

基于波段开关的信号控制与 BIT 电路设计

王 勇¹, 萧耀友²

(1. 中国人民解放军 91550 部队 91 分队, 辽宁 大连 116023;

2. 中国人民解放军 91515 部队, 海南 三亚 572000)

摘要: 为了提高飞控计算机导通检查和绝缘测试时的安全性和可靠性; 通过研究一刀多掷波段开关的特点和电路控制规律, 以及飞控计算机导通检查和绝缘测试需求, 提出一种基于波段开关组合使用实现多测量通道信号转换控制的电路设计方案, 同时提出一种结合波段开关特点的机内测试 (BIT) 电路设计方法; 采用上述方案制作了具体的实体电路, 经实验室测试: 该电路设计可通过两个波段开关同时实现信号分配和“自检”, 提高了自检效率; 电路简洁, 操作方便, 自检操作和测试操作基本一致, 操作过程直观性强, 从一定意义上讲, 实现了“在线”自检; 经实际应用验证, 该电路设计方案可显著提高系统的测试和诊断能力, 具有较好的实际应用价值。

关键词: 机内测试; BIT; 测试诊断; 装备测试; 波段开关

Signal-control and BIT Circuitry Based on Wave-band Switch

Wang Yong¹, Xiao Yaoyou²

(1. Unit 91550 of PLA, Dalian 116023, China; 2. Unit 91515 of PLA, Sanya 572000, China)

Abstract: In order to enhancing the measurement security and the reliability of the testing course, a circuit design project about how to control and select many Signal measure channels based on the Wave-band Switch and a kind of Built-in Test (BIT) method is put forward in the pape, by studying the characteristics of the wave-band switch, the controlling rules and the test requirements. There are also some application examples about which in the paper. The test results of the circuit were: (1) having realized signal assigning and having a higher self-check efficiency just by two wave-band switch, (2) making the testing operation simple and direct, (3) making the self-check operation simple just like to finish a testing operation and to enhance the operation visibility, (4) having realized the online self-check in some sense. It is validated that the circuit design project can greatly improve the testability and diagnosis capability of the system and has better of actual application value.

Keywords: built-in test; BIT; test diagnosis; equipment test; wave-band switch

0 引言

绝缘电阻是我国计量法规定的电气安全检测项目中的强检项目^[1]。对装备导通绝缘性能进行测试的各种电阻测量仪^[2-8]等采用继电器矩阵实现信号分配控制。采用继电器矩阵分选信号的设备体积相对较大, 成本也较高, 另外继电器矩阵需要强有力的电源进行驱动。与继电器矩阵相比, 采用波段开关实现多测量通道信号分配控制的技术方案, 不需要电源驱动, 设备体积和成本控制相对容易。在实际使用中, 各测量通道出现断路或通路阻抗异常 (通常是变大) 对测量结果将产生影响。在对电子装备进行多点通路测量或绝缘性能测试时, 如何在测量前或测量过程中, 检查或验证多组测量通道的连通状态 (通路正常、断路或电路阻抗异常等), 关系到测试结果的准确性和可信性。特别是在测量结果超差的情况下, 如何通过设备机内自检, 确定测量结果与测试设备本身无关, 显得至关重要。设备自检通常采用以下 3 种方式: 一是以测试设备内嵌的测量仪表, 在与被测对象连接的接口端连接自检模拟器, 实现对多测量通道连通情况的“自检”; 二是从与被测对象连接的接口端, 人工逐对将多组测量通道用导线短接到一起, 同时以外接

测量仪表或测试设备内部的测量仪表, 实现对测量通道连通情况的“自检”; 三是从测量通道与测试设备内测量模块的接口端和测量通道与被测对象连接的接口端, 用外接检测仪表实现对测量通道连通状态进行检查或验证, 该方法通常也是采用人工查点, 对测量通道依次进行检测。采用自检模拟器的方法, 需要专门研制配套的自检设备, 成本高使用也不方便; 采用人工逐点测量的方法, 操作过程繁琐, 检测效率低。这里研究提出一种经济、实用的基于波段开关的多测量通道测量信号分配控制和机内自测试 (Built-in Test, BIT^[9]) 电路设计方法, 来提高测量通道转换效率并提高对多测量通道“自检”能力。

1 一种多通道测量电路设计方案

如图 1 所示, 在 2 个前级测量点 JC1、JC2 和任意两个被检测点 A_j 、 B_j ($j=1, 2, 3, \dots, N$ 为整数, 下同) 之间, 串联 2 个一刀多档 (或称一刀多掷) 波段开关 Ka 、 Kb 。 $Ka-Mo$ 、 $Ka-Mp$ 分别和 JC1、JC2 相连, $Kb-Mo$ 、 $Kb-Mp$ 分别和 $Ka-o-u$ 、 $Ka-p-u$ 相连, $Kb-o-i$ ($i=1, 2, 3, \dots, N$ 为整数, 下同)、 $Kb-p-i$ 分别和 A_j 、 B_j 相连。 $Ka-o-u$ 和 $Ka-o-v$ 相连, 形成档位并联关系; $Ka-p-u$ 和 $Ka-p-v$ 相连, 形成档位并联关系。 $Kb-q-i$ 、 $Kb-r-i$ 分别和 A_j 、 B_j 相连。 $Kb-Mq$ 和 $Ka-Mq$ 相连, $Kb-Mr$ 和 $Ka-Mr$ 相连, $Ka-q-v$ 和 $Ka-r-v$ 相连 (构成短路连接)。在 JC1 与 A_j 之间的电路、JC2 与 B_j 之间的电路、 $Ka-Mq$ 与 A_j

收稿日期: 2017-05-22; 修回日期: 2017-07-05。

作者简介: 王 勇 (1977-), 男, 辽宁大连人, 大学, 工程师, 主要从事装备测试与控制, 试验与鉴定方向的研究。

之间的电路、 $Kb-Mr$ 与 Bj 之间的电路中串联有连接器（或适配器） $SP(w)$ 或 $SP(x)$ 或 $SP(y)$ 或 $SP(z)$ 。

图 1 中， K 表示波段开关， $a、b$ 为波段开关 K 的标识号， $o、p、q、r$ 分别表示多层波段开关 K 中的某个层； i 表示波段开关 K 上的第 i 个档位， $u、v$ 分别表示波段开关 K 上的某个档位；波段开关 K 上某个档位端子的表示方法为“标识号—层—档位”（例如 $Kb-o-i$ 表示波段开关 Kb 第 o 层上第 i 个档位的档位端子）；波段开关 K 上某个公共端子的表示方法为“标识号— M 层”（例如 $Ka-Mo$ 表示波段开关 Ka 上第 o 层的公共端子）。 $CAij、CBij$ 表示和参数 $i、j$ 相关联的测量通道； $ZAij、ZBij$ 表示和参数 $i、j$ 相关联的自检通道。 $SP(w)、SP(x)、SP(y)、SP(z)$ 分别表示任意一个或一组连接器（或适配器）。

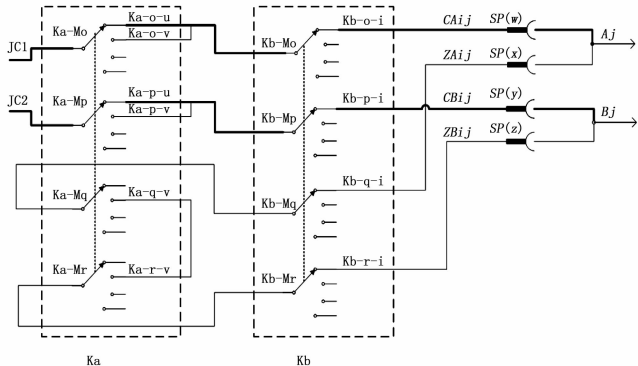


图 1 多通道测量电路原理图

2 电路特点、原理和应用优势

该电路设计的工作原理和特点是： $Kb-o-i$ 和 Aj 这 2 个节点之间的电路构成测量通道 $CAij$ ； $Kb-p-i$ 和 Bj 这 2 个节点之间的电路构成测量通道 $CBij$ ； $Kb-q-i$ 和 Aj 这 2 个节点之间的电路构成自检通道 $ZAij$ ； $Kb-r-i$ 和 Bj 这 2 个节点之间的电路构成自检通道 $ZBij$ 。在波段开关 Ka 的第 u 档位、波段开关 Kb 的第 i 档位接通的情况下， $JC1、JC2$ 和 $Aj、Bj$ 分别由过 $JC1、Ka-Mo、Ka-o-u、Kb-Mo、Kb-o-i、Aj$ 点的电路和过 $JC2、Ka-Mp、Ka-p-u、Kb-Mp、Kb-p-i、Bj$ 的电路连接在一起，形成测量通道 $JC1-Aij、JC2-Bij$ 。在波段开关 Ka 的第 v 档位、波段开关 Kb 的第 i 档位接通的情况下， $Aj、Bj$ 由过 $Aj、Kb-q-i、Kb-Mq、Ka-Mq、Ka-q-v、Ka-r-v、Ka-Mr、Kb-Mr、Kb-r-i、Bj$ 点的电路短接在一起，形成自检回路 $ZAij-ZBij$ ； $ZAij-ZBij、JC1-ZAij、JC2-ZBij$ 连接在一起构成自检闭合回路 H 。可通过从 $JC1、JC2$ 这 2 点测量自检闭合回路 H 的连通状态（通路正常、断路、电路阻抗异常等），并诊断测量通道 $JC1-Aij$ 和测量通道 $JC2-Bij$ 的连通情况。

从图 1 可见，通过 $Ka、Kb$ 波段开关档位的组合变换，可实现多测量通道的电路信号分配控制和快速切换，通过在 $JC1、JC2$ 两个电路端点上接入测量仪表（例如电阻测量仪表）就可以实现对切换后的电路状态进行测量和结果判断，即实现机内测试（BIT）。在通过 $Ka、Kb$ 波段开关档位的组合变换切换到“自检”（ Ka 的第 v 档位接通时），通过 Kb 档位变换，

可对各个档位对应的信号测量通道进行连通状态的检查。例如，在采用同样信号电缆的情况下，用电阻测量仪表测量得到整个自检闭合回路上的电阻 Rz 后除以 4，得到的就是单个测量通道的通路电阻值 Rzd ，根据该测量值 Rzd 与设计规定值进行比较的结果，就可以推断出该测量通道是否处于正常工作状态。

该电路设计达到以下效果：1）该电路设计，不仅实现了由波段开关 Kb 控制多测量通道的分配，而且实现了测量通道 $JC1-Aij$ （除 $Ka-Mo$ 至 $Ka-o-u$ 接触端子外）、 $JC2-Bij$ （除 $Ka-Mp$ 至 $Ka-p-u$ 接触端子外）测量通道的全面快速“自检”，提高自检效率；2）电路简洁，操作方便，自检操作和测试操作基本一致，操作过程直观性强。可在不断开被测对象的情况下，随时选择对任意一对测量通道的状态进行“自检”，从一定意义上讲，实现了“在线”自检；3）该电路扩展性强，按照类似的电路原理可以实现扩展（例如与波段开关 Kb 同样的多个波段开关以并联的方式连接于波段开关 Ka 的档位端子上）。该电路还可扩展到通过连接器（或适配器）将测量通道分段对接或延长线的情况。

3 实例与应用

实际工作中，项目组在设计制作了某型导通绝缘测试仪时，应用上述电路设计原理，制作了具有二十多路测量通道信号分选控制和“自检”能力的具体测量电路，并进行了实际应用测试。下面以图 2 所示的 3 组测量通道对应的具体测量电路进行说明。

图 2 中的电路是图 1 中原理电路的具体应用，图 1 中的一些自由参数在图 2 中进行了具体化，说明如下： $a、b$ 分别取 2、1； i 分别取 1、2、3 三种情况； j 分别取 1、2、3 三种情况； $o、p、q、r$ 分别取 1、2、3、4； $u、v$ 分别取 1、2。 $SP(1)、SP(2)、SP(3)$ 分别表示 3 个具体的连接器（或适配器）。

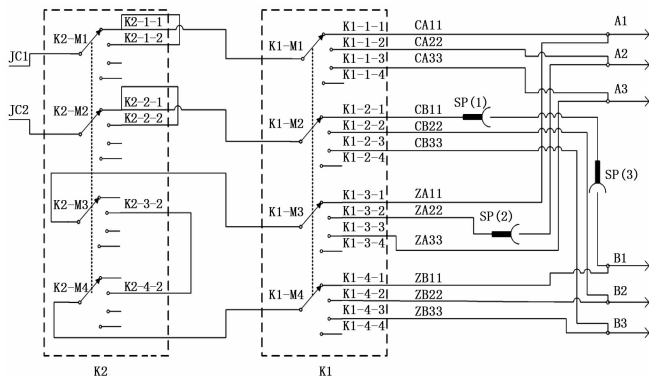


图 2 三通道闭合自检电路示意图

3.1 三组测量转换电路制作实例

采购 2 个航星牌一刀 4 层 24 档波段开关作为测量通道转换控制开关 $K1、K2$ ，采购 2 盘 1.0 平方的镀银护套线作为测量电路的信号线。按照说明书附图 2 所示的电路制作出一个对 3 组被检测点（ $A1, B1$ ）、（ $A2, B2$ ）、（ $A3, B3$ ）进行测量的具体电路。以优利德 UT10 万用表作为测量仪表。

$JC1、JC2$ 分别接测量仪表的两个检测端。 $K2-M1、K2$

—M2 分别和 JC1、JC2 相连; K1—M1 和 K2—1—1 相连; K2—1—1 和 K2—1—2 相连; K1—M2 和 K2—2—1 相连; K2—2—1 和 K2—2—2 相连; K1—M3 和 K2—M3 相连; K1—M4 和 K2—M4 相连; K2—3—2 和 K2—4—2 相连。

K1—1—1、K1—3—1 分别和 A1 相连, K1—2—1、K1—4—1 分别和 B1 相连。

K1—1—2、K1—3—2 分别和 A2 相连, K1—2—2、K1—4—2 分别和 B2 相连。

K1—1—3、K1—3—3 分别和 A3 相连, K1—2—3、K1—4—3 分别和 B3 相连。

这样, K1—1—1 和 A1 这 2 个节点之间的电路构成测量通道 CA11; K1—2—1 和 B1 这 2 个节点之间的电路构成测量通道 CB11; K1—3—1 和 A1 这 2 个节点之间的电路构成自检通道 ZA11; K1—4—1 和 B1 这 2 个节点之间的电路构成自检通道 ZB11。在波段开关 K2 的第 1 档位、波段开关 K1 的第 1 档位接通的情况下, JC1、JC2 和 A1、B1 分别由过 JC1、K2—M1、K2—1—1、K1—M1、K1—1—1、A1 点的电路和过 JC2、K2—M2、K2—2—1、K1—M2、K1—2—1、B1 的电路连接在一起, 形成测量通道 JC1—A11、JC2—B11。在波段开关 K2 的第 2 档位、波段开关 K1 的第 1 档位接通的情况下, A1、B1 由过 A1、K1—3—1、K1—M3、K2—M3、K2—3—2、K2—4—2、K2—M4、K1—M4、K1—4—1、B1 点的电路短接在一起, 形成自检回路 ZA11—ZB11; ZA11—ZB11、JC1—ZA11、JC2—ZB11 连接在一起构成自检闭合回路 H1。

在波段开关 K2 的第 2 档位、波段开关 K1 的第 1 档位接通的情况下, 可通过从 JC1、JC2 这 2 点测量自检闭合回路 H1 的连通状态 (通路正常、断路、电路阻抗异常等, 下同) 诊断出测量通道的连通情况。具体方案:

从 JC1、JC2 端测量自检闭合回路电阻, 得到电阻值 R_1 , 则单条测量通道 JC1—A11 或 JC2—B11 的通路电阻 RT_1 数值大约是 R_1 值的四分之一。如果电阻值 RT_1 在合理范围内, 说明测量电路正常; 如果 RT_1 电阻值大于测量通道规定的电阻值 R_0 , 说明测量电路可能有故障, 需要进一步检测故障点是不是在测量通道 JC1—A11 (除 K2—M1 至 K2—1—1 接触端子外) 和测量通道 JC2—B11 (除 K2—M2 至 K2—2—1 接触端子外) 上。

同样, K1—1—2 和 A2 这 2 个节点之间的电路构成测量通道 CA22; K1—2—2 和 B2 这 2 个节点之间的电路构成测量通道 CB22; K1—3—2 和 A2 这 2 个节点之间的电路构成自检通道 ZA22; K1—4—2 和 B2 这 2 个节点之间的电路构成自检通道 ZB22。在波段开关 K2 的第 1 档位、波段开关 K1 的第 2 档位接通的情况下, JC1、JC2 和 A2、B2 分别由过 JC1、K2—M1、K2—1—1、K1—M1、K1—1—2、A2 点的电路和过 JC2、K2—M2、K2—2—1、K1—M2、K1—2—2、B2 的电路连接在一起, 形成测量通道 JC1—A22、JC2—B22。在波段开关 K2 的第 2 档位、波段开关 K1 的第 2 档位接通的情况下, A2、B2 由过 A2、K1—3—2、K1—M3、K2—M3、K2—3—2、K2—4—2、K2—M4、K1—M4、K1—4—2、B2 点的电路短接在一起, 形成自检回路 ZA22—ZB22; ZA22—ZB22、JC1—ZA22、JC2—ZB22 连接在一起构成自检闭合回路 H2。

同理, 在波段开关 K2 的第 2 档位、波段开关 K1 的第 2 档位接通的情况下, 可通过从 JC1、JC2 这 2 点测量自检闭合回路 H2 的连通状态诊断出测量通道的连通情况。在波段开关 K2 的第 2 档位、波段开关 K1 的第 3 档位接通的情况下, 可通过从 JC1、JC2 这 2 点测量自检闭合回路 H3 的连通状态诊断出测量通道的连通情况, 这里不再赘述。

3.2 在某型测试仪测量信号转换控制中的实际应用

事实上, 该电路设计具有很好的扩展性, 实际工作中, 某型导通绝缘测试仪研制中应用该电路设计方案设计制作了 24 路测量通道信号分选控制电路。设备操作面板见图 3。图 3 中的 K1 是测试仪电源开关, K2 是测试仪内部嵌入的测量仪表 (以优利德 UT10 万用表作为嵌入式测量仪表) 功能控制开关, K3 是 4 层 24 档波段开关, K4 是 4 层 12 档波段开关。实际应用中 K3 和 K4 旋钮开关一起实现对测试通道的分配和控制, 将各路测量信号, 逐“对”引入公共信号端。K3、K4 波段开关档位设置与内部信号对应关系见表 1~表 4。

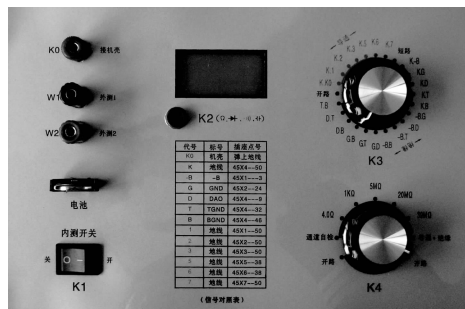


图 3 测试仪操作面板

表 1 K3 子档位信号对应关系表

档位	标识符	信号分配			
		K31 层	K32 层	K33 层	K34 层
1	开路	空	空	空	空
2	K. K0	K0	K	K0	K
3	K. 1	X1—50	K	X1—50	K
4	K. 2	X2—50	K	X2—50	K
5	K. 3	X3—50	K	X3—50	K
6	K. 5	X5—38	K	X5—38	K
7	K. 6	X6—38	K	X6—38	K
8	K. 7	X7—50	K	X7—50	K
9	短路	K	K	K	K
10	K. —B	—B	K	—B	K
11	K. G	GND	K	GND	K
12	K. D	DAO	K	DAO	K
13	K. T	TGND	K	TGND	K
14	K. B	BGND	K	BGND	K
15	—B. G	GND	—B	GND	—B
16	—B. D	DAO	—B	DAO	—B
17	—B. T	TGND	—B	TGND	—B
18	—B. B	BGND	—B	BGND	—B
19	G. D	DAO	GND	DAO	GND
20	G. T	TGND	GND	TGND	GND
21	G. B	BGND	GND	BGND	GND
22	D. T	TGND	DAO	TGND	DAO
23	D. B	BGND	DAO	BGND	DAO
24	T. B	BGND	TGND	BGND	TGND

表 2 K3 母端信号对应关系表

对应层	K31 层	K32 层	K33 层	K34 层
档位	1	2	3	4
标识符	M31	M32	M33	M34
连接点	K41-7	K42-7	K43-1	K44-1

表 3 K4 子档位信号对应关系表

档位	标识符	信号分配			
		K41 层	K42 层	K43 层	K44 层
1	通道自检	K31-M33	K32-M34	短路 1	短路 2
2	4.0 Ω	1R1	1R2	空	空
3	1 KΩ	2R1	2R2	空	空
4	5 MΩ	3R1	3R2	空	空
5	20 MΩ	4R1	4R2	空	空
6	39 MΩ	5R1	5R2	空	空
7	导通绝缘	K31-M31	K31-M32	空	空
8	开路	空	空	空	空
9-11	—	空	空	空	空
12	开路	空	空	空	空

表 4 K4 母端信号对应关系表

对应层	K41 层	K42 层	K43 层	K44 层
档位	1	2	3	4
标识符	M41	M42	M43	M44
连接点	W1、C1	W2、C2	K33-M33	K34-M34

测试操作时，将图 3 操作面板上的 K4 开关置“导通（绝缘）”档，通过操作 K2 开关将测试仪内部测量仪表置“通断”测量功能，K3 开关从“K.K0”档至“K.7”档，每次顺时针旋转一个档位，在每个档位上蜂鸣器都应持续鸣叫，仅通过 7 个档位操作即可快速、安全地完成嵌入式计算机的所有导通项目检查。通过操作 K2 开关可将测试仪内部测量仪表置自动量程^[10]“电阻”测量档，K3 开关从“K.-B”档至“T.B”档，每次顺时针旋转一个档位，在每个档位上都应大于 20M，仅通过 15 个档位操作即可快速、安全地完成嵌入式计算机的所有绝缘检查项目。

“自检”操作时，将图 3 操作面板上的 K4 开关置“通道自检”档，通过操作 K2 开关可将测试仪内部测量仪表置自动量程“电阻”测量档，K3 开关从“K.K0”档至“K.7”档、“K.-B”档至“T.B”档每次顺时针旋转一个档位，在每个档位上所测量电阻值都应当在 0.5 Ω 以下，否则即是出现了相应档位上测量通道或者自检回路异常的情况。

3.3 实际应用情况

基于这种具备良好“自检”功能的多测量通道电路设计制作的导通绝缘测试仪，在某嵌入式计算机的研制生产单位和装

备使用单位均进行了实际应用测试。经实际应用检验，测试仪采用档位操作，替代了目前人工查点、逐点测试操作模式，操作更简单、直观，并且降低了出现误操、错操的概率；另外可随时检查自身工况，基本上达到了“在线”检查的效果，避免了部队对测量结果准确性的担忧；测试时间可从原来的 14 分钟缩短到 3 分钟，提高了检测效率；测试数据与现有测试设备测试数据具有很好的一致性。测试仪在实际应用中，还成功“自检”出一次 K3 波段开关第 5 个档位对应的测量通道电阻出现异常的情况并准确定位了故障点，验证了多测量通道“自检”电路设计的实际应用价值。

4 结束语

测试性是一种便于测试和诊断的重要设计特性^[10-12]，测试性对电子系统和设备的维修性、可靠性和可用性有很大影响。该文提出一种融合了测试性设计理念的基于波段开关实现多测量通道信号转换控制的电路设计方案，通过合理配置、使用机内测试资源，实现了测试的可控性、可观测性，一旦出现问题可及时发现故障，减少维修时间，提高系统可用性。经实际应用案例验证，该电路设计方案具有较好的实际应用价值。

参考文献：

- [1] 戎真真, 虎恩典, 刘 勇, 等. 基于数字兆欧表自动切换档位的研究与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (8): 2697-2700.
- [2] 李德尧, 张宇驰, 徐小鹏, 等. 基于单片机的自动电阻测量仪设计 [J]. 仪表技术, 2012 (01): 16-19.
- [3] 刘筠筠, 张 军, 赵明冬. 基于 STC89C52 单片机的自动电阻测量仪 [J]. 电子世界, 2012 (05): 31-33.
- [4] 柳 颖, 钟建强, 高 明, 等. 新型电缆测试仪的方案设计 [J]. 机电产品开发与创新, 2011, 24 (02): 162-164.
- [5] 杨胜兵, 熊众飞, 徐 锋, 等. 电动汽车绝缘电阻测试系统的研究 [J]. 湖北汽车工业学院学报, 2012, 26 (02): 5-8.
- [6] 乔楠楠. 数字绝缘电阻测试仪的设计与应用 [D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [7] 李丽双. 基于 PXI 总线平台的继电器控制盒综合测试系统设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [8] 王 勇, 李 曦. 电缆故障检测方法及其应用 [J]. 舰船电子工程, 2016, 36 (04): 128-132.
- [9] 王 勇. 机内测试技术的发展与应用 [J]. 飞航导弹, 2011 (2): 24-27.
- [10] 徐见炜. 基于 C8051F340 的智能万用表设计 [J]. 机械制造与自动化, 2012 (04): 189-192.
- [11] GJB 2547A-2012 装备测试性工作通用要求 [S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2012.
- [12] 杨述明. 面向装备健康管理的可测性技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012.