ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: ELEKTRYKA z. 174 Nr kol. 1472

Maksymilian PRZYGRODZKI

ROZPŁYW MOCY A ROZLICZANIE TRANSAKCJI NA RYNKU ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Streszczenie. W artykule poruszono wybrane zagadnienia rozliczeń energii elektrycznej czynnej w warunkach rynku energii. W szczególności skupiono się na analogiach zachodzących pomiędzy rozwiązywaniem zadań rozpływowych a rozliczeniami transakcji rynkowych związanych z obrotem energią elektryczną.

POWER FLOW AND SETTLING TRANSACTIONS ON THE ENERGY MARKET

Summary. The problem of accounting the energy transactions in energy market condition is presented in the paper. Particularly the analogies occuring between the solving of power flow problems and the accounting of market transactions (connected with energy turnover) is analysed.

1. WSTĘP

Prace nad wprowadzeniem konkurencyjnego rynku energii elektrycznej doprowadziły do przyjęcia i wprowadzenia w życie ustawy Prawo energetyczne [12]. Poza ustawą wprowadzono szereg aktów wykonawczych, stanowiących uszczegółowienie zapisów ustawy, w tym ważnych rozwiązań dla tworzonego konkurencyjnego rynku energii elektrycznej [6, 7, 8].

Głównym celem działania konkurencyjnego rynku energii elektrycznej jest minimalizacja kosztów produkcji i dostaw energii elektrycznej odbiorcom [9]. Realizuje się to poprzez wprowadzenie mechanizmów konkurencji w zakresie wytwarzania, obrotu i przesyłu energii elektrycznej. Przedmiotem obrotu na rynku jest energia elektryczna czynna. Rynek energii działa na dwóch poziomach: rynku hurtowego i rynku detalicznego. Zgodnie z przyjętym w Polsce modelem [5, 9, 10], obrót energią elektryczną na rynku hurtowym odbywać się będzie w trzech podstawowych segmentach:

- na rynku kontraktowym, w którym obrót energią ma formę kontraktów dwustronnych, zawieranych bezpośrednio pomiędzy uczestnikami;
- na rynku giełdowym, w którym obrót energią ma formę kontraktów zawieranych na Giełdzie Energii, a realizowanych poprzez fizyczną dostawę energii w poszczególnych przedziałach godzinowych;
- na rynku bilansującym, w którym operator systemu przesyłowego bilansuje różnice pomiędzy transakcjami zawartymi na rynku kontraktowym i rynku giełdowym a rzeczywistym zapotrzebowaniem na energię elektryczną.

Transakcje rynkowe mogą mieć więc postać kontraktów lub przepływów bilansujących. Stronami zawieranych transakcji rynkowych mogą być: wytwórcy, spółki dystrybucyjne, odbiorcy, którzy uzyskali prawo do korzystania z usług przesyłowych [6] oraz przedsiębiorstwa obrotu energią elektryczną.

Mianem procesu rynkowego nazwać można cykliczny proces trwający od chwili zawarcia transakcji aż do jej rozliczenia. Według [9] w każdym procesie rynkowym wyróżnia się trzy etapy:

1) przygotowanie, kiedy następuje zawieranie kontraktów oraz składanie i bilansowanie ofert kupna i sprzedaży;
2) realizację, kiedy następuje rozdział obciążeń oraz zbilansowanie różnic pomiędzy kontraktami a rzeczywistą podażą i popytem;
3) rozliczenie, kiedy następuje rozliczanie ilościowe i wartościowe transakcji w poszczególnych segmentach rynku.

W niniejszym artykule poruszono problem rozliczeń ilościowych energii elektrycznej czynnej w ramach obrotu na rynku kontraktowym lub/i giełdowym oraz na rynku bilansującym. Zagadnienie to wydaje się aktualne ze względu na spodziewany szybki rozwój tych rynków.

2. OPIS ZADANIA

Mianem zadania (rozliczeniowego) przyjęto nazywać rozliczenie zrealizowanych transakcji. Celem tego zadania jest określenie ilościowe zrealizowanych transakcji przy znanych wielkościach węzłowych, zmierzonych w drugim etapie procesu rynkowego. Zakłada się znajomość wszystkich informacji ilościowych uzyskanych w ramach etapu pierwszego, tj. przygotowania (planowania). Pomija się natomiast procesy zachodzące w etapie realizacji, gdyż są one ściśle związane z prowadzeniem ruchu systemu oraz wszelkimi zdarzeniami towarzyszącymi pracy systemu, np. awariami, równoważeniem podaży i popytu, bezpieczeństwem energetycznym itp. Przedziałem czasowym, w którym przebiega cyklicznie proces rozliczeń, jest jedna godzina. Rozliczeniu podlega moc czynna, będąca ilościowym równoważnikiem energii elektrycznej czynnej mierzonej w przedziale jednogodzinnym.

Planowanie, realizacja i rozliczenie transakcji dokonuje się w ramach rzeczywistego układu sieciowego. Transakcje określone są przez miejsce (węzeł) dostawy energii elektrycznej i miejsce (węzeł) odbioru energii. Dlatego też można mówić o węźle dostawczym (początkowym) i odbiorczym (końcowym) każdej transakcji, natomiast sama transakcja realizuje się poprzez umowną gałąź łączącą te węzły. Węzły dostawcze i odbiorcze, opisane poprzez transakcje, są równoważne rzeczywistym węzłom układu sieciowego. Liczba węzłów układu rzeczywistego i „układu" transakcji nie musi być taka sama, ponieważ nie we wszystkich węzłach muszą być zawarte transakcje w ramach rynku energii. Przykładowo, część węzłów odbiorczych pozostanie w sferze obrotu taryfowego z powodu nieuzyskania (jeszcze) prawa dostępu do sieci, bądź wskutek niekorzystania z tego prawa [6, 7, 8].

Poza węzłami dostawczymi (wytwórczymi) i odbiorczymi w „układzie" transakcji występuje umowny węzeł rynku bilansującego. Węzeł ten ma powiązania ze wszystkimi pozostałymi węzłami układu (odwzorowane poprzez gałęzie). Biorą one udział w obrocie pozataryfowym, a tym samym mają zawarte transakcje kupna/sprzedaży energii elektrycznej. Zgodnie z zasadą funkcjonowania rynku bilansującego, węzeł tego rynku może być zarazem węzłem dostawczym (przy zakupie z rynku bilansującego dodatkowych ilości energii) lub węzłem odbiorczym (przy sprzedaży na rynek bilansowy dodatkowych ilości energii lub rezygnacji ze swojej pozycji kontraktowej) [4, 11]. W tablicy 1 przedstawiono definicje elementów grafu rzeczywistego układu sieciowego i „układu" transakcji.

Tablica 1

Definicje elementów grafu układu sieciowego i „układu" transakcji

Element	Układ sieciowy	„Układ" transakcji
Węzeł dostawczy	węzeł z przyłączonym generatorem dostarczający energię (moc) do układu	węzeł z przyłączonym generatorem dostarczający energię (moc) do układu w ramach transakcji
Węzeł odbiorczy	węzeł z przyłączonym odbiorcą pobierający energię (moc) z układu	węzeł z przyłączonym odbiorcą pobierający energię (moc) z układu w ramach transakcji
Krawędź grafu	gałąź stanowiąca elektryczne połączenie dwóch węzłów	transakcja stanowiąca umowne połączenie węzła dostawczego z węzłem odbiorczym

Opisywane zadanie rozliczeniowe można przyrównać do klasycznych zadań rozpływowych. Różnica polega na tym, że zadanie rozliczeniowe rozwiązywane jest w „układzie" transakcji, natomiast zadanie rozpływowe – w rzeczywistym układzie sieciowym.

Klasyczne zadanie rozpływowe polega na wyznaczeniu prądów (mocy) gałęziowych układu przy znajomości jego topologii (macierzy incydencyjnych węzłowych i oczkowych) oraz parametrów (macierzy impedancyjnych/admitancyjnych oczkowych/węzłowych) [1, 2,

3]. Przyjmując rozwiązanie zadania rozpływowego w układzie sieciowym quasi-liniowym (model stałoprądowy) z uwzględnieniem składowej czynnej mocy, otrzymuje się analogię rozwiązania zadania rozliczeniowego. Tablica 2 zawiera zestawienie porównawcze parametrów rzeczywistego układu sieciowego oraz „układu" transakcji wykorzystywanych w powyższych zadaniach.

Tablica 2

Porównanie parametrów zadania rozpływowego układu sieciowego i „układu" transakcji

Parametr	Układ sieciowy	„Układ" transakcji
Moc gałęziowa (wektor mocy)	moc płynąca gałęzią układu	moc wynikająca z zawartej między węzłami transakcji lub z zakupu/sprzedaży na rynku bilansującym
Moc węzłowa (wektor mocy)	moc dostarczana lub odbierana w węźle	moc dostarczana bądź odbierana w węźle
Macierz incydencji węzłowa	opisuje połączenia rzeczywistych gałęzi z węzłami układu	opisuje połączenia transakcji z węzłami układu
Macierz incydencji oczkowa	opisuje połączenia rzeczywistych gałęzi z cyklami (oczkami) układu	opisuje połączenia transakcji z cyklami (oczkami) układu
Macierz impedancyjna/admitancyjna gałęziowa	zawiera impedancje lub admitancje poszczególnych gałęzi	—

3. OBLICZANIE ROZPŁYWU MOCY

W rzeczywistym układzie sieciowym można obliczyć przybliżony rozpływ mocy (z pominięciem strat), wybierając drzewo (parametry z oznaczeniem α) oraz cięciwy - jako dopełnienie drzewa (parametry z oznaczeniem β). Ponadto musi być znany wektor mocy węzłowych i macierz impedancyjna gałęziowa. Według [2,3], wektor mocy gałęziowych można zapisać następująco:

$$P_g = \begin{bmatrix} P_{g\alpha} \\ P_{g\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_0 - N_\alpha^T Y_0 N Z_\alpha C_0 \\ -Y_0 N Z_\alpha C_0 \end{bmatrix} P_w . \tag{1}$$

Iloczyn $N Z_\alpha$ we wzorze (1) można uprościć, gdyż – przy odpowiednim wyborze kierunku oczek – $N_\beta = 1$ oraz ze względu na wartości zerowe podmacierzy $Z_{\beta\alpha}$ otrzymuje się:

$$N Z_{\alpha} = \begin{bmatrix} N_{\alpha} & N_{\beta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{\alpha\alpha} \\ Z_{\beta\alpha} \end{bmatrix} = N_{\alpha} Z_{\alpha\alpha} . \tag{2}$$

Po uwzględnieniu wzoru (2) i (1) moce gałęziowe płynące w cięciwach i drzewie wyraża wzór:

$$P_{g\beta} = -Y_0 N_{\alpha} Z_{\alpha\alpha} C_0 P_w , \tag{3a}$$

$$P_{g\alpha} = C_0 P_w + N_{\alpha}^T P_{g\beta} , \tag{3b}$$

przy czym zachodzi:

$$C_0 = M_{\alpha}^{-1} , \tag{4}$$

$$Y_0 = \left(N Z_g N^T \right)^T . \tag{5}$$

Straty gałęziowe mogą zostać uwzględnione w postaci mocy odbieranych, rozdzielonych po połowie na początek i koniec każdej gałęzi. Wyznaczone w tym przypadku moce równe są mocom średnim gałęziowym. Innym sposobem uwzględnienia strat w obliczeniach jest wykonanie drugiej iteracji obliczeń z uwzględnieniem „nowych" (skorygowanych) napięć węzłowych.

4. OBLICZANIE „ROZPŁYWU" MOCY KONTRAKTOWYCH (TRANSAKCJI)

W obliczeniach „rozpływów" mocy kontraktowych (transakcji) przyjęto założenie, że sieć tworzona na podstawie zawartych kontraktów jest siecią bezstratną. W celu przeprowadzania obliczeń zaproponowano dwie metody: metodę przybliżoną i metodę porównawczą. Wyniki obliczeń zgodnie z powyższym podziałem mają zupełnie odmienny charakter i nie są porównywalne.

Obliczenia metodą przybliżoną

Przy obliczaniu mocy kontraktowych dysponuje się podobnymi parametrami, jak w zadaniu rozpływowym. Nie dotyczy to macierzy impedancji gałęziowych, zamiast której zadane są wielkości gałęziowe i węzłowe z pierwszego etapu procesu rynkowego, tj. przygotowania. Informacje te pozwalają na wyznaczenie odpowiednika macierzy impedancji gałęziowych dla „układu" transakcji. Macierz taka pozwala na określenie rozpływu mocy kontraktowych w etapie rozliczeń na podstawie danych pochodzących z etapu realizacji (tj. mocy węzłowych). Teoretycznie takie obliczenia wymagają podwójnych iteracji w celu wykonania każdorazowego rozliczenia. Iteracja pierwsza polega na wyznaczeniu macierzy Z_g przy znanym rozpływie (etap planowania). W drugiej iteracji wykorzystuje się tę znaną macierz do wyznaczenia nowego „rozpływu" na bazie mocy węzłowych etapu rozliczeń.

W praktyce, zamiast wyznaczać macierz Z_g dla „układu" transakcji, można skrócić sposób obliczeń poprzez określenie macierzy udziałów U poszczególnych transakcji w mocach węzłowych etapu przygotowań i wykorzystać ją w etapie rozliczeń. Macierz ta pozwala na przekształcenie zapisu:

$$M_K P_{gK}^P = P_{wK}^P \tag{6}$$

do postaci:

$$UP_{wK}^R = P_{gK}^R . \tag{7}$$

Równanie (7) opisuje moce gałęziowe kontraktowe (transakcji) P_{gK} przy znanych mocach węzłowych kontraktowych P_{wK} (indeks górny: P – etap przygotowań; R – etap realizacji). Równanie (6) jest odpowiednikiem pierwszego prawa Kirchhoffa, zapisanego w układzie bezstratnym dla mocy czynnych. W równaniu tym zastosowano macierz incydencji M_K kontraktów względem węzłów „układu" transakcji.

Element i, j macierzy U można wyznaczyć z następującego równania:

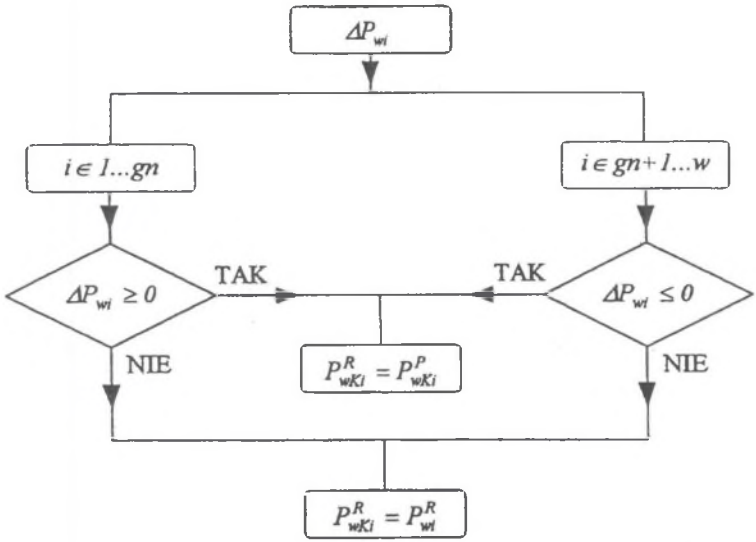
$$u_{i,j} = \left| \frac{P_{gKi}^P}{2\,P_{wKj}^P} \right| \left(M_K^T \right)_{i,j} \quad i = 1,\ldots,k,\ j = 1,\ldots,w . \tag{8}$$

Rozmiar macierzy U wynika z liczby kontraktów k i węzłów w „układu" transakcji. Moce węzłowe w równaniu (7) są wynikiem etapu realizacji (drugi etap procesu rynkowego) i stanowią zmodyfikowane sumaryczne moce węzłowe. Modyfikacja polega na rozdzieleniu mocy węzłowych realizowanych w ramach transakcji (mocy węzłowych kontraktowych) od mocy węzłowych realizowanych poza kontraktami (mocy węzłowych „pozakontraktowych"). Dotyczy to zarówno węzłów wytwórczych, jak i węzłów odbiorczych. Rozdział mocy węzłowych można przeprowadzić poprzez porównanie mocy węzłowych etapu przygotowań i realizacji. W tym celu tworzy się wektor pomocniczy:

$$\Delta P_w = P_w^R - P_{wK}^P . \tag{9}$$

W zależności od wartości i znaku elementów wektora ΔP_w można wyznaczyć elementy wektora mocy węzłowych kontraktowych (transakcji). Algorytm służący do wyznaczenia wartości i-tego elementu wektora P_{wK} przedstawiono na rysunku 1.

Równanie (7) zapisane dla „układu" transakcji jest odpowiednikiem równania (1) dla układu rzeczywistego. Każde z tych równań pozwala na wyznaczenie mocy gałęziowych przy znanych mocach węzłowych. W przypadku rozpływu rzeczywistego moc gałęziowa jest uzależniona od impedancji gałęziowej, natomiast w przypadku „rozpływu" kontraktów – od udziałów wynikających z etapu przygotowania.



Rys. 1. Algorytm określania mocy węzłowych kontraktowych
Fig. 1. Algorithm describing contract nodal powers

Obliczenia metodą porównawczą

Obliczenia te oparte są na założeniu, że kontrakty w etapie realizacji mają zawsze pierwszeństwo przed realizacją transakcji zakupu/sprzedaży na rynku bilansującym. Ponadto wykorzystano fakt, że rozpływ mocy wokół węzła określa przepływy w gałęziach połączonych z tym węzłem.

Określając „rozpływ" mocy transakcji (rozumianej jako zakup/sprzedaż energii w ramach kontraktów bądź z rynku bilansującego) wykorzystuje się „rozpływy" mocy ustalone na podstawie danych z etapu przygotowania oraz zmierzonych mocy węzłowych pochodzących z etapu realizacji.

Dla etapu przygotowań można wyznaczyć wektor mocy węzłowych dostarczanych oraz odbieranych w węzłach wytwórczych i odbiorczych, z uwzględnieniem mocy kontraktowych i „pozakontraktowych" (rynek bilansujący). Odpowiada to w–elementowemu wektorowi mocy węzłowych, gdzie $w = gn + od$, przy czym gn jest liczbą węzłów dostawczych, natomiast od jest liczbą węzłów odbiorczych. Węzeł rynku bilansującego jest węzłem zależnym. Moce gałęziowe można zapisać w postaci g–elementowego wektora, przy czym $g = k + w$, (k określa liczbę kontraktów na rynku energii). Powyższe wektory można zapisać następująco:

$$P^P_w = P^P_{wK} + P^P_{wBK} = \begin{bmatrix} P^P_G \\ P^P_O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P^P_{GK} \\ P^P_{OK} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P^P_{GBK} \\ P^P_{OBK} \end{bmatrix}, \tag{10a}$$

$$P_g^P = \begin{bmatrix} P_{gK}^P \\ P_{gBK}^P \end{bmatrix}, \tag{10b}$$

$$P_{gBK}^P = \begin{bmatrix} P_{gGBK}^P \\ P_{gOBK}^P \end{bmatrix}. \tag{10c}$$

Wzór (10c) opisuje podwektor P_{gBK} mocy gałęziowych, wynikający z relacji węzeł rynku bilansującego – pozostałe węzły. Równania (10) zapisane są dla etapu przygotowań.

„Układ" transakcji można opisać równaniem:

$$MP_g = P_w. \tag{11}$$

Jest ono odpowiednikiem pierwszego prawa Kirchhoffa, zapisanego dla mocy czynnych w układzie bezstratnym. Macierz M opisuje powiązania mocy gałęziowych układu z mocami węzłowymi. Równanie (11) jest prawdziwe zarówno na etapie przygotowań, jak i na etapie realizacji. Elementy macierzy M określono następująco:

$$m_{i,j} = \begin{cases} +1, & \text{gdy w węźle "}i\text{" zawarto transakcję "}j\text{" oraz "}i\text{" jest węzłem dostawczym,} \\ -1, & \text{gdy w węźle "}i\text{" zawarto transakcję "}j\text{" oraz "}i\text{" jest węzłem odbiorczym,} \\ 0, & \text{gdy w węźle "}i\text{" nie została zawarta transakcja "}j\text{".} \end{cases}$$

Macierz M można rozłożyć na podmacierze M_K oraz M_{BK}, jak poniżej:

$$M = \begin{bmatrix} M_K & M_{BK} \end{bmatrix}, \tag{12a}$$

$$M_K = \begin{bmatrix} M_{KG} \\ M_{KO} \end{bmatrix}, \tag{12b}$$

$$M_{BK} = \begin{bmatrix} M_{BKG} & 0 \\ 0 & M_{BKO} \end{bmatrix}. \tag{12c}$$

Macierze te określają połączenia węzłów „układu" transakcji z poszczególnymi transakcjami kontraktowymi oraz połączenia węzłów „układu" z węzłem rynku bilansującego. Zapis tych macierzy może być bardziej szczegółowy, jeśli uwzględnia się podział na węzły dostawcze i odbiorcze. Przy założeniu orientacji gałęzi odwzorowującej połączenia z węzłem rynku bilansującego (od węzłów dostawczych i odbiorczych do węzła rynku bilansującego), macierz M_{BK} jest macierzą jednostkową diagonalną.

Wykorzystując własności rozdziału macierzy incydencji M na podmacierze, można osobno analizować gałęzie opisane przez transakcje sprzedaży/zakupu mocy na rynku bilansującym. Do tego celu służą wzory:

$$MP_g^P = \begin{bmatrix} M_K & M_{BK} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{gK}^P \\ P_{gBK}^P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_G^P \\ P_O^P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{GK}^P \\ P_{OK}^P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_{GBK}^P \\ P_{OBK}^P \end{bmatrix}, \tag{13a}$$

$$M_K P_{gK}^P = P_{wK}^P = \begin{bmatrix} P_{GK}^P \\ P_{OK}^P \end{bmatrix}, \tag{13b}$$

$$M_{BK} P_{gBK}^P = P_{wBK}^P = \begin{bmatrix} P_{GBK}^P \\ P_{OBK}^P \end{bmatrix}. \tag{13c}$$

Korzystając z danych pochodzących z etapu realizacji można zapisać wektor mocy węzłowych jako wektor złożony z podwektorów mocy węzłowych, dostarczanych do „układu" transakcji oraz mocy odbieranych z tego „układu". Sposób zapisu tego wektora jest podobny do zapisu dla etapu przygotowań (wzór (10a)). Nie można w nim jednak bezpośrednio rozdzielić mocy węzłowych na moce wynikające z zawartych kontraktów oraz transakcji na rynku bilansującym.

Aby określić stopień wykonania poszczególnych kontraktów należy określić różnice mocy węzłowych z etapu realizacji i przygotowań. Różnice te wyliczyć można ze wzoru (9). Pozwala to na obliczenie mocy gałęziowych wynikających z transakcji zrealizowanych poprzez rynek bilansujący:

$$P_{gBK}^R = \Delta P_w. \tag{14}$$

Obliczenie mocy gałęziowych kontraktowych sprowadza się do określenia rozpływu mocy wokół węzłów dostawczych i odbiorczych. Realizacja według planu mocy w danym węźle gwarantuje również planowy rozpływ mocy kontraktowych w gałęziach łączących się z tym węzłem. Z uwagi na bezstratność „układu" transakcji, znany przepływ w jednym końcu gałęzi określa przepływ w drugim jej końcu (dla j-tej gałęzi $P_{gGj} = P_{gOj}$). Może to doprowadzić do zmniejszenia zbioru niewiadomych – mocy gałęziowych kontraktowych. Wykorzystując równania (13), zapisane dla wielkości z etapu realizacji, otrzymuje się układ równań liniowych. Po eliminacji tożsamości wynikających z tytułu określenia mocy gałęziowych kontraktowych wchodzących/wychodzących z węzła, dla zadanych mocy węzłowych otrzymuje się zmodyfikowany układ równań liniowych:

$$M' P_g^{R'} = P_w^{R'}. \tag{15}$$

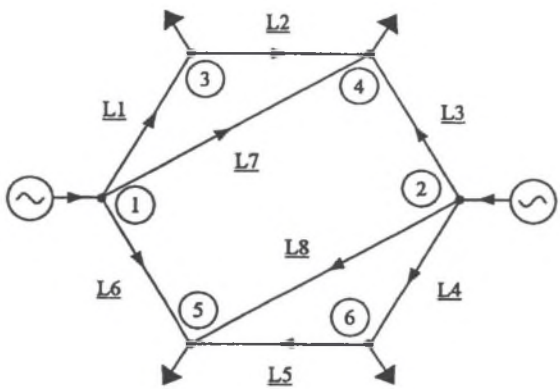
Układ ten należy rozwiązać względem zmodyfikowanego wektora mocy gałęziowych. W przypadku braku rozwiązania rozliczenia transakcji rynkowych można przeprowadzić jedynie metodą przybliżoną.

5. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Przyjęto układ sieci 110 kV w układzie połączeń jak na rysunku 2. W układzie tym założono dwa węzły wytwórcze oraz cztery węzły odbiorcze. Przyjęto jednostkowe impedancje

gałęziowe oraz pominięto straty mocy czynnej. Numeracja węzłów oraz gałęzi została naniesiona na rysunku 2.

W modelowym układzie przyjęto moce węzłowe czynne dla etapu przygotowania oraz etapu rozliczeń. Moce węzłowe zestawiono w tablicy 3. Moce gałęziowe obliczono na podstawie wzorów (3a) i (3b). Wyniki zaprezentowano w tablicy 4 ze znakiem odpowiednim do strzałkowania według rysunku 2.



Rys. 2. Układ rzeczywistych połączeń sieciowych
Fig. 2. System of real grid connections

Tablica 3

Moce węzłowe rzeczywistego układu sieciowego, w MW

Węzeł	1	2	3	4	5	6
Przygotowanie	40	20	-10	-15	-25	-10
Realizacja	34	25	-10	-10	-19	-20

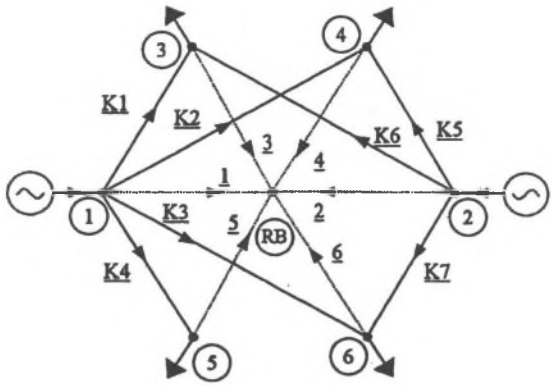
Uwaga: ze znakiem minus przyjęto moce odbierane z węzła

Tablica 4

Moce gałęziowe rzeczywistego układu sieciowego, w MW

Gałąź	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Przygotowanie	10,8	0,8	2,5	9,2	-0,8	17,5	11,7	8,3
Realizacja	9,4	-0,6	1,8	14,4	-5,6	15,8	8,8	8,8

W powyższym układzie zaplanowano (etap przygotowań) kontrakty dwustronne pomiędzy węzłami dostawczymi i odbiorczymi oraz zakup i sprzedaż mocy w ramach funkcjonowania rynku bilansującego. Moce planowane w poszczególnych transakcjach zestawiono w tablicach 5 i 6. Sumaryczne planowane moce węzłowe w prezentowanym „układzie" transakcji równe są mocom węzłowym etapu przygotowań według tablicy 3. Całość zawartych transakcji w postaci wspomnianego „układu" transakcji przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Połączenia w „układzie" transakcji
Fig. 3. Connections in the transaction „system"

Na powyższym rysunku linią ciągłą oznaczono transakcje kontraktowe, natomiast linia przerywana oznacza połączenia z węzłem rynku bilansującego (RB). Strzałki obrazują przyjęty „kierunek" transakcji.

Tablica 5

Moce gałęziowe kontraktowe „układu" transakcji, w MW

Gałąź	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Przygotowanie	5	5	5	20	10	5	5

Tablica 6

Moce gałęziowe pozakontraktowe „układu" transakcji, w MW

Gałąź	1	2	3	4	5	6
Przygotowanie	5	0	0	0	-5	0

Obliczając rozpływy mocy w „układzie" transakcji otrzymano wyniki w podziale na moce gałęziowe kontraktowe i pozakontraktowe. W tablicach 7 i 8 przedstawiono wyniki

obliczeń metodą przybliżoną, natomiast tablice 9 i 10 zawierają wyniki uzyskane metodą porównań.

Tablica 7

Moce gałęziowe kontraktowe „układu" transakcji (metoda przybliżona), w MW

Gałąź	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Realizacja	4,9	4,1	4,9	19,2	8,3	5	5

Tablica 8

Moce gałęziowe pozakontraktowe „układu" transakcji (metoda przybliżona), w MW

Gałąź	1	2	3	4	5	6
Realizacja	0,8	6,7	-0,1	2,4	0,2	-10,1

Tablica 9

Moce gałęziowe kontraktowe „układu" transakcji (metoda porównań), w MW

Gałąź	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Realizacja	5	5	5	20	10	5	5

Tablica 10

Moce gałęziowe pozakontraktowe „układu" transakcji (metoda porównań), w MW

Gałąź	1	2	3	4	5	6
Realizacja	-1	5	0	5	1	-10

Różnice pomiędzy mocami węzłowymi w etapie przygotowań i realizacji są wynikiem z góry przyjętych założeń, co nie jest adekwatne do rzeczywistości. W rzeczywistości moce węzłowe zrealizowane są znane na podstawie pomiarów. Obliczony „rozpływ" mocy transakcji jest konsekwencją różnic pomiędzy powyższymi etapami.

6. PODSUMOWANIE

- Transakcje zawierane i realizowane na rynku energii elektrycznej będą przybierać postać kontraktów (rynek kontraktowy i giełdowy) oraz transakcji kupna/sprzedaży realizowanych w ramach rynku bilansującego. Zawarte transakcje tworzą graf zwany „układem"

transakcji. Przedstawia on powiązania pomiędzy węzłami rzeczywistego układu sieciowego oraz umownym węzłem rynku bilansującego.

- W układzie sieciowym rozwiązaniem zadania rozpływowego są moce gałęziowe. Podobnie zadanie rozliczenia ilościowego transakcji rynkowych ma na celu określić moce w gałęziach „układu" transakcji. Rzeczywisty układ sieciowy opisany jest poprzez parametry gałęzi oraz topologię połączeń. Do określenia rozpływu metodami topologicznymi wystarcza znajomość tych wielkości. Dla „układu" transakcji nie można zdefiniować parametrów gałęzi, natomiast można i należy wykorzystać informacje wynikające z etapu przygotowywania procesu rynkowego. Przepływów gałęziowych „układu" transakcji można poszukiwać przykładowo metodą przybliżoną bądź porównawczą.
- Metoda przybliżona polega na wyznaczeniu na etapie przygotowań stałych współczynników rozdziału mocy węzłowych kontraktowych na moce gałęziowe. Wykorzystanie tych współczynników na etapie rozliczeń pozwala określić przybliżony „rozpływ" kontraktów. Pozostałe przepływy zostają wyrównane poprzez rynek bilansujący. Wadą tej metody jest „obciążenie" niewypełnionymi warunkami jednego kontraktu wszystkich pozostałych mocy gałęziowych kontraktowych, związanych z danym węzłem. „Obciążenie" to jest proporcjonalne do mocy gałęziowych z etapu przygotowań.
- Innym sposobem rozwiązania zadania rozliczeniowego jest podejście określone mianem metody porównawczej. Pozwala ona obliczyć, w jakim stopniu nie wypełniono warunków danego kontraktu. Konsekwencje niewypełnienia kontraktu zostają przypisane konkretnemu kontraktowi, związanemu z danym węzłem, a nie obciążają wszystkich kontraktów tego węzła, jak w metodzie przybliżonej. Wadą metody przybliżonej jest ryzyko nieznalezienia rozwiązania, tj. nieokreślenia mocy gałęziowych kontraktowych „układu" transakcji w przypadku braku realizacji planowanych kontraktów we wszystkich węzłach.
- Wyniki w postaci mocy gałęziowych „układu" transakcji określone metodą przybliżoną i porównawczą różnią się od siebie. Wynika to z odmiennego charakteru poszukiwania rozwiązania. W pierwszym przypadku występuje uśrednienie ryzyka niewykonania kontraktu w węźle. W drugim przypadku ryzyko wynika z niezrealizowania konkretnej transakcji.

LITERATURA

1. Kremens Z., Sobierajski M.: Analiza systemów elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1996.
2. Soldatkina L. A.: Elektriczeskije sieti i sistemy. Moskwa 1978.
3. Wienikow W. A.: Rasczety i analiz rieżimow raboty sietiej. Moskwa 1974.
4. Zerka M.: Model bilansowania i optymalizacji kontraktowego rynku energii elektrycznej. Biuletyn Miesięczny PSE S.A., 1999, nr 1.
5. Projekt rynku energii elektrycznej w Polsce. PSE S.A.. Studium taryfowe EPRI. Jachranka 1999.

6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie harmonogramu uzyskiwania przez poszczególne grupy odbiorców prawa do korzystania z usług przesyłowych. Dziennik Ustaw nr 107, poz. 671.
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, pokrywania kosztów przyłączenia, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. Dziennik Ustaw nr 135, poz. 881.
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz zasad rozliczeń w obrocie energią elektryczną, w tym rozliczeń z indywidualnymi odbiorcami w lokalach. Dziennik Ustaw nr 153, poz. 1002.
9. Rynek energii elektrycznej w Polsce. Zasady działania rynku energii elektrycznej w Polsce w roku 2000 i latach następnych. Ministerstwo Gospodarki i Urząd Regulacji Energetyki. Warszawa, 15 października 1999.
10. Segment bilansujący rynku energii elektrycznej 2000 w Polsce. Energoprojekt–Consulting S.A.. Warszawa, 8 maja 2000.
11. System optymalizująco-bilansowo-rozliczeniowy elektroenergetyki w Polsce. Opis syntetyczny. PSE S.A.. Warszawa, luty 1999.
12. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne. Dziennik Ustaw 1997, nr 54, poz. 348 (z późniejszymi zmianami).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jacek Malko

Wpłynęło do Redakcji dnia 5 kwietnia 2000 r.

Abstract

Settling transactions on the energy market is easy when there are not numerous. If there are many transactions this problem should be solved with use of the matrix calculus. It is a little similar to the power flow problem when we compare our market transactions to power line flows. Therefore, the transaction connections „system" must be created. Such a system resembles one of a real grid connection. In every connection system we can distinguish nodes described by nodal power values and branches with branch power values. When the transaction connections „system" is created, it should respect those of branches which resulted from bilateral contracts and transactions on a balance market. Such an attitude respects the Polish energy market model which can be divided into the contract market, power exchange and balance market.

In order to make settlements of market transactions, transaction „flows" in the transaction connections „system" should be found. That can be made using two methods. First of them uses constant coefficients in order to distribute contract nodal power values into contract branch power values. These coefficients can be estimated at the stage of planning when market transactions are planned. The second method is based on comparing power values being a subjects of market transactions in the stage of execution to the power values in the stage of planning. Differences give an answer which of market transactions was not executed. A short example showing described methods is also presented.