

Bài báo cáo:

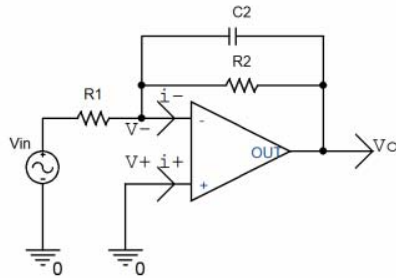
CÁC MẠCH LỌC TÍCH CỰC DÙNG OP-AMP CÁC MẠCH TẠO TÍN HIỆU DÙNG OP-AMP

Sv: Bùi Trung Hiếu, Mssv: 40200776

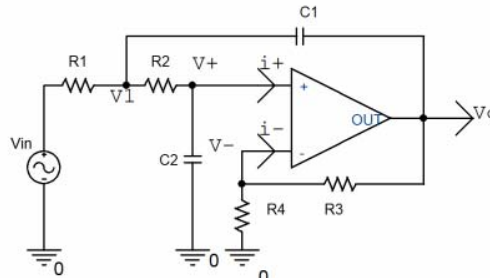
Lớp: DD02KSTN

I. Mạch lọc thông thấp:

Sơ đồ mạch:



Mạch lọc bậc 1



Mạch lọc bậc 2-Sallen-Key

Mạch lọc thông thấp dùng OP-AMP

1/ Mạch lọc thông thấp

bậc 1:

Thực hiện như sơ đồ hình đầu tiên, ta có:

$$H(s) = \frac{v_o}{v_{in}} = H_o \frac{\omega_o}{s + \omega_o},$$

$$H_o = -\frac{R_2}{R_1}, \quad \omega_o = \frac{1}{R_2 C}$$

Với các giá trị

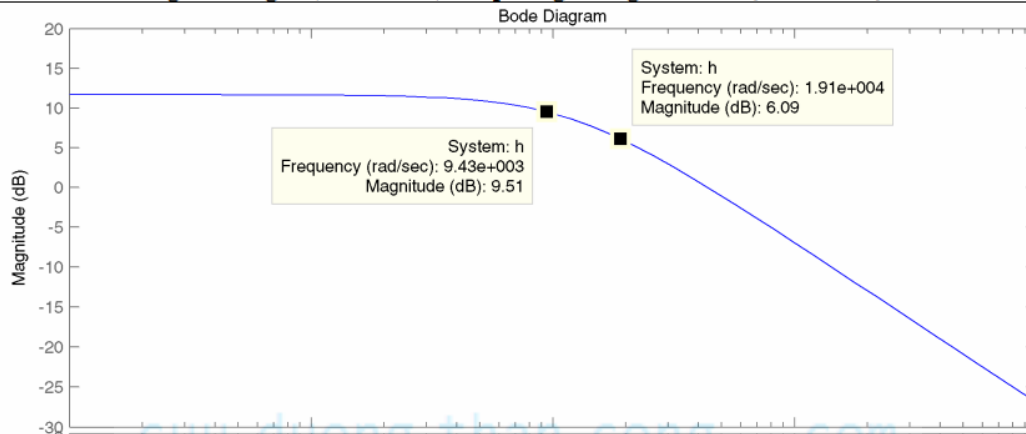
$$R_1 = 470\Omega, R_2 = 1.8k\Omega$$

$$C = 47nF$$

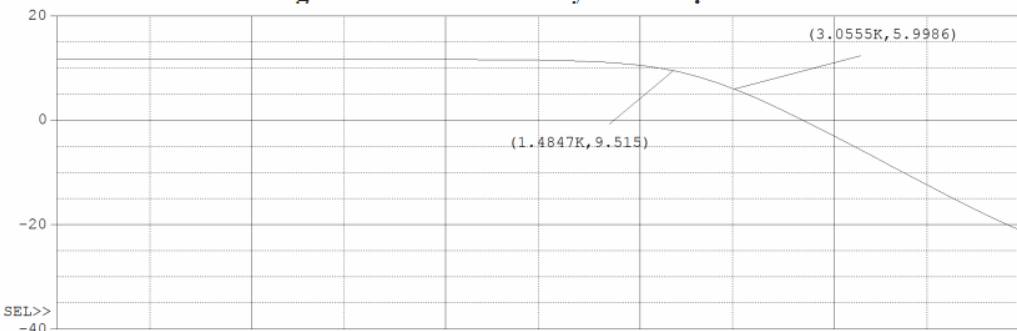
$$\begin{cases} |H_o| = \frac{R_2}{R_1} = 3.83 \\ f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C} = 1.88kHz \end{cases} \quad \text{Độ dốc: } rolloff = \frac{20 \log \frac{H_2}{H_1}}{\log \frac{f_2}{f_1}}$$

Thông số	Đo	Tính	Mô phỏng
H_o	3.8	3.83	3.8288
$f_c(kHz)$	2.3	1.88	1.856
rolloff	$H_1=3$ $H_2=2$	$f=1.78k$ $f=3.7k$	-11.08
	$H_1=3$ $H_2=2$	$\omega_1=9.43k$ $\omega_2=19.1k$	-11.48

Bảng 1: Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch LPF bậc 1



Dùng Matlab để vẽ hàm truyền của mạch LPF

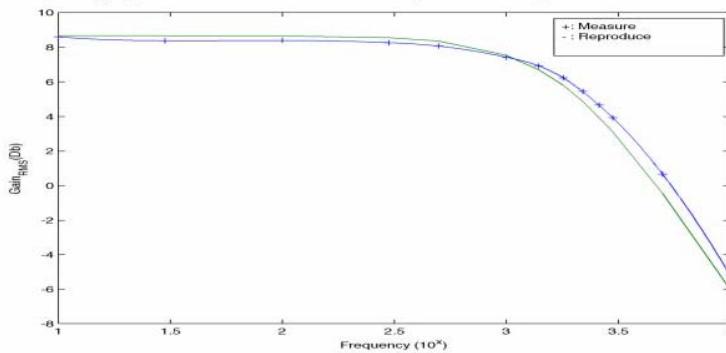


Dùng PSPICE vẽ hàm truyền của mạch LPF

Bảng đo giá trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi, tần số thay đổi:

Ts(Hz)	10	30	100	300	500	1k	1.4k	1.8k	2.2k	2.6k	3k	5k	10k
Đo	2.69	2.62	2.625	2.587	2.53	2.35	2.217	2.047	1.87	1.709	1.57	1.08	0.55
MP	2.708	2.7076	2.7041	2.6731	2.6155	2.38	2.16	1.95	1.75	1.57	1.43	0.95	0.5

Đáp ứng ngõ ra v_o theo tần số: (Dùng Matlab xấp xỉ)



2/ Mạch lọc thông thấp bậc 2:

Hàm truyền $H(s)$ có dạng:

$$H(s) = \frac{H_o \omega_o^2}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^2} \text{ với } H_o = 1 + \frac{R_3}{R_4},$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}},$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{(R_1 + R_2) C_2 + C_1 R_1 (1 - H_o)}.$$

Khi $C_1 = C_2 = C$, ta có biểu thức đơn giản hơn,

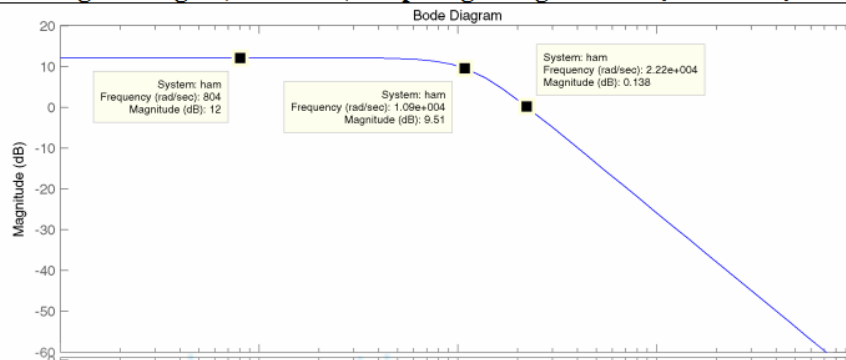
$$\text{với: } \omega_o = \frac{1}{C \sqrt{R_1 R_2}}, Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{R_2 + R_1 (2 - H_o)}.$$

Nếu: $C_1 = C_2 = C = 10\text{nF}$, $R_3 = 10\text{k}\Omega$, $H_o = 4$, $f_c = 1.82\text{kHz}$, ta tính được: $R_1 = 3.9\text{k}\Omega$, $R_4 = \frac{R_3}{H_o - 1} = \frac{10\text{k}}{4 - 1} = 3.3\text{k}$, $R_2 = 20\text{k}\Omega$.

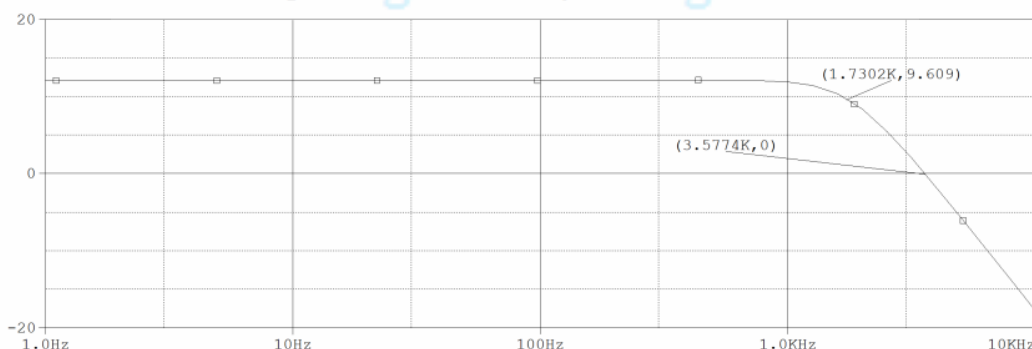
$$\text{Độ dốc của đáp ứng: } \text{rolloff} = \frac{20 \log \frac{H_2}{H_1}}{\log \frac{f_2}{f_1}}$$

Thông số	Đo		Tính	Mô phỏng		
H_o	3.6		4.0303	4.0301		
$f_c(\text{kHz})$	2.4		1.85	1.85		
rolloff	$H_1=3$	$f=1.65\text{k}$	-13.5	$H_1=3$	$\omega_1=10.9\text{k}$	-30.89
	$H_2=1$	$f=8.4\text{k}$		$H_2=1$	$\omega_2=22.2\text{k}$	
				$H_1=3$	$f=1.7302\text{k}$	-30.25
				$H_2=1$	$f=3.5774\text{k}$	

Bảng 2: Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch LPF bậc 2



Dùng Matlab để vẽ hàm truyền của mạch LPF2

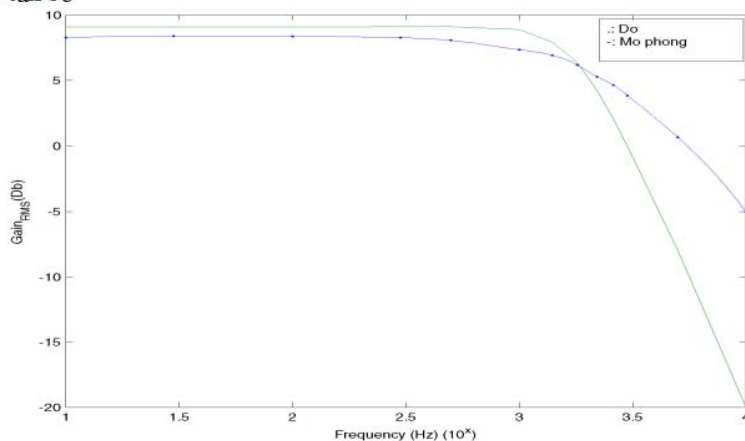


Dùng PSPICE để vẽ hàm truyền của mạch LPF2

Bảng đo giá trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi, tần số thay đổi:

Ts(Hz)	10	30	100	300	500	1k	1.4k	1.8k	2.2k	2.6k	3k	5k	10k
Đo	2.59	2.63	2.62	2.59	2.53	2.33	2.22	2.04	1.84	1.71	1.56	1.08	0.56
MP	2.8497	2.8497	2.8503	2.8547	2.8578	2.78	2.49	2.08	1.63	1.27	1	0.4	0.1

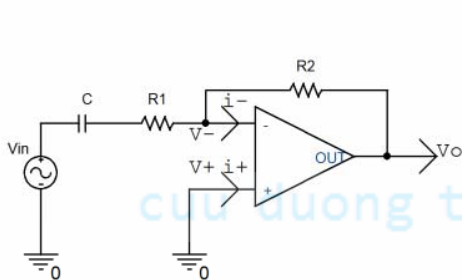
Đáp ứng ngõ ra v_o theo tần số



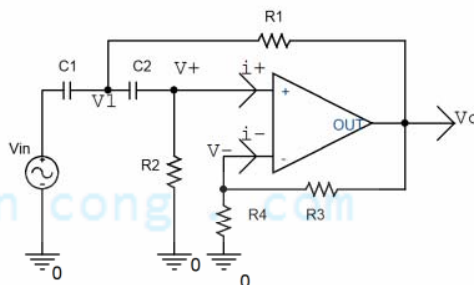
Có chút ít sai lệch do đo đạc.

II. Mạch lọc thông cao:

Sơ đồ mạch:



Mạch lọc bậc 1



Mạch lọc bậc 2-Sallen-Key

Mạch lọc thông cao dùng OP-AMP

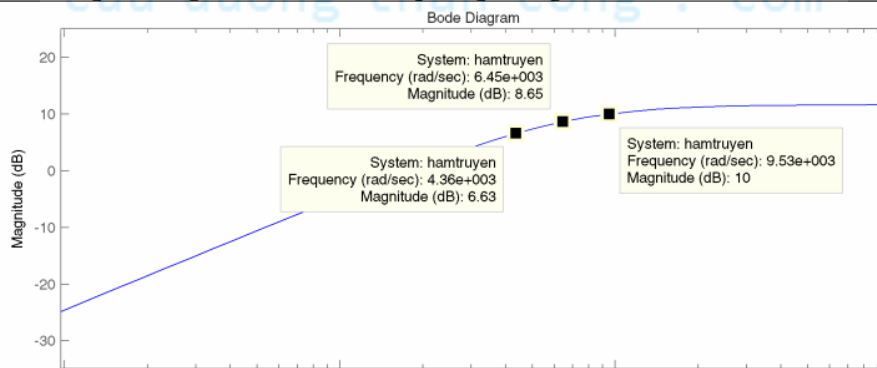
1/ Mạch lọc thông cao bậc 1:

Hàm truyền có dạng: $H(s) = \frac{v_o}{v_{in}} = H_o \frac{s}{s + \omega_o}$, $H_o = -\frac{R_2}{R_1}$, $\omega_o = \frac{1}{R_1 C}$

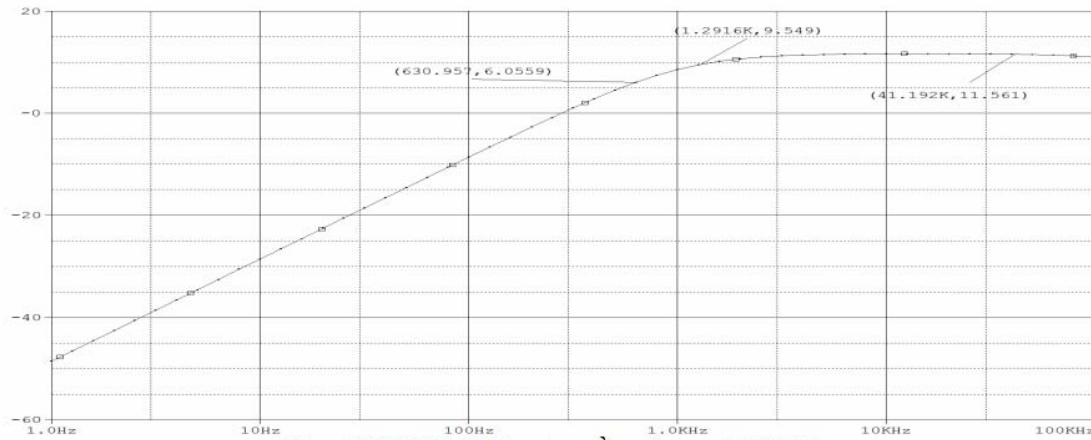
Nếu : $C_1 = C_2 = C = 33\text{nF}$, $H_o = 4$, $f_c = 1\text{kHz}$, ta tính được: $R_1 = 4.7\text{k}\Omega$, $R_2 = 18\text{k}\Omega$.

Thông số	Đo			Tính			Mô phỏng		
H_o	3.67			3.83			3.828		
$f_c(\text{kHz})$	1			1.03			1.0212		
rolloff	$H_1=3$	$f=1.4\text{k}$	10.57	$H_1=3$	$\omega_1=10.9\text{k}$	11.4	$H_1=3$	$f=1.2940\text{k}$	11.24
	$H_2=2$	$f=0.65\text{k}$		$H_2=2$	$\omega_2=22.2\text{k}$		$H_2=2$	$f=0.629$	

Bảng 3: Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch HPF bậc 1



Dùng Matlab để vẽ hàm truyền của mạch HPF1

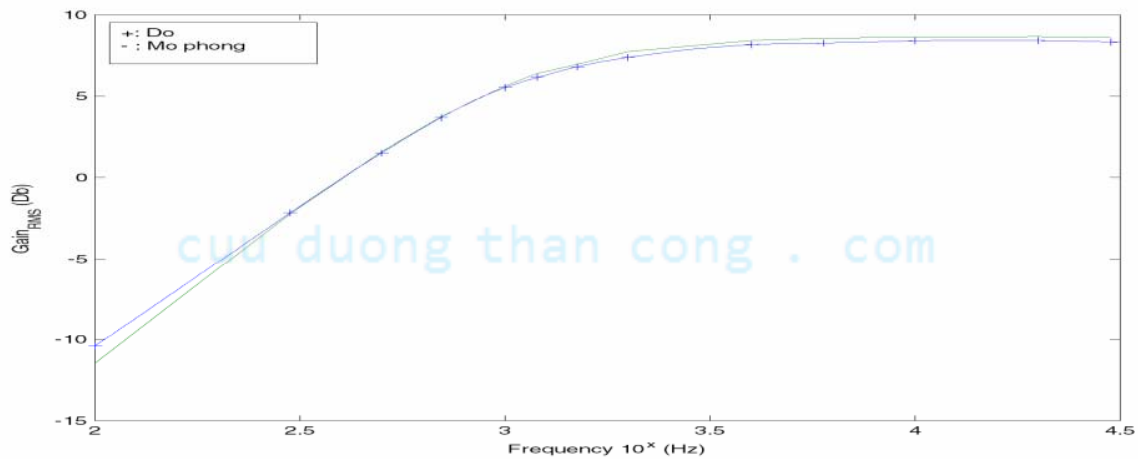


Dùng PSPICE vẽ hàm truyền của mạch HPF1

Bảng đo giá trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi, tần số thay đổi:

Ts(Hz)	100	300	500	700	1k	1.2k	1.5k	2k	4k	6k	10k	20k	30k
Đo	0.302	0.78	1.19	1.53	1.89	2.03	2.19	2.34	2.56	2.59	2.63	2.636	2.61
MP	0.267	0.774	1.20	1.54	1.91	2.09	2.23	2.44	2.64	2.68	2.70	2.71	2.69

Đáp ứng ngõ ra v_o theo tần số



2/ Mạch lọc thông cao bậc 2:

Hàm truyền $H(s)$ có dạng:

$$H(s) = \frac{H_o s^2}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q}s + \omega_o^2} \text{ với } H_o = 1 + \frac{R_3}{R_4}, \omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}, Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{(C_1 + C_2)R_1 + C_2 R_2 (1 - H_o)}. \text{ Khi } C_1 = C_2 = C, \text{ ta có biểu}$$

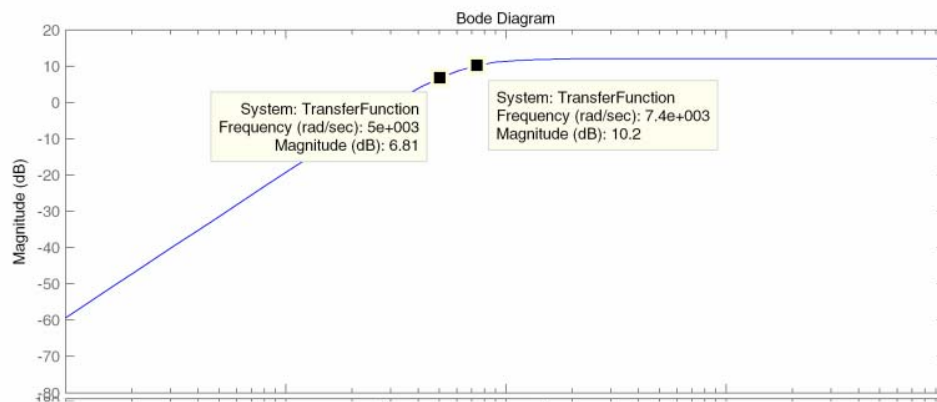
$$\text{thức đơn giản hơn, với: } \omega_o = \frac{1}{C\sqrt{R_1 R_2}}, Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{2R_1 + R_2 (1 - H_o)}.$$

Nếu: $C_1 = C_2 = C = 100\text{nF}$, $R_3 = 10\text{k}\Omega$, $H_o = 4$, $f_c = 1\text{kHz}$, ta tính được: $R_1 = 2.7\text{k}\Omega$, $R_2 = 1\text{k}\Omega$, $R_4 = 3.3\text{k}\Omega$

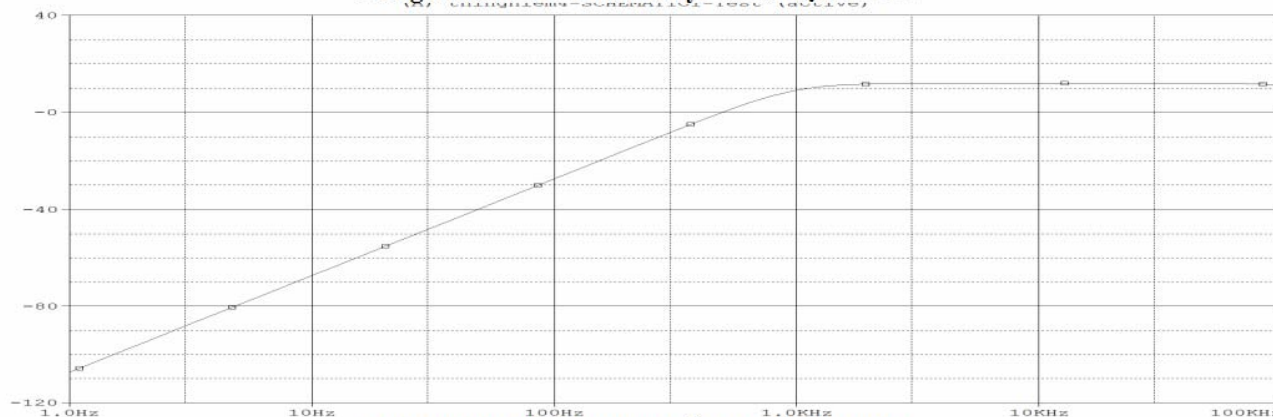
$$\text{Độ dốc của đáp ứng: } \text{rolloff} = \frac{20 \log \frac{H_2}{H_1}}{\log \frac{f_2}{f_1}}$$

Thông số	Đo			Tính			Mô phỏng		
H _o	4			4.0303			3.9872		
f _c (kHz)	1.216			0.9684			0.979		
rolloff	H ₁ =3	f=1.4k	17.47	H ₁ =3	ω ₁ =7.4k	20.61	H ₁ =3	f=1.0529k	21.9
	H ₂ =2	f=0.88k		H ₂ =2	ω ₂ =5k		H ₂ =2	f=0.73959	
Bảng 4: Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch HPF bậc 2									

Bảng 4: Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch HPF bậc 2



Dùng Matlab để vẽ hàm truyền của mạch HPF2

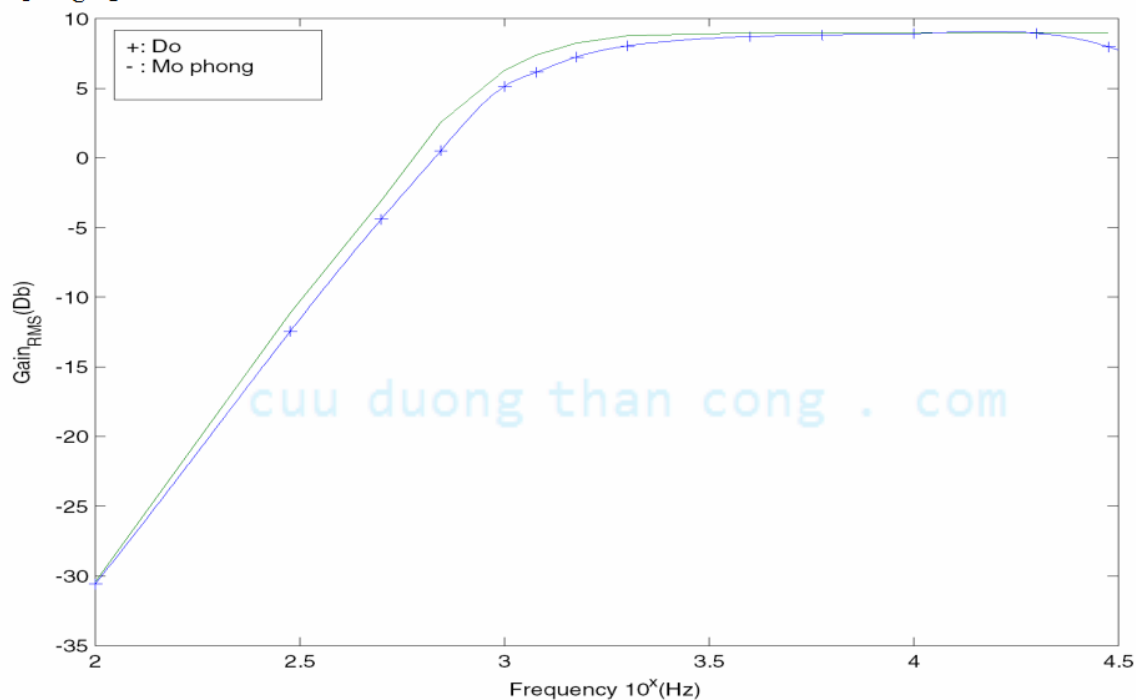


Dùng PSPICE vẽ hàm truyền của mạch HPF2

Bảng đo giá trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi, tần số thay đổi:

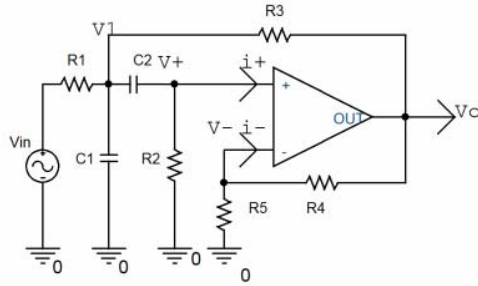
Ts(Hz)	100	300	500	700	1k	1.2k	1.5k	2k	4k	6k	10k	20k	30k
Đo	29.5m	238m	0.6	1.06	1.8	2.03	2.3	2.52	2.72	2.76	2.79	2.8	2.5
MP	30m	276m	0.7	1.34	2.06	2.34	2.58	2.74	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81

Đáp ứng ngõ ra v_o theo tần số



III. Mạch lọc thông dải:

Sơ đồ mạch:



Mạch lọc thông dải dùng cấu trúc Sallen-Key

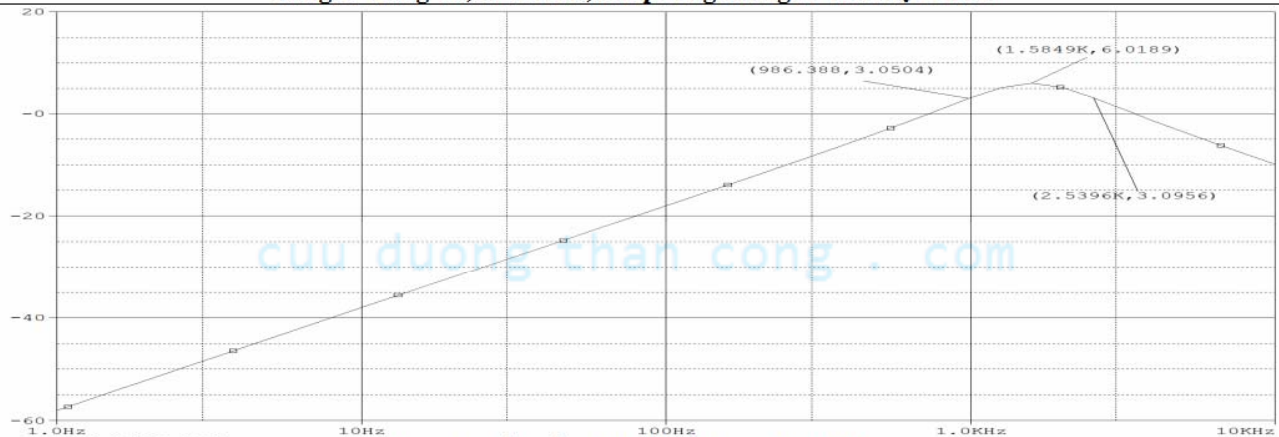
$$H(s) = \frac{H_o \frac{\omega_o}{Q} s}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q} s + \omega_o^2}, \text{ nếu chọn } R_1=R_3=R_2/2=R, C_1=C_2=C, \text{ ta}$$

$$\text{đặt : } K = 1 + \frac{R_4}{R_5}, \text{ sẽ có: } H_o = \frac{K}{3-K}, \omega_o = \frac{1}{RC}, Q = \frac{1}{3-K}.$$

$$BW = \frac{f_o}{Q}.$$

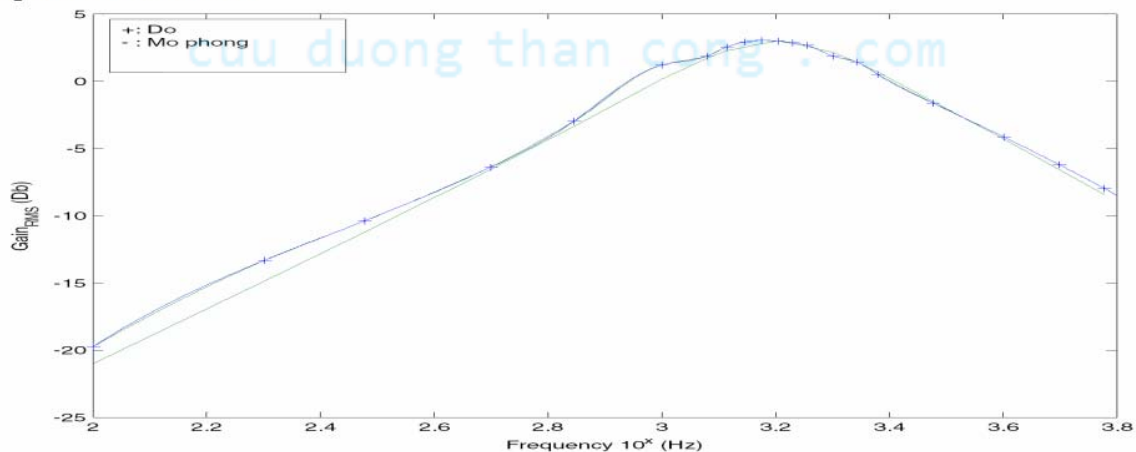
Đề $f_c=1.6\text{kHz}$, $BW=1.6\text{kHz}$, ta tìm được $Q=1$, $K=2$, $R_4=R_5$. Chọn $R_4=R_5=20\text{k}\Omega$, $R=10\text{k}\Omega$, $C=10\text{nF}$

Thông số	Đo	Tính	Mô phỏng
H_o	1.95	2	1.9996
$f_o(\text{kHz})$	1.53	1.592	1.5849
$BW(\text{Hz})$	2540-940=1600	1592	1587.4
Q	0.95625	1	0.998

Bảng 4: Bảng đo, tính toán, mô phỏng thông số của mạch BPF**Đáp ứng tần số của bộ lọc thông dải (BPF)**

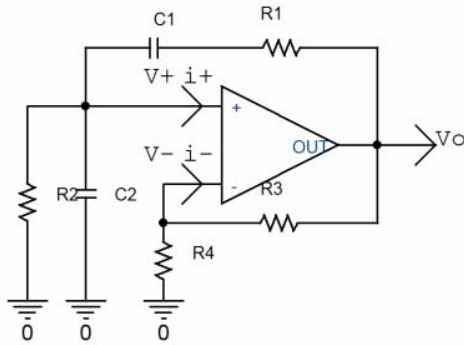
Bảng đo giá trị hiệu dụng AC của tín hiệu ra khi tín hiệu vào có biên độ không đổi, tần số thay đổi:

$T_s(\text{Hz})$	100	200	300	500	700	1k	1.2k	1.3k	1.4k	1.5k	1.6k	1.7k	1.8k
Đo	0.103	0.216	0.303	0.48	0.71	1.15	1.24	1.34	1.4	1.42	1.41	1.39	1.36
MP	0.089	0.181	0.275	0.471	0.68	1.02	1.22	1.3	1.34	1.38	1.41	1.38	1.35
$T_s(\text{Hz})$	2k		2.2k		2.4k		3k		4k		5k		6k
Đo	1.24		1.18		1.06		0.83		0.62		0.49		0.4
MP	1.28		1.18		1.08		0.84		0.61		0.47		0.38

Đáp ứng ngõ ra v_o theo tần số

IV. Mạch dao động cầu Wein:

Sơ đồ mạch:



Mạch dao động Sin - Mạch dao động cầu Wein

Sơ đồ nguyên lý tạo dao động:



Hàm truyền đạt có thể tính bằng biểu thức:

$$T(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}, \text{ Hàm tổng có thể tính:}$$

E(s) = X(s) - H(s)Y(s), và hàm ra tổng cộng có thể tính:

$$Y(s) = G(s)E(s). \text{ Từ đó, ta có được hàm truyền: } T(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G(s)}{1 - G(s)H(s)}$$

- ❖ Nếu các điểm cực của T(s) đều ở bên trái mặt phẳng của tọa độ cực-zero, hệ thống sẽ ổn định và Y(s) suy giảm. (Hồi tiếp âm)
- ❖ Nếu các điểm cực của T(s) đều ở bên phải mặt phẳng của tọa độ cực-zero, hay trên trục phức, hệ thống không ổn định và Y(s) sẽ có thể tăng tới vô cùng (Hồi tiếp dương)
- ❖ Khi có điểm cực không lặp lại ở trục ảo của T(s) mà không trên mặt phẳng bên phải, hệ thống sẽ có giá trị là hằng số hoặc ở tình trạng tự dao động.

Hình bên, đường truyền thuận là mạch khuếch đại không

đảo (G(s)), $G(s) = K = 1 + \frac{R_3}{R_4}$. Nếu hồi tiếp dương của mạchđược nối vào, chia áp, ta sẽ có được $H(s) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s}$ với

$$Z_p = \frac{1 + sR_2C_2}{sC_2} \text{ và } Z_s = \frac{R_1}{1 + sR_1C_1}, \text{ kết hợp đường thuận và}$$

feedback, ta có hàm truyền tổng cộng là ($R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C$):

$$T(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{G(s)}{1 - G(s)H(s)} = \frac{K}{1 - K \left(\frac{Z_p}{Z_p + Z_s} \right)}$$

$$T(s) = \frac{K \left[(sRC)^2 + 3sRC + 1 \right]}{(sRC)^2 + (3 - K)sRC + 1}; \text{ giá trị của K có thể coi là hàm}$$

truyền ban đầu (chưa có feedback), được định nghĩa là vị trí của điểm cực. Để mạch tự dao động, điểm cực phải trên trục phức (bởi vậy $K=3$), nó có dạng $\pm \frac{j}{RC}$, tần số dao động sẽ là: $\omega_o = \frac{1}{RC}$.

➡ Nếu $K < 3$, áp ra sẽ dao động tắt dần, vì điểm cực nằm bên trái trục phức.

➡ Nếu $K > 3$, hệ thống sẽ không ổn định, và áp ra sẽ tiến tới giá trị bão hòa (của OP-AMP).

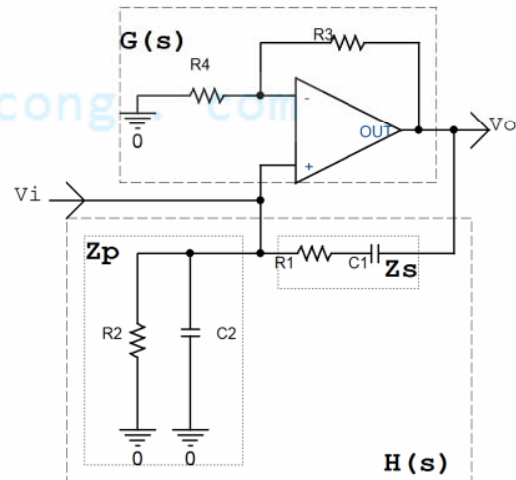
Khi $R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C=100\text{nF}$, để $f=1.59\text{kHz}$, ta sẽ có: $R=1\text{k}\Omega$, chọn $R_3=470\Omega$ ta có $R_4=940\Omega$ (dùng biến trở điều chỉnh R_4) Thực tế, có thể lớn hơn giá trị này chút ít để duy trì dao động.

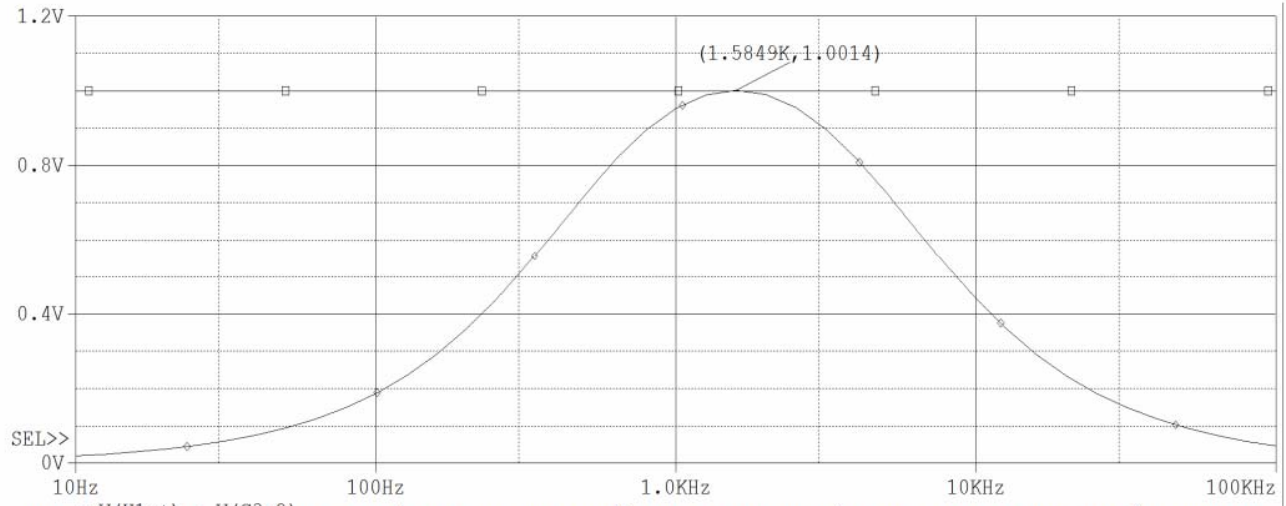
a. Khảo sát mạch vòng hở:

Thông số	Tính toán	Đo vòng hở	Đo vòng kín
$f_o(\text{kHz})$	1.582	1.82	2

Bảng tính toán đo đặc các thông số của mạch cầu Wein

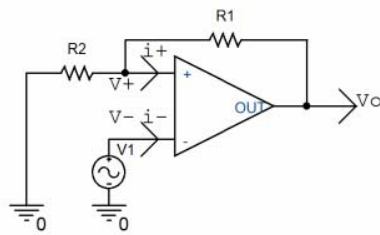
b. Khảo sát mạch vòng kín không tải: Tần số tại đó V_A và V_B bằng nhau chính là tần số của mạch tạo dao động sau này.



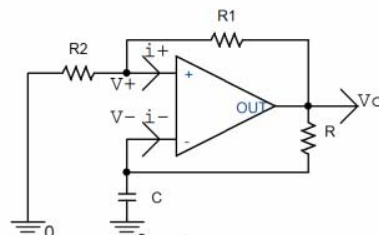


c. Khảo sát mạch vòng kín có tải: Ảnh hưởng của tải đến OP-AMP đáng kể khi tải có trở kháng có thể so sánh với trở kháng ra của OP-AMP. Theo danh định, R_o của OP-AMP HA17741 vào khoảng 75Ω , tuy nhiên, trong bài thí nghiệm, với tải kháng 122Ω , ta đã được V_{omax} . Sự tăng giảm tải cũng ảnh hưởng tới áp hồi tiếp về cho mạch.

V. Mạch tạo tín hiệu sóng vuông:

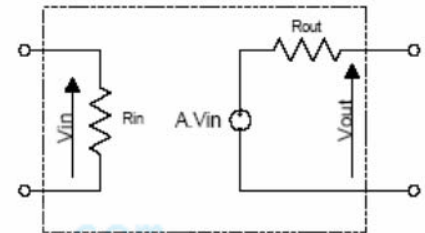


Mạch Trigger Schmitt



Mạch tạo dao động xung vuông

Ta biết rằng, cấu hình của OP-AMP là:



với $A \approx 100\text{dB}$, nên khi có sự sai lệch áp ở ngõ vào, sẽ được khuếch đại rất lớn

và áp ra nhanh chóng tiến tới trạng thái bão hoà (nếu hồi tiếp dương).

a. Mạch Trigger-Schmitt: là ứng dụng dùng OP-AMP ở chế độ so sánh.

Với mạch như trên, v_i là tín hiệu vào ngõ âm v^- , các mức ngưỡng là: $V_{UTP} = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, $V_{LTP} = -V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, ngõ ra

bão hoà $v_o = \pm V_{cc}$. Đặt $\lambda = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$. Nguyên lý hoạt động của mạch này có thể giải thích ngắn gọn như sau:

⊢ Khi $V_{in} > V_{UTP}$, lúc đó $v^+ - v^- < 0$, và v_{out} tiến tới mức bão hoà âm, mức này giữ khi $V_{in} > V_{LTP}$.

⊢ Khi $V_{in} < V_{UTP}$, lúc đó $v^+ - v^- > 0$, và v_{out} tiến tới mức bão hoà dương, mức này giữ khi $V_{in} < V_{LTP}$.

$R_1(\Omega)$	f_i [Hz]	f_o [Hz]	Đặc tuyến	$E[V]$		$V_{UTP}[V]$		$V_{LTP}[V]$	
				Tính	Đo	Tính	Đo	Tính	Đo
68k	500	500		15		1.92	2	-1.92	-1.7
10k	500	500		15		7.5	7	-7.5	-7.3
100k	500	500		15		1.36	1.25	-1.36	-1.28
220k	500	500		15		0.65	0.6	-0.65	-0.62

Bảng 7: Bảng khảo sát mạch Trigger-Schmitt với tín hiệu Sin (500Hz)

Với tín hiệu tam giác, ta có bảng sau:

$R_1(\Omega)$	f_i [Hz]	f_o [Hz]	Đặc tuyến	$E[V]$		$V_{UTP}[V]$		$V_{LTP}[V]$	
				Tính	Đo	Tính	Đo	Tính	Đo
68k	500	500		15		1.92	1.9	-1.92	-1.8
10k	500	500		15		7.5	7.2	-7.5	-6.8
100k	500	500		15		1.36	1.5	-1.36	-1.2
220k	500	500		15		0.65	0.65	-0.65	-0.7

Bảng 7: Bảng khảo sát mạch Trigger-Schmitt với tín hiệu tam giác (500Hz)

b. Mạch tạo dao động xung vuông: là ứng dụng của mạch Trigger-Schmitt.

Nguyên lý của nó có thể giải thích ngắn gọn như sau:

☞ Giả sử mức kích ban đầu của v^+ là một giá trị dương nào đó, bằng hồi tiếp, v_{out} tiến tới giá trị bão hoà dương.

☞ Khi v^- tiến tới giá trị λV_{cc} , ngõ ra chuyển tới trạng thái bão hoà âm ($v_{out} = -V_{cc}$). Lúc này, tụ C có điện tích

$$\lambda CV_{cc} \text{ và bắt đầu xả. Phương trình xả điện tích là: } q = CV \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right) + q_0 e^{\frac{-t}{RC}} \text{ với } V = -V_{cc} \text{ và } q_0 = \lambda CV_{cc}, \text{ ta có}$$

$$\text{thể viết lại pt trên như sau: } q = -CV_{cc} \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right) + \lambda CV_{cc} e^{\frac{-t}{RC}}.$$

☞ Khi v^- tiến tới giá trị $-\lambda V_{cc}$, (lúc này ngõ ra chuyển tới trạng thái bão hoà dương ($v_{out} = V_{cc}$)), là lúc được $\frac{1}{2}$

chu kì của xung vuông tạo ra, ta sẽ có: $-\lambda CV_{cc} = -CV_{cc} \left(1 - e^{\frac{-T}{2RC}} \right) + \lambda CV_{cc} e^{\frac{-T}{2RC}}$, giải phương trình này, ta tìm

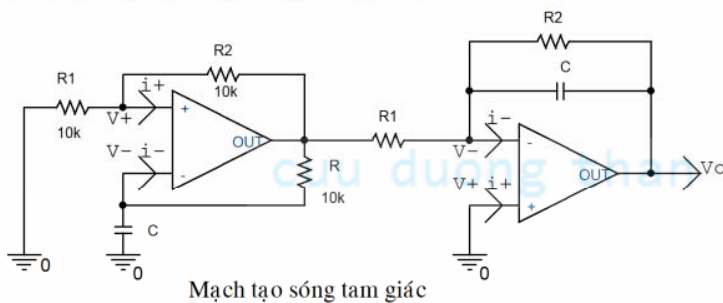
$$\text{được: } T = 2RCLn \left[\frac{1 + \lambda}{1 - \lambda} \right].$$

Đo đạc, ta được bảng sau:

Tần số f_o (Hz)		Đo		Tính	
Tính	Đo	V_{UTP} [V]	V_{LTP} [V]	V_{UTP} [V]	V_{LTP} [V]
2.1k	2.24k	7.5	-7.5	7.5	-7.5

Bảng 9: Bảng khảo sát mạch tạo tín hiệu sóng vuông

VI. Mạch tạo tín hiệu sóng tam giác:



Mạch tạo sóng tam giác

Sơ đồ mạch như hình vẽ bên. Đơn giản mạch tạo tín hiệu sóng tam giác từ tín hiệu sóng vuông là một mạch lấy tích phân. Các số liệu cần có:

R_1 (k Ω)	f_i [kHz]	f_o [Hz]	V_{om} [V]	
			Tính	Đo
10	2.24	2.2	10.98	8.4
20	2.24	2.2	5.5	4.5
40	2.24	2.2	2.7	2.2

Giá trị V_{out} có offset khoảng 1VDC, đó là do OP-AMP chưa được điều chỉnh Offset null.