

Do obliczenia przekroju przewodu można tu zastosować powszechnie używaną zależność, wyprowadzoną w założeniu adiabatyicznego przebiegu nagrzewania:

$$S = I_{1s} \sqrt{\frac{F(\vartheta_{\text{dop}}) - F(\vartheta_{\text{pocz}})}{1}}, \quad (1.44)$$

gdzie:

$F(\vartheta)$  - funkcja zależna od materiału i temperatury przewodu,

$\vartheta_{\text{dop}}$  - temperatura dopuszczalna przy zwarciu,

$\vartheta_{\text{pocz}}$  - temperatura początkowa.

Wytrzymałość zwarciowa jednosekundowa przekładnika jest również sprawdzana doświadczalnie. Konieczność sprawdzenia jest szczególnie istotna w przypadku przekładników z izolacją żywiczną uzwojeń, gdzie przy gwałtownym nagrzewaniu uzwojeń, wobec niejednakowych współczynników rozszerzalności cieplnej metalu i żywicy, konieczne jest zapewnienie właściwej warstwy dylatacyjnej. Ponadto w uzwojeniach przekładnika występują dodatkowe straty ciepłe (wywołane np. efektem zbliżenia), których nie uwzględnia wzór (1.44). Stąd też zachodzi konieczność przeprowadzenia badań nagrzewania prądem zwarciovym, połączonych z pomiarem temperatury uzwojeń, sprawdzających poprawność doboru przekroju uzwojeń wg wzoru (1.44).

### 1.7. Zasady konstruowania przekładników

Pierwszą fazą konstruowania przekładnika prądowego jest jego wstępne obliczenie, obejmujące wyznaczenie geometrii przekładnika i sprawdzenie podstawowych funkcji (jak np. dokładności transformacji). Przystępując do konstruowania niezbędne jest na wstępie ustalenie podstawowych parametrów znamionowych, którymi ma się charakteryzować konstruowany przekładnik. Danymi tymi będą:  $U_{ni}$ ,  $I_{1n}$ ,  $I_{2n}$ ,  $S_n(Z_n)$  w danej klasie dokładności  $\Delta$ , liczba przetężeniowa,  $i_{s2n}$ ,  $I_{1s}$ .

Pierwszą kwestią wymagającą rozstrzygnięcia jest rodzaj konstrukcji przekładnika w aspekcie zastosowanej izolacji głównej. Przyjmując aktualnie stosowane zasady, wybór będzie

zależny od wartości znamionowego napięcia izolacji: dla napięć średnich ( $\leq 30$  kV) i wykonan wewnętrznych będzie to rozwiązanie z izolacją żywiczną, a dla napięć wyższych - z izolacją papierowo-olejową. Konieczne jest również założenie dotyczące znamionowego przepływu ( $\Theta_n = I_{1n} Z_1$ ). Jest to sprawa bardzo istotna, gdyż wpływa zarówno na wymiary i masę przekładnika jak i na wytrzymałość elektrodynamiczną, błędy transformacji, zużycie materiałów itp. Z uwagi na to, że zazwyczaj konstruuje się całą rodzinę przekładników o tej samej wartości  $\Theta_n$ , różniących się jedynie wartościami znamionowych prądów ciągłych, sprawa ta musi być również uwzględniona przy wyborze wartości znamionowego przepływu. Zazwyczaj przyjmuje się  $\Theta_n = (800 - 1200)A$ , przy czym wartości te wynikają z dotychczasowych doświadczeń, jako umożliwiające uzyskanie rozwiązań korzystnych z uwagi na zużycie miedzi i materiału magnetycznego. Warto podkreślić, że aktualne tendencje zmierzają w kierunku zmniejszenia wartości  $\Theta_n$ . Oczywiście, że zalecenia powyższe nie dotyczą rozwiązań na prądy znamionowe większe od 1200 A. W tych przypadkach stosuje się przekładniki jednozwojowe, a zastosowany przepływ znamionowy wynika z wartości znamionowego prądu ciągłego przekładnika.

Kolejne założenie dotyczy gatunku blachy stosowanej na rdzeń oraz wartości indukcji magnetycznej w znamionowym punkcie pracy. Gatunek zastosowanej blachy zależy od funkcji przekładnika (patrz p.1.1). Dla przekładników pomiarowych może to być blacha stopowa (np. żelazo-niklowa), względnie rdzeń może być składany częściowo z blachy krzemowej, a częściowo ze stopowej; przy przekładnikach zabezpieczeniowych (wymagana duża liczba przetężeńiowa) stosuje się zwykle blachę krzemową zimnowalcowaną. Ostatnio występuje tendencja (szczególnie przy rdzeniach toroidalnych) do stosowania blachy krzemowej zimnowalcowanej w obu rodzajach przekładników. Podobnie znamionowy punkt pracy na krzywej magnesowania dobiera się w zależności od funkcji przekładnika. Określenie powyższych danych pozwala na wstępne obliczenie przekładnika. Dla przyjętej wartości  $\Theta_n = I_{1n} Z_1 = I_{2n} Z_2$  można wyznaczyć wymagane liczby zwojów  $Z_1$  i  $Z_2$ , dobrać przekroje uzwojeń na podstawie dopuszczalnej gę-

stości prądu w warunkach pracy normalnej oraz przy zwarciu, a następnie oszacować, uwzględniając wymagania izolacyjne i przyjęty rodzaj izolacji głównej, wymiary okna rdzenia magnetowodu.

Przekrój rdzenia magnetycznego ( $S_{Fe}$ ) można orientacyjnie wyznaczyć ze wzoru (1.8) przyjmując, że  $U_{\mu}''$  jest nieco większe od  $U_{2n}$  ( $U_{\mu}'' \cong 1,2 U_{2n} = I_{2n} Z_c$ ), a impedancja całkowita obwodu wtórnego jest nieco większa od znamionowej impedancji obciążenia  $Z_n$  (np.  $Z_c \cong 1,2 Z_n$ ). Mając wymiary okna i przekrój rdzenia można określić pozostałe wymiary rdzenia, w tym i średnią drogę w żelazie ( $l_{Fe}$ ). Można również wyznaczyć w przybliżeniu rezystancję  $R_2$  oraz reaktancję  $x_2$  uzwojenia wtórnego przekładnika.

Na podstawie wyznaczonych powyżej danych, korzystając ze wzorów podanych w punkcie 1.2 i krzywej magnesowania dla rdzenia, można obliczyć błędy  $\Delta I$  i  $\delta_i$  dla różnych wartości prądów oraz obciążeń celem sprawdzenia, czy przekładnik spełnia wymagania dotyczące założonej klasy dokładności. W przypadku konieczności zmniejszania błędów, można wprowadzić poprawkę dotyczącą wartości przekroju rdzenia, a niekiedy również i wartości indukcji w punkcie pracy znamionowej. Nie należy również zapominać o możliwości korygowania błędu prądowego przez wprowadzenie poprawki zwojowej.

Przeprowadzone wg podanych powyżej zasad obliczenia, uzupełnione ewentualnie obliczeniami sił elektrodynamicznych w uzwojeniach i doprowadzeniach (o ile takie występują), mogą być podstawą do zbudowania modelu przekładnika, który jest następnie poddawany wnikliwym badaniom, umożliwiającym wszechstronne sprawdzenie opracowywanej konstrukcji. Jest oczywiste, że w projekcie modelu przekładnika konieczne jest rozwiązanie szeregu problemów izolacyjnych i ogólnokonstrukcyjnych, które pominięto z uwagi na zakres skryptu.

Spośród podstawowych zagadnień konstrukcyjnych przekładników prądowych można wyróżnić następujące:

- izolacja uzwojeń,
- rdzeń magnetyczny,
- ogólna koncepcja konstrukcyjna przekładnika.

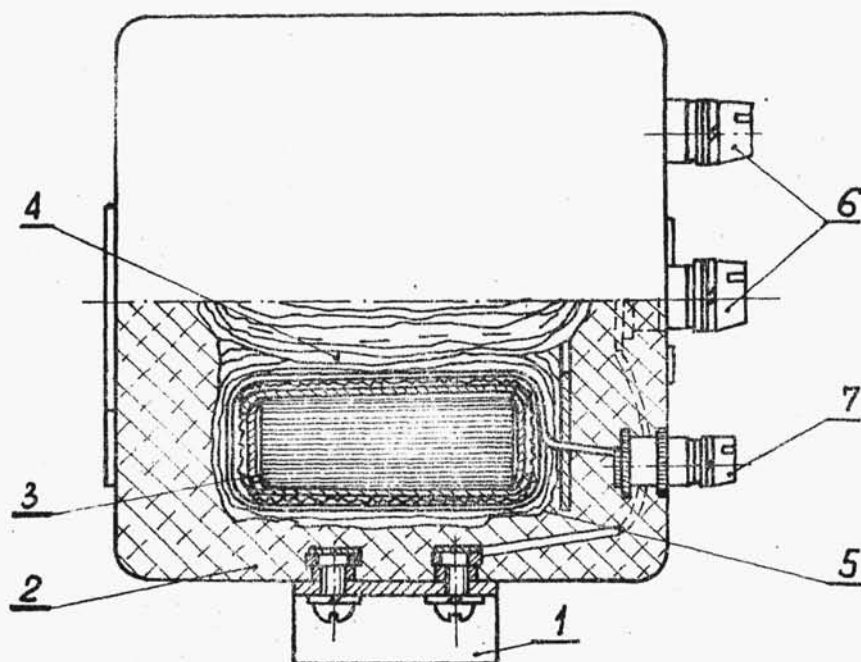
Rozpatrując zagadnienia izolacyjne przekładnika należy rozróżnić izolację uzwojenia pierwotnego względem wtórnego oraz względem rdzenia magnetycznego i innych części uziemionych a także izolację uzwojenia wtórnego względem rdzenia nazywaną izolacją główną. Izolację pomiędzy zwojami i warstwami każdego uzwojenia nazywa się izolacją szeregową.

Dla przekładników niskonapięciowych zagadnienie izolacji nie przedstawia istotnych problemów. Znajdują tu zastosowanie takie materiały jak: papier, preszpan, bawełna, bakelit i materiały syntetyczne. Na izolację międzyzwojową uzwojenia pierwotnego (o ile zachodzi potrzeba) stosuje się preszpan, jako izolację międzyzwojową uzwojenia wtórnego - bawełnę, a jako izolację międzywarstwową uzwojenia wtórnego - ceratkę lub preszpan. Jako izolację główną wykorzystuje się: powietrze, preszpan, materiały syntetyczne lub żywicę syntetyczną (zwykle epoksydową). Przykład konstrukcji przekładnika n.n. (niskiego napięcia) z izolacją główną żywiczną przedstawiono na rys.1.26.

W przekładnikach na napięcia średnie ( $6 \div 20$  kV) zagadnienie izolacji wymaga już większej uwagi. Izolację międzyzwojową i międzywarstwową uzwojenia wtórnego rozwiązuje się podobnie jak poprzednio. Izolację główną wykonuje się zazwyczaj z żywicy epoksydowej.

W przedziale wysokich i najwyższych napięć stosowane są zazwyczaj przekładniki z izolacją główną papierowo-olejową (rys.1.27 i 1.28). Uzwojenie pierwotne jest zaizolowane taśmą z papieru izolacyjnego nasyczonego olejem, przy czym oba uzwojenia wraz z rdzeniem są zanurzone w oleju. Warto w tym miejscu wspomnieć, że były prowadzone próby stosowania jeszcze bardziej złożonych materiałowo układów izolacji głównej przekładników. Można tu wymienić np. izolację typu EPOLPA zawierającą trzy rodzaje izolacji tj. żywicę epoksydową, papier i olej. Uzwojenie zaizolowane papierem ma dodatkową zewnętrzną warstwę żywicy, a całość umieszczona jest w oleju. Izolacja tego rodzaju, mimo technicznych prób realizacji, nie uzyskała jednak szerszego zastosowania.

Izolacja przekładnika prądowego powinna, w zależności od znamionowego napięcia izolacji, posiadać określoną wytrzyma-

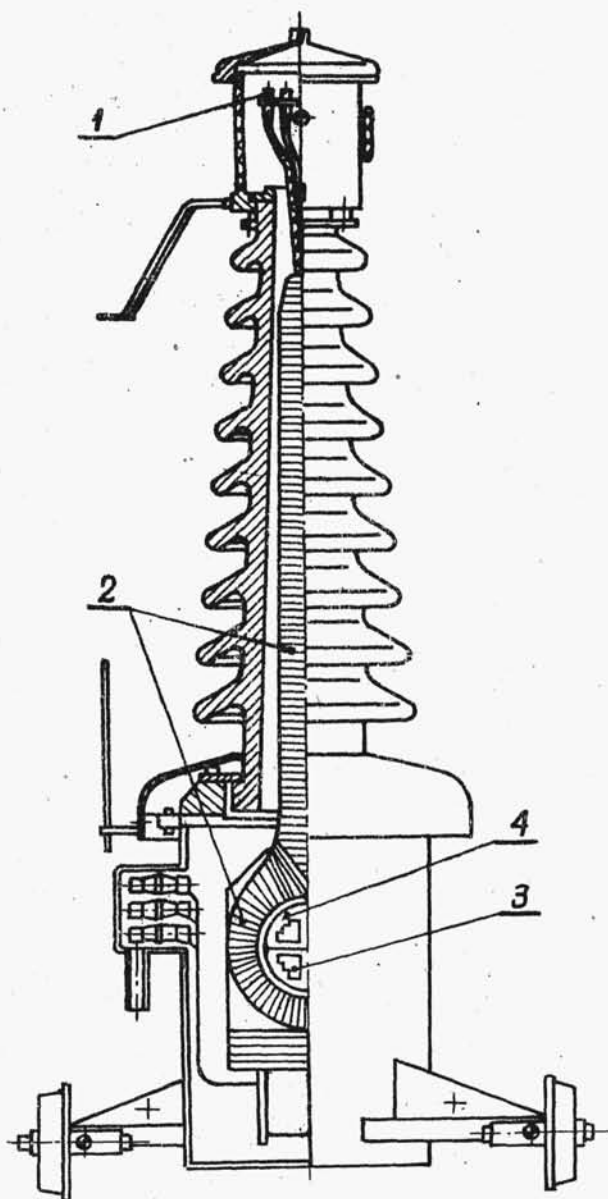


rys.1.26. Przekładnik prądowy niskonapięciowy z izolacją żywiczną: 1-podstawa, 2-izolacja żywiczna, 3-rdzeń 4-uzwojenie pierwotne, 5-uzwojenie wtórne, 6-zaciski uzwojenia pierwotnego, 7-zaciski uzwojenia wtórnego

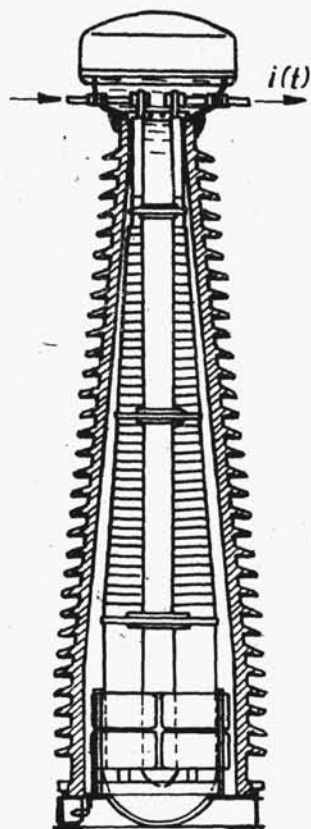
małość dielektryczną i to zarówno przy napięciu 50 Hz jak i przy napięciu uderowym. Odpowiednie wymagania dotyczące napięć probierczych, przy których izolacja jest sprawdzana znajduje Czytelnik w [12].

Rdzenie przekładników prądowych wykonywane są z materiału magnetycznego o cechach zależnych od przeznaczenia przekładnika. Na rdzenie przekładników pomiarowych stosowano blachy stopowe (typu permaloy), które mieszano z blachami krzemowymi (rdzeń składano mieszając oba rodzaje blach). Ostatnio coraz szerzej stosuje się blachę krzemową zimnowalcowaną o własnościach anizotropowych<sup>x)</sup>, o lepszej magnesowalności niż blacha

x) Blacha anizotropowa wykazuje przypisywane jej własności magnetyczne jedynie w określonym kierunku (zgodnym z kierunkiem walcowania).



Rys.1.27. Przekładnik prądowy małosieciowy w wykonaniu napowietrznym 1-zaciski uzwojenia pierwotnego, 2-uzwojenie pierwotne w izolacji papierowo-olejowej 3-rdzeń, 4-uzwojenie wtórne



Rys.1.28. Uproszczony przekrój przekładnika prądowego 500 kV

krzemowa. Materiał ten znajduje zastosowanie również do budowy rdzeni przekładników zabezpieczeniowych.

Rdzenie przekładników mogą być składane bądź zwijane. Pierwszy sposób jest wygodniejszy technologicznie, gdy uzwojenia mogą być nawinięte oddzielnie, a następnie pakietowany jest rdzeń drogą składania elementów blach, podczas, gdy w przypadku rdzenia toroidalnego (zwijanego) występuje konieczność tzw. "szycia" uzwojenia na rdzeniu. Rdzeń pakietowany (zazwyczaj prostokątny) ma jednakże istotne wady, jak występowanie szczelin powietrznych, pogarszających własności magnetyzowania rdzenia czy niemożność równomiernego nawinięcia uzwojenia wtórnego na rdzeniu, co ma istotne znaczenie z uwagi na indukcyjność rozproszenia oraz siły oddziaływania pomiędzy uzwojeniami przy zwarciu. Warto podkreślić, że w przypadku rdzenia z blachy zimnowalcowanej, dla wykorzystania cechy anizotropowości konieczne jest stosowanie rdzeni zwijanych.

Uzwojenia pierwotne przekładników są wykonywane z płaskowników (rzadziej prętów o przekroju kołowym) miedzianych, uzwojenia wtórne z drutu miedzianego.

Ogólna konstrukcja przekładnika zależy w znacznym stopniu od rodzaju izolacji głównej. W przypadku izolacji żywicznej, występuje żywiczny korpus konstrukcji przekładnika, do którego mocowane są zarówno zaciski przyłączone uzwojenia pierwotnego i wtórnego, jak również podstawa metalowa, przy pomocy której przekładnik jest mocowany do konstrukcji (rys.1.26).

W rozwiązaniach z izolacją główną papierowo-olejową (z zasady napowietrznych) uzwojenia wraz z rdzeniem są umieszczone w metalowym zbiorniku wypełnionym olejem, na którym umieszczony jest izolator przepustowy (rys.1.27). Wewnątrz izolatora przepustowego końce uzwojenia pierwotnego są doprowadzone do zacisków przyłączonych.

### 1.8. Zasady doboru przekładników

Dobierając przekładnik prądowy do określonego miejsca zainstalowania w układzie elektroenergetycznym, konieczne jest uwzględnienie następujących czynników: