

gałoby bardzo duże wartości, przekraczające z pewnością wytrzymałość izolacji tego uzwojenia.

Drugim ujemnym skutkiem otwarcia obwodu wtórnego są duże straty w rdzeniu, wywołane znaczną wartością indukcji<sup>x)</sup>. Wywołuje to nadmierne nagrzewanie rdzenia a pośrednio i izolacji, co po dostatecznie długim czasie prowadzi do cieplnego zniszczenia przekładnika prądowego.

W świetle powyższego jest oczywiste, że w warunkach eksploatacyjnych należy zabezpieczać obwody wtórne przekładników przed przypadkowym otwarciem.

### 1.6. Narażenia prądowe przekładników przy zwarciach

Przekładnik prądowy, jako element włączony szeregowo w tor układu elektroenergetycznego, jest narażony na elektrodynamiczne i cieplne działanie prądu zwarciovego przepływającego przez uzwojenie pierwotne przekładnika. Miarą wytrzymałości przekładnika na to oddziaływanie są przypisywane mu przez wytwórcę, parametry:

- znamionowy prąd szczytowy  $i_{sn}$ ,
- znamionowy prąd jednosekundowy  $I_{1s}$ .

Wytrzymałość elektrodynamiczna związana jest z siłami wywołanymi prądami zwarcia w uzwojeniach przekładnika oraz w doprowadzeniach do jego zacisków pierwotnych. Z uwagi na źródło narażeń rozróżnia się wytrzymałość elektrodynamiczną wewnętrzną i zewnętrzną. Pierwsza z nich dotyczy jedynie oddziaływań występujących wewnątrz przekładnika, drugą uwzględnia również obwód zewnętrzny obejmujący tor prądowy, w którym zainstalowany jest przekładnik w eksploatacji. Jest oczywiste, że dla użytkownika ważna jest przede wszystkim wytrzymałość zewnętrzna, ale z punktu widzenia konstrukcji przekładnika celowe jest również rozważenie wytrzymałości wewnętrznej.

Siły występujące w wewnętrznym torze przekładnika prądowego zależą od jego konstrukcji. Dla przekładników prądowych

---

x) Straty w rdzeniu są wprost proporcjonalne do kwadratu indukcji magnetycznej.

średnich napięć występują - z uwagi na liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego - dwa rodzaje konstrukcji: jednozwojowa (przepustowa) i wielozwojowa. W konstrukcji jednozwojowej, przy równomiernie rozłożonym uzwojeniu wtórnym na rdzeniu, wobec symetrycznego umieszczenia zwoju pierwotnego, wytrzymałość elektrodynamiczna związana z siłami oddziaływania pomiędzy uzwojeniami jest bardzo duża (praktycznie nieograniczona). Nie występują tu siły w doprowadzeniach wewnętrznych, gdyż uzwojenie pierwotne jest prętem prostoliniowym.

W konstrukcji wielozwojowej żywicznej - charakterystycznej dla średnich napięć - będą występowały siły pomiędzy uzwojeniami, z tym, że niemożliwe jest tu praktycznie żadne uszkodzenie mechaniczne, gdyż oba uzwojenia stanowią jednolity blok spojony żywicą.

W przypadku konstrukcji na wyższe napięcie z izolacją papierowo-olejową, trzeba się liczyć z występowaniem sił w doprowadzeniach łączących zaciski przyłączowe z uzwojeniem pierwotnym oraz z siłami pomiędzy uzwojeniem pierwotnym i wtórnym (rys.1.21). Siły odpychające, występujące w doprowadzeniach,

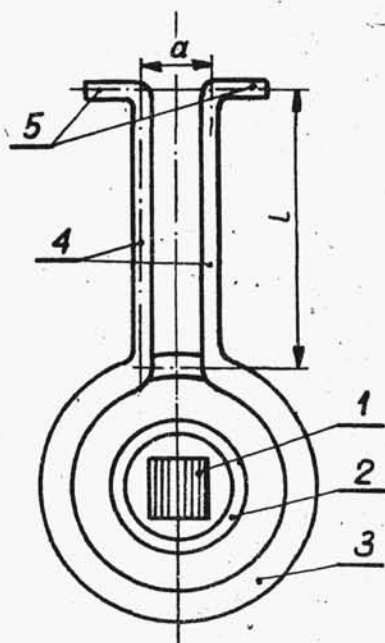
prowadzące do ich zginania, zależne są od wymiarów przewodów zgodnie ze znanym wzorem:

$$f = \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \frac{1}{a} k_D,$$

gdzie:

l, a - wymiary jak na rys. 1.21.

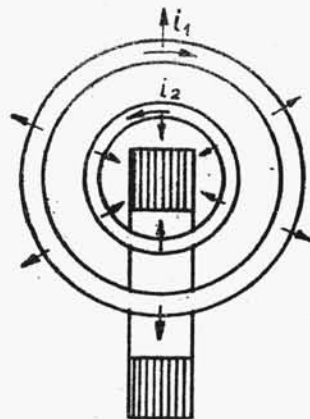
Siła ta nie powinna powodować odkształceń mechanicznych przewo-



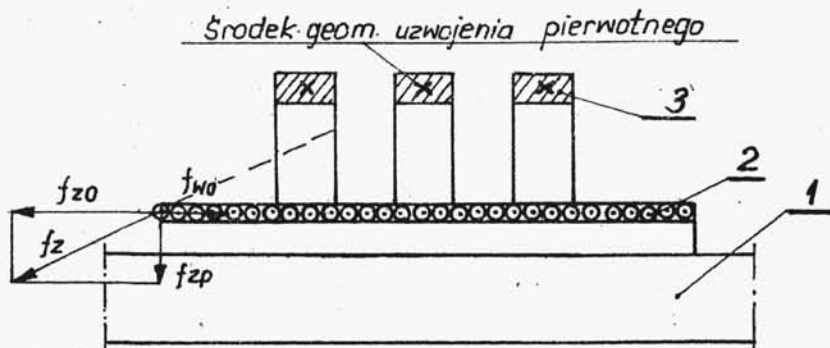
Rys.1.21. Uproszczony przekrój przekładnika prądowego z izolacją papierowo-olejową 1 - rdzeń, 2 - uzwojenie wtórne, 3 - uzwojenie pierwotne, 4 - doprowadzenia, 5 - zaciski przyłączowe

dów, tym bardziej, że może to prowadzić do uszkodzenia izolacji papierowej. W przypadku bardzo długich doprowadzeń (wysokie napięcie) konieczne jest, dla wzmocnienia stosowanie pośrednich uchwytów.

Oddziaływanie pomiędzy uzwojeniami pierwotnym i wtórnym ilustruje rys. 1.22. Dokładne obliczenie sił działających na poszczególne zwoje jest stosunkowo żmudne. Przykładowo na rys. 1.23 pokazano siłę działającą na zewnętrzny zwoj jednowarstwowego uzwojenia wtórnego, pochodzącą od prądu w uzwojeniu pierwotnym (zastąpionym pojedynczym zwojem umieszczonym w środku geometrycznym uzwojenia) oraz dodatkowo siłę od prądu w pozostałych zwojach uzwojenia wtórnego. Na zwoj ten działa siła w kierunku osiowym (odrywająca zwoj od uzwojenia) oraz w kierunku pro-



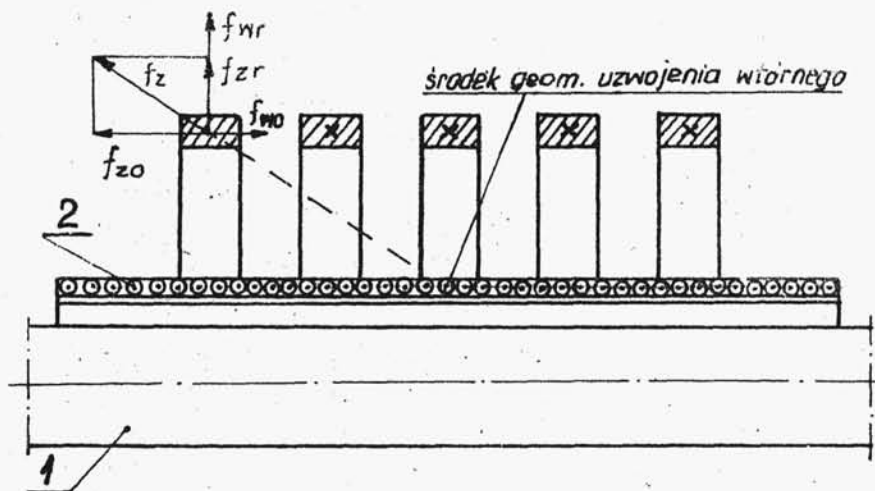
Rys.1.22. Siły oddziaływania elektrodynamicznego pomiędzy uzwojeniami



Rys.1.23. Siły działające na zwoj skrajny uzwojenia pierwotnego 1 - rdzeń, 2 - uzwojenie wtórne, 3 - uzwojenie pierwotne,  $f_z$  - siła oddziaływania od prądu w uzwojeniu wtórnym,  $f_{wo}$  - siła oddziaływania w kierunku osiowym od prądu w uzwojeniu pierwotnym,  $f_{wp}$  - siła oddziaływania w kierunku promieniowym od prądu w rozpatrywanym zwoju

mieniowym (ściskająca). Podobnie na rys.1.24 przedstawiono siłę działającą na zewnętrzny zwoj uzwojenia pierwotnego. Wzory umożliwiające wyznaczenie tych sił i sprawdzenie naprężeń

mechanicznych występujących w przewodach, może Czytelnik znaleźć w [1].



Rys.1.24. Siła działająca na skrajny zwój uzwojenia wtórnego oznaczenia analogiczne jak na rys.1.23

W przypadku traktowania obu uzwojeń jako monolityczne, siłę oddziaływania pomiędzy nimi można wyznaczyć, stosując metodę zwoju zastępczego ze wzoru:

$$f = k(i_1 z_1)(i_2 z_2) , \quad (1.43)$$

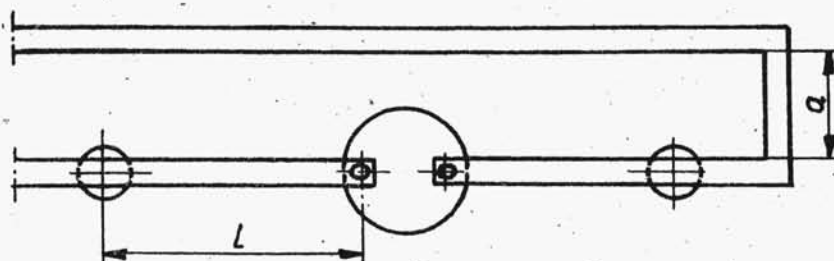
przy czym:

$k$  - współczynnik uwzględniający wzajemne położenie uzwojeń.

Wytrzymałość elektrodynamiczna wewnętrzna przekładnika jest zazwyczaj sprawdzana doświadczalnie na modelach przekładników badanych w laboratoriach wielkoprądowych, przy czym tor prądowy jest tak zbudowany, aby siła oddziaływania od doprowadzeń zewnętrznych była pomijalnie mała.

Rozpatrując wytrzymałość elektrodynamiczną zewnętrzną przekładnika, należy uwzględnić cechy toru prądowego, w którym instalowany jest przekładnik. Oddziaływanie geometrii toru zewnętrznego zależy od dwóch wymiarów, tj. od odległości pomiędzy zaciskiem przyłączonym a najbliższą podporą, czyli od tzw. odległości do najbliższego wspornika (patrz dane zna-

mionowe przekładnika) oraz od odległości do szyny powrotnej (rys.1.25). Siły wywołane prądem w torze zewnętrznym oddziałują głównie na zaciski przyłączone przekładnika oraz na całą jego konstrukcję, powodując jej zginanie, ścinając jednocześnie śruby mocujące przekładnik do konstrukcji np. rozdzielnicy.



Rys.1.25. Rysunek ilustrujący wytrzymałość elektrodynamiczną zewnętrzną

Dopuszczalne narażenia ze strony toru zewnętrznego nie powodujące odkształceń i uszkodzeń określa wytwórca, podając wymienioną wyżej odległość do najbliższego wspornika, przy czym przyjmuje się jednocześnie, że odległość do szyny powrotnej odpowiada najmniejszej odległości izolacyjnej wynikającej ze znamionowego napięcia izolacji przekładnika.

Warto zauważyć, że dla przekładników najwyższych napięć, siły zewnętrzne - z uwagi na znaczne odległości - odgrywają mniejszą rolę.

Wytrzymałość zwarciorowa cieplna przekładnika ograniczona jest dopuszczalnymi skutkami cieplnymi przepływającego prądu zwarciorowego, przy czym kryterium dopuszczalnego nagrzania są tu dopuszczalne wartości temperatur uzwojeń, a w szczególności ich izolacji.

Wartości temperatur dopuszczalnych przy zwarcu są znormalizowane i określone w odpowiednich przepisach; dla materiałów izolacyjnych dopuszczalne temperatury są zależne od klasy wytrzymałości cieplnej izolacji. Dla zapewnienia wymaganej wartości prądu  $I_{1S}$  przy spełnieniu warunku nieprzekraczania temperatury dopuszczalnej, konieczne jest zastosowanie odpowiedniego przekroju przewodu uzwojenia pierwotnego.

Do obliczenia przekroju przewodu można tu zastosować powszechnie używaną zależność, wyprowadzoną w założeniu adiabaticznego 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