

电子电路故障诊断

[英] G.C. Loveday 著 刘长乐 沈小平 杨延碧 译

中国计量出版社

电子电路故障诊断

[英]G. C. Loveday 著

刘长乐 沈小平 杨延碧 译



中国计量出版社

8710738

269/61
内 容 提 要

电子电路故障诊断是电子技术人员和维修人员应掌握的基本技能。本书讲述了故障诊断的基础知识,并分章讲述了单级放大器、电源电路、放大器、振荡器与时基电路、脉冲和整形电路、可控硅和双向可控硅开关电路的故障诊断分析,最后一章为模拟与数字集成电路。

为了帮助读者迅速掌握电子电路故障诊断技术,本书每章还附有练习,全书最后有详细的答案。

本书对各专业工程技术人员、电子技术人员、维修人员、无线电爱好者掌握电子维修技术都会有所裨益。

Electronic Fault Diagnosis

G. C. Loveday

Pitman Books Limited

Second edition 1982

电子电路故障诊断

(英) G. C. Loveday 著

刘长乐 沈小平 杨延碧 译

责任编辑 刘宝兰

—*—

中国计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—*—

开本 787×1092 1/32

印张 7.375

字数 164千字

印数 1—15 000

1986年5月第一版

1986年5月第一次印刷

统一书号 15210·716

定价 1.65 元

译者序

TEC 考试是英国官方为初级、中级电子技术人员和技工专门举办的证书考试。TEC 是 Test of electronic technician and mechanic for certificate 的缩写,即电子技术人员和技工证书考试。在英国只有通过 TEC 考试,才能获得私人开业执照,一般厂家也以是否持有 TEC 证书作为聘用电子维修技工和从事实验室工作的中级技术人员的先决条件。

本书作者是英国 Bromley 技术学院的高级讲师,他在 1977 年应伦敦 Pitman 出版公司之约,写了这本小册子,供参加 TEC 应考之用。

正因为如此,本书的特色十分鲜明,它几乎不涉及较深的理论,而是编排了一整套附有答案的练习。读者只要有一些最基础的知识,就可以根据书中的练习循序渐进,迅速掌握电子故障诊断技术。

原书在 1977 年出版之后,出乎意料地大受欢迎。不仅 TEC 应考者争相购买,电子专业的高级研究人员、大学生、研究生和教师也将此书作为必备的工具书和自修教材。

更为有趣的是,由于现在各个专业都要使用电子设备,因此本书的影响又远远超出了电子领域,许多非电子专业的研究人员、教学人员、工程师和大学生,凡是涉及到实验室技术的,大多都成了本书的忠实读者。

在这种背景下,第一版在 1979 年,1981 年,1982 年三次重印。

1982 年作者对第一版作了修订,形成了现在的第二版。

1983年一年之内第二版又曾两次重印，其受欢迎的程度可想而知。

我们相信，本书对我国各个专业的高级研究人员、教师、研究生、大学生、工程师、技术员以及维修技工都会有所裨益。特别对那些有志于进取的农村专业户和城市个体户会有更大地帮助。所以我们把本书介绍给广大读者。希望能得到大家欢迎。

本书在翻译过程中得到了高崇龄教授的指导，在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限，错误之处恳求读者批评指正。

译 者

1986. 4.

前 言

电路故障的快速诊断是电子技术人员和维修技工必须掌握的基本技能。本书是有关这一课题的指南性读物。

从一定意义上来讲，故障诊断是件十分复杂的事情。因为它不仅要求我们对元件的功能和电路的原理有充分的理解，而且要求我们具备有比较熟练的检测技术。与此同时，还要求我们对于元件损坏的机理有一定程度的了解。

为了帮助读者迅速地掌握电路故障诊断技术，本书并不深入理论领域，而是精心设计了一整套练习，并附有详细的答案。读者只要动手制作、循序渐进，就能够顺利掌握这一技巧。

书中所有的练习都只讨论各种基本电路的故障诊断，而不涉及特定的整机和系统的故障诊断。当然，也有个别章节不可避免地要对这一问题略加议论。

本书练习中所列举的所有电路都经作者进行了实际制作和仔细调试，并且在假设故障条件下进行了参数测量。不仅如此，作者还对练习中所有电路的元件都进行了认真的参数选择。其目的完全是为了方便读者顺利地进行实验制作。

我们之所以采取这种独特安排，是因为本书主要是为那些正在学习 CG 224 电子维修课程，并希望通过 TEC 考试的读者而写的。当然，我们也希望本书能引起更多读者的兴趣，对他们有所帮助。

第二版附言

第一版出版后曾三次重印。为不负众望，作者对第一版重新作了修订，除了对一些小的错误作了订正外，并对全书的结构作了一些小的调整。另外作者还着力对第八章进行了全部改写，并增加了四组练习。

目 录

第一章 故障诊断基础知识	(1)
1.1 电路与检测值	(1)
1.2 元件及其常见故障	(2)
1.3 有源器件的工作原理	(4)
1.4 测量仪器和测试方法	(12)
1.5 电路与系统的故障诊断	(20)
第二章 单级放大器	(24)
2.1 基本原理	(24)
2.2 电阻故障	(27)
2.3 电容故障	(30)
2.4 晶体管故障	(33)
2.5 练习	(38)
第三章 电源电路	(43)
3.1 基本原理	(43)
3.2 线性稳压电路	(43)
3.3 开关型稳压电路	(48)
3.4 过载保护电路	(50)
3.5 电源电路的测试	(51)
3.6 故障诊断与故障类型	(53)
3.7 练习: 线性稳压电源	(56)
3.8 练习: 过流保护稳压电源	(57)
3.9 练习: 开关型电源	(60)
第四章 放大器	(65)
4.1 放大器的类型	(65)
4.2 负反馈	(71)

4.3	放大器的基本测试	(75)
4.4	放大器的过渡特性	(79)
4.5	失真的测量	(81)
4.6	放大器的故障	(85)
4.7	练习: 两级前置放大器	(87)
4.8	练习: 场效应管前置放大器	(91)
4.9	练习: 直流放大器	(94)
4.10	练习: 音频功率放大器	(98)
第五章	振荡器与时基电路	(102)
5.1	振荡器原理	(102)
5.2	频率测量	(106)
5.3	频率稳定性	(107)
5.4	谐波失真	(109)
5.5	方波和脉冲波	(109)
5.6	锯齿波和斜坡电路	(111)
5.7	负阻振荡器	(112)
5.8	振荡器的故障诊断	(115)
5.9	练习: 文氏桥式振荡器	(116)
5.10	练习: 间歇振荡锯齿波发生器	(119)
5.11	练习: 自激锯齿波振荡器	(122)
5.12	练习: 低速斜坡发生器	(125)
第六章	脉冲和整形电路	(131)
6.1	概述	(131)
6.2	线性无源电路——积分器和微分器	(131)
6.3	二极管整形电路	(134)
6.4	有源脉冲整形电路	(139)
6.5	施密特触发电路	(141)
6.6	单稳电路	(143)
6.7	脉冲电路和整形电路的故障诊断	(145)
6.8	练习: 波形整形电路	(147)
6.9	练习: 单稳电路	(149)

6.10 练习: 施密特触发器	(151)
6.11 练习: 逻辑接口电路	(152)
6.12 练习: 场效应管输入施密特触发电路	(155)
第七章 可控硅和双向可控硅电路	(159)
7.1 可控硅的工作原理	(159)
7.2 可控硅器件的应用	(163)
7.3 双向可控硅的基本工作原理	(165)
7.4 双向可控硅的应用	(166)
7.5 可控硅和双向可控硅电路中的故障与诊断	(168)
7.6 练习: 报警器	(170)
7.7 练习: 灯光照度调节电路	(173)
7.8 练习: 顺序控制器	(175)
7.9 练习: 灯闪烁器	(178)
7.10 练习: 电机转速控制电路	(181)
第八章 模拟与数字集成电路	(184)
8.1 集成电路介绍	(184)
8.2 模拟集成电路	(186)
8.3 数字集成电路	(191)
8.4 集成电路设备的维修	(193)
8.5 练习: 使用 741 运算放大器的温度控制器	(194)
8.6 练习: 使用 TTL 逻辑的时基电路	(197)
8.7 练习: 电源电路	(200)
8.8 练习: 门控脉冲发生器	(203)
8.9 练习: 三角波/方波发生器	(205)
8.10 练习: 接口电路	(209)
习题答案	(211)

第一章 故障诊断基础知识

1.1 电路与检测值

电路是具有一定功能的元件的组合，其中每个元件都有自己特定的作用。假如某个元件发生了故障，那么电路的功能必将发生变化。

例如图 1.1 所示的继电器驱动电路。假如 R_1 开路，那么 T_{r1} 就没有偏置电流流过，这样它的集电极电压将升高，从而引起 T_{r2} 的导通。这种故障将使继电器线圈永久性激励并吸合。

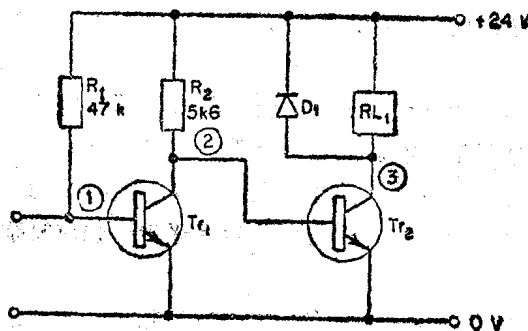


图 1.1 继电器放大器

电路功能的变化必然伴随着参数的变化。我们可以根据这些参数变化来判断故障的原因。

通常，电压是一个重要的检测参数。下表的电压值是在图 1.1 所示电路的测试点上测得的。

8710738

当电路工作正常并且没有输入信号时，我们测得：

测试点	1	2	3
电压 (V)	+0.7	+0.1	+24

当 R_1 开路时，我们测得：

测试点	1	2	3
电压 (V)	0	+0.7	+0.15

由于 T_{r1} 基极电压的读数为 0V，所以我们可以断定 T_{r1} 处于截止状态。当然这很有可能是由于 R_1 开路造成的，因为在这种情况下它不能向 T_{r1} 提供基极电流。但是我们不要忘记，基极与发射极之间短路，也可能引起这种现象。因此，我们还需要对 R_1 作进一步检查，以确定究竟是哪一类故障。

对于更复杂一点的电路，特别是直流耦合电路，某一个元件的故障完全可能影响其它元件，故障的判断并不象上面所述那样简单。正因为如此，我们安排了大量的练习首先帮助读者掌握一般故障判断技巧，然后逐步增强对复杂故障的判断分析能力。

高超的诊断技术需要有一定的理论知识和实践经验。在着手诊断故障之前，技术人员需要了解电路的作用与功能，当然首先有必要了解各种元件的工作原理。下面我们简要复习一下元件的一般知识。

1.2 元件及其常见故障

通常，如果元件的一个参数超过了限定范围，我们就认为它“损坏”了。损坏分为两种类型，一种称为部分损坏，另

一种称为完全损坏。

部分损坏 (partial failures) 通常并没有导致元件功能的完全丧失, 而仅仅引起功能的变化。例如一个 $5.6k \pm 5\%$ 的电阻, 其实测值为 $6k$; 一个漏电流不许超过 $10\mu A$ 的 $64\mu F$ 、 $12V$ 的电解电容器, 实测漏电流为 $150\mu A$, 都可以认为是部分损坏, 因为它们并没有导致电路功能的完全丧失。当然, 部分损坏有时是可以容忍的, 有时则是不许可的, 特别是处于电路关键之处的元件。

我们这里主要关心的是另一类损坏, 就是所谓的“完全损坏” (catastrophic failures)。例如一个电阻阻值变得特别高以至开路; 一个二极管阳极与阴极短路等。这样的故障往往引起电路功能的完全丧失、直流电平的剧烈变化等现象。

当然, 各类元件有其特有的损坏形式。例如电阻、特别是炭膜电阻容易开路, 因为电阻螺旋线切断的可能性远远超过整个电阻短路的可能性。

这里我们讨论的是元件故障的可能形式, 这个概念和元件故障率并非一回事。现在元件工业的产品可靠性是极高的, 特别对于电阻来说, 故障率是极低的。表 1.1 给出了不同类

表 1.1

元 件	可 能 故 障
电 阻	阻值变高或开路
电 容	开路或短路
电感 (包括变压器)	开路、短接, 线圈与铁芯短路
电 子 管	灯丝开路, 电极间短路 (如栅极与阴极), 阴极发射率偏低
半导体器件 (二极管、三极管、场效应管、可控硅)	pn结开路或短路

型元件的可能故障型式。

元件损坏的现象是多种多样的，但是造成损坏的原因主要有两个，一是不正常的电气条件；二是不正常的环境条件。

优良的电气条件取决于电路的正确设计。假如元件能够工作在额定的电压、电流和功率范围之内，它的寿命可以延长。假如它过载运用，寿命必然会缩短。

环境条件取决于元件周围的工作环境。高温、高湿、机械冲击和震动、高气压与低气压，空气中的尘埃和腐蚀性化学物质都可能影响元件的寿命。例如一个安装在连续热循环系统中的元件是很容易脆化的，如果再遇到机械震动就可能开路。为了减少恶劣环境的影响，我们应对电路结构进行精心设计，特别是当电子仪器工作在工业环境中，这一点尤为重要。

元件损坏的另一种常见原因是高压启动脉冲或“尖峰信号”。它是由电感负载接通而造成的，它很容易击穿半导体器件的 pn 结。

1.3 有源器件的工作原理

(1) 半导体二极管

图 1.2 画出了半导体二极管的典型伏安特性。由图可见，当二极管接正向电压时，其特性曲线相当陡，就是说，电阻值很小，因此我们称之为正向导通。当正向电流为 1mA 时，电阻值通常约为 25Ω 。当二极管接反向电压时，特性曲线很平坦，电阻值很大，我们称之为反向截止。通常硅管的反向电阻可达 $100\text{M}\Omega$ 。

为了形成正向电流，我们必须在二极管两端加上正向偏压。对于锗管，大约是 200mV ，对于硅管，大约是 600mV 。

由图可见，假如反向电压过高，二极管就会被击穿，从

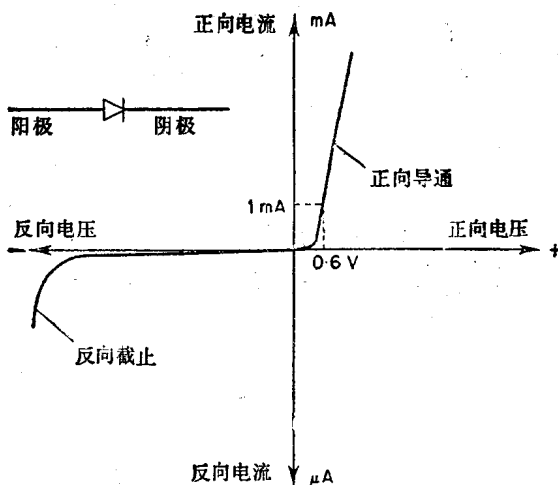


图 1.2 二极管特性曲线

而形成很大的过载电流。为了防止反向击穿，在二极管电路中通常要串接保护电阻。

当反向电压加在二极管两端，结区就会形成一个强电场，它加速电子使其具有极大动能，以至于它们能把晶格中的中性原子的价电子激发出来，这些被激发的电子反过来又激发其它价电子。这一过程极为迅速，通常我们称之为雪崩效应。二极管的反向击穿电压范围大致从100V~800V。它是二极管的极限参数之一，使用时绝对不能超过。

(2) 稳压二极管

图 1.3 画出了稳压二极管的典型特性曲线。

稳压二极管是利用齐纳击穿效应制成的。所以也称为齐纳二极管。齐纳击穿与雪崩击穿是不同的。

齐纳二极管的掺杂浓度较高，它的空穴层很薄，因此在反向电压条件下并不容易产生碰撞电离形式的雪崩击穿。但

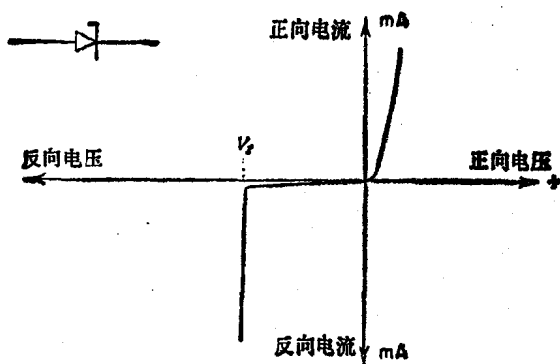


图 1.3 稳压二极管特性曲线

正是由于空穴层相当薄，所以只要给它加上很小的反向电压，就能达到非常高的内部场强（可高达 10^7V/cm ）。这种强电场可以直接把中性原子的价电子激发出来，从而产生大量反向电流，这种反向击穿效应我们称之为齐纳击穿。我们只要控制掺杂浓度，就可以得到具有不同反向齐纳击穿电压的二极管，典型的击穿值约从 $3.3\text{V} \sim 150\text{V}$ ，功率范围可从 $250\text{mW} \sim 75\text{W}$ 。

由图 1.3 可见，稳压二极管的反向特性非常平坦，到了击穿点后，又非常陡峭，随着电流增大，电压几乎不变。我们只要串接保护电阻来限制过载，就可以利用反向齐纳特性

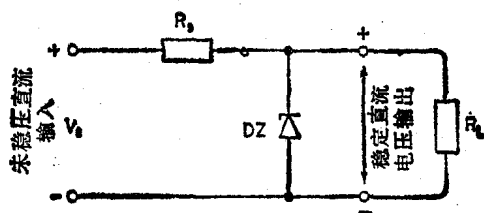


图 1.4 稳压二极管的应用

进行稳压。

图 1.4 画出了最简单的稳压电路。尽管负载电流和电源电压都可能在很大范围内变动，但稳压二极管两端的电压几乎是不变的。

(3) 三极管

我们通常把三极管看作电流控制器件，它的发射极和集电极之间的电流被基极电流所控制。

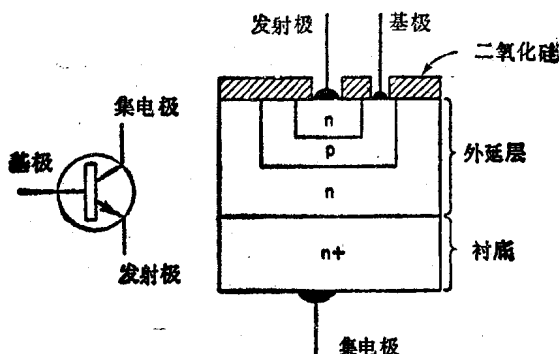


图 1.5 npn 晶体管的结构

图 1.5 画出了 npn 型三极管的结构。n 型材料是电子型半导体，p 型材料是空穴型半导体。当 pn 结形成时，造成了一个没有自由载流子的掺杂区。

硅三极管正常工作时，基极和发射极之间大约要加 600mV 的正向偏置电压，这个电压可以用来克服结内阻挡层的阻力；同时集电极与基极之间要加反向偏置电压。电子从发射极出发，首先要穿过发射极与基极之间的 pn 结，但是由于发射极中电子浓度较高，它发射的电子数目远远超过基极中的空穴数目，所以只有少量的电荷被中和，这个中和