

## BÀI 3. KHẢO SÁT MẠCH LỌC RC

### 1 Mục tiêu

- Giới thiệu khái niệm biến đổi Fourier và phổ của tín hiệu.
- Giới thiệu khái niệm mạch lọc tín hiệu.
- Khảo sát mạch lọc thông thấp và thông cao sử dụng mạch RC.

### 2 Lý thuyết

#### 2.1 Chuỗi Fourier

Một tín hiệu  $s(t)$  tuần hoàn với chu kỳ  $T$ , tần số  $f_0=1/T$  có thể biểu diễn thành tổng các thành phần điều hòa theo công thức.

$$s(t) = S_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n2\pi f_0 t) + b_n \sin(n2\pi f_0 t))$$

Công thức tổng quát

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_n \exp(jn2\pi f_0 t)$$

*Chú thích: tham khảo giáo trình Giải tích để biết cách tính  $a_n$ ,  $b_n$ ,  $S_n$ .*

Ý nghĩa:

- Tín hiệu  $s(t)$  ban đầu với tần số  $f_0$  có thể được phân tích thành tổng của một chuỗi vô hạn các tín hiệu thành phần, trong đó mỗi tín hiệu thành phần đều có dạng hình sin với tần số là bội của  $f_0$ . Khi tín hiệu  $s(t)$  được đưa qua một hệ thống xử lý tín hiệu, ta có thể phân tích hoạt động của hệ thống bằng cách xem xét tác động của hệ thống trên từng tín hiệu thành phần hoặc từng nhóm tín hiệu thành phần.
- $S_0$  là thành phần đặc biệt ứng với  $n = 0$ , được coi là đặc trưng cho thành phần một chiều của  $s(t)$ .

#### 2.2 Phổ của tín hiệu

Đồ thị biểu diễn các cặp giá trị  $(n, S_n)$  theo công thức trên được gọi là phổ biên độ hay biểu diễn của tín hiệu  $s(t)$  trên miền tần số. Do  $S_n$  phụ thuộc vào  $n$  nên ta có thể viết thành  $S(n)$ .

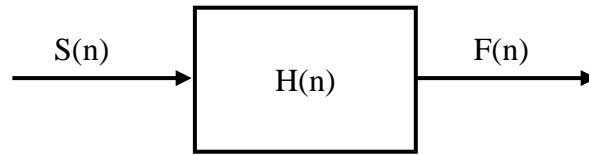
Như vậy một tín hiệu  $s(t)$  sẽ có 2 cách biểu diễn:

- Biểu diễn trên miền thời gian: chính là hàm  $s(t)$  cho biết giá trị của tín hiệu ở thời điểm  $t$ .
- Biểu diễn trên miền tần số: là hàm  $S(n)$  cho biết biên độ của tín hiệu thành phần của  $s(t)$  ở tần số  $nf_0$

#### 2.3 Mạch lọc tín hiệu

Mạch lọc tín hiệu (filter) là mạch xử lý tín hiệu cho phép tín hiệu có tần số nhất định đi qua mạch, và cản trở những thành phần còn lại.

Khi khảo sát hoạt động của mạch lọc tín hiệu, hàm đáp ứng tần số của mạch ký hiệu là  $H(n)$  sẽ được sử dụng. Hàm  $H(n)$  xác định quan hệ giữa tín hiệu  $S(n)$  đi vào mạch và tín hiệu đầu ra  $F(n)$ .



Trong đó

$$F(n) = S(n)H(n)$$

Mạch lọc tín hiệu thường được chia thành 3 loại:

- Mạch lọc thông thấp là mạch có  $H(n) \approx 1$  với  $n \leq N_0$  và  $H(n) \approx 0$  với  $n > N_0$ . Do đó với các thành phần tín hiệu có tần số tương ứng  $n \leq N_0$  thì  $F(n) \approx S(n)$  tức là được đi qua mạch. Ngược lại, với các thành phần tín hiệu có tần số tương ứng  $n > N_0$  thì  $F(n) \approx 0$  tức là bị mạch chặn lại
- Mạch lọc thông cao là mạch có  $H(n) \approx 0$  với  $n \leq N_0$  và  $H(n) \approx 1$  với  $n > N_0$ .
- Mạch lọc thông dải là mạch có  $H(n) \approx 0$  với  $n < N_{low}$  hoặc  $n > N_{high}$ , và  $H(n) \approx 1$  với  $N_{low} \leq n \leq N_{high}$ .

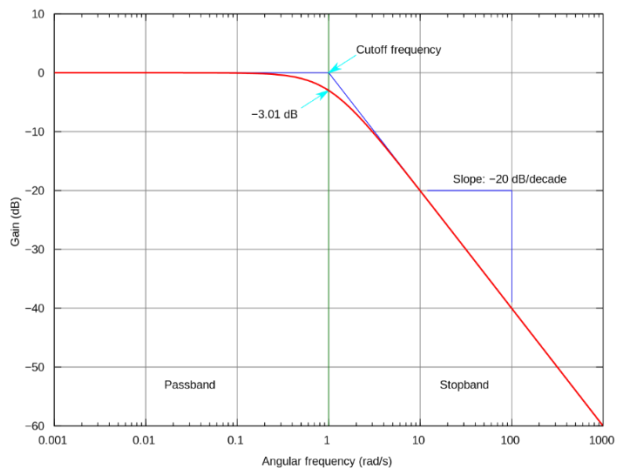
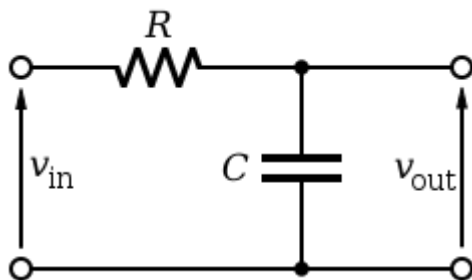
Các giá trị  $N_0 f_0, N_{low} f_0, N_{high} f_0$  được gọi là các tần số cắt (cut-off frequency).

**Chú ý:** Thông thường  $H(n)$  là hàm liên tục, nên giá trị của  $H(n)$  không thể giảm đột ngột từ 1 về 0 tại các tần số cắt. Do đó, tần số cắt được xác định tại điểm thỏa mãn:

$$\frac{F(n)}{S(n)} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

Độ khuếch đại của mạch tại tần số cắt (tính theo dB) là  $20 \log\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = -3.01 \text{ dB}$

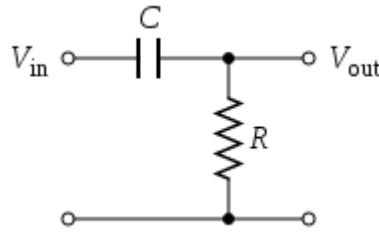
## 2.4 Mạch lọc thông thấp đơn giản sử dụng mạch RC



Tần số cắt của mạch:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

## 2.5 Mạch lọc thông cao đơn giản sử dụng mạch RC



Tần số cắt của mạch:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

## 3 Chế độ mô phỏng AC sweep

Trong các buổi trước, sinh viên đã thực hiện mô phỏng theo thời gian với chế độ Interaction của Multisim. Trong chế độ này, các thông số trong mạch được tính toán, mô phỏng, hiển thị trên miền thời gian cho phép quan sát dạng sóng của tín hiệu một cách trực quan. Tuy nhiên chế độ này không thuận tiện để khảo sát hoạt động của mạch trên miền tần số.

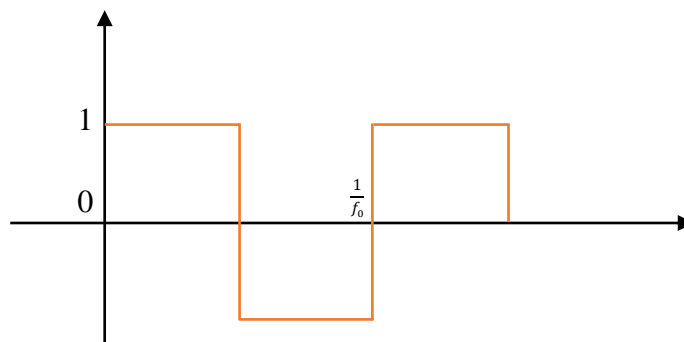
Chế độ AC sweep là chế độ mô phỏng cho phép khảo sát hoạt động của mạch khi tần số tín hiệu đầu vào thay đổi. Trong chế độ này, các thông số biên độ, pha của tín hiệu đầu vào được cố định trong khi tần số tín hiệu sẽ được thay đổi trong miền tần số khảo sát. Tại mỗi điểm mô phỏng, biên độ và pha của tín hiệu đầu ra sẽ được tính toán và vẽ lên đồ thị.

## 4 Hướng dẫn thực hành

### 4.1 Tổng hợp tín hiệu xung vuông

Trong máy tính, xung vuông là loại tín hiệu rất quan trọng được dùng làm xung clock cho CPU, bộ nhớ, bộ đếm hoạt động. Bài 3.1 giúp sinh viên tìm hiểu cách tổng hợp tín hiệu xung vuông từ các tín hiệu điều hòa hình sin dựa trên khai triển chuỗi Fourier.

Xét xung vuông có biên độ 1 và tần số  $f_0$



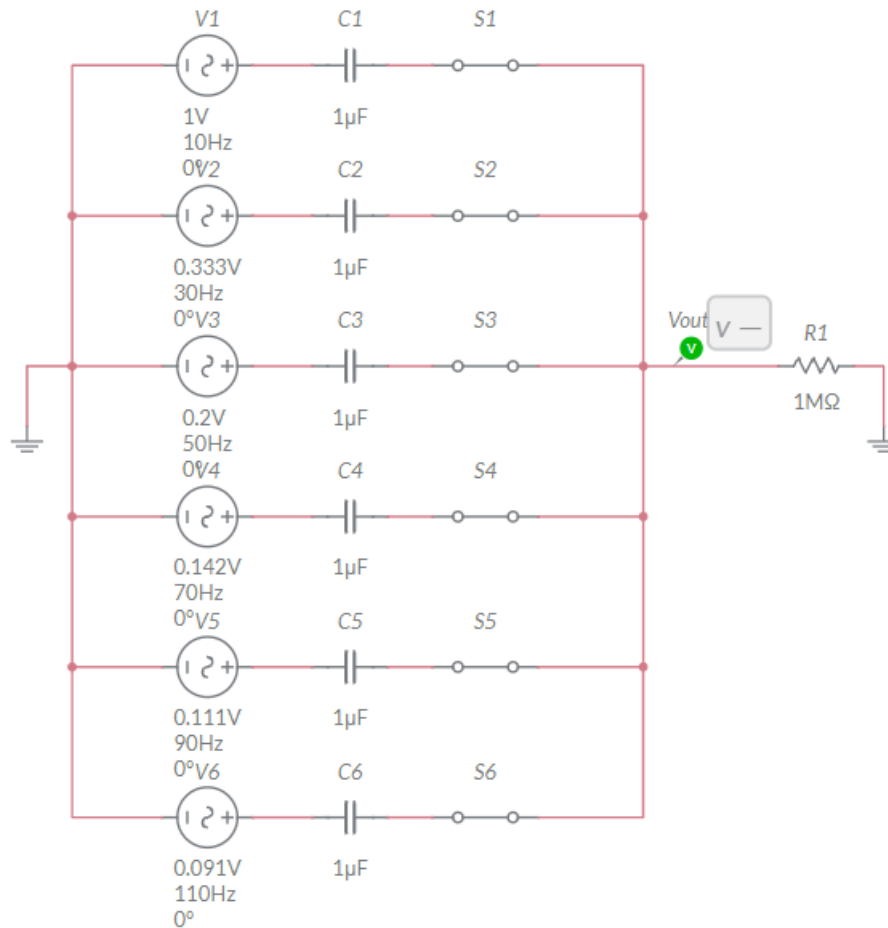
Công thức khai triển chuỗi Fourier của tín hiệu trên như sau:

$$r(t) = \frac{4}{n\pi} \sum_{n=2k+1} \sin(n2\pi f_0 t)$$

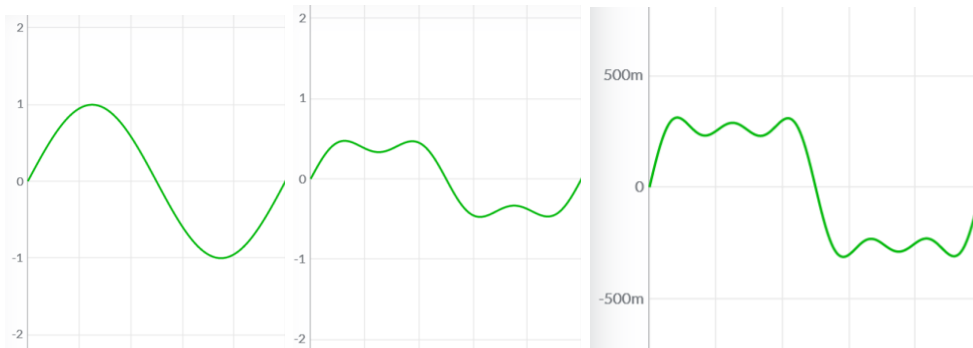
**Thực hành:**

Xây dựng mạch như hình dưới

(<https://www.multisim.com/content/vL4FGvonM9kNaWWVJUFKpk/tuan-3-bai-1-squarewave>)



Mở tất cả các khóa, chạy mô phỏng ở chế độ Interactive, rồi lần lượt đóng các khóa từ S1 tới S6 và quan sát tín hiệu đầu ra:





Nhận xét:

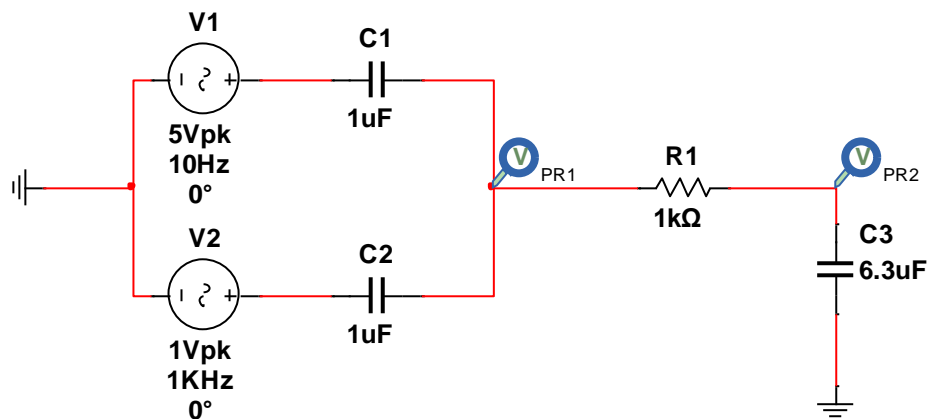
- Biên độ của tín hiệu đầu ra không phải là  $\pi/4$  do ảnh hưởng bởi trở kháng của tụ. Có thể thay đổi giá trị của tụ để quan sát sự thay đổi biên độ này.
- Hình dạng của tín hiệu đầu ra chỉ là xấp xỉ của xung vuông. Có thể thấy sườn của xung không vuông góc 90 độ, và đỉnh xung có nhiều thành phần nhiễu. Nhiễu này sẽ giảm nếu số lượng tín hiệu thành phần tăng lên, và khi số lượng tín hiệu thành phần tăng tới vô cùng thì sẽ được xung vuông lý tưởng.

## 4.2 Khảo sát mạch lọc thông thấp

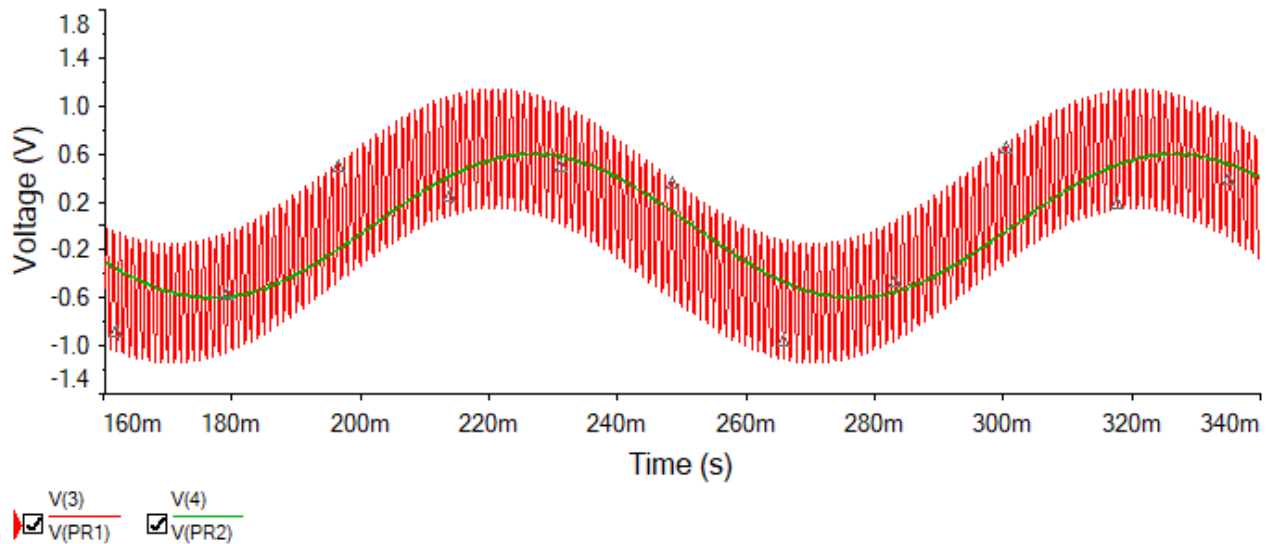
### 4.2.1 Xây dựng mạch lọc thông thấp

Vẽ mạch như hình dưới đây. Mạch gồm các thành phần:

- Hai nguồn đầu vào 5V-10Hz và 1V-1KHz, nhằm tạo tín hiệu đầu vào có hai thành phần tần số.
- Mạch RC với tần số cắt của 25.2 Hz.



Kết quả mô phỏng mạch ở miền thời gian (chế độ Interactive):

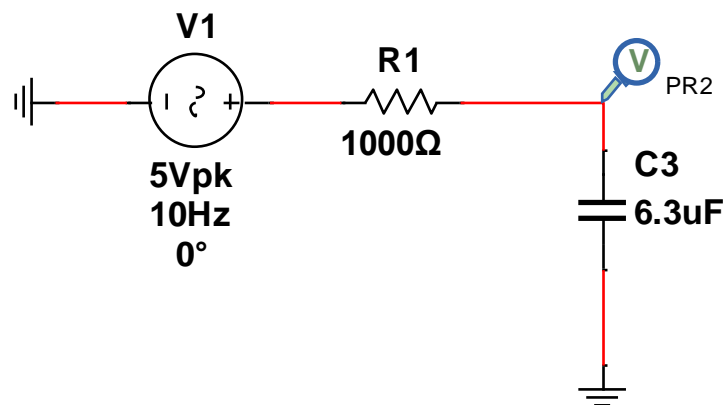


Nhận xét:

- Tín hiệu đầu vào (màu đỏ) có chứa thành phần tần số cao.
- Tín hiệu đầu ra không còn thành phần tần số cao nữa, chỉ giữ lại thành phần tần số thấp.
- Pha của tín hiệu đầu ra lệch so với pha của thành phần tần số thấp đầu vào.

#### 4.2.2 Khảo sát đáp ứng tần số của mạch lọc thông thấp

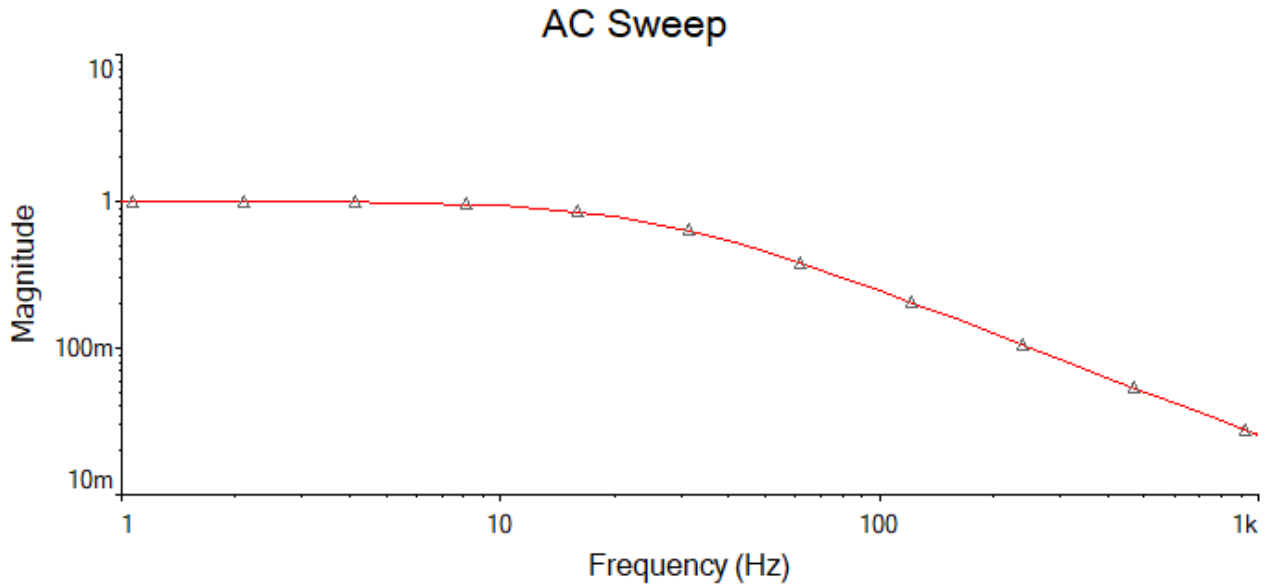
Vẽ mạch theo hình sau. Đây chính là phần mạch lọc thông thấp ở mục 4.1.1.



Thực hiện mô phỏng mạch ở chế độ AC Sweep với các thông số:

- Start frequency = 1Hz
- Stop frequency = 1kHz

Kết quả mô phỏng

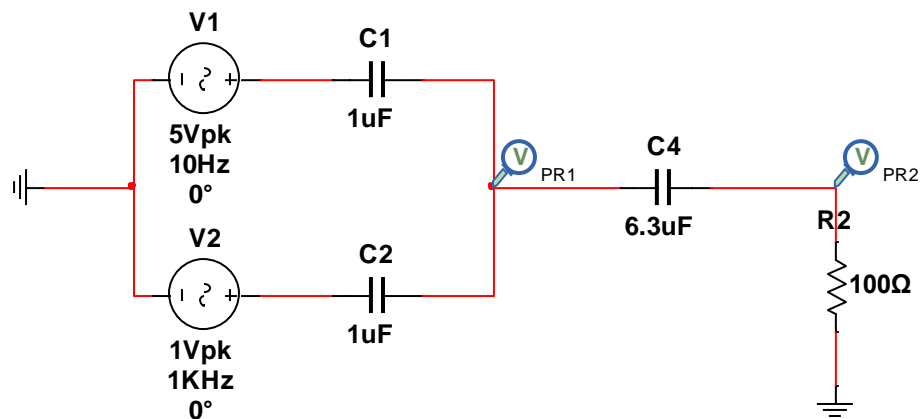


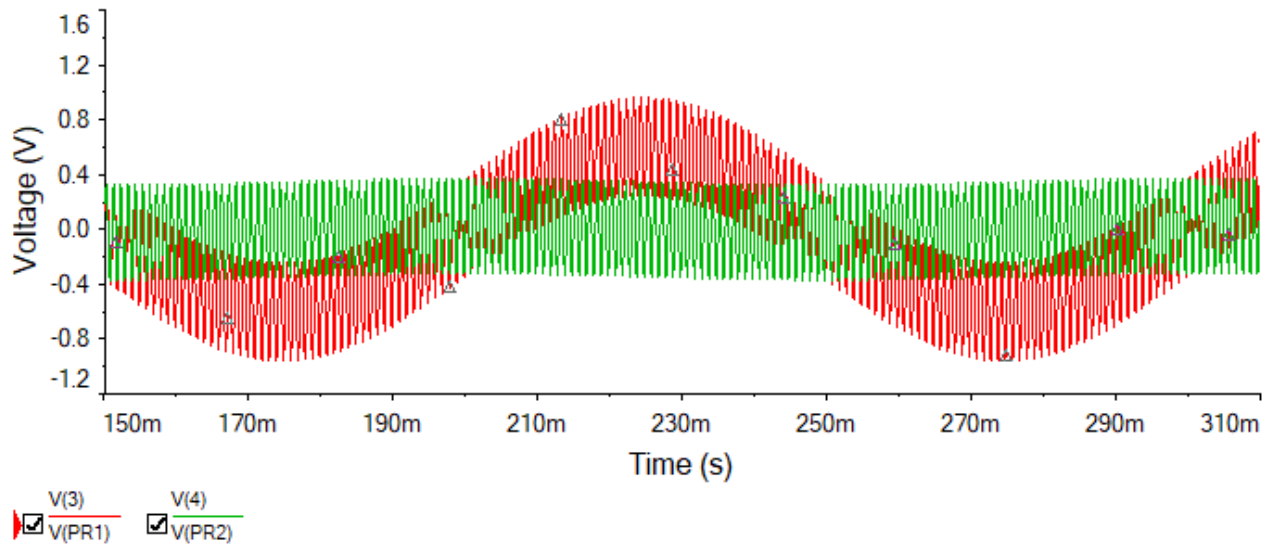
Từ đồ thị này chúng ta sẽ tính ra được độ suy giảm biên độ với từng thành phần tần số bên trên

### 4.3 Khảo sát mạch lọc thông cao

Vẽ mạch như hình dưới đây với các thông số

- 2 nguồn đầu vào 5V-10Hz và 1V-1KHz
- Mạch RC với tần số cắt 252 Hz





- Chạy mô phỏng Interactive và cho nhận xét.
- Chạy mô phỏng AC sweep và cho nhận xét.

## 5 Bài tập tự làm dành cho sinh viên

- Sinh viên bổ sung thêm 5 thành phần hình sin tiếp theo trong phần 4.1. Chạy và so sánh kết quả với kết quả ở phần 4.1.
- Xây dựng mạch lọc thông thấp trong phần 4.2 với tần số cắt là 200Hz. So sánh kết quả với mạch lọc thông thấp ở tần số cắt 25.2Hz và giải thích kết quả.
- Khảo sát đáp ứng tần số của mạch lọc thông cao trong phần 4.2.
- Xây dựng mạch lọc thông thấp trong phần 4.3 với tần số cắt là 25.2Hz. So sánh kết quả với mạch lọc thông thấp ở tần số cắt 252 Hz và giải thích kết quả.