

피상전력 손실감도에 의한 전압붕괴 근접도 지표와 무효전력 투자

論 文
44~10~8

Voltage Collapse Proximity Index based on System Apparent Power Loss Sensitivity and its Application to VAR Investment

李 尚 中* · 金 建 中** · 金 原 謙*** · 金 龍 培*** · 嚴 載 鄴***
(Sang-Joong Lee · Kern-Joong Kim · Weon-Kyum Kim · Yong-Bae Kim · Jae-Sun Eom)

Abstract - In this paper, a new voltage collapse proximity index(V CPI) based on system apparent power loss sensitivity is proposed. The newly proposed index λ^{Sloss} reaches $-\infty$ at system voltage collapse point and can be represented by $\sqrt{\lambda^{Ploss} + \lambda^{Qloss}}$ where λ^{Ploss} and λ^{Qloss} are the VCPI based on the system active and reactive power loss sensitivity respectively. These indices can be used for the system VAR investment. ΔQ [VAR] is invested, step by step, by the priority of the VCPI index given for each bus. The indices use information from normal power flow equations and their Jacobians. Computation time for deriving λ^{Sloss} is almost same as that for power flow calculation. Two case studies prove the effectiveness of the λ^{Sloss} index and the VAR investment algorithm proposed.

Key Words : Ploss, Qloss, Sloss(계통 유·무효 및 피상전력손실), Voltage Collapse Proximity Index(전압붕괴 근접도지표), Apparent power loss sensitivity(피상전력손실감도), Static Condenser(SC:전력콘덴서)

1. 서 론

최근 전력계통이 대형화됨에 따라 계통의 전압불안정 문제는 날로 심각한 문제로 대두되고 있다. 이미 세계 여러나라들이 전압붕괴현상으로 인한 대정전 사고를 경험하였고 현재 이 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 계통의 피상전력 손실감도에 근거한 전압붕괴 근접도지표를 유도하고 이를 무효전력 설비투자에 적용하여 계통의 전압안정도를 효과적으로 개선하는 방안을 제시하고자 한다.

2. 유·무효전력 손실감도에 근거한 전압붕괴지표

2.1 유효전력 손실감도 지표에 근거한 전압붕괴 근접도 지표

손실감도계산

전압붕괴 현상은 계통손실의 급격한 증가에 기인한다는 점에 착안하여 현실적으로 계통운전의 기초가 되고있는 조류계산의 결과로 부터 부하모선 전력변화에 대한 계통의 손실변화를 추적할 수 있는 방법을 모색하기로 한다. 목적함수를 계통의 유효전력 손실로 할 경우 제약조건이 전력조류방정식으로 주어지는 최적화 모형을 다음과 같이 세울 수 있다[1, 2, 5].

$$\text{Minimize } P_{loss}(V_D, \theta) \tag{1}$$

$$\text{s.t } P(V_D, \theta) = P^{spec}$$

$$Q(V_D, \theta) = Q^{spec}$$

여기서 N 을 전모선수, M 을 발전모선수라 할 때 $V_D \in \mathbb{R}^{N-M}$ 는 부하모선 전압의 크기, $\theta \in \mathbb{R}^{N-1}$ 는 모선전압의 위상각, $eP \in \mathbb{R}^{N-1}$, $Q \in \mathbb{R}^{N-M}$ 는 모선의 유효전력, P^{spec} , Q^{spec} 는 모선 지정전력이다. 여기서 라그랑주 함수를 도입하면,

$$L = P_{loss}(V_D, \theta) + \lambda_P^T [P(V_D, \theta) - P^{spec}] + \lambda_Q^T [Q(V_D, \theta) - Q^{spec}] \tag{2}$$

이 경우 다음과 같은 최적조건(Optimality Conditions)이 성립한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \theta} &= \left[\frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta} \right] + \left[\frac{\partial P}{\partial \theta} \right]^T \lambda_P \\ &+ \left[\frac{\partial Q}{\partial \theta} \right]^T \lambda_Q = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial V_D} &= \left[\frac{\partial P_{loss}}{\partial V_D} \right] + \left[\frac{\partial P}{\partial V_D} \right]^T \lambda_P \\ &+ \left[\frac{\partial Q}{\partial V_D} \right]^T \lambda_Q = 0 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_P} = P(V_D, \theta) - P^{spec} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_Q} = Q(V_D, \theta) - Q^{spec} = 0 \tag{6}$$

* 正 會 員 : 韓 國 電 力 公 社 電 力 研 究 院 電 力 研 究 室 課 長 · 工 博

** 正 會 員 : 忠 南 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

*** 正 會 員 : 忠 南 大 大 學 院 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

接受日字: 1994年 7月 12日

1次 修正: 1994年 11月 12日

2次 修正: 1995年 7月 27日

3次 修正: 1995年 9月 20日

제약조건에 의하여 도입된 변수 $[\lambda_p, \lambda_Q]$ 의 의미를 명확하게 하기 위하여 식 (2)에 대해 라그랑주 함수를 모션 지정전력 P^{spec}, Q^{spec} 에 대하여 편미분하면 다음과 같이 주어진다.

$$[\partial L / \partial P^{spec}] = -\lambda_p \quad (7)$$

$$[\partial L / \partial Q^{spec}] = -\lambda_Q \quad (8)$$

식 (7), (8)은 라그랑주 함수의 모션전력에 대한 미분이다. 이는 모션전력이 단위량 증가할 때의 라그랑주 함수의 증가분을 의미하며, 이 값은 바로 $-\lambda_p$ 및 $-\lambda_Q$ 가 됨을 쉽게 알 수 있다. 그러나 현재의 운전점에서 조류계산 결과 식(5), (6)의 최적조건을 만족하고 있으므로 이는 곧 $[\lambda_p, \lambda_Q]$ 변수에 대한 최적상태를 의미하게 된다. 그러므로 식 (2)로 주어지는 라그랑주 함수는 오직 계통손실만을 포함하게되고 따라서 $[\lambda_p, \lambda_Q]$ 는 모션전력의 단위량 증가시 계통손실의 증가를 의미하게 된다.

전압붕괴 근접도 지표

전압붕괴 현상은 부하모션 전력이 미소 증가할 경우 계통손실이 급격히 증가되는 현상으로 정의될 수 있으므로 모션전력 변화에 대한 계통손실의 변화를 의미하는 $[\lambda_p, \lambda_Q]$ 의 값은 계통이 전압붕괴를 일으키지 않음을 평가할 수 있는 훌륭한 지표로 사용될 수 있다. 즉 현재의 운전점에서 $[\lambda_p, \lambda_Q]$ 의 값을 계산하여 그 값이 무한대로 나타나면 이는 현재의 운전점이 곧 전압붕괴 점이라는 것을 의미하며, 무한대는 아니라도 상당히 큰 값을 보이는 경우 현재의 운전점이 전압붕괴점에 상당히 가까이 존재하고 있다는 것을 의미하게 된다. 식 (3), (4)를 행렬의 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} [\partial L / \partial \theta] \\ [\partial L / \partial V_D] \end{bmatrix} = J^T \begin{bmatrix} \lambda_p \\ \lambda_Q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [\partial P_{loss} / \partial \theta] \\ [\partial P_{loss} / \partial V_D] \end{bmatrix} = 0 \quad (9)$$

단, J는 자코비안 행렬로서 식 (11)과 같이 표시된다.
 $\alpha \sim 150$

$$J = \begin{bmatrix} [\partial P / \partial \theta] & [\partial P / \partial V_D] \\ [\partial Q / \partial \theta] & [\partial Q / \partial V_D] \end{bmatrix} \quad (10)$$

$[\lambda_p, \lambda_Q]$ 에 대하여 풀면

$$\begin{bmatrix} \lambda_p \\ \lambda_Q \end{bmatrix} = -J^{-T} \begin{bmatrix} [\partial P_{loss} / \partial \theta] \\ [\partial P_{loss} / \partial V_D] \end{bmatrix} \quad (11)$$

계통이 전압붕괴점에 근접하게 되면 자코비안 행렬의 행렬식 값이 0 에 접근하게 되므로 $[\lambda_p, \lambda_Q]$ 는 무한대로 접근하게 된다. $[\lambda_p, \lambda_Q]$ 는 단지 조류계산에서 이미 계산된 자코비안 행렬의 역행렬에 손실감도 벡터를 곱하는 계산만을 필요로 하

므로 계산량은 조류계산시간과 거의 동일하다. 따라서 거의 실시간으로 현재의 운전점이 전압붕괴점에 얼마나 접근하고 있는가를 알 수 있다. 여기서 구한 전압붕괴 근접도지표 $[\lambda_p, \lambda_Q]$ 는 계통의 유효전력손실을 목적함수로 한 최적화 문제의 라그랑주 승수로서 향후 편의상 $[\lambda_p^{Ploss}, \lambda_Q^{Ploss}]$ 로 표기하기로 한다.

2.2 무효전력 손실감도 지표에 근거한 전압붕괴 근접도 지표

일반적으로 선로의 리액턴스 성분이 저항성분보다 상당히 크며 따라서 선로의 무효전력 손실은 유효전력손실보다 훨씬 크다. 따라서 유효전력 손실감도를 추적하는 것보다 무효전력 손실감도를 추적하는 것이 더 효과적인 경우가 많다. 목적함수가 계통의 무효전력 손실이 되고 제약조건이 전력조류방정식으로 주어지는 최적화 모형을 다음과 같이 세울 수 있다[3, 4].

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } Q_{loss}(V_D, \theta) & (12) \\ \text{s.t. } & P(V_D, \theta) = P^{spec} \\ & Q(V_D, \theta) = Q^{spec} \end{aligned}$$

식 (1)-(11)과 같은 방법으로 $\lambda_p^{Qloss}, \lambda_Q^{Qloss}$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \lambda_p^{Qloss} \\ \lambda_Q^{Qloss} \end{bmatrix} = -J^{-T} \begin{bmatrix} [\partial Q_{loss} / \partial \theta] \\ [\partial Q_{loss} / \partial V_D] \end{bmatrix} \quad (13)$$

$\lambda_p^{Qloss}, \lambda_Q^{Qloss}$ 는 모션전력 변화에 대한 계통의 무효전력 손실의 변화를 의미한다.

3. 피상전력 손실감도에 근거한 전압붕괴 지표

목적함수를 계통의 피상전력 손실로 할 경우 제약조건이 전력조류방정식으로 주어지는 최적화 모형을 다음과 같이 세울 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } S_{loss}(V_D, \theta) & (14) \\ \text{s.t. } & P(V_D, \theta) = P^{spec} \\ & Q(V_D, \theta) = Q^{spec} \end{aligned}$$

식 (1)-(11)과 같은 방법으로 $[\lambda_p^{Sloss}, \lambda_Q^{Sloss}]$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \lambda_p^{Sloss} \\ \lambda_Q^{Sloss} \end{bmatrix} = -J^{-T} \begin{bmatrix} [\partial S_{loss} / \partial \theta] \\ [\partial S_{loss} / \partial V_D] \end{bmatrix} \quad (15)$$

$[\lambda_p^{Sloss}, \lambda_Q^{Sloss}]$ 는 모션전력 변화에 대한 계통 피상전력 손실의 변화를 의미하며 또한 훌륭한 전압붕괴 근접도 지표가 될 수 있다. 그런데,

$$\lambda_Q^{Sloss} = \frac{\partial S_{loss}}{\partial Q} = \frac{\partial (P_{loss} + jQ_{loss})}{\partial Q} = \lambda_Q^{Ploss} + j \lambda_Q^{Qloss} \quad (16)$$

$$\lambda_P^{Sloss} = \frac{\partial Sloss}{\partial P} = \frac{\partial (Ploss + jQloss)}{\partial P} = \lambda_P^{Ploss} + j \lambda_P^{Qloss}$$

관계가 있으므로

$$\lambda_Q^{Sloss} = \sqrt{\lambda_Q^{Ploss^2} + \lambda_Q^{Qloss^2}} \tag{17}$$

$$\lambda_P^{Sloss} = \sqrt{\lambda_P^{Ploss^2} + \lambda_P^{Qloss^2}}$$

가 되어 λ^{Sloss} 는 λ^{Ploss} 와 λ^{Qloss} 의 값으로 표현될 수 있다.

4. λ 지표에 의한 무효전력투자 알고리즘

앞장에서 조류계산 결과 계산된 λ_Q^{Ploss} , λ_Q^{Qloss} , λ_Q^{Sloss} (앞으로 λ 지표)는 각각 무효전력의 단위투입량에 대한 계통의 Ploss,

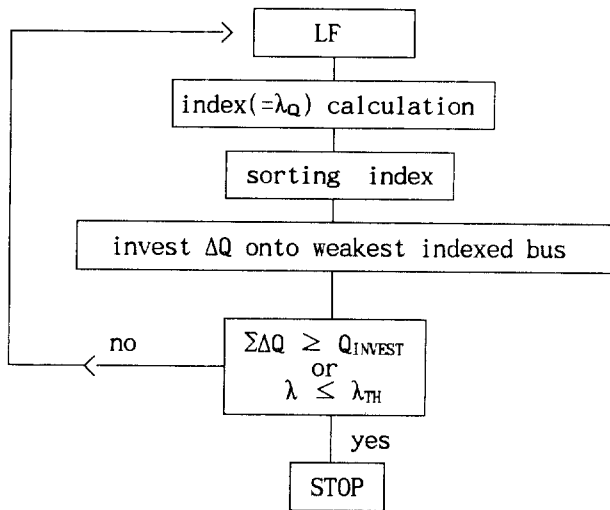


그림 1 λ_Q^{Ploss} , λ_Q^{Qloss} , λ_Q^{Sloss} 지표에 의한 무효전력 설비투자 알고리즘

Fig. 1 New VAR investment algorithm using λ_Q^{Ploss} , λ_Q^{Qloss} , λ_Q^{Sloss} index

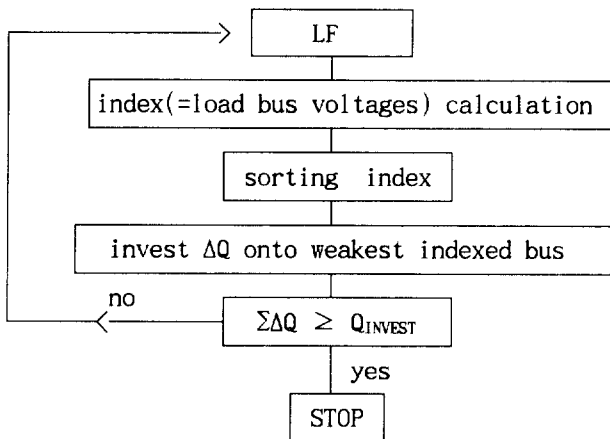


그림 2 전압 지표에 의한 무효전력 설비투자 알고리즘

Fig. 2 VAR investment algorithm using voltage index

Qloss 및 Sloss 의 변화를 나타내는 감도지표가 됨을 설명하였다. 그러므로 여기서 무효전력 설비의 투자가 필요할 경우 λ 지표를 투자 우선순위 지표로 삼아 그 값이 가장 큰 모선으로부터 ΔQ MVA 씩 무효전력을 투자해 간다면 계통손실이 가장 효과적으로 감소할 것이다. λ 지표에 의한 새로운 무효전력 설비 투자 알고리즘을 flow chart로 나타내면 그림 1과 같다. 그림 2는 전압의 크기를 투자우선순위 지표로 할 때의 알고리즘을 flow chart로 나타낸 것이다. $\Sigma \Delta Q$ 값 또는 λ 지표값이 미리 설정한 크기에 달하게 되면 프로그램을 종료한다.

일반적으로 송전선로의 리액턴스 성분이 저항성분보다 상당히 큰 사실을 감안하면(5-30배) 무효전력설비 투자지표로서 λ_Q^{Qloss} 가 실제통 적용시 무난할 것으로 사료되나, 유효전력손실을 무시할 수 없는 계통의 경우 λ_Q^{Sloss} 지표를 이용하는 것이 계통의 종합손실과 전압안정도측면에서 가장 유리할 것으로 기대된다.

5. 사례연구

그림 3은 두 대의 발전기(모선 1, 3, 단 모선 1 은 slack)와 세개의 부하모선(모선 2,4,5)으로 구성된 5모선 계통으로 선로정수를 표 1 에, base case 의 각 모선의 주입전력, 전압, 부하 각 및 λ 지표를 표 2에 기술하였다. 모선 1, 3 의 전압은 각각 1.04 및 1.02 p.u. 로 일정한 것으로 가정한다.

사례연구 1 : 전압붕괴지표 λ_Q^{Sloss}

base case 상황에서 4 번 모선의 유효무효전력을 전압붕괴 상황까지($P_4=-1.57$, $Q_4=-0.62$ p.u.) 증가시켜 갈 때 4 번모선의 λ_Q^{Sloss} 지표의 변화를 추적하였다. 그림 4에 나타난 바와 같이 최대전력 전송점 부근에서의 λ_Q^{Sloss} 값은 급격히 무한대로 증가하고 있음을 알 수 있다.

사례연구 2 : λ 지표에 의한 무효전력 투자효과

진술한 base case와 같은 상황에서 전압지표와 λ_Q^{Ploss} , λ_Q^{Qloss} , λ_Q^{Sloss} 지표에 의한 무효전력 투자방법으로 1.6025 p.u. MVAR 의 전력콘덴서를 계통에 투자할 경우, 계통의 손실 및 전압분포를 표 3에 비교분석 하였다. λ_Q^{Ploss} 지표로 투자한 경우 계통의 Ploss가, λ_Q^{Qloss} 지표로 투자한 경우 Qloss가, λ_Q^{Sloss} 지표로 투자한 경우 Sloss가 최소화 되고 있음을 알 수 있다. 또한 λ 지표에 근거한 투자방법이 전압지표에 의한 투자방법에 비하여

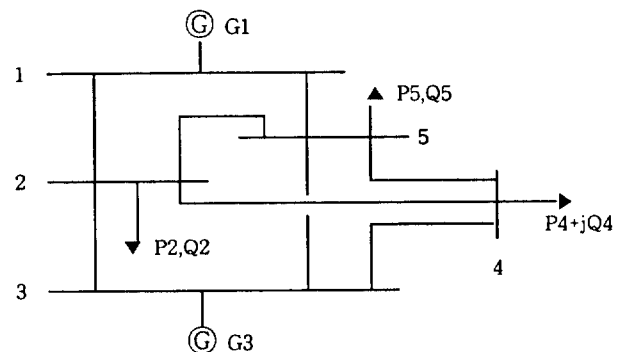


그림 3 5 모선 계통

Fig. 3 5 bus test system

표 1 선로정수

Table 1 Line parameter

from	to	G	B	Line Charging
1	2	1.40056	- 5.60224	Bus 1 0.03600
1	5	2.81647	- 7.48352	Bus 2 0.01800
2	3	2.45000	- 5.87000	Bus 3 0.08200
2	4	3.05000	- 4.45170	Bus 4 0.03575
2	5	3.13000	- 2.09335	Bus 5 0.03575
3	4	3.70000	- 3.73000	
3	5	1.12985	- 4.47675	
4	5	2.05362	- 4.16883	

표 2 base case 조류계산 결과

Table 2 Result of power flow computation for base case

bus	P	Q	V	θ	λ_Q^{Ploss}	λ_Q^{Qloss}	λ_Q^{Sloss}
1	6.014	2.46	1.04	0.0			
2	-2.680	-0.6	0.833	-0.481	-307	-826	.881
3	1.1	2.783	1.02	-0.489			
4	-0.950	-0.407	0.825	-0.498	-339	-791	.861
5	-2.320	-1.1	0.817	-0.401	-347	-952	1.013

P_{LOSS} = 1.164 Q_{LOSS} = 3.137

VCPI and Voltages at Bus 4
(P4 varies 1.05->1.567 vcpi-s4.pic)

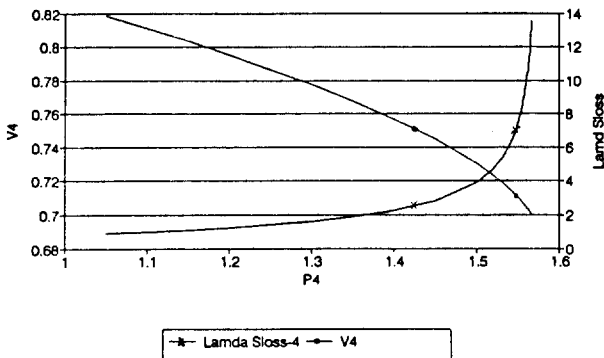


그림 4 부하증가에 따른 4번 모선 전압붕괴 근접도 지표 $\lambda_Q^{Sloss-2}$ 의 변화

Fig. 4 Variation of $\lambda_Q^{Sloss-4}$ versus the increase of P4 and Q4

표 3 각 무효전력 투자방식의 효과비교

Table 3 Comparison of the effect of each type of VAR investment

	SC ₂ +SC ₄ +SC ₅ = 1.6025	P _{Loss}	Q _{Loss}	S _{Loss}	V ₂ , V ₄ , V ₅	AVP
λ_Q^{Ploss} investment	SC ₂ = 0.5072 SC ₄ = 0.2511 SC ₅ = 0.8441	0.8286	2.2433	2.3915	V ₂ = 0.9018 V ₄ = 0.8936 V ₅ = 0.9023	0.9007
λ_Q^{Qloss} investment	SC ₂ = 0.5259 SC ₄ = 0.0808 SC ₅ = 0.9958	0.8313	2.2377	2.3872	V ₂ = 0.9013 V ₄ = 0.8845 V ₅ = 0.9078	0.9010
λ_Q^{Sloss} investment	SC ₂ = 0.5213 SC ₄ = 0.1089 SC ₅ = 0.9723	0.8305	2.2379	2.3870	V ₂ = 0.9013 V ₄ = 0.8861 V ₅ = 0.9069	0.9010
voltage investment	SC ₂ = 0.4421 SC₄ = 0.3794 SC ₅ = 0.7810	0.8300	2.2531	2.4011	V ₂ = 0.9 V₄ = 0.9 V ₅ = 0.9	0.9000

계통의 종합손실($\lambda_Q^{Sloss} = \sqrt{\lambda_Q^{Ploss} + \lambda_Q^{Qloss}}$)의 감소 및 전압개선 측면에서 더 유리하며 이 중에서도 λ_Q^{Sloss} 지표에 의한 투자방법이 가장 유리함을 알 수 있다. 여기서 계통전압의 평균치 (System Average Voltage Profile ; 편의상 AVP로 표기)는 부하모선전압의 크기와 부하의 크기를 감안하여

$$AVP = \sqrt{[(\sum V_i * P_i)^2 + (\sum V_i * Q_i)^2] / [(\sum P_i)^2 + (\sum Q_i)^2]} \quad (18)$$

로 정의하였으며 부하는 모두 정전력 부하로 가정하였다. SC₂, SC₄ 및 SC₅ 는 각각 2, 4, 5번 모선의 전력콘덴서 투자량을 나타낸다.

6. 결론

본 논문에서는 계통의 피상전력 손실감도에 근거한 전압붕괴 근접도지표를 유도하고 이를 무효전력 설비투자에 적용하여 계통의 전압안정도를 효과적으로 개선하는 방안을 제시하였다. 본 논문의 요지를 정리하면 아래와 같다.

1. 계통의 피상전력손실을 목적함수, 전력조류방정식을 제약 조건으로 하는 최적화 함수의 라그랑주 승수 [$\lambda_P^{Sloss}, \lambda_Q^{Sloss}$] 는 모선전력의 미소변화에 대한 계통의 피상전력 손실의 미소변화를 의미하며 전압붕괴점에서 $-\infty$ 의 값을 갖는 전압붕괴 근접도지표로 활용될 수 있다.

2. $\lambda_P^{Sloss} = \sqrt{\lambda_P^{Ploss} + \lambda_P^{Qloss}}$, $\lambda_Q^{Sloss} = \sqrt{\lambda_Q^{Ploss} + \lambda_Q^{Qloss}}$ 로서 피상전력 손실감도지표는 유효 및 무효전력 손실감도지표로 표현될 수 있다.

3. 무효전력투자시 λ_Q 지표를 이용하는 편이 전압지표에 의한 투자방법에 비하여 계통손실감소와 전압안정도 개선측면에서 보다 유리하다. 이때, λ_Q^{Ploss} 지표로 투자한 경우에는 계통의 Ploss가, λ_Q^{Qloss} 지표로 투자한 경우 계통의 Qloss가, λ_Q^{Sloss} 지표로 투자한 경우 계통의 Sloss가 최소화된다.

5. 모선 사례연구를 통하여 제시된 전압안정도 지표와 무효전력 투자기법의 효용성을 입증하였다.

부 록

각 투자방식에 대한 임계부하

전압 및 $\lambda_Q^{Ploss}, \lambda_Q^{Qloss}, \lambda_Q^{Sloss}$ 지표에 의하여 표 3와 같이 총 1.6 p.u. 의 전력콘덴서가 투자된 상태에서 각 모선의 부하를 전압붕괴시점 까지 일정비율로 증가시킬때, 전압붕괴가 일어나는 시점의 임계부하 $S_{cr} = |\sum P_i + j\sum Q_i|$ p.u. 를 각 투자방식별로 비교하면 표 A1과 같다.

표 A1은 전압붕괴점까지의 개략적인 margin을 각 투자방식별로 나타내고 있으며 $\lambda_Q^{Sloss}, \lambda_Q^{Qloss}$ 지표에 의한 방법이 가장 유리하고 전압지표에 의한 방법이 가장 불리한 것으로 나타나 있다

표 A1 각 투자방식에 대한 임계부하

Table A1 The critical loading for each type of VAR investment

voltage investment	λ_Q^{Ploss} investment	λ_Q^{Qloss} investment	λ_Q^{Sloss} investment
7.54	7.56	7.59	7.59

다. 표 A1은 전압붕괴점으로 향하는 하나의 부하증가 mode에 대한 비교결과이므로 각 투자방법에 대한 정확한 유효리를 비교판정하고자 할 경우 수없이 많은 부하증가 mode에 대한 simulation 통계자료작성이 필요할 것으로 사료된다.

전압붕괴를 주도하는 것은 결국 계통손실이므로 “계통부하와 system configuration 및 계통에 투자될 무효전력량이 동일할 경우, 계통손실을 최소화시키는 투자방법이 일반적으로 전압안정도 측면에서 가장 유리하다”는 단정이 가능할 것으로 사료된다.

λ_Q^{Sloss} 지표에 의한 무효전력투자시 λ_Q^{Sloss} 및 전력콘덴서 투입량의 변화

그림 1의 λ 에 의한 무효전력설비 투자 알고리즘에 있어서 프로그램을 종료시키는 조건으로는

(1) 사전에 계획한 무효전력투자량($\Sigma\Delta Q$)이 모두 투자되었을 경우

(2) 계통의 λ 지표값이 사전에 설정한 수준에 도달하였을 경우의 두가지지를 생각할 수 있으나 λ 지표값을 사전에 설정하는 것은 주어진 계통에 익숙한 실무자의 계통감각에 의존할 수 밖에 없는 주관적이고 다소 막연한 점이 있으므로 본 사례연구에서는 투자할 무효전력량 $\Sigma\Delta Q$ (=1.6025)를 미리 계획하고 λ 값이 가장 큰 모선에 우선적으로 ΔQ MVA 만큼의 무효전력을 투자해 가는 과정을 반복하여 1.6 p.u.가 다 투자되었을 때 프로그램을 종료하였다. 그림 A1은 base case로 부터 그림 1의 알고리즘에 근거하여 λ_Q^{Sloss} 지표로 1.6 p.u.의 무효전력 보상설비를 투자해갈 때 전력콘덴서의 투자량과 λ 값의 변화를 圖示하고 있다.

그림 A1의 설명

- $\Sigma\Delta Q=0$ 일때 2,4,5번 모선의 λ_Q^{Sloss} 지표값은 각각 0.881, 0.861, 1.013으로 5번 모선의

지표값이 가장 크다. 따라서 5번모선에 ΔQ 의 전력콘덴서를 계속 투자한다.

- $\Sigma\Delta Q=0.4$ 부근(점 A)의 각모선의 λ_Q^{Sloss} 지표값은 각각 0.722,

0.722, 0.686으로서 2, 5

번 모선의 λ_Q^{Sloss} 지표값이 같아진다. 여기서 부터는 2, 5번 모선에 ΔQ 의 전력콘덴서가 번갈아 투자된다.

- $\Sigma\Delta Q=0.82$ 부근에서(점 B) 2,4,5번 모선의 λ_Q^{Sloss} 지표값은 일치되고 여기서 부터는 2,

4, 5번 모선에 ΔQ 의 전력콘덴서가 번갈아 투자된다.

- $\Sigma\Delta Q = \Sigma\Delta SC2 + \Sigma\Delta SC4 + \Sigma\Delta SC5 = 0.52 + 0.11 + 0.97 = 1.6$ 시점에서 $\lambda_Q^{Sloss-2} = \lambda_Q^{Sloss-4} = \lambda_Q^{Sloss-5} = 0.351$ 이 되고 프로그램이 종료된다.

참고 문헌

[1] 김건중, 심국진, 정태호, 이상중, “실시간 전압붕괴 근접도”, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 부산 동의대, pp. 51-55, 1991. 4.
 [2] 김건중, 김원겸, 정태호, 이상중, “전압 안정도 개선을 무효전력제어”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 춘천 강원대, pp. 422-425, 1991. 8.
 [3] 김건중, 추진부, 이상중, 김용배, “무효전력 손실감도를 이용한 전압안정도 지표” 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp. 78-82, 1992. 5
 [4] 김건중, 추진부, 이상중, 김용배, 김용배, “손실감도를 이용한 전압안정도 지표” 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 거제대, pp. 218-221, 1992. 8.
 [5] 석사논문. 이상중. “손실감도 분석에 근거한 전력계통 전압붕괴근접도 산정에 관한 연구” 92. 2. 충남대학교.
 [6] Mokhtars Bazaraa and C. M. Shetty “Nonlinear Programming Theory and Algorithms” 1979, by John Wiley & Sons, Inc.

저 자 소 개

이상중 (李尙中)

전기학회 논문지 제44권 1호 참조

김원겸 (金原謙)

전기학회 논문지 제44권 1호 참조



엄재선 (嚴載鄴)

1963년 9월 9일생. 1986년 충남대 졸업. 1988년 충남대 대학원 석사과정 졸업. 1995년 현재 충남대 대학원 전기공학과 박사과정 재학중

김건중 (金健中)

전기학회 논문지 제44권 1호 참조

김용배 (金龍培)

전기학회 논문지 제44권 1호 참조

이근준 (李根準)

전기학회 논문지 제44권 9호 참조

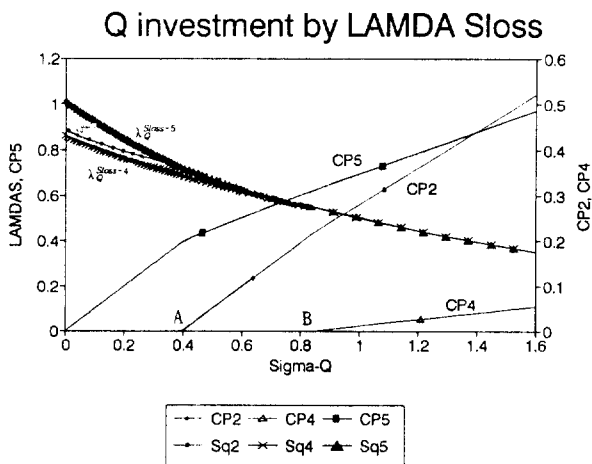


그림 A1 λ_Q^{Sloss} 좌표에 의한 무효전력 투자시 λ_Q^{Sloss} 및 전력콘덴서 투자량의 변화

Fig. A1 λ_Q^{Sloss} and SC Variation along the VAR investment by λ_Q^{Sloss} index