



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103166472 B

(45)授权公告日 2016.11.23

(21)申请号 201210278809.1

(22)申请日 2012.06.29

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103166472 A

(43)申请公布日 2013.06.19

(30)优先权数据  
10-2011-0131200 2011.12.08 KR

(73)专利权人 现代自动车株式会社  
地址 韩国首尔

(72)发明人 金成奎 崔远景 郭武信 裴秀炫

(74)专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

代理人 龙淳 李巍

(51)Int.Cl.

H02M 3/335(2006.01)

(56)对比文件

CN 102237791 A, 2011.11.09,  
CN 201230276 Y, 2009.04.29,  
EP 1850468 A3, 2008.06.04,  
WO 2011010143 A2, 2011.01.27,  
US 2007296389 A1, 2007.12.27,

审查员 王红

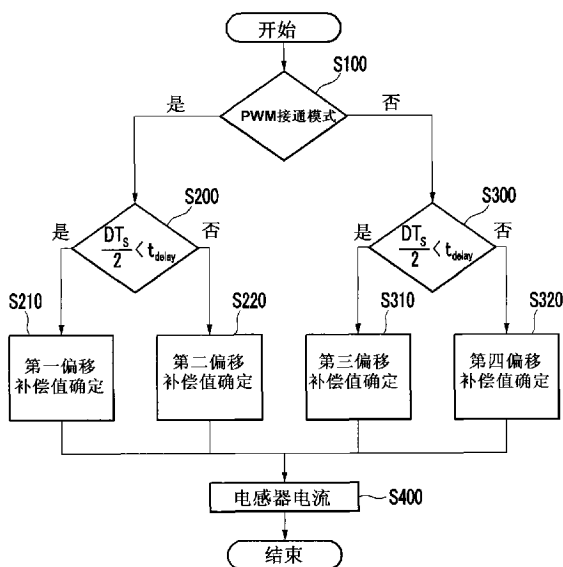
权利要求书1页 说明书9页 附图6页

(54)发明名称

PWM变换器的电流校正方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于DC/DC变换器的电流补偿方法,该方法检测从被用于DC-DC变换器中的电感器以斩波形式输出的脉动电流的平均值,以实时补偿偏移值。根据本发明的一个示例性实施方式的DC/DC变换器的电流补偿方法可包括,分析用于开关DC-DC变换器的PWM信号,如果该PWM信号为接通,则比较检测电流和由电感器输出的实际电流之间的延迟时间与上升半周期长度,根据所述上升半周期长度和所述延迟时间的比较结果计算电流变化量并确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值,并应用该偏移补偿值来补偿电感器的检测电流。



1. 一种PWM变换器的电流补偿方法,包括:  
分析用于开关PWM变换器的PWM信号;  
如果该PWM信号为接通,则在检测电流和由电感器输出的实际电流之间比较延迟时间与上升半周期长度;  
根据所述上升半周期长度与所述延迟时间的比较结果计算电流变化量并确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值;以及  
应用所述偏移补偿值来补偿所述电感器的所述检测电流。
2. 根据权利要求1所述的PWM变换器的电流补偿方法,其中如果所述PWM信号为关断,那么所述方法还包括:  
比较下降半周期长度和从电感器输出的实际电流与检测电流之间的延迟时间;  
根据下降半周期长度与延迟时间的比较结果计算电流变化量,以确定用于补偿该电流变化量的偏移补偿值;以及  
应用所述偏移补偿值来补偿所述电感器的所述检测电流。
3. 根据权利要求1所述的PWM变换器的电流补偿方法,其中当在所述PWM信号为接通的条件下比较上升半周期的长度与延迟时间时,如果上升半周期的长度小于延迟时间,则确定从电感器输出的实际输出的斜率不同于检测电流的斜率,并且计算上升斜率的电流变化量以确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值。
4. 根据权利要求1所述的PWM变换器的电流补偿方法,其中当上升半周期的长度与延迟时间比较时,如果该上升半周期的长度大于延迟时间,则确定从电感器输出的实际电流的斜率等于检测电流的斜率,并且计算上升斜率的电流变化量以确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值。
5. 根据权利要求2所述的PWM变换器的电流补偿方法,其中当在所述PWM信号为关断的条件下比较下降半周期的长度与延迟时间时,如果下降半周期的长度小于延迟时间,则确定从电感器输出的实际电流的斜率不同于检测电流的斜率,并且计算下降斜率的电流变化量以确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值。
6. 根据权利要求2所述的PWM变换器的电流补偿方法,其中当在所述PWM信号为关断的条件下比较下降半周期的长度与延迟时间时,如果下降半周期的长度大于延迟时间,则确定从电感器输出的实际电流的斜率等于检测电流的斜率,并且计算下降斜率的电流变化量以确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值。

## PWM变换器的电流校正方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求享有2011年12月8日在韩国知识产权局提交的韩国专利申请第10-2011-0131200号的优先权,其全部内容引入本文以供参考。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及一种用于环境友好型车辆的DC/DC变换器和逆变器(自此以后,称为PWM逆变器)的电流补偿方法。更具体地,本发明涉及一种用于环境友好型车辆的PWM变换器的电流补偿方法,该方法检测从变换器内部的电感器以斩波形式输出的脉动电流的平均值以及发动机的每一个相(U、V、W)以实时补偿偏移值。

### 背景技术

[0004] 具有发动机和至少一个驱动电动机的环境友好型车辆,对应于提高燃料消耗效率和废气排放强制规定的需求而正被开发。

[0005] 环境友好型车辆包括燃料电池车辆、电动车辆、插电式电动车辆等,并使用高电压/高电流电源以产生驱动扭矩。

[0006] 环境友好型车辆包括产生所需驱动扭矩的电动机、控制该电动机的逆变器、以及DC/DC变换器,该DC/DC变换器将电池中所存储的电压升压到350至450V,以将该升压后的电压供给所述逆变器。

[0007] 该DC-DC变换器是双向升压器(booster)型,被配置在高电压电池与逆变器之间,并将低电压升至高电压。

[0008] 当该PWM变换器正在升高电压时,环境友好型车辆检测由电感所输出的电流以实施电流控制和功率限制。并且,逆变器检测电动机的每一个相的电流流动以控制电流并通过该电流控制产生电动机的驱动力。

[0009] 电感器的电流具有脉动(斩波)形状,该形状根据电能开关元件的开关状态以预定的斜率重复地上升和下降。

[0010] 在这种状态下,从电感器输出的单周期平均电流值被用于限制所增加的电流和所输出的功率。

[0011] 图8示出了传统环境友好型车辆的DC-DC变换器中的电感器电流的偏移。

[0012] 参见图8,当第一和第二开关元件根据传输自控制器的第一PWM负载信号(duty signal)(PWM P)和第二PWM负载信号(PWM N)而开关时,通过第一和第二开关元件的接通/关断延迟、电流传感器的相延迟、滤波电路的相延迟等,在电感器的实际输出电流(Ideal)和检测电流(Real)中形成相对输出的Td1和Td2延迟,以产生±偏移值。

[0013] 因此,在PWM变换器中的电感器电流的偏移的产生影响了控制精度(电流控制和扭矩控制)和电流相关的保护功能。

[0014] 因为电感器电流的感知延迟是不可避免的,因此使用快速接通/关断特性的电源模块和相延迟响应优异的传感器和滤波电路,从而使延迟最小化,但是这些元件非常昂贵

并且满足环境友好型车辆所需条款的元件非常有限。

[0015] 在从电感器输出电流的实际时间与其测量时间之间产生差异的情况下,因为在实际车辆的最大驱动和再生制动期间的电流测量时间的误差,功率限制功能可发生故障,从而能够产生使驱动的车辆停止的难题。

[0016] 在传统的环境友好型车辆中,应用A/D感测延迟(A/D sensing delay)法、相位延迟法、平均电流计算法等来测量DC-DC变换器的电感器电流。

[0017] A/D感测延迟法通过使用传感器的硬件(H/W)或者通过软件(S/W)的评估方法,为在从电感器输出电流的实际时间与其测量时间之间的误差评估延迟时间( $t_{\text{delay}}$ ),以调整电感器电流的测量时间。

[0018] 然而,该方法存在的问题是它受到在数字控制中用于控制电流的处理器计算的限制。

[0019] 相延迟法使所测量的电流的相延迟90度,并且该方法能被应用到控制响应相对慢的系统,但是不能被应用到控制响应快速的系统。

[0020] 同样,通过对单周期电流采样两次以要求对单周期多次采样,平均电流计算法计算平均电流,并因此该方法可被应用到在单周期内要求一次控制的控制方法,但不适合于在单周期内要求多次控制的控制方法。

[0021] 同样,在测量时间的延迟大于所传输的PWM负载信号的状态下,存在当补偿偏移值时产生错误的问题。

[0022] 在本背景技术部分所公开的上述信息仅用于增强对本发明背景技术的理解,并且因此它可包括不构成在本国中对于本领域普通技术人员已知的现有技术的信息。

## 发明内容

[0023] 本发明为了提供一种用于环境友好型车辆的DC/DC变换器的电流补偿方法,该方法检测从DC-DC变换器的电感器以斩波形式输出的脉动电流的上升斜率和下降斜率以计算电流的变化量,通过考虑实际电流和测量电流的延迟,根据PWM负载信号计算电感器的平均电流以实时计算偏移值,并补偿该偏移值。

[0024] 根据本发明的一个示例性实施方式的PWM变换器的电流补偿方法可包括分析用于开关PWM变换器的PWM信号,如果该PWM信号是接通,则比较检测电流和由电感器输出的实际电流之间的延迟时间与上升半周期长度(rise half cycle size),根据所述上升半周期长度和所述延迟时间的比较结果计算电流变化量并确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值,并应用该偏移补偿值来补偿电感器的检测电流。

[0025] 如果PWM信号是关断,该方法可进一步地包括比较下降半周期长度(descend half cycle size)和从电感器输出的实际电流与检测电流之间的延迟时间,根据下降半周期长度和延迟时间的比较结果计算电流变化量以确定用于补偿该电流变化量的偏移补偿值,并应用该偏移补偿值来补偿电感器的检测电流。

[0026] 当上升半周期的长度与延迟时间在PWM信号为接通的条件下比较时,如果上升半周期的长度小于延迟时间,那么能够确定从电感器输出的实际输出的斜率不同于检测电流的斜率,并且计算上升斜率的电流变化量以确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值。

[0027] 当上升半周期的长度与延迟时间比较时,如果该上升半周期的长度大于延迟时

间,那么能够确定从电感器输出的实际电流的斜率等于检测电流的斜率,并且计算上升斜率的电流变化量以确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值。

[0028] 当下降半周期的长度与延迟时间在PWM信号为关断的条件下比较时,如果下降半周期的长度小于延迟时间,那么能够确定从电感器输出的实际电流的斜率不同于检测电流的斜率,并且计算下降斜率的电流变化量以确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值。

[0029] 当下降半周期的长度与延迟时间在PWM信号为关断的条件下比较时,如果下降半周期的长度大于延迟时间,那么能够确定从电感器输出的实际电流的斜率等于检测电流的斜率,并且计算下降斜率的电流变化量以确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值。

[0030] 根据本发明的一个示例性实施方式的非短暂计算机可读介质含有通过处理器或控制器执行的程序指令,用于实施PWM变换器的电流补偿方法。该计算机可读介质包括分析用于开关PWM变换器的PWM信号的程序指令;如果PWM信号为接通,则比较检测电流和从电感器输出的实际电流之间的延迟时间与上升半周期长度的程序指令;根据所述上升半周期长度和所述延迟时间的比较结果计算电流变化量并确定用于补偿电流变化量的偏移补偿值的程序指令;以及应用该偏移补偿值来补偿电感器的检测电流的程序指令。

[0031] 在本发明的这样的环境友好型车辆中,针对PWM变换器的电感器输出电流考虑实际电流输出时间与电流的测量时间之间的延迟,以计算实际时间中的电流的平均电流,使得该偏移值被精确地补偿,并且从而稳定和可靠地限制PWM变换器的输出和功率。

[0032] 定义

[0033] 本文所用的术语仅是出于描述特定实施方式的目的,不是要限定本发明。如本文所使用的单数形式的“一个”、“一种”和“所述”也要包括复数形式,除非本文的上下文有不同的清楚地说明。应该进一步理解,术语“包括”和/或“含有”,当在本说明书中使用,指定了规定的特征、整体、步骤、操作、部件和/或元件的存在,但并不排除一个或多个其它的特征、整体、步骤、操作、部件、元件和/或它们的组合的存在或附加。正如本文所使用的,术语“和/或”包括一个或多个相关的所列项目的任意一个和全部组合。

[0034] 应该理解术语“车辆”或“车辆的”或本文所用的其它类似术语通常包括机动车,例如包括多功能运动车(SUV)、公共车辆、卡车、各种商用车的载客汽车;包括各种船和艇的水运工具;飞行器,并包括混合动力车、电动车、插电式混合动力车、氢动力车以及其它替代燃料的车辆(例如从石油之外的资源所获得的燃料)。在本文提及的混合动力车是具有两种或更多种动力源的车辆,比如汽油动力和电动力车辆。

## 附图说明

[0035] 图1示意性的示出了根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器和逆变器。

[0036] 图2示出了根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的电感器所输出的电流波形。

[0037] 图3示出了根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的开关和电感器的电流输出关系。

[0038] 图4是示出根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的开关和电感器的电流输出关系的第一图解。

[0039] 图5是示出根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的开关和电感器的电流输出关系的第二图解。

[0040] 图6是示出根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的开关和电感器的电流输出关系的第三图解。

[0041] 图7是示出根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的电流测量步骤的流程图。

[0042] 图8示出用于环境友好型车辆的DC-DC变换器中的电感器电流的偏移。

[0043] 下面所列的附图标记用于方便读者理解：

[0044] 101:电池

[0045] 102:DC-DC变换器

[0046] 103:逆变器

[0047] 104:电动机

[0048] 200:控制器

### 具体实施方式

[0049] 此后,参照附图将更完整地描述本发明,在附图中示出了本发明的示例性实施方式。

[0050] 本领域技术人员将认识到,只要不偏离本发明的精神和范围,可以以各种不同的方式对所述的实施方式进行修改。

[0051] 为了阐明本发明,将省略与说明不相关的部分,并且在整个说明书中,相同的元件或等效物将引用相同的附图标记。

[0052] 同样,每一个元件的长度和厚度在附图中随意地示出,但是本发明不因此而受限制,并且在附图中,为了清楚,层、膜、平板、区域等的厚度都被放大了。

[0053] 图1示意性地示出了根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的电流补偿装置。

[0054] 参照图1,本发明的一个示例性实施方式包括电池101、DC-DC变换器102、逆变器103、电动机104以及控制器200。

[0055] 电池101包括以高电压存储DC电能的多个单元电池。

[0056] 电池101可包括镍氢电池、锂离子可充电电池以及大容量电容器中的一种以将所存储的DC高电压供应至DC-DC变换器102。

[0057] DC/DC变换器102被配置在电池101与逆变器103之间,并根据控制器200的PWM负载信号将从电池101供应的DC电压升高至预定的水平,以将其输出到逆变器103。

[0058] DC-DC变换器102包括平滑电容器( $C_{bc}$ )、电感器(L)、第一开关元件S1、第二开关元件S2以及DC链接电容器(DC link capacitor)( $C_{dc}$ )。

[0059] 平滑电容器( $C_{bc}$ )使电池101两端之间的电压变化平滑以稳定从电池101输出的电压。

[0060] 电感器(L)根据通过平滑电容器( $C_{bc}$ )供应的电压的变化量阻止电流的快速变化。

[0061] 根据从控制器200传输的PWM负载信号,第一开关元件S1和第二开关元件S2将经过电感器(L)供应的电池101的电压升高至预定的高水平。

[0062] DC链接电容器( $C_{dc}$ )临时存储通过第一开关元件S1和第二开关元件S2而升高的电压以将其供给至逆变器103。

[0063] 逆变器103将根据控制器200的PWM负载信号通过DC-DC变换器102升高的DC电压转换至三相AC电压,并且该AC电压被供应至电动机104以驱动该电动机104。

[0064] 输出U、V和W相的电源开关元件被配置在逆变器103内以串联连接的上侧和下侧上。

[0065] 该电源开关元件包括NPN晶体管、IGBT(绝缘栅双极型晶体管)以及MOSFET中的一种。

[0066] 电动机104为三相AC型,通过从逆变器103供应的三相AC电压产生驱动扭矩,并在车辆的再生制动期间作为发电机而工作。

[0067] 控制器200应用预定的电流指令图(instruction map)数据,根据从高级控制器传输的扭矩指令产生用于开关DC-DC变换器105的PWM信号,由此开关第一开关元件S1和第二开关元件S2以将电池101的电压升至预定的水平,并且将升高的电压供应到逆变器103。

[0068] 在控制器200根据控制器的扭矩指令产生PWM负载信号(PWMS1、PWM S2)以开关第一开关元件S1和第二开关元件S2,使得电池101的电压升高时,电池101的输出电压( $V_b$ )通过平滑电容器( $C_{bc}$ )检测,并且DC-DC变换器的输出电压( $V_{dc}$ )利用输出电流( $I_b$ )和电感器(L)的DC链接电容器( $C_{dc}$ )被充电,以输出遵循要求指令的功率。

[0069] 当电池101的电压通过DC-DC变换器102的第一开关元件S1和第二开关元件S2的开关而升高时,控制器200检测从电感器(L)以斩波形式输出的脉动电流的上升斜率和下降斜率以计算电流变化量,通过考虑实际电流和检测电流的延迟根据PWM负载信号计算电感器的平均电流以实时产生偏移值,并补偿该偏移值使得稳定地进行电流控制和功率限制。

[0070] 如下面所列,本发明的操作包括上述的功能。

[0071] 本发明涉及补偿以脉动型从DC-DC变换器的电感器(L)输出的实际电流和检测电流的时间差异的方法,并且该方法将被描述为用于在环境友好型车辆的驾驶期间,当电池101的电压通过DC-DC变换器102的开关而升高时。其它的控制操作与那些传统的环境友好型车辆相似或相同,并因此省略对它们的具体描述。

[0072] 图2示出从根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的电感器输出的电流波形。

[0073] 参照图2,当通过被配置在DC-DC变换器102中的第一开关元件S1和第二开关元件S2的开关使电池101的电压升高时,电感器(L)输出脉动型电流。

[0074] 在该过程中,如果使用电压方程,由电感器(L)所输出的电流的上升斜率可如方程1所述计算,并且其下降斜率可如方程2所述计算。

[0075] (方程1)

$$[0076] \quad \Delta = \frac{V_{Bat}}{L}$$

[0077] (方程2)

$$[0078] \quad \Delta = \frac{V_{Bat} - V_{DC}}{L}$$

[0079] 因此,应用电感器(L)电流的长度和斜率,从而能够在方程3中计算上升斜率的电

流变化量,并在方程4中计算下降斜率的电流变化量。

[0080] (方程3)

$$[0081] \quad \Delta i_{L\_inc} = \frac{V_{Bat}}{L} \times DT_3$$

[0082] (方程4)

$$[0083] \quad \Delta i_{L\_dec} = \frac{V_{Bat} - V_{DC}}{L} \times (1 - D)T_3$$

[0084] 如方程3和4中所述,电感器(L)的输出电流的上升斜率和下降斜率不一致。

[0085] 因此,参照图3,可根据下面定义PWM信号的接通/关断模式。

[0086] 例如,基于P相,从K=0的点定义PWM关断序列(off sequence),而从K=1的点定义PWM接通序列(on sequence),所述P相是指DC-DC变换器102的第一开关元件S1的切换接通/关断信号。

[0087] 图4是示出根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的开关和电感器的电流输出关系的第一图解。

[0088] 图4示出具有如下期间的实施例,在该期间中检测电流和根据DC-DC变换器的开关从电感器(L)输出的实际电流的上升斜率和下降斜率相等。

[0089] 如方程3和方程4所述,因为电感器(L)电流的变化量可通过应用电流斜率和延迟时间(长度)而计算,在一个周期之内的平均电流的变化量可通过使用在感测延迟时间期间的电流变化量而计算。

[0090] 因此,根据PWM接通模式的电感器(L)输出电流的上升期间的电流变化量,可通过应用下面的方程5计算,并且根据PWM关断式的电感器(L)输出电流的下降期间的电流变化量,可通过应用下面的方程6计算。

[0091] (方程5)

$$[0092] \quad i_{L\_offset\_inc} = \frac{V_{Bat}}{L} \times t_{delay}$$

[0093] (方程6)

$$[0094] \quad i_{L\_offset\_dec} = \frac{V_{Bat} - V_{DC}}{L} \times t_{delay}$$

[0095] 图5为示出根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的开关和电感器的电流输出关系的第二图解。

[0096] 图5示出如下实施例,其中检测电流的斜率不同于根据PWM的接通/关断从DC-DC变换器的电感器(L)输出的实际电流的斜率,并且如附图中所示,在其中检测电流和从电感器(L)输出的实际电流的延迟时间大于 $0.5 \times D' \times T_s$ 的情况下,当在通常状态下在实际电流与检测电流之间进行补偿时, $i_{L\_error}$ 如在附图中所述地形成。

[0097] 相应地,方程9用于计算在根据PWM接通的电感器(L)输出电流的下降期间的电流变化量,而方程10用于计算在根据PWM关断的电感器(L)输出电流的下降期间的电流变化量。

[0098] 首先,在图5中,通过应用下面的方程7计算上升斜率的延迟时间“a”和下降斜率的延迟时间“a”。

[0099] (方程7)



$$[0100] \quad a' = t_{delay} - \frac{D'T_s}{2}$$

$$[0101] \quad a = t_{delay} - \frac{DT_s}{2}$$

[0102] 进一步地,在图5中,通过应用下面的方程8计算长度的偏差。

[0103] (方程8)

$$[0104] \quad x' = t_{delay} - a' = \frac{D'T_s}{2}$$

$$[0105] \quad x = t_{delay} - a = \frac{DT_s}{2}$$

[0106] 因此,通过应用下面的方程9和方程10,计算上升斜率的电流变化量和下降斜率的电流变化量。

[0107] (方程9)

$$[0108] \quad \therefore i_{L\_offset\_inc} = \frac{V_{BAT} - V_{DC}}{L} \times a' + \frac{V_{BAT}}{L} \times x'$$

$$[0109] \quad = \frac{(V_{BAT} \times t_{delay} - V_{DC} a')}{L}$$

[0110] (方程10)

$$[0111] \quad \therefore i_{L\_offset\_dec} = \frac{(V_{BAT} t_{delay} - V_{DC} \times x)}{L}$$

[0112] 图6为示出根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的开关和电感器的电流输出关系的第三图解。

[0113] 参照图6,通过双重采样检测从电感器(L)输出的实际电流和检测电流。

[0114] 在如图6中所述的双重采样中,可以计算前一个 $D_{N-1}$ 与 $D_N$ 之间的差异的一半。

[0115] 因此,通过PWM接通/关断,划分电流的上升斜率和下降斜率,从而增加每一个负载变化量(duty variation amount),并且通过应用下面的方程11计算在上升斜率中的电流变化量,并通过应用下面的方程12计算在下降斜率中的电流变化量。

[0116] (方程11)

$$[0117] \quad i_{L\_offset\_inc} = \frac{V_{BAT}}{L} \times (t_{delay} - b')$$

[0118] (方程12)

$$[0119] \quad i_{L\_offset\_dec} = \frac{V_{BAT} - V_{DC}}{L} \times (t_{delay} - b)$$

[0120] 同样,在其中根据DC-DC变换器的开关,检测电流和从电感器(L)输出的实际电流的斜率不同的情况下,如果检测电流和从电感器(L)输出的实际电流的延迟时间大于 $0.5 \times (1-D') \times T_s$ ,当在通常状态下在实际电流与检测电流之间进行补偿时, $i_{L\_error}$ 如附图6中所述而计算。

[0121] 首先,在图6中,通过应用下面的方程12计算上升斜率的延迟时间“a”、“b”,并且通过应用下面的方程14计算下降斜率的延迟时间“a”、“b”。

[0122] (方程13)

$$[0123] \quad a' = t_{\text{delay}} - \frac{D'_{N-1} T_s}{2}$$

$$[0124] \quad a = t_{\text{delay}} - \frac{D_{N-1} T_s}{2}$$

[0125] (方程14)

$$[0126] \quad b' = \frac{D'_N - D'_{N-1}}{4} T_s$$

$$[0127] \quad b = \frac{D_N - D_{N-1}}{4} T_s$$

[0128] 并且,通过下面的方程15可计算长度的偏差。

[0129] (方程15)

$$[0130] \quad \therefore x' = t_{\text{delay}} - a' + b'$$

$$[0131] \quad \therefore x = t_{\text{delay}} - a + b$$

[0132] 因此,通过应用下面的方程16和方程17,能够计算上升斜率的电流变化量和下降斜率的电流变化量。

[0133] (方程16)

$$[0134] \quad \therefore i_{L\_offset\_inc} = \frac{V_{BAT} - V_{DC}}{L} \times a' + \frac{V_{BAT}}{L} \times x'$$

[0135] (方程17)

$$[0136] \quad \therefore i_{L\_offset\_dec} = \frac{V_{BAT}}{L} \times a + \frac{V_{BAT} - V_{DC}}{L} \times x$$

[0137] 图7是示出根据本发明的一个示例性实施方式的用于环境友好型车辆的DC-DC变换器的电流测量步骤的流程图。

[0138] 参照图7,基于第一开关元件S1,控制器200分析DC-DC变换器102的PWM控制以确定PWM是否为接通模式(S100)。

[0139] 如果在步骤S100中PWM处于接通模式,则确定上升半周期的长度( $D' T_s$ )是否小于延迟时间( $t_{\text{delay}}$ )(S200)。

[0140] 在步骤S200中如果上升半周期的长度( $D' T_s$ )具有小于延迟时间长度( $t_{\text{delay}}$ )的值,那么控制器200确定这是一个异常的情况,其中检测电流和从电感器(L)输出的实际电流的斜率不同,从而应用方程8计算上升斜率的电流变化量,并确定用于补偿该电流变化量的第一偏移补偿值(S210)。

[0141] 然而,在步骤S200中如果上升半周期的长度( $D' T_s$ )大于延迟时间( $t_{\text{delay}}$ ),那么控制器200确定检测电流和从电感器(L)输出的实际电流的上升斜率和下降斜率,从而应用方程5计算上升斜率的电流变化量,并确定用于补偿该电流变化量的第二偏移补偿值(S220)。

[0142] 同样,如果在步骤S100中其处于PWM关断模式下,那么确定下降半周期的长度( $D T_s$ )是否小于延迟时间( $t_{\text{delay}}$ )(S300)。

[0143] 在步骤S300中如果下降半周期的长度( $D T_s$ )小于延迟时间( $t_{\text{delay}}$ ),那么控制器200确定这是一个异常状态,其中检测电流和电感器(L)的实际电流的斜率不同,从而应用方程10计算该下降斜率的电流变化量,并确定用于补偿该电流变化量的第三偏移补偿值(S310)。

[0144] 然而,在步骤S300中如果下降半周期的长度( $DT_s$ )大于的延迟时间( $t_{delay}$ ),那么控制器200确定检测电流和从电感器(L)输出的实际电流的上升斜率和下降斜率相同,从而应用方程6计算下降斜率的电流变化量,并确定用于补偿该电流变化量的第四偏移补偿值(S320)。

[0145] 在此之后,施加偏移补偿值以补偿在每种状态下所确定的电流变化量,使得电感器(L)的输出电流可根据下面的方程18精确地测量。

[0146] (方程18)

$$[0147] \quad i_{L\_offset} = \begin{cases} i_{L\_offset\_inc} \\ i_{L\_offset\_dec} \end{cases}$$

$$[0148] \quad \therefore i_L = i_{L\_ADC} + i_{L\_offset}$$

[0149] 虽然本发明结合目前被认为是可行的示例性实施方式一起描述,但是应该明白本发明不限于所公开的实施方式,而是正相反,要涵盖在所附的权利要求的精神和范围之内所包括的各种变体和等效设置。

[0150] 此外,本发明的控制逻辑可被具体化为在含有由处理器、控制器等执行的可执行程序指令的计算机可读介质上的非短暂计算机可读介质。计算机可读介质的例子包括,但不限于ROM、RAM、压缩盘(CD)-ROMs、磁带、软盘、软驱、智能卡以及光数据存储装置。计算机可读记录介质也可被分布在与计算机系统连接的网络上,以使得该计算机可读介质以分布式方式被存储和执行,例如通过远程信息处理服务器或控制器局域网(CAN)。

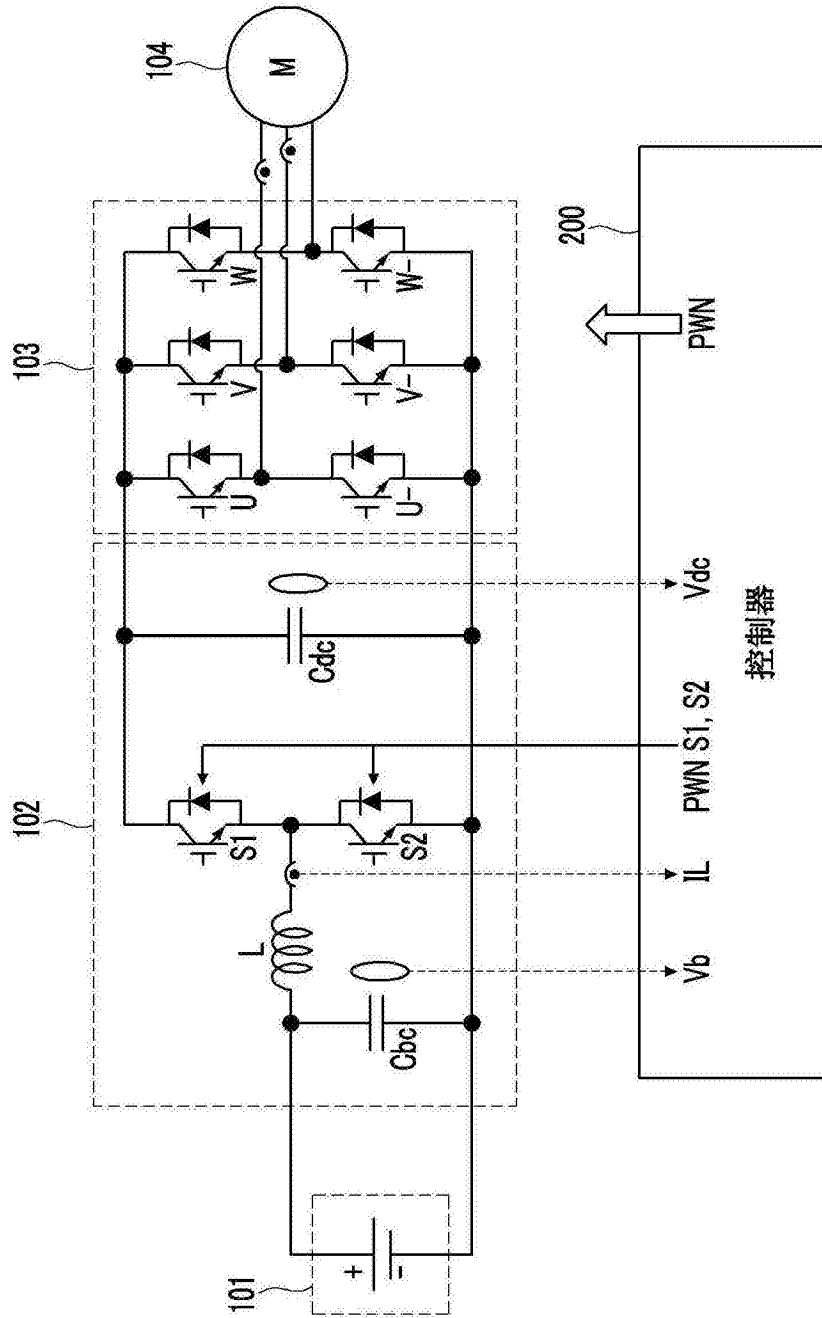


图1

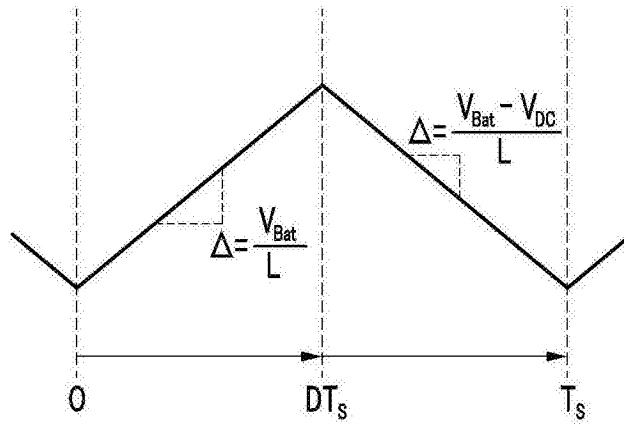


图2

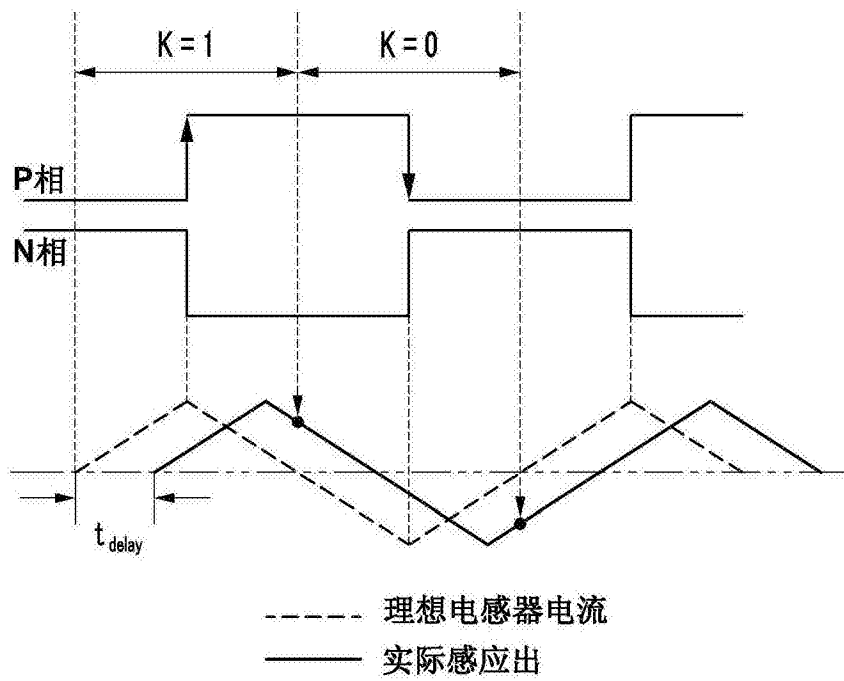


图3

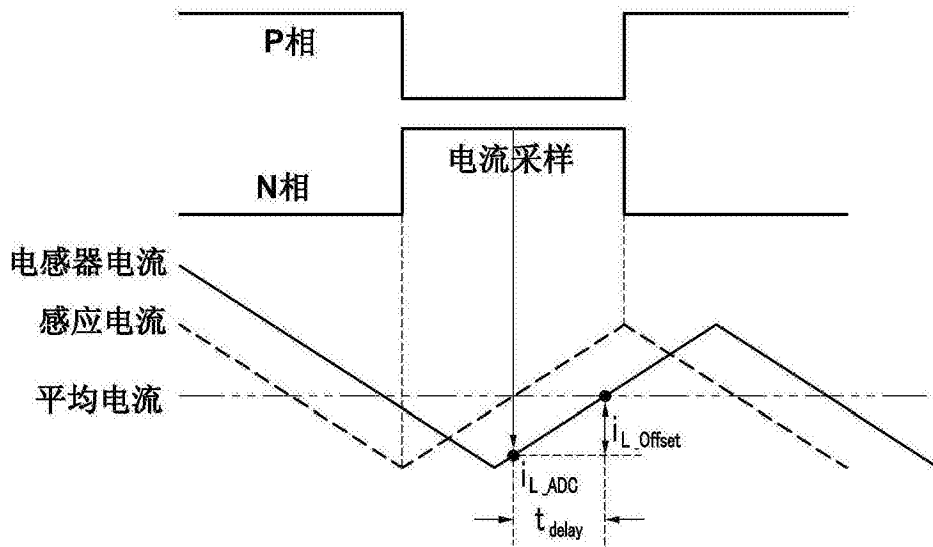


图4

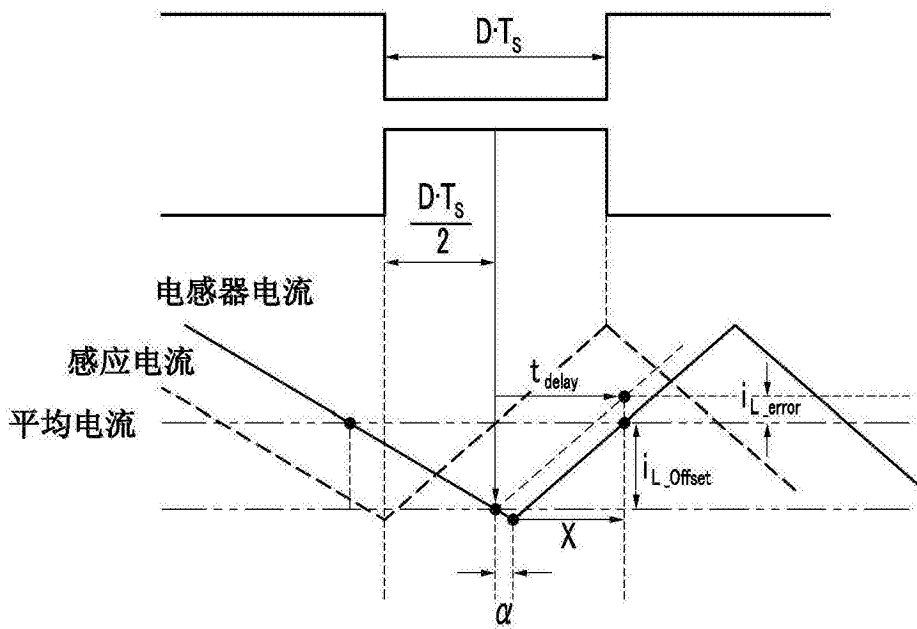


图5

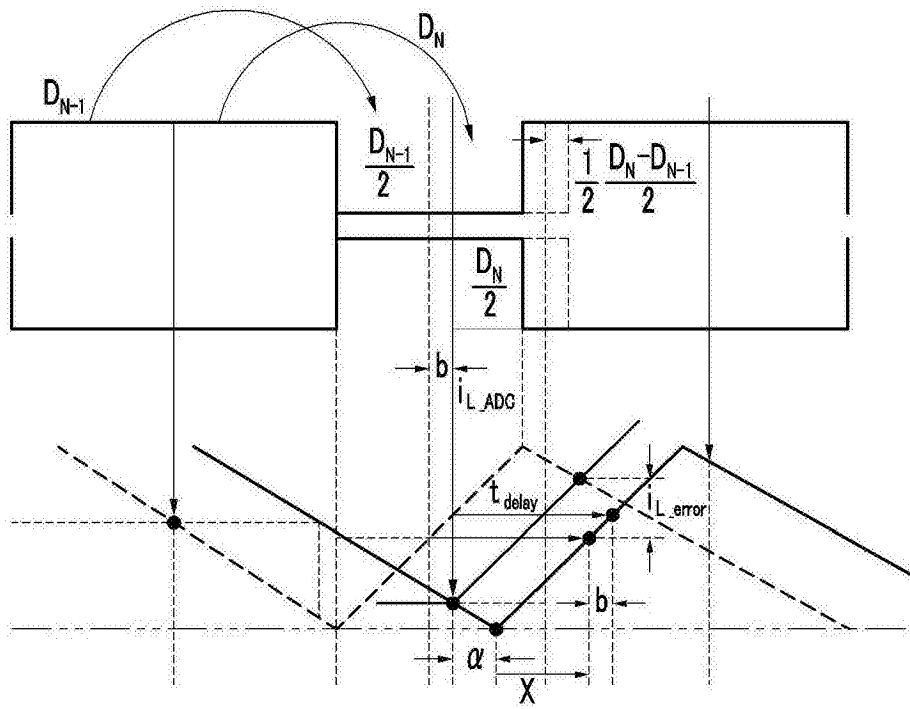


图6

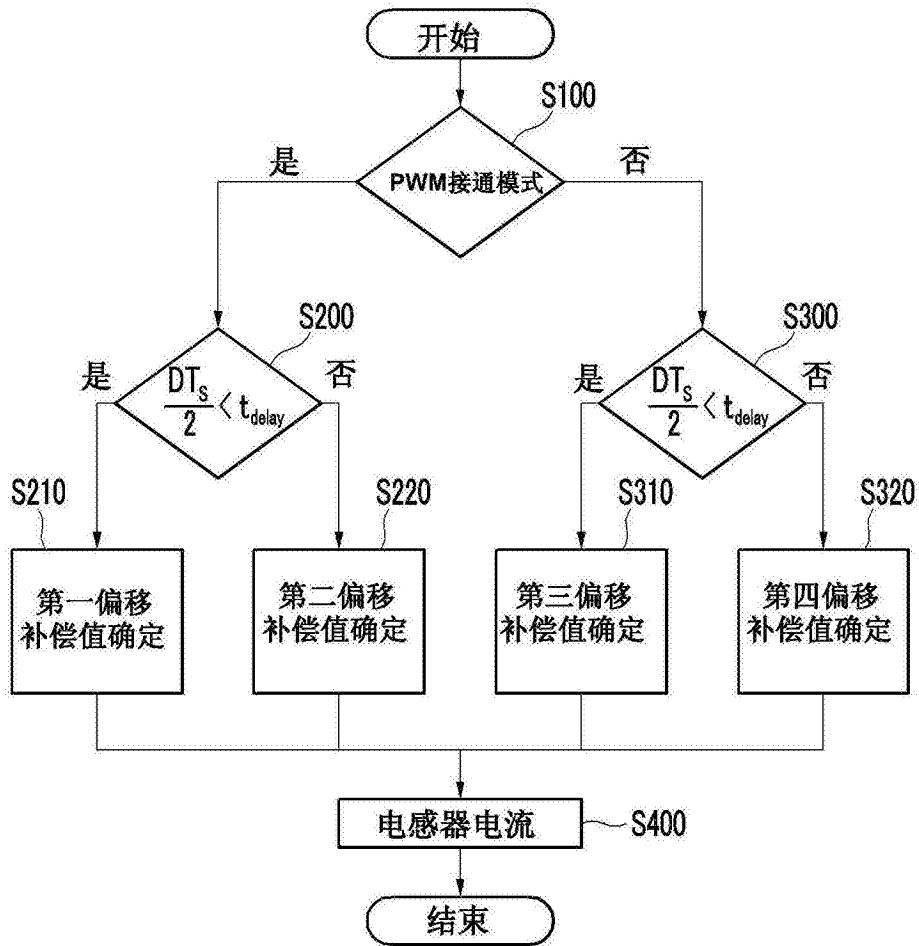


图7



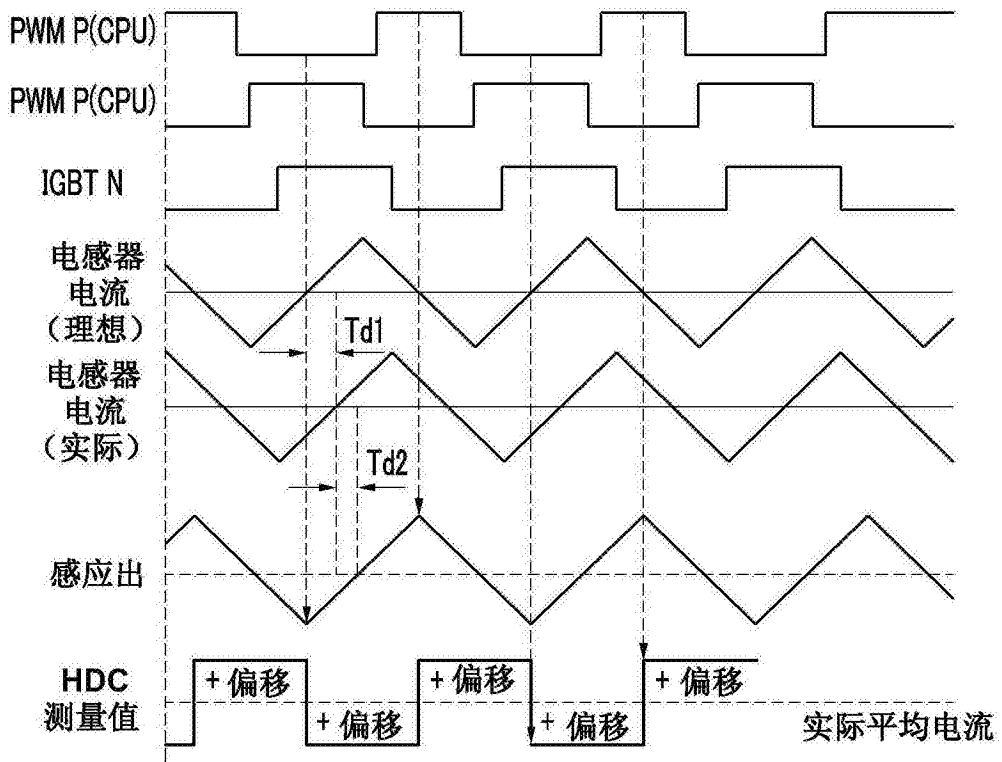


图8