

RF Amplifier 直流偏置控制电路 AMC7908 应用指南

Zhizhao Niu

North & West China Team

摘要

随着 5G AAS&RRU 的发展，PA 通道数量和输出功率不断增加。这也催生了新的 PA 架构以及 PA 材料。这些新的 PA 架构和材料使得用户在使用传统的 PACC 方案 AMC7834/6 时，需要使用额外的分立元件，例如电流/压传感器，温度传感器，栅压开关以及放大器。这些额外的分立元件将不但会增加 AAS&RRU 的体积、尺寸和成本，而且在研发阶段由于 PA 种类不同，需要多次调整外围器件的选型保证对 PA 漏极电流，电压温度的监测精度、系统稳定性以及对 PA 的异常保护，这些问题在 5G AAS 中尤其突出。为了解决上述问题，TI 推出了新一代 8 通道 PACC 方案 AMC7908，片内集成了 8 个 DAC 通道及栅极开关，2 个电流采样，2 个电压采样和 1 个温度采样通道。通过 AMC7908 系统集成方案，用户可以简化了 PA 栅压控制电路的设计，缩短验证流程并提高系统稳定性。本文将从 AMC7908 的系统架构出发，详细介绍系统中各个主要模块的工作原理及应用场景。随后讨论当 PA 或 PACC 异常情况下，AMC7908 的保护机制。最后总结在实际应用中常见的三个问题，希望通过本文能够帮用户更好的理解 AMC7908。

目录

1	引言	2
2	AMC7908 功能框图介绍	2
	2.1 DAC 模块框图及应用	3
	2.1.1 DAC 输出传递函数	4
	2.1.2 DAC 输出缓冲器	5
	2.1.3 限流钳位开关	5
	2.2 ADC 模块框图及应用	5
	2.2.1 ADC 电流检测应用	6
	2.2.2 ADC 输出传递函数	6
	2.3 集成开关架构及应用	8
3	异常保护机制	9
	3.1 PA 栅极短路	9
	3.2 PA 栅极出现瞬时大电流	9
	3.3 PACC 异常掉电场景下的保护机制	10
4	常见应用问题	11
	4.1 PACC 功耗计算	11
	4.2 DAC 输出电容与切换时间	11
	4.3 AMC7908 初始化示例	13
5	结论	15
6	参考文献	15

图		
Figure 1.	AMC7908 内部功能框图	3
Figure 2.	DAC模块框图	4
Figure 3.	DAC输出范围自动检测模块映射关系	4
Figure 4.	ADC输入MUX框图.....	6
Figure 5.	AMC7908 开关架构框图	8
Figure 6.	PA栅极出现大电流时简化模型及结果	10
Figure 7.	AMC7908 开关结构	12
Figure 8.	AMC7908 开关切换波形图.....	12
Figure 9.	$C_{OUT1}/C_{DAC1}=100$ 时开关切换波形图.....	13
Figure 10.	$C_{OUT1}/C_{DAC1}=10$ 时开关切换波形图.....	13

1 引言

TI AMC7908 是一款适用于 GaN 和 LDMOS PA 的高功能集成度栅压控制电路。其内部集成了 8 个 DAC，1 个多输入通道的 ADC，以及 8 组快速切换的开关。DAC 采用了电阻串型架构，8 个 DAC 通道分为两组，每组 DAC 的电压范围可以独立控制。ADC 的所有采样通道都能够承受 85V 的共模电压。其中，两个单端高压采样通道能够实现对 PA 漏极电压或者电源电压的监控，两个高精度差分通道具有两个满量程可以选择，可以根据需要监测的 PA 最大，最小漏极电流值进行选择。此外，还有一个片内温度传感器通道，能够实现 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 的温度监测精度。除此之外，AMC7908 内部还集成了 8 组低阻抗直流开关，能够实现在两个电压值之间快速切换 PA 的栅压。高功能集成度的架构有利于帮助用户节省外围分离器件，实现 AAS&RRU 小型化，轻量化的设计目标。本文将首先介绍 AMC7908 内部各个功能模块的作用与应用，随后讨论当 PA 或 PACC 异常情况下，AMC7908 的保护机制。最后总结在实际应用中常见的三个问题。

2 AMC7908 功能框图

AMC7908 中的 8 个 DAC 通道分为两组，每组都有独立的电压输入引脚为 DAC 提供电压 (V_{SSA}/V_{CCA} , V_{SSB}/V_{CCB})。在每个 $DAC_{x0/2}$ 输出通道后面含有两组开关。开关 A 用来选通 $OUT_{x0/2}$ 引脚的输出电压是来自于 $DAC_{x0/2}$ 还是 Clamp 电压。开关 B 决定了 Clamp 电压是当前 V_{CC}/V_{SS} 的最低电平还是相邻通道 $DAC_{x0/2}$ 的输出电压。多通道 ADC 可以通过 MUX 对不同的采样通道进行选择，用户可以根据需求自定义采样顺序。ADC 采用的 $\Delta-\Sigma$ 架构，采样平均数及转换时间可以根据需求灵活的配置。此外 AMC7908 的通信模块支持三线/四线 SPI，以及 I3C mixed mode，可以与 SPI，I2C 以及 I3C 接口进行通信。

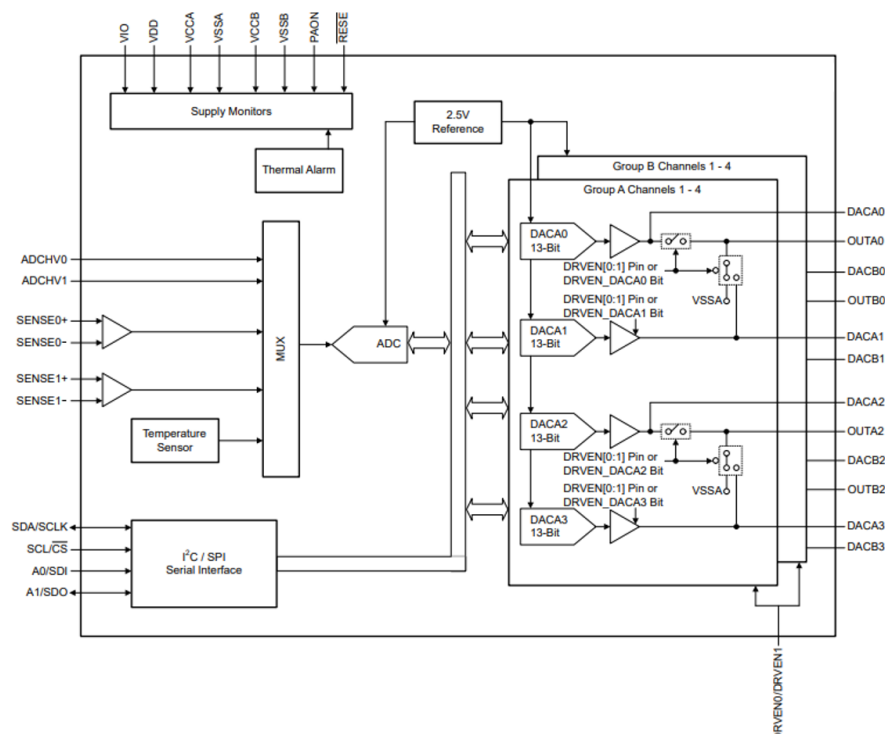


Figure 1. AMC7908 内部功能框图

2.1 DAC 模块框图及应用

如下图 2 为每一路 DAC 模块的框图，从图中可以分为 3 个部分。第一部分是 DAC 核，AMC7908 的 DAC 采用 13bit 电阻串型架构，参考电压来自于内部的 2.5V 参考电压。这种结构具有较好的输出单调性与较小的输出抖动，非常适合用于作为 PA 栅极的直流偏置。第二部分是 DAC 输出缓冲器以及 DAC 输出范围自动检测电路。输出缓冲器用来提高 DAC 的输出电压范围、增强容性负载的带载能力、提高 sink/source 电流能力。输出范围自动检测电路通过检测 V_{CC}/V_{SS} 引脚上的电压值，自动对 DAC 输出范围进行配置，如下图 3 所示， V_{CC} 模式表示 DAC 输出满量程电压为 $0V \sim 10V$ ， V_{SS} 模式表示 DAC 输出满量程电压为 $-10V \sim 0V$ 。需要注意 AMC7908 中，每组 4 个 DAC 通道共享相同的输出电压范围与供电。两组之间可以任意配置输出电压范围，但是需要保证 $V_{SSA} \leq V_{SSB}$ 。最后一部分是每个通道都在 DAC 输出缓冲器内部含有一个限流 Clamp 开关，能够限制电流流过的电流 $< 15mA$ 。当器件从 reset 状态启动时，DAC 处于 Clamp mode，该开关处于导通，确保 PA 的栅极电压钳位到最低电平。

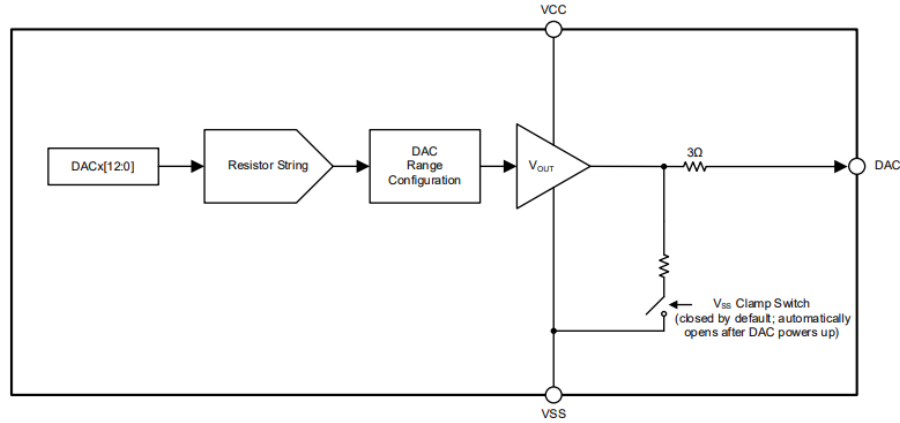


Figure 2. DAC 模块框图

DAC GROUP SUPPLY CONFIGURATION	SUPPLY	
	VCC[A,B]	VSS[A,B]
Invalid configuration	0 V ≤ V _{CC} < 3 V	-3 V < V _{SS} ≤ 0 V
V _{CC} configuration	3 V ≤ V _{CC} ≤ 11 V	V _{SS} = 0 V
Invalid configuration	3 V ≤ V _{CC} ≤ 11 V	V _{SS} < 0 V
V _{SS} configuration	V _{CC} = 0 V	-11 V ≤ V _{SS} < -3 V
Invalid configuration	V _{CC} > 0 V	-11 V ≤ V _{SS} < -3 V

Figure 3. DAC 输出范围自动检测模块映射关系

2.1.1 DAC 输出传递函数

DAC 模块的输出传递函数指的是 DAC 模块的输出电压与 DAC 输入 code 之间的关系。传递函数如下所示：

$$V_{DAC} = (DACIN/2^{13} * FSR) + V_{min}$$

其中，DACIN 指输入到 DAC buffer/active 寄存器中 DAC code 的十进制数。FSR 指 DAC 的满量程范围，由自动范围检测模块根据 V_{CC}/V_{SS} 的电压进行设定。DAC 有两个满量程范围，分别是 10V 和 -10V。V_{min} 指在对应满量程范围内的最小电压值，当满量程范围是 10V 时，V_{min} 是 0V。当满量程范围是 -10V 时，V_{min} 是 -10V。如下表 1 所示为 DAC code 与输出电压的关系。

Table 1. DAC 输出范围自动检测模块映射关系

DAC DATA REGISTER (1.22-mV Resolution)		NEGATIVE DAC OUTPUT VOLTAGE (V) V _{SS} = -11 V, V _{CC} = GND	POSITIVE DAC OUTPUT VOLTAGE (V) V _{CC} = 5.5 V, V _{SS} = GND
BINARY	HEX		
0 0000 0000 0000	0000	-10	0
0 0000 0000 0001	0001	-9.99878	0.00122
1 0000 0000 0000	1000	-5	5
1 0001 1001 1001	1199	-4.50073	5.49927
1 0001 1001 1010	119A	-4.49951	5.5
1 0001 1001 1011	119B	-4.49829	5.5
1 1111 1111 1110	1FFE	-0.00244	5.5
1 1111 1111 1111	1FFF	-0.00122	5.5

2.1.2 DAC 输出缓冲器

每通道 DAC 都含有输出缓冲器，输出缓冲器可以实现轨到轨的输出，供电来自于 V_{CC} 和 V_{SS} 。在应用时需要注意，虽然上一节中提到 DAC 的模块的满量程范围是 $\pm 10V$ ，但是在实际应用中输出缓冲器的输出会受到 V_{CC} 和 V_{SS} 的限制。当 V_{CC}/V_{SS} 的电压没有达到满量程时，DAC 的最大/最小输出电压会被 V_{CC}/V_{SS} 钳位。例如，对于 LDMOS PA，通常栅极电压范围是 $0\sim 5V$ ，此时如果 $V_{CC}=5V$ ， $V_{SS}=0V$ ，那么当 $DACIN > 4096$ 时，输出电压会被钳位在 $5V$ 。同样当选择 $V_{SS} = -8V$ ， $V_{CC}=0V$ 为 GaN PA 提供栅压时，当 $DACIN < 1638$ 时，输出电压会被钳位在 $-8V$ 。

AMC7908 输出缓冲器输出最大能够驱动 $15\mu F$ 的容性负载，并且 sink/ source 电流能力具有 4 种模式，每种模式能够支持短时间的短路保护功能，限制短路电流。在 High current mode 下，能够限制最大短路电流为 $120mA$ 。AMC7908 提供了如下四种 sink/source 电流挡位，如下表 2 所示。用户可以根据实际应用需求通过 DAC_CONFIG, Page 3, 0x40 寄存器进行自由选择。为了防止异常情况下 AMC7908 重启后的最大电流，器件在设计时定义 reset 后默认选择 start-up current mode。

Table 2. DAC 输出缓冲器输出电流模式

Short circuit current	Start-up current mode	15 mA
	Low current mode	30 mA
	Normal current mode	90 mA
	High current mode	120 mA

2.1.3 限流钳位开关

DAC 输出缓冲器中集成了一个具有限流功能的钳位开关，最大限流值为 $15mA$ 。在 AMC7908 启动过程中或者 V_{DD} ， V_{IO} 异常情况下，DAC 模块会自动进入 clamp mode，输出缓冲器的输出会自动通过钳位开关钳位到 V_{SS} 上。直到 AMC7908 满足启动条件后，用户通过 Global page 的 0x08，PWR_EN 寄存器使能所有 DAC 通道后才会退出 Clamp mode。当 PA 栅极发生短路故障时，用户也可以利用钳位开关对 PACC 以及 V_{CC}/V_{SS} 电源进行保护，避免某一路 PA 短路造成整个 AMC7908 的输出异常，具体细节将在第三节中展开介绍。

2.2 ADC 模块框图及应用

AMC7908 内部集成了 1 个 16bit $\Delta-\Sigma$ ADC 以及一个 5 通道的 MUX，如下图 4 所示。ADC 是差分接口并且差分满量程有两档可以选择，分别是 $\pm 40.96mV$ 和 $\pm 163.84mV$ ，用户可以根据输入电流大小选择不同的满量程。但是需要注意当使用小量程时需要考虑静态误差对系统采样精度的影响 ADC 所有输入引脚都能够承受最高 $85V$ 的共模电压。Sense \pm 引脚为 Shunt 电压采样通道，能够对 PA 漏极电流进行采样。两个单端 ADC_IN 端口会经过内部电阻分压的方式连接到 ADC 的差分输入上，可以支持对外部最高 $85V$ 的电压进行采样。另外，还有一个内部温度传感器的采样通道。

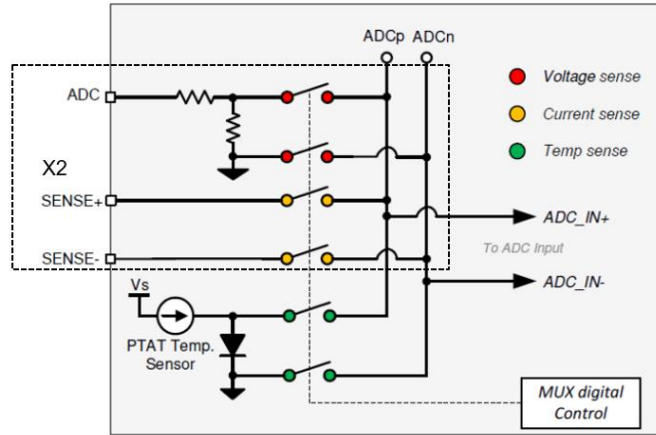


Figure 4. ADC 输入 MUX 框图

2.2.1 高动态低误差的 Shunt 电压检测端口

由于 Shunt 电压检测端口 Sensex+/- 引脚直接与 16 bit $\Delta - \Sigma$ ADC 的差分输入端口相连，因此 Shunt 电压检测可以利用 ADC 良好的偏置电压 ($\pm 10\mu\text{V}$, typ.) 和偏置电流 ($1\mu\text{A}$, typ.) 性能。由于静态误差较小，使得 Shunt 电压检测具有较大的动态范围，非常适用于宏站大功率 PA 静态电流和峰值电流值相差较大的场景中。通常对于传统的宏站 PA，漏极电流检测范围相差较大，例如 $20\text{mA} \sim 7\text{A}$ ，这对电流检测电路的动态范围提出了很高的要求。为了便于 Shunt 电阻的选型，采用 $\pm 164\text{mV}$ 的满量程范围时。可以计算出 R_{shunt} 最大值为：

$$R_{\text{shunt_max}} = \text{FSR} / I_{\text{max}} = 164\text{mV} / 7\text{A} = 23\text{m}\Omega$$

为了避免采样电阻上的功耗太大，选择 $R_{\text{shunt}} = 10\text{m}\Omega$ 。可以计算出对于最小静态电流 20mA ，

$$V_{\text{shunt_min}} = I_{\text{min}} * R_{\text{shunt}} = 200\mu\text{V}$$

此时，如果 ADC 的失调电压大于 $200\mu\text{V}$ ，那么静态电流将完全淹没在噪声之下。AMC7908 的失调电压典型值是 $10\mu\text{V}$ ，对静态电流检测精度影响只有 5%，能够满足大部分应用场景的要求。当考虑最大失调电压的影响，可以带入最大值 $100\mu\text{V}$ ，此时对电流检测精度影响为 50%。

除了对静态电流的要求之外，16bit 的 ADC 也为电流检测提供了良好的电流分辨率。对于 $\pm 164\text{mV}$ 的满量程，电流检测分辨率为 $5\mu\text{V}$ ，当采用 $10\text{m}\Omega$ 采样电阻时，电流采样分辨率为 2mA ，能够满足大部分的应用场景需求。

2.2.2 ADC 输出传递函数

由于电流检测和温度检测范围存在负数，ADC 的输出用有符号二进制补码的方式进行表示。下面将介绍不同 ADC 端口的输出传递函数。

2.2.2.1 温度传感器输出传递函数

对于温度传感器，温度分辨率是 0.0078°C ，温度 0°C 输出 code=0x0000。当温度是大于 0 度时，温度传感器的输出传递函数为：

$$TS_code = DEC2BIN(\text{温度值}(^{\circ}C)/0.0078(^{\circ}C))$$

当温度小于 0 度时，需要计算出二进制数的补码，可以得到传递函数为：

$$TS_code = \text{求反码}[DEC2BIN(|\text{温度值}(^{\circ}C)|/0.0078(^{\circ}C))] + 1$$

随后将输出 code 的最高位置 1。下表列出了温度值与输出 code 之间的映射关系。

Table 3. 温度传感器输出 (ADC_TMP[15:0])

Temperature (°C)	温度传感器寄存器值	
	BINARY	HEX
-50	1111 1111 1100 1110	0xFFCE
-25	1111 1111 1110 0111	0xFFE7
0	0000 0000 0000 0000	0x0000
10	0000 0101 0000 0000	0x0500
50	0001 1001 0000 0000	0x1900
150	0100 1011 0000 0000	0x4B00

2.2.2.2 Shunt 电压输出传递函数

电流检测的负值表示方式和温度传感器相同，这里不再赘述。电流传感器的输出传递函数如下：

$$CS_code = DEC2BIN[V_{shunt}/(CS_FSR/2^{16})]$$

当 Shunt 电阻电压小于 0V 时，传递函数为：

$$CS_code = \text{求反码}[DEC2BIN[V_{shunt}/(CS_FSR/2^{16})]] + 1$$

随后将输出 code 的最高位置 1。下表列出了 V_{shunt} 与输出 code 之间的映射关系。

Table 4. Shunt 电压输出 (ADC_SENSE0/1 [15:0])

Code (Decimal)	Code (hex)	±41mV Range (1.251221µV/LSB)	±164mV Range (5.004887µV/LSB)
-32768	0x8000	-41.0 mV	-164 mV
-16384	0xC000	-20.5 mV	-82.0mV
0	0	0 V	0 V
16384	0x4000	+20.5 mV	+82.0 mV
32767	0x7FFF	+40.999	163.995 mV

2.2.2.3 电压传感器输出传递函数

电压传感器输入端口 ADCHV0/1 的输入范围为 -0.3V~85V，分辨率为 3.125mV，同样能够得到传递函数关系如下：

$$VS_code = DEC2BIN(V_{ADCHVx}/3.125mV)$$

当 Shunt 电阻电压小于 0V 时，传递函数为：

$$VS_code = \text{求反码}[DEC2BIN(V_{ADCHVx}/3.125mV)] + 1$$

随后将输出 code 的最高位置 1。下表列出了 V_{ADCHVx} 与输出 code 之间的映射关系。

Table 5. Shunt 电压输出 (ADC_ADC0/1[15:0])

CODE	ADC ports input voltage
0x0000	0V
0x0640	5V
0x1900	20V
0x3E80	50V
0x6A40	85V

2.3 集成开关架构及应用

AMC7908 内部集成了低导通电阻开关，可以实现对 PA 的导通和关断栅压之间快速切换，如下图 5 所示。其中，OUT0 和 OUT2 的输出电压可以通过硬件 DRVENx 引脚或者软件 DRVEN_DACx bit 进行控制。取决于 DRVEN_SW_EN 寄存器的设置。此时 OUT0 和 OUT2 的输出电压会在 DACx0/2 与钳位电压之间进行切换。DAC1 和 DAC3 引脚的输出也受控于 DRVENx 引脚或者 DRVEN_DACx1/3 bit 在 DAC1/3 输出电压与 VSSx 之间切换，只是所控制的开关是输出缓冲器内部的开关阵列。

需要注意，由于某些 PA 无法从截至电压 VSSx 快速切换至 PA 的导通电压，因此在 TDD OFF 时隙需要将 PA 的栅压钳位到导通与截至电压的中间电压。AMC7908 为了满足这个需求也加入了 DAC_CFG 寄存器去配置钳位状态下的电压选择。钳位电压可以通过 DAC_CFG 寄存器中的 CLAMP_SEL bit 对 OUT0/2 引脚的钳位电压进行设置，可以选择 VSSx 或同组相邻通道的 DAC1/3 的输出电压。这个模式尤其适用于某些 GaN Doherty 架构的 PA。

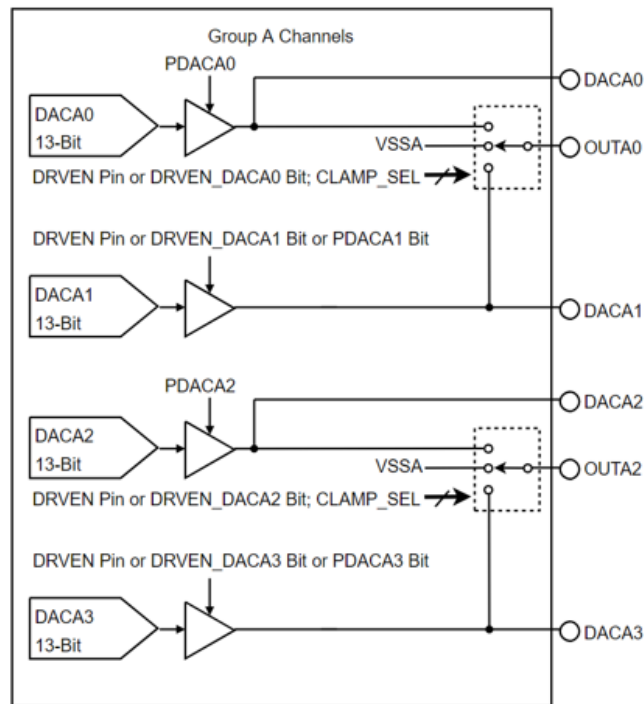


Figure 5. AMC7908 开关架构框图

3 异常保护机制

在 PA 的栅压控制电路中，PACC 不仅要提供所需要的 PA 栅压还需要监测 PA 的状态并在电路异常状态下为 PA 进行保护。本节将分别讨论当 PA 栅极短路，PA 栅极出现瞬时大电流以及 PACC 异常掉电场景下 AMC7908 的保护机制。

3.1 PA 栅极短路

随着 5G 的发展，基站发射通道数以及每个发射通道需要的 PA 数量也不断增加，如何确保其中一个 PA 发生故障栅极短路到地时，其他 PA 仍能正常工作是 PACC 的重要特性之一。具体场景可以按照内部开关的状态分为两类：

第一类是当内部开关选通 DAC 输出时，由于 DAC 输出缓冲器在不同的模式下都有短路限流功能，所以可以保证当前短路通道的电流小于限流最大值。但是需要注意长时间处于短路电流输出时要保证 PACC 的结温不能超过 150°C，并且电源需要保证能够输出足够的电流保证其他路 DAC 输出电压稳定。具体的功耗计算方式会在第四节中描述。

第二类是当内部开关选通为 VSS 时，对于 DAC0/2 和 DAC1/3 又会不同。因为 DAC0/2 通道输出含有 SP3T 开关，此时 VSS 电源直接通过 SP3T 开关直接短路到地，此时栅极电流为 VSS/R_{dson_switch} 。需要用户保证 VSS 的电源能够支持当前短路电流，避免影响同样使用同一个 VSS 电源的其他 DAC 通道。同时如果用户端通过监控漏极电流或电压或者天线口输出功率等方式发现该短路通道。可以通过 DRVENx 引脚或 DRVEN_DACx1/3 bit 使得开关选通内部的 DAC 通道进行限流。对于 DAC1/3 通道，由于当短路发生时输出缓冲器内部的钳位开关会导通，限制短路电流 < 15mA。

3.2 PA 栅极出现瞬时大电流

通常大电流指 PA 栅极出现比所选 current mode 更大的瞬时电流。此时大电流会造成 DAC 的输出出现跌落甚至影响 PA 性能。DAC 输出跌落程度与 DAC0/1/2/3 引脚上的电容大小相关。

通常 DAC0/1/2/3 引脚上都并联有 uF 级的大电容，当 PA 栅负载出现瞬时 Source 大电流时，大部分的电流是通过并联的 uF 级电容进行放电的。可以通过以下公式计算电容需要提供的电荷量 Q：

$$Q=I*T/2$$

其中，I 为瞬时电流的峰值。T 为瞬时电流的持续时间。计算得到需要的电荷量后通过下式计算出此时 DAC0/1/2/3 输出的最大电压跌落 U 为：

$$U=Q/C$$

其中 C 为 DAC 输出引脚上并联电容值。下图为当 PA 的栅极出现峰值为 50mA，持续时间 2ms 的瞬时大电流时，DAC 输出电压仿真波形。其中 R4 模拟 DAC 的输出电阻，R1 模拟开关的 R_{dson} ，C1 为 DAC0/1/2/3 输出引脚上的并联电容，R2 为电容的 ESR。C2，R3 和 I1 用来模拟 PA 的栅极出现瞬时大电流时的等效电路。从结果上能够看出当出现瞬时大电流时，DAC 的输出会瞬间有 18mV 的压降，随后 DAC 为 C1 进行充电。

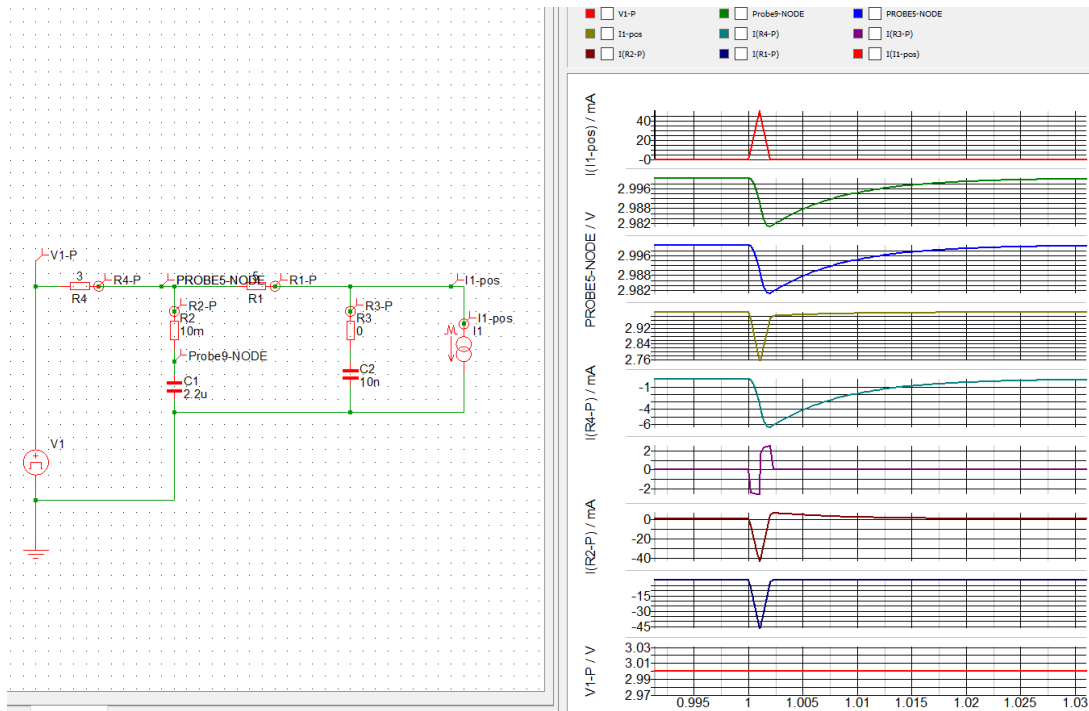


Figure 6. PA 栅极出现大电流时简化模型及结果

3.3 PACC 异常掉电场景下的保护机制

在传统开关分离式的 PACC 方案中，由于栅极开关和 PACC 是分离的，因此需要增加额外的下拉电路保证当 PACC 或栅极开关供电异常时 PA 的栅极稳定下拉到 V_{SS} 。但是某些 PA 在截至状态下，栅极仍有 mA 级别的 sink 电流从栅极流出，此时 mA 级的 sink 电流会在下拉电路上形成压降。如果下拉电阻为 k Ω 级别，那么有可能导致 PA 的栅极电压从 V_{SS} 抬升至开启电压。如果下拉电阻较小，又会导致 PA 栅极达到开启电压后电阻持续产生功耗，影响系统整体效率。因此这个电阻阻值的选择通常要经过用户多轮实验迭代才能够确定。

AMC7908 将栅极开关集成后，通过增加钳位开关与栅压开关相结合的方式解决这个问题，由于 OUT0/2 的结构和 DAC1/3 不同，下面将分别进行讨论。

OUT0/2: 由于 OUT0/2 通道含有 SP3T 开关，当 PACC 的 $V_{DD} < 3V$, $V_{IO} < 1.65V$ 时，PACC 会自动进入 power-on reset 模式，在这种模式下所有的 DAC 输出通过输出缓冲器内部的限流开关钳位到 VSS 中。所有的 SP3T 开关会钳位到 VSS 上，如图 5 所示。由于开关的 $R_{dson} = 5\Omega$ ，即使 PA 栅极存在漏电流也不会影响 OUT0/2 的输出电压值。当 PA 开始正常工作时，SP3T 开关也会从 VSS 状态切换到 DAC0/2 的输出上，避免额外的功耗。

DAC1/3: 由于 DAC1/3 通道输出缓冲器直接输出到 DAC1/3 的引脚上。因此当出现 PACC 的 $V_{DD} < 3V$, $V_{IO} < 1.65V$ 时，DAC1/3 的输出引脚通过输出缓冲器内部的限流开关钳位到 VSS 中，如图 2 所示，即使 PA 栅极存在漏电流也不会影响 DAC1/3 的输出电压值。

4 常见应用问题

4.1 PACC 功耗计算

PACC 的功耗可以分为以下几个部分：

$$P_{\text{total}} = P_{\text{IO}} + P_{\text{DD}} + P_{\text{CC}} + P_{\text{SS}} + P_{\text{DAC-Load}}$$

其中，由于前 4 部分的功耗与 DAC 的负载无关，可以认为是静态功耗，计算公式如下：

$$P_{xx} = V_{xx} * I_{xx\text{-quiescent}}$$

第五部分功耗与 DAC 的负载 sink/source 电流情况相关，因此可以认为是动态功耗。当 DAC 在 sink/source 电流时，每通道的功耗可以由下式计算。将所有通道的功耗相加即可得到总功耗。

$$P_{\text{DAC-Load}} = (V_{\text{CC}}/V_{\text{SS}} - V_{\text{Load}}) * I_{\text{sink/source}}$$

下面用一个实例进行解释，当 PACC 的所有 DAC 配置为负压范围， $V_{\text{DD}}=5\text{V}$ ， $V_{\text{IO}}=1.8\text{V}$ ， $V_{\text{CC}}=0\text{V}$ ， $V_{\text{SS}}=-8\text{V}$ ，正常工作的 DAC 输出电压 $V_{\text{Load}}=-3\text{V}$ ，所有通道的 $I_{\text{sink/source}}=20\text{mA}$ 。所有的静态电流值可以从数据手册中得到。

Table 6. AMC7908 各电源静态电流

I _{VDD}	V _{DD} supply current	Positive range	5	mA
		Negative range	6	mA
I _{VCC}	V _{CC} supply current	Positive range	6	mA
I _{VSS}	V _{SS} supply current	Negative range	7	mA
I _{VIO}	V _{IO} supply current		5	uA

可以得到总功耗为：

$$P_{\text{total}} = P_{\text{IO}} + P_{\text{DD}} + P_{\text{CC}} + P_{\text{SS}} + P_{\text{DAC-Load}}$$

$$P_{\text{total}} = 1.8\text{V} * 5\text{uA} + 5\text{V} * 6\text{mA} + 8\text{V} * 7\text{mA} + (8-3) * 20\text{mA} = 186\text{mW}$$

在大多数应用中，PA 的栅极需要在开启和关断电压之间切换，在这个过程中 DAC 的瞬时 sink/source 电流有可能触发短路保护的门限。因此在电源设计中，需要保证 $V_{\text{CC}}/V_{\text{SS}}$ 的输出电流能力满足以下公式：

$$I_{\text{VCC-max}} = I_{\text{VCC-quiescent}} + \sum_{\text{channel } n = 0}^n I_{\text{Short-circuit-limit}}$$

4.2 DAC 输出电容与切换时间

DAC0/1/2/3 与 OUT0/2 引脚的并联输出电容器可过滤噪声，并且支持对 PA 栅压进行快速切换。大电容可连接到 DAC0/1/2/3 的输出用来稳定 AMC7908 内部 DAC 的输出电压。小电容可连接到需要对 PA 栅压进行快速切换的通道 OUT0/2。这种架构可以使得 DAC0/1/2/3 引脚连接的大电容能瞬时输出大电流满足 PA 栅极瞬时电流需求。下图 7 所示为 OUT0 通道的简化框图，通过该框图简单分析一下输出电容与电压切换时间的关系。其中开关的导通电阻由 R_{SW1} 和 R_{SW2} 表示。这两个电阻会对开关切换后 V_{OUT0} 的稳定时间起决定性作用。

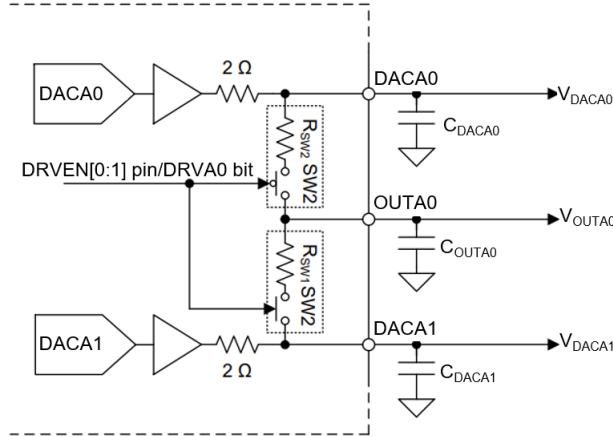


Figure 7. AMC7908 开关结构

例如，当 DRVEN0 从低变为高时， V_{OUTA0} 稳定状态在 DRVEN0 切换之前为 V_{DACA1}/V_{SS} 。当切换之后 C_{OUTA0} 与 C_{DACA0} 并联，但是由于两个电容之前的电压不同，因此在开关切换后，两个电容会充放电，最终得到新的稳态电压值 $V_{CDAC||COUT}$ ，如下式所示：

$$Q_{CDAC||COUT} = Q_{CDAC} + Q_{COUT}$$

$$V_{CDAC||COUT}(C_{DACA1} + C_{OUTA0}) = V_{DACA1} \times C_{DACA1} + V_{OUTA0} \times C_{OUTA0}$$

$$V_{CDAC||COUT} = \frac{V_{DACA1} \times C_{DACA1} + V_{OUTA0} \times C_{OUTA0}}{(C_{DACA1} + C_{OUTA0})}$$

而在电荷均衡过程中所需的时间与电容电压的关系可以通过下式计算：

$$V_{OUTA0}(t) = (V_{CDAC||COUT} - V_{OUTA0}(t_0)) \left(1 - e^{\frac{-t}{R_{SW1} \times C_{OUTA0}}} \right) + V_{OUTA0}(t_0)$$

$$V_{DACA1}(t) = V_{DACA1}(t_0) - (V_{DACA1}(t_0) - V_{CDAC||COUT}) \left(1 - e^{\frac{-t}{R_{SW1} \times C_{OUTA0}}} \right)$$

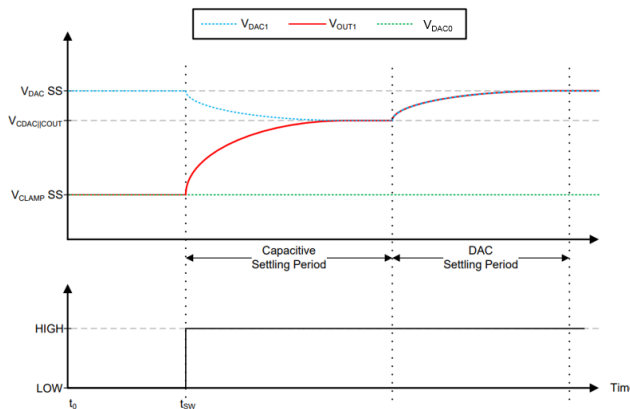


Figure 8. AMC7908 开关切换波形图

在两个电容并联得到新的电压后，DAC 输出缓冲器会继续为新的输出并联电容进行充电，将最终 $V_{CDAC1|COUT}$ 充电到 V_{DACA0} ，如上图中第二部分 DAC settling Period 所示。从公式中能够看出当 $C_{DACA0/1}$ 与 C_{OUTA0} 的比例越大，电容平衡时间越短。如下图 1 为当 $C_{OUTA0}=100nF$ ， $C_{DACA0}=10uF$ ， $C_{DACA1}=10uF$ 时瞬时电压波形图。图 2 为 $C_{OUTA0}=10nF$ ， $C_{DACA0}=10uF$ ， $C_{DACA1}=10uF$ 时的瞬时电压波形图。从图 2 中能够看到电容电压均衡时的电压跌落更大，但是由于并联电容更大，所需要的 DAC settling period 更短。而图 1 中由于电容比较大，电容电压均衡时的电压跌落较小，但是由于并联电容较大，所需要的 DAC settling period 更大。

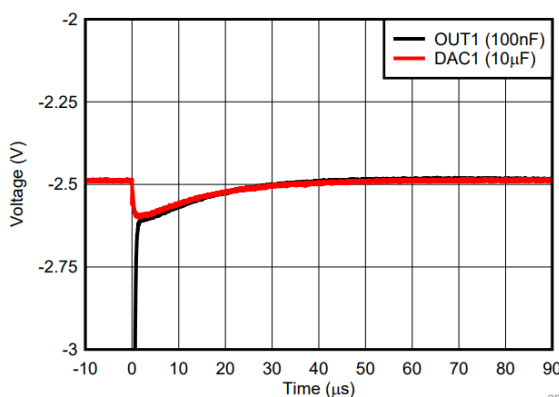


Figure 9. $C_{OUT1}/C_{DAC1}=100$ 时开关切换波形图

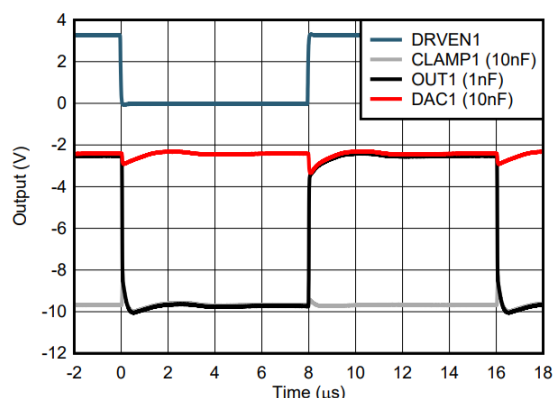


Figure 10. $C_{OUT1}/C_{DAC1}=10$ 时开关切换波形图

4.3 AMC7908 初始化示例

当 AMC7908 的所有供电满足启动要求后，可以通过 SPI/I2C/I3C 总线进行配置。通常的配置流程如下：

1. 当 VDD, VIO, VCC, VSS 启动完成得到稳态值后，对 AMC7908 进行软件或者硬件 reset 确保 AMC7908 处于初始化状态。通常从 reset 之后到对器件进行配置器件预留 5ms 时间间隔。
2. ADC 采样配置：Page 0x01 ADC_CONFIG

- a. 0x40, bit 1: 选择 Shunt 电压的输入范围。0: +/-163.84mV, 1: +/-40.96mV。
 - b. 0x40, bit 2: 选择 ADC 触发的模式。0: 每触发一次 ADC 按照采样顺序进行一次采样, 并将采样结果存储在 Global 寄存器 0x18~0x1C 中。
 - c. 0x41, bit0~2, bit4~6, bit8~10 分别对 Shunt 电压, ADC 电压和温度采样转换时间进行设置。
 - d. 0x42, bit0~2, bit4~6, bit8~10 分别对 Shunt 电压, ADC 电压和温度采样平均数进行设置。
3. ADC 采样顺序: Page 0x02: 通过 Page 0x02 中的寄存器设置 ADC 端口采样的顺序。
 4. DAC 相关配置:
 - a. Page 0x03, 0x40: 设置每个 DAC 通道的 DAC 输出电流模式。0: start up 模式, 1: low current 模式, 2: normal current 模式, 3: high current 模式。
 - b. Page 0x03, 0x42: 设置 OUTx0/2 clamp 电压。0: clamp 电压 VSSx, 1: clamp 电压为 DACx1/3。
 - c. Global Page, 0x12 DRVEN_SW_EN: 设置 DAC 通道受控于 DRVENx 引脚还是 0x13 DRVEN_DACx bit。如果用户需要配置某些 DAC 通道的开关是常通状态, 可以将 0x12 中相对应的 bit 设置成 1。将需要通过 DRVENx 引脚控制的 bit 设置成 0。
 - d. Global Page, 0x13 DRVEN: 控制 0x12 中设置为软件控制的 DAC 通道的开关状态。0: 开关不通。1: 开关连接到 DAC 输出电压上。
 - e. Page 0x03, 0x50 DRVEN0_EN: 设置哪些 DAC 通道需要使用硬件 DRVEN0 引脚控制。需要注意寄存器 0x12 的优先级更高, 如果通道已经选择使用软件控制, 在该寄存器中的配置将被忽略。
 - f. Page 0x03, 0x51 DRVEN1_EN: 设置哪些 DAC 通道需要使用硬件 DRVEN1 引脚控制。需要注意寄存器 0x12 的优先级更高, 如果通道已经选择使用软件控制, 在该寄存器中的配置将被忽略。
 5. 写入 DAC 初始值: 将 DACA0~B3 的初始值分别写入写入 Page 4, 0x40~0x47 中。
 6. 使能所有 DAC 通道: 通过 Global page, 0x08 PWR_EN bit0~7 分别使能 DACA0~B3。
 7. 触发 ADC, DAC 开始工作: 通过 Global page, 0x10 bit 0, ADC_TRIG=1 触发 ADC 开始采样。0x10 bit 1, DAC_TRIG =1 将 DAC buffer 寄存器中的值传入 DAC active 寄存器中。

5 结论

本文介绍了 AMC7908 的 DAC, ADC 以及集成开关部分的架构及应用。并且分析了当 AMC7908 集成了栅极开关后对 PA 及 PACC 电路发生异常时的保护机制, 帮助用户能够更好的利用 AMC7908 优化系统架构与方案体积。并在最后一章针对 PACC 常见的功耗, 输出电容的选择以及初始化方法进行了详细的描述。希望本篇文章能够帮助读者加深对 AMC7908 的理解, 减少方案验证的周期。

6 参考文献

1. 数据手册 “AMC7908 8-Channel Power-Amplifier Monitor and Controller With Gate Bias Switches and Voltage, Temperature, and Current Sensing”

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司