

GigaDevice Semiconductor Inc.

GD32 MCU 展频测试操作指南

应用笔记

AN192

1.1 版本

(2024 年 7 月)

目录

目录.....	2
图索引.....	3
表索引.....	4
1. 前言.....	5
2. 展频知识概述.....	6
2.1. 展频目的.....	6
2.2. 展频原理.....	6
2.3. GD32 MCU 适用产品.....	6
3. 测试环境的搭建.....	7
3.1. 测试所需设备.....	7
3.2. 时钟展频控制寄存器.....	7
3.3. 测试平台.....	7
4. 测试结果.....	9
4.1. 开展频前后的频谱图片展示.....	9
4.1.1. 不开展频.....	9
4.1.2. 开展频: 保持 MODSTEP=655 不变, MODCNT 依次增加.....	9
4.1.3. 开展频: 保持 MODCNT=50 不变, MODSTEP 依次增加.....	11
4.1.4. 开展频: 保持 MODSTEP=133 不变, MODCNT 依次增加.....	12
4.2. 展频结果的对比与总结.....	13
4.2.1. 展频前后的数据对比表格.....	13
4.2.2. 芯片开展频后得到的结论.....	14
4.3. 频谱仪 RBW 对功率的影响.....	15
4.3.1. 保持展频系数不变, 改变 RBW 后的测试结果.....	15
4.3.2. 结果对比表和结论.....	16
4.4. 展频对时域波形的影响.....	16
4.4.1. 开展频前后的时域波形对比.....	16
4.4.2. 结论.....	18
5. 总结.....	19
6. 版本历史.....	20

图索引

图 2-1. 开展频前后频谱对比图	6
图 3-1. PLL 时钟展频控制寄存器	7
图 3-2. 实验测试平台的搭建	8
图 4-1. 不开展频时频谱仪测试结果	9
图 4-2. MODSTEP=655, MODCNT=1 时频谱仪测试结果	9
图 4-3. MODSTEP=655, MODCNT=5 时频谱仪测试结果	10
图 4-4. MODSTEP=655, MODCNT=10 时频谱仪测试结果	10
图 4-5. MODSTEP=655, MODCNT=25 时频谱仪测试结果	10
图 4-6. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果	11
图 4-7. MODSTEP=1, MODCNT=50 时频谱仪测试结果	11
图 4-8. MODSTEP=26, MODCNT=50 时频谱仪测试结果	11
图 4-9. MODSTEP=131, MODCNT=50 时频谱仪测试结果	12
图 4-10. MODSTEP=393, MODCNT=50 时频谱仪测试结果	12
图 4-11. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果	12
图 4-12. MODSTEP=133, MODCNT=50 时频谱仪测试结果	13
图 4-13. MODSTEP=133, MODCNT=125 时频谱仪测试结果	13
图 4-14. MODSTEP=133, MODCNT=250 时频谱仪测试结果	13
图 4-15. MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=1kHz 时频谱仪测试结果	15
图 4-16. MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=20kHz 时频谱仪测试结果	15
图 4-17. MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=62kHz 时频谱仪测试结果	16
图 4-18. MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=300kHz 时频谱仪测试结果	16
图 4-19. 不开展频时频谱仪测试结果	17
图 4-20. 不开展频时示波器测试结果	17
图 4-21. MODSTEP=655, MODCNT=25 时频谱仪测试结果	17
图 4-22. MODSTEP=655, MODCNT=25 示波器测试结果	18
图 4-23. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果	18
图 4-24. MODSTEP=655, MODCNT=50 时示波器测试结果	18

表索引

表 2-1. GD32 MCU 适用产品表.....	6
表 3-1. 不开展频的代码	8
表 3-2. 开展频的代码.....	8
表 4-1. 功率随 MODCNT 变化数据表 1.....	14
表 4-2. 功率随 MODSTEP 变化数据表.....	14
表 4-3. 功率随 MODCNT 变化数据表 2.....	14
表 4-4. 功率随 RBW 变化数据表	16
表 6-1. 版本历史	20

1. 前言

随着技术的发展，数字信号的时钟频率越来越高，电路系统对于信号的建立、保持时间、时钟抖动等要素提出越来越高的要求。**EMI** 即电磁干扰，是指电路系统通过传导或者辐射的方式，对周边电路系统产生的影响。**EMI** 会引起电路性能的降低，严重的话，可能会导致整个系统失效。在实际操作中需要确保上市产品满足电磁兼容的规范。

由于时钟频率的不断提高，电路板面积的不断缩小，以前的屏蔽、滤波等 **EMI** 改善措施的应用已经变得越来越困难，而展频时钟能够从源头上控制和减少 **EMI** 发射强度。信号辐射主要是由于信号的能量过于集中在其载波位置，导致信号的能量在某一频点位置处产生过大的辐射。展频通过对尖峰时钟进行调制处理，将集中在窄频带范围内的能量分散到设定的宽频带范围，将能量分散在多个频率上，从而达到降低尖峰能量，抑制 **EMI** 的效果。

2. 展频知识概述

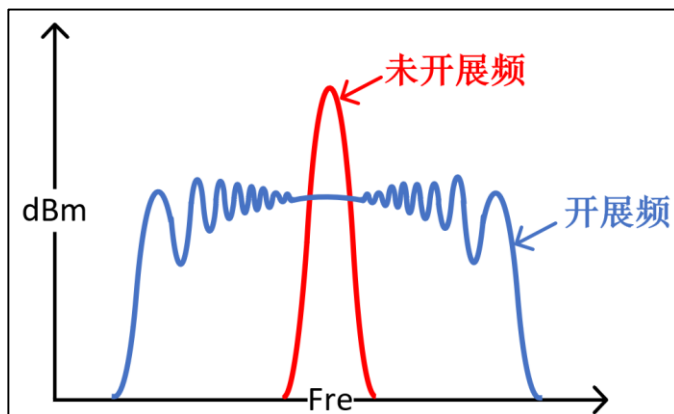
2.1. 展频目的

为了进一步有效的降低 EMI 辐射，芯片厂家在设计芯片时增加了 SSC（Spread Spectrum Clocking）即时钟展频的功能。

2.2. 展频原理

对时钟展频后，信号的频谱能量被分散在一个频率范围以内，信号能量的整体幅度也会有明显降低，这样时钟信号的主频和谐波所包含的峰值能量显著降低，EMI 辐射将会得到抑制。开展频前后频谱对比见 [图 2-1. 开展频前后频谱对比图](#)。

图 2-1. 开展频前后频谱对比图



2.3. GD32 MCU 适用产品

[表 2-1. GD32 MCU 适用产品表](#)列出了目前 GD32 MCU 有展频功能的产品。

表 2-1. GD32 MCU 适用产品表

GD32 MCU 适用产品
GD32F4xx
GD32F5xx
GD32E50x
GD32E51x
GD32W51x

3. 测试环境的搭建

3.1. 测试所需设备

GD32F470ZGT7 芯片(本测试所选), GD32F4xx 测试板, 频谱仪 N9030B, 计算机, 示波器 S DS6104H10 Pro。

3.2. 时钟展频控制寄存器

扩频调制仅适用于主 PLL 时钟, 展频信号可以通过 PA8 和 PC9 进行输出, 需要通过软件配置选择具体的输出引脚, PA8 和 PC9 引脚的时钟源选择可参考 GD32F4xx_用户手册的图 4-2。若要对时钟信号开展频, 修改 GD32F470ZGT7 芯片的时钟展频控制寄存器的值即可, 参考 GD32F4xx_用户手册的 4.3.22 章节, PLL 时钟展频控制寄存器 (RCU_PLLSSCTL)如下 [图 3-1. PLL 时钟展频控制寄存器](#)。

注意: 仅当 PLL 被禁止时, RCU_PLLSSCTL 寄存器才可写入。

图 3-1. PLL 时钟展频控制寄存器

31 ^o	30 ^o	29 ^o	28 ^o	27 ^o	26 ^o	25 ^o	24 ^o	23 ^o	22 ^o	21 ^o	20 ^o	19 ^o	18 ^o	17 ^o	16 ^o
SSCGON	SS_TYPE	保留 ^o	MODSTEP[14:3] ^o												
rw ^o		r ^o	rw ^o												
15 ^o	14 ^o	13 ^o	12 ^o	11 ^o	10 ^o	9 ^o	8 ^o	7 ^o	6 ^o	5 ^o	4 ^o	3 ^o	2 ^o	1 ^o	0 ^o
MODSTEP[2:0] ^o			MODCNT[12:0] ^o												
rw ^o			rw ^o												

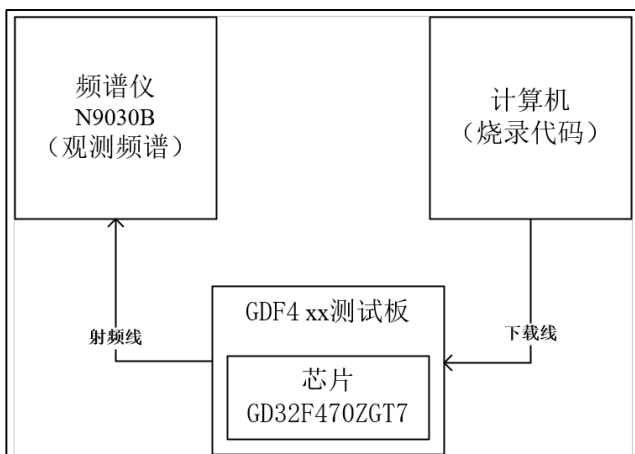
其中, SSCGON 决定了展频调制是否使能, 其中 0 为禁止扩频调制, 1 为使能扩频调制; SS_TYPE 决定 PLL 展频调制类型选择, 0 为选择中心扩频, 1 为选择向下扩频。本测试全部使用中心展频, 一般应用会选择向下展频, 防止展频后的频率超过最大频率范围。MODSTEP 和 MODCNT 配置 PLL 展频调制曲线振幅和频率, 必须满足如下条件: $\text{MODSTEP} * \text{MODCNT} \leq 2^{15} - 1$ 。因此本测试只需修改代码中 MODSTEP 和 MODCNT 的值即可实现不同条件下的展频。

GD32F470ZGT7 芯片展频后的时钟信号是通过 PA8 引脚进行输出, 因此本测试将测试板的 PA8 引脚通过同轴电缆连接到频谱仪, 通过频谱仪即可观测到展频信号的频谱, 本文的测试结果图片均为频谱仪观测到的时钟主频信号的频谱。

3.3. 测试平台

本测试将计算机与 GD32F4xx 测试板通过 J-Link 下载线相连, 并将测试板的 PA8 引脚通过同轴电缆连接到频谱仪。测试代码通过 Keil 软件下载到 GD32F470ZGT7 芯片。本次测试使用的外部晶振为 25 MHz, 系统时钟主频为 200 MHz, 测试结果的中心频率与时钟频率是相同的, 若修改系统时钟主频, 则测试结果的中心频率也会随之改变。实验测试平台的搭建见 [图 3-2. 实验测试平台的搭建](#)。

图 3-2. 实验测试平台的搭建



展频的例程代码只需要对两行语句进行修改即可实现不开展频和开展频的操作。若不开展频只需将下面两行语句失能即可，详见[表 3-1. 不开展频的代码](#)。

表 3-1. 不开展频的代码

```
// rcu_spread_spectrum_config(RCU_SS_TYPE_DOWN,655,50);
// rcu_spread_spectrum_enable();
```

若要开展频，只需将代码使能即可，详见[表 3-2. 开展频的代码](#)。下图中 655 为 MODSTEP 的设置值，50 为 MODCNT 的设置值。若要实现不同条件下的展频，只需要修改 MODSTEP 和 MODCNT 值即可。

表 3-2. 开展频的代码

```
rcu_spread_spectrum_config(RCU_SS_TYPE_DOWN,655,50);
rcu_spread_spectrum_enable();
```

注：为方便测试结果对比，本次测试中频谱仪的参数均保持一致，如 RBW，VBW 等。

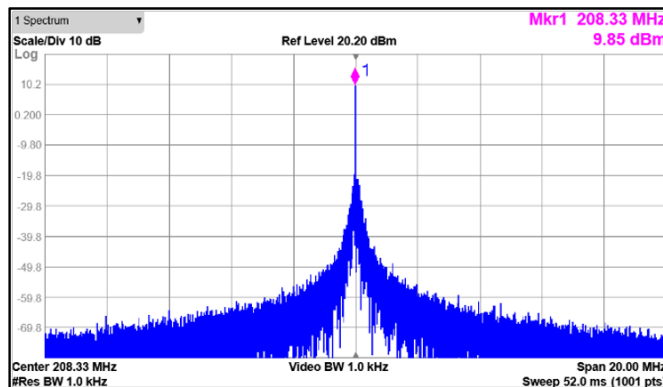
4. 测试结果

4.1. 开展频前后的频谱图片展示

4.1.1. 不开展频

不开展频时频谱仪所示见[图 4-1. 不开展频时频谱仪测试结果](#)。

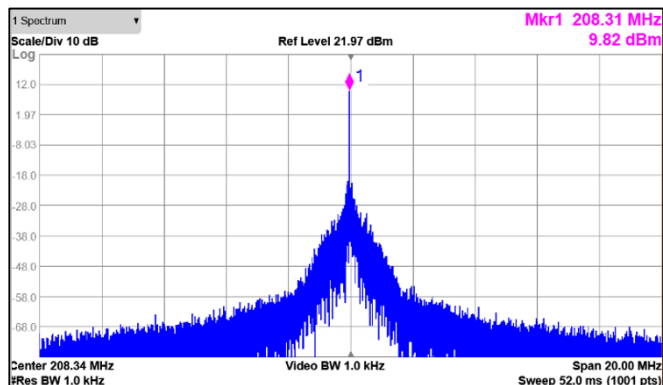
图 4-1. 不开展频时频谱仪测试结果



4.1.2. 开展频：保持 MODSTEP=655 不变，MODCNT 依次增加

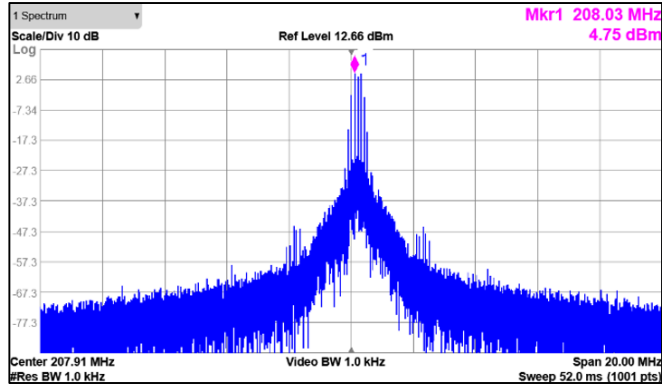
MODSTEP=655, MODCNT=1；频谱仪所示见[图 4-2. MODSTEP=655, MODCNT=1 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-2. MODSTEP=655, MODCNT=1 时频谱仪测试结果



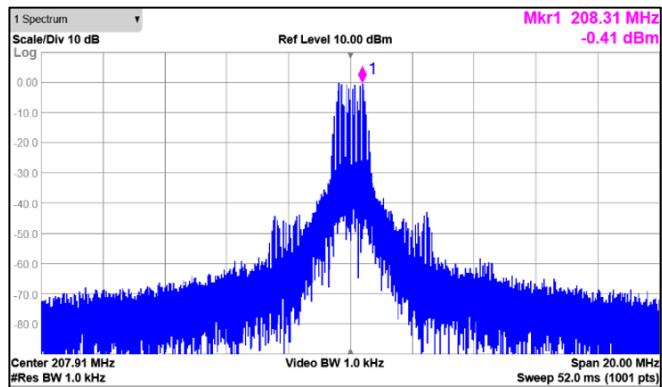
MODSTEP=655, MODCNT=5；频谱仪所示见[图 4-3. MODSTEP=655, MODCNT=5 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-3. MODSTEP=655, MODCNT=5 时频谱仪测试结果



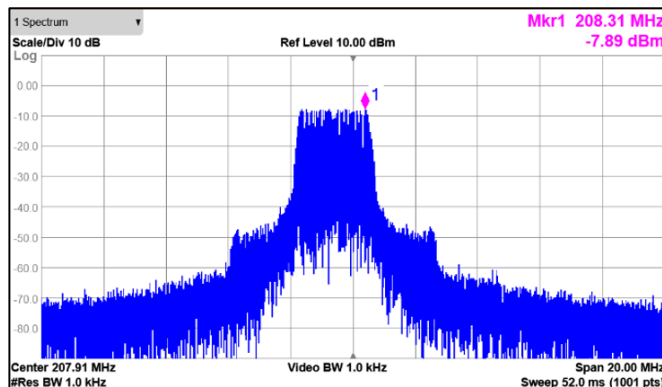
MODSTEP=655, MODCNT=10; 频谱仪所示见[图 4-4. MODSTEP=655, MODCNT=10 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-4. MODSTEP=655, MODCNT=10 时频谱仪测试结果



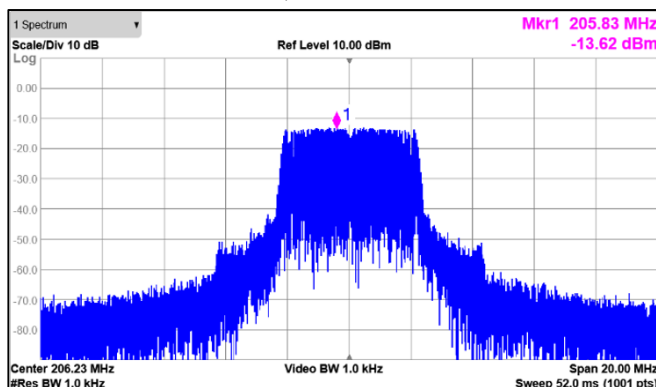
MODSTEP=655, MODCNT=25; 频谱仪所示见[图 4-5. MODSTEP=655, MODCNT=25 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-5. MODSTEP=655, MODCNT=25 时频谱仪测试结果



MODSTEP=655, MODCNT=50; 频谱仪所示见[图 4-6. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果](#)。

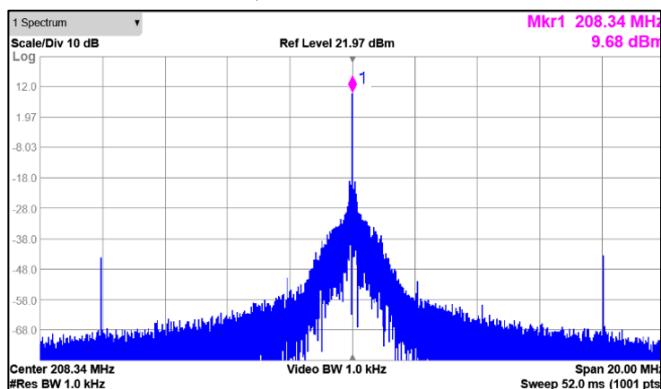
图 4-6. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果



4.1.3. 开展频：保持 MODCNT=50 不变，MODSTEP 依次增加

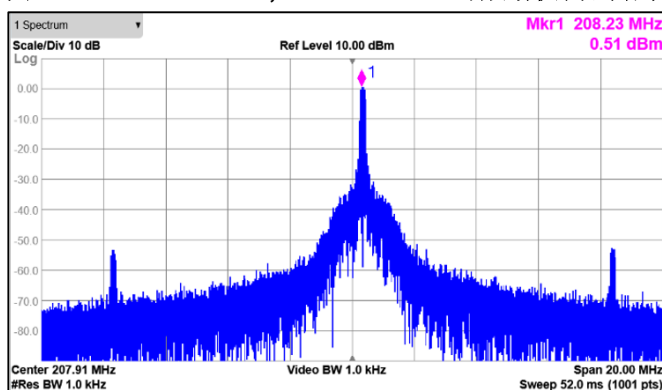
MODSTEP=1, MODCNT=50；频谱仪所示见[图 4-7. MODSTEP=1, MODCNT=50 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-7. MODSTEP=1, MODCNT=50 时频谱仪测试结果



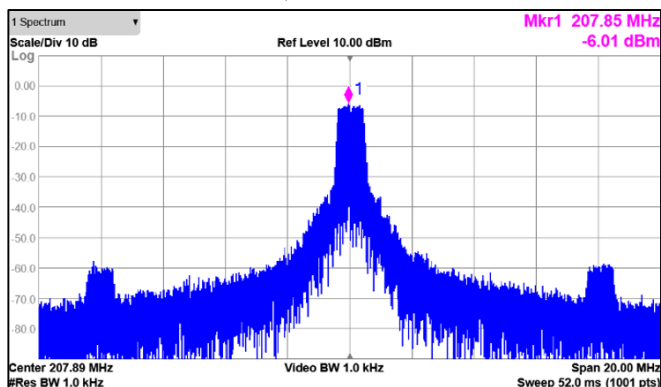
MODSTEP=26, MODCNT=50；频谱仪所示见[图 4-8. MODSTEP=26, MODCNT=50 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-8. MODSTEP=26, MODCNT=50 时频谱仪测试结果



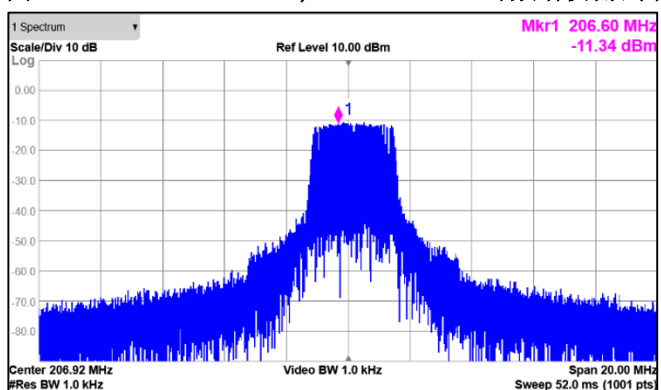
MODSTEP=131, MODCNT=50；频谱仪所示见[图 4-9. MODSTEP=131, MODCNT=50 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-9. MODSTEP=131, MODCNT=50 时频谱仪测试结果



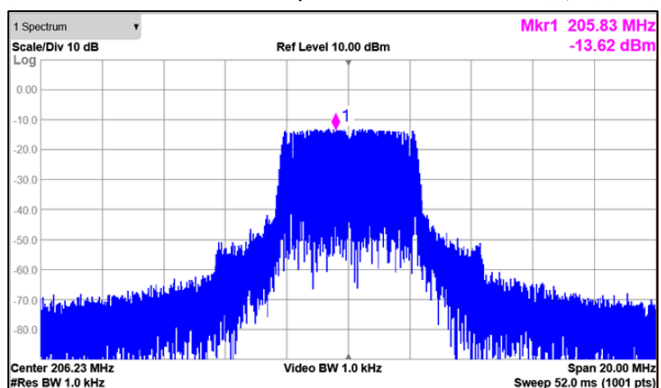
MODSTEP=393, MODCNT=50; 频谱仪所示见[图 4-10. MODSTEP=393, MODCNT=50 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-10. MODSTEP=393, MODCNT=50 时频谱仪测试结果



MODSTEP=655, MODCNT=50; 频谱仪所示见[图 4-11. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果](#)。

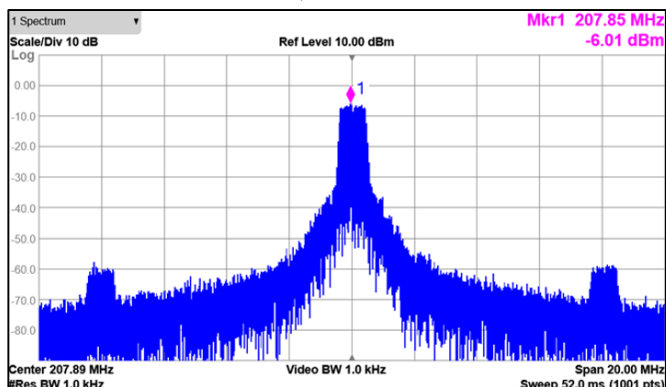
图 4-11. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果



4.1.4. 开展频: 保持 MODSTEP=133 不变, MODCNT 依次增加

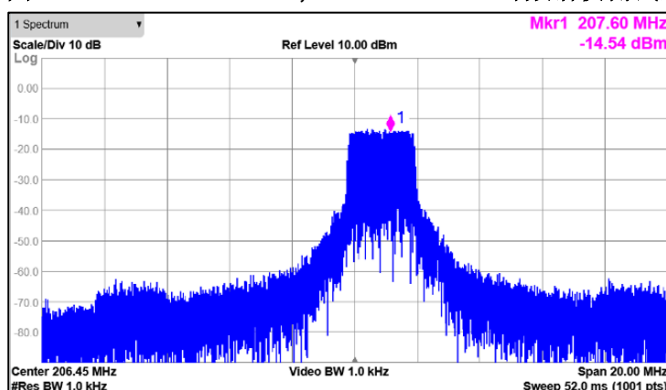
MODSTEP=133, MODCNT=50; 频谱仪所示见[图 4-12. MODSTEP=133, MODCNT=50 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-12. MODSTEP=133, MODCNT=50 时频谱仪测试结果



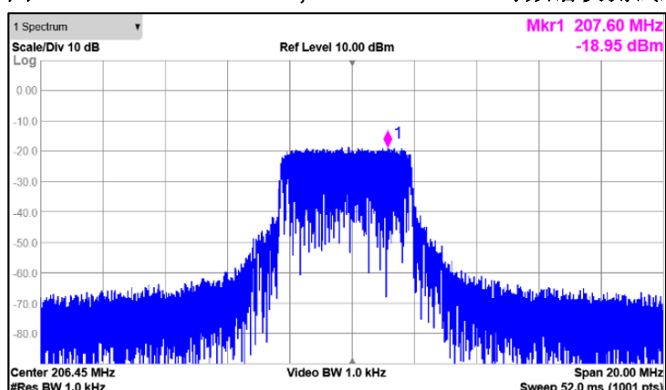
MODSTEP=133, MODCNT=125; 频谱仪所显示见 [图 4-13. MODSTEP=133, MODCNT=125 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-13. MODSTEP=133, MODCNT=125 时频谱仪测试结果



MODSTEP=133, MODCNT=250; 频谱仪所显示见 [图 4-14. MODSTEP=133, MODCNT=250 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-14. MODSTEP=133, MODCNT=250 时频谱仪测试结果



4.2. 展频结果的对比与总结

4.2.1. 展频前后的数据对比表格

[表 4-1. 功率随 MODCNT 变化数据表 1](#) 为保持 MODSTEP=655 不变, MODCNT 依次从 1-50

增加时，时钟输出功率的对比表格。

表 4-1. 功率随 MODCNT 变化数据表 1

	MODSTEP	MODCNT	功率(dBm)
不开展频	/	/	9.85
开展频	655	1	9.82
	655	5	4.75
	655	10	-0.41
	655	25	-7.89
	655	50	-13.62

[表 4-2. 功率随 MODSTEP 变化数据表](#)为保持 MODCNT=50 不变，MODSTEP 依次从 1-655 增加时，时钟输出功率的对比表格。

表 4-2. 功率随 MODSTEP 变化数据表

	MODSTEP	MODCNT	功率(dBm)
不开展频	/	/	9.85
开展频	1	50	9.68
	26	50	0.51
	131	50	-6.01
	393	50	-11.34
	655	50	-13.62

[表 4-3. 功率随 MODCNT 变化数据表 2](#)为保持 MODSTEP=133 不变，MODCNT 依次从 50-250 增加时，时钟输出功率的对比表格。

表 4-3. 功率随 MODCNT 变化数据表 2

	MODSTEP	MODCNT	功率(dBm)
不开展频	/	/	9.85
开展频	133	50	-6.01
	133	125	-14.54
	133	250	-18.95

4.2.2. 芯片开展频后得到的结论

1. 当保持 MODSTEP=655 不变，MODCNT 依次从 1-50 增加，时钟展频信号输出的带宽也依此增加，辐射功率也越来越低，与不开展频相比辐射最高降低约 23dB；
2. 当保持 MODCNT=50 不变，MODSTEP 依次从 1-655 增加，时钟展频信号输出的带宽也依此增加，辐射功率也越来越低；
3. 当保持 MODSTEP=133，MODCNT 不断变化可以看出，与不开展频相比辐射最高降低约 28dB。因此若要取得辐射最小的展频时钟信号，需要合理选择 MODSTEP 和 MODCNT 的值。

扩展率是扩展的频率范围与原时钟频率比值，虽然高扩展率加强了对 EMI 的衰减程度，但是高扩展率可能会超过系统最大额定频率或低于平均频率而影响到系统性能，因此扩展率一般在 0.5% - 2.5% 之间，比如该芯片的 PLL 输出频率在 200 MHz，则一般扩展带宽在 1 MHz - 5 MHz，当然最终要根据实际情况去选择最合适的展频参数，对整体的系统时钟造成最小的影响。

4.3. 频谱仪 RBW 对功率的影响

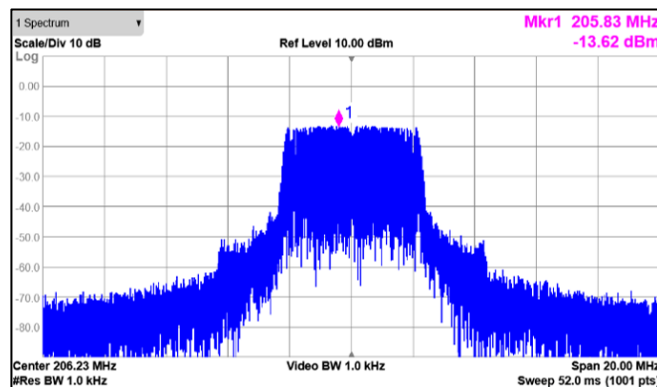
使用频谱仪时，有一个参数需要经常设置，就是分辨率带宽 RBW，RBW 是指中频链路上最小的中频滤波器带宽，决定了能够通过的信号及宽带噪声的功率。如若测试的信号为双音信号，则 RBW 需要精确设置才可以判别出双音信号。RBW 会对底噪声产生影响，由于本文测试的为宽带信号，所以会影响 Maker 显示的信号功率大小，因此做展频对比时，需要保证 RBW 固定即可！

信号输出功率与带宽和 RBW 均有关： $dP(dB) \approx 10\log(B/RBW)$ ，RBW 越大，功率差 dP 越小，信号的辐射功率 $P = P_0 - dP$ ，因此降低 RBW 时，Maker 显示的功率值会变小；增大 RBW 时，Maker 显示的功率值也会变大。所以同一信号测试时，Maker 显示的功率值是随 RBW 变化的。

4.3.1. 保持展频系数不变，改变 RBW 后的测试结果

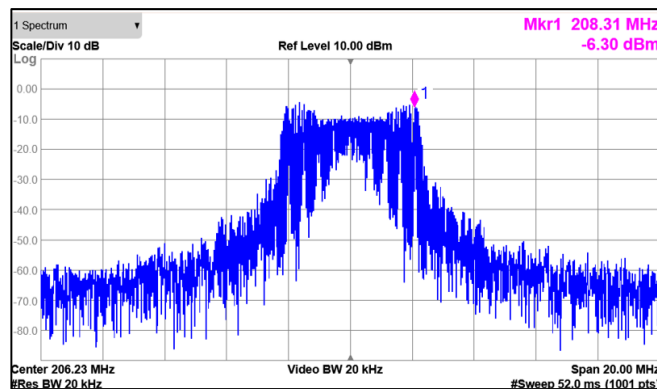
MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=1kHz 时，频谱仪的测试结果见 [图 4-15](#)。
[MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=1kHz 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-15. MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=1kHz 时频谱仪测试结果



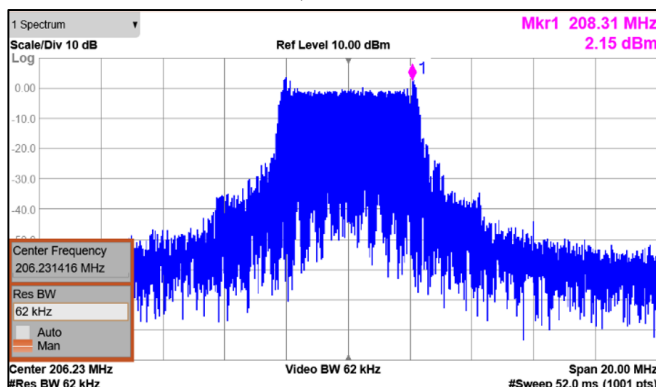
MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=20kHz 时，频谱仪的测试结果见 [图 4-16](#)。
[MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=20kHz 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-16. MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=20kHz 时频谱仪测试结果



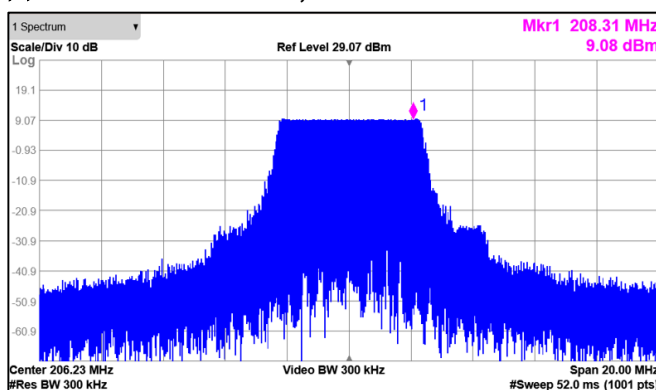
MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=62kHz 时，频谱仪的测试结果见 [图 4-17](#)。
[MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=62kHz 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-17. MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=62kHz 时频谱仪测试结果



MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=300kHz 时, 频谱仪的测试结果见 [图 4-18](#).
[MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=300kHz 时频谱仪测试结果](#)。

图 4-18. MODSTEP=655, MODCNT=50, RBW=300kHz 时频谱仪测试结果



4.3.2. 结果对比表和结论

[表 4-4. 功率随 RBW 变化数据表](#)为不同 RBW 下的时钟信号功率对比表, 可以看到输出同等信号时, RBW 越大, 频谱仪显示的信号的输出功率越大。但仅仅为底噪声的改变, 对展频的信号不产生任何影响, 只要保证测试时频谱仪参数保持一致性即可。

表 4-4. 功率随 RBW 变化数据表

MODSTEP	MODCNT	RBW(kHz)	功率(dBm)
655	50	1	-13.68
655	50	20	-6.3
655	50	62	2.15
655	50	300	9.08

4.4. 展频对时域波形的影响

4.4.1. 开展频前后的时域波形对比

不开展频时, 频谱仪显示的频谱见 [图 4-19](#). [不开展频时频谱仪测试结果](#), 示波器抓取的时域波

形见 [图 4-20. 不开展频时示波器测试结果](#)。

图 4-19. 不开展频时频谱仪测试结果

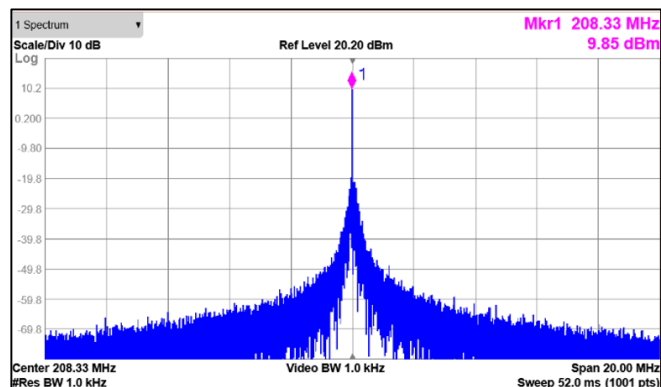
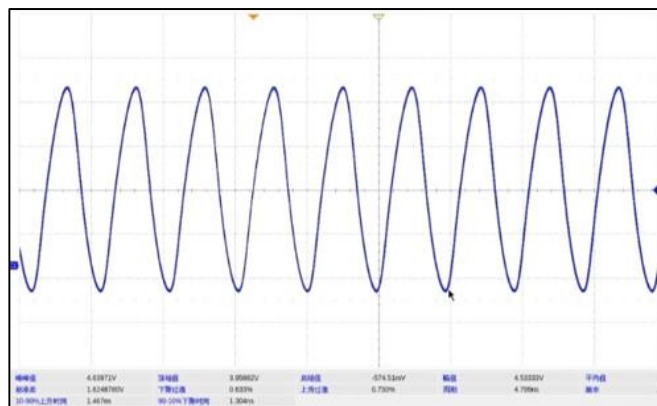


图 4-20. 不开展频时示波器测试结果



MODSTEP=655, MODCNT=25 时，频谱仪显示的频谱见 [图 4-21. MODSTEP=655, MODCNT=25 时频谱仪测试结果](#)，示波器抓取的时域波形见 [图 4-22. MODSTEP=655, MODCNT=25 示波器测试结果](#)。

图 4-21. MODSTEP=655, MODCNT=25 时频谱仪测试结果

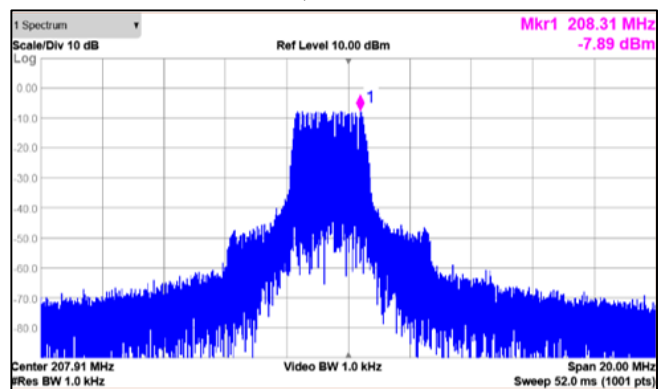
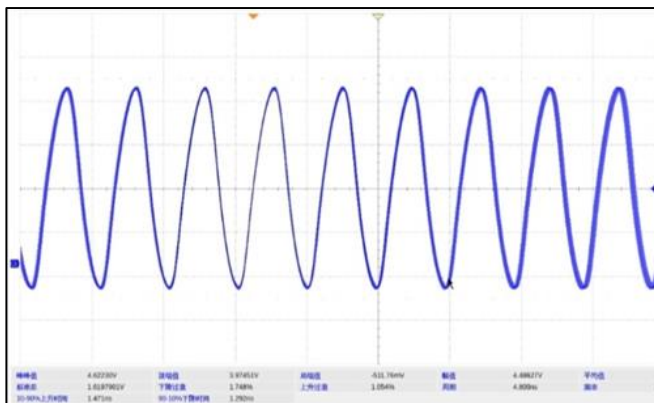


图 4-22. MODSTEP=655, MODCNT=25 示波器测试结果



MODSTEP=655, MODCNT=50 时，频谱仪显示的频谱见 [图 4-23. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果](#)，示波器抓取的时域波形见 [图 4-24. MODSTEP=655, MODCNT=50 时示波器测试结果](#)。

图 4-23. MODSTEP=655, MODCNT=50 时频谱仪测试结果

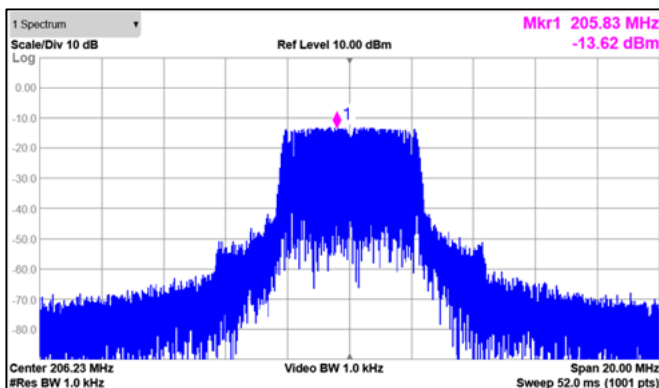
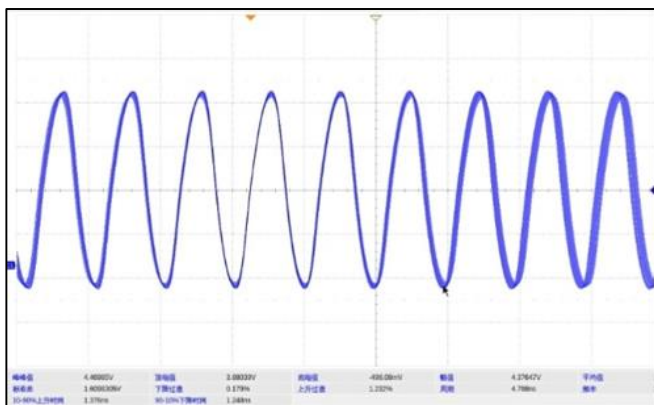


图 4-24. MODSTEP=655, MODCNT=50 时示波器测试结果



4.4.2. 结论

通过以上图片可以看出，扩展的频带越宽，信号的时域波形抖动越严重。展频时需要选择合适的展频带宽，时钟信号带来大量抖动可能会对系统性能产生负面的影响，从而导致严重的建立和保持时间冲突、较高的位错误率和 PLL 失锁等问题，展频可能会影响系统的使用。

5. 总结

时钟展频能够改善 EMI 辐射问题，抑制 EMI 辐射的能力与调制后的信号能量在多宽频率范围内变化有关，频率变化范围越大，EMI 抑制量越大。但是这两者需要一个权衡，因为频率变化范围太大会给系统的时序设计带来困难。时钟展频既要满足 EMI 的衰减要求，也要兼顾将展频时钟带来的周期抖动最小化的要求。

6. 版本历史

表 6-1. 版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2024 年 6 月 24 日
1.1	1. 更新表 2-1. GD32 MCU 适用产品表。	2024 年 7 月 10 日

Important Notice

This document is the property of GigaDevice Semiconductor Inc. and its subsidiaries (the "Company"). This document, including any product of the Company described in this document (the "Product"), is owned by the Company under the intellectual property laws and treaties of the People's Republic of China and other jurisdictions worldwide. The Company reserves all rights under such laws and treaties and does not grant any license under its patents, copyrights, trademarks, or other intellectual property rights. The names and brands of third party referred thereto (if any) are the property of their respective owner and referred to for identification purposes only.

The Company makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this document or any Product, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The Company does not assume any liability arising out of the application or use of any Product described in this document. Any information provided in this document is provided only for reference purposes. It is the responsibility of the user of this document to properly design, program, and test the functionality and safety of any application made of this information and any resulting product. Except for customized products which has been expressly identified in the applicable agreement, the Products are designed, developed, and/or manufactured for ordinary business, industrial, personal, and/or household applications only. The Products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems designed or intended for the operation of weapons, weapons systems, nuclear installations, atomic energy control instruments, combustion control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, life-support devices or systems, other medical devices or systems (including resuscitation equipment and surgical implants), pollution control or hazardous substances management, or other uses where the failure of the device or Product could cause personal injury, death, property or environmental damage ("Unintended Uses"). Customers shall take any and all actions to ensure using and selling the Products in accordance with the applicable laws and regulations. The Company is not liable, in whole or in part, and customers shall and hereby do release the Company as well as its suppliers and/or distributors from any claim, damage, or other liability arising from or related to all Unintended Uses of the Products. Customers shall indemnify and hold the Company as well as its suppliers and/or distributors harmless from and against all claims, costs, damages, and other liabilities, including claims for personal injury or death, arising from or related to any Unintended Uses of the Products.

Information in this document is provided solely in connection with the Products. The Company reserves the right to make changes, corrections, modifications or improvements to this document and Products and services described herein at any time, without notice.