

Podobciążeniowy układ regulacji napięcia w transformatorach rozdzielczych

Streszczenie. W artykule omówiono regulację napięcia w transformatorach rozdzielczych pod obciążeniem. Przedstawione rozwiązania konstrukcyjne bazują na transformatorze dodatkowym zabudowanym łącznie z transformatorem głównym w jednej kadzi. Transformator dodatkowy, poprzez dobranie liczby zwojów uzwojeń i sposobu połączenia, umożliwia znaczne zmniejszenie wartości prądu w przełączanych zaczepekach, tym samym umożliwia miniaturyzację stycznikowego układu przełączającego. Podano szczegóły techniczne rozwiązań. Zestawiono wnioski i literaturę.

Abstract. The article discusses voltage regulation in distribution transformers under load. The presented construction solutions are based on an additional transformer built-in together with the main transformer in one ladle. The addition transformer, by selecting the number of winding turns and the connection method, allows a significant reduction in the current value in the switched taps, thus enabling the miniaturization of the contactor switching system. Technical details of solutions are given. The conclusions and literature were collated. (**On-load voltage regulation system in distribution transformers**).

Słowa kluczowe: transformatory rozdzielcze, regulacja napięcia, styczniki, podobciążeniowy przełącznik zaczepek

Keywords: distribution transformer, voltage regulation, contactor, on-load tap-changer .

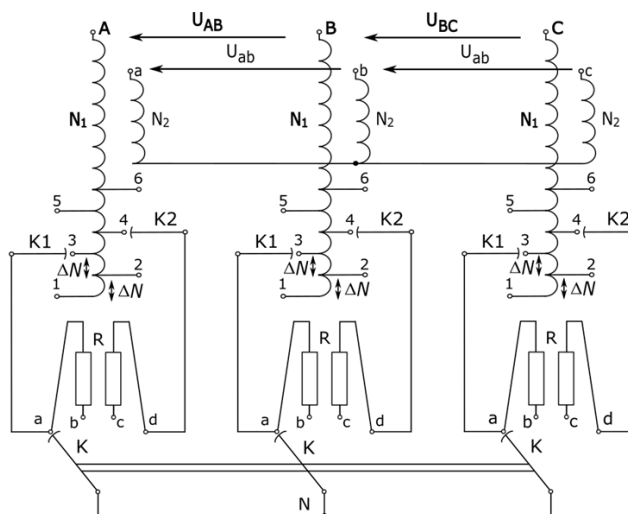
Regulacja napięcia przełącznikami zaczepek w transformatorach rozdzielczych

Transformatory rozdzielcze (grupa III i IV) wg. [5] stanowią największą grupę transformatorów, znaczącą w systemie energetycznym pod względem łącznej mocy znamionowej. Coraz częściej odbiorcy transformatorów wymagają zainstalowania układu zapewniającego regulację napięcia bez potrzeby wyłączenia jednostki z sieci. Jest to podyktowane zarówno wymaganiami ekonomicznymi jak i coraz większą ilością farm wiatrowych i fotowoltaicznych, oraz dwukierunkowym przepływem energii. Aktualnie jest to realizowane poprzez beznapięciowe przełączniki zaczepek, w których zmiana napięcia następuje poprzez zmianę przekładni zwojowej. Wadą takiego rozwiązania jest fakt, że zmiana zaczepek w stanie beznapięciowym wymaga wyłączenia transformatora z sieci, gdyż przełączanie zaczepek, przy załączonym transformatorze jest niedopuszczalne. Rozwiązanie takie jest tanie, jednak ma wiele ograniczeń takich jak brak możliwości utrzymania wartości skutecznej napięcia na wymaganym poziomie, w przypadku krótkich wahań obciążenia lub napięcia zasilania transformatora. Największe znaczenie ma ten fakt dla odbiorców, znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie stacji (zbyt wysokie napięcie) oraz najdalej od stacji (zbyt niskie napięcie). Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie transformatora rozdzielczego wyposażonego w podobciążeniowy przełącznik zaczepek. Regulacja napięcia w takim transformatorze jest realizowana podobnie jak w transformatorze z beznapięciowym przełącznikiem zaczepek, jednak dzięki odpowiedniej konstrukcji przełącznika [8] można ją realizować bez odłączania transformatora z sieci.

Regulacja napięcia pod obciążeniem w transformatorach rozdzielczych najczęściej jest realizowana zwykle w zakresie $\pm 5\%$. Istnieje wiele rozwiązań firmowych przełączników napięcia pod obciążeniem. Wszystkie one bazują na włączaniu, w czasie przełączania zaczepek, w obwód przełączanych uzwojeń rezystancji R [1, 4]. Zadaniem rezystancji R jest eliminacja przepięć w trakcie procesu przełączania poprzez zapewnienie ciągłości prądu w uzwojeniu. Na rysunku 1 przedstawiono schemat elektryczny przełącznika zaczepek umożliwiającego regulację napięcia strony GN pod obciążeniem.

Przełącznik zaczepek każdej fazy uzwojenia, przedstawiony na rysunku 1, składa się z trzech sprzężonych mechanicznych łączników: K , $K1$, $K2$. Łącznik

K ma styki wydłużone tak, że przy przełączaniu zaczepek stale łączy koniec faz uzwojenia A , B , C z punktem „0”. Zmieniając zaczepek uzwojenia łącznik K styka się kolejno: pozycja wyjściowa zacisk „a”, zaciski „a-b”, „b-c” i „c-d” i pozycja końcowa zacisk „d”. Zmiana położenia łącznika K z zacisku „a” na „d” zachodzi w czasie kilkudziesięciu milisekund, a więc bardzo szybko. Położenie łącznika K na zacisku „a” bądź „d” jest położeniem stałym po zmianie zaczepek transformatora. Dokładny opis działania podobciążeniowego przełącznika zaczepek transformatora rozdzielczego został opisany w [5].



Rys.1 Podobciążeniowy przełącznik zaczepek transformatora [1]

Zastosowanie podobciążeniowego przełącznika zaczepek, w transformatorze rozdzielczym rodzi kilka problemów:

- jest on umieszczony wewnątrz kadzi transformatora zatem transformator taki jest większy;
- proces przełączania zaczepek powoduje palenie się łuku na łącznikach K , $K1$ i $K2$ w trakcie procesu przełączania – co skutkuje degradacją oleju oraz styków łączników;
- przełącznik wymaga przeglądów okresowych, a jego awaria powoduje konieczność otwarcia transformatora, co wpływa na stan układu izolacyjnego.

• koszt transformatora z klasycznym podobciążeniowym przełącznikiem jest większy w porównaniu do transformatora bez regulacji, lub z regulacją beznapięciową.

W dalszej części artykułu zaprezentowano alternatywne rozwiązanie konstrukcyjne, regulacji napięcia poprzez zmianę zaczeptu, realizowane poprzez układ stycznikowy.

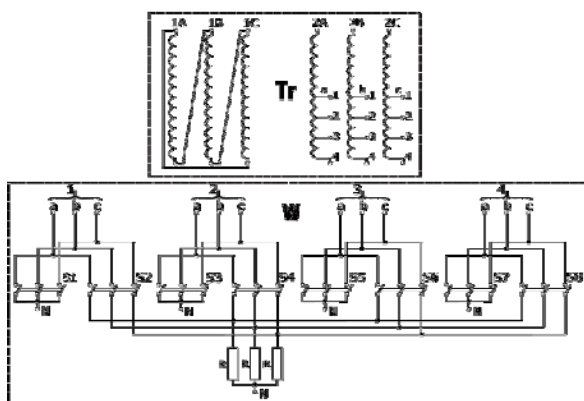
Stycznikowe układy regulacji napięcia transformatorów

Zastosowanie do regulacji napięcia pod obciążeniem układu stycznikowego, w znaczący sposób eliminuje szereg niedogodności związanych z kosztami i eksploatacją obecnie stosowanych przełączników podobciążeniowych. Dodatkowo cały zespół regulacyjny znajduje się na zewnątrz transformatora dzięki czemu nie ma konieczności jego otwierania, zarówno w trakcie przeglądów, jak i w przypadku awarii.

Stycznikowy układ przełącznika zaczeptów

Stycznikowy układ podobciążeniowego przełącznika zaczeptów jest przedstawiony na rysunku 2 w którym regulacja realizowana jest po stronie DN. Układ ma cztery zaczepty. Liczba zaczeptów może być większa lub mniejsza. Każdemu zaczeptowi są przyporządkowane dwa styczniki. Jeden stycznik włącza rezystory, a drugi stycznik na tym samym zaczeptu zwiiera je. Załóżmy, że transformator pracuje na zaczeptu „2” i należy przełączyć go na zaczept „3”. Sekwencja działania styczników jest następująca: włączamy S4, wyłączamy S3, włączamy S6, wyłączamy S4, włączamy S5, wyłączamy S6. Działania te powodują:

- załączenie stycznika S4 i wyłączenie stycznika S3 powoduje zwarcie zaczeptów „2” rezystorami R,
- załączenie stycznika S6 powoduje zwarcie zaczeptów „3” rezystancją R,
- wyłączenie stycznika S4 i załączenie stycznika S5 powoduje zwarcie zaczeptów „3”
- wyłączenie stycznika S6 kończy zmianę zaczeptu.



Rys.2 Stycznikowy analog przełącznika zaczeptów z Rys. 1

Układ z dodatkowym uzwojeniem przełączalnym

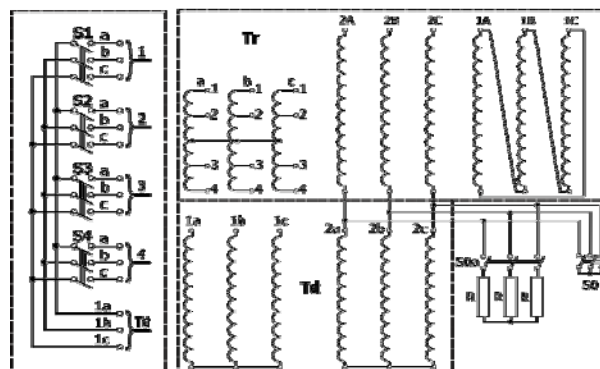
Dodatkowe uzwojenie przełączalne abc z zaczeptami 1, 2, 3, 4 jest umieszczone na transformatorze głównym Tr. Transformator główny Tr jest zasilany z sieci elektroenergetycznej od strony uzwojenia pierwotnego 1A1B1C. Napięcie na uzwojeniu wtórnym 2A2B2C jest regulowane. Układ regulacji napięcia składa się z dodatkowego uzwojenia abc transformatora dodatkowego Td oraz sześciu styczników: S0, S0a, S1, S2, S3, S4. Zaczepty 1, 2, 3, 4 z uzwojenia abc są wyprowadzone na styczniki S1, S2, S3, S4. Schemat elektryczny układu jest przedstawiony na rysunku 3, 4 i 5. Uzwojenie regulacyjne abc w środku między zaczeptami 3 i 4 jest połączone w gwiazdę. Transformator dodatkowy Td ma dwa uzwojenia

1a1b1c i uzwojenie wtórne 2a2b2c. Uzwojenie pierwotne 1a1b1c jest zasilane poprzez jeden ze styczników: S1, S2, S3, S4, napięciem jednego z zaczeptów: 1, 2, 3, 4. Uzwojenie wtórne 2a2b2c transformatora dodatkowego Td jest połączone w szereg z uzwojeniem wtórnym 2A2B2C transformatora głównego Tr. Uzwojenia 2A2B2C i 2a2b2c są połączone: na rysunku 3 w gwiazdę, na rysunku 4 w zyzgak, a na rysunku 5 w trójkąt.

Jeżeli uzwojenie 2a2b2c jest zasilane z zaczeptu 1 lub 2, to napięcia indukowane na uzwojeniach 2A2B2C i 2a2b2c dodają się i napięcie wyjściowe transformatora wzrasta. Jeżeli uzwojenie 2a2b2c jest zasilane z zaczeptu 3 lub 4, to napięcia indukowane na uzwojeniach 2A2B2C i 2a2b2c odejmują się i napięcie wyjściowe transformatora się zmniejsza.

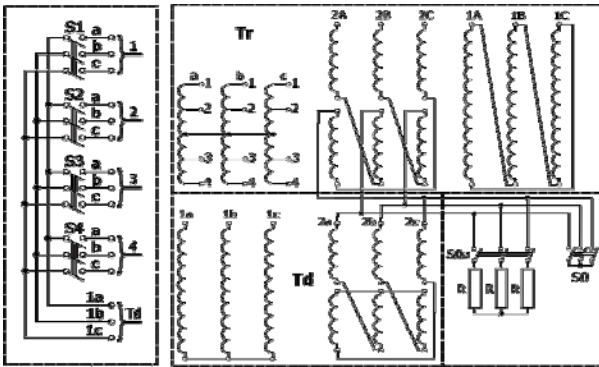
Stycznik S0 zwiiera uzwojenie 2a2b2c co powoduje wyłączenie transformatora dodatkowego Td. W tym stanie styczniki S1, S2, S3, S4 muszą być wyłączone, transformator Td nie pracuje. Stycznik S0a jest stycznikiem operacyjnym, każde przełączenie zaczeptu musi być poprzedzone załączeniem stycznika S0a, który zwiiera uzwojenie 2a2b2c rezystancją R. Po przełączeniu zaczeptu stycznik S0a jest wyłączany. Jeśli na przykład transformator pracuje na zaczeptu „1”, stycznik S1 jest załączony, wszystkie pozostałe styczniki są wyłączone. Przełączenie zaczeptu na pozycję „2” przebiega według sekwencji: załączenie S0a, wyłączenie S1, załączenie S2 i wyłączenie S0a. Cała operacja przełączenia zaczeptu powinna trwać nie dłużej niż 1s. W czasie przełączania zaczeptu zwarcie rezystancją R uzwojenia 2a2b2c zabezpiecza ciągłość przepływu prądu i niweluje przepięcia łączeniowe.

Zaletą połączenia styczników S0 i S0a z uzwojeniem 2A2B2C jest, że praca transformatora głównego Tr na zaczeptu „0” jest przy wyłączonym układzie regulacji napięcia. Jeśli układ jest wyłączony to nie ma strat mocy w dodatkowym uzwojeniu przełączalnym abc i transformatorze dodatkowym Td. Styczniki S0 i S0a przełączają prąd obciążenia uzwojenia 2A2B2C transformatora głównego Tr, co nie jest korzystne gdyż muszą być dobrane na prąd uzwojenia 2A2B2C. Styczniki S0 i S0a mogą być przyłączone, nie do uzwojenia 2a2b2c, lecz do uzwojenia pierwotnego 1a1b1c. Przy tym połączeniu praca transformatora głównego Tr na zaczeptu „0” jest przy wyłączonym i zwartym transformatorze dodatkowym Td, występują w nim straty mocy. Zaletą jest, że styczniki S0 i S0a przełączają mniejsze prądy w uzwojeniu 1a1b1c transformatora dodatkowego Td.

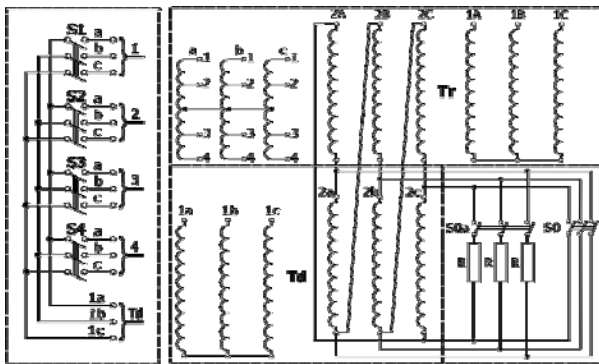


Rys.3 Układ regulacji napięcia transformatora głównego Tr na uzwojeniu wtórnym 2A2B2C połączonym w gwiazdę

Ograniczanie strat mocy jest istotne z uwagi na koszty eksploatacji jednostki oraz wymagania Unii Europejskiej która narzuca w tej kwestii pewne ograniczenia.

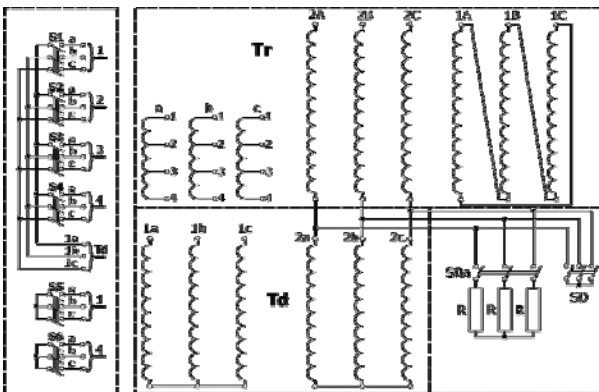


Rys.4 Układ regulacji napięcia transformatora głównego Tr na uzwojeniu wtórnym 2A2B2C połączonym w zygzak



Rys.5 Układ regulacji napięcia transformatora głównego Tr na uzwojeniu wtórnym 2A2B2C połączonym w trójkąt

Dodatkowe uzwojenie przełączane abc, w układzie regulacji napięcia, umożliwia odwrócenie wektora napięcia. W tym układzie gwiazda uzwojenia abc jest realizowana na dodatkowych dwóch stycznikach S5 i S6, jak na rysunku 6.. Styczniki S5 i S6 muszą być wzajemnie blokowane, jak jest załączony stycznik S5 to stycznik S6 musi być wyłączony i odwrotnie. Przy styczniku S6 załączonym, punkt neutralny N gwiazdy napięcia jest na zaczeple „4” i uzyskuje się trzy dodatnie stopnie regulacji napięcia.



Rys.6 Układ regulacji napięcia transformatora głównego Tr poprzez rewersę napięcia na dodatkowym uzwojeniu abc regulacyjnym

Przy styczniku S5 załączonym punkt neutralny N gwiazdy napięcia jest na zaczeple „1” i uzyskuje się trzy ujemne stopnie regulacji napięcia. Dodając zatem dwa styczniki S5 i S6, uzyskuje się sześć stopni regulacji napięcia.

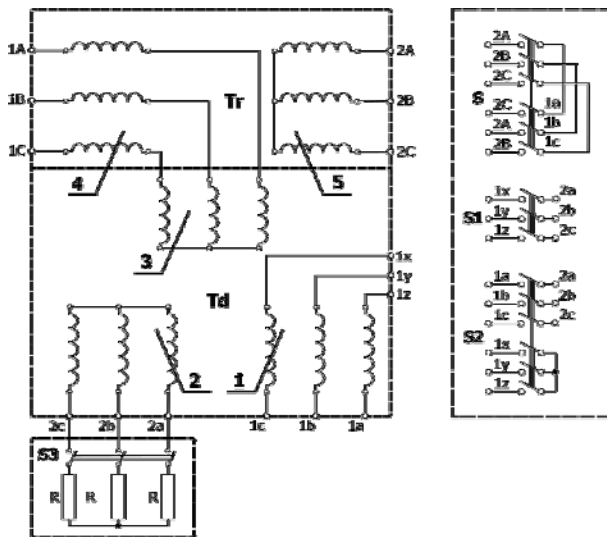
Układ z dzielonym uzwojeniem wtórnym transformatora dodatkowego

Transformator dodatkowy Td ma uzwojenie pierwotne podzielone na dwie identyczne sekcje 1 i 2, a uzwojenie wtórne 3 jest włączone w obwód uzwojenia pierwotnego 4 transformatora głównego Tr. Regulacja napięcia wyjściowego transformatora głównego Tr, odbywa się poprzez przełączanie sekcji 1 i 2 uzwojenia pierwotnego transformatora Td. Sekcje 1 i 2 są łączone szeregowo bądź równolegle i są zasilane z uzwojenia wtórnego 5 transformatora głównego Tr. Odpowiednie dopasowanie liczby zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego transformatora Td umożliwiają kilkukrotne zmniejszenie prądu w przełączanym uzwojeniu transformatora Td w stosunku do prądu w uzwojeniu transformatora Tr. W uzwojeniach transformatora głównego Tr nie ma żadnych przełączy i w czasie przełączania nie zakłóca się napięcie u odbiorców.

Wariantów połączenia uzwojeń transformatorów Tr i Td jest kilka. Na rysunku 7, 8 i 9 przedstawiono schematy elektryczne wybranych trzech układów połączenia uzwojeń transformatora głównego Tr i uzwojeń transformatora dodatkowego Td ze stycznikiem głównym S i ze stycznikami operacyjnymi S1, S2, S3. W przedstawionych układach uzwojenie pierwotne 1A1B1C transformatora głównego Tr jest zasilane z sieci elektroenergetycznej, a napięcie regulowane jest na uzwojeniu wtórnym 2A2B2C zasilającym odbiorców energii elektrycznej. Stycznik główny S łączy uzwojenie wtórne 5 transformatora głównego Tr z sekcjami 1 i 2 uzwojenia pierwotnego transformatora dodatkowego Td.

Na rysunku 7 uzwojenia transformatora Tr są połączone w układ Yy. Uzwojenie wtórne 3 transformatora dodatkowego Td jest połączone w gwiazdę i jest połączone szeregowo z uzwojeniem pierwotnym 4 transformatora głównego Tr. Stycznik główny S i styczniki operacyjne S1, S2 i S3 są połączone z uzwojeniem wtórnym 5 transformatora głównego Tr i z sekcjami uzwojenia pierwotnego 1 i 2 transformatora dodatkowego Td następująco:

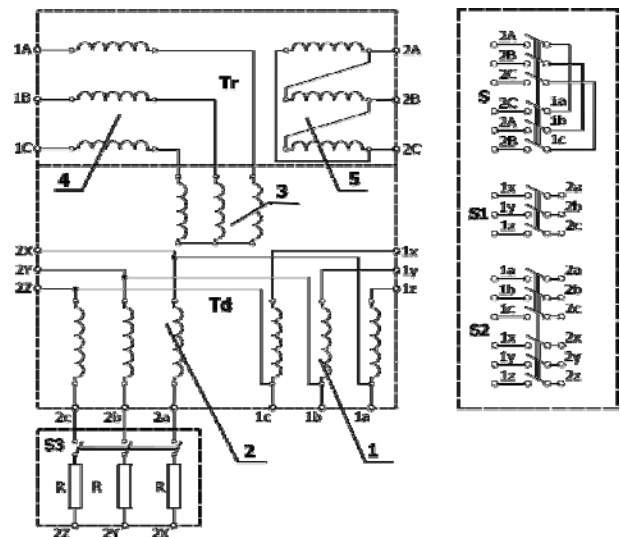
- stycznikowy łącznik główny S składa się z dwóch styczników trójfazowych sprzężonych z sobą w ten sposób, że jak jeden z nich jest załączony to drugi jest wyłączony, a do zacisków wejściowych stycznika S są przyłączone początki uzwojenia wtórnego 2A2B2C transformatora Tr, przy czym na jednym z nich jest cykliczność faz ABC, a na drugim cykliczność faz jest przesunięta CAB, natomiast do zacisków wyjściowych stycznika głównego S są przyłączone początki sekcji pierwszej uzwojenia pierwotnego 1a1b1c transformatora Td,
- stycznik pierwszy operacyjny S1 jest trójfazowy, do zacisków wejściowych stycznika S1 są przyłączone końce sekcji pierwszej uzwojenia pierwotnego 1x1y1z transformatora Td, a do zacisków wyjściowych stycznika S1 są przyłączone początki sekcji drugiej uzwojenia pierwotnego 2a2b2c transformatora Td,
- stycznik drugi operacyjny S2 jest sześciobiegunowy, do zacisków wejściowych trójbiegunowych są przyłączone początki sekcji pierwszej uzwojenia 1a1b1c transformatora Td, a do zacisków wyjściowych początki sekcji drugiej uzwojenia 2a2b2c transformatora Td, natomiast do drugich trójbiegunowych zacisków wejściowych stycznika S2 są przyłączone końce sekcji pierwszej uzwojenia 1x1y1z transformatora Td, a zaciski wyjściowe są zwarte,
- stycznik trzeci operacyjny S3 jest trójfazowy, do jego zacisków wejściowych są przyłączone początki sekcji drugiej uzwojenie 2a2b2c transformatora Td, a do zacisków wyjściowych stycznika S3 jest przyłączony rezystor R trójfazowy, połączony w gwiazdę lub w trójkąt.



Rys.7 Uzwojenie regulacyjne połączone w gwiazdę, transformator dodatkowy jest zasilany napięciem wtórnym, a napięcie pierwotne jest regulowane, (artykuł w Energetyce)

Na rysunku 8 uzwojenia transformatora Tr jest połączone w układ Yd, przy czym uzwojenie pierwotne 4 jest połączone szeregowo z uzwojeniem wtórnym 3 transformatora dodatkowego Td połączonym w gwiazdę. Uzwojenie pierwotne transformatora dodatkowego Td składa się z dwóch niezależnych identycznych sekcji 1 i 2. Początki uzwojenia sekcji pierwszej 1 są połączone z końcami uzwojenia sekcji drugiej 2 z przesunięciem fazowym 1a2y, 1b2z, 1c2x. Stycznik główny S i styczniki operacyjne S1, S2, S3, są połączone z uzwojeniem wtórnym 5 transformatora głównego Tr i z sekcjami 1 i 2 uzwojenia pierwotnego transformatora dodatkowego Td następująco:

- stycznik główny S składa się z dwóch styczników trójfazowych sprzężonych z sobą w ten sposób, że jak jeden z nich jest załączony to drugi jest wyłączony, a do zacisków wejściowych stycznika S są przyłączone początki uzwojenia wtórnego 5 transformatora głównego Tr, przy czym na jednym z nich cykliczność faz jest ABC, a na drugim cykliczność faz jest przesunięta CAB, a do zacisków wyjściowych stycznika głównego S są przyłączone początki sekcji pierwszej uzwojenia pierwotnego 1a1b1c transformatora Td,
- stycznik operacyjny pierwszy S1 jest trójfazowy, do zacisków wejściowych stycznika S1 są przyłączone końce sekcji pierwszej uzwojenia pierwotnego 1x1y1z transformatora Td, a do zacisków wyjściowych stycznika S1 są przyłączone początki sekcji drugiej uzwojenia pierwotnego 2a2b2c transformatora Td,
- stycznik operacyjny drugi S2 jest sześciobiegunowy, do zacisków wejściowych trójbiegunowych są przyłączone początki sekcji pierwszej uzwojenia 1a1b1c transformatora Td, a do zacisków wyjściowych początki sekcji drugiej uzwojenia 2a2b2c transformatora Td, natomiast do drugich trójbiegunowych zacisków wejściowych stycznika S2 są przyłączone końce sekcji pierwszej uzwojenia 1x1y1z transformatora Td, a do zacisków wyjściowych są przyłączone końce uzwojenia sekcji drugiej 2x2y2z transformatora Td,
- stycznik operacyjny trzeci S3 jest trójfazowy, do jego zacisków wejściowych są przyłączone początki sekcji drugiej uzwojenie 2a2b2c transformatora Td, a do zacisków wyjściowych stycznika S3 są przyłączone jedne końcówki rezystorów R, przy czym drugie końcówki rezystorów są połączone z końcami sekcji drugiej uzwojenia 2x2y2z transformatora Td.



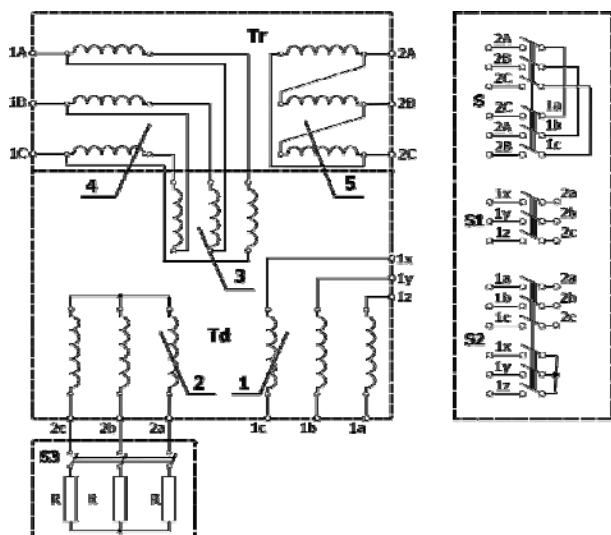
Rys.8 Uzwojenie regulacyjne połączone w trójkąt, transformator dodatkowy jest zasilany napięciem wtórnym, a napięcie pierwotne jest regulowane

Uzwojenia transformatora głównego Tr są połączone w układ Dy, jak na rysunku 9. Układ stycznikowy regulacji napięcia składa się ze stycznika głównego S i trzech styczników operacyjnych S1, S2, S3 oraz z transformatora dodatkowego Td. Uzwojenie wtórnego 5 transformatora głównego Tr jest połączone szeregowo w obwód trójkąta z uzwojeniem pierwotnym 4 transformatora głównego Tr. Stycznik główny S pośredniczy w zasilaniu uzwojenia pierwotnego transformatora dodatkowego Td, gdyż łączy uzwojenie wtórnego 5 transformatora głównego Tr z uzwojeniem pierwotnym 1 transformatora dodatkowego Td. Uzwojenie pierwotne transformatora dodatkowego Td składa się z dwóch niezależnych identycznych sekcji 1 i 2, przy czym sekcja druga 2 jest połączona w gwiazdę. Fazy uzwojenia wtórnego 3 transformatora dodatkowego Td są połączone w szeregowo z fazami uzwojeniem pierwotnym 4 transformatora głównego Tr i wspólnie tworzą trójkąt. Stycznik główny S i styczniki operacyjne S1, S2 i S3 są połączone z uzwojeniem wtórnym 5 transformatora głównego Tr i z sekcjami uzwojenia pierwotnego 1 i 2 transformatora dodatkowego Td następująco:

- stycznikowy łącznik główny S składa się z dwóch styczników trójfazowych sprzężonych z sobą w ten sposób, że jak jeden z nich jest załączony to drugi jest wyłączony, a do zacisków wejściowych stycznika S są przyłączone początki uzwojenia wtórnego 2A2B2C transformatora Tr, przy czym na jednym z nich jest cykliczność faz ABC, a na drugim cykliczność faz jest przesunięta CAB, natomiast do zacisków wyjściowych stycznika głównego S są przyłączone początki sekcji pierwszej uzwojenia pierwotnego 1a1b1c transformatora Td,
- stycznik pierwszy operacyjny S1 jest trójfazowy, do zacisków wejściowych stycznika S1 są przyłączone końce sekcji pierwszej uzwojenia pierwotnego 1x1y1z transformatora Td, a do zacisków wyjściowych stycznika S1 są przyłączone początki sekcji drugiej uzwojenia pierwotnego 2a2b2c transformatora Td,
- stycznik drugi operacyjny S2 jest sześciobiegunowy, do zacisków wejściowych trójbiegunowych są przyłączone początki sekcji pierwszej uzwojenia 1a1b1c transformatora Td, a do zacisków wyjściowych początki sekcji drugiej uzwojenia 2a2b2c transformatora Td, natomiast do drugich trójbiegunowych zacisków wejściowych stycznika S2 są

przyłączone końce sekcji pierwszej uzwojenia 1x1y1z transformatora Td, a zaciski wyjściowe są zwarte,

- stycznik trzeci operacyjny S3 jest trójfazowy, do jego zacisków wejściowych są przyłączone początki sekcji drugiej uzwojenie 2a2b2c transformatora Td, a do zacisków wyjściowych stycznika S3 jest przyłączony rezystor R trójfazowy, połączony w gwiazdę lub w trójkąt. Załączenie stycznika głównego S, w przedstawionych układach, przy cykliczności faz ABC powoduje dodawanie się napięć z uzwojeń 3 i 4, a przy cykliczności faz CAB powoduje odejmowanie się napięć.



Rys.9 Prosty stycznikowy 5-cio stopniowy układ regulacji napięcia, zasilanie transformatora dodatkowego napięciem pierwotnym, napięcie wtórne jest regulowane

Załączenie stycznika S1 powoduje połączenie szeregowo sekcji uzwojenia 1 i 2. Załączenie stycznika S2 powoduje połączenie równoległe sekcji uzwojenia 1 i 2. Każda operacja przełączania styczników S, S1, S2 musi być poprzedzona załączeniem stycznika S3, który zwiera sekcję 2 uzwojenia pierwotnego transformatora Td rezystancją R. Po zakończeniu operacji przełączania stycznik S3 jest wyłączany. Czas przełączania sekcji uzwojenia powinien być możliwie krótki, poniżej 1s.

W każdym z przedstawionych, na rysunku 7, 8 i 9 układów można dodać stycznik zwierający uzwojenie wtórne 3 transformatora Td. Sekwencja załączania i wyłączania styczników poprzedzająca zwarcie uzwojenia 3 transformatora Td jest następująca: załączenie stycznika S3, otwarcie stycznika S załączenie stycznika dodatkowego i wyłączenie stycznika S3.

Zaletą układu stycznikowego regulacji napięcia transformatorów według przedstawionych rozwiązań jest to, że stycznik główny S i styczniki operacyjne S1, S2, S3 są zabudowane w skrzynce na zewnątrz kadzi transformatora głównego Tr. Do styczników jest łatwy dostęp, a iskrzenie styków nie degeneruje oleju transformatora. Ponadto prąd w sekcjach uzwojenia pierwotnego 1 i 2 transformatora dodatkowego Td jest znacznie mniejszy od prądu w uzwojeniu transformatora głównego Tr. Dzięki temu gabaryty styczników S, S1, S2, S3 są stosunkowo małe.

Podsumowanie

Przedstawione trzy stycznikowe układy regulacji napięcia w transformatorach umożliwiają regulację napięcia bez potrzeby wyłączania transformatora z sieci.

Pierwszym z nich jest stycznikowy układ przełącznika zaczepów pod obciążeniem, drugi to układ z transformatorem dodatkowym i dodatkowym uzwojeniem zaczepowym umieszczonym na transformatorze głównym a trzeci z transformatorem dodatkowym w którym uzwojenie pierwotne jest podzielone na dwie identyczne sekcje.

Zastosowany transformator dodatkowy ma tę zaletę, że poprzez dostosowanie liczby zwojów uzwojeń prądu w uzwojeniu przełączanym mogą być małe i dopasowane do styczników katalogowych. Przełączanie zaczepów jest poprzedzone zwarcie uzwojenia rezystancją, stąd wyłączenie stycznika odbywają się bez iskrzenia, styki nie opalają się, trwałość styczników może być duża. Blok styczników zabudowuje się w skrzynce zamocowanej do kadzi od strony zewnętrznej. Do styczników jest łatwy dostęp, ich kontrola lub wymiana nie wymaga otwarcia transformatora, a koszty realizacji są mniejsze. Rozwiązania konstrukcyjne transformatora rozdzielczego z dodatkowym transformatorem dodatkowym była już omawiana i badana – wyniki badań przedstawiono w [8]. Omówiono również zaproponowane w niniejszym artykule rozwiązania konstrukcyjne, gdzie zamiast układu stycznikowego zaproponowano rozwiązanie energoelektroniczne [2].

Autor: mgr inż. Tomasz Mnich, Zakład Pomiarowo-Badawczy Energetyki, ul. Świętokrzyska 2, 44-102 Gliwice, E-mail: tomasz.mnich@elektryka.com.pl;

LITERATURA

- [1] Glinka T.: Maszyny elektryczne i transformatory. ISBN 978-83-01-20115-9. PWN 2018
- [2] Glinka T., Sobota J., Mnich T.: „Regulacja napięcia w transformatorach” Energetyka ISSN 0013-7294. Nr 1/2020 str. 18-23
- [3] Kaźmierski M., Olech W.: Diagnostyka techniczna i monitoring transformatorów. Energopomiar-Elektryka. ISBN 978-83-916040-5-2. Gliwice 2013
- [4] Kelasz J.: Transformatory. Układy nastawiania przekładni. WNT 1968
- [5] Ramowa Instrukcja Eksploatacji Transformatorów. Energopomiar-Elektryka. ISBN 978-83-916040-4-5. Gliwice 2012
- [6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczególnych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, z dnia 4 maja 2007 r. Dziennik Ustaw Nr 93 z dnia 29 maja 2007 r., pozycja 623. Rozdział 10. Parametry jakościowe energii elektrycznej i standardy jakościowe obsługi odbiorców oraz sposób załatwiania reklamacji
- [7] She X., Huang A. Q., Burgos R.: Review of Solid-State Transformer Technologies and Their Application in Power Distribution Systems. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 1 (2013), No. 3, pp. 186-198
- [8] Sobota J.: Transformatory rozdzielcze z regulacją napięcia pod obciążeniem. Materiały robocze. Konferencja naukowo-techniczna. Zarządzanie eksploatacją transformatorów. Energopomiar-Elektryka. 7-9 maja 2014 r
- [9] Krain-Dudek E., Sobota J., Pawłowski D., Olech W.: Transformatory rozdzielcze. Nowe konstrukcje oraz badania odbiorcze w Zakładach Schneider Electric Transformers Poland Sp. z o.o. Energetyka ISSN 0013-7294. Nr 1/2020 str. 13-17