

Brunon LEJDY, Zbigniew SKIBKO
POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, ZAKŁAD ELEKTROENERGETYKI

Wyznaczanie wartości cieplnej stałej czasowej przewodów na podstawie pomiarów temperatury

Dr hab. inż. Brunon LEJDY

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej. Od początku swojej działalności naukowej zajmuje się zagadnieniami dotyczącymi urządzeń elektrycznych, ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach niskiego i wysokiego napięcia oraz uziemień. Autor książki na temat instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych oraz wielu artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowo – technicznych oraz w materiałach konferencyjnych.



e-mail: blejdy@pb.edu.pl

Dr inż. Zbigniew SKIBKO

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej. Od 2001 roku pracuje w Zakładzie Elektroenergetyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej, gdzie w 2008 roku uzyskał stopień doktora za pracę pt.: „Obciążalność prądowa przewodów ułożonych wielowarstwowo”. W pracy naukowej zajmuje się m.in. zagadnieniami związanymi z eksploatacją instalacji elektrycznych, a w szczególności z obciążalnością prądową przewodów elektrycznych.



e-mail: zskibko@pb.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę związaną z wyznaczaniem wartości cieplnej stałej czasowej przewodów elektrycznych ułożonych osobno oraz w układach wielowarstwowych. Przedstawiono ponadto analizę porównawczą wartości stałej T dostępnych w literaturze z wartościami wyznaczonymi w oparciu o przeprowadzone przez autorów badania laboratoryjne oraz omówiono sposób wyznaczania jej wartości na podstawie pomiarów temperatury w przewodzie w zależności od budowy przewodów oraz sposobu ich ułożenia.

Słowa kluczowe: cieplna stała czasowa, przewód, przewód wielożyłowy, układ wielowarstwowy przewodów.

Determine of thermal time – constant based on temperature measuring

Abstract

The paper presents problems connected with determination of thermal time – constant value for single cable and for cables as multilayer system. The paper presents also comparative analysis of thermal time – constant T values which are in specialist literature (these values are showed in the Table 1) with values of T determined on the base of laboratory temperature measurement. Determination of T value of cables depending on their structure and way of arranging is characterized. Fig. 1 has been presenting graphically the way of determination of thermal time constant T basing on conductor heating characteristic. Laboratory tests were carried out on laboratory stand, which diagram and view are showed in Fig. 2 and 3. Time values which are determined by authors on the temperature measurement base are showed in the Table 2. Table 3 presents values of thermal time – constant T depending on the way of arrangement (two or three layers) and number of conductors YDYżo 5 x 6 mm².

Keywords: thermal time - constant, multiconductor cable, multilayer system of cables.

1. Wstęp

Wartość prądu, jaki może płynąć długotrwale przez przewód, nie powodując przekroczenia jego temperatury dopuszczalnej, wyznaczana jest przy założeniu, że obciążenie przewodu jest ciągłe. W praktyce jednak bardzo często mamy do czynienia ze zmiennym obciążeniem prądowym przewodu. W takim przypadku przewód nie osiąga temperatury dopuszczalnej długotrwale, a co za tym idzie, dopuszczalna wartość prądu może być większa od znamionowej. Istnieje wówczas możliwość doboru mniejszego przekroju poprzecznego żył w zastosowanym przewodzie lub zwiększenia wartości prądu obciążenia. W celu określenia wartości prądu, jaki może płynąć przez przewód przy zmiennym obciążeniu niezbędne jest określenie wartości jego cieplnej stałej czasowej. Temperatura ustalona przewodu wystąpi po upływie czasu równego trzy- czterokrotnej wartości cieplnej stałej czasowej.

2. Cieplna stała czasowa

Cieplna stała czasowa jest równa czasowi, po którym przewód całkowicie cieplnie odizolowany, osiągnie temperaturę równą temperaturze ustalonej przy zwykłej wymianie ciepła przewodu z otoczeniem. Cieplna stała czasowa opisywana jest zależnością [2, 3, 4]:

$$T = \frac{c \cdot s}{\varepsilon \cdot S}, \quad (1)$$

gdzie: c – ciepło właściwe materiału przewodowego; s – pole przekroju poprzecznego przewodu; ε - współczynnik wymiany ciepła; S – powierzchnia zewnętrzna przewodu przypadająca na jednostkę długości.

W praktyce najczęściej korzysta się z wartości cieplnej stałej czasowej dostępnych w literaturze (tab.1). Niestety w najnowszej literaturze trudno jest znaleźć wartości stałej T odpowiadające spotykanym powszechnie typom przewodów. Przyjęcie podanych w tabeli 1 wartości stałej T do analizy nagrzewania przewodów obecnie produkowanych, prowadzi najczęściej do dużych błędów, z uwagi na różnice w budowie przewodów dostępnych obecnie i przewodów produkowanych przed wieloma laty. Autor [2] nie podaje również dokładnych danych badanych przewodów wielożyłowych takich jak: liczba żył, typ czy też sposób ich ułożenia. Dane te, analizując wielkości wchodzące w skład zależności (1), mogą mieć istotne znaczenie przy określaniu wartości cieplnej stałej czasowej. Mogą one powodować różnice w wartościach stałej T dla różnych typów przewodów i różnych sposobów ich ułożenia.

Tab. 1. Wartości cieplnej stałej czasowej T przewodów wielożyłowych o żyłach miedzianych w izolacji i osłonie polwinilowej [2]

Tab. 1. Values of thermal time – constant T of multiconductor cables with copper conductors polyvinyl chloride – insulated and in polyvinyl chloride tube [2]

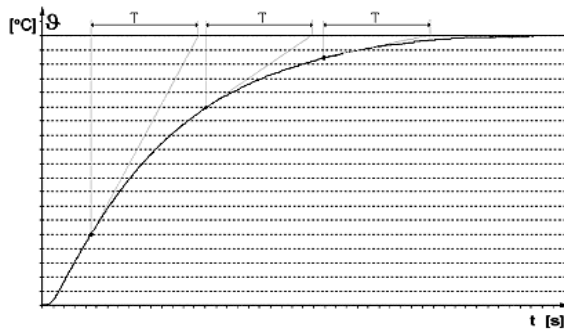
Przekrój przewodu	Cieplna stała czasowa
mm ²	min
1,5	0,9
2,5	1,2
4	1,7
6	2,3

3. Sposoby wyznaczania cieplnej stałej czasowej przewodów

Cieplną stałą czasową przewodu można wyznaczyć w dwojaki sposób: z wyznaczonych w warunkach laboratoryjnych krzywych nagrzewania (stygnięcia) przewodu lub w sposób analityczny, korzystając z zależności (1).

Wyznaczając wartość cieplnej stałej czasowej przewodu przy pomocy zależności (1) można napotkać trudności z określeniem wartości parametrów wchodzących w skład tej zależności. Wartości te podawane są w literaturze zazwyczaj jako przedziały, w których należy przyjmować szukaną wartość. Producenci przewodów i kabli elektroenergetycznych nie określają również jednoznacznie grubości poszczególnych warstw izolacji, a ograniczają się jedynie do podania ich wartości znamionowych i minimalnych, oraz maksymalnej średnicy przewodu, przez co występują trudności przy wyznaczaniu powierzchni zewnętrznej przewodu przypadającej na jednostkę długości. Może to prowadzić do różnicy między wartościami cieplnej stałej czasowej przewodu wyznaczonymi analitycznie, a wartościami tej stałej w warunkach rzeczywistych.

Prostszym, a zarazem dokładniejszym sposobem określania wartości cieplnej stałej czasowej jest wyznaczanie jej na podstawie krzywych nagrzewania i stygnięcia przewodu. Na rysunku 1 przedstawiono przykładową charakterystykę nagrzewania przewodu obciążonego prądem o stałym natężeniu, wraz z graficznym sposobem wyznaczania cieplnej stałej czasowej.

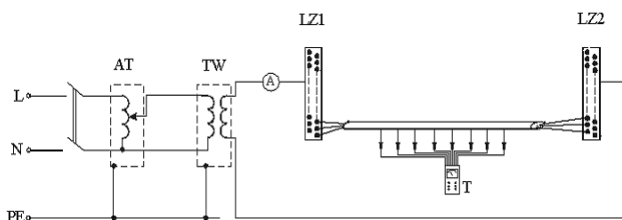


Rys. 1. Wyznaczenie cieplnej stałej czasowej T w oparciu o charakterystykę nagrzewania przewodu

Fig. 1. Determination of thermal time constant T based on conductor heating characteristic

4. Wyznaczanie wartości cieplnej stałej czasowej przewodów w warunkach laboratoryjnych

W celu określenia wartości cieplnej stałej czasowej przewodów wielożyłowych w zależności od typu przewodu i sposobu jego ułożenia zostały przez autorów przeprowadzone badania laboratoryjne, polegające na wyznaczeniu krzywych nagrzewania oraz stygnięcia przewodów. Badania te zostały przeprowadzone na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rysunku 2. Widok stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 3.



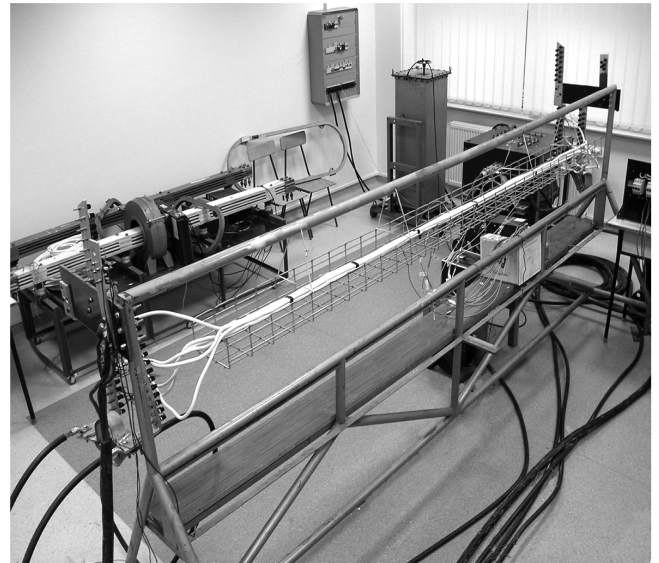
Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do laboratoryjnego wyznaczania krzywych nagrzewania i stygnięcia przewodów

AT – autotransformator, TW – transformator wielkoprowodowy, LZ1 – listwa zaciskowa pierwsza, LZ2 – listwa zaciskowa druga, T – miernik temperatury

Fig. 2. Scheme of configuration for laboratory determination of conductors heating and self – cooling characteristic

AT – autotransformer, TW – transformer, LZ1 – first terminal strip, LZ2 – second terminal strip, T – temperature meter

Podczas przeprowadzanych badań starano się utrzymać wartości wielkości charakteryzujących otoczenie (konwekcja, temperatura, ciśnienie, wilgotność) na stałym poziomie. Pomiaru temperatury przewodu dokonano szesnastokanałowym rejestratorem MPI 16 firmy Metronic, wyposażonym w platynowe czujniki temperatury PT100 i PT1000, które zostały umieszczone w różnych miejscach badanego przewodu (na zewnątrz oraz wewnątrz przewodu). Przewody zostały ułożone w powietrzu, w siatkowych korytkach instalacyjnych.



Rys. 3. Widok stanowiska badawczego do wyznaczania krzywych nagrzewania i stygnięcia przewodów

Fig. 3. Test stand to determination of conductors heating and self – cooling characteristic

Wartość cieplnej stałej czasowej otrzymana z pomiarów zależy od miejsca pomiaru temperatury przewodu. Mimo, że można założyć stałość temperatury w całym przekroju żyły przewodu, to zmienność jej wartości występuje w warstwie izolacji przewodu. Należy więc przeanalizować, którą wartość cieplnej stałej czasowej (z przedziału wartości wyznaczonych dla badanego przewodu) największą, najmniejszą czy średnią przyjmować do obliczeń zastępczej obciążalności przewodu. Jak wynika z analizy zależności opisujących zastępczy prąd dopuszczalny przy zmiennym obciążeniu [1, 2, 3, 4], im większa wartość cieplnej stałej czasowej (przy założeniu tych samych czasów obciążenia i przerw bezprądowych), tym większa jest wartość zastępczego prądu dopuszczalnego. Biorąc pod uwagę skutki ewentualnego przekroczenia temperatury dopuszczalnej długotrwale przewodu, w obliczeniach należy przyjąć najmniejszą wartość cieplnej stałej czasowej. Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość cieplnej stałej czasowej przewodu jest najmniejsza dla obciążonej żyły badanego przewodu. Rośnie ona wraz ze wzrostem odległości od powierzchni żyły.

W tabeli 2 przedstawiono wartości cieplnej stałej czasowej przewodów wielożyłowych w zależności od typu badanego przewodu. Podane wartości wyznaczone są na podstawie pomiarów temperatury w przewodzie w różnych miejscach (np.: na żyłę, izolacji, osłonie).

Analizując wartości cieplnych czasowych przedstawione w tabeli 2 można zauważyć, że są one kilkakrotnie większe od wartości dostępnych w literaturze (tab. 1.) i ściśle zależą od typu badanego przewodu. Ciepła stała czasowa zależy nie tylko od kształtu przewodu (przewód płaski ma mniejszą wartość stałej T od przewodu okrągłego o takim samym przekroju oraz liczbie żył) ale również od liczby żył (im większa liczba żył w przewodzie, tym większa wartość stałej T). Różnice w poszczególnych wartościach cieplnej stałej czasowej dla danego typu przewodów (przy różnej

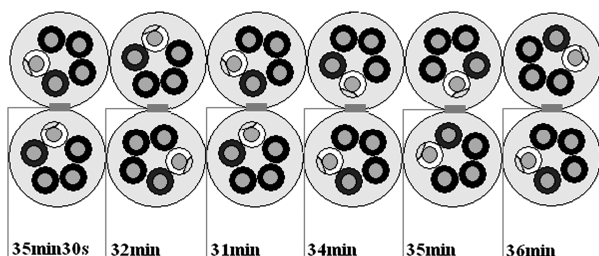
liczbie obciążonych żył) wynikają z niedokładności odczytu stałej T z krzywych nagrzewania przewodu i wynoszą nie więcej niż 10%. Przyjęcie 10 procentowej dokładności pomiaru ciepłej stałej czasowej można uznać za wystarczające, ze względu na zmienność parametrów (tj. ciśnienie, temperatura, wilgotność) charakteryzujących powietrze otaczające badany przewód.

Tab. 2. Wartości ciepłych stałych czasowych przewodów wielożyłowych wyznaczone na podstawie badań laboratoryjnych

Tab. 2. Values of thermal time – constant of multiconductor cables, based on laboratory tests

		Obciążone 2 żyły przewodu	
		Typ przewodu	T, s
Przewód okrągły	YDY 2x1,5		225
	YDY 2x2,5		270
	YDY 2x4		345
	YDY 2x6		450
	YDY _{zo} 3x1,5		300
	YDY _{zo} 3x2,5		330
	YDY _{zo} 3x4		345
	YDY _{zo} 3x6		450
	YDY _{zo} 5x2,5		375
	YDY _{zo} 5x4		465
	YDY _{zo} 5x6		540
Przewód płaski	YDYp 2x1,5		195
	YDYp 2x2,5		225
	YDYp 2x4		270
	YDYp 2x6		330
	YDYp _{zo} 3x2,5		255
Przewody ułożone pojedynczo w powietrzu, w siatkowych korytkach instalacyjnych			

Przy ułożeniu przewodów w kilku stykających się ze sobą warstwach można mówić o różnych wartościach ciepłej stałej czasowej w zależności od miejsca pomiaru temperatury. Wartości ciepłych stałych czasowych, w zależności od miejsca pomiaru temperatury w układzie przewodów typu YDY_{zo} 5 x 6 mm², ułożonych w powietrzu w dwóch warstwach, po sześć przewodów w warstwie zostały przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Wartości ciepłych stałych czasowych przewodów YDY_{zo} 5x6 mm² ułożonych w 2 warstwach po 6 przewodów w warstwie, w zależności od miejsca usytuowania przewodu w układzie wielowarstwowym

Fig. 4. Values of thermal time – constant of YDY_{zo} 5 x 6 mm² conductors arranged in 2 layers of 6 conductors each, depending on a place of conductor in multilayer system

Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość ciepłej stałej czasowej jest największa przy krańcach układu dwuwarstwowego. Niesymetryczne rozłożenie tych wartości wynika z faktu, że w rzeczywistości czujki dokonujące pomiaru temperatury, mogą

być nieznacznie przesunięte w stosunku do miejsc zaznaczonych na rysunku.

Wartości wyznaczonych (w oparciu o badania laboratoryjne) ciepłych stałych czasowych przewodów typu YDY_{zo} 5 x 6 mm², w zależności od liczby warstw oraz od liczby przewodów w warstwie przedstawiono w tabeli 3. Podane tam wartości są najmniejszymi wartościami ciepłej stałej czasowej z wyznaczonego w badaniach zbioru stałych T dla danego układu przewodów.

Tab. 3. Wartości ciepłych stałych czasowych T , w zależności od sposobu ułożenia oraz od liczby zastosowanych przewodów typu YDY_{zo} 5 x 6 mm² ułożonych w powietrzu

Tab. 3. Values of thermal time – constant T depending on the way of arrangement and number of conductors YDY_{zo} 5 x 6 mm²

	Sposób ułożenia przewodów					
	2 / 4	2 / 6	2 / 8	3 / 4	3 / 6	3 / 8
Ciepła stała czasowa s	1875	1920	2190	2640	3195	3495
Zapis np. 2 / 4 oznacza, że przewody ułożono w dwóch warstwach po cztery przewody w warstwie.						

Porównując ze sobą wartości ciepłych stałych czasowych zawarte w tabeli 3, można zauważyć znaczną różnicę, w porównaniu do wartości T wyznaczonej dla przewodu odosobnionego (tab. 2). Wartości ciepłych stałych czasowych przewodów ułożonych w kilku stykających się ze sobą warstwach są kilkukrotnie większe od wartości tej stałej dla przewodów ułożonych pojedynczo.

5. Wnioski

Podsumowując przeprowadzone w artykule rozważania, można wyciągnąć następujące wnioski:

- Analityczne wyznaczanie ciepłej stałej czasowej przewodów wielożyłowych oraz układów wielowarstwowych przewodów jest trudne i może być obciążone dużym błędem.
- Określenie wartości ciepłej stałej czasowej możliwe jest na podstawie pomiarów temperatury podczas nagrzewania lub stygnięcia przewodu.
- Wartość ciepłej stałej czasowej przewodu zależy od miejsca pomiaru temperatury oraz jego położenia w układzie wielowarstwowym i rośnie wraz z odległością od powierzchni żyły (środku układu przewodów).
- Wartość ciepłej stałej czasowej przewodów płaskich jest większa niż przewodów okrągłych o tym samym przekroju.

Artykuł powstał w ramach pracy badawczej S/WE/4/08.

6. Literatura

- [1] Lejdy B., Skibko Z.: Ciepła stała czasowa przewodów wielożyłowych ułożonych pojedynczo oraz w układzie wielowarstwowym. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, nr 7/402, 2004r.
- [2] Markiewicz H.: Instalacje elektryczne. WNT Warszawa 1996 r.
- [3] Skibko Z.: Obciążalność prądowa przewodów ułożonych wielowarstwowo. Rozprawa doktorska, Politechnika Białostocka, Białystok 2008 r.
- [4] Wołkowiński K.: Instalacje elektryczne – Zagadnienia wybrane. WNT, Warszawa 1972 r.