

## BÀI 6. OP-AMP VÀ ỨNG DỤNG TRONG ADC/DAC

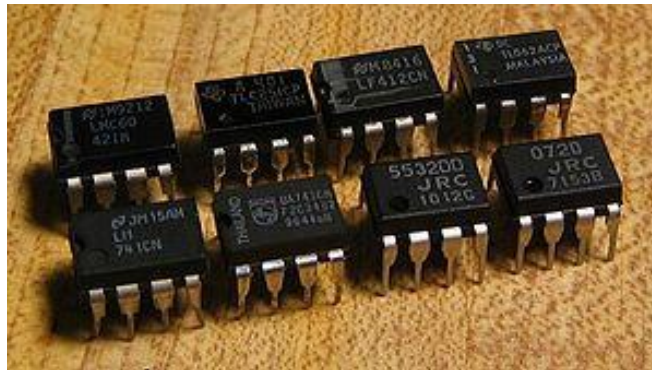
### 1 Mục tiêu

- Tìm hiểu hoạt động của mạch khuếch đại thuật toán op-amp.
- Xây dựng mạch ADC và DAC dựa vào op-amp.

### 2 Lý thuyết

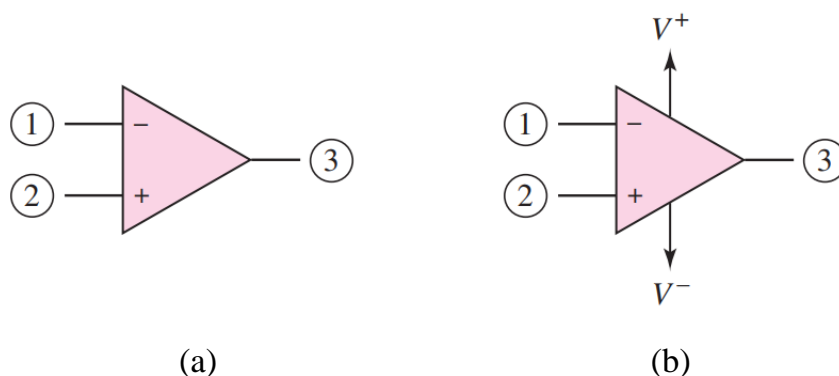
#### 2.1 Giới thiệu Opamp

**Op-amp** (*Operational Amplifier*) – mạch khuếch đại thuật toán là một loại mạch khếch đại có hệ số khuếch đại rất cao, đầu vào có vi sai, và có đầu ra đơn. Op-amp được sử dụng rất rộng rãi trong các thiết bị điện tử dân dụng cũng như trong nhiều lĩnh vực khoa học, công nghiệp. Thông thường một op-amp có thể được cấu tạo từ 20-30 transistor. Hình 1 là hình ảnh của một số op-amp đã được đóng gói trong thực tế.



**Hình 1:** IC op-amp trong thực tế.

**Ký hiệu:** Hình 2(a) minh họa ký hiệu của một op-amp với **2 đầu vào** (*input*) và **1 đầu ra** (*output*). Đầu vào 1 được gọi là **đầu vào đảo** (*inverting input terminal*) và đầu vào 2 được gọi là **đầu vào thuận** (*non-inverting input terminal*). Cũng như các mạch transistor, một op-amp cần được cấp nguồn 1 chiều (DC) để các transistor bên trong được phân cực (*biased*) trong vùng tích cực (*active region*). Hầu hết các op-amp được phân cực với 2 nguồn dương ( $V^+$ ) và nguồn âm ( $V^-$ ) như minh họa ở Hình 2(b).



**Hình 2:** Ký hiệu mạch op-amp (a) và mạch op-amp với điện áp cấp một chiều  $V^+$  và  $V^-$  (b).

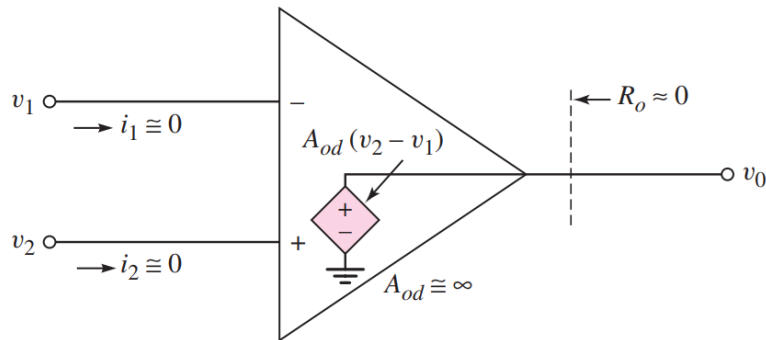
**Nguyên lý hoạt động:** Một op-amp sẽ “cảm nhận” (*sensing*) sự khác nhau giữa tín hiệu điện áp ở 2 đầu vào. Sau đó sự khác biệt này sẽ được khuếch đại để tạo tín hiệu ở đầu ra.

**Chú ý:** điện áp ở đầu vào và đầu ra được tham chiếu với điểm đất (GND).

Bởi vì được phân cực với điện áp  $V^+$  và  $V^-$ , hầu hết các op-amp là các thiết bị “*direct-coupled*” – tức là không cần tụ ghép nối (*coupling capacitor*) ở các đầu vào. Khi tín hiệu ở 2 đầu vào là DC thì tín hiệu ra sẽ là DC.

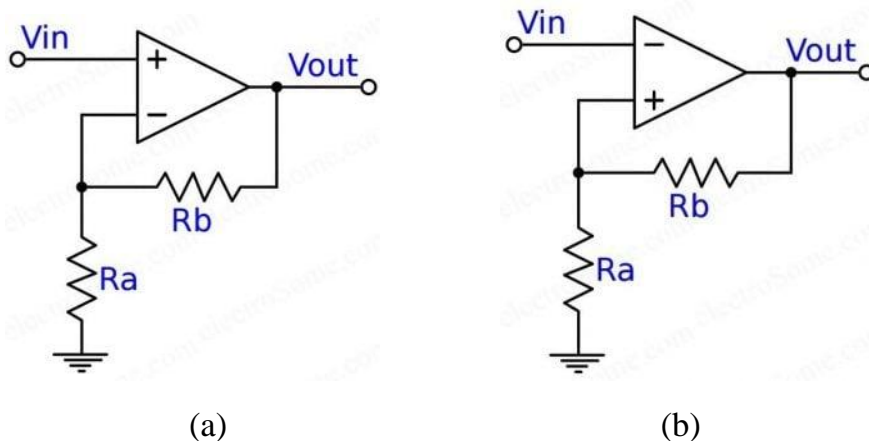
**Op-amp lý tưởng:** Hình 3 trình bày mạch tương đương của một op-amp lý tưởng. Trong mạch này, điện trở giữa 2 đầu vào  $R_i = \infty$ , điện trở đầu ra  $R_o = 0$ , và  $V_o = A_{od} \times (v_2 - v_1)$ , với  $A_{od}$  là **độ lợi điện áp vi sai vòng hở** (*open-loop differential voltage gain*). Giá trị  $A_{od}$  của một op-amp lý tưởng rất lớn (gần như vô cùng).

Trong thực tế, khi khảo sát một op-amp chúng ta cần quan tâm đến một đặc tính quan trọng khác đó là băng thông (*bandwidth*) hay đáp ứng tần số (*frequency response*). Tuy nhiên, với một op-amp lý tưởng thì tham số này có thể bỏ qua.



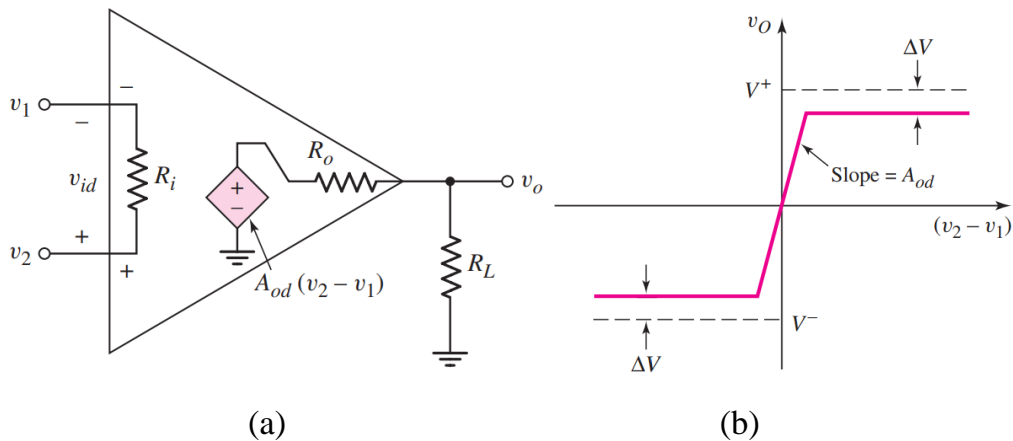
**Hình 3:** Mạch tương đương của một op-amp lý tưởng.

Thông thường một op-amp không được sử dụng với cấu hình vòng hở. Thay vào đó, một đường hồi tiếp (*feedback*) được thêm vào để khép kín vòng giữa đầu vào và đầu ra như Hình 4. Mục đích chính của việc này là để tạo ra độ lợi (*gain*) ổn định. Đường hồi tiếp có thể là hồi tiếp âm (*negative feedback*) – nối đầu ra với đầu vào đảo, hoặc hồi tiếp dương (*positive feedback*) – nối đầu ra với đầu vào thuận. Hồi tiếp âm có tác dụng sinh ra mạch ổn định (*stable circuit*) trong khi hồi tiếp dương sinh ra bộ tạo dao động (*oscillator*).



**Hình 4:** Hồi tiếp âm (a) và hồi tiếp dương (b).

**Op-amp thực tế:** Các đặc tính của một op-amp thực tế không thể được như các đặc tính của một op-amp lý tưởng (nhưng cũng tiệm cận lý tưởng nên có thể sử dụng op-amp như một linh kiện đơn giản). Hình 5(a) trình bày mạch tương đương của một op-amp thực tế với điện trở đầu vào  $R_i$  lớn và điện trở đầu ra  $R_o$  nhỏ. Điều đó dẫn đến đặc tuyến truyền điện áp của một op-amp thực tế như Hình 5(b). **Chú ý:**  $\Delta V = 1 - 2V$  hoặc thậm chí cỡ  $10mV$  tùy công nghệ chế tạo.



**Hình 5:** Mạch tương đương của một op-amp thực tế (a) và đặc tuyến truyền điện áp (b).

## 2.2 Một số ứng dụng của op-amp

- Mạch so sánh (*Comparator*): so sánh hai giá trị điện áp hoặc dòng điện đưa tới đầu vào đảo và thuận. Kết quả đầu ra là giá trị nhị phân thể hiện giá trị ở đầu vào thuận có lớn hơn giá trị ở đầu vào đảo không.
- Mạch khuếch đại đảo (*Inverting Amplifier*): tạo ra tín hiệu khuếch đại ở đầu ra, tức cùng dạng với tín hiệu ở đầu vào nhưng với biên độ lớn hơn  $A_{od}$  lần và ngược pha.
- Mạch phát hiện mức điện áp (*Voltage Level Detector*): phát hiện sự thay đổi mức của tín hiệu điện áp ở đầu vào.

## 2.3 Mạch ADC/DAC

Trong một hệ thống IoT điển hình, thông tin về thế giới thực (ở dạng tương tự) được ghi nhận thông qua các cảm biến (*sensor*). Thông tin này cần phải trải qua một quá trình chuyển đổi từ tương tự sang dạng số bởi bộ ADC (*analog-to-digital converter*) để phù hợp với khả năng xử lý của các bộ xử lý trung tâm hiện nay (ví dụ: CPU, MCU). Kết quả xử lý từ bộ xử lý trung tâm sẽ được hiển thị hoặc dùng để điều khiển thế giới thực thông qua các thiết bị truyền động (*actuator*). Bởi vì nhiều thiết bị truyền động xử lý thông tin tương tự, do đó tín hiệu số từ bộ xử lý trung tâm cần được chuyển từ dạng số sang dạng tương tự bởi bộ DAC (*digital-to-analog converter*).

### Một số mạch ADC và DAC thông dụng:

- **DAC dùng điện trở trọng số nhị phân** (*Binary Weighted Resistor DAC*): dùng để chuyển đổi một số nhị phân  $n$ -bit ( $n$  đầu vào với giá trị điện áp  $0V$  hoặc  $5V$ ) sang tín

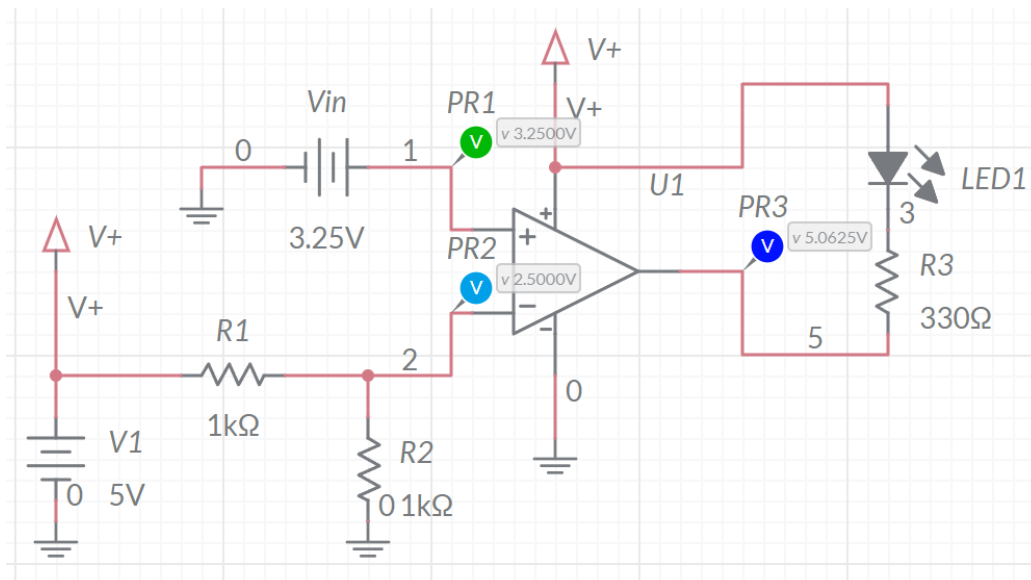
hiệu (điện áp) tương tự. Trong mạch này, op-amp được dùng làm bộ cộng đảo cho tổng trọng số của các mức điện thế vào (trên các điện trở) so với GND.

- Mạch này có thiết kế đơn giản nhưng có sự chênh lệch đáng kể ở giá trị điện trở giữa LSB và MSB, đặc biệt trong các DAC có độ phân giải cao (nhiều bit).
- **DAC dùng mạng điện trở  $R/2R$  ( $R/2R$  Ladder DAC):** dùng để chuyển đổi một số nhị phân n-bit (n đầu vào với giá trị điện áp 0V hoặc 5V) sang tín hiệu (điện áp) tương tự.
  - Mạch này có thiết kế đơn giản và ít có sự chênh lệch giá trị giữa các điện trở.
- **ADC song song (Flash ADC):** dùng để chuyển một tín hiệu tương tự sang số nhị phân n-bit.
  - Mạch này có độ trễ chuyển đổi giữa đầu ra và đầu vào thấp, tuy nhiên có thiết kế phức tạp.
- **ADC xấp xỉ liên tiếp (Successive Approximation ADC):** dùng để chuyển một tín hiệu tương tự sang số nhị phân n-bit. DAC này có thời gian biến đổi cố định, không phụ thuộc vào độ lớn của tín hiệu cần biến đổi.
  - Mạch này có hiệu quả về phần cứng nhưng tốc độ chuyển đổi thấp.

### 3 Nội dung thực hành

#### 3.1 Mạch so sánh

Sinh viên xây dựng mạch so sánh như Hình 6 trong phần mềm Multisim (hoặc Multisim Live). Cài đặt các Probe (PR1, PR2, PR3) để đo tín hiệu điện áp ở 2 đầu vào (đảo, thuận) và đầu ra, sau đó thực hiện mô phỏng mạch.

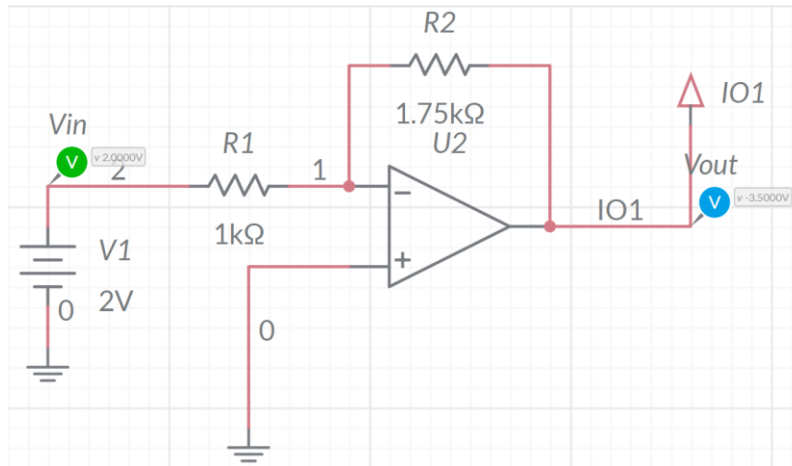


**Hình 6:** Mạch so sánh dùng opamp

- Cố định  $R1 = R2 = 1k\Omega$ , chạy mô phỏng mạch và điều chỉnh điện áp  $V_{in}$ . Nhận xét khi nào thì đèn bật/tắt?
- Cố định  $V_{in} = 4V$  và  $R2 = 1k\Omega$ , chạy mô phỏng và điều chỉnh giá trị  $R1$ . Nhận xét khi nào thì đèn bật/tắt?

### 3.2 Mạch khuếch đại đảo

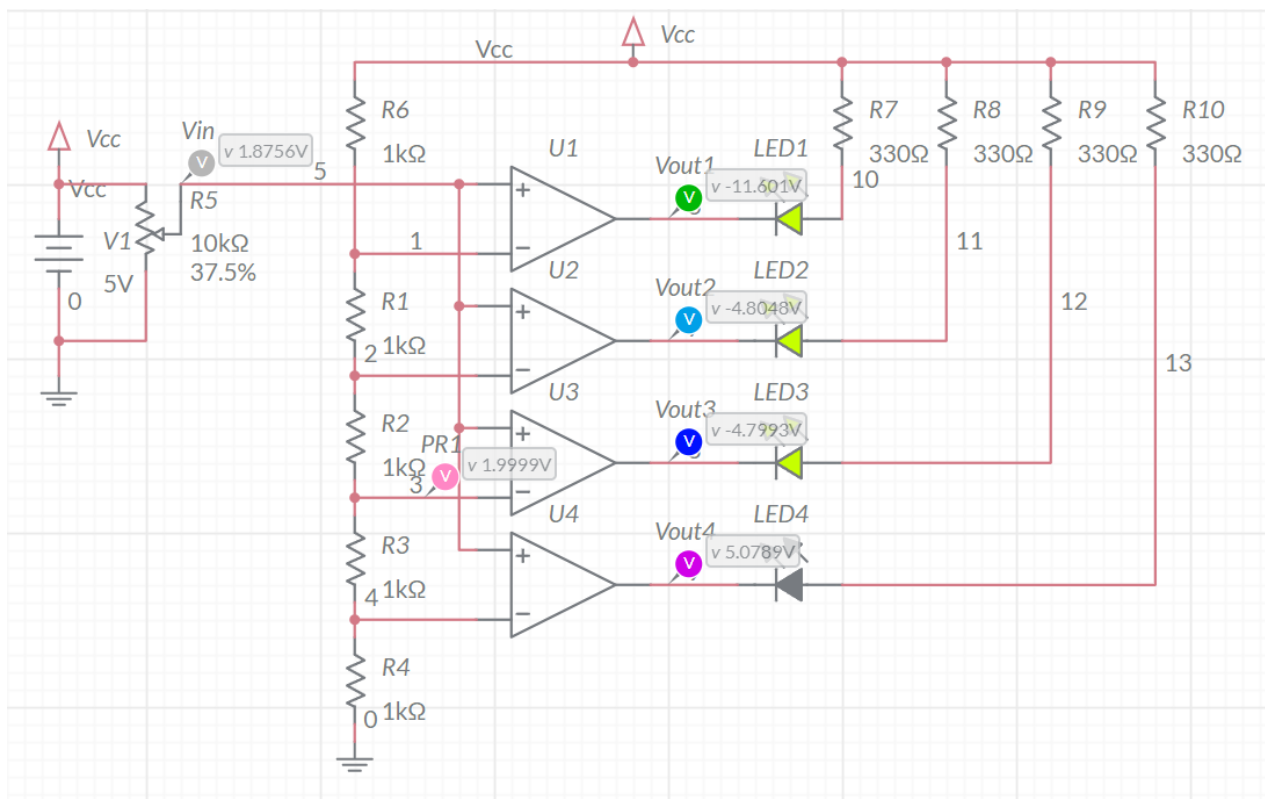
Sinh viên xây dựng mạch khuếch đại đảo như Hình 7 trong phần mềm Multisim (hoặc Multisim Live). Cài đặt các Probe (PR1, PR2) để đo tín hiệu điện áp ở 1 đầu vào và đầu ra, sau đó thực hiện mô phỏng mạch.



**Hình 7:** Mạch khuếch đại đảo dùng op-am

- Cố định  $V1 = 2V$ ,  $R1 = 1k\Omega$ , thực hiện mô phỏng mạch và điều chỉnh giá trị điện trở  $R2$ . Đánh giá quan hệ  $V_{out}/V_{in}$ ?
- Cố định  $V1 = 2V$ ,  $R1 = 1k\Omega$ , thực hiện mô phỏng mạch và điều chỉnh giá trị điện trở  $R1$ . Đánh giá quan hệ  $V_{out}/V_{in}$ ?

### 3.3 Mạch phát hiện mức điện áp



**Hình 8:** Mạch phát hiện mức điện áp

Sinh viên xây dựng mạch phát hiện mức điện áp như Hình 8 trong phần mềm Multisim (hoặc Multisim Live). Trong mạch này, các điện trở  $R1 - R4$  có giá trị bằng nhau và dùng để chia áp (cố định) ở một ngõ vào của các op-amp (trong Hình 8 là ngõ đảo); các điện trở  $R7 - R10$  có tác dụng hạ dòng qua các đèn LED.

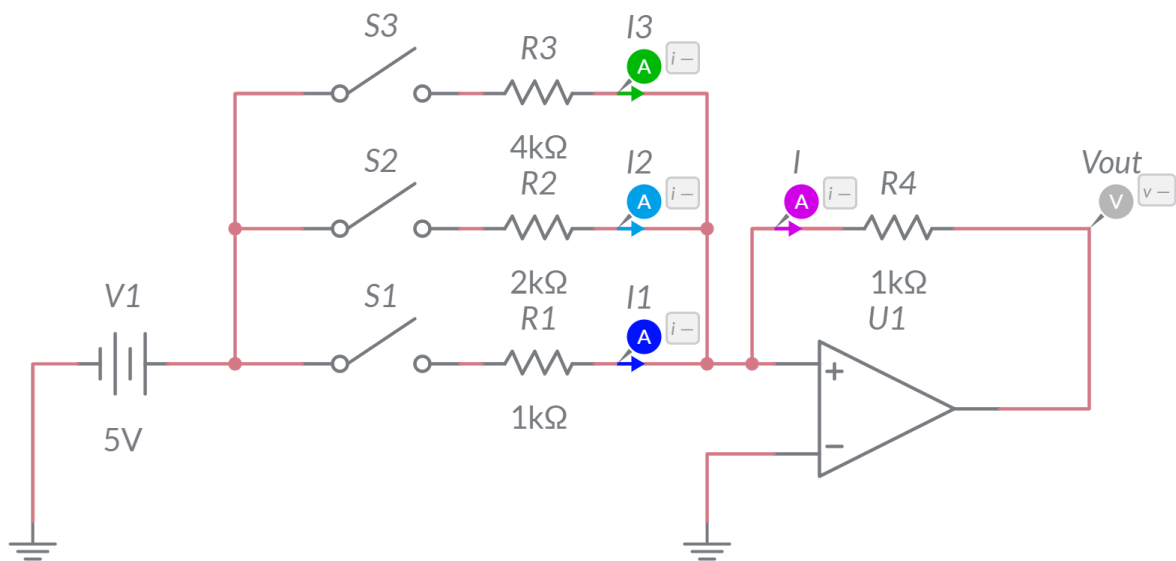
Cần cài đặt các Probe thích hợp để đo điện áp ở đầu vào và đầu ra, sau đó thực hiện mô phỏng mạch. Dùng biến trở  $R5$  để thay đổi mức điện áp vào ( $V_{in}$ ) sẽ thấy ứng với mỗi dải giá trị của  $V_{in}$  thì một (hoặc một số) đèn LED sẽ sáng.

Thực hiện mô phỏng mạch ứng với mỗi giá trị của  $V_{in}$  và trả lời các câu hỏi sau:

- $V_{in}$  có dải điện áp thế nào thì cả 4 đèn LED1-LED4 đều sáng?
- Giải thích dải điện áp của  $V_{in}$  làm cho đèn LED2 sáng?

### 3.4 DAC dùng điện trở trọng số nhị phân

Sinh viên xây dựng mạch DAC dùng điện trở trọng số nhị phân như Hình 9 trong phần mềm Multisim (hoặc Multisim Live). Cài đặt các Probe ( $I1, I2, I3, I$ ) để đo cường độ dòng điện qua các điện trở  $R1, R2, R3, R4$  sau đó thực hiện mô phỏng mạch.



**Hình 9:** DAC dùng điện trở trọng số nhị phân

Thực hiện mô phỏng mạch tương ứng với mỗi trạng thái đóng/mở các khóa  $S1-S3$  và trả lời các câu hỏi sau:

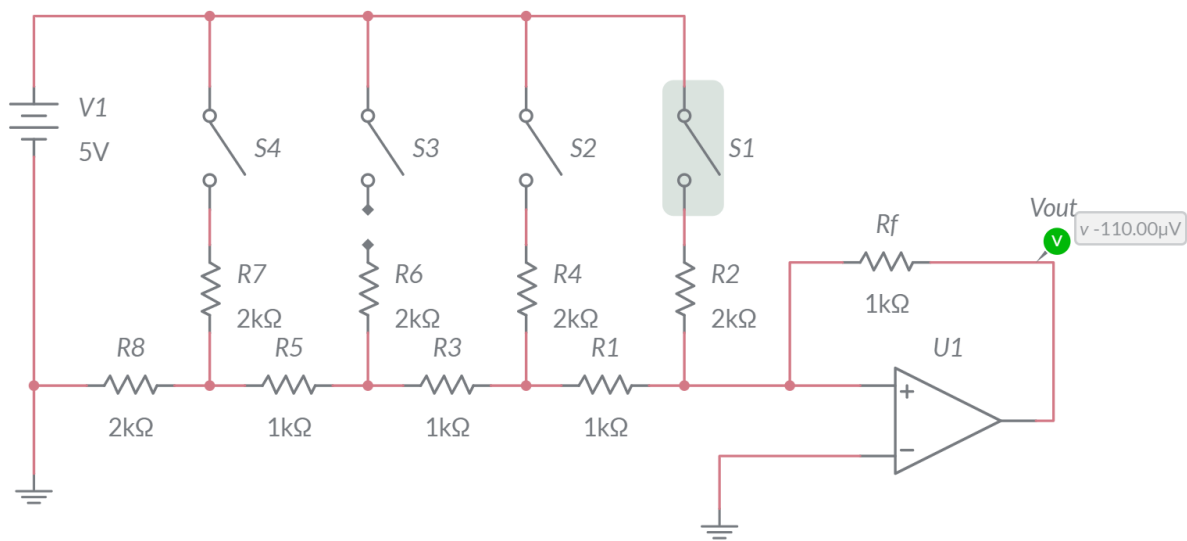
- Mối quan hệ giữa  $I$  và  $I1, I2, I3$  như thế nào? Hãy rút ra mối quan hệ đó từ kết quả mô phỏng và tính toán bằng lý thuyết.
- Điện áp  $V_{out}$  thay đổi thế nào khi đóng/mở các khóa? Giải thích sự thay đổi của  $V_{out}$ .
- Giá trị  $V_{out}$  khi khóa  $S1$  và  $S3$  đóng,  $S2$  mở bằng bao nhiêu? Quan sát mạch mô phỏng và giải thích giá trị thu được.

## 4 Bài tập tự làm

**Bài 1.** Tham khảo mạch ở Hình 8, xây dựng mạch phát hiện mức điện áp với 7 mức. Thực hiện mô phỏng mạch và giải thích kết quả thu được.

**Bài 2.** Tham khảo mạch ở Hình 9, xây dựng mạch DAC dùng điện trở trọng số nhị phân 7 bit. Quan sát giá trị của  $V_{out}$  khi các khóa S1, S3, S5 đóng và các khóa còn lại mở. Hãy so sánh với kết quả  $V_{out}$  từ tính toán bằng lý thuyết. **Chú ý:** Sinh viên đánh chỉ số của các khóa và điện trở tương tự mạch tham khảo.

**Bài 3.** Xây dựng mạch DAC dùng mạng điện trở R/2R như Hình 10. Thực hiện mô phỏng mạch và giải thích hoạt động của mạch.



**Hình 10:** R/2R DAC