

电子学研究所
(一) 4-81-15
201

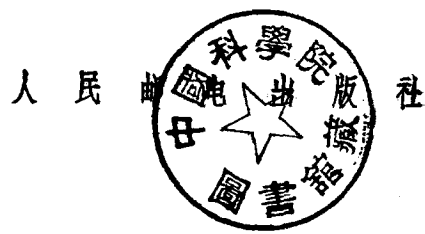
无綫电設備的回路零件

苏联 B. A. 沃尔柯夫 著

徐秉鈺 楊國雄 陳堯熙 譯

黃香薇 黃順吉 周錫齡

馮 秉 銓 校



В. А. ВОЛГОВ

ДЕТАЛИ КОНТУРОВ РАДИОАППАРАТУРЫ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1954

內 容 提 要

本書論述在無線電接收機，小功率無線電發射機和無線電測量儀器中所應用到的長波、中波、短波和超短波迴路的設計和結構。本書闡明了迴路理論的許多個別問題，給出了主要参数的求法，并研討了電容器、電感線圈、諧振線和空腔諧振器。此外，還列入一些結構圖。

本書可供無線電工業和科學研究機構中在無線電儀器設計和結構方面工作的工程師技術工作人員們之用，也可供無線電專業的高等學校和中等專科學校的学生們和熟練的無線電愛好者們之用。

无 綫 電 設 備 的 回 路 零 件

著 者:	苏联 В. А. 沃尔柯夫
譯 者:	徐秉鈺 楊國雄 陈堯熙 黃香馥 黃順吉 周錫齡
校 者:	馮 秉 銓
出版者:	人 民 郵 電 出 版 社 北京東四區6條胡同13號
印刷者:	人民郵電出版社南京印刷廠 南京太平路戶部街15號
發行者:	新 華 書 店

書號:无128 1957年1月南京第一版第一次印刷 1--4,900 册
850×1168 1/32 164頁印張10 $\frac{8}{32}$ 印刷字數246,000字 定價(10)1.70元

★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號★

校閱者序

本書專門闡述無線电机件中，特別是無線電接收機中所用到的各種回路的設計和結構。

本書的需要是由蘇聯共產黨第19次黨代表大會所提出的關於繼續在超短波方面擴大無線電通信和無線電廣播，以及關於迅速增長無線电机件生產這兩個任務提出的。

書中闡明了有關電容器、電感線圈、寬波段回路、諧振線和空腔諧振器的設計問題以及結構上的製造問題。書中列入一些典型的計算實例並給出了大量的各種各樣的結構。本書約有一半的篇幅是用來論述有關超短波回路的設計問題和結構上的製造問題。

儘管回路的設計和結構上的製造有着巨大的意義，到目前為止在技術文獻中還沒有關於這些問題的統一的、系統化的、指導性的書籍。

本書可供廣大的讀者——工廠、設計局和科學研究機構的設計師們，實驗員們以及其他工程技術工作人員們，和高等學校及中等技術學校的學生們之用。本書對熟練的無線電愛好者們也有所裨益。

無疑的，本書將幫助各種專家們掌握回路的設計，因而它將促使我們的無線电机件的進一步改善。

В.И. 西福羅夫

301152

作 者 的 話

具有歷史意义的苏联共产党第19次党代表大会在学者們和工程师們的面前提出了一系列新的任务，就是要繼續掌握超短波波段，提高无綫电机件生產的質量及擴大生產的規模。

提高无綫电机件的質量指标这一任务的解决是和振盪回路的研究問題息息相关的。苏联学者們有許多著作是探討有关振盪回路元件的設計問題的，其中必須指出的有：*A.A.科洛索夫 (A.A. Колосов)*，*B.T.雷恩涅 (B.T. Ренне)* 和 *П.Г.潘諾夫 (П.Г. Панов)* 关于电感綫圈和电容器設計方面的著作；*Г.Т.希齐科夫 (Г.Т. Шитиков)* 和 *С.С.阿尔先諾夫 (С.С. Аршинов)* 的有关綫圈和电容器的穩定度問題的著作；*Г.В.奇孙柯 (Г.В. Кисунько)* 和 *М.С.聶孟 (М.С. Нейман)* 关于空腔諧振器和諧振綫方面的著作以及許多其他的著作。这些作品都是散見在各种不同的書本和雜誌上而沒有加以系統化和分析整理，这样就使广大讀者在实际应用它們时感到困难。有关这些問題的專著，例如 *A.A.科洛索夫* 的“无綫电接收机的綫圈”和 *С.И.哥諾罗夫斯基 (С.И. Гоноровский)* 的“无綫电發射机LCR的設計”都是远在20年前出版的，这些書差不多都成了圖書文献上的珍本。此外，这些書完全沒有涉及有关超短波回路的設計和結構問題。因此，在許多場合下，回路的設計就或者用无綫电爱好者的方法，或者根据實驗数据來進行。这就使設計不准确，并且不可能考慮到一系列決定回路性質的情況。

本書的任务就是想來部分地填補現存的这一个空白点。書內敘述了所有波段（大約从100千赫到10,000兆赫）的无綫电收信机，小

功率无綫电發信机，測量用机件內所采用的振盪回路的設計問題和一般的結構問題。关于各种各样元件的詳細的結構以及这些元件的制造工藝問題，在本書中只是簡單地說了一下，因为 这些問題在 **В.Б. 別斯特雅可夫 (В.Б. Пестряков)** 和 **Д.Д. 薩契科夫 (Д.Д. Сачков)** 的“无綫电仪器部件及零件的結構”以及 **Ф.Е. 耶夫西也夫 (Ф.Е. Евсеев)** 和 **В.А. 茹可夫 (В.А. Жуков)** 的“无綫电器材制造”兩書中已有足够詳細的討論)。欲深入地研究在本書中所沒有充分討論的某一个專門的問題，那就应查閱本書最后的参考文献目錄中所列举的書刊。

苏联科学院通信院士 **В.И. 西福罗夫** 曾審閱和校訂手稿，作者謹向他表示謝忱，作者并向曾為本書寫下关于溫度补偿一節的技術科學副博士 **С.С. 阿尔先諾夫** 致謝。

作者也向在繪制插圖和准备付印手稿方面做了許多工作的 **М.Ф. 伏尔柯娃** 致謝。

В.А. 沃爾柯夫

目 錄

校閱者序

作者的話

第一章 振盪回路及其參數..... (1)

第一節 引言..... (1)

第二節 回路的主要參數..... (2)

第三節 損耗..... (6)

第四節 穩定度..... (16)

第五節 溫度補償..... (21)

第六節 回路的設計..... (26)

第二章 電容器和電阻..... (30)

第一節 電容器的一般性質..... (30)

第二節 固定電容器..... (37)

第三節 可變電容器..... (51)

第四節 可變電容器的計算..... (54)

第五節 穩定的電容器..... (65)

第六節 可變電容器的結構..... (70)

第七節 微調電容器..... (80)

第八節 電阻..... (83)

第三章 電感綫圈..... (89)

第一節 電感綫圈的一般性質..... (89)

第二節 電感綫圈繞法的種類..... (91)

第三節 綫圈尺寸的計算..... (98)

第 四 節、綫圈的电感量和匝数的計算.....	(100)
第 五 節、电感綫圈的固有电容.....	(110)
第 六 節、电感綫圈的品質因数.....	(113)
第 七 節、互感量和耦合系数的計算.....	(127)
第 八 節 屏蔽綫圈.....	(132)
第 九 節 分段綫圈.....	(138)
第 十 節 鉄心綫圈.....	(139)
第十一節 变感器.....	(155)
第十二節 穩定的綫圈.....	(163)
第十三節、高频扼流圈.....	(168)
第十四節、电感綫圈的結構.....	(172)
第 四 章 过渡型寬波段回路.....	(184)
第 一 節 寬波段回路的一般知識.....	(184)
第 二 節 接触式回路.....	(185)
第 三 節 非接触式回路.....	(187)
第 四 節 非接触式回路級的結構.....	(194)
第 五 節 圓柱型回路.....	(198)
第 五 章 諧振綫.....	(202)
第 一 節 諧振綫的一般特性.....	(202)
第 二 節 諧振綫的等效参数.....	(212)
第 三 節 諧振綫的参数的計算.....	(224)
第 四 節 諧振綫構造的一般問題.....	(237)
第 五 節 諧振綫的結構元件.....	(249)
第 六 節 工作在諧振綫上的級的結構.....	(268)
第 六 章 空腔諧振器.....	(279)
第 一 節 空腔諧振器的一般性質.....	(279)

第 二 節 空腔諧振器的計算.....	(283)
第 三 節 空腔諧振器元件的構造.....	(293)
第 四 節 空腔諧振器的結構.....	(297)
参考文献索引.....	(301)

附 錄

表 I. 額定电容量的等級.....	(311)
表 II. 額定电阻的等級.....	(312)
表 III. 金屬和合金的主要数据.....	(313)
表 IV. 高頻电介質的数据.....	(314)
表 V. 浸漬材料和塗敷材料.....	(318)

索 引

第一章

振盪回路及其参数

第一節 引言

電的振盪回路就是由電容、電感和電阻所組成的電路。在此電路中，電流和電壓能產生周期性的振盪。

振盪回路是無線電接收機，發射機和許多其他類型無線電機件的最重要的附件。無線電機件的電的、結構的和使用的指標在很大的程度上決定於所採用的回路。

按照裝置的情況，回路可分為集中参数的回路和分佈参数的回路。集中参数的回路是電感線圈，電容器和電阻串聯所組成的。電感線圈，電容器和電阻稱為振盪回路的元件。

按照外加電動勢的連接方法，回路可分為并聯回路和串聯回路。在并聯回路中外加電動勢的電源和回路的元件相并聯；而在串聯回路中外加電動勢的電源則是和回路元件相串聯（圖 1—1）。

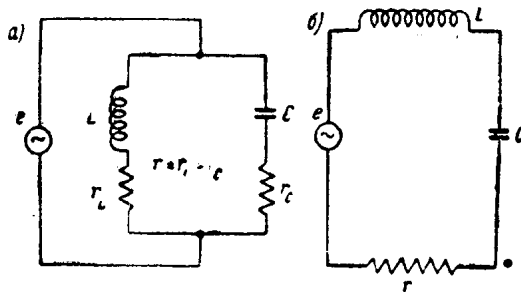


圖 1—1 迴路的線路圖：

a—并聯回路； b—串聯回路

以下將說明串聯回路的某些特性和并聯回路有顯著的區別。既并聯而又串聯的回路在实际中有廣泛的應用。

集中參數的回路用于長波、中波、短波和米波的無線電設備的射頻電路中。這種回路的理論在A.И.貝爾格院士，B.П.阿謝也夫院士和其他蘇聯學者的著作中已經有詳細的闡述。

分佈參數的回路是由導線系統所構成，沿着這些導線分佈有電感、電容和電阻。沿着這些導線可能產生駐波電流和電壓，並產生諧振現象。稱為諧振線的短截線段，以及由所謂空腔諧振器的封閉金屬殼所形成的諧振系統，是分佈參數回路的例子。這種類型的回路被采用于厘米波，分米波以及部分米波的無線電設備的各種高頻級中。

為了簡化無線電技術上的計算起見，一般都以在一定範圍內其性質與分佈參數回路相等效的集中參數回路來代替分佈參數的回路。等效回路的參數稱為等效參數。等效參數的理論是由M.C. 聶孟教授研究出來的。

第二節 回路的主要參數

在無線電技術的理論課中將詳細地研究振盪回路的特性，這裡我們只列出為以後的敘述所必須的一些基本原理。

如所周知，由電感 L 、電容 C 及電阻 r 所組成的振盪回路，在無線電技術方面可以用以下四個主要參數來表征：諧振頻率（固有振盪頻率），特性阻抗，品質因數以及當諧振時在外加電動勢兩點之間回路所具有的阻抗。

諧振頻率 任何型式回路的諧振頻率 f_0 由下列條件來決定：

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C},$$

由此可得

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}; \quad (1-1)$$

相应的波長等于:

$$\lambda_0 = 2\pi c\sqrt{LC}。$$

在此式中 L 以亨表示; C 以法表示; f 以赫表示; λ 以米表示, 而光速 $c = 3 \times 10^8$ 米/秒。

特性阻抗 諧振时, 回路元件的电抗称为回路的特性阻抗 ρ :

$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}。 \quad (1-2)$$

如果电感以亨表示, 电容以法表示, 則特性阻抗以欧表示。

电阻 回路电阻 r 由本身的和反射的电阻所組成。

回路本身的电阻取决于綫圈和电容器中的損耗; 反射电阻則取决于不同的負載, 例如电子管的輸入和輸出阻抗, 特殊的分流器, 以及有功的負載。

品質因数 回路的品質因数 Q 是由 2π 乘回路儲存的全部振盪能量 W 和一个周期內的損耗 P_n 的值來決定:

$$Q = 2\pi \frac{W}{P_n}。 \quad (1-3)$$

在集中参数回路中, 品質因数表示当諧振时, 在电感上 (或电容上) 的电压比和回路元件相串联的外加电动势大多少倍。品質因数之值可以用特性阻抗 ρ 和电阻 r 的比值來表示:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 C r}。 \quad (1-4)$$

在某些情况下宜用倒数值:

$$\delta = \frac{1}{Q}, \quad (1-5)$$

δ 称为回路的衰減。

回路品質因數（或者衰減）是回路的重要参数，因为它决定回路的选择性，通頻帶，电压傳輸，效率，与其他元件耦合的大小等等。

諧振阻抗 当諧振时外加电动势兩端間的回路阻抗跟回路的型式有很大的关系，因此我們來討論有关并联的和串联的回路的阻抗問題。

諧振时，并联回路总的阻抗是純电阻而且达到最大值（如果 $Q \gg 1$ ）。不在諧振頻率上时，諧振阻抗減少并且具有电抗的性質：对較低的頻率來說是电感性的，而对較高的頻率來說是电容性的。

在諧振时并联回路的阻抗称为并联諧振阻抗或等效阻抗；其大小由下式來决定

$$R_0 = \frac{\rho^2}{r} = \rho Q, \quad (1-6)$$

其中 ρ ， r 及 R_0 的單位为欧。

实际上往往采用所謂回路不完全的接入，在这个情况下，外电路不是和全部回路連接，而僅僅和它的某部分連接。圖 1—2 中繪出了三种常用的不完全接入的綫路；在圖 1—2, a 的綫路中，外电

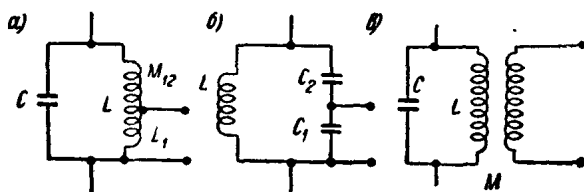


圖 1—2 不完全接入的綫路

路與電感的一部分連接；在圖 1—2, δ 的綫路中，外電路與電容的一部分連接，在圖 1—2, σ 的綫路中，外電路是借助於變壓器來連接的。

在無線電發送設備技術中通常稱全部接入的回路為第一類型的回路；按照圖 1—2, α 綫路接成的不完全接入的回路稱為第二類型的回路，而按照圖 1—2, δ 綫路接成的不完全接入的回路稱為第三類型的回路。

我們用接入係數 p 來表示不完全接入的特性，此係數代表回路輸入端的電壓和回路最大電壓的比值。對於圖 1—2, α 中的綫路

$$p = \frac{L_1 + M_{12}}{L}; \quad (1-7)$$

對於圖 1—2, σ 中的綫路

$$p = \frac{C}{C_1}; \quad (1-8)$$

對於圖 1—2, δ 中的綫路

$$p = \frac{M}{L}。 \quad (1-9)$$

在這些表示式中，

L 是回路的總電感；

C 是回路的總電容；

L_1 和 C_1 是與外電路並聯的電感或電容；

M_{12} 是回路綫圈公共部分間的互感；

M 是綫圈間的互感。

不完全接入的回路的諧振阻抗等於：

$$R_o = \frac{p^2 \rho^2}{r} = p^2 \rho Q_o. \quad (1-10)$$

改变 p 之值，可以改变諧振阻抗，所以不完全接入法被广泛地用来選擇最佳的耦合。

按照綫路 a 和 b 接成的不完全接入的同路中也会發生串联諧振，在串联諧振点附近对同路总阻抗的大小和性質將產生影响。

諧振时串联同路的阻抗同样也是純阻，但其值为最小，等于同路的电阻 r 。此电阻称为串联諧振电阻。

頻率不是諧振頻率时，串联同路的阻抗將增加并且具有电抗的性質：对較低的頻率來說是电容性的，而对較高的頻率來說則是电感性的。

第三節 損 耗

同路电阻 r 是由对于高频电流的導綫电阻，介質損耗所引入的电阻，屏蔽、鉄心和位于同路附近的其他元件所引入的电阻，輻射电阻以及各种負載所引入的电阻所組成。

讓我們來研究一下所列举的总电阻的这些項目，并决定各項对同路参数的影响。

導綫电阻 如所周知，由于趋膚效应的作用直導綫对交流电的电阻大于对直流电的电阻（即所謂欧姆电阻）。这个現象的本質是在于：当交变电流沿着導綫通过时建立了磁場，在这个磁場的影响下，導綫內產生了感应电流。这个电流和原來的电流相互作用引起沿導綫截面电流的重新分配，結果使得截面的外部电流密度增加，而內部的电流密度下降。在射頻时，導綫內層的电流几乎等于零。

讓我們來研究圓截面的直導綫的趋膚效应。我們引用 A. A. 科洛索夫所提出的解釋，这解釋的特点是非常明顯，尽管还不是十分嚴格的。

圓截面直導綫（圖 1—3）原來的交变电流 i_1 的瞬間方向用箭

头来表示。由这个电流所产生的磁力线 H_1 具有同心圆的形状，而且是顺时针的方向。这个透入导线的磁场在导线中产生了感应电流 i_2 ，此电流建立了二次磁场 H_2 ，其方向与原来的磁场相反。只看导线截面的右边部分，可以看出这个磁场的方向是自下向上的。

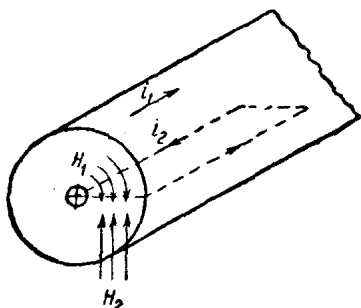


圖 1-3 趨膚效应的發生

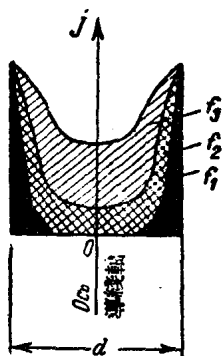


圖 1-4 对于各种不同频率的电流沿导线截面的电流密度分布曲线：

$$f_1 > f_2 > f_3$$

沿着二次磁场 H_2 的力线方向可以确定激起此磁场的电流 i_2 的环行路径和方向。这个方向如图中的虚线所示。把导线截面各部分中电流 i_2 的方向和原来电流 i_1 的方向相比较，可以断定：在导线的外层这些电流的方向相同，而在内部这些电流的方向相反。因此导线外层的电流密度增加，而内部的电流密度下降（圖 1-4）。

电流的不均匀的分布缩小了导线有效的（即通过电流的）截面，亦即增加了导线的电阻。导线对高频电流的电阻可以比其欧姆电阻大好几倍。

如果引用所谓等效层和电流透入深度的概念，则对于交变电流的导线电阻的计算将大大地简化。

让我们假设，所有电流均匀分布在接近导线外表面的某一层上；在这一层的截面中电流密度等于表面电流密度，因此这一层的

截面將等于導綫的全部有效截面，并决定導綫对交变电流的电阻。这一層的厚度 x_0 称为电流的透入深度。对于非磁性材料來說，电流透入深度之值按照下面的公式來决定：

$$x_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (1-11)$$

如果導綫的电阻率的單位为欧·毫米²/米，而頻率为兆赫，則式中 x_0 的單位將为毫米。

对于技术上的計算來說，公式(1-11)取下面的形式較為方便：

$$x_0 = \frac{e}{\sqrt{f}} \quad (1-12)$$

其中

$$e = \frac{1}{2} \sqrt{\rho}$$

如果 f 为兆赫； x_0 之值結果也是毫米；系数 e 之值列于表1-1中。在磁性材料中电流透入深度要小 $\sqrt{\mu}$ 倍。

系 数 e 和 g 之 值

表 1-1

材 料	e	g
銀.....	0.064	2.54×10^{-4}
銅.....	0.066	2.65×10^{-4}
金.....	0.077	3.08×10^{-4}
鋁.....	0.084	3.34×10^{-4}
黄銅*	0.07—0.12	$2.83—4.9 \times 10^{-4}$

* 較大的系数值对应于鋅的含量較多的銅的等級。

導綫对于交变电流的电阻等于：

$$r = \rho \frac{l}{q_0}。$$

其中 q_0 是等效層的截面，等于电流透入深度和截面周長的乘積，而 l 是導線的長度。

計算導線表面电阻时，宜用表面电阻率的概念。表面电阻率表示由已知導体制成的每边为 1 厘米的正方形面積对其已知頻率电流的电阻：

$$R_s = \frac{\rho}{x_s} = g \sqrt{f}。 \quad (1-13)$$

其中 R_s 的單位为欧，而 f 为兆赫。系数 $g = 20\sqrt{\rho} \times 10^{-4}$ 之值如表 1—1 所示。

长度为 l 与宽度为 b 的導电表面的电阻等于：

$$r_s = R_s \frac{l}{b}。 \quad (1-14)$$

在頻率很高时电流透入深度極小，只有千分之几毫米。因此由于机械加工或氧化的結果而呈现出導电表面的各种各样的粗糙不平，將加長电流的路徑，因而使电阻增加。当不平的深度和透入深度可以比較时，以及当不平的方向垂直于电流通过的路徑时，电阻將特別大量地增加。在圖 1—5 中描述了在平整的表面 (a) 以及不平的表面 (b) 兩种情况下电流的路徑。測量証明，在一百兆赫的頻率时不平的表面可使表面电阻增加 50—100% 或更多一些。为了防止这种現象，導电的表面要精細地磨平并且鍍上一層銀，这样可以使導电表面不易为導电不良的氧化物所遮盖。为了保护銀層不

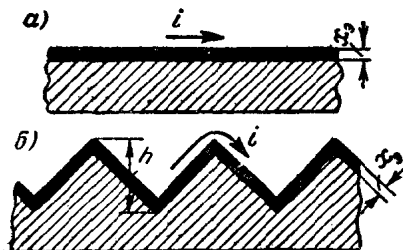


圖 1—5 不平的導电表面对高频电流路徑長度的影响 ($x_s \ll h$)