने में आसान हैं।

चित्र 14: निर्णय वृक्ष प्रकार 2

### 5.6 पारंपरिक और RFA आधारित TCSC का उपयोग करके सक्रिय शक्ति का प्रदर्शन विश्लेषण

मुआवजे के बिना सक्रिय बिजली हस्तांतरण 339.44 मेगावाट है।

तालिका 2: कैपेसिटिव मोड में पारंपरिक TCSC के साथ विद्युत प्रवाह

क्रम संख्या	कोण (डिग्री)	शक्ति (मेगावाट)	प्रतिबाधा (ओम)
1	59	381.88	87.56
2	60	381.83	87.53
3	65	380.99	85.13
4	70	380.52	83.52
5	73	380.08	82.45
6	80	379.95	82.03
7	85	379.90	81.86
8	90	379.84	81.84

तालिका 3: आगमनात्मक मोड में पारंपरिक TCSC के साथ विद्युत प्रवाह

क्रम संख्या	कोण (डिग्री)	शक्ति (मेगावाट)	प्रतिबाधा (ओम)
1	0	310.86	46.32
2	10	290.76	55.67
3	20	286.77	83.59
4	25	274.08	101.20
5	30	258.65	126.20
6	35	232.43	164.00
7	40	196.59	222.40

तालिका 4: विभिन्न नियंत्रकों से सक्रिय शक्ति का परिणाम

क्रम संख्या	नियंत्रक	सक्रिय शक्ति प्राप्त करने वाले छोर पर (मेगावाट)
1	TCSC के बिना	339.44
2	PI आधारित TCSC के साथ	380.03
3	RFA आधारित TCSC के साथ	385.00

तालिका 5: निर्णय वृक्ष तथा रैंडम फॉरेस्ट की सटीकता

क्रम संख्या	विधि	सटीकता (%)
1	निर्णय वृक्ष	94.00
2	रैंडम फॉरेस्ट	97.04

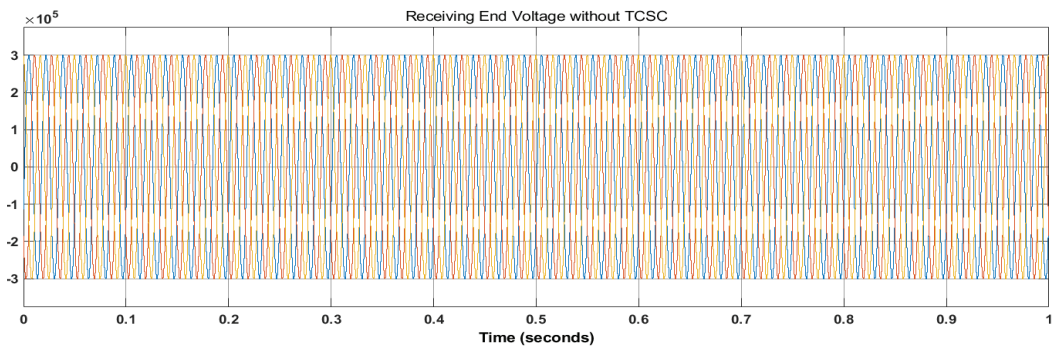
### 5.7 परिणाम और चर्चा / संभावित अनुप्रयोग

तालिका 3 और 4 के मूल्यों से यह स्पष्ट है कि आगमनात्मक मोड में विद्युत प्रवाह घटता है और कैपेसिटिव मोड में विद्युत प्रवाह की वृद्धि होती है। कैपेसिटिव मोड में प्रतिबाधा कम हो जाती है और आगमनात्मक मोड में प्रतिबाधा बढ़ जाती है। अनुनाद क्षेत्र में अर्थात आगमनात्मक और कैपेसिटिव क्षेत्रों के बीच बिजली हस्तांतरण निषिद्ध है। TCSC का यह लाभ है कि TCSC के फायरिंग कोणों को समायोजित करके लोड की स्थिति के अनुसार बिजली हस्तांतरण को बढ़ाने और घटाने के लिए किया जाता है। TCSC के बिना सिस्टम के सिमुलेशन आरेखों से, RFA का उपयोग करके PI और TCSC पर आधारित TCSC के साथ सिस्टम में सक्रिय पावर ट्रांसफर का परिणाम तालिका 4 में दिया गया है। तालिका संख्या 4 से यह देखा जाता है कि RFA आधारित TCSC का उपयोग करना सिस्टम में अधिकतम सक्रिय पावर ट्रांसफर है। यह TCSC मशीन लर्निंग आधारित है। तालिका 5 निर्णय वृक्ष और RFA की सटीकता को दर्शाता है। RFA का लाभ यह है कि यह निर्णय वृक्ष की डेटा समस्या को

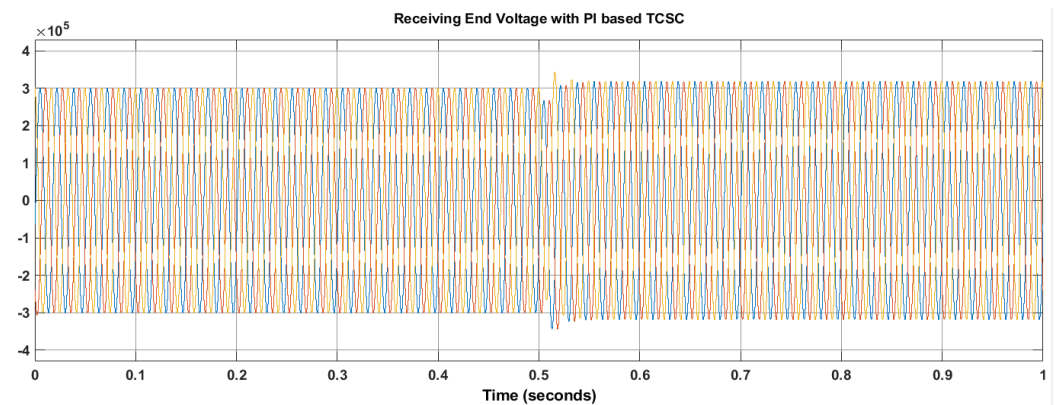
ओवरफिट करने का ध्यान रखता है। निर्णय वृक्ष विधि की सटीकता RFA विधि की तुलना में कम पाई जाती है। RFA पर आधारित इस नियंत्रक का उपयोग विभिन्न बिजली चुनौतियों का सामना करने के लिए सिस्टम में सफलतापूर्वक किया जाता है।

### 5.8 TCSC के बिना और तीन प्रकार के नियंत्रकों के आधार पर TCSC के साथ प्राप्त करने वाले छोर पर वोल्टेज में भिन्नता का प्लॉट।

प्राप्त अंत वोल्टेज विभिन्न नियंत्रकों के लिए प्लॉट किया गया है। चित्र 15 सिस्टम में किसी भी नियंत्रक के बिना वोल्टेज दिखाता है। फिर चित्र (16),(17 ) में विभिन्न नियंत्रकों के साथ प्राप्त करने वाले अंत में वोल्टेज दिखाया गया है। TCSC को पहले 0.5 सेकंड के लिए बायपास किया जाता है। वोल्टेज RFA आधारित TCSC नियंत्रक के साथ अधिकतम है जो दर्शाता है कि RFA एक उत्कृष्ट मशीन लर्निंग एल्गोरिदम है:



चित्र 15: TCSC के बिना वोल्टेज प्राप्त करना



चित्र 16:PI नियंत्रक के साथ वोल्टेज प्राप्त करना



चित्र 17:RFA आधारित नियंत्रक के साथ वोल्टेज प्राप्त करना

## 6 निष्कर्ष

प्रस्तावित कार्य में FACTS डिवाइस TCSC का उपयोग सिस्टम में पावर फ्लो को बेहतर बनाने के लिए किया जाता है। TCSC को PI नियंत्रक का उपयोग करके और फिर मशीन लर्निंग एल्गोरिदम-आधारित नियंत्रक का उपयोग करके डिजाइन किया गया है। आगमनात्मक मोड में बिजली का बहाव कम होता है और कैपेसिटिव मोड में बिजली का बहाव बढ़ता है। स्थिर संधारित्र और TCSC के विभिन्न संयोजनों के साथ बिजली प्रवाह के परिणाम तालिका 1 में दिए गए हैं। TCSC के दो मॉड्यूल सक्रिय शक्ति को बढ़ाने के लिए उपयोग किए जाते हैं। फिर अगले कार्य में RFA आधारित TCSC कंट्रोलर का प्रयोग किया जाता है। इस TCSC का उपयोग करके सिस्टम में अधिक सक्रिय बिजली का बहाव होता है। RFA में उत्कृष्ट कम्प्यूटेशनल क्षमताएं हैं और निर्णय की सबसे बड़ी समस्या का समाधान करती हैं। फायरिंग कोण का उचित मूल्य उत्पन्न होता है और डिजाइन किए गए फंक्शन द्वारा और सुधार किया जाता है जिससे सिस्टम में बिजली का प्रवाह अधिकतम हो जाता है। इस RFA नियंत्रक का उपयोग विभिन्न बिजली समस्याओं और चुनौतियों को हल करने और कम करने के लिए किया जाता

है। पारंपरिक और साथ ही RFA के आधार पर दोनों प्रकार के नियंत्रकों का उपयोग करके सिस्टम की दक्षता में सुधार किया जाता है। लेकिन RFA के साथ सर्वोत्तम परिणाम उत्पन्न होते हैं। RFA की सटीकता निर्णय ट्री आधारित एल्गोरिथम से बेहतर है। चूंकि RFA आधारित नियंत्रक के साथ अधिक बिजली हस्तांतरण है, नई लाइनों में निवेश करने की कोई आवश्यकता नहीं है और उपयोगिता और उपभोक्ताओं पर अनावश्यक वित्तीय बोझ से राहत मिलेगी। देश का चहुंमुखी आर्थिक और सुदृढ़ विकास होगा।

## 7. भविष्य के अनुसंधान निर्देश

यह काम विभिन्न मल्टीमशीन बस सिस्टम तक बढ़ाया जा सकता है। काम का विश्लेषण विभिन्न गुंजयमान कारकों के साथ किया जा सकता है। सिस्टम का टोटल हार्मोनिक डिस्टोर्शन और लोड फ्लो विश्लेषण दो प्रकार के TCSC के बिना और उसके उपयोग के साथ किया जा सकता है। कार्य प्रणाली में दोषों को शामिल करने के साथ किया जा सकता है दोष शक्ति के सामान्य प्रवाह में बाधक हैं। इसलिए मशीन लर्निंग का उपयोग करके दोषों वाले सिस्टम के प्रदर्शन में सुधार किया जा सकता है

## 8. स्वीकृति

लेखक इस काम को पूरा करने के लिए विस्तारित समर्थन प्रदान करने के लिए इलेक्ट्रिकल और इलेक्ट्रॉनिक्स इंजीनियरिंग विभाग, घोसिया कॉलेज ऑफ इंजीनियरिंग के प्रिंसिपल को ईमानदारी से धन्यवाद व्यक्त करना चाहते हैं।

## 9. अंग्रेजी शब्दों के साथ कागज में प्रयुक्त हिंदी शब्दों की तालिका

English	Hindi
Artificial Intelligence	कृत्रिम होशियारी
Control System	नियंत्रण प्रणाली
Controller	नियंत्रक
Inductive mode	आगमनात्मक मोड
Machine Learning	यंत्र अधिगम
Power transfer	विद्युत शक्ति हस्तांतरण
Proportional Integral	आनुपातिक इंटीग्रेटर
Thyristor Controlled Series Capacitor	थाइरिस्टर नियंत्रित श्रृंखला संधारित्र
Transmission lines	पारेषण लाइनें
Random Forest Algorithm	यादृच्छिक वन एल्गोरिथम

## 10. सन्दर्भ सूची

1. R.Mohan Mathur,Rajiv K.Varma, "Thyristor-based Flexible AC Transmission System Controllers for Electrical Transmission Systems ",IEEE Press, Wiley India Pvt. Ltd.,New Delhi,(2016).
2. Anjali Rakhonde,Shreya Mukkawar, Megha Wankhade , "Simulation and Performance Analysis of FACTS Controllers in Transmission line", International Journal of Advance Engineering and Research

Development,Volume.5, Issue-3, pp.2348-6406,(2018).

3. S. Meikandasivam, D.Vijaya Kumar, Rajesh Kumar Nema, Shailendra Kumar Jain, " Investigation of Split TCSC on Kanpur-Ballabgarh Transmission System", International Journal of Electrical and Computer Engineering, Volume. 8,Issue No.1.pp 76-83,(2014).
4. Arman Fathollahi , Abbas Kargar , Sayed Yaser Derakhshandeh," Enhancement of power system transient stability and voltage regulation performance with decentralized synergetic TCSC controller", International Journal of Electrical Power and Energy Systems , pp.1-11,(2021).
5. Ashraf Mohamed Hemeida, Mohamed M. Hamada , Youssef A. Mobarak A. El-Bahnasawy , Mohamed G. Ashmawy, Tomonobu Senju , "TCSC with auxiliary controls-based voltage and reactive power controls on grid Power System ",Ain Shams Engineering Journal , Volume -11 , pp. 587–609,(2020).
6. Okumu Cephas, Akshay A. Pandya , "Analysis of fault location in a transmission line with and without TCSC ",3rd International Conference on Advances in Power Generation from Renewable Energy Sources, pp 1-12,(2019).
7. Salah Kamel , Mohamed Abokrishna, Ali Selim , Francisco Jurado , "Power flow control of power systems based on a simple TCSC model" , Ain Shams Engineering Journal,Volume-12,pp. 2781–2788,(2021).
8. Hamed Fasihpour, Saeed Seyedtabaii," Fault detection and faulty phase(s)identification in TCSC compensated transmission lines",IET Generation, Transmission & Distribution , Volume. 14,Issue. No. 6, pp. 1042-1050,(2020).
9. Niva Mohapatra, K. Shreya , Ayes Chinmay, "Optimization of the Random Forest



- Algorithm Springer Nature Singapore Pvt. Ltd”, Advances in Data Science and Management, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, Volume 37,pp.201-208,(2020).
10. Mona Bhatnagar, Suyash Kumar, Chetana Jain, “Understanding the COVID-19 Pandemic Using the Machine Learning Techniques” , Vigyan Prakash, Research Journal of Science and Technology , Volume. 19, Issue No. 4,pp 20-29,(2021).
  11. Deepesh Bhati,” Fault Detection and Classification System on Transmission Lines Using Artificial Neural Network”, Vigyan Prakash, Research Journal of Science and Technology, Volume. 19, Issue 1, pp. 31-37,(2021)
  12. Ajay Kumar Bansal, Vikas Garg, Particle Swarm Optimization based Artificial Neural Network for Wind Speed Forecasting,” Vigyan Prakash, Research Journal of Science and Technology , Volume. 19, Issue 1-2,pp.21-31,(2021).
  13. Nazmus Sakib Akash, Shakir Rouf, Sigma Jahan, Amlan Chowdhury, Amitabha Chakrabarty , Jia Uddin,” Botnet Detection in IoT Devices Using Random Forest Classifier with Independent Component Analysis “,Journal of Information and Communication Technology,Volume. 21,Issue. 2 , pp. 201-232,(2022).

### कटपयआदि विधि से स्मरण-सुगम श्लोक रचना

वेदांग ज्योतिष में गणित का स्थान सर्वोपरि (मूढन्य) बताया गया है -

*यथा शिखा मयूराणां नागानां मणयो यथा।*

*तद्वद् वेदांगशास्त्राणां गणितं मूर्ध्नि संस्थितम् ॥ -- (वेदांग ज्योतिष - ५)*

(जिस प्रकार मोरों के सिर पर शिखा और नागों के सिर में मणि सर्वोच्च स्थान में होते हैं उसी प्रकार वेदांगशास्त्रों में गणित का स्थान सबसे उपर (मूर्धन्य) है।

गणित सूत्रों और बड़ी संख्याओं को याद करने में सुगम बनाने के लिए श्लोकों की रचना की जाती थी। इनसे सूत्र और बड़ी संख्याओं को याद करना आसान हो जाता है। क-ट-प-य-आदि (कटपयादि) तरीके से केरल में श्लोक लिखे गए। त्रिकोणमिति के सूत्रों के लिए स्मरण सुगम श्लोकों की रचना की।

भगवान कृष्ण की स्तुति श्लोक -

*गोपीभाग्यमधुव्रात- षुण्डिशोदधिसन्धिग। खलजीवितखाताव गलहालारसंधर ॥*

*अर्थात् - हे कृष्ण, गोपियों के भाग्य, राक्षस मधु का वध करने वाले, पशुओं के रक्षक, जिसने समुद्र की गहराई नापी है, दुर्जनों के नाशक, जिसके कंधे पर हल है और जो अमृत धारण करते हैं, रक्षा करो!*

इस श्लोक में गणित कहाँ है? इसे कटपयादि पद्धति से मालूम करते हैं। कटपयादि पद्धति

क, ग, ज, आदि अक्षर हैं। इनका मान कटपयादि (क ट प य आदि) पद्धति में इस प्रकार है -

हलन्त वर्ण, स्वर का मान नहीं होता। मिश्र अक्षर (CV/CCV : Syllable) का मान मूल अक्षर का ही होगा। गोपीभाग्य वाले शब्द से ग, प, भ... ऐसे. ये भगवान कृष्ण वाला श्लोक भी पाई (π) का ही मान देगा 3.1415926535897932384626433832792

गो 3 पी 1 भा 4 ग्य 1 म 5 धु 9 ब्रा 2 त 2

षु 6 षुण्डि 3 शो 5 द 8 धि 9 स 7 न्धि 9 ग 3

ख 2 ल 3 जी 8 वि 4 त 6 खा 2 ता 6 व 4

ग 3 ल 3 हा 8 ला 3 र 2 सं 7 ध 9 र 2 ॥

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
क	ख	ग	घ	ङ	च	छ	ज	झ	ञ
ट	ठ	ड	ढ	ण	त	थ	द	ध	न
प	फ	ब	भ	म	-	-	-	-	-
य	र	ल	व	श	ष	स	ह	-	-

14वीं शताब्दी में माधवाचार्य ने कटपयादि सिस्टम में एक टेबल बनाई थी. उन्होंने 90 डिग्री कोण के 24 टुकड़े किए। हर टुकड़े के ज्या (Sine) का मान श्लोक से मिलता है। इसे माधवाचार्य की ज्या सारणी कहते हैं। पहले टुकड़े के ज्या मान के लिए श्लोक है - 'श्रेष्ठं नाम वरिष्ठानां' कटपयादी से मान है : 22 05 4220 इसे रिवर्स करके एक अन्य फॉर्मूले से 3.75 डिग्री के ज्या Sine(3.75) = 0.06540314 . इसी प्रकार कोण बढ़ाते हुए 90 डिग्री के ज्या का मान 1.0000000 मिलेगा। Reference: [www.thelallantop.com/lallankhas/post/katapayadi-system](http://www.thelallantop.com/lallankhas/post/katapayadi-system)