

ICS 25.040.40

CCS J 66



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

自动化系统与集成 CAN 总线控制器测试方法

Automation systems and integration-Test method for CAN bus controller

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前 言	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 一般要求	2
5.1 通则	2
5.2 功能验证一般要求	2
5.3 电参数测试一般要求	2
5.4 电参数测试示波器	2
5.5 测试环境	2
6 详细要求	3
6.1 寄存器读写功能验证	3
6.2 标准帧报文收发	3
6.3 扩展帧报文收发	4
6.4 远程帧报文收发	6
6.5 过载帧发送	7
6.6 总线仲裁	7
6.7 报文接收滤波	8
6.8 错误处理	9
6.9 节点关闭	10
6.10 直流电参数	11
6.11 交流电参数	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国自动化系统与集成标准化技术委员会（SAC/TC 159）归口。

本文件起草单位：北京振兴计量测试研究所、北京机械工业自动化研究所有限公司等。

本文件主要起草人：杨超，谢向桅，刘月晖，杜峻，马成英，王国力，张金凤，肖景林，杨海波。

自动化系统与集成 CAN 总线控制器测试方法

1 范围

本文件规定了半导体集成电路CAN总线控制器功能验证和电参数测试的方法。
本文件适用于半导体集成电路领域中CAN总线控制器的功能验证和电参数测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17574-1998 半导体器件 集成电路 第2部分：数字集成电路

GB/T 41588.1-2022 道路车辆 控制器局域网（CAN） 第1部分：数据链路层和物理信令

3 术语和定义

GB/T 41588.1-2022界定的下列术语和定义适用于本文件。

3.1

总线状态 bus state

两种互补的逻辑状态中的一种：显性或隐性。

3.2

标识符 identifier

不指明帧的目的地，而是反应特定帧的优先级，并标明所传输数据的含义。

3.3

传统标准帧格式 classical base frame format

使用11位ID，传输时只用1种位速率，一帧最多包含8个数据字节的数据帧或者远程帧格式。

3.4

传统扩展帧格式 classical extended frame format

使用29位ID，传输时只用1种位速率，一帧最多包含8个数据字节的数据帧或者远程帧格式。

3.5

过载帧 overload frame

指示有过载情形的帧。

3.6

优先级 priority

帧的属性，决定了它在仲裁过程中的排名。

3.7

远程帧 remote frame

请求发送指定数据帧的帧。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件

ATE:自动测试设备 (Automatic Test Equipment)

CAN:控制器域网 (Controller Area Network)

5 一般要求

5.1 通则

器件的功能验证不限定具体设备，宜在ATE上进行，或者使用工程评估板进行验证。ATE的数字通道应可实现对被测对象的激励和测量，工程评估板可运行用于功能验证的测试程序。

器件的电参数测试宜在ATE上进行测试，或者使用工程评估板及示波器进行测试。

在功能验证时，应符合5.2的规定。

在电参数测量时，应编制测试向量，使器件处于所需的工作状态才能进行测量。测试向量应符合5.3的规定。使用示波器测试时，应符合5.4的规定。

5.2 功能验证一般要求

功能验证应根据待测CAN总线控制器数据手册和CAN总线通信协议，遍历内部所有寄存器的读写和不同工作模式的行为表现，考核器件是否能按照CAN总线通信协议实现既定功能；不同格式报文收发，应尽可能遍历所有可能的ID和数据位。包含以下内容，但是不限于这些内容：

- a) 寄存器读写功能验证；
- b) 标准帧报文收发；
- c) 扩展帧报文收发；
- d) 远程帧报文收发；
- e) 过载帧发送；
- f) 总线仲裁；
- g) 报文接收滤波；
- h) 错误处理；
- i) 节点关闭。

5.3 电参数测试一般要求

电参数测试时应使器件处于所需工作状态，应配合相应的向量。电参数测试的向量应满足器件不同状态的要求。在测试时，器件应处于某种指定状态或者应用下。向量应保证在测试过程中器件不会脱离指定的状态或者应用而进入其他状态或者应用。

5.4 电参数测试示波器

使用示波器进行电参数测试时，一般只能测试直流参数和时序参数，无法测试工作电流参数，应使用上位机（计算机）使器件处于所需的工作状态。测试时使用的示波器及附件应符合以下要求：

- a) 示波器带宽不应小于被测信号带宽的2.5倍；
- b) 采集信号的探头带宽不应小于被测信号频率的2.5倍；
- c) 示波器应安装相应的电参数分析软件。

5.5 测试环境

除另有规定外，CAN总线控制器测试应在环境气压为86kPa~106kPa、相对湿度为35%~80%的范围内进行。测试温度应符合GB/T 17574-1998第IV篇第1节 2.1.2的规定。

6 详细要求

6.1 寄存器读写

6.1.1 目的

验证器件内部寄存器是否能完成正常读写功能。

6.1.2 测试原理图

寄存器读写功能验证原理图如图1所示。



图1 寄存器读写功能验证原理图

6.1.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.1.4 测试程序

使待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，读取所有可读寄存器数值，比较读取值是否与复位值一致。

对可写的寄存器，以遍历的方式对所有寄存器进行写入，读出判断是否与预期一致。

6.2 标准帧报文收发

6.2.1 目的

验证器件标准帧报文收发功能。

6.2.2 测试原理图

标准帧报文收发验证原理图如图2所示。



图2 标准帧报文收发验证原理图

6.2.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- 环境温度或参考点温度；
- 电源电压；
- 时钟频率及工作条件。

6.2.4 测试程序

6.2.4.1 标准帧报文发送

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，设定待测器件寄存器，使得芯片处于标准帧模式，设定报文传输波特率，向器件发送缓冲器写入报文ID和数据，使能发送中断，使能报文发送。

在RX端口施加与TX端口保持一致的高低电平；采集TX端口报文发送高低电平，判断是否符合标准帧格式。

观测中断管脚，报文成功发送后，此管脚应有中断产生；读取中断寄存器后，发送中断应置位，读取后中断管脚复位。

6.2.4.2 标准帧报文接收

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，设定待测器件寄存器，使得芯片处于标准帧模式，设定报文传输波特率，设置验收滤波器，待测器件不对接收到的报文进行滤波，使能接收中断。

通过RX端口向待测器件发送符合标准帧协议的报文帧；发送完成之后，读取待测器件接收缓冲器，判断是否与发送的报文一致。

观测中断管脚，报文成功接收后，此管脚应有中断产生；读取中断寄存器，接收中断应置位，读取后中断管脚复位。

6.2.4.3 报文标准帧的获取

本文件6.2.4.1和6.2.4.2，测试过程均需要预先获取报文标准帧。

确定了报文ID和数据信息，根据GB/T 41588.1-2022 第9节MAC子层，可以获得报文标准帧。

CAN总线控制器发送标准帧报文过程中，将TX和RX短接，可以从示波器读取完整的报文标准帧。

6.3 扩展帧报文收发

6.3.1 目的

验证待测器件扩展帧报文收发功能。

6.3.2 测试原理图

扩展帧报文收发验证原理图如图3所示。



图3 扩展帧报文收发验证原理图

6.3.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.3.4 测试程序

6.3.4.1 扩展帧报文发送

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，设定待测器件寄存器，使得芯片处于扩展帧模式，设定报文传输波特率，向器件发送缓冲器写入报文ID和数据，使能发送中断，使能报文发送。

在RX端口施加与TX端口保持一致的高低电平；采集TX端口报文发送高低电平，判断是否符合扩展帧格式。

观测中断管脚，报文成功发送后，此管脚应有中断产生；读取中断寄存器后，发送中断应置位，读取后中断管脚复位。

6.3.4.2 扩展帧报文接收

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，设定待测器件寄存器，使得芯片处于扩展帧模式，设定报文传输波特率，设置验收滤波器，待测器件不对接收到的报文进行滤波，使能接收中断。

通过RX端口向待测器件发送符合扩展帧协议的高低电平；发送完成之后，读取待测器件接收缓冲器，判断是否与发送的报文一致。

观测中断管脚，报文成功接收后，此管脚应有中断产生；读取中断寄存器，接收中断应置位，读取后中断管脚复位。

6.3.4.3 报文扩展帧的获取

本文件6.3.4.1和6.3.4.2，测试过程均需要预先获取报文扩展帧。

确定了报文ID和数据信息，根据GB/T 41588.1-2022 第9节MAC子层，可以获得报文扩展帧。

CAN总线控制器发送扩展帧报文过程中，将TX和RX短接，可以从示波器读取完整的报文扩展帧。

6.4 远程帧报文收发

6.4.1 目的

验证器件远程帧报文收发功能。

6.4.2 测试原理图

远程帧标准帧报文收发验证原理图如图4所示。



6.4.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.4.4 测试程序

6.4.4.1 远程帧报文发送

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，设定待测器件寄存器，设定报文传输波特率，向器件发送缓冲器写入报文远程帧标识符、ID和数据长度，使能发送中断，使能报文发送。

在RX端口施加与TX端口保持一致的高低电平；采集TX端口报文发送高低电平，判断是否符合远程帧格式。

观测中断管脚，报文成功发送后，此管脚应有中断产生；读取中断寄存器后，发送中断应置位，读取后中断管脚复位。

6.4.4.2 远程帧报文接收

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，设定待测器件寄存器，设定报文传输波特率，设置验收滤波器，待测器件不对接收到的报文进行滤波，使能接收中断。

通过RX端口向待测器件发送符合远程帧协议的高低电平；发送完成之后，读取待测器件接收缓冲器，验证远程帧标识符、ID和数据长度是否与预期一致。

观测中断管脚，报文成功接收后，此管脚应有中断产生；读取中断寄存器，接收中断应置位，读取后中断管脚复位。

6.5 过载帧发送

6.5.1 目的

验证器件过载帧发送功能。

6.5.2 测试原理图

过载帧发送验证原理图如图5所示。



图5 过载帧发送验证原理图

6.5.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.5.4 测试程序

参考本文件6.2-6.4，以任意方式完成报文收发。

待测器件应进入总线帧见间隔，帧见间隔由三个连续的隐形电平组成。

在帧见间隔第一个隐形电平或者第二个隐形电平，从RX端口向待测芯片施加显性电平，破坏了帧见间隔协议格式，芯片会立即发出过载帧。

观测待测芯片TX管脚，TX管脚会发出连续的6个显性电平和8个隐形电平，分别为过载标识和过载界定符。

6.6 总线仲裁

6.6.1 目的

验证器件总线仲裁功能。

6.6.2 测试原理图

总线仲裁验证原理图如图6所示。



6.6.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.6.4 测试程序

6.6.4.1 标准帧格式总线仲裁

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，设定待测器件寄存器，使得芯片处于标准帧模式；设定报文传输波特率，向器件发送缓冲器写入报文ID和数据；设置验收滤波器，待测器件不对接收到的报文进行滤波；对于有仲裁中断功能的待测器件，使能仲裁中断和接收中断，使能报文发送。

报文通过TX端口发送，同时向待测器件RX端口写入ID优先级别更高的报文。

使能仲裁中断功能的器件，报文传输过程观测中断管脚，中断管脚置位；读取中断寄存器，仲裁丢失中断应置位，读取后中断管脚复位。读取仲裁丢失捕捉寄存器，读取的数值指示仲裁具体丢失位置，与预期丢失位置进行比对。

报文传输结束，读取接收缓冲器，比较接收缓冲器的报文是否与从RX端口接收的报文一致。观测中断管脚，报文传输结束后，此管脚应有中断产生；读取中断寄存器，接收中断应置位，读取后中断管脚复位。

保持总线空闲，仲裁丢失的报文会重启发送，后续测试内容同本文件6.2.4.1标准帧格式报文发送。

注：报文发送过程，RX端口检测到CAN总线上有更高优先级的报文在发送，待测器件发送过程被仲裁掉，此后TX端口一致保持高电平，待测器件由发送报文状态转为接收报文状态。

6.6.4.2 扩展帧格式总线仲裁

报文格式由标准帧改为扩展帧，其他内容与6.4.4.1保持一致。

6.7 报文接收滤波

6.7.1 目的

验证器件报文接收滤波功能。

6.7.2 测试原理图

报文接收滤波验证原理图如图7所示。



图7 报文接收滤波验证原理图

6.7.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.7.4 测试程序

6.7.4.1 标准帧格式报文接收滤波

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

根据待测器件数据手册和时序要求，设定待测器件寄存器，使得芯片处于标准帧模式；设定报文传输波特率，设置验收滤波器，待测器件仅能接收特定ID的报文，使能接收中断。

通过RX端口向器件发送和特定ID不匹配的正确报文帧，读取接收缓冲器，读不到预期的数据，报文因为与预期ID不匹配所以被丢弃。观测中断管脚，中断管脚没有中断置位。

再次使用测试向量通过RX端口向器件发送与特定识别码匹配的报文帧，读取接收缓冲器，此时可以读到和发送的报文匹配的内容。观测中断管脚，报文成功接收后，此管脚应有中断产生；读取中断寄存器，接收中断应置位，读取后中断管脚复位。

6.7.4.2 扩展帧格式报文接收滤波

报文格式由标准帧改为扩展帧，其他内容与6.7.4.1保持一致。

6.8 错误处理

6.8.1 目的

验证器件错误处理功能。

6.8.2 测试原理图

错误处理验证原理图如图8所示。



6.8.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.8.4 测试程序

6.8.4.1 接收状态下错误处理

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

设置报文传输波特率，设置验收滤波器，使得待测器件不对接收到的报文进行滤波；测试向量通过RX端口给芯片发送报文，发送报文过程中通过RX端口施加错误码（错误码即不满足CAN总线协议的高低电平，可以是不满足位填充规则的错误，也可以是CRC校验错误等）。

此时待测器件会检测到总线错误，根据错误类型自动增加接收错误寄存器的值，读取芯片接收错误寄存器的值，判断是否与预期一致。

具体错误类型与接收错误寄存器增减关系，参考GB/T 41588.1-2022 第11.1.4故障界定规则。

6.8.4.2 发送状态下错误处理

设置待测器件复位，随后释放复位状态。

设置报文传输波特率，向发送缓冲器写入数据，开启发送，待测器件从TX端口发送报文。

发送过程通过RX端口施加入错误码，此时待测器件会检测到总线错误，根据错误类型自动增加发送错误寄存器的值，读取芯片接收错误寄存器的值，判断是否与预期一致。

具体错误类型与发送错误寄存器增减关系，参考GB/T 41588.1-2022 第11.1.4故障界定规则。

6.9 节点关闭

6.9.1 目的

验证器件节点关闭功能。

6.9.2 测试原理图

节点关闭验证原理图如图9所示。



图9 节点关闭验证原理图

6.9.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.9.4 测试程序

施加接收错误或者发送错误，当接收寄存器或者发送寄存器累加到255时，待测器件认为自身错误过多，从而对自身进行关闭。

此时发送错误计数器将被置成0X7F，接收错误计数器直接被清零；测试向量通过RX端口给待测芯片发送报文，报文无法被接收。

每11个总线空闲，发送错误计数器-1，通过测试向量读取发送错误计数器的值，直至减为0，节点恢复正常工作；再次通过RX端口给待测芯片发送报文，报文可以被正常接收。

6.10 直流电参数

6.10.1 目的

测试规定条件下器件直流电参数。器件直流电参数的测试包括VOH、VOL、II、IOZ、VIH、VIL等，参数含义见表1。

表1 直流电参数列表

符号	参数
VOH	输出高电平
VOL	输出低电平
II	输入漏电流
IOZ	输出高阻态电流
VIH	输入高电平阈值
VIL	输入低电平阈值
IDD	功耗电流

6.10.2 测试原理图

直流电参数测试原理图如图10所示。



图 10 直流电参数测试原理图

6.10.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.10.4 测试程序

根据具体直流参数进行介绍：

- a) 输出高电平 V_{OH} ：使得待测器件的某一或某几个输出管脚保持高电平状态，根据待测器件数据手册，对器件输出高电平管脚施加反向电流，即拉电流，采用加流测压的方式，测到的电压即为待测器件输出高电平； V_{OH} 的测试应覆盖待测器件输出管脚；
- b) 输出低电平 V_{OL} ：使得待测器件的某一或某几个输出管脚保持低电平状态，根据待测器件数据手册，对器件输出低电平管脚施加正向电流，即灌电流，采用加流测压的方式，测到的电压即为待测器件输出低电平； V_{OL} 的测试应覆盖待测器件输出管脚；
- c) 输入漏电流 I_I ：对待测器件输入管脚进行加压测流，施加电压值根据芯片数据手册给定，测到的电流值即为输入漏电流，一般情况下应单独对每个输入管脚的漏电流进行单独测试，不应并行测试。使用电源电压进行测试得到的电流值为 I_{IH} ，使用 $0V$ 进行测试得到的电流值为 I_{IL} 。
- d) 输出高阻态电流 I_{OZ} ：使得待测器件处于复位状态，此时所有输出均为高阻态，进行加压测流，施加电压值根据器件数据手册给定，测到的电流值即为输出高阻态电流； I_{OZ} 的测试应尽可能多的覆盖待测器件输出管脚。使用电源电压进行测试得到的电流值为 I_{OZH} ，使用 $0V$ 进行测试得到的电流值为 I_{OZL} ；
- e) 输入高电平 V_{IH} ：利用验证过的功能测试图形，将 V_{IH} 设置成变量并给定初值， V_{IL} 给定值为 0 ， V_{IH} 以一定的步长逐渐增加，多次对测试图形进行测试，随着 V_{IH} 增加，测试从失效到通过的瞬间，读出 V_{IH} 的值，即为待测芯片能识别到的输入高电平最小值，大于此数值的电压会被芯片识别为输入高电平；
- f) 输入低电平 V_{IL} ：利用验证过的功能测试图形，将 V_{IL} 设置成变量并给定初值， V_{IH} 给定和 V_{CC} 相同的电压值， V_{IL} 以一定的步长逐渐减小，多次对测试图形进行测试，随着 V_{IL} 减小，测试从失效到通过的瞬间，读出 V_{IL} 的值，即为待测芯片能识别到的输入低电平最大值，小于此数值的电压会被芯片识别为输入低电平；
- g) 功耗电流 I_{DD} ：在测试过程中使用的测试向量应符合有关文件中规定的向量要求。在芯片正常传输报文情况下，测量经过电源管脚的电流，即为 I_{DD} ；在芯片进入睡眠模式，测量经过电源管脚的电流，即为 I_{DDQ} 。

6.11 交流电参数

6.11.1 目的

测试规定条件下器件交流电参数。器件交流电参数的测试包括 T_{AS} 、 T_{AH} 、 T_{DS} 、 T_{DH} 、 T_{RD} 、 T_{RW} 、 T_{WR} 、 T_{LLWL} 、 T_{LLRL} 等，参数含义见表2。

注：串行通信的CAN总线控制器通过SPI接口配置，本文件所列交流参数不在测试范围之内，参考GB/T 17574-1998对SPI接口的交流特性进行测试。

表2 交流电参数列表

符号	参数
T_{AS}	地址建立时间
T_{AH}	地址保持时间
T_{DS}	数据建立时间
T_{DH}	数据保持时间
T_{RD}	RD 有效到数据输出时间
T_{RW}	WR 信号有效时间
T_{WR}	RD 信号有效时间
T_{LLWL}	ALE 有效到 WR 有效最短时间
T_{LLRL}	ALE 有效到 RD 有效最短时间

6.11.2 测试原理图

交流电参数测试原理图如图10所示。

6.11.3 测试条件

以下条件应在测试时明确给出并详细记录：

- a) 环境温度或参考点温度；
- b) 电源电压；
- c) 时钟频率及工作条件。

6.11.4 测试程序

利用验证过的功能测试图形，将待测交流参数设置成变量并给定初值，其它直流、交流参数严格按照数据手册标称值给出（理想状态），待测交流参数以一定的步长增加或者减少，功能测试从失效到通过的瞬间，或者从通过到失效的瞬间，读出该变量的数值，为芯片正常工作情况下该参数极限值。