# परावैद्युत अनसिोट्रॉपी और एंड-ग्रेन का आधार: चुंबकीय तटस्थ लकड़ी के केबल सहारों में धारतिीय भार-पथ का अभविन्यिास

CONFIDENTIAL

# परावैद्युत अनसिोट्रॉपी और एंड-ग्रेन का आधार: चुंबकीय तटस्थ लकड़ी के केबल सहारों में धारतिीय भार-पथ का अभविन्यिास

A. Bosque, Y. Tanaka, M. Ferro, H. Park
Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)
Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

**सारांश**

लकड़ी का केबल सहारा सग्निल चालक के नकिट क्षेत्र में रखा परावैद्युत पडि है, इसलएि स्थापना में उसका योगदान केबल के समानांतर वतिरति और दशिा-नर्भिर धारति है। लकड़ी तटस्थता वर्गीकरण के मुख्य अध्ययन (Bosque, Ferro, Park और Tanaka, 2026) में तंतु अभविन्यिास को डज़िाइन चर माना गया और एक खंड में दएि संयुक्त यांत्रकि-परावैद्युत तर्क पर एंड-ग्रेन ऊर्ध्वाधर मशीनगि अपनाई गई। यह सहायक शोध उस तर्क को पूरण वकिसति करता है। लकड़ी परावैद्युत रूप से अनसिोट्रॉपकि है: eps_r और tan delta दोनों तंतु के साथ आर-पार से अधकि हैं; नलकिाकार ट्रैकडि और वाहकि-कोशकिा ज्यामति तथा धुरुवण पर हावी बंधति-जल द्वधिरुव तंतु से संरेखति होने के कारण तंतु-अक्ष दोनों अनुप्रस्थ अक्षों से अधकि है। हम भूमध्यरेखीय सागौन के तीन शारीरकि अक्षों (अनुदैर्ध्य L, रेडयिल R, स्पर्शरेखीय T) में 8%, 12% और 16% नमी पर 20 Hz से 10 MHz तक गार्डेड समानांतर-प्लेट इम्पीडेंस वशि्लेषक से eps_r और tan delta मापन बताते हैं, जो ऑडयिो आवृत्तयिों और 12% नमी पर eps_L / eps_T का 1.24 से 1.31 अनसिोट्रॉपी अनुपात पुष्ट करते हैं। इन स्थरिांकों से हम लकड़ी स्तंभ के ऊपर मशीनकृत क्रैडल में टकिी केबल का वतिरति-धारति मॉडल बनाते और एंड-ग्रेन ऊर्ध्वाधर बनाम फेस-ग्रेन मशीनगि के प्रत-ब्लॉक धारतिीय योगदान की गणना करते हैं। दोनों दशिाएँ मापनीय अंतर दखिाती हैं; एंड-ग्रेन की केबल-संदर्भति धारति कम है क्योंकि वह कम eps_r वाले अनुप्रस्थ अक्ष उस क्षैतजि तल में रखता है जहाँ केबल क्षेत्र सबसे प्रबल है, और अधकि eps_r वाले अनुदैर्ध्य अक्ष को उस ऊर्ध्वाधर भार-पथ के लएि बचाता है जहाँ वह वद्युित रूप से अहानकिर और यांत्रकि रूप से आदर्श है। तंतु-कोण स्वीप वास्तवकि एंड-ग्रेन पर युग्मन न्यूनतम पाता है। अंत में बताते हैं कि एंड-ग्रेन मूलतः संपीडन कठोरता के लएि नर्दिष्टि था, और बाद में स्वतंत्र रूप से पहुँचा परावैद्युत तर्क यांत्रकि तर्क से उसकी पुष्टि तक सहमत है।

## 1. परचिय

केबल सहारा सग्निल नहीं ले जाता। वह उसके पास बैठता है। इसी कारण उसकी वद्युित भूमकिा इतनी आसानी से खारजि होती है: केबल नीचे लकड़ी ब्लॉक स्पष्टतः परपिथ में नहीं, इसलएि उसकी संरचना, तंतु और दशिा बढ़ई के वषिय लगते हैं, अभयिंता के नहीं। मुख्य तटस्थता-वर्गीकरण शोध (Bosque, Ferro, Park और Tanaka, 2026) ने मामले का चुंबकीय आधा तर्क दयि -- चालक के सतत संपर्क का सहारा उसके नकिट-क्षेत्र परविेश का भाग और अवशष्टि अनुचुंबकीय अंश सजावटी नहीं, मापनीय इनपुट। परावैद्युत आधा एक खंड में नपिटा। यह शोध उस खंड को भौतकिी योग्य लंबाई तक फैलाता है।

ब्लॉक केबल में नहीं, पास है, यह वद्युित तथ्य उसे परपिथ से नकिालता नहीं; युग्मन का ढंग तय करता है। चालक क्षेत्र में परावैद्युत पडि धारतिीय ऊर्जा जमा करता है, और ट्रांसमशिन लाइन के समानांतर वतिरति धारति छोटा पर वास्तवकि भार है, जसिका परमिाण पडि के eps_r और क्षेत्र के सापेक्ष उसकी दशिा पर नर्भिर है। लकड़ी समदैशकि परावैद्युत नहीं। eps_r दशिा-नर्भिर, इसलएि सहारे का एक नहीं तीन परावैद्युत योगदान, जन्हिें बलिेट कटाई कोण से मशीन-बेंच पर चुना जा सकता है।

हमारा दावा संकीर्ण और मात्रात्मक है। Equatorial Elevation Block की नर्दिष्टि एंड-ग्रेन ऊर्ध्वाधर दशिा -- शीर्ष पर वृद्धि-वृत्त, भार-पथ में नीचे जाते तंतु -- ब्लॉक की केबल-संदर्भति धारति न्यूनतम करती है; न्यूनतम काल्पनकि नहीं, मापनीय, और यांत्रकि आधार पर पहले से चुनी दशिा से समान। हम प्रभाव बड़ा नहीं कहते। केवल संकेत, परमिाण और वरीय दशिा कहते हैं, और सुंदर फेस-ग्रेन हेतु उलटा मशीन करने वाला नर्माता संख्या का अस्तत्वि जाने बनिा उसे गलत दशिा ले गया।

## 2. लकड़ी की परावैद्युत अनसिोट्रॉपी

लकड़ी लंबे, खोखले, अक्षीय संरेखति कोशकिाओं से बना कोशकिीय ठोस है -- सॉफ्टवुड में ट्रैकडि, सागौन जैसे हार्डवुड में तंतु व वाहकिाएँ -- जनिका लंबा अक्ष तंतु दशिा परभिाषति करता है। यही ज्यामति हिर बढ़ई ज्ञात यांत्रकि अनसिोट्रॉपी का स्रोत और कम प्रसद्धि पर उतनी वास्तवकि, पुरानी प्रलेखति परावैद्युत अनसिोट्रॉपी का स्रोत है (James, 1975; Torgovnikov, 1993)।

तीन तंत्र eps_r को दशिा-नर्भिर बनाते और सभी अनुदैर्ध्य अक्ष का पक्ष लेते हैं। पहला, कोशकिा दीवारें तंतु के साथ नरितर धुरुवणीय पथ और आर-पार टूटे पथ बनाती हैं, इसलएि अनेक दीवार-ल्यूमेन सीमाओं का अंतरपृष्ठीय (Maxwell-Wagner) धुरुवण तंतु के साथ प्राथमकिता से जमा होता है। दूसरा, कोशकिा दीवार में बंधति जल -- अत्यंत सूखी दशा छोड़कर लकड़ी eps_r का प्रमुख योगदान -- ऐसे वातावरण में है जहाँ हाइड्रॉक्सलि स्थल व माइक्रोफाइब्रलि ढाँचा तंतु से संरेखति, इसलएि द्वधिरुव अभविन्यिास तंतु के साथ आसान। तीसरा, दो अनुप्रस्थ दशिाएँ रेडयिल R व स्पर्शरेखीय T परस्पर थोड़ी भन्नि और दोनों अनुदैर्ध्य L से काफी नीचे। साहत्यि में परणिाम लगातार eps_L > eps_R ~ eps_T, tan delta में भी वही क्रम, और आर्द्रताग्राही क्षेत्र में शीतोष्ण व उष्णकटबिंधीय हार्डवुड हेतु eps_L / eps_T सामान्यतः 1.2 से 1.5।

नरिपेक्ष मान मध्यम और नमी-प्रभुत्व वाले। ओवन-सूखी लकड़ी eps_r = 2 से 3, नमी बढ़ने से तीव्र और एकदशि बढ़ती, क्योंकि हर बंधति जल वृद्धि धुरुवणीय भंडार में द्वधिरुव जोड़ती है। इसी तीव्रता से सहारे की परावैद्युत देन में सबसे बड़ी लीवर प्रजाति नहीं, नमी है, जसिे खंड 5 में लेते हैं। अनसिोट्रॉपी तर्क का आवश्यक बदिु संख्या नहीं, संरचना: सर्वाधकि eps_r दशिा तंतु दशिा है, और वह बढ़ई तय करता है, वृक्ष नहीं।

## 3. मापन: तीन अक्षों में परावैद्युतांक और हानि

हमने तीन शारीरकि अक्षों में कटे सागौन कूपनों पर eps_r और tan delta मापे, ताकि समानांतर-प्लेट सेल का क्षेत्र क्रमशः अनुदैर्ध्य, रेडयिल और स्पर्शरेखीय नमूने से जाए। कूपन 40 mm वर्ग, 3.0 mm मोटे, +/- 10 माइक्रोमीटर तक समतल व समानांतर, और मुख्य प्रोटोकॉल से चुने तीन 5N भूमध्यरेखीय बलिेटों से, ताकि चुंबकीय संदूषण परावैद्युत पाठ न बगिाड़े। प्रत्येक सेट को आर्द्रता कक्षों में 8%, 12%, 16% संतुलन पर रखा और रन अंत में ओवन-सूखे द्रव्यमान के वरिुद्ध भार से सत्यापति कयि।

सेल पूर्ववर्णति गार्ड्डेड समानांतर-प्लेट फक्सि्चर (Tanaka और Park, 2022) था, Keysight E4990A इम्पीडेंस वशि्लेषक द्वारा 20 Hz से 10 MHz। गार्ड रगि फ्रजिगि दबाती है ताकि मापी धारति नरि्धारति इलेक्ट्रोड क्षेत्र के अनुरूप और नकिाला eps_r कनिारा-संदूषति अनुमान नहीं, सामग्री समग्र मान हो; tan delta सीधे फक्सि्चर अपव्यय कारक। मशीन सतह की अवशषि्ट खुरदराहट समायोजति, अपना धरुवण जोड़ने वाले चपिकने से बचने हेतु पतली चालक इलास्टोमर मध्य-परत संपर्क।

12% नमी और 1 kHz पर सागौन ने eps_L = 2.64, eps_R = 2.09, eps_T = 2.02 दयिा; eps_L / eps_T = 1.31 और eps_L / eps_R = 1.26; अनुप्रस्थ अक्ष अपेक्षति 4% में सहमत। tan delta का वही क्रम: तंतु के साथ 0.021, आर-पार 0.014 से 0.015। 20 Hz से 20 kHz में eps_r 3% तक समतल और अनुपात 1.24 से 1.31। नमी 16% करने पर सभी मान बढ़े -- eps_L 3.08 -- और अनसिोट्रॉपी कुछ चौड़ी, क्योंकि अतरिक्ति बंधति जल वरीय अक्ष पर ध्रुवति। 8% सुखाने पर मान व अनुपात दोनों घटे। अतः अनसिोट्रॉपी स्थरि सामग्री नयितांक नहीं, नमी-मॉड्युलेटेड, जहाँ कम महत्त्व (गीला) वहाँ प्रबल और सूखे में दुर्बल; 12 +/- 1% आपूर्ति पर स्पष्ट और स्थरि।

## 4. क्रैडल, केबल और स्तंभ का वतिरति-धारति मॉडल

तीन eps_r को डज़िाइन नरि्णय बनाने के लिए युग्मन ज्यामति चिाहिए। केबल सपाट ब्लॉक पर नहीं, शीर्ष में मशीनकृत उथले गोलाकार खाँचे वाले क्रैडल में टकिती है, जसिसे केबल जैकेट का सीमति चाप केवल जैकेट दीवार मोटाई से लकड़ी से अलग। उस चाप के ठीक नीचे -- क्रैडल तल से ब्लॉक में जाता छोटा ऊर्ध्वाधर स्तंभ -- चालक और दूरस्थ ग्राउंड रटिर्न बीच क्षेत्र सबसे प्रबल और केबल-सहारा धारति का अधकिांश जमा। दूर बाहर व नीचे की लकड़ी क्षेत्र फैलने व घटने से तेज़ी से कम योगदान।

इसे रन की प्रति इकाई लंबाई वतिरति धारति मानकर क्रैडल नीचे व आसपास लकड़ी आयतन के स्थानीय क्षेत्र ऊर्जा में लकड़ी eps_r टेन्सर अक्ष-दर-अक्ष जोड़ते हैं। अनसिोट्रॉपकि परावैद्युत की मानक रचना: ऊर्ध्व क्षेत्र घटक ऊर्ध्व-अक्ष eps_r, क्षैतजि घटक क्षैतजि-अक्ष eps_r लेते हैं। क्रैडल क्षेत्र को चालक नीचे लगभग ऊर्ध्व क्षेत्र में केंद्रति करता, जबकि धारति बंद करने वाले रटिर्न पथ स्तंभ कनिारों से बाहर-नीचे जाते, इसलिए क्षैतजि eps_r संग्रहति ऊर्जा का अधकि भाग। मॉडल आउटपुट एक अभयिंत्रकिी संख्या: टेन्सर दशिा के फलन के रूप में ब्लॉक द्वारा केबल में जोड़ी धारति, प्रति ब्लॉक pF।

दो दशिाएँ व्यावहारकि। एंड-ग्रेन ऊर्ध्वाधर अनुदैर्ध्य L को भार-पथ पर खड़ा और कम eps_r अनुप्रस्थ R व T को क्षैतजि तल में रखता। फेस-ग्रेन (फ्लैट-सॉन, तंतु क्षैतजि) L को प्रबल क्षैतजि क्षेत्र वाले तल में लटिाकर एक अनुप्रस्थ अक्ष खड़ा करता। 12% स्थरिांक प्रतनिधि ज़्यामति (12 mm केबल व्यास, 3 mm त्रज़्यिा क्रैडल, 60 mm ब्लॉक ऊँचाई, चेससि दूरी पर नाममात्र ग्राउंड रटिर्न) में देने पर एंड-ग्रेन लगभग 1.9 pF प्रति ब्लॉक और फेस-ग्रेन 2.3 pF -- लगभग 0.4 pF, 18% अंतर केवल कटाई कोण से। प्रति ब्लॉक छोटा; फरि भी वास्तवकि, पुनरुत्पाद्य, एक-संकेत और मुफ्त: नरि्माता को केवल बलिेट सही रखने का नरि्णय, और पूर्ण रन के अनेक ब्लॉक में संचय।

## 5. तंतु-कोण स्वीप और नमी संवेदनशीलता

दो नामति दशिाएँ सततता के सरिे हैं, इसलिए पुष्टि उचति कि एंड-ग्रेन वास्तवकि न्यूनतम है, न केवल दो मनमाने वकिल्पों में बेहतर। हमने भार-अक्ष सापेक्ष 0 deg (तंतु ऊर्ध्व, वास्तवकि एंड-ग्रेन), 30 deg, 45 deg, 60 deg से 90 deg (तंतु क्षैतजि, फेस-ग्रेन) कोण पर कूपन मशीन कए और ऊपर ऊर्जति चालक के साथ क्रैडल मॉडल ज्यामति में मापे। केबल-संदर्भति धारति कोण के साथ एकदशि बढ़ी, 0 deg एंड-ग्रेन न्यूनतम से 90 deg फेस-ग्रेन अधकितम, टेन्सर मॉडल के cos-squared भार के नकिट, जब अधकि eps_r अनुदैर्ध्य अक्ष क्षैतजि क्षेत्र में घूमता। वक्र 0 deg पास उथला -- कुछ deg मशीनगि त्रुटि लगभग मुफ्त -- मध्य में तीव्र, इसलिए वास्तव में लापरवाह कट का दंड अपूर्ण पर सदाशयी कट से बड़ा। न्यूनतम वास्तवकि एंड-ग्रेन पर, inflection नहीं।

नमी न्यूनतम स्थान बदले बनिा पूरा वक्र ऊपर करती है। eps_r बंधति जल से तेज़ बढ़ता, इसलिए 12 से 16% पहुँचा ब्लॉक स्थरि नमी पर पूरे एंड-से-फेस अंतर से अधकि नरिपेक्ष धारति जोड़ता -- नमी लीवर दशिा से बड़ा। पर दोनों स्वतंत्र: गीलापन तल उठाता, कौन न्यूनतम नहीं बदलता। दशिा व conditioning पूरक नयिंत्रण और दोनों आवश्यक। यही हर बलिेट को मूल पर 12 +/- 1% कलि्न-सुखाने और रखरखाव में वार्षकि नमी जाँच का आधार: दशिा स्थायी मशीन और नहीं बदलती, उसे scale करने वाली नमी बदलती, और नम कमरे में संतुलति सहारा मशीन-बेंच का margin धीरे लौटाता है।

खंड 3 का अनुप्रस्थ-अक्ष मेल दखिाता है कि क्षैतजि तल में radial या tangential प्रस्तुति मापन अनश्चितिता में महत्वहीन; तंतु ऊर्ध्व रहें तो शीर्ष वृत्त के सुंदर रूप हेतु ब्लॉक को ऊर्ध्व अक्ष पर घुमाया जा सकता है, बनिा परावैद्युत परणिाम।

## 6. चर्चा: दो तर्क, एक दशिा

एंड-ग्रेन दशिा परावैद्युत व्यवहार के लिए नहीं अपनाई गई। दबाव में लकड़ी लोड करने का सबसे कठोर व मजबूत ढंग होने के कारण: तंतु खड़े हों तो नीचे भार नलकिाकार कोशकिाओं की मजबूत दशिा में, और ब्लॉक केबल रन का स्थरि वजन व स्थापना settling न्यूनतम creep व आयामी बदलाव से रोकता। पुरानी, नरि्विवाद timber engineering, जसिने eps_r माप से पहले मशीनगि specification तय की।

यहाँ के परावैद्युत माप बाद में हुए और सद्धिांततः यांत्रकि चुनाव से असहमत हो सकते थे -- तंतु-अक्ष कम eps_r होता तो खड़ा करना यांत्रकि रूप से सही, वद्युित रूप से गलत, समझौता आवश्यक। असहमत नहीं। तंतु-अक्ष अधकि eps_r, इसलिए खड़ा करने पर केबल क्षेत्र के मजबूत क्षैतजि तल से बाहर, जैसा धारति मॉडल चाहता। यांत्रकि आदर्श दशिा स्वतंत्र रूप से परावैद्युत शांततम। दो तर्क अलग भौतकिी, अलग समय, अलग समस्या हल करने वालों से बने, समान कट चुनते हैं।

इस मेल को रहस्य भार नहीं देते; अनसिोट्रॉपकि सामग्री में कठोर अक्ष और अधकि eps_r अक्ष अक्सर संरेखति क्योंकि दोनों समान सूक्ष्मसंरचना से, सागौन वैसा। पर व्यावहारकि परणिाम: केवल यांत्रकि तर्क वाला नरि्माता एंड-ग्रेन पहुँचकर अनजाने धारतिीय युग्मन भी न्यूनतम; सजावटी फेस-ग्रेन हेतु उलटने वाला दोनों खोता। अभसिरण चमत्कार नहीं, specification भरोसे का कारण: दो स्वतंत्र तर्क समान संख्या पर समाप्त हों तो संख्या सही होने की संभावना अधकि।

## 7. नष्किर्ष

लकड़ी परावैद्युत अनसिोट्रॉपकि पडि और लकड़ी केबल सहारा वही पडि चालक नकिट-क्षेत्र में। स्थापना योगदान छोटी वतिरति धारति, जसिका परमिाण नरि्माता मशीन-बेंच पर जाने-अनजाने तय करता। हमने भूमध्यरेखीय सागौन की तीन-अक्ष eps_r और tan delta मापी, आपूर्ति नमी पर अपेक्षति eps_L > eps_R ~

eps_T क्रम और लगभग 1.3 अनुपात पुष्ट कयि, और स्थरिांक क्रैडल-स्तंभ मॉडल में डालकर प्रतबि्लॉक pF नकिाला, जो एंड-ग्रेन व फेस-ग्रेन में मापनीय अलग। प्रतनिधि ज्यामतिि में एंड-ग्रेन लगभग 0.4 pF और 18% कम, तंतु-कोण स्वीप वास्तवकि न्यूनतम पुष्ट करता।

मार्जनि प्रतबि्लॉक छोटा और हम अतरिजति नहीं करते। केवल वास्तवकि, वरीय दशिा वाला, और वही दशिा जो यांत्रकि आधार पर पहले नरि्दष्टि। Equatorial Elevation Block एंड-ग्रेन ऊर्ध्वाधर क्योंकि दबाव भार का सबसे कठोर ढंग; बाद का परावैद्युत वशि्लेषण समान कट को शांततम पुष्ट करता। हर ब्लॉक एंड-ग्रेन ऊपर, 12 +/- 1% कलि्न-सुखाया, बनिा फनिशि, प्रमाणपत्र पर ग्रेड व माप स्थरिांक के साथ। पाठक कसिी अन्य लकड़ी सहारा नरि्माता से पूछे तंतु कसि दशिा और क्यों।

## संदर्भ


[1] James, W. L. (1975). लकड़ी और हार्डबोर्ड के परावैद्युत गुण: तापमान, आवृत्ति, नमी और तंतु दशिा के साथ परविर्तन. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.

[2] Torgovnikov, G. I. (1993). लकड़ी और लकड़ी-आधारति सामग्रियों के परावैद्युत गुण. Springer-Verlag, Berlin.

[3] Skaar, C. (1988). लकड़ी-जल संबंध. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.

[4] Norimoto, M. (1976). लकड़ी के परावैद्युत गुण. Wood Research: Bulletin of the Wood Research Institute, Kyoto University, 59/60, 106-152.

[5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). संरचनात्मक लकड़ी का चुंबकीय तटस्थता वर्गीकरण: ऑडयिो समर्थन सामग्री के लिए N-ग्रेड शुद्धता वर्ग. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.

[6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). अनसिोट्रॉपकि कम-हानि ठोसों का गार्ड्डेड समानांतर-प्लेट परावैद्युत मापन. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.


CONFIDENTIAL