

Sebastian BORUCKI, Andrzej CICHON, Tomasz BOCZARPOLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI,
INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI, KATEDRA WYSOKICH NAPIĘĆ**Diagnostyka transformatorów energetycznych z wykorzystaniem metody wibroakustycznej****Dr inż. Sebastian BORUCKI**

Adiunkt Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pracownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 50 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: s.borucki@po.opole.pl

Dr inż. Andrzej CICHON

Adiunkt Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pracownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 50 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: a.cichon@po.opole.pl

Dr hab. inż. Tomasz BOCZAR

Prodziekan Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Kierownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 160 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: t.boczar@po.opole.pl

diagnosed is made. The investigations and analyses carried out confirm that the measurement results of vibrations of the particular units have not revealed any damage to their cores or other defects of mechanical character.

Keywords: power transformer, vibration, core, vibroacoustic method, diagnostic.

1. Wprowadzenie

Elementami systemu elektroenergetycznego o podstawowym znaczeniu dla przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej są transformatory mocy. Awaryjne wyłączenie jednostki transformatorowej może spowodować znaczne straty ekonomiczne, które w ekstremalnych warunkach mogą przekroczyć kilkukrotnie wartość nowego urządzenia. Uzasadnia to zatem prowadzenie szerokich badań diagnostycznych, których zakres powinien być skorelowany z technicznym i ekonomicznym znaczeniem mierzonego obiektu elektroenergetycznego [1 - 4].

Transformator energetyczny podczas pracy poddawany jest wpływowi wielu niekorzystnych czynników, które skracają okres eksploatacji i mogą powodować nieoczekiwane awarie katastrofalne. W odniesieniu do części aktywnej transformatora najbardziej szkodliwymi czynnikami są drgania magnetostrykcyjne oraz depolimeryzacja celulozy, która powoduje utratę wytrzymałości mechanicznej przez sprasowanie i mocowanie rdzenia oraz uzwojeń transformatora, co prowadzi do osłabienia mechanicznej konstrukcji części aktywnej. Problem ten dotyczy przede wszystkim jednostek eksploatowanych powyżej 20 lat, w których podczas rewizji wewnętrznej często obserwuje się wypadnięcie wstawek dystansowych, klinów i śrub mocujących (rys. 1). Konstrukcja transformatora w takim stanie charakteryzuje się zmniejszoną wytrzymałością mechaniczną na działanie zwarciowych sił dynamicznych oraz występowaniem lokalnych przegrzań rdzenia (dalsze przyspieszenie procesu degradacji celulozy), co w konsekwencji może doprowadzić do awarii katastrofalnej – zniszczenia jednostki transformatorowej.

Streszczenie

Tematyka artykułu dotyczy diagnostyki rdzeni transformatorów elektroenergetycznych dużej mocy z wykorzystaniem pomiarów drgań wibroakustycznych. W artykule, na podstawie analizy drgań mechanicznych kadzi, dokonano oceny stanu technicznego czterech transformatorów blokowych typu TFB₆ 240000/400. Scharakteryzowano układ pomiarowy, który został wykorzystany podczas rejestracji sygnałów pochodzących od przenoszonych przez każdą drgań rdzenia poszczególnych jednostek. W oparciu o przyjęte w artykule wartości kryterialne podjęto próbę oceny stanu technicznego diagnozowanych urządzeń elektroenergetycznych.

Słowa kluczowe: transformator energetyczny, drgania, rdzeń, metoda wibroakustyczna, diagnostyka.

Diagnostics of Power Transformers Using the Vibroacoustic Method**Abstract**

During its operation a power transformer is subjected to the influence of numerous unfavourable factors which shorten its operation time and can cause unexpected disastrous failures. As far as the active part of a transformer is considered, magnetostrictive vibrations and cellulose depolymerization are the most harmful factors causing the loss of mechanical strength. Their influence results in the gradual loosening of the pressing and clamping of the core and transformer windings, which leads to the weakening of the active part mechanical construction (Fig. 1). In the electric power sector there are a few methods for detection of damages in power transformers. One of them is the vibroacoustic method which consists in measurement and analysis of vibrations of the object under study. Its application to high-power transformer diagnostics enables, first of all, assessing the technical condition of the core. Additionally, combining this method with other diagnostic methods can provide information not only on the core technical condition but also on the solid insulation properties of the device being tested [5 - 6]. In the paper the technical assessment of the condition of four unit transformers of type TFB₆ 240000/400 is performed basing on the analysis of mechanical vibrations of the tub. The basic technical parameters of the transformers are listed in Table 1. The measuring system used for recording the signals coming from the core vibrations of the particular units and transferred by the tub is described. Based on the criterion values [among others 6 - 8] an attempt to assess the technical condition of the electric power appliances



Rys. 1. Widok części aktywnej z wypadniętymi wstawkami dystansowymi
Fig. 1. View of the active part with distance inserts fallen out

W sektorze energetyki zawodowej istnieje kilka metod pozwalających na detekcję występujących w transformatorach mocy uszkodzeń. Jedną z nich jest metoda wibroakustyczna, która polega na pomiarze i analizie drgań badanego obiektu. Zastosowanie jej w diagnostyce transformatorów dużej mocy umożliwia przede wszystkim ocenę stanu technicznego rdzenia. Obecnie, dzięki pomiarom wykonywanym podczas normalnej eksploatacji urządzenia elektroenergetycznego, metoda ta znajduje coraz szersze zastosowanie, szczególnie w stosunku do transformatorów blokowych i sieciowych dużej mocy. Dodatkowo, powiązanie metody wibroakustycznej z innymi metodami diagnostycznymi, może dostarczyć informacji nie tylko o stanie technicznym rdzenia i konstrukcji części mechanicznych, ale także o własnościach izolacji stałej badanego transformatora [5 - 6].

Celem przeprowadzonych pomiarów wibroakustycznych było określenie parametrów drgań badanych transformatorów, szczególnie ich rdzeni, by w ten sposób przeprowadzić kontrolę stanu technicznego poszczególnych jednostek.

2. Parametry badanych transformatorów oraz przyjęte kryteria diagnostyczne

Badania wibroakustyczne wykonano dla czterech identycznych transformatorów blokowych pracujących w jednej z krajowych elektrowni. W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry diagnozowanych jednostek. Podczas wykonywania procedury pomiarowej w każdym z badanych obiektów energetycznych pracowały wszystkie urządzenia chłodzące – pompy oraz wentylatory chłodnic, natomiast obciążenie poszczególnych transformatorów kształtowało się na poziomie:

- transformator TB1 – $S = 195 \text{ MV}\cdot\text{A}$ (81,2 % mocy znamionowej),
- transformator TB2 – $S = 204 \text{ MV}\cdot\text{A}$ (85 % mocy znamionowej),
- transformator TB3 – $S = 185 \text{ MV}\cdot\text{A}$ (77,1 % mocy znamionowej),
- transformator TB4 – $S = 197 \text{ MV}\cdot\text{A}$ (82,1 % mocy znamionowej).

Tab. 1. Podstawowe parametry badanych transformatorów blokowych
Tab. 1. Basic parameters of the unit transformers tested

Parametr	Transformator TB 1	Transformator TB 2	Transformator TB 3	Transformator TB 4
Typ	TFB _h 240000/400	TFB _h 240000/400	TFB _h 240000/400	TFB _h 240000/400
Rok produkcji	1983	1980/1996	1981	1983
Moc [MV·A]	240	240	240	240
Przekładnia [kV/kV]	420/15,75	420/15,75	420/15,75	420/15,75
Grupa połączeń	YNd11	YNd11	YNd11	YNd11
Producent	Elta	Elta/ Energoserwis	Elta	Elta
Obciążenie [MV·A]	195	204	185	197

Ocenę drgań wibroakustycznych diagnozowanych transformatorów blokowych przeprowadzono na podstawie analizy zarejestrowanych przebiegów czasowych drgań mechanicznych kadzi. Z przeprowadzonych prac badawczych [m.in. 6 - 8] wynika, że udziały częstotliwościowe poszczególnych drgań można podzielić na następujące trzy grupy:

- składowe drgań do 500 Hz, które traktowane są jako składowe pochodzące i charakteryzujące drgania magnetostrykcyjne rdzenia,
- składowe drgań w przedziale od 500 do 1500 Hz, które traktowane są jako składowe charakteryzujące pracę urządzeń chłodzących,
- składowe drgań w paśmie powyżej 1500 Hz, które traktowane są jako składowe generowane i charakteryzujące pracę rdzenia badanego transformatora.

Jako wskaźniki oceny stanu technicznego rdzenia oraz części mechanicznych badanych jednostek, autorzy artykułu wykorzysta-

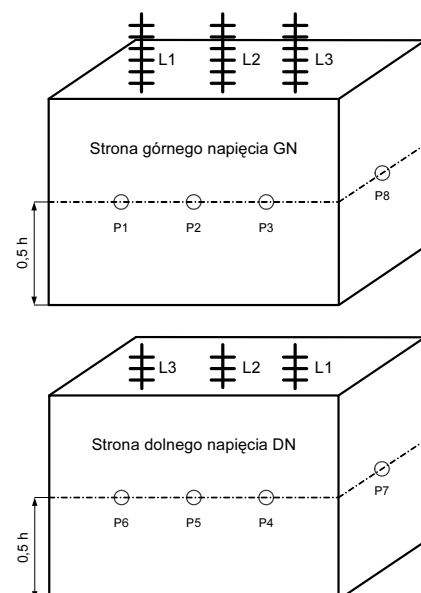
li dwa mierzone parametry wibroakustyczne: wartość skuteczną przyspieszenia drgań a_{sk} w cm/s^2 oraz amplitudowe widmo drgań w zakresie częstotliwości od 0 do 2500 Hz. W wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych i na obiektach rzeczywistych [m.in. 6 - 8] określono doświadczalnie graniczne wartości wymienionych parametrów. Przyjmuje się jako graniczne, dopuszczalne wartości skuteczne przyspieszenia drgań do 400 cm/s^2 - wartości wyższe są symptomami uszkodzeń. Natomiast do oceny granicznych wartości drgań w widmie amplitudowym w przedziale od 1500 Hz do 2500 Hz, wyróżnia się trzy poziomy:

- składowe widma drgań o wartości do 10 cm/s^2 świadczą o dobrym stanie technicznym rdzenia badanego transformatora;
- składowe widma drgań w przedziale od 10 cm/s^2 do 30 cm/s^2 są symptomami istniejącego lub rozwijającego się uszkodzenia rdzenia. W takim przypadku zalecane jest okresowe powtórzenie pomiarów, celem potwierdzenia uszkodzenia i określenia jego dynamiki;
- składowe widma o wartościach powyżej 30 cm/s^2 świadczą o uszkodzeniu rdzenia badanego transformatora i są sygnałem do jego odłączenia i wykonania przeglądu.

Przyjęte kryteria mają charakter ogólny i nie należy ich stosować bezkrytycznie. Określone wartości graniczne zależą od obciążenia transformatorów. Przy interpretacji wyników zawsze należy uwzględniać indywidualne cechy konstrukcyjne badanej jednostki. Ponadto wyniki należy interpretować łącznie z wynikami innych badań diagnostycznych (ocena wnz, chromatograficzne i fizykochemiczne badanie oleju). Dotyczy to w szczególności przypadków, w których jest podejmowana decyzja o odstawieniu transformatora i wykonaniu przeglądu lub remontu.

3. Metodyka wykonywania pomiarów oraz zastosowana aparatura pomiarowa

Drgania mechaniczne transformatorów blokowych mierzono przymocowanym za pomocą magnesu do ścian kadzi akcelerometrem firmy Endevco. Odbierany przez przetwornik sygnał podawano na wejście niskoszumnego wzmacniacza pomiarowego firmy Brüel & Kjær. W celu odseparowania się od zakłóceń przenoszonych przez sieć nN, podczas pomiarów układ wzmacniający zasilano z wewnętrznego źródła akumulatorowego. Do obserwacji i rejestracji mierzonych sygnałów drgań wykorzystano komputer wyposażony w kartę pomiarową typu CH 3160 firmy Acquitex oraz specjalistyczne oprogramowanie AcquiFlex.



Rys. 2. Szkic kadzi transformatora z zaznaczonymi punktami pomiaru drgań
Fig. 2. Transformer tub outline with marked vibration measurement points

Podczas wykonania pomiarów całą powierzchnię kadzi transformatora zwymiarowano pionowo-pozorną siatką współrzędnych w osiach x i y. Pomiaru wykonano w połowie wysokości kadzi, w osiach trzech faz, od strony wyprowadzenia górnego i od strony wyprowadzenia dolnego napięcia. Drgania zmierzono także po obu bokach kadzi, w połowie jej wysokości. Szkice rozmieszczenia punktów pomiarowych na jednostkach transformatorowych przedstawiono na rys. 2. Oznaczenia punktów pomiarowych z tego rysunku odnoszą się również odpowiednio do tablic, w których zamieszczono wyniki pomiarów i analizy drgań.

4. Analiza uzyskanych wyników

Uzyskane na podstawie badań wibroakustycznych wyniki pomiarów i analizy oceny stanu technicznego rdzeni transformatorów blokowych TB1, TB2, TB3, TB4 przedstawiono w tabelach 2 - 3. W tabeli 2 zestawiono skuteczne wartości przyspieszenia drgań a_{sk} , które wyznaczono dla wszystkich czterech diagnozowanych transformatorów oraz dla całkowitego pasma częstotliwościowego (0 ÷ 2500) Hz. Tabela 3 przedstawia wartości amplitud przyspieszenia drgań wyznaczone dla poszczególnych składowych częstotliwościowych z pasma powyżej 1500 Hz. Ze względu na ograniczoną objętość publikacji, tabela numer 3 przedstawia obliczone wskaźniki wibroakustyczne jedynie dla transformatora TB3.

Tab. 2. Skuteczna wartość przyspieszenia drgań a_{sk}

Tab. 2. Root-mean-square value of vibration acceleration a_{sk}

Punkt pomiarowy	Transformator TB 1 a_{sk} [cm/s ²]	Transformator TB 2 a_{sk} [cm/s ²]	Transformator TB 3 a_{sk} [cm/s ²]	Transformator TB 4 a_{sk} [cm/s ²]
P1	122,3	91,6	74,0	145,3
P2	106,9	136,3	177,6	95,4
P3	62,5	50,4	84,1	56,2
P4	181,6	228,5	396,3	375,6
P5	327,4	154,0	161,8	295,9
P6	300,6	162,0	234,3	287,8
P7	266,1	85,2	158,9	347,0
P8	165,0	157,1	173,6	239,4

Tab. 3. Wartości składowych przyspieszenia drgań w paśmie częstotliwości 1500 – 2500 Hz zmierzonych w ośmiu punktach transformatora blokowego TB3

Tab. 3. Values of the vibration acceleration components within the frequency band 1500 – 2500 Hz measured at eight points of unit transformer TB3

Dominujące składowe widma	Skuteczna wartość przyspieszenia drgań							
	Kadź od strony wyprowadzenia GN				Kadź od strony wyprowadzenia DN			
	Nr punktu pomiarowego				Bok od strony fazy L1	Bok od strony fazy L3		
	1	2	3	4	5	6	7	8
1500	4,3	3,2	9,3	9,3	8,0	<u>23,3</u>	7,1	3,6
1600	1,7	4,1	2,2	9,4	7,7	8,0	8,2	3,5
1700	0,7	4,4	3,7	6,1	3,2	2,7	5,0	3,5
1800	3,1	3,2	1,2	6,9	6,1	5,6	6,3	<u>11,1</u>
1900	2,6	1,5	2,1	7,2	4,1	5,1	4,7	2,3
2000	1,2	4,9	2,2	4,9	2,8	8,2	2,2	5,9
2100	0,5	2,9	5,4	<u>10,7</u>	<u>14,9</u>	6,1	3,7	5,8
2200	1,0	2,8	2,0	6,6	5,8	<u>14,7</u>	2,3	8,0
2300	1,8	3,1	4,2	<u>11,6</u>	1,7	<u>16,1</u>	3,5	4,7
2400	1,6	5,1	4,9	9,7	2,0	4,4	8,4	3,6
2500	0,7	3,3	5,1	5,3	2,2	8,4	1,5	4,2

W wyniku analizy amplitudowego widma drgań transformatora TB1 i porównaniu go z widmem granicznym można sformułować następujące wnioski: skuteczne wartości przyspieszenia drgań (tabela 2) nie przekraczają wartości granicznej 400cm/s², w żad-

nym z punktów pomiarowych; wartości dominujących składowych widma, w paśmie powyżej 1500 Hz nieznacznie przekraczają poziom 10cm/s² w jednym punkcie pomiarowym, a mianowicie: **punkt nr 6**, 1600 Hz - 14,6 cm/s², 1800 Hz - 11,0 cm/s². Żadna ze składowych widma z pasma częstotliwości 1500 – 2500 Hz nie przekracza wartości granicznej 30cm/s².

Analiza wyznaczonego z pomiarów amplitudowego widma drgań transformatora TB2 oraz porównanie go z widmem granicznym prowadzi do następujących wniosków: skuteczne wartości przyspieszenia drgań (tabela 2) nie przekraczają wartości granicznej 400cm/s², w żadnym z punktów pomiarowych, wartości dominujących składowych widma, w paśmie powyżej 1500 Hz w żadnym z punktów pomiarowych nie przekraczają dolnej wartości granicznej (10cm/s²).

Na podstawie wyników analizy amplitudowego widma drgań transformatora TB3 i porównaniu go z widmem granicznym można przedstawić następujące wnioski: skuteczne wartości przyspieszenia drgań (tabela 2) nie przekraczają wartości granicznej 400cm/s², w żadnym z punktów pomiarowych, wartości dominujących składowych widma, w paśmie powyżej 1500 Hz (tabela 3) nieznacznie przekraczają poziom 10cm/s² w czterech punktach pomiarowych, a mianowicie: **punkt nr 4**, 2100 Hz - 10,7 cm/s², 2300 Hz - 11,6 cm/s²; **punkt nr 5**, 2100 Hz - 14,9 cm/s²; **punkt nr 6**, 1500 Hz - 23,3 cm/s², 2200 Hz - 14,7 cm/s², 2300 Hz - 16,1 cm/s²; **punkt nr 8**, 1800 Hz - 11,1 cm/s². Żadna ze składowych widma z pasma częstotliwości 1500 – 2500 Hz nie przekracza wartości granicznej 30cm/s².

W wyniku analizy amplitudowego widma drgań transformatora TB4 i porównaniu go z widmem granicznym można przedstawić następujące wnioski: skuteczne wartości przyspieszenia drgań (tabela 2) nie przekraczają wartości granicznej 400cm/s², w żadnym z punktów pomiarowych, wartości dominujących składowych widma, w paśmie powyżej 1500 Hz nieznacznie przekraczają poziom 10cm/s² w trzech punktach pomiarowych, a mianowicie: **punkt nr 4**, 2000 Hz - 15,1 cm/s², 2400 Hz - 14,3 cm/s²; **punkt nr 5**, 1500 Hz - 15,5 cm/s²; **punkt nr 7**, 1500 Hz - 15,1 cm/s², 2000 Hz - 14,2 cm/s², 2100 Hz - 11,1 cm/s². Żadna ze składowych widma z pasma częstotliwości 1500 – 2500 Hz nie przekracza wartości granicznej 30cm/s².

5. Wnioski z przeprowadzonych badań

Na podstawie przeprowadzonych, z użyciem metody wibroakustycznej, badań oceny stanu technicznego czterech transformatorów blokowych (o porównywalnym czasie eksploatacji) typu TFB_b 240000/400 można zaprezentować następujące konkluzje:

- wyniki pomiarów drgań transformatora TB1 nie wskazują na uszkodzenia rdzenia tego transformatora, ani na istnienie innych defektów natury mechanicznej,
- wyniki pomiarów drgań transformatora TB2 nie wskazują na uszkodzenia rdzenia tego transformatora, ani na istnienie innych defektów natury mechanicznej. Niska wartość skuteczna przyspieszenia drgań (tabela 2) oraz brak występowania podwyższonych wartości amplitud drgań w paśmie częstotliwości (1500÷2500) Hz mają swe źródło w przeprowadzonym w roku 1996 generalnym remoncie niniejszej jednostki (prasowanie rdzenia),
- wyniki pomiarów drgań transformatora TB3 nie wskazują na uszkodzenia rdzenia tego transformatora, ani na istnienie innych defektów natury mechanicznej. Ze względu na podwyższone wartości niektórych składowych widma (tabela 3) transformator wymaga ponownej kontroli wibroakustycznej po roku eksploatacji,
- wyniki pomiarów drgań transformatora TB4 nie wskazują na uszkodzenia rdzenia tego transformatora, ani na istnienie innych defektów natury mechanicznej. Ze względu na podwyższone wartości niektórych składowych widma transformator wymaga ponownej kontroli wibroakustycznej po roku eksploatacji.

Czynnikiem określającym dużą skuteczność metody wibroakustycznej w ocenie stanu technicznego rdzenia jest okresowość badań diagnostycznych transformatorów dużych mocy. Pozwala to na zobrazowanie dynamiki zmian wstępowania poszczególnych składowych częstotliwości, a nie wyłącznie bezwzględnych wartości amplitudy w widmie. Przyjęcie takiej metodyki umożliwi zatem efektywną diagnostykę i obserwację ewentualnych zmian parametrów wibroakustycznych rdzenia badanych jednostek transformatorowych.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr 0304/R/2/T02/06/01.

6. Literatura

- [1] Grossman E., Feser K.: „Online Pd-Monitoring on Transformers Using AE Techniques”, Int. Conf. APTADM'2001, Wrocław, 2001, pp. 264 – 268.
- [2] Mościcka-Grzesiak H.: „Inżynieria wysokich napięć w elektroenergetyce”, tom 1, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1996.

- [3] Malewski R., Subocz J., Szrot M., Płowucha J., Zaleski R.: „Podstawy oceny opłacalności modernizacji transformatorów”, Energetyka, 12, (2006), s.884-891
- [4] „Transformatory w eksploatacji”. Praca zbiorowa pod red. J. Subocza, ISBN 978-83-924464-0-8. Energo-Complex, (2007).
- [5] Lipowczasn A.: „Wibroakustyczna diagnostyka maszyn i urządzeń górniczych”, GIG, Katowice 1986.
- [6] Skubis J., Jezierski G., Dwojak J., Rzepiela M.: „Pomiary drgań transformatora dużej mocy”, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 4, 2000.
- [7] „Diagnostyka stanu technicznego transformatorów – zasady badań i kryteria oceny”, Praca zbiorowa pod red. S. Partygi, Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki „ENERGOPOMIAR”, Gliwice 1983.
- [8] Boczar T., Borucki S., Cichoń A., Lorenc M.: „Ocena stanu technicznego rdzenia transformatora na podstawie badań wibroakustycznych”, Przegląd Elektrotechniczny – Konferencje, 3 '2007, str. 27 – 30.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Studia Podyplomowe

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki ogłasza nabór na Dwusemestralne Zaoczne Studia Podyplomowe

Sieci Komputerowe i Systemy Telekomunikacyjne (SKST)

Cel Studiów

Celem studiów jest przekazanie wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych w zakresie: budowy bezpiecznych i wydajnych sieci komputerowych, konfiguracji i eksploatacji sieci komputerowych ze szczególnym uwzględnieniem sieci korporacyjnych, diagnostyki i pomiarów w sieciach komputerowych.

Zajęcia prowadzone są na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w systemie zaocznym w każdą sobotę lub co drugi weekend (opcja do wyboru), przez dwa semestry. Zajęcia prowadzone są przez nauczycieli akademickich ze stopniem co najmniej doktora oraz przez zaproszonych Gości o uznanym dorobku i autorytecie. Studia obejmują 200 godzin dydaktycznych. Rozpoczęcie Studiów nastąpi po skompletowaniu odpowiedniej liczby kandydatów na dany rodzaj studiów.

Organizator studiów:

Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, tel. 032 237 12 41, fax: 032 237 20 34, e-mail: re2@polsl.pl lub agnieszka.skorkowska@polsl.pl, <http://imeia.elekt.polsl.pl>

Kierownik studiów:

Dr hab. inż. Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI, prof. Pol. Śl.

Profil uczestnika studiów

Studia przeznaczone są dla pracowników o różnych specjalnościach z wyższym wykształceniem o kierunku elektrycznym, elektronicznym, telekomunikacyjnym lub pokrewnym, zajmujących się bądź potencjalnie zainteresowanych administracją i eksploatacją komputerowych sieci telekomunikacyjnych.