

此份文件适合变频器入门人员参考。了解原理，初级维修

### 1. 原理简图

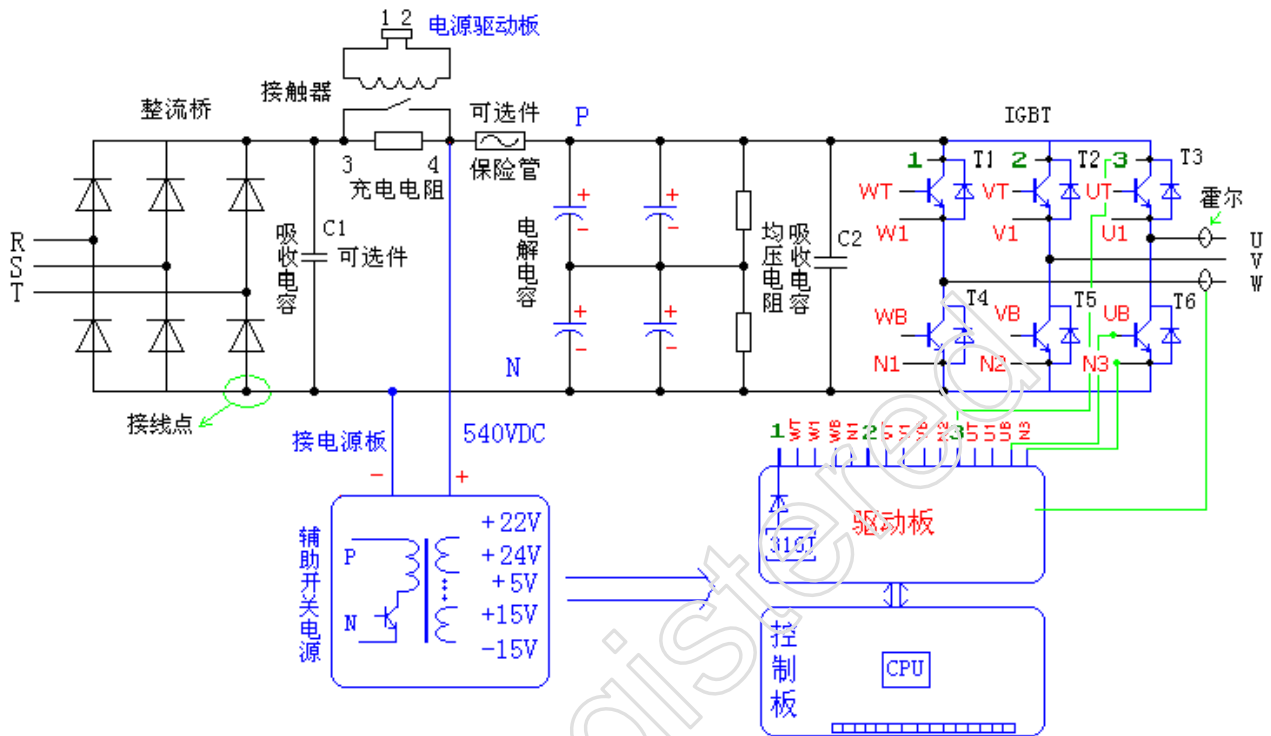
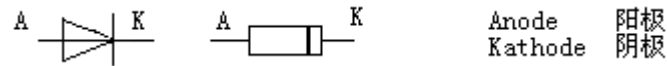


图 1

信号：一般分为数字信号与模拟信号。数字信号就是 0, 1, 很简单的理解 0 为低电平, 1 高电平。数字信号一般相当于一个方型波；模拟信号就好比一个正旋波形, 或者一线形波形, 它是一种连续的东西。CPU: 软件处理的地方, 就好比一台电脑。把数字信号模拟信号进行处理, 然后输出各种需要的数字或模拟信号。

### 元件部分

## 整流电路：



记住：二极管具有单向导通特性。

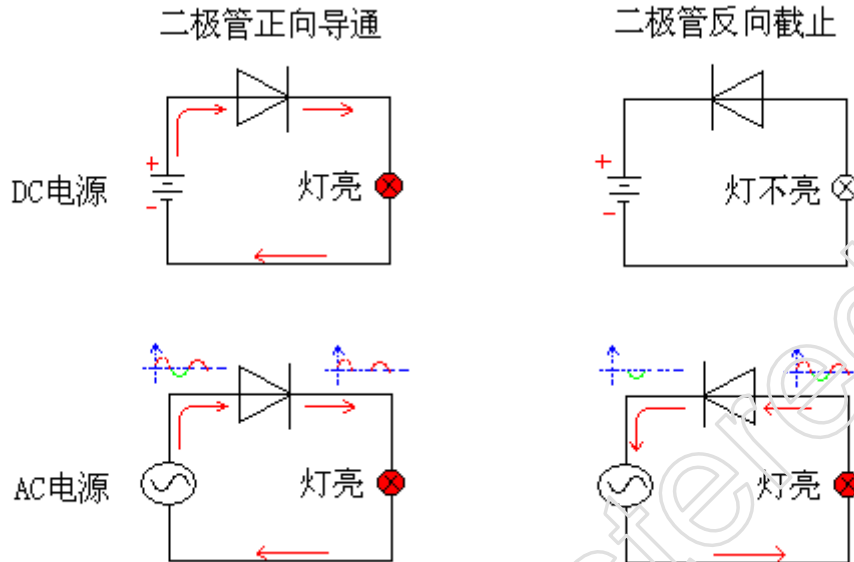


图 2

开关电源中二极管的选择：整流二极管一般都需要反向恢复时间快的。一般二极管有以下几种：肖特极二极管（反向恢复时间很短 5uS 左右，但反向耐压一般在 100V 以下），超快恢复二极管（反向恢复时间短 25uS 左右，反向耐压一般都能做到 200V 以上），快恢复二极管（一般性）

如何选择二极管：注意点一看反向耐压值、二看正向额定电流值、三看反向恢复时间长短（规格书）、四看正向压降。

相同规格的二极管可以替换，比如 BYV27-200 为超快恢复二极管，反向耐压 200V，正向电流 2A；这样可以找到相同规格的二极管去替代比如 UF202 参数与 BYV27 一样。

二极管好坏检测：把万用表放到二极管挡，红表笔接 A 脚处，黑表笔接 K 脚处（K 旁边有一横线），显示 0.30~0.60 左右。然后二表笔对调，显示 OL，则表示此二极管是好。

## 变频器中整流电路：

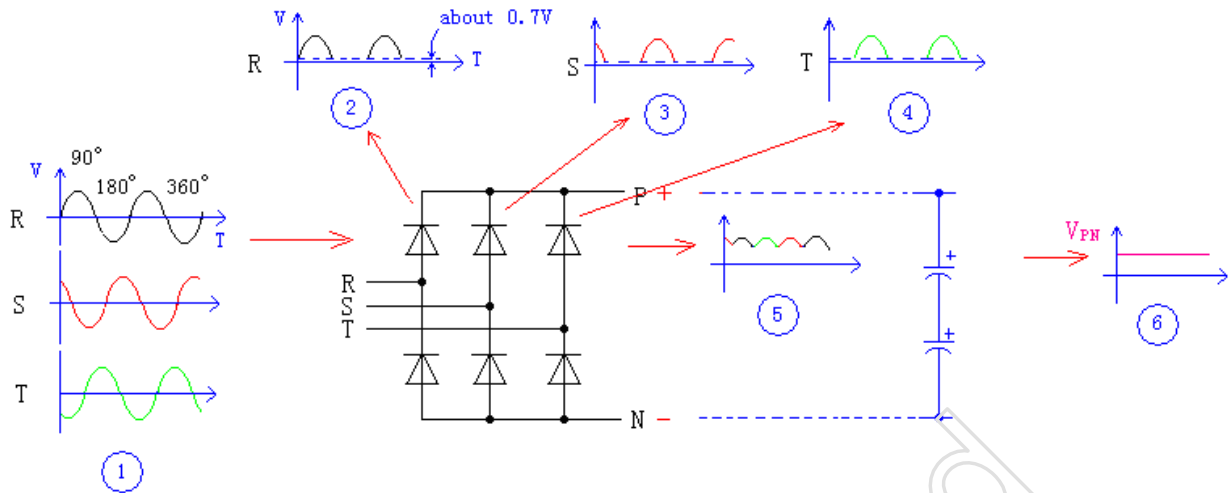


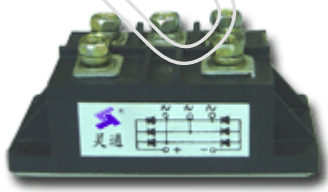
图 3

R、S、T三相电，每相电压波形相差  $120^\circ$ ，如上图①所示。三相电通过整流桥整流，每相的波形如图②、③、④所示。因为它们在相位上各相差  $120^\circ$ ，所以在任一个时间周期上波形不可能重叠。这样经过整流后的三相波形相加就成了图⑤波形。这个波形看起来好象水波一样，一浪一浪的，其实那是为了更直观去看。对于  $50\text{HZ}$  的电压来说  $T = 1/F = 0.02\text{S}$ ，一个周期的时间很小，所以真正整流后的波形是没那么凸的，相对来说会接近水平线。我们知道电容具有储能作用，加上电解电容后整流后的波形就成一水平线。交流  $380\text{V}$  电压经过整流后成直流母线电压

$$V_{PN} = 380 \times \sqrt{2} = 538\text{V}$$

整流桥的选择：

对于  $380\text{V}$  额定电源来说，一般二极管的反向耐压选择  $1200\text{V}$ ，二极管的正向电流为电机额定电流  $I$  的  $1.414 \sim 2$  倍。例如一台  $22\text{KW}$  的变频器，电机额定电流  $45\text{A}$ ，可以选择整流桥的规格： $1200\text{V}$ ， $65 \sim 90\text{A}$  或者更大容量的。



三相整流桥

整流桥检测：判断方法与二极管一样，只不过是几个二极管组合在一起，分别去测量每个二极管的好坏。图 3 为三相整流桥原理。

## 充电电路：

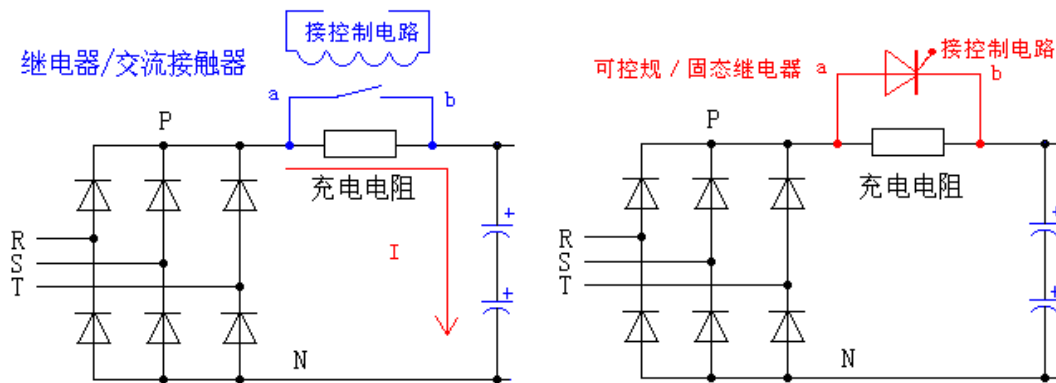


图 4

电容的特性：电压不能突变，即在瞬间加在电容二端之间的电压不会变化，在开机前电容二端的电压为 0V；所以在上电（开机）的瞬间电容对地为短路状态。如果不加充电电阻在整流桥与电解电容之间，则相当于 380V 电源直接对地短路，瞬间整流桥通过无穷大的电流导致整流桥炸掉。加上充电电阻限流后，要是不并继电器或其他元件，因为流过电流很大，比如对于 22KW 的变频器，在 PN 端（直流母线）上至少有 45A 的电流。 $P=I^2 \times R$  由此公式可以看出这样在充电电阻上将会有很大很大的功率损耗。换句话说如果“接控制电路”部分出问题（比如继电器或者可控硅等等质量有问题）则在变频器运行一会儿充电电阻就将因发热太大而坏掉（冒烟）；对于中小功率变频器，要是充电电阻质量很好很好，且阻值也足够大，由公式  $V = I \times R$  可以知道在充电电阻二端的电压  $V$  将很大。而 PN 端经整流后电流大概为 540V，540 - V 为充电电阻后面的电压即变频器工作直流母线电压。因为一般变频器都有设定其工作电压范围，对于三相 380V 变频器而言，要是工作电压低于 430V 左右，变频器将跳 UV（欠压）保护。

图 4 工作原理：380V 交流电整流后经过充电电阻对电解电容充电，当充到一定值（比如 200DCV）辅助电源启动给控制板供电，让控制板工作从而继电器或可控硅接通，充电电阻就不用再工作了。在开机的瞬间，流过整流桥的电流  $I = \frac{V}{R} \dots\dots (1)$ ；如果 R 大则 I 小，如何去确定充电电阻的大小呢？是不是充电电阻越大越好还是小点好呢？

有些变频器产品一开机，整流桥马上就被炸掉了。由上面公式（1）知道 R 越大，在开机瞬间流过整流桥的电流就越小。而实际上一般一开机炸掉整流桥不是因为充电电阻 R 的选择小了，而是 R 太大导致整流桥的炸掉。开机后经充电电阻去充电，当充的电足够辅助电源启动（比如 200V），CPU 工作，发出信号给继电器或可控硅让其导通。在继电器导通瞬间继电器 b 点处电压要是很低（比 200V 大），而 a 点电压是 380VAC 直接整流过来大概在 540VDC 左右，所以 a、b 二端压差很大。在接触\导通瞬间电流很大，就好比 a、b 是一个很小很小的电阻，瞬间几百伏电压加上去，这样整流桥流过的电流远远大于整流桥额定电流所以把整流桥炸掉。

不同功率变频器，充电电阻不一样，变频器功率越大，充电电阻越小。最直接理解：变频器功率越大需要电解电容的容量就越大，而电容的容量越大所需要充电的时间就越长。RC 决定充电时间，要想充电时间尽量短只有把充电电阻 R 放小。

一般充电电阻选择：大功率变频器选择充电电阻小，小功率变频器充电电阻大。最大值最好不要超过 300Ω，最小值最好大于等于 10Ω。电阻选小了对高压电容不好，电阻选大了容易炸机器。

## 继电器 \ 接触器

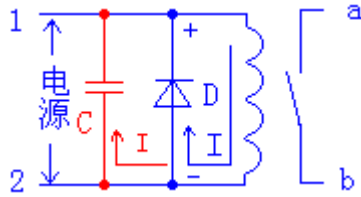


图 5

继电器原理：当线圈 1, 2 二端接上电源（交流或直流）后 a, b 导通。当 1, 2 脚间加上直流电源的时候，需要在线圈二端并个二极管 D；当 1, 2 脚间加上交流电源的时候，需要在线圈二端并上吸收电容 C；因为继电器/接触器线圈是个感性元件，有储能作用。在断开电源时，线圈中所储存的能量要是不并吸收电容 C 或二极管 D 给线圈泻放能量，则此能量将成为一个很严重的干扰源，导致变频器乱跳故障！

继电器好坏判断：要是继电器不能正常闭合，少则变频器不能正常工作（参见充电部分），充电电阻烧坏或者启动后跳 OV（过压），重则变频器炸掉。如何去判断继电器的好坏呢？要是没有安装在 PCB 板或连接在机器上我们很容易就可以判断是好是坏。在继电器 1, 2 脚间加上额定的电压（比如 24VDC）则 a, b 导通，断开 1, 2 脚电压则 a, b 也断开。要是继电器安装在机器上了最简单的方法就是听继电器吸合的声音来判断。a, b 二端在吸合后压差为 0V，还有 a, b 二端的电阻值在吸合前为充电电阻的阻值。

## 电解电容 \ 均压电阻 \ 吸收电容

由图 2，我们知道电解电容具有储能，滤波，平滑波形作用。在没加电解电容前经过整流桥整流的波形好象水中的波浪（当然实际没有那么大的幅度，只是为了直观放大），而并上电解电容后经过整流后的母线电压就上一条很直的线。

PN 端的电压经过整流后一般在 540VDC 左右，因为电网是波动的，所以变频器的直流电压工作范围一般在 430VDC~700VDC 之间。而一般的高压电容都在 400VDC 左右，为了满足耐压需要就必须是二个 400VDC 的电容串起来作 800VDC 用。要是不在上下串联电容中并上均压电阻，因为二个电解电容不可能做成完全一致，这样每个电容上所承受的电压就可能不同，承受电压高的发热严重（电容里面有等效串联电阻）或超过耐压值而损坏。所以必须在二个串联的电容上再并上均压电阻去满足上下电容所承受的电压是一样的。

**电解电容容量的选择：**我们知道二个电容 C 串联后容量为  $C/2$ ，二个电容并起来的容量为  $2C$ 。（例如，470uF 的二个串联起来容量就只有 235uF，而并联起来的为 940uF）变频器功率越大，需要的电容就越大。一般选择经验为  $\geq 60\mu\text{F}/\text{A}$ 。例如，一台 15KW 的变频器 额定电流为 30A，需要的电容容量为  $\geq 60\mu\text{F}/\text{A} \times 30\text{A}$  即至少为 1800uF，所以一般选择 4 个 2200uF（二并二串）或者 2 个 4700uF 的电容（二串联）。当然还要去考虑所选电容品牌，品牌不同，质量相差会很大，这样所选的电容容量也相应需要去调整。

一般电解电容的容量都很大，特别是那些大的高压电解电容，而电容又是储能元件。所以需要特别注意在焊接，拿、放它时注意不能去接触电容的二个脚，或者短路它们，这样会很危险。

**均压电阻：**对于均压电阻没有什么过多的要求。注意功率的选择一般就可以了。阻值一般选择 51K  $\Omega$  就可以了。 $W=U \times I=U^2 / R = 645^2 / 51 \times 2 \times 10^3 = 4$

**吸收电容：**IGBT 的开关动作导致有很大的过流，过压产生，还有电机的能量回馈，要是没有吸收电容把那些尖峰滤掉，IGBT，开关电源中的 MOSFET（开关管）还有整流桥很容易就会被击穿。

所以吸收电容是一个很关键的地方。而因为 PCB 板的布局，还有铜排的走线不同，产品的抗干扰效果不一样。这样吸收电容的选择不能仅仅靠经验值去处理。还要依据整体布局（机箱）的好与坏来定。当然在不考虑成本的情况下吸收电容是越大越好。

注意事项：因为吸收电容的重要性，所以对它的装配，焊接也要特别注意。1、尽量把吸收电容放在 IGBT 模块的 P，N 端上；2、吸收电容的引脚要尽可能的短；3、质量。

## 压敏电阻及吸收电容 C1

压敏电阻安装在 RST 进线处，主要起防雷作用。在正常情况下压敏电阻不起作用，当有雷击从电网进来时，因为瞬间的高脉冲（高压）把压敏电阻击穿，相当于压敏电阻对地短路，这样雷击能量就在进变频器前被吸收掉了，避免损坏模块。此处的吸收电容主要是对电网的杂波进行滤波，把那些进去的干扰先滤掉。

## 霍尔

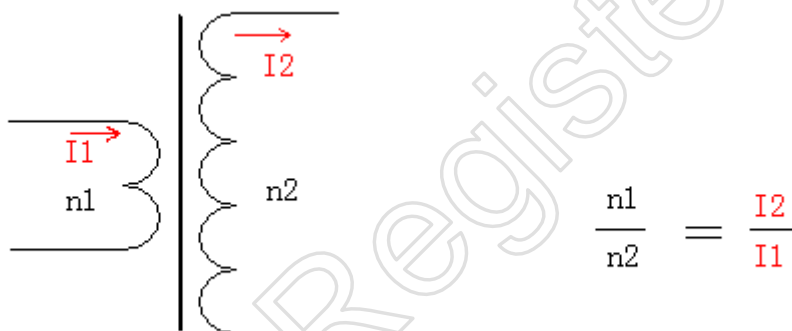


图 6

霍尔最简单的理解就是一个变压器（也叫电流互感器），由变压器原理知道： $I1 / I2 = n2 / n1$ （11），如上图。也可以这么理解：大电流很难直接去测量，所以呢要把它转换成小电流小信号去处理，如何去转换呢，由公式（11）知道要是  $I1$  大（实际的电流） $I2$  小（要用到它去计算反馈到 CPU 去），只有  $n2$  大， $n1$  小。 $I1$  为实际电流， $n1$  就是一条导线或一条铜排，即  $n1=1$ ， $n2$  可以查霍尔资料。这样可以算出从霍尔出来有多少电流， $I2$  也就知道。霍尔接口一般为：1 正电源（+15V）2 负电源（-15V）3 输出（Output）4 电源地（GND）。一般用到的霍尔又可以分为电压型霍尔还有电流型霍尔。既根据输出来判定为电流型的还是电压型的。其实二种型号的霍尔可以互换。由上面公式我们知道不管是电压型的还是电流型的，其实它们都是把大电流信号转换成小电流信号，即输出都为电流。实际上信号去 CPU 是以电压形式来表现的。所以到最后还是要转化为电压信号。电流信号如何转换为电压信号呢？我们知道公式  $V = I * R$  很简单的只要并个电阻就可以把电流信号换成电压信号了。电压型的霍尔我们可以理解在霍尔里面就直接并了一个电阻到地。直观理解转换参考下图：



图7

一般霍尔安装在 U, V, W 的其中二条相上, 具体哪二相上不同的软件有不同的要求。可不可以装三个霍尔呢? 肯定是可以, 并且效果还很好, 只是从成本上考虑才以最少量来设计的。

霍尔选择: 因为霍尔的作用是把大电流信号转换成小电流信号去 CPU, 让 CPU 去计算下一步该做什么工作。所以对于变频器来说霍尔是个很重要的元件, 要求它的抗干扰能力强。要是霍尔质量不好, 转换的小信号还没有那些干扰信号强, 输到 CPU 的信号就成为假的信号了, 不是真正 UVW 相中的信号去了。这样 CPU 很容易出现误动作。根据不同功率的变频器选择不同额定值的霍尔。我们知道一般变频器的过载能力在 200%, 这样通过霍尔的电流就至少要大于 2 倍此变频器额定电流的。有这个概念就好选择用多大电流的霍尔了。比如一台 45KW 的机器, 额定电流为 90A, 过载能力 200%, 就是 180A 的电流。那么选择霍尔就要 200A 的了。霍尔的选择不一定需要选与实际产品一样的 (同一个品牌), 注意电流的选择, 看好产品的品质就可以去替换了。

**注意点:** 霍尔还有方向性, 一般在霍尔上都会有箭头指向, 安装时箭头方向朝向端子为正。

## IGBT:

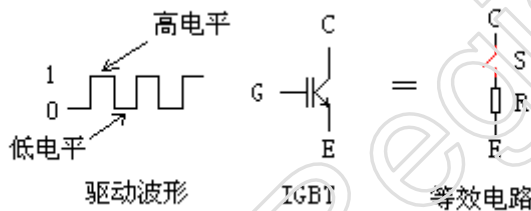


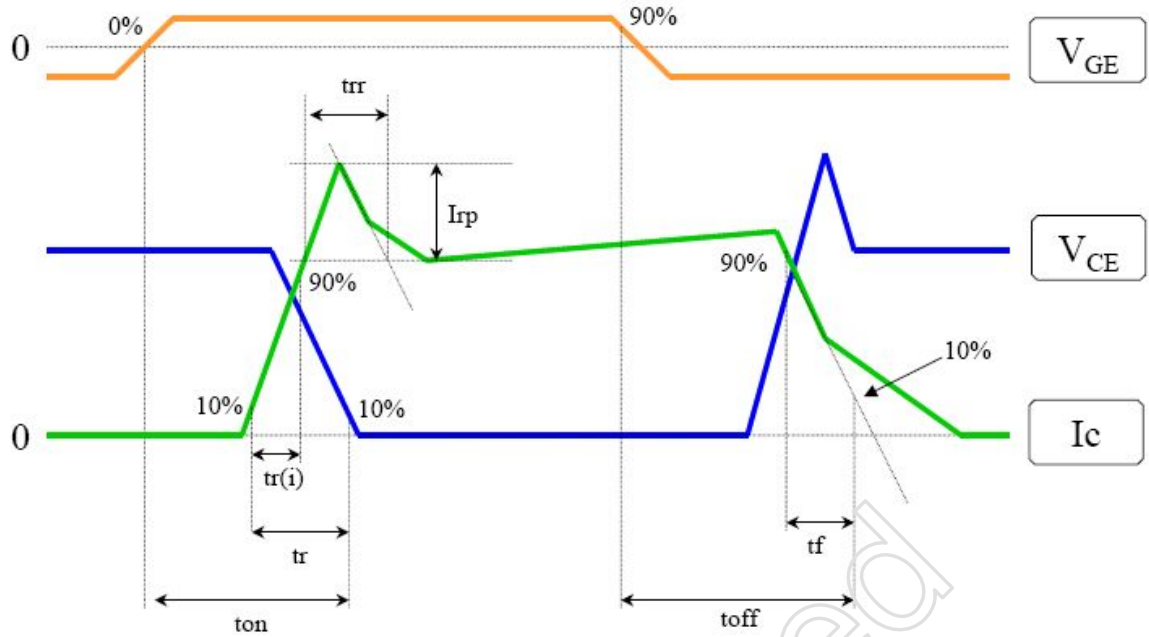
图8

由上图很清楚很直观理解 IGBT 的原理: 当有驱动波形加在 IGBT 的 G E 上时, 在驱动波形为高电平的时候 IGBT 导通。即相当于 S 闭合, 这样电流通过电阻 R 导通 (R 相当于 IGBT 的内阻)。当驱动波形为低电平的时候, S 断开, 没有电流流过。可以这么说 IGBT 在工作的时候就是一开一关状态, 至于开通时间及关断时间为多少就需要软件 (CPU) 去计算。

**IGBT 开通损耗:** 我们知道 IGBT 模块有大有小, 一般做变频器的 IGBT 模块有从 10A 到 400A 的, 也就是说有那么大的电流通过 IGBT 的内阻 R, 由  $I^2 \times R \times t$  (开通时间) = P (开通损耗) 我们知道要是 t 很大这样损耗会很大很大。实际上 t (时间) 是很小很小的  $t = 1 / f * D$  (f 为变频器的载波频率; D 为占空比, 对 D 具体解释参见开关电源部分)。一般变频器的载波频率在 2KHz ~ 16KHz。所以说  $t = 1 / 2KHz \sim 16KHz * D$  值很小。但因为 I 值 (模块额定值) 大, 即使开通时间短在期间损耗的能量也是很大的。

IGBT 在关断的时候也会损耗能量: 因为 IGBT 从开通状态到关断不是突变的, 由下图可以很直观理解。在开通的时候一般 IGBT 的压降 (C E 间) 在 2V~3V 左右, 关断在 540V 左右, 从 2V 到 540V 这段时间 ( $t_1$ ) IGBT 的损耗  $P_1 = U * I * t_1$  (注意 U I 都是变化的)

其实我们可以从图 9, 很直观看出, 不管是在开通还是在关断过程, 流过 IGBT C E 间的电压及其二端之间的电压不是突变的 (有个斜坡), 在这个斜坡阶段既有电流又有电压, 所以一定要消耗能量。



因为 IGBT 的工作状态是一开一关，在这一开一关中需要消耗很大的能量，载波频率越高，开关速度就越快 P + P1 的能量损耗就越大。所以一般来说在调试变频器的时候越大的机器载波频率就需要越小，减小变频器的过热（OH）。虽然相对来说大机器散热器越大，但要注意模块就那么大，热量不可能均匀分散到散热器上去的，它们很容易集中在模块左右。那是不是可以把所有机器的载波频率都调到最小值呢？当然什么东西好与坏都不是绝对的，在调试部分再具体分析载波频率参数的设定问题。

一般的 IGBT 模块封装有下面几种：

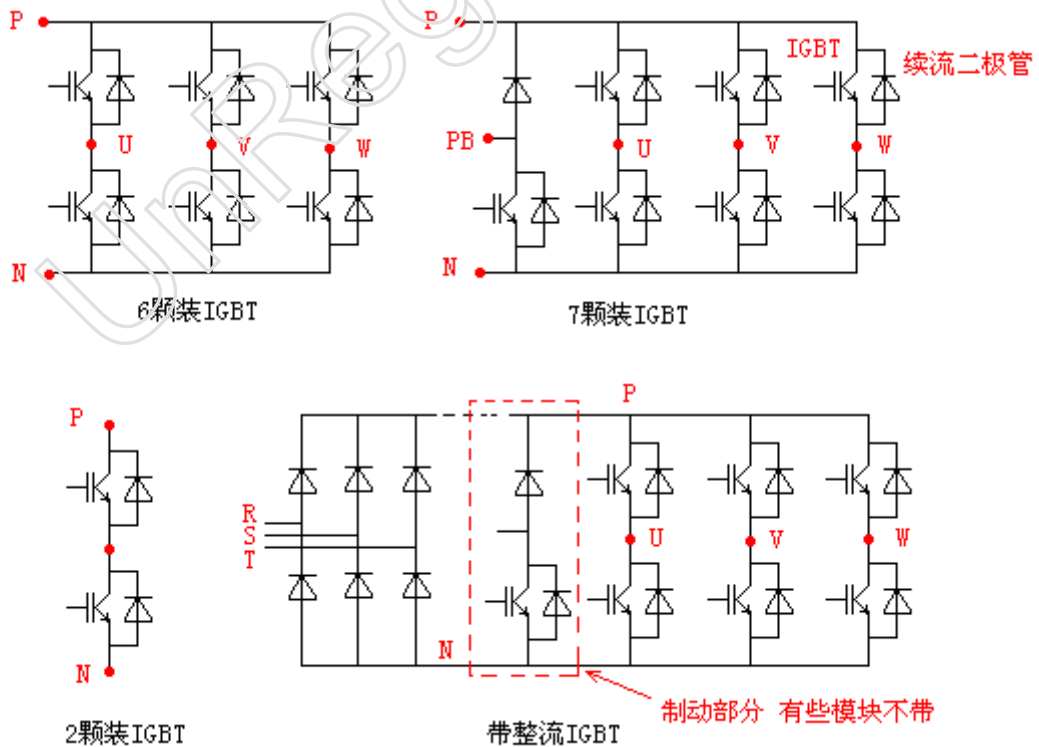


图 9

注意事项：上面我们知道 IGBT 的开关损耗很大，要是散热没做好，IGBT 很容易就会因为过热而被炸掉。所以在装配的时候特别注意 IGBT 需要与散热器完全接触好，一定要保证散热器与 IGBT 模块接触面的

光滑，无凹凸不平。散热胶需要均匀涂在 IGBT 上面。绝对不允许 IGBT 模块与散热器接触面上有杂物在上面。在 IGBT 模块是多个单个 IGBT 及二极管等集成在一起的，它们有很多脚位通过模块塑壳伸出来。所以一定要注意装配时的应力，小心模块脚与模块分离（断开）。当然对静电更加要注意防范。那东西看不见摸不着，一不小心模块可能就中标。

IGBT 好坏的判断：一般用万用表测量 IGBT 的好与坏主要是测量续流二极管的好与坏，至于 IGBT 只能量到它是否直通了。要是 C、E 间炸断了是无法用万用表去测量的。这样最简单最直接的判断方法就是用万用表测各个 IGBT 上并的那些二极管就可以。测量及判断方法与二极管一样。

万一要是 C、E 间被炸开了，而二极管没有坏或者 IGBT 被静电击穿了什么去判断呢？（这种情况很少但会有）用万用表又量不出来，这样只能通过上电去试用。通过调压器慢慢把电压调高去运行测量判断。

## 比较器

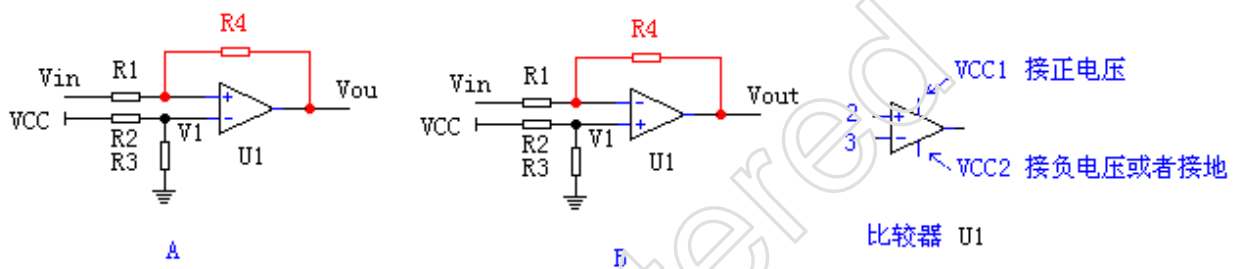


图 10

顾名思义比较器就是二个或二个以上信号去比较大小。图 10 二个简单的比较电路（U1 为比较器）其中 VCC1, VCC2 脚没有画出来。对图 10 A, 当输入信号（Vin）比参考信号（V1）高的时候，输出（Vout）为高电平；当输入信号（Vin）比参考信号（V1）低的时候，输出（Vout）为低电平。对图 10 B 刚好相反：当输入信号（Vin）比参考信号（V1）高的时候，输出（Vout）为低电平；当输入信号（Vin）比参考信号（V1）低的时候，输出（Vout）为高电平。简单来讲，**对于一个比较器当（+）脚比（-）脚电压高的时候，输出为高电平；当（+）脚比（-）脚电压低的时候，输出低电平。**

此处的高电平为 VCC1，低电平为 VCC2。R4 为可接可不接电阻，接上相对来讲抗干扰能力会好些。

举例说明：

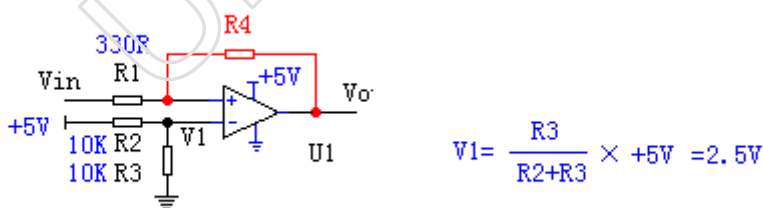


图 11

如图 11, R1=330R R2=10K R3=10K VCC1=+5V VCC2=0V（接地）可以算出 V1=2.5V

当 VIN 大于 2.5V 的时候，VO=5V（高电平）

当 VIN 小于 2.5V 的时候，VO=0V（低电平）

比较器好坏判断：如上说明。当输出为高电平的时候 VO 一定要等于 VCC1，当输出为低电平的时候 VO 一定要等于 VCC2。否则此比较器就是坏的。此处特别注意的是当 VCC2 接地的時候，要是输出电压为低电平，而实际上测量有零点几伏或者更大的电压时候，不一定是比较器坏了。要板没问题，那就不要去考虑它，要是板有问题，则电路有问题，不一定是比较器的，需要看周围电路。

## 运算放大器

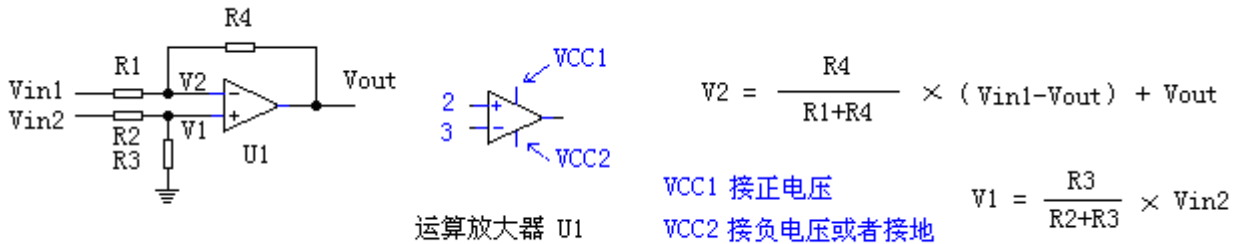
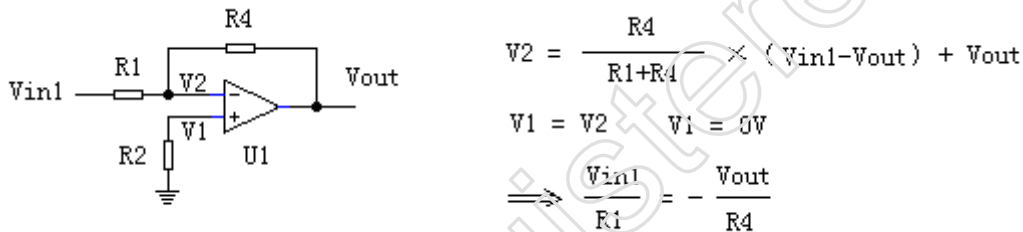


图 12

从图上我们看不出运算放大器与比较器有什么区别。也无法去测量到底哪个是哪个。最简单也是最正确的方法查找此 IC 的资料，从它们的规格书上了解到底是什么 IC。

对于运算放大器必须记住的是 **(+) 与 (-) 脚电压是永远相等的，即  $V1 = V2$** 。这样我们可以很容易算出  $V_{out}$  为多少。借用图 12 中  $V1, V2$  公式，很容易推出  $V_{out}$ 。

举个实际中常用的原理来理解。



由图 13 推导公式我们可以看到运算放大器的作用。通过改变  $R1, R4$  的大小来改变  $V_{out}$  大小。同时我们也要注意  $V_{out}$  方向也变了。输入为正输出就为负。要想把输出也变成正的再串个一样的运放就 OK。

从上面的讲解我们知道比较器在原理图上看起来好像是相同的東西，但实际上它们是不可以相互替换的。从它们的作用就可以看出来。

## 光藕

光耦合器亦称光电隔离器，简称光耦。光耦合器以光为媒介传输电信号。它对输入、输出电信号有良好的隔离作用，所以，它在各种电路中得到广泛的应用。目前它已成为种类最多、用途最广的光电器件之一。光耦合器一般由三部分组成：光的发射、光的接收及信号放大。输入的电信号驱动发光二极管 (LED)，使之发出一定波长的光，被光探测器接收而产生光电流，再经过进一步放大后输出。这就完成了电—光—电的转换，从而起到输入、输出、隔离的作用。由于光耦合器输入输出间互相隔离，电信号传输具有单向性等特点，因而具有良好的电绝缘能力和抗干扰能力。又由于光耦合器的输入端属于电流型工作的低阻元件，因而具有很强的共模抑制能力。所以，它在长线传输信息中作为终端隔离元件可以大大提高信噪比

光耦合器的性能及类型

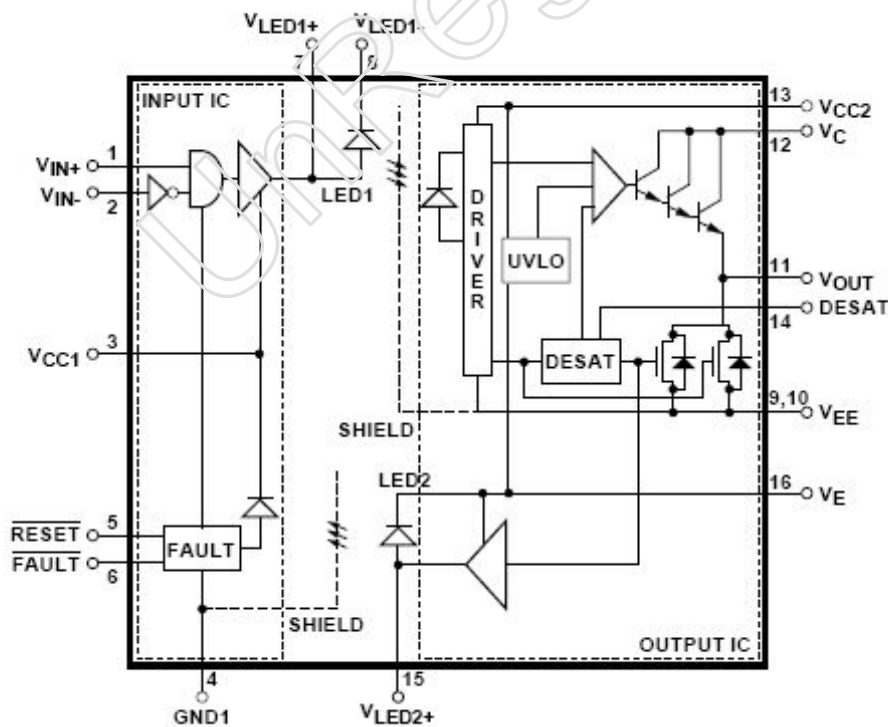
用于传递模拟信号的光耦合器的发光器件为二极管、光接收器为光敏三极管。当有电流通过发光二极管时，便形成一个光源，该光源照射到光敏三极管表面上，使光敏三极管产生集电极电流，该电流的大小与光照的强弱，亦即流过二极管的正向电流的大小成正比。由于光耦合器的输入端和输出端之间通过光信号来传输，因而两部分之间在电气上完全隔离，没有电信号的反馈和干扰，故性能稳定，抗干扰能力强。发光管和光敏管之间的耦合电容小（2pf 左右）、耐压高(2.5KV 左右)，故共模抑制比很高。输入和输出间的电隔离度取决于两部分供电电源间的绝缘电阻。此外，因其输入电阻小（约 10Ω），对高内阻源的噪声相当于被短接。因此，由光耦合器构成的模拟信号隔离电路具有优良的电气性能。

事实上，光耦合器是一种由光电流控制的电流转移器件，其输出特性与普通双极型晶体管的输出特性相似，因而可以将其作为普通放大器直接构成模拟放大电路，并且输入与输出间可实现电隔离。然而，这类放大电路的工作稳定性较差，无实用价值。究其原因主要有两点：一是光耦合器的线性工作范围较窄，且随温度变化而变化；二是光耦合器共发射极电流传输系数 $\beta$ 和集电极反向饱和电流 ICBO(即暗电流)受温度变化的影响明显。因此，在实际应用中，除应选用线性范围宽、线性度高的光耦合器来实现模拟信号隔离外，还必须在电路上采取有效措施，尽量消除温度变化对放大电路工作状态的影响。

从光耦合器的转移特性与温度的关系可以看出，若使光耦合器构成的模拟隔离电路稳定实用，则应尽量消除暗电流（ICBO）的影响，以提高线性度，做到静态工作点  $I_{FQ}$  随温度的变化而自动调整，以使输出信号保持对称性，使输入信号的动态范围随温度变化而自动变化，以抵消 $\beta$ 值随温度变化的影响，保证电路工作状态的稳定性

## HCPL-316J

### 1 HCPL-316J 内部结构方框图：

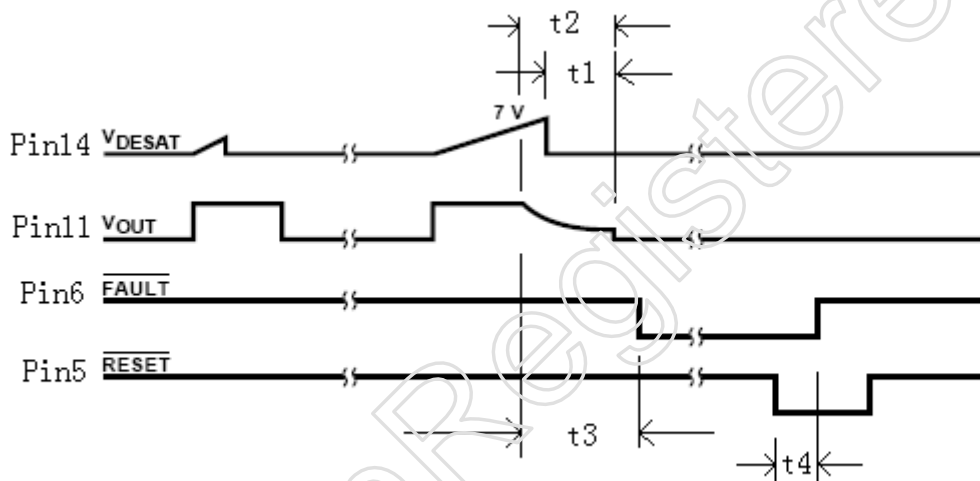


### HCPL-316J 输出控制及保护功能

$V_{IN+}$	$V_{IN-}$	UVLO ( $V_{CC2} - V_E$ )	Desat Condition Detected on Pin 14	Pin 6 (FAULT) Output	$V_{OUT}$
X	X	Active	X	X	Low
X	X	X	Yes	Low	Low
Low	X	X	X	X	Low
X	High	X	X	X	Low
High	Low	Not Active	No	High	High

由上面表格中真值表，很好理解 HCPL-316J 的保护功能：(1) 当  $V_{CC2} - V_E < V_{UVLO}$  时，不管其它脚为高电平还是低电平，Pin11 输出都为低电平，即关断 IGBT 的驱动信号；(2) 当 HCPL-316J 检测到 IGBT 有过流发生，Pin14 脚动作反馈给 Pin6 脚让 6 脚输出低电平通知 CPU 有故障发生。同时 HCPL-316J 的 Pin11 降低驱动电平去“软”关断 IGBT；(3) 当 Pin1 脚为低电平或者 Pin2 脚为高电平时，不管其它脚为什么电平，Pin11 脚输出低电平，关断 IGBT 的驱动信号；(4) HCPL-316J 在没有任何故障的情况下，驱动信号进入 Pin1 或者 Pin2 经过光耦隔离后从 Pin11 输出放大的驱动信号，IGBT 正常开通关断。

下面通过波形图来直观理解 HCPL-316J 的过流保护功能：



当 HCPL-316J 检测到有过流发生时，不是马上去关断驱动信号，由上图可见有  $t_2$  那么长时间的一个“软”关断过程。当检测到故障到 Pin6 动作我们可以看到有  $t_3$  那么长一段的延迟时间，为什么会有那么长的延迟期呢？因为任何信号不可能在有隔离的情况下 100% 去同步反馈，并且信号检测及传输还要考虑到其它信号的干扰，这也是为什么一定要在 Pin14, Pin16 间加上至少 100pF 电容的原因。传输加电容的延迟就使得从故障发生到发出信号去通知 CPU 有  $t_3$  那么长的一段时间。这段时间的长短直接影响到 HCPL-316J 对 IGBT 的保护作用。那是不是  $t_3$  越短越好呢？我们知道 316J 有个很好的功能就是它的“软”关断。所以  $t_2$  是必须有的时间延迟，现在只剩下  $t_3 - t_2$  这段时间，处理好这个时间不论是对 IGBT 的保护还是对整个变频器的性能都是至关重要的。把时间延长，对 IGBT 的保护不敏感，容易炸掉 IGBT，要是把时间放短，变频器在实际应用中很容易跳过流保护。

故障复位信号发出后，Pin6 脚不是马上回到正常状态，而是有个延迟时间  $t_4$ ，从而避免故障信号还未到达 CPU，或者 CPU 未关断驱动信号就已经复位导致损坏 IGBT。

实际驱动电路 HCPL-316J 的保护波形图

## 3 HCPL-316J 典型应用电路

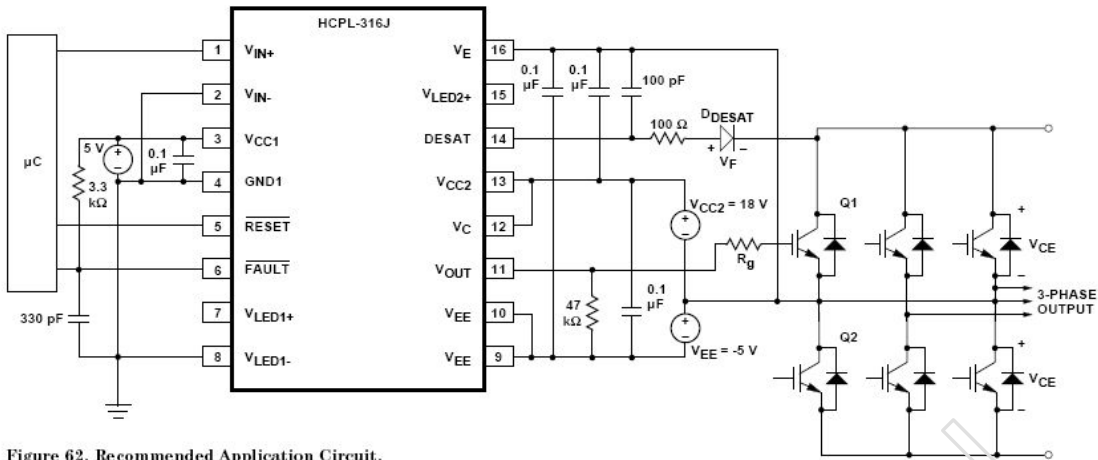


Figure 62. Recommended Application Circuit.

HCPL-316J 的外围应用电路如上图，电路相对来说是很简单的。CPU 驱动信号通过 Pin1 脚经 HCPL-316J 隔离传输到 Pin11 脚输出，然后经过  $R_g$  驱动电阻到 IGBT。一旦 Pin14 脚检测到故障时关断 Pin11 脚去 IGBT 的信号，同时 Pin6 脚通知 CPU 关断信号，并且显示故障。一般驱动电压  $V_{cc2}$  在 14V 16V 之间，关断电压  $V$  在 -5V -10V

在设计中需要特别注意的就是给它们提供电源的稳定性。我们知道一共有 6 组 IGBT，至少需要 4 组不共地的电源。在设计中需要充分考虑到它们的影响。

## 存储器

变频器有许多参数设定，其中有些参数是可以改变的，有些参数是不可以随意去改变。一般都有个原始的参数（出厂值），根据不同的机型及调试要求最后厂家又有部分调整的参数。存储器主要的作用就是把那些更改后的参数保存起来的一个元件（出厂值参数是存储在 CPU 里面的）。所以对存储器好坏的判断很简单要是参数改变后，在关机再启动的时候要是改变的参数都又恢复到出厂值那说明存储器坏了。

## 看门狗

IMP809 / M51951，保护 CPU 里的数据及程序的正常运行。

## CPU

CPU 就好比一个人的心脏，它的跳动正常跳动与否关系到产品性能，质量的好坏。对 CPU 最简单的理解：数字信号及模拟信号进去 CPU 里面，通过 CPU 里面的软件去计算该出去什么相应的数字信号及模拟信号；或者进去的信号告诉 CPU 该做什么动作了。比如过流啦，进去的信号大于多少 V 就表示过流。这样可以通过外部硬件设定在多少伏的时候跳 OC。当然对于好的软件来说是不需要跳的。

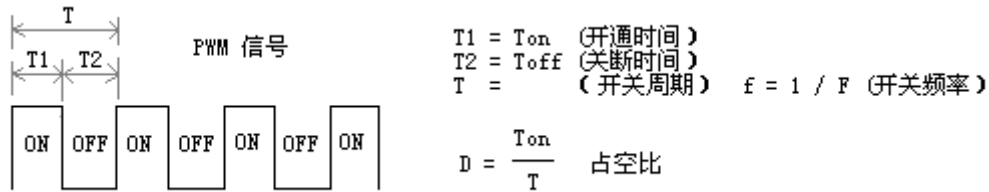
## 分解各个小块工作原理

### 开关电源部分：

在学习开关电源之前先要了解下面几个专业名词：

PWM: pulse width modulation 脉宽调制

下图所示方型波形为 PWM 信号，PWM 信号为频率不变（即时间不变）开关时间变化的波形  
占空比  $D$ ：如下图  $D = T_{on} / T$ ，一般开关电源的开关频率不变，通过改变占空比即通过改变开关管的开通时间与关断时间来调整电压，达到稳定的直流电压。

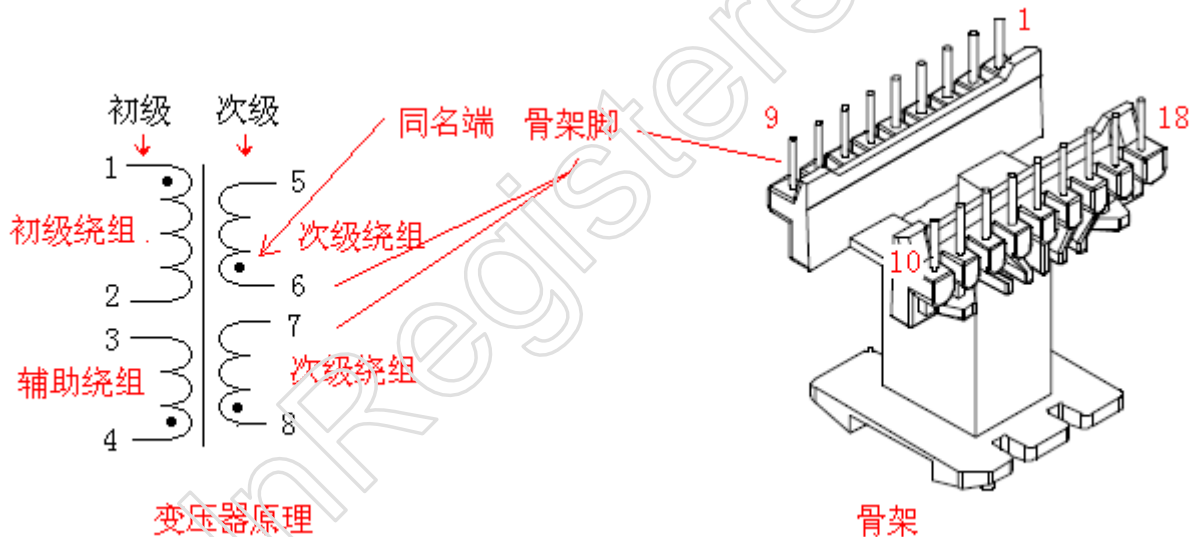


TL431：提供稳定、精确的 2.5V 参考电压元件（也有 1.25V TL431 元件，没有特别说明一般都是针对 2.5V 的）

详细说明参考附件

UC3842/3/4/5：此 IC 主要是为开关管（MOSFET）提供 PWM 信号，让开关管（MOSFET）导通或者关断。其中 UC3842/4 供电电压为 16V，UC3843/5 供电电压为 8V，即它们的 7 脚  $V_{cc}$  电压不同，其它方面可以把它们看成一样。

变压器：一般开关电源中用到的变压器又叫高频变压器，由骨架，磁芯，漆包线，胶带组成。



变压器一般分初级，次级。初级就是电源进线部分，可以有多个绕组组成，只要它们共一个地都叫初级。其中给 PWM IC 提供  $V_{CC}$  电源的那个绕组又可叫辅助绕组；次级就是电源输出那些绕组统称为次级绕组。注意：初级，次级绕组必须隔离开，因为它们是二个不同的地。

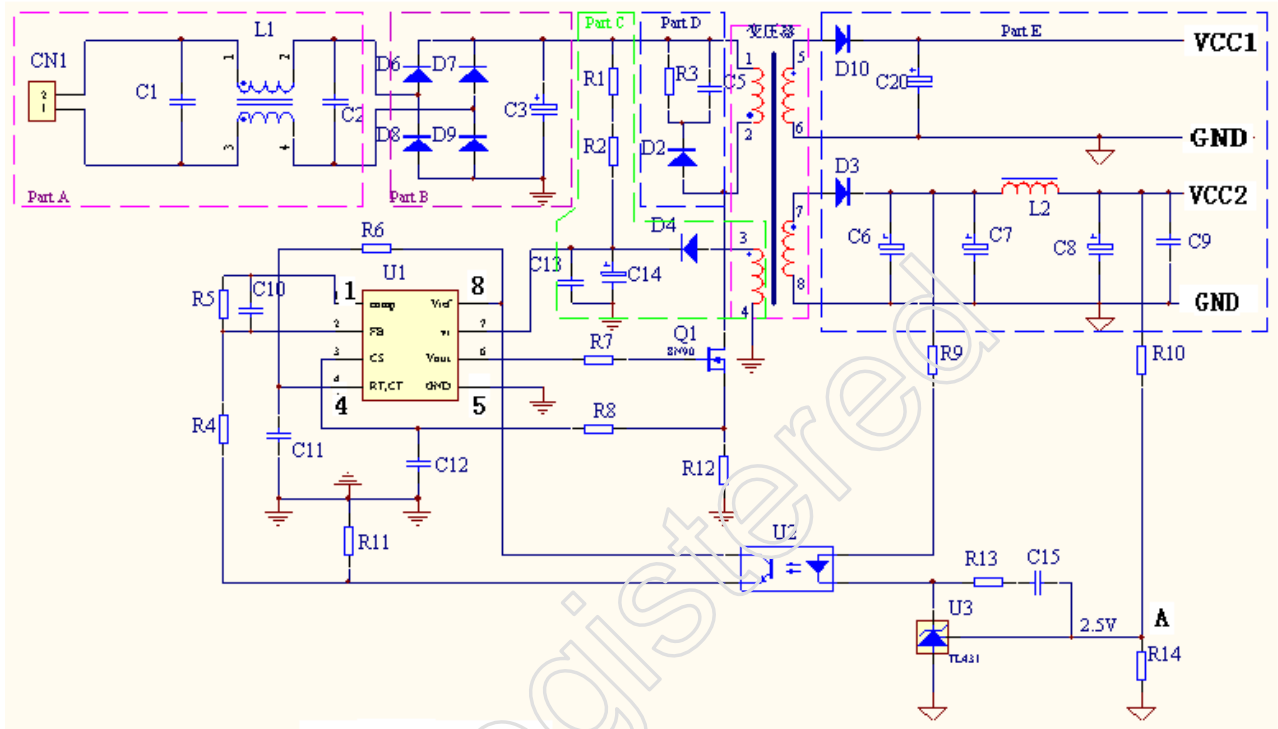
高频变压器的制作方法：根据变压器原理图（如同上图）分别绕制各个绕组。需要注意的是变压器的同名端。一般骨架规定脚位为从下往上看右上角第一个为 1 脚，顺时针依次排列。举例说明上图变压器绕制步骤：（1）把设计所需要直径的漆包线挂在 1 脚上然后绕出初级绕组所需要圈数，完成圈数后挂在骨架 2 脚上；（2）然后用胶带把（1）绕组覆盖，层数依设计而定，一般绕一至三层；（3）把所需直径漆包线先挂在 4 脚（注意是 4 脚，而不是 3 脚，这就是同名端的作用）绕出所需圈数；完成挂在 3 脚上；（4）重复（2）步骤，后面绕组也一样。注意：初，次级各个绕组哪个先绕需要依据电源设计来定。

变压器一般电气检验项目：初、次级耐压，初级电感量，各组圈数及同名端是否正确

一般我们生活中接触到的电源有二种，一种就是一个工频变压器外加几个电容二极管构成（很笨重的），另一种就是开关电源（现在很常见，比如充电器，DVD 电源，电视电源等等）。开关电源有 AC/DC，DC/DC 二种，对变频器来说只用到 AC/DC 电源。AC/DC 电源就是把 AC（交流）转成 DC（直流）的电源。变频器中的辅助开关电源就是把 380VAC（或者 220VAC）转成 +5VDC，+15VDC，-15VDC，+24VDC。

为什么要那么多路直流电源呢？CPU，IC，及继电器等等都需要电源去提供电，不同的元件需要的电压不同。所以需要开关电源去给 CPU，IC，数码管等等供电。如果供电不正常，产品也就肯定不正常了。轻则键盘无显示，或者工作不正常，重则把模块炸掉。所以一定要确保各路电源是稳定的且波动范围不大。

下面举个简单的开关电源来说明：



上图为一般开关电源原理图，下面分解各部分的作用加以解释说明：

**Part A:** 由 C1、L1、C2 组成 主要是电磁干扰抑制作用，把从外部进来的那些干扰经过 C1、C2 电容及 L1 共模电感抑制掉，同时防止开关电源产生的干扰进入电网。所有的开关电源产品及大部分电子产品都会有电磁干扰，有关电磁干扰后面再了解。

**Part B:** 由 D6 到 D9 及 C3（高压电解电容）组成，整流滤波作用，跟变频器的整流滤波是一样的，只不过它们是二相电源，而变频器常见的是三相 380V 电源，把交流电整流成直流电。

**Part A、Part B** 在变频器中的开关电源一般很少有人会用到，一般大家都是从 P、N 直流母线那取直流电，那是不是它们就不重要呢？其实这二部分也是很重要的，对电源及对驱动都是有很大的好处的。只不过大家为了省成本及因为布线限制省略了它们。

**Part C:** 由 R1、R2、C13、C14 及变压器的 3、4 脚绕组组成，对 UC3843 供电作用。所有 IC 都需要 Vcc 电压，UC3843 也不例外。UC3843 7 脚的 Vcc 电压需要大于 8V，即当提供给 7 脚的电压大于 8V 时，UC3843 工作。一般设计 7 脚的电压在 10V 至 30V 之间，电压大了不利于开关电源的短路保护且 IC 也不能承受太大的 VCC 电压。其中 R1、R2 提供启动电压，整流后的母线电压通过 R1、R2 分压给 UC3843，即一上电就必须给 UC3843 一个准备工作的电压（在启动的时候变压器还没来及提供电压）。当变压器正常工作后就通过变压器供电再经过 D4 整流 C14 滤波成稳定的十几伏直流电压。

当 UC3843 正常工作时，7 脚的电压稳定在十几伏不动，一旦工作不正常，比如变压器绕组提供电压不够（变压器圈数少了）则 7 脚电压一会大于 8V，一会小于 8V。所以当输出电压一下有一下又没有或本来 5V，结果远小于 5V 的时候就要检查 Part C 那几个元件及 7 脚的电压。当输出没有电压的时候首先量下 7 脚的电压是不是正常（在十几伏），要是没有电压或者小于 8V 则很可能是 UC3843 坏掉。

**Part D:** 由 R3、C5、D2 组成，吸收钳位作用。反激开关电源的变压器初级绕组相当于一个电感，当开关管 Q1 导通的时候，变压器初级绕组储存能量（就好比一个蓄电池）。当开关管 Q1 关断后，储存的能

量通过次级绕组输出电压（此电压不是我们所需要的直流电压，还需要二极管整流）。因为开关管开关时间是不定的，这样当储存的能量不能完全放掉，每次开关积累一点，要是没有吸收钳位部分，过高的能量（电压）把开关管炸掉或者把变压器损坏。它们的工作原理：当开关管 Q1 关断后，经过 D2 能量被 C5 吸收及 R3 电阻消耗。如果 D2 损坏，电源长时间工作后可能把变压器或者开关电源损坏。一般此处不容易出故障。

**Part E:** 各个绕组经整流滤波后输出所需要电压

**稳压部分:** 由 U3, R10, R14 组成。输出电压需要稳定在多少伏就是通过调整此部分参数来达到。比如要求输出+5VDC 的电压，因为 TL431 的 1 脚为稳定的 2.5V 电压，既 A 处的电压为 2.5V。则我们可以选择 R10=R14（比如 4.7K）。 $VCC2 = (2.5V \div R14) \times (R10+R14)$ ，又 R10=R14 所以有

$$VCC2 = 2.5 \times 2 = 5V$$

同理我们需要 10V 也可以通过改变 R10, R14 的比率来达到。对多路输出 VCC1, VCC3 ... 等等则是通过改变它们对应变压器绕组的匝比来达到。比如  $VCC2 = 5V$ ，变压器 7, 8 脚对应绕组为  $n2=5$  匝，现在需要  $VCC1 = 15V$ ，则变压器对应 5, 6 脚绕组匝数  $n1 / n2 = VCC1 / VCC2$  即  $n1 = vcc1 / vcc2 * n2$  圈数为 15 匝。因为要考虑到它们的负载不同，最后还要适当调整  $n1$ 。（了解下就可以，不深入讲解）

**反馈部分:** 由 U2, R9, R4 等组成。要是没有此部分则输入输出就是按变压器匝比来的。因为输入电压是变化的，这样输出也是变化，没有反馈也就得不到我们需要的稳定的各种电压。这部分的作用：当 VCC2 电压超过+5V（或者其他数）则通过 U2（光耦）反馈给 UC3843，告诉 UC3843 已经超过啦，需要关断输出啦，把到 Q1 的 PWM 信号关断。当 VCC2 小于+5V 的时候，同样反馈给 UC3843，把 PWM 信号放长点，让 Q1 开关管多导通，多给点电过去。

**开关频率部分:** R6, C11。通过改变他们的数值来改变开关频率。

熟悉以上知识的基础上我们再来学学如何着手去维修开关电源。只用万用表来实现：发现变频器没有显示或者说开关电源出问题了，（1）首先用万用表测下各路输出电压是否有；没有说明电源出问题；（2）测 UC3843 7 脚电压，要是没有或者大于 40V，则可能是二极管 D4 或者 UC3843 坏掉了；（3）7 脚电压正常，再测下 8 脚是不是 5V，要是没或者不对则说明 UC3843 坏掉；（4）不带电检查开关管 Q1 及限流电阻 R12 是否损坏，Q1 用导通挡测，b e 端显示为几百，其它 c e, b c 为无穷大则说明 Q1 是好的。不确认它是好是坏，也可以拿个好的开关管去对比测它们各个脚是否一致来判断。这项也可以首先去测；（5）要是输出，但输出偏大或者偏小怎么办呢？首先检查下 TL431 是否对，主要是测下 A 点电压是否为 2.5V。一般电阻 R10, R14 是很少出问题；（6）要是 TL431 没问题，则很可能是光耦出问题，没有反馈信号；（7）当二极管 D2 短路情况下是没有输出的；（8）其它整流二极管坏掉也会没有输出；（9）电阻 R1, R2 去 UC3842 那路，有时也会加 LED 灯。当电阻或 LED 坏的时候电源也启动不了。（10）UC3843 周围的那些电阻电容一般情况下是不会出问题的，看看外观差不多就可以去判断。（11）输出有无短路？有短路最好的判断方法是量 UC3843 的 7 脚，要是电压在变动说明有可能，当然也有可能是（2）情况；（12）电解电容时间长了也可能出问题。

开关电源最常坏的元件：UC3842/3/4/5，开关管，限流电阻，整流二极管，其次是 TL431，光耦；其它元件很少会出问题，特别是变压器，对维修来说一般不需要去考虑。了解开关电源各部分原理是维修它的关键。方法是不能去穷尽的，多测试以上各部分在正常工作的情况再结合原理是维修的关键！

## 故障分析

故障分析:

一般 IGBT 能承受瞬间的大电流, 对 IGBT 的保护需要在 10 $\mu$ s 中完成

OC: 一般跳过流可能的原因: 1, HCPL316J / PC929 / EXB840 EXB841 / M57959L 等等过流保护元件过来; 2, 从霍尔过来。从霍尔又有二种情况出现, 一种是真正检测到超过设定过载点 (比如 200%), 另一种是干扰过来; 3, 从电路板 (CPU 周围) 出来, 比如抗干扰能力差, 元件出问题, 外部端子误信号, 板上元件短路等等。

下面简单介绍下如何去判断是从哪里出现的问题及简单对策:

一般厂家变频器都会有二路保护去 CPU 来保护 IGBT 不会被炸掉, 其中 HCPL316J / PC929 / EXB840 EXB841 / M57959L 是响应时间最快的, 能真正起到保护作用的。所以这一路保护的好坏关系到产品质量的好与坏。这里主要针对 HCPL316J 来进行说明。当出现调过流保护 (OC, 或者其它显示符号) 时, 把 316J 上 5 脚 RES (复位脚) 悬空或者上拉+5V, 确定没有其它地方改变后再次调试机器。在机器跳过流 (OC) 通过键盘复位, 要是可以复位则说明故障不是从 316J 那里出来, 要是不能复位则可以肯定故障为 316J 那一路发过来。问题一般可能出现点: 1, 316J 坏掉了; 2, 316J 14 脚过去的那个二极管质量有问题; 3, 316J 的 14 脚到 16 脚那个电容有问题; 4, 给 316J 供电的电压异常; 5, IGBT 模块有问题; 6, 输出短路或者电机太大。

要是可以确定不是从 316J 那里出来, 则看看是否为霍尔从来。把从霍尔出来的信号切断 (悬空)。注意有些厂家硬件在霍尔信号悬空后需要把到 CPU 那部分电路接地处理, 不能就一直跳 OC 了。在肯定 316J 那部分没有问题的時候运行机器, 要是机器不跳过流了, 则说明过流是从霍尔出来。

判断是不是 HCPL-316J 出问题只要量 2 脚 (或者 1 脚) 输入信号, 及 11 脚信号, 要是 11 脚没有信号而 2 脚 (或者 1 脚) 有信号则说明 316J 出问题。以上在没有带 IGBT 的时候测试!

OU, LU, OH