

Một buổi chiều nắng gắt, tôi đứng trên sân thượng nhìn những tấm pin trải thành một bãi biển màu xanh. Gió thổi, vài chiếc lá rung rinh ở mép mái. Nghe thì chẳng có gì ghê gớm. Vậy mà màn hình theo dõi công suất lại tụt một nhịp, rồi tụt tiếp. Lúc đó tôi mới nhớ cảm giác "nắng thì vẫn nắng", nhưng điện lại không theo cùng một cách. Che bóng, dù chỉ là một mảng nhỏ, có thể làm giảm hiệu suất của **điện năng lượng mặt trời** theo những cơ chế khá cứng đầu.

Tôi viết bài này để bạn nhìn che bóng như một vấn đề kỹ thuật thật sự, không phải chuyện "xui xẻo". Nếu bạn đang cân nhắc **lắp đặt điện năng lượng mặt trời**, hoặc đã có hệ thống và thấy sản lượng thấp hơn dự tính, hiểu cơ chế sẽ giúp bạn chẩn đoán nhanh và quyết định đúng.

## Che bóng không chỉ giảm ánh sáng, nó làm rối mạch pin

Pin mặt trời hoạt động dựa trên việc tạo ra dòng điện khi photon ánh sáng đi vào lớp bán dẫn. Khi ánh sáng giảm, sản lượng giảm, điều đó đúng. Nhưng với tấm pin, rắc rối nằm ở chỗ: các tế bào bên trong thường được nối theo cấu trúc chuỗi, rồi cả hệ thống lại được ghép thành chuỗi lớn hơn.

Chỉ cần một phần tấm hoặc một vài tấm bị che, bạn không còn có một "bức tranh ánh sáng đồng đều" nữa. Bạn có hai thế giới cùng tồn tại trên cùng một cụm: nơi còn sáng tạo công suất và nơi bị che tạo ra rất ít. Và mạch điện sẽ phải tìm cách cân bằng trong điều điện mặt trời kiện không cân xứng đó.

Trong thực tế, hiện tượng che bóng thường gây ra hai hiệu ứng đáng kể:

- **Giảm công suất theo diện tích bị che** (rõ ràng).
- **Giảm mạnh hơn dự kiến do cách các tế bào và các chuỗi bị ép phải làm việc chung**.

Điểm thứ hai mới là thứ khiến nhiều người bất ngờ.

## Hiện tượng "điểm nóng" và diode bypass

Trong một module pin, các tế bào được nối theo cách khiến dòng đi qua toàn bộ chuỗi. Nếu một đoạn bị che, đoạn đó gần như "không đóng góp" cho dòng. Lúc này, mạch sẽ cố gắng kéo dòng theo hướng mà phần bị che không thuận lợi. Diode bypass được thiết kế để bảo vệ và giảm tổn thất trong tình huống đó.

Nghe có vẻ tốt, nhưng cơ chế "bỏ qua" lại có giá. Khi diode bypass hoạt động, một phần chuỗi tế bào có thể bị loại khỏi đường làm việc. Kết quả là module không còn tạo công suất theo kiểu tuyến tính. Công suất có thể giảm mạnh ngay cả khi chỉ một phần nhỏ bị che, vì bạn không chỉ mất vài phần trăm diện tích, mà mất luôn "khả năng hoạt động theo chế độ tối ưu" của một nhánh.

Một ví dụ rất đời: tôi từng kiểm tra một hệ gồm nhiều module, trên mái có đường ống nhỏ chạy ngang. Lúc đầu, người lắp dự tính bóng ống sẽ "nhẹ". Nhưng đến khi mặt trời lên đúng góc, một dải hẹp bị che liên tục vào buổi sáng. Diode bypass bắt đầu "nhấp nháy" theo từng cụm, và sản lượng giảm theo kiểu không mượt. Đến khi chỉnh lại hướng và bố trí lại chuỗi, độ sụt giảm biến mất phần lớn.

## Chuỗi mắc nối tiếp khiến che bóng lan rộng hậu quả

Càng nhiều module ghép nối tiếp trong một chuỗi, càng dễ "bị đồng bộ theo kẻ yếu".




Trong mạch nối tiếp, dòng điện chạy qua mọi phần tử gần như bằng nhau. Nếu một module trong chuỗi bị che, nó kéo điểm làm việc của cả chuỗi xuống. Điều này giống như việc bạn mắc nhiều bóng đèn vào một dây nối tiếp, một bóng yếu sẽ khiến cả dây sáng yếu theo.

Từ góc nhìn vận hành, vấn đề này thường xuất hiện khi:

- Một nhánh string nhận bóng khác hoàn toàn so với nhánh khác.
- Các tấm bị che không đối xứng trong cùng một string.
- Thiết kế string ban đầu không tính đến đường đi của bóng theo thời gian trong ngày và theo mùa.

Vì vậy, che bóng không chỉ là "giảm ánh sáng tại vị trí bị che", mà còn "kéo cả hệ thống về cùng mức của phần bị ảnh hưởng nặng nhất".

## MPPT của inverter: tốt, nhưng vẫn bị giới hạn bởi che bóng không đều

Bộ MPPT (maximum power point tracking) bên trong inverter có nhiệm vụ tìm điểm công suất tối ưu cho một chuỗi đầu vào. Khi ánh sáng đồng đều, đường cong công suất thường có một đỉnh lớn, MPPT bắt được dễ.

Nhưng khi che bóng một phần xảy ra, đặc biệt là che không đồng nhất giữa các module trong cùng string, đường cong công suất có thể xuất hiện nhiều "đỉnh". MPPT sẽ phải chọn một đỉnh, và đôi khi nó không chọn được đỉnh toàn cục, hoặc mất thời gian để "đuổi" theo đỉnh thay đổi theo góc nắng.

Kết quả là hiệu suất không chỉ giảm do ít năng lượng hơn, mà còn giảm do hệ thống khó bám được điểm tối ưu ổn định.

Trong log vận hành, người ta thường thấy công suất dao động bất thường hoặc giảm rõ rệt trong các khung giờ có bóng, dù trời vẫn nắng.

## Che bóng theo thời gian: bóng "di chuyển" và làm bài toán khó hơn

Nhiều người chỉ quan sát một thời điểm trong ngày. Nhưng bóng mặt trời không cố định. Nó trôi theo cung đường của mặt trời, theo mùa, theo hướng nhà.

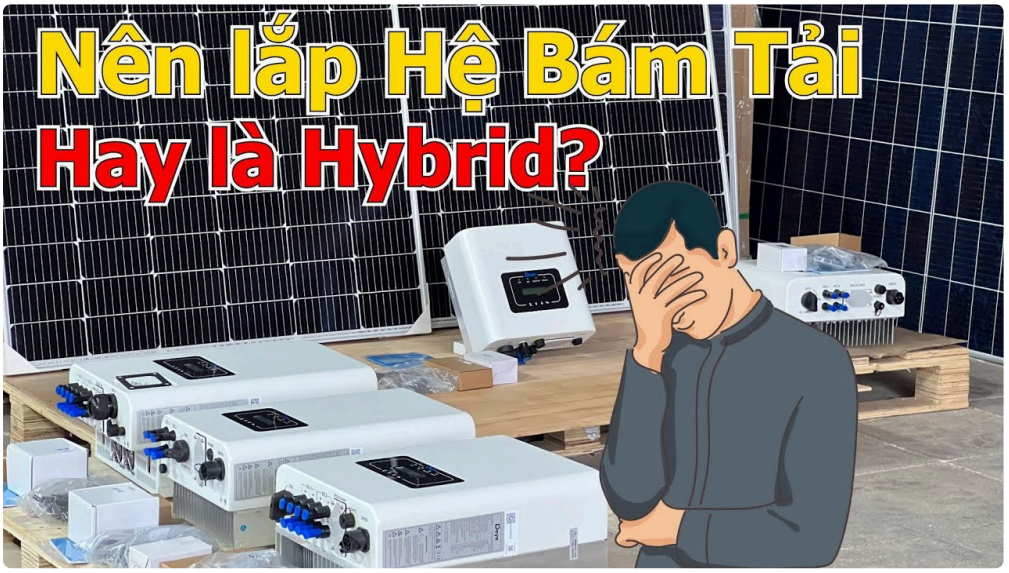
Một tấm pin có thể nhận nắng gần như cả ngày, nhưng một phần nhỏ lại bị bóng cục bộ vào buổi sáng hoặc đầu giờ chiều. Lượng điện mất trong khung giờ đó có thể không lớn nếu chỉ tính theo giờ. Tuy nhiên, khi bạn tích lũy nhiều ngày và nhiều chuỗi bị ảnh hưởng, tổng sản lượng vẫn tụt đáng kể.

Tôi từng gặp trường hợp hệ thống lắp xong được vài tuần, sản lượng "tạm ổn" vì thời điểm lắp rơi đúng giai đoạn góc nắng khiến bóng chưa ăn nhiều. Sang mùa sau, bóng cây và bóng thiết bị trên mái bắt đầu cắt vào tấm theo góc xấu hơn. Chênh lệch doanh thu theo tháng xuất hiện rõ.

## Che bóng "nhẹ" vẫn có thể gây suy giảm lớn nếu đúng kiểu

Người mới thường nghĩ: che 5% diện tích thì mất khoảng 5% điện. Nói chung điều đó có thể đúng khi module bị che theo kiểu đồng đều và không làm thay đổi điểm làm việc của cả chuỗi.

Nhưng che bóng thực tế hay rơi vào các tình huống khiến mất nhiều hơn:




- **Che dạng dải hẹp** qua một phần chuỗi tế bào.
- **Che lặp lại theo chu kỳ** (ví dụ bóng ăng ten, bóng ống, bóng dây phơi).
- **Che không đồng đều giữa các module trong cùng một string**.
- **Che chỉ xảy ra vào các giờ nhiều bức xạ** (thường là quanh trưa), nên phần điện bị mất có "trọng lượng" lớn hơn.

Đó là lý do một mảnh bóng nhỏ nhưng đúng thời điểm, đúng vị trí có thể làm hiệu suất tụt mạnh.

## Những thủ phạm che bóng thường gặp trên mái nhà

Trên thực địa, che bóng hiếm khi chỉ đến từ "một cái cây". Nó thường là những chi tiết nhỏ, nhưng đủ để phá chế độ tối ưu của hệ.

Dưới đây là vài tình huống tôi hay thấy nhất khi khảo sát cho các dự án **lắp đặt điện năng lượng mặt trời**:

1. Cành cây hoặc dây leo rung vào giờ nắng gắt, bóng thay đổi theo gió
2. Thiết bị trên mái như ống thông gió, mái che phụ, khung anten
3. Bậc thang kỹ thuật, lan can, cục chống sét hoặc hộp điện đặt cao
4. Đường đi của người thi công hoặc bảo trì, để lại vật cản tạm thời rồi quên điều chỉnh

Trong nhiều trường hợp, "tạm thời" kéo dài thành "vĩnh viễn". Và khi chủ nhà đã quen với cảnh đó, ai cũng tưởng không ảnh hưởng.

## Cách kiểm tra nhanh xem che bóng đang là vấn đề hay không

Nếu bạn nghi ngờ che bóng, bạn có thể kiểm tra theo hướng thực dụng, tránh mơ hồ.

Cách tôi thường dùng là đối chiếu theo thời gian và so sánh sản lượng theo ngày.

- Nếu bạn thấy hệ giảm rõ rệt trong các khung giờ cố định, còn ngoài khung đó sản lượng trở lại bình thường, che bóng rất có cơ hội là thủ phạm.
- Nếu giảm mạnh khi trời nắng nhưng ít thay đổi khi trời mây, đó cũng là dấu hiệu vì che bóng phụ thuộc vào góc tới, chứ không phải chỉ phụ thuộc mức mây.

Ngoài ra, nếu inverter cho phép xem theo string hoặc log công suất theo dải thời gian, bạn sẽ thấy một nhánh giảm sâu hơn nhánh khác. Điều đó gợi ý rằng bố trí chuỗi của hệ thống đang trúng vùng bị che.

## Giải pháp xử lý: không phải lúc nào cũng "đẩy tấm lên cao"

Giải pháp cho che bóng có nhiều đường. Nhưng lựa chọn nào cũng phải cân bằng giữa hiệu quả, chi phí và rủi ro cơ khí (gió, rung, nước đọng).

Một nguyên tắc tôi từng học được từ những lần sửa hệ ngoài công trường: đừng chỉ nhìn theo "có nắng là được". Hãy nhìn theo bài toán góc nắng, vị trí bóng và cấu trúc string.

Các hướng xử lý phổ biến gồm:

1. **Thiết kế lại bố trí string** để các tấm nhận bóng được ghép ít "đụng" vào nhau trong cùng một chuỗi
2. **Dời hướng lắp đặt** hoặc chỉnh góc nghiêng để giảm diện tích bị cắt bởi bóng
3. **Tối ưu cơ cấu gắn** để có khoảng hở đủ cho bóng không "leo" lên tấm theo chiều ngang
4. **Tối ưu cấu hình điện** (tùy inverter và cách đấu) nhằm giảm mức độ "bị kéo xuống" của chuỗi bị ảnh hưởng

Có những trường hợp chỉ cần cắt bỏ hoặc di dời vật gây bóng là giải quyết triệt để. Cũng có trường hợp phải chấp nhận một mức giảm sản lượng vì bóng đến từ yếu tố khó thay đổi, như tòa nhà lân cận hoặc hàng cây đã tồn tại trước khi lắp.

## Trade-off: che bóng giảm hiệu suất, còn "cắt bóng" đôi khi lại tạo vấn đề mới

Nghe thì cứ "tránh bóng" là xong. Nhưng trong đời thực, tránh bóng có thể kéo theo chi phí hoặc rủi ro khác.

Ví dụ, bạn nâng dàn tấm quá cao để bóng không chạm. Làm như vậy đôi khi cải thiện phần che vào buổi sáng hoặc chiều. Nhưng dàn cao hơn đồng nghĩa với áp lực gió tăng lên, yêu cầu kết cấu và độ cứng phải cao hơn. Nếu móng hoặc khung không được tính kỹ, hệ có thể rung mạnh, lâu dài sẽ gây mỏi cơ khí, ảnh hưởng độ bền.

Hoặc bạn chọn bố trí lại string để "chia nhỏ" ảnh hưởng. Việc đó đôi khi làm số lượng string tăng hoặc khiến bạn phải dùng inverter có cấu hình phù hợp hơn. Chi phí có thể đội lên, nhưng bù lại bạn lấy lại sản lượng.

Nói cách khác, chống che bóng là bài toán tối ưu, không phải quyết định một lần là xong.

## Khi nào nên nghi che bóng và khi nào nên nghi thứ khác?

Che bóng là thủ phạm hay gặp, nhưng không phải là thủ phạm duy nhất. Nếu sản lượng giảm, bạn nên phân biệt giữa các nguyên nhân phổ biến khác, để khỏi mất thời gian đổ lỗi sai.

Nếu bạn thấy hệ thống giảm theo quy luật "đúng giờ bóng", che bóng là rất đáng nghi. Nếu hệ giảm đều mọi khung giờ, nhất là khi trời nắng tương tự ngày khác, các vấn đề như suy giảm do nhiệt độ bất thường, bẩn bề mặt, lỗi string, hoặc cấu hình đấu có thể đứng vai chính.

Một dấu hiệu tốt để phân biệt là quan sát sản lượng theo ngày nắng ổn định, và đối chiếu biên độ giảm so với ngày không có bóng. Khi bóng là nguyên nhân, bạn thường thấy "đường cắt" rất rõ trong biểu đồ công suất.

## Những kinh nghiệm thực địa để giảm che bóng ngay từ đầu

Cái hay của che bóng là, đa phần có thể tránh ngay từ giai đoạn thiết kế. Trên giấy thì không khó, quan trọng là bạn có chịu "nhìn bóng" bằng cách tương tự ngoài đời hay không.

Nếu bạn đang chuẩn bị hồ sơ hoặc chọn đơn vị thi công, tôi khuyên bạn chú ý vài điểm, vì chúng ảnh hưởng trực tiếp đến việc che bóng có xuất hiện hay không:

- Kiểm tra bóng theo ít nhất hai thời điểm trong ngày, thường là sáng và chiều, vào mùa gần giống hiện tại và mùa sắp tới.
- Xem bóng không chỉ ở mức "chạm tấm" mà còn ở mức "cắt vào một dải". Nhiều vấn đề bắt đầu từ dải hẹp.
- Hỏi đơn vị thi công về cách họ chia string, vì đây là chỗ che bóng trở nên đắt giá nhất.
- Nếu có cây cối xung quanh, hãy hỏi kế hoạch xử lý và dự phòng khi cây lớn lên.

Khi làm tốt ngay từ đầu, bạn không chỉ tăng sản lượng, mà còn giảm khả năng phải sửa sau. Tôi đã thấy quá nhiều hệ lắp xong mới phát hiện "một bóng mảnh" và sau đó phải xử lý trong mùa cao điểm, vừa tốn chi phí vừa ảnh hưởng tiến độ.

## Điểm cần nhớ: che bóng làm giảm hiệu suất theo kiểu "không tuyến tính"

Nếu chỉ giữ lại một ý từ bài này, thì đó là: che bóng không giảm hiệu suất theo tỷ lệ đơn giản.

- Che một phần vẫn có thể làm diode bypass kích hoạt và kéo cả cụm về chế độ kém hơn.
- String nối tiếp khiến phần bị che "kéo" điểm làm việc của cả chuỗi.
- MPPT có thể phải chọn giữa nhiều điểm công suất, khiến bám tối ưu kém ổn định hơn.

Vì vậy, khi bạn nhìn biểu đồ và thấy tụt theo khung giờ, hãy nghĩ đến bóng trước. Khi bạn chuẩn bị thiết kế **điện năng lượng mặt trời**, hãy coi bài toán đường đi của bóng là một phần của bản vẽ, không phải phụ lục.

Nếu bạn muốn, bạn có thể mô tả bối cảnh mái nhà của bạn: hướng mái, có vật gì cao trên mái, cây cối xung quanh ở khoảng cách nào, và hệ inverter có bao nhiêu string. Tôi có thể giúp bạn suy luận khả năng che bóng theo thời điểm và gợi ý các bước kiểm tra phù hợp mà không cần phá dỡ quá nhiều.