

Kazimierz BRYDAK, Mykhaylo DOROZHOVETS
POLITECHNIKA RZESZOWSKA, ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Szybka metoda rozwiązania zagadnienia odwrotnego tomografii elektrycznej

mgr. inż. Kazimierz BRYDAK

Jest absolwentem (1978) Wydziału Elektrycznego Politechniki Rzeszowskiej – specjalność metrologia i automatyka. Jest zatrudniony na stanowisku starszego wykładowcy w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych. W pracy naukowo-badawczej zajmuje się zagadnieniami pomiarów tomograficznych, problemami przetwarzania sygnałów pomiarowych w mikrokontrolerach analogowych.



e-mail: brydak@prz.eu.pl

prof. dr hab. inż. Mykhaylo DOROZHOVETS

Jest absolwentem (1975) Katedry Techniki Informatyczno-Pomiarowej Politechniki Lwowskiej, tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w 1986r. W 2001r. obronił pracę habilitacyjną. Obecnie jest zatrudniony na stanowisku profesora w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Rzeszowskiej. W pracy naukowo-badawczej zajmuje się zagadnieniami pomiarów tomograficznych, problemami przetwarzania sygnałów pomiarowych oraz analizą i oceną niedokładności wyników pomiarów.



e-mail: michdor@prz.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono podstawowe problemy rekonstrukcji obrazu rozkładu przestrzennego parametrów elektrycznych w tomografii elektrycznej. Zaproponowano szybszą i bardziej precyzyjną metodę obliczania macierzy Jacobiego bez błędów metody. Zaproponowano metodę adaptacji parametru regularyzacji w procesie rozwiązania zagadnienia odwrotnego, dzięki czemu znacznie poprawia się zbieżność algorytmu rekonstrukcji. Zaprezentowano wyniki eksperymentów numerycznych dla kilku wybranych modeli rozkładu przestrzennego parametrów.

Słowa kluczowe: tomografia elektryczna

Fast method of electrical tomography inverse problem solution

Abstract

This article investigates basic problems concerning image reconstruction of electrical parameters space distribution in electrical tomography. The fast and precise method (without methodical error) of the Jacobian matrix calculation is proposed. Moreover, the algorithm of regularized parameter adaptation in inverse problem solution is proposed. As a result of this, time of the image reconstruction is significant reduced and image becomes more precise. On top of that, the article presents the results of some numerical experiments for the selected object spatial distribution parameter models.

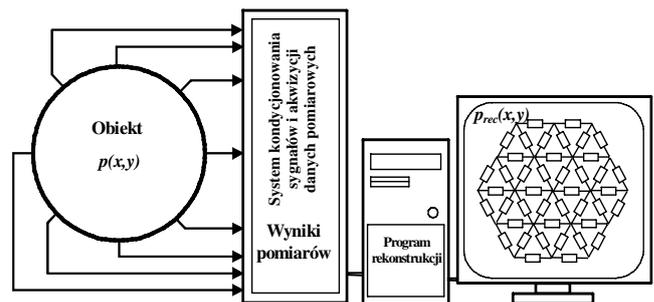
Keywords: electrical tomography

1. Wybrane problemy tomografii elektrycznej

Tomografia elektryczna jest stosowana do wyznaczania rozkładów przestrzennych, np. dwuwymiarowych w płaszczyźnie (x,y) , parametrów elektrycznych $p(x,y)$, (rezystywności $\rho(x,y)$, konduktywności $\chi(x,y)$, stałej dielektrycznej $\epsilon(x,y)$, itp.) wewnątrz badanego obiektu, wykorzystując wyniki pomiarów wielkości elektrycznych na obrzeżu obiektu przy jego zewnętrznym pobudzeniu [1, 2]. W środowiskach przewodzących rozpatruje się zagadnienia polowe elektryczne opisywane uogólnionym prawem Ohma [10].

Rekonstruowanie parametrów rozkładu wewnątrz obszaru rozważanego obiektu może być realizowane przez zastosowanie poprzedniej aproksymacji (zwykle metody elementów skończonych – MES), która może być reprezentowana przez ekwiwalentną sieć pewnej liczby n -elementów dyskretnych, (rezystorów R_i , kondensatorów C_i , indukcyjności $L_i \dots$ [1, 2, 4, 5, 6]), zadawaną na etapie aproksymacji (w zależności np. od kształtu obiektu, zadanej dokładności rekonstrukcji itp.), które w

dalszej części pracy traktowane są jako uogólnione parametry p_i ekwiwalentnej sieci elektrycznej. Dla przykładu, przy zastosowaniu trójkątnych elementów aproksymujących w MES, każdy element może być jednoznacznie przedstawiony siecią elektryczną z 3 elementów dyskretnych [4, 5, 6], w wyniku czego obiekt badany zostaje aproksymowany elektryczną siecią zastępczą w postaci trójkników (Rys. 1).



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy systemu tomografii elektrycznej
Fig. 1. Simplified block-scheme of electrical tomography system

Dla takiej sieci elektrycznej rezultaty pomiarów różnic potencjałów $U_{i, meas}$ pomiędzy odpowiednimi i -parami zewnętrznymi elektrod są nieliniowymi funkcjami F_i , argumentami których jest wektor \mathbf{P} poszukiwanych parametrów $p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_n$ tej sieci, w postaci:

$$U_{i, meas} = I_w \cdot F_i(p_1, p_2, \dots, p_n), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

gdzie: I_w – jest prądem wymuszenia, m – jest liczbą niezależnych rezultatów pomiarów ($m \geq n$).

W ogólnym przypadku analityczne postaci funkcji F_i nie są znane, a ich wartości dla zadanej struktury sieci dyskretniej i jej parametrów mogą być obliczane numerycznie przy wykorzystaniu klasycznych metod elektrotechniki, np. metody potencjałów węzłowych. Wówczas zagadnienie rekonstrukcji (obliczenia wartości wektora parametrów \mathbf{P}) jest ekwiwalentne do rozwiązania układu nieliniowych równań (1), zwykle rozwiązywanego metodą najmniejszych kwadratów. Jest to bardzo źle uwarunkowane zagadnienie [9], dlatego należy zastosować jego regularyzację. Przykładowo, zastosowanie szeroko rozpowszechnionego algorytmu Levenberga-Marquardta [9] w $it+1$ iteracji poszukiwany wektor \mathbf{P} parametrów może być wyznaczony równaniem:

$$\mathbf{P}^{(it+1)} = \mathbf{P}^{(it)} + [\mathbf{J}^{(it)T} \mathbf{J}^{(it)} + \mu^{(it)} \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{J}^{(it)T} (\mathbf{U}_{meas} - \mathbf{U}_{calc}^{(it)}), \quad (2)$$

gdzie: $\mathbf{P}^{(it)}$ - jest wektorem parametrów wartości uzyskanym w it -tej iteracji, $\mathbf{U}_{calc}^{(it)} = \mathbf{U}_{calc}(\mathbf{P}^{(it)})$ - jest wektorem obliczonych na podstawie wyrażenia (1) różnic potencjału dla znanych wartości wektora $\mathbf{P}^{(it)}$, $\mathbf{J}^{(it)}$ - jest macierzą Jacobiego, której elementy obliczane są zgodnie z wyrażeniem:

$$J_{i,j} = \lim_{\Delta p_j \rightarrow 0} \frac{\Delta U_{i,calc}}{\Delta p_j} = \lim_{\Delta p_j \rightarrow 0} \frac{U_{i,calc}(p_1, \dots, p_j + \Delta p_j, \dots, p_n) - U_{i,calc}(p_1, \dots, p_j, \dots, p_n)}{\Delta p_j}, \quad (3)$$

gdzie: $\Delta U_{i,calc}$ są przyrostami różnic potencjału pomiędzy i -tymi parami elektrod spowodowanych przyrostami Δp_j parametrów p_j ; $\mu^{(it)} \mathbf{I}$ - jest członem regularyzującym [9]:

$$\mu^{(it)} \approx \sqrt{n \cdot m_{eps}} \cdot \|\mathbf{J}^{(it)T} \mathbf{J}^{(it)}\|_2 \quad (4)$$

gdzie: m_{eps} - epsilon maszynowy.

W ogólnym przypadku obliczaniu elementów Jacobianu wg (3) towarzyszą dwa typy błędów [9]. Pierwszy jest powodowany aproksymacją skończonych różnic przy obliczaniu pochodnej i drugi powodowany przez błędy obliczania wartości funkcji - napięć między elektrodowych. Pierwszy komponent może być zmniejszony poprzez zmniejszenie wartości przyrostów Δp_j elementów. Jednak determinuje to wzrost błędów w obliczeniach różnicy dwóch bliskich wartości funkcji napięciowej $U_i(p_j + \Delta p_j)$ i $U_i(p_j)$, co w konsekwencji może powodować znaczny wzrost błędów w obliczeniach elementów Jacobianu.

Dlatego zmiany Δp_j powinny być proporcjonalne do pierwiastka kwadratowego wartości parametru [9]. W naszym przypadku zmiany parametru powinny być proporcjonalne nawet do pierwiastka sześciennego wartości parametru ponieważ wartości funkcji (wartości napięcia) są obliczane numerycznie [9]. W szczególności, przy realizacji obliczeń na liczbach zmiennoprzecinkowych, gdy epsilon maszynowy $m_{eps} = 10^{-16}$, uzyskuje się względny błąd w obliczeniach elementów macierzy czułości rzędu $\sqrt[3]{10^{-16}} \approx 10^{-5}$.

Stosunkowo niska precyzja w obliczeniach Jacobianu może być przyczyną pogarszania się zbieżności i dokładności rozwiązania zagadnienia odwrotnego [9].

2. Proponowany algorytm rekonstrukcji

Zagadnienie proste. W pracy proponowany jest szybszy i bardziej precyzyjny sposób obliczania macierzy Jacobianu. Oparty jest on na twierdzeniu o wariacji w elektrotechnice [10], wg którego np. zmiana ΔR_j rezystancji R_j w j -tej gałęzi, w której przepływa prąd I_j , powoduje zmianę prądu ΔI_i w dowolnej innej np. i -tej gałęzi

$$\Delta I_i = -I_j \frac{\Delta R_j g_{ij}}{1 + \Delta R_j g_{jj}}, \quad (5)$$

gdzie: g_{ij} - konduktancja wzajemna pomiędzy gałęziami j oraz i , g_{jj} - konduktancja własna gałęzi j . Jeżeli i -ta gałąź sieci jest zewnętrzną (dostępną do pomiaru) i jej rezystancja równa się R_i , wtedy zmiana różnicy potencjałów na tej gałęzi

$$\Delta U_i = \Delta I_i R_i = -I_j R_i \frac{\Delta R_j g_{ij}}{1 + \Delta R_j g_{jj}}, \quad (6)$$

i wtedy otrzymuje się dokładne wyrażenie dla pochodnej (3)

$$\lim_{\Delta R_j \rightarrow 0} \frac{\Delta U_i}{\Delta R_j} = \lim_{\Delta R_j \rightarrow 0} \frac{-I_j R_i g_{ij}}{1 + \Delta R_j g_{jj}} = -I_j R_i g_{ij}. \quad (7)$$

Wartości I_j oraz g_{ij} mogą być obliczone na podstawie klasycznych metod elektrotechniki.

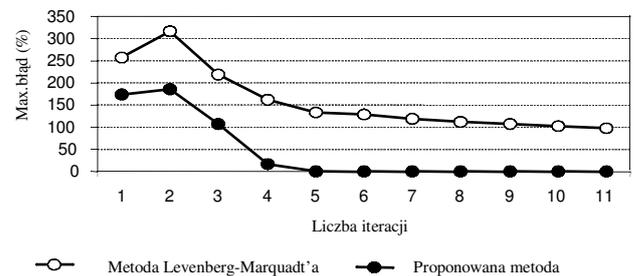
Dla całej sieci elektrycznej, zbudowanej z trójkątnych elementów dyskretnych, przy wykorzystaniu zależności (7) elementy macierzy Jacobianu mogą być obliczone dokładnie zgodnie z wyrażeniem uwzględniającym trzy boki trójkątów

$$J_{i,j} = \frac{1}{I_w} \sum_{l=1}^3 S_{jl} \Delta U_{jl,calc}^{(k)} \Delta U_{jl,calc}^{(i)}, \quad (8)$$

gdzie: S_{jl} - jest współczynnikiem, który łączy wartość dyskretnych elektrycznych parametrów ekwiwalentnej sieci z parametrami rozłożonymi elementów skończonych; $\Delta U_{jl,calc}^{(k)}$, $\Delta U_{jl,calc}^{(i)}$ - obliczone różnice potencjału na l -gałęzi ($l = 1, 2, 3$) j -elementu skończonego, które występują podczas pobudzenia obiektu z zewnętrznych gałęzi z numerami k oraz i , które są zdeterminowane jako rezultat bezpośredniego rozwiązania zagadnienia prostego (określone np. metodą potencjałów węzłowych dla ekwiwalentnej sieci elementów dyskretnych).

Pomimo tego, że zaproponowana metoda (8) pozwala na obliczenie elementów macierzy Jacobiego bez błędów wynikających z metody różnic skończonych przy obliczaniu pochodnych, metoda ta zapewnia również szybkie obliczenie poszukiwanej macierzy ponieważ wymaga tylko jednego rozwiązania zagadnienia prostego dla sieci ekwiwalentnej.

Zagadnienie odwrotne. Jak już wspomniano wyżej, w praktyce zbieżność algorytmu rozwiązania zagadnienia odwrotnego tomografii elektrycznej (2) jest bardzo wolna. Dla przykładu na rys. 3 pokazano zależności maksymalnej wartości błędów rekonstrukcji obrazu przy skokowej o 100% zmianie parametru obiektu na połowie elementów (model c) dla kilkunastu początkowych iteracji.



Rys. 2. Maksymalny błąd rekonstrukcji podczas pierwszych 11 iteracji
Fig. 2. Maximum reconstruction error during first 11 iterations

Pomimo że funkcje (1) są funkcjami nieliniowymi, jednak nieliniowość ta jest specyficzna [5, 11]. Niektóre własności tych funkcji mogą być użyte w celu poprawienia zbieżności rozwiązania zagadnienia odwrotnego.

Jeśli wszystkie argumenty funkcji (1) są jednocześnie zmieniane s -krotnie: $\mathbf{P} \rightarrow s \cdot \mathbf{P}$ wtedy:

- wartość funkcji również ulegnie zmianie s -krotnie

$$\mathbf{U}_{meas}(s \cdot \mathbf{P}) = s \cdot \mathbf{U}_{meas}(\mathbf{P}); \quad (9)$$

- wartość pochodnej funkcji (elementy macierzy Jacobiego) nie ulegnie zmianie

$$\mathbf{J}(s \cdot \mathbf{P}) = \mathbf{J}(\mathbf{P}) ; \quad (10)$$

- wartość funkcji (1) $\mathbf{U}(\mathbf{P})$ i elementów macierzy Jacobiego $\mathbf{J}(\mathbf{P})$ (5), które są wyznaczane dla zadanych wartości argumentów (wektor \mathbf{P}) są powiązane ze sobą równaniem liniowym

$$\mathbf{J}(\mathbf{P}) \cdot \mathbf{P} = \mathbf{U}(\mathbf{P}). \quad (11)$$

W tym przypadku jeśli wszystkie wartości argumentu są zmieniane dokładnie s -krotnie np. $\mathbf{P}_{new} = s \cdot \mathbf{P}_{old}$, wtedy nowe wartości wyników pomiarów będą również zmieniały się dokładnie s -krotnie

$$\mathbf{U}_{meas,new} = s \cdot \mathbf{U}_{meas,old} , \quad (12)$$

i dzięki właściwościom (9), (10) i (11) wartość wektora \mathbf{P} poszukiwanych parametrów może być otrzymana dokładnie bezpośrednio w następnej iteracji.

Z w/w właściwości wynika również, że bezwzględne zmiany wektora rezultatów pomiaru $\mathbf{U}_{meas,new} - \mathbf{U}_{meas,old}$, chociaż charakteryzują zmiany argumentów, jednak nie mogą być bezpośrednią miarą szybkości zbieżności algorytmu rozwiązania zagadnienia odwrotnego. Ponieważ zmiany $\mathbf{U}_{meas,new} - \mathbf{U}_{meas,old}$ mogą być większe (lecz w przybliżeniu skalowane), to mimo to zbieżność rozwiązania może być szybsza i w przeciwieństwie zmiany $\mathbf{U}_{meas,new} - \mathbf{U}_{meas,old}$ mogą być mniejsze (lecz nie skalowane) i w konsekwencji zbieżność algorytmu będzie wolniejsza.

Wymienione powyżej własności mogą być użyte do poprawienia zbieżności rozwiązania zagadnienia odwrotnego. Do tego celu mogą być wykorzystane wartości stosunków wyników pomiarów i obliczonych napięć międzyelektrodowych

$$v_i^{(it)} = \frac{U_{meas,i}}{U_{calc,i}}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (13)$$

i następnie obliczonych parametrów ich niejednorodności: wartości średniej $\bar{v}^{(it)}$, odchylenia standardowego $\sigma_v^{(it)}$ i maksymalnej wartości modułu $d_v^{(it)}$. Są one wykorzystywane w adaptacyjnym algorytmie rekonstrukcji w postaci

$$\mathbf{P}^{(it)} = \bar{v}^{(it)} \mathbf{P}^{(it)} + \left(\mathbf{J}^{(it)T} \mathbf{J}^{(it)} + \mu_{adapt}^{(it)} \mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{J}^{(it)T} \left(\mathbf{U}_{meas} - \bar{v}^{(it)} \mathbf{U}^{(it)} \right), \quad (14)$$

gdzie:

$$\mu_{adapt}^{(it)} = C_{01} \cdot \left(\frac{\sigma_v^{(it)}}{\bar{v}^{(it)}} \right)^{\alpha_{01}} \mu_0^{(it)} \quad \text{lub} \quad \mu_{adapt}^{(it)} = C_{02} \cdot \left(\frac{d_v^{(it)}}{2\bar{v}^{(it)}} \right)^{\alpha_{02}} \mu_0^{(it)}, \quad (15)$$

a C_{01} , C_{02} , α_{01} , α_{02} – są stałymi, których wartości są inicjowane eksperymentalnie. Wykorzystanie adaptacyjnej regularyzacji pozwala na osiągnięcie akceptowalnych wyników już po 3-4 iteracjach, zamiast nawet kilkadziesiąt iteracji w zwykłym algorytmie (Rys.2).

3. Opis badań

Badane modele. Do badań algorytmu zaproponowano kilka modeli rozkładu przestrzennego (np. przewodności) wewnątrz obiektu. Założono 100% zmianę parametru p w badanych modelach (od $p=1$ do $p=2$). Parametry modelu obiektu były modyfikowane dla kolejnych modeli następująco (modele a oraz b nie zostały pokazane na rysunkach):

- zmiana w pojedynczym elemencie skończonym,
- zmiana w kilku pobliskich elementach,
- zmiana w połowie elementów skończonych (rys. 3a),
- ładkie zmiany (dwu-wymiarowe cosinusoidalne) (rys. 3b),
- losowe fluktuacje (rys. 3c),
- binarne losowe zmiany w tym zakresie (rys. 3d).

Ocena jakości rekonstrukcji obrazu. W każdej iteracji obliczany jest względny błąd rekonstrukcji wartości parametru każdego aproksymowanego elementu

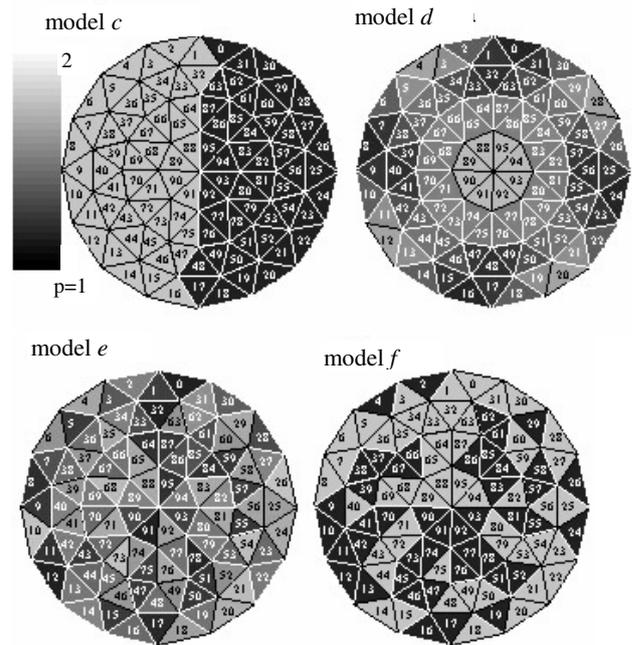
$$\delta_j^{(it)} = \frac{p_j^{(it)} - p_{j,nom}}{p_{j,nom}} 100\% \quad (16)$$

(gdzie: $p_{j,nom}$ - zadane wg modelu, a $p_j^{(it)}$ - rekonstruowane wartości parametru) i jego charakterystyki:

$$\text{- wartość średnia} \quad \bar{\delta}^{(it)} = \frac{1}{n} \sum_j \delta_j^{(it)} ; \quad (17)$$

$$\text{- standardowe odchylenie} \quad \sigma_\delta^{(it)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_j (\delta_j^{(it)} - \bar{\delta}^{(it)})^2} ; \quad (18)$$

$$\text{- wartość maksymalna} \quad \delta_{peak}^{(it)} = \max(|\delta_j^{(it)}|). \quad (19)$$



Rys. 3. Modele testowe (c, d, e, f)

Fig. 3. Test models (c, d, e, f)

4. Wyniki badań

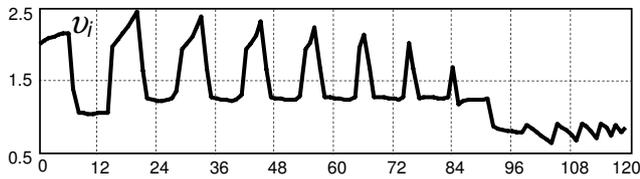
We wszystkich przypadkach rekonstrukcji obrazu, jako przybliżenie początkowe, wykorzystano jednostajny rozkład parametrów modelu o względnej wartości $p_j^{(0)} = 1$.

Na początku każdej iteracji wg (13) obliczane są zależności stosunków wyników pomiarów i obliczonych napięć międzyelektrodowych. Dla przykładu, na rys. 4 pokazano zależność stosunku v_i wyników pomiarów i obliczonych napięć międzyelektrodowych dla modelu c (100% zmiana dla połowy elementów skończonych).

Następnie wg wzorów (15) obliczana jest wartość współczynnika adaptacyjnej regularyzacji i dalej wg zależności

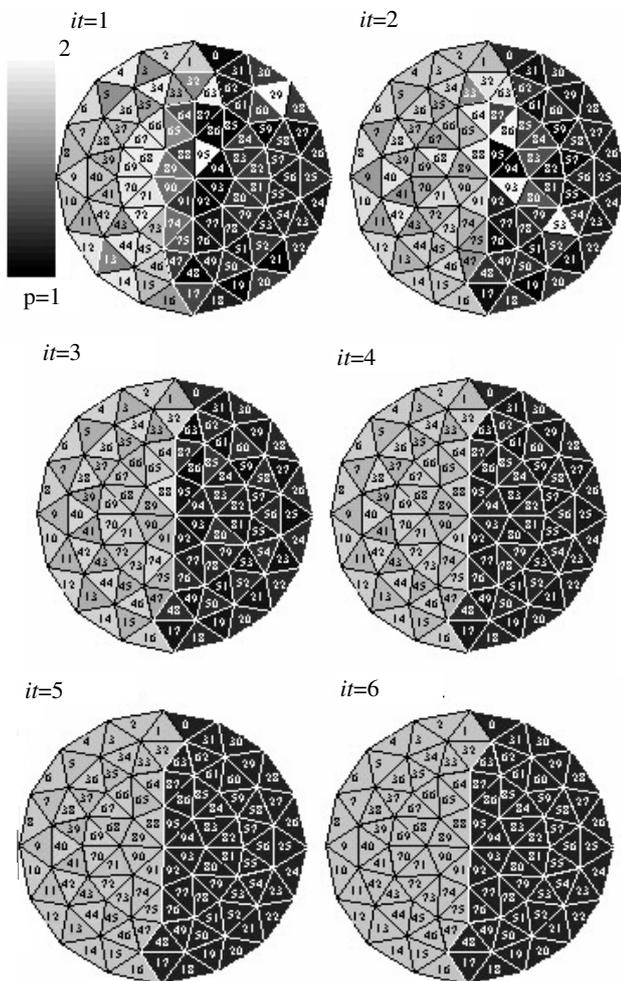
(14) oblicza się kolejny obraz rozkładu parametru modelu obiektu i następnie wg (16) – (19) charakterystyki niedokładności.

Na rys. 5 zaprezentowano zrekonstruowany obraz modelu (c) podczas pierwszych 6 iteracji. Na rys. 6 pokazano zależność parametrów błędów rekonstrukcji proponowaną metodą podczas tych iteracji.



Rys. 4. Zależność stosunku v_i wyników pomiarów i obliczonych napięć między-elektrodowych dla modelu c dla pierwszej iteracji (ogólna liczba wyników pomiaru 120)

Fig. 4. Dependence the ratios v_i of measured and calculated inter-electrode voltages from number at first iteration (total number is 120). Model c



Rys. 5. Proces rekonstrukcji obrazu w pierwszych 6 iteracjach (model c)

Fig. 5. Process of image reconstruction in the first 6 iteration (model c)

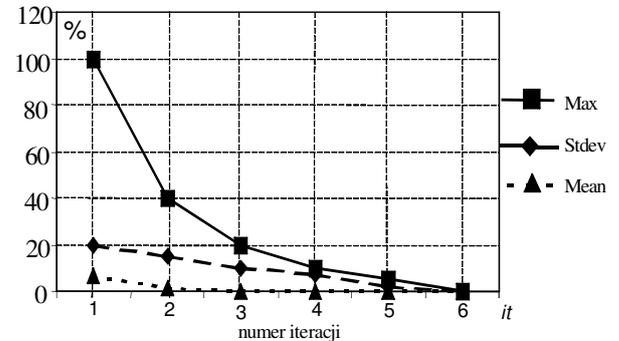
5. Wnioski

Wykorzystując własności obwodów elektrycznych wszystkie elementy macierzy Jacobiego mogą być obliczone bez błędów metody (który wynika z metody skończonych różnic obliczania pochodnej) na podstawie tylko jednego rozwiązania zagadnienia prostego.

Własności rozważanych funkcji pozwalają na niezależnie od rzeczywistego rozkładu konduktywności badanego obiektu

zastosowanie jako początkowego przybliżenia rozkładu jednostajnego, co nie wpływa bezpośrednio na zbieżność procesów iteracyjnych.

Własności funkcji które opisują problem odwrotny stwarzają możliwość realizacji adaptacyjnej regularyzacji w rozwiązaniu odwrotnego problemu i w ten sposób pomagają osiągnąć lepszą zbieżność procesów iteracyjnych.



Rys. 6. Indeks jakości rekonstruowanego obrazu (model c)

Fig. 6. Reconstructed image quality indexes (model c)

Proces obliczeń realizowany był w środowisku Mathcad 11. Autorzy przewidują zrealizowanie różnych etapów rekonstrukcji w środowisku Matlab z odpowiednią prezentacją uzyskiwanych wyników jakościowych i ilościowych. Kolejne badania autorzy planują przeprowadzić również dla rzeczywistych wyników pomiarów fizycznych modeli obiektów.

6. Literatura

- [1] Seagar A.D., Barber D.C., Brown B.H.: Electrical Impedance Imaging. IEE Proceedings. Vol.134, Pt. A, No 2, February 1987, str. 201-209.
- [2] Dickin F.J., Zhao X.J., Abdulach M.Z. and others: Tomographic Imaging of Industrial Process Equipment Using Electrical Impedance Sensors. Sensors VI: Technology, Systems and Applications. Proceedings of the 5-th Conference on Sensors and their Applications. Bristol, Philadelphia and New York, 1991, str. 215-220.
- [3] Zienkiewicz O.C.: The Finite Element Method. McGraw-Hill, London, 1971.
- [4] Liebman G.: Solution of Partial Differential Equation with Resistance Network Analogue. British Journal of Applied Science, 1950. str. 92-103.
- [5] York T., Komarudin M., Lionheart W.: Custom silicon for finite element modelling. Proc. of 2-th International Symposium on Process Tomography in Poland. Wrocław, Poland. 11-12 September. 2002. str.73-78.
- [6] Dorozhovets M.: Modele dyskretne zagadnień tomografii elektrycznej. PAK Nr 7/8. Warszawa, 2003. str. 21-25.
- [7] Dorozhovets M., Kowalczyk A.: Fast and precise Method of the Jacoby Matrix Calculation for the Electrical Tomography Tasks. Proc. 48th International Scientific Colloquium. Ilmenau Technical University. September 22-25.2003. str. 423-424
- [8] Dorozhovets M.: Direct calculation of Jacobi matrix without the systematic error using finite elements method approximation in the tasks of the electrical tomography. (Ukr.) Selection and the transmission of information. N 8, Lviv, 2003. str.40-45.
- [9] Dennis J.E., Shnabel R.B.: Numerical method for unconstrained Optimisation in Nonlinear Equations. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs. New Jersey, 1983.
- [10] Bessonov A.: Theoretical bases of electrical engineering. (Ros.) M. Vysshaja shkola. 1978, 645p.
- [11] Dorozhovets M., Brydak K.: Properties of electrical network equivalent to a finite element approximation and their using for image reconstruction in electrical tomography. 49th International Scientific Colloquium. Ilmenau Technical University, 27-30 September 2004, str.343-348