高等學校教學用書

無線电接收設备習題集

Ю. С. 貝科夫
Р. А. 瓦利托夫 著
Л. С. 顧特金

高等教育出版社

高等學校教學用書

無線電接收設備習題集

Ю. С. 貝科夫, Р. А. 瓦利托夫, Л. С. 顧特金著
陳 章 江明德 魏志源譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立動力出版社（Государственное энергетическое издательство）出版的貝科夫(Ю. С. Быков)，瓦利托夫(Р. А. Валитов)和顧特金（Л. С. Гуткин）合著“無線電接收設備習題集”（Задачник по курсу радиоприемных устройств）1947年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定爲通訊高等工業學校教學參考書。

本書包括高等工業學校無線電系無線電接收設備課程中主要各章的習題。

本書涉及檢波，放大和變頻問題，較少部分的問題涉及自動控制，無線電接收干擾，無線電報接收，以及超高頻情況下和調頻情況下的接收。最後一章是爲更好地掌握各章間的相互聯系而編寫的一些綜合性的問題。

參加本書翻譯工作的爲陳章、江明德、魏志源等同志。

無線电接收設备習題集

Ю. С. 貝科夫，Р. А. 瓦利托夫，Л. С. 顧特金著

陳　章　江明德　魏志源譯

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

書號 535(課 469)　開本 850×1168 1/32　印張 7 4/16　字數 188,000

一九五六年三月上海第一版

一九五六年三月上海第一次印刷

印數 1—2,000　定價(8) ¥ 1.10

目　　錄

校閱者序

據我們所知，在無線電技術書籍中，無線電接收設備習題集還是第一次出版。這種情況不能不在本書的取材和結構方面留下一些痕跡。

作爲初次嘗試，我們認爲，把問題限於計算無線電接收設備的幾個主要部分中的過程是適當的。計算整個接收機則不在考慮之列。

爲使學生能眞正掌握課程中的理論材料，本書不僅收集了無線電接收機各部分在標準工作情況下的問題，同時也收集了非標準工作情況下的問題。解決這樣的問題可以增進學生獨立運用已知理論的能力。

在每章的開始，有作者在編製和解決問題時所用的符號和公式。由於在我們的無線電接收教科書中，不同作者所用的基本理論公式，不僅在形式上而且在實質上都不完全一樣，採取上述措施，看來是必要的。

在這本習題集準備出版的幾年中，無線電接收技術的某些部分（例如超高頻接收、干擾的理論等等），有了很大的擴展。爲了適應這種情況，最後幾章是應該大大地加以補充的。

但是，爲了不致拖延出版和避免擴大篇幅，本書以現在的形式出版，我們認爲還是適當的。

教授　Г. А. 列文

作者序

本書的目的在於幫助學生學習無線電接收設備課程。

除 那些作爲示範和鞏固講課材料的簡單問題外，本書中還有比較複雜的、旨在使課程各章深入一步的計算題和理論題。

在每一章的範圍內，問題是按照其複雜性逐漸加深而安排的。本書的範圍、材料的性質及安排，符合於莫斯科莫洛托夫動力學院無線電系的教學大綱；同時由於材料豐富和新穎，而本書篇幅却有限，書中反映得足夠完備的僅能是主要幾章(第一至八章)。

本書作者的分工如下：

第一、二、六、七、九各章由 Л. С. 顧特金執筆。

第三、八、十、十二各章由 Ю. С. 貝科夫執筆。

第四、五、十一各章由 Р. А. 瓦利托夫執筆。而第二、三、四、五、七、八、十一、十二、十三各章習題的編輯工作，則全體作者都參加。

作者深爲感謝 Г. А. 列文教授担任本書的校閱工作。校閱者的寶貴指示使本書得以改進。

毫無疑問，作爲無線電接收設備課程的第一本習題集，本書必有許多缺點和疏漏，倘蒙指正，不勝感謝。

作 者

第一章　特性曲線 $i=f(u)$ 的解析表示法

1. 以多項式 $y=I+ax+bx^2+cx^3+\cdots+hx^n$ 來表示特性曲線 $y=f(x)$

在用多項式表示特性曲線時，一般採用最小二乘方法、切貝雪夫法[①]或內插法(拉格朗日法)。

A. 最小二乘方法

假定用實驗方法來考查的某系統(例如一隻電子管)服從於 $y=f(x)$ 這樣一個關係式。測量這個關係的結果，就可以得到與宗數值 $x_1, x_2, \cdots, x_m$ 相對的函數值 $y_1, y_2, \cdots, y_m$。

我們希望以多項式

$$y=I+ax+bx^2+\cdots+hx^n \tag{1,1}$$

的形式來表現這一關係，

這裏

$$n+1<m;$$

$I, a, b, \cdots, h$ 等暫時還是多項式的未知係數。

假如將宗數值 $x_1, x_2, \cdots, x_m$ 代入多項式(1,1)中，那末可得出相對應的函數值 $y'_1, y'_2, \cdots, y'_m$:

① 切貝雪夫法詳見克雷諾夫著"無線電接收設備的理論和計算"一書，1934年版，第3册，第24—29頁。

$$\left.\begin{array}{l} y_1'=I+ax_1+bx_1^2+\cdots+hx_1^n, \\ y_2'=I+ax_2+bx_2^2+\cdots+hx_2^n, \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ y_m'=I+ax_m+bx_m^2+\cdots+hx_m^n。 \end{array}\right\} \quad (1,2)$$

很顯然，由多項式得出的函數值 y_1', y_2', $\cdots$, y_m' 在一般情況下將與相對應的量測所得出的函數值 y_1, y_2, $\cdots$, y_m 相差一個偏差值 Δ_i:

$$\left.\begin{array}{l} \Delta_1=y_1-y_1', \\ \Delta_2=y_2-y_2', \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \Delta_m=y_m-y_m'。 \end{array}\right\} \quad (1,3)$$

多項式的係數 I, a, b, $\cdots$ h 選擇得越恰當，偏差 Δ_1, Δ_2, $\cdots$, Δ_m 就越小。偏差的平方和爲

$$[\Delta^2]=\Delta_1^2+\Delta_2^2+\cdots+\Delta_m^2。 \quad (1,4)$$

顯然，當這個平方和$[\Delta^2]$是最小的時候，係數 I, a, b, $\cdots$, h 的值也就最恰當(最小二乘方法就由此得名)。

分析指出，假如多項式的係數 $I, a, b, \cdots, h$ 能滿足下列$(n+1)$個直線性聯立方程式:

$$\left.\begin{array}{r} m\cdot I+[x]\cdot a+[x^2]\cdot b+\cdots+[x^n]\cdot h=[y], \\ [x]\cdot I+[x^2]\cdot a+[x^3]\cdot b+\cdots+[x^{n+1}]\cdot h=[yx], \\ [x^2]\cdot I+[x^3]\cdot a+[x^4]\cdot b+\cdots+[x^{n+2}]\cdot h=[yx^2], \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ [x^n]\cdot I+[x^{n+1}]\cdot a+[x^{n+2}]\cdot b+\cdots+[x^{2n}]\cdot h=[yx^n], \end{array}\right\} \quad (1,5)$$

那末偏差平方和$[\Delta^2]$可得到最小值。從這$(n+1)$個直線性聯立方程式，可以解出多項式的所有$(n+1)$個未知係數 I, a, b, $\cdots$, h。

因此，由多項式得出的函數值 y 的絕對誤差的平均值(即最可

能的誤差值)是這樣的:

$$\delta=\sqrt{\frac{[\Delta^2]}{m-(n+1)}}, \tag{1,6}$$

這裏,如上面已經指出的,m—測量的次數,n—多項式的方次(任何時候都應該爲 $m>n+1$)。

方程式(1,5)中的 [ ] 號表示下列形式的總和:

$$\left.\begin{aligned}
[x]&=x_1+x_2+\cdots+x_m,\\
[x^2]&=x_1^2+x_2^2+\cdots+x_m^2,\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
[x^n]&=x_1^n+x_2^n+\cdots+x_m^n,\\
[y]&=y_1+y_2+\cdots+y_m,\\
[yx]&=y_1x_1+y_2x_2+\cdots+y_mx_m,\\
[yx^2]&=y_1x_1^2+y_2x_2^2+\cdots+y_mx_m^2,\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
[yx^n]&=y_1x_1^n+y_2x_2^n+\cdots+y_mx_m^n。
\end{aligned}\right\} \tag{1,7}$$

如所週知,直線性聯立方程式(1,5)可以利用行列式 D 或用其他方法來求解。行列式 D 具有下面形式:

$$D=\begin{vmatrix}
m, & [x], & [x^2], & \cdots, & [x^n]\\
[x], & [x^2], & [x^3], & \cdots, & [x^{n+1}]\\
[x^2], & [x^3], & [x^4], & \cdots, & [x^{n+2}]\\
\cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\
\cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\
[x^n], & [x^{n+1}], & [x^{n+2}], & \cdots, & [x^{2n}]
\end{vmatrix} \tag{1,8}$$

由公式(1,6)可以看出,測量次數 m 越大,多項式所產生的誤差就越小。因此,在任何情況下,都應該取

$$m\geqslant n+5。 \tag{1,9}$$

由此可見,多項式的方次 n 越高,測量次數 m 也就應該越大。

由公式(1,5),(1,7),(1,8)和(1,9)可以看出,隨着多項式方

次 n 的增長，計算的麻煩程度也劇烈地增加。因此，實際上，採用這個方法通常只對於二次或三次多項式最適合。

對於二次多項式 $y=I+ax+bx^2$ 來說，從上面所列舉過的一般關係中，可以得到下列相當簡單的關係式：

$$D=\begin{vmatrix} m, & [x], & [x^2] \\ [x], & [x^2], & [x^3] \\ [x^2], & [x^3], & [x^4] \end{vmatrix} \tag{1,8a}$$

$$b=\frac{\begin{vmatrix} m, & [x], & [y] \\ [x], & [x^2], & [yx] \\ [x^2], & [x^3], & [yx^2] \end{vmatrix}}{D}, \quad a=\frac{\begin{vmatrix} m, & [y], & [x^2] \\ [x], & [yx], & [x^3] \\ [x^2], & [yx^2], & [x^4] \end{vmatrix}}{D},$$

$$I=\frac{[y]-[x]a-[x^2]b}{m}, \tag{1,10}$$

$$\delta=\sqrt{\frac{[\Delta^2]}{m-3}}。 \tag{1,11}$$

註：在這裏敘述最小二乘方法，是爲了在 m 次測量都有大致相同的準確度，而可以不給這些測量附加所謂“權重” P_i 的情況下得到簡化⊖。

利用最小二乘方法時，計算可按下列步驟來進行。

1．列出形如表 1 的表格。

表 1

測量號次 (觀察號次)	x_i	y_i	y'_i	$\Delta_i=y_i-y'_i$
	1	2	3	4
1	x_1	y_1	y'_1	Δ_1
2	x_2	y_2	y'_2	Δ_2
3	x_3	y_3	y'_3	Δ_3
…………				
…………				
m	x_m	y_m	y'_m	Δ_m

⊖ 譯者註：測量值 $x_1, x_2, \cdots, x_m$ 間精粗比重的比例數字，稱之爲權重，簡稱爲權。設此等測量値是在同一外界情況下，由同一個人，使用同一個儀器應用同一方法所求得者，那末它們的權可認爲相等；否則不能認爲等權。

2．根據測量（觀察）所得數據，填寫直行內 x_i 和 y_i 的數值。填寫時，要選擇測量次數 $m\geqslant n+5$。

3．根據直行（1）和（2）中的數據，利用公式（1,7）來計算總和 [ ]（計算最好是做得儘可能地精確一些）。

4．計算行列式 D 和多項式的係數 $I, a, b, \cdots, h$。

5．以 $y=I+ax+bx^2+\cdots+hx^n$ 的形式寫出待求的多項式。

6．將數值 x_i（從表 1 第一直行得來）代入這一多項式，計算出相當的函數值 y'_i，將其寫入表 1 第 3 直行內。

7．根據直行 2 和 3 中的數據算出相當的偏差 Δ_i，並將其寫入表 1 第 4 直行中。

8．根據第 4 直行的數據，計算所求得的多項式的平均（最可能的）絕對誤差值 δ。δ 由下面多項式求出：

$$\delta=\sqrt{\frac{[\Delta^2]}{m-(n+1)}}。$$

Б．拉格朗日法

假定由實驗得出的曲線（或曲線的某一段）$y=f(x)$ 要求以下列多項式來代表：

$$y=I+ax+bx^2+\cdots+hx^n。\tag{1,12}$$

在這條曲線上，選擇 $(n+1)$ 個點，其坐標為：

$$(x_0,y_0),\ (x_1,y_1),\ (x_2,y_2)\cdots(x_n,y_n)。\tag{1,13}$$

那末，按拉格朗日內插法，y 可以用下列形式表示：

$$\begin{aligned}y=y_0&\frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)\cdots(x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)\cdots(x_0-x_n)}+\\&+y_1\frac{(x-x_0)(x-x_2)(x-x_3)\cdots(x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)\cdots(x_1-x_n)}+\\&+y_2\frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_3)\cdots(x-x_n)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)(x_2-x_3)\cdots(x_2-x_n)}+\cdots+\\&+y_n\frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)\cdots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_0)(x_n-x_1)\cdots(x_n-x_{n-1})}。\end{aligned}\tag{1,14}$$

顯然，方程式(1,14)是對於 x 的 n 次多項式。因此，如果將方程式(1,14)通分，並將分子各項去括號，就可以把這樣得出的方程式與待求的多項方程式(1,12)相比較。那末只要將 x 的同次方的係數相比，便可得出待求的各係數值 $I, a, b, \cdots, h$。

將宗數值 $x_0, x_1, x_2, \cdots, x_n$ 代入方程式(1,14)，便得出實在的函數值 $y=y_0, y=y_1, y=y_2, \cdots, y=y_n$。

由此可見，用拉格朗日法求出的多項式(1,12)，在實驗曲線的已選定的$(n+1)$個點上，與這曲線 $y=f(x)$ 是確切符合的。而在其餘的點上，多項式與曲線 $y=f(x)$ 可能有偏差。

顯然，曲線上所選擇的$(n+1)$個點，其中最大多數應該選擇在曲線上希望以最大準確度表現出來的那一段上。

在二次多項式 $y=I+ax+bx^2$ 的情形中，比較(1,12)和(1,14)便得出下列對係數 I, a, b 直接的表達式：

$$\left.\begin{aligned}
I&=\frac{y_0(x_1-x_2)x_1x_2-y_1(x_0-x_2)x_0x_2-y_2(x_0-x_1)x_0x_1}{A},\\
b&=\frac{y_0(x_1-x_2)-y_1(x_0-x_2)+y_2(x_0-x_1)}{A},\\
a&=\frac{y_1-I-bx_1^2}{x_1},
\end{aligned}\right\}\quad(1,15)$$

這裏 $A=(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_1-x_2)$。

在可以選 $x_0=0$ 的特殊情況下，便得到：

$$\left.\begin{aligned}
I&=y_0,\\
b&=\frac{y_0(x_1-x_2)+y_1x_2-y_2x_1}{x_1x_2(x_1-x_2)},\\
a&=\frac{y_1-I-bx_1^2}{x_1}。
\end{aligned}\right\}\quad(1,16)$$

在 $y=ax+bx^2$，也就是 $x_0=0, y_0=0$ 的條件下，這個公式還要簡化，而採取以下的形式出現：

$$\left.\begin{aligned} b&=\frac{y_1x_2-y_2x_1}{x_1x_2(x_1-x_2)},\\ a&=\frac{y_1}{x_1}-bx_1\text{。}\end{aligned}\right\}\qquad(1,17)$$

B. 簡化的拉格朗日法

當我們碰到四次或四次以上的多項式時，用拉格朗日一般公式［公式 (1, 14)］來計算便十分累贅。因此，對於四次或四次以上的多項式，採用下述簡化的方法往往比較適宜。

假定在圖 1 的曲線上的一段 MN 要用四次多項式來表示。

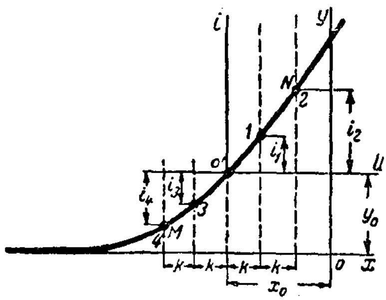

圖 1.

選擇曲線段的中點作為新坐標的原點 O'，並列入新的坐標軸 i 和 u。在這個新坐標中，多項式將採取下列形式：

$$i=au+bu^2+cu^3+du^4\text{。}$$

為了決定四個未知係數 a,b,c,d，在曲線段 MN 上選 1, 2, 3 和 4 點，彼此沿橫軸等距，並量出其縱坐標分別為 i_1, i_2, i_3, i_4。

那末，係數 a, b, c, d 便可用下列簡單的公式來決定：

$$\left.\begin{aligned} a&=\frac{1}{k}\left[\frac{2}{3}(i_1-i_3)-\frac{1}{12}(i_2-i_4)\right],\\ b&=\frac{1}{k^2}\left[\frac{2}{3}(i_1+i_3)-\frac{1}{24}(i_2+i_4)\right],\\ c&=\frac{1}{k^3}\left[-\frac{1}{6}(i_1-i_3)+\frac{1}{12}(i_2-i_4)\right],\\ d&=\frac{1}{k^4}\left[-\frac{1}{6}(i_1+i_3)+\frac{1}{24}(i_2+i_4)\right]\text{。}\end{aligned}\right\}\qquad(1,18)$$

這裏取縱坐標是將符號考慮進去的，就是，$i_3<0$ 和 $i_4<0$。

顯然，假如曲線 $y=f(x)$ 是電子管的特性曲線，那末曲線段 MN 就是工作線段，而 O' 點就是特性曲線的工作點。因此，多項式 $i=au+bu^2+cu^3+du^4$ 就是特性曲線對 O' 點的解析式。假如除此解析式外，還希望能得到在 (x, y) 坐標內的多項式，那末，只要考慮到 $y=y_0+i$ 和 $x=x_0+u$，我們就可以得到

$$y=y_0+a(x-x_0)+b(x-x_0)^2+c(x-x_0)^3+d(x-x_0)^4, \quad (1,19)$$

或其展開式

$$y=I+a'x+b'x^2+c'x^3+d'x^4, \quad (1,20)$$

這裏

$$\left.\begin{aligned} I&=y_0-ax_0+bx_0^2-cx_0^3+dx_0^4,\\ a'&=a-2bx_0+3cx_0^2-4dx_0^3,\\ b'&=b-3cx_0+6dx_0^2,\\ c'&=c-4dx_0,\\ d'&=d_{\circ} \end{aligned}\right\} \quad (1,21)$$

在這裏，量 x_0 和 y_0 本身都包含有符號，就是 $x_0\leqslant 0$ 和 $y_0\leqslant 0$。

結論：在上述各種以多項式表示函數的方法中，最小二乘方法是最準確的，但是它要求最累贅和嚴密的計算。簡化了的拉格朗日法可能是最不準確的，因爲它僅僅容許取那些在曲線上彼此等距的點。但同時這個方法却極其簡單，而在使用它時較易避免計算中的錯誤。

2. 以指數式 $y=I\cdot e^{ax}$ 來表示特性曲線 $y=f(x)$

這裏，我們也可以利用最小二乘方法或內插法。

A. 最小二乘方法

設已給：符合於表 1 的觀察的數據 y_i' 和函數値 y_i，它們是按

下列指數式計算出來的：$y'_i=I\cdot e^{ax_i}$。

那末，偏差 $\Delta_i=y_i-y'_i$ 就有這樣的形式：

$$\left.\begin{aligned}\Delta_1&=I\cdot e^{ax_1}-y_1,\\ \Delta_2&=I\cdot e^{ax_2}-y_2,\\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\ \Delta_m&=I\cdot e^{ax_m}-y_m。\end{aligned}\right\}\qquad(1,22)$$

將相對的偏差的平方併在一起，得出總和

$$S=\left[\left(\frac{\Delta}{y}\right)^2\right]=\left(\frac{\Delta_1}{y_1}\right)^2+\left(\frac{\Delta_2}{y_2}\right)^2+\cdots+\left(\frac{\Delta_m}{y_m}\right)^2,\qquad(1,23)$$

同時選擇係數 I 和 a 的值，使這個總和是最小。

那麼，從條件 $\frac{\partial S}{\partial I}=0$ 和 $\frac{\partial S}{\partial a}=0$，我們便可得到下列對 a 和 I 的方程式$\left(假定\frac{\Delta_i}{y_i}<0.5\right)$：

$$\left.\begin{aligned}m\cdot\ln I+[x]\cdot a&=[\ln y],\\ [x]\cdot\ln I+[x^2]\cdot a&=[x\cdot\ln y]。\end{aligned}\right\}\qquad(1,24)$$

從這裏得到

$$\left.\begin{aligned}a&=\frac{m[x\ln y]-[x]\cdot[\ln y]}{m[x^2]-[x]^2},\\ \ln I&=\frac{[\ln y]-a[x]}{m}。\end{aligned}\right\}\qquad(1,25)$$

將自然對數化為常用對數，我們得到

$$\left.\begin{aligned}a&=2.32\frac{m[x\lg y]-[x]\cdot[\lg y]}{m[x^2]-[x]^2},\\ \lg I&=\frac{[\lg y]-0.432[x]\cdot a}{m}。\end{aligned}\right\}\qquad(1,26)$$

這裏

$$\left.\begin{aligned}[\lg y]&=\lg y_1+\lg y_2+\cdots+\lg y_m,\\ [x\lg y]&=x_1\lg y_1+x_2\lg y_2+\cdots+x_m\lg y_m。\end{aligned}\right\}\qquad(1,27)$$

應該記住：對於指數式來說，最小二乘方法只給出最小的相對偏差 $\frac{\Delta_i}{y_i}$ 平方和，而不是像對於多項式那樣給出絕對偏差 Δ_i 平方和。

Б. 内插法

我們要求指數式 $y=I\cdot e^{ax}$ 在坐標爲(x_1, y_1)和(x_2, y_2)的兩點上，與已知曲線(實驗得出的)完全確切的符合。

那末

$$\left.\begin{aligned} a&=\frac{2.32\lg\dfrac{y_2}{y_1}}{x_2-x_1},\\ \lg I&=\lg y_1-0.432\,ax_1。\end{aligned}\right\}\qquad(1,28)$$

如我們所看到的，内插法比較簡單得多，但它可能在曲線的某些點上給出更大的相對誤差$\dfrac{\Delta_i}{y_i}$，特别是在要求它表示曲線 $y=f(x)$的很大一段的時候。

習　　題①

*1,1. 表 2 中所列舉的數據是從電子管 6Ж7 的特性曲線上抄下來的。求以多項式 $i_a=I_0+ae_g+be_g^2$ 來表示這一特性，就是算出係數 I_0, a, b。

表 2

e_g（伏）	i_a（毫安）	e_g（伏）	i_a（毫安）
0	7.5	−3	2
−0.5	6.5	−3.5	1.4
−1	5.5	−4	0.75
−1.5	4.5	−4.5	0.4
−2	3.6	−5	0.25
−2.5	2.7		

計算時利用最小二乘方法。

*1,2. 利用拉格朗日法用多項式 $i_a=I_0+ae_g+be_g^2$ 表示1,1

① 習題中有*號的都附有題解。