

滤波器小型化

(专题译丛)

《滤波器小型化》编译组

1971. 10.

核

毛 主 席 语 录

中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。

……一切外国的东西,如同我们对于食物一样,必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动,送进唾液胃液肠液,把它分解为精华和糟粕两部分,然后排泄其糟粕,吸收其精华,才能对我们的身体有益,决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

外国有的,我们要有,外国没有的,我们也要有。

说 明

为了赶超世界先进水平和了解国外电子工业发展情况，遵照伟大领袖毛主席“**洋为中用**”的伟大教导，我们收集和翻译了部分国外有关滤波器小型化方面资料，现汇编成册，供同志们参考。

随着集成电路飞速进展，电子电路小型化也在不断改进。滤波器小型化是其中重要关键之一。本译丛依次介绍国外滤波器小型化设计几种主要途径：1. LC 滤波器、2. RC 有源滤波器、3. 回转器-C 滤波器、4. 陶瓷滤波器、5. 机械滤波器。

由于这些资料来自美帝苏修等国家，吹嘘之处一定很多，我们应遵循伟大领袖毛主席关于“**批判地吸收外国文化**”的教导，批判地吸收其中一切有益的东西。

由于我们活学活用毛泽东思想不够，业务水平不高，错误之处一定很多，请批评指正。

编 译 者

1971.10.

目 录

LC 滤波器

(一) 试制条形磁芯的特性.....	(1)
(二) 条形磁芯滤波器研究.....	(5)
(三) 载波电话 LC 分路滤波器设计探讨.....	(10)

RC 滤波器

(四) 设计 RC 有源滤波器的一种实际方法.....	20
(五) 换流型负阻抗变换器 RC 有源网络.....	(32)
(六) 性能优良的有源带通滤波器设计.....	(39)
(七) 混合集成电路有源滤波器设计.....	(45)
(八) 阴极输出器的有源滤波器.....	(53)
(九) 有源 RC 低通滤波器札记.....	(60)
(十) 集成电路运算放大器实现的 RC 有源滤波器.....	(63)
(十一) 有源 RC 桥式滤波器.....	(74)
(十二) 有源 RC 桥式带通滤波器.....	(80)
(十三) RC 有源低通滤波器设计.....	(86)
(十四) 晶体管 RC 滤波器.....	(96)
(十五) 有源滤波器札记.....	(100)

回转器-C 滤波器

(十六) 采用不接地回转器的锐截止低通滤波器.....	(103)
(十七) 采用有损耗接地回转器的有源 RC 滤波器.....	(115)

陶瓷滤波器

(十八) 低频陶瓷带通滤波器.....	(122)
(十九) 薄片陶瓷滤波器新工艺.....	(128)
(二十) 陶瓷振动物子组合滤波器.....	(131)
(廿一) 陶瓷滤波器一种新结构.....	(137)
(廿二) 陶瓷滤波器.....	(148)
(廿三) 近代陶瓷滤波器及其特性.....	(154)
(廿四) 陶瓷滤波器.....	(165)
(廿五) 压电滤波器.....	(172)

机械滤波器

(廿六) 50千周到 500 千周机械滤波器.....	(179)
(廿七) 弯曲谐振子的机械滤波器.....	(182)
(廿八) 双谐振音片振动物子机械滤波器.....	(193)
(廿九) 双谐振形式音片机械滤波器.....	(202)
(三十) 三个谐振形式音片振动物子机械滤波器.....	(210)
(卅一) 双谐振圆片和圆环机械滤波器.....	(212)
(卅二) 圆环薄片对称扭转振动物子机械阻抗.....	(220)

试制条形磁芯的特性

1. 序 言

目前载波机上使用有磁芯线圈的滤波器和变压器比重相当大, 特别在线圈中磁芯比率约为二分之一, 因此为了降低成本, 去年对在一个磁芯上同时装几个线圈的条形磁芯进行了研究。试制样品形状如图 1 所示, 有效磁率 $\mu_e=100, 150, 200, 250$ 和 300 , 共计五种, 其中 $\mu_e=150$ 和 250 的各有四个, 本文阐述其电气特性。

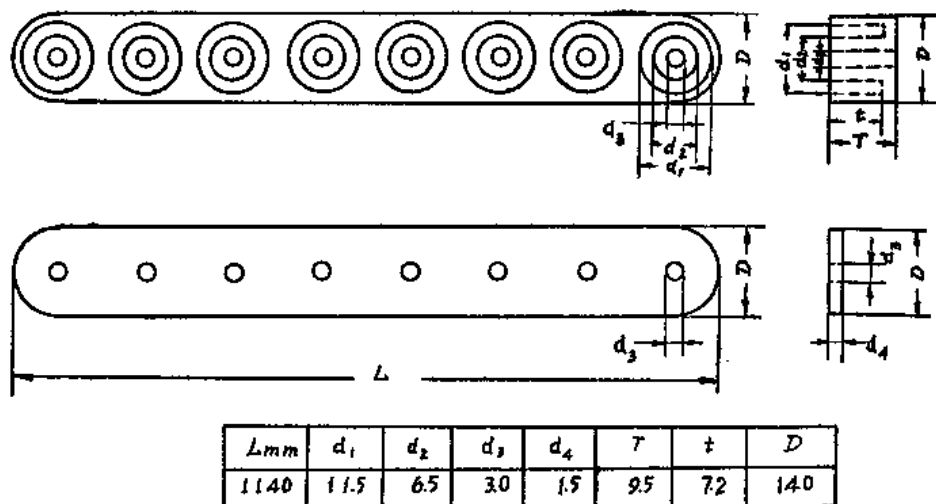
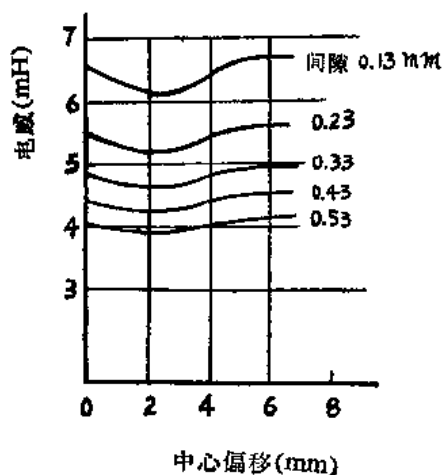


图 1 试制条形磁芯的形状。

2. 自感特性

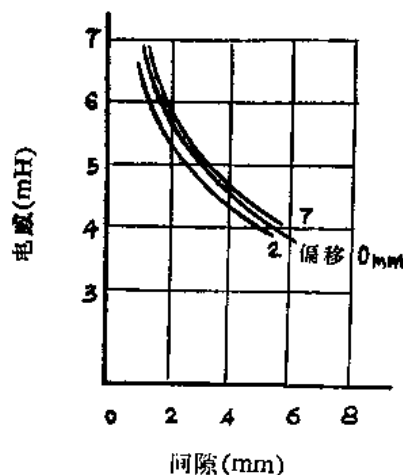
2-1 假设测量条件

图 1 所示的试制条形磁芯盖有一个 3mm 孔作调节电感用, 因此藉移动盖的位置就可改变电感值。



$\mu_e=150$, № 2-4, $f=50\text{kc/s}$, $N=150$ 圈

图 2 中心偏移和电感关系。



$\mu_e=150$, № 2-4, $f=50\text{kc/s}$, $N=150$ 圈

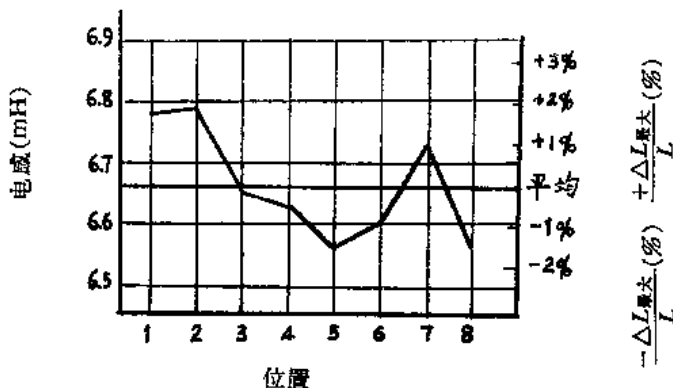
图 3 间隙和电感关系。

测量时, 先调节盖位置使电感变化, 其结果如图 2 和图 3 所示。藉盖和磁芯间夹纸来调节间隙。测量电感时, 可用目测观察盖和磁芯的配合, 尽可能选择电感不受孔的影响, 最好选择孔移动 7mm 如图 2 所示。这时, 孔刚好在二个磁芯中间, 盖上没有孔时, 为最理想。本试验都在这种情况进行测量。

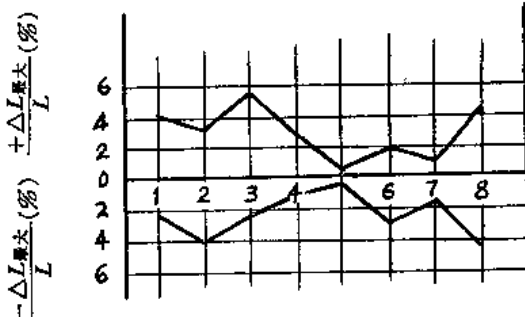
此外, 测量时, 使用 1 号直流阻抗电桥。

2-2 电感误差

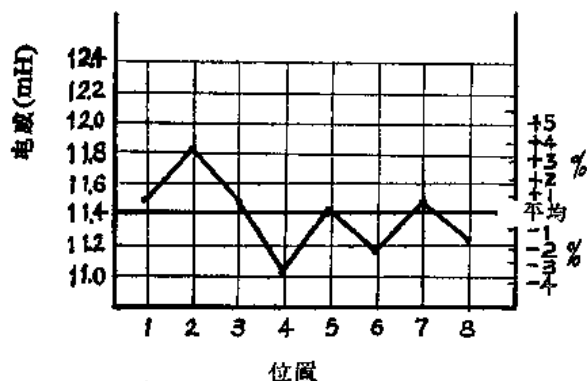
图 4 和图 6 为 $\mu e=150$ 和 250 不同位置时的电感误差; 图 5 和图 7 为磁芯误差 (最大值和最小值), 显然与图 4 和图 6 位置无关。磁芯试制时, 可调节间隙, 单靠这种测量不能确定图 4 和图 6 间隙误差和材料导磁率不均匀性的特性, 但大致可认为没有间隙误差。



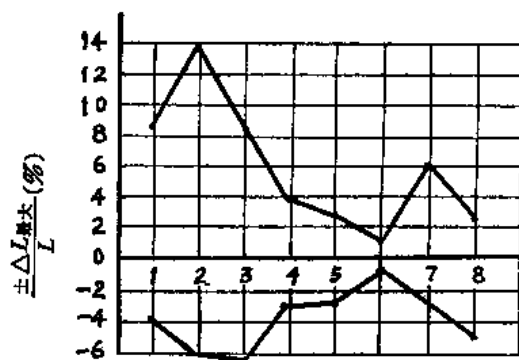
$\mu e=150, f=50\text{kc/s}, N=150$ 圈
图 4 四个磁芯电感误差平均值



$\mu e=150, f=50\text{kc/s}, N=150$ 圈
图 5 各位置平均值 $\pm \Delta L_{\max}$ (即磁芯电感误差)



$\mu e=250, f=50\text{kc/s}, N=150$ 圈
图 6 四个磁芯电感误差平均值



$\mu e=250, f=50\text{kc/s}, N=150$ 圈
图 7 各位置平均值 $\pm \Delta L_{\max}$ (即磁芯电感误差)

2-3 频率特性

在 10、50、100 kc/s 时测出的整个电感平均值如下:

	$\mu e=150$	$\mu e=250$
10kc/s	6.66mH	11.30mH
50kc/s	6.66	11.42
100kc/s	6.65	—

如果是磁芯, 自然在这段频率上磁芯频率特性可以忽略不计。

2-4 圈数——电感特性

图 8 为 50kc/s 上 $N=30, 50, 100$ 和 150 时测出的结果。图上各点为四个磁芯的八个位置平均值 (即 32 点平均值)。

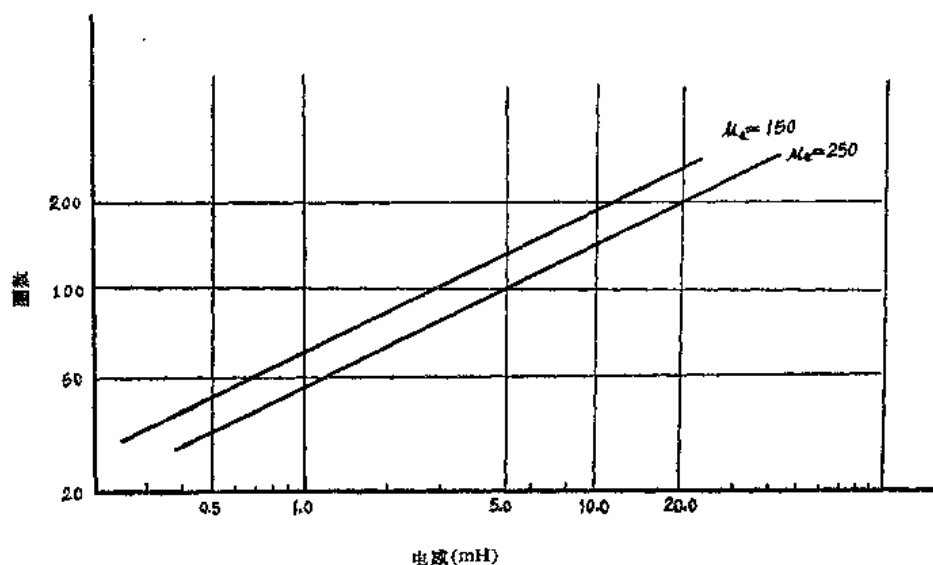


图8 匝数——电感特性

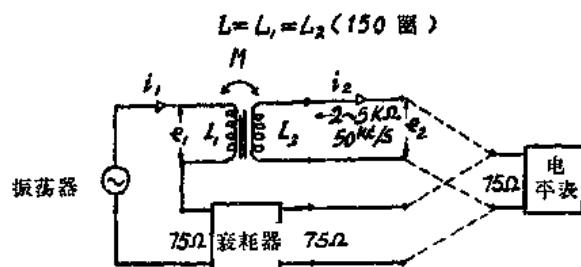
3. 相邻间互感特性

3-1 测量方法

耦合系数 k 用

$$k^{-1} = \frac{i_1}{i_2} \Big|_{e_2=0} = \frac{L}{M}$$

表示, 当变压器输入输出阻抗比 $75\ \Omega$ 高得多, $e_2 \rightarrow 0$, 因此可测出以 db 为单位的变压器电流衰减量的 k ; 测量时, 设 $L = L_1 = L_2$ (150 圈), 测量频率为 50kc/s 。



3-2 假设测量条件

与电感使用场合相同, 选择时, 应使盖孔的影响最小。图9为偏移与耦合系数的关系, 可以选择孔偏移 7mm 。

3-3 耦合系数误差

图10为耦合系数 k 在不同位置的误差。除二端外, 相邻间位置误差约 $\pm 10\%$ 。磁芯误差比电感误差大, 仅是四个中的一个 $\mu r = 250$ 就比其它三个约大二倍耦合系数 f_r , 像 $1 \sim 3$, $2 \sim 4$ 那样, 虽一个间隔中耦合系数 f_r 不能正确测出, 但比相邻间约低一个数量级。

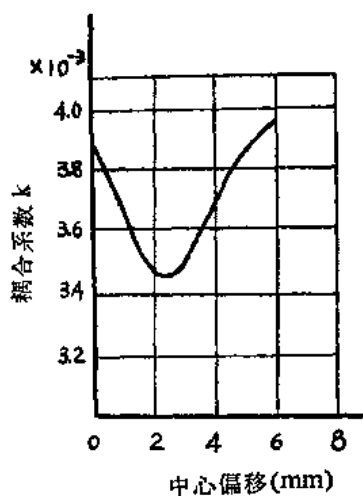


图9 中心偏移和耦合系数关系
 $\mu e=150$, № 2, 4-5

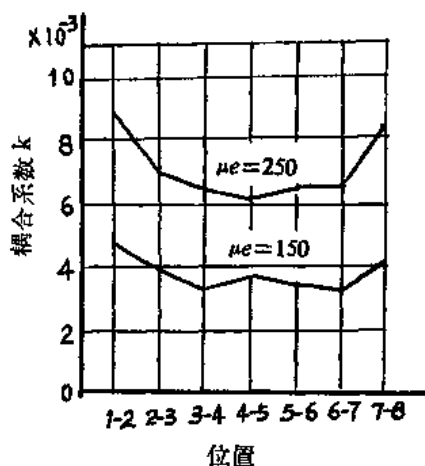


图10 四个磁芯耦合系数误差平均值

4. 结论及今后方针

4-1 结论

a. 使用同样铁淦氧体材料时, 当 $\mu e=150$, 电感误差为 $\pm 6\%$, 当 $\mu e=250$, 电感误差为 $\pm 10\%$, 这里仍有间隙误差。现在由于单个磁芯误差为 2% , 因此今后更能做到 2% 近似值。

b. 互感耦合系数大致可达到低于 1% , 因此问题少, 作为滤波器使用时, 只是相邻间耦合系数要充分考虑周到。

4-2 今后方针

a. 下一阶段试制时, 重点要放在电感调节可变的方法上。那时, 期望电感误差有大的可变量。

b. 其次进行自动压力时, 可在材料误差和间隙误差上下功夫。

译自“试作フェライトブロックコアの特性”一文, 经过资料第1488号

条形磁芯滤波器研究

概要：本文探讨在一个磁芯上同时装几个线圈问题，并研究用于一般电路网络(尤其是滤波器)情况，重点是研究线圈等效电路。文中提到一般线性网络应用，并举出适用于载波机话路滤波器实例，结果表明，性能基本能满足要求，这种磁芯结构简单、经济，预料今后会广泛用于各种电子设备。

1. 序 言

一个电路网络往往要好几个电感线圈，通常用几个线圈分别绕在各自磁芯上组成，本文阐述用于网络上的单独电感线圈之间具有无穷大的磁阻，但在一块磁芯上同时绕几个电感线圈时，它们之间磁阻处于短路状态，这种元件可以看作是一种新的独立线性元件，其网络性能与通常网络性能同。

2. 条形磁芯结构

实验用的条形磁芯结构简单，在一块磁芯上同时装七个线圈，图1为其外形，磁芯长125mm，高12mm，盖厚2mm，采用可变微调机构分开调节(即飞利浦斯形)。

磁芯材料通常用锰锌铁氧体，有效导磁率与一般磁料同， $\mu_e=100\sim150$ ，本实验导磁率 $\mu_e=150$ 。

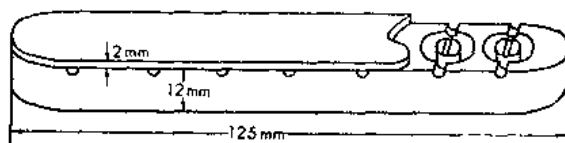


图1 条形磁芯外形

3. 等效电路分析

在一块磁芯上同时绕几个线圈时，首先要考虑线圈相互的耦合问题。通常有电磁耦合和静电容耦合，电磁耦合参数如下^[1]：

- (1) 相邻线圈间电磁耦合系数 $<1\%$ ；
- (2) 不相邻线圈间电磁耦合系数 $<0.1\%$ 。

本文所述的设计，考虑到1%电磁耦合系数给滤波器特性带来的一定影响，以及如何克服其影响来试制条形磁芯，所以这种磁芯适用于实际电路网络，并且根据测量可大致求出它的等效电路。

线圈始端和末端分别用引出线①②(图2所示)表示，引出线③用一块金属片使磁芯底端接地。

在频率100KC以下时，铁氧体基本上是一个绝缘体，在电气上元件有分布参数，可期望以等效集中参数与它完全等效；若等效电路如图3所示，即可求出阻抗 Z_1, Z_2, Z_0 。这里 Z_0 基本上完全是电感(Q 值高)， Z_1, Z_2 可

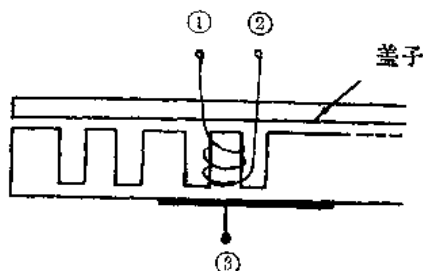


图2 等效三根引出线

以看作是无穷大。

表1为各种线圈测量数据。条形磁芯引出线③和线圈引出线①或②间阻抗几乎是容抗,若电阻部分不计,阻抗就低。由于各线圈绕组采取多层绕阻,线圈始端末端部分在磁芯对置面上,距离不同,因此预计 $Z_1 \neq Z_2$ 。即使用上述例子, $Z_1 \approx Z_2$ 成立,这说明该值大致集中在 $1 \sim 13 \text{ pF}$ 。若考虑电感线圈相关值不等,图4线圈上就有分布电容,而且在引出线③间产生容抗,并藉磁芯高阻抗使其与 $Z_1 Z_2$ 等效;当容抗与阻抗相比时,容抗可以忽略不计。这里应特别注意,若磁芯底部导体电位不等时(图4(1)没有第③引出线), C 上杂散电容可任意规定。为了证实上述说法,用二个分开线圈进行试验(如图5所示)。若各线圈引线分别取1,在磁芯底部金属片(图③引出线)不在等电位时,就测出一对(例1和1',2和2',1和2',2和1')等效阻抗,证明图3和图4所示等效电路是对的(其它引出线开路)。若没有第③引出线时,磁芯内部 Z_1, Z_2 就成级联纯容抗;若有第③引出线时,容抗就是各引出线和第③引出线间的阻抗,例1—1'间几乎是无穷大(没有引出线③时,就高二个数量级),并且当线圈始端①、①'和末端②、②'同相时,其阻抗与上述结果同。人们关心的是图5,当相邻位置二线圈和二极端线圈上没有第③引出线时,容抗只约差10%。因此从图4(2)所示1线圈等效电路末说,也期望得到这个值。

表1 线圈等效电路

	线 圈	圈 数	Z_1	Z_2	Z_0
例 1	p. U. 0.3 mm	200	8.5 pF	8.5 pF	9.7 mH
例 2	" 0.16	620	7.0	7.0	103.0
例 3	" 0.2	530	12.5	12.5	77.5
例 4	" 0.25	300	9.5	9.5	22.6

[注] p. U.: 聚氨基甲酸酯被覆线 测量频率: 20~100kc

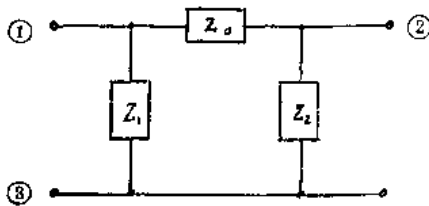


图3 假设等效电路

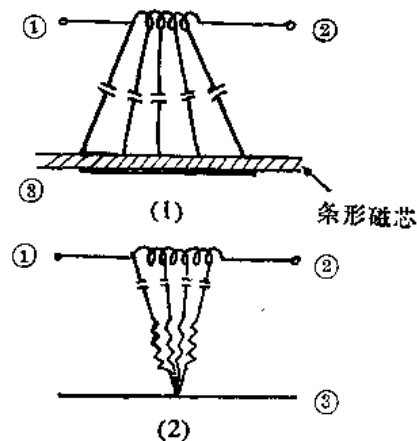


图4 线圈和磁芯同阻抗

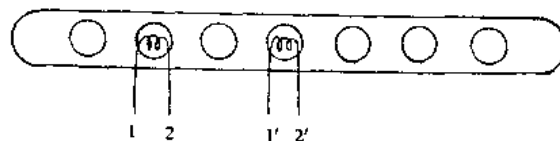


图5 二个线圈实验

根据以上分析,可归纳如下几点:

(1) 相邻间线圈必须考虑电磁耦合,按照一般概念,线圈间耦合系数在1%以下,并且相邻以外可以

忽略不计；

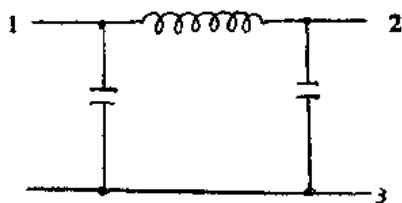
- (2) 用金属片使条形磁芯接地；
- (3) 条形磁芯相当于图6等效电路；
- (4) 一个网络上有好几个线圈，因此可由图6 π 形低通滤波器来表示。

4. 滤波器应用实例

为了验证上述各节阐述，对设想新元件构成的电路网络进行了以下研究。

由于铁氧磁芯作载波机话路滤波器用，因此可以通过试制来实现。用上述等效电路就可进行滤波器设计，为了能与一般滤波器比较很快得出结果，首先确定一般滤波器特性，然后用电路变换，使其尽可能适用于条形磁芯变换，根据上述，就可用同样数目线圈和电容进行比较。

图7为基本电路，图8为其特性。通常电路上有七个线圈(用壶形锰锌铁氧磁芯)，十四个电容。线圈 Q 值在250以上，用聚苯乙烯薄膜电容。



等电位

图6 等效电路

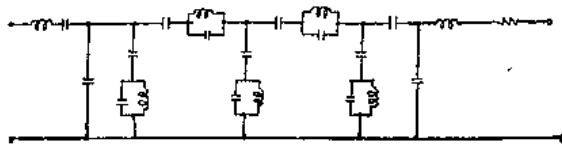


图7 话路滤波器电路结构(基本电路)

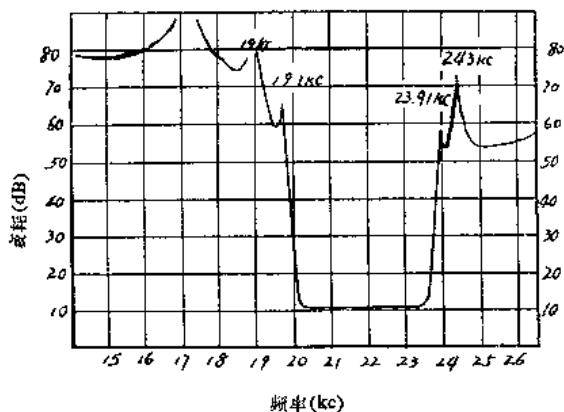


图8 基本特性

若基本电路采用条形磁芯线圈，电路就成图9所示，容抗很大。图10和图11为其变换形式，这样电路就可简化。其变换结果与用相同数目线圈和电容构成的图7同。在条形磁芯上首先把线圈做好，测出寄生电容，电路上电容值为 $7\sim 8pF$ ，电容误差可以忽略不计，然后再把它变换成图9和图10，于是就可确

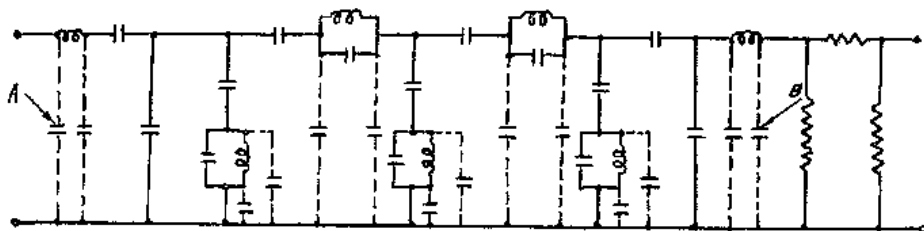


图9 条形磁芯做成的话路滤波器(补偿前)

定最终电路参数。图 12 为最终电路，若与图 7 比较，线圈和电容数量同，但每个数值最大变化为 12%。此外，由于电路变换不要补偿，因此输入输出两端容抗(图 9 A, B)可以忽略不计。图 12 值是理论值，条形磁芯的输入端输出端应分别并联一个 $7pF$ 电容。

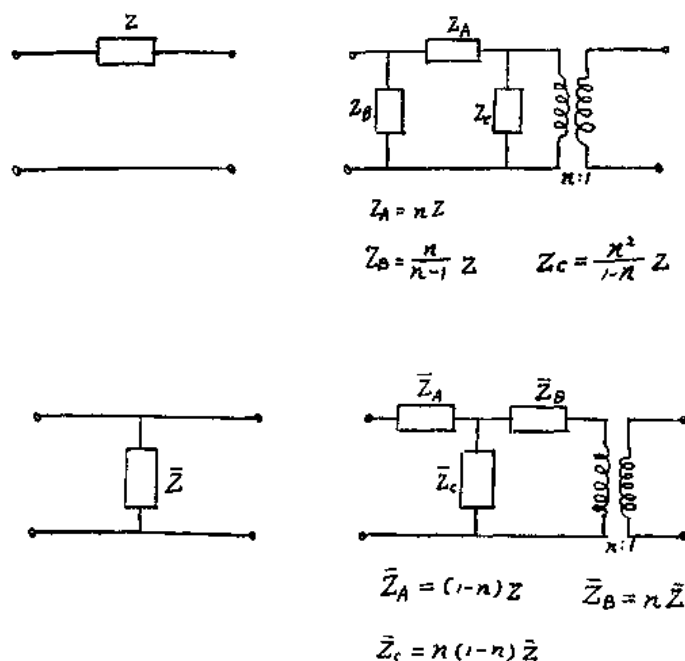


图 10 Norton 变换

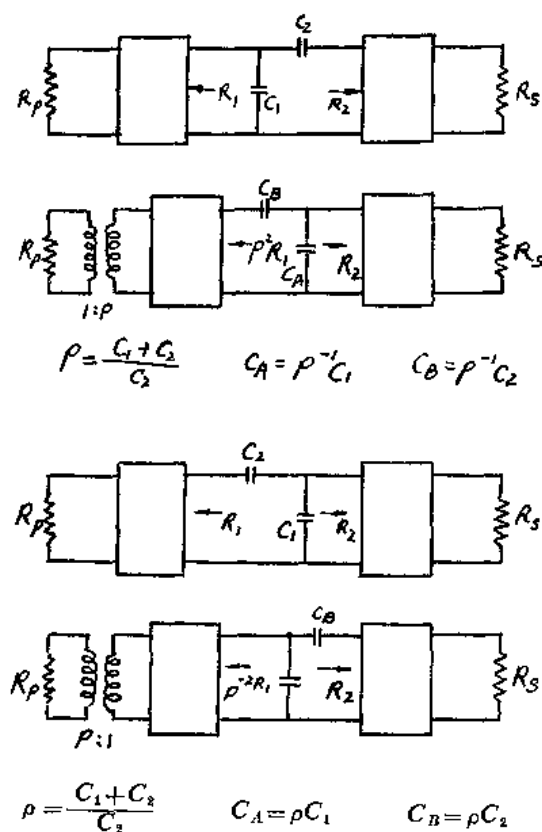


图 11 电容元件 Norton 变换

The diagram shows a ladder network connected between two horizontal lines. The network consists of the following components in sequence from left to right:

- An inductor labeled L_a in series with the top line.
- A shunt branch connected to the bottom line, containing a capacitor in series with an inductor.
- A series inductor on the top line.
- A shunt branch connected to the bottom line, containing a capacitor in series with an inductor.
- A series inductor on the top line.
- A shunt branch connected to the bottom line, containing a capacitor in series with an inductor.
- A series inductor on the top line.
- A shunt branch connected to the bottom line, containing a single capacitor.
- A series inductor on the top line, labeled L_b .
- A shunt branch connected to the bottom line, containing a capacitor in series with an inductor.
- A final shunt branch connected to the bottom line, containing a single inductor.

 Below the diagram, five frequencies are marked: f_{10} , f_8 , f_6 , f_4 , and f_2 , each aligned with a specific component or section of the network.

图 12 补偿静电耦合电容的最终电路

Lfi: 各寝耗峰线圈位置

图 13 条形磁芯绕组位置和损耗峰关系

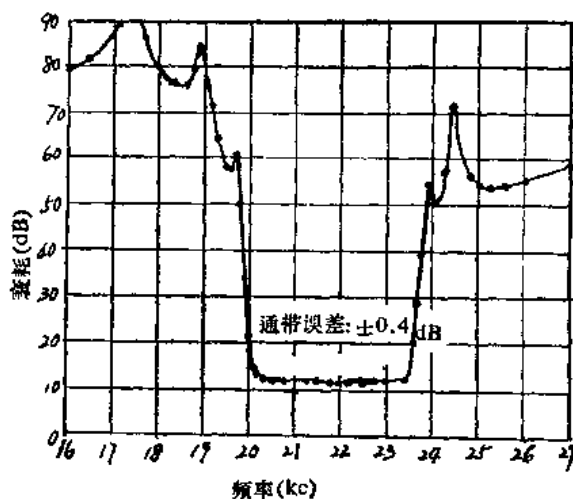


图 14 条形磁芯做成的话路滤波器特性

结 论

本文目的是为了使滤波器经济化,同时也探讨了常用材料和磁芯形状的改善。

参考文献

- 〔1〕重井・田中ほか：試作フレライトブロックコアの特性，通研経過資料，第1488号，1964
〔2〕田中公男：ろ波器における磁心間の結合が伝送特性に及ぼす影響について，通研成果報告，第2368号，1964

译自“ブロック形磁心を用いたろ波器研究”一文, 研究化实用报告.
1965. 8. pp 1507~1513

载波电话 L-C 分路滤波器设计探讨

分路滤波器是载波终端机中较贵的部件。为了使终端设备经济化,电抗性 L-C 分路滤波器要考虑三个问题。

第一个问题是元件参数偏差,第二问题是条形磁芯新电感器结构,第三是线圈绕组性能。

研究表明,可以设计出更合理和简单的分路滤波器。

1. 序 言

分路滤波器是载波终端机中较贵的部件,它可以用电抗性 L-C 滤波器,晶体滤波器和机械滤波器来实现,但对我们来说,电抗性 L-C 滤波器的综合设计比晶体滤波器和机械滤波器好,而分路滤波器特性和元件间关系在制造过程中是一项重要问题。

本文阐述下面三个问题:第一是滤波器性能和元件参数偏差之间的关系,结果表明,分路滤波器可以用偏差 $\pm 2\%$ 电容组成。第二是条形磁芯新电感器结构,它可以把几个电感器做在一个条形磁芯上,各电感器特性彼此互不影响,可以满足分路滤波器严格要求。第三是线圈绕组性能,结果表明,一般要求严格的分路滤波器绕组可以用自动绕线机实现。

图 1 为分路滤波器所必须满足的频率特性,它由聚苯乙烯薄膜电容铁氧磁芯线圈和匹配电阻网络构成,电感线圈变化范围为 $\pm 0.5\%$ 。

分路滤波器是一种曲折型特性,它用十四个电容器和七个线圈组成。图 2 为其网络,按照电感调节补偿电容偏差,方法是把损耗峰调到精确频率。

带通下边带有三个峰,上边带有一个峰。

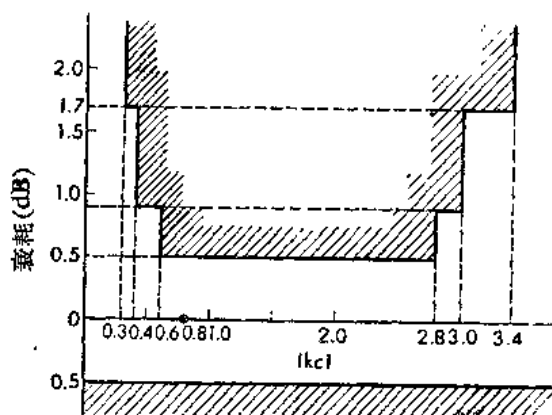


图 1 频率特性(V-l-Tr, CnTr)

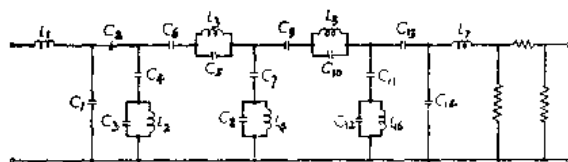


图 2 分路滤波器网络

2. 分路滤波器元件偏差

当电感器可变时,只能用电容来考虑偏差问题,通常采用 $\pm 0.3\%$ 电容,但这种电容不易获得,而且成本高。虽然可用精密电容,但在文献上还未看到有关分路滤波器元件在理论上最大可允许偏差的说明。

成批生产的电容通常偏差为 $\pm 2\%$ 。

本节用实验来探讨分路滤波器电容 $\pm 2\%$ 偏差的可能性。

2.1 实验方法

滤波器通带选择为 20.3 到 23.4 KC。

图3和图4为采用精密电容器做成的分路滤波器和标准滤波器频率特性,然后把数值小的电容器加到每一个电容上来模拟偏差,特性偏差可根据标准频率特性测出。

2.2 偏差分析

首先要研究电容器正负偏差之间关系。

电容偏差效应考虑为 $\pm 2\%$,图5为 C_{12} 实验结果,表明 $\pm 2\%$ 偏差得到效应形式同,二者仅符号相反。

其次只是当一个电容偏差为 $+2\%$,其余电容值没有偏差时,才要考虑偏差问题。图6为所有电容实验结果。

用线圈可以补偿一定电容偏差,把衰减峰调到精确频率就可对电容偏差进行补偿。

图6实线为调整谐振频率之前的偏差,虚线为调整后的偏差。

按照调节前频率特性总效应,电容可以分成三组:

大 $C_1, C_3, C_5, C_8, C_{10}, C_{12}$

中 C_6, C_9, C_{14}

小 $C_2, C_4, C_7, C_{11}, C_{13}$

其次要考虑线圈调节效应,调节极点 P_4 和 P_5 ,就不要补偿 C_6, C_9 偏差,因为 C_6, C_9 效应比调节后其它电容效应要大得多。

图6虚线表明用线圈补偿后 $C_1, C_3, C_5, C_8, C_{10}, C_{12}$ 和 C_{14} 电容变化产生的特性偏差,这里特性偏差小于 0.1dB ,图6实线和虚线之间差异如下:

对于电容 C_3 和 C_8 来说,二根曲线具有同样特点,这意味线圈补偿在同样特点下可使偏差更小。

对于电容 C_1, C_5 和 C_{12} 来说,虚线曲线特点与实线曲线特点不同。

要完善调节极频率是有困难的,但当调到 100C/S 时,特性偏差小于 $\pm 0.1\text{dB}$ 。

2.3 许多电容偏差效应

当许多电容有偏差时,应根据标准特性考虑偏差。

图7和图8分别为二个电容 C_5 和 C_8 和三个电容 C_5, C_8 和 C_{12} 偏差产生的特性偏差。在这些图中都有二条曲线,一条是调节极频率前的曲线,另一条是调节后的曲线,虚线表示电容 C_5, C_8 和 C_{12} 有各自偏差时的特性偏差算术之和。

每个图中二条曲线表示许多电容偏差产生的特性偏差基本上与每个电容偏差产生的特性偏差简单算术之和相等。

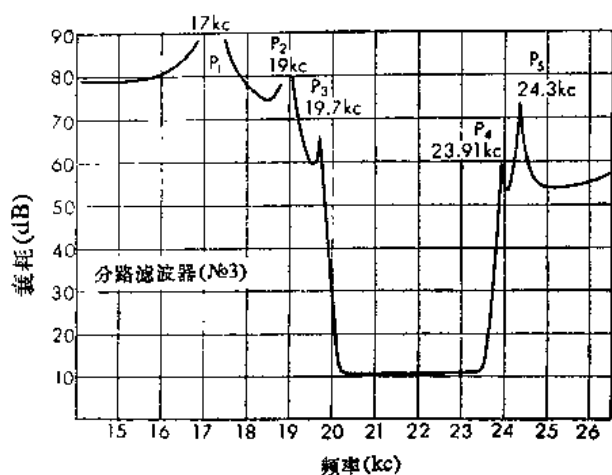


图3 标准滤波器频率特性

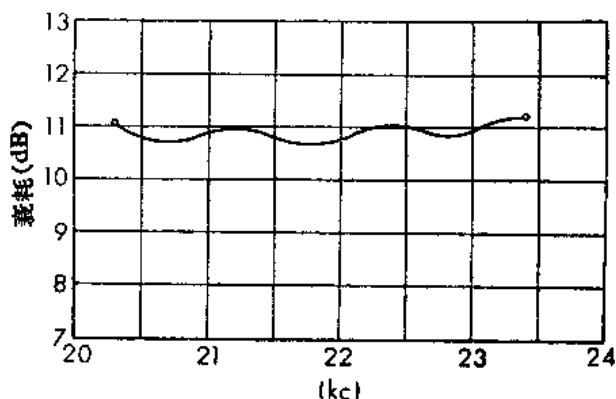


图4 通带标准特性

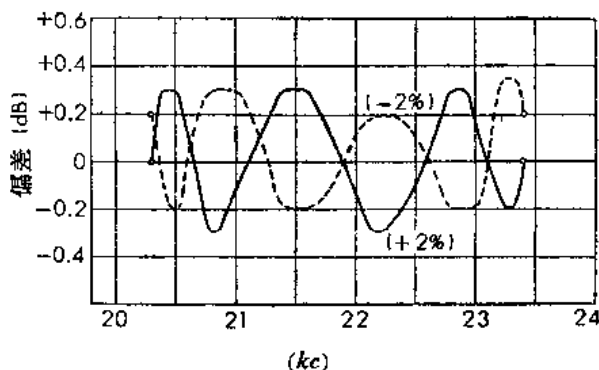


图5 C_{12} 偏差 $\pm 2\%$ 产生的特性变化(补偿前)

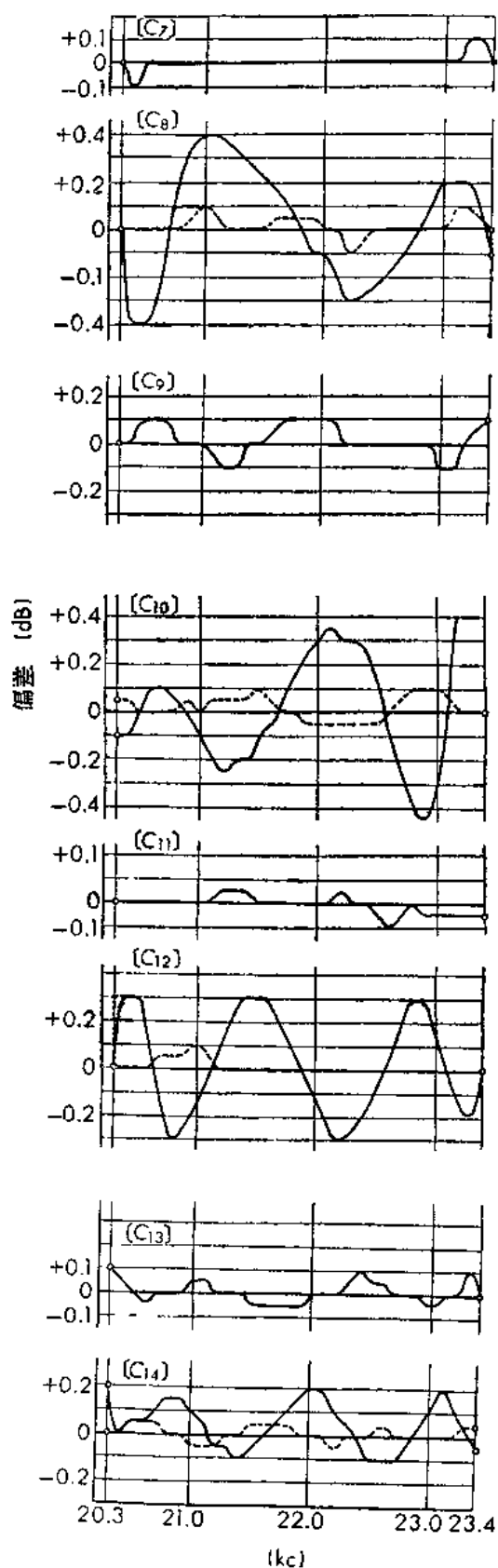
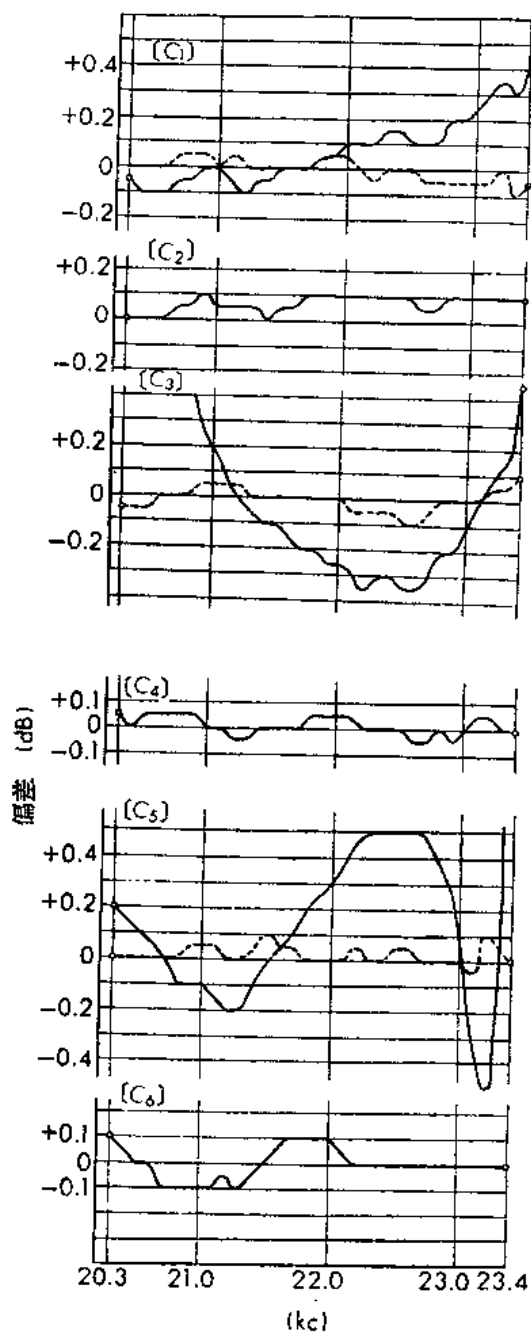
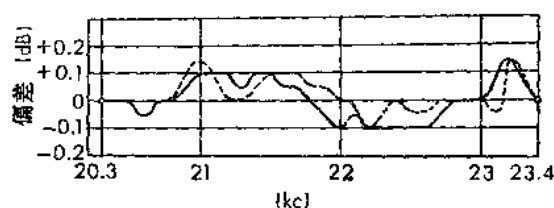
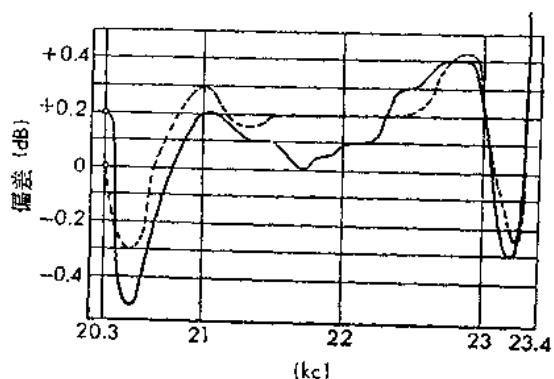


图6 每个电容偏差 $+2\%$ 产生的特性偏差



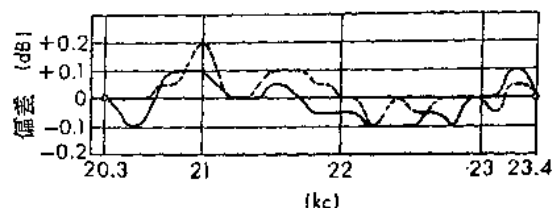
(补偿后)



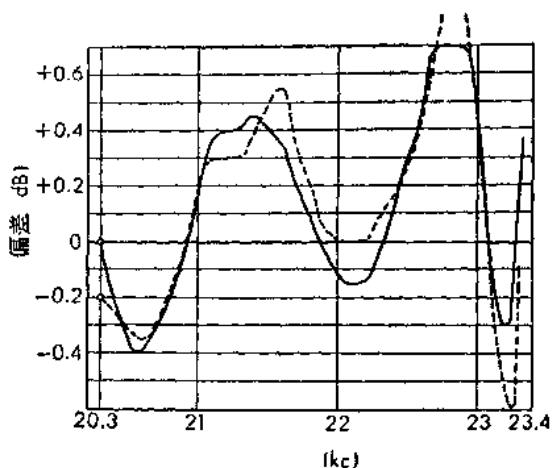
(补偿前)

实线: C_5, C_8 偏差+2%产生的衰减特性偏差
虚线: 每个电容产生的特性偏差之和

图7 各电容特性偏差



(补偿后)



(补偿前)

实线: C_5, C_8, C_{11} 偏差+2%产生的特性偏差
虚线: 各个偏差之和

图8 各电容特性偏差

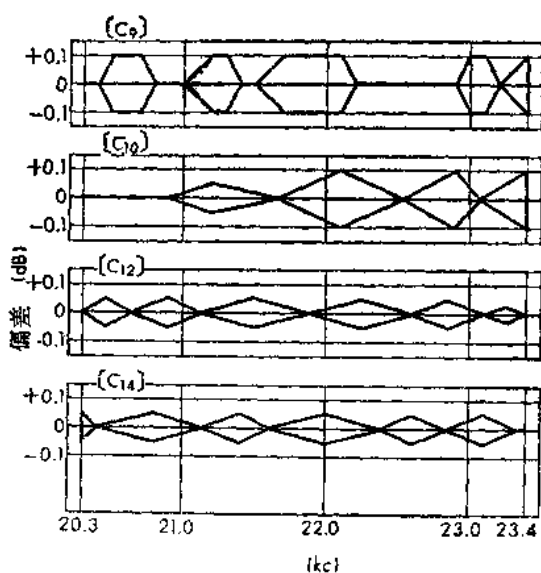
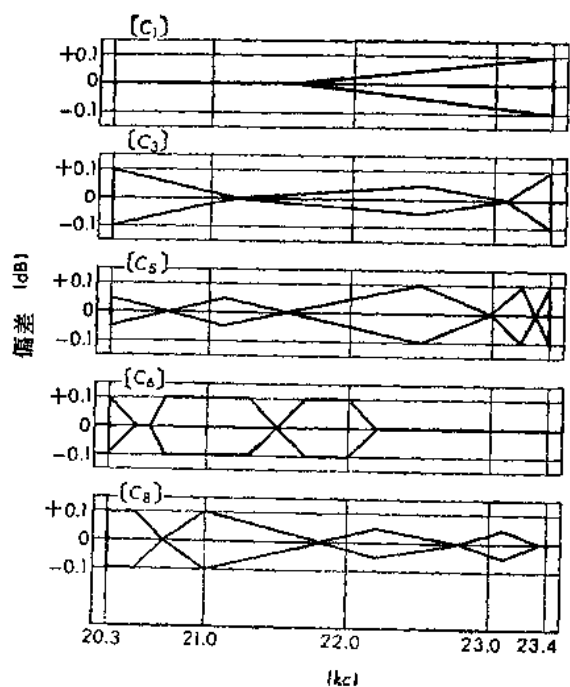


图9 补偿后每个电容偏差±2%产生的特性偏差