

do aktualnych możliwości zakładu. Konstruktorzy zakładu Dolmel wprowadzali w trakcie produkcji pewne ulepszenia. Poważnym osiągnięciem było zmodyfikowanie — za zgodą licencjodawcy — układu wzbudzenia turbogeneratorów o mocy 120 WM.

Na podstawie doświadczeń zdobywanych przy opanowaniu produkcji maszyn licencyjnych oraz własnych studiów i badań, konstruktorzy zakładu podjęli własne oryginalne prace. Objęły one opracowanie dwóch nowych serii turbogeneratorów przemysłowych: dwubiegunowych o zakresie mocy 6—25 MW i czterobiegunowych — 0,6—25 MW. Serie te mają wskaźniki techniczno-ekonomiczne na poziomie przodujących firm europejskich. Jako wzbudnice zastosowano do nich prądnice prostownikowe, bezkomutatorowe.

Ważną pozycją jest również pierwszy, zaprojektowany w 1962 r. przez zakładowe biuro konstrukcyjne, turbogenerator o mocy 63 MW z systemem chłodzenia specyficznym dla dużych turbogeneratorów, tzn. z uzwojeniem wirnika chłodzonym bezpośrednio wodorem, a uzwojeń stojana — wodą. Produkcja pierwszego egzemplarza tej maszyny jest daleko zaawansowana.

Maszyny prądu stałego. Głównymi użytkownikami dużych maszyn prądu stałego są przemysły węglowy i hutniczy; sporadyczne zamówienia wpływają również z innych przemysłów.

Produkcję maszyn dla przemysłu węglowego rozpoczął zakład Dolmel w 1953 r. wykonując prądnice do zespołu Leonarda, typu P 1500 o mocy 1 500 kW, napięciu 680 V i prędkości obrotowej 740 obr/min. W następnych latach uruchomiono produkcję kilku typów podobnych prądnic o mocach do 3 000 kW.

Od 1958 r. datuje się produkcja nawrotnych silników wyciągowych dla kopalni węgla. W pierwszym etapie były to silniki do wyciągów jednolinowych o mocach 1 100, 1 600 i 2 400 kW i prędkości obrotowej regulowanej w granicach ± 45 obr/min. Ciężar największego z tych silników, wykonanego w 1959 r., wynosił 100 ton. Silniki pracują w wielu polskich kopalniach i były eksportowane do Chińskiej Republiki Ludowej.

W wyniku zmiany przez górnictwo systemu maszyn wyciągowych wyłoniło się wkrótce zapotrzebowanie na silniki o większej prędkości, do napędów wielolinowych. W końcu lat pięćdziesiątych zakład Dolmel opracował serię silników do tych napędów, obejmującą maszyny o mocach 1 200, 1 600, 2 400 i 3 400 kW i o prędkości regulowanej w granicach ± 70 —90 obr/min. Pierwszy silnik tej serii wykonano w 1963 r.

Silniki produkowane dla przemysłu hutniczego można podzielić na 2 podgrupy:

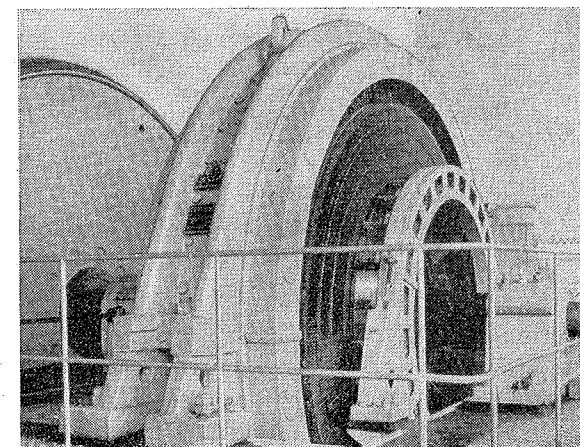
- silniki walcownicze,
- silniki metalurgiczne do różnych napędów hutniczych.

Silniki walcownicze, produkowane przez Dolmel w zakresie mocy 250—

2 500 kW, nie stanowią jednolitej serii, lecz są projektowane indywidualnie, stosownie do potrzeb i wymagań odbiorców. Jako szczytowe osiągnięcia można wymienić:

— silnik walcowniczy typu P 2300/14/420 o danych znamionowych: 2 500 kW, 800 V, 250—500 obr/min, o dwukrotnej przeciążalności; silnik został wykonany w 1961 r.;

— silnik walcowniczy typu P 1250/8/250 o danych znamionowych: 1 000 kW, 750 V, 500—1 000 obr/min, o maksymalnej prędkości obwodowej 65,4 m/s.



Rys. 3.24. Silnik prądu stałego nawrotny, typu P 4100, ± 45 obr/min, do napędu maszyny wyciągowej

Trudne zagadnienie opanowania komutacji w maszynach o powyższych parametrach zostało pomyślnie rozwiązane.

Z dużej liczby odmian silników metalurgicznych produkcji Dolmela wystarczy — dla zobrazowania jej zakresu — przytoczyć bardziej charakterystyczne przykłady.

Pierwszy, w chronologicznym porządku, był wykonany w 1954 r. silnik metalurgiczny do wygładzarki rur, o mocy 190 kW i prędkości regulowanej w zakresie 0 — 500 — 1 000 obr/min. W latach 1957—1963 program produkcyjny objął serię silników nawrotnych nieskompensowanych o mocach 24—300 kW oraz wykonywane indywidualnie w miarę napływu zamówień skompensowane silniki o mocach 100—400 kW.

Oprócz silników napędowych Dolmel uruchomił produkcję prądnic do zespołów zasilających Leonarda. W skład ich wchodzi 19 typów prądnic o mocach 290—300 kW.

W latach 1951—1953 wykonano dla przemysłu chemicznego pewną liczbę prądnic do elektrolizy. Produkcja ta jednak nie rozwijała się, gdyż maszyny te są wypierane przez zespoły prostownikowe.

Wszystkie wymienione maszyny są tworem polskich konstruktorów. W pierwszych latach konstrukcje ich opracowywało Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych, później — w pierwszej połowie lat pięćdziesiątych — wszystkie prace w dziedzinie dużych maszyn prądu stałego przejęło biuro konstrukcyjne zakładu Dolmel.

Obecnie są w trakcie opracowania silniki prądu stałego do bezpośredniego napędu śrub okrętowych na statkach rybackich oraz prądnice do zasilania tych silników. Maszyny są przystosowane do pracy w różnych warunkach klimatycznych. Produkcja ich zostanie uruchomiona w najbliższym okresie, rozszerzając rodzimą bazę zaopatrzenia jednej z kluczowych — zwłaszcza z punktu widzenia eksportu — gałęzi polskiego przemysłu.

Maszyny trakcyjne. Ze względu na ich specyficzny charakter, maszyny te wydzielono z maszyn prądu stałego w oddzielną grupę.

W związku z szerokim programem elektryfikacji kolei i przestawieniem się przemysłu taboru kolejowego z produkcji parowozów na produkcję lokomotyw elektrycznych, sieciowych i spalinowych z przekładnią elektryczną oraz elektrycznych jednostek pociągowych, produkcja maszyn trakcyjnych stała się w okresie powojennym jedną z nowych, podstawowych gałęzi produkcji polskiego przemysłu elektrotechnicznego. W chwili obecnej przemysł krajowy pokrywa w pełni potrzeby w zakresie wyposażenia elektrycznego tramwajów, lokomotyw sieciowych, jednostek pociągowych i trakcji kopalnianej. Wykonał on również maszyny dla tych typów lokomotyw spalinowych, których produkcję opanował krajowy przemysł taboru kolejowego. Nie produkuje się jedynie silników do trolejbusów, gdyż pojazdy te w ramach specjalizacji produkcji są importowane w całości z Czechosłowacji.

Podstawowym producentem maszyn trakcyjnych są Dolnośląskie Zakłady Wytwórcze Maszyn Elektrycznych we Wrocławiu, a tylko nieznacznie ich część wykonują inne zakłady.

Jedynie produkowane w Polsce przed wojną maszyny trakcyjne — silniki tramwajowe — były wykonywane według dokumentacji licencyjnej. Z tego powodu odradzający się w Polsce przemysł elektrotechniczny nie dysponował specjalistami posiadającymi doświadczenie w projektowaniu trudnych maszyn trakcyjnych. Z konieczności więc również po wojnie produkcja ich przez pewien czas opierała się na wzorach zagranicznych.

W pierwszej kolejności została uruchomiona w fabryce w Żychlinie produkcja *silników tramwajowych* typu LT 31, o mocy godzinowej 60 kW przy prędkości obrotowej 860 obr/min, na podstawie dokumentacji i paru egzemplarzy silników pozostawionych w tej fabryce przez okupanta. W 1949 r. pro-

dukcję ich przejęła fabryka we Wrocławiu. Łącznie do 1962 r. wykonano kilka tysięcy sztuk silników tego typu. Po tej dacie produkcja tego typu silników ma charakter zanikający, w związku z przechodzeniem na nowy typ tramwaju (13N), z szybkobieźnym silnikiem typu LTa 220, przystosowanym do napędu kardanowego, o mocy godzinowej 41,5 kW przy 1 845 obr/min (po 4 silniki na wagon). Produkcję tych silników, opartych na wzorach zagranicznych, uruchomił zakład Dolmel w latach 1956—1959 i kontynuuje ją do chwili obecnej w ilościach ponad 1 000 szt. silników rocznie.

W latach pięćdziesiątych zakłady rozpoczęły produkcję wyposażenia do elektrycznych *lokomotyw sieciowych*. W 1950 r. zakład Dolmel otrzymał ze Związku Radzieckiego dokumentację maszyn elektrycznych do lokomotywy typu WŁ 22 o układzie C-C (sześciosiłową). Dokumentacja obejmowała silnik trakcyjny typu LK 635 o mocy godzinowej 400 kW przy 710 obr/min i napięciu znamionowym 1 500 V oraz maszyny pomocnicze. Silniki były izolowane na 3 000 V (do pracy po dwa w szereg). Pomoc techniczna, polegała nie tylko na udostępnieniu dokumentacji, lecz również dała możliwość znacznej liczbie inżynierów, techników i robotników odbycia praktyk w fabryce w Charkowie. Produkcję uruchomiono w latach 1955—1956 i do 1965 r. wykonano kilka tysięcy silników trakcyjnych i odpowiadające im ilości maszyn pomocniczych.

Lokomotywa ta, o prędkości maksymalnej 90 km/h, przeznaczona w założeniu do pociągów towarowych, tylko częściowo zaspokoiła potrzeby PKP. Wkrótce więc po uruchomieniu jej produkcji zakupiono w Anglii licencję na uniwersalną lokomotywę czteroosiową (Bo-Bo), o prędkości maksymalnej 125 km/h. I tu również licencja zapewniała praktyki w zakładach licencjodawców: English Electric i Associated Electrical Industries. Komplet maszyn obejmował silnik trakcyjny typu EE 541, o mocy godzinowej 520 kW i prędkości obrotowej 935 obr/min oraz maszyny pomocnicze. Produkcję uruchomiono w 1964 r.

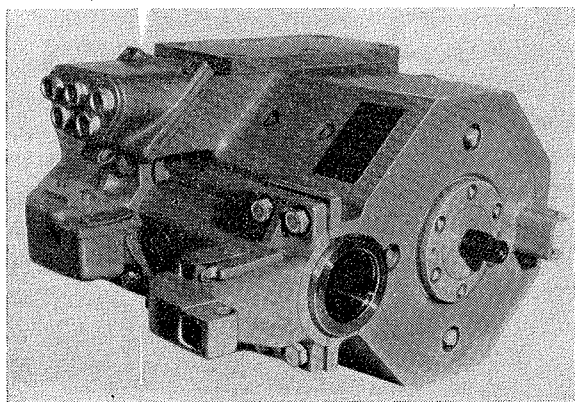
Obecnie w zakładach Dolmel biegnie równolegle produkcja maszyn do obu lokomotyw, przy czym są w nich wprowadzane własne udoskonalenia, jak np. zastąpienie stalowych bandaży wirników bandażami z taśmy szklano-epoksydowej, poprawa ułożyskowania itp.

Doświadczenie zdobyte w trakcie praktyk i przy opanowaniu produkcji maszyn do powyższych lokomotyw umożliwiło podjęcie, poczynając od 1960 r., samodzielnych prac nad maszynami do *lokomotyw spalinowo-elektrycznych*. Biuro konstrukcyjne zakładu Dolmel, przy współudziale Zakładu Trakcji Elektrycznej Instytutu Elektrotechniki, opracowało dokumentację prądnic do trzech wielkości lokomotyw: 6D — 800 KM, 7D — 1 700 KM i 10D — 350 KM oraz zunifikowanego dla wszystkich trzech lokomotyw silnika trakcyjnego typu LSa 430 o mocy ciągłej 173 kW i prędkości 445 obr/min. Lokomotywy typu 6D są produkowane seryjnie, dla pozostałych wykonano serie informacyjne.

Nieomal równolegle z zapoczątkowaniem produkcji maszyn do lokomotyw sieciowych przystąpiono do produkcji silników i maszyn pomocniczych do *jednostek pociągowych trójczłonowych*. Konstrukcja tych maszyn była oparta na wzorach zagranicznych, adaptowanych i modernizowanych przez biuro konstrukcyjne zakładu Dolmel. Produkcję uruchomiono w 1958 r. i do końca 1965 r. wykonano sto kilkadziesiąt kompletów maszyn, w tym pewną liczbę na eksport. Jako wariant silników do jednostek pociągowych w 1965 r. opracowano konstrukcję silnika do nowego taboru Warszawskich Kolei Dojazdowych.

W dziedzinie *trakcji przemysłowej* fabryka w Żychlinie początkowo kontynuowała przedwojenną produkcję 4 typów silników do dołowych lokomotyw sieciowych, wykonując kilka tysięcy sztuk tych maszyn.

W latach 1958—1965 Zakład Trakcji Elektrycznej Instytutu Elektrotechniki, przy współpracy z biurami konstrukcyjnymi zakładów Dolmel i Emit, opracował konstrukcję czterech typów bardziej nowoczesnych silników, w wykonaniu normalnym i ognioszczelnym, do lokomotyw dołowych sieciowych i akumulatorowych. W latach 1963—1965 nowy typ silnika do lokomotywy dołowej opracowały również Zakłady Konstrukcyjno-Doświadczalne w Katowicach.



Rys. 3.25. Silnik prądu stałego ognioszczelny, typu LDs-0,5 do lokomotywy dołowej

Na zakończenie należy wspomnieć o uruchomieniu w Warszawskich Zakładach Maszyn Elektrycznych produkcji *silników do wózków akumulatorowych* według dokumentacji opracowanej przez Zakłady Konstrukcyjno-Doświadczalne Przemysłu Maszyn Elektrycznych. Ich produkcję rozpoczęto w 1954 r. i do chwili obecnej wyprodukowano kilka tysięcy sztuk silników do napędu mechanizmu jazdy i mechanizmu podnoszenia, m.in. w wykonaniu tropikalnym dla celów eksportowych.

Różne

W celu uzupełnienia opisu programu produkcji przemysłu maszyn i aparatów elektrycznych należy wspomnieć dodatkowo o niektórych wyrobach, których nie można zaliczyć do żadnej z opisanych grup.

Należą tu:

a) rozruszniki i regulatory do maszyn prądu przemiennego i stałego, produkowane w zakładach Emit, Celma, Komel i Wiefamel,

b) szczotki do maszyn elektrycznych, szczotkotrzymadła oraz komutatory do maszyn prądu stałego, o średnicy do 100 mm, produkowane w zakładzie Elektrocarbon (w Tarnowskich Górach), podległym Zjednoczeniu Przemysłu Maszyn i Aparatów Elektrycznych. Ten ostatni zakład powstał w 1934 r. jako prywatna firma Elektrografit. Upaństwowiony po wojnie, został znacznie rozbudowany i zmodernizowany.

PRZEMYSŁ TRANSFORMATORÓW [3.73, 3.101]

Przemysł transformatorów poniósł w czasie wojny stosunkowo mniejsze straty niż inne gałęzie przemysłu elektrotechnicznego. Uległo wprawdzie zniszczeniu kilka fabryk*), w których jednak transformatory nie stanowiły podstawowej produkcji i były wykonywane w niewielkich ilościach. Natomiast dwie główne wytwórnie transformatorów — Elektrobudowa w Łodzi i fabryka firmy Rohn-Zieliński w Żychlinie — kontynuowały produkcję w czasie okupacji, rozszerzając nawet asortyment, i nie zostały zniszczone. Fabryka Elektrobudowa, w związku z postawionym jej przez okupanta zadaniem wykonania czterech dużych transformatorów o mocy 25 MVA i przekładni 110/66/11 kV, z regulacją pod obciążeniem, została nawet dość poważnie doinwestowana — rozbudowano montownię, zainstalowano suwnicę o udźwigu 75 ton i doprowadzono bocznice kolejową.

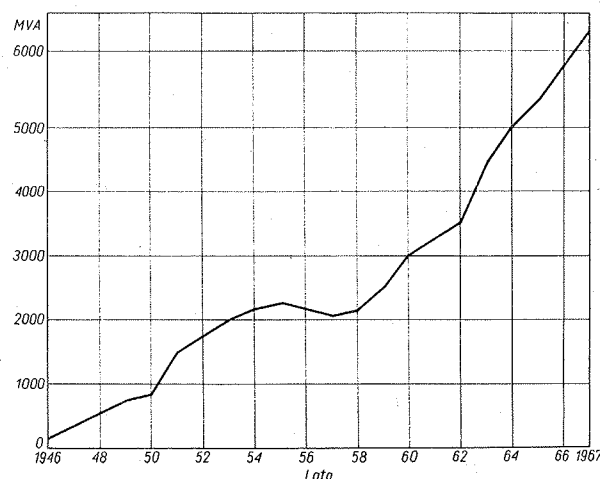
Oprócz tych dwóch fabryk, wkrótce po wyzwoleniu, gdyż już w 1946 r., uruchomiono produkcję transformatorów w Państwowej Fabryce Transformatorów w Mikołowie (obecnie Mefta), zorganizowaną w pomieszczeniach założonego w czasie okupacji warsztatu montażowo-naprawczego.

Mimo częściowego rozproszenia kadry technicznej w czasie okupacji i w końcowej fazie działań wojennych, produkcja transformatorów szybko się rozwijała, przekraczając w 1947 r. poziom przedwojenny (ok. 320 MVA w 1938 r.).

Rozwój tej produkcji, zilustrowany na rys. 3.26, można podzielić na kilka charakterystycznych faz. Trzynastokrotny wzrost produkcji w latach 1946—1956

*) Polskiego Towarzystwa Elektrotechnicznego, Polskich Zakładów Skoda, Wytwórni Aparatów Elektrycznych K. i W. Pustola.

uzyskano drogą niewielkich inwestycji w trzech wymienionych fabrykach oraz dzięki przedsięwzięciom organizacyjnym i technicznym, które spowodowały wzrost wydajności pracy. W 1954 r. osiągnięto jednak kres tych możliwości i od tej chwili produkcja utrzymywała się przez pięć lat na prawie niezmiennym



Rys. 3.26. Produkcja transformatorów w latach 1946—1947

poziomie ok. 2 200 MVA rocznie, przy dużym wysiłku załóg. Dalsze, niewielkie zresztą inwestycje, umożliwiły w latach 1958—1960 zwiększenie produkcji do 3 000 MVA rocznie. W tym okresie techniczne możliwości zakładów, wynikające z wielkości pomieszczeń i parametrów urządzeń produkcyjnych i probierczych, pozwalały z trudem na wykonywanie transformatorów o mocy do 31,5 MVA i napięciu 110 kV. Nie zaspokajało to ówczesnych potrzeb energetyki i powodowało konieczność importu większych jednostek.

Punktem zwrotnym w sytuacji przemysłu transformatorów stało się dopiero, opóźnione ze względów finansowych, wybudowanie nowoczesnej, dużej fabryki transformatorów Elta w Łodzi.^{*)} Pierwszy etap jej budowy, zakończony w 1961 r., umożliwił uruchomienie produkcji transformatorów małej mocy. W 1962 r. rozpoczęła się produkcja transformatorów średniej, a wkrótce po tym również dużej mocy. Od tego momentu datuje się ponowny intensywny wzrost produkcji i stopniowe podwyższanie górnej granicy mocy jednostkowej (do 240 MVA) oraz napięcia (do 220 kV).

Z uruchomieniem produkcji dużych transformatorów w zakładzie Elta wiązało się kluczowe dla przemysłu transformatorów zagadnienie gatunku blachy transformatorowej. Już w pierwszych powojennych latach zaczęto w kra-

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

jach wyżej uprzemysłowionych przechodzić na coraz szerszą skalę przy budowie rdzeni transformatorów z blachy gorącowalcowanej na blachę zimnowalcowaną o stratności 0,5—0,6 W/kG. Polskie hutnictwo nie było w stanie uruchomić tej trudnej produkcji, wymagającej bardzo kosztownych urządzeń, przystosowanych do masowej produkcji przekraczającej zapotrzebowanie kraju. Ponieważ ceny tej blachy, możliwej do nabycia tylko w krajach kapitalistycznych, były bardzo wysokie, polski przemysł transformatorów zmuszony był stosować blachę gorącowalcowaną o stratności 1,1—1,3 W/kG. Przekreślało to z góry możliwość osiągnięcia techniczno-ekonomicznych parametrów transformatorów na poziomie światowym.

Pierwszy wyłom w tej sytuacji nastąpił w związku z zakupem dla Elty w końcu lat pięćdziesiątych, licencji w austriackiej firmie Elin na transformatory o mocy 130—160 MVA. Ponieważ w tym czasie wszystkie firmy zachodnie stosowały już w takich transformatorach blachę zimnowalcowaną, z decyzją zakupu licencji łączyła się automatycznie decyzja importu odpowiedniej blachy i wyposażenia fabryki Elta w nowoczesne urządzenia do jej cięcia i wyżarzania.

Wkrótce, na tle spadku cen światowych blachy zimnowalcowanej, rachunek ekonomiczny wykazał celowość stosowania tej blachy również w innych transformatorach. Poczynając mniej więcej od 1960 r., we wszystkich nowo projektowanych transformatorach stosuje się blachę zimnowalcowaną, a stare serie są stopniowo przekonstruowywane w celu dostosowania do tego rodzaju blachy.

Według wytycznych specjalizacyjnych podstawowa produkcja transformatorów rozkłada się na poszczególne przedsiębiorstwa w następujący sposób: [3.73]:

— Mikołowska Fabryka Transformatorów Mefta

Podstawowa produkcja: transformatory suche, transformatory olejowe o mocach 20—75 kVA, przewoźne stacje transformatorowe.

— Zakłady Wytwórcze Maszyn Elektrycznych i Transformatorów Emit w Żychlinie

Podstawowa produkcja: transformatory olejowe o mocach 2—8 MVA na napięciu do 60 kV, transformatory o mocach 6,3—10—16 MVA na napięciu 110 kV, transformatory piecowe.

— Zakłady Wytwórcze Transformatorów i Aparatury Trakcyjnej Elta w Łodzi

Podstawowa produkcja: transformatory olejowe o mocach 100 kVA—240 MVA, na napięcie do 220 kV, transformatory prostownikowe.

Na zaplecze naukowe i techniczne przemysłu transformatorów, oprócz biur konstrukcyjnych i technologicznych zakładów wytwórczych, składają się:

— Oddział Instytutu Elektrotechniki w Łodzi (którego kierownikiem jest mgr inż. W. Zajączkowski), zlokalizowany w pomieszczeniach zakładu Elta, pro-

wadzący prace badawcze i konstrukcyjne głównie w zakresie problematyki tego zakładu.

— Zakłady Konstrukcyjno-Doświadczalne Przemysłu Maszyn Elektrycznych w Katowicach, współpracujące z zakładem Mefta w zakresie projektowania serii transformatorów (pracownią transformatorów kierował mgr inż. W. Lepieszko).

— Katedra Maszyn Elektrycznych Politechniki Łódzkiej, kierowana przez prof. E. Jezierskiego, współpracująca wydatnie z zakładami Elta i Emit w zakresie podstaw teoretycznych budowy transformatorów.

— Zakład Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki w Warszawie (kierowany przez prof. inż. Z. Hastermana), prowadzący prace teoretyczne i badania nad zagadnieniami wytrzymałości elektrycznej i dynamicznej, metodami badań itp.

— Instytut Energetyki i Zakład Wielkich Mocy Instytutu Elektrotechniki, w których są wykonywane próby zwarciove transformatorów.

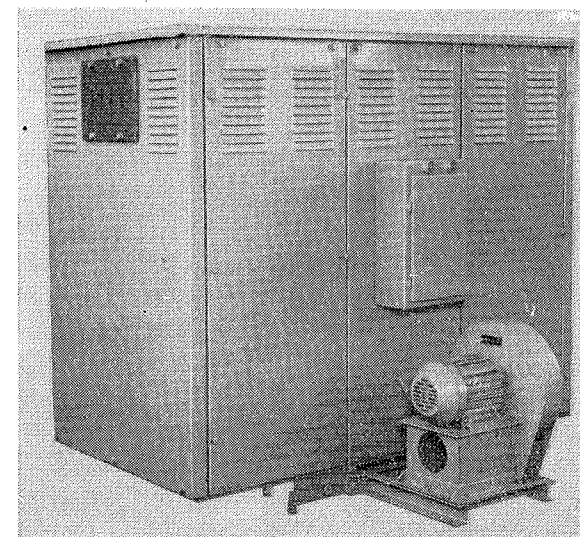
Dzięki harmonijnej współpracy wymienionych wyżej ośrodków konstrukcyjnych i badawczych, przemysł transformatorowy jest obecnie w stanie rozwiązywać samodzielnie wszystkie zagadnienia, związane z konstrukcją transformatorów o największych mocach i napięciach, wynikające z potrzeb energetyki w Polsce.

Transformatory suche

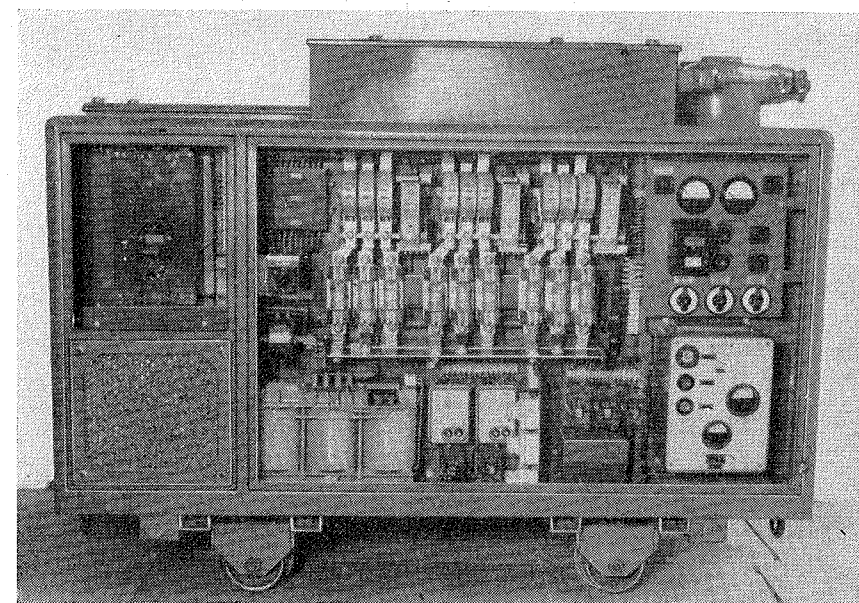
Producentem tej grupy transformatorów jest zakład Mefta, który w latach 1950—1960 uruchomił produkcję paru serii transformatorów suchych o różnym przeznaczeniu, głównie dla górnictwa. Dokumentację opracowywały Centralne Biuro Konstrukcyjne w Katowicach i Zakładowe Biuro Konstrukcyjne. Serie te przechodziły stopniowo kilka modernizacji.

Na aktualny program produkcji, obejmujący transformatory o mocach do 1 000 kVA i napięciach do 6 kV, składają się:

- a) seria T3Wa o mocach 2,5—10 kVA, na napięcie do 500 V, z izolacją klasy A, do pracy w podziemiach kopalni o stopniu niebezpieczeństwa „b”;
- b) seria T3Gc o mocach 20—50 kVA, na napięcia do 6 kV, ogólnego zastosowania, z izolacją z włókna syntetycznego impregnowaną lakierem silikonowym;
- c) seria T3BPNa o mocach 10—75 kVA, na napięcia do 500 V, z izolacją klasy B impregnowaną lakierem przeciwwilgociowym, budowy kroploszczelnej, przeznaczona do zasilania sieci elektrycznych statków pełnomorskich;
- d) seria T3Mc o mocach 50—315 kVA, na napięcia do 6 kV, z izolacją klasy B, do pracy w pomieszczeniach zamkniętych podstacji energetycznych kopalni węgla i zakładów przemysłowych;
- e) seria T3Ch, o mocach 500—1 000 kV, na napięcia do 6 kV, ogólnego zastosowania, z izolacją z włókna szklanego, w obudowie kroploszczelnej.



Rys. 3.27. Transformator trójfazowy suchy, typu T3ch, o mocy 800 kVA, 6 000/380 V



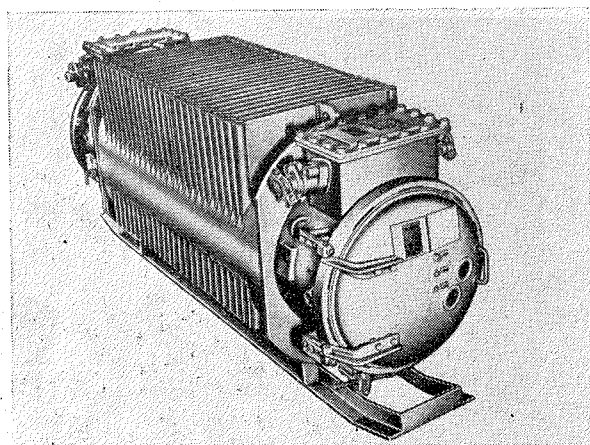
Rys. 3.28. Przewoźna stacja transformatorowa, typu ITc, o mocy 315 kVA, 6 kV, dla górnictwa

Przystępuje się do projektowania serii transformatorów suchych o mocach 63—1 000 kVA, z uzwojeniem aluminiowym, na napięcia 6, 10 i 15 kV.

Odrębną podgrupę stanowią przewoźne stacje transformatorowe przeznaczone dla kopalni węgla. Pierwszą z nich była wyprodukowana w 1945 r. w zakładzie Mefta stacja transformatorowa dla kopalni o stopniu zagrożenia „a”, z transformatorem o mocy 100, 200 lub 300 kVA, o przekładni 6000/525/133 V.

W związku z dużym zapotrzebowaniem na analogiczne stacje, lecz przeznaczone dla kopalni gazowych (zwłaszcza w Rybnickim Okręgu Węglowym), Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych w Katowicach, łącznie z Biurem Konstrukcyjnym zakładu Mefta, Zakładami Konstrukcyjno-Mechanicznymi Przemysłu Węglowego i Kopalnią Doświadczalną Barbara rozpoczęły w 1958 r. prace nad serią przewoźnych transformatorowych stacji w wykonaniu ognioszczelnym. W 1963 r. wykonano pierwsze egzemplarze stacji typu IT3Sa-200/6, o mocy 200 kVA i napięciu górnym 6 kV.

Już przed jej ukończeniem rozpoczęto jednak — na podstawie nowych doświadczeń — prace nad modernizacją tej serii. W ich wyniku wykonano w 1964 r. zmodernizowaną odmianę typu IT3Sb-315/6, o mocy 300 kVA, a wkrótce po tym typu IT3Sb-200/6 o mocy 200 kVA. W 1965 r. przystąpiono do opracowania trzeciej wielkości, typu IT3Sb-500/6 o mocy 500 kVA.



Rys. 3.29. Przewoźna stacja transformatorowa, typu IT3Sb, o mocy 315 kVA, 6 kV, ognioszczelna, dla kopalń gazowych

W porównaniu z pierwotną wersją IT3Sa seria IT3Sb odznacza się lepszym rozwiązaniem konstrukcyjnym obudowy zewnętrznej, jest wyposażona w nowoczesne komory ognioszczelne, o zmniejszonych wymiarach, na pomieszczenie aparatury oraz w urządzenie blokujące, uniemożliwiające otworenie komór ognioszczelnych bez wyłączenia napięcia zasilającego. Zastosowano w nich izo-

lację klasy H, impregnowaną lakierem silikonowym. Atestem Kopalni Doświadczalnej Barbara stacje te są dopuszczone do stosowania w kopalniach o stopniu niebezpieczeństwa „c” (zawartość metanu 1%). Stacje serii IT3Sb są przedmiotem eksportu.

Transformatory olejowe o mocy 20—1 600 kVA

Przez dłuższy czas po wojnie we wszystkich 3 fabrykach: Emit, Elektrobudowa i Mefta — transformatory tej grupy były produkowane w odmiennych wykonaniach, na podstawie przedwojennej praktyki. Ich konstrukcja wewnętrzna była zbliżona: rdzenie zaplatane z izolacją papierową blach; uzwojenia cewkowe cylindryczne; izolacja przewodów bawełniana lub papierowa. Zupełnie różna była natomiast ich obudowa: fabryki Emit i Mefta stosowały kadzie z blachy falistej, Elektrobudowa — kadzie z chłodnicami rurowymi.

Dopiero w latach 1954—1956 Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych w Katowicach opracowało projekt jednolitej serii TOc transformatorów o mocach 20—1 600 kVA, przeznaczonej do produkcji we wszystkich fabrykach. Nowa seria wprowadzała nowelizację ciągu mocy, napięć znamionowych, napięć zwarcia i strat oraz unifikację i modernizację niektórych elementów konstrukcyjnych. Ponadto dawała ona znaczne oszczędności miedzi w porównaniu z poprzednimi seriami. Seria ta weszła do produkcji w zakładach Emit i Mefta. Trudności w przestawieniu się na nową technologię przeszkodziły we wprowadzeniu tej serii do produkcji w zakładzie Elektrobudowa. W konsekwencji CBKME opracowało dla tej fabryki w latach 1958—1960 wariant serii TOc, tzw. serię TONb, obejmującą transformatory o mocach 75—1 600 kVA, na napięcia do 30 kV. Weszła ona do produkcji w latach 1959—1961. Transformatory tej serii miały rdzenie z blachy gorącowalcowanej o stratności 0,9—1,1 W/kg, uzwojenie cewkowe z izolacją papierową przewodów oraz kadzie prostokątne z chłodnicami rurowymi lub radiatorowymi.

Serie powyższe ustępowały nowoczesnym transformatorom pod względem wartości prądu jałowego, strat jałowych i ciężaru. Wprawdzie w ostatnich latach zaczęto, nie zmieniając ich konstrukcji, stosować blachę zimnowalcowaną zamiast gorącowalcowanej, lecz poprawiło to tylko częściowo ich parametry.

Natomiast od paru lat Zakłady Konstrukcyjno-Doświadczalne Przemysłu Maszyn Elektrycznych przystąpiły do opracowania nowoczesnej serii TAOa, obejmującej transformatory o mocach 100—1 600 kVA na napięcia do 30 kV. Wprowadzenie do produkcji tej serii jest w toku. Zastosowano w niej rdzenie z blachy zimnowalcowanej o stratności 0,55 W/kg z izolacją ceramiczną (Carlite) i uzwojenia aluminiowe z izolacją emaliową. Blachy rdzeni są ukosowane w miejscach zaplatania, uzwojenia cewkowe zastąpiono warstwowymi. Wprowadzono kadzie owalne z radiatorami. Założone i uzyskiwane w prototypach parametry odpowiadają osiągnięciom czołowych firm zagranicznych (tabl. 3.10).

Tablica 3.10

PORÓWNANIE TRANSFORMATORÓW SERII TONb, TAOa I NIEKTÓRYCH TRANSFORMATORÓW ZAGRANICZNYCH

Moc/napięcie, w kVA/kV	Seria	Prąd jałowy	Straty jałowe, w W	Straty obciążeniowe, w W	Napięcie zwarcia, w %	Ciężar bez oleju, w kG	Ciężar oleju, w kG
400/15	TONb	5,2	1390	6600	4,5	1660	640
	TAOa	2,4	1080	5600	4,5	1400	600
	Elin	2,2	1000	5800	4,5	1280	400
	AEG	2,5	1220	7400	6,0	1280	400
1000/15	TONb	4,4	2730	13600	4,5	3120	1400
	TAOa	1,6	2100	10500	6,0	2880	1000
	Elin	1,5	1750	13500	6,0	2625	800
	AEG	1,6	2400	15400	6,0	2550	850

Transformatory średnich i dużych mocy o napięciach do 66 kV

Polska sieć energetyczna w granicach powojennych składała się w 1945 r. z wielu lokalnych systemów, w których panowała różnorodność napięć: 3, 6, 10, 15, 20, 30, 35, 40 i 60 kV. Związana z tym różnorodność napięć znamionowych i mocy transformatorów (w granicach 2—40 MVA) stawiała przed przemysłem zadanie dostarczania niewspółmiernie dużej — w stosunku do łącznego zapotrzebowania — liczby ich odmian. W konsekwencji produkcja transformatorów tej grupy — zwłaszcza w początkowym okresie — miała charakter małoseryjny, a często nawet jednostkowy. Zakłady korzystały częściowo z posiadanej dokumentacji przedwojennej, a na nowe odmiany dokumentację opracowywano w miarę napływu konkretnych zamówień.

W obu zakładach produkujących jednostki w tym zakresie mocy (Elektrobudowa i Emit) budowa ich była oparta na odmiennych założeniach konstrukcyjnych i technologicznych.

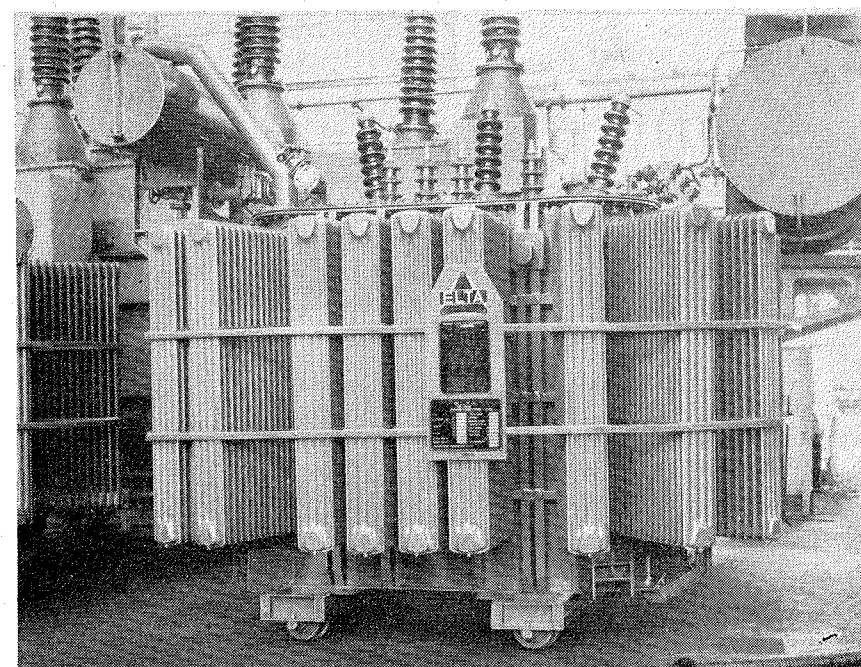
Częściowa unifikacja została przeprowadzona w 1955 r. dzięki opracowaniu przez Centralne Biuro Konstrukcyjne Maszyn Elektrycznych w Katowicach jednolitej dokumentacji na serię transformatorów z regulacją pod obciążeniem o mocach 2—8 MVA, na napięcie do 40 kV, o parametrach lepszych od dotychczasowych wykonań.

Seria ta stała się podstawą produkcji w zakresie mocy 2—8 MVA. Większe jednostki, produkowane w zakładzie Elektrobudowa (później Elta), były projektowane przez zakładowe biuro konstrukcyjne. Jako przykłady charakteryzujące osiągnięcia i zakres produkcji można wymienić:

— transformator o mocy 40 MVA, o przekładni 30/6,3 kV, wykonany w 1948 r.;

— transformator trójzwojeniowy o mocy 40/20/30 MVA, o przekładni 60/20/6,3 kV, wykonany w 1950 r.;

— transformator o mocy 63 MVA, na napięcie górne 60 kV, wykonany w 1956 r.



Rys. 3.30. Transformator o mocy 10 MVA, 60/20 kV, w wykonaniu eksportowym

Za osiągnięcia w tej dziedzinie ówczesny główny konstruktor zakładu Elektrobudowa — inż. Zbigniew Kopczyński — otrzymał w 1951 r. Nagrodę Państwową II stopnia.

W chwili obecnej biuro konstrukcyjne zakładu Emit jest w trakcie opracowywania nowej serii transformatorów średniej mocy, w których zastosowano już blachę zimnowalcowaną. Również we wszystkich nowych projektach jednostek w zakładzie Elta przewidziano blachę zimnowalcowaną.

Transformatory dużej mocy na napięcia 110 kV i wyższe

Początki produkcji transformatorów o napięciach powyżej 110 kV sięgają 1937 r., w którym fabryka w Żychlinie wykonała 4 transformatory o mocy 11 i 12 MVA dla linii przesyłowej 150 kV Warszawa—Rożnów, oraz lat okupacji, w czasie

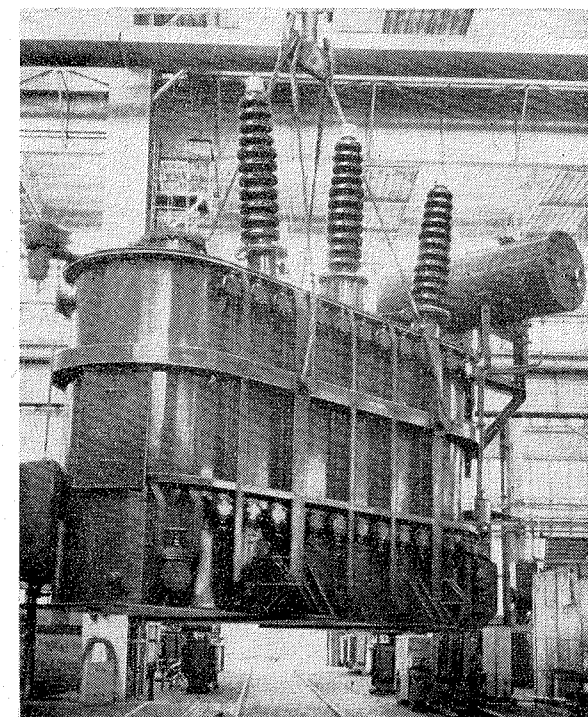
której wykonano w Elektrobudowie 4 transformatory o mocy 25 MVA i napięciu 110 kV, a w Żychlinie 6 transformatorów o mocach 12,5 i 16 MVA, o napięciu 150 kV.

W okresie powojennym produkcja transformatorów na 110 kV datuje się od 1949 r., przy czym do 1953 r. jedynym ich producentem była fabryka w Żychlinie. W latach tych uruchomiła ona według własnej dokumentacji kilka typów transformatorów o górnym napięciu 110 kV, poczynając od transformatora dwuuzwojeniowego o mocy 10 MVA, do trójuzwojeniowego o mocy 3·25 MVA z regulacją pod obciążeniem (moc typowa ok. 40 MVA). Wielkość produkcji, prowadzonej w bardzo trudnych warunkach ze względu na szczupłość pomieszczeń, małą nośność dźwigu i niedostateczne wyposażenie stacji prób, doszła do kilkunastu sztuk rocznie. W transformatorach tych stosowano izolację główną tzw. miękką, składającą się z papieru kablowego i kanałów olejowych.

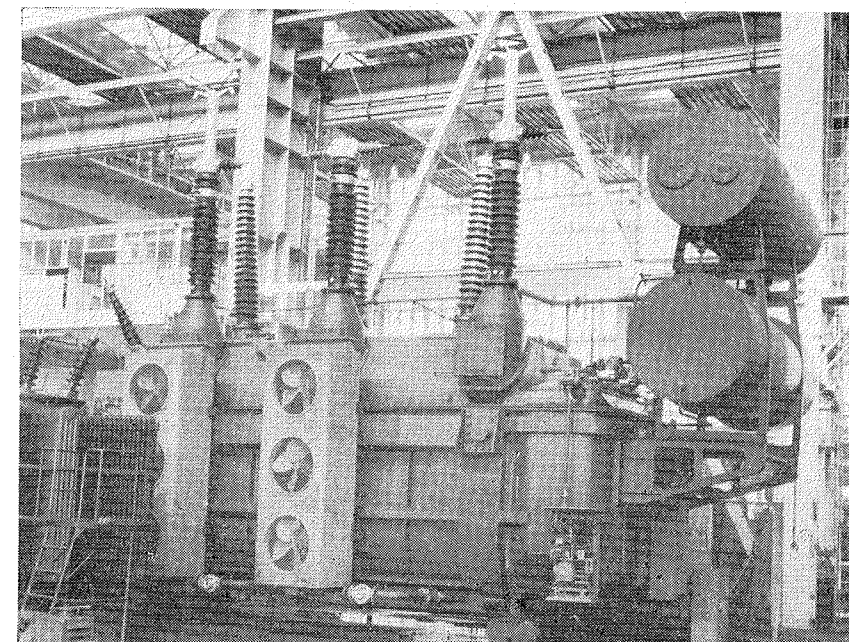
Od 1953 r. produkcję transformatorów na 110 kV zaczyna dublować fabryka Elektrobudowa. Dysponując wówczas lepszymi warunkami produkcji od fabryki w Żychlinie, przejmuje ona stopniowo produkcję jednostek o mocy 25 MVA i uruchamia produkcję jednostek o większych mocach. Największą z nich, pod względem ciężaru, był transformator o mocy 3·31,5 MVA z regulacją pod obciążeniem (moc typowa ok. 50 MVA); ciężar całkowity tego transformatora (wraz z olejem) wynosił 106 ton. Układ izolacyjny transformatorów był oparty początkowo na izolacji twardej (tuleje papierowo-bakelitowe i pierścienie kątowe preszpanowe), później — na miękkiej. Wielkość produkcji transformatorów o mocach powyżej 10 MVA osiągnęła w Elektrobudowie kilkadziesiąt sztuk rocznie.

Do 1959 r. rdzenie wszystkich transformatorów były wykonywane z blachy gorącowalcowanej. Stosowanie blachy zimnowalcowanej rozpoczęło się w 1960 r. Od tej daty wszystkie nowe duże transformatory projektowano na blachę zimnowalcowaną, a dotychczas produkowane typy zostały w latach 1960—1965 odpowiednio przekonstruowane. Nowe konstrukcje są lżejsze niż stare o 14—18%; straty w żelazie zostały zmniejszone o 15—30%, a w miedzi o 10—20%. Znacznie został również zmniejszony prąd biegu jałowego. Dzięki temu parametry dużych transformatorów zostały doprowadzone do poziomu europejskiego.

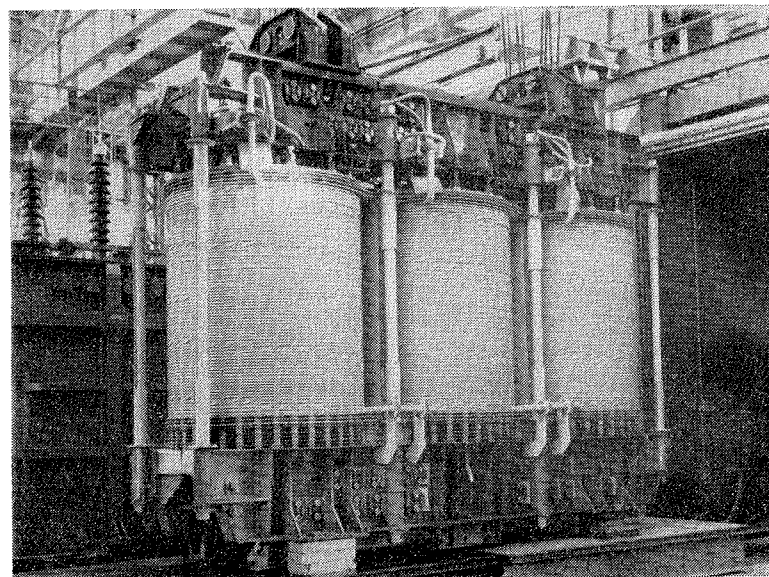
W celu przyspieszenia opanowania produkcji większych jednostek — transformatorów blokowych do turbogeneratorów 125 MW i autotransformatorów — ich produkcję zdecydowano oprzeć na licencji firmy Elin, obejmującej transformator o mocy 150 MVA i przekładni 125/13,8 kV, transformator o mocy 130 MVA i przekładni 245/13,8 kV oraz autotransformator z regulacją pod obciążeniem o mocy 160 MVA i przekładni 230/120/10,5 kV. Produkcja tych jednostek została uruchomiona w latach 1964—1965 już w nowej fabryce Elta. Na podstawie zdobytego tą drogą doświadczenia zakład Elta opracował we własnym zakresie konstrukcję i uruchomił w 1968 r. produkcję transformatora blokowego do turbogeneratorów 200 MW, o parametrach 240 MVA, 126,5/15,75 kV, o ciężarze 190 ton.



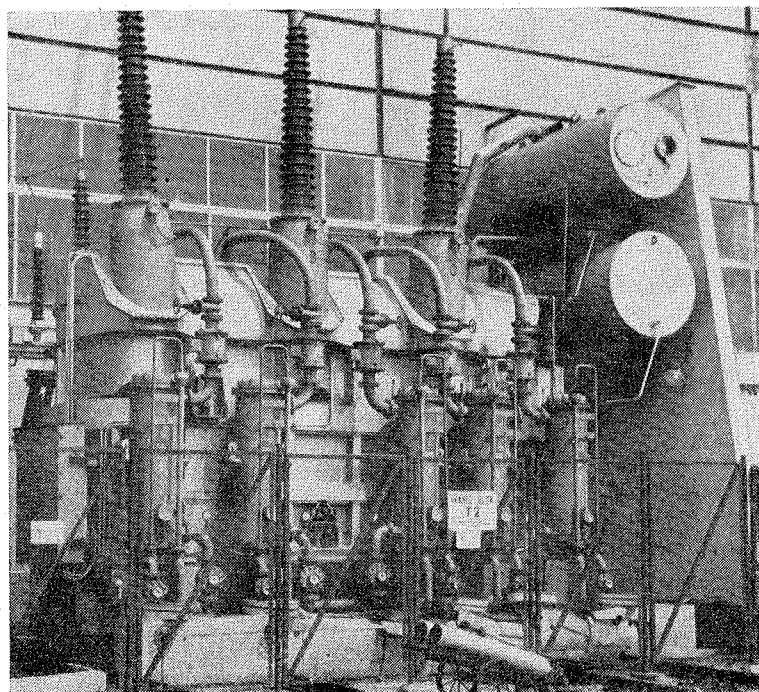
Rys. 3.31. Transformator o mocy 20 MVA, 132 kV, w wykonaniu eksportowym



Rys. 3.32. Autotransformator o mocy 160 MVA, 220/120/10,5 kV



Rys. 3.33. Uzwojony rdzeń transformatora blokowego o mocy 240 MVA, 126,5/15,75 kV



Rys. 3.34. Transformator blokowy o mocy 240 MVA, 250/15,75 kV w czasie prób w zakładzie Elta

Podstawą do rozpoczęcia produkcji transformatorów o napięciu górnym 220 kV była nie tylko wzmiankowana wyżej licencja, lecz również własne prace. Zakład Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki łącznie z biurem konstrukcyjnym zakładu Emit w Żychlinie opracowały projekt jednofazowego autotransformatora o mocy 35/35/11,67 MVA i przekładni $\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{115}{\sqrt{3}} / 10,5$ kV. Został on wykonany przez fabrykę w Żychlinie w 1963 r., jako rezerwa dla trzech podobnych autotransformatorów sprowadzonych uprzednio ze Szwecji.

Tablica 3.11

PORÓWNANIE TRANSFORMATORA ZAKŁADU ELTA O MOCY 240 MVA I PRZEKŁADNI 250/15,75 kV Z PODOBNYMI TRANSFORMATORAMI ZAGRANICZNYMI

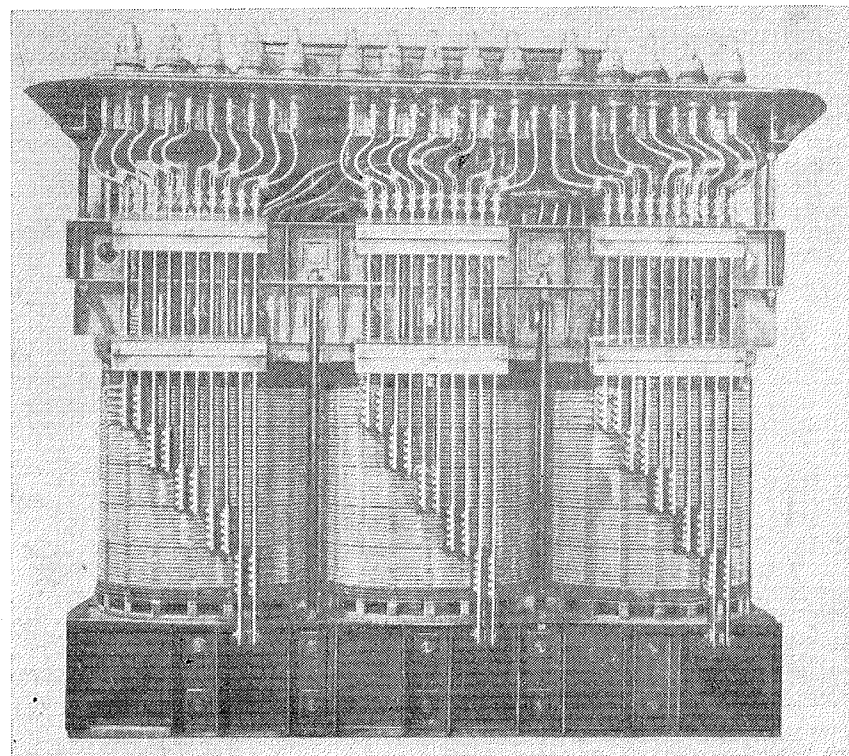
Podstawowe parametry	Jednostka	Elta	ASEA (Szwecja)	AEG (NRF)	English Electric (Anglia)
Moc	MVA	240	240	240	240
Straty jałowe	kW	225	205	200	237
Prąd stanu jałowego	% I_n	0,7	0,6	0,6	0,95
Napięcie zwarcia	%	13,5	13,5	13,5	14,5
Ciężar całkowity	tony	204	205	225	220
Ciężar oleju	tony	34	36	45	45
Ciężar transportowy z olejem	tony	190	196	212	209

Według własnego również projektu został wykonany w zakładzie Elta transformator blokowy do turbogeneratorów 200 MW, pracujących na sieć 220 kV, o parametrach: 240 MVA, 250/15,75 kV. Jego wskaźniki techniczno-ekonomiczne leżą na poziomie wyrobów przodujących firm zachodnich (tabl. 3.11).

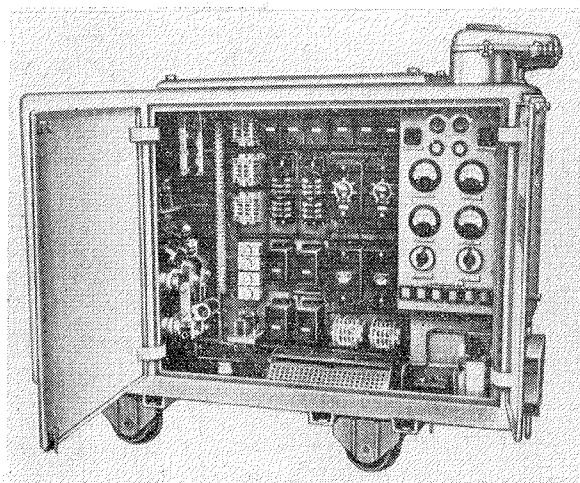
W ostatnich latach rozpoczęto studia i prace modelowe nad transformatorami o napięciu górnym 400 kV.

Transformatory specjalne

Transformatory piecowe. Podstawowym asortymentem w tej grupie są produkowane w zakładzie Emit w Żychlinie transformatory do pieców łukowych w zakresie mocy do 35 MVA, na napięcie górne do 35 kV. Według uzgodnień specjalizacyjnych Rady Wzajemnej Pomocy Gospodarczej (RWPG) Polska i Związek Radziecki specjalizują się w produkcji pieców łukowych o pojemności 5—50 ton, wraz z transformatorami, i pokrywają w tej dziedzinie potrzeby innych krajów członkowskich RWPG. Dość znaczny udział w produkcji transformatorów piecowych mają również transformatory dla potrzeb przemysłu chemicznego.



Rys. 3.35. Uzwojony rdzeń transformatora piecowego, o mocy regulowanej w granicach od 10,2 do 3,55 MVA



Rys. 3.36. Zautomatyzowana przewoźna stacja prostownikowa dla górnictwa, z transformatorem o mocy 176 kVA

Transformatory prostownikowe [3.87], stanowiące integralną część zespołów prostownikowych, są produkowane w zakładzie Elta i częściowo w zakładzie Mefta (dla przewoźnych stacji prostownikowych). Produkcja obejmuje nie tylko wszystkie transformatory do prostowników produkcji krajowej, lecz częściowo również do importowanych.

Transformatory spawalnicze (spawarki i zgrzewarki transformatorowe) były produkowane w kraju już przed wojną, głównie w fabryce Perun w Warszawie. Po wojnie, do 1958 r., produkowały je fabryki Elektrobudowa i Mefta; później produkcja ich została skoncentrowana w zakładzie Karelma w Pięchowicach. Produkuje ona 2 typy spawarek łukowych i liczne odmiany zgrzewarek punktowych, liniowych, doczołowych i specjalnych.

Dla całości obrazu trzeba wspomnieć o *transformatorach uziemiających*, przeznaczonych do stwarzania sztucznego punktu zerowego w sieciach elektrycznych, *dławikach* do kompensacji prądu ziemnozwarciowego, i *regulatorach indukcyjnych* do płynnej regulacji napięcia. Wyroby te produkuje zakład Emit.

PRZEMYSŁ PRZEKSZTAŁNIKÓW [3.50, 3.73]

Przekształtniki, służące do przekształcania w sposób statyczny prądu elektrycznego, dzielą się — w zależności od spełnianej funkcji — na prostowniki przekształcające prąd przemienny w prąd stały, falowniki spełniające odwrotną funkcję i przemienniki służące do zmiany częstotliwości. Z tych trzech rodzajów przekształtników najbardziej rozpowszechnione są prostowniki.

Zjawisko jednokierunkowego przewodnictwa, będące podwaliną teorii i techniki przekształtników, zostało zaobserwowane przez Fleminga w 1889 r. w łuku elektrycznym między elektrodami węglowymi. Właściwe jednak zasady rterciowego zaworu prostowniczego opracował i opatentował Cooper Hewitt dopiero w 1903 r. [3.72]. W kilka lat później rozpoczęła się ich produkcja przemysłowa w postaci prostowników szklanych. Dalszymi fazami rozwoju prostowników rterciowych były prostowniki w szczelnym naczyniu metalowym (1910 r.), w którym próżnia jest utrzymywana za pomocą pompy, następnie — prostowniki bezpompowe i wreszcie — wprowadzone w latach 1928—1930 siatki sterowane. Zasadniczym przewrotem w technice przekształtnikowej był wynalazek zaworów półprzewodnikowych (diod), a następnie — w ostatnim dziesięcioleciu — tyristorów (diod sterowanych)*).

W miarę udoskonalania przekształtników znajdowały one coraz szersze zastosowanie bądź zastępując używane poprzednio przetwornice maszynowe, bądź otwierając możliwości wprowadzania nowych układów zasilania i sterowania.

*) Wprowadzone do użytku przez firmę amerykańską General Electric Company w 1957 r.