

Seminarium
Postępy w Technice Wysokich Napięć
100. Rocznica Urodzin Profesora Stanisława Szpora
16 maj 2008

ROZKŁAD POLA MAGNETYCZNEGO POMIĘDZY STYKAMI W KOMORACH PRÓŻNIOWYCH WYŁĄCZNIKÓW

Krzysztof KRASUSKI, Andrzej DZIERŻYŃSKI, Henryk SIBILSKI

Instytut Elektrotechniki tel: 022 812 2408; fax: 022 615 7873; email: nwm@iel.waw.pl

Streszczenie: W artykule podano wyniki pomiarów i obliczeń rozkładu pola magnetycznego pomiędzy stykami unipolarnymi w modelowych układach stykowych komór próżniowych wyłączników wysokiego napięcia. Do pomiarów styki zwierano prętem o średnicy 10mm. Wyniki przeliczono dla prądu o wartości 50kA (wartość skuteczna).

Słowa kluczowe: Komora próżniowa, wyłączniki, pole magnetyczne, generacja pola magnetycznego, nakładki stykowe

1. WSTĘP

W literaturze [1,2,3] podano wyniki obliczeń rozkładu pola przy zastosowaniu specjalistycznego oprogramowania typu FLUX 2D, FLUX 3D, MAXWELL. Można również spotkać wyniki pomiarów rozkładu pola przy zastosowaniu specjalnych sond [4,5]. Do najczęściej stosowanych konstrukcji styków w wyłącznikowych komorach próżniowych należą styki unipolarne (1/4 zwoja), podobne typu SADE, i cewkowe. Stosowane są również styki kwadropolarne, bipolarne, względnie z wkładkami ferromagnetycznymi. Te ostatnie produkowane są w mniejszych ilościach.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione wyniki obliczeń i pomiarów rozkładu pola na powierzchniach styków unipolarnych z różnymi nacięciami nakładek stykowych.

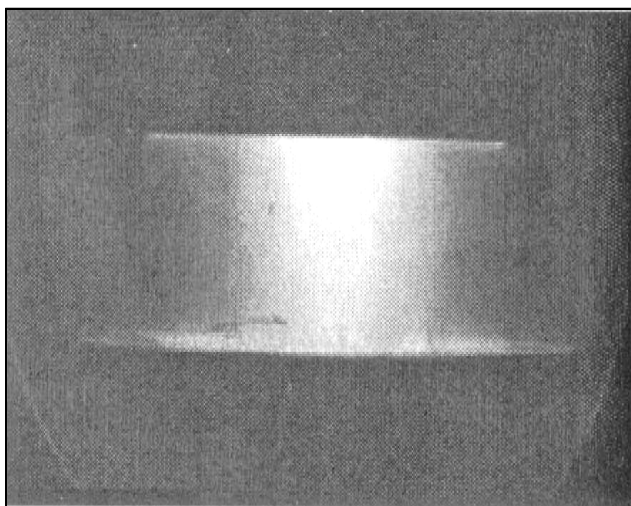
Pomiary wykonano dla trzech składowych (osiowej, obwodowej i promieniowej) pola magnetycznego. W obliczeniach wykorzystano z programu Maxwell 3D.

Wykazano [6], że przy zapewnieniu równomiernego rozkładu pola na powierzchniach styku uzyskuje się przewodzenie prądu dyfuzyjnego o prawie jednakowej gęstości na całej powierzchni. Badania prowadzone w różnych ośrodkach naukowych [7], przy zastosowaniu rozbieralnych komór próżniowych wykazały, że łuk w

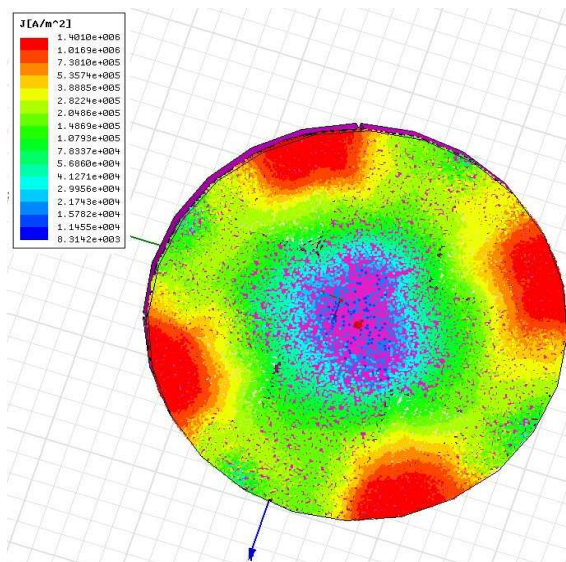
wyniku działania osiowego pola magnetycznego AMF (Axial Magnetic Field) w rzeczywistości składa się z łuku dyfuzyjnego w początkowym i końcowym okresie półfali prądu zwarciovego, a w pobliżu wartości maksymalnej prądu tworzy się na krótko łuk skupiony, który powoduje silne wypalanie elektrod. Dlatego w Japonii [8] opracowano system układu stykowego SADE (Self Arc Diffusion Electrode), w którym przez zastosowanie małej cewki dodatkowej, wytwarzającej pole przeciwnie skierowane, obniża się natężenie osiowego pola magnetycznego w środku układu stykowego tj. tam gdzie ono jest największe. Dzięki temu uzyskuje się przewodzenie prądu na całej powierzchni styków. W efekcie pozwala to na zmniejszenie rozmiarów komory próżniowej i biegunów wyłączników, a co z tym idzie zmniejszone zużycie materiałów i kosztu produkcji komór.

2. BADANIA ZWARCIOWE Z ZASTOSOWANIEM KOMÓR ROZBIERALNYCH

Najbardziej efektywną metodą jest badanie styków w rozbieralnej komorze próżniowej w laboratorium zwarciovym poprzez fotograficzną rejestrację rozwoju wyładowania łukowego pomiędzy stykami podczas zwarcia. Stosując fotografię szybką przy zastosowaniu kamery video wykonującej zdjęcia z prędkością, co najmniej 1000 klatek na sekundę można ocenić sposób gaszenia łuku i obiektywnie ocenić przyjęte rozwiązanie układu stykowego. Na rys. 1 przedstawiony jest rozwój łuku elektrycznego dyfuzyjnego na powierzchni styków zarejestrowany specjalistyczną kamerą video (rejestrującą około 3000 klatek na sekundę). Na zdjęciach można zauważyć, że łuk rozwija się w środkowej części styków, co powoduje nadmierne wypalanie elektrod, zwłaszcza anody.



Rysunek 1. Łuk dyfuzyjny od chwili zapłonu łuku w komorze próżniowej [4]



Rys. 2b Obliczony rozkład gęstości pola magnetycznego na powierzchni nakładki styku z rys. 2a

3. MODELOWANIE ZA POMOCĄ SPECJALISTYCZNEGO OPROGRAMOWANIA

Rozkład pola magnetycznego, które decyduje o rozwoju wyładowania łukowego można analizować na drodze symulacji w programach komputerowych np. Opera, Flux 3D. Prowadzone obliczenia mają na celu znalezienie zależności pomiędzy kształtem styków a rozkładem pola na powierzchni styków przy przepływie prądu zwarciego.

W programie Maxwell 3D zaprojektowany został model unipolarny układu stykowego przedstawiony na rys.2a.



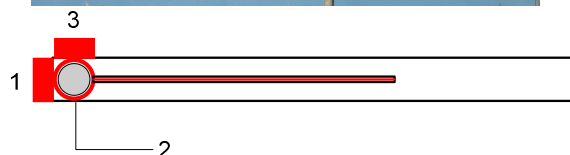
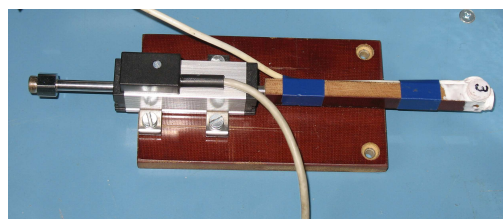
Rys. 2a Styk unipolarny (1/4 zwoju)

Na rys. 2b pokazano wynik obliczenia rozkładu pola na powierzchni styków unipolarnych.

Przyjęto do obliczeń, że przez układ stykowy przepływa prąd 1000 A, 50 Hz. Jak wynika z obliczeń gęstość prądu zawiera się w przedziale od $1.4 \cdot 10^6$ A/m² do $8.3 \cdot 10^3$ A/m². Obliczenia wykonano bez uwzględniania nacięć nakładek stykowych. Z przedstawionego rysunku wynika, że prąd skupia się w pobliżu wyjść z konstrukcji stykowej na nakładkę. Kształt wyjścia może mieć wpływ na rozkład natężenia pola magnetycznego na powierzchni nakładki stykowego.

4. POMIARY POLA MAGNETYCZNEGO NA POWIERZCHNI STYKU ZA POMOCĄ CEWEK

Do zbadania składowych pola magnetycznego na powierzchni nakładek stykowych zaprojektowano przedstawiony na rysunkach nr 3,4,5 układ pomiarowy.



Rys.3 Cewki pomiarowe (100zwojów)

- 1 - cewka mierząca składową promieniową indukcji,
- 2 - cewka mierząca składową obwodową indukcji,
- 3 – cewka mierząca składową osiową indukcji

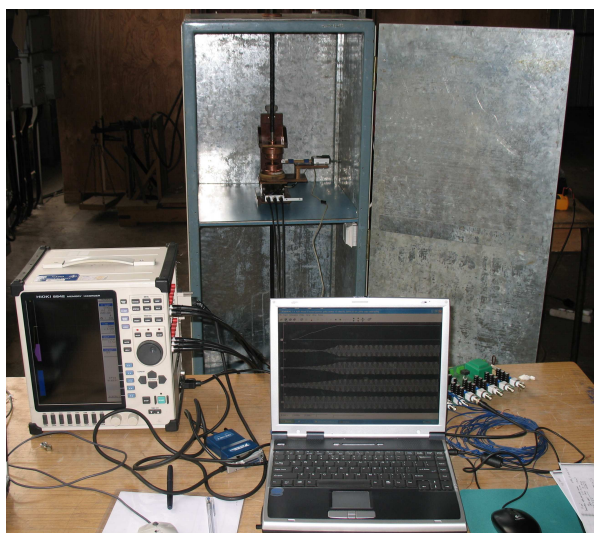
Przez styki przepuszczano prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz. Pomiar składowych pola magnetycznego realizowano jest przez cewki pomiarowe o wzajemnie prostopadłych osiach (rys. nr 3).

Cewki wzorcowano za pomocą cewek Helmholtza indukujących jednorodne pole magnetyczne. Do pomiaru pola użyto gausmierzera firmy Bell typ 5070 o zakresie 20 mT, rozdzielczości 0.01 mT a niepewności pomiaru AC $\pm 3.5\%$ odczytu + 5 znaczących cyfr.

Wartości napięcia mierzonego w cewkach były stosunkowo małe, zawierały się w zakresie od 0.1 mV do 10 mV. Z tego względu cały układ pomiarowy umieszczono w szafie ekranującej (patrz rys. 4, 5).



Rys.4 Widok modelu układu stykowego



Rys. 5 Układ pomiarowy, w skład którego wchodzi model układu styków, rejestrator, notebook

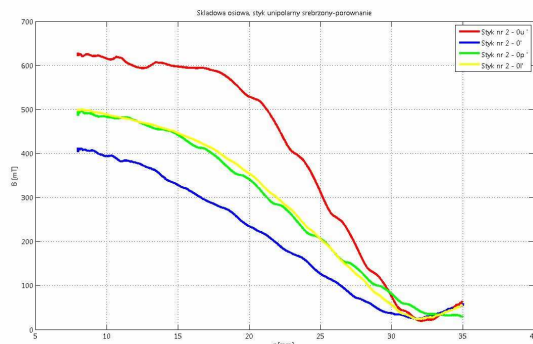
Cewki pomiarowe przesuwano silniczkiem elektrycznym wzdłuż promienia styku. Potencjometr pomiarowy

połączony z cewkami wyznaczał położenie cewek względem środka styku.

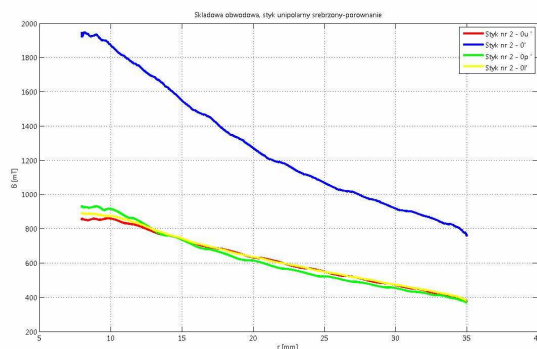
Układ cewek wraz z potencjometrem można było obracać względem osi styku w zakresie od 0 do 180°. Układ stykowy zasilany jest prądem przemiennym (400 A, 50 Hz) z transformatora wieloprądowego. Wartość prądu zasilania była mierzona przy pomocy przekładnika prądowego i równolegle przy pomocy cęgów Dietza. Sygnały z potencjometru, cewek i przekładnika zapisywano przy pomocy rejestratora o rozdzielczości 12 bitów. Do dalszej obróbki zarejestrowanych przebiegów wykorzystano specjalistyczny program WinHioki opracowany dla zwarciozni Instytutu Elektrotechniki w Warszawie, a także specjalistyczny program w Matlabie.

5. BADANIE STYKU UNIPOLARNEGO

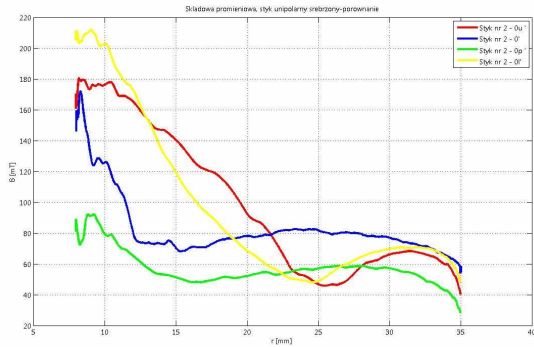
W Zakładzie Wielkich Mocy prowadzono pomiary rozkładu składowych pola magnetycznego dla różnych konstrukcji stykowych. Pierwszym z prezentowanych styków jest model unipolarny przedstawiony na rysunku nr 2. Pomiaru dokonano z zastosowaniem sond cewkowych, a wyniki pomiarów przeliczono dla prądu 50 kA. Wykresy na rysunkach 6, 7, 8 przedstawiają rozkład składowych pola magnetycznego (osiowej, obwodowej promieniowej) na płaszczyźnie styku. Podane na rysunkach wykresy pomierzono dla trzech różnych nacięć nakładki stykowej. Kolorem czerwonym oznaczono wyniki dla nakładki z nacięciami skośnymi wg. (13), niebieskim nakładki bez nacięć, natomiast zielonym i żółtym oznaczono odpowiednio wyniki pomiarów dla nacięć wykonanych wzdłuż promienia oraz o kształcie półkola.



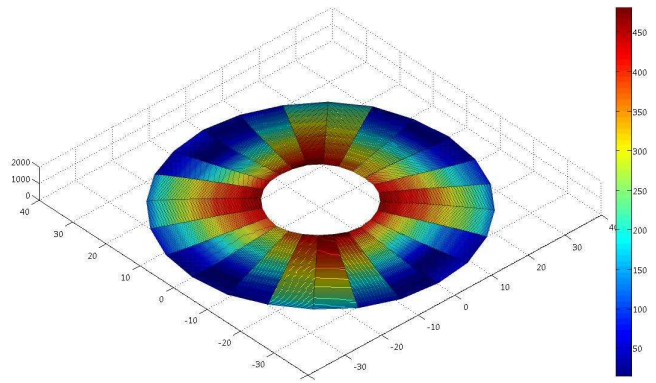
Rys 6 Styk unipolarny- rozkład składowej osiowej



Rys 7 Styk unipolarny- rozkład składowej obwodowej

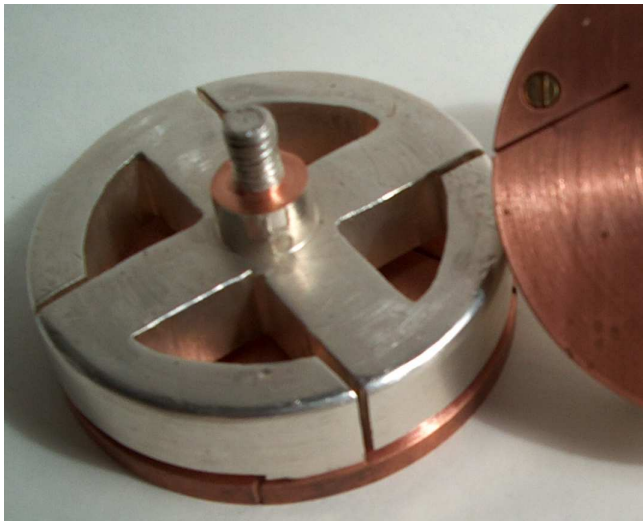


Rys 8 Styk unipolarny- rozkład składowej promieniowej

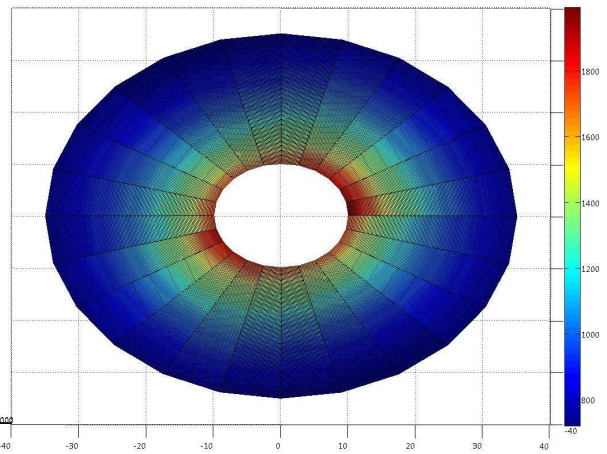


Rys. 10 Styk unipolarny- rozkład składowej osiowej, bez nacięć nakładek stykowych

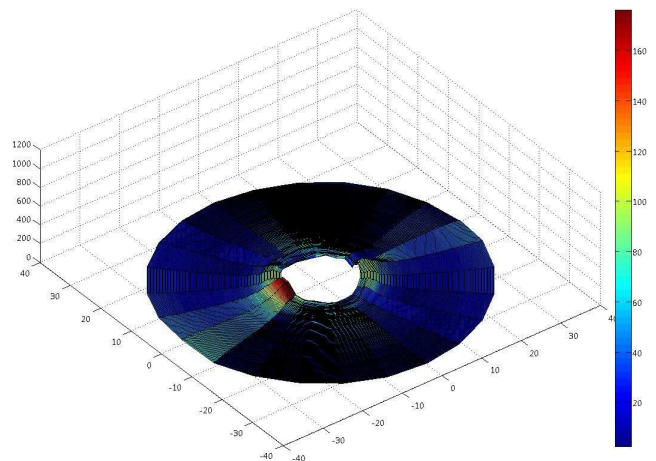
Rysunki 10, 11, 12 pokazują rozkład zmierzonych składowych pola magnetycznego dla nakładek stykowych mających nacięcia promieniowe. Na wykresach kolor niebieski oznacza wartość najmniejszą indukcji, a czerwony wartość największą. Na rys. 13 pokazano rozkład pola dla nacięć wykonanych skośnie pod kątem 45° do promienia [13].



Rys. 9 Styk unipolarny z nacięciami skośnymi



Rys. 11 Styk unipolarny- rozkład składowej obwodowej, bez nacięć nakładek stykowych



Rys. 12 Styk unipolarny- rozkład składowej promieniowej, bez nacięć nakładek stykowych

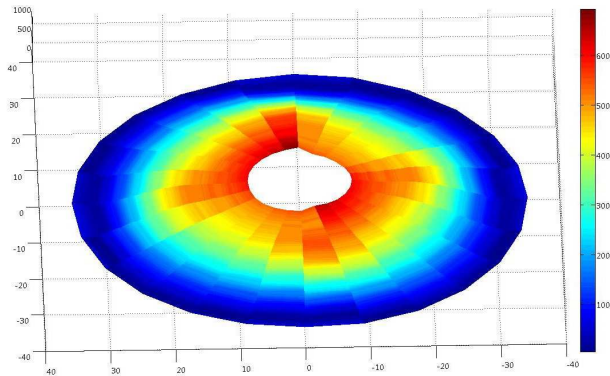
Tabela nr 1

Model styku	Składowa obwodowa	Składowa osiowa	Składowa promieniowa
	Wartość Min.- max [mT]	Wartość Min – max. [mT]	Wartość Min. – max. [mT]
Unipolarny	4,8 – 277,6	353,5 – 1060,7	1,6 -181,1

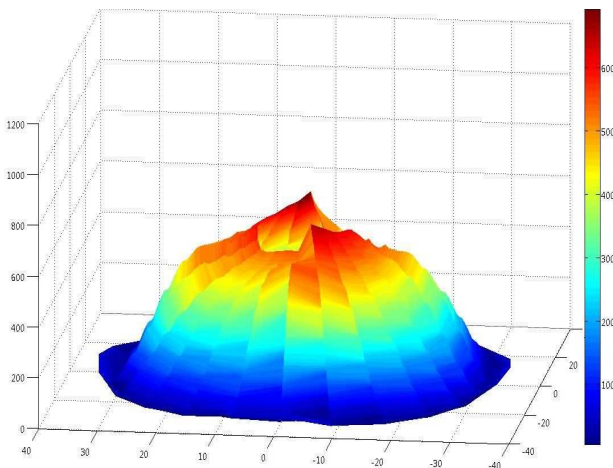
Zestawienie otrzymanych wyników pomiarów zamieszczono w tabeli nr 1, która zawiera wartości minimalne i maksymalne składowych pola magnetycznego.

Z pomiarów wynika, że najwyższe wartości przyjmuje składowa osiowa pola magnetycznego (tabela nr 1) decydująca o równomiernym rozkładzie łuku elektrycznego. Zacznie niższe wartości, do 277 mT przyjmuje składowa obwodowa. Z badań wynika, że składowa osiowa pola magnetycznego powinna być jednakowa, co zapewnia równomierny rozkład łuku dyfuzyjnego na powierzchni nakładki stykowej, i przyczynia się do zwiększenia zdolności wyłączenia komory przy jednoczesnym zmniejszeniu jej wymiarów.

Skupienie energii łuku w centralnej części elektrod powoduje przyspieszone zużywanie się styków a co za tym idzie zmniejsza się trwałość łączeniowa komory próżniowej.



Rys. 13. Styk unipolarny- rozkład składowej osiowej.
Nakładki stykowe z nacięciami ukośnymi



Rys. 13a. Styk unipolarny- rozkład składowej osiowej.
Nakładki stykowe z nacięciami ukośnymi

BIBLIOGRAFIA

1. Xia Shixin et al.: Analysis of Axial Magnetic Field electrode applied to high voltage Vacuum Interrupters, XXIIInd ISDEIV, Matsue 2006, 1-4244-0192-5/06
2. Zhongyi Wang et al.: Comparison of Axial Magnetic Field Characteristics of Four Axial Magnetic Field Vacuum Interrupter Contacts, *ibid.*
3. Cheng Shaoyong et al.: Research on Vacuum Arc Characteristics of a New Electrode Structure Applied in High Voltage Vacuum Interrupter, *ibid.*
4. Zhiyuan Liu et al.: Analysis of Axial Magnetic Field of Slot Type Axial Magnetic Field Contacts with Iron Plates, *ibid.*
5. Zhiyuan Liu et al.: An Interrupting Capacity Model of Axial Magnetic Field Vacuum Interrupters with Slot Type Contacts, *ibid.*
6. Yoshiko Matsui et al.: Analysis and Measurement of Axial Magnetic Field in Vacuum Interrupter, XIXth ISDEIV, Xi'an, China 2000, 0-7803-5791-4/00
7. Shkol'nik S. M. et al.: Distribution of Cathode Current Density and Braking Capacity of Medium Voltage Vacuum Interrupters with Axial Magnetic Field, XXIth ISDEIV, Yalta, Crimea, 2004, vol. 1, s. 160-165
9. Mitsutaka Homma et al.: Physical and theoretical Aspects of a New Vacuum Arc Control Technology – Self Arc Diffusion by Electrode: SADE, IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 27, No 4, 1999, s. 961-968
10. Schulman M. B., Slade P. G.: Research and Development of the Vacuum Interrupter and Vacuum Circuit Breaker: 1929 – 1997, Cutler-Hammer Report VI-TM-97-07, Horseheads, NY 1997,
11. Slade P.G.: The Vacuum Interrupter, Theory, Design and Application, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008, ISBN 078-0-8493-9091-3
12. W. Hartmann W. et al.: AMF Vacuum Arcs at Large Contact Separation, Tavrida Electric, Yalta, 2004
13. W. Hartmann et al.: AMF Vacuum Arc at Contact Separation. ISDEIV XXI, 2004, p. 450.

MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION BETWEEN CONTACTS IN VACUUM CIRCUIT BREAKERS

Key words: vacuum chamber, circuit breaker, magnetic field, contacts

The paper presents results of measurements and calculations of the magnetic field distribution on models of unipolar contacts of HV vacuum chambers. For the sake of measurements the model contacts were short-circuited by means of a copper cylinder 10mm dia. The magnetic field was measured using a system of 3 coils; the results were recalculated for $50kA_{rms}$

