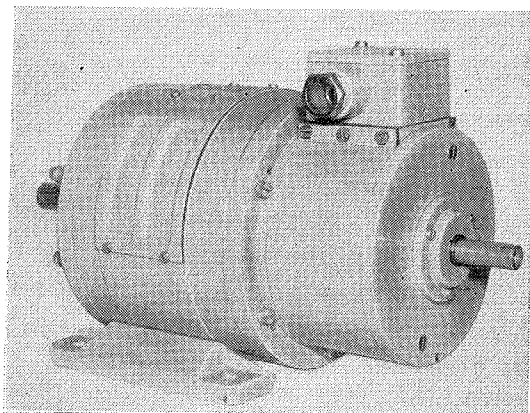


Rozszerzenie asortymentowe produkcji tej grupy silników zależy przede wszystkim od rozwoju produkcji urządzeń, w których są one stosowane.

Seria Ka stała się podstawą produkcji silników komutatorowych do napędu przyrządów gospodarstwa domowego i elektronarzędzi. Na podstawie doświadczenia zdobytego przy projektowaniu i produkcji tej serii, Instytut Elektrotechniki przystąpił w 1964 r. do projektowania następnych serii Kb (prądu przemiennego) i Pb (prądu stałego). Są to nowoczesne serie o znacznie zmniejszonym zużyciu materiałów czynnych i mniejszych wymiarach. Obliczenia zostały przeprowadzone za pomocą maszyn cyfrowych. Zostały już wykonane i zbadane silniki modelowe.



Rys. 3.6. Prądnica tachometryczna prądu stałego z magnesami trwałymi, typu PZTS 156-106 prądu stałego. Moc przy 1 000 obr/min — 100 W; maksymalna prędkość — 3 000 obr/min

Oprócz wymienionych „klasycznych” typów maszyn, do grupy produkowanych maszyn o mocy ułamkowej należą: produkowane przez Zakład Doświadczalny Instytutu Elektrotechniki prądnice tachometryczne prądu stałego i silniki synchroniczne z magnesami trwałymi, a przez Warszawskie Zakłady Maszyn Elektrycznych — przetwornice jednotwornikowe z prądu stałego na prąd przemienny, jako maszyny sygnałowe do central telefonicznych, prądnice prądu stałego do oświetlania parowozów itp.

Odrębną podgrupę — pod względem zakresu mocy (rzędu od kilku do 30 W), rozwiązań konstrukcyjnych i przeznaczenia — stanowią maszyny produkowane przez zakład Tonsil we Wrześni, podległy Zjednoczeniu Przemysłu Elektrotechnicznego i Teletechnicznego. Program fabryki obejmuje elektromaszynowe elementy automatyki i silniki przeznaczone do napędu mechanizmów o bardzo małym poborze mocy, m.in. magnetofonów, adapterów, projektorów filmowych itp. Spośród kilku dziesiątków typów można wymienić przykładowo: selsyny nadawcze i odbiorcze, transformatory obrotu, prądnice tachometryczne,

silniki bocznikowe i szeregowo prądu stałego, dwufazowe silniki asynchroniczne, silniki synchroniczne, miniaturowe silniki prądu stałego o magnesach trwałych, wzmacniacze elektromaszynowe.

W związku z niewątpliwym dalszym wzrostem zapotrzebowania na maszyny o mocy ułamkowej są opracowywane projekty rozbudowy zaplecza technicznego wyspecjalizowanego w tej dziedzinie i budowy zakładu produkcyjnego nastawionego na ich masową produkcję.

Silniki indukcyjne o mocy 0,8—100 kW

Jest to grupa maszyn elektrycznych produkowana w Polsce w największych ilościach; ich udział wartościowy w ogólnej produkcji maszyn elektrycznych wyniósł w 1965 r. ok. 40%.

W pierwszym pięcioleciu powojennym zakłady w Żychlinie, Cieszyń i w Bielsku kontynuowały produkcję typów silników wykonywanych w tych fabrykach jeszcze przed wojną. Konstrukcja ich, datująca się z lat 1930—1938, była przestarzała w porównaniu ze współczesnymi osiągnięciami światowymi.

Przełomem w produkcji tych silników było otrzymanie ze Związku Radzieckiego w 1949 r. dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej wprowadzonej tam od niedawna do produkcji serii A i AO silników indukcyjnych, klatkowych i pierścieniowych, budowy zamkniętej i okapturzonej, o mocach 0,6—100 kW [3.76]. Seria ta stanowiła znaczny postęp techniczny w porównaniu z silnikami dotychczas produkowanymi. Z punktu widzenia ekonomicznego dawała ona bardzo znaczną oszczędność materiałów czynnych, zwłaszcza deficytowej miedzi, której średnie zużycie w tej serii wynosiło 0,94 kg/kW, zamiast 1,25 kg/kW w starej serii. Rozwiązanie konstrukcyjno-technologiczne serii było przystosowane do produkcji wielkoseryjnej, co odpowiadało oczekiwaniom w niedalekiej przyszłości wzrostowi zapotrzebowania w Polsce. Jedną z ciekawszych i korzystnych zmian był odmienny od dotychczasowej praktyki sposób wykonania rdzenia stojana i jego zwojenia: zamiast układania blach rdzenia w stojanie i następnie umieszczania cewek w jego żłobkach, w serii A wykonuje się rdzeń jako samodzielną część i po uzwojeniu wprasowuje się go w stojan. Ułatwia to wydajnie operacje zwojenia i nasycania.

Powyższa seria nazwana w Polsce, według zunifikowanej symbolistyki *),

*) Do oznaczania typu silnika indukcyjnego przyjęto w polskim przemyśle maszyn elektrycznych następującą symbolistykę:

- litera S — na pierwszym miejscu — oznacza silnik indukcyjny,
- litery B, C lub Z — na drugim miejscu — budowę chronioną, okapturzoną lub zamkniętą,
- litery J, D lub U — na trzecim miejscu — wirnik klatkowy, dwuklatkowy lub pierścieniowy,
- małe litery a, b, c itd. — kolejny znak serii danej grupy silników.

serią SBd i SZd, lub w skrócie serią „d”, była wprowadzona do produkcji w zakładach w Tarnowie, Bielsku i Cieszynie, poczynając od 1952 r. Towarzyszyła temu specjalizacja tych trzech zakładów w produkcji poszczególnych odcinków serii, przy zaniechaniu wykonania silników o tym zakresie mocy w zakładzie w Żychlinie.

Równocześnie z wprowadzeniem nowej konstrukcji wyposażenie nowo wybudowanego zakładu w Tarnowie zostało dopasowane do jej technologii i do produkcji w skali wielkoseryjnej. Częściowo również pod tym kątem zmieniono technologię w zakładach w Bielsku i Cieszynie. W pierwszej fazie wprowadzono obróbkę w gniazdach i liniach obróbki, a następnie — poczynając od 1955 r. — zaczęto stosować obrabiarki zespołowe do kadłubów i tarcz.

Seria „d” utrzymała się w produkcji do ostatnich lat. W połowie jednak lat pięćdziesiątych stało się widoczne, że dla dotrzymania kroku postępowi światowemu trzeba już przystąpić do przygotowania następnej nowej serii. Do tego samego wniosku doszły zresztą wszystkie kraje obozu socjalistycznego. Sekcja 10 Stałej Komisji Przemysłu Maszynowego RWPG podjęła wówczas inicjatywę ujednolicenia projektowanych przez poszczególne kraje serii w zakresie ciągu mocy, wymiarów montażowych, powiązania mocy znamionowych z tymi wymiarami, a także w zakresie podstawowych wymagań technicznych. Myślą przewodnią tej unifikacji było zapewnienie wymienności silników przy wzajemnych dostawach.

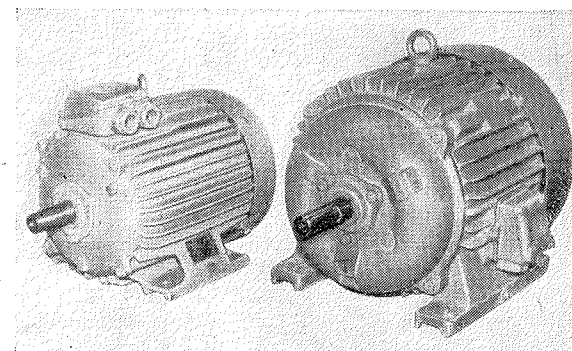
W Polsce projektowanie nowej serii, tzw. „e”, było wykonywane zespołowo przez Zakłady Konstrukcyjno Doświadczalne Przemysłu Maszyn Elektrycznych, Zakład Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki i biura konstrukcyjne zakładów Celma, Indukta i Tamel. Właściwe prace konstrukcyjne były poprzedzone licznymi badaniami laboratoryjnymi, wykonaniem i przebadaniem wielu wariantów modeli, obliczeniami ekonomicznymi itp. Przy obliczeniach technicznych korzystano na szeroką skalę z maszyny cyfrowej, co umożliwiło przeanalizowanie większej liczby wariantów i wybór najkorzystniejszego z nich. Pewną nowością było równoległe opracowanie dwóch różniących się koncepcyjnie projektów wstępnych wykonanych przez Zakład Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki i Zakłady Konstrukcyjno Doświadczalne Przemysłu Maszyn Elektrycznych. Na podstawie tych projektów powstała ostateczna koncepcja serii, według której biegły — już bez dublowania — dalsze etapy projektowania. W wyniku tych metod pracy powstała seria na najwyższym poziomie europejskim. Znalazło to swą ocenę w przyznaniu konstruktorom Instytutu Elektrotechniki, Zakładów Konstrukcyjno Doświadczalnych, Celmy, Indukty i Tamelu *) zbiorowej Nagrody Państwowej I stopnia.

* Mgr inż. Kazimierz Dobrowolski (ZKD), doc. Włodzimierz Moroz (IEI), mgr inż. Jerzy Szmít (ZKD), doc. Tadeusz Śliwiński (IEI), mgr inż. Kazimierz Białous (IEI), inż. Edward Broda (Indukta), inż. Henryk Kadłubowski (Tamel), mgr inż. Jan Kędziera (Celma), mgr inż. Jerzy Krajewski (ZKD), inż. Mieczysław Wencel (Indukta).

W nowej serii „e” osiągnięto dalsze, bardzo znaczne zmniejszenie zużycia materiałów czynnych i konstrukcyjnych na jednostkę mocy, w porównaniu z serią „d”, a mianowicie:

- miedzi — przeciętnie o 30%,
- blach magnetycznych — przeciętnie o 17%,
- żeliwa — przeciętnie o 30%.

Równocześnie osiągnięto większe momenty rozruchowe, w niektórych przypadkach o blisko 30%, poprawiając w ten sposób jedno z głównych niedomagań serii „d”. Sprawność silników nowej serii była również nieco większa. Zastosowano izolację klasy E (w starej serii — klasa A).



Rys. 3.7. Porównanie indukcyjnych silników klatkowych budowy zamkniętej serii e (z lewej strony) i serii d (z prawej strony)

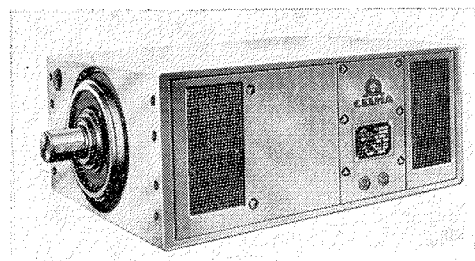
	Seria e	Seria d
Moc, w kW	13	14
Krotność momentu rozruchowego	1,8	1,4
Sprawność, w %	88,5	88,0
Ciężar miedzi, w kG	7,4	9,5
Ciężar żelaza czynnego, w kG	94	115
Ciężar całkowity, w kG	120	180

Stopniowe wprowadzanie do produkcji serii „e” rozpoczęło się w 1961 r., a zakończyło praktycznie w 1964 r. Na bazie podstawowej serii silników ogólnego zastosowania jest przeprowadzana modernizacja odmian pochodnych: silników cichobieżnych, wielobieżowych, wodoszczelnych i in.

Licząc się ze stałym postępem technicznym w dziedzinie obliczania maszyn elektrycznych oraz pojawianiem się coraz doskonalszych materiałów izolacyjnych i magnetycznych (blachy magnetyczne walcowane na zimno, krzemowe i bez-

krzemowe), rozpoczęto ostatnio pod kierunkiem Zakładu Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki prace zespołowe, w analogicznym jak poprzednio składzie, nad następną serią „f” z myślą, że wejdzie ona do produkcji w drugiej połowie pięciolatki 1971—1975. Przeprowadzone dotychczas studia i prace modelowe wskazują, że nowa seria wprowadzi istotne elementy postępu z punktu widzenia wskaźników techniczno-ekonomicznych tej rodziny silników.

Specyficzną gałąź w grupie silników do 100 kW stanowią silniki ognioszczelne. Przemysł elektrotechniczny w Polsce Ludowej — kraju zajmującemu piąte miejsce w światowym wydobyciu węgla kamiennego — siłą rzeczy objął swym programem i stale rozwija produkcję elektrycznych urządzeń przeciwwybuchowych dla górnictwa, w tym m.in. maszyn elektrycznych. Oprócz silników budowy wzmocnionej i ognioszczelnej w konwencjonalnym wykonaniu na łąkach, produkowanych w zakresie mocy do 100 kW w fabrykach Tamel i Celma, zakłady Celma opracowały własne konstrukcje i uruchomiły produkcję wielu odmian specjalnych, o konstrukcji i parametrach dostosowanych do ich



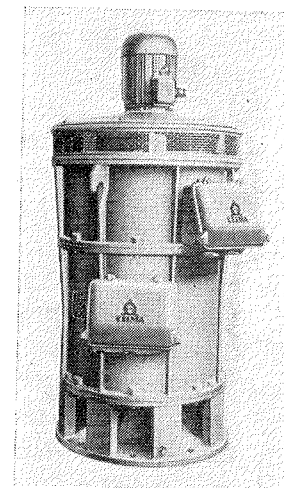
Rys. 3.8. Silnik indukcyjny budowy ognioszczelnej, typu SWSH-104c, o mocy 60 kW, do napędu wrębiarki

specyficznego przeznaczenia. Należą do nich silniki tzw. skrzynkowe do bezpośredniego napędu wrębiarek, kombajnów, przenośników itp., o kształtach i wymiarach dostosowanych do wbudowania w maszynę górniczą jako jej integralny element. Za całość osiągnięć w tej dziedzinie inżynierowie zakładu Celma — Jan Kędziera i Karol Szczepański — otrzymali Nagrodę Państwową II stopnia.

Oprócz wymienionych już serii programy poszczególnych fabryk objęły w ubiegłym dwudziestoleciu wiele nowych typów i odmian maszyn dostosowanych do ich specjalnego przeznaczenia. Spośród nich można tu podać tylko niektóre bardziej charakterystyczne przykłady:

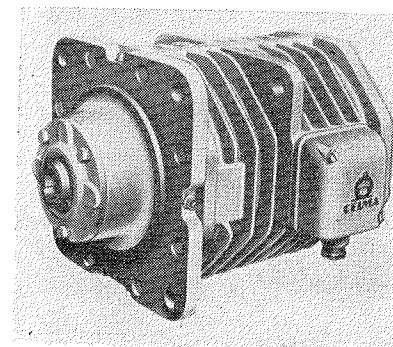
— silniki dwu- i czterobiegunowe do napędu wirówek cukrowniczych, będące jednym z atrakcyjnych wyrobów eksportowych (Celma i Instytut Elektrotechniki),

— silniki samohamowne (Indukta),

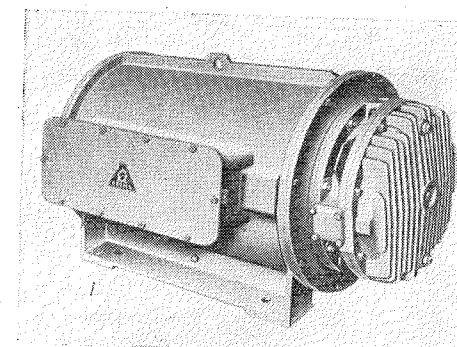


Rys. 3.10. Silnik indukcyjny samohamowny, typu SZJOe

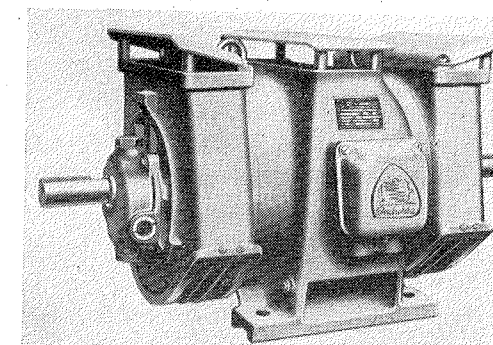
Rys. 3.9. Silnik indukcyjny czterobiegunowy, typu 5 SC4, do napędu wirówki cukrowniczej



Rys. 3.11. Silnik indukcyjny budowy zamkniętej, typu 2 SHK, do napędu samotoków walcowniczych



Rys. 3.12. Silnik indukcyjny budowy strugoszczelnej, trójbiegunowy, typu mzSK, do napędu wind kotwicznych na statkach



Rys. 3.13. Silnik indukcyjny cichobieżny typu SBJDCe, do napędu dźwigów osobowych

- silniki do elektrorolek i samotoków transportowych w hutnictwie (Celma),
- silniki do pomp głębinowych przeznaczone do pracy w wodzie (Karelma),
- specjalne silniki do napędu wind kotwicznych (Celma),
- silniki cichobieżne do dźwigów osobowych (Indukta).

Silniki indukcyjne o mocach 100—1 000 kW

Zgodnie z założoną specjalizacją zakładów, produkcja silników w tym zakresie mocy koncentruje się w zakładzie Emit w Żychlinie. Ponieważ jednak rozbudowa tej fabryki nie nadążała za wzrostem zapotrzebowania na jej wyroby, większe silniki tej grupy wykonywał przejściowo również zakład we Wrocławiu.

Przez pewien czas po wyzwoleniu kontynuowano produkcję serii wykonywanych przed wojną i w czasie okupacji. Doraźna modernizacja serii *silników okapturzonych*, przeprowadzona w latach 1950/1951, polegała na ograniczeniu nadmiernej liczby typów i odmian oraz wprowadzeniu zmian konstrukcyjnych, które umożliwiły uzyskanie większych mocy znamionowych przy tej samej wielkości maszyny. Zmodernizowana w ten sposób seria otrzymała oznaczenie SCJf (silniki klatkowe) lub SCUf (silniki pierścieniowe). Objęła ona silniki niskiego napięcia o mocach 62—240 kW *) i wysokiego napięcia o mocach 235-1 100 kW, ze wspólnym przełączalnym uzwojeniem stojana dla napięć 3 i 6 kV. Seria składała się z 6 wielkości mechanicznych, określonych średnicą zewnętrzną blach stojana. Cztery mniejsze wielkości miały łożyska toczne, dwie większe — ślizgowe. Odmianą silników okapturzonych były silniki zamknięte z przewietrzeniem przelotowym, o nieco odmiennej budowie kadłuba i tarcz.

Mimo wprowadzenia pewnych ulepszeń w stosunku do poprzedniego wykonania, seria „f” znacznie odbiegała od poziomu współczesnych jej rozwiązań produkowanych firm zagranicznych. Między innymi przy stosunkowo lekkiej, lecz zbyt wiotkiej obudowie, zużycie materiałów czynnych było duże. Toteż, jeszcze przed zakończeniem prac modernizacyjnych nad serią „f” Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych w Katowicach, przy współpracy z Biurem Konstrukcyjnym Zakładu Emit, przystąpiło do opracowania następnej serii, tzw. SCd. Korzystano przy tym częściowo z otrzymanej ze Związku Radzieckiego dokumentacji produkowanych tam silników. Seria objęła silniki pierścieniowe (SCUd) i klatkowe (SCJd względnie SCDD), o mocach 125—200 kW przy 380 V i 200—1 250 kW przy 6 kV. Przyjęto w niej skalę mocy opartą na szeregu liczb znormalizowanych R10, wprowadzaną powszechnie na zachodzie i w krajach obozu socjalistycznego: 125—160—250—320—400—500—630—800—1 000—1 250 kW.

*) Moce silników odnoszą się wszędzie do prędkości obrotowej 1 500 obr/min.

Seria składała się z 4 wielkości mechanicznych. We wszystkich zastosowano łożyska toczne, cylindryczne lub baryłkowe. Ciężary jednostkowe silników nie uległy zasadniczej zmianie, została jednak wzmocniona konstrukcja mechaniczna stojana i tarcz, przy równoczesnym zmniejszeniu zużycia materiałów czynnych o 15—20%. Pierścienie ślizgowe, ze stale nalegającymi szczotkami umieszczono na zewnątrz stojana, co ułatwiało dostęp do nich i zwiększało niezawodność pracy maszyny. W silnikach klatkowych wirnik miał uzwojenie głębokożłobkowe lub dwuklatkowe. Produkcję tej serii uruchomiono w latach 1956—1957.

W następnych latach wprowadzono dalsze modyfikacje; zastosowano m.in. uzwojenia szablonowe duwarstwowe z drutu o przekroju prostokątnym. Zmodernizowana wersja, pod nazwą serii SCdm, weszła do produkcji w latach 1962—1964 i jest produkowana do chwili obecnej. W toku są prace konstrukcyjno-modelowe nad nową serią „e”.

Silniki budowy zamkniętej z chłodzeniem żebrowym były początkowo, analogicznie jak silniki okapturzone, produkowane według przedwojennej dokumentacji, jako seria SZa. Obejmowała ona tylko silniki niskiego napięcia o mocach do 370 kW. Po wprowadzeniu pewnych modyfikacji produkowano je przez dłuższy czas jako serię SZb.

W końcu lat pięćdziesiątych została opracowana całkowicie nowa seria SZe, obejmująca silniki niskiego napięcia o mocach 125—250 kW i wysokiego napięcia o mocach 160—400 kW. Skala mocy została znormalizowana według R10. Żebrowany kadłub jest owiewany powietrzem; zewnętrzny przewietrznik jest zmontowany na wale maszyny. Wirnik został zaopatrzony w przewietrznik, powodujący ruch powietrza wewnątrz kadłuba. Uzwojenie stojana wykonano z drutu profilowego, zamiast okrągłego.

Łącznie z innymi zmianami konstrukcyjnymi umożliwiło to zmniejszenie zużycia materiałów czynnych i całkowitego ciężaru silnika. Ze względu na odmienne stopniowanie mocy i inne powiązania długości maszyn ze średnicami, nie można przeprowadzić porównania ściśle odpowiadających sobie maszyn, jednak podane w tabl. 3.8 liczby wskazują wyraźnie zmniejszenie przeciętnego ciężaru jednostkowego.

Tablica 3.8

PORÓWNANIE CIĘŻARÓW SILNIKÓW NISKIEGO NAPIĘCIA (W KG/KW) SERII SZUa I SZUc (1 000 OBR/MIN)

Moc, w kW	103	125	160	200	210	240	250
Typ							
SZUa	14,8	12,2	—	—	11,4	10,6	—
SZUc	—	11,2	8,75	7,5	—	—	10,2

Maszyny prądu stałego małej i średniej mocy

Produkcja maszyn prądu stałego tej grupy jest skoncentrowana w trzech zakładach, specjalizujących się w różnych zakresach mocy:

- Komel w Katowicach: maszyny o mocy do ok. 7,5 kW,
- Emit w Żychlinie: maszyny średniej mocy do ok. 250 kW,
- Dolmel we Wrocławiu: maszyny dużej mocy.

Ponadto stosunkowo niewielka produkcja małych maszyn prądu stałego do specjalnych zastosowań jest zlokalizowana w Warszawskich Zakładach Maszyn Elektrycznych.

Zanim jednak specjalizacja ta ustaliła się, granice mocy maszyn produkowanych przez poszczególne zakłady przesunęły się w zależności od ich aktualnej zdolności produkcyjnej i zapotrzebowania. Tak np. do czasu pełnego opanowania produkcji maszyn prądu stałego przez fabrykę we Wrocławiu (obecny Dolmel), fabryka w Żychlinie (obecny Emit) wykonywała maszyny przekraczające jej planowaną granicę specjalizacji — 250 kW, a produkcja Zakładów Wytwórczych Specjalnych Maszyn Elektrycznych w Katowicach (obecny Komel) obejmowała maszyny o mocy większej niż 7,5 kW. Odwrotnie, w późniejszym okresie, gdy rozbudowa zakładu Emit nie nadążała za wzrostem zapotrzebowania, zakład Dolmel uzupełniał jego produkcję.

Z tych względów naszkicowany dalej historyczny rozwój konstrukcji i produkcji maszyn prądu stałego dotyczy zakładów Emit i Komel, niezależnie od wielkości wykonywanych przez nie maszyn, produkcja zaś zakładu Dolmel będzie omówiona w części poświęconej dużym maszynom elektrycznym.

W pierwszych latach powojennych cały niemal ciężar pokrywania potrzeb kraju w zakresie maszyn prądu stałego spoczywał na fabryce w Żychlinie. Stąd też, prócz kontynuowania produkcji przedwojennych serii maszyn o mocy do 400 kW, uruchomiła ona w tym okresie produkcję kilku typów większych maszyn, o średnicy twornika do ok. 900 mm, mimo że już wtedy planowano przejście za kilka lat produkcji takich maszyn przez nową fabrykę we Wrocławiu.

Pierwszymi maszynami spośród nich były prądnice przeznaczone dla stacji prób Instytutu Elektrotechniki i fabryki wrocławskiej, o danych znamionowych.

typ P780/8 — 500 kW — 740 obr/min,

napięcie 250—460 V,

liczba biegunów 8,

średnica twornika 870 mm.

Były to pierwsze wykonane w Polsce maszyny z uzwojeniami kompensacyjnymi. Konstrukcję ich opracowało Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych w Katowicach. Wkrótce po tym zaprojektowano i wykonano parę dalszych typów maszyn podobnej wielkości. Produkcja jednak tych większych maszyn miała, jak już zaznaczono, charakter przejściowy i została przejęta przez fabrykę we Wrocławiu.

Przedwojenne serie maszyn, których produkcję wobec szczupłości kadr konstruktorskich kontynuowano z konieczności w pierwszych latach powojennych, były oparte na dokumentacji Brown-Boveri z połowy lat trzydziestych. Maszyny te nie odpowiadały już współczesnym wymaganiom techniki i niezbędna była ich modernizacja, która przebiegała w kilku etapach.

W zakresie *maszyn o mocy do 100 kW* pierwszym krokiem była mała modernizacja serii przedwojennej przeprowadzona przez Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych przy współudziale Biura Konstrukcyjnego Zakładów Wytwórczych Specjalnych Maszyn Elektrycznych. Zmodernizowana seria, pod nazwą Pa, obejmowała silniki i prądnice budowy chronionej w zakresie mocy 1,7—56 kW (przy 1 500 obr/min). Silniki budowy zamkniętej, różniące się tylko obudową, miały moc obniżoną do 40—50% mocy znamionowej silników przewietrzanych, były więc niewspółmiernie ciężkie i zakres ich zastosowania był bardzo ograniczony. W serii tej, oprócz pewnych udoskonaleń konstrukcyjnych, zastosowano lepsze materiały izolacyjne i dłuższe pakiety blach czynnych. Jej produkcja została uruchomiona w 1951 r. i była kontynuowana do ostatnich lat.

Właściwym postępowaniem technicznym w tej grupie maszyn stała się dopiero następna oryginalna seria Pb, opracowana przez Zakłady Konstrukcyjno-Doświadczalne Przemysłu Maszyn Elektrycznych. Objęła ona osiem wielkości mechanicznych o mocach 0,3—100 kW. Seria próbna najmniejszych, dwóch wielkości została wykonana w 1961 r., po czym stopniowo wprowadzano do produkcji dalsze wielkości: do mocy 7,5 kW w ZKDPME, większej mocy — w zakładach Emit.

W serii Pb zastosowano nowy opatentowany system chłodzenia z wymiennikiem ciepła oraz izolację klasy B. Rozwiązanie konstrukcyjne odznacza się zwartą, a równocześnie sztywną obudową, małymi wymiarami i małym ciężarem na jednostkę mocy. Umożliwiło to zastosowanie w maszynach o mocy do 7,5 kW wyłącznie budowy zamkniętej. Przykładowo można podać, że całkowity ciężar silnika serii Pb o mocy 2,2 kW przy 1 500 obr/min wynosi 50 kG (ok. 23 kG/kW), a silnika serii Pa o mocy 1,85 kW i tej samej prędkości obrotowej — 90 kG (ok. 48 kG/kW).

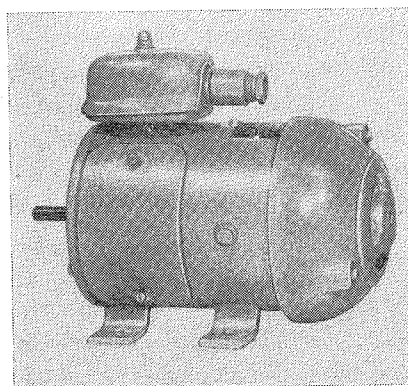
Prócz dużej obniżki kosztów wytwarzania, wynikającej ze zmniejszonego zużycia materiałów czynnych, rzędu 30—40%, i mniejszej pracochłonności, seria Pb dała również oszczędności eksploatacyjne, dzięki lepszej sprawności i większej niezawodności. Za opracowanie tej serii przyznano jej twórcom Nagrodę Państwową II stopnia*).

W podobny sposób przebiegały prace modernizacyjne w zakresie *maszyn o mocy powyżej 100 kW*. Pierwszym ich etapem była „mała racjonalizacja”,

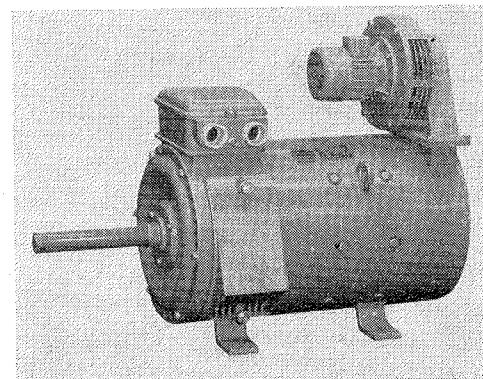
*) Inż. S. Banyś, inż. Z. Gruszczyński, inż. S. Kwaśnicki, inż. P. Roch, inż. A. Spyra (Komel), inż. K. Nowak (IEL), inż. A. Rudziński, inż. J. Stachura (Emit).

polegająca m.in. na wzmożeniu chłodzenia przez zmianę wentylacji tłoczącej na ssącą, zastąpieniu łożysk ślizgowych — tocznymi oraz przeróbce biegunów dodatkowych.

W końcu lat pięćdziesiątych Zakłady Konstrukcyjno-Doświadczalne Przemysłu Maszyn Elektrycznych przystąpiły do opracowania nowej serii Pf, obejmującej maszyny o mocy 125—500 kW. Oprócz podstawowej budowy okapturzonej, seria objęła silniki budowy zamkniętej z wymiennikami ciepła, a także



Rys. 3.14. Silnik prądu stałego budowy zamkniętej, typu PZB44b, o mocy 2,2 kW, 1 500 obr/min



Rys. 3.15. Specjalna odmiana silnika prądu stałego serii Pb: typ PXOMb, o mocy 55 kW, z wentylacją przelotową, do napędu dyfuzorów w układzie Leonarda — przy stałym momencie

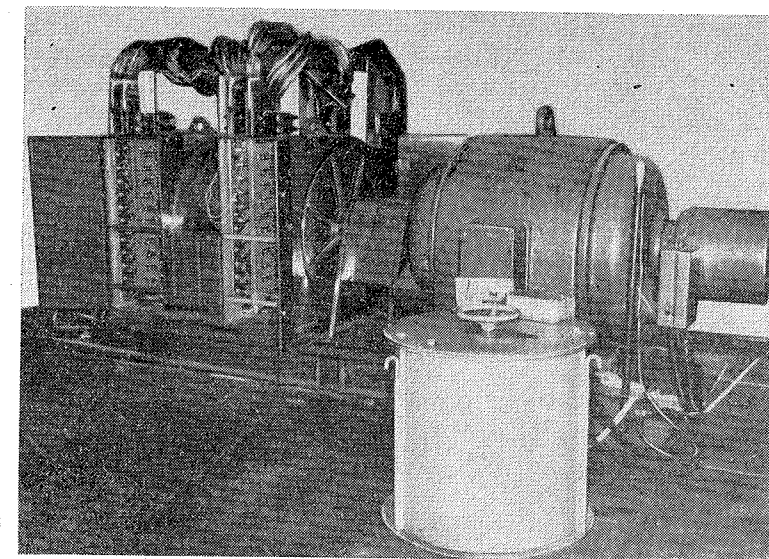
silniki z wentylacją półprzelotową. Wprowadzono liczne ulepszenia, jak: lepszy stopień ochrony wnętrza maszyny, uporządkowany ciąg mocy o stałym współczynniku wzrostu, zmniejszenie ciężaru całkowitego i ciężaru materiałów czynnych, poprawę komutacji przez zmniejszenie napięcia międzywycinkowego, uproszczenie technologii itp. Nowa seria jest w trakcie wprowadzania do produkcji.

Oprócz tych podstawowych grup maszyn prądu stałego ogólnego zastosowania były produkowane różne odmiany specjalne, przeznaczone do określonych celów. W zakładach Emit i Dolmel należały do nich m.in. maszyny do napędów hutniczych, silniki wodoszczelne do wind kotwicznych, prądnice i silniki do wind trałowych. W zakładzie Komel produkuje się prądnice do galwanizacji i do ładowania akumulatorów; zapotrzebowanie na te maszyny ma jednak tendencję malejącą w związku z rozpowszechnianiem się prostowników.

Na specjalną wzmiankę zasługują tzw. prądnice prostownikowe według patentu dr inż. R. Zdrojewskiego (Instytut Elektrotechniki). Jest to prądnica prądu stałego, w której zamiast komutatora zastosowano układ zaworów półprzewodnikowych. W zakładzie Emit w Żychlinie wykonano w 1966 r. według

projektu opracowanego w Instytucie Elektrotechniki prądnice o mocy 300 kW i prądzie znamionowym 10 kA, przeznaczoną dla Instytutu Badań Jądrowych do badań elementów paliwowych reaktora. W opracowaniu są inne odmiany maszyn oparte na tej zasadzie.

Specyficzną grupę maszyn prądu stałego stanowią prądnice spawalnicze, wchodzące w skład zespołów spawalniczych (spawarki). W zasadzie są one napędzane silnikiem indukcyjnym, w mniejszych jednak ilościach wykonywano



Rys. 3.16. Prądnica prostownikowa o mocy 300 kW i prądzie 10 kA — na stanowisku probierczym

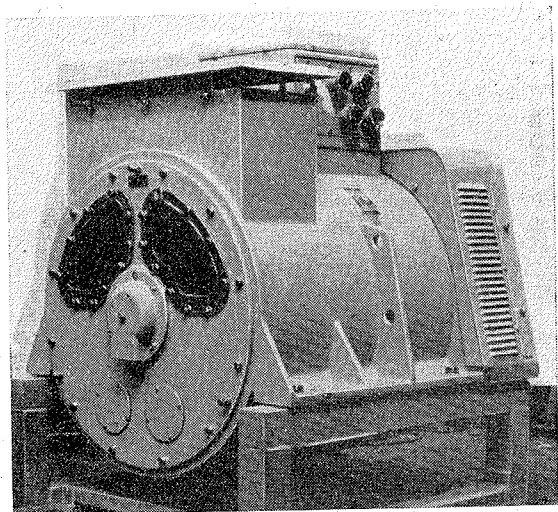
również spawarki z napędem za pomocą silnika spalinowego. W 1948 r. Zakład Wytwórczy Specjalnych Maszyn Elektrycznych w Katowicach (obecnie Komel) opracował, opierając się na wzorach zagranicznych, spawarkę na 300 A (typ EW-23u), z prądnice o polu poprzecznym i produkował ją do 1955 r., po czym przekazał produkcję do zakładu Dolmel. Następny większy typ na 500 A (typ EW3), już oryginalnej konstrukcji, został opracowany w połowie lat pięćdziesiątych wspólnymi siłami Centralnego Biura Konstrukcyjnego Maszyn Elektrycznych, zakładu Emit i Instytutu Spawalnictwa. W chwili obecnej spawarki te należy uznać za przestarzałe.

W ostatnich latach została opracowana przez Komel, przy współpracy zakładu Emit, nowa seria spawarek, obejmująca 3 wielkości: 300, 500 i 800 A. Seria ta, stojąca na poziomie nowoczesnych konstrukcji zagranicznych, jest stopniowo wprowadzana do produkcji.

Maszyny synchroniczne małej i średniej mocy

Silniki synchroniczne małej i średniej mocy, poniżej paruset kilowatów, są stosowane jedynie w odosobnionych przypadkach, a zapotrzebowanie na prądnice obejmuje w tym zakresie mocy raczej maszyny specjalne, projektowane pod kątem indywidualnych wymagań, wynikających z ich przeznaczenia. W związku z tym produkcja maszyn w konwencjonalnym wykonaniu miała marginesowy charakter, na zarejestrowanie zaś zasługuje opracowanie konstrukcji i uruchomienie na szerszą skalę produkcji dwóch specjalnych serii.

Pierwsza z nich obejmuje prądnice do zespołów spalinowo-elektrycznych o mocach 2, 4, 8 i 20 kVA, wyposażone w urządzenia do automatycznej regulacji napięcia. Zespoły te są przeznaczone do stosowania, jako stacjonarne awaryjne źródło światła (np. w szpitalach) lub jako przewoźne — w miejscach pozbawionych dopływu energii elektrycznej z sieci. Mniejsze typy prądnic produkują Warszawskie Zakłady Maszyn Elektrycznych, większe — zakład Celma. Zespoły jako całość montuje zakład Karelma w Piechowicach.



Rys. 3.17. Prądnica synchroniczna dla przemysłu okrętowego

Drugą grupę maszyn stanowi seria prądnic dla przemysłu okrętowego o mocach 100, 150, 250, 320 i 420 kVA i prędkości obrotowej 500 obr/min; są one przeznaczone do pracy na statkach. Maszyny są wyposażone w samoczynny układ stabilizacji napięcia w oddzielnej obudowie. Produkowane seryjnie od 1960 r. w zakładach Emit i Dolmel wyeliminowały kosztowny import.

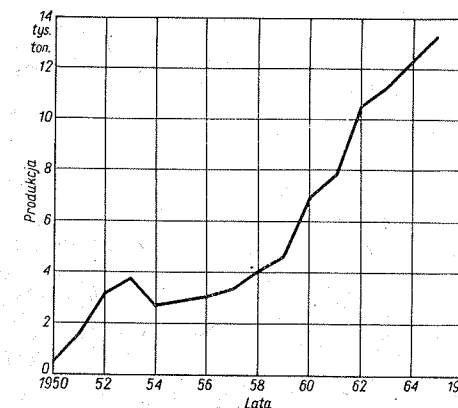
Maszyny wielkiej mocy [3.16, 3.49]

Szczytowa moc jednostkowa maszyn elektrycznych produkowanych w Polsce w okresie międzywojennym wynosiła ok. 1 000 kW dla silników indukcyjnych

i ok. 500 kW dla maszyn prądu stałego i synchronicznych, jeśli nie liczyć kilku odosobnionych przypadków wykonania większych jednostek.

Już w pierwszych latach po wyzwoleniu nie budziło wątpliwości, że dla rozwoju górnictwa, hutnictwa, chemii i energetyki zapotrzebowanie na duże maszyny elektryczne będzie szybko wzrastać i obejmować jednostki o mocach znacznie przewyższających dotychczasowe granice. Stworzenie więc rodzimej bazy produkcyjnej stało się nieodzowne i pilne. Toteż już w połowie 1947 r. zapadła decyzja naczelných władz państwowych budowy fabryki wielkich maszyn elektrycznych — dzisiejszych Dolnośląskich Zakładów Wytwórczych Maszyn Elektrycznych we Wrocławiu — Dolmel,^{*)} w których koncentruje się obecnie produkcja tych maszyn. Śmiało, na pozór, w ówczesnych warunkach założenia co do zdolności produkcyjnej zakładu i granicznej mocy jednostkowej maszyn (50 MW) okazały się wkrótce zbyt skromne; pierwotny projekt fabryki ulegał w trakcie opracowania parokrotnym zmianom w kierunku zwiększenia możliwości produkcyjnych.

Umownie do wielkich maszyn zalicza się w zasadzie turbogeneratory oraz inne maszyny prądu przemiennego i stałego o mocy ponad 1 000 kW. Ponieważ jednak o wielkości i ciężarze maszyny decyduje nie tylko moc, lecz również jej



Rys. 3.18. Produkcja zakładu Dolmel w latach 1950—1965

prędkość obrotowa, a prócz tego niektóre serie dużych maszyn nie kończą się na dolnej granicy 1 000 kW, w opracowaniu niniejszym jako „wielkie” maszyny traktujemy maszyny objęte programem zakładu Dolmel, nawet gdy moc ich leży poniżej tej granicy.

Wzrost całkowitej produkcji rocznej zakładu ilustruje rys. 3.18 [3.16].

Silniki indukcyjne. Po stosunkowo krótkim okresie rozruchu, w czasie którego Dolmel wykonywał silniki wchodzące w zasadzie w zakres produkcji za-

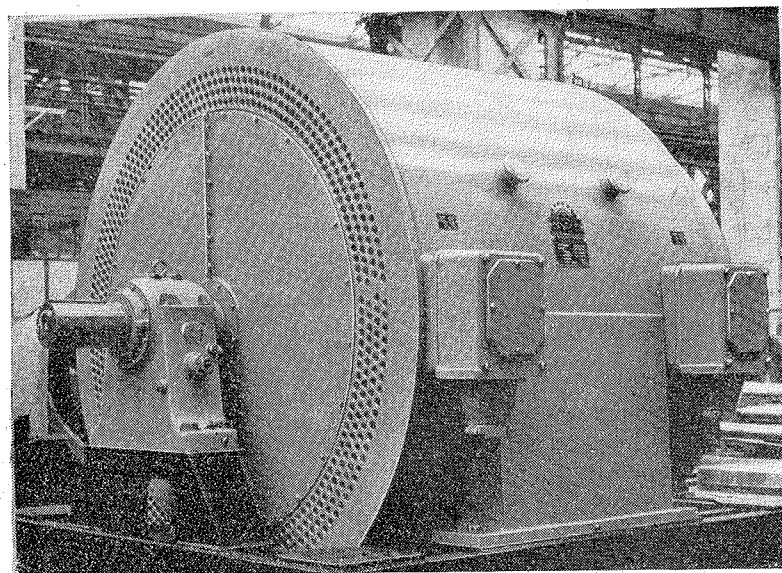
^{*)} Historia rozwoju fabryki jest podana w rozdziale czwartym.

kładu Emit oraz po okrzepnięciu własnego biura konstrukcyjnego, Dolmel rozpoczął produkcję dużych silników indukcyjnych własnej konstrukcji. Jednym z pierwszych osiągnięć w tym zakresie było wykonanie w 1952 r. silników dla przemysłu chemicznego o danych znamionowych: 3 500 kW, 6 kV, 990 obr/min.

W latach 1953/1954 opracowano nową serię tzw. „d” silników o mocach 200—4 000 kW i prędkościach 375—1 000 obr/min. Silniki te miały niezłe wskaźniki techniczno-ekonomiczne, a ich ciężary jednostkowe były o ok. 20% mniejsze niż ciężary silników uprzednio produkowanych.

Dla większej prędkości obrotowej opracowano w latach 1956—1959 serie tzw. turbosilników o mocach 1 000—4 000 kW, przy prędkości 3 000 obr/min, z wirnikiem klatkowym głębokożłobkowym; nieco później powstała analogiczna seria silników pierścieniowych o mocach 1 600—5 000 kW, przy 1 500 obr/min.

W 1959 r. zakład opracował specjalną serię, tzw. „r”, silników budowy zamkniętej z oryginalnym rozwiązaniem chłodzenia powietrzem przetłaczanym przez rury wmontowane w kadłub stojana. Seria obejmuje silniki o mocy 200—1 250 kW, przy prędkościach 500—1 500 obr/min. Silniki są przystosowane do pracy na wolnym powietrzu w bardzo trudnych warunkach, np. do napędu taśmociągów w odkrywkowych kopalniach węgla brunatnego.



Rys. 3.19 Silnik indukcyjny z chłodzeniem rurowym

Z dalszych ciekawszych pozycji programu Dolmela można wymienić:

— silniki asynchroniczne synchronizowane o mocach 400—2 000 kW, przy prędkościach 187—1 000 obr/min, przeznaczone głównie do napędu młynów

kułowych w cementowniach; poszczególne ich odmiany były wprowadzane do produkcji w latach 1958—1965;

— opracowaną w 1962 r. serię „h” silników walcowniczych do ciężkich warunków pracy, o mocach 400—1 000 kW przy prędkościach 375—750 obr/min;

— opracowaną w 1964 r. serię „w” silników do maszyn wyciągowych o mocach 400—1 000 kW, przy prędkościach 300—500 obr/min.

Dotychczasowy (do 1965 r.) dorobek zakładu Dolmel w zakresie silników indukcyjnych obejmuje ok. 3 000 maszyn o łącznej mocy ok. 2 000 MW, przy stale wzrastającej produkcji.

Obecnie opracowuje się nową serię „e”, która ma zastąpić produkowaną dotychczas serię „d”. Będzie w niej zastosowany nowy układ izolacyjny, blachy magnetyczne o mniejszej stratności, odmienne ułożyskowanie i inne udoskonalenia konstrukcyjne. Zakłada się, że uzyska się przez to serię o lepszych parametrach technicznych i ciężarze zmniejszonym o 15—20%.

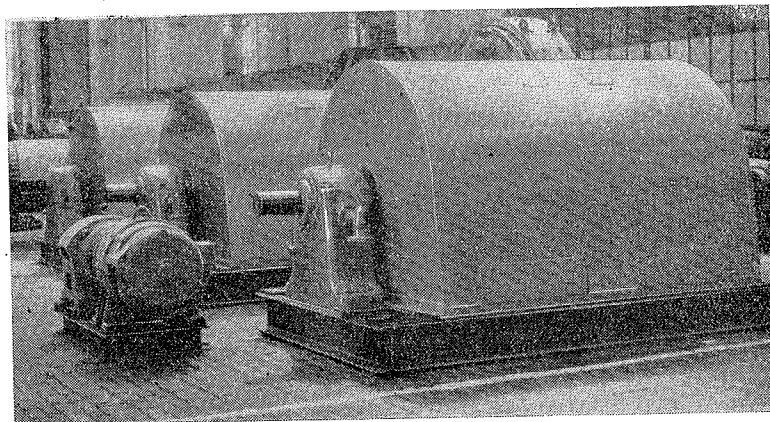
Maszyny synchroniczne. Produkcja silników synchronicznych rozpoczęła się w Dolmelu nieomal równocześnie z produkcją dużych silników indukcyjnych. Do 1955 r. wykonano kilkadziesiąt maszyn o łącznej mocy 34 MW, a w następnym dziesięcioleciu — ok. 500 maszyn o łącznej mocy 400 MW. Były one dostarczane głównie do napędu sprężarek, dmuchaw i wentylatorów kopalniach.

Zapoczątkowaniem produkcji było wykonanie kilku mniejszych typów wzorowanych na przedwojennej dokumentacji. W drugim etapie wykonano kilkadziesiąt silników typu DSP-116 o mocy 1 300 kW przy 1 500 obr/min, do napędu sprężarek szybkobieżnych, według dokumentacji otrzymanej ze Związku Radzieckiego.

Równolegle biuro konstrukcyjne zakładu przy współpracy z Centralnym Biurem Konstrukcyjnym Maszyn Elektrycznych w Katowicach przystąpiło do opracowania własnej serii maszyn synchronicznych. W wyniku tych prac w 1955 r. powstał projekt techniczny tzw. serii Gd o mocach 315—3 150 kVA i prędkościach obrotowych 187—1 500 obr/min. Stał się on podstawą dalszej produkcji zakładu w tym zakresie maszyn. Seria obejmuje maszyny budowy otwartej i z przewietrzaniem przelotowym. W stojanie zastosowano uzwojenia wielowarstwowe i izolację ciągłą klasy B. Serię cechuje prostota technologiczna, duża sprawność (ok. 94%) i dobra przeciążalność momentem (1,6—2,0), a także duża możliwość doboru właściwego momentu rozruchowego.

W latach 1963—1965 biuro konstrukcyjne zakładu opracowało serię silników wolnobieżnych, tzw. „k”, o mocach 1 250—3 000 kW, przy prędkościach obrotowych 231—375 obr/min, przeznaczoną do napędu sprężarek tłokowych typu „bokser”. Pierwsze silniki tej serii zostały zainstalowane w 1965/1966 r. w Zakładach Azotowych w Puławach.

Drugą grupę stanowią silniki synchroniczne do napędu turbosprężarek, o prędkości obrotowej 3 000 obr/min i zakresie mocy 500—6 000 kW. Silniki są przystosowane do rozruchu asynchronicznego przy napięciu zasilającym obniżonym do 60% napięcia znamionowego.



Rys. 3.20. Silniki synchroniczne do napędu turbosprężarek, o prędkości obrotowej 3 000 obr/min

Na początku lat sześćdziesiątych rozpoczęto produkcję prądnic synchronicznych dla przemysłu okrętowego o mocach 250, 320 i 400 kVA ze specjalnym urządzeniem do stabilizacji napięcia. Umożliwiło to wyeliminowanie kosztownego importu.

Oprócz wymienionych serii, obejmujących podstawową produkcję maszyn synchronicznych, zakład Dolmel wykonuje odmiany specjalne, stosownie do indywidualnych potrzeb odbiorców.

Aby dotrzymać kroku postępowi światowemu, biegną prace modernizacyjne nad serią Gd, prądniami morskimi i in.

Turbogeneratory. Zapoczątkowaniem tej nowej w Polsce gałęzi produkcji był turbogenerator o parametrach: 2 MW, 6,3 kV, 3 000 obr/min, z chłodzeniem powietrznym, zaprojektowany przez zespół konstruktorów Zakładów Wytwarzających Maszyny Elektryczne i Transformatorów w Żychlinie, przy pomocy naukowej ze strony Katedry Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej.

Prototypowa jednostka została wykonana w zakładzie Dolmel w 1953 r. W dalszych latach wyprodukowano 20 szt. tych maszyn dla siłowni zakładów przemysłowych, gdzie spełniają one nienagannie swoje zadanie.

Mimo pomyślnych wyników tego niełatwego przedsięwzięcia, przynoszących chlubę projektantom i wykonawcom, produkcję większych turbogeneratorów przeznaczonych dla przemysłu i dla energetyki zawodowej zdecydowano oprzeć na mocy zagranicznej. Motywem tej decyzji było uzasadnione przeko-

nanie, że zaprojektowanie i wykonanie tych maszyn w terminach wynikających z niezbędnych potrzeb energetyki przekraczała możliwości ówczesnej, szczupłej i nie posiadającej dostatecznego doświadczenia w tej dziedzinie, kadry konstruktorskiej.

W wyniku porozumienia ze Związkiem Radzieckim zakład Dolmel otrzymał z fabryki Elektrosiła w Leningradzie dokumentację na turbogeneratory o parametrach:

- 25 MW — 6,3 kV — 3 000 obr/min,
- 30 MW — 6,3 kV — 3 000 obr/min,
- 50 MW — 10,5 kV — 3 000 obr/min.

Pierwsza z tych maszyn jest chłodzona powietrzem, dwie następne — wodorem.

Pomoc techniczna obejmowała udostępnienie inżynierom, technikom i robotnikom praktyk w zakładzie Elektrosiła, a także doradctwo fachowców radzieckich przy uruchomieniu produkcji w Polsce.

Pierwsze sztuki tych maszyn wykonano kolejno: 25 MW — w 1956 r., 30 MW — w 1959 r., 50 MW — w 1960 r. Są one produkowane do chwili obecnej, również na eksport.

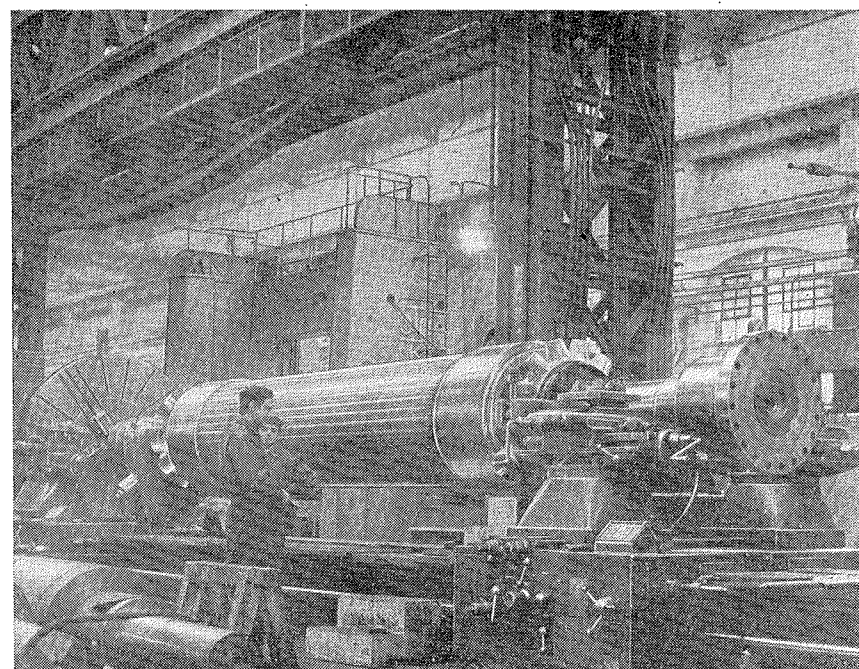
Opanowanie produkcji tych trzech typów turbogeneratorów nie w pełni jednak zaspokoilo współczesne potrzeby energetyki; potrzebne już były bardziej ekonomiczne, z punktu widzenia inwestycyjnego i eksploatacyjnego, jednostki o mocy rzędu 100 MW.

Produkcję ich podjął Dolmel na podstawie zakupionej w angielskiej firmie AEI (Associated Electrical Industries) licencji na turbogenerator 120 MW, 13,8 kV, 3 000 obr/min, z bezpośrednim chłodzeniem wodorem uzwojeń wirnika i tu również licencja obejmowała praktyki pracowników Dolmela w fabryce AEI w Manchester. Produkcja została uruchomiona w 1962 r. Pierwsze maszyny zostały zainstalowane w elektrowniach na węglu brunatnym.

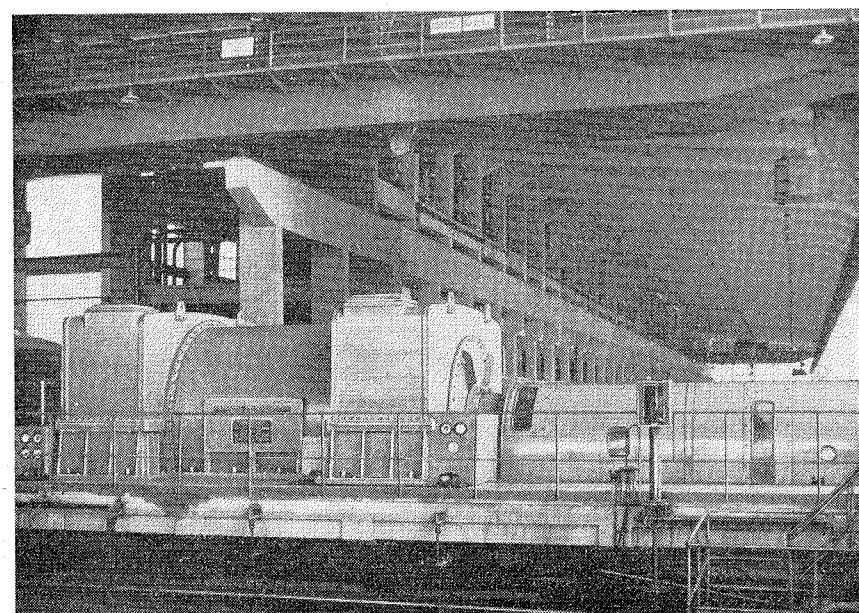
Znowu jednak, jeszcze przed ukończeniem pierwszej sztuki, stała się aktualna budowa elektrowni z większymi jednostkami, o mocy 200 MW. Ponowną pomoc okazał Związek Radziecki, dostarczając dokumentację produkowanego w zakładzie Elektrosiła turbogeneratora o mocy 200 MW, 15,75 kV, 3 000 obr/min. W maszynie tej uzwojenie stojana jest chłodzone wodą przepływającą wewnątrz prętów uzwojenia, uzwojenie wirnika — wodorem, systemem bezpośrednim. Pierwsza jednostka została wykonana w Dolmelu w 1967 r.

Tablica 3.9 ilustruje różne systemy chłodzenia stosowane, zgodnie z obecnym stanem techniki, w powyższych maszynach.

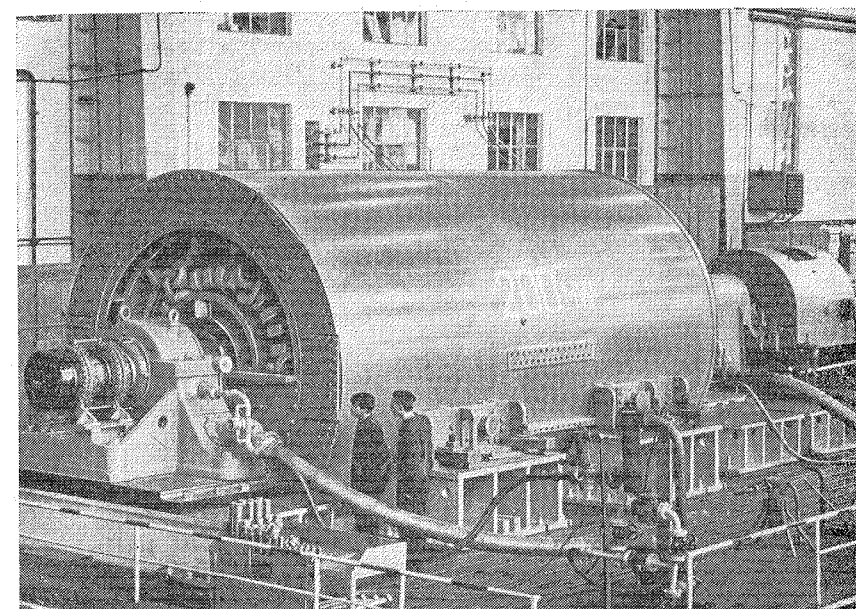
Równocześnie nieomal z dokumentacją na turbogeneratory o mocy 25 MW, zakład Dolmel otrzymał ze Związku Radzieckiego dokumentację na serię turbogeneratorów przemysłowych, według której uruchomił produkcję jednostek o mocach: 2,5, 4 i 6 MW.



Rys. 3.21. Obróbka wirnika turbogenerators o mocy 50 MW



Rys. 3.22. Turbogenerator o mocy 120 MW — zainstalowany w elektrowni



Rys. 3.23. Turbogenerator o mocy 200 MW — na stanowisku probierczym w zakładzie Dolmel

Tablica 3.9

RODZAJE CHŁODZENIA PRODUKOWANYCH W POLSCE TURBOGENERATORÓW

Moc maszyny	Wirnik		Stojan	
	chłodziwo	system chłodzenia	chłodziwo	system chłodzenia
Do 25 MW włącznie	powietrze	pośredni	powietrze	pośredni
30 MW	wodór	pośredni	wodór	pośredni
50 MW	wodór	pośredni	wodór	pośredni
125 MW	wodór	bezpośredni *)	wodór	pośredni
200 MW	wodór	bezpośredni *)	woda	bezpośredni *)

*) W systemie bezpośrednim czynnik chłodzący przepływa wewnątrz przewodów.

Mimo tak znacznej pomocy zewnętrznej, opanowanie produkcji 5 typów turbogeneratorów energetycznych i 4 typów turbogeneratorów przemysłowych wymagało wielkiego wysiłku załogi, tym więcej, że rola jej nie ograniczała się jedynie do odtwarzania w naturze otrzymanej dokumentacji. Niemalże wpływ na możliwość wykonywania w kraju tych maszyn miało uruchomienie w Dolmelu produkcji nowych materiałów izolacyjnych i syciw. Oryginalna technologia macierzystego producenta musiała być w wielu przypadkach adaptowana