

高等學校教學用書

無線電發訊設備 習題集

Е. Р. ГАЛЫШЕРИН, В. П. ГОДЕЛЕВИЧ, С. И. ЕВТЯНОВ
П. Ж. КРИСС, С. Л. КУНИНА, И. А. ПОПОВ 編著

童 凱 吳桓基 黃嵩如譯
龔 紹 熊 校

高等教育出版社

高等學校教學用書



無線電發訊設備 習題集

E. P. 加利培利恩, B. II. 高捷列維奇, C. II. 耶夫洽諾夫 編著
П. Ж. 克利斯, C. I. 庫尼娜, H. A. 波波夫
童 凱 吳桓基 黃嵩如 譯
龔 紹 熊 校

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立電訊書籍出版社 (Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио) 1951 年出版的加利倍利恩(Е. Р. Гальперин)、高捷列維奇(В. П. Годлевич)、耶夫洽諾夫(С. И. Евтянов)、克利斯(П. Ж. Крисс)、庫尼娜(С. Л. Кунина)和波波夫(И. А. Попов)六人集體編著而由耶夫洽諾夫和加利倍利恩二人校訂的“無線電發訊設備習題集”(Задачник по радиопередающим устройствам)譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為高等教學參考書。

參加本書翻譯工作者為華南工學院電訊系無線電教研組童凱、吳恒基、黃嵩如等同志，譯稿並承龔紹熊同志校訂。

無線電發訊設備習題集

書號354(課330)

耶夫洽諾夫等著

童凱 吳恒基 黃嵩如譯

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)

新華書店總經理

商務印書館印刷廠印刷

上海天通庵路一九〇號

開本850×1168 1/32 印張7 9/16 字數 166,000

一九五五年七月上海第一版 印數 1—1,500

一九五五年七月上海第一次印刷 定價(8) 1.15 元

目 錄

序	7
常用符號	8
第一章 功率管靜態特性曲線的理想化	9
[1.1] 概論	9
[1.2] 習題	11
第二章 外激發生器	14
[2.1] 截止角與分解係數	14
[2.2] 計算公式	16
[2.3] 負載特性	17
[2.4] 解題示例	18
[2.5] 習題	21
第三章 振盪迴路作為發生器的負載	28
[3.1] 說明	28
[3.2] 計算公式	28
[3.3] 解題示例	30
[3.4] 習題	33
第四章 外激發生器的各種電路	41
[4.1] 解題示例	41
[4.2] 習題	46
第五章 發生器的工作狀態依從於供給電壓的關係	55
[5.1] 說明	55
[5.2] 解題示例	56
[5.3] 習題	58
第六章 倍頻	62
[6.1] 解題示例	62
[6.2] 習題	63
第七章 中和	67
[7.1] 說明	67
[7.2] 解題示例	67
[7.3] 習題	68
第八章 振盪器	73
[8.1] 說明	73

[8.2] 計算公式	74
[8.3] 解題示例	75
[8.4] 習題	78
第九章 用傳輸線的超高頻振盪器	88
[9.1] 說明	88
[9.2] 計算公式	89
[9.3] 解題示例	91
[9.4] 習題	96
第十章 波段振盪器的頻率穩定	102
[10.1] 計算公式	102
[10.2] 解題示例	103
[10.3] 習題	107
第十一章 石英振盪器的頻率穩定	116
[11.1] 說明	116
[11.2] 計算公式	118
[11.3] 解題示例	120
[11.4] 習題	124
第十二章 調幅	130
[12.1] 計算公式	130
[12.2] 解題示例	131
[12.3] 習題	136
第十三章 調頻	161
[13.1] 計算公式	161
[13.2] 解題示例	162
[13.3] 習題	165
第十四章 脈衝調制器	173
[14.1] 說明	173
[14.2] 計算公式	174
[14.3] 解題示例	178
[14.4] 習題	182
第十五章 調幅與調頻電報	196
[15.1] 計算公式	196
[15.2] 解題示例	196
[15.3] 習題	199
附錄	105
1. 餘弦脈衝係數表	205
2. 平頂脈衝的直流分量係數表	209
3. 平頂脈衝第一次諧波係數表	211

4. $\operatorname{tg} x$; $x \operatorname{tg} x$; $\varphi(x)$; e^x 與 e^{-x} 等函數表	213
5. $\psi(\theta)$ 函數表	217
6. 調制管與功率管參量表	218
7. 電子管 Г-417, ГД-200, ГРЗ-100, ГР-71, Г-450 的特性曲線	222
習題答案	227

序

本習題集是由榮獲列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院無線電發訊設備教研組教師們編成的。當按照蘇聯高等教育部所批准的動力及電機高等學校教學大綱來學習無線電發訊設備課程時，本習題集可供參考之用。在習題集中所反映的理論問題，其詳細闡述則包含在按同一大綱所編寫的無線電發訊設備^①教科書內。

爲着使習題易於了解，在每章的開始列入理論的簡單敘述、符號的說明、並給出某些習題的解答。這些說明是由 E. P. 加利倍利恩所編寫的。

每章的習題按照由簡入繁的次序排列。除了一些涉及實際計算的習題之外，在許多章中另外編入了一些問題。這些問題的意義在於幫助加深在無線電發訊設備中物理過程的概念。在習題集中沒有討論無線電機的零件和部件的構造問題。這些問題應當是另一門專門教材所討論的題目。

習題集的原稿曾經 И. X. 聶維須斯基，И. E. 羅則次維格與 B. B. 施坦恩閱讀過，他們曾提出一些寶貴的意見，這些意見中的大多數已經在付印前對原稿作最後修訂時予以考慮。習題集校訂的巨大工作是由 B. B. 施坦恩擔任的。著者對上列諸同志致以深深的謝意。

我們將誠懇地接受關於習題集內容的批評意見，意見請按通信地址逕寄：莫斯科，中心區，基洛夫街 40 號，蘇聯國立電訊書籍出版社。

著者

① C. И. 耶夫洽諾夫“無線電發訊設備”蘇聯國立電訊書籍出版社 1950 年。

常用符號

(a) 字母

E —直流電壓
 U —交變電壓振幅
 u —交變電壓瞬時值
 $(u = \cos \omega t)$
 e —電壓瞬時值
 I —交變電流幅度
 i —交變電流瞬時值
 P —功率
 S —電子管特性曲線的斜率
 (跨導)
 D —滲透率
 Q —品質度
 C —電容
 L —電感
 R, r —電阻
 λ —波長
 f —頻率
 Δf —對諧振頻率的解諧
 ω —角頻率 ($\omega = 2\pi f$)
 $\Delta\omega$ —對諧振角頻率的解諧
 θ —電流截止角
 η —效率 (КПД)
 ξ —板極電壓利用係數

(6) 指標

a —板極電路
 c —控制(第一)柵極電路
 c_2 —簾(第二)柵電路
 c_3 —遏止(第三)柵電路
 κ —迴路
 0 —直流分量
 1 —第一次諧波
 2 —第二次諧波
 3 —第三次諧波
 n —第 n 次諧波
 κp —臨界狀態
 nom —額定值
 n —飽和

第一章 功率管靜態特性曲線的理想化

1.1. 概論

三極管的放射電流在柵極坐標系統中的理想化特性，如圖 1.1 a 所示，此處

E'_c 為移動電壓。

E_{c0} 為柵極折合電壓。

E_{a0} 為板極折合電壓。

I_H 為飽和電流。

控制電壓

$$e = e_c + D e_a。$$

放射電流，在範圍 $0 < i < I_H$ 之內，為

$$i = S[e_c + D(e_a - E_{a0})] = S[e_c + D e_a - E_{c0}]。$$

圖 1.1 b 示三極管放射電流在板極坐標系統中的理想化特性曲線。

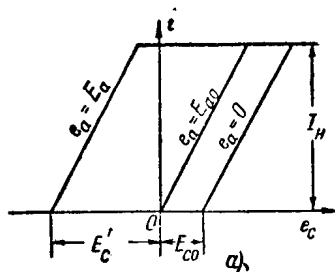


圖 1.1 a

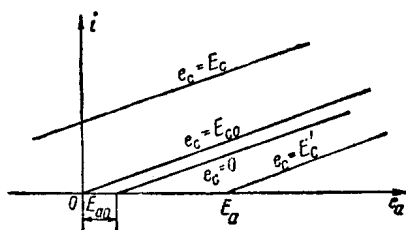


圖 1.1 b

圖 1.2 示板極電流的理想化特性曲線。線 BB 為放射電流的

特性曲線，線 OA 為臨界狀態線（以後簡稱爲臨界線——譯者）。

臨界線的方程式爲

$$i_a = S_\kappa e_a,$$

S_κ 爲臨界線的斜率。

在區段 AB 上，板極電流特性與放射電流特性相重合。

柵極電流特性曲線可按下列方程式來作出

$$i_c = i - i_a.$$

對 A 點而言，有以下的關係

$$e_a = \kappa(e_c - E_{c0})$$

或近似地爲

$$e_a \approx \kappa e_c.$$

這樣

如果 $e_a > \kappa(e_c - E_{c0})$ ，則 $i_a = S[e_c + D(e_a - E_{a0})]$ ；

如果 $e_a < \kappa(e_c - E_{c0})$ ，則 $i_a = S_\kappa e_a$ ，此處 $S_\kappa = S\left(\frac{1}{\kappa} + D\right)$ 。

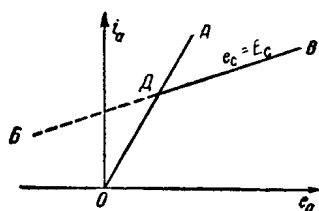


圖 1.2

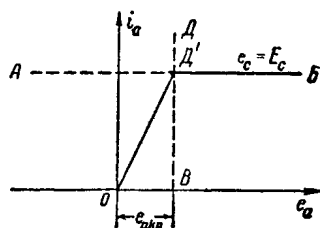


圖 1.3

四極管（五極管）放射電流與板極電流的理想化特性曲線示如圖 1.3。

四極管（五極管）的控制電壓爲

$$e = e_c + D_1 e_{c2}.$$

D_1 爲第一柵極的滲透率。

四極管或五極管的有效滲透率，在所有習題中均取爲零值。

線 AB 爲當電壓 E_{c2} 與 E_{c3} 爲恆定值時, 放射電流的特性。
 E_{c2} 爲簾柵極電壓,
 E_{c3} 爲遏止柵極電壓。

在 $0 < i < I_n$ 範圍內, 當 $E_{c2} = \text{常數}$ 時, 放射電流的方程式爲

$$i = S(e_c - E'_c)。$$

線 $B\mathcal{A}$ 爲臨界線。

線 $B\mathcal{A}$ 的方程式爲

$$e_{akp} = \kappa_2 E_{c2} \textcircled{1}$$

e_{akp} 爲臨界板極電壓。

在線 DB 之右, 板極電流特性與放射電流特性相重合 (區段 $\mathcal{A}'B$)。在區段 $\mathcal{A}'B$ 上, 板極電流方程式爲

$$i_a = S(e_c - E'_c)。$$

在線 DB 之左, 板極電流特性被理想化爲直線 $O\mathcal{A}'$, 其方程式爲

$$i_a = S(e_c - E'_c) \frac{e_a}{e_{akp}}。$$

所有各柵極的總電流特性可根據下列方程式來作出。

$$i_c + i_{c2} + i_{c3} = i - i_a。$$

由於電流 i_c 和 i_{c3} 均小於 i_{c2} , 故在習題中可取

$$i_{c2} = i - i_a。$$

1.2. 習題

1.1. 根據 1Д-200^② 電子管的實際特性曲線, 求定其理想化

- ① 對四極管 $\kappa_2 \approx 1.3 - 1.6$,
 對五極管 $\kappa_2 \approx 0.25 - 0.5$,
 對電子注四極管 $\kappa_2 \approx 0.4 - 0.6$ 。
 ② 習題中所指特性曲線見附錄 7。

特性的各個參變量 (S, D, E_{c0}, S_{κ})。

1.2. 根據 Г-450 電子管的實際特性曲線, 求定其理想化特性的各個參變量。

1.3. 在板極與柵極坐標系統中, 作出三極管的放射電流的理想化特性曲線族。三極管的參變量為: $S=5$ 毫安/伏, $D=0.05$, $E_{a0}=100$ 伏, $I_{\kappa}=200$ 毫安, $E_{a_{ном}}=500$ 伏。

1.4. 在板極與柵極坐標系統中, 作出三極管板極與柵極電流的理想化特性曲線族, 三極管的參變量: $S=5$ 毫安/伏, $D=0.05$, $E_{a0}=100$ 伏, $E_{a_{ном}}=500$ 伏, $I_{\kappa}=200$ 毫安, $\kappa=1.5$ 。

1.4 a. 習題 1.4 中的三極管運用在下列工作狀態: $E_a=500$ 伏, $e_c=10$ 伏。求定其各個電極上的損耗功率。

1.5. 如 $E_a=500$ 伏, $D=0.05$, 求定三極管在什麼柵極電壓時, 可使板極電流截止(當解題時應考慮到特性曲線下部的彎曲部分)。

1.6. 在靜止狀態當 $E_c=0$ 時, 電子管的板路直流電阻在 $E_a=500$ 伏時是在 $E_a=400$ 伏時的 50%, 試求定 E_{a0} 之值。

1.7. 根據電子管 1К9-100 的實際特性曲線, 求定其理想化特性曲線的各個參變量 (S, D_1, E'_c)。

1.8. 已知四極管的參變量: 當 $E_{c2}=500$ 伏、 $E_{a_{ном}}=3000$ 伏、 $\kappa_2=1.4$ 時, $S=4$ 毫安/伏, $D_1=0.2$, $E'_c=-40$ 伏。作出在 $E_{c2}=300$ 伏與 $E_{c2}=500$ 伏時, $i(e_a)$ 與 $i(e_c)$ 的理想化特性曲線族。

1.9. 對習題 1.8 的四極管, 作出在 $E_{c2}=500$ 伏與 $E_{c2}=300$ 伏時 $i_a(e_c)$ 和 $i_{c2}(e_c)$ 的理想化特性曲線族。

1.9 a. 對習題 1.8 的四極管, 作出當 $E_{c2}=300$ 伏與 $E_{c2}=500$ 伏時 $i_a(e_a)$ 和 $i_{c2}(e_a)$ 的理想化特性曲線族。

1.10. 對習題 1.8 的四極管, 作出當 $E_{c2}=500$ 伏與 $e_a=650$

至 250 伏時 $i_a(e_a)$ 的理想化特性曲線族

1.11. 對習題 1.8 的四極管, 作出在 $E_{c2}=500$ 伏時板極電路直流電阻對第一柵極電壓的依賴關係圖。

1.11a. 求定在工作狀態 $E_a=650$ 伏、 $E_{c2}=500$ 伏、 $e_c=0$ 時, 習題 1.8 的四極管各電極上(板極與第二柵極)所損耗的功率。

1.12. 欲求定五極管的 D_3 , 問需要哪一些特性曲線族。

1.13. 根據五極管 1Г-71 的實際特性曲線, 求定其理想化特性曲線的各個參變量 ($S, E'_c, \kappa_2, e_{акр}$)。

1.13a. 根據五極管 1Г-71 的實際特性曲線, 求定當第一柵極電壓為 60 伏、第二柵極電壓為 400 伏時, 在臨界狀態下板極電流的數值。

1.14. 某五極管具有參變量: 當 $E_{c2}=1000$ 伏、 $\kappa_2=0.25$ 、 $E_{aном}=1500$ 伏時, $S=4$ 毫安/伏, $D_1=0.2$, $E'_c=-30$ 伏。作出在 $e_c=0$ 、 -10 伏、 -20 伏、 -30 伏時 $i_a(e_a)$ 的理想化特性曲線族。

第二章 外激發生器

2.1. 截止角與分解係數

電流脈衝可能具有如圖 2.1 所示的各種形狀。

圖 2.1 a 示出以脈衝高度 I_m 及下截止角 θ 所表徵的餘弦(尖頂的)脈衝。

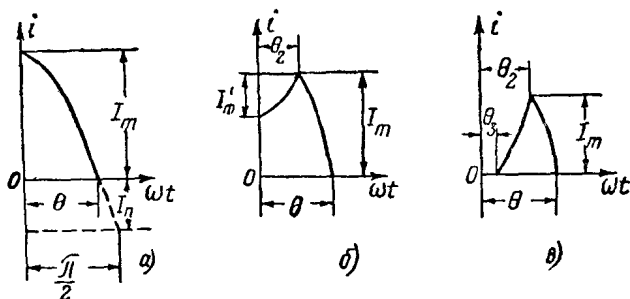


圖 2.1

圖 2.1 b 示出以高度 I_m 、下截止角 θ 、上截止角 θ_2 與凹陷係數 $n = \frac{I_m'}{I_m}$ 所表徵的、不完全凹陷的脈衝。

圖 2.1 c 示出以脈衝高度 I_m 、下截止角 θ 、上截止角 θ_2 與第二下截止角 θ_3 所表徵的全凹陷脈衝。

凡以週期性重複的脈衝,可以分解為諧波級數

$$I_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} I_n \cos n \omega t,$$

而

$$I_0 = \alpha_0 I_m,$$

$$I_n = \alpha_n I_m,$$

α_0 為直流分量分解係數,

α_n 為 n 次諧波分解係數。

分解係數 α 依從於脈衝的形狀:

對圖 2.1 a 所示脈衝而言, α 僅為 θ 的函數, 故可表示為 $\alpha(\theta)$ 或簡寫為 α ;

對圖 2.1 b 的脈衝而言, α 是 θ 、 θ_2 、 n 的函數, 故表示為 $\alpha(\theta, \theta_2, n)$ 。

對圖 2.1 c 的脈衝而言, α 是 θ 、 θ_2 、 θ_3 的函數, 故表示為 $\alpha(\theta, \theta_2, \theta_3)$ 。

附錄 1 給出當 $n=0, 1, 2, 3$ 時的尖頂脈衝係數 $\alpha_n(\theta)$ 。為了計算 $\alpha(\theta, \theta_2, n)$ 與 $\alpha(\theta, \theta_2, \theta_3)$ 可利用下列公式

$$\alpha(\theta, \theta_2, n) = \alpha(\theta, \theta_2) - n\alpha(\theta_2),$$

$$\alpha(\theta, \theta_2, \theta_3) = \alpha(\theta, \theta_2) - \alpha(\theta_2, \theta_3)。$$

此處 $\alpha(\theta, \theta_2)$ 為具有下截止角 θ 與上截止角 θ_2 的平頂脈衝的分解係數;

$\alpha(\theta_2, \theta_3)$ 為具有下截止角 θ_2 與上截止角 θ_3 的平頂脈衝的分解係數;

$\alpha(\theta_2)$ 為具有下截止角 θ_2 的尖頂脈衝的分解係數。

附錄 2 與 3 中給出平頂脈衝的分解係數 $\alpha(\theta, \theta_2)$ 。

對於很多習題的求解, 在尖頂脈衝時最方便是利用另外一些分解係數。電流的任何次諧波和直流分量, 均可通過 I_n (圖 2.1 a) 與 $I_{\sim} = I_m - I_n$ 來表示。

$$\text{由而:} \quad I_0 = \beta_0 I_n = \gamma_0 I_{\sim};$$

$$I_1 = \beta_1 I_n = \gamma_1 I_{\sim}。$$

餘弦脈衝的各個分解係數 α 、 β 與 γ 以下列關係相聯繫:

$$\beta_0 = \alpha_0 \frac{1 - \cos \theta}{\cos \theta}; \quad \beta_1 = \alpha_1 \frac{1 - \cos \theta}{\cos \theta};$$

$$\gamma_0 = \alpha_0(1 - \cos \theta); \quad \gamma_1 = \alpha_1(1 - \cos \theta)。$$

附錄 1 中給出餘弦脈衝的分解係數 $\beta_0, \beta_1, \gamma_0, \gamma_1$ 的數值。

有時利用表示電流的 n 次諧波對直流分量的比例的波形係數來作計算較為方便：

$$g_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_0} = \frac{\beta_1}{\beta_0} = \frac{\gamma_1}{\gamma_0},$$

$$g_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_0} = \frac{\beta_2}{\beta_0} = \frac{\gamma_2}{\gamma_0}。$$

附錄 1 中給出餘弦脈衝的係數 g_1, g_2 的數值。

2.2. 計算公式

板極電路

三極管

$$\xi_{kp} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - \frac{8P_1}{S_k \alpha_1 E_a^2}}$$

$$\cos \theta = - \frac{E_c - E'_c}{U_c - DU_a}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{E_a - \kappa(E_c - E_{c0})}{U_a + \kappa U_c}$$

$$\cos \theta_3 = \frac{1}{\xi}$$

$$n = \xi \frac{1 - \cos \theta_2}{1 - \xi \cos \theta_2}$$

$$I_{am} = S(U_c - DU_a)(\cos \theta_2 - \cos \theta)$$

$$I_{a1} = \alpha_1 I_{am} = g_1 I_{a0} = S(U_c - DU_a) \gamma_1 = -S(E_c - E'_c) \beta_1;$$

$$I_{a0} = \alpha_0 I_{am} = \frac{I_{a1}}{g_1} = S(U_c - DU_a) \gamma_0 = -S(E_c - E'_c) \beta_0;$$

五極管或四極管

$$\xi_{kp} = 1 - \frac{\kappa_2 E_{c2}}{E_a}$$

$$\cos \theta = - \frac{E_c - E'_c}{U_c}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{\xi_{kp}}{\xi}$$

$$\cos \theta_3 = \frac{1}{\xi}$$

$$n = 1 - \frac{1 - \xi}{1 - \xi_{kp}} \times \frac{1 - \cos \theta}{\cos \theta_2 - \cos \theta}$$

$$I_{am} = S U_c (\cos \theta_2 - \cos \theta)$$

電子管所發生的功率為 $P_1 = \frac{1}{2} I_{a1} U_a$; 從板極電路供應電源所消