

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN - ĐHQG TP HCM
KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG



ĐỒ ÁN MÔN HỌC
ĐIỆN TỬ TƯƠNG TỰ

Đề tài:

**THIẾT KẾ MẠCH TẠO SÓNG VUÔNG,
SIN, TAM GIÁC SỬ DỤNG OP-AMP**

Sinh viên thực hiện: NGUYỄN THÀNH ĐẠT - 23200074
HỒ QUANG ĐẠI - 23200069
NGUYỄN PHƯỚC ĐẠT - 23200073
Giảng viên hướng dẫn: NGUYỄN THỊ THIÊN TRANG

TPHCM - 12/2024

LỜI NÓI ĐẦU

Đồ án kĩ thuật này nằm trong môn điện tử tương tự, khoa Điện tử-Viễn thông trường Đại học Khoa Học Tự Nhiên - ĐHQG TP.HCM, mục đích nghiên cứu của đồ án chủ yếu tìm hiểu về bộ khuếch đại thuật toán OP-AMP. Sử dụng để thực hiện thiết kế mạch tạo sóng gồm sóng vuông, sóng sin, sóng tam giác. Xin cảm ơn đến cô Nguyễn Thị Thiên Trang đã giúp nhóm chúng tôi hỗ trợ hoàn thành đồ án này. Mọi thắc mắc xin liên hệ 23200074@student.hcmus.edu.vn. Xin cảm ơn.

LỜI CAM ĐOAN

Nhóm chúng tôi gồm Nguyễn Thành Đạt, Nguyễn Phước Đạt, Hồ Quang Đại, sinh viên lớp 23DTV1, khóa 23, giảng viên hướng dẫn Th.S Nguyễn Thị Thiên Trang. Tôi xin cam đoan toàn bộ nội dung được trình bày trong đề án là kết quả quá trình tìm hiểu và nghiên cứu của tập thể nhóm chúng tôi. Các dữ liệu nêu trong đề án là hoàn toàn trung thực, phản ánh đúng kết quả thực tế. Mọi thông tin trích dẫn đều tuân thủ các quy định về sở hữu trí tuệ; các tài liệu tham khảo được liệt kê rõ ràng. Tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm với những nội dung được trình bày trong đề án này.

TP.HCM, ngày 02 tháng 12 năm 2024

Người cam đoan

NGUYỄN THÀNH ĐẠT

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ	ii
DANH MỤC BẢNG BIỂU	iii
TÓM TẮT ĐỒ ÁN	iv
CHƯƠNG 1: MẠCH DAO ĐỘNG TÍCH THOÁT TẠO XUNG VUÔNG 10 kHz	1
1.1 Dao Động Tích Thoát Sử dụng Op-Amp	1
1.1.1 Bộ dao động cơ bản	1
1.1.2 Tìm Hiểu Về Dao Động Tích Thoát Sử dụng Op-Amp . . .	2
1.1.3 Phân Tích Nguyên Lý Hoạt Động	3
1.2 Thiết Kế Mạch và Mô Phỏng	6
1.2.1 Thiết kế mạch	6
1.2.2 Mô phỏng	8
CHƯƠNG 2. MẠCH LỌC THÔNG THẤP	10
2.1 Đặc tính	10
2.2 Hệ số giảm chấn (The Damping Factor)	11
2.3 Tần số giới hạn và tốc độ suy giảm (Critical Frequency and Roll-Off Rates)	11
2.4 Mạch lọc hoạt động thông thấp (Active low-pass filter)	12
2.5 Thiết kế mạch tạo sóng sin với bộ lọc thông thấp bậc 6	14
CHƯƠNG 3. MẠCH TÍCH PHÂN SỬ DỤNG OP-AMP	18
3.1 Mạch tích phân sử dụng op-amp	18
3.1.1 Ramp generator	18
3.2 Mạch tích phân sử dụng trong thực tế	19
3.2.1 Vấn đề gặp phải ở mạch tích phân lý tưởng	19

3.2.2	Giải Pháp	20
3.3	Thiết kế mạch tạo sóng tam giác với bộ tích phân Miller	21
3.3.1	Bộ tích phân	22
3.3.2	Tạo ngõ ra sóng vuông 2 kHz	24
KẾT LUẬN		28
	Kết luận chung	28
	Hướng phát triển	28
TÀI LIỆU THAM KHẢO		30
Phụ Lục		31

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1	Bộ dao động cơ bản	1
Hình 1.2	Mạch dao động tích thoát dùng op-amp cơ bản	2
Hình 1.3	Đồ thị sóng vuông theo thời gian nạp xả của tụ	4
Hình 1.4	Mạch dao động tạo xung vuông đối xứng	6
Hình 1.5	Sơ đồ mạch mô phỏng	8
Hình 1.6	Đồ thị dạng sóng	8
Hình 1.7	Phân tích giá trị chu kỳ	8
Hình 2.1	Các đặc tính của mạch lọc[1]	10
Hình 2.2	Mạch lọc tích cực[1]	11
Hình 2.3	Mạch lọc thông thấp (1 tầng)[1]	11
Hình 2.4	Ghép tầng mạch lọc[1]	12
Hình 2.5	Mạch lọc hoạt động thông thấp 1 tầng[1]	13
Hình 2.6	Mạch lọc thông thấp bậc 2 Sallen-Key[1]	13
Hình 2.7	Lưu đồ thiết kế mạch lọc thông thấp bậc 6	14
Hình 2.8	Các trở và tụ của mạch lọc	15
Hình 2.9	Sơ đồ mạch lọc thông thấp bậc 6 hoàn chỉnh	15
Hình 2.10	Đáp ứng tần số của mạch lọc thông thấp bậc 6	16
Hình 2.11	Độ lợi mạch lọc	16
Hình 2.12	Tần số giới hạn của mạch lọc	17
Hình 2.13	Dạng sóng ngõ ra mạch lọc thông thấp bậc 6	17
Hình 3.1	Mạch tích phân lí tưởng[1]	18
Hình 3.2	Mạch Ramp Generator[1]	19
Hình 3.3	Tín hiệu của mạch Ramp generator[2]	19
Hình 3.4	Mạch tích phân Miller[1]	20
Hình 3.5	Đáp ứng tần số với mạch tích phân Miller (lý tưởng)	21
Hình 3.6	Lưu đồ mô tả quá trình hoạt động của mạch tạo sóng 2 kHz	21
Hình 3.7	Mô phỏng mạch tích phân ($f_{in} = 2kHz$)	23

Hình 3.8	Đáp ứng tần số mạch tích phân	23
Hình 3.9	Tần số cắt của mạch tích phân	24
Hình 3.10	Dạng sóng ngõ ra mạch tích phân	24
Hình 3.11	Mạch so sánh sử dụng opamp[1]	25
Hình 3.12	Bộ tạo sóng tam giác	25
Hình 3.13	Sơ đồ mạch tạo sóng tam giác $f = 2 \text{ kHz}$	26
Hình 3.14	Dạng sóng ngõ ra thu được	27

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1	Các giá trị để mạch lọc có đáp ứng Butterworth[1]	12
----------	---	---------	----

TÓM TẮT ĐỒ ÁN

Đồ án **Thiết kế mạch tạo sóng vuông, sóng sin, sóng tam giác sử dụng OP-AMP** có mục đích chính là thiết kế bộ tạo sóng với ba ngõ ra, sóng sin, sóng vuông và sóng tam giác, sử dụng các linh kiện cơ bản như op-amp, điện trở, tụ điện, mạch có nhiều ứng dụng cơ bản trong cấp phát sóng trong các mạch điện tử.

CHƯƠNG 1: MẠCH DAO ĐỘNG TÍCH THOÁT TẠO XUNG VUÔNG 10 kHz

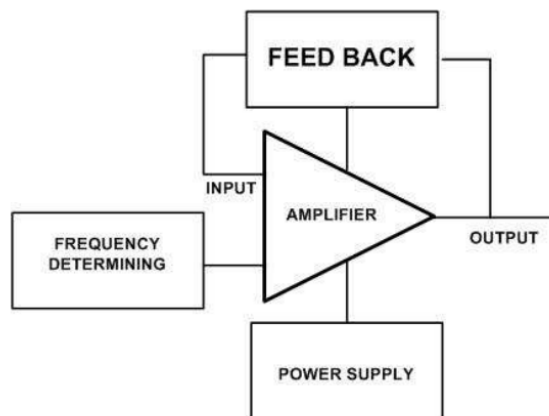
Ngoài các mạch khuếch đại điện thế và công suất, mạch dao động cũng là một thành phần cơ bản trong lĩnh vực điện tử. Các mạch dao động được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị viễn thông. Về cơ bản, mạch dao động là mạch tạo ra tín hiệu.

Mạch dao động thường được phân thành hai loại chính: **dao động điều hòa** (*harmonic oscillators*) tạo ra sóng sin và **dao động thư giãn** (*relaxation oscillators*) thường tạo ra các tín hiệu không phải sóng sin như sóng răng cưa, sóng tam giác và sóng vuông.

Trong phần này, chúng ta sẽ khám phá cách tạo ra sóng vuông với tần số 10 kHz bằng cách sử dụng mạch op-amp trong dao động thư giãn (*Op-amp Relaxation Oscillator*). Mạch dao động thư giãn sử dụng sự nạp và xả của tụ điện để tạo ra các tín hiệu không hình sin. Mạch này thường bao gồm một op-amp hoạt động như một bộ so sánh, với hồi tiếp dương để tạo ra các chuyển đổi nhanh chóng giữa các trạng thái đầu ra.

1.1 Dao Động Tích Thoát Sử dụng Op-Amp

1.1.1 Bộ dao động cơ bản



Hình 1.1 Bộ dao động cơ bản

Trước khi tìm hiểu về bộ dao động sóng vuông, ta sẽ đi tìm hiểu các cơ sở của bộ dao động trước. Hình 1.1 ở trên cho thấy các bộ khuếch đại của bộ dao động cũng như phản hồi, nguồn điện và xác định tần số. Cụ thể:

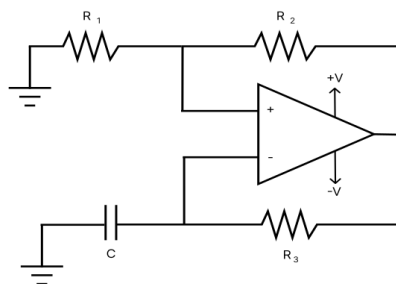
- **Amplifier (Bộ khuếch đại):** Đây là thành phần cốt lõi tạo ra tín hiệu điện tử và khuếch đại tín hiệu.
- **Feedback (Phản hồi):** Phản hồi một phần tín hiệu đầu ra trở lại đầu vào để duy trì dao động.
- **Frequency Determining (Mạch xác định tần số):** Xác định tần số của tín hiệu dao động thông qua các linh kiện như cuộn cảm và tụ điện (L và C) hoặc các mạch RC/LC.
- **Power Supply (Nguồn điện):** Cung cấp năng lượng để mạch hoạt động.

Về nguyên lý hoạt động: Tín hiệu từ bộ khuếch đại được đưa qua mạng phản hồi để điều chỉnh biên độ và tần số. Mạch xác định tần số thiết lập tần số dao động. Phản hồi dương (positive feedback) đảm bảo duy trì dao động ổn định bằng cách bù suy hao năng lượng.

Điều kiện dao động (Barkhausen Criterion):

- Độ lợi vòng lặp (loop gain) phải lớn hơn hoặc bằng 1.
- Pha của tín hiệu phản hồi phải thỏa mãn điều kiện cộng hưởng (tín hiệu phản hồi cùng pha với tín hiệu đầu vào).

1.1.2 Tìm Hiểu Về Dao Động Tích Thoát Sử dụng Op-Amp



Hình 1.2 Mạch dao động tích thoát dùng op-amp cơ bản

Mạch tạo sóng không hình sin còn được gọi là mạch dao động tích thoát. Mạch dao động tích thoát sử dụng op-amp được hiển thị trong Hình 1.2 là mạch tạo sóng vuông. Sóng vuông tương đối dễ tạo ra. Giống như mạch dao động thư giãn UJT, tần số dao động của mạch phụ thuộc vào việc nạp và xả của tụ điện C qua điện trở phản hồi R_3 . "Trái tim" của mạch dao động là một bộ so sánh op-amp đảo. Bộ tạo sóng vuông op-amp hữu ích trong dải tần khoảng 10 Hz đến

10 kHz. Ở tần số cao hơn, tốc độ trượt (*slew rate*) của op-amp giới hạn độ dốc của sóng vuông đầu ra.

1.1.3 Phân Tích Nguyên Lý Hoạt Động

Dạng mạch này giống như mạch so sánh đảo có hồi tiếp dương với điện thế (*Schmitt Trigger*), trong đó điện trở so sánh được thay bằng tụ điện C . Hệ số hồi tiếp được xác định bởi:

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1.1)$$

Do đó, điện thế tại hồi tiếp dương là:

$$v_f = \beta v_o \quad (1.2)$$

Các ngưỡng điện áp trên và dưới được xác định bởi:

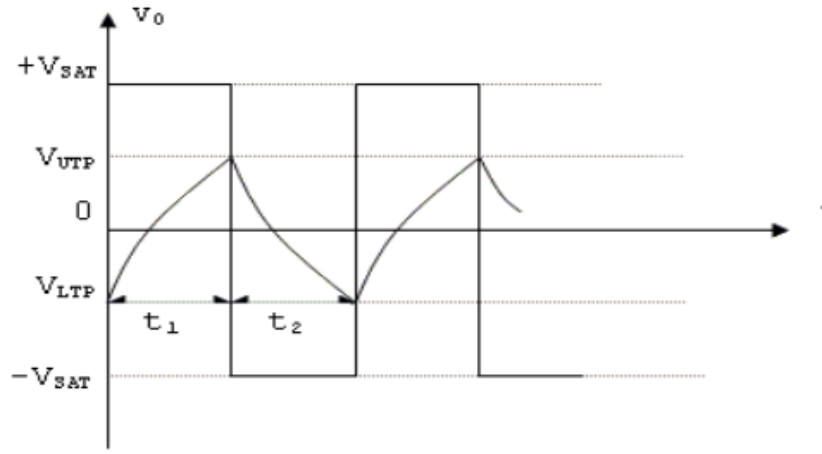
$$V_{UTP} = +\beta V_{sat} \quad (1.3)$$

$$V_{LTP} = -\beta V_{sat} \quad (1.4)$$

Nhắc lại nguyên lý hoạt động của mạch so sánh Schmitt Trigger: Khi điện thế đầu vào ngõ đảo lớn hơn V_{UTP} , ngõ ra sẽ chuyển nhanh chóng đến điện áp bão hòa dương $+V_{sat}$. Ngược lại, khi điện áp đầu vào ngõ đảo nhỏ hơn V_{LTP} , ngõ ra sẽ chuyển nhanh chóng đến điện áp bão hòa âm $-V_{sat}$.

Giả sử khi khởi động, $v_o = +V_{sat}$, tụ bắt đầu nạp điện cho đến khi điện thế tại ngõ đảo V_C lớn hơn V_{UTP} , ngõ ra sẽ chuyển trạng thái sang $-V_{sat}$. Lúc này, tụ bắt đầu xả điện qua điện trở R_3 và nạp điện âm cho tới khi điện áp tại ngõ đảo V_C nhỏ hơn V_{LTP} , ngõ ra sẽ chuyển trạng thái lên $+V_{sat}$. Quá trình này diễn ra liên tục, tạo ra sóng vuông với chu kỳ bằng chu kỳ nạp xả của tụ điện.

Do tụ C nạp và xả điện qua điện trở R_3 , thời gian nạp điện bằng thời gian xả điện. Đồ thị dạng sóng được biểu diễn trong Hình 1.3.



Hình 1.3 Đồ thị sóng vuông theo thời gian nạp xả của tụ

Điện áp trên tụ tại bất kỳ thời điểm nào được biểu diễn bởi:

$$V_C = V_{IV} \cdot e^{-t/\tau} + V_{FV} \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1.5)$$

với $\tau = R_3C$, V_{IV} là điện áp ban đầu (*initial voltage*), V_{FV} là điện áp cuối cùng (*final voltage*).

Khi tụ C nạp điện, $V_{IV} = V_{LTP}$ và $V_{FV} = V_{sat}$. Thay vào phương trình trên:

$$V_C = V_{LTP} \cdot e^{-t/\tau} + V_{sat} \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1.6)$$

Suy ra:

$$V_C = V_{LTP} + (V_{sat} - V_{LTP}) (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1.7)$$

Khi $t = t_1$, $V_C = V_{UTP} = +\beta V_{sat}$, ta có:

$$\beta V_{sat} = -\beta V_{sat} + (V_{sat} + \beta V_{sat}) (1 - e^{-t_1/\tau}) \quad (1.8)$$

Suy ra:

$$2\beta V_{sat} = (V_{sat} + \beta V_{sat}) (1 - e^{-t_1/\tau}) \quad (1.9)$$

Chia cả hai vế cho $V_{sat}(1 + \beta)$:

$$\frac{2\beta}{1 + \beta} = 1 - e^{-t_1/\tau} \quad (1.10)$$

Do đó:

$$e^{-t_1/\tau} = 1 - \frac{2\beta}{1+\beta} = \frac{1-\beta}{1+\beta} \quad (1.11)$$

Suy ra:

$$\frac{t_1}{\tau} = \ln \left(\frac{1+\beta}{1-\beta} \right) \Rightarrow t_1 = \tau \ln \left(\frac{1+\beta}{1-\beta} \right) \quad (1.12)$$

Như đã trình bày ở trên, ta luôn có thời gian nạp điện của tụ bằng thời gian xả điện hay $t_1 = t_2$. Và do đó chu kỳ dao động sẽ là:

$$T = 2t_1 = 2R_3C \ln \left(\frac{1+\beta}{1-\beta} \right) \quad (1.13)$$

Và tần số dao động:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2R_3C \ln \left(\frac{1+\beta}{1-\beta} \right)} \quad (1.14)$$

Với $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$.

Ta có thể viết lại công thức như sau:

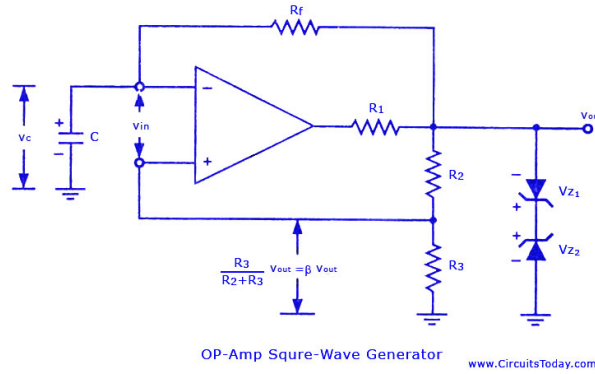
$$f = \frac{1}{2R_3C \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)} \quad (1.15)$$

Để đơn giản hóa, ta có thể chọn $R_2 = 1,16R_1$. Lúc này:

$$f \approx \frac{1}{2R_3C} \quad (1.16)$$

Tần số sóng vuông có thể được điều chỉnh bằng cách chuyển đổi giữa các tụ điện khác nhau và thay đổi liên tục giá trị điện trở R .

Trên thực tế, giá trị điện áp của $+V_{\text{sat}}$ có thể khác $-V_{\text{sat}}$ nên để sóng vuông được đối xứng, ta có thể chọn hai diode Zener mắc ngược nhau cùng với một điện trở để hạn dòng tại đầu ra như Hình 1.4.



Hình 1.4 Mạch dao động tạo xung vuông đối xứng

Cách phân tích vẫn tương tự như trên. Lưu ý rằng khi V_{in} dương thì $V_{out} = -V_{z1}$, còn khi V_{in} âm thì $V_{out} = V_{z2}$ (bỏ qua sai số điện áp khi zener phân cực thuận), đồng thời ta thường chọn $V_{z1} = V_{z2}$ để thuận lợi cho việc tính toán. Như vậy, tần số của đầu ra vẫn đảm bảo bằng:

$$f \approx \frac{1}{2R_3C} \quad \left| \quad R_2 = 1,16R_3 \right. \quad (1.17)$$

1.2 Thiết Kế Mạch và Mô Phỏng

1.2.1 Thiết kế mạch

Trong phần này, chúng ta sẽ tiến hành thiết kế mạch dao động tích thoát sử dụng op-amp để tạo ra sóng vuông với tần số 10 kHz. Ta sẽ chọn thiết kế theo dạng mạch như Hình 1.4. Các bước thiết kế bao gồm:

1. **Xác định hệ số hồi tiếp β :** Lựa chọn giá trị cho R_1 và R_2 sao cho β đáp ứng điều kiện thiết kế.
2. **Chọn giá trị điện trở và tụ điện:** Sử dụng công thức tần số dao động để tính toán các giá trị phù hợp cho R_3 và C .
3. **Chọn op-amp:** Đối với việc lựa chọn op-amp, ta ưu tiên các loại có tốc độ trượt (*slew rate*) cao nhằm mục đích giảm thời gian lên của mạch xuống mức tối thiểu, tạo ra sóng vuông ít bị méo dạng. Đồng thời, đảm bảo rằng op-amp được sử dụng có tốc độ trượt đủ lớn để hoạt động ở tần số 10 kHz mà không bị méo dạng.
4. **Chọn diode Zener và điện trở hạn dòng:** Lựa chọn diode Zener sao cho phù hợp với điện áp xung đầu ra; và giá trị điện trở hạn dòng phù hợp sao cho vẫn có dòng điện chạy qua diode.

Tính toán cụ thể:

Chọn sao cho $R_2 = 1,16R_1$. Ta lấy $R_2 = 10,5\text{ k}\Omega$, do đó $R_3 = 9,1\text{ k}\Omega$. Lúc này giá trị tần số sẽ được xấp xỉ bởi công thức:

$$f = \frac{1}{2R_3C} \quad (1.18)$$

Giả sử chúng ta chọn $C = 490\text{ pF}$, với giá trị tần số cần thiết là 10 kHz ta có thể chọn R_f như sau:

$$R_f = \frac{1}{2fC} = \frac{1}{2 \times 10^4 \times 490 \times 10^{-12}} \approx 100\text{ k}\Omega \quad (1.19)$$

Bây giờ, ta sẽ tính toán tốc độ trượt cần thiết để đáp ứng nhu cầu của mạch từ đó chọn op-amp sao cho hợp lý.

Tốc độ trượt cần thiết được tính bởi:

$$\text{Slew Rate} \geq 2\pi f V_{\text{peak}} \quad (1.20)$$

Với V_{peak} là biên độ điện áp đầu ra. Ta chọn $V_{\text{peak}} = V_{\text{sat}} = 5\text{ V}$, ta có:

$$\text{Slew Rate} \geq 2\pi \times 10^4 \times 5 \approx 0,31\text{ V}/\mu\text{s} \quad (1.21)$$

Chọn op-amp có tốc độ trượt lớn hơn giá trị này, ví dụ như TL081 với $\text{Slew Rate} = 13\text{ V}/\mu\text{s}$. Với Slew Rate này thì thời gian lên của sóng vuông khi tăng từ -5 V đến $+5\text{ V}$ sẽ được cho bởi:

$$\Delta t = \frac{10}{13} \approx 0,769\mu\text{s} \quad (1.22)$$

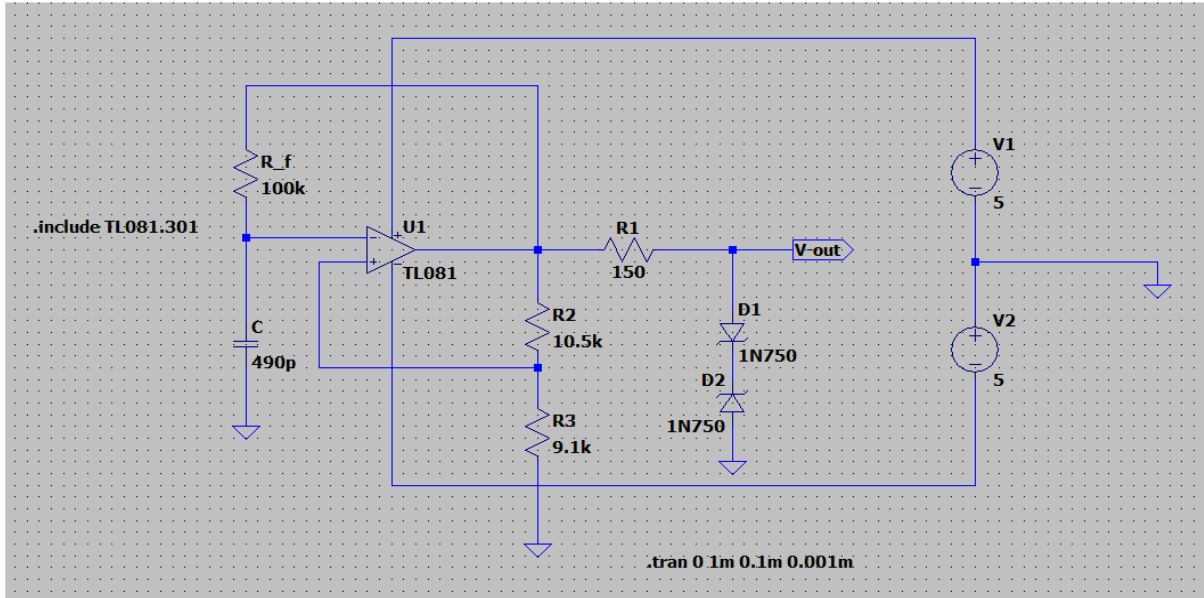
Với Δt như trên, thời gian của cạnh lên và cạnh xuống sẽ chiếm khoảng $1,538\%$ chu kỳ $100\mu\text{s}$ của tần số 10 kHz . Với giá trị này, mạch đảm bảo ít méo dạng ở sóng đầu ra.

Bước cuối cùng, ta cần phải chọn điện trở hạn dòng tại đầu ra và diode Zener. Với diode Zener ta sẽ chọn loại 1N750 có thông số $I_{z\text{max}} = 20\text{ mA}$, $V_z = 4,7\text{ V}$. Chọn dòng $I_{\text{limit}} = 0,1\%I_{z\text{max}} = 2\text{ mA}$. Khi đó điện trở hạn dòng sẽ được cho bởi:

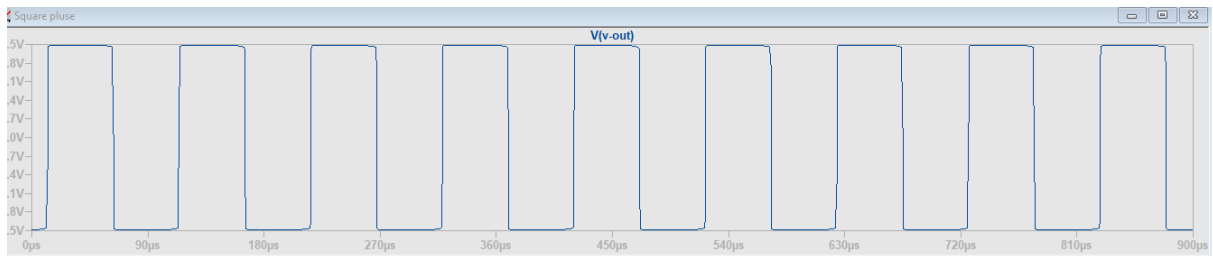
$$R_1 = \frac{V_{\text{sat}} - V_z}{I_{\text{limit}}} = \frac{5 - 4,7}{2 \times 10^{-3}} = 150\Omega \quad (1.23)$$

1.2.2 Mô phỏng

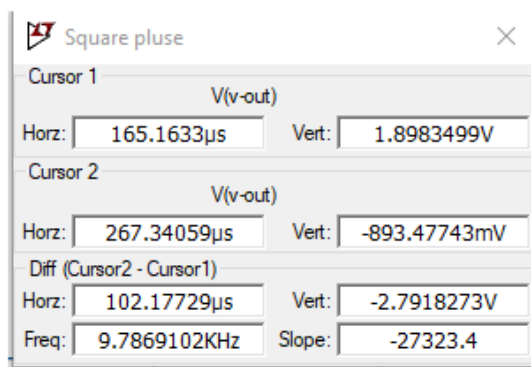
Trong phần báo cáo này, chúng tôi ưu tiên sử dụng phần mềm LTSPICE vì tính đơn giản và ứng dụng đo lường của nó. Với các giá trị linh kiện cụ thể đã tính toán ở phần trước, ta có:



Hình 1.5 Sơ đồ mạch mô phỏng



Hình 1.6 Đồ thị dạng sóng



Hình 1.7 Phân tích giá trị chu kỳ

Ta có thể thấy ở Hình 1.7 chu kỳ sóng đo được là $102,1772\mu s$. So với thiết kế $T = 100\mu s$ (vì $f = 10\text{ kHz}$) thì sai số chỉ rơi vào khoảng 2,1772%, giá trị như vậy có thể chấp nhận được. Trên thực tế, việc sai số như thế này có thể là do nhiều nguyên nhân. Tuy nhiên, do ta chỉ làm việc trên phần mềm mô phỏng LTSPICE chứ chưa xét đến tính thực tế của mạch nên ta có thể liệt kê vài trường hợp tiêu biểu như:

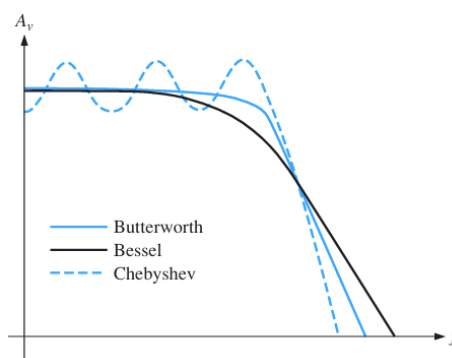
1. **Mô hình linh kiện chi tiết hơn trong mô phỏng:** LTSPICE sử dụng các mô hình linh kiện chi tiết bao gồm cả các tham số ký sinh và đặc tính phi tuyến, trong khi tính toán lý thuyết thường dựa trên mô hình lý tưởng hóa và bỏ qua các yếu tố này.
2. **Độ chính xác số học và phương pháp giải:** Phần mềm mô phỏng sử dụng các phương pháp số học để giải các phương trình vi phân, có thể dẫn đến sai số nhỏ so với kết quả lý thuyết.
3. **Thời gian trễ và đáp ứng tần số của linh kiện:** Mô phỏng có thể tính đến thời gian trễ và đáp ứng tần số thực tế của các linh kiện tích cực, trong khi tính toán lý thuyết thường giả định chúng là lý tưởng.
4. **Điều kiện biên và trạng thái ban đầu:** Trong mô phỏng, các điều kiện ban đầu và trạng thái quá độ có thể ảnh hưởng đến kết quả, trong khi tính toán lý thuyết thường giả định trạng thái ổn định.
5. **Giả định trong tính toán lý thuyết:** Tính toán lý thuyết thường dựa trên các giả định và xấp xỉ để đơn giản hóa, có thể không phản ánh đầy đủ hành vi thực tế của mạch.

CHƯƠNG 2. MẠCH LỌC THÔNG THẤP

Phần này trình bày cách tạo ngõ ra sóng Sin trong bộ tạo sóng. Sử dụng mạch tích phân opamp với đầu vào sóng vuông 10 kHz, đầu ra sóng Sin. Các phần được trình bày trong chương này gồm: **Khảo sát các đặc tính của mạch lọc, Tạo sóng tam giác 2 kHz và mô phỏng mạch.** Chương làm rõ các vấn đề đối với mạch tích phân sử dụng opamp và tạo được sóng tam giác 2 KHz ở ngõ ra. Nội dung cụ thể được trình bày bên dưới.

2.1 Đặc tính

Các đặc tính của mạch lọc gồm có Butterworth, Chebyshev, và Bessel (Hình 2.1).



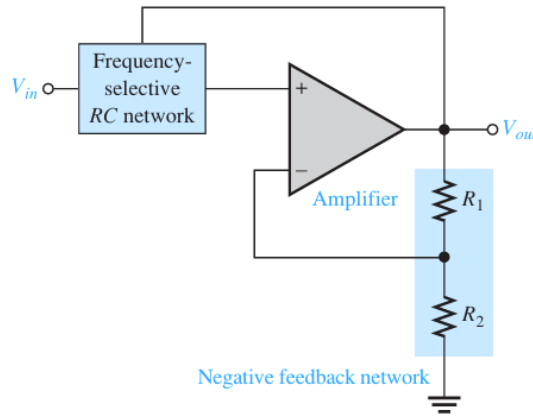
Hình 2.1 Các đặc tính của mạch lọc[1]

1. Đặc tính **Butterworth**: Cung cấp một đáp ứng biên độ rất phẳng trong dải thông và tốc độ suy giảm là $-20 \text{ dB/decade/bậc}$. Tuy nhiên, đáp ứng pha không tuyến tính và độ lệch về pha của tín hiệu thay đổi không tuyến tính theo tần số. Vì vậy, khi một sóng được đưa vào bộ lọc có đáp ứng Butterworth, sẽ xuất hiện hiện tượng quá đà (overshoot) ở đầu ra. Các mạch lọc có đáp ứng Butterworth thường được sử dụng khi tất cả các tần số trong băng thông cần có độ lợi như nhau.[1]
2. Đặc tính **Chebyshev**: Đáp ứng Chebyshev rất hữu ích khi cần tốc độ suy giảm (roll off rate) nhanh, vì chúng cung cấp một tốc độ suy giảm lớn hơn so với Butterworth. Đổi lại đặc tính này sẽ có hiện tượng quá đà hoặc gợn sóng trong dải thông và đáp ứng pha kém tuyến tính hơn so với Butterworth.
3. Đặc tính **Bessel**: Đáp ứng Bessel có đặc tính pha tuyến tính, hầu như không có hiện tượng quá đà ở đầu ra khi có tín hiệu xung đầu vào. Vì lý do này, các

bộ lọc có đáp ứng Bessel được sử dụng để lọc các dạng sóng xung mà không làm biến dạng hình dạng của sóng.

2.2 Hệ số giảm chấn (The Damping Factor)

Một bộ lọc tích cực có thể được thiết kế để có đặc tính đáp ứng Butterworth, Chebyshev hoặc Bessel. Hệ số giảm chấn (DF) của mạch lọc tích cực sẽ định đặc tính đáp ứng mà mạch lọc có. Hình 2.2 là 1 mạch lọc tích cực.



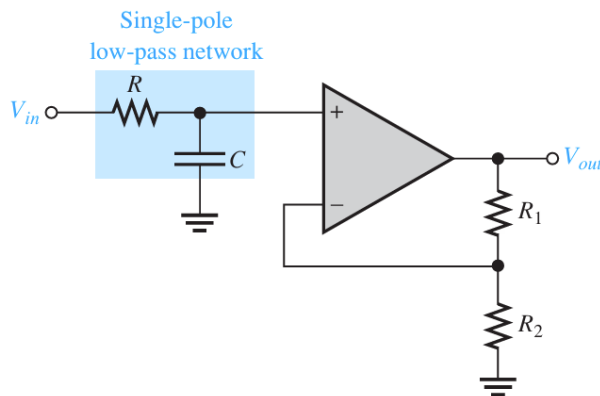
Hình 2.2 Mạch lọc tích cực[1]

Bộ khuếch đại và mạng hồi tiếp âm được kết nối vào đầu vào không đảo. Hệ số giảm chấn (DF) được xác định bằng phương trình sau:

$$DF = 2 - \frac{R_1}{R_2} \quad (2.24)$$

2.3 Tần số giới hạn và tốc độ suy giảm (Critical Frequency and Roll-Off Rates)

Tần số giới hạn: Được xác định bởi giá trị điện trở và tụ điện, minh họa như Hình 2.3

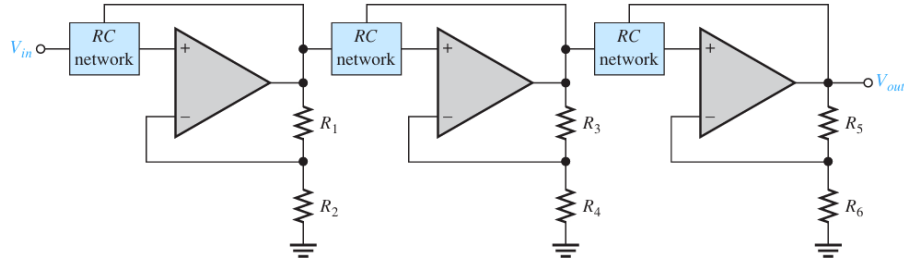


Hình 2.3 Mạch lọc thông thấp (1 tầng)[1]

Công thức tính tần số giới hạn:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.25)$$

Số lượng bậc quyết định tốc độ suy giảm của bộ lọc. Cách ghép nối các tầng có thể được thực hiện như Hình 2.4



Hình 2.4 Ghép tầng mạch lọc[1]

Butterworth tạo ra tốc độ suy giảm -20 dB/decade/bậc. Việc ghép nhiều mạch lọc sẽ tạo ra 1 bộ lọc có tốc độ suy giảm lớn hơn 20 dB/decade.

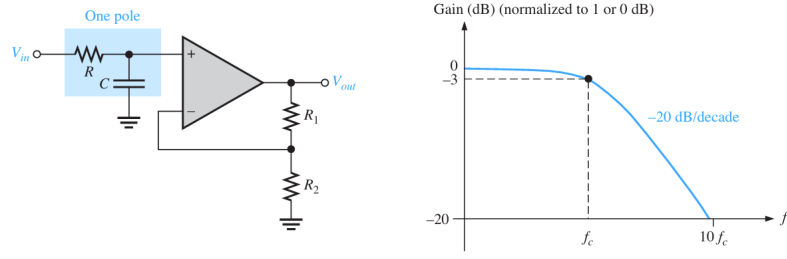
Bảng 2.1 bên dưới là danh sách giá trị các DF, roll-off rates, điện trở hồi tiếp âm để đáp ứng butterworth cho mạch lọc từ bậc 1 đến bậc 6.

Bảng 2.1 Các giá trị để mạch lọc có đáp ứng Butterworth[1]

ORDER	ROLL-OFF DB/DECADE	1ST STAGE			2ND STAGE			3RD STAGE		
		POLES	DF	R_1/R_2	POLES	DF	R_3/R_4	POLES	DF	R_5/R_6
1	-20	1	Optional							
2	-40	2	1.414	0.586						
3	-60	2	1.00	1	1	1.00	1			
4	-80	2	1.848	0.152	2	0.765	1.235			
5	-100	2	1.00	1	2	1.618	0.382	1	0.618	1.382
6	-120	2	1.932	0.068	2	1.414	0.586	2	0.518	1.482

2.4 Mạch lọc hoạt động thông thấp (Active low-pass filter)

Hình 2.5 bên dưới cho thấy một bộ lọc hoạt động thông thấp đơn tầng và đáp ứng tần số của nó, tần số giới hạn của mạch: $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$.



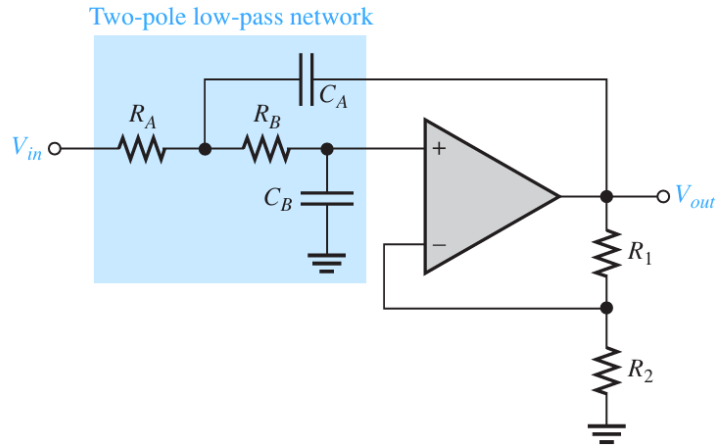
Hình 2.5 Mạch lọc hoạt động thông thấp 1 tầng[1]

Op-amp trong mạch được kết nối vào đầu vào không đảo, độ lợi vòng hở của mạch được biểu diễn theo công thức:

$$A_{cl} = \frac{R_1}{R_2} + 1 \quad (2.26)$$

Bộ lọc thông thấp Sallen-key

Thiết kế Sallen-key là một trong những thiết kế phổ biến nhất của mạch lọc bậc 2 (Hình 2.6). Đây là một mạch lọc RC bậc 2 thông thấp cung cấp tốc độ suy giảm -40 dB/decade (giả sử đặc tính Butterworth).



Hình 2.6 Mạch lọc thông thấp bậc 2 Sallen-Key[1]

Tần số tới hạn cho bộ lọc Sallen-Key bậc hai là:

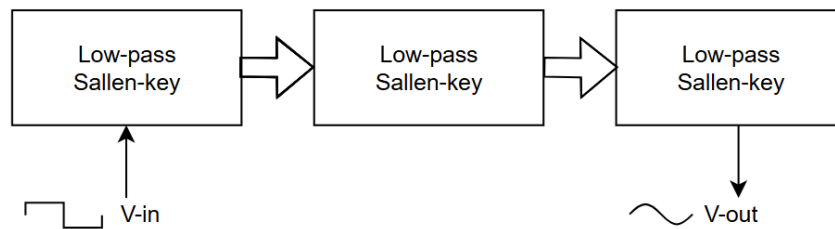
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_a R_b C_a C_b}} \quad (2.27)$$

Để đơn giản, các giá trị thành phần được chọn bằng nhau $R_1 = R_2 = R, C_1 = C_2 = C$, trong trường hợp này $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$.

Mỗi một mạch lọc Sallen-Key sẽ cho tốc độ suy giảm -40dB/decade (butterworth). Ta có thể ghép các tầng lọc như nhau để có tốc độ suy giảm 1 cách đáng kể hơn, đó là ý tưởng trình bày của phần sau.

2.5 Thiết kế mạch tạo sóng sin với bộ lọc thông thấp bậc 6

Để tạo được ngõ ra sóng sin ta có thể làm bằng cách lọc sóng vuông bằng bộ lọc thông thấp. Lọc tần số cao trong sóng vuông và chỉ để lại thành phần tần số cơ bản, vốn là một sóng sin. Một bộ lọc thông thấp với bậc 6 có khả năng lọc cực mạnh với tốc độ suy giảm đến 120 dB/decade, để đảm bảo mạch hoạt động với băng thông phẳng, đáp ứng butterworth là một lựa chọn hợp lý. Ý tưởng thiết kế được trình bày như sơ đồ khối bên dưới: Hình 2.7



Hình 2.7 Lưu đồ thiết kế mạch lọc thông thấp bậc 6

Các bước thiết kế

1. Lựa chọn op-amp

Yêu cầu tích phân sóng vuông đầu vào ta cần phải chọn lựa op-amp sử dụng một cách hợp lý. Ta sẽ lựa chọn opamp có tốc độ đáp ứng cao ở tần số chúng ta sử dụng, băng thông đủ rộng, chọn op-amp có offset thấp để giảm lỗi khi mạch thực hiện lọc, độ ổn định cao, độ nhiễu thấp và phải có nguồn cấp đối xứng để có dải hoạt động rộng.

Với những yêu cầu trên các op-amp có thể sử dụng như: OP27, TL081, Ở đây chúng tôi sử dụng TL081 để có độ chính xác cao cũng như đảm bảo yêu cầu thiết kế.

2. Đầu tiên ta sẽ thiết kế một mạch lọc Sallen-key (như Hình 2.6) có khả năng cho đáp ứng butterworth. Sau đó ghép 3 mạch lại sẽ được một mạch lọc thông thấp bậc 6, điều kiện để mạch lọc thông thấp Sallen-key cho đáp ứng butterworth ở Bảng 2.1. Ta có thể thấy đối với mạch lọc bậc 6 ghép từ ba mạch thông thấp sallen-key sẽ có tốc độ suy giảm 120dB/decade như chúng ta mong đợi, với $f_{in} = 10$ kHz. Ta sẽ tính toán cho tần số giới hạn của mạch nhỏ hơn tần số đầu vào một chút để mạch lọc các hài bậc cao của sóng vuông nhưng vẫn giữ lại các thành phần cơ bản.

Ta phải chọn sao cho tần số giới hạn của các tầng mạch lọc là như nhau. Để có một bộ lọc tốt ở tần số đầu vào 10 kHz, chọn tần số giới hạn bằng khoảng

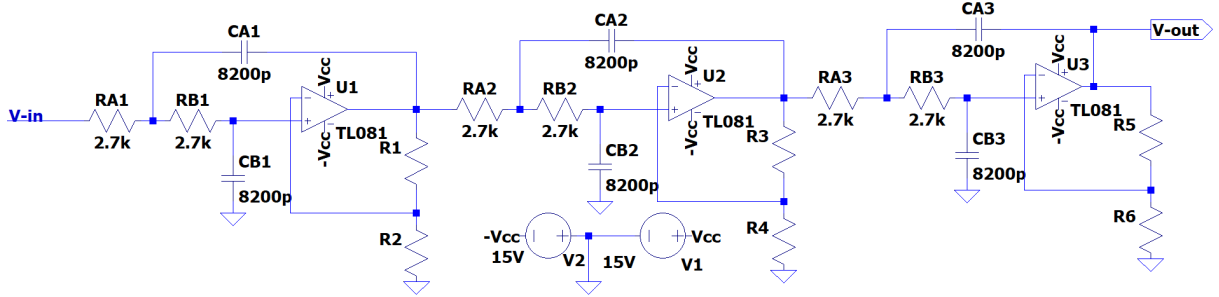
0.7 đến 0.8 lần f_{in} , tức khoảng 7 kHz đến 8 kHz. Chọn $R = 2.7k\Omega$, $C = 8200pF$.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 2.7(k\Omega) \times 8200(pF)} = 7,1(kHz) \quad (2.28)$$

Để đơn giản hoá ta sẽ chọn tất cả các điện trở

$$R_{A1} = R_{A2} = R_{A3} = R_{B1} = R_{B2} = R_{B3} = R = 2.7k\Omega$$

$$C_{A1} = C_{A2} = C_{A3} = C_{B1} = C_{B2} = C_{B3} = C = 8200pF \text{ (Hình 2.8)}$$

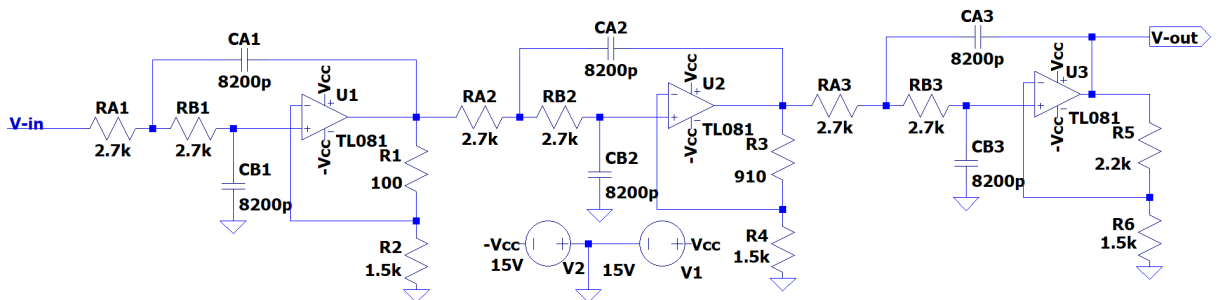


Hình 2.8 Các trở và tụ của mạch lọc

3. Tính toán các điện trở hồi tiếp để có đáp ứng Butterworth. Như chúng ta đã biết để mạch lọc có đáp ứng butterworth, ta cần điều chỉnh hệ số giảm chấn bằng cách điều chỉnh các điện trở hồi tiếp âm (Bảng 2.1).

- Chọn điện trở nối đất $R_2 = R_4 = R_6 = 1.5k\Omega$.
- Ở tầng thứ nhất:
 $R_1/R_2 = 0.068 \Rightarrow R_1 = 0.068 \times R_2 = 0.068 \times 1.5(k\Omega) = 102(\Omega)$
 Chọn điện trở $R_1 = 100(\Omega)$
- Ở tầng thứ hai: $R_3/R_4 = 0.586 \Rightarrow R_3 = 0.586 \times R_4 = 0.586 \times 1.5(k\Omega) = 879(\Omega)$
 Chọn điện trở $R_3 = 910(\Omega)$
- Ở tầng thứ ba: $R_5/R_6 = 1.482 \Rightarrow R_5 = 1.482 \times R_6 = 1.482 \times 1.5(k\Omega) = 2223(\Omega)$
 Chọn điện trở $R_5 = 2.2(k\Omega)$

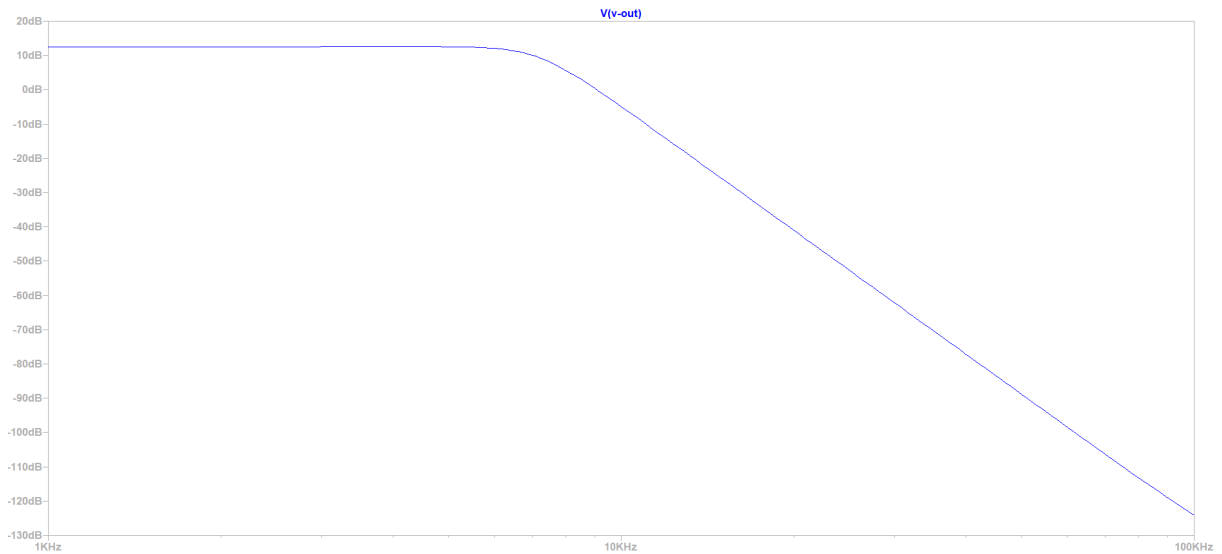
4. Sơ đồ mạch:



Hình 2.9 Sơ đồ mạch lọc thông thấp bậc 6 hoàn chỉnh

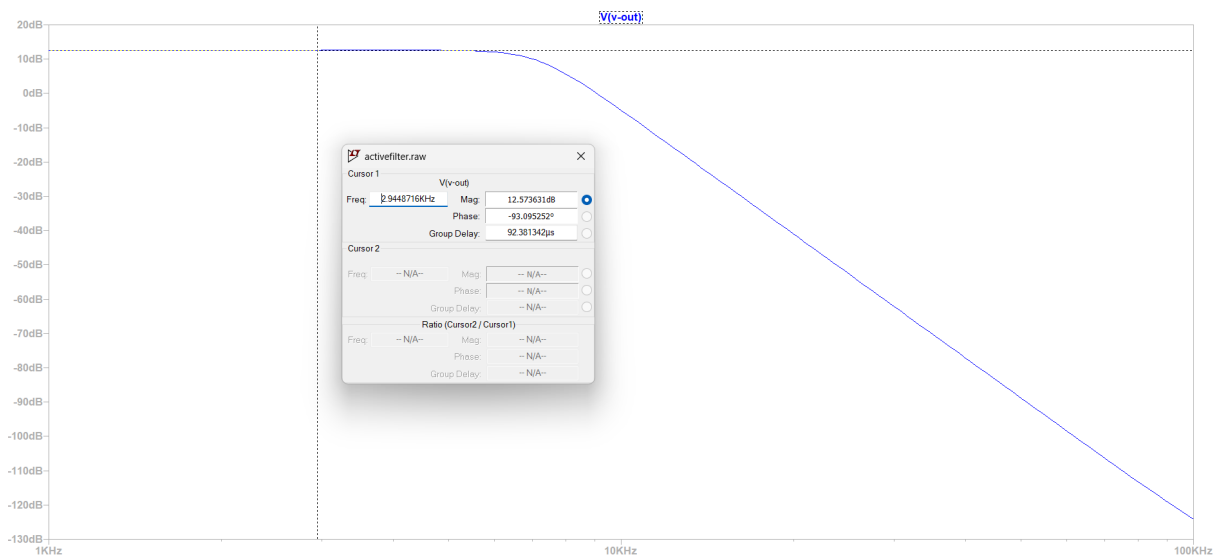
5. Mô phỏng:

Cấp nguồn V_{in} là sóng vuông 10 kHz từ bộ dao động ở chương 1 ta sẽ có dạng sóng ngõ ra sin 10 kHz. Dạng sóng ngõ ra thu được Hình 2.13

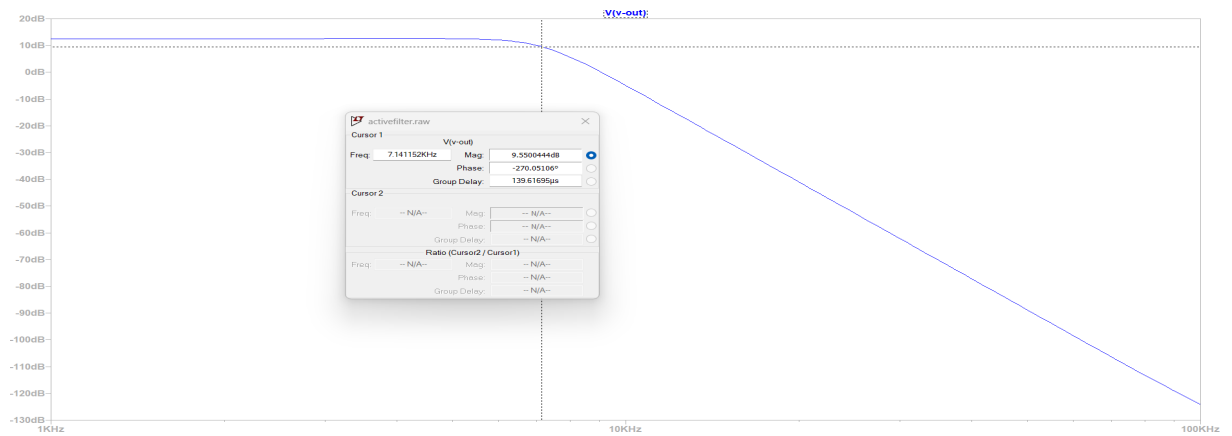


Hình 2.10 Đáp ứng tần số của mạch lọc thông thấp bậc 6

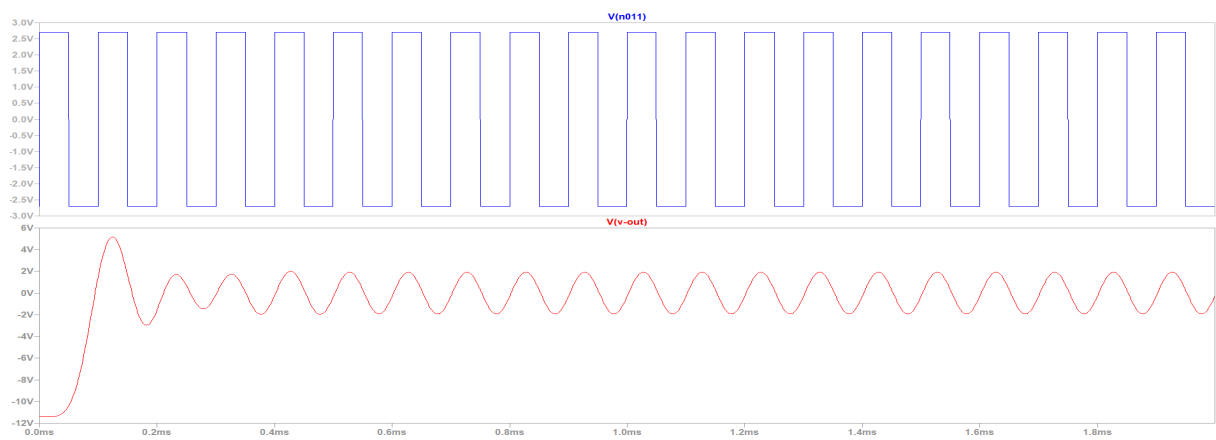
Độ lợi của mạch khoảng 12.5 dB



Hình 2.11 Độ lợi mạch lọc



Hình 2.12 Tần số giới hạn của mạch lọc



Hình 2.13 Dạng sóng ngõ ra mạch lọc thông thấp bậc 6

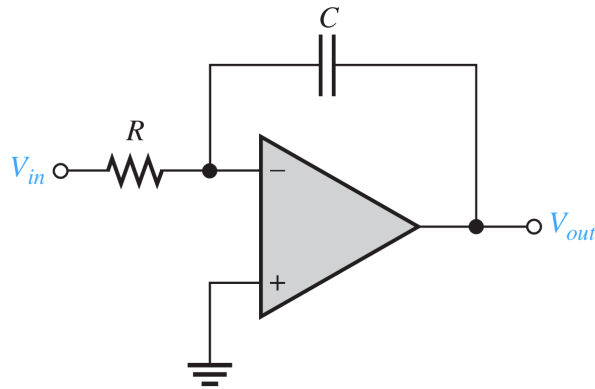
Như vậy ta đã hoàn thành việc tạo ngõ ra sóng sin 10 kHz với mạch lọc thông thấp bậc 6 (TL081).

CHƯƠNG 3. MẠCH TÍCH PHÂN SỬ DỤNG OP-AMP

Phần này trình bày cách tạo ngõ ra sóng tam giác 2 KHz trong bộ tạo sóng. Sử dụng mạch tích phân op-amp với đầu vào sóng vuông 2 KHz, hệ quả đầu ra sóng tam giác 2 KHz. Các phần được trình bày trong chương này gồm: **Mạch tích phân sử dụng op-amp, Mạch tích phân sử dụng trong thực tế, Tạo sóng tam giác 2 KHz và mô phỏng mạch.** Chương làm rõ các vấn đề đối với mạch tích phân sử dụng op-amp và tạo được sóng tam giác 2 KHz ở ngõ ra. Nội dung cụ thể được trình bày bên dưới.

3.1 Mạch tích phân sử dụng op-amp

Mạch tích phân lý tưởng được trình bày ở Hình 3.1 với tụ điện là linh kiện hồi tiếp, tạo thành một mạch RC có đầu vào là điện trở R.

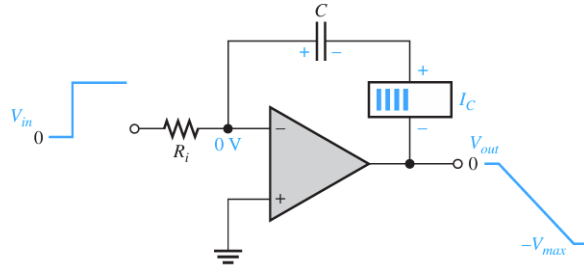


Hình 3.1 Mạch tích phân lý tưởng[1]

Mạch tích phân lý tưởng hoạt động như sau: Khi có dòng điện chạy qua điện trở R sẽ được tích phân trên tụ điện C, điện áp đầu ra V_{out} chính là điện áp của tụ điện C.

3.1.1 Ramp generator

Khi đầu vào là một điện áp không đổi V_{in} điện áp đầu ra giảm dần theo chiều âm tạo thành dốc xuống. Trình bày ở Hình 3.2.



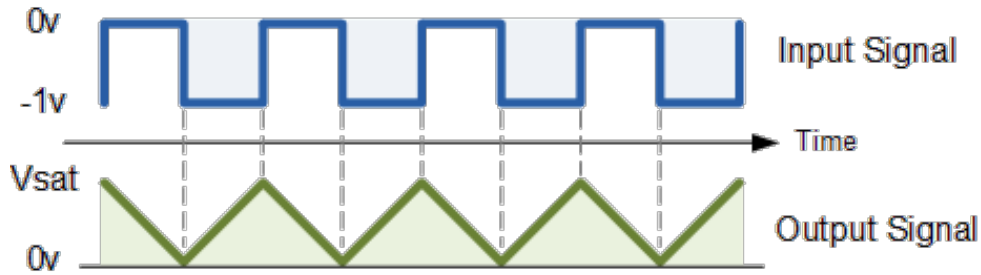
Hình 3.2 Mạch Ramp Generator[1]

Sau khoảng thời gian T , điện áp tụ điện đầu ra được mô tả bởi phương trình:

$$V_o = -\frac{1}{C} \int_0^T \frac{V_{in}}{R} dt \quad (3.29)$$

Điện áp của sóng dốc (ramp voltage) tại bất kỳ thời điểm T được xác định bởi phương trình sau:

$$V_o = -\frac{1}{C} \times \frac{V_{in}}{R} \times T \quad (3.30)$$



Hình 3.3 Tín hiệu của mạch Ramp generator[2]

Ta có thể tính được tốc độ thay đổi (độ dốc) của điện áp đầu ra như sau:

$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t} = -\frac{V_{sat}}{RC} \quad (3.31)$$

3.2 Mạch tích phân sử dụng trong thực tế

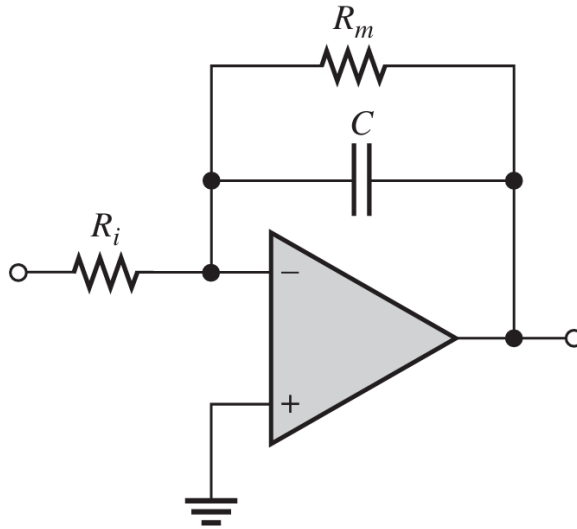
3.2.1 Vấn đề gặp phải ở mạch tích phân lý tưởng

Mạch tích phân lý tưởng trong Hình 3.1 hoạt động tốt trong lý thuyết nhưng gặp vấn đề trong thực tế. Do độ lệch điện áp DC đầu vào làm điện áp đầu ra bị bão hòa (saturation).

Nguyên nhân bởi vì tụ điện hoạt động như một điện trở gần như vô hạn đối với điện áp DC, dẫn đến hệ số khuếch đại DC của op-amp rất cao, ngay cả khi tín hiệu đầu vào không có thành phần DC, dòng bù đầu vào (input offset current) của op-amp vẫn có thể gây ra điện áp lệch đầu ra (output offset voltage), làm điện áp đầu ra tăng dần đến mức bão hòa.

3.2.2 Giải Pháp

Để khắc phục vấn đề trên, ta thêm một điện trở lớn R_m song song với tụ điện, cụ thể mạch ở Hình 3.4



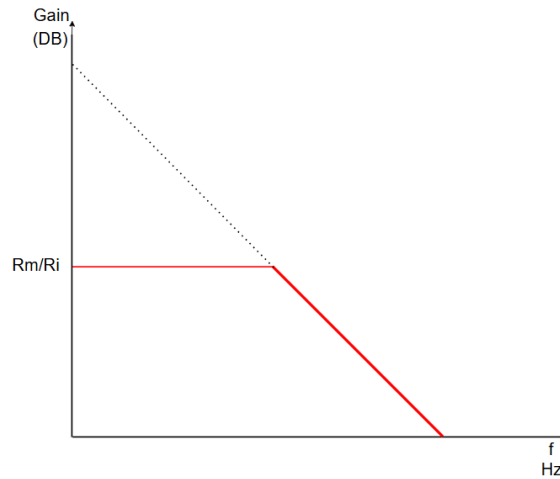
Hình 3.4 Mạch tích phân Miller[1]

Cách hoạt động

- **Tại tần số cao:** Điện trở song song ảnh hưởng rất nhỏ vì tụ điện chủ yếu quyết định đáp ứng tần số của mạch
- **Tại tần số thấp:** Điện trở R_m cung cấp một đường dẫn cho tụ điện xả điện, ngăn tích tụ điện áp DC và giảm hệ số khuếch đại DC của mạch tích phân. Điều này ngăn điện áp đầu ra đạt đến mức bão hòa.

Công dụng

- Ngăn bão hòa đầu ra do độ lệch DC.
- Giữ cho mạch ổn định và duy trì hoạt động tích phân chính xác ở dải tần thấp lẫn cao.



Hình 3.5 Đáp ứng tần số với mạch tích phân Miller (lý tưởng)

Ta có các công thức như sau:

- Hệ số khuếch đại DC (DC voltage gain):

$$Av_o = -\frac{R_m}{R_i} \quad (3.32)$$

- Hệ số khuếch đại AC (AC voltage gain):

$$Av = -\frac{R_m}{R_i} \times \frac{1}{1 + 2\pi f R_m C} \quad (3.33)$$

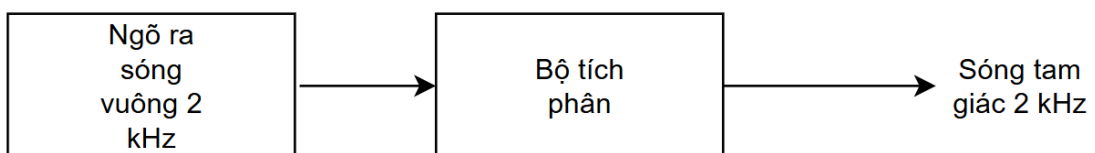
- Tần số cắt (Frequency corner):

$$f_c = \frac{1}{2\pi C R_m} \quad (3.34)$$

Từ những hệ quả ở trên ta có thể thiết kế bộ tạo sóng tam giác bằng mạch tích phân với tần số ngõ ra 2 KHz như yêu cầu.

3.3 Thiết kế mạch tạo sóng tam giác với bộ tích phân Miller

Thoạt tiên, ta hãy lập lưu đồ mô tả quá trình hoạt động của các mạch:



Hình 3.6 Lưu đồ mô tả quá trình hoạt động của mạch tạo sóng 2 kHz

3.3.1 Bộ tích phân

Như đã nói ở trên chúng ta sẽ không sử dụng mạch tích phân lý tưởng (Hình 3.1) mà sẽ sử dụng mạch tích phân Miller (Hình 3.4) và sử dụng các công thức 3.32, 3.33 và 3.34 thực hiện các tính toán. Yêu cầu của đề án không đề cập đến biên độ sóng ngõ ra nên chúng ta sẽ không quan tâm nhiều đến khả năng khuếch đại của bộ tích phân, tính toán tần số cắt f_c dựa vào công thức 3.34.

Các bước thiết kế

1. Lựa chọn op-amp

Yêu cầu tích phân sóng vuông đầu vào ta cần phải chọn lựa op-amp sử dụng một cách hợp lý. Ta sẽ lựa chọn opamp có tốc độ đáp ứng cao, băng thông đủ rộng, độ lệch điện áp bù thấp để giảm lỗi khi mạch thực hiện tích phân, độ ổn định cao, độ nhiễu thấp và phải có nguồn cấp đối xứng để có dải hoạt động rộng.

Với những yêu cầu trên các op-amp có thể sử dụng như: OP07, OP27, TL081, Ở đây chúng tôi sử dụng OP07 để có độ chính xác cao cũng như đảm bảo yêu cầu thiết kế.

2. Chọn điện trở nối đất ở đầu vào không đảo: Trong các thiết kế thực tế, việc chọn điện trở lớn ở đầu vào không đảo là cần thiết, nó giúp tránh ảnh hưởng từ dòng phân cực đầu vào. Chọn $R = 1\text{ M}\Omega$.

3. Tần số cắt: Để mạch tích phân hoạt động ổn định ta cần thiết kế mạch có tần số cắt nhỏ hơn khoảng 10 lần tần số ngõ vào.

$$f_c \approx \frac{f_{in}}{10} = \frac{2kHz}{10} = 200Hz \quad (3.35)$$

Việc chọn f_c nhỏ hơn f_{in} có những tác dụng sau đây:

- Đảm bảo khả năng tích phân: Để thực hiện điều này, mạch cần phải lọc bớt các thành phần tần số cao. Khi f_c nhỏ hơn f_{in} , mạch lọc sẽ suy giảm biên độ của tín hiệu đầu vào đủ để thực hiện chức năng tích phân thay vì chỉ đơn thuần truyền qua tín hiệu đầu vào.
- Giảm nhiễu và méo dạng sóng: Đặt f_c nhỏ hơn giúp mạch tích phân loại bỏ các thành phần tần số cao không mong muốn, làm mịn tín hiệu đầu ra và giúp nó gần với dạng tích phân lý tưởng, tránh hiện tượng méo hoặc mất ổn định trong các ứng dụng có tần số cao.

Dựa vào công thức 3.34 có thể chọn $R_f = 100\text{ k}\Omega$, $C_f = 8200\text{ pF}$.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi 100k\Omega \times 8200pF} \approx 200Hz \quad (3.36)$$

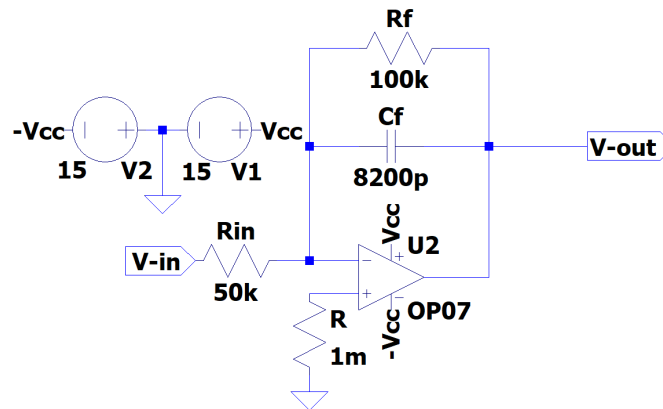
4. Tính toán biên độ sóng ngõ ra: cụ thể ta có thể suy ra từ công thức 3.31:

$$V_{\text{out}} = -\frac{1}{R_{\text{in}} \times C_f} \int_0^T V_{\text{in}}(t) dt \quad (3.37)$$

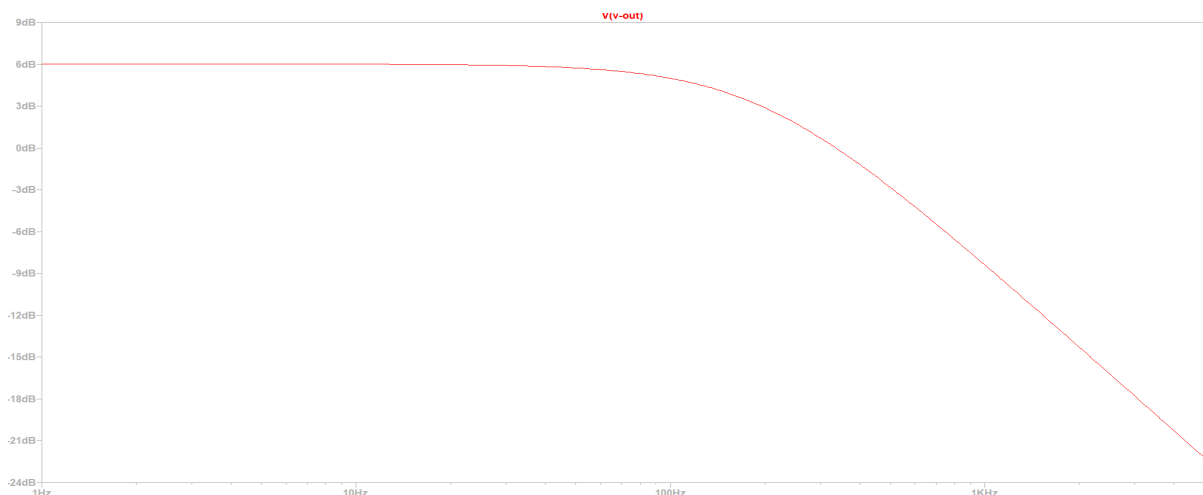
Ở đây không yêu cầu cụ thể về biên độ sóng tam giác ở ngõ ra vì vậy mục này không chọn cụ thể giá trị của R_1 mà giá trị của R_1 sẽ được trình bày ở phần sau, giá trị mô phỏng ví dụ bên dưới: $R_{\text{in}} = 50 \text{ k}\Omega$.

5. Mô phỏng

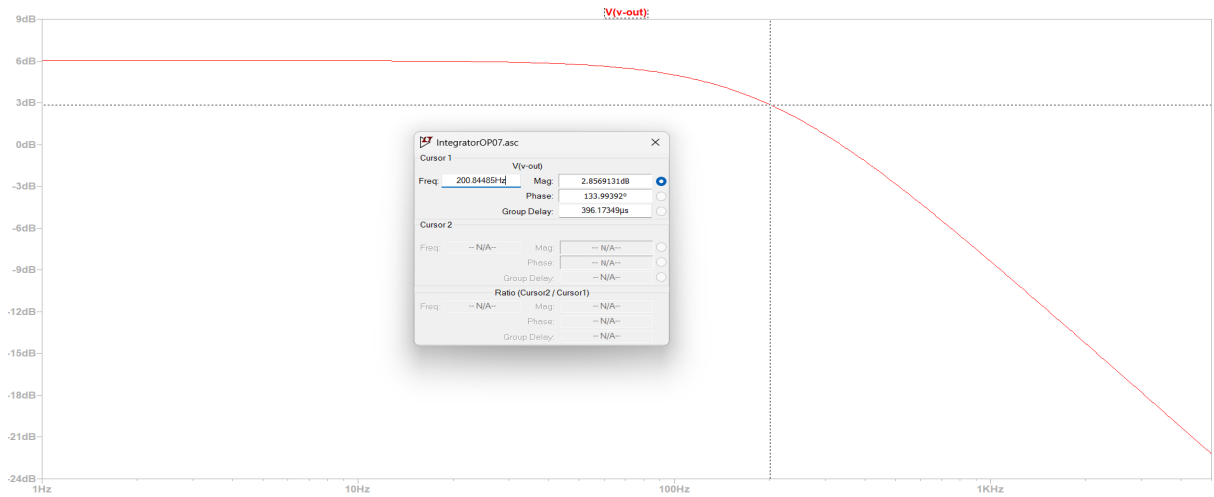
Sơ đồ mạch tích phân được trình bày như Hình 3.7, sóng vuông 2 kHz sẽ được đưa vào ngõ vào đảo của op-amp, op-amp được sử dụng là OP07, nguồn cấp đối xứng 15V, được mô phỏng trên phần mềm LTspice.



Hình 3.7 Mô phỏng mạch tích phân ($f_{\text{in}} = 2 \text{ kHz}$)

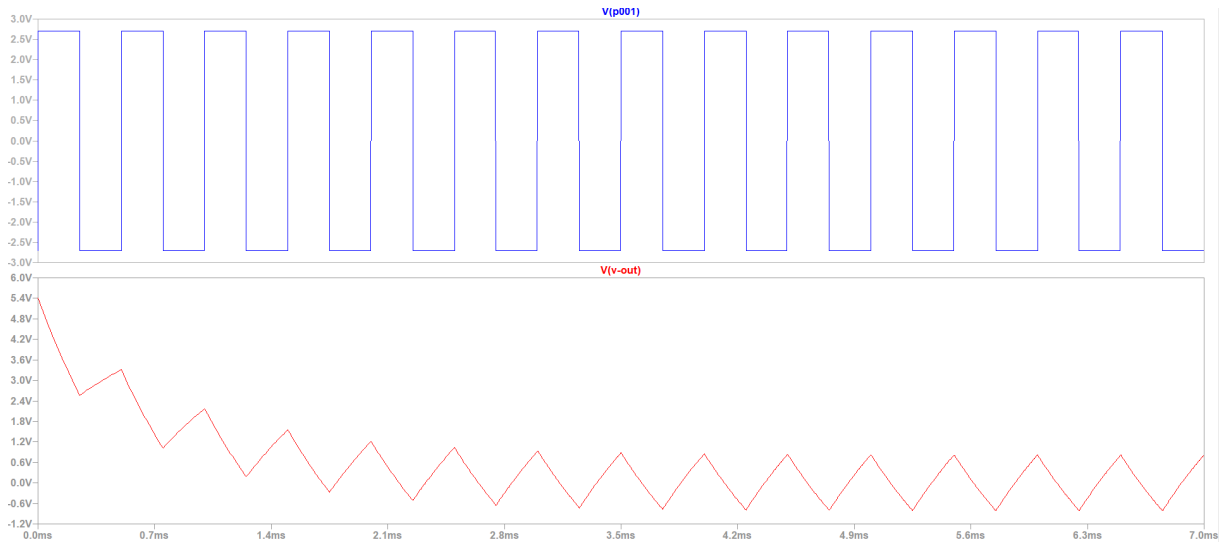


Hình 3.8 Đáp ứng tần số mạch tích phân



Hình 3.9 Tần số cắt của mạch tích phân

Dạng sóng ngõ ra thu được với V_o màu đỏ, mẫu sóng vuông $f_{in} = 2kHz$

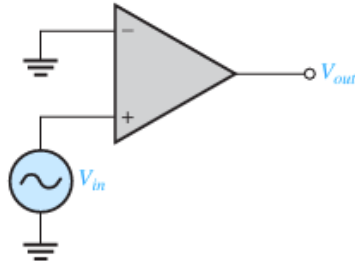


Hình 3.10 Dạng sóng ngõ ra mạch tích phân

3.3.2 Tạo ngõ ra sóng vuông 2 kHz

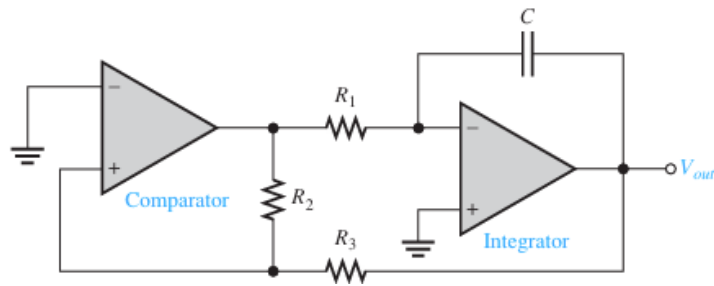
Phần này trình bày cách tạo ra sóng vuông 2 kHz, khi kết hợp với bộ tích phân, ta sẽ tạo được một mạch tạo sóng tam giác 2 kHz hoàn chỉnh.

Như đã trình bày bên trên ta đã biết được dạng sóng ngõ ra của mạch tích phân phụ thuộc vào chu kỳ nạp xả của tụ C, nếu như ta lợi dụng đặc điểm này cụ thể sử dụng mạch so sánh op-amp có thể tạo được sóng vuông, có đầu vào chính là đầu ra của mạch tích phân Hình 3.11.



Hình 3.11 Mạch so sánh sử dụng opamp[1]

Ta sẽ nối đất đầu vào đảo, đầu vào không đảo sẽ nối với đầu ra của mạch tích phân: Hình 3.12



Hình 3.12 Bộ tạo sóng tam giác

Nguyên lý hoạt động:

- Với mạch so sánh: Điện áp ngõ vào không đảo được so sánh với 0V.

$$V^+ > 0 \Rightarrow V_{out} = +V_{SAT}; V^+ < 0 \Rightarrow V_{out} = -V_{SAT}.$$

Điện áp ngõ vào không đảo: (V_o là điện áp ngõ ra mạch so sánh)

$$V^+ = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \times V_{out} + \frac{R_3}{R_2 + R_3} \times V_o$$

Giả sử trạng thái hiện tại của mạch so sánh: $V_o = -V_{SAT}$.

Để đầu ra mạch so sánh chuyển trạng thái: $V^+ > 0 \Rightarrow V_o = +V_{SAT}$

$$\Leftrightarrow \frac{R_2}{R_2 + R_3} \times V_{out} > -\frac{R_3}{R_2 + R_3} \times -V_{SAT}$$

$$\Leftrightarrow V_{out} > -\frac{R_3}{R_2} \times -V_{SAT} = \frac{R_3}{R_2} \times V_{SAT}$$

$$\Rightarrow V_{UTP} = \frac{R_3}{R_2} \times V_{SAT}.$$

Với giả sử ngược lại như trên:

$$\Rightarrow V_{LTP} = -\frac{R_3}{R_2} \times V_{SAT}$$

- Với mạch tích phân: Điện áp ngõ ra V_{out} là điện áp tụ điện C.

Ban đầu khi tụ chưa được nạp điện, $V_{out} = V_{LTP}$ lúc này $V^+ = \frac{R_2}{R_2+R_3} \times V_{out} = \frac{R_2}{R_2+R_3} \times V_{LTP} < 0$, V_o sẽ nhanh chóng chuyển đến $-V_{SAT}$ khi đó tụ C được nạp điện, điện áp đầu ra mạch tích phân sẽ ngược pha so với đầu vào của mạch, khi điện áp tụ đạt đến V_{UTP} , mạch so sánh sẽ nhanh chóng đổi trạng thái sang $-V_{SAT}$. Chu kì này diễn ra liên tục, từ đó ngõ ra của mạch sẽ liên tục tạo sóng tam giác.

Chương 1 đã trình bày rõ về cơ chế nạp xả của tụ để tạo sóng vuông. Tiêu chí chọn op-amp cũng như mạch dao động đã trình bày ở trên, ta sử dụng TL081.

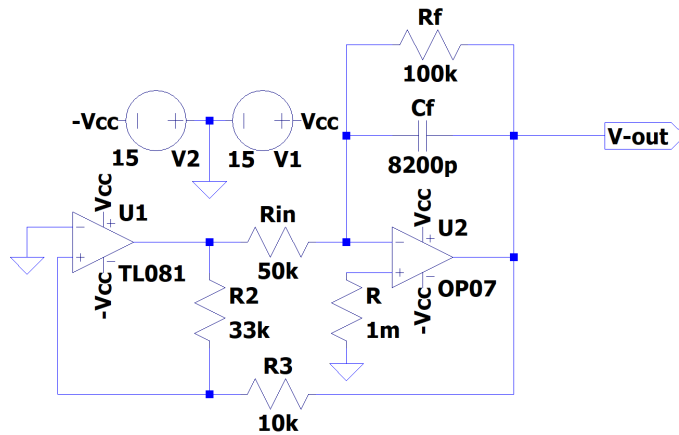
Các điện trở R_2, R_3 giúp điều chỉnh hiệu quả hồi tiếp, từ đó ta có thể điều chỉnh tần số của sóng tại ngõ ra mạch so sánh theo công thức:

$$f = \frac{1}{4R_1C} \left(\frac{R_2}{R_3} \right) \quad (3.38)$$

Để có tần số 2 kHz ta sẽ tính chỉnh các điện trở R_1, R_2, R_3 . Chọn $R_2 = 33k\Omega$, $R_3 = 10k\Omega$. Thay vào phương trình 3.38:

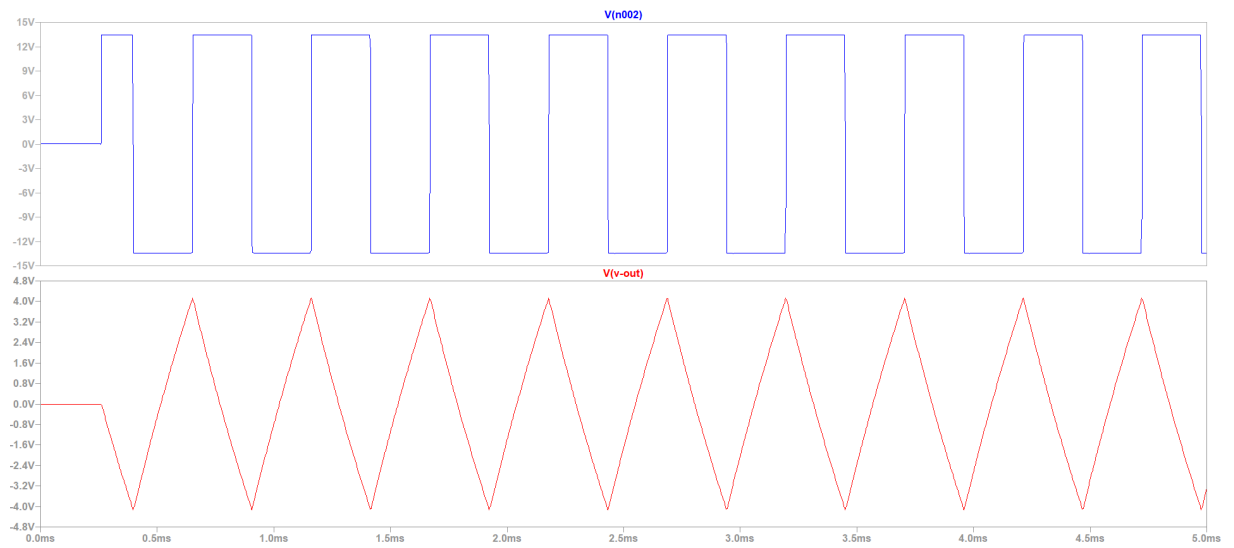
$$2(kHz) = \frac{1}{4R_1 8200(pF)} \left(\frac{33(k\Omega)}{10(k\Omega)} \right) \Rightarrow R_1 = \frac{1}{4 \times 2(kHz) 8200(pF)} \left(\frac{33(k\Omega)}{10(k\Omega)} \right) \approx 50.3k\Omega \quad (3.39)$$

Chọn $R_1 = 50k\Omega$, sơ đồ mạch như Hình 3.13



Hình 3.13 Sơ đồ mạch tạo sóng tam giác $f = 2 \text{ kHz}$

Ta thu được dạng sóng ngõ ra mạch của mạch so sánh và của bộ tích phân.



Hình 3.14 Dạng sóng ngõ ra thu được

Như vậy ta đã hoàn thành việc tạo ngõ ra sóng tam giác 2 kHz sử dụng bộ tích phân op-amp .

KẾT LUẬN

Đồ án đã chỉ ra, làm rõ quá trình hoạt động của mạch tích thoát sóng vuông 10 kHz và đánh giá khả năng làm mạch thực tiễn và ứng dụng của mạch ở Chương 1, các mạch lọc thông thấp đặc biệt là các đặc tính lọc, bộ lọc Sallen-Key, cùng các công thức tính toán ở Chương 2, các mạch đi cùng những công thức tính toán và mô phỏng mạch đối với mạch tích phân sử dụng op-amp ở Chương 3.

Kết luận chung

Đồ án đã giải quyết được các vấn đề như sau: ở Chương 1 Mạch dao động tích thoát sử dụng op-amp đã được thiết kế để tạo ra sóng vuông với tần số 10 kHz. Việc lựa chọn linh kiện và op-amp phù hợp đảm bảo mạch hoạt động ổn định và đáp ứng yêu cầu thiết kế, ở Chương 2 đã thiết kế mạch lọc thông thấp bậc 6, làm rõ và áp dụng mạch lọc Sallen-Key cho mục đích lọc sóng vuông, ở Chương 3 đã thiết kế mạch tích phân tạo được dạng sóng ngõ ra tam giác 2 kHz, ngoài ra chương 3 còn làm rõ, chỉ ra các mạch tích phân lý tưởng, mạch tích phân Miller và các công thức tính.

Kết quả thu được đã đảm bảo được 85% so với mục tiêu đề ra. Cụ thể ở Chương 1 chưa thực sự tính toán chính xác các sai số của mạch dao động tích thoát, ở Chương 2 chưa làm rõ về biên độ đầu ra của sóng sin, chưa khảo sát về sự trễ pha của mạch, các thành phần sử dụng còn mang tính chất ước lượng không thể đạt được sự ổn định cho sóng từ ban đầu, ở Chương 3 chưa làm rõ về biên độ đầu ra của sóng tam giác 2 kHz, các hệ số khuếch đại A_v và các chỉ số khác, các tính toán đều là lý thuyết chưa khảo sát đúng hoàn toàn so với thực tế thực hiện mạch, các giả định xấp xỉ chưa thể phản ánh đầy đủ hành vi của mạch mà chỉ để đơn giản hóa.

Hướng phát triển

- Với Chương 1 mạch dao động tích thoát sóng vuông vẫn có các sai số, do nhiều và nhiều nguyên nhân khác, các trường hợp khắc phục nhiều chưa sát với thực tế và chỉ áp dụng đối với mô phỏng. Vì vậy để đạt được độ chính xác như ý muốn cần phải hạ thấp sai số, giảm nhiễu trong mạch gây ra.
- Với Chương 2 ta có thể tính toán ngõ ra có biên độ theo ý muốn, điều chỉnh cho mạch có khả năng lọc tốt hơn bằng cách sử dụng các trở chính xác đáp ứng đặc tính Butterworth.
- Với Chương 3 ta có thể tính toán ngõ ra có biên độ theo ý muốn, điều chỉnh

mạch nếu như ngõ vào mạch tích phân là sóng vuông có chu kì T_{on} không bằng T_{off} .

Các mạch sử dụng op-amp này không chỉ đơn thuần là một dự án học tập mà còn có nhiều ứng dụng thực tiễn trong các hệ thống điện tử và viễn thông. Khả năng tạo ra sóng chính xác với tần số ổn định là yếu tố quan trọng trong việc điều khiển tín hiệu kỹ thuật số, tạo xung nhịp cho vi xử lý và trong các ứng dụng tạo sóng điều chế. Để áp dụng trong các ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao hoặc tần số cao hơn, cần lựa chọn các linh kiện chất lượng cao và có thông số kỹ thuật phù hợp, chẳng hạn như op-amp với tốc độ trượt (*slew rate*) và dải tần đáp ứng rộng hơn. Bên cạnh đó, việc bảo vệ mạch khỏi các yếu tố nhiễu và đảm bảo ổn định nguồn cung cấp điện cũng là những yếu tố cần được quan tâm để mạch hoạt động hiệu quả trong môi trường thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. L. Floyd and T. Boydell, *Analog Fundamentals: A Systems Approach*. Pearson Ed, 2013.
- [2] P. Tapashetti, A. Gupta, C. Mithlesh, and A. Umesh, “Design and simulation of op amp integrator and its applications,” *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 1, no. 3, pp. 12–19, 2012.

Phụ lục

```
TL081.301
* TL081 OPERATIONAL AMPLIFIER "MACROMODEL" SUBCIRCUIT
* CREATED USING PARTS RELEASE 4.01 ON 06/16/89 AT 13:08
* (REV N/A) SUPPLY VOLTAGE: +/-15V
* CONNECTIONS: NON-INVERTING INPUT
* | INVERTING INPUT
* | | POSITIVE POWER SUPPLY
* | | | NEGATIVE POWER SUPPLY
* | | | | OUTPUT
* | | | | |
.SUBCKT TL081 1 2 3 4 5
*
C1 11 12 3.498E-12
C2 6 7 15.00E-12
DC 5 53 DX
DE 54 5 DX
DLP 90 91 DX
DLN 92 90 DX
DP 4 3 DX
EGND 99 0 POLY(2) (3,0) (4,0) 0 .5 .5
FB 7 99 POLY(5) VB VC VE VLP VLN 0 4.715E6 -5E6
5E6 5E6 -5E6
GA 6 0 11 12 282.8E-6
GCM 0 6 10 99 8.942E-9
ISS 3 10 DC 195.0E-6
HLIM 90 0 VLIM 1K
J1 11 2 10 JX
J2 12 1 10 JX
R2 6 9 100.0E3
RD1 4 11 3.536E3
RD2 4 12 3.536E3
R01 8 5 150
R02 7 99 150
RP 3 4 2.143E3
RSS 10 99 1.026E6
```



```
VB 9 0 DC 0
VC 3 53 DC 2.200
VE 54 4 DC 2.200
VLIM 7 8 DC 0
VLP 91 0 DC 25
VLN 0 92 DC 25
.MODEL DX D(IS=800.0E-18)
.MODEL JX PJF(IS=15.00E-12 BETA=270.1E-6 VT0=-1)
.ENDS
```