

CAN控制器根据两根线上的电位差来判断总线电平。
总线电平分为显性电平和隐性电平，二者必居其一。
发送方通过使总线电平发生变化，将消息发送给接收方。

* CAN的特点:

(1) 多主控制:

在总线空闲时，所有单元都可开始发送消息。
最先访问总线的单元可获得发送权 (CCSMA/CA方式)。
多个单元同时开始发送时，发送高优先级ID消息的单元可获得发送权。

(2) 消息的发送:

CAN协议中，所有消息都以固定格式发送。
总线空闲时，所有与总线相连的单元都可开始发送新消息。
两个以上的单元同时开始发送消息时，根据标识符 (简称ID) 决定优先级。
ID并不是表示发送的目的地址，而是表示访问总线的消息的优先级。
两个以上的单元同时开始发送消息时，对各消息ID的每个位进行逐一个仲裁比较，
仲裁获胜 (被判定为优先级最高) 的单元可继续发送消息，仲裁失利的单元
则立刻停止发送而进行接收工作。

(3) 系统的柔软性:

与总线相连的单元没有类似于“地址”的信息。
因此在总线上增加单元时，连接在总线上的其他单元的软硬件及应用层都不需改变。

(4) 通信速度:

根据整个网络的规模，可设定适合的通信速度。
在同一网络中，所有单元必须设定成统一的通信速度。
即使有一个单元的通信速度与其它的不一样，此单元也会输出错误信号，妨碍
整个网络的通信。不同网络间则可以有不同的通信速度。

(5) 远程数据请求:

可通过发送“遥控帧”请求其他单元发送数据。

(6) 错误检测功能·错误通知功能·错误恢复功能:

所有单元都可检测错误 (错误检测功能)。
检测出错误的单元会立即同时通知其他所有单元 (错误通知功能)。
正在发送消息的单元一旦检测出错误，会强制结束当前的发送。
强制结束发送的单元会不断反复地重新发送此消息直到成功发送为止。
(错误恢复功能)

(7) 故障封闭:

CAN可以判断出错误的类型是总线上暂时的数据错误 (如外部噪声等)
还是内部持续的数据错误 (如单元内部故障、驱动器故障、断线等)。
由此功能，当总线上发生持续数据错误时，可将引起此故障的单元从总
线上隔离出去。

(8) 连接:

CAN总线是可同时连接多个单元的总线。可连接的单元总数理论上是没有
限制的。但实际上可连接的单元数受总线上的时间延迟及电气负载的限制。
降低通信速度，可连接的单元数增加；提高通信速度，则可连接单元数减少。

* 错误状态的种类:

单元始终处于3种状态之一：主动错误状态、被动错误状态、总线关闭态。

(1) 主动错误状态:

是可以正常参加总线通信的状态。处于主动错误状态的单元检测出错误时，
输出主动错误标志。

(2) 被动错误状态:

是易引起错误的状态。处于被动错误状态的单元虽能参加总线通信，但
为不方便寻其它单元通信，接收时不能积极地发送错误通知。
处于被动错误状态的单元即使检测出错误，而其它处于主动错误状态的
单元如果没有发现错误，整个总线也被认为是没有错误的。
处于被动错误状态的单元检测出错误时，输出被动错误标志。
另外，在发送结束后不能马上再次开始发送。
在开始下次发送前，在间隔帧期间内必须插入“延迟传送” (8个位的隐性)

(3) 总线关闭态:

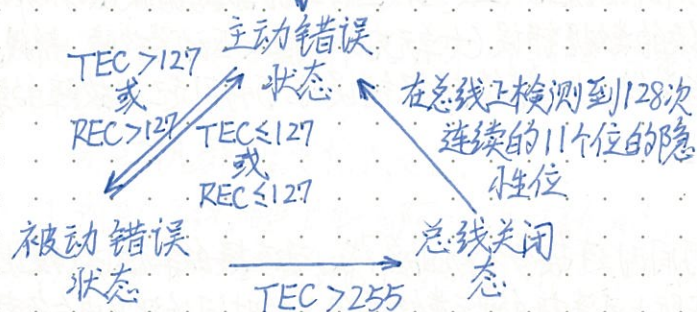
是不能参加总线上通信的状态。信息的接收和发送均被禁止。

↑ 以上状态依靠发送错误计数和接收错误计数来管理, 根据计数值决定进入何种状态。

TEC: 发送错误计数值

REC: 接收错误计数值

初始状态



* 错误计数值:

发送错误计数值和接收错误计数值根据一定的条件发生变化。

一次数据的接收和发送可能同时满足多个条件。

错误计数器在错误标志的第一个位出现的时间点上开始计数。

★ 接收和发送错误计数值的变动条件:

1. 接收单元检测出错误时 $\Rightarrow TEC = - ; REC = +1$

例外: 接收单元在发送错误标志或过载标志中检测出“位错误”时, 接收错误计数值不增加。

2. 接收单元在发送完错误标志后检测到的第一个位为显性电平时。

$\Rightarrow TEC = - ; REC = +8$

3. 发送单元在输出错误标志时。 $\Rightarrow TEC = +8 ; REC = -$

4. 发送单元在发送主动错误标志或过载标志时, 检测出位错误。

$\Rightarrow TEC = +8 ; REC = -$

5. 接收单元在发送主动错误标志或过载标志时, 检测出位错误。

$\Rightarrow TEC = - ; REC = +8$

6. 各单元从主动错误标志、过载标志的最开始检测出连续14个位的显性位时。之后, 每检测出连续的8个位的显性位时。

\Rightarrow 发送时 $TEC = +8$; 接收时 $REC = +8$

7. 检测出在被动错误标志后追加的连续8个位的显性位时。

\Rightarrow 发送时 $TEC = +8$; 接收时 $REC = +8$

8. 发送单元正常发送数据结束时(返回ACK且到帧结束也未检测出错误)

$\Rightarrow TEC = -1$ ($TEC = 0$ 时 ± 0) ; $REC = -$

9. 接收单元正常接收数据结束时(到CRC未检测出错误且正常返回ACK)

$\Rightarrow TEC = -$; $1 \leq REC \leq 127$ 时, -1 / $REC = 0$ 时 ± 0 / $REC > 127$ 时, $REC = 12$

10. 处于总线关闭态的单元, 检测到128次连续11个位的隐性位。

$\Rightarrow TEC = 0 ; REC = 0$

* ISO/OSI 基本参照模型:

7层: 应用层:

\rightarrow 由实际应用程序提供可利用的服务

6层: 表示层:

\rightarrow 进行数据表现形式的转换。如: 文字设定、数据压缩、加密等的控制

5层: 会话层:

\rightarrow 为建立会话式的通信, 控制数据正确地接收和发送。

4层: 传输层:

\rightarrow 控制数据传输的顺序、传递错误的恢复等, 保证通信的品质。
如: 错误修正、再传输控制

3层: 网络层:

\rightarrow 进行数据传送的路由选择或中继。如: 单元间的数据交换、地址管理

2层: 数据链路层:

\rightarrow 将物理层收到的信号(位序列)组成有意义的数, 提供传输错误控制等数据传输控制流程。如: 访问的方法、数据的形式、通信方式、连接控制方式、同步方式、检错方式、应答方式、通信方式、包(帧)的构造的调制方式(包括位时序条件)

1层: 物理层:

\rightarrow 规定了通信时使用的电缆、连接器等的媒体、电气信号规格等, 以实现设备间的信号传递。如: 信号电平、收发器、电缆、连接器等的形态

※在各层中 CAN 定义事项:

4层:传输层:

→ 定义: 再发送控制; 功能: 永久再尝试

2层:数据链路层:

→ 定义1: 接收消息的选择; 功能: 可点到点连接、广播、组播
(可接受消息的过滤)

定义2: 过载通知; 功能: 通知接收准备尚未完成

LLC 定义3: 错误恢复功能; 功能: 再次发送

MAC 定义4: 消息的帧化; 功能: 有数据帧、遥控帧、错误帧、过载帧4种类型

定义5: 连接控制方式; 功能: 竞争方式(支持多点传送)

定义6: 数据冲突时的仲裁; 功能: 根据仲裁, 优先级高的 ID 可继续被发送

定义7: 故障扩散抑制功能; 功能: 自动判别暂时/持续错误, 排除故障节点

定义8: 错误通知; 功能: CRC 错误、填充位错误、位错误

定义9: 错误检测; 功能: 所有单元都可随时检测错误

定义10: 应答方式; 功能: ACKA、~~ACKA~~ NACK 两种

定义11: 通信方式; 功能: 半双工通信

1层:物理层:

定义1: 位编码方式; 功能: NRZ 方式编码; 6个位的插入; 填充位

定义2: 位时序; 功能: 位时序、位的采样数(用户选择)

定义3: 同步方式; 功能: 根据同步段(SS)实现同步, 并具有仲裁功能

LLC: Logical Link Control (逻辑链路控制)

MAC: Medium Access Control (媒介访问控制)

2层分为 LLC 子层和 MAC 子层, MAC 子层是 CAN 协议的核心部分。

2层的功能是将物理层收到的信号组织成有意义的消息, 并提供传递错误控制等传输控制的流程(消息的帧化、仲裁、应答、错误的检测或报告)。

数据链路层的功能通常在 CAN 控制器的固件中执行。

※帧的种类:

通信是通过以下5种类型的帧进行的:

数据帧、遥控帧、错误帧、过载帧、帧间隔

数据帧和遥控帧有标准格式和扩展格式两种格式,

标准格式有11个位的标识符(Identifier, 以下称 ID), 扩展格式有29个位的 ID。

※各种帧的用途:

1. 数据帧: 用于发送单元向接收单元传递数据的帧

2. 遥控帧: 用于接收单元向具有相同 ID 的发送单元请求数据的帧

3. 错误帧: 用于当检测到错误时向其通信单元通知错误的帧

4. 过载帧: 用于接收单元通知其尚未做好接收准备的帧

5. 帧间隔: 用于将数据帧及遥控帧与前面的帧分离开来的帧

※数据帧的构成:

帧起始 + 仲裁段 + 控制段 + 数据段 + CRC 段 + ACK 段 + 帧结束

标准: 1 11+1 1+1+4 0-64 15+1 1+1 7
D D/R D D/D D/R D/R R R R

扩展: 1 11+1+1+8+1 1+1+4 0-64 15+1 1+1 7
D D/R R D/R D D/D/R D/R D/R R R/R R

R: 发送位; D: 接收位

※遥控帧的构成:

帧起始 + 仲裁段 + 控制段 + CRC 段 + ACK 段 + 帧结束

标准: 1 11+1 1+1+4 15+1 1+1 7

扩展: 1 11+1+1+8+1 1+1+4 15+1 1+1 7

※错误帧的构成:

(1) 帧起始: 表示帧开始的段, 1个位的显性位。(SOF)

显性电平和隐性电平:

总线线上执行逻辑上的线“与”时, 显性电平的逻辑值为“0”, 隐性电平为“1”。

“显性”具有“优先”之意, 只要有一个单元输出显性电平, 总线即为显性电平。

“隐性”具有“包容”之意, 只有所有单元都输出隐性电平, 总线才为隐性电平。

↑ 显性电平比隐性电平更强

(2) 仲裁段: 表示数据的优先级的段

标准格式: 基ID (11位)、RTR (1位)

扩展格式: 基ID (11位)、SRR (1位)、IDE (1位)、扩展ID (18位)、RTR (1位)

⇒ 标准格式的ID有11个位, 从ID28到ID18依次被发送。禁止高7位都为隐性

(禁止设定: ID = 1111111xxxx)

扩展格式的ID有29个位。基本ID从ID28到ID18, 扩展ID由ID17到ID0表示

基本ID和标准格式的ID相同。禁止高7位都为隐性。

(禁止设定: 基本ID = 1111111xxxx)

(3) 控制段: 由6个位构成, 表数据段的字节数

标准格式: IDE (1位)、r0 (1位)、DLC (4位)

扩展格式: r1 (1位)、r0 (1位)、DLC (4位)

⇒ 保留位 (r0, r1) 必须全以显性电平发送。但接收方可接收显、隐性及其任意组合的帧

数据长度码 (DLC) 与数据的字节数对应。

数据的字节数必须为 0~8 字节。但接收方对 DLC = 9~15 的情况并不视为错误

(4) 数据段 (标准、扩展格式相同)

可包含 0~8 字节的数据。从 MSB (最高位) 开始输出。

(5) CRC 段: 是检查帧传输错误的帧。

由 15 个位的 CRC 顺序和 1 个位的 CRC 界定符 (用于分隔的位) 构成。

⇒ CRC 顺序是根据多项式生成的 CRC 值。CRC 的计算范围包括帧起始、

仲裁段、控制段、数据段。接收方以同样的算法计算 CRC 值并进行比较, 不一致时会通报错误。

(6) ACK 段: 用来确认是否正常接收。

由 ACK 槽 (ACK Slot) 和 ACK 界定符 2 个位构成。

⇒ 发送单元的 ACK 段: 发送单元在 ACK 段发送 2 个位的隐性位。

接收单元的 ACK 段: 接收到正确消息的单元在 ACK 槽 (ACK Slot) 发送显性位, 通知发送单元正常接收结束。称作“发送 ACK”或“返回 ACK”。

⇒ 发送 ACK 的是在既不处于总线关闭态也不处于休眠态的多数接收单元中, 接收到正常消息的单元 (发送单元不发送 ACK)。所谓正常消息指不含填充错误、格式错误、CRC 错误的消息

(7) 帧结束: 表示该帧结束的段。由 7 个位的隐性位构成。 (EOF)

* 数据帧和遥控帧:

• 两帧的不同:

— 遥控帧的 RTR 位为隐性位, 无数据段。

— 无数据段的数据帧和遥控帧可通过 RTR 位区别开来。

• 遥控帧没有数据段, 数据长度码该如何表示?

— 遥控帧的数据长度码以所请求数据帧的数据长度码表示。

• 没有数据段的数据帧有何用途?

— 例如, 可用于各单元的定期连接确认/应答, 或仲裁本身带有实质性信息的情况下。

* 错误帧:

用于在接收和发送消息时检测出错误通知错误的帧。错误帧由错误标志和错误界定符构成。

错误标志: 包括主动错误标志和被动错误标志两种

— 主动错误标志: 6 个位的显性位

— 被动错误标志: 6 个位的隐性位

错误界定符: 由 8 个位的隐性位构成

⇒ 主动错误标志: 处于主动错误状态的单元检测出错误时输出的错误标志

被动错误标志: 处于被动错误状态的单元检测出错误时输出的错误标志

* 过载帧:

用于接收单元通知其尚未完成接收准备的帧。由过载标志和过载界定符构成。

— 过载标志: 6 个位的显性位, 构成与主动错误标志的构成相同。

— 过载界定符: 8 个位的隐性位, 构成与错误界定符的构成相同。

* 帧间隔:

用于分隔数据帧和遥控帧的帧。数据帧和遥控帧可通过插入帧间隔将本帧与前面的任何帧 (数据帧、遥控帧、错误帧、过载帧) 分开。

过载帧和错误帧前不能插入帧间隔。

帧间隔 = 间隔 + 延迟传送 + 总线空闲

(1) 间隔: 3个位的隐性位。

(2) 总线空闲: 隐性电平, 无长度限制 (0亦可)。

本状态下, 可视为总线空闲, 要发送的单元可开始访问总线。

(3) 延迟传送 (发送暂时停止)

8个位的隐性位。只在处于被动错误状态的单元刚发送一个消息后的帧间隔中包含的段。

* 优先级的决定:

在总线空闲态, 最先开始发送消息的单元获得发送权。

多个单元同时开始发送时, 各发送单元从仲裁段的第一位开始进行仲裁。

连续输出显性电平最多的单元可继续发送。

(1) 数据帧和遥控帧的优先级:

具有相同ID的数据帧和遥控帧在总线上竞争时, 仲裁段的最后一位 (RTR) 为显性位的数据帧具有优先权, 可继续发送。

(2) 标准格式和扩展格式的优先级:

标准格式ID与具有相同ID的遥控帧或者扩展帧格式的数据帧在总线上竞争时, 标准格式的RTR位为显性位的具有优先权, 可继续发送。

* 位填充:

是为防止突发错误而设定的功能。当同样的电平持续5位时则添加一位的反型数据。

(1) 发送单元的工作:

在发送数据帧和遥控帧时, SDF~CRC段间的数据, 相同的电平如果持续5位, 在下一位 (第6个位) 则要插入1位与前5位反型的电平。

(2) 接收单元的工作:

在接收数据帧和遥控帧时, SDF~CRC段间的数据, 相同的电平如果持续5位, 需要删除下一个位 (第6个位) 再接收。如果这个第6个位的电平与前5位相同, 将被视为错误并发送错误帧。

* 错误的种类:

错误共有5种。多种错误可能同时发生。

位错误、填充错误、CRC错误、格式错误、ACK错误

(1) 位错误:

比较输出电平和总线电平 (不含填充位), 当两电平不一样时所检测到的错误。

错误的检测帧 (段): 数据帧 (SDF~EOF)、遥控帧 (SDF~EOF)、错误帧、过载帧

检测单元: 发送单元、接收单元

(2) 填充错误:

在需位填充的段内, 连续检测到6位相同的电平时所检测到的错误。

错误的检测帧 (段): 数据帧 (SDF~~~ACK~~顺序)、遥控帧 (SDF~CRC顺序)

检测单元: 发送单元、接收单元

(3) CRC错误:

从接收到的数据计算出的CRC结果与接收到的CRC顺序不同所检测到的错误。

错误的检测帧 (段): 数据帧 (CRC顺序)、遥控帧 (CRC顺序)

检测单元: 接收单元

(4) 格式错误:

检测到与固定格式的位段相反的格式时所检测到的错误。

错误的检测帧 (段): 数据帧 (CRC界定符、ACK界定符、EOF)、
遥控帧 (CRC界定符、ACK界定符、EOF)、
错误界定符、过载界定符

检测单元: 接收单元

(5) ACK错误:

发送单元在ACK槽 (ACK Slot) 中检测出隐性电平时所检测到的错误 (ACK没被传送过来时所检测到的错误)

数据帧 (ACK槽)、遥控帧 (ACK槽) — 错误的检测帧 (段)

检测单元: 发送单元