

印制电路

——設計及应用

[英] J. M. C. 杜克斯著

蔣家仁、王幼曾譯



國防工業出版社

1965

內 容 提 要

印制电路是实现无线电、电子设备小型化和装配、布线机械化的一项重要工艺，在国内外受到普遍的重视。本书深入浅出地介绍印制电路的制造工艺、设计方法以及应用范围。本书第一篇全面而有重点地介绍印制电路的制造工艺，第二篇介绍印制电路的设计、所用的材料、印制元件的设计、条形传输线和微波电路。书末附有大量参考文献。

本书的读者对象为无线电工业的设计和工艺人员。

PRINTED CIRCUITS THEIR DESIGN AND APPLICATION

[英] J. M. C. Dukes

MACDONALD 1961

*

印 制 电 路

——设计及应用

蒋家仁、王幼曾 译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 4 插页 27 143 千字

1965 年 3 月第一版 1965 年 3 月第一次印刷 印数：0,001—5,600 册

统一书号：15034·805 定价：(科七) 1.30 元

目 录

原 序	7
第一章 緒論	10
1. 印制电路的定义	10
2. 历史概要	10
3. 印制电路工艺的分类	14
4. 絲网漏印法	14
5. 可与印制电路相媲美的布綫技术	17
6. 自动化生产概論	20
7. 微型化	23

第一篇 制造工艺

第二章 在絕緣底板上直接制作金屬电路	25
1. 押印法	26
2. 銀浆印刷法	27
3. 粉末压制电路	31
4. 金屬噴塗法	32
5. 真空处理法	32
5.1. 阴极溅射法	32
5.2. 真空蒸发法	33
6. 电镀电路	33

第三章 在絕緣底板的金屬化表面上有选择地

除去部分金屬而得出电路	36
1. 机械雕刻法	37
2. 腐蝕法● (图3.2)	39
2.1. 化学腐蝕	39
2.2. 耐酸保护层的塗敷方法	41
(a. 絲网漏印法; b. 照相机机械法; c. 胶板轉印法; d. 預鍍金屬耐酸保护层)	41~45

第四章 电路和底板的联合制造	46
1. 二次固化銀浆印刷层压板电路	46
2. 模压电路	48
3. 轉移电鍍电路	48
4. 双箔(轉移)电路	49
5. 在絕緣板槽中噴塗金屬	49
第五章 元件安装、浸焊、成品保护	50
1. 印制电路用元件的結構要求	52
2. 元件自动安装机	55
2.1. 一般原理: 自动安装机的类别	55
2.2. “杜奈塞特”元件自动安装机	57
2.3. 自动安装机对印制电路板和元件的要求 ^{c9, c15, c16}	60
3. 浸焊	61
3.1. 分类和一般要求	61
3.2. 单面浸焊	62
3.3. 边緣浸焊	62
3.4. 改进焊接质量的其他方法	63
4. 保护塗层	64

第二篇 設計和应用

第六章 印制电路底图的准备	66
1. 普通的制图方法	66
2. 輔助的制图方法	67
3. 电路布置	68
4. 底图上应包括的一些其他內容	70
5. 照相器械和照相方法	70
第七章 印制电路的材料	73
1. 陶瓷	74
1.1. 介电常数低于 12 的陶瓷材料	74
1.2. 介电常数高于 12 的陶瓷材料	76
1.3. 压电陶瓷	76
1.4. 铁磁陶瓷(鉄淦氧)	77
2. 塑料板	77
2.1. 聚乙烯	78
2.2. 聚苯乙烯	78

2.3. 氟碳树脂 (PTFE, Kel-F 等)	79
2.4. 聚乙烯苯二甲酸酯 (Melinex, Mylar, Terylene)	80
2.5. 其他热塑树脂	80
3. 铜箔贴敷树脂胶合层压板	81
3.1. 制造方法	81
3.2. 层压板的等级及其性质	81
3.3. 机械公差	87
3.4. 温度、频率对层压板电性能的影响	88
3.5. 湿度对敷箔层压板电性能的影响	91
3.6. 化学染污对层压板电性能的影响	94
3.7. 焊接对金属导体附着强度的影响	95
4. 导电材料	96
4.1. 铜箔	96
4.2. 电镀金属材料特性	98
4.3. 导电膏浆	99
4.4. 银的键动	101
第八章 低、中频印制元件	102
1. 印制线圈	103
1.1. 设计原则	103
1.2. 电感量的计算公式	107
1.3. 自感量的计算公式	108
1.4. 互感量的计算公式	111
2. 印制电容器	113
2.1. 制造方法	113
2.2. 电容的计算(有关应用公式的一些说明)	117
2.3. 电容的计算公式	119
3. 印制开关和转换器	121
4. 一般用的印制电阻器	124
4.1. 电阻膏浆的涂敷	124
4.2. “湿”带电阻器	125
4.3. “干”带电阻器	125
4.4. 金属膜电阻	125
5. 低阻值电阻元件	126
第九章 条形传输线	129
1. 引言	129
2. 条形传输线的类型	131
3. 单位和因次	132

4. 条形傳輸綫的簡單理論	134
5. 均勻条形傳輸綫的特性阻抗	137
5.1. 对称綫	137
5.2. 地面上条形綫	138
5.3. 三板傳輸綫	138
6. 非均勻条形傳輸綫的特性阻抗	140
6.1. 对称綫和微波傳輸帶	140
6.2. 低 Q 三板傳輸綫	141
6.3. 高 Q 三板傳輸綫	142
7. 傳播速度和相速	142
7.1. 对称綫和微波傳輸帶	142
7.2. 低 Q 三板傳輸綫	143
7.3. 高 Q 三板傳輸綫	143
8. 衰减和品质因数	144
9. 相邻条形导体間的交叉耦合	144
10. 高次型波、寄生型波和无規效应	145
11. 頻率上限	147
12. 条形傳輸綫的測量	147
第十章 印制微波系統	149
1. 元件的范围和用途	149
2. 換轉器	151
3. 負荷和衰减器	153
4. 晶体支架	154
5. 混合接头	156
6. 方向耦合器	159
7. 功率分配网络	161
8. 滤波器	161
9. 铁淦氧隔离器	164
附录 試驗程序和规范	167
1. 原材料的规范	168
2. 敷銅箔层压板的规范	169
3. 有关印制导綫的规范	170
4. 电气設備的一般规范	171
参考文献	173

印制电路

——設計及应用

[英] J. M. C. 杜克斯著

蔣家仁、王幼曾譯



國防工業出版社

1965

內 容 提 要

印制电路是实现无线电、电子设备小型化和装配、布线机械化的一项重要工艺，在国内外受到普遍的重视。本书深入浅出地介绍印制电路的制造工艺、设计方法以及应用范围。本书第一篇全面而有重点地介绍印制电路的制造工艺，第二篇介绍印制电路的设计、所用的材料、印制元件的设计、条形传输线和微波电路。书末附有大量参考文献。

本书的读者对象为无线电工业的设计和工艺人员。

PRINTED CIRCUITS THEIR DESIGN AND APPLICATION

[英] J. M. C. Dukes

MACDONALD 1961

*

印 制 电 路

——设计及应用

蒋家仁、王幼曾 译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 4 插页 27 143 千字

1965 年 3 月第一版 1965 年 3 月第一次印刷 印数：0,001—5,600 册

统一书号：15034·805 定价：(科七) 1.30 元

目 录

原 序	7
第一章 緒論	10
1. 印制电路的定义	10
2. 历史概要	10
3. 印制电路工艺的分类	14
4. 絲网漏印法	14
5. 可与印制电路相媲美的布綫技术	17
6. 自动化生产概論	20
7. 微型化	23

第一篇 制造工艺

第二章 在絕緣底板上直接制作金屬电路	25
1. 押印法	26
2. 銀浆印刷法	27
3. 粉末压制电路	31
4. 金屬噴塗法	32
5. 真空处理法	32
5.1. 阴极溅射法	32
5.2. 真空蒸发法	33
6. 电镀电路	33

第三章 在絕緣底板的金屬化表面上有选择地

除去部分金屬而得出电路	36
1. 机械雕刻法	37
2. 腐蝕法● (图3.2)	39
2.1. 化学腐蝕	39
2.2. 耐酸保护层的塗敷方法	41
(a. 絲网漏印法; b. 照相机机械法; c. 胶板轉印法; d. 預鍍金屬耐酸保护层)	41~45

第四章 电路和底板的联合制造	46
1. 二次固化銀浆印刷层压板电路	46
2. 模压电路	48
3. 轉移电鍍电路	48
4. 双箔(轉移)电路	49
5. 在絕緣板槽中噴塗金屬	49
第五章 元件安装、浸焊、成品保护	50
1. 印制电路用元件的結構要求	52
2. 元件自动安装机	55
2.1. 一般原理: 自动安装机的类别	55
2.2. “杜奈塞特”元件自动安装机	57
2.3. 自动安装机对印制电路板和元件的要求 ^{c9, c15, c16}	60
3. 浸焊	61
3.1. 分类和一般要求	61
3.2. 单面浸焊	62
3.3. 边缘浸焊	62
3.4. 改进焊接质量的其他方法	63
4. 保护涂层	64

第二篇 設計和应用

第六章 印制电路底图的准备	66
1. 普通的制图方法	66
2. 輔助的制图方法	67
3. 电路布置	68
4. 底图上应包括的一些其他内容	70
5. 照相器械和照相方法	70
第七章 印制电路的材料	73
1. 陶瓷	74
1.1. 介电常数低于 12 的陶瓷材料	74
1.2. 介电常数高于 12 的陶瓷材料	76
1.3. 压电陶瓷	76
1.4. 铁磁陶瓷(鉄淦氧)	77
2. 塑料板	77
2.1. 聚乙烯	78
2.2. 聚苯乙烯	78

2.3. 氟碳树脂 (PTFE, Kel-F 等)	79
2.4. 聚乙烯苯二甲酸酯 (Melinex, Mylar, Terylene)	80
2.5. 其他热塑树脂	80
3. 铜箔贴敷树脂胶合层压板	81
3.1. 制造方法	81
3.2. 层压板的等级及其性质	81
3.3. 机械公差	87
3.4. 温度、频率对层压板电性能的影响	88
3.5. 湿度对敷箔层压板电性能的影响	91
3.6. 化学染污对层压板电性能的影响	94
3.7. 焊接对金属导体附着强度的影响	95
4. 导电材料	96
4.1. 铜箔	96
4.2. 电镀金属材料特性	98
4.3. 导电膏浆	99
4.4. 银的键动	101
第八章 低、中频印制元件	102
1. 印制线圈	103
1.1. 设计原则	103
1.2. 电感量的计算公式	107
1.3. 自感量的计算公式	108
1.4. 互感量的计算公式	111
2. 印制电容器	113
2.1. 制造方法	113
2.2. 电容的计算(有关应用公式的一些说明)	117
2.3. 电容的计算公式	119
3. 印制开关和转换器	121
4. 一般用的印制电阻器	124
4.1. 电阻膏浆的涂敷	124
4.2. “湿”带电阻器	125
4.3. “干”带电阻器	125
4.4. 金属膜电阻	125
5. 低阻值电阻元件	126
第九章 条形传输线	129
1. 引言	129
2. 条形传输线的类型	131
3. 单位和因次	132

4. 条形傳輸綫的簡單理論	134
5. 均勻条形傳輸綫的特性阻抗	137
5.1. 对称綫	137
5.2. 地面上条形綫	138
5.3. 三板傳輸綫	138
6. 非均勻条形傳輸綫的特性阻抗	140
6.1. 对称綫和微波傳輸帶	140
6.2. 低 Q 三板傳輸綫	141
6.3. 高 Q 三板傳輸綫	142
7. 傳播速度和相速	142
7.1. 对称綫和微波傳輸帶	142
7.2. 低 Q 三板傳輸綫	143
7.3. 高 Q 三板傳輸綫	143
8. 衰减和品质因数	144
9. 相邻条形导体間的交叉耦合	144
10. 高次型波、寄生型波和无規效应	145
11. 頻率上限	147
12. 条形傳輸綫的測量	147
第十章 印制微波系統	149
1. 元件的范围和用途	149
2. 換轉器	151
3. 負荷和衰减器	153
4. 晶体支架	154
5. 混合接头	156
6. 方向耦合器	159
7. 功率分配网络	161
8. 滤波器	161
9. 铁淦氧隔离器	164
附录 試驗程序和规范	167
1. 原材料的规范	168
2. 敷銅箔层压板的规范	169
3. 有关印制导綫的规范	170
4. 电气設備的一般规范	171
参考文献	173

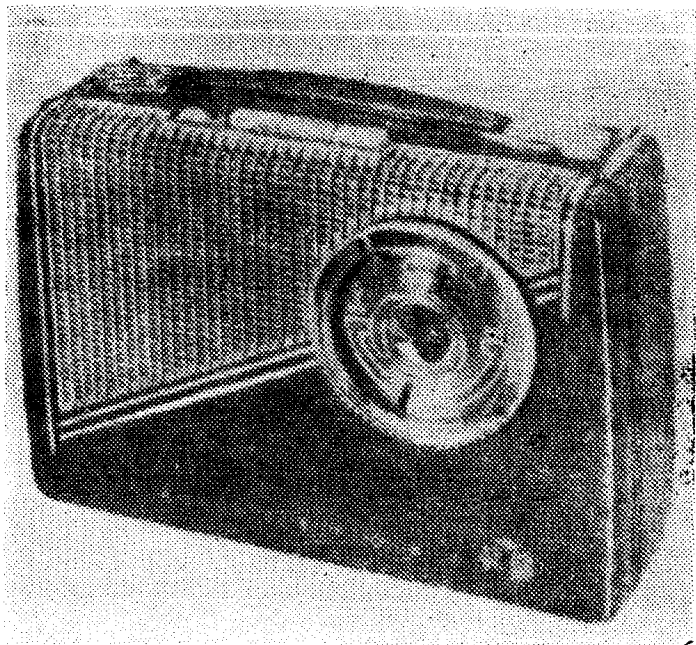
原 序

印制电路是无綫电、电子和其他弱电设备制造业多年来不断努力使装配和布綫过程机械化的一项重大成就。絕大多数的基本制造方法早在 1923~1930 年間就已逐漸設想出来,但迟迟未获广泛应用。第二次世界大战期間也未获得重大发展。其迟緩原因有三: 首先,人們試图既印制出导綫又印出几乎所有的元件,在这显然难以两全的問題上浪費了許多精力。其次,所用材料和制造方法都有待于进一步改进才能保証产品的质量。第三个原因,同时也是最主要的原因就是印制电路的成本較高。在这方面,人們往往沒有深刻認識到: 元件的装配和布綫費用通常只占产品总成本中的很小一部分。

設想出的印制电路制造方法有許多种,其中可能只有三、四种能經受实际的考驗而保存下来。有若干种方法继承了印刷业中常用的技术,但除个别情况外,电路并不是真正印制出来的。銅箔腐蝕法与照相雕刻法相差无几,是目前应用最广的方法。但其他一些方法也日益証明可以与之相抗衡,其中特別令人注意的是电镀电路法。除了接綫之外,要印制电容器、綫圈、高频变压器、低阻电阻器、傳輸綫型微波器件等元件也很簡單,因为这些元件都只取决于导体的式样或导体的盘繞。不幸的是这些元件的数值范围很窄,严重地限制了它們的应用。人們想出很多巧妙的办法来克服这个缺点,但一般效果不佳。尽管还存在着这些缺点,在某些領域里,例如民用收音机、高速电子数字计算机等方面,印制电路仍获得广泛的应用。印制电路以及其他机械布綫法正逐漸在整个工业中推广。

在这样的一本书中,不可能将印制电路闡述得面面俱到。因此,重点将放在与电路設計师和結構設計师密切有关的問題上,

而不着重于制造技术。然而作为制造技术的一本入門书，本书还是足够詳尽的。



六晶体管、电池供电、长中波便携式收音机。

机内有鉄淦氧天綫棒，連電池總重 1.9 公斤

(內視图和印制电路板見图1.1)。

印制电路和自动化装配对設計师的要求要比普通的布綫和装配方法严格得多。結構設計师必須熟悉印制电路的生产特点、应用的範圍以及所用的材料，还应了解元件的合理安装方式、导綫的寬度和間距以及其他基本尺寸。如果設備要在恶劣的环境条件下工作，設計师还应規定所用的材料和加工的技术要求，以便有效地防止或控制最容易发生的毛病，例如导綫的腐蝕、絕緣底板的化学染污、銀的徙动等等。

印制电路技术对于电路設計师的影响似乎不太显著，因为在大的企业中，电路設計和結構設計是独立进行的，电路設計师所

設計的只是电原理图。在大多数情况下，只是連接導綫需要印制出来，这样牵涉到电路設計師的問題的确不多。但是，两个放大器的电原理图完全一样，只是由于布置上的不同，它們的工作特性就不一定相同。这样当然就和电路設計師有关了，而且工作的頻率越高，他們就更应了解印制电路的特性。

在高頻时，采用某些印制元件（例如綫圈和电容器）是經濟的。制定这些元件的規格肯定是电路設計師的職責，而不是結構設計師的職責。在微波頻率时，电路設計師还必须制定有关导体式样、絕緣板的等級和厚度以及附件的主要尺寸等細節。在这种情况下，結構設計師就退居于次要地位了。

本书尽量搜集了从零到 10000 兆赫頻率範圍內的有关設計資料，加以精炼、選擇，并根据各种制造方法的重要性、持久性、关联性以及有无完备的資料而給予恰如其分的篇幅。因此，相当大的篇幅用来闡述基本电数据，因为这是有永久意义的資料而且散見于所有文献。相对来看，微波元件的設計就讲得不多（这个內容本身就足够写一本书），其原因是这些元件应用不广；設計往往根据具体要求而各成一格；应考虑の絕大多數問題并不是特殊的平面結構，而是微波系統中帶有普遍性的問題。有关材料試驗也讲得很少，因为这是一門极为專門的學問，而且主要的資料可从各种規格中获得。本书附录中列举了这些規格并簡述其內容。

本书的目的在于对有些实际經驗的工程师提供一本精炼的資料。讀者应根据自己的工作性质，選擇适合自己情况的制造方法。有些地方用一般的印制电路比較合适，但另外地方可能用机械布綫法，例如条形接綫、无焊連接等最为妥当。

J. M. C. 杜克斯

第一章 緒 論

1 印制电路的定义

在本书中，“印制电路”一詞系指由平坦的金屬片条，附着于硬的或柔韧的絕緣底板上而形成的电的連接导綫。它的另一特点是，成批制成的电路，虽然也有些制造公差，但基本上是一模一样的。产品的外貌及其重复性足以証明称之为印制电路是妥当的，但在大多数情况下只是类似而已。有些电路确实是用导电膏浆或塗料印出来的，但现在却应用不多。某些制造工艺采用印刷业中的制版技术，但并不实际去印制，銅箔腐蝕法即是一例。其他的制造工艺都极少与印刷术有关，或者根本与印刷术无关。印制电路中“电路”一詞不够确切，因为大多数情况下所制出的只是导綫。因此，許多工程师乐于采用“印制导綫”一詞，只是对那些应用得不多、同时印制出元件者才称为印制电路。本书仍采用沿用已久的印制电路一詞。

2 历史概要

印刷术和紙的发明应归功于中国劳动人民。世界各国最早应用的印刷术系自中国傳來。远在七世紀，中国就有了木板印刷。已发现的最早的一本书是在公元 868 年 5 月 11 日印出的。絲网印刷术的发明应归功于日本人，他們学会将刻出的图案粘在用毛发編成的网上，做成精致的印刷模板，不过这样不連續的图案是难以固定在恰当位置的。

木板印刷术随着中国商队沿途傳布开来，到了十五世紀或

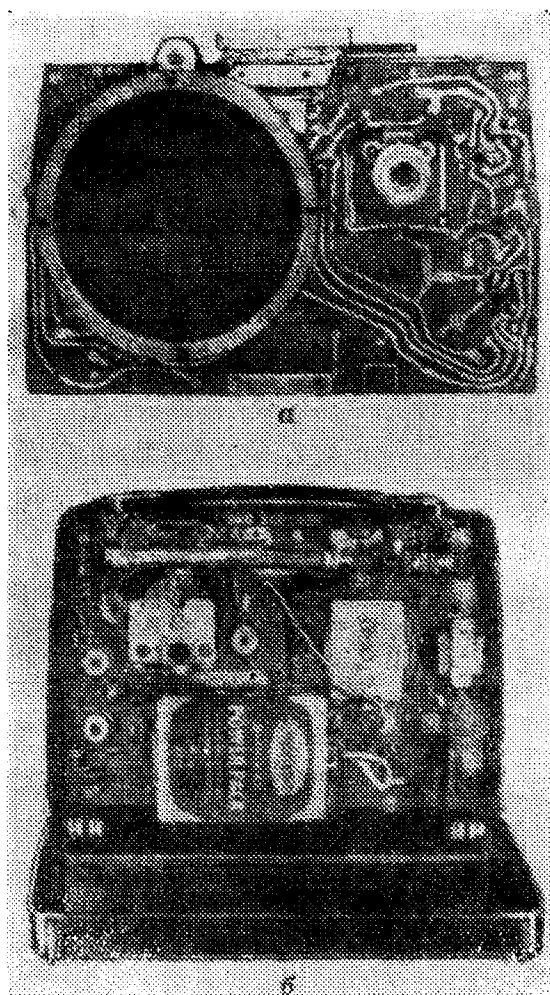


图1.1 六晶体管便携式收音机的内视图：

a—正面图示出印制导线（采用腐蚀法，用网印法涂敷耐酸保护材料）；

b—背面图示出元件，小的元件系用杜奈塞特（Dynasert）自动装机装上的。

者更早一些就传到了欧洲。1440年左右，德国 J. 金斯弗莱施（Gennsfleisch）发明了活字的应用●和单个字母的铸造，制成了一种化学成分不同于木版印刷墨汁，而能附着于铅字的油墨。在此

● 活字排版印刷是我国宋代庆历年间（1041~1048年）毕升发明的，详细内容参看印刷杂志1963年第4期，“中国古活字”一文。——译者