

승강기설비 전원의 전력품질 측정 및 분석

방선배, 배석명, 김기현, 이근호

Measurement and Analysis of Power Quality on Elevator Equipments

Sun-Bae Bang, Seok-Myung Bae, Gi-Hyun Kim, Kun-Ho Lee
Electrical Safety Research Institute(KESCO)

Abstract - 본 논문은 대단위 아파트를 주 대상으로 서울 7개소, 경기도 7개소, 강원도 10개소, 충청도 6개소, 총 30개소에 대한 승강기설비 전원품질을 측정하고 역률 변화, 고조파, 전압변동, 전압강하 등을 분석하였다. 분석 결과 승강기설비 제어반 인입구에서의 실제역률(TPF)과 기본역률(DPF)의 차이가 고조파로 인하여 크게 나타나는 것을 확인하였고, 역률의 변화는 전원측(변압기)에 가까워질수록 작아지는 것을 확인하였다. 전압 종합왜형률(VTHD)은 안정적이지만 전류 종합왜형률(CTHD)은 기준치 이상의 매우 높은 수치가 발생되었고, 전원측(변압기)에 가까워질수록 작아지는 것을 확인하였다. 승강기설비 제어반 인입구에서의 전압강하율은 기준치 5%를 상회하고 있으나, 전압변동률은 최대 5.1%로서 기준치 10% 범위에 포함되었다.

동안 측정하였다. 측정 대상은 대단위 아파트를 주로 하였으며, 서울 7개소, 경기 7개소, 강원 10개소, 충청 6개소, 총 30개소를 측정하였다. 측정 위치는 그림 1과 같이 아파트 옥상의 승강기실 내 승강기 제어반 인입구(①)와 아파트 전기실 내 동력배전반의 간선차단기 2차측(②), 그리고 동력용 변압기 2차측(③)에서 측정하였다. 본 논문에서는 편의상 ①의 장소를 EL로 표기하였고, ②의 장소는 LV, ③의 장소는 TR로 표기하였다.

1. 서 론

건물의 고층화 및 대형화에 따라 승강기설비는 수직 교통수단으로서 중요성이 증가하고 국민 생활의 필수적 교통수단이 되었다[1]. 또한, 인터넷제어기술의 보급, 기술향상과 제어방식의 변화, 고효율 전자식 조명설비의 사용 등으로 승강기설비의 전력소비 특성은 많은 변화를 가져왔다[2].

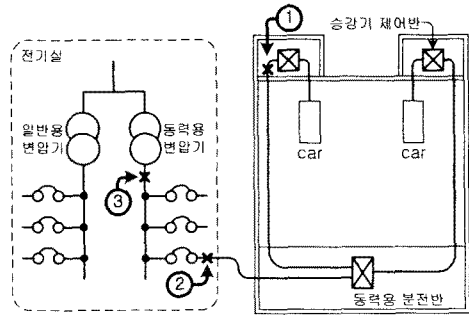


그림 1 승강기설비의 전원품질 측정 위치

최근에는 승강기설비의 증가와 전력소비 특성의 변화로 인하여 원인불명의 사고가 증가되고 있어 정부에서는 승강기 감시기준에 유럽의 승강기 안전기준 EN81-1을 전면적으로 도입하여 강화하였고, 승강기 안전 부품에 대한 안전인증 제도 및 KS B EN 12015, KS B EN 12016에 부합하는 시스템 인증 제도를 도입하고 있는 상태이다[3]. 또한, 승강기설비의 안전사고에 대하여 객관적이고 공정한 조사·파정을 수행하기 위하여 산업자원부에 사고조사관정위원회를 설치하여 운영하고 있다[3]. 이와 같이 승강기설비와 관련된 기준 및 제도는 매우 강화되고 있는 실정이나, 그에 따른 세부 적용을 위한 이론적 배경, 승강기설비 설치 환경에 대한 정밀조사, 전원의 품질조사 등이 미흡하여 문제점 해결 및 현장 적용에 많은 어려움이 있다[4][5][6].

승강기 제어반 인입구에서 측정된 자료는 일반적으로 승강기 1대의 전원품질에 대한 자료이고, 간선차단기 2차측에서 측정된 자료는 아파트의 1개동 즉, 승강기 2-3대의 전원품질에 대한 자료이다. 또한, 동력용 변압기 2차측에서 측정된 자료는 측정기간(6월, 7월)의 특성상 냉·난방설비가 대부분 제외된 동력설비(급수설비, 오수정화설비, 보안등)와 승강기설비와 관련된 전원품질 자료를 할 수 있다[2].

측정시간은 순시(snapshot)와 1일(24시간)로 나누어 측정하였으며, 승강기 제어반 인입구에서의 순시측정은 승강기설비가 상승 또는 하강시 정상 전류가 발생하는 시점에서 측정하였다.

승강기 제어반 인입구에서 순시 측정된 자료는 총 17개소에 대한 자료이며, 1일(24시간) 측정된 자료는 각각의 측정위치에서 10개소씩 측정된 자료이다.

따라서 본 논문에서는 승강기설비 전원의 역률변화, 고조파, 전압변동, 전압강하 등을 측정하고 전원품질에 대한 경향을 분석하여 변화되는 승강기설비의 전기환경을 파악하고 기준 및 제도 적용과 현장 적용에 도움이 되도록 하였다. 또한, 본 논문은 승강기설비의 오동작 등을 예방할 수 있는 방지대책 마련을 위한 기본 자료로 활용할 수 있다.

2.1 전력품질 측정 및 분석

2. 본 론

2.1 측정개요

승강기설비 전원의 전력 품질을 측정하기 위하여 BMI 3030을 사용하였으며, 측정기간은 2005년 6월, 7월 2개월

2.1.1 역률 측정 및 분석

17개소 승강기 제어반 인입구에서 승강기설비가 정상 동작(상승 또는 하강)할 때 순시 측정된 실제역률(True Power Factor)과 기본역률(Displacement Power Factor)의 측정값은 그림 2와 같이 나타낼 수 있으며, 기본역률과 실제역률을 계산하여 평균값을 표 1과 같이 정리하였다. 실제역률 78%와 기본역률 94%의 차이 16%는 승강기설비에서 발생하는 고조파로 인한 것이며 종합왜형률

과 역률과의 관계식 $PF = \cos\theta_1 / \sqrt{1 + (THD)^2}$ 에 따라 계산할 수 있다.

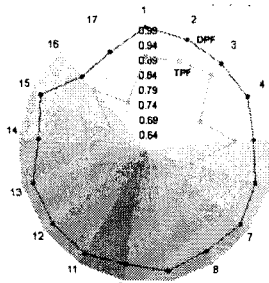
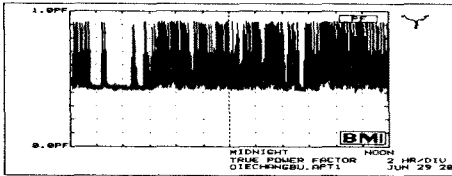


그림 2 TPF와 DPF 순시치

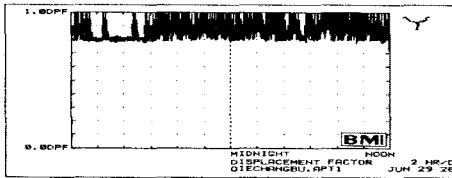
표 1 TPF와 DPF의 평균

항목	TPF	DPF
평균	0.78	0.94
차이	0.16	

그림 3은 승강기 제어반 인입구에서 1일간(24시간) 측정된 실제역률과 기본역률의 예로서, 승강기설비의 기동/정지에 따라 역률이 최대치 또는 최소치로 변하고 있음을 보여주고 있다.



(a) 실제역률의 측정 예



(b) 기본역률의 측정 예

그림 3 실제역률과 기본역률의 1일 측정 예

그러나 승강기설비와 동일한 전원을 사용하는 냉·난방 설비, 급수설비, 오수정화설비, 보안등설비 등의 동작에 따른 전기환경의 변화 등으로 인하여 그림 4와 같이 순간적으로 역률의 최소치가 매우 낮아지는 부분이 있으며, 따라서 그림 2의 최소값이 낮아지는 경향이 있다.

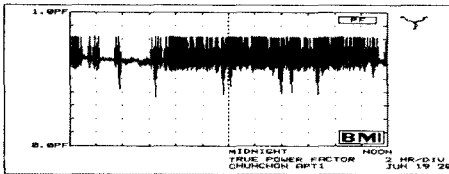


그림 4 역률의 최소값 감소 예

승강기 제어반 인입구(EL) 10개소, 동력배전반 간선 차단기 2차측(LV) 10개소, 동력용 변압기 2차측(TR) 10개소에서 측정된 실제역률과 기본역률의 최대값과 최소값의 평균치를 구하여 정리하면 표 2와 같으며, 그림 5는 표 2의 변화곡선 그래프를 나타낸 것이다.

표 2 측정위치에 따른 역률의 변화

	EL	LV	TR
TPF_{max}	0.89	0.94	0.99
TPF_{min}	0.48	0.72	0.75
DPF_{max}	1.00	0.99	1.00
DPF_{min}	0.73	0.85	0.85

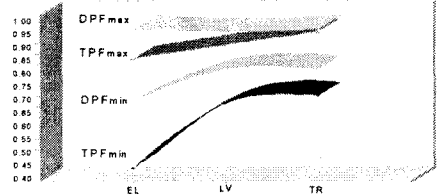


그림 5 측정위치에 따른 역률의 변화 곡선

승강기 제어반 인입구에서의 실제역률의 최대값(89%), 최소값(48%)과 기본역률의 최소값(73%)이 가장 낮은 값을 나타내고 있으며, 전원측(변압기)에 가까워질수록 실제역률의 최대값, 최소값과 기본역률의 최소값이 상승하는 것을 알 수 있다. 또한 승강기 제어반 인입구에서 최대값과 최소값의 역률 변화가 가장 크고 전원측(변압기)에 가까워질수록 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

2.1.2 고조파 측정 및 분석

가. 전압·전류 고조파 스펙트럼 측정 및 분석

그림 6은 승강기설비 전원의 전류 전압 파형을 순시(Snapshot) 측정한 것으로, 3상 정류회로가 포함되어 제 5차, 7차 전류고조파를 많이 발생하는 인버터기 전원의 전형적인 파형 형태를 나타낸다.

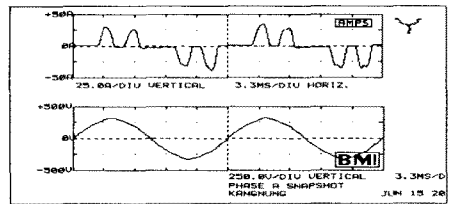


그림 6 승강기설비 전원의 전류전압 파형 예

17개 장소의 승강기 제어반 인입구에서 순시 측정된 전압·전류고조파 스펙트럼 상위값 6개의 평균값을 정리하여 표 3에 나타내었다.

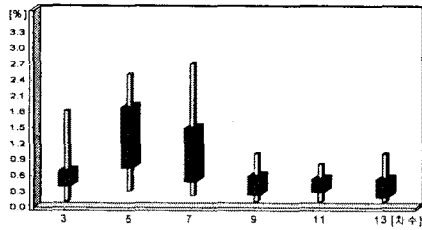
표 3 전압·전류 고조파 스펙트럼

Order	3rd	5th	7th	9th	11th	13th
Voltage Spectrum(%)	0.6	1.4	1.0	0.4	0.4	0.4
Current Spectrum(%)	8.0	52.2	33.7	2.4	12.3	7.6

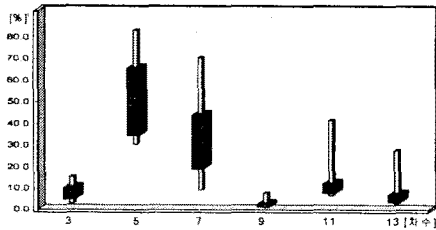
제5차 전압고조파가 1.4%, 제7차 전압고조파가 1.0%로서 전압고조파는 전반적으로 안정된 수준을 나타내고 있으나, 제5차 전류고조파가 52.2%, 제7차 전류고조파가 33.8%, 제11차 전류고조파가 12.3%로서 전류고조파는 기준치 이상의 높은 수치를 나타내고 있고, 제5차 전류고조파가 가장 많이 발생되고 있음을 알 수 있다. 이러한 제5차 전류고조파의 발생량은 주위에 설치된 역률개선용 콘덴서의 과열 및 소손사고를 일으킬 수 있다[7].

그림 7은 17개 장소의 승강기 제어반 인입구에서 순시 측정된 전압·전류고조파 스펙트럼 자료를 이용하여 Box

Plot으로 표시한 것이다.



(a) 전압 고조파 스펙트럼 Box Plot



(b) 전류 고조파 스펙트럼 Box Plot

그림 7 전압·전류 고조파 스펙트럼 Box Plot

제5차 전압·전류 고조파가 가장 크고 표준편차도 가장 큰 것을 알 수 있으며, 그 다음은 제7차 전압·전류 고조파임을 알 수 있다. 제5차, 7차 전압·전류 고조파에 대한 기본적 분석 자료를 정리하면 표 4와 같다.

표 4 제5차, 7차 전압·전류 고조파에 대한 Box Plot 분석

항 목	평균값	Q1	Q2	Q3	표준편차
제5차 전압고조파	1.40	0.75	1.40	1.90	0.73
제7차 전압고조파	1.00	0.50	1.00	1.50	0.74
제5차 전류고조파	52.0	34.8	54.6	65.7	16.57
제7차 전류고조파	33.7	19.3	33.1	44.2	16.71

나. 전압·전류 파고율, 파형률 측정 및 분석

고조파가 발생하면 전기설비에서 소음과 열이 발생하고, 손실이 증가하고 기기의 수명이 저하된다[2][7]. 또한, 고조파로 인한 파형 왜곡의 정도에 따라 소음, 열의 발생이 다르고, 그에 따른 손실과 기기수명에 미치는 영향이 다르다[12][13]. 파형 왜곡의 정도를 알아보기 위하여 승강기 제어반 인입구 17개소에서 측정한 파고율과 파형률의 평균값을 표 5에 나타내었다.

표 5 전압의 1일 측정치

항 목	전압	전류
파 고 율	1.45	2.02
파 형 률	1.10	1.33

전압의 파고율과 파형률은 1.45와 1.10이므로 비교적 안정적이지만 전류의 파고율과 파형률은 2.02와 1.33이므로 매우 높은 수치를 나타내고 있다.

다. 전압·전류 종합 왜형률 측정 및 분석

일반적으로 고조파 발생의 정도를 나타내기 위하여 전압·전류 종합 왜형률(THD)를 측정한다. 승강기 제어반 인입구 17개 장소에서 순시 측정된 전압·전류 종합왜형률(THD)과 평균값을 정리하여 표 6에 나타내었다.

표 6 전압·전류 종합왜형률(THD)

장소	A	B	C	D	E	F	G	H	I
전압	1.4	1.3	2.0	2.6	0.9	1.9	2.9	3.0	4.1
전류	34.5	43.0	32.7	68.1	38.5	80.4	79.3	96.2	75.1

장소	J	K	L	M	N	O	P	Q	평균
전압	1.3	1.3	3.3	2.6	2.4	2.8	3.1	2.5	2.3
전류	36.9	122.4	82.2	68.3	58.0	90.7	82.3	62.5	67.7

승강기설비가 정상 동작되는 상태에서 발생하는 전압 종합왜형률은 2.3%로서 안정적이지만 전류 종합왜형률은 67.7%로서 IEC, IEEE 기준치를 상회하고 있다[8]. 이것은 [5],[6]과 비교하면 14.0% 정도 낮은 값으로서 측정 환경에 따라 측정값의 변화가 크다는 것을 알 수 있다.

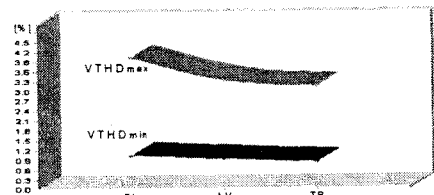
승강기 제어반 인입구(EL) 10개소, 배전반 간선차단기 2차측(LV) 10개소, 동력용 변압기 2차측(TR) 10개소에서 1일간(24시간) 측정된 자료의 평균값을 정리하면 표 7과 같다.

표 7 전압·전류 종합 왜형률(THD)의 1일 측정 평균값

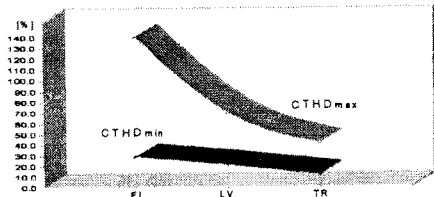
	Voltage		Current	
	Max	Min	Max	Min
EL	4.0	1.0	139.9	28.2
LV	3.3	0.9	69.6	20.4
TR	3.1	0.8	40.9	10.7

전압 종합왜형률은 동력용 변압기 2차측에서 3.1%로서 한국전력공사의 기준치 3.0%에 근접하고 있으나, 전류 종합왜형률의 최대치는 139.9%, 69.6%, 40.9%로서 IEC, IEEE 기준치와 비교하여 매우 높은 수치를 나타내고 있다[8].

그림 8은 측정 위치에 따른 표 7의 전압·전류 종합 왜형률의 최대값과 최소값을 그래프화한 것이다.



(a) 전압 종합왜형률(THD) 변화곡선



(b) 전류 종합왜형률(THD) 변화곡선

그림 8 측정위치에 따른 전압·전류 종합왜형률 변화곡선

승강기설 제어반 인입구 즉, 부하에 가까운 장소에서 전압·전류 종합왜형률 값이 가장 크고, 최대값과 최소값의 차이도 가장 큰 것으로 나타나고 있으며, 전원측 즉, 동력용 변압기에 가까워질수록 최대값과 최소값이 감소하고 차이도 작아지는 것을 알 수 있다.

2.1.3 전압강하, 전압변동 측정 및 분석

아파트의 승강기설비는 각 건물의 옥상에 설치되므로 단지가 대규모일 경우에는 공급되는 동력변압기와 승강기설비 사이의 거리가 매우 길고, 승강기설비 특성상 기동/정지가 반복적으로 행하여지므로 기동/정지에 따른 전압변동(강하)이 크게 발생할 수 있다[1][4].

전기설비에 안정된 전원을 공급하고 신뢰도 향상을 위하여 내선규정에서는 저압 배선중 간선의 전압강하를 표준전압의 3% 이하로 유지하도록 하고 있으며, 간선의 길이가 60m를 초과하고 120m 이하인 경우에는 5% 이하로 유지하도록 규정하고 있다[1]. 또한 전기사업법에서는 전기설비 전원전압변동율을 10% 이하로 유지되도록 규정하고 있다[10][11].

또한, 승강기설비의 간선용량 산정 방식은 허용전류에 의한 방식, 허용전압강하에 의한 방식으로 산정된 값 중에서 큰 값을 전선을 선정하는 방식을 사용하고 있으며, 간선의 굵기를 정확히 선정하기 위해서는 간선 계통의 전압강하, 포설조건별 온도 보정계수 적용 및 간선의 종류에 따른 온도변화, 표피효과, 근접효과를 고려하여 결정하여야 한다[1][9].

승강기 제어반 인입구(EL) 10개소, 배전반 간선차단기 2차측(LV) 10개소, 동력용 변압기 2차측(TR) 10개소에서 1일간(24시간) 측정된 전압의 최대값, 최소값의 평균값과 전압강하율, 전압변동율을 정리하면 표 8과 같다.

표 8 측정위치에 따른 전압 및 전압강하율, 전압변동률

항목	EL	LV	TR
Max[V]	226.1(2.8)	223.5(1.6)	222.4(1.1)
Min[V]	212.8(3.3)	213.7(2.9)	214.0(2.7)
전압강하율[%]	6.25	4.59	3.93

()는 전압변동률[%]

전압의 최대값과 최소값의 차이가 승강기 제어반 인입구에서 13.3V로서 전압강하율 6.25%를 나타내고 있어 전압강하율 기준치 5%를 초과하고 있으며, 전압변동율은 모든 위치에서 10% 범위에 포함되고 있음을 알 수 있다. [1]의 측정값과 비교하면 전압강하율이 0.4% 차이가 있어 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 표 8의 자료를 그래프화한 것으로서 최대값과 최소값의 차이가 전원측(변압기)에 가까워질수록 변화가 작고, 전압강하율과 전압변동률의 변화가 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

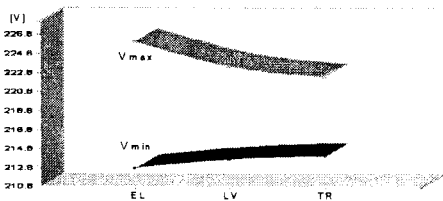


그림 9 측정위치에 따른 전압 변화곡선

3. 결 론

본 논문은 대단위 아파트를 주 대상으로 승강기설비 전원의 전력품질을 측정하고 역률변화, 고조파, 전압변동, 전압강하 등을 분석하였다.

승강기설비의 실제역률(TPF)은 78%이고 기본역률(DPF)은 94%로 실제역률과 기본역률의 차이가 16%로서 많은 고조파가 발생되고 있음을 알 수 있으며, 실제역률의 기준치 90%보다 12% 부족하였다. 또한 1일간(24시간) 측정결과 실제역률의 최대값이 89%, 최소값이 48%이고, 기본역률의 최대값이 100%, 최소값이 73%로 최대값과 최소값의 변화가 크며, 역률은 전원측(변압기)

에 가까워질수록 변동이 작고 안정적이며 상승한다는 것을 알았다.

승강기설비 전원의 전압 종합해형률은 안정적이지만, 순시 측정된 전류 종합해형률이 67.7%이고, 1일간(24시간) 측정된 전류 종합해형률의 최대값이 139.9%, 최소값이 28.2%로서 기준치를 상회하고 있으며, 전원측(변압기)에 가까워질수록 전압·전류 종합해형률의 값이 작아지는 것을 알았다. 또한, 전압의 파고율과 파형률은 1.45와 1.10으로서 비교적 안정적이지만 전류의 파고율과 파형률은 2.02와 1.33으로서 매우 높은 수치가 나타나고 있음을 알았다.

승강기 제어반 인입구에서 전압의 최대값과 최소값의 차이가 13.3V로서 전압강하율 6.25%를 나타내고 있어 전압강하율 기준치 5%를 초과하고 있으며, 전압변동율은 모든 측정 위치에서 10% 범위에 포함되고 있어 적정하게 운영되고 있음을 알았다.

본 논문은 승강기설비 전원의 전력소비 특성 변화에 따른 전력품질에 대한 경향을 분석하여 변화되는 승강기설비 기준 및 제도 적용과 현장 적용에 도움이 되고자 하였다. 또한 승강기설비의 오동작 등을 예방할 수 있는 방지대책 마련을 위한 기본 자료로 활용하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이기홍, 이창근, "승강기 부하특성 조사 연구", 대한주택공사 주택연구소, 1996
- [2] 이기홍, 성세진, "아파트의 동력변압기 용량 최적화 연구", 한국조명전기설비학회지, 제15권 1호, pp.78-83, 2001
- [3] "http://www.kesi.or.kr", 한국승강기안전관리원
- [4] 정지열, "고중주택용 승강기의 가속전류 및 전압강하 실측 분석", 한국조명전기설비학회지, 제2권 1호, pp.88-89, 1988
- [5] 이기홍, 추성두, "아파트에서의 고조파 측정과 실태", 한국조명전기설비학회지, 제16권 2호, pp.14-20, 2002
- [6] 이기홍, 성세진, "아파트 전기설비에서의 고조파 실태 분석 연구", 한국조명전기설비학회지, 제15권 2호, pp.105-110, 2001
- [7] 고희석, 김성삼, 이현부, 김주찬, 류희서, "건축물 전기설비의 고조파에 관한 사례 연구", 한국조명전기설비학회 학술대회 논문집, pp.283-288, 2003
- [8] 김인수, 임상국, "고조파 및 품질관련 규제기준", 한국조명전기설비학회지, 제16권 2호, pp.95-105, 2002
- [9] 최홍규, 고영관, 조계순, "전압강하를 고려한 저압간선의 설계 알고리즘", 한국조명전기설비학회지, 제16권 3호, pp.84-92, 2002
- [10] "내선규정", 사단법인 대한전기협회, 제120절, 2004
- [11] "전기사업법 시행규칙", 제18조
- [12] Ewald F. Fuchs, W. Mack Grady, "Measurement of Eddy Current Loss Coefficient, Derating of Single Phase Transformers, and Comparison with K Factor Approach", IEEE Transactions, Vol.15 No.1, 2000
- [13] Deniz Yildirim, Ewald F. Fuchs, "Measured Transformer Derating and Comparison with Harmonic Loss Factor Approach", IEEE Transactions, Vol.15 No.1, 2000