

Przewód do elektroenergetycznych linii napowietrznych

Przedmiotem wynalazku jest przewód elektroenergetyczny do elektroenergetycznych linii napowietrznych o budowie złożonej, którego rdzeń nośno-przewodzący wykonany jest ze stopów miedzi o wysokiej wytrzymałości mechanicznej i przewodności elektrycznej, a nałożone na ten rdzeń warstwy zewnętrzne zbudowane są z drutów wykonanych czystego technicznie aluminium w stanie miękkim.

Przesył energii elektrycznej liniami napowietrznymi polega na tym, że przewodzące prąd przewody rozpięte są nad ziemią na odpowiednich konstrukcjach wsporczych. Przewody te, oprócz przewodzenia prądu elektrycznego, przenoszą obciążenia mechaniczne i wystawione są na działanie czynników środowiskowych, m.in. takich, jak wiatr, sadz, promieniowanie słoneczne, czynniki korozyjne. W elektroenergetycznych liniach napowietrznych stosowane są gołe przewody wielodrutowe wykonane z drutów okrągłych lub z drutów o przekroju innym niż okrągły. Druty w tych przewodach ułożone są w warstwach skręconych współosiowo najczęściej naprzemiennie na drucie centralnym. Najpopularniejsze przewody konwencjonalne do linii napowietrznych to przewody stalowo-aluminiowe wykonane z drutów okrągłych. Rdzeń takiego przewodu stanowi pojedynczy drut lub skrętka wykonana z odpowiedniej stali zabezpieczonej przed korozją, a kolejne warstwy wykonane są z drutów aluminiowych. Własności oraz przykłady konstrukcji przewodów tego typu znaleźć można w normie PN-EN 50182 lub PN-IEC 1089.

Drugą znaczącą grupą przewodów konwencjonalnych do linii napowietrznych są przewody jednorodne tzn. przewody bezrdzeniowe, w których wszystkie druty wykonane są z identycznego materiału. Takim materiałem może być aluminium lub stopy aluminium. Własności oraz przykłady konstrukcji przewodów tego typu znaleźć można przykładowo w normie EN 50182 i PN-IEC 1089. Istnieją również przewody wykorzystujące miedź lub jej stopy, które

stosuje się w sieciach trakcyjnych, przykładowo takich jak przewody według normy PN-74/E-90081. Na rdzenie napowietrznych przewodów elektroenergetycznych wykorzystuje się również wysokowytrzymałą stal węglową po obróbce cieplno-plastycznej o wytrzymałości na rozciąganie przekraczającej na ogół 1000 MPa. Własności drutów stalowych stosowanych do budowy przewodów elektroenergetycznych linii napowietrznych znaleźć można m.in. w normie PN-EN 50189.

Ponieważ przewodność elektryczna właściwa stali jest istotnie niższa od pozostałych materiałów tworzących przewód, zaniedbuje się jej wpływ na rezystancję liniową przewodów. Decydujące o właściwościach elektrycznych przewodu druty z aluminium lub jego stopów wykonywane są jako materiały w stanie twardym. Wytrzymałość na rozciąganie drutów aluminiowych jest na ogół wyższa niż 160 MPa, natomiast wytrzymałość na rozciąganie drutów ze stopów aluminium jest na ogół wyższa niż 295 MPa. Wymagania w zakresie własności takich drutów znaleźć można w normach PN-EN 60889 i PN-EN 50183. Kombinacja odpowiednich właściwości pojedynczych drutów oraz budowa geometryczna przewodu decyduje o parametrach fizycznych (moduł sprężystości wzdłużnej przewodu, współczynnik wydłużenia cieplnego, masa liniowa, rezystancja liniowa) oraz wytrzymałości mechanicznej przewodu. Parametry te oszacować można wykorzystując zależności z normy IEC 61597.

Przepływ prądu elektrycznego przez przewód skutkuje podwyższeniem jego temperatury, a ta – w dłuższym czasie – może powodować degradację własności wytrzymałościowych drutów z aluminium bądź jego stopów w stanie twardym. Z tego powodu, ogranicza się ogólnie temperaturę graniczną roboczą pracy ciągłej przewodów konwencjonalnych (tj. najwyższą temperaturę, jaką posiadać może przewód w długich odcinkach czasu pracy). Typowo temperatura ta nie przekracza 80°C.

Potrzeba zwiększania zdolności przesyłowych linii napowietrznych zaowocowała opracowaniem nowej generacji przewodów tzw. przewodów

wysokotemperaturowych, posiadających istotnie wyższą (w odniesieniu do przewodów konwencjonalnych) temperaturę graniczną roboczą wynoszącą typowo od 150°C do 240°C. Przewody wysokotemperaturowe to przewody o budowie złożonej, posiadające rdzeń o charakterze nośnym oraz warstwy zewnętrzne przewodu (wykonane z materiałów odmiennych niż rdzeń), decydujące w głównej mierze o ich własnościach elektrycznych. Na rdzenie wykorzystuje się stal, inwar lub kompozyty włókniste na osnowie polimerowej lub metalowej, zaś na warstwy zewnętrzne wykorzystuje się specjalne stopy aluminium o podwyższonej odporności cieplnej w stanie twardym (najczęściej stopy AlZr) lub technicznie czyste aluminium w stanie miękkim (po rekrytalizacji). Pomimo znacznej różnorodności konstrukcyjnej przewody wysokotemperaturowe posiadają wspólną koncepcję eksploatacji wynikającą z różnicy w rozszerzalności cieplnej materiału rdzenia i materiału warstw zewnętrznych, przy czym rozszerzalność cieplna rdzenia jest istotnie niższa niż rozszerzalność cieplna warstw zewnętrznych. Ponieważ przewód w linii napowietrznej przenosi w sposób ciągły obciążenie mechaniczne (które można oszacować z równania stanów) w niskich temperaturach część tego obciążenia przenosi rdzeń część zaś warstwy zewnętrzne. Skutkiem zróżnicowania w rozszerzalności cieplnej składników przewodu w pewnej temperaturze dochodzi do złuznienia warstw zewnętrznych i całość obciążenia mechanicznego zaczyna przenosić wyłącznie rdzeń. Z uwagi na to, że rozszerzalność cieplna rdzenia jest mniejsza niż przewodu jako całości (gdy pracuje on w niższych temperaturach), dalszy przyrost zwisu w funkcji temperatury jest mniejszy. Opisane zjawisko nosi nazwę załamania charakterystyki zwis-temperatura wiszącego przewodu. Z punktu widzenia kształtowania zwisów przewodów wysokotemperaturowych zmierza się do tego, aby punkt załamania charakterystyki zwis-temperatura występował przy możliwie najniższych temperaturach, a ponadto, aby przewód posiadał możliwie niską masę liniową, zaś jego rdzeń możliwie niski współczynnik rozszerzalności cieplnej.

Zaprezentowany fenomen transformacji obciążenia mechanicznego, obecnego we wszystkich drutach przy temperaturach poniżej załamania charakterystyki zwis-temperatura przewodu do drutów rdzenia powyżej załamania charakterystyki zwis-temperatura, może w praktyce zostać zrealizowany na różne sposoby.

Z amerykańskiego opisu patentowego nr US7,687,710 znane są przewody wysokotemperaturowe typu TACSR (Thermal Resistant Aluminium Conductor Steel Reinforced), których budowa jest bardzo zbliżona do konwencjonalnych przewodów stalowo-aluminiowych. Różnica polega na wprowadzeniu w miejsce drutów aluminiowych drutów ze specjalnego stopu aluminium o wysokiej odporności termicznej. Technologia wytwarzania oraz skład chemiczny materiałów tego typu znane są z amerykańskiego opisu patentowego nr US4,182,640, zaś ich własności regulują wymagania normy PN-EN 62004. Udział części stalowej i części ze stopu aluminium w przewodach TACSR ustala się w taki sposób, aby obniżyć temperaturę przy której następuje załamanie charakterystyki zwis-temperatura.

Z amerykańskiego opisu patentowego nr US7,687,710 znane są przewody typu TACIR (Thermal Resistant Aluminium Conductor Invar Reinforced) stanowiące ulepszenie przewodów wysokotemperaturowych typu TACSR. W przewodach typu TACIR rdzeń nie jest wykonany ze stali, lecz z invaru, który posiada zdecydowanie niższy niż stal współczynnik rozszerzalności cieplnej. Dzięki temu załamanie charakterystyki zwis-temperatura przewodu występuje przy niższych temperaturach.

Z amerykańskiego opisu patentowego nr US6,180,232 znane są przewody typu ACCR (Aluminium Conductor Composite Core Reinforced), w których miejsce ciężkich rdzeni zajęły lekkie i wysokowytrzymałe kompozyty z włókien Al_2O_3 w osnowie aluminium, zaś warstwy przewodzące wykonano z odpornego termicznie stopu aluminium.

Alternatywną i bardziej skuteczną koncepcją obniżenia masy jednostkowej przewodu są przewody typu ACCC (Aluminium Composite Core Conductors), znane z amerykańskiego opisu patentowego nr US7,438,971, posiadające rdzenie nośne z superlekkich kompozytów z włókien węglowych i szklanych na osnowie żywicy polimerowej. W rozwiązaniu tym, jako druty warstwy czynnej elektrycznie, wykorzystano aluminium w stanie miękkim. Miękkie aluminium wykorzystano również w przewodach typu ACSS, o budowie zbliżonej do konwencjonalnych przewodów aluminiowych z rdzeniem stalowym, przy czym różnica między analizowanymi przewodami tkwi w stanie drutów aluminiowych.

Odminną koncepcję przyjęto przy opracowaniu przewodów typu GTACSR (Gap Type Thermal Resistant Aluminium Conductors Steel Reinforced) opisanym w amerykańskim zgłoszeniu patentowym nr US 20090114419 oraz amerykańskim opisie patencie nr US4,568,794. Walory eksploatacyjne tego typu rozwiązań kryją się w specjalnej technice ich montażu, podczas którego siłę naciągu wprowadza się wyłącznie do rdzenia nośnego, podczas gdy warstwy przewodzące są odciążone. Tym sposobem przesuwa się punkt załamania charakterystyki do temperatury montażu. W przewodach GTACSR część czynna elektrycznie i nośna rozdzielone są specjalną szczeliną wypełnioną odpowiednim smarem.

Eksploatacja przewodów wysokotemperaturowych skutkuje znacznym zwiększeniem obciążalności prądowej linii, lecz równocześnie zwiększeniem strat przesyłu. Straty przesyłu są proporcjonalne do iloczynu kwadratu prądu i rezystancji przewodu w temperaturze odpowiadającej analizowanemu prądowi. Wprowadzenie w miejsce drutów z czystego technicznie aluminium drutów z odpornego cieplnie stopu aluminium skutkuje pewnym niewielkim zwiększeniem znamionowej rezystancji liniowej przewodu (tj. rezystancji określanej dla temperatury 20°C). Równocześnie podwyższenie temperatury granicznej roboczej pracy przewodu bardzo istotnie zwiększa rezystancję

przewodu w warunkach występowania dużych prądów. Przyrost ten wynosi bowiem ok. 0,4% na każdy stopień Celsjusza. Oznacza to w szczególności, że rezystancja przewodu wysokotemperaturowego w jego temperaturze granicznej roboczej 150°C będzie o ponad 20% wyższa od rezystancji przewodu konwencjonalnego w jego temperaturze granicznej roboczej wynoszącej 80°C chociaż znamionowe rezystancje liniowe obu przewodów są identyczne. Korzystny efekt wydatnego podwyższenia obciążalności prądowej jest zatem okupiony negatywnym skutkiem w postaci znacznego zwiększenia strat przesyłu.

Minimalizację strat przesyłu osiągnąć można poprzez zmniejszenie rezystancji liniowej przewodu. Można to uzyskać na kilka sposobów. Po pierwsze, można zwiększyć przekrój wykonanej na osnowie aluminium części przewodu, jak ma to miejsce np. w przewodach wiązkowych. Po drugie, w miejsce stopu aluminium lub aluminium w stanie twardym wprowadzić można czyste aluminium w stanie miękkim o lepszej przewodności elektrycznej właściwej, jak ma to miejsce np. w przewodach ACCC czy ACSS. Po trzecie, można poprawić własności elektryczne rdzenia nośnego poprzez zastosowanie drutów stalowych aluminiowanych w miejsce drutów stalowych cynkowanych, poprzez zastosowanie rdzenia z kompozytów na osnowie metalicznej, jak ma to miejsce w przypadku przewodów ACCR lub poprzez wyciskanie aluminiowej powłoki na drutach rdzenia jak ujawniono w europejskim opisie patentowym nr EP1821318.

Z amerykańskiego opisu patentowego nr US5,223,349 znane są przewody, w których poszczególne druty to bimetale wytworzone np. przez nałożenie powłoki aluminiowej na drucie miedzianym. Przedstawione rozwiązania, chociaż zmniejszają rezystancję liniową przewodu, nie są w stanie w zadowalającym stopniu skompensować przyrostu rezystancji przewodu pochodzącej od temperatury bez istotnego zwiększania przekroju części aluminiowej. W rozwiązaniu według wynalazku rezystancja liniowa przewodu jest zmniejszana zarówno poprzez poprawę przewodności elektrycznej części przewodu

na osnowie aluminium dzięki zastosowaniu miękkich drutów aluminiowych, jak i poprzez poprawę przewodności elektrycznej rdzenia dzięki zastosowaniu wysokowytrzymałych i wysokoprzewodzących stopów miedzi.

Znane są wysokowytrzymałe i wysokoprzewodzące stopy miedzi. Przykładowo z amerykańskiego opisu patentowego nr US2,567,560 znane są druty ze stopów Cu-Ag posiadające wytrzymałość na rozciąganie korespondującą z wytrzymałością drutów stalowych wykorzystywanych na rdzenie przewodów elektroenergetycznych. Stopy Cu-Ag nie znalazły jednak dotychczas zastosowania jako rdzenie elektroenergetycznych przewodów do linii napowietrznych.

Wynalazek dotyczy przewodu do elektroenergetycznych linii napowietrznych. Przewód będący przedmiotem wynalazku zawiera rdzeń nośno-przewodzący wykonany ze stopów miedzi o wytrzymałości na rozciąganie wynoszącej co najmniej 1000 MPa, korzystnie 1200 MPa, i przewodności elektrycznej wynoszącej co najmniej 62% IACS, korzystnie 70-80% IACS, oraz nałożone na rdzeń nośno-przewodzący warstwy zewnętrzne z aluminium w stanie miękkim o wytrzymałości na rozciąganie zawierającej się od 40 MPa do 100 MPa i przewodności elektrycznej wynoszącej co najmniej 61,8% IACS.

Rdzeń nośno-przewodzący wykonany jest z jednego lub więcej drutów. Warstwy zewnętrzne wykonane są z dwóch lub więcej drutów. Druty tworzące rdzeń nośno-przewodzący, jak również druty tworzące warstwy zewnętrzne mogą mieć różny przekrój, korzystnie okrągły lub segmentowy. Sąsiadujące z sobą druty tworzące rdzeń nośno-przewodzący oraz warstwy zewnętrzne w przewodzie skręcone są współosiowo w kierunkach przeciwnych z wyłączeniem centralnego drutu rdzenia nośno-przewodzącego, który nie jest skręcony.

Rdzeń nośno-przewodzący wykonany jest korzystnie ze stopu miedzi (Cu) ze srebrem (Ag) lub miedzi (Cu), srebra (Ag) i innych pierwiastków, korzystnie magnezu (Mg), niobu (Nb), chromu (Cr), cyrkonu (Zr), cynku (Zn), niklu (Ni) lub palladu (Pd).

Z uwagi na ryzyko korozji druty tworzące rdzeń nośno-przewodzący pokrywa się powłoką antykorozyjną, korzystnie w postaci metalu lub stopu metali nałożoną metodami ogniowymi, elektrolitycznymi, chemicznym, z wykorzystaniem przeróbki plastycznej lub w inny sposób.

Rezystancja liniowa przewodu jest odwrotnością sumy odwrotności rezystancji poszczególnych drutów z uwzględnieniem współczynników korekcyjnych wynikających ze skrętu drutu. Rezystancja liniowa przewodu według wynalazku jest istotnie niższa od rezystancji konwencjonalnego przewodu aluminiowego z rdzeniem stalowym o identycznej konstrukcji oraz o identycznej proporcji udziału rdzenia w całkowitym przekroju poprzecznym przewodu. Wynika to przede wszystkim z faktu, że rezystancja drutów ze stopów miedzi na rdzeń przewodu jest zdecydowanie niższa niż rezystancja drutów stalowych wykorzystywanych na rdzeń w przewodach konwencjonalnych.

Straty przesyłu energii są proporcjonalne do iloczynu natężenia prądu i rezystancji przewodu. Ponieważ rezystancja przewodu według wynalazku jest istotnie niższa od rezystancji konwencjonalnego przewodu o identycznej konstrukcji, również straty przesyłu energii są niższe w przypadku przewodu będącego przedmiotem wynalazku przy przepływie identycznego natężenia prądu.

Zastosowanie w rozwiązaniu według wynalazku drutów z miękkiego aluminium pozwala zwiększyć poziom temperatury granicznej roboczej przewodu do wartości wyższych niż dla konwencjonalnych przewodów (tj. powyżej typowej temperatury 80°C). Wysokowytrzymałe i wysokoprzewodzące stopy miedzi wykorzystywane na rdzeń nośno-przewodzący przewodu według wynalazku posiadają niższy współczynnik rozszerzalności cieplnej niż aluminium (poniżej $0,00002\text{ K}^{-1}$) wskutek czego przewód eksploatowany w linii napowietrznej będący pod działaniem obciążenia mechanicznego w pewnym zakresie temperatur zmienia swój charakter pracy z typowego dla konwencjonalnej konstrukcji bimetalowej, gdzie część obciążenia przenoszą druty na osnowie aluminium, a część druty rdzenia nośnego na wysokotemperaturowy, gdzie dominująca część

lub całość obciążenia przenoszą druty rdzenia (druty na osnowie aluminium mogą przenosić śladowe obciążenia ściskające). Wskutek tego dochodzi do załamania charakterystyki zwis-temperatura przewodu.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest zastosowanie rdzenia nośno-przewodzącego z wysokowytrzymałych stopów umożliwiającego podwyższenie obciążalności prądowej lub redukcję strat przesyłu. Ponadto zastosowanie rdzenia nośno-przewodzącego ze stopów miedzi w postaci drutów o przekroju innym niż okrągły oraz dodatkowo drutów z aluminium o przekroju innym niż okrągły pozwala zmniejszyć średnicę zewnętrzną przewodu dzięki zwiększeniu wypełnienia metalem przekroju poprzecznego przewodu. W dotychczasowych rozwiązaniach stosowano w przypadku rdzeni wielodrutowych wyłącznie druty okrągłe. Zmniejszenie zewnętrznej średnicy przewodu jest korzystne z punktu widzenia parametrów eksploatacyjnych, takich jak siła parcia wiatru na przewód czy obciążenie przewodu sadią.

Przewód do elektroenergetycznych linii napowietrznych według wynalazku zostanie bliżej objaśniony na podstawie przykładów realizacji zamieszczonych w tabl. 1 oraz przedstawionych na rysunku, na którym fig. 1 i fig. 2 obrazują konstrukcję przewodu (w dwóch wariantach) natomiast fig. 3 do fig. 5 dotyczą ilustracji jego parametrów technicznych na tle innych rozwiązań.

Poszczególne figury przedstawiają: fig. 1 – przewód według wynalazku wykonany z drutów okrągłych (w przekroju poprzecznym), fig. 2 – przewód według wynalazku z drutów segmentowych (w przekroju poprzecznym), fig. 3 – wykres przedstawiający zależność rezystancji liniowej przewodów o konstrukcjach według tabl. 1 w funkcji temperatury obliczonej według procedury podanej w normie IEC 1597, fig. 4 – wykres przedstawiający zależność znamionowej obciążalności prądowej przewodów o konstrukcjach według tabl. 1 w funkcji temperatury obliczonej według procedury podanej w normie IEC 1597, fig. 5 – wykres przedstawiający iloczyn kwadratu natężenia prądu (według fig. 4)

i rezystancji liniowej (według fig. 3) przewodów o konstrukcjach według tabl. 1 w funkcji temperatury.

W tabl. 1 przedstawiono przykłady wykonania przewodów do elektroenergetycznych linii napowietrznych według wynalazku: kolumna 2 zawiera parametry typowego przewodu stalowo-aluminiowego typu AFL 6 240 według normy PN-74/E-90083, kolumna 3 zawiera parametry znanego wysokotemperaturowego odpowiednika przewodu typu TACSR, kolumny 4 i 5 zawierają parametry przewodów według wynalazku. Wszystkie analizowane przewody posiadają identyczny przekrój sumaryczny drutów z aluminium lub z odpornego termicznie stopu aluminium. Zaproponowane jako przykłady zamienników przewody z rdzeniem wykonanym z wysokowytrzymałych mechanicznie i wysokoprzewodzących stopów miedzi przedstawiono w wersji z drutami o przekroju okrągłymi Z1 (kolumna 4, tabl. 1) w konstrukcji przedstawionej na fig. 1 oraz w wersji z drutami segmentowymi Z2 (kolumna 5 tabl. 1) w konstrukcji przedstawionej na fig. 2.

Przykład realizacji przewodu według wynalazku o konstrukcji przedstawionej na fig.1 posiada rdzeń nośno-przewodzący 1 z wysokowytrzymałych mechanicznie i wysokoprzewodzących stopów miedzi wykonany z siedmiu drutów okrągłych 2, na który nawinięto warstwy aluminium 4 w postaci drutów okrągłych 3.

Przykład realizacji przewodu według wynalazku o konstrukcji przedstawionej na fig. 2 posiada rdzeń nośno-przewodzący 1' z wysokowytrzymałych mechanicznie i wysokoprzewodzących stopów miedzi wykonany z sześciu drutów segmentowych nawiniętych na drut centralny o przekroju okrągłym 2'. Na rdzeniu nośno-przewodzącym 1' nawinięto aluminiowe warstwy zewnętrzne 4' wykonane z drutów segmentowych 3'.

Na fig. 3 linia 8 reprezentuje zmiany rezystancji liniowej przewodu AFL 6 240 w funkcji tego temperatury, linia 9 identyczną zależność dla przewodu typu TACSR o budowie, jak w tabl. 1, natomiast linia 10 to zależność zmiany

rezystancji liniowej od temperatury dla przykładów realizacji przewodów do elektroenergetycznych linii napowietrznych według wynalazku o budowie, jak w tabl. 1. Należy zauważyć, że rezystancja liniowa przewodu będącego przedmiotem wynalazku zilustrowana linią 10 jest o ok. 24% niższa niż przewodu konwencjonalnego zilustrowana linią 8. Również rezystancja tego przewodu jest istotnie niższa w 80°C, tj. temperaturze granicznej roboczej przewodu stalowo-aluminiowego, co przekłada się na fakt, że przewód objęty wynalazkiem umożliwia znaczne zwiększenie obciążalności prądowej.

Na fig. 4 linia 11 reprezentuje obciążalność prądową przewodu AFL 6 240 przy różnych temperaturach roboczych, linia 12 reprezentuje analogiczny przebieg dla przewodu TACSR o budowie, jak w tabl. 1, a linia 14 reprezentuje obciążalność prądową dla przykładu realizacji przewodu do elektroenergetycznych linii napowietrznych według wynalazku o konstrukcji z drutów okrągłych Z1 (jak na fig. 1), natomiast linia 13 dla przykładu realizacji przewodu według wynalazku z drutów segmentowych Z2 (jak na fig. 2). Przykłady realizacji przewodów do elektroenergetycznych linii napowietrznych według wynalazku, tj. z rdzeniem nośno-przewodzącym wykonanym ze stopu miedzi o wysokiej wytrzymałości mechanicznej i wysokiej przewodności elektrycznej Z1 i Z2, umożliwiają podwyższenie obciążalności prądowej o ok. 11% w stosunku do przewodu AFL 6 240 nawet bez zwiększania temperatury roboczej. Znane przewody wysokotemperaturowe (np. TACSR, jak w tabl. 1 kolumna 3) wykazują natomiast podobną rezystancję i podobną obciążalność w tych temperaturach, jak przewody tradycyjne.

Na fig. 5 linia 15 przedstawia zależność iloczynu kwadratu natężenia prądu i temperatury przewodu AFL 6 240 jako miarę maksymalnych możliwych strat w funkcji prądu. Dla prądu ok. 650 A (tj. obciążalności przewodu stalowo-aluminiowego AFL 6 240) straty przewodu wysokotemperaturowego TACSR o budowie jak w tabl. 1, kolumna 3 są zbliżone do przewodów tradycyjnych jak ukazuje to linia 16, podczas gdy straty przykładowych realizacji przewodów

według wynalazku Z1 i Z2 są o blisko 20% niższe, co ilustrują linie 18 (dla Z1) i 17 (dla Z2). Równocześnie porównanie strat typowego przewodu wysokotemperaturowego TACSR (o budowie jak w tabl. 1, kolumna 3) przy prądzie ok. 860A z przykładami realizacji przewodów według wynalazku Z1 i Z2 (o budowie jak w tabl. 1, kolumny 4 i 5) ukazuje, że straty dla przewodu według wynalazku są o ok 40% niższe. Obniżenie rezystancji przewodu według wynalazku umożliwia ponadto osiągnięcie obciążalności prądowych takich jak przewody TACSR przy niższej o ponad 30°C temperaturze roboczej.

T a b e l a 1
Parametry techniczne i konstrukcyjne przewodu AFL 6 240,
typowego przewodu wysokotemperaturowego TACSR
oraz przykładów realizacji przewodów według wynalazku Z1 i Z2

1		2	3	4	5
Typ przewodu		AFL 6 240	TACSR	Z1 (druty okrągłe)	Z2 (druty profilowe wyp. 93%)
rdzeń	Średnica zewnętrzna rdzenia [mm]	8,1	8,1	8,1	7,4
	Przekrój rdzenia [mm ²]	40,08	40,08	40,08	40,08
	Ilość warstw/ drutów w rdzeniu	R - 1 I - 6	R - 1 I - 6	R - 1 I - 6	R - 1 I - 6
	Średnica drutu [mm]	2,7	2,7	2,7	-
	Materiał drutu	stal	stal	stop CuAg6	stop CuAg6
	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	1310	1310	1000	1000
	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	3	3	2	2
	Naprężenie przy 1% wydł. [MPa]	1140	1140	880	880
	Rezystywność [nΩm]	-	-	21,6	21,6
	Współczynnik rezystancji [K ⁻¹]	-	-	0,0035	0,0035
	Gęstość [g/cm ³]	7,78	7,78	9,05	9,05
	Współczynnik rozszerzalności liniowej [K ⁻¹]	0,0000115	0,0000115	0,000017	0,000017
	Norma	IEC 888	IEC 888	-	-

	1	2	3	4	5
druty aluminiowe	Przekrój części aluminiowej [mm ²]	236,1	236,1	236,1	236,1
	Ilość warstw/drutów	II-10 III-16	II-10 III-16	II-10 III-16	II-10 III-16
	Średnica drutu [mm]	3,4	3,4	3,4	-
	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	165	162	60	60
	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	-	1,7	20	20
	Rezystywność [nΩm]	28,264	28,735	27,9	27,9
	Współczynnik rezystancji [K ⁻¹] temp.	0,004	0,004	0,004	0,004
	Gęstość [g/cm ³]	2,703	2,703	2,703	2,703
	Współczynnik rozszerzalności liniowej [K ⁻¹]	0,000023	0,000023	0,000023	0,000023
	Norma	IEC 889	PN-IEC 62004	ASTM B 857	ASTM B 857
przewód	Średnica zewnętrzna przewodu [mm]	21,7	21,7	21,7	19,5
	Przekrój całkowity przewodu [mm ²]	276,2	276,2	276,2	276,2
	Rezystancja liniowa [Ω/km]	0,1223	0,1243	0,0987	0,0987
	Masa liniowa [kg/km]	970	970	1015	1015
	Znamionowa siła zrywająca [kN]	84,6	80,3	55	55
	Moduł elastyczności [GPa]	74,6/ -	74,6/ 190	61,4/ 100	61,4/ 100
	Współczynnik wydłużenia termicznego przewodu [K ⁻¹]	0,000019	0,000019/ 0,000012	0,000022/ 0,000017	0,000022/ 0,000017

Zgłaszający:

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Pełnomocnik:

Anna Górka
rzecznik patentowy