

GigaDevice Semiconductor Inc.

GD32G5x3 系列比较器使用指南

应用笔记

AN198

1.0 版本

(2024 年 11 月)

目录

目录.....	2
图索引	3
表索引	4
1 前言.....	5
2 GD32G5X3 系列比较器介绍	6
2.1 输入、输出连接	6
2.2 内部迟滞与传播延时	7
2.3 静态失调误差来源.....	9
2.3.1 反相输入端连接 DAC 输出	9
2.3.2 反相输入端连接电压标定器.....	9
2.3.3 反相输入端连接外部参考电压	10
2.4 静态失调误差校准.....	10
3 应用案例	11
3.1 故障保护与比较器.....	11
3.1.1 HRTIMER 故障输入简介	11
3.1.2 内部比较器输出连接故障输入	13
3.1.3 多重保护的实现	14
3.2 逐波限流.....	14
3.3 AC 过零检测.....	16
4 版本历史	18

图索引

图 2-1. GD32G5x3 比较器结构示意图	6
图 2-2. GD32G5x3 比较器内部迟滞示意图	7
图 2-3. 比较器延时时间说明图.....	8
图 3-1. GD32G5x3 故障输入结构图	11
图 3-2. 故障通道与 HRTIMER 输出级关系图	13
图 3-3. 短路保护: GD32G5x3 比较器连接示意图	14
图 3-4. 使用内、外部故障信号实现多重过流保护	14
图 3-5. 逐波限流原理	15
图 3-6. 逐波限流: GD32G5x3 比较器连接示意图	15
图 3-7. 逐波限流: AC 过零死区内的逻辑切换.....	15
图 3-8. 抑制图腾柱 PFC 过零处的交流电流尖峰	16
图 3-9. 使用 GD32G5x3 比较器实现图腾柱 PFC 过零检测	17

表索引

表 2-1. GD32G5x3 比较器输入、输出端连接简介	6
表 2-2. GD32G5x3 比较器内部迟滞参数 ⁽¹⁾	8
表 2-3. GD32G5x3 比较器延时时间 ⁽¹⁾	8
表 2-4. GD32G5x3 比较器电流功耗 ⁽¹⁾	8
表 2-5. GD32G5x3 比较器失调电压 ⁽¹⁾	9
表 2-6. GD32G5x3 电压标定器失调电压 ⁽¹⁾	9
表 3-1. 故障通道映射	12
表 3-2. 故障输入级数字滤波器配置	12
表 3-3. GD32G5x3 比较器与故障输入总响应时间 ⁽¹⁾	14
表 3-4. GD32G5x3 比较器与快速外部事件总响应时间 ⁽¹⁾	15
表 3-5. GD32G5x3 1MSPS DAC 建立时间 ⁽¹⁾	16
表 4-1. 版本历史	18

1 前言

本文是专门为开发 GD32G5x3 系列的工程设计人员提供，主要介绍了 GD32G5x3 系列比较器的基本使用方法与应用案例。

在第二章中，介绍了 GD32G5x3 比较器的基本特性和功能设计，并探讨了静态失调误差问题及其校准方法。

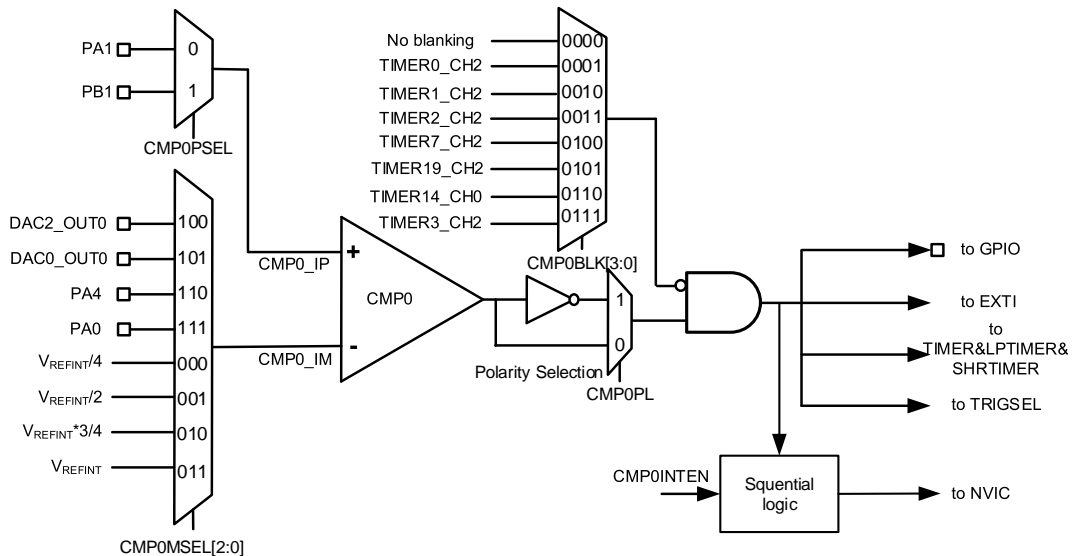
在第三章中，精选了有关数字电源和电机控制的 GD32G5x3 比较器的应用案例，凸显了 GD32G5x3 比较器的优势。此外，可参考《AN203 GD32G5x3 系列高精度定时器应用笔记》，获取更多有关 HRTIMER 故障输入、外部事件等功能的应用方法。

2 GD32G5x3 系列比较器介绍

GD32G5x3 内部集成了 8 个轨到轨比较器 CMP0 ~ CMP7，由 V_{DDA} 供电，具有低传播延时、可灵活配置的内部迟滞、输出消隐、多类型输入输出源灵活连接、系统复位时输出保持等特点。

[图 2-1. GD32G5x3 比较器结构示意图](#)展示了 GD32G5x3 比较器的基本框图；CMP1 ~ CMP7 与 CMP0 结构相似。

图 2-1. GD32G5x3 比较器结构示意图



2.1 输入、输出连接

[表 2-1. GD32G5x3 比较器输入、输出端连接简介](#)展示了 GD32G5x3 比较器输入、输出端可连接的外部 I/O 引脚或内部信号源。需要注意，比较器输入端的相应管脚必须配置为模拟模式。

表 2-1. GD32G5x3 比较器输入、输出端连接简介

	CMP0	CMP1	CMP2	CMP3	CMP4	CMP5	CMP6	CMP7
CMP 同相 输入连接到 I/O	PA1 PB1	PA7 PA3	PA0 PC1	PB0 PE7	PB13 PD12	PB11 PD11	PB14 PD14	PC2 PE9
CMP 反相 输入连接到 I/O	PA4 PA0	PA5 PA2	PF1 PC0	PE8 PB2	PB10 PD13	PD10 PB15	PD15 PB12	PD8 PD9
CMP 反相 输入连接到 内部信号	V _{REFINT} /4, V _{REFINT} /2, V _{REFINT} *3/ 4, V _{REFINT} , DAC2_O	V _{REFINT} /4, V _{REFINT} /2, V _{REFINT} *3/ 4, V _{REFINT} , DAC2_O	V _{REFINT} /4, V _{REFINT} /2, V _{REFINT} *3/ 4, V _{REFINT} , DAC2_OU	V _{REFINT} /4, V _{REFINT} /2, V _{REFINT} *3/ 4, V _{REFINT} , DAC2_OU	V _{REFINT} /4, V _{REFINT} /2, V _{REFINT} *3/ 4, V _{REFINT} , DAC3_OU	V _{REFINT} /4, V _{REFINT} /2, V _{REFINT} *3/ 4, V _{REFINT} , DAC3_OU	V _{REFINT} /4, V _{REFINT} /2, V _{REFINT} *3/ 4, V _{REFINT} , DAC3_OU	V _{REFINT} /4, V _{REFINT} /2, V _{REFINT} *3/ 4, V _{REFINT} , DAC3_OU

	CMP0	CMP1	CMP2	CMP3	CMP4	CMP5	CMP6	CMP7
	UT0 DAC0_O	UT1 DAC0_O	T0 DAC0_OU	T1 DAC0_OU	T0 DAC0_OU	T1 DAC1_OU	T0 DAC1_OU	T1 DAC1_OU
	UT0	UT1	T0	T0	T1	T0	T0	T1
CMP 输出 连接到 I/O	PA0 PA6 PA11 PB8 PF4	PA2 PA7 PA12 PB9	PB7 PB15 PC2	PB1 PB6 PB14	PA9 PC7	PC6 PA10	PC8 PA8	PA13 PA14
CMP 输出 连接到 EXTI	•							
CMP 输出 连接到 TRIGSEL	•							
CMP 输出 连接到 NVIC	•							
CMP 输出 连接到内部 信号	TIMER0, TIMER1, TIMER2, TIMER3, TIMER4, TIMER7, TIMER19, LPTIMER, HRTIMER							
CMP 输出 连接到 break 信号	BREAK0(TIMER0, TIMER7, TIMER14, TIMER15, TIMER16, TIMER19)							
	BREAK1(TIMER0, TIMER7, TIMER19)							

2.2 内部迟滞与传播延时

如 [图 2-2. GD32G5x3 比较器内部迟滞示意图](#) 所示，GD32G5x3 比较器含有可灵活配置的内部迟滞 V_{hyst} ，可防止输入信号噪声导致比较器输出的反复翻跳。通过配置 CMPy_CS 寄存器的位域 HST[2:0]，即可改变 CMPy 比较器内部迟滞大小 ($y = 0..7$)；相关说明见 [表 2-2. GD32G5x3 比较器内部迟滞参数^{\(1\)}](#)。

图 2-2. GD32G5x3 比较器内部迟滞示意图

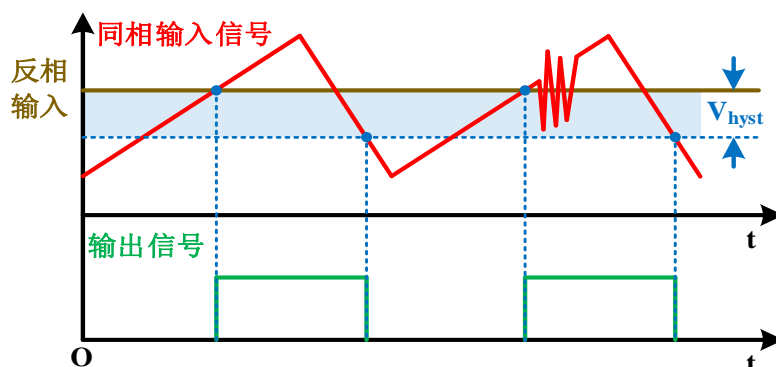


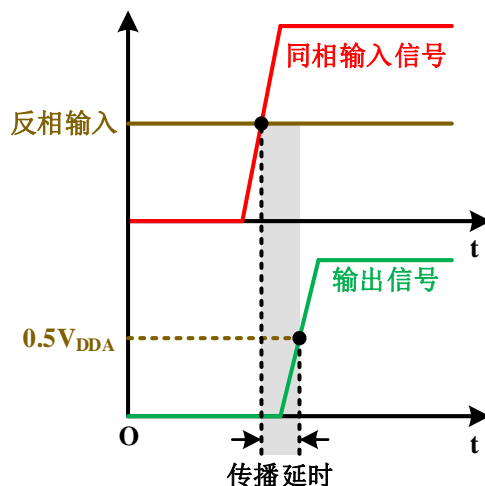
表 2-2. GD32G5x3 比较器内部迟滞参数⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{hyst}	Hysteresis Voltage	CMPxHST[2:0] = 000	—	0	—	mV
		CMPxHST[2:0] = 001	6.8	8.8	15.1	
		CMPxHST[2:0] = 010	13.6	17.6	30.4	
		CMPxHST[2:0] = 011	20.4	26.5	46	
		CMPxHST[2:0] = 100	25.7	35.5	62.1	
		CMPxHST[2:0] = 101	28.8	44.6	78.9	
		CMPxHST[2:0] = 110	30.9	53.9	96.6	
		CMPxHST[2:0] = 111	32.5	63.3	116.3	

(1) Value guaranteed by design, not 100% tested in production.

如图 2-3. 比较器延时时间说明图所示，比较器的传播延时（Propagation delay）为从输入电压信号超过比较阈值的时刻到输出电压信号超过 $0.5V_{\text{DDA}}$ 时刻的总时间。

图 2-3. 比较器延时时间说明图



GD32G5x3 比较器传播延时典型值为 35ns，如表 2-3. GD32G5x3 比较器延时时间所示；而分立的通用比较器（例如 LM393）的延时时间的数量级在几百 ns。

表 2-3. GD32G5x3 比较器延时时间⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
t_{D}	Propagation delay for 200mV step with 100 mV overdrive	50pF load on output	—	35	—	ns

(1) Value guaranteed by sample, not 100% tested in production.

表 2-4. GD32G5x3 比较器电流功耗⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$I_{\text{DDA(CMP)}}$	Current consumption from V_{DDA}	Static	—	433	436	uA
		With 50 kHz ± 100 mV overdrive square signal	—	392	—	

(1) Value guaranteed by design, not 100% tested in production.

对于比较器设计而言，传播延时与功耗存在固有矛盾关系；GD32G5x3 比较器权衡了二者的矛盾关系，最优化了传播延时与功耗性能。[表 2-4. GD32G5x3 比较器电流功耗](#)说明了 GD32G5x3 比较器的功耗参数。

2.3 静态失调误差来源

静态失调误差是衡量比较器电路翻转阈值精度的重要指标。例如，若反相输入端电压为 1.65V，静态失调误差为 $\pm 30\text{mV}$ ，理论上比较器翻转时同相输入端电压也为 1.65V，但实际上其可能在 1.62V~1.68V 之间变化（为简化分析，不考虑迟滞）。

依据 GD32G5x3 比较器反相输入端配置连接的不同，静态失调误差除了包含比较器本身的失调误差，还可能包含：

- DAC 输出的失调误差，情形：反相输入端连接 DAC 输出
- 电压定标器的失调误差，情形：反相输入端连接电压定标器
- 外部参考电压误差，情形：反相输入端连接 I/O 引脚

[表 2-5. GD32G5x3 比较器失调电压](#)说明了 GD32G5x3 比较器本身的失调误差。

表 2-5. GD32G5x3 比较器失调电压⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{offset}	Offset error	Full VDDA voltage range, full temperature range	—	-3 ~ 4	—	mV

(1) Value guaranteed by design, not 100% tested in production.

2.3.1 反相输入端连接 DAC 输出

若配置反相输入端内部连接 DAC 输出，静态失调误差为 DAC 失调误差与比较器本身的失调误差之和。

GD32G5x3 的 DAC0 和 DAC1 内部集成了输出缓冲区（DAC output buffer），以降低输出阻抗，节省外部运算放大器；可灵活配置 DAC output buffer 开启或禁用。

关于 DAC 的失调误差（Offset）参数，以及原厂校准后的失调误差（Offsetcal）参数（开启 DAC output buffer），可参考《GD32G5x3 Datasheet》中 DAC 相关章节。

2.3.2 反相输入端连接电压标定器

若配置反相输入端内部连接电压标定器输出，静态失调误差为电压标定器失调误差与比较器本身的失调误差之和。电压标定器失调误差见[表 2-6. GD32G5x3 电压标定器失调电压](#)。

表 2-6. GD32G5x3 电压标定器失调电压⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{sc}	Scaler offset voltage	—	—	3.3	10	mV

(1) Value guaranteed by design, not 100% tested in production.

若要启用电压定标器功能，必须使能 $CMPy_CS$ ($y = 0..7$) 寄存器中的 SEN 位和 BEN 位；进而，配置该寄存器的位域 $MSEL[2:0]$ ，即可选择 $1/4$ 、 $1/2$ 、 $3/4$ 或 1 倍 V_{REFINT} 的定标电压输出给比较器。 V_{REFINT} 为 $1.2V$ 内部参考电压，提供了一个带隙基准电压输出给比较器和 ADC。

2.3.3 反相输入端连接外部参考电压

若配置反相输入端连接相应 I/O 引脚，并借助外部电阻分压电路产生参考电压送至 I/O 引脚，静态失调误差为分压输出端的失调误差与比较器本身的失调误差之和。若对参考电压精度要求较高，可使用低温漂基准电压源给外部电阻分压电路供电，其同时可给 ADC 模块 $VREFP$ 引脚供电。

2.4 静态失调误差校准

基于 2.3 节的内容，对于反相输入端连接内部 DAC 输出的情形，可在实际电路中校准，以消除静态失调误差的负面影响。

校准方法为：

- 关闭内部迟滞；
- 配置同相输入端连接相应 I/O 引脚，并外部输入设计要求的阈值电压；
- 配置反相输入端连接 DAC 的输出；
- 缓慢从 0 逐渐增大 DAC 输入值，记录下比较器输出翻转时刻的 DAC 输入值；
- 进而，缓慢减小 DAC 输入值到 0，记录下比较器输出翻转时刻的 DAC 输入值；
- 将两次记录的 DAC 输入值取平均，即为设计阈值电压对应的校准后的 DAC 输入值。

完成校准，进一步开启内部迟滞后：

- 比较器输出由低电平翻转为高电平时刻的阈值仍为设计的阈值电压；
- 比较器输出由高电平翻转为低电平时刻的阈值为设计的阈值电压减去内部迟滞。

类似前述校准方法，通过缓慢改变同相输入端的输入电压，捕获比较器输出由高电平翻转为低电平时刻对应的输入电压值，即可校准实际的内部迟滞大小。

3 应用案例

3.1 故障保护与比较器

在数字电源和电机控制应用中，严重的故障保护（如短路保护、瞬态过电压保护等）对保护动作时间有严格要求，其涵盖从故障信号的产生到实际系统进入预定义的安全状态的总时间。

对于 MCU 软件保护，通常只能在一定频率的主中断内，判断 ADC 采样值是否超过保护阈值，而后才有可能开启保护；换言之，从故障发生时刻到保护最终动作的过程中，有诸多额外任务环节，包括 ADC 采样和转换的时间、进入系统中断的误差时间、其他任务的干扰等，极大束缚了软件保护的执行速度。

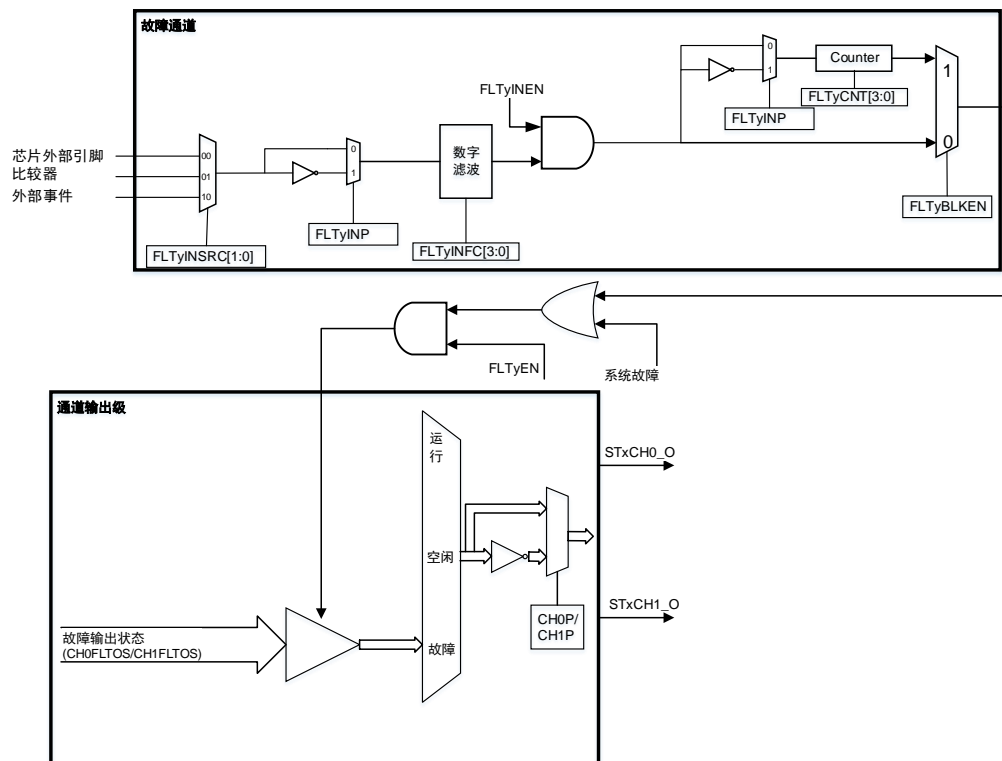
因此，硬件保护是对软件保护的必要补充，以实现可靠的系统故障保护。

本节主要探讨结合 GD32G5x3 比较器模块和高分辨率定时器（HRTIMER）模块的故障输入，实现系统故障的硬件保护。

3.1.1 HRTIMER 故障输入简介

[图 3-1. GD32G5x3 故障输入结构图](#)展示了 GD32G5x3 HRTIMER 的故障保护机制。

图 3-1. GD32G5x3 故障输入结构图



故障通道可接收三种类型的故障信号源：

- 内部比较器输出或外部输入引脚的故障事件；

- 系统故障，例如来源于SRAM奇偶校验器；
- 外部事件 $y(y=0..9)$ 。

表 3-1. 故障通道映射

故障通道	FLTyINSRC = 00 (外部引脚)	FLTyINSRC = 01 (内部信号)	FLTyINSRC = 10 (外部事件)
故障通道 0	PA12	Comparator 1	external event 0
故障通道 1	PA15	Comparator 3	external event 1
故障通道 2	PB10	Comparator 5	external event 2
故障通道 3	PB11	Comparator 0	external event 3
故障通道 4	PB0/PC7	Comparator 2	external event 4
故障通道 5	PC10	Comparator 4	external event 5
故障通道 6	PC3	Comparator 6	external event 6
故障通道 7	PC4	Comparator 7	external event 7

故障通道 y ($y = 0..7$) 的基本配置可通过 HRTIMER_FLTINCFG0 和 HRTIMER_FLTINCFG1 寄存器实现：

- 通过FLTyINSRC位配置故障通道 y 的信号源，如[表3-1. 故障通道映射](#)所示；
- 通过FLTyINP位配置故障通道 y 的故障信号极性：如果FLTyINP = 0，信号低电平有效；如果FLTyINP = 1，则高电平有效；
- 通过FLTyINEN位来使能故障通道 y ，所有通道可同时使能；
- 通过 FLTyINPROT 位的一次写入，可保护 FLTyINEN 位，FLTyINP 位，FLTyINSRC 位和 FLTyINFC [3:0]位域；当置 FLTyINPROT 位为 1 时，前述这些位写保护（只读）。

表 3-2. 故障输入级数字滤波器配置

FLTyINFC[3:0]	f_{SAMP} (数字滤波器采样频率)	N (N 次输入事件后输出才会转变)
0000		无滤波
0001	$f_{HRTIMER_CK}$	2
0010	$f_{HRTIMER_CK}$	4
0011	$f_{HRTIMER_CK}$	8
0100	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 2$	6
0101	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 2$	8
0110	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 4$	6
0111	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 4$	8
1000	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 8$	6
1001	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 8$	8
1010	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 16$	5
1011	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 16$	6
1100	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 16$	8
1101	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 32$	5
1110	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 32$	6
1111	$f_{HRTIMER_FLTFCCK} / 32$	8

此外，故障通道内置了数字滤波器功能，可防止故障保护被输入信号噪声（例如开关噪声）误触发；如[表 3-2. 故障输入级数字滤波器配置](#)所示，可通过 HRTIMER_FLTINCFG0 和 HRTIMER_FLTINCFG1 寄存器的 FLT_yINFC[3:0]位域配置故障通道 y（y = 0..7）的数字滤波器参数。其中，HRTIMER 时钟频率（f_{HRTIMER_CK}）和故障输入数字滤波器时钟频率（f_{HRTIMER_FLTFCK}）之间的分频比由 FLTFDIV[1:0]位域决定，满足：f_{HRTIMER_FLTFCK} = f_{HRTIMER_CK}/2^{FLTFDIV[1:0]}。

图 3-2. 故障通道与 HRTIMER 输出级关系图

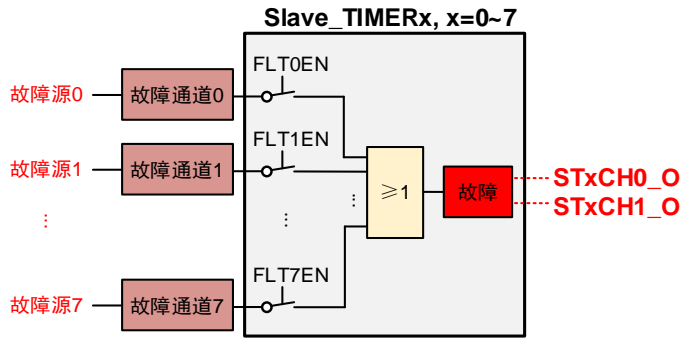


图 3-2. 故障通道与 HRTIMER 输出级关系图展示了故障通道 y（y = 0..7）与 HRTIMER（Slave_TIMERx, x=0..7）之间的逻辑关系：

- 每个 Slave_TIMERx 均含有故障控制寄存器 HRTIMER_STxFLTCTL：置 FLT_yEN 位为 1，即响应故障通道 y；置 FLT_yEN 位为 0，即不响应故障通道 y。通过 FLTENPROT 位的一次写入（置 1）可以保护 FLT_yEN 位（只读）；
- 若配置 Slave_TIMERx 响应故障通道 y，其发生故障事件时，Slave_TIMERx 的通道输出 STxCH0_O 和 STxCH1_O 为预置的故障保护状态的电平；故障保护状态将一直保持到软件重新使能（写 1 到 STxCHyEN 位）时为止；
- 若配置 Slave_TIMERx 响应多个故障通道，只要其中一个通道发生故障事件，则 Slave_TIMERx 的输出发生故障保护（逻辑关系：或）。

3.1.2 内部比较器输出连接故障输入

如[图 3-1. GD32G5x3 故障输入结构图](#)所示，GD32G5x3 HRTIMER 故障输入可在 MCU 内部连接比较器的原始输出端，不会经过[图 2-1. GD32G5x3 比较器结构示意图](#)所示后续的比较器极性选择环节和消隐环节，最大程度地降低了故障信号的传输延时。

通过置 HRTIMER_FLTINCFG0 和 HRTIMER_FLTINCFG1 寄存器的 FLT_yINSRC=1，即选择故障通道 y（y = 0..7）的信号源为相应内部比较器输出，映射关系见[表 3-1. 故障通道映射](#)。

[图 3-3. 短路保护：GD32G5x3](#)展示了应用 GD32G5x3 比较器与 HRTIMER 故障输入实现直流电源输出短路保护的示意图，可获得最优的保护响应速度，总响应时间参考[表 3-3. GD32G5x3 比较器与故障输入总响应时间](#)。此外，比较器本身的内部迟滞、故障输入内置的数字滤波器等功能可防止故障保护被误触发。

图 3-3. 短路保护：GD32G5x3 比较器连接示意图

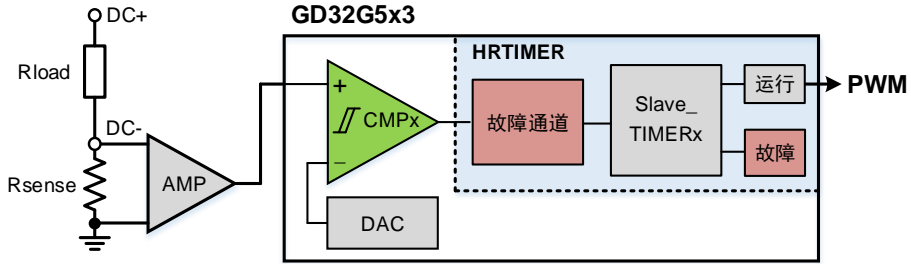


表 3-3. GD32G5x3 比较器与故障输入总响应时间⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$t_{LAT(AEEV)}$	Analog external event response latency	Propagation delay from comparator CMPx_IPx input pin to HRTIMER_STxCHy output pin(30pF load)	—	—	35	ns

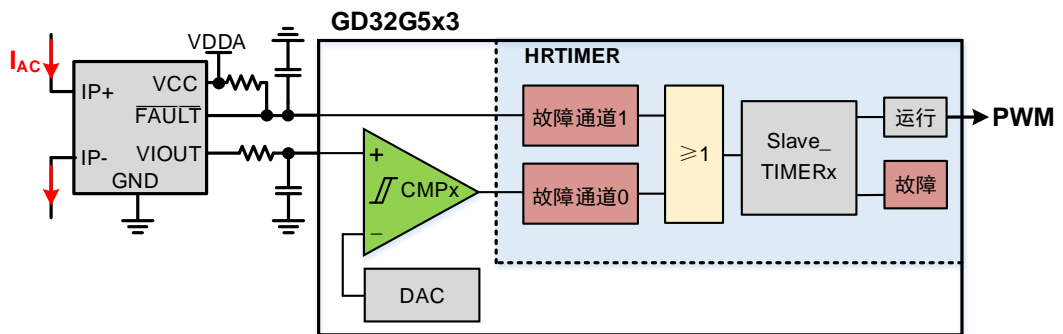
(1) Value guaranteed by design, not 100% tested in production.

3.1.3 多重保护的实现

区别于 MCU 内部比较器输出的内部故障信号，外部故障信号可能来源于外部分立器件的内置功能电路、外部硬件保护电路等；因此，希望同时使用内部故障信号和外部故障信号，结合 MCU 软件保护，实现多重保护。

[图 3-4. 使用内、外部故障信号实现多重过流保护](#)说明了同时使用 GD32G5x3 比较器输出的内部故障信号和外部霍尔电流采样芯片产生的外部故障信号的应用实例：配置内、外部故障信号连接相应的故障输入通道，进而配置 HRTimer 输出级均响应这些故障通道（逻辑关系：或）。

图 3-4. 使用内、外部故障信号实现多重过流保护



3.2 逐波限流

逐波限流广泛应用于 AC-DC、DC-DC 控制等应用场合。如 [图 3-5. 逐波限流原理](#)所示，在当前开关周期内，当电流超过设定的参考阈值 I_{ref} 后，主控管 PWM 立即关断；直到新的开关周期开始后，PWM 重新正常输出。由于栅极驱动器、采样等系统延时，实际峰值电流点有一定的滞后。

图 3-5. 逐波限流原理

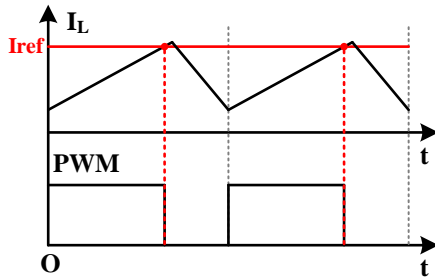


图 3-6. 逐波限流：GD32G5x3 比较器连接示意图

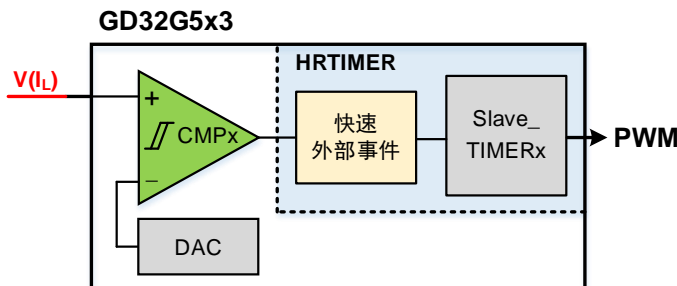


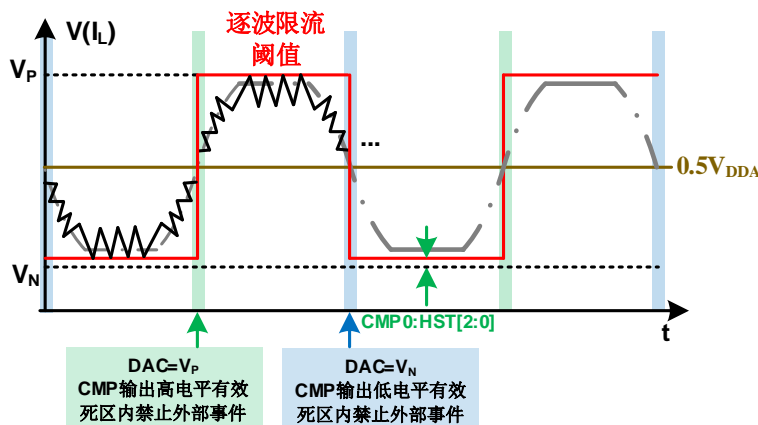
表 3-4. GD32G5x3 比较器与快速外部事件总响应时间⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$t_{LAT(AEEV)}$	Analog external event response latency	Propagation delay from comparator CMPx_IPx input pin to HRTIMER_STxCHy output pin(30pF load)	—	—	35	ns

(1) Value guaranteed by design, not 100% tested in production.

使用 GD32G5x3 比较器和 HRTIMER 的快速外部事件可实现最优响应速度的逐波限流，如 [图 3-6. 逐波限流：GD32G5x3 比较器连接示意图](#) 所示：比较器输出可以内部连接至 HRTIMER 的外部事件处理模块；在当前开关周期内，当电流超过 I_{ref} 时，比较器输出电平信号，快速外部事件模块立即响应，关断 PWM 输出，保持到新的开关周期复位，恢复 PWM 输出；总响应时间参考 [表 3-4. GD32G5x3 比较器与快速外部事件总响应时间^{\(1\)}](#)。

图 3-7. 逐波限流：AC 过零死区内的逻辑切换



GD32G5x3 系列比较器使用指南

对于无桥 PFC 应用，AC 正负半周逐波限流的硬件阈值不同、比较器逻辑也不同；[图 3-7. 逐波限流：AC 过零死区内的逻辑切换](#)给出了仅使用单个 GD32G5x3 比较器的实现方案：在 AC 过零死区内、下一个 AC 半周到来前，更改 DAC 阈值以及比较器判断逻辑；AC 过零死区相对于工频周期的占比较小，DAC 在 AC 过零死区内足够建立稳态，如[表 3-5. GD32G5x3 1MSPS DAC 建立时间^{\(1\)}](#)所示。

表 3-5. GD32G5x3 1MSPS DAC 建立时间⁽¹⁾

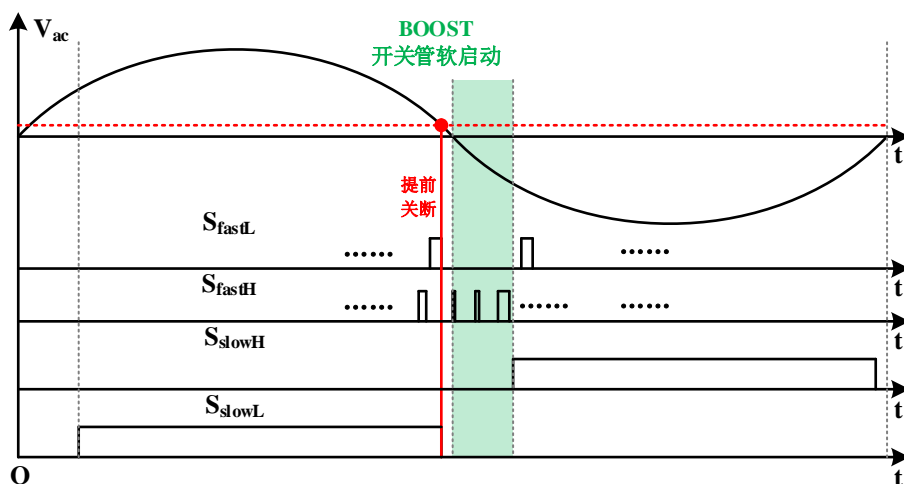
Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
t _{SETTLING}	Settling time (full scale: for a 12-bit code transition between the lowest and the highest input codes when DAC_OUT reaches the final value of $\pm 0.5\text{LSB}$, $\pm 1\text{LSB}$, $\pm 2\text{LSB}$, $\pm 4\text{LSB}$, $\pm 8\text{LSB}$)	Normal mode, DAC output buffer ON, $CL \leq 50\text{ pF}$, $RL \geq 5\text{ k}\Omega$	$\pm 1\text{ LSB}$	—	1.6	2.9	μs
			$\pm 2\text{ LSB}$	—	1.55	2.85	
			$\pm 4\text{ LSB}$	—	1.48	2.8	
			$\pm 8\text{ LSB}$	—	1.4	2.75	
		Normal mode, DAC output buffer OFF, $\pm 1\text{LSB}$ $CL=10\text{ pF}$	—	2	3.5		

(1) Value guaranteed by design, not 100% tested in production.

3.3 AC 过零检测

图腾柱 PFC 拓扑是中大功率 AC-DC 应用的主流选择之一；进一步地，正、负 AC 半周的过零检测是图腾柱 PFC 控制的主要挑战之一。以 AC 电压正半周向负半周的过渡过程为例，为了改善在电压过零处可能的交流电流尖峰，需要在 AC 电压进入负半周之前提前关断所有开关管，之后进入 AC 电压负半周后，通过软启动过程抑制电流尖峰，如[图 3-8. 抑制图腾柱 PFC 过零处的交流电流尖峰](#)所示。过零信号应超前于真实的交流电压过零点，否则无法实现提前关断，同时软启动过程也将推迟，导致较大的过零死区和 THD 变差。

图 3-8. 抑制图腾柱 PFC 过零处的交流电流尖峰

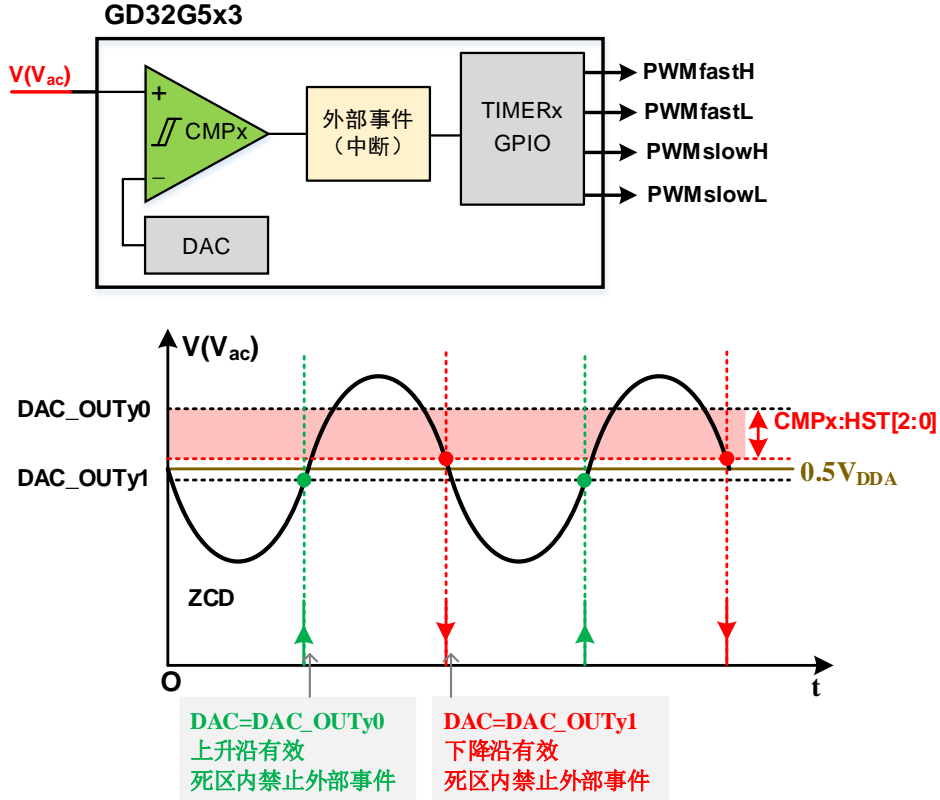


[图 3-9. 使用 GD32G5x3 比较器实现图腾柱 PFC 过零检测](#)展示了使用单个 GD32G5x3 内部比较器的 AC 过零检测实现方案，利用比较器与 HRTIMER 外部事件的配合，以及类似[图 3-7. 逐波限流：AC 过零死区内的逻辑切换](#)，在 AC 过零死区内切换 DAC 阈值与比较器逻辑。

GD32G5x3 系列比较器使用指南

GD32G5x3 比较器的内部迟滞和 DAC 阈值可灵活配置，极大便利了用户依据实际功率电路情况调整 AC 过零死区大小，以优化输入电流 THD。

图 3-9. 使用 GD32G5x3 比较器实现图腾柱 PFC 过零检测



4 版本历史

表 4-1. 版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2024 年 11 月 12 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.