

GC5322 DPD 数据分析

王毅

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 系统中如何对抓取的数据进行分析，从而定位 DPD 相关问题。本文的读者应该对 GC5322 及 DPD 有基本的了解。

内容

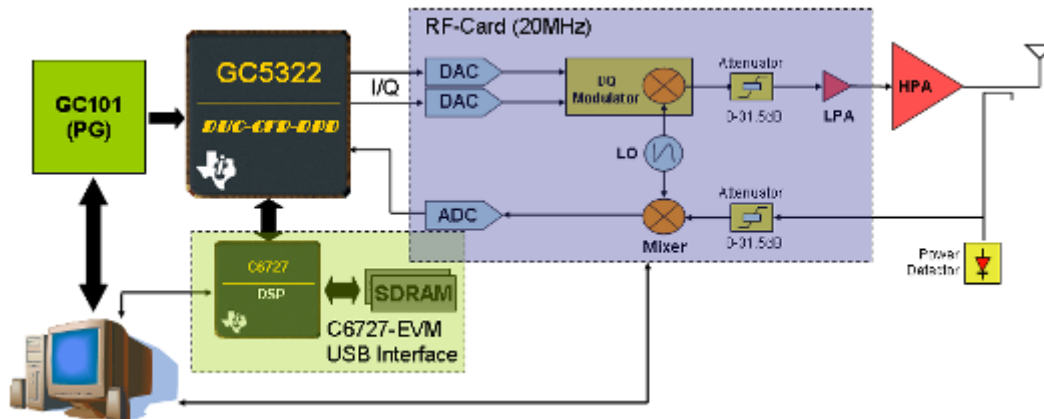
GC5322DPD 系统	2
DPD 数据 matlab 分析	2
分析总结	15
关键词	15
参考文献	15

图

Figure 1.	GC5322 系统框图	2
Figure 2.	前向频谱	3
Figure 3.	反馈频谱	4
Figure 4.	前向反馈时域信号	5
Figure 5.	前向反馈相关	6
Figure 6.	DPD 前的 AM–AM 曲线	7
Figure 7.	DPD 后的 AM–AM 曲线	8
Figure 8.	DPD 发散后的 AM–AM 曲线	9
Figure 9.	放大的 DPD 开始前的 AM–AM 曲线	10
Figure 10.	正常 PA DPD 开始前的 AM–AM 曲线	11
Figure 11.	低温记忆效应加深的 PA DPD 开始前的 AM–AM 曲线	12
Figure 12.	DPD 前的 AM–PM 曲线	13
Figure 13.	DPD 前的 AM–PM 曲线	14

1.1 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 数字上变频，CFR 削峰和 DPD 数字预失真操作，然后发送到 DAC。外部 C6727 DSP 进行 DPD 参数运算更新。DPD 在无线单元系统中处于非常核心的位置，系统的性能很大的程度上取决于 DPD 的优化。GC5322 提供了接口可以抓取前向和反馈的 I, Q 数据，下面介绍如何对数据进行分析，从而定位 DPD 系统的常见问题。

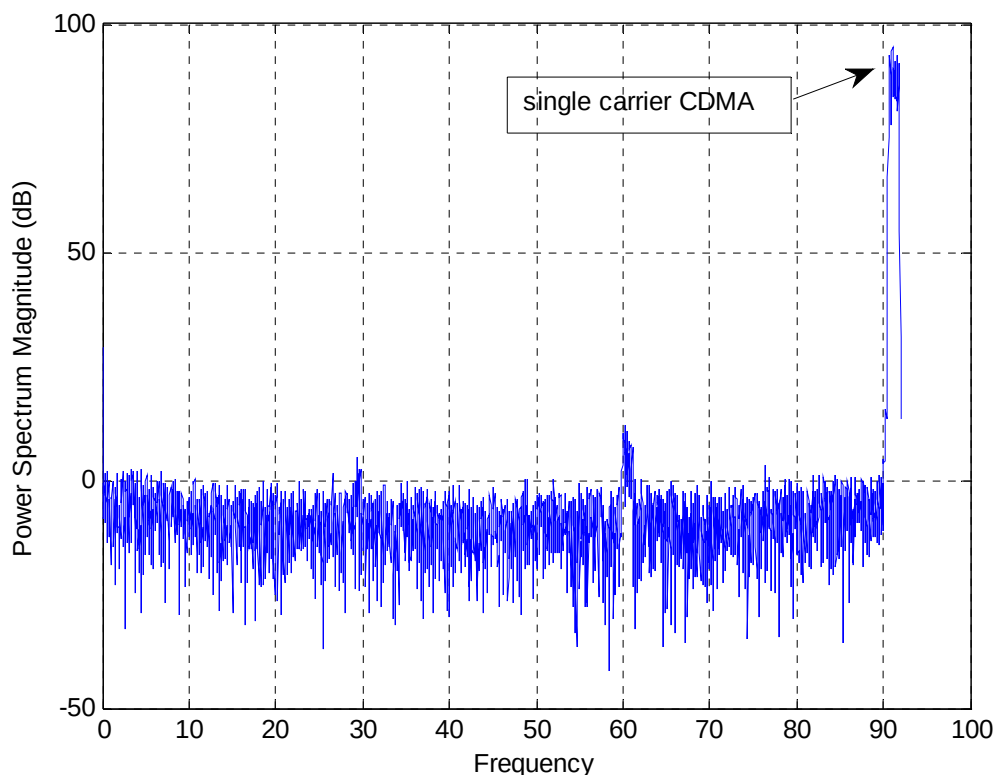
1.2 DPD数据matlab分析

下面的分析中 ‘dr’ 节点是前向，‘fb’ 节点是反馈。

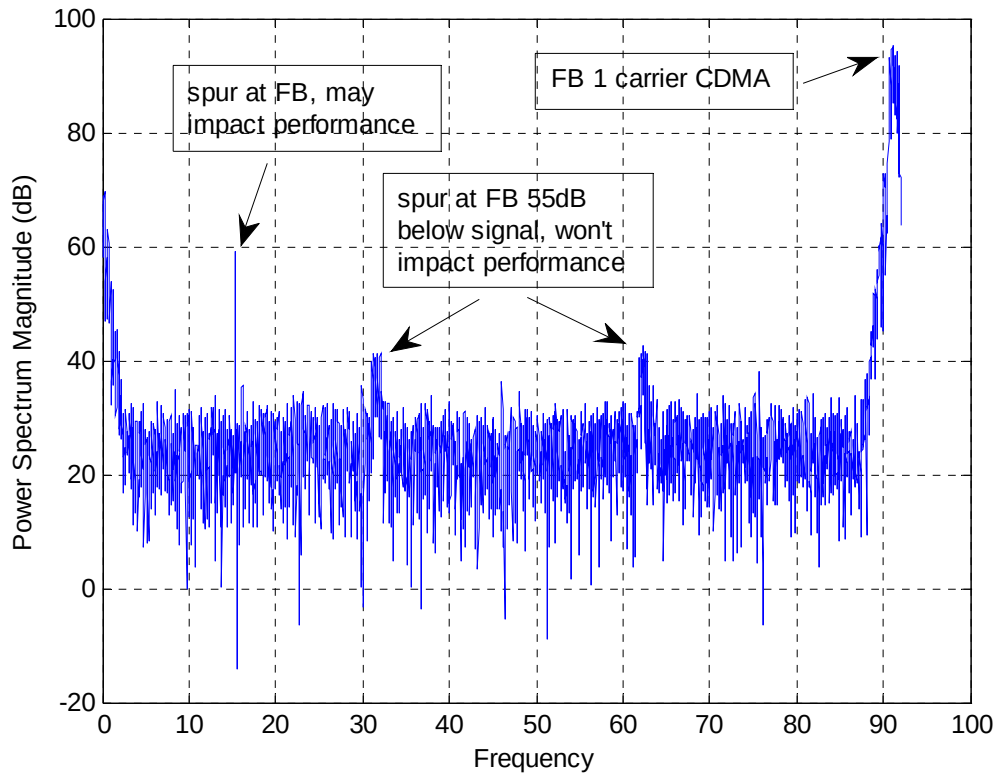
```
dri = load('cb_a_i.txt'); %前向数据I
drq = load('cb_a_q.txt'); %前向数据Q
drc = complex(dri,drq); %前向复数数据
fbi = load('cb_b_i.txt'); %反馈数据I
fbq = load('cb_b_q.txt'); %反馈数据Q
fbc = complex(fbi,fbq); %反馈复数数据
```

figure(2);psd(drc,4096,92.16) %前向频谱，92.16MSPS是DPD的运行速率

Figure 2. 前向频谱

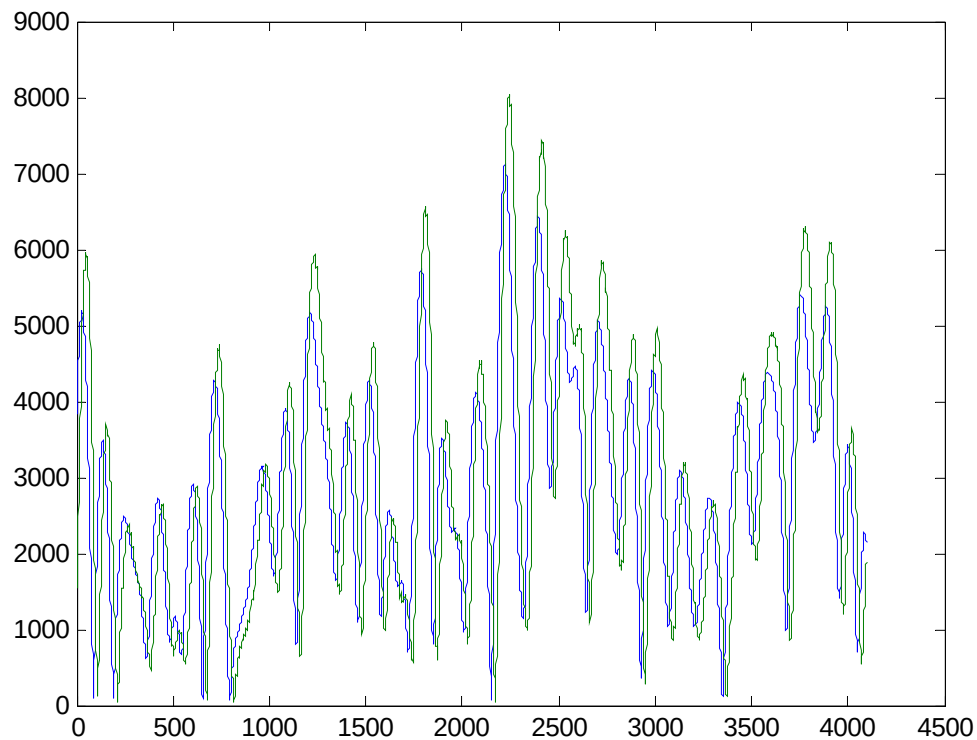


figure(3);psd(fbc,4096,92.16) %反馈频谱，可以看到反馈链路是否有大的杂散以及离信号的距离。高于信号幅度-50dB以上的杂散可能会对DPD性能影响。要从硬件上消除。

Figure 3. 反馈频谱

`figure(4);plot([abs(drc) abs(fbc)])` %前向和反馈信号的时域，下图Figure 4 为正常信号，反馈信号基本上跟随前向信号变化。同时观察信号是否有溢出，毛刺等，如果有，要在硬件上解决。

Figure 4. 前向反馈时域信号



```
fbmax=20*log10(max(abs(fbc))) %反馈信号峰值
drmax=20*log10(max(abs(drc))) %前向信号峰值
```

```
fbpwr=10*log10(mean((abs(fbc)).^2)) %反馈信号功率
drpwr=10*log10(mean((abs(drc)).^2)) %前向信号功率
errpwr=drpwr-fbpwr %前向反馈功率差值
```

```
drPAR=drmax-drpwr %前向PAR
fbPAR=fbmax-fbpwr %反馈PAR
```

观察前向反馈功率及峰均比是否正常，DPD启动前前向PAR减去反馈PAR就是PA压缩的程度。通常DPD运行在PA压缩为0.5dB~1dB情况，PA压缩太大有可能使得DPD溢出，性能急剧恶化。

```
[cc,lag]=xcorr(fbc,drc); %计算前向反馈相关
figure(5);plot(abs(cc)) %显示相关结果
[m,index]=max(abs(cc)); %找到最大相关点
```

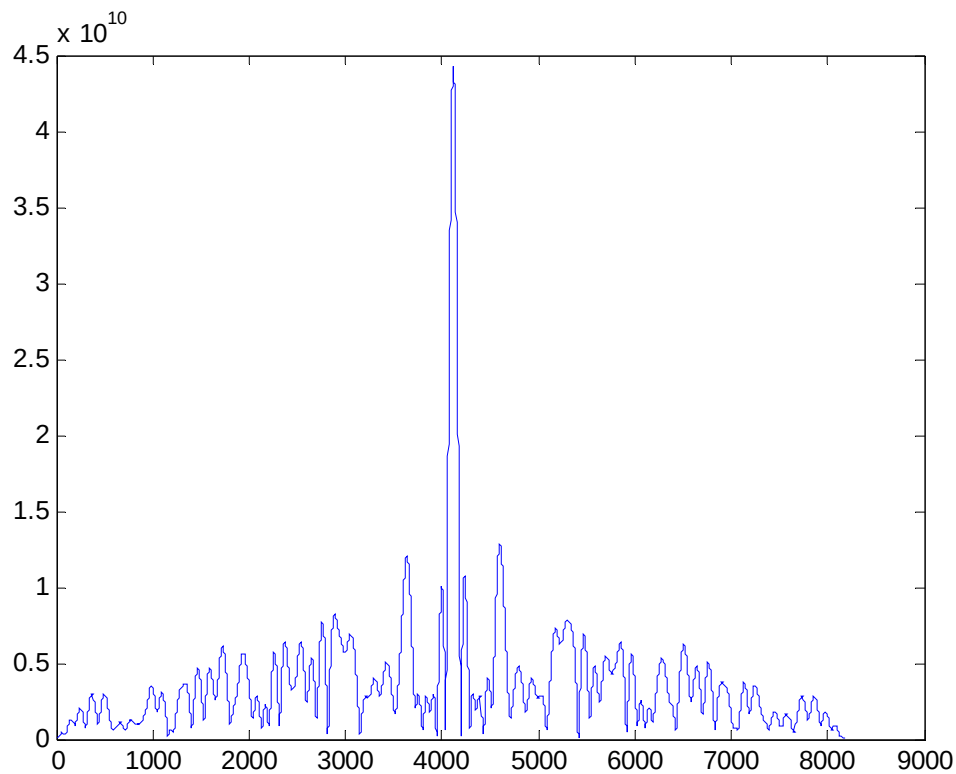
delay=index-4096 %算出延迟值

正常相关结果如下图Figure 5，应该是有且只有一个非常高的最高值。如果相关结果有很多个高度相差不多的峰值，说明前向反馈信号相关性不好。

另外，计算出的延迟值表示从GC5322前向DAC出口到反馈ADC入口的硬件延迟，比如如果是103，就是 $103/92.16=1.12\mu s$ 。(92.16MSPS是DPD的速率)，这个值应该在合理范围，通常80~180之间。

相关性不好或者延迟计算错误会导致DPD异常。导致的原因很多，比如反馈信号是错误的相邻天线完全不相关的信号；或者信号为测试用的未调制的单或多音信号。

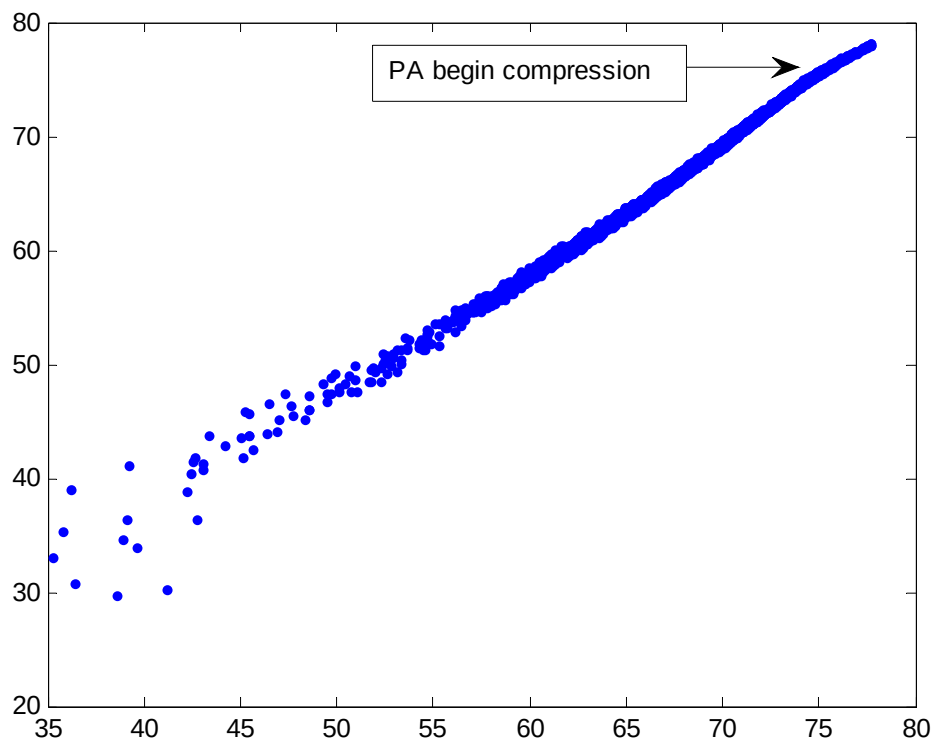
Figure 5. 前向反馈相关



```
figure(6);plot(20*log10(abs(drc(1:end-delay)))-errpwr,  
20*log10(abs(fbc(delay+1:end))), 'b.')
```

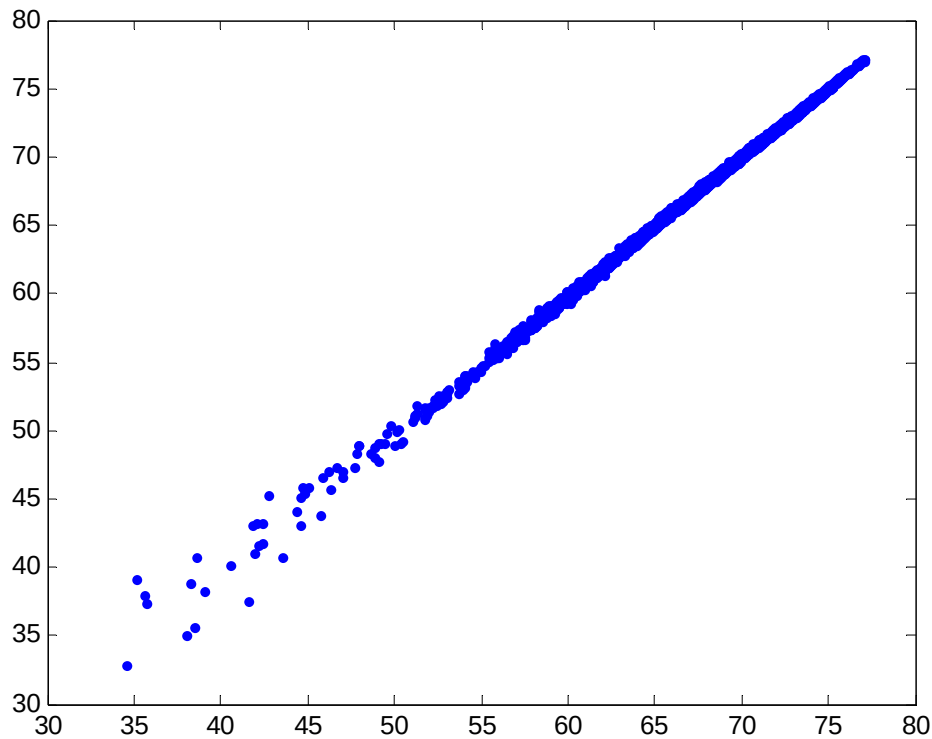
下图Figure 6 为DPD前的AM—AM曲线，在信号小的时候，基本为一直线，表示线性好，但是线比较粗，这个代表PA的记忆效应的严重程度。信号大的时候，线条斜率变小，代表非线性开始增加，PA开始压缩。

Figure 6. DPD 前的 AM—AM 曲线



下图Figure 7 为DPD后的AM—AM曲线(横坐标输入信号大小，纵坐标反馈信号大小)，经过正常DPD的纠正，PA AM—AM曲线为很窄的一根直线。PA的非线性和记忆效应得到有效改善。

Figure 7. DPD 后的 AM—AM 曲线

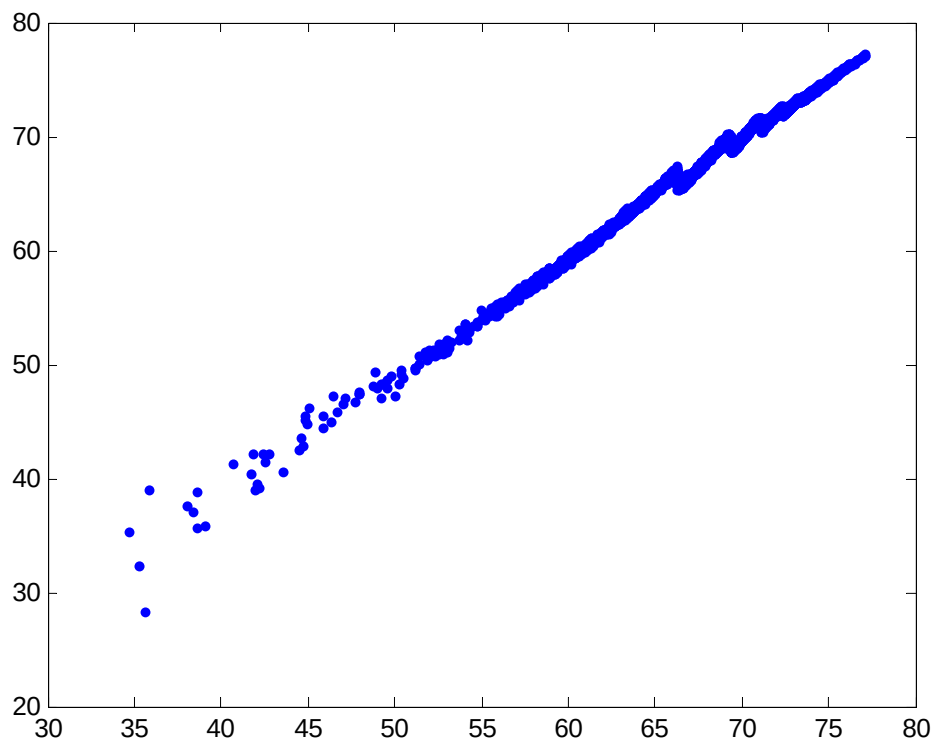


下图Figure 8,为上图例子中的DPD在低温继续跑了一阵子后,开始发散(diverge)的AM—AM曲线,可以看到PA的线性完全被破坏。检查DPD前后节点的功率可以看到下面红色部分DPD后节点峰值功率已经接近0dBFS, DPD已经溢出。

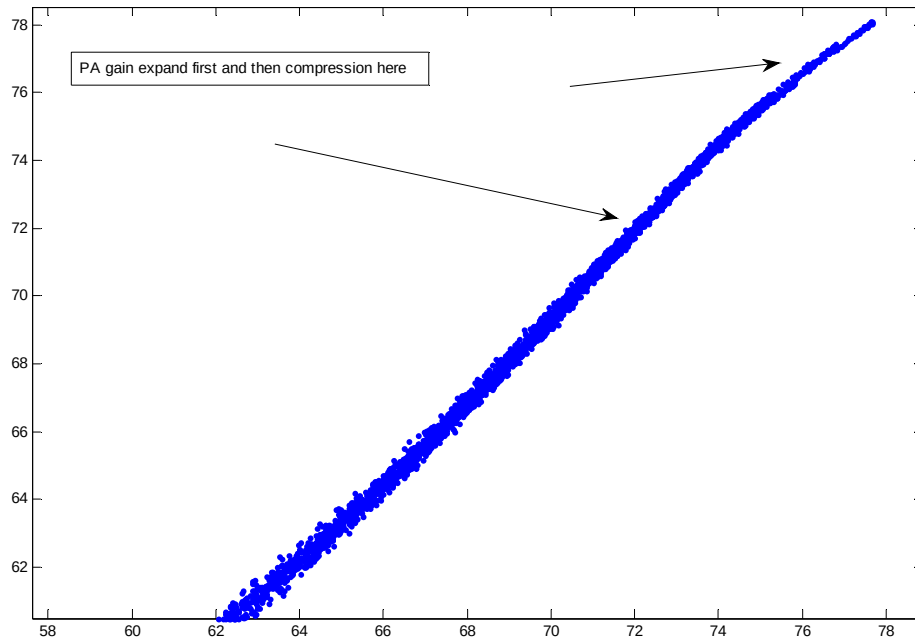
```
-> BspTestSigPwrGet(1,6,0)
Stream 0:RMS Signal Power at Node A = -12.273073, at Node B = -
11.823656
Stream 0:Peak Signal Power at Node A = -6.045659, at Node B = -
0.022346
```

DPD发散前,反馈信号没有看到明显异常,可以初步判断是DPD算法和此款PA的配合问题。

Figure 8. DPD 发散后的 AM—AM 曲线



如下图Figure 9，把DPD开始前的AM—AM曲线大信号部分放大可以发现这个曲线其实有两个拐点，在第一个拐点处，曲线斜率反而增加，在第二个拐点处曲线斜率才减小，表现为正常的PA压缩特性。这个PA是典型的Doherty类型。内部结构为一个峰值PA，一个主PA。经过研究可以得到结论，第一个拐点处的增益反增是由于在两个PA的切换点上，两个PA的增益在低温下不匹配导致的结果。解决的办法是优化调整DPD算法以适应这个情况（具体算法改善本文不涉及）。问题最终得到解决。

Figure 9. 放大的 DPD 开始前的 AM—AM 曲线

另外一个例子如下图，Figure 10 是正常的PA DPD开始前的AM—AM曲线，Figure 11是此PA在-40度低温环境下DPD开始前的AM—AM曲线，可以看到曲线明显变粗，表明PA记忆效应严重加深。造成这种问题的原因比较多，比如射频链路平坦度，PA transistor特性恶化，PA电源及周边分离器件性能恶化等待。DPD算法可以对记忆效应进行一定程度的改善，但是性能仍然会有所下降。

Figure 10. 正常 PA DPD 开始前的 AM—AM 曲线

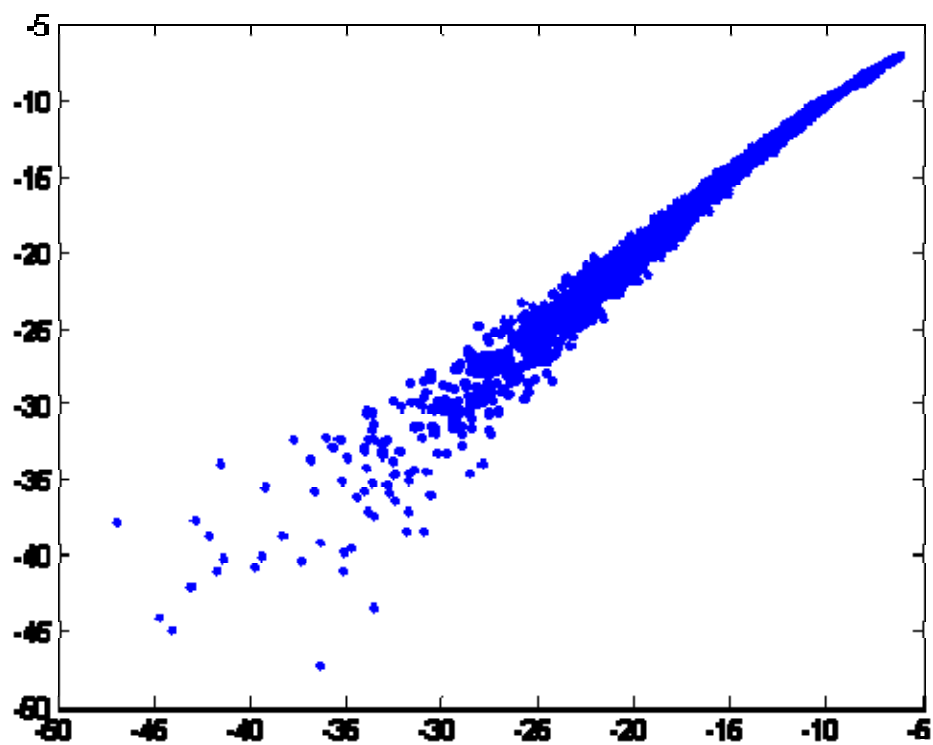
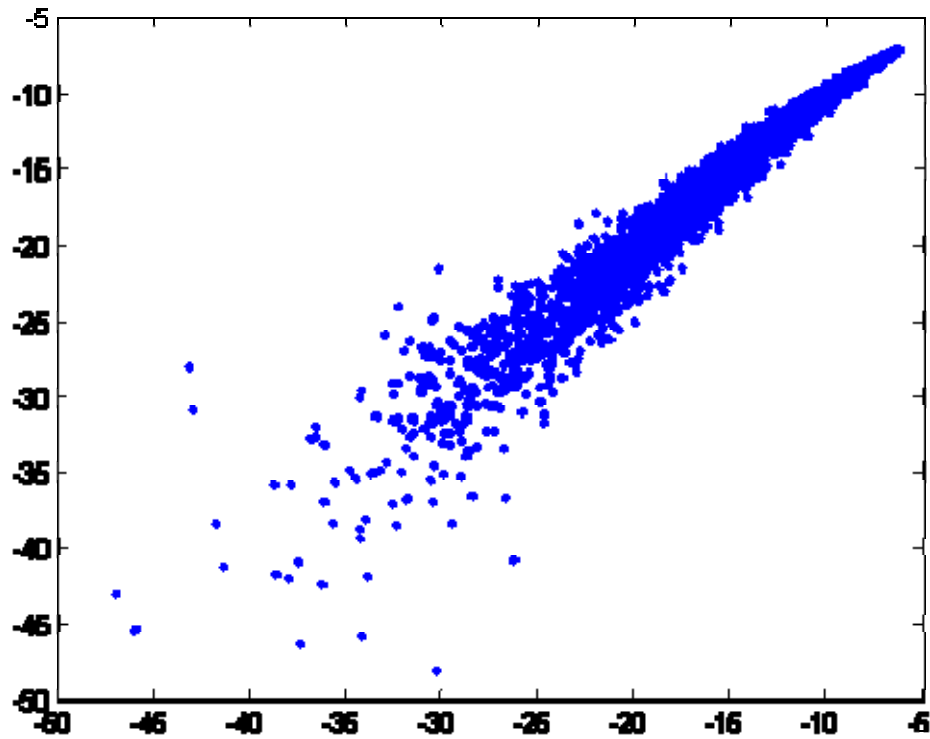


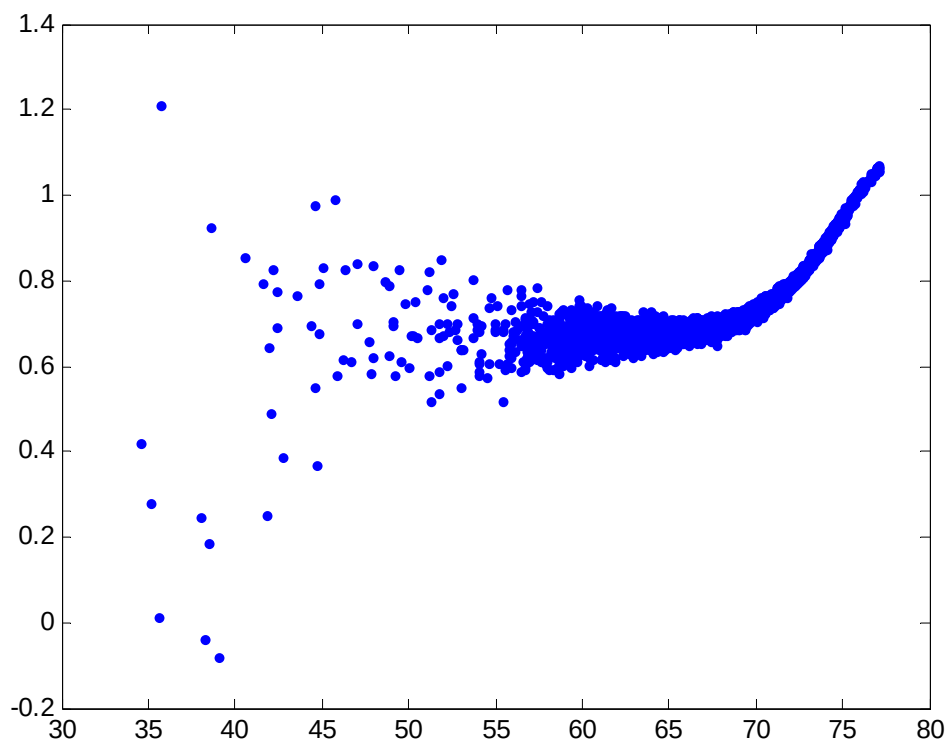
Figure 11. 低温记忆效应加深的 PA DPD 开始前的 AM—AM 曲线



下图Figure 12为DPD前的正常的AM—PM曲线(横坐标输入信号大小,纵坐标输入和反馈信号相位差),小信号的时候相位差大致恒定,信号大的时候,由于PA非线性,相位差越来越大。

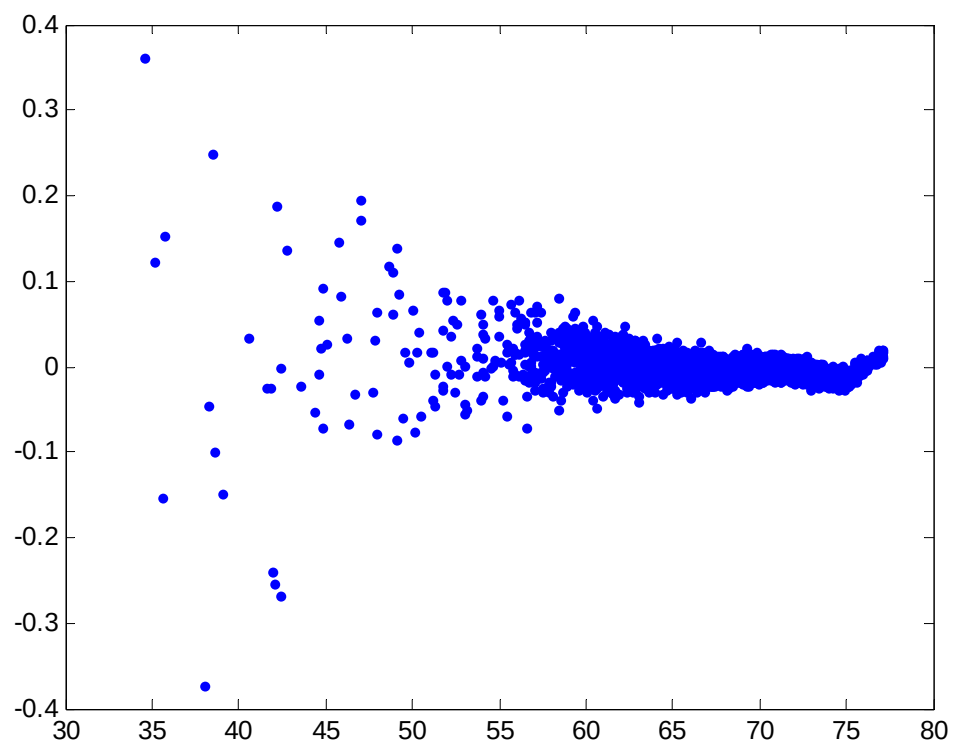
```
ang0 = angle(drc(1:end-delay)) - angle(fbc(delay+1:end));
ang1 = (ang0 > pi)*-2*pi + (ang0 < -pi)*2*pi + ang0;
figure(6);plot(20*log10(abs(drc(1:end-delay))), ang1, 'r')
```

Figure 12. DPD 前的 AM-PM 曲线



下图Figure 13为DPD后的AM-PM曲线，经过DPD的纠正，所有信号的相位差都落在0附近。此例中，DPD的相位调节正常。

Figure 13. DPD 前的 AM—PM 曲线



1.3 分析总结

DPD 是无线发射单元的核心，系统调试中的相当大部分问题都和它相关，系统的最终性能，稳定性也由它决定。本文对一些典型问题进行了初步的探讨，运用 matlab 进行数据分析，希望能对很多实际问题的解决有帮助。

1.4 关键词

DPD: digital pre-distortion

PA: Power Amplifier

DUC: Digital Up-Converter

CFR: Crest Factor Reduction

PAR: Peak Average Ratio

1.5 参考文献

- GC5322_architecture_datasheet.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 保证的范围内, 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 的产品手册或数据表, 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。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

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	应用		
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	http://www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	http://www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	http://www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	http://www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	http://www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	http://www.ti.com.cn/microcontrollers	无线通信	www.ti.com.cn/wireless
RFID 系统	http://www.ti.com.cn/rfidsys		
RF/IF 和 ZigBee® 解决方案	www.ti.com.cn/radiofre		
TI E2E 工程师社区	http://e2e.ti.com/cn/		

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 © 2011 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司