

FLORIAN KRASUCKI

PRÓBA OKREŚLENIA METODY BADAŃ ZDOLNOŚCI WYŁĄCZAJĄCEJ
ODŁĄCZNIKÓW IZOLACYJNYCH ŚREDNICH NAPIĘĆ

Streszczenie: W pracy uzasadniono potrzebę prowadzenia badań zdolności łączeniowej odłączników, oraz zaproponowano metodę ich przeprowadzenia. Proponowaną metodę omówiono na przykładzie badania odłącznika bezpiecznikowego typu OB3A6/2, stosowanego w przewoźnych kopalnianych stacjach transformatorowych. Zebrano i porównano dotychczas obowiązujące wymagania odnośnie łączenia odłącznikami obwodów o małych prądach, oraz wyciągnięto wnioski.

1. Wstęp

W podziemiach kopalń stosowane są z powodzeniem bezolejowe przewoźne stacje transformatorowe typu IT do zasilania w energię elektryczną urządzeń oddziałowych. Wymienione stacje mają wiele zalet szczególnie ważnych w ruchu górniczym. Najważniejsze z nich to wyeliminowanie groźby pożaru, dogodne wymiary, łatwość transportu, oszczędność wynikająca z uniknięcia budowy specjalnych komór, oraz kompletne wyposażenie w aparaturę rozdzielczą, zabezpieczającą i sygnalizacyjną. Zalety eksploatacyjne i możliwość pełnego wykorzystania stacji w ruchu górniczym znacznie wzrosną po zastosowaniu do ich zasilania przewodów oponowych wysokiego napięcia.

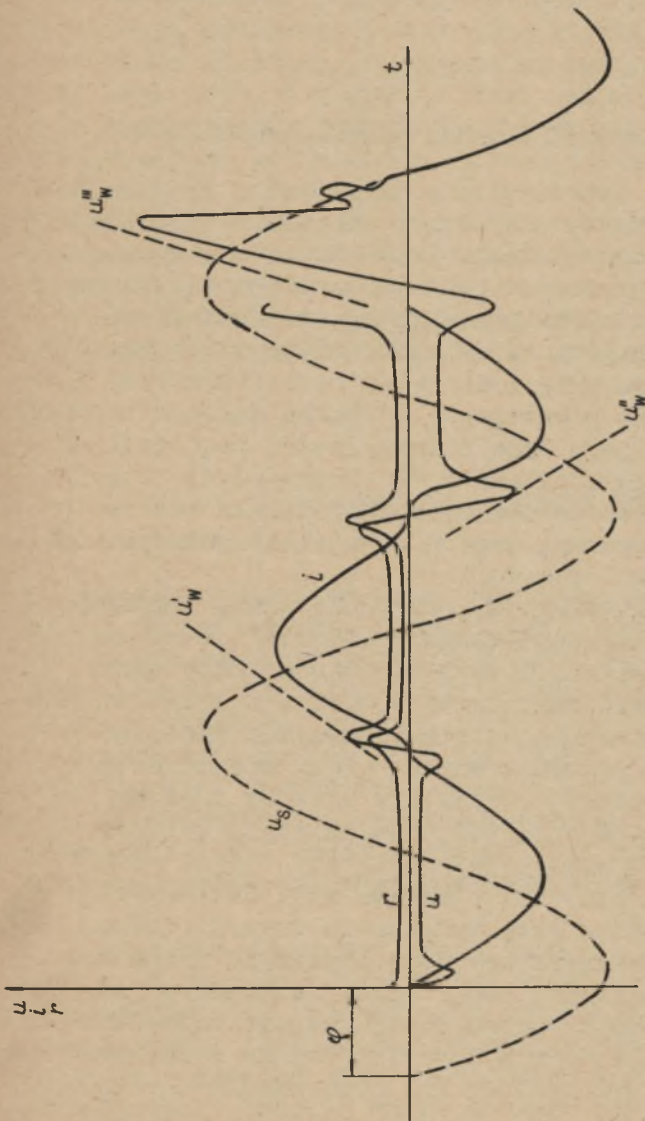
Przy stosowaniu tego typu stacji, ma szczególnie istotne znaczenie możliwość odłączania transformatora po stronie wysokiego napięcia, przy pomocy odłącznika izolacyjnego. Odłącz-

nik ma jak wiadomo ograniczone możliwości łączeniowe i służy w zasadzie do stworzenia widocznej przerwy izolacyjnej w obwodzie. Tylko w nielicznych, określonych przypadkach można odłącznikiem przerywać nieznaczne prądy, m.in. prąd biegu jałowego małych transformatorów. Według II wydania obowiązujących Przepisów Technicznej Eksploatacji Kopalń Węgla, dział X § 1078, dopuszczalne jest wyłączenie odłącznikami 3-biegunowymi prądu biegu jałowego transformatorów o mocy znamionowej do 200 kVA przy napięciu 6000 V. W dotychczas stosowanych stacjach warunek ten jest spełniony dzięki zastosowaniu **układu blokady elektrycznej umożliwiającej odłączenie transformatora** zawsze w stanie jałowym, przy czym jego moc nie przekracza 200 kVA. Rozwiązanie takie ma wiele oczywistych zalet ruchowych i gospodarczych.

W związku ze wzmoczoną mechanizacją i elektryfikacją pracochłonnych robót górniczych, wzrasta zainstalowana moc urządzeń przodkowych, nieodzowne stają się więc coraz większe moce transformatorów zainstalowanych jak najbliższej punktów odbioru. Praktyka wykazuje, że dotychczas produkowane stacje przewoźne o mocach 100 - 200 kVA w wielu przypadkach są już niewystarczające. Z tych przyczyn zdecydowano wprowadzenie do ruchu dołowego transformatorów przewoźnych o mocy znamionowej 315 kVA. W Związku z powyższym, dla zachowania dotychczasowego dogodnego układu stacji należy określić zdolność odłączalną zastosowanych w tych stacjach zmodyfikowanych odłączników bezpiecznikowych typu OB3A6/2.

Określenie zdolności odłączalnej odłącznika bezpiecznikowego jest trudne, gdyż zależy od wielu czynników. Jako najważniejsze z nich można wymienić:

- a) konstrukcja odłącznika - szybkość rozchodzenia się styków, długość przerwy międzystykowej, rodzaj i kształt styków, odległości międzybiegunowe, przegrody izolacyjne, różki itp.
- b) środowisko zewnętrzne (otoczenie), mające wpływ na jonizację i dejonizację przerwy międzystykowej - skład medium gaszącego, temperatura, wilgotność, obecność ścianek ferromagnetycznych, wpływ pól elektromagnetycznych itp.
- c) wartość i charakter prądu oraz napięcia powrotnego - rodzaj odbioru, przesunięcie fazowe, wyższe harmoniczne, asymetria, układ sieciowy itp.



Rys.1. Przebiegi odłączania obwodu prądu zmiennego

u - spadek napięcia na żłuku, i - prąd wyłączany, r - oporność żłuku,
 u_s - napięcie sieci, u_w - przebieg narastania wytrzymałości elek-
 trycznej przerwy międzystrykowej, φ - kąt przesunięcia fazowego

W praktycznych warunkach eksploatacji czasami trzeba wyłączać odłącznikami nawet stosunkowo znaczne prądy. Wtedy ogólne zalecenia są niewystarczające i znajomość granicznej zdolności wyłączalnej konkretnego odłącznika jest nieodzowna. Praca niniejsza ma w pewnym stopniu wypełnić tę lukę.

2. Możliwość łączenia niewielkich prądów odłącznikami

Jednym z ważniejszych zastosowań odłączników jest możliwość łączenia nimi transformatorów w stanie jałowym. Użytkuje się przez to znaczne oszczędności i udogodnienia ruchowe. Warunki wyłączania prądu jałowego transformatora są zasadniczo gorsze w porównaniu z wyłączaniem prądu obciążenia, przy którym naturalnemu przejściu przez zero towarzyszy niewielka wartość napięcia powrotnego. W stanie jałowym transformatora, ze względu na jego dużą indukcyjność, prąd jest przesunięty względem napięcia niemal o $\frac{\pi}{2}$ ($\cos \varphi \approx 0,1$). Wtedy przejściu prądu przez zero towarzyszy największa wartość napięcia, co umożliwia ponowny zapłon łuku elektrycznego między stykami odłącznika (rys.1).

Względy ekonomiczne wymagają, aby punkt pracy transformatorów już przy napięciu znamionowym znajdował się na zagiętej części charakterystyki. W tych warunkach każdy wzrost napięcia zwojowego ponad znamionowe powoduje znacznie większy wzrost prądu wzbudzającego transformatora. Przeciętnie wzrost napięcia o 10% powoduje wzrost prądu biegu jałowego 2-krotnie. Podobnie nieproporcjonalnie większy jest wzrost zawartości wyższych harmonicznych, powodujących zniekształcenie krzywej napięcia i wzrost jej amplitudy - tzw. "zaostrenie się" krzywej napięcia. Oba zjawiska mają niekorzystny wpływ na pracę odłącznika przy wyłączaniu transformatora w stanie jałowym. Z omówionych powodów, podawanie tylko mocy znamionowej transformatorów, które można odłączać w stanie jałowym, nie może być miarodajne w większości przypadków praktycznych. Najważniejszym byłoby określenie każdorazowo granicznej zdolności wyłączalnej dla poszczególnych typowych zespołów.

Innym niemniej ważnym zastosowaniem odłączników jest możliwość wyłączania nimi nieobciążonych linii napowietrznych i kablowych. Zagadnienie sprowadza się wówczas do analizy przebiegu wyłączenia prądu pojemnościowego o małej wartości.

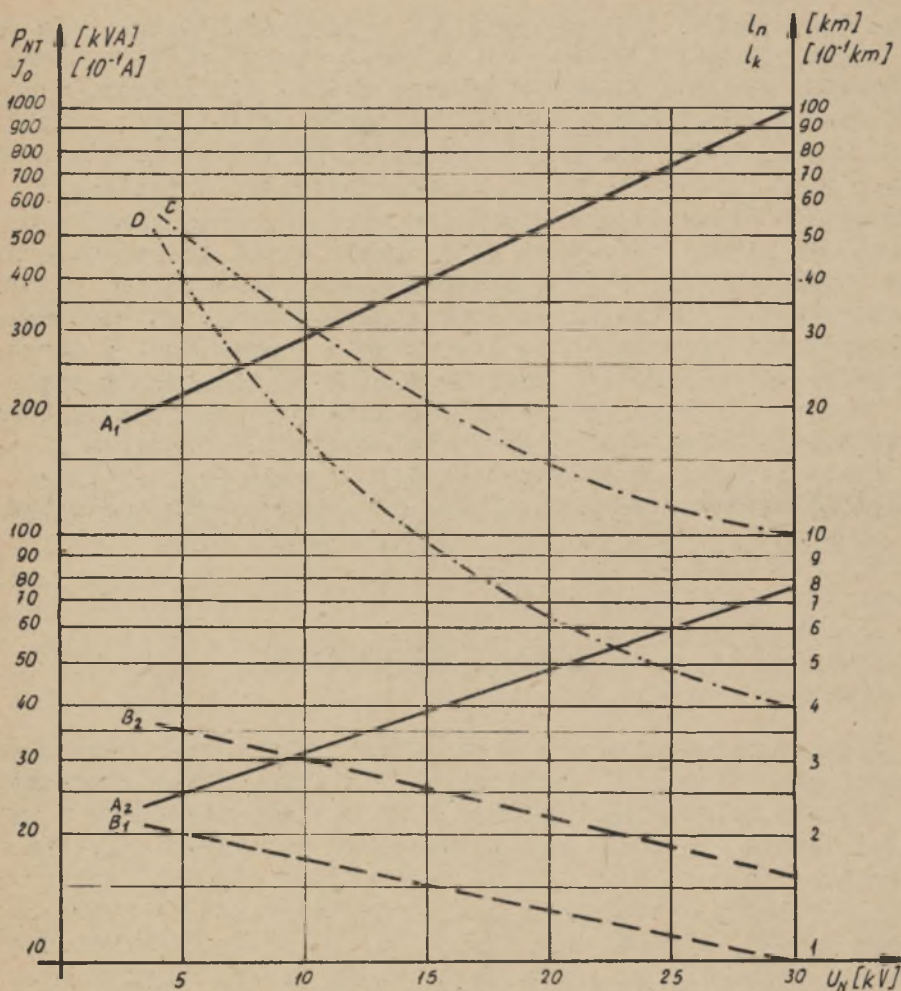
Przebieg zjawisk jest podobny jak w przypadku wyłączenia prądu indukcyjnego. W praktycznych przypadkach jednak większe trudności występują przy wyłączaniu linii niż transformatora. Głównie ma tutaj wpływ wartość napięcia powrotnego i możliwość występowania znacznych przepięć, na które decydujący wpływ mają parametry obwodu za odłącznikiem. W tablicy 1 zestawiono obowiązujące graniczne wartości mocy znamionowej, natężenia prądu i długości linii jakie można łączyć odłącznikami izolacyjnymi, według przepisów eksploatacyjnych polskich niemieckich i radzieckich. Podane wartości nie są bynajmniej maksymalnymi spotykanymi w literaturze i praktyce. W szczególności warto zwrócić uwagę na możliwość odłączania znacznej mocy transformatorów w stanie jałowym, przy jednoczesnej kompensacji składowej biernej kondensatorami statycznymi [2] Na rys.2 podano, na podstawie praktyki ruchowej, średnie zdolności wyłączalne odłączników trójbiegunowych wewnętrznych.

3. Zakres i metody badań

Badanie odłącznika winno obejmować cały zakres jego własności mechanicznych, termicznych i elektrycznych. Podstawowe badania odłączników izolacyjnych zostały określone w krajowej normie "łączniki prądu zmiennego wysokiego napięcia, przepisy ogólne" [10]. Są to następujące badania, wykonywane w zakładzie wytwórczym: oględziny, sprawdzenie wymiarów, próba napędu, sprawdzenie sygnalizacji, próba odporności na zużycie mechaniczne, próba nagrzewania prądem znamionowym, próby zwarciove, próba wytrzymałości elektrycznej napięciem udarowym, próba wytrzymałości elektrycznej napięciem zmiennym.

Biorąc pod uwagę możliwość łączenia nieznacznych prądów, konieczne są jeszcze dodatkowe badania zbliżone do badań odłączników mocy. Zakres tych prób zależy od konstrukcji i przeznaczenia odłącznika. Najważniejszą z nich jest badanie zdolności gaszenia łuku prądu zmiennego. Dla odłącznika bezpiecznikowego (rys.3) zaproponowano następujący program dodatkowych badań:

- a) badanie wartości i charakteru prądu wyłączanego;
- b) pomiar jednoczesności rozchodzenia się styków;
- c) określenie prędkości rozchodzenia się styków oraz długości łuku;



Rys.2. Wykres zdolności wyłączalnej odłączników wewnętrznych.

A1 - moc znamionowa transformatora na biegu jałowym, A2 - moc znamionowa transformatora obciążonego nominalnie, B1 - prąd obciążenia przy $\cos \varphi = 0,8$, B2 - prąd obciążenia przy $\cos \varphi = 0,15$, C - linia napowietrzna nieobciążona, D - linia kablowa nieobciążona

T a b l i c a 1

Dopuszczalne wartości mocy znamionowej, prądów obciążenia i długości linii, które można łączyć odłącznikami - wg przepisów polskich, niemieckich i radzieckich

| Rodzaj obciążenia | Wielkość | Jednostka | Wartość przy napięciu U (kV) | | | | | | Uwagi (źródło) |
|--|----------|-----------|------------------------------|-------|-----|-----|------|-------|-------------------|
| | | | 3 | 5-6 | 10 | 15 | 20 | 30-35 | |
| Transformator obciążony znamionowo | P_{NT} | kVA | - | 25 | - | - | - | - | 1) |
| | | | - | 25 | - | 30 | - | 50 | 2) |
| | | | - | 30 | 50 | 65 | 75 | 85 | 4) |
| Transformator w stanie jałowym | P_{NT} | kVA | 125 | 200 | - | - | - | - | 1) |
| | | | 125 | 200 | 315 | 400 | - | 1000 | 2) |
| | | | - | (320) | 320 | 560 | 560 | 1000 | 3) |
| | | | - | 300 | 450 | 600 | 700 | 850 | 4) |
| | | | - | (750) | 750 | - | 3200 | 7500 | 5) |
| Prąd obciążenia przy $\cos \varphi = 0,7 \div 1,0$ | I_o | A | - | 3,5 | 3,0 | 2,4 | 2,1 | 1,6 | 4) |
| Prąd obciążenia przy $\cos \varphi = 0,1 \div 0,2$ | I_j | A | - | 2,0 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 4) |
| Linia napowietrzna w stanie jałowym | L_n | km | - | 40 | 28 | 22 | 17 | 10 | 4) |
| Linia kablowa w stanie jałowym | L_k | km | - | 4 | 2,3 | 1,3 | 0,7 | 0,4 | 4) |

Źródło: 1) PNE 05050 [11]; 2) Normatyw techn. projektowania [12]; 3) Przepisy techn. eksploatacji PIE [13]; 4) Betrieb und Überwachung von Starkstromanlagen. Staatssekretariat für Energie 1953; 5) Prawiła Technicznej Eksploatacji § 1045 rzeszenie Technicznego Uprawnienia MES, Nr 17/E 14.9.1956, (przy napięciu ≥ 20 kV tylko odłącznikami 3-bieg. napowietrznymi z różkami i napędem mechanicznym).

- d) pomiar czasu "przedłukowego";
- e) badanie wartości i charakteru zjawisk zachodzących w czasie przerywania prądu (prąd wyłączeniowy, napięcie powrotne, spadek napięcia na łuku, czas trwania łuku);
- f) obserwacje procesu gaszenia łuku i jednocześnie badanie stanu styków, przy wielokrotnym łączeniu.

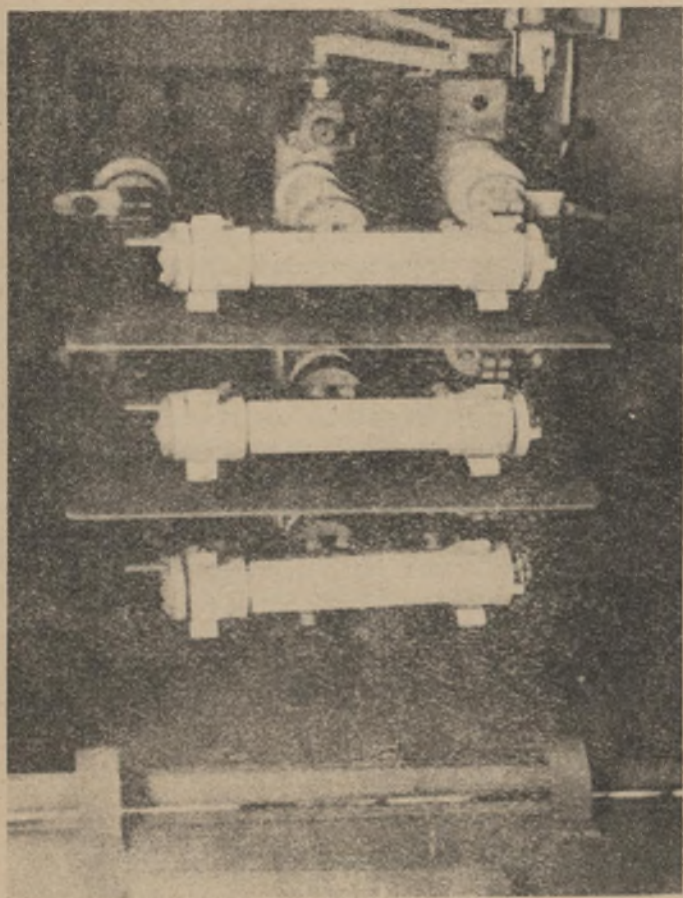
Przy określaniu programu badań nie uwzględniono badania bezpieczników, ponieważ założono, że przeszły one próby przewidziane normą. Podobnie nie uwzględniono badań zdolności załączalnej odłącznika, której znajomość w danym przypadku nie jest konieczna.

Badanie zdolności odłączalnej można prowadzić metodą analityczno-graficzną lub też eksperymentalnie. Metoda analityczno-graficzna polega na odpowiedniej analizie równania łuku oraz równania obwodu dla schematu zastępczego. Otrzyma się układ dwu równań różniczkowych o stałych współczynnikach. Dla praktycznych celów badania odłączników prostsza i wygodniejsza jest metoda eksperymentalna. Metoda analityczna może natomiast znaleźć zastosowanie przy orientacyjnym określaniu odłączalności w trakcie opracowywania nowych odłączników. Badania eksperymentalne łączników wysokiego napięcia, można przeprowadzać w układzie rzeczywistym lub zastępczym (próby syntetyczne), przy czym te ostatnie zazwyczaj przy najwyższych mocach i napięciach. Badania zdolności łączeniowej odłączników w większości przypadków nie następują trudności i można je prowadzić w laboratorium odwzorowując układ elektroenergetyczny, lub nawet wprost w praktycznym układzie sieciowym. Praktycznie na zdolność odłączalną mają wpływ parametry układu, znajdującego się za odłącznikiem, w kierunku do źródła prądu.

4. Sposób i wyniki badań odłącznika typu OB3A6/2

4.1. Opis i parametry badanego zespołu

Pomiary i badania przeprowadzono na odłączniku zamontowanym w typowej obudowie przewodzonej stacji transformatorowej IT, 315/6 nr fabr. 1101/60 w wykonaniu prototypowym Mikołowskiej Fabryki Transformatorów M-10 (rys.3).



Rys. 3. Odłącznik OB3A6/2 zamontowany w stacji pojazdowej IT

Na wyposażenie stacji składają się:

1. Odłącznik bezpiecznikowy dwuprzerwowy 6000 V, 200 A, typu OB3A6/2 z izolatorami grupy A i bezpiecznikami dużej mocy wyłączalnej typu BRM10. Wkładki topikowe dobrane są odpowiednio do mocy zwarciowej i prądu włączenia transformatora po stronie WN. Odłącznik wyposażony jest w napęd ręczny dźwigniowy z odłączaniem niezależnym (migowym), oraz w styki pomocnicze zwierne włączone w obwód zabezpieczający (cewki wybijakowe) strony dolnego napięcia transformatora. Między biegunami odłącznika umieszczone są przegrody izolacyjne.
2. Transformator mocy trójfazowy trójzwojeniowy typu T33P₁ 315/6, o mocy znamionowej 315/315/20 kVA i przekładni zgodnie z unifikacją napięć 6000 \pm 5%/525/133 V. W razie potrzeby strona górnego napięcia wykonywana być może z możliwością przełączenia na napięcie 3000 V. W tym przypadku nie ma już możliwości regulacji napięcia zaczepami \pm 5%.
3. Trzy bezpiecznikowe (Bm-Wto) odpływy kablowe po stronie 525 V zabezpieczone wspólnie suchym samoczynnym wyłącznikiem zapadkowym 500 V, 400 A, typu APU-15 G ($I_W = 15$ kA). Wyłącznik wyposażony jest w cewkę wybijakową oraz wyzwalacze termiczne i elektromagnetyczne.
4. Jeden odpływ kablowy po stronie 133 zabezpieczony suchym wyłącznikiem samoczynnym zapadkowym 125 V, 100 A typu WIS, ($I_W = 10$ kA) z wyzwalaczami termicznymi i elektromagnetycznymi budowy kombinowanej.
5. Urządzenie do samoczynnej ciągłej kontroli stanu izolacji typu UKSI o krytycznej wartości oporności 4000 omów.
6. Wentylator oraz pomocniczy transformator do suszenia.
7. Aparatura zabezpieczająca, kontrolna, blokująca, sygnalizacyjna, bezpiecznik przeskokowy, blokada mechaniczna drzwi i komory odłącznika oraz komory transformatora, pomiar prądu i napięcia, lampki sygnalizacyjne, syrena i inne.

W tabelicy 2 zestawiono podstawowe parametry nowej stacji transformatorowej. Zespół, odłącznik-transformator badano na stacji prób Zakładu M-10. Transformator zasilano napięciem zmiennym częstotliwości przemysłowej z olejowego regulatora indukcyjnego (0-760 V) poprzez transformator pośredni. Jako transformator pośredni (podwyższający) 525/6000 V wykorzystano inną prototypową stację ITb 315/6. Uproszczony schemat układu zasilania przedstawiony jest na rys.12.

T a b l i c a 2

Wielkości charakterystyczne
transformatorów suchych przewoźnych stacji kopalnianych typu IT 6000 V

| Typ sta- cji | Moc znamionowa transformatora P_{NT} (kVA) | | | Układ połą- czeń | Napię- cie zwarcia | Straty biegu jałowe- go $\Delta P_I(W)$ | Straty obciążeniowe $\Delta P_{Cu}(W)$ $e_I(\%)$ | | Ind. strata napięcia $e_x(\%)$ | Prąd wzbudz. $I_{\text{śr}}(\% I_N)$ |
|--------------------|--|-------|-------|------------------------|--------------------------|--|--|------|--------------------------------------|--|
| | 6000 V | 500 V | 125 V | | | | | | | |
| IT100 | 100 | 100 | 15 | Yyy0 | 3 | 1100 | 1300 | 1,3 | 2,7 | 4,5 |
| IT200 | 200 | 200 | 30 | Yyy0 | 3 | 1700 | 2500 | 1,25 | 2,73 | 4,6 |
| IT315 | 315 | 315 | 20 | Yyy0 | 5,25 | 2000 | 5000 | 1,6 | 5 | 4,3 |

4.2. Pomiar wartości i charakteru prądu stanu jałowego transformatora

Celem odpowiedniego doboru aparatury pomiarowej jak też dla wstępnego ustalenia wartości skutecznej i przesunięcia fazowego wyłączanego prądu, pomierzono charakterystykę biegu jałowego transformatora. Wykonano pomiar prądu wzbudzenia transformatora T33Psb 315/315/20 nr fabryczny 30259, przy napięciu regulowanym w granicach (0-1,2). U_{WT} . Przesunięcie fazowe obliczono w sposób przybliżony, uwzględniając tylko kąt dla składowej częstotliwości podstawowej ($\cos \varphi$), pominięto natomiast współczynnik kształtu wyższych harmonicznych. Częściowe wyniki pomiarów i obliczeń zostały podane w tabl.3.

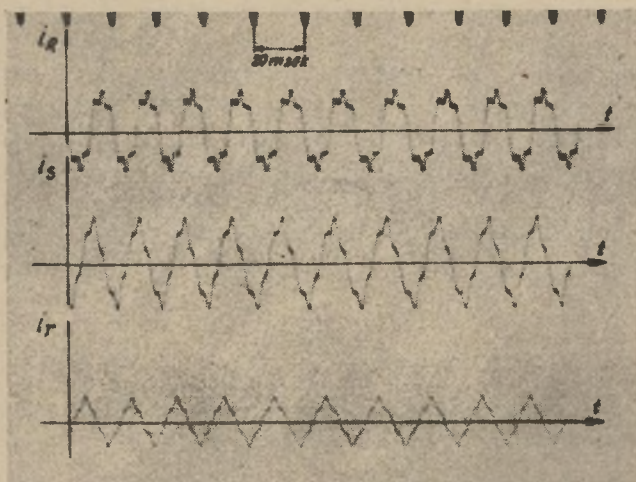
T a b l i c a 3

Wyniki pomiarów biegu jałowego transformatora

| Przekładnia znamionowa | U_s (V) | I_{jR} (A) | I_{jS} (A) | I_{jT} (A) | $\cos \varphi_{jśr.}$ |
|------------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| 6000/525 | 5400 | 0,82 | 0,84 | 0,645 | 0,2 |
| | 5700 | 1,02 | 1,05 | 0,83 | 0,16 |
| | 6000 | 1,3 | 1,35 | 1,1 | 0,125 |
| | 1300 | 1,65 | 1,7 | 1,4 | 0,105 |
| | 6600 | 2,28 | 2,34 | 2,06 | 0,095 |
| 3000/525 | 2850 | 2,0 | 2,1 | 1,7 | 0,16 |
| | 3000 | 2,6 | 2,7 | 2,2 | 0,125 |
| | 3150 | 3,3 | 3,4 | 2,8 | 0,105 |
| | 3300 | 4,5 | 4,6 | 4,1 | 0,095 |
| | 3600 | 6,2 | 6,3 | 5,95 | 0,091 |

Wyniki pomiarów wskazują na dość znaczne odkształcenie krzywej prądu wzbudzenia już przy napięciu znamionowym, oraz asymetrię tak amplitud jak i kątów (rys.4). Stwierdzono, że zgodnie z poprzednimi wywodami, wartość skuteczna prądu magnesowania rośnie znacznie szybciej niż przyłożone napięcie.

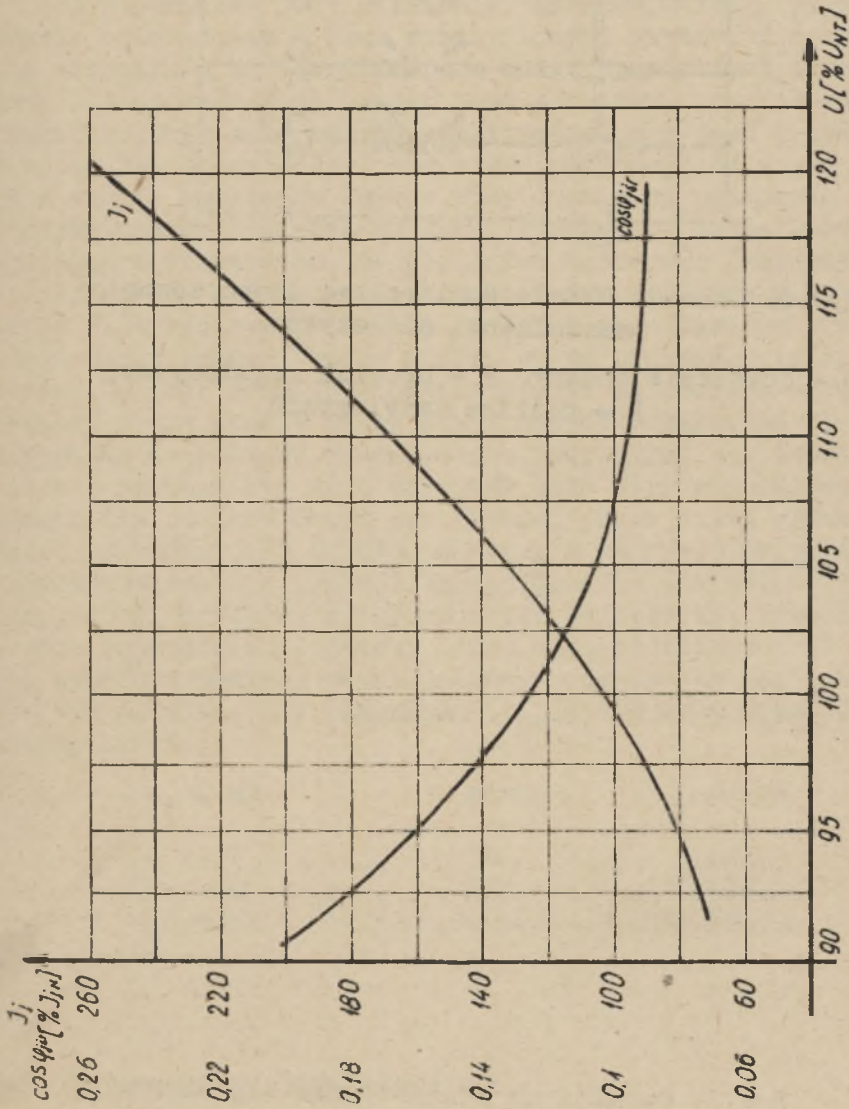
Na rys.5 przedstawiono wykresy zależności względnego prądu wzbudającego i współczynnika mocy od napięcia zasilania badanego transformatora.



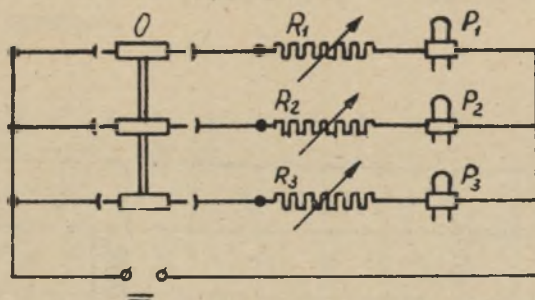
Rys.4. Oscylogram prądu biegu jałowego transformatora T33Psb 315 ($U = U_{NT} = 6000 \text{ V}$, $B_m = 13000 \text{ Gs}$)

4.3. Pomiar jednoczesności rozchodzenia się styków odłącznika

Pomiar jednoczesności rozchodzenia się styków jest konieczny dla dalszej analizy pracy odłącznika przy przerywaniu obwodu elektrycznego, w którym płynie prąd, gdyż łuk elektryczny prądu zmiennego w układzie trójfazowym nie gaśnie jednocześnie we wszystkich trzech biegunach odłącznika. Ponieważ najczęściej największe napięcie powrotne występuje w tej przerwie międzystykowej, w której łuk zgaśnię najwcześniej, należy to uwzględnić w dalszych badaniach i analizie wyników. Sprawdzenie jednoczesności rozchodzenia się styków najłatwiej można przeprowadzić trzema pętliczkami oscylograficznymi, włączonymi w układ każdego ze styków przerywających pomocniczy obwód prądu stałego. Schemat ideowy układu pomiarowego przedstawia rys.6, natomiast wynik pomiaru rys.7. Oscylogram skalowano generatorem podstawy czasu o częstotliwości 500 Hz. Dla badanego odłącznika różnica czasów rozejścia się poszczególnych styków jest nieznaczna - w skrajnym przypadku wynosi ona ca 0,002 sek.

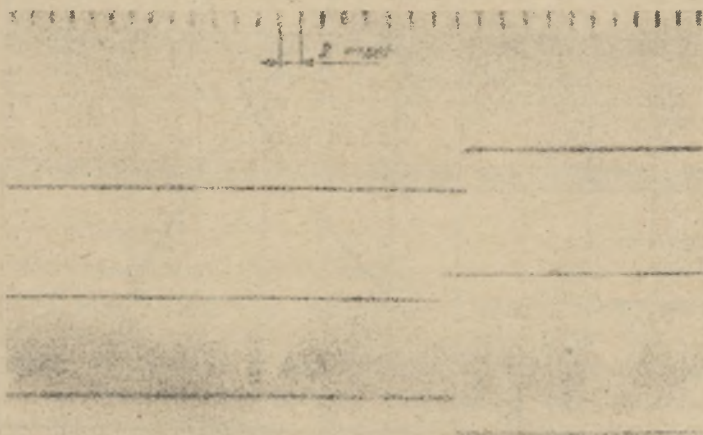


Rys. 5. Zależność prądu i współczynnika mocy biegu jałowego transformatora T33Psb 315 od napięcia zasilania



Rys.6. Schemat układu pomiarowego jednoczesności rozchodzenia się styków

O - odłącznik badany, R - opornik regulacyjny,
P - pętlica oscylografu



Rys.7. Oscylogram rozchodzenia się styków

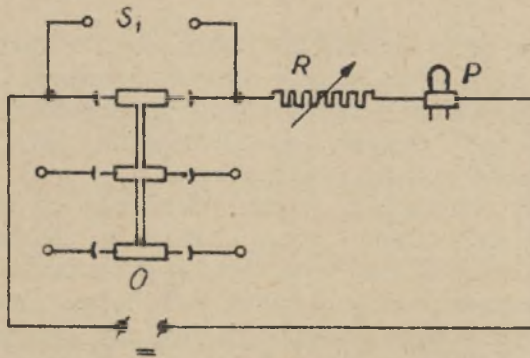
4.4. Pomiary kinematyczne odłącznika

Celem pomiarów jest ustalenie charakteru ruchu styków w czasie odłączania, a więc między innymi szybkości rozchodzenia się styków na początku i na końcu przebywanej przez nie drogi. Znajomość tych danych jest potrzebna przy określaniu charakterystyk łuku metodą analityczną, ale jest przydatna również dla oceny odległości styku ruchomego od styku stałego w chwili zgaszenia łuku - przy ocenie na podstawie oscylogramu spadku napięcia na łuku. Pomiary te można wykonać specjalnym wibratorem, oscylografem katodowym przystosowanym do przebiegów impulsowych, oscylografem pętlicowym lub stoperem elektrycznym [3]. Przy pomiarze oscylografem oraz stoperem elektrycznym, które mierzą w tym przypadku tylko czas, konieczny jest ponadto elastyczny styk do pomiaru drogi przebywanej w tym czasie przez styki główne odłącznika. W danym przypadku do pomiaru wykorzystano oscylograf pętlicowy, odpowiednio naciągnięty drut nawojowy jako styk pomocniczy, oraz miarkę dla pomiaru drogi przebywanej przez styki główne. Na rys.8 pokazana jest zasada pomiaru, a na rys.9 przykładowy oscylogram czasu w funkcji znanej drogi - dla całkowitej możliwej drogi przebywanej przez styki odłącznika. Przebieg skalowano generatorem podstawy czasu o częstotliwości 50 Hz. Jak wykazują pomiary styki badanego odłącznika mają ruch prawie jednostajny. Dla przykładu ($l_{pm} = 102 \text{ mm}$ - maks. przerwa międzystykowa):

| $l \text{ mm}$ | $t \text{ m/sek}$ | $V_{\text{sr}} \text{ m/sek}$ |
|----------------|-------------------|-------------------------------|
| 50 | 78 | 0,642 |
| 52 | 82 | 0,635 |
| 102 | 160 | 0,64 |

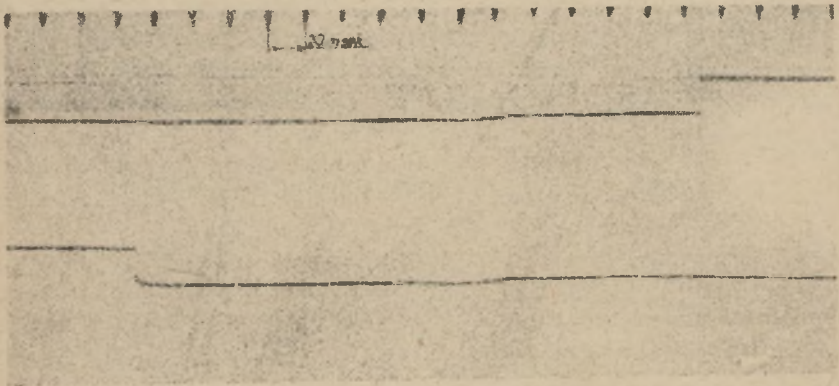
4.5. Pomiar czasu "przedłukowego"

Jako czas przedłukowy należy rozumieć czas, liczony od chwili zamknięcia styków pomocniczych odłącznika, dających impuls wyłączenia obciążenia transformatora po jego stronie wtórnej (NN), do chwili rozejścia się styków głównych odłącznika. Czas ten dla odłączników z napędem ręcznym zależy jest



Rys.8. Schemat pomiaru czasu i prędkości odłączania

O - odłącznik, R - opornik, P - pętlica,
 S_1 - styk pomiarowy o drodze regulowanej



Rys.9. Oscylogram czasu odłączania

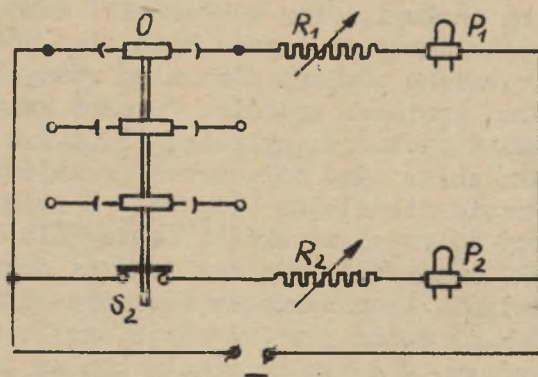
$$l = l_{pm} = 102 \text{ mm}, t = 160 \text{ msek}$$

w dużym stopniu od szybkości ruchu dźwigni łącznika, a więc cech subiektywnych obsługi, oraz dokładności zamontowania styków pomocniczych. Wartości czasów będą więc różne, dlatego też należy przeprowadzić pomiary dla kilku różnych szybkości odłączania i wybrać wartości średnie. Te same uwagi odnoszą się również do badań zdolności wyłączalnej (pkt.4.6). Ponieważ w badanym odłączniku samo odłączenie (rozejście się styków) jest praktycznie niezależne (migowe) od ruchu dźwigni, czas mierzono przy znacznej szybkości naciągania sprężyny. Celem pomiaru było upewnienie się czy również przy bardzo szybkim ruchu dźwigni, transformator zostanie odłączony na biegu jałowym. Pomiar można przeprowadzić oscylografem lub stoperem elektrycznym. W danym przypadku pomiar przeprowadzono oscylografem pętlicowym w układzie przedstawionym na rys.10. Zmierzony czas wynosi 0,3 sek.-oscylogram rys.11.

4.6. Pomiar wartości i przebiegów wyłączania prądu wzbudzającego transformatora

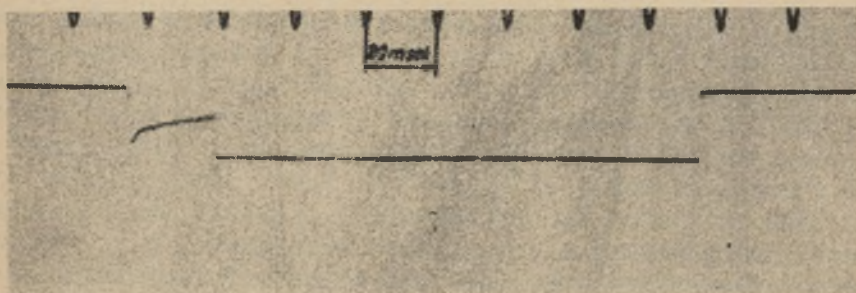
Zdolność wyłączalną odłącznika charakteryzuje wiele czynników. Najważniejszy z nich to wartość i kształt prądu wyłączeniowego, przesunięcie fazowe, wartość i przebieg napięcia powrotnego, czas trwania i długość powstającego łuku elektrycznego, oraz szybkość narastania wytrzymałości elektrycznej przerwy międzystykowej po zgaśnięciu łuku. Pomiary wymienionych wielkości winny być prowadzone w zasadzie we wszystkich biegunach odłącznika, a co najmniej w biegunie, w którym następuje najwcześniej rozejście się styków. Pomiar wartości skutecznej prądu wyłączeniowego składowej zmiennej w poszczególnych fazach można przeprowadzić amperomierzami elektromagnetycznymi współpracującymi z odpowiednio dobranymi przekładnikami prądowymi. Przekładniki winny być zainstalowane przed odłącznikiem badanym, celem kontroli możliwości wystąpienia wtórnego zwarcia między biegunami odłącznika (przerzut łuku). Pomiar wartości skutecznej napięcia można wykonać woltomierzami elektromagnetycznymi z przekładnikami napięciowymi.

Kształt prądu odłączanego, spadek napięcia łuku, czas trwania łuku oraz stromość narastania napięcia powrotnego, najwygodniej można zmierzyć pętlicami magnetoelektrycznymi oscylografu. Przebieg prądu będzie mierzony poprzez przekładniki prądowe dobrane odpowiednio do czułości pętlic. Dla pomiaru



Rys.10. Schemat układu pomiaru czasu przedłukowego

O - odłącznik, R - opornik, P - pętlica,
 S_2 - styk pomocniczy odłącznika



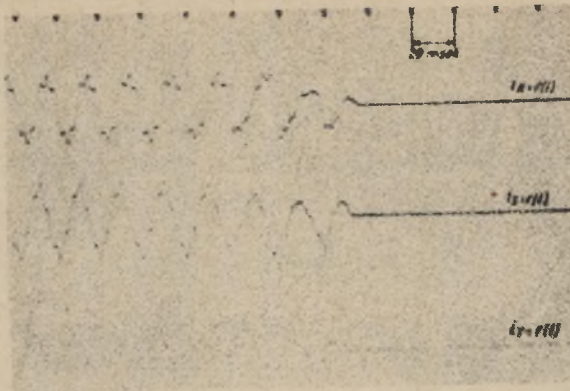
Rys.11. Oscylogram czasu przedłukowego

krzywej napięcia w przerwie międzystykowej należy zastosować dzielnik oporowy lub pojemnościowy o dużej oporności, a pętlice powinny być o odpowiedniej częstotliwości drgań własnych. Dobór dzielnika, przekładników i uzulenia pętlic należy przeprowadzić mając na uwadze "podskok" napięcia przy wyłączeniu oraz prąd włączeniowy transformatora. Należy także pamiętać o odpowiednim uziemieniu aparatury i zachowaniu innych środków bezpieczeństwa przy pracy w obecności wysokiego napięcia. Czas trwania i długość łuku można otrzymać także metodą filmowania przebiegu odłączania z odpowiednio widoczną podziałką.

Pomiary na badanym odłączniku przeprowadzono w układzie, którego schemat ideowy pokazany jest na rys.12. Dzielnik napięcia wykonano z oporników warstwowych węglowych. Oscylogram na rys.13 przedstawia przebieg odłączania znamionowego prądu wzbudzającego transformatora w trzech biegunach odłącznika. Całość badań i pomiarów wykonano przy odłączaniu transformatora, którego uzwojenie pierwotne przełączalne jest na dwa napięcia - 3000 V i 6000 V. Celem określenia przybliżonej granicznej zdolności odłączalnej, pomiary wykonano także dla prądów wzbudzających prawie 5-krotnie większych od znamionowego. Regulację prądów wyłączeniowych uzyskano drogą zmiany napięcia zasilania transformatora. W ten sposób jednocześnie celowo pogorszono próbę, mając na celu uwzględnienie także nienormalnych, lecz praktycznie możliwych przypadków eksploatacyjnych - np. wzrost napięcia w sieci przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby zwojów zaczepami regulacyjnymi. Do analizy przyjęto wyniki najbardziej niekorzystne dla pracy odłącznika. Niektóre oscylogramy z pomiarów podano na rys.14 +17. Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono w tablicy 4. Graniczna zdolność wyłączalna badanego odłącznika uwidocznioma jest na rys.18.

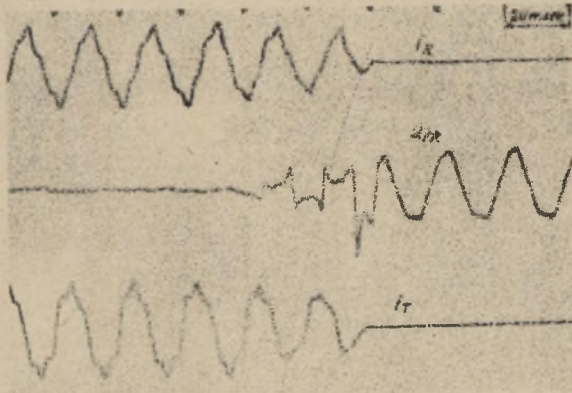
4.7. Próba wielokrotnego łączenia

Przy prowadzeniu badań pomiarowych, liczba prób jest ograniczona ze względu na stosowanie drogiej i skomplikowanej aparatury. Czas między poszczególnymi odłączeniami jest względnie długi, z uwagi na każdorazowe cechowanie i przygotowanie aparatury. Z tego powodu dla uzupełnienia badań przeprowadzono próbę wielokrotnego szybkiego załączania i wyłączania

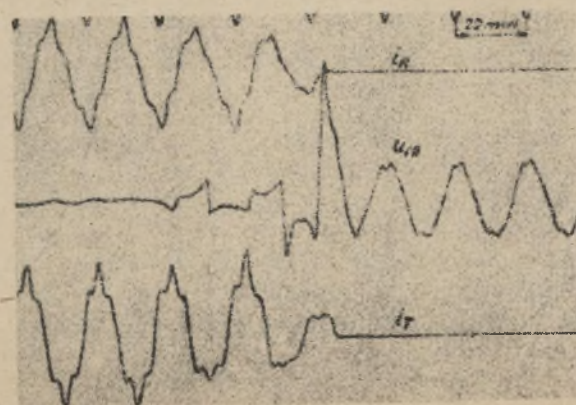


Rys.13. Oscylogram wyłączenia transformatora w stanie jałowym

$$U = U_{NT} = 6000 \text{ V}, I_{jR} = 1,4 \text{ A}, I_{jS} = 1,5 \text{ A}, I_{jT} = 1,1 \text{ A}, f = 50 \text{ Hz}$$

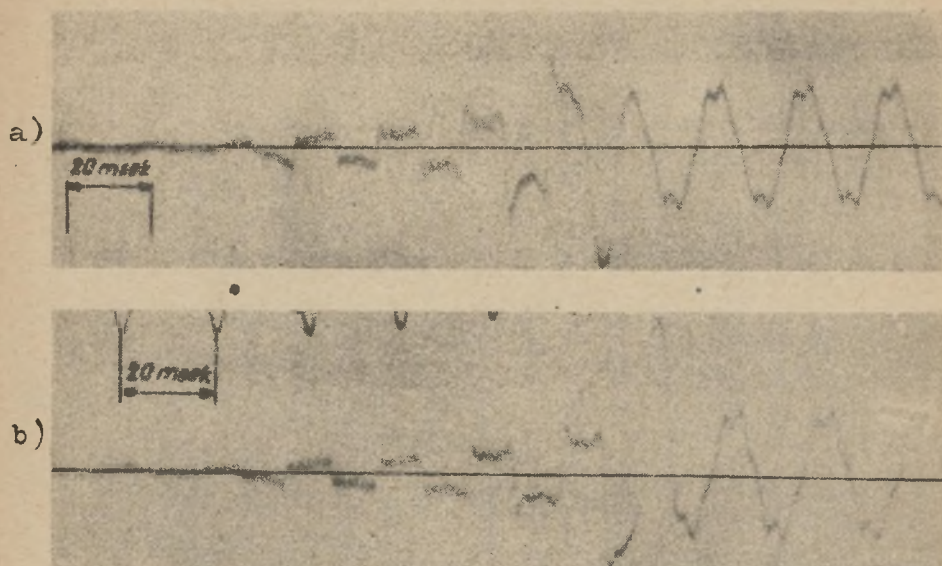


Rys.14. Przebieg prądów i napięcia na łuku w jednym biegunie odłącznika podczas odłączania prądu wzbudzającego transformatora przy napięciu nominalnym



Rys.15. Przebieg prądów i napięcia na łuku w jednym biegunie odłącznika

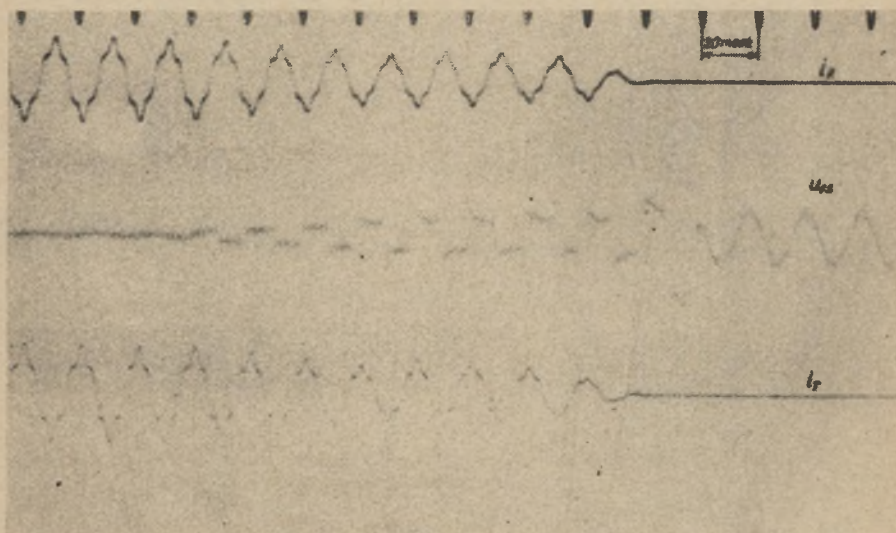
$$U = 1,05 U_{vm} = 6300 \text{ V}, I_{1n} = 1,8 \text{ A}, I_{2n} = 1,6 \text{ A}$$



Rys.16. Oscylogram napięcia na łuku

a. $U = 6600 \text{ V}$, $I_j = 2,6 \text{ A}$

b. $U = 6900 \text{ V}$, $I_j^j = 3,0 \text{ A}$



Rys.17. Oscylogram prądów w dwóch fazach i napięcia w jednym biegunie odłącznika przy wyłączaniu prądu wzbudzającego transformatora 315 kVA

$$U = U_{NT} = 3600 \text{ V}, I_{jR} = 6,2 \text{ A}, I_{jT} = 5,95 \text{ A}$$

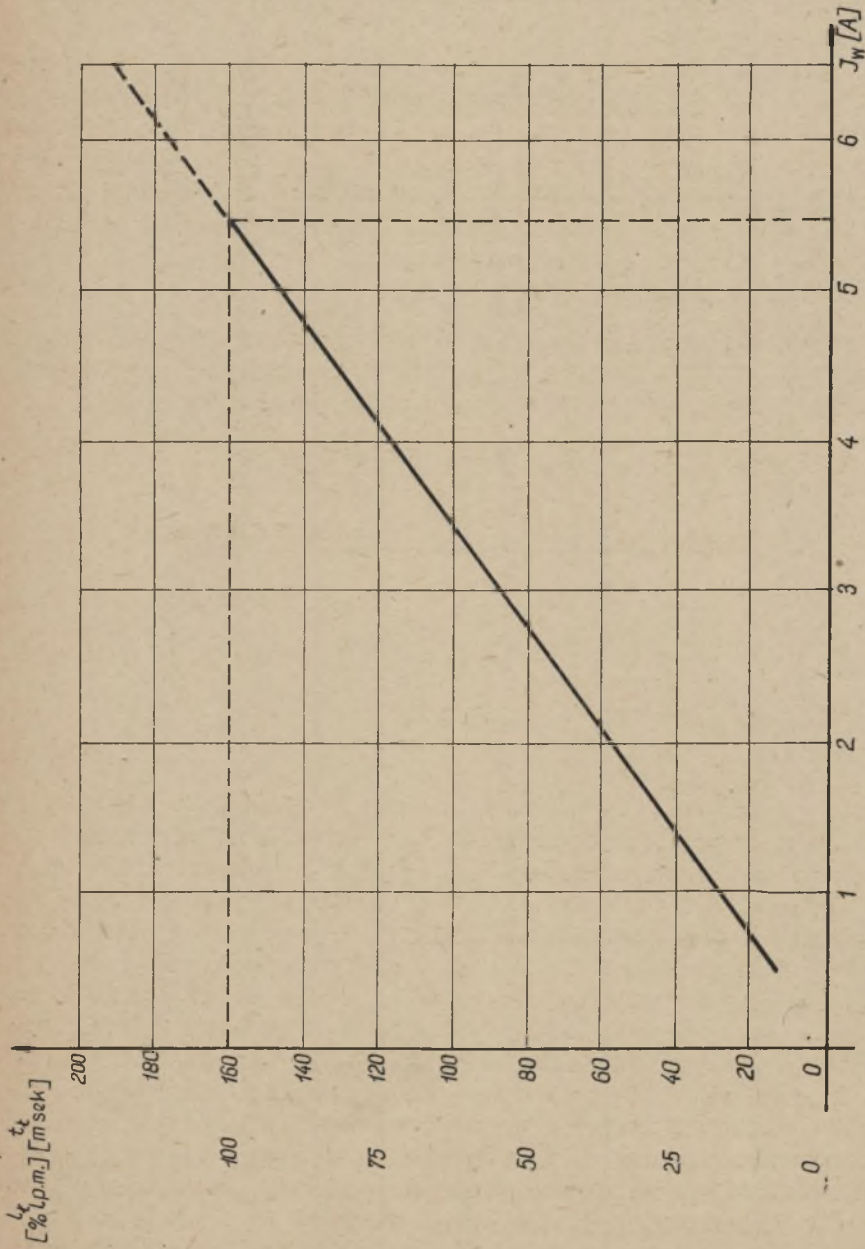
T a b l i c a 4

Zestawienie zbiorowe ważniejszych wyników pomiarów odłączania prądu wzbudzającego transformatora

| U_{NT} (V) | U_S (V) | I_{jR} (A) | I_{jS} (A) | I_{jT} (A) | $\frac{U_p}{U_S}$ | t_z (msek) | l_z (mm) |
|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|------------|
| | 6000 | 1,4 | 1,5 | 1,1 | 1,9 | 45 | 29 |
| | 6300 | 1,8 | 1,9 | 1,6 | 3,3 | 50 | 32 |
| 6000 | 6600 | 2,55 | 2,6 | 2,4 | 2,0 | 70 | 45 |
| | 6900 | 3,0 | 3,1 | 2,9 | 2,5 | 90 | 57 |
| 3000 | 3600 | 6,2 | 6,3 | 5,95 | 2,75 | 170 | 102 |

U_S - napięcie zasilania, I_{jR} , I_{jS} , I_{jT} - prądy wzbudzające poszczególnych faz

U_p - napięcie powrotne, t_z - czas trwania łuku, l_z - długość łuku elektr.



Rys. 18. Zależność czasu trwania i względnej długości łuku od wartości prądu wzbudzającego transformatora wyłączonego odłącznikiem OB3A6/2

nia prądu biegu jałowego transformatora. Jednocześnie prowadzono obserwacje wzrokowe przerywania łuku, pracy styków odłącznika i badano ich stan po każdej serii. Próby te mogą być istotne, gdyż szybkie wielokrotne przerywanie łuku powoduje silną jonizację przestrzeni międzystykowej oraz nagrzewanie się styków.

Dla badanego odłącznika załączanie i wyłączanie wykonywano "raz po raz" w 4-ch zasadniczych seriach. Najpierw wykonano 50 wyłączeń przy znamionowym napięciu zasilania ($U = U_N = 6000V$) następnie 200 wyłączeń przy $U = 1,1 U_N = 3300 V$ oraz 50 wyłączeń dla $U = 1,2 U_N = 3600 V$. Odpowiadające tym napięciom prądy podane są w tablicy 4. Przed i po każdej serii badano stan styków i mierzono ich temperaturę.

W wyniku prób stwierdzono, że:

- a) łuk elektryczny gaszony jest prawidłowo; jedynie przy napięciu 3600 V ($I > 6A$) następowało "wybrzuszenie" się łuku i gaszenie w końcowej fazie ruchu styków (około 10 cm);
- b) przyrost temperatury styków jest nieznaczny w porównaniu z dopuszczalnym (po 200 wyłączeniach ca $4^{\circ}C$),
- c) brak jakichkolwiek widocznych śladów nadpalenia się styków.

4.8. Analiza wyników badań i wnioski

Wyniki pomiarów potwierdzają nieproporcjonalnie większy wzrost prądu biegu jałowego badanego transformatora przy zwiększeniu napięcia zasilającego. Podobnie przedstawia się czas trwania łuku. Wartość i przebieg napięcia powrotnego jest różny dla poszczególnych prób. Zarejestrowane przebiegi są nieco zniekształcone drganiemi własnymi pętliczki. Poza przypadkiem przedstawionym na rys.14, wartości jego mieszczą się w granicach normalnie spotykanych w literaturze technicznej. Należy przypuszczać, że w praktycznej eksploatacji przepięcia łączeniowe będą nieco wyższe ze względu na zmianę parametrów obwodu zasilania, w szczególności w pobliżu źródła prądu. Tak pomiary jak i obserwacje wzrokowe wielokrotnego złączenia wykazują, że łuk w zasadzie gaszony jest prawidłowo tzn. już w pierwszej połowie drogi styków. Wyjątek stanowi odłączanie stacji w warunkach anormalnych tzn. przy napięciu

zasilania powyżej $1,1 U_N$. Szczególnie przy połączeniu transformatora 3000/525 V i zasilaniu napięciem $1,2 U_N$ powstaje łuk stojący i gaśnie dopiero po czasie około 10 msek po zatrzymaniu się styków w położeniu krańcowym. Należy jednak **nadmienić**, że wtedy prąd wyłączeniowy ma wartość powyżej 6 A przy współczynniku mocy poniżej 0,1, gdy przy zasilaniu napięciem nominalnym odpowiednio $I_{\text{w. gr.}} = 2,7 \text{ A}$, a $\cos \varphi = 0,125$. Wydaje się, że do analizy należy przyjąć praktycznie możliwy przypadek, gdy indukcja w rdzeniu odpowiada napięciu zasilania nie większym od $1,1 U_N$ - podniesienie się napięcia do $1,05 U_N$ przy jednoczesnym przełączeniu zaczepek na "minus 5%". W takim przypadku gaszenie łuku jest jeszcze prawidłowe - łuk gaśnie w połowie drogi styków ($l_{\text{z}} = 0,45 l_{\text{dm}}$).

Dla oceny zdolności łączeniowej tego typu odłącznika należy wziąć pod uwagę doświadczenia eksploatacyjne stacji ITb 200/6. Doświadczenia te są tymbardziej istotne, że stacje pracują także przy zasilaniu ich napięciem 2000 V. Ponadto należy liczyć się z nieco zmienionymi warunkami pracy odłącznika w warunkach kopalnianych (wilgotność, temperatura, zapylenie), niż na stacji prób. Wypadkowy wpływ tych czynników powinien być jednak nieznaczny.

Porównując bezwzględne wartości otrzymane z badań, z dopuszczalnymi przez przepisy krajowe, stwierdzamy, że konstrukcja badanego odłącznika jest korzystniejsza od innych typów odłączników stosowanych w powierzchniowych urządzeniach rozdzielczych.

Z danych przedstawionych w tablicy 4 i na rys. 18 wynika, że w zakresie napięć do 6000 V zdolność wyłączalna odłącznika badanego nie zależy prawie od wartości napięcia zasilania a decydująca jest wartość prądu wyłączanego.

Jako zasadę oceny zdolności łączeniowej należy przyjąć, że przy prawidłowym przerywaniu prądu przez odłącznik nie może utrzymać się łuk trwały. Gaszenie łuku winno zakończyć się najpóźniej z chwilą zatrzymania się styków, po przebyciu całej możliwej drogi.

Wtedy graniczną zdolność odłączalną badanego odłącznika bezpiecznikowego można by określić następująco:

$$I_{\text{w. gr.}} \leq 5,5 \text{ A} \quad \text{przy} \quad U \leq 6000 \text{ V} \quad \text{i} \quad \cos \varphi \geq 0,1$$

Przy prądach nieco większych ($< 6,5 \text{ A}$) łuk jest jeszcze gaszony lecz już w stanie statycznym styków, poprzez jego wydłużanie się ku górze na skutek naturalnego ruchu rozgrzanego powietrza. Uwzględniając powyższe można obliczyć w przybliżeniu proponowane graniczne wartości mocy znamionowych trans-

transformatorów krajowych, które można odłączać w stanie jałowym odłącznikiem typu OB3A6/2 z niezależnym odłączaniem i międzybiegunowymi przegrodami izolacyjnymi. Wartości te są następujące:

$$P_{NT} = 630 \text{ kVA} \quad \text{przy} \quad U_N = 6000 \text{ V}$$

$$P_{NT} = 315 \text{ kVA} \quad \text{przy} \quad U_N = 3000 \text{ V}$$

$$P_{NT} = 200 \text{ kVA} \quad \text{przy} \quad U_N = 2000 \text{ V}$$

Moce transformatorów obliczono przy następujących założeniach:

- a) dopuszczalne wahania napięcia zasilania transformatora nie przekraczają +5% [13];
- b) względny prąd magnesujący nie przekracza 6%;
- c) wzrost napięcia zasilania o 10% powoduje wzrost prądu magnesującego nie więcej niż dwukrotnie.

Proponowane wartości prądów i mocy są znacznie wyższe od dotychczasowych ujętych w przepisach krajowych lecz nie odbiegają znacznie od spotykanych w literaturze technicznej.

Na podstawie przeprowadzonych badań odłącznika OB3A6/2, uwzględniając trudne warunki eksploatacyjne w podziemiach kopalni, można postawić następujące wnioski:

1. Badany odłącznik ma zdolność łączeniową pozwalającą na dopuszczenie go do eksploatacji w kopalnianych stacjach porządowych typu IT6, o parametrach i układzie połączeń jak stacja badana, z transformatorem T33Psb 315 kVA przy napięciu zasilania 6000 V.

2. W przypadku istotnej potrzeby stosowania tego typu stacji, przy napięciu zasilania 3000 V, można dopuścić je do eksploatacji pod warunkiem, że po stronie pierwotnej nie będzie zaczepów regulacyjnych i napięcie zasilania nie wzrośnie powyżej $1,05 U_N$.

3. Należy zwrócić uwagę na odpowiednie wykonanie odłączników, a w szczególności na:

- a) dokładne zamontowanie styków pomocniczych tak, aby transformator był odłączany w stanie jałowym,
- b) odpowiednie wykonanie sprężyny wyłączającej migowo tak, aby szybkość ruchu styków była nie mniejsza niż 0,6 m/sek,
- c) międzybiegunowe przegrody izolacyjne, które powinny wystawać ponad zaciski prądowe na izolatorach.

LITERATURA

- [1] DANIELIAN G.E.- Otkluczenie raziedinitielami zariadnych tokow i toków nagruzki. Elektriczeskije Stancji, 1953/7
- [2] ISAJENKO A.W. PLUGACZEW W.K. - Otkluczenie raziedinitielami chołostogo choda moszcznych siłowych transformatorow. Elektriczeskije Stancji, 1958/3
- [3] KUZNIECOW A.W.- Oscizłografirowanie wremieni i skorosti wkluczenia i otkluczenia wysokowoltnych wykluczatieliej. Energietyk, 1956/4
- [4] MAIKOPAR A.S.- Gaszenie otkrytoj elektriczeskoj dugi. Elektriczesstwo, 1960/5
- [5] MAYR O. - Beitrag zur Theorie der statischen und dynamischen Lichtbogens. Archiv für Elektrotechnik, 1943/12, ETZ, 1943
- [6] MONZINGER - Über Lastabschaltung mit Trennern. ETZ, 1951/3
- [7] MYŚLICKI A.- Oporność połukowa i prąd połukowy charakterystyczne parametry procesu wyłaczeniowego w wyłaczniakach wysokiego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny, 1953/11/12
- [8] TAJEW I.S. -K raszczetu elektriczeskoj dugi pieriemeinogo toka. Elektriczesstwo, 1956/10
- [9] ANON - Isolators and selektors. Elektr.Journal, 1957/1
- [10] PKN - Łączniki prądu zmiennego wysokiego napięcia. Przepisy ogólne. PKN, Warszawa 1951; PNE/06100
- [11] PKN - Przepisy budowy urządzeń elektrycznych w podziemiach kopalń. Wydawnictwa Normalizacyjne, Warszawa 1959: PNE - 05050
- [12] GKOPI - Normatyw techniczny projektowania urządzeń elektrycznych w zakładach przemysłowych, SEP, Warszawa 1960
- [13] MG i E - PIE - Przepisy eksploatacji technicznej urządzeń elektrycznych w zakładach przemysłowych. SEP, Warszawa 1959.

ПОПЫТКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЙ
ВЫКЛЮЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СРЕДНИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Резюме

В статье описаны основные факторы теории электрической дуги и подвергнуто анализу их влияние на способность выключения тока выключателями.

Кроме этого обоснована необходимость проведения исследований включающей способности выключателей и предложен метод проведения этих исследований.

Предлагаемый метод описан на примере исследования предохранительного выключателя типа ОВЗА6/2 применяемого на переносных рудничных трансформаторных станциях. Собраны и рассмотрены действующие до сих пор требования по соединению при помощи выключателей цепей с невысоким током и приведены выводы, которые могут служить основой изменения отечественных распоряжений.

NEUE UNTERSUCHUNGSMETHODE ZUR BESTIMMUNG
DER ABSCHALTLEISTUNG VON TRENNSCHALTERN

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Aufsatz werden grundsätzliche Eigenschaften zur Theorie des elektrischen Lichtbogens besprochen, und ihr Einfluss auf die Abschaltleistung von Trennschaltern analysiert. Ausserdem werden Gründe zu Forschungen auf dem Gebiet der Abschaltleistung der Trennschaltern dargelegt, und entsprechende Forschungsmethoden vorgeschlagen. Die angeführte Methode wird an Hand der Untersuchungen, welche an den Trennschalter ОВЗА6/2 durchgeführt wurden, erläutert. Der obengenannte Trennschalter wird u. a. in transportablen Transformatorstationen im Bergbau verwendet. Die zur Zeit bestehenden Anforderungen betreffend der Schaltungen mit Trennschaltern in Stromkreisen mit geringer Belastung wurden zusammengestellt und verglichen, darauf entsprechende Schlussfolgerungen geleitet.