

Mô phỏng và phân tích mạch R-C với nguồn xung trong giảng dạy lý thuyết mạch

Nguyễn Anh Tuấn*

*ThS. Khoa Điện- Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

Received: 26/9/2024; Accepted: 03/10/2024; Published: 14/10/2024

Abstract: Nowadays, pulse signals are widely used in various fields of digital and electronic engineering. Therefore, it is necessary to supplement knowledge of circuit analysis with the source as a pulse signal. This article presents the process of analyzing and simulating R-C circuits with rectangular pulse sources. Mathematical model is used for analysis and ATPDraw software is used for simulation. Some applications of R-C circuits in generating spike and sawtooth pulses are also mentioned.

Keywords: ATPDraw software, pulse signals, circuit analysis.

1. Đặt vấn đề

Lý thuyết mạch điện là một môn học quan trọng trong lĩnh vực Điện, Điện tử-Viễn thông, Tự động hóa. Lý thuyết mạch cung cấp kiến thức cơ bản để xây dựng, phân tích và giải quyết các vấn đề liên quan đến mạch điện, điện tử. Đó không chỉ là nền tảng vững chắc cho các học phần chuyên ngành, mà còn là cơ sở để thúc đẩy sự phát triển và ứng dụng của công nghệ điện, điện tử trong đời sống hàng ngày.

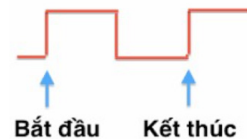
Trong lý thuyết mạch cũng như trong thực tế, thường gặp mạch điện với nguồn điện là một chiều hoặc xoay chiều có dạng hàm sin. Do đó, các giáo trình biên soạn chỉ tập trung vào các mạch điện này. Tuy nhiên, ngày nay, các tín hiệu xung được sử dụng rộng rãi trong những lĩnh vực khác nhau của kỹ thuật số nói riêng và kỹ thuật điện tử nói chung, ví dụ trong truyền thông hữu tuyến và vô tuyến, trong ra đa, mạch điện tử, trong đo lường điều khiển số... Trong khi phần lớn các giáo trình về lý thuyết mạch không trình bày mạch điện với nguồn xung [1, 4, 5] hoặc trình bày sơ lược [2] còn giáo trình về xung số [3] thì không trình bày cơ sở lý thuyết để phân tích mạch với nguồn xung. Điều này sẽ gây khó khăn cho SV khi tiếp thu các học phần chuyên ngành như kỹ thuật xung số, điện tử tương tự. Bài viết này góp phần đi sâu phân tích mạch điện R-C với dạng xung phổ biến nhất là xung hình chữ nhật trong nội dung môn Lý thuyết mạch. Đáp ứng mạch R-C sẽ được phân tích trên cơ sở định luật Kirchhoff và biểu diễn sự biến thiên qua phương trình toán học, sau đó được minh họa và kiểm chứng qua sự mô phỏng trên phần mềm ATPDraw.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Tín hiệu xung

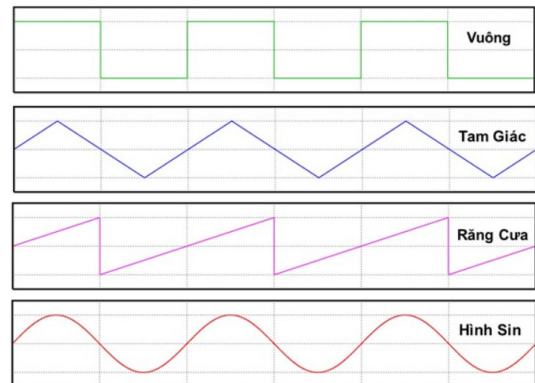
Xung là đại lượng điện chuyển đột ngột từ giá trị

nghe (thường là 0) đến một giá trị khác rồi sau một khoảng thời gian tương ứng với độ dài xung lại trở về giá trị ban đầu (hình 2.1).



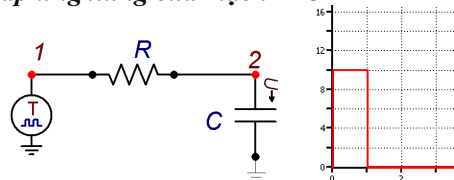
Hình 2.1. Tín hiệu xung.

Kỹ thuật xung hiện nay không chỉ tạo ra những mạch phát xung đơn mà còn có các mạch cho ra một dãy xung liên tiếp. Một số tín hiệu xung thường gặp bao gồm: xung vuông (hoặc hình chữ nhật), xung tam giác, xung răng cưa, xung hình sin, minh họa trên hình 2.2.



Hình 2.2. Một số dạng tín hiệu xung thường gặp.

2.2. Đáp ứng xung của mạch R-C



Hình 2.3. Mạch R-C với nguồn là xung chữ nhật.

Xét mạch R-C với nguồn là xung chữ nhật lý tưởng có biên độ E_m , độ rộng xung T_x (hình 2.3). Cần phân tích điện áp trên tụ điện, điện áp trên điện trở.

Áp dụng định luật Kirchhoff:

$$C \frac{du_2}{dt} + \frac{u_2 - e}{R} = 0 \quad (1)$$

Rút ra:

$$u_2 + RC \frac{du_2}{dt} = e \quad (2)$$

Với nguồn là xung có biên độ E_m , từ 0 đến T_x , $t < T_x$:

$$\frac{du_2}{dt} = \frac{E_m - u_2}{RC} \quad (3)$$

Giải phương trình vi phân (3), có nghiệm là:

$$u_2(t) = E_m \cdot (1 - A \cdot e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (4)$$

Với $\tau = RC$ là hằng số thời gian.

Để tìm hằng số A, cần lưu ý điện áp tụ điện ban đầu là 0 hay $u_2(0) = 0$.

Do đó: $A = 1$ và

$$u_2(t) = E_m \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (5)$$

Bây giờ cần nghiên cứu tính chất của mạch với thời gian $t > T_x$. Khi đó, nguồn E về 0, phương trình (2) trở thành:

$$u_2 + RC \frac{du_2}{dt} = 0 \quad (6)$$

Nghiệm tổng quát có dạng:

$$u_2(t) = B \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (7)$$

Để xác định hằng số B, chỉ cần dựa vào tính chất liên tục của điện thế tụ điện tại thời điểm T_x .

$$u_2(T_x) = E_m \cdot (1 - e^{-\frac{T_x}{RC}}) = B \cdot e^{-\frac{T_x}{RC}} \quad (8)$$

Từ đó xác định biểu thức điện áp khi $t > T_x$.

$$u_2(t) = E_m \cdot (e^{\frac{T_x}{RC}} - 1) \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (9)$$

Điện áp trên điện trở và dòng điện xác định theo:

$$u_R(t) = E - u_2(t); i(t) = \frac{E - u_2(t)}{R}$$

Với $t < T_x$:

$$u_R(t) = E_m - E_m \cdot e^{-\frac{t}{RC}}; i(t) = \frac{E_m \cdot e^{-\frac{t}{RC}}}{R} \quad (10)$$

Với $t > T_x$, $E = 0$

$$u_R(t) = -E_m \cdot (e^{\frac{T_x}{RC}} - 1) \cdot e^{-\frac{t}{RC}}; \quad (11)$$

$$i(t) = \frac{-E_m \cdot (e^{\frac{T_x}{RC}} - 1) \cdot e^{-\frac{t}{RC}}}{R}$$

Như vậy, với $t > T_x$, $u_R < 0$.

2.3. Mô phỏng đáp ứng xung của mạch R-C

Xét mạch điện R-C với nguồn là xung chữ nhật, có thông số: $E_m = 10V$, $T_x = 0,01$ giây, $R = 100 \Omega$. Xét 3 trường hợp:

a) $C = 10 \mu F$ ($R \cdot C \ll T_x$)

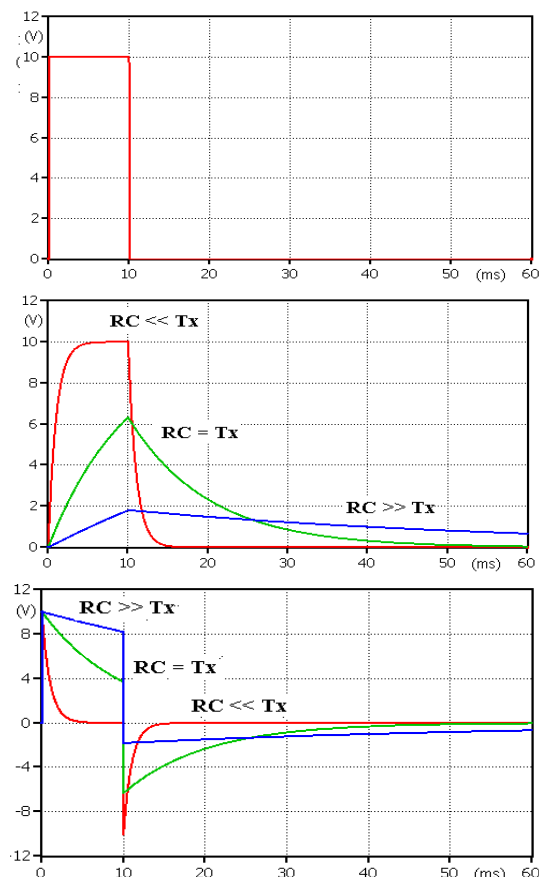
b) $C = 100 \mu F$ ($R \cdot C = T_x$)

c) $C = 1000 \mu F$ ($R \cdot C \gg T_x$)

Thay các tham số vào biểu thức (5), (9)

Điện áp trên tụ với $C = 10 \mu F$:

$$u_2(t) = \begin{cases} u_2(t) = 10 \cdot (1 - e^{-1000t}), & t \leq 0,01 \\ 10 \cdot (e^{10} - 1) \cdot e^{-1000t}, & t > 0,01 \end{cases}$$



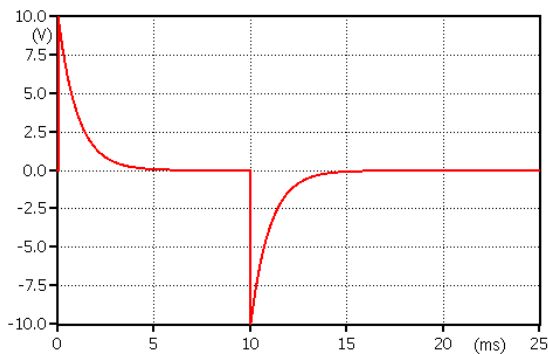
Hình 2.4. Từ trên xuống: Nguồn xung chữ nhật, điện áp trên tụ điện và điện áp trên điện trở cho 3 trường hợp.

Để kiểm nghiệm kết quả, cũng để hiển thị đồ thị, phần mềm ATPDraw được sử dụng để mô phỏng. Kết quả mô phỏng điện áp trên tụ, điện áp trên điện trở cho 3 trường hợp thể hiện trên hình 2.4. Đồ thị phù hợp với kết quả phân tích từ phương trình.

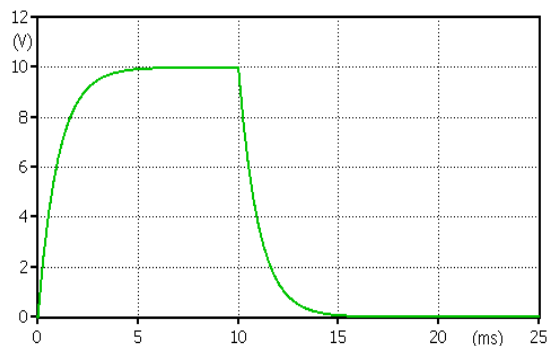
Trường hợp $R \cdot C \ll T_x$, tụ điện nạp đầy điện áp, bằng với biên độ nguồn điện, điện áp trên tụ có dạng gần với xung chữ nhật lý tưởng. Trường hợp $R \cdot C = T_x$, tụ điện chỉ nạp được một phần, khi hết điện áp xung, tụ xả điện tạo nên điện áp trên tụ dạng xung

rằng của. Trường hợp $R.C \gg T_x$, tụ điện chỉ nạp được một phần nhỏ, khi hết điện áp xung, tụ xả điện chậm.

Một ứng dụng quan trọng khác của mạch R-C là để tạo các *xung đỉnh*. Điện áp trên điện trở có dạng xung đỉnh dương (ứng với thời gian độ rộng xung: $t < T_x$), âm (ngoài thời gian độ rộng xung $t > T_x$) với độ rộng đáy xung 3τ ($\tau = RC$), tín hiệu điện áp gián đoạn tại $t = T_x$. Nếu độ rộng xung $T_x > 3\tau$ thì điện áp trên điện trở sẽ cho hai xung đỉnh dương và âm ứng với sườn lên và xuống của xung vào (hình 2.5).



(file rangcua.pl4; x-var t) v:1 -2

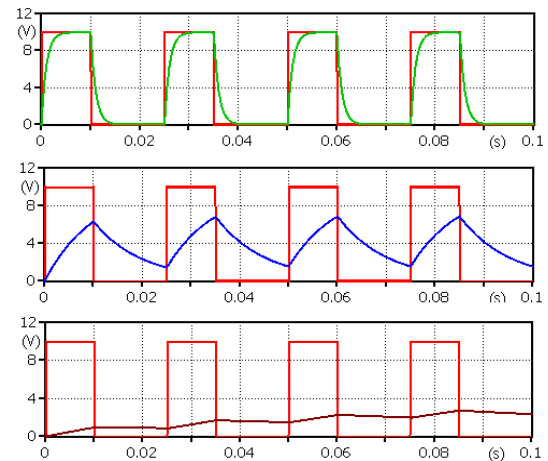


(file rangcua.pl4; x-var t) v:2

Hình 2.5. Ứng dụng R-C làm mạch tạo xung đỉnh, từ trái qua phải: điện áp trên điện trở và điện áp trên tụ.

2.4. Mô phỏng đáp ứng của mạch R-C với nguồn xung chu kỳ

Trong thực tế, nguồn xung không phải chỉ là 1 xung đơn lẻ mà tín hiệu xung gồm rất nhiều xung có chu kỳ, đặc trưng bởi tần số (là số lần lặp lại trong 1 đơn vị thời gian, đơn vị Hz) hoặc chu kỳ T (là khoảng thời gian giữa hai lần lặp lại liên tiếp của một sự việc, hay thời gian để kết thúc một vòng quay, một chu trình). Lúc này điện áp trên tụ, điện áp trên điện trở của mạch RC cũng biến thiên theo chu kỳ. Tiến hành khảo sát cho mạch R-C ở trên với tín hiệu xung: $E_m = 10V$, $T_x = 0,01$ giây, $T = 0,025$ giây, $R = 100 \Omega$.



Hình 2.6. Kết quả mô phỏng đáp ứng của mạch R-C với nguồn xung chu kỳ: Xung nguồn và điện áp trên tụ trong ba trường hợp: $C = 10 \mu F$, $C = 100 \mu F$, $C = 1000 \mu F$.

Kết quả mô phỏng trên hình 2.6 cho thấy, điện áp trên tụ có dạng xung gián đoạn hay liên tục phụ thuộc vào giá trị C, độ rộng và chu kỳ của xung. Tương tự, có thể tạo dãy xung đỉnh từ điện áp trên điện trở.

3. Kết luận

Mô phỏng và phân tích mạch R-C với nguồn xung cung cấp một phương pháp hiệu quả để giảng dạy các khái niệm cơ bản trong lý thuyết mạch. Bằng cách sử dụng mô phỏng trên phần mềm ATPDraw, sinh viên có thể hiểu sâu hơn về phản ứng tức thời, hằng số thời gian và hành vi của mạch trong các điều kiện đầu vào khác nhau. Phương pháp này cho phép người học hình dung tác động của đầu vào xung lên mạch RC, nâng cao cả kiến thức lý thuyết và kỹ năng ứng dụng thực tế. Hơn nữa, việc kết hợp các nguồn xung vào mô phỏng mạch RC mang lại trải nghiệm học tập năng động, khuyến khích sinh viên khám phá, củng cố tư duy phân tích và khả năng giải quyết vấn đề ở sinh viên kỹ thuật điện.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Lê Văn Bảng (2002), *Giáo trình lý thuyết mạch điện*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
- [2]. Hồ Văn Sung (2012). *Cơ sở kỹ thuật điện tập 1*. NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Lương Ngọc Hải (2019), *Giáo trình kỹ thuật xung số*. NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. John Bird (2018), *Electrical Circuit Theory and Technology*, NXB Newnes, 2018, ISBN: 0 7506 57847.
- [5]. J. David Irwin, Robert M. Nelms (2011), *Basic Engineering Circuit Analysis*, NXB Wiley, 2011. ISBN-13 978-1-118-53929-3.