

발전력재배분의 priority를 이용한 최적전력조류

김규호* 김수남** 이상봉*** 이상근§ 송경빈§§
 *한경대 **현대중공업 ***ATT §강릉원주대 §§송실대

Optimal Power Flow based on Priority of Generation Rescheduling

Kyu-Ho Kim* Soo-Nam Kim** Sang-Bong Rhee*** Sang-Keun Lee§ Kyung-Bin Song§§
 *Hankyong Univ. **Hyundai Heavy Ind. ***ATT §Kangnungwonju Univ. §§Soongsil Univ.

Abstract - This paper presents a new generation rescheduling approach for preventive control of power systems, which can optimally reallocate power generations for unstable contingencies. The transient stability constraints used in the optimal rescheduling model are described by energy margin sensitivity. Especially the energy margin sensitivity is evaluated for change with respect to generation. For a given contingency, the energy margin is computed and the respective sensitivities are also computed.

이 나타낼 수 있다[2].

1. 서 론

과도안정도 해석은 전력계통의 갑작스런 외란 발생에 따른 동기발전기의 동기상태 유지여부를 판별하는 것으로서, 각 발전기들의 발전력 불안정도 지수를 고려해서 재배분하면 고장제거 후의 과급을 억제하는 것이 가능하다[1].

감도는 발전력변화, 부하의 변화 및 전력망의 변화 등에 의하여 계산된다. A. A. Fouad와 Tong Jianzhong은 과도에너지 함수를 이용하여 초기 운전상태와 상정사고에 대하여 안정도 제약 최적의 발전력 재배분과 임계 선로조류(critical line flows) 방안을 제안하였다[2]. 발전력의 변화에 관한 에너지 마진의 감도 방정식은 과도안정도 제약으로 사용되었다. James A. Momoh과 Chris B. Effiong는 예방제어 계획을 하기 위해서 발전력 재배분을 하는 휴리스틱 방법이 개발 되었다[3].

본 연구에서는 발전력 재배분의 priority를 사용하여 최적전력조류를 결정하였다. 발전력 재배분의 priority로는 에너지마진의 감도를 사용하였다. 에너지마진의 감도에 의하여 발전력을 증가시키고 감소시키는 발전기를 선정하였다. 이러한 발전력 재배분에 의하여 과도에너지 마진을 증가시켰으며 과도안정도를 향상시킬 수 있었다.

2. 과도에너지 마진 감도

과도에너지 마진 ΔV 는 다양한 변수의 함수로 다음과 같이 표현할 수 있다[1].

$$\Delta V = \Delta V(P_{mi}, \theta_{cr}, \theta_{cl}, E_i, G_{ij}, B_{ij}) \quad (2.1)$$

여기서, θ_{cr} 은 회전자의 임계각, θ_{cl} 은 고장제거시 회전자 각이다. 어떤 파라미터 α_k 에 변화에서 에너지 마진의 감도는 α_k 에 대한 ΔV 의 편미분 함수로 유도하여 chain rule을 이용하여 각각의 상정사고에 대하여 에너지마진과 감도를 계산할 수 있다. 어떤 시스템의 파라미터에 대한 에너지마진의 변화는 다음과 같다.

$$\Delta(\Delta V) = \sum_{k=1}^n \frac{\partial \Delta V}{\partial \alpha_k} \Delta \alpha_k \quad (2.2)$$

발전력 변화 ΔP_{mk} 에 대한 에너지마진의 감도의 표현은 다음과 같

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\Delta V)}{\partial P_{mk}} = & -M_{eq} M_{eq}^{cl} \frac{\partial \omega_{eq}^{cl}}{\partial P_{mk}} \\ & - \sum_{i=1}^n [P_i (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_i^{cl}}{\partial P_{mk}}) + (\theta_i^u - \theta_i^{cl}) \frac{\partial P_{mi}}{\partial P_{mk}} \\ & + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [(\frac{\theta_i^u + \theta_j^u - \theta_i^{cl} - \theta_j^{cl}}{\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl}} D_{ij} \cos \theta_{ij}^u \\ & + C_{ij} \sin \theta_{ij}^{cl}) (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^u}{\partial P_{mk}}) \\ & - (\frac{\theta_i^u + \theta_j^u - \theta_i^{cl} - \theta_j^{cl}}{\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl}} D_{ij} \cos \theta_{ij}^u \\ & + C_{ij} \sin \theta_{ij}^{cl}) (\frac{\partial \theta_i^{cl}}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^{cl}}{\partial P_{mk}})] \\ & + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n D_{ij} (\sin \theta_{ij}^u - \sin \theta_{ij}^{cl}) \\ & (\frac{-2(\theta_j^u - \theta_j^{cl})}{(\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl})^2} (\frac{\partial \theta_i^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^{cl}}{\partial P_{mk}}) \\ & + \frac{-2(\theta_j^u - \theta_j^{cl})}{(\theta_{ij}^u - \theta_{ij}^{cl})^2} (\frac{\partial \theta_j^u}{\partial P_{mk}} - \frac{\partial \theta_j^{cl}}{\partial P_{mk}})] \end{aligned} \quad (2.3)$$

3. 최적전력조류

3.1 목적함수

CBP 전력시장 체제하에서 중앙급전을 위한 목적함수는 입찰에 참가한 발전기들을 대상으로 변동비를 최소화하는 방안이 관점이 된다[3].

$$Min \sum_{i=1}^{NG} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (3.1)$$

여기서, i 는 각각 발전기모선의 인덱스, NG 는 발전기모선의 수이고, P_{Gi} 는 발전기의 유효전력출력이고, a_i, b_i, c_i 는 각 발전기의 연료계수이다.

3.2 제약조건

안전도제약은 기준상태의 안전도제약(Intact System Security Constraints)을 만족하여야 한다. 안전도제약을 고려한 OPF문제의 변수는 제어변수와 상태변수의 두 종류의 변수로 나눌 수 있다.

- 제어변수

$$\begin{aligned} P_{Gi}^{\min} &\leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \\ V_{Gi}^{\min} &\leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{\max} \\ T_i^{\min} &\leq T_i \leq T_i^{\max} \\ Q_{cr}^{\min} &\leq Q_{cr} \leq Q_{cr}^{\max} \end{aligned} \quad (3.2)$$

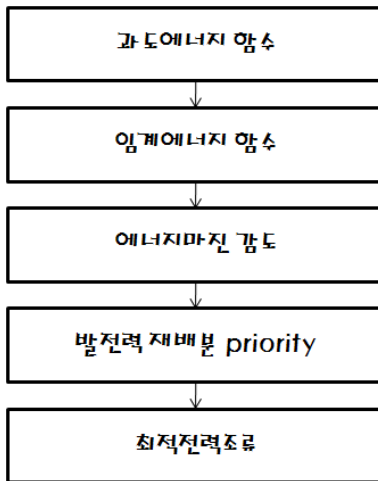
- 상태변수

$$\begin{aligned} V_j^{\min} &\leq V_j \leq V_j^{\max} \\ Q_{Gi}^{\min} &\leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \\ S_{ij} &\leq S_{ij}^{\max} \\ V_{em} &> 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

- 등식 제약조건

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{NG} P_{Gi} - P_D - P_{Loss} &= 0 \\ P_{Gi} - P_{Li} - \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) &= 0 \\ Q_{Gi} - Q_{Li} - \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) &= 0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

3.3 순서도



<그림 3.1> 발전력 재배분 순서도

4. 사례연구

본 연구에서는 발전력 재배분의 priority를 사용하여 최적전력조류를 결정하였다.

발전력 재배분을 위한 과도에너지 마진 감도를 계산하기 위하여 과도에너지 마진이 가장 작은 Line *3 - 4 Fault에 대하여 사고제거 시간을 0.41sec.로 하여 식 (2.3)을 이용하여 발전력 변화에 대한 과도에너지의 감도를 계산하여 표 4.1에 나타내었다[4]. 발전기 9번의 발전력을 -5 만큼 감소시키고 발전기 8번의 발전력을 +5 만큼 증가시켜서 고장제거 시간(clt) 0.41sec.에서 과도에너지 마진을 계산하였다니 발전력 재배분을 하기 전의 과도에너지 마진 0.0553에서 0.5581으로 증가되었다. 또한, 고장제거시간(clt)을 0.411sec.에서 발전력 재배분을 하기 전의 과도에너지 마진은 -0.0390 이었고, 발전기 9번의 발전력을 -5 만큼 감소시키고 발전기 8번의 발전력을 +5 만큼 발전력을 재배분하여 과도에너지 마진을 계산하였다니 0.4767로 증가되었다. 즉 발전력 재배분을 하기 전 고장제거시간 0.411sec.에서는 과도에너지 마진이 음의 값 -0.0390으로 계통상태는 불안정이고 발전력 재배분에 의하여 과도에너지 마진이 0.4767

이 되어 계통상태는 안정이 된다는 것을 알 수 있다. 또한, 표 4.2는 최적전력조류에 의한 발전력 재배분을 나타낸 것이다.

<표 4.1> 발전력 재배분에 대한 과도에너지 마진 감도 (Line *3 - 4 Fault)

Machine no.	Sensitivity	Generation Rescheduling (dPG_m)	Transient Energy Margin after Rescheduling (before Rescheduling)	
			clt : 0.41 sec.	clt : 0.411 sec.
7	0.0259			
8	0.0326	+5	0.5581	0.4767
9	-0.8658	-5	(0.0553)	(-0.0390)
10	0.0176			

<표 4.2> 최적전력조류에 의한 발전력 재배분 (Line *3 - 4 Fault)

Machine no.	Generation Rescheduling base on OPF
7	33.4
8	40.7
9	30
10	20

5. 결 론

본 연구에서는 과도에너지 마진의 감도를 사용하여 발전력 재배분의 priority를 결정하는 방안을 제안하였다.

발전력 재배분을 위한 과도에너지 마진의 감도를 계산하였다. 과도에너지 마진의 감도에 의하여 발전력을 증가시키고 감소시키는 발전기를 선정하였다. 이러한 발전력 재배분에 의하여 과도에너지 마진을 증가시켰으며 과도안정도를 향상시킬 수 있었다. 또한 발전력 재배분은 감도에 의해 발전량을 변화시켜 과도안정도를 향상시킨 것과 최적전력조류에 의하여 발전력 재배분의 결과를 비교하였다.

향후 발전력 재배분을

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(2010T100100637) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] M. A. Pai, Energy Function Analysis for Power System Stability, Kluwer Academic Publishers, 1989.
- [2] A. A. Fouad and T. Jianzhong, "Stability constrained optimal rescheduling of generation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 8, pp. 105-112, Feb. 1993.
- [3] J. A. Momoh and C. B. Fffiong, "Generation rescheduling for dynamic security enhancement for multi-area power system," in Proc. IEEE Int.Conf. Computational Cybernetics and Simulation: Systems, Man and Cybernetics, vol. 4, Dec. 1997, pp. 3437 - 3442.
- [4] 김규호, 김수남, 이상봉, 이상근, 송경민, "과도에너지 마진의 감도를 이용한 발전력 재배분의 priority", 전기학회논문집 제 60권 6호 pp., 2011년 6월