

电 容 器

成建生 陈 鸣

辽宁科学技术出版社

中等专业学校教材

电 容 器

成建生 陈 鸣

3A2/20



辽宁科学技术出版社

B

673/2

中等专业学校教材

电 容 器

Dianrongqi

成建生 陈 鸣

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

电子工业出版社 朝阳新华印刷厂印刷

辽宁省新华书店发行

开本: 787×1092 1/16 印张: 12 1/2 字数: 280,000

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

责任编辑: 刘绍山

版式设计: 于 浪

封面设计: 曹太文

责任校对: 赵淑新

印数: 1—1,348

ISBN 7-5381-0817-3/TN·24 定价: 2.65元

内 容 简 介

全书共分为六章,第一章电容器概述,介绍了电容器的概念及应用,分类及命名方法,产品标志方法,基本要求;第二章电容器的一般性能及参数,系统阐述了电容器的特性参数,是全书重点之一;第三、四、五、六章分别介绍了有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器、可变电容器的原材料、特点和制造工艺及有关电容器的简单设计;每章后面都有适量的思考题与习题,有助于学生对基本概念和产品性能的理解和掌握。

本书不仅可作为中等专业学校电子元件专业的教材,而且可作为相应专业的技工学校、工厂技术工人的培训教材,也可供有关从事电容器方面的技术人员参考。

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986—1990年编审出版规划，由中专电子类教材编审委员会无线电元器件编审小组征稿，推荐出版，责任编委赵柏龄。

本教材由江苏省淮阴电子工业学校成建生同志担任主编，常州电子技工学校陆松亭同志担任主审。

本课程的参考学时数为80多学时，本书较系统地介绍了电容器的基本参数、性能特点及几种典型电容器的制造工艺，对一些重点工艺作了较详细的分析。全书分为电容器概述、电容器的性能参数、有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器、可变电容器等六章。本书侧重基本概念的分析，避免繁琐的数学推导，深入浅出，适合于中专学校的教学特点。各章后的思考题与习题，有助于学生对所学内容的理解和掌握。

在编写过程中编者着重注意了以下几点：

1. 全书内容选择合理。对过时的内容作了删节，同时写进了具有代表性的先进的新内容。

2. 书中全面采用法定计量单位和新国标，在学习时应注意一些概念、术语和传统教材的差别，要注意到一些传统系数和常量已作了替换。

3. 注重用学过的基础理论知识来分析产品的性能、特点等，注意引导和培养学生分析问题和解决问题的能力。

本教材由成建生同志编写第一、二、五、六章，南昌无线电工业学校陈鸣同志编写第三、四章，由成建生同志统编全稿。参加审阅工作的还有江西4321厂柯佩珠总工、常州无线电工业学校黄焕清同志。在编写过程中，编者和淮阴电校的刘涛同志进行了许多有益的探讨，主审陆松亭老师还为编者提供了不少珍贵的资料，他们对本书都提出了许多宝贵意见，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1989年2月

目 录

第一章 电容器概述.....	1
第一节 电容器的概念及其应用.....	1
第二节 电容器的分类、型号命名方法及产品的标志方法.....	1
第三节 对电容器的基本要求及电容器的发展方向.....	6
习题一.....	7
第二章 电容器的一般性能及参数.....	8
第一节 电容器的电容量.....	8
第二节 电容器的绝缘性能与吸收现象.....	20
第三节 电容器的损耗.....	25
第四节 电容器的介电强度.....	37
第五节 电容器的电感.....	50
第六节 电容器的可靠性.....	54
第七节 电容器的比率特性.....	61
习题二.....	64
第三章 有机介质电容器.....	67
第一节 有机介质电容器概述.....	67
第二节 纸电容器.....	69
第三节 金属化纸电容器.....	74
第四节 塑料薄膜电容器.....	80
第五节 复合介质电容器.....	86
第六节 有机介质电容器设计简介.....	88
习题三.....	91
第四章 无机介质电容器.....	93
第一节 云母电容器.....	93
第二节 瓷介电容器.....	101
第三节 玻璃膜及玻璃釉电容器.....	118
习题四.....	121
第五章 电解电容器.....	122
第一节 概述.....	122
第二节 铝电解电容器.....	134
第三节 钽(铌)电解电容器.....	156
第四节 其它电解电容器.....	167

第五节 电解电容器的简单设计.....	168
习题五.....	170
第六章 可变电容器.....	173
第一节 概述.....	173
第二节 空气介质可变电容器.....	177
第三节 薄膜介质可变电容器.....	185
第四节 真空可变电容器.....	187
第五节 微调电容器.....	189
习题六.....	192

第一章 电容器概述

第一节 电容器的概念及其应用

电容器是一种基本的电子元件，它是指两个导体之间用电介质隔开而构成的一种装置。两个导体称为电容器的两个电极。在两个电极之间加上一定的电压，电极上就会贮存一定的电荷，并且提供一定的电容量。电容器实际上就是以贮存电能和提供电容量为主要特征的元件，同时还具有能顺利通过交流电而不让直流电通过的性质。因此，它在电路中能发挥耦合、旁路、谐振、计时微分、积分、贮能、滤波、隔直流等各种各样的作用，这样它就可以广泛应用于电子设备、仪器和家用电器类产品中。不论在广播、电视、通讯、雷达、计算机、激光、测量仪器等科学技术的各个领域，还是在人们喜爱的收音机、收录机、录像机、立体声响设备中都要用到电容器。

第二节 电容器的分类、型号命名方法及产品的标志方法

一、电容器的分类

电容器在应用中起各种各样的作用，这就要求有不同性能的电容器与之对应，所以电容器有许多类型。电容器的分类有许多种方法，常见的方法有：

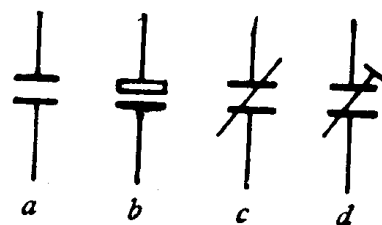
（一）按容量是否可调分类

按容量是否可调分类，电容器可分为：

1. 固定电容器。就是其电容量不变化的电容器。

2. 可变和微调电容器。可变电容器是指电容量可以在一定范围内进行调整；微调电容器是指电容量可以调整，但在每次调整好以后就固定的电容器。

为便于区别，它们在电路中的符号规定如图 1—1 所示。



a. 固定电容器；b. 电解电容器；
c. 可变电容器；d. 微调电容器

图 1—1 电容器的图形符号

（二）按使用介质分类

电容器的性能、结构和用途在很大程度上取决于它所使用的介质，一般按介质可分为四大类：

1. 有机介质电容器。它是以纸、塑料薄膜和漆膜等有机材料作为介质的一类电容器。如纸介电容器、涤纶电容器、聚丙烯电容器等。

2. 无机介质电容器。它是以无机材料如云母、陶瓷、玻璃釉等为介质的一类电容

器。如云母电容器、瓷介电容器、玻璃釉电容器等。

3. 电解电容器。它是一种特殊类型的电容器，是以阀金属为阳极，其金属氧化膜为介质，电解质为阴极，并以另一金属作为引出负极而构成的。如铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器等。

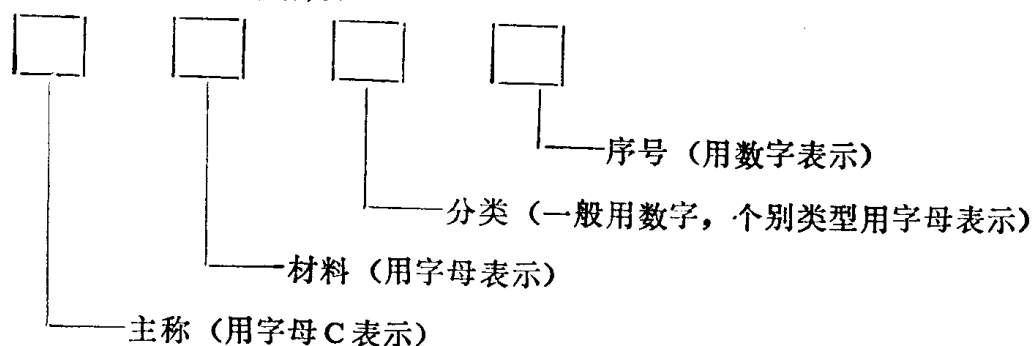
4. 气体介质电容器。如空气电容器、充气电容器和真空电容器等。

除了上面的分法，电容器还可按用途分，如耦合电容器、旁路电容器、直流电容器和交流电容器等；也可分为低压电容器和高压电容器、小功率电容器和大功率电容器等。

二、电容器的型号命名方法

各种不同类型的电容器，都有各自的型号。关于型号的命名，各个国家有各个国家的标准。我国现在是按 GB2470—81《电子设备用电阻器、电容器型号命名方法》中的规定命名的。

(一) 电容器型号的组成部分



电容器的型号一般由四部分组成，其中第四部分序号用于区别电容器的外型尺寸和性能指标。

(二) 电容器型号组成部分的符号意义

电容器型号组成部分的符号意义如表 1—1 所示。

(三) 电容器型号命名示例

1. C B B 1 0 ——表示聚丙烯电容器
- Diagram illustrating the breakdown of the example model number C B B 1 0:
- C: 电容器
 - B: 聚丙烯
 - B: 非密封
 - 1: 序号
 - 0: 序号
2. C C G 1 ——表示瓶形高功率瓷介电容器
- Diagram illustrating the breakdown of the example model number C C G 1:
- C: 电容器
 - C: 瓷介
 - G: 高功率
 - 1: 序号

表1—1 固定电容器型号命名表

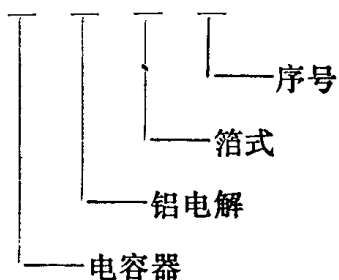
第一部分		第二部分		第三部分				
符号	名称	符号	介质材料	电 容 器 名 称				
C	电容器	A	铝电解	数字	瓷介电容器	云母电容器	有机电容器	电解电容器
		B	聚苯乙烯等非 极性有机薄膜	1	圆 形	非 密 封	非 密 封	箔 式
				2	管 形	非 密 封	非 密 封	箔 式
		C	高频陶瓷	3	叠 片	密 封	密 封	烧 结 粉 非 固 体
		D	铝电解	4	独 石	密 封	密 封	烧 结 粉 固 体
		E	其它材料电解	5	穿 心		穿 心	
		G	合金电解	6	支 柱 等			
		H	纸膜复合	7				无 极 性
		I	玻璃釉	8	高 压	高 压	高 压	
		J	金属化纸	9			特 殊	特 殊
		L	聚酯等极性 有机薄膜					
		N	钽电解					
		O	玻璃膜					
		Q	漆膜					
		T	低频陶瓷					
		V	云母纸					
		Y	云母					
		Z	纸					

说明 本表不包括可变电容器、真空电容器。

对微调电容器仅适用于瓷介微调电容器。

用B表示除聚苯乙烯以外其它非极性有机薄膜时,在B后要加一字母以区分具体介质材料。例如:聚四氟乙烯用“BF”表示、聚丙烯用“BB”表示等等。用L表示除聚酯以外其它有机薄膜材料时,在L后再加一字母以区分具体材料。例如:用“LS”表示聚碳酸酯。第三部分不用数字而用字母表示的有两种,G代表高功率瓷介电容器,W代表微调瓷介电容器

3. C D 1 1 ——表示箔式铝电解电容器



三、电容器产品的标志方法

为了便于识别电容器,我们通常把电容器的主要电气性能参数、型号和商标等标志在电容器产品上,标志方法有三种:

(一) 直标法

它是用阿拉伯数字和文字符号（包括中文）在产品上直接标出电容器的标称容量及允许偏差、工作电压和制造日期等，如图 1—2 所示。

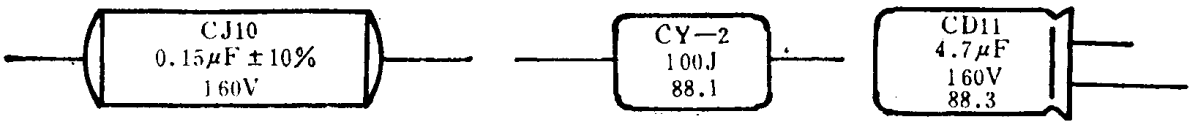


图 1—2 电容器直标法示例

（二）文字符号法

它是国际上常用的一种标志方法。我国是按 GB2691—81 的规定标志的，规定用阿拉伯数字和文字符号两者有规律地组合。在电容器上标出的主要内容有：电容量、允许偏差、类别温度范围、工作电压和制造日期等。工作电压的标志一般不带单位。标志的特点是：

1. 电容量单位采用千进制的文字符号，见表 1—2。

表 1—2 电容量单位符号

文字符号	中文名称	文字符号	中文名称
p	皮法 (10 ⁻¹² 法拉)	m	毫法 (10 ⁻³ 法拉)
n	纳法 (10 ⁻⁹ 法拉)	F	法拉
μ	微法 (10 ⁻⁶ 法拉)		

2. 单位符号的位置代表有效数字中小数点的位置，见表 1—3。

表 1—3 电容器的文字符号及其组合示例

标称容量	文字符号	标称容量	文字符号
0.1 pF	p10	47000 pF	47n
1 pF	1p0	0.47 μF	470n
4.7 pF	4p7	1 μF	1μ0
10 pF	10p	4.7 μF	4μ7
1000 pF	1n0	1000 μF	1m0
3300 pF	3n3	4700 μF	4m7

3. 电容量允许偏差的标志符号见表 1—4。

表 1—4 电容量允许偏差的标志符号

对称允许偏差%	标志符号	不对称允许偏差%	标志符号
± 0.1	B	+100 -0	H
± 0.25	C	+100 -10	R
± 0.5	D	+50 -10	T
± 1	F	+30 -10	Q
± 2	G	+50 -20	S
± 5	J	+80 -20	Z
± 10	K	+ 不规定 -20	不标
± 20	M		

4. 类别温度范围用文字和数字的组合方式表示, 文字表示负温, 数字表示正温, 见表 1—5。

表 1—5 电容器工作温度范围的标志符号

负 温		正 温	
温度 (℃)	文字符号	温度 (℃)	文字符号
-10	A	+55	0
-25	B	+70	1
-40	C	+85	2
-55	D	+100	3
-65	E	+125	4
		+155	5
		+200	6
		+250	7

5. 对制造年月也可用文字符号标出, 通常只标出年。

(三) 色标法

电容器的色标法是指用不同颜色的点或带在电容器上标出电容量及允许偏差的标志方法。原则上同电阻器色标法, 单位为皮法, 但应用很少。

第三节 对电容器的基本要求及电容器的发展方向

随着电子工业的不断发展，对电容器的要求越来越严格。电容器产品除满足技术条件中规定的性能指标外，还要满足可靠性、稳定性、承受多变的应力条件、外形尺寸和重量等方面的基本要求。

一、可靠性

近代电子设备日趋复杂，其中任何一个元件的失效都将影响整个设备的正常工作。为了保证电子设备的可靠工作，设备中的所有电子元件就必须在工作期间不出现故障。如没有高的可靠性，再优良的性能也得不到发挥。电容器作为电子元件的一个重要组成部分，同样应具有高的可靠性。

二、精确度和稳定性

电容器的精确度是指电容量标称值的允许误差；电容器的稳定性是指在其工作、贮存过程中，由于环境条件的变化、电负荷的作用或本身的老化使性能参数发生改变的程
度。显然电容器必须具有电子设备技术条件允许的精确度和稳定性，才能保证设备正常和有效地工作。对不同场合使用的电容器，其精确度和稳定性的要求是不一样的。例如用在高频振荡回路的电容器，应有很高的精确度和稳定性，而在旁路、滤波、隔直流等场合，对电容器精确度和稳定性的要求就不很高。对于电容器的精确度和稳定性需要根据需要适当选择，否则会使成本增加，而导致不必要的浪费，或者达不到要求。

三、承受多变的应力条件

电子工业的发展要求电容器在各种恶劣的应力下使用，而不只是应用在常温、常压等场合，如宇航设备、军用设备、海底电缆、钻井设备……等。这些应力条件主要是：

电应力——电流过载、电压过载、电功率过载。

环境应力——潮湿、温度、气压、辐射、盐雾等。

机械应力——振动、冲击、加速度等。

对于某一具体电容器而言，并不是要求它去满足所有耐恶劣应力能力的要求，而是只需要满足其中的主要要求。要知道，不适当地提高耐恶劣应力的能力是不可取的。

四、性能参数

电容器的性能参数包括标称容量及允许偏差、绝缘电阻、损耗角正切、比率容量、温度特性和频率特性等方面，这些性能参数分别从某一方面在一定程度上反映了电容器质量的好坏。

五、微小形化、片式化

电子元件的微小形化可使电子设备缩小体积、减轻重量、提高运算速度、省电、提

高可靠性、降低成本。

在电子元件的发展过程中，小型化一直是电子元件追求的目标。电子元件经历了普通元件、小型元件、微型组件、片式元件的发展过程，特别是片式元件的发展大大地动摇了传统的组装概念。

片式元件是70年代后期发展起来的一种新型电子元件，它包含三个概念：微小型化，无引线或短引线，适合在绝缘布线板上进行表面装贴。片式元件已涉及电阻、电容、电感、晶体管、集成电路芯片、微调元件等各个方面。但发展最快的还是片式化的阻容元件。

片式电容器是片式元件的一种。目前国内外的片式电容器主要有以下几种：片式陶瓷电容器、片式云母电容器、片式钽电解电容器、片式铝电解电容器、片式有机介质电容器等。

片式元件的产生是由于表面贴装的需要，同时片式元件的发展和广泛应用又促进了表面装贴技术的发展和日趋完善。片式元件现已不只局限于作混合集成电路的外贴元件，而在向消费类和投资类电子产品中发展。例如：电视机、电子调谐器、收录机、计算机、照相机、摄影机等。如何使片式元件向各个领域发展，生产出物美价廉的片式元件，以满足电子工业发展的迫切要求，是从事电子元件行业人们的努力方向之一。

电容器要满足以上的基本要求，就必须在材料、结构、工艺上进行改革，不断地采用新材料、新工艺，实现生产工艺的机械化和自动化，不断提高电容器的质量和数量。根据这些要求，可以看出如何提高产品性能，如何适应轻型、薄型和小型化的发展趋势，已成为进一步发展电容器工业的重要课题。

习 题 一

1. 什么是电容器？它的主要应用场合有哪些？
2. 电容器是怎样分类的？它的型号命名方法和产品标志方法分别是什么？
3. 对电容器的性能有哪些基本要求？

第二章 电容器的一般性能及参数

第一节 电容器的电容量

一、电容量的概念

电容器是贮存电荷的一种元件，它在外加电压作用下，两极板上就贮存有一定的电荷。电容器的电容量就是表征电容器贮存电荷能力的参数，它在数值上等于极板上贮存的电荷量 Q 与极板上所加的电压 U 之比，即：

$$C = \frac{Q}{U} \quad (2-1)$$

式(2-1)称电容量的定义式，它表示在单位电压作用下，极板上所贮存的电荷量的多少。如外加电压为1伏特，贮存电荷为1库仑，则电容量为1库仑/1伏特=1法拉，单位符号F，这是为纪念法拉第而命名的。

法拉这个单位太大，在实际使用中很不方便，所以通常采用微法，符号为 μF ，或者皮法，符号为pF。另外还有毫法(mF)和纳法(nF)等。换算关系为：

$$\begin{aligned} 1\text{mF} &= 10^{-3}\text{F} & 1\text{nF} &= 10^{-9}\text{F} \\ 1\mu\text{F} &= 10^{-6}\text{F} & 1\text{pF} &= 10^{-12}\text{F} \end{aligned}$$

虽然 $C = Q/U$ ，但是电容量并不单决定于 U 的大小，或者 Q 的大小，只由其比值决定。我们知道对每个盛水的容器，形状和大小不同其盛水量是不同的。同样，电容器的电容量也与形状、大小有关，且还与介质的性质有关。

二、电容器电容量的计算

当一个电容器的介质材料确定以后，电容器芯子的结构形状将对电容器起决定作用。电容器的芯子形状亦即结构形式，最基本的有三种：平板形、管形和卷绕形。其它各种芯子的结构均是这三种基本结构的变形。下面将分别计算这三种基本结构芯子电容器的电容量。

(一) 平板形电容器芯子

这是一种最简单的结构形式，在许多电容器中被广泛应用，无机介质电容器中应用最多，如云母电容器，瓷片电容器等。此外，有机介质电容器和电解电容器中也有采用。

平板形结构可分为单片形和迭片形两种。单片形结构如图2-1所示。设每块极板的面积为 S ，

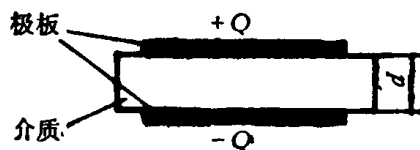


图2-1 单片电容器芯子容量计算示意图

两极板间的距离为 d ，极板上分别带有 $+Q$ 和 $-Q$ 的电荷，极板间介质的介电常数为 ϵ 。这时极板上的电荷密度为 $\sigma = Q/S$ ，则两极板间的电场强度 $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon S}$ 因为 $U = Ed$ ，所以

$$U = \frac{Qd}{\epsilon_0 \epsilon S} \quad \text{即} \quad \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

根据 $C = Q/U$ 得

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (2-2)$$

若 S 以平方厘米计， d 以厘米计，则把 $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^{11}}$ 法/厘米，代入式 (2-2) 得

$$C = \frac{\epsilon S}{3.6\pi d} \times 10^{-12} \text{ (F)} \quad (2-3a)$$

工程上常写成

$$C = \frac{\epsilon S}{3.6\pi d} \times 10^{-6} \text{ (}\mu\text{F)} \quad (2-3b)$$

或

$$C = \frac{\epsilon S}{3.6\pi d} \text{ (pF)} \quad (2-3c)$$

以上公式说明：

- ①在计算电容器的电容量时，应注意 S 、 d 和 C 的单位。
 - ② ϵ_0 是指真空介电常数， ϵ 是指介质的相对介电常数，又称电容率。
 - ③公式中的极板面积是指有效面积，即两极板间的正对面积。
- 电容器的极板形状，可以是矩形的，也可以是圆形的，如图 2—2 所示。
- 当芯子为矩形时， $S = b \cdot l$ ，这时

$$C = \frac{\epsilon b l}{3.6\pi d} \text{ (pF)}$$

如果知道电容量，则可求出极板的有效面积，当再知道极板的宽度或长度时，就可求出极板所需的长度或宽度。

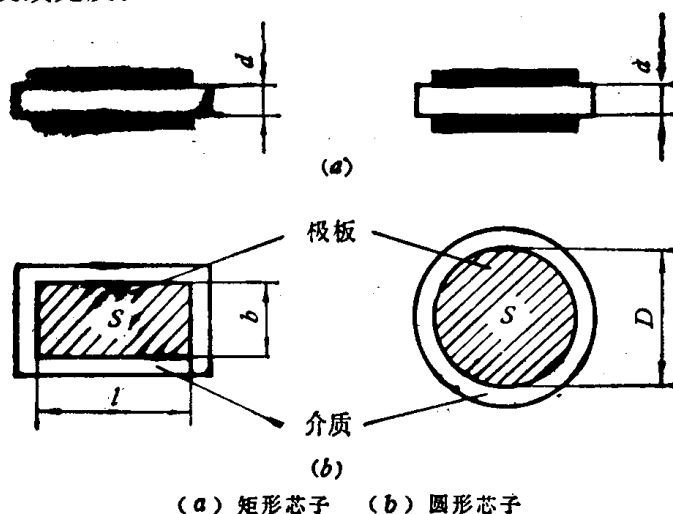


图 2—2 单片电容器芯子结构

当芯子为圆形时, $S = \frac{1}{4}\pi D^2$, 这时

$$C = \frac{\epsilon D^2}{4 \times 3.6d} \text{ (pF)}$$

如知道电容量, 则可求出极板所需的直径。

从式(2—3)的容量计算公式可看出, 电容器的电容量与介质的介电常数、极板有效面积成正比, 与介质厚度(极板间距离)成反比。所以为了提高电容量, 可选用介电常数大的介质材料, 增大极板面积和减小介质的厚度。但是这些都要受到一定条件的限制, 所以往往单片芯子的容量还是比较小的。为了增大电容量, 可将单片按一定方式重叠, 构成各单片并联的叠片芯子, 如图2—3所示。

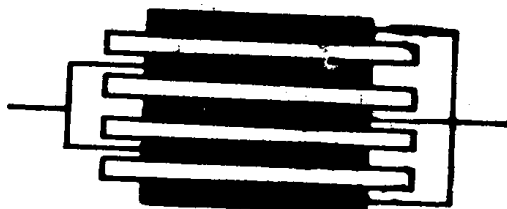


图2—3 叠片形芯子结构示意图

将极板分为两组, 一组为奇数组, 一组为偶数组, 极板间隔以相同厚度的介质, 奇数极板连在一起, 偶数极板连在一起, 分别引出引出线。在图2—3中, 有五片极板, 隔以四片介质, 其中中间的三片极板均起到组成两个电容器的极板的作用, 相当于极板面积扩大了一倍。五片极板的电容器相当于四个单片电容器的并联。

若电容器的极板总片数为 N , 则有 $(N-1)$ 个单片电容器并联, 每个单片电容器的容量为

$$C_0 = \frac{\epsilon S}{3.6\pi d} \text{ (pF)}$$

则总电容量为单片电容量的 $(N-1)$ 倍

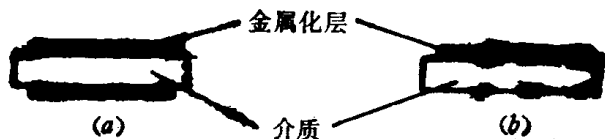
$$C = \frac{\epsilon S}{3.6\pi d} (N-1) \text{ (pF)} \quad (2-4a)$$

$$\text{或} \quad C = 0.0885 \frac{\epsilon S}{d} (N-1) \text{ (pF)} \quad (2-4b)$$

单位: S ——厘米², d ——厘米。

叠片形芯子也有矩形叠片和圆形叠片之分, 同学自己可分别去计算容量。

在具体电容器中, 叠片形芯子的电极还有金属箔和金属化之分。金属化电极就是利用烧渗、蒸发、溅射等工艺在介质表面上形成的金属层, 它有单面金属化和双面金属化两种。如图2—4所示。



(a) 双面金属化 (b) 单面金属化

图2—4 金属化电极的两种形式