

GC5322 内部功率检测及保护讨论

Ryan Yi Wang

Texas Instruments

摘要

GC5322 是 TI 推出的一款强大的 DPD 处理芯片，它内部包括 DUC,CFR 和 DPD 的处理模块。本文介绍了 GC5322 内部的信号节点及相关功率检测，解释了芯片使用及 API 调用中一些关键变量定义及使用，讨论了 DPD 算法中功放保护功能及相关设置。本文的目的是帮助读者了解 GC5322 内部相关架构，正确理解和使用 GC5322 相关 API 及寄存器。本文的读者应该已经阅读 GC5322 硬件及软件用户手册，并对 GC5322 有基本的了解。

内容

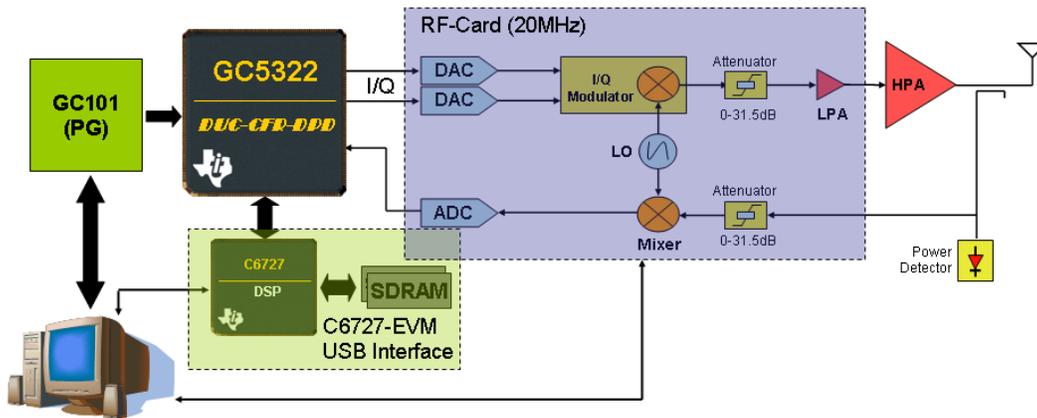
GC5322DPD 系统.....	2
重要功率参数.....	4
DPD PA 保护.....	6
Loop Gain Protect.....	9
err_thresh stop adaptation:.....	9
硬件功率检测:.....	11
常见问题解答.....	12
关键词.....	14
参考文献.....	14
注明:	14

图

Figure 1. GC5322 系统框图.....	2
Figure 2. GC5322 内部 CB 节点.....	3
Figure 3. GC5322 PA 保护.....	4
Figure 6. GC5322 内部硬件功率检测节点框图.....	11

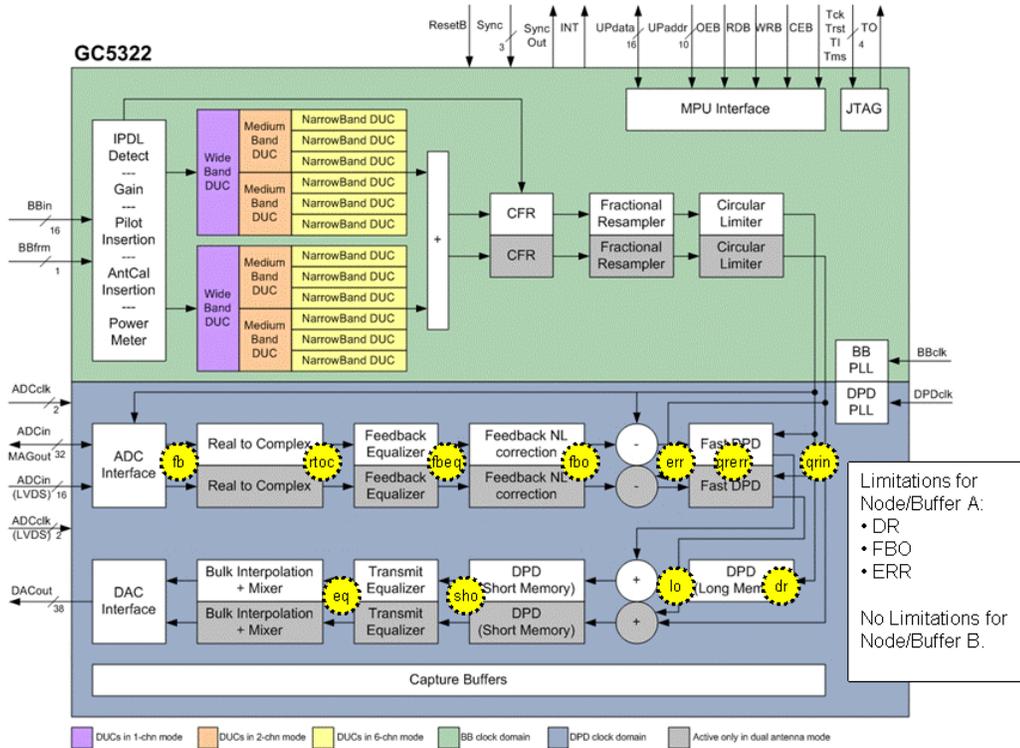
GC5322DPD系统

Figure 1. GC5322 系统框图



GC5322 DPD 系统如 Figure1 所示，GC5322 接收基带信号，完成 DUC，CFR 和 DPD 操作，然后发送到 DAC。DPD 模块不断检测反馈信号，计算和发送信号的差异，通过算法更新查找表参数，完成 DPD 系数更新。

Figure 2. GC5322 内部 CB 节点



GC5322 内部设计有 CB (Capture Buffer)，如 Figure 2 所示，可以抓取黄色各个节点的 4096 个 I,Q 数据，进行功率检测及 DPD 参数更新的相关运算

具体节点说明如下：

Dr=1: DPD 模块输入信号

Qrin=2: fast DPD 输入信号

Lo=3: long DPD 输出信号，short DPD 输入信号，由于 DPD long 模块在此版本并没有使用，所以节点"lo"与"dr"信号相同

qrerr=4: fast DPD 误差信号

Sho=5: short DPD volterra 输出信号

Eq=6: short TX equalizer 输出，DPD 输出节点

fb = 7, feedback 输入实数信号

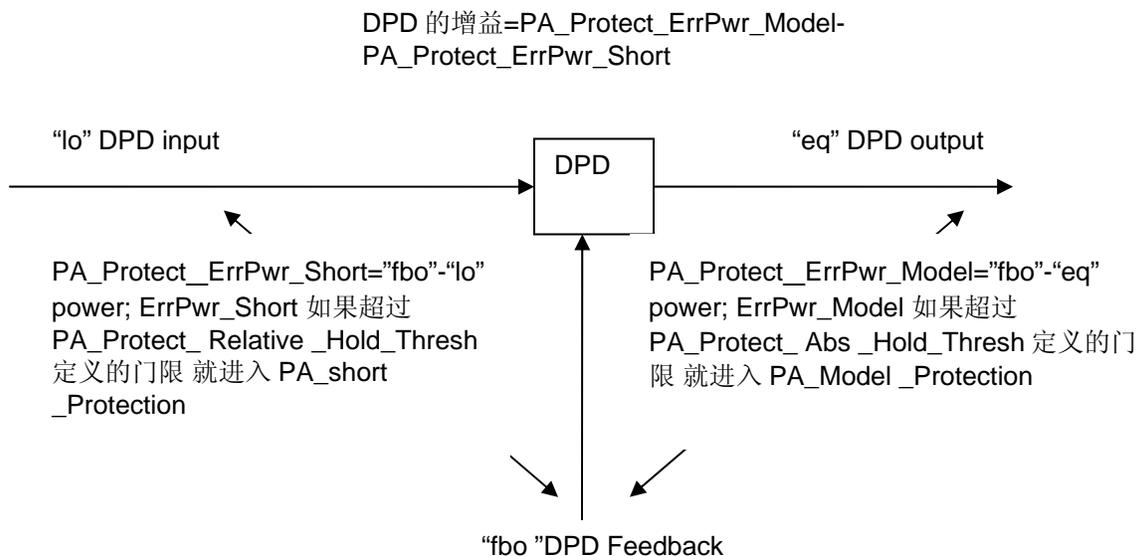
`rtoc = 8`, feedback 实数转复数输出信号
`fbeq = 9`, feedback equalizer 输出信号
`fbo = 10`, feedback 输出信号
`err = 11` DPD 误差

sDPD_SIGPOWGT_RD API 可以选取以上节点，抓取并计算相应节点的信号功率。

重要功率参数

在正式讨论之前，先介绍几个重要的功率相关的参数：

Figure 3. GC5322 PA 保护



如上图所示：

$PA_Protect_ErrPwr_Model = CB$ 中节点“fbo”功率 - 节点“eq”功率，单位为 dB，为反馈通路功率和 DPD 输出功率差值

$PA_Protect_ErrPwr_Short = CB$ 中节点“fbo”功率 - 节点“lo”功率，单位为 dB，为反馈通路功率和 DPD 输入功率差值

PA_Protect_ErrPwr_Short 减去 PA_Protect_ErrPwr_Model 就可以得到 DPD 的增益

sDPD_ERRPOWGT_RD API 读取到的 ERRPOWER 是 CB 中节点“dr”功率－节点“fbo”功率，单位为 dB，为 DPD 输入功率差值和反馈通路功率

由于 DPD long 模块在此版本并没有使用，所以节点“lo”与“dr”信号相同，ERRPOWER 和 PA_Protect_ErrPwr_Short 实际上是符号相反的两个相同的值。他们的不同在于

1. PA_Protect_ErrPwr_Short 只能 DPD 启动后读取，它在 SM_SHORT_ADAPT 阶段更新。而 ERRPOWER 可以在任何时候通过 API 调用得到。API 的调用会占有 DSP 资源。所以正确的用法是 DPD 开启前查询 ERRPOWER，DPD 开启后查询 PA_Protect_ErrPwr_Short。
2. 他们的符号相反
3. PA_Protect_ErrPwr_Short 读取值进行了 1000 倍的放大。ERRPOWER 则是实际的功率 dB 差值。
4. 注意：DPD 进入 PA Model 保护模式后，PA_Protect_ErrPwr_Short 不再更新

err_rms_power 跟 ERRPOWE 看起来很像，实际上不一样，err_rms_power 是 CB 节点“lo”和节点“fbo”4K 个采样点相位对齐后，每个点幅值相减后差值的功率值。单位为 dBFS。（Full Scale 对应 16 位有符号数的最大值“0x7fff”功率）err_rms_power 也可以从节点“err”直接读取到。

err_rms_power 可以用来判断当前 DPD 大致效果。在实际系统中如果观察 err_rms_power 和 ACPR，可以发现他们的相关性，比如，err_rms_power 为－55dBFS，ACPR 大致为－57dB。虽然

物理上他们表征的完全是不一样的物理特性，我们仍然可以监控 `err_rms_power` 来判断大致的 ACPR 以作告警处理。用户应该基于自己的系统总结 `err_rms_power` 和 ACPR 之间的大致线形关系，以用作粗略的系统性能检测。

DPD PA 保护

GC5322DPD 系统是一个闭环自适应系统。这个系统的稳定运行基于反馈通路稳定平坦的假设。在开启 DPD 之前，要先调节外部数控衰减器把 `ERRPOWER` 调节到接近 0，保证反馈链路稳定，否则 DPD 会通过 `Transmit Equalizer` 把功率差值补偿到发送链路，改变发射增益。

在实际系统中反馈链路有可能由于故障（比如断路）突然功率变化，这会导致 DPD 在瞬间改变发送链路的增益，很有可能烧毁功放。

为了避免这种情况，`PA_Protect_Abs_Hold_Thresh` 设定了 `PA_Protect_ErrPwr_Model` 的门限；`PA_Protect_Relative_Hold_Thresh` 设定了 `PA_Protect_ErrPwr_Short` 的门限。缺省情况下，`Abs_Hold_Thresh` 和 `Relative_Hold_Thresh` 都为 20 ($2.0\text{dB} \times 10$)，意味着一旦 `ErrPwr_Model` 超过或等于 2dB DPD 会进入 PA Model 保护模式，如果 `ErrPwr_Short` 超过或等于 2dB，DPD 会进入 PA Short 保护模式，DPD 参数不再进行更新，继续按照 PA 保护之前最后保留的 DPD 参数进行 DPD 操作。`pa_protect_state` 会进行相应的指示。PA Model 保护阶段，DPD 继续在 `SM_ERROR_EVAL`，`SM_MODEL_ADAPT` 两个状态机间运行，继续检测 `ErrPwr_Model`，(`ErrPwr_Short` 不再更新)，一旦 `ErrPwr_Model` 小于 `PA_Protect_Abs_Resume_Thresh`，`pa_protect_state` 会被清 0，DPD 会退出 PA Model 保护状态。PA Short 保护阶段，DPD 继续在 `SM_ERROR_EVAL`，`SM_MODEL_ADAPT` 和 `SM_SHORT_ADAPT` 三个状态机运行，继续检测 `ErrPwr_Model`

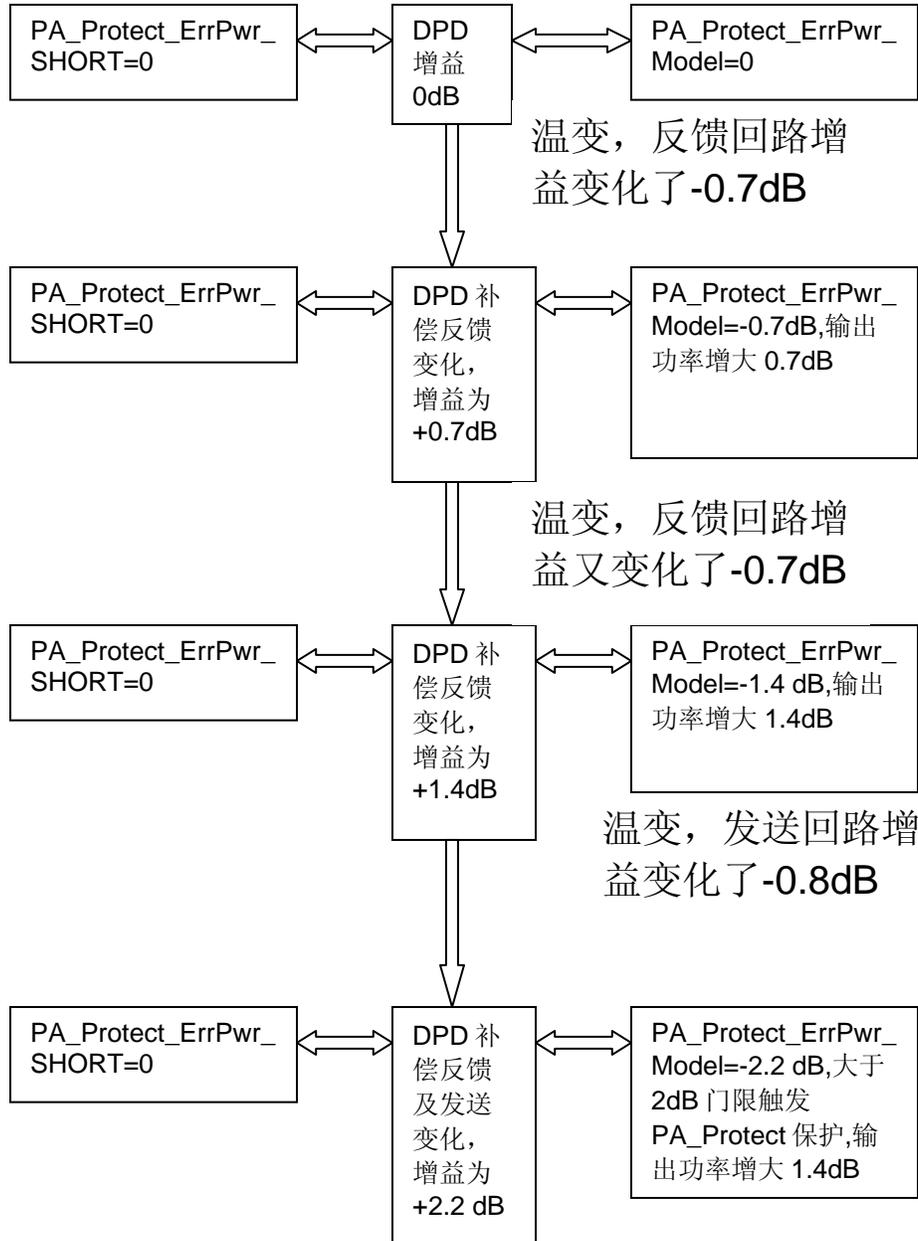
和 ErrPwr_Short，一旦 ErrPwr_Short 小于 PA_Protect_Relative_Resume_Thresh，pa_protect_state 会被清 0，DPD 会退出 PA Short 保护状态。

如果反馈链路故障，DPD 会自动进入 PA 保护，故障消除后，DPD 会自动重新运行。

如 figure4 所示，还有一种是由于温度变化引起的发送，反馈链路增益的缓慢变化，处理方法不同。举个例子，来解释下：例如 DPD 开始后，由于温度的影响，反馈回路增益变化了 -0.7dB ，DPD 会补偿这个变化，于是 ErrPwr_Short 仍然为 0dB ，ErrPwr_Model 会变成 -0.7dB ，这时候两个门限都不会被触发，不会进入 PA 保护。过了阵子，由于温度的影响，反馈回路增益再次变化了 -0.7dB ，DPD 调整后 ErrPwr_Short 仍然为 0dB ，ErrPwr_Model 会变成 -1.4dB 。可以看出 ErrPwr_Model 对链路增益变化有累计效果，而 ErrPwr_Short 没有。如果温度变化使得发送链路增益也变化了 -0.8dB ，ErrPwr_Short 仍然为 0dB ，ErrPwr_Model 会变成 -2.2dB ，触发了 PA Model 保护。

为了避免这种缓慢的温度变化引起的链路增益变化导致的 PA 保护操作，用户应该对数控衰减器进行调节，来补偿链路增益的变化。具体的做法应该是，用户检测 PA 输出口功率，在上例中，检测到的 PA 输出口功率增加了 1.4dB ，这说明反馈链路增益变化了 -1.4dB ，于是减小反馈链路数控衰减器 1.4dB 。同时 ErrPwr_Model $2.2\text{dB} - 1.4\text{dB} = 0.8\text{dB}$ ，减小发送链路数控衰减器 0.8dB ，这样 ErrPwr_Short 和 ErrPwr_Model 都可以恢复到 0。当然，由于数控衰减器精确度有限，实际应用中可以进行 0.5dB 的粗调。

Figure 4. 缓慢温变引起的 PA 保护举例



发送链路, 反馈链路增益的变化都会补偿到 DPD 增益中。不同在于, 反馈链路增益的变化会引起输出功率变化, 而发送链路增益的变化不会。监控输出功率变化, 调节发送及反馈衰减器补偿温变, 避免 DPD 保护, 或者溢出。

Loop Gain Protect

上述的 PA 保护操作是在 SM_MODEL_ADAPT 或者 SM_SHORT_ADAPT 阶段完成。为保证 DPD 初始化的时候也不会出现问题，在 SM_MODEL_INIT 阶段进行了 Loop Gain 保护。ModelGainMag = 节点“eq”平均信号幅度 / 节点“fbo”平均信号幅度，ModelGainMag 如果超过 1.41 对应功率差 3dB 或者小于 0.7 对应功率差 -3dB。DPD 就会退到 IDLE 状态。

ModelGainMag_Max 和 ModelGainMag_Min 可以由客户自行修改。

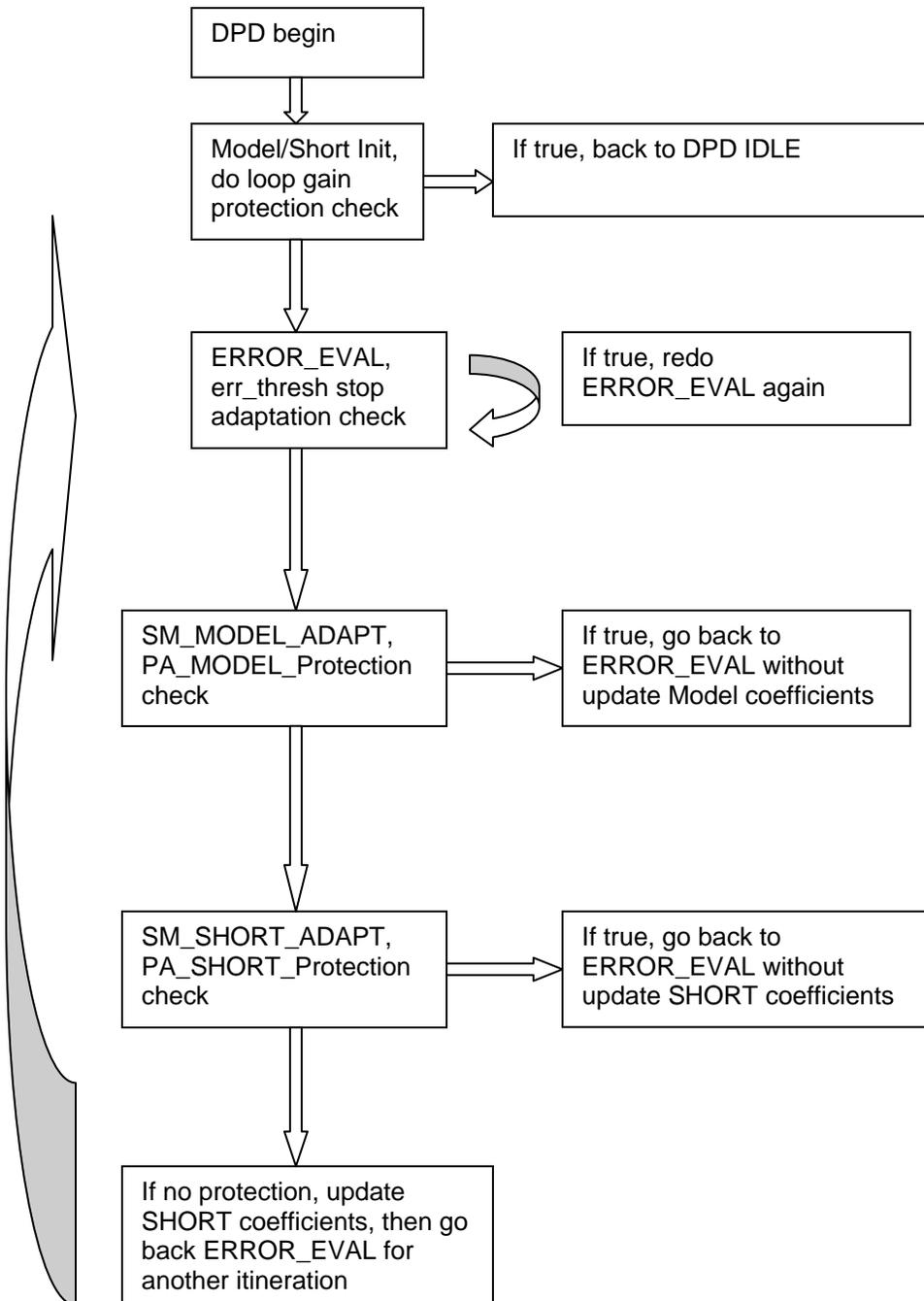
另外，DPD 反馈信号和发送信号相关性不好的时候，也会发生 Loop Gain 保护，退回到 IDLE 状态。

err_thresh stop adaptation:

在 SM_ERROR_EVAL 状态，err_rms_power 会被检测，如果 err_rms_power 小于 err_thresh，缺省 -75dBFS，就会认为 DPD 当前效果已经极好，不需要再作参数更新了，DPD 参数更新会停止，缺省 -75dBFS 是个很小的值，实际上关闭了这个功能。

rr_hyst 定义了 err_rms_power 大于 err_thresh 多少的时候重新开始 DPD 更新。

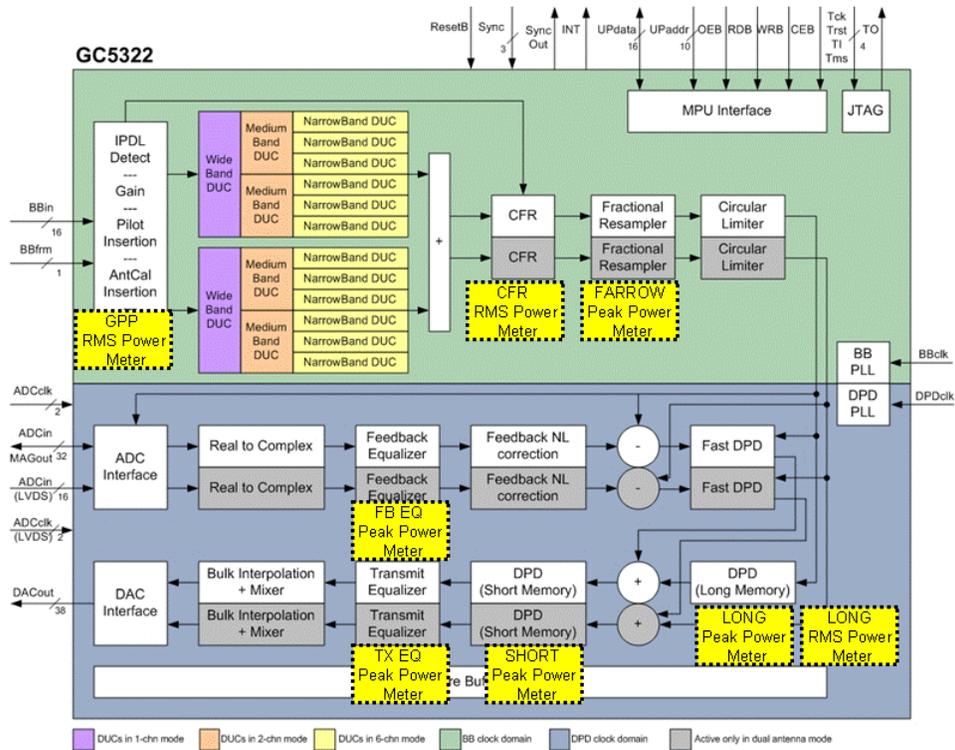
Figure 5. DPD 所有状态机中的保护机制



硬件功率检测:

GC5322 提供 sDPD_HWPOWGT_RD API 读取硬件功率，与 sDPD_SIGPOWGT_RD 比较它直接读取 GC5322 内部功率得到各个节点功率。HWPOWGT 可以得到单个载波功率,如 GPP RMS POWER METER；可以设定功率积分时间以得到特定时隙功率；可以得到 Peak 功率，如 FARROW PEAK POWER METER，（PEAK 功率检测的是最大 I 或者 Q 值，而不是检测的最大复数信号幅度）；还可以得到信号的 PAR= Farrow Peak Power – CFR RMS Power

Figure 6. GC5322 内部硬件功率检测节点框图



常见问题解答

1. PA 保护状态下下面的变量为什么状态？

```
SP_CurState[Chan] SM_ERROR_EVAL(5) 或者  
SM_MODEL_ADAPT(6) 或者 SM_SHORT_ADAPT(7)  
Chan_State[Chan][CH_INIT] TRUE  
Chan_State[Chan][CH_RUN] TRUE  
Chan_State[Chan][CH_ERROR] FALSE  
Chan_State[Chan][CH_STOP_ADAPT] TRUE;
```

说明一下，一旦进入 PA Model 保护模式，DPD 状态机会在 SM_ERROR_EVAL(5) ， SM_MODEL_ADAPT(6) 两个状态间循环；一旦进入 PA Short 保护模式，DPD 状态机会在 SM_ERROR_EVAL(5) ， SM_MODEL_ADAPT(6) ， SM_SHORT_ADAPT(7)三个状态间循环。

Chan_State[Chan][CH_STOP_ADAPT]会在 SM_MODEL_ADAPT 和 SM_SHORT_ADAPT 状态置 1，但是会在 SM_ERROR_EVAL 状态清 0，因为 SM_ERROR_EVAL 状态下的 err_thresh 检测。另外，SP_CurState 在打印的时候，已经被状态机设置为下一个状态，所以打印出来的不是当前状态，而是下一状态。

总结一下，PA Model 保护模式下，会轮流显示下面的两个状态：

```
SP_CurState[Chan] SM_ERROR_EVAL, 5  
Chan_State[Chan][CH_STOP_ADAPT] TRUE;  
和
```

```
SP_CurState[Chan] SM_MODEL_ADAPT, 6  
Chan_State[Chan][CH_STOP_ADAPT] FALSE
```

PA Short 保护模式下，会轮流显示下面的三个状态：

```
SP_CurState[Chan] SM_ERROR_EVAL, 5  
Chan_State[Chan][CH_STOP_ADAPT] TRUE;
```

和

```
SP_CurState[Chan] SM_MODEL_ADAPT, 6  
Chan_State[Chan][CH_STOP_ADAPT] FALSE
```

和

```
SP_CurState[Chan] SM_SHORT_ADAPT, 7  
Chan_State[Chan][CH_STOP_ADAPT] FALSE
```

2. *PA 保护状态下 CMD_HOLD 指令是否可以成功?*

Chan_State[Chan][CH_STOP_ADAPT] 为 1 时, CMD_HOLD 指令是否可以成功?
都可以。

3. *什么时候 Chan_State[Chan][CH_ERROR] 为 1?*

GC5322 tgtcfg 配置错误; SYNC_GC 错误; GC5322 寄存器上电自检错误

4. *PA 保护状态下 err_rms_power 是否会更新?*

是的

5. *运行 sDPD_ERRPOWGT_RD API 函数后, err_rms_power 是否会更新?*

不会。err_rms_power 只在 SM_ERROR_EVAL 状态更新, 和 sDPD_ERRPOWGT_RD API 函数没有关系。err_rms_power 是“lo”和“fbo”之间相位对齐后点对点相减后算出的差值的功率值, 单位为 dBFS, 而 sDPD_ERRPOWGT_RD 得到的 ERRPOWER 是“lo”和“fbo”之间总功率的差值, 单位为 dB。

6. 是否可以使 DPD 运行时增益为 0?

可以。只要使得 ‘FBO’ 功率和 ‘EQ’ 的功率相等，DPD 的增益就会为 0。ErrPwr_Model= ‘FBO’ 功率- ‘EQ’，所以在 DPD 运行时候，直接读取 ErrPwr_Model，然后在 FB EQ 增益中减去 ErrPwr_Model 就可以了。

关键词

DPD: digital pre-distortion
TxEQ: Transmit Equalizer
FB EQ: Feedback Equalizer
CB: Capture Buffer
dBFS: dB Full Scale
DUC: Digital Up-Converter
CFR: Crest Factor Reduction

参考文献

- GC5322_architecture_datasheet.pdf
- DPD_Software_User_Guide_v2p2p2.pdf

注明:

- 以上讨论基于 GC5322 DPD 软件版本 V2.2.2
- 本文中所有变量的具体地址参考
DPD_Software_User_Guide_v2p2p2.pdf

重要声明

德州仪器 (TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合 TI 标准保修的适用规范。仅在 TI 保修的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的数据手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售 TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关 TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

可访问以下 URL 地址以获取有关其它 TI 产品和应用解决方案的信息:

产品

放大器	http://www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters
DSP	http://www.ti.com.cn/dsp
接口	http://www.ti.com.cn/interface
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
电源管理	http://www.ti.com.cn/power
微控制器	http://www.ti.com.cn/microcontrollers

应用

音频	http://www.ti.com.cn/audio
汽车	http://www.ti.com.cn/automotive
宽带	http://www.ti.com.cn/broadband
数字控制	http://www.ti.com.cn/control
光纤网络	http://www.ti.com.cn/opticalnetwork
安全	http://www.ti.com.cn/security
电话	http://www.ti.com.cn/telecom
视频与成像	http://www.ti.com.cn/video
无线	http://www.ti.com.cn/wireless

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated