

巴特沃兹响应

作者: ADI公司
Hank Zumbahlen

引言

巴特沃兹滤波器是一款基于精密运算放大器的电路模块,也是一系列小型指南中描述的多种分立式电路之一。

简介

巴特沃兹(Butterworth)滤波器代表着衰减与相位响应的理想平衡。因为通带和阻带中均不存在纹波,因而有时也称为最平坦的滤波器。巴特沃兹滤波器振幅的平坦特性是以通带和阻带间相对宽的过渡带为代价的,该过渡带的过渡特性表现一般。

巴特沃兹滤波器的归一化极点在单位圆上(在s平面)。极点位置计算公式为

$$-\sin \frac{(2K-1)\pi}{2n} + j \cos \frac{(2K-1)\pi}{2n}$$

其中:

$K = 1, 2, \dots, n$, 为极点对数。

n 为极点数。

单位圆上的极点呈等距分布,即极点之间的角度是相等的。图1所示为一个5极点巴特沃兹滤波器的极点位置。

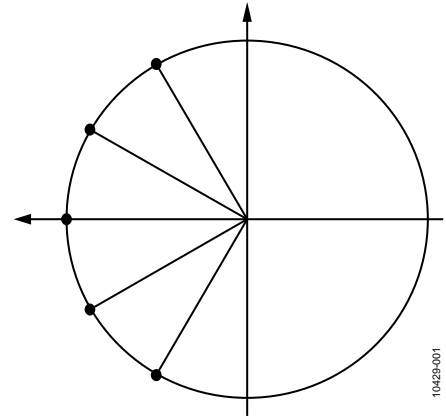


图1. 巴特沃兹极点位置

若已知极点位置,则可确定 ω_0 和 α (或 Q)。在此基础上,可用这些值来确定滤波器的元件值。无源滤波器的设计表采用的是频率和阻抗归一化滤波器。频率和阻抗分别归一化为1 rad/sec和1 Ω 。这些滤波器也可以进行反向归一化处理,以确定实际元件值。这样就可以在相同的条件下,对各种滤波器的频域和/或时域响应进行比较。巴特沃兹滤波器在 $\omega_0 = 1$ 时针对-3 dB响应进行了归一化处理。

与许多其他类型的滤波器相比,巴特沃兹滤波器各元素值的实效性更高、重要性更低。频率响应、群延迟、脉冲响应和阶跃响应如图2至图6所示。极点位置和相应的 ω_0 和 α 项见表1。

频率响应、群延迟、脉冲响应和阶跃响应

频率响应、群延迟、脉冲响应、阶跃响应及幅度如图2至图6所示。

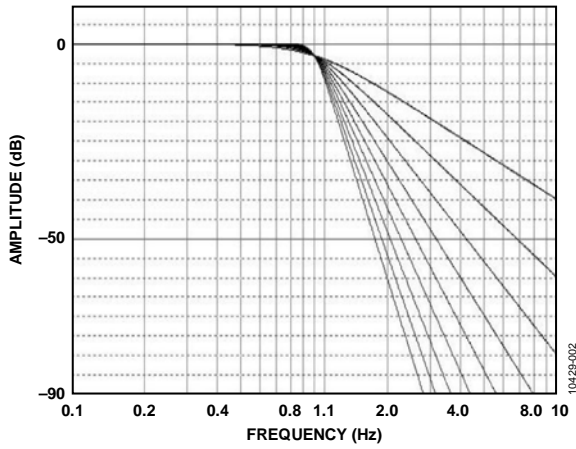


图2. 伯特沃兹响应、幅度

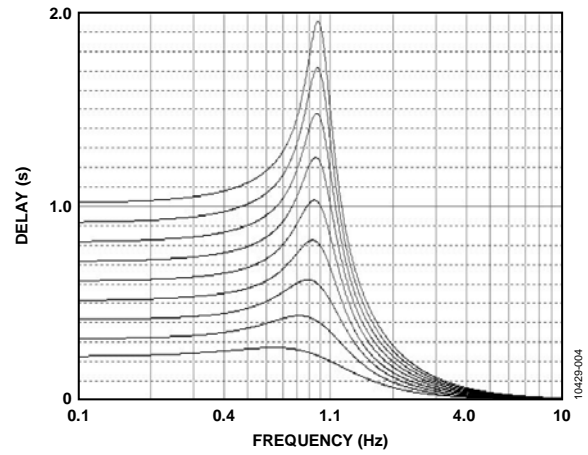


图5. 伯特沃兹响应、群延迟

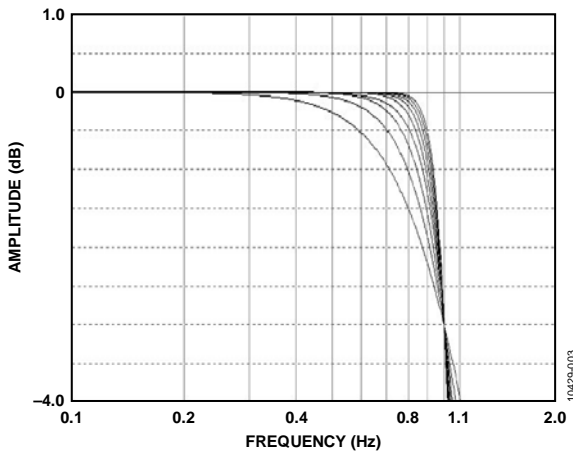


图3. 伯特沃兹响应、幅度(详)

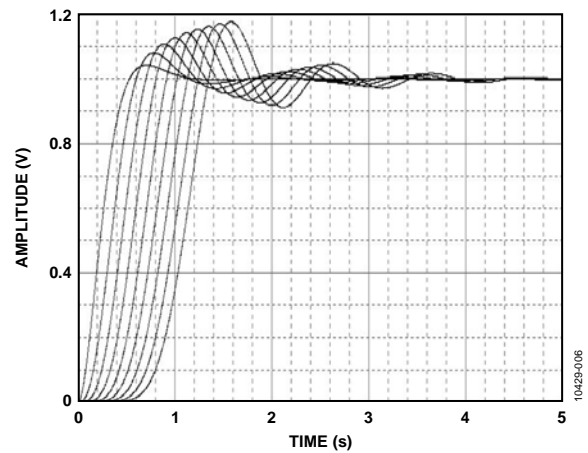


图6. 伯特沃兹响应、阶跃响应

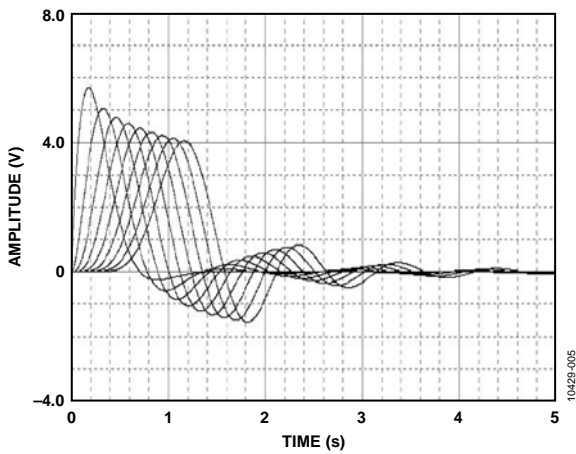


图4. 伯特沃兹响应、脉冲响应

巴特沃兹设计

极点位置和相应的 ω_0 和 α 项见表1。

表1.

阶数	部分	实部	虚部	F_0	α	Q	-3 dB 频率	峰值 频率	峰值 电平
2	1	0.7071	0.7071	1.0000	1.4142	0.7071	1.0000		
3	1	0.5000	0.8660	1.0000	1.0000	1.0000		0.7071	1.2493
	2	1.0000		1.0000			1.0000		
4	1	0.9239	0.3827	1.0000	1.8478	0.5412	0.7195		
	2	0.3827	0.9239	1.0000	0.7654	1.3065		0.8409	3.0102
5	1	0.8090	0.5878	1.0000	1.6180	0.6180	0.8588		
	2	0.3090	0.9511	1.0000	0.6180	1.6182		0.8995	4.6163
	3	1.0000		1.0000			1.0000		
6	1	0.9659	0.2588	1.0000	1.9319	0.5176	0.6758		
	2	0.7071	0.7071	1.0000	1.4142	0.7071	1.0000		
	3	0.2588	0.9659	1.0000	0.5176	1.9319		0.9306	6.0210
7	1	0.9010	0.4339	1.0000	1.8019	0.5550	0.7449		
	2	0.6235	0.7818	1.0000	1.2470	0.8019		0.4717	0.2204
	3	0.2225	0.9749	1.0000	0.4450	2.2471		0.9492	7.2530
	4	1.0000		1.0000			1.0000		
8	1	0.9808	0.1951	1.0000	1.9616	0.5098	0.6615		
	2	0.8315	0.5556	1.0000	1.6629	0.6013	0.8295		
	3	0.5556	0.8315	1.0000	1.1112	0.9000		0.6186	0.6876
	4	0.1951	0.9808	1.0000	0.3902	2.5628		0.9612	8.3429
9	1	0.9397	0.3420	1.0000	1.8794	0.5321	0.7026		
	2	0.7660	0.6428	1.0000	1.5320	0.6527	0.9172		
	3	0.5000	0.8660	1.0000	1.0000	1.0000		0.7071	1.2493
	4	0.1737	0.9848	1.0000	0.3474	2.8785		0.9694	9.3165
	5	1.0000		1.0000			1.0000		
10	1	0.9877	0.1564	1.0000	1.9754	0.5062	0.6549		
	2	0.8910	0.4540	1.0000	1.7820	0.5612	0.7564		
	3	0.7071	0.7071	1.0000	1.4142	0.7071	1.0000		
	4	0.4540	0.8910	1.0000	0.9080	1.1013		0.7667	1.8407
	5	0.1564	0.9877	1.0000	0.3128	3.1970		0.9752	10.2023

MT-224

参考文献

Zumbahlen, Hank. *Linear Circuit Design Handbook*. Elsevier. 2008. ISBN: 978-7506-8703-4.

修订历史

2012年4月—修订版0：初始版