

基于晶体管电路的内部噪声及降噪途径研究

Based on the interior noise and the transistor circuits noise research approach

彭克发

PENG Ke-fa

(重庆电子工程职业学院 电子信息系, 重庆 401331)

摘要: 在电子产品中, 晶体管放大器应用极其广泛。然而, 晶体管放大器的内部噪声将影响放大器的性能。本文就晶体管放大器的内部噪声存在的因素和如何降低噪声作了比较全面的分析, 可供读者在实践采用。

关键词: 晶体管; 放大器; 噪声; 途径

中图分类号: TH166

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2010)10(下)-0138-03

Doi: 10.3969/j.issn.1009-0134.2010.10(下).43

0 前言

所谓噪声是指叠加在有用电信号上起干扰作用的无规则的电变化, 噪声是有害的, 只有当噪声电平与信号幅度比较起来很微弱时, 人们才不会注意它, 而当噪声电平与信号幅度比较起来很强时, 则会引起人们的厌烦, 严重者会使接收机无法正常工作。

晶体管放大器输出端的噪声有两个来源: 其一是外界输入的, 经晶体管电路放大后在输出端输出, 称为外部噪声。关于外部噪声, 一般无线电类书籍上介绍较多, 这里不再重复。其二是电路本身固有的, 即由电路元件内部所含大量带电微粒的不规则运动而造成的起伏噪声, 称为内部噪声。本文着重谈内部噪声的形成机理、计算方法和在无线电接收机中的降噪途径。

1 晶体管放大器的内部噪声

各种无线电接收机无疑是多级晶体管电路连接而成的, 其内部噪声主要来源于电路中的电阻元件及晶体管本身(故障性的除外)。

1.1 电阻元件的热噪声

我们做这样一个实验, 将电阻器接到一个放大大量足够的理想放大器的输入端, 并用示波器观察它的输出, 可以发现一种“茅草”状的无规则的杂波, 如图1所示。这表明电阻器是内部噪声的一个来源, 称为电阻材料的热噪声。

究其原因, 这种噪声主要是由电阻材料中载流子的随机热振动引起的。电阻元件内部的电子在

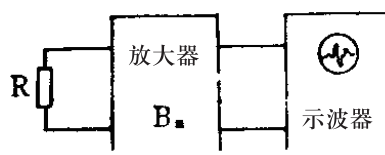


图1 电阻的热噪声

一定温度下受热激发, 处于无规则的运动状态, 由于被激发的电子所得到的能量是随机的, 各电子的运动方向与速率纯属偶然。这些电子的无规则热运动, 会使电阻内部产生无规则的微弱电流, 当此电流流经电阻时在电阻两端就会形成一个起伏电压, 即噪声电压。它所等效于一个理想电阻与一个噪声源相串联。

电阻两端噪声电压的均方值为:

$$\overline{e_{th}^2} = 4kTR \Delta f \quad (1)$$

式中, k 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度, R 为电阻值(Ω), Δf 为频带宽度(Hz)。

由上可知, 电阻是无源网络的主要噪声源。在电路中, 薄膜电阻比实心电阻噪声小, 在薄膜电阻中, 以金属膜电阻最优。在允许条件下, 尽量采用功率较大的电阻, 便于散热, 有利于降低电路的内部噪声。

另外, 晶体管的基极扩展电阻 r_{bb} , 和结型场效应管的沟道电阻, 也会产生热噪声, 道理同上, 所以, 热噪声是电路中各种元件所共有的。

1.2 散粒噪声

散粒噪声是由晶体管不均匀结构电子流的统计特性或载流子的发射、复合速度不均匀而产生

收稿日期: 2010-07-27

作者简介: 彭克发(1956-), 男, 本科, 研究方向为电子信息类。

【138】 第32卷 第10期 2010-10(下)

的。它与热噪声的区别在于有个直流电平。

普通晶体二极管是双极型的（既有多数载子又有少数载流子通过）。由于多数载流的密度很大，产生一复合过程引起的数目起伏不显著，因而多数载流子所产生的散粒噪声可以忽略。少数载流子越过发射结势垒由发射区注入基区时，由于密度很小，在产生一复合过程中对数目的影响十分显著，使少数载流子在其平均数附近发生统计涨落，从而引起了注入电流的起伏。而载流子是分立的，它的冲击形成的噪声就如同沙子打在墙上，因此称为散粒噪声。流过PN结势垒的散粒噪声电流的均方值为：

$$\overline{i_{sh}^2} = 2qI\Delta f \quad (2)$$

式中， q 为电子电荷电量， I 为流过PN结电流。

分配噪声是由于少数载流子，在基区复合的随机性，而使得晶体管的集电极电流 I_c 和基极电流 I_B 在分配上的起伏变化而引起的，可归为散粒噪声中的一种。

选择 f_T 高 β 大的管子，适当降低 I_B 可减少散粒噪声。

1.3 $\frac{1}{f}$ 噪声

$\frac{1}{f}$ 噪声又称闪烁噪声，它是一种低频噪声。随着频率的提高， $\frac{1}{f}$ 噪声将迅速减小。

$\frac{1}{f}$ 噪声主要来源于界面态载流子的俘获和释放过程。晶体本身的非均匀性，位错缺以及制作的工艺水平不良等都是这一噪声产生的主要原因。当 f 极低时，这种噪声表现为载流子的“直流漂移”。 $\frac{1}{f}$ 噪声电流均方值的经验公式为：

$$\overline{i_f^2} = K I_B^r f^{-a} \Delta f \quad (3)$$

式中， K 是经验常数， r 和 a 为接近于1的常数， I_B 是基极电流。

由于这种噪声大致与 $\frac{1}{f}$ 成正比，因此而得名。

1.4 猝发噪声

晶体管中有时能突然爆发脉冲，脉冲宽度多为10ms左右，有时可长达数百个ms，其能量也比较大。这主要是由于PN结或发射区的缺陷引起 β 值的闪动所致。作为差动输入级的晶体管一旦出现这种脉冲，由于 β 值的闪动会使输入偏置电流发生骚动，当其骚动的电流经源电阻或反馈电阻时，就会产生猝发噪声。其噪声电流的均方值为：

$$\overline{i_{dd}^2} = \frac{K I_B \Delta f}{1 + (\pi f / 2\alpha)^2} \quad (4)$$

式中， α 是每秒内脉冲次数，猝发噪声是发生在0~100Hz范围内的噪声，随着晶体管工艺水平的提高，已很少出现。

结型场效应管，是接收机低频第一前置级的常用元件，它除具有热噪声， $\frac{1}{f}$ 噪声外，还特有一种激发一复合噪声，这是由于制作结型场效应管半导体的深掺杂能级和载流子的相互作用引起的。

以上是晶体管电路内部噪声的主要来源，热噪声和散粒噪声的频率较高，在某段频率范围内，噪声系数不随频率而变。 $\frac{1}{f}$ 噪声和猝发噪声是低频噪声，对电路的低频部分影响较大。

热噪声是所有器件共有的，散粒噪声和 $\frac{1}{f}$ 噪声是双极型晶体管和结型场效应管中都可能出现的，猝发噪声是双极型晶体管所特有的，激发一复合噪声是结型场效应管最显著的。

2 降低晶体内部噪声的途径

2.1 噪声系数的定义

噪声系数的定义是：网络的输入端信噪比 $\frac{S_i}{N_i}$

与输出端信噪比 $\frac{S_o}{N_o}$ 之比值，即：

$$N_F = \frac{\frac{S_i}{N_i}}{\frac{S_o}{N_o}} = \frac{N_o}{N_i K_p} \quad (5)$$

式中， $K_p = \frac{S_o}{S_i}$ 是网络的功率放大倍数，此式

表明噪声系数与外来信号无关，只决定于接收机本身的电性能。

2.2 多级四端网络的噪声系数

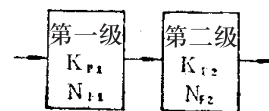


图2 级联两级四端网络的噪声

现有两个四端网络的级联，如图2所示，它们的噪声系数和额定功率分别为 N_{F1} 、 N_{F2} 、 K_{P1} 、 K_{P2} 。按噪声系数的定义可推导出其噪声系数为：

$$N_F = N_{F1} + \frac{N_{F2} - 1}{K_{P1}} \quad (6)$$

同理，可得出多级四端网络级联而成的无线电接收机的噪声系数为：

$$N_F = N_{F1} + \frac{N_{F2} - 1}{K_{P1}} + \frac{N_{F3} - 1}{K_{P1} \cdot K_{P2}} + \frac{N_{F4} - 1}{K_{P1} \cdot K_{P2} \cdot K_{P3}} + \dots \quad (7)$$

2.3 降低接收机内部噪声的途径

接收机的方框图如图3所示,由(7)式可以看出,当高放级的功率增益 K_{P1} 做得很高时,其第二项及以后各项都很小,其整机的噪声系数由高放级的噪声系数决定,当高放级噪声系数降得很低时,整机的噪声系数就会相应很小。因此,在设计 and 制作由晶体管电路组成的接收机时,其降噪途径是优先选好高频和低频部分的第一级,其方法是:

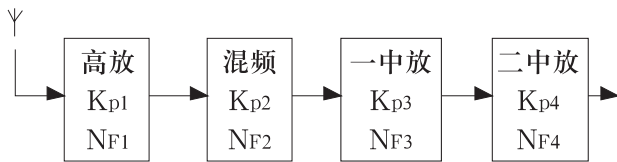


图3 接收机高、中频级方框图

1) 选用高增益低噪声且 f_1 高的高放管,采用

较大功率的金属膜电阻进行无噪偏置,适当降低基极电流 I_B 。高放级与输入回路要良好的匹配,不能插入衰减或反馈电路,以最大限度提高高放级增益。

2) 第一前置低放级是低频电路的前级,同上道理也要做好降噪工作,因为晶体管的 $\frac{1}{f}$ 噪声和猝发噪声都是低频噪声,对低放级影响较大。此时,尽量采用较低的工作电压和适当的工作电流,注意散热,在电声指标允许的条件下,可尽量压缩带宽,有利于降低噪声。有些接收机为了提高输入阻抗,其第一前置低放级采用结型场效应管,除了考虑降低 $\frac{1}{f}$ 噪声和热噪声之外,还要设法降低激发一复合噪声。

参考文献:

- [1] 童诗白.模拟电子技术基础[M].人民教育出版社,1981.
- [2] 武汉大学.电子线路[M].人民教育出版社,1979.
- [3] 彭克发.电子技术基础[M].中国电力出版社,2007.
- [4] 赵世平.模拟电子技术基础[M].中国电力出版社,2006.

【上接第129页】

2) 二摸振动 手摸运动部件和管子,可以感觉到有无振动,若有高频振动,就应检查产生原因。

3) 三摸“爬行” 当工作台在低速运动时,手摸工作台,检验有无“爬行”现象。

4) 四摸松紧程度 用手拧一下挡铁、微动开关、紧固螺钉等,检验螺钉松紧程度。

总之,对所有的客观情况都要了如指掌。但是,由于每个人的感觉不同,判断能力的差异和实际经验的不同,其结果会有差别。所以主观诊断只是一个简单的定性情况,还要做不定量分析。为了弄清楚液压系统产生故障的原因,有时还要停机拆卸某些液压元件,送到试验台上做定量的性能测试。

2.3 查定故障部位的方法

为了使修理工作能够迅速而有效的完成,查定故障部位并作出正确判断是很重要的。在对故障原因的分析中,排除与此无关的区域和因素,逐步把目标缩小到某个单元或元件,是行之有效的方法。查找故障原因,除抓住产生故障的主要因素外,还需要其他领域的科学知识和丰富的实际经验,因此,经常搜集、整理、积累常见故障

现象和排除方法方面的知识和经验是很重要的。

2.4 建立故障档案

“故障”档案是设备维修工作的真实记载和原始依据,它对设备在运行过程中的历史情况很有价值,对分析产生故原因和制订排除对策很有实用意义,是实现故障管理的资料。故障档案的作用:

- 1) 可根据产生故障的原因和性质改进管理,制订有关章程和进行技术培训。
- 2) 可根据易出故障部位,系统的缺陷和修理中遗留的问题,制订改进的维修计划。
- 3) 可根据故障记录卡制订修理定额,改进修理方法,完善维修计划。

通过上述诊断方法可以快速、准确查找到故障原因并以解决,保证机床的正常运行。

参考文献:

- [1] 武蕴馥,等.浅谈机床液压系统的常见故障及检查方法[J].机床与液压,2006,6.
- [2] 余之泳.机床液压及润滑设备维修手册.机械工业出版社,1998.
- [3] 龚明.机床液压工作台爬行故障分析与对策[J].机械工人(冷加工),2000,5.