

TD-LTE 发射机系统设计分析

冷爱国

China Telecom system

摘要

随着数据业务需求的加速，4G 技术将取代 3G 成为未来几年的主流无线通信技术，而其中具有中国自主知识产权的 TD-LTE 将成为其中的重要部分，本文将介绍目前常用的发射机架构，以及对 TD-LTE 发射机的系统指标进行分析，并且结合 TI 的芯片方案，全面介绍支持 TD-LTE 的系统解决方案

术语:DPD(数字预失真)

目录

概述	2
1 TD-LTE 发射机架构概要	2
1.1 零中频发射 零中频反馈.....	2
1.2 零中频发射 实中频反馈.....	3
1.3 复中频发射 复中频反馈.....	4
2 TD-LTE 发射机指标分析	5
2.1 基站输出功率.....	5
2.2 发射机开/关功率	6
2.3 发射机信号质量.....	6
2.4 杂散辐射.....	9
3 TD-LTE 关键器件要求.....	11
3.1 DAC+调制器.....	11
总结	13
4 参考资料	13

图

图 1	2
图 2	3
图 3	4
图 4	6
图 5	7
图 6	8
图 7	10
图 8	11
图 9	12

概述

具有中国自主知识产权的TD-LTE由于其频谱利用率高(下行: 5bit/S/Hz;上行: 2.5bit/S/Hz); 高速率(下行:100Mbps; 上行:50Mbps); 低延时(100ms控制面, 10ms用户面), 以及灵活的频谱使用(可变带宽, 1.4MHz;3MHz;5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz)正越来越受到各个运营商的青睐, 到2011年2月, 由中国移动主导联合7家运营商发起成立TD-LTE全球发展倡议(GTI), 已发展至48家运营商成员, 27家厂商合作伙伴; 目前已经有38个运营商计划部署或正在进行试验。

本文将对TD-LTE的不同架构的发射机系统(包括发射和反馈)的挑战进行分析, 最终根据TD-LTE的空口指标要求进行系统指标分解, 提供了TD-LTE发射机设计的思路及依据, 同时结合TI的方案分析了发射机链路关键器件的指标要求

1. TD-LTE 发射机架构概要

为了更加深入理解基站发射机系统的系统指标, 本节将首先介绍目前在基站系统中常用的几种架构及各自的优缺点, 从而根据不同的要求选择不同的发射机架构

总的来说, 对 TD-LTE 而言, 目前最大的挑战是带宽, 中国目前有 190MHz(2500-2690)连续带宽分配给 TD-LTE, 同时还有很多多频段的要求(比如 F+A; 1880-1920MHz,2010-2015MHz)频段, 都对发射机, 尤其是反馈通道的要求非常高;严格的带外杂散要求, 尤其是 F 频段, 对发射机系统而言也是非常大的一个挑战, 另外, 高 EVM, 低噪底的需求同样对系统设计是一个挑战

1.1 零中频发射, 零中频反馈

图 1 为零中频发射及零中频反馈的架构图, 其中调制器(modulator)的输入频点为零, 解调制(demodulator)的输出频点为零, 就称为零中频发射和反馈

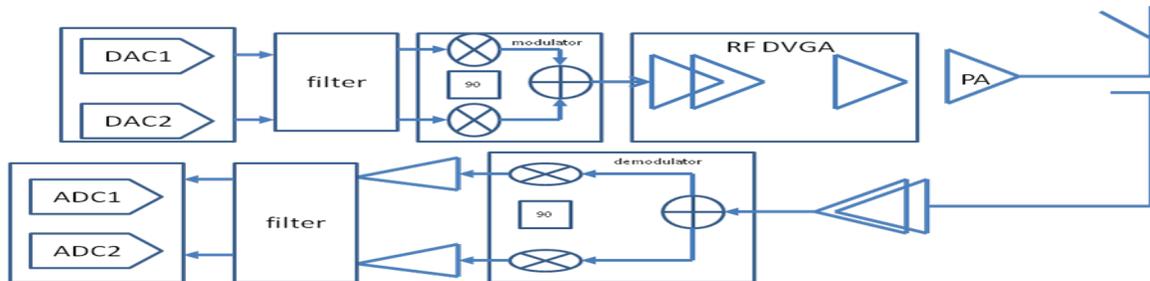


图 1 零中频发射/零中频反馈 架构图

该架构在技术上具有非常大的优势:

- 1) 发射和反馈可以采用同一个本振信号, 节约简化了系统设计和成本
- 2) 降低了 ADC 及 DAC 的采样率要求, 尤其是对于宽带的 TD-LTE 系统, 由于 ADC 有出口管制, 采用该种架构后, 相对于实中频架构, 对 ADC 的采样率要求降低了一半
- 3) 由于调制器和解调制的输入/输出频点为零, 所以系统没有和中频有关的各种杂散信号, 大大减少各种滤波器的需求

- 4) 对 ADC 和 DAC 而言，其输入/输出频点低，本身的性能也大大提高，从而有利于系统设计
- 5) 采用零中频后，可以保证 DPD 信号带内平坦度高，从而利于 DPD 的处理

目前，越来越多的基站发射机系统已经开始采用这种架构了，但是该架构同样有其弱点

- 1) 由于采用零中频架构，其本振泄露和边带信号都在信号带内，没有办法通过滤波器来对本振信号和边带进行抑制，完全靠算法来进行校准，所以对算法的要求比较高
- 2) DAC 的低次谐波(二次，三次)都会在带内，同样没有办法通过滤波器来抑制，所以需要 DAC 本身有比较好的二次及三次谐波性能，同时也需要算法对低次谐波进行校准，会导致算法复杂化
- 3) 由于发射通道和反馈通道都是采用零中频架构，在做本振泄露和边带抑制时，需要区分发射通道的和反馈通道的本振泄露信号，所以在反馈通道中需要增加移相器来区别发射和反馈信号的本振泄露信号

考虑到目前的算法还不能非常好的校准本振泄露，边带信号，各种低次谐波信号，对 MC-GSM 系统，目前还没有采用该种架构

1.2 零中频发射，实中频反馈

和图 1 的架构不同，当反馈通道采用混频器替代解调器后，就叫实中频反馈

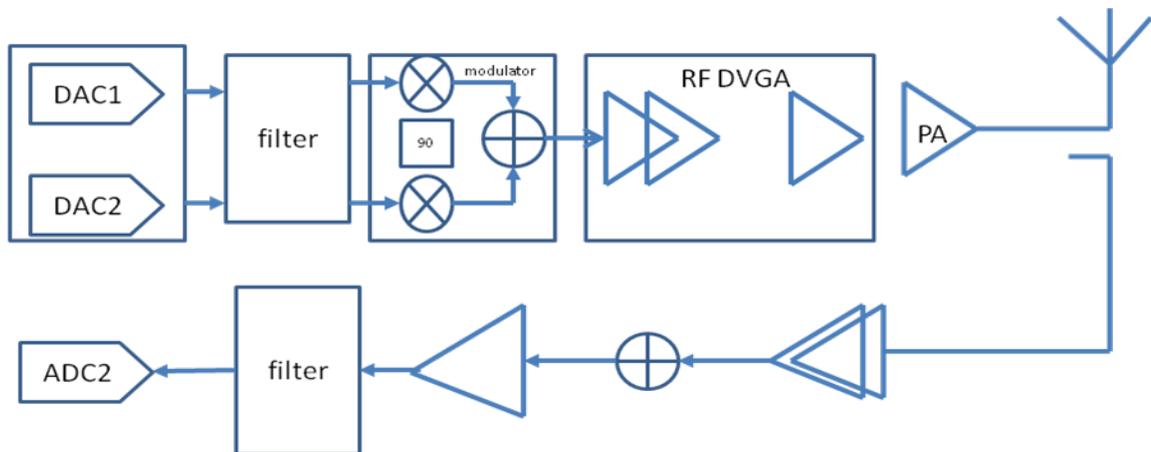


图 2 零中频发射，实中频反馈

该方案是目前最通用的架构，相较架构一，最大的区别就是在反馈通道，所以其最大的优点

- 1) 由于只是发射通道采用零中频，系统的本振泄露和边带校准相对算法比较容易
- 2) 对反馈通道而言，由于采用数字高中频的方式，其本振泄露和镜像信号都可以通过简单的滤波器滤除，无需做任何校准
- 3) 由于采用实中频方案，只需要一路反馈 ADC

- 4) 降低了 DAC 的采样率，简化了 DAC 和调制器间抗混叠滤波器设计(只需要采用低通滤波器)

该架构的缺点在于

- 1) 对反馈通道的 ADC 采样率要求非常高，尤其是对 TD-LTE 190MHz 带宽需求
- 2) 反馈通道的滤波器会引入 DPD 信号不平坦性问题
- 3) 需要两个本振信号

目前大多数的基站都采用这种架构

1.3 复中频发射，复中频反馈

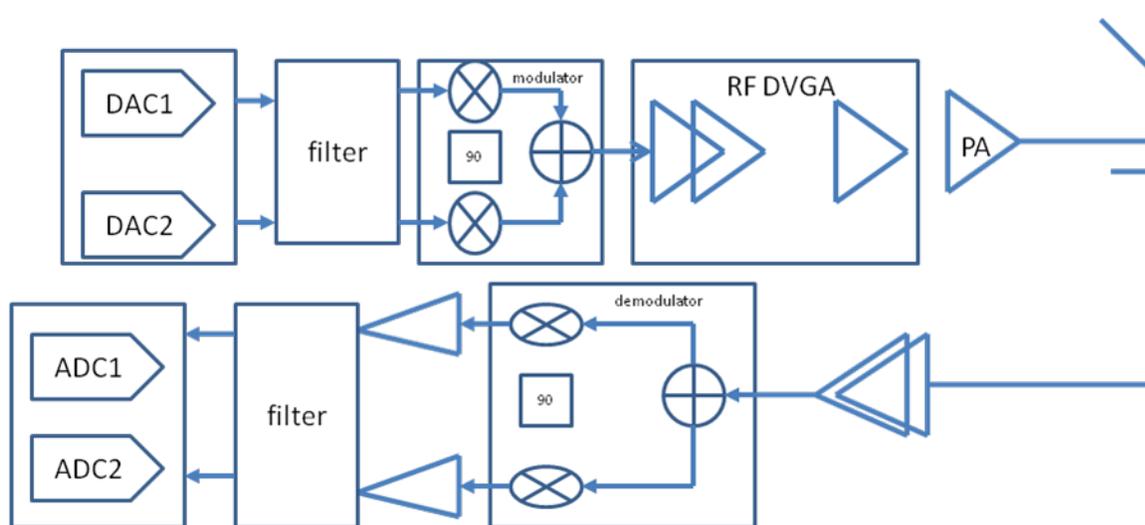


图 3 复中频发射，复中频反馈

相较图 1 的方案，区别是 DAC 的输出信号为高中频信号，ADC 的输入信号为高中频信号，其优点如下：

- 1) 发射和反馈可以采用同一个本振信号，简化节约了系统设计和成本
- 2) 本振泄露和边带抑制可以通过滤波器来抑制，对算法要求大大降低
- 3) 低次谐波信号在带外，可以通过滤波器来进行抑制，降低了对算法的要求
- 4) 由于采用复中频架构，反馈通道的 ADC 的采样率要求降低一半，尤其对宽带 TD-LTE 系统尤为重要

其缺点：

- 1) 由于 DAC 和 ADC 的信号都是高频信号，对其性能影响比较大
- 2) 解调器的线性指标会下降

3) 发射和反馈通道的平坦度性能会比较差，对 DPD 的性能会有比较大的影响

由于不需要做直流及边带校准，而且可以比较容易支持宽带信号，在 TD-LTE 上有比较大的潜力

2. TD-LTE 发射机指标分析

本节将介绍 TD-LTE 的空口指标要求以及对应的系统指标分配,根据 3GPP TS 36.104 要求, TD-LTE 的发射空口指标要求包括: 基站输出功率, 基站输出功率动态范围; 发射机开/关功率; 发射机信号质量; unwanted emission;发射互调及其他, 下面将针对重要的指标进行分析, 分解

2.1 基站输出功率

基站输出功率是指的天线口的每载波的均值功率, 这个指标要求通常是由运营商提出来的, 目前

TD-LTE 通常要求支持 8 天线 20W (43dBm) 的最大功率输出, 3GPP 要求其精度为 ± 2 dB, 极端条件下保证精度为 ± 2.5 dB, 但是为了简化功放设计, 以及良好的热设计, 通常要求链路保证的功率波动为 ± 1 dB, 在宽带信号, 尤其是中国的 TD-LTE 190MHz 带宽, 怎样保证链路的功率波动在 ± 1 dB 以内呢

在选择链路器件时, 需要保证在 190MHz 带内的功率波动尽量小, 通常分配给 DAC 和调制的功率波动在 ± 0.5 dB 以内, 目前 TI 的 DAC34H8X+TRF3705 能够保证 ± 0.5 dB 的带内波动要求

除了链路器件的选择要保证比较好波动外, 闭环功率校准也是必须的, 下表是对闭环校准的要求样例

Output power accuracy in top10dB range [33dBm, 43dBm] in normal condition	± 0.2 dB
Output power accuracy in top10dB range [33dBm, 43dBm] in all condition	$-0.35/-0.75$ dB
DPD feedback chain calibration accuracy in normal temperature[0, 40°C]	± 0.1 dB
DPD feedback chain calibration accuracy in all condition	± 0.15 dB
CLGC algorithm accuracy in top 10dB range [33dBm, 43dBm]	± 0.1 dB
Output power accuracy in [23dBm, 33dBm]	$+1.5/-1.5$ dB
CLGC algorithm accuracy in [23dBm, 33dBm]	± 0.85 dB

2.2 发射机开/关功率

发射机关是专门针对 TD-LTE 的一个指标要求, 由于 TD-LTE 采用同频接收/发射, 在发射机关断后要求其噪底对接收机的影响有控制在一定范围之内, 3GPP 要求其在关断后功率低于 -85 dBm/MHz, 归一化后: -85 dBm/MHz= $-(85+10*\lg 10^6)$ = -145 dBm/Hz, 考虑到增益, 分配到 DAC 调制器的噪底要保证 -155 dBm/Hz 左右

2.3 发射机信号质量

发射机的信号质量包括：频率误差；EVM(矢量幅度误差);多天线之间的时延同步

2.3.1 频率误差

3GPP 要求, 调制载波频率在一个子帧周期 (1ms) 内观察到的频率偏差不得超过 $\pm 0.05\text{ppm}$

在 TD-LTE 发射机系统中, 由于基带系统是完全同步的, 没有长期频率误差, 所以其频率误差主要来自之于时钟和频综的贡献

2.3.2 EVM(矢量幅度误差)

3GPP 要求对各种调制信号的要求如下表, 通常对设计者而言, 需要保留 2-3%的余量

Modulation scheme for PDSCH	Required EVM [%]
QPSK	17.5 %
16QAM	12.5 %
64QAM	8 %

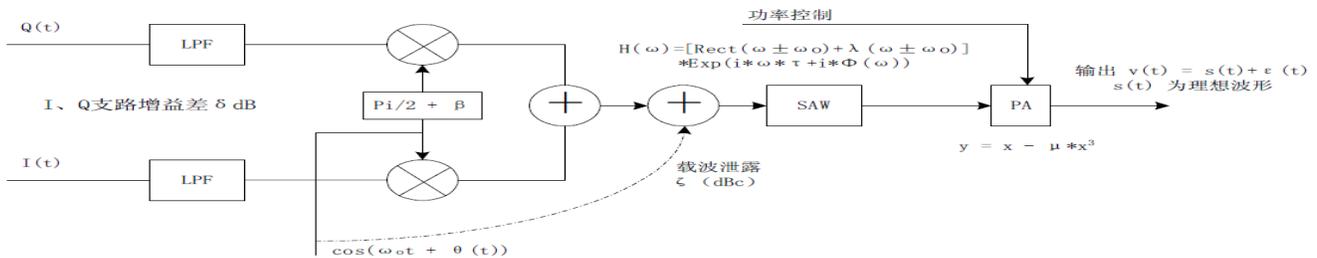
图四 EVM requirement

EVM 的贡献对整个发射两路而言, 主要来自于几部分: 数字处理和链路部分

1: CFR (削峰处理), 为了提高 PA 的效率, 削峰是目前结合 DPD 最重要的技术, 它对系统的 EVM 有着非常重要的影响, 不同的削峰技术性能不同, 通常的硬削峰会比较简单, 但是对系统的影响, 尤其是对 EVM 的影响会比较大, 目前常用的方法峰值对消法, 虽然要求的资源比较多, 但是对整个系统性能是最优的, 此处不详细述具体的 CFR 对 EVM 的影响, 但是需要清楚 CFR 对 EVM 有非常重要的影响

2: 链路部分

如下式发射链路的通用示意图, 我们可以列出 7 个影响 EVM 的因素, 本文不做详细推导, 直接应用结论(2)



图五 发射链路示意图

A: I/Q 之路不平衡, 设增益差为 δ dB

如果

$$x = \frac{10^{\frac{\delta}{20}} - 1}{10^{\frac{\delta}{20}} + 1}$$

则可以得到如下 EVM 和增益误差的关系

$$EVM1^2 = \frac{\int_0^T \left(x \cdot I(t) \cdot \cos(\omega_o \cdot t) - x \cdot Q(t) \cdot \sin(\omega_o \cdot t) \right)^2 dt}{\int_0^T \left(I(t) \cdot \cos(\omega_o \cdot t) + Q(t) \cdot \sin(\omega_o \cdot t) \right)^2 dt} = x^2$$

式 (1)

B: 正交调制器本振移相误差对 β 对 EVM 的影响

$$EVM2 = \beta/2$$

式 (2)

C: 本振泄露 ε 对 EVM 的影响

$$EVM3 = 10^{(\epsilon/20)}$$

式 (3)

D: 本振相位噪声 Θ 对 EVM 的影响

设 G_θ 为相位噪声的功率谱密度, 则

$$EVM4 < \sqrt{\int_0^{\infty} 2 \cdot G_{\theta}(f) df - \left| \int_0^{\infty} 2 \cdot G_{\theta}(f) \cdot \cos(\pi \cdot f \cdot T) df \right|}$$

式(4)

除以上主要影响, 通道滤波器的幅频特性失真, 通道滤波器的非线性相位失真, 链路的非线性失真都会影响发射机的 EVM, 式(5)给出了链路总 EVM 的计算式

$$EVM_{total} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 (EVM_i)^2}$$

式(5)

2.3.3 多天线同步时延误差

TD-LTE 除了智能天线要求的多天线之间的相位要求之外，3GPP 对多天线之间的相位误差也要求不得大于 65ns，通常分配到发射机信号链路的延迟不得大于 30ns，所以对发射链路通常要求调制器共本振，

DAC 共时钟，而且由于 DAC 里面集成了 FIFO，通常还要求 DAC 能够同步，同时如果多天线之间的相位延迟是固定的，通常需要进行补偿，如果多天线之间的相位延迟存在不确定性，需要保证不确定性尽量小

2.4 Un-wanted emissions(杂散辐射要求)

Un-wanted emissions 包括带外辐射和杂散辐射两部分，带外辐射是指发射机工作带宽的下限频点到 10MHz 距离以内的范围内的辐射要求，以及上限频率以上 10MHz 以内范围的辐射要求，以 UMTS 为例，发射机工作带宽为 2110-2170MHz 在，所以带外杂散就是指 2100-2110MHz 以及 2170-2180MHz 范围内的杂散要求；除去带外辐射要求的频率范围内的信号，其他区域的杂散都归于杂散辐射指标的要求

2.4.1 Operating band unwanted emissions

Operating band unwanted emissions 是 Un-wanted emission 中的一种，其近端的贡献主要来自于 DPD 后功放的残余非线性产物以及本振信号的相位噪声，而远端的贡献主要来自于发射链路的噪声底，以及 DPD 后功放的残余非线性产物，发射链路落在带内的杂散对远端辐射也有比较大的影响

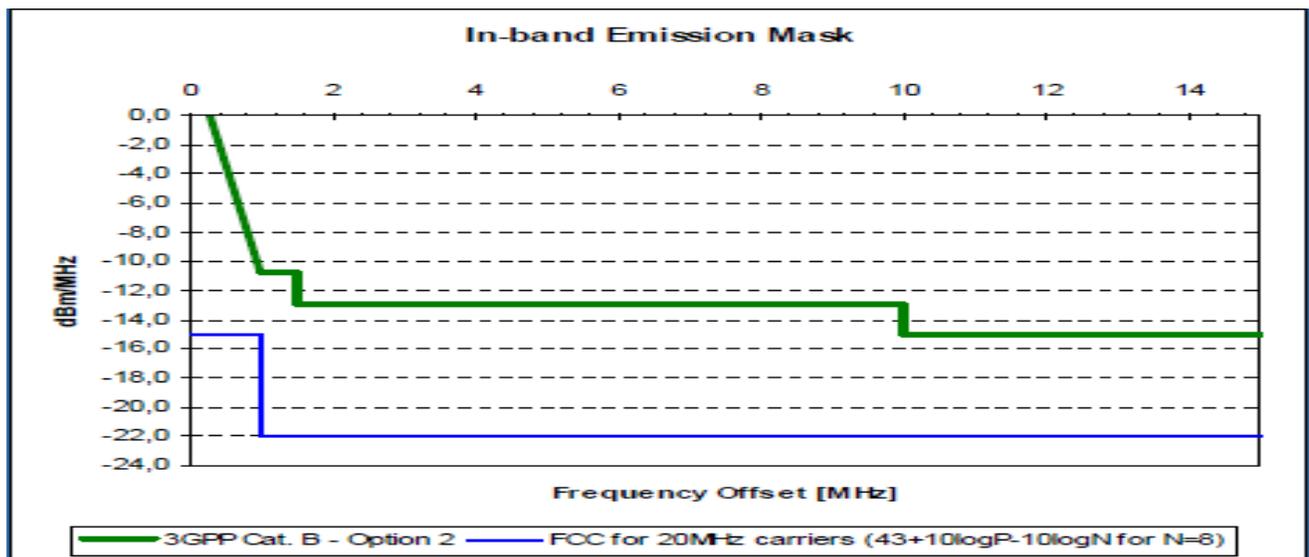


图 6 带内杂散辐射模板

如上所示为带内杂散模板，其中蓝色是 FCC 的要求，在偏移 1MHz 时，需要满足 22dBm/MHz，而中国移动只需要满足 3GPP cat A 的需求，在偏移 1MHz 时，需要满足-11dBm/MHz 的要求，但是为了支持 beam forming,需要增加 9dB 的要求，即在偏移 1MHz 时，需要满足-20dBm/MHz 要求，设功放输出功率为 20W (43dBm)，对 20MHz 的 TD-LTE 信号而言，为了满足 3GPP 要求

$$0-1\text{MHz}: 43\text{dBm}-10*\log(18\text{MHz})-(-11\text{dBm}/\text{MHz}) =40.5\text{dBc}$$

$$1\text{MHz}-10\text{MHz}: 43\text{dBm}-10*\log(18\text{MHz})-(-13\text{dBm}/\text{MHz}) =42.5\text{dBc}$$

$$10\text{MHz}: 43\text{dBm}-10*\log(18\text{MHz})-(-15\text{dBm}/\text{MHz}) =44.5\text{dBc}$$

根据如上的结果，可以分配到 DUC, CFR,调制器，功放等每一级，保证级联结果不得低于如上的值

2.4.2 ACLR(邻道泄露功率抑制比)

ACLR 是指主信号的均值功率和邻道信号功率的比值，通常 3GPP cat A 要求其可以取满足于-45dB 的相对比值，或者取-13dBm/MHz 作为绝对值的邻道功率，可以两者取其轻；cat B 是可以在相对 45dB 或者绝对-15dBm/MHz 中取其轻，相对带内杂散要求来说，ACPR 要求更低，通常是用来评估发射机系统的非线性指标的，在系统中，PA driver, 调制的非线性，本振信号的相位噪声，以及 DAC 的非线性指标都会影响系统的 ACLR.

ACLR 是一个系统指标，对应的 PA driver, 调制器的非线性指标为 OIP3, 粗略的转化可以表示为:

$$1 \text{ 载波 } ACPR=IIM3I-3\text{dB}$$

$$2 \text{ 载波 } ACPR=IIM3I-9\text{dB}$$

$$4 \text{ 载波 } ACPR=IIM3I-12\text{dB}$$

所以可以根据 IM3 算出 OIP3, 从而根据 OIP3 的级联公式可以算出对每一级器件的 OIP3 要求

2.4.3 Transmitter spurious emissions(发射杂散)

发射杂散是指 9KHz 到 12.5GHz 频段，除去带内杂散以外的所有频率范围内的杂散要求，这是一个强制性的要求，如下总结了通用的杂散指标，发射通道对接收通道的杂散要求，共存杂散指标，共站址等杂散指标要求，对共存，共站址没有列出所有的频率范围，仅仅列出了一些代表部分，具体的设计需要对照 3GPP 里面列出的所有频率范围的杂散指标要求

band	maximum level	measurement BW
9KHz-150KHz	-36dBm	1KHz
150KHz-30MHz	-36dBm	10KHz
30MHz-1GHz	-36dBm	100KHz
1GHz-12.75GHz	-30dBm	1MHz
Protection for own receiver or different BS	-96dBm	100KHz
Co-location with other base stations	-98dBm	100KHz

Co-existence with other systems in the same geographical area	-61dBm	100KHz
---	--------	--------

表一

尤其是对接收机的信号干扰，需要保证 $-96\text{dBm}-10*\log(100\text{KHz}/\text{Hz})=-146\text{dBm}/\text{Hz}$ ，这是没有滤波器抑制的，需要保证在发射机关断后，其输出的功率极低；对于共站址的 -98dBm 杂散要求，需要在设计双工器的时候针对对应的共站址频率进行相应的抑制，

同时要考虑各种可能的交调产物落在对应的频率范围内(有很多计算交调的工具)，需要考虑到各种可能的信号，如时钟频率及谐波，PLL 频率及谐波，以及其相互之间的交调产物

2.4.4 发射互调

发射互调要求是用来测试发射机抑制自身非线性的能力，测试的干扰信号为 5MHz E-UTRA，均值功率为 $43\text{dBm}-30\text{dB}=13\text{dBm}$ 的信号，其位置分别位于离主信号 $\pm 12.5\text{MHz}$, $\pm 7.5\text{MHz}$ 在, $\pm 2.5\text{MHz}$ 处，其交调产物要满足图 6 所以的杂散辐射模板

Parameter	Value
Wanted signal	E-UTRA signal of maximum channel bandwidth BW_{Channel}
Interfering signal type	E-UTRA signal of channel bandwidth 5 MHz
Interfering signal level	Mean power level 30 dB below the mean power of the wanted signal
Interfering signal centre frequency offset from wanted signal carrier centre frequency	$-BW_{\text{Channel}}/2 - 12.5\text{ MHz}$ $-BW_{\text{Channel}}/2 - 7.5\text{ MHz}$ $-BW_{\text{Channel}}/2 - 2.5\text{ MHz}$ $BW_{\text{Channel}}/2 + 2.5\text{ MHz}$ $BW_{\text{Channel}}/2 + 7.5\text{ MHz}$ $BW_{\text{Channel}}/2 + 12.5\text{ MHz}$
NOTE:	Interfering signal positions that are partially or completely outside of the operating frequency band of the base station are excluded from the requirement.

图 7 发射机交调产物机有用信号的要求

3. TI TD-LTE 发射关键器件要求

第二节详细解析了发射机的指标要求，本节将依据其指标要求，结合 TI 的方案介绍重点器件的需求 (DAC+调制器,时钟, 频综)

3.1 DAC+调制器

高带宽: 支持 190MHz BW, 需要的 DPD 带宽至少 600MHz, DAC 数据速率 750MHz

(750*0.8=600MHz) DAC 采样率 750*2=1.5Gpbs, DAC34SH84 采样率 1.5GHz, 支持最大 600MHz 信号带宽

低噪声:考虑远端噪声模板要求, 保留 13dB 余量, DAC+调制的噪声要求应该低于:-22dBm/MHz-13dB(-43dBm-(-14dBm))-10lg1MHz=-152dBm/Hz, DAC34SH84 噪底为-156dBm/Hz, TRF3705 噪底 -157dBm/Hz,所以总噪声为大概为-153dBm/Hz

平坦度:图 8 为 DAC34SH84+TRF3705 的平坦图,结合频率校准, 能够满足平坦度要求

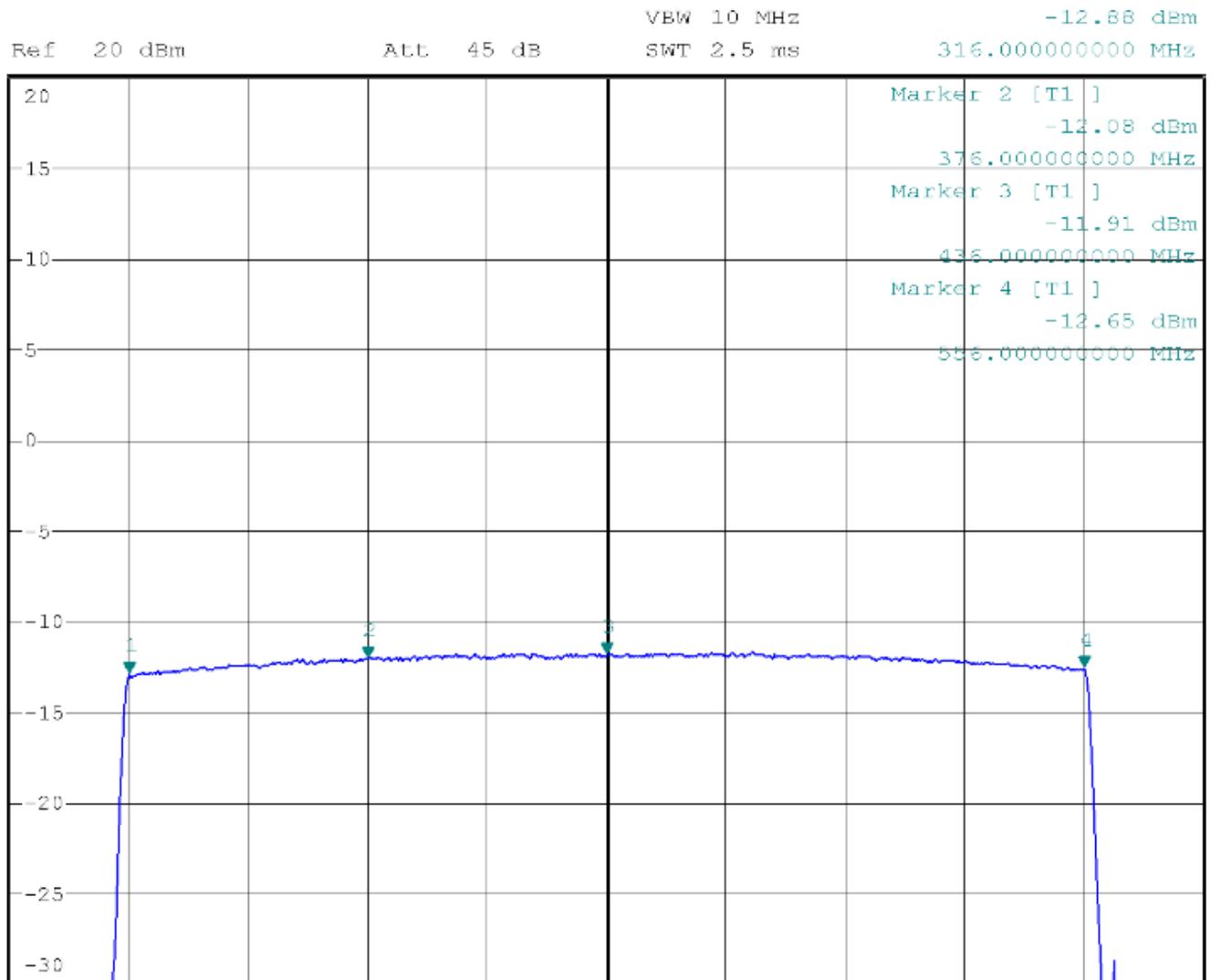


图 8 DAC34SH84+TRF3705 平坦度

SFDR: 考虑单载波信号, 带宽 20MHz, 对带内杂散指标要求, 假设 10%贡献来自于 DAC34SH84+TRF3705, SFDR 需要好于: $[43\text{dBm}-10\lg(18\text{MHz})]-[(-22\text{dBm})-(10\lg1\text{MHz})]-10\lg0.1=63\text{dB}$

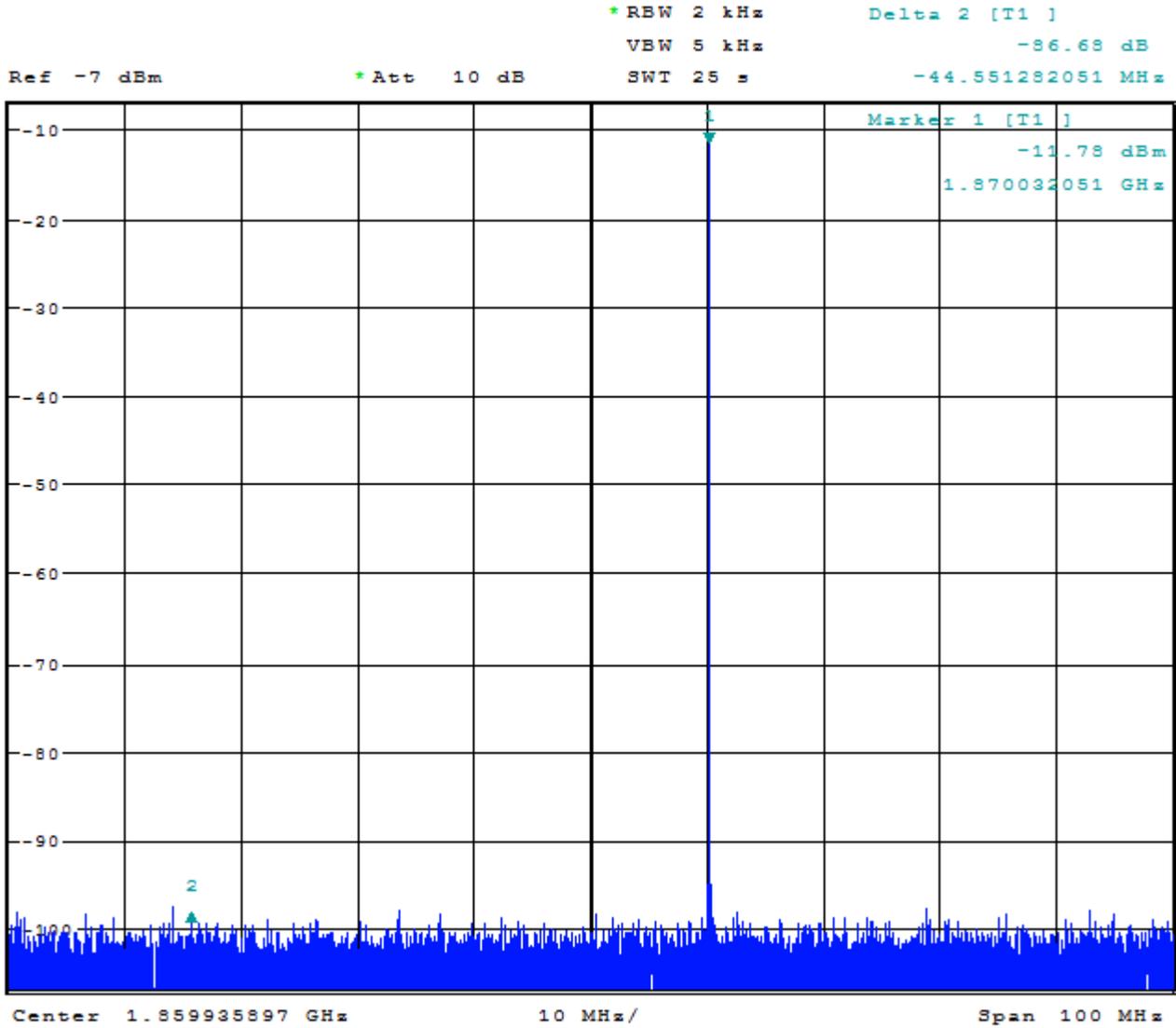


图 9 DAC34SH84+TRF3705 SFDR

总结

本文详细介绍了发射机的系统指标要求及分解，各种指标对系统的要求，以及关键器件的选择，结合 TI 的方案 DAC34SH84+TRF3705，为 TD-LTE 提供了一套发射机系统方案分析的思路及器件选择的依据

4. 参考资料

- 1: 3GPP TS 36.104 V82.0 (2008-05)
- 2: WCDMA 终端 EVM 指标分析——王险峰

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 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, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。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。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件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 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权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中 TI 信息的重要部分, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 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与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

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	www.ti.com.cn/amplifiers 计算机及周边 www.ti.com.cn/computer
数据转换器	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	www.ti.com.cn/dsp 工业应用 www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers 医疗电子 www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface 安防应用 www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic 汽车电子 www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power 视频和影像 www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity 德州仪器在线技术支持社区 www.deyisupport.com

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 © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司