

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
G05D 19/02 (2006.01)  
F16F 6/00 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510030561.7

[43] 公开日 2006年3月15日

[11] 公开号 CN 1746803A

[22] 申请日 2005.10.14

[21] 申请号 200510030561.7

[71] 申请人 上海燃料电池汽车动力系统有限公司  
地址 201804 上海市嘉定区曹安公路4800号  
同济大学新能源汽车工程中心4楼

共同申请人 万钢

[72] 发明人 万钢 赵治国 余卓平 孙泽昌

[74] 专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司  
代理人 吴宝根

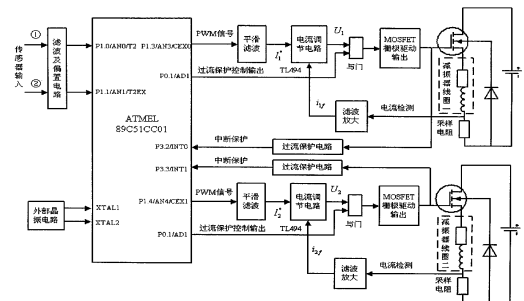
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 2 页

## [54] 发明名称

磁流变液半主动悬架电子控制器

## [57] 摘要

一种磁流变液半主动悬架电子控制器，包括滤波偏置电路、微控制器及其接口电路、PWM 减振器线圈电流调节电路、MOSFET 栅极功率驱动电路、减振器线圈电流检测及过流保护电路；所述微控制器的软件部分能根据簧载质量的垂向加速度信号，分别使用伪积分处理算法、高通滤波算法来估计出簧载质量的垂直振动速度和簧载与非簧载质量间的绝对振动速度，再利用实时性较高、增益可调的天棚阻尼控制算法和复杂的插值运算计算出减振器线圈的目标电流值；该磁流变液半主动悬架电子控制器具有低成本、控制精确、动态响应快、能有效实施天棚阻尼控制的特点；若修改控制系统软件部分参数，便可与各种磁流变液减振器匹配并运用于各种车型。



1、一种磁流变液半主动悬架电子控制器，其中减振器回路由车载电源、功率开关器件 MOSFET、减振器线圈和采样电阻串联组成，二极管的正极连接 MOSFET 的源极，二极管的负极接地；

所述电子控制器包括：

— 8 位微控制器芯片及其接口电路，用于产生数字控制信号；

— 滤波及偏置电路，其输出端连接微控制器，用于对传感器信号进行滤波和电压偏置的处理；

其特征在于，还包括：

至少一路 MOSFET 控制通道，分别连接微控制器的输出端和减振器电路中 MOSFET 的栅极，用于控制 MOSFET 的导通电流；

每路 MOSFET 控制通道设有：

— PWM 减振器线圈电流调节电路，微控制器的一脉宽调制（PWM）信号输出端经平滑滤波电路连接电流调节电路的输入端；

— MOSFET 栅极功率驱动电路，电流调节电路的输出端经与门连接 MOSFET 栅极功率驱动电路的输入端，MOSFET 栅极功率驱动电路的输出端连接 MOSFET 的栅极；

— 减振器线圈电流检测电路，减振器回路的采样电阻连接减振器线圈的一端，输入经过滤波放大，其输出端连接电流调节电路的另一输入端；

— 过流保护电路，由 MOSFET 的栅极输入，其输出端连接微控制器的一中断保护输入端，微控制器的一过流保护控制输出至与门的另一输入端；

传感器信号经电压偏置电路的滤波和电压偏置的处理后输出至微控制器，所述微控制器的软件部分，根据簧载质量的垂向加速度信号，分别使用伪积分处理算法、

高通滤波算法来估计出簧载质量的垂直振动速度和簧载与非簧载质量间的绝对振动速度，再利用天棚阻尼控制算法和插值运算计算出减振器线圈的目标电流值；所述目标电流值与所述减振器线圈电流检测电路输入的电流反馈值，在所述电流调节电路中比较后产生 MOSFET 的栅极驱动信号，并经所述与门、所述 MOSFET 栅极功率驱动电路驱动所述减振器电路的所述开关器件 MOSFET 的导通；当 MOSFET 全导通时，所述过流保护电路产生中断信号，并通过所述微控制器的过流保护控制输出端经所述与门封锁 MOSFET 上的栅极导通电压，以保护功率 MOSFET 不受损坏。

2、根据权利要求 1 所述的磁流变液半主动悬架电子控制器，其特征是，所述 MOSFET 控制通道和对应控制的减振器回路为二路。

3、根据权利要求 1 所述的磁流变液半主动悬架电子控制器，其特征是，所述微控制器的目标电流值的输出采用脉宽调制（PWM）技术，以提高磁流变液减振器线圈电流的调节精度。

4、根据权利要求 1 所述的磁流变液半主动悬架电子控制器，其特征是，所述微控制器的软件部分，实现簧载质量绝对振动加速度的数据采集、簧载质量绝对振动速度和簧载与非簧载质量间的相对速度的滤波估计、减振器线圈目标电流查表插值及 PWM 信号的输出等功能；所述软件程序流程：

- 1) 初始化系统，启动中断输入输出口；
- 2) 主程序开始定时；
- 3) 判断 MOSFET 是否全导通？是则转至 10)，否则转至 4)；
- 4) 簧载质量绝对振动加速度的数据采集；
- 5) 簧载质量绝对振动速度和簧载与非簧载质量间的相对速度的滤波估计；
- 6) 增益可调的天棚阻尼控制算法的实施；
- 7) 复杂的查表插值减振器线圈电流目标值的确定；
- 8) 输出 PWM 信号占空比的计算；

- 9) 输出 PWM 信号; 转至 11);
- 10) 封锁 MOSFET;
- 11) 定时到否? 是则转至 12), 否则转至 3);
- 12) 关输出。

## 磁流变液半主动悬架电子控制器

### 技术领域

本发明涉及减振技术，特别是涉及一种汽车半主动悬架的磁流变液减振器的电子控制技术。

### 背景技术

悬挂系统是现代轿车的重要组成部分，它除了承受车身静载荷外，还承担着隔离来自路面不平激励所引起的车辆振动的重要作用。根据悬架弹性和阻尼参数是否可调，汽车悬架可分为被动悬架、半主动悬架和主动悬架。半主动悬架系统一般是由弹簧和可控阻尼减振器组成，可控阻尼减振器可以根据车辆运行条件适时地对减振器阻尼系数进行调节，实现与弹性元件的最佳匹配，以改善车辆乘坐舒适性、操纵稳定性及安全性。随着高速轿车的发展，人们对其行使的平顺性及操纵的稳定性等多种使用性能提出了越来越高的要求。

随着新型“智能”材料的发展，以电流变液体和磁流变液体为减振液的减振器得到了应用，该减振器通过施加电场或磁场改变减振器内工作液的屈服应力和粘度以获得阻尼的连续无级调节，磁流变液体与电流变液体相比，具有屈服应力高、控制电压及电流低、工作温度范围宽以及对杂质不敏感性等优点。基于磁流变液体所研制的磁流变减振器，通过改变励磁线圈电流的大小来获得不同强度的磁场，使其工作缸内磁流变液的表现粘度发生变化，从而改变阻尼力的大小，具有结构紧凑、功耗低、阻尼变化明显、动态范围广、响应速度快、调节装置结构简单、成本低和对常规减振器结构改动小等特点。

磁流变液减振器的控制关系到减振器动态响应和阻尼力的精确控制，直接影响

磁流变液半主动悬架系统的性能，因而低成本、性能卓越的磁流变液减振器的控制器的研制对于开发应用磁流变液半主动悬架具有重要意义。而在控制器的研制中，如何获得簧载质量的绝对振动速度和簧载与非簧载质量间的绝对振动速度，是实施控制器中的天棚阻尼控制的重大难点。

### 发明内容

针对上述现有技术中存在的缺陷，本发明所要解决的技术问题是提供一种低成本、控制精确、动态响应快、能有效实施天棚阻尼控制的磁流变液半主动悬架电子控制器。

为了解决上述技术问题，本发明所提供的一种磁流变液半主动悬架电子控制器，半主动悬架的减振器回路由车载电源、功率开关器件 MOSFET、减振器线圈和采样电阻串联组成，二极管的正极连接 MOSFET 的源极，二极管的负极接地；

— 8 位微控制器芯片及其接口电路，用于产生数字控制信号；

— 滤波及偏置电路，其输出端连接微控制器，用于对传感器信号进行滤波和电压偏置的处理；

其特征在于，还包括：

至少一路 MOSFET 控制通道，分别连接微控制器的输出端和减振器电路中 MOSFET 的栅极，用于控制 MOSFET 的导通电流；

每路 MOSFET 控制通道设有：

— PWM 减振器线圈电流调节电路，微控制器的一脉宽调制（PWM）信号输出端经平滑滤波电路连接电流调节电路的输入端；

— MOSFET 栅极功率驱动电路，电流调节电路的输出端经与门连接 MOSFET 栅极功率驱动电路的输入端，MOSFET 栅极功率驱动电路的输出端连接 MOSFET 的栅极；

一减振器线圈电流检测电路，减振器回路的采样电阻连接减振器线圈的一端，输入经过滤波放大，其输出端连接电流调节电路的另一输入端；

一过流保护电路，由 MOSFET 的栅极输入，其输出端连接微控制器的一中断保护输入端，微控制器的一过流保护控制输出至与门的另一输入端；

传感器信号经电压偏置电路的滤波和电压偏置的处理后输出至微控制器，所述微控制器的软件部分，根据簧载质量的垂向加速度信号，分别使用伪积分处理算法、高通滤波算法来估计出簧载质量的垂直振动速度和簧载与非簧载质量间的绝对振动速度，再利用实时性较高、增益可调的天棚阻尼控制算法和复杂的插值运算计算出减振器线圈的目标电流值；所述目标电流值与所述减振器线圈电流检测电路输入的电流反馈值，在所述电流调节电路中比较后产生 MOSFET 的栅极驱动信号，并经所述与门、所述 MOSFET 栅极功率驱动电路驱动所述减振器电路的所述开关器件 MOSFET 的导通（动作），以实现减振器线圈电流的可靠调节；当 MOSFET 全导通时，所述过流保护电路产生中断信号，并通过所述微控制器的过流保护控制输出端（通用输出口）经所述与门封锁 MOSFET 上的栅极导通电压，以保护功率 MOSFET 不受损坏。

较佳地，所述 MOSFET 控制通道和对应控制的减振器电路为二路。

较佳地，所述微控制器的目标电流值的输出采用脉宽调制（PWM）技术，以提高高磁流变液减振器线圈电流的调节精度。

较佳地，所述微控制器的软件部分，主要实现簧载质量绝对振动加速度的数据采集、簧载质量绝对振动速度和簧载与非簧载质量间的相对速度的滤波估计、减振器线圈目标电流查表插值及 PWM 信号的输出等功能；所述软件程序流程：

- 1) 初始化系统，启动中断输入输出口；
- 2) 主程序开始定时；
- 3) 判断 MOSFET 是否全导通？是则转至 10)，否则转至 4)；

- 4) 簧载质量绝对振动加速度的数据采样;
- 5) 簧载质量绝对振动速度和簧载与非簧载质量间的相对速度的滤波估计;
- 6) 增益可调的天棚阻尼控制算法的实施;
- 7) 复杂的查表插值减振器线圈电流目标值的确定;
- 8) 输出 PWM 信号占空比的计算;
- 9) 输出 PWM 信号; 转至 11);
- 10) 封锁 MOSFET;
- 11) 定时到否? 是则转至 12), 否则转至 3);
- 12) 关输出。

利用本发明提供的磁流变液半主动悬架电子控制器, 由于采用微控制器的软件部分能根据簧载质量的垂向加速度信号, 分别使用伪积分处理算法、高通滤波算法来估计出簧载质量的垂直振动速度和簧载与非簧载质量间的绝对振动速度, 再利用实时性较高、增益可调的天棚阻尼控制算法和复杂的插值运算计算出减振器线圈的目标电流值, 以控制所述开关器件 MOSFET 的导通(动作), 从而有效实施减振器的天棚阻尼控制; 由于采用电路简单的电子控制器, 使本发明具有低成本、控制精确、动态响应快以及控制过程稳定等特点; 由于所述微控制器的目标电流值的输出采用脉宽调制(PWM)技术, 从而提高磁流变液减振器线圈电流的调节精度; 在本发明实施例中, 该磁流变液半主动悬架控制系统能确保减振器线圈电流在 0~3A 范围连续可调, 控制控制器动态响应时间小于 3ms, 与某企业磁流变液减振器匹配并集成安装于 Passat B5 轿车, 通过实车道路试验, 可使车辆乘坐舒适性改善 15%。另外该电子控制器 ECU 通过跳线可用作恒流源, 在 12V 车载电压下, 使减振器线圈输出 0A~3A 的可控电流。软、硬件稍作改进, 便可与各种磁流变液减振器匹配并运用于各种车型。



## 附图说明

图 1 是本发明实施例的磁流变液半主动悬架电子控制器及恒流源电路结构的原理框图；

图 2 是本发明实施例的磁流变液半主动悬架电子控制器的软件程序流程框图。

## 具体实施方式

以下结合附图说明对本发明的实施例作进一步详细描述，但本实施例并不用于限制本发明，凡是采用本发明的相似结构及其相似变化，均应列入本发明的保护范围。

参见图 1 所示，本发明实施例提供一种磁流变液半主动悬架电子控制器，半主动悬架的减振器回路由车载电源、功率开关器件 MOSFET、减振器线圈和采样电阻串联组成，二极管的正极连接 MOSFET 的源极，二极管的负极接地；所述电子控制器包括：

一 8 位微控制器芯片（Atmel 89C51CC01）及其接口电路，用于产生控制信号；

一滤波及偏置电路，其输出端连接微控制器，用于对传感器信号进行滤波和电压偏置的处理；

两路 MOSFET 控制通道，分别连接微控制器的输出端和减振器电路中 MOSFET 的控制极（栅极），用于控制（调节）开关器件 MOSFET 的导通电流；每路 MOSFET 控制通道设有：

一 PWM 减振器线圈电流调节电路（TL494），微控制器的一脉宽调制（PWM）信号输出端经平滑滤波电路连接电流调节电路的输入端；

一 MOSFET 栅极功率驱动电路（IR2103），电流调节电路的输出端经与门连接 MOSFET 栅极功率驱动电路的输入端，MOSFET 栅极功率驱动电路的输出端连接 MOSFET 的栅极；

一减振器线圈电流检测电路，减振器回路的采样电阻连接减振器线圈的一端，输入经过滤波放大，其输出端连接电流调节电路的另一输入端；

一过流保护电路，由 MOSFET 的栅极输入，其输出端连接微控制器的一中断保护输入端，微控制器的一过流保护控制输出至与门的另一输入端；

在本发明的实施例中，也可以设有一（或四）路 MOSFET 控制通道和对应控制的减振器电路。

由于所述微控制器 ATMEL89C51CC01 采用+3V 的供电电压，只能对 0~3V 的信号进行 A/D 采样，所以传感器输入的信号①和②需经所述（滤波及）电压偏置电路的滤波和电压偏置后，才能送至所述微处理器；所述微处理器根据输入的簧载质量的垂向加速度信号，滤波估计出车体垂向速度和悬架相对变形量，再根据实时性较高、增益可调的天棚阻尼控制算法和复杂的插值运算计算出减振器线圈的目标电流值  $I_1^*$  和  $I_2^*$ ，所述目标电流值  $I_1^*$  和  $I_2^*$  与减振器线圈电流检测电路输入的电流反馈值  $i_{1f}$  和  $i_{2f}$ ，在所述电流调节电路中比较后产生 MOSFET 的栅极驱动信号，并经与门、MOSFET 栅极功率驱动集成电路（IR2103）驱动开关器件 MOSFET 的导通（动作），以实现减振器线圈电流的可靠调节。当 MOSFET 的全导通时，所述过流保护电路产生中断信号，并通过微控制器的过流保护控制输出端（通用输出口）经与门封锁 MOSFET 上的栅极导通电压，以保护功率 MOSFET 不受损坏。

本发明的实施例中，电子控制器 ECU 采用 Atmel 公司第一代带有 CAN 控制器的高性能 8 位微控制器芯片 89C51CC01，是在满足使用要求的前题下，综合考虑性价比、控制算法的复杂速度及实时性、输入输出通道数目、存储器容量、在线编程的方便性及可扩展性等因素。本发明的实施例中，还采用脉宽调制（PWM）技术以提高磁流变液减振器线圈电流调节精度；所述电流调节电路，采用 TL494 单相 PWM 控制芯片，该芯片通过调节外接电容和电阻，可改变锯齿波发生器的振荡频率，且其内部自带 5V 稳压电源，且集成有运算放大器，只需很少的 RC 分立元件就可实现

电流调节器的电流调节，具有电路简单、成本低廉以及控制过程稳定等特点。

参见图 2 所示，本发明实施例提供的一种磁流变液半主动悬架电子控制器的软件采用 C51 编程语言，主要实现簧载质量绝对振动加速度的数据采集、簧载质量绝对振动速度和簧载与非簧载质量间的相对速度的滤波估计、减振器线圈目标电流查表插值及 PWM 信号的输出等功能；所述软件程序流程：

- 1) 初始化系统，启动中断输入输出口；
- 2) 主程序开始定时；
- 3) 判断 MOSFET 是否全导通？是则转至 10)，否则转至 4)；
- 4) 簧载质量绝对振动加速度的数据采集；
- 5) 簧载质量绝对振动速度和簧载与非簧载质量间的相对速度的滤波估计；
- 6) 增益可调的天棚阻尼控制算法的实施；
- 7) 复杂的查表插值减振器线圈电流目标值的确定；
- 8) 输出 PWM 信号占空比的计算；
- 9) 输出 PWM 信号；转至 11)；
- 10) 封锁 MOSFET；
- 11) 定时到否？是则转至 12)，否则转至 3)；
- 12) 关输出。

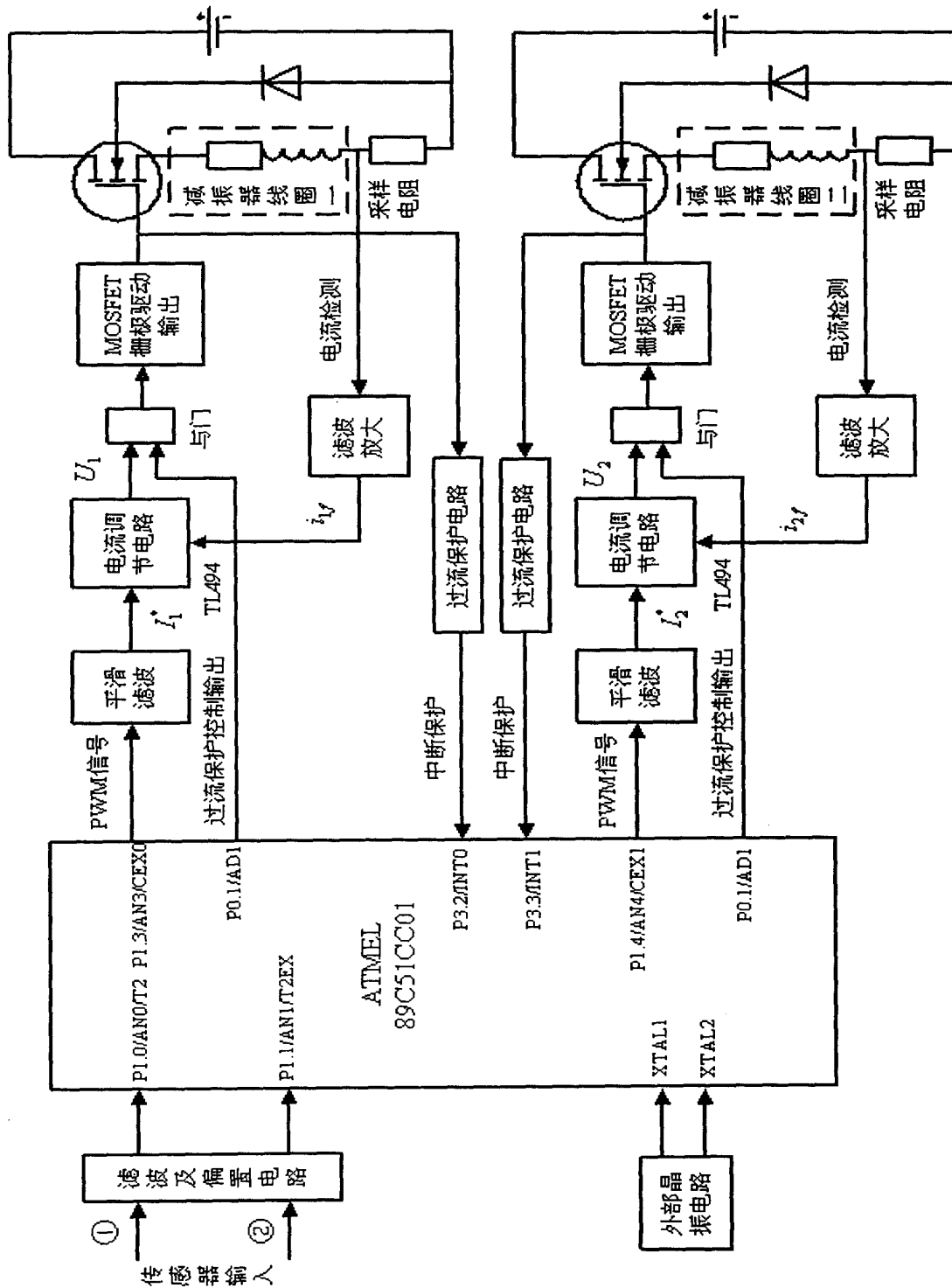


图 1

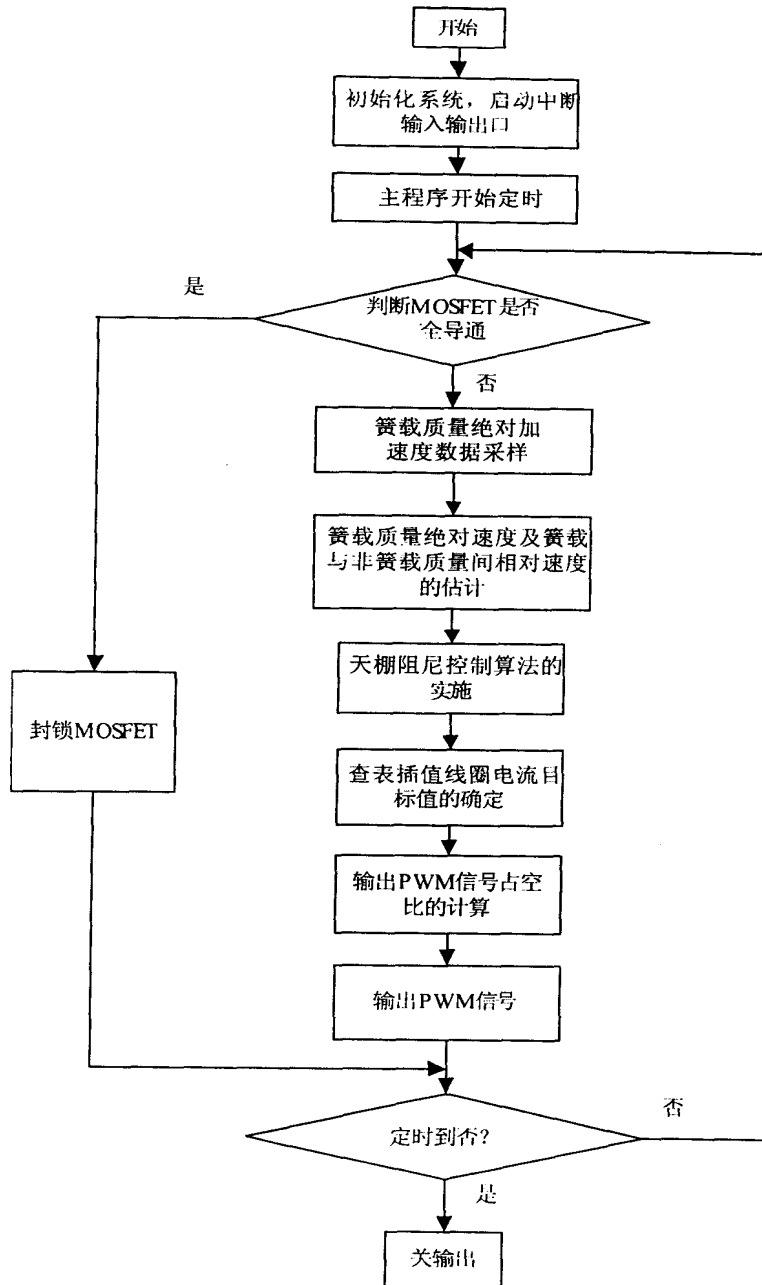


图 2