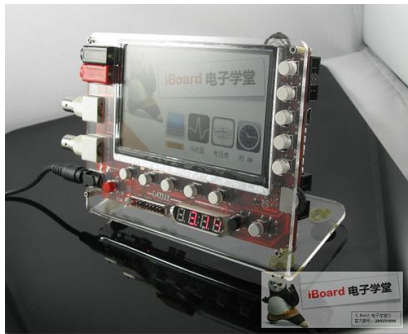


《iBoard 电子学堂》第三讲 任意波发生器硬件电路详解

关于 《iBoard 电子学堂》



《iBoard 电子学堂》是一个综合型的电子研发开发平台，适合在校学生、一线工程师及电子爱好者等。

交流方式：

官方博客：XiaomaGee.cnblogs.com

官方论坛：www.oshcn.com

官方淘宝店铺：i-Board.taobao.com

QQ群：

《iBoard 电子学堂 群【A】》：204255896（500人，已满）

《iBoard 电子学堂 群【B】》：165201798（500人超级群）

《iBoard 电子学堂 群【C】》：215053598（200人高级群）

《iBoard 电子学堂 群【D】》：215054675（200人高级群）

《iBoard 电子学堂 群【E】》：215055211（200人高级群）

《iBoard 电子学堂 群【F】》：78538605（200人高级群）

开始:

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 20:35:33

这是《iBoard 电子学堂》系列第三次课了，上两次课效果很好，如果没听到的朋友，可以去下载笔记

请大家把原理图翻到第七页

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 20:36:56

首先我说一下，波形发生器，作为最常用的电子测量工具之一；是我们今后经常要用到的

信号发生器，通俗也称为信号源。顾名思义，信号发生器是用于产生特定参数电信号的电子装置。

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 20:38:12

大家再实验室可能都遇到过，我贴个图给大家看看



这个是安捷伦的 33220A 系列任意波形发生器，

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 20:39:22

其实用大白话讲，信号源、示波器、万用表可以说是测量仪器的最大的三个分类我们这次课的目的，是讲一下基于 DDS 技术的任意波发生器硬件电路。而不是怎么使用

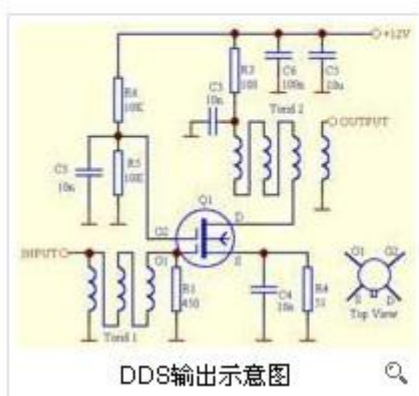
古木成灵 (1553375204) 20:40:55

dds

编辑词条

百科名片

求助



DDS输出示意图

DDS同 DSP（数字信号处理）一样，是一项关键的数字化技术。DDS是接数字式频率合成器（Direct Digital Synthesizer）的英文缩写。与传统的率合成器相比，DDS具有低成本、低功耗、高分辨率和快速转换时间等优点，广泛使用在电信与电子仪器领域，是实现设备全数字化的一个关键技术。

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 20:41:02

硬件呢，就基于我前些日子做的《iBoard 电子学堂》内建的波形发生器通道来讲。

也就是刚才大家看到的原理图。

刚才我提到的一个概念，可能有的网友就已经注意到了，就是 DDS

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:42:24

dds 是一种频率合成技术，翻译成中文就是“直接数字合成”

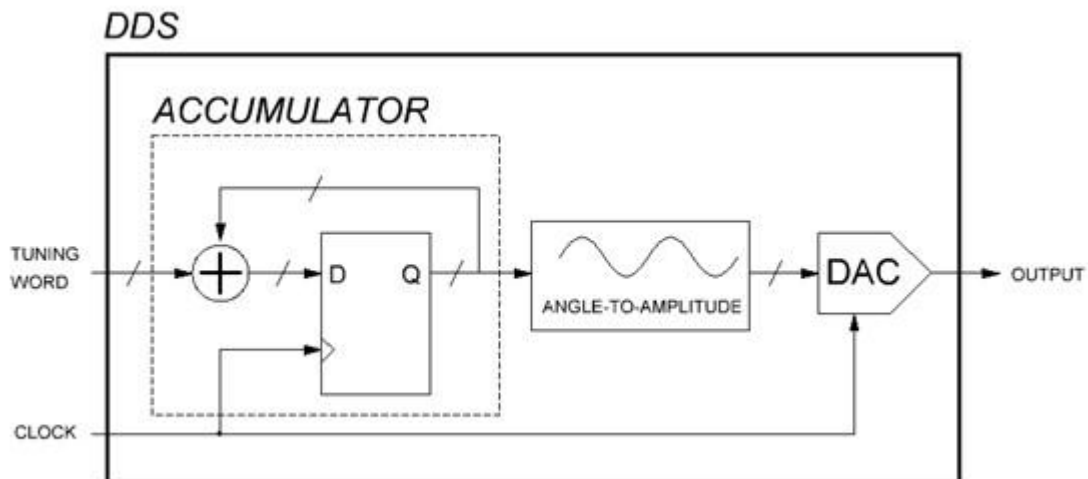
Direct Digital Synthesizer

直接数字合成(Direct Digital Synthesizer, DDS)是1971年由J.Tierncy等人提出的，它通过基于相位累加的变换方式，对输入频率进行变换，来达到任意频率输出的目的。它具有输出频率稳定、分辨率高、切换速度快等优点，配合波形查找表及相关路，它能产生任意的波形，这也是它最大的优势。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:43:38

当前市面上的函数发生器 / 任意波形发生器等等大部分都是基于 DDS 技术。

我下面接着说一下 DDS 的基本原理



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:45:24

大家可以看看这个图，这个图是一个简化了的基于 DDS 的波形发生器框图。

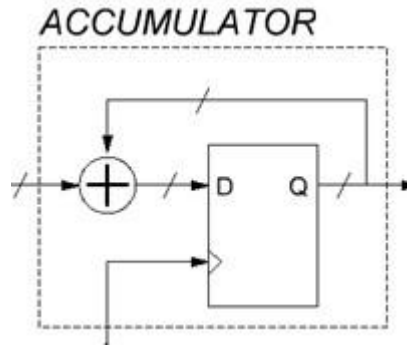
王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:45:24

大家可以看看这个图，这个图是一个简化了的基于 DDS 的波形发生器框图。

它包含了三个部分：①相位累加器②波形查找表③数字-模拟转换器

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:46:31

在这里，相位累加器只是个名字，它其实就是一个标准的累加器。



就是这个东西

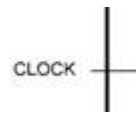
王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:47:45

他其实就是用一个 D 触发器和一个加法器组合起来的；所谓累加，就是不断地在上次的基础上增加；如果初始值为 1，累加值为 2，则结果分别为 1, 3, 5, 7, 9, ……

当然，每次累加是基于时钟驱动的。在 DDS 系统中，这个时钟就是采样时钟。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:48:45

它一般跟后端的 DAC 是一个同源的时钟。



我们图中的 CLOCK ，就是这个采样时钟。

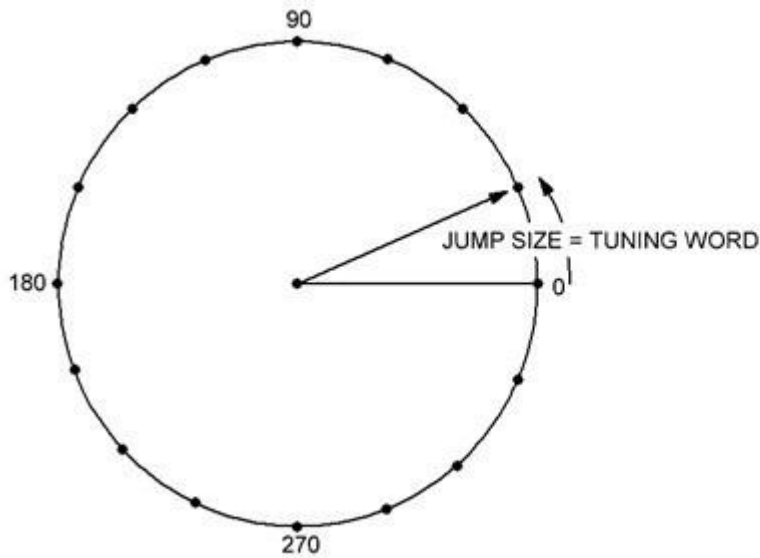
王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:50:44

第二部分，是波形查找表，通过查找表，我们可以输出任何波形。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:51:48

大家仔细想一想就应该知道，通过刚才的相位累加器，我们得到的只是一个线性的序列，转换成模拟信号，则是锯齿波，

我们通过使用这个线性序列为地址，去“查找”事先存好的波形，则就能输出任意的波形了。



n	Number of Points = 2^n
16	65'536
24	1'048'576
28	16'777'216
32	4'294'967'296
48	281'474'976'710'656

图三 描述累加器步进的数字相位圆周

$$f_{out} = \frac{m \times f_{sample}}{2^n} \quad (2)$$

其中：

f_{out} 为输出频率；

m为调谐字 (TUNING WORD)；

f_{sample} 为采样时钟；

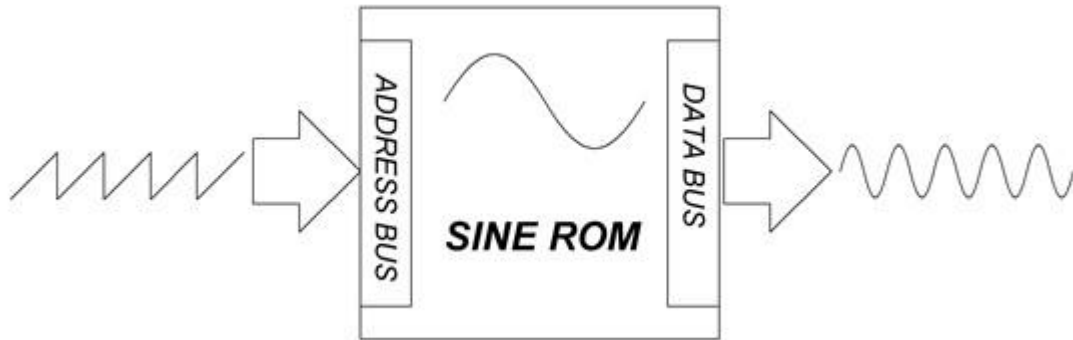
n为相位累加器位数。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:53:05

这个图是描述相位累加器的一个示意图，我参考 ADI 的资料画的
 我们把这个波形的相位 (0~360 度)，可以理解成一个圆环

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:54:14

没接触过的同学，理解起来可能有点吃力，这个不要紧，大家不要纠结这些细节。
 我们继续说刚才的相位到幅度的转换，也就是波形查找表



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:55:40

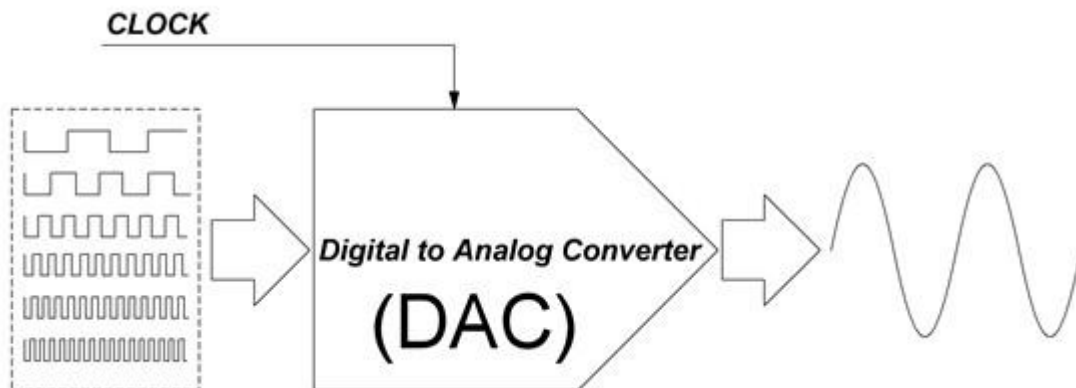
这个图，能形象地说明我们怎么从线性的地址，去查找一个正弦表并输出的。波形查找表就说到这里。这里说一下，相位累加器和波形查找表，都是通过 CycloneIV 这个 PFGA 实现的。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:57:02

下面我们说一下 DA 转换

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 20:58:09

要产生模拟波形，当然要进行数字到模拟的转换，也就是 DAC，高速 DAC 在 DDS 系统中，具有很关键的地位



这个图，就是一个典型的 DAC 框图，他接受各种规则的数字序列，然后把把这些数字信号，转换成对应的模拟信号；至此，一个模拟的正弦波就出来了。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:00:16

总结一下，上面我简单的说了一下基于 DDS 技术的波形发生器原理；这是我们这节课的基础，理解不上去的同学，课后可以看下我的博客

<http://www.cnblogs.com/xiaomagee/archive/2012/03/11/2390679.html>

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:01:06

现在大家把原理图翻到第七页

刚才讲的内容，DAC 前面都存在于 FPGA 内部，所以在原理图上表现不出来，我接着 DAC 讲，后面是信号调理和输出部分。

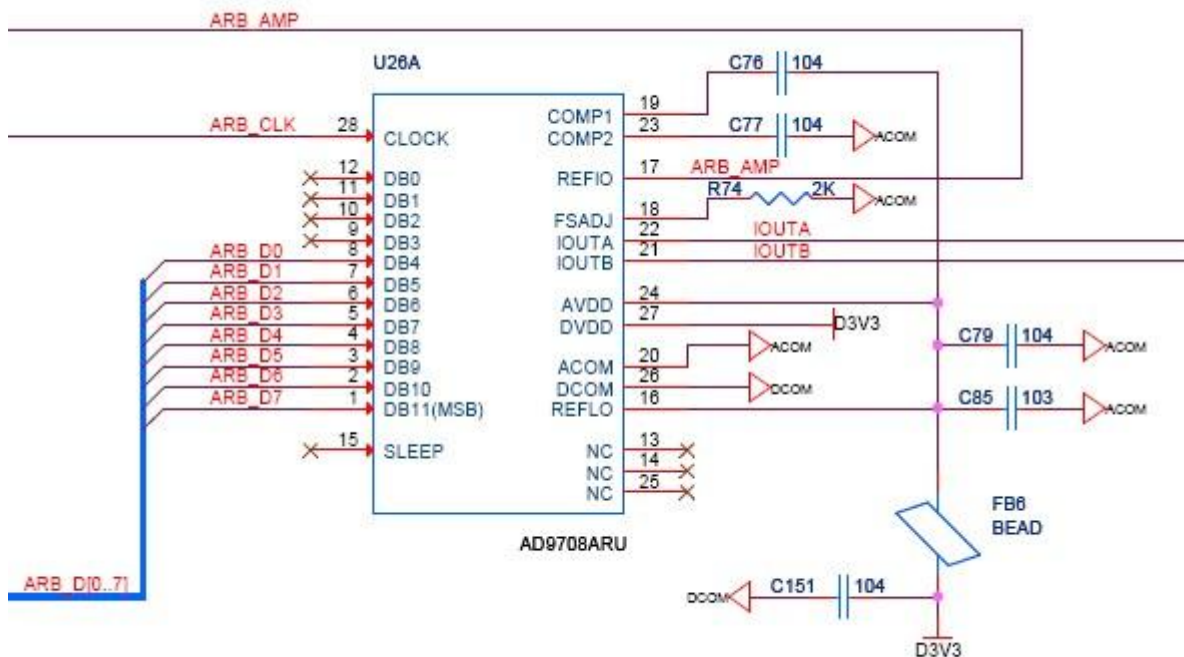
这一页的图，信号从左上角，一路一路到最终右下角输出。

我们一个芯片一个芯片的说

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:06:15

首先，最左上角的是刚才所说的高速 DAC --AD9708

他的数据线连接于 fpga



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:07:59

AD9708 是 Analog Device (ADI) 公司 TxDAC™ 中的一员

其实吧，我为啥选择这一个 DAC，因为引脚跟他兼容的，从低端到高端都有产品

不光 ADI 公司出的兼容，连 TI, Intersil 的都有兼容的。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:09:04

有的同学老跟我提指标，其实我的这个设计都是兼容的

AD9708 是电流输出，其实是一种权电流型的 dac

半闲(602227008) 21:11:00

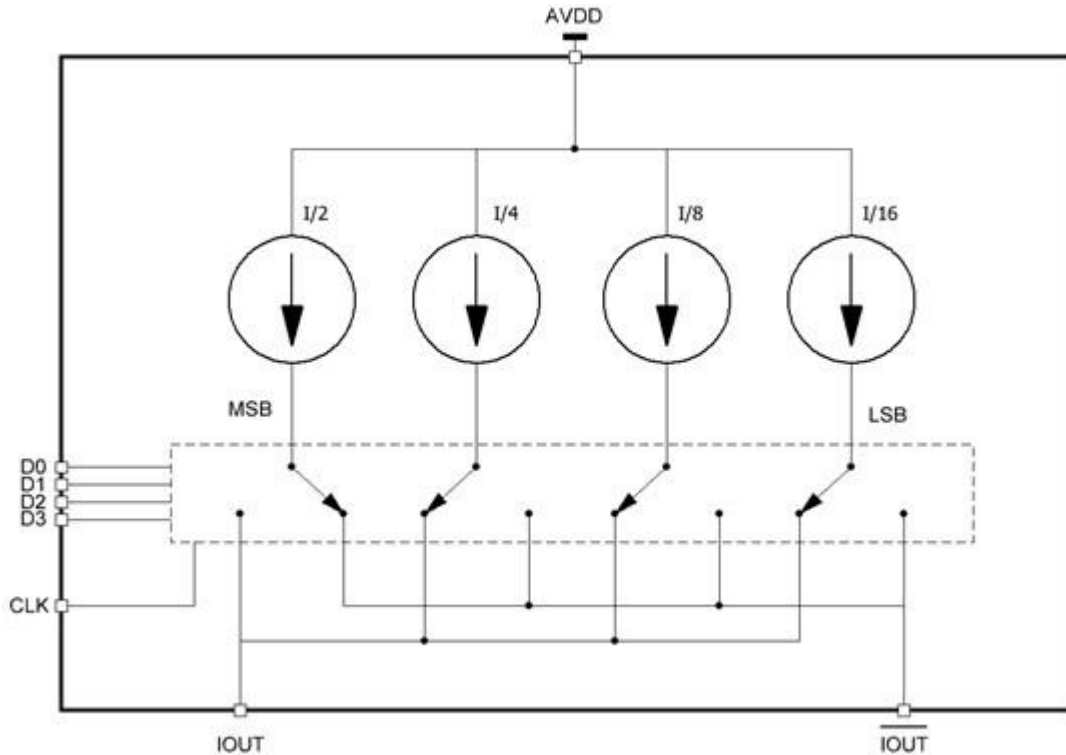
可是这个芯片本身就是 12bit 啊

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:11:09

ad9708 是 8bit 的

《... ..》(793042486) 21:11:18

咋个贵法？东西都来了？占用引脚吗？



ad9708 不到 10 元，ad9764 要 5、60

用于学习，足够了。

听我讲课

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:12:23

大家看上面的图，权电流型 dac，其实就是用输入的数据线，选择加权方式的恒流源

这个图应该很好理解，就跟我们的人民币一样，1 毛，2 毛，五毛，就能得到从 1 到 9 毛

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:13:56

如果真说公式，就是这样的

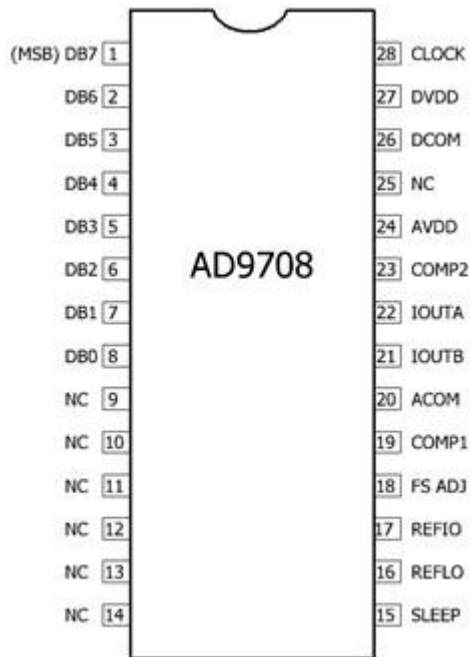
$$I_{OUT} = \frac{I}{2} \cdot D_3 + \frac{I}{4} \cdot D_2 + \frac{I}{8} \cdot D_1 + \frac{I}{16} \cdot D_0$$

$$I_{OUT} = \frac{I}{2^4} \cdot (2^3 \cdot D_3 + 2^2 \cdot D_2 + 2^1 \cdot D_1 + 2^0 \cdot D_0)$$

$$I_{OUT} = \frac{I}{2^4} \cdot \sum_{i=0}^3 2^i \cdot D_i \quad (1)$$

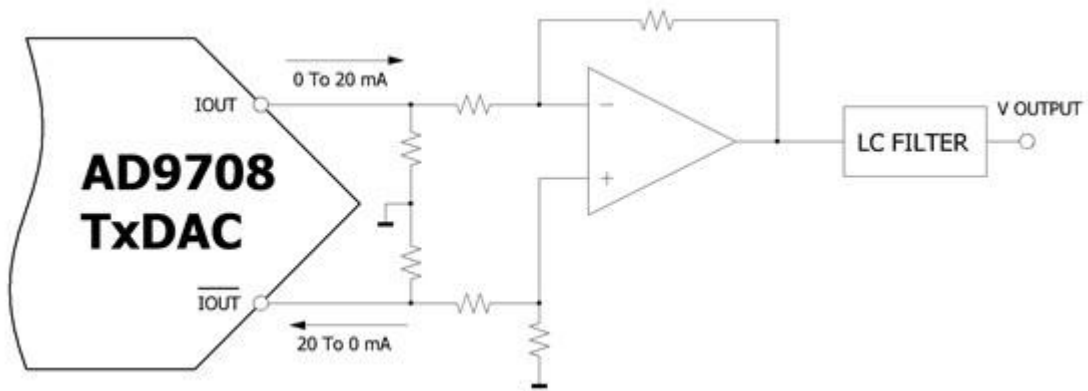
假设 DAC 全量程输出为 I_{FS} (Full Scale)，则 $\overline{I_{OUT}}$ 输出为公式 (2)。

原理说到这里，我们看看具体的芯片

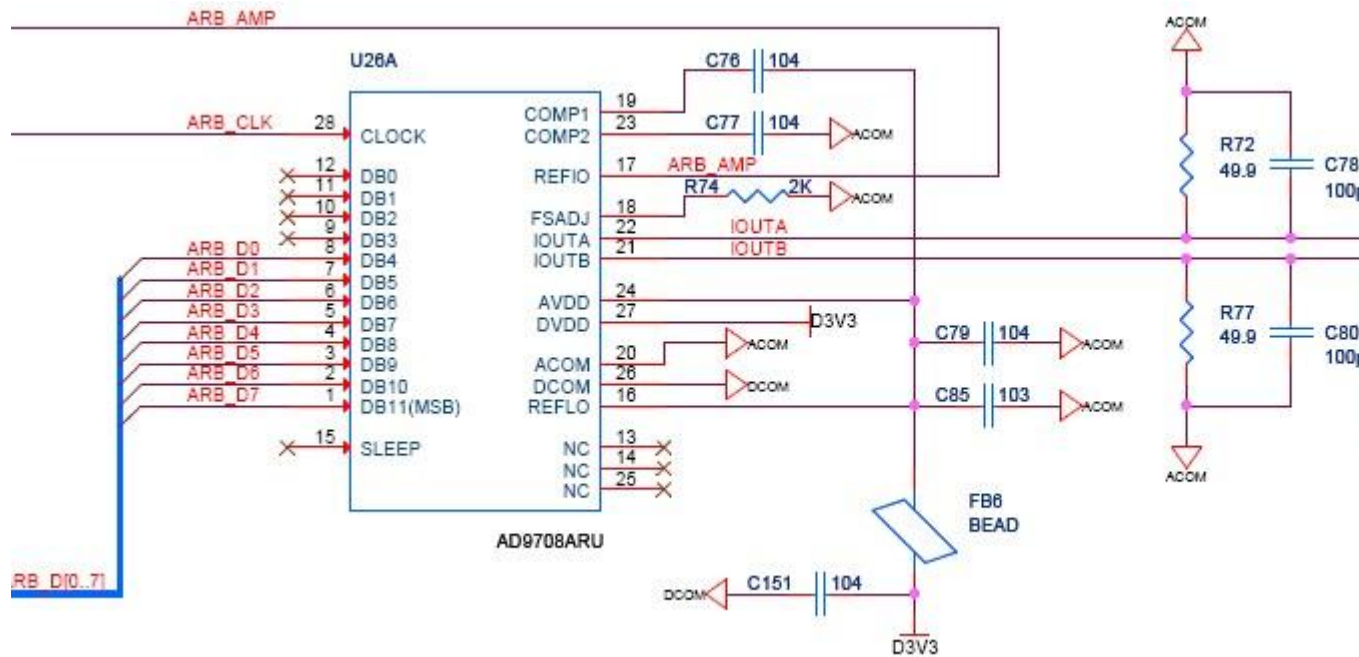


王紫豪-XiaomaGee (15959622) 21:15:14
 芯片左侧 14 个引脚，就是数据线，最大支持 14 位兼容的当然，8 位的只能用高位。

输出我们采用运放查分放大模式，



这个样子
 关于为啥运放这样用，以后得章节我们会详细讲解运算放大器的用法
 王紫豪-XiaomaGee (15959622) 21:17:53



风继续吹(441346825) 21:18:16

22 IOUTA
21 IOUTB

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:18:31

硬件设计，除了肉，剩下的骨头就是最基本的原理。

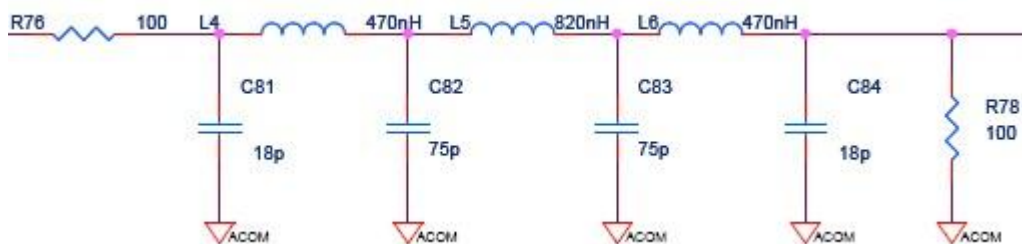
a 和 b 是互不输出

这样才能“查分”

差分

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:19:52

信号到这里，如果用示波器来观看，我们其实就已经能看出正弦波了，下面信号就要进入到“滤波器”环节。



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:21:37

我下面说说这个滤波器

这个图是 7 阶巴特沃斯滤波器

潇洒人生(511904226) 21:32:48

阶怎么看的啊

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:32:47



王紫豪-XiaomaGee (15959622) 21:33:05

数一下 L 和 C 的个数

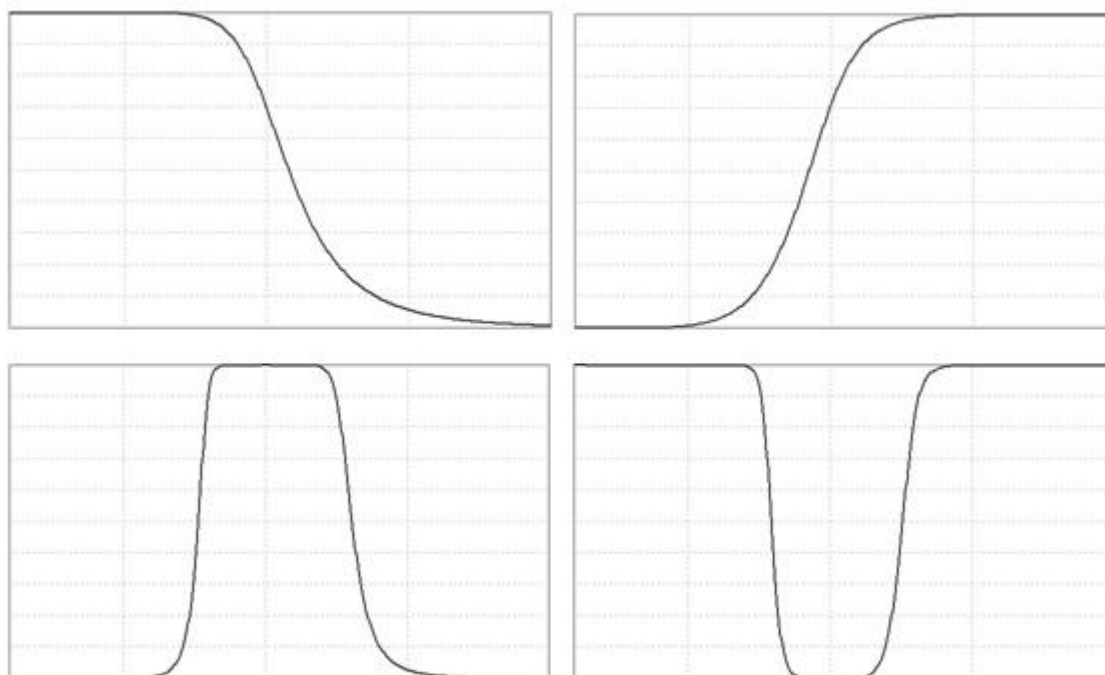
王紫豪-XiaomaGee (15959622) 21:39:37

下面我说说滤波器

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 21:40:23

滤波器最基本的分类就是它抑制的频带来说了

可以分为低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器



图一 低通、高通、带通、带阻滤波器幅频特性示意图

他们的幅频特性，就是这四个。

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 21:41:23

低通滤波器 (Low-Pass Filter)：允许低于某一频率的信号分量通过，并抑制高于此频率的信号分量；称之为低通滤波器。

我解释一个，其他的大家可能就理解了

其他三个概念类似。

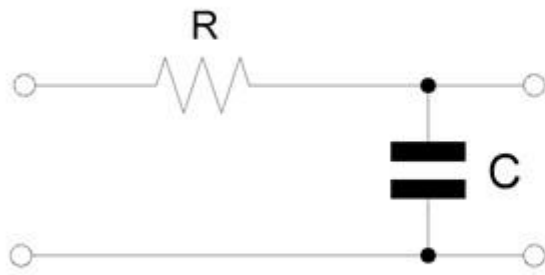
从应用角度来说，跟我们关系最大的是下面的分类。

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 21:42:28

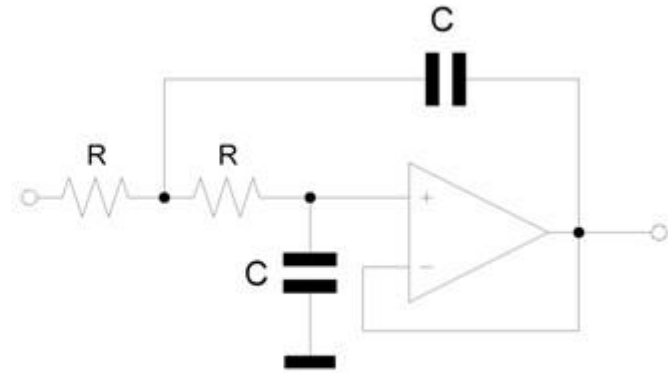
若从器件的角度去分类，可把滤波器分为无源滤波器和有源滤波器

无源滤波器：采用无源器件组成的滤波器电路，称之为无源滤波器。它一般由 RC 或者 LC 网路组成。

有源滤波器：电路组成部分含有有源器件的滤波器，称之为有源滤波器。它一般由 RC 网络和运算放大器组成，运算放大器起阻抗变换和幅度放大作用。



图二(1) 一阶 RC 无源低通滤波器



图二(2) 二阶有源低通滤波器

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:43:36

大家看看图，左边为无源滤波器，右边为有源滤波器

一边地讲，有源滤波器我么用在频率较低的滤波场合，例如几百 Hz，甚至几十 kHz

而无源滤波器，我们一般用在频率较高的场合

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:45:08

这里我给大家推荐一个有源滤波器的设计软件，microchip 公司推出的 filter lab

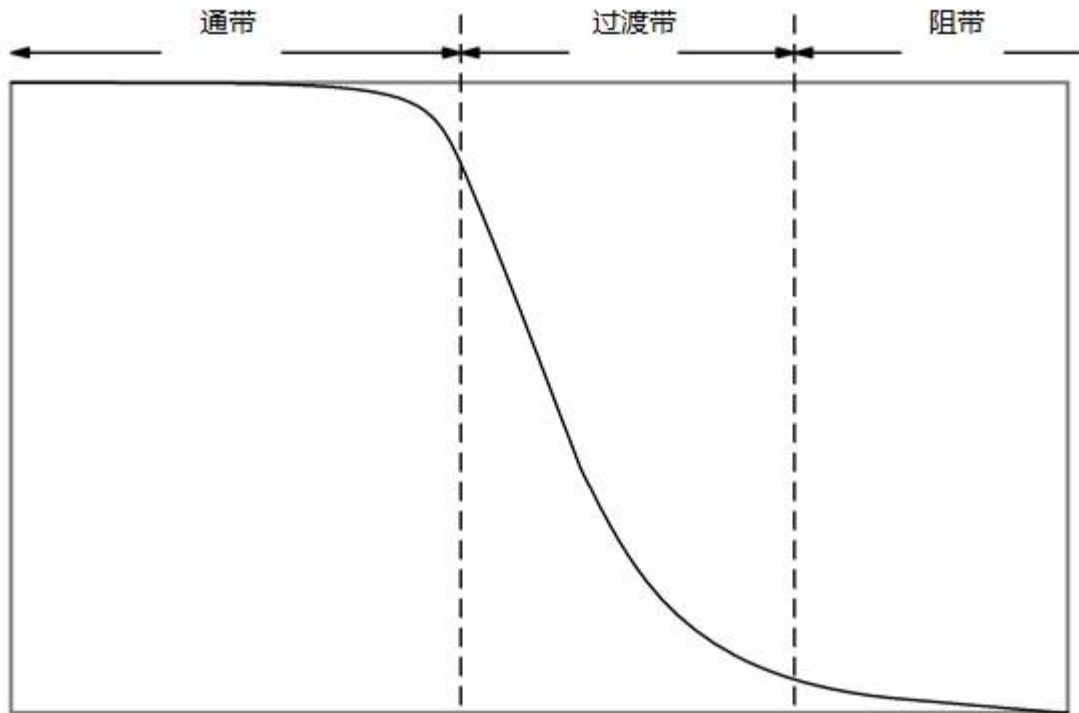
下载地址如下：

http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en010007

各种阶数、各种类型的有源滤波器它都能设计，功能很强大

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:46:42

为了便于理解，我介绍下滤波器的三个区间



图三 低通滤波器的通带、阻带与过渡带

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:48:23

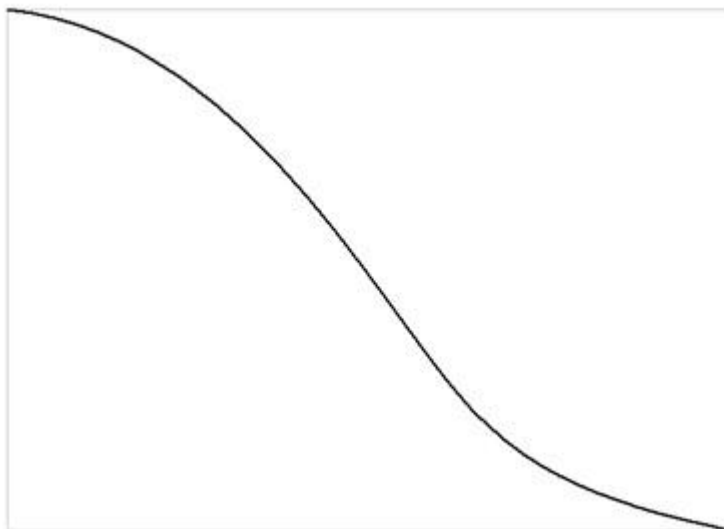
若从滤波器特性来讲，我们可以把它们分为以下几种。

贝塞尔滤波器 巴特沃斯滤波器 切比雪夫 I 型 切比雪夫 II 型 椭圆滤波器 (Elliptic)

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:49:24

我一个一个的说下，这些对于电路设计很有用

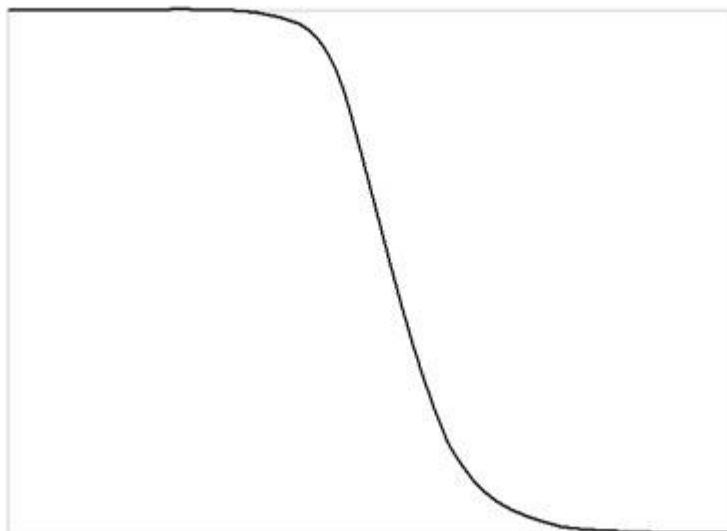
贝塞尔滤波器 (Bessel)：具有最大相位延迟平坦度的滤波器，所以也叫线性相位滤波器。在通带频段内，他的相位延迟几乎恒定，所以能更真实的还原一些不规则信号（含有杂乱频谱成分）。由于其相位延迟恒定，所以贝塞尔滤波器的阶跃响应即没有过冲，也没有振铃。但是他的过渡带衰减慢，为了达到良好的过渡带衰减能力，对比与其他滤波器，我们需要更多的阶数。



这个就是贝塞尔滤波器

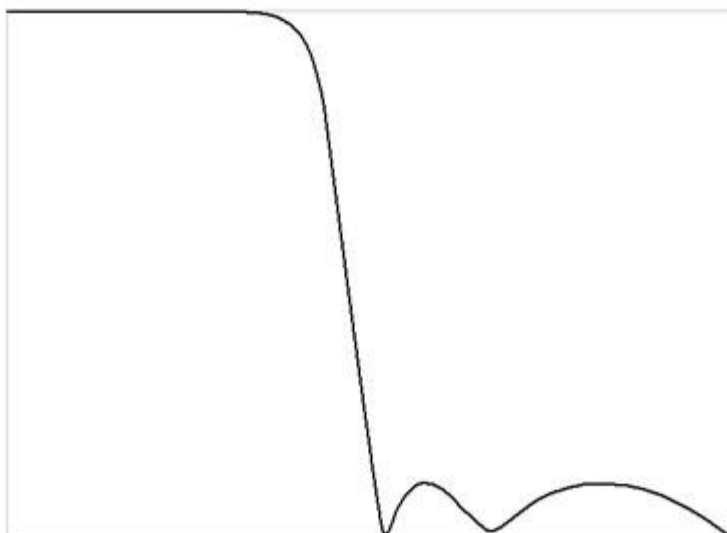
王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:50:40

巴特沃斯滤波器 (Butterworth)：巴特沃斯滤波器在通带内，频率响应曲线最平坦。而在阻带内，频率响应曲线单调递减，没有波动。巴特沃斯过渡带内的衰减能力中规中矩，正由于巴特沃斯巴特沃斯滤波器的中庸特性，所以它也是最常用的滤波器。



切比雪夫 II 型 (Chebyshev II)：切比雪夫 II 型滤波器通带内频率响应曲线平坦，没有波动现象，但是阻带内频率响应曲线波动，不平坦。过渡带衰减能力良好。切比雪夫 I 型和 II 型的区别就在于一个在通带内波动，一个在阻带内波动。切比雪夫滤波器利用了切比雪夫多项式

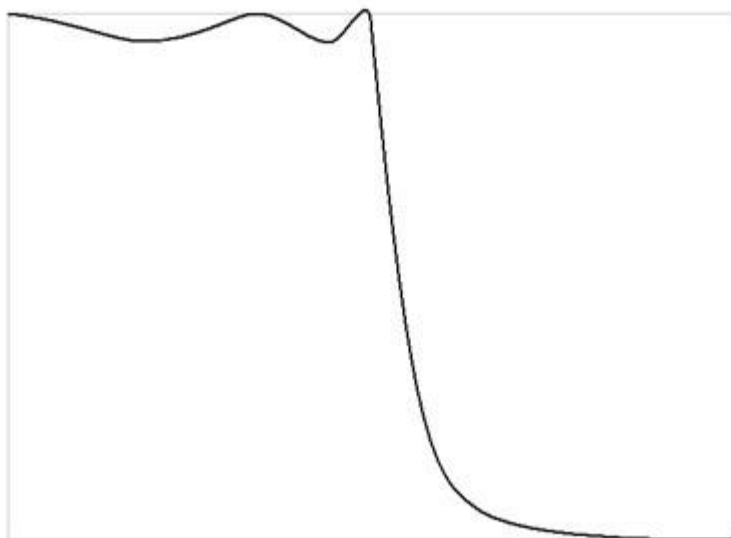
王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:51:27



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:51:44

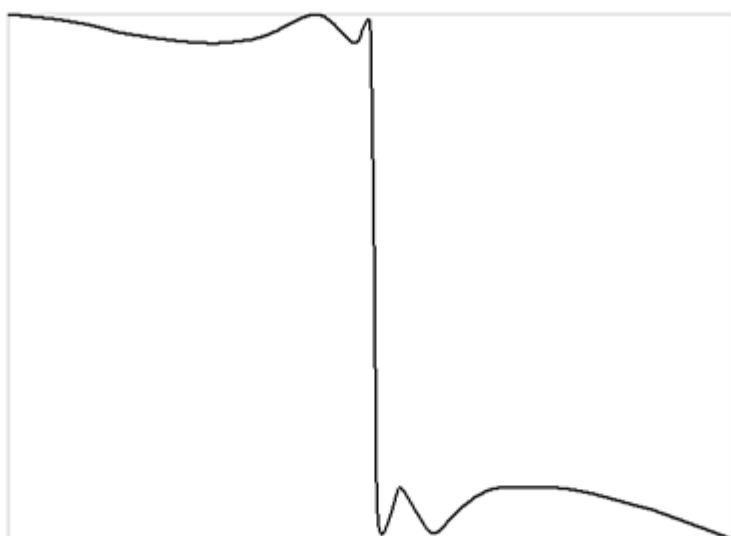
切比雪夫 I 型 (Chebyshev I)：切比雪夫 I 型滤波器通带内频率响应曲线不平坦，有波动现象，但是阻带内频率响应曲线单调递减，没有波动

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:51:49



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:52:01

椭圆滤波器 (Elliptic)：椭圆滤波器又叫考尔滤波器 (Cauer)，是一种在通带和阻带内都有波动的滤波器。他在通带和阻带的波动相同，并且在过渡带内衰减很快，也就是说，对比其他滤波器，他更陡峭。由于它优良的衰减能力，椭圆滤波器常用于纯正弦信号滤波。



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:52:15

上面这些都出自我的博客，我复制过来的。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:52:21

我简单的总结下

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:52:38

巴特沃斯滤波器是最常用的类型，他中规中矩，如果你不知道选用哪个，那就可以选这个

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:53:01

贝塞尔滤波器一般用于对相位要求较高的场合

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:53:21

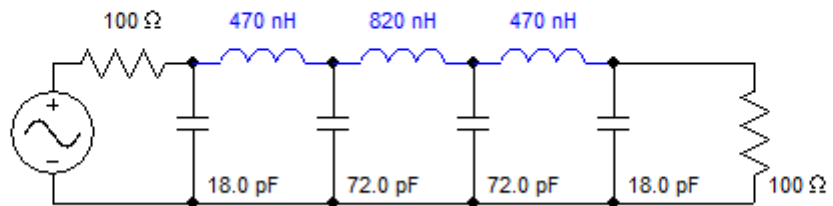
商业化的任意波发生器中的“任意波”部分，都是使用贝塞尔类型的。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:53:54

为了在性能和电路复杂度均衡，iBoard 采用了 7 阶巴特沃斯滤波器作为高速 DAC 输出滤波。其通带频率为 40MHz，原理图如图九所示，其幅频特性、相位特性如图十、图十一所示。本滤波器采用软件 Filter Solutions 设计。

7th Order Low Pass Butterworth

Pass Band Frequency = 40.00 MHz



Fri Feb 10 01:06:40 2012

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:54:41

大家可以去搜索并下载，是一个不可多得的无源滤波器设计软件。

关于很多朋友关心的滤波器参数如何计算、零点、极点如何找；这个去看书吧，在群里要讲一个月的。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:55:55

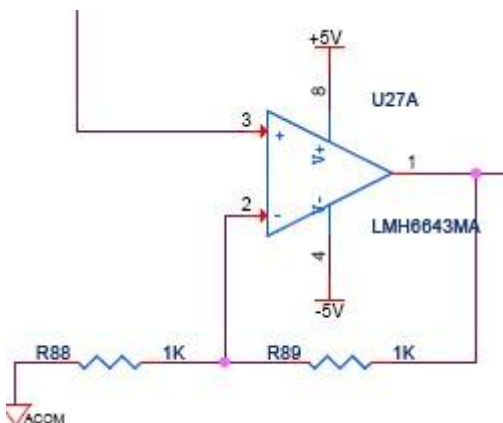
回到原理图

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:56:06

滤波器输出后，经过一级放大

信号与系统地干活

最典型的同相放大



《... ..》(793042486) 21:56:34

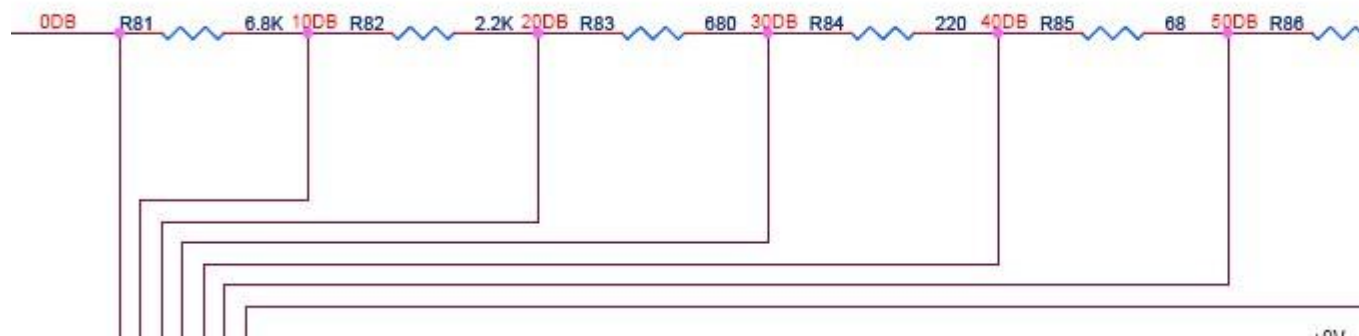
上边没有 实现的电路啊

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:56:35

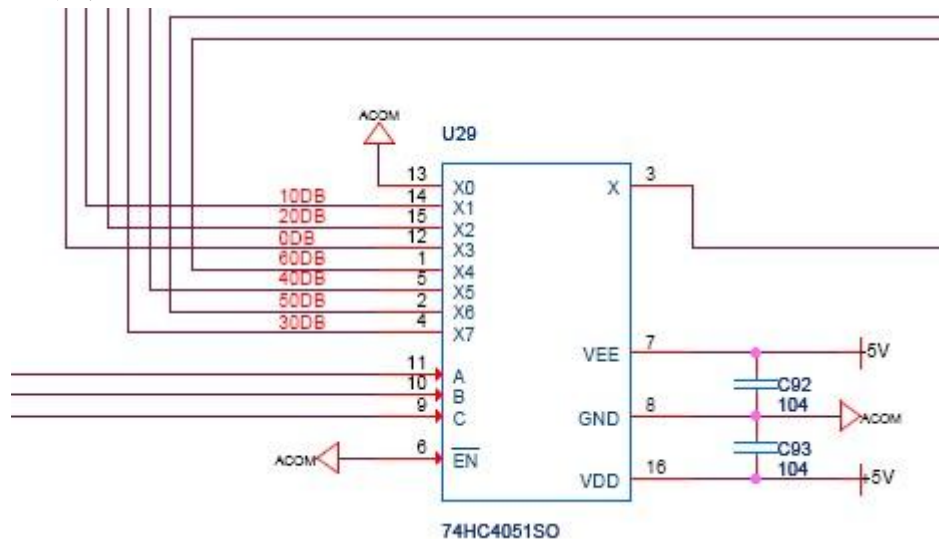
放大一倍

放大器输入后，进入衰减网路，亮点来了

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:57:31



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:57:36



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:58:12

这其实是一个通过多路开关（74HC4051，8选1多路开关）选择的0~60dB的衰减网络。

《... ..》(793042486) 21:58:31

模拟开关？

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:58:33

对

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:59:10

这里我介绍下 dB 的概念

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:59:42

分贝 (Decibel, dB) 表示两个物理量值的比值大小，是单位贝尔 (Bel) 的十分之一。此单位的命名是以美国贝尔电话公司创始者亚历山大·格拉汉姆·贝尔 (Alexander Graham Bell, 1847-1922 年)。

以电压为例子，设一个双端口网络输入电压为 V_{IN} ，输出电压为 V_{OUT} ，则我们定义此网络的增益 G 为公式 (1)，单位为分贝。设输入电压为 10V，输出电压为 1V，则增益 G 为 -20dB 。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 21:59:58

为什么我们采用 dB 表示增益呢，原因有二

幻影浮生<peyoba1988@yahoo.com.cn> 22:00:02

1000 倍啊

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:00:10

对的

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:00:14

首先，采用 dB 作为增益，使得电路级联时，增益结果为相加关系，计算更方便、直观。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:00:31

其次，由于 dB 是对数的关系，采用 dB 作为增益单位，更能直观的观测出整个区间的变化特性。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:01:10

如果按倍数算，就是前后级联相乘的关系， $10 \times 10 = 100$

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:01:17

如果按 dB 的概念，则是相加的关系

流水断玄月(573419891) 22:01:42

db 的公式怎么计算？

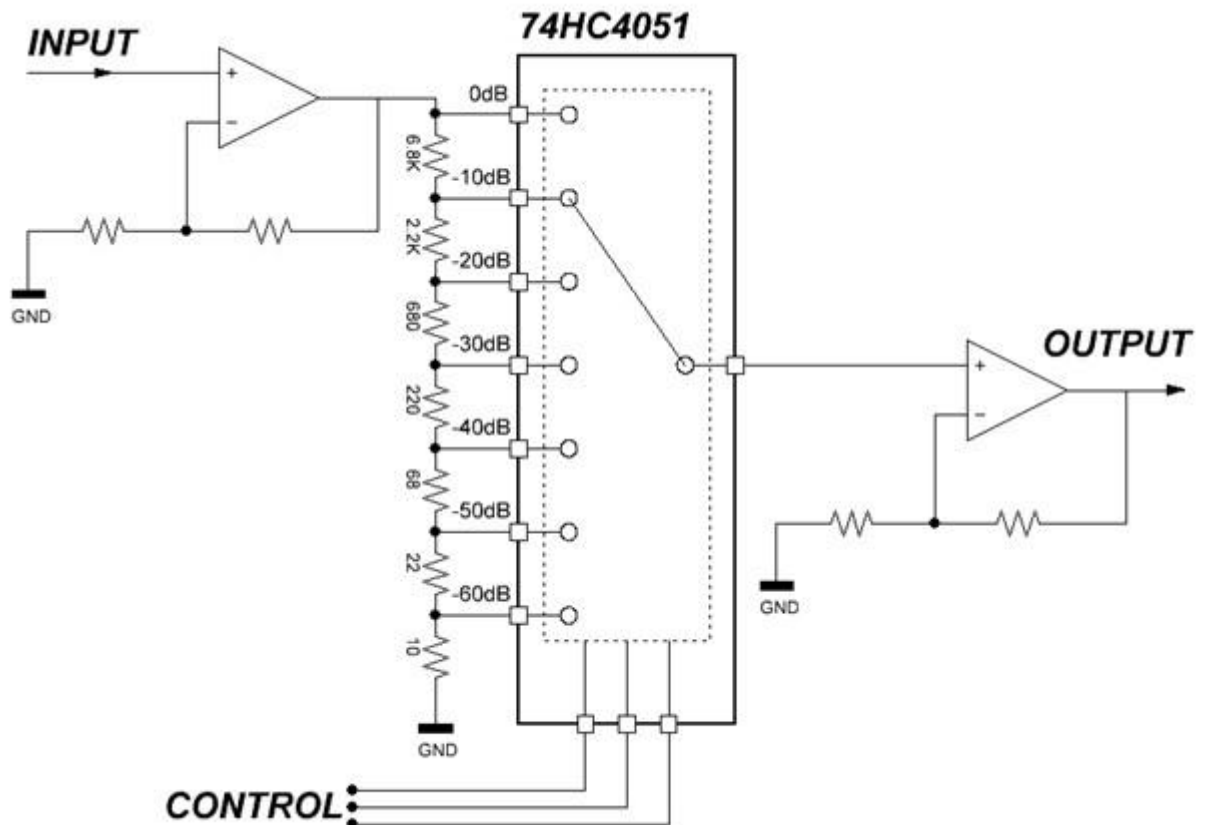
我是好人(805298897) 22:01:54

可以别插话吗？亲

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:01:57

其实我不愿意贴公式的

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:02:50



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:03:05

这个就是 iBoard 电子学堂衰减网络的示意图

有的同学问了，为啥非得衰减输出呢？

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:03:58

商业化的信号发生器都会有衰减网路，并且还不止一级

答：为了增强输出信号的信噪比，我们在滤波器后端采用一级衰减网络。这样，较小的信号我们采用较大的信号衰减得到，避免了 DAC 基准电压较小时输出波形噪声较大的问题。

《... ..》(793042486) 22:04:16

control 是控制输出大小吗？

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:04:26

是的，三根线，8 种状态

8 选 1 模拟开关嘛

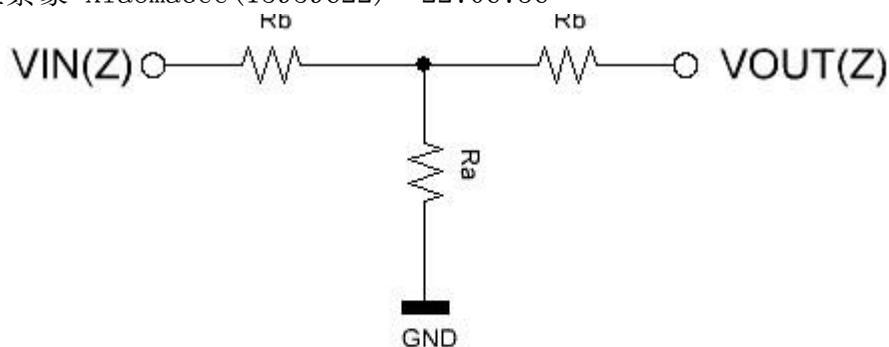
王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:05:25

原理图中，电阻大家可以计算一下，基本上呈 $0\sim 60\text{dB}$ 的分配，这个设计很巧妙，并且成本低廉

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:06:15

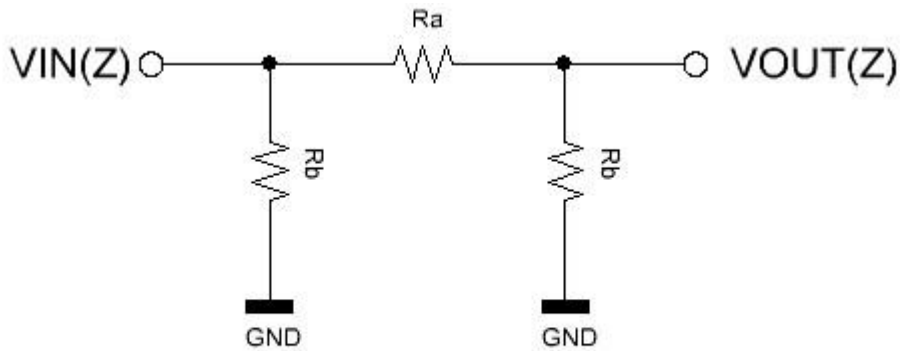
其实，衰减网络有很多种，如倒 L 型，T 型， π 型等等；不同的地方，需要不同的拓扑结构

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:06:36



图六 T 型衰减网络

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:06:55



图五 π 型衰减网络

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:07:29

有兴趣的朋友，可以查阅相关资料；这些都是基本的电路拓扑结构。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:07:29

有兴趣的朋友，可以查阅相关资料；这些都是基本的电路拓扑结构。

Backkom(784496547) 22:07:59

PCB 布局有何要求

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:08:10

最近走线既可。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:08:14

增加衰减网络后，我们的最终输出幅度控制方法就要改变了，我总结了一个表，大家可以看一下。

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:08:22

表一 启用衰减网络下的幅度设定

系统输出值 (V_{pp})	前级设定值 (V_{pp})	衰减网络选择
$V_{OUT}=3.16 \sim 10$	V_{OUT}	0dB
$V_{OUT}=1 \sim 3.16$	V_{OUT} 放大 10dB=3.16~10	-10dB
$V_{OUT}=0.316 \sim 1$	V_{OUT} 放大 20dB=3.16~10	-20dB
$V_{OUT}=0.1 \sim 0.316$	V_{OUT} 放大 30dB=3.16~10	-30dB
$V_{OUT}=0.0316 \sim 0.1$	V_{OUT} 放大 40dB=3.16~10	-40dB
$V_{OUT}=0.01 \sim 0.0316$	V_{OUT} 放大 50dB=3.16~10	-50dB
$V_{OUT}=0.001 \sim 0.01$	V_{OUT} 放大 60dB=1~10	-60dB

道可道(549040622) 22:09:14

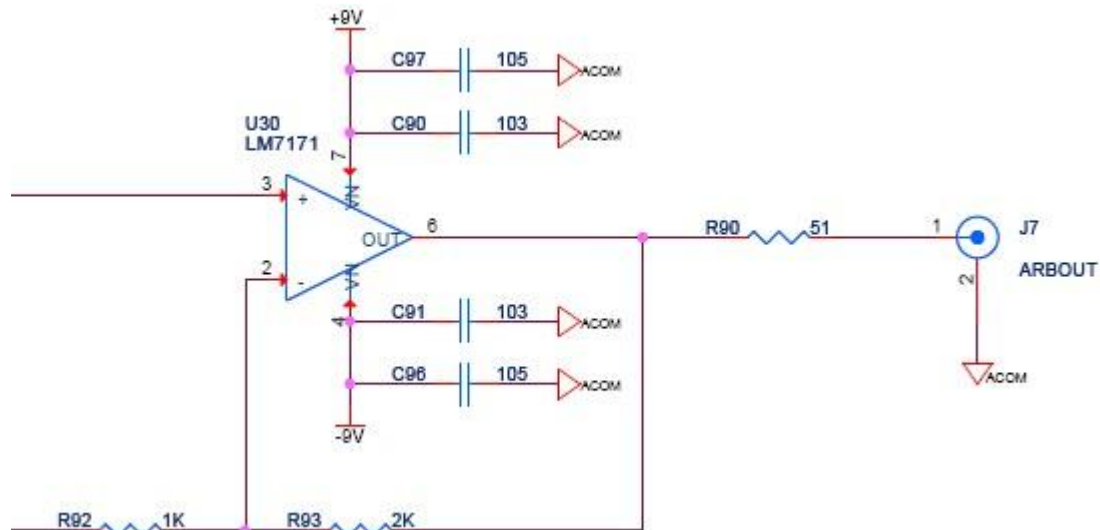
👂 听课

(手机 QQ 可以视频聊天啦! <http://mobile.qq.com>)

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:09:25

衰减网络就说到这里。下面我们进入任意波发生器最后一步：功率输出部分

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:10:03



王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:10:18

大家不要小看这个简单的放大器，这是一个很牛 B 的东西

难民人<lwslws201@qq.com> 22:10:47

输出幅值能达到多大？

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:10:57

我锁定 V_{pp} 10

张利平 (526897645) 22:10:59

轨到轨？

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:11:04

供电能达到，能输出 20

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:11:10

不是的 rail 的

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:11:32

一个小小的 so8 芯片，可以输出达 100mA 的电流

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:11:53

这也使得我们最终的输出阻抗达 50 欧姆级别

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:12:10

并且正弦波驱动到 10MHz 不衰减

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:12:44

我介绍《iBoard 电子学堂》说，这里包含一个真正的任意波发生器，原因就在于此。

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:12:59

大家可以翻翻其他的开发板，谁能达到 50 欧姆的输出阻抗？

淡泊名利，宁静致远！ (591765165) 22:13:20



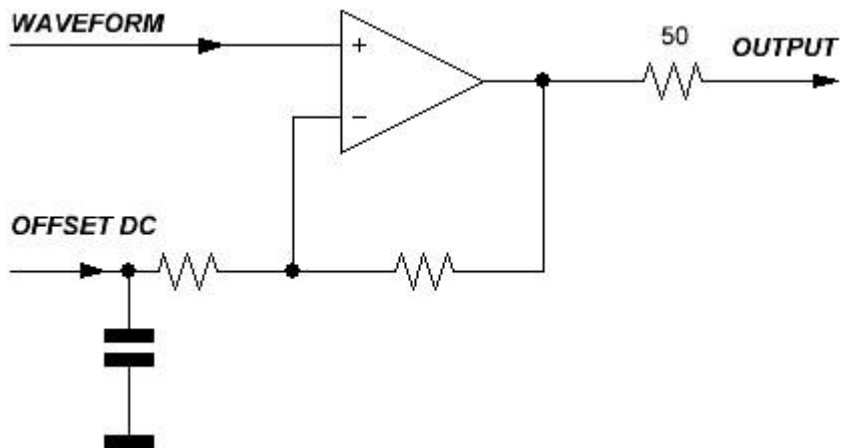
王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:13:22

我贴一个示意图

潇洒人生 (511904226) 22:13:24



王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:13:23



★嵌入式学习者 (1326703841) 22:13:34



王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:14:45

大功率的

潇洒人生 (511904226) 22:15:00

为什么不适用单电源呢?

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:15:00

等我说完

难民人 <lwslws201@qq.com> 22:14:35



这个电阻有要求吗?

王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:15:11

输出要双极性的

潇洒人生 (511904226) 22:15:11

好的

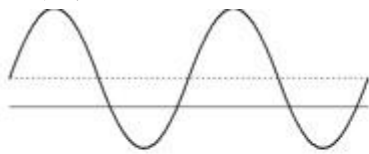
★嵌入式学习者 (1326703841) 22:15:17



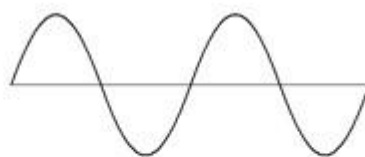
王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:15:23

单电源不行

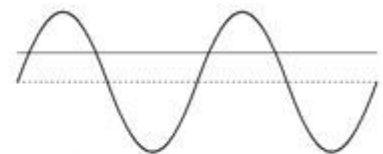
王紫豪-XiaomaGee (15959622) 22:15:20



图二 (1) 偏置为正电压



图二 (2) 偏置为零电压



图二 (3) 偏置为负电压

《... ...》(793042486) 22:15:27

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:14:49

三极管很难调

可以达到不?

★嵌入式学习者(1326703841) 22:15:56



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:16:51



王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:17:14

具体的代码都是开源的，以后有机会在给大家讲解！

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:17:04

这个是我今天讲的仪器的软件界面

王紫豪-XiaomaGee(15959622) 22:17:34

整机图

工作于任意波发生器界面