

数字电源控制器 UCD3138 的数字比较器与模数转换器的 应用说明

Neil Li, Sundy Xu

China Telecom Application Team

摘 要

数字电源控制器 UCD3138 内部集成有 4 个数字比较器，可以灵活配置其输入端和参考值。模拟前端（AFE）模块的绝对值量和 EADC 的输出都可以作为数字比较器的输入，因此使用数字比较器可以实现对系统输出电压的故障响应与保护。UCD3138 内部集成有 16 个模数转换器（ADC），其中名称为 ADC15 的模数转换器不对外部开放，可以用来检测 3 个 AFE 模块中任何一个的 EAP 或 EAN 引脚，实现对系统输出电压的精确采集，最终可以实现对输出电压的故障响应与保护。

目 录

1	UCD3138 的数字比较器	2
1.1	数字比较器的硬件电路简介	2
1.2	数字比较器涉及的关键寄存器	2
1.3	数字比较器的软件配置	3
1.4	数字比较器的实际应用结果	4
1.5	应用数字比较器的注意事项	4
2	UCD3138 的内部模数转换器 ADC15	6
2.1	ADC15 的配置	6
2.2	实验结果	6
3	结论	6
4	参考文献	7

图形

图 1:	UCD3138 AFE 模块框图	2
图 2:	Memory Debugger 中读取到的寄存器值	3
图 3:	数字比较器触发后关闭 DPWM0B	4
图 4:	EADC 正向饱和	5
图 5:	EADC 负向饱和	5

1 UCD3138 的数字比较器

UCD3138 内部集成有 4 数字比较器，可以以 AFE 的绝对值量或者误差值为输入端，灵活配置参考值，最终实现对系统输出电压故障（过压，欠压等）的快速响应与保护。

1.1 数字比较器的硬件电路简介

图 1 所示的是 UCD3138 芯片内部模拟前端（Analog Front End, AFE）的框图。输出电压在分压后以差分信号的方式进入到 AFE 模块，与参考电压（DAC0 的输出值）比较后得到误差信号（模拟量）；该误差信号在模数转换后变为数字量，然后输入到数字环路补偿模块（Filter）。

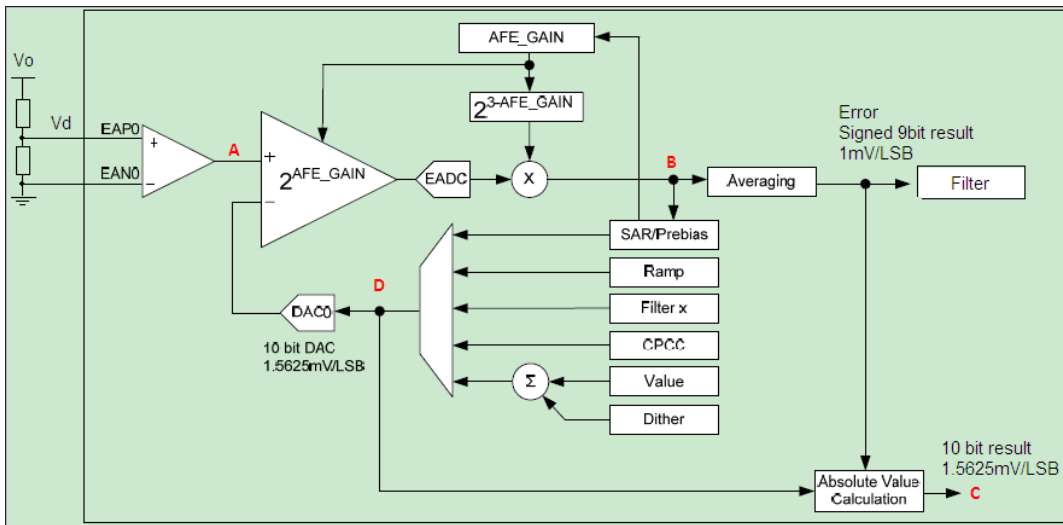


图 1: UCD3138 AFE 模块框图

为丰富应用的灵活性，用户设置的参考值（数字量）与 EADC 的输出值（数字量）相加后生成一个叫做“绝对值量（absolute value）”的数字信号，可以表征实际采集到的电压信息（即 Vd 的值）。

UCD3138 的数字比较器就是以数字误差信号（B 点值）或绝对值量（C 点值）作为一个输入端，参考电压值（用户可以自行设置）为另一个输入端所组成，触发后可以配置其关断任何一路 DPWM。

UCD3138 中有 3 个 AFE 模块，同样地，也有 4 个数字比较器。

1.2 数字比较器涉及的关键寄存器

1. EADC 的输出

EADC 的输出是参考电压与输入模拟量相减后的值在数字化之后的信息量，即数字误差量，其范围与 AFE 自身的增益有直接关系。例如，当增益值设置为 1 时，其输出范围是+248~-256；而增益设置为 8 时，输出范围是+31~-32。

寄存器 EADCRAWVALUE 的第 0~8 位（共 9bit，名称为 RAW_ERROR_VALUE）保存的即为 EADC 的输出，分辨率为 1mV/bit。

2. DAC 的输入

DAC 的输出即为系统的参考电压。在 UCD3138 的实际应用中，用户可以设置 DAC 的输入值，为数字信号量。寄存器 EADC DAC 的第 4~13 位（共 10bit，名称为 DAC_VALUE）保存了用户的设置值。分辨率为 1.5625mV/bit。

3. 绝对值量

寄存器 EADCVALUE 的第 16~25 位（共 10bit，名称为 ABS_VALUE）保存的就是绝对值量，分辨率为 1.5625mV/bit。

上文提到，绝对值量是 EADC 的输出信息与 DAC 的输入信息相加得到的，但并不是二者数字量的直接相加，因为其分辨率不同。事实上，上述三个数字量所各自表征的模拟量存在等式关系。

例如，某条件下，EADC 的输出（ERROR_VALUE）为 192；DAC 的输入为 747；绝对值量(ABS_VALUE) 为 624，如下图 2 所示。

Name	Description	Type	Value	Hex	Address	Size	Category	+	-	Refresh	Write	AutoWrt	Pol
FaultMuxRegs	Ramp Control Register	Struct FAULT...			0x00030000	128 bytes	Register						
FeCtrlRegs	Struct FE_CT...	Struct FE_CT...			0x000E0000	68 bytes	Register						
EADC DAC	EADC DAC Value Reg...	Union EADC...			0x0000AEB0	4 bytes	Register						
EADCVALUE	EADC Value Register	Union EADC...			0x02700000	4 bytes	Register						
bit		Struct EADC...			0x02700000	4 bytes	Register						
Bit Fields		Bit Fields			0x02700000	4 bytes	Register						
ABS_VALUE [25:16]	Absolute Value	U Bit Field:10	624	0x270	0x000E0038	10 bits	Register	+	-	REFRESH	WRITE		
ERROR_VALUE [8:0]	Error Value	S Bit Field:9	192	0x0000	0x000E003A	9 bits	Register						
EADCRAMPVALUE	EADC Ramp Value Reg...	Union EADC...			0x00000000	4 bytes	Register						
bit		Struct EADC...			0x00000000	4 bytes	Register						
Bit Fields		Bit Fields			0x00000000	4 bytes	Register						
RAW_ERROR_VALUE ...	Raw Error Value	S Bit Field:9	192	0x0000	0x000E003E	9 bits	Register						

图 2: Memory Debugger 中读取到的寄存器值

显然， $747 - 624 = 123 \neq 192$ 。但是，各自的模拟量则满足等式关系，如下：

- ▶ EADC 的输出 192 对应的模拟量为 $192 \times 1\text{mV/bit} = 192\text{mV}$ ；
- ▶ DAC 的输入 747 对应的模拟量为 $747 \times 1.5625\text{mV/bit} = 1167.1875\text{mV}$ ；
- ▶ 绝对值量 624 对应的模拟量为 $624 \times 1.5625\text{mV/bit} = 975\text{mV}$ ；

◎ 最终， $1167.1875 - 975 = 192.1875 \approx 192$ 。

或者，三个数字量可以在增加衰减系数后存在如下等式关系：

$$(\text{绝对值量}) = (\text{DAC的输入}) - \frac{(\text{EADC的输出})}{1.5625}$$

1.3 数字比较器的软件配置

在程序初始化阶段，可以完成对数字比较器的配置。以配置数字比较器 0 为例，主要代码如下：

```
FaultMuxRegs.DCOMPCTRL0.bit.CNT_THRESH = 1;
```

上述代码配置只需触发一次数字比较器就会产生一个 fault。

```
FaultMuxRegs.DCOMPCTRL0.bit.FE_SEL = 0;
```

Overwrite this text with the Lit. Number

上述代码配置数字比较器的输入为 AFE0 的绝对值量。也可以配置为 EADC 的输出。另外，其余两个 AFE 的绝对值量和 EADC 的输出也可以配置为数字比较器 0 的输入。

```
FaultMuxRegs.DCOMPCTRL0.bit.COMP_POL = 1;
```

上述代码配置为数字比较器的输入高于参考量后才会触发。

```
FaultMuxRegs.DCOMPCTRL0.bit.THRESH = 850;
```

参考量设置为 850。如果输入量选择为绝对值量，则当 Vd 电压大于 $850 \times 1.5625\text{mV/bit} = 1.33\text{V}$ 时便会触发数字比较器。

```
FaultMuxRegs.DPWM0FLTABDET.bit.DCOMP0_EN=1;
```

上面代码配置为，数字比较器触发后立即关断 DPWM0A 和 DPWM0B。

1.4 数字比较器的实际应用结果

实际调试时，图 1 的 Vd 处外接一个可调电压，并由 0V 慢慢增大。可以观察到，当电压超过 1.33V 后，驱动信号便立即被关闭，符合预期，如下图 3（CH3 为 Vd 电压，CH2 为 DPWM0B）。

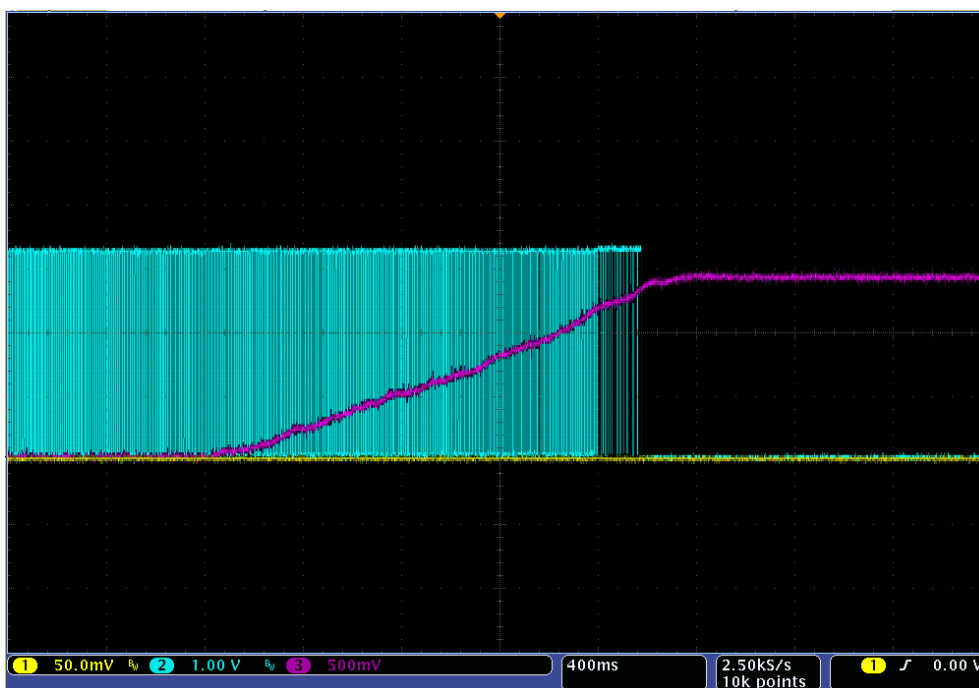


图 3: 数字比较器触发后关闭 DPWM0B

1.5 应用数字比较器的注意事项

实际应用中需要注意 EADC 的饱和问题。

上文 1.2 节提到，EADC 的输出有一定的范围，当输入过大或过小时，EADC 的输出会固定在其上限或下限，此时便是 EADC 处于了饱和状态。仍以上面提到的实验为背景进行说明，其中 AFE 的增益设置为 1。

当 Vd 电压为 554mV 时，绝对值量预计为 355（因为 $554/1.5625 \approx 355$ ），EADC 的输出预计为 613（参考 1.2 节最后的等式）。而实际读取发现，绝对值为 588，EADC 的输出为 248，这与设想完全不同。分析原因可知，此时 EADC 已经处于了正向饱和，输出的上限为 248。

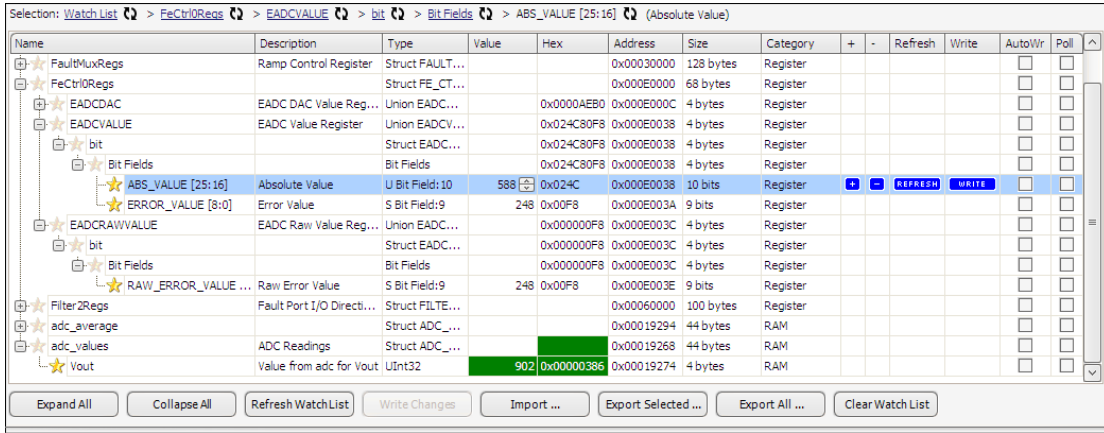


图 4: EADC 正向饱和

同样地，当 Vd 电压为 1.64V 时，绝对值量预计为 1050（因为 $1640/1.5625 \approx 1050$ ），EADC 的输出预计为 -473（参考 1.2 节最后的等式）。而实际读取发现，绝对值为 911，EADC 的输出为 -256，这与设想也是完全不同。分析原因亦可知，此时 EADC 已经处于负向饱和，输出的下限为 -256。

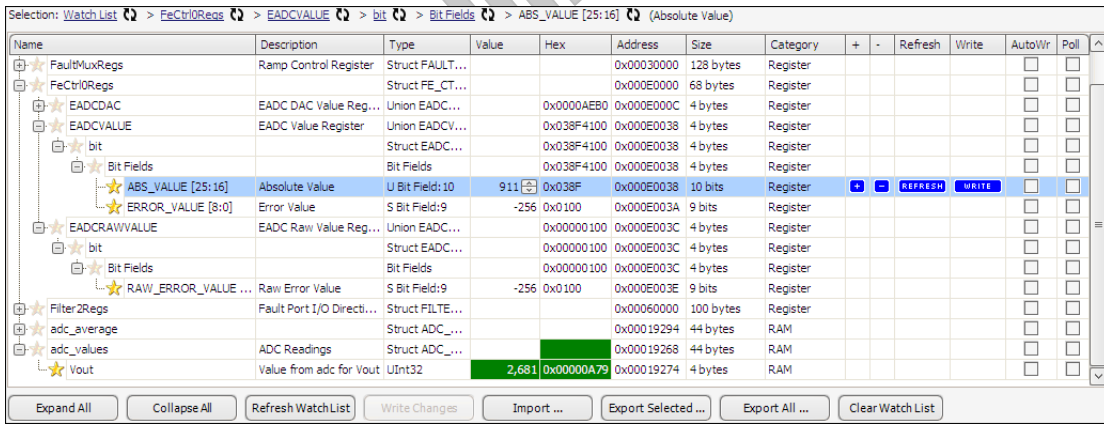


图 5: EADC 负向饱和

综合上面分析可知，在 DAC 的值固定后，绝对值量存在一个范围，该范围与 AFE 的增益有直接关系，如下表所示。

AFE Gain	DAC Value	EADC Value	Absolute Value
1	x	+248 to -256	(x-159) to (x+164)
2	x	+124 to -128	(x-79) to (x+82)
4	x	+62 to -64	(x-40) to (x+41)
8	x	+31 to -32	(x-20) to (x+20)

可以观察到，如果 AFE 的增益设置为 8，DAC 的值为 747 时，绝对值的范围是 727~767。此时，如果计划让数字比较器在 V_d 为 1.33V 时触发，则其参考值需要设置为 850。然而，数字比较器的另一端（输入为绝对值）最大仅为 767，因此数字比较器将没有机会被触发。

实际应用中，设置数字比较器的参考值时需要考虑 AFE 的增益，以防止因 EADC 提前饱和导致其输出被钳制而无法触发数字比较器。

2 UCD3138 的内部模数转换器 ADC15

UCD3138 芯片内部共有 16 个模数转换器，其中 ADC15 可以在芯片内部连接到 AFE 模块的 EAP 或 EAN 引脚。实际应用中，ADC15 可以用来检测系统的反馈电压，在软件中可以还原出实际的输出电压。

2.1 ADC15 的配置

UCD3138 芯片内部的 ADC15 可以连接到任意一个 AFE 模块的 EAP 或 EAN 引脚，完成模拟信号的数字化。在应用时，与其它 ADC 的配置方式非常相似，唯一的差别是需要配置 ADC15 到指定的 AFE。

下面三行代码是完成 ADC15 与 AFE 的关联。其中，AFE_MUX_CH_SEL 为 1 是指 ADC15 连接到 AFE0；AFE_VIN_MUX 为 0 是指 ADC15 连接到 EAP 引脚。

```
MiscAnalogRegs.AFECTRL.bit.AFE_MUX_SEL=3;
MiscAnalogRegs.AFECTRL.bit.AFE_VIN_MUX=0;
MiscAnalogRegs.AFECTRL.bit.AFE_MUX_CH_SEL=1;
```

综合上述配置，ADC15 是连接到了 AFE0 的 EAP 引脚，即可以检测图 1 中的 V_d 电压。

2.2 实验结果

如图 4，当 V_d 为 554mV 时，ADC15 的结果（adc_values.Vout）为 902。二者近似符合下面的等式：

$$902 \times \frac{2.5V}{4095} = 551mV$$

如图 5，当 V_d 为 1.64V 时，ADC15 的结果（adc_values.Vout）为 2681。二者近似符合下面的等式：

$$2681 \times \frac{2.5V}{4095} = 1.637V$$

上述物理值与数字量之间的差别，主要是测量误差导致。

3 结论

UCD3138 芯片内部的数字比较器和模数转换器 ADC15 都可以用来处理与输出电压相关的工作。其中，数字比较器配置之后可以实现对输出电压过压或欠压等的快速响应与保护；ADC15 配置之后可以精确的采集输出电压信息，然后借助软件设计同样可以实现对输出电压的故障保护。

4 参考文献

1. UCD3138 datasheet, Texas Instruments Inc., 2011
2. UCD31xx Fusion Digital Power Peripherals Programmer's Manual, Texas Instruments Inc., 2011
3. UCD31xx Miscellaneous Analog Control _MAC_, Texas Instruments Inc., 2011

Preliminary