

# SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ .....	7
WSTĘP .....	9
1. PRĄD WŁĄCZANIA TRANSFORMATORA .....	13
1.1. Czynniki kształtujące prąd włączenia transformatora .....	13
1.2. Opis analityczny prądu włączenia transformatora .....	18
1.3. Wartość szczytowa prądu włączenia transformatora .....	29
1.4. Optymalny kąt włączenia napięcia .....	37
1.5. Prąd włączenia transformatora trójfazowego .....	39
1.5.1. Uwagi wstępne .....	39
1.5.2. Przebiegi i wartości szczytowe prądów .....	39
1.6. Podsumowanie .....	43
2. MAGNETYZM SZCZĄTKOWY RDZENIA .....	45
2.1. Wprowadzenie .....	45
2.2. Rdzeń transformatora jednofazowego .....	46
2.3. Rdzeń transformatora trójfazowego .....	48
2.3.1. Wpływ stopnia obciążenia .....	49
2.3.2. Wpływ niejednoczesności otwarcia biegunów .....	50
2.3.3. Wpływ rezystancji łuku elektrycznego .....	51
2.3.4. Wpływ kąta włączenia napięcia zasilającego .....	52
2.4. Podsumowanie .....	56
3. OGRANICZANIE PRĄDU WŁĄCZANIA TRANSFORMATORA .....	58
3.1. Ogólna charakterystyka metod ograniczania oddziaływań prądu włączenia .....	58
3.2. Załączanie synchronizowane .....	60
3.2.1. Uzwojenie połączone w gwiazdę z przewodem neutralnym .....	60
3.2.2. Analiza załączania synchronizowanego z uwzględnieniem niesymetrii rdzenia ...	72
3.2.3. Uzwojenie połączone w trójkąt .....	74
3.2.4. Uzwojenie połączone w gwiazdę bez przewodu neutralnego .....	80
3.2.5. Wpływ odchylenia czasów zamknięcia biegunów .....	85
3.3. Koncepcje realizacji metody załączania synchronizowanego .....	96
3.3.1. Załączanie synchronizowane przy namagnesowaniu naturalnym .....	96
3.3.2. Załączanie synchronizowane przy namagnesowaniu wymuszonym .....	102
3.4. Badania laboratoryjne .....	103
3.4.1. Stanowisko laboratoryjne .....	103
3.4.2. Wyniki eksperymentów .....	105
3.5. Podsumowanie .....	116
4. DEMAGNETYZACJA RDZENIA TRANSFORMATORA .....	118
4.1. Uwagi wstępne .....	118
4.2. Metoda demagnetyzacji rdzenia .....	118
4.2.1. Uzwojenie połączone w gwiazdę z przewodem neutralnym .....	119
4.2.2. Uzwojenie połączone w gwiazdę bez przewodu neutralnego .....	121
4.2.3. Uzwojenie połączone w trójkąt .....	122
4.2.4. Wpływ uzwojenia wtórnego .....	123
4.3. Budowa układu do demagnetyzacji .....	124
4.3.1. Układ demagnetyzacyjny I .....	125
4.3.2. Układ demagnetyzacyjny II .....	125

4.3.3. Układ demagnetyzacyjny III .....	126
4.3.4. Parametry układu demagnetyzacyjnego .....	126
4.4. Badania symulacyjne .....	129
4.5. Badania laboratoryjne .....	133
4.5.1. Badanie wpływu częstotliwości oscylacji .....	134
4.5.2. Badanie wpływu ilości zgromadzonej energii .....	141
4.6. Podsumowanie .....	147
5. ANALIZA POLA MAGNETYCZNEGO ROZPROSZENIA .....	149
5.1. Wprowadzenie .....	149
5.2. Pole rozproszenia transformatora suchego .....	149
5.2.1. Nienamagnesowany rdzeń w polu magnetycznym Ziemi .....	151
5.2.2. Namagnesowany rdzeń bez wpływu pola magnetycznego Ziemi .....	155
5.2.3. Namagnesowany rdzeń w polu magnetycznym Ziemi .....	159
5.3. Pole rozproszenia transformatora olejowego .....	165
5.3.1. Kadź z nienamagnesowanym rdzeniem w polu magnetycznym Ziemi .....	166
5.3.2. Kadź z namagnesowanym rdzeniem bez pola magnetycznego Ziemi .....	168
5.3.3. Kadź z namagnesowanym rdzeniem w polu magnetycznym Ziemi .....	171
5.4. Określanie strumieni szczątkowych w kolumnach rdzenia .....	174
5.4.1. Zależność między indukcją magnetyczną wewnątrz i na zewnątrz rdzenia .....	175
5.4.2. Metoda obliczania indukcji szczątkowych w rdzeniu .....	177
5.5. Podsumowanie .....	182
6. PODSUMOWANIE PRACY .....	184
<b>ZAŁĄCZNIKI</b>	
Z1. Obwód magnetyczny transformatora .....	187
Z1.1. Wymiary geometryczne .....	187
Z1.2. Rozpływy strumieni magnetycznych w rdzeniu trójkolumnowym .....	188
Z1.3. Indukcyjności i współczynniki sprzężenia cewek .....	190
Z1.4. Indukcyjność wypadkowa cewek przy zasilaniu jednofazowym .....	192
Z2. Modele symulacyjne .....	193
Z2.1. Wprowadzenie .....	193
Z2.2. Model obwodowy transformatora energetycznego .....	193
Z2.3. Model indukcyjności z histerezą magnetyczną w programie ATP/EMTP .....	195
Z2.4. Model łącznika .....	197
Z2.4.1. Wprowadzenie .....	197
Z2.4.2. Model biblioteczny w programie ATP/EMTP .....	198
Z2.4.3. Ogólna struktura i założenia dla modelu łącznika .....	198
Z2.4.4. Charakterystyka prądowo-napięciowa łuku elektrycznego .....	199
Z2.4.5. Wpływ parametrów modelu na kształt charakterystyki łuku .....	202
Z2.4.6. Przykłady obliczeń symulacyjnych .....	204
Z2.4.6.1. Wyłączanie obwodu prądu stałego .....	204
Z2.4.6.2. Wyłączanie obwodu prądu sinusoidalnego .....	205
Z2.4.6.3. Podsumowanie .....	207
Z2.5. Model obwodowy układu elektroenergetycznego .....	207
Z2.5.1. System zasilający .....	208
Z2.5.2. Linia zasilająca .....	208
Z2.5.3. Transformator .....	209
Z2.5.4. Układ obciążenia .....	209
Z2.5.5. Łączniki .....	210
Z3. Dane transformatora modelowanego w symulacjach cyfrowych .....	211
Z4. Realizacja modeli obwodowych w programie ATP/EMTP .....	214
Z5. Aproksymacja przebiegu sinusoidalnego .....	218
Z6. Parametry przyrządów pomiarowych .....	220

BIBLIOGRAFIA .....	221
Streszczenie w języku polskim .....	225
Streszczenie w języku angielskim .....	225

$A_1, A_2, A_3$	- współczynniki charakterystyki w modelu łuku elektrycznego
$B$	- indukcja pola magnetycznego
$C$	- pojemność obwodu drgającego w układzie demagnetyzującym
$I_0^{(1)}$	- wartość początkowa składnika wykładniczego w prądzie $i_1$
$I_m$	- wartość szczytowa prądu
$i_k$	- prąd będący $k$ -tym segmentem rozwiązania równania różniczkowego (2.6)
$I_m^{(1)}$	- amplituda składnika sinusoidalnego w prądzie $i_1$
$I_{m1}$	- amplituda składnika sinusoidalnego rozwiązania równania różniczkowego (2.6) w obszarze nasycenia charakterystyki magnesowania rdzenia
$I_n$	- prąd znamionowy transformatora
$I_p$	- prąd w punkcie nasycenia na charakterystyce magnesowania rdzenia magnetycznego
$I_{sat}$	- prąd w punkcie na krzywej pierwszego magnesowania, w którym jej nachylenie jest maksymalne
$I_s$	- prąd łuku elektrycznego
$L$	- indukcyjność obwodu drgającego w układzie demagnetyzującym
$L_{11}, \dots, L_{1n}$	- współczynniki nachylenia odcinków zlinearyzowanej charakterystyki magnesowania
$L_2^{(1)}$	- indukcyjność zastępcza obwodu z rys. 2.5b dla $k$ -tego segmentu rozwiązania równania różniczkowego (2.6)
$R_{11}$	- reluktancja odcinka $l_1$ magnetocond transformatora
$R_{12}$	- reluktancja odcinka $l_2$ magnetocond transformatora
$R_s$	- rezystancja łuku elektrycznego
$t_0$	- czas przerywania prądu łącznika
$T_0$	- okres napięcia sieci
$t_1$	- czas pierwszej operacji łączeniowej przy załączaniu synchronizowanym
$t_2$	- czas drugiej operacji łączeniowej przy załączaniu synchronizowanym
$t_3$	- czas trzeciej operacji łączeniowej przy załączaniu synchronizowanym
$t_4^{(0)}$	- czas w którym prąd $i_{k1}$ osiąga, co do bezwzględnej wartości, wartość $I_k$
$t_w$	- czas otwarcia łącznika
$X_k$	- reaktancja indukcyjności $L_k^{(1)}$
$X_s$	- całkowita reaktancja obwodu z rys. 2.5b dla prądów przekraczających wartość $I_m$
$\Delta t_1$	- odchylenie czasu pierwszej czynności łączeniowej przy załączaniu synchronizowanym od wartości optymalnej
$\Delta t_2$	- odchylenie czasu drugiej czynności łączeniowej przy załączaniu synchronizowanym od wartości optymalnej
$\Delta t_m$	- maksymalne dopuszczalne odchylenie czasu pierwszej i drugiej czynności łączeniowej przy załączaniu synchronizowanym
$T_d$	- stała czasowa w składniku wykładniczym rozwiązania równania różniczkowego (2.6) w obszarze nasycenia charakterystyki magnesowania rdzenia
$T_1$	- stała czasowa w składniku wykładniczym prądu $i_1$
$\Phi$	- strumień magnetyczny
$\Psi$	- strumień magnetyczny skojarzony z uzwojeniem
$\Psi_s$	- strumień magnetyczny szczątkowy w rdzeniu magnetycznym