

第二节 发动机数据采集系统的软件系统

一、系统要求及特点

根据车辆视情维修分析系统的要求,发动机数据采集系统需要完成下述功能:实现不同工作模式的切换;通道选择;采样频率可调;根据需要设置可编程放大器的增益。

1. 工作模式

根据系统分析的要求,设有软启动、触发启动、速度触发启动、加速过程数据采集、减速过程数据采集、速度采集 6 种工作模式以及停止采集。

软启动:系统接收到上位机软启动的指令后即开始采集,当接收到停止命令时停止采集。

触发启动:当系统接收到上位机触发启动的指令时,通过对喷油管油压信号进行监视,当该信号大于一设定值时开始采集,实现触发启动工作模式。

速度触发启动:单片机通过采集速度传感器的信号,对发动机转速进行监视,当接收到上位机速度触发启动的指令时,单片机判断发动机转速达到上位机给定的速度值时,打开 ADC 开始采集。这种模式能实现稳态过程中的数据采集。

加速过程数据采集:系统在对发动机工作振动信号进行采集时,需要一段加速区间的振动信号,在这种工作模式下,单片机接收上位机指令,以上位机给定的加速区间的值为依据,当检测到发动机转速达到所设定的第一个转速值时,打开 ADC 开始采集,当检测到发动机转速达到所设定的第二个转速值时,关闭 ADC 停止采集,同时将这段加速时间内采集到的数据送至上位机。这种模式能实现非稳态过程中的数据采集。

减速过程数据采集:同加速过程类似,根据指令,在发动机减速过程中,当单片机检测到发动机转速减至所设定的第一个转速值时,打开 ADC 开始采集,当单片机检测到发动机转速减至所设定的第二个转速值时,关闭 ADC 停止采集,同时将这段减速时间内采集到的数据送至上位机。这种模式能实现非稳态过程中的数据采集。

速度采集:当单片机接收到上位机速度采集的指令时,单片机只进行速度采集处理,单片机根据从速度传感器采集的信号,对发动机转速进行采集,并将采集的数据通过 USB 接口发送给上位机。

停止采集:为保证每次接收到新的指令时系统能可靠地工作,单片机在接收到上位机发出的停止采集指令时,将复位源寄存器 RSTSRC 的 PORSE 位置 1,使系统强制产生一个上电复位,这样系统将重新复位,处于待机等待接收命令字的状态。

2. 通道选择

根据系统分析的需要,在实际应用时可以对 4 个采样通道进行有选择性的使用。这就使得单片机能根据上位机的指令来设置采样工作通道。由于采样的振动信号是差分信号,所以将 ADC 的 8 个通道(AIN0~AIN7)设置成差分配对输入方式,通过将 AMUX 配置位寄存器 AMX0CF 的 bit3~bit0 位全设置为 1,可以将 8 个通道设置成差分配对输入方式。即 AIN0(+)与 AIN1(-), AIN2(+)与 AIN3(-), AIN4(+)与 AIN5(-)以及 AIN6(+)与 AIN7(-)分别组成差分输入方式。此时,可以通过设置 AMUX 通道选择寄存器 AMX0SL 的 AMXAD3~AMXAD0 (bit3~bit0) 位来选择通道。

3. 采样频率

根据系统要求来设置采样频率,这就要求 C8051F021 单片机可以根据上位机的指令来设置 ADC 的采样频率。在发动机数据采集系统中,以将特殊功能寄存器 ADC0CN 的 ADBUSY 位置 1 的方式来启动 ADC,这样就实现了软件控制 ADC 的启动转换,单片机在 ADC 转换期间 ADBUSY 位被置 1,转换结束后清除,并在 ADBUSY 位的下降沿触发一个中断。为实现采样频率可调,打开一个 16 位定时器,在定时器溢出中断中将 ADBUSY 位置 1,通过软件打开 ADC。这样,只要单片机根据上位机的指令来设置该定时器的初始值,就可以达到设置采样频率的目的。

4. 可编程放大器

在 C8051F021 单片机的 ADC 子系统中,包括了 1 个 9 通道的可配置模拟多路开关 AMUX、1 个可编程增益放大器 PGA 和 1 个 100Ksps12 位分辨率的逐次逼近型 ADC。在实际应用过程中,上位机需要根据输入信号的强弱来改变可编程增益放大器的放大倍数,当输入信号较弱时,增大放大倍数;当输入信号较强时,减小放大倍数。单片机根据上位机给定的放大倍数的值,通过设置特殊功能寄存器 ADC0CF 的 AMPGN2~AMPGN0 位 (bit2~bit0) 来设置内部可编程放大器的增益。

二、总体程序及中断程序流程

1. 数据传输

数据传输是在 C8051F021 单片机与 USB100 模块之间进行的,单片机将数据送至 USB100 模块,USB100 模块再根据 USB1.1 协议规范,将数据送给上位机,完成发送数据的过程。上位机将要发送的数据通过 USB 接口发送给 USB100 模块,当 USB100 模块有来自上位机的数据时,RXF 跳变为低电平,触发单片机外部中断 INT0,在外部中断服务程序中可将上位机发送至 USB100 模块中的数据读出,完成接收数据的过程。

(1) 发送数据 根据图 7-11 所示电路,C8051F021 单片机的 P_{2.1}接 USB100 模块发送数据控制线 WR,P_{2.2}接 USB100 模块发送数据状态线 TXE。由于 TXE 为低电平时表示模块的内部发送缓冲区允许发送数据到 USB100 模块,所以,为保证数据能可靠通信,在每发送一个字节前判断 TXE 是否为低电平,这样可以保证数据无丢失地传输。

(2) 接收数据 为保证单片机能对上位机发出的指令作出及时的响应,将 USB100 模块接收数据状态线 RXF 接 C8051F021 单片机的外部中断 INT0,如图 7-11 所示电路,USB100 模块接收数据控制线 RD 接单片机的 P_{2.0},通过改变 P_{2.0}的电平,在 RD 控制线的上升沿将数据读出。根据上位机协议规定,每发送一次指令共 12B (字节),因此循环 12 次即可将上位机发送的指令逐一读出。

2. ADC 配置及采集

为节省 ADC 采集的时间,减少多余运算耗时,在初始化过程中先对 ADC 的配置进行优化,在采集过程中根据优化的结果来进行采集。

(1) ADC 配置 对 ADC 的配置包括通道设置和可编程增益的设置。故建立两个数组 channel 和 gain 分别记录通道和可编程增益。将 1~4 通道按预先规定的由 1~4 的优先级进行编码,根据上位机的指令,如果有 k 个通道被选择,则 channel[0]~channel[$k-1$] 依次记录 (按优先级) 各通道值,gain[0]~gain[$k-1$] 依次记录 (按优先级) 各通道增益值。

这样，在多通道循环采集，对 i 通道进行配置时，只需将 $\text{channel}[i]$ 送给 AMX0SL ， $\text{gain}[i]$ 送给 ADC0CF 的 $\text{bit2} \sim \text{bit0}$ 位即可完成对 ADC 的配置。

(2) ADC 采集 在主程序初始化时，先将 AD0EN 位置 1，使能 ADC 根据选择的通道进行采集，若通道数大于 1 则进行循环采集，分别将 $\text{channel}[i]$ 和 $\text{gain}[i]$ 送给 AMX0SL 和 ADC0CF 完成对 ADC 的配置，通过将 ADCBUSY 置 1 启动 ADC 开始转换，判断 ADCBUSY ，当 ADCBUSY 为 0 时转换完成，为节省机时，在检测的 ADCBUSY 为 0 时（即 ADC 转换完成），切换至下一个通道 $\text{channel}[i+1]$ ，设置该通道的增益 $\text{gain}[i+1]$ ，并再次将 ADCBUSY 置 1 启动 ADC，然后再从 ADC0H 和 ADC0L 中读取转换结果，此时的结果为第 i 通道的转换结果。随后，在 ADC 采集第 $i+1$ 通道时，将上一通道的数据送出。

(3) 定时器设置采样频率 C8051F021 单片机的 ADC 的最高转换速度为 100Ksps，即在保证转换精度的前提下，其最快转换时间为 $10\mu\text{s}$ 。这段时间可设置特殊功能寄存器 ADC0CF 的 $\text{ADCSC2} \sim \text{ADCSC0}(\text{bit7} \sim \text{bit5})$ 位来保证。

在采样过程中，模拟多路开关 AMUX 的切换和中断服务程序的进入与退出会占用一定的机时。为提高采样速度，单片机判断上位机指令，如果上位机给出只采集 1 个通道的指令，利用 T0 定时器中断来实现采样频率的设置，如果采集通道数大于 1，则利用 T2 定时器中断来实现采样频率的设置。

(4) 发动机转速信号采集 在发动机数据采集系统中，利用转速传感器能够对发动机的转速信号进行采集。如图 7-9 所示，将处理后的信号接入到单片机 T1 计数器，通过设置特殊功能寄存器 TMOD ，将 T1 设置为外部输入引脚的负跳变加 1 的 16 位计数器，并给 TL1 和 TH1 赋初值 0，这样，当发动机飞轮每个齿经过传感器时，就会产生一个信号，经过处理电路后，在 T1 的外部输入引脚产生一个方波，在方波的下降沿， T1 计数器计数值加 1。同时，将 T3 定时器设置为系统时钟 12 分频的自动重装定时器，给 TMR3 赋自动重装值 ($0\text{XFFFF}-22118400/500$)，其定时长为 24ms，在 T3 定时器中断服务程序中设一累加器 speed_count ，每进入一次中断加 1，当 speed_count 累加至 10 时，将 T1 计数器的计数值 TL1 和 TH1 读入到 16 位寄存器 speed 中，并将这两个寄存器清 0，这时 speed 的值即为 240ms 内经过传感器的飞轮齿数，该值的大小即可反映发动机转速的快慢。则

$$N = \frac{nT_0 N_0}{60 \times 1000}$$

对于康明斯发动机，发动机转速在 $600 \sim 3000\text{r/min}$ 时，则在 240ms 内 speed 的范围为 415~2076。根据上位机的需要，若要求将速度值发送给上位机时，将 speed 的值除以 12（保证在一个字节的表示范围）发送给上位机，上位机接收到数据，按如下算法即可得到当前发动机的转速：

$$n = \frac{3000 \times \text{Speed}_{\text{recieve}}}{N_0}$$

发动机转速采集程序流程如图 7-14 所示。

(5) 过采样和数字滤波提高采样精度和稳定性 在发动机数据采集系统中，利用 C8051F021 单片机作为中央处理单元，可引入一些算法对数据进行处理。根据上位机的指令进行判断，当上位机设置的采样频率不高时（单通道的采样频率小于 25kHz ），系统在 ADC 转换完成后（ $10\mu\text{s}$ ），利用多余的机时，加入一定的数字滤波和过采样算法，可以减少

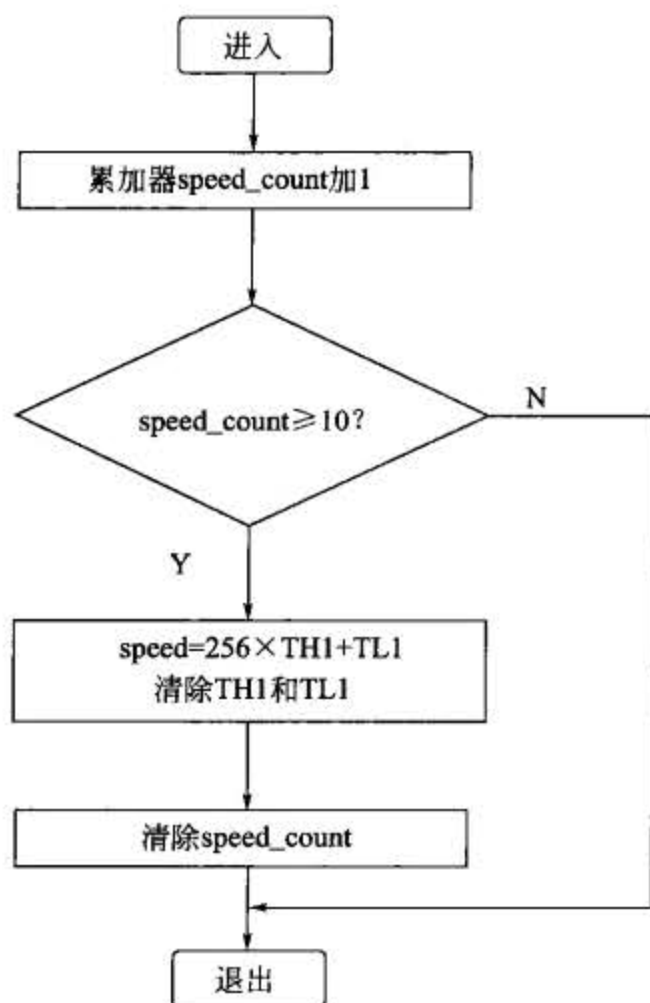


图 7-14 转速采集程序流程图

采样误差和提高采样精度。

求均值和过采样可以完成两个任务：改善信噪比和提高分辨率（即增加 ADC 测量的有效位数）。这两个任务实际上是同时完成的。例如，如果有一个 12 位 ADC 而希望产生 16 位分辨率的转换代码，则用过采样和求均值技术可以得到与 16 位 ADC 相同的信噪比（SNR）。这将增加测量数据的有效位数（ENOB），也是提高 SNR 的一种方法。过采样和均值滤波器允许在产生较低噪声强度的同时得到 16 位的输出数据。

3. 总体程序

在发动机数据采集系统中，为保证系统能准确、可靠、实时地工作，系统总体程序由主循环程序和各中断服务程序组成。对主程序初始化之后，就进入循环程序，循环程序中根据相应的状态字而执行相应的子程序；在各中断服务程序中，根据上位机的指令进行采集或形成状态字。

(1) 主程序初始化 包括对寄存器的初始化、状态字的初始化、系统时钟初始化以及对各中断的初始化。对中断的初始化包括 `SYSCLOCK_Init()`、`ADC0_Init()`、`Int0_Init()`、`Timer0_Init()`、`Timer1_Init()`、`Timer3_Init()`、`Timer2_Init()`、`CP0_In()` 等几个函数。

(2) INT0 中断服务程序 外部中断与 USB100 的 RXF 连接，所以当接收到有来自上位机的数据时，单片机进入 INT0 中断服务程序，在中断服务程序中，先从 USB100 中读出数据，并进行校验。然后根据命令字，打开相应的定时器中断使能位、置采集状态位（start 和 stop）以及建立 ADC 配置字数组。其判断流程如图 7-15 所示。

(3) T0 和 T2 中断服务程序 T0 和 T2 用来设置 ADC 采样频率，单通道采集时，由 T0 定时器来设置，多通道循环采集时，由 T2 定时器来设置。进入 T0 或 T2 中断服务程序就开始 ADC 转换。

(4) T3 中断服务程序 如前所述，T3 定时器的定时长度为 24ms，在 T3 中断服务程序设有累加器，每 240ms 读一次 T1 的计数值达到测速的目的。而在速度触发模式、加速过程采集以及减速过程采集三种工作模式均与速度有关，都是需要一定的速度值才能启动 ADC。所以，在速度采集完成后，还需根据设定的速度进行相应的判断，以决定是否启动 ADC。另外，在加速过程采集和减速过程采集时，还必须对速度进行监测，当达到上位机给定的第二个速度值时，将停止采集。其判断程序流程如图 7-16 所示。

(5) CP0 中断服务程序 在速度触发工作模式中（comm=3），利用 CP0 中断服务程序对发动机喷油管振动信号进行监测，当发动机喷油管振动信号达到设定值时，进入比较器 0 上升沿中断，在中断服务程序中将启动状态位 start 置 1，开始采集。

(6) 主循环程序 主程序在初始化后即进入循环程序，在循环程序中，对启动（start）和停止（stop）状态位进行判断以决定是否开启 ADC 和 T0（或 T2）。其循环流程如图 7-17 所示。

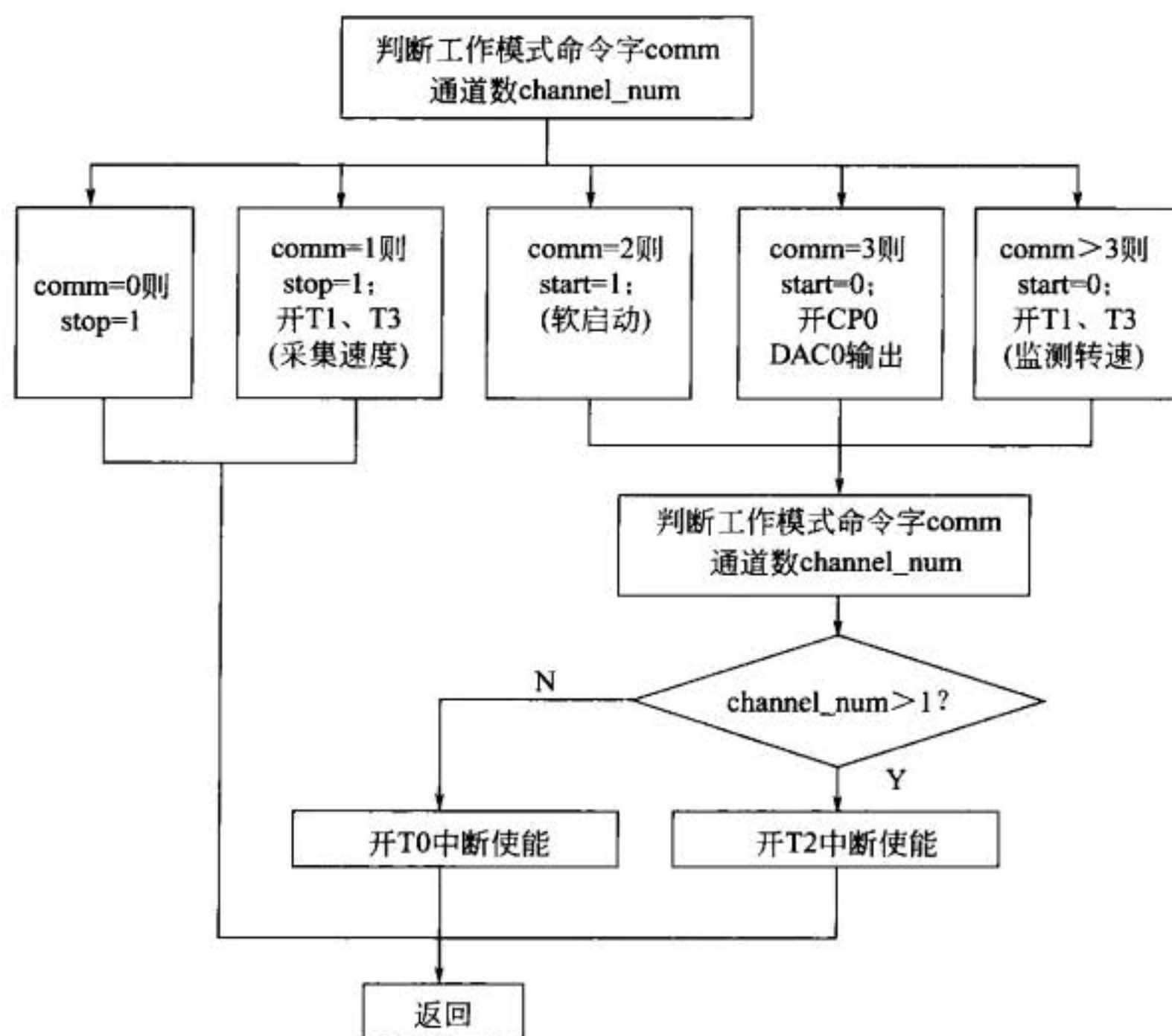


图 7-15 INT0 中断服务程序的 ADC 配置流程图

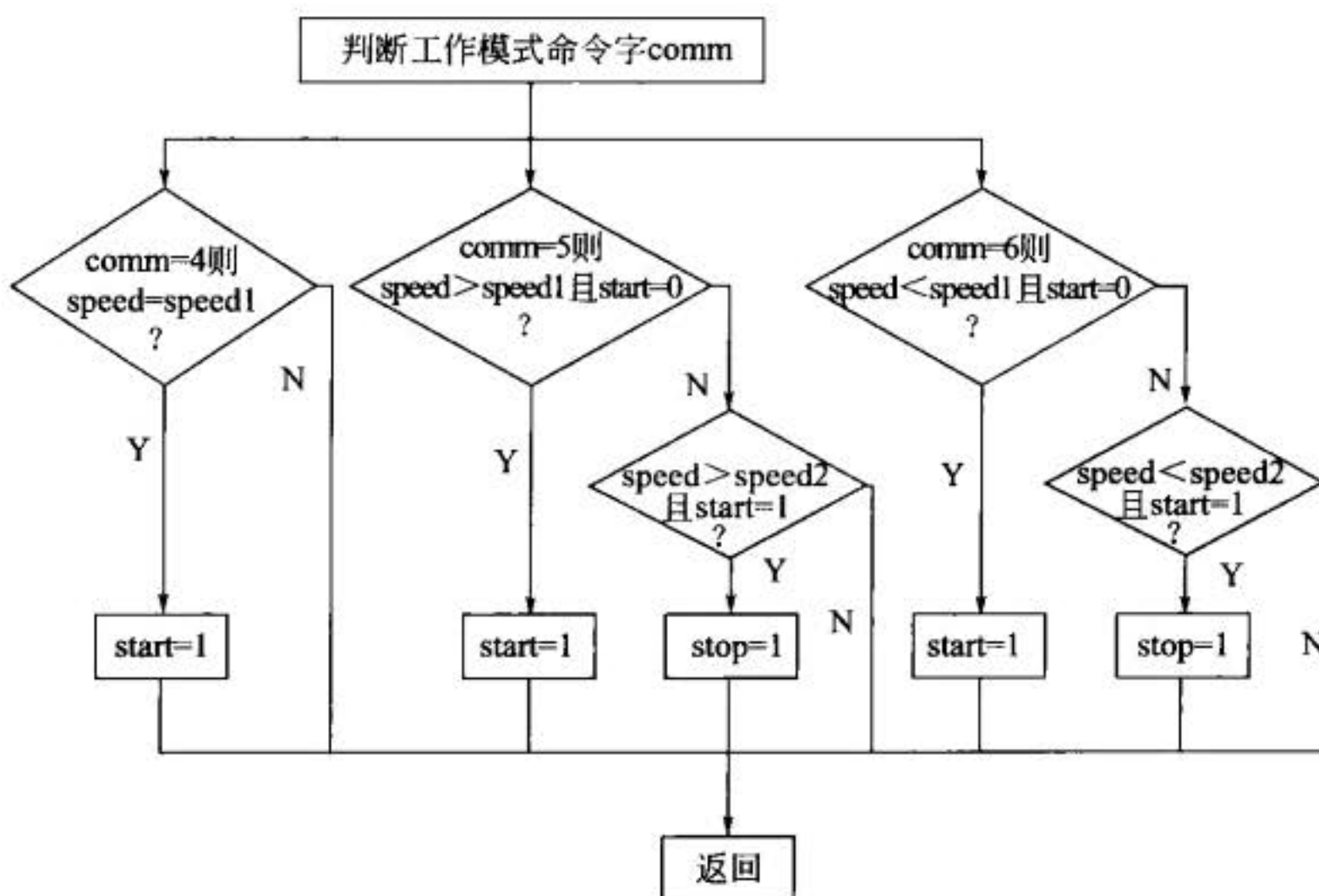


图 7-16 速度启动与停止的判断流程图