

洋为中用

毛泽东

资料6

射流技术译文集

第二集

一机部热工仪表科学研究所

一九七〇年四月

816.32

最 高 指 示

……一切外国的东西，如同我們对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃腸运动，送进唾液胃液腸液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我們的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我們有益的经验，我們需要的是这样一种态度。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

目 录

数字式射流技术的现状	1
射流放大器的若干设计技术	7
旋流放大器设计最佳化	20
射流元件的基本动作	32
定频射流—机械振荡器	41
有关射流振荡器的改进	49
流体互作用控制装置	64
具有高压恢复的双稳态射流放大器的特性评价	75
涡流放大器的参数	91
防打滑刹车控制装置	101
射流脉冲控制	106
制造射流放大器光学加工法	131
气动射流技术印刷板	141
“Fotoform”光敏玻璃的生产工艺过程	143
可微调比例式射流放大器	149
流态二极管	153
单稳射流放大器	157
双稳射流放大器	160

数字式射流技术的现状

提要：射流装置在今天大多用于数字信号操作方面，这就是为什么射流技术应用于逻辑方面最有希望。射流装置和系统能实现全逻辑操作且可靠性高。实际上，它们特别适合于极端环境条件下工作。

今天，市场上最有销路的两种射流装置是由哈利钻石实验室研制出来的紊流放大器和附壁放大器，这两者都各自有两种工作状态并且能从一种状态切换到另一种状态。这样，实际上就使它们适合于两进信号的逻辑操作。

其他如冲流调制器和涡流放大器基本上都是模拟式装置，它们也可以实现数字式操作，但只有供给足够大的控制信号才能驱动它们通过一些关口或一定的切换能级。对模拟式射流回路、感测、重复性、交连和缺乏理论性技术等问题尚需要解决。因此，数字式射流装置的应用比模拟式装置发展得快得多。

数字式射流装置能完成如同电子的或其他的数字方法一样的逻辑作用。因此，在一个具体应用场合，是选用射流装置或别的装置，就看哪一种最经济。它很大的优点是非常可靠、简单，在高温和在辐射或极危险的环境下可以工作。射流装置制作简单而且有可能自动制造。

工作速度不快是主要缺点，尽管在速度方面不能与电子的相比，但还是比得上常规液动的和气动的，以及机电继电器的，这些都是射流装置直接以可靠性为基础的竞争范围。

数字理论早已建立，并且适用于射流线路，绝大多数元件都做成逻辑门出售，紊流放大器本来就是一只或非门，其他的门都是由几种元件相互连接而得。第5页所示即为由三个主要射流元件组成的基本逻辑门，并有图示符号分别表示之。

在下一页列出了数字式射流装置的主要制造厂家（制造厂家略——译者），并简要介绍其基本原理——流束交互作用，元件通过

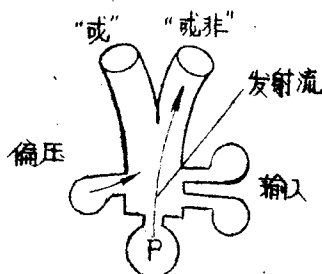
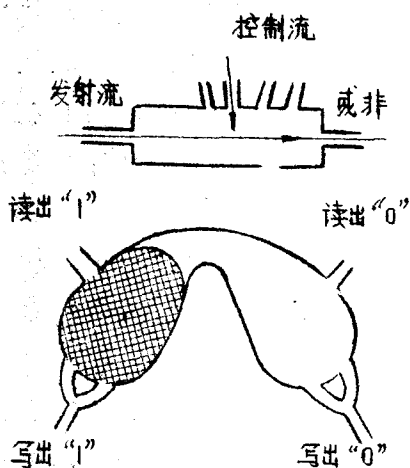
各种结合可组成非、或、或非门及触发器等等。它们都具有约四路分出能力，紊流放大器由于它具有高达约八路分出能力故较快地被应用于工业生产，这就使它比较容易相互连接而构成系统，尽管它的功率较低，开关速度较慢，只有10毫秒左右。另一种功率较高的装置是汇流放大器，它是作为或非门制造的而具有约六路分出道。

市场上有射流二极管出售，一种新型的液体记忆装置最近也已生产。涡流放大器基本上是一种模拟装置，应用在射流控制系统对执行器的交连。

附壁式元件：哈利钻石实验室研究的附壁式元件是双稳触发器，如果向一边加以偏压或壁形使射流只贴附在一边，元件就是单稳的。根据输入和输出的安排，此元件完成“非”和“或”作用。

紊流放大器

基于流体的层流和紊流的流型来操作，在层流时，元件“导通”，而在紊流时，元件“断开”，向一个输入端发送一个信号，就使元件具有“非”门作用。

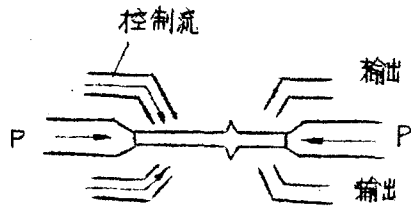


汇流放大器

基于内向环流沿着对称轴散开或聚汇成环形射流的趋向来操作。元件具有“或非”门的作用。

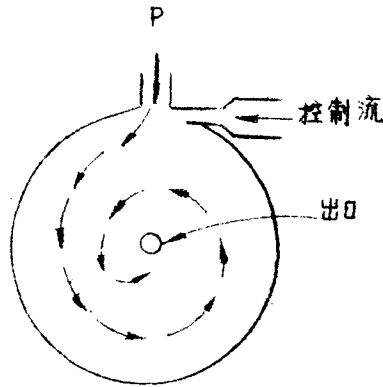
射流存储器

由射流信号把一滴高表面张力液体从一个腔室切换到另一腔室。元件存储“1”或“0”取决于腔室中的一滴水是否阻塞住“读出”信号气流。



冲流 调制器

两个主射流相抗，它们相遇之点形成一个径向射流，由输入信号加以控制。



涡流放大器

控制射流使发射流形成涡流，而不是直接从输入端流至输出端。元件可作为可变流阻器使用并且基本上是模拟式的。

射流装置组成数字式线路

利用射流逻辑门可以组成在电子技术中常见的数字线路。其中典型的是施密特触发器，其线路形式如图 1 所示，它由一个触发器，几个比例放大器和一个或非门组成。它的功能是当输入信号相对于偏压达到某一强度时起切换作用发出脉冲信号。

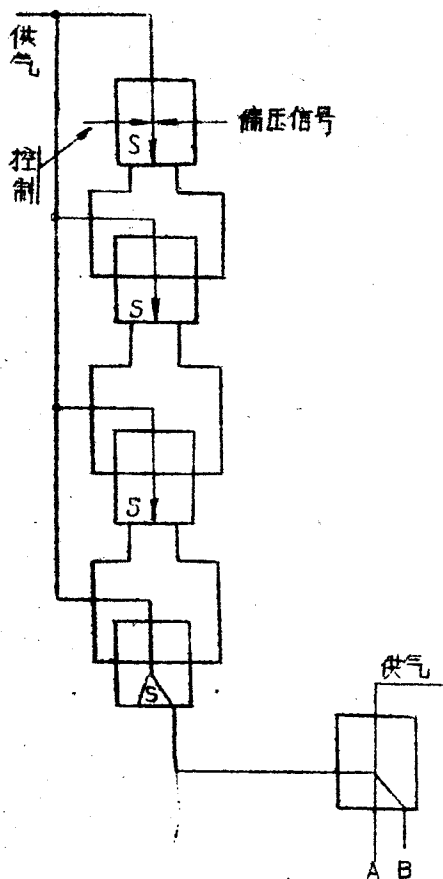


图1 施密特射流触发器线路

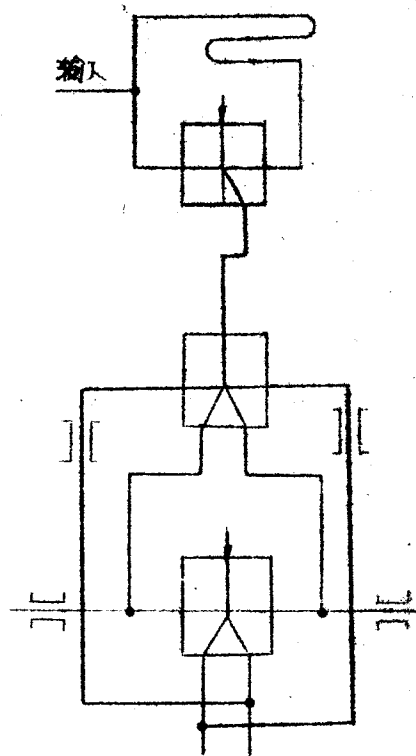


图2 柯安达效应装置组成的二进制计数器

二进制计数器是一些逻辑系统的基础。图2所示是一只用柯安达效应装置组成的计数器级，第一个装置是一只微分器，当接通输入时它产生一个脉冲，第二部分两个装置是触发器，它们组成一个计数器级。采用图3所示的线路，用紊流放大器也能组成一个计数器级。在这个线路中，输入通常处于“1”状态，加入“0”脉冲使计数器改变方向，其他的计数器，包括二进十进制的，格雷码及非连续型等也能用射流来实现。

设计一种射流移位寄存器的方法示于图4，每加入一个新的脉冲或信息位，就可以使以二进制码贮存的信息移动一位。

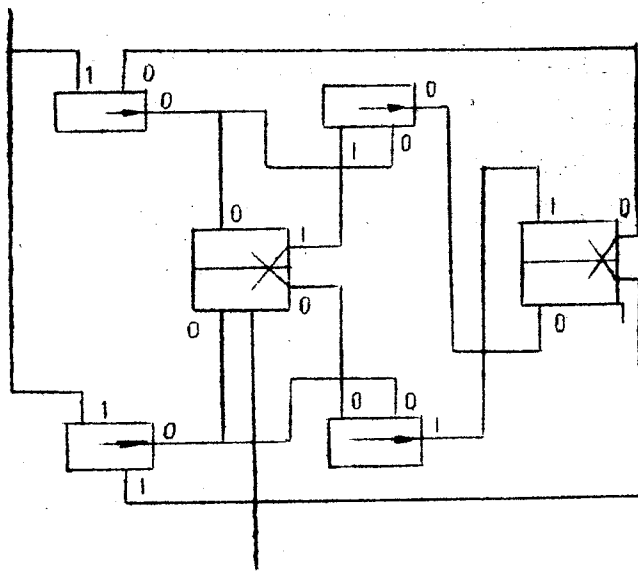


图 3 应用紊流放大器的二进制计数器

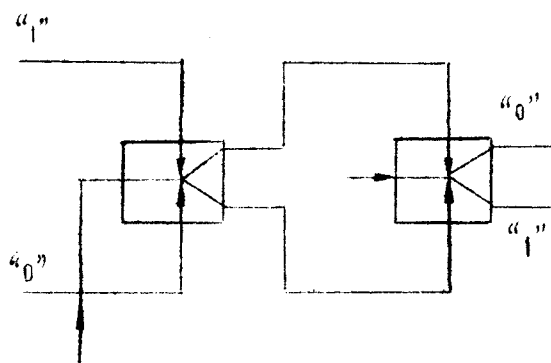


图 4 一级二进制移位存贮器

这些线路都可以用塑料管将射流元件联接而成。对于搭线路和发展工作来说，这种方法特别适用，但要做比较永久性的结构时，可把元件叠合或固装在一起而组成门路或线路模块。紊流放大器用塑料管将各个组件互相连接起来固装成通常的能量更为适合。

射流元件发展的最后阶段是整体线路，在这种线路中，元件及

完成线路用的连接管道均制作成一整块。

另一种发展逻辑线路的途径是把几种射流元件做成一块整体，再用塑料管连接从而组成各种逻辑线路。这种结构方法是为搭线路和工业控制应用提出来的。

完整的线路可在搭好线路并经过试验以后做成一个整体，这种结构方法可能成为获得高生产率，高可靠性的设计原则。

Digital Fluidics Works
译自 Control Engineering
Vol. 14(1967), No. 1,
pp. 100-104.

射流放大器的若干设计技术

提要：提出工作性能判据，和产生“判别”作用 (decision function) 的放大器的设计技术，包括加偏压以改变其切换特性。提出稳定性判据及其用法，并讨论内部几何尺寸变化的影响。主要目的，在于改善气动双稳元件在逻辑线路中的工作性能。

1. 射流力学现象

附壁原理 (柯安达效应) [略]。

入口几何尺寸变化的显著影响有助于证明上述理论。增加发射喷嘴的粗糙度能降低分离区压力，提高切换流量。增加发射流的平均流速也有类似影响。上述现象表明边界层流动引起的紊流现象增加，而在后一种情况下是由于发射流雷诺数加大而产生。实际上，要想在低雷诺数 (喷嘴宽度小或供给压力低) 下能良好工作，就要找出提高紊流度的方法。

如〔图1〕所示元件，喷嘴宽度 $0.030''$ ，供给压力 0.5 磅/时²，深宽比 $4:3$ ，实际所需的适当工作紊流度与元件几何尺寸有关。侧壁张角 30° ，位差 $1L$ (喷嘴宽)，侧壁长 $4L$ 是正常双稳动作的大致限度。不过，某一尺寸限度可以通过改变其他参数来改变。例如侧壁张角为 30° ，无位差，侧壁长 $8L$ 的元件双稳性能很好。可是如把位差加到 $\frac{1}{2}L$ ，

侧壁长度就得增加到 $12L$ 。如侧壁张角减为 15° ，无位差时，侧壁长度只有 $4L$ ，也能获得双稳作用。

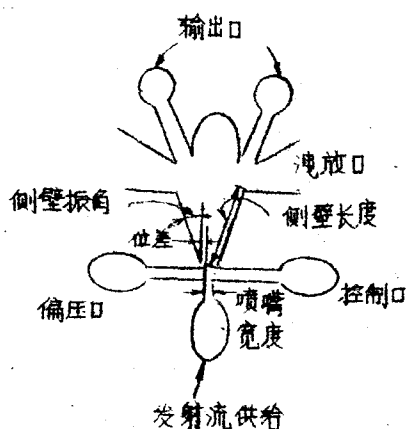
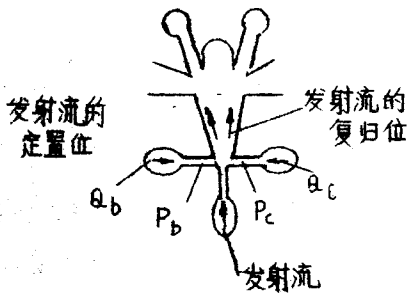


图1 射流放大器

2. 静态输入阻抗特性

二位元件的一种很有用的特性就是所谓“判别”作用。简单地说，一个判别放大器只有在其输入端满足特定条件时才有输出。对于射流放大器，要在控制口有适当控制信号时，发射流才切换，控制信号去除时，发射流又切换回原位。单纯的双稳元件本身无此特性，要附加某种方法，而且所采用的方法要在设计上切实可行。

本文所用术语示于〔图2〕。



Q_c = 控制流量 [cm^3/min]

P_c = 控制压力 [$\text{in} \cdot \text{H}_2\text{O}$]

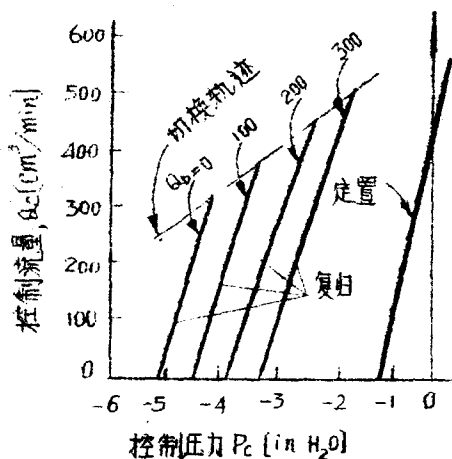
Q_b = 偏(加)流(量) [cm^3/min]

P_b = 偏(加)压(力) [$\text{in} \cdot \text{H}_2\text{O}$]

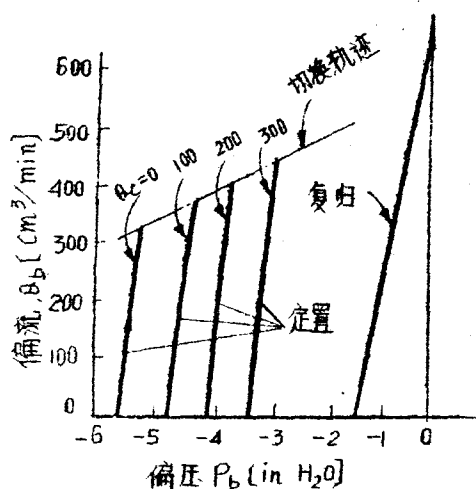
图2 射流放大器名词术语

元件的阻抗指压力——流量关系。控制阻抗是实际用以来回推动发射流的控制道阻抗。另一个通道只是用来影响控制阻抗的称为偏压口，其压力——流量关系称为偏压阻抗。此外，还规定：当发射流贴附控制口一边，放大器在复归状态；贴附到偏压口一边，在定置状态。

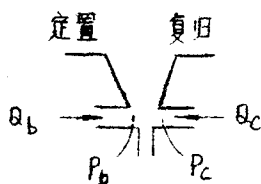
射流放大器的工况判据就是静态输入阻抗曲线，因为线路也是利用这些曲线用图解法设计的。〔图3〕表示阻抗数据的一般形式。控制阻抗是通过在一定偏流 Q_b 下，测得的控制流量 Q_c 与控制压力 P_c 的关系来测定〔图3(a)〕。使放大器在复归状态，对应于不同的 Q_b ，可得一组曲线，每根曲线的终止点是切换点，通过各切换点作出的线称为切换轨迹，定出发射流切换时的相应 Q_c 、 Q_b 和 P_c 值。注意，放大器在定置状态时， Q_b 对控制阻抗影响不大，因此除切换点外，各曲线是重合的。偏压阻抗的测定方法相同，给定 Q_c 测出 Q_b 与 P_b 的关系〔图3(b)〕。



(a) 控制阻抗



(b) 偏压阻抗



(c) 示意图

图3 静态阻抗曲线

一般情况下，偏压阻抗与控制阻抗大不相同，因为元件几何形状可能不对称。不过，为简便起见，可认为是对称的，此时，两种阻抗的形状和位置就完全一致。唯一的区别是其状态是定置的或复归的。

3. 工作点和限制条件

由于判别放大器的设计要牵涉到一个或几个性能的限制，故要探讨一下几种可能的限制条件。假定有两个不同的流阻， R_1 和 R_2 ，分别附加在偏压道和控制道上，且此流阻的上游端保持在大气压。此时，放大器将有一个静态平衡条件，如〔图4〕中静态阻抗曲线

上的一点（或儿点）所示。图中系分开表示偏压阻抗和控制阻抗。叠加在相应的放大器输入阻抗上的就是附加的流阻阻抗。

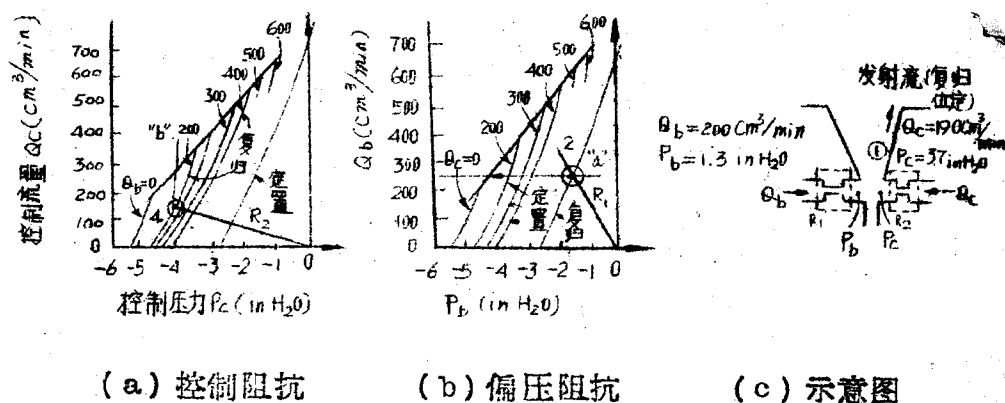


图4 工作点定义

确定平衡点的方法如下：

1. 假设放大器在复归状态。
 2. 由于通过流阻 R_1 的流量就是实际进入偏压口的流量 Q_b ，此流量由交点“a”定出，这是复归偏压阻抗曲线和 R_1 阻抗曲线的唯一重合点。
 3. 根据第2点 Q_b 在控制阻抗曲线族中选出一根曲线。
 4. 第2点的流量相等的条件对控制道同样适用，故 Q_c 由交点b确定。
- 交点a和b定出输入压力和流量。同时说明放大器的一个工作点。

可能第1点的假设是错误的。如放大器实际上是在定置状态，则交点b将不存在，表明假设错误。如果对定置和复归状态都有交点，则表示元件有两个可能的工作点。注意上述步骤实际上就是用图解法解有4个未知数的4个联立方程。

应用工作点概念就可以用静态阻抗曲线定出判别特性。假如 Q_b 已大体确定，控制阻抗曲线如〔图5〕所示。此外， Q_c 系由通过一个流阻接到控制口的压力源提供。开始用压力源 P_{S1} ，工作点在“a”点。提高供给压力到 P_{S2} ，发射流切换，工作点变为“b”

点。由于当加上 P_{S2} 时，放大器保持定置状态，除去后变为复归状态，这就是一个判别放大器。可以证明，最佳的特性是通过切换点的连线和 P -轴交在 P_{S1} 和 P_{S2} 之间中途的某一正压。这种切换点图形就是判别放大器的判据。

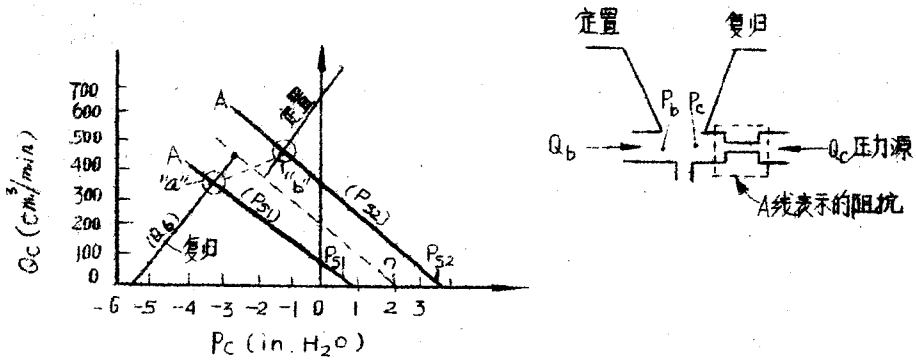


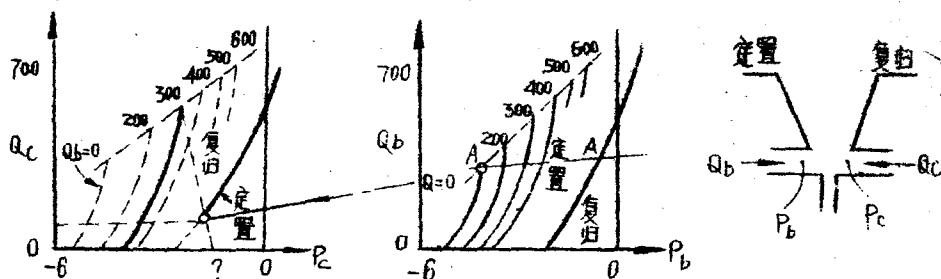
图5 判别作用

4. 几种获得判别特性的方法

4-1 恒偏流法

如果深入分析一下恒 Q_b 情况，就可看到为什么这种限制条件在判别放大器中不能实现。（图6）表示这种图解分析。具体说明一下，设 Q_b 定为 $300 \text{ cm}^3/\text{min}$ 。这一限制条件在偏压阻抗曲线上表为水平线 $A-A$ ，图6(b)。从控制阻抗曲线族选择一根适当的曲线；于是，放大器压力——流量特性的复归部分已定。余下的工作是找出放大器复归时的切换点，因为对于定置状态，控制阻抗曲线汇为一根。该点由 $A-A$ 线与偏压阻抗切换轨迹的交点定出，并表示在控制阻抗曲线上。注意这种方案将不能成为判别放大器，因为通过（各）两切换点连成的线不与 P -轴适当地相交。假如再选取其他 Q_b 值重复试试，仍不能获得判别作用。

有关上面的讨论应指出两点：(a) 恒 Q_b 法虽然不能产生适当的输入特性，但在实验室试验时很容易用高压经高阻抗通入偏压器保持恒 Q_b 。因此，恒 Q_b 法可用作实验设计时的基础。(b) 注意只有一个限制条件（即恒 Q_b ）。这样可以产生一个输入变量 Q_c ，



(a) 控制阻抗 (粗线表示 $Q_b=300 \text{ cm}^3/\text{min}$ 控制阻抗)

(b) 偏压阻抗

(c) 放大器示意图

图 6 恒 Q_b 方案

作为另一个变量, P_c 的函数, 因为四个未知数构成四个方程式。

4-2 恒偏压源法 (偏压端恒定压源法)

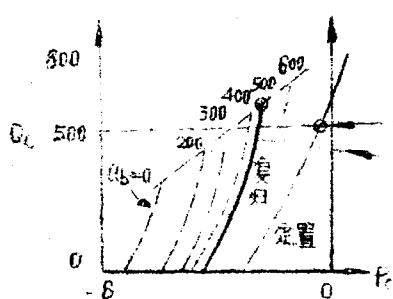
如上述, 恒 Q_b 条件不能提供所需特性。较好的条件是当放大器复归时 Q_b 小, 定置时 Q_b 大。小 Q_b 值对发射流切换到定置位置时阻力较小, 而大 Q_b 值对切换回复归位置可提供“助力”。这种可变 Q_b 条件的获得可经一耦合阻抗在偏压输入道加一压力源。

〔图 7〕表示恒偏压源法的实验结果。图 7(b) 中曲线 R 就是耦合阻抗, 其上游端通大气压图 7(d)。在复归状态, Q_b 由交点“a”确定。因此控制阻抗的复归部分即由控制阻抗曲线族中对应于交点“a”的一根所确定。于是, 在定置状态时, 由于控制阻抗只沿一根曲线, 切换点(“b”点)是曲线 R 和偏压阻抗切换轨迹的交点。在这一点, 切换所需的 Q_b 和 Q_c 值都可确定。

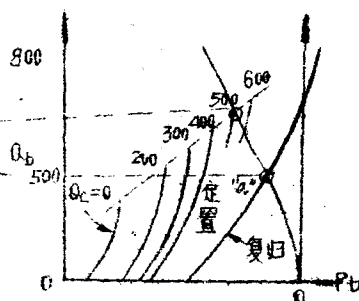
预定的控制阻抗在图 7(c) 中和实测值作比较。注意正如所需要的在复归状态时 Q_b 值要比定置时低。这样可以得到适当的切换点位置如图 7(c) 所示。合理选择耦合阻抗还可大大改善特性。

这种方案有几个优点, 尤其是大气压是免费易得的压力源。而且设计上亦不困难 (主要是耦合流阻)。

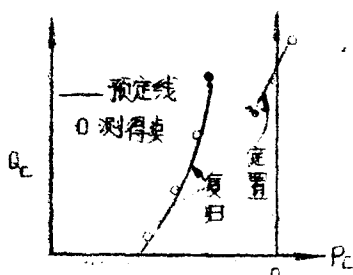
设计耦合流阻时, 其步骤跟上述的颠倒一下。首先选定切换点。



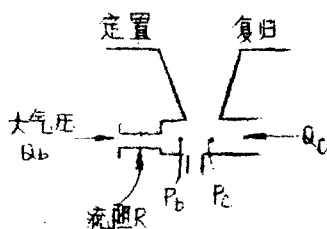
(a) 控制阻抗



(b) 偏压阻抗



(c) 预定与测得的控制阻抗



(d) 放大器示意图

图 7 恒偏压源方案

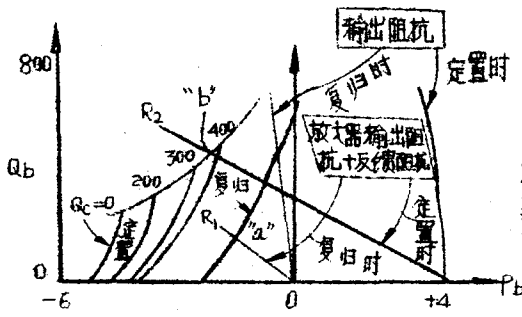
然后定出与这些切换点有关的 Q_b 和 P_b 值，选取能提供所需流量，压力值的耦合阻抗（一般说来，确定耦合阻抗曲线的精确形状和部位还需要其他条件。）。必要时，可选取耦合曲线形状（线性、抛物线等等），其与 P -轴的交点就是压力源的大小。反过来，先选定压力源大小，然后定出阻抗曲线形状亦可。

4-3 反馈法

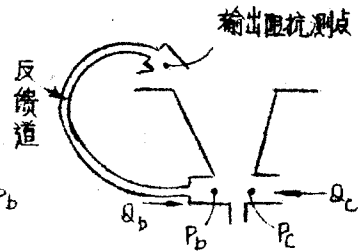
提供可变 Q_b 的另一有效方法是把左输出道和左控制口连通，形成一个反馈道，如〔图 8〕。当放大器在复归状态时，由于反馈道上游压力很小，故其中流量很小。反之，在定置状态时，流量很大，有助于复归。

控制 Q_b 的阻抗实际上是两个串联阻抗之和，即放大器输出阻

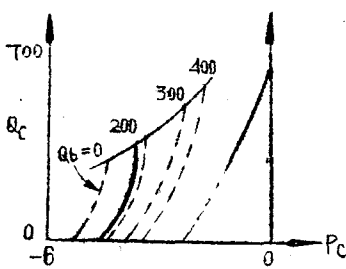
$$\approx 1.3 \approx$$



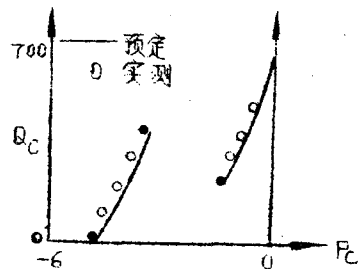
(a) 偏压阻抗



(c) 示意图



(b) 限制的控制阻抗



(d) 预定和实测控制阻抗

图 8 反 馈 方 案

抗与反馈环道阻抗之和。故在一定流量下总压降是两部分压降之和。此串联阻抗曲线的图解法是选择一个流量，把对应于此流量的两部分压降相加，可以点绘出“压降和”与流量的关系。图 8 中的 R_1 和 R_2 即由此得出。

设计方法基本与上述恒压源法相同，不同之处是两个不同的阻抗 R_1 和 R_2 ，作为偏压口的限制条件。在复归时， Q_b 由点“a”确定，并根据此 Q_b 值选出特定的一根控制阻抗曲线。复归切换点由交点“b”定出，于是控制阻抗曲线即可全部确定。

反馈法的主要优点是紧凑。免去外加偏流源可使放大器免受环境影响。可惜的是，加了反馈道的结果少了一个输出信号。输出不能同时加在反馈道和下一级线路上，因为负载变化会反馈到偏压口，