مبحث اول:

کلیات ماشین سنکرون

- مروری بر اصول کار ماشین‌های الکتریکی گردان
- ویژگیهای ماشین‌های سنکرون
- اجزای تشکیل دهنده ماشین سنکرون
- انواع روتور در ماشین‌های سنکرون
- جنس هسته
- خنک‌سازی
- انواع سیستم تحریک در ماشینهای سنکرون

سیستم الکترو مغناطیسی گردان دوتحریکه:

انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی یک سیستم خطی:

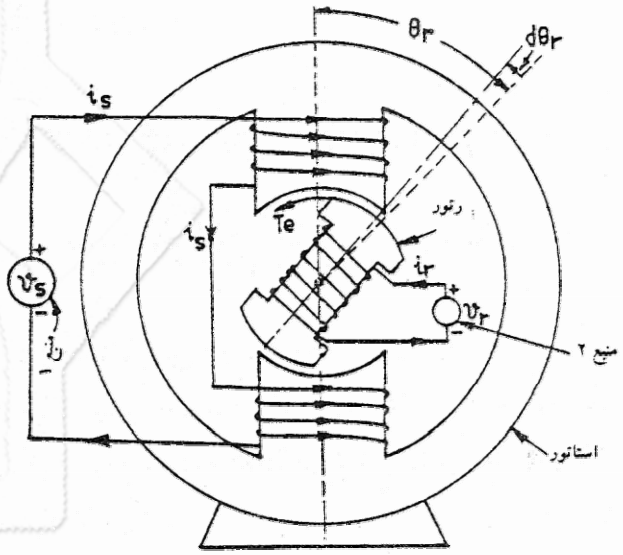
$$W_{fld} = \frac{1}{2} i_s^2 L_s + \frac{1}{2} i_r^2 L_r + M_{sr} i_s i_r \qquad (۱)$$

رابطه کلی گشتاور الکترومغناطیسی در سیستم خطی:

$$T_e = \frac{\partial W_{fld}}{\partial \theta_r} \qquad (۲)$$

گشتاور الکترومغناطیسی تولید شده در سیستم گردان دوتحریکه:

$$\Rightarrow \quad T_e = \frac{1}{2} i_s^2 \frac{dL_s}{d\theta_r} + \frac{1}{2} i_r^2 \frac{dL_r}{d\theta_r} + i_s i_r \frac{dM_{sr}}{d\theta_r} \qquad (۳)$$



سیستم مغناطیسی دو تحریکه

رابطه فوق بیان می‌دارد که گشتاور T_e بستگی به پارامترهای زیر بستگی دارد:

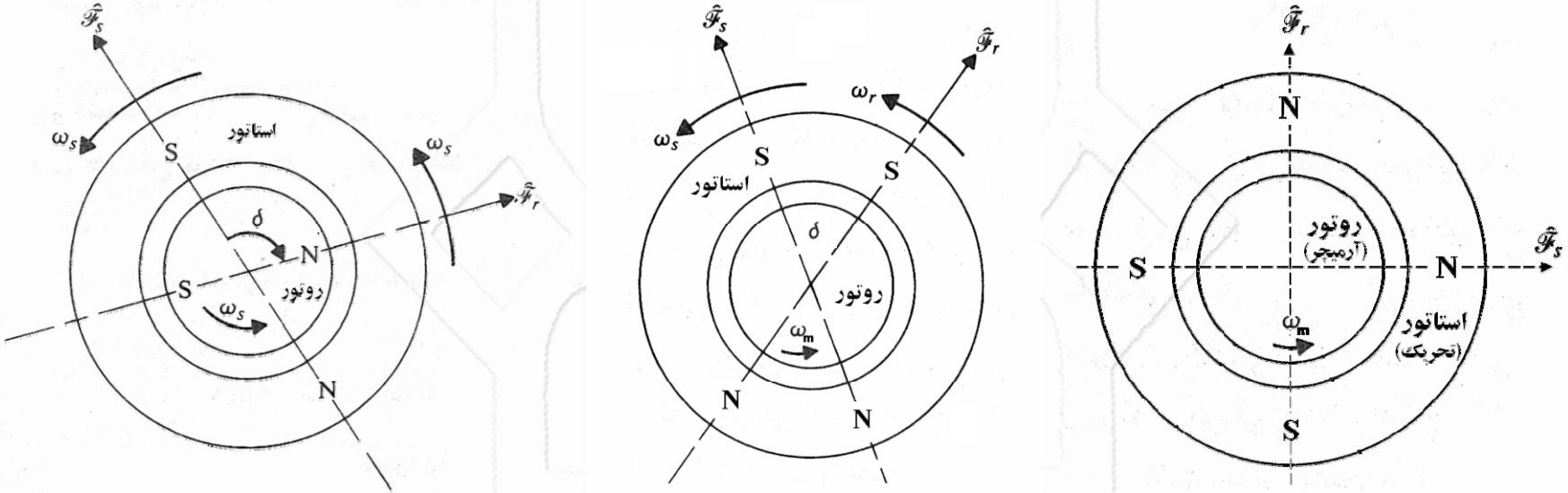
۱- مقادیر لحظه‌ای i_s و i_r

۲- نرخ تغییرات ضرایب القاء خودی و متقابل برحسب تغییرات زاویه روتور

δ= زاویه بین mmf های روتور و استاتور

رابطه کلی گشتاور لحظه ایی در ماشین‌های استوانه‌ای:

$$T = -K \hat{F}_{sg} \hat{F}_{rg} \sin\delta \qquad (٤)$$



(الف) ماشین DC (ب) ماشین القایی (ج) ماشین سنکرون

بردارهای نیروهای محرکه مغناطیسی در انواع مختلف ماشین‌های استوانه‌ای

❑ ویژگیهای ماشین‌های سنکرون

- **تعریف ماشین سنکرون:** ماشین AC دوتحریکه‌ای است که سیم‌پیچ میدان آن از منبع DC تغذیه می شود و سیم پیچ آرمیچرش به منبع AC متصل است.

- **ماشین سنکرون:**
  - ژنراتور (آلترناتور)
  - موتور

- **محدوده قدرت ژنراتورها:**
  - حداکثر قدرت در ایران: 400 MW
  - حداکثر قدرت در جهان: 1700 MW

- **ولتاژ ژنراتورها:** با افزایش قدرت ژنراتورها، ولتاژ آنها نیز افزایش می یابد. اما به ندرت از ۳۳ kV فراتر می‌رود.

- ژنراتورهای سنکرون منبع اصلی تولید انرژی الکتریکی در دنیا می‌باشند.
- موتورهای سنکرون در توان‌های بالا در صنایع فولاد، نورد، سیمان و غیره کاربرد زیادی دارند.

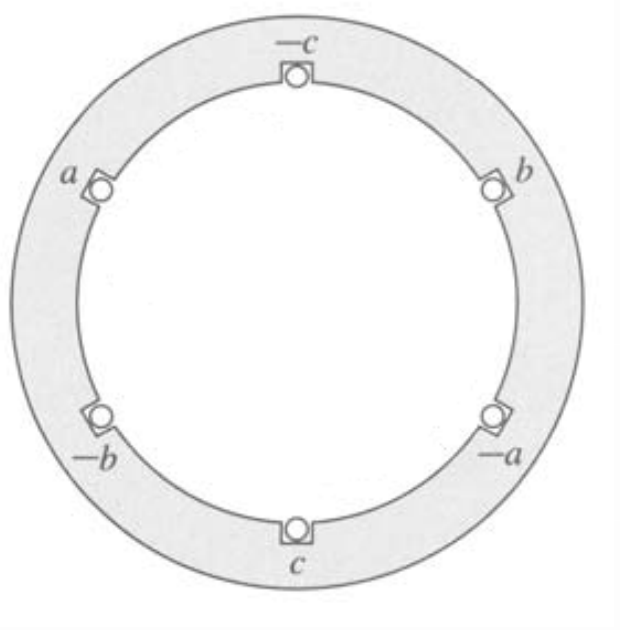
❑ اجزای تشکیل دهنده ماشین‌های سنکرون

- **ماشین سنکرون از دو قسمت تشکیل شده است:**
  - **استاتور (آرمیچر)**
    - **۱- هسته مغناطیسی**
    - **۲- سیم پیچی (اکثرا سه‌فاز)**
  - **روتور (تحریک)**
    - **۱- هسته**
    - **۲- سیم پیچی تغذیه شده توسط جریان DC**

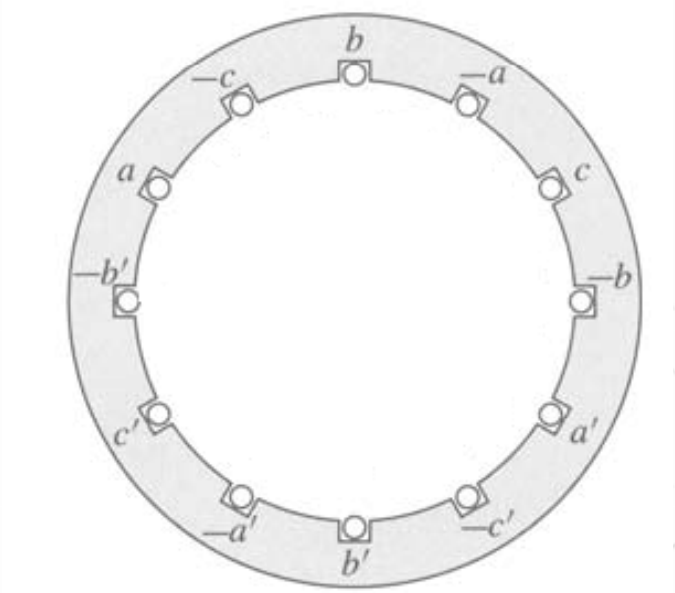
- **آرمیچر ماشین سنکرون در اغلب ماشین‌های سنکرون ساکن است اما در برخی موارد و برای توان‌های زیر kVA ۵ همانند ژنراتور DC روی روتور قرار می‌گیرد. در این حالت جریان بار از طریق جاروبک‌ها و کموتاتور به بار ساکن منتقل می شود.**

❑ اجزای تشکیل دهنده ماشین‌های سنکرون

- **استاتور (آرمیچر) ماشین سنکرون همانند استاتور ماشین القایی است. سیم پیچی استاتور در ژنراتورهای سنکرون، اتصال سه‌فاز استاتور همواره به صورت ستاره است و مرکز ستاره زمین می شود.**



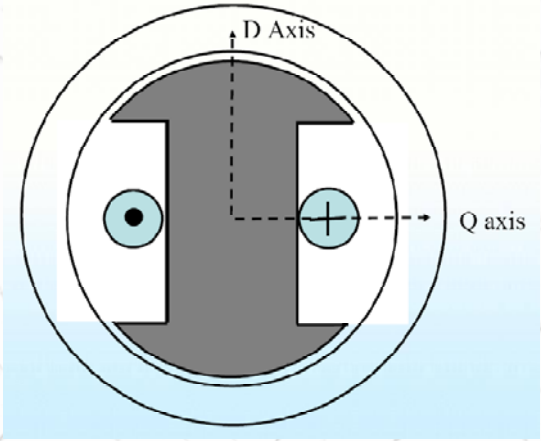
(a) استاتور ماشین سه‌فاز دو قطبی

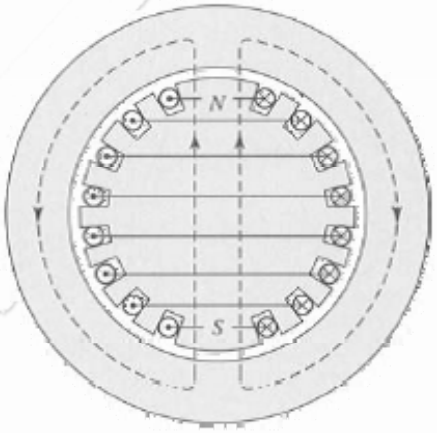


(b) استاتور ماشین سه‌فاز چهارقطبی

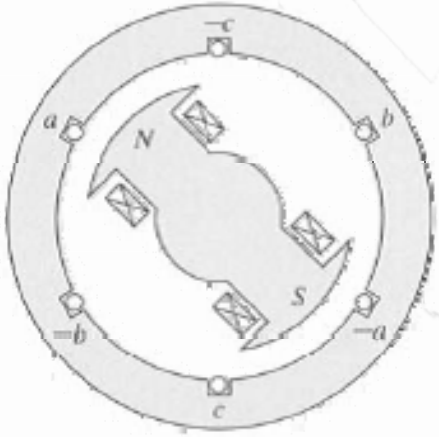
❑ اجزای تشکیل دهنده ماشین‌های سنکرون

- **تحریک ماشین سنکرون سیم‌پیچی با تغذیه DC است که در اغلب ژنراتورهای سنکرون روی بخش دوار (روتور) قرار دارد.**



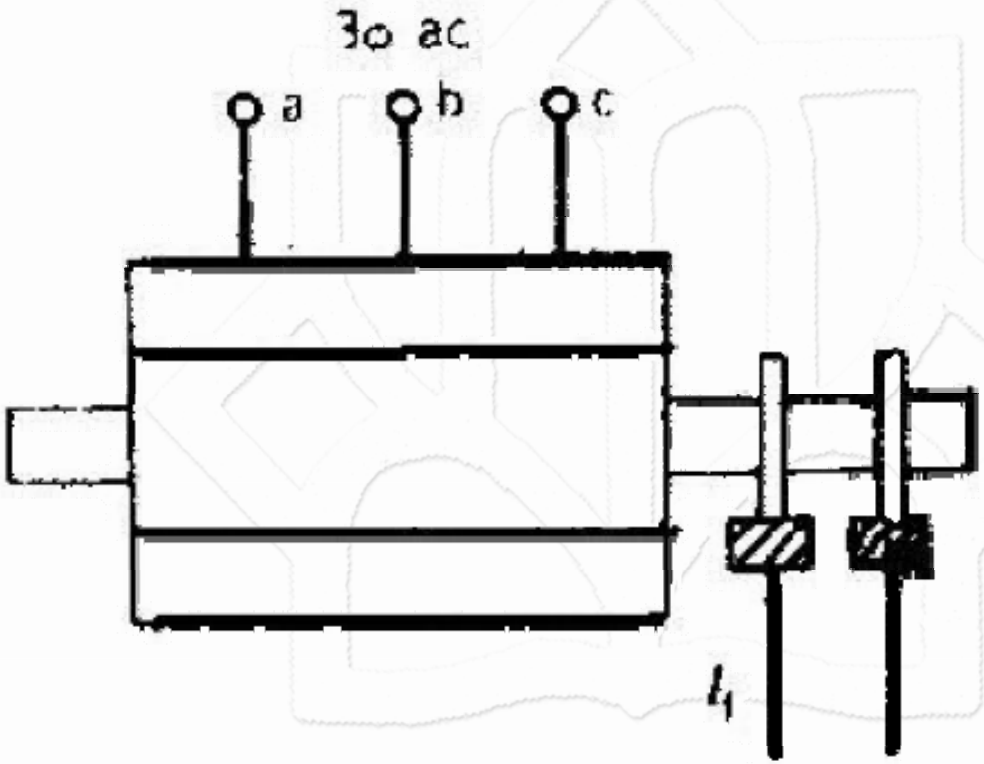


روتور استوانه‌ای

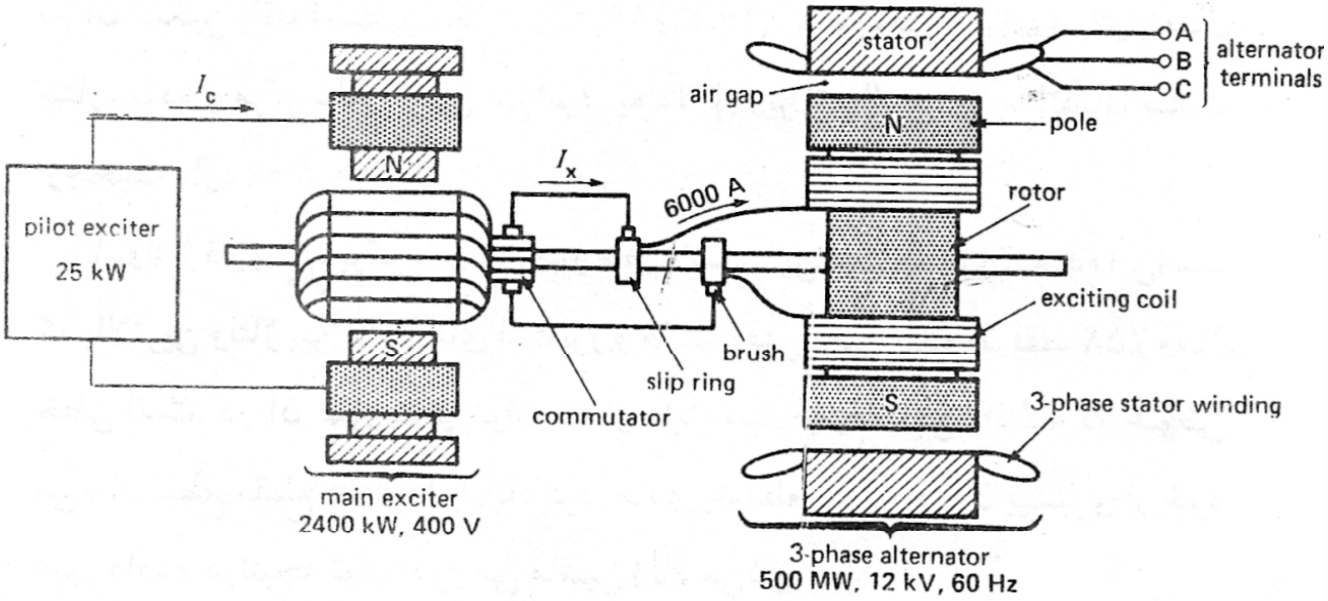


روتور قطب برجسته

- **حلقه‌های لغزان وظیفه هدایت جریان DC به سیم پیچی تحریک واقع بر روی روتور را به عهده دارند.**



❑ اجزای تشکیل دهنده ماشین‌های سنکرون



شکل ۱ـ۱۶. شمای یک مولد سنکرون ۵۰۰MW و تحریک کننده dc ۲۴۰۰kW آن جریان تحریک dc (۶۰۰۰A) I_x از طریق کلکتور و دوحلقه لغزان جاری می‌شود. جریان کنترل dc I_c از طریق تحریک‌کننده پیلوت کنترل میدان متغیر تحریک‌کننده اصلی را امکان‌پذیر می‌سازد که به نوبه خود I_x را کنترل می‌کند.

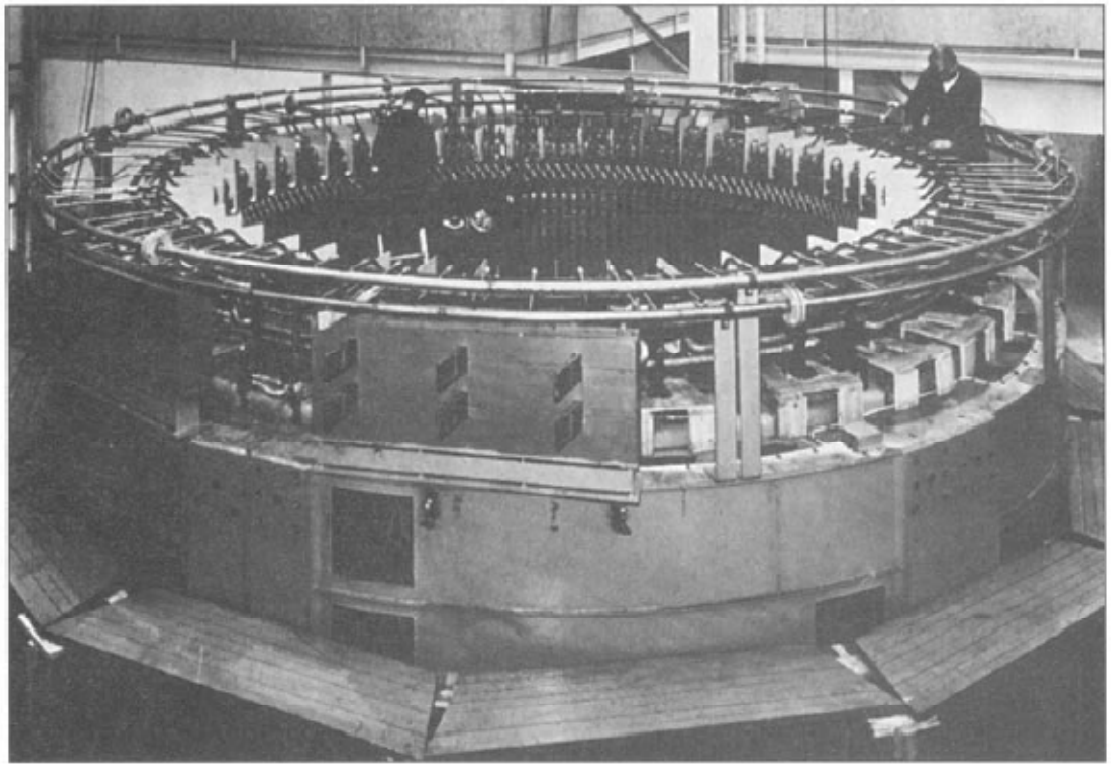


Figure 4.1 Stator of a 190-MVA three-phase 12-kV 37-r/min hydroelectric generator. The conductors have hollow passages through which cooling water is circulated. (*Brown Boveri Corporation.*)

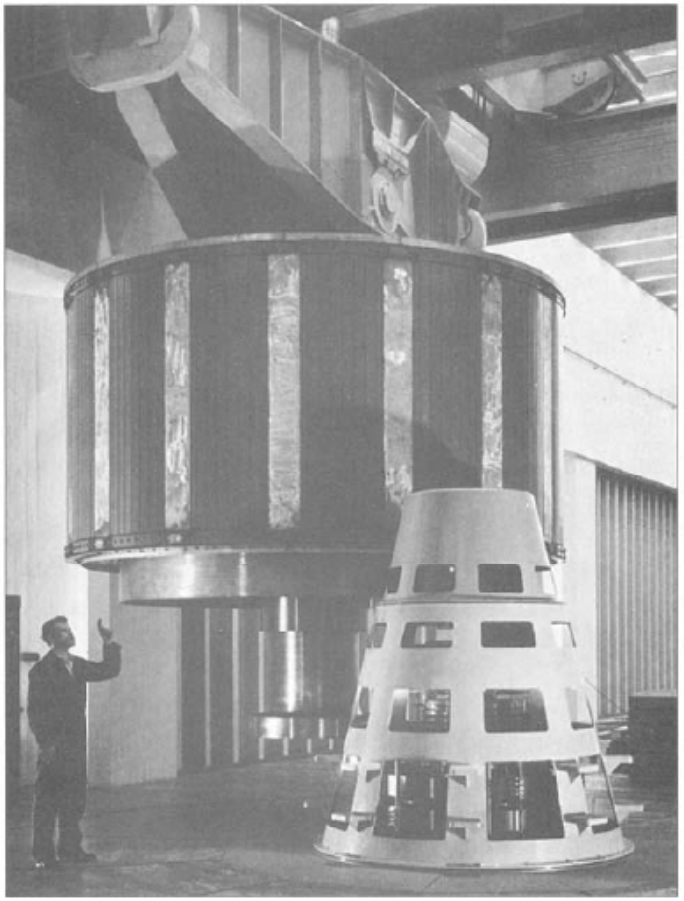
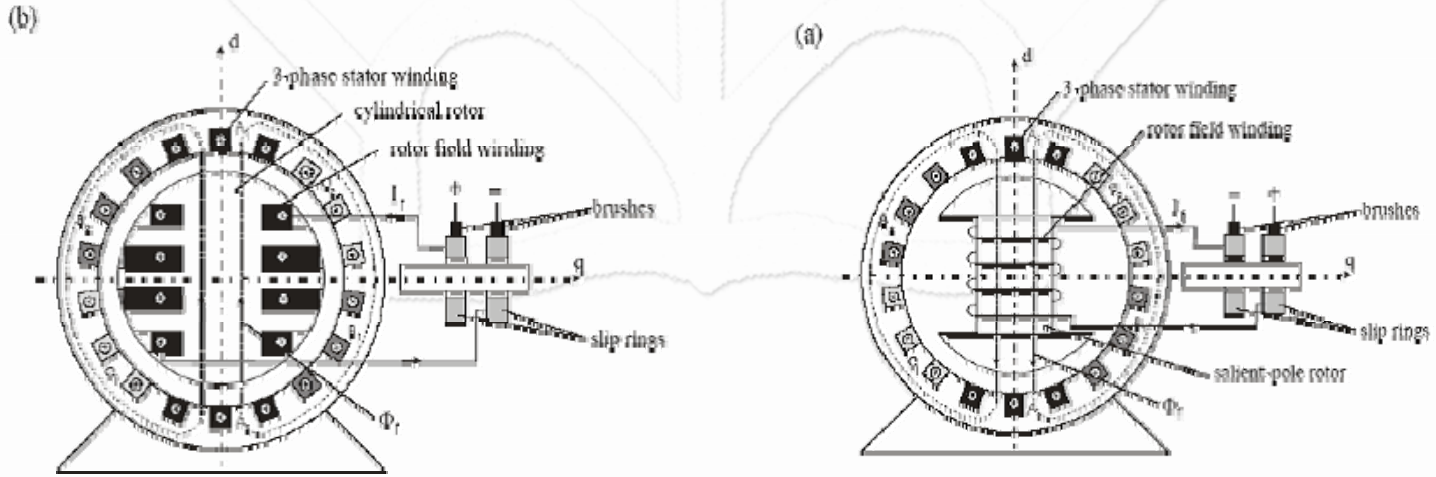


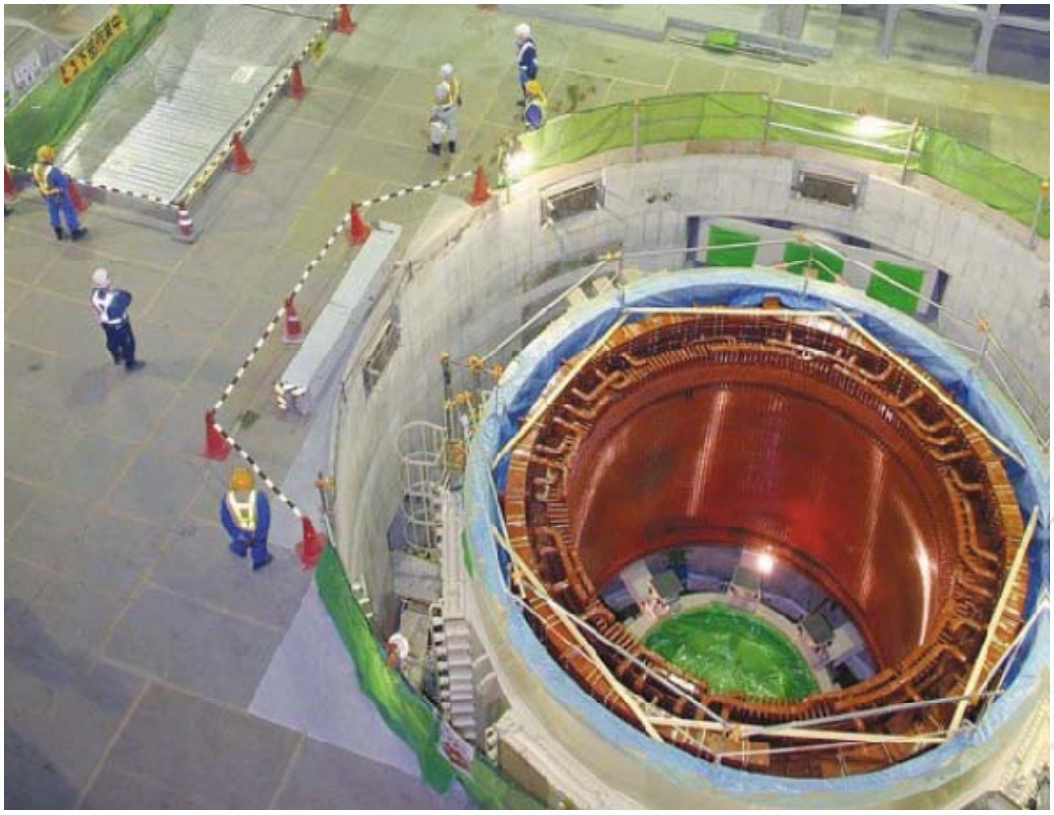
Figure 4.9 Water-cooled rotor of the 190-MVA hydroelectric generator whose stator is shown in Fig. 4.1. (*Brown Boveri Corporation.*)

❑ اجزای تشکیل دهنده ماشین‌های سنکرون

- **دسته‌بندی ماشین‌های سنکرون با توجه به شکل روتور: ۱- ماشین‌های با قطب برجسته ۲- ماشین‌های با قطب صاف**
- **تعداد قطب‌ها در ماشین‌های سنکرون: به سرعت چرخش روتور و فرکانس تغذیه استاتور بستگی دارد.**
- **کاربرد ماشین‌های با قطب برجسته: در ژنراتورهای نیروگاههای آبی به‌کار می‌روند – دارای سرعت پائین بین (۵۰ تا ۵۰۰ دور بر دقیقه) هستند – برای ایجاد فرکانس ۵۰ Hz نیاز به تعداد زیادی قطب دارند**
- **کاربرد ماشین‌های با قطب صاف: با توربین‌های با سرعت بالا کار می‌کنند – دارای سرعت بالا (۱۵۰۰ تا ۳۶۰۰ دور بر دقیقه) هستند – برای ایجاد فرکانس ۵۰ Hz نیاز به تعداد دو یا چهار قطب هستند. – دارای کارایی بالاتری هستند.**



❑ انواع روتور در ماشین‌های سنکرون



ژنراتور نیروگاه آبی کاناگووا در کشور ژاپن:

۵۲۵ MVA، ۱۸ kV، ضریب توان ۹۵/۰ – ۹۰/۰، ۵۰ Hz، با سرعت دورانی ۵۰۰ rpm

❑ انواع روتور در ماشین‌های سنکرون

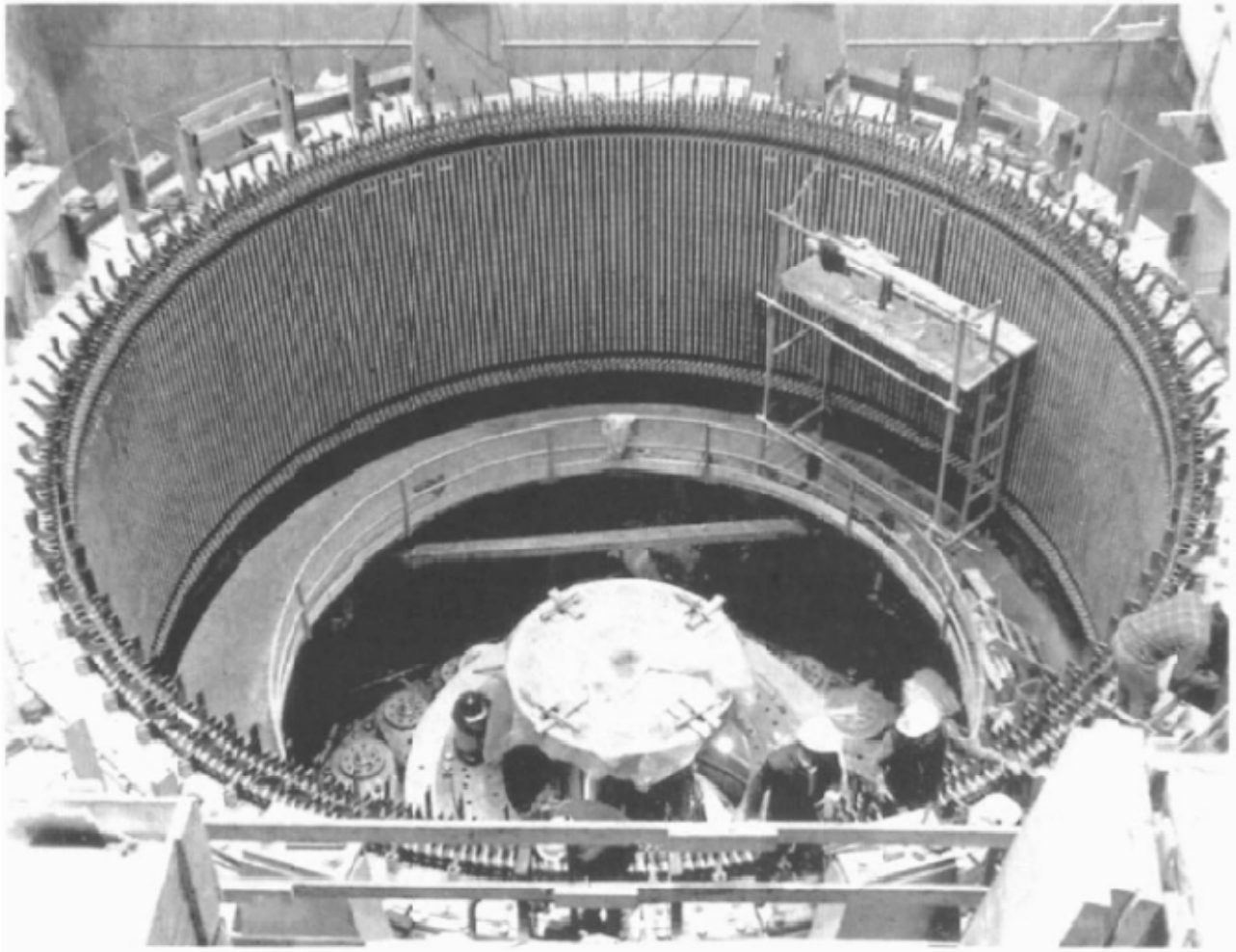


Figure 16.2a
Stator of a 3-phase, 500 MVA, 0.95 power factor, 15 kV, 60 Hz, 200 r/min generator. Internal diameter: 9250 mm; effective axial length of iron stacking: 2350 mm; 378 slots.
(*Courtesy of Marine Industrie*)

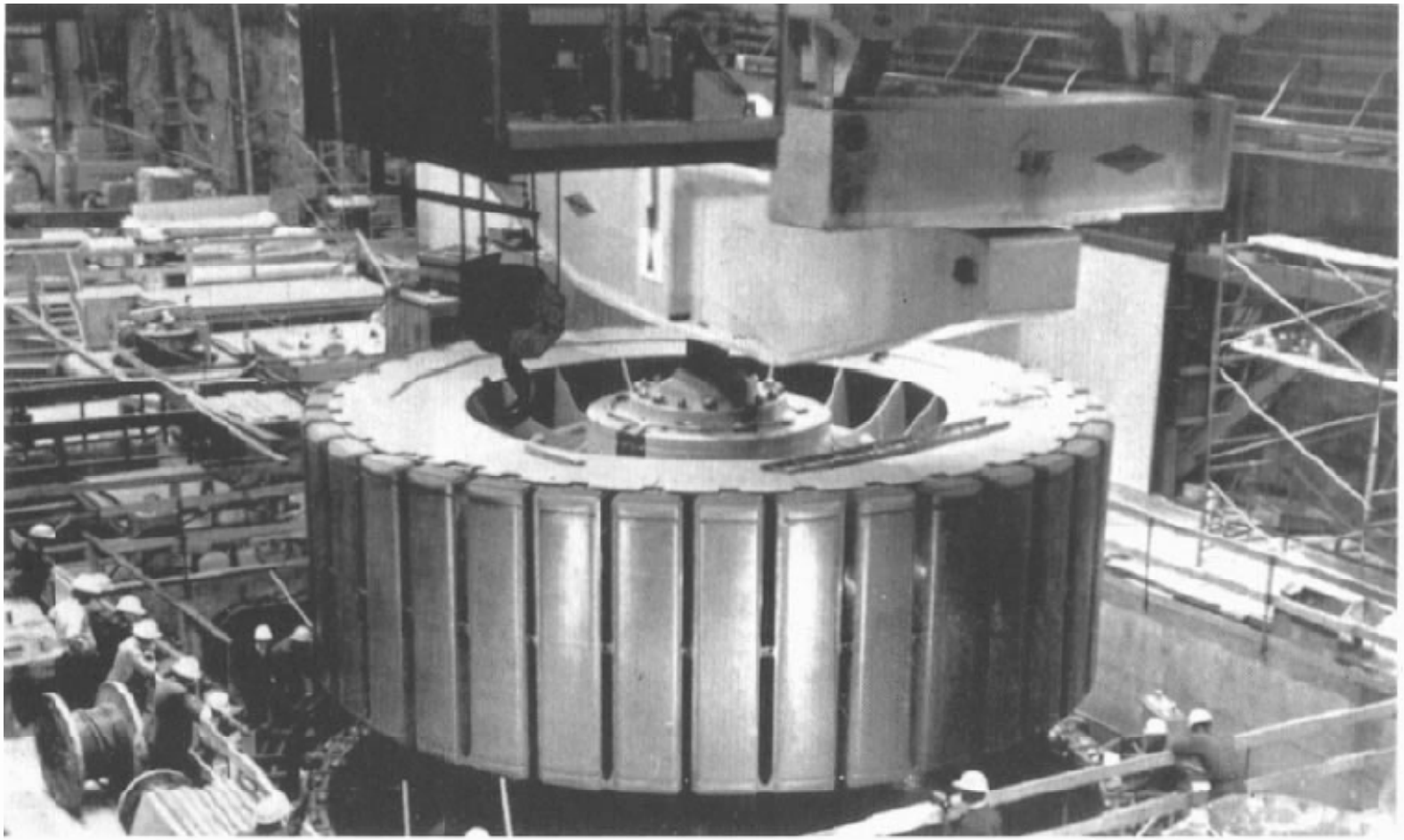


Figure 16.4
This 36-pole rotor is being lowered into the stator shown in Fig. 16.2. The 2400 A dc exciting current is supplied by a 330 V, electronic rectifier. Other details are: mass: 600 t; moment of inertia: 4140 t·m^2; air gap: 33 mm.
(*Courtesy of Marine Industrie*)

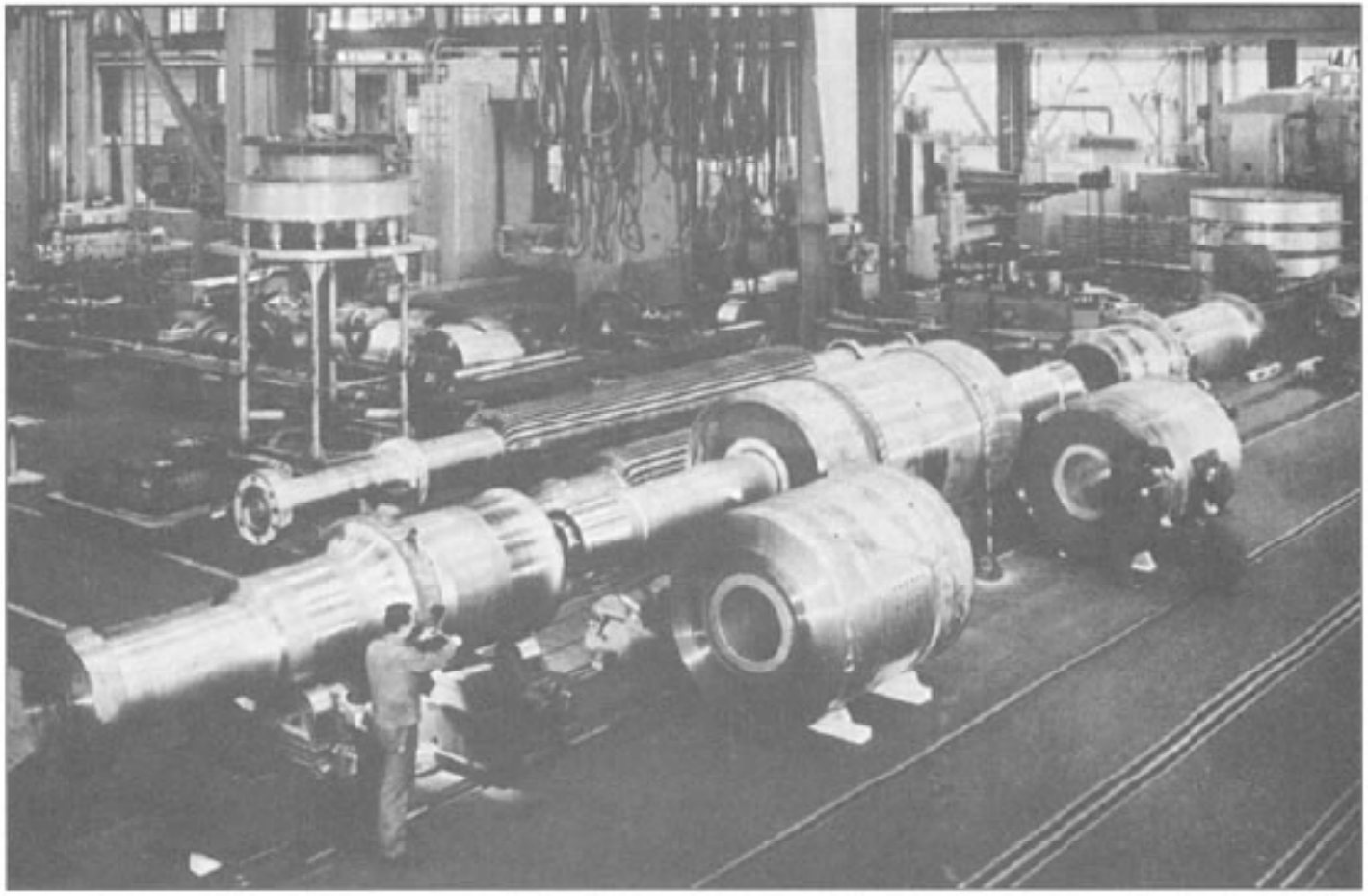


Figure 4.11 Parts of multipiece rotor for a 1333-MVA three-phase 1800 r/min turbine generator. The separate forgings will be shrunk on the shaft before final machining and milling slots for the windings. The total weight of the rotor is 435,000 lb. (*Brown Boveri Corporation.*)

- **ماده ایده‌آل برای جنس هسته:** ۱- ضریب نفوذپذیری بسیار بالا، ۲- چگالی شار اشباع بالا ۳- تلفات هسته بسیار پائین

- **آهن نرم:** دارای ضریب نفوذپذیری بسیار بالاست اما هدایت الکتریکی آن زیاد بوده و باعث ازدیاد تلفات فوکو می‌گردد.
  همچنین دارای ناخالصی‌های زیادی از جمله کربن است که روی خاصیت مغناطیسی هسته به تدریج تاثیر می‌گذارد.
  به دلیل وجود ناخالصی‌ها، نیروی پسماندزدا و تلفات هیسترزیس در آن زیاد می‌شود.

- **آهن سیلیکون‌دار:** با افزودن درصد کمی سیلیکون به آهن نرم به‌دست می‌آید.
  مقاومت الکتریکی زیادتری دارد- نیروی پس‌ماند زدای کمتری دارد – ماندگاری خواص مغناطیسی در آن زیادتر است.

- **فولادهای الکتریکی:** در طراحی ماشین‌های الکتریکی و به صورت مورق بکار می‌روند.
  این مواد معمولا به صورت نوارهایی تا عرض ۱/۳متر و ضخامت ۰/۱۶ تا ۰/۸۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند.
  این مواد به دو دسته جهت دار و غیرجهت دار تقسیم‌بندی می شوند.

- **مقدار تلفات هسته فولادهای شرکت Armco:** برای ورق با ضخامت ۰/۱۸ mm در چگالی شار ۱/۵ T و فرکانس ۵۰ Hz = ۰/۷ W/kg
  برای ورق با ضخامت ۰/۳۵ mm در چگالی شار ۱/۵ T و فرکانس ۵۰ Hz = ۱/۱۱ W/kg

- **خنک‌کنندگی با هوا:** برای توربو ژنراتورهای کوچک استفاده می شود.

- **خنک‌کنندگی هیدروژن:** در بیشتر توربوژنراتورهای بزرگ از هیدروژن بجای هوا استفاده می شود. سیستم خنک‌کنندگی هیدروژن نسبت به هوا دارای ویژگی‌های زیر است:

۱- راندمان بالا

۲- سروصدای کمتر

۳- خنک‌کنندگی بیشتر (۱/۵ برابر هوا)

٤ – عمر بیشتر به دلیل نبود اکسیژن و درنتیجه عدم تولید ترکیبات شیمیایی

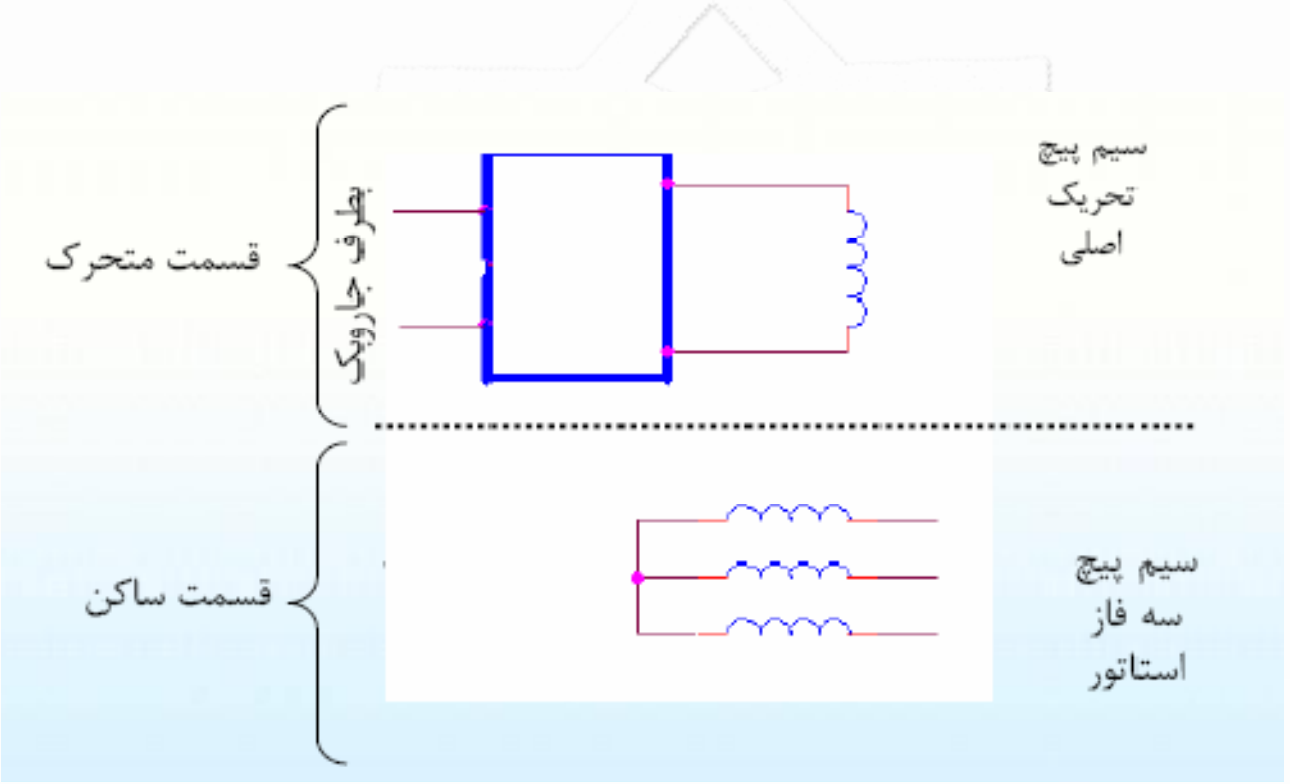
۵- خطر آتش‌سوزی کمتر می‌شود. زیرا مخلوط هوا-هیدروژن نمی‌تواند تا زمانیکه حجم هیدروژن تقریبا ۷۰٪ برسد منفجر شود.

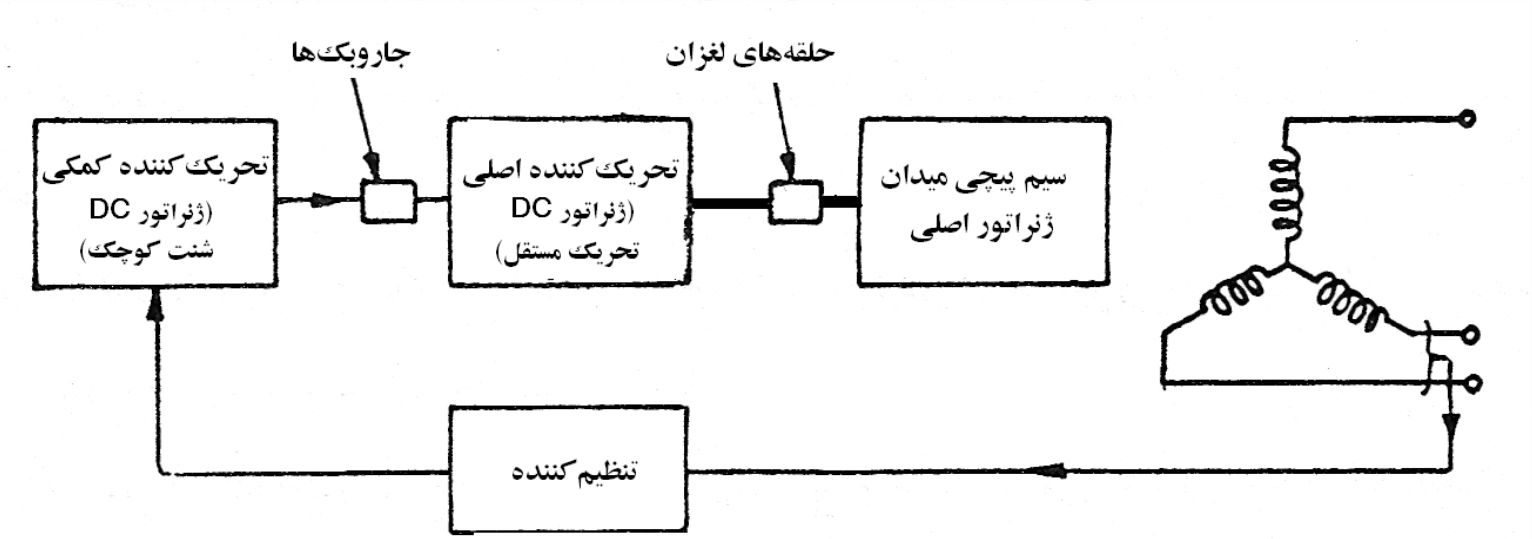
- **خنک‌کنندگی آب:** در توان نامی ۱۰۰۰ MW یا بالاتر، خنک‌کنندگی هیدروژن برای پراکنده‌کردن تلفات زیاد نیست و حجم هیدروژن مورد استفاده به شدت بالا می رود.

❑ انواع سیستم تحریک در ماشینهای سنکرون

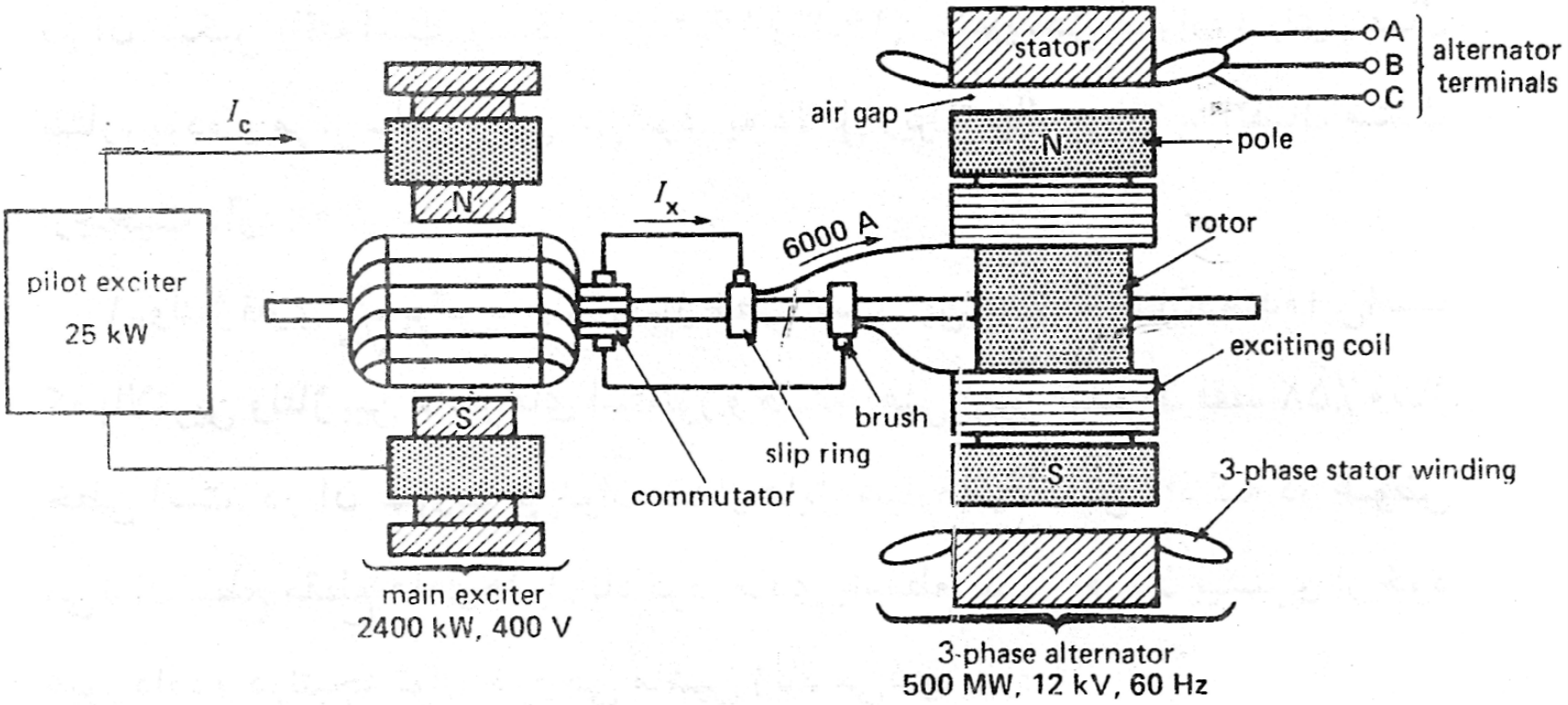
➢ تحریک‌کننده دینامیک

در تحریک‌کننده‌های دینامیک، تحریک‌کننده اصلی همراه با سیم‌پیچی تحریک ژنراتور سنکرون می‌چرخد.





طرح تحریک ژنراتور سنکرون توسط تحریک‌کننده کمکی DC

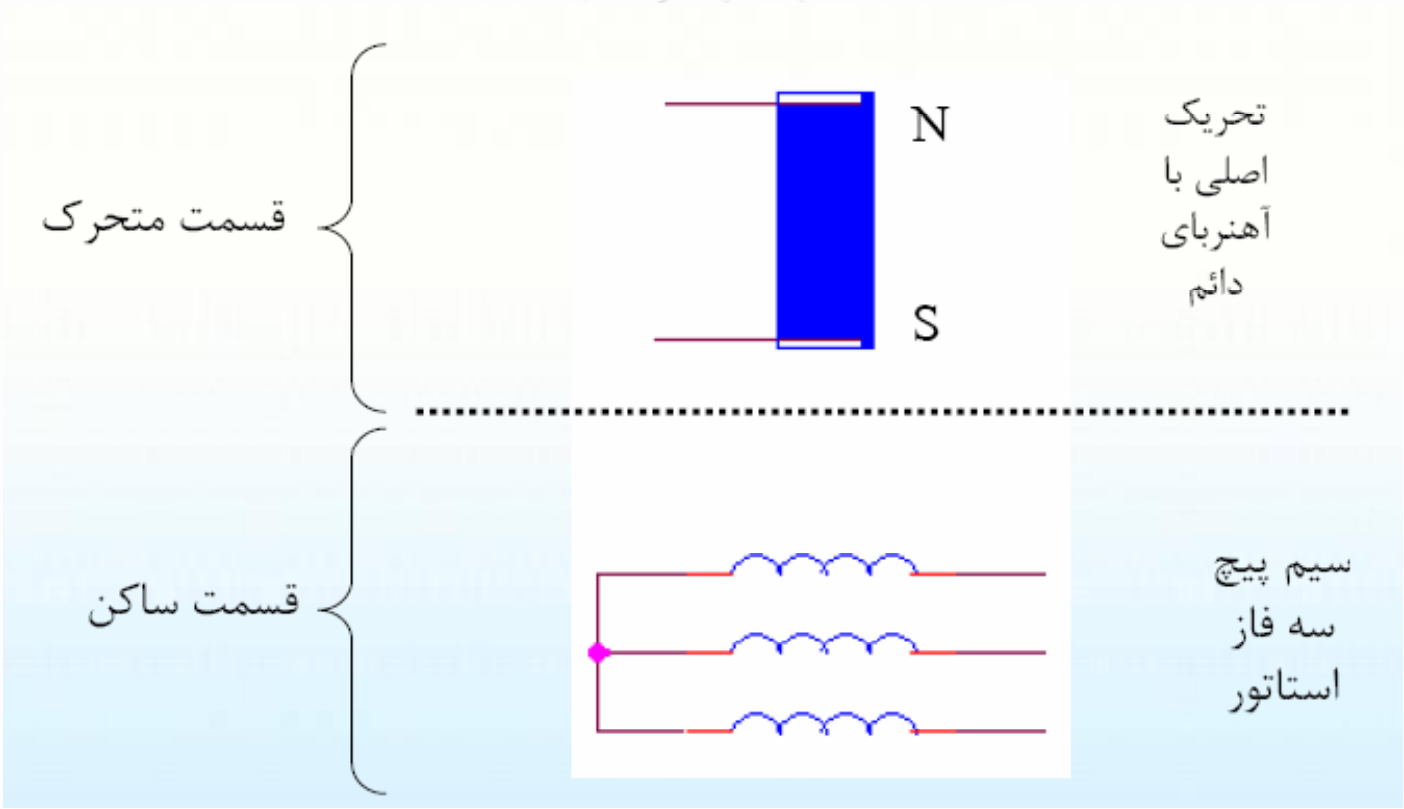


شماتیک سیستم تحریک یک ژنراتور سنکرون توان بالا شامل تحریک‌کننده کمکی DC

❑ انواع سیستم تحریک در ماشینهای سنکرون

➢ تحریک با آهنربای دائم

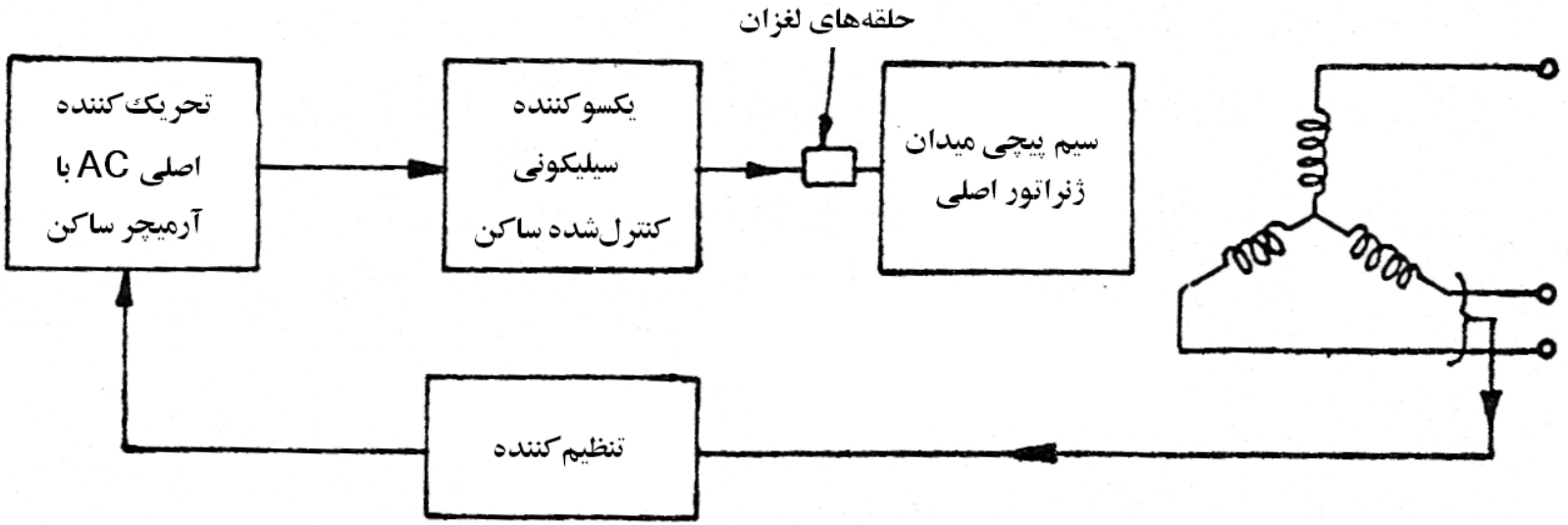
- در این نوع تحریک، به جای ایجاد میدان توسط جریان DC جاری در سیم پیچ از آهنربای دائم استفاده می شود.
- این نوع تحریک بیشتر در موتورهای سنکرون کاربرد دارد و اینگونه موتورها را PMSM نامند.



❑ انواع سیستم تحریک در ماشینهای سنکرون

➢ تحریک کننده استاتیک

- در تحریک‌کننده‌های استاتیک، تحریک‌کننده اصلی یک ژنراتور سنکرون بوده که آرمیچر آن ساکن است و ولتاژ AC تولیدی آن توسط مدارات استاتیکی، یکسو شده و توسط حلقه های لغزان به سیم پیچ تحریک ژنراتور اصلی اعمال می شود.

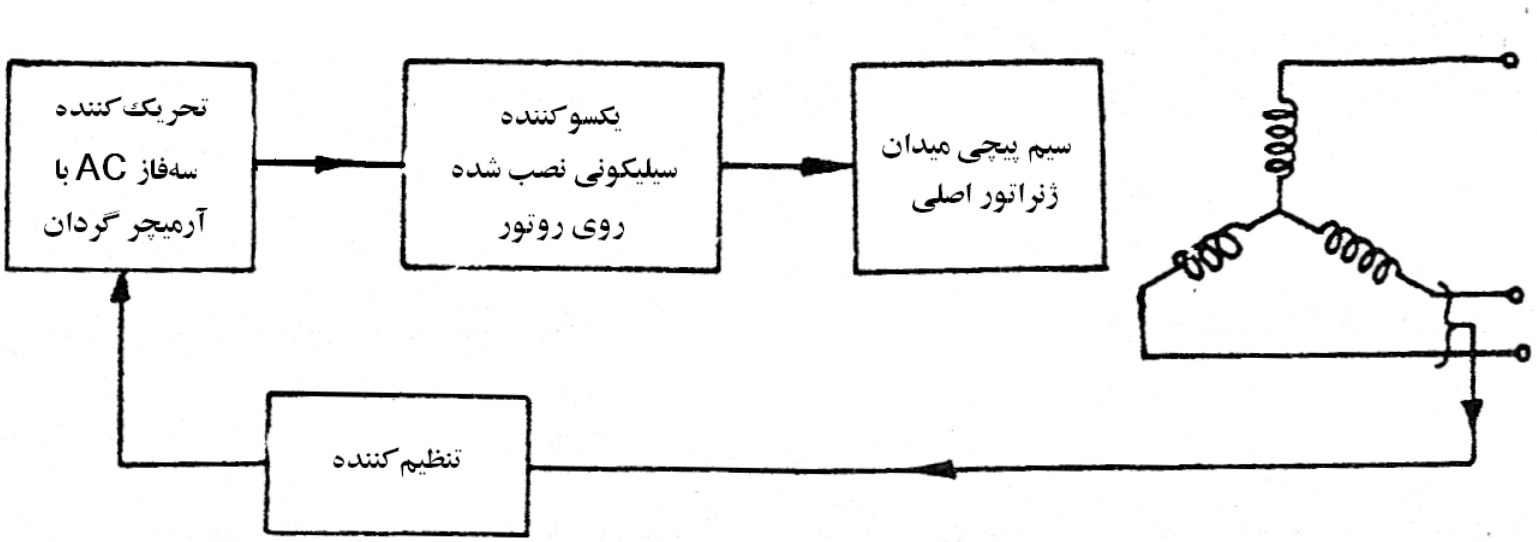


طرح تحریک ژنراتور سنکرون توسط تحریک‌کننده AC

❑ انواع سیستم تحریک در ماشینهای سنکرون

➢ تحریک کننده بدون جاروبک (Brushless)

- در تحریک‌کننده‌های بدون جاروبک، تحریک کننده اصلی یک ژنراتور سنکرون با آرمیچر گردان بوده که برق آن توسط یکسوساز روی روتور ژنراتور اصلی، DC شده و بدون نیاز به جاروبک به تحریک ژنراتور اصلی اعمال می شود.



طرح تحریک ژنراتور سنکرون توسط سیستم تحریک بدون جاروبک

- در توربو ژنراتورهای بزرگ (۵۰۰ MW و بالاتر)، جریان مستقیم لازم سیم پیچی تا حد ۱۰ kA زیاد شده و به دلیل مشکلات جاروبک‌ها در جریان‌های بالا، از تحریک بدون جاروبک استفاده می شود.

❑ انواع سیستم تحریک در ماشینهای سنکرون

➢ تحریک کننده بدون جاروبک (Brushless)