

脉宽调制芯片在高压发生电路中的应用

石 芳, 郑文松

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 以 TL494 为控制核心的脉宽调制推挽式高压发生电路采用脉冲宽度调制和电压反馈推挽技术, 可通过调整振荡器频率和采样电阻值, 输出多种状态恒定直流高压。本电路结构简单可靠, 稳定性高。试验验证表明, 满足液体火箭发动机控制电路系统绝缘电阻测试要求。

关键词: 脉宽调制; 推挽方式; 高压发生电路; 绝缘电阻测试

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2012) 01-0068-05

Application of pulse-width modulation chip in high-voltage generating circuit

SHI Fang, ZHENG Wen-song

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: A push-pull high-voltage generating circuit is introduced, which takes TL494 as a control core, and adopts pulse-width modulation (PWM) and voltage feedback push-pull technologies. It can output a variety of constant DC high-voltage current by adjusting the oscillator frequency and the sampling resistance. The circuit is simple and reliable, and has high stability. The test validation result shows that the circuit can meet the test requirements of insulation resistance in control circuitry of liquid rocket engines

Keywords: PWM; push-pull mode; high-voltage generating circuit; insulation resistance test

0 引言

液体火箭发动机控制电路系统由电缆网和多台电磁阀等组成, 是执行发动机工作程序的重要系统。为保证控制电路系统执行程序的准确性和可靠性, 对其进行电性能测试就显得尤为重要。

作为电性能测试中的绝缘电阻测试, 其以往的测试方法是测试者使用兆欧表 (100 V 或 500 V), 转动兆欧表的插手柄, 兆欧表输出测试电压, 连接测试接点逐一进行手动测试。此方法的优点是简单易操作, 兆欧表便于携带, 缺点是不易准确控制兆欧表转动插手柄转速, 导致输出电压值不稳定, 同时存在接点连接易出现错误, 或因兆欧

收稿日期: 2011-06-20; 修回日期: 2011-08-26

作者简介: 石芳 (1982—), 女, 助理工程师, 研究领域为航天发动机测控技术

表输出端短接导致误判，而且测试数据结果无法存储，不能进行数据事后分析、处理等问题。

为避免此类问题的发生，以绝缘电阻测试电路结合计算机的自动测试设计思想，实现各通道自动进行测试，并显示、存储最终测试结果。其中，计算机用于控制测试通道的选择、测试电路的开启、关断及测试数据的计算处理、显示及存储。同时，以分压法作为绝缘电阻测试电路测试方法，其原理是在负载（被测端）和分压电阻构成的测试电路加恒定信号源（恒定高压），分压电阻上所得电压经测量放大器隔离、放大、滤波后进入 A/D 板，再将 A/D 采集数据送 CPU 进行计算处理，最终显示测试和判定结果。测量原理见图 1 所示。其中测量放大器由三级组成：仪表放大器、隔离放大器（可根据情况选择使用）和低通滤波放大器。由此可见，恒定信号源的精度和稳定性，是影响测量结果准确性和一致性的重要因素。

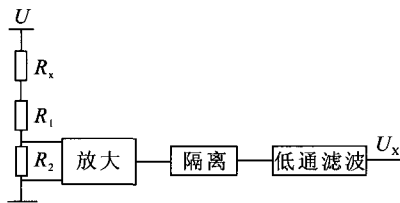


图 1 绝缘电阻测量原理图

Fig. 1 Schematic of insulation resistance measurement

计算公式：

$$R_x=(U*G_1*G_2*G_3/U_x)*R_2-(R_1+R_2) \quad (1)$$

式中： R_x 为被测电阻； U 为恒定高压； G_1 为仪表放大器增益； G_2 为隔离放大器增益； G_3 为低通滤波放大器增益； R_1 和 R_2 为分压电阻； U_x 为滤波放大器输出电压。

作为绝缘电阻测试电路的核心部分——脉宽调制（Pulse Width Modulation, PWM）推挽式高压发生电路，是选用 TL494 芯片作为高压发生电路的核心元器件，采用脉冲宽度调制电路和电压反馈的推挽方式，实现输出稳定直流高压。在实现低电压输出电路设计中，TL494 芯片被作为重要控制器件广泛应用于开关式电源中，本电路

万方数据

从另一角度应用 TL494 芯片，使其实现输出稳定直流高压。

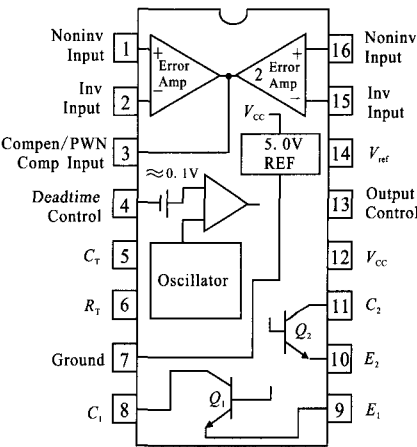
1 芯片简介

1.1 管脚说明

TL494 是一个固定频率脉冲宽度调制控制电路，它含有控制开关式电源所需的主要功能块。其内部电路由基准电压产生电路、振荡电路、死区时间控制电路、两个误差放大器、补偿/PWM 比较器以及输出电路等组成。图 2 是它的管脚图，其中 1 脚和 2 脚是误差放大器 I 的同相和反相输入端；3 脚是补偿/PWM 比较器输入；4 脚为死区时间控制，其上加 0~3.3 V 电压时可使截止时间从 2%变化到 100%；5 脚和 6 脚分别用于外接振荡电阻（ R_T ）和振荡电容（ C_T ），以确定振荡器产生锯齿波的频率 f_{osc} ；

$$f_{osc}=\frac{1.1}{R_T\times C_T} \quad (2)$$

式中： R_T 和 C_T 的取值范围： $R_T=5\sim100\text{ k}\Omega$ ， $C_T=0.001\sim0.1\text{ }\mu\text{F}$ 。7 脚为接地端；8、9 脚和 11 脚、10 脚分别为 TL494 内部两个末级输出三极管集电极和发射极；12 脚为电源供电端；13 脚为输出控制端，该脚接地时为并联单端输出方式，接 14 脚时为推挽输出方式；14 脚为 5 V 基准电压输出端，最大输出电流 10 mA；15 脚和 16 脚是误差放大器 II 的反相和同相输入端。



(Top View)

图 2 TL494 管脚图

Fig. 2 Chart of TL494 base pins

1.2 工作过程

输出脉冲宽度调制是通过将电容器 C_T 上的正锯齿波和两个控制信号中的任一个进行比较而实现的。驱动输出晶体管 Q_1 和 Q_2 的 NOR（或非）门只有当触发器的时钟线为低时起作用。这种情况只有在锯齿波电压高于控制信号时才会发生。因此，控制信号的幅度增加，将使输出脉冲宽度做线性减少。

脉宽调制器的比较器为误差放大器提供一种调整输出脉冲宽度的方法。它可以从死区时间控制建立的最大导通时间百分数开始一直降到零，相应的反馈脚的电压由 0.5 V 变化到 3.5 V。将输出控制连接到基准线上，脉冲控制触发器将调制过的脉冲轮流送给两个输出晶体管以进行推挽工作的方式，通过外接 R_T 和 C_T 进行调节 TL494 内部存在线性锯齿波振荡器频率，实现 PWM 输出信号的占空比。

死区时间控制比较器有一个 120 mV 的输入偏置，它将最小的输出死区时间限制在锯齿波周期开始前 4%，因而在给定的输出将得到最大为 96% 的工作周期，此时输出控制接地。在 C_T 放电时，在死区时间比较器的输出出现一个正脉冲，它将作为脉冲控制触发器的时钟脉冲并禁止输出晶体管 Q_1 和 Q_2 工作。将输出控制连接到基准线上，脉冲控制触发器将调制过的脉冲轮流送给两个输出晶体管，外部以进行推挽工作。脉冲控制触发器以轮流的方式输送脉冲信号，是为避免两个输出晶体管同时导通，在芯片的 9、10 脚未接下拉电阻的情况下，保护电源 V_{CC} 不被短路。

2 电路结构及工作原理

脉宽调制推挽式高压发生电路由脉宽调制推挽电路、变压器、电压反馈电路、整流桥路和滤波电路组成。通过电压反馈的推挽方式，提供调整输出脉冲宽度调制，得到 PWM 输出信号的占空比，并结合高频变压器将振荡器产生的高频信号放大，再进行整流、滤波，产生恒定直流高压输出。该高压发生电路如图 3 所示。

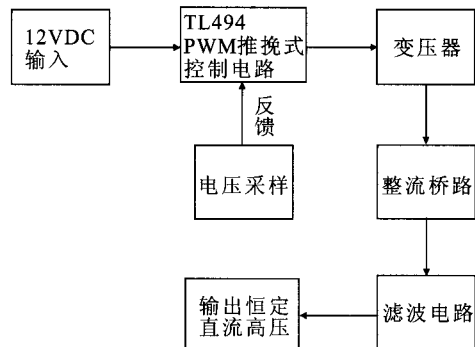


图 3 高压发生电路图

Fig. 3 Diagram of high-voltage generating circuit

输出脉冲宽度调制是采用将 TL494 输出控制连接到基准线上，其脉冲控制触发器将调制过的脉冲送给输出晶体管 Q_1 进行推挽工作，故这种方式的输出频率 f_{out} 是振荡器频率 f_{osc} 的一半。通过选用适当的外接 R_T 和 C_T ，控制线性锯齿波振荡器的频率，其计算方法根据公式 (2)，通过计算便可获得相应的输出频率，得到 PWM 输出信号的占空比。

通过可调节采样电阻，将输出电压采样信号连接到 TL494 内部误差放大器 1 的 1 脚，与 2 脚的电压基准信号比较。若输出采样电压大于基准电压，误差放大器输出电压增加，导致晶体管 Q_1 的导通时间变短，使输出采样电压减至基准电压值；若输出采样电压小于基准电压，误差放大器输出电压减弱，导致晶体管 Q_1 的导通时间变长，使输出采样电压增至基准电压值，达到电压反馈的推挽工作方式，达到稳定输出电压的目的。

电路中变压器是将 TL494 输出的高频信号进行升压，经过由二极管搭建的整流桥路将变压器输出的交流电压转换为直流电压，再进行滤波处理，从而得到所需恒定直流高压。

3 试验情况

根据液体火箭发动机控制电路系统绝缘测试要求，常用输出恒定电压为 100 V 和 500 V，在需要提供特殊的高压值时，可通过调整部分电路参数得到。可以采用两种方法实现：一是调整外

接电阻的阻值, 改变 TL494 内部振荡器频率及 PWM 输出信号的占空比, 实现改变输出恒定直流高压; 另一方法是调整采样反馈电阻值, 进而改变推挽反馈电压值, 同样可调整输出恒定直流电压。通过试验验证输出高压与其相应参数关系见图 4。

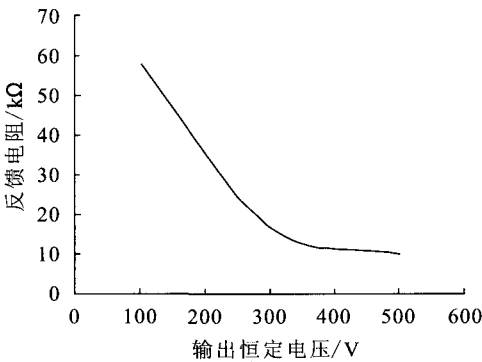


图 4 输出电压与反馈电阻间的关系

Fig. 4 Output voltage versus feedback resistance

4 测试结果

一直以来, 兆欧表以其操作简单、便于携带等优点被广泛使用。然而随着自动化、数字化高可靠测试要求的提高, 绝缘电阻测试电路以其输出电压值稳定、可控, 各通道自动进行测试, 实现测试数据结果存储, 可对数据进行事后分析、处理等特点, 日益受到重视。现以 100 V 兆欧表

和 100 V 高压发生电路为测试对象, 通过以下相关电路测试, 就二者测试性能进行分析对比。

4.1 输出电压稳定性

100 V 兆欧表输出电压范围是 0 V~107 V, 根据测试者转动插手柄的转速情况而定, 测试情况见表 1。在转速达不到 120 转/min, 输出电压不足 100 V, 便不满足测试要求; 高压发生电路输出电压 100 ± 2 V, 负载阻值为 50 MΩ, 每隔 1 min 测试一次, 测试结果见表 2。对比测试结果, 高压发生电路输出电压稳定性优于兆欧表。

4.2 纹波测试

100 V 兆欧表输出电压值为 100 V 左右时, 纹波为 19.81 V; 100 V 高压发生电路的输出纹波不大于 150 mV。

4.3 输出电压精度

100 V 兆欧表输出电压精度为 10%; 高压发生电路输出电压 100 ± 2 V, 输出电压精度为 2%。对比测试结果, 高压发生电路输出电压精度远高于兆欧表。

由以上测试结果可知: 高压发生电路输出电压稳定, 输出电压精度高, 明显优于使用兆欧表测试。

表 1 兆欧表输出电压稳定性测试

Tab. 1 Test results of megameter output voltage stability			
转速/(r·min ⁻¹)	100	120	200
输出电压/V	80	100	107

表 2 高压发生电路稳定性测试

Tab. 2 Test results of high-voltage generating circuit stability

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电压/V	99.70	99.70	99.72	99.71	99.71	99.70	99.72	99.72	99.72	99.72

测量效果。

参考文献:

[1] PRESSMAN A I. 开关电源设计(第二版)[M]. 王志强, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.

5 结束语

本文采用 TL494 芯片通过脉宽调制推挽的控制方式, 实现输出恒定直流高压, 电路简单合理, 输出电压稳定性和可靠性高。本高压发生电路在绝缘电阻测试中已得到应用, 取得了较好的
万方数据

封闭端压力波反射会使阀门处水击压力的升高; 总体来说, 支管越短, 对阀门处水击压力的影响就越小, 且支管端部压力越接近阀门处的真实水击压力; 支管内的流体汽化对支管封闭端压力的影响较大, 使之明显异于阀门处压力, 且支管直径越小, 发生汽化的可能性和强度也大。

由图 2 可知: 当 $L_4/L_3=0.5$, $d_4/d_3=1$ 时分支管对阀门处水击压力影响最大, 产生的最高水击压力为 12 MPa, 较无支管时最高水击压力 (9.4 MPa) 增加了 28%。分析表明: 测压导管对原管路水击压力的影响较大, 且附加测压导管后最高压力测量值均大于实际最高压力; 当主管路无汽化时, 测压导管端部也可能出现汽化, 使压力瞬变复杂化, 增大测量压力与实际压力偏差; 对小尺寸管路系统, 应尽可能避免使用小直径长测压导管, 如确有需要, 应合理选择长度和直径, 尽可能减小测量值与真实值的偏差。

4 结束语

本文利用特征线法对推进剂供应系统一维流动的理论数学模型, 用 Flowmaster 模拟软件进行关机水击数值模拟, 并通过理论分析测压导管不

同点的水击压力, 确定出测压导管对原管路水击压力的影响。由于流体计算的复杂性和发动机管路结构的多样性, 本文仅对一种实例进行了简单的理论分析, 是否对各种发动机管路均有好的模拟结果, 还需要对此法进一步考核和研究。

参考文献:

- [1] 胡平信, 刘国球. 液体火箭发动机的技术发展和展望[J]. 导弹与航天运载技术, 1998, 27(2): 12-17.
- [2] 赵万明. 液氧/煤油发动机试车主要参数测量方法研究[J]. 火箭推进, 2006, 32(10): 23-26.
- [3] 黎勤武, 张为华, 王振国, 等. 空间发动机系统关机过程水击现象理论分析[J]. 推进技术, 1998, 19(3): 27-30.
- [4] 聂万胜, 戴德海, 夏鹏. 姿控推进系统发动机关机的管路瞬变特性[J]. 推进技术, 2003, 24(1): 628-630.
- [5] WYLIE E B, STREETER V L. Fluidtransients [M]. New York: McGraw2Hill Inc., 1978.
- [6] JENNINGS P C, PEDDIESON J, MUNUKUTLA S. New exact solution for fluid transients [J]. Mechanics Research Communications, 2005, 32(3): 59-72.
- [7] 侯咏梅. 水头损失对水击计算的影响分析[J]. 河南科学, 2003, 21(3): 304-307.
- [8] 李治勤. 流速及管道特性对水击的影响[J]. 太原理工大学学报, 2000, 3(2): 156-158.

(编辑: 马 杰)

(上接第 71 页)

- [2] 蒋焕文, 孙续. 电子测量(第二版)[M]. 北京: 中国计量出版社, 1988.
- [3] 刘仁普. 摩托罗拉线性与接口电路手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
- [4] 朱宁昌. 液体火箭发动机设计(下)[M]. 北京: 宇航出版社, 1994, 12.
- [5] 王宁, 姚焯道. 单片机控制的 PWM 斩波式交流稳压电源[J]. 电子技术应用, 2002 (6): 25-26.
- [6] 张卫平. 开关变换器的建模与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [7] 周志敏, 周纪海, 纪爱华. 开关电源使用技术-设计与应用(第二版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.

(编辑: 王建喜)