

晶体管电影扩音机的电路原理、设计与调整

李应楷 编著

中国电影出版社

内 容 说 明

本书系统地讲述了晶体管电影扩音机的电路技术，实用性较强，内容侧重于电路介绍和原理分析，但没有繁杂的数学推算，插图也较多。全书共分六章：第一章讨论扩音机的机外配合和特性指标，以后各章分别介绍扩音机各组成部分的电路原理、设计与调整方法，此外还介绍了一些新电路、新技术和高保真方面的内容。

本书可供电影界有关设计、教学、生产人员及基层放映员阅读，对于其它行业的有关人员和广大无线电爱好者也有参考价值。

责任编辑：巩 智

封面设计：胡振崑

晶体管电影扩音机的电路原理、设计与调整

李应楷 编著

*

中 国 电 影 出 版 社 出 版

化工印刷厂 印刷 新华书店发行

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：16 $\frac{1}{8}$ 插页：48 字数：180,000

1986年5月第1版北京第1次印刷 印数：1—10,000 册

统一书号：15061·207 定价：4.25元

前 言

电影是一种综合的艺术形式，不能没有声音，而观众只有在良好的音响环境里，才能得到深刻的艺术感受。在放映电影的过程中，电影扩音系统所起的作用是很大的。以前的扩音机多采用电子管，从六十年代起，晶体管这一新型电子器件逐步在扩音机里得到了应用。它那体积小、重量轻、耗电省、寿命长、坚固耐震、使用方便等优点，很快为扩音机的生产者与使用者所赞赏。时至今日，晶体管已成为各种扩音设备的主要电子器件了。

晶体管与电子管是两种完全不同的电子器件。晶体管电影扩音机从机外配合到机内电路的原理、设计和调整方法都与电子管扩音机不同。晶体管电影扩音机在我国已应用十多年了，但系统地介绍这方面内容的书至今还很少，本书试图弥补这一不足，并希望它能对电影扩音技术的发展有所促进。

本书内容比较系统，实用性较强，侧重于实际电路的原理分析，避免繁杂的数学推算，插图也较多。为了跟上晶体管电路技术日新月异的发展，书中用了一定的篇幅来介绍一些新电路，至于晶体管电路的基础知识，因一般书刊常有介绍，本书从简。由于装订原因，本书附录五的电路资料图分别插在书中的不同地方，请读者阅读时注意。

笔者在写作本书的过程中，曾得到电影界许多老前辈的指导和鼓励，并且还得到临夏电影机械研究所、甘肃光学仪器厂、广东电影机械厂、广州电影机械厂、广东省电影公司、电影放映技

工学校等单位很多同志的热情帮助，特别是我的老师、中国电影科学技术研究所的姚世荣同志用了大量时间对本书稿作了详细审订，提出了许多宝贵意见，在此一并表示深切感谢。

李应楷

1980年12月于广州

目 录

第一章 电影扩音机的机外配合与特性指标.....	1
第一节 硅光电池及其与还音放大器的配合	1
一、硅光电池是一个电流源	2
二、硅光电池的高频响应	6
三、与还音放大器的配合	8
第二节 还音磁头及其与放大器的配合	10
一、还音磁头	11
二、磁性声带的剩磁感应特性	12
三、磁性还音的高频损失	13
四、与还音放大器的配合	17
第三节 其他信号源与放大器的配合.....	20
一、传声器与放大器的配合	21
二、压电式拾音器与放大器的配合	22
三、电磁式拾音器与放大器的配合	24
四、线路与放大器的配合	26
第四节 扬声器与晶体管放大器的配合	27
一、阻抗问题	27
二、功率问题	29
三、阻尼问题	29
四、保护问题	30
第五节 电影扩音机的特性指标	30
一、输出功率	30
二、增益	32
三、频率特性	33

四、谐波失真系数	36
五、信号噪声比	38
六、互调失真系数	38
七、瞬态响应	39
八、瞬态互调失真	40

第二章 基本放大电路.....42

第一节 共发射极单级放大电路.....42

一、电路的特点	43
二、电路分析	46
三、设计举例	48
四、电路的调整	51
五、实用电路举例	52

第二节 共基极单级放大电路.....52

第三节 射极输出器.....54

一、电路的特点	54
二、电路设计方法	55
三、计算举例	57
四、提高输入阻抗的方法	59
五、电路举例	61

第四节 多级放大电路.....63

一、多级放大电路的耦合方式	63
二、多级放大电路的增益	66
三、多级阻容耦合放大电路的频率响应	67

第五节 两级和三级直接耦合放大电路.....70

一、两级直耦放大电路	70
二、三级直耦放大电路	72
三、直接耦合放大电路的交流负反馈	73
四、电路元件计算	75
五、实用电路举例	77

第六节 差动和单端推挽放大电路.....83

第七节 场效应管放大电路.....90

一、场效应晶体管	90
二、场效应管的工作点	92

三、放大电路计算	94
四、实用电路举例	94
第三章 前置放大器	98
第一节 光学还音放大电路	98
一、几种放大电路的比较	98
二、还音损失的补偿	102
三、脉冲感应和射频干扰的抑制	114
四、实际电路举例	115
第二节 磁性还音放大电路	119
一、频率的均衡与补偿	119
二、实用电路举例	127
第三节 音量控制电路	132
一、衰减式音量控制器	132
二、等响音量控制	133
第四节 音调控制电路	140
一、衰减式音调控制电路	140
二、负反馈式音调控制电路	150
三、衰减——负反馈独立控制式音调电路	163
四、多频率音调调节电路	167
第五节 带宽调节与分频电路	170
一、晶体管有源滤波器	170
二、带宽调节电路	179
三、滤波型电子分频电路	182
四、滤波——运算型电子分频电路	185
五、扬声器分频网路	191
第六节 信号的选择和混合	199
一、信号的选择	199
二、信号的混合	202
第七节 低噪声放大	206
一、晶体管的噪声	206
二、低噪声放大器的制作要点	213
三、实用电路举例	214

第四章 功率放大器	216
第一节 变压器耦合功率放大电路	218
一、甲类单管放大电路	218
二、乙类推挽放大电路	222
三、设计举例	226
四、调整方法	231
第二节 OTL 电路	232
一、输入变压器倒相式 OTL 电路	233
二、分负载倒相式 OTL 电路	240
三、互补对称式 OTL 电路	243
四、互补对称电路工作点的稳定	257
五、OTL 电路的设计	263
六、OTL 电路的调整	276
第三节 OCL 电路	278
一、OCL 电路的特点	278
二、OCL 电路的工作原理	281
三、OCL 电路的设计	285
四、OCL 电路的调整	296
五、实用电路举例	299
六、两级差动放大的 OCL 电路	304
七、采用恒流源的 OCL 电路	306
八、不用差动放大的 OCL 电路	308
第四节 全对称 OCL 电路	311
一、电路介绍	311
二、电路设计	316
三、电路调整	322
四、DC(直流)型 OCL 电路	326
第五节 BTL 电路	330
第六节 并联推挽电路	334
第七节 大功率放大电路	337
第八节 各种功放电路的比较	346
第九节 功率放大器的故障检查	347
第五章 直流电源	353

第一节 整流电路	353
一、电阻负载整流电路	353
二、纹波系数和脉动系数	355
第二节 实际的整流滤波电路	356
一、电容滤波电路	357
二、电感滤波电路	363
三、LC 复合滤波电路	367
四、RC 滤波电路	370
五、倍压整流电路	371
六、整流滤波电路设计举例	374
七、整流滤波电路的调整	381
八、有源滤波电路	381
第三节 稳压电路	384
一、稳压二极管稳压电路	384
二、简单的串联式晶体管稳压电路	387
三、带放大环节的串联式晶体管稳压电路	390
四、稳压电源的技术指标	393
五、稳压电路设计举例	394
六、提高稳压电源技术性能的方法	397
七、实用电路举例	399
第四节 电源变压器的设计	402
一、一些数量关系	402
二、设计方法	409
 第六章 提高可靠性的措施	 417
第一节 电子元器件的可靠性	418
一、失效率	418
二、普通元器件的失效规律	420
三、半导体器件的失效规律	422
四、使用条件对可靠性的影响	424
五、筛选和老练	425
第二节 大功率晶体管的散热	427
一、晶体管的热阻	27
二、热设计	431

第三节 过载保护电路	436
第四节 扬声器保护电路	439
一、桥式检拾型保护电路	440
二、互补检拾型保护电路	445
三、差动检拾型保护电路	449
四、实用电路举例	450
第五节 指示和检测电路	453
一、指针式电流表指示电路	454
二、发光二极管指示电路	456
三、检测电路	462
附录	465
一、扩音机的基本参数与主要技术要求	465
二、扩音机输出功率—电压换算表	470
三、分贝表	472
四、扩音机常用半导体器件的有关参数	475
五、一些国产品体管电影扩音机电路原理图	505
1. 联合设计 FL-8.75 I 型电影放映扩音机	
2. 甘光厂 FL-8.75 II 型电影放映扩音机	
3. 广东厂 8.75 毫米电影放映扩音机	
4. 南京 FK 161-15W 电影放映扩音机	
5. 南京 FK 162-15W 电影放映扩音机	
6. 甘光厂 JK-15 型电影放映扩音机	
7. 甘光厂 F 16-71 II 型电影放映扩音机	
8. 广州厂 FL-16 K 3 型电影放映扩音机	
9. 甘光厂 JK-20 型电影放映扩音机	
10. 甘光厂 JK-20 A 型电影放映扩音机	
11. 上海牌双频道电影还音扩音机	
12. 珠江牌 FK 2-40 型双频道电影放映扩音机	
13. 珠江牌 FK 2-40 II 型双频道电影放映扩音机	

第一章 电影扩音机的机外配合 与特性指标

一套完整的电影放映扩音设备应包括还音器件、电影扩音机、扬声器等组成部分。在设计和使用扩音机时，必须使扩音机与信号源、扬声器等部分配合适当，才能为获得优良的音质提供必要的技术条件。但这一点往往被经验不足的人所忽视，因此，本章将着重讨论晶体管电影扩音机与光、磁还音器件及扬声器配合的技术问题，然后再介绍电影扩音机常用的一些特性指标的技术含义及其在测量中应注意的事项。

第一节 硅光电池及其 与还音放大器的配合

自光学声带问世以来，电影放映机一直采用光电管或光电倍增管作还音光电转换器件，半导体的光电器件在电影放映机上的应用还只是最近十来年的事情，而其中应用最广的应该说是硅光电池。由于硅光电池具有性能优良、工作稳定、使用方便等优点，所以它很快便先在流动放映设备中随后又在固定放映设备中取代了光电管，成为电影还音的主要光电转换器件。

硅光电池的光电转换原理与光电管完全不同。硅光电池本身就是一个大面积的 P-N 结，当这个 P-N 结受到光照时，由于光生伏打效应，在 P-N 结的两端便出现光生电动势（P 区是正极，

N 区是负极)。如果在两端接上一定的负载，就会产生一定的负载电流，这样硅光电池便把光能直接转变为电能，其转换效率为 10% 左右。

当照射到硅光电池上的光照度或照射面积发生变化时，硅光电池输出的光生电流也会随之改变，它的这一特点可以用来还原影片声带上所载的声信号。

硅光电池在光照下就可产生光生电势，不象光电管那样，需要外加相当高的阳极电压并接上很高的负载电阻才能有效地工作。因此，晶体管化的电影还音设备几乎都采用硅光电池。此外，由于硅光电池在稳定的光照下是“安静”的，它不会增加噪音；加以硅光电池与放大器之间可用低阻传输，从而既使感应噪音有所下降，又使屏蔽线上的高频损耗可以忽略。这些对于提高信噪比和改善频响都是十分有利的。

然而，要充分发挥硅光电池的优点，必须以正确的使用和良好的配合为条件，下面将就这方面作进一步的阐述。

一、硅光电池是一个电流源

硅光电池的伏安特性曲线示于图 1-1-1。由图可见，在“暗”的时候，它是一条典型的二极管曲线，第一象限代表正向特性，第三象限代表反向特性。如果用光照射硅光电池并作出其伏安特性的话，就会得出图中虚线所示的曲线。这根曲线显然是由典型的二极管曲线沿负电流轴移动而形成的，曲线在第四象限的这部分说明了硅光电池已成为一个功率发生器。在不同的照度下，我们可得出不同的伏安特性曲线，习惯上常把这些曲线画成图 1-1-2 的形式，这也就是硅光电池的输出特性曲线族。

硅光电池的开路电压 U_{oc} 、短路电流 I_{sc} 与照度的关系见图 1-1-3。由图可知，开路电压与照度的关系是非线性的，它近似于对数曲线。当照度较低时，曲线很陡；而当照度达 2000 勒克斯时，曲线便趋于平直。但短路电流则在很大范围内随照度成线

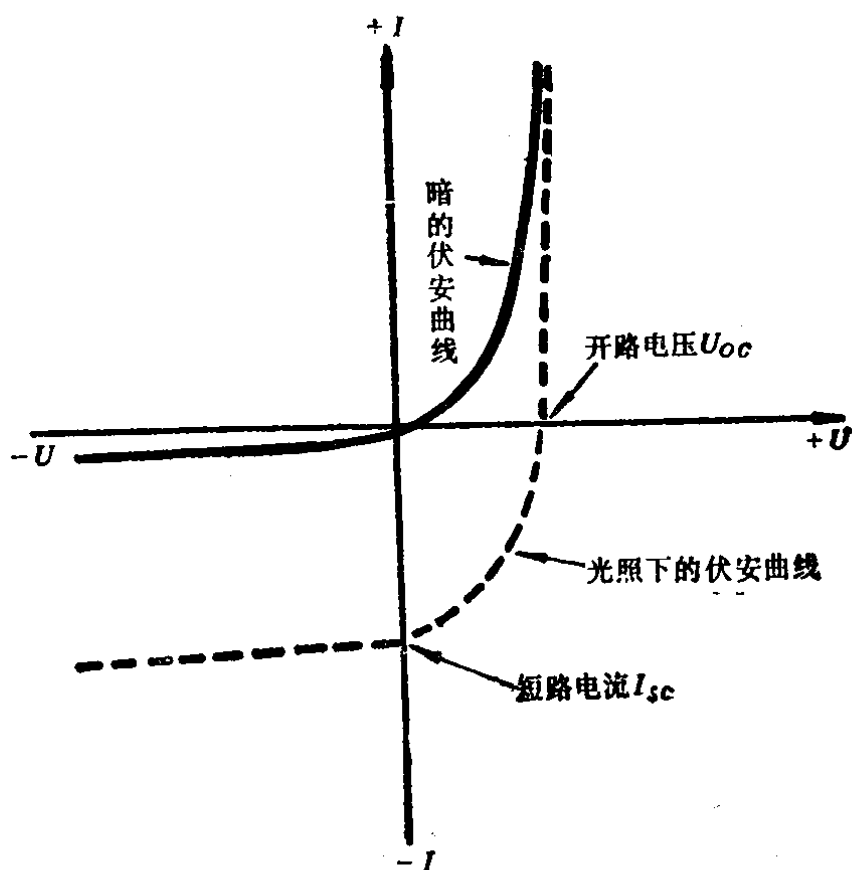


图 1-1-1
硅光电池的伏安特性

性变化。

还应指出，硅光电池的短路电流与受光面积成正比，而开路电压则与受光面积成非线性关系，受光面积超过一定值时，开路电压便趋于饱和。

因此，当把硅光电池用作电影还音光电转换器件时，无论是对变密式还是对变积式的光学声带还音，都应把它作为电流源而不宜把它作为电压源来使用。

把硅光电池看作电流源使用时的等效电路如图 1-1-4 所示。由图可见，在直流状态下，负载电流 $I_R = I_L - I_j$ ，式中的 I_L 为硅光电池在光照下产生的光生电流， I_j 为流经硅光电池 P-N 结的结电流。对于电影还音而言，虽然我们所需要的是硅光电池上的照度或受光面积跟随信号变化时所导致的 I_R 的变化，但不管 I_R 的大小如何，其方向总是不变的。所以，对于脉动的 I_R 来

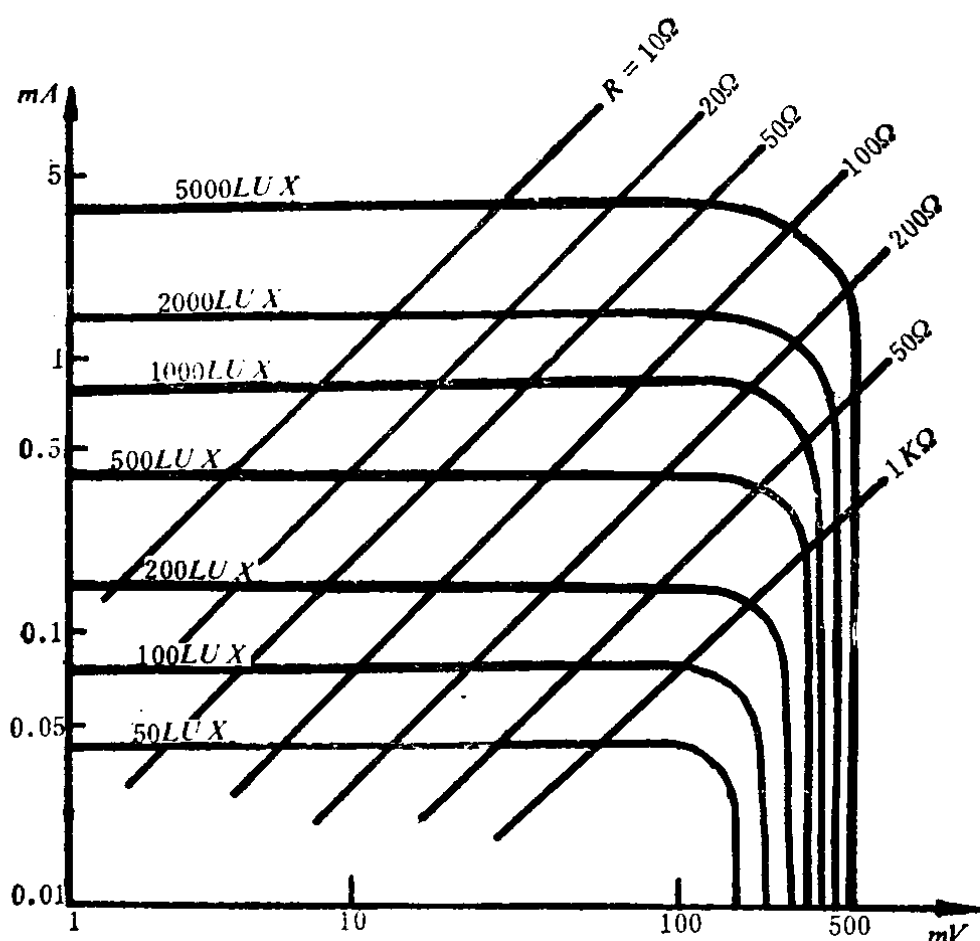


图 1-1-2
硅光电池的输出特性

说，只要其脉动频率在硅光电池的响应范围之内，上述分析也同样适用。

硅光电池的所谓“短路电流”，是以外接负载电阻远小于硅光电池的内阻为条件的。硅光电池在不同的照度下，其内阻并不相同，照度越高，内阻越低。所以在不同的照度下，可用不同阻值的外接负载来近似满足“短路”条件。从这点考虑，采用后置隙缝式的还音光学系统是有利的。因为在此情况下，照度较低，可选用较大的负载电阻，但又仍能满足“短路”条件。另外，还由于此时硅光电池的受光面积加大了，输出的光生电流不会因照度降低而下降。因此，从图中可见，在同样的 I_R 下，只要 R 较大， U_R 也会较大，负载得到的还音信号功率 $P_R = U_R I_R$ 也就大些。

下面是一个实例：珠江牌 FG-35 型放映机的光学还音系统

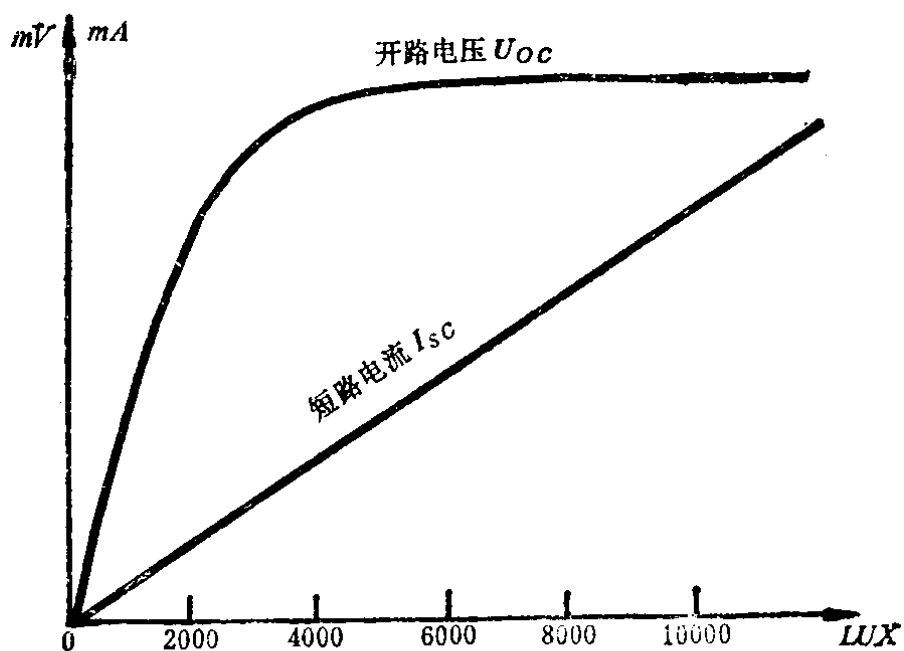


图 1-1-3
硅光电池的 U_{oc} 、 I_{sc} 与照度的关系

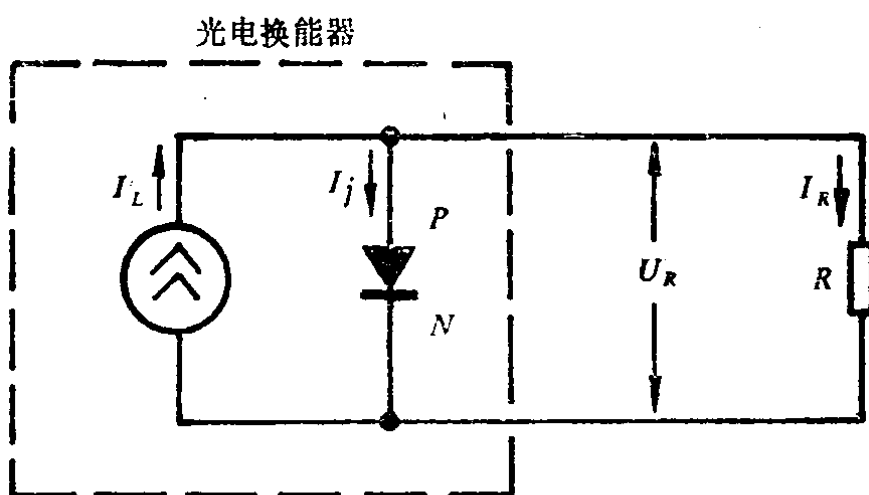


图 1-1-4
硅光电池的直流等效电路

为后置隙缝式，实测其硅光电池上的照度约为 6000 勒克斯，还原满调幅的变积式光学声带时，受光面积约有 0.4 mm^2 的变化，对 1000 Hz 的还音信号而言，硅光电池的有效内阻约为 $3 \text{ K}\Omega$ ，为了满足“短路”条件，较为合适的负载电阻应在 $30 \sim 300 \Omega$ 之间。

二、硅光电池的高频响应

硅光电池的响应时间为几微秒到几十微秒，普通的产品约为40微秒。这么短的响应时间对音频信号不应该有什么影响。但由于硅光电池本身为大面积的P-N结，其结电容相当大(例如面积为 $5 \times 20 \text{ mm}^2$ 的硅光电池的结电容便有 $0.05 \sim 0.1 \mu\text{F}$)，所以当外接的负载(即放映扩音机的输入电阻)其阻值较高时，该结电容便对高频起了明显的旁路作用，造成高频下降。对此解决的途径是：

(1) 降低结电容。例如可将硅光电池做成窄条，以减少结面积，但这将受到元件机械强度的限制。另外也有人在硅光电池的两端加上反向电压，以达到降低结电容的目的，但此反向电压的极性必须随所选用的硅光电池的极性(2CR或2DR)而异，这对于通用性的产品来说是不适宜的。

(2) 降低硅光电池的负载电阻。这是一个比较简单有效的办法，它可使结电容的旁路作用显著减弱，还能使硅光电池更接近

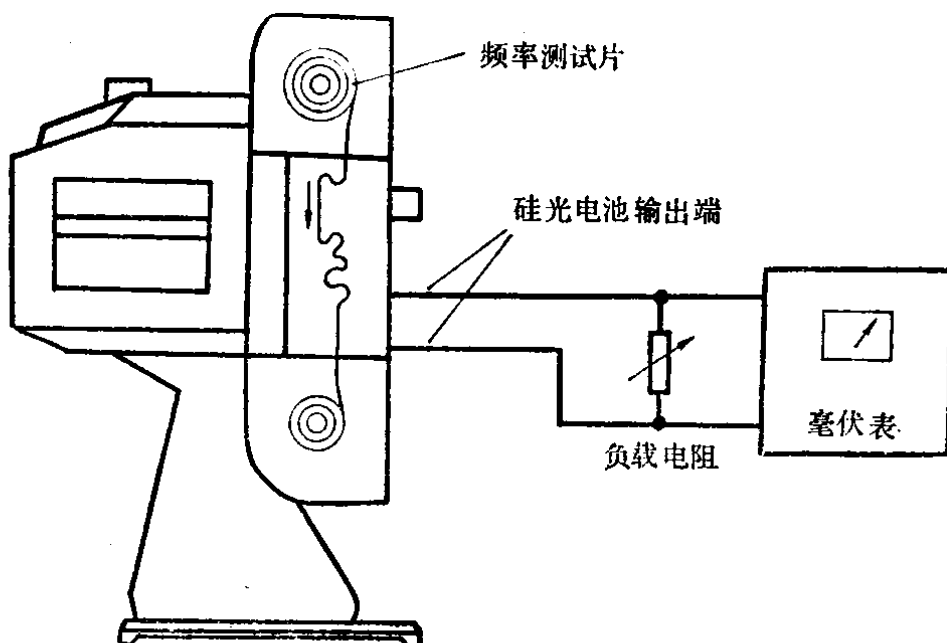


图 1-1-5
测量硅光电池的还音输出

于“短路”工作状态，从而获得较好的线性。

我们在珠江牌 FG 35 型放映机上作了实际的测量。采用的硅光电池是 2 CR 91，电池的面积为 $5 \times 20 \text{ mm}^2$ ，测量数据直接从硅光电池负载电阻的两端取得，测量示意图见图 1-1-5。硅光电池配用不同负载电阻时的还音频率特性见图 1-1-6（图中曲线尚未扣除还音光学系统的高频损失，这个固有损失在 8 kHz 时约为 3 dB）。图 1-1-7 是硅光电池在 8 kHz 时的还音损失与负载电阻 R 的关系。由图可见，当 R 较大时，高频损失是严重的；当 R 降低到 300Ω 以下时，损失明显减少； R 在 100Ω 以下时，8 kHz 的损失可忽略不计。

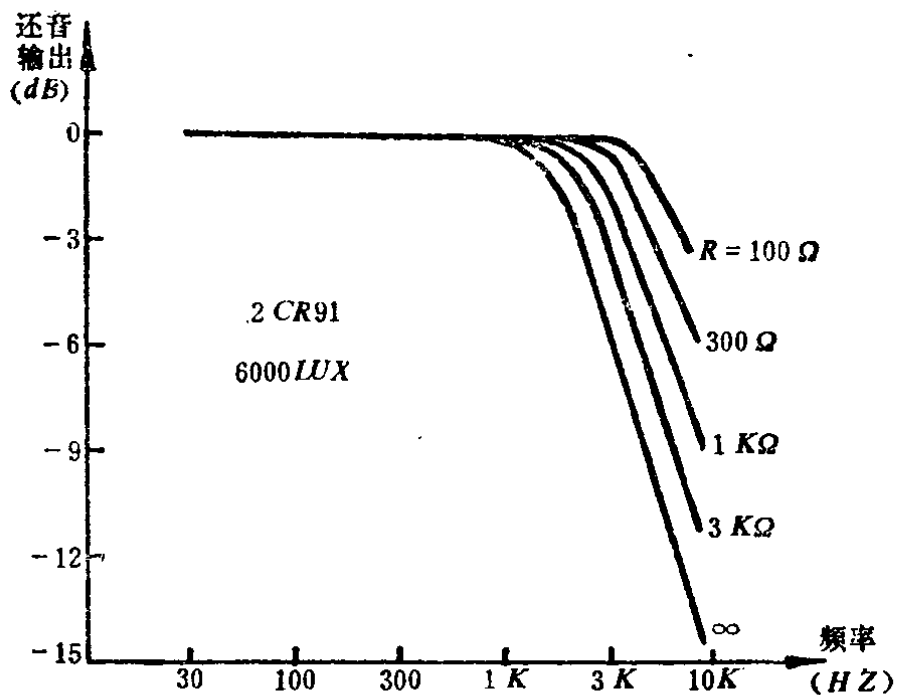


图 1-1-6
硅光电池的高频响应

根据 2 CR 91 的结电容为 $0.05 \sim 0.1 \mu\text{F}$ ，可算出 8 kHz 的损失 $\leq 3 \text{ dB}$ 时，临界 R 值为 $200 \sim 400 \Omega$ ，可见，实测结果与计算分析是相符的。

因此，要使硅光电池有良好的高频响应，须接较低的负载电阻。珠江牌 FG 35 型放映机用的是 $50 \sim 100 \Omega$ 。在这种情况下，不