

国外继电器测试技术与仪器概况

许昌继电器研究所 王正立

摘 要

本文概要地介绍了国外继电器制造厂家在研制和生产中测试技术和设备的概况,着重保护继电器测试工作的特点、水平及发展趋势。

一、概 况

继电保护作为一个专业存在和发展已有近百年的历史了,但是,我们必须认识到它仍然是一个比较特殊的专业。它有其独特的技术和术语,国外工科大学中设立继电保护专业的还为数不多,一个非继电器专业的电气工程师可能具有很丰富的电气知识,但对继电保护却可能一无所知。继电器专业的特殊性给继电器测试带来一定困难,一方面因为适用于继电器测量的通用性仪器仪表满足不了不断发展的继电器测试量的需要,另一方面是因为许多继电器本身就是测量元件或包括测量元件。要求较高的精确度,测试起来有一定难度。

随着静态继电器的发展,需要测试的电气量大大增加,特别是研制和质量控制过程中的测试要求大量增加。此外,如众所周知,继电保护系统在电力系统、电气化铁路系统以及其它应用场合都是至关重要的设备。继电器的动作行为常常决定千百万美元的得失,决定一个继电器厂商的兴衰,因此,对继电器的要求越来越严格,有时甚至是苛刻的,这是其重要性决定的。测试技术是保证这种要求的重要把关手段之一。

近年来,国外继电器制造厂商之间竞争十分激烈,竞争的要点在于质量竞争,或叫做“质量之战”。对继电器这种产品而言,谁的质量高,谁就能独占市场。买主经常愿意出两到三倍的价钱去买高质量的继电保护系统。因此,各公司都把提高质量和信誉当做首要任务。当然产品质量的提高有很多因素,然而测试手段是至关重要的。很多公司在专用测试技术和设备研究方面投入了相当大的人力财力,他们把自己的一套质量控制测试手段作为专有技术并加以保密。这又给测试技术披上了一层神秘的面纱。

继电器的特殊性、重要性和对其质量要求的严格性以及静态化的必然性决定了继电器测试技术的发展。

二、国外继电器测试工作的特点

根据近几年来通过各种渠道收集到的美国通用电气公司(GE)、西屋公司(We—sting House)、西德西门子公司(SIEMENS)、瑞士BBC公司、法国运动机械公司(TE)、英国通用电气公司测量分公司(GECM)以及日本日立公司和瑞典ASEA公司的情况和资料,进行了初步分析,发现国外继电器测试方面有如下特点:

1. 专业测试人员队伍实力雄厚

保护继电器静态化的趋势已十分明确,国际上各主要继电器厂商,除ASEA在70年代又更新一次机电式继电器外,都早已放弃了机电式继电器研制发展,全力以赴发展静态继电器。西门子公司已把静态继电器的生产比例提到86%,为世界第一,BBC约占40%,其它占25~40%不等。

静态继电器的研制、生产与机电式大不相同,机械加工另件减少,唯一制造难度较大的零件是高质量的印制电路板。而印制电路板正是电子工业的通用件,矛盾比较突出,随着电子计算机辅助设计,反镀法和叠加法等设计制造技术的发展,问题已基本解决。几乎所有的继电器用电子元件都是外购的,继电器厂的组装性质越来越强。制造厂的任务就是设计、组装,结构生产以及一系列的试验调试。从原材料入厂到整机出厂,测试工作成为相当重要的技术工作。这样,专业化测试技术队伍的形成就是自然的了。

测试技术人员包括从事软件工作的人员,负责设计测试方案、方法,决定测试点,提出新测试设备的技术要求,编制计算机软件等。还包括测试设备的设计制造人员。此外,测试技术人员还包括从事调试的人员。这样,在西门子和BBC公司的具体继电器厂中,如西柏林的MWB和巴登的BBC继电器主导厂,测试人员占25%左右。

此外,在大公司内部常设有专用测试仪器制造厂,负责提供专用、特殊测试设备。如西门子设在Karlsruhe的一个工厂提供了MWB继电器厂90%专用测试设备,其中包括元器件自动检测机,单板及整机调试机等复杂设备。有的继电器厂本身又是仪表厂,自己生产专用测试仪器,如GECM和日立的那柯工厂,前者1750人中配有20名专用仪器设计工程师从事设计。

公司内部一般还都有工业基础研究试验中心和测试中心,制造厂还可以通过合同关系请这些部门协助解决测试问题。

2. 计算机化

国外继电器厂中,计算机的应用已经相当普遍,无论是在办公室、计划、财务和人事部门,还是在设计室、试验室、资料室以至车间,到处是计算机终端设备。在管理和设计方面多采用中型机,而在测试多是微型机。

在国际市场上,微型机构成的通用仪器发展非常迅速,一些体积小造型美观而性能优良的仪器已在继电器厂中广为使用,如微型机存储示波器、逻辑示波器、频谱分析器、计时器、多功能数字电压表、大规模集成电路自动检查仪等一系列仪器仪表。此外,一些专用性的微型机测试台也相继问世,如印刷电路板质量检查机,单板测试机、

整机调试系统，故障自动分析系统等等。微型测试设备的特点是硬件标准化程度高，大屏幕显示，可以打印制图，使用方便，使测试精度，效率和复杂程度大大提高。

图 1 和图 2 是静态继电保护系统生产流程图，从中可以看出测试的重要作用及微机仪器的应用。

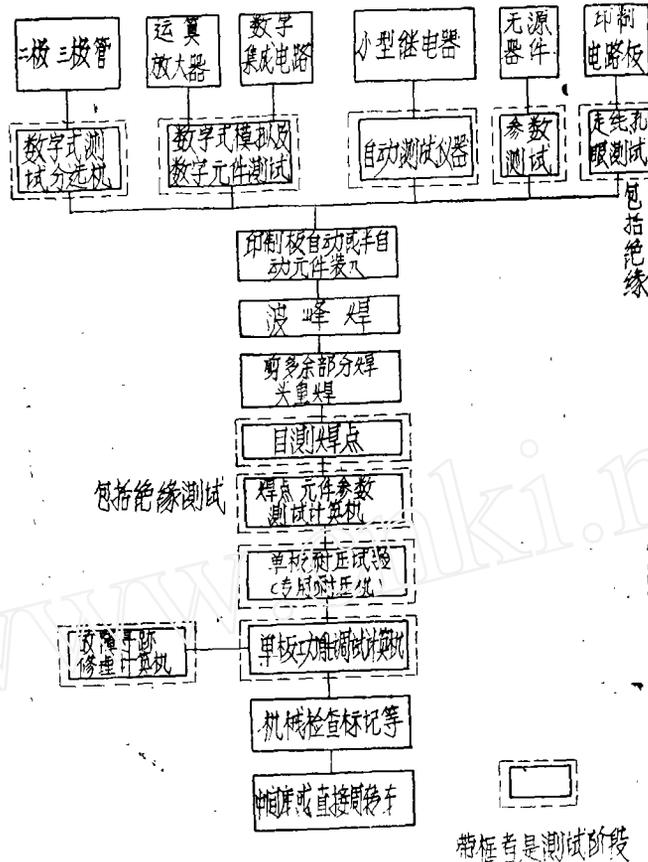


图 1 插件的生产流程

3. 测试紧密配合标准的制定和实施

为贯彻各级标准，必须建立起完善的测试能力，否则标准的实施就不可能。在这一点上，西方各公司的做法是把工作做在前面，积极承担各种国家和国际标准的验证试验工作，以便掌握标准试验方法，及时发展新仪器，保证产品符合标准。

下面是西门子公司柏林MWB工厂根据IEC255、VDE0435、VDE0110等标准新增型式试验项目一览表（至1976年），从中可见其测试技术在配合标准实施方面的大致进程。

- 1970 1/50us、5KV脉冲电压绝缘试验
- 1971 -10~+60°C温度变化对静态继电器的影响
- 1971 供电电压变化影响，0.8~1.1U_n

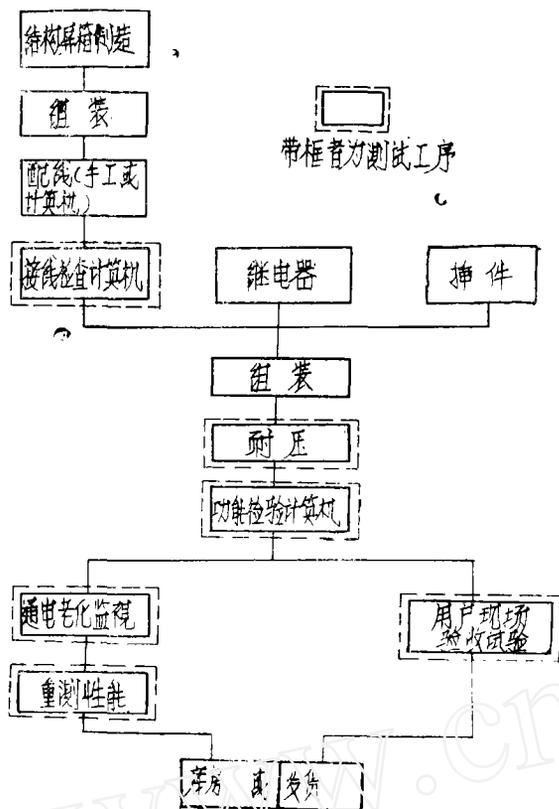


图2 保护装置和系统制造流程

1971 电源中断时继电器误动可能性试验

1972 高频干扰试验, 2.5KV、1MHz持续14μs

射频干扰试验

电磁开关影响试验

1972 电压和电流互感器中点偏移的影响

1972 饱和与非饱和型电流偏移的影响

1973 非对称性故障对测量准确度的影响

1975 供电电压中断50ms~70ms时间内保护功能保持能力试验, 供电恢复之后保护功能恢复能力的试验

1975 电弧造成电压波型畸变影响试验

1976 低于50HZ谐波的影响试验

1976 对发电机保护试验频率提高10~50HZ的影响试验。

1976 对极短时间故障的反应试验

1976 1V高频干扰试验(IEC-18-458)

.....

从上面可以看出, 没有一定的测试技术和设备水平, 上述试验是不可能做成的。虽然上列很多项目现在我们是不能做的, 但很快就会成为我们研究的问题。

4. 测试仪器采用快、见效快、更新快

西方各公司平均每5年更新一次静态继电器产品, 测试仪器的更新换代也不亚于这个速度。所以各继电器厂都很重视测试仪器的情报工作。例如BBC在巴登的继电器厂就专门派人巡回于各主要场所收集情报, 一旦有新的测试技术和仪器出现, 就立即通知本部决定购买还是自制。

把先进的测试仪器投入生产线, 只要在产品 quality 上或生产效率上能见效, 公司在投资上是毫不吝惜的。价值几十万美元的测试仪器在生产线上到处可见, 几十套工业电视系统安装在车间生产线上, 用来检查小齿轮咬合或继电器触点系统也并不少见。

先进的计算机系统的出现, 大大地节省了各公司在仪器更新方面的投资, 因为计算机硬件系统几乎是通用的。这也是微计算机在测试方面迅速发展原因之一。

5. 便携式现场调试仪器配套供应

继电器现场调试仪器对继电器的维护、修理和安装验收很有帮助，对于继电器的销售也有一定影响。各公司都已完善了自己的一套现场调试仪器，可随继电器一起成套供应，也可单独定货。这些仪器的共同特点是组合式、独立成章、便携、使用方便，与继电器连接简便等等。

便携式测试仪器一般说来在技术上难度都不是很大，关键在于巧妙的回路安排、紧凑多变、简单便宜。其中，调试电流、电压、差动阻抗等继电器的仪器的共同要点，是要有一个三相可调相调幅电压电流源。一种方法是用抽头式移相变压器实现，如日本日立仍在使用的TR-4测试系统中的移相单元。这种方法移相准确，输出功率较大，但作为三相移相电源，体积重量较大。一般都采用如图3的简易电路。

这里，让 $X_L = R$ ，则饱和电抗器的电压降与电阻上的电压降幅值相等，且电抗器上的电压降超前电阻上电压降近 90° ，即超前电流近 90° 。这样，调整饱和电抗器二次抽头和电阻上抽头便可改变 V_A 从 $0^\circ \sim +90^\circ$ 。如把电抗器二次绕组变变方向则可调 V_A 从 $0^\circ \sim -90^\circ$ 。自耦调压器可调整电压幅度。瑞典ASEA公司用这种线路做成的测试仪器可输出三相电压 $0 \sim 110V$ ，每相 $5VA$ ，电流输出达三相 $10A$ 。

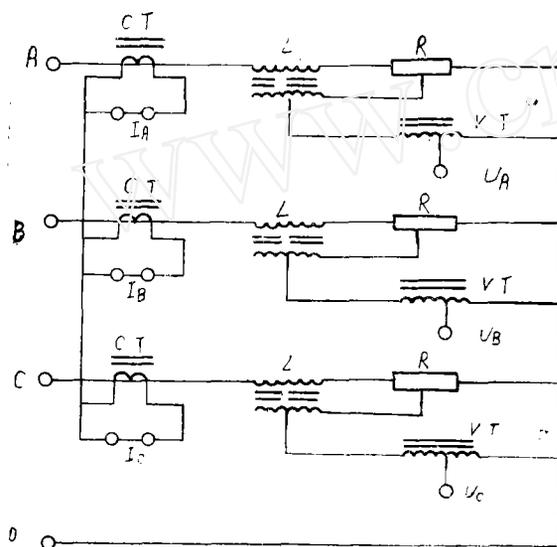


图3 三相移相电压电流源

美国GE公司甚至采用更简单的单相电源供电的阻抗继电器便携式校验器。见图4。

有些继电器在现场调试是极不方便的，例如准同期装置，需要两个不同步电源和差拍过零触点，用一般方法实在是既不方便又不经济，有时甚至是不可行的。瑞典ASEA制造了一种小巧的现场调试仪器，使用十分方便，两个电压可调，频差可调，缺点是只有 $2VA$ 输出（方框图见图9）。

三、几种典型继电器测试设备概况

1. 动态模拟和暂态过程试验

这些试验设备都是研制和更新线路保护和电力系统元件保护的必备设备。各公司都有一至两个试验室。目前动模试验都是在物理模拟的设备上进行的，只是各家的电压等级和容量各异，最高电压等级用到 $1000V$ ，最大机组容量达 120 千瓦（BBC）。数据处

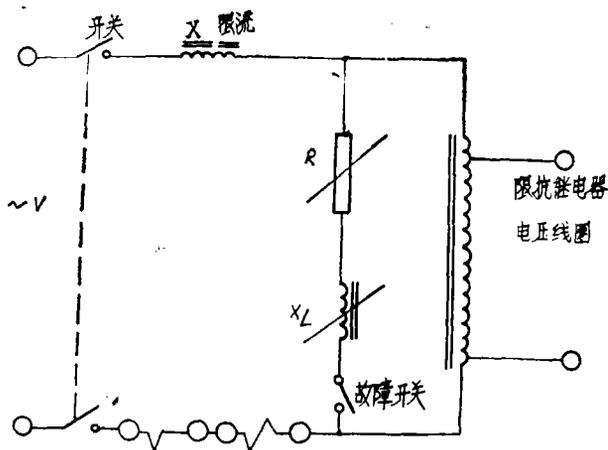


图4 使用单相电源调阻抗继电器的便携式仪器电路图

理多采用计算机系统，能自动记录、打印、描记被测数据，并能计算分析。例如作出一个阻抗轨迹与继电器特性之间的时空图只需几十秒钟。

2. 电子器件自动检测仪器

这些仪器是通用仪器，但在静态继电器的研制生产中作用很大，使用数量也很多。国外继电器厂多采用自动或半自动可编程的仪器，以极高的速度和准确度检测元器件。例如西门子生产的725型微机检测仪，能以1MHZ

的速度测试中小规模集成电路。另一种自动分选机(1108~HSS型)，则可以在120°C以下任一温度下自动分选，分选速度10000只/小时，可分选为8组，一切操作都是自动的。

晶体管器件的早期失效问题一直是困扰我们静态继电器发展的重要原因，各厂都设有晶体管老化筛选工序。西方继电器厂的做法与我们不同，他们有三个措施解决这个问题。第一是与生产元件的工厂订立质量验收标准，规定验收时如有1%~2%的次品即全部退货。让制造厂去做晶体管老化筛选工作，因为制造厂对晶体管器件的设计工艺可进行调整以改进性能。有时也可以请第三者做老化筛选工作，如一些专业的测试中心。第二是严格压缩和控制采用元器件品种和厂家。第三是严格的入厂检查，一般是100%检查高低温下性能指标，固体电路还有密封检查等。

3. 印制电路板组合的检测仪器

国外各继电器厂均实现了静态继电器的功能组件化，所以尽管产品的品种很多，但插板的品种是有限的。这就有可能实现高效率的检测。常用的测试机器有：

1) 印制电路板走线、金属化孔以及线间绝缘检测设备。

用这种测试设备可以自动检查出被测印制电路板电路线条的正确性，绝缘性能，错误连接等。也可以用于检查配线的正确性。在检测印制电路板时，印制板的焊盘点与一个高度可靠的触针系统接触。哪些点之间测连续性，哪些测绝缘都由程序而定。一般一次测两点，电阻值是判据，一般整定范围1~100Ω。耐压测试的电压可达500VDC或1800VDC。在被测电路板更换时，要同时更换程序和触针系统。这里被测的电路板是指不加元件的空板。其原理示意图如图5。这种测试计算机的代表性产品是西门子的SPS-VD40-R，其内存为16KBYT，可扩展到64K，测试点可达31968个，测试速度为每分钟3000点。试验结果打印制表输出。

2) 印制电路插件在路检测、故障寻迹设备

印制电路板元件装配、焊接、剪去多余引线、重焊之后，往往要检查焊接质量如

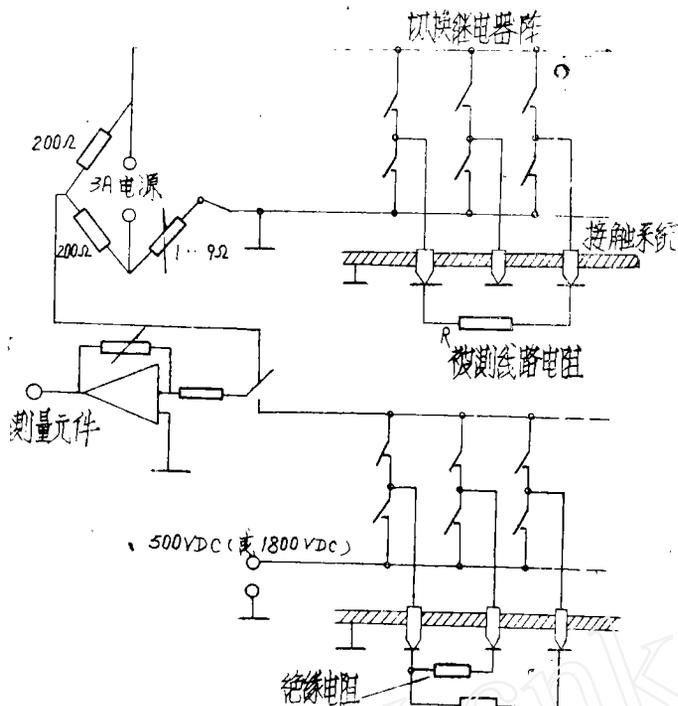


图5、一种印制电路空板检查仪器原理示意图

列或美国GenRad公司的1796系统。这些都是完整的计算机系统，可调试模拟或数字电路，功能十分齐全，适合于大批量高效率生产。但造价都很高。

4. 时间测量

在上述的计算机校验设备上，几乎可以测试继电器的各种参数，时间参数也不例外。简单继电器，或机电式继电器仍然有单独测量时间参数的要求。各种时间参数的测量已不是什么问题，数字式毫秒计已全部取代了机械式仪表。有触点继电器的动作过程由记忆示波器或存储示波器记录分析是很方便的。典型的数字毫秒计方框图如图7所示，它不但可以由各种触点动作和电位变化控制起停，还可通过交流量控制，或反过来控制继电器的动作与返回。

5. 继电器整机测试设备

继电器整机测试设备在几家继电器厂之间参差不齐，甚至在一个厂中也存在好几代测试设备，老式仪器设备多半用于机电式继电器的测试，计算机式的校验台多用于静态

何，元件按装正确与否。这部份工作已有专门的测量计算机完成。如美国PLANTR-ONLCS公司的TROUBLE SHOOTER900。仍然是用触针系统和被测板连接，往往用负压（抽空）的办法使被试板紧密接触于触针系统同时，加以适当的振动，测量每两点之间的电阻值或二极管三极管的单向导通性。可以打印或显示出有问题的点的编号，然后进行修理。其方框图如图6。

3) 印制电路插件功能检测计算机

校验印制电路单板电气性能，已有成型的计算机系统。如西门子的SPS-100系

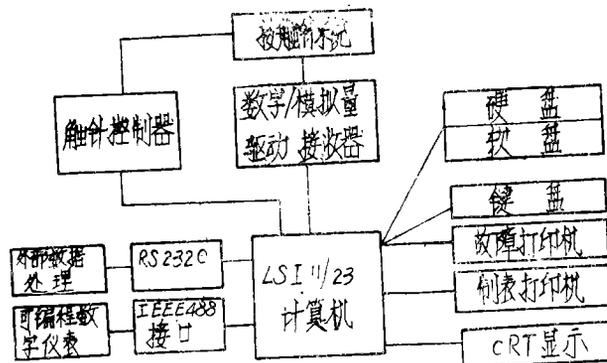


图6、900型系统图

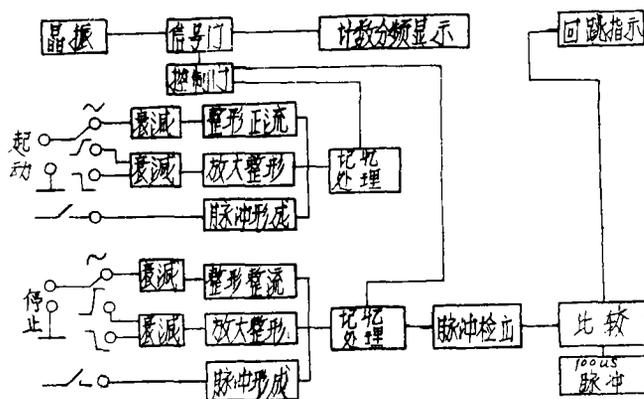


图 7、数字毫秒计示意图

继电器生产。总而言之，测试设备设计人员的重点努力方向在于量大面广的产品，调试非常麻烦的产品以及现场调试很困难的产品。

反时限过流继电器是一个量大面广的产品，各公司无不下功夫在技术完善性、产品质量和价格上提高竞争力。美国GE公司在波多黎各岛上的继电器厂以每分钟一台感应式过流继电器的速度生产，其测试

手段可想而知。西门子生产的7SK88和英国GECM1982年10月份投产的微机型过流继电器，都有几种可选择特性，校验比较麻烦，同时该产品价格要低于机电式，故要求采用半自动式的校验设备，自动打印报告，其方框图见图8。

载波机的核心问题是滤波器设计制造和调整。BBC公司自己研制的载波机高、中、音频响应特性测试仪器，使用方便灵活，效率很高。

像距离、相差等较复杂的保护装置，测试项目很多，调试起来很费时间。现在已达到了用计算机校验的水平，不过还只是人机对话的方式逐项进行。其主要硬件设备除了微型计算机及其外围设备以外，还有矢量示波器，可编程电源等。这种设备可提高效率1倍。

对于像准同期装置这样的自动化继电器，现场调整很困难，有的公司就发展了现场调试仪器，例如ASEA公司就制造了一种小巧的准同期调试仪器。其方框图示于图9。该继电器频差可调范围 $\Delta f = 1\text{HZ} \sim 0.05\text{HZ}$ ，幅差 ΔU 可调范围 $-50\% \sim +150\%$ 额定值，输出功率2VA，测试的指示准确度2%。外型只有 $250 \times 170 \times 300\text{mm}$ ，重仅9公斤，该仪器有差拍过零触点输出。

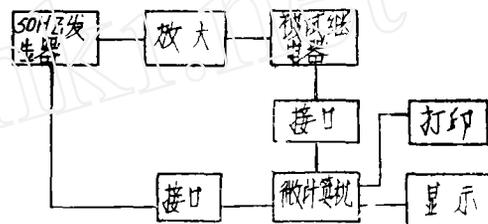


图 8、过流继电器 测试台框图

四、发展趋势

继电器测试的一个发展趋势是测试与调整、测试与加工以及测试与装配交错在一起，形成一个自动生产链，使它们之间的界限不再是泾渭分明的。

西门子公司在柏林的一个继电器厂里，有一条小型中间继电器的生产线，年产600万只，其自动化程度很高，几乎没有人工操作。该继电器的动作值、返回值、动作时

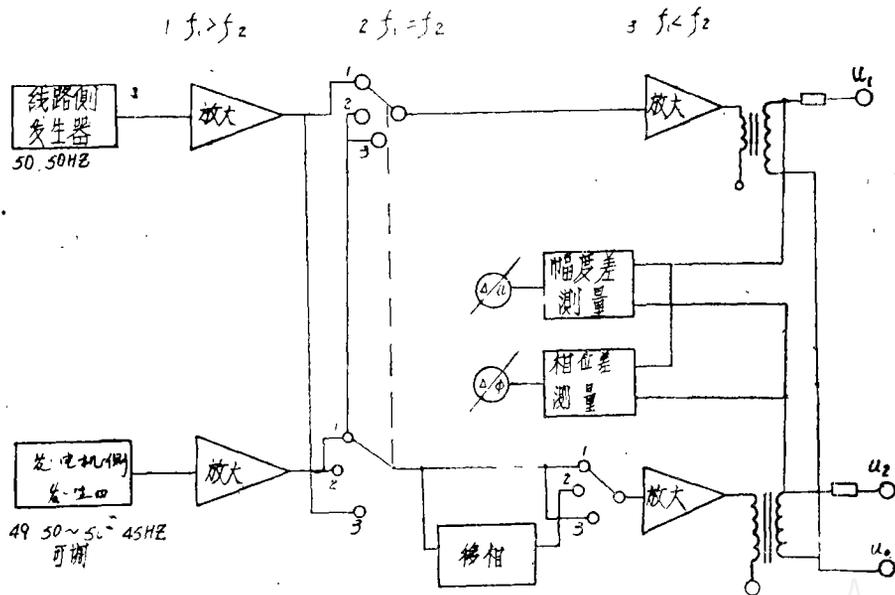


图 9、准同期测试仪原理图

间、耐压等一系列试验都是逐项按程序自动进行的。合格品进入包装区，废品进入各自的废品箱。最明显的是触点压力的调整和测量是同时完成的。当一个机械手把一只小继电器（没外壳）放入插座之后，触点片的调整杆组合和测量杆组合从两侧插入触点片空隙间，于是，继电器通断电与调整杆测量杆协调配合，3至5秒钟内就完成一台触点组合的调整。再如继电器线圈的制造，GECM公司已经能把绕线、刮漆包线皮、焊头、测匝数、测短路、测耐压以及塑料密封浇注等多道工序用计算机统一连接起来，形成制造、测试自动线。

另一个趋向自然是计算机测试仪器的进一步完善，世界范围的硬件标准化，公司内部软件的通用化。

特殊测试仪器标准化、通用化，新的测试问题又不断出现，这也是继电器测试技术发展的一条规律。

五、结 语

国外继电器测试技术与仪器状况是其技术和社会发展的产物，如何吸收学习其长处，根据我国情况安排我们的工作，有待于集思广益。不过，认清测试工作在继电器设计生产中及维修中的作用，建立测试工作专业队伍，则是当务之急。