

URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE – LABORATORIUM

Ćwiczenie 8.

Rezystancja zestyku rozłącznego

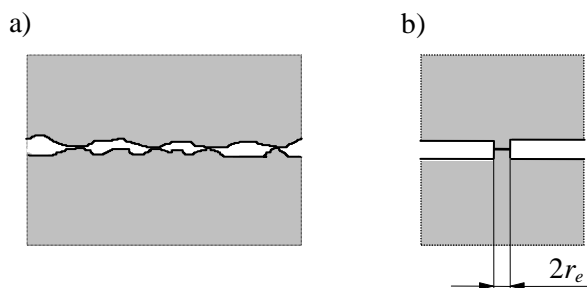
W łącznikach elektrycznych stosuje się zestyki rozłączne, zwane także przerywowymi. Zestyk elektryczny to zespół dwóch elementów przewodzących (styków), dzięki ich styczności jest możliwy przepływ prądu. Zestyki rozłączne łączników, zamykając i otwierając się pod działaniem siły napędu łącznika, umożliwiają załączanie i wyłączanie różnego rodzaju obwodów i urządzeń elektrycznych. W łącznikach przystosowanych do przerywania prądów zwarciovych (wyłącznikach) są najtrudniejsze warunki pracy zestyków.

Rezystancja zestyku rozłącznego składa się z:

- rezystancji przejścia, spowodowanej zagęszczeniem linii prądu w miejscach rzeczywistej styczności powierzchni styków (Rys. 1a);
- rezystancji warstwy nalotowej i adsorbcyjnej.

Przyczyną większej wartości rezystancji w miejscu styczności styków (rezystancji przejścia), w porównaniu do rezystancji w miejscu gdzie struktura materiału stykowego jest ciągła, jest zmniejszenie się przekroju dla przewodzenia do rzeczywistej powierzchni styczności, wielokrotnie mniejszej od powierzchni określonej wymiarami geometrycznymi zestyku.

Utlenianie się powierzchni styków jest przyczyną powstawania warstw nalotowych. Rezystywność tych warstw jest w przypadku metali nieszlachetnych wielokrotnie większa od ich rezystywności przed utlenieniem. Warstwa adsorbcyjna to cienka warstewka gazów, o grubości od jednej do kilku cząsteczek). Rezystancja tej warstwy maleje wraz ze zwiększeniem się natężenia prądu przepływającego przez zestyk.



Rys. 1. Szkice przekrojów zestyków w dużym powiększeniu:
a) rzeczywistego, b) modelowego zestyku elementarnego

Czoła styków nie przylegają do siebie na całej powierzchni. Występuje wiele elementarnych obszarów styczności. Powierzchnia rzeczywista zestyku jest sumą tych elementarnych powierzchni, których liczba i rozmiary zależą od materiału, z którego wykonano styki i od siły ich docisku.

Przybliżoną wartość rezystancji przejścia zestyku rozłącznego można wyznaczyć przeprowadzając analizę modelowego zestyku elementarnego. Powierzchnię zestyku elementarnego można określić znając wartość siły docisku F_e oraz wartość naprężenia σ odpowiadającego granicy plastyczności materiału stykowego. Powierzchnię tego zestyku można obliczyć ze wzoru:

$$S_e = \frac{F_e}{\sigma} \quad (1)$$

Zastępczy promień tej powierzchni (rys. 1b) można obliczyć korzystając ze znanego wzoru:

$$r_e = \sqrt{\frac{S_e}{\pi}} \quad (2)$$

Przepływ prądu w takim elementarnym zestyku można rozpatrywać jako przepływ z jednej półprzestrzeni nieograniczonej o rezystywności ρ do drugiej takiej samej półprzestrzeni przez powierzchnię S_e , pod warunkiem jednak, że cały zestyk ma dużą objętość i powierzchnię czołową w stosunku do S_e . Prąd przepływający z elektrody płaskiej o promieniu r_e do półprzestrzeni nieograniczonej o rezystywności ρ jest ograniczony przez rezystancję, której wartość można wyznaczyć z zależności:

$$R_1 = \frac{\rho}{4r_e} \quad (3)$$

Jest to połowa rezystancji zestyku elementarnego. Jej całkowita wartość wynosi:

$$R_e = 2R_1 \quad (4)$$

a po uwzględnieniu zależności (1) do (3):

$$R_e = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi\sigma}{F_e}} \quad (5)$$

Dla całego zestyku złożonego z n jednakowych zestyków elementarnych rezystancja przejścia będzie wynosić:

$$R_n = \frac{R_e}{n} \quad (6)$$

Zależność (6) jest słuszna tylko w przypadku, gdy siła docisku każdego zestyku elementarnego jest taka sama i wynosi F_e . W przypadku, gdy siła docisku całego zestyku wynosi F , liczbę powstałych zestyków elementarnych można wyznaczyć ze wzoru:

$$n = pF^q \quad (7)$$

Współczynniki p i q zależą od rodzaju zestyku. Z kolei siłę docisku elementarnego zestyku można obliczyć ze wzoru:

$$F_e = \frac{F}{n} \quad (8)$$

Po podstawieniu zależności (7) i (8) do wzoru (6), po odpowiednich przekształceniach otrzymuje się wzór na rezystancję całego zestyku:

$$R_n = \frac{K}{F^c} \quad (9)$$

gdzie:

$$K = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi\sigma}{p}} \quad (10)$$

$$c = \frac{q+1}{2} \quad (11)$$

przy czym: K - współczynnik zależny od rodzaju materiału, temperatury oraz stanu powierzchni styków; c - współczynnik zależny od rodzaju zestyku; dla zestyków powierzchniowych c wynosi 1,0.

Zależności (5) i (9) wskazują, że rezystancja zestyku zależy od występującej w nim siły docisku. Dlatego w łącznikach, zwłaszcza o dużych prądach znamionowych, powinny być stosowane odpowiednio duże siły docisku.

Wraz z upływem czasu eksploatacji rezystancja zestyku zwiększa się, ponieważ zwiększa się grubość warstwy nalotowej na skutek utleniania się styków, czemu sprzyja podwyższona temperatura ich pracy. Wraz ze wzrostem rezystancji rośnie natężenie pola elektrycznego w warstwie nalotowej i temperatura zestyku. Prowadzi to do przebicia warstwy nalotowej i gwałtownego zmalenia rezystancji zestyku. Proces ten może się powtarzać wielokrotnie. Jeżeli nie nastąpi zniszczenie warstwy nalotowej z powodu dużej jej grubości, może to spowodować podwyższenie się temperatury ponad wartość dopuszczalną.

Analityczne ujęcie nagrzewania się zestyków jest możliwe tylko dla prostych przypadków po przyjęciu znacznych uproszczeń, z powodu złożoności zjawisk związanych z takimi procesami. Obciążalność prądową zestyków ustala się praktycznie na podstawie badań laboratoryjnych.

W przypadku przepływu przez zestyki dużych prądów, temperatura powierzchni rzeczywistej styczności może osiągać wartości dochodzące do temperatur topnienia metali, z których są wykonane styki, co może być przyczyną ich zespawania i trwałego uszkodzenia. Może to się zdarzyć przede wszystkim przy przepływie prądów zwarciovych. Temperatura powierzchni rzeczywistej styczności jest wtedy wielokrotnie większa od temperatury samego zestyku.

Chcąc zapewnić długotrwałą niezawodną pracę zestyku należy zadbać o to, żeby spadek napięcia na zestyku wywołany prądem znamionowym nie przekraczał wartości dopuszczalnej $\Delta U_{dop} = (0,1...0,25)\Delta U_m$ dla zestyków elektroenergetycznych i $\Delta U_{dop} = (0,5...0,8)\Delta U_m$ dla zestyków przekaźnikowych. Wartości ΔU_m podano w tabeli 1. W oparciu o te wielkości można obliczyć prąd znamionowy zestyku korzystając ze wzoru:

$$I_n \leq \frac{\Delta U_{dop}}{R_{en}} \quad (12)$$

Tabela 1. Temperatury mięknięcia i topnienia materiałów oraz odpowiadające im wartości spadków napięcia na zestykach

Materiał	Mięknięcie		Topnienie	
	v_m [°C]	ΔU_m [V]	v_t [°C]	ΔU_t [V]
Aluminium	150	0,10	658	0,30
Żelazo	500	0,21	1530	0,60
Miedź	190	0,12	1083	0,43
Srebro	150	0,09	960	0,35
Wolfram	1000	0,40	3370	1,00
Ołów	100	0,07	232	0,13
Platyna	540	0,25	1773	0,70
Molibden	800	0,25	750	0,75
Grafit	---	---	4700	5,00

Wyniki obliczeń obciążalności prądowej zestyków przeprowadzonych w oparciu o proponowane w literaturze zależności mogą być traktowane tylko jako orientacyjne, ponieważ nie uwzględniono w nich oddziaływania sił elektrodynamicznych, spowodowanych zagęszczeniem prądu w miejscach styczności styków. Siły te, przy małych dociskach, mogą być przyczyną zmniejszenia powierzchni rzeczywistej styczności, a także powodować odskoki styków, zapłony łuku oraz nadtopienie materiału styków. Dlatego właściwym postępowaniem prowadzącym do oceny zestyków mogą być tylko badania dopuszczalnej obciążalności zwarciowej dynamicznej i cieplnej.