

# Nâng cao khả năng ứng dụng các định lý Thevenine-Norton trong phân tích mạch

Nguyễn Quốc Dinh\*

\*ThS. GV. Khoa Kỹ thuật điện tử, Học viện Công nghệ Bưu chính-Viễn thông

Received: 02/8/2024; Accepted: 9/8/2024; Published: 19/8/2024

**Abstract:** When faced with a circuit analysis problem, the choice of the solution method is extremely important because it determines the accuracy of the results and saves time. Among the traditional circuit analysis methods, the circuit equivalent transformation method based on the Thevenine-Norton theorems offers attractive advantages, including reduced circuit complexity, high computational efficiency with the least amount of time. However, it requires engineers to apply these theorems flexibly and professionally.

**Keywords:** Thevenine-Norton theorems, circuit analysis methods.

## 1. Đặt vấn đề

Khi đứng trước một bài toán phân tích mạch, điều đầu tiên đối với chúng ta, đó là lựa chọn phương pháp giải. Dù bài toán đó có thể có một vài cách giải khác nhau, nhưng sự lựa chọn phương pháp tốt có thể giúp chúng ta đưa vấn đề ban đầu về dạng đơn giản, tránh được sự tính toán phức tạp về mặt toán học, đồng thời tiết kiệm thời gian và giảm thiểu được sự sai sót trong quá trình thực hiện. Các phương pháp phân tích mạch cơ bản thường được vận dụng có thể kể đến bao gồm: Chuyển đổi miền; Thiết lập hệ phương trình trạng thái; Mô hình hóa hệ thống; Biến đổi tương đương và hạn chế điểm làm việc trong các vùng tuyến tính hay phi tuyến.

Đối với phương pháp biến đổi tương đương mạch, điều đầu tiên phải kể đến *phép biến đổi sao-tam giác* là một giải pháp tốt để biến cấu hình các nhánh mạch dạng phức tạp về dạng cơ bản nối tiếp hoặc song song. Kế đến là *biến đổi tương đương nguồn* dựa trên các định lý Thevenine & Norton. Dù các định lý này đã được mô tả chi tiết trong các tài liệu, tuy nhiên sự vận dụng của sinh viên trong trong các bài toán thực tế vẫn còn hạn chế. Vì vậy, mục tiêu của bài báo này là đánh giá chi tiết biến đổi thevenine-Norton, đồng thời mở rộng vùng ứng dụng sang cả miền tần số và các mạch sử dụng linh kiện tích cực. Bằng cách này, chúng tôi hy vọng nâng cao kỹ năng vận dụng hiệu quả các phương pháp phân tích mạch đối với sinh viên các ngành Kỹ thuật điện - Điện tử - Viễn thông.

## 2. Nội dung nghiên cứu

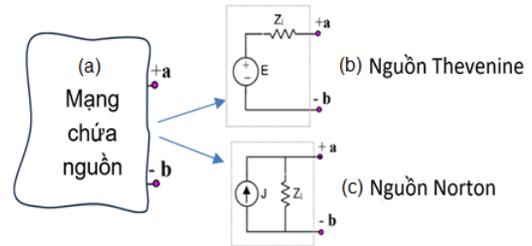
### 2.1. Các định lý Thevenine-Norton

2.1.1. **Định lý Thevenin:** Có thể thay thế một mạng điện hai cực phức tạp có chứa nguồn (hình 2.1(a)) bằng một sức điện động nối tiếp với một nội trở duy

nhất (hình 2.1(b)). Trong đó:

- E: Sức điện động Thevenine, có giá trị bằng điện áp hở tải tại cặp điểm ab.

-  $Z_i$ : Trở kháng Thevenine, có giá trị bằng trở kháng tương đương của mạng nhìn tại cặp điểm ab với điều kiện các nguồn bị triệt tiêu bằng cách ngắn mạch sức điện động và hở mạch dòng điện động.



Hình 2.1: Minh họa định lý Thevenine-Norton

2.1.2. **Định lý Norton:** Có thể thay thế một mạng điện hai cực phức tạp có chứa nguồn bằng một dòng điện động song song với một nội trở duy nhất (hình 2.1(c)). Cụ thể:

- J: Dòng điện động Norton, có giá trị bằng dòng ngắn mạch tải tại cặp điểm ab.

-  $Z_i$ : Trở kháng Norton, có giá trị bằng trở kháng tương đương của mạng nhìn tại cặp điểm ab với điều kiện các nguồn bị triệt tiêu bằng cách ngắn mạch sức điện động và hở mạch dòng điện động.

2.1.3. **Mối quan hệ giữa nguồn Thevenine & Norton:** Hai định lý này dù hoàn cảnh ra đời khác nhau, nhưng cả hai đều được sử dụng để đơn giản hóa mạch điện khi phân tích và thiết kế. Giữa hai nguồn này có mối quan hệ:

$$Z_{i \text{ Norton}} = Z_{i \text{ Thevenine}}, Z_i J = E \quad (1)$$

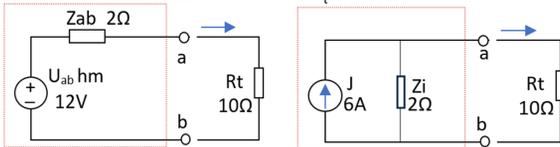
### 2.2. Vận dụng định lý Thevenine-Norton

#### 2.2.1. Mô hình hóa nguồn điện thực

Từ các định lý trên, có thể suy ra hệ quả là: Nguồn điện thực có thể khai triển thành hai mô hình trong đương (đối với mạch ngoài) là sơ đồ nguồn Thevenine và sơ đồ nguồn Norton.

*Vi dụ:* Một ắc quy có điện áp hở mạch là 12V, nội trở ắc quy là 2Ω. Tính dòng điện ắc quy này cấp cho tải 10Ω.

Để giải bài toán này, chúng ta có thể mô hình hóa ắc quy thành nguồn Thevenine hoặc nguồn Norton. Trong đó nội trở nguồn là 2Ω,  $E=U_{ab}$  hở mạch là 12V,  $J=12V/2\Omega=6A=I_{ab}$  ngắn mạch. Mạch tương đương có tải như hình 2.2 hoặc hình 2.3. Cả hai mô hình đều cho kết quả dòng điện trên  $R_t$  là 1A.



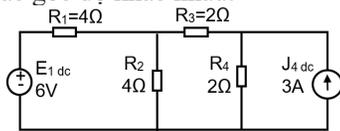
Hình 2.2: Mạch Thevenine

Hình 2.3: Mạch Norton

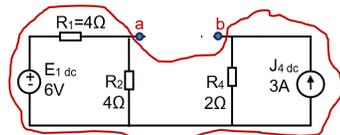
2.2.2. Biến đổi tương đương mạch

Các định lý Thevenine-Norton cho phép chúng ta vận dụng để biến đổi nhằm đưa mạch điện về dạng cấu trúc đơn giản. Để minh họa, hãy xét mạch điện như hình 2.4. Tính dòng qua điện trở  $R_3$ .

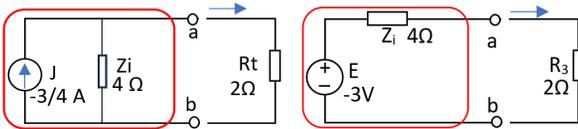
Để giải bài toán này, có khá nhiều cách. Sau đây chúng tôi sẽ trình bày sự vận dụng định lý Thevenine-Norton ở các góc độ khác nhau:



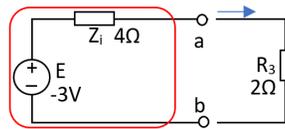
Hình 2.4



Hình 2.5



Hình 2.6

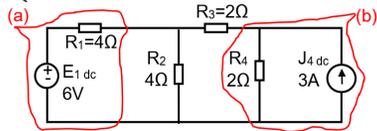


Hình 2.7

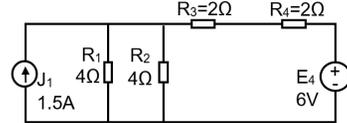
-Góc độ đầu tiên: Coi mạch điện ban đầu bao gồm hai thành phần, một thành phần là mạng hình 2.5, một thành phần kết nối tải là điện trở  $R_3$  tại cặp điểm ab. Khi đó có thể khai triển mạng hình 2.5 thành nguồn Norton hoặc Thevenine có các thông số  $J=-3/4A$ ,  $E=-3V$ ,  $Z_i=4\Omega$ . Như vậy mạch điện hình 2.4 có thể thay thế tương đương bằng mạch điện Norton hình 2.6 hoặc mạch điện Thevenine hình 2.7. Sự thay

thế này cho kết quả là các mô hình mạch cơ bản nên chúng ta dễ dàng tính được dòng trên tải  $R_3$  là -0.5A.

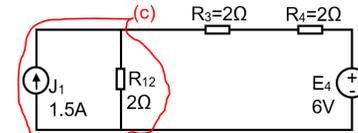
- Góc độ thứ hai: Quay lại mạch điện ban đầu hình 2.8. Ta sẽ nhóm các thông số  $E_1 R_1$  trong đường bao (a) như một nguồn áp và chuyển đổi nguồn áp này thành nguồn dòng. Mặt khác, ta nhóm các thông số  $J_4 R_4$  trong đường bao (b) như một nguồn dòng và chuyển đổi nguồn dòng này thành nguồn áp. Kết quả mạch điện ban đầu sẽ được thay thế bằng mạch điện hình 2.9. Kế tiếp chúng ta nhóm  $R_1 R_2$  thành điện trở  $R_{12}=2\Omega$  như hình 2.10. Sau đó chuyển đổi nguồn dòng  $J_1 R_{12}$  trong đường bao (c) thành nguồn áp  $E_{12} R_{12}$  như hình 2.11. Lúc này mạch điện ban đầu đã được thay tương đương bằng mạch điện đơn giản hơn nhiều và chúng ta cũng dễ dàng tính được dòng điện qua  $R_3$  là -0.5A.



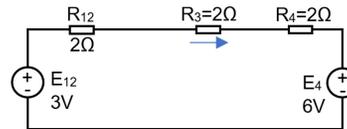
Hình 2.8



Hình 2.9



Hình 2.10

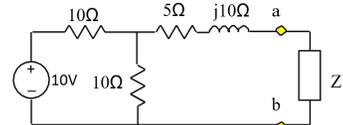


Hình 2.11

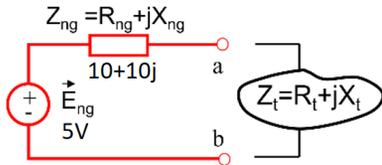
2.2.3. Phát triển ứng dụng định lý Thevenine-Norton:

Định lý Thevenine-Norton không giới hạn miền ứng dụng. Chúng ta có thể ứng dụng định lý này trong miền tần số thường cũng như trong miền tần số phức với các đại lượng trở kháng tổng quát. Sau đây là một thí dụ minh họa:

Xét mạch điện xoay chiều có các thông số (tại tần số hoạt động của mạch) như hình 2.12. Hãy xác định công suất tối đa mà tải Z có thể nhận được.



Hình 2.12



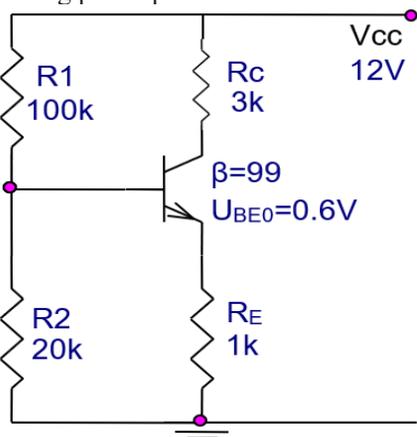
Hình 2.13

Để giải bài toán này, giải pháp tối ưu là thay thế mạng bên trái cặp điểm ab bằng một nguồn Thevenine. Khi đó mạch điện ban đầu sẽ tương đương với mô hình ở hình 2.13 với các thông số nguồn  $E_{ng}=5V$ ,  $Z_{ng}=10+10j\Omega$ . Từ mô hình này chúng ta có thể xác định được công suất trên tải sẽ bị chặn bởi  $P_0$ :

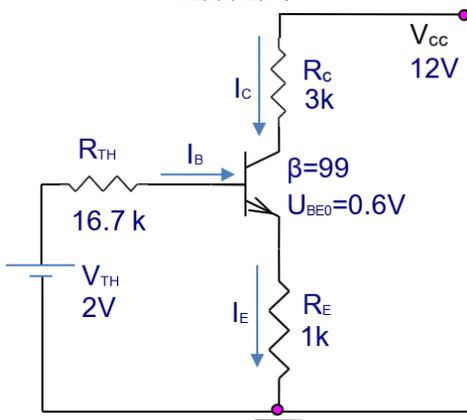
$$P_t \leq P_0 = \frac{E_{ng}^2}{4R_{ng}} = 0.625W \quad (2)$$

Dấu “=” chỉ xảy ra khi  $Z_t$  bằng liên hợp  $Z_{ng}$ , nghĩa là khi  $Z_t=10-10j\Omega$ .

Chúng ta cũng có thể phát triển ứng dụng định lý Thevenine-Norton trên các mạch tích cực. Sau đây là thí dụ minh họa: Xét mạch định điểm làm việc tĩnh cho BJT dùng phân áp như hình 2.14.



Hình 2.14



Hình 2.15

Việc tính toán chế độ DC cho mạch thường dùng phương pháp gần đúng là coi điện trở vào BJT là rất lớn so với  $R_2$ . Tuy nhiên điều này cho kết quả có độ sai lệch nhất định. Để khắc phục nhược điểm này, ta có thể dùng phương pháp biến đổi tương đương Thevenine như hình 2.15. Trong đó:

$$V_{TH} = \frac{V_{cc}}{R_1+R_2} R_2; \quad R_{TH} = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} \quad (3)$$

Bảng dưới đây tổng hợp kết quả tính toán chế độ DC của mạch hình 2.14 theo mô hình Thevenine, kèm theo đó là kết quả khi dùng cách tính gần đúng thông thường.

Phương pháp tính toán	$I_B$	$I_E$	$U_B$	$U_C$	$U_E$
Nếu giả thiết điện trở vào BJT lớn	0.014mA	1.4mA	2V	7.8V	1.4V
Nếu áp dụng Thevenine	0.012mA	1.2mA	1.8V	8.43V	1.2V

### 3. Kết luận

Bài báo đã thông qua các bài toán cụ thể để phân tích đánh giá khả năng vận dụng các định lý Thevenine-Norton. Chúng ta có thể thấy, phương pháp phân tích mạch dựa trên các định lý Thevenine-Norton mang lại những lợi thế hấp dẫn trong số các phương pháp truyền thống, bao gồm giảm độ phức tạp của mạch, linh hoạt trong vận dụng, hiệu suất tính toán cao, áp dụng cho cả mạch thụ động và tích cực. Từ góc độ này, biến đổi tương đương Thevenin-Norton là một trong số những ưu tiên khi thực hiện các nhiệm vụ phân tích và thiết kế mạch. Thông qua bài báo, chúng tôi hy vọng nâng cao kỹ năng vận dụng hiệu quả các phương pháp phân tích mạch đối với sinh viên các ngành Kỹ thuật Điện - Điện tử.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. Rugh,W.J., Linear systems theory, Prentice Hall, 1996.
- [2]. Steven T. Karris, Circuit Analysis I & II with MATLAB® Applications, Orchard Publications, 2002.
- [3]. E.W. Kamen and B.S.Heck, *Fundamental of Signals & Systems Using the Web and MatLab*, Prentice Hall., 2<sup>nd</sup> Edition, 2000.
- [4]. Robert T. Paynter, *Introductory Electronic Devices and Circuits*, Prentice Hall, 2006, 7th Edition.
- [5]. Brogan,W.L., Modern control Theory, Prentice Hall, 1991.