

通过 BlueNRG-LP 驱动外部 RF 前端

引言

BlueNRG-LP 是一款超低功耗的蓝牙低功耗 SoC 器件，在天线连接器处可达到+8 dBm 输出功率。然而，蓝牙标准允许的最大输出功率为+20 dbm（当地法规仍然可以将输出功率限制在较低的值）。

由于该原因，BlueNRG-LP 提供了控制外部 RF 前端的可能性，可以通过使用集成的功率放大器来增加输出功率。

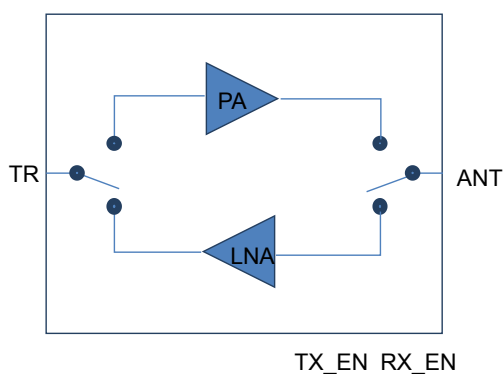
除了功率放大器（PA），RF 前端通常还可以集成一个低噪声放大器（用于提高灵敏度）、TX/RX 开关电路、匹配网络和谐波滤波器。

1 RF 控制信号

通常来说，一个外部前端至少要有 2 个引脚来控制，从而选择性地天线连接到 PA 的输出或 LNA 的输入（LNA 可能不存在）。在 LNA 不存在的情况下，射频开关可以直接将 TX/RX 引脚与天线连接。

下面显示了一个外部前端的简单框图示例。前端内部可能有其他功能块（例如 PA 上的谐波滤波器），或 TX/RX 端口和天线之间的旁路路径。

图 1. 前端的基本框图示例



为了控制外部前端，需要从 SoC 生成一些信号。通常只需两个信号即可：前者控制 TX 路径，后者控制 RX 路径。这些信号控制前端的方式会因制造商而存在差别。

此外，在无线电处于传输或接收状态之前，总是需要预测 TX_EN/RX_EN 信号。这是因为功率放大器稳定功率需要一定的时间，同时也会消耗大量的电流，由此便会导致 BueNRG-LP PLL 不稳定。

因此，无线电定序器会产生两种信号：

- TX_SEQUENCE，当无线电定序器将要启动传输时，此信号将升高；当内部 PA 被关闭时，此信号则降低。
- RX_SEQUENCE，当无线电定序器准备开始接收时，此信号将升高；当无线电离开 RX 状态时，此信号则降低。

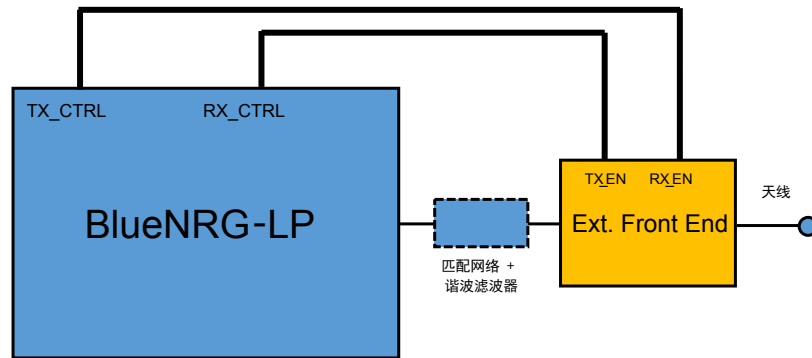
TX_SEQUENCE 从低到高的转变发生在无线传输首个比特之前。同样，RX_SEQUENCE 从低到高的转变发生在无线电处于接收状态之前。以上时间控制取决于状态（TX 或 RX）和 PLL 校准是否完成。每次使用不同的射频通道时都要进行 PLL 校准。时间控制见表 1. 射频控制信号和 TX/RX 状态之间的延迟。这些时间控制基于硬件需求，并由固件相应地设置。

表 1. 射频控制信号和 TX/RX 状态之间的延迟

	带 PLL 校准	不带 PLL 校准
TX_SEQUENCE	118 μ s	58 μ s
RX_SEQUENCE	116 μ s	56 μ s

下图中的框图显示了 BlueNRG-LP 与外部前端之间的必要连接。TX_CTRL 和 RX_CTRL 是用于控制前端的引脚，可因所用的控制模式而异。如果前端已经集成了阻抗匹配和合适的谐波滤波器，则无需外加匹配网络和谐波滤波器。

图 2. BlueNRG-LP 与射频前端的连接框图



2 RF 控制模式

BlueNRG-LP 中有两种选项用于使用由无线电定序器产生的 TX/RX 序列信号。

1. 自动模式，即内部 TX_SEQUENCE 和 RX_SEQUENCE 信号被路由到 SoC GPIO。这些信号可能与前端的控制逻辑不兼容
2. 中断模式，即内部 TX_SEQUENCE 和 RX_SEQUENCE 信号产生中断请求，使固件能够按照前端需要的控制逻辑采取动作

2.1 自动控制模式

在自动模式下，可以在部分 BlueNRG-LP GPIO 上启用 TX_SEQUENCE 和 RX_SEQUENCE 信号。

表 2. GPIO 连接的 RF 控制信号

	GPIO (复用功能)
TX_SEQUENCE	PA10 (AF2), PB15 (AF1)
RX_SEQUENCE	PA8 (AF2), PA11 (AF2)

该模式的优点是，TX/RX 序列信号是自动生成的，无需来自固件的任何操作。灵活性方面的缺点：前端的控制逻辑必须与无线电定序器产生的信号兼容。例如，一个具有下表所示控制逻辑的前端直接兼容 TX_SEQUENCE 和 RX_SEQUENCE 信号。

表 3. 兼容的控制逻辑表示例

前端模式	TX_EN	RX_EN
睡眠	0	0
RX	0	1
TX	1	0

2.2 中断控制模式

在中断模式下，能够产生中断的系统控制器可以检测到来自定序器的 TX_SEQUENCE 和 RX_SEQUENCE 信号。要启用 TX/RX 序列中断，可以使用以下代码。

```
LL_APB0_EnableClock(LL_APB0_PERIPH_SYSCFG);

LL_SYSCFG_BLERXTX_SetTrigger(LL_SYSCFG_BLERXTX_TRIGGER_BOTH_EDGE, LL_SYSCFG_BLE_TX_EVENT);
LL_SYSCFG_BLERXTX_SetTrigger(LL_SYSCFG_BLERXTX_TRIGGER_BOTH_EDGE, LL_SYSCFG_BLE_RX_EVENT);

LL_SYSCFG_BLERXTX_SetType(LL_SYSCFG_BLERXTX_DET_TYPE_EDGE, LL_SYSCFG_BLE_TX_EVENT);
LL_SYSCFG_BLERXTX_SetType(LL_SYSCFG_BLERXTX_DET_TYPE_EDGE, LL_SYSCFG_BLE_RX_EVENT);
LL_SYSCFG_BLERXTX_EnableIT(LL_SYSCFG_BLE_TX_EVENT|LL_SYSCFG_BLE_RX_EVENT);
NVIC_EnableIRQ(BLE_SEQ_IRQn);
```

BLE_RXTX_SEQ_IRQHandler 可以定义如下：

```
void BLE_RXTX_SEQ_IRQHandler(void)
{
    if(LL_SYSCFG_BLERXTX_IsInterruptPending(LL_SYSCFG_BLE_TX_EVENT))
    {
        // Set GPIOs to make RF Front End enter TX mode

        LL_SYSCFG_BLERXTX_ClearInterrupt(LL_SYSCFG_BLE_TX_EVENT);
    }

    else if(LL_SYSCFG_BLERXTX_IsInterruptPending(LL_SYSCFG_BLE_RX_EVENT))
    {
        // 设置 GPIO, 让 RF 前端进入 RX 模式。

        LL_SYSCFG_BLERXTX_ClearInterrupt(LL_SYSCFG_BLE_RX_EVENT);
    }
}
```

在中断服务程序内部，任何 GPIO 都可以用于驱动 RF 前端。

与自动控制模式相比，该操作模式可实现任何控制逻辑，因而更具灵活性。但这种方法的缺点是，如果在此期间有更高优先级的中断出现，则控制信号可能被延迟。建议使用比 BLE_TX_RX_IRQHandler 低但比其他中断高的优先级。即使将最高优先级分配给 BLE_TX_RX_IRQHandler，也不会对 BLE_RXTX_SEQ_IRQHandler 造成干扰。事实上，BLE_TX_RX_IRQHandler 只在 TX/RX 序列的末尾执行。因此，在应当驱动外部前端退出 RX 或 TX 模式时，BLE_RXTX_SEQ_IRQHandler 仅在 TX/RX 序列末尾处会因执行 BLE_TX_RX_IRQHandler 而被延迟，此操作不属于关键操作。

3 参考

1. BlueNRG-LP 数据手册
2. BlueNRG-LP 参考手册 (RM0479)

版本历史

表 4. 文档版本历史

日期	版本	变更
2020 年 11 月 6 日	1	初始版本。

目录

1	RF 控制信号.....	2
2	RF 控制模式.....	4
2.1	自动控制模式	4
2.2	中断控制模式	4
3	参考.....	6
	Revision history.....	7

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对 ST 产品和/或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 标志是意法半导体的商标。关于意法半导体商标的其他信息，请访问 www.st.com/trademarks。其他所有产品或服务名称是其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2021 STMicroelectronics - 保留所有权利