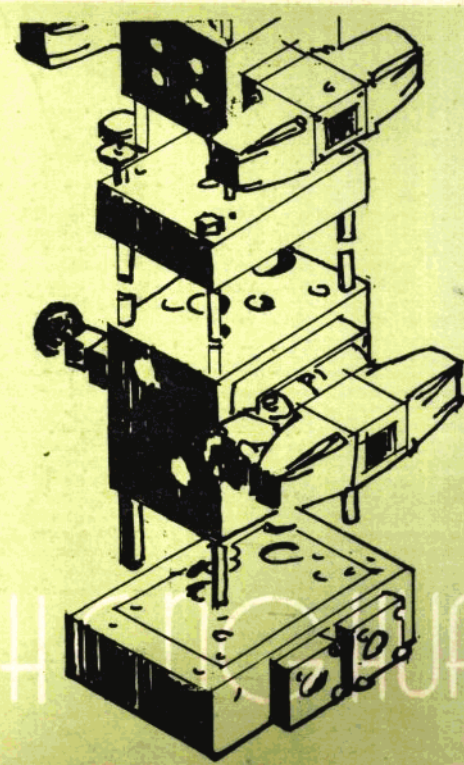
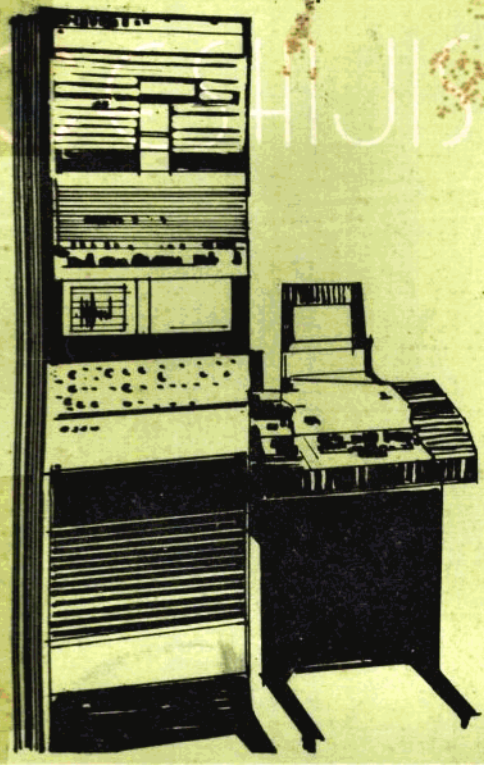


厦门水产学院
 渔业机械系资料室
 总号 分号
 U-9 0059

舰船液压技术

—资料选编—

测试技术



集成化

3

六机部液压技术科技情报交流网

前 言

1980年11月六机部液压技术科技情报交流网邀请部内外83个有关单位，举办了以液压测试技术和集成化为主要内容的专题交流会。会上，在深入交流的基础上，通过广泛征求意见和“评选组”的认真评审，从众多的项目中遴选出了一批有相当实用价值且具重要参考意义的文章。本“选编”特将其汇编出版，以求在更大范围内使之交流和推广。

“选编”共收文章一十六篇，属测试技术者十一篇，属集成化者五篇。

在液压测试技术方面，有关于国外液压测试应用计算机的综合论述；有以误差理论和数理统计为基础，对液压阀试验精度和对油液污染度分析的文章；有以现代控制理论为指导，用计算机寻求液压系统的控制规律和测试液压系统开环动态特性的文章，等等。此外，“电液伺服阀力矩马达动态性能及其分析”、“电液伺服系统测试技术研究”、“电液伺服阀动态特性测试的研究”等文章都是很有价值的。

在集成化方面，有评述集成化现状和发展方向的文章；有介绍集成块孔道设计方法的文章；亦有叙述集成化装置在工程船上应用的文章。

这次专题交流会存在一定的局限性，但从交流项目来看，足以看出我国近几年来无论对测试技术抑或集成化，都给予了很大的重视，做了相当的工作，有了较大的进展。当然，与国外先进水平相比，还有一定的差距，需要我们发奋工作，急起直追，迎头赶上。

会上交流的文章蒙陆元章教授等十七位同志(评选组名单附后)认真评审，在此表示衷心的感谢。

限于水平，本“选编”中不当之处在所难免，恳切希望读者给予指正。

编者 1981年7月

评 选 组 成 员 名 单

(以姓氏笔划为序)

田 科	许耀铭	宋文君
沈德毅	陆元章	陈肖南
陈 愈	李培植	范崇诤
祝大年	俞鲁五	聂崇嘉
黄 谊	黄人豪	黄明慎
黎树明	薛志松	

目 录

国外电子数字计算机在液压测试技术中的应用

..... 沈德毅(1)

电液伺服系统测试技术研究..... 李培植(10)

电液伺服阀动态特性测试的研究..... 赵维江 蒋厚宗(24)

电液伺服阀力矩马达动态性能试验及其分析

..... 夏嘉琪 陶心廉 吴宗真 徐奕璋(53)

管件和管接头耐冲击试验压力的形成及其动态分析

..... 严金坤 施佐原 范崇訔(76)

用气穴系数来衡量液压泵气穴性能的试验研究

..... 许耀铭 李 文(85)

液压恒张力系统的数字控制..... “拉降”课题组(94)

误差理论在液压阀试验中应用的

几个问题..... 柳曾兴(118)

测定油液污染度的统计分析..... 段长保(125)

近年来国外在流量测试和液压马达试验方法

方面的进展..... 田 科(131)

液压振动技术及其测试方法..... 朱文华 杨维钢(137)

液压系统集成化、组合化..... 黄人豪(148)

液压配流体孔道设计和选孔器..... 于幼仪(161)

新一代集成化液压元件——插装阀..... 黄人豪(166)

二进制编码在插装式组合阀中的应用..... 简自忠(189)

液压逻辑系统在绞吸式挖泥船上的应用..... 杨秉超(194)

国外电子数字计算机 在液压测试技术中的应用

第七〇四研究所 沈德毅

本文介绍国外应用电子数字计算机对液压元件和系统进行测试的情况,诸如用计算机对试验设备进行控制,试验数据的采集和处理等等,并通过几个实例说明在液压测试技术领域内应用电子数字计算机的广度和深度。文中还根据液压元件和系统的测试特点对电子数字计算机及外围设备的要求作一粗浅的探讨。文末针对我国目前情况,在这一方面要推广电子数字计算机的应用,提出了建议解决的问题。

序 言

小型计算机在试验技术中应用还是比较早的,材料试验系统应用计算机又领先于其他一般工业,这主要是计算机能较快地完成复杂的试验任务,比非自动系统具有较好的重复性和较高的测试精度,而且计算机还能方便地实现多通道测试。应用计算机对液压元件和系统进行测试也有二十多年的历史。随着半导体集成电路技术的发展,小型计算机系统及外围设备的价格大幅度地下降,应用计算机的吸引力越来越大了。特别在七十年代初期出现了微处理机,这主要由于大规模集成工艺更趋成熟,已有可能把计算机的运算器、控制器的大部分容纳在单片集成电路中。微处理机系统器件数目比一般小型计算机要少得多,外部连线和整机装配工作量也大为简化,再加之容易实现硬件功能块的积木化,软件硬件化。应用微处理机系统更具有灵活性和经济性。

目前国外应用计算机和微处理机对液压元件和系统进行测试,不再限于科学研究,也不只是为了实现测试操作自动化和提高测试精度。即使在制造厂的生产线上也越来越多地采用计算机或微处理机,对元件和系统作出厂的

性能试验,以判断产品性能良好与否;还有一些制造厂采用特定的程序,对积累的大量测试数据进行统计处理,找出产品的弊病,从而有效地进行产品质量管理。

由于计算机的多功能性,所以能适用于多种不同的用途。被选用的计算机品种,根据用途也是多种多样的。较多采用的是通用小型计算机或微处理机,亦有为实现某一测试功能而特别配置的专用计算机,甚至有的为了操作方便起见,还配置了特定程序或特定的语言。

应用计算机对液压元件和系统进行测试,与其他工业测试应用计算机情况相比,既有相同之处,又有不同的地方。不同之处,除了液压元件和系统有它本身特定的性能之外,还反映在测试方法和被测参数诸方面。这样,用于对液压元件和系统进行测试的计算机,在计算机容量、运算速度以及接口等方面的要求也自然会有所不同。但从应用计算机进行测试所实现的功能来看,还不外乎以下四方面的功能:

1. 应用计算机对试验设备进行控制;
2. 应用计算机对试验系统进行数据采集;
3. 应用计算机对试验系统进行数据处理;
4. 应用计算机对试验系统进行试验结果的陈述(泛指试验结果硬拷贝的制作)。

以下结合液压元件或液压系统的测试特

点, 对以上四方面的功能分别加以阐述。

一、应用计算机对液压元件和系统的试验设备进行控制

试验参数的控制一般来说是人们最感兴趣的。在试验室中, 任何可以测量的参数, 往往都要求进行控制。只有这样, 才能使测试工作实现自动化。由于试验对象和试验要求的不一样, 对试验参数的控制功能的要求也就有所不同。例如有的试验参数只要求对它作定值控制; 而有的试验参数则要求按一定的规律进行控制。其次, 对控制精度的要求也不一样, 有的要求高, 有的要求则可低一些。对液压元件和系统进行试验时所要求控制的试验参数主要是压力、温度和流量。

应用计算机进行试验参数的控制, 首先要考虑的问题是开环控制还是闭环控制, 是将计算机接在控制环路之内还是接在控制环路之外。对大多数液压元件和系统的试验参数的控制, 采用开环控制就足够了。一般用步进电机驱动调整器以控制试验参数, 在控制性能要求较高的场合, 可通过设置反馈环节以改善性能。图1系有反馈的控制系统。图1a是计算机接在闭环的外面; 图1b所示系计算机接在闭环之内的控制系统。在计算机接在闭环外面的情况, 计算机除了能起实时联机控制器(要依赖实时时钟)的作用外, 还能简单地起穿孔带阅读器、信号发生器功能的作用, 当然通过计算机软件还可能对试验参数实现某些形式的补偿控制。把计算机接在闭环之内的系统除了有图1a系统的全部功能外, 计算机还可使实际控制达到较佳的闭环控制性能。通常图1b的系统较之图1a的系统有较大的可变性和较高的灵活性, 并且各种控制算法(诸如简单的比例控制、比例-积分-微分控制、无波纹最小调节时间控制等控制算法, 也可以是根据系统动态性能非线性控制算法的某些形式)均能付诸

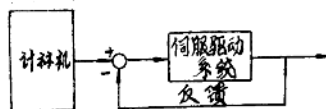


图 1a 计算机接在闭环外面的控制系统

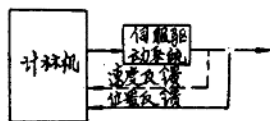


图 1b 计算机接在闭环之内的控制系统

实现。然而, 这种系统亦是较复杂的, 在计算机里要放置较多的指令, 而且需要较多的程序。两种系统的选择, 通常取决于计算机的容量和速度、程序设计员的能力以及系统的价格和可靠性, 要在软件和硬件之间进行权衡。

1. 压力参数控制

压力参数的控制, 往往是我们需要考虑的第一个控制参数。要对液压泵、液压马达在各种压力参数情况下求其效率。在对方向控制阀进行试验中, 也要对压力参数进行控制, 以求得阀工作范围的边界状态。在对伺服阀作精密测试时, 要求油源的供油压力波动控制在某一范围内。另外, 如对滤器的壳体、橡胶软管等都需要进行脉冲压力试验, 要求供油压力按一定的波形呈脉动变化。这些均充分说明, 压力参数控制对液压元件和系统试验来讲几乎是不可少的。

用得最广泛的压力控制元件不是直接作动阀, 而是先导控制型的溢流阀。图2a、2b分别是直接作动和先导控制两种形式的电液压力控制阀。直接作动式控制阀可以做成适合于自动控制, 但在大流量的场合, 它们一般不具有适合自动化系统的必要特性。常用的压力控制阀一般由两部分组成: 一是调整压力的阀; 另一是驱动阀的驱动器。驱动器有好几种不同的结构形式:

1) 比例电磁铁, 电磁铁衔铁的位置与施加给比例电磁铁的电压成比例;

2) 交直流伺服电机;

3) 力矩马达;

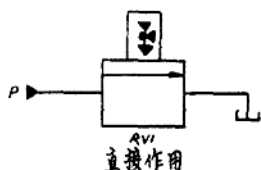


图 2a 直接作用式压力控制阀

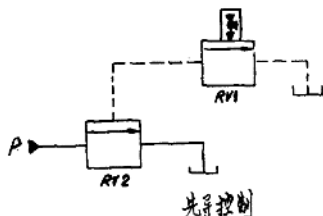


图 2b 先导控制型压力控制阀

4) 步进电机。

比例电磁铁实质上是一只模拟器。交直流伺服电机和力矩马达所能接受的信息要求是模拟量，而在计算机控制系统中输给驱动器却是数字信息，所以在计算机和驱动器之间必需有一接口——数/模转换器。如果为了改善控制性能而设置反馈环节，则在压力测量元件与计算机之间，同样也需要一个接口——模/数转换器。这种系统如图 3 所示。图 3 中计算机用作比较器，将反馈信号与程序输入进行比较后提供误差信号。比例电磁铁控制的阀可以很好地用于自动化系统，但它有某些局限性。在输入信号较小的情况下，有一个较大的不灵敏区，这样就妨碍了它的使用。总的来说，这类阀不宜用来控制低于 17 巴的压力。如果要求控制低于 17 巴的压力，则必须采用交、直流伺服电动机以驱动阀杆。通常通过齿轮减速器连接以增大扭矩和系统的分辨率。采用这种系统时，电动机输出轴上必须安装反馈电位计，以确定阀杆的位置。此反馈元件也可用来感受出阀杆行程的终点信号，以防止伺服电机过载。图 4 西德 Rexroth 公司生产的压力控制阀就属于这一种。用力矩马达作为驱动器的情况与伺服电机的相仿，只是力矩马达在低转速的情况就能输出较大的力矩，所以力矩马达可直接与阀连接，中间毋需齿轮减速器。用步进

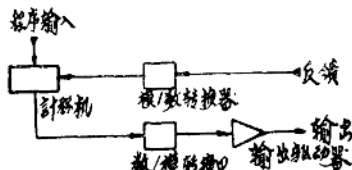


图 3 计算机控制传动线路

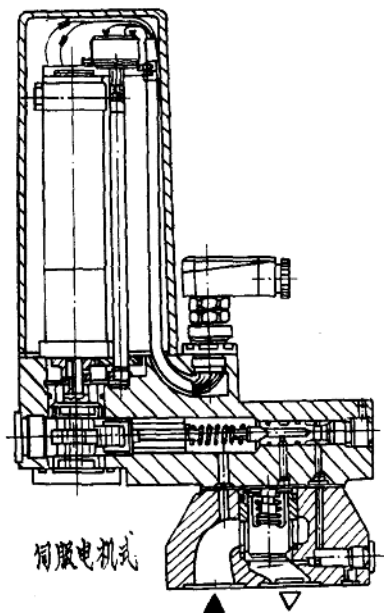


图 4 西德 Rexroth 公司生产的藉伺服电机驱动的压力控制阀

电机时，它的输出扭矩通常受到某些限制，不宜用来传动大型阀件。近年来，虽然功率步进电机亦已问世，但价格比较贵。步进电机传动的一个优点是取消了反馈电位计，因为步进电机输出轴的角位移量是与输入步进电机脉冲信号数成正比的。

这些控制概念也可用于其他试验参数的控制。

2. 温度参数控制

对液压元件和系统的测试来讲，温度也是一个非常重要的控制参数。有的试验把温度参数看作是标准工况中的一个参数；而有的试验把温度作为环境条件试验的一个参数。不论上述哪一种情况，均要求油液的温度控制在一定的范围内，当然控制精度有所不同。

由于液压元件和系统在试验过程中伴随发生大量的热量,所以随着试验时间的增长,油液的温度就逐渐上升。因此,温度控制的主要方式是冷却油液。油-水或油-空气热交换器是最常用的冷却器,油-冷却剂热交换器我们常称之为蒸发器。控制冷却剂或冷却介质的流量,可达到控制温度的目的。当冷却介质为水时,最好是控制热交换器排出端的水量。该水量可用电磁阀或比例电磁阀控制。使用电磁阀是最便宜的,但存在着严重的缺点,由于它系开关元件,一打开就提供全流量的冷却剂或冷却介质,一关闭就不提供,这样会导致被控制的油液温度在控制点上下波动,有时温度波动可达 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。用比例式控制阀以控制冷却剂或冷却介质的流量,适用于精确的温度控制。温度的波动量不仅取决于控制阀的型式,而且还与系统的热惯量有关,当然也与热量散发情况有关。简单比例控制阀只适用于热惯量较小的场合(如果温度的控制精度要求较高),这样控制开始至反馈信号返回的时间间隔就不致太长,温度的波动量也就不会太大。然而,液压元件或系统的试验系统,除个别情况外,其热惯量是较大的。虽然其他工业部门亦存在热惯量较大的这种情况,例如玻璃制品工业中的熔料炉热惯量就很大,但熔料炉控制温度高,且采用加热的方式。对熔料炉这类控制对象,采用P. I. D. 调节可控硅控制方式较易实现精确的温度控制。如果液压试验系统的温度控制要求较高,则控制显然要复杂得多。理想的方法是依赖于计算机。可由软件设计人员根据系统设计和元件选择的情况,编出程序以补偿温度控制响应不快和热惯大所引起的控制误差,这时计算机起补偿误差控制算法的作用。

如果采用加热方式来控制温度,上述的控制方法亦同样适用。加热时所不同的是用蒸汽或加热后的液体代替上述的冷却介质。然而,较好的加热方法是用电阻加热元件来加热。如果我们欲利用试验台部分功率来加热也是可行的,这是因为不少液压试验台里都配置节流元

件的缘故。在这种场合,往往使油液分两股分别通过加热器和旁通阀。此时,只要控制加热器的输入功率和系统的旁通流量。加热器的功率通常可由可控硅控制。

在实现温度控制时所采用的热交换器,一般与普通热交换器的结构是类同的。但如果在控制温度较高时,用冷却剂要防止它闪发;如果用水作冷却介质,就要防止水在热交换器壁内结垢。一般纯水和非污染冷却剂的极限温度范围可定得稍高于硬水的极限温度。前者可为 $65\sim 75^{\circ}\text{C}$,后者为 $50\sim 55^{\circ}\text{C}$ 。在进行滤油器试验时,为使污物注入系统及滤器试验系统中油液始终处于紊流状态,而且还不容许污物在系统内积集,则热交换器的设计就要复杂得多了。

3. 流量参数控制

流量参数是另一个控制参数。在对滤器、阀件做流量——压差特性试验时,或对泵测试各种不同流量时的效率……,这些均要求对流量参数进行控制。在定排量泵系统中,通过旁通或改变输入轴的转速以改变流量;在变量泵系统中,往往是对泵的变量机构进行控制。可借助电液控制或伺服电机传动机构来控制旁通阀或泵的变量机构;亦可借助可变速比传动轮系、直流调速电机、交流变极电机或各种类型电偶离合器以控制泵输入轴的转速。究竟采用哪一种变量控制方式,取决于总的输出功率,也取决于在负载呈周期变动时,对流量这一控制参数稳定性要求如何,当然也与流量变化范围和所需的费用有关。控制流量的信息,可以由计算机通过适当的转换,输给这些驱动器件。反馈信号可由与驱动器件做成整体的转速计或外接转速计测出。

二、应用计算机对试验系统进行测量(数据采集)

在液压元件或系统进行试验时,对一些参数进行测量是必不可少的。从测量的目的来

看,有些测量数据可用来构成试验结果;有些则为试验设备的控制提供反馈信息;还有一些测量参数只是用来修正其他参数的,例如测量油液的粘度、密度、压缩率等等大多是用来修正其他参数的。

1. 在流体动力测试中几种基本的测量形式

在流体动力测试中所作的测量,其形式基本上有以下三种:

测量电压(或电流)的变化值;

测量逻辑状态的变化;

测量频率或周期。

测量电压(或电流)变化值,系指输出信号为电压或电流的传感器。属于这类传感器的有压力传感器、力传感器、力矩传感器、位移传感器和温度传感器等等,根据传感器输出的信号值高低,与计算机构成的测量电路有所不同。图5a、5b分别为高低值信号的测量电路。

输出为高值信号的传感器一般系电位计式,输出的电压值通常是5或10伏的百分数。电位计式传感器通常仅用来测量位移或通过测量位移信号的变化速率而间接测出速度。压力和温度传感器也可做成电位计型式,但不如其他型式那样坚固,而且一般说来其量程有限而且频率响应特性差。从图5a中可以看出,这类传感器输出的高值信号,首先通过程序放大器,然后输到一只A/D转换器。程序放大器的功能是增大传感器在低于其量程10%时的



图 5a 高值信号测量电路

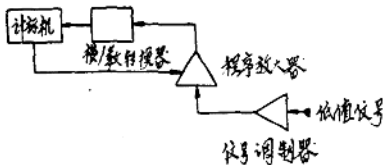


图 5b 低值信号测量电路

分辨率。当传感器的输出信号低于其量程10%时,计算机使放大器“接通”,从而使信号放大。如果放大器的增益为10,则信号就被放大10倍。程序放大器究竟在什么情况下“接通”,是10%抑是其他某一个值,应该是做得可以选择的,而且程序放大器的“接通点”应编排在计算机程序中。

输出为低值信号传感器通常系指应变片式传感器。这类传感器一般具有良好的线性输出特性和频率响应特性。从图5b中可以看出,这类传感器与计算机构成的测量电路与图5a的电路大致相同,所不同的是低值信号首先要通过一个信号调制器。此调制器把低值信号转换成与测得的参数成比例的0~5或0~10伏的电压输出。这一调制既可由传感器本身完成,也可由计算机接口完成。但由传感器本身调制,信号在线路中输送受外界噪声的影响要少些。

热电偶型温度传感器,由于它输出的非线性和要求稳定的基准连接,在计算机构成的测量电路中采用不多。一种较简单而且又较满意的传感器是气泡式传感器,此元件基本上是一种压力测量元件,它由高级电阻元件构成电桥(与应变片电桥类同),电阻值变化与被测参数成比例。这种传感器也需要信号调制,可用其他低值信号元件那样的方法来处理。

众所周知,A/D转换器和D/A转换器的价格是较昂贵的。一种降低费用的方法,是采用图6那种多路调制器系统。在这种系统中,价格昂贵的A/D、D/A转换器与若干输入输出相连接,使之公用。多路调制器用作固态步进开关,它受计算机支配。一个A/D或D/A转换器可以对若干个参数进行测量。

逻辑状态的测量通常是借压力开关、温度开关、流量开关等触头闭合与否来提供信息的,以判断测得参数是否高于(或低于)某规定值。这种逻辑状态测量对提供控制指令是很有用的。测得的信息可直接输入计算机,用来作程序操作的指令,也可用来查核程序动作正确

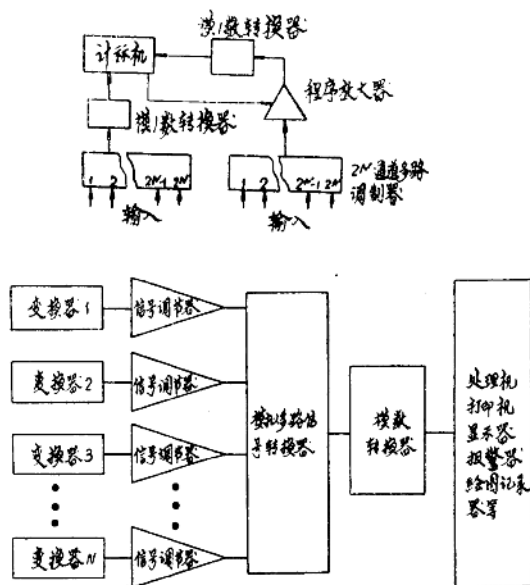


图 6 多路调制器线路图

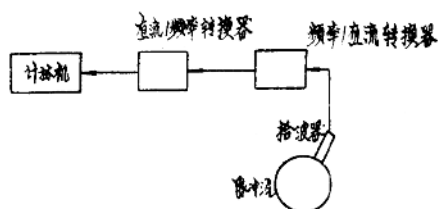


图 7 频率测量方块图

与否，并对误操作发出报警信号。这种逻辑状态测量还可用来对某些固定值的测试参数提供信息，对这种情况来说是既方便又便宜的。

频率或周期的测量也许是所有转换问题中最困难的。依赖于频率或周期测量通常是测量转速和流量。轴转速的测量通常在轴上做出齿形然后用电磁或 RF 检测线圈测出。涡轮流量计和容积式流量计均可借测量频率而测得流量。图 7 为频率测量的方块图。检测元件的输出首先通过一只频率/直流转换器转换成电压值。此电压值再通过一只直流/频率转换器转换成方形波，然后传递到计算机。这种较繁复的操作，是为了校正传感器输出的波形，并使脉冲振幅带来的误差减到最小。

2. 动态变量的测量与高速采样

从测量量恒定程度来分，液压元件和系统的测量量有以下三种：一种是绝对恒定的被测量；一种是平均恒定的被测量；另一种是动态被测量。压力阀动态特性中飞升曲线，伺服阀的压力增益都是动态变量测量问题。图 8 表示这种连续动态信号转换成数字形式的过程。在图 8 中，一个连续变化的参数在连续移动的时间轴上表示成一个瞬时幅度。连续信号各个瞬间的幅值由采样——保持放大器来采样和保持。采样被保持在足以进行模/数转换操作的一段时间区间内，通过模——数转换后，形成数字代码。数字代码一经形成就可送到计算机里，表述出特定瞬间的连续函数瞬时值。从图 8 中可以看出，对变化参数的采样，采样速度是很重要的因素。如何选择采样速度，在工程中已建立了著名的香农采样准则 (Shannon Sampling Criteria)。香农采样准则的理想条件是要求对变化参数的采样在有关信号的最高频率分段内每周至少二次，即采样间隔 $\Delta t \leq \frac{1}{2f_n}$ ， f_n 为信号上限频率。实际上，此值必须增加到最高频率分段时，每周 5~6 次采样。模——数转换器应有宽广的分辨率和速度。用 12 位和每次转换的时间周期为 20 微秒的模——数转换器一般来说是足够了。当然，线路、参考电压和分压器的精度必须和转换器的分辨力相适应。

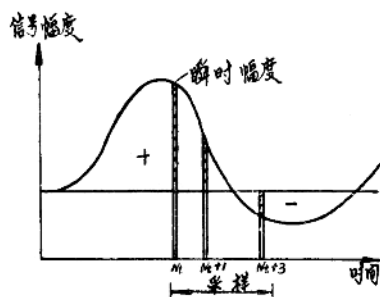


图 8 采样过程

三、应用计算机对试验所得的数据进行处理

一般都要求将试验所得的原始数据进行分析并处理成有效答案。使用计算机就能减少进行这项工作所需的时间并提高答案的精确性。但往往在处理成有效答案之前,由于测量仪表的零漂、非线性……等因素,实际上有一个对单项数据进行处理的问题。

1. 对单项测得的原始数据进行处理

1) 零位修正

无论那一类传感器零位偏移均能引起测量误差。零位偏移是由励磁电压的微小变化、传感器磨损或零位的微量改变所引起的。如果偏移很小或在允许的公差范围内,则可以忽视它。然而,如果偏移较大,或使用程序放大器扩大分辨率,则必须予以注意,因为增益亦要加到偏移量上去。计算机可用来直接解决此偏移问题。在进行任何测量之前,发信息给计算机,通知它传感器处于零位状态,计算机于是读出传感器现在被指定在“零位”状态的数值。然后计算机将此值的负数加到所测得的原始数据上。当然,也可通过安装一机械或电气的零位调整器,在设备正式启动前进行零位修正。

2) 按校正曲线自动修正测量值

不少传感器性能均含有非线性成份。通常用来测量流量的涡轮流量传感器对油液的粘性很敏感。应该从制造厂取得每一个流量计在7~110厘沱范围的专用修正图表,并把它编入程序;同样把油液的粘—温数据亦编入程序。这样,计算机就能自动地修正所测得的原始数据。又例如泵的容积效率的测量,在高压情况下,按理应在泵出口附近的高压处测得排量。然而,没有适合这种方法的高压流量计,所以一般只好在压力阀后测量流量,为此必须修正各测量条件下的相对压缩率。日本制钢所液压研究室是将压缩率作为压力和温度的函数,求出工作油液的压缩率。将在各测量点测

得的原始数据按下列公式修正,在计算机里输入按此公式编就的修正程序:

$$D = D_{th} \left(1 - \frac{\Delta p}{3.8 \times \Delta p - 64i + 17300} \right)$$

式中 D 、 D_{th} 分别为实际排量和理论排量。

3) 取每一个试验条件下所测得数据的平均数

为了提高精确度,利用计算机能快速采样的能力,往往对同一测量量值,在同一试验条件下,进行多次测量,然后取多次测量值的平均值。究竟取几次的平均值,应根据试验要求选定。计算机的程序编制要考虑供选择的可能性。在程序内应有能判断突然出现误差的内容。

2. 对成套测得数据进行运算处理和分析

对一系列处理过的单项数据首先要进行分析或与给定值比较,以得出可否的结论。接着第二步,也是最通常的,就是要将一系列的有效数据按给定的方程式进行运算,以得到试验结果。借计算机来完成这些功能完全是可行的。除此之外,计算机往往还可以对一系列处理过的单项数据进行处理,得出一综合分析的结果。这种综合分析有时候不用计算机往往是无法进行的。例如对液压系统进行工作油液污染等级的分析就是这一种情况。通过对工作油液污染度的检测、分析,往往要求给出该系统的污染度等级。众所周知,无论是NAS 1638或SAE79D的污染等级标准,均分别列出几档污染颗粒直径范围内所容许的颗粒数。然而在实际检测中,往往会出现这种情况,即在某几档颗粒直径范围内的颗粒数按标准对照下来是属于某一级,而另几档则可能属于另外一个等级。这样给最终评定就带来困难。而用计算机的话,这个问题就较容易解决,可把颗粒直径范围再划分得窄一些,然后,拟出一个判断准则,编制成程序,借此来进行最终判断。

3. 数据采集的方法

用计算机处理数据,它与数据采集的方法是密切相关的。液压测试方面与其他工程试验数据采集的方法是类同的。通常采用传送数据

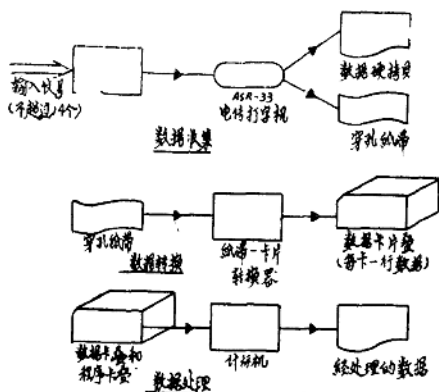


图 9 数据采集、转换、处理方块图

的穿孔纸带、磁带来解决试验台和计算机之间的接口问题。这样可使计算机在给定时间内集中处理相当数量的数据。比起在专用硬布线计算机——试验台上，让计算机等候数据更为有效。图 9 为数据采集、转换、处理的方块图。

数据收集一般用电传打字机及纸带穿孔器作为接口设备。由电传打字机打出硬拷贝的数据，由纸带穿孔器打出纸带。硬拷贝上的数据与穿孔带上的数据具有相同的格式。穿孔纸带既作为数据的大容量外存储器，又作为将数据传送给计算机的媒体(当然也可用磁带记录仪，将数据制作成磁带)。由于纸带阅读器阅读速度较慢，为了更好地利用计算机的时间，采用了从纸带向穿孔卡片的数据转换。这样可通过高速卡片阅读器将数据读入计算机。采用卡片还具有容易校正和检查的优点，如果是数据卡片的话，很容易去掉在试验条件未稳定之前所取得的一宗试验数据。要从穿孔纸带中去掉这样的数据是很费时间的，同时要求使用者具有阅读纸带编码的能力。采用这种方法，使用计算机时间已压缩到最短。由于采用穿孔纸带，那些由硬布线或逻辑接口所带来的问题也就不存在了。

四、应用数字计算机对试验结果进行显示

无论在试验终了或是在试验进行之中，往

往要求对试验结果进行直观观察，以判断产品性能如何，试验能否继续进行，通常要求计算机的计算结果立即由宽行打字机和 X-Y 绘图仪分别打印、绘图。从硬件来看，这方面与其他工程的计算机辅助试验的要求基本上是一致的。所不同的只是根据试验项目内容要编制一些作图制表程序。当然，在编制这些程序时应考虑宽行打字机及 X-Y 绘图仪的性能，诸如宽行打字机的列数等等。

五、计算机辅助试验的流程图

应用数字机对液压元件或系统进行试验，其功能不外乎上述四种。有的试验功能可能还少一些。这是要根据试验要求，并考虑技术经济效果来加以抉择。例如某些试验控制并不频繁，那就只要求计算机作数据采集、处理和显示。而有的试验可能对计算机还有一些其他功能要求，诸如要求计算机进行监控、报警并检测设备及仪表在运转前状态正确与否。图 10 是日本制钢所液压研究室高压液压泵效率试验的流程图。

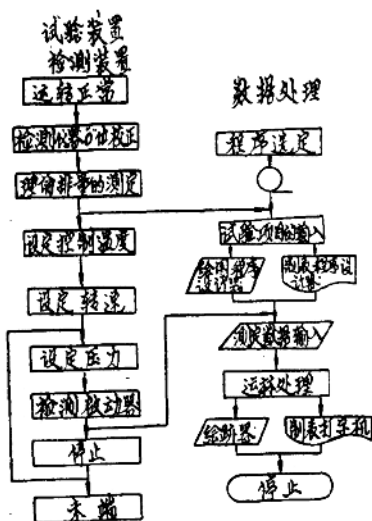


图 10 高压液压泵效率试验的流程图

六、应用计算机对液压元件 和系统进行测试时建议 注意和解决的问题

从上述材料来看应用计算机进行测试,不光是为了减轻劳动强度、实现操作自动化问题。当然,究竟计算机应用到如何程度要作具体分析。我国近几年来在测试技术方面计算机已有所应用,但应用到液压元件和系统试验方面还不多,还有许多问题(诸如软件、硬件和设备等)有待解决。

1. 控制元件方面

目前适用在计算机测试中作执行控制指令的元件不多,品种亦不齐。必须发展以伺服电机、步进电机、力矩马达为驱动元件的压力控制阀、流量控制阀等元器件。还应考虑发展一些能直接接受数字信息的元件。用 A/D 、 D/A 转换器这种方法不是技术上最恰当的做法,因为这样将导致元件复杂而使可靠性降低。数字信息控制机构的优点,首先是负载变化和其他干扰不会使数字式控制系统状态受到影响;其次,摩擦非线性、迟滞性对数字装置的影响不大。从发展趋势来看,射流元件会很好地成为接受数字信息元件的前置级。

2. 精度问题

精度问题对大部分从事液压专业的人员来说几乎是一门新的学问。对试验系统的精度不外乎是测量精度和控制精度。前者主要与传感器的精度, A/D 转换器的位数及速度、采样

周期等因素有关;而控制精度则大多与控制算法, A/D 转换器、 D/A 转换器和信号调节器性能等主要因素有关。传感器的精度是以满量程的百分比来计算,所以较理想的话,最好把测量值控制在量程的 60% 左右,这样精度自然会高一些。但有时单个传感器无法满足这种要求,则采用多个不同量程的传感器来测同一个参数,根据量值的大小来切换传感器。这对压力、温度参数是较容易办到的,而对流量、力矩参数要实行起来就不那么容易了。下表是 D/A 转换器的位数与分辨能力的关系。为了提高精度还采用输入滤波器来消除高频噪声。图 11 为采用输入滤波器的方块图。

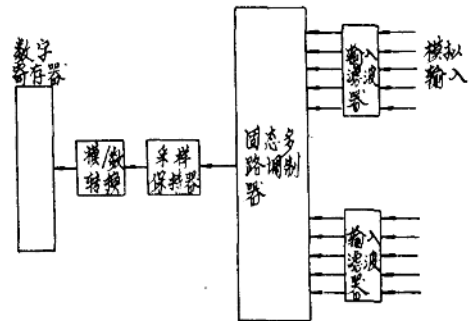


图 11 采用输入滤波器的方块图

3. 充分利用计算机

采用分时系统对多个试验台(或多个试验室)进行测试和控制。要进行分时控制,则要尽量节约计算机运算和控制时间。在数据处理方面采用集中数据处理,在控制方面,可采用开环及闭环两种混合控制,图 12 即系这种控制方法的示意图。在速度图中 $OABC$ 段分别

D/A 转换器分辨率 D/A 转换器的位数	最小步长百分比	最小步长全标尺 = 10 伏
7 位 + 符号位	0.78 %	78.74 毫伏
9 位 + 符号位	0.196 %	19.57 毫伏
11 位 + 符号位	0.049 %	4.885 毫伏

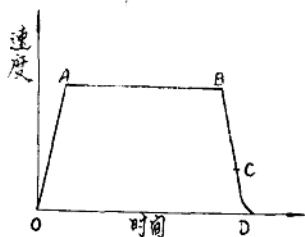


图 12 实行开环闭环混合控制的示意图
为加速、等速、等减速，完全可以由开环控制来实现，只有 CD 段是闭环控制。极大部分时间计算机不需要任何运算，这样就有可能使计算机去执行其他任务或去控制其他控制元件。

4. 发展软件

软件的发展与研究直接决定计算机应用的

深度和广度。目前国内外这方面工作相应来说还是做得较少的，譬如如何建立加速试验和“诊断”产品弊病的数学模型和软件，这些都是很重要的。

结 束 语

从上面罗列的材料来看，计算机并不能支配人类，但可用来解决人们无法解决的问题。至于如何进一步发挥计算机功能，这还有待我们去进一步认识和发掘。深信，如果我们能从实效出发，一定数量有经济效益的计算机测试系统是定会付之实施的。

电液伺服系统测试技术研究

一机部上海发电设备成套设计研究所

李 培 植

一、前 言

电液伺服系统是在 1940 年后为满足航空空间方面对快速响应的控制系统的需要才出现的，由于缺少一种快速的电-机械变换器，致使电液伺服系统没有得到广泛的应用。五十年代初期，出现了快速响应的永磁力矩马达，才使空间技术大量采用电液伺服系统。这种系统综合了电子和液压两者的优点，即用电子作“脑”，液压作“筋肉”，使它具有反应快、控制精度高、工作可靠、功率/重量比大、便于实现遥控及综合自动化等一系列优点，因而日益获得广泛的应用。现在，电液伺服系统已应用于航空、舰船、机床、电站、冶金、工程机械等二十多个行业中。

我所根据国外发展情况及国内对大功率火

电站、核电站综合自动化的要求。从 1973 年开始研制采用高压抗燃油的电液伺服系统。在上海仪表厂、北京石油化工研究院、闵行发电厂等单位的大力支持下，我国第一套采用抗燃油的电液伺服系统 1976 年 3 月在闵行发电厂 6 号机上投入运行，至今已连续稳定运行了五年。在这台试验样机的基础上，我们又为 125 兆瓦发电设备研制了几套电液伺服系统。本文主要总结我们从事电液伺服系统研究中的测试技术问题。

二、电液伺服系统的构成和具体指标

电液伺服系统一般由测量环节(变送器)、定值器、比较放大器、校正环节、伺服放大器、电液伺服阀、油动机(油缸或油马达)反馈环节

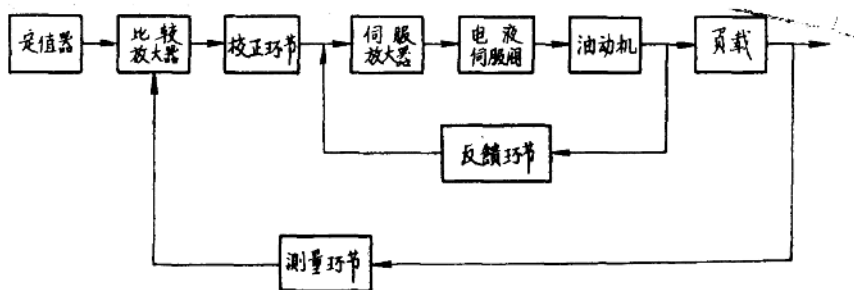


图 1

等组成(图 1)。

整定和校正系统。

发电设备常用的电液伺服系统一般为速度、功率、压力、温度等物理量的控制系统。

电液伺服系统作为自动控制系统的一个分支也具有静态和动态二方面的指标。静态特性方面的指标主要是指在外来扰动已停止一个足够长的时间后系统工作的静态误差值。动态特性方面的指标通常指系统工作的稳定性,以及系统从受到外来扰动作用起到稳定状态的整个过渡过程的品质。这两方面的要求可总括为三个具体指标:

1. 系统工作时的稳定性;
2. 系统的控制精度(包括静态精度与动态精度);
3. 系统的阶跃瞬态响应。

电液伺服系统测试技术的研究主要是研究如何测试以上三个指标,然后据以修正设计,

三、电液伺服系统静态和动态测试方法探讨

1. 静态试验方法

静态试验的目的是为了测得电液伺服系统或其某个部件的静态特性。所谓静态特性是指整个系统或某个部件在稳定时输出量和输入量之间的关系。如图 2 所示

$x_2 = \varphi(x_1)$ ——某系统或部件的静态特性。

静态试验时,往往对系统或部件输入一个

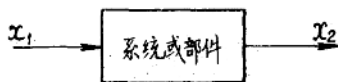


图 2

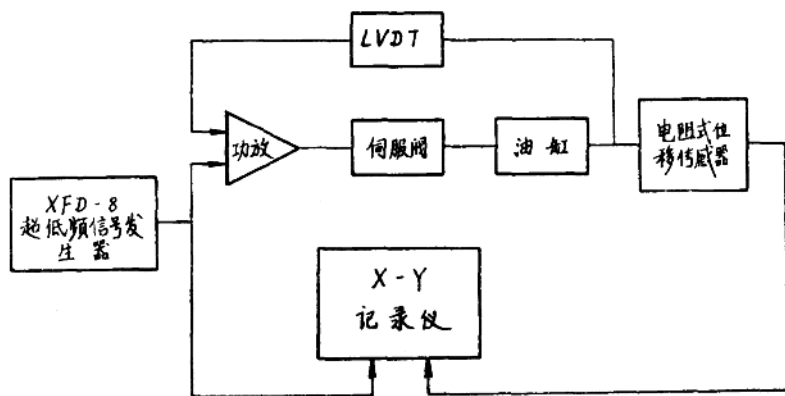


图 3

恒定的输入量 x_1 ，然后在达到稳定时测量其输出量。以后每改变一次输入量，测量其输出量。将所测得的若干点用曲线表达之，我们即可得到某系统或部件的实际静态特性。这种方法称为描点法。描点法测试周期长、精度差、容易产生误差。所以现在均用自动连续扫描法来测静态特性。这种方法中的输入信号是自动变化的，而其变化速度应慢得保证系统处在稳定状态，将输出信号及输入信号同时用自动记录仪记录，记录下来的曲线即为静特性曲线。由于要使用记录仪，所以输入信号的变化速度还得考虑记录仪的动态响应。例如在测试电液位置伺服系统时，往往用超低频信号发生器产生三角波作为输入信号，油缸的位置为输出信号，用 $X-Y$ 记录仪记录输入及输出信号，如图 3 所示。

由于 $X-Y$ 记录仪的频响很低，所以输入信号的频率一般在 0.05 赫左右，频率偏高将给测量带来误差(如回线宽度会比原先的宽)。

2. 动态试验方法

动态试验的目的是为了测得电液伺服系统或其部件的动态特性。所谓动态特性是指系统或部件在受到扰动 $x_1(t)$ 作用时，其输出量的时间响应，如图 4 所示。

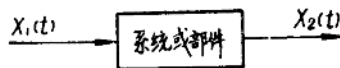


图 4

电液伺服系统常用单位阶跃扰动下的瞬态响应或用正弦扰动下的稳态响应即频率响应来衡量它的动态性能。

下面分别来探讨一下这二种测试方法。

1) 单位阶跃扰动试验

伺服系统的动态性能通常可以用系统对单位阶跃扰动(包括定值扰动及负载扰动)的瞬态响应来表示。产生这种响应比较容易，方法也相当有效，我们电站行业经常采用。下面仍举位置伺服系统为例来说明怎样求取单位阶跃响应曲线。

在电液位置伺服系统的输入端接上一个能产生阶跃电压信号的信号源。油缸的输出端装上电阻式位移传感器，这种传感器近似纯比例环节，比 LVDT (差动变压器式位移传感器) 频响高得多。再用紫外线记录仪或快速记录仪同时记录阶跃扰动信号及阶跃响应曲线，如图 5 所示。

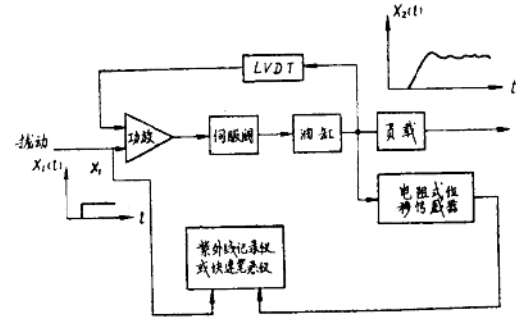


图 5

从阶跃响应曲线，可求取下列指标(见图 6)：

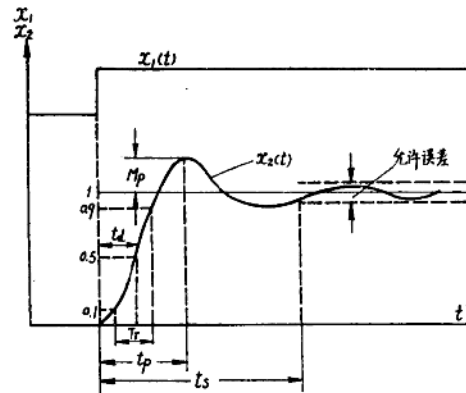


图 6

- ① 延迟时间 t_d
- ② 上升时间 t_r
- ③ 峰值时间 t_p
- ④ 最大过调量 M_p
- ⑤ 调整时间 t_s

还可计算时间常数、阻尼系数等(详细计算方法可参阅一般自动控制原理书)。

试验时应注意, 阶跃响应曲线与初始条件有关。为了便于比较各种系统的瞬态响应, 通常将系统处于静止状态, 而且将输入量和输出量对时间的各阶导数都等于零的情况作为标准初始条件。在这种初始条件下测试阶跃响应曲线。

2) 频率响应试验

系统对正弦输入的稳态响应称为频率响应。对于线性系统, 在正弦输入信号时 $X_1(t) = X_2 \sin(\omega t + Q)$ (如图 7 所示)。

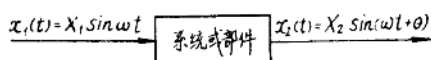


图 7

试验时, 我们在某一频率范围内改变输入信号的频率, 便可得到输出信号与输入信号之比值与频率 ω 的关系式:

$$K(j\omega) = \frac{X_2 \sin(\omega t + Q)}{X_1 \sin \omega t} \quad (1)$$

这种关系式称为系统的频率响应或称频率特性。

式(1)可写成复数形式:

$$K(j\omega) = R(\omega)e^{j\theta(\omega)} \quad (2)$$

式中 $R = \frac{X_2}{X_1}$ —— 输出与输入信号的振幅比,

也称频率特性的模。

$R(\omega)$ —— 系统的幅频特性;

θ —— 输出与输入信号的相位差, 也称频率特性的相角;

$\theta(\omega)$ —— 系统的相频特性。

因此, $K(j\omega)$ 有时也称为幅相频率特性。

频率特性可以分解成实频特性 $A(\omega)$ 和虚频特性 $B(\omega)$ 二部分:

$$K(j\omega) = A(\omega) + jB(\omega) \quad (3)$$

式中 A 为频率特性的同相分量; B 为正交分量。

当频率 ω 从零变到接近无穷大时, $Re^{j\theta}$ 和 $A + jB$ 的值分别在极座标和直角座标上的轨迹称为频率特性曲线, 或称奈奎斯特图。

若以 ω 为横座标, 分别以 R 、 θ 或 A 、 B

为纵座标, 可相应画出幅频、相频及实频、虚频特性曲线, 或称波德 (Bode) 图。根据奈奎斯特稳定判据, 可根据系统的开环频率特性来研究线性闭环系统的绝对稳定性和相对稳定性, 这是频率响应法的最大优点。而且由于动态测试仪器的发展, 使得频率响应法的测试既简单又准确。因此, 目前频率响应法的运用比阶跃扰动法更普遍。

频率响应法一般用频率特性测试仪进行, 该类仪器基本功能是测量 $Re^{j\theta}$ 或 $A + jB$ 。频率特性测试仪一般由超低频信号发生器和计算显示装置二部分组成, 如图 8 所示。

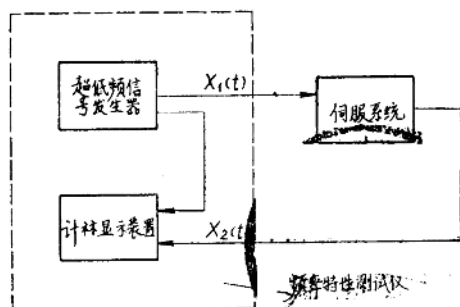


图 8

超低频信号发生器用来产生正弦和余弦信号, 有的还可产生三角波和其他波形, 具有扫频、移相、调频、调幅等功能。计算显示装置用来计算 R 、 θ 或 A 、 B , 并显示计算结果。不同的频率特性测试仪主要是计算显示装置不同, 大致有直接法、补偿法和谐波分析法三种。

直接法是直接用双峰值电压表和相位计测量输入、输出信号的幅值和相位差, 如图 9 所示。

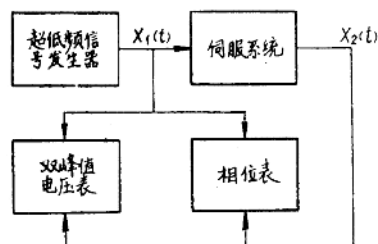


图 9