آنالیز وطراحی

فیلتر بسل

مرتبه ۵

نگارش و تهیه :

مهران بافنده

WWW.MOHANDES.ORG

WWW.MOHANDES.ORG

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

که در مسیر موفقیت های اینجانب

حامی و مشوق همیشگی هستند.

WWW.MOHANDES.ORG

چکیده:

اساسا برای تمیز دادن یک مجموعه ی محیطی و تبدیل آن به فاکتور دلخواه می بایست موارد ناخواسته را حذف و سند کلیدی مورد نظر را استخراج کرد. در مدارات الکترونیکی نیز سیگنال های ورودی می بایست تفکیک شده و سیگنال اصلی که حاوی اطلاعات خواسته شده است استفاده گردند و مابقی حذف شوند.

این عمل توسط فیلتر های الکترونیکی صورت می گیرد که انواع مختلفی نسبت به نوع کاربردشان وجود دارند. ویژگی هر فیلتر سبب آن است که بتوان طیف مختلفی از هر سیگنال را حذف یا عبور داد. در میان این فیلتر ها ، فیلتر بسل (Bessel) جزء فیلترهای خاص به حساب می آید. نام این فیلتر از نام دانشمند ریاضی به همین نام گرفته شده که با تحقیقات فردی به نام Thomson فیلتر آن پیاده سازی گردیده است. لذا این فیلتر را به نام تامسون نیز می شناسند.

فیلتر بسل یک فیلتر منحصر و مجزا نیست بلکه نوعی طراحی پارامتری در مراحل پیاده سازی است یا به عبارت دیگر بسل مرتبه دوم از نظر ظاهر مداری تفاوتی با یک فیلتر پایین گذر مرتبه دوم ساده ندارد اما از نظر مقادیر المان ها کاملا متفاوت است. تغییرات این مقادیر است که انواع فیلتر ها نظیر باتروث و چپیشف یا بسل را ایجاد می کند.

فهرست

فصل اول ، آنالیز فیلتر بسل ۱

فیلتر بسل ۲

Bessel Functions ۵

فصل دوم، طراحی فیلتر های اکتیو ۱۳

فیلترهای پایین گذر ۱۴

ایجاد مراتب بالاتر فیلتر ها ۱۶

فیلتر پایین گذر مرتبه ۱ ۱۷

فیلتر پایین گذر مرتبه دوم ۱۹

توپولوژی Sallen-Key ۱۹

حالت خاص Sallen – Key ۲۱

توپولوژی MFB ۲۲

طراحی فیلترهای مرتبه بالاتر ۲۳

فیلترهای بالاگذر ۲۵

فیلتر بالاگذر مرتبه اول ۲۶

فیلتر بالاگذر مرتبه دوم ۲۷

توپولوژی Sallen – Key ۲۷

توپولوژی MFB ۲۹

فیلترهای مرتبه بالاترِ بالاگذر ۳۰

فصل سوم، نرم افزار های طراحی و شبیه سازی فیلتر ۳۲

Filter Pro ۳۳

Filter Solution ۳۶

Filter Wiz ۳۷

Proteus ۳۸

Matlab ۳۹

فصل چهارم، فیلتر طراحی شده بسل مرتبه ۵ ۴۱

طراحی فیلتر ۴۲

شبیه سازی Filter Solution ۴۲

شبیه سازی مدار با Proteus ۴۴

شبیه سازی با Matlab ۴۵

شماتیک طراحی برای PCB ۴۶

WWW.MOHANDES.ORG

۴۷
۴۸

ضمایم

تابع بدست آوردن ضرایب بسل ۴۹
جداول ضرایب طراحی فیلتر ۵۰
محاسبات تئوری فیلتر بسل ۵۱
مجموعه روابط وثابت های بسل ۶۰
Datasheet –

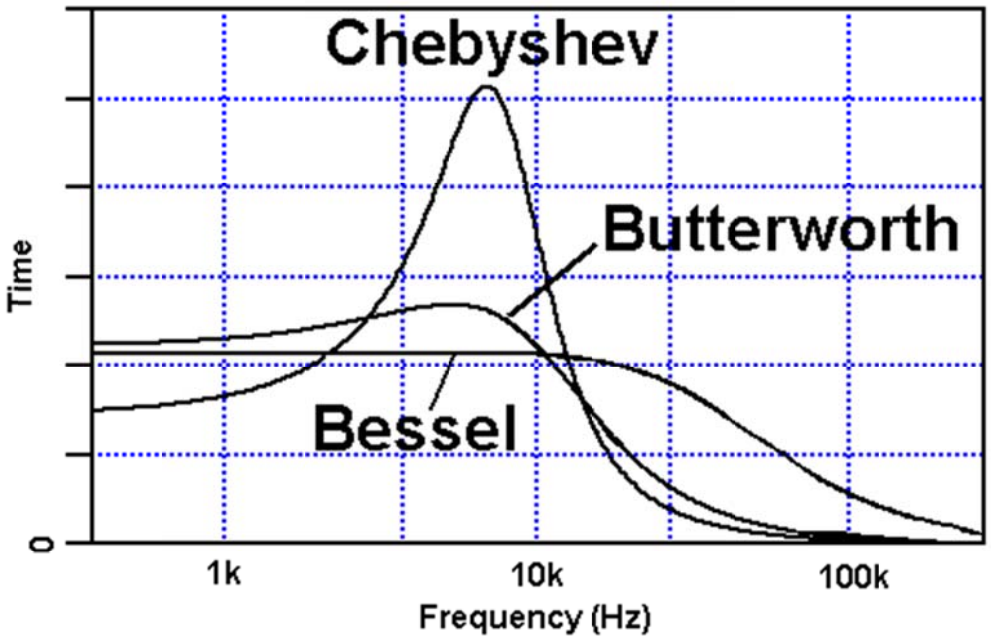
منابع

-

فصل اول

فیلتر بسل(Bessel):

شرط طراحی فیلتر بسل اشاره به نوعی از پاسخ فیلتر می کند و به صورت مجزا یک فیلتر نیست. ویژگی اصلی این فیلتر ، پاسخ تخت Group Delay در پهنای عبور باند آن است:



Group Delay

همان طور که ملاحظه می شود فیلتر چپیشف بیشترین زمان تاخیر را ایجاد می کند. و بسل یک مسیر تخت در برابر عبور فرکانس دارد.

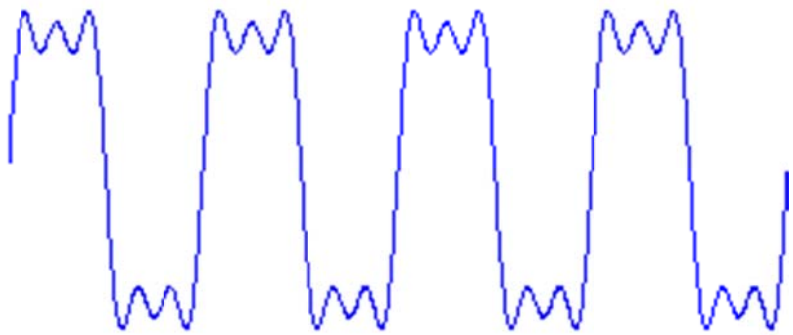
این مشخصه فیلترهای بسل سبب کاربرد گسترده آنها برای طراحان دیجیتال شده است. با توجه به روند فعلی طراحان فیلتر ، فیلتر های بسیار کمی برای موج مربعی طراحی می شوند و در بیشتر اوقات فیلتر ها برای امواج سینوسی و یا نزدیک به سینوسی به صورتی که هارمونیک های آن قابل قبول باشند طراحی می‌شوند.

حال اگر یک فیلتر چپیشف یا باتروث برای شکل موجی با هارمونیک های بسیار مانند موج مربعی استفاده گردد هارمونیک های سیگنال ورودی با تاخیر نسبت به فرکانس اصلی در خروجی ظاهر می گردند. در توضیح بیشتر پاسخ فوریه سیگنال مربعی در زیر بیان گردیده است:

$$X(t) = \sin(\omega_0 t) + \frac{\sin(3\omega_0 t)}{5} + \cdots$$

این سری بیان کننده آن است که سیگنال مربعی دارای بی نهایت سری فرد هارمونیکی است که با مجموع آن سیگنالی با ظاهر مشابه مربعی ساخته می شود یعنی اگر بخواهیم کل سیگنال مربعی را بعد از عبور از فیلتر بدست آوریم می بایست تمام هارمونیک ها را عبور دهیم و این خود بیان گر آن است که ما نیاز به یک فیلتر بالاگذر بدون اعوجاج داریم.

اگر موج مربعی از یک فیلتر پایین گذر عبور داده شود شرایط بصورت ناگواری تغییر می کنند و هارمونیک های بسیاری حذف می گردند و اعوجاج در سیگنال خروجی دیده می شود. این وظیفه طراح است که بتواند هارمونیک هایی که می تواند حذف کند را حذف و باقی را تا حدی که قابل قبول خود باشد نگه دارد. اگر فرض کنیم که طراح بخواهد پنج هارمونیک را نگه دارد، آنگاه سیگنال خروجی سیگنالی مانند سیگنال زیر است:

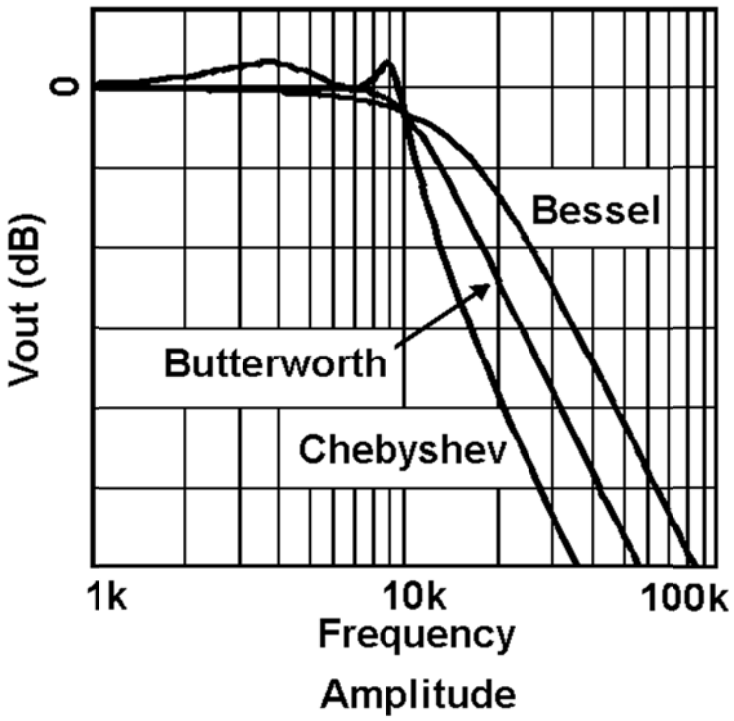


این سیگنال ممکن است از طرف طراح قابل قبول باشد، این مورد پسند بودن وابسته به شرایط زمانی نظیر پس فازی و پیش فازی لبه های تغییرات (افت و خیز دامنه های آنالیز مورد نظر) است.

حذف هارمونیک ها باعث سبب گرد شدن لبه ها می شود بنابراین در یک سیگنال دیجیتال تاخیر پیوستگی(Leading and trailing edge) خواهیم داشت. و این مورد زمانی مهم تر می شود که سیگنال های عبور داده شده بدون تاخیر هستند.(تداخل دریافت)

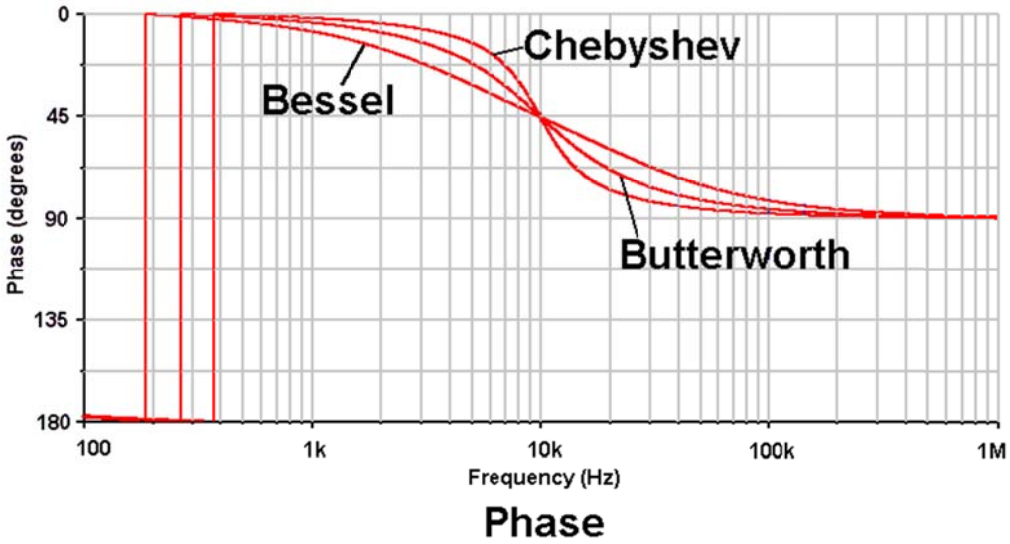
تقریب بسل مانند باتروث یک عبور باند نرم و یک پاسخ حذف باند دارد. میزان میرایی قطع باند برای یک مرتبه از فیلتر باتروث و بسل بدین گونه است که این مقدار در تقریب بسل بسیار بسیار کمتر از تقریب باتروث است.

نمای زیر پاسخ فیلترهای گوناگون را نشان می دهد، معکوس نمودار زیر برای فیلترهای بالاگذر است:



طراح با بررسی منحنی های فیلتر ها می تواند متوجه شود که این فیلتر هیچ ریپل عبور باند ندارد و وی با بدست آوردن این ویژگی، **میزان حذف باند با شیب بیشتر مانند باتروث یا چپیشف** را از دست می‌دهد.

نمای پاسخ فاز سه فیلتر در زیر وجود دارد و همان طور که ملاحظه می گردد پاسخ فاز فیلتر بسل آهسته ترین تغییرات فاز را دارد:



Bessel Functions:

برای شرح روابط بسل بهتر است تا رابطه فیلترهای پایین گذر را بیان کنیم:

$$H(p) = \frac{1}{1 + a_1 p + a_2 p^2 + a_3 p^3 + \cdots + a_N p^N}$$

حال اگر پاسخ فرکانسی تابع فوق را با جایگزینی jw به جای p انجام دهیم:

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j a_1 \omega - a_2 \omega^2 - a_3 \omega^3 + \cdots + a_N (j\omega)^N}$$

مقدار ضریب a_1 یک معنای خاصی را بیان می کند که در ادامه بیان خواهد شد.

اگر مقدار ω به صفر نزدیک شود رابطه زیر از بالا بدست می آید:

$$H(j\omega) \approx \frac{1}{1 + j a_1 \omega}$$

مقدار فاز رابطه بدست آمده نیز این گونه خواهد بود:

$$b(\omega) \approx Arctan \frac{a_1 \omega}{1} = Arctan(a_1 \omega)$$

برای بدست آوردن Group Delay فیلتر هم کافی است تا از مقدار فاز مشتق گرفته شود:

$$\tau_g(\omega) = \frac{d}{d\omega} Arctan(a_1 \omega) = \frac{a_1}{1 + (a_1 \omega)^2}$$

همان طور که مشخص است اگر مقدار ω برابر صفر باشد مقدار a_1 برابر با τ_0 است.

از رابطه اول شروع می کنیم و آن را به حالت نرمالیزه با شرایط زیر تبدیل می کنیم:

$$P = p\tau_0$$
$$A_i = a_i / \tau_0^i$$

آنگاه رابطه یک فیلتر پایین گذر به رابطه زیر تبدیل می گردد:

$$H(P) = \frac{1}{1 + P + A_2P^2 + A_3P^3 + \cdots + A_NP^N}$$

حال با تغییر متغیر $\Omega = \omega\tau_0$ پاسخ فرکانسی نرمالیزه شده بدین گونه است:

$$H(j\Omega) = \frac{1}{1 + j\Omega - A_2\Omega^2 - jA_3\Omega^3 + \cdots + A_n(j\Omega)^N}$$

با استفاده از قاعده ریاضی زیر:

$$b(\omega) = -arg\ H(j\omega) = -Arctan(\frac{Im\ H(j\omega)}{Re\ H(j\omega)})$$

رابطه ی پاسخ فاز را این گونه می نویسیم:

$$b(\Omega) = Arctan\frac{\Omega - A_3\Omega^3 + A_5\Omega^5 - \cdots}{1 - A_2\Omega^2 + A_4\Omega^4 - \cdots}$$

اکنون می بایست مقدار Ai را طوری تعیین کرد. در یکی از راه ها ما مقدار پاسخ فاز را دخیل می کنیم به طوری که تا جای ممکن به مقدار خطی ایده ال نزدیک باشد:

$$b(\omega) = \omega\tau_0$$
$$b(\Omega) = \Omega$$

مقدار ثابت τ_0 یک مقدار مطلوب است که ما در پی آن هستیم. پس مقدار Ai روابط زیر را در یک طیف وسیع فرکانسی قابل قبول می کند:

$$\Omega \approx Arctan\frac{\Omega - A_3\Omega^3 + A_5\Omega^5 - \cdots}{1 - A_2\Omega^2 + A_4\Omega^4 - \cdots}$$

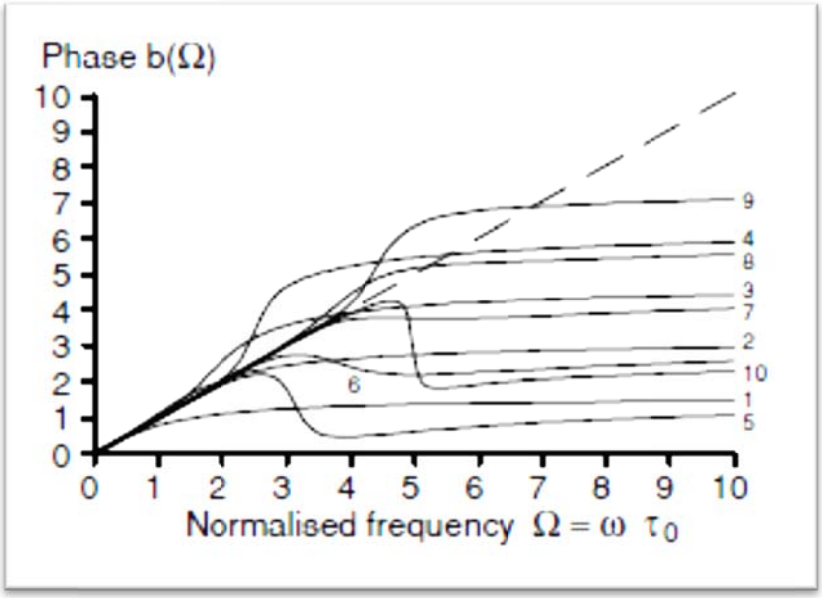
$$tan\,\Omega \approx \frac{\Omega - A_3\Omega^3 + A_5\Omega^5 - \cdots}{1 - A_2\Omega^2 + A_4\Omega^4 - \cdots}$$

انتخاب ضریب Ai باعث ایجاد بسط سری سینوسی در صورت و بسط سری کسینوسی در مخرج می گردد.

$$A_i = \frac{1}{i!}$$

پس:

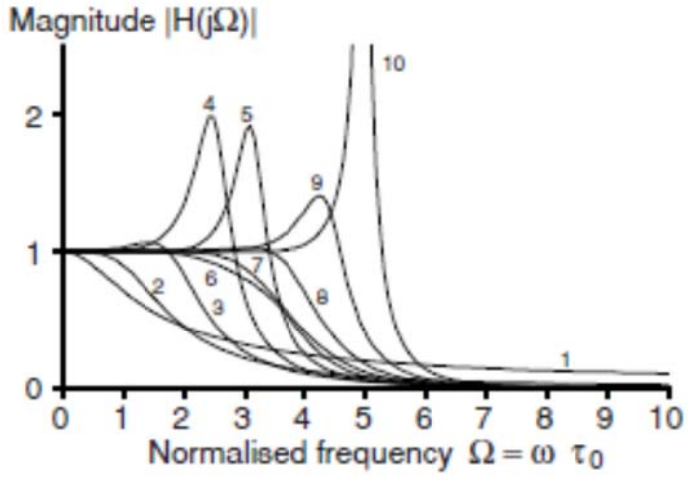
$$tan\,\Omega \approx \frac{\Omega - \frac{1}{6}\Omega^3 + \frac{1}{120}\Omega^5 - \cdots}{1 - \frac{1}{2}\Omega^2 + \frac{1}{24}\Omega^4 - \cdots}$$



شکل فوق پاسخ فازی فیلترهای پایین گذر با ضرایب حاصل از بسط سینوسی و کسینوسی به ازای N=1 تا N=10 است.

انتخاب ضرایب عبور پایین پاسخ های قانع کننده چندانی ندارد. پاسخ فاز خطی فقط یکسری فرکانس های پایین را بررسی می کند و یک رنج کوتاه آنالیز می گردد چون که ارائه سینوس و کسینوس استفاده شده در اینجا در نقطه ای حدود $\Omega = 0$ است. برای فرکانس های بالاتر ، ما نمودار های بسیار مختلفی از پاسخ فاز داریم که خود وابسته به مرتبه فیلتر است.

نمودار اندازه هم این قضیه را ثابت می کند:



ظاهرا استفاده از روند تانژانت و بسط کوتاه شده سینوس و کسینوس برای حل این مسئله مناسب نیست.

برای درجه های تخمین N>4 آن طور که از تابع تانژانت انتظار می رود قطب ها و صفر ها مقادیر حقیقی Ω نخواهند بود بعلاوه اینکه با وجود قطب هایی در سمت راست ، پایداری با این ضرایب تضمین نمی گردد.

برای حل مشکل از کسر های پیوسته که یک روند ریاضی است استفاده می کنیم:

$$tan\Omega = \cfrac{1}{\cfrac{1}{\Omega} - \cfrac{1}{\cfrac{3}{\Omega} - \cfrac{1}{\cfrac{5}{\Omega} - \cfrac{1}{\cfrac{7}{\Omega} - \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots}}}}$$

با توجه به درجه تقریب ، بی نهایت کسر با توجه به N وجود دارد. با گرفتن معکوس کسر های پیوسته و یافتن تقریبات برای N=1 ، 2 و 3 داریم:

$$N = 1 \qquad tan\Omega \approx \Omega \ ,$$

$$N = 2 \qquad tan\Omega \approx \frac{3\Omega}{3 - \Omega^2} \quad And$$

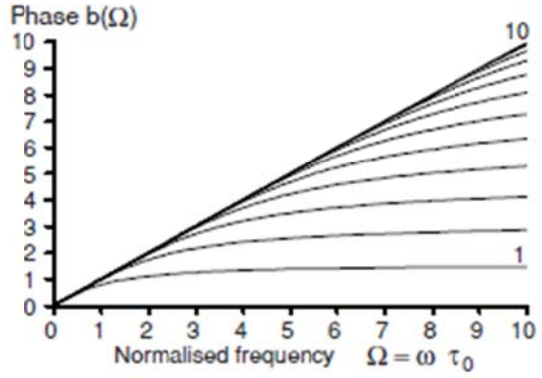
$$N = 3 \qquad tan\Omega \approx \frac{15\Omega - \Omega^3}{15 - 6\Omega^3}$$

کسرهای پیوسته کوتاه شده چندین خاصیت مهم تانژانت را نگه می دارد:

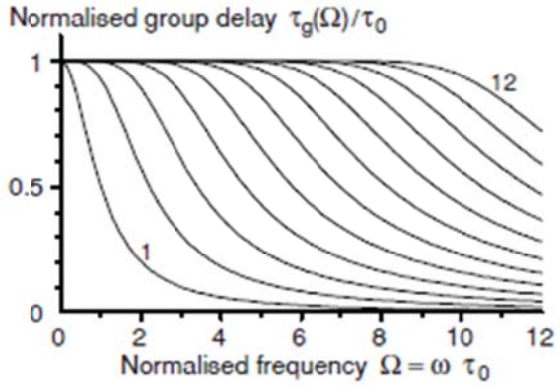
۱- تمام قطب ها و صفر ها حقیقی هستند.

۲- قطب ها و صفر ها یکی در میان ظاهر می گردند.

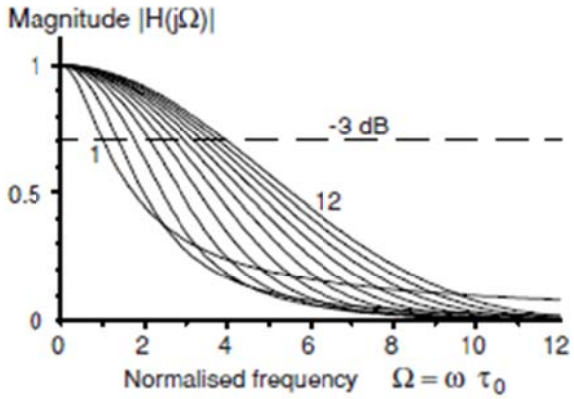
۳- ضرایب برای تمامی مراتب فیلتر های پایین گذر پایدار سازی می کنند.



Phase response of low-pass filters with coefficients based on the truncated continued fraction of the tangent, $N = 1 \ldots 10$



Group delay characteristics of low-pass filters with coefficients based on the truncated continued-fraction expansion of the tangent, $N = 1 \ldots 12$



Magnitude response of Bessel filters with the frequency axis normalised to τ_0, $N = 1 \ldots 12$

با قراردادن ضرایب تقریب تانژانت بدست آمده درون رابطه اصلی خواهیم داشت:

$$N = 1 \qquad H(P) = \frac{1}{1+P}$$

$$N = 2 \qquad H(P) = \frac{3}{3+3P+P^2}$$

$$N = 3 \qquad H(P) = \frac{15}{15+15P+6P^2+P^3}$$

در جدول زیر تمامی ضرایب مورد نیاز تا فیلتر مرتبه ۸ قرار داده شده است. برای محاسبه این ضرایب کافی است تا از رابطه زیر استفاده کنیم که خود بر اساس مجموعه روابط بسل حاصل شده است:

$$a_v = \frac{(2n-v)!}{(n-v)!\,v!\,2^{n-v}}$$

n	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
1	1	1							
2	3	3	1						
3	15	15	6	1					
4	105	105	45	10	1				
5	945	945	420	105	15	1			
6	10395	10395	4725	1260	210	21	1		
7	135135	135135	62370	17325	3150	378	28	1	
8	2027025	2027025	945945	270270	51975	6930	630	36	1

محاسبات قطب ها در این حالت امکان پذیر نمی باشد. تنها راه محاسبه قطب ها حل عددی مخرج است.

پس رابطه خود را بدین گونه تغییر می دهیم که هر بخش یک فیلتر مجزا است:

$$H(P) = \frac{1}{1 + A_{11}P + A_{21}P^2} \cdots \frac{1}{1 + A_{1K}P + A_{2K}P^2} \frac{1}{1 + A_{1(K+1)}P}$$

درجدولی که در ضمیمه قرار دارد ضرایب A_{1i} و A_{2i} برای فیلتر هایی تا مرتبه 12 قرار دارد.

با جایگزینی $p\tau_0$ به جای P تابع انتقال تبدیل به یک تابع غیر نرمالیزه می گردد که ضرایب آن با روابط زیر برقرار است:

$$a_{1i} = A_{1i}\tau_0 \qquad\qquad a_{2i} = A_{2i}\tau_0^2$$

در شرایط که قبلا در نظر گرفته بودیم τ_0 و مرتبه فیلتر پارامتر طراحی محسوب می شدند. پس برای محاسبه فرکانس قطع 3dB مشکلی نخواهد بود. تنها در مرتبه های بالاتر از ۳ رابطه به صورت عددی حل خواهد شد :

$$|H(j\Omega)|^2 = \frac{1}{(1 - A_2\Omega^2 + A_4\Omega^4 - \cdots)^2 + (\Omega - A_3\Omega^2 + A_5\Omega^5 - \cdots)^2} = \frac{1}{2}$$

این رابطه N راه حل عددی خواهد داشت که یکی از آن ها پاسخ حقیقی و مثبت خواهد بود. این راه حل همان راه حل اصلی برای رسیدن به فرکانس قطع است. جدول زیر نتیجه محاسبات رابطه فوق را تا مرتبه 12 دارد:

N	$\Omega_{3dB}(N)$
1	1.000
2	1.361
3	1.756
4	2.114
5	2.427
6	2.703
7	2.952

8	3.180
9	3.392
10	3.591
11	3.780
12	3.959

تعیین فرکانس قطع یک رابطه جدید ایجاد می کند که فقط برای فیلتر های بسل برقرار است:

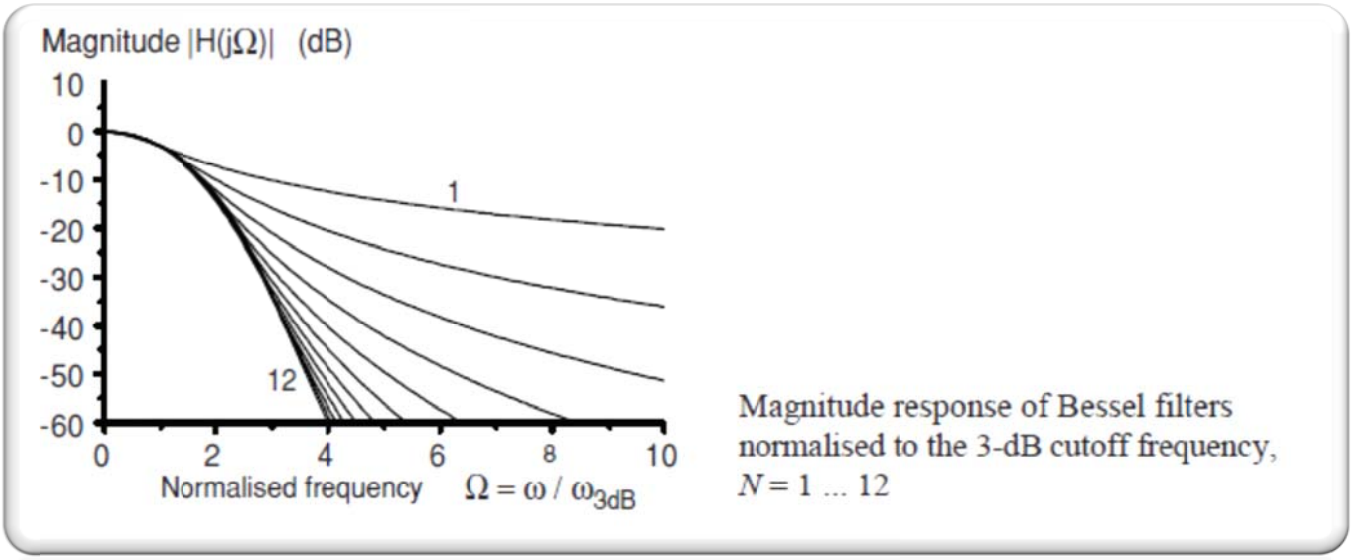
$$\Omega_{3dB}(N) = \omega_{3dB}\tau_0$$

این رابطه نشان می دهد که با هر مرتبه ای از این فیلتر مقدار Group Delay و فرکانس قطع یک ضریب ثابت است. یعنی با افزایش مرتبه فیلتر مقدار فرکانس قطع کاهش یافته و Group Delay بدست آمده کمتر می شود و برعکس.

در آخر رابطه بین ضرایب نرمالیزه شده با آنرمالیزه که تاثیر فرکانس قطع را دارد بیان می شود:

$$a_{1i} = \frac{A_{1i}\Omega_{3dB}}{\omega_{3dB}}$$

$$a_{2i} = \frac{A_{2i}\Omega_{3dB}^2}{\omega_{3dB}^2}$$



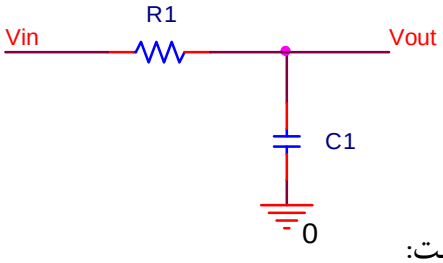
Magnitude response of Bessel filters normalised to the 3-dB cutoff frequency, $N = 1 \ldots 12$

فصل دوم

WWW.MOHANDES.ORG

فیلترهای پایین گذر:

مشخص ترین فیلتر پایین گذر، مدار زیر است:



تابع تبدیل این شبکه این گونه است:

$$A(s) = \frac{\frac{1}{RC}}{s + \frac{1}{RC}} = \frac{1}{1 + sRC}$$

زمانی که فرکانس مختلط باشد $s = j\omega + \sigma$ و در موارد دیگر مقدار $\sigma = 0$ خواهد بود مقدار $s = j\omega$ خواهد بود.

برای نرمالیزه کردن تابع تبدیل فعلی که s به فرکانس کناری (قطع) فیلتر اشاره می کند این رابطه شکل می گیرد:

WWW.MOHANDES.ORG

$$s = \frac{s}{\omega_c} = \frac{j\omega}{\omega_c} = j\frac{f}{f_c} = j\Omega$$

برای مدار فوق فرکانس قطع برابر است با:

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

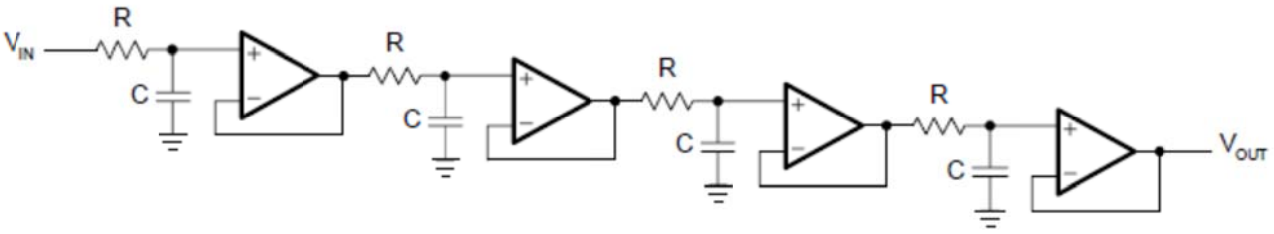
در نتیجه تابع انتقال آن برابر می شود با:

$$A(s) = \frac{1}{1 + s}$$

و اندازه آن:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + \Omega^2}}$$

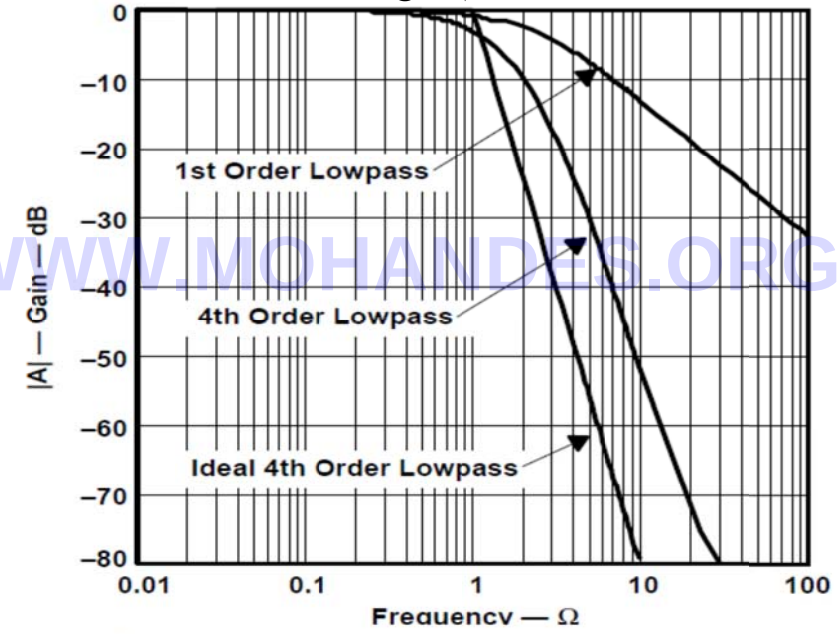
برای فرکانس $1 \ll \Omega$ مقدار افت شیب 20dB/decade است. برای افزایش این شیب کافی است تا چندین فیلتر را پشت سر هم قرار دارد و برای جلوگیری از اثر بارگذاری طبقات از Opamp استفاده کرد. با قرار دادن Opamp همچنین می توان مقدار گین دیده شده فیلتر را نیز تغییر داد.

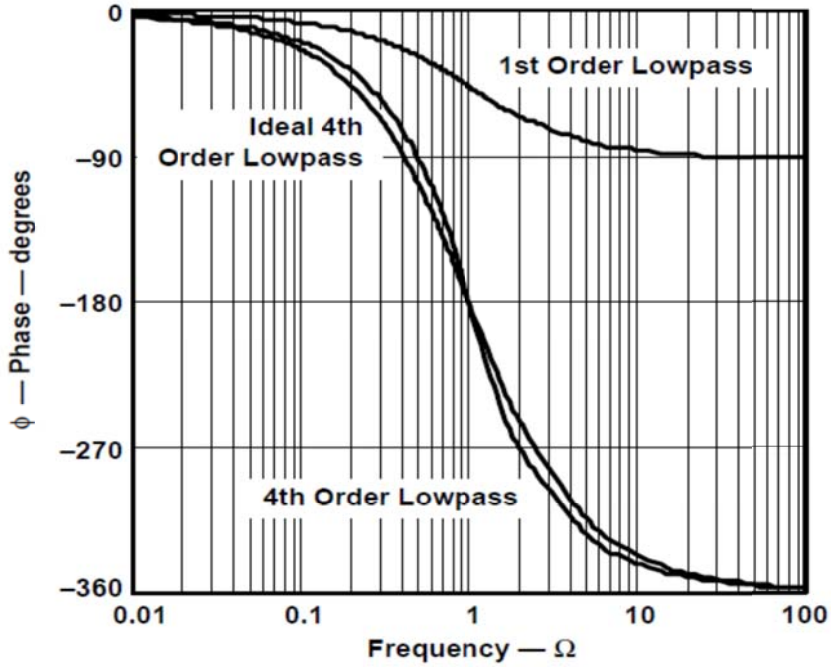


پس تابع انتقال آن این گونه خواهد شد:

$$A(s) = \frac{1}{(1 + \alpha_1 s)(1 + \alpha_2 s) \dots (1 + \alpha_n s)}$$

حال میزان شیب افت هر طبقه که 20 بود با هم جمع شده و شیب کل برابر با 80 خواهد بود.





WWW.MOHANDES.ORG

مقدار گین و فاز یک فیلتر پایین گذر می تواند بهینه باشد و یکی از شرایط زیر را بیان کند:

۱- ماکزیمم مقدار عبور باند

۲- سرعت تغییرات از باند عبور به حذف باند

۳- پاسخ فاز خطی

به همین دلایل تابع انتقال باید اجازه ی قطب های مختلط را بدهد پس تابع انتقال می تواند اینگونه بیان گردد:

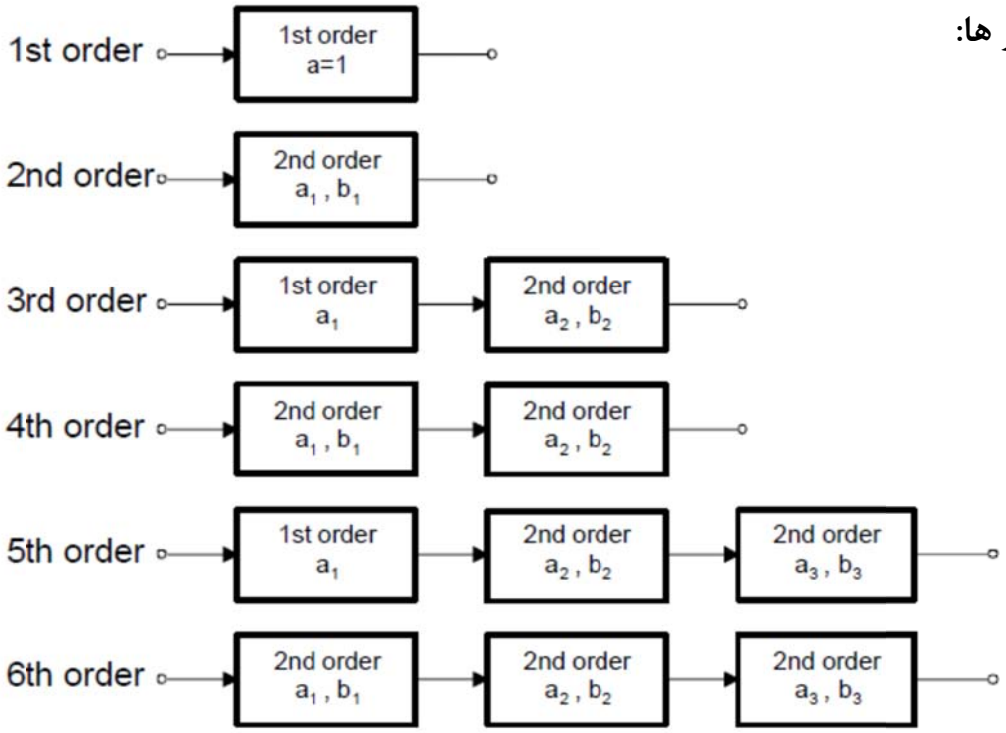
$$A(s) = \frac{A_0}{(1 + a_1 s + b_1 s^2)(1 + a_2 s + b_2 s^2)\dots(1 + a_n s + b_n s^2)} = \frac{A_0}{\prod_i (1 + a_i s + b_i s^2)}$$

A_0 مقدار گین DC در پهنایِ عبور باند است. ضرایب a و b ضرایب فیلتر مورد نظر هستند. این ضرایب که در ضمیمه قرار دارند هرکدام یک نوع فیلتر را می سازند:

- اگر ضرایب باتروث استفاده شود، عبور باند بهینه برای بیشترین صافی است.
- اگر ضرایب چپیشف به کار برده شوند، لبه ی تیزی در تغییرات از عبور باند به حذف باند وجود خواهد داشت.
- اگر ضرایب بسل استفاده گردند، پاسخ فاز خطی تا Fc خواهد بود.

WWW.MOHANDES.ORG

ایجاد مراتب بالاتر فیلتر ها:

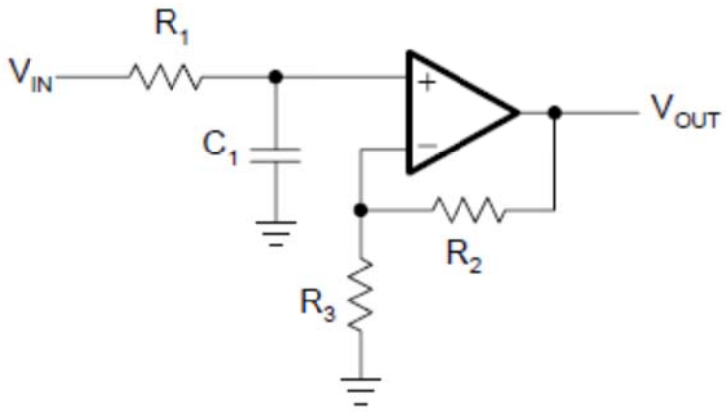


WWW.MOHANDES.ORG

همان طور که از شکل مشخص است برای افزایش مرتبه یک فیلتر کافی است تا آن ها را به صورت پیوسته کنار هم قرار داد و علاوه بر افزایش سرعت تغییرات از عبور باند به حذف باند، مقدار Q را نیز افزایش داد.

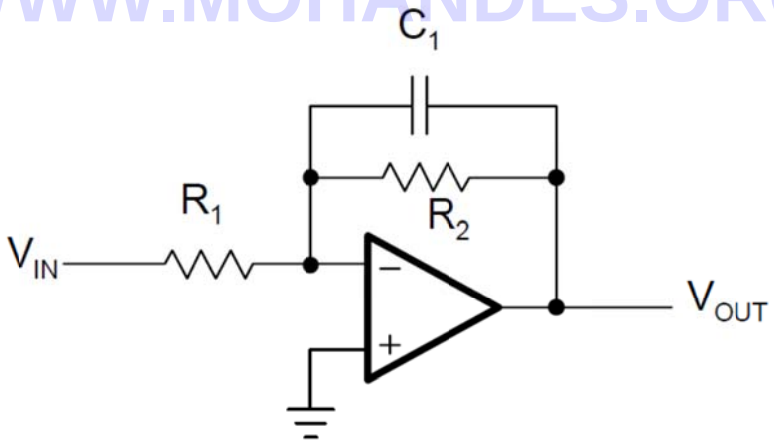
فیلتر پایین گذر مرتبه ۱:

فیلتر های پایین گذر اکتیو به دو دسته : ۱- معکوس کننده ۲- غیر معکوس کننده تقسیم می شوند.



مدار فیلتر مرتبه اول پایین گذر غیر معکوس کننده

WWW.MOHANDES.ORG



مدار فیلتر پایین گذر مرتبه اول معکوس کننده

تابع انتقال این مدارات در زیر بیان شده است:

$$A(s) = \frac{1 + \frac{R_2}{R_3}}{1 + \omega_c R_1 C_1 s}$$

$$A(s) = \frac{-\frac{R_2}{R_1}}{1 + \omega_c R_2 C_1 s}$$

با مقایسه این روابط با رابطه فیلترهای پایین گذر مقادیر A و a این گونه محاسبه می گردند:

$$A_0 = 1 + \frac{R_2}{R_3} \qquad A_0 = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$a_1 = \omega_c R_1 C_1 \qquad a_1 = \omega_c R_2 C_1$$

حال باید پارامتر های طراحی که یک مقدار پیش فرض برای خازن و گین مورد نظر است را قرار داد و مقادیر R_1 و R_2 را محاسبه کرد. مقادیر a نیز از جدول ضرایب فیلتر مورد نظر بدست می آیند.

مثال)

۱- مطلوبست مقدار R_1 برای فرکانس قطع 1KHz ، اگر مقدار C=47nF :

$$R_1 = \frac{a_1}{2\pi f_c C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 Hz \cdot 47 \cdot 10^{-9} F} = 3.38\ k\Omega$$

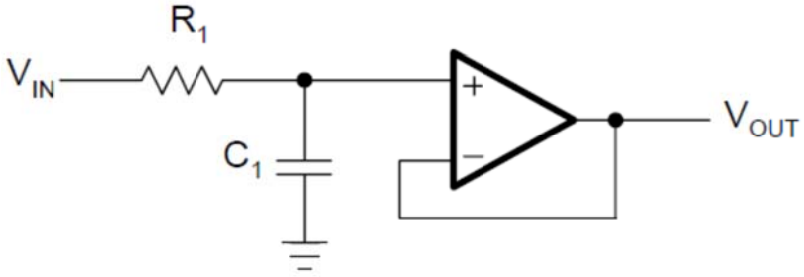
WWW.MOHANDES.ORG

۲- مطلوبست طراحی بخش اول یک فیلتر مرتبه سه پایین گذر بسل با مقدار خازن و فرکانس قطع قبل.

برای حل ابتدا مقدار ضریب بسل را بدست آورده و سپس جای گذاری می کنیم تا مقدار مقاومت بدست آید:

$$R_1 = \frac{a_1}{2\pi f_c C_1} = \frac{0.756}{2\pi \cdot 10^3 Hz \cdot 47 \cdot 10^{-9} F} = 2.56\ k\Omega$$

اگر در طراحی بخواهیم مقدار گین واحد باشد می توانیم هر دو مقاومت موجود روی پایه مثبت را حذف کرده و مدار را به یک بافر مثبت تبدیل کنیم:



فیلتر پایین گذر مرتبه دوم:

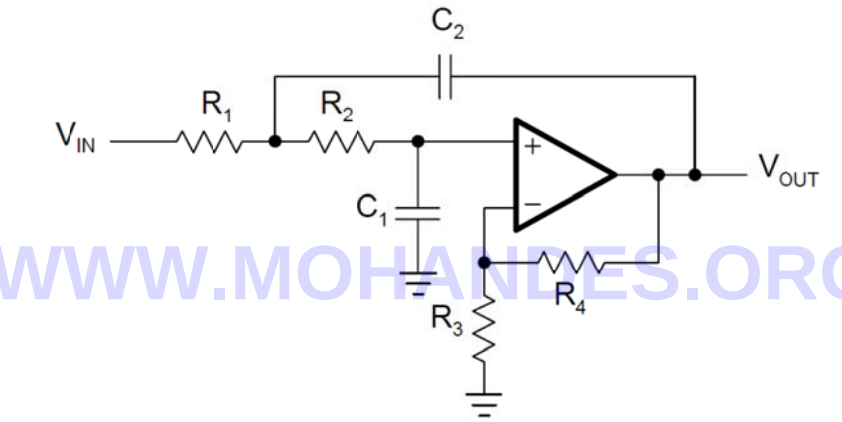
روش های مختلفی برای طراحی فیلتر مرتبه دوم وجود دارد که دو روش آن بسیار مطرح است:

۱- Sallen-Key

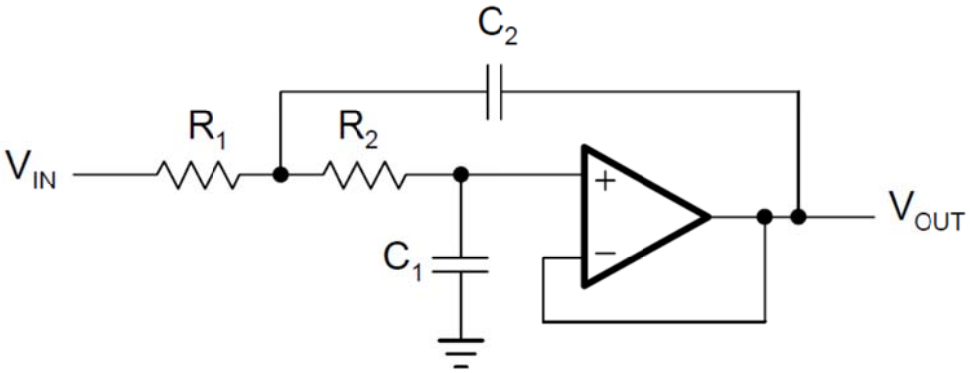
۲- Multiple Feedback (MFB)

توپولوژی Sallen-Key :

این توپولوژی اجازه ی گین مجزا و در عین حال ضریب کیفیت پایین (Q<3)را می دهد. نمای مداری این توپولوژی در دو شکل زیر موجود است، با این تفاوت که مدار دوم دارای گین ثابت ۱ است:



WWW.MOHANDES.ORG



تابع تبدیل این توپولوژی در صورتیکه گین آن یک نباشد برابر است با:

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \omega_c\left[C_1(R_1 + R_2) + (1 - A_0)\,R_1C_2\right] s + \omega_c^2\, R_1R_2C_1C_2s^2}$$

و مدار دوم که دارای گین یک است:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \omega_cC_1(R_1 + R_2)\, s + \omega_c^2\, R_1R_2C_1C_2s^2}$$

با مقایسه تابع انتقال بهینه شده فیلترهای پایین گذر:

$$A_i(s) = \frac{A_0}{(1 + a_i s + b_i s^2)}$$

با توابع انتقال مدارات فوق در می یابیم که :

$$A_0 = 1$$
$$a_1 = \omega_c C_1 (R_1 + R_2)$$
$$b_1 = \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2$$

با در نظر گرفتن مقادیری برای C_1 و C_2 می توان مقدار مقاومت های R_1 و R_2 را بدست آورد:

$$R_{1,2} = \frac{a_1 C_2 \mp \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4 b_1 C_1 C_2}}{4\pi f_c C_1 C_2}$$

تنها مشکلی در حل رابطه بالا موجود است در نظر گرفتن صحیح C_1 و C_2 است که طبق قواعد ریاضی کافیست تا رابطه زیر برای این دو خازن رعایت گردد:

WWW.MOHANDES.ORG

$$C_2 \geq C_1 \frac{4 b_1}{a_1^2}$$

مثال) هدف طراحی یک فیلتر پایین گذر چپیشف مرتبه دوم با گین واحد در فرکانس قطع 3kHz با افت گین 3dB است.

حل) برای طراحی این فیلتر ابتدا لازم است تا مقادیری پیش فرض برای خازن ها انتخاب کنیم پس ابتدا مقدار C_1 را 22nF بر می گزینیم در نتیجه مقدار خازن دوم برابر است با:

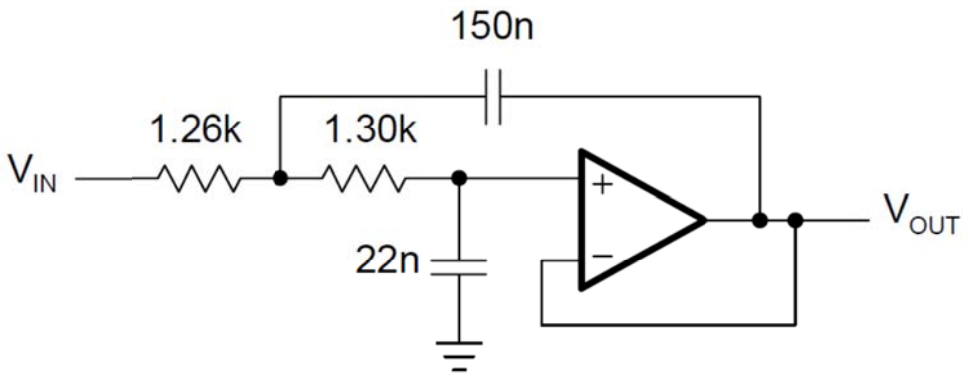
$$C_2 \geq C_1 \frac{4 b_1}{a_1^2} = 22 \cdot 10^{-9} \text{nF} \cdot \frac{4 \cdot 1.9305}{1.065^2} \cong 150 \text{ nF}$$

مقادیر a_1 و b_1 هم از جدول ضرایب فیلتر بدست می آیند. در اینجا هدف بیان طراحی فیلتر های مختلف است پس کافیست برای طراحی بسل (Bessel) از ضرایب آن استفاده کنیم و روند محاسبات هیچ تغییری

نمی کند. حال برای طراحی مقاومت ها کافیست تا با جای گذاری در فرمول ها که حل معادله درجه دوم است مقادیر آن ها را بدست آوریم.

$$R_1 = \frac{1.065\cdot150\cdot10^{-9} - \sqrt{(1.065\cdot150\cdot10^{-9})^2 - 4\cdot1.9305\cdot22\cdot10^{-9}\cdot150\cdot10^{-9}}}{4\pi\cdot3\cdot10^3\cdot22\cdot10^{-9}\cdot150\cdot10^{-9}} = 1.26\ k\Omega$$

$$R_2 = \frac{1.065\cdot150\cdot10^{-9} + \sqrt{(1.065\cdot150\cdot10^{-9})^2 - 4\cdot1.9305\cdot22\cdot10^{-9}\cdot150\cdot10^{-9}}}{4\pi\cdot3\cdot10^3\cdot22\cdot10^{-9}\cdot150\cdot10^{-9}} = 1.30\ k\Omega$$



حالت خاص Sallen – Key:

WWW.MOHANDES.ORG

حالت خاص این مدار زمانی مطرح می گردد که در یک کاربرد مشخص یا با توجه به شرایط بخواهیم مقادیر مقاومت ها $R_1=R_2=R$ و $C_1=C_2=C$ باشد. با این شرایط تابع تبدیل مدار این گونه خواهد شد:

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \omega_c RC(3 - A_0)s + (\omega_c RC)^2 s^2}$$

مقدار A_0 هم با توجه به گین مورد نظر مختلف است، گین واحد باشد یا از رابطه زیر بدست آید:

$$A_0 = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

مقدار ضرایب a_1 و b_1 هم از مقایسه با رابطه اصلی فیلترها این گونه است:

$$a_1 = \omega_c RC(3 - A_0)$$

$$b_1 = (\omega_c RC)^2$$

با فرض مقادیری برای خازن و استخراج ضرایب فیلتر مقدار R این گونه بدست می آید:

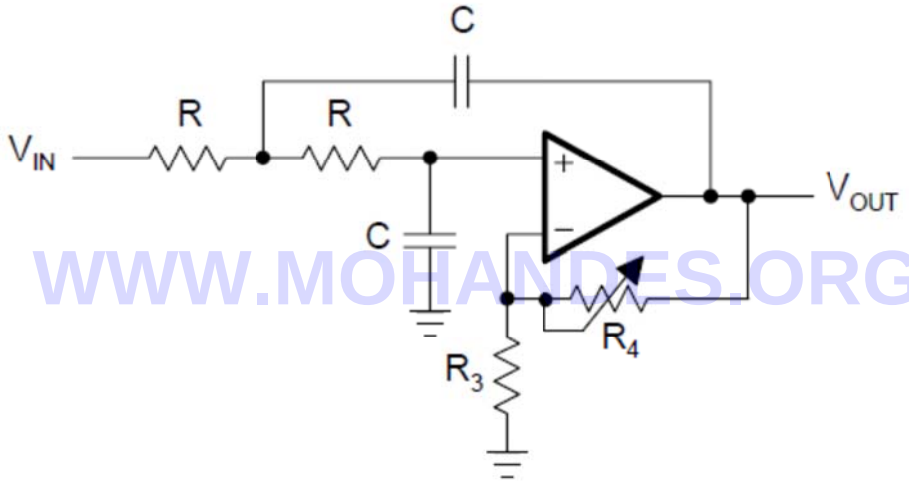
$$R = \frac{\sqrt{b_1}}{2\pi f_c C} \qquad A_0 = 3 - \frac{a_1}{\sqrt{b_1}} = 3 - \frac{1}{Q}$$

WWW.MOHANDES.ORG

Q همان ضریب کیفیت فیلتر است که می توان به جای رابطه مشخصه طرف دیگر مساوی قرار داد.

مشکل در اینجا پدید می آید که ضریب کیفیت فیلتر وابسته به گین انتقالی مدار است. و این بدان معنا است که با تغییر گین ضریب کیفیت تغییر می کند و با آن نوع فیلتر هم دگرگون شده و حتی ممکن است پاسخ بسیار متمایزی را ارائه کند. پس باید ضریب گین یک مقدار ثابت باشد. با توجه به اینکه گین شبکه وابسته به دو مقاومت روی پایه منفی است، نسبت مقاومت ها با توجه به هر فیلتر باید این گونه باشد:

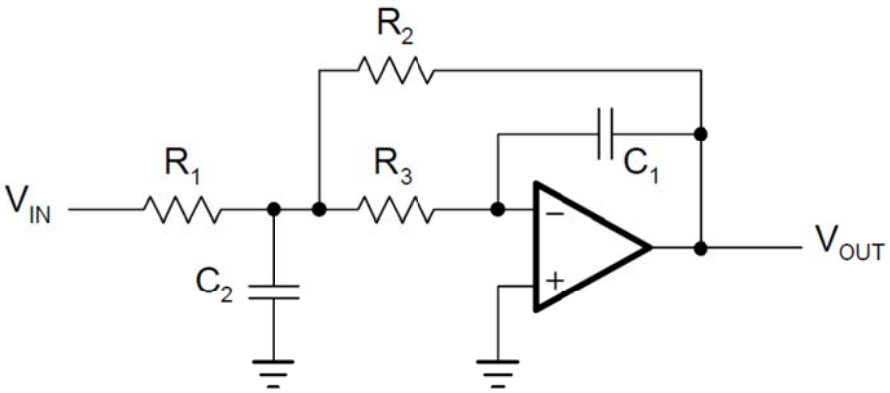
SECOND-ORDER	BESSEL	BUTTERWORTH	3-dB TSCHEBYSCHEFF
a_1	1.3617	1.4142	1.065
b_1	0.618	1	1.9305
Q	0.58	0.71	1.3
R_4/R_3	0.268	0.568	0.234



WWW.MOHANDES.ORG

توپولوژی MFB :

این توپولوژی زمانی استفاده می شود که گین و Q بالابه صورت همزمان نیاز باشد. نمای کلی و تابع انتقال این توپولوژی به قرار زیر است:



$$A(s) = -\frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + \omega_c C_1\left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}\right)s + \omega_c^2 C_1 C_2 R_2 R_3 s^2}$$

با مقایسه رابطه فوق و رابطه اصلی فیلتر می توان ضرایب فیلتر مورد نظر را این گونه بدست آورد:

$$A_0 = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$a_1 = \omega_c C_1 \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \right)$$

$$b_1 = \omega_c{}^2 C_1 C_2 R_2 R_3$$

با در نظر گرفتن مقادیری برای خازن های C_1 و C_2 مقادیر مقاومت ها هم اینگونه بدست می آید:

$$R_2 = \frac{a_1 C_2 - \sqrt{a_1{}^2 C_2{}^2 - 4 b_1 C_1 C_2 (1 - A_0)}}{4\pi f_c C_1 C_2}$$

$$R_1 = \frac{R_2}{-A_0}$$

$$R_3 = \frac{b_1}{4\pi^2 f_c{}^2 C_1 C_2 R_2}$$

با توجه به معادله R_2 ، برای اینکه مقادیر حقیقی و صحیح باشند می بایست رابطه زیر برقرار باشد:

WWW.MOHANDES.ORG

$$C_2 \geq C_1 \frac{4 b_1 (1 - A_0)}{a_1{}^2}$$

طراحی فیلترهای مرتبه بالاتر:

مرتبه های بالاتر زمانی استفاده می شود که بخواهیم لبه های تیزتر در منحنی مشخصات فیلتر داشته باشیم. همان طور که در قبل بیان شد فیلتر ها به صورت سری روی یک فرکانس پشت سر هم قرار می گیرند. در طراحی باید این دقت را کرد که ضرایب هر فیلتر در هر مرحله متفاوت است. این ضرایب در جدول ضمیمه قرار دارد.

مثال) هدف طراحی یک فیلتر مرتبه 5 پایین گذر باتروث با فرکانس قطع 50kHz .

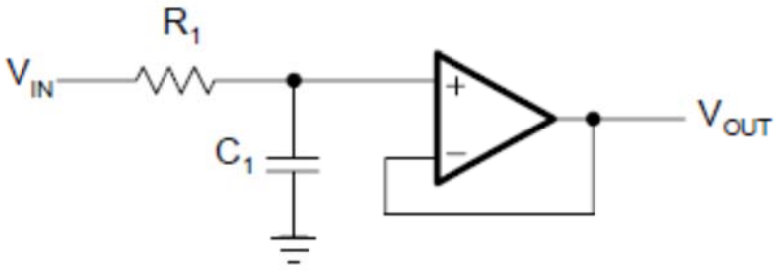
حل)در ابتدا کافی است تا ضرایب فیلتر را از جدول بدست آوریم:

	a_i	b_i
Filter 1	$a_1 = 1$	$b_1 = 0$
Filter 2	$a_2 = 1.6180$	$b_2 = 1$
Filter 3	$a_3 = 0.6180$	$b_3 = 1$

WWW.MOHANDES.ORG

در هر مرحله از طراحی ، مقداری برای خازن ها در نظر می گیریم و مقادیر مقاومت ها را از آن بدست می‌آوریم.

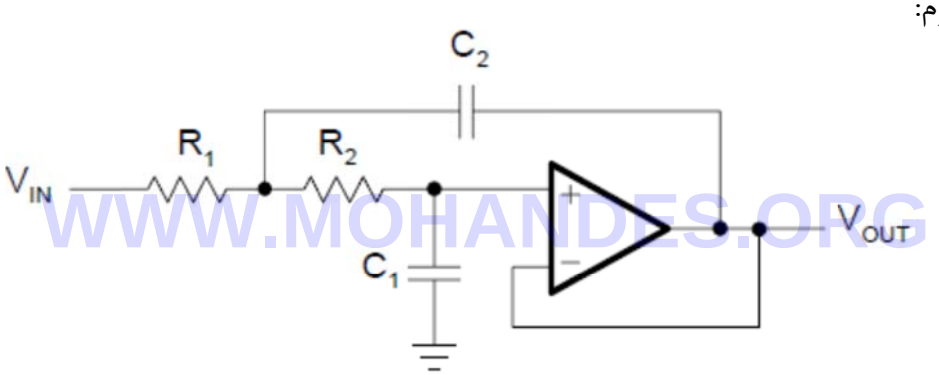
فیلتر اول:



اگر مقدار خازن را 1nF در نظر بگیریم:

$$R_1 = \frac{a_1}{2\pi f_c C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^3 Hz \cdot 1 \cdot 10^{-9} F} = 3.18\ k\Omega$$

فیلتر دوم:



WWW.MOHANDES.ORG

با فرض اینکه مقدار خازن C_1=820pF باشد آنگاه:

$$C_2 \geq C_1 \frac{4b_2}{a_2^2} = 820 \cdot 10^{-12} F \cdot \frac{4 \cdot 1}{1.618^2} = 1.26\ nF$$

$$R_1 = \frac{a_2 C_2 - \sqrt{a_2^2 C_2^2 - 4 b_2 C_1 C_2}}{4\pi f_c C_1 C_2} \qquad R_1 = \frac{a_2 C_2 + \sqrt{a_2^2 C_2^2 - 4 b_2 C_1 C_2}}{4\pi f_c C_1 C_2}$$

$$R_1 = \frac{1.618 \cdot 1.5 \cdot 10^{-9} - \sqrt{(1.618 \cdot 1.5 \cdot 10^{-9})^2 - 4 \cdot 1 \cdot 820 \cdot 10^{-12} \cdot 1.5 \cdot 10^{-9}}}{4\pi \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 820 \cdot 10^{-12} \cdot 1.5 \cdot 10^{-9}} = 1.87\ k\Omega$$

$$R_2 = \frac{1.618 \cdot 1.5 \cdot 10^{-9} + \sqrt{(1.618 \cdot 1.5 \cdot 10^{-9})^2 - 4 \cdot 1 \cdot 820 \cdot 10^{-12} \cdot 1.5 \cdot 10^{-9}}}{4\pi \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 820 \cdot 10^{-12} \cdot 1.5 \cdot 10^{-9}} = 4.42\ k\Omega$$

WWW.MOHANDES.ORG

فیلتر سوم:

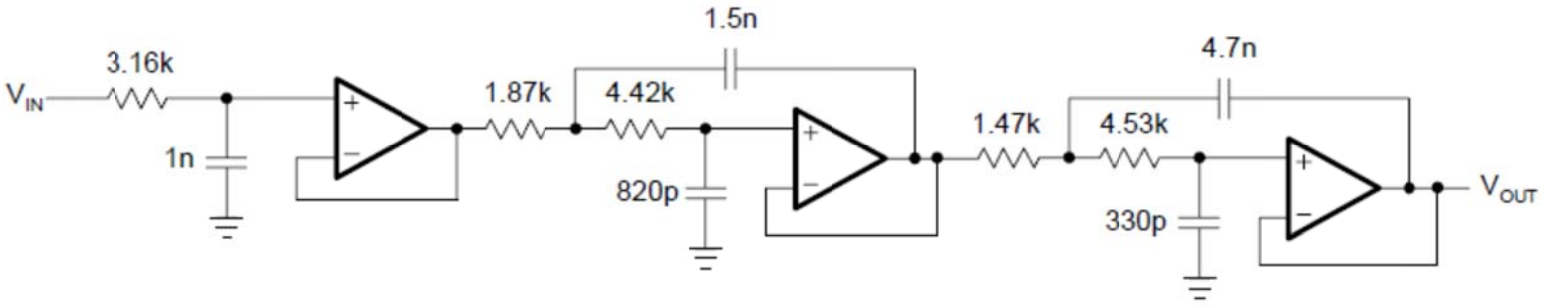
با فرض اینکه مقدار خازن C_1=330pF باشد مقادیر مقاومت ها و خازن از طریق مشابه برابر است با :

$$C_2 \geq C_1 \frac{4b_3}{a_3^2} = 330 \cdot 10^{-12}\text{F} \cdot \frac{4 \cdot 1}{0.618^2} = 3.46\ \text{nF}$$

$$R_1 = 1.45\ \text{k}\Omega$$

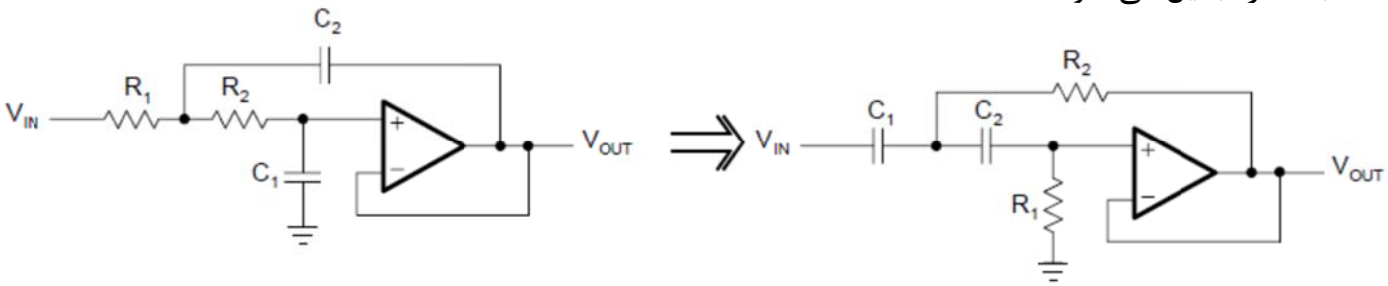
$$R_2 = 4.51\ \text{k}\Omega$$

حال با معادل سازی مقادیر با مقادیر واقعی مدار این فیلتر این گونه است:



فیلترهای بالاگذر:

با تغییر مقاومت های یک فیلتر پایین گذر به خازن و خازن به مقاومت مدار فیلتر پایین گذر به فیلتر بالاگذر تبدیل می شود:



تابع انتقال اصلی یک فیلتر بالا گذر این گونه است:

$$A(s) = \frac{A_\infty}{\prod_i \left(1 + \frac{a_i}{s} + \frac{b_i}{s^2}\right)}$$

هر مرتبه از فیلتر هم دارای رابطه خروجی زیر است:

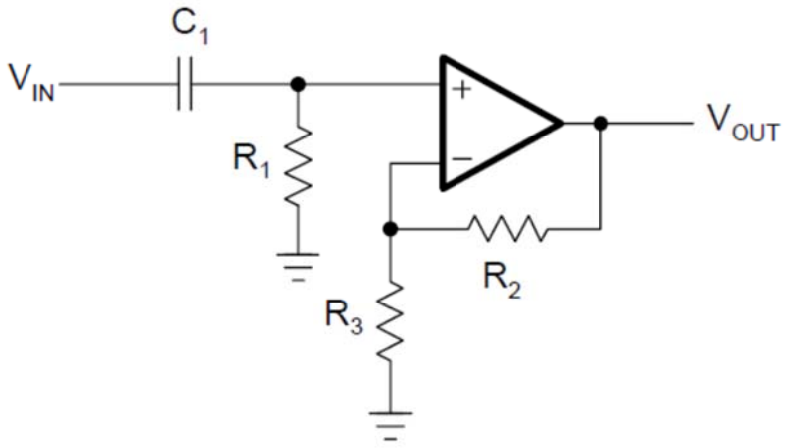
$$A_i(s) = \frac{A_\infty}{\left(1 + \frac{a_i}{s} + \frac{b_i}{s^2}\right)}$$

یک فیلتر مرتبه اول بالاگذر دارای b=0 است پس رابطه آن می شود:

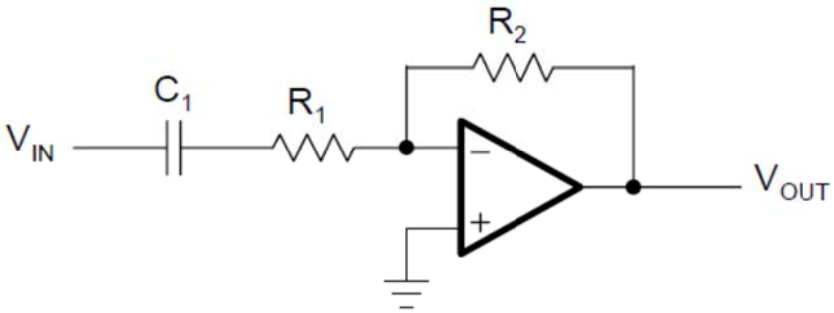
$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{a_i}{s}}$$

فیلتر بالاگذر مرتبه اول:

مدار فیلتر بالاگذر مرتبه اول نیز مانند پایین گذر آن دارای دو مدار معکوس کننده و غیر معکوس کننده است:



بالاگذر غیرمعکوس کننده



بالاگذر معکوس کننده

تابع انتقال مدارات فوق به ترتیب در زیر قرار دارد:

$$A(s) = \frac{1 + \frac{R_2}{R_3}}{1 + \frac{1}{\omega_c R_1 C_1} \cdot \frac{1}{s}}$$

$$A(s) = -\frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{\omega_c R_1 C_1} \cdot \frac{1}{s}}$$

با مقایسه رابطه اصلی فیلتر بالاگذر و تابع انتقال مدارات فوق به ترتیب آنان می توان این گونه نوشت:

$$A_\infty = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$

$$A_\infty = -\frac{R_2}{R_1}$$

برای هر دو مدار مقدار ضریب a_1 برابر است با:

$$a_1 = \frac{1}{\omega_c R_1 C_1}$$

برای حل مدار کافی است تا نوع فیلتر ، مقداری برای فرکانس قطع و ظرفیت خازن C در نظر گرفته شود تا مقدار مقاومت بدست آید:

$$R_1 = \frac{1}{2\pi f_c a_1 C_1}$$

مدار غیر معکوس کننده:

$$R_2 = R_3(A_\infty - 1)$$

مدار معکوس کننده:

$$R_2 = -R_1 A_\infty$$

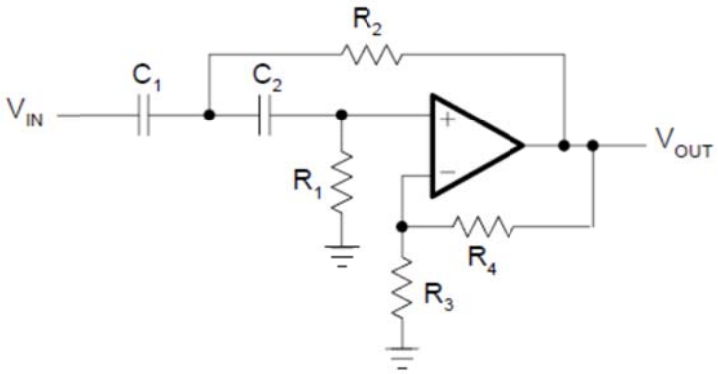
فیلتر بالاگذر مرتبه دوم:

مانند فیلتر پایین گذر دو مدار مطرح برای فیلتر های مرتبه دوم وجود دارد:

۱- Sallen – Key

۲- Multiple Feedback (MFB)

توپولوژی Sallen – Key :



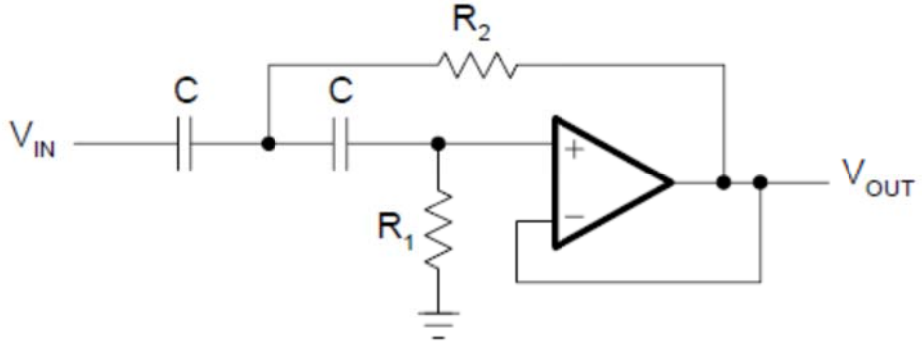
تابع انتقال این شبکه به قرار زیر است:

$$A(s) = \frac{\alpha}{1 + \frac{R_2(C_1+C_2)+R_1C_2(1-\alpha)}{\omega_c R_1 R_2 C_1 C_2}\cdot\frac{1}{s} + \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2}\cdot\frac{1}{s^2}}$$

که در آن :

$$\alpha = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

مدار گین واحد Sallen – Key هم این گونه است:



برای آنالیز راحت تر این مدار مقادیر خازن ها را با هم برابر در نظر گرفتیم ، تابع انتقال مدار بدست آمده برابر است با:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \frac{2}{\omega_c R_1 C}\cdot\frac{1}{s} + \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2}\cdot\frac{1}{s^2}}$$

با مقایسه این رابطه با فرمول اصلی فیلتر بالاگذر ضرایب این گونه بدست می آیند:

$$A_\infty = 1$$

$$a_1 = \frac{2}{\omega_c R_1 C}$$

$$b_1 = \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2}$$

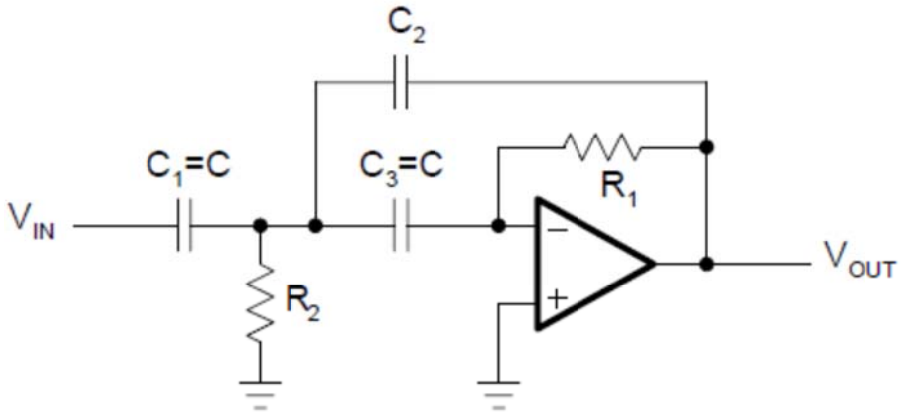
با در نظر گرفتن ظرفیتی برای خازن مقدار R_1 و R_2 می شوند:

$$R_1 = \frac{1}{\pi f_c C a_1}$$

$$R_2 = \frac{a_1}{4\pi f_c C b_1}$$

توپولوژی MFB :

این مدار دقیقا ویژگی های خود را که در فیلتر پایین گذر دارد را نیز در بالاگذر دارد (بالا بودن ضریب کیفیت و گین). مدار این توپولوژی در بالاگذر به قرار زیر است:



برای ساده سازی روابط این فیلتر مقادیر خازن های نمایش داده شده یکسان در نظر گرفته می شوند.

تابع انتقال MFB :

$$A(s) = -\frac{\frac{C}{C_2}}{1 + \frac{2C + C_2}{\omega_c R_1 C C_2}\cdot\frac{1}{s} + \frac{2C + C_2}{\omega_c R_1 C C_2}\cdot\frac{1}{s^2}}$$

با مقایسه تابع انتقال فیلتر بالاگذر و رابطه بالا می توان ضرایب را این گونه نوشت:

$$A_\infty = \frac{C}{C_2}$$

$$a_1 = \frac{2C + C_2}{\omega_c R_1 C C_2}$$

$$b_1 = \frac{2C + C_2}{\omega_c R_1 C C_2}$$

کافیست تا مقداری برای خازن ها ، فرکانس قطع در نظر گرفت آنگاه مقاومت ها برابراند با:

$$R_1 = \frac{1 - 2A_\infty}{2\pi f_c \cdot C \cdot a_1}$$

$$R_2 = \frac{a_1}{2\pi f_c \cdot b_1 C_2 (1 - 2A_\infty)}$$

با توجه به اینکه گین خروجی مدار به ظرفیت خازن ها وابسته است برای بدست آوردن گین مورد نظر

می بایست تا تلرانس خازن ها در حالت حداقل باشند.

فیلترهای مرتبه بالاترِ بالاگذر:

دقیقا مانند فیلتر های پایین گذر کافی است تا برای بدست آوردن مرتبه مورد نظر فیلتر های مرتبه یک یا دو را به صورت سری پشت هم قرار دهیم تا بتوان مرتبه دلخواه را ایجاد کرد.

مثال) فیلتر بسل بالاگذر مرتبه سومی در فرکانس قطع 1kHz طراحی کنید.

حل) در ابتدا لازم است تا ضرایب این فیلتر را از جدول آن که در ضمیمه است استخراج کنیم:

	a_i	b_i
Filter 1	$a_1 = 0.756$	$b_1 = 0$
Filter 2	$a_2 = 0.9996$	$b_2 = 0.4772$

پس از استخراج برای هر stage از فیلتر مقادیری برای خازن ها در نظر می گیریم و مسئله را حل می کنیم:

فیلتر اول:

$C_1 = 100\ nF,$

$$R_1 = \frac{1}{2\pi f_c a_1 C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 Hz \cdot 0.756 \cdot 100 \cdot 10^{-9} F} = 2.105\ k\Omega$$

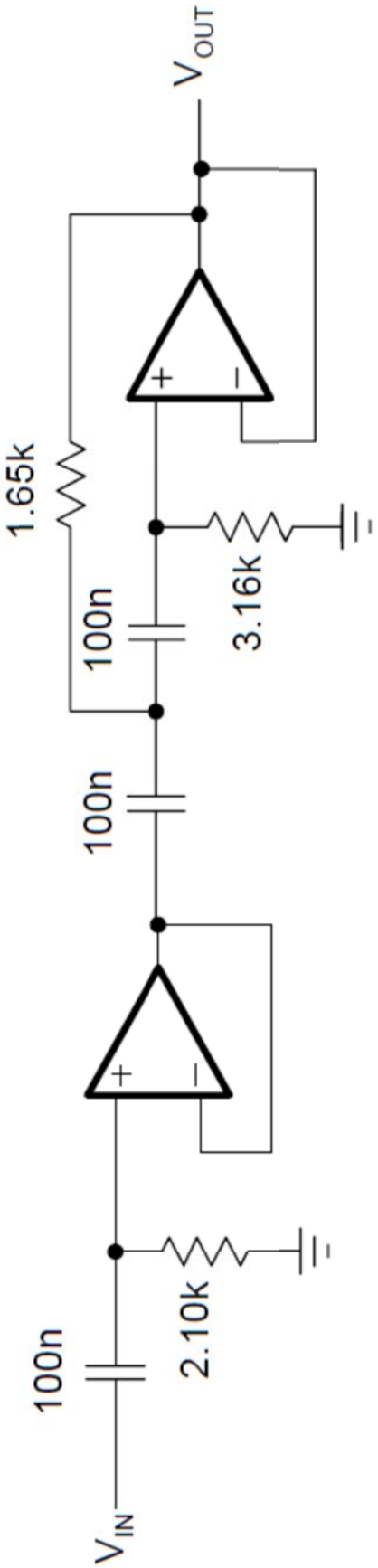
فیلتر دوم:

$C = 100nF,$

$$R_1 = \frac{1}{\pi f_c C a_1} = \frac{1}{\pi \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 0.756} = 3.18\ k\Omega$$

$$R_2 = \frac{a_1}{4\pi f_c C b_1} = \frac{0.9996}{4\pi \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 0.4772} = 1.67\ k\Omega$$

با تقریب زدن مقادیر مقاومت ها می توان مدار این فیلتر را این گونه رسم کرد:


V_{OUT}
1.65k
100n
3.16k
100n
100n
2.10k
V_{IN}

فصل سوم

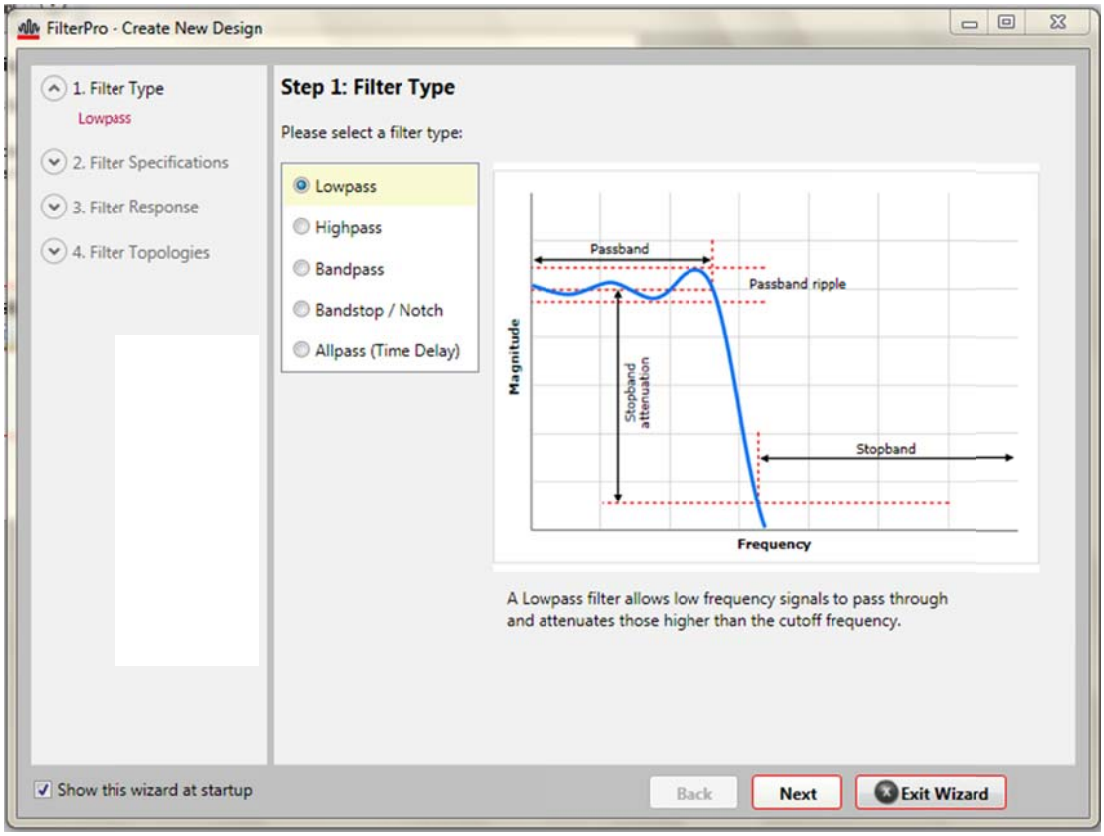
WWW.MOHANDES.ORG

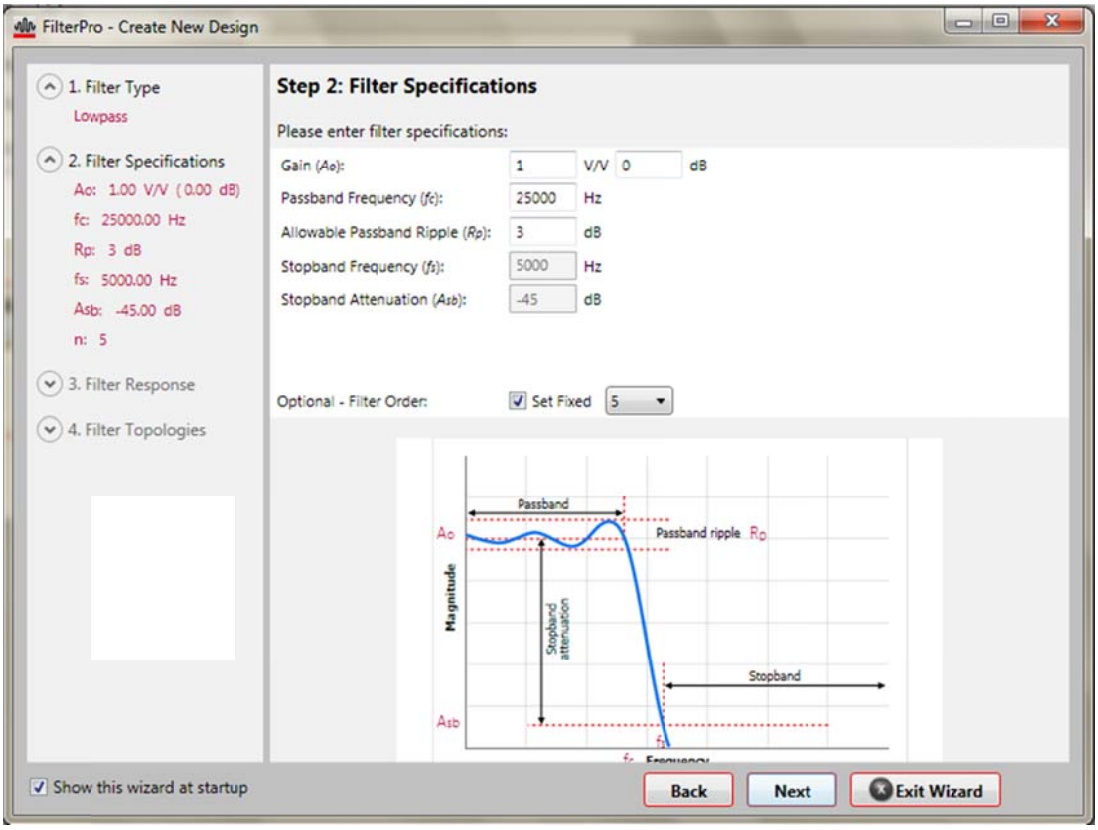
Filter Pro:

این نرم افزار رایگان محصول شرکت Texas Instrument است. شرکتی که در طراحی های آنالوگ بسیار قدرتمند، مطرح و قابل اعتماد است. معمولا میزان اعتماد توسط تراشه های شرکت های الکترونیکی سنجیده می شود. اگر تراشه ها پایدار در تمامی رنج ها باشند مقدار اعتماد آن افزایش می یابد که در این راستا تگزاس یک شرکت موفق است.

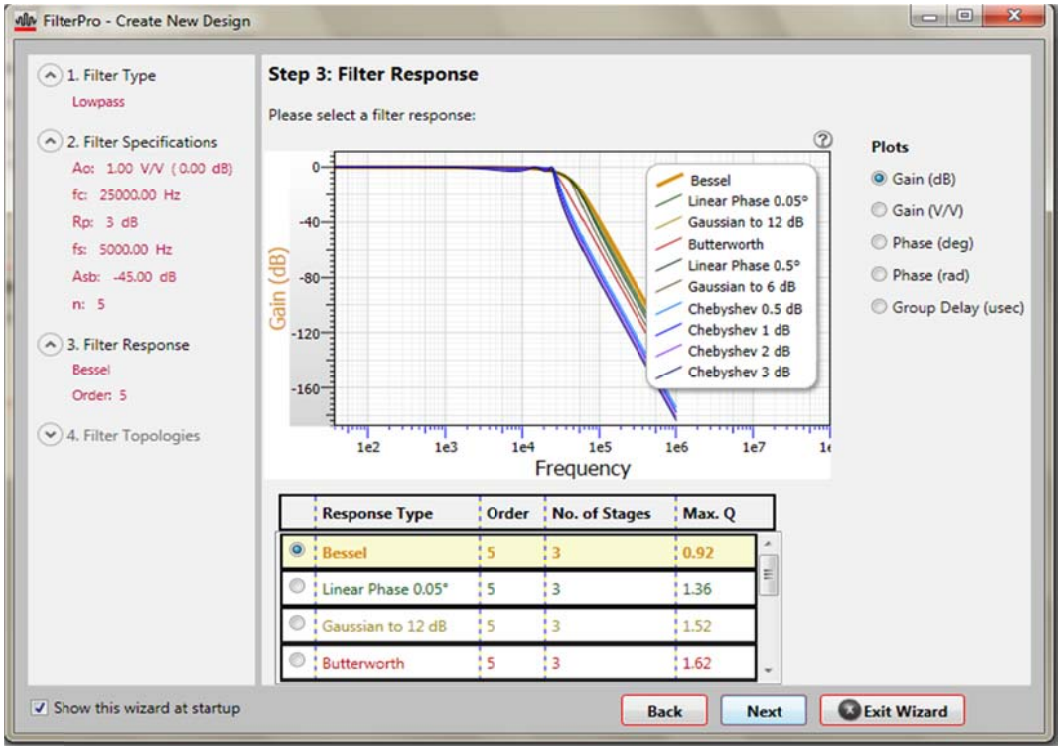
TI علاوه بر اینکه یک تولید کننده الکترونیک است تولید علم و پرورش علمی افراد را نیز انجام می دهد و بر همین اساس نرم افزار های مختلفی را ارائه می دهد و روند طراحی را بسیار ساده می کند، از جمله این نرم افزار ها Filter Pro است که توانایی طراحی انواع فیلتر های Active شامل پایین گذر، بالاگذر ، میان گذر، حذف باند و عبور مستقیم باند را دارد. از ویژگی های دیگر این نرم افزار توانایی انتخاب نوع فیلتر و درجه آن است. در پایان طراحی هم یک گزارش کامل از مدار طراحی شده در اختیار کاربر قرار می دهد.

برای طراحی یک فیلتر با این نرم افزار کافیست تا مراحل ذیل دنبال شود:



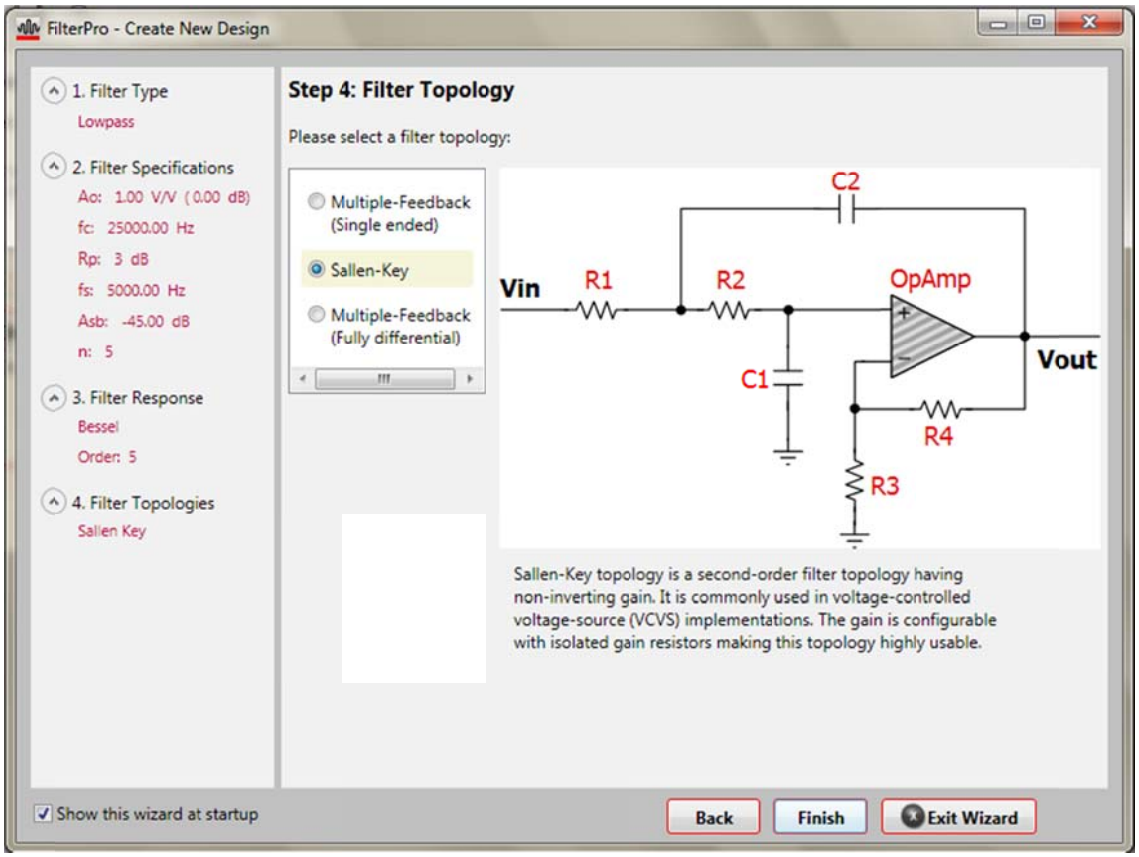


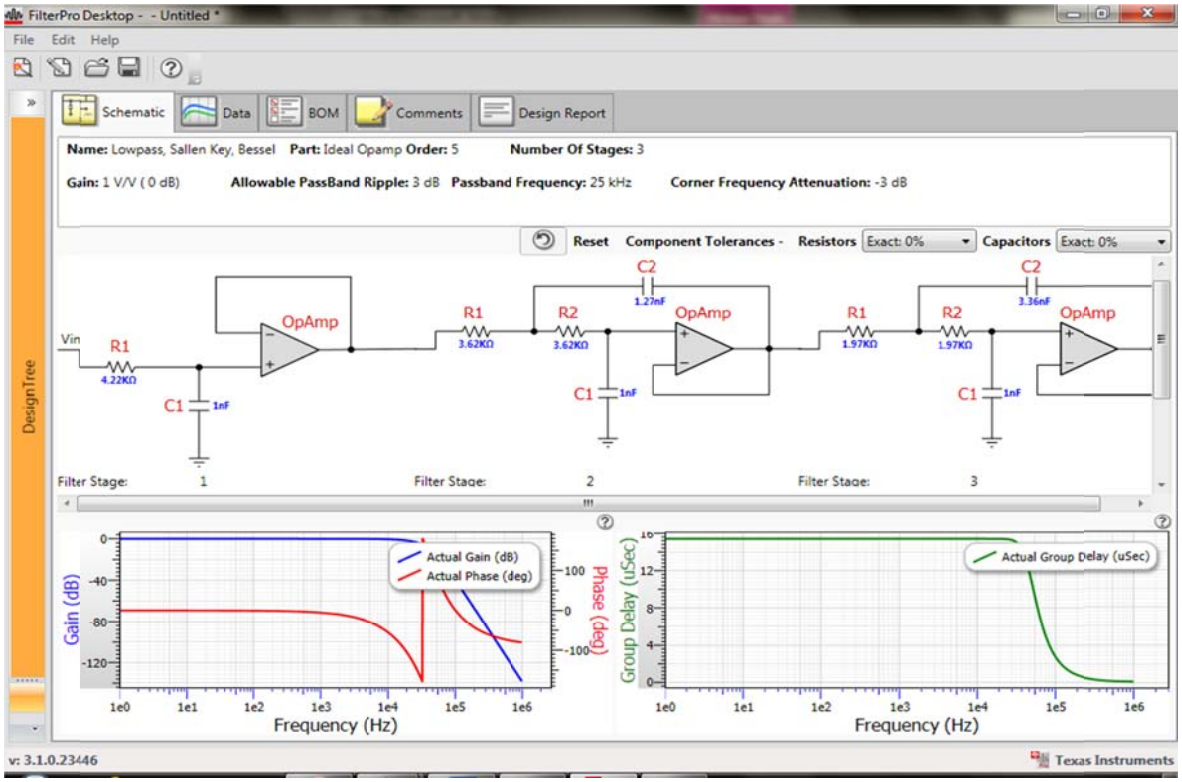
در این مرحله گین خروجی ، فرکانس عبور باند، محدوده افت برای فرکانس قطع و در آخرین بخش مرتبه فیلتر تعیین می گردد.در اینجا ما فرکانس قطع را 25kHz با افت 3dB و مرتبه ۵ فیلتر انتخاب کرده ایم.



در این مرحله نوع فیلتر انتخاب می شود. این نرم افزار تمامی فیلتر های مطرح را در یک نمودار مقایسه می کند تا طراح مطابق نظر خود فیلتر اصلی را برگزیند. دراینجا ما بسل را انتخاب کردیم.

در مرحله آخر توپولوژی مورد نظر را انتخاب کرده و با Finish مدار فیلتر رسم می گردد:



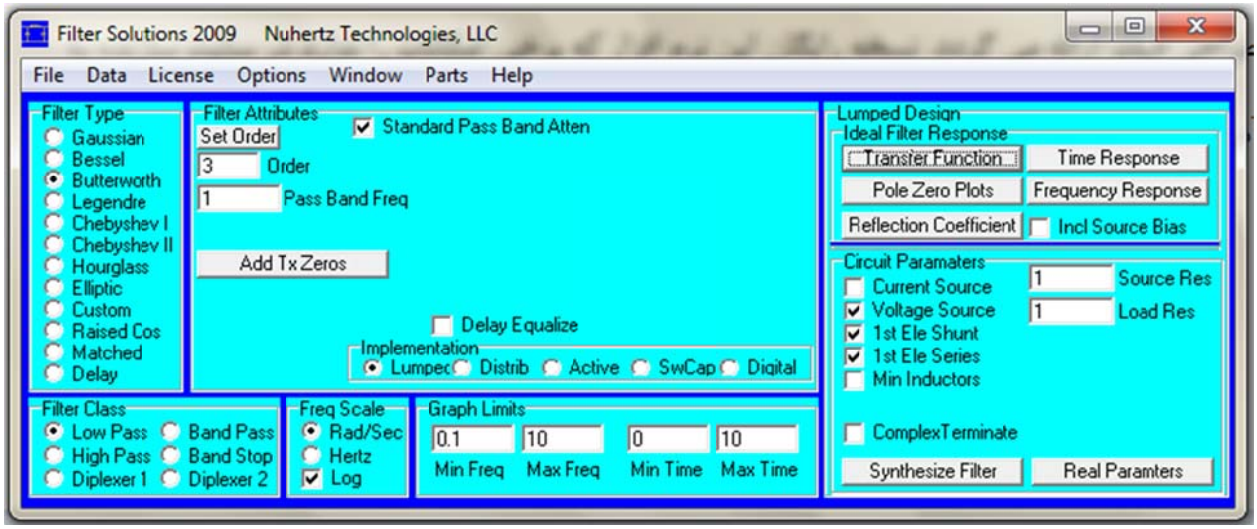


در پایان نمودار های گین، فاز و Group Delay فیلتر طراحی شده شبیه سازی می گردد.

در صورتیکه نتوان مقادیر مقاومت ها و خازن های طراحی شده را تهیه کرد می توان با انتخاب درصد تلرانس در نرم افزار آن ها را تجاری کرد.

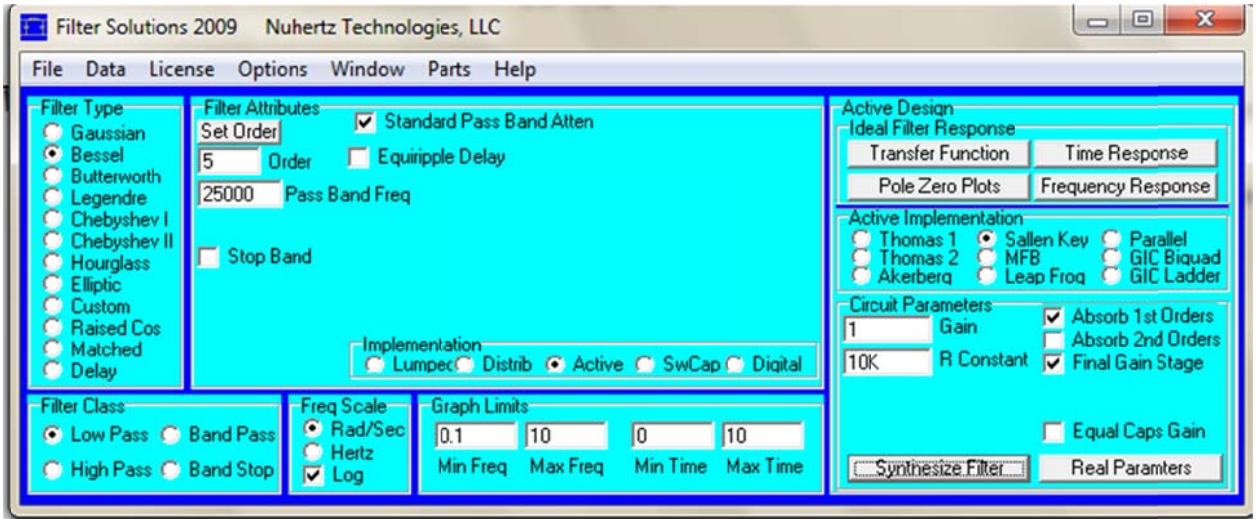
Filter Solution:

از قدیمی ترین نرم افزار های طراحی فیلتر است. یک شرکت آلمانی به اسم Nuhertz Technologies آن را طراحی کرده و در زمان نگارش آخرین نسخه این نرم افزار 13 می باشد. ویژگی این نرم افزار تنوع گسترده فیلتر ها، شبیه سازی به صورت کامل و ارائه رابطه ریاضی فیلتر است. قیمت این نرم افزار با توجه به امکاناتی که ارائه می کند بسیار کم است. شهرت این نرم افزار طوری است که در اینترنت اولین نرم افزار طراحی فیلتر ارائه می گردد. نسخه رایگان این نرم افزار که برخی امکانات را ندارد در سایت سازنده به آدرس www.filter-solutions.com موجود است.

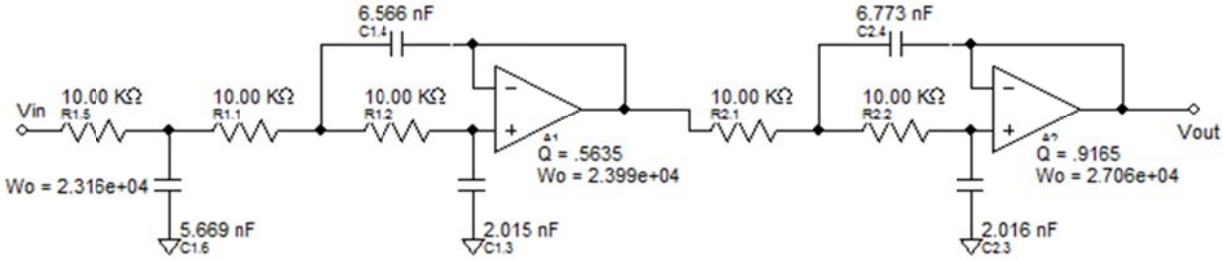


محیط نرم افزار

برای طراحی با این نرم افزار کافیست تا فیلتر مورد نظر را انتخاب و سپس با تعیین فرکانس قطع و گین آن مدار مورد نظر را مشاهده کنید:



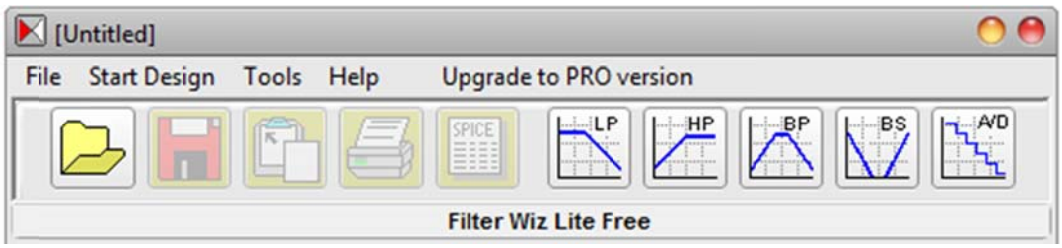
در این طراحی فیلتر مورد نظر بسل پایین گذر مرتبه ۵ با فرکانس قطع 25kHz و گین یک با توپولوژی Sallen – Key قرار داده شده است. پس از قرار دادن موارد خواسته شده کافیست تا بر روی Synthesize Filter کلیک کنیم:



تابع انتقال حاصل از این طراحی هم با کلیک بر روی Transfer Function بدست می آید:

$$\frac{9.766e+21}{S^5 + 9.527e+04*S^4 + 4.235e+09*S^3 + 1.076e+14*S^2 + 1.538e+18*S + 9.766e+21}$$

نرم افزار Filter Wiz :



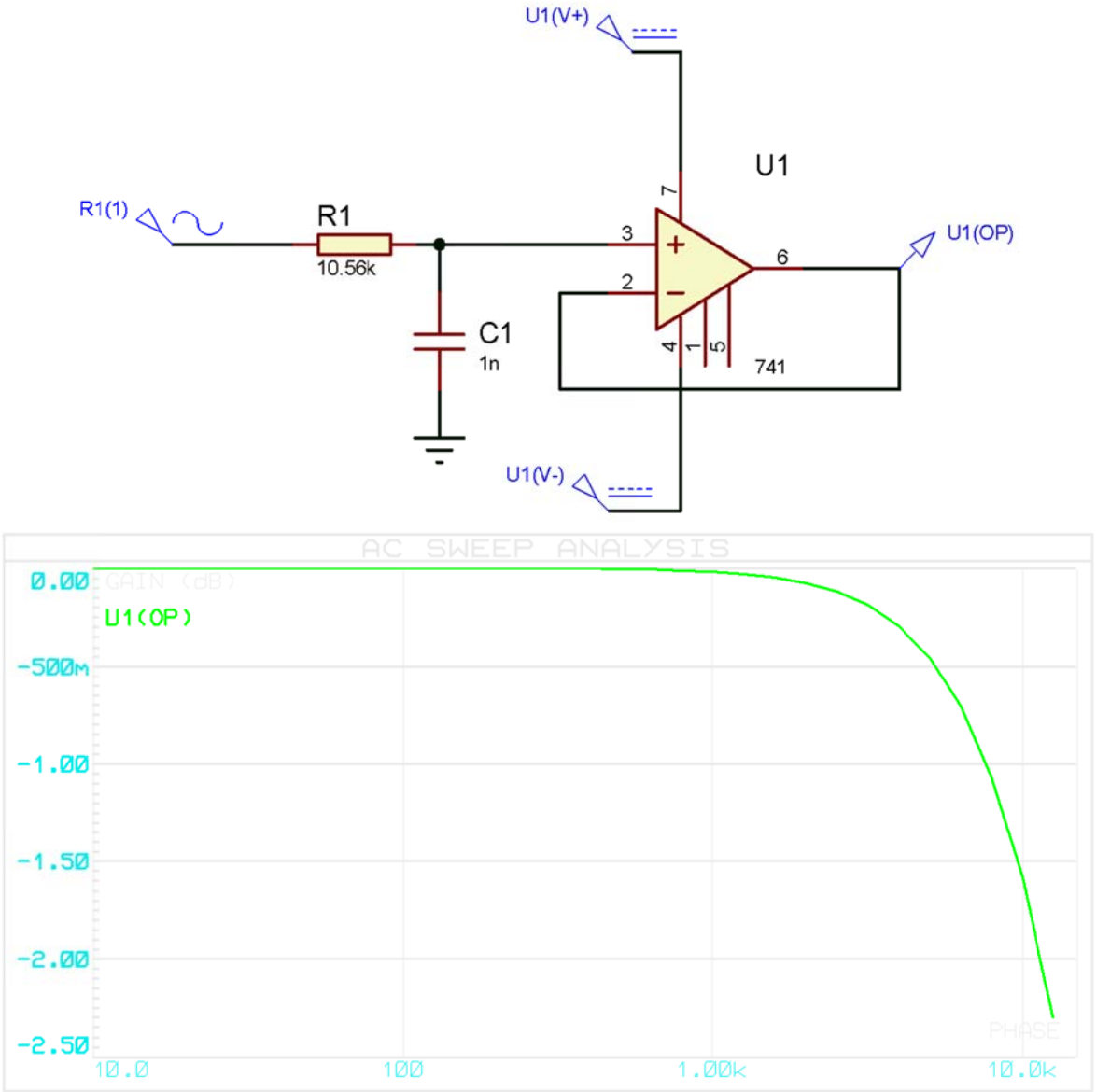
ویژگی این نرم افزار طراحی بسیار گوناگون فیلتر است. به طوریکه در حدود 6 مدار برای هر فیلتر ارائه می کند. هر کدام از این شش حالت را می توان در هر مرتبه از فیلتر پیاده سازی کرد. این عمل باعث دید امپدانسی مختلف ، گین مختلف و رفع محدودیت المان می گردد. با توجه به اینکه این نرم افزار شبیه سازی فیلتر را ندارد خروجی Spice را ارائه می کند که می توان در نرم افزار هایی چون Orcad و Altium شبیه سازی را انجام داد.

مراحل طراحی در این نرم افزارکاملا شبیه به Filter Pro است.

نرم افزار Proteus :

این نرم افزار طراح فیلتر نیست بلکه یک نرم افزار شبیه سازی مدارات الکترونیک است و توانایی شبیه سازی آنالوگ و دیجیتال در دو حالت Off-Mode و Real-time را دارد. معمولا فیلتر هایی که طراحی می شوند در ابتدا در یک نرم افزار شبیه سازی تست شده سپس ساخته می شوند.

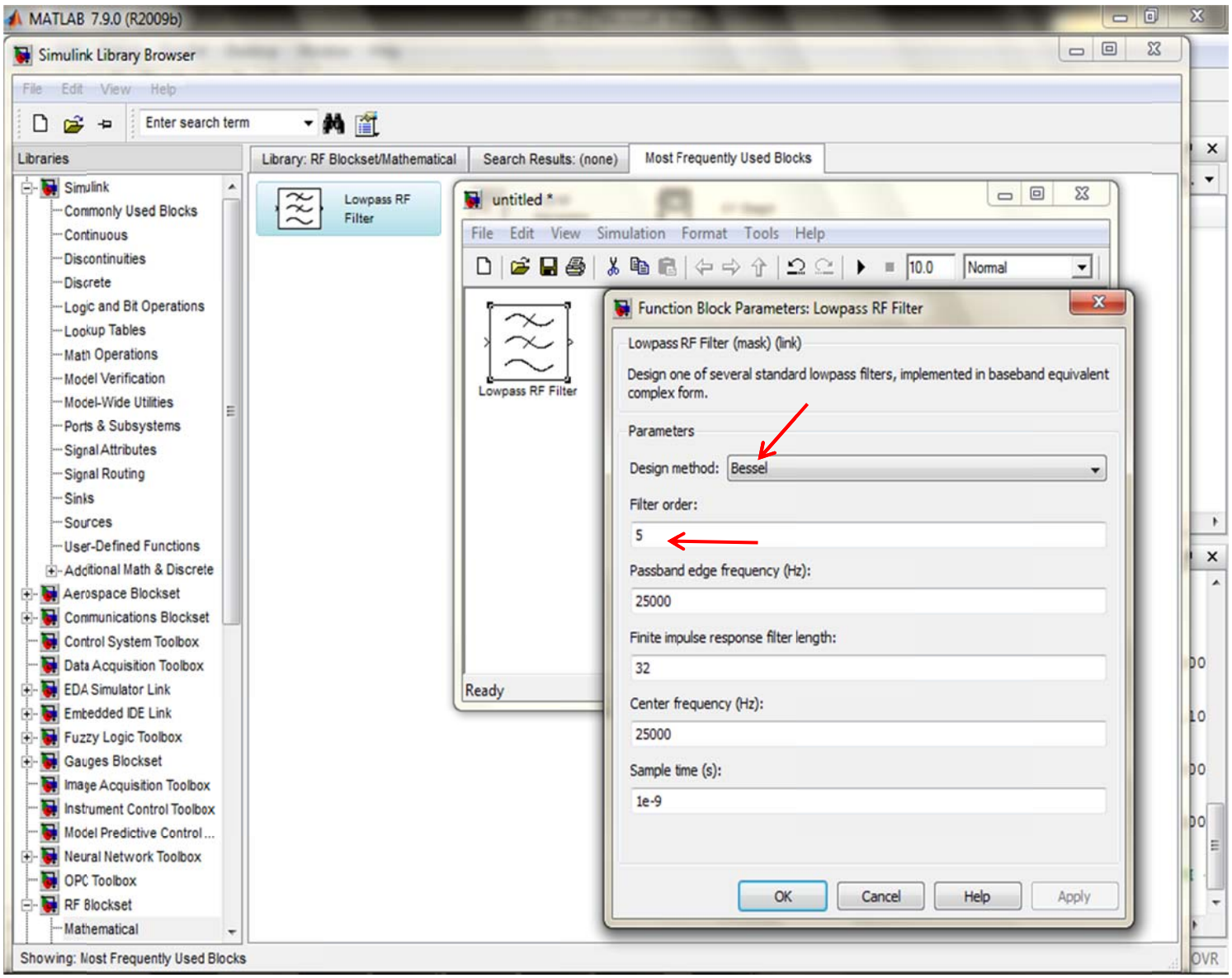
در زیر شبیه سازی یک تمونه فیلتر در Proteus قرار داده شده است:



نرم افزار Matlab :

قوی ترین نرم افزار آنالیز و بررسی(تمام پدیده های فیزیکی) به زبان ریاضی است. در این نرم افزار طراحی وجود ندارد بلکه با دانستن مراحل طراحی نرم افزار ابزار آن را در اختیار می گذارد. در این نرم افزار دو روش برای طراحی یک فیلتر وجود دارد: ۱- شبیه سازی Simulink و ۲- آنالیز ریاضی معادله فیلتر

در هر دو ساختار نرم افزار منابع مناسبی دارد وبه طور مثال در زیر نمای سیمولینک فیلتر برای شبیه سازی وجود دارد:



در بررسی ریاضی هم Matlab چند تابع کلیدی برای آنالیز Bessel دارد.

دستور Besself :

این دستور صرفا برای تولید ضرایب فیلتر بسل پایین گذر است.

آرگومان های فرمان فوق شامل مرتبه فیلترN و فرکانس قطع Wo بر اساس رادیان بر ثانیه است که تا این فرکانس مقدار Group Delay ثابت است.

خروجی این فرمان یک بردار با درجه N+1 است.

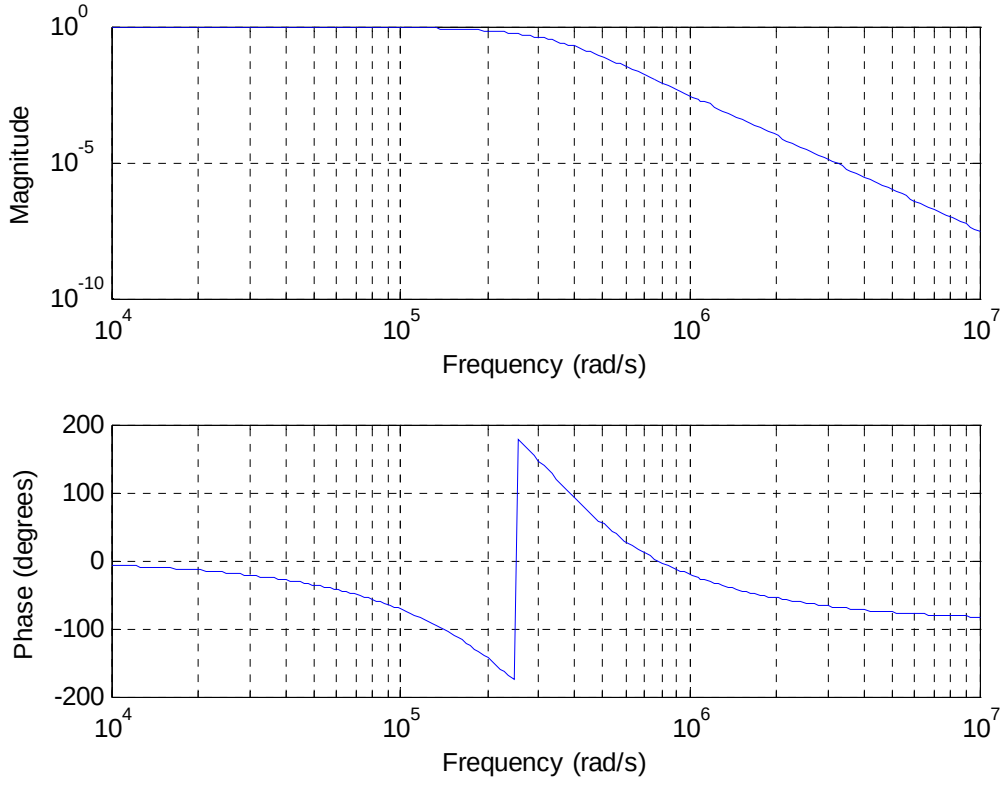
مثال)

```
[a,b]=besself(5,2*pi*50000)
```

در این مثال یک فیلتر مرتبه پنجم بسل با فرکانس عبور 50kHz در بردار a و b تعریف شده است.

دستور Freqs :

این دستور پاسخ فرکانسی یک فیلتر را رسم می کند. آرگومان این فرمان بردار فیلتر است.

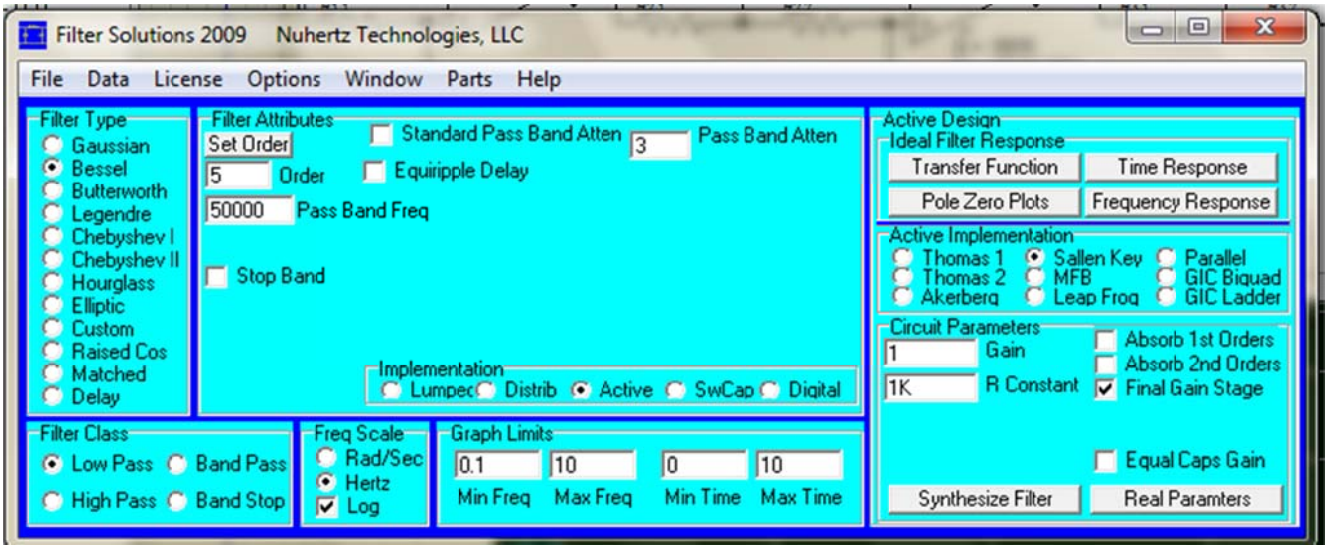


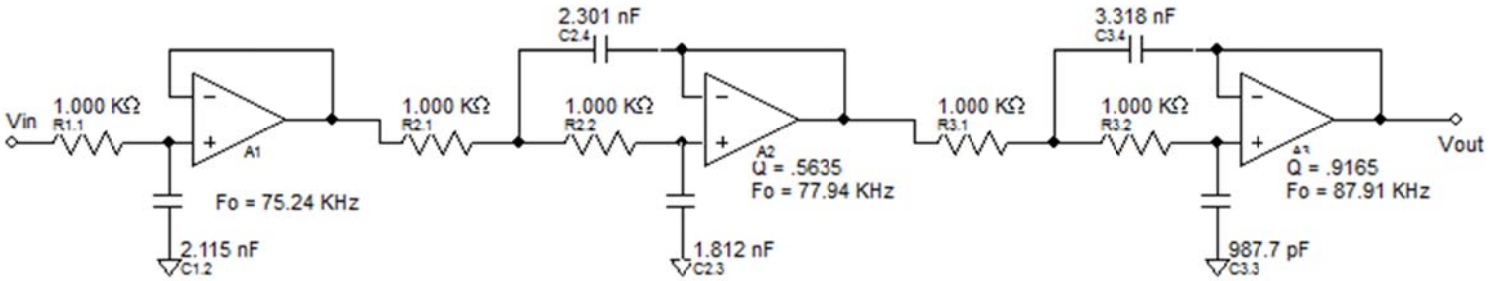
فصل چهارم

WWW.MOHANDES.ORG

طراحی فیلتر:

با استفاده از نرم افزار Filter Solution یک فیلتر پایین گذر مرتبه 5 بسل در فرکانس قطع 50kHz طراحی گردیده است که نحوه طراحی و دیگر مشخصات آن در زیر موجود است:

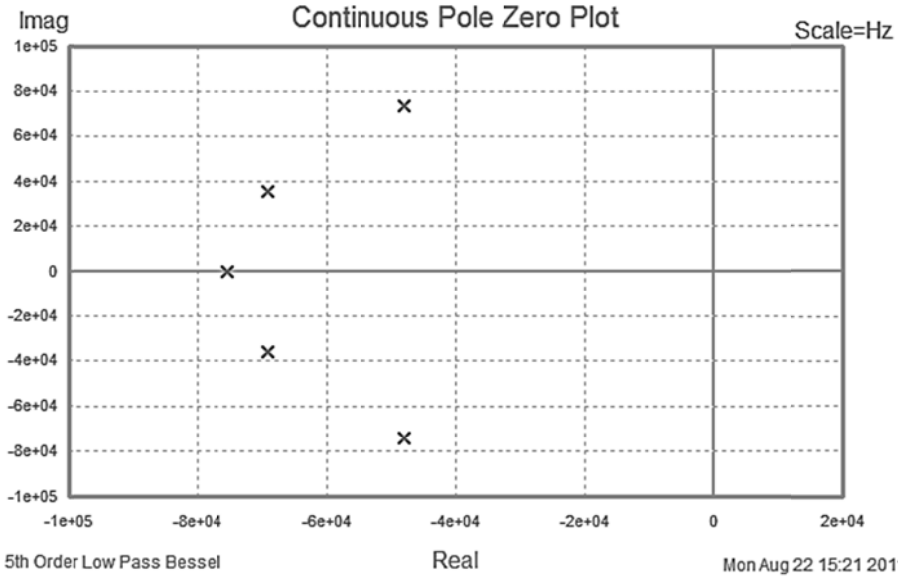




تابع انتقال مدار فوق نیز :

$$\frac{3.459e+28}{S^5 + 1.944e+06*S^4 + 1.764e+12*S^3 + 9.149e+17*S^2 + 2.668e+23*S + 3.459e+28}$$

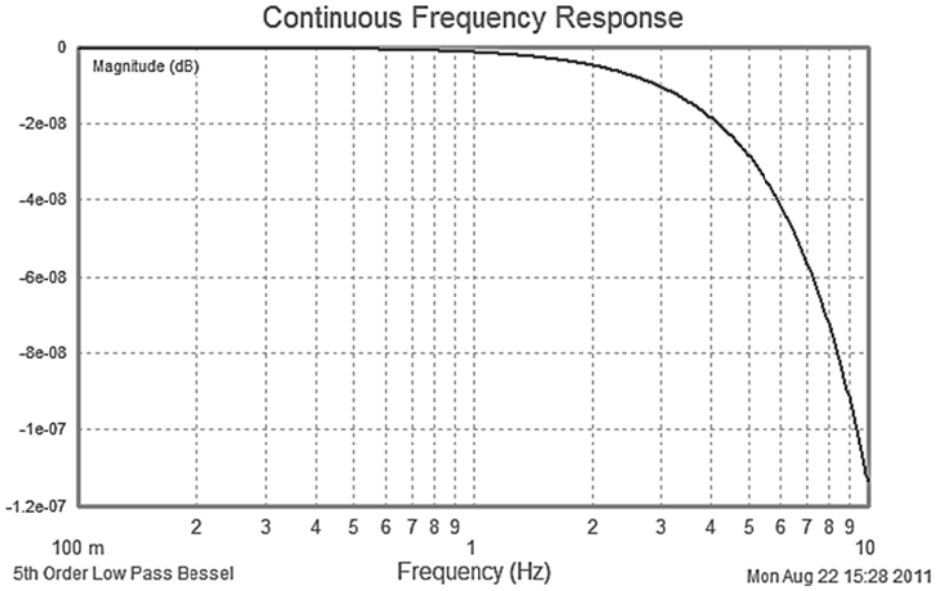
شبیه سازی Filter Solution :



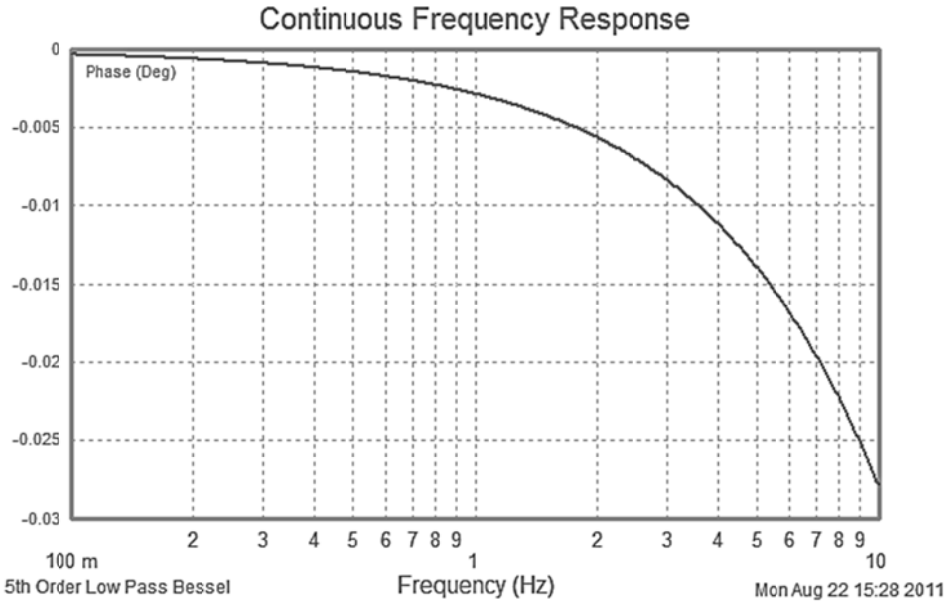
قطب های فیلتر طراحی شده

WWW.MOHANDES.ORG

پاسخ فرکانسی فیلتر

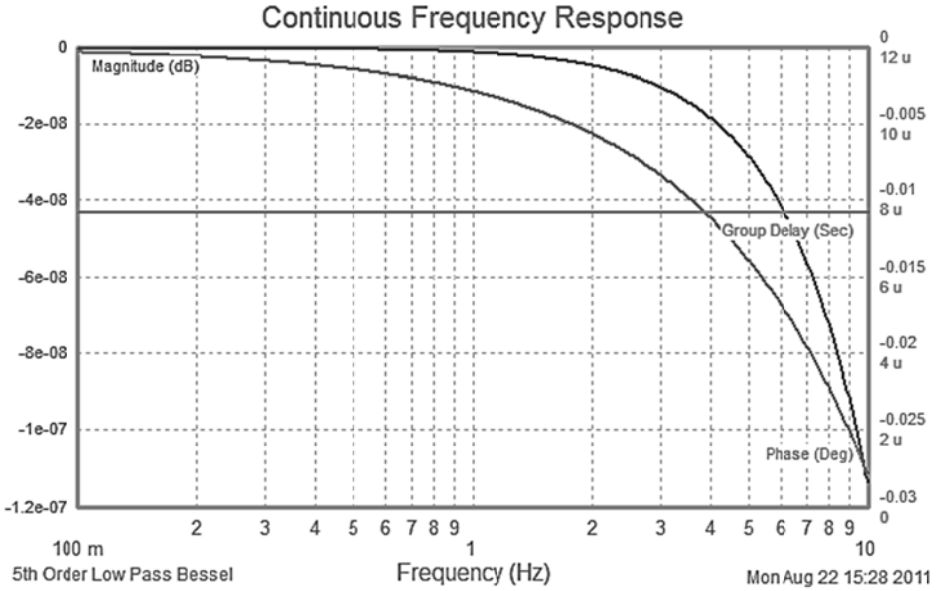


پاسخ فاز فیلتر

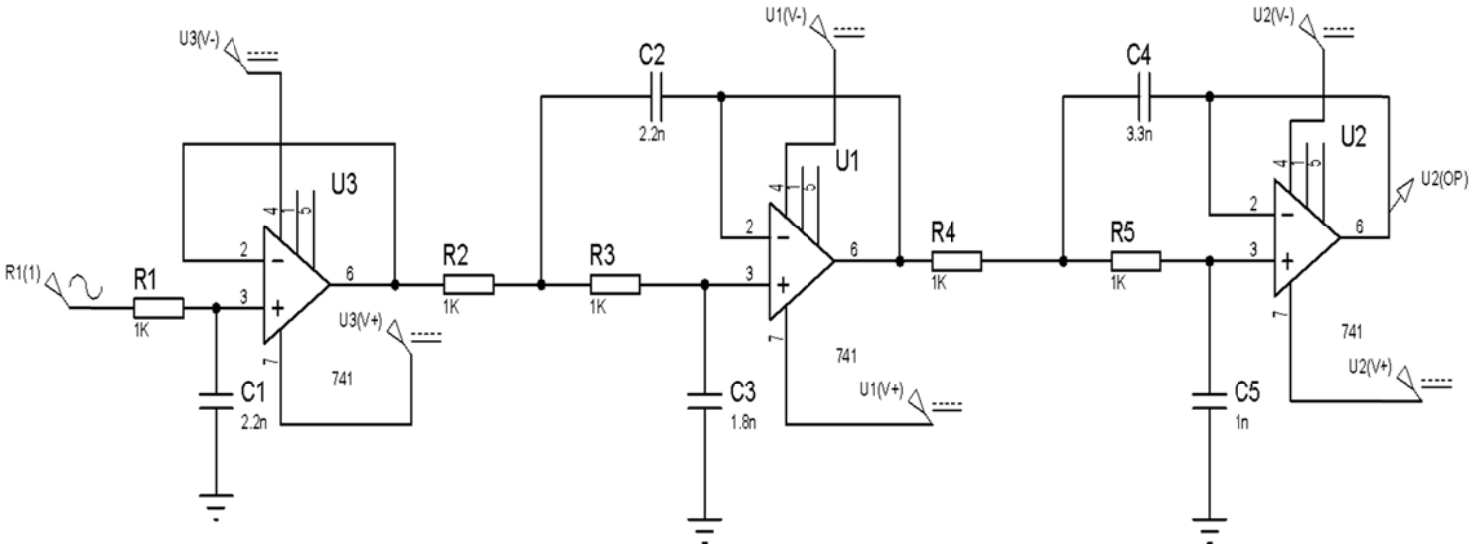


پاسخ فرکانسی، فاز

و Group Delay



شبیه سازی مدار با Proteus :



فایل شبیه سازی در CD همراه وجود دارد.

شبیه سازی با Matlab :

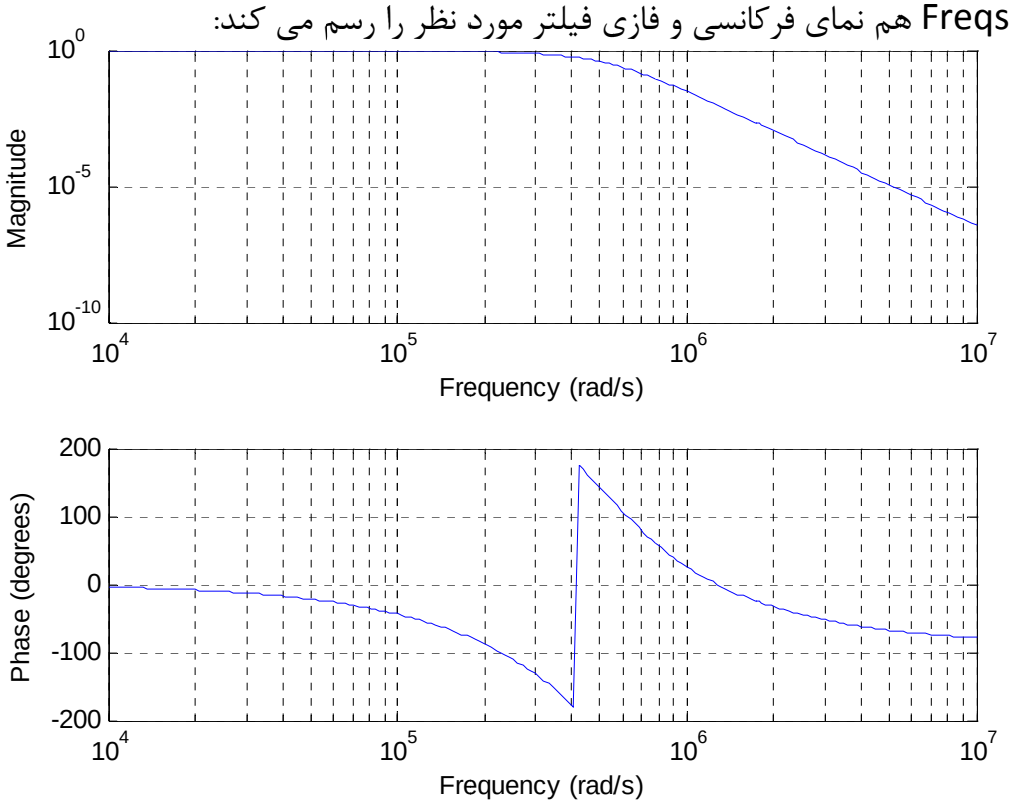
برای شبیه سازی ریاضی رابطه فیلتر بدست آمده کافیست تا دستورات زیر را بنویسیم:

```
u=[3.459e28];
d=[1 1.944e6 1.764e12 9.149e17 2.668e23 3.459e28];
freqs(u,d)
```

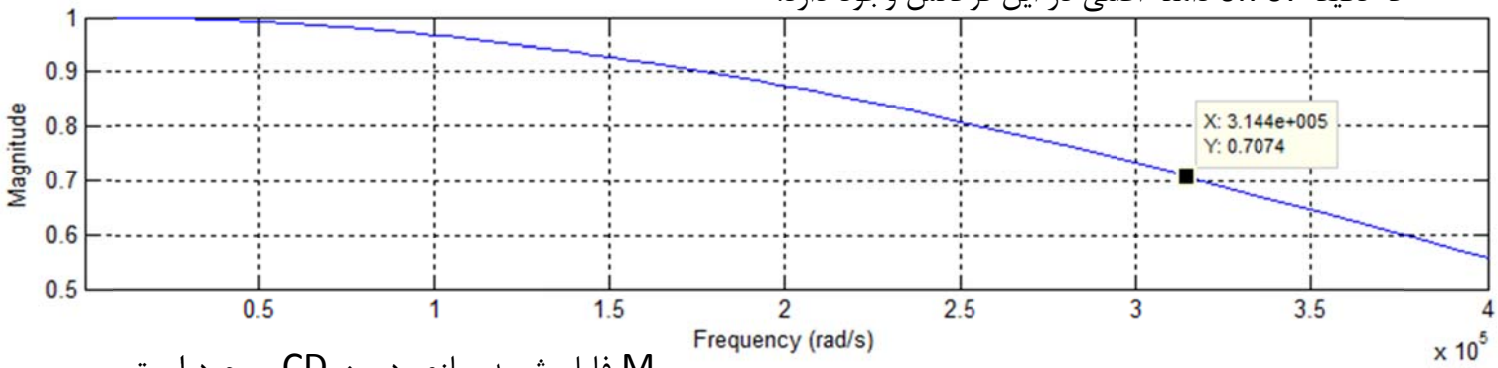
در خط اول ضرایب صورت فیلتر درون متغیر u قرار می گیرد.

متغیر d نیز شامل ضرایب مخرج فیلتر است که رابطه آن در ابتدای فصل قرار دارد.

دستور Freqs هم نمای فرکانسی و فازی فیلتر مورد نظر را رسم می کند:

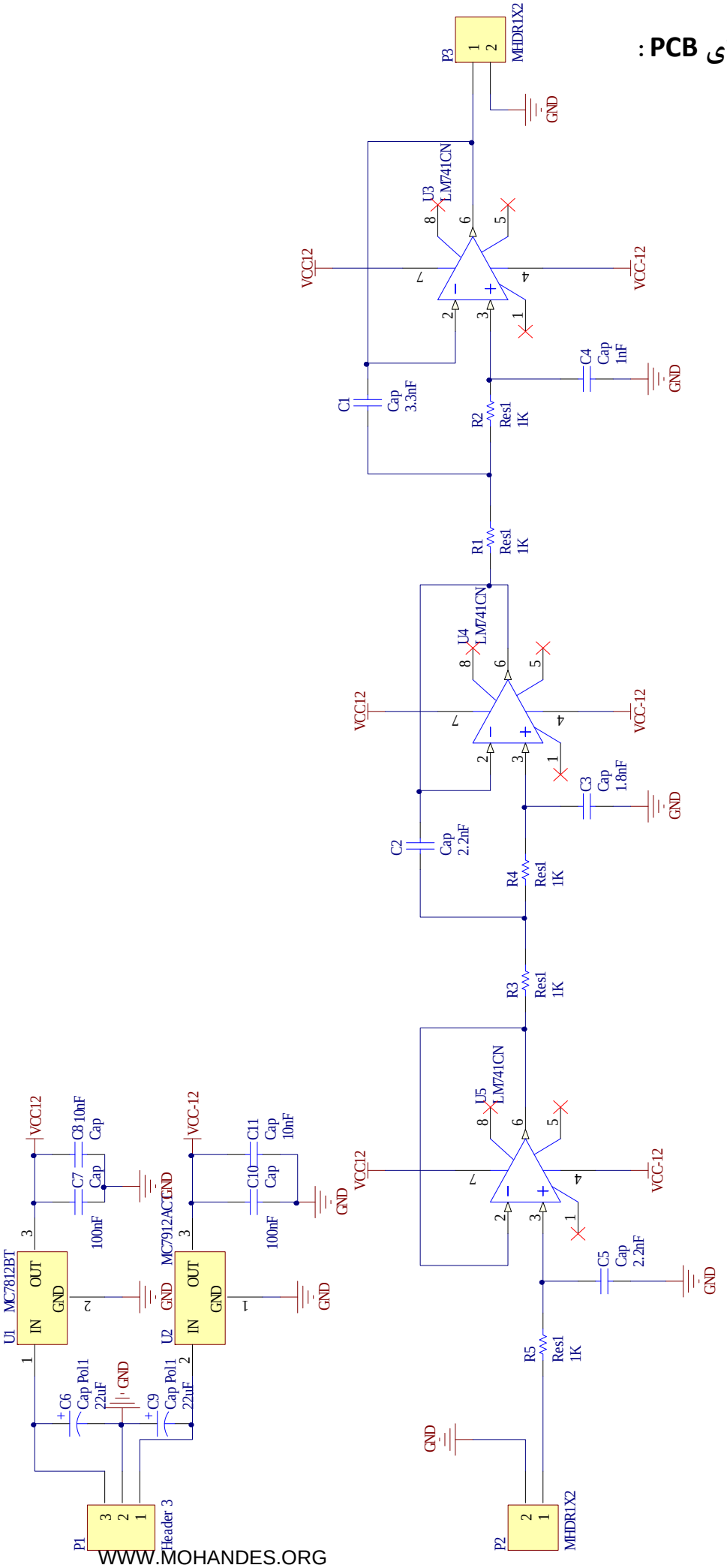


برای نمای بهتر نمودار اندازه Zoom شده و مقدار 50Khz (314159.2 Rad/Sec) مشخص شده است که دقیقا 0.707 دامنه اصلی در این فرکانس وجود دارد:



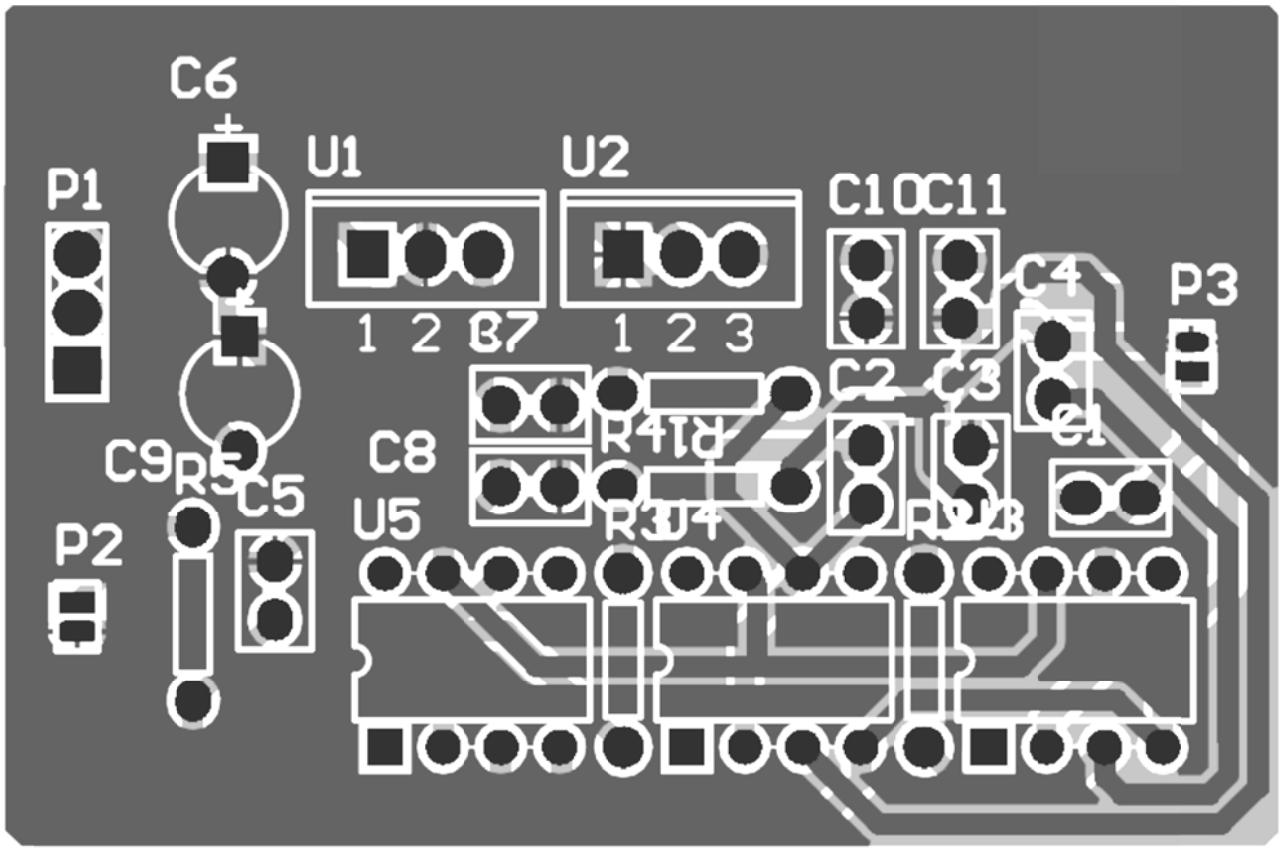
M فایل شبیه سازی درون CD موجود است.

شماتیک طراحی برای PCB :

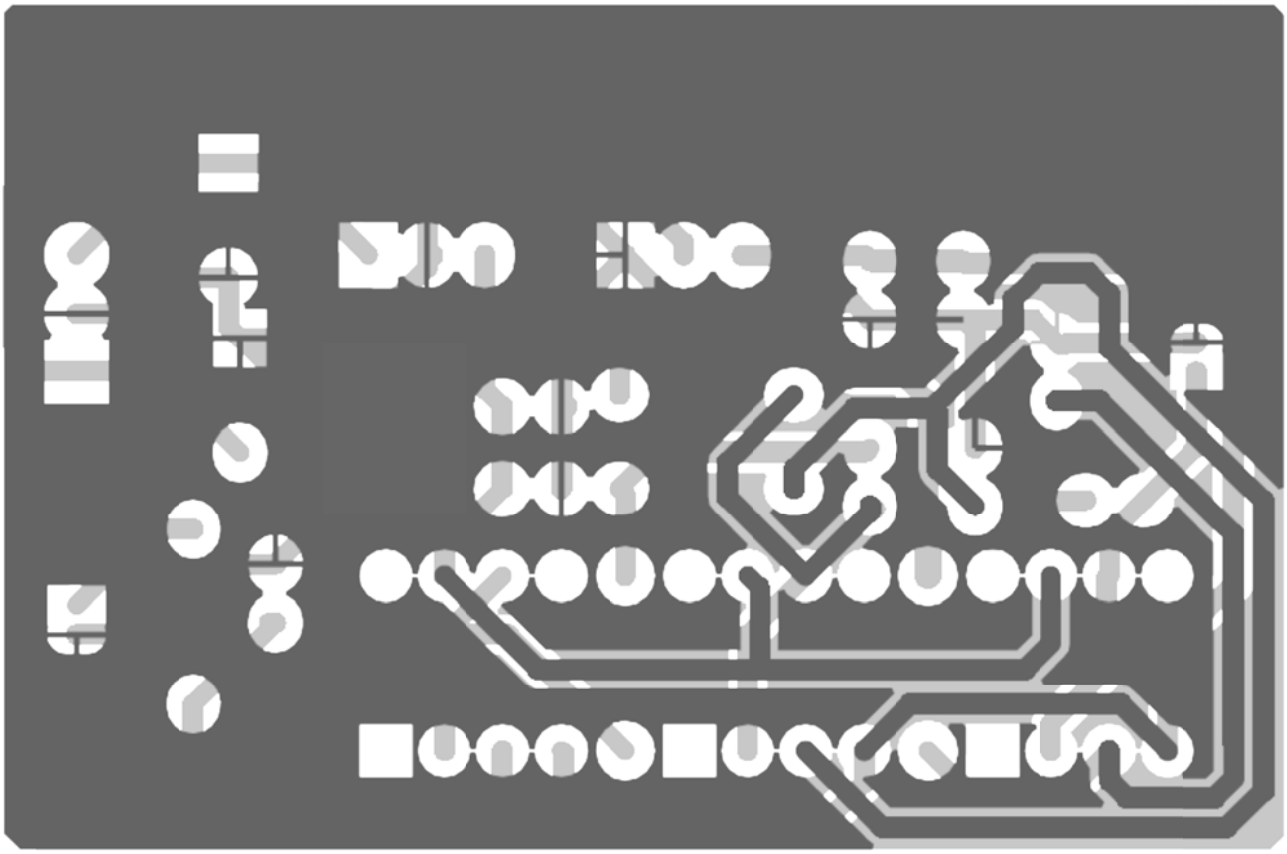


WWW.MOHANDES.ORG

PCB :



نمای زیر



نمای رو

فصل پنجم

WWW.MOHANDES.ORG

تابع بدست آوردن ضرایب بسل:

```
void Bessel(double *Coeff, int N, double Param)
/*************************************************************
* Subroutine to calculate the filter coefficients of Bessel filters.*
* INPUT: N filter order *
* Param design parameter *
* RETURN: Coeff Bessel filter coefficients *
* For Param = 0, the subroutine calculates the Bessel coefficients *
* of analog filters. For Param = 1/mu, the subroutine *
* calculates the Bessel coefficients for the design of digital *
* filters with mu = 2*t0/T and mu > N-1 . *
*************************************************************/
{
int i, j;
double g, h;
Coeff[0] = 1.0;
for (j = 1; j <= N; j++) Coeff[j] = 0.0;
for (i = N; i > 0; i--)
{
g = 2.0 * i - 1.0;
h = 1.0 - (i - 1.0) * (i - 1.0) * Param * Param;
for (j = N; j > 0; j--)
{
if (j != 2 * (j / 2)) Coeff[j] = Coeff[j-1] * h;
else Coeff[j] = Coeff[j-1] + Coeff[j] * g;
}
Coeff[0] = Coeff[0] * g;
}
}
```

جداول ضرایب طراحی فیلتر :

Butterworth filters

$V = 1$
$B_2 = 0$

N	A_1	A_2
1	1.000000	
2	1.414214	1.000000
3	1.000000	1.000000
	1.000000	
4	0.765367	1.000000
	1.847759	1.000000
5	0.618034	1.000000
	1.618034	1.000000
	1.000000	
6	0.517638	1.000000
	1.414214	1.000000
	1.931852	1.000000
7	0.445042	1.000000
	1.246980	1.000000
	1.801938	1.000000
	1.000000	
8	0.390181	1.000000
	1.111140	1.000000
	1.662939	1.000000
	1.961571	1.000000

N	A_1	A_2
9	0.347296	1.000000
	1.000000	1.000000
	1.532089	1.000000
	1.879385	1.000000
	1.000000	
10	0.312869	1.000000
	0.907981	1.000000
	1.414214	1.000000
	1.782013	1.000000
	1.975377	1.000000
11	0.284630	1.000000
	0.830830	1.000000
	1.309721	1.000000
	1.682507	1.000000
	1.918986	1.000000
	1.000000	
12	0.261052	1.000000
	0.765367	1.000000
	1.217523	1.000000
	1.586707	1.000000
	1.847759	1.000000
	1.982890	1.000000

WWW.MOHANDES.ORG

Chebyshev filters

$B_2 = 0$

V equals one for odd filter orders. In the case of even filter orders, V depends on the passband ripple:

0.25 dB: $V = 0.971628$
0.50 dB: $V = 0.944061$
1.00 dB: $V = 0.891251$
2.00 dB: $V = 0.794328$

Chebyshev 0.25 dB

N	A_1	A_2
1	0.243421	
2	0.849883	0.473029
3	0.573140	0.747032
	1.303403	
4	0.365795	0.860621
	2.255994	2.198549
5	0.245524	0.912880
	1.318006	1.864219
	2.288586	
6	0.175678	0.940542
	0.809742	1.586787
	3.535069	5.071206
7	0.130987	0.956845
	0.543394	1.416677
	1.959450	3.535167
	3.250989	
8	0.101215	0.967243
	0.390423	1.310156
	1.171842	2.627537
	4.783087	9.092020

N	A_1	A_2
9	0.080466	0.974280
	0.294846	1.239844
	0.775649	2.128887
	2.575534	5.762661
	4.205054	
10	0.065459	0.979263
	0.231071	1.191128
	0.553748	1.832684
	1.512316	3.972113
	6.018950	14.261358
11	0.054269	0.982923
	0.186303	1.155992
	0.417320	1.642616
	0.989240	3.031036
	3.181532	8.546939
	5.155207	
12	0.045709	0.985689
	0.153607	1.129805
	0.327217	1.512940
	0.700890	2.486660
	1.843984	5.617915
	7.248804	20.579325

WWW.MOHANDES.ORG

Bessel filters

$V = 1$

Normalised to t_0

N	A_1	A_2
1	1.000000	
2	1.000000	0.333333
3	0.569371	0.154812
	0.430629	
4	0.366265	0.087049
	0.633735	0.109408
5	0.256073	0.055077
	0.469709	0.070065
	0.274218	
6	0.189781	0.037716
	0.358293	0.047955
	0.451926	0.053188
7	0.146771	0.027325
	0.281315	0.034558
	0.370779	0.038961
	0.201135	
8	0.117236	0.020647
	0.226517	0.025927
	0.306756	0.029468
	0.349492	0.031272
9	0.096041	0.016118
	0.186326	0.020085
	0.256809	0.022911
	0.302019	0.024637
	0.158805	
10	0.080289	0.012913
	0.156045	0.015968
	0.217637	0.018235
	0.261565	0.019770
	0.284462	0.020548
11	0.068245	0.010565
	0.132690	0.012969
	0.186582	0.014805
	0.227721	0.016132
	0.253569	0.016940
	0.131193	
12	0.058816	0.008797
	0.114304	0.010723
	0.161652	0.012226
	0.199526	0.013363
	0.226028	0.014132
	0.239675	0.014520

$V = 1$

Normalised to ω_{3dB}

N	A_1	A_2
1	1.000000	
2	1.361654	0.618034
3	0.999629	0.477191
	0.756043	
4	0.774254	0.388991
	1.339664	0.488904
5	0.621595	0.324533
	1.140177	0.412845
	0.665639	
6	0.513054	0.275641
	0.968607	0.350473
	1.221734	0.388718
7	0.433228	0.238072
	0.830363	0.301095
	1.094437	0.339457
	0.593694	
8	0.372765	0.208745
	0.720236	0.262125
	0.975366	0.297924
	1.111250	0.316161
9	0.325742	0.185418
	0.631960	0.231049
	0.871017	0.263562
	1.024356	0.283414
	0.538619	
10	0.288318	0.166512
	0.560356	0.205909
	0.781532	0.235149
	0.939275	0.254934
	1.021499	0.264964
11	0.257940	0.150928
	0.501515	0.185268
	0.705206	0.211495
	0.860698	0.230458
	0.958389	0.241998
	0.495859	
12	0.232862	0.137889
	0.452546	0.168086
	0.640003	0.191640
	0.789953	0.209464
	0.894879	0.221511
	0.948908	0.227595

WWW.MOHANDES.ORG

National Semiconductor

May 1998

LM741
Operational Amplifier

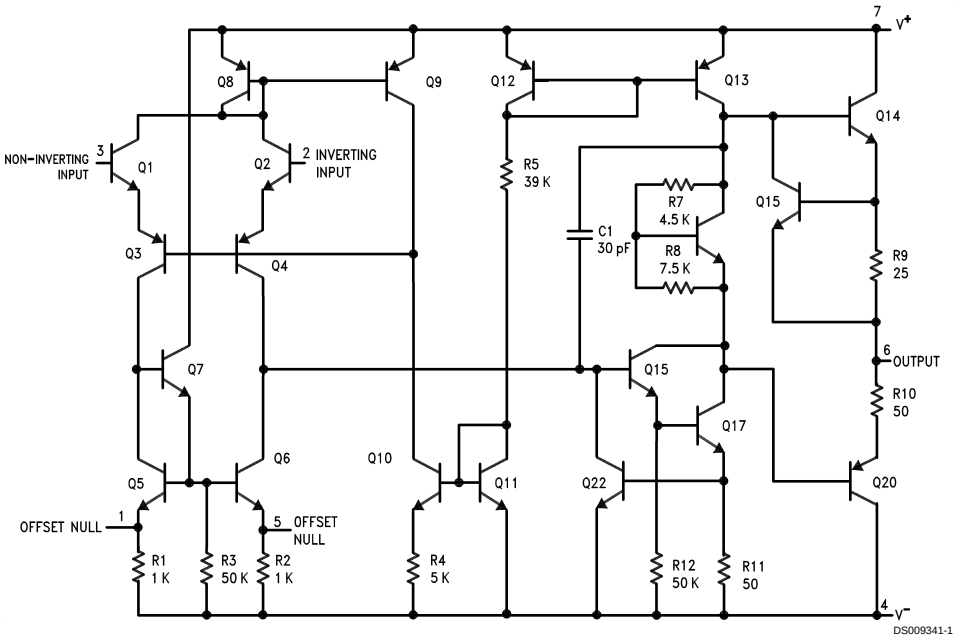
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

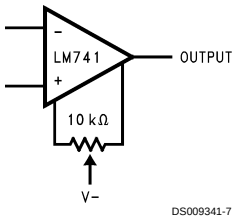
The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0˚C to +70˚C temperature range, instead of −55˚C to +125˚C.

Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit



© 1999 National Semiconductor Corporation

WWW.MOHANDES.ORG

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

(Note 6)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 2)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 3)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	−55˚C to +125˚C	0˚C to +70˚C	−55˚C to +125˚C	0˚C to +70˚C
Storage Temperature Range	−65˚C to +150˚C	−65˚C to +150˚C	−65˚C to +150˚C	−65˚C to +150˚C
Junction Temperature	150˚C	100˚C	150˚C	100˚C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260˚C	260˚C	260˚C	260˚C
J- or H-Package (10 seconds)	300˚C	300˚C	300˚C	300˚C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215˚C	215˚C	215˚C	215˚C
Infrared (15 seconds)	215˚C	215˚C	215˚C	215˚C
See AN-450 “Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability” for other methods of soldering surface mount devices.				
ESD Tolerance (Note 7)	400V	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	T_A = 25˚C										
	$R_S \le 10\ k\Omega$					1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_S \le 50\Omega$		0.8	3.0							mV
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$										
	$R_S \le 50\Omega$			4.0							mV
	$R_S \le 10\ k\Omega$						6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							µV/˚C
Input Offset Voltage Adjustment Range	T_A = 25˚C, V_S = ±20V	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	T_A = 25˚C		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							nA/˚C
Input Bias Current	T_A = 25˚C		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	µA
Input Resistance	T_A = 25˚C, V_S = ±20V	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		MΩ
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$, V_S = ±20V	0.5									MΩ
Input Voltage Range	T_A = 25˚C							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$				±12	±13					V

WWW.MOHANDES.ORG

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ C$, $R_L \geq 2\ k\Omega$										
	$V_S = \pm 20V$, $V_O = \pm 15V$	50									V/mV
	$V_S = \pm 15V$, $V_O = \pm 10V$				50	200		20	200		V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2\ k\Omega$,										
	$V_S = \pm 20V$, $V_O = \pm 15V$	32									V/mV
	$V_S = \pm 15V$, $V_O = \pm 10V$				25			15			V/mV
	$V_S = \pm 5V$, $V_O = \pm 2V$	10									V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$										
	$R_L \geq 10\ k\Omega$	±16									V
	$R_L \geq 2\ k\Omega$	±15									V
	$V_S = \pm 15V$										
	$R_L \geq 10\ k\Omega$				±12	±14		±12	±14		V
	$R_L \geq 2\ k\Omega$				±10	±13		±10	±13		V
Output Short Circuit	$T_A = 25^\circ C$	10	25	35		25			25		mA
Current	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$										
Rejection Ratio	$R_S \leq 10\ k\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	80	95								dB
Supply Voltage Rejection	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$,										
Ratio	$V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$										
	$R_S \leq 50\Omega$	86	96								dB
	$R_S \leq 10\ k\Omega$				77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ C$, Unity Gain										
Rise Time			0.25	0.8		0.3			0.3		µs
Overshoot			6.0	20		5			5		%
Bandwidth (Note 5)	$T_A = 25^\circ C$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ C$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/µs
Supply Current	$T_A = 25^\circ C$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ C$										
	$V_S = \pm 20V$		80	150							mW
	$V_S = \pm 15V$					50	85		50	85	mW
LM741A	$V_S = \pm 20V$										
	$T_A = T_{AMIN}$			165							mW
	$T_A = T_{AMAX}$			135							mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$										
	$T_A = T_{AMIN}$			150							mW
	$T_A = T_{AMAX}$			150							mW
LM741	$V_S = \pm 15V$										
	$T_A = T_{AMIN}$					60	100				mW
	$T_A = T_{AMAX}$					45	75				mW

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

WWW.MOHANDES.ORG

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Note 2: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{jA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{jA} (Junction to Ambient)	100˚C/W	100˚C/W	170˚C/W	195˚C/W
θ_{jC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25˚C/W	N/A

Note 3: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: Unless otherwise specified, these specifications apply for V_S = ±15V, −55˚C ≤ T_A ≤ +125˚C (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to 0˚C ≤ T_A ≤ +70˚C.

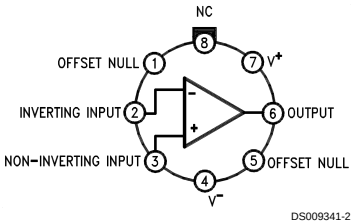
Note 5: Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time(µs).

Note 6: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

Note 7: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

Connection Diagram

Metal Can Package

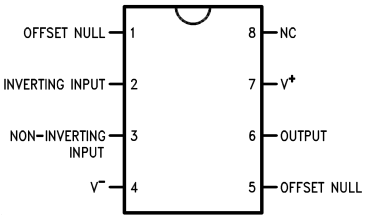


DS009341-2

Note 8: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 8)**, LM741AH/883 or LM741CH**
See NS Package Number H08C

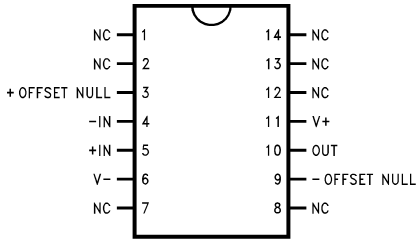
Dual-In-Line or S.O. Package



DS009341-3

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CM, LM741CN or LM741EN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Dual-In-Line Package



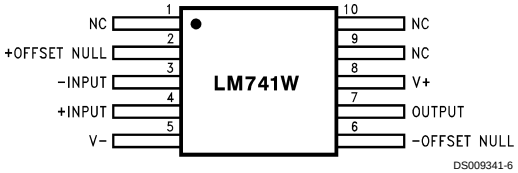
DS009341-5

Note 9: also available per JM38510/10101

Note 10: also available per JM38510/10102

Order Number LM741J-14/883 (Note 9)**, LM741AJ-14/883** (Note 10)
See NS Package Number J14A

Ceramic Flatpak

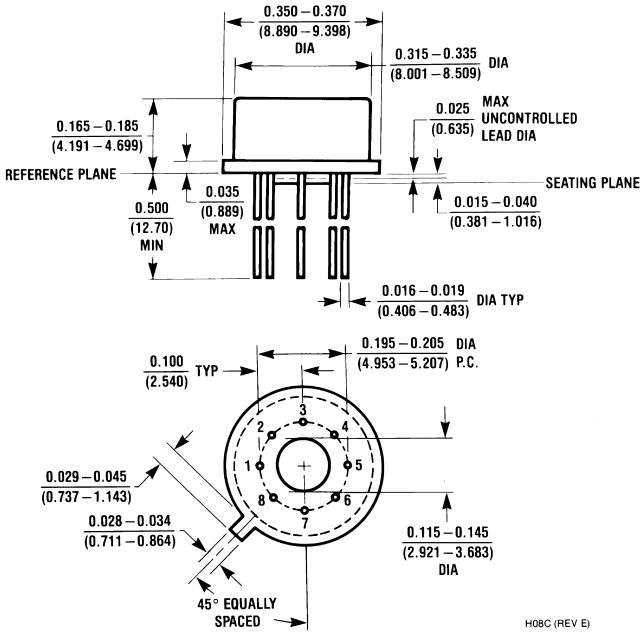


DS009341-6

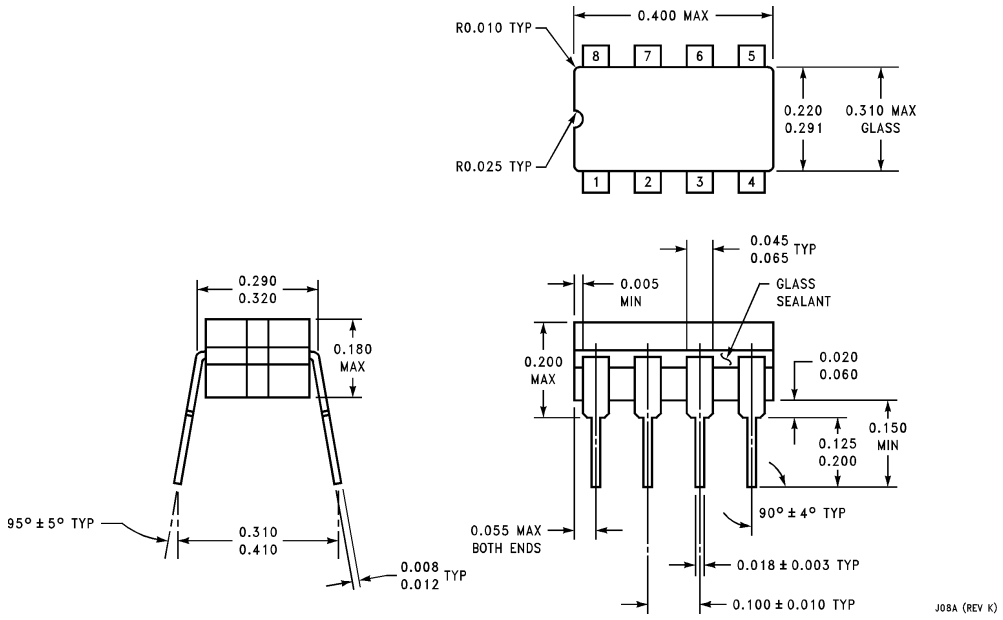
Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

WWW.MOHANDES.ORG

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



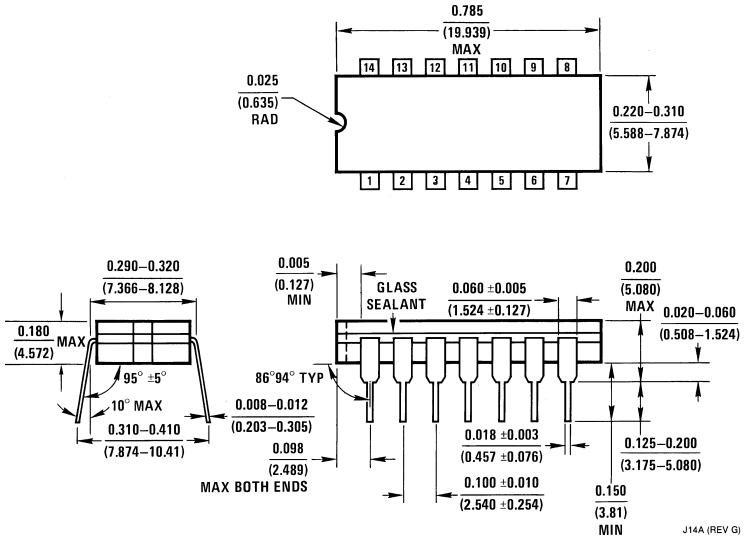
Metal Can Package (H)
Order Number LM741H, LM741H/883, LM741AH/883, LM741CH or LM741EH
NS Package Number H08C



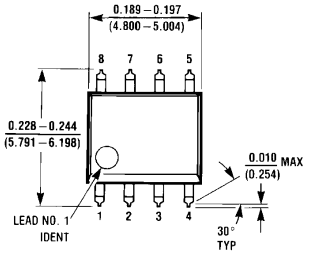
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number LM741CJ or LM741J/883
NS Package Number J08A

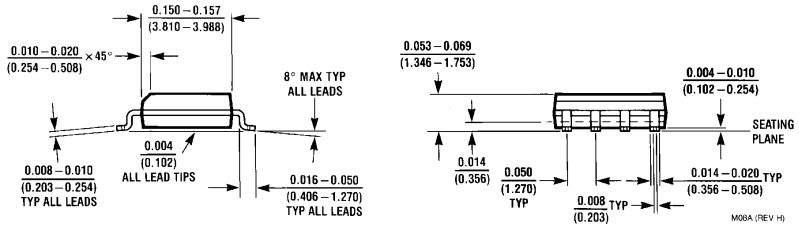
WWW.MOHANDES.ORG

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number LM741J-14/883 or LM741AJ-14/883
NS Package Number J14A

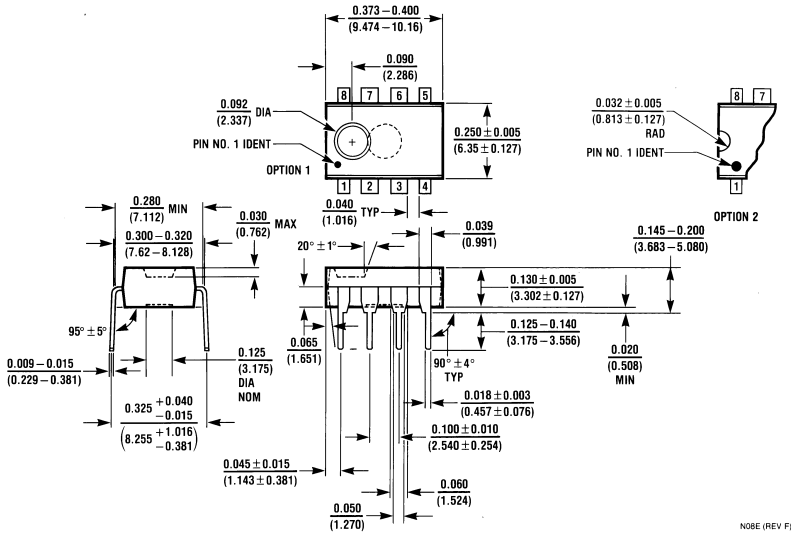




Small Outline Package (M)
Order Number LM741CM
NS Package Number M08A

WWW.MOHANDES.ORG

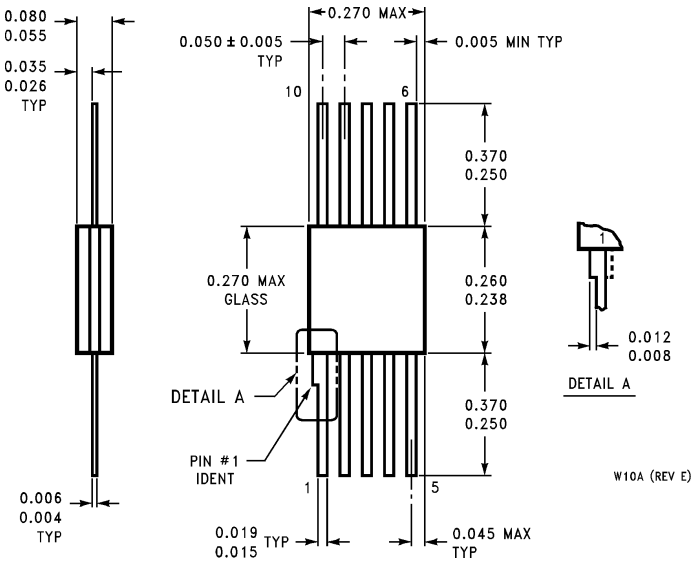
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM741CN or LM741EN
NS Package Number N08E

WWW.MOHANDES.ORG

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



10-Lead Ceramic Flatpak (W)
Order Number LM741W/883
NS Package Number W10A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: sea.support@nsc.com

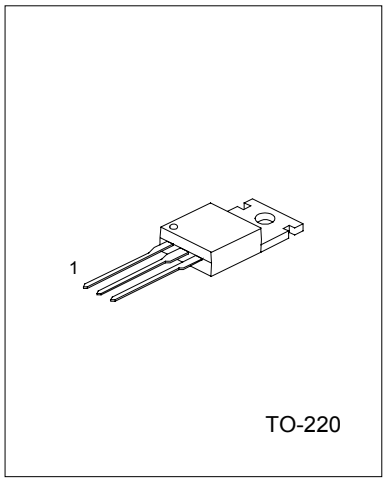
National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

WWW.MOHANDES.ORG

UTC LM79XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

3 TERMINAL 1A NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR



1:GND 2:Input 3:Output

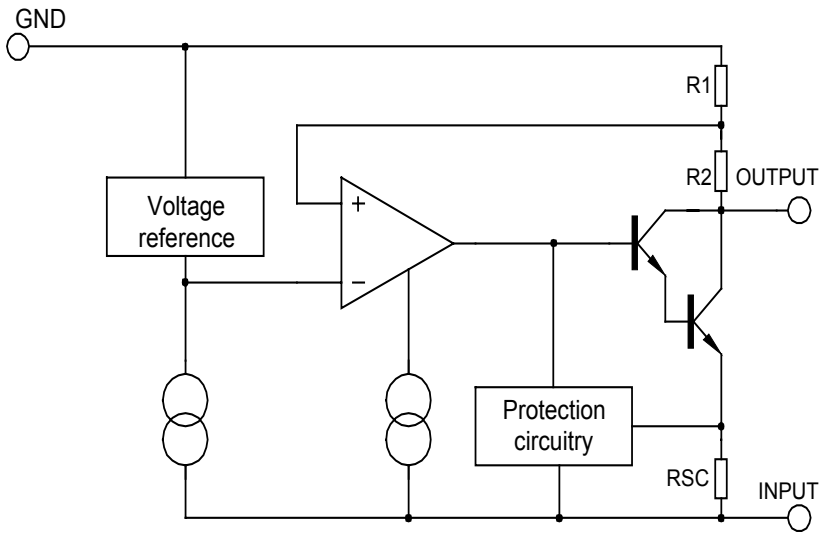
DESCRIPTION

The UTC LM79XX series of three-terminal negative regulators are available in TO-220 package and with several fixed output voltage, making them useful in a wide range of application. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible.

FEATURES

*Output current up to 1A
*-5V;-6V;-8V;-12V;-15V;-18V;-24V output voltage available
*Thermal overload protection
*Short circuit protection

BLOCK DIAGRAM



WWW.MOHANDES.ORG

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(Ta=25°C)

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Input voltage	Vi	-35	V
Thermal resistance junction-air	$R_{\theta JA}$	65	°C /W
Thermal resistance junction-cases	$R_{\theta JC}$	5	°C /W
Operating Temperature	Topr	0 ~ +125	°C
Storage Temperature	Tstg	-65 ~ +150	°C

UTC7905 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, 0<Tj<125°C,Io=500mA,Vi=-10V,Ci=33uF,Co=1uF, unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	Vo	Tj=25°C	-4.80	-5.0	-5.20	V
		5.0mA<Io<1.0A,Po<15W Vi=-7V to -20V	-4.75		-5.25	V
Line regulation	ΔVo	Tj=25°C,Vi=-7V to -25V		10	100	mV
		Tj=25°C,Vi=-8V to -12V				mV
Load regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5.0mA to 1.5A		10	100	mV
		Tj=25°C,Io=250mA to 750mA		3	50	mV
Quiescent current	I_Q	Tj=25°C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔI_Q	Io=5mA to 1.0A		0.05	0.5	mA
		Vi=-7V to -25V		0.1	1.3	mA
Output voltage drift	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-0.4		mV/°C
Output noise voltage	V_N	f=10hz to 100kHz,Ta=25°C		100		μV
Ripple rejection	RR	f=120Hz, Vi=-8V to -18V	54	60		dB
Dropout voltage	Vo	Io=1.0A,Tj=25°C		2		V
Short circuit current	Isc	Vi=-35V,Ta=25°C		300		mA
peak current	Ipk	Tj=25°C		2.2		A

UTC7906 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, 0<Tj<125°C,Io=500mA,Vi=-11V,Ci=2.2uF,Co=1uF,unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	Vo	Tj=25°C	-5.76	-6.00	-6.24	V
		5.0mA<Io<1.0A,Po<15W Vi=-8V to -21V	-5.70		-6.30	V
Line regulation	ΔVo	Tj=25°C,Vi=-8V to -25V		10	120	mV
		Tj=25°C,Vi=-9V to -13V		5	60	mV
Load regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5.0mA to 1.5A		10	120	mV
		Tj=25°C,Io=250mA to 750mA		3	60	mV
Quiescent current	I_Q	Tj=25°C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔI_Q	Io=5mA to 1.0A			0.5	mA
		Vi=-8V to -25V			1.3	mA
Output voltage drift	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-0.5		mV/°C
Output noise voltage	V_N	f=10hz to 100kHz,Ta=25°C		130		μV
Ripple rejection	RR	f=120Hz, Vi=-9V to -19V	54	60		dB
Dropout voltage	Vo	Io=1.0A,Tj=25°C		2		V
Short circuit current	Isc	Vi=-35V,Ta=25°C		300		mA
peak current	Ipk	Tj=25°C		2.2		A

WWW.MOHANDES.ORG

UTC7908 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, 0<Tj<125°C,Io=500mA,Vi=-14V,Ci=2.2uF,Co=1uF,unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	Vo	Tj=25°C	-7.68	-8.0	-8.32	V
		5.0mA<Io<1.0A,Po<15W Vi=-10.5V to -23V	-7.60		-8.40	V
Line regulation	ΔVo	Tj=25°C,Vi=-10.5V to -25V		10	100	mV
		Tj=25°C,Vi=-11.5V to -17V		5	80	mV
Load regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5.0mA to 1.5A		12	160	mV
		Tj=25°C,Io=250mA to 750mA		4	80	mV
Quiescent current	I_Q	Tj=25°C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔI_Q	Io=5mA to 1.0A		0.05	0.5	mA
		Vi=-11.5V to -25V		0.1	1.0	mA
Output voltage drift	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-0.6		mV/°C
Output noise voltage	V_N	f=10hz to 100kHz,Ta=25°C		175		μV
Ripple rejection	RR	f=120Hz, Vi=-11.5V to -21.5V	54	60		dB
Dropout voltage	Vo	Io=1.0A,Tj=25°C		2		V
Short citcuit current	Isc	Vi=-35V,Ta=25°C		300		mA
peak current	Ipk	Tj=25°C		2.2		A

UTC7912 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, 0<Tj<125°C,Io=500mA,Vi=-18V,Ci=2.2uF,Co=1uF,unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	Vo	Tj=25°C	-11.52	-12.0	-12.48	V
		5.0mA<Io<1.0A,Po<15W Vi=-14.5V to -27V	-11.40		-12.60	V
Line regulation	ΔVo	Tj=25°C,Vi=-14.5V to -30V		12	240	mV
		Tj=25°C,Vi=-16V to -22V		6	120	mV
Load regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5.0mA to 1.5A		12	240	mV
		Tj=25°C,Io=250mA to 750mA		4	120	mV
Quiescent current	I_Q	Tj=25°C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔI_Q	Io=5mA to 1.0A		0.05	0.5	mA
		Vi=-14.5V to -30V		0.1	1.0	mA
Output voltage drift	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-0.8		mV/°C
Output noise voltage	V_N	f=10hz to 100kHz,Ta=25°C		200		μV
Ripple rejection	RR	f=120Hz, Vi=-15V to -25V	54	60		dB
Dropout voltage	Vo	Io=1.0A,Tj=25°C		2		V
Short circuit current	Isc	Vi=-35V,Ta=25°C		300		mA
peak current	Ipk	Tj=25°C		2.2		A

WWW.MOHANDES.ORG

UTC7915 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, 0<Tj<125°C, Io=500mA,Vi=-23V,Ci=2.2uF,Co=1uF,unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	Vo	Tj=25°C	-14.40	-15.0	-15.60	V
		5.0mA<Io<1.0A,Po<15W Vi=-17.5V to -30V	-14.25		-15.75	V
Line regulation	ΔVo	Tj=25°C,Vi=-17.5V to -30V		12	300	mV
		Tj=25°C,Vi=-20V to -26V		6	150	mV
Load regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5.0mA to 1.5A		12	300	mV
		Tj=25°C,Io=250mA to 750mA		4	150	mV
Quiescent current	I_Q	Tj=25°C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔI_Q	Io=5mA to 1.0A		0.05	0.5	mA
		Vi=-17.5V to -30.5V		0.1	1.0	mA
Output voltage drift	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-0.9		mV/°C
Output noise voltage	V_N	f=10hz to 100kHz,Ta=25°C		250		μV
Ripple rejection	RR	f=120Hz, Vi=-18.5V to -28.5V	54	60		dB
Dropout voltage	Vo	Io=1.0A,Tj=25°C		2		V
Short circuit current	Isc	Vi=-35V,Ta=25°C		300		mA
peak current	Ipk	Tj=25°C		2.2		A

UTC7918 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, 0<Tj<125°C,Io=500mA,Vi=-27V,Ci=2.2uF,Co=1uF,unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	Vo	Tj=25°C	-17.28	-18.0	-18.72	V
		5.0mA<Io<1.0A,Po<15W Vi=-21V to -33V	-17.10		-18.90	V
Line regulation	ΔVo	Tj=25°C,Vi=-21V to -33V		15	360	mV
		Tj=25°C,Vi=-24V to -30V		8	180	mV
Load regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5.0mA to 1.5A		15	360	mV
		Tj=25°C,Io=250mA to 750mA		5.0	180	mV
Quiescent current	I_Q	Tj=25°C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔI_Q	Io=5mA to 1.0A			0.5	mA
		Vi=-21V to -32V			1.0	mA
Output voltage drift	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-1		mV/°C
Output noise voltage	V_N	f=10hz to 100kHz,Ta=25°C		300		μV
Ripple rejection	RR	f=120Hz, Vi=-22V to -32V	54	60		dB
Dropout voltage	Vo	Io=1.0A,Tj=25°C		2		V
Short circuit current	Isc	Vi=-35V,Ta=25°C		300		mA
peak current	Ipk	Tj=25°C		2.2		A

WWW.MOHANDES.ORG

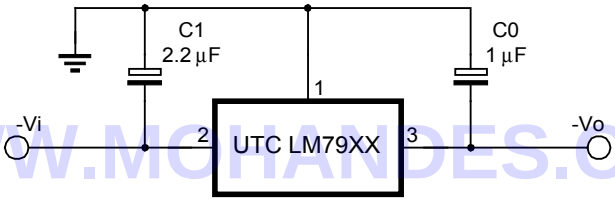
WWW.MOHANDES.ORG

UTC7924 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Refer to test circuits, 0<Tj<125°C,Io=500mA,Vi=-33V,Ci=2.2uF,Co=1uF,unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output voltage	Vo	Tj=25°C	-23.04	-24	-24.96	V
		5.0mA<Io<1.0A,Po<15W Vi=-27V to -38V	-22.80		-25.20	V
Line regulation	ΔVo	Tj=25°C,Vi=-27V to -38V		15	480	mV
		Tj=25°C,Vi=-30V to -36V		8	240	mV
Load regulation	ΔVo	Tj=25°C,Io=5.0mA to 1.5A		15	480	mV
		Tj=25°C,Io=250mA to 750mA		5.0	240	mV
Quiescent current	IQ	Tj=25°C		3	6	mA
Quiescent current change	ΔIQ	Io=5mA to 1.0A			0.5	mA
		Vi=-27V to -38V			1.0	mA
Output voltage drift	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-1		mV/°C
Output noise voltage	VN	f=10hz to 100kHz,Ta=25°C		400		μV
Ripple rejection	RR	f=120Hz, Vi=-28V to -38V	54	60		dB
Dropout voltage	Vo	Io=1.0A,Tj=25°C		2		V
Short circuit current	Isc	Vi=-35V,Ta=25°C		300		mA
peak current	Ipk	Tj=25°C		2.2		A

APPLICATION CIRCUITS



WWW.MOHANDES.ORG

Fig.1 Fixed output regulator

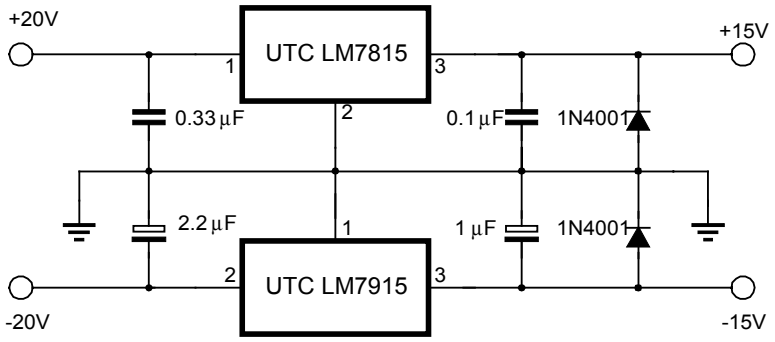


Fig.2 Split power supply(+-15V,1A)

WWW.MOHANDES.ORG

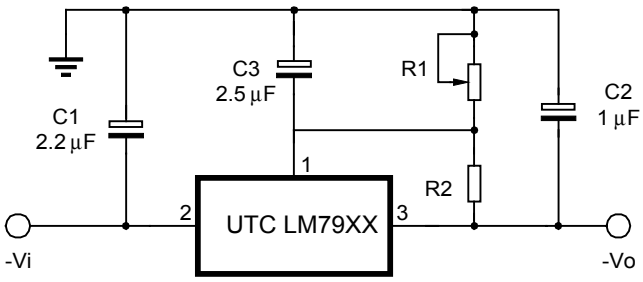


Fig.3 Circuit for increasing output voltage

WWW.MOHANDES.ORG

WWW.MOHANDES.ORG

منابع

http://www.en.wikipedia.org/wiki/Bessel_filter

Active Filter Design (SLOA088),Texas Instruments

http://www.filter-solutions.com/

http://www.mathworks.com/help/toolbox/signal/besself.html

http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/filterpro.html

Digital-Filters-Basics-and-Design, Dr.-Ing. Dietrich Schlichthärle

WWW.MOHANDES.ORG