

高等学校教学用书

無線电技术基础

第二册

B. A. 卡切尔尼可夫 著
A. M. 尼可拉也夫

高等教育出版社

高等学校教学用书



無線电技术基础

第二册

B. A. 卡切尔尼可夫, A. M. 尼可拉也夫著

楊恩澤等譯
答宝澄校

高等教育出版社

本書系根据苏联国立電訊書籍出版社 (Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио) 出版的卡切尔尼可夫 (В. А. Котельников) 和尼可拉也夫 (А. М. Николаев) 合著的“無線电技术基础” (Основы радиотехники) 1954 年版的第二部分譯出的。原書經苏联高等教育部审定为电工学院和电工各系的教科書。

本書旨在說明含有非綫性元件的無線电設備中的过程。所研究的有直流和交流的电压放大器, 限幅器, 电子繼电器和張弛振盪器, 正弦波振盪器, 以及調制, 檢波和变频等过程。重点在于描述物理現象和研究这些現象的一般方法, 并附有例題的演算。

参加本書翻譯的有天津大学楊山, 言率, 北京邮电学院楊恩澤, 易鍾炳, 邓联生, 蔡六瑜, 汪雍, 陈通和舒賢林。譯稿是由天津大学曾宝澄校訂的。

無 綫 电 技 术 基 础

第 二 册

В. А. 卡切尔尼可夫, А. М. 尼可拉也夫著

楊恩澤等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

統一書號 15010·479 開本 850×1168 1/32 印張 9.1/16 字數 227,000

一九五七年八月第一版

一九五七年八月上海第一次印刷

印數 1—3,000

定價(10) ¥1.50

目 录

第一章 緒論	1
§ 1-1. 非綫性阻抗	1
§ 1-2. 研究具有非綫性阻抗的綫路的基本方法	8
第二章 無慣性綫路中的非綫性阻抗、限幅器、直流电压放大器	11
§ 2-1. 本章內容	11
§ 2-2. 当控制參量值已知时具有一个非綫性阻抗的綫路的分析	11
§ 2-3. 二極管电振荡限幅器	15
§ 2-4. 單管直流电压放大器	19
§ 2-5. 多級直流电压放大器	25
§ 2-6. 有几个非綫性阻抗的綫路	29
§ 2-7. 有反作用的綫路	30
第三章 在有弱交变电压綫路中的非綫性阻抗、微弱振蕩的放大、 正弦和脉冲振蕩通过最簡單的綫性放大綫路	36
§ 3-1. 非綫性阻抗的等效綫性綫路	36
§ 3-2. 电容器耦合的放大器	43
§ 3-3. 变压器耦合的放大器	49
§ 3-4. 脉冲通过电容器耦合及变压器耦合的放大器	52
第四章 用放大器的电子繼电器	66
§ 4-1. 电子繼电器. 引言	66
§ 4-2. 用放大器的电子繼电器的一般理論	66
§ 4-3. 用放大器的电子繼电器中的躍变过程	78
§ 4-4. 一些电子繼电器的綫路	82
第五章 用放大器的張弛振蕩器	86
§ 5-1. 張弛振蕩器. 引言	86
§ 5-2. 用放大器的張弛振蕩器	87
§ 5-3. 張弛振蕩器中緩慢变化段上的过程. 振蕩的周期	91
§ 5-4. 期待張弛振蕩器	95
§ 5-5. 用直流电压放大器的張弛振蕩器綫路	98
§ 5-6. 对称張弛振蕩器	99

§ 5-7. 封鎖振蕩器	103
§ 5-8. 張弛振蕩器的同步	114
第六章 利用伏安特性有下降段的非綫性阻抗的繼電器和張弛振蕩器	117
§ 6-1. 伏安特性有下降段的非綫性阻抗	117
§ 6-2. 用充氣管的繼電器	118
§ 6-3. 用充氣管的張弛振蕩器	121
§ 6-4. 利用負阻效应的电子繼電器和張弛振蕩器	126
§ 6-5. 具有与有下降段的非綫性阻抗相類似的放大器的綫路	130
第七章 平衡穩定性的一般理論	131
§ 7-1. 引言	131
§ 7-2. 構成特征方程式的复数方法	132
§ 7-3. 罗茲-呼尔維奇定則	138
§ 7-4. 幅度-相位特性曲綫法	141
第八章 强正弦振蕩在非綫性阻抗上的作用	151
§ 8-1. 引言	151
§ 8-2. 正弦电压在非綫性阻抗上的作用(一般情况)	151
§ 8-3. 非綫性阻抗特性的折綫近似表示法	153
§ 8-4. 非綫性阻抗特性的幂級数近似表示法	158
§ 8-5. 非綫性阻抗特性的指数函数近似表示法	163
§ 8-6. 任意形式的小电压及强的正弦电压同时作用于非綫性阻抗时所起的作用	166
§ 8-7. 几个强的正弦振蕩在非綫性阻抗上的作用	170
第九章 正弦振蕩的諧振放大和倍頻	176
§ 9-1. 引言	176
§ 9-2. 微弱振蕩的諧振放大	177
§ 9-3. 强振蕩的諧振放大	177
§ 9-4. 諧振放大器中的能量关系	184
§ 9-5. 柵流的影响	187
§ 9-6. 倍頻	187
第十章 調制	190
§ 10-1. 引言	190
§ 10-2. 柵極調幅	191
§ 10-3. 鉅極調幅	197
§ 10-4. 平衡調幅	198
§ 10-5. 頻調和相調	201

第十一章 檢波、整流和变频	202
§ 11-1. 引言	202
§ 11-2. 鉍極檢波器	205
§ 11-3. 二極管檢波器	209
§ 11-4. 柵極檢波器	217
§ 11-5. 頻調振蕩和相調振蕩的檢波	219
§ 11-6. 高频电压的量測	221
§ 11-7. 整流器	222
§ 11-8. 变频器	223
第十二章 正弦波的电子管自激振蕩器	225
§ 12-1. 引言	225
§ 12-2. 用放大器的正弦波自激振蕩器(弱振蕩)	226
§ 12-3. 用放大器的正弦波自激振蕩器(强振蕩). 准綫性法, 軟激励和硬激励的工作情况	232
§ 12-4. 正弦波 LC 自激振蕩器	239
§ 12-5. 正弦波 rC 自激振蕩器	245
§ 12-6. 利用特性曲綫上有下降段的非綫性阻抗的正弦波自激振蕩器	253
§ 12-7. 諧波对于正弦波自激振蕩器的影响	255
第十三章 正弦波自激振蕩器中的几种現象. 相位平面	260
§ 13-1. 間歇振蕩	260
§ 13-2. 附加(寄生)振蕩的自激	264
§ 13-3. 迁移現象	274
§ 13-4. 曳引現象	282
§ 13-5. 相位平面. 等角綫法	291
附录	296
中俄名詞对照表	302

第一章 緒論

§ 1-1. 非綫性阻抗

現代無線電工程中廣泛地采用电子管及其他非綫性阻抗。用它們來實現電振蕩的發生、放大、頻率和波形的變換，以及調制和檢波。

為了明了上述過程在無線電工程中所起的作用，我們來討論幅度調制(幅調)無線電話的方框圖和無線電定位器的簡化方框圖。

無線電話方框圖分為無線電發射機方框圖和無線電接收機方框圖。我們首先討論圖 1-1 所示的無線電發射機方框圖。在此圖上也表示出方框圖各部份電壓的時間圖^①。

高頻振蕩器產生高頻正弦振蕩。這個振蕩由高頻放大器放大並送到調制級。在這級中另外還作用有由傳聲器送來並預先由低頻放大器放大的音頻振蕩。在調制級進行幅度調制，即高頻振蕩的幅度隨着得自傳聲器的電壓變化而變化。然後幅調振蕩又再被放大，由天綫發射出去。

這樣，在無線電話發射機中，我們碰到了正弦振蕩的發生、已調制和未調制高頻振蕩的放大、音頻振蕩的放大和調制。

現在來看接收機。在圖 1-2 中示出所謂超外差式幅調振蕩接收機的方框圖和各部份電壓的時間圖。

由發射機的電磁場在接收天綫中所引起的振蕩，首先由調諧

① 圖 1-1、1-2 和 1-3 中時間圖的號碼系指與各該時間圖相對應的方框圖中的各點。

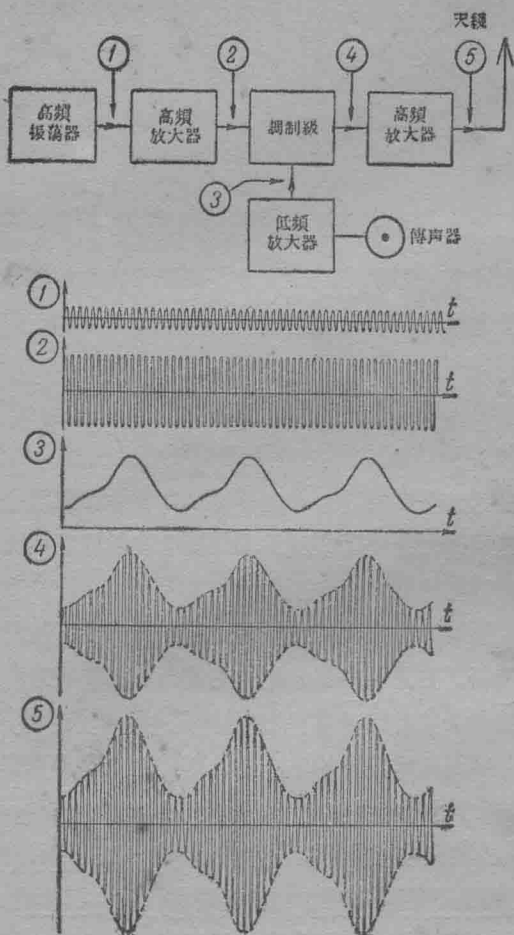


圖 1-1.

在載波振蕩頻率的高頻放大器來放大。為了得到高質量的接收，在將振蕩送到檢波器以前，振蕩的放大量應該很大；這就要求採用多管的高頻放大器。當由對某一發射機的接收轉向對另一發射機的接收時，必須將多管放大器由某一頻率換調到另一頻率，要換調

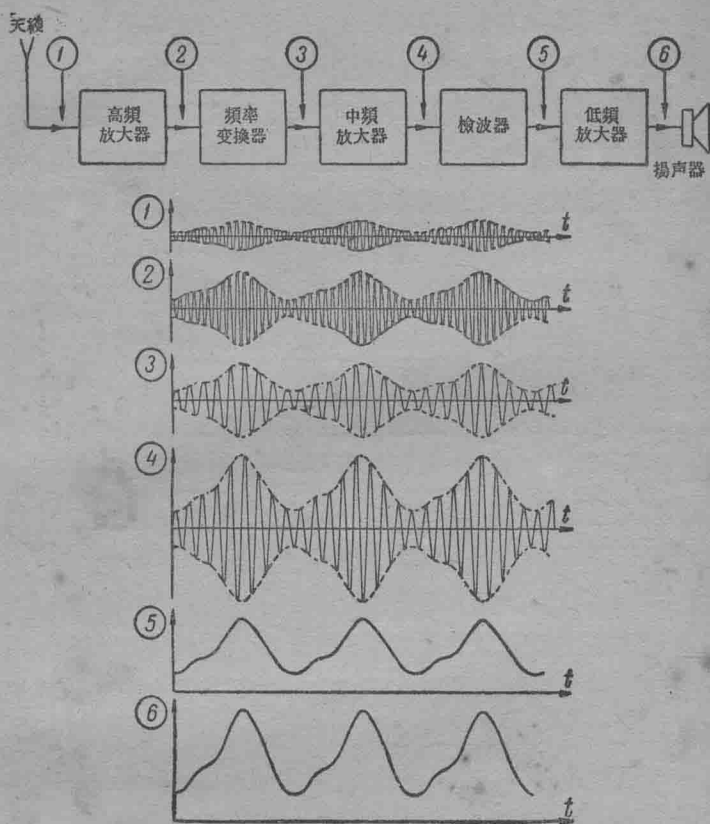


圖 1-2.

許多共振迴路。这就使接收机变得很复杂。所以，不管所收信号的頻率如何，振蕩在送到檢波器以前，在称为中頻的固定頻率下进行对振蕩的主要放大(这就是超外差式接收机的特点)。

所收信号的振蕩頻率轉換成中間頻率，是在變頻器中进行的。在變換时，調制的規律保持不变。

中頻振蕩用中頻放大器放大，并送到檢波器。在檢波器輸出端得到的音頻振蕩用低頻放大器放大，再送到揚聲器。

所以在接收机中我們遇到兩個新的过程：变频和檢波。

最后，我們来看看無綫电定位器的簡化方框圖（圖 1-3）。

低頻振荡器产生固定频率的正弦振荡。然后这个正弦电压被送到限幅器，限幅器对送来的电压进行上限限幅和下限限幅，这样就把正弦振荡变为梯形的振荡。由限幅器出来的梯形电压，同时

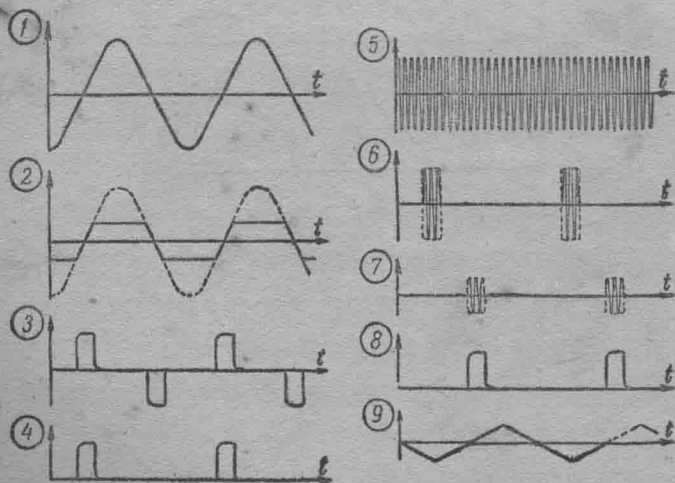
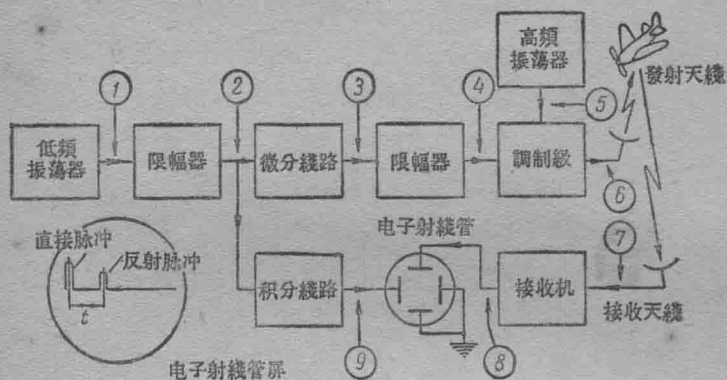


圖 1-3.

加到微分綫路和积分綫路。微分綫路使得在輸出端得到的电压大約比例于輸入电压对時間的导数,即把梯形电压轉变为形狀近似为矩形的短脉冲。脉冲的極性由輸入电压导数的符号来决定。

將在微分綫路輸出端所得的正脉冲和負脉冲加到下限限幅器,它“切去”負極性的脉冲。上述得到短脉冲的方法不是唯一的方法,以后还將討論其他的方法。將周期性的正脉冲系列加到調制級,在調制級中同时饋以由高频振蕩器来的高频振蕩。在这一級中形成了高频振蕩的脉冲,其包迹决定于由限幅器送到調制器的电压曲綫形狀。高频振蕩的脉冲被送到發射天綫,天綫以狹窄的定向射綫發射出去。

在这些脉冲傳播的途中若遇到障碍,例如飞机,則脉冲即被反射。反射能量的一部份回向定位器,落到接收天綫而进入接收机。在接收机輸出端得到周期性的脉冲系列。所收到的这些脉冲比發射出去的脉冲在時間上落后 t ,这就是电磁振蕩从定位器到障碍物再返回所必需的时间。測量得这个時間并知道电磁能的傳播速度,就可以确定到障碍物的距离。

測量時間用下列方法进行。由第一个限幅器出来的梯形电压被送到积分綫路,这就可在其輸出端得到約与輸入电压的积分成比例的电压。因而积分綫路的輸出电压將具有近似于鋸齒的形狀。將它送到电子射綫管的水平偏移極板,并迫使电子射綫在管屏自左至右和自右至左作等速运动,而在管屏上划出一条光亮水平綫。我們看到,当發射天綫發射高频脉冲的瞬間,管屏上的發光点位于左端。在垂直偏移極板上饋以接收机的輸出电压。

因为从障碍物反射回来被接收机接收的脉冲較發射脉冲滯后時間 t ,所以在电子射綫管屏上的显现不在水平綫的始端,而向右偏移。距障碍物的距离越远,这个偏移就越大。知道射綫移动的速度,就可以把管屏刻上時間的刻度或更方便些刻上距离的刻度。

反射物的方向由發射和接收天綫的位置決定。

我們所討論的無線電定位器方框圖并不是唯一的,在實際中還採用很多別種形式。

從上述可以看出,無線電定位器綫路中的過程是多種多樣的。

所有我們所討論的過程,都可借含有電子管及其他非綫性阻抗儀器的綫路來實現。

非綫性阻抗是這樣的電路元件,對於它畫在笛卡爾坐標上的電流與外加電壓關係(伏安特性),不是直綫。

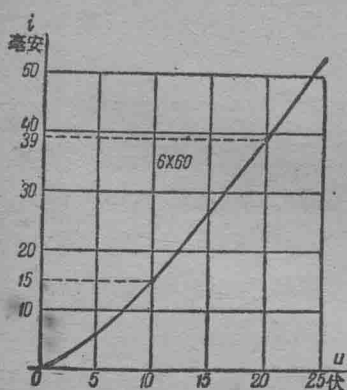


圖 1-4.

幾種非綫性阻抗:二極管、三極管和充氣管的伏安特性實例示於圖 1-4、1-5 及 1-6。

具有二端網絡形式的非綫性阻抗,如果通過它的電流僅與加於其兩端的電壓有關,則這種非綫性阻抗即稱為不被控制的非綫性阻抗。二極管就是這種非綫性阻抗的例子^①。

若經過非綫性阻抗二端網絡的電流不僅與加於其兩端的電壓有關,而且還與其他參量有關,則這種非綫性阻抗就稱為被控的非綫性阻抗,而這些參量稱為控制參量。

光電管是被控非綫性阻抗的例子,經過它的電流既與外加電壓有關,又與光電管的照度有關。

多極電子管也是被控的非綫性阻抗,因為可以把它們當作具有陰極和鉅極兩個端点的二端網絡,而把加於柵極上的電壓認為

① 一般說來,二極管的鉅極電流與其他參量,例如燈絲電壓有關。但這些參量通常在工作時可以認為不變的。

控制参量。被控非綫性阻抗用伏安特性曲綫族来表征其特性(例如圖 1-5)。

含有非綫性阻抗的綫路的分析比在本書第一冊中研究过的具

有恒定参量的綫性綫

路的分析复杂得多。

其原因是对于具有非綫性阻抗的綫路不能应用叠加(重叠)原理,并且在正弦电压作用下,这种綫路中的电流为非正弦波。

关于上述情况
的正确性不难用最簡單
的例子說明。

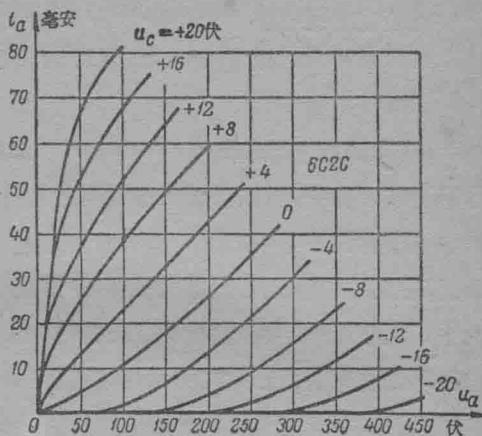


圖 1-5.

在圖 1-7 的綫路中,二極管上作用有兩個串聯的电势 $E_1 = E_2$

$= 10$ 伏。按照二極管的特性曲綫(圖 1-4),在每一电势的單獨作用下,經過二極管的电流应等于 15 毫安。因此按照叠加原理,在兩個电势同时作用下,电流应等于 $15 + 15 = 30$ 毫安。实际上,当兩個电势同时作用时,二極管的电压等于 20 伏,由圖 1-4 可以看出經過二極管的电流却为 39 毫安。

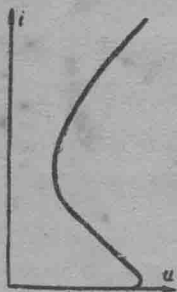


圖 1-6.

叠加原理对具有非綫性阻抗綫路的不能使用,使得我們在求复杂电势在电路中引起的电流和电压时,不能采用分解电势为單个的正弦分量并对各个分量分別求解的方法,像在本書第一冊广泛采用的那样。

圖 1-8 所示为在外加电势

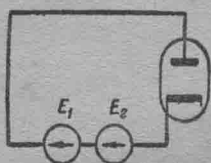


圖 1-7.

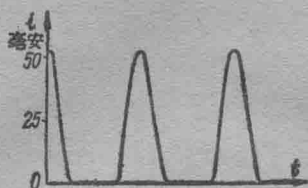


圖 1-8.

$$E = 25 \cos \omega t \text{ 伏}$$

作用下二極管中通过电流的时间圖。

这个時間圖是根据圖 1-4 的特性用圖解法作出的。由圖可以看出,在正弦电势作用下,电流是非正弦的。此种情形使得在交流理論中广泛应用的原理,就是說在正弦电势作用下,所有电路中的电流在稳定状态下是正弦的并且与电势有相同頻率的原理不适用。

上述具有非綫性阻抗的綫路的特点,使得对它們不能無条件地采用以前研究过的交流理論中的方法:运算法以及頻譜函数法。

§ 1-2. 研究具有非綫性阻抗的綫路的基本方法

对含有非綫性阻抗的綫路,借基尔霍夫方程式列出电流和电压的微分方程式,通常是不太困难的。但是此时所得到的所謂非綫性微分方程的解法,只有在个别情况才已經研究过,远不能包括所有無綫电工程师所要遇到的問題。此外,某些非綫性微分方程的解法很复杂,所以在解决工程問題时不采用它們。

用来描述含有一个或兩個电抗元件的电子管振蕩器中过程的一阶和二阶微分方程的解法是目前探討得最完备的。在这个問題中貢獻特別多的是苏联数学家和物理学家 Л. И. 蒙杰尔西塔姆, И. Д. 巴巴列克斯, А. А. 安德罗諾夫等人。我們將在第五、第六和第十三章中遇到这些方程式。

非綫性微分方程解法的困难迫使人們拟制一系列的簡化的近

似計算方法,這些方法得到廣泛的應用。

在無綫電工程中,當分析和計算非綫性阻抗綫路時,必須解決的問題基本上可分為下列幾類:

1. 無慣性綫路的分析,即不含有電抗元件的綫路的分析。在這種綫路中,電流和電壓是不變的,或是變化得這樣緩慢以致電容和電感可以忽略。

這種情形是比較簡單的,且可歸結為普通代數方程式的解(多半是圖解)。在第二章內分析用作變換電壓形狀的限幅器時,和分析直流電壓放大器時將要研究這種情況(直流電壓放大器是指無論多麼慢的電壓變化都能放大的放大器)。

2. 作用在非綫性阻抗上的電壓中交流分量足夠小的綫路的分析(直流分量可以是任何值)。分析這種情況所採用的方法可以叫做等效綫性綫路法。它可歸結為用上一情況所用方法求電壓和電流的直流分量(交流分量此時可以忽略),然後把非綫性綫路當作綫性綫路用熟知的某一種方法(微分方程法、交流理論的復數法、運算法等等)進行分析。

此法主要用於分析在足夠小的電壓下工作的各種放大器綫路,以及分析平衡的穩定性。我們將在第三和第七章討論它。

蘇聯學者 A. M. 利雅普諾夫、A. И. 別爾格、A. B. 米哈依羅夫、Л. З. 柴潑金和 Ю. И. 聶馬爾科在這些問題上曾作過很多工作。

3. 有幅度大的正弦振蕩和直流或緩慢變化的分量作用在非綫性阻抗上的綫路的分析。分析檢波器、調制器和正弦振蕩發生的工作時(第八—十三章)通常就是這種情形。分析這種綫路時所採用的方法,我們將稱為基波法。蘇聯學者: M. B. 蘇列依金、A. И. 別爾格、H. M. 克雷羅夫、H. И. 鮑高留鮑夫、A. Л. 明芝、И. Г. 克里雅契金、Ю. В. 考布札列夫、Л. В. 斯列潘等等在這種方法的研

究中曾經起了很大的作用。

4. 除了已知的正弦振蕩外,还有足够小的附加振蕩作用下的非綫性阻抗綫路的分析。在这里,当寻求附加振蕩时,問題可归結为具有周期性变化参量的綫性系統的研究,也就是說,在这种系統中,通过阻抗的电流与电压成比例,但是比例系数作周期性的变化。对于这种系統來說,疊加原理是正确的,这就使分析簡化了;不过系統中的电勢頻率同它所引起的电流頻率可能不一致。变頻器和所謂同步檢波器(第十一章)的工作的分析,以及正弦振蕩綫路工作稳定性的分析(第十三章),就是这种情况。对这些問題,A. M. 里雅普諾夫(振蕩的稳定性)、B. И. 西福罗夫(变頻器)等曾进行过深刻的研究。

第二章 無慣性綫路中的非綫性 阻抗、限幅器、直流电压放大器

§ 2-1. 本章內容

在这一章中我們要討論几种在無綫电工程中采用的無慣性綫路的工作和分析方法。

由电压对時間导数决定的位移电流(經過电容器的电流),和被磁通变化引起并依赖于电流对時間导数的电势都可以忽略的綫路我們將称之为無慣性綫路。因此,綫路中电压和电流不变或变化的足够慢的綫路,以及不含有电抗元件的綫路,我們將認為是無慣性的。在無慣性綫路中电流仅与电压有关,而与电压的导数無關;而电压仅与电流有关,与电流的导数無關。

首先我們研究最簡單的情况,在这种情况下可以認為綫路中仅有一个非綫性阻抗,而且控制它的参量的数值(假設是被控阻抗)是已知的。在無綫电话和無綫电定位器中广泛采用来改变振荡波形的限幅器,以及在無綫电技术各种領域中所采用的直流电压放大器,均屬於这种情况。

以后在 § 2-6 和 § 2-7 中將討論含有几个非綫性阻抗的較為复杂的綫路,和流經非綫性阻抗的电流反过来作用于控制这些阻抗的参量的綫路(有反作用的綫路)。

§ 2-2. 当控制参量值已知时具有一个 非綫性阻抗的綫路的分析

設在綫路中有一个非綫性阻抗,它是被控的非綫性阻抗,并設