

文章编号: 1001-4322(2008)09-1567-03

亚 ns 激光脉冲电取样方法*

陈宇晓, 任柯显, 汪 燕

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 针对亚 ns 激光脉冲, 提出一种基于 ps 脉冲传输线和高速电子电路的电快脉冲取样方法, 设计了选通脉冲产生电路和高速取样保持电路, 给出一种提高实时采样速率的交叉采样方法, 该方法由并联结构的数组取样门阵列实现。可应用于多路激光脉冲的精密测量。

关键词: 亚 ns 激光脉冲; 电快脉冲取样; 选通脉冲产生; 取样保持电路; 交叉采样

中图分类号: TN789.1 **文献标志码:** A

自从激光发明以来, 人们发现从某些激光器中可以获得超短光脉冲。因为超短光脉冲可以直接测量和研究固体及液体中原子和分子的运动, 科学家们很快意识到研究超短现象和过程的重要性, 目前超短超快光脉冲技术获得了巨大的发展, 已经达到 fs 和 as 的水平^[1-2]。在物理、化学、生物、医学、通信及测量等领域, 利用超短光脉冲观测各种动力学过程以及超快现象已经成为一种崭新的、关键而有效的研究手段。

由此产生一个重要的科学问题, 即超快激光脉冲的取样方法。在激光聚变实验中, 需要精确测量多束超快激光脉冲, 从而控制激光参数以达到实验的物理状态^[3]。超快激光脉冲测量可以分为基于光学和电子学原理两大类, 其中由 Stanchi^[4], Schwart^[5] 及 McEwan^[6] 等人提出的电快脉冲取样方法, 具有成本低、体积小、易操作、适于多点同步测量的优点。本文针对亚 ns(具有百 ps 前沿)激光脉冲, 提出一种基于 ps 脉冲传输线和高速电子电路的电快脉冲取样方法, 给出取样电路具体设计以及提高采样速率的方法。

1 电快脉冲取样原理

图 1 为电快脉冲取样原理, 亚 ns 激光脉冲首先通过高速光电二极管, 转换为具有相同波形形状的电脉冲取样波形, 在具有多个取样抽头的延迟线上传输。信号延迟线具有相等时间间隔的多个取样抽头, 其时间间隔决定了采样速率, 或者说激光脉冲参数测量的精确性, 延迟线终端接有匹配电阻, 以保持传输信号的形状。由光脉冲转换的电脉冲在抽头传输线上传输, 当电脉冲信号在传输线内延迟到适当位置, 即延迟线上每个抽头都覆盖在脉冲持续时间范围内时, 电脉冲波形上的 1~n₁ 点对应延迟线上的 1~n₂ 取样抽头, 选通脉冲加载到取样二极管, 各取样二极管(相当于取样门)同时打开取样, 经过短暂的取样时间(选通脉冲半脉宽), 取样门关闭, 样品信号保持在取样保持电容上。然后 1~n₂ 点样品信号经过高速取样保持电路处理(缓冲减速、保持、放大), 变为 MHz 甚至 kHz 的慢信号, 再采用低速低频的标准采样技术(如 LabView 技术)进行样品波形数据的读取、数字化、存储和平滑处理, 最终得到光脉冲的反演波形。

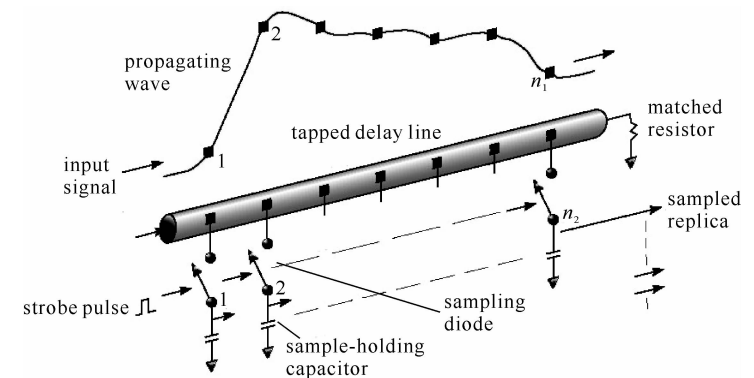


Fig. 1 Principle of electronic fast pulse sampling

图 1 电快脉冲取样原理

因此, 电快脉冲取样方法的特点是将高速、沿传输线时间分布的快速电脉冲, 转换为低速、具有等效时间间隔、空间位置分布的慢信号。其实现关键部件是 ps 脉冲传输线^[7]、高速取样门^[8]、选通脉冲产生和高速取样保持电路。

* 收稿日期: 2008-03-20; 修订日期: 2008-08-01

基金项目: 中国工程物理研究院电子工程研究所基金资助课题(S20061101)

作者简介: 陈宇晓(1972—), 男, 博士, 副研究员, 从事快电子学和军备控制技术研究; cyx905@sina.com。

2 选通脉冲产生

本文设计的选通脉冲产生电路如图 2 所示,以雪崩三极管和阶跃二极管组成级联阶跃脉冲产生电路。输入激励首先通过雪崩管 Q_1 以及电阻、电容转变为几 ns 前沿脉冲, D_1 为一级阶跃二极管,经过一级阶跃形成为几百 ps 前沿取样脉冲, D_2 为二级阶跃二极管,具有比 D_1 更快的开关速度,经过二级阶跃可形成为 100 ps 级取样脉冲。如果取样脉冲的前沿还不够快,可以采用三级、甚至多级阶跃加速的办法来加快脉冲前沿。

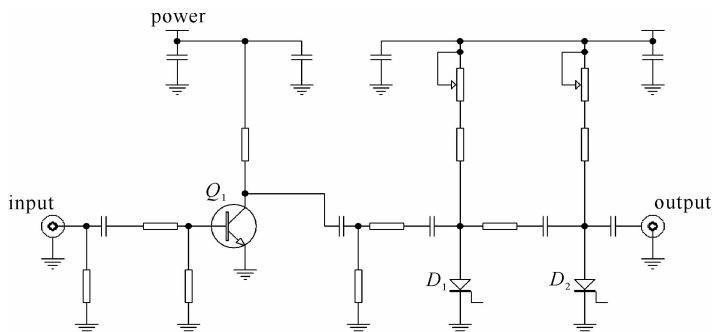


Fig. 2 Strobe pulse generation based on cascaded step recovery diode

图 2 级联阶跃二极管选通脉冲产生

3 高速取样保持电路

高速取样门提供的样品信号仍然具有较快的速度(百 ps),需要经过电荷缓冲保持,才能采用标准的数据采样技术进行读取和反演^[8]。图 3 给出一种二级样品信号取样保持电路,高速样品信号首先通过基于 GaAs 场效应管(Q_2)的一级取样保持电路,信号速度可减慢 70%~90%,再通过基于高频场效应管(Q_3)的二级取样保持电路,样品信号进一步减慢至 MHz 或 kHz,此时的样品信号可采用标准数据采样技术进行读取和处理。

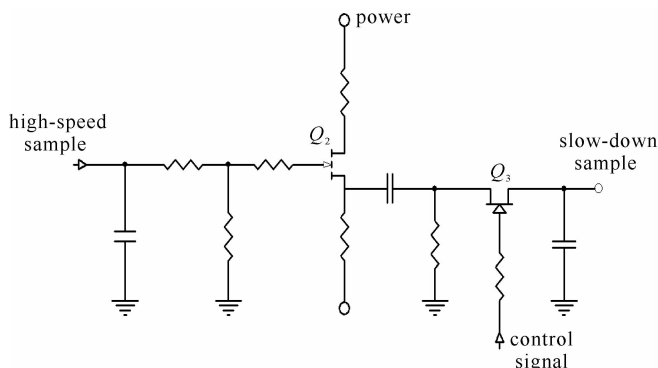


Fig. 3 High-speed sample-holding circuit

图 3 高速取样保持电路

4 交叉采样方法

如果图 1 的被测脉冲波形要提高采样速率以更精确地描述和反演光脉冲波形,而选通脉冲产生脉宽限制了采样速率,可采取交叉采样方法如图 4 所示。该方法由被测脉冲信号的多路延迟和多组取样门阵列组成。假定选通脉宽为 ΔT ,取样门阵列组数 N ,若每路被测脉冲信号的延迟时间为 $\Delta T/N$ (相对于前一路),则 N 组取样门阵列的取样间隔减小至 $\Delta T/N$,采样速率可提高到 N 倍,其缺点是电路面积也增加 N 倍。

例如,假定图 4 被测脉冲信号长度为 1 000 ps,选通脉冲宽度 $\Delta T=200$ ps,采用两组取样门阵列,第 2 组输入信号的延迟 $\Delta T/2=100$ ps,每一组的取样间隔仍为 200 ps。第 1 组取奇数 1,3,5,7,9,11 共 6 点波形,第 2 组取偶数 2,4,6,8,10,12 共 6 点波形,其中 11,12 点波形数据是一致的,因此实际共有 11 点波形数据,并按阿拉伯数字顺序进行波形重构反演,就和选通脉宽为 100 ps 的单组取样门的取样效果一样,采样速率可提高 1 倍。

交叉采样方法中,多路脉冲信号输入采取并联方式提供,可以选择延迟被测脉冲信号和选通脉冲信号,因此延迟时间可以通过精确设计信号传输线的长度获得,也可以通过调整选通传输线的长度,使选通脉冲延迟 $\Delta T/N$ 而获得,两者效果完全一致。理论上可采取多组取样门阵列,以获得极高的采样速率,但是由于取样并不是严格的同步触发,随着取样门数的增加,信号交叠问题会越来越严重,此外电路体积也不可能无限制增加,因此取样门的组数受到一定限制。

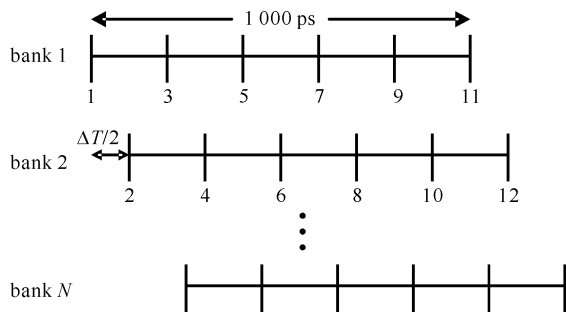


Fig. 4 Interleaved sampling method

图 4 交叉采样方法

5 结 论

本文利用电快脉冲取样方法对亚 ns 激光脉冲实时采样, 本方法具有成本低、易于微电子集成、适于多路工程化测量的特点, 同时采取交叉采样方法可以提高脉冲采样速率, 若选通脉冲宽度为 200 ps, 采用 4 组取样门阵列, 采样频率可达到 20 GHz。

参考文献:

- [1] Zhavoronkov N, Korn G. Generation of intense supershort optical pulses using ultrafast molecular phase modulation[C]//Proc of the Conference on Lasers and Electro-Optics. 2001, (6-11):CPD19-CP1-2.
- [2] Papadogiannis N A, Witzel B, Kalpouzou C, et al. Observation of attosecond light localization in higher order harmonic generation[J]. *Phys Rev Lett*, 1999, **83**(21):4289-4292.
- [3] 彭翰生. 高功率超短脉冲激光与新奇物理现象[J]. 强激光与粒子束, 2000, **12**(4):386-391. (Peng H S. High-power ultrashort pulse lasers and amazing phenomena of physics. *High Power Laser and Particle Beams*, 2000, **12**(4):386-391)
- [4] Stanchi L. Spatial sampling for fast single events[J]. *IEEE Trans on Nuclear Science*, 1969, **16**(1):107-113.
- [5] Schwarte R. New results of an experimental sampling system for recording fast single events[J]. *Electronics Letters*, 1972, **8**(4):94-96.
- [6] McEwan T E, Kilkenny J D, Dallum G. World's fastest solid-state digitizer[J]. *Energy and Technology Review*, 1994, **94**(4):1-6.
- [7] Chen Y X, Yang M H, Tang D, et al. Picosecond pulse transmission line for multi-beam ultrashort laser pulses sampling[J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2005, **14**(4):731-734.
- [8] 陈宇晓, 尹显东, 唐丹, 等. 基于高速肖特基二极管的 100 ps 瞬态取样门设计与仿真[J]. 强激光与粒子束, 2006, **18**(1):46-50. (Chen Y X, Yin X D, Tang D, et al. Design and simulation of 100 ps transient sampling gate based on high speed schottky diode. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, **18**(1):46-50)

An electronic sampling method for sub-nanosecond laser pulse

CHEN Yu-xiao, REN Ke-yu, WANG Yan

(Institute of Electronic Engineering, CAEP, P. O. Box 919-521, Mianyang 621900, China)

Abstract: According to sub-nanosecond laser pulses, an electronic fast-pulse sampling method is put forward based on picosecond pulse transmission line and high speed electronic circuits. The design of strobe pulse generation and high speed sample-holding circuit are given as well as an interleaved sampling method for increasing the real-time sample rate, which is a plurality of sampling gates array configured in parallel. This electronic sampling can be used in the exact parameter measurement of multi-beam laser pulses.

Key words: Sub-nanosecond laser pulse; Electronic fast-pulse sampling; Strobe pulse generation; Sample-holding circuit; Interleaved sampling