

Harry Ma

问题描述

在无线收发机中，杂散信号及其与其它干扰信号相混频后的信号，如果落入工作信号频段，会降低接收机的灵敏度。如下所示是数字对讲机系统的超外差射频收发机系统框图，PLL 作为核心器件，它提供了对收发信号进行变频操作所必需的本振信号，其性能对整个系统的性能至关重要。

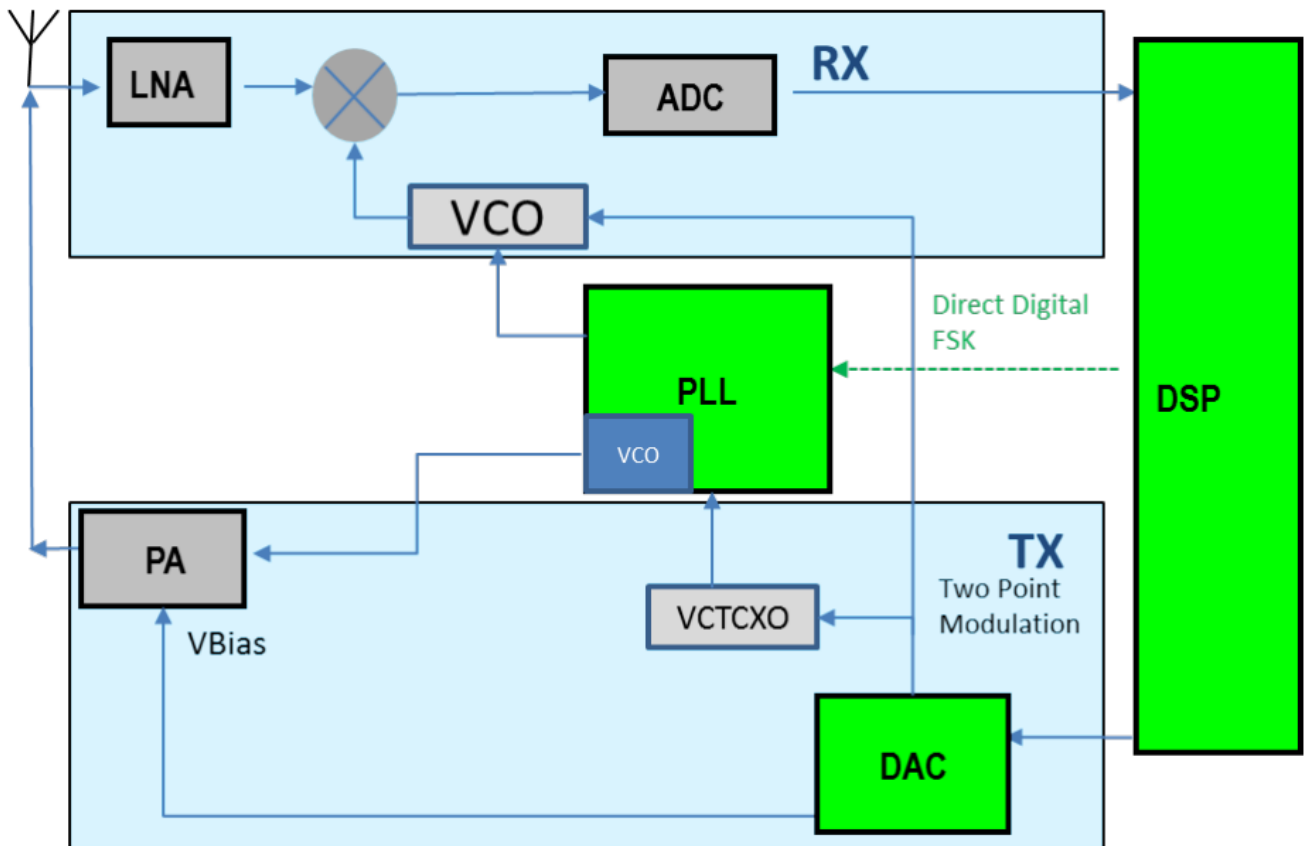


图 1. 接收机框图

通信系统中，为了获得比较窄的信道步径，通常会采用比较大的 N 分频数 ((N Divider))。但随着 PLL 的 N 分频数数值的增大，PLL 的相位噪声 (Phase noise) 也会恶化。相比于整数型 PLL，对于同样的频率步径要求，采用小数分频型 PLL 可以使用更小的 N 值，进而可以获得更好的相位噪声性能。但是，小数分频也会有其他问题，比如杂散。

LMX2571 是 TI 推出的一款低功耗高性能的 RF 合成器，广泛应用于窄带系统中。它可以使用内部 VCO 或与外部 VCO 搭配使用。使用外部 VCO 时，charger pump 电压可达 5V，同时内部集成了 delta-sigma 调制器，实现小数分频。针对小数杂散问题，LMX2571 内置可编程乘法器，来消除整数边界杂散。本文主要介绍 LMX2571 的 delta-sigma 调制器的阶数和 dither 特性对小数杂散的影响。

Simplified Schematic

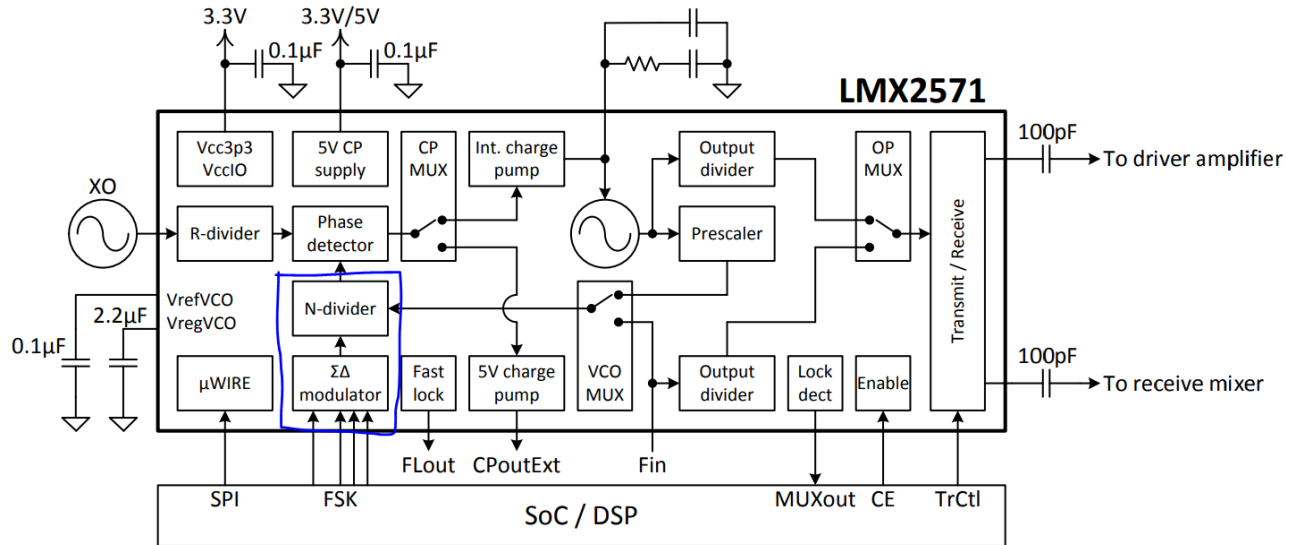


图 2. LMX2571 框图

优化方法

Delta-sigma 调制器基本原理

LMX2571 利用 Delta-sigma 调制器实现小数分频。实际上小数型 PLL 的 N 分频器也只能进行整数分频，但是通过合理的控制其瞬时分频比，使其平均分频比等于所需的 $N.F$ ，从而实现需要的输出频率。例如，为了输出 20.5，输入一次 20，一次 21，则平均输出频率就等于 20.5。

当然，这是理想情况。如果这样周期性的去控制 N 分频器，那么 VCO 的控制电压 V_{ctrl} 会发生周期性的波动，造成输出本振信号频谱上出现明显的分数杂散。

Delta-sigma 调制器可以很好的解决这个问题。对于一个给定的小数信号 $0.F$ ，Delta-sigma 可以输出一组由 0 和 1 组成的伪随机序列 $S(n)$ ，使得这组序列的平均值等于 $0.F$ ，同时包含一些被整形到高频处的量化噪声。

从频域看，调制器就是在原有信号中，加上了被高通整形后的量化噪声。从时域看，则是小数输入得到了一个伪随机数列，经过平均滤波以后，其等效值与输入近似相等，然后通过 $N+S(n)$ 去控制 N 分频器，就可以实现 $N.F$ 的平均分频比，同时避免了固定周期型的变化而引起的分数杂散。

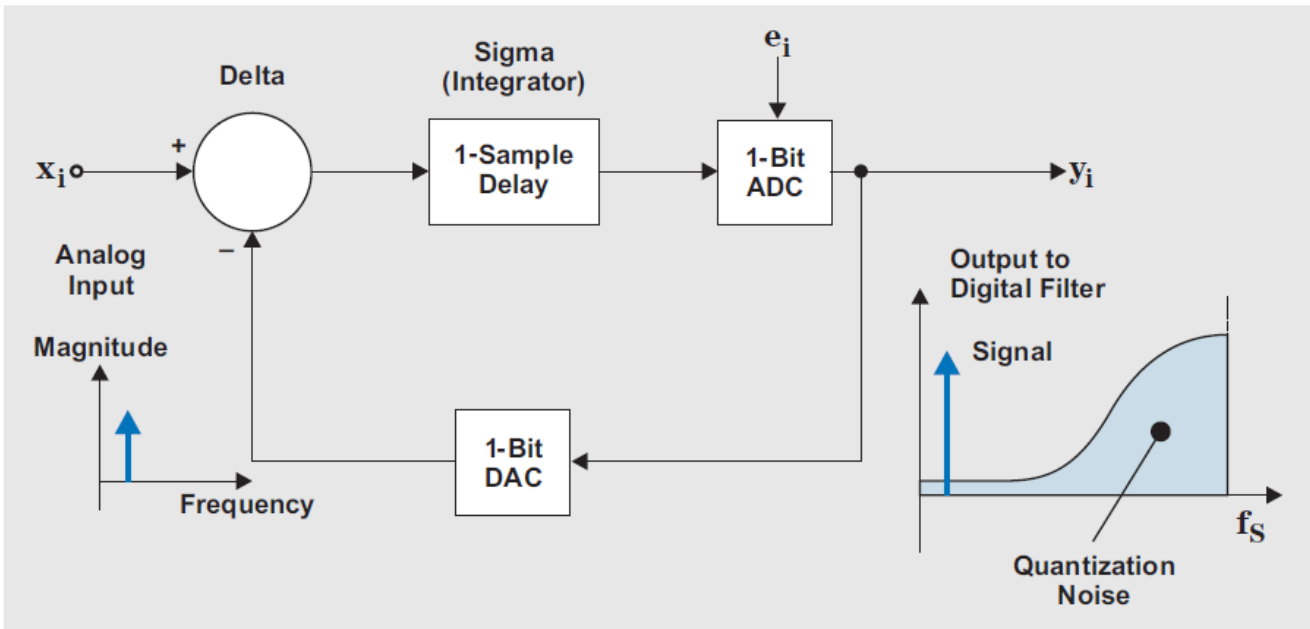


图 3. 1 阶 Delta-Sigma 调制器示意图

Delta-sigma 输出虽然是一个随机数列，但是因为其输出本质上还是一个有限状态机，还是会出现一些重复。比如以 1 阶为例，输出的是 0 和 1 比特流，那对应的还是 20 和 21，所以并不是一个真正意义上的随机数列，依旧会在功率谱上出现杂散。为了进一步让输出的序列更加随机，TI 的 LMX2571 通过如下一些功能来优化杂散特性。

增加有限状态机的个数—更高的 Delta-Sigma 调制器阶数

LMX2571 可以调整 Delta-sigma 的阶数，其实就是量化器的阶数，一阶使用一个 comparator，也就是 1bit 的 DAC，输出的就是 0 和 1。同理，最多 4 阶，可以输出 2 的四次方，16 个数字，所以随机序列的个数增加，可以降低杂散。

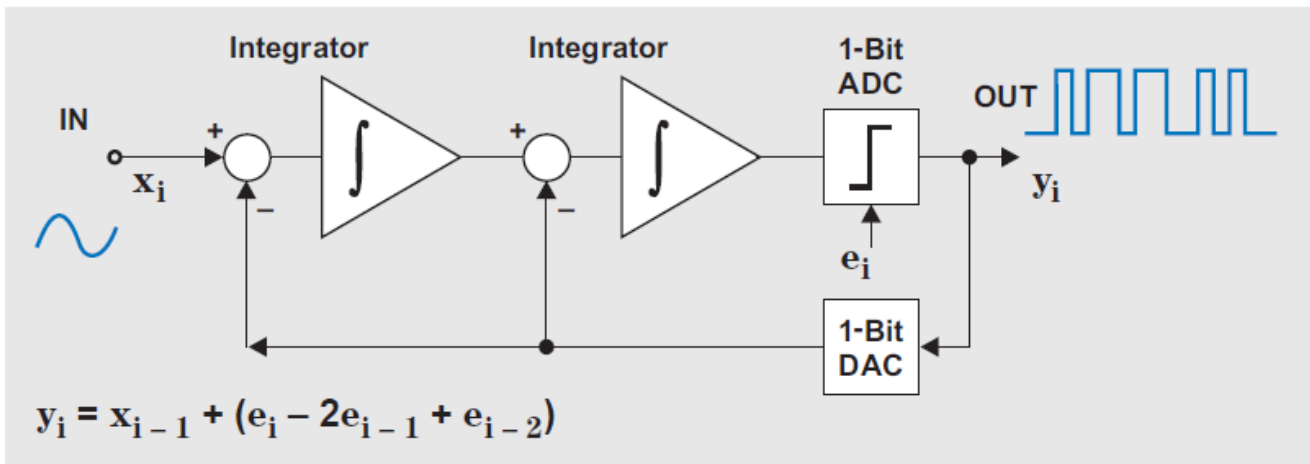


图 4. 2 阶 Delta-sigma 调制器简化模型

通过加入抖频来“破坏”其输出序列的周期性

抖频，也就是 Dither 的原理是：向调制器中加入了一阶高通整形的抖动噪声，它在成功地消除调制器输出序列的周期性的同时仅引起了极小的误差。LMX2571 的 Dither 分成了 4 个等级—Disable、Weak、Medium、Strong。

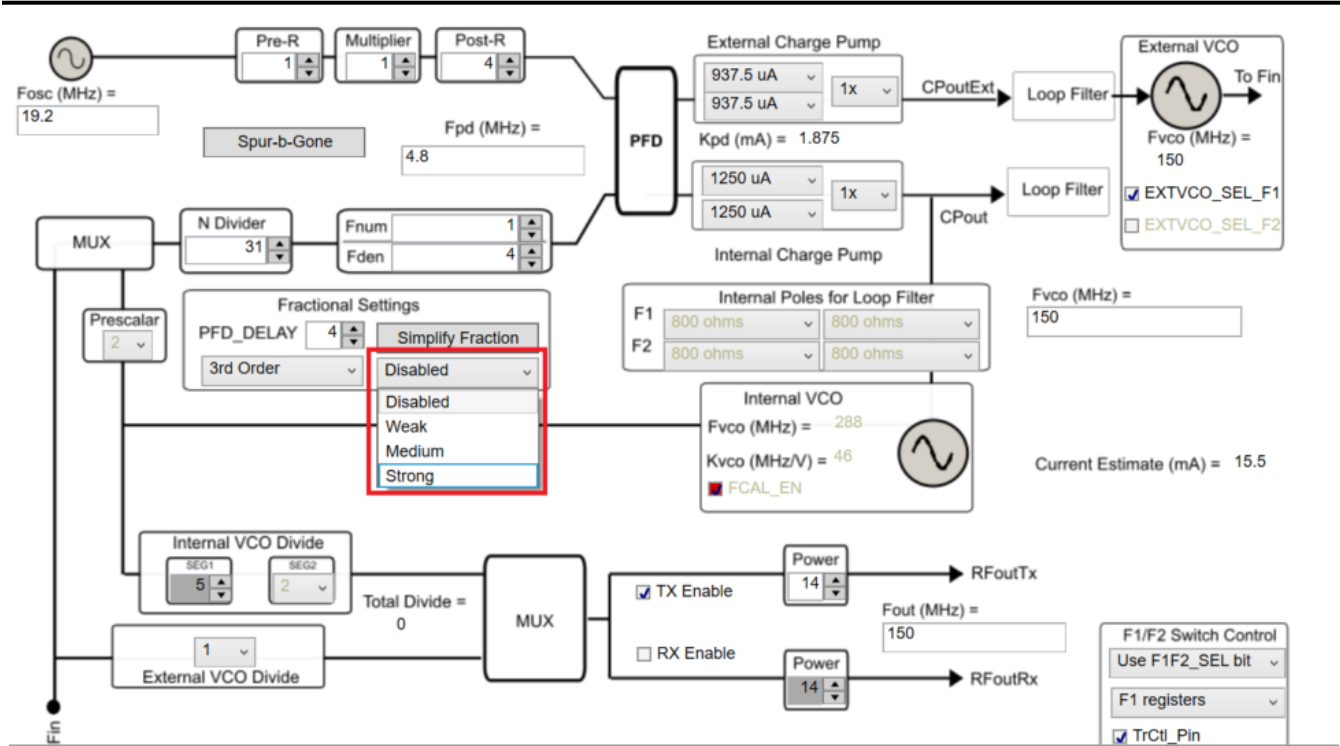


图 5. LMx2571 Dither 配置界面

如下所示给出了在同一工况下，不同等级的 Dither 对应的 spur 数据。

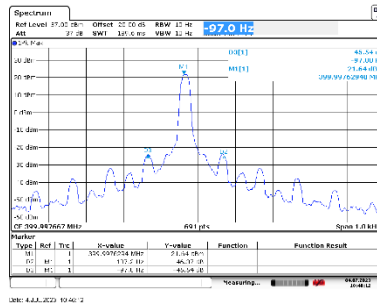


图 6. Spur performance when Dither is disable

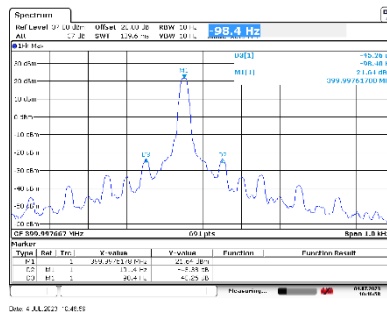


图 7. Spur performance when Dither is enabled as weak

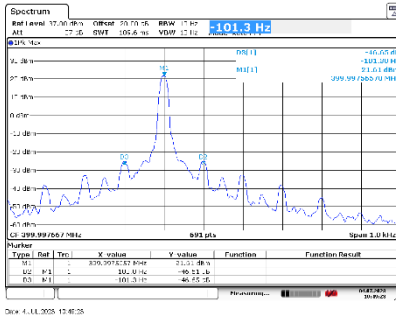


图 8. Spur performance when Dither is enabled as medium

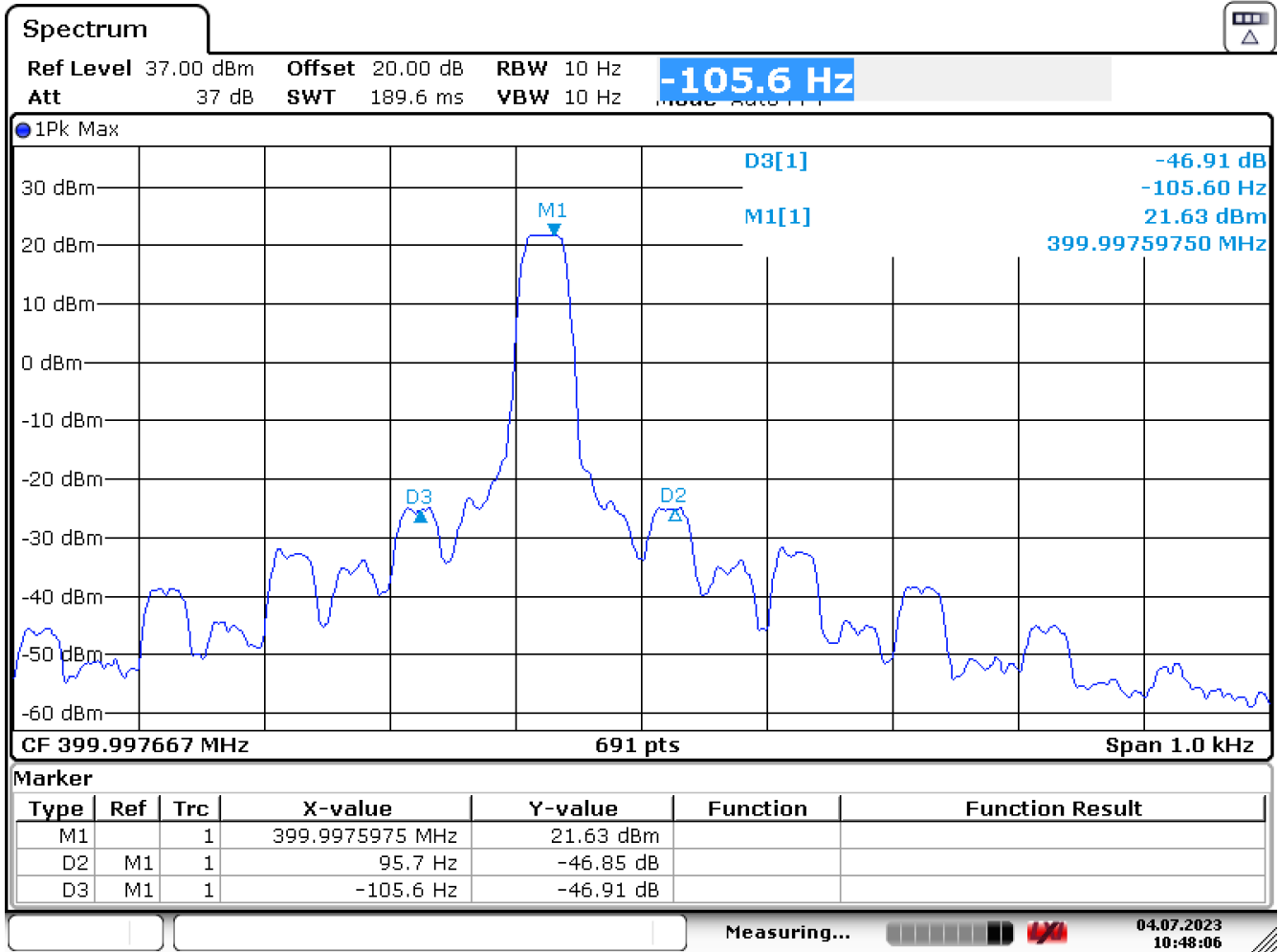


图 9. Spur performance when Dither is enabled as strong

当然，可以看到，dither 虽然可以减小杂散，但是能量不会消失，只是分散到更多的频点，对应的相位性能会下降。这是一个 trade-off，需要根据工况去权衡。

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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