

视频放大器

陈连敏 程庸铨 编著



微波接力通信技术丛书

人民邮电出版社

73.7824
604

微波接力通信技术丛书

视 频 放 大 器

陈连敏 程庸铨 编著

人民邮电出版社

DT16/27

内 容 简 介

本书介绍微波接力通信系统的基频放大。电视中的视频频带和电话中的群频频带都属于基本频带。

基本频带较宽，特别是从最低到最高边频间要经历若干个倍频程，这个频带的放大属于宽频带放大，因而技术要求是相当高的。

本书以视频放大器为主进行了详细的数理分析，讨论了线路及元件变化时对指标的影响，因而对维护、设计及教学参考都很有好处。前几章为分析宽带放大器的基础及电路分析实例，后面分别介绍实际的视频及群频放大器，并举出其异同点供维护时参考。

微波接力通信技术丛书

视 频 放 大 器

陈连敏 程庸铨 编著

责任编辑： 俞天林

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1986年9月第 一 版
印张：9 24/32页数：156 1986年9月河北第一次印刷
字数：224 千字 印数：1—3,500册

统一书号：15045·总3216—无6378

定价：1.85 元

出版者的话

几年前，我社曾给微波站的维护人员出版了一套微波设备维护手册，帮助他们了解微波设备的简单原理，学会值机操作和处理简单的障碍，起到了较好的作用。但时隔数年，全国微波电路有了新的发展，微波站维护人员的水平也在不断提高，需要为他们编写切合实际而又较为深入的读物，以便帮助他们进一步提高技术水平，做好维护检修工作。《微波接力通信技术丛书》就是在这个思想指导下组织编写的。

这套丛书准备结合当前使用的微波通信设备，分部件讲述各部分原理，各元器件作用，工作性能、指标以及调整、测试等问题。力求结合实际进一步阐明原理，并能适合当前大部分维护人员的实际水平。

丛书的读者对象主要是微波站的维护人员，也可以供微波设备的研制、生产人员和有关专业的大专院校师生参考。

我们希望广大读者对这套丛书的编辑出版提出要求和建议，帮助我们做好这一工作。

前 言

目前,长距离传输电视的主要手段是微波通信系统,为了保证电视图象的质量,除了对微波收、发信机有一定的指标要求外,对直接转换电视信号的电视机架中的调制器、解调器和视频放大器的要求是很严格的。调制前和解调后的信号是我们所要传送的信息,这些信号的频率范围称为基频带或基带。

电视通道中的基本频带称为视频频带,电话通道中的则称为群频频带。视频一般为6MHz,群频则根据电话路数的多少而不同,最宽可达15MHz(如3600个话路),因此基频放大是宽频带放大,也是微波接力通信中的主要部分。要放大从几赫到十几兆赫的信号是一个十分艰巨的任务,多项指标都比一般的宽频带放大要求高,允许产生的失真很小。

本书就是分析和研究视频放大器引入的失真以及减小失真的途径,寻求合理的设计方法,并对电视信号的传输质量及指标测试方法等方面的问题作比较详尽的阐述。书中第一、二、三章偏重于基本理论的探讨,后面几章则主要讨论实际放大器的传输失真,放大器的实例及其调整和测试等问题,最后一章还专门讨论了群频放大器的特殊问题。

书中关于线性网络和信号分析等方面的基本理论采用了浅显易懂的方法与视频放大器的分析有机地联系在一起,给出了很有实用价值的一般宽频带负反馈放大器的分析和设计方法。在非线性失真的分析中,从微分增益和微分相位的基本概念出发,较详尽地阐述了失真的产生机理、物理概念及减小失真的措施。关于电视信号波形的失真和测试,其中有些问题吸取了

近年来的研究成果，这些对解决实际问题都是很有用的。因此，本书不论对从事视频系统或微波通信工作的维护工作者还是设计人员，都是一本实用的参考书。

书中引用了一些数学公式和网络分析方面的概念，都是比较基本的和必要的。我们力求少用数学形式。对于只需了解放大器的一般概念，熟悉电路结构、搞好测试、维护工作，不需要分析和设计电路的部分读者，也可以不去阅读数学公式和理论分析部分，只阅读和理解文字说明和小结，直接引用其结论就可以了。

书中的谬误之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 概述	(1)
§ 1.1 视频放大器的特点	(1)
§ 1.2 视频放大器的基本要求	(2)
§ 1.3 视频放大器的类型	(3)
第二章 视频放大器的分析方法	(6)
§ 2.1 问题的提出	(6)
§ 2.2 分析线性电路的基础知识	(7)
§ 2.3 视频放大器的频域分析法	(16)
§ 2.4 视频放大器的时域分析法	(40)
第三章 视频放大器的基本电路	(62)
§ 3.1 视频放大器的典型电路介绍	(62)
§ 3.2 晶体管的高频等效电路	(64)
§ 3.3 阻容耦合放大器的稳态响应和瞬态响 应	(76)
§ 3.4 视频放大器中负反馈的应用	(91)
§ 3.5 视频放大器低频失真的补偿	(125)
§ 3.6 视频放大器的输出级	(135)
§ 3.7 视频放大器的温度补偿电路	(153)
第四章 视频放大器的非线性失真	(159)
§ 4.1 一般放大器的非线性失真	(159)
§ 4.2 视频放大器的非线性失真	(164)
§ 4.3 视频放大器的瞬时非线性失真	(180)
第五章 视频信号的线性失真	(184)

§ 5.1	概述	(184)
§ 5.2	长时间波形失真	(188)
§ 5.3	场时间波形失真	(194)
§ 5.4	行时间波形失真	(197)
§ 5.5	短时间波形失真	(198)
§ 5.6	色度信号的波形失真	(201)
§ 5.7	电视信号失真的动态测量	(203)
第六章	视频放大器的工程设计及电路分析举例	(206)
§ 6.1	设计视频放大器的基本原则	(206)
§ 6.2	视频放大器的技术要求及设计考虑	(207)
§ 6.3	视频放大器的分析举例	(222)
第七章	视频放大器的调整与测试	(272)
§ 7.1	放大器的装配	(272)
§ 7.2	检查直流偏置和消除自激	(273)
§ 7.3	几项主要指标的测试	(276)
第八章	群频放大器简介	(289)
§ 8.1	概述	(289)
§ 8.2	群频放大器的特点	(295)
§ 8.3	群频放大器的基本要求、电路结构及调 测方法	(297)

第一章 概 述

§ 1.1 视频放大器的特点

在电视信号发送、传输和接收系统中，视频放大器是不可缺少的重要部件之一，它的任务就是无失真地传输和放大视频信号。视频信号与我们日常接触到的音响信号是不同的。音响信号可以用耳朵聆听来判断其传输效果，各种音响信号的不同，反映在组成该信号各次谐波振幅上的差异，因此只要在传输和放大音响信号时，维持其各频率成分之间相对振幅的差异不变，人耳听起来就会觉得很逼真。视频信号却是以人眼的视觉观察来判断其质量的，人眼对所观察图形的形状是很敏感的，因而视频信号的实质在于其形状。例如把黑白电视上的亮暗画面变换为对应的电流变化，该电流变化构成一系列电信号的波形，要恢复出原图象，就必须使电信号的波形无失真地传输和放大，否则原图象就会发生畸变。

一个完整的电视信号除了图象信号之外还有同步信号、消隐信号等，彩色电视中还有色度、彩色同步等信号。视频信号的波形参见图5.1.1与5.1.2。从图中可以看出，视频信号是一系列脉冲。对这些脉冲进行频谱分析，也就是把电视信号看成是许多个不同频率的正弦波的叠加，它包含的频率成分是极其广泛的，有高达十几兆赫的成分，也有低至几赫的成分，换句话说就是视频信号的频谱很宽，所以视频放大器必须是一个宽

频带放大器。从时间的观点来看，脉冲信号有瞬时突跳的部分，例如脉冲的上升沿和下降沿；还有随时间缓变的部分，如脉冲的平顶部分。要使得脉冲的突跳和平坦部分通过视频放大器后均能基本维持原形，视频放大器应具有放大脉冲信号的能力，因此视频放大器又称为脉冲放大器，它有着不同于一般宽频带放大器的特点，这正是我们在本书中所要研究的。

§ 1.2 视频放大器的基本要求

理想的放大器应该是一个理想的线性系统，视频放大器也是这样，它能保证视频信号得以无失真地放大。但是实际上理想的视频放大器是不存在的，视频信号经过视频放大器放大后产生一定程度的失真。这种失真可分为非线性失真和线性失真。

非线性失真是指放大器的增益与输入信号大小有关的一种失真。即输入信号的大小不同时，增益是不一样的，这样在传输彩色电视时就会使彩色浓淡比例失调，损害了原来色彩鲜艳的画面。

产生非线性失真的原因是由于起放大作用的器件——晶体管是一个非线性器件所造成的。它的电流放大系数 β 、输入电阻 r_{be} 、特征频率 f_T 等参数都可能随输入信号的大小不同发生变化。衡量非线性失真大小，通常是给放大器送入一个正弦波，在输出端分别测出该频率正弦波的基波和各次谐波的大小，谐波与基波大小的比值称为谐波失真系数，当然该值应当愈小愈好。但是由于视频放大器有其本身的特点，有时用谐波失真尚不能完全反映视频信号非线性的全貌，故在电视信号传输中引入微分增益（ DG ）和微分相位（ DP ）的指标来反映视频信号

的非线性失真。关于这方面的问题将在第四章专门论述。

视频放大器的线性失真是由于放大器增益的幅度和相位随着频率的变化偏离理想条件所造成的。

研究线性系统的幅频特性和相频特性统称为频率特性或频率响应，这种方法称为频域法。除此之外，还有一种更为直观地衡量脉冲传输质量的研究法，即在线性系统的输入端加上典型的脉冲信号(如以后要介绍的单位阶跃信号或矩形脉冲等)，观察这些脉冲信号经过线性系统时，在上升沿、平顶部分和下降沿偏离原波形的情况，这种研究法统称为时域分析法。在以后的几章里我们将分别用这两种方法来研究视频放大器，并寻求失真小，合理的设计方法。

除了对失真的要求之外，视频放大器还有输出电压幅度、增益、阻抗等方面的要求，这些也将在以后分别讨论。

§ 1.3 视频放大器的类型

视频放大器根据其使用场合不同有不同的要求，大致上可分为四种类型：

1. 前置放大器

这类放大器是指电视摄象机中放大摄像管输出的摄视频信号的放大器。现在摄象机中所用的摄像管主要是超正析象管和光导类摄像管。前一种摄像管输出电平约为 $4\sim 40\mu A_{P-P}$ ，后一种摄像管的输出电平为 $0.03\sim 0.8\mu A_{P-P}$ 。对于这样低的信号，要在输出端获得足够的信噪比，就要求前置放大器具有低噪声性能。所以前置放大器，特别是其中的前几级均采用低噪声晶体管，现在多采用低噪声场效应管。除此之外，在结构、布线

• • •

等方面也需特别仔细，防止干扰，减小引线造成的分布参数的影响。这种放大器的输出用电缆接至中继放大器，要求的输出电压为 $0.5V_{P-P}$ （在 51Ω 上），因此对光导类摄像管电流增益高达130dB，而且幅频特性应在6MHz以内保持平坦。

2. 中继放大器

属于这类放大器的有磁带录象机或摄像机控制器中的视频放大器以及中继终端设备内的稳定放大器。它的作用是把前置放大器送来的图象信号进一步放大，同时消除在传送图象过程中产生的噪声和失真，引入消隐信号，以形成符合标准的完整电视信号。对这种放大器除了幅频特性和非线性失真等方面的要求外，还要加入一些具有特殊功能的电路，如箝位电路、限幅电路、消隐脉冲稳定电路、非线性校正电路以及孔阑失真补偿电路等。

3. 输出放大器

用于图象监视器或电视接收机中，提供显象管电子束调制所需的图象调制电压。一般所需输出电压为 $25\sim 80V_{P-P}$ 。为了保证这么高的输出电压，电源供电电压相应也较高，一般均在100伏以上，同时晶体管集电极耐压也应较高。由于集电极负载电阻较大，一般均为数千欧姆，分布电容的影响不可忽略。为了保证足够带宽，通常均采用负反馈和电感补偿。当要求输出幅度较大时，为了消除偶次高频失真，也可采用推挽电路。

4. 传输系统的视频放大器

这种放大器是将图象信号送到 75Ω 同轴电缆上，电视微波

接力线路上传输和放大视频信号的放大器就属于这一类。一条线路上通常有若干调制段，视频信号要经过若干次放大和转接。为了保证所传输的视频信号失真较小，对非线性失真和线性失真均有严格的要求，同时负载低，要得到一定的输出电压，晶体管的电流动态范围大。本书主要研究这类放大器。

第二章 视频放大器的分析方法

§ 2.1 问题的提出

第一章已经介绍了视频放大器的主要技术要求。如何才能满足这些要求呢？首要的是合理地选择电路。当电路的型式已经给定，正确地设计相应的元件值是保证电路指标的关键。为了使读者对视频放大器的性能指标与其电路元件值的关系有较明确的定性认识，而且能够从定量上作一些分析，所以在这一章里对视频放大器的通用分析法作一简明地介绍。这有助于读者深入了解基本电路，便于使用与维护。

晶体管是一个非线性器件。它的主要参数如短路电流放大系数 β 、结电容和结电阻等均与工作状态（即所加的电压或电流）有关。因而晶体管电路就是一个非线性电路。大家都知道，分析非线性电路是相当困难的。由于实际的视频放大器对非线性失真要求很严（这一点将在第四章详细阐述），故在元件选择时尽量应用其线性工作范围，因而在分析中可以把视频放大器中晶体管看成是线性元件，也即认为晶体管的诸参数为常数。这样一来就可以把晶体管放大电路用一线性电路来等效，于是视频放大器的分析就归结到线性电路的分析了。通常对晶体管小信号放大器也正是采用这种分析法。

分析线性电路离不开复变函数这个数学工具，所以在本章开始先简单介绍一下与后面分析密切相关的复频率、复平面和

增益函数零极点的概念。然后分别从频域和时域两方面来分析如何使视频放大器获得尽可能完善的特性。最后再介绍一下两种分析法的关系。

小结

在非线性失真非常小的前提下，视频放大器可以看成是一个线性网络，可以用复变函数进行分析。复频率、复平面和增益函数的零极点是复变函数分析的基本概念。

§ 2.2 分析线性电路的基础知识

2.2.1 复数和复平面

大家在初等数学里就学过 -1 的平方根即 $\sqrt{-1}$ 称为虚数，在数学里通常用 i 来表示。在电路分析中，为了避免与电流的符号混淆，往往用 j 来表示 $\sqrt{-1}$ 。有了虚数这个概念后就使得“数”的范围大大地扩展了。从几何图上来解释，如图2.2.1所示，在直角座标系统中，横座标上的数称为实数，所以横轴称为实轴，用 Re 表示。原点以右是正实数，原点以左是负实数。而纵座标轴上的数就是虚数，因而纵轴也称为虚轴，用 Im 来表示。原点以上的虚数为正虚数，原点以下的虚数为负虚数。如果有一个数既不在实轴上，也不在虚轴上，而在座标平面上，则这个数称为复数。如图2.2.1中的 S_1 ，它在实轴上的投影点是一3，在虚轴上的投影点是+4，则这个数表示为 $S_1 = -3 + j4$ 。也可以写成 $Re(S_1) = -3$ ， $Im(S_1) = +4$ 。由此可见，引入了虚数后，数就由线上扩展到面上了。这个座标平面上任何一个点都对应于一个复数，所以把这个座标平面称为复平面或 S 平面。

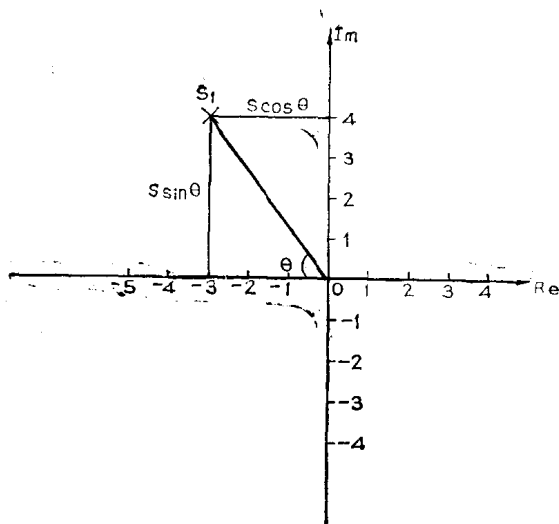


图 2.2.1 复平面

由图2.2.1中可以看出:

$$\operatorname{Re}(S) = |S| \cos \theta \quad \operatorname{Im}(S) = |S| \sin \theta \quad (2.2.1)$$

其中 $|S|$ 表示复数 S 的大小, 称为幅模。 θ 表示其位置, 称为辐角。于是复数可表示成:

$$\begin{aligned} S &= \operatorname{Re}(S) + j\operatorname{Im}(S) = |S| \cos \theta + j |S| \sin \theta \\ &= |S| (\cos \theta + j \sin \theta) \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

$|S|$ 和 θ 可以从图2.2.1中求得:

$$|S| = \sqrt{(\operatorname{Re}(S))^2 + (\operatorname{Im}(S))^2} \quad (2.2.3)$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\operatorname{Im}(S)}{\operatorname{Re}(S)} \quad (2.2.4)$$

(2.2.2)式也可以用指数函数来表示, 因为 $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$, 所以

$$S = |S| e^{j\theta} \quad (2.2.5)$$

用复数的指数表示法来进行复数的乘、除等运算是十分方便的。

2.2.2 复数频率

分析一个线性电路的特性时，通常可以在电路的输入端加上一个信号源 $u_s = u_{sm} \sin \omega t$ ，有时也称这个信号源为激励电压。当角频率 ω 为不同数值时，看一看在输出端负载上的电压振幅和相角是怎样变化的。对应于这个输入信号所得到的输出信号就称之为该线性电路（或称线性网络）对输入信号的响应。要计算线性网络对正弦输入信号的响应，直接代入正弦函数式子去计算是相当复杂的。可是若用指数函数 $e^{j\omega t}$ 去代替正弦函数来计算网络的响应却简便得多。实用上为了应用范围更广泛一些，把 $e^{j\omega t}$ 扩展为 e^{st} ， $S = \sigma + j\omega$ ，这里的 S 称为复数频率（或简称复频率）。

$$e^{st} = e^{(\sigma + j\omega)t} = e^{\sigma t} \cdot e^{j\omega t} = e^{\sigma t} (\cos \omega t + j \sin \omega t) \quad (2.2.6)$$

e^{st} 并不对应于实际存在的任何电压或电流，它仅是一种便于分析问题的数学工具。但是 e^{st} 的实部或虚部是对应于实际存在的余弦和正弦电压或电流。当 $\sigma = 0$ 时， e^{st} 的实部表示的是等幅的余弦信号；当 $\sigma \neq 0$ 时， e^{st} 的实部就对应于增幅或减幅的余弦信号。图 2.2.2 就表示了 σ 为不同值时， e^{st} 实部所对应的信号波形。

这四种波形对应的复频率在复平面上的分布规律表示于图 2.2.3。 $\sigma = 0$ ， S 处于虚轴上。这时对应的信号波形是等幅的余弦信号。 $\sigma > 0$ ， S 处于复平面的右半平面，对应的波形是增幅的余弦信号。 $\sigma < 0$ ， S 处于复平面的左半平面，对应的波形是减幅的余弦信号。其它几种情况也都标于图上，这里