

高等学校教学用书

电 机 学

第三册

Л. М. ПИОТРОВСКИЙ 著
清华大学电力机械教研组译

高等教育出版社

高等學校教學用書



電 機 學

第三冊

Л. М. 朴德羅夫斯基著
清華大學電力機械教研組譯

高等教育出版社

本書係根據1949年蘇聯國立動力出版社(Государственное энергетическое издательство)出版的朴德羅夫斯基(Л. М. Пиотровский)著“電機學”(Электрические машины)譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為動力系及電工系、動力高等學校及電工高等學校用的教科書。

本書綜合地研究電機的各种問題。這些知識是電能和電工高等學校電機製造、發電廠、輸配電及和電機工作有關的其他電工部門各專業組學生所必需的。

本書是專供上述高等學校的學生用的，但對欲繼續在電機領域中深造的現場工程師亦可供參考之用。

參加本書第三冊翻譯和校訂工作的為清華大學電力機械教研組。

本書原由龍門聯合書局出版，現轉移我社出版，用該局原紙型重印。

電 機 學

第三冊

Л. М. 朴德羅夫斯基著

清華大學電力機械教研組譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第054號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店發行

統一書號 15010·393 開本 850×1168 1/32 印張 85/16
字數 191,000 印數 6,501—11,500 定價(10) 1.20

1953年10月龍門聯合書局製版

1957年2月新1版 1959年1月上海第4次印刷

目 錄

第三篇 同步電機

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第二十三章 同步電機概論 | 431 |
| 1. 同步電機的應用範圍 | 431 |
| 2. 同步電機構成的基本形式 | 432 |
| 3. 同步電機基本的構造類型 | 432 |
| 4. 汽輪發電機製造的簡史 | 433 |
| 5. 汽輪發電機構造的元件 | 434 |
| 6. 汽輪發電機的主要數據 | 446 |
| 7. 水輪發電機 | 446 |
| 第二十四章 交流電機的電動勢和定子繞組的問題 | 452 |
| 1. 概述 | 452 |
| 2. 問題的提出 | 453 |
| 3. 導線內的電動勢 | 453 |
| 4. 一匝的電動勢 | 459 |
| 5. 整距繞組與短距繞組 | 463 |
| 第二十五章 整距和每極每相整數槽定子的電動勢和單層繞組 | 464 |
| 1. 單相集中繞組 | 464 |
| 2. 單相分佈繞組 | 465 |
| 3. 分佈繞組的基本波電動勢 | 466 |
| 4. 分佈繞組的高次諧波電動勢 | 469 |
| 5. 整距分佈繞組的總電動勢 | 470 |
| 6. 整距的單相繞組($y=\tau$) | 471 |
| 7. 三相單層繞組的主要圖形 | 474 |
| 8. 繞組連接方法對電動勢大小及波形的影響 | 481 |
| 第二十六章 每極每相整數槽定子的電動勢及三相雙層繞組 | 485 |
| 1. 概述 | 485 |

| | |
|--|------------|
| 2. 從直流繞組得到三相繞組的原理 | 485 |
| 3. 雙層三相繞組 | 487 |
| 4. 電動勢的一般公式 | 490 |
| 第二十七章 每極每相分敷槽繞組。齒諧波電動勢 | 492 |
| 1. 齒諧波電動勢 | 492 |
| 2. 每極每相分敷槽繞組 | 494 |
| 3. 極尖的削斜 | 503 |
| 第二十八章 同步電機與異步電機定子繞組的磁動勢 | 505 |
| 1. 概述 | 505 |
| 2. 定子磁場的基本成份 | 506 |
| 3. 整距單相單層集中繞組($m=1, q=1, y=\tau$)的磁動勢 | 506 |
| 4. 每極每相整數槽及整距單相單層分佈繞組($m=1; q=$ 整數; $y=\tau; \delta=$ 常數; $\mu_c=\infty; i=I_m \sin \omega t$)的磁動勢 | 509 |
| 5. 每極每相整數槽及短距單相雙層集中繞組($m=1; q=1; y<\tau; \delta=$ 常數; $\mu_c=\infty; i=I_m \sin \omega t$)的磁動勢 | 511 |
| 6. 一般單相繞組($m=1; q=$ 整數; $y<\tau; \delta=$ 常數; $\mu_c=\infty; i=I_m \sin \omega t$)的磁動勢 | 513 |
| 7. 多相繞組的磁動勢 | 513 |
| 8. 整距集中繞組三相電機($m=3; q=1; y=\tau; \delta=$ 常數; $\mu_c=\infty; i=I_m \sin \omega t$)的磁動勢 | 514 |
| 9. 磁動勢的建立 | 516 |
| 10. 磁動勢曲線分析的條件 | 519 |
| 11. 總磁動勢的第一諧波的性質 | 519 |
| 12. 磁動勢旋轉方向的轉換 | 523 |
| 13. 三相電機第三諧波磁動勢的性質 | 523 |
| 14. 三相電機第五諧波磁動勢的性質 | 524 |
| 15. 高次空間諧波磁動勢的性質 | 526 |
| 16. 高次諧波電流所產生的諧波磁動勢的觀念 | 526 |
| 第二十九章 交流電機中的漏磁 | 528 |
| 1. 概述 | 528 |
| 2. 磁導 | 529 |
| 3. 槽磁導的決定 | 530 |
| 4. 齒磁導的決定 | 533 |

| | |
|---|------------|
| 5. 端接部份漏磁通的磁導 | 534 |
| 6. 漏磁通的總磁導 | 535 |
| 7. 漏電動勢 | 535 |
| 8. 差漏磁 | 535 |
| 第三十章 同步機的電樞反應 | 537 |
| 1. 概述 | 537 |
| 2. 三相電機中轉子和定子第一諧波磁動勢的相互作用 | 538 |
| 3. 隱極機電樞反應的橫的和縱的磁動勢 | 541 |
| 4. 凸極機電樞反應的橫的和縱的磁動勢 | 542 |
| 5. 單相機的電樞反應 | 546 |
| 第三十一章 同步發電機在平衡負載下的向量圖 | 549 |
| 1. 概述 | 549 |
| 2. 電壓變化 ΔU | 550 |
| 3. ϑ DC 圖 | 551 |
| 4. 轉換過的 ϑ DC 圖 | 553 |
| 5. 相對單位制 | 554 |
| 6. ϑ DC 圖的分析 | 554 |
| 7. 無載特性曲線 | 554 |
| 8. 三相短路特性曲線。縱同步電抗 x_d 的不飽和值 | 556 |
| 9. 短路比(OKB) | 558 |
| 10. 電抗 x_d 的飽和值。當 $\cos \varphi \approx 0$ 時的電感負載特性曲線 | 558 |
| 11. 橫電抗 x_q | 560 |
| 12. 漏電抗 x_s | 561 |
| 13. 定子繞組的電阻 r_a | 563 |
| 14. ψ 角的決定 | 564 |
| 15. 電抗的數值 | 564 |
| 16. 簡化 ϑ DC 圖 | 565 |
| 17. ϑ MD 圖 | 566 |
| 18. 例題 | 567 |
| 19. 同步發電機的外特性曲線 | 569 |
| 20. 調整特性曲線 | 570 |
| 21. 同步發電機的損耗和效率 | 571 |
| 第三十二章 同步發電機的不平衡的持續運行 | 574 |
| 1. 概述 | 574 |

| | |
|--|------------|
| 2. 順序電抗 x_1 | 575 |
| 3. 逆序電抗 x_2 | 576 |
| 4. 零序電抗 x_0 | 573 |
| 5. И.А. 羅蒙諾索娃的同步機不平衡特異短接的向量圖 | 582 |
| 6. 三相、二相和單相短接電流的關係 | 587 |
| 7. 電抗 x_2 和 x_0 的飽和值 | 588 |
| 第三十三章 突然短接 | 589 |
| 1. 概述 | 589 |
| 2. 超導體線圈磁鏈不變的原則 | 590 |
| 3. 當 $\Psi_0=0$ 時的突然三相短接 | 591 |
| 4. 當 $\Psi_0=\Psi_{10}$ 時的突然三相短接 | 597 |
| 5. 超瞬變和瞬變的電抗 | 600 |
| 6. 突然三相短接電流 | 603 |
| 7. 電抗 x'_d 和 x'_q 的數值 | 603 |
| 8. 二相和單相突然短接電流 | 604 |
| 9. 突然短接的時間常數 | 605 |
| 10. 時間常數的數值 | 608 |
| 第三十四章 同步發電機的並聯運行 | 610 |
| 1. 概述 | 610 |
| 2. 單相發電機並聯連接的條件 | 611 |
| 3. 三相發電機並聯連接的條件 | 614 |
| 4. 發電機並聯運行的基本情況 | 616 |
| 5. 在轉速不變時同步電機(發電機)的功率和轉矩的等式 | 617 |
| 6. 電磁率 P_M 的公式 | 618 |
| 7. 當 M = 變數和 i_0 = 常數時發電機在電壓 U 和頻率 f 均不變的電網上的運行 | 619 |
| 8. 比整步功率 | 621 |
| 9. 在額定負載時角 θ 的值 | 622 |
| 10. 電磁功率的附加分量 P'_M | 622 |
| 11. 發電機的過載能力 | 625 |
| 12. 並聯運行時靜穩定和動穩定的觀念 | 625 |
| 13. 在電壓和頻率均不變的電網上,發電機當 M = 常數和 i_0 = 變數時的運行。 同步發電機的 U 形曲線 | 628 |
| 第三十五章 同步電動機 | 634 |
| 1. 概述 | 634 |

| | |
|---|------------|
| 2. 同步電動機概論 | 635 |
| 3. 同步電動機的運行原理 | 637 |
| 4. 當 $n = \text{常數}$ 時同步電動機的功率和轉矩 | 638 |
| 5. 同步電動機的 ΣTC 圖 | 638 |
| 6. 同步電動機的電磁功率 | 640 |
| 7. 當 $U_c = \text{常數}$, $f = \text{常數}$, $M = \text{常數}$ 和 $i_a = \text{變數}$ 時同步電動機的運行。電動機 的 U 形特性曲線 | 640 |
| 8. $U_c = \text{常數}$; $f = \text{常數}$; $i_a = \text{常數}$; $M = \text{變數}$ 時同步電動機的運行特性曲線 | 648 |
| 9. 反應式電動機 | 645 |
| 10. 同步補償器 | 646 |
| 第三十六章 同步機的振盪 | 650 |
| 1. 同步機的自由振盪和強制振盪。物理的景象 | 650 |
| 2. 同步機在振盪時力矩的和功率方程式 | 653 |
| 3. 振盪時的電磁功率 P_{Mx} 和力矩 M_x | 654 |
| 4. 阻尼力矩 M_y | 654 |
| 5. 功率 P_f 和動力矩 M_f | 657 |
| 6. 原動力機的力矩 | 658 |
| 7. 解同步機力矩公式的步驟 | 659 |
| 8. 自由的、不衰減的振盪: $C_{ya} = 0$ 和 $\Delta M_1 = 0$ | 660 |
| 9. 自由的衰減的振盪 | 662 |
| 10. 單獨運行的同步發電機的強制振盪 | 664 |
| 11. 發電機在無窮大的電網上運行時的強制振盪: $U = \text{常數}$, $f = \text{常數}$ | 667 |
| 第三十七章 從交流到直流的旋轉換流機 | 671 |
| 1. 從交流到直流的換流機簡論 | 671 |
| 2. 單電樞換流機的電壓比和電流比 | 675 |
| 3. 換流機電樞繞組裏的總電流及損耗 | 678 |
| 4. 電樞繞組的損耗 | 679 |
| 5. 換流機整流子可容許的最大電壓及換流機的最大容量 | 681 |
| 6. 換流機的電樞反應及它的電壓隨負載的變化 | 682 |
| 7. 單電樞換流機整流的特點 | 688 |
| 8. 單電樞換流機的電壓調節 | 694 |
| 9. 單電樞換流機的起動 | 687 |
| 10. 從直流到交流的變換 | 687 |
| 11. 雙電流發電機 | 697 |

第三篇 同步電機

第二十三章

同步電機概論

1. 同步電機的應用範圍

交流電機分成兩類：A) 同步電機及 B) 異步電機。在這一篇中，我們將祇討論同步電機，但是有些問題，包括交流電機裏最重要的關於電動勢和磁動勢的問題，是有着一般性的，因而能夠應用到所有的交流電機上。

同步電機是這樣一種交流電機，它的轉速 n 和電網頻率 f 有嚴格不變的關係，即：

$$f = \frac{pn}{60} \quad (23-1a)$$

或

$$n = \frac{60f}{p} \quad (23-1b)$$

一般說，同步電機由直流激磁，但是也能夠沒有外加的激磁而運轉，後一類型的電機，稱為反應式的，較不重要，將在研究主要型式同步電機時附帶提一下。

同步電機主要用作工業頻率的三相交流發電機。因為事實上這是現代發電的唯一方式，所以同步電機的功用和價值是極端重大的。

同步電機，和其他所有的電機一樣，是可逆的，即不僅可以作為發電機運行，還可以作為電動機，雖然，在後一個範圍裏，異步電動機更為

重要；但是在某種情況下，——容量在 50 仟瓦以上，不需要調節速度的設備中——同步電動機也常被應用。

最後，同步電動機可以用做補償器，即電感的或電容的無功功率發電機，這種補償器運行在電網上，可以補償電網的無功功率。

從上面我們知道，同步電機是電機中最重要的一種類型。

2. 同步電機構成的基本形式

如果在以直流激磁的電機裏，線匝末端的出頭不接到整流子而接到滑環上(圖 1-1)，那麼我們就得到交流同步電機。在構造的關係上，這樣的電機是不合理的。現在的同步電機已經被造到電壓為 16 仟伏(有時還到 35 仟伏)。在這樣的電壓下，滑動接觸的使用——不動的電刷及轉動的滑環——已非常不可靠。因此在現在的同步電機裏，我們把電樞繞組和激磁繞組擱在和直流電機裏相反的位置上，即：把電樞繞組擱在定子上，即電機不動的部份；而把激磁繞組擱在轉子上，即電機的轉動部份。電機激磁所必需的直流則經過滑環引入到激磁繞組去，如圖 23-1a 和 b 所示。這並不顯得不方便，因為滑環間的電壓不超過 250 伏。

下面的敘述，我們將祇考慮同步電機的這一種基本構成形式。

3. 同步電機基本的構造類型

從構造的關係上看，同步電機分為兩種類型：

- a) 隱極式，即電機沒有顯露出來的磁極(圖 23-1a)；和
- b) 凸極式，即電機有顯露出來的磁極(圖 23-1b)。

採用那一種同步電機是和它的旋轉速度 n 有關的，從公式(23-16)知道，在已知頻率 f 下，轉速 n 和極對數 p 成反比，例如 $f=50$ 週波， $p=1$ ，那麼 $n=3000$ 轉/分；若 $p=2$ ，則 $n=1500$ 轉/分。在這樣的電機裏轉子圓周上的速度是如此之快(在某些情況下它達 170 米/秒)

以致從機械的堅固上、和使激磁繞組有更好的絕緣上來考慮，繞組都必須分佈在轉子的表面上，即把電機做成隱極式的。

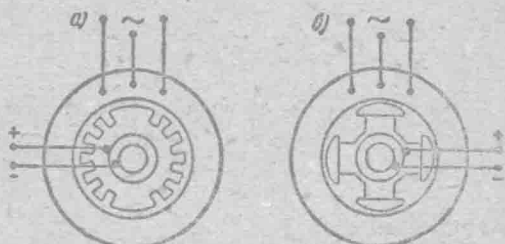


圖 23-1. 同步電機的基本類型

如果 $p > 3$ ，那麼轉子圓周上的速度減小了，因而同步電機可以做成凸極式的，因為在構造上，這種電機比隱極式的簡單。

在下面的敘述裏，我們將指運行在發電機情況的同步電機而言，因為這是基本的。通常同步發電機都是由汽輪機或水輪機拖動的。前一種叫做汽輪發電機，後一種叫做水輪發電機，汽輪機屬於高速機器類，因此汽輪發電機採用隱極式的，相反地，水輪發電機採用凸極式的，因為水輪機屬於低速機器的一類。

4. 汽輪發電機製造的簡史

在本世紀的開始，汽輪發電機的製造，僅僅處於萌芽的階段，關於它以後的發展情形可以由表 23-1 的數據來說明。汽輪發電機單位容量的迅速增長，說明了電力需要的強烈增加，以及由此而來的中央發電站容量的增加。

從表上看出，從 1918 年開始停止製造 $n = 1000$ 轉/分的汽輪發電機，因為 $n = 1500$ 轉/分的汽輪發電機比 $n = 1000$ 轉/分的又輕又便宜。例如，在 1918 年製造的 $n = 1000$ 轉/分，55000 仟瓦的汽輪發電機的重比達到每仟瓦 3.68 和 4.16 公斤，而“電力”工廠在 1932 年製造的 $n = 1500$ 轉/分，50000 仟瓦的汽輪發電機的重比祇到 2.6 公斤/仟瓦。

這個表還說明了，在最近，轉速 $n = 3000$ 轉/分的兩極汽輪發電機有很大的發展。但是必須注意在從四極轉變到兩極的過程中，主要的

表 23-1. 汽輪發電機製造的發展

| n=1000 轉/分 | | n=1500 轉/分 | | n=1800 轉/分 | | n=3000 轉/分 | | n=3600 轉/分 | |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|---------------|-------------|------------------|-------------|
| 年 | P 1000仟瓦 | 年 | P 1000仟瓦 | 年 | P 1000仟瓦 | 年 | P 1000仟瓦 | 年 | P 1000仟瓦 |
| 1906 | 6.3 | 1905 | 3.6 | | | 1904 | 1.25 | | |
| 1911 | 21.4 | 1911 | 12 | | | 1911 | 4.4 | | |
| 1913 | 29.5 | 1913 | 25 | | | 1913 | 6.25 | | |
| 1918 | 55.0 | 1920 | 36 | 1920 | 31 | 1920 | 20 | 1920 | 7.5 |
| | 停止製造 | 1922 | 45 | | | 1927 | 40 | 1927 | 12.0 |
| | | 1925 | 60 | 1925 | 50 | 1931 | 80 | 1930 | 15.0 |
| | | 1927 | 100 | 1927 | 60 | 1937 | 100 | 1931 | 18.0 |
| | | | | 1929 | 75 | (蘇聯—空 氣冷卻) | | 在計劃中 93500 仟瓦 | |
| | | 1927 | 160 | 1930 | 105 | 1945 | 100 | | |
| | | | | 1934 | 115 | (蘇聯—氫 冷卻) | | | |
| | | | | 1944 | 147 | | | | |

好處，不是在發電機方面，而是由於高速的汽輪機比較價廉及運行經濟。

製造的計算說明了，5 萬仟瓦兩極的汽輪發電機有效部份的重量比同樣大的四極發電機的要少 8%。

汽輪發電機製造的發展，在技術上提出了一系列極複雜而重要的問題，例如關於發電機的機械的和電的強度、它的效率及冷卻條件等問題。

蘇聯汽輪發電機製造的發展過程，在緒論裏，已詳細講過。

5. 汽輪發電機構造的元件

圖 23-2 表示“電力”工廠製造的一具典型的 6000 仟瓦，3000 轉/分的兩極汽輪發電機的縱剖面，在容量較大的汽輪發電機裏，基本的構造改變並不多，尤其是同一個工廠的出品。某些構造元件的改變，將在下面個別地提出來。

A. 轉子 轉子是汽輪發電機最重要的部份，決定轉子運行特性的，主要是它的圓周上的很大的線速度。在四極汽輪發電機裏達到 100—125 米/秒，而在大容量的兩極汽輪發電機裏達到 150—160 米/秒。

在這種速度下所產生的離心力使得轉子的某些部份發生很大的機械應力。而且當負載突然去掉，而汽輪發電機轉速上增的時候，它們增長得還要多。因此按照蘇聯國家標準(ГОСТ 183-41)每一個轉子必須經得住 2 分鐘比額定速度高 20% 的試驗。由於這個緣故，關於為轉子以及它的零件選擇材料，就成了最重要的問題。在較次要的情況裏，轉子由含硫和磷不超過 0.05% 的普通碳鋼所製成。這種鋼的機械特性如下：拉斷應力 52—60 公斤/毫米²，降服點 30—38 公斤/毫米²，伸長率約 16%。在較重要的情況裏，轉子由特殊的含鉻、鎳、鉬的鋼所製成，它的拉斷應力約為 80 公斤/毫米²，降服點 55—60 公斤/毫米²，伸長率約 20%。

在構造上，轉子分為：a) 整塊的；和 б) 組成的兩種。

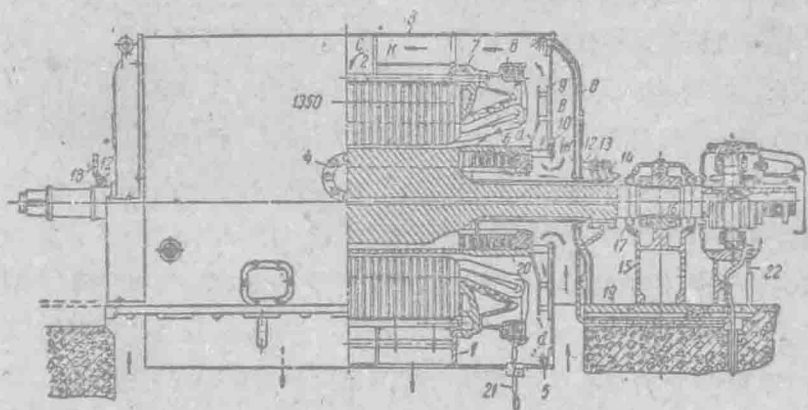


圖 23-2. “電力”工廠的汽輪發電機縱剖面圖

1. 定子機座； 2. 定子鋼； 3. 外殼； 4. 為吊起定子的設備； 5. 防火導管； 6. 定子繞組； 7. 定子的緊環； 8. 外護板； 9. 裹護板； 10. 通風壁； 11. 導風屏； 12. 電刷架； 13. 電刷握； 14. 電刷； 15. 軸承； 16. 軸承襯； 17. 油封口； 18. 汽輪機邊的油封口架； 19. 基礎板； 20. 轉子； 21. 端線； 22. 激磁機

整塊的轉子(圖 23-3 a)是由經過複雜的熱處理和機械處理的整塊鍛鋼所製成。在現在的冶金技術條件下，已能夠製造 10 萬仟瓦汽輪發

電機所用的整塊的鍛鋼。這樣的鍛鋼的重量是極大的，可以從 50 到 120 噸。

在軸的方向沿着轉子的全部長度打穿了一個中心孔。這個孔的用途，首先是爲了研究鍛鋼中心部份的材料，其次是消除鍛鋼危險的內應力。實際上，中心部份比其他部份都凝結得遲，並且鍛冶最不夠。因此，這些部份有聚積渣滓，產生氣孔的趨勢。

鑽了中心孔並仔細研究後，就可以判斷這個鍛鋼的質量。如果在孔內的表面沒有發現什麼缺陷的痕跡，那麼可以認爲鍛鋼各部份就都有很好的質量，否則應一直鑽到這些痕跡不見了爲止。這樣，就可以消除在鍛鋼中心部份的材料應力。

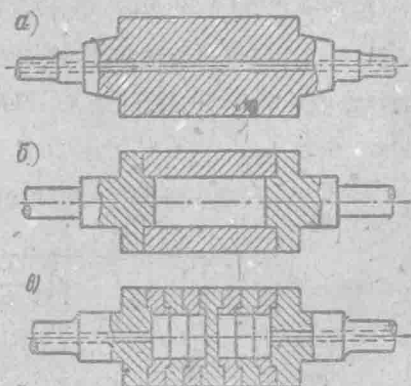


圖 23-3. 汽輪發電機的轉子構造

“電力”工廠造的容量爲 10 萬仟瓦 $n=3000$ 轉/分的汽輪發電機轉子可以用來作整塊轉子汽輪發電機的實例，轉子直徑 $D=0.99$ 米；長度 $l=6.35$ 米；在 $n=3600$ 轉/分時轉子周圍的速度 $v=186$ 米/秒。齒所受到的向外拉的力等於 2500 公斤，即 6300 倍於一個齒的重量。在“堡壘”(Баррикада) 工廠製造的轉子鍛鋼，本身淨重 46.5 噸，鋼的機械特性爲：拉斷應力 72 公斤/毫米²，降服點 47 公斤/毫米²，伸長率爲 15%。因爲當 $n=3600$ 轉/分時，在齒裏所受到的應力達 28

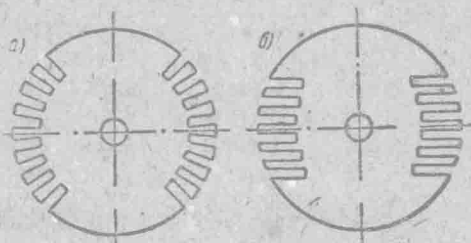


圖 23-4. 轉子槽的構造

公斤/毫米²，因此對於降服點說來，保有約 1.7 的後備強度。我們有根據認為採用具有上述特性的鋼可以製造出容量到 15—18 萬仟瓦的氬氣冷卻的發電機。為了減輕冶鍊的工作，容量大於 5 萬仟瓦的汽輪發電機轉子可以由三部份來組成，成為組成式轉子——中間部份(或稱為桶)以及兩個尾端(圖 23-3*б*)。

製造這種型式轉子的基本問題是如何使這三部份彼此接合起來。

在圖 23-3*в* 表示了一種盤型的轉子，盤厚約為 10 厘米。內腔可以用作冷卻空氣的通道。這種型式的轉子比較簡單，但是需要小心的安裝那些盤，因此盤數目太多會增加構造的費用。

不管轉子鐵心是怎樣的結構，在鐵心上一定有槽，激磁繞組就安放在這些槽裏，槽是用銑床銑成的，可以分成：a) 輻射式槽的轉子(圖 23-4*а*) 和 б) 平行式槽的轉子(圖 23-4*б*)。因為在蘇聯都製造輻射式，所以我們將祇考慮這一種。

一個磁極差不多有三分之一的部份是沒有槽的，構成所謂大齒，發電機磁通的主要部份就是通過這裏的。

圖 23-5 表示了一個轉子槽的剖面。圖中 1——銅導線；2——線匝絕緣；3——槽的絕緣套；4 及 5——裏面的與外面的保護層；6 及 7——纖維包裝層；8——雲母層；9——楔。有時轉子繞組是由鋁做成的。鋁的主要優點是因為它輕(鋁的比重——2.6, 銅——8.9)。缺點——有相當大的電阻，相當大的損耗，因而必需有較強大的轉子通風。

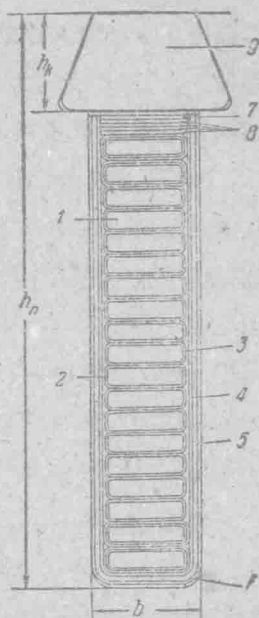


圖 23-5. 汽輪發電機的轉子槽

由於在轉子圓周上有很大的速度，在槽裏的轉子繞組和繞組的端接部份的捆緊問題就成了重要的問題，同時必須考慮到這個問題是緊密地和繞組絕緣以及它的冷卻條件相聯繫的，總之，這些問題使得轉子繞組成爲汽輪發電機中一個難製造的部份。

轉子繞組用楔來壓緊在槽裏，楔的截面的主要形狀如圖 23-6 a 和 b 所示。楔可以由磁性的碳鋼或由鎳鋼做成，也可以由非磁性的合金——鋁青銅，鋁的一種合金(кольчуг-алюминий) ($Al=94.6\%$, $Cu=5.25\%$) 或含鉻、鎳的鋼(鉻 17—19% 和鎳 9—7%) 做成。

轉子繞組的端接部份用轉子箍來捆緊，轉子箍包含兩個主要部份：a) 箍環(參看圖 23-7) 和 б) 中心環 Ц.К.。箍環由磁性和非磁性鋼做成，它的設計是按照使得轉子繞組的端接部份完全捆緊爲原則。在機械的關係上，箍環所受的力是很大的，因爲除了它本身重量所發生的應力外，它們還必須承受繞組的壓力，因此它的材料必須能夠承受很大的應力：爲了這個緣故，可以採用特種鋼，這種鋼有拉斷應力 70—100 公斤/毫米²，和降服點 45—80 公斤/毫米²。中心環有雙重目的：a) 它支持箍環，使得箍環的中心在轉子的軸上，和 б) 阻止轉子繞組的端接部份沿軸的方向移動。爲了防止箍環因受離心力的影響而從裝置的地方散開，中心環裝置到箍環及箍環裝置到中心環都必須先加熱後進行。

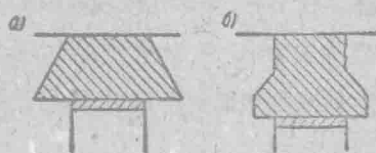


圖 23-6. 轉子槽的楔

把箍環裝到並固定在轉子上，有幾種辦法。圖 23-7 a 表示“電力”工廠製造的 T-2 式容量爲 500, 1000 和 1500 仟瓦，速度爲 3000 轉/分的汽輪發電機的箍的構造。容量爲 3000, 6000, 12000 和 100000 仟瓦的汽輪發電機的箍的構造表示在圖 23-7 б 和 в 上。在圖 23-7 б 上的

構造中，箍環係附着在中心環上，在箍環和轉子邊緣間，留一個空隙（大約 2 毫米）。在其餘類型的電機裏，箍環係裝在轉子邊緣上，如圖 23-7 a 和 b 所示。在 2 萬 5 千，5 萬和 10 萬仟瓦的電機裏裝有吸收器，爲了

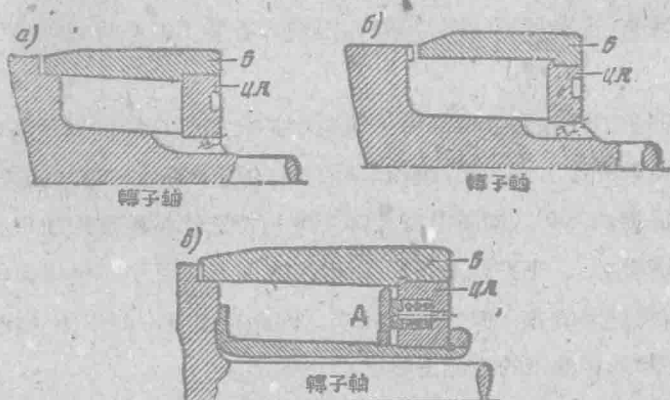


圖 23-7. 箍環在轉子上的裝置

吸收轉子繞組受熱後的膨脹。在 10 萬仟瓦的電機裏，吸收器包括圓盤 A，用這個圓盤，可以使裝在中心箍環上的彈簧的壓力均勻地加在轉子繞組上。

爲了使繞組端接部份對箍絕緣，祇須在繞組的上面蓋一層雲母片。但爲了使轉子更好的冷卻，用鋁鞍很有效，它們是薄的特殊的夾子（約 3 毫米厚），套在全部端接部份的線圈上，和箍環直接接觸（圖 23-8）。在這種情況下繞組端邊部份的冷卻條件，相似於繞組在槽內的部份，結果鋁鞍使繞組的溫度更均勻，增加它的可靠性，同時使得它在機械作用上更爲穩定。

在圖 23-6 a 的楔下面表示了一條細長片。它是電機阻尼系統的導體，是由銅做成的，放在每一個槽裏，或者直接通到箍環表面下，或是通到裝在箍環裏厚度爲

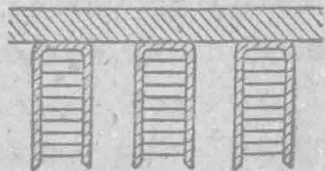


圖 23-8. 鋁鞍