

交流声及其抑制

吳震蒙 編著

羅鵬搏 審訂

人民邮电出版社

73.010
27-

交流声及其抑制

吳震蒙 編 著

羅鵬搏 申 訂

內 容 提 要

本書較系統地介紹了引起交流聲的各種原因，並介紹了一些實用的抑制方法。書中前三章分析了由交流燈絲電路、電磁感應和整流電源脈動電壓造成的交流聲。第四章到第六章介紹了交流聲系數的計算方法。以及實用的抑制方法，如補償法，如何提高整流電源的濾波質量問題。最後討論在設計和安排電子電路時應考慮的一些問題。

本書適合電子設備和測試儀器的設計、製造、維修工作者，大專院校及實驗室工作者，無線電愛好者閱讀。

交 流 聲 及 其 抑 制

編著者： 吳 震 蒙
審訂者： 羅 鵬 搏
出版者： 人 民 郵 電 出 版 社

北京東四 6 條 19 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 北 京 發 行 所
經售者： 各 地 新 華 書 店

開本 787×1092 1/32

1966 年 1 月北京第一版

印張 4 8/32 頁數 68

1966 年 1 月北京第一次印刷

印刷字數 96,000 字

字數 1—6,150 冊

統一書號：15045·總1533—無448

定價：（科 4）0.46 元

序

交流聲問題，是設計或制作高灵敏度、高质量放大器或測試設備時的一個複雜問題。

本書試圖把交流聲出現的原因和抑制方法進行較為詳細的探討，以供讀者們在工作中做為參考。

本書的前三章介紹由交流燈絲電路、電磁感應和整流電源脈動電壓所造成的交流聲及其抑制措施。在第四、第五兩章介紹放大器各部分交流聲系數的估計方法，以及採用補償法抑制交流聲的措施第六章闡述如何提高整流電源的濾波質量問題。最後一章介紹在設計和安排方面應該注意的事項。

由於著者學識淺陋，經驗不足，錯誤的地方可能不少，希望讀者予以指正。

吳震蒙

六三年十月

符号意义一览表

A	放大级增益 (无反馈)
B_{js}	交流声磁通密度
C_{fg}	灯丝与栅极间的电容
E_a	板源电压
	1. 灯丝电压
E_f	2. 整流器输出端上的直流电压
E_{js}	交流声电压
$E_{js, pb}$	屏蔽后的交流声感应电动势
E_x	信号源的电动势
$E_{x, zd}$	最大信号电动势
H_{js}	交流声干扰磁场强度
I_f	灯丝电流
$I_{a, yx}$	脉动电压有效值
I_k	阴极电流
$J_{=}$	直流共模抗拒比
$J_{\sim}$	交流共模抗拒比
k	脉动平滑系数
n_{pf}	两部分变压系数的平均值
q_c	心柱的净截面
r_a	电子管板极半径
$r_{bg} \approx$	晶体管对交流分量的阻抗
r_g	栅极半径
$r_{g, pf}$	栅极半径的平均值
R_{dx}	等效电阻
R_f	灯丝电阻

R_{f1}	分流电阻
R_g	栅路电阻
R_l	漏电阻
R_{lb}	滤波电阻
R_n	电子管内阻
R'_n	有反馈时放大器的内阻
$R_{n,pl}$	板极内阻平均值
$U_{f,r,fs}$	电子管灯丝电压中所容许的交流分量
U_g	栅阴极间的电压
U_{gm}	共模电压
U_{gr}	干扰电压
U_{js}	交流声电压
$U_{js,d}$	各干扰源单独作用时造成的交流声电压
$E'_{js,sc}$	反馈后的交流声输出电压
$U_{js,y,zx}$	最小允许交流声电压
$U_{x,g,zd}$	电子管栅极上的最大有用信号电压
$U_{x,zd}$	最大信号电压
Z_g	栅路阻抗
Z_{gr}	放大器输入阻抗
$Z_{gr,fs}$	交流声频率时的放大器输入阻抗
$Z_{gr,x}$	信号频率时放大器输入阻抗
Z_x	信号源内阻
$Z_{x,fs}$	交流声频率时的信号源内阻
$Z_{x,x}$	信号频率时信号源内阻
1.	屏蔽系数
β	2. 反馈系数
δ_B	变压器的不对称系数
δ_G	电子管不对称系数
δ_r	电阻不对称系数
μ_{pj}	放大系数的平均值

η ——交流声系数

η' ——有反馈时的交流声系数

η_d ——各干扰源单独作用时的交流声系数

η_{db} ——以分贝数表示的交流声系数

η_m ——最大交流声系数

Φ_{js} ——交流声干扰磁场的总磁通量

目 录

序

符号意义一览表

緒言	1
----------	---

第一章 电子管交流灯絲电路引起的交流声	4
---------------------------	---

§ 1-1 交流灯絲电压窜入信号电路的途径及其影响	4
---------------------------------	---

1. 通过灯絲与栅极間的寄生电容而引起的交流声	4
-------------------------------	---

2. 通过灯絲与栅极間的漏电阻而引起的交流声	8
------------------------------	---

3. 由于灯絲发射电子而与阴极之間产生漏电流所引起的交流声	10
-------------------------------------	----

4. 由于灯絲电流在导体上的电压降混入栅路內而引起的交流声	12
-------------------------------------	----

§ 1-2 灯絲电路交流声的抑制方法	14
--------------------------	----

1. 合理地选择元件和零件	15
---------------------	----

2. 在电路設計上采取措施	17
---------------------	----

§ 1-3 用直流电源燃点电子管灯絲	21
--------------------------	----

1. 用整流电源向灯絲供电	21
---------------------	----

2. 用功率輸出級的阴极电流供給灯絲电流	23
----------------------------	----

第二章 电磁感应交流声	26
-------------------	----

§ 2-1 静电感应交流声	26
---------------------	----

§ 2-2 磁感应交流声	28
--------------------	----

§ 2-3 导线的静电屏蔽	30
---------------------	----

1. 以底板作为負綫的单綫屏蔽	30
-----------------------	----

2. 以屏蔽套作为負綫的单綫屏蔽	31
------------------------	----

3. 双綫屏蔽	31
---------------	----

§ 2-4 抑制磁感应交流声的措施	32
-------------------------	----

1. 电源变压器的外磁場	32
--------------------	----

2. 电源变压器的安装位置	34
---------------------	----

3. 輸入变压器防止磁感应交流声的措施	35
---------------------------	----

4. 磁屏蔽	36
5. 磁屏蔽系数的计算	39
第三章 整流电源滤波不良而引起的交流声	42
§ 3-1 整流电源的脉动电压对各种放大级的影响	42
1. 阻容耦合低频电压放大级	42
2. 变压器输出低频放大级	44
3. 变压器输出低频推挽放大级	47
4. 阻容耦合低频推挽放大级	52
5. 自动平衡式倒相器	55
§ 3-2 负反馈的影响	58
1. 变压器次级反馈的输出放大级	59
2. 变压器初级反馈的输出放大级	61
3. 具有电压反馈的并馈输出级	64
4. 并馈的阴极输出级	67
5. 阴极电阻反馈的变压器输出放大级	67
6. 阴极电阻反馈的并馈变压器输出级	69
第四章 交流声系数的估计	69
§ 4-1 几个交流声干扰源同时作用于一个放大级时的交流声系数	70
§ 4-2 多级放大器中交流声系数的计算	73
第五章 交流声的补偿	78
§ 5-1 整流电源脉动电压交流声的补偿	78
1. 从滤波装置中引出交流声补偿电压	78
2. 利用帘栅极进行脉动电压交流声的补偿	79
3. 高压电路中脉动电压的补偿	80
4. 放大器输出级上脉动电压交流声的补偿	83
5. 两个阻容放大级间的脉动交流声补偿	85
§ 5-2 50赫交流声的补偿	88
1. 50赫交流声的补偿源	88
2. 输入级50赫交流声补偿	90
第六章 整流电源滤波质量的改善	93

§ 6-1 补偿滤波器和谐振滤波器	94
1. 补偿滤波器	94
2. 谐振滤波器	99
§ 6-2 电子滤波器	100
1. 晶体三极管滤波器	100
2. 电子管滤波器	105
§ 6-3 利用去耦电路	110
第七章 设计和安排上的考虑	112
§ 7-1 关于“接地”问题	112
§ 7-2 弱电平输入线路的设计与安排	114
1. 共模电压	115
2. 防止共模电压转化成干扰信号的方法	116
§ 7-3 同轴电缆远距离传输信号时的交流声干扰	123

緒 言

如何将高灵敏度、高质量的电子管放大器中的交流声电平降到最低，是一个非常复杂的问题。

“交流声”这个名词最初是指交流市电在各种不同用途的低频放大器和其他电子设备中引起的、频率等于市电频率或为市电频率（在我国为 50 赫）整倍数的、有规律的干扰信号。它可以以声音的形式出现，也可以在阴极射线管荧光屏上表现为视觉干扰。但是，由于沿用成了习惯，所以不管它以什么形式出现，都称之为“交流声”。

在普通的扩音机中，输入信号是振幅随着声音的强弱而变化的交变电压。由于人耳所能感受的声波的最大功率是最小功率的 10^{12} 倍，相当于电压的变化为 10^6 倍，即 120 分贝，因此为了逼真地传送这种信号，放大器就必须具备这样宽的动态范围。但是，这样宽的动态范围在实际条件下往往很难办到。一般说来，如果能达到 60 分贝已经非常满意了。为了达到 60 分贝的动态范围，必须减小放大器本身的噪声和交流声电平，否则微弱的信号与噪声一起放大，信号仍湮没在噪声里。因此，我们说交流声的存在就限制了放大器的动态范围。

在某些特种用途的放大器中，交流声往往起着十分有害的影响。例如，医疗诊断用的心音扩大器，如有交流声就会影响诊断的正确性。为了克服这一弊病，有人建议用超声频电源供电。这样固然可以有效地避免在声频范围内的干扰，但是，需要用超声频振荡器来供电。这就使机器变得很复杂，并且增加了费用。再如在各种自动补偿器、电子模拟计算机、伺服系统

和电子調整器中所广泛应用的由 50 赫交流市电供电的电子放大器中，交流声将成为虛假信号而大大地降低整个设备的灵敏度和正确性。

可是，引起交流声干扰的原因是多种多样的。在大多数情况下，它是好几个干扰源叠加的结果。一般說来，交流声根据它的产生原因，主要有以下几种：

- (一) 电子管交流灯絲电路引起的交流声；
- (二) 电磁感应交流声；
- (三) 由整流电源中的脉动电压所造成的交流声；
- (四) 由于結構布置上的不合理而造成的交流声等。

对这些問題将在以后的几章中詳細討論。

为了便于估計放大器各級中的交流声电平，必須用一个数字来衡量。这个数字不是简单地表示各个放大級中交流声电压的絕對值，而是它和信号中最大电压的相对量。我們称它为交流声系数

$$\eta = \frac{U_{j.s}}{U_{\kappa.sd}}. \quad (0-1)$$

或用分貝数表示

$$\eta_{db} = 20 \lg \frac{U_{j.s}}{U_{\kappa.sd}}. \quad (0-1a)$$

式中， η ——交流声系数， $U_{j.s}$ ——交流声电压， $U_{\kappa.sd}$ ——信号中的最大电压。

例如，若某一优质放大器的动态范围是 60 分貝，則交流声系数 η_{db} 就必须小于 -60 分貝，这对于灵敏度很高的、小信号輸入的放大器來說，确实是一件煞費苦心的事。

众所周知，对于各种不同用途和不同要求的放大器，所允許的交流声系数也各不相同。为了降低成本，减少費用，沒有

必要在降低交流声电平上給予过多的余量。但是，另一方面，在降低成本的同时还应尽可能提高产品质量。这都是設計人員所应經常考虑的事。因此，如何恰当地降低电子設備的交流声系数，是很重要的問題。

第一章 电子管交流灯絲电路 引起的交流声

§ 1-1 交流灯絲电压窜入信号电路的 途径及其影响

在各种放大器中，用交流饋电的灯絲电路是交流声干扰的主要来源之一。根据交流电压从灯絲窜入信号电路的途径，可分为栅极交流声和阴极交流声。

所謂栅极交流声，可以归結为在栅极上形成的交流声。一般是：

- (一) 通过灯絲与栅极間的寄生电容而引起的交流声；
- (二) 通过灯絲与栅极間的漏电阻而引起的交流声；
- (三) 由于灯絲发射电子而与阴极之間产生漏电流所引起的交流声；
- (四) 由于灯絲电流在导体上的电压降混入栅路内而引起的交流声等。

所謂阴极交流声，就是在阴极阻抗上形成的交流声。主要是由于灯絲与阴极之間的漏电流所造成。现在将这些交流声分别叙述于下：

1. 通过灯絲与栅极間的寄生电容而引起的交流声

大家知道，电子管的灯絲和其他各电极之間都不可避免地存在着一定数量的寄生电容，約十分之几微微法（若計及外部引綫，且两者相距很近时，則可达一微微法）。所以，若用交流电源燃点灯絲，就会有一定数值的交流电压通过寄生电容传

到各电极去。虽然这些寄生电容都很小，因而加到各电极上的交流声干扰电压也很小，但是对于灵敏度较高的第一级电子管的栅极，这微小的干扰电压也会引起严重的交流声。

在图 1-1(a)中， C_{fg} 是电子管灯丝和栅极间的寄生电容， U_f 是交流灯丝电压， E_x 是信号源的电动势， Z_x 和 Z_{sr} 分别为信号源的内阻和放大器的输入阻抗。由于 C_{fg} 很小，所以它对市电频率（50 赫）时所呈现的容抗大大超过栅路的阻抗。因此，通过寄生电容 C_{fg} 的交流声干扰电流可以近似地等于

$$I_{js} \approx U_f \omega C_{fg}, \quad (1-1)$$

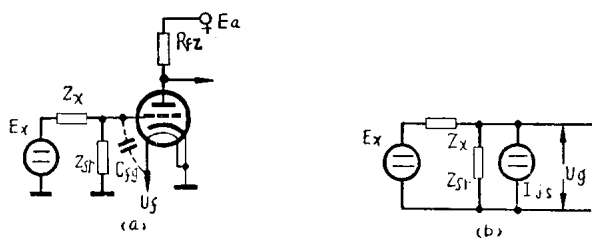


图 1-1

式中， ω 是灯丝交流电源的角频率。因为在 50 赫时， C_{fg} 的容抗很大，所以可把 I_{js} 看作是一个恒定电流源。这样一来，我们得到如图 1-1(b)所示的等效电路。图中的 U_g 是电子管栅阴极间的电压，其中既包含交流声干扰电压

$$U_{js} = I_{js} \frac{Z_{sr, js} \cdot Z_{x, js}}{Z_{sr, js} + Z_{x, js}} = I_{js} Z_g, \quad (1-2)$$

也包含信号电压

$$U_x = E_x \frac{Z_{sr, x}}{Z_{sr, x} + Z_{x, x}}, \quad (1-3)$$

式中, $Z_{sr.js}$ 和 $Z_{\kappa.js}$ 分别是在交流声频率时的放大器输入阻抗和信号源内阻; 而 $Z_{sr.\kappa}$ 和 $Z_{\kappa.\kappa}$ 则分别是在信号频率时的放大器输入阻抗和信号源内阻, Z_g 为栅路的阻抗。所以, 在放大器输入端上的交流声系数为

$$\eta = \frac{U_{js}}{U_{\kappa.sd}} = \frac{I_{js} Z_{sr.js} Z_{\kappa.js} (Z_{sr.\kappa} + Z_{\kappa.\kappa})}{E_{\kappa.sd} Z_{sr.\kappa} (Z_{sr.js} + Z_{\kappa.js})} \quad (1-4)$$

可是, 在大多数情况下可以认为: $Z_{sr.js} = Z_{sr.\kappa} = Z_{sr}$, $Z_{\kappa.js} = Z_{\kappa.\kappa} = Z_{\kappa}$ 。于是式(1-4)可以简化为

$$\eta = \frac{I_{js} Z_{\kappa}}{E_{\kappa.sd}} \quad (1-5)$$

或用分贝数表示

$$\eta_{db} = 20 \lg \frac{I_{js} Z_{\kappa}}{E_{\kappa.sd}} \quad (1-6)$$

其中, $E_{\kappa.sd}$ 是信号中的最大电动势。在应用上列两式时, 其中的阻抗、电流和电压都可以用它们的模数计算, 而不计及它们的相角。

此外, 我们从式(1-2)中可以看到, 交流声干扰电压的绝对值随着栅路阻抗 Z_g 的增加而增加。这就是为什么我们在实际工作中把低频放大器的信号源开路时, 交流声就会骤然增加的原因。

对于各种不同型号的电子管, 交流声干扰电压与栅路阻抗 Z_g 的关系也各不相同。在图 1-2 中所示的是几种典型电子管的 $U_{js}(Z_g)$ 曲线^[1]。这是由每种电子管的十个样品试验结

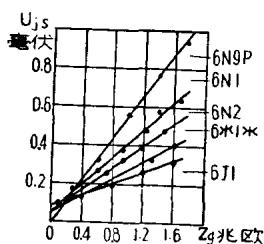


图 1-2

果的平均值。但对于任意一个具体的电子管，交流声干扰电压的数值可能与图示数值有很大的差别。

由式(1-5)或(1-6)看出，交流声系数和放大器的输入阻抗无关，而和信号源的内阻成正比。所以，为了降低放大器输入端上的交流声系数，采用内阻较低的信号源是有利的。

例 1-1 若放大级的电子管采用 6N9P，它的栅极——灯丝电容 C_{fg} 为 0.25 微微法（见表 1-1），交流电源的频率为 50 赫，灯丝电压 U_f 为 6 伏，则通过寄生电容的交流声电流

$$I_{js} = U_f \omega C_{fg} = 471 \times 10^{-12} \text{ 安。}$$

此时，如果信号源的内阻为 1000 欧，电动势为 100 微伏，则在放大器输入端上的交流声系数

$$\eta = \frac{I_{js} Z_x}{E_{x, sd}} = \frac{470 \times 10^{-12} \times 10^3}{100 \times 10^{-6}} = 0.0047,$$

即 $\eta_{db} = -46$ 分贝。

但是，如果信号源的内阻增加到 10000 欧，则交流声系数将增加到 -26 分贝，即增加了 20 分贝。

例 1-2 最简单的增益控制器对交流声系数的影响

在最简单的增益控制电路[图 1-3(a)]中，往往会发生这样的情况：当改变用作增益控制的普通电位器 R 的滑臂位置时，交流声系数会随着增益的减小而增加。特别是信号源内阻 R_x 比电位器电阻 R 小很多时，这种现象就更为显著。所以会



图 1-3