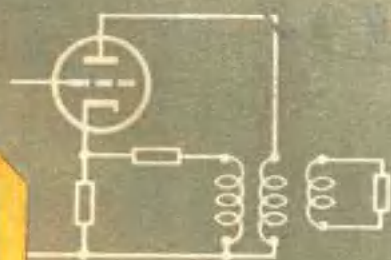


253834

基本馆藏

载波电话机群放大器的 设计和制作

蔡兴安 吳建弘編



人 民 邮 电 出 版 社

內 容 提 要

這本書比較系統地介紹了載波機群放大器的設計與制作。全書共分五部分：第一部分敘述群放大器的質量指標；第二部分敘述負回授放大器的分析與計算；第三部分敘述幾種常見的負回授放大器電路；第四部分敘述群放大器的設計實例；第五部分敘述消除放大器自激的方法，以及制作中應注意的問題。

載波電話機群放大器的設計和制作

編 者： 蔡 興 安 吳 建 弘

出版者： 人 民 郵 電 出 版 社

北 京 東 四 條 街 13 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第(一)四八號)

印刷者： 北 京 新 華 印 刷 廠

發行者： 新 華 書 店

開本 787×1092 1/32

1959年8月北京第一版

印張 3 4/32 頁數 50

1959年8月北京第一次印刷

印 刷 字 數 74,000 字

印 數 1—2,900 冊

統一書號：16045·總 898—有 178

定 價：(10) 0.39 元

前 言

党的社会主义建設总路綫，鼓舞了全国人民，在我国各項建設事业中掀起了史无前例的全面大跃进。技术革命已在全国普遍地展开了，通信工作也和其它工作一样，在1958年有了很大的跃进。为了适应大跃进中对通信需要的迅速增长，許多通信部門都在設計制造載波机，因此我們編写了这本书，供同志們在設計和制造多路載波机群放大器时参考。

为了使讀者对載波机的群放大器的設計与制造有一个系統的了解，我們在这本小册子中介绍了一些理論分析，但从設計和制造的实际应用出发，把某些繁杂的証明和推演部分略去了，虽然因此使得有些地方不够严格，但我們认为这对設計和制造是不会有太大影响的。

本书还列出了一般数据和国际电话咨詢委员会建議的一些数据（如明綫上、电綫上群放大器的过負荷电平及非綫性衰减等），并附有設計实例，以便不通过复杂的理論分析即可使用这些有关数据进行設計和制造。

由于我們的理論水平不够高，实际經驗也不多，編写的時間又比較匆促，因此，書中可能有錯誤的地方，恳切地希望讀者加以指正。

目 录

前 言

第一章 载波机中的群放大器 1

第二章 群放大器的质量指标 2

1. 放大器的工作增益 2

2. 频率特性 4

3. 放大器输出端的功率电平 7

4. 非线性衰减 13

5. 输入及输出阻抗 16

6. 输出端的杂音电压 16

7. 放大器特性的持恒度 17

8. 放大器的稳定度 18

第三章 用负回授改善放大器的主要质量指标 18

1. 提高了放大系数的稳定性 20

2. 频率特性变好 20

3. 非线性失真减小 21

4. 使电子管杂音减小 22

5. 群放大器必须采用强负回授 23

第四章 强负回授放大器的一般分析及公式 23

1. 放大器总的增益 25

2. 回授强度 27

3. 输出阻抗 Z_{out} 28

4. 负载阻抗 Z_a 29

5. ρ 的计算 30

第五章 几种常用的电路 32

1. 变压器式桥电路 32

2. 电阻式桥电路 34

	3. 电流負回授电路	35
	4. 电压負回授电路	35
	5. 其他形式的一些电路	36
第六章	群放大器的設計步驟及实例	37
	1. 設計步驟	37
	1). 选择电子管	38
	2). 輸出級計算	38
	3). 确定負回授深度	38
	4). 輸出六端网络的选择与計算	39
	5). 計算回授四端网络	39
	6). 計算前置級	40
	7). 校驗放大器的实际增益是否符合要求	41
	8). 輸入及輸出变压器电的計算	41
	2. 群放大器設計实例	41
第七章	强負回授放大器的總定度	57
	1. 放大器自激的原因	57
	2. 穩定性的判定准則	58
	3. 回授放大器的最佳截止特性	63
	4. 絕對穩定的强負回授放大器	69
第八章	制造中的几个問題	84
	1. 变压器的設計与制造	84
	2. 元件和材料的选择	88
	3. 几个减少杂音的方法	90
	4. 結構設計	92
	5. 装机	92
	6. 測試	93
	7. 調整	96
附:	群放大器的电路图及零件数值表	97

第一章 載波機中的群放大器

現代多路載波機中，絕大多數都採用群路制（有許多公共設備）。群放大器（或稱集體放大器，有些機器上又稱綫路放大器）就是群路設備中一個重要的、影響較大的部件，它的作用是把各路已經調幅的信號同時加以放大，提高發送電平（或提高接收端很低的電平）以延長載波機的通信距離。

顧名思義，群放大器不是放大一路的信號，而是放大多路的信號，因此它與一般的放大器不同，主要的特点是：

1. 多路群放大器容易產生串雜音；由於放大器特性的非綫性，故當幾個信號同時通過群放大器時，會產生調幅，調幅所得的頻率，可能落在某幾路頻帶範圍之內，造成所不懂的串雜音。這種雜音的電平隨着工作電路增多而逐漸增加，它對通話質量的影響比較嚴重，所以群放大器對非綫性的要求比一般放大器嚴格得多。

2. 在多路載波機的群放大器中，所有電路都同時工作的可能性是比較少的，因此這種群放大器有一個有利的分散因素，它隨着電路數目增加而增加，比如說，一個十二路的群放大器，當考慮它的輸出功率時，不必要考慮同時放大十二路信號電流的情況，可以打一個折扣。

3. 群放大器的工作頻帶範圍很寬；為了製造上有統一的規格，通常發送群放大器與接收群放大器做成一樣的，這樣不但可以少生產一種類型的放大器，而且也給 AB 端互換提供了便利條件，而這樣做的結果，又使得放大器的頻帶範圍更寬。

4. 群放大器的增益比較高，並且要求增益穩定、非綫性失真小，所以通常需採用多級放大器，並加強負回授。但在級數多而

且有負回授的情況下，群放大器產生振蕩的危險是大大增加了。
因此，對群放大器的設計和製造要有特殊要求。

第二章 群放大器的質量指標

群放大器的工作可以根據下面的質量指標來全面地衡量。

- 1) 工作增益；
- 2) 頻率特性；
- 3) 輸出端的功率電平；
- 4) 非綫性衰減；
- 5) 輸入及輸出阻抗；
- 6) 輸出端的雜音電壓；
- 7) 在使用過程中特性的持久度；
- 8) 對自激而言的穩定度。

我們下面就來詳細地研究每一個質量指標是如何確定的，
以及為了保證有較好的質量而採取的一些措施。

1. 放大器的工作增益

放大器的工作增益由下式決定：

$$S = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{\text{max}}}{P_0} \quad \text{奈培}$$

這裡 P_{max} —— 在放大器負載阻抗 Z_R 上給出的功率，

P_0 —— 內阻為 Z_0 的輸入信號電動勢 E_0 向其匹配的負載所能輸出的功率。

在個別情況下用電壓增益來表示：

$$S_R = \ln \frac{U_{\text{max}}}{U_{\text{ix}}} \quad \text{奈培}$$

u_{BX} ——輸入端电压，

u_{BMAX} ——輸出端电压。

有时用电压放大系数 $K = \frac{u_{\text{BMAX}}}{u_{\text{BX}}}$ 的概念也很方便。

他們之間的关系是：

$$S_H = \ln K,$$

$$e^{S_H} = K.$$

放大器輸出端、輸入端的絕對电压电平与工作增益間的关系可以从下面找出来：

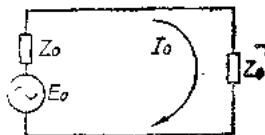


图 1

按照定义，功率 P_0 应等于：

$$\begin{aligned} P_0 &= Z_0 I_0^2 = Z_0 \left(\frac{E}{2Z_0} \right)^2 \\ &= \frac{E_0^2}{4Z_0}. \end{aligned}$$

放大器的輸入阻抗通常与电动势的内阻 Z_0 是匹配的，即 $Z_{\text{BX}} = Z_0$ ，故放大器輸入端电压可由下式决定：

$$u_{\text{BX}} = \frac{E_0}{2},$$

故
$$P_0 = \frac{u_{\text{BX}}^2}{Z_0}.$$

放大器的輸出功率由下式决定：

$$P_{\text{BMAX}} = \frac{u_{\text{BMAX}}^2}{Z_H},$$

因此
$$S = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{\text{BMAX}}}{P_0} = \ln \frac{u_{\text{BMAX}}}{u_{\text{BX}}} + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_0}{Z_H}.$$

为了便于测量，使用絕對电压电平来表示：

我們知道， $P_{\text{BMAX}} = \ln \frac{u_{\text{BMAX}}}{0.775 \text{ 伏}}$ ，（輸出端絕對电压电平）

$$p_{BX} = \ln \frac{u_{BX}}{0.775 \text{ 伏}}。 \text{ (輸入端絕對電壓電平)}$$

把 u_{BHX} 及 u_{BX} 各除以 0.775 伏，即得：

$$\ln \frac{u_{BHX}}{u_{BX}} = \ln \frac{\frac{u_{BHX}}{0.775}}{\frac{u_{BX}}{0.775}} = p_{BHX} - p_{BX}$$

最后得出：

$$S = p_{BHX} - p_{BX} + \frac{1}{2} \ln \frac{Z_0}{Z_H}$$

电源 E_0 的内阻 Z_0 与负载阻抗 Z_H 相等的情况是最常见的，在这种情况下，工作增益和电压增益是一样的，等于：

$$S = p_{BHX} - p_{BX}$$

工作增益决定于输入端及输出端的电压电平，长途通信机中的群放大器的工作增益可达 7—8 奈培。

2. 频率特性

放大器的频率特性表示放大器的增益与频率之间的关系。

根据放大器的用途，通常要求它的频率特性应该尽可能的平直，即在工作频率范围内，对于不同频率，群放大器的放大都要很均匀，通带内偏差要求小于 ± 0.05 奈培（在发送电平预先倾斜的系统中，发送放大器的频率特性要求为一斜的直线）。

为了衡量放大器的频率特性，通常用频率特性曲线来表示更为方便。

放大系数对频率的关系曲线，叫做放大器的频率特性曲线，放大器典型的频率特性曲线如图 2 所示。

工作频率之中间频率的放大系数用符号 K_0 代表，低边缘频率的放大系数用 K_n 代表，高边缘频率的放大系数用 K_B 代

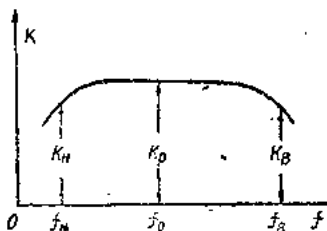


图2 典型的放大器频率特性

表。

$$\begin{aligned} \text{通常: } K_n &< K_0, \\ K_B &< K_0. \end{aligned}$$

为了对放大器频率特性作量方面的估计，通常利用频率失真系数。

频率失真系数 M 是中间频率放大系数和给定的频率放大系数之比：

$$M = \frac{K_0}{K}.$$

因此低频边缘的频率失真系数为：

$$M_n = \frac{K_0}{K_n},$$

高频边缘的频率失真系数为：

$$M_B = \frac{K_0}{K_B}.$$

如果放大器的特性曲线在某一段频率是下降的（凹下），则 $M > 1$ 。反之，如果特性曲线上升得高出中间频率水平，则 $M < 1$ 。

多级放大器的总频率失真系数等于所有各级频率失真系数的乘积：

$$M_{\text{总}} = M_1 M_2 \cdots M_n$$

$$\text{因为: } M_1 = \frac{K_{01}}{K_1}, M_2 = \frac{K_{02}}{K_2}, M_n = \frac{K_{0n}}{K_n},$$

$$M_1 M_2 \cdots M_n = \frac{K_{01} K_{02} \cdots K_{0n}}{K_1 K_2 \cdots K_n},$$

但： $K_{01} K_{02} \cdots K_{0n} = K_0$ ，是放大器在中间频率上的总放大系数。

而： $K_1 K_2 \cdots K_n = K$ ，是整个放大器在给定频率上的总放大系数。

$$\text{因此： } M_1 M_2 \cdots M_n = \frac{K_o}{K} = M_{os}。$$

这个公式不论对任何频率都是正确的。假如 $M_1 = M_2 = \cdots = M_n = M$ ，则

$$M_{os} = M^n$$

如果 M_{os} 是给定的，可用此式来确定每个放大级的频率失真系数。

习惯上常常采用中间频率时的放大系数和某一频率时的放大系数之差来估计频率失真（见图3）。

$S_o = \ln K_o$ 中间频率时的增益

$S = \ln K$ 任一频率时的增益

用 ΔS 代表中间频率增益与某一频率增益之差，则

$$\Delta S = S_o - S。$$

$$\text{而 } \Delta S = S_o - S = \ln K_o - \ln K = \ln \frac{K_o}{K} = \ln M。$$

因此在低频率时 $\Delta S_H = \ln M_H$

在高频率时 $\Delta S_B = \ln M_B$

ΔS_H 和 ΔS_B 应满足于工作频带内偏差小于 ± 0.05 奈培的要求，如果知道了 ΔS_H ， ΔS_B ，则由

$$M_H = e^{\Delta S_H}，$$

$$\text{和 } M_B = e^{\Delta S_B}，$$

可求出 M_H 和 M_B 。

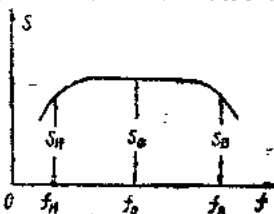


图3 用增益表示的频率特性

3. 放大器輸出端的功率电平

放大器輸出端的功率电平說明放大器輸出級所需輸出的功率。群放大器為了滿足對非線性的要求（後面還要詳細討論），末級必須能夠輸出一定的不失真功率，其最高不失真电平應該比每一路在放大器輸出端的測量电平高得多，以保證在多路同時工作時放大器不致過負荷。放大器的過負荷可用是否達到過負荷點來表示，過負荷點也就是過負荷的極限，它是表示放大器可能利用的最大輸出功率值，在此值以後，若繼續提高輸入电平，則非線性產物將大量增加。例如：輸入电平提高 0.1 奈培，則三次諧波功率增加 2.3 奈培，這時的輸出功率，稱為過負荷極限。

確定放大器應輸出多大的不失真功率是有重要意義的，因為確定得正確，就既能滿足質量要求，又能比較經濟，但現有書籍介紹的方法各有不同，現分別介紹如下。

1) 利用概率的方法

群放大器的負荷是變化着的，引起負荷變化的原因，主要有三個：

i) 實際工作的電路數不是常數， N 路的載波機，所有通路都工作的機會是不多的，而且當進行通話時，雙方互相對話，發送支路和接收支路輪番工作，當接收對方信號時，發送支路實際上是不工作的。測試結果證明，每一通路工作的時間，即使在最大的負荷小時內也不超過 $\frac{1}{4}$ 小時，所以對於 N 路的群放大器，同時工作的路數並不是 N ，而是 n ， $n < N$ ，並且 n 也是變化的。

ii) 輸入端电平是變化的。電話單機不同，用戶與長途台

的距离不同以及不同的人打电话，都使得输入端的平均功率电平发生变化。

iii) 瞬时功率也是变化的，它决定于语言特点。

我们的任务是考虑所有这些引起变化的因素，求出 N 路群放大器的最大负荷，

决定放大器输出端的功率电平。利用概率（或然率）的运算，考虑人们讲话的平均功率动态范围及瞬时最大值，综合起来进行考虑可得出一组曲线，如图 4 所示。

图中纵坐标代表 N 路放大器过负荷电平与一个通路测量电平之差，横坐标为路数，曲线 A 代表没有限幅器情况，曲线 B 代表有限幅器情况（限幅器接在通路始端，对 5—6 毫瓦的功率，即当该点瞬时电平较正常测量电平高 0.8—0.9 奈培时，就起限幅作用，而假定正常输入功率为 1 毫瓦），曲线 C 代表平均功率的情况。

例如：对于三路群放大器，假设每一路的输出电平是 2.1 奈培，在有限幅器的情况下，利用曲线 B ，得出三路群放大器过负荷电平与一个通路的测量电平的差为 18 分贝，因此可求得过负荷电平为 $p_{np} = 2.1 + 18.0/8.7 = 3.6$ 奈培，过负荷点功率 $W_{np} = e^{2p_{np}} = 1.35$ 瓦。

找出过负荷点功率后，就可按此值选用电子管，管子的过负荷极限值应高于 1.35 瓦。如果不知道电子管的过负荷电平时，可以用电子管非线性系数不超过 5% 时的输出功率来代替。

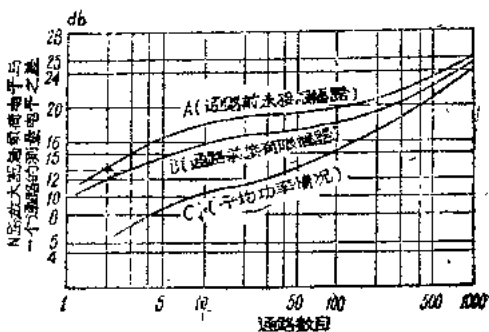


图 4 等效的过负荷测量电平和通路数目的关系

用这个方法算出来的发送电平，仅适用于较短的通信干綫，因为长距离干綫还要考虑由于自动电平调整不完善而增加 0.2-0.4 奈培，载波洩漏、较强的导频电流以及差接系統（混合綫圈）不完善所引起的接收回路电流流入发送回路而产生的影响，都要使过负荷电平应该适当的提高。

但是，由于国际电话咨询委员会没有规定杂音干扰是指瞬时的，还是指长时间的平均值，应当认为干扰的影响程度决定于干扰的平均值，因此应该查曲线 C，而这时过负荷点的功率要比查曲线 B 所得者小得多。

2) 另一种方法(上述方法的变形)

考虑了通路的平均功率、瞬时功率及有效通路数，得出一套曲线，如图 5 所示。图中：

p_0 ——平均功率电平

p_M ——瞬时最高电平

$\Delta p_{max} = p_M - p_0$ (撤值因素)

ϵ ——过负荷系数，

即过负荷时间与总时间之比。

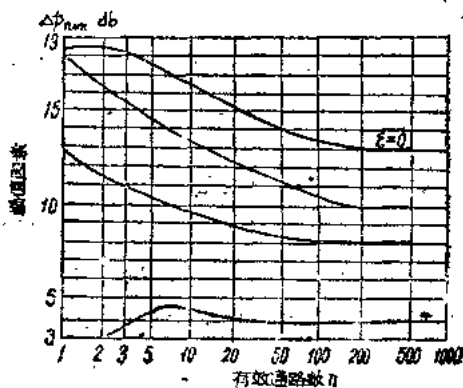


图 5 多路撤值因素

多路系统利用系数 K 的定义： $K = \frac{\text{有效通路数 } n}{\text{系统总路数 } N}$

K 与 N 的关系见图 6。

群路输出功率电平与每路电平之差：

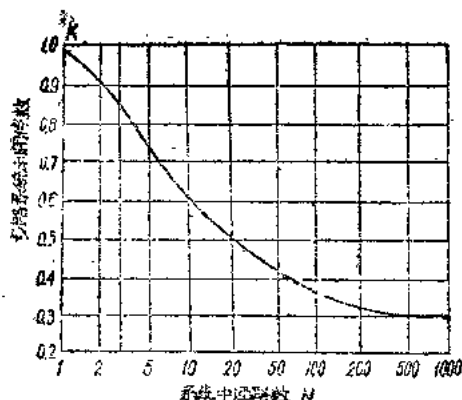


图6 多路系统利用系数与通路数目的关系

群路电平应为： $p_N = p_1 + \Delta p$ 。

例：三路群放大器， $N=3$ ，输出端电平 $p_1=2.1$ 奈培，如令 $\varepsilon=0$ ，查得：

$$K=0.84, KN=2.5 \text{ (有效通路数),}$$

$$\Delta p_{\text{max}}=18.2 \text{ 分贝}=2.1 \text{ 奈培,}$$

$$\Delta p=0.46-1.8 \div 2.1=0.74 \text{ 奈培,}$$

$$p_N=p_1+\Delta p=2.1+0.74=2.84 \text{ 奈培,}$$

以及过负荷极限功率 $W_{np}=300$ 毫瓦。

利用这种方法计算出来的过负荷电平很小，原因是把讲话电平考虑得很低。

8) 脉冲法

上述方法都是建立在多次实验的基础上，而脉冲法则是利用计算求得。它的基本特点是把人的语言等效成一定的脉冲，这种脉冲的最大值与平均值应与语音特点相当，它们的振幅和频率都是变化的。然后用统计的方法得出曲线如图7。图中：

$$\Delta p = \frac{1}{2} \ln KN - 1.8$$

$$+ \Delta p_{\text{max}}$$

式中：第一项考虑有效通路数，各路按功率相加计算；

第二项是平均讲话电平，按 -1.8 奈培计算；

第三项考虑讲话时的瞬时最大功率。

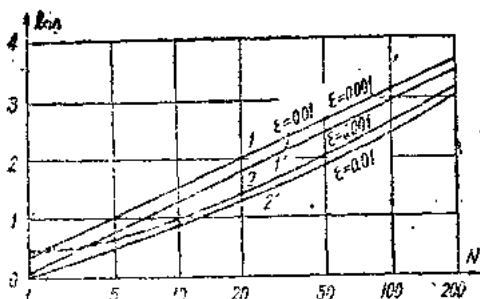


图7 设计用的通路数和系统中通路数的关系

n' ——有效路数，

N ——系统中通路数目，

根据公式：

$$p_1 = \frac{1}{2} \ln \frac{W_{np} R}{(n' U_m)^2}$$

计算出过负荷功率 W_{np} ，式中：

p_1 ——一个通路的最大容许电平；

U_m ——每一路的最高电压。

通路加入限幅器后，当通路输入端电平比正常的输入电平高出 0.8 奈培时，限幅器起作用。这样，如果输入端电平为零奈培，并设输入阻抗 $R=600$ 欧，则

$$U_m = \sqrt{2} \times 0.775 e^{0.8} = 2.5 \text{ 伏。}$$

考虑到现在所用话机的特性以及话机与载波机之间要经过一段线路的衰减，所以通常 $U_m=1.25 \rightarrow 1.5$ 伏。

对应于每一个 ϵ 都有两条曲线（1 和 2）：

曲线 1——不考虑对方答话（ N 较小时用之，如 $N=3$ ）；

曲线 2——考虑对方答话（ N 较大时用之，如 $N=12$ 以上）。

例：三路群放大器，如令 $\epsilon=0.001$ ，由曲线求得 $\ln n'=0.7$ ，而已知 $p_1=2.1$ 奈培， $U_m=1.5$ 伏， $R=600$ 欧姆，故求得 $W_{np}=1.08$ 瓦。

这种方法比較简单，但在准确性上要比第一种方法差些。

4) 一些近似計算的公式

i) 第三种方法中如果取 $U_m = 2.5$ 伏，則

$$\frac{1}{2} \ln W_{np} = p_1 + \frac{1}{2} \ln 2 + 0.8 + \ln n'$$

式中 p_1 ——群放大器每一路之輸出电平；

$\frac{1}{2} \ln 2$ ——代表話音电流，用峰值計算；

0.8 奈培——代表限幅器之限幅程度，当电路輸入端的电平比零奈培高出 0.8 奈培时，限幅器即起作用。

上述三項代表一个工作通路在放大器輸出端之最大电平。

$\ln n'$ ——代表着 N 个通路中的有效通路 n' ， $\ln n'$ 可由 $\ln n' \sim$

N 曲綫求得。

这个过負荷功率是以有效路数的电压相加求得的。

$$ii) \frac{1}{2} \ln W_{np} = p_1 + \frac{1}{2} \ln 2 + 0.8 + \frac{1}{2} \ln n'$$

这个公式与上式的差别，在于 $\frac{1}{2} \ln n'$ ，它是以有效路数的功率相加而求出过負荷极限的。这个公式求得的 W_{np} 不太保險。

$$iii) \frac{1}{2} \ln W_{np} = p_1 + \frac{1}{2} \ln 2 + 0.8 + \frac{1}{2} \ln N。$$

以实有的路数功率相加，它比 ii) 所求得的 W_{np} 保險些，而且求 W_{np} 甚易，因为 p_1 、 N 都是已知的，在沒有曲綫可查时，利用这个公式比較方便。

$$iv) \frac{1}{2} \ln W_{np} = p_1 + \frac{1}{2} \ln 2 + 0.8 + \ln N。$$