

平头哥 CDK 助力中科昊芯 HX2000 系列芯片之双电机有感 FOC 控制系统专题（二）永磁电机开环

自中科昊芯推出专题阐述 HXS320F28034 双电机有感 FOC 控制系统实现以来，上期着重分析了 HXS320F28034 数字信号处理器实现较优的双电机有感 FOC 控制的原理，本次采用平头哥半导体有限公司的剑池集成开发环境（简称“CDK”）V2.10.3 版本与 AioneMotor_DSC28034 电机驱动一体板联合开发永磁电机开环控制，着重阐述永磁电机 BLDC 的开环控制，优势在于实现原理简单。双闭环调速与 FOC 控制将在后续内容中逐渐展开。

霍尔检测的原理如图 1，霍尔位置检测出如图中绿、紫、棕线所示的转子位置 HA、HB、HC 信号时，定子按检测的位置信号，三相两两通电，每 60 度切换一次导通顺序，使永磁体转子旋转，在电机内部产生变化的磁场，每相绕组都会感应出反电动势如图中 U、V、W。

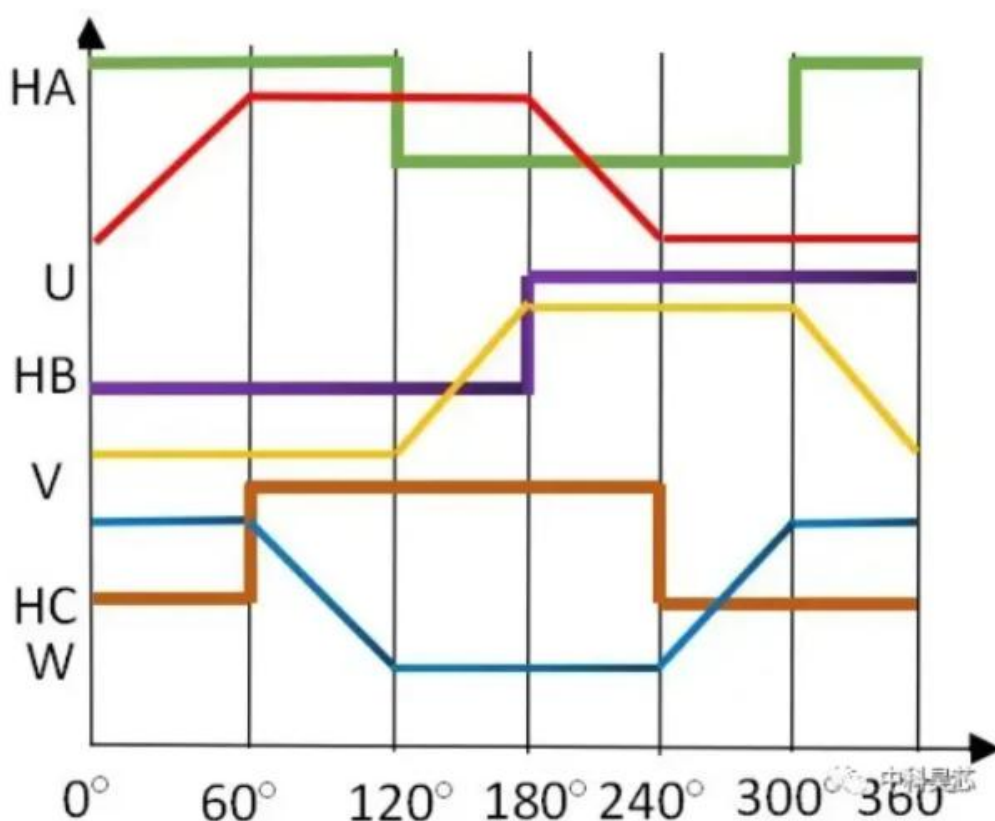


图1

典型的 BLDC 三相全桥 PWM 控制与逆变电路原理如图 2

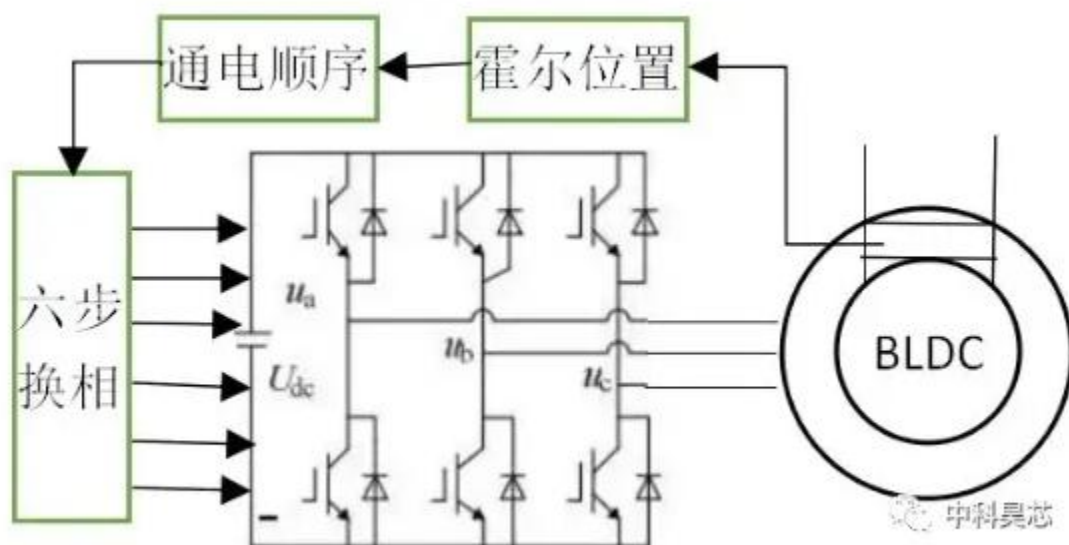


图2

通过 BLDC 内置的霍尔位置传感器检测当前转子位置信息, 每 60 度切换一次导通顺序, 以控制逆变电路中三桥臂 6 个开关管的通断, 导通时序如图 3

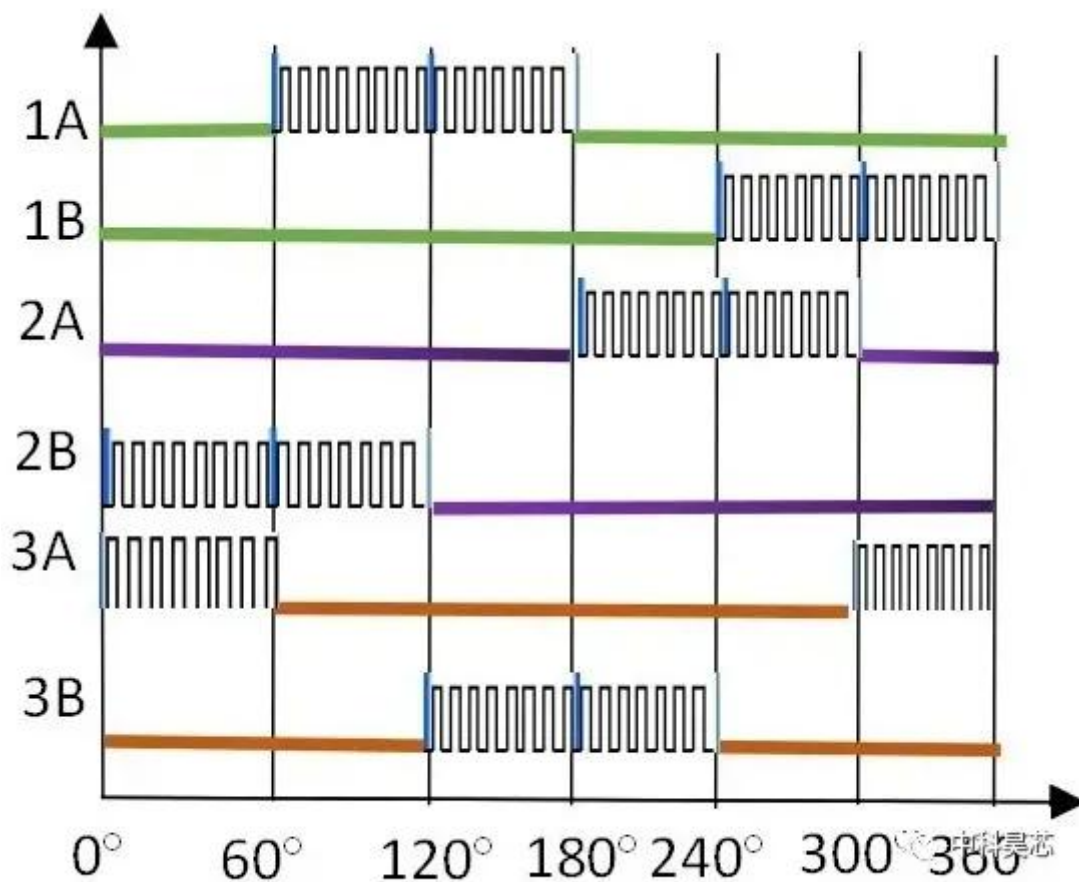


图3

依照上述原理，设计 HXS320F28034 永磁电机开环控制系统如图 4

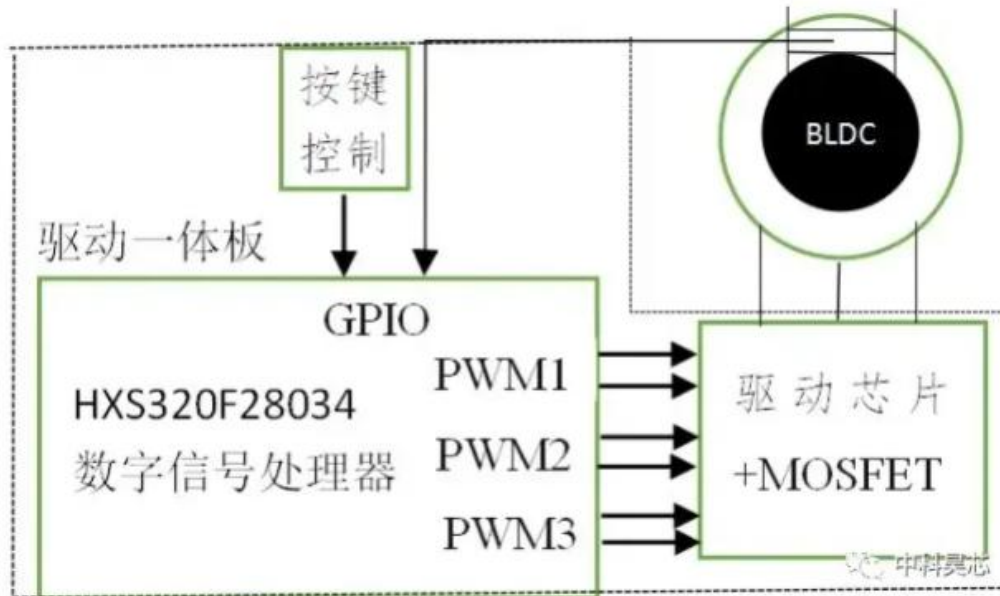


图4

通过 GPIO 按键控制电机使能，PWM 模块发出方波给驱动芯片来驱动 BLDC 进行旋转。硬件连接如图 5



系统所采用的软硬件开发环境详见《芯教程 | 平头哥 CDK 助力中科昊芯 HX2000 系列芯片之双电机有感 FOC 控制系统专题（一）》。

根据上述分析，基于 CDK 开发开环控制输出，代码包括：PWM 的外设 GPIO 引脚配置、三路三相 PWM 波输出配置，霍尔位置采样、按六步换相输出的 ePWM 事件触发中断服务程序，主程序执行调用，其中单路 PWM 配置代码如下：

例程主要代码：

```
void InitEPwm1Example() {
/*配置 EPWM 输出频率为 3000*2*TBCLK=20kHz*/
EPwm1Regs.TBPRD=3000;
/*配置 EPWM 输出相位不偏移*/
EPwm1Regs.TBPHS.half.TBPHS=0;
/*配置 EPWM 的 TBCTR 计数初值为 0*/
EPwm1Regs.TBCTR=0x0000;
/*上电未按下启动先封波*/
EPwm1Regs.CMPA.half.CMPA=0;
EPwm1Regs.CMPB=0;
/*配置 EPWM 的 TBCTR 采用向上向下计数*/
EPwm1Regs.TBCTL.bit.CTRMODE=TB_COUNT_UPDOWN;
/*配置 EPWM 输出不装载相位偏移*/
EPwm1Regs.TBCTL.bit.PHSEN=TB_DISABLE;
/*配置 EPWM 时基频率 TBCLK 为系统时钟，不进行分频*/
EPwm1Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV=TB_DIV1;
EPwm1Regs.TBCTL.bit.CLKDIV=TB_DIV1;
/*比较模块 CMPA 采用影子寄存器装载模式*/
EPwm1Regs.CMPCTL.bit.SHDWAMODE=CC_SHADOW;
EPwm1Regs.CMPCTL.bit.SHDWBMODE=CC_SHADOW;
/*比较模块 CMPA 从 CTR=0 时开始装载*/
EPwm1Regs.CMPCTL.bit.LOADAMODE=CC_CTR_ZERO;
EPwm1Regs.CMPCTL.bit.LOADBMODE=CC_CTR_ZERO;
/*TBCTR 向上计数时，达到 CMPA 事件，EPWM1A 产生置低动作*/
EPwm1Regs.AQCTLA.bit.CAU=AQ_CLEAR;
/*TBCTR 向下计数时，达到 CMPA 事件，EPWM1A 产生置高动作*/
```

```

EPwm1Regs.AQCTLA.bit.CAD=AQ_SET;

/*TBCTR 向下计数时，达到 CMPB 事件，EPWM1B 产生置高动作*/
EPwm1Regs.AQCTLB.bit.CBD=AQ_SET;

/*TBCTR 向上计数时，达到 CMPB 事件，EPWM1B 产生置低动作*/
EPwm1Regs.AQCTLB.bit.CBU=AQ_CLEAR;

/*中断事件选择，当 CTR=0 时开始产生事件中断*/
EPwm1Regs.ETSEL.bit.INTSEL=ET_CTR_ZERO;

/*中断事件选择，事件中断的使能信号*/
EPwm1Regs.ETSEL.bit.INTEN=1;

/*中断事件分频配置，每周期产生 1 次中断*/
EPwm1Regs.ETPS.bit.INTPRD=ET_1ST;
}

```

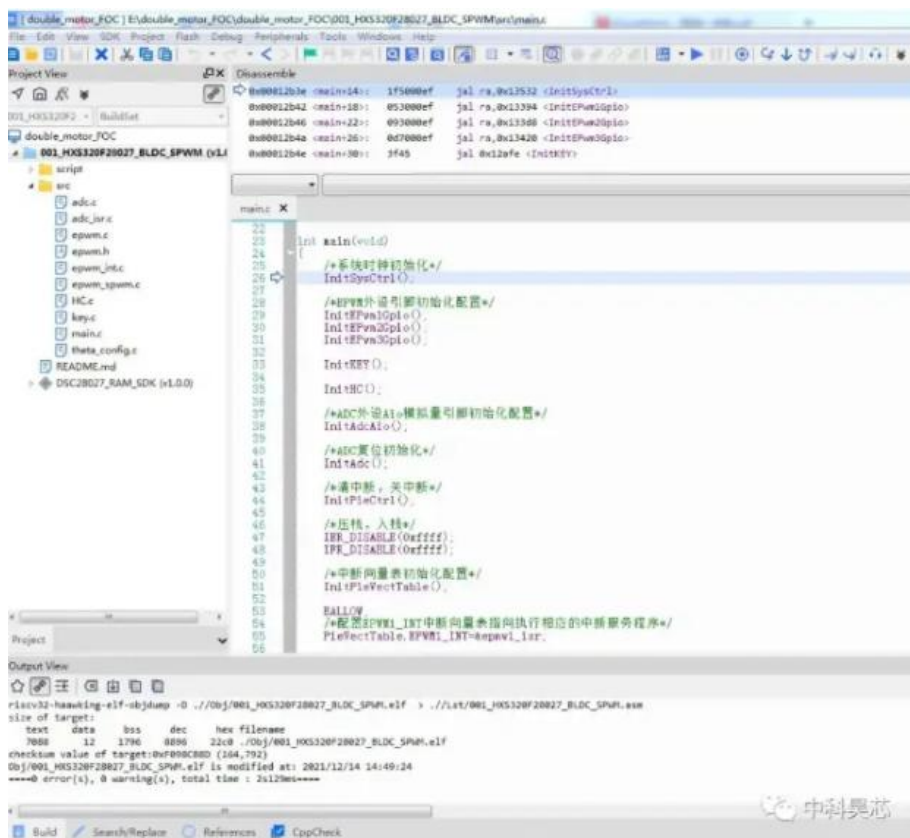
CDK 上开发永磁电机开环控制程序，其编译结果为：

```

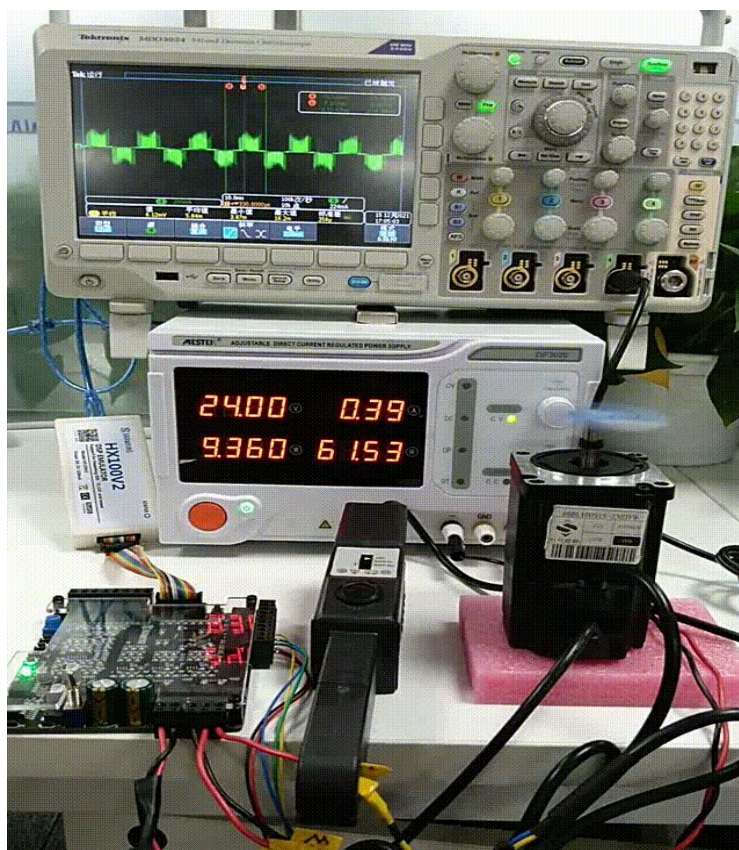
double_motor_FOC [E:\double_motor_FOC\double_motor_FOC\001_HXS320F28027_BLDK_SPWM\src\main.c
File Edit View SDK Project Flash Debug Peripherals Tools Windows Help
Project View
001_HXS320F2 BuildSet
double_motor_FOC
001_HXS320F28027_BLDK_SPWM (v1.0.0)
  script
  src
    adc.c
    adc_isr.c
    epwm.c
    epwm.h
    epwm_int.c
    epwm_spwm.c
    HC.c
    key.c
    main.c
    theta_config.c
    README.md
    DSC28027_RAM_SDK (v1.0.0)
main.c
22 int main(void)
23 {
24     /*系统时钟初始化*/
25     InitSysCtrl();
26     /*EPWM外设引脚初始化配置*/
27     InitEPwmGpio();
28     InitEPwm2Gpio();
29     InitEPwm3Gpio();
30     InitKEY();
31     InitBC();
32     /*ADC外设A1e模拟量引脚初始化配置*/
33     InitAdcAio();
34     /*ADC寄存器初始化*/
35     InitAdc();
36     /*清中断，关中断*/
37     InitPieCtrl();
38     /*压栈，入栈*/
39     IER_DISABLE(0xffff);
40     IPR_DISABLE(0xffff);
41     /*中断向量表初始化配置*/
42     InitPieVectTable();
43     /*配置EPWM1_INT中断向量指向执行相应的中断服务程序*/
44     PieVectTable.EPWM1_INT=epwm1_isr;
45     /*配置ADCINT3_INT中断向量指向执行相应的中断服务程序*/
46     PieVectTable.ADCINT3=adc_isr;
47     EDIS;
48     /*禁止EPWM的时基使能，允许EPWM初始化配置写入*/
49     SysCtrlRegs.PCLKCR0.bit.TBCLKSYNC=0;
50     EDIS;
51     /*EPWM的初始化配置*/
52     InitEPwmExample();
53     InitEPwm2Example();
54     InitEPwm3Example();
55     return 0;
56 }
Output View
7808 12 1796 8896 22c0 ./Obj\001_HXS320F28027_BLDK_SPWM.e1f
checksum value of target:0xF096C80D (164,792)
Obj\001_HXS320F28027_BLDK_SPWM.e1f is modified at: 2021/12/14 14:49:24
---0 error(s), 0 warning(s), total time : 2s129ms---
Build Search/Replace References CppCheck

```

编译通过后，就可以开始调试了，调试结果如下：



调试后，永磁电机的转动效果如下，由于驱动 BLDC 的 PWM 占空比信号按正弦规律变化，故其电流波形呈现动态变化。



关于中科昊芯

“智由芯生 创享未来”，中科昊芯是数字信号处理器专业供应商。作为中国科学院科技成果转化企业，瞄准国际前沿芯片设计技术，依托多年积累的雄厚技术实力及对产业链的理解，以开放积极的心态，基于开源指令集架构 RISC-V，打造多个系列数字信号处理器产品，并构建完善的处理器产品生态系统。产品具有广阔的市场前景，可广泛应用于数字信号处理、工业控制及电机驱动、数字电源、消费电子、白色家电等领域。