

高等学校教学用书

电 机 学

特 殊 部 分

第一册

M. II. 柯斯秦珂著

高等教育出版社

高等学校教学用书



电 机 学

特殊部分

第一册

M. II. 柯斯秦珂 著

熊大慰 李長彬 刘宾桐 譯
秦振紀 房耀文 董季蘭

高等教育出版社

本書系根据苏联国立动力出版社(Госэнергоиздат)出版的柯斯泰珂(М. П. Костенко)院士著的“电机学,特殊部分”(Электрические машины—специальная часть) 1949年版譯出的,原書經苏联高等教育部审定为动力系及电工系、动力高等学校及电工高等学校用的教学参考書。

本書研究对于許多不同型式的电动机而言其本質是共同的复杂过程和运转状态。中譯本分三册出版。第一册的内容包括电机和变压器的特种型式和系統,电机繞組的特种型式,整流子电机的整流問題,电机的参数等四編。

本書可供上述高等学校电机專業的高年級学生研究电机学特殊部分时之用,对在电机方面頗求深造的科学工作者和电气工程师也可供参考之用。

本書系由太原工学院电机系熊大慰、李長彬、刘宾桐、秦振紀、房耀文、董季蘭等同志合譯的,交通大学电机原理及設計制造教研組校訂的。

电 机 学

特殊部分

第一册

М. П. 柯斯泰珂著

熊大慰 李長彬 刘宾桐 秦振紀 房耀文 董季蘭譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·288 開本 787 X 1092 $\frac{1}{16}$ 印張 11 字數 248,000

一九五七年二月北京第一版

一九五七年二月北京第一次印刷

印數 00001—10,000 定價(10) 1.40

序

在本書內所討論的电机学理論問題，是具有原則性意义的，但已超出了电机学普通部分范围以外的一些理論問題。

在电机学的普通部分中(M. II. 柯斯秦珂所著“电机学”，国立动力出版社，1944年版)阐述电机在稳定运转过程的基本状态；可是在特殊部分中将讨论电机在各种不对称条件下运转的稳定状态以及瞬变状态。

这本电机学特殊部分包括的特殊问题是：直流和交流整流子电机的整流问题，交流电机的参数在理論上和实验上的确定方法，等值电路和几何轨迹的理論，附加损失和附加力与附加力矩，以及涌浪过程中的过电压等问题。

本書最后一篇讨论的是：将交流转换为直流的设备之主要型式和接线图，以及在它们里边所發生的基本电磁过程。

电机学特殊部分叙述的方法和普通部分叙述的方法是不同的。普通部分的进行是顺序介绍电机的各主要类型：直流电机、变压器、同步电机、异步电机和整流子电机。可是在特殊部分中则是研究对于各式电机就其本质是共同的各种更为复杂的过程和运转状态。这种阐述的方法使建立一系列的重要总结成为可能。

本書是供給电工專業高年級学生研究电机学特殊补充部分和作畢業設計时作为教学参考書用，同时本書也可供研究生和工程师研究电机理論的高度复杂性問題时应用。

本書叙述时注意到苏联發明家和科学家所建議与制成的各式电机以及电机的理論部分。

書中方括号內所注号码是参考文献的编号，此項参考文献一覽表拟另出專册①。

列宁格勒工学院电机教研組的許多同志們都参加了本書的編写和出版准备工作。

第四十三章和第四十九章是由斯大林獎金获得者 Л. B. 叶甫列莫夫所写；§ 6, 153, 154 和 165 是由技术科学博士 A. B. 特蘭比茨基所写，他在 1942 年敌人封鎖列宁格勒期間逝世；第三十二章和 § 147 与 149 是由技术科学副博士 E. A. 巴里所写；第四十二章是由技术科学博士 И. M. 波斯尼可夫所写。有些章节是由編者和一些其他人合写的：§ 5, 99 和 100 是和技术科学博士 A. B. 特蘭比茨基；§ 7 是和工程师 A. И. 瓦尔捷克；第五十章和 § 114 是和技术科学副博士 M. Г. 謝赫特曼；§ 116 是和工程师 B. B. 菲齐索夫。

技术科学副博士 M. Г. 謝赫特曼，特別是工程师 A. E. 瓦尔捷克，完成了本書絕大部分的校閱工作，此外，技术科学副博士 A. И. 瓦日諾夫，工程师 M. B. 拉特曼尼佐夫，工程师 B. B. 菲齐索夫，工程师 B. B. 普魯士-儒可夫斯基和 C. O. 拉比杜斯等参加了个别章节的校閱准备。編者对上述諸位均敬致謝意。

編 者

① 編者按：在中譯本中参考文献將附在第三册末。

主要符号

A —綫負載
 a —电樞繞組并聯支路的对数

B —磁通密度
 B_{us} —附加磁極下的磁通密度
 B_s —空气隙磁通密度
 b —导綫寬
 b —电刷寬
 b_k —整流区寬
 b_p —極心寬

D —电樞直徑
 D_k —整流子直徑
 d —表示电机縱軸的附标

E —电势
 E_1 —原路电势
 E_2 —副路电势
 E_t —变压器式电势
 E_B —旋轉电势
 e_b —电刷压降
 e_f —整流元件中的剩余电势
 e_g —直綫整流时的自感电势
 e_k —外界磁場感应于短接元件中的电势
 e_p —整流元件中的脉动电势
 e_s —整流的电抗电势
 e_t —变压器式电势
 e_{us} —整流的旋轉电势

F —表面
 F —磁势
 F_f —激磁繞組的磁势
 F_r —轉子磁势
 F_s —定子磁势
 f —頻率
 f_1 —原电路頻率
 f_2 —副电路頻率
 f_r —轉子的机械頻率
 f_z —齿頻

h —导綫高
 h_p —極心高

I —电流
 I_0 —空載电流
 I_2 —逆序电流

I_1 —原电路电流,一次电流
 I_2 —副电路电流,二次电流
 I_a —电樞电流
 I_k —短路电流
 I_r —轉子电流
 I_s —定子电流
 I_u —磁化电流
 i —电流的瞬时值
 i, i_1, i_2, i_a —整流元件中的电流
 i_f —激磁电流
 i_f —整流元件中的附加电流
 i_g —直綫整流电流

j —电流密度

K —整流片数目
 $k_{12} k_{13} k_{23}$ —三繞組变压器的变比
 k_s —空气隙系数
 k_o —槽的歪斜系数
 k_d —电樞反应磁場的基波对定子縱軸磁势的基波的折算系数
 k_e —电压变换系数
 k_i —电流变换系数
 k_p —繞組的分布系数
 k_q —电樞反应磁場的基波对定子橫軸磁势的基波的折算系数
 k_t —变换系数
 k_w —合成繞組系数
 k_y —短距系数
 k_z —齿漏系数
 k_α —極弧系数
 k_β —电刷跨接整流片距的数目
 k_ϕ —激磁繞組的总磁通与这个繞組的磁通之比

L —自感系数
 L_l —繞組端接部分的自感系数
 L_n —繞組槽部的自感系数
 l —長度
 l_a —电樞繞組半匝的長度
 l_f —激磁繞組一匝的長度
 l_s —繞組端接部分的長度

M —互感系数
 M —轉矩
 m —相数
 m —电樞繞組的多重系数

- N —电樞的导綫数
 n —轉速
 n_1 —同步轉速
 P —功率
 P_1 —輸入功率
 P_2 —輸出功率
 P_0 —从电網得到的功率
 P_R —無功功率
 P_r —电动机轉軸上的功率
 P_s —轉差率功率
 P_t —变压器式功率
 P_ψ —电磁功率
 p —極对数
 p —电机損耗
 p_1, p_2 —原电路、副电路損耗
 p_{Fe} —鉄耗
 q —每極每相的槽数
 q —表示橫軸的附标
 R —欧姆电阻
 R_b —电刷的接触电阻
 R_μ —磁阻
 r —电阻
 r_1, r_2 —原电路、副电路电阻
 r_f —激磁电路电阻
 r_k —变压器的短路电阻
 r_r —轉子繞組电阻
 r_s —定子繞組电阻
 S —繞組的漏磁自感系数
 S_b —电刷的接触面积
 S_1, S_2 —电刷的后刷边和前刷边的面积
 s —轉差率
 S_n —槽内导体数
 T —時間常数
 t —時間
 t_k —整流片距
 t_g —齿距
 U —电压
 U_1 —原边电压
 U_2 —副边电压
 U_k —整流子上的电压
 u —沿槽寬的元件数
 u —綫圈橫断面周長
 v —周边速度
 v_a —电樞周边速度
 w —繞組的匝数
 w_s, w_1 —定子电路, 第一电路繞組匝数
 w_r, w_2 —轉子电路, 第二电路繞組匝数
 w_a —电樞繞組的匝数
 w_n, w_f —激磁繞組的匝数
 w_k —整流元件的短路匝的数目
 w_k —补偿繞組匝数
 x —电抗
 $\underline{x}$ —以轉子值表示的电抗
 x_0 —零序电抗
 x_1 —順序电抗
 x_2 —逆序电抗
 x_1, x_2 —原电路、副电路电抗
 x_{ad} —縱軸互感电抗
 x_{aq} —橫軸互感电抗
 x_B —相帶漏电抗
 x_C —电容电抗
 x_{cd}, x_{cq} —縱軸、橫軸阻尼系統的漏抗
 x_d, x_q —縱軸、橫軸同步电抗
 x_d', x_q' —縱軸、橫軸瞬变电抗
 x_d'', x_q'' —縱軸、橫軸超瞬变电抗
 x_f —轉子繞組漏抗
 x_L —电抗
 x_r —定子繞組漏抗
 x_s —轉子繞組漏抗
 x_σ —齿漏抗
 x_μ —磁化迴路的电抗
 x_σ —自漏抗
 y —繞組节距
 y_1, y_2 —繞組的部分节距
 y_k —繞組的整流子节距
 y_n —繞組的槽节距
 y_y —均压連接的节距
 Z —槽数
 Z_1 —定子槽数
 Z_2 —轉子槽数
 z —电路的复数阻抗
 z_1 —原电路阻抗
 z_2 —副电路阻抗
 z_d —縱軸阻抗
 z_q —橫軸阻抗
 α —电刷移动角度

α, α_i —極弧系数	λ_z —齿漏磁导率
α —处于兩相鄰槽中导綫电势間的角度	λ_θ —差漏磁导率
β —轉子繞組軸对定子繞組軸移动的角度	λ_s —定子繞組漏磁的磁导
γ —电刷的位置角	λ_m —相帶漏磁导率
γ —隱極同步机中極距的繞綫部分与轉子極距之比	μ —导磁系数
δ —空气隙寬	μ_0 —空气的导磁系数
δ_w —附加極下空气隙寬	ν —諧波的次序
e —自然对数的底	ρ —电阻系数
ϵ_s —繞組节距縮短或加長的部分	τ —漏磁系数
η —效率	τ —極距
θ —轉子繞組軸对定子繞組軸移动的角度	τ_ν — ν 次諧波的極距
λ —磁导率	ϕ —磁通
$\lambda_{ad}, \lambda_{aq}$ —定子与轉子的互感磁通沿凸極机的縱軸与橫軸的磁导率	ϕ_k —有效的整流磁通
λ_σ —阻尼繞組漏磁的磁导率	ϕ_w —附加極的磁通
λ_d, λ_q —縱軸、橫軸总磁导率	ϕ —电流与电压的位移角
λ_f —激磁电路的漏磁导率	Ψ —磁鏈
λ_s —繞組端接部分的磁导率	Ψ_d, Ψ_q —定子繞組沿縱軸与橫軸的磁鏈
λ_n —繞組槽部的磁导率	Ω —角速度
	ω —角頻率

目 录

序	v
主要符号	vi
緒論	1

第一編 电机和变压器的特种型式和系統

第一章 直流电机	5
§ 1. 具有橫軸磁場的直流电机	5
§ 2. 具有第三电刷的电焊發电机	11
§ 3. 具有几个激磁繞組的电焊發电机	12
§ 4. 剖極式激磁机	13
第二章 变压器	14
§ 5. 三繞組变压器	14
§ 6. 高压試驗变压器	20
第三章 感应电机	23
§ 7. 电压調整器	23
§ 8. 調相器	29
§ 9. 作为自感綫圈的三相感应电机	30
§ 10. 双饋电动机	31
§ 11. 在恒定頻率的交流电同步傳送系統中的感应电机	32
第四章 交流整流子电机	37
§ 12. 交流整流子电动机	37
§ 13. 补偿式三相异步电动机	41
§ 14. 多相补偿式整流子电机	43
第五章 用以調整功率因数的异步电动机与整流子电机的串級联接	48
§ 15. 串級工作的一般原理	48
§ 16. 异步电机与純轉子激磁的进相机的串級联接	50
§ 17. 异步电机与变频机的串級联接	54
第六章 用以調节轉速的异步电动机与整流子电机的串級联接	57
§ 18. 串級的一般分类	57
§ 19. 异步电动机与补偿式整流子电机的串級联接	60
§ 20. 异步电动机与單电樞換流机的串級联接	64
§ 21. 异步-同步式串級	66
第七章 具有与轉速無关的調频系統	68
§ 22. 由恒速整流子發电机获得可变頻率	68
§ 23. 由变速整流子發电机获得恒定的頻率	70

第二編 电机繞組的特种型式

第八章 直流电机繞組	71
§ 24. 具有假元件的串联波形繞組和人工閉合的波形繞組	71

§ 25. 丙种均压连接	75
§ 26. 双整流子电机的繞組	75
§ 27. 蛙形繞組	77
第九章 交流电机繞組	79
§ 28. 每極每相分数槽繞組的一般原理	79
§ 29. 每極每相分数槽叠繞組	80
§ 30. 每極每相分数槽波繞組	87
§ 31. 双繞組	90
§ 32. 变極式异步电动机的繞組	91
§ 33. 三相补偿式整流子电机的繞組	94
第三編 整流子电机的整流問題	
第十章 直流整流子电机的整流	98
§ 34. 直流电机整流子的比面积	98
§ 35. 直流电机整流的完全方程式及其解答	99
§ 36. 整流火花的原因	107
§ 37. 整流的脉振电势	108
§ 38. 附加磁極的饱和对于整流的影响	109
§ 39. 整流区域的宽度	110
第十一章 交流整流子电机的整流	112
§ 40. 交流整流子电机整流子的比面积	112
§ 41. 整流的感抗电势	114
§ 42. 脉振电势 e_p 及变压器式电势 e_t	116
§ 43. 附加磁極	118
§ 44. 齿脉振电势	118
§ 45. 單相串激整流子电动机的整流	118
§ 46. 轉子饋电式三相并激整流子电动机的整流	122
§ 47. 定子饋电式三相并激整流子电动机的整流	123
§ 48. 三相串激整流子电动机的整流	125
第四編 电机的参数	
第十二章 同步和异步电机繞組的电阻和电抗	127
§ 49. 总述	127
§ 50. 静止多相电机的附加漏磁	130
§ 51. 旋轉的繞繞式异步电机的附加漏磁	139
§ 52. 旋轉的單鼠籠式多相异步电动机中通过的附加漏磁	143
§ 53. 同步电机中通过气隙的附加漏磁	146
§ 54. 同步和异步电机以相对單位制表示每相繞組的电抗	152
§ 55. 具有均匀及不均匀气隙的凸極电机的系数 k_f 、 k_{ad} 、 k_{aq} 及 k_ϕ	155
§ 56. 同步电机轉子电路的漏抗	158
§ 57. 逆序电抗	161
§ 58. 零序电抗	162
§ 59. 同步电机定子及轉子电路的电阻	162
第十三章 直流及交流整流子电机的参数	164
§ 60. 概述	164
§ 61. 短接綫匝的自感	164
§ 62. 整流子电机繞組的感应	165

緒 論

电机是现代动力设备中产生、变换和分配能量的主要机件。但迄今在其主要特征上，它仍保持着电工創始者們所發現的和所構成的原理和形式。

电磁感应原理發現了兩年以后，在 1833 年俄国科学院院士 Э. X. 楞茨創立了确定感应电流方向的定則和电磁慣性原理，这使得他有可能早在那时就形成了任何电机都以之作为基础的可逆原理。

这个被發現了的且被精确地陈述的电磁定律，有力地推动了人們去探索实际利用这个定律的道路，要把电能不仅轉变为光能而且也要它轉变为机械能。

創造第一部具有旋轉运动的电动机的無可置疑的优先权是属于俄国院士 B. C. 雅可比，他早在 1834 年已制成并且表演了以蓄电池作用的直流电动机，而且以后还作了改进。还应当說明，直到現在所有的交流和直流整流子电动机，仍保持着 B. C. 雅可比在这种电动机上所应用的整流子的主要特点。B. C. 雅可比也是地雷工作的創始人，他采用了感应綫圈，也就是最簡單的單相变压器，借此变压器之助使地雷爆炸的电能冲量得以沿水底電纜傳布得很远——达九千米的距离。B. C. 雅可比关于电能傳輸和变换問題的想法，在俄国工程师 И. H. 雅勃洛契科夫和 И. Ф. 烏薩金的工作中得到了进一步的發展，他們制成了开式磁路單相交流变压器来使雅勃洛契科夫的电燭得到長時間的供电。

到現在仍保持有其主要特点的電能的發生与远距离傳輸系統，是在 1883 年俄国著名的工程师 M. O. 多利沃-多勃罗沃尔斯基發明三相电流系統以后才得到發展的。在 1891 年 M. O. 多利沃-多勃罗沃尔斯基制成了三相同步發电机和具有閉合磁路的三相变压器，这才使得根据他的設計来建立輸送容量为 300 馬力、电压为 15000—30000 伏、距离为 175 公里的第一条三相長距离輸电綫成为可能。同时 M. O. 多利沃-多勃罗沃尔斯基制成了世界上最早的滑环式和鼠籠式异步电动机，同时不但有單鼠籠式的而且也有双鼠籠式的电动机。

在設計和制造三相电机和三相变压器时，M. O. 多利沃-多勃罗沃尔斯基同时也給繞組为星形和三角形联接的三相系統的基本工作原理以完整的理論根据。

以后在俄国，电机方面的理論和实验工作都集中到高等学校里，主要是大学里的物理-数学系和高等工業学校里去了；再后就集中到从二十世紀初在俄国就开始生長并快速發展的电工專業院系中去了。

这里首先应当指出俄国最早的电工学者 A. A. 伏朗諾夫、И. И. 柯普尼亞耶夫、С. И. 烏薩特、Г. А. 刘斯特、К. И. 申菲尔、Ф. И. 霍盧揚諾夫等在組織电机原理、电机計算和实验研究等方面的科学学派和出版这方面的教学用書所作的巨大工作。С. И. 烏薩特、Г. И. 刘斯特和 И. А. 依凡諾夫等的論文工作都是对电机和变压器理論方面的重大的貢獻。

苏联在电机方面工作的極盛时代是在偉大的十月社会主义革命以后，特別是在实施斯大林

五年計劃的年代里。苏联电气化全国委员会(ГОЭЛПО)在1921年为較短时期(10—15年)拟訂的并在这期間內超額完成了很多的列宁—斯大林的苏联电气化計劃,要求建立强大的电气工業,它应当滿足全国对电机、变压器以及其他电工器材的需要。那时候就徹底改建和扩建了已有的工厂,并且新建了許多拥有强大的計算設計机构、試驗站和研究实验室的电机制造工厂。同时也出現了一系列的独立科学研究机构和不同門类的电气安裝組織,还創設了全苏电工研究院(ВЭИ)。

关于电机与变压器的計算、結構、制造与研究等問題的大量且重要的工作,曾引起人們無論在电机制造的个别理論与实际問題上以及在这方面的一系列基础理論研究上都作了为数众多且極深刻的科学研究探討。在中央的和主管机关的科学技术杂志上的大批論文;各个高等电工專業学校,科学机关和研究院等的科学著作;大量的巨著和專門論文以及关于电机的原理、制造、实验研究和运行等問題的科学教育参考書籍都反映了苏联在电机制造方面的科学研究是在世界上占着主导地位的。在这阶段內还發明了許多新的独創型式的电机和变压器,以及它們个别部分的結構設計。这样,新的工作是繼承了俄罗斯电工先驅者在电机制造的發展初期就如此成功地开始了的、在电机制造方面具有新穎思想的光荣道路。

应当提出具有領導性的苏联学者和工程师們在关于电机和变压器的一般原理(А. Е. 卡普梁斯基、B. Т. 卡西揚諾夫、М. И. 柯斯秦珂、Г. Н. 彼得洛夫)以及关于电机制造的理論和实践的各个部門所完成的工作。属于这些工作的計有:关于交流电机和变压器的瞬变过程和同步电机并联运行的稳定性(И. С. 勃魯克、А. А. 伍尔夫、А. А. 戈列夫、Л. Н. 格魯佐夫、И. С. 日丹諾夫、B. И. 依凡諾夫、А. Г. 約西菲揚、Е. Я. 卡佐夫斯基、М. И. 柯斯秦珂、С. А. 列別捷夫、Р. А. 柳特尔、И. И. 馬尔科維奇、Г. Н. 彼得罗夫、И. М. 波斯尼可夫、B. А. 托尔文斯基、Н. Н. 謝德林);关于直流电机的整流、整流子上的环火和瞬变过程(А. Е. 阿列克謝耶夫、О. В. 勃朗、Н. И. 叶尔莫林、А. В. 約菲、B. Т. 卡西揚諾夫、М. И. 柯斯秦珂、Л. И. 莫罗佐夫、А. И. 莫斯科維廷、B. И. 倪基亭、B. И. 波朗斯基、B. К. 波波夫、К. И. 申菲尔、С. В. 尤季茨基);关于交流电机和变压器的参数、等值电路和几何軌迹(B. И. 阿帕罗夫、Л. В. 叶甫列莫夫、М. И. 澤姆梁諾依、М. И. 柯斯秦珂、Л. А. 罗蒙諾索娃、Е. Г. 馬尔克华尔特、Е. А. 帕尔、Г. Н. 彼得罗夫、Л. М. 朴德罗夫斯基、B. А. 托尔文斯基)。

对于交流电机在各种非正常情况外加电压不对称,定子和轉子电路的阻抗不对称,同步机的穩态短路和异步運轉等情况下運轉状态所作的众多的研究是極其重要的工作(B. И. 阿帕罗夫、И. С. 勃魯克、Л. А. 戈罗得斯基、Н. В. 戈罗霍夫、С. М. 戈赫別尔格、Л. А. 罗蒙諾索娃、Р. А. 柳特尔、М. И. 柯斯秦珂、Г. В. 麦尔金、И. А. 塞罗米亞特尼科夫、B. А. 托尔文斯基、Ю. С. 車契特、Г. И. 希圖尔曼)。这里也包括研究寄生力矩,噪音和附加損失以及关于繞組中应力的計算等工作(B. И. 阿帕罗夫、Р. А. 柳特尔、М. И. 柯斯秦珂、Г. Н. 彼得罗夫、М. О. 奧蘭斯基)。对涌浪过程中变压器和电机繞組中过电压所作的研究是一件極其重要的工作,它使創立苏联式防雷繞組成为可能(B. А. 卡拉謝夫、Л. И. 馬什基雷遜、Г. Н. 彼得罗夫、А. А. 車尔內舍夫、Г. Г. 施威茨),还有关于离子換流器和它們中的电磁过程的研究(B. И. 伏洛格丁、Л. А. 查瓦里欣、И. Л. 卡干諾夫、М. И. 柯斯秦珂、К. А. 克魯格、Л. Р. 聶孟、А. М. 烏捷夫斯基、Я. М. 車尔伏年斯基)。

对研究关于电机和变压器的通風和溫升曾經做过了大量的工作(А. Е. 阿列克謝耶夫、Ф. А.

捷門帖夫、B. B. 燕可、A. B. 約菲、M. II. 柯斯秦珂、C. B. 克勞烏茲、B. II. 庫茲涅佐夫、Л. P. 聶孟、Г. H. 彼得羅夫、C. A. 波戈熱夫、И. M. 波斯尼科夫、H. II. 薩文、H. A. 薩臧諾夫、B. A. 特拉彼茲尼科夫、П. II. 希托夫、Л. M. 希尼采耳、A. M. 埃夫羅斯)。對於電機和變壓器計算與結構的一般問題，以及獨特結構部分和繞組的製造上曾經完成了大量的工作，這對蘇聯電機製造工業的發展起了莫大的作用(A. E. 阿列克謝耶夫、A. C. 叶列麥耶夫、Л. B. 叶甫列莫夫、Л. O. 查斯拉夫斯基、Г. K. 熱爾威、B. T. 卡西揚諾夫、E. Г. 柯馬爾、M. II. 柯斯秦珂、A. B. 柯里茨基、B. II. 庫茲涅佐夫、A. II. 列維圖斯、A. B. 李普考夫斯基、P. A. 柳捷爾、Г. H. 彼得羅夫、T. Г. 索羅克爾、B. A. 托爾文斯基、A. B. 特蘭姆比茨基、B. A. 特拉彼茲尼科夫)。

對待特殊形式的電機也曾經做過很多的工作，其中應提出的是：И. C. 勃魯克、M. II. 柯斯秦珂、B. II. 庫茲涅佐夫、A. II. 莫斯科維廷、K. II. 申菲爾諸人關於可變參數異步電動機方面的工作；O. B. 貝乃迪克特、Л. II. 格涅丁、Л. H. 格魯佐夫、Ф. A. 捷門帖夫、Л. A. 查瓦里欣、M. II. 柯斯秦珂、A. B. 列別捷夫、Л. II. 莫羅佐夫、Г. H. 彼得羅夫、H. A. 薩臧諾夫、Ю. C. 契契特、K. II. 申菲爾、H. M. 雅基明科諸人關於交流整流子電動機、進相機和異步電機同整流子電機的串級聯接的工作；Л. B. 華西利耶夫、A. Г. 約西菲揚、T. Г. 索羅克爾和 Г. II. 希圖爾曼諸人關於自整角機和同步交連系統的工作；B. T. 卡西揚諾夫、Э. II. 埃列爾關於雙饋電動機的工作；Ф. A. 戈里亞英諾夫、A. Г. 約西菲揚、B. C. 庫列巴金、H. A. 莫諾斯宗、拉希考夫斯基關於電機型放大器的的工作。

另外應該提到蘇聯所發明和製造的許多新型的電機。計有：B. II. 烏格里莫夫和 B. B. 柯斯亭的單極發電機；B. II. 伏洛格丁的高頻發電機；A. A. 斯科莫羅霍夫和 И. B. 斯帖楚拉的異步聯接器 (асинхронная муфта)；M. II. 柯斯秦珂的有調頻且與轉速無關的整流子補償發電機；A. Г. 約西菲揚和 Л. B. 斯威恰爾尼克的無接觸自整角機；П. Л. 卡皮察和 M. II. 柯斯秦珂的衝擊式 (ударный) 同步發電機；O. B. 貝乃迪克特和 Л. M. 希爾丁奈爾的單相整流子式 50 赫電氣牽引電動機；C. B. 尤季茨基的自勵磁同步發電機；K. II. 申菲爾的變恒電壓為恒電流的直流電壓變換器；A. II. 莫斯科維廷的有翻滾轉子 (качающийся ротор) 的電機；П. A. 弗里德金，和 Г. II. 施圖爾曼的無減速器驅動裝置；以及其他諸電機。

生產革新者們的工作曾經得到很高的評價，政府將斯大林獎金授予很多解決了新的複雜的問題並實行了一系列的重要改進的電機製造工作者。

在電機製造方面曾經獲得斯大林獎金的是：M. Л. 布里津、K. B. 唐尼洛夫、Л. B. 叶甫列莫夫、E. II. 卡爾塔蕭夫、B. Г. 柯馬爾、И. A. 奧丁和 B. B. 蒂托夫，由於他們造成了每分鐘 3000 轉、100,000 千伏安的汽輪發電機，它就單位功率來說是當時的世界紀錄；A. C. 叶列麥耶夫、H. II. 依凡諾夫和 B. II. 費多羅夫，由於他們創制了強大的水力發電機，就外觀尺寸說它是世界紀錄；B. T. 卡西揚諾夫、A. A. 卡申、P. A. 柳特爾、И. H. 拉賓諾維奇和 Л. B. 沙皮羅，由於他們造出了巨大的直流電機；B. A. 華西利耶夫、B. H. 叶夫茲林、B. Ф. 諾沃克列希欽諾夫和 A. B. 沙皮羅，由於創造和掌握了新型異步電動機的生產；B. B. 格爾彼林、Ю. C. 克朗豪烏茲、C. II. 拉賓諾維奇和 A. M. 車爾廷，由於創造了新型的部分電容保護的防雷變壓器；Э. A. 曼尼金、H. H. 柯爾松和 Г. H. 彼得羅夫，由於創制了強大的整流變壓器。

由于苏联的科学家、工程师、發明家和生产革新者們的共同努力，使苏联的电机制造工業在斯大林五年計劃的年代里得到了巨大的躍进，并在世界上取得了主导地位，这使它进一步胜利發展有了保証。

第一編 电机和变压器的特种型式和系統

第一章 直流电机

§ 1. 具有橫軸磁場的直流电机

a) 具有橫軸磁場的电机的作用原理 倘若直流发电机 G 的磁場系由与該机在同一軸上的激磁机 E (圖 1) 所供給, 而激磁机 E 又从独立的电源例如蓄電池組来激励, 則当該电机組的旋轉方向改变时, 此机组中主发电机的端电压的極性并不改变。的确, 当旋轉方向改变时, 激磁机綫端 $1-1'$ 的極性和以前的相反, 这样就使发电机 G 的激磁繞組 M 內的电流改变方向, 但是由于发电机 G 的激磁系統的極性和电樞的旋轉方向同时改变, 故其端电压的極性保持不变。

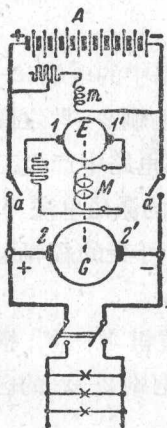


圖 1. 具有激磁机的直流发电机。

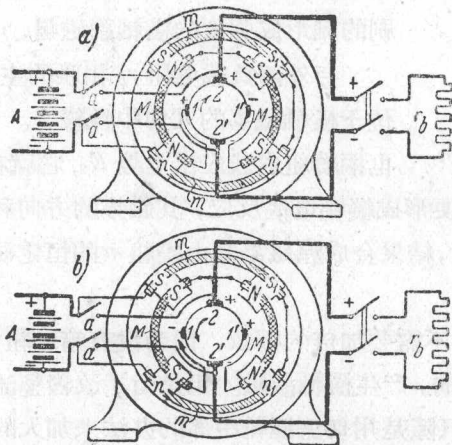


圖 2. 橫軸磁場直流电机的原理接綫圖。

場电机在实际構造上是將两个主極分裂成四个, 并且每極上繞有兩組分開的激磁繞組——即水平繞組 M 和垂直繞組 m 。在整流子上安裝的不是一組电刷而是兩組电刷, 即垂直的 $2-2'$ 和水平的 $1-1'$ 。垂直的激磁繞組 m 由蓄電池組供电, 結果上面的磁極产生南極 $s-s_1$, 而下面的磁極产生北極 $n-n_1$ 。当电樞在这些磁極的磁場內旋轉时, 水平电刷 $1-1'$ 上产生相当于圖 1 中激磁机 E 的电压, 它就在主发电机的激磁繞組 $M-M$ 中引起激磁电流, 于是水平电刷 $1-1'$ 的軸綫上产生了橫軸磁場。当电樞向某一方旋轉时, 左边的極为北極 $N-N$ 而右边的極为 $S-S$, 就会在主电刷 $2-2'$ 上产生一定的極性(圖 2, a)。

当电樞的旋轉方向改变时, 电刷 $1-1'$ 的極性随之而变, 結果, 由該組电刷供給电流的激磁系統 $M-M$ 在左边产生南極 $S-S$ 而在右边产生北極 $N-N$, 但因为电樞的旋轉方向和以前的相反, 所以主电路电刷上电压的極性与双电机系統(圖 1)中的情况一样, 仍然保持不变(圖 2, b)。由此可見, 在这两种接綫圖內(圖 1 和圖 2), 主电刷 $2-2'$ 可用閘刀开关 $a-a$ 与蓄電池組相联接, 这时蓄電池組作为緩冲蓄電池組用。

为了改善橫軸磁場电机的整流, 可以在凸出的激磁磁極間安裝附加磁極。

橫軸磁場电机有各种構造上的改变和不同的应用,关于这些当分别加以討論。

6) 轉速改变时电流为恒定值的發电机[参考文献 76, 77, 81, 131] 倘若把橫軸磁場电机中的水平电刷 $1-1'$ 自相短接, 則它就可省掉特別的水平激磁繞組 $M-M$ 。因为在这种情况下, 沿电刷 $1-1'$ 方向所产生的橫軸电樞反应的磁場就相当于由 $M-M$ 繞組所产生的磁場。根据上述原理做成的橫軸磁場电机的接綫圖示于圖 3。

电机的原磁場是由以蓄電池組作为电源的 m 繞組所产生, 因为橫軸磁場电机的原磁場相当微弱, 故極心与軛的截面都很小; 但为了让副磁通通过極靴, 所以極靴的橫断面很大, 因为副磁通在这种情况下是电机中的主要激励磁通。

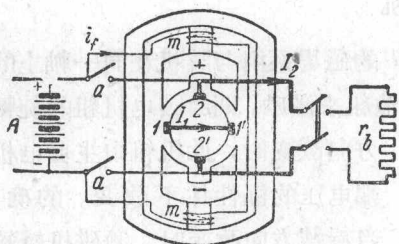


圖 3. 轉速改变时电流为恒值的發电机接綫圖。

由于在原磁場几何中性綫上的电刷 $1-1'$ 是被短接的, 故当电樞在原磁場中旋轉时, 电樞中产生的較小的电动势 E_1 , 就能够产生相当大的电流 I_1 , 該电流就沿电刷的軸形成强大的橫軸副磁場。

与外部負載电阻 r_b 相联的主要电路中的电刷 $2-2'$ 位于橫軸磁場的几何中性綫上。位于电刷 $2-2'$ 之間的电樞繞組內感应出电势 E_2 , 它就在外部电路中产生工作副电流 I_2 。电流 I_2 通过电樞繞組便形成縱軸电樞反应, 其磁势的方向和恒定的激磁电流 i_f 在繞組 $m-m$ 中产生的磁势方向相反, 結果合成原磁場是由繞組 m 的恒定磁势与可变的縱軸电樞反应磁势之差所形成。

橫軸磁場电机在实际構造上并不需要加倍的極数, 因为沒有第二組激磁繞組 $M-M'$, 橫軸电樞反应也能在沿电刷 $1-1'$ 的軸向, 产生橫軸激磁。但是为了改善整流, 在电刷 $2-2'$ 的区域内必須加大空气隙如图 3 所示, 空气隙是用切去極靴中部的办法来加大的。

橫軸磁場电机的特別性能是当外电路电阻 r_b 不变, 而轉速在广泛范围内改变的情况下, 它能給主电路以恒定的直流电流 I_2 。上述电机的这种特殊性能是研究下述情况所得出的結論。

令每一磁路激磁繞組产生的不变磁势用 F_f 代表而电樞的等值匝数用 $w_a k_a$ 来代表

其中

$$w_a = \frac{N}{2 \times 2ap},$$

而 k_a 是繞組系数, 此为分布繞組折算成集中繞組的系数并且等于 0.5^①。那时候縱軸的总磁通等于

$$\Phi_1 = (F_f - 0.5 w_a I_2) \lambda_1, \quad (1)$$

式中 λ_1 是有 Φ_1 通过的电机主磁路的磁导, Φ_1 可算是恒定的。

自相短路的电刷 $1-1'$ 間的电樞电势 E_1 和它所产生的电流 I_1 与 $\Phi_1 n$ 的乘积成正比, 倘若將橫軸磁通 Φ_2 所通过的磁路的饱和忽略不計, 則 Φ_2 將与由 I_1 所产生的橫軸电樞反应成正比, 因此

$$\Phi_2 = k I_1 = k_1 \Phi_1 n \quad (2)$$

① 分布繞組的磁势等于 $I_a w_a \left(\frac{1-\alpha}{2} \right) + I_a w_a \frac{\alpha}{2} = 0.5 I_a w_a$, 因此 $k_a = 0.5$ 。

电刷 2—2' 间的电枢电势等于整个电路中的电阻降,

$$E_2 = I_2(r + r_b) = I_2 R = k_2 \Phi_2 n = k_2 k_1 \Phi_1 n^2 \quad (3)$$

將(1)式中磁通 Φ_1 之值代入方程式(3)中,可得电流(I_2)的方程式如下:

$$I_2 = \frac{k_2 k_1 (F_f - 0.5 w_a I_2) \lambda_1 n^2}{R},$$

由此可得

$$I_2 = \frac{F_f}{0.5 w_a + \frac{R}{K n^2}}, \quad (4)$$

式中

$$K = k_2 k_1 \lambda_1,$$

当 $n = \infty$ 时,則

$$I_2 = \frac{F_f}{0.5 w_a} \approx \text{常数}.$$

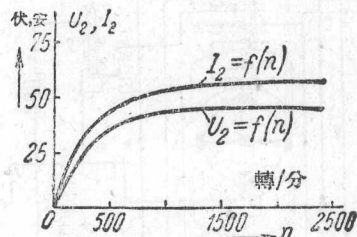


圖 4. 轉速变动时电流为恒值的發電机特性曲綫。

这样一来, 如果發電机外电路的电阻 r_b = 常数的話, 电流 I_2 就方圖保持不变。圖 4 表示上述發電机的 $I_2 = f(n)$ 和 $U_2 = \varphi(n)$ 的关系曲綫。从圖中可見在一定轉速範圍內电流 I_2 和电压 U_2 实际上保持不变。

轉速改变时电流恒定的發電机对于直接用車軸来傳动的列車照明來說, 具有很广泛的应用。当車行速度超过一定的範圍时或者車廂行动的方向改变时, 發電机端电压的大小和極性都不会改变, 因此發電机不需要任何激磁調整器。当行車速度很小或者停車时, 車廂內的照明由蓄電池組来供电, 因为刀閘 $a-a$ 总是闭合的而电樞在此时則从电路上断开。

Б) 轉速改变时电压为恒定的發電机 6 节里討論的橫軸磁場發電机的端电压, 当轉速改变时, 只有在外电路中的电流不变的情况下才能保持不变。这种發電机当負載电流改变时, 它的工作电路的电樞反应使沿縱軸的总磁通 Φ_1 随之而变, 因此沿橫軸的主磁通 Φ_2 也發生变化使电机主接綫端的电压相应地改变。

为了免除上述缺点, 曾經研究出各种改良型式的橫軸磁場电机, 在这些电机內沿着縱軸裝有附加的串联补偿繞組, 它是用来补偿工作軸上的电樞反应的。苏联供火車照明用的电机曾經采用根据上述原理的拉什考夫斯基式电机, 这种电机当轉速和負載改变时, 利用两个位于縱軸上的磁动势彼此相反的并联繞組 M_1 和 M_2 来調节电压使之保持恒定(圖 5)[参考文献 79]。

因为当拉什考夫斯基式电机的負載在任何改变情况下, 沿縱軸的电樞反应都被繞組 K 所自动补偿, 所以这种电机只需在無載运行时加以調整。对于这种电机是这样来調节的, 沿着电阻 r 移动的触点动塊与由主电路供电的螺管綫圈 δ 联接在一起, 触点讓反接繞組中的控制电流 i_{f1} 和 i_{f2} 通过, 其值适足以使电机产生規定的端电压, 即在所有运行时的变化条件下必須維持恒定的电压。当电压上升超过規定值时, 激磁磁动势較小的繞組 M_2 的电流 i_{f2} 增大, 而繞組 M_1 的电流 i_{f1} 减少, 因此总的平衡磁場和端电压开始下降; 反之当电压降低时, 繞組 M_1 的电流 i_{f1} 增加而繞組 M_2 的电流 i_{f2} 减少, 因此电压开始升高。

这种由縱軸控制电流到橫軸短路激磁电流的双重增强激磁的系統, 使控制繞組 M_1 和 M_2 中的損耗很小, 在拉什考夫斯基式电机中, 此种損耗总共約为 15 瓦, 因此調节电阻可以做得可靠。

輕便和簡單。

当拉什考夫斯基橫軸磁場电机的旋轉方向改变时,主綫端电压的極性並沒有改变,因为在这时候主要的橫軸激磁磁通也同时改变了方向。

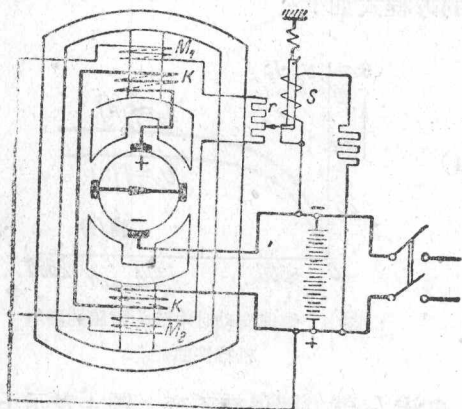


圖 5. 轉速改变时电压为恒定的拉什考夫斯基发电机的接綫圖。

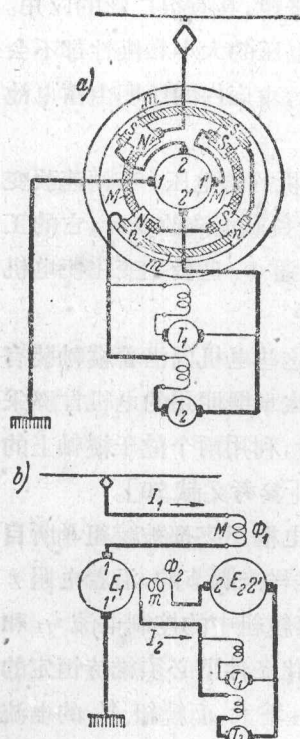


圖 6. 直流变流器的原理接綫圖。

Г) 申菲尔-別斯塔林式直流变流机^① [参考文献 96, 104, 105, 112, 138, 587] 直流变流机是一种当作变流器来运行的电机,它是根据橫軸磁場电机(参閱圖 2)的基本观念制成的,这种橫軸磁場电机有兩組同心的激磁繞組并且在每兩個極距內裝有四个極。直流变流机应用在电气机车上作为电压升降器,使启动时可以不用电阻,这样在經常停歇的情况下能够节省很多电能。

变流器的接綫圖示于圖 6, a, 从圖上可見具有水平軸的激磁繞組与水平电刷 1—1' 串联并且將它們接到外电路上即接触滑綫与地。具有垂直軸的激磁繞組 M 經過电刷 2—2' 与电樞繞組和曳引用的串激电动机組 T₁ 与 T₂ 相串联。上述两个电路在电气方面并無联系故可以用如圖 6, b 所示的两个独立的电路来代表。由于每一組激磁繞組是和軸綫与它的軸綫相同的电樞电路相串联,所以在这些电路中的任何一个也不会产生轉矩,故直流变流机应当由别的电动机来拖动。

从圖 6, b 的接綫圖可見每一激磁繞組并不是在自己的电路內而是在电气方面和它無关的第二个电路內产生工作磁通。从能量的观点上来看,从網絡获得电源的第一个电路是当作电动机来运行的,但是和曳引电动机联接的第二个电路是当作發电机运行。因为同一电机在同一時間內作为轉矩彼此平衡了的电动机与發电机来运行,所以任何直流变流机整个的是作为变流器来运行的。如果忽略变流机中的損耗,則輸入其中的功率 $P_1 \approx E_1 I_1$ 应当等于輸出的功率 $P_2 \approx E_2 I_2$, 由此得出直流变流器的基本方程式

$$E_1 I_1 \approx E_2 I_2. \quad (5)$$

因为直流变流机是在原电压 $U_1 = \text{常数}$ 的情况下运行,如果忽略原电路中的电压降 $I_1 r_1$, 并假定磁路沒有飽和,当 $n = \text{常数}$ 时則

$$E_1 \approx cn \Phi_2 \approx k' I_2 \approx \text{常数}, \quad (6)$$

由此可得

$$I_2 \approx \text{常数}.$$

直流变流机副电势等于

^① 直流变流机的概念是在 1929—1931 年院士 K. И. 申菲尔所首先創議,并且为意大利工程师別斯塔林所研究并实际应用于电气曳引中[“电”1940, 47—56 頁; RGE, 1930 XVII 卷 365—366, 395—406 頁]。