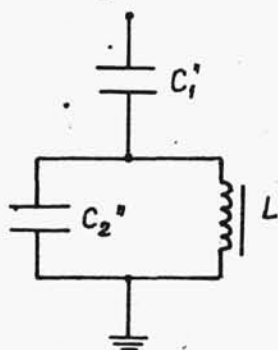


przy dostatecznie dużym napięciu wejściowym (tj. przy wartości  $u_p$  na rys.3.21). Stan taki jest możliwy np. przy prze-



Rys.3.22. Uproszczony schemat zastępczy przekładnika pojemnościowego (bez obciążenia):  $L$  - indukcyjność gałęzi magnesowania członu indukcyjnego; pozostałe elementy schematu zastępczego przekładnika indukcyjnego pominięto

pięciami łączeniowymi pojawiających się w układzie (załączanie sieci, przepięcie długotrwałe wywołane zwarcie doziemnym innych faz).

Drgania ferorozonansowe mogą być również wywołane zakłóceniami w dolnym członie dzielnika.

Podatność przekładnika napięciowego na drgania jest zwykle sprawdzana doświadczalnie przez wytwórcę.

Dla uniknięcia szkodliwego wpływu drgań ferorozonansowych na pracę przekładników pojemnościowych, stosowane są środki tłumiące drgania. Do najprostszych należy stosowanie rezystora włączonego równolegle do zacisków uzwojenia wtórnego indukcyjnego członu przekładnika.

#### 3.4. Zasady konstruowania przekładników

Pierwszą fazą konstruowania przekładnika napięciowego jest jego wstępne obliczenie, obejmujące wyznaczenie geometrii, parametrów uzwojeń oraz sprawdzenie podstawowych funkcji (np. dokładności transformacji).

Przystępującemu do konstruowania konieczna jest znajomość podstawowych cech i parametrów znamionowych, jakimi ma się charakteryzować przekładnik. Będą to: rodzaj przekładnika (do pomiaru napięcia międzyfazowego lub fazowego), napięcie znamionowe pierwotne i wtórne, moc znamionowa obciążenia w określonej klasie dokładności, funkcja przekładnika (pomiarowy lub zabezpieczeniowy).

Pierwszą kwestią, która wymaga rozstrzygnięcia, jest rodzaj konstrukcji z uwagi na zastosowaną izolację główną. Zgodnie z obowiązującymi aktualnie zasadami konstrukcyjnymi, dla napięć średnich ( $\leq 30$  kV) będzie to wykonanie wewnętrzne

z izolacją główną żywiczną bądź porcelanową, a dla napięć wyższych izolacja papierowo-olejowa. Przy napięciach  $\geq 110$  kV będzie to przeważnie przekładnik pojemnościowy.

Następnie konieczne jest ustalenie dwu istotnych parametrów obwodu magnetycznego przekładnika tj. wartości indukcji znamionowej<sup>x)</sup> oraz przekroju rdzenia. Wartość indukcji znamionowej zależy jest od stosowanego materiału magnetycznego oraz od funkcji przekładnika (pomiarowy czy zabezpieczeniowy). W przekładniku pomiarowym, od którego wymaga się poprawnej pracy w przedziale  $(0,8 \div 1,2) u_{ni}$ , wartość indukcji znamionowej  $B_n$  dla powszechnie stosowanej blachy zimnowalcowanej może wynosić ok. 0,8 T. Zapewnia to w całym wymaganym przedziale zmienności napięcia pracę na prostoliniowej części charakterystyki magnesowania, przy stosunkowo dużej wartości  $\mu$ . Dla przekładników zabezpieczeniowych wartość  $B_n$  zależy od wymaganej dla przekładnika wartości  $k_N$ . Przy dużych wartościach  $k_N$  wartość  $B_n$  powinna być odpowiednio mniejsza niż poprzednio, aby uniknąć nasycenia rdzenia (a tym samym dużych błędów) przy napięciu  $k_N U_{1n}$ .

Przekrój rdzenia magnetycznego może być wyliczony ze wzoru znanego z teorii transformatorów:

$$S_{Fe} = C \sqrt{\frac{S_{gr}}{f}}, \quad (3.33)$$

gdzie:

$$C = (6-9) \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1/2} \text{ V}^{1/2} \text{ A}^{1/2},$$

$S_{gr}$  - moc graniczna przekładnika.

Wartość mocy granicznej przyjmuje się zazwyczaj wg zależności [9]:

$$S_{gr} = \frac{5}{\Delta} S_n, \quad (3.34)$$

przy czym:

$S_n$  - moc znamionowa przekładnika w klasie dokładności.

Znając  $B_n$  i  $S_{Fe}$  można, ze wzorów podanych w p.1.2, wyznaczyć wymaganą liczbę zwojów uzwojenia wtórnego:

---

<sup>x)</sup> Odpowiadającej napięciu znamionowemu przekładnika.

$$z_2 = \frac{U_{2n}}{4,44 B_n S_{Fe} f} ,$$

a następnie liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego:

$$z_1 = z_2 \vartheta_n ,$$

przy czym:

$$\vartheta_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} - \text{przekładnia znamionowa przekładnika.}$$

Można w tym miejscu sprawdzić dodatkowo napięcie przypadające na pojedynczy zwój uzwojenia pierwotnego  $\left(\frac{U_{1n}}{z_1}\right)$ . Dla izolacji stosowanych w przekładnikach napięcie to nie powinno przekraczać 1÷2 V/zw.

Prąd długotrwałego obciążenia uzwojenia wtórnego może być określony z mocy granicznej obciążenia przekładnika:

$$I_2 = \frac{S_{gr}}{U_{2n}} ,$$

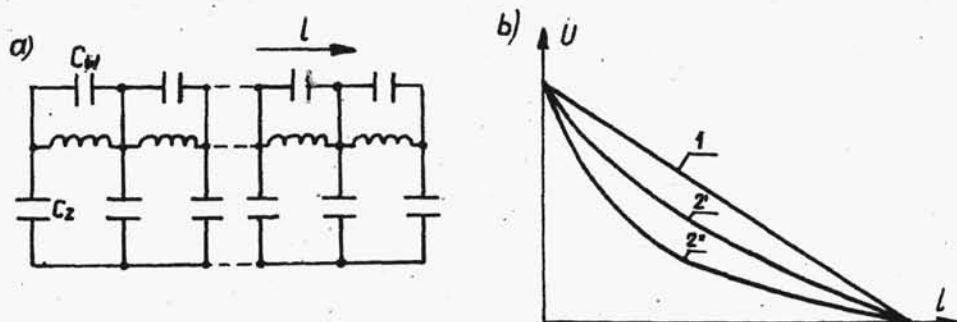
a prąd obciążenia długotrwałego uzwojenia pierwotnego

$$I_1 = I_2 / \vartheta_n .$$

Znając wartości prądów długotrwałych, można wyznaczyć wymagane przekroje uzwojeń, zakładając dopuszczalną gęstość prądu przy obciążeniu długotrwałym (dopuszczalną gęstość prądu można przyjmować od  $\sim 2 \text{ A/mm}^2$  przy izolacji suchej do  $\sim 3 \text{ A/mm}^2$  przy izolacji papierowo-olejowej).

Znajomość powyższych danych umożliwia, przy uwzględnieniu wymagań izolacyjnych, ustalenie wymiarów obu uzwojeń oraz rdzenia magnetowodu. Jest to podstawą do wyznaczenia wszystkich charakterystycznych wielkości schematu zastępczego przekładnika, a następnie błędów transformacji w określonym przedziale zmian napięcia i obciążenia. W przypadku konieczności zmniejszenia błędów można wprowadzić poprawkę zwojową; niekiedy może się okazać konieczna zmiana wartości  $B_n$  bądź  $S_{Fe}$ . Wymagane jest wówczas powtórzenie obliczenia niektórych parametrów schematu oraz błędów.

Niewątpliwie najważniejszą kwestią konstrukcyjną przekładników napięciowych jest sprawa izolacji. Rozróżnia się przy tym izolację główną i szeregową uzwojenia pierwotnego. Izolacją główną jest izolacja uzwojenia pierwotnego względem uzwojenia wtórnego oraz względem innych części uziemionych (rdzeń, obudowa). Jeżeli jeden zacisk uzwojenia pierwotnego przekładnika jest uziemiony, to pojęcie izolacji głównej ma trochę inny sens. W tym bowiem przypadku wytrzymałość elektryczna poszczególnych punktów uzwojenia pierwotnego względem części uziemionych może mieć różne wartości; powinna ona wzrastać w miarę oddalania się od uziemionego końca uzwojenia. Izolacja szeregową uzwojenia pierwotnego obejmuje izolację międzyzwojową, międzywarstwową i międzycewkową. Izolacja ta jest szczególnie narażona przy napięciach uderowych dochodzących do przekładnika. Występują wówczas zjawiska, podobnie jak w transformatorach energetycznych, wywołujące drgania napięcia występującego na uzwojeniu, Rozkład napięcia na poszczególnych warstwach uzwojenia w warunkach normalnej pracy jest liniowy<sup>x)</sup> (patrz 1 na rys.3.23b). W przypadku doprowadzenia do uzwojenia fali uderowej, należy rozpatrywać schemat zastępczy uzwojenia jako linię długą ze stałymi rozłożonymi równomiernie (rys.3.23a). Przy dużych częstotliwościach (co



Rys.3.23. Schemat zastępczy (a) oraz rozkład napięcia na izolacji szeregową uzwojenia przekładnika (b)

x) Wynika to z jednakowych spadków napięcia na jednakowych indukcyjnościach poszczególnych warstw.

odpowiada fali udarowej), o rozkładzie napięcia na uzwojeniu decydują pojemności układu  $C_w$  i  $C_z$ . Rozkład będzie teraz odbiegał od rozkładu liniowego (krzywa 2', 2'' na rys. 3.23b), a różnice będą tym większe, im większa jest wartość  $\frac{C_z}{C_w}$ . Rozkłady 2' i 2'' powodują znaczne naprężenia pierwszych (od strony zacisku liniowego) warstw uzwojenia. Dodatkowo mogą tu wystąpić duże naprężenia poszczególnych warstw również po przejściu fali udarowej. Jeżeli układ pozostanie w pracy, to napięcia na uzwojeniu muszą powrócić do rozkładu w warunkach pracy normalnej. Przejście to może się odbywać drogą oscylacji o dużych częstotliwościach, które mogą wywołać dalsze znaczne naprężenia o szczególnie dużych amplitudach w tych częściach uzwojeń, w których różnice pomiędzy rozkładem udarowym i normalnym są największe.

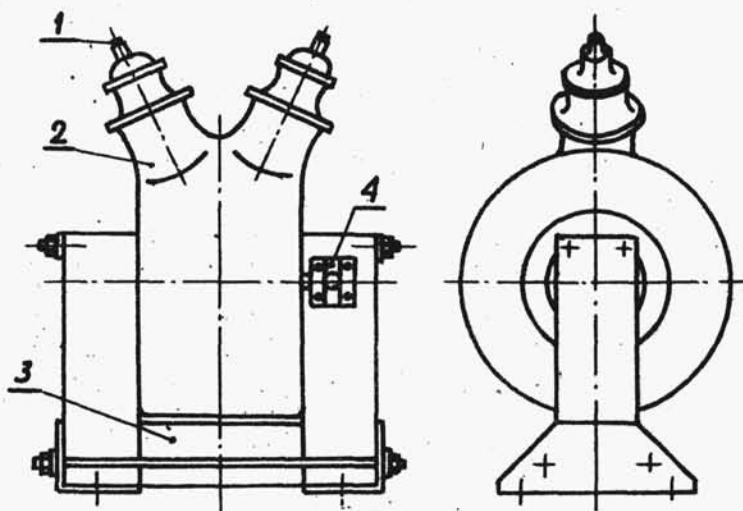
Dla uniknięcia opisanych powyżej zjawisk należy dążyć do tego, aby rozkłady napięcia - indukcyjny oraz pojemnościowy - były do siebie możliwie zbliżone. Daje się to uzyskać w przypadku, gdy  $\frac{C_z}{C_w} \approx 0$ , co oznacza, że pojemność pomiędzy warstwami (cewkami) powinna być możliwie duża w stosunku do pojemności doziemnej.

Odporność izolacji uzwojenia pierwotnego przekładników napięciowych, narażanej na długotrwałe napięcie przy najwyższym napięciu roboczym, jak również na przepięcia łączeniowe i atmosferyczne, jest sprawdzana napięciami probierczymi-przebiegiennymi (50Hz) i udarowym. Szczegółowe wymagania dotyczące wartości probierczych i warunków próby są podane w normie PN-71/E-06551.

Uzwojenie wtórne przekładnika powinno mieć również odpowiednią izolację względem części uziemionych, spełniającą wymagania stawiane obwodom niskonapięciowym.

Izolację szeregową przekładników suchych stanowi emalia, opłot jedwabny, preszpan, papier olejowy lub żywica. W przekładnikach olejowych jako izolację międzywarstwową stosuje się papier kablowy nasycany olejem. Izolacja papierowo-olejowa stanowi w tych rozwiązaniach również izolację główną. W przekładnikach napięciowych suchych izolację główną stanowi żywica lub porcelana (coraz rzadziej).

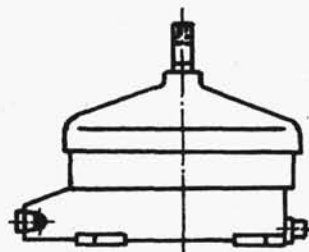
Konfiguracja przestrzenna przekładnika zależy w znacznym stopniu od rodzaju izolacji głównej. W przypadku izolacji żywicznej występuje korpus żywiczny, zawierający uzwojenie pierwotne, z którym następnie łączony jest rdzeń magnetyczny z uzwojeniem wtórnym (rys.3.24), bądź też cały blok wraz z rdzeniem jest zalany żywicą (rys.3.25). Możliwe są rozwiązania z dwoma bądź jednym izolowanym zaciskiem uzwojenia pierwotnego.



Rys.3.24. Przekładnik napięciowy indukcyjny z izolacją żywiczną uzwojenia pierwotnego 1-zaciski uzwojenia pierwotnego, 2-izolacja z żywicy, 3-rdzeń, 4-zaciski uzwojenia wtórnego

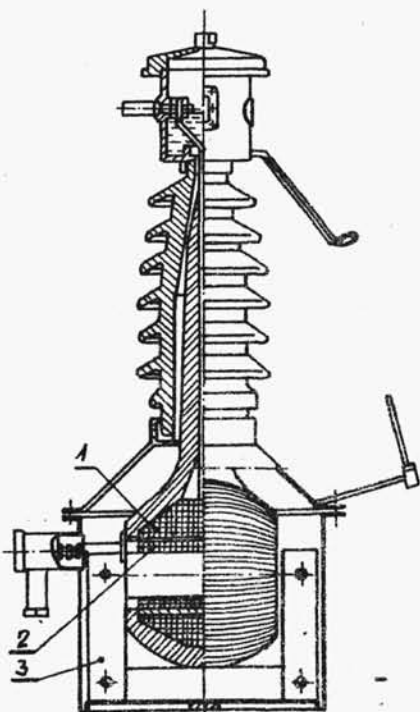
W rozwiązaniach z izolacją główną papierowo-olejową, uzwojenia wraz z rdzeniem umieszczone są w metalowym zbiorniku wypełnionym olejem wyposażonym w izolator przepustowy, przez który koniec uzwojenia pierwotnego połączony jest z zaciskiem przyłączonym. Przykład takiej konstrukcji przedstawiono na rys. 3.26.

Dla wyższych napięć bywają stosowane - jakkolwiek niezbyt często - rozwiązania kaskadowe przekładników indukcyjnych. Umożliwiają one zmniejszenie grubości

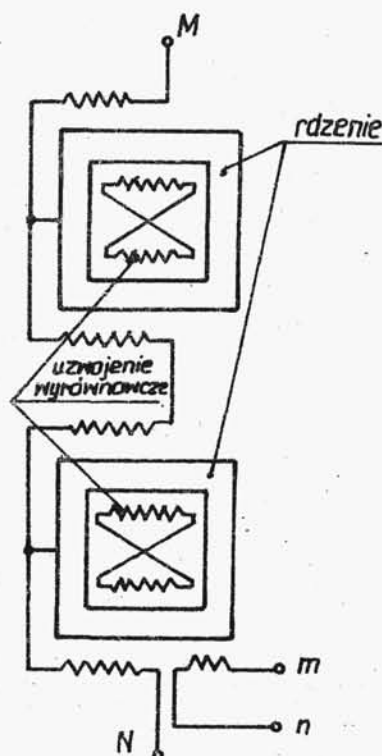


Rys.3.25. Przekładnik napięciowy indukcyjny z pełną izolacją żywiczną

izolacji uzwojeń pierwotnych względem rdzenia, a tym samym zmniejszenie reaktancji rozproszenia przekładnika, która przy



Rys. 3.26. Przekładnik napięciowy indukcyjny z izolacją papierowo-olejową w wykonaniu napowietrznym 1- uzwojenie pierwotne, 2-rdzeń, 3 - uzwojenie wtórne

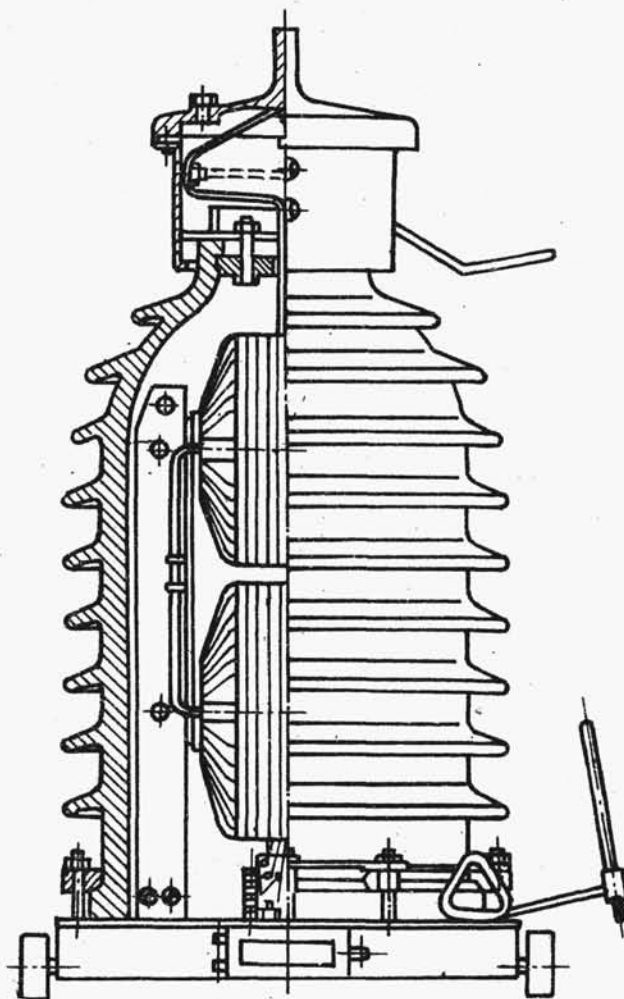


Rys. 3.27. Ideowy schemat kaskadowego przekładnika indukcyjnego

dużych odstępach izolacyjnych (przekładniki na b.wysokie napięcia) osiąga znaczne wartości i powoduje znaczne błędy transformacji.

Ideowy schemat przykładowej konstrukcji tego rodzaju przedstawiono na rys. 3.27. Uzwojenie pierwotne składa się z czterech cewek połączonych szeregowo, umieszczonych na dwóch rdzeniach magnetycznych, izolowanych wzajemnie oraz względem ziemi (rdzeń górny na izolację na  $1/2 U_1$ , a rdzeń dolny na  $1/4 U_1$ ). Środki obu par uzwojeń są połączone z rdzeniami (rys. 3.27), tak że izolacja szeregową przekładnika została podzielona na 4 jednakowe części, z których każda jest naprężana przez  $1/4$  napięcia pierwotnego. Dla zmniejszenia rozproszenia

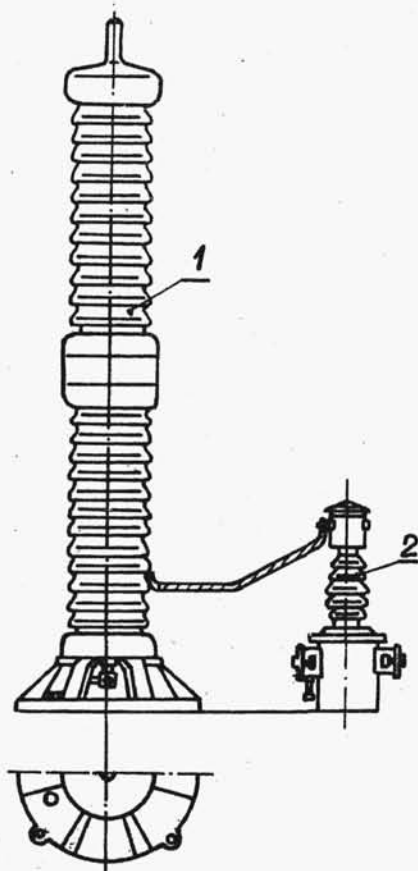
zastosowane są dodatkowe uzwojenia sprzęgające (wyrównujące strumienie w obu częściach rdzenia) na każdym rdzeniu oraz pomiędzy rdzeniami. Przykład konstrukcji przekładnika kaskadowego przedstawiono na rys.3.28. Rdzenie wraz z uzwojeniami



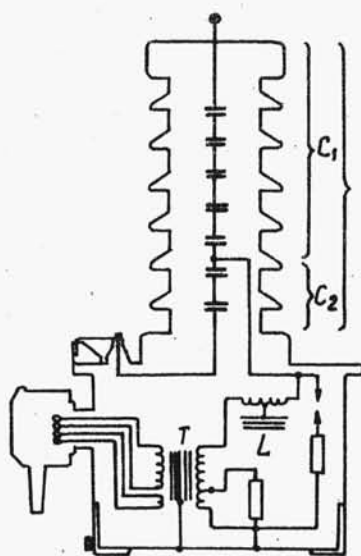
Rys.3.28. Przekładnik napięciowy indukcyjny kaskadowy 1-uzwojenie pierwotne górne, 2-uzwojenie pierwotne dolne, 3 - rdzeń

są tu umieszczone wewnątrz porcelanowego izolatora osłonowego, a całość zalana jest olejem. Izolacja zarówno główna jak i szeregową jest tu papierowo-olejowa.





Rys.3.29. Przekładnik pojemnościowy dwuczęściowy 1-dzielnik napięcia, 2-człon indukcyjny



Rys.3.30. Przekładnik pojemnościowy jednoczęściowy (przekrój uproszczony)

Przekładniki napięciowe pojemnościowe mogą być budowane jako dwuczęściowe (rys.3.29) bądź z członem indukcyjnym wbudowanym w podstawę części dzielnikowej (rys.3.30). Do budowy części pojemnościowej stosuje się bądź specjalne wykonania kondensatorów, bądź też kondensatory używane do telefonii nośnej.

### 3.5. Układy połączeń i zasady doboru przekładników

Jak już wspomniano w punkcie 3.4, przekładniki napięciowe mogą być budowane z przeznaczeniem do pomiaru napięć międzyprzewodowych lub do fazowych. Te pierwsze to jedynie przekładniki indukcyjne stosowane w sieciach średnich napięć (do 30 kV). Są one instalowane w sieciach z izolowanym punktem