

国外风力发电动向

(二)

浙江省电力试验研究所

一九八一年三月

风机的数据收集和分析系统

提 要

在能源部的赞助下，圣地亚实验室完成了一个发展立轴风机系统的计划。这个计划的一方面是使卡特兰Kirtland空气动力基地上的圣地亚实验室的专区I已装备起来的试验基地得到了发展。现在已经有三台风机在这个试验基地运行。本文描述发展立轴风机试验基地遇到的和需要解决的数据收集与系统分析问题。此系统应用一个16位字长的小型计算机作为独立结构系统的主要元件，各种外围设备实现所要求的数据收集功能和提供显示与分析。它包括了以磁盘为基础的软件操作系统，此系统支援了大型文件存储系统，高级语言和辅助软件程序。

目 录

- 一、风机的数据收集和分析系统 0
- 二、MOD—OA 200KW 风机并网运行经验 20
- 三、用于立轴风机的感应发电机和同步发电机

引 言

目 的

本程序的目的是为发展装备一个户外风力实验室，以评价风机各方面的行为和与风能研究有关的安装场地。仪器设备和为此实验室而发展的支援软件能用于评价各种型式的风机，或与风程序有关或无关的装置。无论怎样，此户外实验室和它的装备的特殊目的是用以评价已经得到发展的立轴风机型风机，这些风机是圣地亚（Sandia）风能项目的一部份。

立轴风机特性和风动力研究概况

立轴风机的特性描述和关于风动力课题概况可由资料 1、2 查阅到。在圣地亚，我们安装了三台风机：2 米、5 米和 17 米的机器。17 米的机组装有大量传感器，它的仪器设备在上列参考资料中作了说明。

在评价 17 米立轴风机的性能时，我们集中注意在两方面：

1. 风机运行结构方面，主要是包括振动响应特性在内的叶片性能（参阅资料 4、5）。

2. 随风速变化的输出转矩特性和有关的风机系统功率损耗以及输出电功率特性的研究（参阅资料 6、7）。

在风的研究中，考虑的主要因素是历史地确定风速，与阵风相关的频率参量，与地形相关的风剪力因素（风的剪力随着从地面 0~45 米（0~150 呎）的速度不同而显著不同）。在评价风机效率时，找到所施于风机的等效轴（“赤道”）的风速这个因素是重要的。应该注意

到。在运行中的气流中相应的动力与它的速度立方成比例。因此在性能计算中准确地确定风速是必需的。

圣地亚风机数据收集分析系统的设计准则

在设计一个数据收集系统时，通常对传统的物理参量给予考虑，如通道数目、要求取样的速率、电平、噪音源等，此外，在圣地亚这个实验室的环境，为应用此发展系统，对其它一些难以确定的因素应加以考虑，这些因素是：

1. 此系统的主要用户的背景与人员培训
2. 希望最终使用的数据
3. 希望或要求达到需要的分析数据速度和分析其组成
4. 为了硬件或软件而修改系统要求的倾向

实验室安装的系统的最大用途和寿命同样可以根据对这四点考虑以及根据任何惯用的因素来估计。在这种情况下，设备与数据的用户实质上就是圣地亚实验室职员的一个小组，所有小组成员，都受过非常好的圣地亚风能项目的运用与分析两个方面的细致训练。这些成员的多数人精通 Fortran 语言和分时系统极限运行情况，但是，没有一个人熟悉计算机运行，也没有一个人受过汇编语言的训练。在与这些成员讨论时，提出了对软件与硬件系统灵活性的强烈要求。他们赞成应该应用 Bins 法收集原始运行数据（参阅资料 6、7，Bins 法的概要包括在参考资料 7 中），但是，对原始等式可能的进一步试验后，许多不确定的因素仍存在着，因而，也要求有能力对一般风的特性进行研究。

对叶片和缆索系统的动态及稳定情况进行了分析后，在研究这些数据的基础上，我们就可确定关于取样的速率，叶片应变的位置以及传感器与电压响应的关系。

对他们自己专业训练有素的技术人员对于汇编语言、计算机程序编制、接口设备几乎没有一点经验，硬件和软件问题可能是不好对付的，为了克服这个障碍，完成控制系统与有关的仪器，提出下面四点指示：

1. 为便于软件的发展和软件扩充，此系统将支援高级语言，而此语言是为圣地亚实验室成员所熟悉的。一种适用的文件系统对于程序的存储、修改和数据控制将是有效的，这里关键的因素是熟悉高级语言的应用。

2. 快速多路模—数转换器（A/D）是主要的收集数据单元。根据这点判断建立的系统，传感器和信号状态组件将获得与输入激励成正比的输出量。A/D转换器的输入线由计算机的插头或带状连接线连接是合理的。当包含有简单的连线的接口设备时，模拟量输出到A/D转换器的输入插头，附加或修正值是直接的、而一般要求应无需修正送入计算机的输入、输出系统（I/O），这样，一种新的传感器应用，不增加工作人员对计算硬件知识的要求。对软件而言，由于应用高级语言的通用A/D转换器，因而如果此系统增加一个新的传感器时，不需要在用汇编程序上化气力。

3. 为了确定获得的数据质量与检查数据到达的速度，此系统应具有执行实时的或接近实时的数据整理和显示。这里术语“显示”的含义是与最小打印能力相比是合理的绘图能力。

4 计算机系统元件应来一家公司，在阿布奎基（Albuquerque，新墨西哥州中部的一个城市，Sandia 实验室就在此地区——译注）一家有良好服务声誉的公司供应，这要求使得当发生问题时，把乱子减少到只有一点点反应，而涉及由几家公司共同提供的复杂系统，当发生问题时，几乎是不能协调的。

四个项目的大多数满足是费钱的，因为从用户的观点看来简化了，而可能争到了时间。应用高级语言通常就意味着支持了软件的某些项目：如编辑程序、翻译程序或解释程序、文件管理等，为使用更方便与放心，增加磁盘的速度与容量的要求，然而磁盘系统增加的价值超过最小的以汇编语言为基础的系统价值。配用的 A/D 转换器的价值将等于一个最小系统和附加处理文件存储和更复杂的数据管理程序所需要的价值。最后，用图示输出并更快速接近于实时控制基本系统的输入、出设备远高于简单的电传打字机（TTY）或现代的快速行打印机设备的价值。

摘 要

此系统的硬件元件于 1976 年 9~11 月交出，数据系统于 1977 年 1 月在立轴风机上装置运行，从 1.5 米立轴风机上取的数据。1977 年 2~3 月建成了 1.7 米立轴风机，3 月第一次试验起动。1978 年 3 月 2 米风机投入运行。

所有三台机器与数据系统接口同原计划只有一点点或无差别。整个系统已表现出可靠性到达令人满意的水平，而停机故障不超过三天。近 18 个月来，此数据系统仅有 2 次故障。应变仪连接部分存在着硬件问题，21 只应变仪中的三只现由于引线开路不能用。

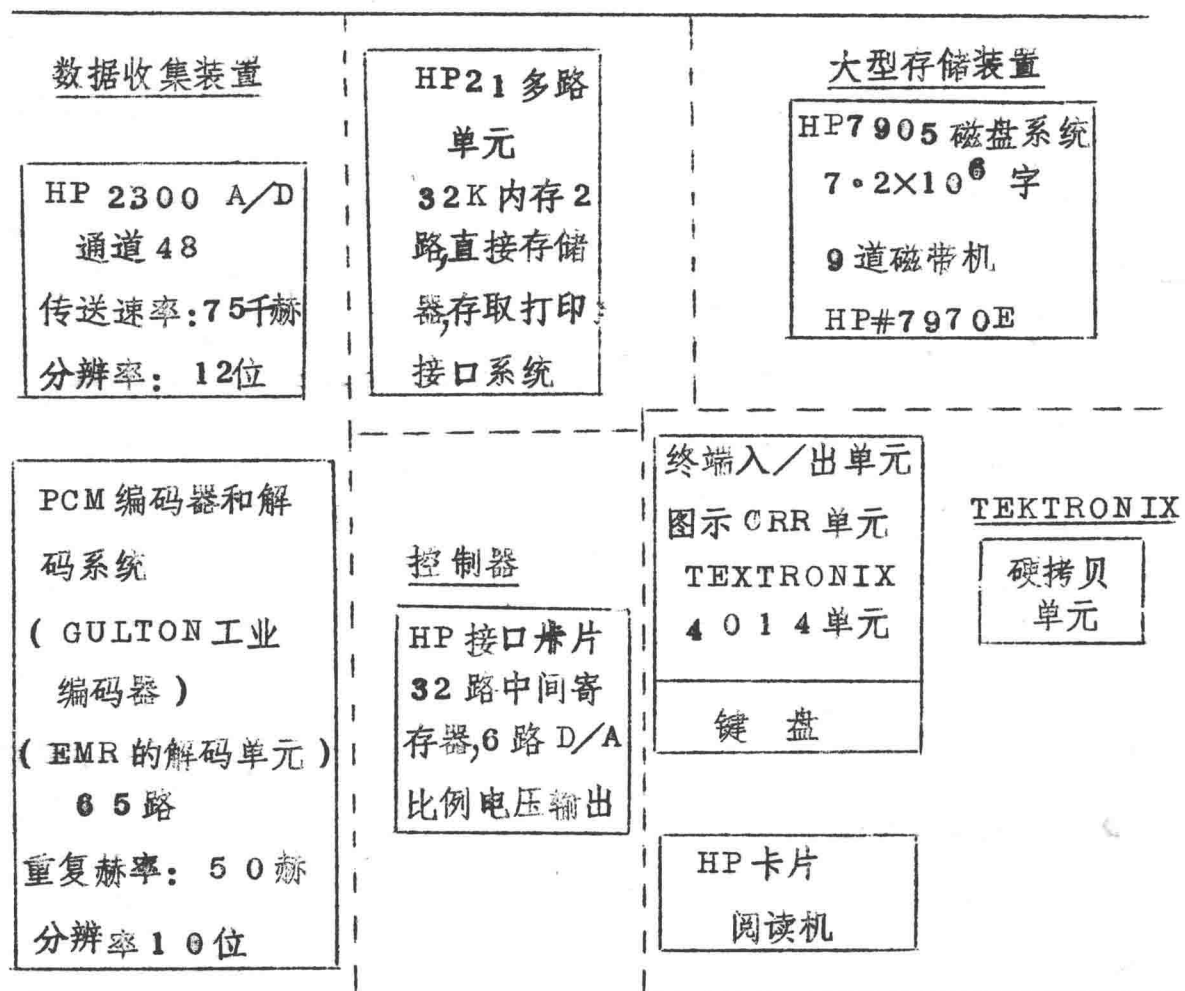
现在为这个系统已编写了多种以 Fortron 语言为基础的软件，一般说来，各个成员已编写出自己有关的程序，其中至少有四个人已成为此系统的专家。有几个风能系统过程在此系统上进行了分析，显示出编制程序与风捷计接口简易的优点。此系统的绘图能力已扩展应用。这是由于没有打算用磁带系统作为把数据传送到圣地亚中央计算机系统的结果。

现在，已计划在这系统中作主要改变的仅是增加一个盒式阅读机，以阅读机读来自远方气象站的磁带数据并将研制出为估计长期观测点风特性的简化数据的软件。

系 统 硬 件 概 述

数据收集和控制系统的主要元件如图 1 示。此系统选用的中央处理机 (CPU)，即一台 HP21 多路小型计算机，16 位字长，磁芯存储器 3 2 7 6 7 字，符合上面部份中提出的四点原则。

圣地亚的设备与数字系统的设计和发展在最近安装的收集系统中，已经得到了相当多的软件和硬件的经验 (参考资料 8、9)。相应的当地检修机构是现成的，几个硬件与软件要求与推荐的风力试验设备和最近完成的分散的数字收集分析系统相类似。



按风机轴编码

※ EMR—电气机械研究院

图 1. HP21 计算机系统元件

为易于接口和系统软件的应用, 提出下面各项, 来源均是由于 CPU 制造厂在 CPU 正常状态安装时的情况

1. HP2313A/D 48 条通道系统
2. HP 多路程序器部件
3. HP7905 7.2 兆字的磁盘系统

4. HP7970 9记录槽高密度磁带系统

5. HP 中继接口卡片

6. HP 纸带阅读机

7. HP 卡片阅读机

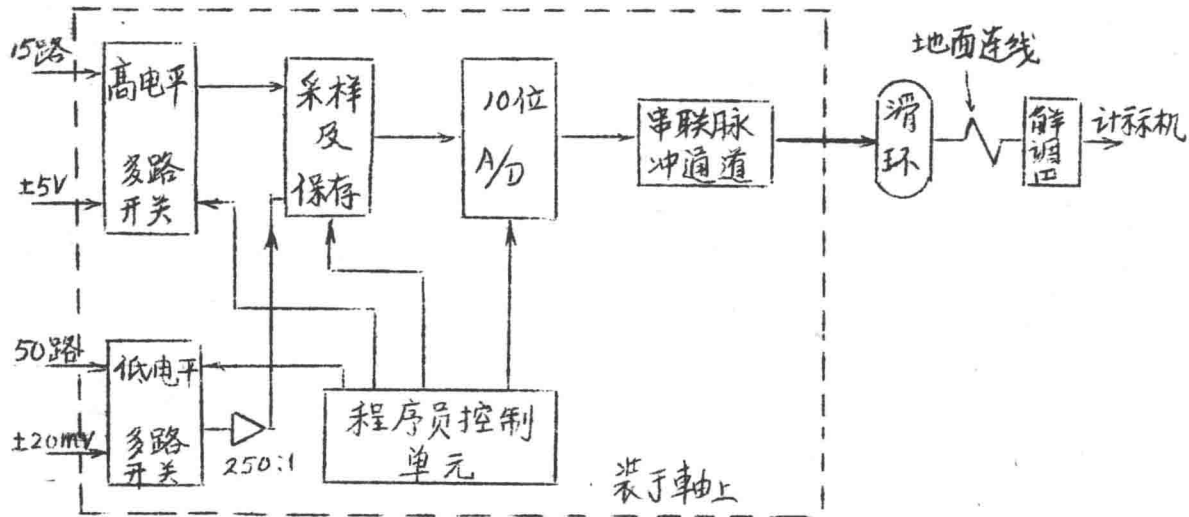
所有的设备都装于6呎标准高的双底板仪器架上，上面3、4、6、7项仅与CPU有关。这些设备的保养是HP检修机构的问题；项目1、2和5是从风机来的数据信号，如果风机的信号存在，那是很容易检定的，如果风机信号存在而出现不正常现象，那是HP检修部门的问题。重要的是，风能组几个仪器人员没有在复杂的CPU外围接口设备上化过多的时间。在第一次启动试验以后，此设备是可靠的，故障停机时间很少。所购用的Tektrik厂的图示终端装置与硬拷贝部件因其应用相对简单，在圣地亚已证明软件的有效性，和购买时没有与之竞争的对手选择。

下面的数据描述了重要系统元件的技术特性。

脉冲调制器（PCM）编码器，位同步器和接口

PCM系统的主要任务是提供一条无噪音的从风机转动部份取得高、低电平的数据通路。图2是此编码器系统的系统图。实质上，此系统的编码器是为得到多路模拟数据通道，并把模拟量转换为一系列添加上记录区标志序列和字标志序列码的数字数据流。位同步器和置于CPC附近的399单元的解调器译出此序列数据流，提供记录区标志脉冲和把数据字并行接于计算机接口部件，由计算机相对应的程序确定而取得。本PCM系统的优点是把多路数据（我们的情况是65路）压缩为单一的

高电平数字数据通道。这高电平数字流能大大地免除了滑环在运行中和电缆传输中产生的、通常是模拟调幅 噪音的干扰。



尺寸约: 12" x 5" x 5"
重量: 5 1/2 磅

图 2 PCM 编码器系统图

图 2 PCM 编码器系统图

PCM 系统典型地工作在连续面向记录区方式，它要求计算机存储器给记录区一个整数的空间。在我们的情况下，因仅用了记录区 65 个数据字中的约 30 个（允许扩充），很多存储器空间是浪费的。为了克服这个问题，圣地亚在 PCM 解调器和计算机的设计的接口只通过来自每个记录区的

连续数据的指定程序组。这个硬件/软件的调整使存储器现用的PCM系统取得数据字数为最大。为了帮助实现这些特点，在数据字序列中高低电平通道混合，因而能建立起连续的数据组。表I列出了PCM编码系统的参数。这65个数据字序列（不包括两个同步字）已概要地列在表I中，并列出了接头标号。我们现在用16~46个数据字，它给出了高、低电平通道的连续组合。

TABLE I

PCM Encoder System
PCM 编码系统S - SYNC DATA WORDS 同步数据字

Two Sync Words (S1 and S2) Per Frame 两个同步字 (S1 和 S2) / 每记录区

	MSB 最高位	LSB 最低位
S1-	1 0 1 0 1 1 0 1 0 1	
S2-	0 1 0 0 1 0 1 1 1 0	

A - ANALOG DATA WORDS 模拟数据字Fifteen Analog Words. Hi-Level Differential Bipolar 15个模拟字. 低电平, 差分, 双向
±5.115V Full Scale @ 10.0 MV/Bit

Accuracy: ±0.2% ± 1/2 LSB

准确度 ±15.22 MV or ±2 1/2 LSB

B - ANALOG DATA WORDSEighteen Analog Words. Low-Level Differential Bipolar w/o Filter 低电平; 差分, 双向, 无滤波
±20.46 MV Full Scale @ 40.0 MV/Bit ±20.46MV 满量程在 40.0MV/位时

Accuracy: ±2.2% ± 1/2 LSB Max ±1.5% @ 25°C

±0.470 MV or ±12 LSB

C - ANALOG DATA WORDSThirty-two Analog Words. Low-Level Differential Bipolar With Filter 32位模拟字 有滤波
±20.46 MV Full Scale @ 40.0 MV/Bit

Accuracy: ±2.2% ± 1/2 LSB ±1.5% @ 25°C

±0.470 MV or ±12 LSB

Filter: 3 db @ 25 Hz Max 6 dB Per Octave Rolloff

滤波 倍频转折

EXCITATION VOLTAGE 激励电压

Sixty Channels @ 10 Volts ±5 MV into a 350-Ohm Bridge

60路在电压 10V ±5MV 输入 350Ω 电桥

FRAME STRUCTURE 记录区结构

Bit Rate: 33.5 kHz ±1%

Word Rate: 3.35 kHz ±1% (10 Bits Per Word)

Frame Rate: 50 Hz ±1% (67 Words Per Frame)

Temperature Range: -20°C to +60°C

温度范围

TTL DIGITAL OUTPUTS

- 两相 第一输出差分 行驱动
1. Biphase L, MSB First Out Differential Line Driver 7830
 2. Frame Rate Strobe, One TTL Load Drive 记录速率选通, 一个TTL负载驱动
 3. Bit Rate Clock, One TTL Load Drive 位速率时钟, 一个TTL负载驱动

ADC OUTPUT CODES 模数转换输码

+5.115 ≡ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

+5.105 ≡ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0

⋮

+0.005 ≡ 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0

-0.005 ≡ 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1

⋮

-5.105 ≡ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1

-5.115 ≡ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

TABLE J (cont)

编码口电源接头

ENCODER POWER CONNECTOR J1

PIN	脚	FUNCTION	功能
1		+28V	
2		+28V	
3		Case Gnd.	壳地
4		-28V Return	返回
5		-28V Return	

调整输出电源接头

REGULATED OUTPUT POWER CONNECTOR J8

PIN	FUNCTION
1	+28V
2	+28V
3	Case Gnd.
4	-28V
5	-28V

ENCODER OUTPUT CONNECTOR J2

编码口输出接头

PIN	FUNCTION
1	Output "AND" 输出"与"
2	Output "NAND" "与非"
5	Frame Rate* 记录速率
6	Bit Rate* 位速率
7	Gnd. 地
8	NR2-L*

*Test points only 仅试验时指示

NOTE: Output taken between Pins 1 and 7 1~7为输出脚

通道号	通道型式		接头与脚		功能	Analog Input Channels 模拟输入通道		功能
	Channel No.	Channel Type*	Connector and Pins	Function	Channel No.	Channel Type*	Connector and Pins	Function
1	A1	J3-62, 61	Unassigned	未分配	34	A8	J3-30, 29	17 M-W.D.
2	A2	J3-10, 9	Unassigned		35	A9	J3-38, 37	Torque-Main Shft. 主轴内转矩
3	A3	J3-36, 35	Unassigned		36	A10	J3-14, 13	Torque-Motor Shft.
4	A4	J3-60, 59	Unassigned		37	B11	J4-12, 11	Strain Gage 104
5	A5	J3-56, 55	Unassigned		38	B12	J4-64, 63	Strain Gage 105 应变仪
6	B1	J4-62, 61	Unassigned		39	B13	J4-34, 33	Strain Gage 113
7	B2	J4-10, 9	Unassigned		40	B14	J4-58, 57	Strain Gage 114
8	B3	J4-36, 35	Unassigned		41	C17	J5-46, 45	Strain Gage 115
9	B4	J4-60, 59	Unassigned		42	C18	J5-22, 21	Strain Gage 116
10	B5	J4-56, 55	Unassigned		43	C19	J5-20, 19	Strain Gage 117
11	B6	J4-4, 3	Unassigned		44	C20	J5-72, 71	Strain Gage 303
12	B7	J4-6, 5	Unassigned		45	C21	J5-42, 41	Strain Gage 304
13	B8	J4-30, 29	Unassigned		46	C22	J5-66, 65	Strain Gage 301
14	B9	J4-38, 37	Unassigned		47	C23	J5-16, 15	Strain Gage 302
15	B10	J4-14, 13	Unassigned		48	C24	J5-40, 39	Unassigned
16	C1	J5-62, 61	Strain Gage 104		49	C25	J5-24, 25	Unassigned
17	C2	J5-10, 9	Strain Gage 105		50	C26	J5-48, 47	Unassigned
18	C3	J5-36, 35	Strain Gage 101		51	C27	J5-50, 49	Unassigned
19	C4	J5-60, 59	Strain Gage 102		52	C28	J5-74, 73	Unassigned
20	C5	J5-56, 55	Strain Gage 103		53	C29	J5-18, 17	Unassigned
21	C6	J5-4, 3	Strain Gage 106		54	C30	J5-70, 69	Unassigned
22	C7	J5-6, 5	Strain Gage 107		55	C31	J5-68, 67	Unassigned
23	C8	J5-30, 29	Strain Gage 108		56	C32	J5-44, 43	Unassigned
24	C9	J5-38, 37	Strain Gage 109		57	A11	J3-12, 11	Unassigned
25	C10	J5-14, 13	Strain Gage 110		58	A12	J3-64, 65	Unassigned
26	C11	J5-12, 11	Strain Gage 111		59	A13	J3-34, 33	Unassigned
27	C12	J5-64, 63	Strain Gage 112		60	A14	J3-58, 57	Unassigned
28	C13	J5-34, 33	Strain Gage 113		61	A15	J3-8, 7	Unassigned
29	C14	J5-58, 57	Strain Gage 114		62	B15	J4-8, 7	Unassigned
30	C15	J5-8, 7	Unassigned		63	B16	J4-32, 31	Unassigned
31	C16	J5-32, 31	Unassigned		64	B17	J4-46, 45	Unassigned
32	A6	J3-4, 3	Flex. Displ. Gage		65	B18	J4-22, 21	Unassigned
33	A7	J3-6, 5	17 M-W.V.					

*Type A Chns $\pm 5.115V$ FullscaleType B Chns $\pm 20.46MV$ Fullscale w/o filters 无滤波Type C Chns $\pm 20.46MV$ Fullscale w/25Hz Low Pass filter 有25Hz低通滤波

TABLE I (cont)

PCM Excitation Voltage Channels
(60 $\pm 10V$ -Shunt Regulated Channels)
(Grouped in Units of 12) 分路调节通道
(12个单元为一组)

J6-Connector 接线脚

Pwr Supply Channel No.	Conn. Pins +, -
49	28, 29
50	30, 31
51	32, 33
52	34, 35
53	36, 37
54	38, 39
55	40, 41
56	42, 43
57	44, 45
58	46, 47
59	48, 49
60	50, 51
On/Off 49-60	53, 52
37	54, 55
38	56, 57
39	58, 59
40	60, 61
41	62, 63
42	64, 65
43	66, 67
44	68, 69
45	70, 71
46	72, 73
47	74, 75
48	76, 77
On/Off 37-48	79, 78

J7-Connector

Pwr Supply Channel No.	Conn. Pins +, -
25	2, 3
26	4, 5
27	6, 7
28	8, 9
29	10, 11
30	12, 13
31	14, 15
32	16, 17
33	18, 19
34	20, 21
35	22, 23
36	24, 25
On/Off 25-36	27, 26
13	28, 29
14	30, 31
15	32, 33
16	34, 35
17	36, 37
18	38, 39
19	40, 41
20	42, 43
21	44, 45
22	46, 47
23	48, 49
24	50, 51
On/Off 13-24	53, 52

J7-Connector

Pwr Supply Channel No.	Conn. Pins +, -
1	54, 55
2	56, 57
3	58, 59
4	60, 61
5	62, 63
6	64, 65
7	66, 67
8	68, 69
9	70, 71
10	72, 73
11	74, 75
12	76, 77
On/Off 1-12	79, 80

Another subtle feature of the frame-oriented data sequencing that is useful from a software point of view, is the time segregation effect of framing. At the 50-Hz frame rate, we can consider all the data in one frame as being at the same time point. It is often important to investigate the time relationship between parameters. Very simple software approaches can be used to plot data which is already time-segregated because of the framing action of the PCM encoder. For this reason, high-level analog signals representing wind velocity, wind direction, and torque outputs are passed from the ground through the slip-ring assembly to the PCM encoder.

Strain gages positioned on the blades are designated by a three-digit number,¹⁰ the most significant digit indicating the blade and the lesser digits the gage. One additional feature of this PCM encoder unit is the provision for strain-gage excitation voltage. From the initial planning

从软件的观点看来,面向记录区的数据序列的另一个有用的巧妙点是记录区的时间分离作用。在50赫时记录区的速率,我们可认为在一个记录区内的数据是在同一瞬时进行的,对研究参数之间的相互关系,这点常常是重要的。由于PCM编码器的区分作用,在时间上已分离了的数据,用非常简单的软件方法就能标出。据此,相应的风速、风向、以及输出转矩的高电平模拟信号通过滑环从地面汇集到PCM编码器。

位于桨叶上的应变仪设计为三位数字(参献文献10),最高有效数字指示出叶片和后面的数字指出应变仪号。此PCM编码单元的附加特点是给应变仪供给激励电压。在开始计划阶段,采用了应变仪作为装于立轴风机的转动部件的主要传感器方案。为了适应这种情况,包含PCM编码器的箱子也包括60个10V电源分路调节激励通道。这些通道装于5块印刷板上,12个激励通道一组,任何一组能单独的开、关。每个通道是独自调整的,因而任何一个应变仪产生故障不影响其它通道。分路调节单元的一个规定的限制是,如果发生完全开路,调整器电路需要比电源可提供更多的电流。这不是一个什么问题;此外,如果12个通道的任何一组投入,则一个350 Ω 的负载就接于不与应变仪连接的各通道上。

表I包括了指示出引脚标号的PCM编码插头,PCM通道数,应用功能,和编码器的一般参数。应该指出的是编程序用的记录区的到率是50赫。这就意味着编译为数字的最大频率是25赫,这个限制可用重复编程序控制部件或(在一种限制情况中)信号并联于甚至是两个地方的、以较大采样速率的信号通道,它是以超转换速度形成的。

模—数转换器 HP—2313

这是本系统的主要输入设备。此 A/D 转换器现配有编程定速装置、32 路高电平、16 路低电平带编程增益（有 7 个增益档范围在 $\pm 5\text{ MV}$ 和 1.25 V 之间），所有通道均是差分连接以限制噪音。留有 4 个空卡片槽以为扩展到 64 个通道之用。

HP—2313 可用于随机的也可用于有次序的通道存取状态。为应用灵活，我们只用了随机存取状态单元。在这种状况下，包括软件的转换时间，读数的平均速度每一要求用的通道是 150 微秒。高电平通道的电压范围 $\pm 10.24\text{ V}$ ，12 位两路二进制补码字输出。电压分辨率每位 5 MV。

编程定速装置控制采样速率使在此速率下读数能完成。这可由程序控制下应用计算机的中断系统来完成。采样速率范围可由一个采样 2550 秒到每秒 45000 个采样内变化。此采样速率以 0~255 间的可变化的微秒时基与 0~7 之间的 10 的整数次方的乘积被编入程序。

为易于把信号接于 A/D 单元，并保持灵活性，和允许未经训练的人员应用此系统，所有 A/D 通道均用电线接于装在计算机外壳上的端子箱中。接入一个新的信号源时，只接于接头上的相应引脚上。不必要接到 HP—2313 内和操作内部接头。应用这种方法，对 A/D 转换并无危险就能对试验进行修正。表 II 列出装于计算机后架子上的接头引脚和功能。