



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX.3—XXXX/IEC 62132-3:2007

集成电路 电磁抗扰度测量 第3部分：大电流注入（BCI）法

Integrated circuits - Measurement of electromagnetic immunity

- Part 3: Bulk current injection (BCI) method

(IEC 62132-3: 2007, IDT)

(征求意见稿)

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言..... III

引言..... IV

1 范围..... 5

2 规范性引用文件..... 5

3 术语和定义..... 5

4 概述..... 5

5 试验条件..... 6

 5.1 概述..... 6

 5.2 试验设备..... 6

 5.3 试验板..... 7

6 试验程序..... 8

 6.1 电磁场危害..... 8

 6.2 正向功率限制的校准..... 8

 6.3 BCI 试验..... 9

 6.4 BCI 试验布置表征程序..... 10

7 试验报告..... 11

附录 A（资料性）试验电平和频率步进选择示例..... 12

附录 B（资料性）BCI 试验板和试验布置示例..... 14

附录 C（资料性）射频试验板和试验布置示例..... 17

参考文献..... 18

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。

GB/T XXXXX《集成电路 电磁抗扰度测量》为集成电路电磁抗扰度测量方法标准。

本文件是GB/T XXXXX的第3部分。GB/T XXXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：通用条件和定义；
- 第2部分：辐射抗扰度测量 TEM小室和宽带TEM小室法；
- 第3部分：大电流注入(BCI)法；
- 第4部分：射频功率直接注入法；
- 第5部分：工作台法拉第笼法；
- 第8部分：辐射抗扰度测量 带状线法；
- 第9部分：辐射抗扰度测量 表面扫描法。

本文件使用翻译法等同采用IEC 62132-3:2007《集成电路 电磁抗扰度测量 第3部分：大电流注入(BCI)法》。

与本文件中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T XXXXX.1-XXXX 集成电路 电磁抗扰度测量 第1部分：通用条件和定义（IEC 62132-1:2015, IDT）

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。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国半导体器件标准化技术委员会（SAC/TC78）归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

引 言

为规范集成电路电磁抗扰度测量,以及为集成电路制造商和检测机构提供不同的电磁抗扰度测量方法,GB/T XXXXX规定了集成电路电磁抗扰度测量的通用条件、定义和不同测量方法的试验程序和试验要求,拟由7个部分构成。

- 第1部分:通用条件和定义,目的在于规定集成电路电磁抗扰度测量的通用条件和定义。
- 第2部分:辐射抗扰度测量 TEM小室和宽带TEM小室法,目的在于规定TEM小室和宽带TEM小室法的试验程序和试验要求。
- 第3部分:大电流注入(BCI)法,目的在于规定大电流注入法的试验程序和试验要求。
- 第4部分:射频功率直接注入法,目的在于规定射频功率直接注入法的试验程序和试验要求。
- 第5部分:工作法拉第笼法,目的在于规定工作法拉第笼法的试验程序和试验要求。
- 第8部分:辐射抗扰度测量 带状线法,目的在于规定带状线法的试验程序和试验要求。
- 第9部分:辐射抗扰度测量 表面扫描法,目的在于规定表面扫描法的试验程序和试验要求。

集成电路 电磁抗扰度测量 第3部分：大电流注入（BCI）法

1 范围

本文件规定了在传导射频（RF）骚扰存在的情况下利用大电流注入法（BCI）测量集成电路（IC）抗扰度的试验方法，例如，由辐射RF骚扰引起的传导RF骚扰。这种方法仅用于有板外连线的IC，例如连接到电缆束。本试验方法把RF电流注入到一根或一组线缆。

本文件为设备中的半导体器件在无RF电磁波环境下工作时的评估建立公共基础。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

IEC 62132-1:2006 集成电路 电磁抗扰度测量（150kHz~1GHz） 第1部分：通用条件和定义
(Integrated circuits – Measurement of electromagnetic immunity, 150 kHz to 1 GHz – Part 1: General conditions and definitions)

3 术语和定义

IEC 62132-1界定的术语和定义适用于本文件。

4 概述

IC的射频抗扰度（或敏感度）的特性，对于印制电路板（PCB）的最佳设计、滤波器选用以及进一步集成到电子系统都至关重要。本文件定义了一种IC对由电磁骚扰产生的射频电流的抗扰度测量方法。

本方法是基于用于设备和系统的BCI方法^[1,2,3]。BCI方法模拟由于辐射射频信号直接耦合到设备和系统的线缆和电缆上而产生的感应电流。

通常，在电子系统中，印制电路板（PCB）上的板外连接线或走线都可作为电磁场的天线。通过这种耦合路径，这些电磁场会在IC的引脚上感应出电压和电流，并可能产生干扰。根据IC的具体应用，其通常用于不同的配置。在这种情况下，电子设备的抗扰度水平与IC承受电磁场影响的能力密切相关。

为了表征IC的抗扰度，需要测量引起功能失效的感应电流电平。根据IEC 62132-1中规定的性能分级，功能失效可分为从A到E五个等级。

BCI法的基本布置如图1所示。

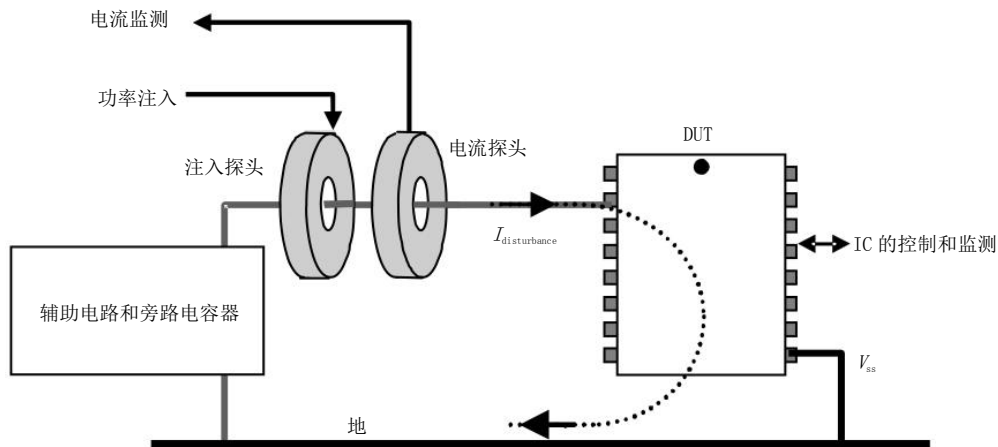


图 1 使用 BCI 时的主要电流路径

两个电屏蔽的磁场探头夹住与受试器件（DUT）相连的一根线缆或多根线缆。第一个探头用于注入 RF 功率，该功率在线缆上产生电流 $I_{\text{disturbance}}$ 。第二个探头用于监测线缆上的感应电流。

骚扰电流在环路中流动，该环路包括：线缆、所选的 IC 引脚、 V_{ss} 端子、地路径和辅助电路。辅助电路提供 DUT 实现功能所需的源和/或负载。辅助电路直接与 DUT 相连接。当辅助电路的等效射频阻抗大于 $50\ \Omega$ 时，宜使用旁路电容器。在辅助电路一侧使用的旁路电容器，也是用来限制感应电流的环路面积。应使用默认值为 $1\ \text{nF}$ 的集总旁路电容器。这代表线缆到电缆束或者机壳的电容。当不使用旁路电容器（例如，由于功能性能受到影响）时，应在试验报告中对这种偏离进行说明。

使用可选的去耦网络，见图 2，可作为旁路电容器的补充，以实现辅助电路所需的去耦衰减。去耦阻抗由辅助电路的射频抗扰度确定，辅助电路不应影响 DUT 的响应，即对试验结果产生不利影响。

感应进线缆中的骚扰电流 $I_{\text{disturbance}}$ 流入 DUT，可能会引起运行失效。这种失效由称为抗扰度判据的参数定义，这些参数由 DUT 的控制和监测系统检查。

5 试验条件

5.1 概述

IEC 62132-1 给出了通用试验条件。

抗扰度试验过程中，应使用连续波（CW）或者幅度调制（AM）的 RF 信号。DUT 应在每个频点暴露足够的驻留时间。默认使用 $1\ \text{kHz}$ 、80% 的 AM 射频信号。

当使用 AM 信号时，峰值功率应等于 CW 的功率，见 IEC 62132-1。如果使用其他调制方式，应在试验报告中说明。

DUT 抗扰度试验要求的骚扰电流等级，取决于其应用的环境。附录 A 的表 A.1 给出了骚扰电流注入的典型值的示例。

注：为了满足较高的试验等级，允许添加额外的保护器件。所有其他引脚使用 IEC 62132-1：2006 的 6.4 规定的负载。

5.2 试验设备

试验设备包括下列设备和装置：

- 接地参考平面；
- 电流注入探头；

- 电流测量探头；
 - 具有 AM 和 CW 功能的射频信号发生器；
 - 射频功率放大器，推荐功率不小于 50 W；
 - 射频功率计或等效设备，用于测量正向（和反射）功率；
 - 射频电压表或等效设备，配上电流探头可测量感应的骚扰电流；
 - 定向耦合器；
 - DUT 监测设备（可选用光纤接口）。
- 试验布置示意图如图2所示。

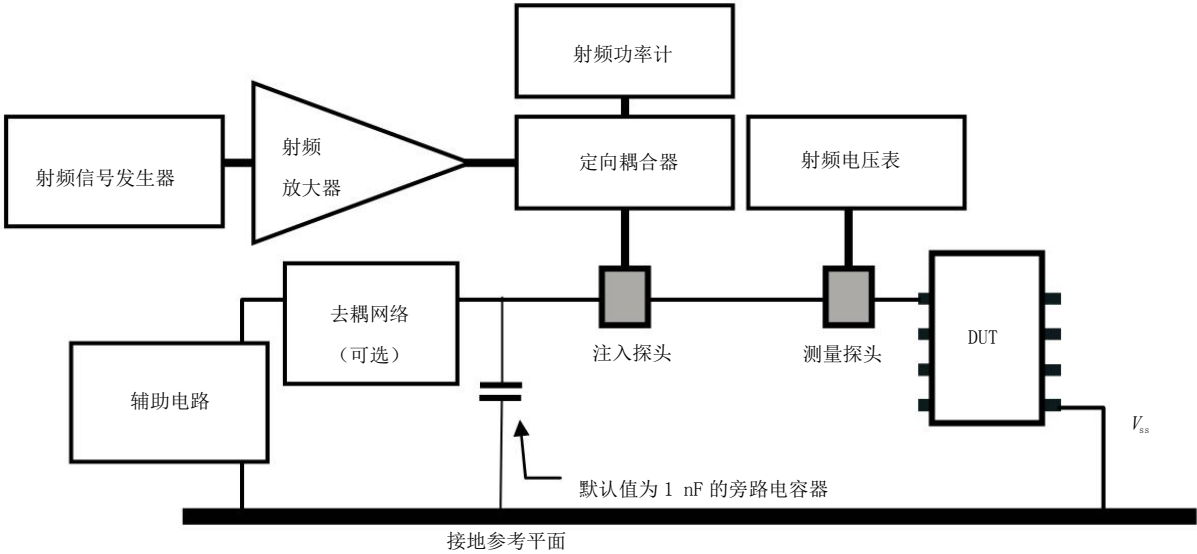


图 2 BCI 试验配置示意图

用能覆盖整个试验频率范围的一个或一组电流注入探头，将骚扰信号注入到与DUT连接的线缆中。注入探头相当于一个变压器。

注：可以使用光纤接口来监测DUT的响应，并与抗扰度性能判据比较。推荐而非强制使用光纤接口。

5.3 试验板

BCI试验板的示例见图3。这种BCI试验板的中间开孔，便于放置两个电流探头。

为了满足BCI试验条件的要求，需要对IEC 62132-1中定义的标准试验板进行调整。如果使用了标准试验板，在标准试验板和BCI试验板之间应进行低阻抗的接地连接。当BCI试验板叠层中不包括接地参考平面 (GRP) 时，在内孔处应使用衬垫、接触弹簧或者多个螺钉将BCI试验板与BCI试验夹具支架相连接。

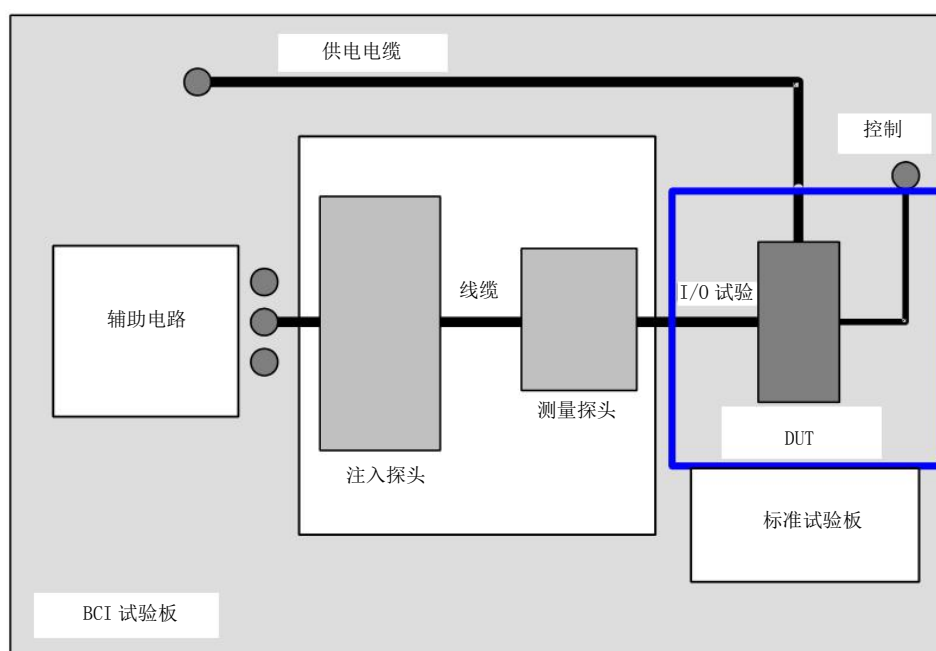


图3 试验板示例（俯视图）

电流注入的线缆一端连接到选定的DUT引脚，另一端连接到辅助电路。辅助电路可包括DUT按照预期运行所需的负载、电源或信号源。

BCI试验板的优点在于能固定探头的位置，使测量的复现性更好。开孔的尺寸和注入线缆的长度宜至少设计为所用探头的尺寸。开孔在探头的四周应超过其尺寸最小10 mm，最大30 mm。通常，线缆长度应限制为BCI试验方法中所用最高频率对应波长的四分之一（空气中1 GHz时约为75 mm）。

BCI试验板放置在连接接地参考平面（GRP）的铜试验夹具上，详见附录B。GRP的尺寸为超过试验夹具边界至少0.1 m的典型桌面尺寸。铜试验夹具需足够高，以满足注入探头支撑夹具的要求。

注1：GRP也可为BCI试验板的一个铜层。这种情况下，就不再需要铜试验夹具的支架。

注入探头和测量探头的屏蔽层应在铜试验夹具底下使用短线与GRP相连接进行接地。

注2：同轴馈通连接器可通过GRP（铜试验夹具底下）安装，以直接连接到电流注入探头和电流测量探头。

6 试验程序

6.1 电磁场危害

试验区域内可能存在射频场。应注意确保满足人体暴露在射频能量场中的限制要求。最好在具有足够射频屏蔽的空间内进行射频抗扰度试验。

6.2 正向功率限制的校准

射频发生器和射频放大器产生的所需正向射频功率，由注入探头的BCI试验布置校准程序确定。在此过程中，确定输入给注入探头的正向射频功率（在连续波模式下），该功率用于产生所需的电流 $I_{\text{disturbance}}$ 。

校准是在包含一条电短传输线的校准夹具中进行。当电流注入探头钳在中心导体上时，可以在这段传输线上测量中心导体的电流。校准夹具的输出端端接功耗至少为0.5 W的50 Ω负载、频谱分析仪或射频电压表。测量射频接收机50 Ω输入阻抗上的电压，可计算流过中心导体的电流。

校准程序应按照以下顺序：

- a) 注入探头应钳在校准夹具上，如图6所示。将探头固定在中心位置，与夹具两边侧壁的距离相等。

校准夹具的一端接50 Ω 射频负载，另一端接50 Ω 射频接收机（频谱分析仪、电压表等），必要时还需要连接衰减器。注意：使用的负载需要有足够的额定功率；

注：假设系统为线性的，校准时可使用较低的额定功率。

- b) 连接试验设备，如图4所示；
c) 逐渐增加注入探头的试验信号幅度，直到达到所需电流电平，由射频接收机测量；
d) 记录下产生所需电流 $I_{\text{disturbance}}$ 的正向射频功率，该正向射频功率作为最大正向功率限值 P_{limit} ；
e) 在规定的频率范围内对每个频点重复步骤c)～d)。

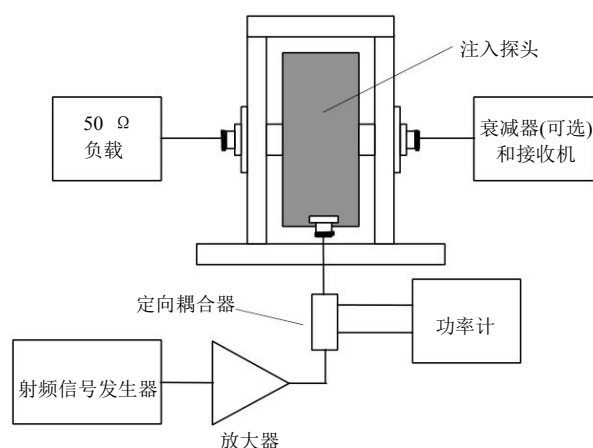


图4 校准布置

6.3 BCI 试验

对于射频抗扰度试验，使用功率和电流限制的替代法，这种方法跟踪射频功率和射频电流是否达到限值。替代法很好地用于该IC抗扰度试验方法，并与ISO方法相关。

- 连接电流探头，其他试验设备和试验板；
- 给DUT供电并检查是否处于正确的运行模式；
- 对于每个试验频率，逐渐增加输入给注入探头的信号幅度，直到
 - 监测测量电流探头的输出达到目标试验电流限值 I_{limit} ，或者；
 - 输入给注入探头的功率达到校准的最大正向功率 P_{limit} 。在这种情况下，尽管注入电流电平没有达到电流限值，但也需记录此时的最大电流电平，或者；
 - 找到DUT的射频抗扰度电平。如果DUT发生失效，或者达到 I_{limit} ，或者达到 P_{limit} 目标电平，对于这些所有情况，都要记录监测电流和正向功率。

注1：为了研究的目的，也可记录确定射频抗扰度的详细信息。

注2：假设在频率转换的过程中不产生毛刺，下个频率的射频幅度可以这样选择，例如比上个电平低10 dB（考虑到试验系统与频率有关），以加快试验速度。

图5的流程图详细地给出了试验程序。该流程图仅适用于一个频点。

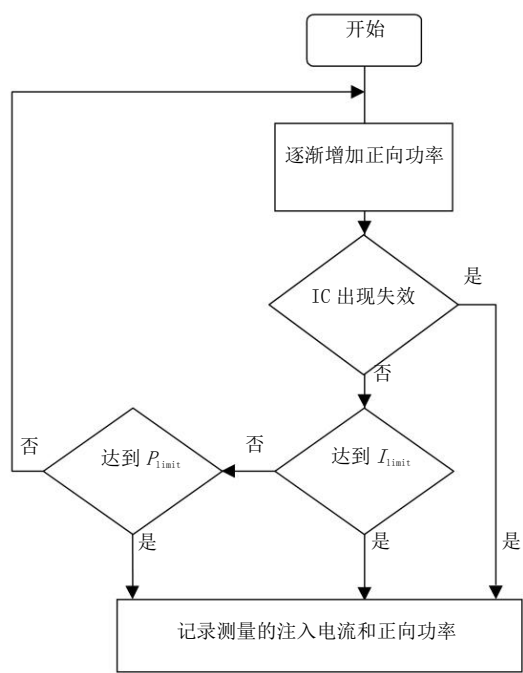


图 5 每个频点的 BCI 试验流程图

6.4 BCI 试验布置表征程序

为了验证BCI试验板的阻抗，需要一个验证程序。
对于此验证，应使用完整的试验布置，但DUT除外。代表DUT所选引脚的端口，由一个50 Ω 参考阻抗替代。图6给出了验证试验布置的示意图。

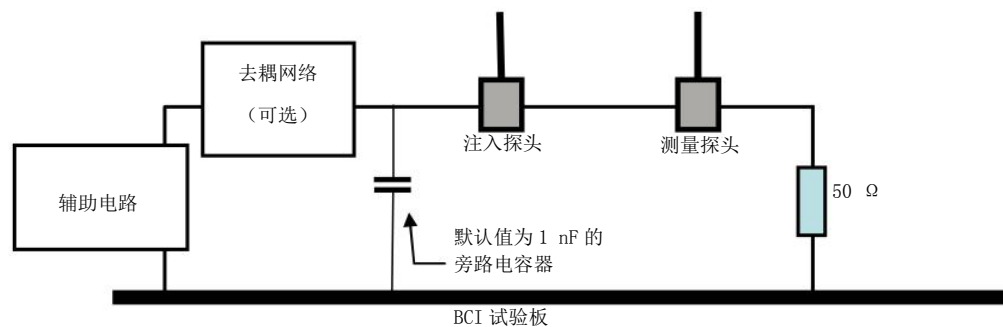


图 6 试验布置阻抗验证

在整个频率范围的验证过程中，注入电流的值是固定的。推荐注入的骚扰电流值为10 mA。对于每一个频点，应记录RF正向功率。
试验板的验证可通过下式定义的转移阻抗进行表征：

$$Z(f) = \frac{P_{\text{forward}}(f)}{I^2}$$

如果使用多个试验板， $z(f)$ 的值宜相同。这样可以对相同条件下的IC抗扰度试验结果进行比较。

7 试验报告

试验报告应按照IEC 62132-1的要求。

抗扰度判据需在试验报告中清楚地表述。为了能复现试验结果，试验板的配置也需在试验报告中详细地描述。

在所有情况下，在校准和测量过程中记录的注入射频电流 $I_{\text{disturbance}}$ ，施加的正向射频功率 P_{forward} ，校准功率 P_{limit} 和电流 I_{limit} 等参数，都应记录在试验报告中。

此外，试验板的表述，旁路电容器的值（默认值）和去耦网络（当使用时）等其他关键内容也应在试验报告中列出。

附录 A

(资料性)

试验电平和频率步进选择示例

A.1 注入电流的典型值

试验信号的严酷等级是施加的已校准的试验电流等级。这些试验严酷等级是用未调制的电流信号的等效均方根值（单位为mA）表示。这些试验等级来自汽车/航空模块的试验要求。IC试验所施加的等级宜由最终用户提供，并由受控功能的关键性确定。其他应用环境可以放宽限值要求。

表A.1给出了严酷等级的示例。注入电流的等级与IC引脚的连接相关。连接外部线缆的引脚，试验时施加最大的试验电流，而只有本地连接线的引脚，则允许施加较低的等级。这些值宜在IC的试验计划中详细列出。

表 A.1 试验严酷等级

试验严酷等级	电流 (CW) (不包括插入损耗)
I	50 mA
II	100 mA
III	200 mA
IV	300 mA
V	用户规定的值

当试验板为了能够承受更高的电流值而使用了额外的保护器件时，在IC试验报告中需增加对该保护电路及其布局的描述。

A.2 频率步进

由电磁骚扰在线束上产生的注入电流是在离散频点上得到的。两个试验频率之间的间隔定义为频率步进。

频率步进的选择宜覆盖IC的整个抗扰度频率范围，且要避免跳过可能出现抗扰度问题的频点。一般来说，IC受到骚扰的根本原因是阻抗谐振。这些谐振的频段通常非常窄，频率步进需考虑这个现象。

有两种定义频率步进的方法：线性方法或者对数方法。

表A.2给出了线性频率步进（适用于汽车和航空）的示例。

表 A.2 线性频率步进

频率范围 MHz	最大频率步进 kHz
0.01~0.1	2
0.1~1	20
1~10	200
10~100	2000
100~1000	5000

表A.3给出了对数频率步进（适用于汽车）的示例。

表 A.3 对数频率步进

频率范围 MHz	频率步长
0.01~0.1	10%
0.1~100	5%
100~1000	2%

附录 B
(资料性)
BCI 试验板和试验布置示例

B.1 BCI 试验板和试验布置示例

本示例的BCI试验布置采用了如型号为F-140的注入探头。探头能在100 kHz~1 GHz频率范围内注入大电流值。测量探头可选择如型号为94111的小电流探头，可满足试验要求。

由于两个探头的尺寸加起来为110 mm宽，因此需要一个开口为120 mm的试验板放置两个探头，这样探头限制在低的频率范围 (<500 MHz) 内使用。图B. 1给出了试验板的整体视图。两个探头之间的推荐距离为10 mm。

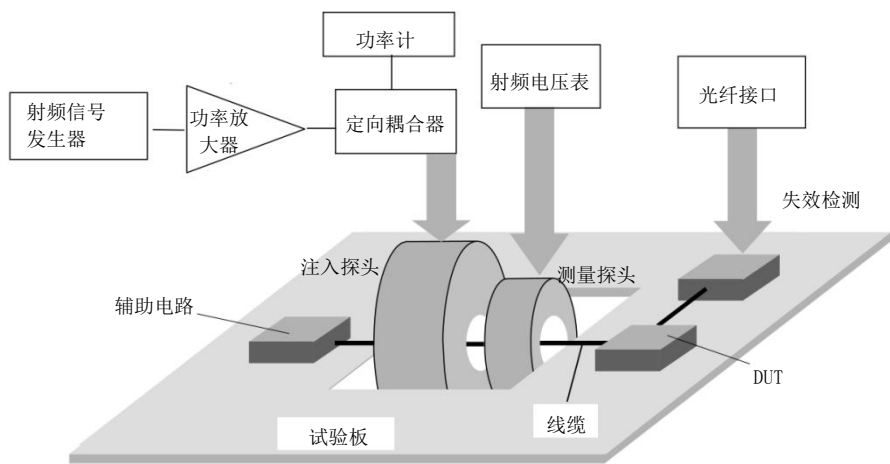


图 B. 1 整体视图

当使用常规BCI探头时，开口典型尺寸需为120 mm×150 mm，这样可以放置低频段使用的两个探头。探头之间距离可限定为1 mm。

当使用较小的注入探头和测量探头能在高频段进行试验时，应使用金属板覆盖试验板上的开口，且使开口的每个边和探头之间保持10 mm的距离。该金属板需和试验板的各边缘保持坚固的电气连接。

电流测量探头的位置需靠近IC（要求间距小于20 mm），以便测量注入IC的电流。在这种情况下，测量差分线路上感应的表面电流，要比在差分传输线路上产生不连续更为合适。两个探头的间距需限定为1 mm。

为了最大限度减小试验板的影响，试验板的每个边需足够宽以被认为是参考接地平面。建议每边在试验布置的边界至少扩展30 mm，见图B. 2。

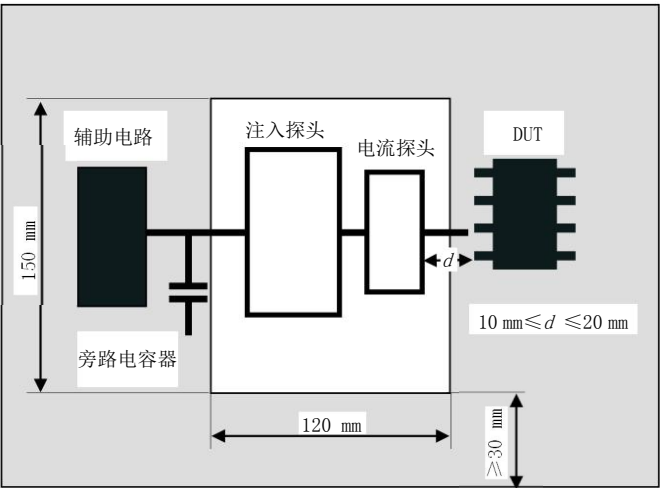


图 B. 2 试验板俯视图

参考接地平面（GRP）被认为是实体接地平面。在试验布置中，认为骚扰电流的返回路径是通过GRP。在不大于1 GHz时，此GRP对测量布置的影响可以忽略，因此此方面可以不用考虑。

试验板由FR4载体材料上的至少两个铜层组成。DUT，相关器件和轨线放置在顶层。底层专用于实体接地平面。图B. 3示出了试验板的构建。

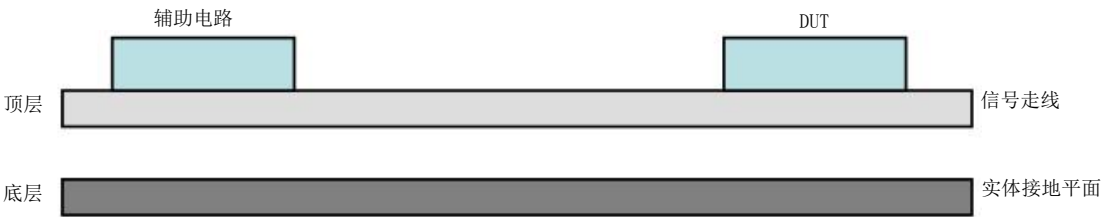


图 B. 3 试验板的构建

试验板的底层作为地平面，放置在铜试验夹具上，铜试验夹具与接地参考平面相连，如图B. 4所示。铜试验夹具需能与BCI试验板底面导电接触。试验夹具放置在铜GRP上。注入探头的屏蔽层需在铜试验夹具下方接地到GRP。当需要支撑大电流探头时，推荐这样的作法可确保试验的复现性。

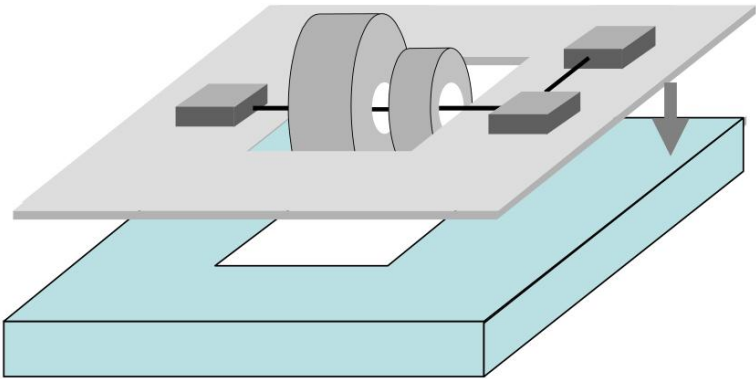


图 B. 4 试验板和铜夹具

为了固定探头的位置，推荐使用特定的支架。图B. 5给出了这种支架的示例。探头支架宜用非导电材料制成，其 ε_r 值约为4。

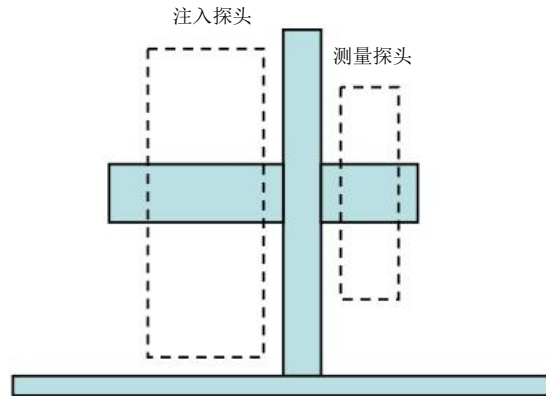


图 B. 5 非导电的探头支架示例

附录 C
(资料性)
射频试验板和试验布置示例

射频探头的注入，可以使用多线射频变压器，例如，表面贴装器件（SMD）类型。对于具有地平面的差分传输线的耦合，可以使用三线射频变压器，且可以通过增加电容耦合（增大图C.1中C4/C5的电容值）来扩展这种耦合的频率范围。射频变压器的中心线用于注入，而非中心线则与差分传输线相串联。

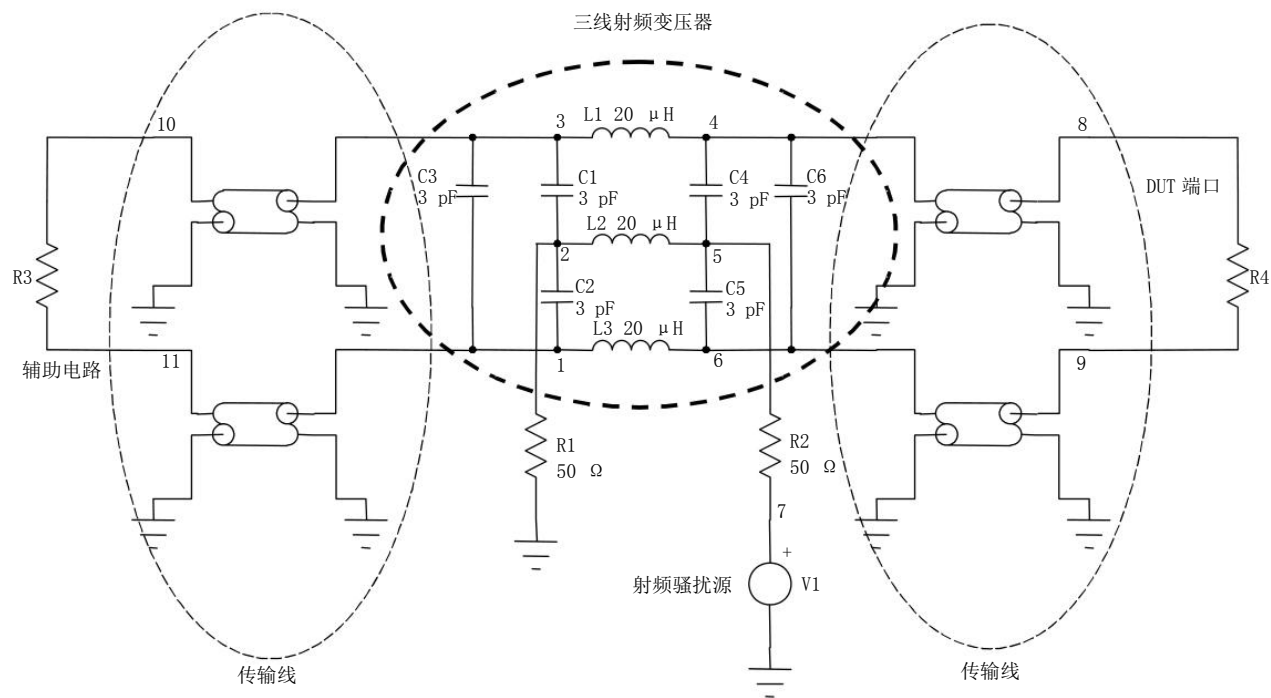


图 C.1 IC 差分端口的紧凑型射频耦合

参考文献

- [1] ISO 11452-4:2005, Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Part 4: Bulk current injection (BCI)
 - [2] D0160D section 20.4: Conducted Immunity (CS) test
 - [3] MIL-STD-461E: Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Equipments and Subsystems (CS114)
-