

关于 DC 风扇 (2、3、4 线) 的 PWM 调速测试

本次测试主要目的:

- 测试不同额定功率的风扇可耐受的最低电压
- 4 线风扇 (+V , -V, pulse sensor , PWM control) PWM 调速表现
- 2 线风扇基于外部 PWM 控制的调速表现
- 在有不间断电源情况下 3 线风扇基于外部 PWM 控制的调速表现

我们的推荐

一: 基于山洋 (SANYO DENKI) 风扇的调速方式

目前基于山洋 (SANYO DENKI) DC 风扇的调速方式主要有以下几种:

- 1、4 线风扇 (+V , -V, pulse sensor , PWM control) 的调速
- 2、内置或外置测温元件的调速。
- 3、电压调速。
- 4、通过外部电路对非 4 线风扇 (2、3 线) 风扇的 PWM 调速。

以上 1、2 项调速方式, 风扇在工作时的 +V 和 -V 均加载风扇的额定电压, 通过 PWM 值和测温元件来调速, 这两种转速控制方式可以基于任何山洋 (SANYO DENKI) 的风扇来定制, 您只需在样本根据您的风扇尺寸、风量、静压等要求选择您所需的标准风扇, 之后将您对风扇转速的要求提给我们, 我们即可按照您的要求来定制您的风扇。

第三种调速方式是通过外围电路调整风扇的 +V 和 -V 两端电压来调速风扇转速, 风扇在调速过程中工作在非额定电压下。任何 DC 风扇 (2、3、4 线) 均可以采用此种方式来调整转速。

二: 几种调速方式的比较

采用 4 线风扇的 PWM 调速:

此方式可以在风扇可调速范围内精确的控制转速，可以良好的根据温度变化实现 PID 控制，以达到最理想的温度控制和风扇噪音之间的平衡。

但需要外部 PWM 脉冲电路和测温电路的配合，相对较复杂。

测温元件调速：

此方式最大的有点就是可以在最大程度上简化控制电路的前提下实现温控。内置测温元件的风扇甚至不用搭配任何外围电路，即可实现自身的转速控制，从简化电路方面考虑此方式确为最佳选择方案。而且您只需选择您需要的风扇和您需要的温控范围，测温元件可以由山洋（SANYO DENKI）来提供或指定型号。此方案日后可编程度低，（尤其是内置测温元件的风扇）一旦选定，要改变温度和转速的对应关系难度较大。

电压调速：

电压调速适用性广，几乎可以在任何 DC 风扇中使用此方法调速，但由于不同风扇对启动电压的需求不同，在有些要求启动电压较大的风扇上可调速的范围就比较小，不易实现温度和风扇转速的理想搭配。而且如果实现自动温控，此方案的外围电路也相对较复杂。

通过外部电路对非 4 线风扇（2、3 线）风扇的 PWM 调速：

此方案也是本次测试的主要目的。通过 PWM 脉冲电路对风扇两端+V 和-V 进行 PWM 控制，它可以在任何 DC 风扇实现较灵活的转速控制，不过同 4 线 PWM 调速方式一样，此方案也需要较复杂的外围电路（可能比 4 线风扇还要复杂一些）。

三：测试

测试一：几款不同额定功率的风扇可耐受的最低电压

测试说明：由于设备限制，电压无法做到无级调整，在 5V 以下用二极管的正向压降来调整电压，所以电压间隔较大。请见下表：

项目	型号	9GE0412P3J03 (40x40x28)	9PH0412P3K033 (40x40x28)	9S0612H401 (60x60x25)	9S1212F401 (120x120x25)

额定电流 (A)	0.65	0.5	0.11	0.19
额定电压 (V)	12	12	12	12
额定转速 (RPM)	15000	15500	3900	2200
11. 10V 档 转速 (RPM)	14400	13950	3510	2088
11. 10V 档 工作状态	正常	正常	正常	正常
5. 11V 档 转速 (RPM)	7400	6240	1350	1134
5. 11V 档 工作状态	正常	正常	正常	正常
4. 33V 档 转速 (RPM)	4400	4860	1020	960
4. 33V 档 工作状态	正常	正常	正常	正常
3. 56V 档 转速 (RPM)	0	3420	720	770
3. 56V 档 工作状态	手动转动风扇， 传感器可工作	正常	正常	正常
2. 82V 档 转速 (RPM)	0	0	0	570
2. 82V 档 工作状态	风扇传感器不工作	手动给风扇一 启动扭矩，风扇 可以启动。集电 极工作正常。风 扇在 200rpm	手动给风扇一 启动 扭矩，风扇可以 启动。集电极工 作正常。风扇在	正常

		左右转动,最后 停止	390rpm 左右转动.	
2. 43V 档 转速 (RPM)	N/A	0	0	354
2. 43V 档 工作状态	N/A	风扇传感器不 工作	手动转动风扇, 传感器可工作	正常
2. 28V 档 转速 (RPM)	N/A	N/A	0	0
2. 28V 档 工作状态	N/A	N/A	手动转动风扇, 传感器可工作	手动转动风扇, 传感器可工作
1. 72V 档 转速 (RPM)	N/A	N/A	0	0
1. 72V 档 工作状态	N/A	N/A	风扇传感器不 工作	手动转动风扇, 传感器可工作
1. 30V 档 转速 (RPM)	N/A	N/A	N/A	0
1. 30V 档 工作状态	N/A	N/A	N/A	风扇传感器不工 作

表 1 风扇耐受电压比对表

通过测试一的测试，包括额定功率较高的 9GE0412P3J03 在内，通过调压的方式进行风扇调速的范围比较宽，在 4.33V 电压档，风扇至少可以稳定降速到额定转速的一半，而风扇的测速传感器即使在低于风扇可启动电压时，在一定范围内也可以工作。测试中风扇在“正常”状态下运行平稳，无杂音。

测试二：4线风扇（+V，-V，pulse sensor，PWM control）PWM调速表现

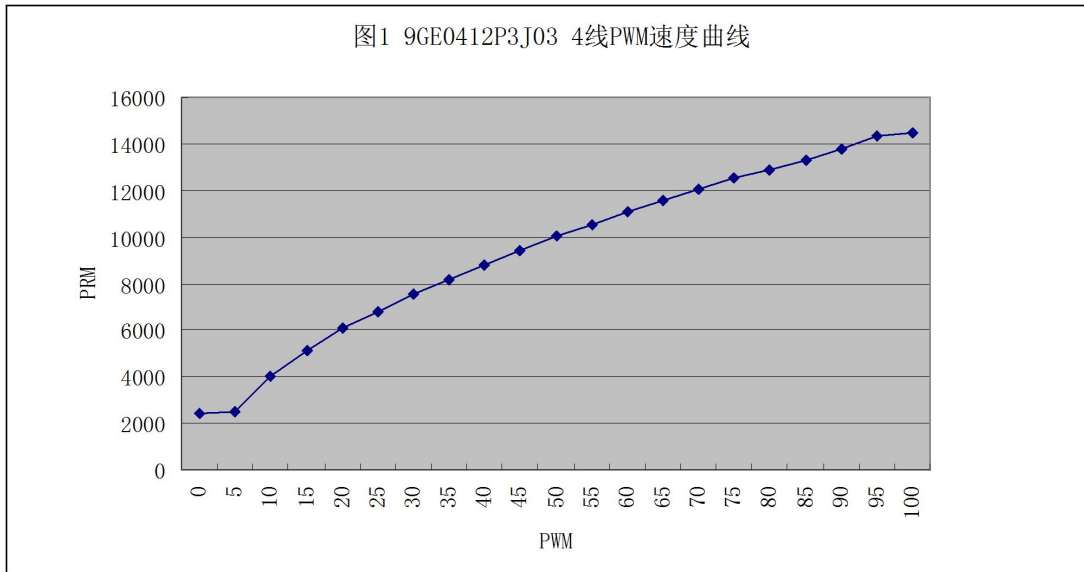
测试说明：以9GE0412P3J03为例，通过在PWM control线和-V之间做PWM控制。风扇最佳PWM频率为25KHZ，由于脉冲发生器限制，最大PWM频率为6.5KHZ。

请见下图表：

PWM(%) 目	测试项	风扇 4PIN PWM 调速 (6.5KHZ) (1-PWM%)为实际占空 比	运行表现
0		2430	平稳无杂音
5		2460	平稳无杂音
10		4050	平稳无杂音
15		5130	平稳无杂音
20		6090	平稳无杂音
25		6810	平稳无杂音
30		7530	平稳无杂音
35		8160	平稳无杂音
40		8820	平稳无杂音
45		9450	平稳无杂音

50	10020	平稳无杂音
55	10560	平稳无杂音
60	11070	平稳无杂音
65	11580	平稳无杂音
70	12060	平稳无杂音
75	12510	平稳无杂音
80	12900	平稳无杂音
85	13320	平稳无杂音
90	13780	平稳无杂音
95	14370	平稳无杂音
100	14460	平稳无杂音

表 2 9GE0412P3J03 4 线 PWM 调速表现

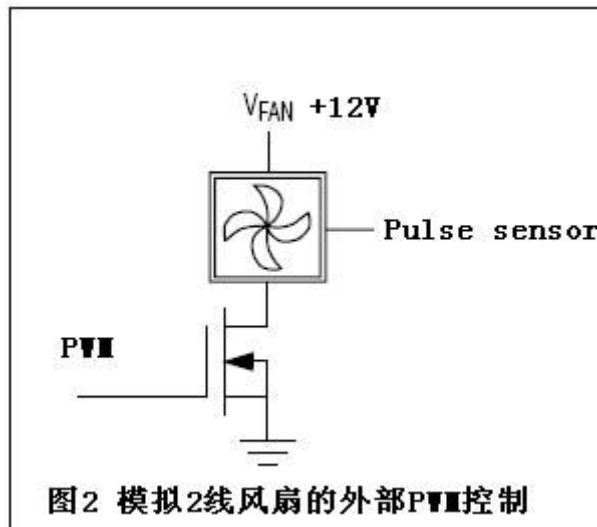


测试中风扇表现正常，调速平稳无杂音。

测试三：2 线风扇基于外部 PWM 控制的调速表现

测试说明：由于图 2 所示电路中我们通过外部 PWM 直接开、关风扇的+V 和 -V (DC12V)，所以风扇的传感器在调速过程中无法正常反应风扇实际转速，故我们借此来模拟测试两线风扇使用外部 PWM 控制转速时的表现。

通过第一项测试结果来看，对电压调速表现最差的 9GE0412P3J03 和表现最好的 9S1212F401 两颗风扇，我们用他们来模拟一般两线风扇，使用图 2 所示的外部 PWM 控制电路来控制风扇转速，以期从感觉体验不同功率的两款两线风扇在不同频率的外部 PWM 控制中的表现。



请见下表:

PWM 频率 项目	可启动 占空比 (9GE)	风扇运转平稳度(9GE)	可启动 占空比 (9S)	风扇运转平稳度 (9S)
6.5K HZ	15%	在占空比从10%开始风扇有明显高频电流声。转速随占空比变化快、跟随性很好。	10%	5%-90%均有明显高频电流声，速度跟随性很好。
3.25K HZ	35%	在占空比从5%开始风扇有明显高频电流声。风扇在开始启动后随PWM值加大加速很突然。	5%	5%-90%均有明显高频电流声，速度跟随性很好。
1.63K HZ	65%	在占空比从5%开始风扇有	10%	3%以上均有明显高频电

		明显高频电流声。风扇在开始启动后转速很低。风扇随 PWM 值加大加速很突然。		流声，速度跟随性很好。
820 HZ	85%	在占空比从 5%开始风扇有明显高频电流声。风扇在开始启动后转速很低。风扇随 PWM 值加大加速非常突然。	5%（明显在失速状态）	3%以上均有明显高频电流声，速度跟随性很好。
410 HZ	85%	在占空比从 5%开始风扇有明显高频电流声。风扇在开始启动后转速很低。风扇随 PWM 值加大到 90%加速非常突然。	10%	3%以上均有明显高频电流声，速度跟随性很好。
128 HZ	55%	在占空比从 5%开始风扇有明显高频电流声。风扇在开始启动后转速很低。风扇随 PWM 值加大到 95%以后加速明显，并 PWM 值在 98-99%时风扇转速猛然增加。	10%	3%以上均有明显高频电流声，速度跟随性很好。 高转速有共振。
60 HZ	40%	在占空比从 5%开始风扇有“嗒嗒”电流声。风扇在开始启动后转速很低。风扇在	10%	3%以上均有明显电流声，速度跟随性很好。

		PWM 值 40%-99%之间转速变化不明显，到 100%才突然加大到最高转速。		
30 HZ	35%	在占空比从 5%开始风扇有“嗒嗒”电流声。风扇在开始启动后转速很低。非线性变化，到 100%才突然加大到最高转速。 风扇全程颤抖。	10%	风扇有“嗒嗒”低频电流声。
15 HZ	30% (但颤抖严重)	在占空比从 5%开始风扇有“嗒嗒”低频电流声。风扇在开始启动后转速很低。风扇在 PWM 值 40%-99%之间转速变化不明显，到 100%才突然加大到最高转速。 风扇全程颤抖。	10%	风扇有“嗒嗒”低频电流声。
10 HZ	25% (颤抖)	在占空比从 5%开始风扇有“嗒嗒”低频电流声。风扇在开始启动后转速很低。风扇在 PWM 值 40%-99%之间转速变化比较明显，但应不是线性变化。	10%	风扇有“嗒嗒”低频电流声。

		风扇全程颤抖。		
5 HZ	15% (明显有加速过程)	在占空比从 5%开始风扇有“嗒嗒”低频电流声。风扇运转过程中加减速声音明显, 运转很不平稳, 但 PWM 跟随性较好。	5%	风扇有“嗒嗒”低频电流声。运转较 9PH 的风扇相对平稳。无明显加减速声音。

表 3 两款不同功率风扇模拟 2 线风扇的外部 PWM 控制表现

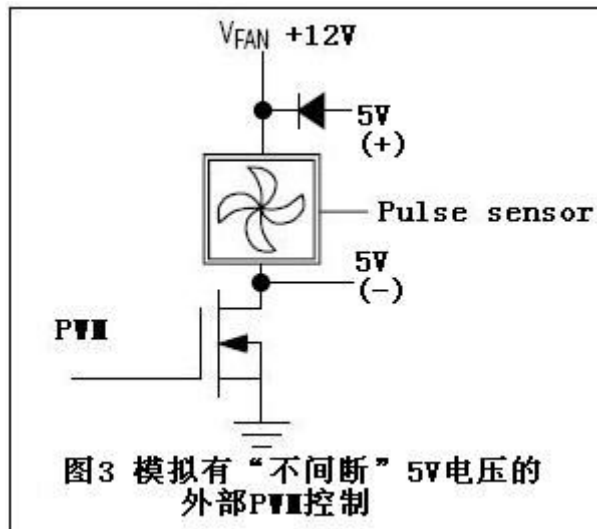
测试中两颗风扇无论在任何频率下均有不同程度的杂音, 随着 PWM 频率的变化, 杂音的频率也在变化, 但始终存在。测试中 9S1212F401 调速表现良好, 可以使用大部分频率的外部 PWM 调速, 但由于风扇本身非常静音, 调速时产生的杂音更加明显。而 9GE0412P3J03 对 PWM 频率变化表现起伏很大, 但由于其转速很高, 在高速转动中调速产生的噪音反而不明显(但肯定存在)。

9GE0412P3J03 在某些 PWM 频率从低占空比向高占空比增加时可能会发生马达堵转, 主要表现为: 如当前加载 10%PWM, 马达颤抖但不运转, 这时一点一点增加 PWM 值, 风扇一直会处于停止状态, 直到加载到一个很大的 PWM 值才开始运转(这个值已远远大于表中的启动 PWM 值)。而如果起始 PWM 值就大于或等于表中的启动 PWM 值, 则无堵转现象发生。

测试四: 在有不间断电源情况下 3 线风扇基于外部 PWM 控制的调速表现

测试说明: 同样采用 测试三 中的两颗风扇, 截取两个风扇可能表现良好的 PWM 频率, 在外部加载一 5V (经二极管后电压约为 4.33V) 电压后通过外部 PWM 控制风扇 12V 电源来实现 PWM 调速, 并记载转速变化。来测试风扇在调速过程中的实际转速和调速中的表现。

图 3 为风扇外部控制示意图



首先是 9GE0412P3J03 在 6.5K HZ 频率下的调速表现:

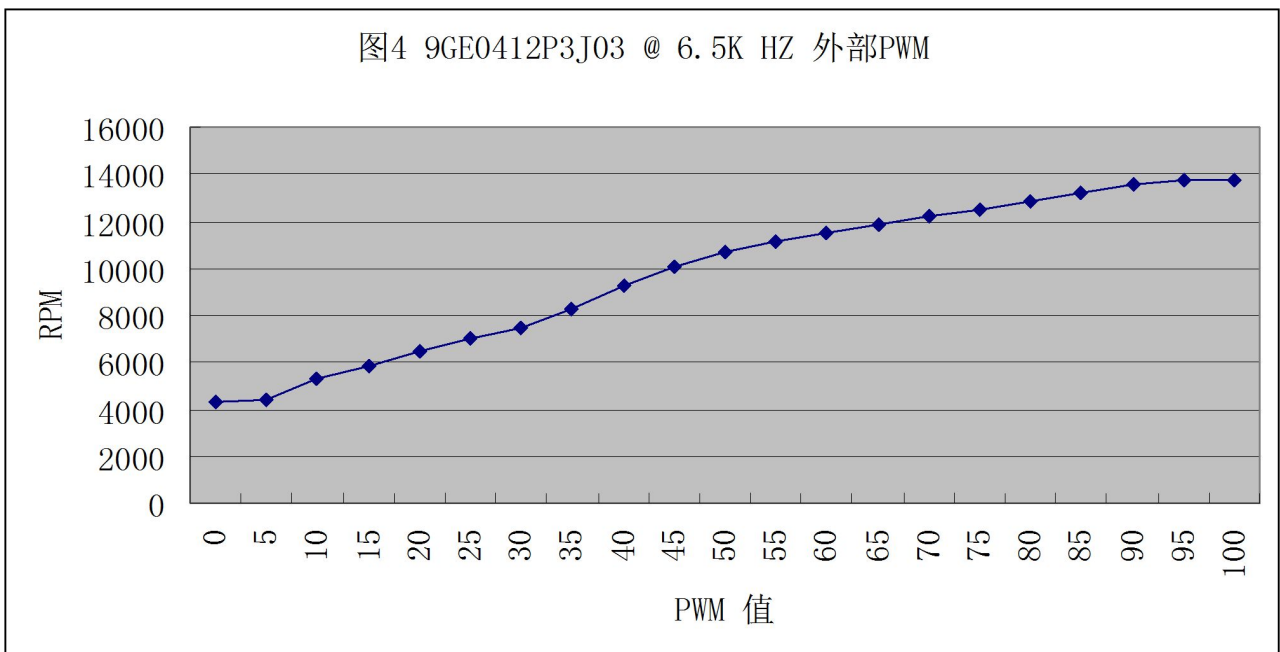
PWM 情况	风扇	9GE0412P3J03 @ 6.5K HZ 转速 (RPM)	9GE0412P3J03 @ 6.5K HZ 运转说明
0		4350	无噪音
5		4380	无噪音
10		5310	明显高频声
15		5880	明显高频声
20		6510	明显高频声
25		7050	明显高频声
30		7500	明显高频声
35		8310	明显高频声

40	9270	风声超过高频声
45	10080	风声超过高频声
50	10710	风声超过高频声
55	11190	风声超过高频声
60	11520	风声超过高频声
65	11880	风声超过高频声
70	12180	风声超过高频声
75	12480	风声超过高频声
80	12810	风声超过高频声
85	13170	风声超过高频声

90	13590	风声超过高频声
95	13740	风声超过高频声
100	13740	无噪音

表 4 9GE0412P3J03 在有“不间断电压”外部 6.5K HZ 的 PWM 频率下调速表现

转速曲线:



9GE0412P3J03 在 30 HZ 频率下的调速表现:

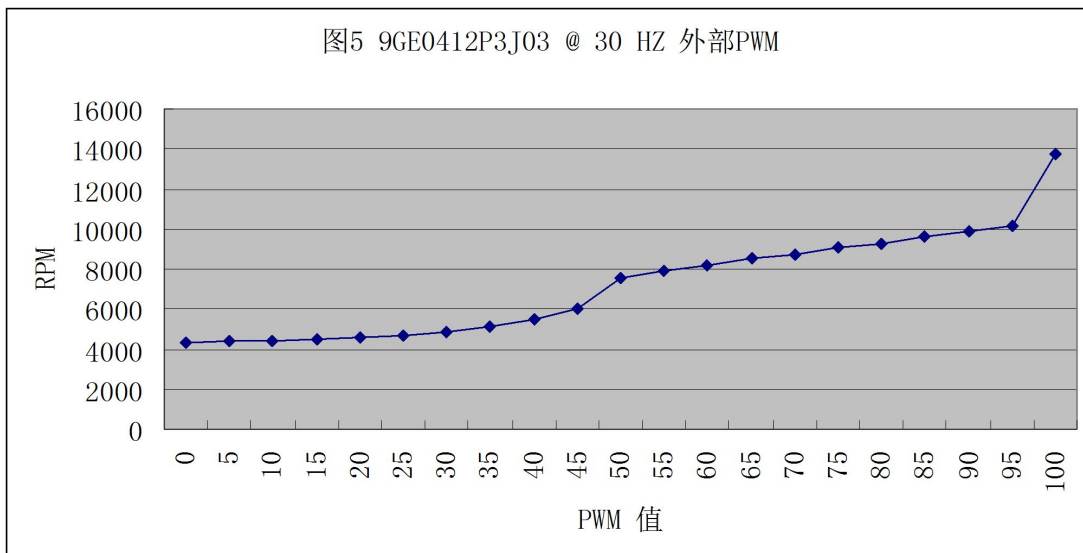
PWM 情况 \ 风扇	9GE0412P3J03 @ 30 HZ 转速 (RPM)	9GE0412P3J03 @ 30 HZ 运转说明
0	4290	无噪音
5	4380	贴近风扇听有“嗒嗒”声
10	4410	贴近风扇听有“嗒嗒”声
15	4500	贴近风扇听有“嗒嗒”声
20	4560	贴近风扇听有“嗒嗒”声
25	4680	贴近风扇听有“嗒嗒”声
30	4860	贴近风扇听有“嗒嗒”声
35	5130	贴近风扇听有“嗒嗒”声
40	5460	风声超过“嗒嗒”声

45	6000	风声超过“嗒嗒”声
50	7530	风声超过“嗒嗒”声
55	7890	风声超过“嗒嗒”声
60	8220	风声超过“嗒嗒”声
65	8520	风声超过“嗒嗒”声
70	8730	风声超过“嗒嗒”声
75	9060	风声超过“嗒嗒”声
80	9300	风声超过“嗒嗒”声
85	9630	风声超过“嗒嗒”声
90	9930	风声超过“嗒嗒”声

95	10200	风声超过“嗒嗒”声
100	13740	无噪音

表 5 9GE0412P3J03 在有“不间断电压”外部 30 HZ 的 PWM 频率下调速表现

转速曲线:



9S1212F401 在 6.5K HZ 频率下的调速表现:

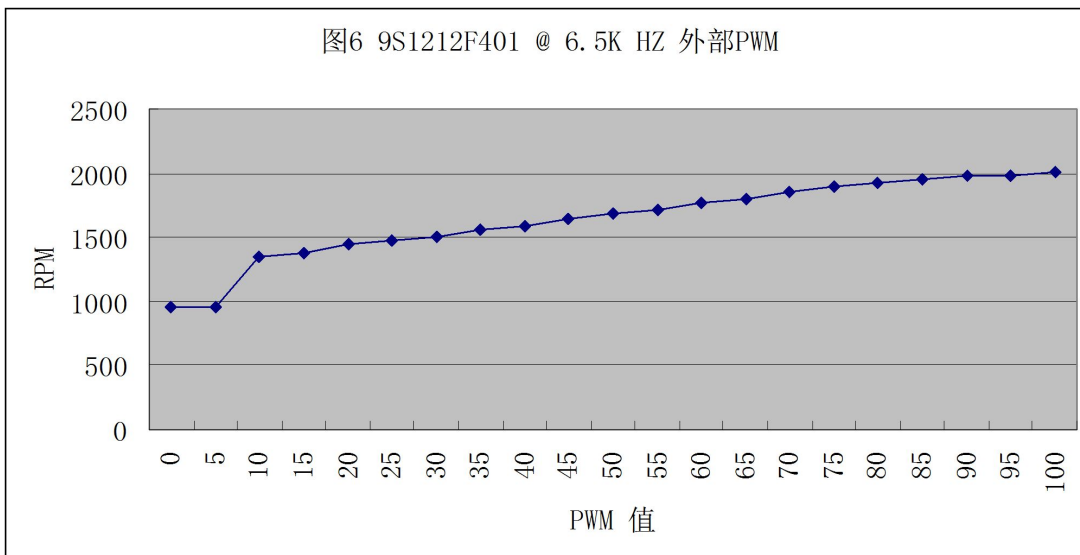
PWM 情况 \ 风扇	9S1212F401 @ 6.5K HZ 转速 (RPM)	9S1212F401 @ 6.5K HZ 运转说明
0	960	无噪音
5	960	安静

10	1350	明显高频声
15	1380	明显高频声
20	1440	明显高频声
25	1470	明显高频声
30	1500	明显高频声
35	1560	明显高频声
40	1590	明显高频声
45	1650	明显高频声
50	1680	明显高频声
55	1710	明显高频声
60	1770	明显高频声
65	1800	明显高频声
70	1860	明显高频声
75	1890	明显高频声
80	1920	明显高频声
85	1950	高频声减小

90	1980	高频声更小
95	1980	高频声几乎消失
100	2010	高频声消失

表 6 9S1212F401 在有“不间断电压”外部 6.5K HZ 的 PWM 频率下调速表现

转速曲线:



9S1212F401 在 30 HZ 频率下的调速表现:

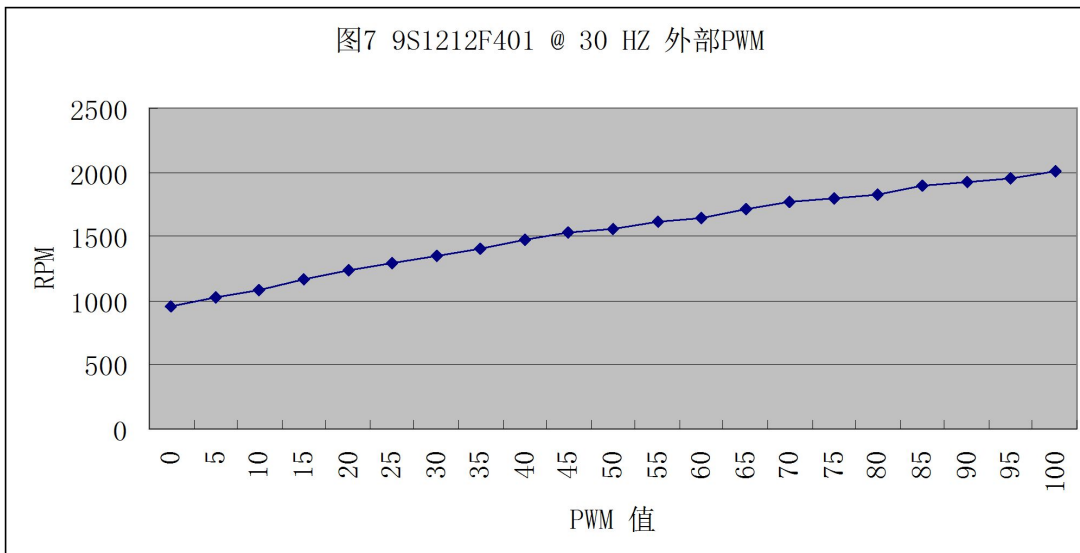
PWM 情况	风扇	9S1212F40	9S1212F401 @ 10 HZ 运转说明
		1 @ 10 HZ 转 速 (RPM)	

0	960	无噪音
5	1020	贴近风扇听有“嗒嗒”声
10	1080	贴近风扇听有“嗒嗒”声
15	1170	贴近风扇听有“嗒嗒”声
20	1230	贴近风扇听有“嗒嗒”声
25	1290	贴近风扇听有“嗒嗒”声
30	1350	贴近风扇听有“嗒嗒”声
35	1410	贴近风扇听有“嗒嗒”声
40	1470	贴近风扇听有“嗒嗒”声
45	1530	贴近风扇听有“嗒嗒”声
50	1560	贴近风扇听有“嗒

		嗒”声
55	1620	贴近风扇听有“嗒嗒”声
60	1650	贴近风扇听有“嗒嗒”声
65	1710	贴近风扇听有“嗒嗒”声
70	1770	贴近风扇听有“嗒嗒”声
75	1800	贴近风扇听有“嗒嗒”声
80	1830	贴近风扇听有“嗒嗒”声
85	1890	贴近风扇听有“嗒嗒”声
90	1920	贴近风扇听有“嗒嗒”声
95	1950	贴近风扇听有“嗒嗒”声
100	2010	“嗒嗒”声消失

表 7 9S1212F401 在有“不间断电压”外部 30 HZ 的 PWM 频率下调速表现

转速曲线:



在本测试中，选用的 65K HZ 和 30 HZ 的 PWM 频率在两颗风扇上的表现如以上所示，在 65K HZ 的频率下功率较高的 9GE0412P3J03 可以获得比较不错的调速表现（不过参考表 3，似乎它没有过多的频率可供选择），而 9S1212F401 则在低频下表现良好。不过即使加载了不间断电源，风扇调速时产生的噪音仍然存在，几乎和测试三得到的运转情况一样，没有减小也没有增加。

四：测试小结和我们的建议

通过我们本次对几款风扇的不完全测试可以得到以下几点结论：

- 额定功率和结构不同的风扇最低可工作电压不同，对于三线 and 四线风扇，其传感器可的工作电压往往比风扇可运转的电压要更低一些。
- 通过电压调速也可以得到相对较宽的调速范围，但在某些临界状态时可能风扇马达无法达到所需的启动扭矩(但其实此电压下风扇可以运转)，所以在调速时最好在风扇启动时以一个较高电压启动（比如额定电压），延时一段再调低电压。

- 在外部 PWM 调速时（无“不间断” 5V 电压），也同样可能发生以上情况，所以在使用此方法调速时也最好能已高 PWM 值启动（比如 100%），延时一段再调低 PWM 值。
- 无论何种外部 PWM 调速方式，无论在本测试中使用的哪种 PWM 频率，都会使风扇在一次次加电时产生与 PWM 频率对应的噪音，在高频时甚至会超过某些静音风扇本身产生的噪音。

我们的建议：

通过本次测试，我们对您提出以下几点不成熟的建议，谨供参考：

在设计初期

- 4 线风扇的 PWM 调速运行平稳，可调节外围广，速度响应快，我们推荐您在设计初期，在控制电路和风扇都还没有定型之前选用这种方式，这可能会提供给您最好的风扇调速表现，更加容易的实现温度和噪音之间的平衡并且可以延长风扇的使用寿命。
- 如果您认为 PWM 调速方式可能相对比较复杂，或者您的控制电路已经设计成型，我们建议您选用外置测温元件的风扇，它几乎不用您对您的电路做任何修改，只需要把测温元件放在您的测温点就可以自行调节转速。

已经有成型 2 线或 3 线风扇

- 如果您可以在您的控制电路中控制输出电压，而风扇调速范围不需要非常广，我们建议您使用调压的方式来控制风扇转速，通过本次的不完全测试，风扇在 5V 以上维持正常工作应无问题。

如果您想手动控制风扇

- 如果您只是想手动的控制风扇在两段或者几段转速间变化，或者只需要让风扇在两段或几段

温度内自动切换转速，我们建议您使用电压控制，您可以简单的利用二极管（串接一个二极管大约降 0.7V 左右）的正向压降来给风扇降压，这适用于绝大多数电压适应度较宽的风扇调速。

关于外部 PWM 控制

- 如果您在设计初期，在控制电路和风扇都未成型之前。我们不建议您使用外部 PWM 控制的方式，因为这种方式几乎不会减少您搭建外部控制电路的力气（相对于 4 线 PWM 风扇）；但是得到的调速结果却并不如 4 线 PWM 控制那样平稳。最主要的是由此产生的额外噪音，在某些风扇调速时甚至超出风扇本身的噪音，我想这是您很不愿看到的。

- 如果您已经有 2 线或 3 线风扇的方案却不愿改变风扇的选择，希望使用外部 PWM 电路来控制风扇转速，通过本次测试来看，希望您使用相对较低的频率来控制额定功率相对较小的风扇，高 PWM 频率显然不适合这种控制方式（尽管高频带来了某些风扇不错的调速曲线），而在定型之前，请一定要用实际样品实地测试，风扇的不同会带来完全不同的调速表现。

希望本次测试和我们的几点不成熟的建议能为您在选择调速风扇时带来一点帮助，如果有任何意见或建议请随时提出，十分期待您的观点。