



TÍNH DỊ HƯỚNG ĐIỆN MÔI VÀ LUẬN CỨ CHO ĐẦU THỚ: ĐỊNH HƯỚNG ĐƯỜNG TẢI ĐIỆN DUNG TRONG GIÁ ĐỖ CÁP BẰNG GỖ TRUNG TÍNH TỪ



Tính dị hướng điện môi và luận cứ cho đầu thớt: Định hướng đường tải điện dung trong giá đỡ cáp bằng gỗ trung tính từ

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.

Tóm tắt

Giá đỡ cáp bằng gỗ là một vật thể điện môi nằm trong trường gần của dây dẫn tín hiệu, vì vậy đóng góp của nó vào hệ thống lắp đặt là một điện dung phân bố, phụ thuộc hướng, mắc song song với cáp. Trong nghiên cứu nền tảng về phân cấp độ trung tính của gỗ (Bosque, Ferro, Park và Tanaka, 2026), hướng thớt được xác định là một biến thiết kế và cách phay đầu thớt hướng đứng được chọn theo lập luận kết hợp cơ học-điện môi trình bày trong một mục duy nhất. Bài báo đồng hành này phát triển đầy đủ lập luận ấy. Gỗ có tính dị hướng điện môi: cả hằng số điện môi tương đối ϵ_{ps_r} lẫn hệ số tổn hao tan delta đều cao hơn dọc thớt so với ngang thớt, trục dọc thớt vượt hai trục ngang vì hình học tế bào dạng ống của quản bào và mạch cùng các lưỡng cực nước liên kết chi phối sự phân cực đều thẳng hàng với sợi. Chúng tôi báo cáo các phép đo bằng máy phân tích trở kháng với bản cực song song có vòng chắn đối với ϵ_{ps_r} và tan delta của gỗ tếch xích đạo dọc cả ba trục giải phẫu (dọc L, xuyên tâm R, tiếp tuyến T), ở độ ẩm 8, 12 và 16 percent, từ 20 Hz đến 10 MHz, xác nhận tỷ số dị hướng $\epsilon_{ps_L} / \epsilon_{ps_T}$ bằng 1,24 đến 1,31 ở tần số âm thanh và độ ẩm 12 percent. Từ các hằng số này, chúng tôi xây dựng mô hình điện dung phân bố cho cáp nằm trong máng gia công trên một cột gỗ và tính đóng góp điện dung trên mỗi khối đối với cách phay đầu thớt hướng đứng so với mặt thớt: hai hướng khác nhau một khoảng có thể đo được, trong đó đầu thớt cho điện dung quy chiếu về cáp thấp hơn vì đặt các trục ngang có hằng số điện môi thấp vào mặt phẳng ngang nơi trường cáp mạnh nhất, đồng thời dành trục dọc có hằng số điện môi cao cho đường tải thẳng đứng, nơi nó vô hại về điện và lý tưởng về cơ học. Một phép quét góc thớt xác định cực tiểu ghép tại đầu thớt thật. Chúng tôi kết thúc bằng việc lưu ý đầu thớt ban đầu được quy định vì độ cứng nén, còn lập luận điện môi, được hình thành độc lập và sau đó, thống nhất với lập luận cơ học đến mức xác nhận nó.

1. GIỚI THIỆU

Giá đỡ cáp không mang tín hiệu. Nó nằm bên cạnh tín hiệu. Chính vì vậy vai trò điện của nó rất dễ bị gạt bỏ: một khối gỗ dưới cáp rõ ràng không nằm trong mạch, và thật hấp dẫn khi kết luận rằng thành phần, thớt và hướng của nó là việc của thợ đóng tủ chứ không phải kỹ sư. Bài báo nền tảng về phân cấp trung tính (Bosque, Ferro, Park và Tanaka, 2026) đã trình bày nửa từ tính của lập luận -- rằng giá đỡ tiếp xúc liên tục với dây dẫn là một phần của môi trường trường gần quanh dây dẫn, còn hàm lượng thuận từ dư của nó là một đầu vào có thể đo được của hệ thống lắp đặt chứ không phải yếu tố trang trí. Bài báo đó xử lý nửa điện môi trong một mục duy nhất. Bài báo này chính là mục đó, được mở rộng đến độ dài mà vật lý xứng đáng.

Thực tế điện rằng khối nằm bên cạnh cáp thay vì bên trong cáp không loại nó khỏi mạch; nó ấn định cách ghép. Vật thể điện môi trong trường của dây dẫn lưu trữ năng lượng dưới dạng điện dung, còn một điện dung phân bố song song với đường truyền là một tài, nhỏ nhưng có thật, với độ lớn phụ thuộc hằng số điện môi của vật thể và cách hằng số ấy được định hướng so với trường. Gỗ không phải chất điện môi đẳng hướng. Hằng số điện môi của nó phụ thuộc hướng, vì vậy giá đỡ gỗ không có một mà có ba đóng góp điện môi, được chọn trên bản phay bằng góc cắt phi.

Khẳng định của bài báo này hẹp và định lượng. Đó là cấu hình đầu thớt hướng đứng được quy định cho Equatorial Elevation Block -- vòng sinh trưởng trên mặt đỉnh, sợi chạy thẳng đứng xuống đường tải -- chính là hướng làm điện dung quy chiếu về cáp của khối nhỏ nhất, rằng cực tiểu ấy có thể đo được chứ không chỉ mang tính khái niệm, và nó trùng với hướng đã được chọn vì lý do cơ học. Chúng tôi không khẳng định hiệu ứng lớn. Chúng tôi khẳng định nó có dấu, độ lớn và hướng ưu tiên, và một nhà sản xuất phay khối theo chiều ngược lại để có mặt thớt đẹp hơn đã đẩy con số theo hướng sai mà không hề biết con số tồn tại.

2. TÍNH DỊ HƯỚNG ĐIỆN MÔI CỦA GỖ

Gỗ là chất rắn dạng tế bào, cấu tạo từ các tế bào dài, rỗng và thẳng hàng theo trục -- quản bào ở gỗ mềm, sợi và mạch ở gỗ cứng như tếch -- với trục dài xác định thớt. Hình học này là nguồn gốc của tính dị hướng cơ học mà mọi thợ mộc đều biết, và cũng là nguồn gốc của một tính dị hướng điện môi ít được nhận thức rộng rãi hơn nhưng cũng có thật và đã được ghi nhận từ lâu (James, 1975; Torgovnikov, 1993).

Ba cơ chế khiến hằng số điện môi phụ thuộc hướng, và cả ba đều ưu tiên trục dọc. Thứ nhất, bản thân thành tế bào tạo các đường phân cực liên tục dọc sợi và gián đoạn ngang sợi, vì vậy phân cực giao diện (Maxwell-Wagner) tại vô số ranh giới thành-lòng tích tụ ưu tiên dọc thớt. Thứ hai, nước liên kết giữ trong thành tế bào -- thành phần đóng góp chủ đạo cho hằng số điện môi của gỗ trừ trạng thái khô nhất -- nằm trong một môi trường có các vị trí hydroxyl và giàn vi sợi cùng thẳng hàng với sợi, nên phân cực định hướng của lưỡng cực nước liên kết dễ diễn ra dọc thớt hơn ngang thớt. Thứ ba, hai hướng ngang, xuyên tâm R và tiếp tuyến T, chỉ khác nhau đôi chút và đều thấp hơn nhiều so với giá trị dọc L. Kết quả nhất quán trong tài liệu là thứ tự $\epsilon_{ps_L} > \epsilon_{ps_R} \sim \epsilon_{ps_T}$, với cùng thứ tự trong hệ số tổn hao, và tỷ số dị hướng $\epsilon_{ps_L} / \epsilon_{ps_T}$ thường



từ 1,2 đến 1,5 đối với gỗ cứng ôn đới và nhiệt đới trong dải hút ẩm.

Giá trị tuyệt đối vừa phải và bị độ ẩm chi phối. Gỗ sấy kiệt nằm gần $\text{eps}_r = 2$ đến 3, tăng nhanh và đơn điệu khi độ ẩm tăng, bởi mỗi gia số nước liên kết bổ sung các lưỡng cực vào tổng thể có thể phân cực. Độ dốc này là lý do độ ẩm, không phải loài, là đòn bẩy lớn nhất đối với đóng góp điện môi của giá đỡ, và nó được bàn trong Mục 5. Đối với lập luận dị hướng, điểm cốt yếu thuộc về cấu trúc chứ không phải con số: hướng có hằng số điện môi cao nhất là hướng sợi, và hướng ấy do thớ mộc, không phải cái cây, ấn định.

3. PHÉP ĐO: HẲNG SỐ ĐIỆN MÔI VÀ TỔN HAO DỌC BA TRỤC

Chúng tôi đo eps_r và $\tan \delta$ trên các phiến mẫu gỗ tech được gia công dọc từng trục trong ba trục giải phẫu, để trường do cell bản cực song song áp vào lần lượt chạy theo chiều dọc, xuyên tâm và tiếp tuyến qua mẫu. Phiến mẫu là hình vuông 40 mm, dày 3,0 mm, hai mặt được gia công phẳng và song song trong phạm vi ± 10 micromét, cắt từ ba phiến xích đạo cấp 5N được tuyển chọn theo quy trình nền tảng để nhiệm vụ từ không thể gây nhiễu phép đo điện môi. Mỗi bộ phiến mẫu được điều hòa đến cân bằng ở ba độ ẩm -- 8, 12 và 16 percent -- trong buồng ẩm, sau đó độ ẩm được xác minh bằng trọng lượng so với khối lượng sấy kiệt ở cuối lượt đo.

Cell là đồ gá bản cực song song có vòng chắn thuộc loại đã mô tả trước đây (Tanaka và Park, 2022), được máy phân tích trở kháng Keysight E4990A kích từ 20 Hz đến 10 MHz. Vòng chắn triệt trường viền để điện dung đo được tương ứng với diện tích điện cực xác định và hằng số điện môi trích xuất là giá trị khối của vật liệu thay vì một ước lượng nhiễu biên; hệ số tổn hao được đo trực tiếp như hệ số tiêu tán của đồ gá. Tiếp xúc được thực hiện qua các lớp xen đàn hồi dẫn điện mỏng để thích ứng với độ nhám bề mặt còn lại của mặt phay mà không cần chất kết dính đóng góp phân cực riêng.

Ở độ ẩm 12 percent và 1 kHz, gỗ tech cho $\text{eps}_L = 2.64$, $\text{eps}_R = 2.09$ và $\text{eps}_T = 2.02$, tỷ số dị hướng $\text{eps}_L / \text{eps}_T$ bằng 1,31 và $\text{eps}_L / \text{eps}_R$ bằng 1,26; hai trục ngang thống nhất trong phạm vi 4 percent, như dự kiến. Hệ số tổn hao đi theo cùng thứ tự: $\tan \delta$ bằng 0,021 dọc thớ và 0,014 đến 0,015 ngang thớ. Trên dải âm thanh từ 20 Hz đến 20 kHz, các hằng số điện môi phẳng trong phạm vi 3 percent và tỷ số dị hướng giữ từ 1,24 đến 1,31. Tăng độ ẩm lên 16 percent nâng mọi giá trị -- eps_L đạt 3.08 -- và đáng chú ý là mở rộng đôi chút tính dị hướng, vì nước liên kết bổ sung phân cực ưu tiên dọc trục thuận lợi. Sấy xuống 8 percent làm giảm cả giá trị tuyệt đối lẫn tỷ số. Vì vậy, tính dị hướng không phải một hằng số vật liệu cố định mà được độ ẩm điều biến, mạnh nhất ở nơi ít mong muốn nhất (ướt) và yếu nhất khi vật liệu khô nhất; ở quy cách giao hàng 12 $\pm$ 1 percent, nó được phân giải rõ và ổn định.

4. MÔ HÌNH ĐIỆN DUNG PHÂN BỐ CỦA MÁNG, CÁP VÀ CỘT

Để chuyển ba hằng số điện môi thành một quyết định thiết kế, chúng ta cần hình học ghép. Cáp không nằm trên một khối phẳng; nó tựa trong máng, một rãnh nông có bán kính được gia công vào mặt đỉnh, để một cung hữu hạn của vỏ cáp chỉ cách gỗ bằng độ dày thành vỏ. Phần gỗ ngay dưới cung đó -- một cột thẳng đứng ngăn chặn từ đáy máng xuống thân khối -- là nơi trường giữa dây dẫn và mọi đường hồi đất xa mạnh nhất, cũng là nơi phần lớn điện dung cáp-giá đỡ được lưu trữ. Phần gỗ xa hơn theo phương ngang và sâu hơn đóng góp với trọng số giảm nhanh khi trường lan ra và suy yếu.

Chúng tôi mô hình hóa nó như một điện dung phân bố trên mỗi đơn vị chiều dài tuyến, tích phân năng lượng trường cực bộ qua thể tích gỗ bên dưới và quanh máng, với tensor hằng số điện môi của gỗ được đưa vào theo từng trục. Cách dựng này là tiêu chuẩn cho chất điện môi dị hướng: thành phần trường đứng lấy mẫu hằng số điện môi trục đứng, các thành phần ngang lấy mẫu hằng số điện môi trục ngang; và vì máng tập trung trường vào vùng gần thẳng đứng ngay dưới dây dẫn, còn các đường hồi khép điện dung chạy ra ngoài rồi xuống qua hai bên sườn cột, các hằng số điện môi ngang mang phần lớn hơn của năng lượng lưu trữ. Đầu ra của mô hình là một con số duy nhất có ý nghĩa kỹ thuật: điện dung khối bổ sung vào cáp, tính bằng picofarad trên mỗi khối, theo cách tensor hằng số điện môi được định hướng.

Hai hướng có ý nghĩa thực tế. Phay đầu thớ hướng đứng đặt trục dọc L thẳng đứng xuống đường tải và để hai trục ngang thấp R và T nằm trong mặt phẳng ngang. Phay mặt thớ (xẻ phẳng, sợi nằm ngang) đặt trục dọc L vào mặt phẳng ngang, nơi nó bị các thành phần trường ngang mạnh lấy mẫu, và dựng một trục ngang theo chiều đứng. Đưa các hằng số đo ở 12 percent vào mô hình cho hình học máng đại diện (cáp đường kính 12 mm, máng bán kính 3 mm, khối cao 60 mm, đường hồi đất danh nghĩa ở khoảng cách khung máy) cho khoảng 1.9 pF mỗi khối đối với cấu hình đầu thớ và khoảng 2.3 pF mỗi khối đối với cấu hình mặt thớ -- chênh lệch gần 0.4 pF, xấp xỉ 18 percent, hoàn toàn chỉ do góc cắt. Trên mỗi khối, con số này nhỏ. Nó cũng là thật, có thể tái lập, chỉ có một dấu và miễn phí: nhà sản xuất chỉ phải quyết định định hướng phôi đúng cách, còn hiệu ứng sẽ tích lũy qua nhiều khối của toàn tuyến.

5. QUÉT GÓC THỚ VÀ ĐỘ NHẠY ĐỘ ẨM

Hai hướng đã nêu là hai đầu của một miền liên tục, và cần xác nhận đầu thớ là cực tiểu thật chứ không chỉ là lựa chọn tốt hơn trong hai lựa chọn tùy ý. Chúng tôi gia công một loạt phiến mẫu ở các góc thớ từ 0 deg (sợi thẳng đứng, đầu thớ thật) qua 30, 45, 60 đến 90 deg (sợi nằm ngang, mặt thớ) so với trục tải, rồi đo từng mẫu trong hình học mô hình máng với một dây dẫn được cấp điện phía trên. Điện dung quy chiếu về cáp tăng đơn điệu theo góc thớ, từ cực tiểu đầu thớ ở 0 deg đến



cực đại mặt thớ ở 90 deg, bám sát trọng số bình phương cosin mà mô hình tensor dự đoán khi trục dọc có hằng số điện môi cao dần xoay vào trường ngang. Đường cong thoải gần 0 deg -- sai số phay vài độ gần như không mất gì -- và dốc nhất qua giữa miền quét, vì vậy hình phạt cho một nhát cắt thực sự cầu thả lớn hơn hình phạt cho một nhát cắt chưa hoàn hảo nhưng có chủ ý đúng. Cực tiểu nằm ở đầu thớ thật, và đó là cực tiểu, không phải điểm uốn.

Độ ẩm dịch chuyển toàn bộ đường cong theo chiều đứng mà không làm đổi vị trí cực tiểu. Vì hằng số điện môi tăng mạnh theo nước liên kết, một khối đã trôi từ độ ẩm 12 lên 16 percent bổ sung điện dung tuyệt đối nhiều hơn toàn bộ chênh lệch đầu thớ-mặt thớ ở cùng độ ẩm -- đòn bẩy độ ẩm lớn hơn đòn bẩy hướng. Nhưng hai yếu tố độc lập: làm ướt gỗ nâng sàn, không thay đổi hướng nào thấp nhất. Vì vậy, hướng và điều hòa là hai biện pháp kiểm soát bổ trợ, và cả hai đều phải được thực hiện. Đây là cơ sở đo lường cho việc sấy lò mọi phôi đã phân cấp tại nơi xuất xứ đến 12 +/- 1 percent và kiểm tra độ ẩm hằng năm trong lịch bảo trì: hướng được phay vĩnh viễn và không thể trôi, còn độ ẩm định tỷ lệ cho nó thì có thể, và giá đỡ để cân bằng với phòng ẩm sẽ chậm rãi từ bỏ khoảng dự trữ mà bàn phay đã giành được.

Chúng tôi tiện lưu ý rằng sự thống nhất giữa các trục ngang đo trong Mục 3 khiến lựa chọn đặt hướng xuyên tâm hay tiếp tuyến trong mặt phẳng ngang không có ý nghĩa trong phạm vi độ không đảm bảo đo; khối có thể được xoay định vị quanh trục đứng để vòng sinh trưởng trên mặt đỉnh đẹp nhất mà không gây hệ quả điện môi, miễn là sợi vẫn thẳng đứng.

6. THẢO LUẬN: HAI LẬP LUẬN, MỘT HƯỚNG

Cấu hình đầu thớ không được chọn vì ứng xử điện môi. Nó được chọn vì đầu thớ là cách cứng và khỏe nhất để gỗ chịu tải nén: khi sợi đứng thẳng, tải hướng xuống được truyền dọc các tế bào dạng ống theo hướng khỏe nhất, và khối chống lại trọng lượng tĩnh của tuyến cáp cùng độ lún của hệ thống lắp đặt với độ từ biến và thay đổi kích thước thấp nhất. Đây là kiến trúc kỹ thuật gỗ lâu đời, không gây tranh cãi, và nó đã ấn định quy cách phay trước khi bất kỳ hằng số điện môi nào được đo.

Các phép đo điện môi được báo cáo ở đây tiến hành sau đó, và về nguyên tắc chúng có thể bất đồng với lựa chọn cơ học -- trục dọc thớ có thể là trục hằng số điện môi thấp, khi ấy dựng nó theo chiều đứng sẽ đúng về cơ học nhưng sai về điện, buộc phải thỏa hiệp. Chúng không bất đồng. Trục dọc thớ là trục hằng số điện môi cao, nên dựng nó theo chiều đứng loại nó khỏi mặt phẳng ngang nơi trường cáp mạnh nhất, đúng như mô hình điện dung yêu cầu. Hướng lý tưởng về cơ học cũng độc lập là hướng yên tĩnh nhất về điện môi. Hai lập luận được xây dựng từ những nhánh vật lý khác nhau, vào những thời điểm khác nhau, bởi những người giải các bài toán khác nhau, và cùng chọn một kiểu cắt.

Chúng tôi không gán trọng lượng huyền bí nào cho sự thống nhất này; vật liệu dị hướng thường có trục cứng và trục hằng số điện môi cao thẳng hàng, vì cả hai tính chất đều bắt nguồn từ cùng một vi cấu trúc thẳng hàng, và gỗ tếch là vật liệu như vậy. Nhưng hệ quả thực tế vẫn đứng vững. Nhà sản xuất chỉ theo lập luận cơ học sẽ đi đến đầu thớ và, không chủ định, cũng làm ghép điện dung nhỏ nhất. Nhà sản xuất bác bỏ lập luận cơ học vì muốn mặt thớ trang trí sẽ thua trên cả hai phương diện cùng lúc. Sự hội tụ không hẳn là một trùng hợp để kinh ngạc, mà là lý do tin vào quy cách: khi hai tuyến lập luận độc lập kết thúc ở cùng một con số, con số có nhiều khả năng đúng hơn.

7. KẾT LUẬN

Gỗ là một vật thể dị hướng điện môi, còn giá đỡ cáp bằng gỗ là vật thể đó nằm trong trường gần của dây dẫn. Đóng góp của nó vào hệ thống lắp đặt là một điện dung phân bố nhỏ, với độ lớn được nhà sản xuất, dù biết hay không, ấn định tại bàn phay. Chúng tôi đo hằng số điện môi và tổn hao ba trục của gỗ tếch xích đạo, xác nhận thứ tự dự kiến $\epsilon_{\text{eps}_L} > \epsilon_{\text{eps}_R} \sim \epsilon_{\text{eps}_T}$ với tỷ số dị hướng gần 1,3 ở độ ẩm giao hàng, rồi đưa các hằng số ấy qua mô hình điện dung mảng-và-cột để đạt một chỉ số chất lượng -- picofarad trên mỗi khối -- khác nhau có thể đo được giữa cách phay đầu thớ và mặt thớ. Đầu thớ thấp hơn, khoảng 0.4 pF và 18 percent trong hình học đại diện, và phép quét góc thớ xác nhận đó là cực tiểu thật.

Khoảng chênh nhỏ trên mỗi khối và chúng tôi từ chối phóng đại nó. Điều chúng tôi khẳng định chỉ là nó có thật, có hướng ưu tiên, và hướng ưu tiên chính là hướng đã được quy định vì lý do cơ học. Equatorial Elevation Block được phay đầu thớ hướng đứng vì đầu thớ là cách cứng nhất để chịu tải nén; phân tích điện môi báo cáo ở đây được tiến hành sau đó và xác nhận cùng kiểu cắt yên tĩnh nhất về điện môi. Mỗi khối được giao với đầu thớ hướng lên, sấy lò đến 12 +/- 1 percent, chưa hoàn thiện, cùng cấp và các hằng số đo được trên chứng chỉ. Chúng tôi mời độc giả hỏi bất kỳ nhà sản xuất giá đỡ bằng gỗ nào khác xem thớ của họ chạy theo hướng nào và vì sao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] James, W. L. (1975). Tính chất điện môi của gỗ và ván cứng: Biến thiên theo nhiệt độ, tần số, độ ẩm và hướng thớ. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Tính chất điện môi của gỗ và vật liệu gốc gỗ. Springer-Verlag, Berlin.
- [3] Skaar, C. (1988). Quan hệ gỗ-nước. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlin.
- [4] Norimoto, M. (1976). Tính chất điện môi của gỗ. Wood Research: Bulletin of the Wood Research Institute, Kyoto University, 59/60, 106-152.



- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Phân cấp độ trung tính từ của gỗ kết cấu: Hệ phân loại độ tinh khiết cấp N cho vật liệu đỡ âm thanh. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Đo hằng số điện môi bằng bản cực song song có vòng chắn cho chất rắn dị hướng tổn hao thấp. *Journal of Equatorial Audio Science*, 3(1), 12-29.