

# 연계전력계통에서의 시간오차 및 수수에너지오차의 교정법에 관하여

權 世 燦  
(高麗大 工大 助教授)

## ■ 차 례 ■

- 1. 序 論
- 2. 교정 제어
- 3. 시간오차와 수수에너지오차의 Decomposition
- 4. 벡터 Decomposition
- 5. 각 교정법의 검토
- 6. 결론 및 요약
- 參考文獻

### 1 序 論

전력계통주파수는 가능한한 정격주파수에 가깝게 유지되어야 한다. 그러나 負荷는 순간순간 變化되므로, 이에 供給電力을 항상 일치되도록 제어하기에는 사실상 불가능하다. 負荷와 供給電力의 差에 기인되는 계통주파수와 정격주파수와 差를 주파수오차(Frequency Deviation)라고 부르며, 주파수오차의 시간에 대한 적분치를 時間誤差(Time Error)라고 부른다. 여러개의 전력회사(또는 제어지역)가 연계선(Tie-line)으로 연계되어 한개의 대전력계통으로 동작하는 경우, 각 제어지역과 이와 인접된 타제어지역을 연결하는 Tie-line의 예정수수전력의 總和와 실제의 수수전력의 總和의 差를 수수전력오차(Inadvertent Interchange)라고 한다. 이러한 수수전력오차의 시간에 대한 적분치는 수수에너지오차(Inadvertent Interchange Energy)라고 한다.

세계에서 가장 큰 전력계통인 北美(美國과 캐나다)계통에서는, 계통내의 각 제어지역의 controller는 "Tie-line Bias Control"에 의하여 동작되고 있다. 각 제어지역의 controller는 소위 "Area Control Error(ACE)"라고 불리는 신호에 의하여 동작된다. ACE는 두개의 지역적신호의 和이다. 그 하나는 이미 언급된 수수전력오차(MW)이고, 다른 하나는 주파수 Bias 전력이라고 불리우며 이는 해당제어지역의 주파수Bias值(MW /HZ)와 주파수오차의 積이다.

각 제어지역의 controller는 그 ACE를 零으로 만들도록 공급전력을 자동적으로 조절하도록 되어 있다. 만약 계통주파수가 정격주파수일 때는 각 지역의 주파수Bias전력은 零이다. 그러므로 각 지역은 인근지역과의 연계선의 전력의 總和를 예정수수전력으로 유지하므로써, 해당지역내에서의 負荷變動에 맞도록 공급전력을 조절한 것이 된다. 각 지역은 각자 지역내의 負荷變動에 대하여 供給電力을 조절할 책임이 있으며, 계통주파수를 정격주파수로 유지하는데 참여하여야 한다.

만약 한개 또는 여러개의 제어지역이 자기책임을 다하지 못할 때는 필연적으로 계통주파수는 정격주파수와 달라지게 된다. 이 경우에는 주파수오차가 零이 아니므로 기타 지역들의 예정수수전력은 해당 지역 주파수Bias전력치만큼 달라지게 된다. 기타지역들이 조절된 예정수수전력을 유지하므로써 문제가 발생된 지역을 도와주는 동시에 계통주파수를 정격주파수로 회복시키는 것을 도와주는 역할을 하게 된다. 대연계통에 소속된 어떤 제어지역도 발전기의 고장, 송전선의 고장, 기타 예기치 못한 어려움을 겪을 수 있으므로, 이상 언급한 바와 같이 각 제어지역이 서로 協助關係를 유지하면서 문제지역을 도울 수 있다는 점이 Tie-line Bias Control의 계획된 장점이라고 볼 수 있다.

그러나 근간의 문헌"들을 보면 북미계통의 주파수가 정격주파수에서 벗어나는 정도가 커지고 있고, 각 제어지역간의 수수에너지오차가 커지고 있다. 특히 Western Systems Coordinating Council (WSC

C)에 속해 있는 각 전력회사간의 수수에너지오차가 아주 커지고 있어 큰 문제점으로 대두되고 있다. 수수에너지오차가 발생하는 원인을 보다 더 잘 이해하고, 적절한 교정용 control action을 취하기 위하여 각 제어지역의 control performance를 分析하는데 關心이 높아지고 있다.

**2] 교정제어**

각 제어지역의 controller가 해당지역의 ACE를 嚮으로 유지할 수 없는 원인으로서는 다음을 들 수 있다.

- (a) 주파수 및 수수전력측정시 발생하는 오차
- (b) 주파수 및 예정수수전력을 setting할때 발생하는 오차
- (c) 부적절한 제어계통 또는 부적절한 원격 측정 또는 통신회선의 고장등
- (d) 공급전력을 조절하는데 필요한 發電unit이 없거나 배정할 수 없는 경우 등을 들 수 있다.

이상 언급한 조건들과 교정제어를 위한 의도적인 주파수 및 수송 전력등의 offset에 의하여 효과적인 제어가 안될때 이를 통칭하여 “area regulating deficiencies”라고 한다. 시간오차 및 수수에너지오차는 이에 기인된다.

美國의 National Electric Reliability Council (NERC)의 Operating Committee에서는 시간오차 및 수수에너지오차에 대한 교정법에 대하여 Operating Guide No. 4 와 No. 5 에서 각각 규정하고 각 전력회사에게 이를 따라 운용할 것을 권장하고 있다.<sup>2,3)</sup>

시간오차를 교정할 경우에는 모든 제어지역이 공통시간대에 걸쳐서 시간오차에 비례하도록 주파수 schedule을 동시에 offset시킨다. 수수에너지오차를 교정하는 데는 두가지 방법이 있다.

(a) The Bilateral Correction Scheme

수수에너지오차가 正인 지역과 負의 지역이 동시에 예정수수전력을 offset 시키는데 두 지역이 같은 양의(그러나 각각 반대부호의) offset을 시키도록 한다. 이에 의하여 계통주파수는 영향을 받지 않는다.

**표 1. 시간오차의 기준치**

시간오차 : seconds.

시간오차	시간대	교 정 제 어 개 시			교 정 제 어 종 료		
		Eastern Systems	Western Systems	Texas Systems	Eastern Systems	Western Systems	Texas Systems
----- ON SUNDAYS OR HOLLIDAYS HAVING NO ONPEAK PERIOD -----							
SLOW	ANY	- 4	- 2	- 3	- 2	±0.5	±0.5
FAST	ANY	+ 4	+ 2	+ 3	+ 2	±0.5	±0.5
----- ON DAYS HAVING ONPEAK PERIODS -----							
SLOW	0000-0100	- 3	- 2	- 3	+ 2★	± 0.5	±0.5
SLOW	0100-0200	- 2	- 2	- 3	+ 2★	± 0.5	±0.5
SLOW	0200-0300	- 1	- 2	- 3	+ 2★	± 0.5	±0.5
SLOW	0300-0400	0	- 2	- 3	+ 2★	± 0.5	±0.5
SLOW	0400-0500	+ 1	- 2	- 3	+ 2★	± 0.5	±0.5
SLOW	0500-2100	- 4	- 2	- 3	- 2	± 0.5	±0.5
SLOW	2100-2300	★★★	- 2	- 3	★★★	± 0.5	±0.5
SLOW	2300-2400	- 4	- 2	- 3	+ 2★	± 0.5	±0.5
FAST	0000-0500	+ 4	+ 2	+ 3	+ 3	± 0.5	±0.5
FAST	0500-0700	★★★	+ 2	+ 3	★★★	± 0.5	±0.5
FAST	0700-2400	+ 4	+ 2	+ 3	+ 3	± 0.5	±0.5

★ 2초가 되거나, 0600가 되면 교정제어종료

★★ 이기간동안에는 Eastern Systems에서는 늦은 시간오차교정은 개시하지 않는다.

★★★ 이기간동안에는 Eastern Systems에서는 빠른 시간오차교정은 개시되지 않는다.

(b) The Unilateral Correction Scheme

어떤 제어지역이 수주에너지오차를 교정하고 싶을 때는 반드시 이러한 교정 control action에 의하여 시간오차역시 교정될 때는 일방적인 교정control action이 허용된다.

表 1은 北美전력계통의 Eastern systems, Western systems와 Texas systems에 대한 시간오차 허용기준치를 보인 것이다. 시간오차가 正또는 負의 값을 갖는다. 週中이나 週末이나, 또는 時間帶에 따라 약간의 차이가 있는 것을 알 수 있다. 시간오차의 단위는 秒(second)이다.

③ 시간오차와 수주에너지오차의 Decomposition

Tie-line Bias Control 및 시간오차, 수주에너지오차의 교정법은 1940년대 이래 많은 학자들이 연구하여 왔으나 주로 Nathan Cohn에 의하여 定立되었다. 최근 Nathan Cohn은 시간오차와 수주에너지오차의 Decomposition개념을 도입하였다. 즉 N개의 제어지역으로 구성된 연계계통에서 다음과 같은 component를 定義하였다.<sup>4)</sup>

(a) 시간오차는 N개의 지역 component로 分解할 수 있으며 각 component는 해당지역의 regulating deficiencies에 기인한다. 그러므로 해당지역의 control performance의 指標가 될 수 있다.

(b) 한 지역의 수주에너지오차는 N개의 component로 分解할 수 있다. Primary component는 해당 지역 자체의 regulating deficiencies에 기인한다. 이는 해당지역의 control performance의 指標가 될 수 있다. 해당지역을 제외한 나머지 (N-1)개의 Secondary component는 나머지 지역의 regulating deficiencies에 의하여 발생된 성분이다.

Cohn에 의하면 현행 NERC 교정법의 결점은 다음과 같이 요약될 수 있다.<sup>5)</sup>

(a) 시간오차를 교정하는 동안 시간오차 component가 시간오차와 같은 부호를 갖는 제어지역은 시간오차 component도 교정하게 된다. 그러나, 시간오차 component가 시간오차와 반대의 부호를 갖는 제어지역들은 해당시간오차component를 오히려 증가시키게 된다.

(b) Bilateral Correction Scheme에 의거하여 서로 반대부호의 수주에너지오차를 갖는 두 제어지역이 수주에너지오차를 교정할 경우 수주에너지오차 component와 같은 부호의 Primary component를 갖는 제어지역은 Primary component도 교정하게 된

다. 그러나 수주에너지오차와 Primary component가 부호가 다른 지역은 Primary component를 증가시키게 된다.

이상과 같은 현행교정법의 약점을 지적하면서 새로운 교정법이 제시되었다. 즉 중전의 시간오차및 수주에너지오차를 교정할 것이 아니라, 시간오차 component 또는 Primary component를 교정하도록 하는 것이다. 다른 제어지역이 교정control action을 하고 있던 말든 상관없이 일방적인 교정control action이 가능하다.

④ 벡터 Decomposition

연계계통내의 어느 한 제어지역에 대하여 나머지 모든 지역을 한개의 지역으로 취급하기로 하면, 한 지역의 시간오차 및 수주에너지오차를 한개의 벡터로 보면, 이 벡터는 두개의 성분으로 分解될 수 있다. 즉 해당지역자체에 기인하는 성분 및 나머지 모든 지역에 기인하는 성분으로 分解될 수 있다.<sup>6)</sup>

이 벡터는 이차원 평면 즉  $(\epsilon, I_i)$  평면에 도식적으로 나타낼 수 있다. 여기서  $\epsilon$ 은 시간오차(seconds),  $I_i$ 는  $i$ 번째 제어지역의 수주에너지오차(MWH)를 나타낸다. 그림 1에서 시간오차  $\epsilon$  및 수주에너지오차  $I_i$ 는 벡터  $\vec{OP}$ 로 나타낼 수 있다.

벡터  $\vec{OP}$ 는  $\vec{OB}$ 와  $\vec{OA}$ 의 和이다. 즉 벡터  $\vec{OA}$ 는 시간오차이며, 벡터  $\vec{OB}$ 는 수주에너지오차이다. 한편 벡터  $\vec{OP}$ 는  $\vec{OC}$ 와  $\vec{OD}$ 의 和이다. 벡터  $\vec{OC}$ 와  $\vec{OD}$ 는 특별한 의미가 있다. 즉 벡터  $\vec{OC}$ 는 제어지역  $i$ 의 regulating deficiencies가 누적된데 기인한 성분이며, 벡터  $\vec{OD}$ 는 제어지역  $i$ 를 제외한 나머지 모든 지역의 regulating deficiencies가 누적된데 기인한 성분이다.

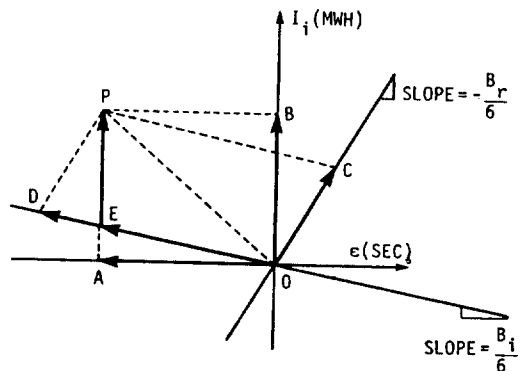


그림 1. 벡터 decomposition

벡터  $\vec{OC}$ 를  $\epsilon$ 軸과  $I_i$ 軸에 대하여 분해하면 제어 지역  $i$ 의 시간오차component ( $\epsilon_i$ ) 가되고, 수수에너지오차의 Primary component ( $I_i i$ )가 된다. 이는 Nathan Cohn이 [4]에서 정의한 것과 같다.

벡터  $\vec{OD}$ 역시  $\epsilon$ 軸과  $I_i$ 軸에 대하여 분해하면 나머지 제어지역(지역  $r$ 이라 한다)의 시간오차component 및 수수에너지오차의 Secondary component ( $I_i r$ )로 각각 분해되며 Nathan Cohn의 정의와 일치한다.

그림 1에서  $B_i$ 는 제어지역  $i$ 의 주파수 Bias치이며 이는 통상  $MW/0.1Hz$ 로 값이 주어지게 된다.  $B_r$ 은 지역  $r$ 를 제외한 나머지 모든 지역의 주파수 Bias치 ( $MW/0.1Hz$ )의 和이다.

두개 벡터성분  $\vec{OC}$ 와  $\vec{OD}$ 는 서로 독립적이다. 즉 지역  $r$ (지역  $i$ 를 제외한 나머지 모든 지역)의 control action은  $\vec{OC}$ 방향으로는 전혀 영향을 줄 수가 없고  $\vec{OD}$ 방향으로만 영향을 미칠 수 있을 뿐이다.

### 5 각 교정법의 검토

이미 언급된 바 있는 시간오차 또는 수수에너지 오차를 교정하기 위하여 ACE신호에 의도적으로 offset term을 附加한다. offset의 부호 및 크기는 교정할 초기값에 달려있다. 특정시간대 ( $t_1, t_2$ )동안 offset term의 부호는 바뀌지 않는다고 가정하고 각 교정control action이 미치는 영향에 대하여 다음 순서로 고찰하였다.

(a) 제어지역  $i$  단독으로 교정 control action을 취할 경우 ( $\epsilon, I_i$ )에 미치는 영향.

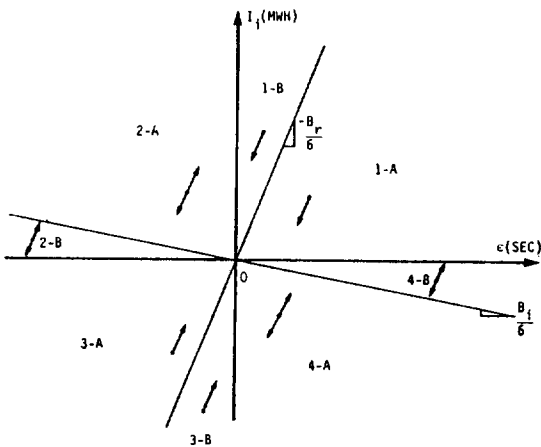


그림 2. 단독교정control action의 영향

(b) 제어지역간 또는 전체 제어지역이 協同하여 교정 control action을 취하는 경우 ( $\epsilon, I_i$ )에 미치는 복합적인 영향.

A. 단독교정 control action의 영향

그림 2에 보인 바와 같이 ( $\epsilon, I_i$ )평면을 각각  $B_i/6$ 와  $B_r/6$ 의 기울기를 가진 선분으로 나누고 이를 각각 1-A, 1-B, 2-A, 2-B, 3-A, 3-B, 4-A 및 4-B로 구분한다. 초기의 동작점 ( $\epsilon, I_i$ )가 각각 다른 위치에 놓인 경우를 고찰한다.

(a) 초기 동작점이 1상한 또는 3상한에 있을 때는 offset term이  $\epsilon, I_i$  또는 시간오차component  $\epsilon_i$  중 어느 하나를 교정하도록 부호가 선정되었다면, 나머지 양들도 동시에 교정되게 된다.

(b) 초기 동작점이 2상한 또는 4상한에 있을 때는 offset term을  $\epsilon, I_i$  또는  $\epsilon_i$  중 어느하나를 교정하도록 부호가 선정되었다면, 다른 양이 오히려 악화되도록 영향을 미칠 수 있다.

다음과 같은 경우가 일어날 수 있다.

(1) 초기동작점이 2-A 또는 4-A에 있다면  $I_i$ 를 교정하도록 제어하면  $\epsilon$ 은 악화되며  $\epsilon_i$ 는 교정된다.

(2) 초기동작점이 2-B 또는 4-B에 있을 때  $\epsilon$ 을 교정하도록 제어하면  $I_i$ 와  $\epsilon_i$ 는 둘다 악화된다. 그러나 초기동작점이 2-B 또는 4-B에 있을 때는  $I_i$ 는 악화되나  $\epsilon_i$ 는 교정된다.

(3) 초기동작점이 2-A 또는 4-A에 있을 때  $\epsilon_i$ 를 교정하도록 제어하면  $\epsilon$ 은 악화되고  $I_i$ 는 교정된다. 그러나 초기동작점이 2-B 또는 4-B에 있으면  $I_i$ 가 악화되고  $\epsilon$ 은 교정된다.

B. 제어지역간 협조에 의한 복합적 영향.

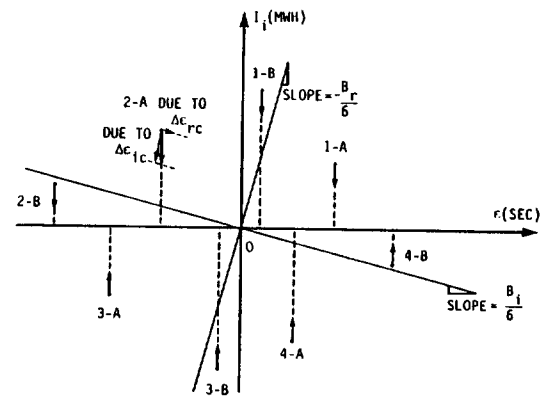


그림 3. 현행 bilateral correction scheme



작점이 2-A 또는 4-A에 있는 제어지역만이 그 동작점이 3 상한 또는 1 상한에 있는 제어지역과 협조하여 에너지수수오차교정을 할 수 있으며  $I_i = \frac{B_i}{6}\epsilon$ 로 표시되는 선분을 넘지않는 범위에 한한다.

(b) 그림 7에 보인 바와 같이 초기동작점이 2-A 또는 4-A에 있는 제어지역은 시간오차교정시 참여하지 않는다.

다른 제어지역은 해당지역의 시간오차component를 각각 교정하되  $I_i = \frac{B_i}{6}\epsilon$  선분이나 I軸을 넘지 않는 범위에 한한다.

表 2는 현행 교정법과 수정된 교정법에 의하여 교정control action에 필요한 Regulation에너지를 계

산한 예를 보인 것이다. 문헌 [5]에 인용된 바 있는 調査자료를 이용한 것이다. 表에 있는 모든 제어지역이 각자의 초기동작점을 원점으로 돌리도록 교정제어를 한다고 가정한다. 이 예에서 초기시간 오차는 -3.04second이다.

(a) 현행 교정법에 의하여 교정할 때 지역 1, 2, 5 및 6은 각 동작점이 2 상한에 있으므로  $I_i$  및  $\epsilon$ 을 교정하는 두개의 별도의 교정시간대에서 서로 다른 방향으로 control action을 취해야 한다. 현행 교정법에 의한 총 Regulation에너지는 5471.6MWH이다. 즉 불필요한 Regulation을 하여야 한다.

(b) 수정된 교정법에 의하여 교정하는 경우 지역 1, 2는 시간오차교정에는 참여하지 않는다. 지역5, 6은 수수에너지오차를 교정하지 않는다. 총 Regulation에너지는 3059.44MWH이다.

### 6 결론 및 요약

이상 언급한 시간오차 및 수수에너지오차의 교정 방법은 많은 전력회사(또는 제어지역)이 한개의 대 전력계통으로 동작하는 경우에 적용되는 것이므로 단일 회사의 전력계통에는 적용할 수 없다. 다만 한 전력회사계통도 수개의 제어지역으로 나누어질 수도 있으므로 수개의 제어지역이 Tie-line Bias control에 의하여 동작하는 경우에는 적용된다.

(a) 시간오차 및 수수에너지오차를 한개 벡터의 두 성분으로 보고, 이를 하나의 제어지역  $i$ 와 나머지 제어지역의 성분으로 분해가능하다.

(b) 벡터Decomposition은 2 차원 Cartesian평면에

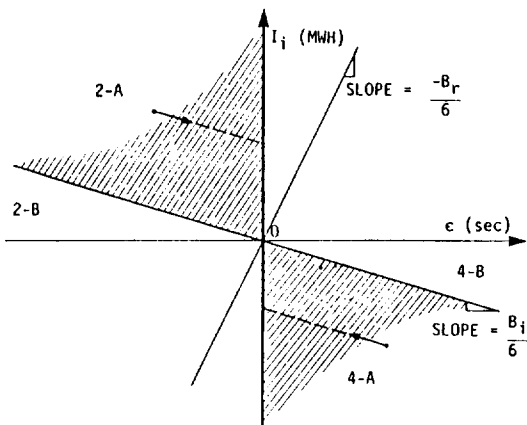


그림 7. 수정된 시간오차교정 제어

표 2. 현행교정법 및 수정된 교정법의 비교

단위 : MWH

지 역	현 행 교 정 법		수 정 된 교 정 법	
	Bilateral correction scheme	시간오차 교정법	수정된 Bilateral correction scheme	수정된 시간오차 교정법
1	-644	467.27	-167.74	0
2	-223	212.80	-10.20	0
3	179	550.75	10.20	719.54
4	1205	592.80	167.74	1630.06
5	-141	323.76	0	182.76
6	-376	547.20	0	171.20
전체Regulation 에너지	2768	2703.6	355.88	2703.56
	5471.6		3059.44	

도시할 수 있으며 이를  $(\epsilon, Ii)$  평면이라고 하였다. 이 평면에서  $Ii = (-Br/6)\epsilon$  및  $Ii = (Bi/6)\epsilon$ 로 표시되는 두개의 선분을 잡으면, 제어지역  $i$ 에 대한 벡터성분은 선분  $Ii = (-Br/6)\epsilon$  상에 있고, 나머지 제어지역이 지역  $i$ 에 미치는 벡터성분은 선분  $Ii = (Bi/6)\epsilon$  상에 있다.

(c) 제어지역  $i$  단독 또는 나머지 제어지역의 control action이 지역  $i$ 의 시간오차 및 수주에너지오차에 미치는 영향을 관찰하고 현행 NERC 교정법도에 따라 도시하였다.

(d) 현행 NERC 교정법을 수정한 교정법을 제시하였으며 두가지 교정법의 Regulation 에너지를 비교하고 제시하였다.

參 考 文 獻

- 1) "Power System Planning and Operations: Future Problems and Research Needs", Proceedings of an Engineering Foundation Conference, Sponsored by the U.S. Energy Research and Development Administration and the Electric Power Research Institute, Henniker, New Hampshire, August 22-27, 1976.
- 2) "Time Error", Operating Guide No.4, National Electric Reliability Council, Princeton, New Jersey. 1982.
- 3) "Inadvertent Interchange Accumulations", Operating Guide No.5, National Electric Reliability Council, Princeton, New Jersey, 1982.
- 4) Nathan Cohn, "Decomposition of Time Deviation and Inadvertent Interchange on Interconnected Systems. Part I: Identification, Separation and Measurement of Components", IEEE Trans. PAS-101 [5] (1982):1141-1151.
- 5) Nathan Cohn. "Decomposition of Time Deviation and Inadvertent Interchange on Interconnected Systems. Part II: Utilization of Components for Performance Evaluation and Corrective Control", IEEE Trans. PAS-101 [5] (1982):1152-1169.
- 6) A. A. Fouad and S. H. Kwon, "Two - Area Analysis of System Time Error and Inadvertent Interchange Energy in Interconnected Power Systems", IEEE Trans. PAS-104 [8] (1985):2148-2158.
- 7) A. A. Fouad, S.H.Kwon and R. P. Schulte, "Analysis of Accumulation of Inadvertent Interchange Energy and Time Error in Interconnected Power Systems", Paper No. 85 SM 482-5, Presented at the 1985 Summer Meeting, Vanconver, Canada.