

发射电子管 电话工作状态的 理论和计算

苏联Б. С. 阿格福諾夫著

人民邮电出版社

发射电子管电话工作状态的 理論和計算

苏联 Б. С. 阿格福諾夫 著

錢鳳章、王端驥、李嗣范

等合譯

王同胞、李潛生、陈永彬



人民邮电出版社

Б.С. АГАФОНОВ
ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ
РАДИОТЕЛЕФОННЫХ РЕЖИМОВ
ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП
СОВЕТСКОЕ РАДИО
МОСКВА 1955

內 容 提 要

本書首先簡明地介紹了發射電子管的特性及其參數以及電報工作狀態。然後分節敘述了三極管、四極管及五極管在作已調波放大及各種調制時的工作狀態的計算方法，並列出許多例題，使讀者易于掌握計算方法。

書末還列有蘇聯出品的重要發射管的特性曲線及參數等。

本書可供無線電工程師及技術人員在实际工作中以及高等院校無線電系教學中作參考用。

發射電子管電話工作狀態
的理論和計算

編者：蘇聯 Б. С. Агафонов

譯者：錢鳳章 王端驥 李嗣范

王嗣鼎 李潛生 陳永彬

出版者：人民郵電出版社

北京四條大街15號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號)

印刷者：北京市印刷一廠

發行者：新華書店

開本 850×1168 1/32

1957年10月北京第一版

印張 18 24/32 頁數 300 插頁 1

1958年9月北京第二次印刷

印刷字數 510,000 字

印文 1,175—2,174 冊

統一書號：15045·總654 无154

定價：(10) 3.10 元

序 言

在这本书中，敘述了发射电子管工作状态的計算問題。并着重注意无綫电话工作状态的依据和計算方法。为了使讀者不必去查閱作者过去的作品（“发射电子管无綫电报工作状态的理論与計算”“苏联无綫电”出版社1954年出版），在本书头几章中研究了无綫电报工作状态。应该注意，在調幅时最大工作状态的計算實質上与无綫电报工作状态的計算是相似的。而且在調頻制时也是选用这一状态的。由此可見，电报工作状态的敘述便成为講述无綫电话理論的必要前提。因而这本书也可用来計算发射电子管的各種基本运用状态。

作者所敘述的理論是研究大量实验資料的結果，这些資料包括新型发射电子管的静态和动态特性，以及这些电子管的运用状态。作者力图用許多数字計算例題来驗證所提出的計算方法，这些例題几乎涉及苏联所有的新型发射电子管。

計算的結果和图解法得到的結果或者还和电子管工厂所推荐的电子管典型运用状态作了比較。

本书为供无綫电工厂与电子管工厂中与設計或维护发射电子管和电子管振盪器^①有关的工程师和技术員之用。此外，本书亦可用作高等工业学校和中等技术学校无綫电系“无綫电发送設備”課程的教学参考书。

本书末还附有苏联出品的新型发射电子管、充气管和閘流管的

註① 苏联一般的所謂“振盪器”（Генератор）的含義除我國日常所說的用來發生振盪的振盪器（在苏联叫做自激振盪器）外还包括所有諧振放大器（在苏联叫做調諧振盪器）；有时甚至整个發射机也叫振盪器——譯者。

簡明特性。作者所提出的計算方法和某些原理是創始性的。因此，作者欢迎各位讀者对本书內容提出意見和希望。來信請寄莫斯科郵政总局第693号郵政信箱“苏联無線電”出版社。

对于A. P. 亚历山大罗夫，Л. A. 卡特明和B. H. 沙姆舒尔所提的宝贵意見表示感謝。

——作者——

緒 論

无綫电發送設備理論的幾個問題

1. 电子学的作用

无綫电發送設備理論所研究的問題可以分为两个基本类型：发射电子管运用状态的理論与計算問題和电子管振盪器外电路的計算問題。

在无綫电發送設備課程中电子学起着主要的作用。因此，我們认为发射电子管在无綫电报和无綫电话工作状态的理論和工程計算方法应当是該課程的主要章节。当然，我們也不否認該課程其他各章的重要性（例如頻率稳定，中和，回路元件的計算，发射机設計原理等），但是我們认为它們究竟是处于从属地位的。

因此，敘述发射电子管运用状态的理論是无綫电發送設備課程的基本任务。

只有掌握了这一理論，无綫电发射中心站的工程师或設計局的設計师才能选用发射机的正常工作状态，使发射电子管利用得最有效和最合适以保証达到它們規定的寿命。

随着电子学的发展，发射电子管的結構发生了根本的变化，它們的技术指标和参量得到改善。这就說明为什么新型发射电子管和15—20年前所生产的电子管在运用效能上有显著的区别。由于沒有考虑到这一区别，就使得目前在高等学校电子学課程中所講授的某些章节（它們所根据的概念在1930—1937年間还是正确的）与新型电子管典型运用状态之間有着显著的不符。

2. 电子管厂所推荐的發射电子管的典型運用状态

电子管振盪器的計算在于求得能使电子管工作于正确的电流和电压并保証其使用寿命的一系列电的参量。在1928—1935年間，研究无綫电发射机綫路的設計师可以选用的电子管多半是些鎢质阴极的发射三极管，对这些电子管來說，已知的参量仅是电子管厂所給的 E_a 、 I_a 、 P_{aV} 等值。設計师必須自己独立地选用发射电子管的运用状态。因为在那个时候，电子管厂并不在电子管的实际运用方面給出任何具体的建議。

远在1935—1940年間已經开始生产高效率阴极的新型电子管。目前它們在各式各样的发射电子管中已占絕大多數。这些电子管具有更新的参量和更好的各极电流分佈情况。但是与鎢质阴极的电子管比較，它們比較更容易由于溫度条件不正确而損坏，因而要求細心地保持其正确的运用状态。

也就是在那个时候，电子管工厂为了保証电子管的額定寿命，开始向用戶建議这些电子管的典型运用工作状态。电子管工厂为新型电子管振盪器設計师介紹 E_g 、 U_{mg} 、 R_{oe} 、 R_{e2} 、 I_{e2} 及 I_{a0} 等等量值，而留給設計师的工作仅仅是驗證一下这些数值与所設計的发射机的指标是否相符。在很多情况下設計师几乎可以得到电子管振盪器在各种工作型式时的全部数据。例如对于四极管1Y—29，电子管工厂提供了六种不同的电报工作的典型运用状态，以适应电子管各种不同的运用条件，而对于五极管1Y—50，則提供了五种类似的工作状态等。

保持电子管工作于典型状态而避免超过其极限值是每一位运用发射电子管的无綫电专业人員应有的責任，因为这在国民經济方面有着巨大的經济效果——在正确运用下，由于提高了电子管的寿

命，可节约好几百万盧布。

为了适应所设计的发射机的特点，设计师可以选用不同于电子管工厂所建议的工作状态，但在这种情况下设计师亦务必使电子管的各电气极限值不致超过。

在这样情况下，必须用新的计算方法来求电子管振荡器的工作状态，该方法必须能便于很快地验证电子管振荡器的计算，其中主要的是验证功率 P_N 或是更有临界性的量值（例如 $I_{aопр}$ 和 $P_{опр}$ 就比 P_{aN} 更具有临界性些）。由计算所得到的数值应与电子管工厂所推荐的同项数据作比较，这样的比较实质上是一种验证计算是否准确的方法，并能使设计者惯于遵守电子管工厂的要求。

3. 發射电子管的計算參量

电子管振荡器的计算参量问题具有重要的意义，因为如在计算时引用过多的常数会使得计算变成冗长的数学过程。

μ 、 S 、 R_i 是电子管振荡器的基本计算参量。在计算等间距板-栅特性曲线族的旧结构三极管时曾引用这些参量。在新型的具有右板-栅特性曲线高 μ 发射三极管中，板-栅特性曲线族是扇形的。因此，参量 μ 、 S 、 R_i 不是常数，从而失去了计算常数的意义了。典型发射三极管（以及四极管和五极管）的板-栅特性曲线族成扇形，在其起始部分是非常靠近的，因此可以略去板极的反作用，从而使计算公式真正简化。

当发射电子管按正常电流使用时，各种型式的电子管（三极管、四极管、五极管）^①的板极特性曲线的形状都是一样的。大多

① 常有人说，在发射四极管中，由于打拿效应板极特性曲线有凹谷。所以在计算 $E_{опр}$ 时就要用专门的公式。但是我们不同意这种说法，因为这种凹谷只有在自动控制栅偏压下板极电流很小的时候才出现，而在电流正常利用的情况下，板极电流特性曲线是不会出现凹谷的。

数发射电子管的板极特性曲线中的板极电流降落线可以认为就是临界工作线。这一结论对所有发射三极管、集射四极管和大部分普通五极管都是正确的。因而其斜率 S_k 便成为发射电子管的基本计算参量了。而对于 $\mu > 30$ 的三极管, 斜率 S_k 就变成唯一的计算参量了。

对于四极管和五极管而言, 由图解 $S = f(e_a)$ 中所求得的互导是其附加的计算参量。对于一般的五极管, 在最佳的工作状态时大约可以认为 $S_k \simeq (0.7-0.9) S$; 而对于集射四极管和集射五极管来说则为 $S_k \simeq (0.4-0.6) S$ 。

计算常数的简化使计算方法也简化并且提高了计算的准确度。例如, 所有电子管的最佳板极电压利用系数可以用下面同一个公式求出:

$$\xi_{opt} \simeq 1 - \frac{2P_N}{\alpha_1 S_k E_a^2}。 \quad (1)$$

对于所有的四极管, 五极管和具有正确板—栅特性曲线的发射三极管 (在后者用 S 代替 S_k) 可用下列二个简单的公式决定激励电压振幅

$$U_{m_g} = \frac{J_{a1}}{S\beta}, \quad (2)$$

和栅偏压

$$E_g = E'_g - U_{m_g} \cos \theta。 \quad (3)$$

4. 电子管板极电流的利用

对于不同年代出品的各种结构的电子管, 它们的 ξ_{opt} 总在 0.85 → 0.95 的范围内变化。因而高效率阴极的电子管出现并不改变 ξ_{opt} 值的选择问题。

另一情况是电子管板极电流的充分利用问题。在饱和状态工作的旧式钨质阴极三极管中, 板极电流脉冲通常是选择为:

$$I_m \simeq 0.85 \rightarrow 0.9 I_e. \quad (4)$$

虽然这一关系式与用强空间电荷工作的鎢质阴极新型发射电子管的实际应用情况相矛盾，但在发送设备課程中这个关系却仍保留着未改。在强空间电荷情况时該关系式为：

$$I_m \simeq 0.3 \rightarrow 0.6 I_e. \quad (5)$$

如果在計算旧式三极管的有效功率时可以利用公式

$$P_N \simeq 0.2 I_e E_a. \quad (6)$$

那末大多数鎢质阴极的新型发射三极管，就应采用下式

$$P_N \simeq 0.1 I_e E_a. \quad (7)$$

在发射三极管中，采用碳化敷鈹鎢质阴极，可使它們的结构更为完善。

认为只可以在中等功率电子管 ($E_a \leq 1500$ 伏) 中采用碳化阴极的这种說法，現在已經是过时了。目前这样的阴极已經成功地被运用到工作于 $E_a = 18 \rightarrow 20$ 千伏， $P_N \simeq 500$ 千瓦的发射三极管中来了。

大部分碳化阴极的电子管工作于电报状态时，其板极电流脉冲的峯值 $I_m \simeq (0.2 \rightarrow 0.3) I_e$ 。这里 I_e 是放射电流的下限，在板极电流等于这一数值时，板极特性曲綫的上部就彼此非常靠近，这表示快接近饱和状态了。

氧化物阴极电子管沒有明显的饱和电流。一般說来，沒有一定的技术标准可以用来确定阴极的正确負載电流。在文献中所指出的最大放射效率 $H_m = \frac{I_m}{P_r}$ 范围太寬，实际应用有困难，而且与发射电子管动态工作状态的經驗数据也不是常能符合的。如在表 II. 13 中所示各类电子管的 H_0 的范围内选用动态效率 $H_0 = \frac{I_{ao}}{P_r}$ 的值，便可以使高效率阴极电子管的板极电流得到正确的利用。

采用低温度效率的阴极可以使电子管阴极和控制栅极間的距离縮短，而栅极不致过热。从而提高电子管的互导。在氧化物阴极的中等功率电子管中已經可使互导 S 达到 $10 \rightarrow 20$ 毫安 / 伏；而在碳化

阴极的发射三极管中可使 S 达到 250 → 300 毫安/伏。

电子管互导的增大可允许选用较小的板极电流半导角 θ ①, 而不致过分增大激励电压的振幅。对于旧结构的三极管, 半导角 θ 等于 $80^\circ \rightarrow 100^\circ$ 是最合适的, 而在新型电子管中通常 $\theta = 50^\circ \rightarrow 70^\circ$ 最合适。 θ 的减小对于超短波电子管是特别有意义的, 因为对于这些电子管而言, 提高效率和降低板极耗损功率都是最迫切的问题。

改善电子管中电流的分配和减小半导角是提高功率放大倍数的有效方法。新型三极管的功率放大倍数通常为 30 → 50, 有的可以达到 150 (甚至到 600) 而五极管和集射四极管可以达到 150 → 200 甚至到 1000。集射四极管有可能不在正栅极电压部分工作, 也就是在沒有控制栅流的部分工作。这时功率放大倍数理论上等于无穷大。

5. 倍 頻

在計算二次倍頻器和三次倍頻器的工作状态时, 还是要用計算基頻工作状态的公式 (1) (2) (3)②。由于不必考虑板极反作用, 所以計算可大大地简化。

氧化物阴极的新型五极管和四极管在倍頻級应用时电子管振荡器的輸入功率 $P_{\text{поряд}}$ 不需改变。这就是說如果 E_a 等于常数, 則在所有上述各种工作状态下, I_{a0} 也等于常数。如果电子管电流利用程度不变, 那么在倍頻工作时有效功率将减少到基頻工作时的 $\frac{1}{n}$ 倍的說法就不对了 (这里 n 是諧波的次数)。

經驗数据指出: 超短波五极管在二次倍頻工作时其有效功率比

① 原文直譯应为“截止角”, 但其意义实际上为導电角的一半, 故有的譯为通角, 有的譯成半導角——譯者

② 当然, 應該在脚註上要作适当的改变。例如, 在計算二次倍頻时應該把公式 (1) 中的 P_N 用 P_2 ; α_1 用 α_2 來代替。

基頻時約減少20%；而在三次倍頻工作時約減少35—40%，而不是象所說的那樣二次倍頻和三次倍頻工作的有效功率為基頻工作時的 $\frac{1}{2}$ 和 $\frac{1}{3}$ 。這一情況可以解釋如下：例如二次倍頻時，電子管振盪器可工作於小的半導角（ $\theta=45^\circ$ ）同時由於可以利用氧化物陰極的放射潛力，可大大增加板極電流脈衝的峯值。上述原因使 J_{a2} 振幅免於減小，因此與 J_{a1} 相比小的不多（減小約10%）。

6. 負載特性、波段振盪器的計算

建立一套用來計算波段發射機的方法實際上是很需要的，這些發射機能工作在很多頻率而其板極回路的等效電阻不等於 $R_{o, opt}$ 。要擬訂這一計算方法就要求能有用來計算發射電子管負載特性的簡便公式，曾有許多人介紹過一些複雜和麻煩的圖解計算方法，但這些方法的結果並不比H.C.別斯恰斯特諾夫所建議的公式①準確，可是卻需要較長的計算。

在解決擬訂負載特性的計算方法問題時，不應籠統地研究全部發射電子管的性質，而是首先取出那些小功率和中等功率的四極管和五極管來加以研究。因為根據運用條件這些電子管常需要在 $R_o \neq R_{o, opt}$ 情況下工作，而象強功率發射三極管就沒有這種必要。

用圖解法研究許多電子管特性曲線的結果指出，四極管，五極管和高 μ 三極管的最大有效功率亦即負載特性的最高點通常是在板極電流脈衝為平頂時得到；這時，板極剩餘電壓通常與板極特性曲線的轉折點相對應。有些板極特性曲線沒有明顯轉折點的電子管，其最大有效功率是在板極電流脈衝為余弦形時得到②。作者未見到在

① H.C.別斯恰斯特諾夫 (Бесчастнов) 的公式見“蘇聯無線電”出版社1954年出版的“無線電報工作狀態的理論與計算”一書第248頁。

② 低 μ 三極管，例如Г-891。

过压工作状态下能得到最大有效功率的电子管。

实际上沒有必要来计算低 μ 三极管的負載特性。因为这种电子管在中波、短波和超短波段发射机輸出級中是不用的。这些三极管可以在欠压状态下得到最大有效功率。这个問題在理論上也值得注意的。

作者認為所建議的通用負載特性能滿足高 μ 三极管、四极管和五极管的技术計算要求。这些通用負載特性是在用图解法分析新型电子管特性曲綫的基础上拟定的。借助这些特性可以很快地找出綫路簡單的波段发射机的能量关系。

在計算复杂綫路的发射机的輸出級时，可以認為电子管板极回路給出最大有效功率时天綫电路中也給出最大有效功率。这种說法是大家公認的，它将在第四章中進一步敘述。

H. C. 別斯恰斯特諾夫指出，上述二个最大点并不是重合的。但是曲綫

$$P = f(R_{oe}) \text{ 和 } P_A = \eta_A P = \psi(R_{oe})$$

的最大点只有在 $a = \frac{Z}{R_{oe \text{ opt}}} \leq 2$ 时才有明显的偏差，但这种情况是很少見的，通常发射机中介回路的效率为 $\eta_{nk} = 0.8 \rightarrow 0.9$ ，亦即 $a = 5 \rightarrow 10$ 。因此可以不必考虑上述二个最大点之間的偏差。这样就使得計算大大簡化了。

对于超短波发射机可能有 $a \leq 2$ 的情况。但是在这样的近似計算中所得的誤差沒有起什么大的作用。必須強調指出：在計算超短波电子管振盪器时主要誤差是由于电子管效率和板极电路效率不一致所引起的，而这一情况在計算时一般却沒有考虑。既然有了这种誤差，所以也就不必計較功率 P 和 P_A 最大值之間的偏差了。

如果波段发射机輸出級电子管在最佳状态时（亦即在 $R_{oe} = R_{oe \text{ opt}}$ 时）是工作于极限板极电流，則在波段內其他波长上工作时板极电流不允許再有增加。

7. 电子管振荡器的等效线路

絕大多数发射电子管（高 μ 三极管，四极管和五极管）的基波电流振幅可以按下式求得：

$$J_{a1} = S\beta U_{m_g} \quad (8)$$

这公式对最佳工作状态和欠压状态时是正确的。

利用上式可以画出上述工作状态的等效线路，其中电子管振荡器用振幅为 μU_{m_g} 的交流电动势和外电路短路时的内电阻 $R'_i = R_i \alpha_i$ 来代替。

在过压工作状态，板极电流脉冲可具有深可到底的凹谷。这时电子管振荡器可以用内阻为零的交流电动势 $(0.9 \rightarrow 1) E_a$ 来代替，同时外电路的等效电阻是 R_{oe} 。

8. 超短波电子管計算的特點

电子惰性在超短波发射电子管内所发生的物理过程中的作用常常被过分地誇大了。經驗数据証实了电子惰性对超短波电子管的效率并没有那样显著的影响。因此，計算这些电子管的运用状态时就不需注意电子在极間的飞越時間了。

但是，在討論超短波电子管的工作时，必需說明在电子管内高频損耗（介質及其他損耗）急剧增加的問題。因此，电子管振荡器产生的功率有一部分耗損在电子管结构中，因而板极电路效率 $\eta_{aenu} = \frac{P_{aenu}}{P_0}$ 将小于电子管效率 $\eta = \frac{P}{P_0}$ 。在計算时必须考虑到这效率的减小，它有时会减小 $30 \rightarrow 40\%$ 。

在画超短波电子管的等效电路时必须考虑上述高频損耗。它可以用一个与板极电路并联并和频率成反比的有效电阻 R' 来表示。因为 E_a 减小时 $R_{oe\ opt}$ 降低，比值 $\frac{R'}{R_{oe\ opt}}$ 增加，故电子管中的交流功

率耗損就減小。所以工作頻率提高時 E_a 必需降低。

超短波電子管的工作溫度是另一個非常重要的問題。超短波電子管的板極額定耗損功率 P_{aN} 是指電子管結構中全部耗損功率的極限值 P_T 。而對中波和短波電子管而言，功率 P_{aN} 其實就是指板極上熱耗損的極限值。

超短波電子管在極限溫度下工作時有下列關係式：

$$P_T = P_o - P_{\text{熱}} = P_{aN}.$$

在大多情況下，超短波電子管工作於極限溫度或近於極限溫度下。例如，很多超短波電子管在電報工作時有下面的關係式：

$$P_T = (0.9 \rightarrow 1) P_{aN}. \quad (9)$$

這說明這時電子管的發熱情況是最嚴重的，這種情況在短波和中波電子管中只有在柵極調制的載波點才會發生。

由於這個原因，人們都力圖使超短波電子管在過壓狀態下工作。因為這時由於板極耗損功率減小，可使溫度降低，因之可以減小板極的尺寸從而減小極間電容，提高極限工作頻率。

如取 E_a 和 $P_{o \text{ 極限}}$ 作為原始數據，就可以進行最簡單而準確的過壓狀態的計算。

上面我們講的，計算超短波電子管時可以不考慮電子惰性的意見不適用於分米波段的電子管。

分米波段電子管的額定有效功率尚在逐漸增大。某些分米波三極管在連續工作時有效功率 P 可達 $5 \rightarrow 10$ 千瓦，而在發射速調管中可達到 $P = 10 \rightarrow 15$ 千瓦，這一情況說明目前已不能把磁控管看作是唯一可能的強功率超短波振盪器了。

9. 極限電參量

在運用發射電子管時，保持各極限電參量有很大的意義。鎢質

阴极旧結構三极管的主要极限参量是 E_a 、 P_{aN} 和 I_e 。

新型电子管的极限参量的項目大大地增加了，其中主要的有 E_a 、 P_{aN} 、 $P_{onp\text{св}}$ 、 $I_{ao\text{ npсв}}$ 及 f 。为了在具体运用时能选定該情况下最具臨界性的极限值，就必须清楚地說明每一极限量意义。极限量更詳細的特点将在第二章第十七节和第十三章第三节中說明。

10. 电话状态的特點

当計算新型发射电子管的电话状态时不应该不加說明地引用旧式錫质阴极三极管的許多計算公式。例如大家都知道最大状态时的有效功率 P_{max} 是选得等于电子管的額定有效功率：

$$P_{max} = P_N \quad (10)$$

所以調制系数为百分 之百的柵极調制 ($m = 1$) 时，載波状态时 (不发話时) 的有效功率为：

$$P_{acc} = \frac{P_{max}}{(1+m)^2} = 0.25 P_N, \quad (11)$$

这里 m 是調制系数。

在板极調制且 $m = 1$ 时

$$P_{acc} = 0.5 P_N. \quad (12)$$

式(10)、(11)、(12)都是假定最大状态时錫质阴极的放射已被充分利用的情况下而得到的。因此，如选择板极电压 $E_{acc} = E_{aN}$ 时，功率 P_{max} 将受到基本极限参量放射电流 I_e 的限制。

許多高效率阴极的新型电子管，在最大状态时的板极电流脈冲可以选得比电报状态时大得多 (为它的一倍半到二倍)，所以功率 P_{max} 将增大。例如五极管ГУ—413用作控制柵調制时 $P_{max} \approx 1.8 P_N$ ，而对于四极管ГУ—27Б來說， $P_{max} \approx 1.5 P_N$ 。

对于新型电子管而言，無論是何种型式的柵极調制，都应把功

率 P_{aN} 当作是基本的极限参量。可以肯定:

在大多数典型载波运用状态下, 板极耗损功率为

$$P_a = (0.8 \rightarrow 1) P_{aN} \quad (13)$$

而在最大状态时

$$P_{max} \simeq (1.8 \rightarrow 2) P_{aN} \quad (14)$$

因此, 功率 P_{max} 取决于“板极储备强度”, 而公式(10)只对部分情况才是正确的。

在控制栅调制时, 对于大多数电子管而言, $\theta_{nec} \simeq 55^\circ \rightarrow 70^\circ$ 。

在已调波放大时, 电子管通常工作于B类, 但是许多时候仍选用 $\theta_{nec} \simeq 70^\circ \rightarrow 80^\circ$ 。

各种型式栅极调制的公共特点是板极电流脉冲没有失真, 在抑制栅极调制时, 这关系也不例外。

现在来谈谈新型电子管板极调制和板极一帘栅极调制的特点。公式(12)只有在部分场合下才是正确的, 因为在推导这一式子时是假定电流的利用率比电报状态小, 并且未考虑板极电压 E_{anec} 低于 E_{aN} 的必要性。

經驗指出: 为避免电击穿, 必须选择

$$E_{anec} \simeq (0.75 \rightarrow 0.8) E_{aN} \quad (15)$$

由此可见, 板极调制时 E_{anec} 成了一个基本极限参量, 板极电流的范围为:

$$I_{a0 nec} \simeq (0.5 \rightarrow 0.8) I_{a0}, \quad (16)$$

式中 I_{a0} 是电报状态时的电流。

当式(15)和(16)满足时, 大多数电子管的载波功率为:

$$P_{nec} \simeq (0.45 \rightarrow 0.6) P_N \quad (17)$$

某些高效率阴极的四极管和五极管 (例如 $1Y-13$, $1Y-50$, $1Y-807$, $1Y-29$, $1Y-27B$) 可以选用

$$I_{a0 nec} \simeq (0.8 \rightarrow 1.0) I_{a0}, \quad (18)$$