भारतीय ग्रिड के संदर्भ में हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन डिजाइन के विश्वसनीयता आधारित विकास का आर्थिक विश्लेषण

Economic analysis of reliability-based development of hybrid transmission line design in the context of the Indian grid

मनन पाठक[1], डॉ. दिशांग त्रिवेदी[2]

Manan Pathak[1], Dr. Dishang Trivedi[2]

[1]Research Scholar, Gujarat Technological University, Ahmedabad

[2]Deputy Director, Commissionerate of Technical Education

Former Associate Professor, Department of Electrical Engineering,

LD College of Engineering, Ahmedabad

mananypathak@gmail.com, dishang.trivedi@gmail.com

https://doie.org/10.0729/VP.2024217997

सारांश

पिछले कुछ वर्षों में नवीकरणीय ऊर्जा में संक्रमण का समर्थन करने के लिए भारत का ट्रांसमिशन लाइन नेटवर्क लगातार बढ़ रहा है। देश ने वित्तीय वर्ष 2022 में 14,895 सर्किट किलोमीटर लाइन की लंबाई और ट्रांसफार्मर क्षमता में 78,982 MVA की वृद्धि को जोड़ा, जो पिछले वर्ष की तुलना में क्रमशः 3.4 प्रतिशत और 7.7 प्रतिशत की अंतर्गत वृद्धि थी। भविष्य के लिए निर्धारित 2030 तक गैर-जीवाश्म ईंधन क्षमता के 500 GW के अधिक महत्वाकांक्षी जलवायु परिवर्तन लक्ष्यों के साथ, देश के विद्युत ग्रिड बुनियादी ढांचे को अंतर्राज्यीय (Inter-state) के साथ-साथ राज्यान्तर्गत (Intra-state) ट्रांसमिशन स्तरों पर उन्नत करने के लिए महत्वपूर्ण निवेश चल रहे हैं। राष्ट्रीय अवसंरचना पाइपलाइन का अनुमान है कि वित्त वर्ष 2025 तक ट्रांसमिशन लाइन खंड में 3,040.50 अरब रुपये का संचयी निवेश होगा। परियोजना के विकास में तेजी लाने और ट्रांसमिशन प्रणाली योजना में सुधार के लिए हाल के नीतिगत प्रयासों को निर्देशित किया गया है। नई प्रमोचित की गई पीएम गति पावर पहल से परियोजना के विकास को सुव्यवस्थित करने और ट्रांसमिशन सहित सभी बुनियादी परियोजनाओं के लिए समय और लागत में कमी आने की उम्मीद है, जिससे आरओडब्ल्यू मुद्दों को हल करने में मदद मिलेगी। तेजी से बदलते बाजारों के साथ, विद्युत ग्रिड को अधिक विश्वसनीय, सुरक्षित और बुद्धिमान बनाने के लिए नई तकनीकों में निवेश बढ़ाना भी ट्रांसमिशन क्षेत्र के लिए अनिवार्य होता जा रहा है। भारत में हाल ही में शुरू की गई हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन अवधारणा जो एक ही टावर पर AC और DC कंडक्टर को लागू करने की व्यवहार्यता को सही ठहराती है या एक ही राइट ऑफ वे साझा करती है, ग्रिड की विश्वसनीयता तथा दक्षता में सुधार कर सकती है। इस शोध पत्र का उद्देश्य हाल के रुझानों और विकासों पर चर्चा करना और भारतीय विद्युत ट्रांसमिशन क्षेत्र में भविष्य की योजनाओं और आगामी अवसरों पर प्रकाश डालना है। यह शोध पत्र विद्युत क्षेत्र, चुंबकीय क्षेत्र और राइट ऑफ वे को उदेश्य फलन के रूप में मानते हुए हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन को लागू करने के लिए कुछ व्यवहार्यता विश्लेषण पर भी प्रकाश डालता है, जो पर्यावरणीय परिस्थितियों को प्रभावित करता है, जो संभावित समाधान और रणनीति प्रदान करता है। यह शोध पत्र हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन निदर्श के एक व्यष्टि अध्ययन (case study) को भी वर्णित करता है और ICNIRP और CBIP दिशानिर्देशों के साथ उनके विद्युत क्षेत्र और चुंबकीय क्षेत्र परिणाम विश्लेषण की तुलना को प्रमाणित करता है। परिणाम बताते हैं कि प्रस्तावित हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन निदर्श भारतीय भूवैज्ञानिक स्थिति के लिए व्यवहार्य है और यूटिलिटी इंजीनियरों को समाधान प्रदान करता है। इस शोध पत्र का मुख्य उद्देश्य एक कुशल, विश्वसनीय और आधुनिक ग्रिड बनाना है। हाइब्रिड HVDC/EHVAC ट्रांसमिशन लाइनों का उपयोग करके लाइन सर्विट्यूड के उपयोग और शक्ति घनत्व में संभावित सुधार के लिए हाइब्रिड लाइनों को डिजाइन करने के एक अनुकरणीय ढांचे के माध्यम से अपनी ट्रांसमिशन एसेट का बेहतर प्रबंधन करना है।

Abstract

India's transmission network has been growing steadily in the past few years to support the transition to renewable energy. The country added 14,895 circuit kms of line length in FY22 and 78,982 MVA of transformer capacity, an increase of 3.4% and 7.7% respectively over the previous year. With more ambitious climate change targets of 500 GW of non-fossil fuel capacity by 2030 set for the future, significant investments are underway to upgrade the country's grid infrastructure at the inter-state as well as the intra-state transmission levels. The National Infrastructure Pipeline estimates a cumulative investment of Rs 3,040.50 billion in the transmission segment till FY2025. Recent policy efforts have been directed to expedite project development and improve transmission system planning. The newly launched PM Gati Shakti initiative is expected to streamline project development and reduce time and cost overruns for all infrastructure projects including transmission, which will help address RoW issues. With rapidly changing markets, ramping up investments in new technologies to make the grid more reliable, secure and smart is also becoming an imperative for the transmission domain. Newly introduced Hybrid Transmission Line concept in India which justifies the feasibility for implementing AC and DC conductors on the same tower or sharing the same Right of Way can improve grid reliability, efficiency and cost benefits for tower infrastructure will take advantage of new capabilities to support grid operations. The objective of this research paper is to discuss the recent trends and developments, and highlight the future plans and upcoming opportunities in the Indian power transmission sector. The paper will also highlight feasibility analysis for implementing Hybrid Transmission Line by considering Electric Field, Magnetic Field and Right of Way as an objective function which affects the environmental conditions which provides the possible solutions and strategies. This paper also showcases one case study of Hybrid Transmission Line Model and verified their EMF result analysis comparison with the ICNIRP and CBIP guidelines. Results show that the proposed hybrid transmission line model is feasible for Indian Geological conditions and provides solutions to the utility engineers. The main objectives of this paper is to create efficient, reliable and modern grids, and better manage their transmission assets with an exemplified framework for designing hybrid lines for the possible improvements in servitude utilisation and power density by using hybrid HVDC/ EHVAC transmission lines.

मुख्य शब्द: हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन, विद्युत चुम्बकीय क्षेत्र (EMF) ईएमएफ, राइट ऑफ वे, EHVAC, उच्च वोल्टेज प्रत्यक्ष धारा

Keywords: Hybrid Transmission Line, Electro Magnetic Field (EMF), Right of Way, EHVAC, High Voltage Direct Current.

1 परिचय

विद्युत क्षेत्र में ट्रांसमिशन लाइनों की भूमिका बड़ी महत्वपूर्ण होती है, क्योंकि ये विद्युत ग्रिड तक कुशल और विश्वसनीय बिजली वितरण सुनिश्चित करती हैं [1]। वित्तीय वर्ष 2022 में, भारत ने 14,895 सर्किट किलोमीटर लाइन लंबाई और 78,982 एमवीए (MVA) ट्रांसफार्मर क्षमता को जोडा, जो पिछले वर्ष की तुलना में ज्यादा वृद्धि को दर्शाता है। राष्ट्रीय अवसंरचना पाइपलाइन के अनुमान के अनुसार, वित्त वर्ष 2025 तक ट्रांसमिशन खंड में अरबो रुपये का निवेश होने की संभावना है [2]। तदनुसार, ट्रांसमिशन लाइनों की योजना और कार्यप्रणाली उत्पादन क्षेत्र के साथ-साथ किया जाना चाहिए, जो पर्याप्त आवश्यक कारकों का तर्कसंगत उपयोग सुनिश्चित करता है [1,4]। इस शोध पत्र का उद्देश्य न्यूनतम सिद्धांतों का उपयोग करके नई हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइनों का विकास करने के लिए मार्गदर्शन प्रदान करना है, ताकि आर्थिक दक्षता को अधिकतम किया जा सके[1]। हाइब्रिड शब्द का अर्थ एसी (AC) और डीसी (DC) प्रणाली का संयोजन है। सामान्य तौर पर, हाइब्रिड लाइन का प्रतिनिधित्व

इस प्रकार है: “एक ही टावर (सेम-टावर) को साझा करने वाले दो सर्किट” [16]। हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन को लागू करने से एसी और डीसी दोनों प्रणालियों के प्रदर्शन पर प्रभाव पड़ता है, क्योंकि ये दोनों प्रणालियाँ एक-दूसरे के संचालन को प्रभावित करती हैं। वैसे तो भारत में ऐसी हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइनें नहीं हैं जो एक ही टावर पर EHVAC और HVDC लाइन ले जाती हो। भारत में कई HVDC लिंक हैं जो दो EHVAC लाइनों के बीच जुड़ते हैं। नई हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन का कार्यान्वयन बहुत जटिल समस्या है, इसलिए प्रस्तावित डिज़ाइन डेटा और मापदंडों की पहचान और उचित चयन पर निर्भर करता है। इन मापदंडों में जटिल परस्पर क्रिया शामिल हैं जो सीधे व्यक्तिगत AC और DC ट्रांसमिशन लाइन सिस्टम के कुल खर्च को प्रभावित करते हैं, और प्रस्तावित हाइब्रिड लाइन के साथ व्यक्तिगत ट्रांसमिशन लाइनों के खर्च की तुलना करके, निवेश की विश्वसनीयता-आधारित मान्यता को सत्यापित किया जा सकता है। इस शोध पत्र पर आधारित गणना का उद्देश्य योजना, डिजाइन, निदर्शन और आर्थिक विश्लेषण के सभी प्रासंगिक पहलुओं की विस्तृत समीक्षा के साथ हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन परिनियोजन की सर्वोत्तम आर्थिक योजना से संबंधित मुख्य मुद्दों को संबोधित करना है [1]।

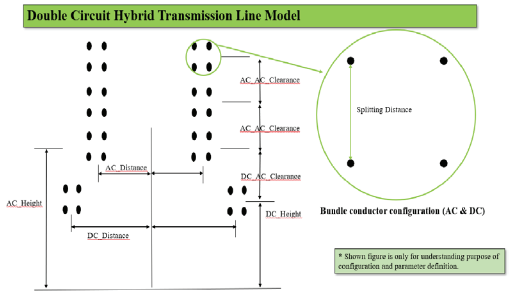
2 साहित्य सर्वेक्षण

पावर ग्रिड कॉरपोरेशन ऑफ इंडिया लिमिटेड (PGCIL) से HVDC के ट्रांसमिशन लाइन वोल्टेज स्तर में वृद्धि और विकेन्द्रीकृत गैर-पारंपरिक ग्रिडों के लिए इसकी उपयुक्तता ने पहले से मौजूद HVDC परियोजनाओं के साथ कई आगामी HVDC परियोजनाओं को जोड़ने का नेतृत्व किया है [5]। अधिकांश प्रकाशन तथाकथित “हाइब्रिड लाइनों” पर ध्यान केंद्रित करते हैं, जिसमें पोल और फेज कंडक्टर एक सामान्य संरचना साझा करते हैं, “हाइब्रिड कॉरिडोर” के विपरीत, जहां AC और DC लाइनें निकट होती हैं और काफी दूरी तक समानांतर चलती हैं [7]। इसके अलावा, हाइब्रिड लाइनों पर अधिकांश साहित्य मौजूदा मल्टी-सर्किट एसी लाइनों को हाइब्रिड लाइनों में परिवर्तित करने पर केंद्रित है। हालाँकि साहित्य में हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइनों के विकास पर चर्चा नहीं की गई है, लेकिन इसमें उनके रूपांतरण से संबंधित विचारों पर चर्चा की गई है [2]।

तालिका 1: विभिन्न लेखकों द्वारा भिन्न भिन्न वर्षों में विपारित ट्रांसमिशन लाइन वोल्टेज

लेखक	वर्ष	AC वोल्टेज (केवी)	DC वोल्टेज (केवी)
सैंडर एवं अन्य	2019	380	400
ब्रजगोपाल दत्ता और साइबल चेटर्जी	2019	400	800
फेंगन्यू जिओ और जियानक्सिंग यान	2018	1000	800
लुंडकविस्ट, गुटमैन और वीमर्स	2017	380	450
ली और शिन	2016	154	80
पेटिनो, फुच्स, श्नेटलर	2014	400	400
स्ट्रूमैन और फ्रैंक	2011	400	500
किज़िल्के, एग्डेमीर और लोसिंग	2009	400	500
उल्लरीड, ये और मोरो	2003	735	450
वुडफ़र्ड	1993	230	250
रमेश एवं अन्य	1988	220	200
चार्टियर एवं अन्य	1981	500	500

3 प्रस्तावित हाइब्रिड लाइन निदर्श चित्र



चित्र 1 प्रस्तावित हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन निदर्श

एनसिस (Ansys) परिवेश में हमने हाइब्रिड निदर्श का एक विन्यास लागू किया है और उनके परिणामों का अनुकरण किया है। प्रस्तावित हाइब्रिड निदर्श के अनुसार यह दो अलग-अलग EHVAC और HVDC प्रकार की लाइन विन्यास को जोड़ता है। पहला विन्यास एकल सर्किट क्षैतिज HVDC निदर्श को इंगित करता है और दूसरा विन्यास द्विक सर्किट ऊर्ध्वाधर विन्यास को इंगित करता है। दोनों निदर्शों को एनसिस ज्योमेट्री में अनुकरित किया गया और आईसीएनआईआरपी (ICNIRP) दिशानिर्देश द्वारा प्रदान की गई उनकी सीमा स्थिति के अनुसार भारत में हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन की व्यवहार्यता की जांच करने के लिए उनके परिणामों को सत्यापित किया गया। भारतीय ग्रिड कोड के अनुसार और सीईए (CEA) से दिए गए दिशानिर्देश के अनुसार अनुकार के निवेश और कनेक्शन के लिए निम्नलिखित मापदंडों पर विचार किया गया था जैसा कि नीचे दी गई तालिका 2 में दिखाया गया है।

तालिका 2: टावर निदर्श और अभिकल्प प्राचल (Design parameters)

प्राचल	EHVAC	EHVDC	टिप्पणियाँ
वोल्टेज (केवी)	400	500	डेल्टा कनेक्शन
करंट (केए)	3.8	3.2	आरएमएस मूल्य
कंडक्टर व्यास (मिमी)	47.33	33.80	(मूल्य मिमी में)
क्षैतिज दूरी (एम)	15	22	(मूल्य मीटर में)
लंबवत दूरी (एम)	18	28	(मूल्य मीटर में)

4 टावर सिद्धांत व्यय विश्लेषण के लिए गणितीय निदर्श

यह शोध पत्र व्यक्तिगत HVDC और EHVAC पावर ट्रांसमिशन लाइनों और उनके बुनियादी ढांचे की विशेषताओं को ध्यान में रखते हुए, बिजली परियोजनाओं के सिद्धांत व्यय की गणना के लिए एक गणितीय निदर्श प्रस्तुत करता है [1]। यह ट्रांसमिशन लाइन उपकरण के विशिष्ट खर्चों और देश के राइट ऑफ वे के अनुमानित खर्चों की गणना करके किया गया था। फिर प्रस्तावित हाइब्रिड लाइन विन्यास की तुलना में व्यय की गणना की गई, और मिट्टी के प्रकार और अन्य कारकों को समायोजित करते हुए, विभिन्न क्षेत्रों के आधार पर उस विन्यास के व्यय को निर्धारित करने के लिए समायोजित किया गया [1,9]।

4.1 ट्रांसमिशन-लाइन निर्माण

बिजली लाइनों का निर्माण एक कठिन और जटिल कार्य है, जिसमें कई व्यक्तिगत पोल स्थानों सहित बिजली प्रेषण लाइनों के कार्यान्वयन के लिए एक समन्वित योजना विकसित करने में काफी प्रयास की आवश्यकता होती है [1,12]। ट्रांसमिशन लाइन निर्माण की विधि अन्य निर्माण विधियों से भिन्न होती है, लेकिन इलाके और आसपास की स्थितियों के आधार पर एक स्थान से दूसरे स्थान पर परिवर्तन पर भी विचार किया जाना चाहिए [1]। बिजली परियोजनाओं की प्रभावी योजना और प्रबंधन आवश्यक गुणवत्ता विकसित करने और प्राप्त करने और ईएमएफ और अन्य पर्यावरणीय

बाधाओं सहित पर्यावरणीय बाधाओं के साथ कुल खर्च को कम करने के लिए आवश्यक है। चित्र 2 विद्युत मंत्रालय की वेबसाइट के आंकड़ों के अनुसार भारत में अद्यतित योजना के अंत में ट्रांसमिशन लाइनों की वृद्धि प्रदर्शित करता है [11]।

Growth of Transmission Lines at the end of each Plan (All figs in Ckm):

Voltage level	6th Plan	7th Plan	8th Plan	9th Plan	10th Plan	11th Plan	12th Plan
765kV	0	0	0	971	2184	5250	31240
HVDC Bipole	0	0	1634	3138	5872	9432	15556
400kV	6029	19824	36142	49378	75722	106819	157787
220kV	46005	59631	79600	96993	114629	135980	163268
Total ckm	52034	79455	117376	150480	198407	257481	367851

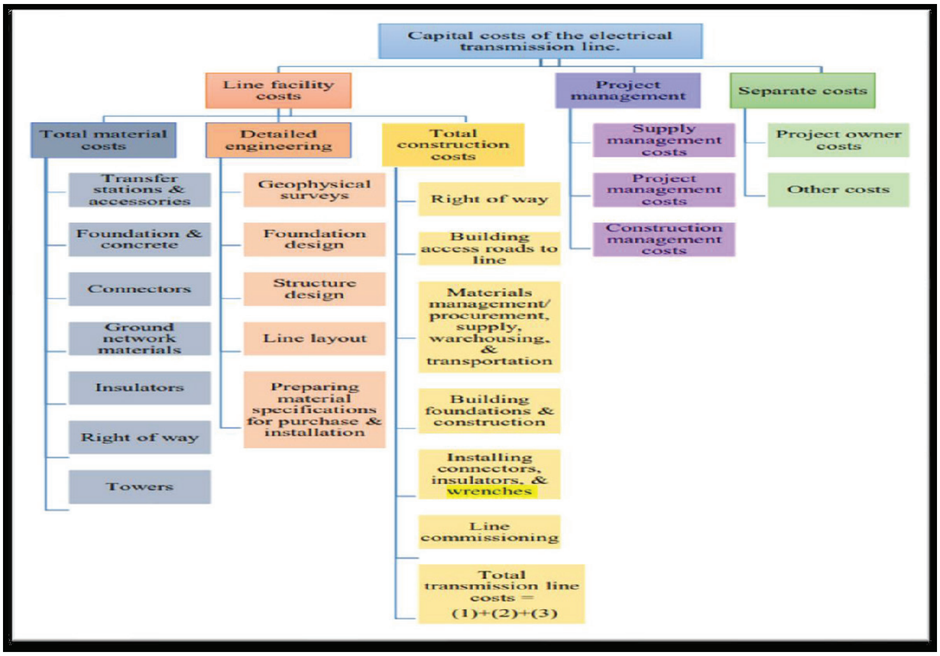
चित्र 2 प्रत्येक योजना के अंत में ट्रांसमिशन लाइनों का विकास (सभी आंकड़े सीकेएम (ckm) में) (साभार : विद्युत मंत्रालय की वेबसाईट)

अलग-अलग EHVAC और HVDC बिजली लाइनों की स्थापना के लिए काफी कारकों की आवश्यकता होती है क्योंकि इन बिजली लाइनों की स्थापना में तकनीकी, भौगोलिक, संगठनात्मक और अन्य कारकों सहित कई कारक शामिल होते हैं [1]। नियामक अभिकरणों द्वारा लगाए गए प्रतिबंध क्षेत्रीय, भौगोलिक और पर्यावरण मानकों के अनुसार अलग-अलग देशों में भिन्न होते हैं [1]। चित्र 3 ट्रांसमिशन लाइन डिज़ाइन प्रक्रिया का प्रवाहचित्र दिखाता है [1]।

चित्र 3 ट्रांसमिशन लाइन व्यय निर्माण फेज

4.2 विद्युत प्रेषण लाइन के सैद्धांतिक व्यय

सामान्य तौर पर, बिजली प्रेषण के व्यय कारकों में तीन मुख्य घटक होते हैं, जिनमें आजीवन व्यवहार्यता, परियोजना प्रबंधन और अलग-अलग खर्च शामिल हैं [1,5]। वैकल्पिक रूप से, प्रत्येक तत्व को उप-तत्वों में विभाजित किया जा सकता है जैसा कि चित्र 4 में दिखाया गया है [5]।



चित्र 4 विद्युत प्रेषण लाइन के मुख्य व्यय कारक।

4.3 सामग्री एवं उनका व्यय

टावरों का खर्च जंगरोधी इस्पात की कीमत और टावर निर्माण के विशिष्ट प्रकार से संबंधित है [1]। यह टावर की ऊंचाई पर भी निर्भर करता है [1]। तालिका 4 में 400 केवी (EHVAC के लिए) और 500 केवी (HVDC के लिए) के वोल्टेज के लिए टावरों की आपूर्ति के लिए सामग्री व्यय और उनकी कीमतें दिखाई गई हैं [1]। तालिका द्विक सर्किट EHVAC के लिए 400 केवी और HVDC क्षैतिज सर्किट के लिए 500 केवी के लिए कनेक्टर, सहायक उपकरण और अन्य ऐड-ऑन (जैसे ग्राउंडिंग, इंसुलेटर, ग्राउंड वायर और स्पेसर) सहित आपूर्ति का खर्च भी दिखाती है [1]। कंडक्टरों का खर्च तांबे या एल्यूमीनियम की कीमत पर निर्भर करता है क्योंकि अधिकांश कनेक्शन इससे बने होते हैं [1]। इंसुलेटर की कीमत वोल्टेज और टावर के प्रकार और केबल की भार क्षमता के आधार पर भिन्न होती है [1]। तालिका में दिखाया गया डेटा गुजरात की जेटको और टोरेंट पावर ट्रांसमिशन लाइन कंपनियों द्वारा प्रदान किया गया था। यहां निम्नलिखित पंक्ति डेटा पर विचार किया गया और व्यय विश्लेषण के लिए शामिल किया गया है। साथ ही जंगरोधी इस्पात का खर्च 75 रुपये प्रति किलोग्राम माना गया है।

- EHVAC: 1) 400 केवी मल्टी सर्किट धोलेरा सोलर लाइन-1_230 किमी लंबाई [जेटको] 2) 400 केवी डबल सर्किट अहमदाबाद पिरान्हा से सूरत सुजल लाइन_263 किमी लंबाई [टोरेंट]
- HVDC: 500 केवी क्षैतिज लाइन_460 किमी लंबाई

तालिका 3: टावर निदर्श व्यय

क्र. सं.	वोल्टेज	टावर वजन (किग्रा)	टावर प्रकार	कीमत भारतीय रुपये में रुपये/ यूनिट	अन्य सहायक उपकरणों का वजन (किग्रा)	अन्य सहायक उपकरणों की कीमत	टिप्पणियाँ	
1	400 kV EHVAC **[GETCO]**	10172.912	निलंबन	762968.4	317.296	237973.2	R - Type	नट के साथ बोल्ट, स्टेप बोल्ट, हैंगर, डी शेकल, एक्सटेंशन लिंक, आदि।
		25005.276	तनाव	1875395.7	772	579000	Y - Type	
2	500 kV HVDC	3390.97	निलंबन	254322.8	105.76	79324.4	R - Type	नट के साथ बोल्ट, स्टेप बोल्ट, हैंगर, डी शेकल, एक्सटेंशन लिंक, आदि।
		8335.092	तनाव	625131.9	257.33	193000	Y - Type	
3	400 kV EHVAC **[Torrent]**	11,367	निलंबन	852525	1000kg approx.	5lacs	Type-A	नट के साथ बोल्ट, स्टेप बोल्ट, हैंगर, डी शेकल, एक्सटेंशन लिंक, आदि।
		20,248	तनाव	1518600	2000kg approx.	13lacs	Type-B	

4.4 स्थापना व्यय

4.4.1 टावर स्थापना व्यय

टावर स्थापना व्यय आम तौर पर कुल व्यय का 15% से 30% होता है। 1 किलो का टावर स्थापित करने का अनुमानित खर्च तालिका 4 में दिखाया गया है।

तालिका 4 : टावर लगाने का खर्च

क्रम संख्या	वोल्टेज	टावर का वजन (किग्रा)	टावर का प्रकार	संयोजन लागत [रु. / किग्रा]	स्थापना	टिप्पणियाँ
1	400 kV EHVAC [GETCO]	10172.912	निलंबन	12–20	1042986	R - Type
		25005.276	तनाव	12-20	1687700	Y - Type
2	500 kV HVDC	3390.97	निलंबन	12-20	347662	R - Type
		8335.092	तनाव	12-20	562566	Y – Type
3	400 kV EHVAC [Torrent]	11,367	निलंबन	8-10	830000	Type-A
		20,248	तनाव	8-10	1037500	Type-B

4.4.2 विभिन्न घटक स्थापना (कंडक्टर स्ट्रिंग व्यय)

कंडक्टर का खर्च सीधे उसके आकार से संबंधित है [1]। डिज़ाइन विशेषज्ञ के संदर्भ में कंडक्टर के प्रति किमी खर्च की गणना कंडक्टर के वजन और व्यास के अनुपात [1,15,16] को लेकर की जा सकती है। एक आदर्श मामले के लिए हमने प्रत्येक पंक्ति में 4 उप-चालकों पर विचार किया है और उस धारणा के आधार पर निम्नलिखित गणना की गई:

1) बंडल का कुल वजन = 4 × 2,135/- = 8540 किग्रा/किमी
2) कुल व्यय = 225×8540 = 19,21,500 रुपये/किमी

नीचे दी गई तालिका 5 400 केवी EHVAC और 500 केवी HVDC के लिए कंडक्टर स्ट्रिंग खर्च दिखाती है।

तालिका 5: स्ट्रिंगिंग व्यय सहित कंडक्टर व्यय

कंडक्टर लागत समय	वोल्टेज	कीमत रु./कि.मी
फेज तारों का उपयोग करके एक कनेक्टिंग लाइन के रूप में कार्य करता है जिसमें परियोजना स्थल से कार्य स्थल तक सामग्री स्थानांतरित करना, तार बिछाना, पुली और इंसुलेटर लटकाना, सभी संपर्क स्थापित करना, रोलर्स और वायर स्क्रैप को परियोजना स्थल पर वापस करना यह सब शामिल है। इसमें मशीनरी, उपकरण, श्रमिक और स्थान की कीमत शामिल है।	400 kV EH-VAC	19,21,500/-
	500 kV HVDC	6,40,500/-

4.5 अन्य व्यय

सिविल कार्यों के खर्चों में लाइन ट्रैक और नींव के लिए जमीन की तैयारी शामिल है [1,6]। तालिका 6 एक विधयुत परियोजना के खर्च के कई पहलुओं का वर्णन करती है, जिसमें उत्खनन खर्च, बिटुमेन कोटिंग और भरने का खर्च, सुदृढीकरण खर्च, फार्मा कार्य खर्च और ठोस खर्च शामिल हैं [1,8]। सांख्यिकीय विश्लेषण और क्षेत्र सर्वेक्षण के अनुसार कंपनी और टावर के स्थान और टावर के डिजाइन के संबंध में स्थापना व्यय पूरी तरह से परिवर्तनशील है [1,7]।

तालिका 6: अन्य स्थापना व्यय

वोल्टेज	टावर का प्रकार	उत्खनन भूजल के साथ निकासी Rs/m^3	कोलतार द्वारा पेंटिंग भरना और टावर के साथ संघनन साइट लेवलिंग Rs/m^3	खाका काम रुपये /टावर	सुदृढ़ीकरण रुपये/टन	ठोस Rs/m^3
400 kV EHVAC	निलंबन	341	211	52455	87900	11449
	तनाव	341	154	52455	87900	11205
500 kV HVDC	निलंबन	341	211	52455	87900	11449
	तनाव	341	154	52455	87900	11205

5. सैद्धांतिक गणना के परिणाम एवं चर्चा

5.1 सैद्धांतिक निदर्श प्राचल

ये निदर्श बिजली प्रेषण लाइनों के बारे में तकनीकी, वित्तीय और आर्थिक जानकारी का उपयोग करके साहित्य अध्ययन के आधार पर हेटम और एर्ज़ेंज द्वारा विकसित किए गए थे[1]। यह जानकारी एक ट्रांसमिशन लाइन निदर्श विकसित करने के लक्ष्य के साथ विकसित की गई थी जो आधार व्यय और व्यय कारकों के अन्य तत्वों से संबंधित है [1]। विभिन्न वोल्टेज, एकल या द्विक लाइन, EHVAC पावर लाइन या HVDC पावर लाइन के लिए ट्रांसमिशन लाइन खर्चों का अध्ययन और विश्लेषण किया जाता है। टावर प्रकार, कनेक्टर और ट्रांसमिशन लाइन की लंबाई के संदर्भ में कई विकल्पों का विश्लेषण किया गया है [1]। इसके अलावा विभिन्न लाइन स्थानों के सर्वेक्षण और विश्लेषण पर भी विचार किया गया है [1,15]।

निम्नलिखित मापदंडों पर कारकों व्यय परिप्रेक्ष्य से विचार किया गया :

1. वोल्टेज परिमाण
   AC - 400 kV (मल्टी सर्किट और द्विक सर्किट)
   DC - 500 kV (द्विध्रुवी सर्किट)
2. पावर लाइन प्राचल में कंडक्टर प्रकार टावर संरचना टावर की लंबाई शामिल है
3. नई विद्युत लाइन कनेक्शन
4. भूमि की स्थिति
5. क्षेत्र का भूगोल

विभिन्न चरों के गुणांकों वाली दो रेखाओं का गणितीय निदर्श प्राप्त करने का आधार नीचे दिया गया है [1,10]।

5.1.1 बेसलाइन ट्रांसमिशन व्यय

तालिका 7: बेसलाइन ट्रांसमिशन लाइन व्यय के लिए

क्रमांक	लाइन विवरण	आपूर्ति लागत रु./किमी.	कार्यान्वयन लागत रु./ कि.मी	कुल मूल पूंजी लागत रु./कि.मी
1	400 kV EHVAC [GETCO]	1850000	786765.6 × 3 (tower) = 2360296.8/- + 1921500 (Conductor Cost/km) = 4281796.8/-	6131796.8/-
2	500 kV HVDC	616666.67	1427265.6/-	2043932.26/-
3	400 kV EHVAC [Torrent]	1850000	852525 × 3 (tower) = 2557575/- + 1921500 (Conductor Cost/km) = 4479075/-	6329075/-

विद्युत मंत्रालय और सीईए के मानक डेटा मूल्यों के लिए स्पान मान 293 मीटर है। अब 1 किमी लंबी ट्रांसमिशन लाइन की लंबाई को ध्यान में रखते हुए कम से कम 3 टावर होंगे और सभी मापदंडों को ध्यान में रखते हुए प्रति किमी लाइन कंडक्टर खर्च पर विचार किया जाता है [16]।

5.1.2 कंडक्टरों के लिए सहायक प्राचल

प्रारंभिक खर्चों के आधार पर, बदलते कंडक्टरों और बदलती लाइन खर्चों पर विचार करने के लिए आदान प्रदान दर्ज किए गए थे जैसा कि तालिका 8 में दिखाया गया है [1]।

तालिका 8 : कंडक्टर के लिए प्राचल विकसित करना

क्रमांक	कंडक्टर प्रकार	400 kV EHVAC	500 kV HVDC
1	ACSR	1	1
2	ACSS	1.08	1.08

5.1.3 टावर संरचना आदान प्रदान

टावर संरचना बदलने पर व्यय-परिवर्तन गुणांक दर्ज किए गए, जैसा कि तालिका 9 में दिखाया गया है [1]।

तालिका 9 : टावर संरचना आदान प्रदान

क्रमांक	कनेक्टर प्रकार	400 kV EH-VAC	500 kV HVDC	टिप्पणियाँ
1	जाली	0.9	0.9	पूरी तरह से लाइन सर्वे पर निर्भर है।
2	ट्यूबलर स्टील	1	1	अब इसका उपयोग GETCO में नहीं हो रहा है।

5.1.4 समग्र ट्रांसमिशन लाइन की लंबाई में परिवर्तन के स्थिरांक

जब भी लाइन की लंबाई बढ़ती है, प्रति किलोमीटर औसत व्यय कम हो जाता है [1]।

तालिका 10 : समग्र ट्रांसमिशन लाइन लंबाई में भिन्न स्थिरांक

क्रमांक	लंबाई	400 kV EHVAC	500 kV HVDC
1	200 किमी से अधिक लम्बा	1	1
2	70 - 200 किमी	1.2	1.2
3	50 - 70 किमी	1.5	1.5

5.1.5 नई ट्रांसमिशन लाइन विकसित करने के स्थान पर ट्रांसमिशन लाइन निर्माण आदान प्रदान

ट्रांसमिशन लाइन विकास का विचार बिजली हस्तांतरण क्षमता बढ़ाने के लिए नई लाइनें विकसित करने के बजाय मौजूदा ट्रांसमिशन लाइन को बदलना है (यानी, खंभे और इंसुलेटर को अपरिवर्तित छोड़ना)। तालिका 11 मौजूदा लाइन में बाधाओं और खर्चों को दर्शाती है [1]।

तालिका 11: लाइन विकास आदान प्रदान

क्रमांक	कंडक्टर वोल्टेज	कंडक्टर संख्या	लागत
1	400 kV EHVAC	प्रति फेज 4 कंडक्टर	कंडक्टर की लागत कुल पूंजी लागत का 55% है
2	500 kV HVDC	प्रति फेज 1 कंडक्टर	कंडक्टर की लागत कुल पूंजी लागत का 55% है

जेटको के अधिकारियों से प्राप्त किए गए मानक डेटा मानों के लिए रिकंडक्टर संभव नहीं है और किसी भी जेटको लाइन्स के लिए कन्डक्टर का रीस्ट्रिंग संभव नहीं है। एचटीएलएस कंडक्टर करंट वहन क्षमता के मामले में रिकंडक्टर के लिए अच्छा विकल्प है लेकिन वास्तविक कार्यान्वयन के लिए अभी भी नीति को अंतिम रूप नहीं दिया गया है।

5.1.6 भू-भाग गुणांक

समतल क्षेत्र विकसित करना सबसे सस्ता है और वन क्षेत्र सबसे महंगे हैं। तालिका 12 भारत के विभिन्न क्षेत्रों को प्रभावित करने वाले समायोजित व्यय कारकों को दर्शाती है[1]।

तालिका 12: भू-भाग गुणांक

क्रमांक	क्षेत्र प्रकार	जोन
1	रेगिस्तान	1
2	समतल	1
3	खेत	1.1
4	वन	1.15
5	पहाड़, घूर्णमध्य पहाड़, 2% से 8% ढलान	1.25
6	ऊंची भूमि	1.25

5.1.7 राइट ऑफ वे (आरओडब्ल्यू)

इस मामले में राइट-ऑफ़-वे लाइन के निर्माण के लिए आवश्यक भूमि प्राप्त करने से जुड़े खर्च शामिल हैं, यदि इसे खरीदा जाता है [1]। कानूनी लेनदेन को सुविधाजनक बनाने के लिए, तकनीकी जानकारी जैसे लागत के अनुसार संपत्ति की चौड़ाई, रेलवे लाइन के किनारे के साथ संपत्तियों की खरीद कीमतें और मार्ग विवरण आवश्यक हैं [1,7]।

ट्रांसमिशन लाइनों का ख़र्च सीधे तौर पर ज़मीन के ख़र्च से संबंधित है। बिजली लाइन जितनी कम जमीन घेरती है, बिजली लाइन का खर्च उतना ही कम होता है[3]। 1 किलोमीटर लंबी ट्रांसमिशन लाइन के लिए, आरओडब्ल्यू लाइन कॉरिडोर के दोनों किनारों पर चौड़ाई 1 मीटर कम करने से कुल भूमि का उपयोग 2000 वर्गमीटर तक कम हो जाएगा, जबकि केवल एक तरफ की चौड़ाई 1 मीटर कम करने से कुल भूमि का उपयोग कम हो जाएगा। प्रति किलोमीटर 2000 वर्ग मीटर तक घटाकर 1000 वर्ग मीटर कर दिया गया[3]। भूमि का मूल्य क्षेत्र में भूमि के वाणिज्यिक मूल्य पर निर्भर करता है[3,5]।

5.2 गणितीय निदर्श

ऊपर उपलब्ध जानकारी और डेटा को अपनाकर, भारत में उपयोग के लिए विकसित सैद्धांतिक निदर्श इस प्रकार है [1]:

TLC = [(BTC)× (CC)× (SC)× (ReC)× (TC)×Number of kilometres] + [ROWC × Number of kilometres]

ROWC = (ROW acre / kilometre) × (land cost/acre)

जहां,

TLE = ट्रांसमिशन लाइन व्यय

BTE = बेस ट्रांसमिशन व्यय

CC = कंडक्टर गुणांक

SC = संरचना गुणांक

IEC = रिकंडक्टर गुणांक

TC = भू-भाग गुणांक

ROW = राइट ऑफ वे [1]

तालिका - 13 : विभिन्न टावर निदर्शों के व्यय विश्लेषण के लिए सारांश तालिका

लागत श्रेणी	**400 kV EHVAC Line [GETCO]**	**500 kV HVDC Line**	**400 kV EHVAC Line [TORRENT]**
आधार लागत रु./कि.मी	6131796.8/-	2043932.2/-	6329075/-
जटिलताएँ			
कंडक्टर			
ACSR	1	1	1
ACSS	1.08	1.08	1.08
टावर संरचना			
जालीदार ट्यूबलर स्टील	1	1	1
लाइन लंबाई			
200 किमी से अधिक लम्बा	1	1	1
70-200 किमी	1.2	1.2	1.2
50-70 किमी	1.5	1.5	1.5
लाइन जीवनभर			
नई	1	1	1
लाइन विकास रिकंडक्टर	0.55	0.55	0.55
परियोजना क्षेत्र भू-भाग			
समतल	1	1	1

6. निष्कर्ष

यहाँ दिए गए गणितीय निदर्शों के आधार पर 400 केवी EHVAC टावर और 500 केवी HVDC टावर के लिए अलग-अलग गणनाओं का विचार करते हुए, हाइब्रिड ट्रांसमिशन टावर की लागत की आदर्श गणना प्रस्तुत की गई है। गणना प्रस्तावित हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन व्यय को EHVAC मल्टीटर्मिनल ट्रांसमिशन लाइन के व्यय के बराबर दर्शाती है। इस लेख की सीमा शर्त के अनुसार हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन और अलग HVDC लाइन के मामले में व्यय गणना के लिए HVDC कनवर्टर खर्चों पर विचार नहीं किया गया है। नीचे दी गई तालिका भारतीय ग्रिड के अनुसार इसकी व्यवहार्यता जांच के सत्यापन के लिए उनके व्यय विश्लेषण सहित सभी प्रकार के टावरों की तुलना दर्शाती है।

तालिका – 14 : मल्टी सर्किट EHVAC लाइनों की तुलना में हाइब्रिड लाइनों का व्यय विश्लेषण

विवरण	टावरों के प्रकार	आधार लागत रु./किमी	टिप्पणियाँ
400 kV EHVAC Line [GETCO]	मल्टी टर्मिनल टावर	6131796.8/-	400 KV मल्टी सर्किट धोलेरा सोलर लाइन_230 किमी लंबाई [GETCO]
500 kV HVDC Line	क्षैतिज टावर	2043932.2/-	500 kV क्षैतिज लाइन_460 किमी लंबाई
400 kV EHVAC Line [TORRENT]	द्विक सर्किट टावर	6329075/-	400 kV द्विक सर्किट अहमदाबाद पिराना से सूरत सजल लाइन_263 किमी लाइन [Torrent]
Proposed 400 kV EHVAC and 500 kV HVDC Line	हाइब्रिड टावर	6500000/-	प्रोपॉजड हाइब्रिड ट्रांसमिशन टावर

यहां की गई गणना जेटको और टोरेंट पावर से उपलब्ध कराए गए डेटा के EHVAC, HVDC और हाइब्रिड निदर्श के लिए आदर्श व्यय विश्लेषण प्रस्तुत करती है। सैद्धांतिक निदर्श निर्णय निर्माताओं को ट्रांसमिशन लाइनों के निर्माण और भविष्य की परियोजनाओं को लागू करने के खर्चों को निर्धारित करने में मदद करते हैं। इस शोध पत्र में प्रदान किए गए ट्रांसमिशन परियोजनाओं के प्रस्तावित अनुसंधान और विकास से हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइनों का उपयोग करके बिजली घनत्व में संभावित सुधार के लिए हाइब्रिड लाइनों को डिजाइन करने के लिए एक उदाहरण ढांचे के साथ इंजीनियरों के लिए दिशानिर्देश तैयार किया गया है।

आभार

हम अपने शोध कार्य के सत्यापन के लिए वास्तविक समय ट्रांसमिशन लाइन डेटा प्रदान करने में सहायता के लिए श्रीमती इशिता भट्ट, जूनियर इंजीनियर, जीईटीसीओ को धन्यवाद देते हैं। हम इस शोध के दौरान हमारे साथ अपने ज्ञान के मोती साझा करने के लिए एलडी कॉलेज ऑफ इंजीनियरिंग के प्रोफेसर डॉ. केतन बडगुजर और पीडीईयू के एसोसिएट प्रोफेसर डॉ. जेजी जमनानी के प्रति भी अपना आभार व्यक्त करना चाहते हैं। हम डॉ. कौस्तुभ व्यास, सहायक प्रोफेसर, वीजीईसी, डॉ. पीयूष पटेल, एसोसिएट प्रोफेसर, एसओयू के भी बेहद आभारी हैं।

शोध पत्र में प्रयुक्त अंग्रेजी शब्दों की समानार्थक हिंदी शब्दावली

Alphabetically sorted terminology in English	वर्णमाला अनुक्रमित हिंदी शब्दावली
Conductor	कंडक्टर
Current Carrying Capacity	धारा वहन क्षमता
Efficiency	दक्षता
Electric and Magnetic Field	विद्युत एवं चुंबकीय क्षेत्र
Geological Condition	भूगर्भीय स्थिति
Hybrid Transmission Line	हाइब्रिड ट्रांसमिशन लाइन
Ministry of Power	विद्युत मंत्रालय
Power Transfer Capability	शक्ति अंतरण क्षमता
Right of Way	राइट ऑफ वे
Transmission Network	ट्रांसमिशन नेटवर्क

संदर्भ

1. R. Verdolin, A.M. Gole, E. Kuffel, N. Diseko and B. Bisewski," Induced Over voltages on AC- DC Hybrid Transmission System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995.
2. U. Straumann and C.M. Franck. Discussion of converting a double-circuit ac-dc overhead line to an ac/dc hybrid line with regard to audible noise. In The Electric Power System of the Future - Integrating Super grids and Micro grids - Cigré 2011 Bologna Symposium, 2011.
3. J. Lundkvist, I. Gutman, and L.Weimers. Feasibility study for converting 380 Kv ac lines to hybrid ac/dc lines. In EPRI High-Voltage Direct Current & Flexible AC Transmission Systems Conference, November 2009.
4. D.T. Oyedokun, K.A. Folly, A.V. Ubisse and L.C. Azimoh, "Interaction between HVAC-HVDC System: Impact of Line Length on Transient Stability", UPEC 2010, 45th International IEEE Conference, Aug 2010.
5. Tang, J., R. Zeng, H. Ma, et al., \Analysis of electromagnetic interference on dc line from parallel AC line in close proximity," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 22, No. 4, 24012408, 2007.
6. M. Aragüés-Peñalba, J. Beerten, J. Rimez, D. Van Hertem, and O. Gomis Bellmunt, "Optimal power flow for hybrid AC/DC systems," in Power Engineering Society General Meeting. IEEE, July 2014.
7. J. Cao, W. Du, H. Wang, and S. Bu, "Minimization of Transmission Loss in Meshed AC/DC Grids With VSC-MTDC Networks," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 28, no. 3, pp. 3047–3055, Aug 2013.
8. Amit F. Pagi and K. P. Badgujar, "Review on Transmission Line Right of Way" IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI-2017)
9. Brajagopal Datta and Dr. Saibal Chatterjee, "Transient Analysis for Hybrid Electric Field in close proximity HVAC-HVDC operation of Northeast – Agra HVDC project" IEEE Conference paper 2019
10. Kaustubh Vyas, J. G. Jamnani , "Optimal Design of 1200 kV UHV AC Transmission

Lines in India using Newly Developed Standalone MATLAB GUI", International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-2, July 2019

11. Ban, L., X. Wang, H. Bai, et al., \Simulative analysis of induced voltages and currents among multi circuit 220 kV and 500 kV transmission lines on same tower," Power System Technology, Vol. 33, No. 6, 45-49, 2009.
12. Fengnyu Xiao, Jianxing Yan, Bo Zhang, Yanjie Wang, "Simplified approach of maximum electric field distribution on the ground near HVAC–HVDC shared tower transmission lines" IET J. Eng., 2018, Vol. 2018 Iss. 17, pp. 1851-1854
13. C. Petino, B. Fuchs, and A. Schnettler. Contact faults in hybrid ac/dc power systems. In Innovation for Secure and Efficient Transmission Grids - Cigré Belgium Conference, 2014.
14. M. Kizilcay, A. Agdemir, and M. Lösing. Interaction of a HVDC system with 400 kV ac systems on the same tower. In International Conference on Power Systems Transients (IPST2009), 2009
15. Brajagopal Datta and Dr. Saibal Chatterjee, "Transient Analysis for Hybrid Electric Field in close proximity HVAC-HVDC operation of Northeast – Agra HVDC project" IEEE Conference paper 2019.
16. V.L. Chartier, S.H. Sarkinen, R.D. Stearns, and A.L. Burns. Investigation of corona and field effects of ac/dc hybrid transmission lines. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-100(1):72–80, January 1981.

विद्या वितर्को विज्ञानं स्मृतिः तत्परता क्रिया।
यस्यैते षड्गुणास्तस्य नासाध्यमतिवर्तते॥

अर्थात - "विद्या, तर्कशक्ति, विज्ञान, स्मृतिशक्ति, तत्परता और कार्यशीलता, ये छह जिसके पास हैं, उसके लिए कुछ भी असाध्य नहीं।"

नास्ति विद्या समं चक्षु नास्ति सत्य समं तपः।
नास्ति राग समं दुखं नास्ति त्याग समं सुखं॥

अर्थात - विद्या के समान कोई चक्षु नहीं है जो हमें जीवन में रास्ता दिखा सके, सत्य से ऊँचा और कोई तप नहीं है, राग से बड़ा और कोई दु:ख नहीं है, (जो ईर्ष्या पैदा करता है) और त्याग से बड़ा कोई भी सुख नहीं है (क्योंकि त्याग बाहरी दु:ख हो सकता है किन्तु अपनी आत्मीयता में प्रसन्नता प्राप्त होती है)