# 应用指南
# ANC202311001

# 一种 PWM 信号打散解决方案

通信作者：成红玉

圣邦微电子（北京）股份有限公司

2023 年 11 月 17 日

## 商标

SGMICRO 是圣邦微电子（北京）股份有限公司的商标。本文档中的所有商标均为其各自所有者的财产。

**© 2023 圣邦微电子（北京）股份有限公司 版权所有。**

未经 SGMICRO 事先书面许可，任何单位或个人不得摘抄、复制或改编本文档的部分或全部内容。欲了解更多关于 SGMICRO 的信息，请访问网站 www.sg-micro.com。

## 摘要

脉宽调制（Pulse-Width Modulation，PWM）技术广泛应用在从测量、通信到功率控制与变换的许多领域中，用于调压调频等。本应用指南对比传统 PWM 控制方式，提出了一种 PWM 信号打散的控制电路及控制方法，能够在不增加时钟频率的情况下提高脉冲信号的等效频率，以调和时钟频率和周期时间的矛盾，使获得高循环重复频率的脉宽调制信号。

## 目录

1 PWM 信号打散效果 ..... 2

2 PWM 信号打散带来的益处 ..... 3

3 传统的 PWM 控制方式 ..... 4

4 圣邦微电子提出的一种 PWM 信号打散实现方式 ..... 5

4.1 PWM 打散控制电路 ..... 5

4.2 PWM 打散控制方法 ..... 6

4.3 对比传统 PWM 控制方式 ..... 6

5 结语 ..... 7

6 致谢 ..... 7

7 参考资料 ..... 7

# 1 PWM 信号打散效果

脉宽调制（Pulse-Width Modulation，PWM），是占空比可变的脉冲波形，是利用数字输出来合成模拟量的一种简便有效的常见方案。广泛应用在从测量、通信到功率控制与变换的许多领域，也是开关电源和变频器控制输出电压的方式。

传统 PWM 信号与打散的 PWM 信号对比效果示意如图 1 所示。

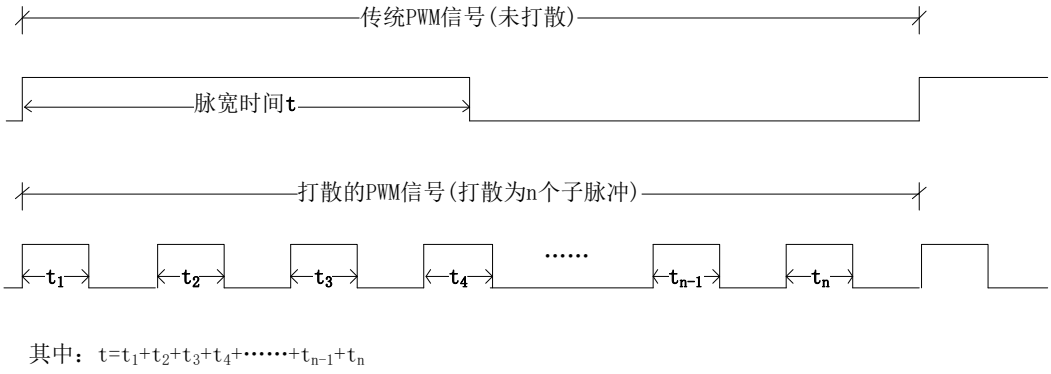



图 1 PWM 信号打散效果图

由上图可见，PWM 信号打散，即把一个周期内的高电平打散成数个较短且均匀分布的脉冲波形，并保持总的占空比不变。该 PWM 打散控制方式输出波形的脉冲频率明显高于传统的 PWM 信号，即提高了脉冲信号的循环频率。

不是在所有情况下打散都能取得一样的改善效果。例如，当 PWM 信号的占空比极大或极小时，打散或者不打散，PWM 波形没有差别，因此打散意义不大。当 PWM 信号占空比为 50%时，进行 PWM 打散效果最为理想。

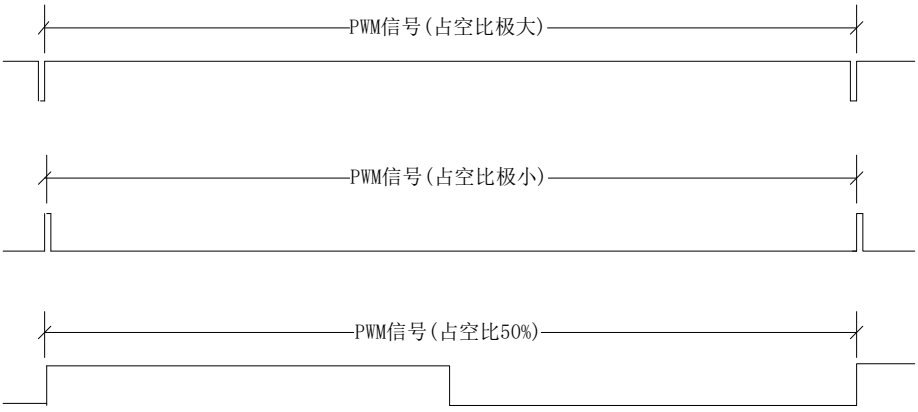



图 2 不同占空比 PWM 信号

## 2 PWM 信号打散带来的益处

由 PWM 打散效果可看出，PWM 信号打散后脉冲频率明显得到了提高。对于需要进行直流滤波的场合，频率越高，滤波的效果则越好。下面通过分析对比未打散的 PWM 信号频谱和 PWM 信号打散后的频谱对其进行说明。图 3 是未做打散的 PWM 波形。

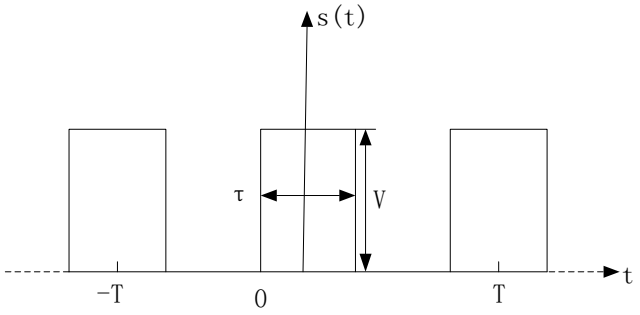



图 3 未打散的 PWM 信号波形

该 PWM 波形的周期为 T，宽度 τ，幅度为 V，它用公式 1 表示如下：

$$\begin{cases} s(t) = \begin{cases} V & -\tau/2 \le t \le \tau/2 \\ 0 & \tau/2 < t < (T-\tau/2) \end{cases} \\ s(t) = s(t-T) \qquad -\infty < t < \infty \end{cases} \tag{1}$$

其频谱可由公式 2 计算：

$$C_n = \frac{1}{T}\int_{-\tau/2}^{\tau/2} V e^{-j2\pi n f_0 t}\,\mathrm{dt} = \frac{1}{T}\left[-\frac{V}{j2\pi n f_0} e^{-j2\pi n f_0 t}\right]_{-\tau/2}^{\tau/2} = \frac{V}{T}\frac{e^{j2\pi n f_0 \tau/2} - e^{-j2\pi n f_0 \tau/2}}{j2\pi n f_0}$$

$$= \frac{V}{\pi n f_0 T} sin\pi n f_0 \tau = \frac{V\tau}{T} sinc\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right) \tag{2}$$

频谱如图 4 所示。

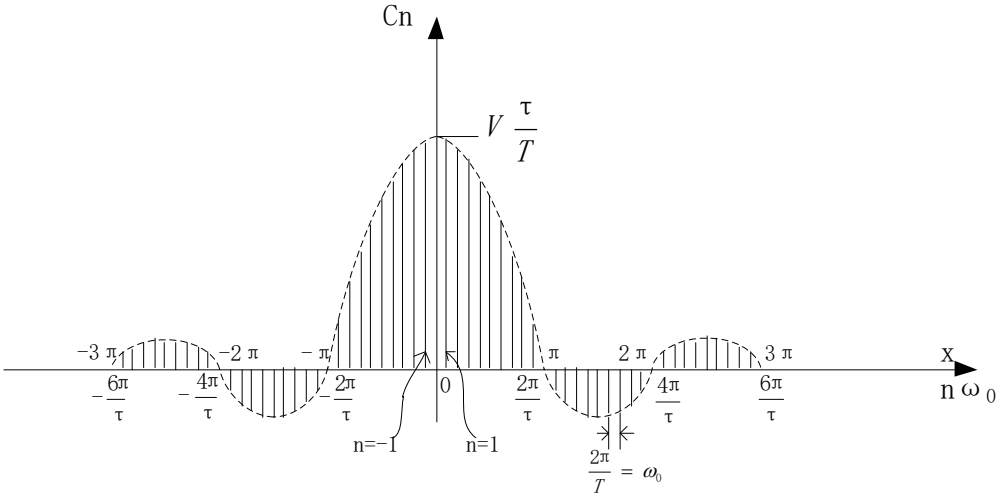



图 4 未打散的 PWM 信号频谱

打散后的 PWM 信号脉冲循环频率 f 变大，则 T 变小，频谱图中$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$，T 越小，$\omega_0$越大，即频谱图中每两根离散线条之间的距离越宽，频谱分布越分散，如图 5 所示。高循环重复频率的 PWM 信号将频谱分量推向了高频，通过一个低通滤波器则可方便的滤除高频成分，实现 PWM 波形解调。

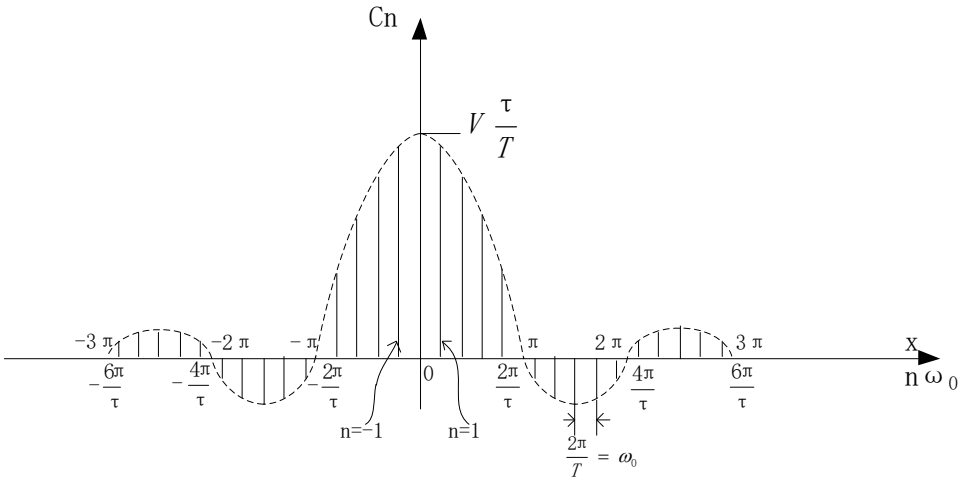
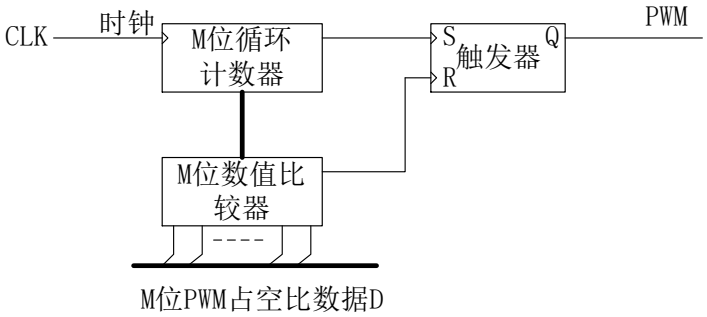



图 5 PWM 信号打散后的频谱

PWM 信号打散后脉冲频率提高，有利的应用场景如：

1) 电机控制中，可减少低频谐波和降低抖动；
2) LED 控制中，提高频率可降低屏幕的闪烁感，避免引起视觉疲劳；
3) 低时钟频率单片机没有办法合成高循环频率的 PWM 波形，打散可大幅提升等效频率和改善调节精度；
4) 降低 PWM 合成对系统频率的依赖，降低高速单片机的平均能耗。

# 3 传统的 PWM 控制方式




注：触发器S有效时，R前沿不影响Q输出。

图 6 典型的 PWM 输出电路

图 6 是一个典型的 M 位占空比输出电路。它由一个 M 位循环计数器、M 位的数值比较器和 RS

触发器组成。其中，接收时钟信号 CLK 的 M 位循环计数器对时钟信号的脉冲进行计数并将计数结果输出至 M 位数值比较器。在计数值未达到比较器的预设值（时钟计数次数为 D）时，计数器无溢出，输出置位信号到 RS 触发器的置位端；计数值大于等于比较器的预设值 D 时，计数器溢出，输出复位信号到 RS 触发器的复位端；RS 触发器根据该置位信号和复位信号控制输出高电位时间和低电位时间的比例，生成脉宽调制信号 PWM，其脉冲占空比为 $D/2^M$。PWM 波形如图 7 所示。

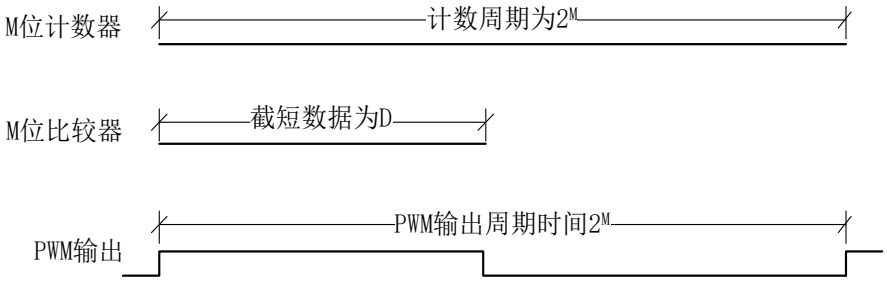
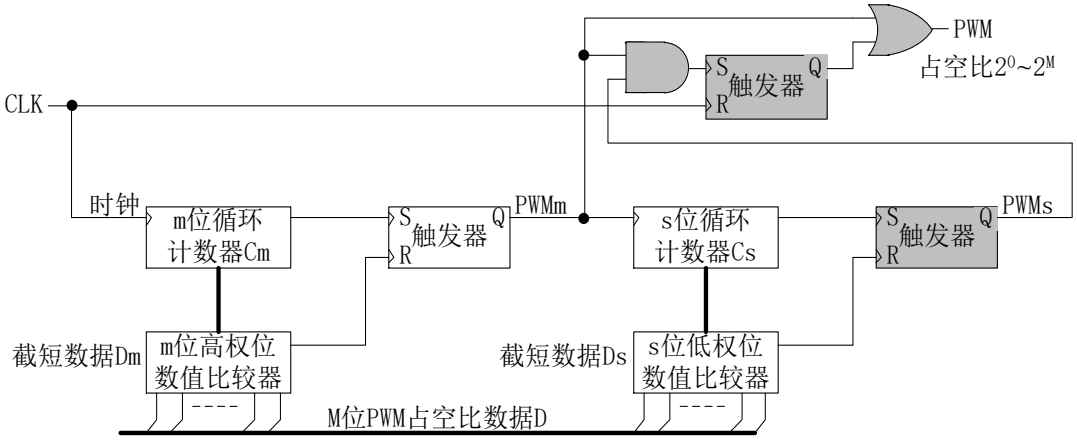



图 7 传统 PWM 波形

# 4 圣邦微电子提出的一种 PWM 信号打散实现方式

## 4.1 PWM 打散控制电路




注：触发器S有效时，R前沿不影响Q输出。

图 8 PWM 打散控制电路

上述 PWM 信号打散的控制电路，由脉冲占空比调节模块、变频控制模块和输出模块组成。脉冲占空比调节模块包括：m 位循环计数器、m 位数值比较器和 RS 触发器；变频控制模块包括：s 位循环计数器、s 位数值比较器和 RS 触发器；输出模块包括：与门、RS 触发器和或门。

这个电路中，M 位的计数器和比较器被拆分为高 m 位和低 s 位。高 m 位不断以 $F/2^m$ 频率循环（其中 F 为时钟频率）。高位部分每次溢出触发低位部分增加一个计数，输出模块电路则根据低位脉冲占空比输出电路当时的状态决定是否在占空比输出高电位延长一个时钟周期。

### 4.2 PWM 打散控制方法

图 8 中，计数器 Cs 计 PWMm 的循环次数。一个完整周期（即 $2^M$ 时间）内 PWMm 循环 $2^s$ 次。如 PWMm 循环次数小于 Ds，则 Cs 无溢出，PWM 输出在 PWMm 有效结束后第二个时钟脉冲到来时复位；如 PWMm 循环次数大于等于 Ds，则 Cs 溢出，PWM 输出在 PWMm 有效结束后第一个时钟脉冲到来时复位。Ds 决定 $2^s$ 次个打散后的子 PWM 输出有多少个延后到第二个时钟沿复位、其余的延后到第一个时钟沿复位。在这个设计中 PWM 输出被打散为 $2^s$ 个子 PWM 脉冲，子脉冲持续时间宽度仅差一个时钟周期。PWM 打散控制波形如图 9 所示。

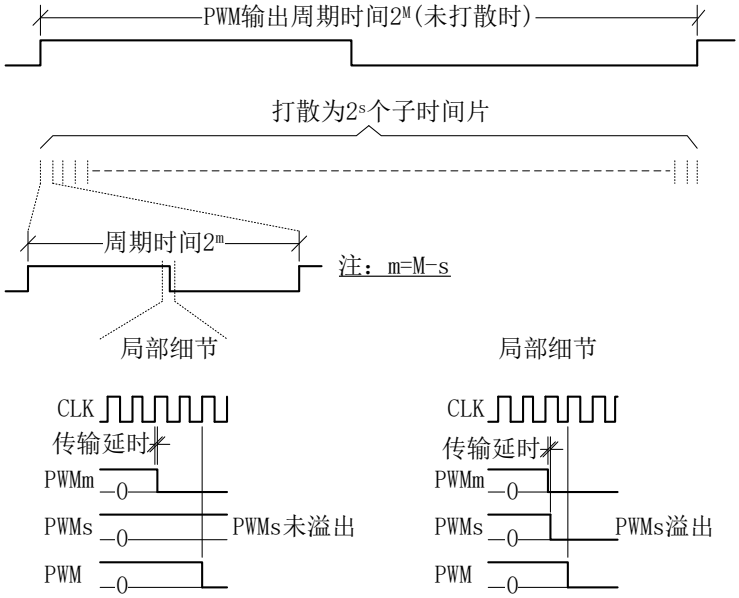



**图 9 PWM 打散控制波形**

### 4.3 对比传统 PWM 控制方式

传统的 PWM 控制电路（分辨率为 M 位）在 $2^M$ 个时间片中输出 $D/2^M$ 时间的高电平和 $(2^M-D)/2^M$ 时间的低电平的循环，如图 7 所示。假定这个时间片是频率 F 的时钟的一个周期，则上述循环的频率为 $F/2^M$。当 M 为 10 位和 20 位二进制数时，上述循环的频率为时钟频率 F 的 1/1000 和 1/1000000。这导致要么时钟过快、要么循环频率太低，这种方式输出的频谱中低频部分较多，不方便滤除。为了减少因时钟频率和循环时间的矛盾间歇造成的输出波动，一般需要不断重复同样的高低电平比例和利用积分平滑电路或低通滤波电路处理占空比输出、取得稳定的受控的电压或电流，这无疑加大了脉宽调制信号的调制电路的复杂度和成本，同时也加剧了功耗，不利于工程实现。

对比传统 PWM 控制电路，PWM 打散控制电路中，M 位的计数器和比较器被拆分为高 m 位和低 s 位。这种拆分不会导致电路标准门数的变化，仅导致少许连线变化。相对于传统 PWM 控制电路（图 6），PWM 打散控制电路（图 8）仅仅增加了图中深色背景的少许逻辑电路（增加的部分折

合六个标准逻辑门）。这个电路中高 m 位和低 s 位的电路与图 6 所示电路一致，仅减少了位数。另外，PWM 打散控制电路，由于每完成一次 m 位循环才触发 s 计数器增值一次，这个电路的总循环时间仍是 $2^m \times 2^s = 2^{(m+s)} = 2^M$ 次时钟周期。但是这期间分成了 $2^s$ 次高位 m 位脉冲占空比输出循环。相对于图 6 电路每 $2^M$ 个周期内只输出一段时间高电平，PWM 打散控制电路在 $2^M$ 个周期内输出了 $2^s$ 组子循环的高电平，主要频率成分增加了 $2^s$ 倍。

打散的过程是把 PWM 的持续时间分成了若干小片、是个子集化的过程，子集间只存在对应一个时钟周期的差异。差异小则对滤波的要求低，可减小滤波积分电容的容量、减少系统成本。

## 5 结语

本应用指南提供的 PWM 打散控制方式，将高电平、低电平的输出时间分散到更多的子时间片，在不增加时钟频率的情况下取得与高循环重复频率脉宽调制一样的效果。

## 6 致谢

感谢以下人员在本应用指南撰写过程中的巨大帮助和无私奉献：

审阅：谭磊；试读：徐林，王野。

## 7 参考资料

[1] 谭磊. 脉宽调制信号的调制电路及其调制方法：202010910033.5[P]. 2020-09-02.

[2] 何一凡，朱顺痣. 离散型 PWM、多通道 PWM 的控制方法和 LED 系统：201611089453.1[P]. 2016-12-01.

[3] 程宇，朱良学. 一种 LED 全彩显示的脉冲打散新算法 [EB/OL]. (2008-01-18)

[4] 樊昌信，曹丽娜. 通信原理(第 6 版). 北京：国防工业出版社，2008.

## 修订记录

注意:历史版本的页码可能与当前版本的页码不同。

| 日期 | 版本 | 描述 |
|---|---|---|
| 2023-11-17 | REV.A | 首次发布 |

## 重要声明

本文档中如涉及本公司具体产品型号，SGMICRO 保留其更改电路设计、产品规格和产品描述的权利，恕不另行通知。本文档内容仅供参考。本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何承诺。对于本文档中可能出现的错误，以及因本文档提供的信息和使用本文档而造成的任何附带或间接损失，本公司不作任何明示或暗示的陈述和保证。
此文档未授予任何知识产权许可。除了 SGMICRO 在其产品的销售条款和条件中声明的责任外，本公司概不承担任何其他责任。

www.sg-micro.com

## 联系方式

**圣邦微电子(北京)股份有限公司**
地址：北京市海淀区西三环北路 87 号国际财经中心 D 座 11 层
邮编：100089
电话：010-88825716/17

**深圳办事处**
地址：深圳市南山区科技园高新南六道 6 号迈科龙大厦 15 层
邮编：518063
电话：0755-26715323

**上海办事处**
地址：上海市徐汇区漕溪北路 88 号圣爱大厦 1706 室
邮编：200030
电话：021-64396434