

PAWEŁ KUBIAK

POLITECHNIKA ŁÓDZKA
WYDZIAŁ TECHNOLOGII MATERIAŁOWYCH I WZORNICTWA TEKSTYLIÓW
INSTYTUT ARCHITEKTURY TEKSTYLIÓW
ZAKŁAD ODZIEŻOWNICTWA I TEKSTRONIKI
E-MAIL: PAWEŁ.KUBIAK@DOKT.P.LODZ.PL

JACEK LEŚNIKOWSKI

POLITECHNIKA ŁÓDZKA
WYDZIAŁ TECHNOLOGII MATERIAŁOWYCH I WZORNICTWA TEKSTYLIÓW
INSTYTUT ARCHITEKTURY TEKSTYLIÓW
ZAKŁAD ODZIEŻOWNICTWA I TEKSTRONIKI

Wpływ obciążenia rozciągającego na tłumienie wybranych tekstylnych linii transmisyjnych

STRESZCZENIE

Artykuł porusza zagadnienia związane z pomiarami i analizą wpływu naprężeń mechanicznych powstających przy rozciąganiu tekstylnych linii transmisyjnych, umieszczonych na płaskich wyrobach włókienniczych, na ich zdolności przesyłowe. Tekstylne linie transmisyjne, zbudowane z elektroprzewodzących materiałów tekstylnych umieszczonych na podłożach włókienniczych, przeznaczone są do przesyłania sygnałów elektrycznych. Opisane badania obejmują pomiary parametru S_{21} w szerokim zakresie częstotliwości sięgającym 5 GHz. Parametr ten odzwierciedla stopień tłumienia sygnału elektrycznego przechodzącego przez testowaną linię. W artykule przedstawiono wpływ działania długotrwałych naprężeń mechanicznych na parametr S_{21} trzech przykładowych linii transmisyjnych przed cyklem rozciągania i po nim.

SŁOWA KLUCZOWE

linie transmisyjne, przesyłanie sygnałów, linie sygnałowe, tekstronika, naprężenia mechaniczne w tekstyliach

Wstęp

Dzisiejsze innowacyjne włókiennictwo pozwala łączyć ze sobą elementy włókiennictwa tradycyjnego z naukami na pierwszy rzut oka niezwiązanymi z tekstyliami, takimi jak elektronika i informatyka, tworząc zupełnie nowe możliwości konstruowanych materiałów. Połączenie takie nazywamy tekstroniką¹. Obejmuje ona również zagadnienia związane z fizjologią, automatyką i metrologią.

Rosnące w dzisiejszych czasach zapotrzebowanie na coraz bardziej nowoczesne wyroby włókiennicze, o możliwościach i zastosowaniach odbiegających od utartych standardów, wzbudza zainteresowanie konsumentów², którzy poszukują najnowocześniejszych rozwiązań technicznych ukrytych w tekstyliach. Następuje ciągły rozwój wiedzy na temat nowoczesnych rozwiązań przemysłu tekstylnego³. Od paru lat powstają nowoczesne systemy tekstroniczne, łączące w sobie elementy włókiennicze, takie jak tekstylia, z elementami elektronicznymi (odpowiadającymi za przetwarzanie sygnału elektrycznego) oraz informatycznymi (przepływ informacji, ich akwizycja i opracowanie). Przykładowym rozwiązaniem tekstronicznym jest strażacki ubiór ratowniczy wyposażony w czujniki temperatury i rytmu pracy serca⁴ lub system do monitorowania stanu zdrowia osób⁵, nadzorujący podstawowe funkcje życiowe (ruch, oddychanie, położenie itp.). Systemy takie mogą być również przeznaczone dla dzieci⁶. Kolejnym ciekawym przykładem jest system tekstroniczny do zastosowań w zawodach wymagających przebywania w ciężkich warunkach środowiskowych, monitorujący temperaturę ciała człowieka⁷. W przypadku prób implementacji elementów tekstronicz-

¹ K. Gniotek, Z. Stempień, J. Zięba, *Tekstronika – nowy obszar wiedzy*, „Przegląd Włókienniczy” 2003, nr 2.

² S. Walczak, *Inteligentne tekstylia – międzynarodowe innowacje w tekstronice*, „Acta Innovations” 2012, nr 3, s. 103–122.

³ G. Bartkowiak, *Kierunki rozwoju odzieży inteligentnej*, „Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka”, 2010.

⁴ G. Owczarek, K. Łęzak, G. Gralewicz, *Koncepcja monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych podczas pracy w odzieży strażackiej*, „Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka” 2007, nr 9.

⁵ E. Skrzetuska, *Trendy rozwojowe w tekstronice – Rozwiązania tekstroniczne dla ochrony zdrowia*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2004, nr 4 (90), s. 34–40.

⁶ A. Jakubas, E. Łada-Tondyra, M. Nowak, M. Margol, A. Lipińska-Opałka, *Koncepcja tekstronicznego systemu do pomiarów funkcji życiowych małych dzieci*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2015, nr 12 (91), s. 121–124.

⁷ A. Bogdan, M. Zwolińska, *Future Trends In the Development of Thermal Manikins Applied for the Design of Clothing Thermal Insulation*, “FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe” 2012, Vol. 20, No. 4 (93), s. 89–95.

nych, w tym również tekstylnych linii przesyłowych, do odzieży, pomimo wielu możliwości, jakie niesie współczesna technika, występują liczne problemy dotyczące ergonomii i wygody stosowania takich rozwiązań, również w aspekcie bezpośredniego kontaktu tych elementów z człowiekiem. Jest to jeden z najważniejszych aspektów, które należy dokładnie zbadać w najbliższej przyszłości⁸.

Jednym z elementów, które mogą znaleźć zastosowanie w rozmaitych systemach tekstronicznych, są tekstylne linie transmisyjne. Elementy te, wykonane z materiałów tekstylnych elektroprzewodzących umieszczonych na określonych podłożach włókienniczych, mają za zadanie przesyłać sygnały elektryczne, co jest niezwykle istotne dla prawidłowego i bezpiecznego funkcjonowania systemów tekstronicznych, często budowanych dla ochrony życia i zdrowia człowieka. Właściwości przewodzące tekstylnych linii transmisyjnych zależą od wielu czynników, między innymi od budowy oraz właściwości materiałów użytych do konstrukcji poszczególnych linii. W idealnym przypadku linia transmisyjna o określonej budowie powinna przesłać zadaną informację z jednego jej końca na drugi bez żadnych strat i błędów w przesyłanym sygnale. W rzeczywistości jednak istnieje szereg czynników zaburzających zdolności transmisyjne takich linii, a ponadto występuje naturalne zjawisko tłumienia sygnału. Właściwości transmisyjne tekstylnej linii sygnałowej mogą również ulegać zmianie pod wpływem jej odkształceń spowodowanych naprężeniem mechanicznym oddziałującym na linię podczas jej normalnego użytkowania. Jedną z ważniejszych wielkości świadczących o zdolnościach przesyłowych linii jest tłumienie przechodzącego przez nią sygnału.

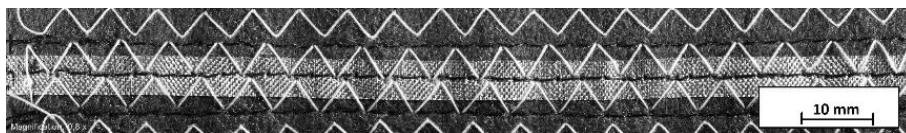
W artykule przedstawiono wartości parametru S_{21} , określającego tłumienie sygnału w linii dla linii poddanej określonej sile rozciągającej. Przytoczono trzy przykładowe linie transmisyjne o różnej budowie, różnych materiałach tekstylnych użytych na ich podłoża oraz różnych splotach tych materiałów. Parametry przyjęte jako stałe to takie same wymiary linii oraz użyty materiał elektroprzewodzący, którym jest gotowa tkanina o bardzo dobrych właściwościach elektroprzewodzących, po której są przesyłane określone sygnały.

⁸ K. Gniotek, I. Krucińska, *The Basic Problems of Textronics*, "FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe" 2004, Vol. 12, No. 1 (45).

Obiekt badań

Obiektem badań jest podłużna tekstylna linia transmisyjna, której przykład przedstawiono na ryc. 1. Jest to linia z przesyłą pojedynczą warstwą sygnałową po jednej stronie podłoża włókienniczego oraz dwiema przesyłami ścieżkami masy po drugiej stronie podłoża. Badane linie transmisyjne mają 30 cm długości oraz 2,5 cm szerokości. Więcej o budowie i właściwościach linii będącej obiektem badań można znaleźć w literaturze⁹.

(a)



(b)



Ryc.1. Badane linie. Widok od strony ścieżki sygnałowej (a),
widok od strony ścieżek masy (b)

Źródło: J. Leśnikowski, *Modelowanie tekstylnych linii sygnałowych do zastosowań w tekstronice*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej” 2013, nr 1167.

Wybrane parametry struktury i budowy linii przesyłowych, takie jak szerokość ścieżek elektroprzewodzących czy odstęp pomiędzy nimi, mają bezpośredni wpływ na zdolności transmisyjne linii. Do wykonania ścieżek elektroprzewodzących zastosowano tkaninę Ponge, zbudowaną z przędzy z dodatkiem niklu włoskiej firmy Soliani. Jej podstawowe parametry przedstawiono w tab. 1.

⁹ J. Leśnikowski, *Modelowanie tekstylnych linii sygnałowych do zastosowań w tekstronice*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej” 2013, nr 1167, s. 41–58; idem, *New Kind of Textile Transmission Line with an Impedance of 50 Ohms*, “FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe” 2015, Vol. 23, No. 2 (110), s. 51–54.

Tab. 1. Parametry tkaniny Soliani Ponge

| Parametry materiału | jednostka | Tkanina poliestrowa (osnowa i wątek) |
|-----------------------------|------------------|---|
| Liczność osnowy | nitek/cm | 26 |
| Liczność wątku | nitek/cm | 18 |
| Dodatek niklu | g/m ² | 16 |
| Masa powierzchniowa | g/m ² | 60 ± 15 |
| Rezystywność powierzchniowa | Ω ² | 0,4 |
| Zakres roboczy | °C | Od -40 do +90 |

Źródło: Materiały informacyjne firmy Soliani, [online] <http://www.solia-niemc.com/products/shielding-conductive-textile-fabrics/emc-emi-nickel-polyester-fabrics/> [dostęp: 28.12.2016].

Do badań wybrano linie znacząco różniące się parametrami i użytymi surowcami. Jedynie grubości tkanin podłoża dobrano w miarę możliwości takie same. Podstawowe parametry tkanin stanowiących podłoże testowanych linii przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Podstawowe parametry tkanin stanowiących podłoże testowanych linii transmisyjnych

| LP. | Surowiec | Splot | Grubość | Masa powierzchniowa | Liczność osnowy | Liczność wątku |
|-----|-----------|-----------|---------|---------------------|-----------------|----------------|
| | | | mm | g/m ² | nitek/cm | nitek/cm |
| 1. | wełna | płócienny | 0,42 | 287 | 24 | 20 |
| 2. | poliamid | panamowy | 0,52 | 211 | 42 | 24 |
| 3. | poliester | skośny | 0,42 | 183 | 36 | 34 |

Źródło: opracowanie własne.

Stanowisko pomiarowe oraz sposób wykonania pomiarów

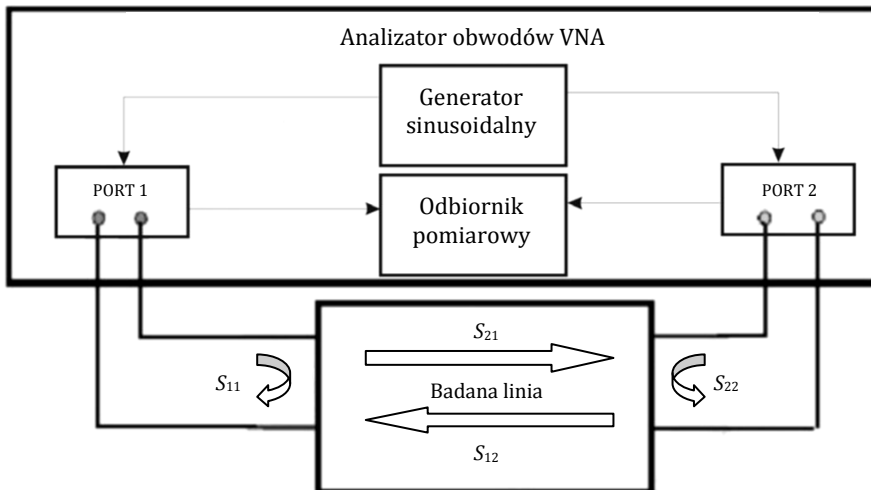
W artykule przedstawiono wybrane wyniki przeprowadzonych pomiarów trzech przykładowych ścieżek badanych w stanie bez obciążenia oraz po cyklu obciążeń. Każdy egzemplarz wykonanej linii transmisyjnej przebadano pięciokrotnie. Wszystkie pomiary wykonywano w pomieszczeniu o ściśle określonych parametrach temperatury i wilgotności. Tekstylnie linie transmisyjne umieszczono w klimacie normalnym, tj. w temperaturze 20°C oraz wilgotności powietrza równej 65%. Wartości temperatury i wilgotności dobrano w oparciu o normy dotyczące pomiarów laboratoryjnych przeprowadzanych na tekstyliach¹⁰. Po aklimatyzacji i ustabilizowaniu się materiału linii sygnałowych badano je w specjalnie przygotowanym stanowisku pomiarowym.

W skład stanowiska pomiarowego, którego schemat przedstawiono na ryc. 2, wchodzi analizator obwodów (Vector Network Analyzer, VNA), składający się z generatora sygnałów sinusoidalnych o szerokim zakresie zmian częstotliwości (od 10 MHz do 5 GHz), dwóch portów wejścia/wyjścia oraz odbiornika pomiarowego sprzężonego pomiędzy tymi portami.

Analizator ten w pierwszej fazie pomiaru podaje na port 1 sygnał sinusoidalny z wewnętrznego generatora o zmiennej, przemiataanej w całym zakresie częstotliwości. Jednocześnie do portu 2 jest dołączony odbiornik mierzący sygnał przechodzący przez testowaną linię transmisyjną. Odbiornik pomiarowy dokonuje również pomiaru sygnału na wejściu testowanej linii dołączonej do portu 1. Z pomiarów tych uzyskuje się zatem dwa parametry, oznaczone odpowiednio jako S_{21} i S_{11} . Pierwszy z nich obrazuje wartość sygnału przechodzącego przez badaną linię w stosunku do sygnału podanego na wejście linii, generowanego przez generator. Uzyskuje się w ten sposób informację o tłumieniu sygnału przechodzącego przez linię. Ponieważ podczas tej fazy pomiaru jednocześnie mierzony jest poziom sygnału odbitego od linii, uzyskuje się kolejny parametr, określony jako S_{11} . Wartość tego parametru świadczy o dopasowaniu linii do pozostałych elementów toru transmitującego sygnały elektryczne. Ma ona wpływ na jakość sygnału transmitowanego testowaną linią. Analizator obwodów w drugiej fazie pomiaru zamienia kierunek przepływu transmitowanego sygnału na odwrotny, to znaczy sygnał przepływa od portu 2, do którego dołączony jest generator sygnałowy, do portu 1. W tej fazie pomiaru uzyskuje się kolejne parametry S , oznaczone jako S_{12} i S_{22} . Parametr S_{12} jest zatem odpowiednikiem para-

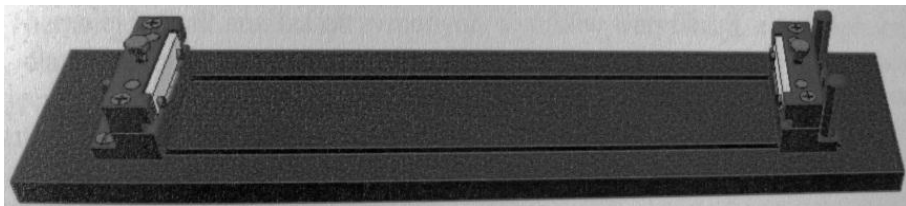
¹⁰ *Wilgotność we włókiennictwie*, [online] <http://wskalski.republika.pl/opisy/wilg.htm> [dostęp: 1.01.2017].

metru S_{21} , który został wyznaczony przy odwrotnym kierunku przepływu sygnału. Podobnie jest z parametrem S_{22} , który jest odpowiednikiem sygnału S_{11} . Wstępne pomiary testowe wymienionych czterech parametrów S dla testowanych linii potwierdziły te zależności. Tak więc przystępując do dalszych badań, założono, że testowana w artykule tekstylna linia sygnałowa ma budowę symetryczną, to znaczy jej zdolności transmisyjne nie zależą od kierunku przepływu transmitowanego sygnału. Dalsze pomiary ograniczono do pomiarów współczynników S_{11} i S_{21} .



Ryc. 2. Schemat stanowiska do pomiarów parametrów tekstylnych linii przesyłowych

Źródło: J. Leśnikowski, *Modelowanie tekstylnych linii sygnałowych do zastosowań w tekstronice*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej” 2013, nr 1167.



Ryc. 3. Zaciski pomiarowe do mocowania tekstylnych linii przesyłowych

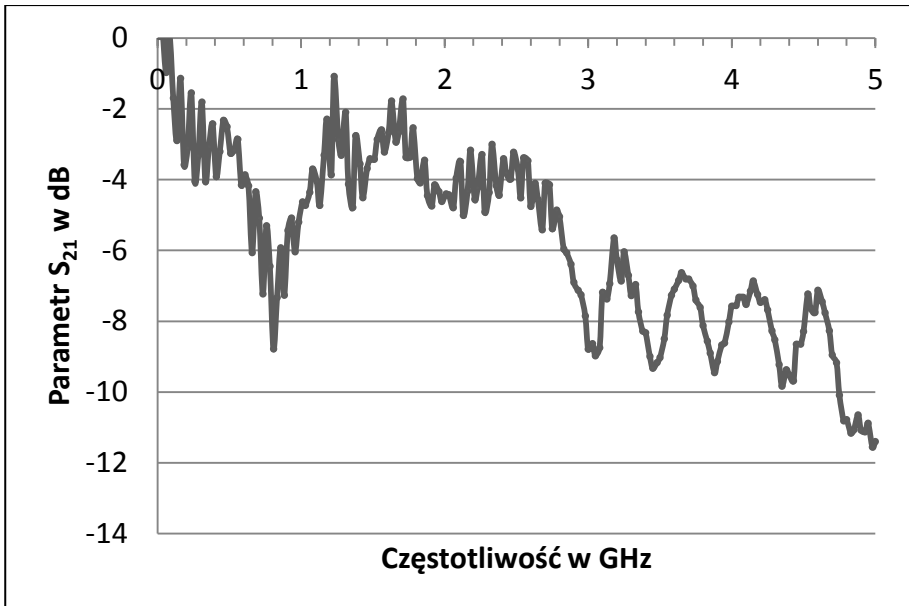
Źródło: J. Leśnikowski, *Modelowanie tekstylnych linii sygnałowych do zastosowań w tekstronice*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej” 2013, nr 1167.

W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki badań dotyczących zjawiska tłumienia linii transmisyjnych. Pomiary wykonano w zakresie częstotliwości od 10 MHz do 5 GHz. Każdą z wytworzonych tekstylnych linii, po uprzedniej aklimatyzacji w warunkach normalnych, umieszczono w zaciskach pomiarowych (ryc. 3.). Przeprowadzono pięciokrotny pomiar wartości parametrów S w funkcji częstotliwości, bez obciążenia, a wyniki tych pięciu pomiarów uśredniono. Po serii pomiarów bez obciążenia każdą z linii obciążano odważnikiem o wadze 1 kg na czas 1 godziny. Linię zdejmowano, po ponownym umieszczeniu w zaciskach pomiarowych wykonywano serię kolejnych pięciu pomiarów, a następnie uśredniono ich wyniki. Daną linię obciążano ponownie tym samym obciążeniem 1 kg, ale na czas 24 godzin. Po upływie 24 godzin linię umieszczano ponownie w zaciskach pomiarowych i wykonywano serię 5 pomiarów, uśredniając otrzymane wyniki. Postępowanie takie miało umożliwić zbadanie wpływu oddziaływań mechanicznych, które mogą występować podczas normalnego procesu noszenia odzieży, z naniesionymi testowanymi liniami transmisyjnymi, na których mogą się ujawnić długotrwale występujące naprężenia mechaniczne. Mogą one doprowadzić do zmiany charakterystyki tłumienia tekstylnych linii sygnałowych lub nawet spowodować wyraźne pogorszenie i degradację tego parametru, niszcząc taką linię.

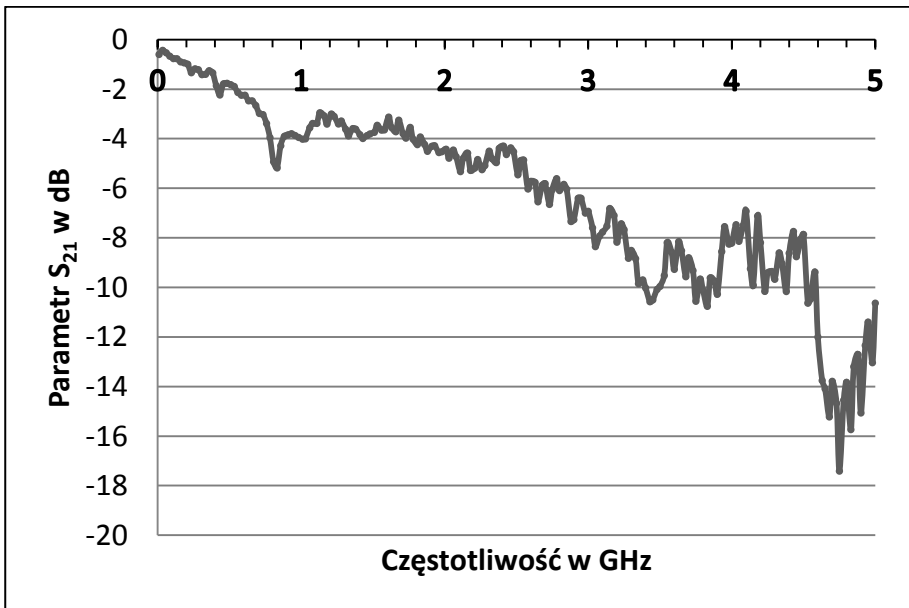
Wyniki i wnioski

Na ryc. 4–9 przedstawiono wyniki pomiarów wartości parametru S_{21} w funkcji częstotliwości dla trzech przykładowych tekstylnych linii transmisyjnych. Podłoża tych linii są wykonane z materiałów tekstylnych, których właściwości przedstawiono w tab. 2. Pomiary te wykonano w zakresie częstotliwości od 10 MHz do 5 GHz. Prezentowane poniżej wyniki przedstawiają pomiary wykonane zarówno przed obciążeniem linii, jak i po pełnym cyklu obciążenia. Pełen cykl obciążenia oznacza wyniki końcowe dla ścieżek, które przeszły zarówno obciążenie 1 kg na okres 1 godziny, jak i takie samo obciążenie przez okres 24 godzin.

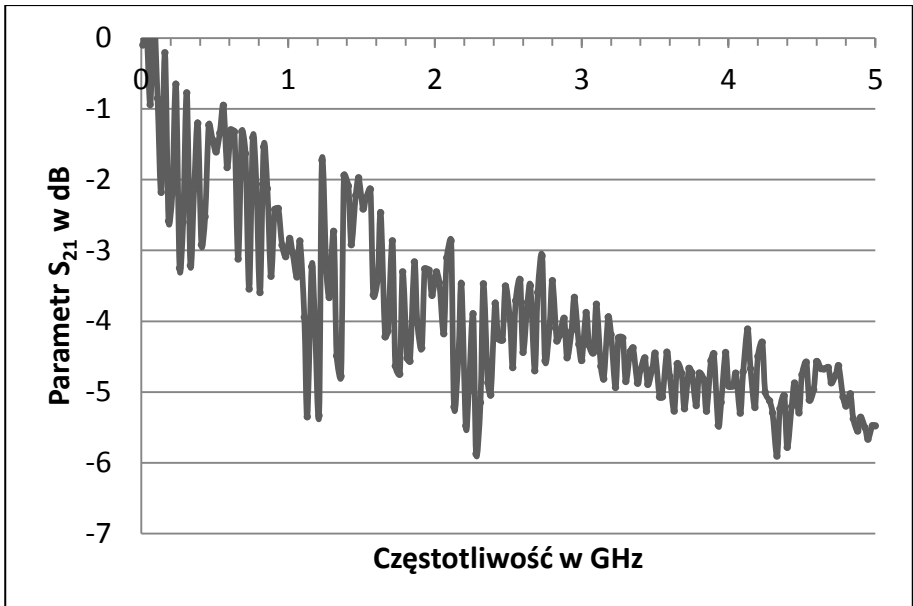
Na ryc. 4 i 5 przedstawiono wyniki parametru S_{21} przed rozciąganiem oraz po całym cyklu rozciągania dla pierwszej linii. Analogicznie wyniki parametru S_{21} dla drugiej badanej linii przedstawiono na ryc. 6 i 7, a dla linii trzeciej na ryc. 8 i 9.



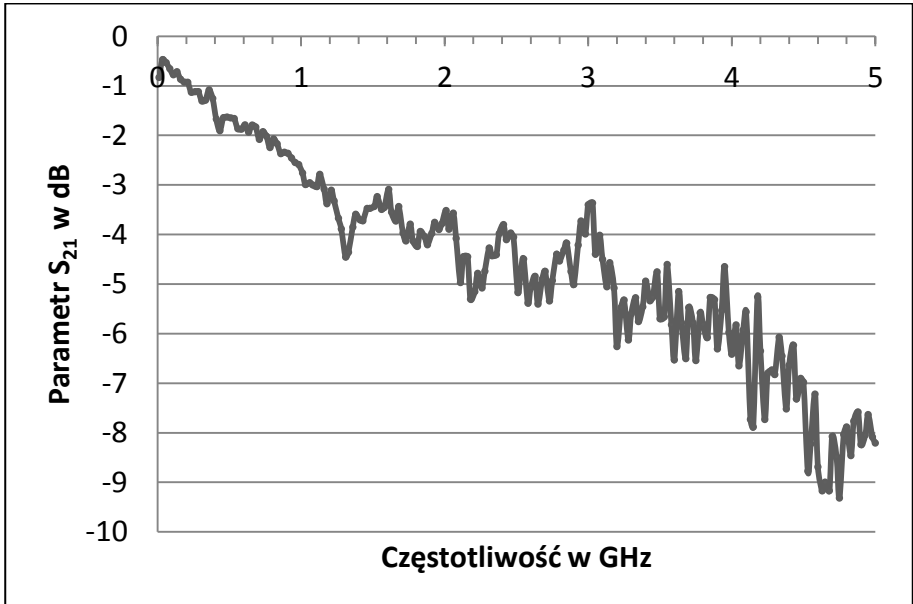
Ryc. 4. Parametr tłumienia S_{21} linii transmisyjnej 1 nieobciążonej
 Źródło: opracowanie własne.



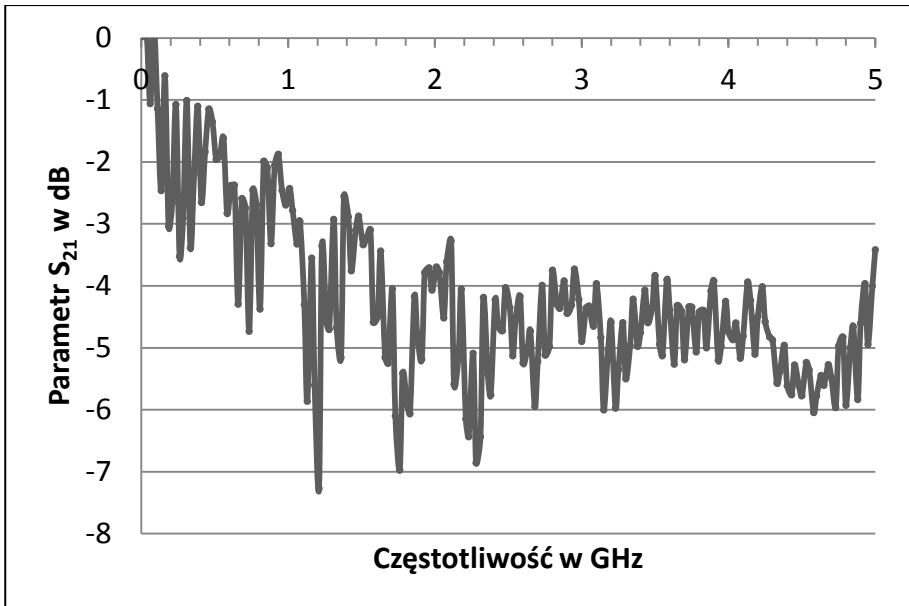
Ryc. 5. Parametr tłumienia S_{21} linii transmisyjnej 2 po pełnym cyklu obciążania
 Źródło: opracowanie własne.



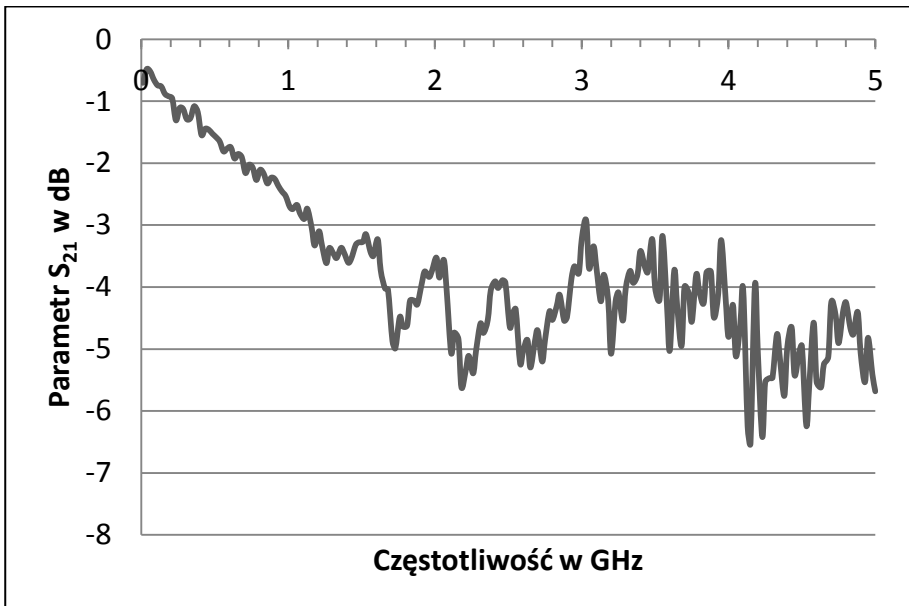
Ryc. 6. Parametr tłumienia S_{21} linii transmisyjnej 2 nieobciążonej
 Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 7. Parametr tłumienia S_{21} linii transmisyjnej 2 po pełnym cyklu obciążania.
 Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 8. Parametr tłumienia S_{21} linii transmisyjnej 3 nieobciążonej
 Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 9. Parametr tłumienia S_{21} linii transmisyjnej 3 po pełnym cyklu obciążenia
 Źródło: opracowanie własne.

Jak widać na ryc. 4–9, parametr S_{21} , określający tłumienie tekstylnych linii transmisyjnych, posiada tendencję do zmniejszania swojej wartości wraz ze wzrostem częstotliwości przesyłanego sygnału. W sytuacji, gdy nie występują żadne straty sygnału, parametr S_{21} powinien wynosić 0 dB. W idealnym przypadku tłumienie równe 0 dB powinno występować niezależnie od częstotliwości pomiarowej, a więc wykres powinien przyjąć wartość stałą równą zero w całej dziedzinie. Oznacza to, że sygnał na wyjściu linii jest identyczny, jak sygnał podany na jej wejście. O występowaniu tłumienia świadczą tu wartości ujemne. Z wykresów (ryc. 4–9) widać, iż nastąpiły zmiany w charakterystyce tłumienia badanych tekstylnych linii transmisyjnych.

Parametr S_{21} z całej dziedziny częstotliwości (od 10 MHz do 5 GHz) uśredniono, by uzyskać jedną wartość przed rozciąganiem testowanych linii i po rozciąganiu, pomocną w ocenie tłumienia poszczególnych linii. Podano również maksymalne ujemne wartości tego parametru w danych przebiegach częstotliwości. Wyniki przedstawiono w tab. 3.

Tab. 3. Uśrednione parametry S_{21} badanych linii transmisyjnych

| Linia | Tłumienie średnie S_{21} w dB | | Maksymalna wartość S_{21} w dB | |
|-------|---------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| | Przed rozciąganiem | Po rozciąganiu | Przed rozciąganiem | Po rozciąganiu |
| 1. | -5,74 | -6,23 | -11,55 | -17,41 |
| 2. | -3,82 | -4,52 | -5,90 | -9,32 |
| 3. | -4,18 | -3,75 | -7,27 | -6,52 |

Źródło: opracowanie własne.

Oceniając uśrednione w tab. 3 wyniki pomiarów, zauważyć można wzrost tłumienia linii 1, znacznie większy wzrost tłumienia linii 2 oraz, co zastanawiające, zmniejszenie tego parametru dla linii 3, co wskazuje na poprawę właściwości transmisyjnych tej właśnie linii. Podejrzewa się, że różnice w tym obszarze mogą być spowodowane budową materiału podłoża danej linii.

Innym zaobserwowanym efektem jest widoczne przy pomiarach na rozciągnięciu testowanych linii zmniejszenie rozrzutu wartości parametru S_{21} w funkcji częstotliwości, skutkujące zauważalnym wygładzeniem tego parametru na wykresie niezależnie od materiału użytego jako podłoże w wykonanych liniach transmisyjnych. Wygładzenie to jest szczególnie wyraźne

w przypadku linii nr 2 i 3 (ryc. 6–9), gdzie widoczne były przed cyklem obciążania obszary znacznie pogorszonych parametrów przesyłowych. Po pełnym cyklu obciążania obszary te zostały wyeliminowane. Pogorszenie zdolności transmisyjnych po serii obciążeń oceniane na podstawie parametru S_{21} jest wyraźnie widoczne na wszystkich trzech liniach (ryc. 4–9), chociaż wartość uśredniona w przypadku linii 3 wskazuje na poprawę parametru tłumienia.

Dodatkowo, na ryc. 4 i 5 widoczne jest falowanie sygnału w okolicy częstotliwości 4 GHz. Podobne zdarzenie można zauważyć na ryc. 8 i 9 w okolicach częstotliwości 2 GHz. Może być to spowodowane wystąpieniem niepożądanych zjawisk, takich jak interferencje lub rezonans sygnału odbitego od końca linii. Warto w przyszłości bliżej przyjrzeć się temu zjawisku, gdyż pozwoliłoby to jeszcze lepiej zrozumieć charakterystykę tłumienia tekstylnych linii transmisyjnych.

Również maksymalna ujemna wartość parametru tłumienia S_{21} mierzona dla częstotliwości od 10 MHz do 5 GHz w przypadku dwóch pierwszych linii uległa wyraźnemu zwiększeniu po ich naprężeniu. Ponieważ testowane linie różnią się tylko rodzajem podłoża, wpływ na taki stan rzeczy mogą mieć jego parametry, takie jak większa sztywność i mniejsza rozciągliwość wynikające z użytego surowca, a co za tym idzie przypuszczalnie mniejsze odkształcanie pod wpływem naprężeń. W przypadku linii nr 3 maksymalna ujemna wartość parametru S_{21} po obciążeniu okazała się niższa, co dodatkowo może świadczyć o poprawie właściwości przesyłowych tej linii.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu długotrwałych naprężeń mechanicznych na zdolności przesyłowe tekstylnych linii przesyłowych. Skupiono się na parametrze S_{21} , określającym tłumienie sygnału przy przejściu przez linię transmisyjną. Porównano wyniki dla linii nieobciążanych oraz po poddaniu długotrwałym obciążeniom mechanicznym.

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że linie transmisyjne poddane opisanym w artykule naprężeniom mechanicznym są zdadne do dalszego użytku w pewnym początkowym zakresie częstotliwości, chociaż ich charakterystyka tłumienia została wyraźnie zmieniona, niezależnie od budowy poszczególnych linii. Wszystkie testowane linie wykazywały zgodny trend parametru S_{21} wraz ze wzrostem częstotliwości pomiarowej, zanim wynik ten osiągał wartość na poziomie -3 dB, świadczącą o pogorszeniu się poziomu sygnału na końcu linii o połowę w stosunku do poziomu sygnału

podanego na jej początek. Przyjmuje się, że jest to graniczny punkt dla możliwości dalszego stosowania linii tekstylnych do przesyłu informacji.

Właściwości transmisyjne, wywnioskowane na podstawie parametru S_{21} , zostały pogorszone dla dwóch z trzech badanych linii, co widać, gdy porówna się poszczególne wykresy. Zaobserwowano również pewnego rodzaju wygładzenie parametru S_{21} . Problemy z jednoznaczną oceną zdolności transmisyjnych linii mogą wynikać z oceny tegoż parametru S_{21} w całej dziedzinie częstotliwości. Wyjściem z tej sytuacji może być zastąpienie zbioru wyników w całym przedziale badanej częstotliwości jedną wartością, będącą maksymalnym lub uśrednionym wynikiem zebranych pomiarów. Otrzymuje się wtedy konkretne wartości, których porównanie może pomóc w ocenie własności transmisyjnych danych linii, informując, jak zmienia się średnie lub maksymalne tłumienie przed obciążaniem linii i po jej obciążeniu.

Zmiana przebiegu charakterystyki parametru S_{21} w dziedzinie częstotliwości po występowaniu długotrwałych naprężeń mechanicznych może mieć związek ze zmianą wymiarów geometrycznych linii, które ulegały rozciągnięciu, jak również ze zmianą sił naprężeń wewnątrz struktury włókienniczej i zmianą wzajemnych sił nacisku ścieżek elektroprzewodzących względem podłoża. Wszystkie te aspekty, choć trudne do zaobserwowania i opisanie, mają bezpośredni wpływ na parametry transmisyjne tekstylnych linii transmisyjnych. Podejrzewa się również, co wymaga dalszych badań, że rodzaj splotu tkaniny, a co za tym idzie liczność osnowy i wątku, może mieć wpływ na geometrię warstwy przewodzącej w tekstylnych liniach transmisyjnych podczas ich naprężania. Geometria elementów przewodzących w badanych liniach może skutkować różnymi wartościami tłumienia sygnału, szczególnie podczas pomiarów zebranych po obciążeniu linii.

THE IMPACT OF THE TENSILE LOAD TO THE ATTENUATION OF SELECTED TEXTILE TRANSMISSION LINES

ABSTRACT

The article is about measurements and analysis of the effect of mechanical stresses during stretching up the textile transmission lines, placed on flat textile products, to their transmission capability. Textile transmission lines, constructed of electrically conductive textile materials placed on textile substrates, are designed for the electrical signals transmission. Studies includes measurements of S_{21} parameter over a wide frequency range up to 5 GHz. This parameter describes the attenuation of electrical signal passed through the test line. This article presents the effect of long-lasting mechanical stress on S_{21} parameter of three sample transmission lines before and after the stretching cycle.

KEYWORDS

transmission lines, signal transmission, signal lines, textronic, mechanical stresses in textiles

BIBLIOGRAFIA

1. Bartkowiak G., *Kierunki rozwoju odzieży inteligentnej*, „Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka”, 2010.
2. Bogdan A., Zwolińska M., *Future Trends In the Development of Thermal Manikins Applied for the Design of Clothing Thermal Insulation*, “FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe” 2012, Vol. 20, No. 4 (93), s. 89–95.
3. Gniotek K., Krucińska I., *The Basic Problems of Textronics*, “FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe” 2004, Vol. 12, No. 1 (45).
4. Gniotek K., Stempień Z., Zięba J., *Tekstronika – nowy obszar wiedzy*, „Przegląd Włókienniczy” 2003, nr 2.
5. Jakubas A., Łada-Tondyra E., Nowak M., Margol M., Lipińska-Opałka A., *Koncepcja tekstronicznego systemu do pomiarów funkcji życiowych małych dzieci*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2015, nr 12 (91), s. 121–124.
6. Leśnikowski J., *Modelowanie tekstylnych linii sygnałowych do zastosowań w tekstronice*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej” 2013, nr 1167, s. 41–58.
7. Leśnikowski J., *New Kind of Textile Transmission Line with an Impedance of 50 Ohms*, “FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe” 2015, Vol. 23, No. 2 (110), s. 51–54.
8. Materiały informacyjne firmy Soliani, [online] <http://www.solianiemc.com/products/shielding-conductive-textile-fabrics/emc-emi-nickel-polyester-fabrics/> [dostęp: 28.12.2016].
9. Owczarek G., Łęzak K., Gralewicz G., *Koncepcja monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych podczas pracy w odzieży strażackiej*, „Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka” 2007, nr 9.
10. Skrzetuska E., *Trendy rozwojowe w tekstronice – Rozwiązania tekstroniczne dla ochrony zdrowia*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2004, nr 4 (90), s. 34–40.
11. Walczak S., *Inteligentne tekstylia – międzynarodowe innowacje w tekstronice*, „Acta Innovations” 2012, nr 3, s. 103–122.
12. *Wilgotność we włókiennictwie*, [online] <http://wskalski.republika.pl/opisy/wilg.htm> [dostęp: 1.01.2017].

