

599924

504
5/6218

单极电机



成都科学技术大学图书馆

基本馆藏

序 言

最近几年，使用液态金属集电的单极电机在技术和科学的各个领域里获得了广泛的推广。尽管这类电机经历了漫长的历史发展路程，但有关这类电机的理论和设计方法，到目前为止，还是研究得很不够。大量的文章资料都侧重于叙述各国制造的各种型号单极电机的特点。使用液态金属集电有可能大大地改善单极电机的性能，引起了单极电机结构方面的很大进步，一定会开创技术应用上的新的可能性。

同时，在单极电机方面，无论是本国的文献，或是外国的文献，都没有进行十分充分的研究。本书力图弥补上述存在的不足之处。

本书的内容包括使用液态金属集电的各种类型的单极电机（圆柱式、圆盘式、空心转子、无铁磁磁路的电机、单极电动机）的基本理论、计算和试验方法。本书还研究了单极电机的分类、单极电机中的电磁场、计及漏磁通时磁路计算、电枢反应及其补偿、电机主要尺寸的确定，比较了所指出的各类单极电机的差异性。对试验研究的结果进行了分析，并计算了例题。本书大部分材料是研究成果，亦反映了作者独立研究的情况。

本书是作者根据多年在以谢尔盖·奥尔忠尼启则命名的莫斯科航空学院进行的科研成果而写成的。

本书写作分工如下：第六章是共同写的；第一章到第四章及第九章是由科学技术副博士 Б. Л. Алиевский 写的；第五章、第七章及第十章由科学技术博士 А. И. Бертинов 教授和 Б. Л.

Алиевский 合写的, 第八章由 С. Р. Троицкий 工程师写的。
附录由 Б. Л. Алиевский 和 С. Р. Троицкий 合写的。全书由
А. И. Бертинов 教授负责总校。

本书是总结有关单极电机工作的第一尝试。作者诚恳地听取
各方面的批评意见, 并请将意见寄至: 莫斯科 Ж-114, Шлюзо-
вая наб., д., 10, «Энергия» 出版社。

作者对本书的审阅者科学技术副博士 В. И. Радину 副教授
的宝贵意见深表谢意。

前 言

为了科研工作的需要，我们在广泛收集国内外有关单极电机资料的过程中，发现苏联别尔金诺夫(А. И. Бертинов)等人所著的《单极电机》(Униполярные электрические машины)一书有较大的参考价值。该书比较系统、全面地介绍了单极电机的分类、基本理论、计算方法以及试验结果。尤其对带有液态金属集电装置的单极电机作了更为详细的介绍。在附录部分还对各种类型的单极电机作了实例计算。

早在几年前译稿就已问世，但由于各种原因致使中译本现在才和读者见面，似乎有版本太老之感，可是到目前为止，尚没有发现类似的(无论中文、外文)有关单极电机的专著。所以该书仍不失为一本较好的参考书。

自六十年代以来，随着超导电技术的迅速发展，强磁场(几万至几十万高斯)的超导磁体在单极电机中的应用，使电压可提高到与常规直流电机相当，~~并且可省去笨重的铁磁磁路~~，使电机的重量大大减轻，~~体积大大减小~~，为单极电机的应用开辟了新的前景。它被广泛地应用在(工业、科研、国防)等许多新的领域。

在翻译过程中，~~对于书中一些明显的~~错误已作了更正。但限于我们的水平和经验，~~一定还有许多~~不当之处，热忱地欢迎同志们给予批评指正。

参加本书译、校工作的有赵玉成、唐绍栋、卢锦智、梁翰荪、葛文祺、蒋愁青、倪礼益等同志。张八英同志为本书描了插图。

七〇四所印刷厂为本书的印刷、装订给予极大的支持，为此表示衷心的感谢。

大连理工大学七二二研究所

一九八〇年二月

目 录

序 言

第一章 单极电机的现状及分类概述	(1)
1.1 单极电机的发展和应用.....	(1)
1.2 对低电压单极发电机的基本要求.....	(17)
1.3 有关单极发电机研究的文献简介.....	(19)
1.4 单极电机的感应电势、单极电机 定义、若干电磁异常现象.....	(22)
1.5 单极电机的分类.....	(27)
第二章 单极电机的电磁场	(35)
2.1 问题的提出.....	(35)
2.2 圆柱式电机空载时磁路中的磁场.....	(37)
2.3 圆盘式单极电机的磁场.....	(42)
2.4 圆柱式单极电机电枢中电流的分布.....	(44)
2.5 圆柱式电枢的电损耗和电阻.....	(47)
2.6 圆盘式电机电枢电流密度分布和 电阻.....	(51)
2.7 电磁转矩.....	(53)
第三章 空载时单极发电机的励磁和 磁路计算特点	(55)
3.1 实芯圆柱式单极电机磁路的等值 线路图.....	(55)
3.2 实芯圆柱转子单极电机的励磁绕	

组磁导和漏磁通计算·····	(58)
3.3 磁路表面之间磁导和漏磁通的计算·····	(61)
3.4 实芯圆柱转子单极电机的漏磁系数·····	(64)
3.5 空芯圆筒转子单极电机磁通、磁导 和漏磁系数·····	(65)
3.6 圆盘式单极电机的漏磁通和磁导·····	(68)
3.7 磁路计算、铁磁圆柱电枢中的磁 势降·····	(72)
3.8 圆柱式电机定子磁路中的磁势降·····	(75)
3.9 圆柱式单极电机工作气隙中的磁 势降和圆盘式单极电机非磁性空 间中的磁势降·····	(80)
第四章 在带有液态金属集电装置的单极 电机中的电枢反应·····	(82)
4.1 单极电机中电枢反应的特点·····	(82)
4.2 在带有环式液态金属集电装置的 单极电机中的电枢反应理论·····	(85)
4.3 横轴电枢磁场去磁效应的数值计算·····	(96)
4.4 关于利用电枢反应三角形的单极 发电机特性计算·····	(103)
4.5 补偿和降低电枢磁场去磁作用的 装置·····	(104)
第五章 单极发电机的液态金属滑动接点·····	(111)
5.1 单极电机的滑动接点问题·····	(111)
5.2 在接点中的流体动力效应、磁流 体动力效应、电磁效应和表面效应·····	(120)
5.3 液态金属集电接点的计算·····	(128)

第六章 单极电机计算的基本问题	(136)
6.1 主要尺寸的确定	(136)
6.2 磁路基本尺寸的确定	(150)
6.3 励磁绕组横截面各边间的最佳比值	(153)
6.4 单极发电机各电磁负荷之间的比 和电压、电流及容量之间的合理 比值	(158)
6.5 单边磁拉力的计算	(161)
第七章 各种单极电机的比较	(166)
7.1 利用系数的比较	(166)
7.2 集电接点最少的实芯光滑转子的 圆柱式单极电机	(167)
7.3 光滑转子和增粗转子的圆柱式单 极电机	(171)
7.4 实芯转子和空芯转子的圆柱式单 极电机	(172)
7.5 圆柱式和圆盘式单极电机	(173)
7.6 极数对相对重量值的影响	(174)
7.7 总功率相同时的单台电机和多台 电机的比较	(175)
7.8 转速对相对重量值的影响	(177)
7.9 圆柱式单极发电机和圆盘式单极 发电机电机极限功率的计算与比较	(179)
第八章 单极电机的电动机工况	(186)
8.1 单极电动机特性	(186)
8.2 摩擦力矩的流体动力学估算法	(195)
8.3 磁场和电场对摩擦力矩的影响	(205)

8.4	单极电动机的电磁转矩	(213)
8.5	电动机的基本计算关系式	(220)
第九章	无铁磁回路单极发电机的基本理论 和计算方法	(236)
9.1	关于无铁磁感应体的单极发电机 的一般介绍	(236)
9.2	无铁磁回路的磁场	(239)
9.3	圆柱式电枢和圆盘式电枢的电势	(241)
9.4	按照电枢绕组和激磁绕组之间的 互感来计算电势的方法	(244)
9.5	单极发电机设计的某些特点	(251)
9.6	无铁磁回路单极发电机脉冲工况 的理论基础	(255)
第十章	使用液态金属集电的单极电机的 试验研究	(260)
10.1	具有液体接点的单极电机试验研 究的任务和资料	(260)
10.2	试验研究的项目	(261)
10.3	测试方法的特点	(272)
10.4	试验的主要结论和对这些结论的 讨论	(276)
10.5	主要计算数据和试验数据比较	(283)
附 录	单极电机的计算	(285)
文 献		(327)

第一章 单极电机现状及分类概述

1-1 单极电机的发展和应用

最早的直流单极电机是 П. 巴尔卢 (П. Барлоу) 在 1824 年和 М. 法拉弟 (М. Фарадей) 在 1831 年制成的, 乃是最简单的电动机和发电机 [1~3]。

这两种电机分别用图 1-1、图 8-1 概括地表示之, 在上一世纪的八十年代, А. 福尔布斯特 (А. Форбст) 研究了电励磁的双圆盘式单极电机 [4]。随后, А. 聂鲁 (А. Леру) 又提出了空心转子单极发电机 [5]。

单极电机学科的发展是经过改进单极发电机的过程进行的, 而仅仅在最近 20 年内才试图研究单极电动机 (УД) 和特殊形式单极电机, 其中包括单极变流机 (УП)。

1934 年 (美国) 西屋公司制造了一台容量达 1125 千瓦, 150,000

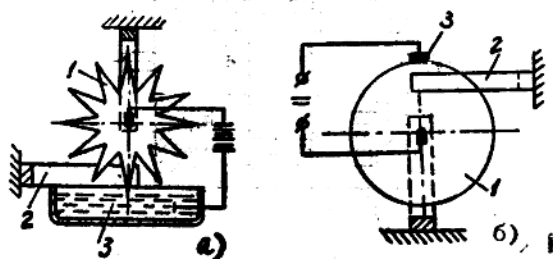


图 1-1 最早的单极电机

a——巴尔卢电动机, б——法拉弟发电机,
1-电枢; 2-感应子; 3-集电装置 (水银槽或固体电刷)。

安, 7.5 伏的单极发电机, 以供用电阻法焊接直径钢管之用。这台发电机(图 1-2)运行了 25 年之久[9]。1937 年, 在巴黎国际博览会上展出了 A. 巴尔逊 (A. Пугарсон) 设计的有补偿绕组的实芯圆柱电极的单极电机(图 1-3), 此电机是作电解用的。

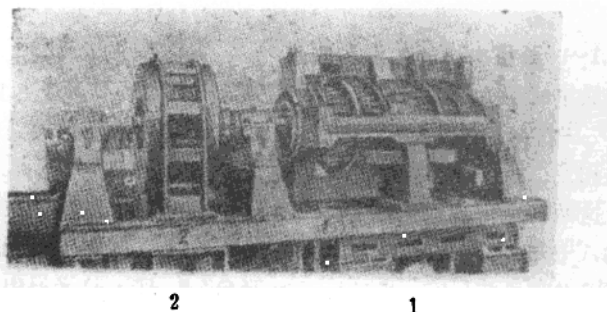


图 1-2 西屋公司制造的电焊用单极发电机的外形图

(15 万安, 7.5 伏)

1-发电机, 2-拖动电动机。

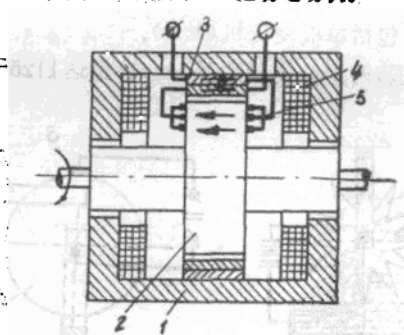


图 1-3 电解用巴尔逊带补偿绕组的单极发电机原理图

1-定子, 2-增粗式转子, 3-补偿绕组,

4-激磁绕组, 5-端面电刷集电装置。

在苏联，单极电机的发展是与 И. П. Иванов 和 Б. В. Костин 工程师的名字分不开的，由他们设计用于电解工业的单极发电机是在雅罗斯拉夫电工厂 (ЯЭМЗ) 制成的[10]。1939 年，苏联科学院技术科学部与电业管理局一起在雅罗斯拉夫电工厂召开了有关单极电机(以及在电机制造工业中采用永久磁铁)的会议，苏联最有名望的电工学者参加了这次会议，他们中有院士 К. И.

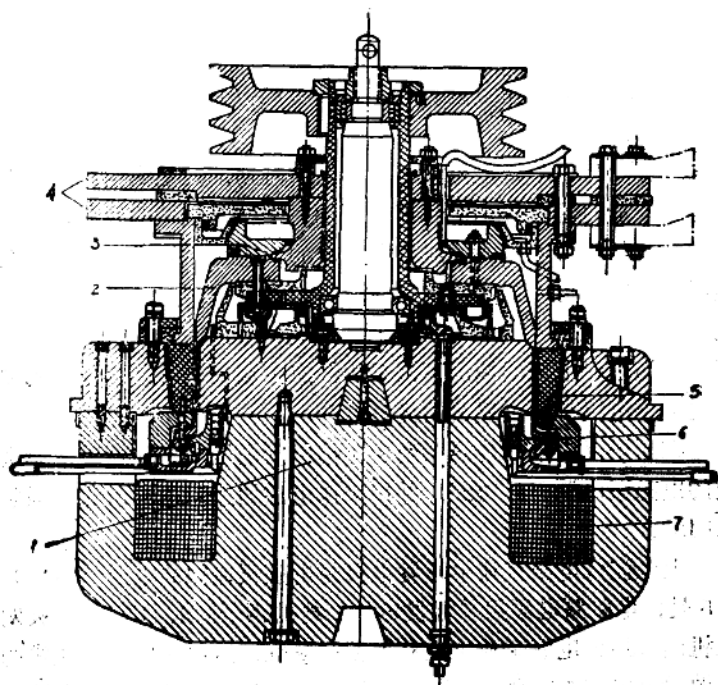


图 1-4 电磁泵电源用的 Д. 瓦特单极发电机结构
1-定子，2-空心钟式铜转子，3-上部半环形水银接点，
4-引出母线，5-由铁磁材料做的补偿“绕组”，6-下部水
银接点，7-激磁线圈。

Шенфер, В. Ф. Миткевич, М. П. Костенко, В. С. Кулебакин, 通讯院士 Г. Н. Петров 和 А. Н. Ларионов, 等。会议的决议指出了在单极发电机方面从事科学研究工作的必要性。由于 1941 年~1945 年的战争状态, 妨碍了这项决议的按时实现。

由于整流子(异极式)直流电机方面的发展成就, 使得在 110 伏及 110 伏以上的电压下, 采用单极电机不合适。大约在 30 年以前, 还认为单极电机没有实际价值[4]。但在低电压大电流的情况下, 单极电机在重量和性能技术指标方面均可以和整流子电机相竞争。

最近十年, 单极电机又经历了发展时期。这是由于原子能、带电粒子加速器、等离子物理等新的科学技术领域的发展, 以及液态金属传热解质方面的成就所促成的。通过对液态金属和合金性质的研究, 可以把它们用来做单极电机集电装置的滑动接点, 这引起了电机结构方面的巨大进步, 扩大了单极电机的应用范围。因为在大电流的情况下, 采用液态金属集电时, 单极电机要比整流子电机具有更显著的优越性。

在原子反应堆的传热系统中, 单极发电机用来作输送液态金属的电磁泵电源[11, 12], 并用来作电磁加速器电源以建立强磁场[13]。

大电流低电压直流单极发电机是电磁泵理想的电源。图1-4、1-5 是作电磁泵电源用单极发电机结构的例子[14, 15]。单极发电机同样用在电解工业上以获得铝和氯气, 这里对电解作业线的电源需要电流 15 万安, 相应的电压为 400 伏和 134 伏。在这种情况下, 需采用和蒸气透平同轴安装的 6 台单极发电机组成的机组(图 1-6)。每台由通用电气公司生产的单极发电机, 在 67 伏时可供电流 15 万安。

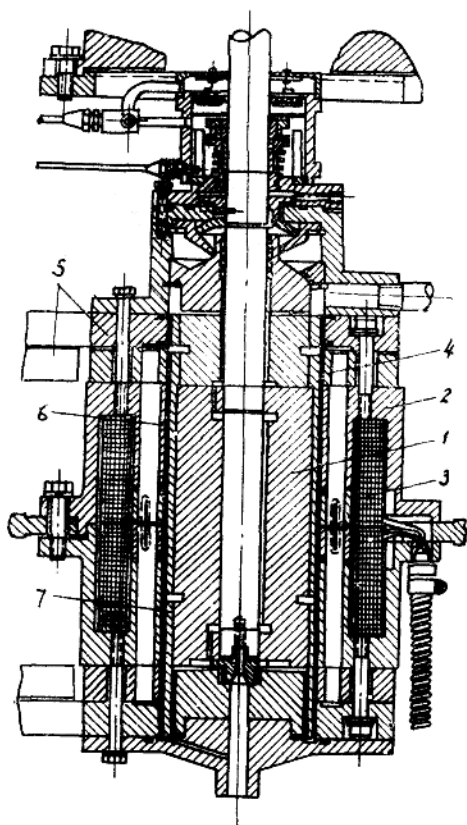


图 1-5 作电磁泵电源用的、采用钠——钾接点的单极发电机结构

1-转子；2-定子；3-激磁线圈；4-液态金属接点；5-电流引出线；6-补偿母线；7-接点圆筒(Cu)。

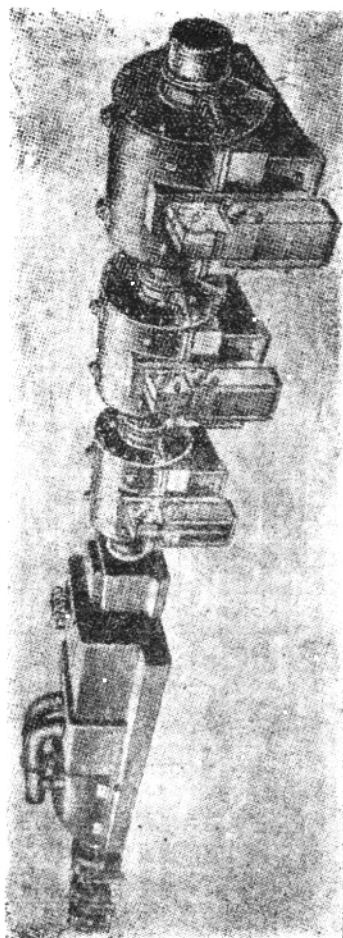


图 1-6 电解槽供电用的 6 台单极发电机和 1 台蒸汽透平组成的机组总图
(总电压 400 伏、电流 15 万安)

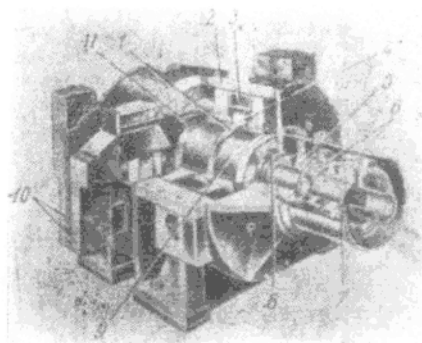


图 1-7 通用电气公司生产的容量为
10兆瓦，67 伏、15 万安的
单极发电机结构图

- 1—钠-钾合金集电装置的滑动电极，
2—定子，3—激磁线圈，4—集电装
置的固定电极，5—主轴承；6—止
推轴承，7—弹性联轴节，8—密
封，9—转子，10、11—用钠-钾合
金冷却的引出母线。

在炼铝时，6 台单极发电机作电气上的串联联接，在制取氯气时，6 台电机两两相串联。图 1-7 是通用电气公司生产的单极电机结构图。

美国 BBC 公司来用由 4 台相同的单极发电机构成的机组作为电弧风洞(Дуговая аэродинамическая Труба)感应线圈的电源。4 台发电机按图 1-8a 的线路联接，它可以供给脉冲容量 10 万千瓦，电流 110 万安，电压为 90 伏(每台发电机在电压 45 伏时供给 55 万安电流)。在风洞中，借助于感应线圈的电弧放电而获得马赫数超过 20 的空气流速，用来试验火箭和宇宙飞船装置的模型[16~18]。

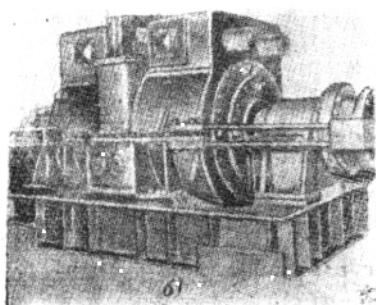
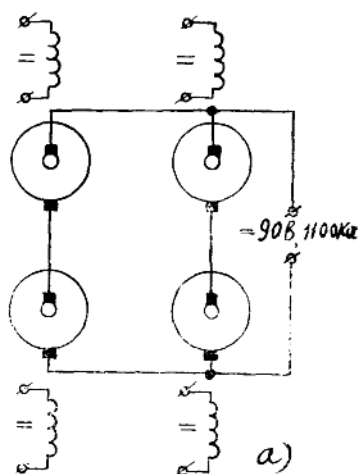


图 1-8 美国BBC公司电弧风洞
电源用的发电机

a——4台发电机组联接线路图，
6——单极发电机的外形图。

图 1-9 是爱理斯·查满斯公司(Фирма Аллис Чалмерс)生产的 30 伏、6 万安、1800 千瓦的单极发电机, 该电机是用来作各种物理研究的电源。

由 М. 奥尼凡特(М. Олифант)领导, 于 1956~1962 年在国立澳大利亚大学物理学院(堪培拉市)建成一台巨型的带有铁磁回路框架的 4 个圆盘式单极发电机[19~20]。这台电机的脉冲功率为 1.44×10^8 千瓦, 在电压为 800 伏时, 电流达 1.8×10^8 安。该电机是作为 100 亿电子伏特质子加速器的电源, 其结构简图见图 1-10。

图 1-11 是奥地利格拉茨市(Г. Грац)高等技术学校的单极发电机装置, 该电机是作研究用的。

国内外的一些单极发电机的主要技术参数列于表(1-1)上。

由表 1-1 可以看出, 各种单极发电机在很大的容量范围内得到广泛运用, 且作成了各种结构型式: 如实芯圆柱转子和空心圆柱转子, 圆盘式转子以及无铁磁回路的单极电机。最近几年制造的所有单极电机都采用液态金属集电装置, 并制成转子上没有绕组的。

根据文献[13]所提供的资料, 除了表 1-1 所列的单极电机外, 在美国的各个研究中心和大学里还运行着电流自 30×10^8 安 ~ 1.5×10^9 安(超过 10^9 安的为脉冲电流)单极发电机系列。

在 1906~1910 年, Б. 乌格尼莫夫教授研究成功了具有水银高速接点的单极发电机, 滑动接点的速度达到 300 米/秒以上, 至今也没有超过这个速度的。但是 Б. 乌格尼莫夫提出的刀型接点不适合长期运行, 因为在刀口部分由于蒸发而造成大量水银消耗(蒸发量达 14 克/小时), 并且刀型接点不适合传输大电流[10]。

在苏联, 用于单极电机的水银接点是由 Ю. Ю. 卡乌纳斯(Ю.