

593421
7/86233

687992

飞机电气系统指南

(IEEE Std 128—1976)

美国航空空间和电子系统协会 主编

于敦等译



国防工业出版社

421

6233

飞机电气系统指南

(IEEE Std 128-1976)

美国航空空间和电子系统协会 主编

于 敦 等译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是美国电子和电气工程师协会 (IEEE) 出版的一本有关航空电气系统以及电动机等用电设备的设计指南。全书共分十章。内容包括供电系统的准则；同步电机的分析、电机额定功率以及非正常运行状态的影响；配电系统的设计因素、大多数系统的配电图；对称分量法，飞机电网各种故障状态的等值电路；系统选择、系统保护指南以及并联运行等问题；设备和电缆的安装问题；发电机、恒速传动装置、电动机、次级电源以及控制保护装置的特性；飞机电气系统的设计程序。最后还列出参考文献49篇。

本书可供从事航空电气和其他电气专业的工程技术人员和有关专业的大专院校师生参考。

Guide for Aircraft Electric Systems (IEEE Std 128-1976)

Flight vehicle Systems Committee

Aerospace and Electronics Systems Society

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1976

飞机电气系统指南

(IEEE Std 128-1976)

美国航空空间和电子系统协会 主编

于 敦 等译

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印张 7¹/₄ 179 千字

1983年7月第一版 1983年7月第一次印刷 印数：0,001—1,600册

统一书号：15034·2490 定价：0.95元

译者的话

“美国电气和电子工程师协会的飞机电气系统指南”是根据1976年的版本翻译的。此书从整个电气系统的角度提出选用和设计飞机供电系统以及某些用电设备时应考虑的技术问题，并对各种系统和设备的具体使用作了推荐。

此书对飞机配电系统的介绍是目前所见资料中较完善的。书中还包括发电、配电、用电设备的一些性能数据。对我国航空电气专业的科研、生产、教学工作很有实用价值。对其它电气专业也有一定的参考价值。

美国电气和电子工程师协会在1960年就出版了“飞机和导弹电气系统指南”一书。本书是它的修订本，此书在1973年12月经美国电气和电子工程师协会的标准委员会审定通过后于1976年出版。两者相比有下述改动：

1. 把IEEE 750, “飞机和导弹电气系统指南”一书中的三篇附录，即“影响交流发电机应用的特性”、“配电系统设计”、“对称分量法”，分别作为131、132、133章列入正文；

2. 增添了533“变速恒频系统”一节；

3. 增加了一些新内容或作了一些修改，如固态发电机控制装置和配电装置及其对系统性能和参数的影响等。

与前书相同，560“蓄电池”一节仍然没有完成。600~700章节未编入。

书中目录序号为与有关资料协调，故本书未作改动。

本书由金绮、翁敏、孙滨生、曾天翔、于敦、梁恺、王勇、高桂林等同志翻译，于敦、曾天翔和金绮校对。

在译校过程中，对文中错误之处进行了删校。但由于水平有限，难免有不当甚至错误之处，请读者批评指正。

在译校过程中得到北航、西工大等单位老师和技术人员的大力帮助，在此表示感谢。

译者

前 言

目的

本指南以简要的形式提出选择、设计及应用飞机电源系统及电气作动的负载设备的建议和技术考虑，而不涉及具体的设计细节。因而它就和飞机工业联合会出版的“飞机电气设备设计手册”一起成为一套很合适的参考文献。因为在“飞机电气设备设计手册”中尽量少用技术说明，而强调具体的应用及安装实践。

形式

本指南最初是在1960年作为AIEE 750的一组小册子出版的，为的是便于在修改和增加一些章节时，不需再重印全书。

本书有下列几章：

000 引言

— 100 供电系统的准则

131 影响交流发电机应用的特性

132 配电系统设计

133 对称分量法

200 电气系统的主要部分

300 系统选择

400 安装实践

500 设备特性

800 电气系统设计程序

目 录

000	引言	1
010	概述	1
020	达到高质量	1
030	范围	1
100	供电系统的准则	4
110	基本因素	4
120	发电机容量	4
130	系统容量	4
131	影响交流发电机应用的特性	4
132	配电系统设计	14
133	对称分量法	36
140	质量	66
150	电气系统的可靠性	66
151	可靠性的定义	66
152	发电和配电系统的可靠性	66
160	电气系统的安全性	67
200	电气系统的主要部分	68
210	发电	68
220	配电	69
230	用电	70
300	系统选择	71
310	电压和频率	71
320	应急系统	74
321	主系统的应急程序	75
322	辅助和地面电源系统	76
330	保护指南	76
331	直流系统的保护	76

332	非并联交流系统的保护	78
333	并联交流系统的保护	81
340	并联与非并联运行的比较	85
341	并联运行的优点	85
342	非并联运行的优点	85
342.1	直流系统	85
342.2	交流系统	86
350	接地与不接地运行的比较	86
351	直流系统	87
351.1	机身接地系统的优点	87
351.2	不接地系统的优点	87
352	115/200 伏三相交流系统	88
352.1	接地系统的优点	88
352.2	不接地系统的优点	88
360	电气系统要求	88
400	安装规程	90
410	系统配置	90
411	利用及简化	90
412	电源中心的综合化	90
413	配电中心的综合化	90
414	控制系统的配置和控制板的布局	90
415	可接近性	91
420	标识规程	91
421	电缆的识别	91
422	汇流条和设备的识别	92
430	布线	92
433	电线连接和端接	92
433.1	功用	92
433.2	单根导线的连接	93
433.3	连接器	93
433.4	条形接线板	94
433.5	导线端接法	95
433.6	载流量	95
433.7	铜接线片	96
434	布线安装规程	96

434.1	概述	96
434.2	目的	97
434.3	安装方法	97
434.4	布线安装控制方法	99
434.5	专门的预防措施	99
435	电路图	101
435.1	目的	101
435.2	电路图种类	101
440	绝缘	102
450	安装问题	102
451	相电压不平衡	102
452	功率因数问题	104
454	电磁干扰的控制	105
454.1	概述	105
454.2	电磁干扰源及其干扰场的特性	105
454.3	采用屏蔽以隔离干扰源或者受干扰设备	106
454.4	采用滤波的方法隔离受干扰设备的干扰源	107
454.5	设备固有抑制能力的设计	108
454.6	音频干扰	108
455	操作人员的安全	109
500	设备特性	111
510	飞行器发电机	111
511	机械考虑	112
511.1	安装	112
511.2	自然频率	113
511.3	驱动轴	113
511.4	轴承	114
512	冷却方法	114
512.1	风扇冷却	115
512.2	鼓风冷却	115
512.3	冷却空气	117
512.4	一次使用的冷却剂	117
512.5	液体冷却	117
513	额定值	118
513.1	限制额定值的因素	118
513.2	高度额定值	119
514	过载容量	119

514.1	过载要求	121
514.2	热极限	121
514.3	伏安极限	122
515	在低于额定值的状态下运行	123
516	瞬态过程及故障清除	123
516.1	直流发电机的瞬态过程及故障电流性能	123
516.2	交流发电机的瞬态过程及故障电流性能	124
517	直流发电机	124
517.1	发电机励磁的设计	125
518	交流发电机	125
518.1	副励磁机设计	126
519	性能数据	126
519.1	直流发电机	126
519.2	交流发电机	127
520	原动机和恒速传动装置	129
521	主推进发动机	129
521.1	活塞发动机	129
521.2	涡轮喷气发动机	130
521.3	涡轮螺旋桨发动机	131
522	辅助动力装置	132
522.1	活塞式辅助动力装置	132
522.2	涡轮式辅助动力装置	132
523	传动装置	134
523.1	恒速传动装置	134
523.2	恒比值传动装置	137
524	转速调节	139
525	振动	140
525.1	扭转振动	140
525.2	平移振动	141
526	连续高速运行	141
530	调压和负载分配	142
531	电压调节	142
532	调压器	142
532.1	直流系统用的炭片调压器	145
532.2	交流系统的调压器	148
532.3	功率输出级	148

VIII

532.4	基准电路	149
532.5	感受电路	149
532.6	无功负载均分	151
532.7	有功负载均分	152
533	变速恒频系统	153
533.1	发电机	153
533.2	变频器	153
533.3	负载均分	154
533.4	保护和控制	154
540	电动机与作动器	155
541	飞机发动机起动机	155
541.1	活塞发动机的起动——直接起动	156
541.2	涡轮螺旋桨和涡轮喷气发动机的电起动机	157
542	电动机的一般用途	158
542.1	确定额定值的基准	158
542.2	典型电动机的特性曲线	159
542.3	过载能力	162
542.4	偏离正常额定条件对特性曲线和负载的影响	163
542.5	起动条件	164
542.6	专用电动机负载——电气特性	169
542.7	特殊问题	170
550	变换装置	174
550.1	直流-交流变换装置	174
550.2	交流-直流变换装置	174
550.3	交流-交流变换装置	175
550.4	直流-直流变换装置	176
551	变换装置的应用	176
551.1	电气因素	176
551.2	变换装置的物理因素	177
552	变压器	178
552.1	电源变压器	178
552.2	自耦变压器	180
552.3	电压互感器	181
552.4	电流互感器	181
553	整流器	181
553.1	硒整流器	181
553.2	硅整流器	183

553.3 储整流器	184
554 变压整流器	184
554.1 概述	184
554.2 调压的变压整流器	184
554.3 不调压的变压整流器	186
560 蓄电池	186
570 控制和保护装置的特性	186
571 继电器和接触器	186
571.1 一般型式和结构	187
571.2 额定值	190
571.3 不利的工作条件	192
571.4 校准继电器	194
571.5 弱电电路的工作	195
572 断路器	196
572.1 断路器的类型和结构	196
572.2 工作方法	196
572.3 遥控断路器	196
572.4 额定值	196
572.5 重新闭合的特性	197
572.6 触点压力	198
572.7 指示工作状态或位置的方法	198
572.8 不利的工作条件	199
573 保险丝	199
573.1 定义、原理和一般介绍	199
573.2 保险丝的使用	200
573.3 保险丝材料	201
573.4 保险丝的连接	201
574 限流器	202
574.1 定义、原理和一般说明	202
574.2 用限流器保护电缆	202
574.3 用限流器来保护系统	202
574.4 使用	203
574.5 限流器类型	203
575 开关	204
575.1 一般介绍	204
575.2 基本开关类型	204
575.3 环境条件	205
575.4 电流和电压额定值	207

X

575.5 特殊开关举例	208
580 其它用电设备	209
581 电子设备	209
581.1 类型	209
581.2 电子设备的电路特点	210
581.3 电力类型	210
581.4 供电的变化	211
581.5 谐波含量	212
582 电加热器	212
582.1 空间电热器	212
582.2 直接传热的加热器	212
582.3 其它类型的加热器	213
583 螺旋管作动器	213
800 电气系统设计的程序	214
810 分析电气负载的方法	214
811 一般介绍	214
812 工作条件	214
813 供电要求	214
813.1 表格分析	214
813.2 其它附加因素	215
813.3 负载分析的意义	217
900 参考文献	218

000 引 言

010 概 述

笔者相信,本指南中所准备的材料将非常有助于一个更好的飞机电气系统的实现。这个信念在有美国国家航空和航天局(NASA)、自动车工程师协会(SAE)、美国全国电气制造商协会(NEMA)、美国空军系统司令部(AFSC)及美国海军航空系统司令部(NASC)参加的联席会议上得到了所发表的各种意见的印证。

020 达到高质量

飞机电气系统的优异性能可通过下述方法取得。

- a. 改进设备性能;
- b. 改善使用和安装技术。

改进设备的性能对某一具体设备来讲,是更有效地利用材料、进行精巧的设计或采用更好的制造工艺的结果。而改善使用技术则关系到选择最合适的设备,并使之最好地协调,最终使整个系统的功能最佳化。

030 范 围

本报告中所包含的材料主要是针对已取得改进的应用技术——即从完成某给定功能的一组具体设备获得尽可能高的性能。由若干设备组成的复合系统所表现出来的性能质量是受到所选用的设备的特性及其互相连接或相关的方式的影响。采用适当的应用技术可给这种复合系统带来大的好处。

要达到上述目的就要全而地处理好下面的以简要的形式定量

表达的特性。

a. 说明所包括的基本电气问题；

b. 组成系统的各种元部件的典型特性性能数据应定义在固有的极限之内，并有相当好的质量；

c. 采用分析或检测方法来鉴定一个具体的复合系统的质量及极限；

d. 制定具体的应用规则，把经验和判断进一步确认为对良好性能的保证；

e. 制定一般分析方法来概述必须审查或检测的各种因素。

虽然在本指南中不想定义或确定各具体部件的特性，但随应用而提出的一些所要求的特性可能会有助于在其他方面创造新部件或改进现有的部件。

飞机的用电设备有各种各样的特点，而重量和体积是很重要的。减少重量和体积与地面设备相比应成为极其重要的考虑因素。设备必须能在温度、湿度及高度大幅度变化的条件下成功地工作。通常，设备必须能承受其支承部件的剧烈震动，并也可能受到强大的声能的干扰。除了专门为用于飞机的考虑外，多年来工业部门积累的经验可在改善飞机电气系统性能中充分地得到利用。

多年来，飞机电气系统已从早期的非基本的汽车型系统发展为今天能完成许多必不可少的功能的通用系统。装机容量亦增长到必须更注意系统保护，才能保障安全。这些发生在飞机制造商的电气分公司一直在发展的时期中。事实上，大量工程技术的发展是由于对飞机电气系统越来越依赖，从而造成系统的规模及复杂性增长的结果。鉴于新的工程技术人才涌进这些机构，显然，广泛地总结一下基于坚实的基本原理上的良好的实用原则是极有好处的。自1941年来飞机的尺寸及数量前所未有地迅速增长及随之而来的电气系统容量的不断增加——主要在军用机方面——使得在电气应用实践方面积累了许多知识和经验。因此，开发、整理这个巨大的知识宝库，并把它们汇编成永久记录是重

要的。

在最后的分析中，从下列各方面可看出所得到的好处：

- a. 提高可靠性，减少运行的中断，减少维护工作量；
- b. 减轻重量；
- c. 简化安装、操作及维护；
- d. 对人员、飞机及电气设备更为安全；
- e. 降低飞机供电的费用；
- f. 提高供电的质量，诸如提高电压及频率调节精度。

100 供电系统的准则

110 基本因素

供电系统的目的是给负载设备供电，使之足够可靠和有效地工作。

120 发电机容量

研究一个供电系统的第一步是要确定负载的电气要求。根据这些要求就可以确定所必须的电源容量。为建立这一准则，就得对飞机进行负载分析。负载分析的方法是将负载要求分为三类，分别与发电机的短时过载、中等时间过载及连续容量相关。最好要仔细地审查负载分析，以确定当受到高度、温度、转速、冷却空气等等影响时，发电机在各时间阶段及飞机各种运行状态下是否都能提供足够的功率。可以短时间地利用发电机的过载能力。额定过载量在 514.1 节中讨论。分析电气负载的方法在 810 节中讨论。

130 系统容量

从电源到主汇流条的馈电线应能承受电源的满容量输出，即使发电机容量大大超过负载的需要。这就可使系统进一步扩大，并可在损坏一台或多台发电机时，充分利用其余的发电机容量。

131 影响交流发电机应用的特性

交流发电机及其调压器和各种励磁系统的设计在 000~120, 140~500 及 800 各章节中讨论。假设现在已有了设计匹配的发电机和调压器，电气系统工程师此时主要关心的是组合后系统的性

能特性。在研究同步电机时，这些优化设计过程是由一名同步电机设计师及一名调压器设计师组成的工作组完成的。在某些情况下，系统设计师对这种研究方法也感兴趣，他可以用来检查一下，是否充分利用了现有的设备。

系统工程师感兴趣的交流发电机的其他特性即稳态和瞬态参数，以及由于系统非正常状态（如短路、故障及输入转速低）产生的工作方式。因此这一节要讨论下列题目：

1. 同步电机的分析；
2. 电机额定值；
3. 非正常运行状态的影响。

这里先概述其中第一个题目，同步电机的分析。

人们发现，交流发电机可用各种电阻，电抗和时间常数来描述。这些数据再加上励磁器的时间常数及饱和曲线就可以描述调压器设计师和系统设计师所关心的系统。

注：在本讨论中，电机的电阻是忽略不计的。

分析一台交流发电机的常用方法包括首先确定交流端的作用，然后根据励磁系统及调压器的作用来修改这一分析。交流发电机最简单的概念是与一个感抗串联的电压源。换言之，端电压等于所产生的电势减去由于电抗产生的压降。这个电抗随以前的情况及我们所考虑的特定的时刻而不同。对稳态的情况来说，这个电抗一般地认为是励磁电流的一个线性函数，称为同步电抗。在计算瞬变情况下的交流分量时，串联电抗值不同于稳态时的值。它们通常称为瞬态电抗或超瞬态电抗。

首先研究稳态情况。同步电抗可以下列方式描述，为简化起见采用绕线转子理论。

图 I-1 中，设 ϕ 为交流发电机励磁线圈中流过直流电而产生的磁通量。 E_a 是此磁通在电枢里产生的电势，在向量图上滞后磁通 90° 。在空载时，因

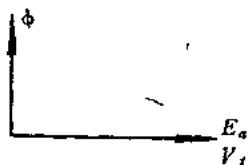


图 I-1 交流发电机励磁磁通及电枢电压向量——空载