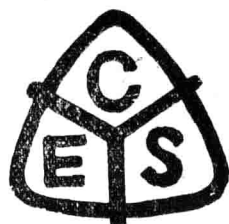




PROCEEDINGS OF THE 4<sup>TH</sup>  
ANNUAL CONFERENCE ON  
ELECTRICAL AUTOMATION  
AND CONTROL SYSTEM



第四屆  
电气自动化  
全國 電控系統 年會  
論文集

中国自动化学会电气自动化专业委员会  
中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会

1988·10

# 前 言

中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会,是专业技术领域相同而分属两个不同学会的学术团体。为避免重复、讲求实效,决定联合召开第四届全国电气自动化与电控系统学术年会。

电气自动化控制技术,按其学科领域来划分,它可以由两部分组成,一是驱动电动机的功率变换装置;一是为实现某种预定的自动控制功能而设置的自动控制装置。

随着现代控制理论、信息传输理论以及微电子技术、电力电子技术、传感技术和数据通讯技术的发展,新型电气传动自动化成套装置,虽然仍以生产机械装置——电动机的自动控制为核心,但它本身却增添了许多新的内容。做为实现自动控制的主要手段,在当前的发展阶段上大体离不开由功率电子器件组成的变流器、电子计算机以及各种顺序控制、程序控制和屏幕显示等装置。由这些电子电控设备、开关设备、检测仪表、传感器件、信息传递设备和显示设备等组合在一起,用硬接线方式或软件信息传递方式组成一个有机的整体,与受控对象——生产机械一起来实现某种预定的控制功能,使生产过程达到某种最优的技术经济指标。显然,它是一种多行业、多学科交叉的综合技术。

从五十年代末期开始,电气自动化控制技术领域中进行着一场重要的技术变革。随着矢量控制、脉宽调制、大功率自关断电力电子器件的制造、以微处理机为核心的全数字控制等关键技术的突破,交流调速电气传动正在向由直流调速电气传动所垄断的高性能调速领域挑战,並得以迅速发展,标志着电气传动交流化的时代即将来临。在本届年会论文集中有三分之一的论文是涉及交流调速技术的,从中不难看出这一趋势。並可预计,在未来的若干年内,研究和发展交流调速技术将是电气自动化控制技术领域面向经济建设的主战场。

六十年代前后诞生的现代控制理论不仅为解决复杂的控制问题提供了新方法,而且还提出了新概念,进一步揭示了控制系统的本质规律。近年来,这种理论不断地应用于工程实际,已经取得实效,它使电气自动化控制技术更是如虎添翼。为了赶上世界先进水平,迅速普及现代控制理论是十分必要的,所以自动控制理论工作者应努力探索在电气自动化系统工程中的实际应用,以促进电气自动化控制技术的繁荣。

近年来,从国外引进大量的先进技术,使我国电气自动化控制技术已经发展到一个全新的时期,与国外的差距有了比较明显地缩小。但是不能不看到,由于对引进技术的分析和消化工作进展缓慢,大大地影响了国产化的速度,因而未能充分发挥引进技术的应有的效益,势必导致重复进口。如果不重视这一工作,我们与国外的差距将会继续加大。从事电气自动化控制技术的科技工作者,有责任面向社会,努力寻求各种途径,对国内现有的引进技术,进一步地分析和消化,以加快国产化工作的进程。

呈献在读者面前的这本论文集,从不同的技术领域里,从不同的实践中,反映了电气自动化控制技术的最新发展,是同行们近两年来对四化建设的新贡献。从这本论文集里,读者可以获得国内外的最新动态,一定会受到启发和帮助。有些论文研究的课题尚处于前沿领域,有的也只是刚刚起步,作者也一定会希望读者给以指正和帮助。学会通过学术活动,

将起一个“桥梁”和“纽带”作用，把广大的从事电气自动化控制技术的科技工作者联系在一起，去更出色投身于我们共同的事业。

在论文集的前面，约请杨竞衡高级工程师、陈伯时教授、刘宗富教授和何冠英高级工程师撰写了四篇综述报告。从不同的侧面阐述了国内外电气自动化控制技术，特别是交流调速技术的发展动态和应用前景，希望能起到传播新的科技成就、诱发新的学术思想的作用。

感谢同行们的支持，本届年会共收到210篇应征论文，经年会学术委员会审阅，选用了其中的140篇，本论文集汇集了按时寄到的131篇论文，为了阅读方便，我们分门别类地予以排印。在编辑出版这本论文集时，得到了《电气传动》编辑部和天津电气传动设计研究所科技处的大力协助，谨致谢意。凡愿意刊登和进一步讨论本论文集中论文的杂志社或科技工作者，请与作者本人直接联系。

本届年会的大会执行主席、学术委员会、组织委员会由下列人员组成：

#### 大会执行主席

杨竞衡 喻士林 夏德铃 陈伯时 吕家元

#### 学术委员会

|        |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 主任委员：  | 夏德铃 |     |     |     |
| 副主任委员： | 陈伯时 | 吕家元 |     |     |
| 委员：    | 喻士林 | 刘宗富 | 涂健  | 陈铁年 |
|        | 佟纯厚 | 王炎  | 陶近贤 | 黄俊  |
|        | 赵家璧 | 陈敏逊 | 李鹤轩 | 田树苞 |
|        | 段文泽 | 许广锡 | 刘春阳 | 周和明 |
|        | 叶王  | 曾癸铨 | 罗世璜 | 董国民 |

#### 组织委员会

|        |     |     |     |    |
|--------|-----|-----|-----|----|
| 主任委员：  | 喻士林 |     |     |    |
| 副主任委员： | 禹鹏举 | 朱稚清 | 汪森美 |    |
| 委员：    | 张世熔 | 马济泉 | 彭洪才 | 张琛 |
|        | 万淑芸 | 徐莹  | 宋斌  |    |

本届年会鸣谢：

冶金部十七冶第八工程公司(马鞍山)；安徽省屯溪自动化元件厂；

北京轻工业学院；天津电气传动设计研究所，在人力、物力和财力上对年会的支援。

中国自动化学会电气自动化专业委员会

中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会

秘书处

一九八八年十月

# 目 录

|         |     |
|---------|-----|
| • 前 言 • | (1) |
|---------|-----|

## • 综述报告 •

|                    |     |         |
|--------------------|-----|---------|
| 1. 电气自动化技术的新进展     | 杨竞衡 | ( 3 )   |
| 2. 运动控制系统的最新发展及其前景 | 陈伯时 | ( 832 ) |
| 3. 电气传动引进技术剖析      | 刘宗富 | ( 12 )  |
| 4. 交流调速技术的发展和前景    | 何冠英 | ( 19 )  |

## • 直流传动 •

### 一、新型系统和控制方法

|                           |                 |        |
|---------------------------|-----------------|--------|
| 5. 变结构控制直流伺服系统研究          | 孙 健 梁任秋 李鹤轩     | ( 24 ) |
| 6. 机器人腕关节伺服系统的变结构控制       | 周光华 钟福金 赵家璧     | ( 30 ) |
| 7. 滑模变结构控制算法的参数设计方法研究     | 王以直 刘建英 吕家元     | ( 34 ) |
| 8. 直流调速系统的自校正控制           | 周丕宣 许世范         | ( 40 ) |
| 9. 高性能全数字直流PWM伺服系统设计与实验研究 | 张晓华 王卓军 项东辉 张伟英 | ( 46 ) |
| 10. 全数字化模糊控制直流可逆调速系统研究    | 崔中德 梁 仲         | ( 52 ) |
| 11. 单片微机控制快速定长系统          | 吴建德             | ( 61 ) |
| 12. 按速差校正的复合控制随动系统        | 段文泽             | ( 69 ) |
| 13. 不用转速传感器的直流电动机转速微机控制   | 戚雅各             | ( 77 ) |
| 14. 直流拖动系统平稳快速最优控制        | 谢 波             | ( 86 ) |
| 15. 一种新型AC—DC变频器及其功率因数    | 王溥仁 张 劲 王汝文     | ( 94 ) |

### 二、工业应用

|                            |                 |         |
|----------------------------|-----------------|---------|
| 16. 带钢热连轧机电活套与套高控制系统的分析与运行 | 万里雄 陈舒霞 沈佩玉 张臣堂 | ( 99 )  |
| 17. 立平辊连轧机微张力控制系统          | 魏志刚 童炳南         | ( 107 ) |
| 18. 多分部多环数字锁相调速系统的应用       | 蒋开诚             | ( 116 ) |
| 19. 单片机与专用集成电路组成的直流伺服系统    | 王 卫 徐殿国 王晓明     | ( 119 ) |
| 20. 电铲控制系统极点配置降阶控制器        | 吕东岳             | ( 124 ) |

### 三、控制系统设计研究

|                                |             |         |
|--------------------------------|-------------|---------|
| 21. 典型II型系统串—并联校正的工程设计与计算机辅助分析 | 童明偶         | ( 131 ) |
| 22. 可控硅数字式触发器的故障自动诊断           | 穆大才 李 勤 杨学浚 | ( 137 ) |
| 23. 可控整装置有滞后吗?                 | 马小亮         | ( 140 ) |

|                                   |         |         |
|-----------------------------------|---------|---------|
| 24. SCR—DM系统中电流环非线性因素的线性化控制法..... | 陈增禄 胡 晓 | ( 146 ) |
|-----------------------------------|---------|---------|

## · 交流传动 ·

### 一、双馈电机与转子滑差调速系统

|                                 |             |         |
|---------------------------------|-------------|---------|
| 25. 双馈电感应电动机的直接转矩控制系统.....      | 邓晓松 邵理述     | ( 152 ) |
| 26. 双馈变频调速系统—DFM的研究.....        | 孙俊明 黎家玲     | ( 160 ) |
| 27. 新型GTO串级调速工业装置.....          | 诸祖同 洪定国 杨国权 | ( 165 ) |
| 28. 斩波式串调系统的特性分析及工程设计.....      | 惠 毅 张广溢     | ( 170 ) |
| 29. 转子斩波调速系统关断电路分析和主要元件的选择..... | 万远骐         | ( 178 ) |
| 30. 矿井主扇新型节能控制系统的研究.....        | 付国军 于向东     | ( 184 ) |
| 31. 交流起重机转子可控硅调速系统.....         | 曹立兴 牛国锋 吴凤档 | ( 191 ) |

### 二、脉宽调制变频技术及调速系统

|                                     |             |         |
|-------------------------------------|-------------|---------|
| 32. PWM型逆变器的梯形脉宽调制技术.....           | 吴安顺         | ( 198 ) |
| 33. 优化阶梯波PWM逆变器供电的交流变频调速系统          | 王 良 宋君烈 潘清波 | ( 204 ) |
| 34. 晶体管SPWM逆变变频调速中的几个问题.....        | 丁学文 秦兰双 陈增禄 | ( 212 ) |
| 35. 用于电动车辆的PWM逆变器感应电机变频调速系统.....    | 许金富         | ( 214 ) |
| 36. GTO—PWM控制不停电电源逆变器 .....         | 吕家元 魏克新     | ( 220 ) |
| 37. 一种正弦波高效逆变器—电压比较跟踪放大式(CTA)逆变器... | 周谦之 骆雅琴     | ( 225 ) |
| 38. 决策方法实现电流控制的PWM逆变器.....          | 林 军 韩熊权     | ( 232 ) |
| 39. OPWM技术在电流型交直变流器中的应用.....        | 黄 磊 张锡斌     | ( 239 ) |

### 三、矢量控制及其他解耦控制系统

|                                             |             |         |
|---------------------------------------------|-------------|---------|
| 40. 高性能交流电动机调速系统.....                       | 马小亮         | ( 246 ) |
| 41. 微处理机实现的DDC异步电动机矢量控制系统.....              | 姜桂泉 吴忠争     | ( 253 ) |
| 42. 无速度传感器的新型异步电动机矢量控制.....                 | 边文纲 陈伯时     | ( 258 ) |
| 43. 前馈解耦控制SPWM交流调速系统.....                   | 邓路明 陈伯时 戴述祖 | ( 266 ) |
| 44. MCS51参数适应矢量控制变频调速系统.....                | 林梦泉 胡子卿 顾绳谷 | ( 274 ) |
| 45. sf型矢量控制系统参数变化对系统控制性能的影响分析和补偿方法<br>..... | 陈 慧 黄 炯     | ( 279 ) |
| 46. 交—交变频异步机调速的电流控制.....                    | 冯 军         | ( 286 ) |
| 47. 不变性解耦理论在交流调速系统中的应用.....                 | 高艳霞 夏新顺 林瑞深 | ( 292 ) |
| 48. 转矩、磁通直接自调整的变频调速系统.....                  | 周国兴 全秋来 孙泽昌 | ( 300 ) |

### 四、变结构控制和交流伺服系统

|                                     |                 |         |
|-------------------------------------|-----------------|---------|
| 49. 变频调速系统滑模变结构控制策略及其实现.....        | 陈敏逊 黄惠君         | ( 308 ) |
| 50. 具有滑模变结构电流内环的双单片机矢量控制系统<br>..... | 贾辉然 宋宣斌 胡子卿 顾绳谷 | ( 314 ) |
| 51. 滑模—PID变结构控制交流伺服系统.....          | 张琳君 陈伯时 戴述祖 王丰尧 | ( 320 ) |
| 52. 带磁通观测器的滑模控制交流伺服系统.....          | 魏 桥 赵家璧         | ( 326 ) |

|                                |                 |       |
|--------------------------------|-----------------|-------|
| 53. 一种新的滑模控制器应用于使用自控式同步机器人伺服系统 | 马 光 蔡振江 杨 桦 赵 青 | (331) |
| 54. 永磁式同步电动机位置伺服系统             | 温希东 陈辉明 刘宗富     | (338) |
| 55. FUZZY逻辑控制器在滑差频率调速系统中的应用    | 王德勇 胡子卿         | (345) |
| 56. 非线性反馈解耦控制的交流伺服系统           | 董永俊 徐殿国 王 炎     | (352) |
| 57. 永磁交流伺服电动机系统分析              | 朱震莲 严仰光 蒋海江     | (357) |
| 58. 采用三相异步电动机的微机控制交流伺服系统       | 张秉铎 吴晓强 官 勇     | (362) |

## 五、其它变频调速装置与系统

|                            |             |       |
|----------------------------|-------------|-------|
| 59. 全数字自控式AC—DC变频调速系统的研究   | 唐卓尧 何耀三 童明儒 | (367) |
| 60. 多微处理机控制的三相交—交变频器       | 夏晓华 何耀三     | (373) |
| 61. GTO逆变器的驱动与保护           | 李增光 佟纯厚     | (378) |
| 62. GTO—PWM变频器设计及其单片机控制系统  | 陆 焰 胡慎敏     | (384) |
| 63. 微机控制的可控硅电流型二重化系统       | 蔡胜年 佟纯厚     | (389) |
| 64. 新型电流型逆变器               | 诸祖同 洪定国 杨国权 | (394) |
| 65. 一种新型结构下的异步电动机矢量控制系统    | 王海生 汤肇善     | (398) |
| 66. 矢量控制系统轻载不稳定性问题的一种解决方法  | 孙 跃 王学勤     | (406) |
| 67. 交流变频调速装置的故障诊断系统        | 郑晨波 王耀德     | (412) |
| 68. 连轧机主传动全交流化的探讨          | 徐定全         | (418) |
| 69. 微机实现无换向器电动机换流重叠角的检测及控制 | 吕家元 荆宇洋     | (425) |
| 70. 一种新型的交—交PWM变频器         | 袁修乔 吴崇理 安 刚 | (430) |
| 71. 交流电动机的新型调速方案           | 陈寄炎 陈仲铭     | (437) |
| 72. 一种新颖简易的步进电机控制系统的应用     | 唐 豪         | (444) |
| 73. 步进电动机的转矩反馈控制           | 王晓明 王宗培     | (448) |

## • 计算机应用 •

### 一、计算机过程控制

|                          |             |       |
|--------------------------|-------------|-------|
| 74. 微处理机控制的铸造混砂系统        | 刘 云         | (454) |
| 75. 多台带钢热处理炉炉温的自适应控制     | 向树雄 贺贤坤 范懋基 | (458) |
| 76. 钨粉还原炉计算机自校正调节系统      | 张泰山 叶俊英     | (465) |
| 77. 关于还原皂洗过程控制的新方案的初步研究  | 吴慎言 曹敏忠     | (478) |
| 78. 阀门驱动系统的设定值控制         | 冯培悌 童福尧     | (482) |
| 79. 变换炉及饱和热水塔微机过程控制      | 姚 文 康 盛 张连德 | (485) |
| 80. 水泥生产过程的一种动态递阶优化控制研究  | 林士伟 杨圣坤 蒋静坪 | (489) |
| 81. 专家控制在电镀流水线行车定位控制中的应用 | 范懋基 赵 伟     | (496) |
| 82. 蒸煮过程原料水份的微机补偿控制系统    | 邓贻云         | (824) |

### 二、工业设备计算机控制

|                             |         |       |
|-----------------------------|---------|-------|
| 83. HDZ—10B型电子束焊机焊接工作台的微机控制 | 戴培善 李少林 | (500) |
|-----------------------------|---------|-------|

|                                |                 |       |
|--------------------------------|-----------------|-------|
| 84. “大庆一号”弧焊机器人控制系统·····       | 王晓冬 孙迪生 冯 勇 王 炎 | (507) |
| 85. 连续铸造机计算机控制系统·····          | 张泰山 戴朝和         | (513) |
| 86. 矿井提升机定量装载微机控制·····         | 龚尚夫 张建军         | (522) |
| 87. 硫化罐微机控制系统·····             | 王秀芝 刘鲁源 谢仲礼     | (528) |
| 88. 微计算机服装CAD/CAM系统·····       | 廖光寿 于 峰 刘载文     | (532) |
| 89. 单片机在工业高速三自动缝纫机中的应用·····    | 王盛科             | (541) |
| 90. 采用8039单片机实现晶闸管电路的线性控制····· | 容实才 石楚华         | (546) |
| 91. 单片机高精度自适应数字触发器·····        | 张建军 龚尚夫         | (550) |

### 三、可编程序控制器的应用与数控技术

|                                 |             |       |
|---------------------------------|-------------|-------|
| 92. 用PC控制的吹灰程序控制装置·····         | 李守荣         | (557) |
| 93. PC在连铸火焰切割机及其自动定尺系统中的应用····· | 顾惠昌 张庆强     | (562) |
| 94. CONFORM生产线计算机控制系统分析·····    | 王鸿歌 杨振兴 陈登顺 | (565) |
| 95. EX系列PC步进序列指令的编程技巧·····      | 姜信建         | (572) |

### 四、计算机应用技术

|                                          |             |       |
|------------------------------------------|-------------|-------|
| 96. FMS多级控制技术研究·····                     | 严洪森 张晋格     | (578) |
| 97. C语言在系统控制中的应用·····                    | 王卓军 张晓华 潘 耕 | (582) |
| 98. 微型机—单片机STD总线分级工业控制系统 张 涛 张小刚 邓丽曼 李九龄 |             | (588) |
| 99. 马尔柯夫可靠性模型在故障自诊断中的应用·····             | 曹鸿富 夏新顺 沈寿金 | (594) |
| 100. 人工智能技术在工业故障诊断中的应用·····              | 黄 鸲 夏新顺 戴述祖 | (601) |
| 101. 用Apple II 微机采集液压转向器试验数据及处理·····     | 李金泮         | (606) |
| 102. 电传动机车的计算机仿真·····                    | 鲁爱民 郝荣泰     | (611) |

## · 控制理论应用 ·

### 一、自适应控制

|                                    |                 |       |
|------------------------------------|-----------------|-------|
| 103. 可测状态系统的参数结构自适应控制·····         | 聂为清 李学平 游大海 黄 旭 | (619) |
| 104. 一种自适应控制鲁棒参数估计算法·····          | 杨富文 涂 健         | (622) |
| 105. 一种具有自适应辨识能力的PID控制方法·····      | 田 源 田树芭         | (630) |
| 106. 一种新的无持续激励鲁棒自适应控制律·····        | 游大海 聂为清 刘育骐     | (637) |
| 107. 离散模型参考自适应控制系统工程设计·····        | 陈星桥 许世范         | (641) |
| 108. 存在参数非匹配建模误差时MRAC系统的鲁棒性分析····· | 王 宏             | (648) |
| 109. 水轮发电机组的预测控制·····              | 王永骥 涂 健         | (657) |

### 二、鲁棒控制和变结构控制

|                                       |         |       |
|---------------------------------------|---------|-------|
| 110. 一种抗变频率正弦扰动的稳定的自适应鲁棒伺服系统<br>····· | 蒋建宏 冯国楠 | (663) |
| 111. 多指标 $H^\infty$ 优化设计·····         | 杨富文 涂 健 | (674) |
| 112. 变结构控制理论应用研究及实用变结构自适应控制算法·····    | 卢存伟     | (685) |
| 113. 位置伺服系统中变结构控制器的设计与实践·····         | 田宏奇 廖效果 | (693) |

### 三、最优控制

114. 同步发电机准同期最优控制系统..... 胡继红 邱国义 (700)
115. 水泥生产过程最优协调控制..... 段文泽 杨绍林 (707)
16. 随动系统的一种设计方法..... 董木森 (716)
17. 二次型最优线性控制系统的计算机辅助设计... 李 斌 王治森 顾绳谷 (721)

### 四、非线性控制

118. 一种非线性励磁控制器的设计..... 高 龙 范玉顺 陈 霖 (726)
119. 应用非线性状态估计器实现连续聚合反应器系统的最优反馈控制  
..... 陈 申 蒋静坪 袁惠根 (734)
120. 工业机器人非线性解耦和调节的递阶结构..... 桂卫华 (741)
121. 带有非线性状态观测器的甚低速伺服系统..... 张友安 王卓军 张伟英 (746)

#### • 低压配电系统 •

122. 低压配电装置计算机辅助设计系统..... 陈雪梅 詹 云 (750)
123. 低压配电系统中的特性协调配合和触电保护..... 刘炳彰 (756)
124. 低压成套开关设备的保护电路..... 文念祖 (761)
125. 二次回路电气原理接线图计算机辅助管理和设计探讨..... 曹又申 (768)
126. 中国贸易中心(CWTC)电气设计概介..... 陈焕庭 (774)
127. 住友大厦电气设计中保护配合选择问题..... 董国民 (780)
128. 型钢排孔冲模及加工工艺..... 康文生 王明生 (784)

#### • 综合技术 •

129. 电控系统可靠性节能设计与关键对策研究..... 金 磊 (789)
130. YKJ型远动装置在朝鲜平壤地铁的应用..... 刘忠云 (796)
131. 应用GTR模块的双磁路稳压逆变器..... 黄少雄 (799)
132. 旋转变压器供电电源对调相式速度伺服系统精度影响的分析及改进  
..... 曹柏林 尹征琦 陈辉堂 (803)
133. 快速响应型高次谐波抑制装置研制..... 陆廷信 谢有生 (809)
134. TSC技术初探及几种无功补偿主回路性能价格分析..... 张建军 (813)
135. 带锁相环控制的回转器式无功功率补偿装置..... 葛芦生 陈寄炎 (819)

注: 论文前的序号即为本届年会的论文编号。

# 前 言

中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会,是专业技术领域相同而分属两个不同学会的学术团体。为避免重复、讲求实效,决定联合召开第四届全国电气自动化与电控系统学术年会。

电气自动化控制技术,按其学科领域来划分,它可以由两部分组成,一是驱动电动机的功率变换装置;一是为实现某种预定的自动控制功能而设置的自动控制装置。

随着现代控制理论、信息传输理论以及微电子技术、电力电子技术、传感技术和数据通讯技术的发展,新型电气传动自动化成套装置,虽然仍以生产机械装置——电动机的自动控制为核心,但它本身却增添了许多新的内容。做为实现自动控制的主要手段,在当前的发展阶段上大体离不开由功率电子器件组成的变流器、电子计算机以及各种顺序控制、程序控制和屏幕显示等装置。由这些电子电控设备、开关设备、检测仪表、传感器件、信息传递设备和显示设备等组合在一起,用硬接线方式或软件信息传递方式组成一个有机的整体,与受控对象——生产机械一起来实现某种预定的控制功能,使生产过程达到某种最优的技术经济指标。显然,它是一种多行业、多学科交叉的综合技术。

从五十年代末期开始,电气自动化控制技术领域中进行着一场重要的技术变革。随着矢量控制、脉宽调制、大功率自关断电力电子器件的制造、以微处理机为核心的全数字控制等关键技术的突破,交流调速电气传动正在向由直流调速电气传动所垄断的高性能调速领域挑战,並得以迅速发展,标志着电气传动交流化的时代即将来临。在本届年会论文集中有三分之一的论文是涉及交流调速技术的,从中不难看出这一趋势。並可预计,在未来的若干年内,研究和发展交流调速技术将是电气自动化控制技术领域面向经济建设的主战场。

六十年代前后诞生的现代控制理论不仅为解决复杂的控制问题提供了新方法,而且还提出了新概念,进一步揭示了控制系统的本质规律。近年来,这种理论不断地应用于工程实际,已经取得实效,它使电气自动化控制技术更是如虎添翼。为了赶上世界先进水平,迅速普及现代控制理论是十分必要的,所以自动控制理论工作者应努力探索在电气自动化系统工程中的实际应用,以促进电气自动化控制技术的繁荣。

近年来,从国外引进大量的先进技术,使我国电气自动化控制技术已经发展到一个全新的时期,与国外的差距有了比较明显地缩小。但是不能不看到,由于对引进技术的分析和消化工作进展缓慢,大大地影响了国产化的速度,因而未能充分发挥引进技术的应有的效益,势必导致重复进口。如果不重视这一工作,我们与国外的差距将会继续加大。从事电气自动化控制技术的科技工作者,有责任面向社会,努力寻求各种途径,对国内现有的引进技术,进一步地分析和消化,以加快国产化工作的进程。

呈献在读者面前的这本论文集,从不同的技术领域里,从不同的实践中,反映了电气自动化控制技术的最新发展,是同行们近两年来对四化建设的新贡献。从这本论文集里,读者可以获得国内外的最新动态,一定会受到启发和帮助。有些论文研究的课题尚处于前沿领域,有的也只是刚刚起步,作者也一定会希望读者给以指正和帮助。学会通过学术活动,

将起一个“桥梁”和“纽带”作用，把广大的从事电气自动化控制技术的科技工作者联系在一起，去更出色投身于我们共同的事业。

在论文集的前面，约请杨竞衡高级工程师、陈伯时教授、刘宗富教授和何冠英高级工程师撰写了四篇综述报告。从不同的侧面阐述了国内外电气自动化控制技术，特别是交流调速技术的发展动态和应用前景，希望能起到传播新的科技成就、诱发新的学术思想的作用。

感谢同行们的支持，本届年会共收到210篇应征论文，经年会学术委员会审阅，选用了其中的140篇，本论文集汇集了按时寄到的131篇论文，为了阅读方便，我们分门别类地予以排印。在编辑出版这本论文集时，得到了《电气传动》编辑部和天津电气传动设计研究所科技处的大力协助，谨致谢意。凡愿意刊登和进一步讨论本论文集中论文的杂志社或科技工作者，请与作者本人直接联系。

本届年会的大会执行主席、学术委员会、组织委员会由下列人员组成：

#### 大会执行主席

杨竞衡      喻士林      夏德铃      陈伯时      吕家元

#### 学术委员会

|        |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 主任委员：  | 夏德铃 |     |     |     |
| 副主任委员： | 陈伯时 | 吕家元 |     |     |
| 委员：    | 喻士林 | 刘宗富 | 涂健  | 陈铁年 |
|        | 佟纯厚 | 王炎  | 陶近贤 | 黄俊  |
|        | 赵家璧 | 陈敏逊 | 李鹤轩 | 田树苞 |
|        | 段文泽 | 许广锡 | 刘春阳 | 周和明 |
|        | 叶王  | 曾癸铨 | 罗世璜 | 董国民 |

#### 组织委员会

|        |     |     |     |    |
|--------|-----|-----|-----|----|
| 主任委员：  | 喻士林 |     |     |    |
| 副主任委员： | 禹鹏举 | 朱稚清 | 汪森美 |    |
| 委员：    | 张世熔 | 马济泉 | 彭洪才 | 张琛 |
|        | 万淑芸 | 徐莹  | 宋斌  |    |

本届年会鸣谢：

冶金部十七冶 第八工程公司(马鞍山)；安徽省屯溪自动化元件厂；

北京轻工业学院；天津电气传动设计研究所，在人力、物力和财力上对年会的支援。

中国自动化学会电气自动化专业委员会

中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会

秘书处

一九八八年十月

# 电气自动化技术的新发展

杨 竞 衡

(中国自动化学会常务理事 电气自动化专业委员会主任委员)

电气自动化技术的最新发展趋势是：电气传动交流化的时代即将来临，控制系统数字化，生产过程监控与生产管理融合为分级分布系统已成为工厂自动化的主流形式，机械加工过程实现了柔性自动化，系统元器件集成化、微型化，新型控制理论在实用化征途中已迈出了头几步。

电气自动化技术主要是指用电工电子技术及装置使生产机械或生产过程实现自动控制的一门多学科综合的技术。它包括有电气传动自动控制技术，电力电子变流技术，计算机自动控制及信息通讯处理技术，生产过程数字程控自动化技术，机电一体化技术，电力电子器件及自动控制系统的集成化技术，电力电子电控装置的制造技术，现代控制理论的工程应用技术，控制系统的模拟仿真技术，生产过程被控对象的数学模型识别技术，被控过程的参数自动测量技术等。

现就电气自动化技术近年来的最新进展情况综述于后。

## 一. 交流调速电气传动占主流的时代即将来临

交流调速电气传动近年来一直从两个方向发动大举进攻，一是指向由直流调速电气传动所垄断的高性能调速领域，如轧机、造纸机、电力机车等传动。另一是指向靠闸阀等粗放手段实现简易调速的交流恒速传动领域，如风机水泵等传动。1987年IEEE工业应用委员会年会上49篇电气传动论文中，交流传动竟有41篇，可见其进攻势头之猛。

交流调速电气传动所以会有如此之大的吸引力是由其技术经济效益显著之内在优点所决定的。以大型轧机的传动系统为例。一套2050mm的热连轧板机，精轧部分采用交流传动，比直流传动可节电1150万度/年，节水30%，转动惯量减少77%，响应时间缩短30%，设备投资节省300万马克，停机维修时间缩短75%。风机水泵类的传动由交流恒速挡板阀门调节方案改造成交流电机调速方案平均可节电20%，设备改造费用一般可在1~3年内回收。

交流调速电气传动近年来之所以取得较大的进展，与下列几种关键技术的突破有关。即矢量控制技术、脉宽调制技术、大功率自关断电力电子器件的制造技术、以微处理机为核心的全数字控制技术。

矢量控制技术自1971年由西门子公司提出后，十几年来，围绕着参数的在线准确测量或间接计算、座标变换的快速准确的计算、电机参数变化的自适应、各种可能的去耦方案等，做了大量工作，使得矢量控制这一新的交流电机调速原理得到广泛的实际应用并相应地形成了许多系列产品，其控制性能指标已经完全可以做到与直流调速系统一样，甚至有所超过。

最近一个值得重视的动向是1984年,西德Depenbrock教授提出了对交流电机实现直接力矩控制的设想,也叫直接自控。它可取消矢量控制中复杂的座标变换,直接在定子座标系上计算和控制电机的磁通和力矩,使控制系统大为简化。这种控制方式可以通过力矩的砰砰控制,使力矩响应时间限制在一拍以内,且无超调,动静态性能比矢量控制还好。其控制原理见图1。电机实际力矩 $T_q$ 由定子电流 $i_{\alpha a}$ 、 $i_{\beta a}$ 与定子磁通 $\psi_{\alpha a}$ 、 $\psi_{\beta a}$ 通过力矩计算器TC算出。当力矩小于双极限力矩控制器的下限时,斯密脱触发器 $ST_T$ 使主电路开关元件反复通断,将 $S_a$ 、 $S_b$ 、 $S_c$ 电压加到电机上。当力矩超过上限时, $ST_T$ 则把电机接到一个零电压 $S_z$ 上。待电机力矩降到规定下限时,又重新接到 $S_a$ 、 $S_b$ 、 $S_c$ 上,由此构成了力矩直接控制系统的内环。转速控制SC构成了力矩控制的外环。电机转速由给定转速 $\omega_{ref}$ 来决定。这是一个大有发展前途的新的交流调速传动控制思想,值得予以足够的重视。

脉宽调制技术是随着自关断器件的发展而发展起来的。它不仅适用于直流斩波、变流、变频,也适用于谐波吸收、无功补偿等领域。它有改善逆变器输出波形(接近正弦)、简化功率变换器结构、加快电压调节速度、提高传动系统动态响应等优点。其控制方法如锯齿波比较法、微机查表法(包括著名的谐波消去法及其改进的优化法等)、实时算法、自激振荡法等形式,都已在实际中得到了较普遍的应用,成为交流调速系统所用逆变器的主流方案。

大功率自关断电力电子器件近年来以可关断晶闸管(GTO)与电力晶体管(GTR)发展最快,实用化程度也最高。以日本为例,GTO已制出 $3KA/4.5KV$ 的商品,正在开发 $4KA/5KV$ 的元件,这已经是晶闸管的同等水平了( $3KA/4KV$ 商品、 $4.5KA/6KV$ 研制品)。GTR已制出据称是世界最大的 $400A/1200V$ 元件。在交流调速传动中应用较多的电压型逆变器,据日本1985年统计,GTR主要占领其中小功率范围,最大可达 $600KVA$ (在 $200KVA$ 以下普遍应用); $600\sim 4000KVA$ 的中大功率范围则以GTO为主;普通晶闸管只在 $4000KVA$ 以上的大容量装置中使用。这种三分天下的形势是在最近十几年中逐步形成的。在1975年前后,那几乎是晶闸管一统天下的时代。当然,也有些专家针对GTO比较娇嫩、客易损坏、控制功率过大等缺点认为未必一定要走GTO这条发展道路,但日本人在这方面的努力及已经取得的成就毕竟是不容忽视的。

现在,从千瓦级以下的家用电器到几十千瓦级的机器人到成千上千万瓦级的各类高精度快速响应要求苛刻的轧机、造纸机到数万千瓦级的大型风机水泵等的调速传动领域,可以说无所不包地都可以用交流调速传动来实现,而且其性能/价格比已优于直流传动。据国外一个公司的统计,八十年代交流调速传动的价格已降到167美元/千瓦,比七十年代下降了50%,只有六十年代的1/6。而直流调速传动则大体上价格维持不变,甚至略有上升。

这里举几个最有代表性的交流调速电气传动实例以窥其一斑。如用于气体裂化压缩机传动、交一直一交电流型逆变器供电的无换向器电机,21000千瓦,5900转/分。用于5500mm厚板可逆轧机单辊传动、交—交变频器供电、矢量控制的同步电机,10900千瓦。用于时速200公里/小时的电力机车传动、交一直一交电压型逆变器供电、PWM控制的异步电机,5600千瓦等。

## 二. 电气传动系统全数字控制已经进入商品化应用阶段

随着16位乃至32位微处理机的普及应用以及运算速度提高、价格下降等新因素的出现,

在电气传动系统中全部采用数字控制、充分发挥微机控制的综合优点的局面终于出现了。现在欧美日的有关厂家都相继抛出适用于各种传动系统用的、以微处理机为基础的全数字控制标准单元,从而使电气传动的全数字控制进入了商品化时代。现以西门子的SIMADYN D为代表做一个举一反三的典型介绍。这是一个多微处理机全数字化的闭环控制系统通用单元系列,可以适用于快速控制与计算,采样周期低到1ms的各类系统,如电力电子供电的交直流调速系统、直流输电、无功补偿以及高速透平机控制等。其特点是:用最少量的标准单元可满足最广泛的控制要求。与模拟控制系统相比,所使用的标准单元数量约为1:10。有以面向系统功能框图为基础的语言,系统设计人员无须具备任何计算机程序的知识,只需按常规的框图设计方法即可进行设计。每个单元插件箱可装1~8个16位80186微处理机单元及1~2条高速并联母线,每个微处理机单元都有它自己的内存及程序、带中断功能,可通过母线进行单元间的数据交换及与输出/输入单元连接。用户的应用程序制成小模块形式可以从微处理机单元插件的前面插入。自动控制功能主要靠软件来实现。系统软件中包括有操作系统、数据传输、监视、诊断及标准功能模块等。操作系统对外部事件的反应时间为100 $\mu$ s。有五种采样时间,其中最短采样时间为1ms,可满足高速控制回路的要求。操作系统可以使8个微处理机单元同时工作。标准功能模块软件有100多种,可任意组合以实现闭环自动控制、计算逻辑控制、诊断、报告、通讯、服务、与外部设备连接等功能。这些模块软件均用汇编语言编制,由操作系统负责按系统设计框图的要求进行调度指挥。

### 三. 可编程序控制器在工业过程自动化系统中的应用范围日益广泛

可编程序控制器(PC)取得成功的一个最根本的原因是它从一开始问世就是以面向最基层、最第一线的工业自动化环境及任务为前提,在硬件结构简单、安装维修方便、抗强电磁干扰、梯形图式编程、工作可靠等方面作了许多独特的考虑,使得工程技术人员甚至一般技工都能很快熟悉它,接受它、信赖它,从而使它能在工业的实际应用中经得起考验,站稳了脚跟。美国从1982年以来,PC的销售额年增长率一直保持在30%以上。西门子公司的PC每五年更新一代产品,占有欧洲市场的40%,宝钢一二期工程合计约用了500多台PC。美国通用汽车公司所属各厂共用了2万多台PC,可见其应用的广泛性。

近年来,PC的一个发展方向是向微型、简易、价廉方面发展,以图占领一向以继电器系统为主流的诸如一般机床、包装机、传送带、风机等量大面广的控制领域。另一发展方向是向大型高性能方面延伸。最新一代PC的特点可归纳为:存储容量加大、处理速度加快、采用多微处理机系统、能进行多重任务操作、具有多种编程语言、输入/输出容量增大、能多台PC连成网络、可由上级机监控组成分布控制系统、具有广泛的人——机接口设备等。现举GE公司最新的PC系列6+为例,看一看其功能强化的具体情况。系列6+输入/输出点数增到16K,寄存器容量增到19K,采用冗余处理机技术,使一个PC系统可以同时用两个微处理机并联控制,共用一套输入/输出系统,任何一个微处理机发生故障时,可检测报警,自动将备用微处理机投入运行,如配上智能输入/输出模块(GENIUS I/O),用一根双绞线就可以控制30个模块,这些模块可以在地理上分散布置,每一点既可作为输入又可作为输出使用,并有非破坏性的电子保险丝对输出短路进行保护,自诊断能力很强,可以检测系统全部故障

的50%，在故障发生后的1秒钟内即可确认故障点所在，每个模块都有双向通讯的功能，可在3ms内完成56个输入/输出点的监控。

西门子的SIMATIC S5-150U也是当前功能最强的PC之一，其输入/输出点数为19K，用户存储器容量为48K，比系列6+还多。

最近由美国通用汽车公司牵头，组织了一个制造自动化协议(MAP)特别工作小组，有许多PC及计算机制造厂家参加，共同研究解决各类PC机、计算机的联网问题，所以新一代的PC及计算机均将以能进入这个MAP通讯网络为前提对自己的产品加以改进，这是一个值得重视的动向。

#### 四. 一种工业控制用模板式结构的计算机系统——STD

##### 总线有可能逐步取代通用的微机控制系统

美国普洛公司于1978年推出了一种适合工业环境应用、具有极高可靠性、模板式结构，称为STD总线的工业自动控制用微型计算机系统。这个系统最突出的特点是其公开性，谁都可以参加到生产与应用STD总线的行列中来，公开性的战略带来了群众性的共同参与，由一个公司少数人的开发活动变成为千百万人的集体创造浪潮，应用范围日益广泛，其销售额已占国际工业模板总额的一半，显示出极大的生命力。这个系统有如下的一些特点：

**1.高度的可靠性。**能适应工业现场的震动、灰尘、潮湿、有害气体、电磁干扰、电源波动、断电等恶劣条件，可以直接安装在执行设备上。保修期间长达5年，平均无故障时间可达60年。

**2.小板功能分散式结构。**用户可根据需要以最小的硬件冗余度选用合适的模板插装在标准的框架内以组成自己的系统，没有一个统一的通用机型。

**3.兼容性强。**可以用Intel80系列、M68系列、Z80系列、NSC800系列芯片组成8位的微机系统，也可用80286、68000等芯片组成16位微机系统。最多可以16个微处理器同时工作。IBM-PC通用的MS-DOS操作系统固化在标准模板中，因此所有适用于IBM-PC/XT、AT的软件均可在STD总线系统上运行。

**4.扩充性好。**一个用STD总线组成的系统，当需要扩充时，原有的各种模拟输入/输出、开关输入/输出、数字输入/输出以及存储器等都可不必变动，只需把原有的CPU板取下，用一块新的容量更大的CPU板插上，并对软件进行相应的更改，即可使系统扩容升级。

**5.采用全CMOS技术。**CPU、存储器、数字输入/输出、模拟输入/输出、开关输入/输出等均用CMOS芯片组成，可以工作在 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ 的恶劣环境中，功耗比TTL低8~10倍，抗干扰能力提高2倍。

**6.维修性好。**查找故障方便，可以实现5分钟内维修。

**7.技术开发潜力大。**由于公开性的结果，参加到使用生产行列中的厂家在世界范围内已达300多家，共同创造及已被认定的标准模板已达千种以上，几乎遍及工业自动化的各个领域。可以用它组成梯形逻辑可编程控制器、组成分级分布式控制系统、实现主/从式或多微处理器并列的微机系统等。并且正在向应用32位微处理机的方向迈进。可以预计，今后很有可能在

工业自动化领域中,由STD总线逐步取代现有的以通用的微机组成的控制系统或PC控制的系统。

## 五. 组合式的自动化系统将成为工厂自动化系统的主流

计算机在生产过程自动控制与工厂管理上的广泛应用导致了生产过程中的物质流控制与管理信息流处理两大独立系统的融合,使生产过程自动控制的含义超越了过去单纯指生产过程物质流的自动控制与加工的狭义范围,而与整个工厂甚至工厂的上级管理部门的最优化管理决策系统连成了一个有机的整体。通过计算机系统,把整个工厂工艺的、技术的、逻辑的、管理的以及行政的数据互相链接在一起,按照一定的管理决策意图组成一个完整的分级分布式工厂自动化系统。这是工厂自动化一个最新的发展动向。

为了适应这种工厂自动化的需要,世界各大电气公司最近均发展了一套以计算机为基础的硬件及软件模块式装置以及快速可靠的串行数据传输系统装置。用以任意组合成各种分级分布式的自动化系统。这种组合自动化系统具有以下一些明显的优点:

**1. 灵活性**——可以把总的自动化任务分解为若干独立的子任务或把多个自动化子系统组合成一个通用的总系统。

**2. 模块化**——用廉价、高效的模块装置或子系统实现局部自动化任务的最佳化。

**3. 易扩充性**——用简便的方法可使新增的设备综合到已有系统中去。

**4. 易设计性**——编程容易,可自由地改变总的系统结构,使系统更经济合理。

**5. 安全可靠,容易维修调试。**

如ASEA公司Master系列就是类似的一种系统。它包括Master Piece控制装置、Master View操作监控装置、Master Bus通讯联络装置、Master Aid编程与维修装置。用这四种基本装置就可以组成一个分布式、高功能的控制与监视管理的组合自动化系统。Master Piece有由16/32位微处理机组成的和由8位微处理机组成的两种型式,分别可以处理1300和122个通道,可以同时实现逻辑控制与反馈控制。两种型式的价格比为4:1,对较简单的控制对象,选用小型装置,可节省75%投资。编程方法十分直观,它是以预先编好程序的许多标准软件模块为基础的,各个模块可分别执行诸如逻辑、算术、控制等功能,与系统设计工程师的框图结构差不多。设计时只需选用相应的模块,按一定方式加以连接,即可实现预期的功能,比用梯形图法编程节省4/5的时间。Master Bus是串联多站式母线系统,它把地理上分散的控制与操作监视装置连成一个完整的系统,一个系统内最多可带40个装置。它采用双母线冗余方式,两个通道交叉使用。Master View是进行人机对话的工具,是一个现代工厂自动化系统所必不可少的组成部分。它可以配1~3个彩色显示器用以分别监视不同的生产工段,人工指令可以通过键盘输入,在显示器下方有操作指导信息。事故报告及表格可自动打印,图形状态显示可用硬拷贝设备复制下来。Master Aid是用于编程、仿真、测试与故障寻找用的辅助性装置,手提式结构,是设计维修人员的有力工具。

这种组合式自动化系统,其它一些电气公司也都有自成系列的成套产品。如AEG公司是由具有控制和调节功能的Logistat CP 30装置、具有遥控功能的GEADAT装置、具有计算功能的ATM装置、具有操作显示功能的B500彩色视频显示装置以及具有高速数据传输

功能的SEAB串联母线装置等为基础,形成适合各种用户需要的组合自动化系统。BBC公司的PROCONTROL 1也是类似的设备体系。

这种以硬件的标准模块式装置体系为基础的组合自动化系统的设计思想以及由此形成的商品化硬软件相互配套的系列设备,是电气自动化系统技术的一大进步。它摆脱了建筑在通用的工业控制计算机基础上的、针对特定被控对象而专门设计大量的专用应用软件、不同工程对象之间很难相互借用、系统一旦建成很难修改扩充的传统设计方式及其缺陷,使大型复杂的电气自动化、工厂自动化系统的设计周期大为缩短,编制应用软件的成本大大降低,硬件的冗余设备沉积量相应减少,整个系统的可利用性、可扩展性、可维修性大大提高。对系统设计人员的水平要求也可相对地降低。这一最新的发展动向,值得我们认真钻研、迅速赶上。

## 六. 机械加工过程柔性自动化系统正步入较广泛应用阶段

经过多年的努力,现在已经找到了一条机械工业小批量多品种连续化自动化生产的路子,这就是柔性制造系统(FMS)。它是机械与电气自动化技术高度结合的产物。是数控机床、数控加工中心、智能机器人、自动化仓库、自动化检测与运输技术等新型机电一体化高技术产品以及计算机辅助设计、辅助制造、生产管理控制等软件技术高度发展、综合利用的结晶。在FMS生产线上由计算机指挥可以同时加工多种完全不同的零件,除了装卸毛坯及成品需人工辅助外,全部加工,检测,校正、清洗等工序均可自动进行,无须人工干预。兹举意大利Maddelli公司制造的一条FMS生产线为例。它由13台有60把刀的加工中心和2台自动换头的6头加工中心、两台导轨式自动运输车等硬件组成,可在线上生产8种推土机零件。由一台 $\mu VAX2$ 小型计算机作为中央处理机,通过以太网与每台加工中心的PDP11/23计算机连成一个自动化系统,同时对工具库进行管理。配有生产管理、全线图形动态监视、系统寻错、预防性维修诊断以及工具库管理等软件,每班只需7人,年利用率4500小时,每个工件平均加工时间3分29秒,全线总效能为84%。另外一条类似的FMS生产线,可以生产85种不同的零件。

据统计,现在全世界约有300条FMS生产线,并正在发展一种简易型的以便更加广泛地被应用。根据国外应用较成功的FMS生产线的经验,其经济效益是十分明显的。机床利用率可提高60~70%,生产周期可缩短50~70%,生产效率提高50%,加工成本降低50%。但初投资较贵,因此事前必须认真做好可行性分析,绝不能盲目上马,否则会得不偿失。

## 七. 新型控制理论正在向实用化方面努力探索

经典的反馈控制理论至今仍是电气自动化系统中应用最广泛、人们掌握得比较熟练的一种能满足大多数自控系统要求的理论。但是随着电气自动化系统复杂程度的增高以及对某些控制对象有更严格苛刻的要求时,经典控制理论有时就无能为力。因此探索现代控制理论在电气自动化系统工程实际应用的方法就成了近年来许多自动控制理论工作者研究的主要目标。下面略举几例以观其一鳞半爪,实不足以盖括其大量的工作内容。

模糊控制是自动控制领域的一个新方法,它不需要为过程建立通常的数学模型,而直接

把被控制对象作为“黑箱”来处理。其控制原理是：将系统的偏差值经模糊化处理后作为模糊决策环节的输入，并由此得到相应的模糊量输出，将此值进行精确量化后输入到执行机构中，调节被控量使系统偏差减少，当偏差减少到某一预定值时，则由一个虚拟开关切换到微调环节，以实现更精确控制。曾用此原理以Z80微机对电炉温度控制进行过实验，结果比用常规的PID调节系统好。

大系统分散自适应方法是把一个大系统根据一定的指标分解成若干相互间存在耦合关系的子系统，把各个子系统之间的耦合项看作为可测量的外界干扰，然后设计出一类分散LQG自校正控制规律，使各子系统能按照自己的控制规律独立地进行工作。这样把大系统分解的结果，需要在线计算的量就不大，利用小型或微型计算机就可以实现在线控制。这种方法曾在电力系统发电机组的控制中进行过实验，结果机组频率和电压波动范围可小于0.1%，比PID调节方式小一个数量级。

模型参考自适应控制是一种性能反馈控制，当某个受控对象实测的参数性能指标和希望的性能指标有一定偏差时，这个偏差通过自适应规律产生反馈作用来修改控制器的参数，产生辅助控制量，消除受控对象和参考模型之间的偏差。这种控制原理曾在模拟转台的控制系统中做过仿真试验，结果比用误差信号响应的经典理论构成的系统快速性提高61.6%，超调量降低60%。

滑模变结构控制具有对外扰变化的不灵敏性，可以同时改善系统的动态及静态精度，也可以与其它控制方式相结合以提高系统性能，加强系统的鲁棒性。美国GE公司曾设计了一种在矢量控制基础上实现变结构的方案，使系统的状态变量能最佳地达到预期值。

总起来看，现代控制理论的实际应用还只能说处于一个实用化的初始阶段，还有大量工作需要继续探索。

## 八. 复合式的电力电子功能器件和集成芯片式的控制系统 为电气自动化装置微小型化提供了新的可能性

为了能使电气自动化装置总体尺寸缩小以节省各方面的投资或者满足在特定有限空间中使用(例如电力机车、潜艇、电动汽车内的应用)的需要，人们一直致力于电力电子器件的集成化及控制系统微型化的工作。电力电子器件集成化的最近趋势是：小功率范围内，把功率MOSFET器件与它的触发和保护电路集成在一起构成所谓的Smart MOSFET器件。中功率范围内，把功率MOSFET和电力晶体管集成在一起，构成了绝缘控制极晶体管(IGT)。目前已做出2000V/200A的器件。这种器件门极阻抗高，可直接用逻辑电平信号进行开关，有自关断能力和正反向阻断能力，电流密度可做到比同等的MOSFET大10倍多，很可能是九十年代电力电子器件的主流产品之一。在大中功率方面，把IGT和可关断晶闸管(GTO)与功率MOSFET集成在一起构成绝缘控制极的可关断晶闸管(IGTO)。现已能做到2000V/500A，调制频率20KHz。它的特点是控制功率小，开关速度快，损耗小。克服了GTO的触发功率大， $dV/dt$ 低，容易二次击穿的缺点。由于IGT和IGTO的出现，使主电路的高压和控制电路的低电平之间的绝缘隔离问题得到解决，因此，可以预期，在电力电子器件复合化进程中下一个可能的台阶将是把电力电子器件的触发、控制、保护等低电平电路与主电