

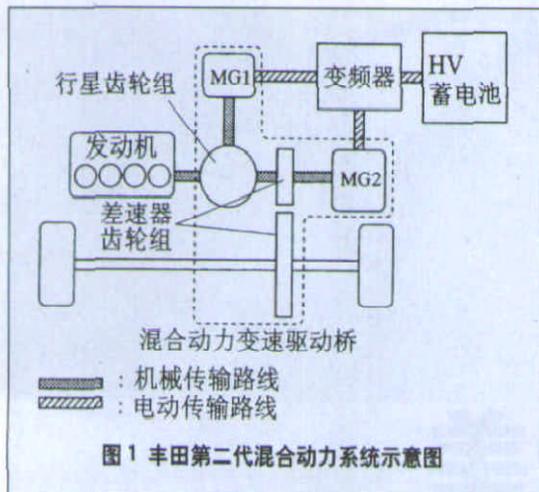
# 丰田普锐斯



## 电机及驱动控制系统解析

文 / 江苏 高惠民

作为全球最成功的环保车型,丰田普锐斯(PRIUS)早已成为油电混合动力车型中的全球销量冠军,即使在我们的身边,也经常可以见到它们的身影。目前,在国内生产的丰田普锐斯(PRIUS)是采用丰田第二代混合动力系统,集发动机和电动机组合而成的并行混合动力车(图1)。



丰田第二代混合动力系统(THS-),可以根据车辆行驶状态,灵活地使用2种动力源,并且弥补2种动力源之间不足之处,从而降低燃油消耗,减少有害气体排放,发挥车辆的最大动力。由于其THS-电机及驱动系统结构复杂,技术先进,本文将为大家详细介绍该系统的结构及基本原理,以帮助读者更进一步了解THS-系统。

### 一、THS- 电机及驱动控制系统的特点

1. 在电动机和发电机之间采用AC500V高压电路传输,可以极大地降低动力传输中电能损耗,高效地传输动力。
2. 采用大功率电机输出,提高电机的利用率。当发动机工作效率低时,此系统可以将发动机停机,车辆依靠电机动力行驶。
3. 极大地增加了减速和制动过程中的能量回收,提高能量的利用率。

### 二、THS-电机及驱动系统基本组成

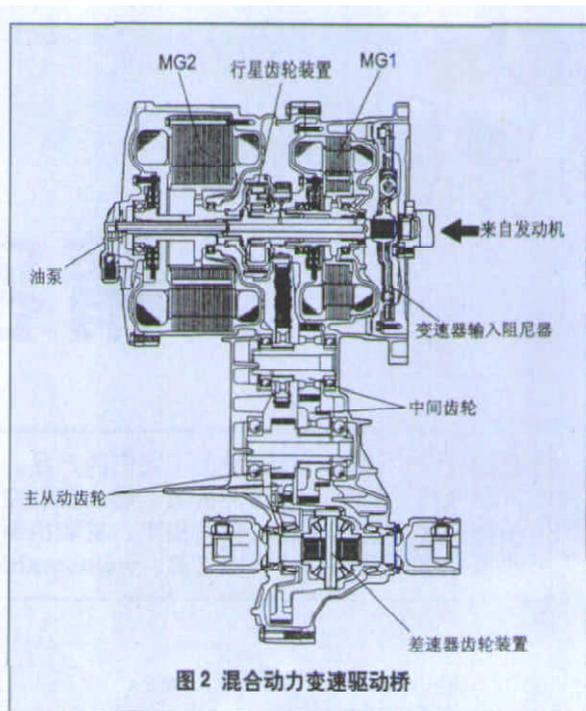
1. HV蓄电池:由168个单格镍氢电瓶(1.2V×6个电瓶×28个模块)组成,额定电压DC201.6V,安装在车辆后备厢内。在车辆起步、加速和上坡时,HV蓄电池将电能提供给驱动电机。
2. 混合动力变速驱动桥:混合动力变速驱动桥

由发电机MG1、驱动电机MG2和行星齿轮组成(图2)。

3.变频器:由增压转换器、逆变整流器、直流转换器、空调变频器组成。

(1)增压转换器:将HV蓄电池DC201.6V电压增压到DC500V(反之从DC500V降压到DC201.6V)。

(2)逆变整流器:将DC500V转换成AC500V,给电动机MG2供电。反之将AC500V转换成DC500V,经降压后,给HV蓄电池充电。



(3) 直流转换器：将HV 蓄电池DC201.6V降为DC12V，为车身电器供电，同时为备用蓄电池充电。

(4) 空调变频器：将HV 蓄电池DC201.6V转换成AC201.6V交流电为空调系统中电动变频压缩机供电。

4.HV控制ECU采用32位计算机，接收来自传感器和ECU（发动机ECU、HV蓄电池ECU、制动防滑控制ECU、电动转向ECU）信息。根据此信息，计算车辆所需的扭矩和功率，将计算结果发送给发动机ECU，变频器总成，蓄电池ECU和制动防滑控制ECU。

### 三、THS-II 系统电机（MG1、MG2）工作原理

交流伺服驱动系统中，应用的交流永磁驱动电机有两大类。一类称为无刷直流

同步电动机（BDCM），另一类称为三相永磁同步电动机（PMSM），THS-II系统的电机（MG1、MG2）属于BDCM类型的驱动电机。

BDCM用装有永磁体转子代替了有刷直流电动机的定子磁极。有刷直流电动机依靠机械换向器，将直流电流转换成近似梯形波的交流电流。而BDCM是将逆变器产生的方波交流电流直接输入电机定子绕组，省去了机械换向器和电刷。BDCM定子绕组中通入三相方波交流电流。定子绕组上会产生感应电动势，生成与永磁转子磁场在空间位置成正交的电枢

反应磁场。在转子永磁铁磁场的作用下，电枢反应磁场以反作用电磁力驱动永磁转子同步旋转（图3）。

### 四、THS-II 电机（MG1、MG2）结构

1.MG1、MG2定子绕组采用三相Y形连接，每相由4个绕组并联，可以在给电机输入较大电流下，获得最大转矩和最小转矩脉动。

2.MG1、MG2永磁体转子：采用稀土永磁材料作为永磁铁，安装在转子铁芯

内部（内埋式永磁转子）。转子内的永磁铁为“V”形，这样永磁体既有径向充磁，又有横向充磁，有效集中了磁通量，提高电机的扭矩（图4）。从永磁转子的磁路特点分析，内埋式永磁转子结构，改变了电机交、直轴磁路，可以改善电机的调速特性，拓宽速度范围。

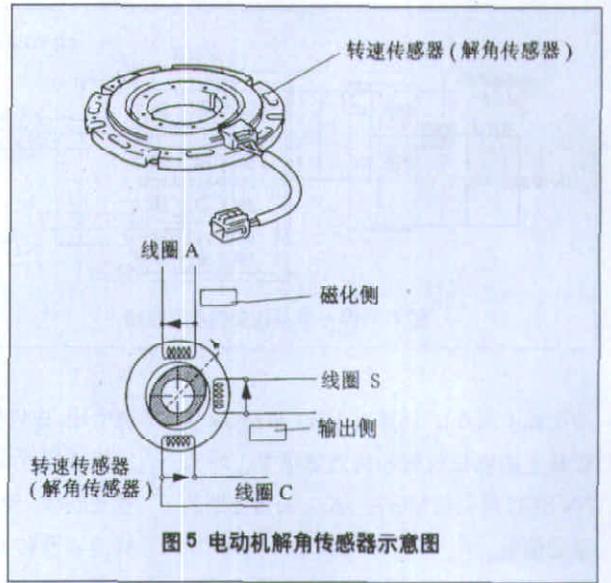


图5 电动机解角传感器示意图

3.MG1、MG2解角传感器：为了满足电机静止启动和全转速范围内转矩波动的控制目的，需要利用解角传感器精确地测量MG1、MG2永磁转子磁极位置和速度。解角传感器是采用电磁感应原理制成的旋转型感应传感器，它由定子和转子组成（图5）。

椭圆型转子与MG1、MG2的永磁转子相连接，同步转动。椭圆型转子外圆曲线代表着永磁转子磁极位置。定子包括1个励磁线圈和2个检测线圈，2个检测线圈S和C轴线在空间坐标上正交，HV ECU按预定频率的交流电流输入励磁线圈A，随着椭圆型转子的旋转，转子和定子间的间隙发生变化，就会在检测线圈S和C上感应出相位差90°正弦、余弦感应电流，HV ECU根据检测线圈S和C感应电流的波形相位和幅值，以及波形的脉

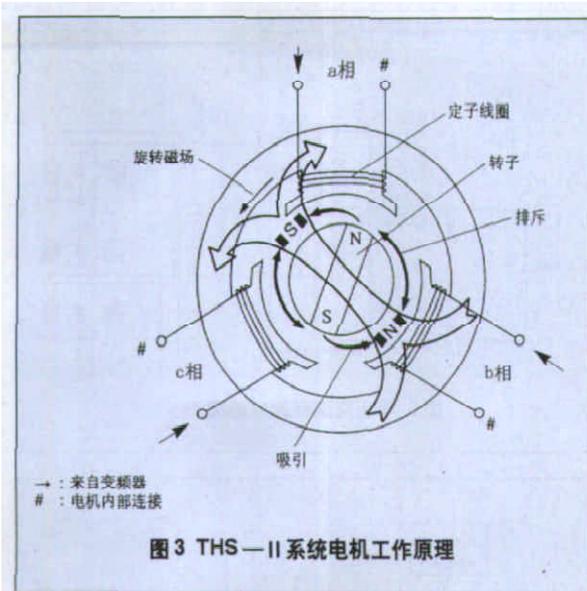


图3 THS-II系统电机工作原理

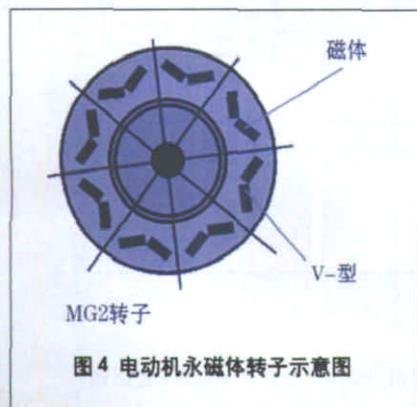


图4 电动机永磁体转子示意图

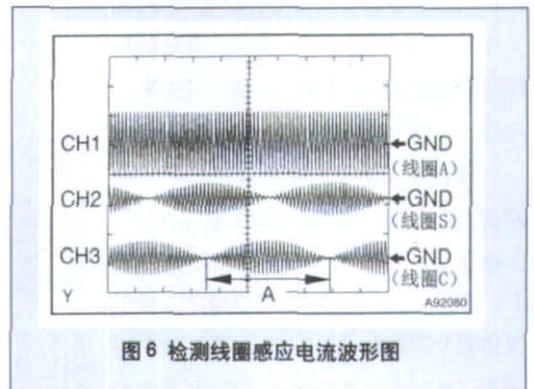


图6 检测线圈感应电流波形图

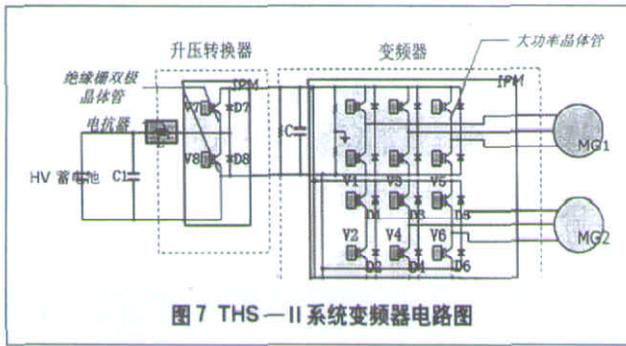
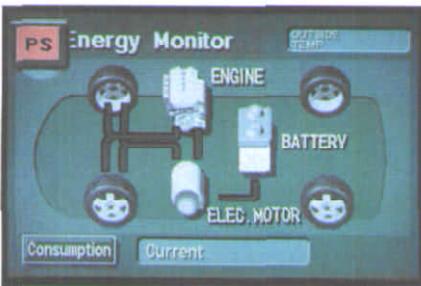


图7 THS-II系统变频器电路图

冲次数(图6),计算出MG1和MG2永磁转子的磁极位置和转速值信号,作为HV ECU对电机MG1、MG2矢量控制的基础信号。

### 五、THS- 系统变频器电路

THS- 系统变频器主要电路是由电力半导体功率器件绝缘栅双极型晶体管(IGBT)模块组成,变频器总成内的升压转换器、逆变/整流器担负着提供电机MG1、MG2的电转换与调控任务(图7)。



#### 1. 升压转换器

升压直流斩波电路由HV蓄电池、电抗器L、绝缘栅双极型晶体管V8、二极管D7、电容器C组成(图8)。升压时,HV ECU导通和关断绝缘栅双极型晶体管V8的控制极(绝缘栅双极型晶体管V8起开关作用),使电抗器L上的感应电动势与HV蓄电池DC201.6V电压叠加提供高压电源。

降压直流斩波电路由发电机MG1、逆变/整流器、绝缘栅双极型晶体管V7、二极管D8、电抗器L、电容器C1组成(图9)。降压时,HV ECU利用绝缘栅双极型晶体管V7导通,把DC500V降压为平均电压DC201.6V的直流电压,向HV蓄电池

充电。

#### 2. 逆变/整流器

逆变电路(以供MG2电源为例)由绝缘栅双极型晶体管V1-V6、续流二极管D1-D6和电容器C组成电压型三相桥式逆

降压后,向HV蓄电池充电。

### 六、THS- 电机驱动系统的控制

THS- 电机驱动系统的控制核心组件是HV ECU,在HV ECU中,变频器对电机MG2输出电流转换的绝缘栅双极型晶体管模块(IGBT模块)的驱动控制电路如图10所示,图中划线部份是变频器

变电路。由VH ECU触发绝缘栅双极型晶体管控制极,使V1~V6快速导通和关断,强行将DC500V直流电转换成三相AC500V交流电。如果改变V1~V6的触发信号频率和时间,就能改变逆变器输入电机MG2定子绕组电流空间相量的相位和幅值,以适应电机MG2的驱动需要。反之,电机MG2在车辆减速或制动时产生再生制动电能,经绝缘栅双极型晶体管V1~V6全控型桥式整流电路整流

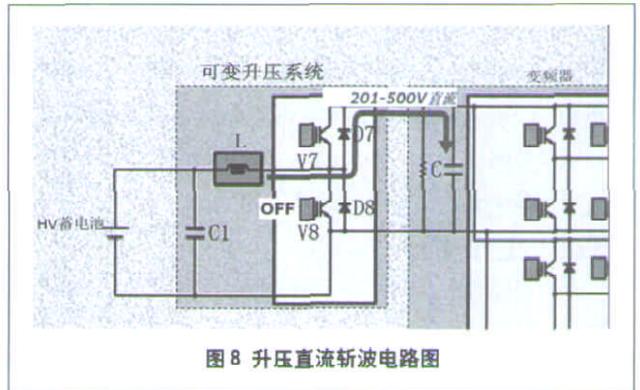


图8 升压直流斩波电路图

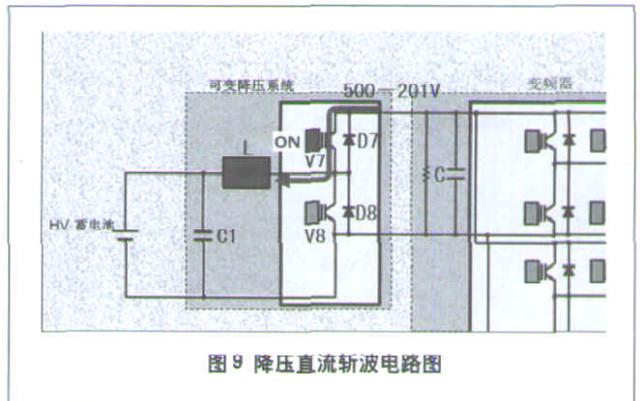


图9 降压直流斩波电路图

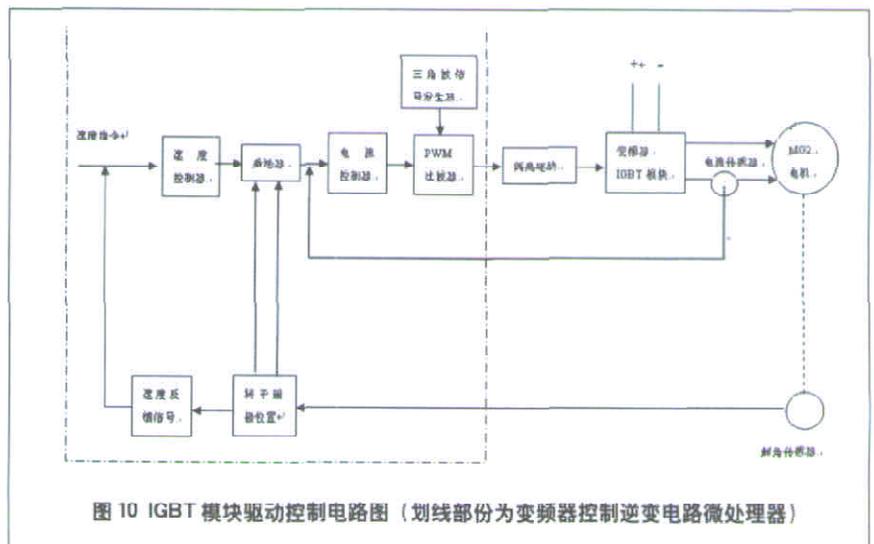


图10 IGBT模块驱动控制电路图(划线部份为变频器控制逆变电路微处理器)

控制逆变电路的微处理器。微机储存的电机 MG2 速度指令与电机 MG2 解角传感器的速度反馈信号进行比较,速度控制器输出一个直流电流指令信号,经过与电机 MG2 解角传感器的转子磁极位置信号相乘,得到电机 MG2 工作所需的电流指令信号,参考跟踪电机 MG2 实际工作电流信号,通过 PWM 比较器(脉冲宽度调制)计算后,转换成开关信号输出。

该信号经过隔离电路后,直接驱动变频器三组逆变电路 IGBT 模块中 V1 ~ V6 控制极快速导通与关断,实现变频器输出电流的逆变、换相和定向目的。

## 七、维修 THS- 电动机及驱动系统注意事项

1. 首先必须辨别 THS- 电动机驱动系统高压回路部份的电线和连接器都为橙

色,并与其他线路及车身绝缘。

2. 在检查 THS- 电动机驱动系统高压电路之前,必须戴上绝缘手套,拆下维修插销(图 11),放在技师口袋内。

3. 断开维修插销,5min 内请不要接触任何高压连接器或端子,因为变频器内的高压电容器需要 5min 的放电时间。

4. 当维修插销无法拆下时,可以将发动机舱内的 HV 保险丝取下(图 12),从而达到断开高压线路的目的。

5. 安装插销时,必须确认其分离杆锁止是否牢固,否则将会出现 THS- 系统故障代码。M

(编辑 安琦)

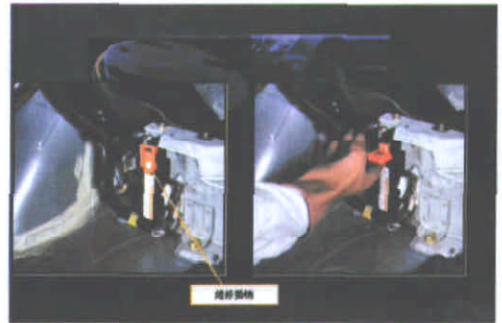


图 11 THS- II 电动机驱动系统高压电路维修插销



图 12 发动机舱内 HV 保险丝