

·信号与信息处理·

## 窄脉冲峰值保持电路分析及设计

宋毅恒, 孟凡斌

(光电信息控制和安全技术重点实验室, 河北 三河 065201)

**摘要:**首先介绍了电压型和跨导型峰值保持电路的基本工作原理。利用Multisim9软件,对影响跨导型峰值保持电路精度的因素进行仿真分析,得出峰值保持电容的选取,对保持精度的影响较大。然后,给出电容容值选取的简化参考公式。最后通过实验,证明以MAX436为设计核心的跨导型峰值保持电路,具有较高的峰值保持精度。

**关键词:**跨导放大器;峰值保持;Multisim 仿真

中图分类号:TN722.7

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-02-0039-04

## Analysis and Design of Peak Holding Circuit for Narrow Pulse

SONG Yi-heng, MENG Fan-bin

(Key Laboratory of Electro-optical Information Control and Security Technology, Sanhe 065201, China)

**Abstract:** Firstly, the operation principles of peak holding circuits such as voltage and transconductance types are introduced. The factors influencing the precision of transconductance peak holding circuit are simulated and analyzed by Multisim9. The accuracy holding is greatly influenced by the choosing of peak holding capacitance. Then the simplified reference formula for choosing the capacitance values is given. Finally, experiments show that the transconductance peak holding circuit with MAX436 as design core has higher peak holding accuracy.

**Key words:** transconductance amplifier; peak holding; Multisim simulation

在窄脉冲激光探测等方面,从探测器输出的脉冲信号宽度较窄,致使后续A/D采样电路无法准确读取信号的幅值电压。因此需要设计脉冲峰值保持电路,获取输入信号的峰值电压,并对该峰值电压进行一段时间的保持。峰值保持电路可以通过分立元件电路、集成和分立元件混合电路、专用芯片等设计方式实现。设计电路时需结合具体要求,选择合适的电路实现方式,设计指标要求对脉宽约20 ns,脉冲峰值不大于2 V的信号进行峰值保持探测。综合考虑电路设计难度、可靠性以及峰值保持效果等特点。文中选择使用宽带跨导放大器MAX436,实现对脉冲峰值电压的保持和探测。

### 1 峰值保持原理

峰值保持电路常用放大器,主要有电压型和跨

导型两种<sup>[1]</sup>。电压型峰值保持电路,主要由电压运算放大器A,检测二极管D,保持电容C和电压缓冲器B组成,如图1所示。

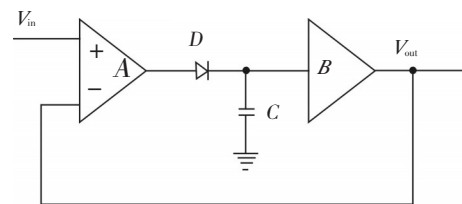


图1 电压型峰值保持原理图

跨导型峰值保持电路,主要由跨导放大器G,恒流源I,二极管D,保持电容C和电压缓冲器B组成,其组成图如图2所示。

其工作原理都是在输出信号 $V_{out}$ 小于输入信号 $V_{in}$ 时,放大器(电压放大器A或跨导放大器G)对输

入和输出之间的差值电压进行放大。输出的电压或电流经过二极管对保持电容  $C$  充电,  $B$  在电路中起到输出缓冲器作用; 当  $B$  的输出电压大于输入信号时, 放大器  $A$  或  $G$  的电压输出为反向, 此时, 二极管将截至, 缓冲器  $B$  输出电压大小等于保持电容  $C$  两端的电压<sup>[2]</sup>。

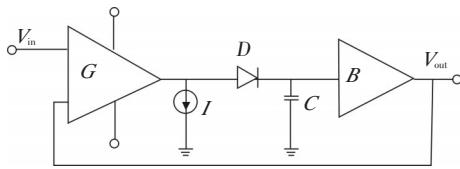


图2 跨导型峰值保持原理图

保持电容  $C$  两端的电压  $V_c$  可由式(1)表示。其中,  $I_c$  为充电电流;  $T_0$  为充电起始时刻;  $T_c$  为充电时长;  $C$  为充电电容值。

$$V_c = \int_{T_0}^{T_0+T_c} (I_c/C) dt \quad (1)$$

电压型峰值保持电路

$$I_c = A(V_i(t) - V_o(t))/Z \quad (2)$$

跨导型峰值保持电路

$$I_c = G(V_i(t) - V_o(t))/Z \quad (3)$$

其中,  $V_i(t)$  和  $V_o(t)$  分别表示输入和输出电压信号幅值;  $A$  表示电压放大系数;  $G$  是跨导放大系数;  $Z$  为二极管及峰值保持电容的等效阻抗和。

## 2 电压型和跨导型峰值保持电路比较分析

在电压型峰值保持电路中, 电压放大器为第一级, 信号从输入到反馈有一定的时间间隔, 称为回路时间  $t_1$ , 所以在到达峰值时, 电容上电压  $V_c$  会在这段时间内继续变化。因此, 此过程势必产生过冲电压, 过冲的幅值  $V_p$  可由式(4)求得<sup>[3]</sup>。

$$V_p = \int_{t_0}^{t_0+t_1} A(V_i(t) - V_o(t))/Z dt \quad (4)$$

式中,  $V_i(t)$  和  $V_o(t)$  分别表示输入和输出电压信号幅值;  $A$  表示电压放大系数;  $Z$  为二极管及峰值保持电容的等效阻抗和。

由于电压放大系数  $A$  通常比较大(约  $10^5$ ), 在  $t_1$  的大部分时间里输出为最大电流, 使过冲较大且为非线性。另外从频域角度看, 二极管  $D$  和电容  $C$  组成的网络有一个极点, 同时运算放大器本身也有自己的一个极点, 所以整个电路的通频带较低(一般小于  $10$  MHz)。因此, 电压型峰值保持电路积分非线性大、动态范围小、响应速度较慢, 对纳秒级窄脉宽

信号的峰值保持显得有些力不从心。

跨导运算放大器代替电压型运算放大器, 即构成跨导型峰值保持电路。跨导运算放大器又称 OTA, 是将电压输入变为电流输出, 并通过外加偏压来控制运算放大器的工作电流的大小, 可以使其输出电流能在较大的范围内变化。如图2所示, 恒流源  $I$  的作用是为跨导放大器提供静态回路。跨导峰值保持电路过冲  $V_p$  的大小为由式(5)求得。

$$V_p = \int_{t_0}^{t_0+t_1} G(V_i(t) - V_o(t))/C dt \quad (5)$$

其中,  $G$  为跨导放大器的跨导系数, 一般较小(约  $10^{-2}$ )。当  $V_c$  达到峰值时, 电流已趋于零, 所以过冲会很小。分析该电路的频率响应, 通过查阅文献知, 跨导峰值保持电路只有一个极点<sup>[4]</sup>。另外, 跨导型放大器的第一转折频率容易做到很高, 输出阻抗极大( $10^7 \Omega$ ), 其输出电流可近似认为与负载无关。因此, 跨导峰值保持电路具有通频带高、稳定性好的特点, 适用于纳秒级快速信号的处理<sup>[5]</sup>。通过对大量文献的查阅和学习, 最终选择利用跨导运算放大器 MAX436, 进行窄脉冲峰值保持电路的设计。

## 3 窄脉冲峰值保持电路的设计及分析

MAX436 是具有正差分高阻抗输入端的高速、宽带跨导运算放大器, 是开环放大器<sup>[6]</sup>, 能在不加任何反馈的情况下提供稳定而准确的电流增益。电流增益  $K$  为  $8\% \pm 2.5\%$ 。MAX436 在  $200$  MHz 带宽下具有  $850$  V/ $\mu$ s 的转换速率, 在输入  $0.5$  V 阶跃电压时, 输出电压的稳定时间达  $18$  ns。由于无反馈环路、转换速率高、稳定时间短, 故输出电压的相移和延迟均极小<sup>[7]</sup>。MAX436 具有完全对称的高阻抗差分输入端, 输入阻抗高达  $800$  k $\Omega$ , 在  $10$  MHz 下的共模抑制比(CMRR)高达  $53$  dB。通过 NI 公司(加拿大图像交互技术公司)的 Multisim9 软件, 对峰值保持进行仿真分析, 如图3所示。

取输入信号幅值  $V_{in} = 1.5$  V, 脉宽取为  $20$  ns, 上升和下降沿各为  $5$  ns, 通过双踪示波器, 观测到的信号源输入波形和峰值保持输出波形如图4所示。将时间轴进一步放大, 波形如图5所示。峰值保持电压滞后时间约为  $18$  ns, 这与跨导运放 MAX436 需约  $18$  ns 时间方能输出稳定电压的特性相一致; 输出的峰值保持电压近似线性下降, 无明显过冲。

MAX436 的 11 脚( $I_{SET}$ )是供用户设定最大输出电流和关闭功能的控制端。在该端与电源-电压端之

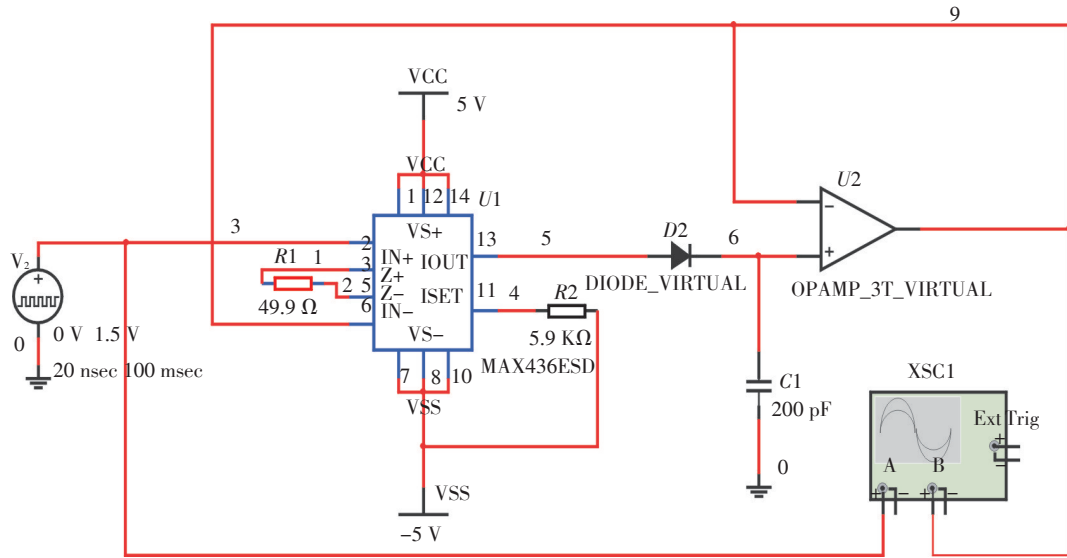


图3 峰值保持仿真电路

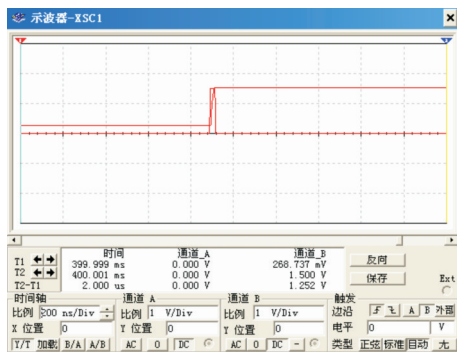


图4 峰值保持输出波形图



图5 放大的峰值保持波形图

间外接一只电阻 $R_{SET}$ ,改变 $R_{SET}$ 的取值即可控制IC内部的电流源,从而设定最大输出电流。当电源电压为 $\pm 5\text{ V}$ 时,将 $R_{SET}$ 取为 $5.9\text{ k}\Omega$ ,可以保证达到规定的标准性能,此时最大输出电流 $I_{OUT}$ 为 $\pm 20\text{ mA}$ 。增大 $R_{SET}$ 的阻值可以减小最大输出电流和IC功耗;减小 $R_{SET}$ 的阻值,可增大输出电流,但要注意不得超过IC

的额定功耗,以免烧坏IC。为验证 $R_{SET}$ 阻值对输出峰值保持电压的影响, $R_{SET}$ 分别取 $4.9\text{ k}\Omega$ 、 $5.9\text{ k}\Omega$ 、 $6.9\text{ k}\Omega$ 和 $7.9\text{ k}\Omega$ 等不同数值,通过瞬态参数扫描分析结果如图6所示。 $R_{SET}$ 阻值大小,即电流源输出最大电流值,对峰值保持电路输出电压影响不大。

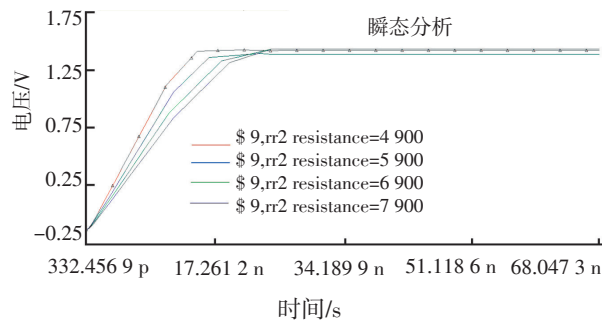


图6 对 $R_{SET}$ 的瞬态参数扫描分析

同样利用瞬态参数扫描分析法,分析不同数值的保持电容,对信号峰值电压造成的影响。峰值保持电容 $C_1$ 取值分别为 $50\text{ pF}$ 、 $100\text{ pF}$ 、 $150\text{ pF}$ 、 $200\text{ pF}$ 和 $250\text{ pF}$ ,瞬态参数扫描分析结果如图7和图8所示,图7为时间轴放大图,图8为时间轴缩

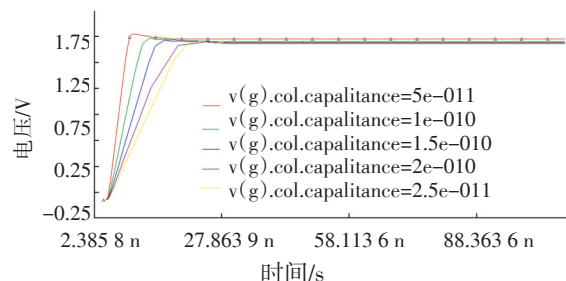


图7  $C_1$ 瞬态参数扫描分析放大图

小图。由图可知,电容容值对峰值保持电压大小有一定影响。

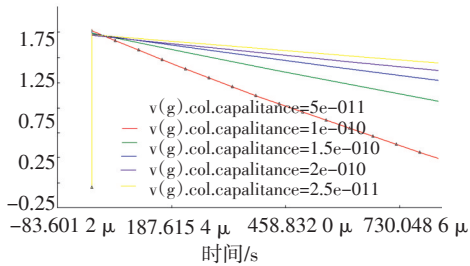


图8 C<sub>1</sub>瞬态参数扫描分析缩小图

峰值保持电容 C<sub>1</sub> 两端的电压 U<sub>c</sub> 与输入信号脉宽 t<sub>w</sub>、电容容值 C<sub>1</sub> 及 MAX436 的输出电流有关。通过对式(1)分析知, C<sub>1</sub> 容值选取可通过如下式近似推导

$$Q_c = I \times t_w \tag{6}$$

$$C_1 = Q_c / U_c$$

MAX436 最大输出电流 I<sub>max</sub> 为 10 mA, 设输入信号脉宽为 20 ns, 脉冲峰值为 1.5 V, 可由上式求得电容值最大为 200 pF。即若实现对上述输入信号进行有效电压峰值保持, 所选电容容值最大为 200 pF。保持输入脉冲参数不变, 峰值保持电容 C<sub>1</sub> 分别取 100 pF、550 pF 和 1 nF, 利用瞬态参数扫描分析法进行仿真, 结果如图 9 所示。峰值保持电容分别为 550 pF 和 1 nF 时, 由于输入信号脉宽较窄, 充电时间短, 电容并未充电完全, 因此, 电容两端电压远低于输入的脉冲峰值电压。

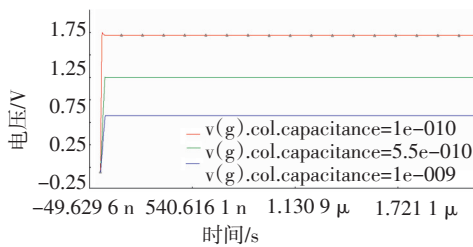


图9 大电容 C<sub>1</sub> 瞬态参数扫描分析

保持电容 C<sub>1</sub> 越小, 峰值保持电压上升沿时间越短, 电压值越接近输入脉冲电压峰值; 但由于容值越小, 放电越快, 所以, 保持时间将会越短。保持电容对于电路精度具有很大影响, 电容及其容值的选择应综合考虑下降误差、采样保持偏差、采样频率、精度等指标。电容两端在电压急剧变化时, 可能产生电容值下降的现象, 这是由于电容感应吸收引起的。现实电路设计中, 峰值保持电容 C<sub>1</sub> 的数值, 应根据具体需求进行选取。

### 4 峰值保持电路结果分析

影响峰值电压保持精度的因素有很多<sup>[8]</sup>, 如图 3 中的二极管 D<sub>2</sub>。二极管在开断之间存在时间差, 在时间差内将会有反向漏电流, 反向漏电流的大小直接影响电路下垂速率; 而且, 二极管在正向导通期间, 存在正向压降, 正向压降的数值, 也对保持电压产生影响。因此, 应选择正向导通电压小、开关速度快、恢复时间短以及结电容小的二极管。

保持电容也是影响保持精度的关键因素之一, 在保持电容的选择上, 要考虑电容的绝缘电阻和电容材料的吸收性能。绝缘电阻越大, 电容漏电速率越小; 电容吸收性能越好, 越利于电荷的吸收, 继而有利于电荷的保持。电容容值, 影响保持电压的下垂速率和响应时间。保持电容上有残留电压, 对下一次峰值保持有影响; 输入信号幅值越大时, 输出波形下垂越小, 响应时间越慢; 输入信号脉宽越小, 输出波形下垂越严重<sup>[9]</sup>。

综合上述结论, 实际电路设计中, 二极管选择肖特基二极管 BAT17, 电容选择聚苯乙烯电容进行实验。聚苯乙烯电容容值为 100 pF, 输入脉冲上升沿为 5 ns, 脉宽为 20 ns, 改变输入脉冲信号的峰值, 实验测得结果如表 1 所示。

表 1 改变输入脉冲信号峰值后实测结果

输入信号幅值/V	0.45	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5
输出信号幅值/V	0.42	0.59	0.79	0.99	1.2	1.48
误差/(%)	6.7	1.7	1.25	1.0	0	1.3

输入信号电压幅值为 1.2 V 时, 经峰值保持电路后输出波形如图 10 所示。当输入脉冲信号的幅值小于 0.4 V 时, 峰值保持输出电压很不稳定, 为获取高精度峰值电压, 设计中应注意将有效电压放大到 0.4 V 以上。

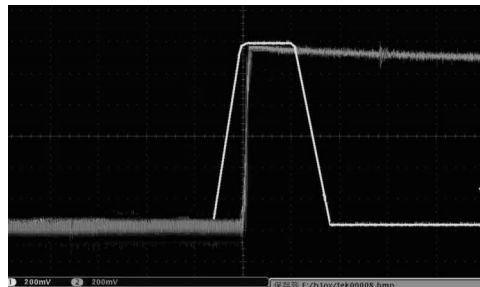


图 10 峰值电路输出信号波形图



带宽范围内只有一个谐振波长。当串联双环半径分别为  $40\ \mu\text{m}$  和  $50\ \mu\text{m}$  时,根据 *FSR* 计算公式,*FSR* 大约达到  $22\ \text{nm}$ ,可以满足该系统。

### 3 结论

对串联双环谐振滤波器的滤波特性进行了详细分析。通过传输矩阵法推导了双环结构的传输函数及理想耦合条件,在微环无损耗条件下,分析了耦合系数和微环半径对滤波特性的影响。计算结果表明,当满足理想耦合条件并且耦合系数比较小时,滤波效果较为理想,并且当串联两环半径不同时,滤波器的自由光谱范围较单微环谐振滤波器有很大的拓展。根据 ITU-T 对密集波分复用系统的规定进行了参数优化,选择合适的耦合系数和微环半径设计出一种滤波器能够实现在  $50\ \text{GHz}$  间隔的 DWDM 系统中进行特定波长滤波,为将来的实验应用奠定理论基础。

### 参考文献

- [1] Popovic A, Barwicz T, Dahlem M S, et al. Tunable fourth-order silicon micro-ring-resonator add-drop filters [C]//

ECOC 2007-33rd European Conference and Exhibition of Optical Communication, 2007.

- [2] Xu Q, Manipatruni S, Schmidt B, et al. 12.5 Gbit/s carrier-injection-based silicon micro-ring silicon modulators [J]. Opt. Express, 2007, 15(2): 430-436.
- [3] Little B E, Chu S T, Pan W, et al. Vertically coupled glass micro-ring resonator channel dropping filters [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 11(2):215-217.
- [4] 杨建义,江晓清,王明华,等.采用单环谐振器的光滤波特性及局限性[J].光电子·激光,2003,14(1):12-16.
- [5] 杨建义,江晓清,王明华.串联双环光微环谐振器的滤波特性[J].光学学报,2003,23(10):1191-1195.
- [6] Schwelb O. The nature of spurious mode suppression in extended FSR micro-ring multiplexers [J]. Opt. Commun., 2007, 271(2):424-429.
- [7] Yariv A. Universal relations for coupling of optical power between micro-resonators and dielectric waveguides [J]. Electronics Letters, 2000, 36(4):321-322.
- [8] 高震森,李淳飞.串联微环谐振器的光学特性[J].中国激光,2008,35(5):675-679.
- [9] 董小伟,裴丽,简水生.传输矩阵法分析多环高阶谐振滤波器特性[J].中国激光,2005,32(7):929-932.
- [10] 刘鑫,孔梅,文权.耦合系数对串联双微环谐振器滤波特性影响的分析[J].中国激光,2010,37(11):2885-2890.

(上接第42页)

### 5 结论

通过分析比较跨导型峰值保持电路和电压型峰值保持电路的特点,选择性能更优越的跨导型保持电路进行设计。利用 NI 公司的 Multisim9 软件,对以 MAX436 为设计核心的跨导型峰值保持电路进行了仿真分析,电容数值的选取及其性能稳定度,是最终影响峰值精度的一个重要因素。给出实地电路设计时容值选取的简化参考公式。最后通过实验,验证了该电路可对窄脉冲电压峰值进行较精确的保持,此电路对窄脉冲峰值检测有重要参考价值。

### 参考文献

- [1] 郭永新,焦青.新型跨导型脉冲峰值保持器[J].青岛大学学报,2001,16(4):104-106.

- [2] 李东仓.一种超长时间的峰值保持器[J].兰州大学学报,2012,6(48):132-135.
- [3] 陈勇,李延国.新型高性能脉冲峰值保持电路[J].核电子学与探测技术,1997,17(4):241.
- [4] 胡显龙,翁东山.核电子学与探测技术,2009,29(1):42-45.
- [5] 方佩敏.超小型音频功率放大器 MAX436X 系列及其应用[J].电子元件应用,2013,5(1):31-42.
- [6] 白玉栋,张守才.电子倍增 CCD 驱动电路设计[J].光电技术应用,2013,3(28):51-54.
- [7] Texas Instruments. Wide bandwidth operational transconductance amplifiers MAX436[Z]. Texas Instruments, 1995.
- [8] 冯刚.用于重频窄脉冲激光检测的峰值保持电路[J].2009,17(12):27-30.
- [9] 熊焱,陆耀东.窄脉冲激光信号峰值保持电路设计[J].激光与红外,2012,42(12):1379-1380.