

新式发射三极管 工作状态的计算

苏联 B. A. 哈茨凱列維奇 著

孙文治 译

张大奎 校

人 民 邮 电 出 版 社

В. А. ХАЦКЕЛЕВИЧ
РАСЧЁТ РЕЖИМОВ НОВЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ ТРИОДОВ
СВЯЗЬИЗДАТ 1961

內 容 提 要

本书用实例詳細地叙述了一种計算新式发射三极管振盪器板极电路的“等效参量法”，采用这种方法，可以利用基于 А. И. 别尔格方法的各种公式、数表和曲线，所給出的結果与精确的图解計算的結果相比，誤差极小，而且这种方法还可用来計算老式发射三极管振盪器的板极电路。

本书可供設計、制造无线电发送设备的工程技术人员、大专院校无线电专业师生参考。



新式发射三极管工作状态的計算

著 者： 苏联 В. А. 哈茨凱列維奇
譯 者： 孙 文 治
校 者： 张 大 奎
出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 19 号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂
发行者： 新 华 书 店 北 京 发 行 所
經售者： 各 地 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1966 年 3 月北京第一版

印张 1 24/32 页数 28

1966 年 3 月北京第一次印刷

印刷字数 39,000 字

印数 1—4,950 册

統一书号：15045 · 总1548—无454

定价：(科 6) 0.24 元

前 言

本书对于新式发射三极管板极电路的计算提出了一种等效参量法，采用这种方法就可以利用对板流理想化特性曲线为平行折线的电子管所导出的计算方法。大量的验算证明：所提出的计算方法与根据实际特性曲线的准确图解算法相比，在很宽的工作状态范围内（在功率、工作强度和通角方面），误差都很小。

本书还对栅极电路的计算提出了修正经验系数，这些系数在振荡器工作状态很宽的范围内作者进行过验证。

本书所提出的计算方法是通用的，因为这些方法既可以用来计算老式发射电子管，又可以用来计算新式大功率帘栅管。

目 录

前言

1. 新式发射三极管的特点及其特性曲线	1
2. 新式发射三极管计算方法的选择	4
3. 栅极电路的计算	6
4. 板极电路等效参量的确定	14
5. 板极电路各种工作状态的计算	19
A. 概述	19
B. 欠压（或临界）工作状态振荡器的计算	20
B. 利用逐次近似法计算过压工作状态的振荡器	22
Г. 利用 Г. А. 齐脱列诺克方法计算过压工作状态的振荡器	25
Д. 过压工作状态栅流计算的讨论	32
6. 等效参量法准确度的分析	33
7. 振荡器计算举例	39
A. 欠压工作状态的计算	39
B. 过压工作状态的计算	41
B. 所得结果的分析	46
参考文献	47
附录 尖顶(余弦)脉冲系数表	49

1. 新式发射三极管的特点及其特性曲线

新式发射三极管 (ГV-5, ГV-10, ГV-21Б, ГV-22A, ГV-23 A, ГK-5 A 等等) 与老式发射三极管 (ГKO-10, ГKO-30, Г-433, ГK-3000 等等) 相比较, 结构上有很多差别。这些差别是: 阴极装置的类型 (改用了激活阴极)、电极引线结构 (采用了环形栅极引线, 有时为了减少阴极引线电感量, 阴极也用环形引线)、所用的材料、工艺的过程、外形、相互的位置 (内部几何位置)、管内电极的固定方式、管子尺寸的缩小、冷却的设备与方式等等。电子管结构的改变相应地改变了管内的电子运动情况和工作条件。这将影响到管内的电流分配、电子管的参量、静态特性曲线的形状、各个电极工作的能量情况和温度状态。

采用激活阴极电子管 (一般用碳化钨钽钨阴极), 有下述特点:

1. 提高了阴极放射率, 几乎在任何正常的连续工作的情况下, 阴极放射都超过所需要的电流脉冲。实际上并没有饱和电流的限制, 因而也就不受饱和电流使阴流脉冲变平的限制。

2. 提高了板流特性曲线的斜率。

3. 栅极过热时具有强烈的热电子发射倾向, 这在存在大栅流的情况下是一个严重的缺点。

如果说老式发射管在充分利用功率时的限制因素, 照例是饱和电流和容许的板耗功率, 那末一些新式电子管在一系列工作状态下, 主要的限制因素是容许的栅耗功率。所以, 对于新式电子管进行准确地栅极电路的计算 (亦即栅流分量的计算),

十分重要。

在图 1 和图 2 中示出了老式和新式发射三极管典型的板流和栅流特性曲线。

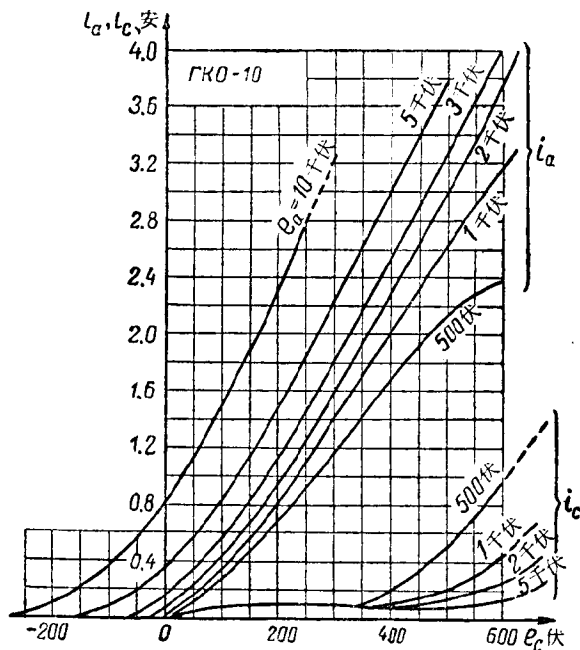


图 1

除了提高了斜率和放射率的数值以外，还必须指出新式发射三极管特性曲线的下述几个特点：

1. 在一些新式电子管板-栅坐标系中的板流特性曲线具有很明显的扇形，这与老式三极管不同，在老式管中，它们几乎是等距平行的线族。新式电子管的特性曲线的下端一般显得

沒有老式管那樣清晰。

2. 新式电子管的栅流特性曲线与老式管的栅流特性曲线的差别特别大。第一，新式电子管的栅流显著地大于老式电子管的相应数值，尤其是在低栅压区域内。第二，新式电子管在栅极坐标系中的曲线族上看不到老式管特有的两个区段：一段为“小栅流”段，在这一段上所有特性曲线都很平，而且几乎重合在一起；另一段为“大栅流”段，

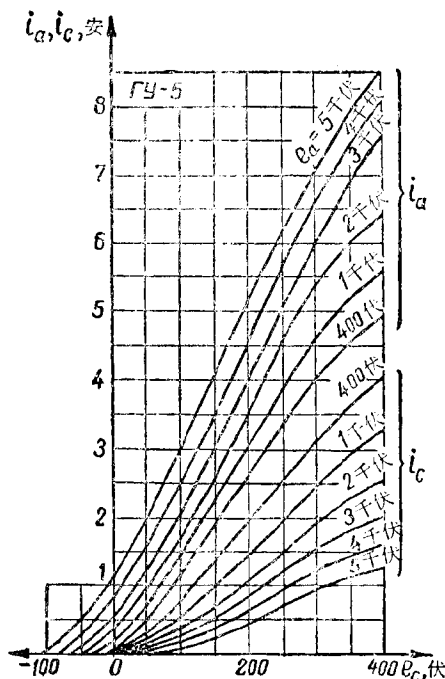


图 2

在这一段上特性曲线是等距平行的，而且斜率大，斜率等于板流曲线的斜率。与此相反，新式三极管的栅流特性曲线是从坐标原点出发立刻就散开成一个很宽的扇形。

显然，新式电子管栅流分量的相对数值 $\frac{I_{c0}}{I_{a0}}$ 和 $\frac{I_{c1}}{I_{a1}}$ 相应地要比老式管大。由于这种在板路和栅路之间放射电流的不良分配，在某些根据功率很好地利用电子管的情况下，电子管不能

处于最佳工作状态（弱过压状态甚至临界状态）¹⁾，有时甚至只好减低振荡功率。此时，主要由于板压利用系数 ξ 的降低，使效率降低，有时由于要求的通角 θ 的增大，也会降低效率。由此可见，对于某些新式电子管，在很好地利用其功率时，只好牺牲电子管的效率。

2. 新式发射三极管计算方法的选择

利用 A. И. 别尔格的方法直接把新式发射三极管的板流特性曲线理想化，特别是把栅流特性曲线理想化是不可能的。把这些曲线近似为扇形曲线族就会准确得多，但此时，在正常条件下（振荡器负载调谐时），板流动态特性曲线将不是直线，而是带有向上凸起的曲线，而栅流的动态特性曲线也是曲线，不过它是向下凸起的曲线。因此，与余弦脉冲相比，板流脉冲会略平一些，相反栅流脉冲却十分尖锐（见图 3 a 和 б）。

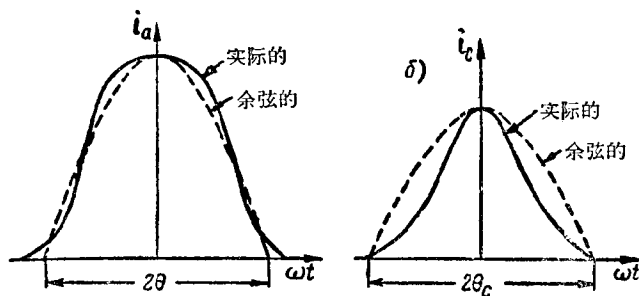


图 3

1) 因为工作于最佳状态（弱过压状态或者临界状态），这时栅流太大，栅耗可能超过允许值。——校者

由此可见，利用別尔格的經典理想化建立起来的計算方法和后来发展的并經過詳細研究的对电子管振蕩器各种工作状态和綫路的計算方法[文献1]，在这种扇形近似化的情况下，都是不适用的。別尔格的計算公式和脉冲（分解成級数的）分解系数表也同样是不适用的，因为这些系数表是在动态特性曲綫为直綫（或折綫）时得到余弦脉冲的情况下計算出来的。

对于板极电路的計算，有些作者研究出一种新的計算方法，这种方法是以扇形板流特性曲綫为基础[文献4]。但是利用这种方法进行計算时，实际上是极其复杂的，所以不能作为工程計算的方法。利用純粹的图解計算法，对于非批量的一次計算，以及对于工程师、技术員或大学生的日常工作中的大略估算，都是不适当的。

最好有这样的一种分析計算法，它既能最大限度地利用我們已經很好掌握和詳細研究过的、建立在別尔格理想化特性曲綫上的計算方法，同时又能給出与真实数值和当符合的計算結果。

用分析法和图解法对大量的新型电子管在各种調制和未調制工作状态进行大量的計算，再把这两方法得到的結果进行比较，在研究和整理了这些大量的統計材料之后，就可能得到这种分析計算方法。

分析了选择計算参量的規律后，可以找出从扇形（实际）特性曲綫确定“等效”計算参量的一般原則，以便在以別尔格理想化建立起来的普通分析計算方法中利用这些参量。我們把这种方法叫做“等效計算法”。

知道了从实际特性曲綫确定等效計算参量的方法，就不难算出这些参量，有了等效参量就可以利用大家熟知的普通計算方法。

3. 柵极电路的計算

柵极电路的計算实质上可归結为：根据已知的直流和交流的柵压 E_c 和 U_c 以及板压 E_a 和 U_a 来算出柵流分量 I_{c0} 和 I_{c1} (指的是振蕩的放大)。考虑到前面所說的柵路計算必須具有足够高的准确度，应该认为利用范围很寬的經驗系数的計算法是不适当的，例如熟知的坦卡-兰格(Танка-Ланге)公式

$$i_{c \text{ макс}} \approx (0.1 \sim 0.3) i_{a \text{ макс}} \sqrt{\frac{E_c + U_c}{E_a - U_a}} \quad (1)$$

就是不恰当的，由此式再用普通方法确定柵流分量：

$$\left. \begin{aligned} I_{c0} &= \alpha_0 i_{c \text{ макс}} = f_0(\theta_c) i_{c \text{ макс}} \\ I_{c1} &= \alpha_1 i_{c \text{ макс}} = f_1(\theta_c) i_{c \text{ макс}} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$\left(\text{其中 } \theta_c = \cos^{-1} \frac{E_c}{U_c} \right),$$

或者用大致上与此等价的、但由板流直接确定柵流分量的較簡單的方法，即

$$I_{c0} \approx (0.05 \sim 0.15) I_{a0}, \quad (3)$$

$$I_{c1} = \gamma_c I_{c0} \approx (1.8 \sim 2) I_{c0}, \quad (4)$$

也是不适当的。

上述两种方法是对于靠近临界工作状态推荐的，而在这种状态下，新式电子管的柵耗可能处在极限数值，所以不能允许有三倍的誤差¹⁾。比較准确的方法是利用公式(2)来計算柵流，但电流脉冲不是用公式(1)，而是由实际特性曲綫来确定：

1) 实际上得到的誤差还要大，因为对于某些新式电子管，在临界状态时，公式(3)中的經驗系数可以达到 0.3~0.4 甚至更大(见表 4)。

$$i_{c \text{ макс}} = f(e_{c \text{ макс}}, e_{a \text{ мин}}) = f(E_c + U_c, E_a - U_a). \quad (5)$$

但是，准确的計算表明(見后文)，即使是这样算出来的，它的誤差(与真实数值相比)也会达到+50%左右。这是由于前面說过的(见图3б)栅流脉冲的形状不是余弦而引起的。在上述的栅流特性曲线形状的情况下，不論工作状态如何，栅流脉冲的形状在性质上保持不变。这一情况启示了我們在公式(2)中引入修正經驗系数 κ_{0c} 和 κ_{1c} 的想法。修正經驗系数表示实际的栅流分量比假定的理想化栅流分量(具有与实际栅流脉冲同样最大值 $i_{c \text{ макс}}$ 和通角 θ_c 的余弦脉冲)小多少。所有这些都可明显地从图4看出。

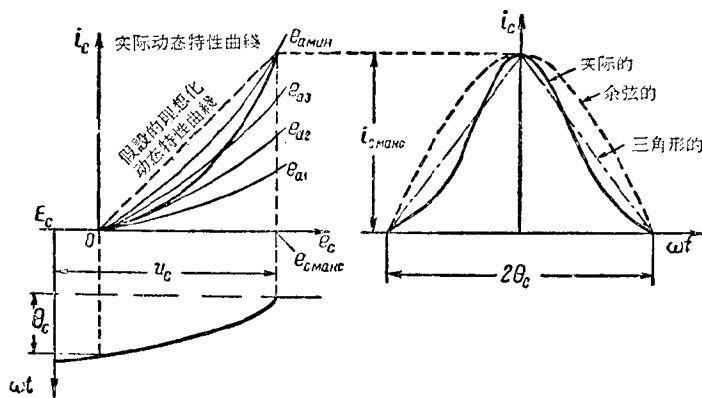


图 4

根据这种方法，可按下列公式算出栅流分量：

$$I_{c0} = \kappa_{0c} \alpha_{0c} i_{c \text{ макс}} \quad (6)$$

和

$$I_{c1} = \kappa_{1c} \alpha_{1c} i_{c \text{ макс}}. \quad (7)$$

式中脉冲 $i_{c \text{ макс}}$ 可按已知的栅压和板压从实际特性曲线

(5)上确定¹⁾，而分解系数 α_{0c} 和 α_{1c} 可由具有通角 θ_c 的余弦脉冲的别尔格表或曲线查得，其中

$$\cos \theta_c = \frac{-E_c}{U_c}. \quad (8)$$

许多别的作者也利用了类似的计算方法。例如，B. C. 阿格福诺夫(Агафонов)[文献5]提出取 $\kappa_{0c}=0.7\sim 0.8$ 。这种建议仅用于电报工作状态，这种状态大致相当于额定数据下的临界工作状态。但没有对这些数值及其它工作状态的数据提出明确的定量论据。

Ю. В. 鲍果斯洛夫斯基(Богословский)[文献2]对于临界工作状态采用 $\kappa_{0c}=\kappa_{1c}=\kappa_c=0.65$ ，这个数据是基于对电子管额定功率和 $\theta=90^\circ$ 时进行了五次单独的計算取其平均值而得出来的。这样少量的统计材料虽然也是有意义的，但是显然不足以作出可靠的建议，因为这些系数依从于按电流利用电子管的工作状态、板流通角 θ 和别的一些条件。在实际情况中，所有这些数量都会在很宽的范围内变化，因此修正系数也变化，而且对不同的电子管，这些系数也是不同的。由于栅极工作状态选择的重要性，因而曾经对大多数的新式三极管（有所需要特性曲线者）进行了大量的准确的图解計算，这些計算是在很宽的工作强度范围（从 $\xi \approx \frac{1}{2}\xi_{kp}$ 到 $\xi=1$ ）和功率范围内（从 $\frac{1}{4}P_{\sim n}$ 到 $E_a=2E_{an}$ 时的 $2P_{\sim n}$ ），以及在不同的板流通角（ $\theta=70^\circ$ ， 90° 和 120° ）时进行的。这些計算的结果的一部分列示于表1中和图5的曲线上²⁾。

研究这些结果可以得出下列一些結論：

1) 参阅第5节Ⅱ的計算。

2) 图5中的 x 表示出现在过压状态中的板流脉冲的相对谷深[見公式(77)]。

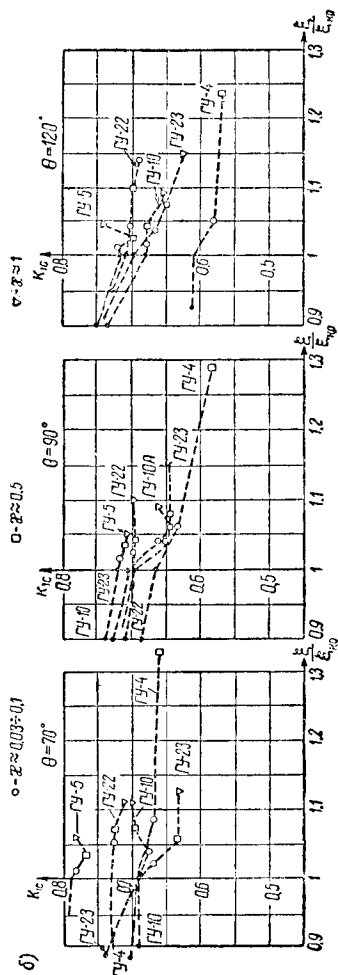
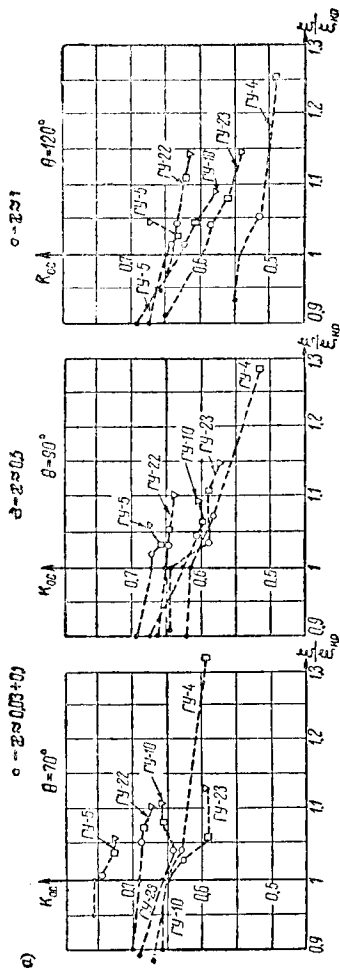


图 5

表 1 栅极电路的计算

工作状态 态编号	起 始 数 据			ξ	$i_{c \text{ max}}$ (安)	θ_c° (安)	I_{c0} (安)	I_{c1} (安)	γ_c (瓦)	P_c (瓦)	K_{0c}	K_{1c}
	E_a (千伏)	U_a (千伏)	E_c (伏)									
ГV-5A												
1	5	5.0	- 55	1.0	3.6	81	0.67	1.21	1.81	175 ²⁾	0.63	0.70
2	5	4.9	- 55	0.98	2.5	78	0.46	0.83	1.81	90	0.65	0.71
3	5	4.82	- 55	0.96	2.25	78	0.42	0.76	1.80	79	0.67	0.72
4 ¹⁾	5	4.75	- 55	0.95	2.2	78	0.41	0.74	1.78	77	0.67	0.72
5	5	4.25	- 55	0.85	1.75	78	0.34	0.61	1.78	63	0.66	0.74
6	5	2.5	- 55	0.5	0.55	75	0.19	0.18	1.80	13	0.70	0.75
7	5	2.5	- 55	0.5	0.05	65	—	—	—	—	—	—
8	5	5.0	- 154	1.0	3.65	70	0.67	1.24	1.85	180 ²⁾	0.72	0.73
9	5	4.9	- 154	0.98	2.55	67	0.45	0.83	1.86	90	0.73	0.78
10	5	4.75	- 154	0.95	2.4	67	0.43	0.79	1.86	83	0.74	0.78
11 ¹⁾	5	4.7	- 154	0.94	2.3	67	0.42	0.77	1.84	83	0.75	0.79
12	5	5.0	- 5	1.0	3.6	89	0.76	1.34	1.76	200 ²⁾	0.67	0.74
13	5	4.95	- 5	0.99	2.1	89	0.42	0.75	1.78	72	0.64	0.72
14	5	4.9	- 5	0.98	2.4	89	0.46	0.82	1.80	88	0.63	0.70
15 ¹⁾	5	4.78	- 5	0.96	1.95	89	0.39	0.69	1.78	66	0.64	0.71

續表

工作状态 态编号	起 始 数 据				i_c	$i_{c\text{ макс}}$ (安)	θ_c°	I_{c0} (安)	I_{c1} (安)	γ_c	P_c (瓦)	κ_{0c}	κ_{1c}	
	E_a (千伏)	U_a (千伏)	E_c (伏)	U_c (伏)										
ГВ-10А														
1	8	8.0	-120	680	1.0	6.2	80	1.06	1.96	1.83	540 ²⁾	0.60	0.67	
2	8	7.75	-120	600	0.97	4.6	79	0.75	1.38	1.83	320 ²⁾	0.59	0.64	
3	8	7.6	-120	570	0.95	3.8	78	0.63	1.16	1.83	250	0.60	0.66	
4 ¹⁾	8	7.32	-120	560	0.915	3.1	78	0.54	0.99	1.83	210	0.63	0.7	
5	8	6.6	-120	580	0.825	2.4	78	0.45	0.81	1.80	180	0.67	0.73	
6	8	3.6	-120	470	0.45	0.75	75	0.16	0.28	1.75	46	0.79	0.82	
7	8	3.6	-120	280	0.45	0.2	65	—	—	—	—	—	—	
8	8	8.0	-346	950	1.0	6.7	68	1.09	2.02	1.85	580 ²⁾	0.66	0.7	
9	8	7.75	-346	900	0.97	5.5	67	0.88	1.63	1.86	430 ²⁾	0.65	0.7	
10	8	7.5	-346	840	0.94	4.2	66	0.64	1.19	1.86	280	0.64	0.68	
11 ¹⁾	8	7.2	-346	840	0.9	3.5	66	0.55	1.01	1.85	240	0.65	0.69	
12	8	8.0	—	500	1.0	5.2	89	0.94	1.68	1.79	415 ²⁾	0.57	0.65	
13	8	7.7	—	414	0.96	3.5	83	0.63	1.12	1.78	230	0.61	0.67	
14	8	7.5	—	414	0.94	3.12	83	0.58	1.03	1.78	210	0.62	0.68	
15 ¹⁾	8	7.36	—	414	0.92	2.85	83	0.52	0.93	1.78	200	0.62	0.68	

注: 1) 临界状态(在实际板流脉冲顶部出现平頂);

2) 栅极损耗功率超过容許值。

- а) 系数 κ_{1c} 总比系数 κ_{0c} 大 7~10%;
- б) θ 增大时修正系数减少不多;
- в) 工作强度提高时, 两个系数都略微减小一些;
- г) 对于不同型号的电子管, 这些系数大致上会在 20% 的范围内变动, 或者对某一中心值而言改变 $\pm 10\%$ 。

在低栅流电平 ($\xi \approx \frac{1}{2} \xi_{\kappa p}$) 时的某些“突变”, 是由于特性曲线的不准确造成计算误差引起的, 没有什么实际意义。这对于栅流本来就小的 ГY-4 A 型电子管也是如此。

如果略去这些不关重要的“突变”, 则可以发现, 其余所有的系数值都是很“密集”的, 亦即在各种因素改变时, 它们的变动实际上很小。

如果取其平均值, 计算时可用¹⁾:

$$\kappa_{0c} \approx 0.66 \approx \frac{2}{3}, \quad (9)$$

$$\kappa_{1c} \approx 0.72 \approx \frac{3}{4}, \quad (10)$$

其准确度约为 $\pm 15\%$ 。把这些数字代入公式(6)和(7), 即可得到计算实际栅流的最終公式:

$$I_{c0} \approx 0.66 \alpha_{0c} i_{c \text{ макс}} \approx \frac{2}{3} \alpha_{0c} i_{c \text{ макс}}, \quad (11)$$

$$I_{c1} \approx 0.72 \alpha_{1c} i_{c \text{ макс}} \approx \frac{3}{4} \alpha_{1c} i_{c \text{ макс}}. \quad (12)$$

实际栅流脉冲的波形系数

$$\gamma_{cp} = \frac{I_{c1}}{I_{c0}} \approx 1.1 \frac{\alpha_{1c}}{\alpha_{0c}} = 1.1 \gamma_{c \text{ 理想}}, \quad (13)$$

1) ГY-5A 电子管的数据除外, 对它来说应该取 $\kappa_{0c} = 0.8$ 和 $\kappa_{1c} = 0.85$ 。

比假定理想化的要大 10% 左右。在很好利用电子管的功率、而板流通角的范围为 $\theta \approx 70 \sim 120^\circ$ 間时，栅流通角的范围为 $\theta_c \approx 60 \sim 85^\circ$ 。此时

$$\gamma_{cp} \approx 1.8 \sim 2, \quad (14)$$

这与前面所取的数值(4)正好相符。

应该指出，把栅流脉冲近似成高为 $i_{c \text{ макс}}$ ，底为 $2\theta_c$ 度的三角形时，也能给出頗好的结果。此时可用下式确定栅流的直流分量：

$$I_{c0\Delta} = \frac{\theta_c (\text{度})}{2\pi} i_{c \text{ макс}} = \frac{\theta_c^\circ}{360^\circ} i_{c \text{ макс}}. \quad (15)$$

但在角度 $\theta_c \approx 60 \sim 85^\circ$ 的范围内，这个公式给出的结果要比更加精确的公式(11)大 15% 左右。所以：

$$I_{c0} \approx 0.85 \frac{\theta_c^\circ}{360^\circ} i_{c \text{ макс}}, \quad (16)$$

$$I_{c1} \approx (1.8 \sim 2) I_{c0}. \quad (17)$$

这些公式在计算时不需要用分解系数表，是比较方便的。

不管用那一种方法确定了实际栅流的分量后，就可用普通的公式求出栅路的各功率。

激励功率

$$P_{\sim c} = 0.5 U_c I_{c1}. \quad (18)$$

栅极损耗功率

$$P_c = P_{\sim c} + E_c I_{c0} \leq P_{c \text{ доп}}, \quad (19)$$

式中栅偏压是带有正负符号的(代数值)。

在短波段，还得考虑到由于主要通过电容 C_{ac} 到栅极的一部分回路电流而引起的附加栅极热损耗。它的数值可用功率

$$\Delta P_c \approx \frac{(U_a + U_c)^2}{2 Q_c X_{ac}} \quad (20)$$