ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1971
Seria: ELEKTRYKA z. 30 Nr kol. 298

ALEKSANDER SZENDZIELORZ
Katedra Elektroenergetyki

# ANALIZA WPŁYWU OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA OBRAZ WYPADKOWEGO POLA CIEPLNEGO WOKÓŁ KABLA W ZIEMI

Streszczenie. Na podstawie pomiarów rozkładu temperatury przeprowadzonych w ziemi wokół kabla pod obciążeniem stwierdzono, że jest on zmienny w ciągu roku, nawet wtedy gdy prąd o stałym natężeniu płynie przez żyły kabla przez czas długi rzędu kilkudziesięciu dni.

Zmiany pola temperaturowego zależą bowiem od warunków atmosferycznych poprzedzających pomiar i są różne dla różnych pór roku. W pracy podjęto próbę określenia wpływu opadów atmosferycznych na rozkład pola temperaturowego kabla i na obciążalność prądową długotrwałą kabla.

Na rozkład pola temperaturowego w ziemi, wokół kabla, wywierają zasadniczy wpływ następujące czynniki atmosferyczne:

1) ciepło słoneczne, w zależności od stopnia nasłonecznienia powierzchni ziemi, jej pokrycia i siły wiatru;
2) opady atmosferyczne w postaci deszczu i śniegu.

W opracowaniu niniejszym skoncentrowano się tylko na wpływie opadów atmosferycznych na obciążalność prądową kabla zakopanego bezpośrednio w ziemi.

Rozkład natężenia strumienia cieplnego jak również rozkład pola temperaturowego są funkcją zależności

$$\varrho = f \text{ (wilgoci)}$$

gdzie $\varrho$ to oporność cieplna właściwa gruntu.

Rozpatrując jednak jednorazowy opad atmosferyczny (deszcz) o wielkości średniomiesięcznej rzędu 50 mm/miesiąc, stwierdzić należy, że niewątpliwie rozdział rozdział wody deszczowej w bryle ziemi nie jest jednostajny i odbywa się z różną szybkością, w zależności od rodzaju gruntu, jego uwarstwienia oraz jego wodoprzepuszczalności) $10^{-1} + 10^{-10}$ cm/s.

Jednak przy założeniu upraszczającym o jednakowej gęstości rozkadu wody np. w warstwie ziemi o grubości 200 cm (1 m nad kablem i 1 m pod kablem), wzbogacenie 1 $cm^3$ bryły ziemi w wilgoć jest wtedy rzędu 1,5% (wagowo). Ponieważ zmienność oporności cieplnej właściwej gruntu jako funkcji stanu zawilgocenia jest w przeciętnych warunkach tego samego rzędu [1]

nie można założyć w przybliżeniu, że zmiany rozkładu pola temperaturowego kabla są w skali miesiąca praktycznie niedostrzegalne w przekroju dużej bryły ziemi (o średnicy rzędu 2 m)[x].

Za taką hipotezą przemawiają również fakty, że w czasie trwania ok. 13 wielodobowych serii pomiarowych przeprowadzonych przez autora w trzech różnych typach gruntu, nie stwierdzono ani w jednym przypadku znacznego załamania się krzywej nagrzania pancerza kabla, czy innych punktów ziemi, pomimo obfitych opadów deszczu.
Maksymalne załamanie krzywej $\Delta\vartheta = f(t)$ nie przekraczało - 1,5°C w skali 48 godzin.

Większe różnice w przebiegu krzywych wystąpią natomiast przy kilkumiesięcznym, nieprzeciętnym opadzie deszczowym, przy nieznacznej zawartości wilgoci w ziemi i przy stromej charakterystyce $\varrho_z = f$(wilgoci), lub też ze zjawiskiem migracji wilgoci wokół kabla. Nawet przy założeniu, że np. w ciągu 9 miesięcy w roku (lato + wiosna + jesień) suma opadów deszczu wynosi przeciętnie (w warunkach krajowych) 9 x 50 = 450 mm oraz że zkumulowany ten opad wystąpi np. w ciągu jednego miesiąca, przy przeciętnej wodoprzepuszczalności gruntu rzędu $10^{-5}$ cm/s (za wyjątkiem gruntów gliniastych) - woda opadowa nasyci ziemię do głębokości ok. 6 m po czasie około 2 miesięcy.

Zakładając ponadto, że z tej ilości wody opadowej ok. $\frac{1}{3}$, tj. 150 mm, nie nasyca bryły ziemi do głębokości ok. 6 m (np. odpływa w głąb ziemi lub spływa do rzek), otrzymuje się przy równomiernym rozkładzie wilgoci w bryle ziemi, procentowy przyrost stopnia zawilgocenia rzędu 2,3% (wagowo). Tego typu równomierny wzrost wilgoci może być przyczyną zmniejszenia się oporności cieplnej bryły ziemi, w przeciętnych warunkach rzędu 4-6% co wyrażone w przyroście temperatury pancerza kabla daje zmiany ok. 1-1,5°C przy $\Delta\vartheta_{Fe} = 25°C$.

Zaobserwowane przez autora roczne zmiany w przyroście temperatury pomiędzy pancerzem kabli a temperaturą ziemi, na głębokości jego zakopania (poza zasięgiem jego pola temperaturowego), nie przekraczały dla trzech różnych kabli zakopanych w różnych gruntach, wartości ±6% (tj. ± 1,5°C). Ze względu na nieznaną zależność $\varrho_z = f$(wilgoci gruntu), oraz $S_z = f$ (natężenia strumienia ciepła słonecznego) przeprowadzono dla każdego kabla po kilka serii pomiarowych w charakterystycznych porach roku, aby określić graniczny zakres zmienności oporności cieplnej bryły ziemi danego typu. Stwierdzone odchylenia $\varrho_z$ wynoszące ± 15% w stosunku do wartości średniej, dla gruntu żużlowego, wynikły ze zjawiska migracji wilgoci.

---

[x] W literaturze spotyka się stwierdzenie, że oporność cieplna właściwa gruntu zmienia się w ciągu roku w granicach ok. 20÷50% w stosunku do wartości średniej; stwierdzenia te odnoszą się jednak tylko do części bryły ziemi otaczającej kabel, a nie do całości.

O zmianach temperatury w dowolnym punkcie pola temperaturowego kabla decyduje nie tylko oporność cieplna właściwa gruntu, lecz również jego ciężar właściwy i ciepło właściwe. Zmiany tych parametrów kompensują się częściowo nawzajem, z aspektu zmienności temperatury tak, że dyfuzyjność cieplna gruntu ulega tylko nieznacznym wahaniom.

Podsumowując rozważania na temat wpływu warunków atmosferycznych na rozkład pola temperaturowego wokół kabla w ziemi należy stwierdzić, że:

1. Zmiany zawilgocenia gruntu wynikłe z opadów atmosferycznych, rozpatrywane w przekroju bryły ziemi otaczającej kabel (do głębokości rzędu paru metrów) i w przekroju roku są na ogół małe i powolne.
   W związku z tym wpływ opadów atmosferycznych na rozkład pola natężenia strumienia cieplnego kabla jest w przeciętnych warunkach pomijalny.
   Przez warunki przeciętne należy rozumieć:
   - przeciętny stan zawilgocenia gruntu w granicach 10÷20% (wagowo),
   - niewystępowanie zjawiska migracji wilgoci, stosunkowo płaska charakterystyka $\varrho_z = f(\text{wilgoci})$.
2. Wpływ zmiennego natężenia strumienia ciepła słonecznego na wypadkowy rozkład natężenia strumienia cieplnego jest praktycznie pomijalny tylko w przypadku obciążenia prądowego kabla, zbliżonego do dopuszczalnego długotrwałego oraz gdy oporność cieplna właściwa gruntu jest duża (większa od 150 $\frac{\text{deg} \cdot \text{cm}}{\text{W}}$), a dyfuzyjność cieplna właściwa jest mała (mniejsza od $5 \cdot 10^{-3}\ \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$). Wpływ ten jest pomijalny w przypadku pracy kabla w stanie cieplnie nieustalonym [2].
3. Ponieważ obciążalność dopuszczalna długotrwała kabla elektroenergetycznego w ziemi zależy przede wszystkim od rozkładu pola temperaturowego w ziemi, a tym samym od rozkładu ("obrazu") natężenia strumienia cieplnego, należy stwierdzić, że jest ona praktycznie niezmienna w przekroju roku w aspekcie zmian oporu cieplnego bryły ziemi, odprowadzającej ciepło kabla.
4. Z przytoczonych rozważań wynika, że można stosować zasadę superpozycji w odniesieniu do pola cieplnego kabla i pola cieplnego atmosferycznego w ziemi, nie popełniając praktycznie błędu [3].

LITERATURA

[1] AIEE Committee Report: Soil thermal characteristics in relation to underground power cables, 1960 r.

[2] Szendzielorz A.: Analiza wpływu nasłonecznienia na obciążalność prądową kabla w ziemi. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej, Elektryka Nr 29, 1971.

[3] Nease RI, Bauer A.: A study of the superposition of heat fields and the Kennelly formula as applied to underground cable systems, TAIEE 1958 r.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА КАРТИНУ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО ПОЛЯ ВОКРУГ КАБЕЛЯ В ЗЕМЛЕ

Р е з ю м е

На основе измерении распределения температуры, проведенных в земли вокруг кабеля при нагрузке доказано, что оно изменяется на протяжении года даже в случаях, когда по кабелю длительное время порядка несколько десятков дней проходит ток с постоянным напряжением.

Изменения теплового поля зависят от атмосферных условий, происходящих до проведения измерений и отличаются в зависимости от времен года. Были предприняты пробы определения влияния атмосферных осадков на распределение теплового поля и на длительную токовую нагрузочную способность кабеля.

AN ANALYSIS OF INFLUENCE OF PRECIPITATION ON THE PICTURE OF A RESULTANT FIELD AROUND A CABLE IN EARTH

S u m m a r y

On the base of temperature distribution measurement carried out around a loaded cable in earth there has been stated, that it changes along a year's period even then when the constant tensure current flows in a cable's strand durign a long time of about some days.

The changes in a temperature field depend namely on atmospheric conditions which precede the measurement and very in various seasons of the years. In this work there has been undertaken the test of determination the influence of precipitations on the distribution of the temperature field and on the long-lasting current-carrying capacity of a cable.