

基于 Multisim 可变增益放大器的仿真研究

于 蕾^a, 范伟远^b, 谢 红^a

(哈尔滨工程大学 a. 信息与通信工程学院; b. 自动化学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 研究了程控放大器 AD603 的工作原理以及在典型一级、二级工作电路下增益调节范围和两级低噪声 AGC 放大电路的性能参数; 主要侧重于基于 Multisim 对实际电路仿真的研究方法, 通过仿真阐述了 AD603 调节增益的原理、方法及适用范围, 实现了 AD603 的性能指标的测量, 符合它的设计参数并能够很好地实现增益可控。

关键词: 模拟电子技术; Multisim 软件; 可变增益放大器; 仿真

中图分类号: TP391.9; G642.0 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1672-4550.2012.05.010

Research on Variable Gain Amplifier Based on Multisim

YU Lei^a, FAN Wei-yuan^b, XIE Hong^a

(a. College of Information and Communication Engineering; b. College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: This paper researches on the working principles of variable gain amplifier AD603, and the range of variable gain under the typical one stage or two stages circuits condition, and its performance parameters of two-stage low noise AGC amplifier. The main work focuses on the research methods to the practical circuits with Multisim, expounds the principles, methods and applications of AD603 by simulation, and consequently realizes to measure the parameters of AD603. The results match the design values and could be achieve the good performance to variable gain.

Key words: analog electronics technology; Multisim; variable gain amplifier; simulation

放大器是电子线路中基本的放大环节, 放大器的增益是其重要的性能指标。随着技术的发展及应用场合的多样化、复杂化, 对放大器增益的控制变得更加精细。程控放大器是现在广泛应用的放大器, 可以通过改变电路的连接来实现控制增益。

AD603 正是这样一种具有程控增益调整功能的芯片。它是美国 ADI 公司的专利产品, 是一个低噪、90 MHz 带宽增益可调的集成运放, 如增益用分贝表示, 则增益与控制电压呈线性关系, 可以通过软件或放大器本身将增益自动调整到适当范围内。在 2009 年全国电子大赛中, B 题宽带直流放大器使用 AD603 能够较好地完成任务, 使得 AD603 在电子大赛中的应用也越来越普遍。众多高校在准备大赛时都将 AD603 作为一个必做的模块要求学生完成^[1]。

在具体实现电路之前, 通常情况都会进行电路的仿真。Multisim 是一款优秀的 EDA 软件, 适合于电子线路的仿真分析。而且 Multisim 中自带了

AD603 的模块, 更加便于仿真。本文使用 multisim 对 AD603 进行仿真^[2-3]。

1 AD603 的工作原理

AD603 的内部工作电路由 3 部分组成, 分别是 40 dB/V 的线性增益控制部分, R-2R 梯形网络组成的 0 ~ -42.14 dB 精密无源输入衰减器和固定增益为 31.07 ~ 51.07 dB 的放大器(图 1)。其控制增益的原理是通过改变 GPOS 与 GNEG 间的电压和 V_{out} 与 FDBK 的连接方式来控制增益^[4]。

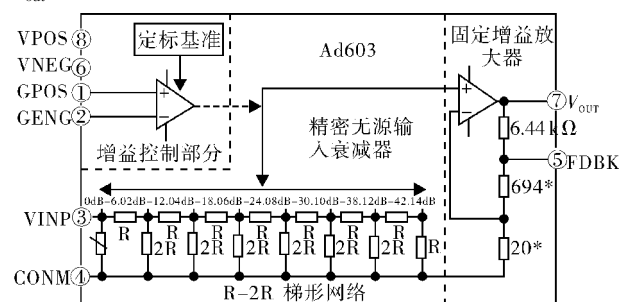


图1 AD603 简化内部结构框图

2 一级 AD603 的典型工作方式及 Multisim 仿真

在简单应用的场合, 一级 AD603 即可满足增益要求。当 V_{out} 和 FDBK 两管脚的连接不同时, 其

收稿日期: 2011-12-22; 修改日期: 2012-04-17

基金项目: 2011 年哈尔滨工程大学教改立项项目资助 (JG2011YB27)。

作者简介: 于 蕾(1977-), 女, 博士, 副教授, 主要从事电子技术课程和实验教学工作。

放大器的增益范围也不一样。因此通过改变连接方式,可以得到3种AD603的典型工作方式^[5]。

2.1 V_{out} 和FDBK直接连接

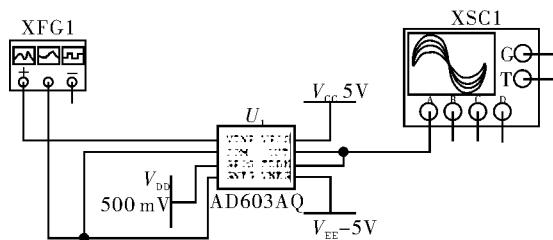


图2 $V_G = 500$ mV V_{out} 和FDBK直接连接

当 V_{out} 和FDBK短接时,由GPOS和GNEG两端电压差 V_G 来具体控制AD603的增益。

当 $V_G = 0$ 时,衰减器的“滑动臂”固定在中间,产生一个21.07 dB的衰减,与固定增益相加为增益10 dB($-21.07 + 31.07$),其中31.07 dB是7、8管脚短接后的增益 $A_u = 1 + 694/20 = 35.7$ 。

当 V_G 不为0时, V_G 控制“滑动臂”的移动,衰减器是由一个50 M Ω 的梯形网络控制的,其衰减与 V_G 成40 dB/V的比例系数,得到增益公式为 $G_{ain} = 40 V_G + 10$ 。

采用图2中电路进行仿真, V_G 设为500 mV($G_{ain} = 40 \times 0.5 + 10 = 30$ dB)。输入为频率为100 kHz,幅度 V_{rms} 为10 mV的正弦,得到的波形图如图3。测量增益为30.4 dB,比较符合理论计算的结果。

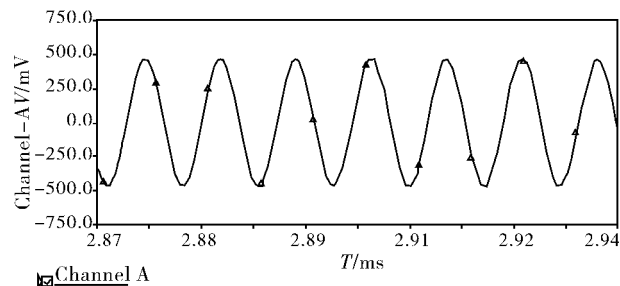


图3 V_{out} 和FDBK直接连接波形图

利用MultiSim的AC Analysis功能可以得到AD603此种宽频带模式下的带宽,约为90 MHz。

2.2 V_{out} 和FDBK之间用阻容网络连接

第二种典型应用的方式是在 V_{out} 和FDBK之间外接一个电阻REXT,FDBK与COM端之间接一个5.6 pF的电容频率补偿,当REXT = 2.15 k Ω 时,增益范围为 $-1 \sim 41$ dB。采用图4中电路进行仿真, V_G 设为500 mV($Gain = 40 \times 0.5 + 20 = 40$ dB)。输入为频率为100 kHz,幅度为10 mVrms的正弦

波,得到的波形图如图5。测量增益为40 dB,比较符合理论计算的结果。

从AC Analysis分析的结果来看此模式下的带宽明显下降,降到约为30 MHz。

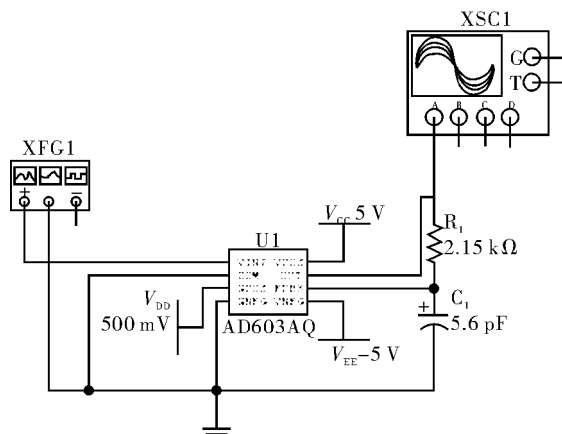


图4 $V_G = 500$ mV V_{out} 和FDBK间阻容网络连接

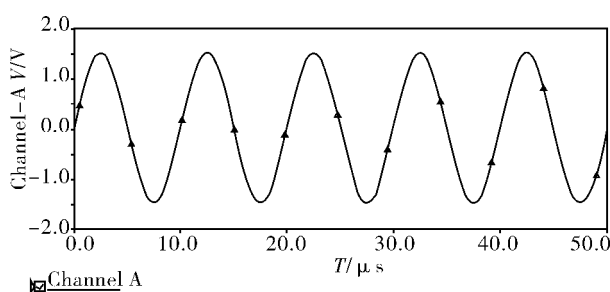


图5 V_{out} 和FDBK外接电阻波形图

2.3 V_{out} 和FDBK之间断开

第三种典型工作模式应用的方式是在 V_{out} 和FDBK之间开路,FDBK与COM端之间接一个18 μ F的电容用于扩展频响。该模式为高增益模式,增益范围为8.92 dB ~ 51.07 dB。采用图8中电路进行仿真, V_G 设为500 mV($Gain = 40 \times 0.5 + 30 = 50$ dB)。输入为频率为100 kHz,幅度 V_{rms} 为1 mV的正弦波,得到的波形图如图6。测量增益为50 dB,比较符合理论计算的结果。此时若仍输入 V_{rms} 10 mV的正弦波信号,输出幅度将超过AD603在5 V电源电压下的最大输出不失真电压值3 V。

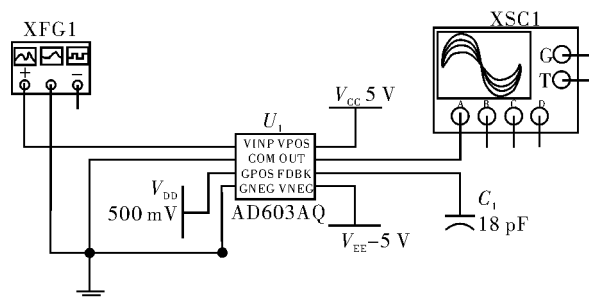
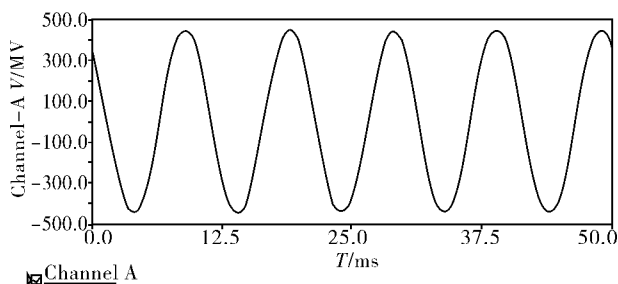
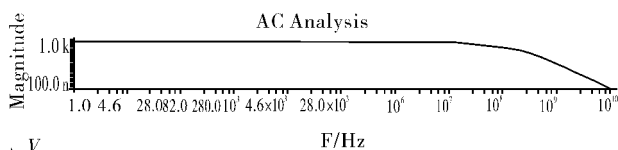


图6 $V_G = 500$ mV V_{out} 和FDBK间断开的连接方式

图 7 V_{out} 和 FDBK 断开连接波形图图 8 V_{out} 和 FDBK 断开连接带宽

从 AC Analysis 分析的结果来看此模式下的带宽约为 10 MHz(见图 8)。

3 二级 AD603 的典型工作方式及 Multisim 仿真

在要求高增益的场合,可采用两片或多片 AD603 级联的形式。在级联应用中,有两种增益控制连接方式,即顺序控制方式和并联控制方式^[6]。

图 9 为顺序控制方式的增益计算图,图 10 为设计实例。第一级线性增益控制衰减网络产生衰减 40 dB,固定增益部分增益 31.07 dB,第一级总增益 $(-40 + 31.07) = -8.93$ dB;第二级 $V_{c1} - V_{o2} = -0.526$ V,因为 AD603 中要求 -500 mV $< V_c < 500$ mV,所以第二级达到衰减最大极限 -42.14 dB,则一级、二级共 $\text{GainA1} + \text{GainA2} = -8.93 - 42.1 + 31.07 = -20$ dB,衰减 10 倍。

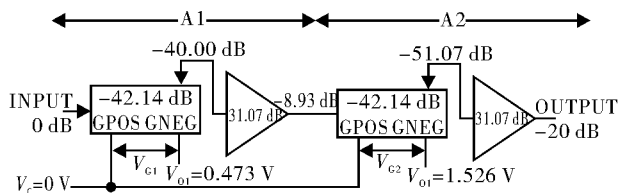


图 9 顺序控制方式的增益计算图

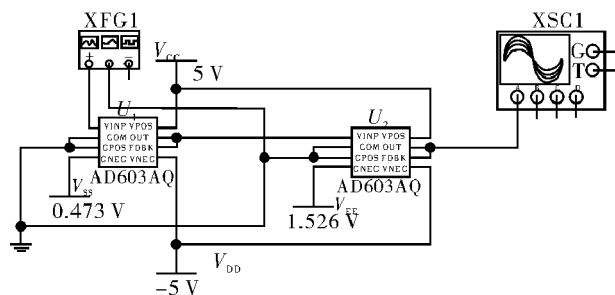
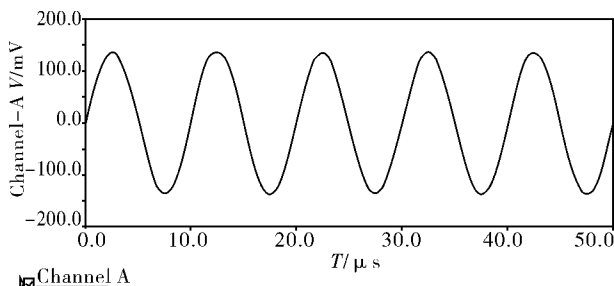
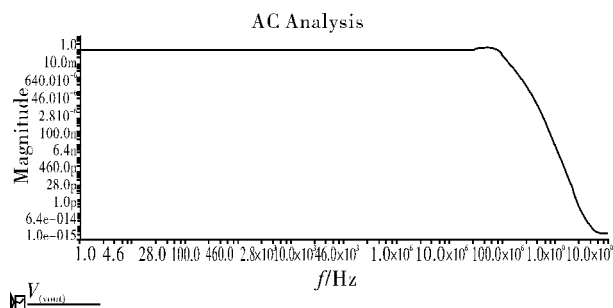


图 10 顺序控制方式的设计实例

根据图 10 得到的仿真如图 11 所示。



(a) 波形图



(b) 带宽

图 11 顺序控制方式下的波形图和带宽

输入 V_{rms} 为 1 V, 100 kHz 正弦波, 输出 V_{rms} 97.818 mV, 衰减约为 10 倍, 基本符合理论计算结果。频响约为 88 MHz。两级 AD603 均接成高频带放大模式。

4 AD603 构成的两级低噪声 AGC 放大电路

图 12 所示是 AD 公司提供的 AD603 数据手册上给出的低噪声 AGC 控制典型应用电路。该电路是利用电容 C_{CAV} 来形成自动增益控制电压 V_{AGC} 。流进电容 C_{CAV} 的电流为两个三极管 Q_1 和 Q_2 的集电极电流之差, 这样电容上的电压随 U_2 输出信号的幅度大小变化而变化, 两个放大器的增益控制电压 V_{AGC} 也随之变化。如果输出电压幅度大, 则电容两端电压小, 两个放大器的增益控制电压 V_{AGC} 就减小, 控制电路的增益减小。反之则可增加放大电路的增益, 最终能够提供一个基本稳定的输出电压幅度。

两级的 V_{out} 和 FDBK 之间均接了 2.49 k Ω 的电阻, 即为第二种工作方式。输出电压的稳定幅度 V_{rms} 约为 1.3 V, 增益范围为 $+3 \sim +75$ dB ($G_{ain} = 40 V_G + 41.91 - 21.07$)。

当输入信号超过 1 V 时, 输出电压开始失真。如果要增加输出电压, 可以在 Q_1 的发射级对地并联电阻使得 R_9 的等效电阻约为 806 Ω 。

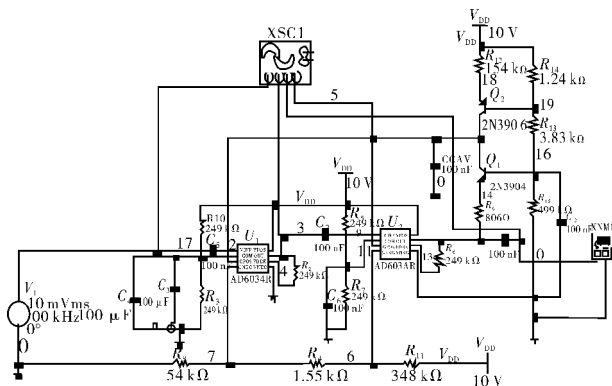


图 12 两级低噪声 AGC 放大电路

对该电路进行仿真，得到如表 1 的结果。

表 1 低噪声 AGC 放大的测量结果

输入信号(100 kHz) /V	输出电压/V	增益/dB
10^{-3}	1.325	62.44
10^{-2}	1.311	42.35
0.50	1.324	8.45
1	1.326	2.45

这里要说明一个经常出现在学生仿真过程中的问题。学生经常发现仿真结果是方波，而不是正弦波，于是就困惑了。其实原因在于，这个电路并不像普通的放大电路，一下子就能够稳定并输出正常的正弦波。通常情况下需要一个调整的工作过程，从仿真波形(见图 15) 就可以看出来。这个电路在输入信号 V_{rms} 为 10 mV 时需要大约 380 μs 的调整时间。

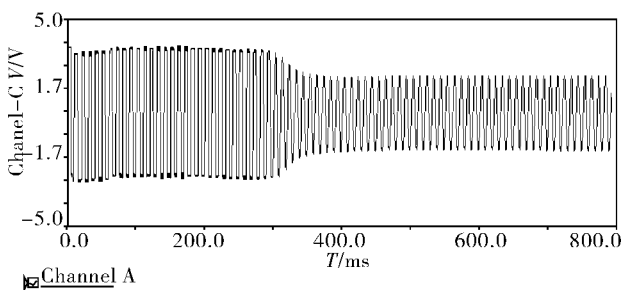
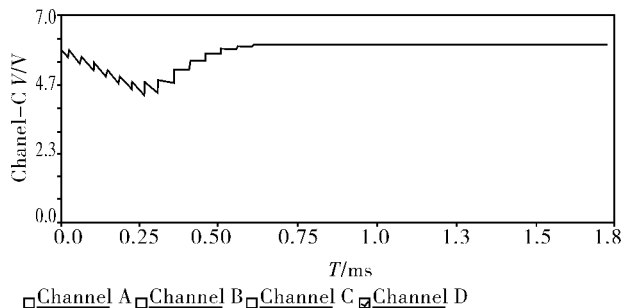
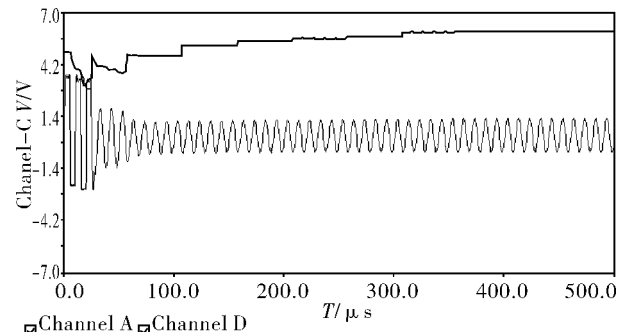


图 13 输出电压波形

这个结果从电容 C_{CAV} 两端电压的变化也可以看出来。而且从 C_{CAV} 两端电压能够得到更加准确的稳定时间，在 550 μs 之后控制电压增益能够达到一个稳定状态，电路调整结束，见图 14。

减小 R_9 的值，可以减少调整时间。不过输出电压的值必然也随之减小。图 15 是 R_9 变为 100 Ω 时的仿真结果，输出电压稳定在 658 mV 左右，而稳定时间只需 300 μs 。

图 14 电容 C_{CAV} 两端电压的变化图 15 $R_9 = 100 \Omega$ 时的 C_{CAV} 两端电压输出波形

5 结 论

基于 Multisim 仿真软件，对 AD603 的每一种典型工作电路进行了仿真。通过对一二级电路增益计算方法及如何改变增益的研究阐述，尤其是对 AD603 构成的两级低噪声 AGC 放大电路的仿真，解释了其工作原理，按照数据手册中的应用电路能够正确工作并理想地自动控制增益大小以稳定输出电压，解决了很多学生按照 AD603 数据手册中提供的典型应用及设计要求设计的电路增益不可控或与其参数不符等问题，对学生的学习研究有所帮助。

参 考 文 献

- [1] 唐雁峰, 李洪祚, 李锐. 基于 AD603 数控高增益带宽放大器的设计[J]. 长春理工大学学报, 2010(3): 82-83, 13.
- [2] 赵丽. 基于 Multisim 技术的电子实验应用[J]. 实验科学与技术, 2008, 6(6): 60-63.
- [3] 张丽萍. Multisim10.0 仿真软件在模拟电路实验中的应用[J]. 实验科学与技术, 2009, 7(6): 61-62.
- [4] 杜月林, 蒋雪飞, 梅明涛, 等. 基于 AD603 程控增益大功率宽带直流放大器的设计[J]. 国外电子测量技术, 2010(11): 47-50.
- [5] Corp. Analog Device. Low Noise 90MHz Variable gain amplifier AD603 [EB/OL]. (1993) [2011-12-16]. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD603.pdf.
- [6] 陈永刚, 刘立国. AD603 及其在 AGC 电路中的应用[J]. 电子世界, 2002(4): 39-41.