

# 基于汤姆逊平衡法的剂量检测电路在医用直线加速器中的应用

曲 通<sup>1</sup>, 刘 帅<sup>2</sup>, 陈 亮<sup>2</sup>, 蔡 俊<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学 控制科学与工程学院, 河北 保定 071000;

2. 沈阳东软医疗系统有限公司, 辽宁 沈阳 110179)

**摘 要:** 针对医用直线加速器剂量监测系统普遍应用的压频转换电路的缺点, 介绍了汤姆逊平衡法检测电流的原理, 并基于此原理提出了新的医用直线加速器剂量监测系统的设计方法及注意事项。

**关键词:** 汤姆逊平衡法; 医用直线加速器; 剂量监测系统

中图分类号: TL53

文献标识码: A

## Application of dose detection circuit in the medical linear accelerator based on Thomson balance method

QU Tong<sup>1</sup>, LIU Shuai<sup>2</sup>, CHEN Liang<sup>2</sup>, CAI Jun<sup>2</sup>

(1. College of Control Science and Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071000, China;

2. Shenyang neusoft medical system Co., Ltd, Shenyang 110179, China)

**Abstract:** For the shortcomings of the pressure-frequency conversion circuit, which was widely used in dose monitoring systems of medical linear accelerator, the principle of Thomson balance method is simply introduced to current detection, and based on this principle a new medical linear accelerator dose monitoring systems design method is brought forward, as well as the design method note.

**Key words:** Thomson balance method; medical linear accelerator; dose monitoring systems

医用直线加速器在放射治疗中应用日益广泛, 而放疗设备中剂量监测系统的精确性与稳定性直接影响到放疗的质量, 电离室与检测电路是剂量监测系统的重要组成部分, 而电离室本身特性一般都是非常稳定的, 所以主要矛盾就集中在检测电路上了。

目前, 国内外很多医用直线加速器剂量监测系统所采用的检测电路都基于压频转换原理, 即通过前级电路将电离室的电流信号转换为电压信号, 然后通过压频转换电路将其转换为一定频率的脉冲信号, 最后用计数器对脉冲信号进行计数, 得到剂量监测值。

传统的基于压频转换原理剂量监测系统的组成如图 1 所示, 由 4 部分组成: 电离室、高压电路、剂量检测电路以及计数器。高压电路供给电离室直流电压, 当射



图 1 剂量监测系统方框图

线照射到电离室上时, 电离室产生一微弱电流, 电流被剂量检测电路转换为脉冲信号, 计数器对脉冲信号进行计数, 此计数值即对应系统剂量值。这种电路存在的缺点是: 电路中存在多级运放, 每一级运放的增益变化、零点变化均对测量结果带来极大影响, 甚至有可能超出允许范围。医院实际使用过程中, 需要对其定期校准, 以保证放疗质量, 而这种检测电路的调整是比较繁琐的, 每一级运放的偏置等参数都需要仔细调整。

而基于汤姆逊平衡法的剂量检测电路,从原理上克服了上述电路的缺点。沈阳东软医疗有限公司将此法应用于医用直线加速器的剂量监测系统,不仅提升了检测精度,方便了使用,而且对放疗质量的提高提供了有力的保证。

### 1 汤姆逊平衡法小电流检测原理

汤姆逊平衡法<sup>[1]</sup>检测电路框图如图2所示。图中, $I_{msr}$ 为被测电流, $C_{balance}$ 为配平电容, $V_{balance}$ 为配平电源。电路的主要工作原理是:控制器根据比较器的输出状态控制开关 $K_1$ 利用电源 $V_{balance}$ 为电容 $C_{balance}$ 充电,使其电压维持在一定范围之内,也就是说, $V_{balance}$ 对 $C_{balance}$ 充入的电荷始终可以抵消 $I_{msr}$ 对 $C_{balance}$ 所充的电荷,在控制器中通过相应电路将对 $K_1$ 进行控制转换为脉冲信号,由计数器对此脉冲信号进行计数,在单位时间内的计数值即为被测信号 $I_{msr}$ 的电流值。

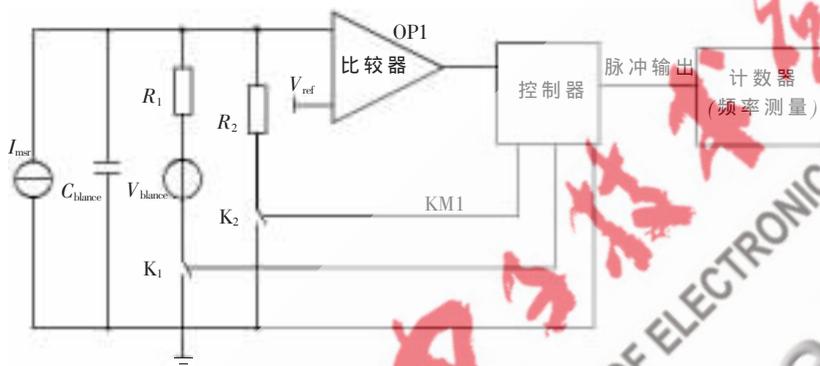


图2 汤姆逊平衡法小电流检测电路框图

### 2 电路设计原理

实际应用中在某些应用场合下,汤姆逊平衡法电路对电流的检测精度可达皮安( $\mu A$ )级,在本例中根据系统需求,测量精度达到纳安( $nA$ )级即可。

在本应用中,剂量检测电路部分采用汤姆逊平衡原理的小电流测量方法,并对该方法进行了一些改进,使得电路具有更宽的量程,更好的可调节性。

#### 2.1 配平电源

配平电源由 DAC 数模转换器与运算放大器组成,如图3所示。DAC 提供可供调节的参考电压,通过运算放大器组成的跟随器提高电流驱动能力。根据系统需求,配平电源提供电流在  $mA$  级即可,运算放大器的

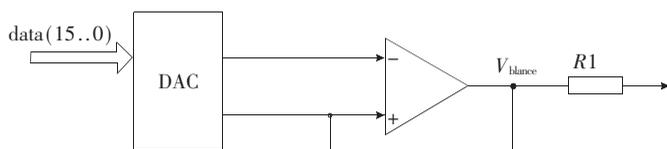


图3 配平电源原理图

输出完全可以满足要求。由于配平电源的稳定性将影响到电路最终的测量精度,在芯片选择上,DAC 与运算放大器皆选择稳定性好的型号,器件的温漂系数尽量小一些。另外 DAC 选用外部电压参考源。

#### 2.2 放大与比较电路

在实际电路中, $C_{balance}$  两端电压要经过放大然后再通过比较器进行比较,比较器采用滞回比较方式。根据分析,放大电路与比较电路的精度及稳定性等因素对系统的测量精度影响不大,但是运算放大器的偏置电流要尽量选小,这要根据被测电源的等级决定,在本应用中被测电流实际在微安( $\mu A$ )级,故运算放大器选择偏置电流小于  $pA$  级的器件即可。

#### 2.3 开关

开关的漏电流将直接影响到测量精度,故开关选择的主要原则是漏电流值要尽量小一些。在本应用中选择  $pA$  级的器件。

#### 2.4 配平电容

配平电容在本电路中属于关键性器件,根据本应用中电流测量范围在  $\mu A$  级的要求,选择  $pA$  级漏电流的电容即可,这种电容选择余地较大,一般的聚酯薄膜电容或瓷介电容都可满足要求。

#### 2.5 控制器

控制器由可编程逻辑器件组成,其原理如图4所示。图中,GATE 信号即为图2中比较器 OP1 的输出,此信号直接输出控制开关  $K_1$  为配平电容充电;GATE 信号与时钟信号 CLOCK“相与”输出  $f_{out}$  信号,此信号的频率即反映了被测信号电流的大小;WORK 信号为工作信号,在准备工作时,此信号经单稳触发器后输出信号  $KM_2$ ,对开关  $K_2$  进行控制,将配平电容放电,使之电位为零。

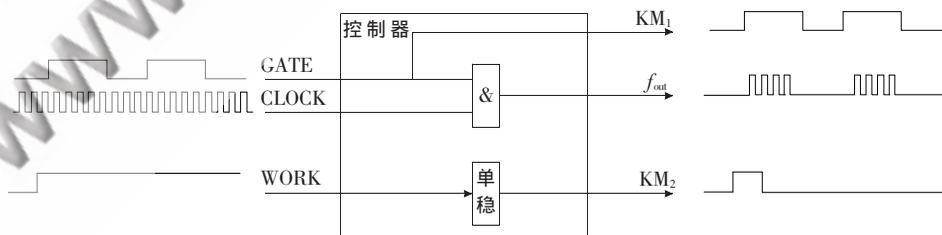


图4 控制器原理图

### 3 电路调节

在放疗应用中,剂量系统要定期调节,以保证放疗的质量与安全,通过调节电路参数使加速器的剂量系统测量值与标准剂量仪的测量值小于规定误差要求。在本电路中只需要调节 DAC 的输出电压,而 DAC 是受计算机系统控制的,在本应用中调节过程为半自动化,当第

1 次系统出束结束时,将绝对剂量仪的读数人工输入到计算机中,计算机将自动计算并输出 DAC 合适的输入值,在第 2 次出束进行验证即可。仅需 2 次出束即可完成校准,整个校准过程仅需要 3~5 min。

#### 4 注意事项及误差分析

汤姆逊平衡法可适用于微弱电流的检测。当测量微弱电流时要注意器件以及板基的漏电流问题,另外要注意屏蔽问题,信号电缆可采用三同轴类型的,电路板最好装入金属屏蔽盒中。

关于测量误差的问题,这里主要分析放大电路与比较电路的影响。在本应用中,测量电流的原理核心在电荷配平上,也就是始终控制配平电源为配平电容反向充电,以抵消被测电流对其的充电。从理论上,就是要始终保持配平电容上的电位为零,但实际中是做不到的。在实际应用中选用了滞回比较器,因而只能保证配平电容

上的电位在一定范围内波动,也就是说此电路从原理角度上是存在误差的,但是这个误差不会累积,随着测量时间的加长,其相对影响会越来越小,这也就是为什么前文曾说过放大电路与比较电路的精度及稳定性等因素对系统的测量精度影响不大的原因所在。当然如果在某些应用场合非常关心瞬时电流的测量精度,可以加入 A/D 转换电路对配平电容的电压进行测量,再根据电路参数推算一下电流即可。

本应用是在加速器剂量监测系统中引入了汤姆逊平衡法,利用该方法优点并结合产品系统特点进行了必要的改进,与传统电路比较,无论是稳定性,还是测量精度以及使用的方便性都有了极大的改善。

#### 参考文献

- [1] 马国华.  $4\pi\gamma$  高压电离室活度测量国家标准. 现代计量测试, 2002(3).

(收稿日期: 2009-04-04)