

基于特定信号选择TIAFE79xx 的PAP 参数方法

Jason Ren

摘要

AFE79xx 是 TI 高性能，大带宽的多通道射频收发器件。集成了 4 个射频采样发射(TX)通道，4 个射频采样接收(RX)通道以及 2 个射频采样反馈(FB)通道。接收和发射链路的高动态范围使它适用于大部分的无线基站场景，大带宽的优势使它适用于 4G/5G 多频应用场景。每个接收链路包含 25dB 能力的 DSA 和 3GSPS 采样率的 ADC，每个发射链路包含 30dB 能力的 DSA 和 12GSPS 采样率的 DAC。除了基本的信号传输功能外，AFE79xx 也支持客户实现功率控制功能，如接收链路的自动增益控制(Automatic Gain Control, AGC)和发射链路的功放保护 (Power Amplifier Protection, PAP)。PAP 模块需要用户小心地设定模块中的具体参数来保证 PAP 模块正常运行。本文介绍了 PAP 模块的工作模式，通过蒙特卡洛仿真考察了如何基于特定信号如何选择 PAP 模块的工作参数。同时给出了 matlab 环境下的 PAP 模块运行仿真代码，方便用户基于实际数据对模块的运行进行仿真。

目录

1	引言.....	Error! Bookmark not defined.
2	PAP模块系统.....	2
	2.1 Average Power Trigger.....	3
	2.2 High-Pass Filter Based Trigger	4
	2.3 Other Triggers.....	4
3	Average Power Trigger参数配置方法	5
4	参考文献.....	6
5	附录.....	6

图/表

Figure 1.	PAP模块位置示意图.....	2
Figure 2.	I/Q数据功率独立检测模式框图.....	3
Figure 3.	数据功率合路检测模式框图.....	3
Figure 4.	Average Power Trigger模块工作机制框图	4
Figure 5.	maNumSample参数对PAP触发概率的影响.....	5
Figure 6.	maThresh参数对PAP触发概率的影响.....	6

1 引言

AFE79xx 是一款以射频采样架构为基础的高集成度收发器，AFE79xx 具有高性能，大带宽，多通道等特点，集成了 4 个发射，4 个接收和 2 个反馈通道。每个信号通道内，都集成了 DSA 进行信号功率控制。在此基础上，也支持 AFE79xx 自身对信号功率/异常告警自动进行功率控制，如 AGC 功能和 PAP 功能。相比于在客户的 FPGA/ASIC 内实现的 PAP 方案，AFE79xx 的 PAP 功能可以支持更迅速的 PA 数据关断，支持更多的异常事件监控种类，更灵活地进行 PA 关断事件的后处理。

TI 向客户开放了很多的 PAP 模块配置参数，方便客户灵活地根据实际的应用场景操作 PAP 模块

2 PAP 模块系统

AFE79xx 的 PAP 模块包含三个部分：PAP 触发事件生成器（PAP Trigger Generator），PAP 状态机（PAP Finite State Machine, FSM），PAP 增益模块（PAP Gain Module）。它们在 AFE79xx 内部的位置如 Figure 1 所示。

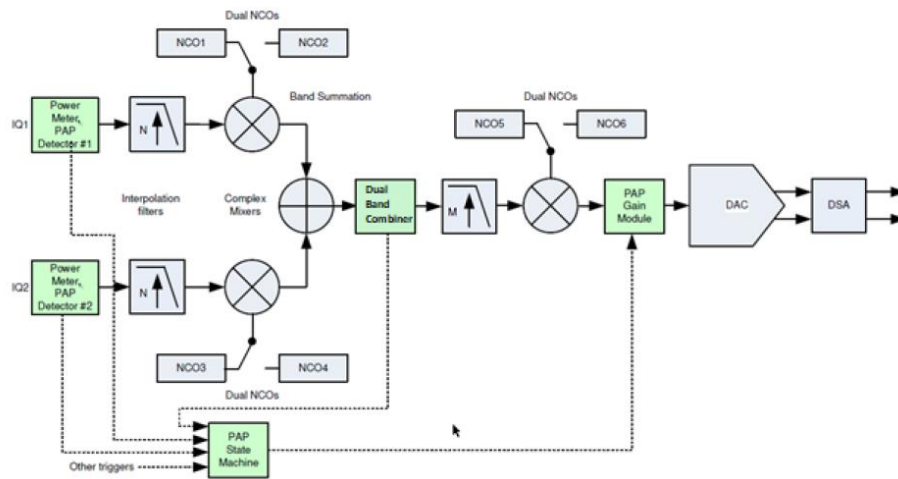


Figure 1. PAP 模块位置示意图

PAP Trigger Generator: 该模块主要用来监测 PAP 告警事件，并控制 PAP 状态机来对模块动作进行控制。对应到 Figure 1 中主要是 Power Meter PAP Detector，Dual Band Combiner 以及 Other Triggers 模块。其中，other triggers 主要包括以下几种：

1. **JESD Loss of Lock 告警触发:** 在出现 JESD 告警时，该告警项被触发。因为在出现 JESD 告警时，数据可能不正常，为防止不正常数据过大冲坏 PA，加入该告警项。同时，该告警项可以精准 mask 掉不想要监控的顶层 JESD 告警(通过 `alarms_to_pap_mask` 寄存器进行配置)。

2. PLL 告警触发：在 PLL 失锁时触发 PAP 告警。该告警在大部分配置内的作用机制是监控 PLL 状态寄存器(0x66 in PLL page)，在 0x66 寄存器值不是 0x33 时就会触发。因此只要 PLL 出现过失锁，就算当前 PLL 恢复了锁定，该 PAP 事件都会触发。另外，在 PLL 出现失锁时，PAP 模块可能工作不正常，因此推荐将顶层 PLL 告警映射到 GPIO 上，由用户的 ASIC/FPGA 进行中断监控，从而实现对 PLL 告警的 PAP 保护。
3. Signal Overflow 触发：在出现特别大的信号，超出 DAC 满量程情况时触发。
4. PAP triggers from other channels 触发：在其它通道出现了 PAP 告警时，触发当前通道的 PAP 状态机动作。

PAP Finite State Machine: 该模块接收 PAP Trigger Generator 传递过来的告警信息，并按照该模块的控制逻辑对 PAP 增益模块进行控制。

PAP Gain Module: 该模块受 PAP 状态机控制，调整链路增益，选择关断或者恢复链路增益。

PAP Finite State Machine 和 PAP Gain Module 详细介绍可以在 TI 的技术手册 SBAA417 内找到，本文下面详细介绍 PAP Trigger Generator。PAP Trigger Generator 内包含三大类触发事件：Average Power Trigger, High-Pass Filter Based Trigger 以及 Other Triggers。

2.1 Average Power Trigger

该告警是针对信号的均值功率过大的情况来对 PA 进行保护。要监测异常的功率信号则需要对信号功率进行统计。功率检测点在 Data Upper Converter (DUC)之前，直接检测信号功率。可以支持 I/Q 两路功率分开计算的模式或者合路计算模式，功率统计模块框图如 Figure 2 和 Figure 3 所示。

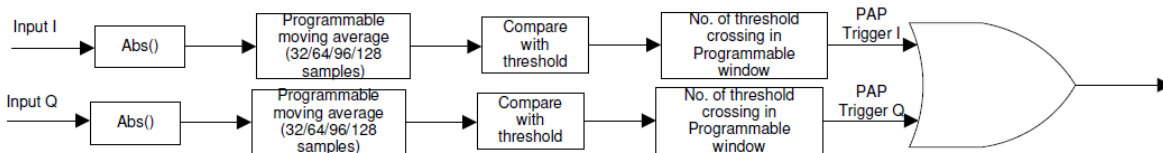


Figure 2. I/Q 数据功率独立检测模式框图

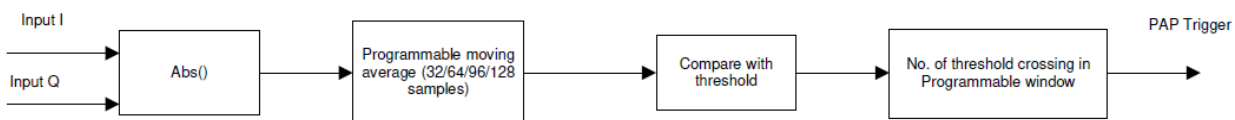


Figure 3. 数据功率合路检测模式框图

Average Power Trigger 模块的工作机制示例如 Figure 4 所示。AFE79xx 以滑窗检测模式对信号功率均值进行检测。

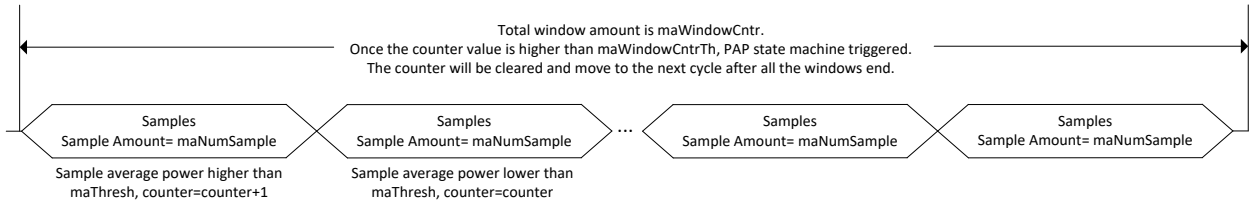


Figure 4. Average Power Trigger 模块工作机制框图

功率检测模块会计算一定个数的采样点均值功率（采样点个数可配，为 `maNumSample`），并将功率值计算结果与门限做比较（门限可配，为 `maThresh`），同时会有计数器 A 记录比较动作的次數。当功率值计算结果高于门限时，会触发记录高于门限的事件计数器 B 加 1，否则计数器 B 保持不变。在计数器 A 值不超过总窗长门限（总窗长最高计数值可配，为 `maWindowCntr`），且计数器 B 值大于窗个数触发门限（窗个数触发门限可配，为 `maWindowCntrTh`），则 PAP 触发；相反地，在计数器 A 值超过总窗长门限，且计数器 B 值没有达到窗个数触发门限，PAP 不触发，而且会清零计数器 A 和计数器 B，重新开始下一个功率统计循环。

2.2 High-Pass Filter Based Trigger

与 Average Power Trigger 的工作机制类似，但是 High-Pass Filter (HPF) Based Trigger 是针对快速变化的异常信号进行监测，快速变化的信号在频谱上表现为宽带噪声且距离主信号频率较远，因此我们加入数字 HPF 滤波器监测信号。防止有用信号误触发的同时，可以监测到异常信号。除 HPF 的部分外，具体的信号监测机制和 Average Power Trigger 类似。

2.3 Other Triggers

Other Triggers 除了针对异常信号功率对 PA 进行保护外，还会映射顶层告警来进行 PA 保护，主要包括以下几大类：

- a. JESD Loss of Lock: JESD 断链时的告警会传递进 PAP 的告警系统，为 JESD Loss of Lock 类别告警。JESD 告警类较多，有部分不想要映射到 PAP 层的告警可以通过寄存器配置不映射。
- b. PLL Alarm: 该告警由上层的 PLL 告警映射过来，PLL 失锁时会触发。由于该告警是直接传递上层的 PLL 告警，它不只针对 PLL 实时告警，也会针对 PLL 历史失锁告警进行 PAP 触发
- c. Signal Overflow: 通过 TX 链路的信号功率过大时会触发。
- d. PAP Triggers from other Channels: 在其他 TX 通道有 PAP 事件时，可以配置成触发本通道的 PAP。

3 Average Power Trigger 参数配置方法

Average Power Trigger 有较多参数开放给用户灵活配置，这些参数在配置时需要结合实际用户数据的特性来进行配置，既要保证在异常大信号的场景下 PAP 可以迅速触发保护 PA，也要保证在信号大峰均比情况下 PAP 不会由于统计点数过少导致误触发。在配置 Average Power Trigger 前可以先基于实际宽带信号进行仿真，通过仿真出来的 PAP 触发概率来考察参数设置是否会导致误触发。在这个基础上，选择一个可以在出现异常信号时快速触发的参数。

实际系统中可能包含 DPD, CFR 或者其它的基带处理过程会对标准信号进行处理，为了描述通用的仿真方法，本节在特定的应用场景下基于特定 LTE 源，结合不同的 Average Power Trigger 参数对触发概率进行了蒙特卡罗仿真，仿真中的扰动量是通过 LTE 源初始 bit 随机移位。

实际应用中 maWindowCntrTh 和 maThresh 对误触发概率影响较大，下面针对这两个变量进行仿真。仿真输入的信号源是 20M TM3.1 LTE 源，峰均比为 11.6dB，满功率回退-1dbfs。

Figure 5 是针对 maNumSample 变量考察误触发概率的仿真结果。通常用户想要保证 Average Power Trigger 在有异常信号时及时触发，因此仿真中我们将 maWindowCntrTh 设置为 1（有一个窗功率统计超出门限，PAP 就会触发），maWindowCntr 设置为 1（计数器 A 为 1 时，重新计数），将 maThresh 设置为 -1（最大化降低 maThresh 对触发概率的影响）。

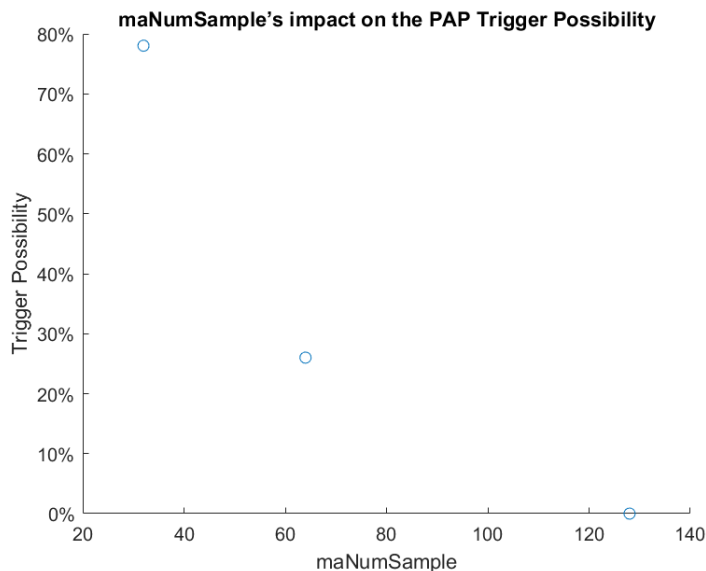


Figure 5. maNumSample 参数对 PAP 触发概率的影响

从 Figure 5 中可以看到，在 maNumSample 很小时，尽管 maThresh 被设置成较高值，也会有概率误触发 PAP。Average Power Trigger 不是完全统计较长时间内的信号均值，它只统计部分采样点的均值来决定是否触发。但是在考察实际 LTE 信号的峰均比时，如果统计均值时间较短，不同的时间段内的峰均比是会不同的，对 PAP 的均值功率预测参考意义不大。如果 maNumSample 设置的较小，均值功率统计可能不准。所以选择较大的 maNumSample 值可较好地防止误触发。

Figure 6 是针对 maThresh 变量考察误触发概率的仿真结果。此仿真中，maNumSample 设置为 128。

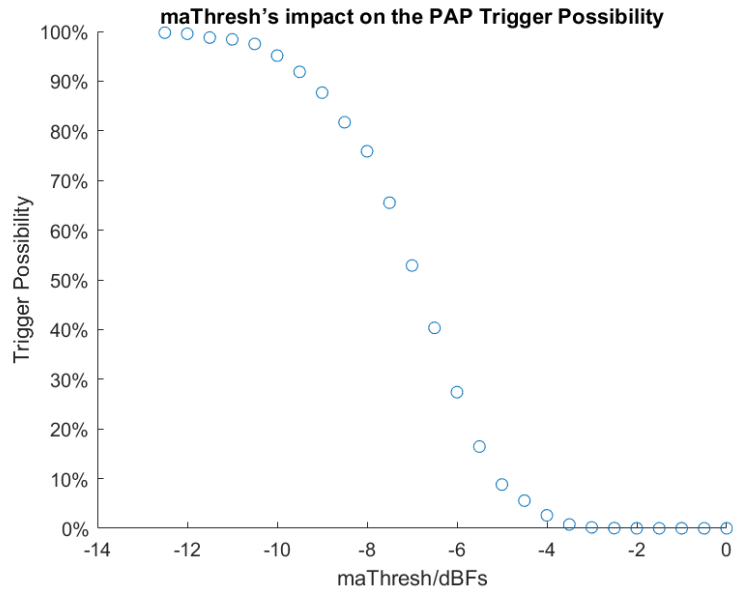


Figure 6. maThresh 参数对 PAP 触发概率的影响

从 Figure 6 中可以看到，当 maThresh 设置为-12.6dbfs 时，PAP 触发概率约为 1。该现象和上面提到的 maNumSample 对 PAP 触发概率解释类似，因为在统计点较少的时候 PAR 可能有所不同，因此在 maThresh 值距离 LTE 信号均值较近时，PAP 几乎必定会触发。只有在 maThresh 被设置为足够大时，触发概率为 0。通常情况下，用户数据的均值和异常信号的功率值有较大的差距，用户可以基于仿真结果中较好的 maThresh 和实际用户数据功率值之间选择一个 maThresh 值。

4 参考文献

1. SBAA417 – December 2019

5 附录

Matlab 仿真代码

```
clear all;
close all;
clc;

%%%%%%%%%Simu Parameters define by user%%%%%%%%%
path='C:\Users\A0235235\Desktop\output_CommSignal2.tsw';%user LTE pattern path&name
DR=491.52e6;%data rate
Mo=50;%Monte Carlo Cycles
scale=2^15;%user data normalize scale. Set it to your full scale data value
maNumSample=128;%could be 32,64,128
maThresh=-1;
maWindowCntrTh=0;
maWindowCntr=1;

%%%%%%%%%calculate related parameters%%%%%%%%%
f=load(path);
I=f(:,1)/scale;%2^15 based Normalized I data
Q=f(:,2)/scale;%2^15 based Normalized Q data
frame_len=length(I);
```

```

%%%%%%%%%Simulate PAP Progress%%%%%%%%%
PAP_counter=[];%Indicates the trigger counter in each PAP cycle
p=[];%Indicates the possibility in each PAP parameter sweep cycle
for k=1:3
    maNumSample(k)=2.^(k+4);%sweep maNumSample from 32 to 128
    %maThresh(k)=-13+k*0.5;%sweep maThresh from -8
    pap_len=maNumSample(k)*maWindowCntr;
    for m=1:Mo
        Delay_ran=randi(DR);%random LTE frame start location
        I=circshift(I,Delay_ran);
        Q=circshift(Q,Delay_ran);
        for i=1:floor(frame_len/pap_len)
            PAP_counter(m-1+i,k)=0;
            counter=0;
            for j=1:maWindowCntr
                start=(i-1)*pap_len+(j-1)*maNumSample(k)+1;
                stop=(i-1)*pap_len+j*maNumSample(k);
                RMS=10*log10(rms(complex(I(start:stop),Q(start:stop))));
                counter=counter+(RMS>=maThresh);
            end
            PAP_counter(m-1+i,k)=PAP_counter(m-1+i,k)+(counter>maWindowCntrTh);
        end
    end
    p(k)=sum(PAP_counter(:,k))/length(PAP_counter);
end

%%%%%%%%%Plots%%%%%%%%%
figure(1);
%scatter(maThresh,p);
%title('maThresh's impact on the PAP Trigger Possibility');
scatter(maNumSample,p);
title('maNumSample's impact on the PAP Trigger Possibility');
xlabel('maNumSample');
ylabel('Trigger Possibility');
set(gca,'yticklabel',{'0%','10%','20%','30%','40%','50%','60%','70%','80%','90%','100%'});

```


重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司