



TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Jacek KOZYRA

STRATY MOCY BIERNEJ W LINII ELEKTROENERGETYCZNEJ Z PRZYŁĄCZONYMI URZĄDZENIAMI FACTS

Streszczenie

W publikacji przedstawiono modele linii elektroenergetycznej z przyłączonymi urządzeniami FACTS dla których określono zależności strat mocy wynikających z przyłączenia układów CSC, SSSC i UPFC. Uzyskane zależności strat mocy biernych wykorzystano do określenia różnic między stratami mocy, które wynikają ze sposobów odwzorowań linii elektroenergetycznych oraz przyłączenia urządzeń FACTS.

WSTĘP

Przepływ prądu elektrycznego przez układy przesyłowe wywołuje straty mocy czynnej i biernej. Straty te powstają na elementach podłużnych - impedancjach oraz na elementach poprzecznych - admitancjach. W ogólnym przypadku prąd przepływający przez impedancję charakteryzuje się zmienną w czasie wartością wynikającą ze zmiany obciążenia. Straty mocy na impedancji układu zastępczego nazywa się stratami obciążeniowymi lub zmiennymi. Prąd przepływający przez admitancje poprzeczne zależy od przyłożonego do nich napięcia. Straty na admitancjach odnoszą się do stanu jałowego układu i nazywa się je stratami stałymi lub jałowymi.

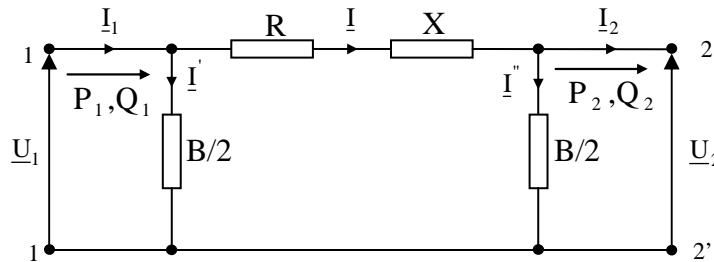
Przesył mocy w układach elektroenergetycznych nie jest możliwy bez strat. Koszty strat energii wlicza się w koszty eksploatacji układu. Udział strat w kosztach przesyłu energii może być znaczny. Dobry projekt, właściwa eksploatacja sieci elektroenergetycznej powinny uwzględniać wskaźnik kosztów eksploatacji do ponoszonych w niej strat. W określaniu strat układów przesyłowych bardzo ważne jest prawidłowe i dokładne odwzorowanie elementów tworzących układ przesyłowy – linie elektroenergetyczne, transformatory. W wielu przypadkach w celu uproszczenia obliczeń pomija się parametry o małym wpływie na wartość strat co nie daje rzeczywistego ich poziomu.

W niniejszej publikacji wyprowadzono zależności strat mocy biernych dla linii elektroenergetycznej z przyłączonymi urządzeniami FACTS typu CSC, SSSC, UPFC. Uzyskane zależności wykorzystano do określenia różnic między stratami mocy, które wynikają ze sposobów odwzorowań linii elektroenergetycznych oraz przyłączenia urządzeń FACTS.

1. MODEL LINII ELEKTROENERGETYCZNEJ

1.1. Równania podstawowe

Model linii elektroenergetycznej oraz podstawowe równania przesyłowe wyznaczono w publikacji [1]. W celu otrzymania zależności strat mocy czynnych i biernych rozpatruje się linię elektroenergetyczną nazwaną modelem linii elektroenergetycznej typu RXB (rys.1), który uwzględnia rezystancję, reaktancję i susceptancję. Ze względu na niewielką wartość, a tym samym znikomy wpływ na przesył mocy w modelu linii pominięto konduktancję.



Rys. 1. Model linii elektroenergetycznej typu RXB [1]

Opis symboli występujących na modelu linii:

- $\underline{U}_1, \underline{U}_2$ - wektory napięć na końcach linii w punktach 1 i 2,
- P_1 - moc czynna wypływając z punktu 1,
- P_2 - moc czynna dopływająca do punktu 2,
- Q_1 - moc bierna wypływająca z punktu 1,
- Q_2 - moc bierna dopływająca do punktu 2,
- \underline{I}_1 - prąd w postaci zespolonej wypływający z punktu 1,
- \underline{I}_2 - prąd w postaci zespolonej dopływający do punktu 2,
- \underline{I} - prąd w postaci zespolonej płynący przez parametry podłużne,
- $\underline{I}'_1, \underline{I}'_2$ - prądy w postaci zespolonej płynące przez parametry poprzeczne,

Różnica między mocą wypływającą z węzła 1, a mocą dopływającą do węzła 2, określa stratę mocy w linii elektroenergetycznej. Oznacza to, że dla poszczególnych odwzorowań linii parametrami podłużnymi i poprzecznymi stratę mocy określa zależność:

$$\underline{\Delta S} = \underline{S}_1 - \underline{S}_2 \quad (1)$$

Moce \underline{S}_1 i \underline{S}_2 są określone zależnościami [2]:

$$\underline{S}_1 = \underline{U}_1 \cdot \underline{I}_1^* = P_1 + jQ_1 \quad (2)$$

$$\underline{S}_2 = \underline{U}_2 \cdot \underline{I}_2^* = P_2 + jQ_2 \quad (3)$$

Po uwzględnieniu we wzorze (1) zależności (2) i (3) otrzymuje się:

$$\underline{\Delta S} = P_1 - P_2 + j(Q_1 - Q_2) = \Delta P + jQ \quad (4)$$

gdzie : ΔP - oznacza stratę mocy czynnej w liniach elektroenergetycznych

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (5)$$

ΔQ - oznacza stratę mocy biernej w liniach elektroenergetycznych

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (6)$$

1.1.1. Straty mocy biernej w przyjętym modelu linii elektroenergetycznej

Dla modelu linii RXB uwzględniając we wzorze (6) zależności:

$$Q_1 = \frac{X}{R^2 + X^2} (U_1^2 - U_1 U_2 \cos \delta) - \frac{R}{R^2 + X^2} U_1 U_2 \sin \delta - \frac{B}{2} U_1^2, \quad (7)$$

$$Q_2 = \frac{X}{R^2 + X^2} (U_1 U_2 \cos \delta - U_2^2) - \frac{R}{R^2 + X^2} U_1 U_2 \sin \delta + \frac{B}{2} U_2^2. \quad (8)$$

Otrzymano:

$$\Delta Q_{RXB} = \frac{X}{R^2 + X^2} (U_1^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta + U_2^2) - \frac{B}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (9)$$

Ze wzoru (9) wynika, że na wartość straty mocy biernej wpływa reaktancja X oraz susceptancja B . Dla modelu XB linii elektroenergetycznej otrzymano:

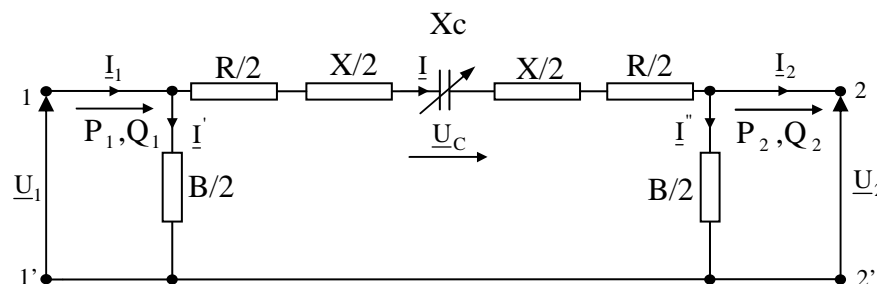
$$\Delta Q_{XB} = \frac{U_1^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta + U_2^2}{X} - \frac{B}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (10)$$

Strata mocy biernej dla modelu linii RXB i XB spełnia nierówności $\Delta Q > 0$ lub $\Delta Q = 0$ lub $\Delta Q \leq 0$. Przyjmując założenie, że $B = 0$ otrzymano zależność straty mocy biernej dla linii odwzorowanej reaktancją X :

$$\Delta Q_X = \frac{U_1^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta + U_2^2}{X} \quad (11)$$

1.1.2. Statyczny Szeregowy Kompensator CSC

Układ szeregowo sterowanej kompensacji CSC (*Controlled Series Compensation*) wykorzystuje szeregowe połączenie kondensatorów z linią przesyłową, które kompensują reaktancję wypadkową linii. Zadaniem szeregowej kompensacji jest zmniejszanie reaktancji układu przesyłowego, a tym samym umożliwienie regulacji przepływu mocy czynnej i biernej. Model linii elektroenergetycznej RXB z przyłączonym układem CSC przedstawiono na rys.2.



Rys. 2. Model linii elektroenergetycznej typu RXB z przyłączonym układem CSC

Dla modelu linii RXB z przyłączonym układem CSC uwzględniając we wzorze (6) zależności:

$$Q_1 = \frac{X - X_C}{R^2 + (X - X_C)^2} (U_1^2 - U_1 U_2 \cos \delta) - \frac{R}{R^2 + (X - X_C)^2} U_1 U_2 \sin \delta - \frac{B}{2} U_1^2 \quad (12)$$

$$Q_2 = \frac{X - X_C}{R^2 + (X - X_C)^2} (U_1 U_2 \cos \delta - U_2^2) - \frac{R}{R^2 + (X - X_C)^2} U_1 U_2 \sin \delta + \frac{B}{2} U_2^2 \quad (13)$$

Otrzymano zależności strat mocy biernej dla poszczególnych odwzorowań linii elektroenergetycznej:

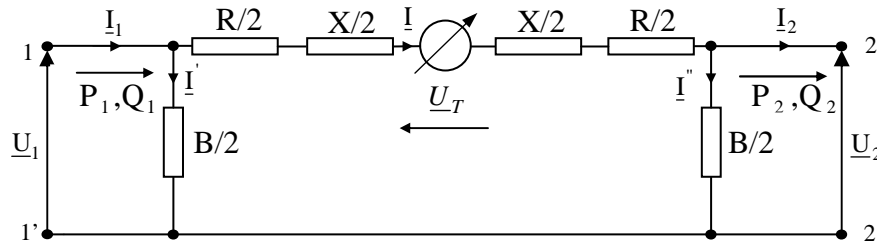
$$\Delta Q_{RXB} = \frac{X - X_C}{R^2 + (X - X_C)^2} (U_1^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta + U_2^2) - \frac{B}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (14)$$

$$\Delta Q_{XB} = \frac{U_1^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta + U_2^2}{X - X_C} - \frac{B}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (15)$$

$$\Delta Q_X = \frac{U_1^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta + U_2^2}{X - X_C} \quad (16)$$

1.1.3. Statyczny Synchroniczny Szeregowy Kompensator SSSC

Układ statycznego synchronicznego szeregowego kompensatora (*Static Synchronous Series Compensator – SSSC*, wykorzystuje źródło napięciowe VSC (*Voltage Source Converter*) o regulowanej amplitudzie i fazie prostopadłej do prądu linii przesyłowej. Podłączony jest do linii przesyłowej przez transformator dodawczy szeregowy. Dzięki temu do sieci wprowadzane jest napięcie, które może być w fazie lub przeciw fazie z napięciem układu przesyłowego. Wprowadzane napięcie ma charakter straty napięcia na reaktancji indukcyjnej i pojemnościowej. Napięcie dodatkowe dobiera się tak, aby kompensować stratę napięcia na indukcyjności linii przy określonym prądzie. Model linii elektroenergetycznej RXB z przyłączonym układem SSSC przedstawiono na rys.3



Rys. 3. Model linii elektroenergetycznej typu RXB z przyłączonym układem SSSC

Dla modelu linii RXB z przyłączonym układem SSSC uwzględniając we wzorze (6) zależności:

$$Q_1 = \left[\frac{X}{R^2 + X^2} (U_1^2 - U_1 U_2 \cos \delta) - \frac{R}{R^2 + X^2} U_1 U_2 \sin \delta \right] \cdot \left(1 - \frac{U_T}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta}} \right) - \frac{B}{2} U_1^2 \quad (17)$$

$$Q_2 = \left[\frac{X}{R^2 + X^2} (U_1 U_2 \cos \delta - U_2^2) - \frac{R}{R^2 + X^2} U_1 U_2 \sin \delta \right] \cdot \left(1 - \frac{U_T}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta}} \right) + \frac{B}{2} U_2^2 \quad (18)$$

Otrzymano zależności strat mocy biernej dla poszczególnych odwzorowań linii elektroenergetycznej:

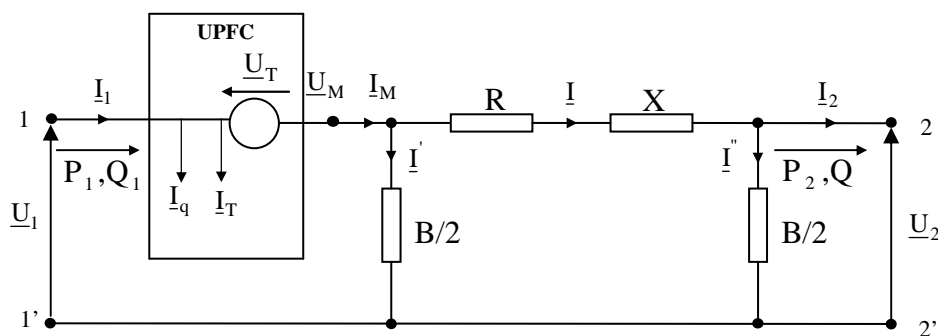
$$\Delta Q_{RXB} = \frac{X}{R^2 + X^2} (U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2) \cdot \left(1 - \frac{U_T}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \delta}} \right) - \frac{B}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (19)$$

$$\Delta Q_{XB} = \frac{U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2}{X} \cdot \left(1 - \frac{U_T}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \delta}} \right) - \frac{B}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (20)$$

$$\Delta Q_X = \frac{U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2}{X} \cdot \left(1 - \frac{U_T}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \delta}} \right) \quad (21)$$

1.1.4. Zunifikowany Sterownik Przepływu Mocy UPFC

Zunifikowany sterownik przepływu mocy (*Unified Power Flow Controller* – UPFC) jest układem, który skupia cechy szeregowych i równoległych układów FACTS. Spośród wielu urządzeń określanych mianem FACTS najbardziej wszechstronnym jest układ UPFC. Składa on się z dwóch konwerterów tyrystorowych GTO, połączonych linią prądu stałego i równoległym kondensatorem. Taka konstrukcja układu umożliwia regulację amplitudy i fazy napięcia \underline{U}_T i amplitudy napięcia \underline{U}_1 . Część bocznikowa składa się z transformatora, zasilającego oraz konwertera pełniącego funkcje prostownika, szeregową to drugi konwerter pracujący jako falownik oraz transformator dodawczy. Część szeregową odpowiada za regulację przepływu mocy czynnej i biernej w linii przesyłowej, część bocznikowa wpływa na moc bierną, regulując amplitudę napięcia \underline{U}_1 .



Rys. 4. Model linii elektroenergetycznej typu RXB z przyłączonym układem UPFC

Dla modelu linii RXB z przyłączonym układem UPFC uwzględniając we wzorze (6) zależności:

$$Q_1 = \frac{X}{R^2 + X^2} [U_1^2 - U_1U_2 \cos \delta + U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T)] - \frac{R}{R^2 + X^2} [U_1U_2 \sin \delta + U_1U_T \sin(\varphi_T - \delta)] + \quad (22)$$

$$- \frac{B}{2} [U_1^2 + U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T)] - U_1I_q$$

$$Q_2 = \frac{X}{R^2 + X^2} (U_1U_2 \cos \delta + U_2U_T \cos \varphi_T - U_2^2) - \frac{R}{R^2 + X^2} (U_1U_2 \sin \delta + U_2U_T \sin \varphi_T) + \frac{B}{2} U_2^2 \quad (23)$$

Otrzymano zależności strat mocy biernej dla poszczególnych odwzorowań linii elektroenergetycznej:

$$\Delta Q_{RXB} = \frac{X}{R^2 + X^2} \left[U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_2U_T \cos \varphi_T + U_2^2 \right] + \frac{R}{R^2 + X^2} \left[U_2U_T \sin \varphi_T - U_1U_T \sin(\varphi_T - \delta) \right] - \frac{B}{2} \left[U_1^2 + U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) + U_2^2 \right] - U_1I_q \quad (24)$$

$$\Delta Q_{XB} = \frac{U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2 + U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_2U_T \cos \varphi_T}{X} - \frac{B}{2} \left[U_1^2 + U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) + U_2^2 \right] - U_1I_q \quad (25)$$

$$\Delta Q_X = \frac{U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2 + U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_2U_T \cos \varphi_T}{X} - U_1I_q \quad (26)$$

2. RÓŻNICE STRAT MOCY BIERNEJ W PRZYJĘTYM MODELU LINII ELEKTROENERGETYCZNEJ

Uzyskane w rozdziale 1 zależności strat mocy biernej można wykorzystać do określenia różnic między stratami mocy, które wynikają ze sposobów odwzorowań linii elektroenergetycznych oraz przyłączenia urządzeń FACTS. Różnice strat mocy ΔQ_r w linii elektroenergetycznej wyznacza się między stratą mocy biernej linii z przyłączonym urządzeniem FACTS, oznaczonej jako ΔQ_{FACTS} a stratą mocy biernej dla przyjętego odwzorowania linii, czyli ΔQ_{linii} . Można, zatem zapisać że różnica straty mocy biernej wynosi:

$$\Delta Q_r = \Delta Q_{FACTS} - \Delta Q_{linii} \quad (27)$$

Różnicę straty mocy biernej wyznacza się dla modeli linii RXB i XB.

2.1 Różnice strat mocy biernej w linii z przyłączonymi urządzeniami FACTS

Dla układu CSC, uwzględniono we wzorze (27) zależności (14), (15), (16) oraz dla poszczególnych modeli linii zależności (10), (11), (12), otrzymano:

$$\Delta Q_{rRXB} = \frac{X_C (X^2 - XX_C - R^2)}{(R^2 + X^2) [R^2 + (X - X_C)^2]} (U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2) \quad (28)$$

$$\Delta Q_{rXB} = \Delta Q_{rX} = \frac{X_C}{X(X - X_C)} (U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2) \quad (29)$$

Dla układu **SSSC**, uwzględniono we wzorze (27) zależności (19), (20), (21) oraz dla poszczególnych modeli linii zależności (10), (11), (12), otrzymano:

$$\Delta Q_{r_{RXB}} = \frac{X}{R^2 + X^2} (U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2) \cdot \left(\frac{-U_T}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \delta}} \right) \quad (30)$$

$$\Delta Q_{r_{XB}} = \Delta Q_{r_X} = \frac{U_1^2 - 2U_1U_2 \cos \delta + U_2^2}{X} \cdot \left(\frac{-U_T}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \delta}} \right) \quad (31)$$

Dla układu **UPFC**, uwzględniono we wzorze (27) zależności (25), (25), (26) oraz dla poszczególnych modeli linii zależności (10), (11), (12), otrzymano:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{r_{RXB}} = & \frac{X}{R^2 + X^2} [U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_2U_T \cos \varphi_T] + \\ & + \frac{R}{R^2 + X^2} [U_2U_T \sin \varphi_T - U_1U_T \sin(\varphi_T - \delta)] - \frac{B}{2} U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_1I_q \end{aligned} \quad (32)$$

$$\Delta Q_{r_{XB}} = \frac{U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_2U_T \cos \varphi_T}{X} - \frac{B}{2} U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_1I_q \quad (33)$$

$$\Delta Q_{r_X} = \frac{U_1U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_2U_T \cos \varphi_T}{X} - U_1I_q \quad (34)$$

2.1.1. Graficzne przedstawienie różnic strat mocy czynnej i biernej

Dla otrzymanych zależności różnic strat mocy przedstawiono na rys. 5 przebiegi strat mocy biernych w funkcji kąta δ . Graficzne ilustracje posłużą do porównania różnic strat mocy biernych dla przyjętego modelu linii z przyłączonymi urządzeniami FACTS. Zakres różnicy straty mocy biernej między linią przesyłową z przyłączonym urządzeniem FACTS a stratą mocy w linii bez urządzeń FACTS, zawiera się w obszarze między osią oznaczoną kątem δ a przebiegiem dla odpowiedniego urządzenia FACTS.

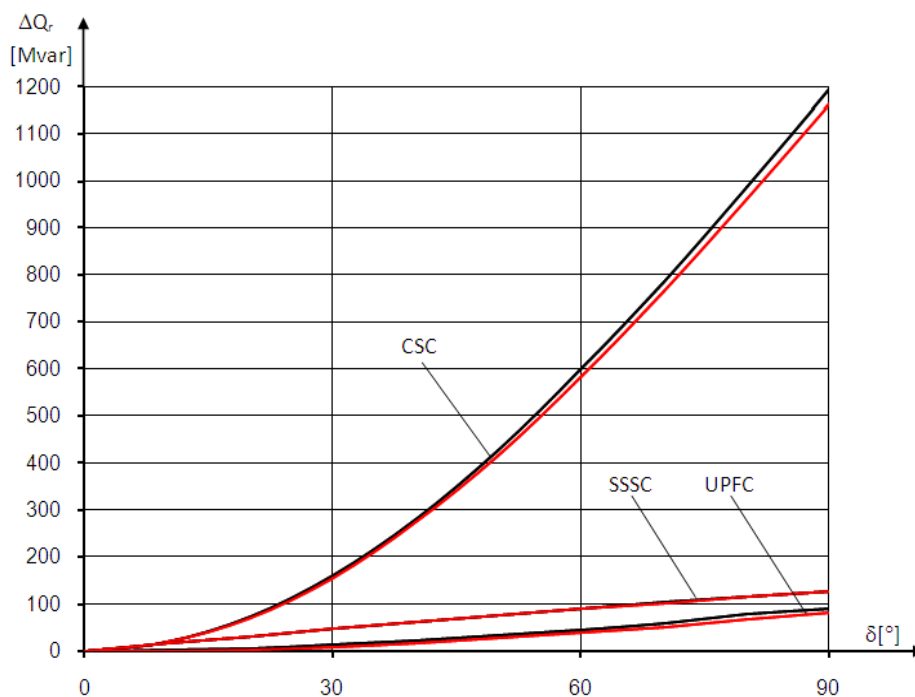
Do wyznaczenia charakterystyk przyjęto następujące parametry linii o długości 200 km, moduły napięć na końcach linii $U_1 = U_2 = 400$ [kV], reaktancja $X = 67$ [Ω], rezystancja $R = 5,6$ [Ω] i susceptancja $B = 686,6$ [μ S]. Dla urządzeń FACTS przyjęto regulowane parametry: układ CSC $X_C = 13,4$ [Ω], układ SSSC $U_T = -15$ [kV], układ UPFC $U_T = 15$ [kV] dla $\varphi_T = 90^\circ$.

Na rys.5 przedstawiono różnice strat mocy biernej ΔQ_r w linii elektroenergetycznej z przyłączonymi urządzeniami FACTS. W celu odróżnienia charakterystyk różnic mocy biernych oraz danych liczbowych zamieszczonych w tabeli 1, wprowadza się oznaczenia kolorem **czarnym** dla odwzorowania linii reaktancją X (wyprowadzone zależności różnicy $\Delta Q_{r_{XB}} = \Delta Q_{r_X}$), **czzerwonym** odwzorowanie linii RX (wyprowadzone zależności różnicy $\Delta Q_{r_{RXB}}$). Na podstawie powyższych zależności wykonano obliczenia różnic strat mocy biernej tabela 1.

Tab. 1. Różnice strat mocy biernej

δ	CSC		SSSC		UPFC	
	XB	RXB	XB	RXB	XB	RXB
[°]	ΔQ_r [Mvar]					
0	0	0	0	0	0	0
10	18,1	17,7	15,6	15,5	1,4	0,1
20	72,0	70,1	31,1	30,9	5,4	2,8
30	160,1	155,8	46,3	46,0	12,0	8,2
40	279,3	272,0	61,2	60,8	20,9	16,0
50	426,5	415,3	75,7	75,1	32,0	26,1
60	597,0	581,3	89,5	88,9	44,8	38,0
70	785,6	765,0	102,7	102,0	58,9	51,5
80	986,7	960,8	115,1	114,3	77,0	66,2
90	1194,0	1162,7	126,6	125,8	89,5	81,5

Dla otrzymanych zależności przedstawiono na rys. 5 przebiegi różnic strat mocy biernej w funkcji kąta δ .



Rys. 5. Różnice strat mocy biernej ΔQ_r w linii z przyłączonymi urządzeniami FACTS

W celu określenia wpływu susceptancji linii na różnicę straty mocy biernej w porównanych modelach linii należy porównać linie o modelu XB i X z przyłączonymi urządzeniami FACTS. Należy zatem wykonać obliczenia różnicy straty mocy biernej przy zastosowaniu następującej zależności:

$$\Delta Q_{r(XB-X)} = \Delta Q_{XB \text{ FACTS}} - \Delta Q_{X \text{ linii}} \quad (35)$$

gdzie:

$\Delta Q_{r(XB-X)}$ - różnica straty mocy biernej między odwzorowaniem linii elektroenergetycznej XB z przyłączonym urządzeniem FACTS a modelem linii X,

$\Delta Q_{XB \text{ FACTS}}$ - strata mocy biernej w linii elektroenergetycznej odwzorowanej parametrami XB z przyłączonym urządzeniem FACTS,

$\Delta Q_{X \text{ linii}}$ - strata mocy biernej w modelu linii X (brak urządzenia FACTS).

Różnicę strat mocy biernej $\Delta Q_{r(XB-X)}$ dla układu **CSC** wyznaczono po uwzględnieniu zależności (15) i (10) w równaniu (35):

$$\Delta Q_{r(XB-X)} = \frac{U_1^2 - U_1 U_2 \cos \delta + U_2^2}{X} \cdot \frac{X_C}{X - X_C} - \frac{B}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (36)$$

Dla układu **SSSC** uwzględniając zależności (20), (10) w równaniu (35) otrzymano:

$$\Delta Q_{r(XB-X)} = \frac{U_1^2 - U_1 U_2 \cos \delta + U_2^2}{X} \cdot \left(\frac{-U_T}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1 U_2 \cos \delta}} \right) - \frac{B}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (37)$$

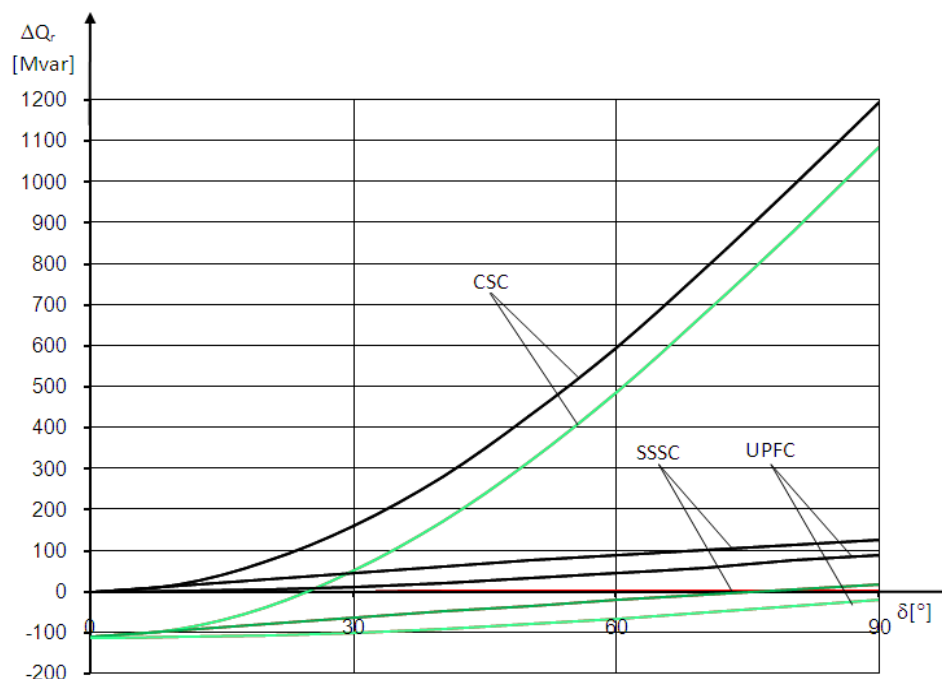
Dla układu **UPFC** uwzględniając zależności (25), (10) w równaniu (35) otrzymano:

$$\Delta Q_{r(XB-X)} = \frac{U_1 U_T \cos(\delta - \varphi_T) - U_2 U_T \cos \varphi_T}{X} - \frac{B}{2} [U_1^2 + U_1 U_T \cos(\delta - \varphi_T) + U_2^2] - U_1 I_q \quad (38)$$

Na podstawie wyprowadzonych powyżej zależności w tabeli 2 zamieszczono wyniki różnicy mocy biernej dla uwzględnionej susceptancji. W tabeli 2 oraz na rys.6. kolorem **czarnym** oznaczono odwzorowanie linii reaktancją X (wyprowadzone zależności różnicy $\Delta Q_{rXB} = \Delta Q_{rX}$) **zielonym** odwzorowanie linii XB (wyprowadzone zależności różnicy $\Delta Q_{r(XB-X)}$).

Tab. 2. Różnice strat mocy biernej

δ	CSC		SSSC		UPFC	
	X	XB-X	X	XB-X	X	XB-X
[°]	ΔQ_r [Mvar]					
0	0	-109,8	0	-109,8	0	-111,8
10	18,1	-91,7	15,6	-94,2	1,4	-110,5
20	72,0	-37,8	31,1	-78,7	5,4	-106,3
30	160,1	50,3	46,3	-63,5	12,0	-99,6
40	279,3	169,5	61,2	-48,6	20,9	-90,4
50	426,5	316,7	75,7	-34,1	32,0	-79,1
60	597,0	487,2	89,5	-20,3	44,8	-66,1
70	785,6	675,8	102,7	-7,1	58,9	-51,6
80	986,7	876,9	115,1	5,3	77,0	-36,2
90	1194,0	1084,2	126,6	16,8	89,5	-20,3



Rys. 6. Różnice strat mocy biernych ΔQ_r w modelu linii XB z przyłączonymi urządzeniami FACTS

PODSUMOWANIE

Na podstawie powyższych rozważań wynika, że przyłączanie urządzeń FACTS w liniach elektroenergetycznych nie jest pozbawione strat. Określenie zależności strat mocy biernych jest tylko wstępem do dalszych analiz. Dokładne wyznaczenie ich poziomu musi obejmować dane zawiązane ze stanem pracy linii, zmianą charakteru obciążenia oraz sposobami sterowania urządzeń FACTS.

Wyznaczenie różnic strat mocy biernych jest pomocne w określaniu wpływu poszczególnych parametrów linii na poziom strat. Uwzględnianie rezystancji w modelowaniu linii, poprawia dokładność określenia strat ale wpływ tego parametru jest niewielki. Wykonane obliczenia tylko w przypadku przyłączenia układu CSC potwierdzają zmiany strat mocy biernych. Znacznie więcej w określaniu strat mocy biernych wnosi susceptancja linii. Dla urządzeń FACTS wpływ tego parametru jest istotny i powoduje zwiększenie dokładności w ich określaniu.

THE LOSS OF REACTIVE POWER IN AN ELECTRICAL LINE WITH ATTACHED FACTS DEVICES

Abstract

This publication presents models of an electrical line with attached FACTS devices, for which the dependencies of power loss resulting from the attached of CSC, SSSC and UPFC were established. The obtained dependencies of reactive power losses were used to determine the differences between the power losses resulting from the methods of projecting electrical lines and from the attachment of FACTS devices.

BIBLIOGRAFIA

1. Kozyra J.: *Straty mocy czynnej w linii elektroenergetycznej z przyłączonymi urządzeniami FACTS*. Logistyka 2011, nr 6.
2. Maciejewski Z.: *Przesył mocy liniami elektroenergetycznymi prądu przemiennego – Monografia*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2002

Autor:

dr inż. Jacek KOZYRA– Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny w Radomiu