

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

BỘ MÔN ĐIỆN TỬ

-----o0o-----



BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN – PHẦN 1

ĐIỆN TỬ ỨNG DỤNG

LỚP L01 – NHÓM 9

ĐỀ TÀI:

THIẾT KẾ MẠCH ĐO ÁNH SÁNG SỬ DỤNG PHOTODIODE

BRIGHTNESS METER CIRCUIT DESIGN

Giảng viên hướng dẫn: Ths. Nguyễn Trung Hiếu

TP. HCM, tháng 12 năm 2024

SINH VIÊN THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

Họ và tên	MSSV	Chữ ký
Lê Trung Hiếu	2111185	
Nguyễn Đức Hoàng	2110184	
Lê Viết Trọng	2012298	

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên, nhóm chúng em xin gửi lời cảm ơn tới các quý thầy cô Khoa Điện - điện tử của trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM đã chỉ dạy, truyền đạt những kiến thức, kỹ năng cần thiết để chúng em có thể thực hiện được đề tài này.

Và hơn hết, nhóm chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến thầy Nguyễn Trung Hiếu đã tận tình chỉ dẫn, giúp đỡ chúng em trong quá trình thực hiện đề tài. Những lời khuyên bổ ích của thầy đã giúp chúng em rất nhiều trong quá trình nghiên cứu đề tài và giải quyết những vấn đề gặp phải để có thể hoàn thiện đề tài một cách tốt nhất.

Do kiến thức của các thành viên trong nhóm còn hạn chế nên sẽ có những sai sót trong quá trình thực hiện đề tài. Nhóm em rất mong nhận được sự đánh giá khách khê và góp ý từ thầy để chúng em có thể hoàn thiện hơn nữa.

Cuối cùng, nhóm chúng em xin chúc thầy luôn luôn mạnh khỏe và ngày càng thành công trong công việc ạ!!!

Trân trọng,

GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI

Chúng ta có thể thấy trong thế giới ngày nay mọi thứ đang dần trở nên số hóa, mọi thứ ngày càng hiện đại và văn minh hơn. Vì vậy nhắc tới thế ngày nay thì luôn gắn liền với những cụm từ thông minh như nhà thông minh, thành phố thông minh, máy móc thông minh. Nhưng thứ này sinh ra mục đích là để phục vụ cho đời sống của con người chúng ta. Những thiết bị điện tử ngày càng tiên tiến và phát triển, chúng tập trung vào sự chính xác, tốc độ phản hồi nhanh đem đến một trải nghiệm người dùng hiệu quả, chính xác. Để có được những yêu cầu đó thì cảm biến đóng một vai trò rất quan trọng trong các thiết bị điện tử. Từ sinh hoạt, sản xuất, hay y tế mọi lĩnh vực trong cuộc sống này không thể thiếu thiết bị cảm biến. Chúng là hạt nhân trong thế giới hiện đại. Cảm biến góp phần cho thế giới ngày càng trở nên linh hoạt hơn và tự động hóa giúp nâng cao năng suất và hiệu quả. Sự xuất hiện của cảm biến đã mở ra vô vàn các thiết bị ứng dụng vào vô vàn lĩnh vực trong đời sống. Thế nên, nhóm chúng em sẽ giới thiệu một loại cảm biến thực hiện trong đề tài lần này là cảm biến ánh sáng. Cũng như các loại cảm biến khác, cảm biến ánh sáng rất quan trọng trong nhiều lĩnh vực. Trong smart home chúng điều chỉnh tự động ánh sáng trong căn phòng phù hợp với từng điều kiện cụ thể; trong công nghiệp chúng điều chỉnh độ sáng trong các hệ thống chiếu sáng. Trong các thiết bị điện tử như điện thoại, máy tính bảng chúng tự điều chỉnh độ sáng màn hình giúp tiết kiệm pin, bảo vệ mắt. Vì những lợi ích trên mà cảm biến ánh sáng mang lại nên nhóm chúng em quyết định chọn đề tài “ Thiết kế mạch đo ánh sáng sử dụng Photodiode ”.

MỤC LỤC

a.	Lựa chọn và mô phỏng photodiode 2 dây (có điện trở dây dẫn là 10Ω)......	1
b.	Lựa chọn mode hoạt động của photodiode:.....	5
c.	Lựa chọn OP-AMP sử dụng, mô phỏng OP-AMP theo datasheet:.....	6
d.	Đảm bảo sai số (giữa giá trị lý thuyết và giá trị thực tế) dưới $\pm 5\%$:.....	7
e.	Thiết kế mạch đọc dòng điện và cho ngõ ra ADC. Tiến hành lựa chọn ADC (số bit, nguồn). Mô phỏng mạch đọc và kiểm chứng.....	8

a. Lựa chọn và mô phỏng photodiode 2 dây (có điện trở dây dẫn là 10Ω).

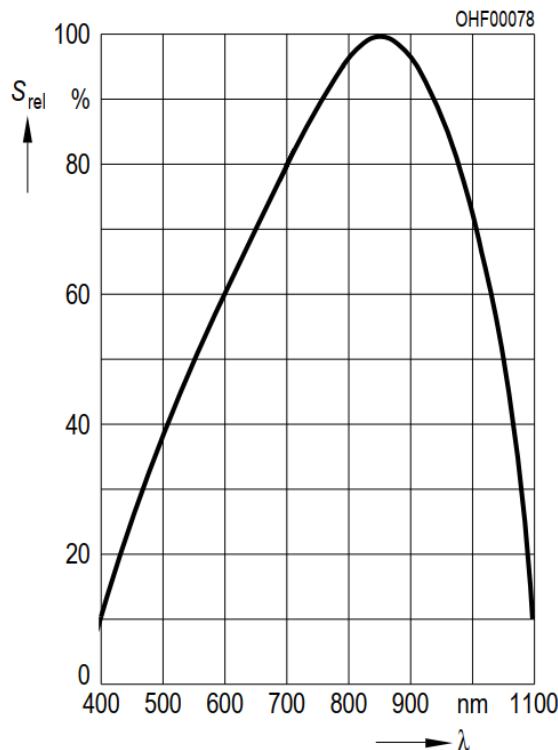
Để có thể đo thông số E_E trong khoảng 10mW/cm² đến 100mW/cm², đầu tiên, cần chọn một photodiode phù hợp. Photodiode **SFH 206 K** là lựa chọn lý tưởng cho mạch đo cường độ ánh sáng từ 10 mW/cm² đến 100 mW/cm² với độ phân giải 5 mW/cm² nhờ vào các đặc tính vượt trội như dải nhạy quang phổ rộng (400 nm - 1100 nm), độ nhạy cao $R(\lambda)=0.62$ A/W tại 850 nm, và diện tích nhạy sáng lớn 7.02 mm². Với thời gian đáp ứng nhanh (20 ns) và khả năng hoạt động ổn định trong môi trường từ -40°C đến 100°C, photodiode này đảm bảo đo chính xác cường độ ánh sáng trong phạm vi yêu cầu, đáp ứng tốt yêu cầu từ đề tài, cùng với lợi ích đó lại giá thành rẻ.

Để tính được dòng quang điện I_p , đầu tiên, chúng ta có được công thức tính Sensitivity của photodiode như sau:

$$R(\lambda) = k * S(\lambda)$$

Relative Spectral Sensitivity ^{1) page 8}

$$S_{rel} = f(\lambda)$$



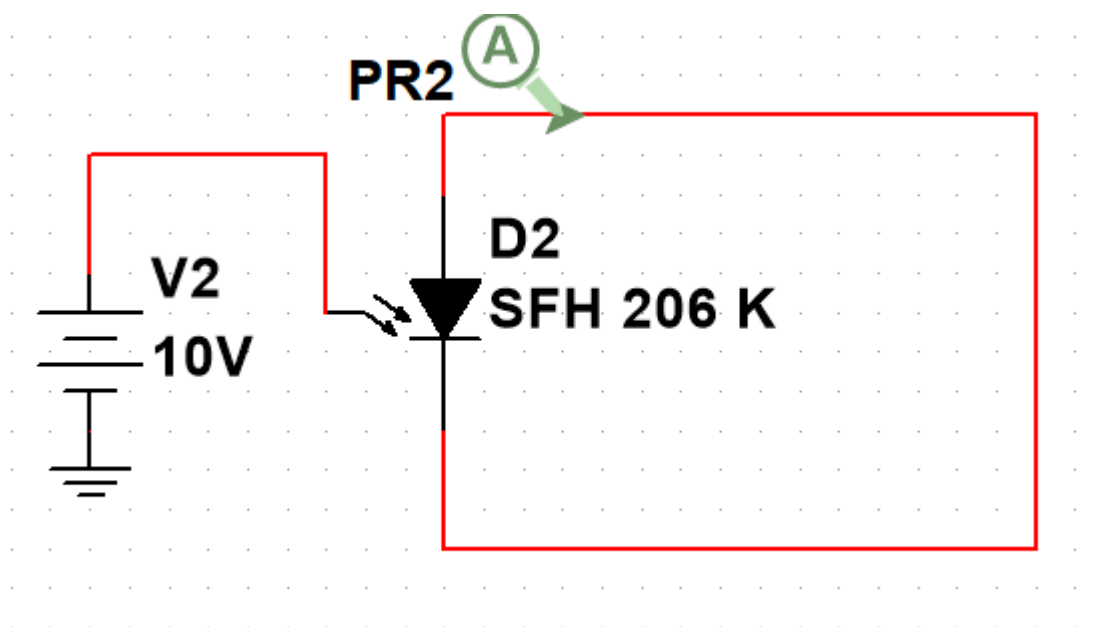
Dựa vào datasheet, tại $\lambda = 850\text{nm}$, ta có được $R(\lambda) = 0.62 \text{ (A/W)} = 0.62 \text{ (mA/mW)}$ và $S(\lambda)=1$. Như vậy, hằng số k sẽ bằng 0.62. Dựa vào datasheet, lấy chuẩn tại $\lambda = 550\text{nm}$, $S(\lambda)=0.5$. Sau khi tính được hệ số k, dòng quang điện I_P được tính như sau:

$$\begin{aligned} I_P &= R(\lambda) * \Phi_E = k * S(\lambda) * E_E * A \\ &= 0.62 * 0.5 * E_E * (2.6 * 10^{-1} * 1.09 * 10^{-1}) \\ &= 8.7854 * 10^{-3} * E_E \text{ (mA)} \end{aligned}$$

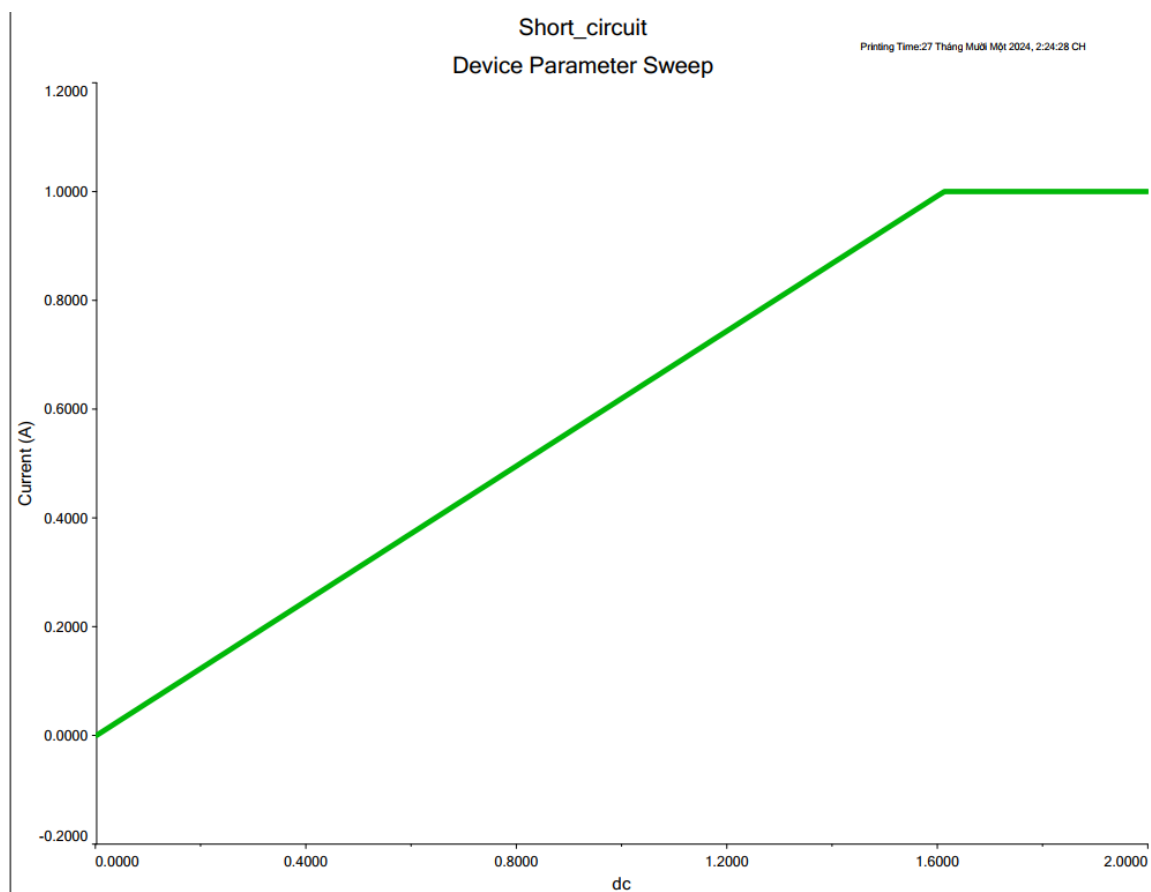
Do E_E nằm trong khoảng 10mW/cm^2 đến 100mW/cm^2 , nên I_P sẽ nằm trong khoảng từ 0.087854 (mA) đến 0.87854 (mA) . Bên cạnh đó, để tham chiếu, dựa vào khoảng giá trị của E_E , có thể tính được E_V nằm trong khoảng 6.83 lm/cm^2 đến 68.3 lm/cm^2 . Tham số này sẽ có giá trị khi sử dụng các thiết bị Lux Meter để kiểm tra độ chói trong thực tế. Các giá trị của E_E khi đổi sang E_V sẽ dựa trên bảng sau:

$E_E \text{ (mW/cm}^2\text{)}$	$E_V \text{ (lm/cm}^2\text{)}$	$E_E \text{ (mW/cm}^2\text{)}$	$E_V \text{ (lm/cm}^2\text{)}$
10	6.83	60	40.98
15	10.245	65	44.395
20	13.66	70	47.81
25	17.075	75	51.225
30	20.49	80	54.64
35	23.905	85	58.055
40	27.32	90	61.47
45	30.735	95	64.885
50	34.15	100	68.3
55	37.565		

Trong phần mềm Multisim, SFH 206 K sẽ được mô phỏng bằng một diode có 3 cực, ngoài hai cực Anode và Cathode thì còn có một chân P. Theo như mô tả, Trong mô hình SPICE của photodiode **SFH_206_K/AD**, chân **P** đại diện cho **đầu vào ánh sáng**, được mô phỏng như một **điện áp** tỷ lệ với cường độ ánh sáng chiếu tới (W/cm^2). Giá trị điện áp này được sử dụng để tính dòng quang điện $I_P = V(P) * \text{Spec} * \text{Sensy}$, trong đó **Spec (mặc định bằng 1.0)** là thông số quang phổ và **Sensy** là độ nhạy của photodiode (mặc định 0.62 A/W). Chân **P** cũng hỗ trợ mô phỏng các đặc tính động như rise time và fall time qua các linh kiện R và C. Để có thể mô phỏng giá trị của I_P dựa trên giá trị của $V(P)$ thì tiến hành mô phỏng photodiode trong điều kiện ngắn mạch:

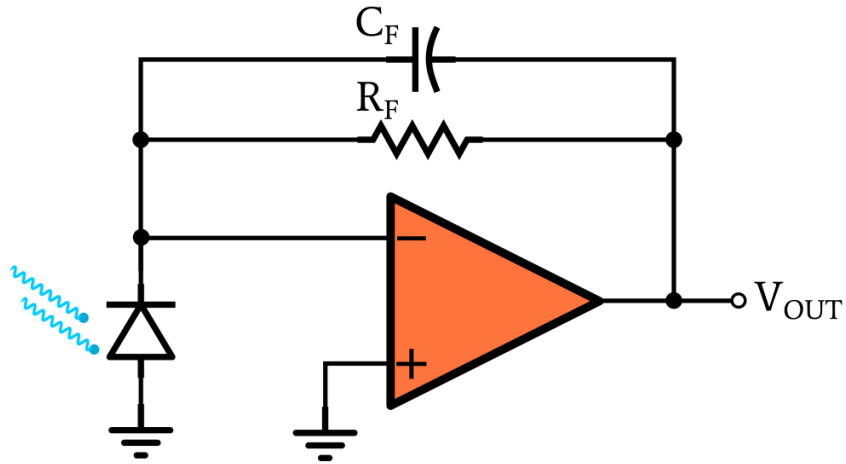


Khi này, dòng I_P sẽ bằng dòng ngắn mạch I_{SC} và bằng dòng từ Anode sang Cathode I_{KA} . Khi mô phỏng bằng Parameter Sweep cho thông số $V(P)$, khi kiểm tra bảng số liệu và đồ thị, có thể thấy rằng $I_P = V(P) * 1.0 * 0.62$ và bên cạnh đó, có thể thấy I có giá trị max bằng 1A khi $V(P)$ đạt khoảng 1.6129 V do hiện tượng **bão hòa dòng quang điện**, khi photodiode đã tạo ra và thu thập tối đa các cặp điện tử-lỗ trống từ ánh sáng chiếu vào.



b. Lựa chọn mode hoạt động của photodiode:

Để giảm thiểu dòng tối của photodiode, ta sẽ vận hành photodiode trong chế độ quang điện (photovoltaic mode) và sử dụng mạch chuyển đổi dòng sang điện áp như hình dưới đây.



Như vậy, chúng ta sẽ có công thức tính điện áp DC V_{out} của mạch như sau:

$$V_{out} = I_P * R_F$$

Trong đó, chỉ có điện trở hồi tiếp (R_F) có tác dụng khuếch đại. Tụ điện (C_F) được sử dụng nhằm tránh hiện tượng dao động bằng cách bù trừ cho điện dung mạch trong của nút photodiode, vốn tạo ra một cực (pole) trong mạng hồi tiếp. Tụ C_F thực hiện bù trừ bằng cách tạo ra một điểm zero trong mạng hồi tiếp. C_F là tụ được mắc thêm để lọc thông cao với tần số cắt $f_c = \frac{1}{2\pi R_F C_F}$. Điều này để giảm ảnh hưởng của các điều kiện không lý tưởng của OP-AMP.

Như vậy, chọn $R_F = 2.7 \text{ k}\Omega$, lúc đó $V_{out} = 2700 * I_P$.

c. Lựa chọn OP-AMP sử dụng, mô phỏng OP-AMP theo datasheet:

OPA333 được chọn nhờ các đặc tính vượt trội: dòng lệch ngõ vào $I_{io}=140\text{ pA}$, dòng thiên ngõ vào $I_{ib}=70\text{ pA}$ và điện áp bù ngõ vào $V_{io}=2\text{ }\mu\text{V}$, đảm bảo độ chính xác cao và phù hợp cho các ứng dụng đo lường chính xác.

Tính toán sai lệch gây ra bởi V_{io} của OP-AMP:

$$\Delta V = \pm V_{io} * \left(1 + \frac{2700}{10}\right) = \pm 540\mu\text{V}$$

Tính toán sai lệch gây ra bởi I_{io} và I_{ib} :

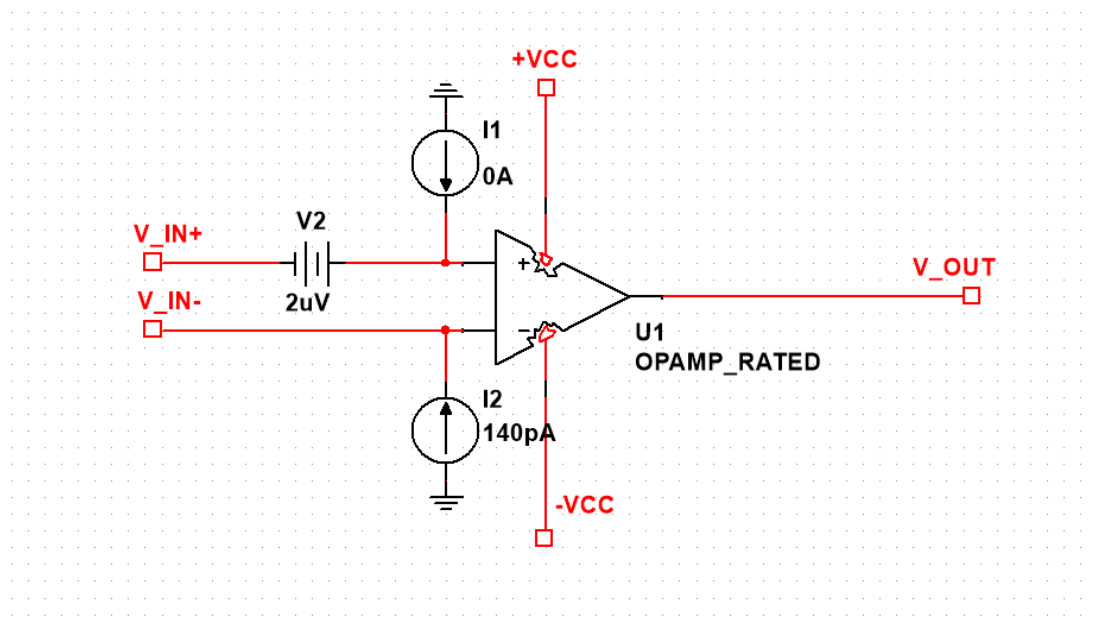
$$I_{ib} = \frac{I_+ + I_-}{2} = 70\text{ pA}$$

$$I_{io} = |I_+ - I_-| = 140\text{ pA}$$

$$I_+ = 140\text{ pA}, I_- = 0 \text{ hoặc } I_- = 140\text{ pA}, I_+ = 0$$

$$\Delta V = I_- * R_- = 0.3789(\mu\text{A})$$

Mô phỏng OP-AMP OPA333 trong Multisim bằng cách tạo một khối hierarchial



d. Đảm bảo sai số (giữa giá trị lý thuyết và giá trị thực tế) dưới $\pm 5\%$:

Để kiểm tra Vout giữa tính toán lý thuyết và giá trị thực tế khi mô phỏng, cần lập một bảng Excel để khảo sát giá trị phụ thuộc vào Irradiance E_E :

E_E (mW/cm ²)	I_p (mA)	V(P)(mV)	V1(V) tính toán	V1(V) mô phỏng	% sai số Vout (%)
10	0,087854	0,1417	0,2372058	0,237217459	0,004915136
15	0,131781	0,21255	0,3558087	0,355819763	0,003109275
20	0,175708	0,2834	0,4744116	0,474422067	0,002206259
25	0,219635	0,35425	0,5930145	0,59302437	0,00166438
30	0,263562	0,4251	0,7116174	0,711626673	0,001303067
35	0,307489	0,49595	0,8302203	0,830228975	0,001044938
40	0,351416	0,5668	0,9488232	0,948831277	0,000851298
45	0,395343	0,63765	1,0674261	1,067433579	0,000700648
50	0,43927	0,7085	1,186029	1,18603588	0,000580092
55	0,483197	0,77935	1,3046319	1,304638181	0,000481422
60	0,527124	0,8502	1,4232348	1,423240481	0,000399166
65	0,571051	0,92105	1,5418377	1,541842781	0,000329536
70	0,614978	0,9919	1,6604406	1,66044508	0,000269826
75	0,658905	1,06275	1,7790435	1,779047379	0,000218054
80	0,702832	1,1336	1,8976464	1,897649678	0,000172727
85	0,746759	1,20445	2,0162493	2,016251976	0,000132712
90	0,790686	1,2753	2,1348522	2,134854273	9,71218E-05
95	0,834613	1,34615	2,2534551	2,253456571	6,52567E-05
100	0,87854	1,417	2,372058	2,372058867	3,65584E-05

Với I_p được tính bằng công thức đã được trình bày trong câu a, $V(P) = I_p/0.62$, V1 theo lý thuyết sẽ được tính bằng $V_{1_{lt}} = I_p \cdot 2700$. Giá trị V1 sẽ được mô phỏng sẽ được mô phỏng bằng phần mềm Multisim. Sai số sẽ được tính như sau:

$$\% \text{ sai số} = \frac{|V_{1 \text{ lý thuyết}} - V_{1 \text{ mô phỏng}}|}{V_{1 \text{ lý thuyết}}} * 100\%$$

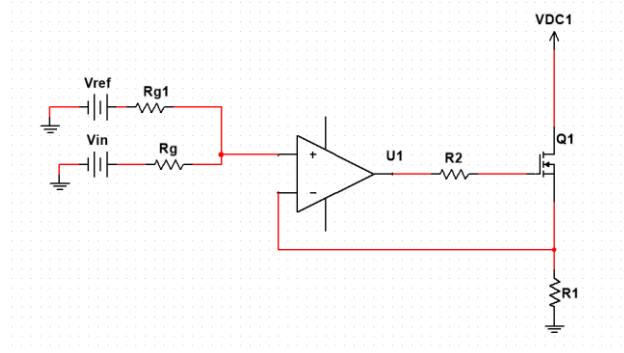
Như vậy, dựa trên mô phỏng, sai số dưới 5% được đảm bảo.

- e. Thiết kế mạch đọc dòng điện và cho ngõ ra ADC. Tiến hành lựa chọn ADC (số bit, nguồn). Mô phỏng mạch đọc và kiểm chứng.

Đầu tiên, cần thiết kế mạch chuyển đổi từ điện áp V_1 từ 0,2372058-2,372058 V sang 4-20 mA. Xây dựng phương được phương trình I_{out} theo V_1 như sau:

$$I_{out} = 0.007494664033V_1 + \frac{1}{450} \quad (1)$$

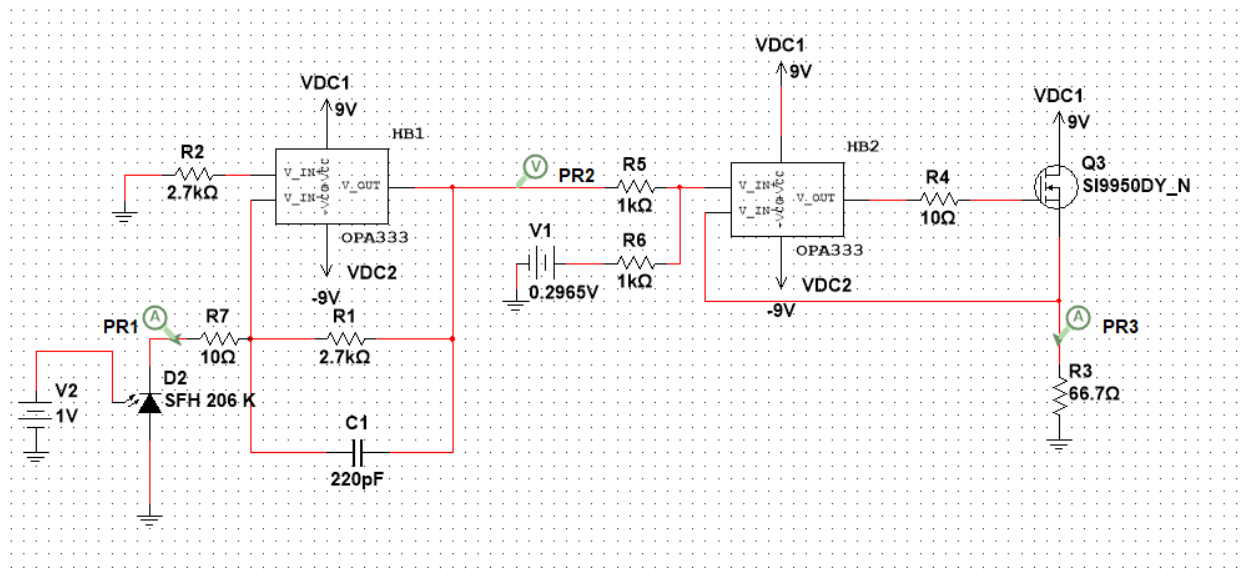
Sử dụng mô hình mạch V/I:



$$I_{out} = I_{R1} = \frac{V_1 + V_{ref}}{2R1} \quad (2)$$

Từ (1) và (2) => Chọn $R1 = 66.7 \text{ Ohm}$, $V_{ref} = 0.2695 \text{ V}$, $R2 = 10 \text{ Ohm}$, $Rg = 1\text{kOhm}$.

Tiến hành mô phỏng và kiểm chứng mạch:



E_E (mW/cm ²)	I _p (mA)	V(P)(mV)	V ₁ (V) tính toán	V ₁ (V) mô phỏng	% sai số V _{out} (%)	I _{out} (A) tính toán	I _{out} (A) mô phỏng	% sai số I _{out} (%)
10	0,087854	0,1417	0,2372058	0,237217459	0,004915136	0,004	0,004000463	0,01156269
15	0,131781	0,21255	0,3558087	0,355819763	0,003109275	0,004888889	0,004889513	0,012773836
20	0,175708	0,2834	0,4744116	0,474422067	0,002206259	0,005777778	0,005778564	0,013612248
25	0,219635	0,35425	0,5930145	0,59302437	0,00166438	0,006666667	0,006667615	0,014227015
30	0,263562	0,4251	0,7116174	0,711626673	0,001303067	0,007555556	0,007556666	0,014697069
35	0,307489	0,49595	0,8302203	0,830228975	0,001044938	0,008444444	0,008445717	0,015068105
40	0,351416	0,5668	0,9488232	0,948831277	0,000851298	0,009333333	0,009334768	0,015368411
45	0,395343	0,63765	1,0674261	1,067433579	0,000700648	0,010222222	0,010223819	0,015616437
50	0,43927	0,7085	1,186029	1,18603588	0,000580092	0,011111111	0,011112869	0,015824727
55	0,483197	0,77935	1,3046319	1,304638181	0,000481422	0,012	0,01200192	0,016002111
60	0,527124	0,8502	1,4232348	1,423240481	0,000399166	0,012888889	0,012890971	0,01615498
65	0,571051	0,92105	1,5418377	1,541842781	0,000329536	0,013777778	0,013780022	0,016288077
70	0,614978	0,9919	1,6604406	1,66044508	0,000269826	0,014666667	0,014669073	0,016404995
75	0,658905	1,06275	1,7790435	1,779047379	0,000218054	0,015555556	0,015558124	0,016508506
80	0,702832	1,1336	1,8976464	1,897649678	0,000172727	0,016444444	0,016447174	0,016600783
85	0,746759	1,20445	2,0162493	2,016251976	0,000132712	0,017333333	0,017336225	0,016683553
90	0,790686	1,2753	2,1348522	2,134854273	9,71218E-05	0,018222222	0,018225276	0,016758204
95	0,834613	1,34615	2,2534551	2,253456571	6,52567E-05	0,019111111	0,019114327	0,016825868
100	0,87854	1,417	2,372058	2,372058867	3,65584E-05	0,02	0,020003377	0,016887477

Biểu đồ phía trên thể hiện mối quan hệ giữa V(P) (trục hoành) và V₁ (đường màu xanh dương), I_{out} (đường màu xanh lá).

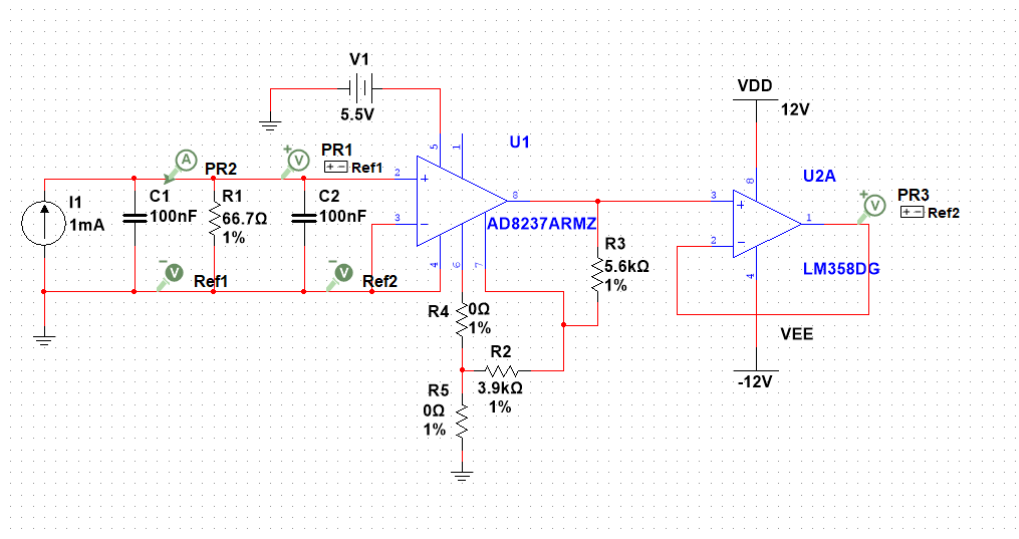
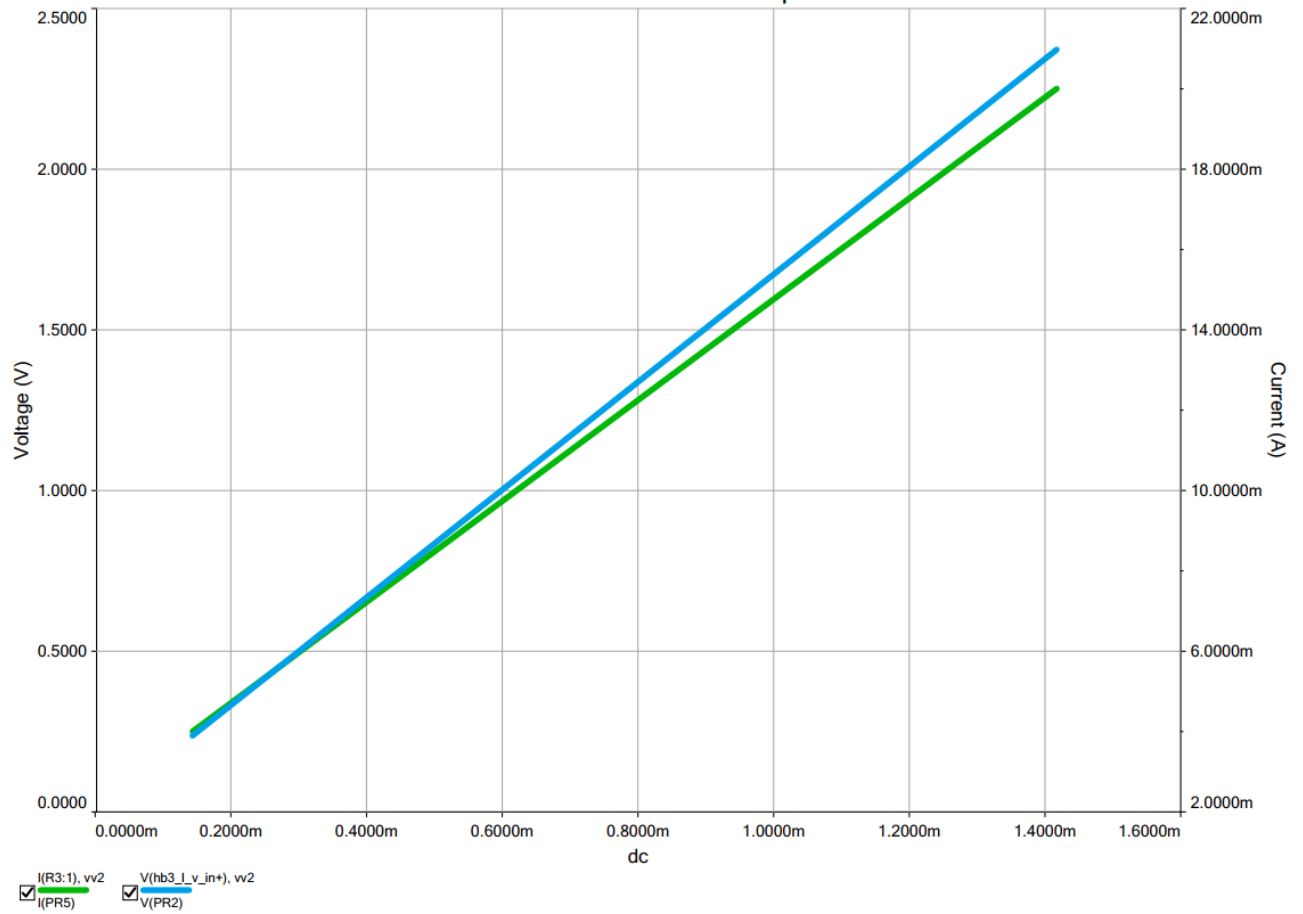
Thiết kế mạch đọc ADC:

Đầu tiên, để có thể đọc tín hiệu dòng điện, cần thiết kế mạch sử dụng AD8237RMZ để khuếch đại giá trị dòng đi qua điện trở 66.7 Ohm như sau:

DesignBTL

Printing Time: 29 Tháng Mười Một 2024, 12:05:16 SA

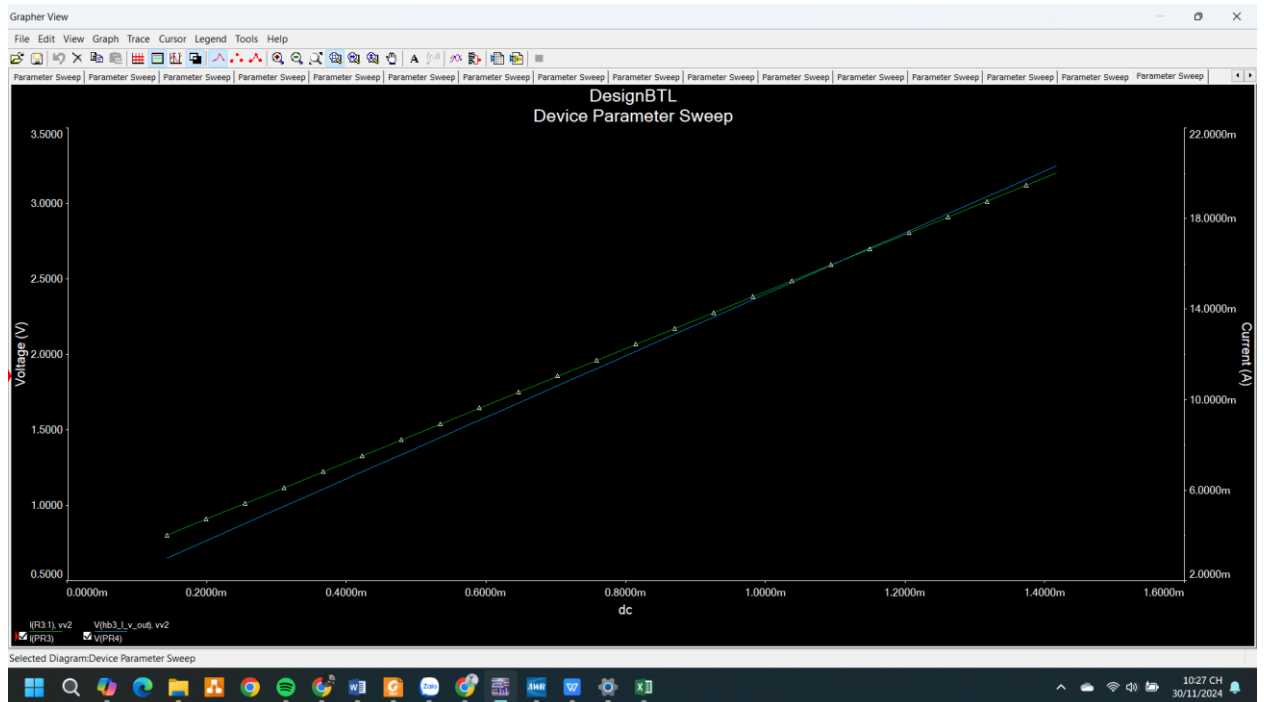
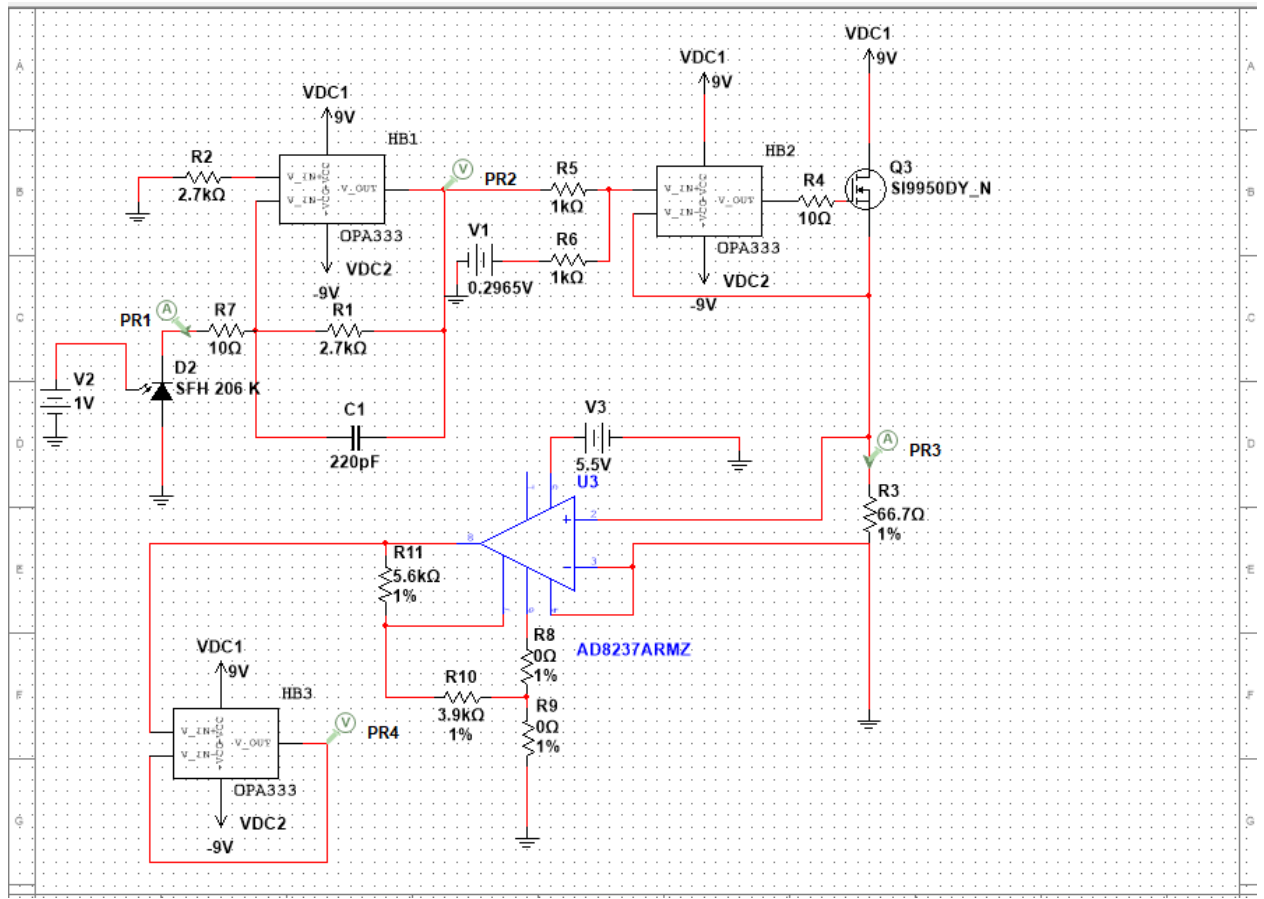
Device Parameter Sweep



Như vậy, khi đi qua AD8237, V_{out} sẽ bằng $I_1 * R_1 * \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) = I_1 * 162.4736$

Tiếp theo đó, cần thêm một **voltage follower** (hoặc buffer amplifier) trước khi đưa tín hiệu vào **ADC** (Analog-to-Digital Converter) là rất quan trọng trong nhiều trường hợp để đảm bảo tín hiệu được đo chính xác và không bị suy giảm. Đầu tiên, nó cải thiện **impedance matching**, đặc biệt khi nguồn tín hiệu có impedance cao, bằng cách sử dụng impedance đầu vào cao và impedance đầu ra thấp, giúp tránh suy giảm tín hiệu và đảm bảo tín hiệu vào ADC không bị mất mát. Thứ hai, voltage follower giảm tải lên nguồn tín hiệu, ngăn ngừa hiện tượng tải quá mức bởi ADC, do ADC thường có dòng tải khá lớn ở đầu vào. Ngoài ra, voltage follower duy trì tín hiệu không biến dạng, đặc biệt khi sử dụng với operational amplifier (op-amp), giúp giữ tín hiệu đầu vào chính xác khi đọc qua ADC. Nó cũng giúp giảm thiểu ảnh hưởng của dòng tải, bảo vệ tín hiệu gốc và giúp ADC nhận tín hiệu ổn định hơn. Cuối cùng, trong trường hợp tín hiệu gốc có biên độ thấp, voltage follower giúp tăng cường tín hiệu sao cho phù hợp với phạm vi của ADC, tăng độ chính xác và độ phân giải của phép đo.

Như vậy, sau khi gắn thêm voltage follower tại V1 (điện áp sau khi qua AD8237), mạch đo ADC được thiết kế như sau:



Biểu đồ thể hiện ngõ ra Iout và Vout

Chọn 12 bit ADC để phù hợp với STM32. Với mức điện áp tham chiếu 3.3V, công thức để chuyển đổi thành giá trị digital 12-bit như sau:

$$Digital = \left(\frac{\text{Điện áp đầu vào}(V)}{3.3(V)} \right) * 4096$$

Như vậy, có bảng giá trị quy đổi dựa vào V_{out} mô phỏng như sau:

E_E (mW/cm2)	Iout(A) tính toán	Iout (A) mô phỏng	Vout vào ADC	ADC
10	0,004	0,004000463	0,6489923	806
15	0,004888889	0,004889513	0,793404449	985
20	0,005777778	0,005778564	0,937816605	1164
25	0,006666667	0,006667615	1,082228763	1343
30	0,007555556	0,007556666	1,22664092	1523
35	0,008444444	0,008445717	1,371051453	1702
40	0,009333333	0,009334768	1,515463611	1881
45	0,010222222	0,010223819	1,659872519	2060
50	0,011111111	0,011112869	1,804286301	2240
55	0,012	0,01200192	1,948700083	2419
60	0,012888889	0,012890971	2,093113866	2598
65	0,013777778	0,013780022	2,237527648	2777
70	0,014666667	0,014669073	2,38194143	2956
75	0,015555556	0,015558124	2,526355212	3136
80	0,016444444	0,016447174	2,670752748	3315
85	0,017333333	0,017336225	2,81516653	3494
90	0,018222222	0,018225276	2,959580312	3673
95	0,019111111	0,019114327	3,103994095	3853
100	0,02	0,020003377	3,248407877	4032

