

基于霍尔传感器的直流无刷电机 180° 正弦波控制

戴观祖 Garrick Dai

Sales and Application/Shenzhen OEM

摘要

本文主要介绍基于霍尔传感器的直流无刷（三相）电机控制（或变频控制）原理及算法实现。深入浅出，从最基本的霍尔传感器（锁存型）DRV5013介绍开始，接着介绍无刷电机的霍尔典型安装位置，详细说明了基于霍尔位置反馈的梯形波（方波）控制算法原理。然后以此为基础，重点说明了无刷电机的180度正弦波控制基本原理、两相调制的原理及实现方法、基于霍尔位置反馈的调制波时序和如何控制PWM载波占空比Duty等完整算法。通过低成本的霍尔传感器和性能适中的处理器和稳定可靠的180度正弦波算法，能实现无刷电机接近FOC矢量控制的性能（效率和噪音等），实现方案的性价比最大化。

内容

1	霍尔传感器	2
1.1	霍尔元器件.....	2
1.2	霍尔传感器芯片.....	3
2	基于霍尔传感器的无刷电机 120° 梯形波（方波）控制	4
2.1	霍尔芯片的安装位置.....	4
2.2	带霍尔 120° 梯形波（方波）控制原理.....	4
2.3	带霍尔 120° 梯形波（方波）控制时序.....	5
3	基于霍尔传感器的无刷电机 180° 正弦波控制	6
3.1	三相交流电基础.....	6
3.2	带霍尔 180° 正弦波控制原理.....	6
3.3	两相调制原理及实现方法.....	7
3.4	基于霍尔芯片位置反馈的调制波形时序.....	8
3.5	如何控制 PWM 载波的实际占空比 Duty.....	9
4	小结	10

插图

图 1	霍尔传感器原理	2
图 2	霍尔元器件	2
图 3	Hall 传感器芯片及输出电压	3
图 4	Hall 芯片输出与检测磁场关系	3

图 5 Hall 元器件与 Hall 芯片输出对比3
 图 6 典型的霍尔芯片安装及位置反馈输出组合4
 图 7 无刷电机的梯形波控制原理.....4
 图 8 无刷电机的梯形波控制时序.....5
 图 9 三相交流电6
 图 10 无刷电机的正弦波控制原理.....6
 图 11 两相调制7
 图 12 线/相间电压8
 图 13 霍尔位置反馈与调制波对应时序.....9
 图 14 调制波、PWM 载波及内部三角波10

1 霍尔传感器

霍尔传感器能够根据输入电流 I_c 、磁通密 $^\circ$ B 及 B 与霍尔传感器平面夹角的正弦值，正比地输出电压 V_H 。如下图及公式。磁场方向或者控制电流方向的反转会导致输出电压 V_H 的极性反转。若两者方向同时反转则 V_H 极性保持不变。通过保持控制电流恒定，那么霍尔输出电压可以被用来测量磁通密度。

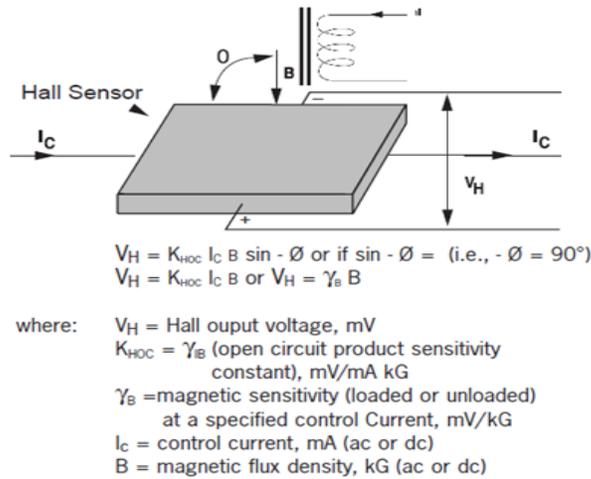


图 1：霍尔传感器原理

1.1 霍尔元器件

霍尔元器件(Hall Element)一般有 4 个管脚--2 个输出管脚和 2 个输出管脚，输出电压正比于磁场，并且输出为模拟电压，一般为对称的差分信号，需要额外的放大器。

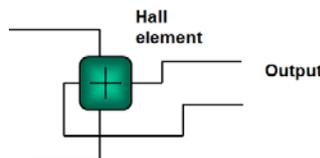


图 2：霍尔元器件等效图

1.2 霍尔传感器芯片

霍尔芯片(Hall IC)包含霍尔元器件以及信号调理电路，去转换模拟输出电压为数字电平输出。如下左图所示锁存器霍尔传感器 DRV5013 芯片。下右图为霍尔的输出，当霍尔检测到的磁场大于 B_{OP} 时（如磁场南极）输出低电平[0]并保持，当检测到的磁场小于 B_{RP} 时（如磁场北极）则输出高电平[1]并保持。 B_{OP} 和 B_{RP} 由不同灵敏度档位的芯片型号决定。以下霍尔传感器芯片或霍尔芯片或霍尔等都默认为锁存型霍尔芯片。

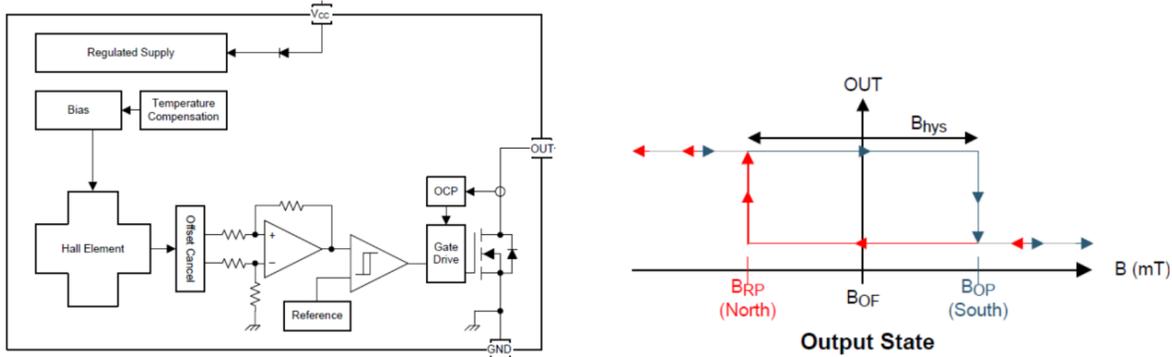


图 3: Hall 传感器芯片及输出电压

进一步说明锁存型霍尔的输出与磁场关系，如下图示，与 DRV5013 垂直方向的磁场为有效磁场，当磁铁顺时针旋转时，有效磁场如下图右上的曲线变化，DRV5013 的输出则如下图右变化。

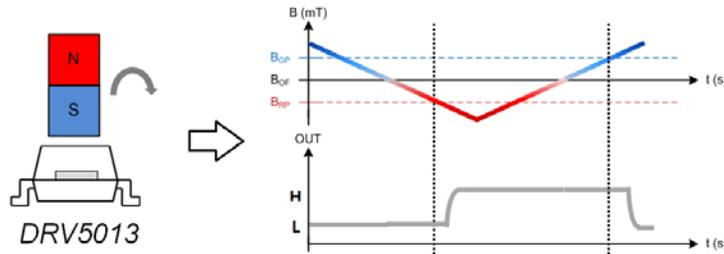


图 4: Hall 芯片输出与检测磁场关系

下图为霍尔元器件和霍尔芯片的输出对比，可以看到霍尔元器件输出一对模拟的差分信号，一般幅值很小，而霍尔芯片直接逻辑高低电平输出。霍尔元器件成本较低，但需要接外部的比较器到处理器。

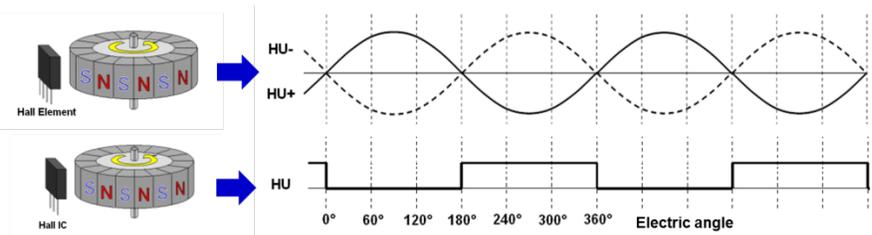


图 5: Hall Element 元器件与 Hall IC 芯片输出对比

另外 DRV5013 有四种灵敏度档位选择，分别对应(B_{OP}/B_{RP})为 DRV5013FA(1.3/-1.3mT)、DRV5013AD(2.7/-2.7mT)、DRV5013AG(6/-6mT)和 DRV5013BC(12/-12mT)。其中 mT 为磁场强度单位，毫特斯拉，1mT 相当于 10Gs（高斯）。

2 基于霍尔传感器的无刷电机 120° 梯形波（方波）控制

基于霍尔的三相直流无刷电机（以下简称无刷电机或直流电机）的 120 度控制，又称为 6 步控制法，是无刷电机（变频）控制的基础，控制逻辑相对简单，霍尔芯片提供电机转子位置反馈，以决定下一步的控制逻辑。精确可靠，霍尔 DRV5013 稳定可靠、相比较于其他位置反馈方案如角度传感器、旋变 encoder、编码盘等成本最低。该实现方法简单可靠，电路简单并且对处理器性能要求不高，整体电控成本非常低。当然缺点是三相线圈每时段只有两相导通，利用率不高，方波电流导致电机效率相对不高以及电机噪音和震动水平相对较高。

2.1 霍尔芯片的安装位置

对于三相无刷电机，放置 3 个霍尔传感器芯片于每 120° (电角度，下同)夹角，用来检测电机转子的位置信息，从而给控制算法提供位置反馈。典型的霍尔传感器芯片安装位置如下图所示，U 相、V 相和 W 相分别为无刷电机的三相定子线圈，中间转子为永磁铁，为简化说明等效为一对极。这样电机转子每旋转 60° 则 3 个霍尔芯片对应位置反馈输出按一定组合顺序切换。下图右为正转/顺时针旋转时的切换顺序，反之亦然。



图 6：典型的霍尔芯片安装及位置反馈输出组合

2.2 带霍尔 120° 梯形波（方波）控制原理

如下图无刷电机梯形波控制算法基本原理。首先交流电整流为直流电压，又称 Converter。后级为变频部分（inverter），包含 6 个开关器件（FETs）--上桥臂的 u,v,w 和下桥臂的 x,y,z。

通过按照一定顺序控制这些 FET 开关器件，比如— 1: u-y, 2: u-z, 3: v-z, 4:v-x, 5: w-x, 6: w-y（假定电机方向为正转），那么流过电机线圈的电流则会按照这个顺序— 1: U 相到 V 相(U->V)， 2: U 相到 W 相(U->W)， 3: V 相到 W 相(V->W)， 4: V 相到 U 相(V->U)， 5: W 相到 U 相(W->U)， 6: W 相到 V 相(W->V)。共 6 步，如此循环，如下图示。

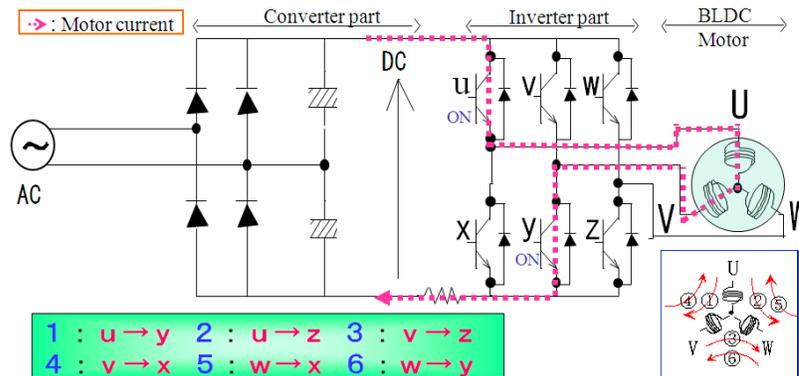


图 7：无刷电机的梯形波控制原理

同理，若电机方向为反转，则开关顺序为 1: u->z, 2: u->y, 3: w->y, 4:w->x, 5:v->x, 6:v->z。

2.3 带霍尔 120° 梯形波（方波）控制时序

根据上图 7 的控制原理，我们可以画出如下图的控制时序图，它阐明了开关器件 u,v,w,x,y,z 与三相终端电压 U、V、W 以及 3 个霍尔芯片位置反馈 HU、HV、HW 的逻辑关系。在每 180° 内，每相 U/V/W 只工作 120°，并且相电压近似于梯形波，电流近似于方波，所以该控制算法被称为 120° 梯形波或方波控制。

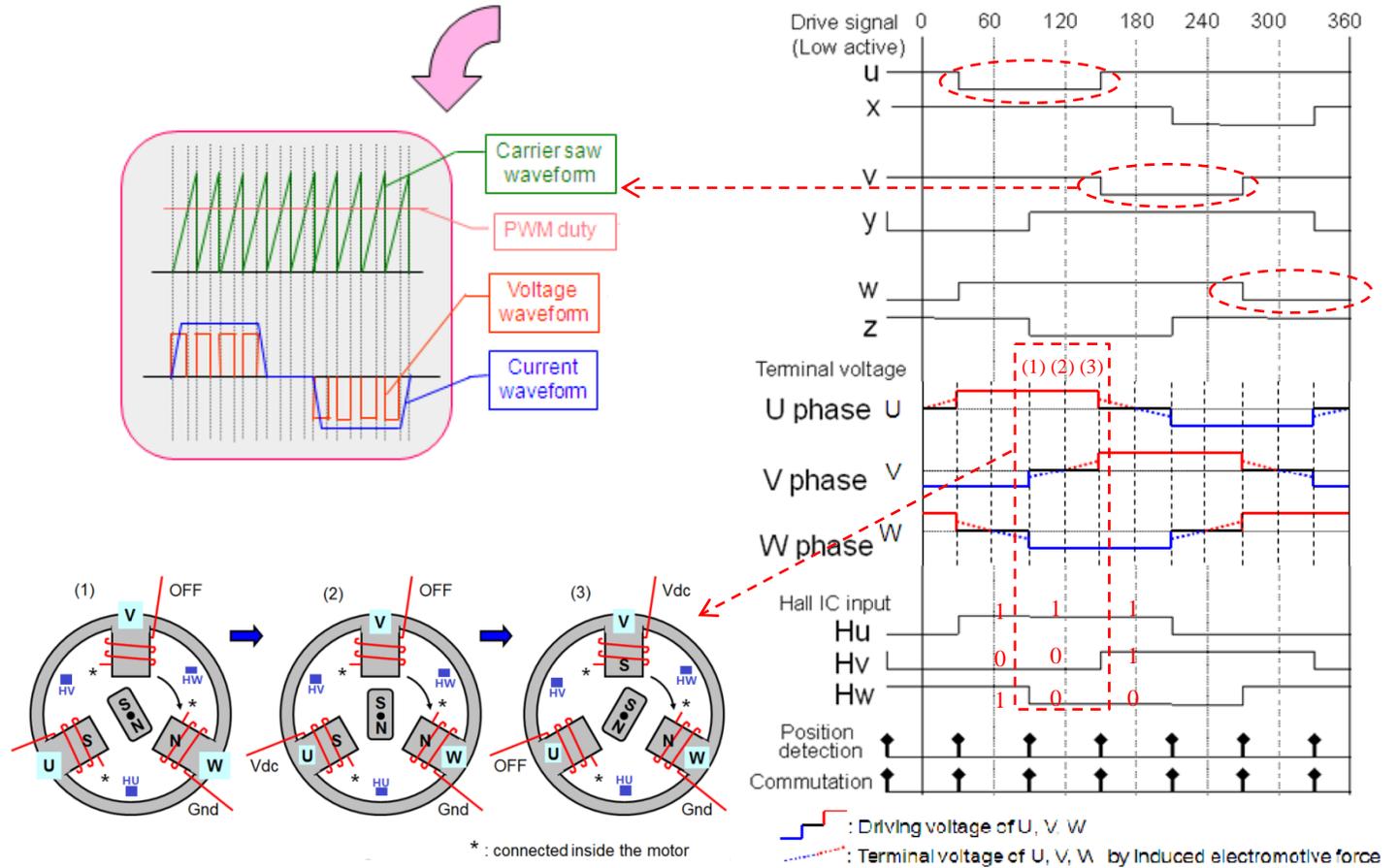


图 8：无刷电机的梯形波控制时序

如图 8 左上，PWM 载波是通过比较内部锯齿波和需要设定的占空比 Duty 来产生的。调节占空比大小可以基于当前的转速来控制电机的加速或者减速。锯齿波可以通过处理器 MCU 内部 Timer 定时器产生，以霍尔芯片的位置反馈为中断，每检测到霍尔位置，就开始换相 commutation 下一步，然后 MCU 接着开始检测下一次的位置反馈中断。按照上述 6 步不断换相的 1: (U->V), 2: (U->W), 3: (V->W), 4: (V->U), 5: (W->U), 6: (W->V)。再循环往复。

霍尔位置反馈对应于控制时序或相电压关系，可以用虚线框及图 8 的左下图为例详细说明。虚线框中电流从 U 相流到 W 相（下一步为 V 相流到 W 相），在定子 U 相产生 S 极，在 W 相产生 N 极磁场，拉动转子磁铁顺时针旋转。在图中的(1)到(3)变化过程中，在(1)前的[HU,HV,HW]电平为[1,0,1]，到(1)之后和(3)之前，[HU,HV,HW]电平为[1,0,0]，到(3)后，进一步变成[1,1,0]。如此往下走完 6 步并以此循环。

3 基于霍尔传感器的无刷电机 180° 正弦波控制

发电机是机械能转换为电能，而电机是电能转换为机械能，过程正好与发电机相反。三相交流电每相电压和相间电压都是正弦波，任意时刻三相幅值之和为零。我们可以用数字方法，通过周期地按一定变化规律来改变相电压上的加载的 PWM 载波的占空比 Duty，理论上是可以获得每相和相间的正弦波相电压（调制波）。相对于 120° 梯形波控制，正弦波 180° 无刷电机控制具有明显优势—更高效率、换相时更平滑的电压波动、更低的电机噪音和震动水平等。

3.1 三相交流电基础

下图是三相交流发电机基本知识，每相相电压 V_2 为正弦波（假定幅值为 1），相位差 120 度。相与相之间电压为相间/线间电压 V_1 也为正弦波，幅值为 V_2 的 $\sqrt{3}$ (1.73) 倍。

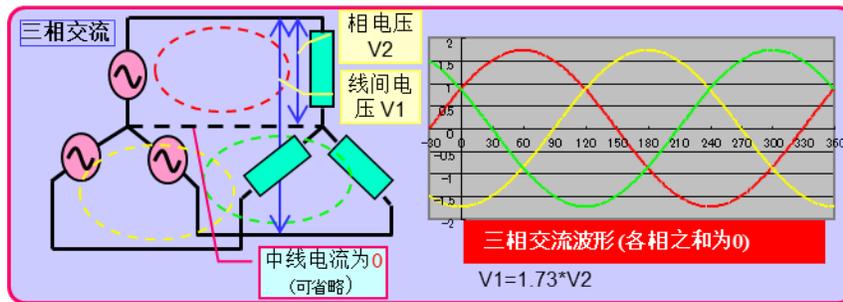


图 9：三相交流电

3.2 带霍尔 180° 正弦波控制原理

下图是 180° 正弦波控制的基本原理，也称为两相调制。图中箭头是电机相电流路径（其中一步）。当一相下桥臂打开，同时另外两相上桥臂打开，上桥臂内含 PWM 载波，通过按照两相调制波的对应数（幅）值来改变 PWM 的占空比 Duty，这样就得到正弦波的相电流波形。

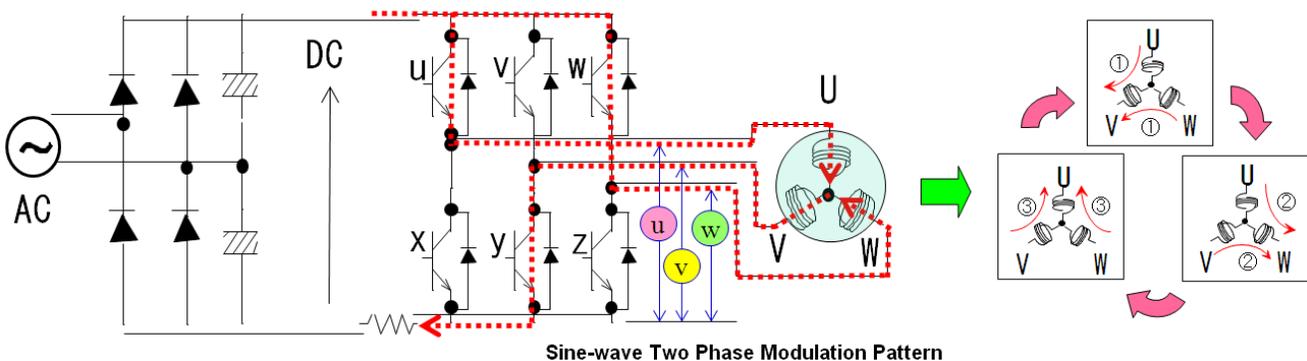


图 10：无刷电机的正弦波控制原理

每周期 360 度共分 3 大步，每步 120 度，对应的相电流路径如上图右所示，分别是—1: $U \rightarrow V, W \rightarrow V$;
2: $U \rightarrow W, V \rightarrow W$; 3: $V \rightarrow U, W \rightarrow U$ (假定正转)。反转亦然。

3.3 两相调制原理及实现方法

下图 11 左为正弦波控制的无刷电机每相电压波形，每相相位差 120° 。结合上图 10 控制原理，把 u 、 v 、 w 分别对地电压标为 V_u 、 V_v 、 V_w ，亦即下图圆圈小写字母 uvw 对应波形。那么这 3 步对应的--

第 1 步 120° 的区间 $[-30^\circ \sim 90^\circ]$: 此时 V 相下桥臂导通到地，所以 $V_v=0$ ， $V_u=U$ 相电压- V 相电压， $V_w= W$ 相电压- V 相电压。

第 2 步 120° 的区间 $[90^\circ \sim 210^\circ]$: 此时 W 相下桥臂导通到地，所以 $V_w=0$ ， $V_v=V$ 相电压- W 相电压， $V_u= U$ 相电压- W 相电压。

第 3 步 120° 的区间 $[210^\circ \sim 330^\circ]$: 此时 U 相下桥臂导通到地，所以 $V_u=0$ ， $V_w=W$ 相电压- U 相电压， $V_v=V$ 相电压- U 相电压。

按照上面 3 步把 V_u 、 V_v 、 V_w 计算后绘制出波形，也就是图 11 的右图波形，其中第 1 步对应右下图区间是 $-30^\circ \sim 90^\circ$ 。第 2 步对应右下图区间是 $90^\circ \sim 210^\circ$ 。第 3 步对应右下图区间是 $210^\circ \sim 330^\circ$ 。 $V_u/v/w$ 最大值幅值为相电压幅值的 $\sqrt{3}/2$ 倍 ($2 \cdot \sin 60^\circ$)。

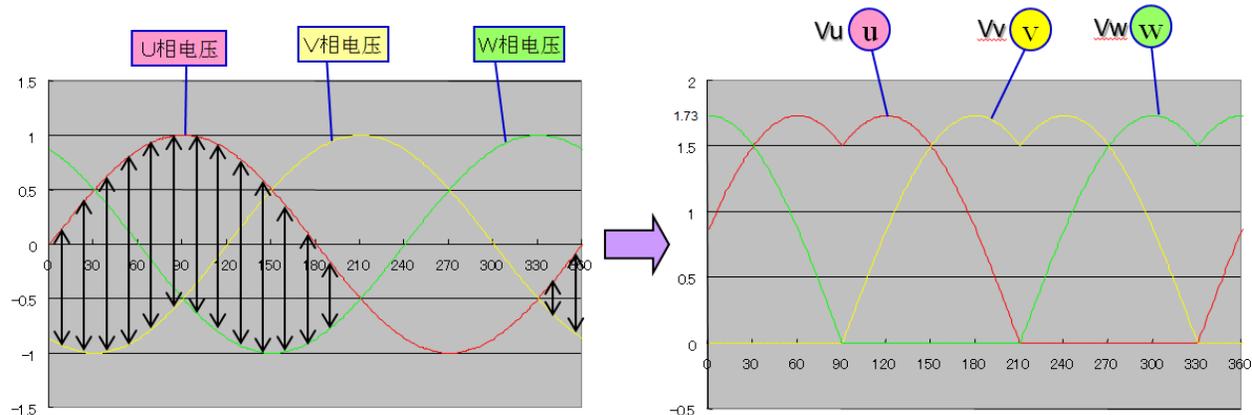


图 11：两相调制

该两相调制波形的每 1 度（电角度）所对应的幅值，可以通过预先存储好的正弦表中查询读出来使用即可。例如可以选择 360 个点，对应每一度，预先在程序中存好调制波对应的每一点的正弦计算数值，这样在控制算法中可以直接读取调用，节约处理器计算时间。

另外，分别用 V_u 、 V_v 、 V_w 两两相减，可以得到相与相之间的相间电压-- V_{u-v} 、 V_{v-w} 、 V_{w-u} 如图 12 下图示的红色波形曲线、黄色波形曲线和绿色波形曲线。可以看到每相电压和相间电压都是正弦波，而我们能控制的是 6 个开关管子的输出，也就是相/线间电压（调制波）。反推回来，可以通过控制 6 个开关管的载波 PWM 的占空比 Duty（按照上述的正弦表对应值），得到输出正弦波的三相相间电压（调制波），从而得到三相每相正弦波电压（调制波），也就能得到每相电流的正弦波。所以该控制方法即为直流电机的两相调制的正弦波控制。

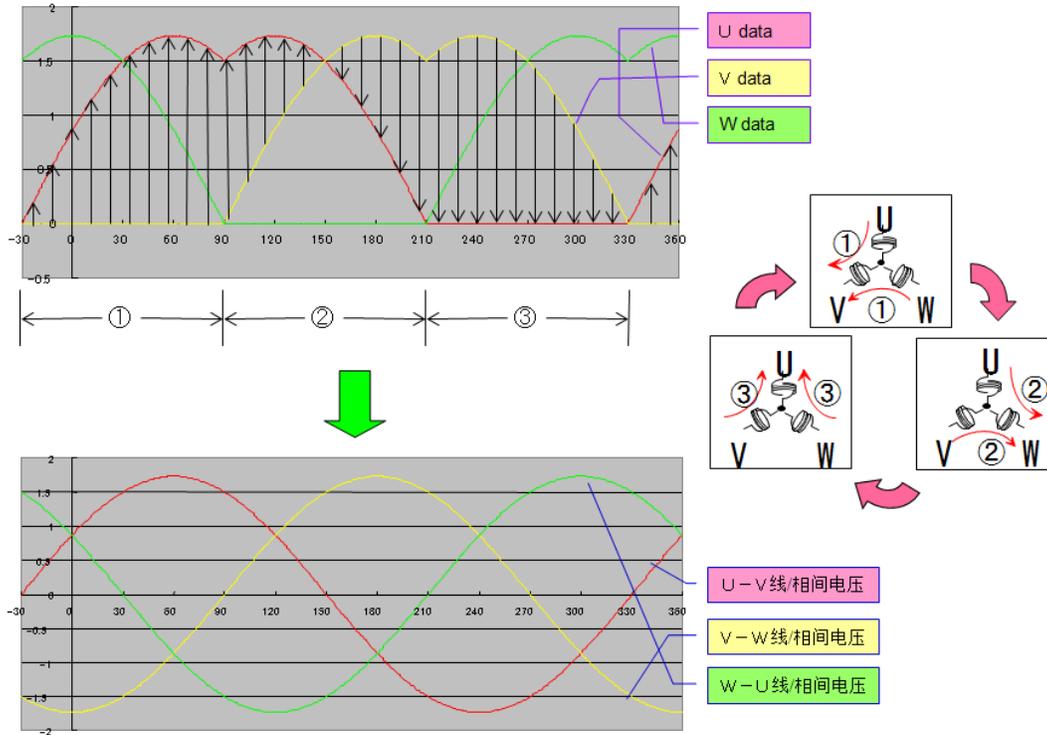


图 12: 线/相间电压

上述的幅值都是基于基准单位 1 的。当然上述的调制波形是开环控制，没有电机转子的位置闭环控制，所以下节会进一步阐述。

3.4 基于霍尔芯片位置反馈的调制波形时序

调制波的对应时序依赖于检测转子位置的霍尔芯片的输出，对应时序如下图。可参考前文第 2.3 节梯形波控制算法里的说明，例如图 8 中在 U 相流到 W 相然后 V 相流到 W 相，对应霍尔组合[HU,HV,HW]为[1,0,0]和[1,1,0]。这相当于正弦波控制算法里的第 2 大步，即 U 和 V 相同时流入 W 相，也就是下图 13 中虚线框的(2)和(3)。

另外，在霍尔每 60 度（电角度，下同）内，从一个任意霍尔的上升沿（或下降沿）到下一个任意霍尔的下降沿（或上升沿）来计数。计数的时间用来读取调制波的下个 60 度的相位的正弦表数值。如下图所示，HU、HV、HW 分别为 3 个霍尔输出。调制波区间(1)' 是从 HU 的上升沿到 HW 的下降沿，往前移动(1)的长度。同理，调制波区间(2)' 是从 HW 的下降沿到 HV 的上升沿往前移动(2)的长度。如此往下，所有的 6 段区间照此，也就是下一步 N+1 的区间长度由当前步 N 区间长度决定。换句话说，我们不能通过控制每步区间长度（时间）来改变电机运转频率，只能是通过检测霍尔组合的变化决定下个调制波区间，以及从当前步区间长度来决定下一步的区间长度。从而得到霍尔反馈输出和调制波 Pattern 的对应关系，以达到闭环的控制方式。

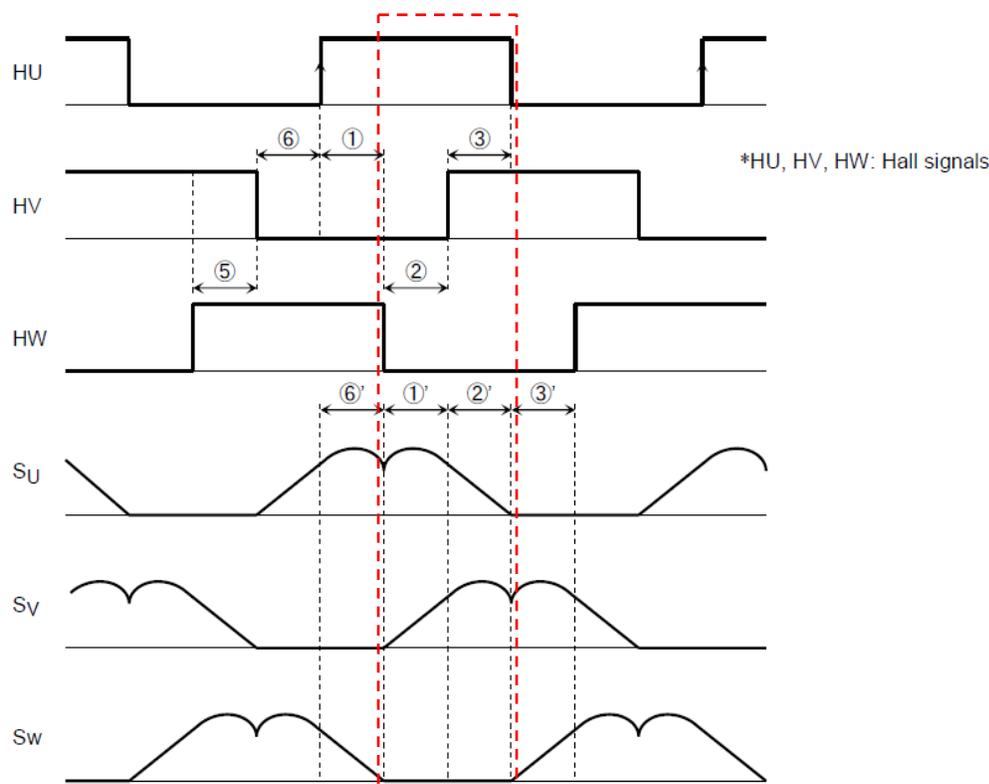


图 13: 霍尔位置反馈与调制波对应时序

3.5 如何控制 PWM 载波的实际占空比 Duty

PWM 载波频率由内部三角波频率决定，如下图所示。通过比较调制波（每点对应幅值）和内部三角波（相同对应点幅值），可以得到每点对应的 PWM 的占空比。图中可以看到，调制波中幅值越大的点，对应于上桥臂更大的 PWM 占空比（也就是开关管 ON 时间越大）。调制波幅值为零的点对应于下桥臂保持 100% 的 ON（和上桥臂占空比为 0）。

实际上，调制波正弦表数值只是控制每周期内 PWM 占空比变化的比率或相对关系。不同于梯形波控制方式，在正弦波控制算法下如果要控制直流电机的加速或减速，则需要控制变频模块（即 6 个开关管）的输出电压幅值，也就是正弦表的最大幅值。所以每点对应的实际占空比为该正弦表表数值乘以最大幅值。

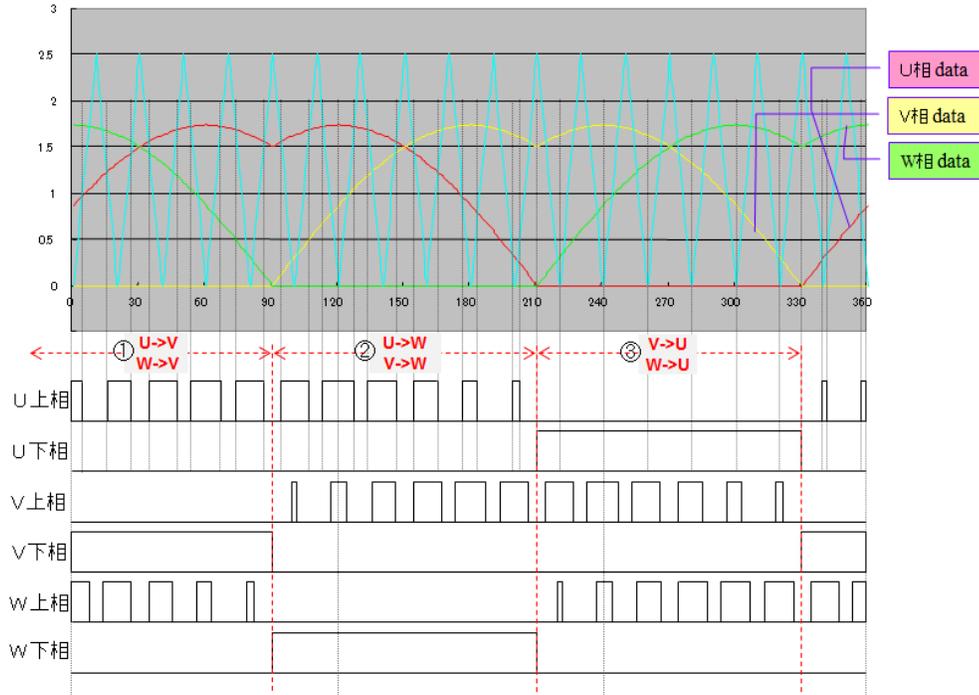


图 14：调制波、PWM 载波及内部三角波

需要注意的是，这里的三角波、PWM 载波和调制波不是物理形式上的波形，而是软件意义上的定时器及对应数据（表），用来计算实际所需的 PWM 占空比 Duty。到此，我们就可以得到 6 个开关管各 PWM 信号及其对应的 Duty 变化，从而通过数字方式实现基于霍尔的 180° 正弦波控制。

4 总结

相比较于梯形波120度控制算法，无刷电机的正弦波180度控制算法原理和控制时序都复杂很多，对处理器运算要求也增加不少，得益于霍尔传感器芯片的转子位置的精确反馈，保证了调制波时序同步和控制稳定性，使得正弦波控制的无刷电机效率明显提高、噪音和震动大幅减少。整体性能上基本上接近无刷电机的矢量控制FOC算法，但不需要FOC的复杂算法和高成本的高性能处理器，从而使得带霍尔的正弦波180度控制算法达到较高的性价比。

5 参考文献

1. DRV5013、DRV8308、DRV10970规格书。
2. TIDA00643 参考设计资料。
3. 变频调速控制系统，曾毅等 编著。
4. 交流电机数值控制系统，李永东 主编。

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products

Motor www.ti.com/motor
 Audio www.ti.com/audio
 Amplifiers amplifier.ti.com
 Data Converters dataconverter.ti.com
 DLP® Products www.dlp.com
 DSP dsp.ti.com
 Clocks and Timers www.ti.com/clocks
 Interface interface.ti.com
 Logic logic.ti.com
 Power Mgmt power.ti.com
 Microcontrollers microcontroller.ti.com
 RFID www.ti-rfid.com
 OMAP Mobile Processors www.ti.com/omap
 Wireless Connectivity www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Motor Drive & Control www.ti.com/motor
 Automotive and Transportation www.ti.com/automotive
 Communications and Telecom www.ti.com/communications
 Computers and Peripherals www.ti.com/computers
 Consumer Electronics www.ti.com/consumer-apps
 Energy and Lighting www.ti.com/energy
 Industrial www.ti.com/industrial
 Medical www.ti.com/medical
 Security www.ti.com/security
 Space, Avionics and Defense www.ti.com/space-avionics-defense
 Video and Imaging www.ti.com/video

TI E2E Community Home Page

德州仪器在线技术支持社

Mailing Address: 上海市浦东新区世纪大道1568号, 中建大厦32楼 邮政编码: 200122

Copyright © 2012, Texas Instruments Incorporated

e2e.ti.com

www.deyesupport.com

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默认的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司