

20 UART

20.1 概述

UART串行通信模块特点如下

- 波特率软件可配置
- 4路独立通道（UART0, UART1, UART4, UART5）
- 全双工通信口
- UART具有数据接收完成/接收错误中断，并提示错误类型
- 可配置数据长度，支持6、7、8、9bits
- 可配置的停止位-支持1个停止位或2个停止位
- 可配置为红外调制输出功能，且载波频率可设置，及载波占空比可设置
- 支持DMA
- 支持接收超时机制

20.2 结构框图

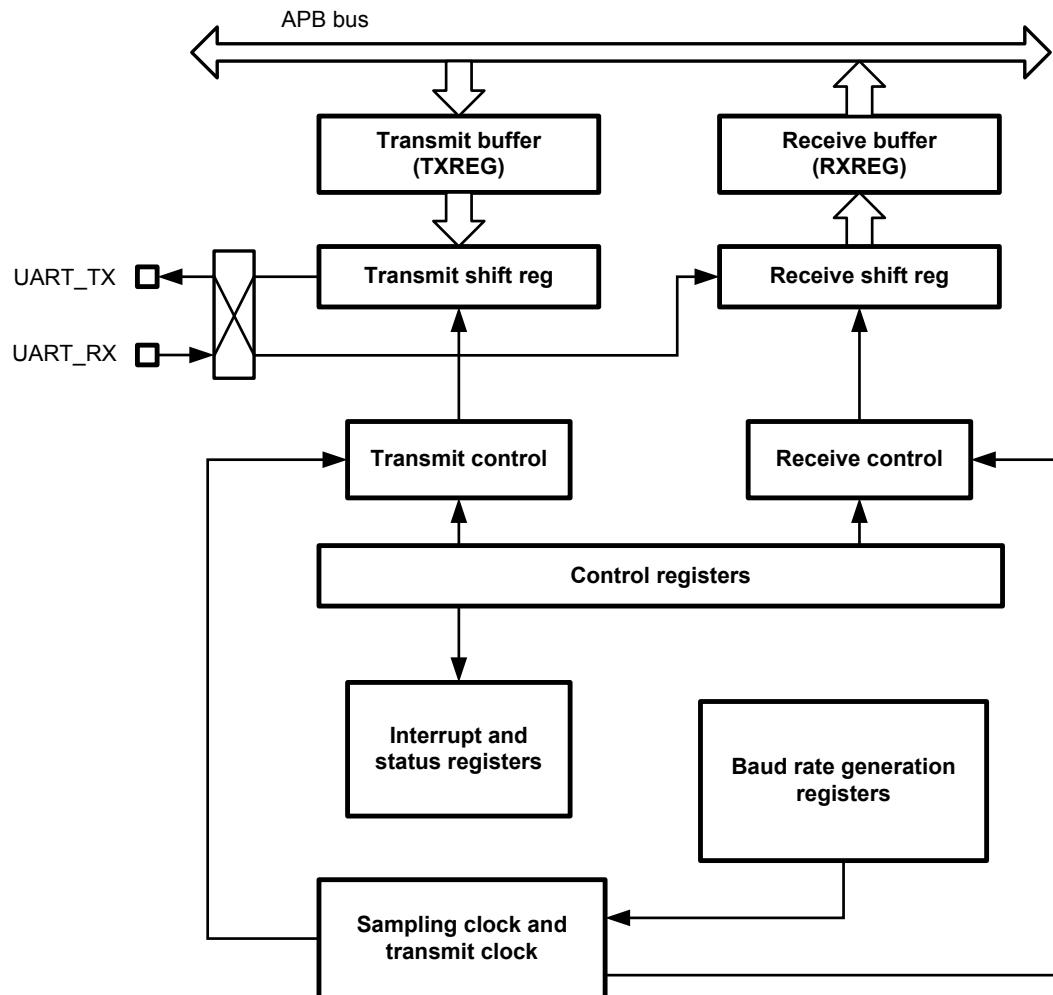


图 20-1 UART 接口时序

20.3 引脚定义

UART 模块使用 2 个引脚与外部器件通信，每个 UART 的收发信号可能被映射到不同的 GPIO 上。

下表为 FM33LC0x6 的引脚映射关系

引脚		UARTx	符号	功能
PA2	PA13	UART0	UART0_RX	数据接收
PA3	PA14		UART0_TX	数据发送
PC2	PB13	UART1	UART1_RX	数据接收
PC3	PB14		UART1_TX	数据发送
PA0	PB2	UART4	UART4_RX	数据接收
PA1	PB3		UART4_TX	数据发送
PC4	PDO	UART5	UART5_RX	数据接收
PC5	PD1		UART5_TX	数据发送

下表为 FM33LG0x6 的引脚映射关系

引脚		UARTx	符号	功能
PA2	PA13	UART0	UART0_RX	数据接收
PA3	PA14		UART0_TX	数据发送
PC2	PB13	UART1	UART1_RX	数据接收
PC3	PB14		UART1_TX	数据发送
PA0	PB2	UART4	UART4_RX	数据接收
PA1	PB3		UART4_TX	数据发送
PC4	PDO	UART5	UART5_RX	数据接收
PC5	PD1		UART5_TX	数据发送

表 20-1 UART 引脚列表

当 UART 功能被同时映射到多个引脚上时：

- PA2 和 PA13 同时配置为数字外设功能
 - 只有 PA2 上的 RX 信号会输入到模块内部
- PC2 和 PB13 同时配置为数字外设功能
 - 只有 PA2 上的 RX 信号会输入到模块内部
- PC4 和 PDO 同时配置为数字外设功能
 - 只有 PC4 上的 RX 信号会输入到模块内部
- PA0 和 PB2 同时配置为数字外设功能
 - 只有 PA0 上的 RX 信号会输入到模块内部
- UART 发送功能被同时映射到多个 GPIO 上时，这些引脚会同时发送数据

20.4 UART 类型区分

FM33L0xx集成了多种不同类型的UART（LPUART），其差异如下表所示：

UART 特性	UART0/1	UART4/5	LPUART0/1
DMA 支持	Y	Y	Y
半双工/全双工	Y	Y	Y
红外发射	Y	Y	-
双时钟域（工作时钟独立于总线）	Y	-	Y
休眠唤醒	Y	-	Y
接收超时	Y	-	-
发送延迟	Y	-	-
数据长度	6、7、8、9bits		

表 20-2 UART 类型列表

20.5 UART 字符描述

UART 传输字符的基本时序如下图所示。每个字符帧包含至少 1bit START 位和至少 1bit STOP 位，数据长度可以配置为 6~9bits，并且可以选择有无校验位。

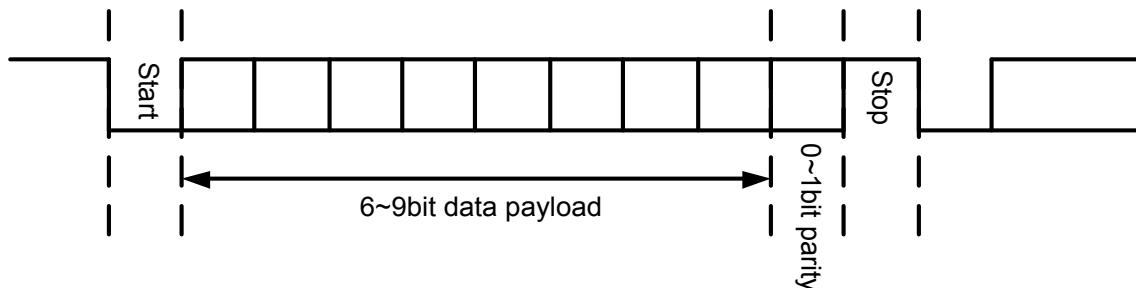


图 20-2 UART 字符描述

UART 支持多种帧格式，由 `UARTxCSR.PDSEL` 寄存器和 `UARTxCSR.PARITY` 寄存器控制。见下表：

PDSEL	PARITY	帧格式 ^[1]
00	00	[Start 7 bits data Stop]
	01, 10	[Start 7 bits data Parity Stop]
01	00	[Start 8 bits data Stop]
	01, 10	[Start 8 bits data Parity Stop]
10	00	[Start 9 bits data Stop]
	01, 10	[Start 9 bits data Parity Stop]
11	00	[Start 6 bits data Stop]
	01, 10	[Start 6 bits data Parity Stop]

表 20-3 UART 数据帧格式

[1]: Stop 位可能是 1bit 或者 2bit, 根据 STOPCFG 寄存器决定

注意 PDSEL 寄存器用于配置帧的数据长度, 通信帧长为【起始位+数据位+校验位+停止位】。

20.6 功能描述

20.6.1 时钟结构

UART0 和 UART1 采用了双时钟结构:

- 总线寄存器时钟用 **pclk** 表示, 来源于 APBCLK。当 CPU 或者 DMA 需要访问 UART 内部寄存器时, 必须使能 **pclk**
- 数据收发时钟用 **uclk** 表示, 除了可以来源于 APBCLK, 还可以来源于 RCHF、SYSCLK、RCMF, 能够独立于 APBCLK 工作。必须使能 **uclk** 才能进行数据收发。

Pclk 和 **uclk** 的控制都在 CMU 模块内完成, 进行 UART 通信前必须正确配置相应的 CMU 控制寄存器。

采用双时钟结构, 可以使 UART0 和 UART1 的工作不受限于 APBCLK 的配置, 当某些外设需要工作在很高的 APBCLK 频率上时, UART 仍可以工作在降低的频率上; 或者反过来, CPU 工作在较低的频率上, 也不影响 UART 以较高的波特率进行数据通信。

理论上 **pclk** 和 **uclk** 之间没有相对关系的约束, **uclk** 可以快于或者慢于 **pclk**。但是应用需要注意当两者频率相差较大时, CPU 或者 DMA 是否来得及进行数据搬运。

与 UART0 和 UART1 不同的是, UART4 和 UART5 采用单时钟结构, 此时 **uclk=pclk**, UART 的数据收发时钟也是来源于 APBCLK 的。

20.6.2 位接收采样

UART 对接收数据进行波特率的 16 倍过采样, 并在每个 bit 的中间位置进行三中取二的多数判决, 以提高对信号噪声的抑制能力。

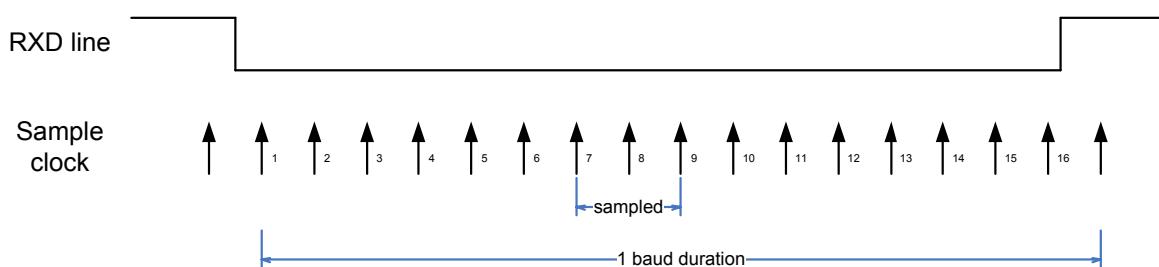


图 20-3 位接收采样

接收移位寄存器收到的 bit 位是多数判决的结果。例如三次采样结果是 001, 则判决为 0; 如果是 011, 则判决为 1。

由于 UART 对输入信号进行 16 倍过采样，要求 SPBRG 配置不能小于 16，即 UART 工作时钟必须至少是波特率的 16 倍。

20.6.3 数据发送

在发送模式下，UART 的串行数据发送电路主要包括一个发送移位寄存器(TSR)，TSR 功能是将数据逐个移位送出。待发数据必须先写到发送缓冲区中。当软件置位 TXEN 寄存器后，如果发送缓冲区非空，UART 将缓冲区数据载入 TSR 并开始移位输出。

注：由于寄存器操作时钟和波特率时钟是异步关系，当发送开始时，需要等待波特率时钟到来，因此从 TXEN 置位到 UART 开始发送 Start 位之间，有最大 1 个 baud 的延迟。

TXBE 和 TXSE 是发送中断标志位，分别表示发送缓冲区空和 TSR 空，软件可以选择在合适的时间点产生发送完成中断。

一般情况下，一开始 TSR 寄存器是空的，数据的发送需先设定波特率 SPBRG，使能发送模块(设定 TXEN 为 1)，然后写入 TXBUF 寄存器开始发送。也可以在设定好波特率 SPBRG 后，先写入 TXBUF 寄存器，然后再设定 TXEN 使能发送模块来开始数据发送。如果在数据发送过程中将发送模块使能位 TXEN 清 0，那么数据发送工作就会被中断，发送模块也会被复位。

下图为UART异步发送的例子。这个示例中软件首先向TXBUF写入数据，然后通过置位TXEN启动发送。

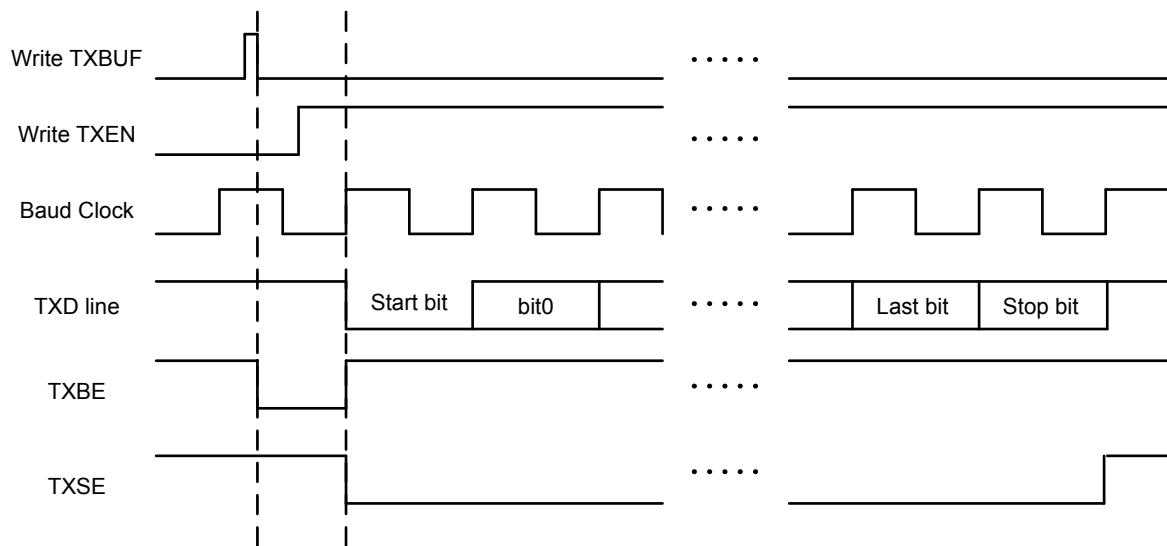


图 20-4 UART 异步发送波形 1

上图中推荐的操作步骤如下：

- 选择合适的波特率，初始化 SPBRG
- 若需要中断，置位 TXSE_IE 或者 TXBE_IE
- 决定数据发送的格式：设置 PDSEL 寄存器，决定发送数据长度；设置 PARITY 寄存器选择是否发送校验位以及校验类型，设置 STOPSEL 寄存器决定发送 1 位还是 2 位停止位
- 如果希望发送的串行数据红外调制，向 IRCON 寄存器写入合适的值来获得相应的调制频率和占空比，并置位 TXIREN
- 将待发送的数据写入 TXBUF 寄存器（自动启动发送）
- 使能发送模块：置位 TXEN

软件也可以先置位 TXEN 再写入 TXBUF，此时 UART 会在数据写入 TXBUF 后立刻开始发送流程。

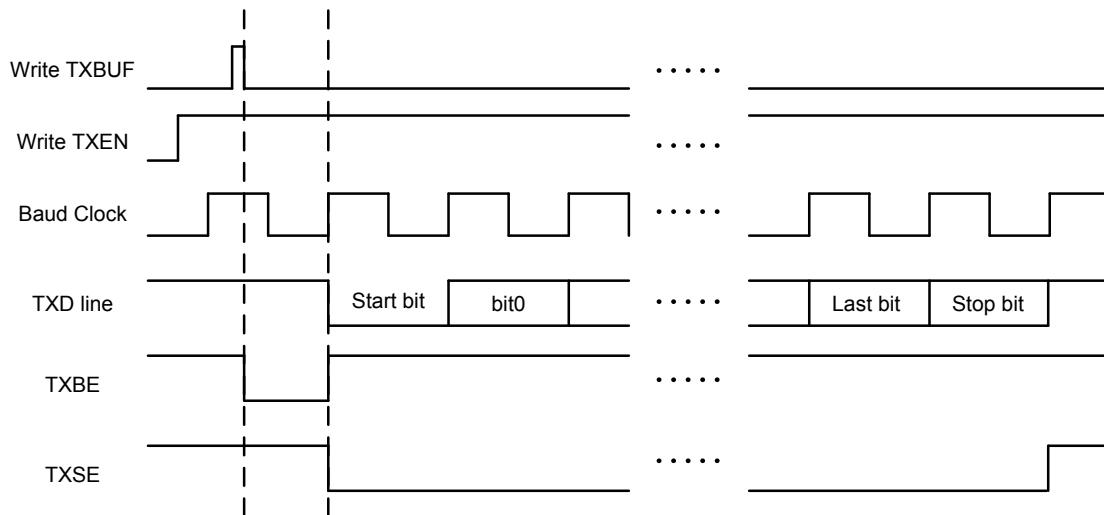


图 20-5 UART 异步发送波形 2

当 TXBUF 为空时，软件可以立即写入下一个待发送数据，以实现连续无间隔的数据发送。

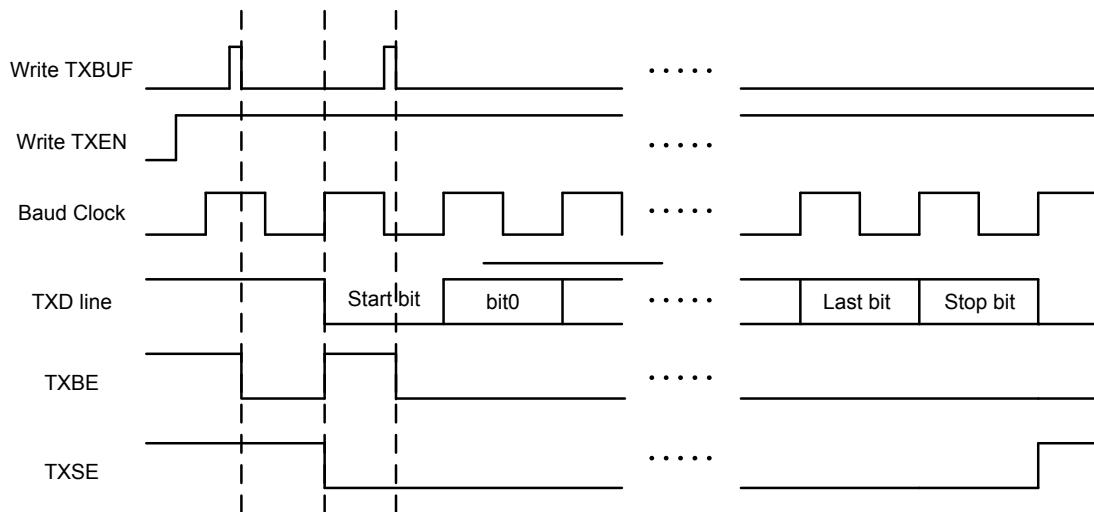


图 20-6 UART 异步发送波形 3

20.6.4 数据接收

UART 的串行数据接收电路主要包括一个接收移位寄存器(RSR)。当接收到停止位后，RSR 就把接收到的数据送入接收缓冲区(RXBUFFER)，传送完成后，在每次接收数据送入接收缓冲区后将中断标志 RXBF 置 1。当接收缓冲区已满时，RSR 接收到一帧数据后仍会将其写入接收缓冲区，即覆盖缓冲区中原有数据，并且再次置位 RXBF，同时发生接收溢出错误，OERR 被置 1；软件写 1 或者读取 RXBUF 都可以清除 OERR 标志。

接收过程中，如果没有检测到正确的停止位，则发生帧格式错，FERR 被置 1；如果发生奇偶校验错，标志位 PERR 被置 1。

推荐的异步接收操作如下：

- 选择合适的波特率，初始化 SPBRG
- 若需要中断，置位 RXBF_IE
- 设置数据接收的格式：设置 PDSEL 寄存器，决定发送数据长度；设置 PARITY 寄存器选择是否发送校验位以及校验类型，设置 STOPSEL 寄存器决定发送 1 位还是 2 位停止位
- 使能接收模块：置位 RXEN
- 在一帧接收完毕时，RXBF 位会置 1，如果 RXBF_IE 位为 1，将会产生中断
- 读取 PERR、FERR、OERR 寄存器，判断是否有数据错误或者溢出
- 读取 RXBUF 寄存器中的接收数据

20.6.5 使用 DMA 进行 UART 收发

当 UART 模块被使能后，UART 模块在发送缓冲寄存器空和接收缓冲寄存器满时都会自动产生相应的 DMA 请求。应用软件需要事先配置 DMA 通道连接，将特定通道指向 UART 外设，设置 RAM 访问的指针地址，并使能 DMA 通道。此后 DMA 会自动响应 UART 请求，并完成 RAM 和 UART 之间的数据搬运。

应用举例：使用 DMA 进行 UART0 接收

- 将 DMA 通道 1 或 3 配置为 RXD0
- 设置对应通道参数：RAM 指针地址、地址递增递减、通道优先级、传输长度和中断设置等
- 使能对应 DMA 通道
- 配置 UART 模块参数

- 使能 UART 模块接收使能，等待数据接收
- 收到数据后 UART 自动产生 DMA 请求
- DMA 响应请求，读取 UART 接收缓存寄存器，写入指定 RAM 地址

20.6.6 DMA 模式下的发送完成中断

当 UART 通过 DMA 进行数据发送时，DMA 会在指定长度的数据传输完成后产生 DMA 通道中断。但是当通道中断产生时，最后一帧数据刚刚被写入 UART 发送缓冲区，还未被发送出去。

通过配置 DMATXIFCFG 寄存器，可以实现 DMA 传输完成、并且最后一帧数据发送完成的情况下，产生一个发送完成中断（缓冲区空或者移位寄存器空），以便实现所有数据全部发送出去后，再中断 CPU 的应用场景。

软件工作流程说明如下：

- 配置 DMA 通道为 UART 发送
- 关闭 DMA 通道中断使能
- 置位 DMATXIFCFG 寄存器，仅允许最后一帧数据产生中断输出
- 准备待发送数据，使能 DMA
- 置位 UART TXBE_IE 或 TXSE_IE 寄存器，允许中断产生
- UART 连续发送，直到最后一帧，发送期间不会产生 TXBE 或 TXSE 中断
- 最后一帧发送完成后，UART 产生 TXBE 或 TXSE 中断

下表假设 UART 通过 DMA 发送 N 个帧：

TXBE_IE TXSE_IE	DMATXIFCFG	Frame No.	TXBE TXSE	UART interrupt
0	x	1~N	每帧发送完成后置位	不产生
1	0	1~N	每帧发送完成后置位	不产生
	1	1~N-1 N	每帧发送完成后置位	不产生 产生

表 20-4 DMA 发送中断

20.7 波特率发生

20.7.1 波特率发生

波特率因子寄存器是一个 16 位的可读写的寄存器，其值 x 为 16—65535 之间的任一整数。

波特率计算公式：

$$\text{Baud} = F_{\text{CLK}} / (\text{SPBRG} + 1);$$

注: F_{CLK} 在不同的 UART 中可以是不同的时钟, 对于 UART4 和 UART5, F_{CLK} 就是 APBCLK; 对于 UART0 和 UART1, F_{CLK} 是独立与 APBCLK 的工作时钟。

为了支持全双工通信, 接收和发送波特率单独产生;

下表是常用系统时钟频率下的波特率:

Baud bps	$F_{CLK}=16MHz$			$F_{CLK}=8MHz$		
	Actual (bps)	Error%	X+1	Actual	Error%	X+1
				(bps)		
300	300.0019	0.000625	53333	299.9963	-0.00125	26667
1200	1200.03	0.0025	13333	1199.94	-0.005	6667
2400	2399.88	-0.005	6667	2400.24	0.010001	3333
4800	4800.48	0.010001	3333	4799.04	-0.02	1667
9600	9598.08	-0.02	1667	9603.842	0.040016	833
19200	19207.68	0.040016	833	19184.65	-0.07994	417
38400	38369.3	-0.07994	417	38461.54	0.160256	208
57600	57553.96	-0.07994	278	57553.96	-0.07994	139
115200	115107.9	-0.07994	139	115942	0.644122	69
230400	231884.1	0.644122	69	228571.4	-0.79365	35
460800	457142.9	-0.79365	35	470588.2	2.124183	17

Baud bps	$F_{CLK}=24MHz$			$F_{CLK}=32MHz$		
	Actual (bps)	Error%	X+1	Actual	Error%	X+1
				(bps)		
300	300	0	80000	299.9991	-0.00031	106667
1200	1200	0	20000	1199.985	-0.00125	26667
2400	2400	0	10000	2400.06	0.0025	13333
4800	4800	0	5000	4799.76	-0.005	6667
9600	9600	0	2500	9600.96	0.010001	3333
19200	19200	0	1250	19196.16	-0.02	1667
38400	38400	0	625	38415.37	0.040016	833
57600	57553.96	-0.07994	417	57553.96	-0.07994	556
115200	115384.6	0.160256	208	115107.9	-0.07994	278
230400	230769.2	0.160256	104	230215.8	-0.07994	139
460800	461538.5	0.160256	52	463768.1	0.644122	69

表 20-5 常用时钟频率下波特率计算

20.7.1 波特率自适应

利用 Timer 的 Capture 功能, 可以实现波特率自适应功能。可实现的一种方法为, 外部 UART 设备按约定的数据内容(比如 0xF8)发送一帧, 由 Timer 对该帧数据的高电平脉宽进行计数, MCU 读取 Timer 捕捉结果计算得到波特率因子, 并写入波特率发生寄存器中, 作为波特率发生的时钟分频计数值 X 使用。这时接收状态复位, 重新等待起始位, 以写入的波特率因子所产生的波特率接收数据。参考 Timer 章节。

20.8 红外调制

TZBRG 寄存器保存一个 11 位的分频系数 X，其值为 0~2047 之间的任一整数。所有 UART 共用一个红外调制频率发生器。

红外调制频率计算公式：

$$\text{FIR} = \text{F}_{\text{APBCLK}} / (\text{TZBRG} + 1)$$

红外调制的方式为：发送数据 0 时调制红外频率，发送数据 1 时不调制。为满足 PNP 和 NPN 两种红外驱动管的需求，寄存器 IRFLAG 位控制红外调制输出的极性。IRFLAG=0 时为正极性输出，适合 PNP 管驱动；IRFLAG=1 时为负极性输出，适合 NPN 管驱动。

TH 寄存器用于配置红外调制占空比

$$\text{占空比: } Y = (\text{TZBRG}[10:4] * \text{TH}) / (\text{TZBRG} + 1)$$

当 TH=4'b0000 时，占空比为 $Y = (\text{TZBRG}[10:1]+1)/(X+1)$;

当 TZBRG[10:4]=7'h00 时，占空比为 $Y = \text{TH}/(\text{TZBRG}[3:0]+1)$ ；若此时 $\text{TH} > \text{TZBRG}[3:0]$ ，则红外调制时钟 IRCLK 为固定高电平。

当红外调制极性反向时（IRFLAG=1），占空比也为 1-Y

红外调制波形见下图：

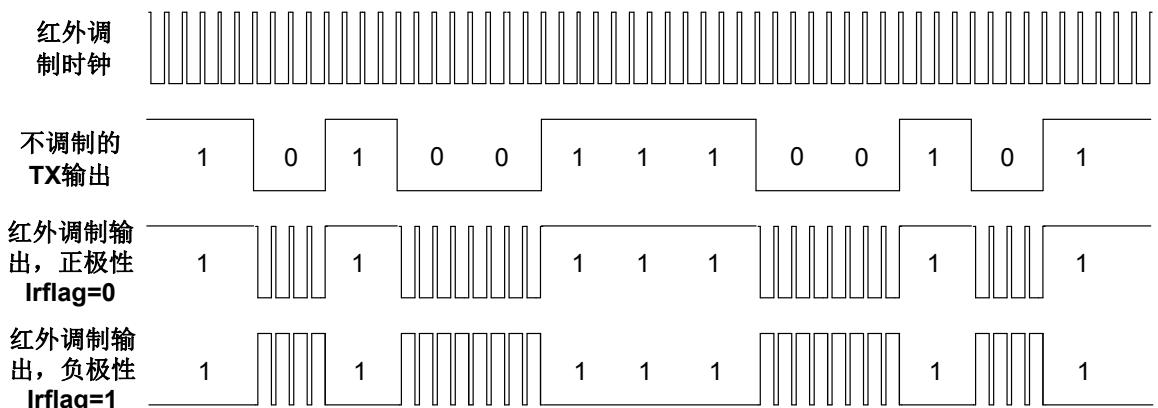


图 20-7 红外调制波形

无论有效电平是 0 还是 1，占空比定义为高电平长度/周期。

20.9 接收超时

针对 MODBUS 等时间敏感型应用，设计了接超时机制。当使能 RXTOEN 寄存器后，超时计数器以波特率时钟计数，当每次收到一个完整的数据帧，将清零超时计数器并重新开始计数。超时溢出的上限值可以由软件配置，最大 255 波特。

注：UART4 和 UART5 不支持接收超时功能。

20.10 发送延迟

通过 TXDLY_LEN 寄存器，可以控制两个数据帧发送之间的间隔时间，单位是波特。发送延迟是从上一帧最后一个 STOP 位结束，到下一帧起始位之间的间隔。

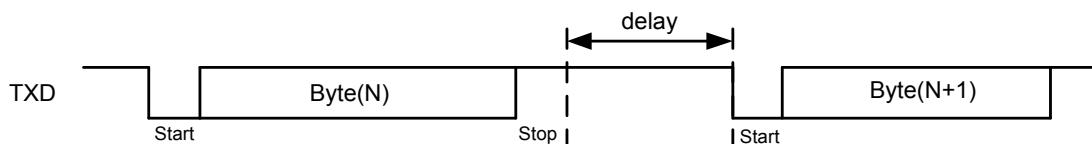


图 20-8 UART 发送延迟

注：UART4 和 UART5 不支持发送延迟功能。

20.11 寄存器

offset 地址	名称	符号
UART 公共寄存器(模块起始地址: 0x40019C00)		
0x00000000	红外调制配置寄存器 (Infrared modulation Control Register)	UART_IRCR
UART0 寄存器(模块起始地址: 0x40011C00)		
0x00000000	UART0 控制状态寄存器 (UART0 Control Status Register)	UART0_CSR
0x00000004	UART0 中断使能寄存器 (UART0 Interrupt Enable Register)	UART0_IER
0x00000008	UART0 中断标志寄存器 (UART0 Interrupt Status Register)	UART0_ISR
0x0000000C	UART0 超时和延迟寄存器 (UART0 Time-Out and Delay Register)	UART0_TODR
0x00000010	UART0 接收缓冲寄存器 (UART0 Receive Buffer)	UART0_RXBUF
0x00000014	UART0 发送缓冲寄存器 (UART0 Transmit Buffer)	UART0_TXBUF
0x00000018	UART0 波特率产生寄存器 (UART0 Baud rate Generator Register)	UART0_BGR
UART1 寄存器(模块起始地址: 0x40012000)		
0x00000000	UART1 控制状态寄存器	UART1_CSR

offset 地址	名称	符号
	(UART1 Control Status Register)	
0x00000004	UART1 中断使能寄存器 (UART1 Interrupt Enable Register)	UART1_IER
0x00000008	UART1 中断标志寄存器 (UART1 Interrupt Status Register)	UART1_ISR
0x0000000C	UART1 超时和延迟寄存器 (UART1 Time-Out and Delay Register)	UART1_TODR
0x00000010	UART1 接收缓冲寄存器 (UART1 Receive Buffer)	UART1_RXBUF
0x00000014	UART1 发送缓冲寄存器 (UART1 Transmit Buffer)	UART1_TXBUF
0x00000018	UATR1 波特率产生寄存器 (UART1 Baud rate Generator Register)	UART1_BGR
UART4 寄存器(模块起始地址: 0x4001A000)		
0x00000000	UART4 控制状态寄存器 (UART4 Control Status Register)	UART4_CSR
0x00000004	UART4 中断使能寄存器 (UART4 Interrupt Enable Register)	UART4_IER
0x00000008	UART4 中断标志寄存器 (UART4 Interrupt Status Register)	UART4_ISR
0x00000010	UART4 接收缓冲寄存器 (UART4 Receive Buffer)	UART4_RXBUF
0x00000014	UART4 发送缓冲寄存器 (UART4 Transmit Buffer)	UART4_TXBUF
0x00000018	UATR4 波特率产生寄存器 (UART4 Baud rate Generator Register)	UART4_BGR
UART5 寄存器(模块起始地址: 0x4001A400)		
0x00000000	UART5 控制状态寄存器 (UART5 Control Status Register)	UART5_CSR
0x00000004	UART5 中断使能寄存器 (UART5 Interrupt Enable Register)	UART5_IER
0x00000008	UART5 中断标志寄存器 (UART5 Interrupt Status Register)	UART5_ISR
0x00000010	UART5 接收缓冲寄存器 (UART5 Receive Buffer)	UART5_RXBUF
0x00000014	UART5 发送缓冲寄存器 (UART5 Transmit Buffer)	UART5_TXBUF
0x00000018	UATR5 波特率产生寄存器 (UART5 Baud rate Generator Register)	UART5_BGR

20.11.1 红外调制配置寄存器 (UART_IRCR)

名称	UART_IRCR							
Offset	0x00000000							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	IRFLAG	TH					TZBRG[10:8]	
位权限	R/W-0	R/W-0000					R/W-000	
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TZBRG[7:0]							
位权限	R/W-1101 0010							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	未实现: 读为0
15	IRFLAG	控制红外调制发送数据时的默认输出极性 (Infra Red) 0: 正极性 1: 负极性
14:11	TH	红外占空比调制参数 (Transmission High Duty)
10:0	TZBRG	红外调制频率 (Transmission Baud Rate)

20.11.2 UARTx 控制状态寄存器 (UARTx_CSR)

名称	UARTx_CSR(x=0,1,4,5)							
Offset	0x00000000							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-			IOSWAP	NEWUP	DMATXI FCFG	BITORD	STOPCF G
位权限	U-0			R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	PDSEL		PARITY		RXPOL	TXPOL	RXEN	TXEN
位权限	R/W-00		R/W-00		R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:25	-	未实现: 读为0
24	BUSY	UART 通信标志, 只读 (Busy) 1: UART 正在通信中 0: UART 空闲
23:18	-	未实现: 读为0
17	TXIREN	发送红外调制使能 (Transmit Infra-red modulation Enable) 1: 使能红外调制发送 0: 关闭红外调制发送
16	RXTOEN	接收超时使能 (Receive Time-Out Enable) 1: 使能接收超时功能 0: 关闭接收超时功能
15:13	-	未实现: 读为0

位号	助记符	功能描述
12	IOSWAP	RX 和 TX 引脚交换 0: 默认引脚顺序 (与封装图一致) 1: 交换引脚顺序
11	NEWUP	UART RX下降沿唤醒功能使能寄存器 (仅UART0和UART1有效) (Negedge Wakeupenable) 1: 使能RX下降沿唤醒 0: 禁止RX下降沿唤醒
10	DMATXIFCFG	DMA发送完成中断使能, 仅在UART通过DMA进行发送时有效 (DMA transmit interrupt enable) 1: IE=1的情况下, DMA模式下发送完最后一帧后, 允许中断信号输出; 最后一帧之前的数据帧发送完成后不允许中断信号输出 0: 是否允许中断信号输出仅由IE决定
9	BITORD	数据发送/接收时的位顺序 (Bit Order) 0: LSB first 1: MSB first
8	STOPCFG	停止位宽度配置, 仅对发送帧格式有效, 接收时不判断停止位个数 (Stop bit config) 0: 1位停止位 1: 2位停止位
7:6	PDSEL	每帧的数据长度选择; 此寄存器对数据发送和接收同时有效 (Payload data length Select) 00: 7位数据 01: 8位数据 10: 9位数据 11: 6位数据
5:4	PARITY	校验位配置; 此寄存器对数据发送和接收同时有效 00: 无校验位 01: 偶校验 10: 奇校验 11: RFU
3	RXPOL	接收数据极性配置 (Receive Polarity) 0: 正向 1: 取反
2	TXPOL	发送数据极性配置 (Transmit Polarity) 0: 正向 1: 取反
1	RXEN	接收使能, 1有效 (Receive Enable)
0	TXEN	发送使能, 1有效 (Transmit Enable)

20.11.3 UARTx 中断使能寄存器 (UARTx_IER)

名称	UARTx_IER(x=0,1,4,5)							
Offset	0x00000004							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							

位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	-	-	-	RXTO_I E	RXERR_I E	-	RXBF_I E
位权限	U-0	-	-	-	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	NEWUP_I E	-	-	-	-	-	TXBE_I E	TXSE_I E
位权限	R/W-0	U-0	-	-	-	-	R/W-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:12	-	未实现：读为0
11	RXTO_I E	接收超时中断使能, 1有效 (Receive Time-Out Interrupt Enable) (仅UART0和UART1有效)
10	RXERR_I E	接收错误中断使能, 1有效(Receive Error Interrupt Enable)
9	-	未实现：读为0
8	RXBF_I E	接收缓存满中断使能, 1有效 (Receive Buffer Full Interrupt Enable)
7	NEWUP_I E	RX下降沿异步检测中断使能, 1有效 (Negedge Wakeup Interrupt Enable)
6:2	-	未实现：读为0
1	TXBE_I E	发送缓存空中断使能, 1有效 (Transmit Buffer Empty Interrupt Enable)
0	TXSE_I E	发送缓存空且发送移位寄存器空中断使能, 1有效 (Transmit Shift register Empty Interrupt Enable)

20.11.4 UARTx 中断标志寄存器 (UARTx_ISR)

名称	UARTx_ISR(x=0,1,4,5)							
Offset	0x00000008							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-	-	-	-	-	-	-	-
位权限	U-0	-	-	-	-	-	-	-
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-	-	-	-	-	PERR	FERR	OERR
位权限	U-0	-	-	-	-	R/W-0	R/W-0	R/W-0
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	-	-	-	RXTO	-	-	RXBF
位权限	U-0	-	-	-	R/W-0	U-0	-	R/W-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	NEWKF	-	-	-	-	-	TXBE	TXSE
位权限	R/W-0	U-0	-	-	-	-	R-0	R/W-0

位号	助记符	功能描述
31:19	-	未实现：读为0
18	PERR	奇偶校验错误中断标志, 硬件置位, 软件写1清零 (Parity Error, write 1 to clear)
17	FERR	帧格式错误中断标志, 硬件置位, 软件写1清零 (Frame Error flag, write 1 to clear)

位号	助记符	功能描述
16	OERR	接收缓存溢出错误中断标志, 当接收缓存满的情况下, 收到新的数据时置位; 硬件置位, 软件写 1 或者读取 RXBUF 时清零 (RX buffer Overflow Error flag, write 1 to clear)
15:12	-	未实现: 读为0
11	RXTO	接收超时中断标志, 硬件置位, 软件写 1 清零 (Receive Time-Out flag, write 1 to clear) (仅 UART0 和 UART1 有效)
10:9	-	未实现: 读为0
8	RXBF	接收缓存满中断标志, 硬件置位, 软件写 1 或者读取 RXBUF 时清零 (Receive Buffer Full flag write 1 to clear)
7	NEWKF	RX 下降沿异步检测中断标志, 硬件置位, 软件写 1 清零 (Nededge Wakeup Flag write 1 to clear) (仅 UART0 和 UART1 有效)
6:2	-	未实现: 读为0
1	TXBE	发送缓存空中断标志, 硬件置位, 软件写入 TXBUF 时清零 (Transmit Buffer Empty flag)
0	TXSE	发送缓存空且移位寄存器发送完成中断标志, 硬件置位, 软件写 1 或者软件写发送缓存时清零 (Transmit Shift register Empty flag, write 1 to clear)

20.11.5 UARTx 超时和延迟寄存器 (UARTx_TODR)

名称	UARTx_TODR(x=0,1)							
Offset	0x0000000C							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	TXDLY_LEN							
位权限	R/W-0000 0000							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RXTO_LEN							
位权限	R/W-1111 1111							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	未实现: 读为0
15:8	TXDLY_LEN	发送延迟, 最大 255baud (Transmit Delay Length)
7:0	RXTO_LEN	接收超时溢出长度, 最大 255baud (Receive Time-Out Length)

20.11.6 UARTx 接收缓冲寄存器 (UARTx_RXBUF)

名称	UARTx_RXBUF(x=0,1,4,5)
Offset	0x00000010

位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-	-	-	-	-	-	-	-
位权限	U-0	-	-	-	-	-	-	-
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-	-	-	-	-	-	-	-
位权限	U-0	-	-	-	-	-	-	-
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	-	-	-	-	-	-	RXBUF[8]
位权限	U-0	-	-	-	-	-	-	R-0
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	RXBUF[7:0]	-	-	-	-	-	-	-
位权限	R-0000 0000	-	-	-	-	-	-	-

位号	助记符	功能描述
31:9	-	未实现：读为0
8:0	RXBUF	接收数据缓冲寄存器数据 (Receive buffer)

7位收发时，接收的7bits数据存入RXBUF[6:0]

20.11.7 UARTx 发送缓冲寄存器 (UARTx_TXBUF)

名称	UARTx_TXBUF(x=0,1,4,5)							
Offset	0x000000014							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-	-	-	-	-	-	-	-
位权限	U-0	-	-	-	-	-	-	-
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-	-	-	-	-	-	-	-
位权限	U-0	-	-	-	-	-	-	-
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	-	-	-	-	-	-	-	TXBUF[8]
位权限	U-0	-	-	-	-	-	-	1
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	TXBUF[7:0]	-	-	-	-	-	-	-
位权限	R/W-0000 0000	-	-	-	-	-	-	-

位号	助记符	功能描述
31:9	-	未实现：读为0
8:0	TXBUF	发送数据缓冲寄存器数据 (Transmit Buffer)

7位收发时，发送的7bits数据写入TXBUF[6:0]

20.11.8 UATRx 波特率产生寄存器 (UARTx_BGR)

名称	UARTx_BGR(x=0,1,4,5)							
Offset	0x000000018							
位	Bit31	Bit30	Bit29	Bit28	Bit27	Bit26	Bit25	Bit24
位名	-	-	-	-	-	-	-	-

位权限	U-0							
位	Bit23	Bit22	Bit21	Bit20	Bit19	Bit18	Bit17	Bit16
位名	-							
位权限	U-0							
位	Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
位名	SPBRG[15:8]							
位权限	R/W-0000 0011							
位	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
位名	SPBRG[7:0]							
位权限	R/W-0100 0001							

位号	助记符	功能描述
31:16	-	未实现：读为0
15:0	SPBRG	波特率产生器寄存器值(Serial Port Baud Rate Generation)

波特率计算详见36.5波特率发生章节

注：当SPBRG <= 0x000F时，UARTDIV=16'H000F；

当SPBRG >0x000F时，UARTDIV=SPBRG；