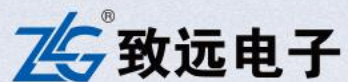


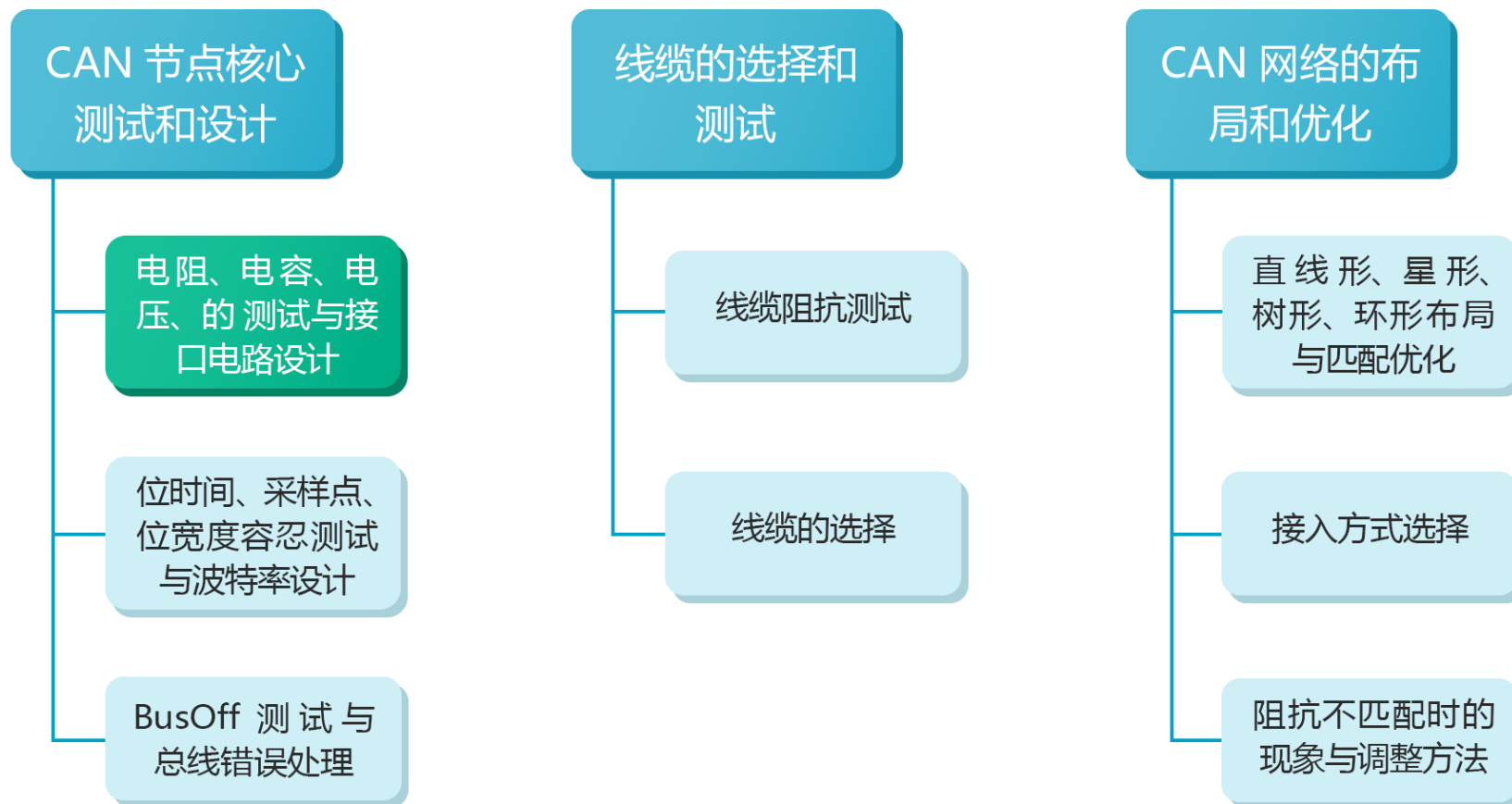
# 保证CAN运行稳定的核心设计与测试

---

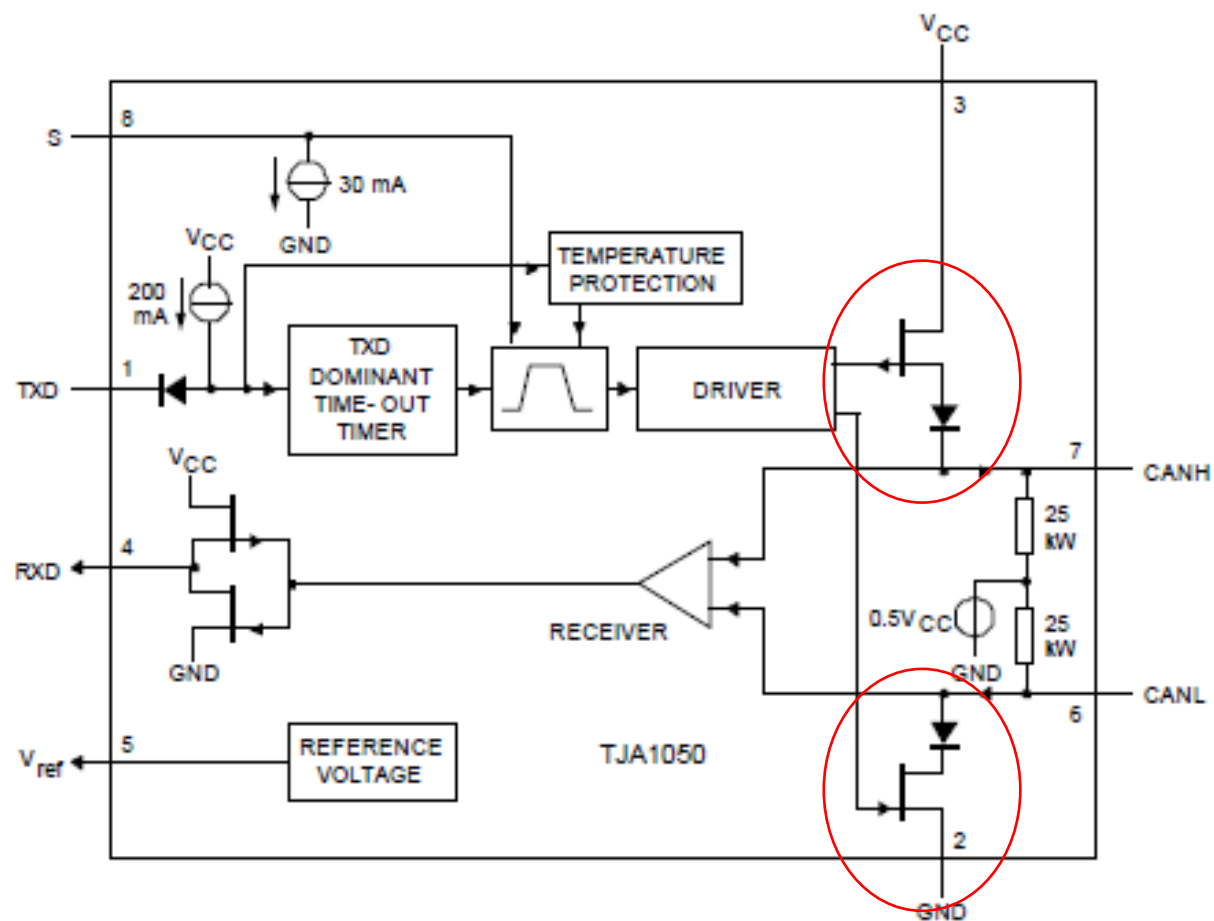
国内领先工业互联网/工业4.0设备系统解决方案提供商



# 保证CAN运行稳定的核心设计和测试



# CAN收发器



# CAN节点内阻的影响与测试

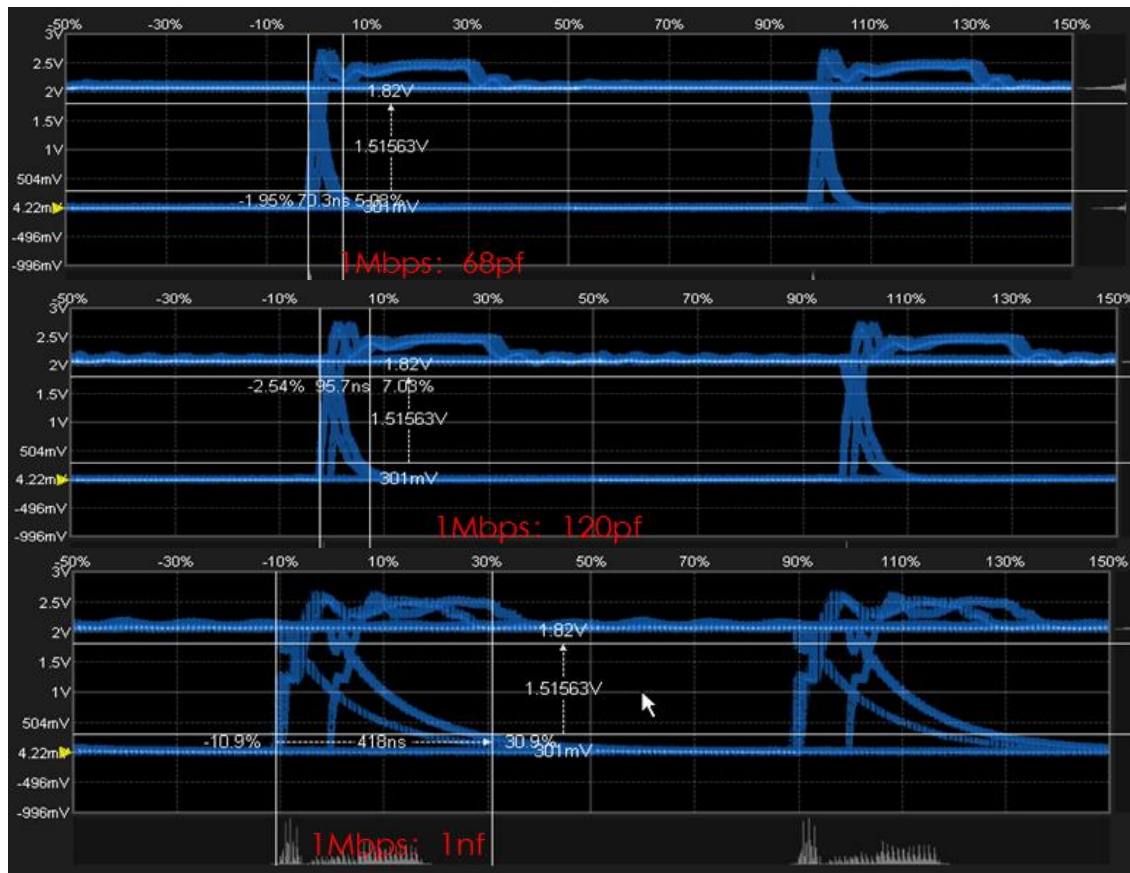
为了保证CAN节点对网络的阻抗匹配，以及CAN收发器所能驱动的最大负载。所以要求每个CAN节点的内阻不得太小，按照ISO11898-2的测试规范如下：

测试参数	测试值		
	最小值	典型值	最大值
CANH对地电阻	5KΩ	-	50KΩ
CANL对地电阻	5KΩ	-	50KΩ
CANH对CANL电阻	10KΩ	-	100KΩ

网络总负载电阻	CAN-diff幅值
120欧	2.5V左右
60欧	2V左右
40欧	1.5-1.7V左右
30欧	1.1-1.3V左右
24欧	0.9-1.1V左右

# CAN节点电容的影响与测试

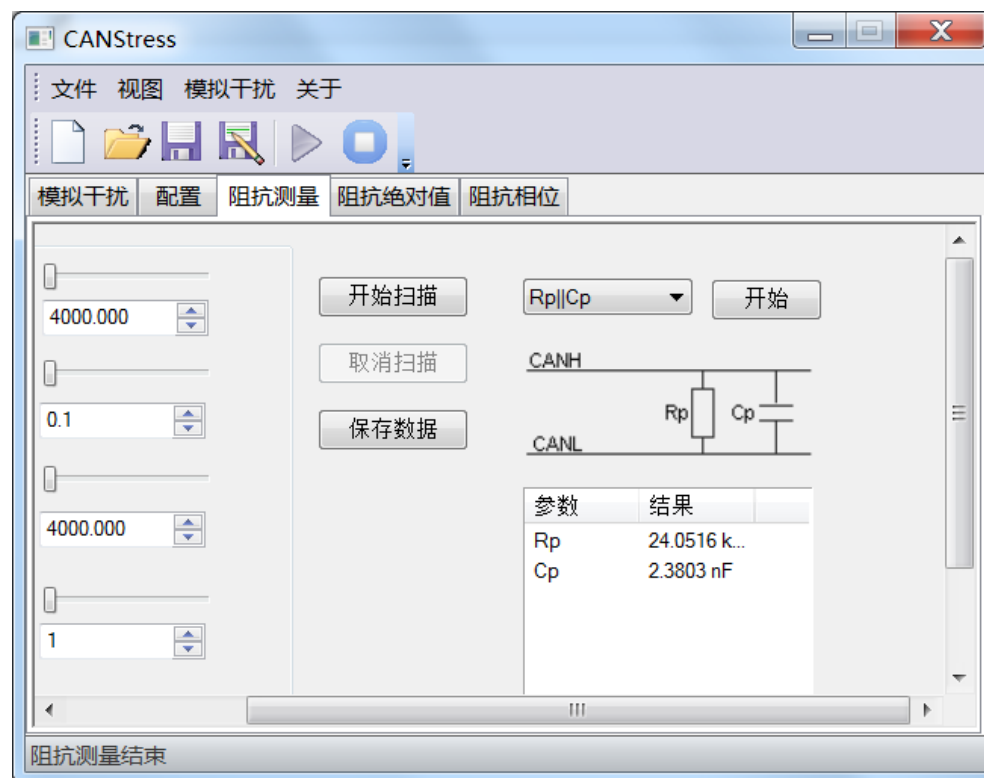
CAN节点的电容会影响整个网络的电容，电容越大边沿越缓，导致位采样错误。





# CAN节点内阻和电容的快速测试

使用CANScope的配件板StressZ可以在断电情况下，快速扫描出节点的内阻和电容。



# CAN节点内阻的影响与测试

CAN总线上面的信号幅值是接收节点能正确识别逻辑信号的保证。高速CAN差分电平 $CANDiff = (CANH - CANL)$ 的幅值只有大于0.9V才能被100%识别成显性电平，同理如果幅值低于0.9V就有被识别出隐形电平的可能。

差分电平幅值	识别成的逻辑值
>0.9V	显性电平 ( 0 )
0.5~0.9V	不确定区域
<0.5V	隐形电平 ( 1 )

	高速CAN		容错CAN	
逻辑	隐性 ( 1 )	显性 ( 0 )	隐性 ( 1 )	显性 ( 0 )
CANH ( 单位V )	Min:2.00 Nom:2.50 Max:3.00	Min:2.75 Nom:3.50 Max:4.50	Min:1.60 Nom:1.75 Max:1.90	Min:3.85 Nom:4.00 Max:5.00
CANL ( 单位V )	Min:2.00 Nom:2.50 Max:3.00	Min:0.50 Nom:1.50 Max:2.25	Min:3.10 Nom:3.25 Max:3.40	Min:0.00 Nom:1.00 Max:1.15
CANDiff ( 单位zV )	Min:-0.5 Nom:0 Max:0.05	Min:1.5 Nom:2.0 Max:3.0	Min:-0.3 Nom:-1.5 Max:0	Min:0.3 Nom:3.00 Max:5.00

# CAN节点输出电压的快速测试

测试统计

项目	结果
电压测试	通过

电压测试

测试项	限定值
CAN-H显性	2.75 V~4.5 V
CAN-L显性	0.5 V~2.25 V
CAN-DIFF显性	1.5 V~3 V
CAN-H隐性	2 V~3 V
CAN-L隐性	2 V~3 V
CAN-DIFF隐性	-0.5 V~0.5 V

CANTester

新建 打开 保存配置 开启 停止 系统设置 测试报告

项目	结果	备注	设备要求
<input checked="" type="checkbox"/> 全部测试			
<input checked="" type="checkbox"/> 1. 电压测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 2. 边沿测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 3. 总线延时测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 4. 总线利用率测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 5. 总线错误率测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 6. 对称性测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 7. 采样点测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 8. 位宽容忍度测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 9. 报文压力测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 10. 错误波特率压力测试	----		Std Pro
<input type="checkbox"/> 11. 抗干扰能力测试	----		Pro
<input type="checkbox"/> 12. 总线短路测试	----		Pro+Stre...
<input type="checkbox"/> 13. 总线断路测试	----		Pro+Stre...
<input type="checkbox"/> 14. 阻抗增加压力测试	----		Pro+St...

电压测试

CAN-H测试

是

显性最大值

4.5

显性最小值

2.75

隐性最大值

3

隐性最小值

2

CAN-L测试

是

显性最大值

2.25

显性最小值

0.5

隐性最大值

3

隐性最小值

2

CAN-DIFF测试

是

显性最大值

3

显性最小值

1.5

隐性最大值

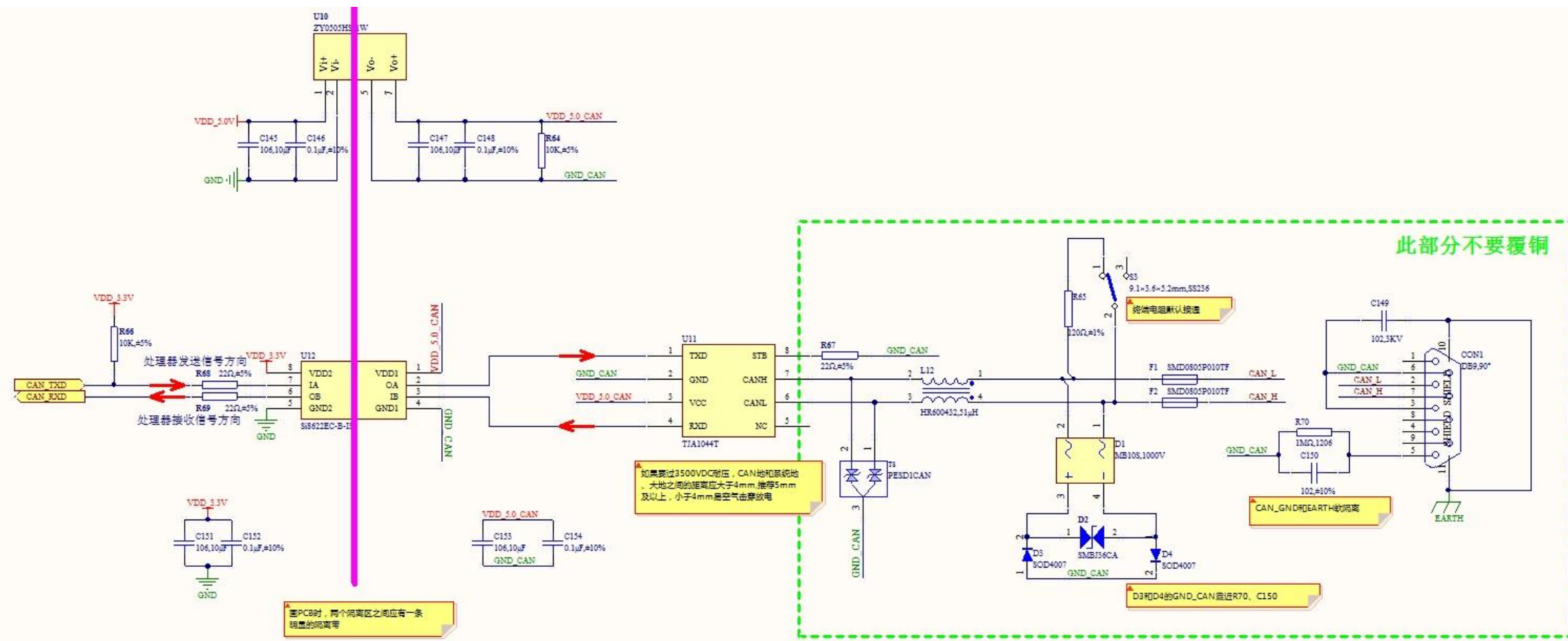
0.5

隐性最小值

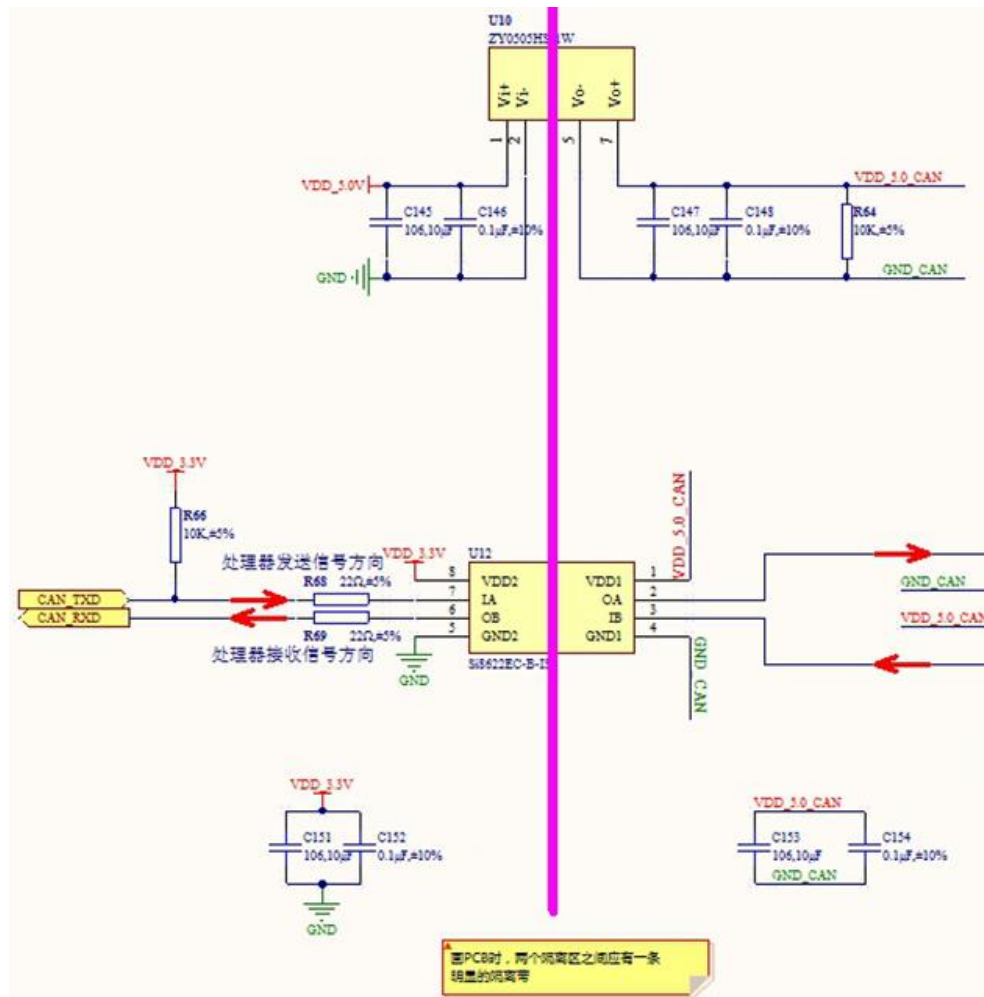
-0.5



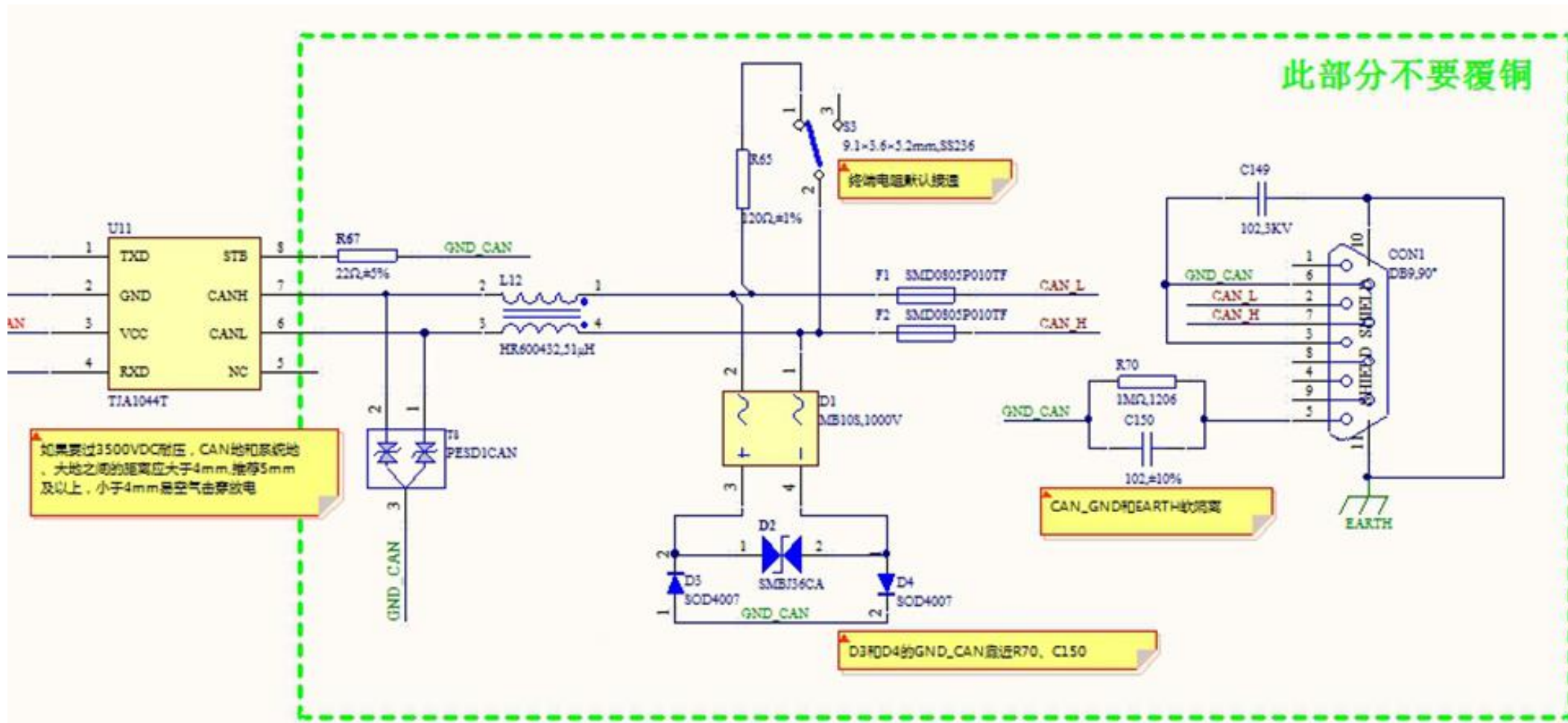
# AN接口电路设计



# CAN接口电路设计——隔离部分



# CAN接口电路设计——隔离部分



# CAN接口隔离模块设计

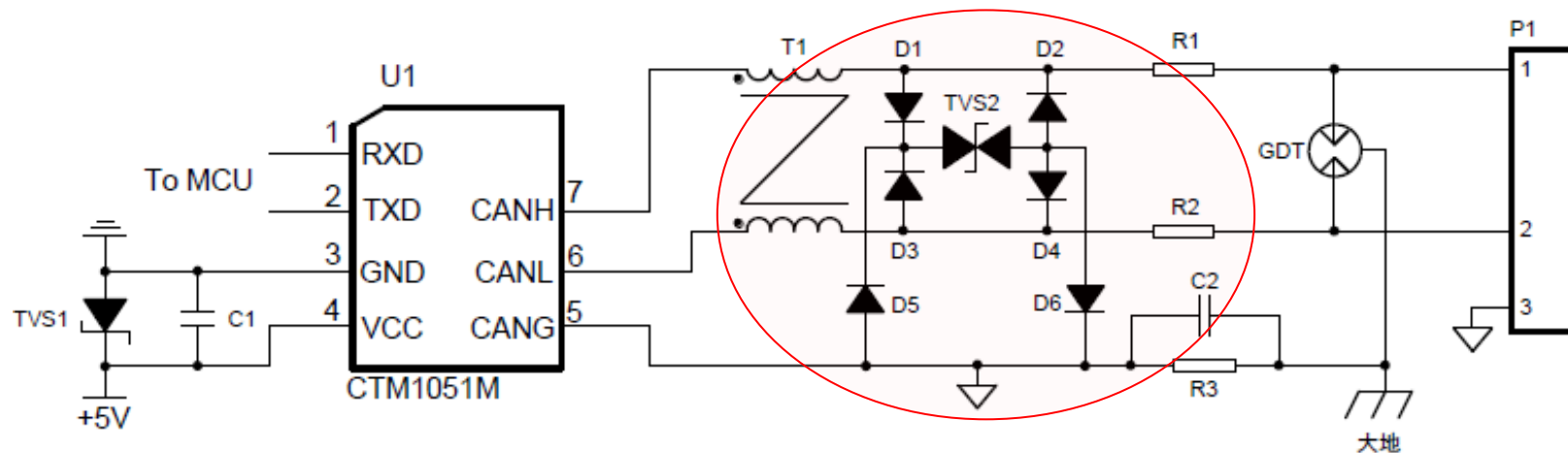
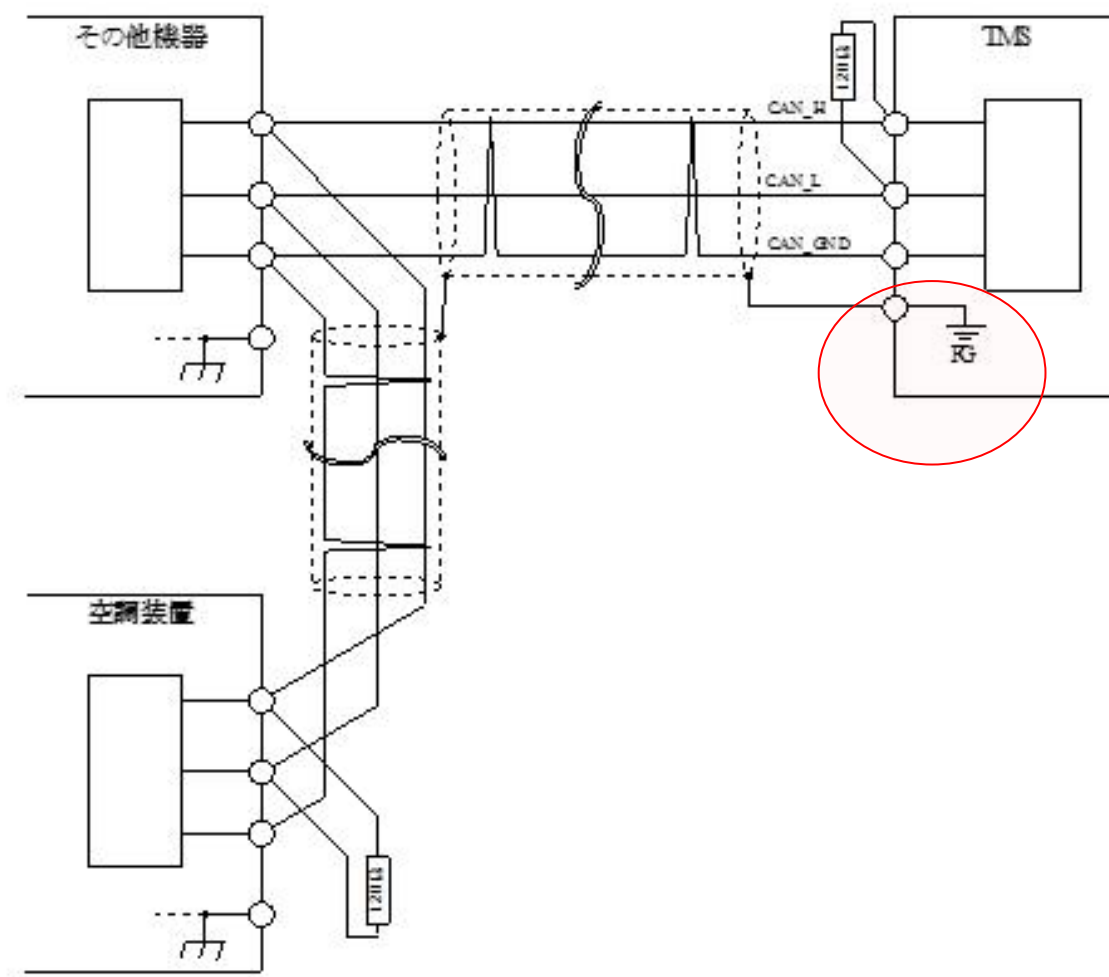


表 1 推荐参数表

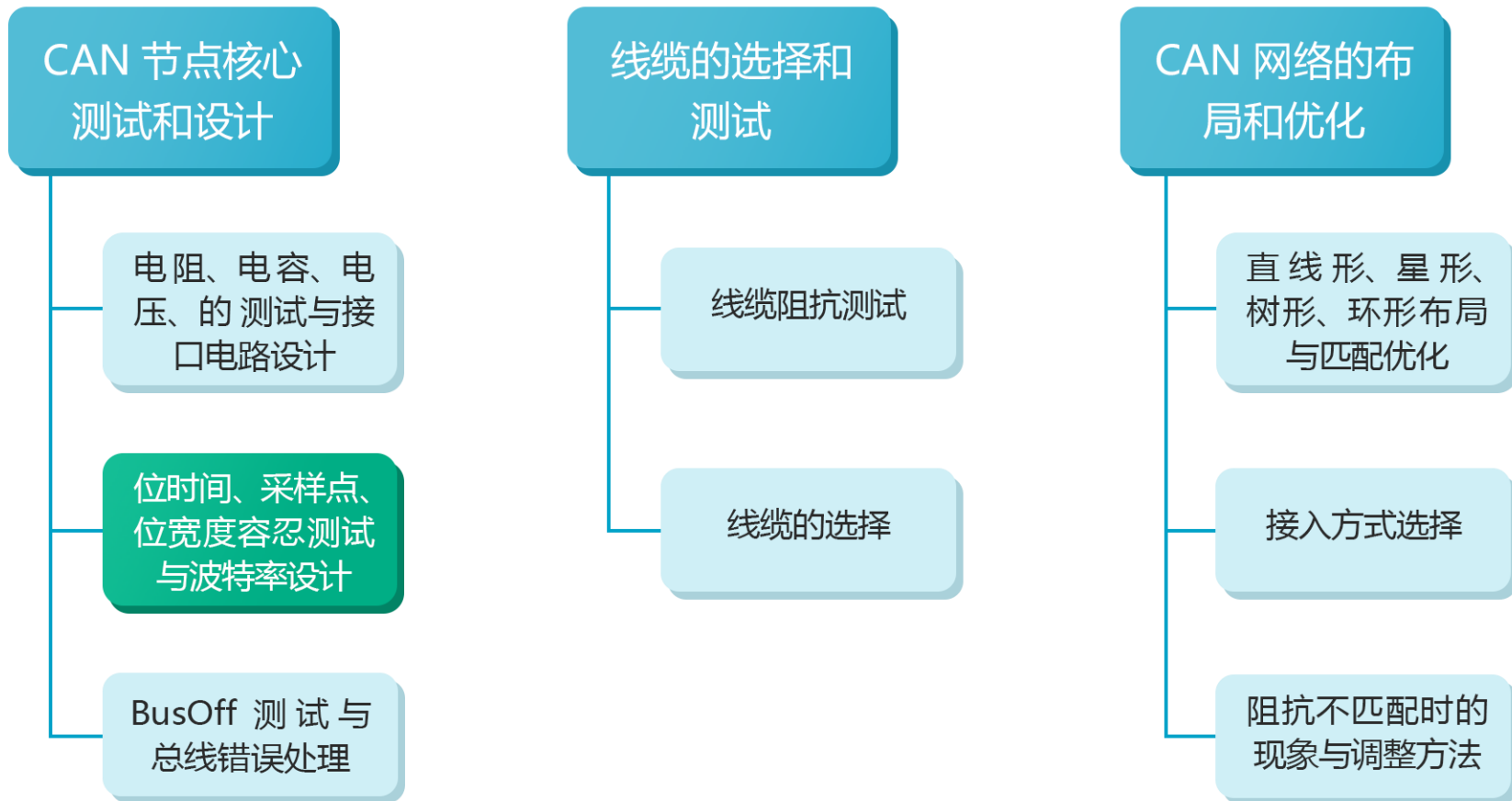
标号	型号	标号	型号
R1, R2	2.7Ω, 2W	D5	P6KE15CA
R3	1MΩ, 1206	GDT	B3D090L
C1	102, 2kV	T1	B82793S0513N201
D1, D2, D3, D4	1N4007	U1	CTM 模块

# CAN网络布线与接地





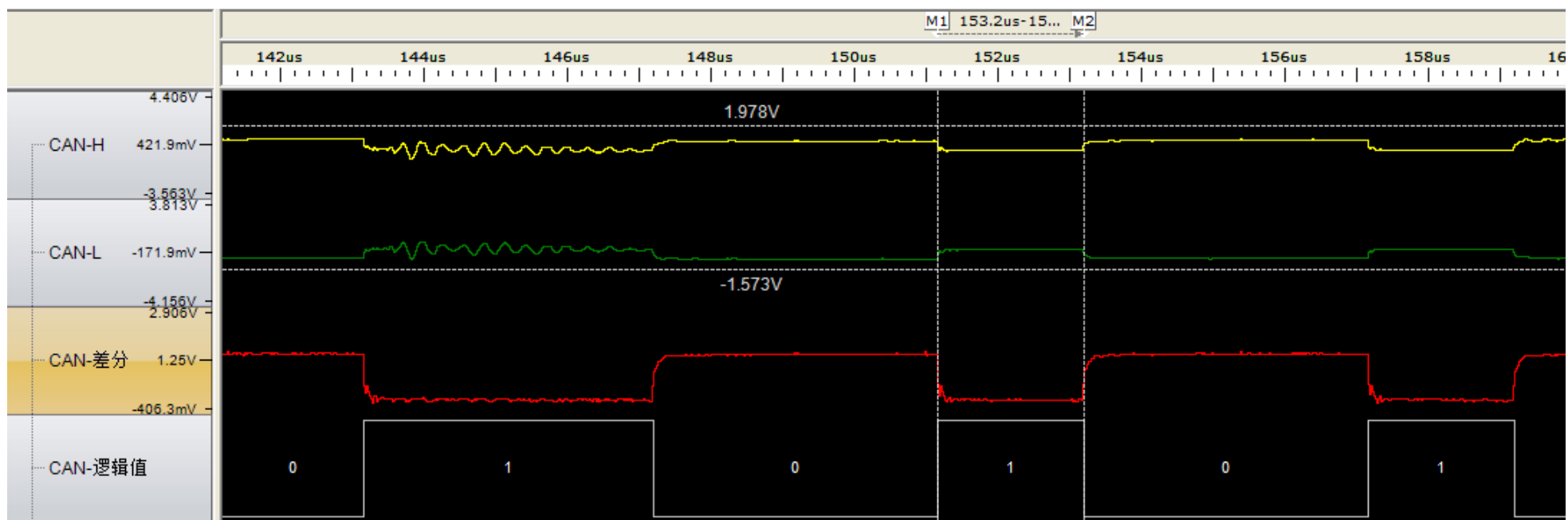
# 保证CAN运行稳定的核心设计和测试





# 位时间的影响与测试

CAN波特率的位宽时间是CAN通讯的基础，是最最基本的要素。如果波特率不匹配或者波特率有所偏差，就会导致识别信号的错误，造成无法通讯或者通讯异常。以下的任何测试都没有意义了。



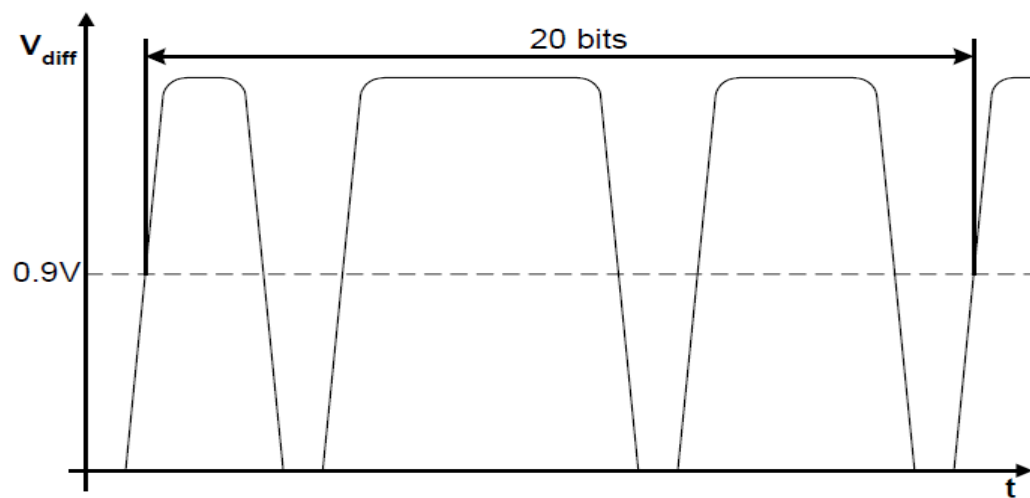
# 位时间的影响与测试

GMW14241 信号位时间标准

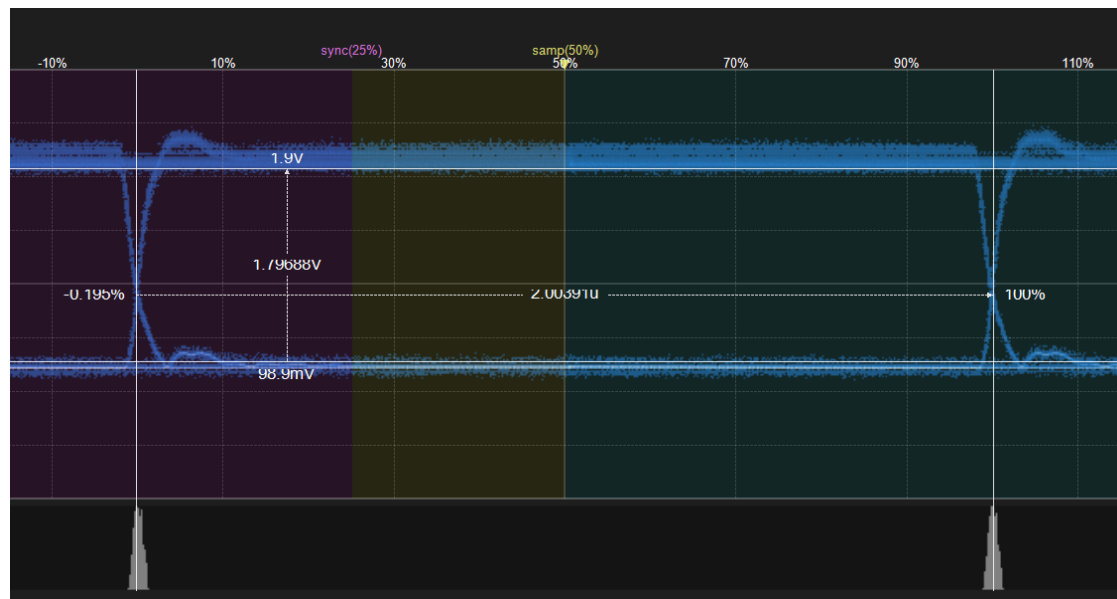
测试参数	位时间偏差		条件
	最小值	最大值	
高速CAN ( 最小负载 ) 500K~1Mbps	-0.45%	+0.45%	典型值500Kbps , C1=100pF、C2=100pF、C3=0pF
高速CAN ( 最大负载 ) 500K~1Mbps	-0.45%	+0.45%	典型值500Kbps , C1=4700pF、C2=4700pF、C3=3300pF
中速CAN ( 最小负载 ) 100K~250Kbps	-0.5%	+0.5%	典型值125Kbps , C1=100pF、C2=100pF、C3=0pF
中速CAN ( 最大负载 ) 100K~250Kbps	-0.5%	+0.5%	典型值125Kbps , C1=10000pF、C2=10000pF、C3=6800pF

# 位时间的影响与测试

传统测试方法

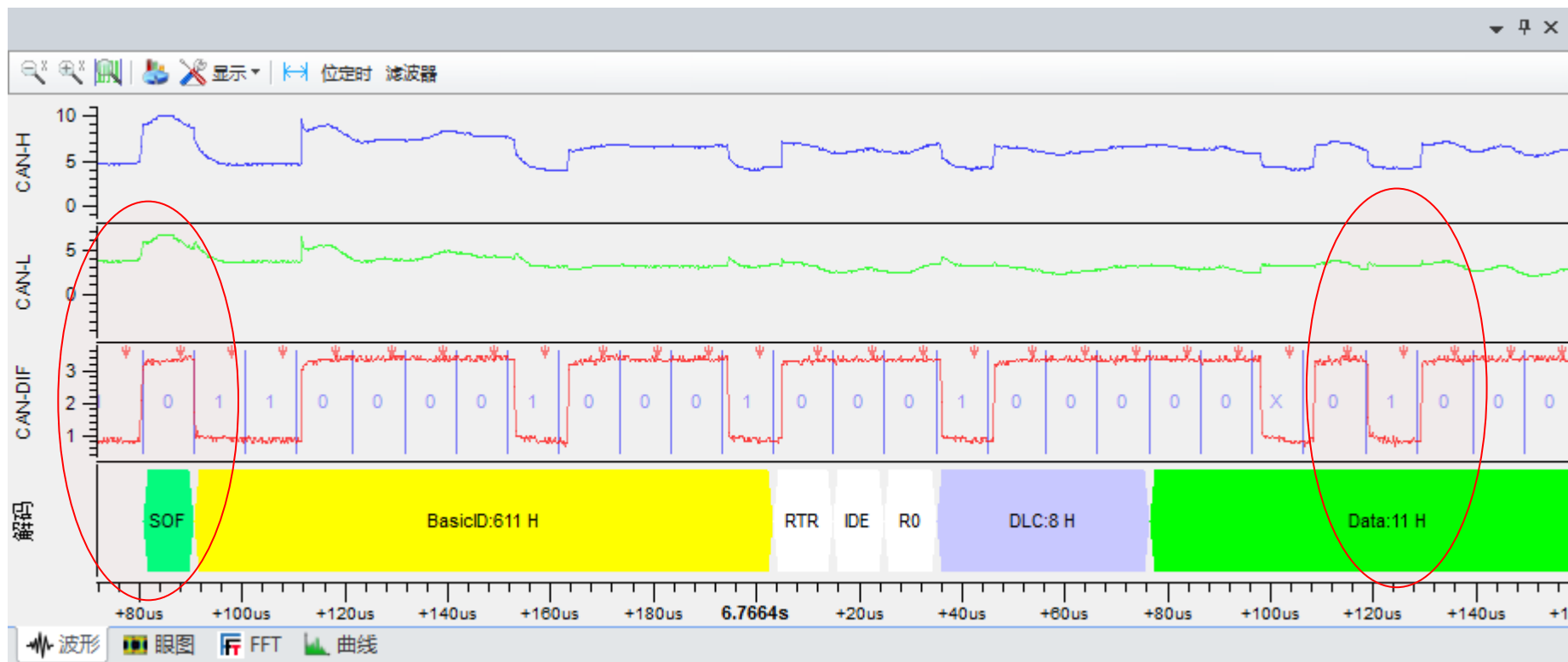


CANScope眼图测试方法

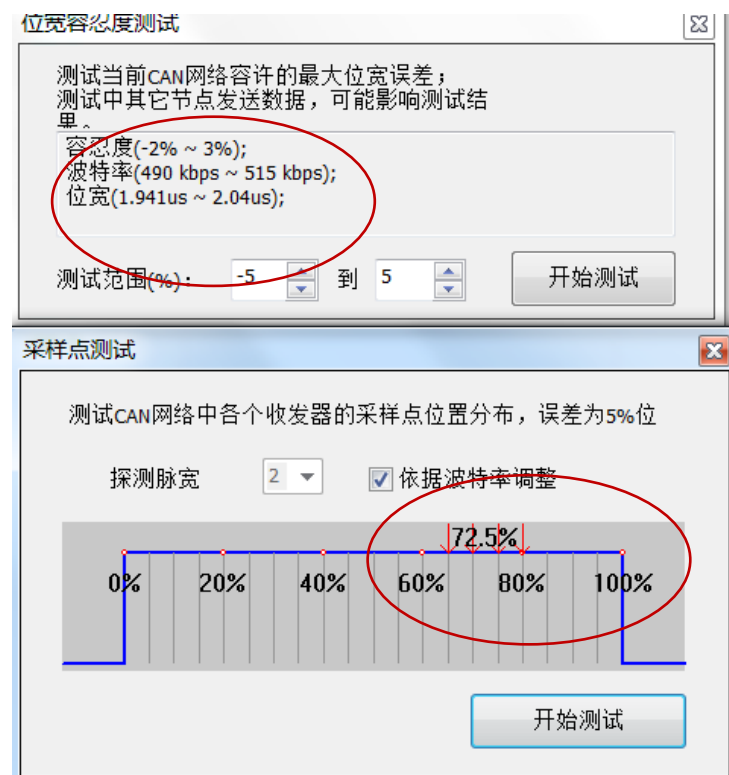
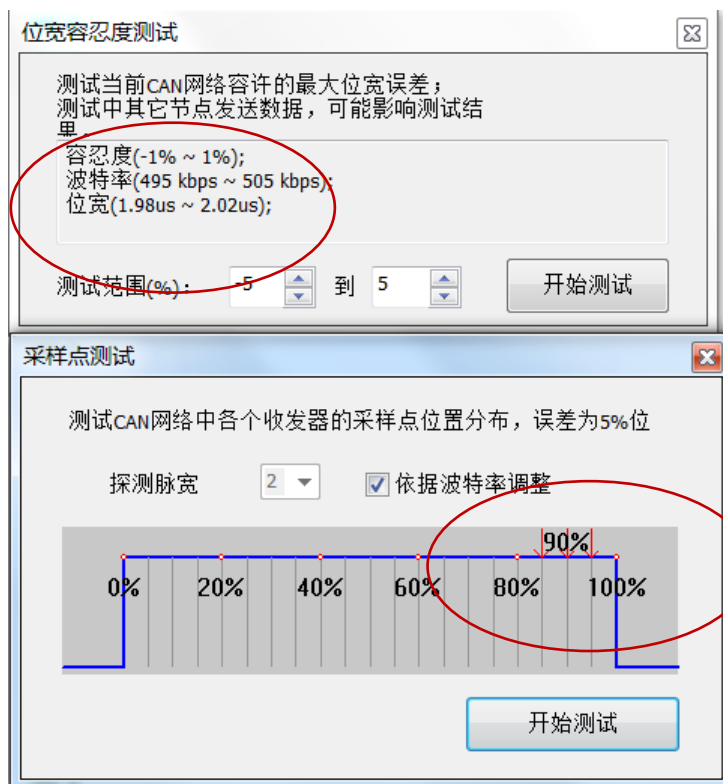


# 采样点和位宽度容忍的影响与测试

采样点是接收节点判断信号逻辑的位置，CAN通讯属于异步通讯，需要通过不断的重新同步才能保证收发节点的采样准确，所以SJW（同步跳转宽度）决定了接收节点是否能有比较好的兼容性。



# 采样点与位宽度容忍的快速测试



# 波特率设计方案

位宽度有偏差，则需要对其程序中的位定时寄存器或者晶振进行修正。比如不要使用带小数点的晶振，如11.0592HZ。这样算出来的波特率肯定不准。不要使用陶瓷晶振，会有偏差超过1%的概率，即使重同步也会失败。

Btr01 for Philips CAN families

Samples = 1 | Samples = 3

BTR 0	BTR 1	BTL cycles	SJW	Sampling po...	Actual
0x40	0x58	16	2	62.5%	500.0Kbps
0x40	0x67	16	2	56.3%	500.0Kbps
0x80	0x2B	16	3	81.3%	500.0Kbps
0x80	0x3A	16	3	75.0%	500.0Kbps
0x80	0x49	16	3	68.8%	500.0Kbps
0x80	0x58	16	3	62.5%	500.0Kbps
0x80	0x67	16	3	56.3%	500.0Kbps
0xC0	0x3A	16	4	75.0%	500.0Kbps
0xC0	0x49	16	4	68.8%	500.0Kbps
0xC0	0x58	16	4	62.5%	500.0Kbps
0xC0	0x67	16	4	56.3%	500.0Kbps
0x01	0x14	8	1	75.0%	500.0Kbps
0x01	0x23	8	1	62.5%	500.0Kbps
0x41	0x14	8	2	75.0%	500.0Kbps

System Clock: 16000 KHz  
Baudrate: 500.0 Kbps  
☒ Match +1%  
Calculate

ZlgCAN 2004

波特率计算

波特率列表 (L): 系统时钟 (F): 16 MHz

位定时	TSEG1/2	采样点	实际值	误差
0x003AC001	10, 3	75.0%	500000	0.00%
0x0049C001	9, 4	68.8%	500000	0.00%
0x0058C001	8, 5	62.5%	500000	0.00%

同步跳转宽度 (J): 3 +1 ☐ 三次采样 (S)  
波特率期望值 (D): 500000 bps 计算 (C)

☒ 符合TSEG2 ≥ SJW规则 确定 取消



# 波特率设计方案

- 1.保证TSEG1+TSEG2的时间份额在10-20之间；
2. ( TSEG1+1 ) / ( TSEG1+TSEG2 +1 ) 的采样点位置在75%-81.5%之间为宜，极限情况下不得在70%-87.5%之外；
3. 同步调转宽度SJW在TSEG2-1为宜。

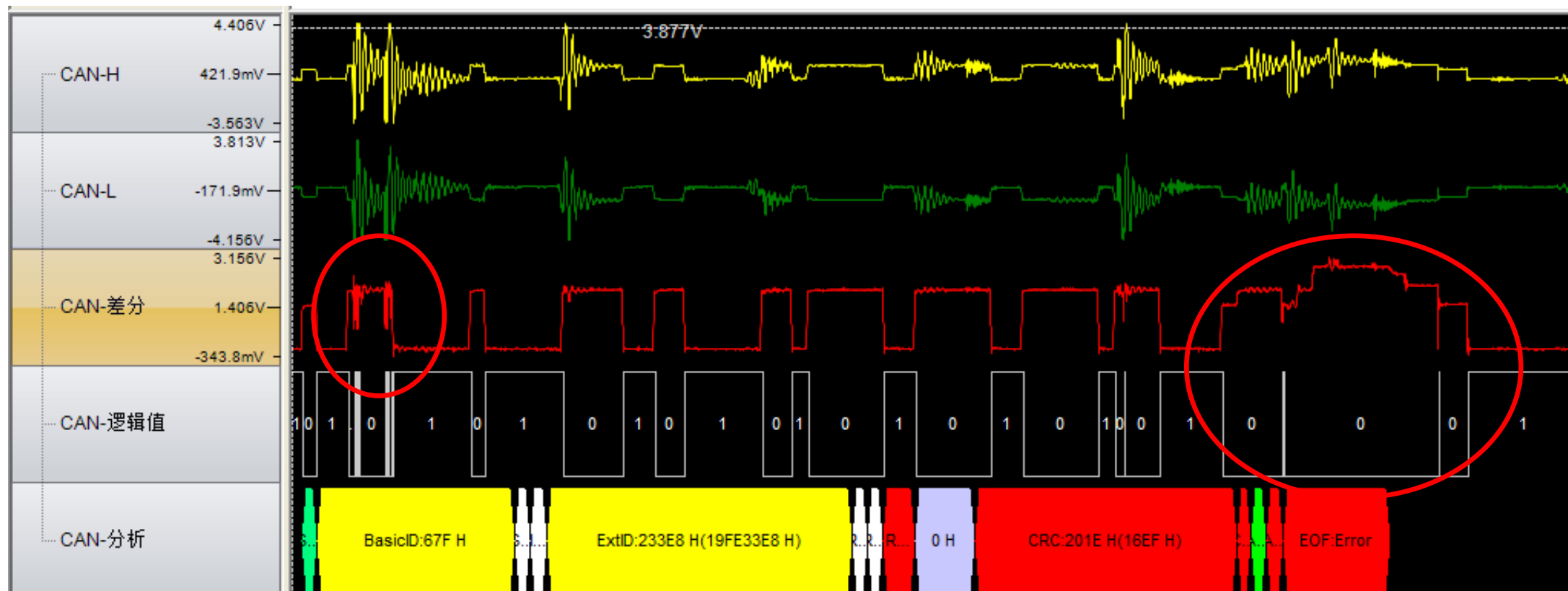
时间份额数	TSEG1	TSEG2	SJW	单位
10	6	3	2	$t_Q$
12	8	3	2	$t_Q$
14	9	4	3	$t_Q$
16	11	4	3	$t_Q$
18	12	5	3	$t_Q$
20	14	5	3	$t_Q$

# 保证CAN运行稳定的核心设计和测试



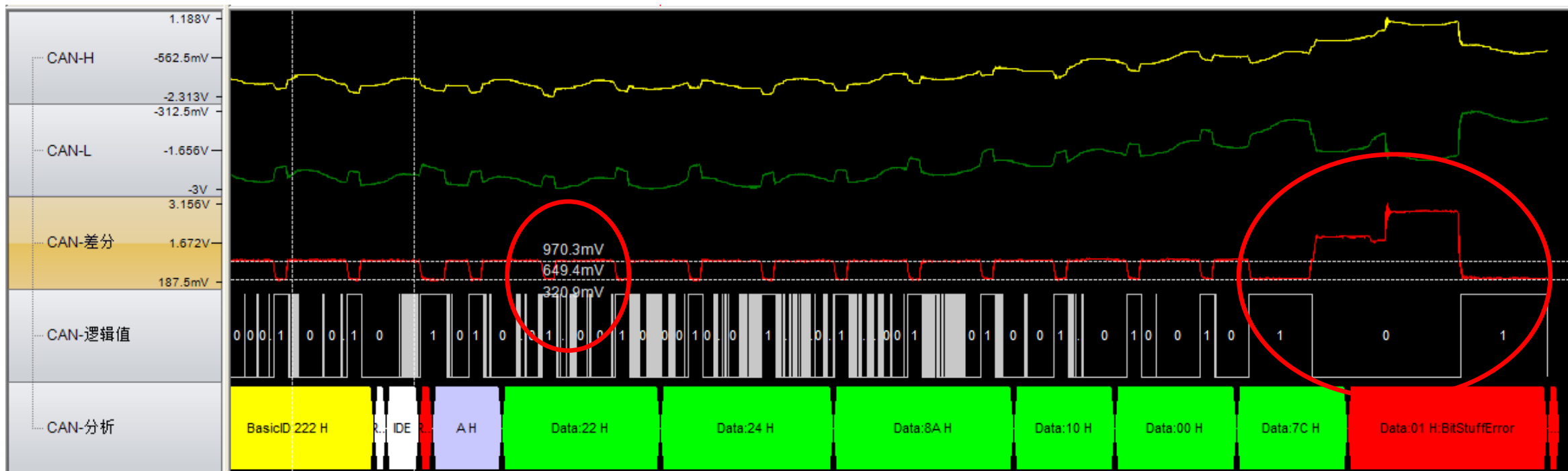
# CAN总线错误截图

## 1. 电动汽车逆变器干扰导致的错误



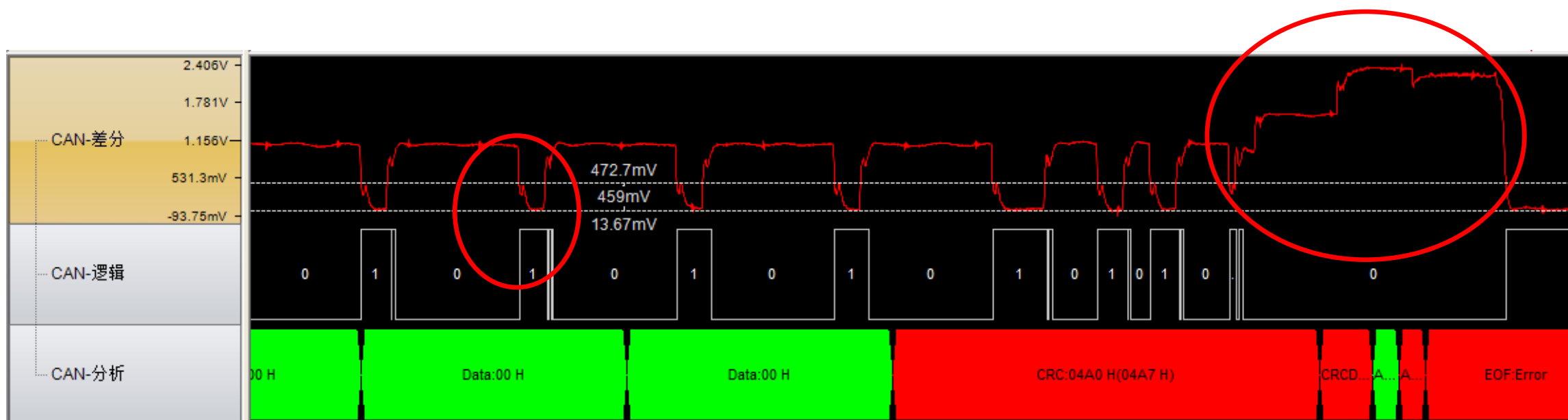
# CAN总线错误截图

## 2. 终端电阻并联过多，差分电平幅值太小导致接收节点识别失败的错误



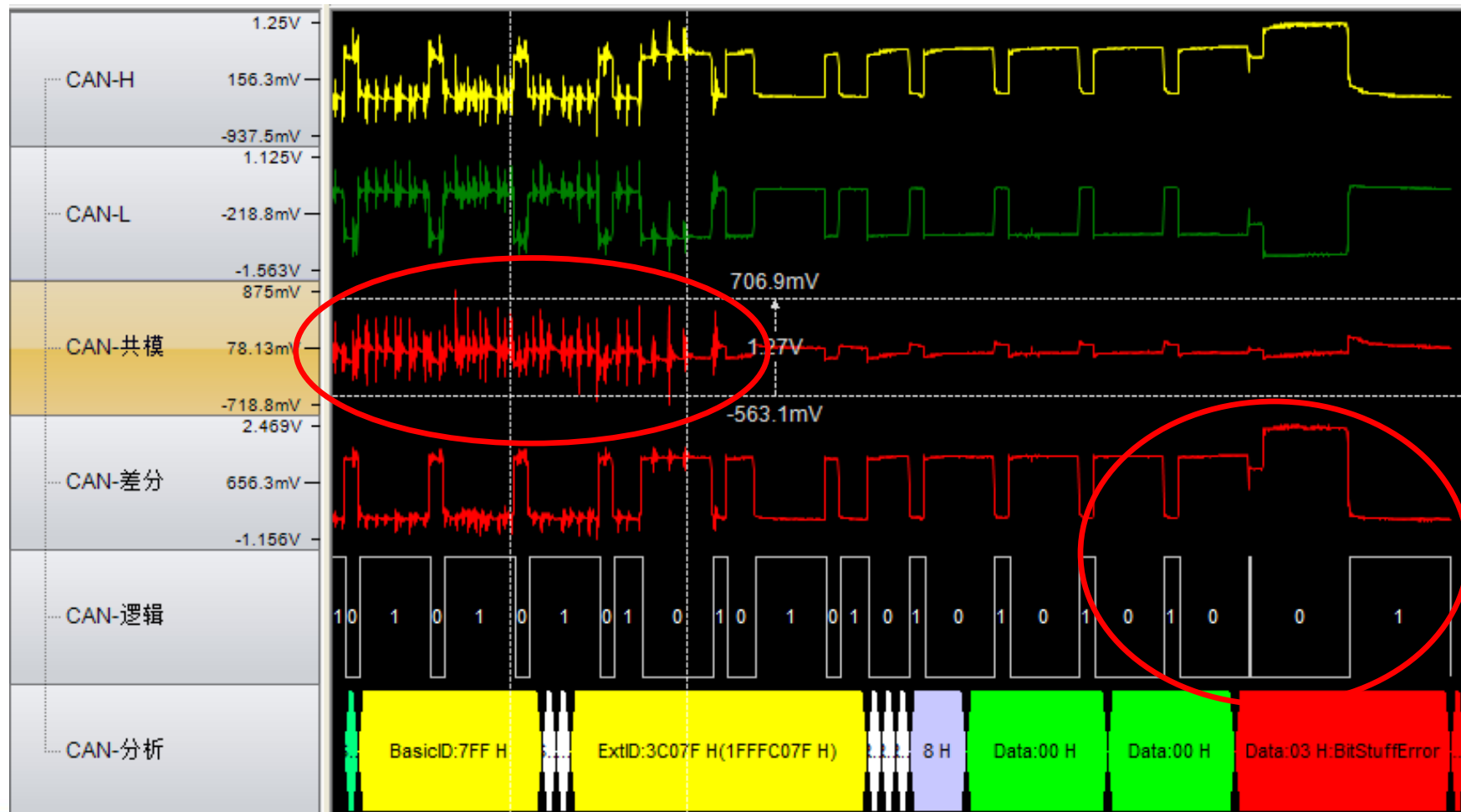
# CAN总线错误截图

## 3. 总线支线过长，电平下降沿台阶过高，导致位宽度失调的错误



# CAN总线错误截图

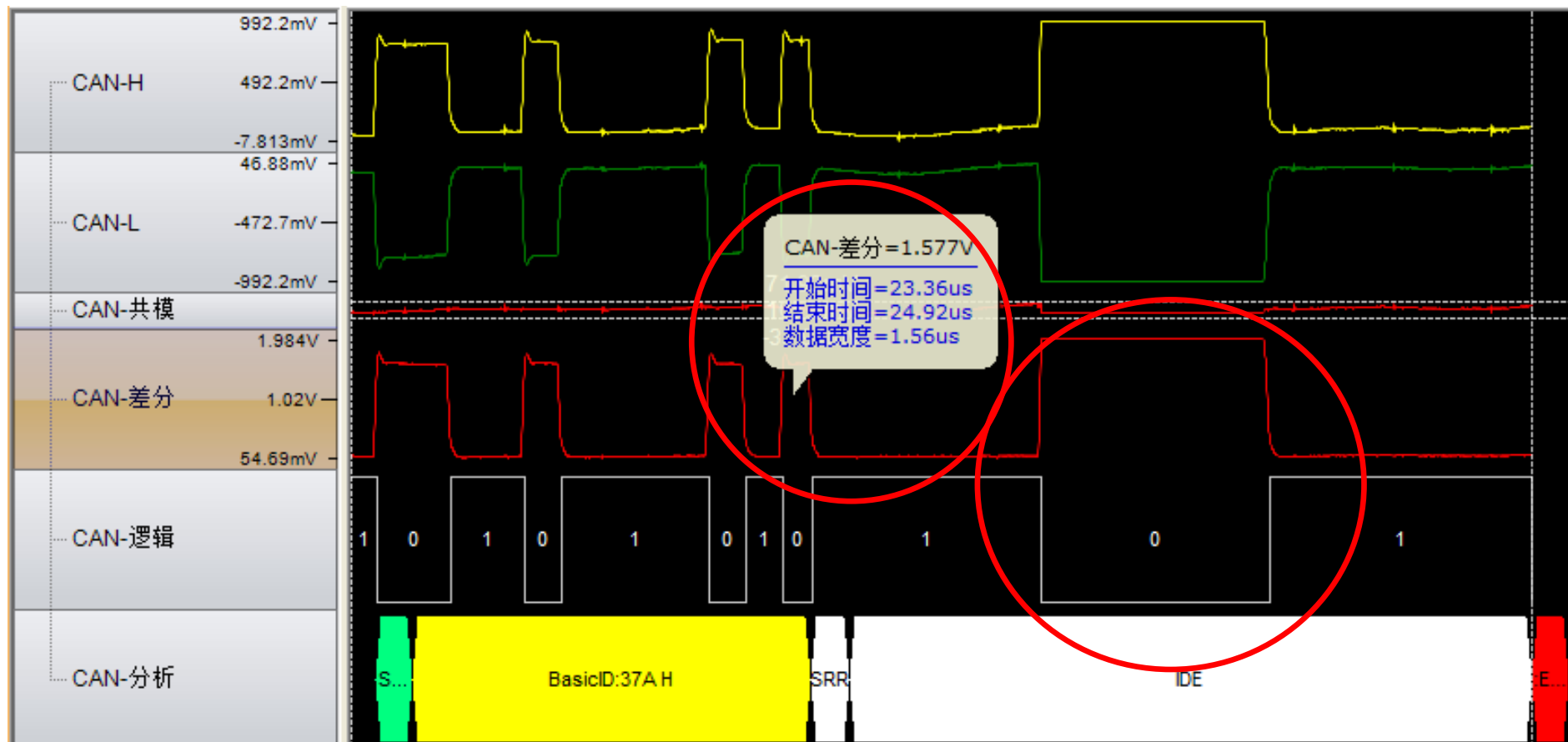
## 4. 卡车打开/关闭大灯时，耦合到CAN总线上的干扰，导致的错误





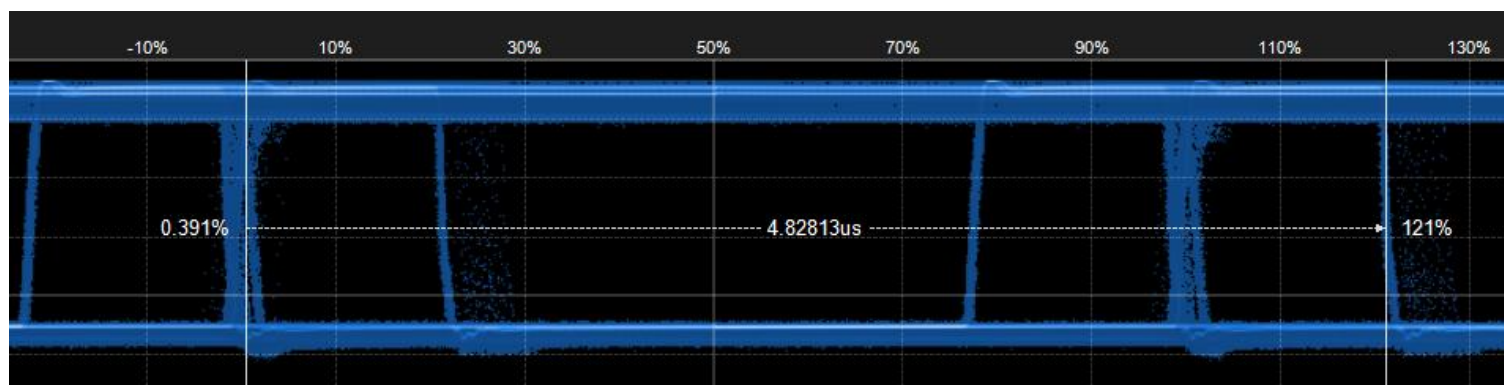
# CAN总线错误截图

## 5. 波特率异常（位宽度从2us突然变成1.6us），导致位错误



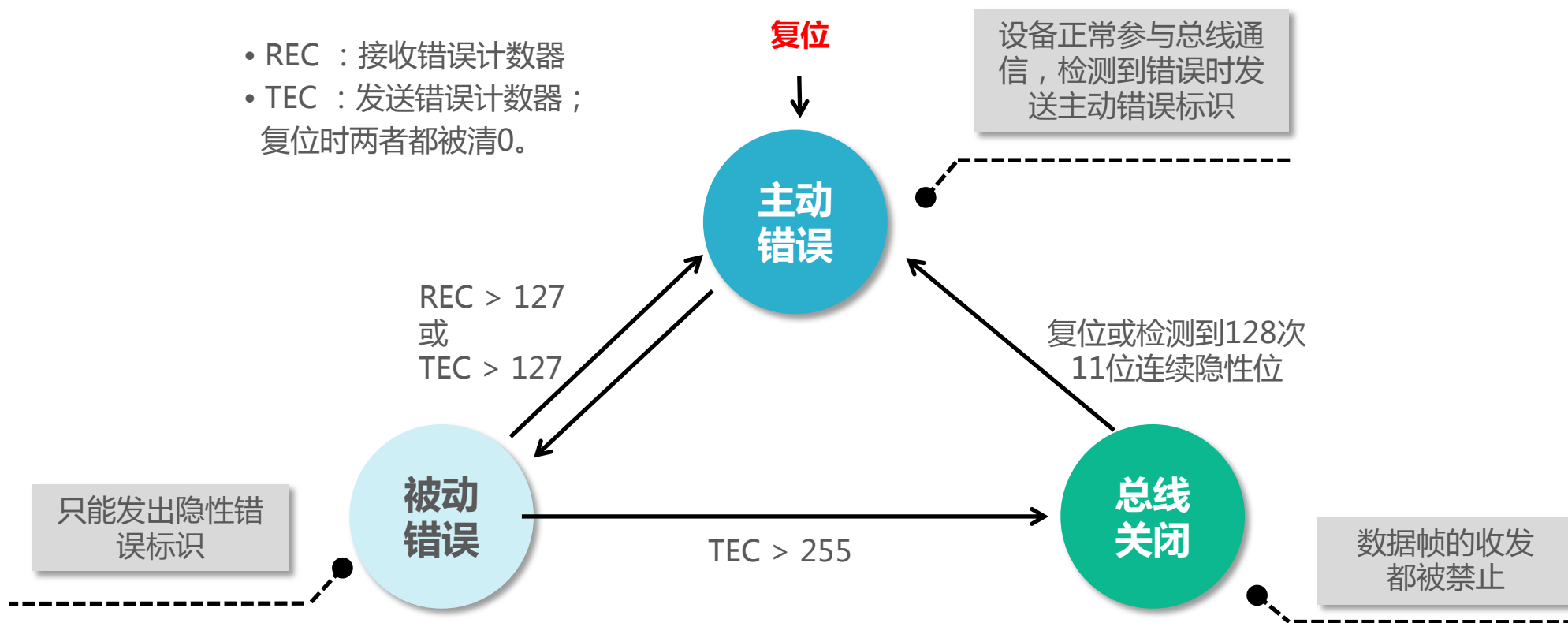
# CAN总线错误截图

## 6.发送节点0和1不对称的情况。



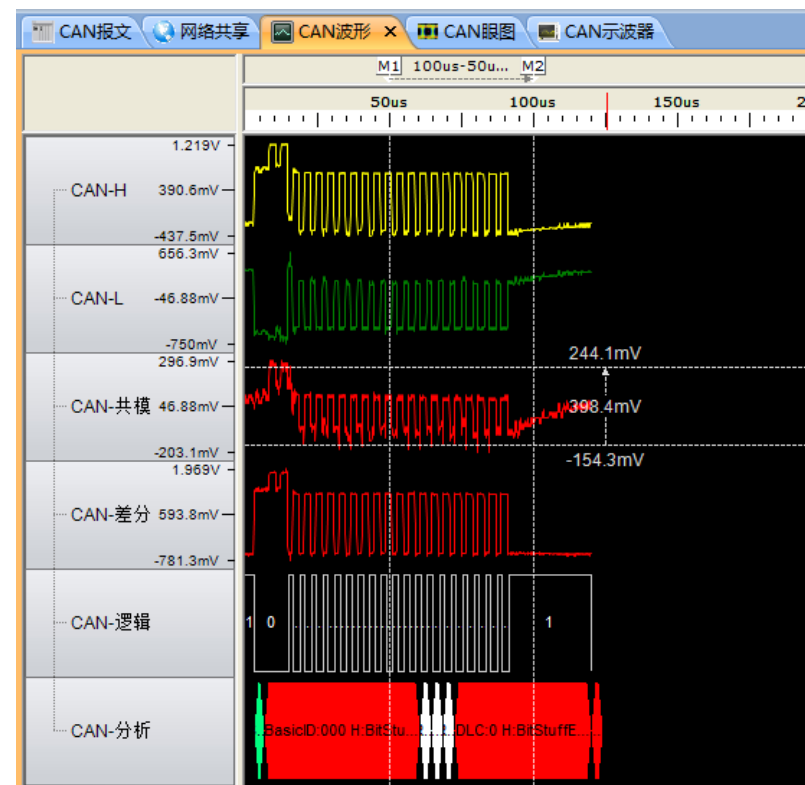
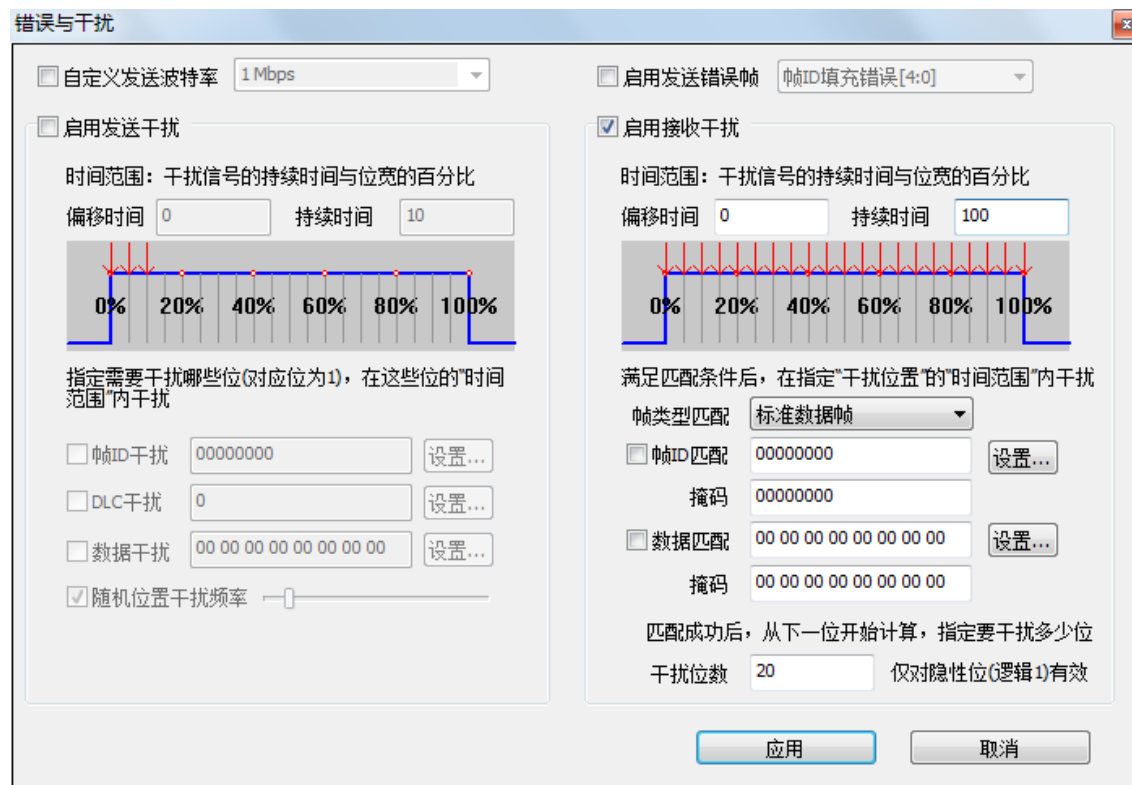
# BusOff（总线关闭）的影响

CAN节点的CAN控制器受到干扰或者损坏，而导致自身的错误计数器进行计数累加，直至255后即进入总线关闭状态，无法接收和发送CAN报文。



# BusOff（总线关闭）的测试

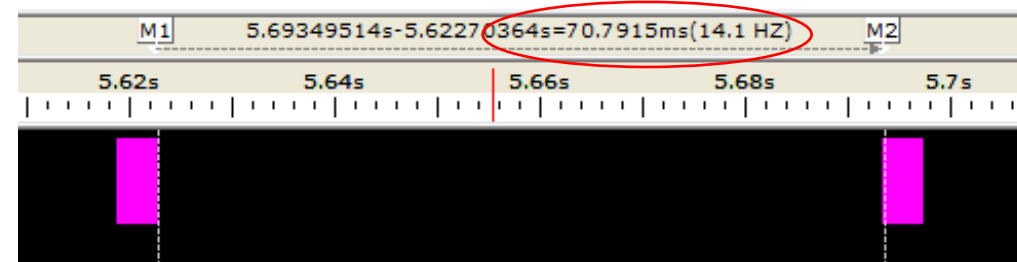
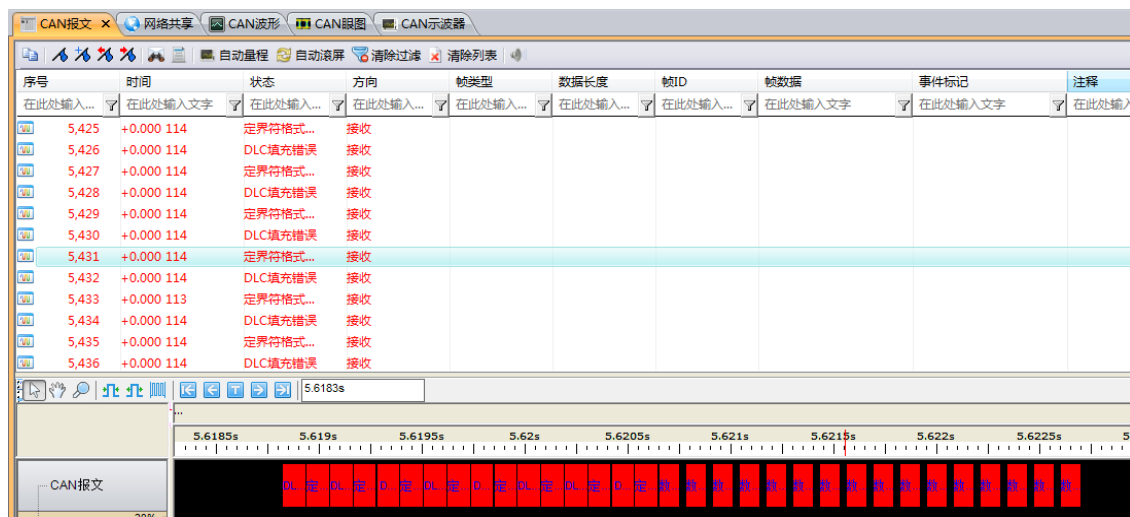
通过CANScope-Pro的错误与干扰功能，可以对节点进行模拟干扰，使其进入总线关闭，查看其是否能恢复，恢复时间和恢复策略。



# BusOff ( 总线关闭 ) 的测试

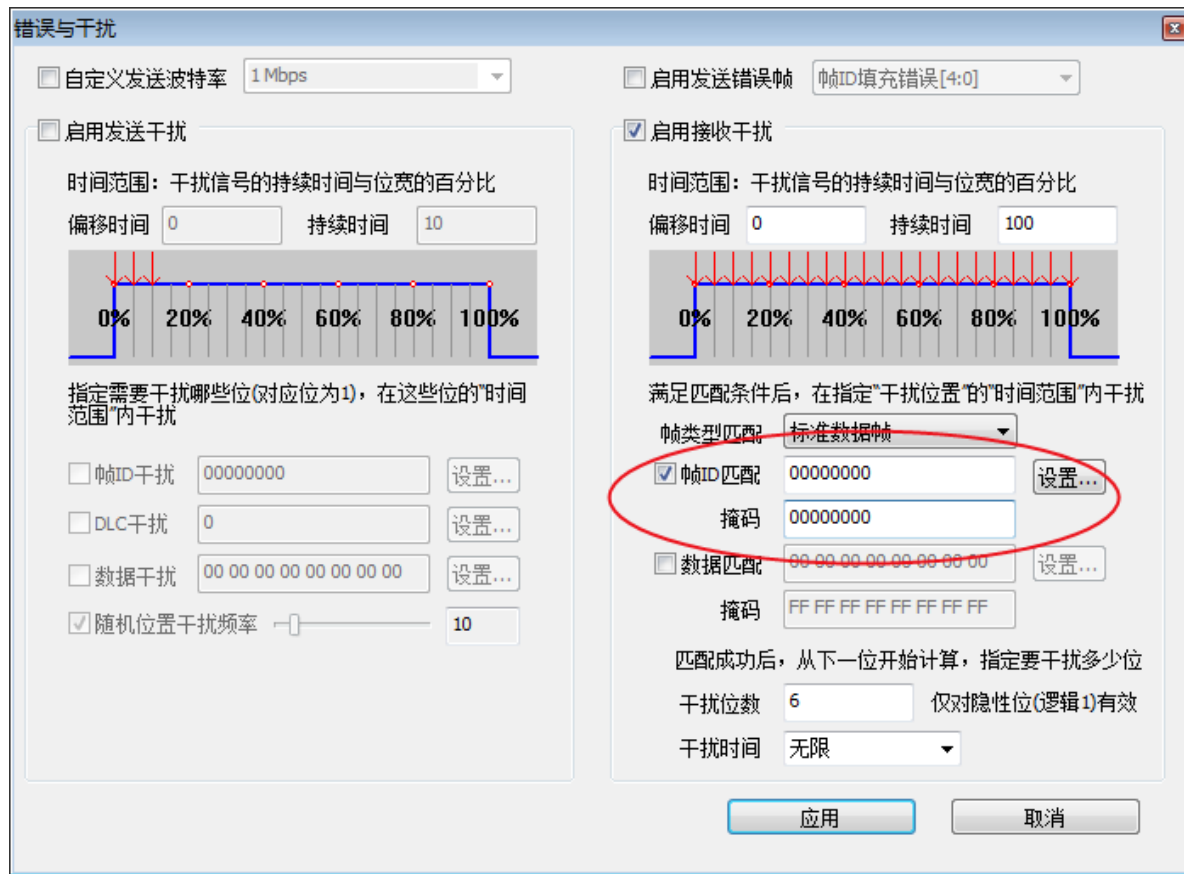
通过流量分析可观察到错误主动->错误被动->总线关闭过程

然后将流量分析界面缩小，测量两个干扰团之间的时间间隔，即为BusOff后的恢复时间。



# BusOff ( 总线关闭 ) 的测试

现在很多CAN控制器对ID和控制域的干扰进行豁免，就是只干扰ID或者控制域是无法让一个节点进入错误被动，所以我们要如此设置干扰，只干扰数据。



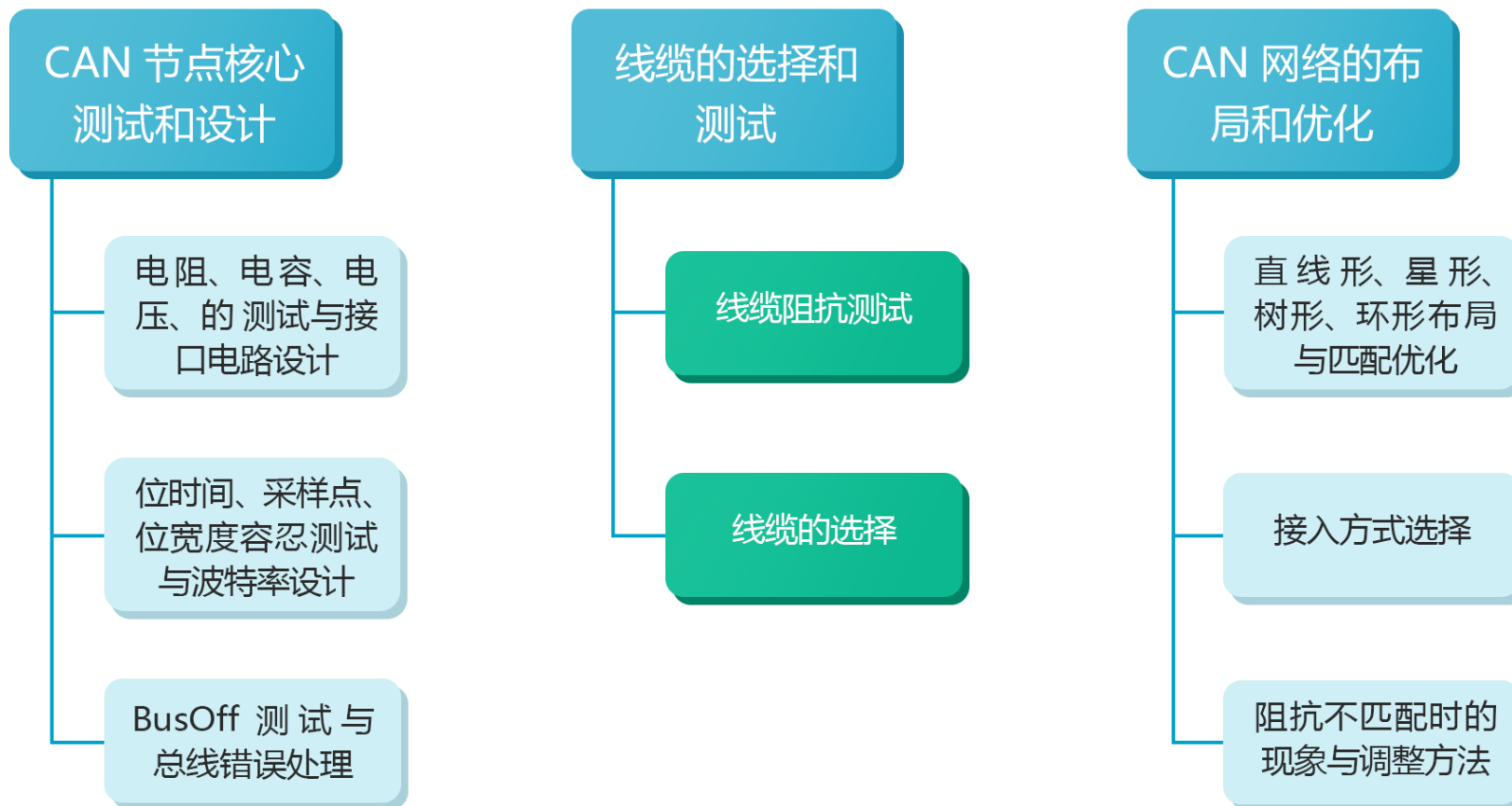


# BusOff ( 总线关闭 ) 的设计

GMW14242，要求在DUT在Busoff后快恢复时间符合要求。如果错误持续，将在10次快恢复后执行慢恢复时间。慢恢复20次后，停止恢复，必须人工处理。

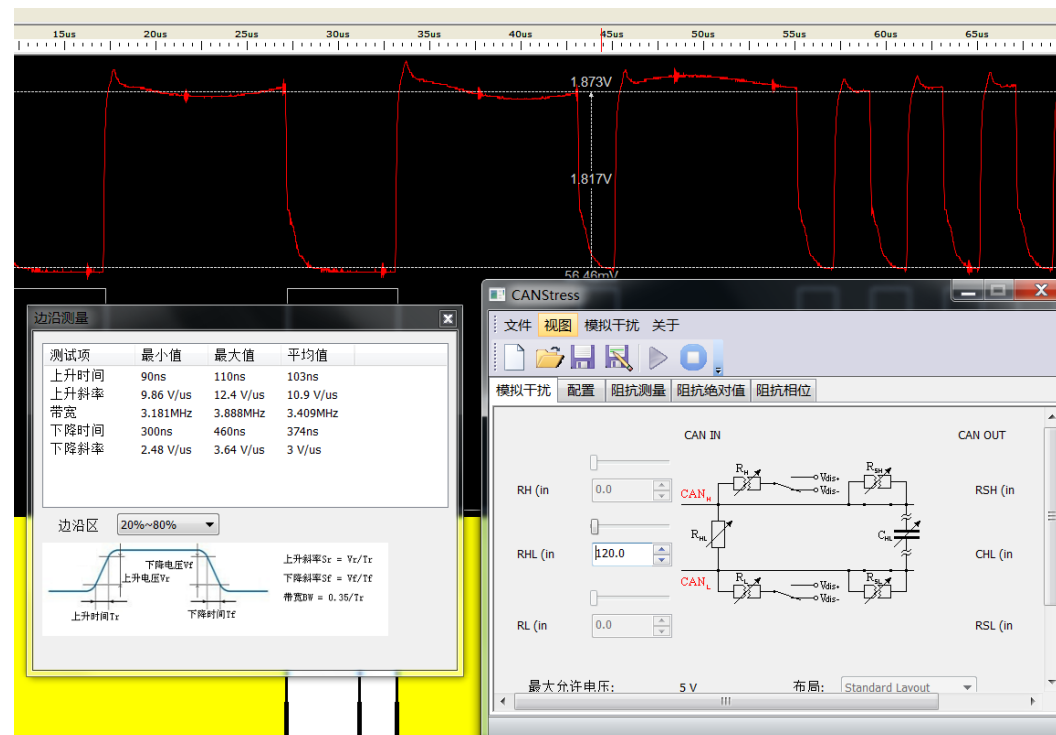
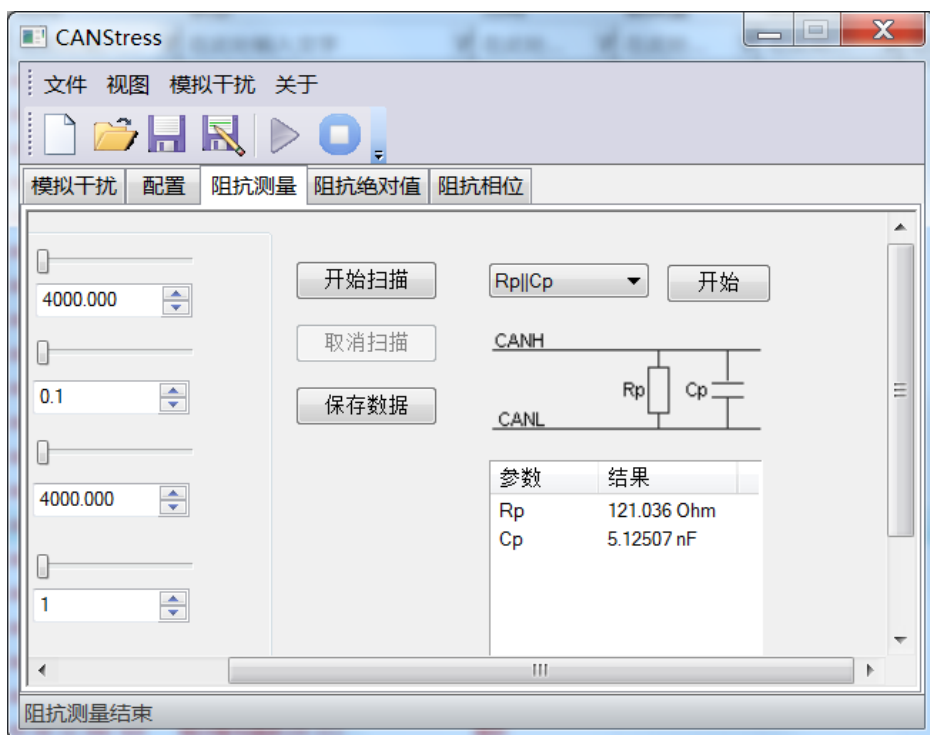
恢复类型	测试参数
快恢复	最快128×11bit的时间
	最慢128×133bit的时间
慢恢复	160ms 高速CAN >500kbps
	1s 中速CAN 250-100kbps
	3.7S 低速CAN <83.3kbps

# 保证CAN运行稳定的核心设计和测试



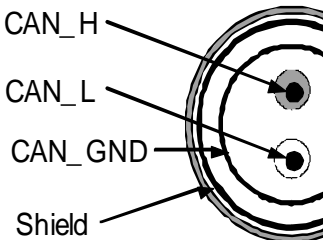
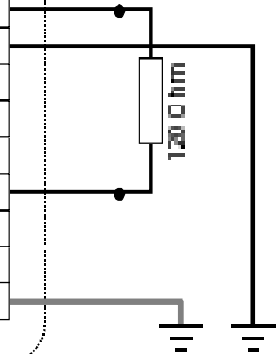
# 线缆的阻抗影响

线缆的阻抗（主要是直流电阻和电容），是非常容易被忽略的。也是影响我们现场应用的关键，采用一端接CANScope，另外一端接120欧的方式，可以扫出来这个导线的阻抗

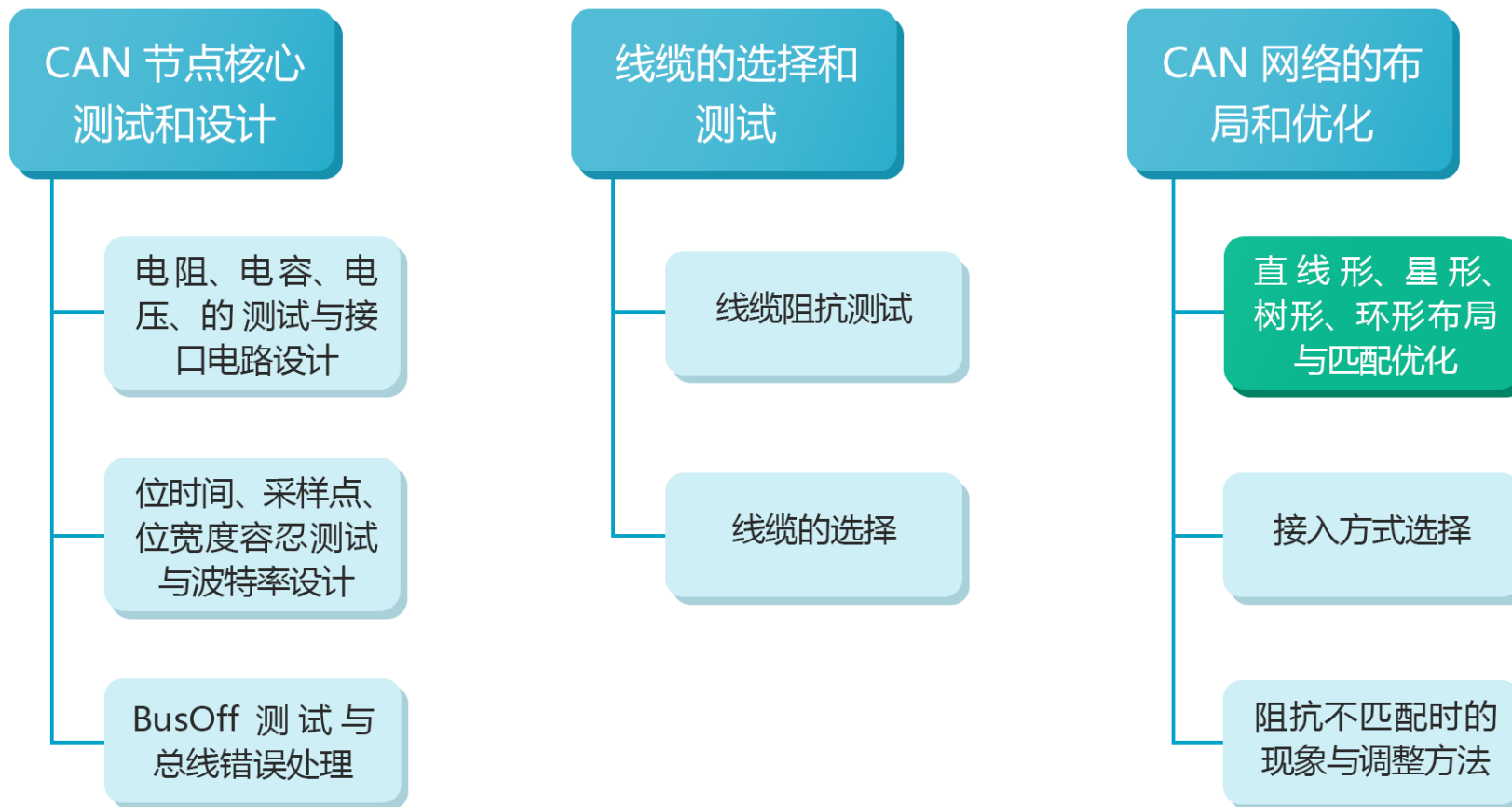


# 线缆的选择

为了避免受到外界干扰的影响，传输数据的电缆通常使用带有屏蔽层的双绞线，并且屏蔽层要接到参考地。在使用双层屏蔽线的双绞线时，使用者必须注意：电缆的外屏蔽层只能通过一个连接器的外壳连接到大地上。

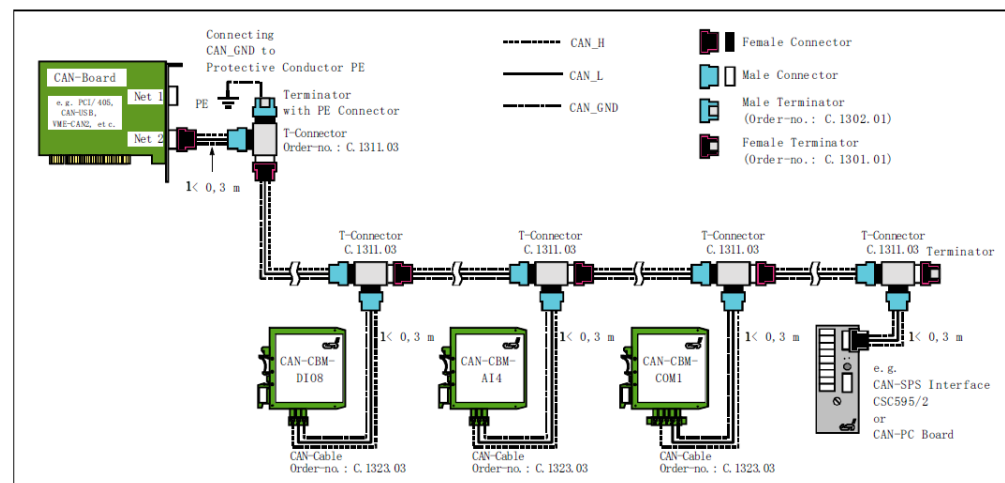
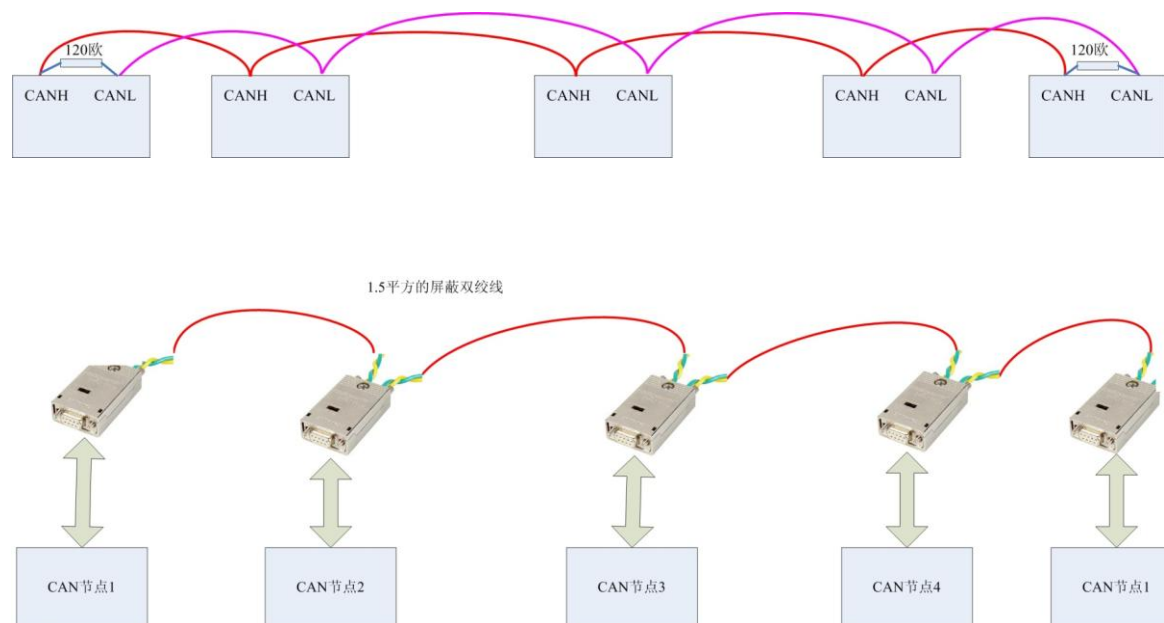
<div>Wire structure</div> <div>Double Shield ed wire transposed wires</div> <div></div>	总线长度	Electrical Characteristics (Overall)		终端电阻	最大波特率	Pin designation and terminator									
	0...40m	Nom. Characteristic Impedance: Description Impedance (Ohm) Data Pair 120		124Ω/1%	1Mbps at 40m	<div>DSUB9 connector (female or male) pin designation</div> <table><tr><td>1</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>7</td></tr><tr><td>8</td></tr><tr><td>9</td></tr></table> <div>connector case</div> <div></div>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1														
	2														
	3														
4															
5															
6															
7															
8															
9															
40m...300m	Nom. Capacitance Conductor to Conductor: Description Capacitance (pF/m) Data Pair 48.2307		127Ω/1% 2*)	>500Kbps at 100m											
300m...600m	Nominal Velocity of Propagation: VP (%) 75		127Ω/1% 2*)	>100Kbps at 500m											
600m...1km	Nominal Delay: Description Freq. (MHz) Delay (ns/m) Data Pair 5.2498		127Ω/1% 2*)	>50Kbps at 1km											
		Nom. Conductor DC Resistance: DCR @ 20°C (Ohm/km) 16.0769													
		Max. Attenuation: Description Freq. (MHz) Attenuation (dB/100m) Data Pair .125 0.42653 Data Pair .500 0.82025 Data Pair 1.000 1.3124													

# 保证CAN运行稳定的核心设计和测试



# 电缆直线型拓扑

所谓直线型拓扑结构就是“手牵手”把每个节点都挂上去。





# 直线型拓扑特点

---

## 优点

1. 布线施工简单；
2. 阻抗匹配固定规则（首尾各1个120欧电阻匹配）；
3. 接线操作简单方便。

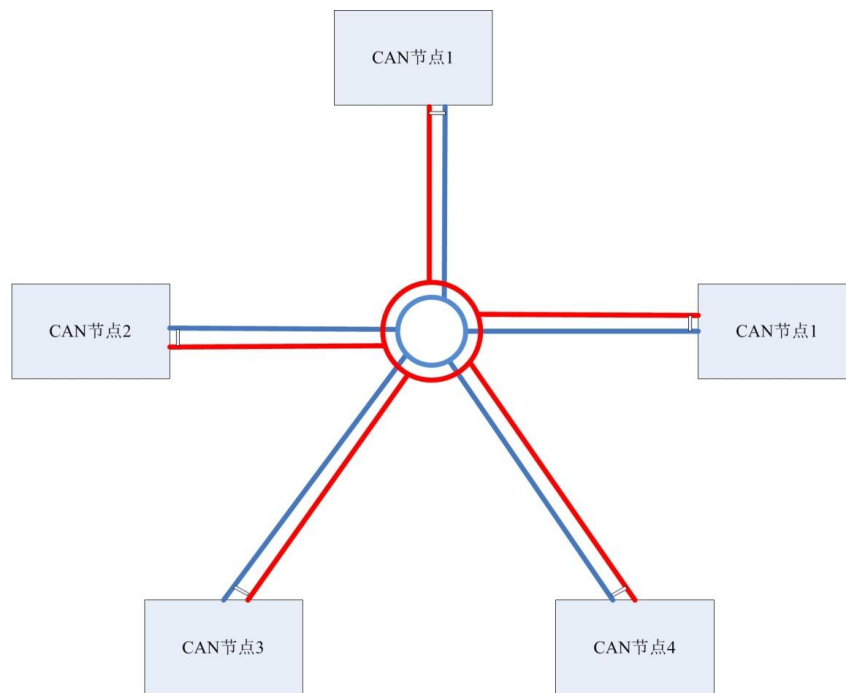
## 缺点

网络拓扑不灵活，会增加实际传输距离

# 星形拓扑

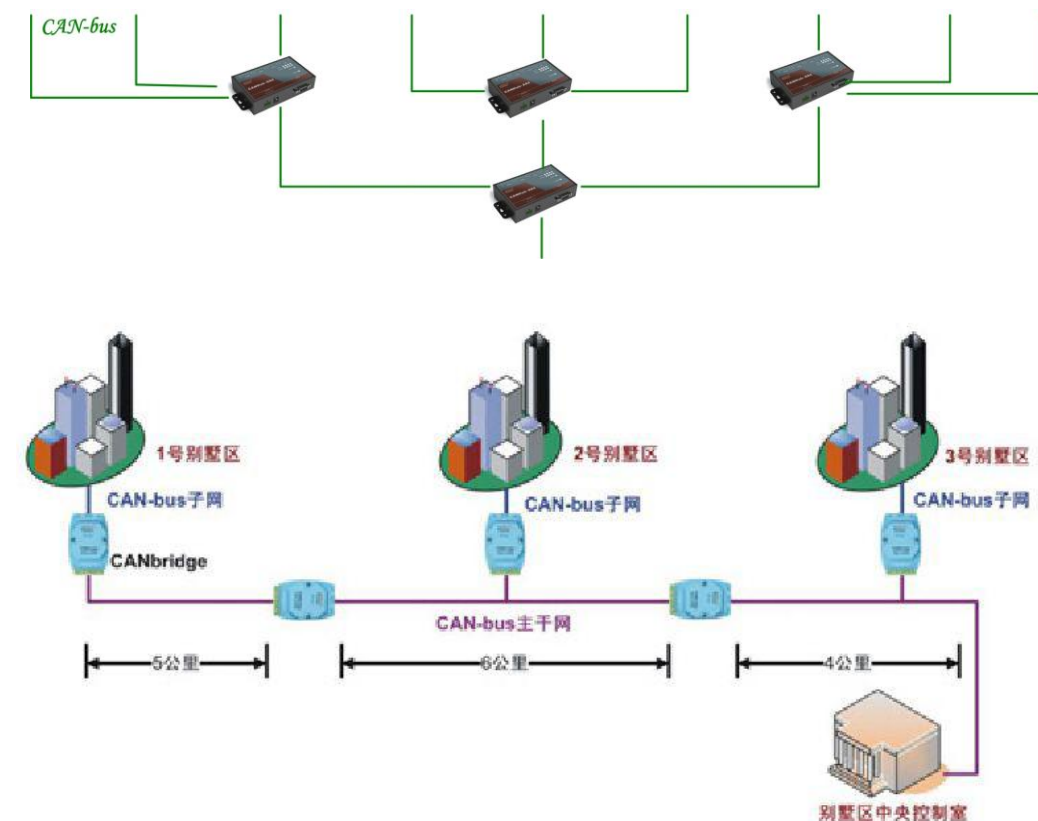
- 星形拓扑结构：即每个分支都基本等长的网络
- 在**完全等长**情况下，可不使用集线器设备，调整终端电阻即可实现组网：

$R = n \times 60 \text{ 欧姆}$      $R$ :每个分支的终端电阻     $n$ :分支数量

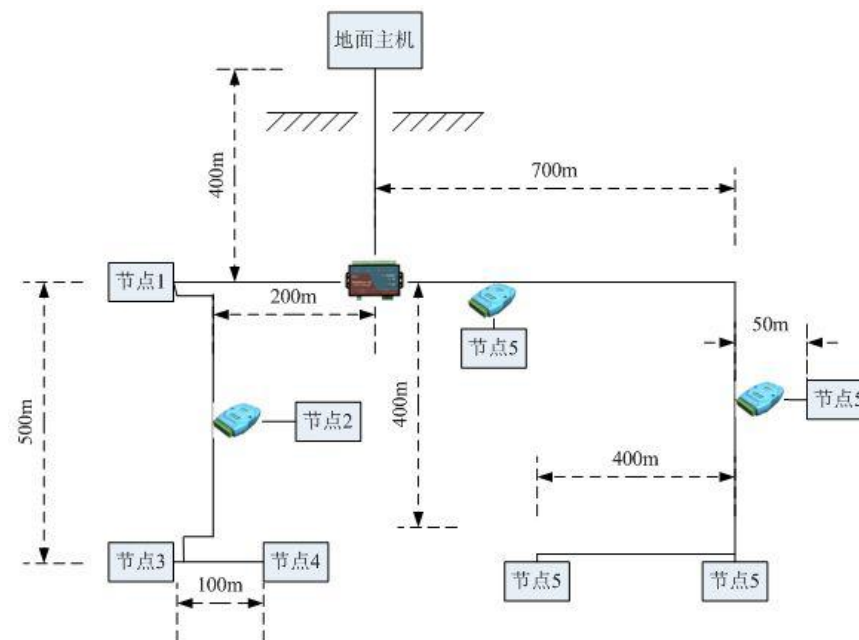


# 树状拓扑

树状拓扑结构：分支过长且不等的网络，比如煤矿布网。



由于阻抗匹配困难，常使用集线器和中继器进行分支。这些设备每路都具备独立的CAN控制器，所以可以将每段形成独立的直线拓扑，方便施工。



# CAN节点内阻的影响与测试

---

## 优点

- 1.布线施工方便；
- 2.最大限度缩短布线距离。

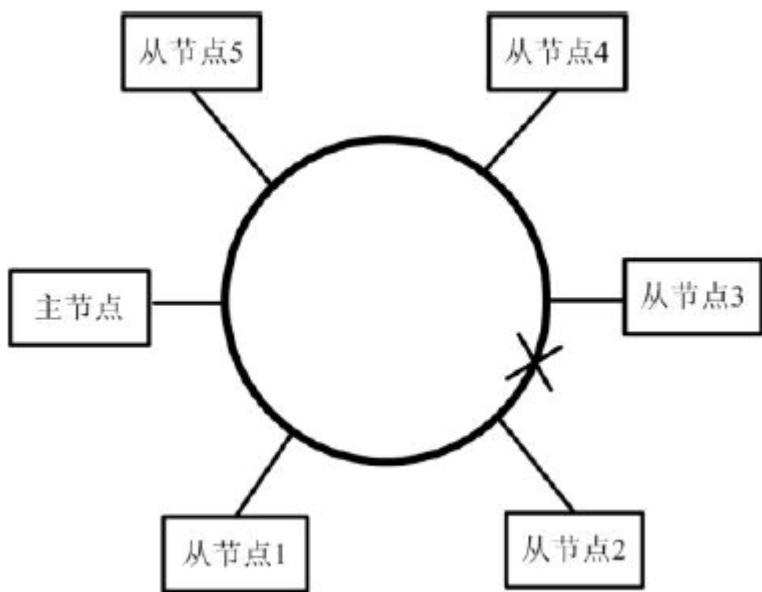
## 缺点

- 1.网络拓扑复杂，施工人员无法进行阻抗匹配，
- 2.须增加集线器或者中继器进行网络拓扑分割；

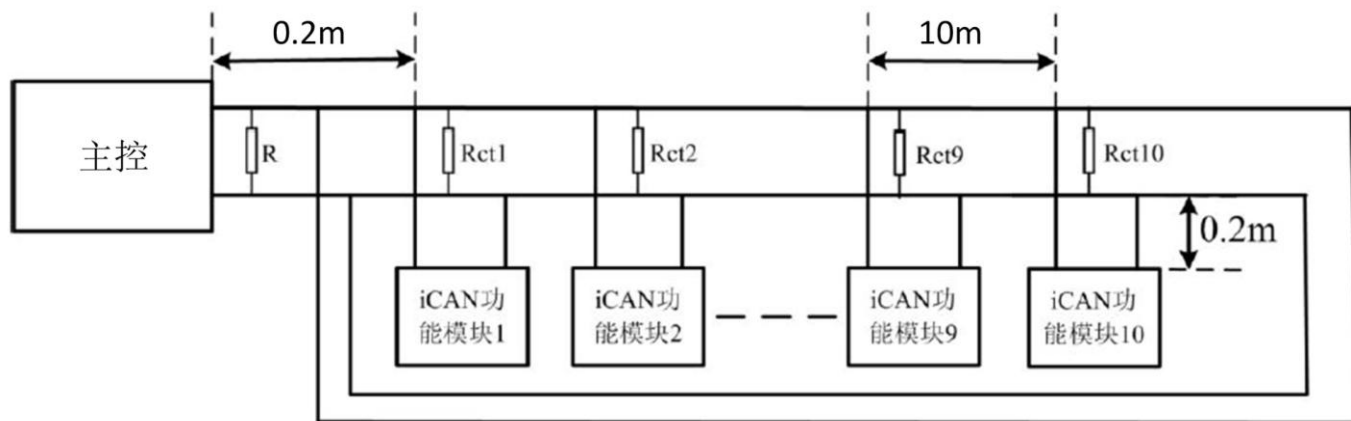
# CAN节点内阻的影响与测试

环形拓扑结构：将CAN总线首尾相接，形成环状。

保证线缆任意位置断开，依然可以保证通讯。



由于是环状结构，所以在终端电阻匹配方面采用**分布式匹配方法**，保证总体阻抗为60欧姆。



$$R = 120\Omega, R_{ct1} = R_{ct10} = 300\Omega, R_{ct2} \sim R_{ct9} = 5k$$

# 环形拓扑特点

---

## 优点

最简单的线路冗余功能；

## 缺点

断线后，信号反射严重，无法应用于高波特率和远距离场合。



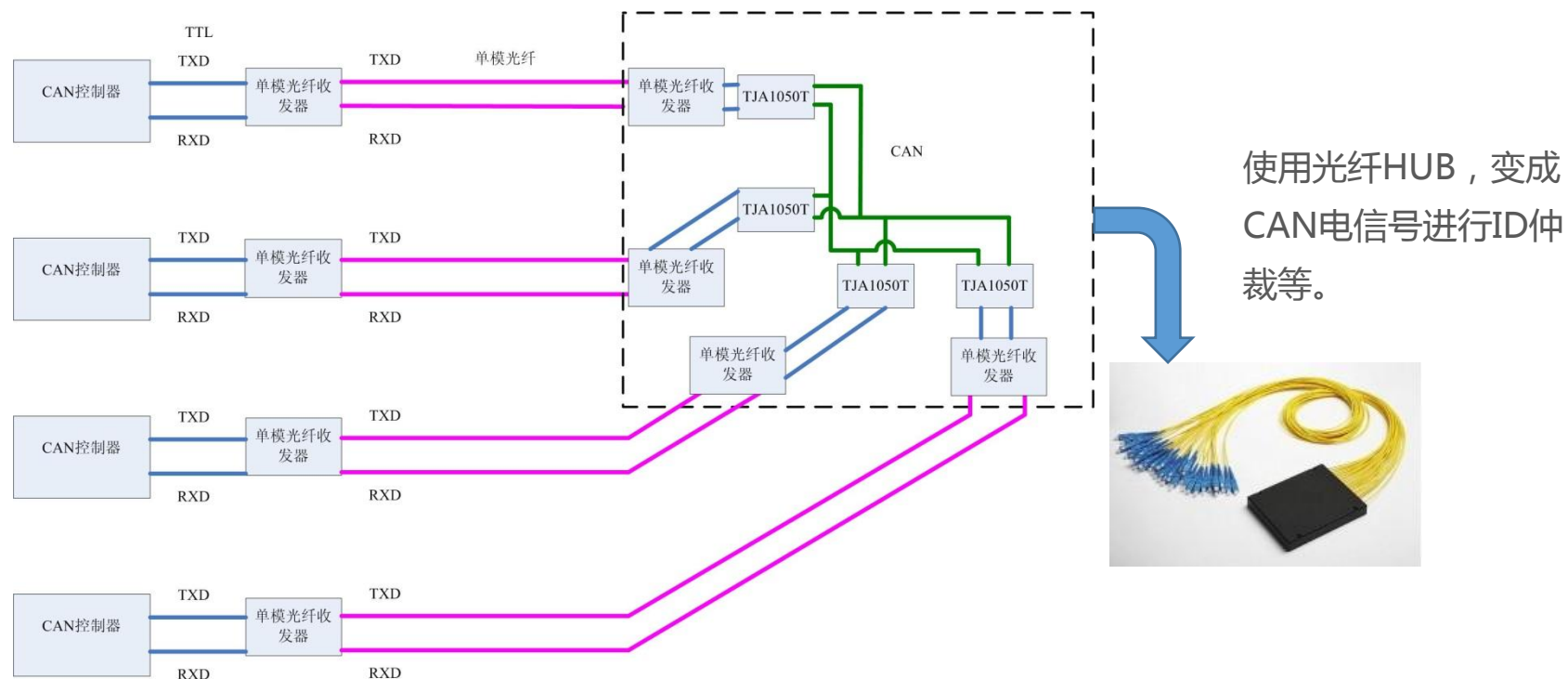
# 光缆组网

光缆组网是指将CAN信号变成光信号，然后进行传输。



# 光缆星形拓扑

由于光纤收发器的点对点单向传输特性。无法像电信号传输那样采用“挂接”的方式。目前最成熟的就是星形拓扑。



# 光缆星形拓扑特点

---

## 优点

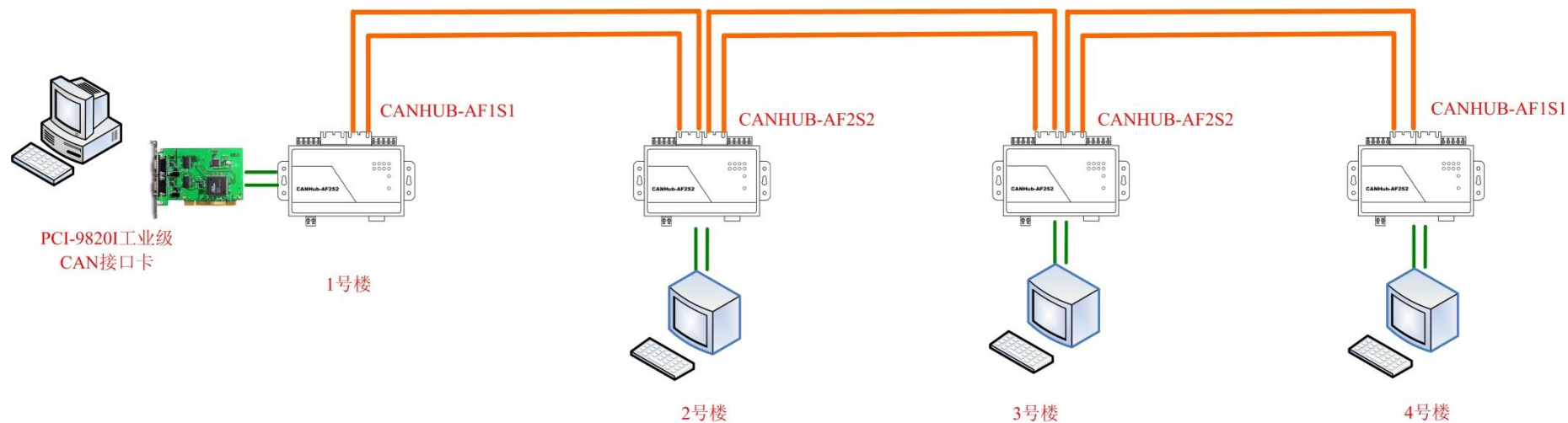
- 1.光缆可以远传，并且不会被干扰和雷击；
- 2.使用光纤HUB，维持CAN的各种特性，实时性强。

## 缺点

- 1.拓扑结构单一，施工不方便；
- 2.如果光纤长度相差很大，容易导致较大的延时差。

# 光缆直线型拓扑

由于点对点特性，光缆直线型拓扑只能通过控制器级联来完成。



CAN-bus: CANH和CANH连、CANL和CANL连

SC接头的单模光纤: TXD接RXD, RXD接TXD

# 光缆直线型拓扑特点

---

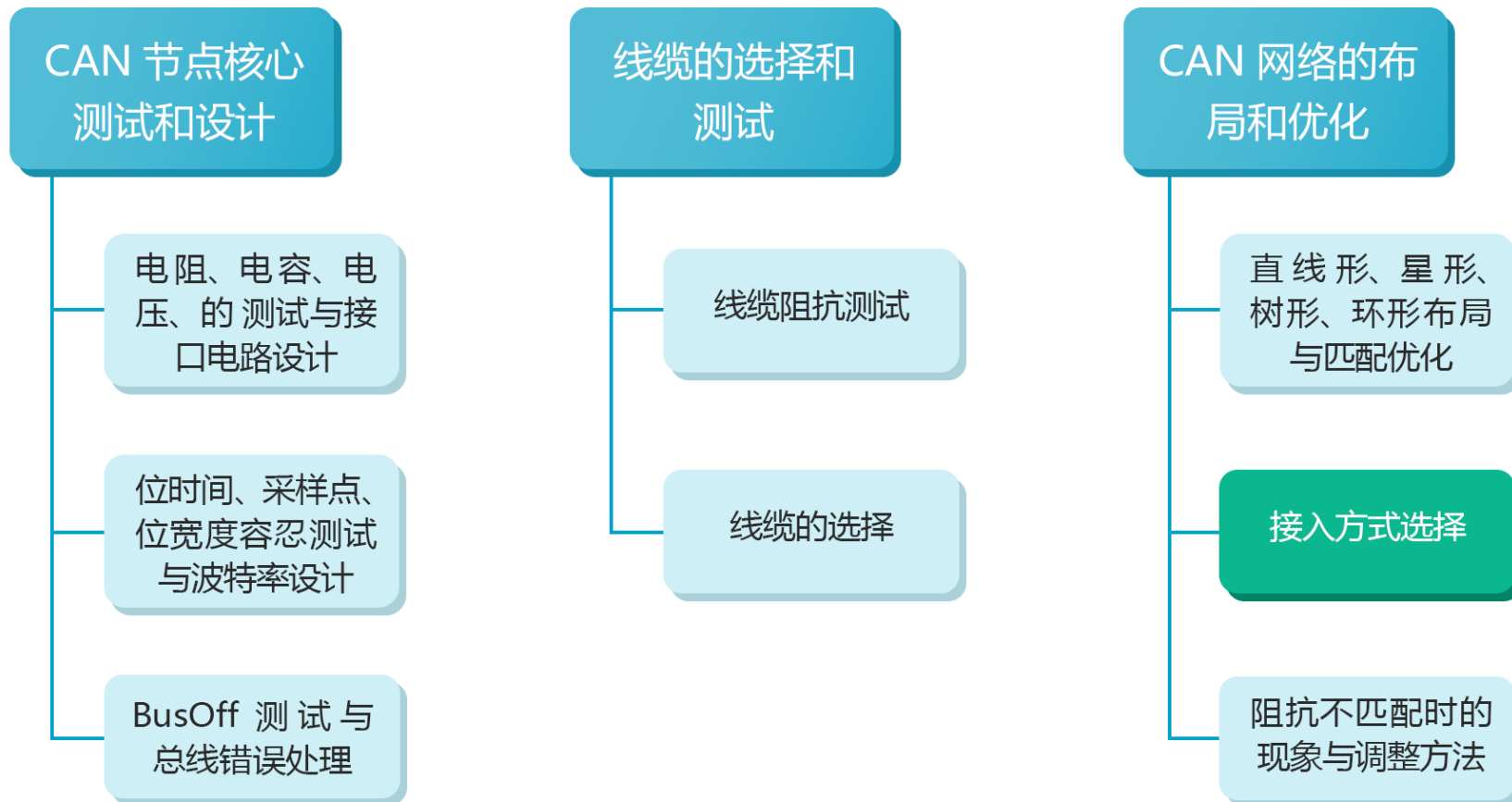
## 优点

1. 光缆上逻辑为CAN信号，仍然可以实现仲裁，并且具备光纤抗干扰特点；
2. 每段自成拓扑，不受距离限制。

## 缺点

由于是存储转发，会产生延时；

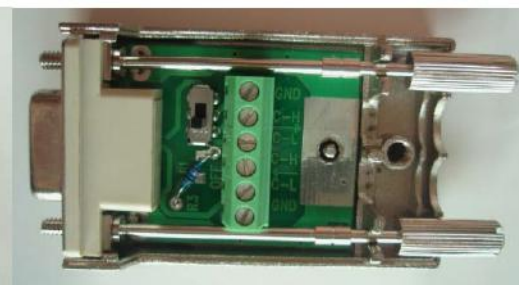
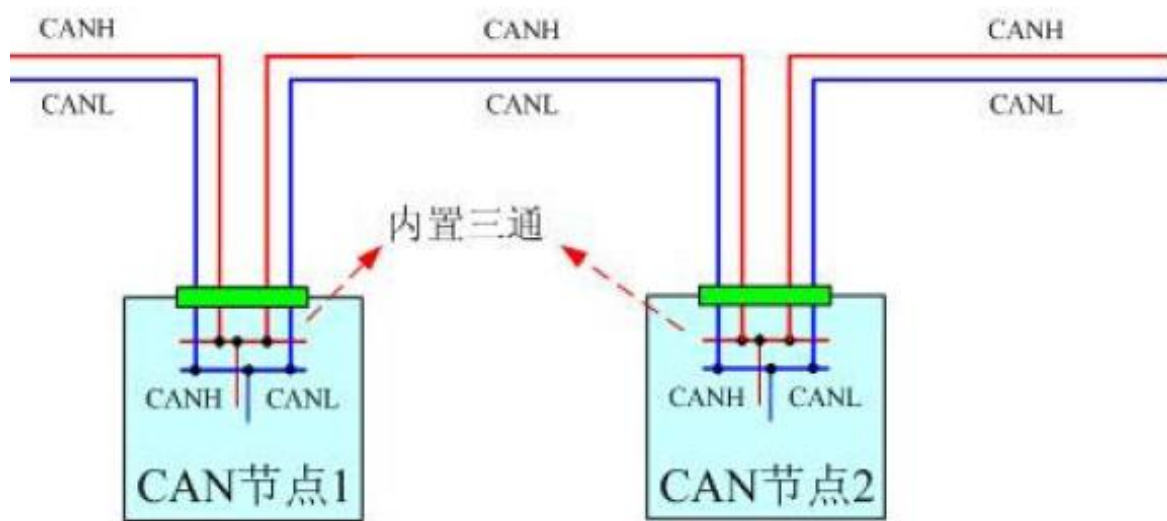
# 保证CAN运行稳定的核心设计和测试





# 接入方式选择——内置三通接头

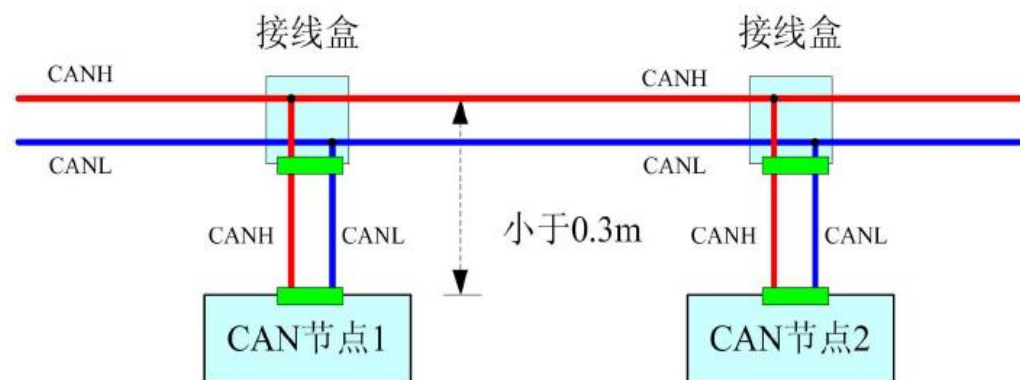
由于点对点特性，光缆直线型拓扑只能通过控制器级联来完成。



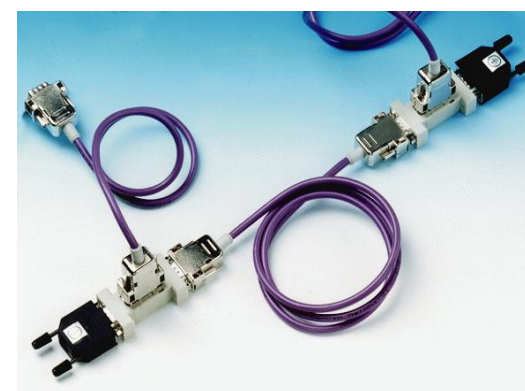
TEZ-C01A(母头DB9)

TEZ-C01B (公头DB9)

# 接入方式选择——T形接线盒



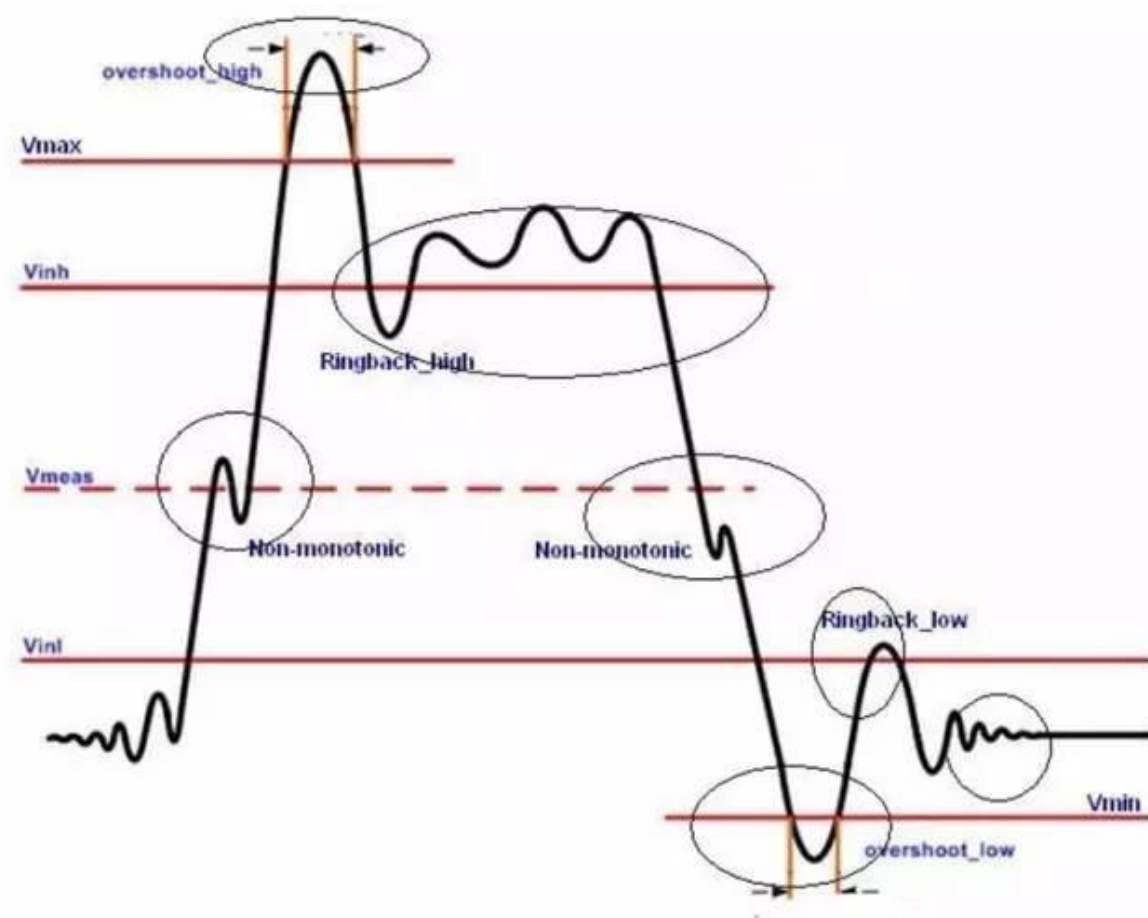
TEZ-3T111



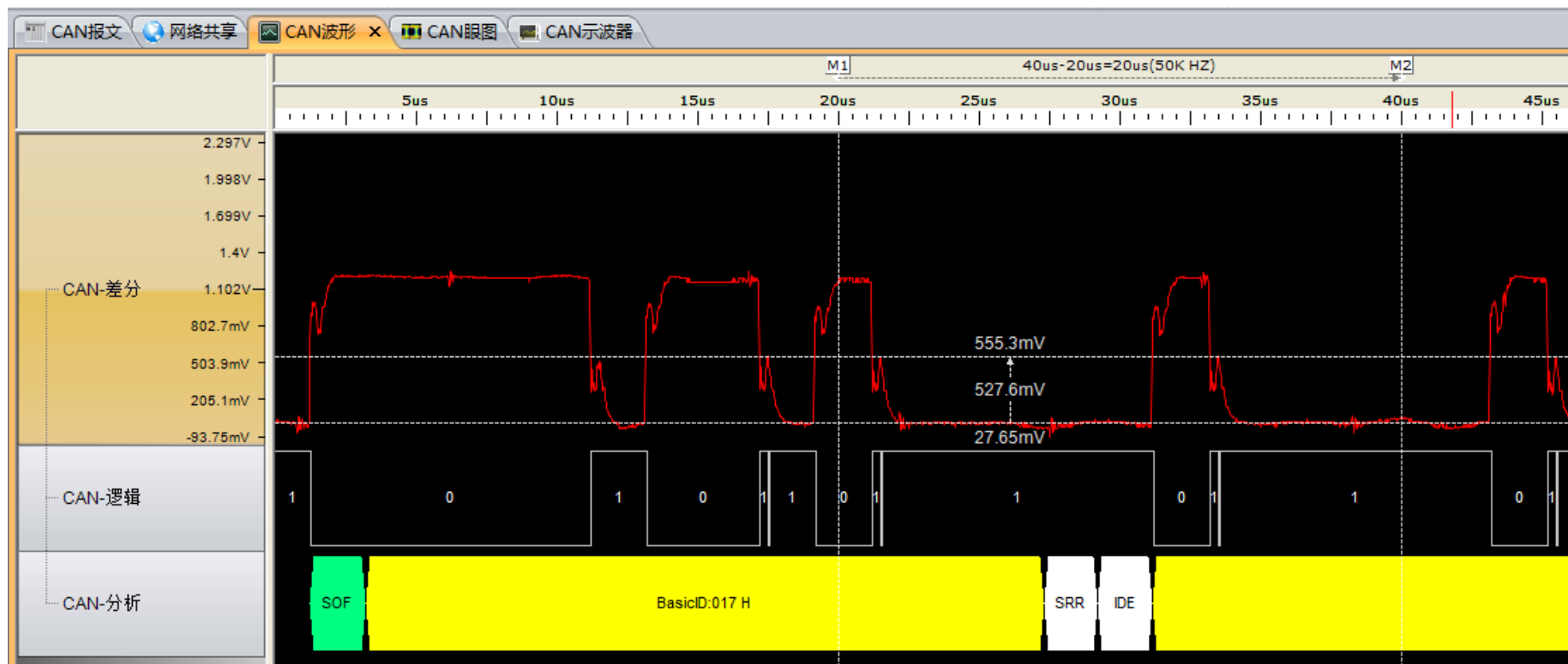
# 保证CAN运行稳定的核心设计和测试



# 阻抗不匹配的现象



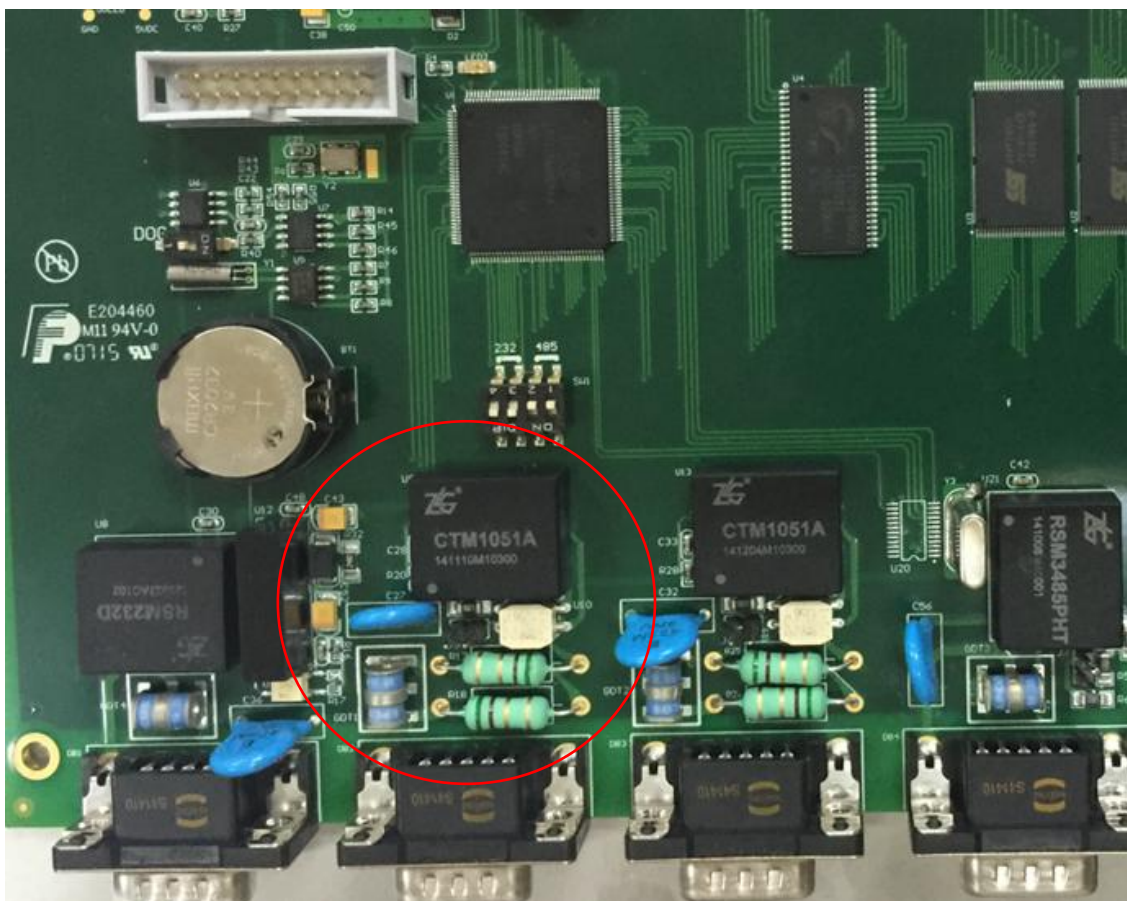
# 阻抗不匹配的现象





# 阻抗匹配的调整1——缩短残段

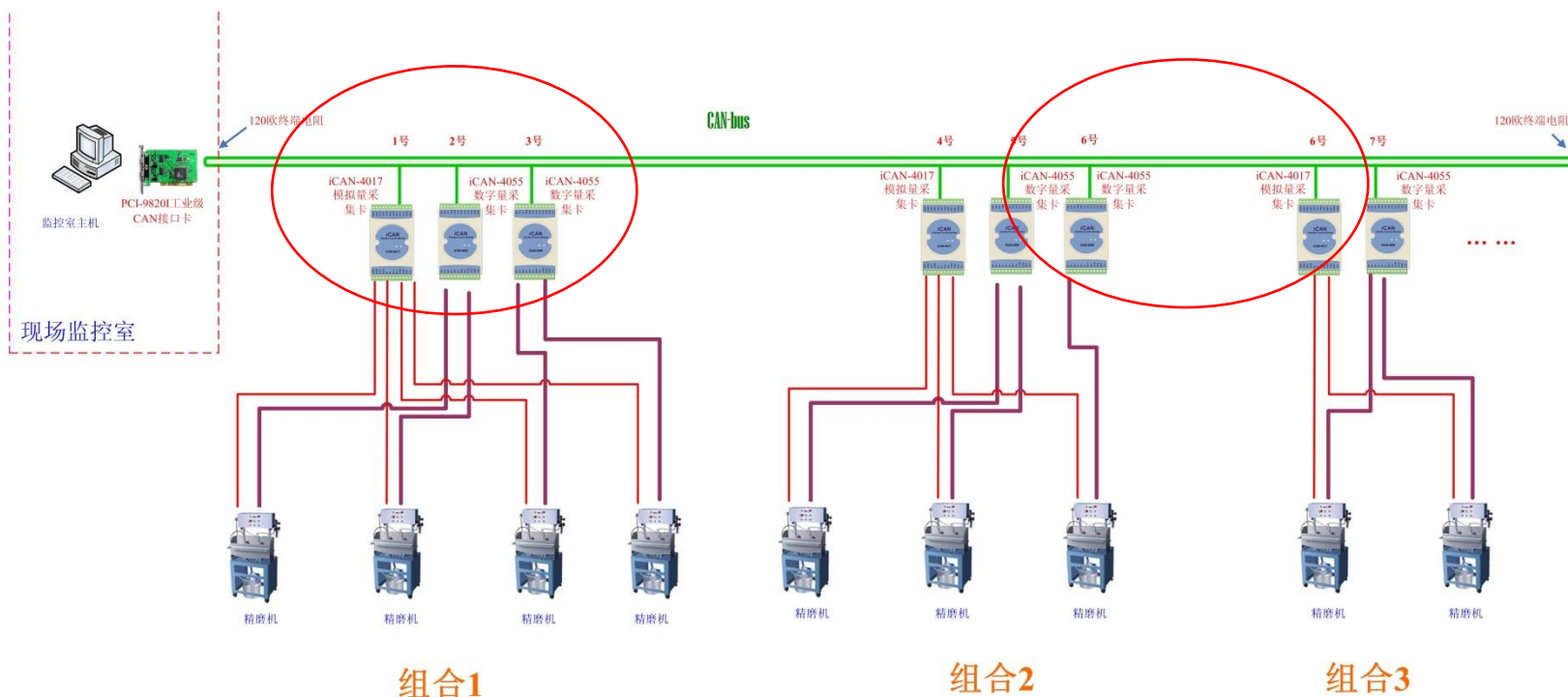
为了保证阻抗连续，收发器应靠近接口摆放，以减少分支残段的长度，控制在10cm以内。





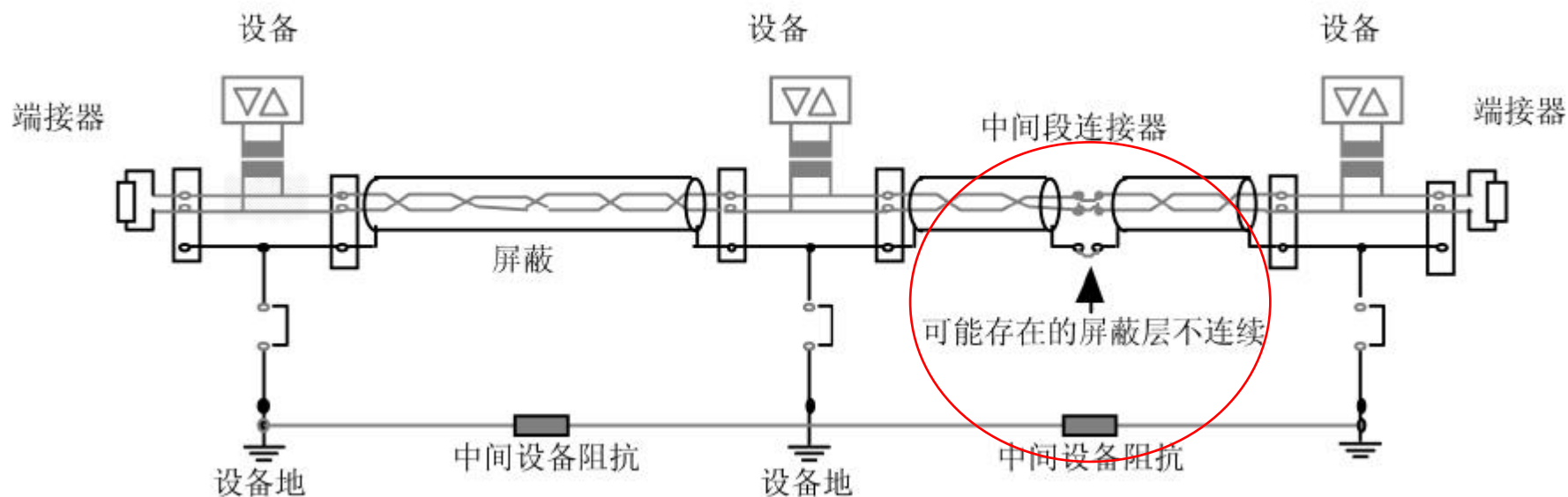
# 阻抗匹配的调整2——消除负载集中

为了避免节点摆放集中，导致反射叠加，相邻节点的距离不得小于2cm，10m的电缆上所集中的设备最好不要超过4个，否则应加电容以吸收。并且此集中与下一个集中至少有10m的电缆距离。



# 阻抗匹配的调整3——屏蔽层接地方法

屏蔽层多点接地需要注意接地点电位，避免地回流影响信号。否则可以采用分段屏蔽，单点接地方法，就可以有效避免地回流的问题。



# 助教微信号

 关注微信号 “zlgmcu-888” ，一对一解决您的CAN问题



欢迎扫码关注小Z

# 汇聚500名工程师的研发测试分享平台

测试方案



行业热点




ZLG致远电子公众号

干货文章



精彩活动



 致远电子

**谢谢！**