

国外射流技术

第 四 辑

上海科学技术情报研究所

6

37

国外射流技术

(第四辑)

《国外射流技术》编译组主编

*

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 5 字数: 124,000

1972年5月出版

代号: 1634059 定价: 0.40元

(只限国内发行)

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

抓革命，促生产，促工作，
促战备。

自力更生，艰苦奋斗，破除
迷信，解放思想。

鼓足干劲，力争上游，多快
好省地建设社会主义。

国外射流技术

第四辑

《国外射流技术》编译组主编

目 录

1. 射流交流放大器	(1)
2. 日本射流技术的应用	(28)
3. 射流序列和数字控制系统对外圆磨削程序的应用	(41)
4. 压力比计算器	(50)
5. 射流速度传感器	(56)
6. 射流线路	(59)
7. 可触发的触发器射流装置	(62)
8. 液压射流放大器控制的伺服阀	(64)
9. 电液伺服机构	(71)
10. 射流控制燃气轮机的燃油	(76)

射流交流放大器

L. Moore, J. Zaloudek 和 R. Turek

设计了一些射流调谐交流放大器, 并进行了试验, 级间调谐与反馈设计也考虑过。使用级间调谐的办法做成的具有中放孔的流量放大器, 获得良好的结果。单级元件谐振时, 流量增益高达 35 分贝 (600~1,300 赫), 相应之 Q 值高达 12。本文还介绍了一级、二级、三级放大器元件的设计与试验结果。

交流载频受调系统有如下特点: 每级有较高的增益、较低的漂移以及较好的抗干扰能力, 在这些方面都超过直流放大器。要达到这一点, 就需要高增益狭频带的放大器。结论是射流放大器需具备低阻抗的特性。

一、引言

将射流技术应用于模拟控制系统方面已经进行了大量的实验。但是到目前为止, 在零位漂移、自生噪声以及每级相对低增益方面还存在某些缺陷。由于使用了载频受调系统, 电子技术已经部分地解决了这些问题。依次类推, 用相同的技术, 解决射流线路中的问题是可能实现的。一只高共振调谐交流放大器不但具有异常的抗干扰能力, 尤其是它的每级增益比直流放大器高。这就带来另外一个好处: 消耗较少的功率而能得到一个所需要的放大。又因为交流放大系统中涉及直流信号的级数是很少的, 漂移问题也会随之减少。

本文介绍所研制的一种交流载频受调系统。在研究过程中, 可看出该系统中最关键的部分为交流放大器。由于调制与解调的可能已经经过实验, 所以突出了交流放大问题。

二、设计

本节从性质上分析了设计考虑的事项及一些概念, 看来, 这样的分析对成功地研制出调谐交流放大器非常重要。有意义的结论是: 流量放大器的损耗比压力放大器低, 用做交流调谐放大器比较适合。计划中大部分的实验就是在此结论基础上进行的。还讨论了其它一些方案, 供设计试验交流放大器时参考。

调谐放大器包括直流放大器和适量的无源调谐线路, 无源线路可以在放大器输入端和输出端, 也可在反馈回路上。使用根轨迹技术对调谐放大器进行稳定性分析, 产生如图 1 所示的极-零点分布^[1]。一对共轭极点靠近虚轴的左边, 也可能存在其它的极点或零点, 不过上面所说的这一对起主要作用。如果它们是由放大器输入端或输出端处的无源线路所产生, 那末此两极点的位置固定, 与放大器增益无关; 但由反馈回路产生的极点, 则对放大器增益敏感。在多数情况下, 加大增益就能使两极点靠近虚轴, 甚至可以使它们到达虚轴, 此时

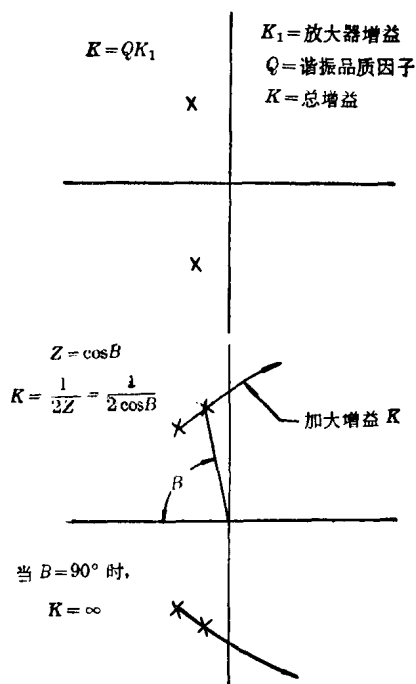


图1 调谐放大器特性的根轨迹表示法

回路增益的变更以及由于反馈而产生的谐振频率的偏移也是不利的。这些考虑并不排除反馈的应用,反馈确实较级间调谐具有显著的益处(可能从级间增益或气耗方面来衡量),从而认为在可能提供高的稳定增益所需的额外努力是容许的。

使用如图2所示之LC线路就能完成调谐工作,这两个并联和串联基本线路,都有可能

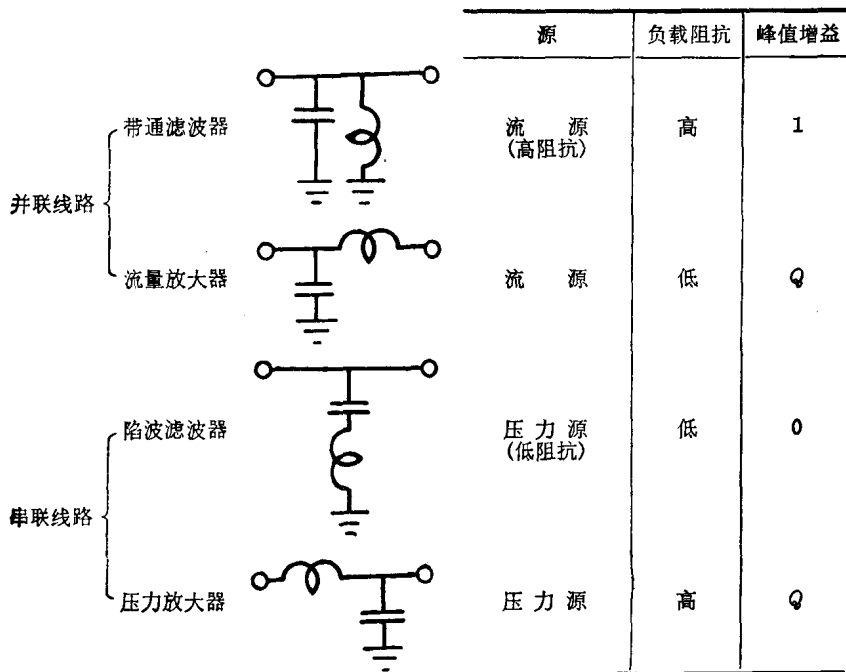


图2 射流技术中应用的调谐回路

产生显著的放大^[2]。但是,如果只考虑抗噪声问题,此两线路可以作滤波器以检出适当之信号。增益决定于包括流源及负载阻抗在内的线路的 Q 值。

这些线路的效果好坏决定于它们是否能检出信号,而又不改变信号的形状。谐振线路均有两种储能形式,谐振时,能量从一种形式快速反复地变化到另一种形式,如果互连通道上有阻力存在,或者有交错通道时,这一过程就受阻。若有一定增益在不影响谐振能量交换的情况下,应将被放大的信号检出。被放大的压力信号应由一个高阻抗器件检出,因此负载提供一种交替通道,能量将经过此通道散耗掉;另一方面,经并联线路放大的流量应由一个低阻抗器件检出。在电子线路方面获得此种类型的负载阻抗并不困难,然而在射流方面,这种类型的阻抗较难实现。

其它关于调谐方面的比较重要的考虑就是能源特性问题。并联线路应由流源推动,对负载来说,这一流源应是高阻抗,因此,负载的任何变化不会明显地影响流源。串联线路应由压力源推动,并需具有最低之阻抗。

也可以将图2线路中的气传感器和气容器交换来获得其它形式的器件,因射流的气容是“接地”的,上面所说与本文要讨论的非常相似,图3示出了等效射流线路。

射流气传感器或气容器一经选定,就应该考虑它和线路中其它元件的关系。在电子线路中,电容器的电感常忽略不计,感应器的电容和导线中的电抗也均忽略不计。集中参数技术表明,气容器、气传感器和导管三者当中,从容积来看,气容器最大;与此同时,气容器和导管的感抗必须比气传感器的小。以上品质要求显示在图3的元件的比例上。除了线路元件的适当比例外,信号的波长要比谐振器的尺寸要长。

假定气容器无损耗,气感器中存在相当大的阻抗。如果是层流,气阻则为:

$$R_L = \frac{\Delta P}{\dot{m}} = \frac{8\pi\nu l}{A^2 g}$$

流体气感为:

$$L = \frac{l}{gA}$$

其中: R_L = 气感器阻抗 (秒/吋²), ΔP = 压力降 (磅/吋²), $\dot{m}$ = 流率 (磅/秒), ν = 粘度 (吋²/秒), l = 气感器长度 (吋), A = 气感器面积 (吋²), L = 气感 (秒²/吋²), g = 重力常数 (386 吋/秒²)。

在气容器无损耗,气感器有阻抗时,LC线路中的 Q 值为:

$$Q = \frac{\omega_R L}{R_L}$$

其中 ω_R = 谐振频率 (弧度/秒)。

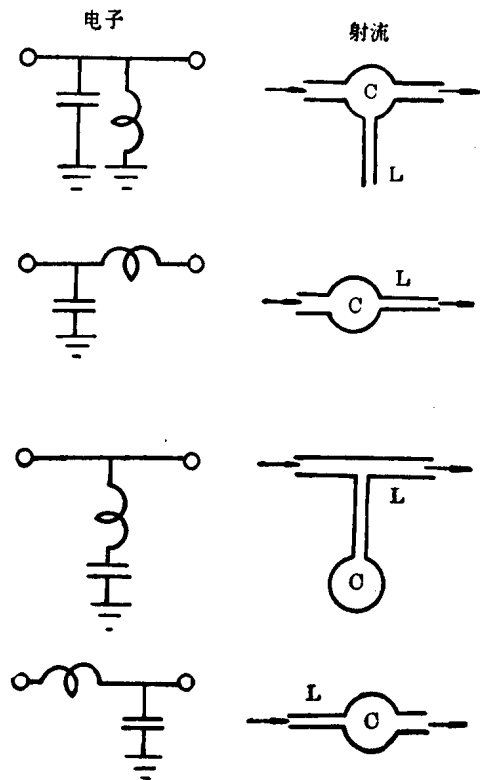


图3 电子调谐回路在射流技术中的相似器件

将 L 及 R_L 代入, 得:

$$Q = \frac{\omega_R A}{8\pi \nu g}$$

可见, 气传感器的长度并不影响谐振 Q 值。假定运动粘度 ν 为常数, 可以用加大谐振频率 ω_R 的办法来增加线路的 Q 值。所要求之谐振器的尺寸, 以及谐振器的最大尺寸都是波长的线性函数。频率的限制初步是由于气传感器的阻抗, 这可以尽量加大气传感器的其它参数 (气传感器的横截面) 来减少这种限制。

图 4a 所表示的气传感器与气容器之间的简单连接方法并不是一个好办法, 因为元件之间存在气流, 需要将元件之间的直流匹配阻抗加以降低, 以减少损耗。图 4b 所示之谐振器就有效得多, 因为引入端与引出端损耗比较低。还可设计成象图 4c 所示之线路, 这时气传感器与气容器已不存在, 需要用实验方法确定谐振频率, 不过线路的效率应该增加。增加谐振器 Q 值的一个可行办法就是增加谐振器的长度, 如图 4d 所示, 加长到反射波再次加强线路工作为止, 这只是一种可能性, 此时下结论未免太片面。

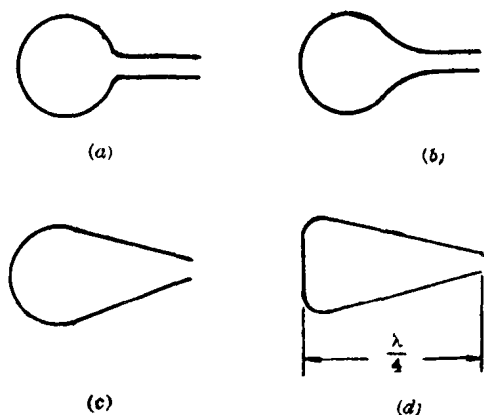


图 4 亥姆霍兹共振器的可能结构形式

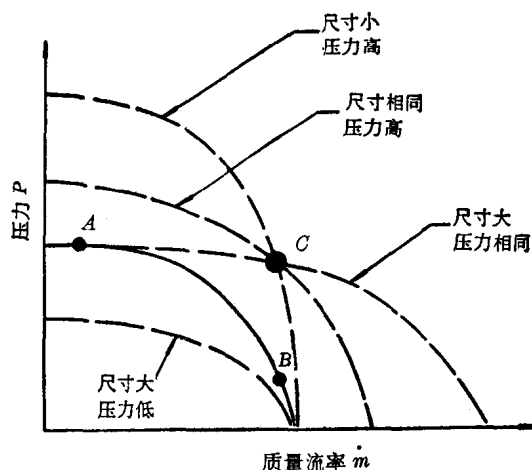


图 5 放大器输出特性

除了有效的谐振器外, 还要有适合的能源阻抗。图 5 中的实线就是放大器的输出特性曲线。如果 A 代表静止工作点, 可以发现压力在负载变化小时相对无变化, 这就是负载阻抗大, 因而能源阻抗相对来说为小的情况。若从 A 点起动, 放大器就象一压力源。若从 B 点起动, 当压力变化时, 流量相对不变, 此时能源就象一流源, 而且与负载相比阻抗大。

因此就按照能源的要求来设计放大器, 如果想得到压力源, 就应使用大型放大器, 或者使用一个具有大型接收器的放大器。输入压力及尺寸大小对能源阻抗的作用可由图 5 推算出, 大与小是相对而言的, 相对于那根实线而言。一般说来, 尺寸小、压力高就产生流源。用改变尺寸和压力的办法就能在比较大的范围里改变能源特性, 而保持静止点的流量与压力不变, 曲线上的 C 点就说明这一情况。

LC 串联线路产生压力放大, 气容器中的压力要由一个高阻抗器件传感, 因此放大器控制口要比推动线路工作的放大器接收口小。例如, 波尔斯 (Bowles) 工程公司设计的一只压控振荡器中, 在一个有特大型接收器的直流放大器周围的反馈回路中就使用了串联线路, 气容器压力信号由一个缓冲放大器加以传感, 所谓缓冲放大器就是一只阻抗匹配用的小型射流放大器。

如果能源放大器比负载放大器大得多的话,就会碰到串联线路的稳定性问题。如果负载过小(流量小,阻抗高),大多数的射束偏转放大器就会不稳定,不过在接收器上加上一些适当的孔,可以降低对负载的灵敏度。例如,带孔接收器常用在计数元件中,以增加多孔输出率,实际上,这样做就降低了输出阻抗,起了压力源的作用。

并联无源线路只放大流量信号,不提供压力增益。比较适合的能源是一只小放大器,因为需要它推动低阻抗线路,因此必须稳定,必须使用大控制口的放大器来传感经过气传感器的流量信号。

因此,就根据对压力增益或流量增益的不同需要来决定选用串联线路或并联线路。大多数设计人员喜欢使用压力放大器,可能由于负载在大多数情况下是高阻抗的关系。但是应该指出,设计一只只能接收流量信号且输出压力信号(或者相反)的射流放大器是可能的,这样的放大器就是阻抗匹配放大器。流量信号到压力信号的转换过程也可以在解调放大器里完成。因此,使用流量放大器的可能性不应忽视。这些线路可与晶体管电路相比。由于相对于功率喷嘴大小的流量放大器的接收器要比压力放大器的大,因此流量放大器的流量效率是比较高的。

图 6a 和图 6b 所示结构最适宜于获得交流流量和压力的放大器,所示图中分别使用无源级间调谐并联及串联线路。调谐放大器如需功率增益,则按图 6c 所示将串联改成并联线路即可,此线路成功之关键在于经适当的阻抗匹配能获得低阻损耗。必须着重指出:只有损失流量信号才能获得压力增益,反之也是一样。功率增益之获得全靠有源元件的作用,无源线路如带通滤波器一样起选择频率放大作用。

完成这些线路必须异常小心。容量由小型高阻抗放大器提供,容量与接收器或控制口之间的感应系数必须达到最小,使之不改变谐振线路。接收器口与控制口应直通容量,锥体的作用只是降低容量感受到的有效交流阻抗以及减少谐振线路的 Q 值。

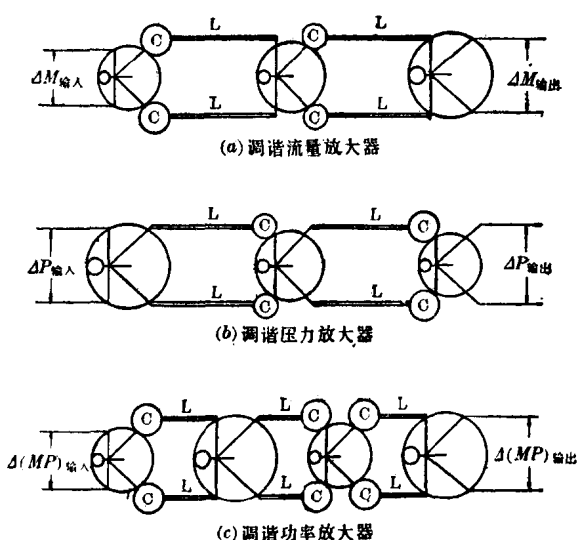
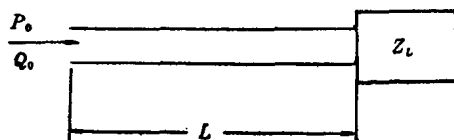


图 6 用于直流放大器级间调谐的集中参数元件



$$T = e^{-\frac{L}{\alpha}} = \text{延迟时间}$$

$$R = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \text{负载反射系数}$$

$$R_s = -1 = \text{源反射系数}$$

$$Z_L = \text{负载阻抗}$$

$$Z_0 = \text{源阻抗}$$

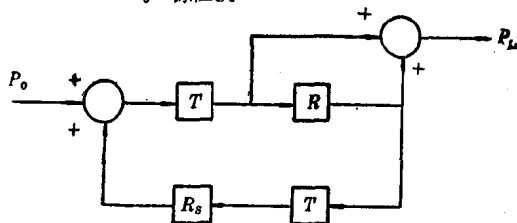


图 7 单线特性的方块图

谐振线路也可做级间调谐用。驻波产生谐振,这一点可用图 7 所示之反馈机械原理来加以解释^[3]。反射系数 R 在闭口管中为 $+1$,在开口管中为 -1 。从图 7 的方块图中可看

出,此系数决定了反馈回路的有效增益,终端负载就会将回路增益降低到零,由于谐振是需要的,应该避免这样做。

要想将放大器和谐振管路分开进行分析是很困难的,一端闭口的直管以它的基频奇倍数谐振^[4],顶端封闭的圆锥形管以它的基频整倍数谐振,锥形管的斜势其作用相当于锥形管的闭端为开启^[5]。因此,谐振线的斜势的影响不能忽视,必须将接收器口与控制口看成是谐振管路的一部分,这些线路的最佳设计需要对线端接法效应进行详细地研究。

锥形管路还产生交变效应,而只有在管路突然减小的情况下才能获得高阻抗负载,这一点很重要(如果管路作锥体形减小,交流阻抗就转换了,并且不再升高),不过此情况正好与普通射流设计实践相反,原来只考虑直流流量,并借此来解释那些试图完成交流线路所遇到的各种困难。

管中驻波不一定提供流量或压力增益。如果管路具有相同的端接、相似的流源及负载阻抗,与负载阻抗匹配得当时,就会产生谐振。如果阻抗也相同,就不会有放大。如果阻抗很不匹配,就会产生四分之一波长管。如果阻抗高,此管路将会产生所需要的流量增益或压力增益。例如,一个高阻抗源与一个低阻抗负载就会有流量增益,对阻抗的要求与集中参数线路的要求是一致的。

上面所谈的调谐线路也可用在反馈回路中,但必须符合相同之阻抗判据。从器件选用的角度来看,并联线路比串联调谐线路实用。流量放大器可直接推动一容量,通过独立的气感器引向反馈控制口,然后再到下面一级去。如果使用串联谐振器,要将反馈回路与次级之间的放大器输出分离就不容易了,线路中需要一个分流劈。

如果输出信号的一部分用来推动反馈回路,那末用来推动负载的能量就可以少一些,此效果可从附录中查出。这一分析是假定了反馈回路为二阶系统,延迟时间的数值已包括在内,并且发现此数值是一个很重要的参数。当 $\omega_n T = 1.5$ 时,所需之反馈回路增益最小,其中 ω_n 是无源线路的谐振频率, T 为回路延迟时间的总值。高谐振 Q 值也减少所需要的回路增益。回路延迟时间的数值可以大致决定所需要的谐振频率。反馈线路可以是一集中的或分布参数的无源线路。

既然所有的振荡器都有反馈机械装置,也就能够使之象调谐放大器一样地工作。许多射流振荡器用改变影响反馈回路增益的几何参数的办法可以使它稳定,这方面的主要困难在于要造成这样一种反馈机械装置,即既能受几何图形的控制,对几何图形又不是太敏感,以致引起制造或微调上的困难;此线路还应对流源压力与温度无反应。

在直流放大器上加一内反馈的办法也能得到同样的结果。通常孔口向四周喷射出可观的喷射流。因此,正好将此喷射流作反应用,一种办法是用无源线路调节孔口,因为这是一个反馈机械装置,调谐线路与气源之间所需要之耦合量可能是一个临界数值,耦合量不足,产生无用的谐振效应;耦合量超过此临界数值,就要产生自生振荡。

关于放大器的稳定性:如果高调谐线路由一频率为谐振频率的噪声推动,也会产生振荡,因此分析放大器的噪声特性,是决定于适合的设计频率,这是非常重要的。例如典型的波尔斯工程公司的放大器,当其喷嘴规定为0.020~0.040吋时,其尺寸限定主噪声在10~12千赫范围内,其中绝大部分噪声是由于放大器内在反射波的缘故。

交流放大的关键是一种能够对所需频率的信号进行放大的好的直流放大器。目前大多数喷流互作用放大器的增益在大约300赫时就很快衰减,一般说来,设计这类放大器时,为

获得直流高压增益, 很少考虑短波长的声信号的需要。例如, 控制口衔接很突然, 与相互作用区造成不良阻抗匹配, 而且前面也提到过, 锥形控制口与接收器也可能对线路工作产生不利影响, 看来比较明显, 射流放大器应该设计作交流放大用。

有两种办法可以使主射流由于横向控制口的作用发生偏移。一种办法是利用控制射束的动量来影响偏移; 第二种办法就是使用控制口造成射束断面上的压力梯度^[5]。在第二种办法中, 控制口与动力射束之间耦合紧密, 通过一部分相互作用区传递声信号的需要减少。在有关射束偏移放大器的几何结构方面已提供了定性数据^[5], 为控制口、接收器的配置以及二者之间的几何关系决定了增益系数, 这些增益的乘积就是放大器的总增益。还有一个不同的几何结构适合于最佳压力、流量和功率放大器。

流量放大器的最佳几何结构包括大型控制口以及和功率喷嘴相应的接收器。流量放大器的效率大体上要比压力放大器的高, 这些因素有利于在调谐放大器上使用流量放大器和并联无源线路。

三、元 件 说 明

初期设计的线路如图 8 和图 9 所示。图 8 中的三只元件是使用亥姆霍兹线路作谐振器的调谐相互作用区的不同设计方案。图 9 上面的线路利用了两只 LC 槽路作级间调谐, 每只半回路气感器均连接在一起, 因此不传递直流流量, 使阻损达到最小限度。图 9 下面的线路利用了一偏压放大器, 产生单端压力信号, 此信号等分后加到第二只放大器的控制口。理论上输出为零, 只有当串联无源线路在比较低的管路上衰减此信号的情况除外。线路有气容器的地方备有外容积。使用了流动偏转器来防止输入容量与输出容量之间发生短路。

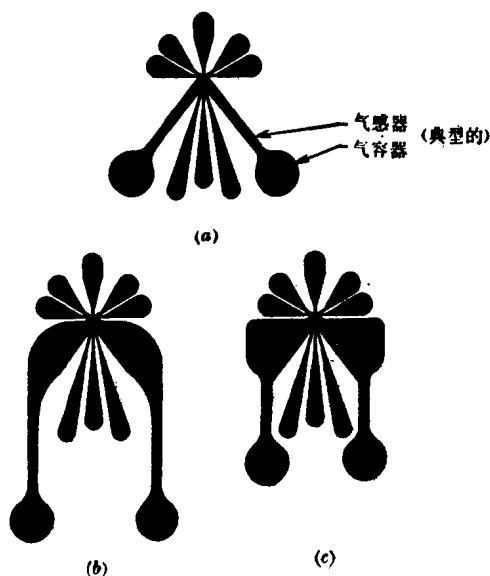


图 8 具有调谐孔的放大器

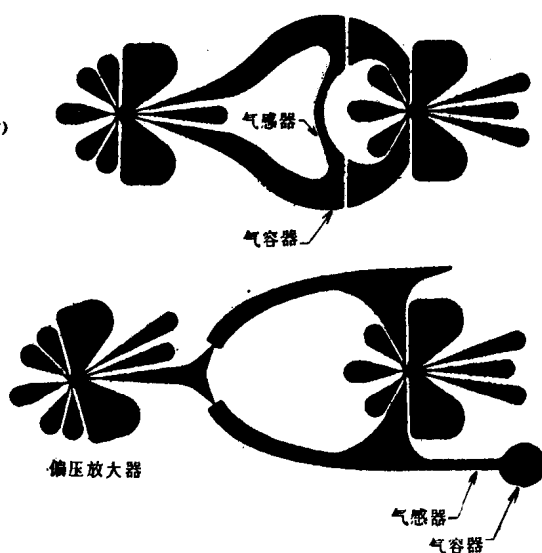


图 9 具有级间调谐的放大器线路

为了研究阻抗较低的放大器在获得调谐响应特性能力的效果, 特地设计了一组元件, 具有较大的控制口与接收器, 如图 10 所示。图 11 比较详细地说明了两个基本结构尺寸, 都是用塑料进行光学加工的。表 1 列出了七种设计并进行研究结果:

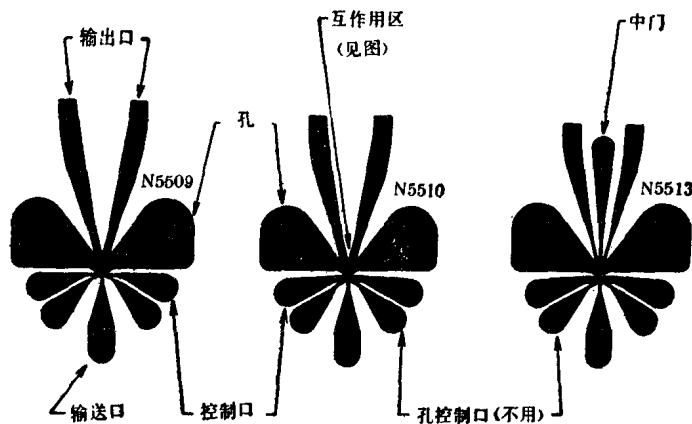


图 10 试验用典型的交流放大器结构

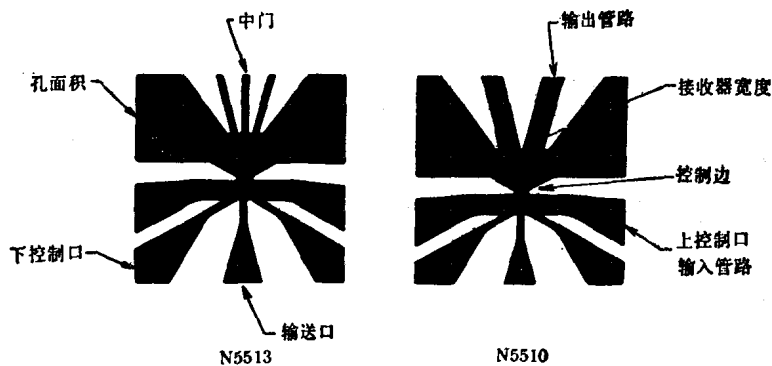


图 11 相互作用几何图形

表 1 放大器分类

序 号	控制口宽度(吋)	尖劈距离(吋)	接收器宽度(吋)	输送喷嘴(吋)
N5509	0.020	0.120	0.060	0.020
N5510	0.060	0.040	0.060	0.020
N5511	0.060	0.044	0.060	0.020
N5512	0.060	0.048	0.060	0.020
N5513	0.060	0.048	0.020	0.020
N5514	0.060	0.044	0.020	0.020
N5515	0.060	0.040	0.020	0.020

四、讨 论

概 论

第一阶段设计的调谐相互作用区元件(图 8 和图 9) 作为交流放大器工作并不满意, 它们的高阻抗特性不适合交流放大。虽然也考虑了频率特性, 但是输出量非常不协调, 而且有很大的噪声。从压力的角度来衡量这些放大器, 但是压力转换器的谐振问题又使结果进一步复杂化。虽然存在着仪器的使用问题, 但是无法获得有实际意义的谐振特性曲线。

第二阶段则进行试验计算低阻抗流量放大器的设计(图 10 和图 11), 并且仪器测量、试验计算技术也作了改进。

调谐流量放大器测试结果表明在 500~1,000 赫谐振频率上具有一定的流量增益。使用谐振管路以获取阻抗匹配和调谐, 得到了良好的效果。各级只限于外部连接, 并且使用了标准尺寸的元件, 下面将着重讨论此数据的重要性。

试 验

交流放大器增益对频率的完整数据曲线示于图 12~43, 现使用合成数据曲线作比较。

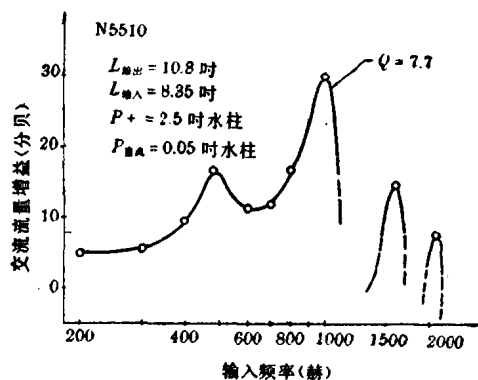


图 12

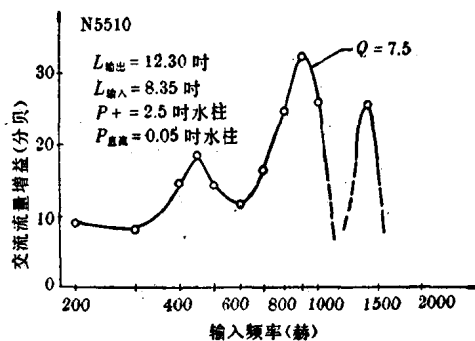


图 13

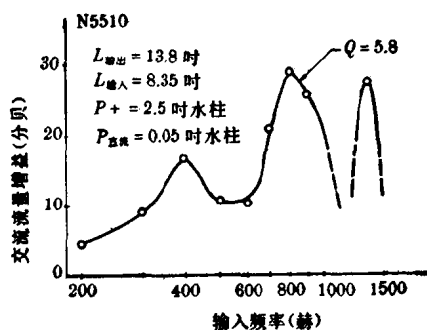


图 14

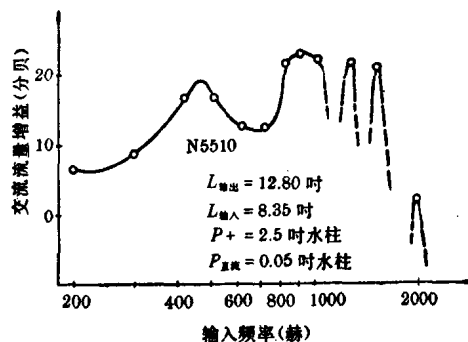


图 15

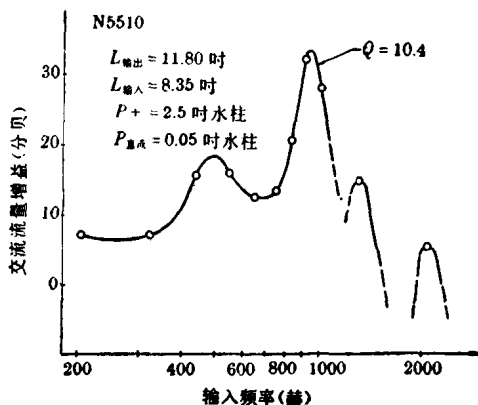


图 16

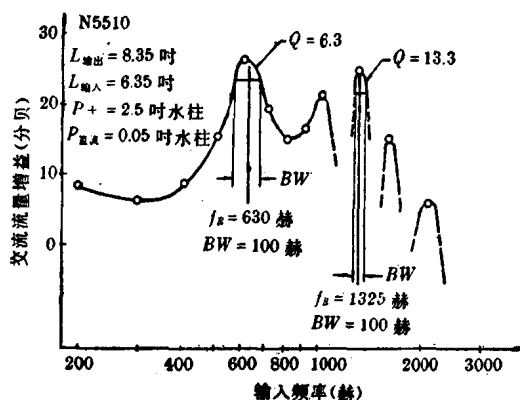


图 17

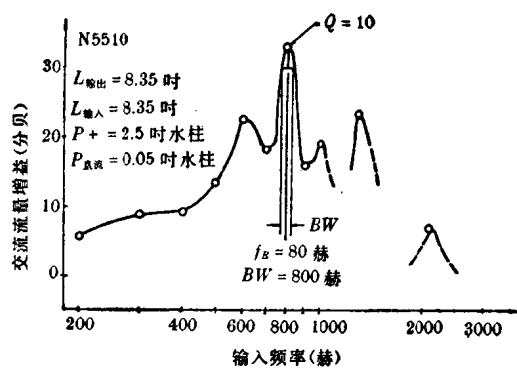


图 18

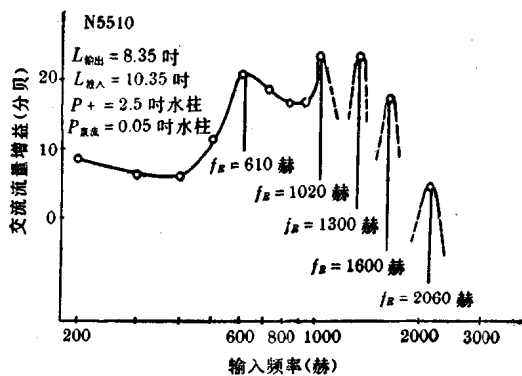


图 19

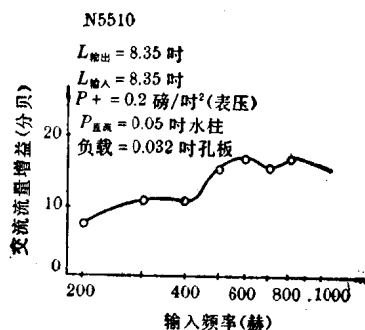


图 20

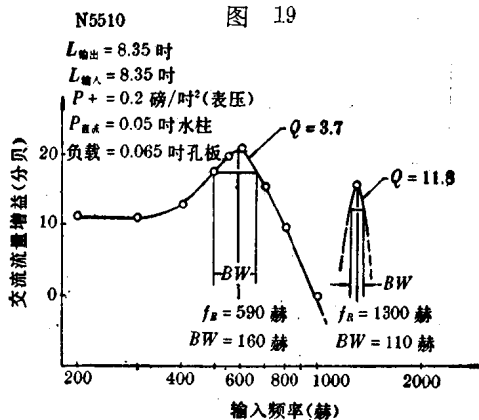


图 21

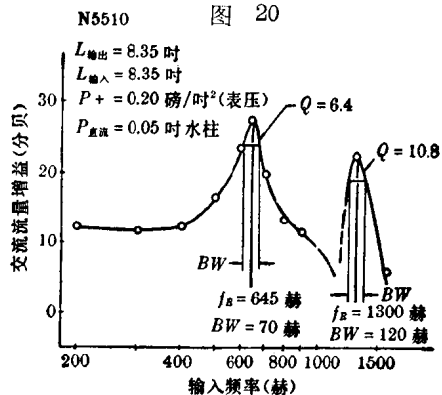


图 22

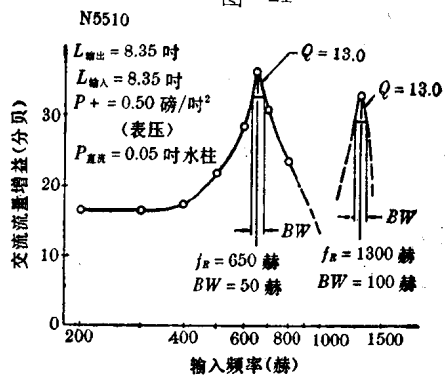


图 23

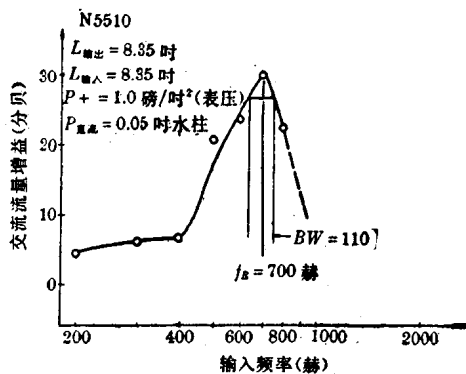


图 24

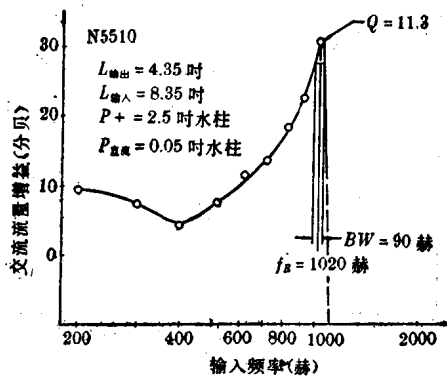


图 25

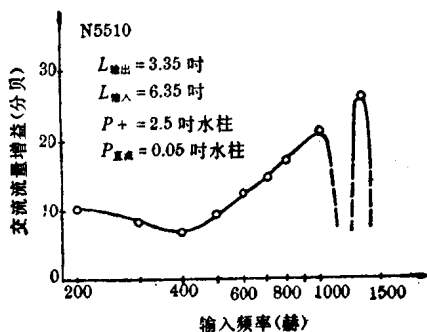


图 26

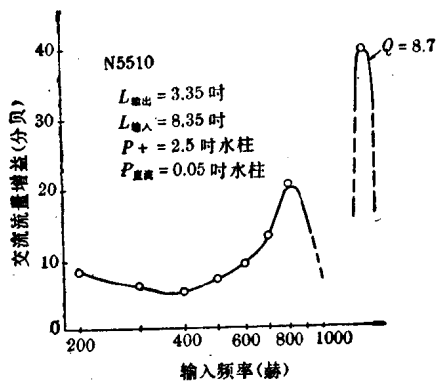


图 27

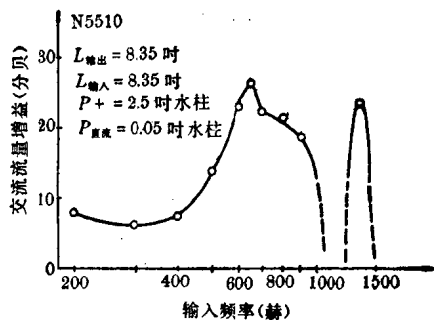


图 28

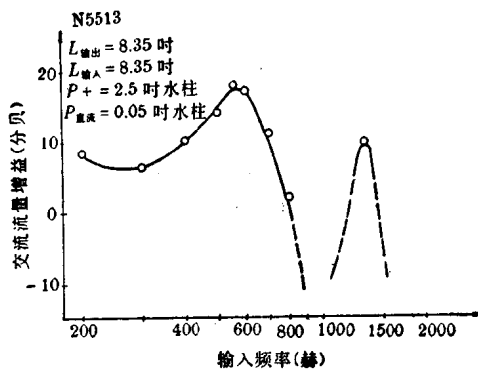


图 29

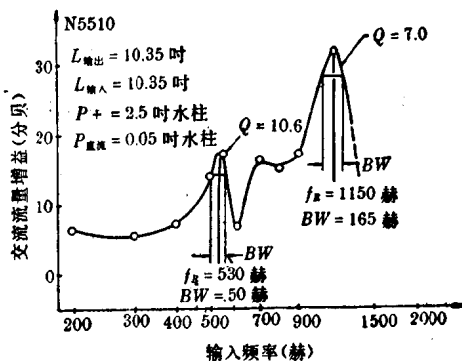


图 30

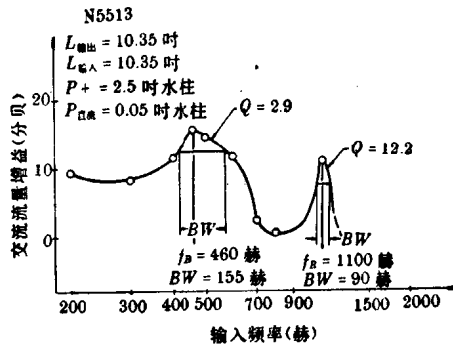


图 31

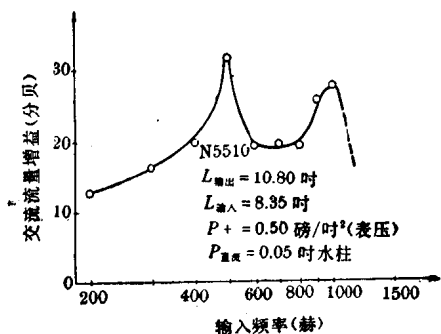


图 32

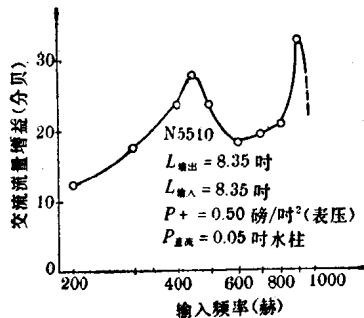


图 33

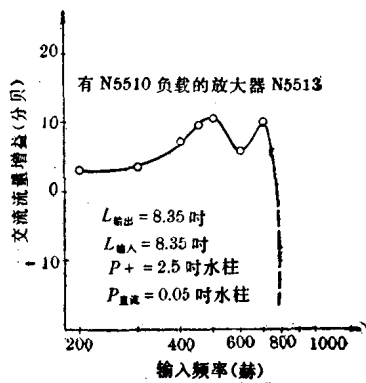


图 34

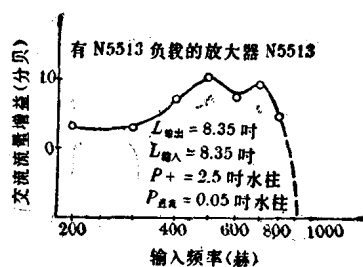


图 35

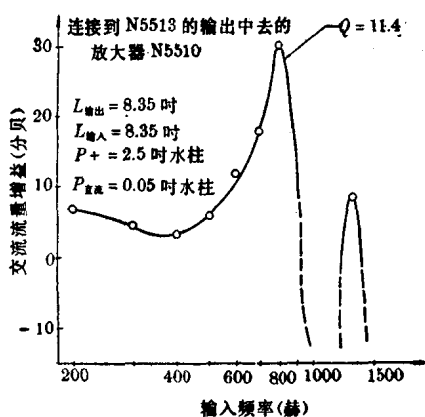


图 36

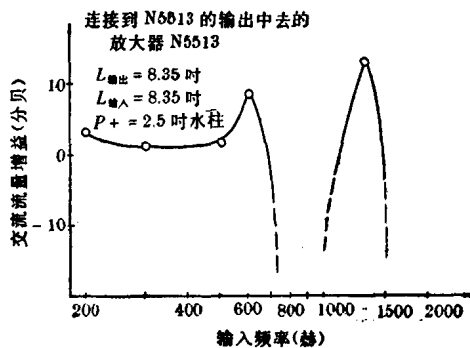


图 37

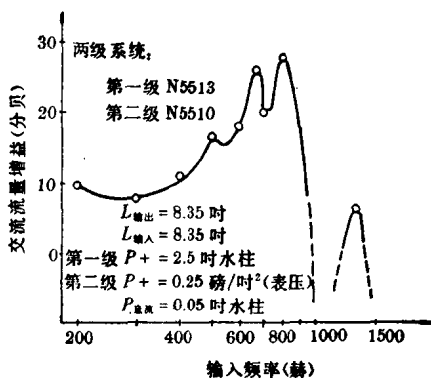


图 38

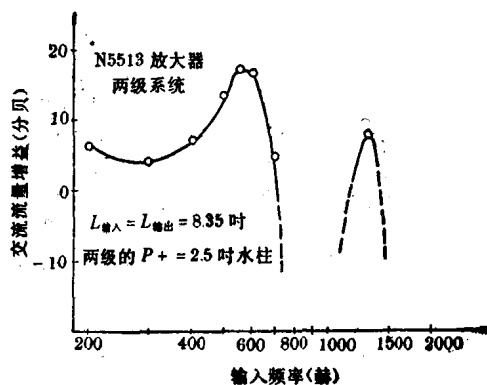


图 39

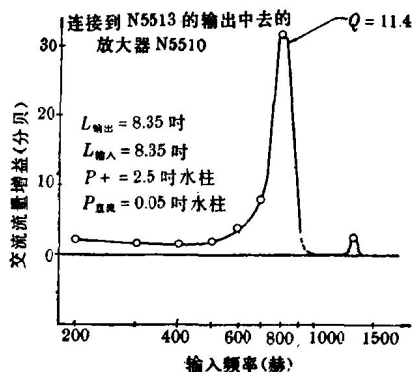


图 40 线性增益与频率关系曲线

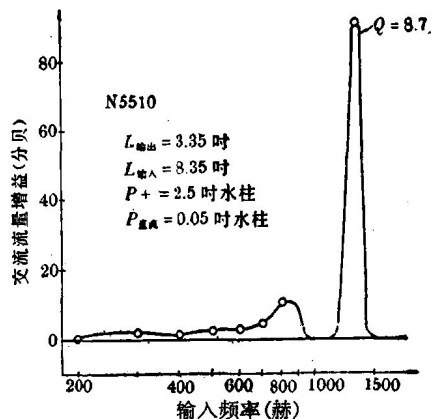


图 41 线性增益与频率关系曲线

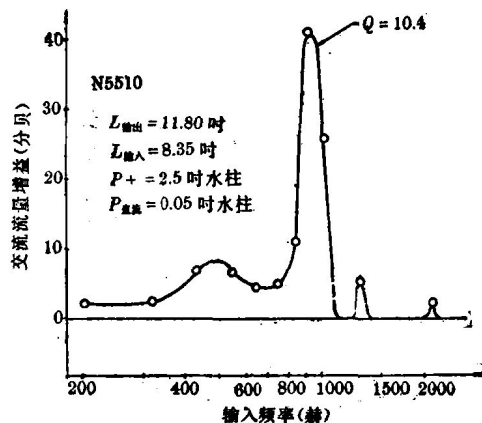


图 42 线性增益与频率关系曲线

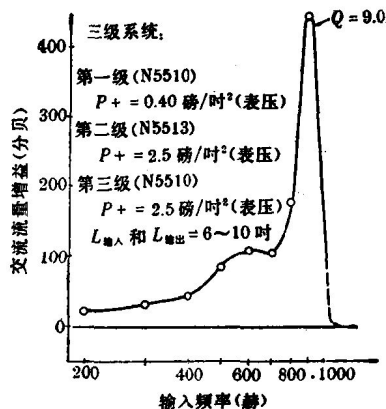


图 43 线性增益与频率关系曲线

单级放大器

使用谐振管路改变交流放大器的特性，发现是交流放大器的决定性的变量。谐振管路在基频上形成一驻波，而基频由管长所决定(图上表示为 $L_{\text{输入}}$ 和 $L_{\text{输出}}$)。管子除在基频上谐振之外，还在基频的各阶谐波上谐振。因谐振管基本上为开口管，各阶谐波都可能出现。除了在基频及各阶谐波上产生驻波外，谐振管路还产生以反射波为形式的正反馈。在所测试的放大器中，发现管长与波长之间的关系，并不完全由于控制和输出通道的锥状几何结构的

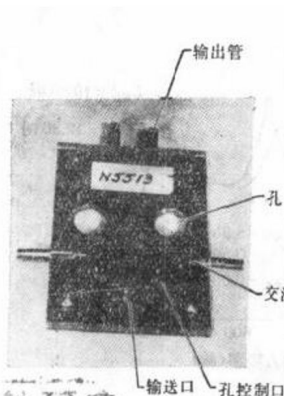


图 44 交流放大器试验装置

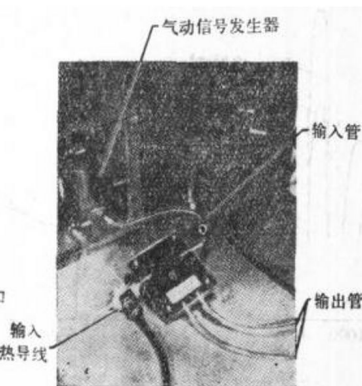


图 45 单级系统试验装置

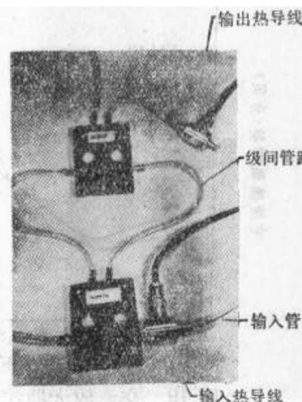


图 46 两级系统试验装置