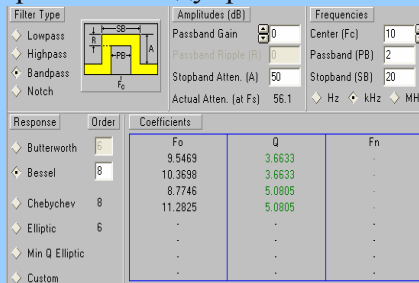


Пример за модификация на лентов филтър с линейност на фазата в режима Custom Design на програмата FilterCAD

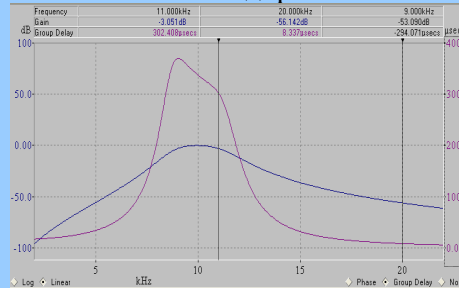
Този пример използва режим Custom Design, за да промени лентов филтър на Бесел за получаване на плоско ГВЗ. За целта се добавят допълнителни режекторни звена.

Първоначално се работи в режим Enhanced Design. Задава се проектиране на лентов филтър с апроксимация на Бесел със следната спецификация от фиг.1:

- усилване в лентата на пропускане = 0dB
- потискане в лентата на задържане: A = 50dB
- централна честота: Fc = 10kHz
- широчина на лентата на пропускане: PB = 2kHz
- разлика между граничните честоти на лентата на задържане: SB = 20kHz

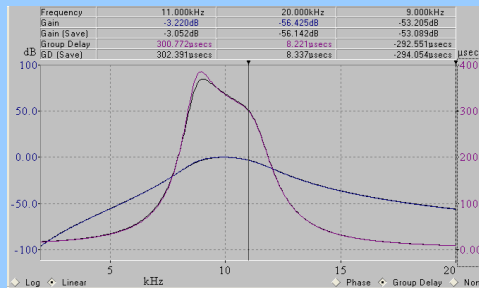


Фиг.1.



Фиг.2.

Проектираният филтър е от 8-ми ред с потискане в лентата на задържане: A = 56.1dB. На Фиг.2. са представени АЧХ и ГВЗ на апроксимирания математически модел на филтри в логаритмичен и линеен мащаб. Вижда се, че ГВЗ не е плоско в лентата на пропускане. Лявата страна е по-висока от дясната. Следователно се наблюдава ефектът на Гъмби. За да се отстрани той, трябва да се намали Q при по-нисочестотното звено и да се увеличи Q на по-височестотното звено. Резултатът от тази намеса е слаб, както е показано на фиг.3. Получените графики за първоначалния лентов филтър се записват.



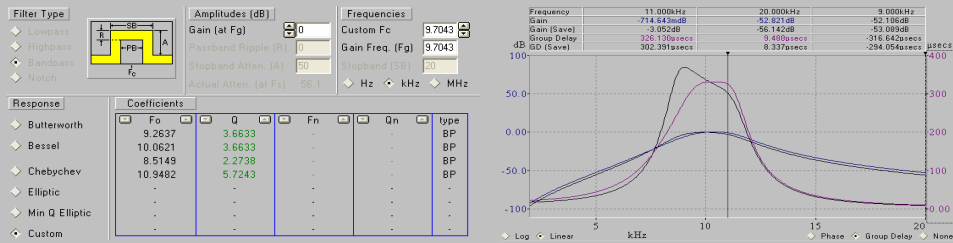
Фиг.3

Премахва се в режим Custom.

Най-ниската е $F_0=8.7746$ със съответно $Q=5.0805$, което трябва да се намали, за да е постоянно плоско ГВЗ. Най-високата $F_0=11.2825\text{kHz}$ с $Q=5.0805$, което трябва да се увеличи.

При всяко кликане на бутоните, стойността на Q намалява или се увеличава с 1%.

При новите стойности на Q , ГВЗ е плоско, но АЧХ се центрира на по-висока честота, която е 10,4kHz, както е показано на фиг.4. За да се отстрани изместването се променя Custom Fc.

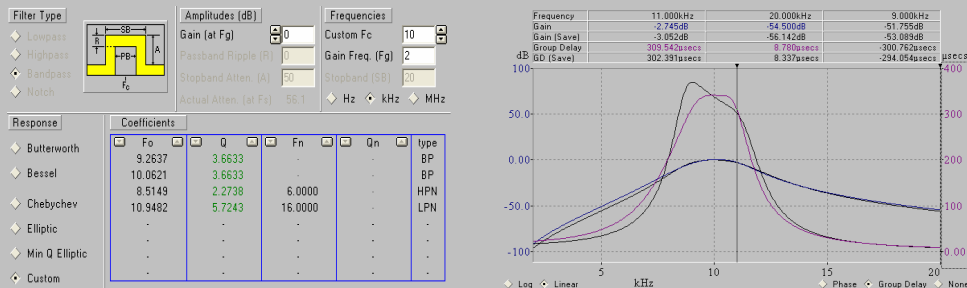


Фиг.4. Плоско ГВЗ за коригираната спецификация

Добавянето на режекторни звена от всяка страна на лентата на пропускане увеличава селективността на филтъра.

За да се добави режекторно звено за по-ниска честота от лентата на пропускане, трябва да се смени по-ниската честота от ВР в НРН, както е показано на Фиг.5.

След добавянето, филтърът на Бесел е модифициран, така че да има плоско плато на ГВЗ и подобрена селективност. Лентата на пропускане слабо се е стеснила и е малко под 2kHz. Ако проектантът държи да запази ΔF , може да извърши същата процедура за малко по-широка ΔF .

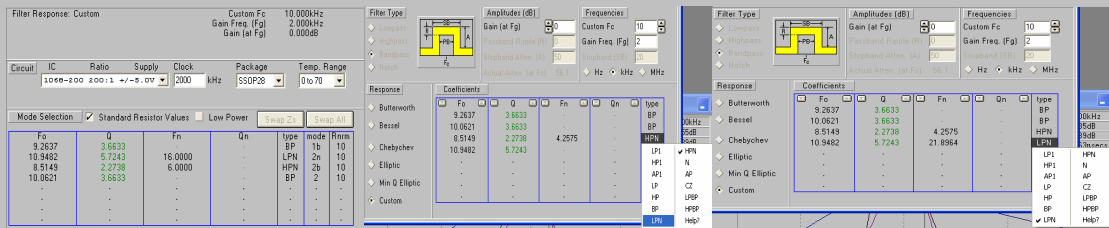


Фиг.5. Прототип на Fc с нови типове звена HPN и LPN. Плоско ГВЗ и Fc по спецификация

Особеността при реализацията се състои в подреждане на звената.

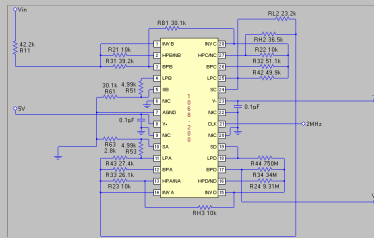
Извън режима Custom Design, FilterCAD подрежда автоматично звената, по критерии минимален брой външни компоненти и максимален динамичен обхват. Но в режима Custom Design, проектантът сам трябва да определи реда и вида на звената. Основното съображение по отношение на шума изисква звеното с $\min Q$ да се постави последно. По отношение на външните елементи, е важно дали е добавен ОУ или не. Изборът на звена HPN и LPN често изисква двата изходни възела да се сумират във външен ОУ, свързан като суматор. Ако това звено е последно, задължително се изисква външен ОУ. В този пример последното звено е LPN и то ще изисква външен ОУ. За да се избегне добавянето му, трябва да се размести мястото му с 2-ро звено, което е ВР и ползва схема от типа 1b.

Имплементирането, смяната на типа и препоръждането на звената са показани на фиг.6.



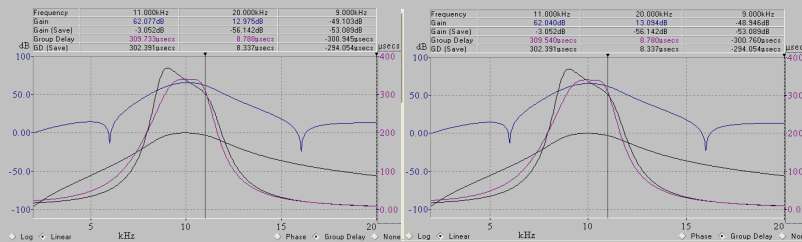
Фиг.6. Смяна типа на звената и пренареждане

На фиг.7 е представена електрическата схема на филтъра.



Фиг.7. Електрическа схема на филтъра

На фиг.8 са представени резултатите от симулациите на първоначалния и модифицирания вариант на филтъра.



Фиг.8. Графики на АЧХ и ГВЗ на първоначалния и модифицирания проект

Данни в report файл от FilterCAD и резултати в табличен вил за АЧХ, ФЧХ, ГВЗ

Design Pole/Zero Locations	Implementation Pole/Zero Locations	Resistors (1% Values, kOhms)	Start	End	Step																																																																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fo</th> <th>Q</th> <th>Fn</th> <th>Qn</th> <th>type</th> <th>mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.2637</td> <td>3.6633</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>BP</td> <td>1b</td> </tr> <tr> <td>10.9482</td> <td>5.7243</td> <td>16.0000</td> <td>-</td> <td>LPN</td> <td>2a</td> </tr> <tr> <td>8.5149</td> <td>2.2738</td> <td>6.0000</td> <td>-</td> <td>HPN</td> <td>2b</td> </tr> <tr> <td>10.0621</td> <td>3.6633</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>BP</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Fo	Q	Fn	Qn	type	mode	9.2637	3.6633	-	-	BP	1b	10.9482	5.7243	16.0000	-	LPN	2a	8.5149	2.2738	6.0000	-	HPN	2b	10.0621	3.6633	-	-	BP	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fo</th> <th>Q</th> <th>Fn</th> <th>Qn</th> <th>type</th> <th>mode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9.2617</td> <td>3.6306</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>BP</td> <td>1b</td> </tr> <tr> <td>10.9563</td> <td>5.7101</td> <td>16.0414</td> <td>-</td> <td>LPN</td> <td>2a</td> </tr> <tr> <td>8.5112</td> <td>2.2663</td> <td>5.9953</td> <td>-</td> <td>HPN</td> <td>2b</td> </tr> <tr> <td>10.0619</td> <td>3.6956</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>BP</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Fo	Q	Fn	Qn	type	mode	9.2617	3.6306	-	-	BP	1b	10.9563	5.7101	16.0414	-	LPN	2a	8.5112	2.2663	5.9953	-	HPN	2b	10.0619	3.6956	-	-	BP	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R2</th> <th>R3</th> <th>R4</th> <th>R5</th> <th>R6</th> <th>RA</th> <th>RL</th> <th>RH</th> <th>RB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>39.2</td> <td>-</td> <td>4.99</td> <td>30.1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>30.1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>51.1</td> <td>49.9</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>23.2</td> <td>36.5</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>26.1</td> <td>27.4</td> <td>4.99</td> <td>2.8</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>10</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>9310</td> <td>340000</td> <td>750000</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	R2	R3	R4	R5	R6	RA	RL	RH	RB	10	39.2	-	4.99	30.1	-	-	30.1	-	10	51.1	49.9	-	-	-	23.2	36.5	-	10	26.1	27.4	4.99	2.8	-	-	10	-	9310	340000	750000	-	-	-	-	-	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (kHz)</th> <th>Gain (dB)</th> <th>Phase (deg)</th> <th>Group Delay (us)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.00</td> <td>-55.566</td> <td>323.499</td> <td>34.291</td> </tr> <tr> <td>6.00</td> <td>-43.830</td> <td>308.322</td> <td>52.167</td> </tr> <tr> <td>7.00</td> <td>-30.943</td> <td>283.304</td> <td>93.056</td> </tr> <tr> <td>8.00</td> <td>-15.938</td> <td>232.553</td> <td>210.398</td> </tr> <tr> <td>9.00</td> <td>-3.051</td> <td>121.749</td> <td>369.615</td> </tr> <tr> <td>10.00</td> <td>0.000</td> <td>-6.102</td> <td>337.284</td> </tr> <tr> <td>11.00</td> <td>-3.051</td> <td>-121.749</td> <td>302.412</td> </tr> <tr> <td>12.00</td> <td>-12.018</td> <td>-211.313</td> <td>180.767</td> </tr> <tr> <td>13.00</td> <td>-21.963</td> <td>-257.168</td> <td>87.485</td> </tr> <tr> <td>14.00</td> <td>-29.948</td> <td>-280.851</td> <td>49.396</td> </tr> <tr> <td>15.00</td> <td>-36.310</td> <td>-295.092</td> <td>31.708</td> </tr> <tr> <td>16.00</td> <td>-41.536</td> <td>-304.632</td> <td>22.166</td> </tr> <tr> <td>17.00</td> <td>-45.954</td> <td>-311.500</td> <td>16.436</td> </tr> <tr> <td>18.00</td> <td>-49.774</td> <td>-316.704</td> <td>12.720</td> </tr> <tr> <td>19.00</td> <td>-53.137</td> <td>-320.797</td> <td>10.169</td> </tr> <tr> <td>20.00</td> <td>-56.142</td> <td>-324.111</td> <td>8.337</td> </tr> </tbody> </table>	Frequency (kHz)	Gain (dB)	Phase (deg)	Group Delay (us)	5.00	-55.566	323.499	34.291	6.00	-43.830	308.322	52.167	7.00	-30.943	283.304	93.056	8.00	-15.938	232.553	210.398	9.00	-3.051	121.749	369.615	10.00	0.000	-6.102	337.284	11.00	-3.051	-121.749	302.412	12.00	-12.018	-211.313	180.767	13.00	-21.963	-257.168	87.485	14.00	-29.948	-280.851	49.396	15.00	-36.310	-295.092	31.708	16.00	-41.536	-304.632	22.166	17.00	-45.954	-311.500	16.436	18.00	-49.774	-316.704	12.720	19.00	-53.137	-320.797	10.169	20.00	-56.142	-324.111	8.337
Fo	Q	Fn	Qn	type	mode																																																																																																																																																																											
9.2637	3.6633	-	-	BP	1b																																																																																																																																																																											
10.9482	5.7243	16.0000	-	LPN	2a																																																																																																																																																																											
8.5149	2.2738	6.0000	-	HPN	2b																																																																																																																																																																											
10.0621	3.6633	-	-	BP	2																																																																																																																																																																											
Fo	Q	Fn	Qn	type	mode																																																																																																																																																																											
9.2617	3.6306	-	-	BP	1b																																																																																																																																																																											
10.9563	5.7101	16.0414	-	LPN	2a																																																																																																																																																																											
8.5112	2.2663	5.9953	-	HPN	2b																																																																																																																																																																											
10.0619	3.6956	-	-	BP	2																																																																																																																																																																											
R2	R3	R4	R5	R6	RA	RL	RH	RB																																																																																																																																																																								
10	39.2	-	4.99	30.1	-	-	30.1	-																																																																																																																																																																								
10	51.1	49.9	-	-	-	23.2	36.5	-																																																																																																																																																																								
10	26.1	27.4	4.99	2.8	-	-	10	-																																																																																																																																																																								
9310	340000	750000	-	-	-	-	-	-																																																																																																																																																																								
Frequency (kHz)	Gain (dB)	Phase (deg)	Group Delay (us)																																																																																																																																																																													
5.00	-55.566	323.499	34.291																																																																																																																																																																													
6.00	-43.830	308.322	52.167																																																																																																																																																																													
7.00	-30.943	283.304	93.056																																																																																																																																																																													
8.00	-15.938	232.553	210.398																																																																																																																																																																													
9.00	-3.051	121.749	369.615																																																																																																																																																																													
10.00	0.000	-6.102	337.284																																																																																																																																																																													
11.00	-3.051	-121.749	302.412																																																																																																																																																																													
12.00	-12.018	-211.313	180.767																																																																																																																																																																													
13.00	-21.963	-257.168	87.485																																																																																																																																																																													
14.00	-29.948	-280.851	49.396																																																																																																																																																																													
15.00	-36.310	-295.092	31.708																																																																																																																																																																													
16.00	-41.536	-304.632	22.166																																																																																																																																																																													
17.00	-45.954	-311.500	16.436																																																																																																																																																																													
18.00	-49.774	-316.704	12.720																																																																																																																																																																													
19.00	-53.137	-320.797	10.169																																																																																																																																																																													
20.00	-56.142	-324.111	8.337																																																																																																																																																																													

Извод:

Режимът Custom Design е подходящ за отстраняване на ефекта на Гъмби при ГВЗ на филтъра.