

电影还音设备测量与仪器



徐柏春 王金星 著

中级电影放映技术丛书

中国电影出版社

中级电影放映技术丛书

电影还音设备测量与仪器

徐柏春 王金星 著

中国电影出版社

1990 北京

责任编辑：巩 智
封面设计：杜 平

电影还音设备测量与仪器

*

中国 电 影 出 版 社 出 版 发 行

(北京北三环东路22号)

京辉印刷厂印刷 新华书店经销

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 21.25 插页: 49

字数: 320000 印数: 4000

1990年8月第1版北京第1次印刷

ISBN 7-106-00465-0/TB·0058 定价: 12.50 元

绪 论

“电影还音设备测量与仪器”是中等电影学校放映专业所开设的一门必修课，这门课程共包括讲述电影还音设备的主要参数、标准和测量方法，讨论电子测量仪器的测量原理和结构原理以及学习如何进行参数测量等几方面的内容。

从广义上讲，电影还音设备包括整个电影还音信号通道上的各部分设备，即包括影片、放映机还音部件（简称声头）、电影扩音机、扬声器以及观众厅等五部分。电影还音设备的作用是先将录制在影片声带上的原始声信号经声头转换成电信号，然后经电影扩音机将此电信号进行放大，最后再通过扬声器将电信号还原成声信号，并使它在声场（观众厅）中传播，形成可供人们感受的各种音响。放映所用的全套设备虽然可分成五个主要环节，但应该把它们看成是既独立又相互联系的一个统一体。

电子测量仪器是对电影还音设备的各项指标进行检查、鉴定和维修的重要工具。如果没有它们，则很难找到一条提高电影还音设备质量的途径，也就无法实现统一的还音标准。因此，测量与仪器便成为紧密配合、不可分割的一个问题的两个方面。无论是测量方法还是仪器结构，均应统一在共同的测量原理之下，其目的都是为了使还音设备达到一定的标准，从而确保还音的质量。

为了深入学习本书所要讲授的内容，我们首先要弄清楚什么是电影还音设备的参数测量和什么是低频电子测量仪器这两个问题。

一、电影还音设备的参数测量

（一）测量内容

电影还音设备的参数测量分局部设备参数测量和整个系统参数测量两个方面。

局部设备的测量是指各个还音环节的测量，例如：电影扩音机的信噪比、灵敏度、失真度、频率特性和输出功率等参数，声头的起动时间、抖动度、信噪比、失真度和频率特性等参数（包括光电池、光电管等换能器的参数）。在还音设备中，这两部分的测量工作是最主要的，如果具备条件，还应测量扬声器的电声参数和观众厅的声学指标。

整个系统的参数测量可分为A环、B环和A+B环三种。

所谓A环是指从声头至电影扩音机主衰减器之前的前半段还音信道，B环则是指从电影扩音机主衰减器之前到观众厅布听面的后半段还音信道，而A+B环是指从声头到观众厅布听面的整个还音信道。

A环测量过去在我国主要参照学院标准，延用从声头到扬声器（用纯电阻代替）的所谓“电影还音通路”参数测量方法。

B环测量近几年参照ISO 2969标准进行，它的测量方法是与观众厅的声学特性测量相结合。

A+B环测量是用粉红色噪声声带检验片作测试信号，在观众厅测量整个电影还音信道电声参数。

不论是局部设备的参数测量还是整个系统的参数测量，它们都有各自的侧重面，并且互

相补充、相辅相成，最终统一在共同的监听频率特性标准之下。

（二）测量的标准

电影扩音机的参数测量要参照国家标准《GB1982-80声频功率放大器（扩音机）基本参数与一般技术要求》的有关规定进行。

A环参数测量在国际上有《ISO-7831》标准和ISO-8622标准，以及“学院标准”等。我国的部颁标准有：一机部《JB1411-74》、《JB1412-74》和《JB1413-74》等有关规定。

B环参数测量的国际标准有《ISO-2969》。我国当前可参照文化部电影科研所起草的国家标准讨论稿《放映控制室和室内放映厅的电声响应——规格和测量》的有关规定。

电影技术的标准化工作近几年虽有较大的进展，但目前还很不完备，即使已制订的也有待于在实践中更加完善与提高。因此，上面所列的测量标准并不是唯一的，也不是一成不变的。

（三）测量的基本方法

为使测量数据能真实地反映信号在系统传输过程中的实际情况，不论是局部设备的参数测量，还是整个系统的参数分段测量，测试时所用的信号源均应模拟实际信号源，测试用的负载则应模拟实际负载。

电影扩音机的参数测量要求始端用模拟电光管（或光电池和磁头）内阻的信号源作测试信号，终端用模拟扬声器中频内阻抗的纯电阻作测试负载。

A环参数测量要求始端用声带检验片，即真实信号作测试信号，终端用等效于扩音机中主衰减的输入电阻的纯电阻作负载。若用电影还音设备通路参数测量代替A环测量则始端的测试信号要与A环参数测量的测试信号相同，而终端的测试负载要与扩音机参数测量时的负载相同。

B环参数测量时始端既可直接用白噪声信号发生器输出的粉红色噪声作测试信号，也可用声频信号发生器输出的啞音（调频波）作测试信号；终端则要求在观众厅布听面内首先用传声器（电容话筒）将声信号转换成电信号，然后再用声学仪器进行测量。

A + B环参数测量要求始端用声带检验片，终端在观众厅测量。这是两端均不模拟的真实测量方法。

二、低频电子测量仪器

电影还音设备电声参数的频率特性一般都在音频范围之内，因此，常用低频电子测量仪器进行测量。

（一）电影还音设备电声参数测量仪器的种类

测量电影扩音机主要参数时常用毫伏表、低频信号发生器、失真度测量仪和电子射线示波器等低频电子测量仪器（俗称四大件仪器）。若按国家标准《GB1933-80声频功率放大器（扩音机）基本参数的测量方法》的有关规定，除上述四大件仪器外，还须具备互调失真仪及方波信号发生器等。

测量A环参数除需常用的四大件仪器外，还须具备抖动测量仪和各种规格的声带检验片。

测量B环参数主要用声学测量仪器。若采用经典测试方法，则须具备白噪声信号发

生器、能输出啁啾音的声频信号发生器、 $1/3$ 倍频程滤波器、声级计、电平记录仪和频谱分析仪等。如果是用综合性自动测量方法,一般只要具备丹麦B&K公司4417型建筑声学分析仪就够了。

测量A+B环参数主要用声学测量仪器,但测试信号要用白噪声声带检验片。

(二) 低频电子测量仪器的结构原理、测量原理及其维护和使用。

常用的低频电子测量仪器(主要指四大件)是由带宽放大器、输入电路、输出电路、滤波电路等线性电路和振荡电路、脉冲电路等非线性电路以及指示、显示电路等单元线路组成的。因此,了解各单元电路的结构和工作原理是理解电子仪器的结构原理和测量原理的基础。

低频电子测量仪器的结构可基本分为三大部分,即测试信号的产生、放大和输出信道,对待测信号进行测量的输入、放大和指示或显示信道,以及电源的供给和分流通道。有些仪器还设置了校准信号发生及输出的电路,但它实际上还应划入产生测试信号的信道之中。

低频电子测量仪器的测试信道一般都是根据待测参数的定义式进行设置。例如,谐波失真度的测量就要根据谐波失真度的定义式来安排电路,由于谐波失真度是各次谐波分量总和与全信号之比的百分数,所以,在失真度测量仪中就设置了全信号的测试信道和各次谐波分量总和的测试信道,而它们分别测量所得的值的百分比又可以从表头刻度上读出。由此可见,理解仪器的测量原理便成为分析仪器电路结构和掌握参数测量方法的基础。

为使测量数据可靠,并使仪器的技术特性符合参数测量的要求,常需要定期对测量仪器的主要技术指标进行检查,特别是那些经过检修或调整后的仪器,其检查工作尤为重要。当然,对低频电子测量仪器主要技术特性的检查须按有关规定进行。理解测量仪器各测试信道的工作原理,从而了解待测信号在各测试信道中所发生的幅度、频率和波形的变化无疑是掌握仪器指标检查方法的基础,同时也是灵活运用仪器进行参数测量,扩大仪器使用范围和对仪器进行保养、检修的基础。

(三) 低频电子测量仪器的主要技术要求

为了减小测试过程中的附加误差,原则上测量仪器的主要技术特性指标应高于待测参数的指标。

用于电影扩音机主要参数测量的低频电子测量仪器,其主要技术特性的要求都是参照国家标准《GB1983-80声频功率放大器(扩音机)基本参数的测量方法》中的有关规定制定的。因此,用于电影还音设备通路参数测量的低频电子测量仪器,也应符合该标准的有关规定。

对测量仪器技术特性的要求,不仅涉及到测量仪器的标准化问题,同时还涉及到测量参数的标准化问题,然而我国目前在电影还音设备测量仪器标准化方面还有许多空白,因此,凡是遇到与这方面有关的问题我们只能按照已有的规定进行讨论。

综上所述,“电影还音设备测量与仪器”这门课程所涉及的内容是相当广泛的,它是一门既要掌握一定理论又要进行一定实践的专业课,这就要求我们在教学中切实做到理论与实践相结合,随着我们在理论上的进一步提高和在实践中的进一步探索,这门专业课的教学也必将日趋完善起来。

目 录

绪 论

第一章 低频电子测量仪器基本电路.....	(1)
§ 1-1 宽频带放大器.....	(1)
§ 1-2 输入电路.....	(17)
§ 1-3 输出电路.....	(35)
§ 1-4 滤波电路.....	(46)
§ 1-5 振荡电路.....	(62)
§ 1-6 脉冲电路.....	(72)
§ 1-7 显示电路.....	(92)
§ 1-8 指示电路.....	(105)
第二章 低频电子测量仪器.....	(119)
§ 2-1 电子测量仪器概述.....	(119)
§ 2-2 毫伏表.....	(122)
§ 2-3 低频信号发生器.....	(133)
§ 2-4 失真度测量仪.....	(155)
§ 2-5 电子射线示波器.....	(171)
第三章 电影扩音机的基本参数及测量.....	(196)
§ 3-1 电信号基本参数测量.....	(196)
§ 3-2 音频放大器参数测量概述.....	(201)
§ 3-3 扩音机基本参数测量的标准.....	(218)
§ 3-4 电影扩音机的基本参数测量.....	(230)
第四章 放映机还音通路的参数测量与仪器.....	(235)
§ 4-1 声带检验片.....	(235)
§ 4-2 抖动测量仪.....	(244)
§ 4-3 放映机还音通路的基本参数及测量.....	(259)
第五章 电影还音系统电声特性的测量与仪器.....	(265)
§ 5-1 声音计量的基础知识.....	(265)
§ 5-2 电声测量仪器简介.....	(270)
§ 5-3 观众厅的声学测量和音质评价.....	(292)

§ 5-4 电影还音系统电声特性测量.....	(306)
附录.....	(321)
一、电(声)功率比、电(声)压比和分贝的换算表.....	(323)
二、扩音机基本参数表——《GB1982—80》国家标准.....	(324)
三、符号表.....	(326)
四、电影还音设备测量仪器图集.....	(329)

第一章 低频电子测量仪器基本电路

§ 1-1 宽频带放大器

一、带宽的定义

放大器的频带宽度简称带宽，定义为高频半功率点(上限频率 f_H)与低频半功率点(下限频率 f_L)间的频率间隔，记作 f_{bw} 。

$$f_{bw} = f_H - f_L \quad (1-1-1)$$

设中频 f_0 时功率为 P_0 ，电压为 V_0 。

因为 $P \propto V^2$ ，所以当功率下降一半时电压下降到0.707。若用相对电平表示，并设 f_H 、 f_L 时功率为 P ，电压为 V ，则高、低半功率点为：

$$\text{功率电平下降} \quad 10 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg 0.5 = -3 \text{ dB}$$

$$\text{电压电平下降} \quad 20 \lg \frac{V}{V_0} = 20 \lg 0.707 = -3 \text{ dB}$$

带宽的物理意义如图1-1-1所示。

所谓宽频带放大器一般是指带宽达几兆赫兹的放大器，其中频率范围在几Hz—几MHz之间的又称视频放大器。本节讨论的宽频带放大器就属这一类，且用阻容耦合或直接耦合的方式。就频带在1MHz左右的放大电路而言，由于 $f_L \ll f_H$ ，因此 $f_{bw} = f_H$ 。

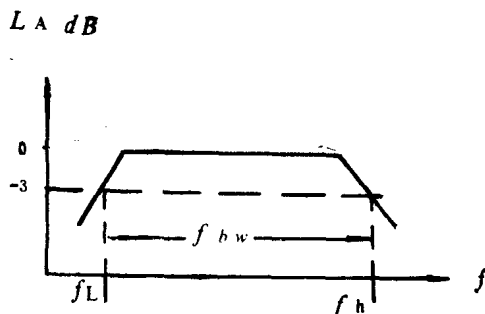


图1-1-1 带宽的物理意义

二、阻容耦合放大器的增益与带宽

(一) 开环放大器的增益与带宽

1. 电子管放大器

图1-1-2为共阴极阻容耦合开环放大器的基本电路与等效电路。

图中， C_{01} —— G_1 管输出电容，

C_w ——杂散电容，

C_{π} —— G_2 管栅—阴电容，

C_{μ} —— G_2 管阳—栅电容。

此电容对高频起旁路作用，其低、中频视作开路。

设 G_1 、 G_2 电路参数相同， $R_g \gg R_a$ ，则有如下情形，

(1) 中频区

$$\text{增益} \quad \dot{A}_{vm}(\omega) = - \frac{\mu(R_a // R_g)}{r_i + (R_a // R_g)} \approx - \frac{\mu R_a}{r_i + R_a} \quad (1-1-2)$$

$$\text{或} \quad \dot{A}_{vm}(\omega) = \left| A_{vm} \right| \angle \varphi_0$$

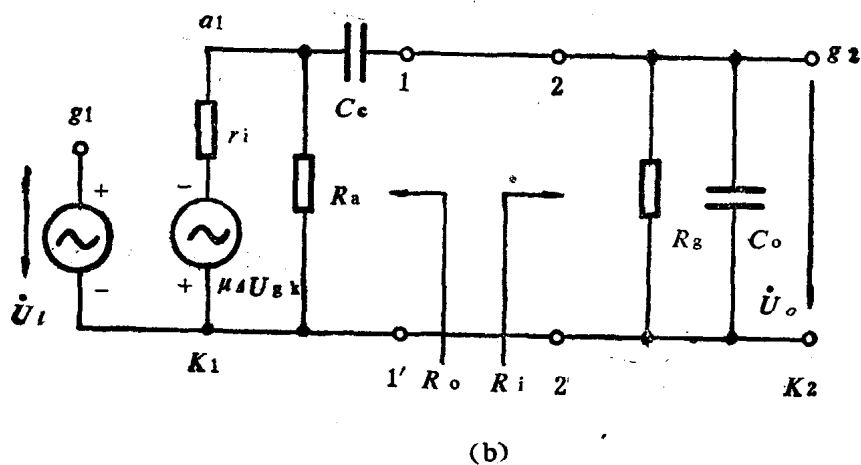
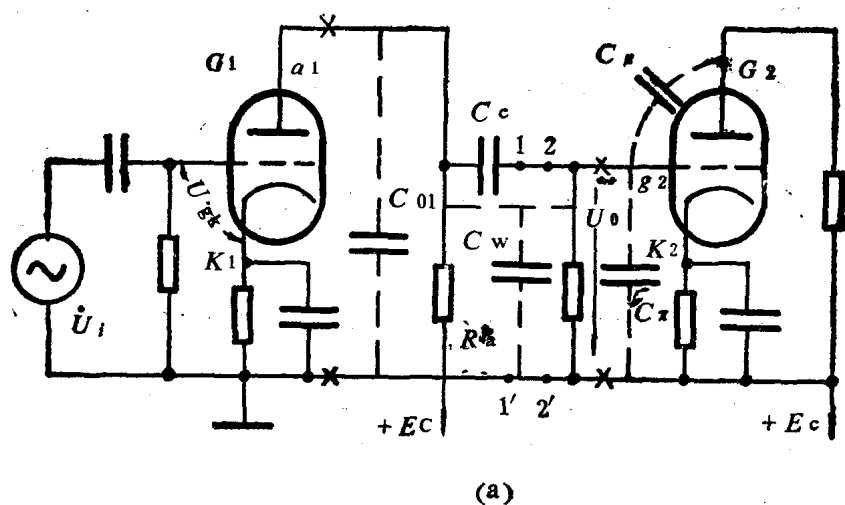


图1-1-2 共阴极放大器

(a) 基本电路 (b) 等效电路

$$\text{模} \quad |\dot{A}_{vm}| = \frac{\mu R_a}{r_i + R_a} \quad (1-1-3)$$

相角 $\varphi_o = -180^\circ$

输入电阻 $R_i = R_g$ (1-1-4)

输出电阻 $R_o = R_a \parallel R_i$ (1-1-5)

(2) 低频区

$$\text{增益} \quad \dot{A}_{vL}(\omega) = \frac{\dot{A}_{vo}(\omega)}{1 + \frac{1}{j\omega\tau_L}}$$

$$\text{令低频时间常数} \quad \tau_L = \frac{1}{\omega_L} = C_c((r_i \parallel R_a) + R_g) \quad (1-1-6)$$

$$\text{则} \quad \dot{A}_{vL}(\omega) = \frac{\dot{A}_{vo}(\omega)}{1 + j\frac{\omega_L}{\omega}}$$

或 $\dot{A}_{vL}(\omega) = \left| \dot{A}_{vo}(\omega) \right| \angle \varphi_L(\omega)$

模 $\left| \dot{A}_{vL}(\omega) \right| = \frac{\left| \dot{A}_{vo}(\omega) \right|}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_L}{\omega} \right)^2}} \quad (1-1-7)$

相角 $\varphi_L(\omega) = \varphi_o + \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega_L}{\omega}$

当 ω 下降到低半功率点 ω_L 时,

$$\left| \dot{A}_{vL}(\omega_L) \right| = \frac{\left| \dot{A}_{vo}(\omega_o) \right|}{\sqrt{2}}$$

相移超前 $\varphi_L - \varphi_o = 45^\circ$

则下限频率 $f_L = \frac{\omega_L}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau_L} \approx \frac{1}{2\pi C_c R_g} \quad (1-1-8)$

(3) 高频区

增益 $\dot{A}_{vh}(\omega) = \frac{\dot{A}_{vo}(\omega)}{1 + j\omega R_o C_o}$

令高频时间常数 $\tau_h = \frac{1}{\omega_h} = R_o C_o \quad (1-1-9)$

则 $\dot{A}_{vh}(\omega) = \frac{\dot{A}_{vo}(\omega)}{1 + j \frac{\omega}{\omega_h}}$

或 $\dot{A}_{vh}(\omega) = \left| \dot{A}_{vo}(\omega) \right| \angle \varphi_h(\omega)$

模 $\left| \dot{A}_{vh}(\omega) \right| = \frac{\left| \dot{A}_{vo} \right|}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_h} \right)^2}} \quad (1-1-10)$

相角 $\varphi_h(\omega) = \varphi_o - \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega}{\omega_h}$

式1-1-9中寄生电容 C_o 为:

$$C_o = C_{o1} + C_i + C_w,$$

C_i —— G_2 放大器输入电容,

$$C_i = C_\pi + C_m,$$

C_m ——密勒电容, 其值为

$$C_m = (1 + \dot{A}_{vo}) C_\mu.$$

当 ω 提高到高频半功率点 ω_h 时

$$\left| \dot{A}_{vh}(\omega_h) \right| = \frac{\left| \dot{A}_{vo}(\omega_o) \right|}{\sqrt{2}} \quad (1-1-12)$$

相移滞后 $\varphi_h - \varphi_o = -45^\circ$

频率特性如图1-1-3所示。

由此可见, 阻容耦合开环放大器带宽的上限频率取决于高频时间常数 τ_h , 下限频率取

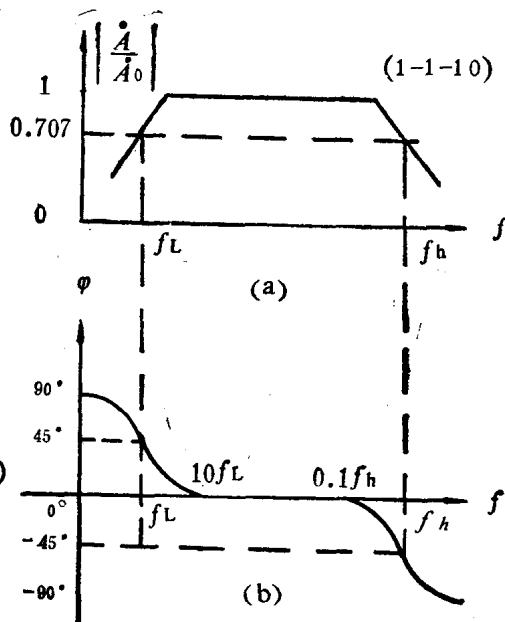


图1-1-3 单级放大的频率特性

决于低频时间常数 τ_L ，增大 τ_L 或减小 τ_h 均可使频带扩展。

2. 晶体管放大器

图1-1-4是共射极阻容耦合开环放大器的基本电路图。

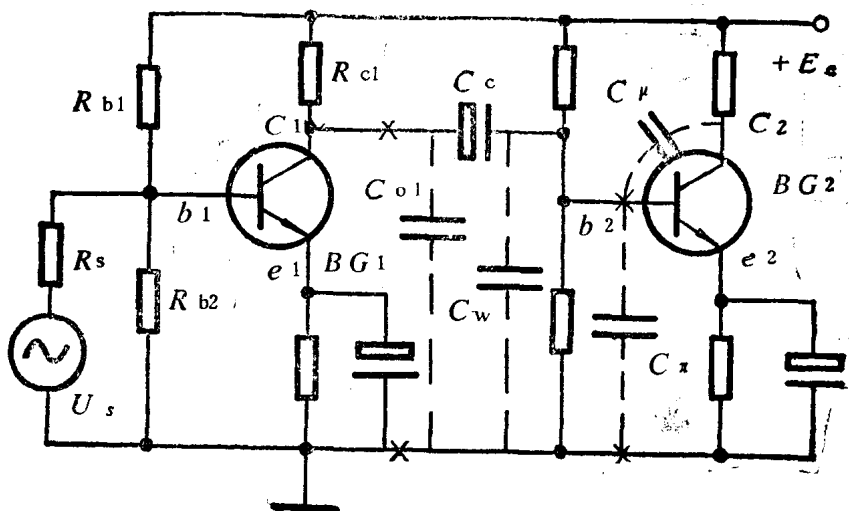


图1-1-4 共射极阻容耦合放大器

设 BG_1 、 BG_2 的电路参数相同，其中：

Co_1 —— BG_1 管输出电容，

Cw ——杂散电容，

$C\pi$ —— BG_2 管基—射电容，

$C\mu$ —— BG_2 管集—基电容。

(1) 中频区

寄生电容的作用可略去不计，则等效电路可采用h参数，如图1-1-5所示。

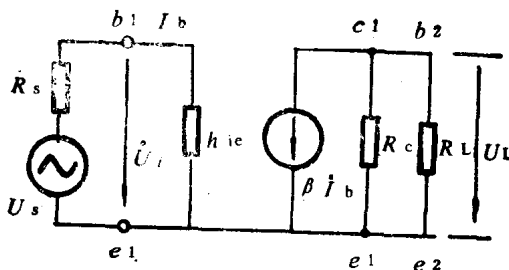


图1-1-5 中频区等效电路

$$\text{中频增益 } \dot{A}_{vm} = \frac{\dot{U}_L}{\dot{U}_i} = -\beta \frac{R_L'}{h_{ie}}$$

(1-1-13)

$$\text{模} \quad |\dot{A}_{vm}| = \beta \frac{R_L'}{h_{ie}}$$

$$\text{幅角} \quad \varphi = -180^\circ$$

$$R_L' = R_c // R_L$$

(2) 低频区

等效电路同样采用h参数，如图1-1-6所示，其中：

$\dot{U}_o$ ——输出开路电压，

r_o ——内阻，并且 $r_o = R_c$ 。

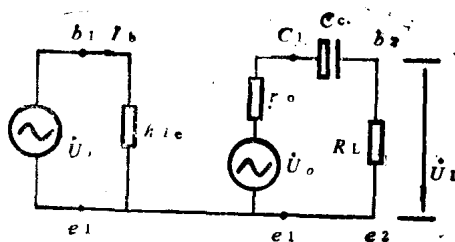


图1-1-6 低频等效电路

则 $\dot{U}_o = -\beta \frac{R_c}{h_{ie}} \dot{U}_i$

$$\dot{U}_L = \dot{U}_o \frac{R_L}{R_c + R_L - j \frac{1}{\omega C_c}} = \frac{\dot{U}_o \frac{R_L}{R_c + R_L}}{1 - j \frac{1}{\omega C_c (R_c + R_L)}}$$

$$\dot{A}_{vL} = \frac{\dot{U}_L}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{A}_v}{1 - j \frac{1}{\omega (R_c + R_L) C_c}} \quad (1-1-14)$$

当 $\omega = \frac{1}{(R_c + R_L) C_c}$ 时

$$|\dot{A}_{vL}| = \frac{|\dot{A}_{vo}|}{\sqrt{2}}$$

因此, $\frac{1}{(R_c + R_L) C_c}$ 称下限角频率, 记作 ω_L 。

$$\text{下限频率 } f_L = \frac{1}{2\pi (R_c + R_L) C_c} \quad (1-1-15)$$

$$\text{低频时间常数 } \tau_L = (R_c + R_L) C_c \quad (1-1-16)$$

$$\text{于是 } \dot{A}_{vL} = \frac{\dot{A}_{vo}}{1 - j \frac{\omega_L}{\omega}} \quad (1-1-17)$$

$$\text{模 } |\dot{A}_{vL}| = \frac{|\dot{A}_{vo}|}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_L}{\omega}\right)^2}}$$

$$\text{幅角 } \varphi = -180^\circ + \text{tg}^{-1} \frac{\omega_L}{\omega}$$

(3) 高频区

寄生电容不能忽略, 等效电路采用简化的混合 π 型, 如图 1-1-7 所示, 其中,

$$C_o = C_{o1} + C_w + C_\pi + C_m$$

$$\text{密勒电容 } C_m = (1 + g_m R'_L) C_\mu \quad (1-1-18)$$

$$\text{输出电压 } \dot{U}_o = -\beta \dot{I}_b \frac{R'_L \frac{1}{j\omega C_o}}{R'_L + \frac{1}{j\omega C_o}} = -\beta \dot{I}_b \frac{R'_L}{1 + j\omega R'_L C_o}$$

$$\text{因为中频增益 } \dot{A}_{vo} = -\beta \frac{R'_L}{h_{ie}}$$

所以高频增益

$$\dot{A}_{vh} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{A}_{vo}}{1 + j\omega R'_L C_o} \quad (1-1-19)$$

我们称 $R'_L C_o$ 为高频时间常数 τ_h , 所以,

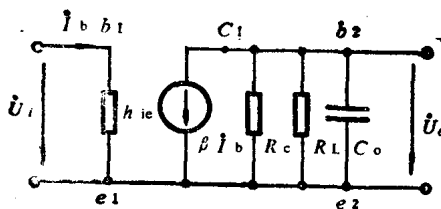


图 1-1-7 高频简化等效电路

$$\tau_h = R_L' C_o \quad (1-1-20)$$

$$\text{则上限频率 } f_h = \frac{1}{2\pi R_L' C_o} \quad (1-1-21)$$

$$\text{或 } \dot{A}_{vh} = \frac{\dot{A}_{vo}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_h}}$$

$$\text{模 } \left| \dot{A}_{vh} \right| = \frac{\left| \dot{A}_{vo} \right|}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_h} \right)^2}}$$

$$\text{幅角 } \varphi = -180^\circ - \lg^{-1} \frac{\omega}{\omega_h}$$

共射电路幅频特性和相频特性与共阴极电路相同。

综上所述，单级阻容耦合放大器的上限频率取决于高频时间常数。

$$f_h = \frac{1}{\pi \tau_h} \quad (1-1-22)$$

下限频率取决于低频时间常数。

$$f_L = \frac{1}{2\pi \tau_L} \quad (1-1-23)$$

高频时间常数取决于寄生电容 C_o 的充电回路，且与密勒电容有关。低频时间常数取决于耦合电容 C_o 的充电回路。

中频增益与带宽的乘积(增益带宽积)为常数B。

$$B = \left| \dot{A}_{vo} \right| \cdot f_{bw} = \left| \dot{A}_{vh} \right| f_h \quad (1-1-24)$$

必须指出，晶体管极间电容与管子的类型及结构有关，所以明确分为高频管与低频管。

例如：某放大器的负载 $R_L' = 1K\Omega$ ，试估算采用3A×25的上限频率及改用3DG6的上限频率。

(3A×25: $C_{o1} = 60\text{pf}$, $C_i = 17500\text{pf}$; 3DG6: $C_{o1} = 3\text{pf}$, $C_i = 55\text{pf}$.)

设 $C_w = 10\text{pf}$

采用3A×25 $C_o = C_{o1} + C_w + C_i = 60 + 10 + 17500 = 17570\text{pf}$

$$f_h = \frac{1}{2\pi R_L' C_o} = \frac{1}{6.28 \times 10^3 \times 17570 \times 10^{-12}} = 9.1\text{KHz}$$

采用3DG6 $C_o = 3 + 10 + 55 = 68\text{pf}$

$$f_h = \frac{1}{2\pi R_L' C_o} = \frac{1}{6.28 \times 1000 \times 68 \times 10^{-12}} = 2.34\text{MHz}$$

上例说明 f_h 与 C_i 密切相关。 $C_i = C_\pi + C_m$ ， C_m 与晶体管集—基电容有关，因此 f_h 与晶体管类型密切相关。

晶体管 β 与 f 及截止频率 f_β 的关系如下。

$$\dot{\beta} = \frac{\beta_o}{1 + j \frac{f}{f_\beta}}$$

$$\text{模 } |\dot{\beta}| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{\beta}}\right)^2}} \quad (1-1-25)$$

由此可见，晶体管的电流放大倍数随频率增大而迅速减小。由于 $|\dot{A}_{vh}|$ 与 $|\dot{\beta}|$ 成正比，因此在接近截止频率时，高频增益迅速下降。高频晶体管 f_{β} 虽可达到1MC以上，但是因受杂散电容的影响，单级放大电路的带宽一般仍只有上百千赫，所以需要采取其它措施来扩展频带。

(二) 闭环放大器的带宽

采用负反馈环路的闭环放大器，不仅能改变放大器的输入、输出阻抗，还能使放大器的带宽向低、高频扩展。图1-1-8所示为电压串联负反馈放大器工作原理方框图。图中 $\dot{A}_o$ 为开环放大器增益， $\dot{F}$ 为反馈网络的反馈系数， $\dot{U}_i$ 为闭环放大器输入电压， $\dot{U}_o$ 为输出电压， $\dot{U}_F$ 为反馈电压。于是：

$$\text{反馈系数 } \dot{F} = \frac{\dot{U}_F}{\dot{U}_o}$$

$$\text{闭环增益 } \dot{A}_F = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$

$$\dot{A}_F \text{ 与 } \dot{A}_o \text{ 关系 } \dot{A}_F = \frac{\dot{A}_o}{1 + \dot{A}_o \dot{F}}$$

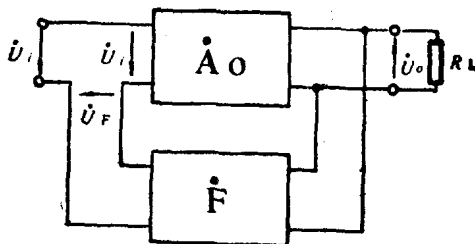


图1-1-8 负反馈放大器电原理方框图

式1-1-30中， $1 + \dot{A}_o \dot{F}$ 称为反馈深度。反馈系数越大，反馈越深，此时：

$$\text{中频闭环增益: } |\dot{A}_F| \approx \frac{1}{F} \quad (1-1-31)$$

$$\text{高半功率点 } f_{HF} = |1 + F \dot{A}_o| f_H \quad (1-1-32)$$

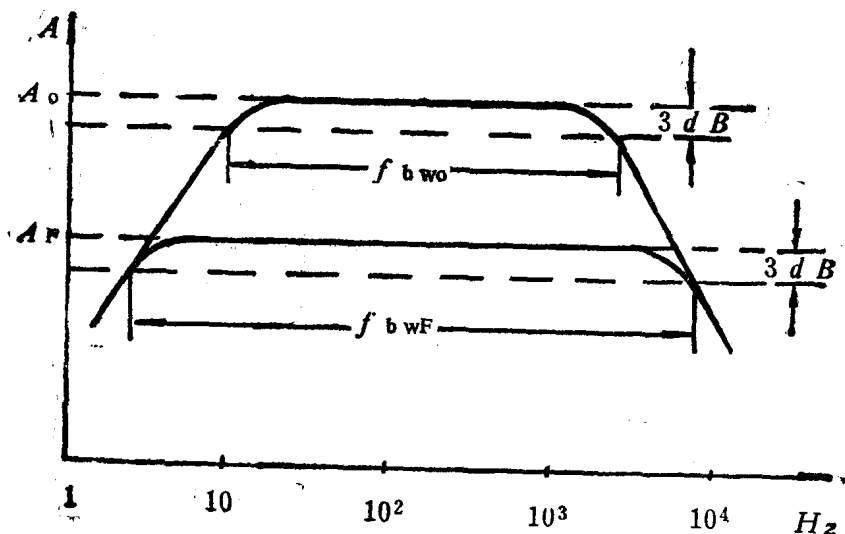


图1-1-9 开环带宽 f_{bw0} 与闭环带宽 f_{bwF}

低半功率点 $f_{L1} = \frac{f_L}{1 - F A_o}$ (1-1-33)

增益带宽积 $B = f_{bwF} \cdot A_F = f_{bw0} \cdot A_o = \text{常数}$ (1-1-34)

式1-1-32和1-1-33说明负反馈放大器高、低频的扩展与反馈深度成正比。

式1-1-34的物理意义如图1-1-9所示。图中增益从 A_o 降至 A_F ，带宽相应从 f_{bw0} 扩展到 f_{bwF} 。

图1-1-10(a)所示为BS1型失真度测量仪线路中宽频带放大电路的原理图。

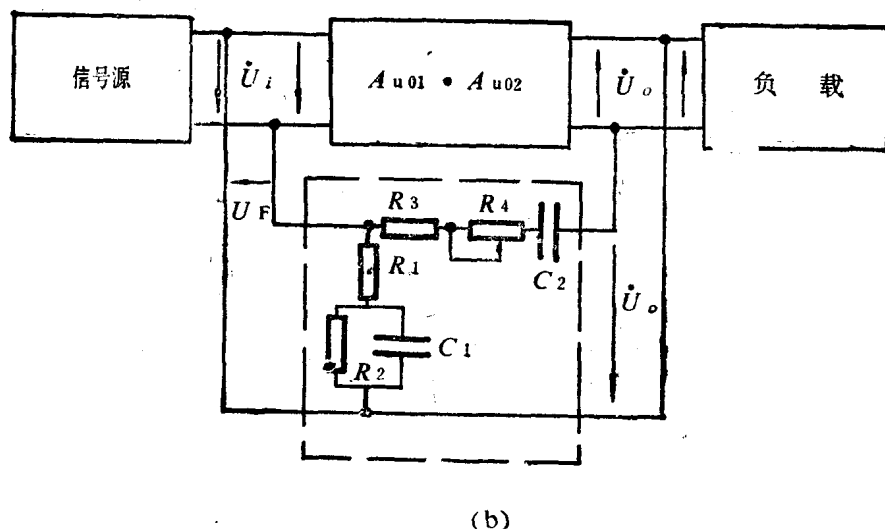
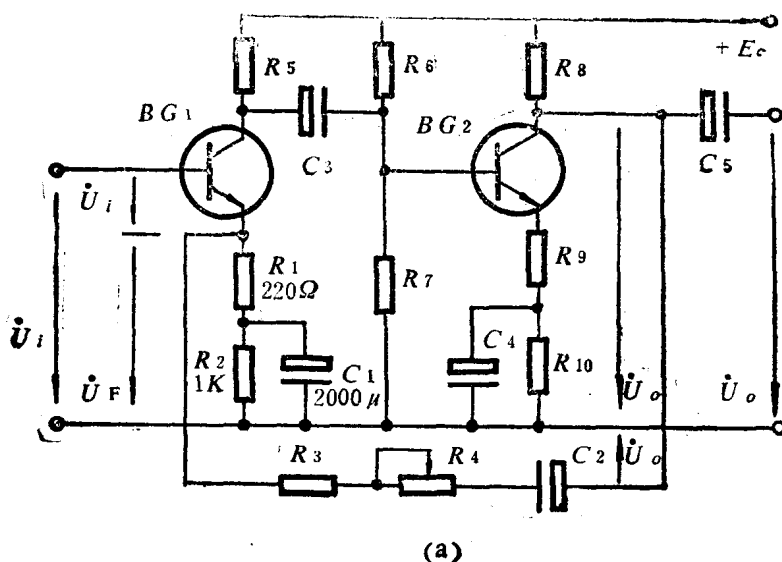
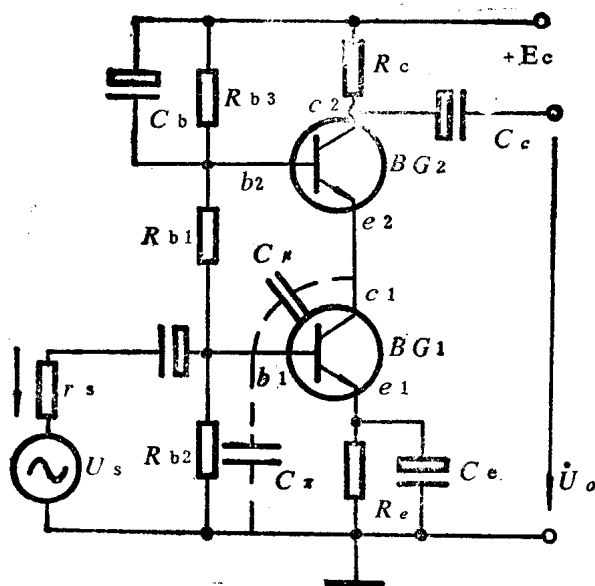


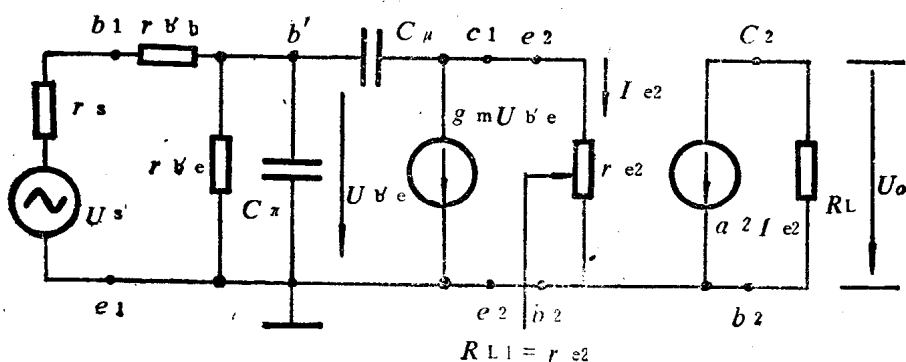
图1-1-10 BS1型失真度测量仪宽带放大器

(a)放大电路 (b)等效电路

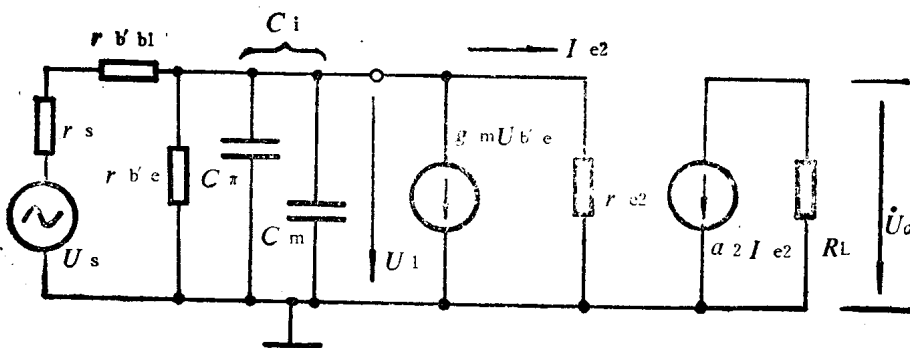
图中，放大器的负反馈回路主要由串臂 R_3 、 R_4 、 C_2 和并臂 R_1 、 C_1 、 R_2 组成，是电压串联负反馈阻容耦合放大电路，它的基本结构如方框图1-1-10(b)所示，其中



(a)



(b)



(c)

图1-1-11 共射-共基组态及其高频等效电路

(a)共射-共基组态电路 (b)等效电路 (c)简化电路