Fortior Tech

控制核芯　驱动未来

基于直流无刷空调室内机电机控制方案

峰岹科技（深圳）股份有限公司

峰岹科技——全球领先的电机驱动控制芯片企业

产品服务

高性能电机驱动控制专用芯片及系统方案服务商

技术优势

拥有世界领先集成电子电路设计、电机设计及电机驱动架构技术

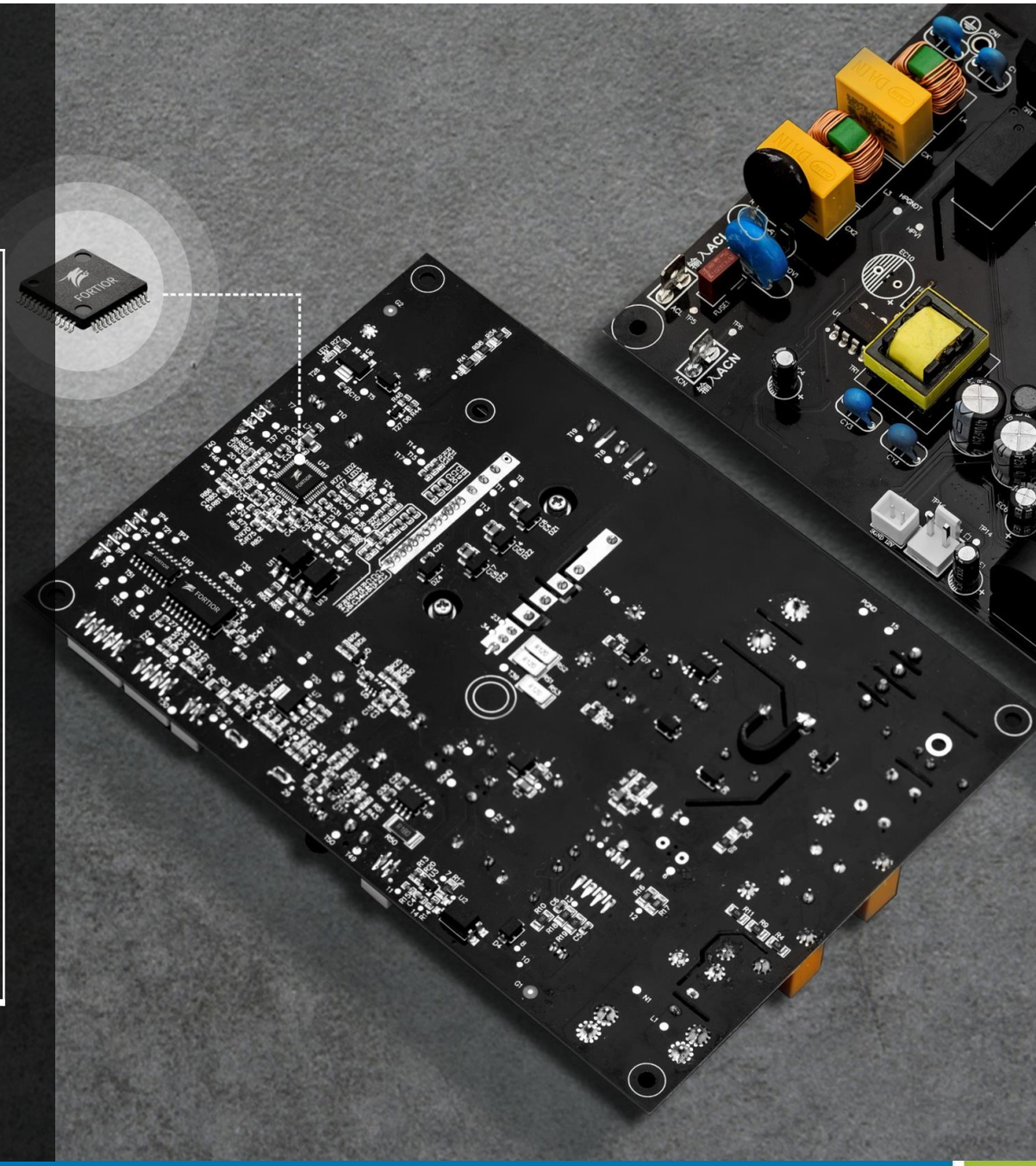
研发实力

全球两大研发中心设立深圳、新加坡，致力于提供高可靠性、高品质、高性价比的IC产品与服务

概述

峰岹科技（深圳）股份有限公司（简称“峰岹科技”）是一家专注于高性能电机驱动控制芯片设计及核心应用控制算法研发的高科技企业。公司自主研发：电机控制芯片设计技术、电机设计技术、驱动架构、传感器技术及电机矢量控制算法等；峰岹科技芯片产品和应用方案垂直细分市场分布于消费电子、电动工具、运动及出行、IT及通信设备、智能机器人、工业及汽车等领域。

峰岹科技成立于2010年， 总部设在深圳，公司在中国和新加坡设立两大研发中心，上海、青岛、顺德、 合肥、新北、新加坡设有分支机构，市场业务覆盖亚洲、北美、欧洲等国家和地区，为客户提供高稳定性、高集成度、高能效的产品和及时的服务，峰岹科技正逐步成为具有全球影响力的电机驱动控制芯片企业。



OUR STRENGTHS
技术团队 R&D TEAM

电机驱动IC

01 芯片设计团队

- 获多项国内国际专利
- 获选国家级特聘专家
- 获深圳市海外高层次A类人才和南山区领航人才
- 在模拟、数字和功率半导体芯片领域深耕多年
- 近20年芯片产品研发经验
- 在融合多种芯片技术上驾轻就熟

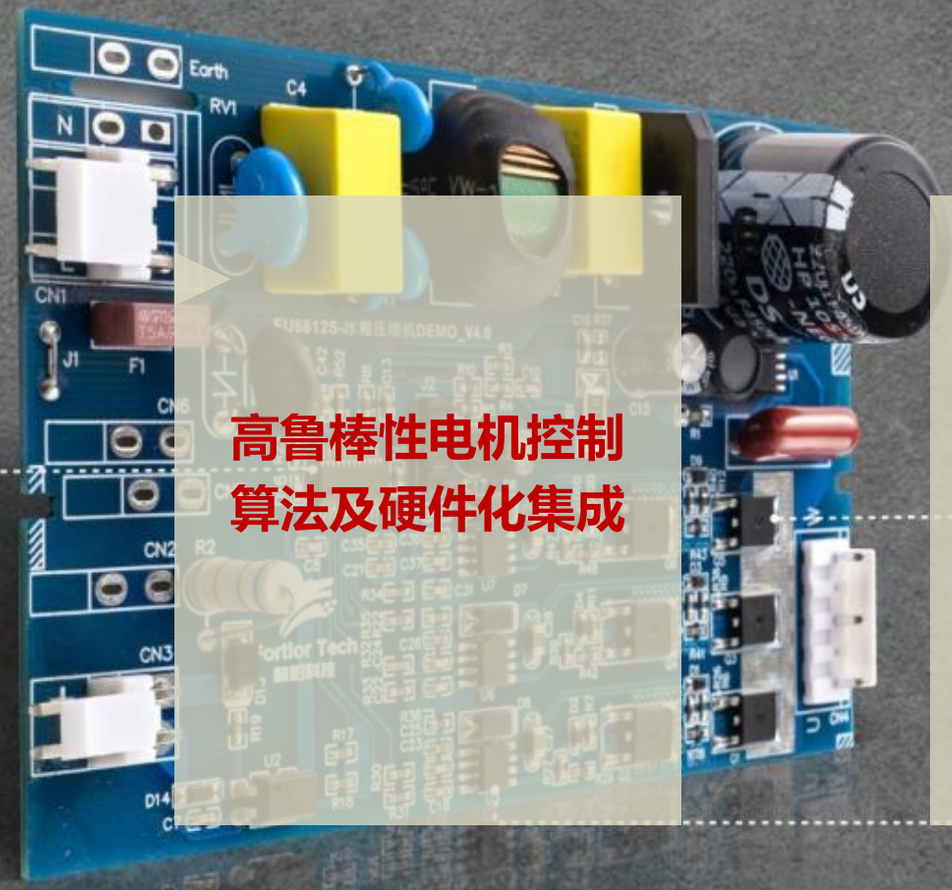
02 电机驱动架构团队

- 新加坡国立大学博士带队
- 获多项国内国际专利
- 在国际顶级专业杂志发表多篇论文
- 在多种电机驱动技术、控制技术和应用系统开发上经验丰富
- 洞悉新的电机控制技术

03 电机设计团队

- 新加坡国立大学博士带队，曾获得新加坡国家“科学技术大奖”
- 获多项国内国际专利
- 获选国家级特聘专家
- 获深圳市海外A类人才和南山区领航人才

技术优势 Technical Superiority



完全自主知识产权
电机驱动控制内核

电机主控芯片MCU

高鲁棒性电机控制
算法及硬件化集成

高性能、高集成度
电机专用控制芯片

功率器件

电机驱动芯片HVIC

芯片产品

Chip Design

点击了解更多 产品介绍

三相ASIC

三相方波，准正弦波，正弦波和FOC控制芯片，支持有/无霍尔电机

单相ASIC

单相有霍尔、霍尔不敏感类产品，输出驱动方式内/外置MOS、半内置MOS

功率器件

包括高低压，专门针对电机驱动的MOSFET产品

MCU

集成8051内核和电机控制引擎（ME）的双核MCU，适用无刷直流电机和永磁同步电机驱动及外围应用

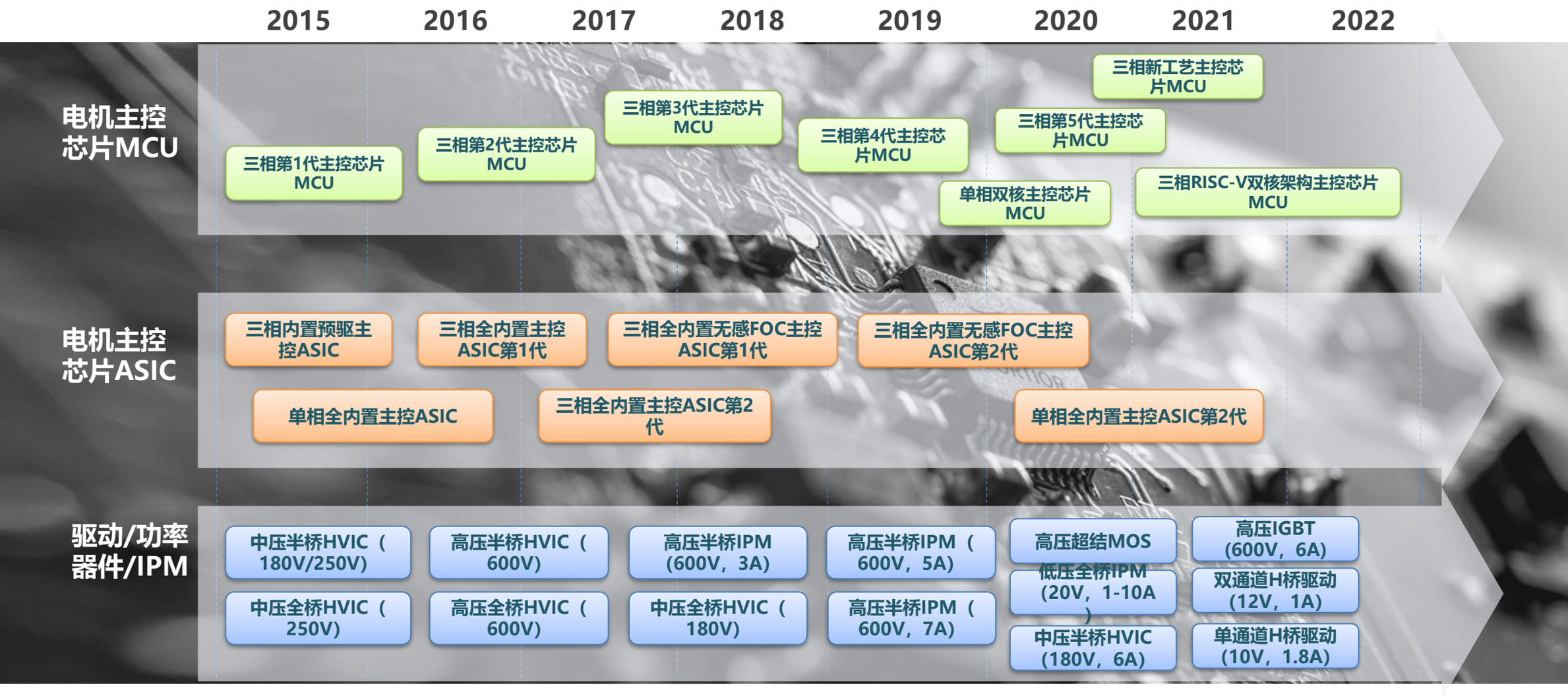
驱动 IC

包括双通道和六通道等产品，功能包括有常用的欠压保护、死区保护和过压保护等。门/栅极驱动能力强

IPM

高压BCD工艺平台和高低压功率半导体技术，国内首推半桥智能功率模块

产品规划 Typical Application



细分领域
Niche Areas

FORTIOR TECH

消费电子
智能小家电
智能厨电
个护健康
白色家电

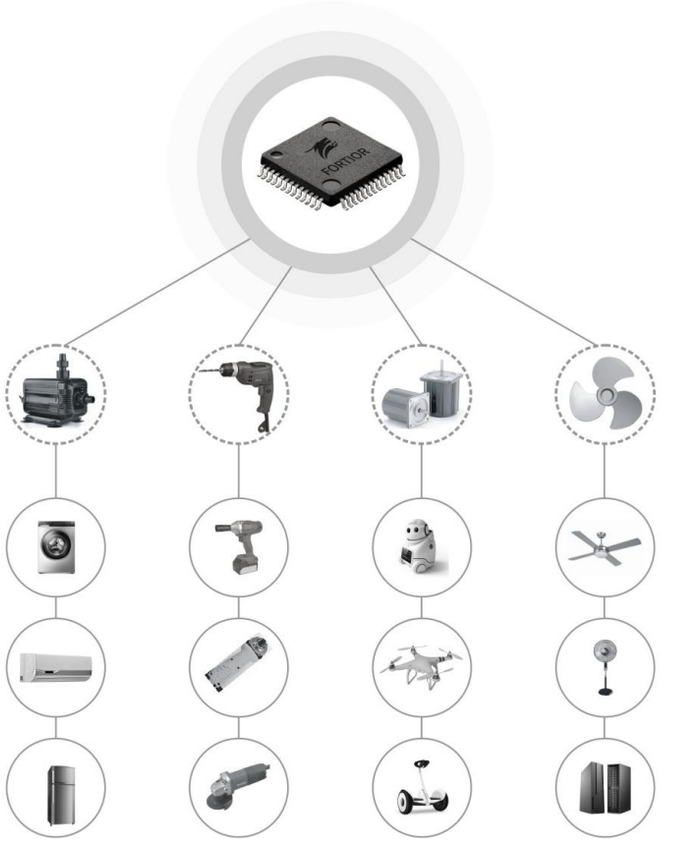
电动工具
电钻
电扳
角磨
园林工具

运动及出行
电动自行车
跑步机
智能平衡车
航模

IT及通信设备
通信散热风扇
视频安防
PC散热风扇
数据中心散热风扇

智能机器人
服务机器人
智能手臂

汽车及工业
工业缝纫机
工业风机
工业水泵
车载空调
车载冰箱



Agenda

01 峰岹空调内机方案

02 原理图设计

03 SVPWM 实现原理

04 认识空调电机，HALL 的安装

05 空调方案GUI调试

峰岹产品-MCU

◆方案：FU6812S+FS236(600V 3A)

◆集成度高：内置LDO，运放，比较器

◆调速模式：PWM或VSP调速模式

◆转速范围：200RPM~1600RPM

◆功率范围：1W~60W

◆无感FOC易安装、噪音低、效率高

◆可实现滤网报警功能

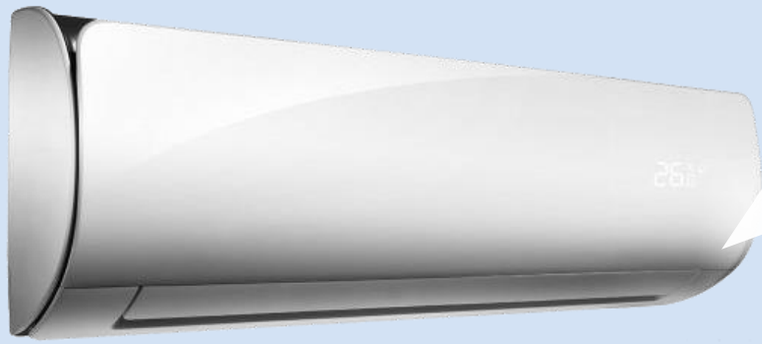
峰岹产品-ASCI

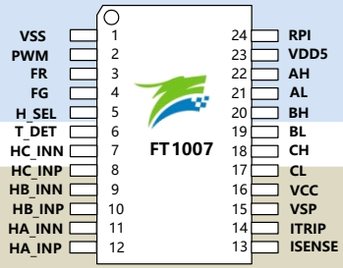
1 应用方案

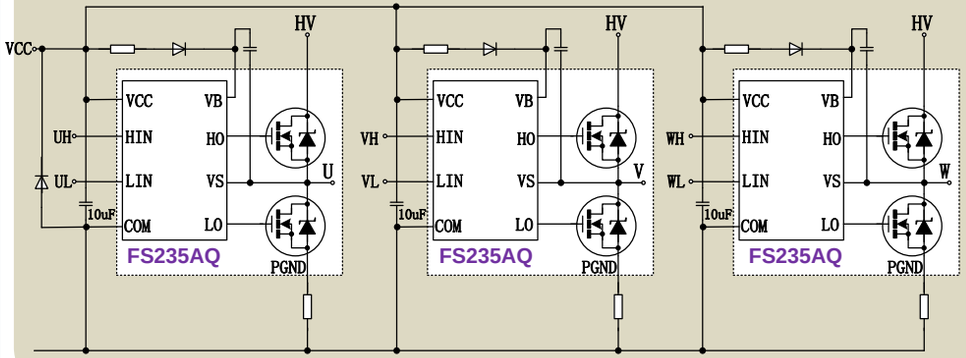
FT1007 + 3 * FS236

2 功能特点

- 3 HALL (Hall element / IC)
- SVPWM
- 过流保护，过温控制，限流保护，堵转保护，限制温度
- 软启动
- VSP调速 （2.1V~5.4V)
- FG*3 output
- 电源电压DC310V, DC15V
- 输入功率范围: <50W

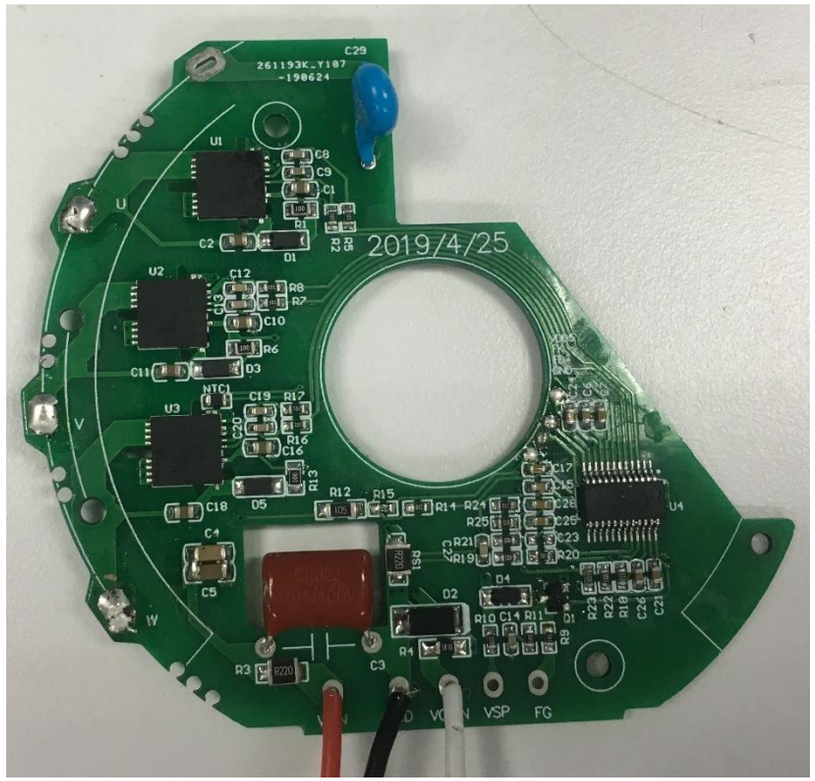


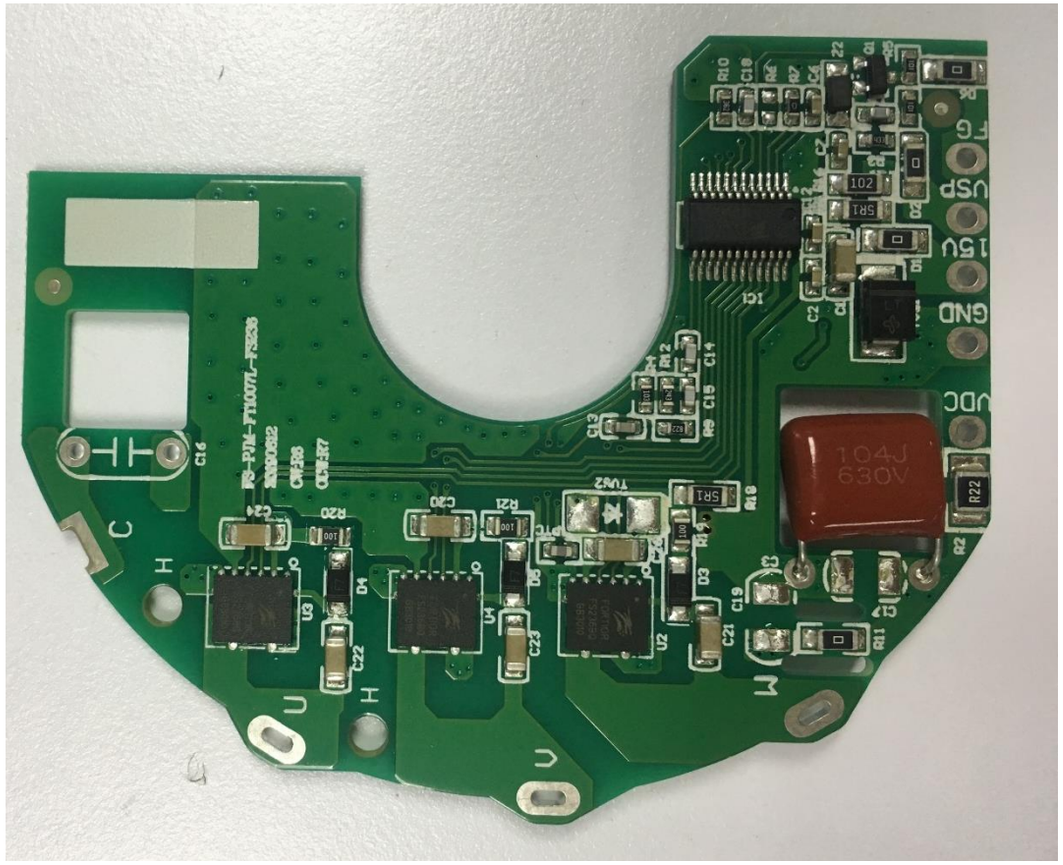




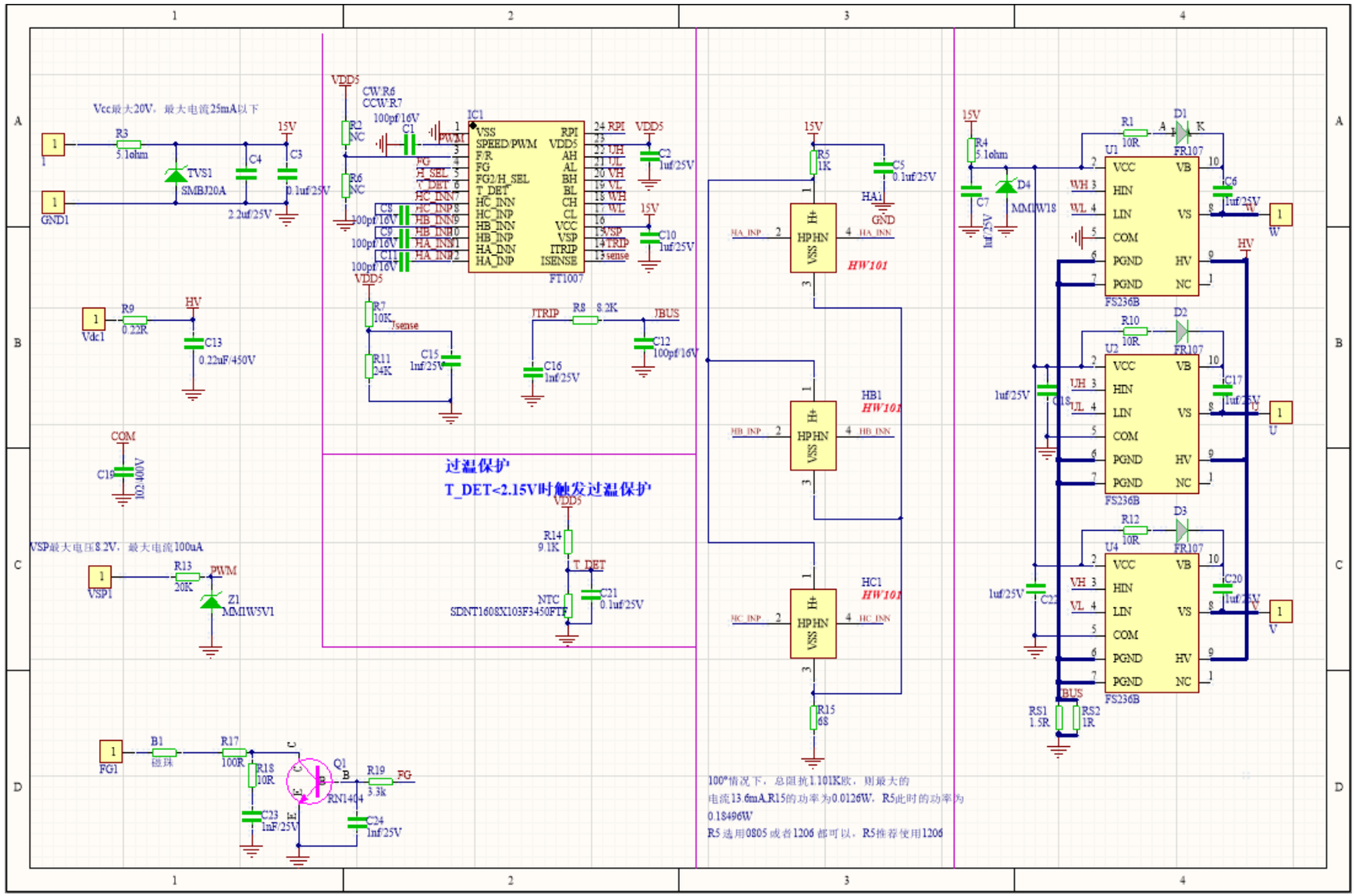
峰岹产品-MCU

空调内外机 —— 驱动板

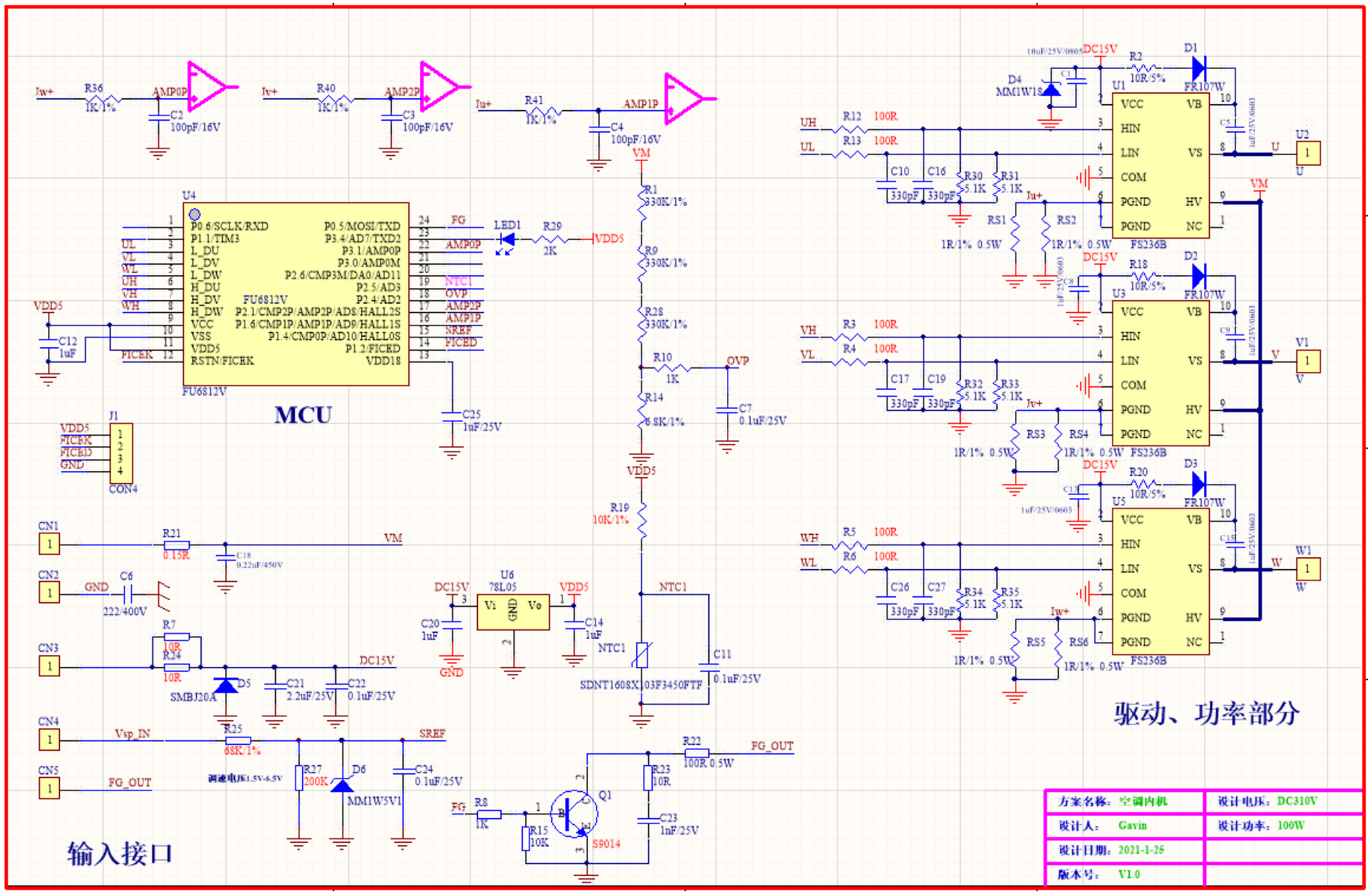




ASCI原理图设计


Vcc最大20V，最大电流25mA以下
R3 5.1ohm
TVS1 SMBJ20A
C4 2.2uf/25V
C3 0.1uf/25V
15V
GND1
VDD5
CW/R6
CCW/R7
R2 NC
R6 NC
100pf/16V
C1
IC1
VSS
SPEED/PWM
F/R
FG
FG2/H_SEL
T_DET
HC_INN
HC_INP
HB_INN
HB_INP
HA_INN
HA_INP
RPI
VDD5
UH
UL
VH
VL
WH
WL
ITRIP
VSP
TRIP
Isense
ISENSE
FT1007
C2 1uf/25V
C10 1uf/25V
C8 100pf/16V
C9 100pf/16V
C11 100pf/16V
R7 10K
Isense
R11 24K
C15 1nf/25V
R8 8.2K
ITRIP
IBUS
C16 1nf/25V
C12 100pf/16V
R9 0.22R
Vdc1
HV
C13 0.22uF/450V
COM
C19 102/400V
过温保护
T_DET<2.15V时触发过温保护
R14 9.1K
T_DET
NTC SDNT1608X103F3450FTF
C21 0.1uf/25V
VSP最大电压8.2V，最大电流100uA
VSP1
R13 20K
PWM
Z1 MMBW5V1
FG1
B1 磁珠
R17 100R
R18 10R
Q1 RN1404
R19 3.3k
FG
C23 1nF/25V
C24 1nf/25V
R5 1K
C5 0.1uf/25V
HA1
GND
HA_INP
HA_INN
HP
HN
VSS
HW101
HB1
HB_INP
HB_INN
HC1
HC_INP
HC_INN
R15 68
100°情况下，总阻抗1.101K欧，则最大的电流13.6mA,R15的功率为0.0126W，R5此时的功率为0.18496W
R5 选用0805或者1206都可以，R5推荐使用1206
R4 5.1ohm
C7 1uf/25V
D4 MMBW18
R1 10R
D1 FR107
U1
VCC
HIN
LIN
COM
PGND
NC
VB
HV
VS
FS236B
C6 1uf/25V
W
R10 10R
D2
U2
C17 1uf/25V
U
R12 10R
D3
U4
C20 1uf/25V
V
C18 1uf/25V
C22 1uf/25V
RS1 1.5R
RS2 1R

MCU 原理图设计


MCU
FU6812V
驱动、功率部分
输入接口
方案名称：空调内机
设计电压：DC310V
设计人：Gavin
设计功率：100W
设计日期：2021-1-26
版本号：V1.0

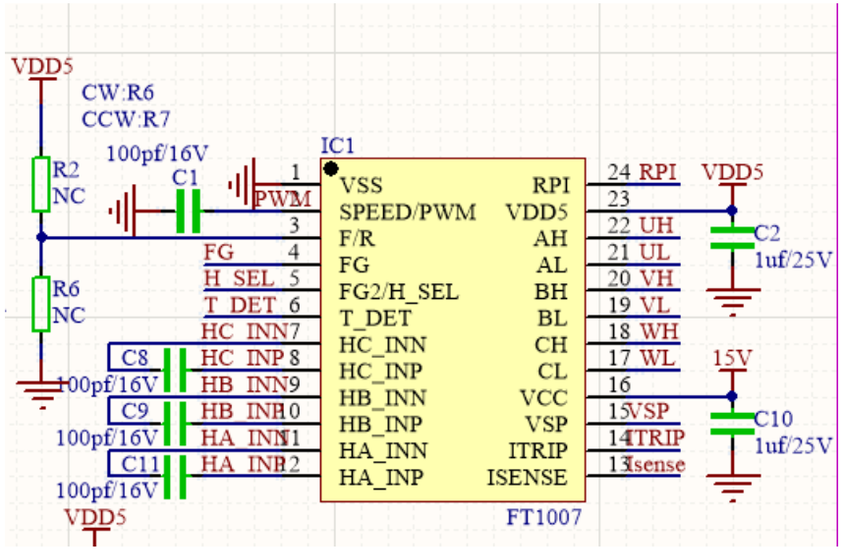
原理图设计

- 主控电路设计
- HALL 电路电路设计
- 半桥模块电路设计
- 保护电路设计

主控电路设计

必要电容器件：
VCC电容1个（1-10uF）
VDD5（VCC）电容1个（1-4.7uF)
HALL输入电容（100pF~0.1UF)
内置比较器可以选择滞回（5mV,20mV)

IC 3脚可以通过外部电阻选择F/R
IC 5脚选择HALL 安装角度（超前30°，滞后30度，重合30°）
IC 7脚温度保护管脚，选用NTC 做温度保护，PTC PTC离散性大。
IC 14脚限流，过流输入，此回路layout 要求尽量短

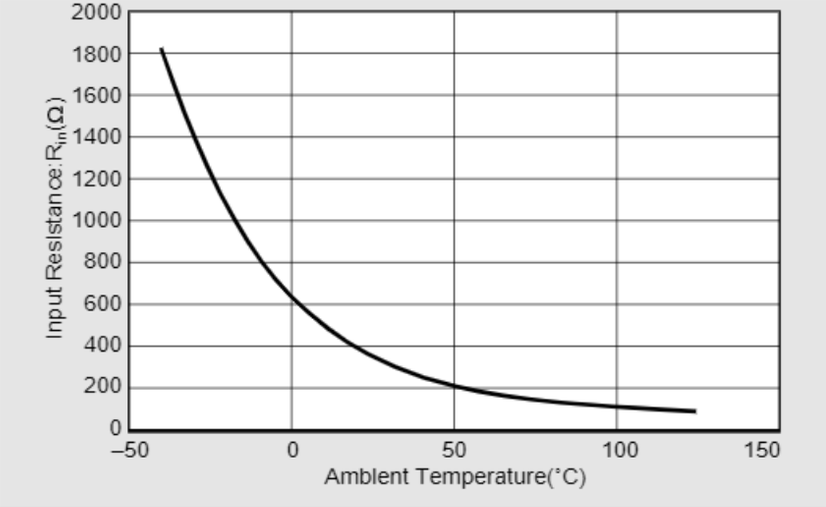


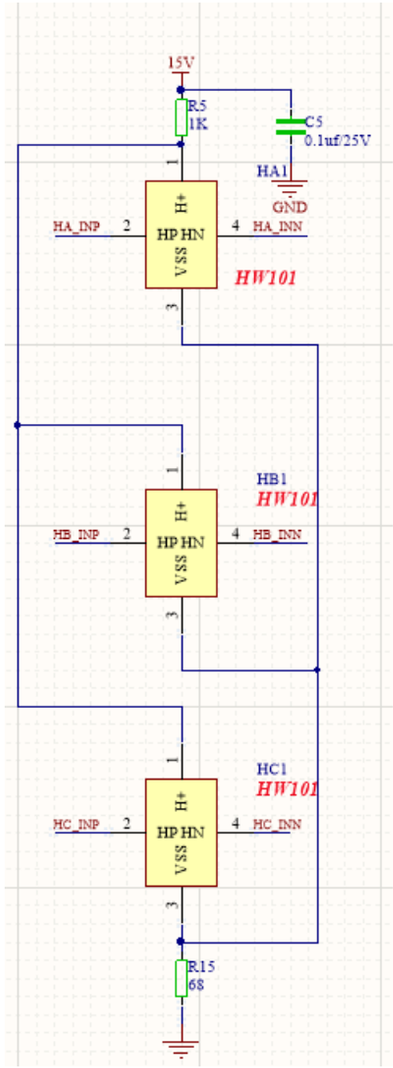
HALL 电路电路设计

HALL 随温度变化阻抗变化较大，如下图为模型号hall sensor 随环境温度变化，电阻变化的曲线，温度越高 HALL 的阻抗就约小，下图100度的情况时，HALL的阻抗变为100欧，相比与正常温度阻抗减小了接近200欧，右图中HALL 并联，所以总的阻抗为33.3欧，此时的电流 I=15/(1000+33.3+68)=13.6mA

R5的功率为0.0126W，R15此时的功率为0.18496W

R5 选用0805 或者1206 都可以，R15推荐使用1206



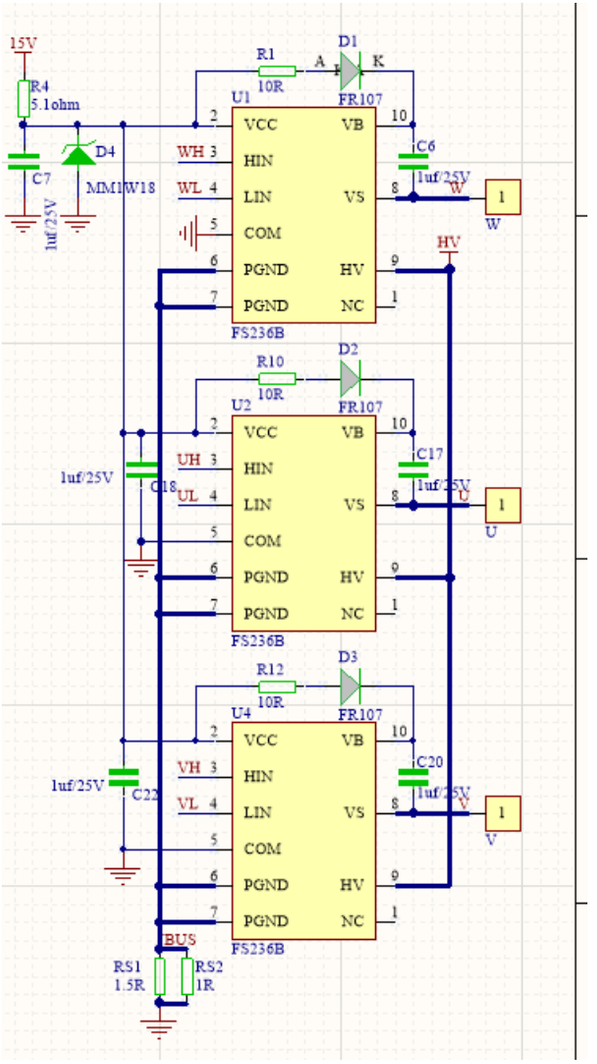


半桥模块电路设计

注意

HVIC部分：自举电容的选取，一般用1-10uF/25V

模块的选取：
主要考虑：耐压/耐流/内阻等参数；
mos封装主要根据PCB板框，散热等来确定



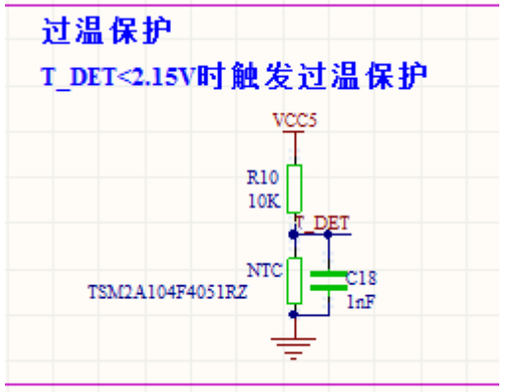
温度保护外部调节

FT1007 外部有一个温度控制管脚T_DET,可通过在T_DET pin脚加NTC实现温度控制功能，如下图，功能描述如下：

当电机温度高时，NTC阻变小，T_DET电压下降，当T_DET电压低于2.15V时，输出PWM DUTY会缓慢降低，使电机速度下降，电机温度下降；

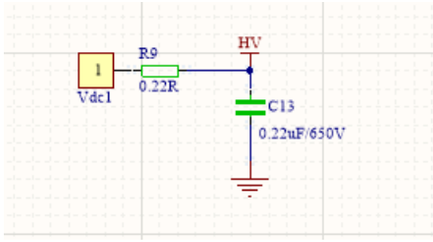
当电机温度下降时，NTC阻值变大，T_DET变高，当T_DET电压恢复到2.15以上时，输出PWM DUTY 缓慢增加，电机速度上升，一直到输出PWM DUTY等于目标DUTY；

如果T_DET一直低于2.15V，输出PWM DUTY 会降到IC设置的最小DUTY（目前IC能降到的最小DUTY是4%）

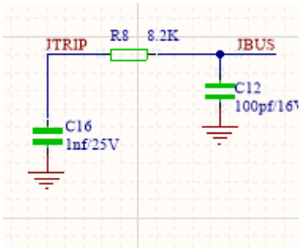


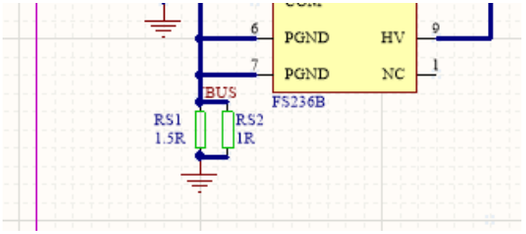
保护电路设计

热插拔防护电路，如右图串入的电阻功率建议给到2W,650V 0.22uF CBB 配合我司模块可以有效的防止运行过程中出现的热插拔



限流门限 0.25V
过流门限 0.5V
过温保护 低于2.15V 触发温度保护





示例：
Rs=1欧//1.5欧，则限流值=0.25/0.6=0.416A ,硬件过流值=0.5/0.6=0.833A

SVPWM 简介
SVPWM 优点
SVPWM 实现理论推导
空调 电机， HALL 安装

SVPWM 简介

SVPWM 控制策略是依据变流器空间电压（电流）矢量切换来控制变流器的一种新颖思路和控制策略，其主要思想在于抛弃原有的 SPWM 算法，采用逆变器空间电压矢量的切换以获得准圆形旋转磁场，从而在不高的开关频率条件下，使得电机获得较 SPWM 算法更好的控制性能。

SVPWM 算法实际上是对应于电机中的 相电压源逆变器功率器件的一种特殊的开关触发顺序和脉宽大 的组合，这种开关触发顺序和组合将在定子线圈中产生 相互差 120 电角度、失真较小的正弦波电流波形。 磁链的轨迹是交替使用不同的电压空间矢量得到的，所以又称“电压空间矢量PWM（SVPWM，Space Vector PWM）控制”。

SVPWM 优点

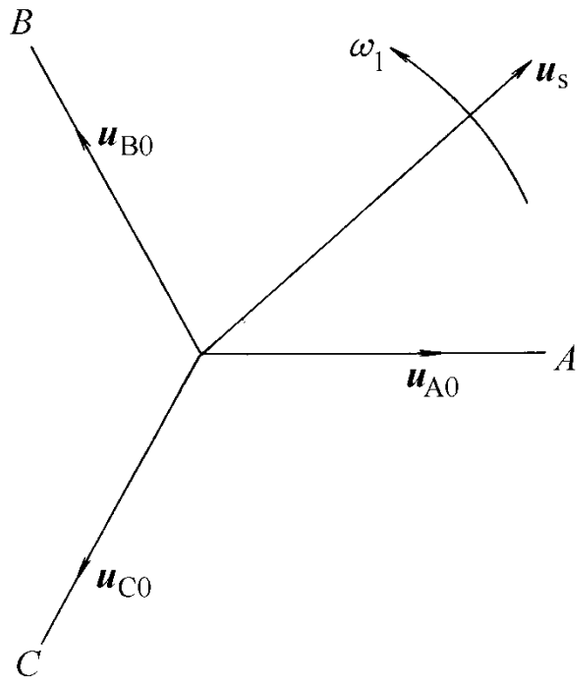
1、SVPWM 优化谐波程度比较高，消除谐波效果要比 SPWM 好，实现容易，并且可以提高电压利用率；

2、SVPWM 算法提高了电压源逆变器的 直流电压利用率和电机的动态响应速度，同时减小了电机的转矩脉动等缺点；

3、SVPWM 比较适合于数字化控制系统目前以微控器为核心的数字化控制系统是其发展的一 种趋势，所以逆变器中采用 SVPWM 应是优先的选择 。

➢空间矢量的定义

交流电动机绕组的电压、电流、磁链等物理量都是随时间变化的，如果再考虑到它们所在绕组的空间位置，如图所示，可以定义为空间矢量u_{A0}，u_{B0}，u_{C0}。



- 定子电压空间矢量：uA0 、 uB0 、 uC0 的方向始终处于各相绕组的轴线上，而大小则随时间按正弦规律脉动，时间相位互相错开的角度也是120°。
- 合成空间矢量：由三相定子电压空间矢量相加合成的空间矢量 us 是一个旋转的空间矢量，它的幅值是每相电压值的3/2倍。 (为什么?)

设直流母线侧电压为Udc，逆变器输出的三相相电压为UA、UB、UC，其分别加在空间上互差120°的三相平面静止坐标系上，可以定义三个电压空间矢量 Ua、Ub、Uc，它们的方向始终在各相的轴线上，而大小则随时间按正弦规律做变化，时间相位互差120°。假设Um为相电压有效值，f为电源频率，则有：$\theta = 2\pi ft$

$$u_a = U_m \cos wt$$

$$u_b = U_m \cos(wt - \frac{2}{3}\pi)$$

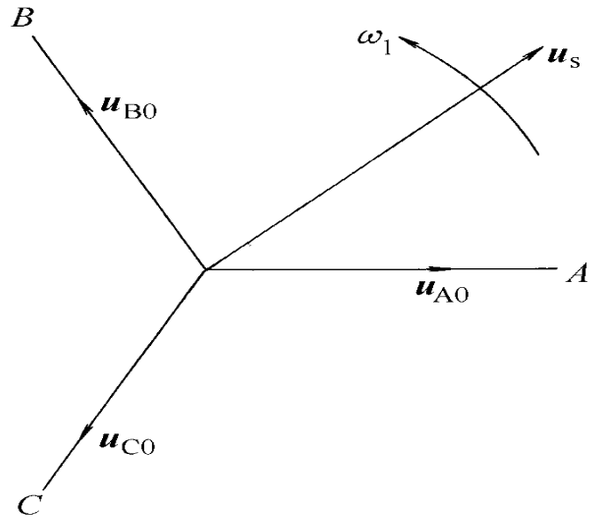
$$u_c = U_m \cos(wt + \frac{2}{3}\pi)$$

(1-1)

则三相电压空间矢量相加的合成空间矢量U(t)就可以表示为：

$$U_{(t)} = u_a + u_b e^{j\frac{2}{3}\pi} + u_c e^{j\frac{4}{3}\pi} = \frac{3}{2} U_m e^{jwt} \qquad (1\text{-}2)$$

可见 U(t)是一个旋转的空间矢量，它的幅值为相电压峰值的1.5倍，U_m为相电压峰值，且以角频率ω=2πf按逆时针方向匀速旋转的空间矢量，而空间矢量 U(t)在三相坐标轴(a，b，c)上的投影就是对称的三相正弦量。



由于逆变器三相桥臂共有6个开关管，为了研究各相上下桥臂不同开关组合时逆变器输出的空间电压矢量，特定义开关函数为：

(Sa、Sb、Sc)的全部可能组合共有八个，包括6个非零矢量 Ul(001)、U2(010)、U3(011)、U4(100)、U5(101)、U6(110)、和两个零矢量U0(000)、U7(111)，下面以其中一 种开关 组 合为 例分 析，假设， 此 时

$$s_x = \begin{cases} 1 \text{上桥臂导通} \\ 0 \text{下桥臂导通} \end{cases}$$

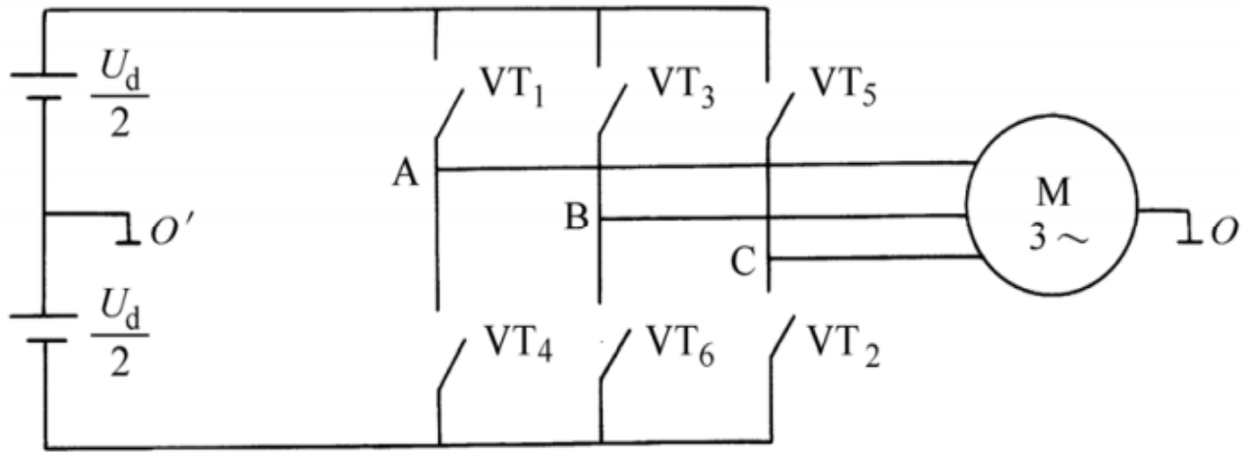
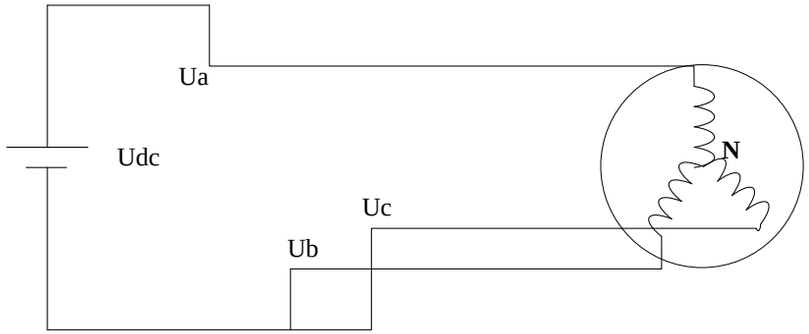


图3 三相逆变器-异步电动机调速系统主电路原理图

开关状态表

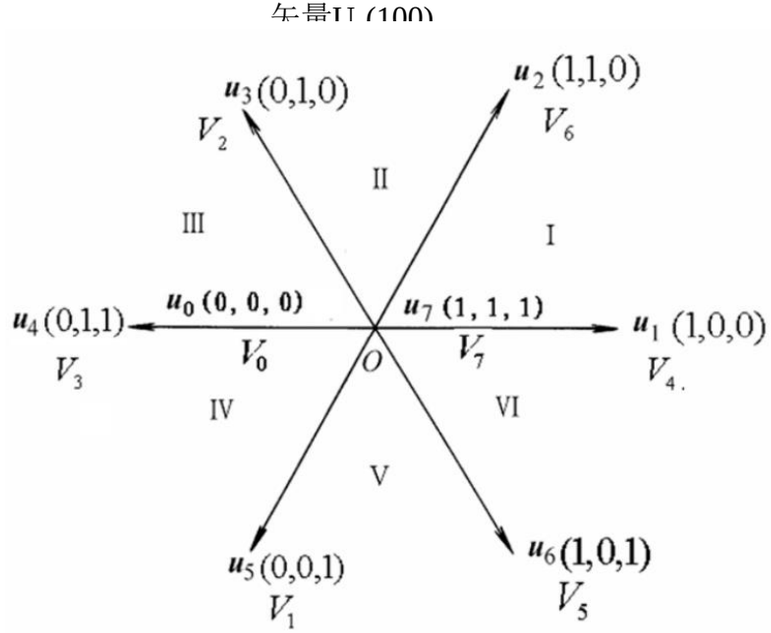
序号	开 关 状 态	开关代码
1	VT_6 VT_1 VT_2	100
2	VT_1 VT_2 VT_3	110
2	VT_2 VT_3 VT_4	010
4	VT_3 VT_4 VT_5	011
5	VT_4 VT_5 VT_6	001
6	VT_5 VT_6 VT_1	101
7	VT_1 VT_3 VT_5	111
8	VT_2 VT_4 VT_6	000

$$\begin{cases} U_{ab}=U_{dc}, U_{bc}=0, U_{ca}=-U_{dc} \\ U_{aN}-U_{bN}=U_{dc}, U_{aN}-U_{cN}=U_{dc} \\ U_{aN}+U_{bN}+U_{cN}=0 \end{cases}$$



求解上述方程可得：$U_{aN}=2U_d/3$、$U_{bN}=-U_d/3$、$U_{cN}=-U_d/3$。同理可计算出其它各种组合下的空间电压矢量，列表如下：

S_a	S_b	S_c	矢量符号	线电压			相电压		
				U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_{aN}	U_{bN}	U_{cN}
0	0	0	U_0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	U_4	U_{dc}	0	-Udc	$\frac{2}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$
1	1	0	U_6	0	U_{dc}	-Udc	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{2}{3}U_{dc}$
0	1	0	U_2	-Udc	U_{dc}	0	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$
0	1	1	U_3	-Udc	0	U_{dc}	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
0	0	1	U_1	0	-Udc	U_{dc}	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$
1	0	1	U_5	U_{dc}	-Udc	0	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
1	1	1	U_7	0	0	0	0	0	0



作用时间的确定

其中非零矢量的幅值相同(模长为$2U_{dc}/3$)，相邻的矢量间隔 60°,而两个零矢量幅值为零，位于中心。在每一个扇区，选择相邻的两个电压矢量以及零矢量，按照伏秒平衡的原则来合成每个扇区内的任意电压矢量，即：

$$\int_0^T U_{ref}dt = \int_0^{T_x} U_x dt + \int_{T_x}^{T_x+T_y} U_y dt + \int_{T_x+T_y}^{T} U_0^* dt$$

或者等效成下式：

$$U_{ref} * T = U_x * T_x + U_y * T_y + U_0 * T_0$$

其中，U_{ref} 为期望电压矢量；**T为采样周期**；T_x、T_y、T_0分别为对应两个非零电压矢量 U_x、U_y和零电压矢量 U_0在**一个采样周期**的作用时间；其中U_0包括了U_0和U_7两个零矢量。式(1-6)的意义是，矢量 U_{ref} 在T时间内所产生的积分效果值和 U_x、U_y、U_0分别在时间 T_x、T_y、T_0内产生的积分效果相加总和值相同。

由于三相正弦波电压在电压空间向量中合成一个等效的旋转电压，其旋转速度是输入电源角频率，等效旋转电压的轨迹将是如图1-3 所示的圆形。所以要产生三相正弦波电压，可以利用以上电压向量合成的技术，在电压空间向量上，将设定的电压向量由$U_4(100)$位置开始，每一次增加一个小增量，每一个小增量设定电压向量可以用该区中相邻的两个基本非零向量与零电压向量予以合成，如此所得到的设定电压向量就等效于一个在电压空间向量平面上平滑旋转的电压空间向量，从而达到电压空间向量脉宽调制的目的。

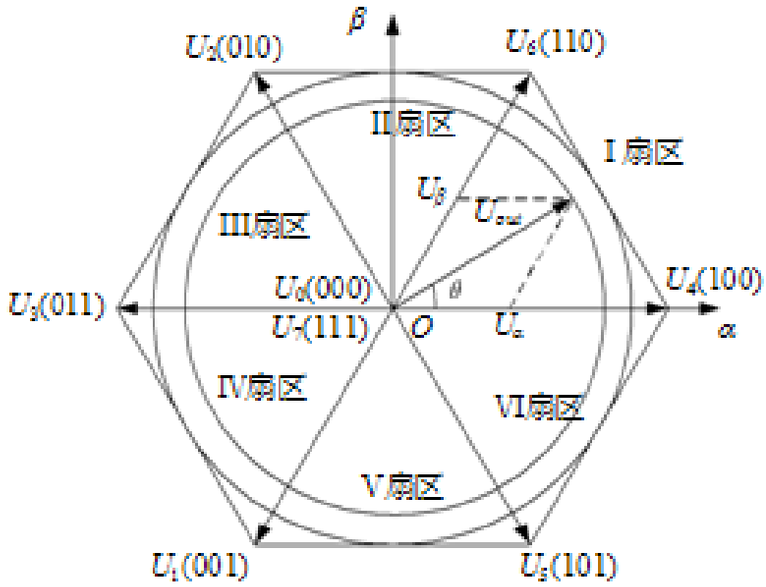


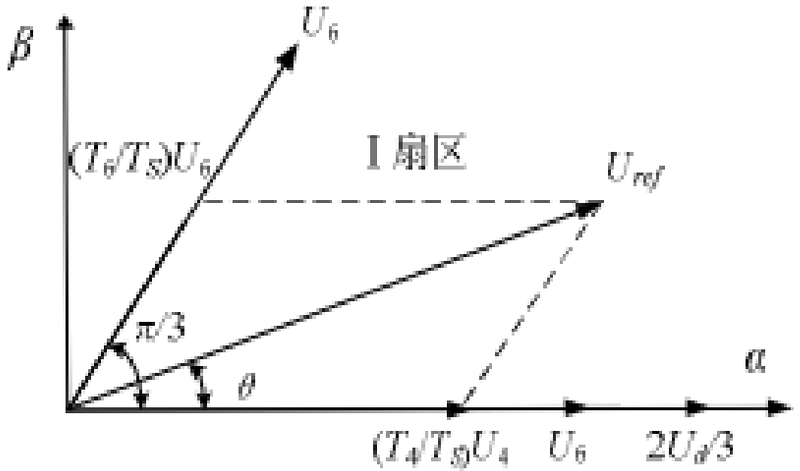
图 1-3给出了八个基本电压空间矢量的大小和位置

作用时间的确定

三相电压给定所合成的电压向量旋转角速度为 $\omega = 2\pi f$，旋转一周所需的时间为 $T = 1/f$ ；若载波频率是f_S，则频率比为 $R = f_S / f$ 。这样将电压旋转平面等切割成 R 个小增量, 即设定电压向量每次增量的角度是：

$$d\theta = 2\pi / R = 2\pi f / f_S = 2\pi T_S / T$$

假设欲合成的电压向量Uref 在第 I 区中第一个增量的位置，如图1-4所示，欲用 U4、U6、U0 及 U7 合成，用平均值等效可得：



电压空间向量在第Ⅰ区的合成与分解

$$U_{ref} * T_S = U_4 * T_4 + U_6 * T_6$$

作用时间的确定

在两相静止参考坐标系(α,β)中，令 U_{ref} 和 U_4 间的夹角是θ，由正弦定理

$$\begin{cases} |U_{ref}|\cos\theta = \dfrac{T_4}{T_s}|U_4| + \dfrac{T_6}{T_s}|U_6|\cos\dfrac{\pi}{3} & \alpha\text{轴} \\ |U_{ref}|\sin\theta = \dfrac{T_6}{T_s}|U_6|\sin\dfrac{\pi}{3} & \beta\text{轴} \end{cases}$$

因为 $|U_4|=|U_6|=2U_{dc}/3$，**所以可以得到各矢量的状态保持时间为：**

$$\begin{cases} T_4 = mT_S\sin(\dfrac{\pi}{3}-\theta) \\ T_6 = mT_S\sin\theta \end{cases}$$

式中m为SVPWM调制系数， $m = \sqrt{3}|U_{ref}|/U_{dc}$ **。(调制比=调制波基波峰值/载波基波峰值)**

零矢量的使用

换相周期 T0 应由旋转磁场所需的频率决定， 设零矢量u7 和u0 的作用时间为t7和t0。为了减少功率器件的开关次数，一般使u7 和u0 各占一半时间，因此

$$t_7 = t_0 = \frac{1}{2}(T_0 - T_a - T_b) \geq 0$$

在常规六拍逆变器中一个扇区仅包含两个开关工作状态

实现SVPWM控制就是要把每一扇区再分成若干个对应于时间 T0 的小区间。按照上述方法插入若干个线性组合的新电压空间矢量 us，以获得优于正六边形的多边形（逼近圆形）旋转磁场。

开关状态顺序原则

在实际系统中，应该尽量减少开关状态变化时引起的开关损耗，因此不同开关状态的顺序必须遵守下述原则：每次切换开关状态时，只切换一个功率开关器件，以使开关损耗最小。

如果允许有两个或三个桥臂同时动作，则在线电压的半周期内会出现反极性的电压脉冲，产生反向转矩，引起转矩脉动和电磁噪声。

如图下图所示扇区内的区间包含t1， t2，t7 和 t8 共4段，相应的电压空间矢量为 u1，u2，u7 和 u8 ，即 100，110，111 和 000 共4种开关状态。

开关状态顺序原则

为了使电压波形对称，把每种状态的作用时间都一分为二，因而形成电压空间矢量的作用序列为：12788721，其中1表示作用u_1，2表示作用u_2，…。

这样，在这一个时间内，逆变器三相的开关状态序列为100，110，111，000，000，111，110，100。

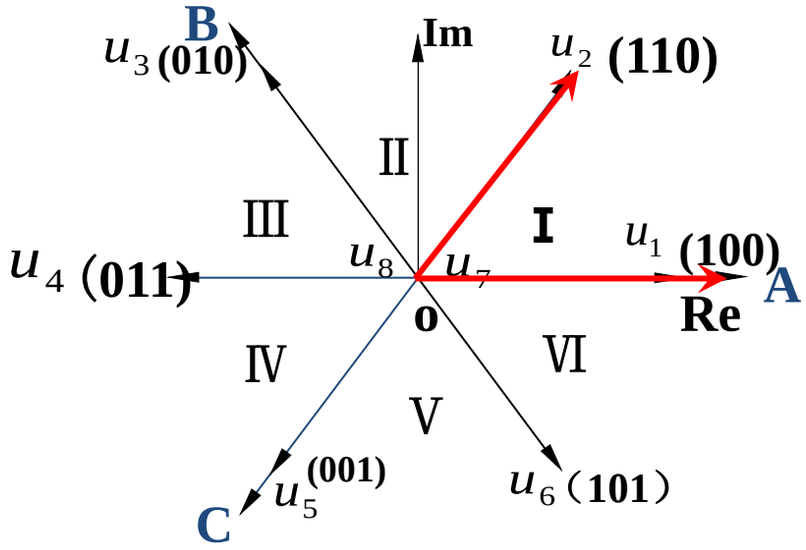
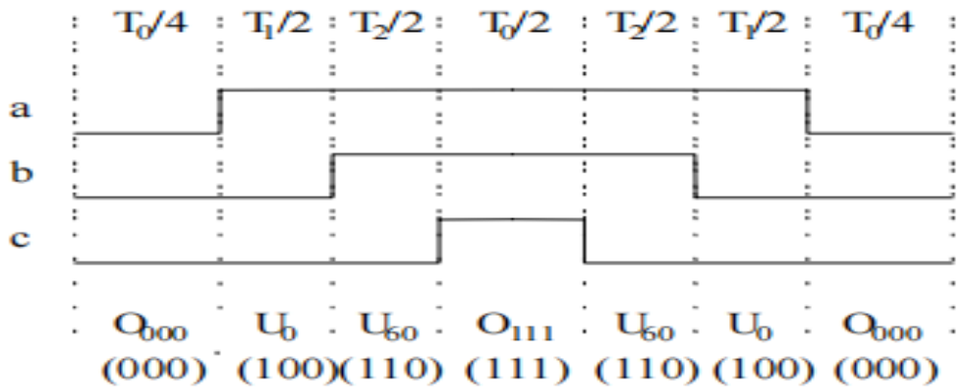
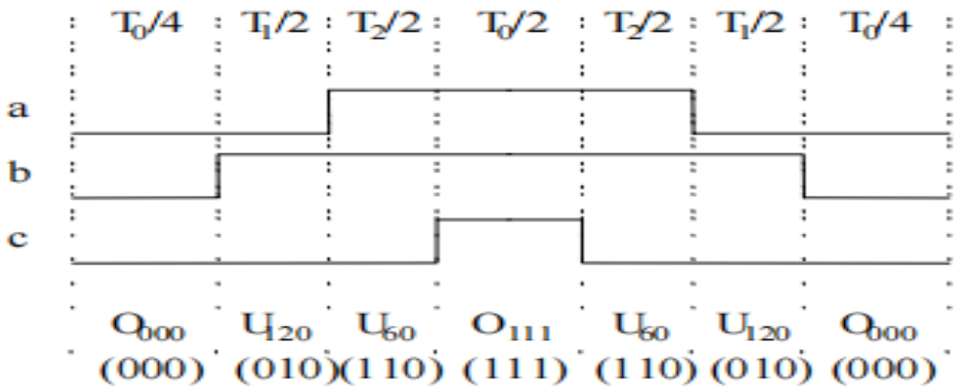


图2-28b 电压空间矢量图

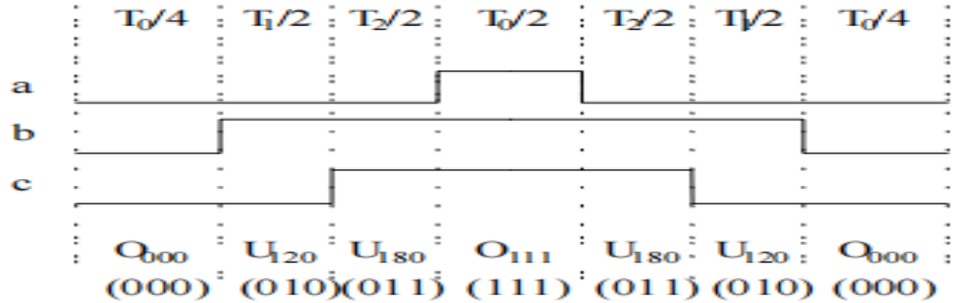
按照最小开关损耗原则进行检查，发现上述1278的顺序是不合适的。所以，应该把切换顺序改为81277218，即开关状态序列为000，100，110，111， 111，110，100，000，这样就能满足每次只切换一个开关的要求了。



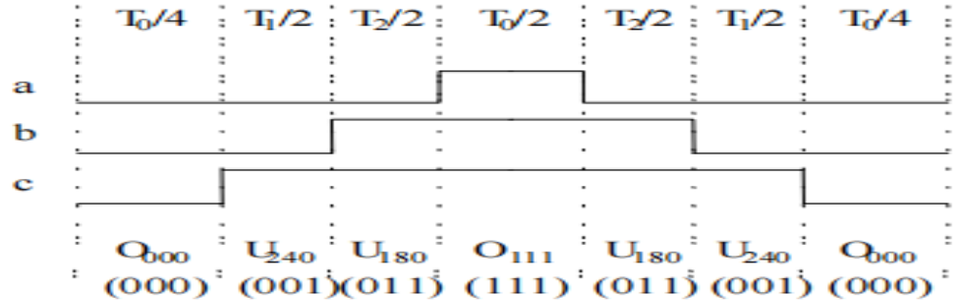
U_{out} in sector of $U_0 - U_{60}$



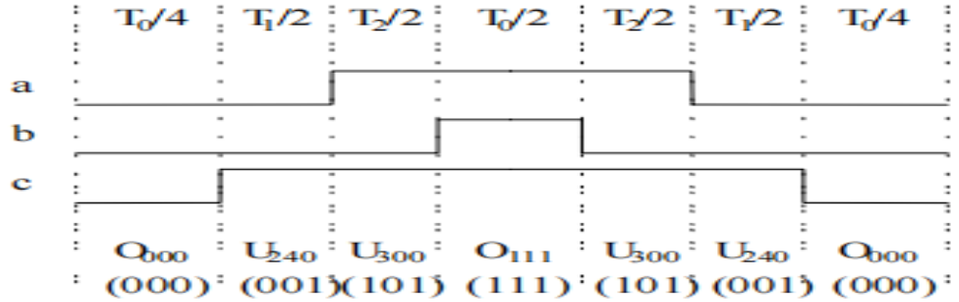
U_{out} in sector of $U_{60} - U_{120}$



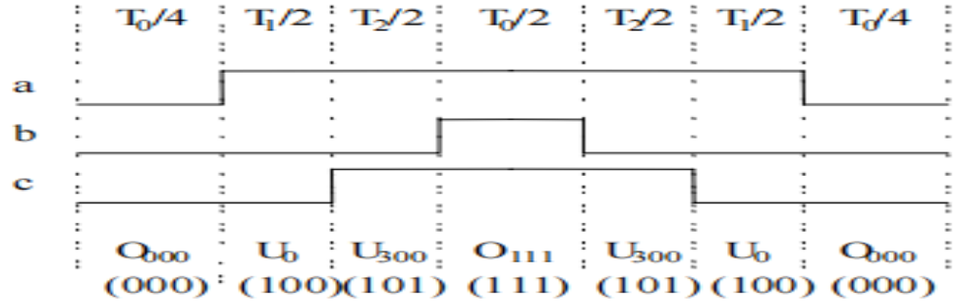
U_{out} in sector of $U_{120} - U_{180}$



U_{out} in sector of $U_{180} - U_{240}$



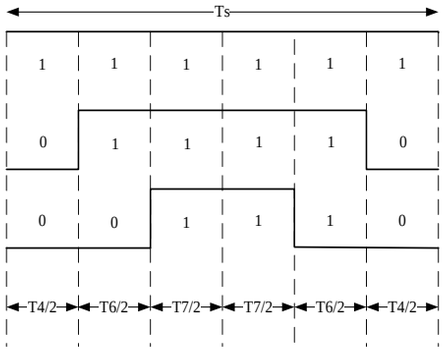
U_{out} in sector of $U_{240} - U_{300}$



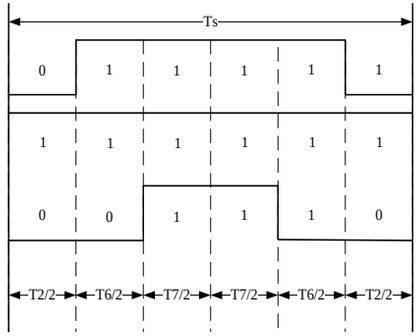
U_{out} in sector of $U_{300} - U_0$

5段式SVPWM

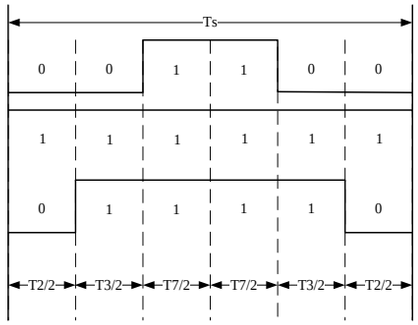
对7段而言，发波对称，谐波含量较小，但是每个开关周期有6次开关切换，为了进一步减少开关次数，采用每相开关在每个扇区状态维持不变的序列安排，使得每个开关周期只有3次开关切换，但是会增大谐波含量。具体序列安排见下表。



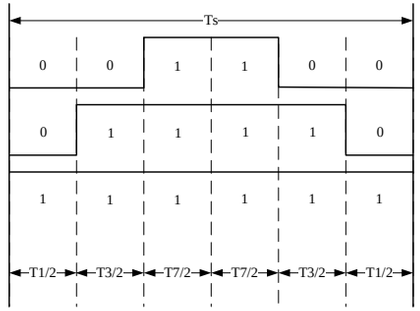
0° ≤θ≤60°



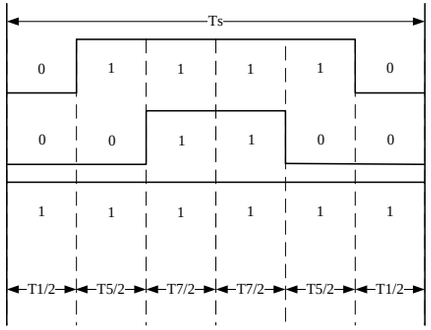
60° ≤θ≤120°



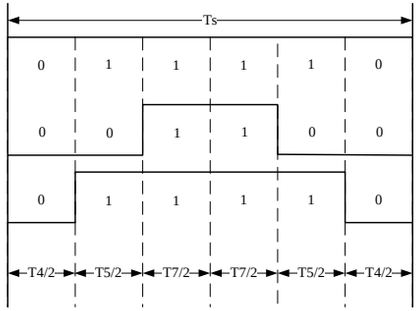
120° ≤θ≤180°



180° ≤θ≤240°



240° ≤θ≤300°



300° ≤θ≤360°

小 结

归纳起来，SVPWM控制模式有以下特点：

1) 逆变器的一个工作周期分成6个扇区，每个扇区相当于常规六拍逆变器的一拍。为了使电动机旋转磁场逼近圆形，每个扇区再分成若干个小区间 T0 ， T0 越短，旋转磁场越接近圆形，但 T0 的缩短受到功率开关器件允许开关频率的制约

2) 在每个小区间内虽有多次开关状态的切换，但每次切换都只涉及一个功率开关器件，因而开关损耗较小。

3) 每个小区间均以零电压矢量开始，又以零矢量结束。

4) 利用电压空间矢量直接生成三相PWM波，计算简便。

5) 采用SVPWM控制时，逆变器输出线电压基波最大值为直流侧电压，比一般的SPWM逆变器输出电压提高了15%。

合成矢量 U_{ref} 所处扇区 N 的判断

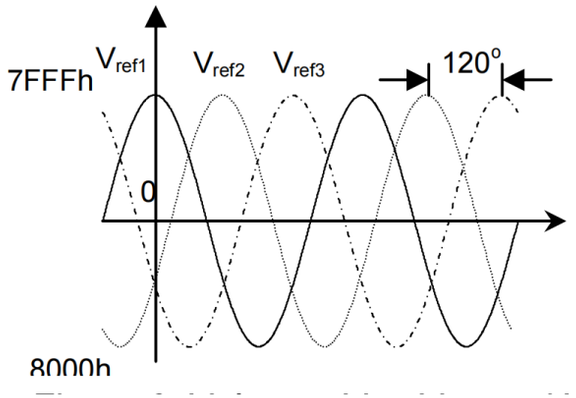
空间矢量调制的第一步是判断由 U_α和U_β所决定的空间电压矢（U_{ref}）量所处的扇区。假定合成的电压矢量落在第 I 扇区，可知其等价条件如下：$0<\arctan(U_\beta/U_\alpha)<60°$。

以上等价条件再结合矢量图几何关系分析，可以判断出合成电压矢量。

扇区	落在此扇区的充要条件
Ⅰ	Uα>0，Uβ>0 且Uβ/ Uα< $\sqrt{3}$
Ⅱ	Uβ>0， 且Uβ/ |Uα|> $\sqrt{3}$
Ⅲ	Uα<0，Uβ>0 且-Uβ/ Uα< $\sqrt{3}$
Ⅳ	Uα<0，Uβ<0 且Uβ/Uα< $\sqrt{3}$
Ⅴ	Uβ<0 且-Uβ/|Uα|> $\sqrt{3}$
Ⅵ	U_α>0，U_β<0 且-U_β/U_α< $\sqrt{3}$

令

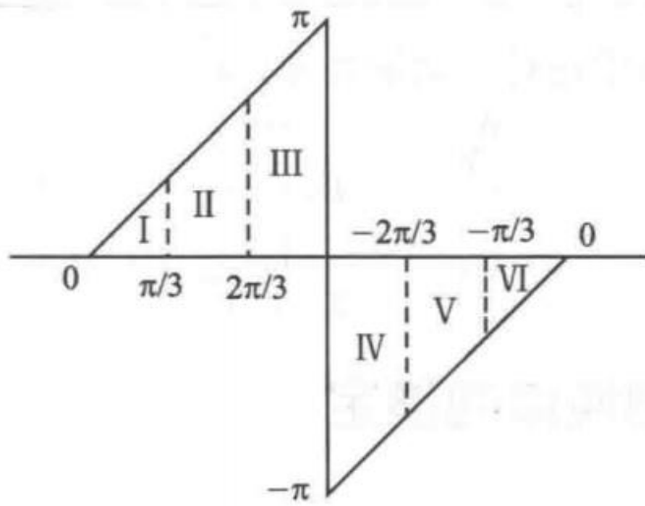
$$\begin{cases} U_1 = U_\beta \\ U_2 = \dfrac{\sqrt{3}}{2}U_\alpha - \dfrac{U_\beta}{2} \\ U_3 = -\dfrac{\sqrt{3}}{2}U_\alpha - \dfrac{U_\beta}{2} \end{cases}$$



再定义，若$U_1>0$，则 A=1，否则 A=0； 若$U_2>0$，则 B=1，否则 B=0；若$U_3>0$，则 C=1，否则 C=0。可以看出 A，B，C 之间共有八种组合，但由判断扇区的公式可知 A，B，C 不会同时为 1 或同时为 0，所以实际的组合是六种，A，B，C 组合取不同的值对 应着不同的扇区，并且是一一对应的，因此完全可以由 A，B，C 的组合判断所在的扇区。为区别六种状态，令 N=4*C+2*B+A，则可以通过下表计算参考电压 矢量 U_{ref} 所在的扇区。

N值与扇区对应关系

N	3	1	5	4	6	2
扇区	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ



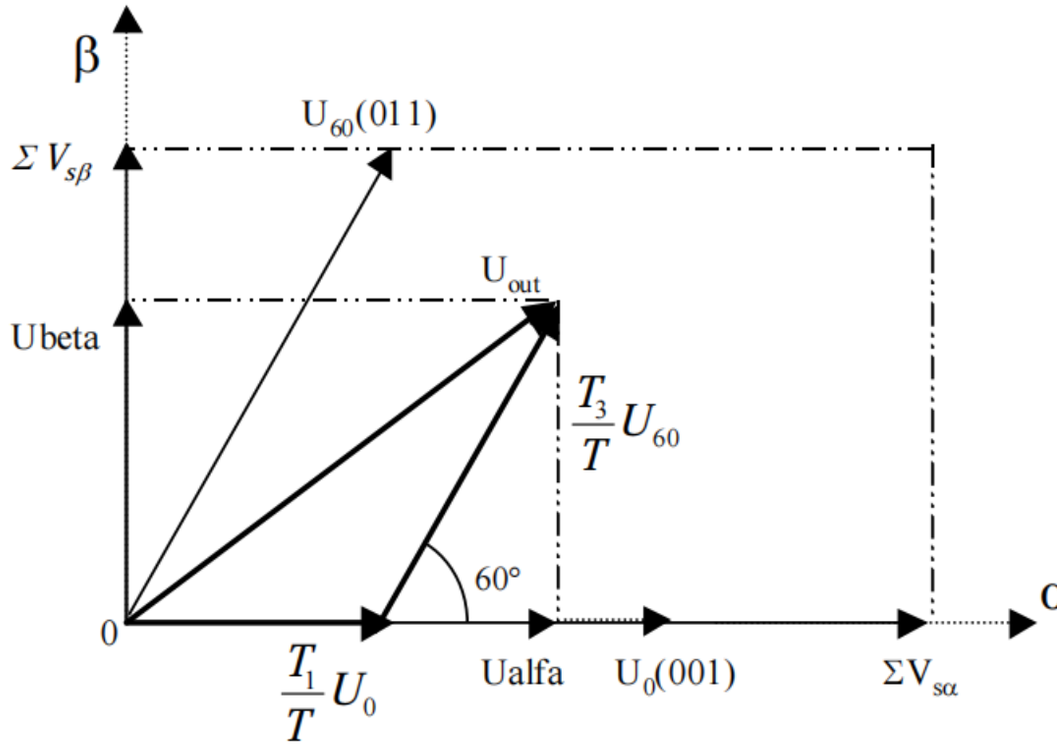
$$\begin{cases} T = T_1 + T_3 + T_0 \\ U_{out} = \dfrac{T_1}{T}U_o + \dfrac{T_3}{T}U_{60} \end{cases}$$

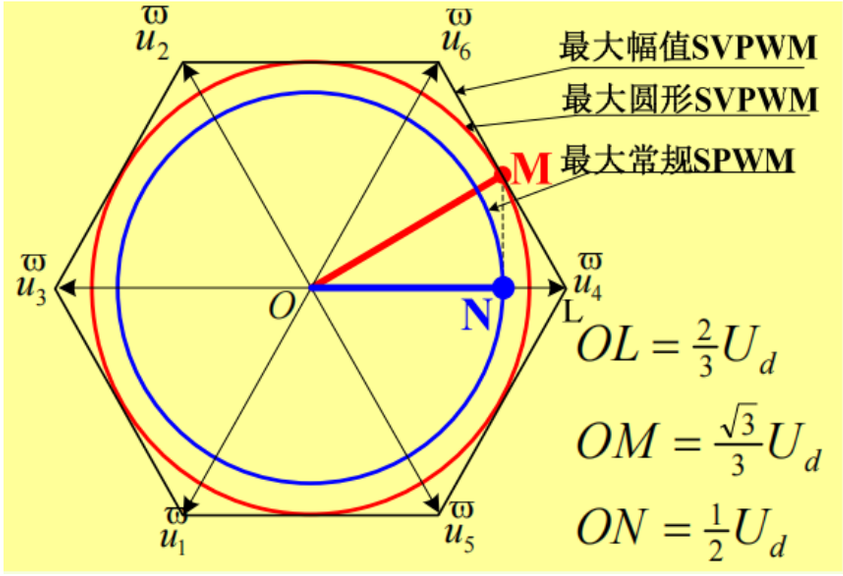
$$\begin{cases} U_{beta} = \dfrac{T_3}{T}\left|U_{60}\right|\sin(60°) \\ U_{alfa} = \dfrac{T_1}{T}\left|U_0\right| + \dfrac{T_3}{T}\left|U_{60}\right|\cos(60°) \end{cases}$$

因为 |U0|= |U60| =2/3*Udc.内切圆的最大值为 √3/3*Udc ,归一化处理， 令√3/3*Udc=1 ，则 Udc= √3,则|U0|= |U60|=2/√3

$$T_1 = \frac{T}{2}\left(\sqrt{3}U_{alfa} - U_{beta}\right)$$

$$T_3 = TU_{beta}$$





$$t1 = \frac{T_1}{T} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{3}U_{alfa} - U_{beta}\right)$$

$$t2 = \frac{T_3}{T} = U_{beta}$$

同理　|U60| = |U120| = 2/√3，重新推II 扇区的表达式

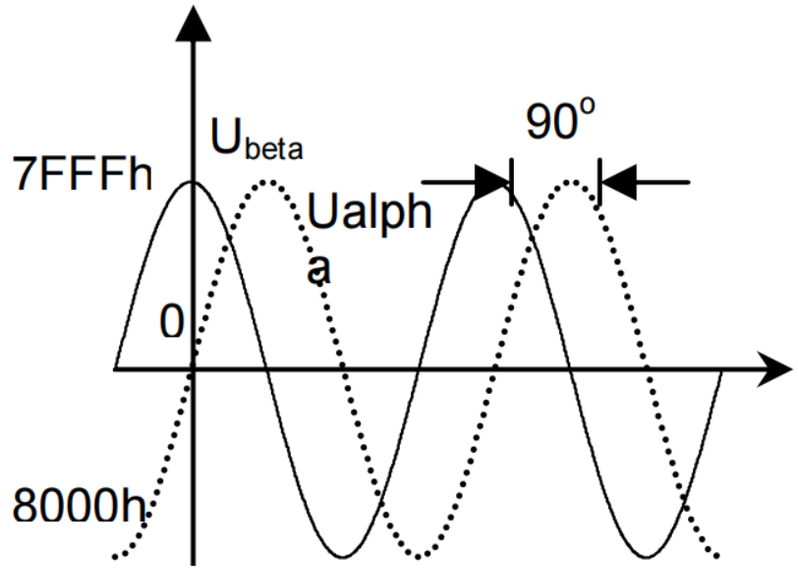
$$t1 = \frac{T_2}{T} = \frac{1}{2}\left(-\sqrt{3}U_{alfa} + U_{beta}\right)$$

$$t2 = \frac{T_3}{T} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{3}U_{alfa} + U_{beta}\right)$$

令 X,Y,Z 为　$X = U_{beta}$

$$Y = \frac{1}{2}\left(\sqrt{3}U_{alfa} + U_{beta}\right)$$

$$Z = \frac{1}{2}\left(-\sqrt{3}U_{alfa} + U_{beta}\right)$$



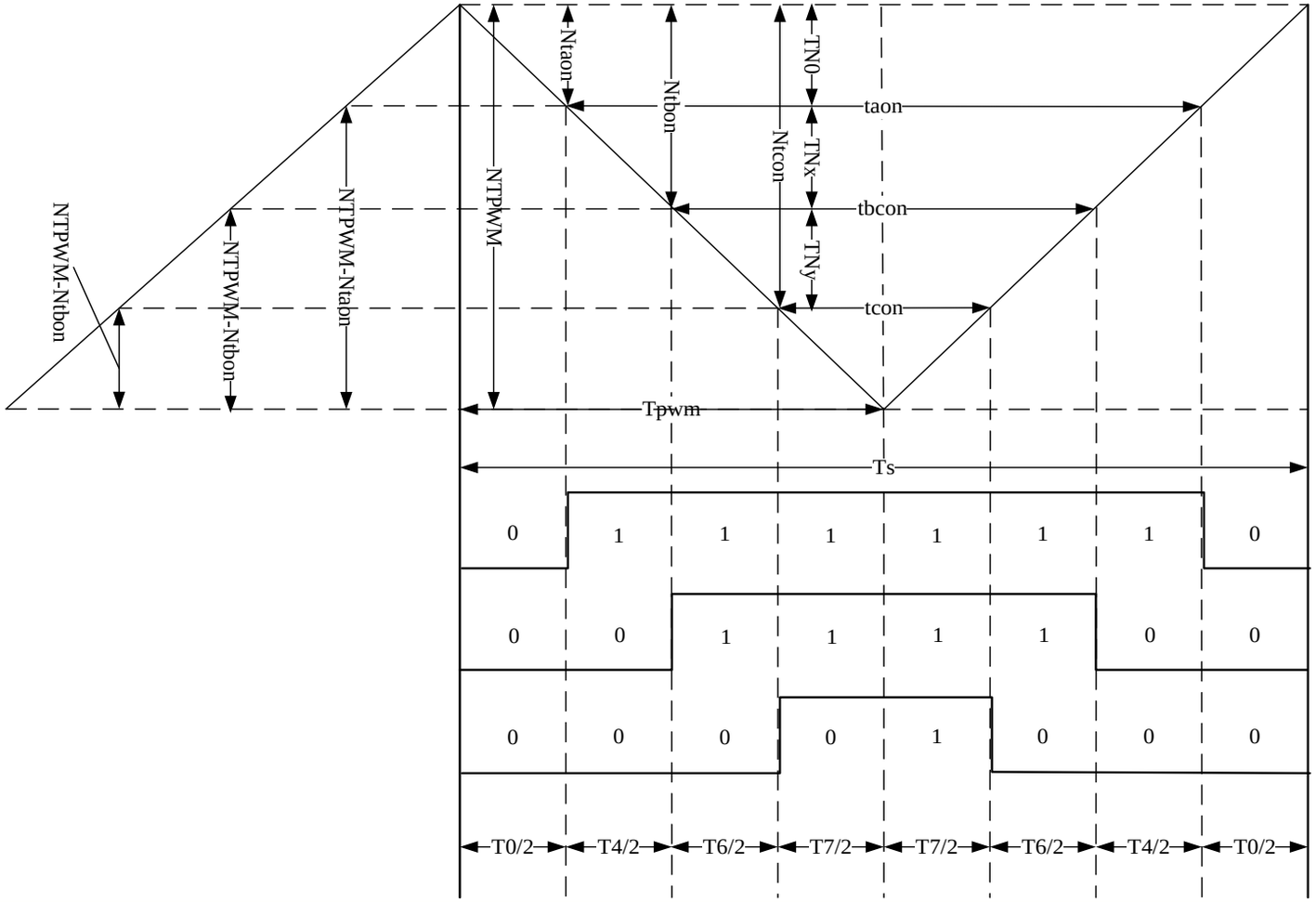
这样 每一个 扇 区 t1,t2的 占比 就可以 确定 为 如下

Sector	U_0, U_{60}	U_{60}, U_{120}	U_{120}, U_{180}	U_{180}, U_{240}	U_{240}, U_{300}	U_{300}, U_0
t1	-Z	Z	X	-X	-Y	Y
t2	X	Y	Y	Z	-Z	-X

如果t1+t2>1 ，则需进行过调制处理，令

$$\begin{cases} t1=t1/(t1+t2) \\ t2=t2/(t1+t2) \\ T0=T7=0 \end{cases}$$

- 按照上述过程，就能得到每个扇区相邻两电压空间矢量和零电压矢量的作用时间。当Uref所在扇区和对应有效电压矢量的作用时间确定后，再根据PWM调制原理，计算出每一相对应比较器的值，其运算关系如下：



$$\begin{cases} t_{aon} = \left(T_s - T_x - T_y\right)/2 \\ t_{bon} = t_{aon} + T_x \\ t_{con} = t_{bon} + T_y \end{cases} \quad ---7段$$

$$\begin{cases} t_{aon} = 0 \\ t_{bon} = T_x \\ t_{con} = t_{bon} + T_y \end{cases} \quad --5段$$

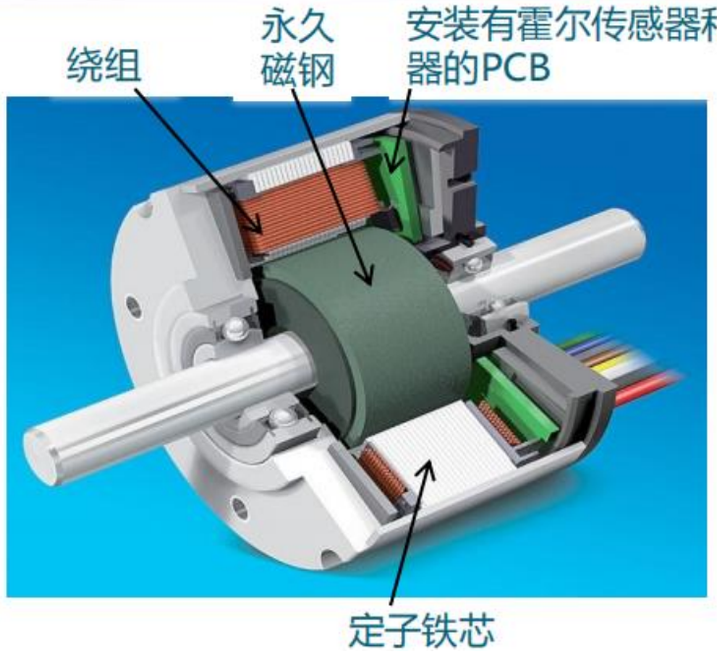
不同PWM比较方式，计数值会完全不同，两者会差180度

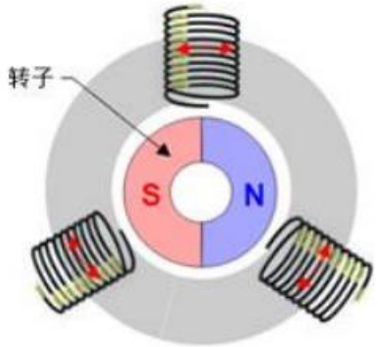
段数	以倒三角计数，对应计数器的值	以正三角计数，对应计数器的值
7	$\begin{cases} N_{taon} = TNPWM - \left(NTPWM - T_{Nx} - T_{Ny} \right) / 2 \\ N_{tbon} = TNPWM - N_{taon} - T_{Nx} \\ N_{tcon} = TNPWM - N_{tbon} - T_{Ny} \end{cases}$	$\begin{cases} N_{taon} = \left(NTPWM - T_{Nx} - T_{Ny} \right) / 2 \\ N_{tbon} = N_{taon} + T_{Nx} \\ N_{tcon} = N_{tbon} + T_{Ny} \end{cases}$
5	$\begin{cases} N_{taon} = TNPWM \\ N_{tbon} = TNPWM - T_{Nx} \\ N_{tcon} = TNPWM - N_{tbon} - T_{Ny} \end{cases}$	$\begin{cases} N_{taon} = 0 \\ N_{tbon} = T_{Nx} \\ N_{tcon} = N_{tbon} + T_{Ny} \end{cases}$

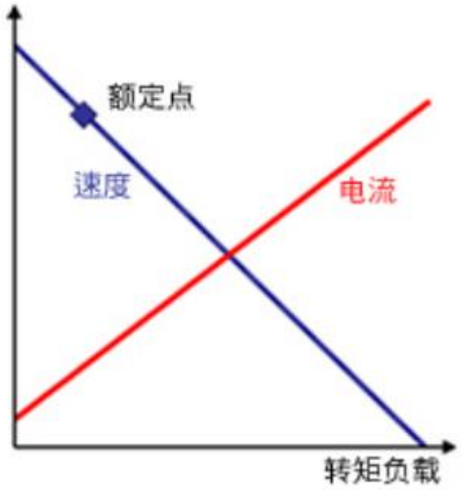
其他扇区以此类推，可以得到表1-7，式中 N_{taon} 、N_{tbon} 和N_{tcon} 分别是相应的比较器的**计数器值**，而不同扇区时间分配如表1-7所示，并将这三个值写入相应的比较寄存器就完成了整个 SVPWM 的算法。

扇区	1	2	3	4	5	6
Ta	Ntaon	Ntbon	Ntcon	Ntcon	Ntbon	Ntaon
Tb	Ntbon	Ntaon	Ntaon	Ntbon	Ntcon	Ntcon
Tc	Ntcon	Ntcon	Ntbon	Ntaon	Ntaon	Ntbon

认识空调电机，HALL 的安装

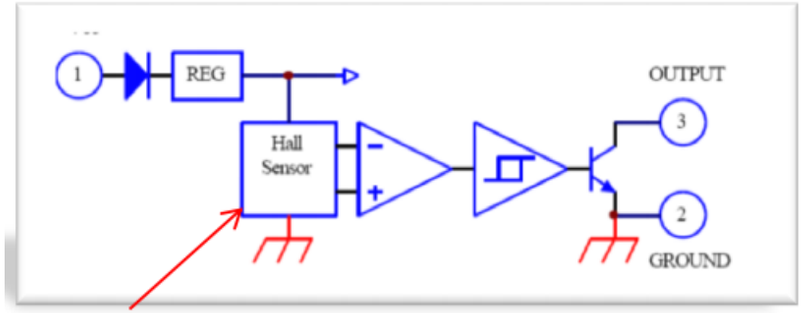






BLDC属于交流电机，为同步电机。使用电子换向取代机械换向，电机激磁磁场是由安装在转子上的永久磁钢所产生。

优点：可靠性好/产品寿命长（无刷　）
效率高(最高 95%)
可靠/尺寸/功率比高
调速范围宽(100~60000rpm)
起动力矩大　　静音工作
电磁污染小

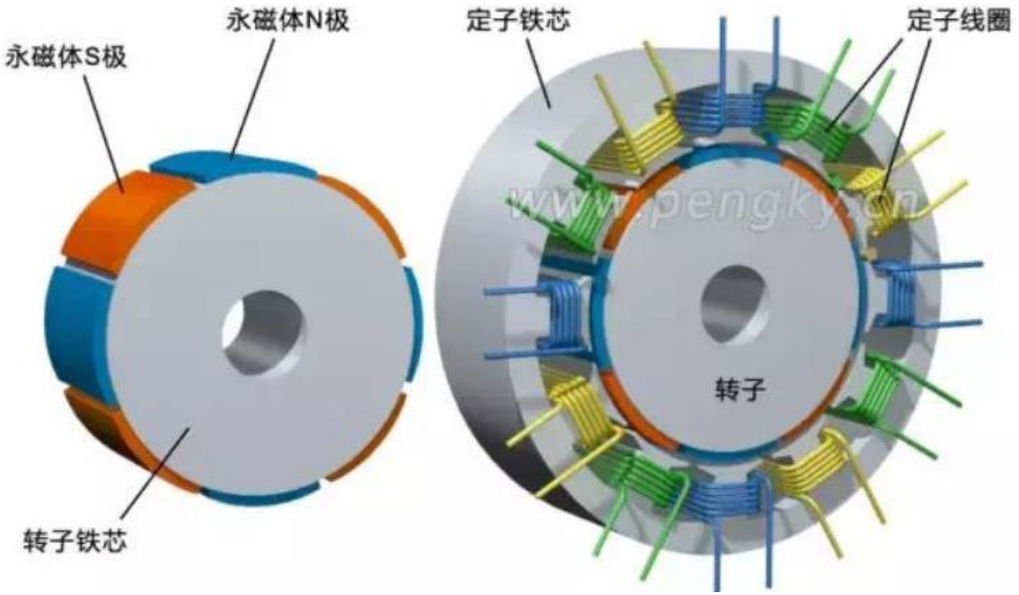


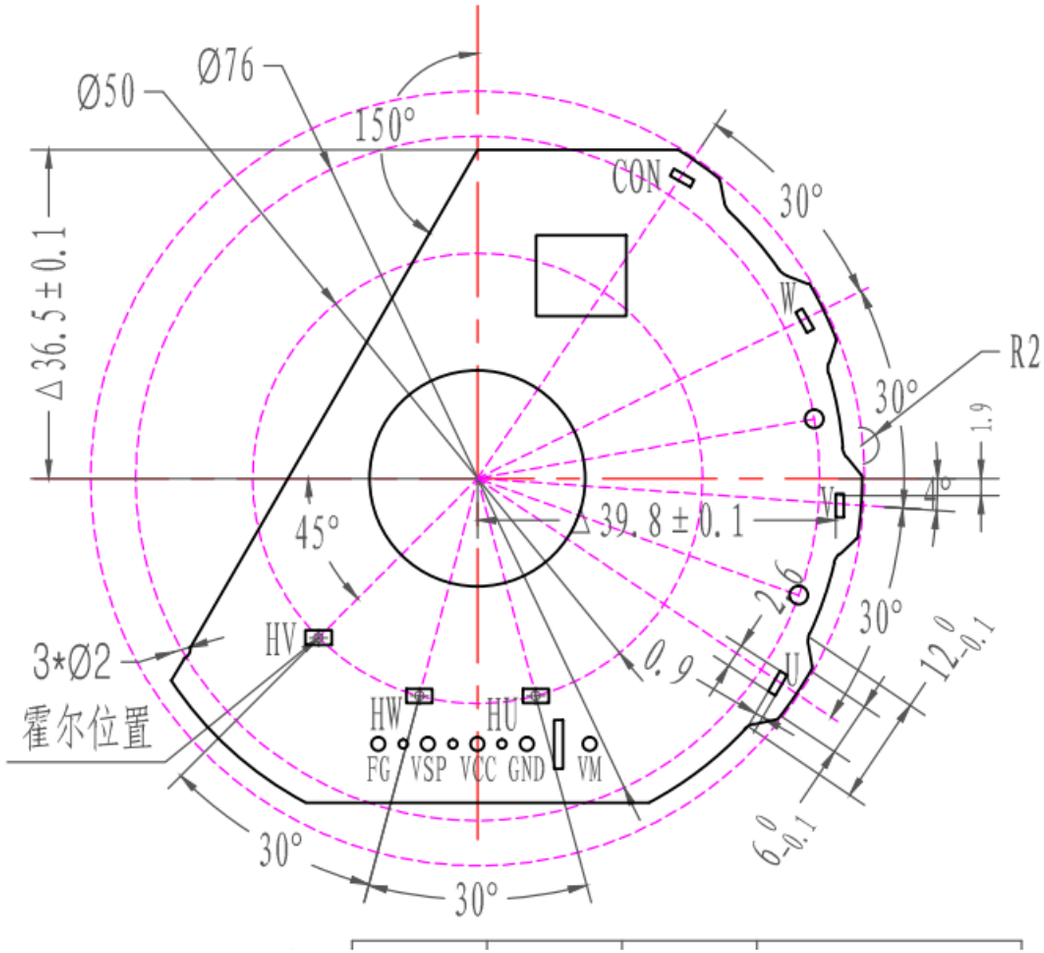
霍尔元件+信号处理电路=霍尔传感器

上图是通过测试得到的HU,HV,HW，但是往往我们在设计PCB时只知道电机的定子尺寸，以及板子的外框，那我们怎么确定HALL的安装是否正确呢？

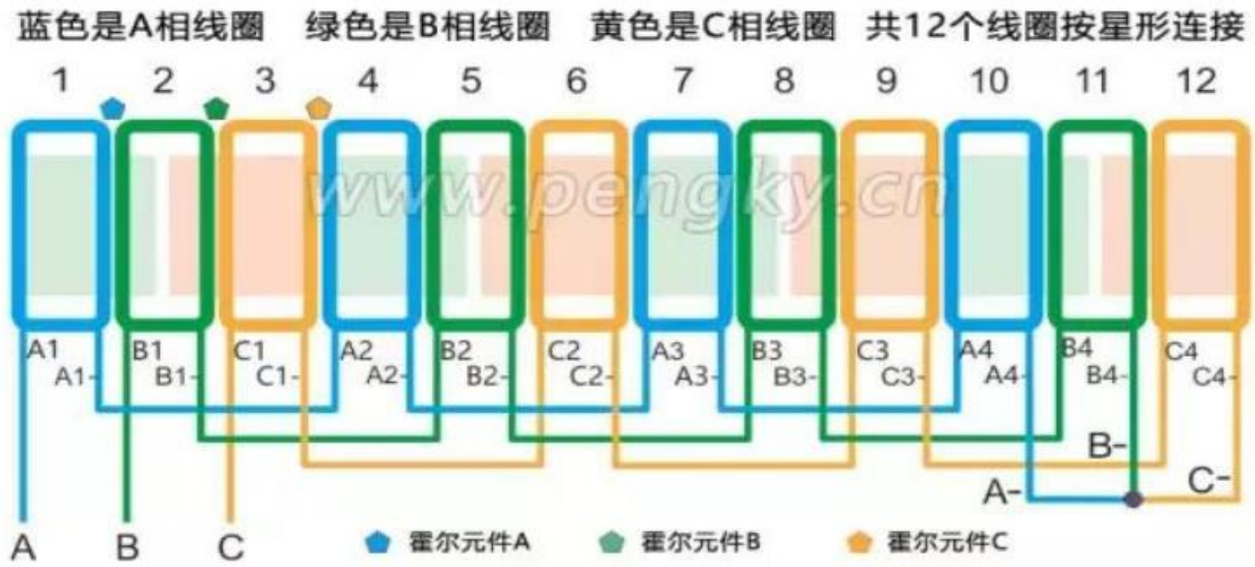
对于无刷换相各种著作上都有各自的看法，但归根结底指出不同磁极两块磁铁的分界线是决定线圈通电或者断电的分界线，而线圈的槽中心是安放霍尔原件的中心。

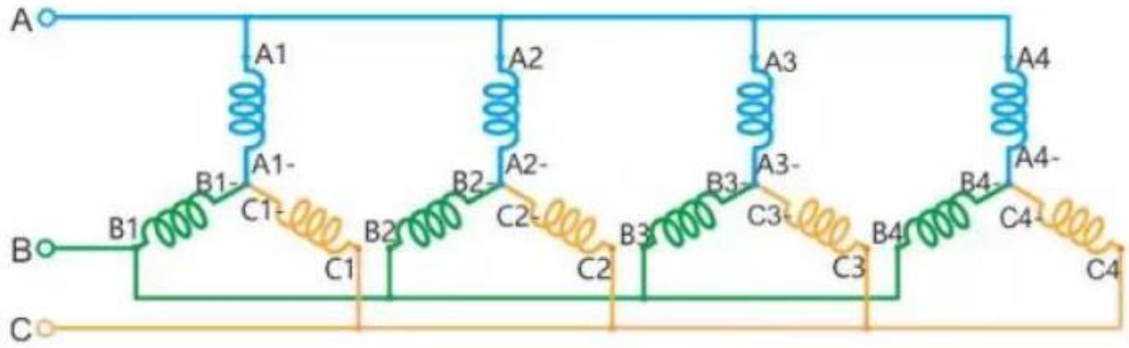
空调内机，以12槽8极电机居多，也有少量的12槽10极的，



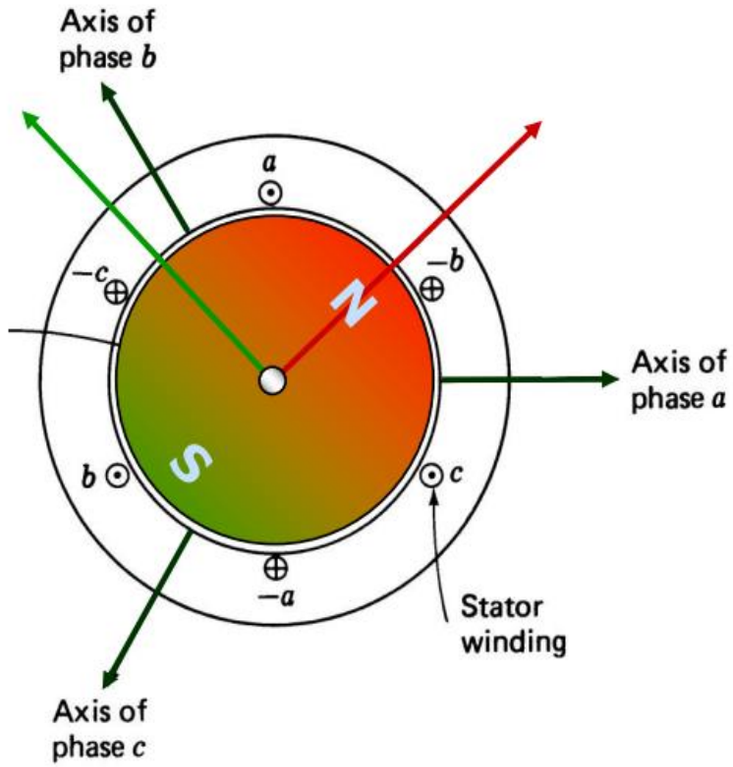


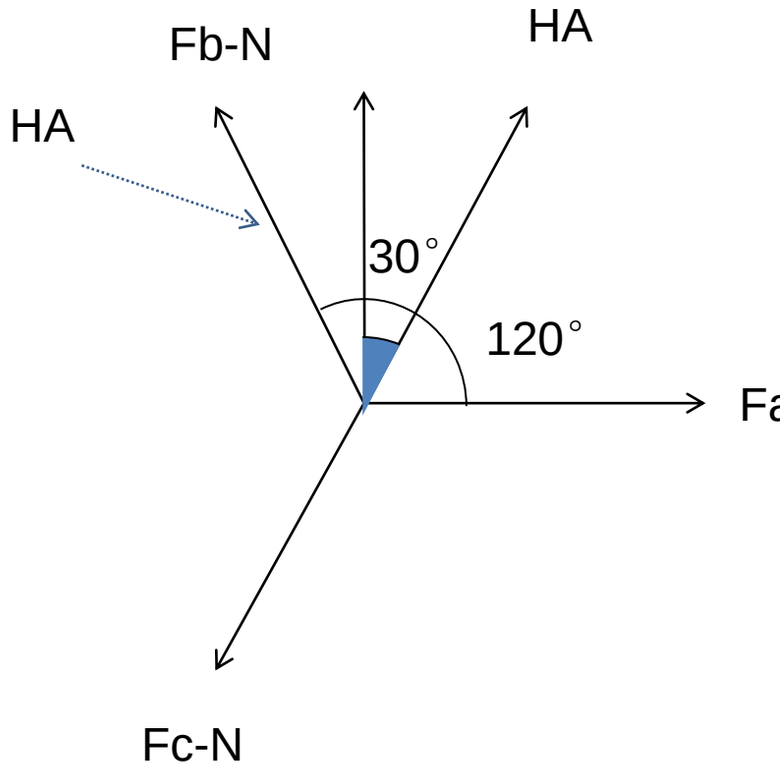
12槽8极电机，可以简化为4个3槽1对极的电机组成，我们在这里看HALL 放在哪里可以用最小单元简化分析





- 绿色代表旋转的定子磁通
- 红色表示旋转的转子磁通

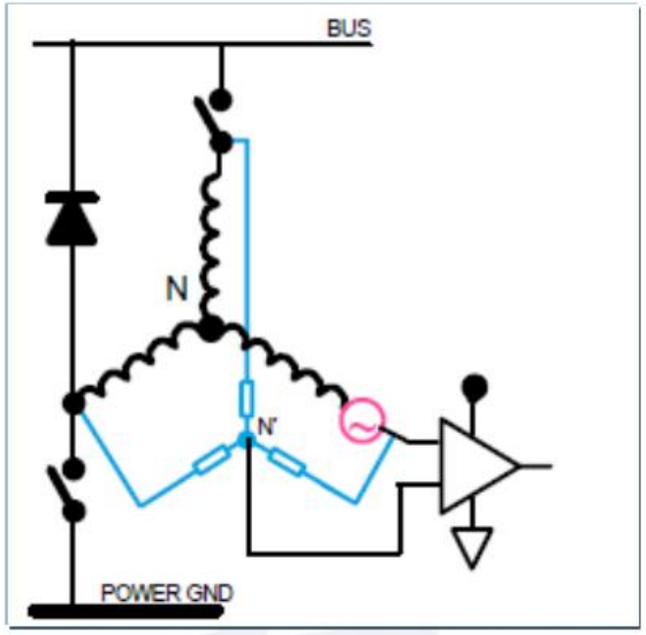




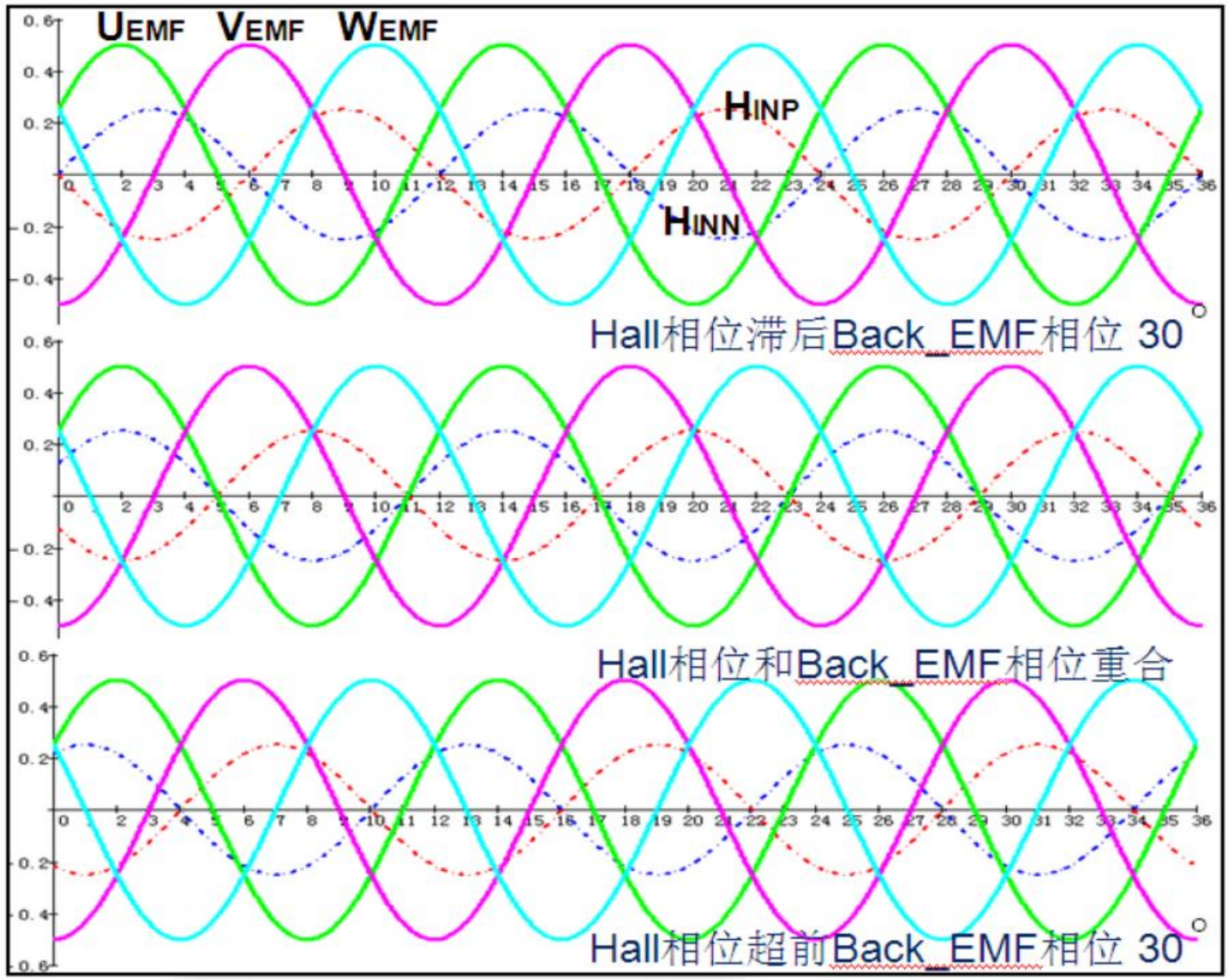
HALL Element

HALL 与反电动势的关系，如右图：

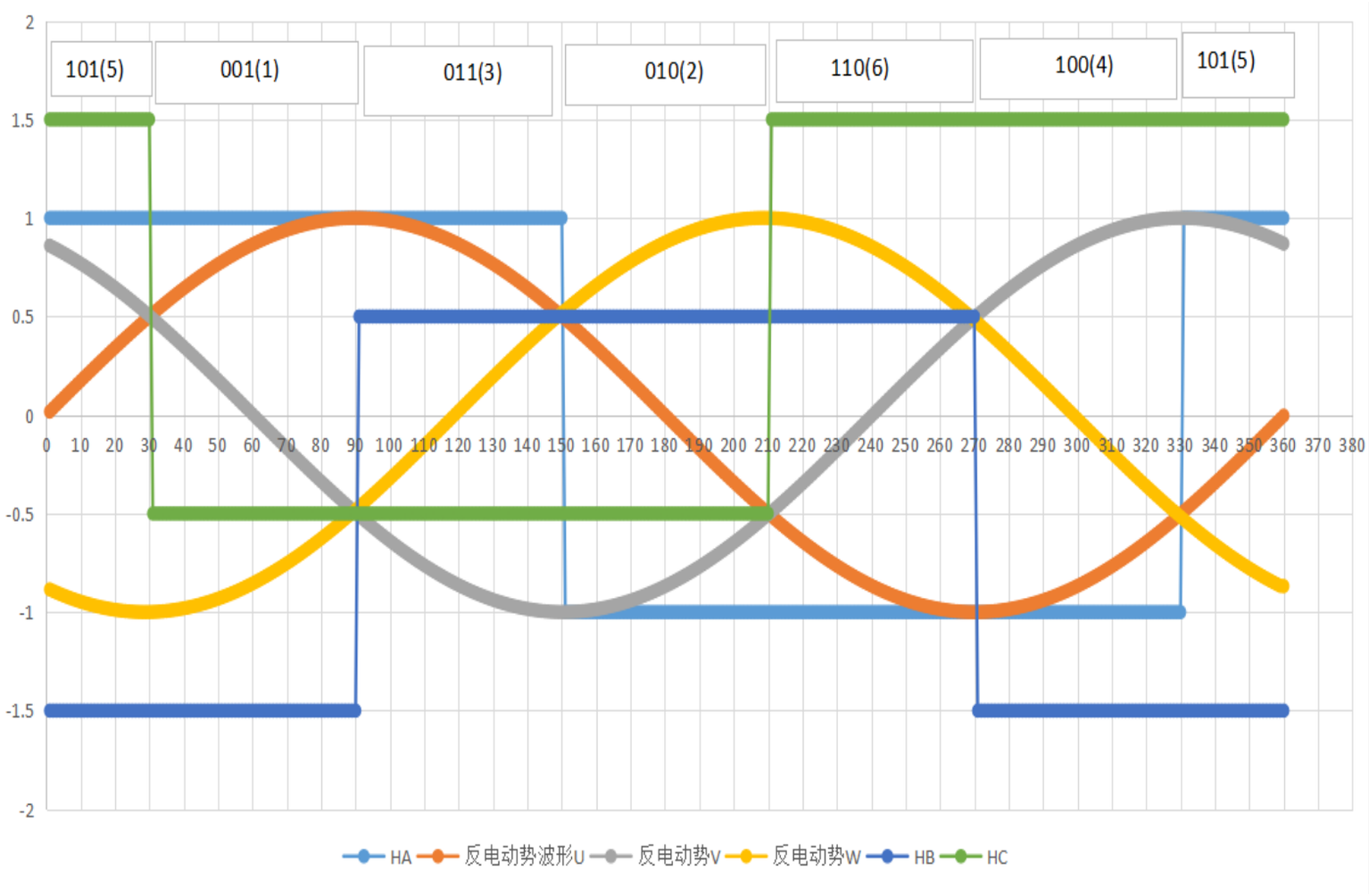
我们在调试之前，首先通过虚拟中心点的方法，测试出3相的反电动势与HALL 之间的关系，3个HALL必须同时满足如右图关系。

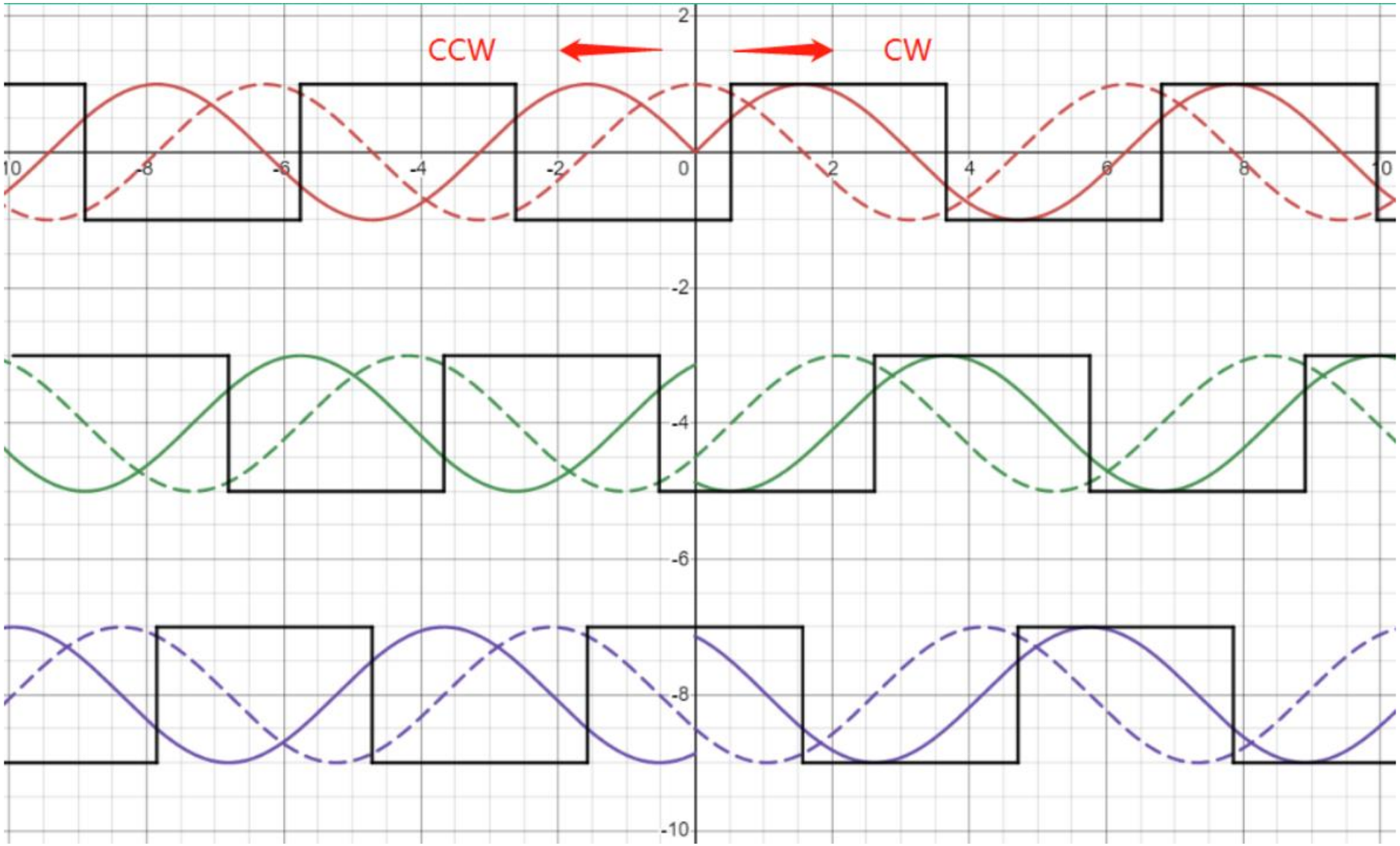


虚拟点重构，比较器处理



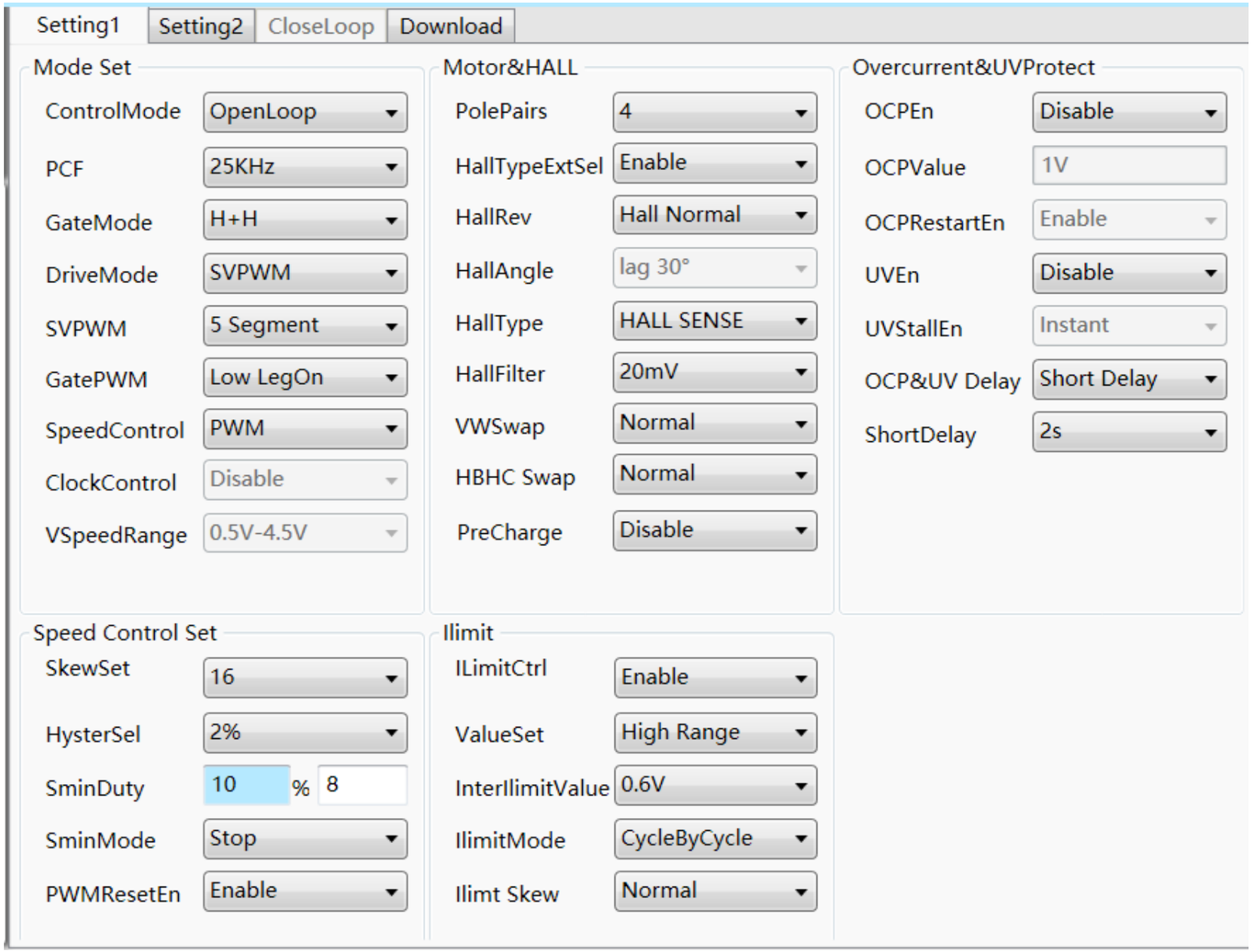
正转


101(5)
001(1)
011(3)
010(2)
110(6)
100(4)
101(5)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380
HA
反电动势波形U
反电动势V
反电动势W
HB
HC

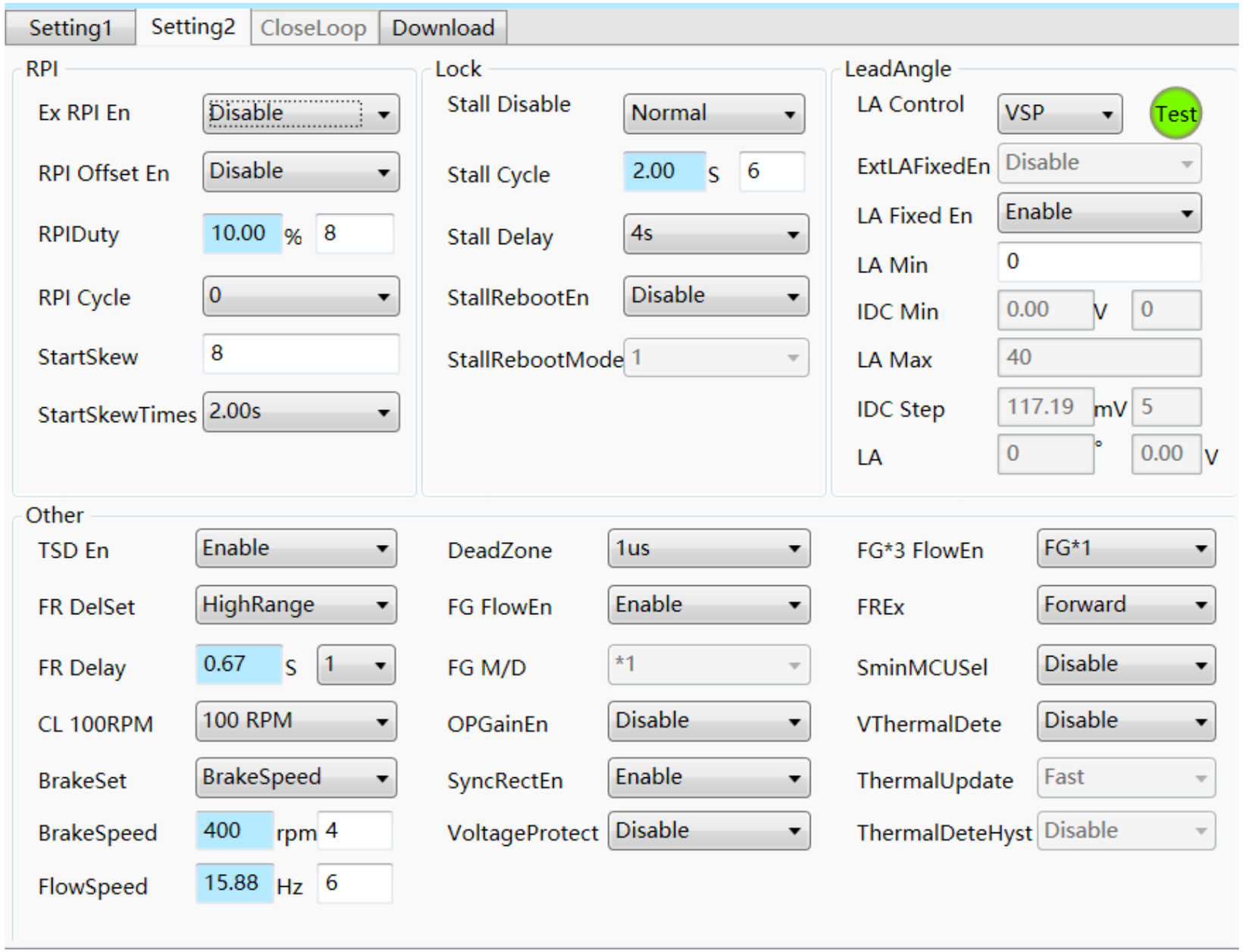


$e = \frac{d\theta}{dt}$ 磁通是连续的，BEMF并不是连续的。磁通是连续的等价于HALL信号就是连续的

FT1007 调试


Setting1
Setting2
CloseLoop
Download
Mode Set
ControlMode
OpenLoop
PCF
25KHz
GateMode
H+H
DriveMode
SVPWM
SVPWM
5 Segment
GatePWM
Low LegOn
SpeedControl
PWM
ClockControl
Disable
VSpeedRange
0.5V-4.5V
Motor&HALL
PolePairs
4
HallTypeExtSel
Enable
HallRev
Hall Normal
HallAngle
lag 30°
HallType
HALL SENSE
HallFilter
20mV
VWSwap
Normal
HBHC Swap
Normal
PreCharge
Disable
Overcurrent&UVProtect
OCPEn
Disable
OCPValue
1V
OCPRestartEn
Enable
UVEn
Disable
UVStallEn
Instant
OCP&UV Delay
Short Delay
ShortDelay
2s
Speed Control Set
SkewSet
16
HysterSel
2%
SminDuty
10
%
8
SminMode
Stop
PWMResetEn
Enable
Ilimit
ILimitCtrl
Enable
ValueSet
High Range
InterIlimitValue
0.6V
IlimitMode
CycleByCycle
Ilimt Skew
Normal

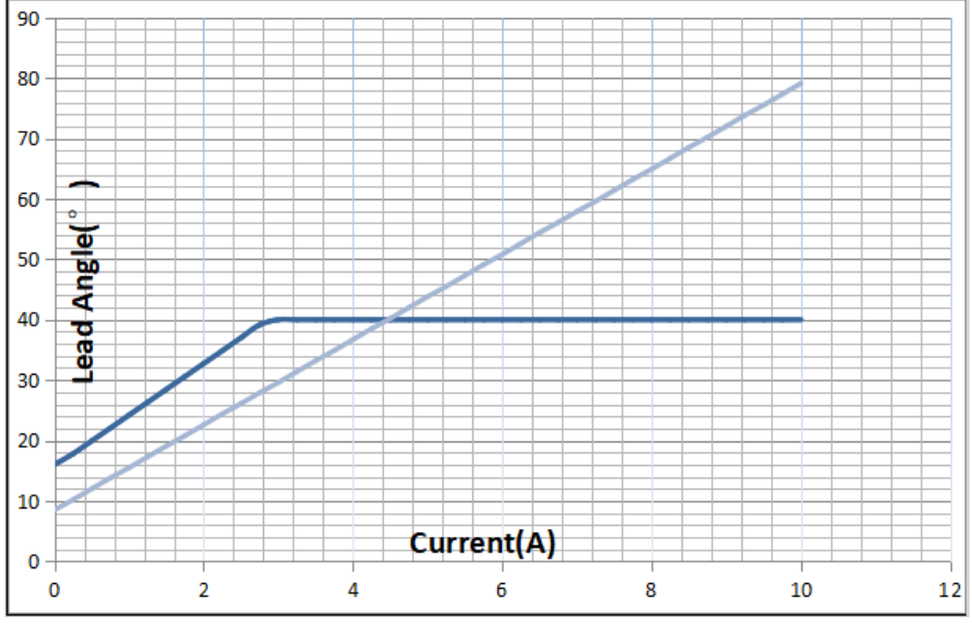
FT1007 调试


Setting1
Setting2
CloseLoop
Download
RPI
Ex RPI En
Disable
RPI Offset En
Disable
RPIDuty
10.00
%
8
RPI Cycle
0
StartSkew
8
StartSkewTimes
2.00s
Lock
Stall Disable
Normal
Stall Cycle
2.00
S
6
Stall Delay
4s
StallRebootEn
Disable
StallRebootMode
1
LeadAngle
LA Control
VSP
Test
ExtLAFixedEn
Disable
LA Fixed En
Enable
LA Min
0
IDC Min
0.00
V
0
LA Max
40
IDC Step
117.19
mV
5
LA
0
°
0.00
V
Other
TSD En
Enable
FR DelSet
HighRange
FR Delay
0.67
S
1
CL 100RPM
100 RPM
BrakeSet
BrakeSpeed
BrakeSpeed
400
rpm
4
FlowSpeed
15.88
Hz
6
DeadZone
1us
FG FlowEn
Enable
FG M/D
*1
OPGainEn
Disable
SyncRectEn
Enable
VoltageProtect
Disable
FG*3 FlowEn
FG*1
FREx
Forward
SminMCUSel
Disable
VThermalDete
Disable
ThermalUpdate
Fast
ThermalDeteHyst
Disable

FT1007 提前角调试

LA_Min	16	°	10000
IDC_Min	1		1
IDC Step	3		11
LA MAX	40	°	101000
Shunt Resistor	0.05	Ω	

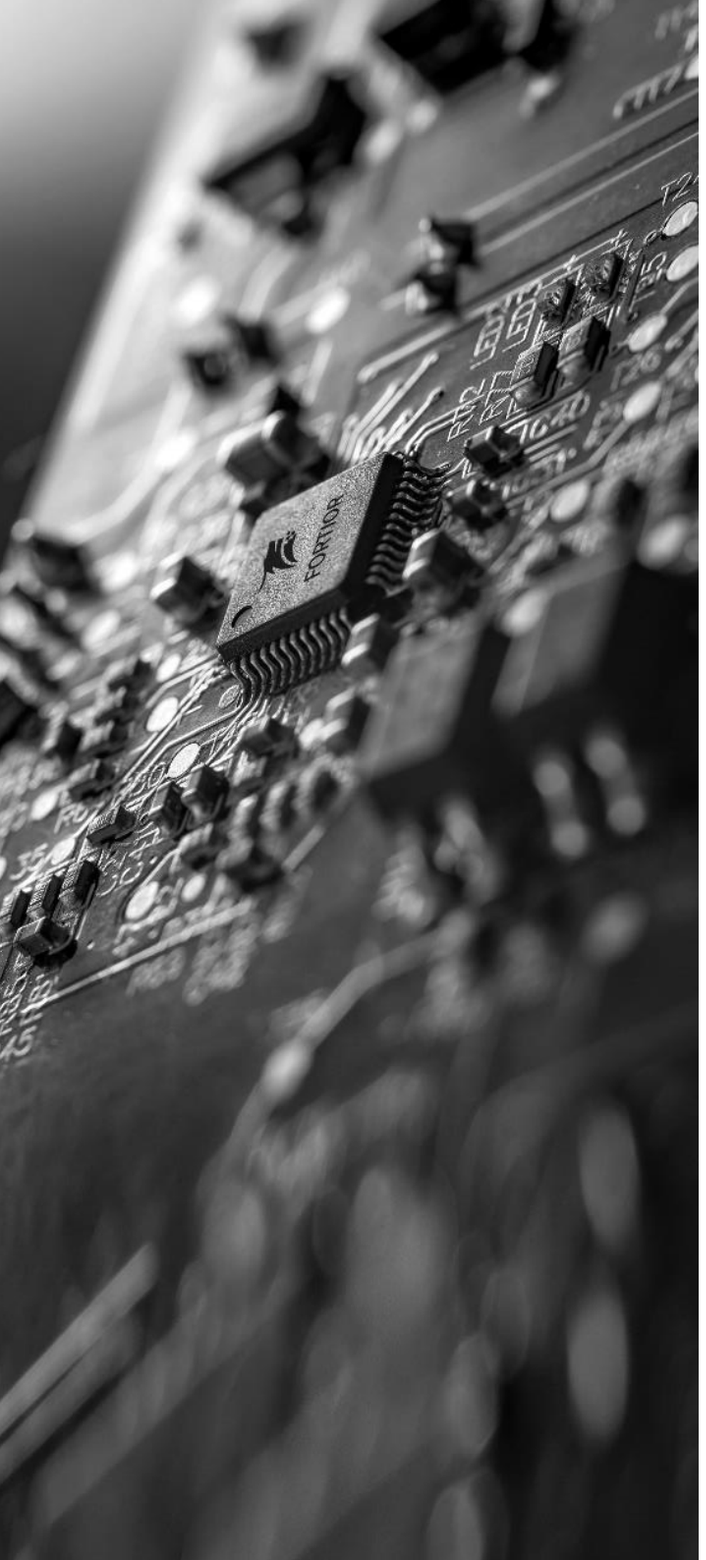
LA Min	5		
IDC Min	0.78	V	40
LA Max	20		
IDC Step	136.72	mV	7
LA Total	10	°	0.15 V



1：LA Min为最小提前角设置，當Isense引腳电压小于IDC Min時，提前角為LA Min
2：IDC Min为提前角曲线拐点设置
2.1 当Isense引腳电压小於IDC Min時，提前角為LA Min
2.2 当Isense引腳电压大于DC Min時，提前角线性增加
3：IDC Step为提前角曲线斜率的导数
4：LA MAX：为提前角曲线最大值，当曲线值大于LA MAX時，提前角为LA MAX
5：LA Total位测试值，测试Isense此時电压对应的提前角角度
Isense Current=LA Total/Shunt Resistor

$$LA = \mathrm{LA_{MIN}} + \mathrm{LA_{SKEW}} * (\mathrm{VSP} - 2.1)$$

为什么要提前换相，由前面章节可知，霍尔传感器的输出反映转子的反电势信息，依据霍尔状态生成的正弦波相电压电压与转子反电势同相位。而由于电机为感性负载，因此电机相电流滞后于相电压。即电机相电流滞后于反电势。而霍尔最大转矩输出时，电机相电流与反电势同步，因此需要调整电压相位，使生成的相电压超前于反电势，即超前角 Δ。适当调整 Δ，可使相电流与反电势同相位，提高输出转矩，提高系统效率。超前角的调整可通过实验形式手动调整，或者采用一定的算法自动调整



Thanks

中国. 深圳高新中区科技中二路深圳软件园二期11栋203

邮　编：518057
电　话：+86　755-8618-1158
传　真：+86　755-2686-7715

网　址：www.fortiortech.com
邮　箱：　info@fortiortech.com

公众号

官网