

可编程仪器的标准指令 (SCPI)

中国惠普公司 高建华

前言 在过去的20多年中,电子测量仪器的技术和水平有了很大提高,各种各样的自动化测试系统被广泛地应用于各个工业领域,大大地提高了测试系统的准确度和速度,减少了人为误差。这一切当然要归功于HP—IB (IEEE488) 总线标准的开发和实施。但是随着带HP—IB的仪器不断增多,不同厂家、不同时代的仪器往往采用互不兼容的编程语言,给自动测试系统的设计与开发人员带来了许多麻烦。IEEE488.2的实施,使得各个仪器生产厂家不得不重新考虑其编程语言的发展方向和总体战略。美国HP公司为了迎接这种挑战,首先在公司内部实施和推广标准化的编程语言TMSL (Test and Measurements System Language),经过一段时间的试验和改进,被工业界接受为标准语言,并重新命名为SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments)。本文将讨论有关SCPI的基本特性及兼容性有关的问题,特别是“树型网络”结构指令集;还将论述用于SCPI的标准化仪器模型。目的是使编程人员对SCPI的基本原理和使用方法有一个初步的了解,为今后的工作打下基础。

简介 当人们运用带HP—IB接口的仪器组成自动化测试系统时,遇到的第一个难题就是编程语言的复杂性,虽然HP—IB接口为仪器与计算机之间交换信息和指令提供了硬件基础,但通过这一总线传递的指令(也即编程语言)是不规则的,没有任何连续性的,有些仪器采用最基本的二进制码来编程,而有些仪器则使用高级语言编

程,如Pascal或C语言。数据的传递格式更是多种多样,有些用ASCII码,有些则用简单的二进制码。每当仪器厂家推出一种新产品时,编程人员就要重新编写大部分程序,即使是同一个仪器厂家的更新换代产品,也避免不了这种状况。更严重的是,在同一台仪器中,助记符和参数的表示方式及执行过程也不一致,这是因为过去的仪器主要是根据前面板特性来设计和操作。

1987年,IEEE488.2问世,在一定程度上对信息和数据的格式,信息交换的规程(协议)以及大多数仪器经常用到的公用指令作了一些标准化规定,使得计算机能运用连续性和一致性较好的语言来控制各种仪器,从而便于编写更高级的测试程序。需要说明的是,IEEE488.2只对那些涉及仪器操作功能的公用指令做了定义,而不是针对那些进行测试和信号处理等工作所必须的指令,这样做是为了使仪器的设计人员能进一步提高未来仪器的测试效率。

过去,用来对仪器进行遥控处理的编程指令都是特定的,每当添加新的测试功能时,只考虑尽可能方便地把它加进去,并不考虑提高仪器的可编程能力,更不考虑它是否与现在的特性风格一致,而且同一条生产线上类似产品中已采用的某些相近特性也不予以考虑。

规定编程语言格式的基本目的是使自动测试系统的设计开发人员能迅速简便地编写使仪器完成各种遥控处理功能的程序;当然,也为了尽可能地与前面板操作类似,各种代码能重复使用。

理想的编程语言应当是与前面板无关

的，它主要考虑如何使指令助记符，各种参数的格式及程序的执行最佳化，而且还要考虑到格式的连续性和一致性，以及代之的重复使用性，为将来进一步完善编程语言打下基础。

可编程仪器的标准指令 (SCPI)

1989年8月，美国HP公司向工业界公开了一直在HP公司内部施行的“测试系统语言”(TMSL)，一种旨在使测试程序的开发人员便于掌握的富有逻辑性和一致性的编程语言，经过仪器界的反复评估和研究，于1990年4月被接受为工业标准，并重新命名为“可编程仪器的标准指令”(SCPI)。这一标准指令的问世，实现了助记符的一致性和统一的参数格式，以及一致性的执行方式和功能扩展战略。下面将简单介绍SCPI的主要特性及对测试工程师来说有哪些好处。

与现行工业标准的一致性

SCPI主要是以现行的工业标准为基础，特别是严格遵循了IEEE488.2的一些规范，还参考了IEEE754标准中的一些有机浮点变换的规范。另外，还参考了一些与完成特定的测量功能有关的相应标准。这样做兼顾了各种专有的技术规范而对仪器的硬件结构并无过多要求。

指令结构

助记符 SCPI的助记符均按“简略式”规则书写，具体规则如下：

1. 如果一个英文词的字母个数少于4个，这个词本身就是一个助记符。
2. 如果一个英文词的字母个数超过4个，则用前4个字母作为助记符。
3. 如果一个助记符的结尾是一个元音字母，则去掉这个元音字母，只保留3个字母。
4. 如果不是一个单词，而是一个句子，则使用第一个单词中的第一个字母和最后一个单词的全部字母。

下面通过实例来说明，如下表所示，左边为单词，右边为助记符：

单 词	助 记 符
Frequency	FREQ
Power	POW
Free	FREE
AC Volts	ACV

可以看出，第四个字母如发元音，则去掉该字母，这是基于人们的日常习惯，如POW比起POWE来说，更能使人明白它代表了POWER一词；在任何情况下，SCPI均可以接受一个完整的单词或按上述规定简略后的助记符作为指令，如FREQ或FREQUENCY都可用作SCPI的指令，但不可以使用FRE，FREQUEN或FR等等；对于那些以一个句子作指令的语句来说，只用第一个单词的第一个字母和最后一个单词的全部采作助记符，如“Direct Sequence”可写为“DSEQUENCE”但不能写为“DSEQ”，“DIRSEQ”或“DIRECTSEQUENCE”等等；另外，SCPI标准允许使用“角标”来提示说明助记符，如Power可写为POWER。这种结构的优点是：一旦选用一个特定的单词作指令，即可根据上述原则方便地写出助记符，从而迅速地学习和掌握仪器的编程方法，从事程序开发工作。由于可使用完整的单词作为助记符，使得测试程序非常容易看懂，而且也便于作为文件保存起来。

层次结构 SCPI可将多个助记符连起来构成一个复合词，而助记符之间用冒号隔开，以表示一个完整的功能，如设置输入表减器(Input Attenuator)可写为INPUT:ATTenuator。为什么要采用这种多层结构呢？首先，4个字母的助记符很可能在一

台仪器中频繁使用,而带来一些冲突,从而影响了助记码的效用。如果采用多层结构,单词的意义能更明确,而且在“树型网络”结构中的位置也是固定的,可避免冲突。如设置一个输出衰减器(Output Attenuator)指令可写为OUTPut: ATTenuator,这样,不管是输入系统还是输出系统,均使用衰减器(Attenuator)这一单词,但它们分别处在“树型网络”的不同位置,不会引起任何冲突。

节点设置 在编程过程中,对那些最常用的功能,一般设置成简短的指令,这就要求在“树型网络”结构中的一些主要位置上设置分支节点。举例说来,有很多指令是与输出状态有关的,如衰减器(Attenuator),滤波器(Filter),偏移设置(Offset)和结果输出(Enabling)。在这些指令中,我们发现结果输出是最常用的,故设置这样一条指令为“OUTPut [STATe]”,如设置一个分支节点,就可将“OUTPut: STATe: ON简写为OUTPut: ON,省略了STATe。这种分支节点的设置对将来进一步扩展编程语言是非常重要的。比如说,在输出部分有一条指令是滤波器(Filter),若不加任何处理,它会成驱动一个低通滤波器的功能,如果将来要加入一条指令用于驱动一个高通滤波器,显然就会引起冲突,为避免这种状况,可在滤波器这一指令下面加入一个分支节点,以补充说明其意义。这样,用于驱动低通滤波器的指令可写为OUTPut: FILTer [LPASs],而用于驱动高通滤波器的指令可写为OUTPut: FILTer [: HPASs],因此,在滤波器这一功能上加入分支节点是非常重要的。如果原来的程序只可用于驱动低通滤波器,那么它既可以扩展成用于驱动高通滤波器,又可令新仪器执行它原来的功能。既保持了兼容性,又便于扩展。

标准参数格式

在SCPI中规定了几种标准的参数格式,对非标准格式则不提倡使用。数字格式,除了使用ASCII码以外,还可以采用数值近似,如无穷大(INfinity)可表示为9.9E37,NAN,非数字信号也可由它来表示。另外,所有的数字格式还可接受最大值(MAX)与最小值(MIN),它们还可用于疑问词,以确定有效数字的最大值和最小值,如一个输入衰减器可在0—70dB的范围内根据步进长度设置一个具体的数值,但不可超过70dB,所以当指令INPut: ATTenuator? MAX出现时,其结果会显示为70dB,因而可提示编程人员不可将衰减量设置为大于70dB,另外,在70dB范围内,如果步进长度为10dB,当接到指令“INPut: ATTenuator38时,它会自动地设置为40dB,即自动进行近似修正,并提示编程人员。只要一个参数可用数字表示,在SCPI中就必须采用数字格式,对那些定性参数,如滤波器的低端和高端截止点,就很难用数字表示,因为低和高是相对的概念,某个滤波器的低端可能是另一个滤波器的高端。

逻辑参数: 各种逻辑参数,如开(ON)和关(OFF),1和0都是有效参数,ON和1分别与OFF和0相对立。

开关参数: 在多个可选择参数的情况下,可用字符和分割号来注明,如触发信号可来自内部,外部,也可来自总线或直接触发,故可表示为:TRIGer:SOURce/INTeRnal/EXTeRnal/BUS/IMMediate。

耦合 当一个功能与另外一个功能相关时,SCPI可通过自动功能(AUTO)指令来进行控制,即由AUTO指令根据其中之一来自动决定仪器中另一相关参数的设置或数值。AUTO指令有三种选择:开(ON),关(OFF)和一旦(ONCE)。当执行ONCE指令时,会自动将仪器置为开(ON)状态,然后再变为关(OFF),并将测得的数值保持不变。

数据变换格式

SCPI的数据交换格式描述了一种数据结构,用来作为仪器与仪器之间及不同应用场合情况下交换特征数据。这一部分是以Tek公司的模拟数据互换格式(ADIF)为基础,经过修改补充到SCPI中去的。数据互换格式,使得用户可附加测量条件,换算数据及添加时间和数据特征。当然,也可阻止测量结果和波形数据的传输。这种结构可实现信息的存贮,并在不丢失数据的前提下以一种标准的格式将数据传输到另外一个操作点,并可进行其他处理。

兼容性 SCPI将兼容性问题分为三个方面:一是纵向兼容性;二是功能兼容性;三是横向兼容性。所谓纵向兼容性,是指同一类的仪器应具有相同的编程方法,以电压表为例,HP3458, 8位半电压表与HP3456, HP3457, 6位半电压表虽然推出的时间不一样,性能也有分别,但他们采用相同的编程方法。若考虑到语言方面的一些问题,要实现这一纵向兼容性是很困难的。因为还有其他一些因素会制约这一兼容性,如测量准确度,仪器特性,运行速度和测量范围。可以说兼容性对每一个仪器设计者来说,都是最困难的工作,有些也不是SCPI可以完全解决的问题,但无论如何,SCPI提供了标准的指令,最大限度地减少了设计新产品时所面临的难题。

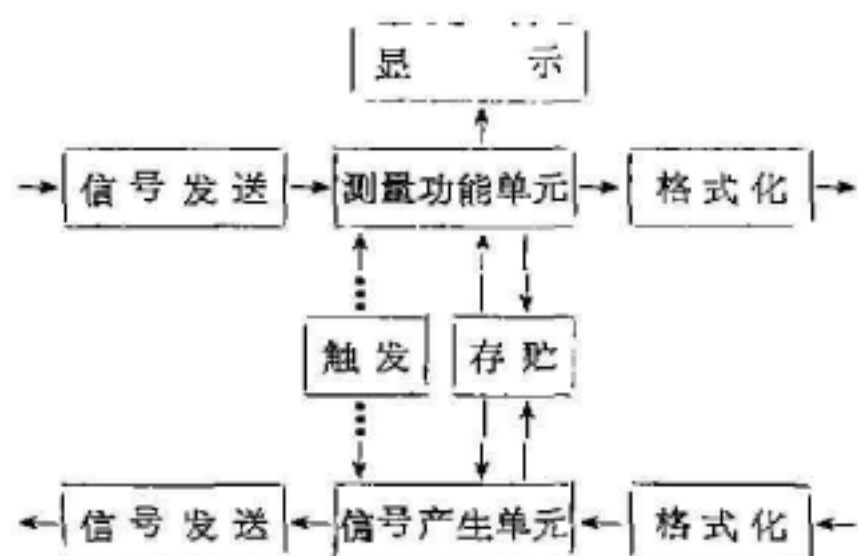
第二种兼容性是指功能方面的兼容性,也就是说,要完成一项类似的测量工作,其编程指令基本上是一致的,比如说,一个射频信号源和一个频谱分析仪都具有扫频控制功能,所以其控制指令基本上一致。另外,在SCPI的“树型网络”结构中,可放入一些标准模型,以便将来供用,从而保证了连续性和一致性。

第三种兼容性是横向兼容性,它是指不同类型的仪器若进行的测量工作一样,其指令应当是相同的,而不管这些仪器分别采用

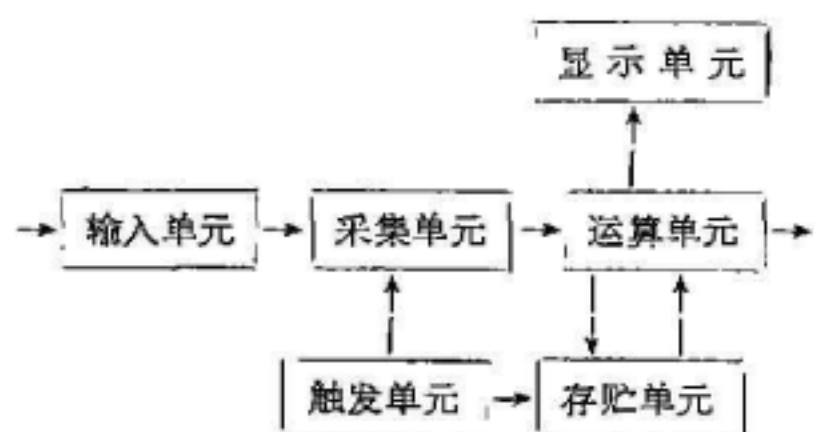
了什么样的设计和测试技术。比如说,用HP54501数字示波器和HP5335频率计分别测量一个信号的频率,其指令应当是同样的。

仪器的SCPI模型

横向兼容性与功能兼容性的目标是使任何一台仪器在执行同样的测量工作时,其编程方法和指令是一致的,为了实现这个目标,专门设计了一个仪器模型,以说明在一台通用仪器中,信号的处理过程,如图1所示:



在图1中,每一个小方块对应于SCPI中的一个子系统,分别用于产生信号,处理信号和测量信号等等。当然,一台仪器不一定具备所有这些功能,但可根据需要只选择与其有关的部分指令。这样可使编程人员不必了解一台仪器实际上是怎样完成具体的测量工作。总的说来,在上述模型中,并未详细描述实际的数据采集和处理过程,但对测量功能部分,在SCPI中,有更进一步的描述,如图2所示:



除了测量功能部分以外,对信号发生器部分也有类似的描述。这样,便于编程人员找出专门用于仪器控制的指令。不过,要精密地控制一台仪器完成更复杂的测量工作,单凭这些高级语言有时可能不够用,这时编程人员会牺牲一切横向兼容性以达到测量要求。另外,为了保证功能兼容性,SCPI作了一些规定,以将各种指令分别放在“树型网络”结构中的某一位置上,从而更有效地运用更详细的模型,使“树型网络”结构更便于使用和扩展。

以信号为目标的测量方案

在传统的测量系统中,都常都是由特定的硬件来完成某测量工作,测量技术也受硬件的制约。当编程人员编制自动测试程序时,必须先了解某台仪器的内部硬件结构以及每项测量工作在硬件中如何实现,然而MATE/CIIL程序的开发和应用,使人们意识到应当以所要测量的信号为目标,而将仪器的硬件做必要的设置。为此,SCPI根据这个概念做了适当的规定,以扩展其范围,实现更高层次的测量,同时又不失其灵活性。

SCPI的最高层次指令是测量(MEASure)功能,这一指令可使仪器进行相应的设置,数据的采集和处理,以达到所需的格式,当送出这样一条指令“MEASure:VOLTage:PERiod?”时,会重新设置电压信号的周期。当需要对仪器所能提供的测量功能进行微调时,可利用MEASure指令中两个相关的附加指令:CONFigure(设置)和READ(读出)。CONFigure的作用是对测量进行静态设置,而READ指令则执行数据采集和后期处理工作。之所以附加这样两条指令是为了使编程人员可根据被测件的特性适当地调整设置状态,并进行有效的测量。在READ指令中,又可进一步分为INITiate(初始化)和FETCh(提取),INITiate是进行数据采集,而

FETCh是完成后期处理,这对测量非周期性信号来说,是很有价值的。

各种指令的参数是根据测量工作要求进行描述,取消了“范围”这样一个概念,而代之以一个具有具体数值的参数,如精度参数是以绝对精度来表示,而不用相对百分比,这些指令与以信号为目标的测量功能结合在一起,成为SCPI的重要组成部分。但是,为了实现低层次的编程,还有大量的指令不具备横向兼容性,这些低级指令通常与以信号为目标的高级指令是完全不同的,它只是在仪器中的某一单元完成一项单一的工作,而不象以信号为目标的高级指令,如MEASure会令整台仪器在进行测量前进行重新设置,这种分别有时是很有必要的,它可使编程人员根据测量工作要求来决定是采用高级指令还是低级指令。

将特定的指令放在“树型网络”结构中

对那些用来完成仪器完成状态精密调整的特殊指令来说,与传统指令并无分别,但在SCPI中,对如何放置这些指令却做了明确的规定,这样可运用仪器的详细模型来说明最基本的功能并进一步找出它是放在“树型网络”结构中的哪一个位置上,然后看一下这一层的详细结构能否实现所需要的功能,若不能再去更高一层,直至完成全部测量功能。

如果所需要的功能是以信号为目标的测量功能,它就放在MEASure功能块中,但使用不同的规则,若不是测量功能,就要首先确定它应当处于模型中的哪个位置,因为模型中的每一部分都有与之相对应的指令。

下面分别说明每一部分的特征:

TRIGger:(触发):与仪器的同步及状态控制有关的指令,在每次测量以前,及产生信号者执行某一顺序的测量以前,它必须首先设定。

ROUTe(信号发送):与仪器的输入/输出或探头/信号源有关的指令,可控制某个

端口参与测量或隔离。

INPut (输入): 用于控制信号的预处理条件, 如测试参数与探头范围和控制特性不相关。

OUTPut (输出): 用于控制信号的后处理, 在送到输出端以前做某些处理如测试参数与源的控制无关。

SENSe (信号采集): 用于控制信号的数据采集, 主要用于完成某种测量工作的仪器。

SOURce (信号源): 用于控制信号的数据采集, 主要用于产生某种激励信号的仪器。

CALCulate (运算): 用于控制后处理运算, 变换或修正采集到的数据。如是否可将某个数据作多种处理, 即将从探头来的信号分别送入两部分电路进行处理, 最后分别显示出频域的直方图和时域的轨迹图。

FORMat (格式化): 用于控制数据表达式的变换, 以便被其他器件所接受。

DISPlay (显示) 用来控制将测量数据或结果显示在仪器的屏幕上。

MEMory (存贮): 用来控制仪器内部的存贮器, 如地址分配, 重新定位和整理功能。

CALibration (自校准): 用于仪器本身的自校准, 并不包括测试信号的修正, 后者由SENSe和CALCulate来完成。

SYSTem (系统控制): 该指令与信号通道无关, 主要用来进行系统整理和调整。

DIAGnostic (自诊断): 用于仪器的检验及维修的指令, 也可用作使操作者无法进入。

经过对上述各种指令的定义, 操作人员

可在“树型网络”结构中找到与特定的测量功能有关的指令, 这时无需做任何变动, 如果找不到适当的指令, 就加入一个节点, 从而扩展其指令集。通常, 把目前经常用到的指令设为固定节点, 一旦需要增加功能就加上一个新节点, 这样不断地改进、扩展, 以完成所需要的测量。

有关SCPI国际联合体的一些情况

1989年8月, HP公司正式公布了TMSL (测试与测量系统语言), 为了使TMSL成为一个工业标准, 专门成立了一个工作小组, 以便对TMSL进行认真的分析, 检查和评估, 经过半年多的努力, 于1990年4月正式成为工业标准并重新命名为SCPI。这个工作小组也就变为SCPI联合体的前身。

SCPI联合体负责SCPI的宣传工作及制定标准, 并对将来可能出现的各种升级和扩展进行管理, 充实到SCPI标准中去。目前的SCPI标准共分四大部分: 1) 简介; 2) 语法和格式; 3) 参考指令; 4) 数据互换格式。

SCPI联合体是董事会性质的组织, 下面有一个技术委员会(LTC), 负责批准新的标准及时对原来标准的各种改进, 如果使用人员对现有的语言作了改进, 可将有关文件送到LTC审批, 当然, 如有必要, 会成文相应的技术工作小组(TWG)来审查送交的方案, 一旦通过就送回LTC, 批准后即可实施。另外, 每年还会对所批准的所有改进方案进行一次审查, 并将批准后的改进方案加到下一个版本的SCPI标准中去。



一种三相工业供电缺相时, 自动发出声光报警并于几秒后切断电源的缺相保护器近日在北京无线电技术研究所技术开发部研制完成并已投产。该产品使用在三相供电的各类设备网络中, 对压缩机, 水泵、掘进机等在缺相时可靠三地施行保护。