

Począwszy od 1930 r. datuje się szybki wzrost produkcji prostowników w krajach silniej uprzemysłowionych.

Szacuje się, że obecnie 20—30% energii elektrycznej, wytwarzanej na świecie w elektrowniach, przetwarza się w prostownikach na prąd stały.

W okresie międzywojennym prostowniki były stosowane w Polsce w stosunkowo niewielkim zakresie, głównie w trakcji elektrycznej i w hutnictwie i wszystkie były importowane.

Po wojnie odbudowa i rozbudowa miejskiej trakcji elektrycznej, elektryfikacja kolei, uruchomienie produkcji aluminium i coraz szersze możliwości stosowania przekształtników w różnych urządzeniach przemysłowych wywołały stały wzrost zapotrzebowania, powodując ekonomiczną celowość ich produkcji w kraju.

W 1965 r. łączna moc zainstalowanych w Polsce urządzeń prostownikowych wynosiła ok. 2 300 MW (w tym ok. 1 300 MW do celów trakcyjnych), a zużycie energii elektrycznej przetwarzanej z prądu zmiennego na prąd stały — ok. 5 mld kWh, czyli blisko 10% ogólnego zużycia. Porównanie tej liczby ze wskaźnikiem światowym pozwala oczekiwać dalszego wzrostu zapotrzebowania na prostowniki.

Zalążek przemysłu przekształtników powstał w Polsce w latach 1947—1949.

W 1947 r. został założony w Łodzi przy ul. Rudzkiej niewielki prywatny zakład pod nazwą Wytwórnia Prostowników — Katoda, przeznaczony do napraw pracujących w kraju importowanych prostowników rtęciowych. Zakład ten, po upaństwowieniu na przełomie lat 1948/49, przestawił się na produkcję prostowników, otrzymując nową nazwę Wytwórnia Prostowników i Urządzeń Elektrycznych — Katoda. W 1961 r. Katoda została włączona organizacyjnie do przedsiębiorstwa Elta, jako jej trzeci — obok transformatorów i aparatury trakcyjnej — dział produkcji.

Jednym z głównych pionierów w rozwoju tej gałęzi produkcji był mgr inż. R. Kiliański.

W 1953 r. powstała Bielawska Fabryka Prostowników*) w Bielawie na Dolnym Śląsku, której podstawowym programem jest produkcja prostowników selenowych przeznaczonych do ładowania akumulatorów, zasilania mniejszych urządzeń galwanizacyjnych, urządzeń telefonicznych i sygnalizacyjnych oraz do celów spawalniczych. W późniejszych latach program ten został dodatkowo rozszerzony na prostowniki półprzewodnikowe krzemowe o mocach do kilkudziesięciu kilowatów.

Z obiema tymi fabrykami współpracuje ściśle w dziedzinie badań i konstrukcji Zakład Przekształtników Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki**) oraz

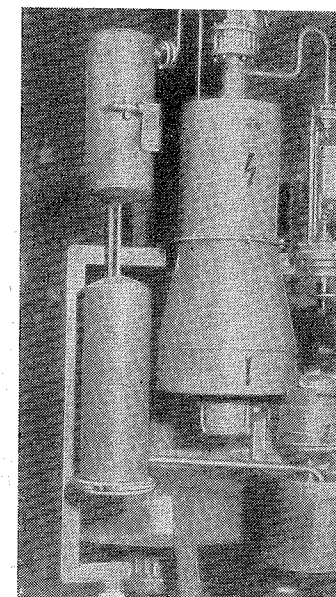
*) Podległa Zjednoczeniu Przemysłu Elektronicznego i Teletechnicznego Unitra.

**) Do 1965 r. włącznie zakład ten stanowił część Zakładu Trakcji Elektrycznej i Przekształtników.

Katedra Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej. Prócz tego Elta utrzymuje bliską łączność techniczną z Katedrą Elektroniki Hutniczej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w zakresie prostowników do sterowania napędów hutniczych, i z Centralnym Ośrodkiem Badań i Rozwoju Kolejnictwa, w zakresie prostowników do trakcji kolejowej.

Prostowniki rtęciowe [3.25, 3.25, 3.37]

Pierwszym prostownikiem rtęciowym wyprodukowanym w kraju był wykonany w 1949 r. prostownik w obudowie metalowej, chłodzony powietrzem, typu PR-06, sześćniodowy o prądzie znamionowym 600 A [3.37]. Był on przeznaczony dla trakcji miejskiej (przy napięciu 600 V) i kopalnianej (przy napięciu



Rys. 3.37. Prostownik typu PR-06, 600 V, 660 A

250 V). Prototyp prostownika zainstalowano w jednej z podstacji tramwajowych, gdzie pracował ponad 1 000 h przy napięciu prądu stałego 600 V i obciążeniu zmiennym do 500 A, bez poważniejszych uszkodzeń. Po tej próbie prostownik został rozebrany i poszczególne jego elementy były zbadane w Instytucie Elektrotechniki. Umożliwiło to wprowadzenie pewnych poprawek przy wykonaniu następnych egzemplarzy.

Prostownik ten pod względem nowoczesności konstrukcji ustępował współczesnym wyrobom firm zachodnich, dysponujących bez porównania większym

doświadczeniem, lepszymi materiałami i nowszymi koncepcjami (prostowniki bezpompowe). Biorąc jednak pod uwagę, że była to pierwsza oryginalna polska konstrukcja, oraz że zakład dysponował wówczas prymitywnym wyposażeniem technologicznym i laboratoryjnym, zaprojektowanie i opanowanie produkcji tych prostowników należy uznać za duże osiągnięcie konstruktorów i wykonawców, będących pionierami nowej gałęzi produkcji w Polsce. W następnych latach wprowadzono liczne ulepszenia konstrukcyjne i technologiczne prowadzące do zwiększenia niezawodności pracy prostownika. Był on produkowany do 1963 r., zastępując kosztowny import.

W 1953 r. zakład otrzymał ze Związku Radzieckiego dokumentację na pojedynczoanodowe zawory rtęciowe ze sterowaną siatką, o obciążalności 500 A przy 660 V, z możliwością stosowania na napięcia do 3 000 V przy odpowiednio zmniejszonym prądzie. Każdą stalową zawor był otoczona płaszczem chłodzącym wodnym. Dokumentacja obejmowała również kompletny zespół prostownikowy sześćozaworowy (typ radziecki RMNW). Na podstawie tej dokumentacji zakład opracował i uruchomił produkcję paru odmian sześćo- i dwunastozaworowych zespołów prostownikowych, przeznaczonych do zasilania elektrolizy i do urządzeń napędowych. Dość znaczna liczba prostowników tego typu została wyeksportowana w latach 1964—1968 do ZSRR.

Z uruchomieniem ich produkcji było związane przeprowadzenie w Katodzie uzupełniających inwestycji: rozbudowano formiarnię prostowników, dobudowano pomieszczenie na dział obróbki mechanicznej, zorganizowano oczyszczalnię rtęci, uzupełniono wyposażenie stacji prób.

W latach 1957—1958 została opracowana przez zakład, przy współpracy z Zakładem Przekształtników Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki, konstrukcja sześćoanodowego prostownika ze sterowaną siatką, bezpompowego, chłodzonego powietrzem, na napięcia do 825 V i prąd 600 A (typ PRB-06). Był on produkowany od 1961 r., znajdując zastosowanie w trakcji miejskiej i w napędach elektrycznych.

Oprócz wymienionych podstawowych typów zakład produkował jednostkowo różne odmiany dużych zespołów prostowników dla przemysłu chemicznego i metali nieżelaznych.

Łączna moc produkowanych prostowników wynosiła w 1962 r., ok. 70 MW.

Poczynając od 1963 r. produkcja prostowników rtęciowych zaczęła stopniowo zanikać na rzecz półprzewodnikowych.

Prostowniki półprzewodnikowe

Prace eksperymentalne nad prostownikami półprzewodnikowymi monokrystalicznymi zapoczątkował Zakład Przekształtników Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki, opracowując projekt zespołu prostownikowego z diodami germanowymi. Wykonany w 1959 r. według tej dokumentacji w Instytucie Podstawo-

wych Problemów Techniki PAN prostownik został zastosowany do zasilania trakcji elektrycznej w kopalni Bolesław Śmiały.

Produkcja przemysłowa prostowników półprzewodnikowych w kraju datuje się od 1962 r. Początkowo stosowano w nich diody angielskie, przechodząc stopniowo na czeskie i krajowe (produkcji zakładu Lamina).

Produkcja prostowników półprzewodnikowych została zlokalizowana w głównym kompleksie budynków fabrycznych przedsiębiorstwa Elta na Żabieńcu (w Łodzi). Mniejsze prostowniki produkuje również Bielawska Fabryka Prostowników.

Charakter produkcji zespołów prostownikowych półprzewodnikowych, w odróżnieniu od rtęciowych, umożliwia wytwórcy dość łatwe dostosowywanie ich parametrów do indywidualnych potrzeb użytkownika. Dlatego produkcja ich w znacznej swej części ma charakter małoseryjny lub nawet jednostkowy i obejmuje liczne odmiany. Są to niemal wyłącznie prostowniki krzemowe.

Produkowane dotychczas w kraju prostowniki półprzewodnikowe można podzielić na kilka grup według ich mocy i przeznaczenia.

a. Prostowniki małej mocy (do 100—150 kW), przeznaczone głównie do urządzeń galwanizacyjnych i spawalniczych. Jako przykład można przytoczyć wykonany w 1962 r., jako jeden z pierwszych, prostownik germanowy typu P 20 o parametrach 55 A, 200 V przeznaczony do galwanizacji oraz prostowniki krzemowe typu PK-07 (700 A, 100 V) i PK 20 (2 000 A, 35 V). Zespoły te były wyposażone w transformatory suche, zasilane przez trójfazowy dławik z podmagniesowaniem, służący do regulacji napięcia.

b. Prostowniki średniej mocy (do ok. 600 kW) do zasilania urządzeń galwanizacyjnych, formowania akumulatorów, elektrolizy wody itp.

Należą tu między innymi produkowane od 1965 r. w paru wariantach prostowniki do elektrolizy typu PK 30 na prąd 3 000 A i napięcia 100—190 V.

c. Prostowniki dużej mocy do elektrolizy w przemyśle chemicznym i metali nieżelaznych. Jako przedstawicieli tej grupy można wymienić:

- prostownik typu PK-60, o parametrach 1 800 kW, 6 kA, 300—150 V;
- prostownik typu PK-25, o parametrach 2 250 kW, 2 500 A, 900 V.

d. Prostownik do zasilania wzbudzenia generatorów dużej mocy (63 MW i 200 MW). Dane znamionowe prostownika: 3 kA, 300 V, z możliwością osiągnięcia w czasie forsowania wzbudzenia generatora prądu 6 kA przy napięciu 700 V, w ciągu 30 s.

e. Prostowniki trakcyjne. Jako pierwszy z tej grupy został wykonany w zakładzie Elta w 1962 r. prostownik o parametrach 400 A, 250 V, przeznaczony do zasilania trakcji kopalnianej za pomocą przewoźnej stacji prostownikowej. Projekt wstępny opracował Zakład Przekształtników Elektrycznych IEL. Po wykonaniu serii próbnej złożonej z 4 szt. produkcję tych prostowników przejął zakład Mefta w Mikołowie.

Jednym z głównych zadań, jakie postawił sobie zakład Elta było opracowanie, przy współpracy z Zakładem Przekształtników Elektrycznych IEL prostowników do zasilania sieci trakcyjnej miejskiej i kolejowej.

Dla trakcji miejskiej opracowano dwie odmiany prostowników, zastępujących zespoły prostownikowe z prostownikiem rtęciowym typu PRB-06:

— prostownik typu PK-12/0,66 o parametrach: 1 200 A, 660 V z przeciążalnością do 1 500 A w ciągu 15 min i 2 400 A w ciągu 10 s;

— prostownik typu PK-09/0,66 o parametrach 600 A, 660 V, z przeciążalnością zgodną z wymaganiami IEC: do 900 A w ciągu 2 h i do 1 200 A w ciągu 1 min.

Oba typy są produkowane seryjnie od 1967 r.

W celu wyeliminowania importu prostowników dla trakcji kolejowej został opracowany w latach 1965—1967 prostownik typu PK-10/3,3 o parametrach: 1 000 A, 3 300 V z przeciążalnością do 2 000 A w ciągu 2 h i do 3 000 A w ciągu 5 min. Po pomyślnych próbach fabrycznych i eksploatacyjnych wykonano w 1968 r. siedem sztuk tych prostowników; w następnych latach będą w pełni pokrywane potrzeby PKP.

Przekształtniki tyrystorowe

Prowadzone od kilku lat w Polsce prace w dziedzinie przekształtników tyrystorowych do celów energetycznych mają przeważnie jeszcze charakter prac modelowo-eksperymentalnych. Zapoczątkowaniem ich było opracowanie i wykonanie w 1962 r. przez Zakład Przekształtników IEL pierwszego w kraju przekształtnika tyrystorowego. W 1965 r. zakład ten opracował eksperymentalne modele tyrystorowych przemienników częstotliwości.

W tym samym mniej więcej czasie rozpoczęła się produkcja przemysłowa kilku odmian przekształtników tyrystorowych. Zakład Elta wyprodukował w 1967 r. kilka prototypowych przekształtników o parametrach: 500 A, 0—250 V, przeznaczonych do regulowanych napędów prądu stałego. Biegna prace nad kompletnymi zespołami prostownikowymi do napędów hutniczych, o mocach 400 i 1 200 kW oraz nad zespołami do zasilania wzbudzenia maszyn synchronicznych.

Fabryka Apator w Toruniu wykonuje serię próbną typoszeregu przekształtników tyrystorowych do napędów prądu stałego, w zakresie mocy do 60 kW.

Prócz Zakładu Przekształtników Elektrycznych prace nad zastosowaniem tyrystorów są prowadzone w kilku innych zakładach Instytutu Elektrotechniki: w Zakładzie Maszyn Elektrycznych — nad prądnicami i silnikami bezkomutatorowymi, w Zakładzie Trakcji Elektrycznej — nad rozruchem impulsowym pojazdów trakcyjnych, w Zakładzie Elektrotechniki Morskiej — nad zastosowaniem układów tyrystorowych na statkach.

Produkcja samych zaworów tyrystorowych dotychczas nie jest w kraju uruchomiona.

PRZEMYSŁ APARATÓW ELEKTRYCZNYCH [3.8, 3.33]

Przemysł aparatów elektrycznych obejmuje w niniejszej publikacji produkcję wyłączników, rozłączników, odłączników, odgromników, przekładników, kondensatorów, przekładników energetycznych, bezpieczników wysokiego napięcia i mierników elektrycznych.

Sprzętowi instalacyjnemu jest poświęcony jeden z dalszych rozdziałów.

Jak wykazuje tabl. 3.1, baza wytwórcza przemysłu aparatów elektrycznych poniosła w czasie wojny największe straty ze wszystkich gałęzi przemysłu elektrotechnicznego. Zdolność produkcyjna tej gałęzi przemysłu w chwili wyzwolenia kraju wynosiła zaledwie kilkanaście procent zdolności z 1939 r.

Po przejęciu przez państwo zakładów przedwojennych i powstałych w czasie okupacji oraz paru zniszczonych i pozbawionych załóg zakładów na odzyskanych ziemiach zachodnich — w Zjednoczeniu Przemysłu Aparatów Elektrycznych zostały zgrupowane następujące zakłady (nazwy z 1946 r.) [3.93]:

1. Pierwsza Państwowa Fabryka Aparatów Elektrycznych, z zakładami w Warszawie przy ul. Kałuszyńskiej i w Międzyzlesiu (przed wojną firma K. Szpoński i S-ka).

2. Państwowa Fabryka Aparatów Elektrycznych w Łodzi (założona przez Niemców w czasie okupacji).

3. Fabryka Aparatów Elektrycznych Imass (przedwojenna).

4. Fabryka Artykułów Elektrotechnicznych i Części Prasowanych w Łodzi (przedwojenna firma Zauder).

5. Polskie Zakłady Elektrotechniczne Era we Włochach (fabryka przedwojenna).

6. Państwowa Fabryka Liczników i Zegarów Elektrycznych w Świdnicy (poniemiecka).

7. Państwowa Fabryka Przekładników i Specjalnych Aparatów Elektrycznych w Świebodzicach (poniemiecka).

8. Zakłady Elektrotechniczne Bracia Borkowscy w Warszawie (firma przedwojenna).

9. Fabryka Żyrandoli Elektrycznych A. Marciniak w Warszawie (firma przedwojenna).

10. Fabryka Urządzeń Termotechnicznych w Łodzi (założona w czasie okupacji firma Klause).

11. Wytwórnia Aparatów Rentgenowskich i Elektromedycznych Elektrosan w Łodzi (powstała po wojnie).

12. Fabryka Artykułów Elektrotechnicznych Inż. S. Ciszewski w Bydgoszczy (przedwojenna).

13. Przemysł Elektryczny Czechowice w Czechowicach (przedwojenna).

14. Fabryka Porcelany Technicznej Elektroporcelana w Brzezince k. Mysławic (przedwojenna).

Jak widać, w skład tego zjednoczenia weszły początkowo zakłady o bardzo różnorodnym — nie „czysto” aparaturowym — profilu produkcji. Dopiero z biegiem czasu, na tle specjalizacji zakładów i zjednoczeń, następowały zmiany w organizacyjnym zgrupowaniu zakładów. W wyniku tych zmian w obecnym Zjednoczeniu Przemysłu Maszyn i Aparatów Elektrycznych została skoncentrowana produkcja aparatury łączeniowej, sterującej i zabezpieczającej. Spośród wymienionych fabryk pozostały w tym zjednoczeniu jedynie cztery (poz. 1, 2, 3, 4), do których stopniowo dochodziły nowe: Apena w Bielsku (1949 r.), Fael w Zabkowicach Śląskich (1949 r.), Apator w Toruniu (1950 r.), Elta w Łodzi (1961 r.), Belma w Bydgoszczy (1962 r.), Efa w Glinie k. Otwocka (1962 r.).

Produkcję przyrządów pomiarowych i główną część produkcji przełączników objęło utworzone w 1964 r. Zjednoczenie Mera, do którego przeszły zakłady wymienione w poz. 5, 6, 7 oraz uruchomiony w 1954 r. zakład Lumel w Zielonej Górze (należący początkowo do Zjednoczenia Przemysłu Maszyn i Aparatów Elektrycznych). Pozostałe zakłady zostały przeniesione do innych zjednoczeń.

Intensywna od pierwszych już lat powojennych rozbudowa ocalałych i budowa nowych zakładów aparatów elektrycznych umożliwiły osiągnięcie w 1948 r. produkcji równej przedwojennej, a w 1949 r. — przekroczenie jej o 70% [3.15]. Mimo to, przez dłuższy jeszcze czas przemysł aparaturowy nie był w stanie zaspokoić szybko rosnącego zapotrzebowania ilościowego i asortymentowego energetyki i przemysłu. W pierwszych latach główny wysiłek był kierowany na ilościowy wzrost opanowanej produkcji, co odbijało się ujemnie na rozszerzaniu asortymentu i modernizacji konstrukcji.

W latach 1950—1965 produkcja aparatów elektrycznych wzrosła 25-krotnie, dzięki czemu bilans produkcji i zapotrzebowania został nieomal zrównoważony i zapoczątkowano eksport [3.82].

Równolegle ze zwiększeniem zdolności produkcyjnej rozwijały się i nabywały doświadczenia biura konstrukcyjne, modernizując produkowane typy i opracowując nowe konstrukcje; z nielicznymi wyjątkami cała produkcja opierała się na własnym dorobku tych biur.

W naszkicowanej dalej historii rozwoju poszczególnych grup aparatów elektrycznych nie można było uwzględnić — z powodu bardzo szerokiego asortymentu — wszystkich wyrobów produkowanych obecnie, ani też wszystkich mutacji, jakie one przechodziły w ubiegłym dwudziestoleciu. Starano się wybrać spośród nich te, które charakteryzują w istotny sposób asortymentowy rozwój produkcji i postęp techniczny.

Aparaty wysokiego napięcia [3.81, 3.97]

Przemysł aparatów elektrycznych wysokiego napięcia rozpoczął pracę po wojnie w wyjątkowo trudnych warunkach. Spośród fabryk przedwojennych całkowicie zniszczeniu uległy dwie fabryki warszawskie: K. Szpotańskiego i Kleima-

nów, częściowo ocalała druga, mniejsza fabryka K. Szpotańskiego w Międzyzlesiu. W stanie niezniszczonym zachowała się przedwojenna fabryka firmy Imass, produkcja jednak aparatów wysokiego napięcia była w niej niewielka i wkrótce po wojnie została zaniechana na rzecz podstawowej produkcji tego zakładu — aparatów niskiego napięcia.

Produkcja aparatów wysokiego napięcia została początkowo skoncentrowana w jednym przedsiębiorstwie pod nazwą Pierwsza Państwowa Fabryka Aparatów Elektrycznych, z dwiema fabrykami, w Warszawie na Pradze i w Międzyzlesiu.

W 1951 r. nastąpiło usamodzielnienie fabryki w Międzyzlesiu, która otrzymała nazwę Zakłady Wytwórcze Wyłączników Wysokiego Napięcia, a od 1959 r. Zakłady Wytwórcze Aparatury Rozdzielczej — ZWAR. W 1960 r. został utworzony oddział tej fabryki w Lęborku.

Równocześnie z wydzieleniem fabryki w Międzyzlesiu warszawska fabryka przyjęła nazwę Zakłady Wytwórcze Aparatów Wysokiego Napięcia im. G. Dymitrowa. W 1959 r. powstał oddział tej fabryki w Przemysłu (usamodzielniony później pod nazwą Fabryka Aparatów Elektrycznych Wysokiego Napięcia — Fani-na), a w 1967 r. — oddział w Przasnyszu.

W ramach specjalizacji w zakładzie ZWAR w Międzyzlesiu została skoncentrowana produkcja wyłączników, rozłączników, odłączników, bezpieczników i rozdzielnic, a w zakładzie im. Dymitrowa — przekładników, odgromników, kondensatorów i urządzeń laboratoryjnych.

Z powodu szczupłości kadr konstruktorskich i braku odpowiedniego wyposażenia laboratoryjnego produkcja w pierwszych latach powojennych opierała się z konieczności na przedwojennych, przeważnie już wówczas przestarzałych typach aparatów. Dopiero stopniowy rozwój zaplecza technicznego biur konstrukcyjnych, technologicznych i laboratoriów umożliwił podjęcie prac rozwojowych nad nowymi konstrukcjami.

Początkowo prace konstruktorskie były skoncentrowane w jednym Centralnym Biurze Studiów Konstrukcji Aparatów Wysokiego Napięcia przy zakładzie warszawskim kierowanym przez mgr. inż. J. Lesiowskiego, jednak w latach pięćdziesiątych rozdzielono je na dwa niezależne biura przy zakładach w Warszawie i w Międzyzlesiu.

Rozwój bazy laboratoryjnej przebiegał dwiema drogami: rozbudowy laboratoriów zakładowych i korzystania ze współpracy z Instytutem Elektrotechniki i katedrami politechnik.

Rozbudowa własnych laboratoriów umożliwiła przeprowadzanie prób wytrzymałości cieplnej i dynamicznej łączników, prób trwałości mechanicznej, prób napięciowych napięciem przemiennym 600 kV, 50 Hz i napięciem udarowym 2 400 kV, badania nad łukiem elektrycznym i badania mechanizmów napędowych.

Została nawiązana współpraca z Katedrą Wysokich Napięć Politechniki Gdańskiej, która zaprojektowała i uruchomiła w 1956 r. pierwszy w kraju zespół

wielkoprądowy, umożliwiający przeprowadzenie badań wytrzymałości zwarciowej łączników. Od 1958 r. rozpoczęła się ściślejsza współpraca z Katedrą Przyrządów Rozdzielczych Politechniki Warszawskiej, gdzie również powstało laboratorium do prób zwarciowych. Łączniki o większej mocy wyłączalnej były wówczas badane w czechosłowackiej zwarciozni w Behovicach.

Przełomowe znaczenie miało zbudowanie i uruchomienie w 1963 r. laboratorium zwarciowego wielkich mocy w Instytucie Elektrotechniki w Międzyzlesiu, korzystnie usytuowanego w bezpośrednim sąsiedztwie zakładu ZWAR. Wyposażenie laboratorium obejmuje 2 generatory zasilające, o mocach zwarciowych 2 500 MVA i 500 MVA oraz dodatkowe źródło zasilania z sieci 110 kV [3.39].

Dużą pomocą była również współpraca techniczna z resortem energetyki.

Prace rozwojowe biegły w kierunku:

- rozszerzenia asortymentu,
- podwyższenia górnej granicy napięcia znamionowego,
- zwiększenia mocy wyłączalnych,
- zwiększenia trwałości i niezawodności,
- zmniejszenia wymiarów i ciężarów.

Oprócz przedsiębiorstwa ZWAR tylko parę odmian aparatów wysokiego napięcia produkuje zakłady przemysłu terenowego i energetyka.

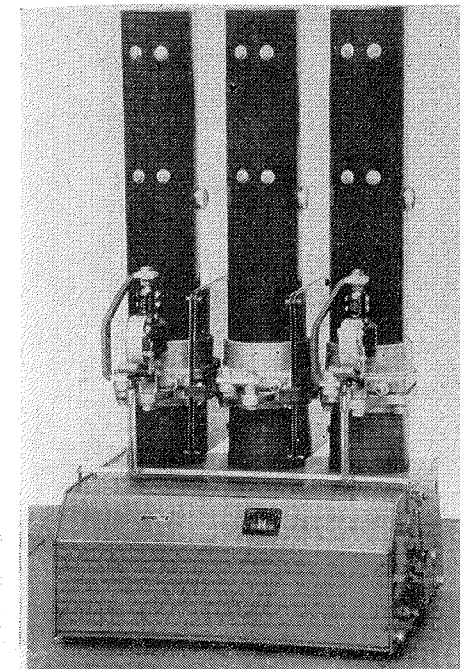
Wyłączniki [3.26, 3.20]. W zakresie wyłączników *średnich napięć* (do 35 kV) odziedziczono z okresu międzywojennego pewną liczbę typów *wyłączników pełnoolejowych* na napięcia do 30 kV. Wyłączniki te, z niewielkimi zmianami, są produkowane do obecnych czasów; produkcja ich w 1964 r. wyniosła kilkaset sztuk. Poważniejszych jednak prac modernizacyjnych nie prowadzono, gdyż ze względu na małą moc wyłączalną (170—200 MVA) zapotrzebowanie jest niewielkie i produkcja ma charakter zanikający.

Działalność rozwojowa po wojnie skoncentrowała się na *wyłącznikach małoolejowych*. Produkcja ich rozpoczęła się od skonstruowanego w czasie okupacji wyłącznika typu 695/30, z napędem silnikowym i komorą strumieniową, o parametrach: 30 kV, 600 A, 500 MVA. W 1958 r. wyłącznik ten został wycofany z produkcji i zastąpiony przez nowo skonstruowany wyłącznik napowietrzny typu WMLN (30 kV, 600 A, 600 MVA), z komorą tłokową. Wyłącznik ten, przy większej mocy wyłączalnej, był mniejszy, lżejszy i bardziej niezawodny niż poprzedni. Niemniej jednak wkrótce będzie wycofany z produkcji, jako nie w pełni odpowiadający współczesnym wymaganiom i zastąpiony przez wyłącznik serii WMSN.

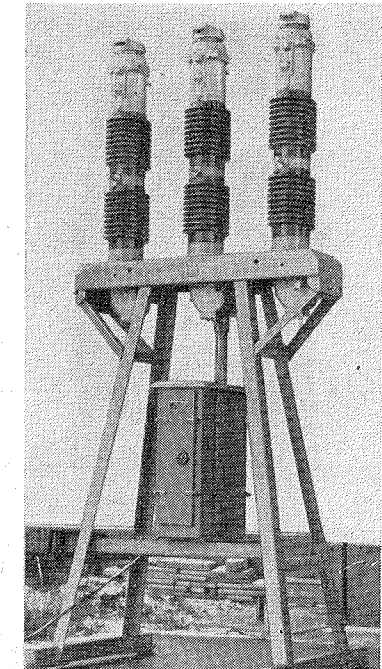
W latach 1954—1965 uruchomiono kilka dalszych odmian wyłączników małoolejowych, spośród których wymienimy ważniejsze.

Na początku lat pięćdziesiątych otrzymano ze Związku Radzieckiego dokumentację na jedną z odmian serii wyłączników typu WMG, wewnętrznych, z napędem ręcznym. Na tej podstawie opracowano 22 odmiany wyłączników na napięcia 6 i 10 kV, 600 i 1 000 A, 200 i 350 MVA, z napędem ręcznym, zasobni-

kowo-ręcznym, pneumatycznym lub silnikowym. Produkcję pierwszej odmiany uruchomiono w 1954 r., ostatniej — w 1959 r. Odnaczają się one stosunkowo prostą konstrukcją, niską ceną i łatwością obsługi, dzięki czemu mają dotychczas zwolenników wśród niektórych użytkowników. Ponieważ jednak konstrukcja ich jest już przestarzała i nie może być podstawą dla typów na napięcia wyższe niż 10 kV, wyłączniki te są stopniowo wycofywane z produkcji, w miarę rozwijania produkcji nowszej serii (WMSW).



Rys. 3.38. Wyłącznik typu WMSW — 10 kV, 630 A, 350 MVA



Rys. 3.39. Wyłącznik typu WMSN — 35 kV, 1 200 A, 750 MVA

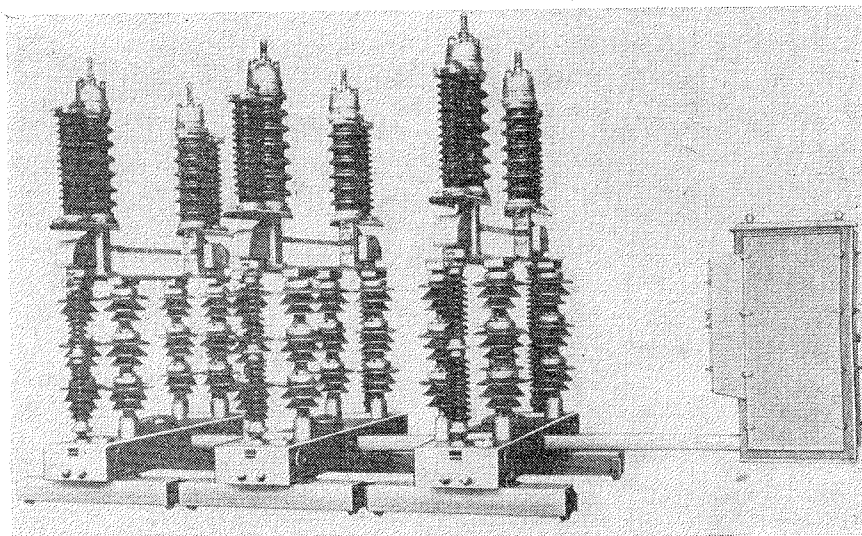
W 1957 r. została uruchomiona produkcja wyłącznika wewnętrznego typu WMRW, z komorą różnicową, z napędem pneumatycznym lub silnikowym o parametrach: 15 kV, 600 A, 300 MVA. Są one również wycofywane z produkcji i zastępowane przez typ WMSW.

W dalszej kolejności w 1960 r. uruchomiono produkcję wewnętrznego wyłącznika typu WMPW, o parametrach: 6 kV, 400 A, 150 MVA (rys. 3.39), z napędem ręcznym sprężynowym. Zastosowano w nim oryginalne rozwiązanie układu gaszącego, polegające na rozdzieleniu poduszki powietrznej nad poziomem oleju na dwie części: wysokociśnieniową małej objętości wewnątrz bieguna i niskociśnieniową — poza biegunem, w zbiorniku stanowiącym korpus wyłącznika. Dzięki temu uzyskano zwartą, nowoczesną konstrukcję, małe wy-

miary i mały ciężar. Autorem tego wyłącznika był mgr inż. J. Lesiowski. Wyłącznik WMPW jest stosowany m.in. jako wyposażenie pól rozdzielczych przeciwwybuchowych typu ROK-6, odznaczonych Złotym Medalem na Targach Międzynarodowych w Lipsku w 1965 r.

W 1963 r. wszedł do produkcji wyłącznik wewnętrzny typu WMRW, o parametrach: 35 kV, 630 A, 750 MVA, z napędem pneumatycznym.

Wspólną ujemną cechą produkowanych wyłączników małoolejowych na napięcia do 20 kV był zbyt wąski ich asortyment, z punktu widzenia prądów znamionowych i mocy wyłączalnych. Ponadto produkowanie wyłączników o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych uniemożliwiało stosowanie zunifikowanych części i podzespołów. Powstała również konieczność dostosowania ich do międzynarodowych wymagań normalizacyjnych i wymagań dotyczących odstępów izolacyjnych w powietrzu.



Rys. 3.40. Wyłącznik typu WMSNZ — 110 kV, 1 000 A, 3 500 MVA (licencyjny)

Okoliczności te skłoniły zakład ZWAR do podjęcia prac nad nową serią wyłączników typu WMSW (wewnętrznych) i WMSN (napowietrznych).

W zakresie napięć znamionowych przyjęto za uprzywilejowane wartości 10 i 20 kV, wychodząc z założenia, że wprowadzanie napięcia znamionowego niższego niż 10 kV daje stosunkowo małe zmniejszenie ciężaru i wymiarów, a rozszerzenie asortymentu podraża i utrudnia produkcję; na zrezygnowanie z napięcia znamionowego 15 kV wpłynęła niepopularność tego napięcia za granicą oraz plany krajowej energetyki, opierające się na rozwoju sieci 20 kV.

Wyłączniki typu WMS są wyposażone w komorę łukową z tłokiem różnicowym oryginalnej, opatentowanej konstrukcji. Zaletą komory są: krótki i praktycz-

nie niezależny od napięcia czas łukowy oraz szybki powrót tłoka po wyłączeniu. W stykach rozłącznych zastosowano nakładki ze spieku wolfram-miedź, co umożliwia długotrwałą pracę wyłączników bez wymiany styków. Wyłączniki są wyposażone w napędy sprężynowe z ręcznym lub ręcznym i silnikowym naciąganiem sprężyn.

Do względnej oceny opracowanych konstrukcji przyjęto dwa wskaźniki: wskaźnik ciężaru — kG/MVA i wskaźnik gabarytu dcm³/MVA. Przeprowadzono porównanie z 12 przodującymi firmami europejskimi. Wyniki są podane w tabl. 3.12. Jak widać, wyłączniki (zajmując szóste miejsce w stosunku do najlepszego) należą do czołówki [3.12].

Tablica 3.12

PORÓWNANIE WSKAŹNIKÓW CIĘŻARU I GABARYTU WYŁĄCZNIKÓW WMSW Z WYŁĄCZNIKAMI FIRM ZAGRANICZNYCH

Napięcie, w kV	Jedn. ciężaru lub gabarytu	Wskaźniki		
		najmniejszy zagr.	WMSW	największy zagr.
10	kG/MVA	0,44	0,61	1,44
	dcm ³ /MVA	0,74	1,59	5,18
20	kG/MVA	0,27	0,42	2,18
	dcm ³ /MVA	1,05	1,17	8,8

Produkcję wyłączników wewnętrznych typu WMSW rozpoczęto w 1953 r. Prócz tego bieżą prace nad analogicznymi wyłącznikami napowietrznymi typu WMSN.

Chronologiczne zestawienie omówionych wyłączników zawiera tabl. 3.13. Duży wkład w rozwój tych wyłączników włożył mgr inż. J. Halladin.

Dla większych prądów znamionowych uruchomiono produkcję wyłączników pneumatycznych. Jako pierwszy został opracowany wyłącznik typu 1075, o parametrach: 10 kV, 1 000 A, 250 MVA. Typ ten produkowano od 1950 do 1956 r. Ze względu na niezbyt dobre parametry i niepewność działania przystąpiono w 1957 r. do opracowania następnego typu o parametrach 10 kV, 2 000 A, 750 MVA, który jest produkowany dotychczas.

W 1954 r. rozpoczęto produkcję wyłączników wyższych napięć na podstawie otrzymanej ze Związku Radzieckiego dokumentacji wyłącznika pneumatycznego 110 kV, 1 000 A, 2 500 MVA. Produkcja ta została po kilku latach wstrzymana ze względu na niewystarczającą dla energetyki moc wyłączalną i dość skomplikowaną obsługę.

Dalszy etap produkcji wyłączników na 110 kV był oparty na licencji zakupionej w szwedzkiej firmie ASEA na wyłącznik małoolejowy o parametrach: 110 i 132 kV, 1 000 A, 3 500 MVA. Wyłącznik ten ma po dwie komory szerego-

Tablica 3.13

WYŁĄCZNIKI MAŁOOLEJOWE ŚREDNICH NAPIĘĆ (DO 35 kV)

Typ	Napięcie, w kV	Prąd, w A	Moc wyłączalna, w MVA	Rok uruchomienia produkcji	Uwagi
695/30 napowietrzny	30	600	500	1947	Dokumentacja z lat 1939—1944. Wycofany z produkcji w 1958 r. zastąpiony przez typ WMŁN
WMG wnętrzowy	6 10	600—1000	200 350	1954—1959	Dokumentacja ZSRR. Produkcja zanikająca; zastępowany przez typ WMSW
WMRW wnętrzowy	15	600	300	1957	Dokumentacja własna. Wycofywany z produkcji; zastępowany przez typ WMSW
WMŁN napowietrzny	30	600	600	1958	Dokumentacja własna. Przewidywane zastąpienie przez typ WMSN
WMPW wnętrzowy	6	400	150	1960	Dokumentacja własna. Produkowany dotychczas
WMRW wnętrzowy	35	630	750	1963	Dokumentacja własna. Produkowany dotychczas
WNSW wnętrzowy	10 20	630—1250	350 600	1963	Dokumentacja własna. Produkowany dotychczas
WMSN napowietrzny	20 35	1250	600 1000		Dokumentacja własna. Produkcja w przygotowaniu

we na biegun; zastosowanie jednej komory na biegun i zmniejszenie izolacji względem ziemi umożliwia stosowanie tego wyłącznika na napięcie znamionowe 66 kV, przy prądzie znamionowym 1 000 A i mocy wyłączalnej 1 800 MVA. Produkcję odmiany na 110 kV uruchomiono w 1961 r., na 132 kV — w 1964 r., a na 66 kV — w 1965 r.

Rozłączniki [3.47]. Podstawą produkcji powojennej były rozłączniki wewnętrzne odziedziczone z okresu międzywojennego, na 10 i 20 kV. Po kilkakrotnej modernizacji rozłączniki te są produkowane obecnie w trzech zasadniczych odmianach:

1. Bez bezpieczników, typu OM, z wyposażeniem dodatkowym w wyzwalacz wtórny wybijakowy do zdalnego sterowania.

2. Z bezpiecznikami, typu OMB oraz z dodatkowym wyposażeniem w wyzwalacz wtórny wybijakowy do zdalnego sterowania i zanikowy do zabezpieczenia przed powrotem napięcia po jego uprzednim zamknięciu.

3. Z wyzwalaczami pierwotnymi o odwrotnym działaniu, typu OMW (do tzw. grupowego SPZ *) oraz z dodatkowym wyposażeniem w wyzwalacz zanikowy do Samoczynnego Częstotliwego Odciążania.

Ostatnio przystąpiono do opracowania bardziej nowoczesnej serii rozłączników typu OR i ORB, nadających się do wyłączania prądów znamionowego obciążenia.

Odłączniki [3.22, 3.23]. Już w okresie międzywojennym były produkowane liczne odmiany odłączników wewnętrznych i napowietrznych jedno- i trójbiegunowych, w zakresie napięć do 30 kV i prądów do 3 000 A.

Produkcję kontynuowano po wojnie, modernizując konstrukcje przedwojenne lub zastępując je nowymi. Zmiany konstrukcji szły przede wszystkim w kierunku zwiększenia wytrzymałości zwarciowej, poprawy koordynacji izolacji wewnętrznej przy napięciach udarowych itd. Wprowadzono ciężką napędową z tworzywa termoplastycznego. Przeprowadzono daleko idącą unifikację części składowych.

W tym zakresie napięć produkcja zakładu ZWAR obejmuje obecnie następujące grupy odłączników:

- odłączniki jedno- i trójbiegunowe wewnętrzne na napięcia 1—10 kV,
- odłączniki jedno- i trójbiegunowe wewnętrzne małogabarytowe na napięcia 10—30 kV,
- odłączniki dwubiegunowe wewnętrzne na napięcie 10 kV, do podstacji trakcyjnych,
- odłączniki trójbiegunowe wewnętrzne z bezpiecznikami dużej mocy wyłączalnej, na napięcie znamionowe 6 kV,
- odłączniki trójbiegunowe stacyjne, na napięcia 20 i 30 kV.

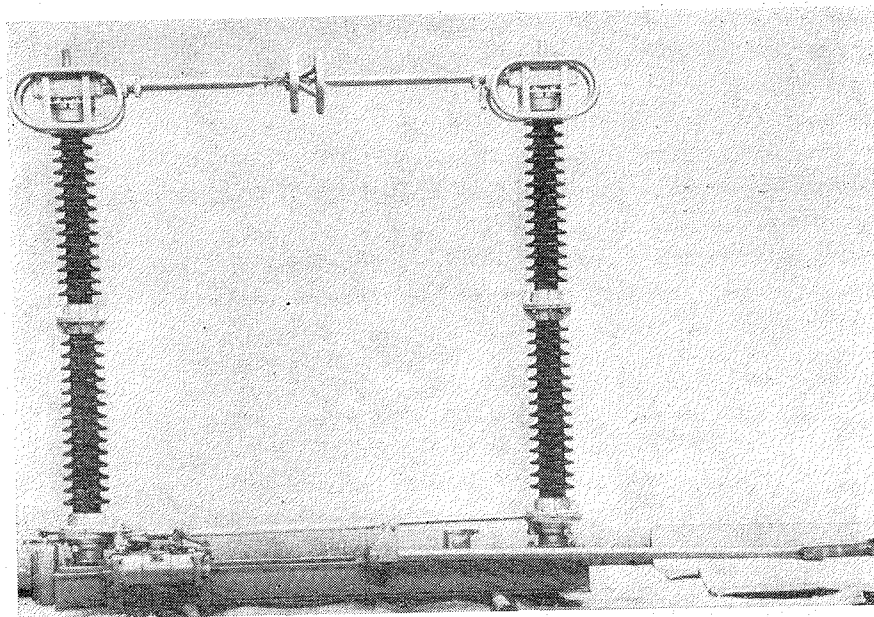
Ponadto Słupskie Zakłady Przemysłu Terenowego produkują odłączniki napowietrzne słupowe na napięcia 10, 20 i 30 kV.

Już w pierwszych latach powojennych zakres produkcji został rozszerzony na odłączniki na wyższe napięcia.

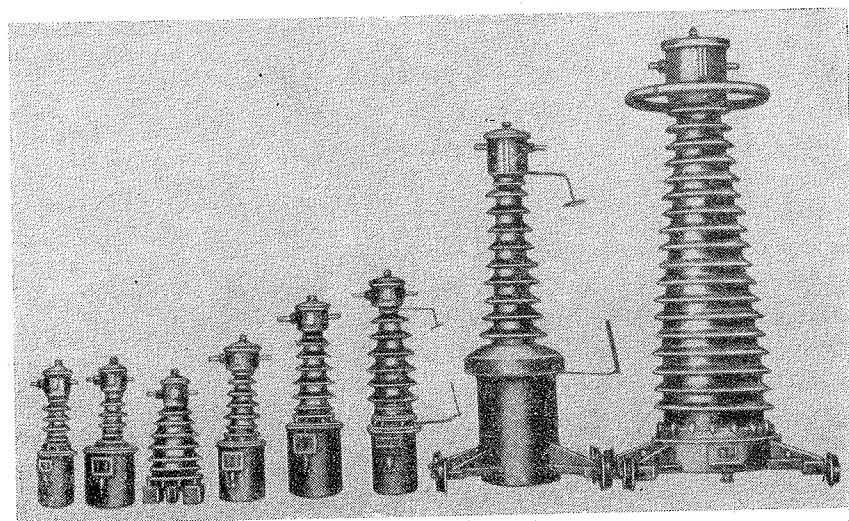
Do 1948 r. produkowano przedwojenny typ odłącznika na 150 kV, lecz w związku z likwidacją w kraju sieci na to napięcie produkcję przerwano.

W 1949 r. uruchomiono produkcję trójfazowych odłączników napowietrznych na napięcia 60 i 110 kV i prądy znamionowe 600 i 1 000 A. Są one dotychczas produkowane w zmodernizowanej w 1965 r. postaci jako typ ON3IR, 110 kV, 630 A i typ ONIII, 110 kV, 1 250 A.

*) Samoczynne Ponowne Załączanie.



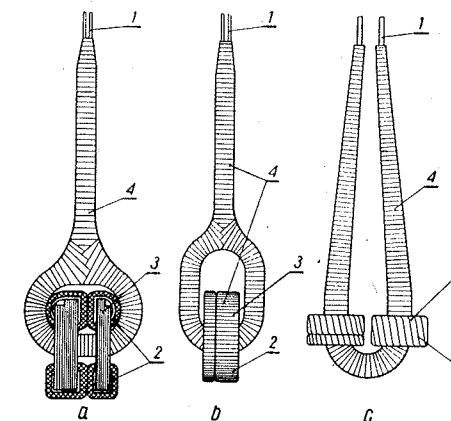
Rys. 3.41. Odłącznik typu ONJ — 220 kV



Rys. 3.42. Seria przekładników prądowych małoolejowych, 20÷220 kV

W tym też roku uruchomiono produkcję odłącznika napowietrznego typu ONI na napięcie 220 kV i prąd 1 500 A. Odznacza się on dobrymi parametrami technicznymi, nowoczesną lekką konstrukcją, małymi wymiarami i ciężarem oraz trwałością i niezawodnością.

W Instytucie Elektrotechniki opracowano również modele odłączników pantografowych na napięcia 110, 220 i 400 kV.



Rys. 3.43. Układy izolacyjne przekładników prądowych: a) pierścieniowy; b) ósemkowy; c) w kształcie litery „U”
 1 — wyprowadzenie uzwojenia pierwotnego; 2 — uzwojenie wtórne; 3 — rdzeń; 4 — izolacja główna

Przekładniki *) [3.54, 3.69, 3.96]. Produkcję przekładników wznowiła wkrótce po wyzwoleniu Pierwsza Państwowa Fabryka Aparatów Elektrycznych (obecny ZWAR) w swym zakładzie w Międzyzlesiu; w 1948 r. przeniesiono ją do częściowo już odbudowanego zakładu w Warszawie, który stał się jedynym producentem przekładników. Dopiero ostatnio produkcja przekładników niskiego napięcia jest przenoszona do zakładu Fanina w Przemyślu.

W pierwszych latach powojennych produkcja obejmowała przekładniki oparte na ocalałej dokumentacji: napięciowe, suche do 60 kV i pełnoolejowe do 45 kV oraz prądowe suche do 45 kV.

Prace rozwojowe w tej dziedzinie rozpoczęto w 1950 r. Szły one w następujących kierunkach:

— modernizacji i rozszerzenia asortymentu przekładników suchych,

*) Opis obejmuje zarówno przekładniki wysokiego, jak niskiego napięcia ze względu na bliskie ich pokrewieństwo.

- opracowania i uruchomienia produkcji przekładników małoolejowych, z równoczesnym zaniechaniem produkcji przekładników pełnoolejowych,
- wprowadzenia izolacji żywicznej,
- podniesienia górnej granicy napięcia pierwotnego,
- przystosowania do pracy w warunkach klimatu tropikalnego.

Przekładniki prądowe suche (jednofazowe) są obecnie produkowane w kilkudziesięciu odmianach na napięcia znamionowe 0,5—30 kV, prądy znamionowe pierwotne do 4 000 A, prądy wtórne 5 lub 1 A. Asortyment obejmuje m.in. przekładniki przepustowe ze sworzniem pierwotnym i do nakładania na szynę, prze-

Tablica 3.14

DANE ZNAMIONOWE MAŁOOLEJOWYCH PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH [3.69]

Napięcie znamionowe, w kV	Typ	Prąd pierwotny ***) w A	Numer rdzenia	Moc, w VA	Klasa	Cie- żar, w kG
20	J20-MO	5—600		30	0,5	54
	J20-2MO *)	5—600	I II	30 60	0,5 1,0	90
30	J30-MO	5—600		30	0,5	84
	J30-2MO *)	5—600	I II	30 60	0,5 1,0	95
45	J45-2MO *)	5—600	I	30	0,5	140
			II	60	1,0	
60	J60-2MO *)		I	30	0,5	155
			II	60	1,0	
110	J110-3a **)	5—1200	I	45	0,5	350
			II	45	0,5	
			III	90	1,0	
220	J220-3 **)	300—1200	I	60	0,5	1150
			II	60	1,0	
			III	90	1,0	

*) Dwurdzeniowy.

**) Trójrzeniowy.

***) Prąd wtórny: 5 lub 1 A.

kładniki małowabarytowe i przekładniki w wykonaniu tropikalnym. Izolacja główna: papier żywiczny lub porcelana. Klasa dokładności 0,5—3.

W zakresie przekładników napięciowych suchych są produkowane przekładniki jednofazowe o napięciu pierwotnym 6, 10 i 15 kV; napięcie wtórne 100 V. Jako izolacja główna jest zastosowana porcelana. Klasa dokładności: 0,5—3, w zależności od pobranej mocy.

Przekładniki suche są przeznaczone do stosowania w pomieszczeniach wewnętrznych suchych.

W latach 1950—1954 Zakłady Wytwórcze Aparatów Wysokiego Napięcia im. G. Dymitrowa opracowały serię przekładników małoolejowych, prądowych i napięciowych do urządzeń napowietrznych.

Dane znamionowe małoolejowych przekładników prądowych są podane w tabl. 3.14. Cała seria jest wprowadzona do produkcji; w miarę jej uruchamiania wycofano z produkcji przestarzałe przekładniki pełnoolejowe.

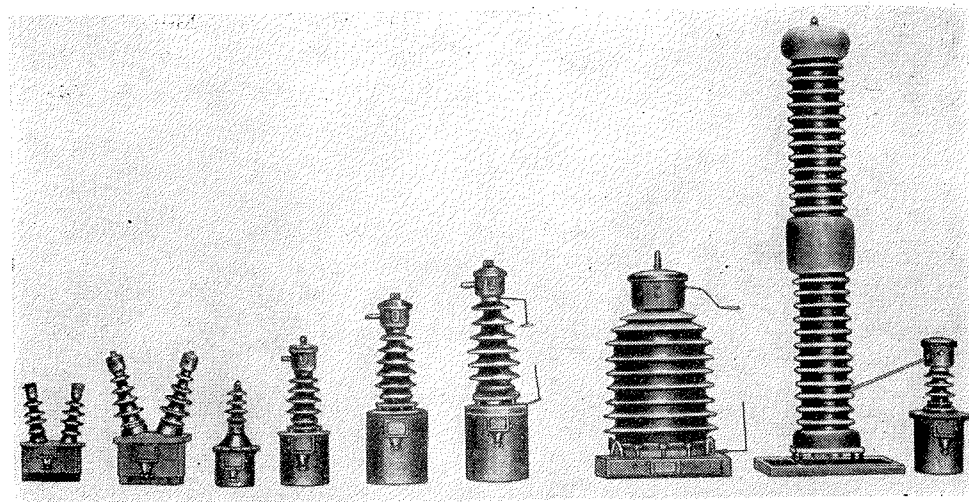
W nowo opracowanej serii przyjęto jednakowe rozwiązanie konstrukcyjne w zakresie napięć znamionowych 20—110 kV (z niewielkimi odmianami przy 110 kV). Przekładniki te mają obudowę typu garnkowego, przekładnik zaś na 220 kV — typu wsporcze (rys. 3.44). Inny jest również w tym ostatnim układ izolacyjny: w przekładnikach na 20—110 kV zastosowano układ pierścieniowy (rys. 3.43a), w przekładniku na 220 kV — układ izolacyjny zwany U (rys. 3.43c). W tym drugim układzie łatwiej jest wprowadzać w czasie wykonywania uzwojenia wkładki ekranujące z folii aluminiowej do kondensatorowego sterowania pola; z tego powodu układ taki jest chętnie stosowany przy najwyższych napięciach. W przekładniku na 220 kV rdzeń pomiarowy jest wykonany z blach z dodatkiem permaloju, a rdzenie przekątnikowe — z blachy transformatorowej wysokiej jakości.

Seria przekładników napięciowych małoolejowych obejmuje przekładniki indukcyjne na napięcia 20—110 kV, o rdzeniu magnetycznie zamkniętym i uzwojeniu warstwowym oraz przekładniki pojemnościowe na napięcia 110 i 220 kV. Główne parametry przekładników napięciowych podano w tabl. 3.15.

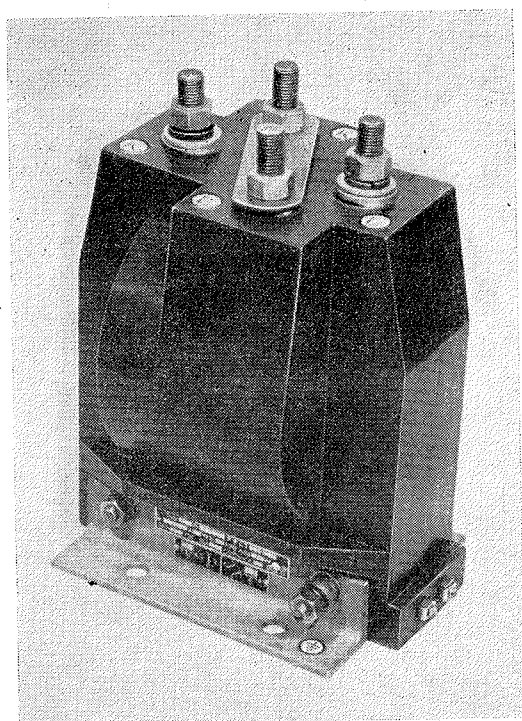
Obudowy przekładników indukcyjnych, prądowych i napięciowych, do 110 kV w wykonaniu dla klimatu umiarkowanego są zaopatrzone w głowice odgrywające rolę konserwatora oleju. Obudowy przekładników przeznaczonych do pracy w klimacie tropikalnym są hermetyczne; zmiany objętości oleju są kompensowane za pomocą specjalnych metalowych membran.

Przekładniki napięciowe pojemnościowe składają się z dwóch zasadniczych części: pojemnościowego dzielnika napięcia i indukcyjnego przekładnika oraz z wyposażenia dodatkowego (dławik, opornik tłumiący). Przekładniki na 220 kV mają obudowę hermetyczną [3.24].

Oprócz zalet technicznych i zwiększenia niezawodności, nowa seria przekładników przyniosła duże oszczędności gospodarcze. W porównaniu z przekładnikami pełnoolejowymi ciężar całkowity został zmniejszony przeciętnie

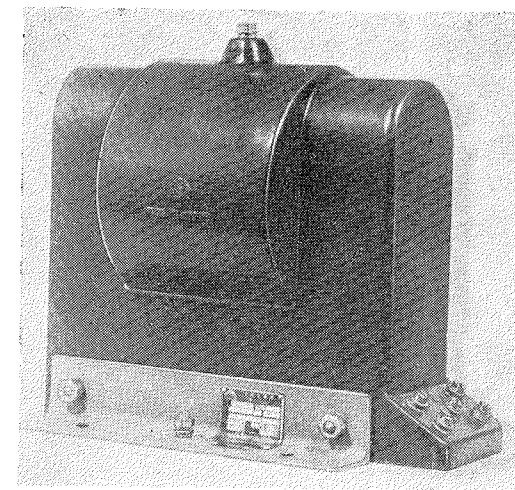


Rys. 3.44. Seria przekładników napięciowych małosilowych, 20÷220 kV



Rys. 3.45. Przekładnik żywiczny prądowy — 30 kV

o 50%, głównie z powodu mniejszego zużycia miedzi nawojowej i oleju. Za opracowanie przekładników na 220 kV zespół konstruktorów otrzymał nagrodę „Mistrz Techniki, 1960”.



Rys. 3.46. Przekładnik żywiczny napięciowy — 30 kV

W początkach lat pięćdziesiątych na rynku światowym zaczęły się pojawiać *przekładniki z izolacją żywiczną*. Nadają się one do pracy w pomieszczeniach wilgotnych i mogą być montowane w dowolnym położeniu. Zakłady Wytwórcze Aparatów Wysokiego Napięcia podjęły prace nad tego typu przekładnikami w 1953 r. Pierwsze egzemplarze ukazały się w 1956 r. Po opanowaniu nowej technologii weszły one do seryjnej produkcji.

Zastosowanie żywic epoksydowych umożliwiło znaczne zmniejszenie wymiarów i ciężaru, dzięki możliwości zmniejszenia odległości izolacyjnych i długości obwodu magnetycznego. Ponadto mają one dużą wytrzymałość cieplną i dynamiczną.

Program produkcji obejmuje liczne odmiany przekładników napięciowych na napięcia do 30 kV i prądowych na napięcia 0,5—30 kV. Te ostatnie są wykonywane jako wsporcze, przepustowe i szynowe.

Duże zasługi w rozwoju tej grupy aparatów położyli: inż. K. Sokalski, mgr inż. J. Zalewski oraz mgr inż. Z. Makowski.

Odgromniki [3.5, 3.51, 3.61]. Zapoczątkowaną w okresie międzywojennym przez firmę K. Szpotański produkcję odgromników zaworowych kontynuowała od 1947 r. Pierwsza Państwowa Fabryka Aparatów Elektrycznych w swym warszawskim zakładzie. W odgromnikach tych stosowano nadal płytki zmiennooporowe z masy własnego opracowania firmy K. Szpotański nazwanej „faety-