

전력품질향상기기의 성능평가방안

• 김재언, 민준기, 조성현, 이동구, 김창순, 권 훈 / 충북대학교

서 론

본 고에서는 현재 개발 및 필드테스트되고 있는 전력품질 보상기기인 STATCOM(Static Compensator), DVR(Dynamic Voltage Restorer), 고속전력절체스위치 SSTS(Solid State Transfer Switch)들이 국내 22.9kV급 배전계통에 도입되어 운용될 경우, 배전계통의 전력품질 상의 외란, 즉 voltage sag, voltage swell, interruption 등에 대해서도 부하기기가 문제없이 잘 동작할 수 있어야 하는 전력품질향상기기의 성능(전력 품질향상기준)에 대한 평가방법에 대하여 기술하고자 한다. 먼저, 전력품질향상기기인 DVR, D-STATCOM, SSTS들이 만족해야할 전력품질향상기준을 국내 전력 품질 실태를 고려하여 제시하고, 또한, 이들 전력품질 향상기기에 대한 국내 배전계통적용에 적합한 성능평가방안을 제안/소개하기로 한다.

본 론

가. DVR 전력품질향상기준

DVR은 배전계통 전력품질문제의 90%이상을 차지하는 Voltage sag 및 swell을 보상할 수 있는 전력품질 향상기기이다. 품질보상의 정도는 해당 배전계통에서 발생하는 sag 및 swell 특성과 대상 부하기기의 전압민감도에 의하여 좌우된다. 이와 같이 배전계통에서 Voltage sag 및 swell이 발생하였을 때, 수용가의 부하기기가 문제없이 잘 동작될 수 있도록 보상해야하는

전력품질보상기기(DVR)의 능력정도를 전력품질향상 기준이라고 정의의 하고, 본 절에서는 우리나라 실정에 적합한 DVR의 전력품질향상기준을 분석/제시하기로 한다.

1) 국내 배전계통에서 발생하는 Voltage sag 및 swell의 특성

일반적으로 국내 전력계통에서 사고차단에 요하는 시간은 고장발생 후 5~8 cycles 정도(계전기동작에 2~3 cycles, 차단기동작에 3~5 cycles이 필요함. KSC 교류차단기규격에서 배전급차단기 5 cycles, 송전급 차단기 3 cycles로 되어 있음)이며, 제폐로의 경우는 송전계통에서는 0.3초~0.5초, 배전계통에서는 0.5초~2초로 설정/운용 하고 있다. 배전계통의 Recloser는 순시동작(A곡선 2.7~9 cycles)과 지연동작(B,C,D곡선)으로 나누어지며, 사고종류(선간단락, 지락고장)와 전류크기에 따라 다르게 설정될 수 있다. 따라서, 이론상 배전계통에서 일어날 수 있는 Voltage sag의 지속시간은 송전계통 사고시에는 5~8 cycles 정도에서 0.5초, 배전계통 사고시에는 5~8 cycles 정도가 된다.

한편, 국내의 경우 1985년11월20일 ~ 1986년7월22일 기간에 걸쳐 이루어진 순간전압강하(Voltage sag)에 대한 측정조사분석결과를 정리하면 다음의 표 2.1과 같다. 이 표에서 보면, 전압강하폭 60%미만 지속시간 0.64초(38.4 cycles) 까지의 범위에 해당하는 voltage sag 발생건수가 전체의 97%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

표 2.1 국내배전계통에서 발생하는 Voltage sag의 특성(1985-86)

지속 시간 (sec) 전압 강하폭(%)	지속 시간 (sec)									
	0.01이하	0.011 ~0.020	0.021 ~0.040	0.041 ~0.080	0.081 ~0.160	0.161 ~0.320	0.321 ~0.640	0.641 ~1.280	1.281 ~2.560	합계
10~19.9	1.3 (4)	1.3 (4)	7.9 (24)	10.6 (32)	12.9 (39)	7.6 (23)	5.0 (15)			46.6 (141)
20~29.9	0.3 (1)	0.3 (1)	2.0 (6)	1.7 (5)	7.9 (24)	3.3 (10)	4.3 (13)		0.3(1) (1)	20.1 (61)
30~39.9		0.3 (1)	2.3 (7)	1.0 (3)	5.3 (16)	3.6 (11)	3.3 (10)			15.8 (48)
40~49.9			0.3 (1)	0.3 (1)	2.6 (8)	3.0 (9)	1.3 (4)			7.6 (23)
50~59.9				1.0 (3)	1.0 (3)	1.7 (5)	3.6 (11)			7.2 (22)
60~69.9					0.6 (2)	0.3 (1)				1.0 (3)
70~79.9					0.3 (1)					0.3 (1)
80~100					0.6 (2)	0.6 (2)				1.3 (4)
합계	1.7 (5)	2.0 (6)	12.5 (38)	14.5 (44)	31.4 (95)	20.1 (61)	17.5 (53)		0.3 (1)	100 (303)

*주 : 303개의 건수에 대한 백분율(%) 수치임. ()내는 건수
 기간: 1985년 11월20일 1986년 7월22일 (울산S/S MTr 8호 22.9kV-Y모선): 142건
 기간: 1986년 7월28일 1986년 10월8일 (용인S/S MTr 2호 22.9kV-Y모선): 161건

2) 수용가 부하기기의 전압민감도

수용가 부하기기의 전압에 대한 동작특성을 나타내는 전압민감도곡선으로서 CBEMA, ITI, SEMI 등이 있으나, 최근에 ITI곡선이 기준으로 인정되고 있는 상황이다. 이곡선의 특징은 구간별 직선화가 되어 있어서 적용하기가 편하다. ITI 곡선의 구간별 직선화내용은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 3ms ~ 0.5sec 까지 120%,
- 0.5sec이후부터 110%,
- 20ms에서 0%/40%/70%,
- 20ms ~ 0.5sec까지 70%,
- 0.5sec ~ 10sec까지 80%,
- 10sec이후부터 90%

3) 국내실정에 적합한 DVR의 PQ향상기준

표 2.1의 국내배전계통에서 발생하는 Voltage sag 특성에서 그림 2.1의 부하기기의 안전동작영역을 벗어나

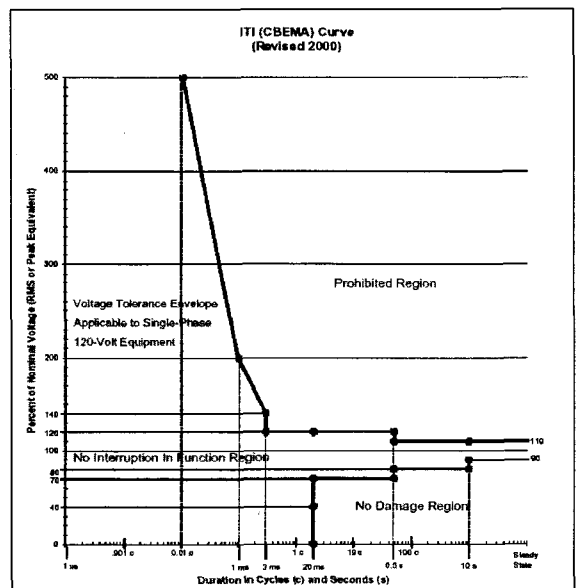


그림 21 ITI Curve

표 2.2 Voltage sag특성 ('85-6)과 ITIC상의 불안정동작구간

지속 시간 (sec) 전압 강하폭(%)	지속 시간 (sec)									합계
	0.01이하	0.011 ~0.020	0.021 ~0.040	0.041 ~0.080	0.081 ~0.160	0.161 ~0.320	0.321 ~0.640	0.641 ~1.280	1.281 ~2.560	
10~19.9	1.3 (4)	1.3 (4)	7.9 (24)	10.6 (32)	12.9 (39)	7.6 (23)	5.0 (15)			46.6(141) (141)
20~29.9	0.3 (1)	0.3 (1)	2.0 (6)	1.7 (5)	7.9 (24)	3.3 (10)	4.3 (13)		0.3(1) (1)	20.1(61) (61)
30~39.9		0.3 (1)	2.3 (7)	1.0 (3)	5.3 (16)	3.6 (11)	3.3 (10)			15.8(48) (48)
40~49.9			0.3 (1)	0.3 (1)	2.6 (8)	3.0 (9)	1.3 (4)			7.6(23) (23)
50~59.9				1.0 (3)	1.0 (3)	1.7 (5)	3.6 (11)			7.2(22) (22)
60~69.9					0.6 (2)	0.3 (1)				1.0(3) (3)
70~79.9					0.3 (1)					0.3(1) (1)
80~100					0.6 (2)	0.6 (2)				1.3(4) (4)
합계	1.7 (5)	2.0 (6)	12.5 (38)	14.5 (44)	31.4 (95)	20.1 (61)	17.5 (53)		0.3(1) (1)	100(303) (303)

는 부분을 표시하면 표 2.2와 같고, 이를 ITI Curve상에 나타내면 그림 2.2와 같다.

따라서, 이 벗어나는 범위의 Voltage sag시 DVR이 동작하도록 기준을 설정하면 된다. 이 기준을 정리하면 다음과 같다.

- 동작 전압크기 : 40%이상 90%이하, 110% 초과 (반주기rms 기준)
- 동작 시간 : 반주기이내동작
- 최대전압보상한계: +50%, -20%
- 보상최대지속시간: 0.65 sec
- PQ보장범위 : 전압크기 90%이상110%이하, 불평형율3%이내

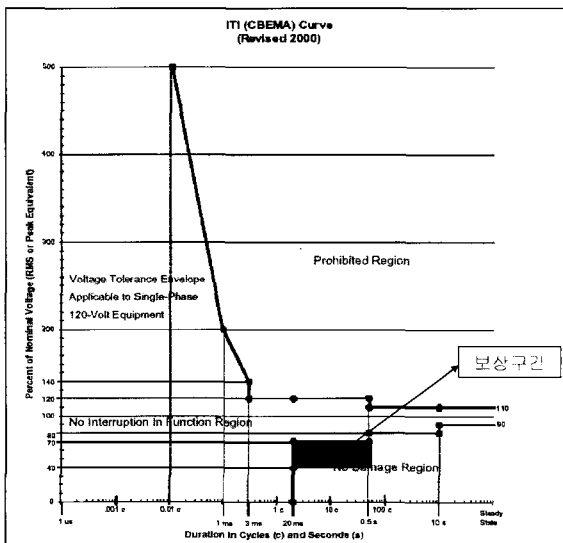


그림 2.2 ITI Curve상에서의 국내 Voltage sag보상구간

나. D-STATCOM 전력품질향상기준

D-STATCOM은 역류보상과 플리커에 대한 상별 전

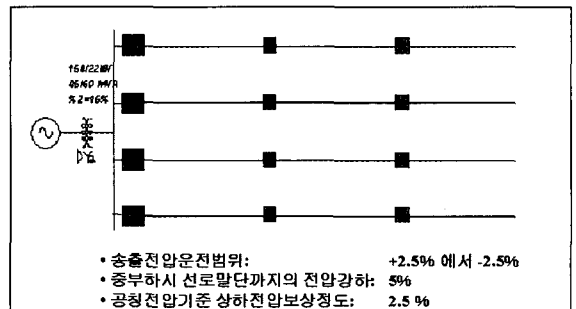


그림 2.3 국내 배전계통 전압조정상태

압보상기능을 갖는 것으로서 다음과 같은 배전계통의 운용현황에 근거하여 그 PQ 향상기준을 정하여야 한다.

그림 2.3에서와 같이 국내 배전계통의 전압조정실태를 살펴보면, 변전소 인출구의 송출전압은 공칭전압기준하여 상하로 2.5% 범위에서 조정되고 있고, 중부하시 선로말단까지의 전압강하는 5%가 표준으로 되어있다. 한편, 플리커에 대한 국내기준(한전영업업무처리 지침 제4절, 한전설계기준 0050)은 예측계산시 허용기준치가 2.5%이하로 되어 있다. 따라서, 평상시 D-STATCOM의 전압보상범위는 상하로 2.5%로 정하는 것이 권장된다. 그리고, 전압불평형에 대한 보상은 3% 이내(전기설비기준 291조 2항 별표 68 전압불평형 허용한도)로 하는 것으로 한다. 한편 역률의 경우는 90%(전기공급약관 41조)를 한계로 하는 것으로 한다. 그러므로, D-STATCOM의 PQ향상기준은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- 선로전압보상동작기준 : 상시 공칭전압기준 상하 2.5% 이내
- 플리커보상기준 : 예측계산시 최대전압변동치 2.5% 이하

- 불평형보상기준 : 3% 이내
- 역률보상기준 : 90% 이상

다. SSTS 전력품질향상기준

SSTS는 상용예비선수전방식의 ALTS를 대체하는 것으로 이는 순간정전시 선로를 절체하는 기능을 갖는다. 따라서, SSTS의 PQ향상기준은 표 2.3 및 그림 2.4

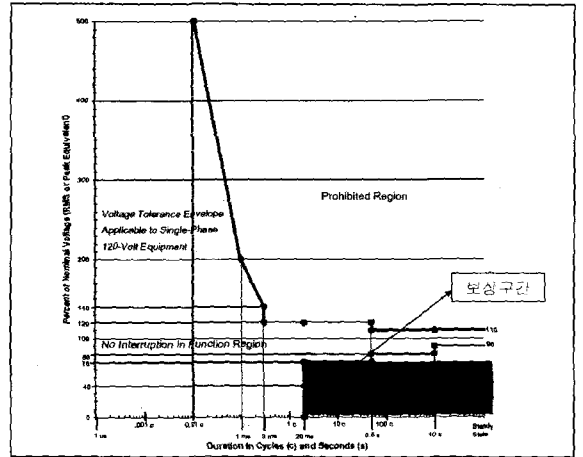


그림 2.4 ITI curve상에서의 SSTS 동작범위설정

표 2.3 Interruption특성('85-6)과 ITIC상의 불안정동작구간

지속 시간 (sec) 전압 강하폭(%)	0.01이하	0.011	0.021	0.041	0.081	0.161	0.321	0.641	1.281	합계
		~0.020	~0.040	~0.080	~0.160	~0.320	~0.640	~1.280	~2.560	
10~19.9	1.3 (4)	1.3 (4)	7.9 (24)	10.6 (32)	12.9 (39)	7.6 (23)	5.0 (15)			46.6 (141)
20~29.9	0.3 (1)	0.3 (1)	2.0 (6)	1.7 (5)	7.9 (24)	3.3 (10)	4.3 (13)		0.3 (1)	20.1 (61)
30~39.9		0.3 (1)	2.3 (7)	1.0 (3)	5.3 (16)	3.6 (11)	3.3 (10)			15.8 (48)
40~49.9			0.3 (1)	0.3 (1)	2.6 (8)	3.0 (9)	1.3 (4)			7.6 (23)
50~59.9				1.0 (3)	1.0 (3)	1.7 (5)	3.6 (11)			7.2 (22)
60~69.9					0.6 (2)	0.3 (1)				1.0 (3)
70~79.9					0.3 (1)					0.3 (1)
80~100					0.6 (2)	0.6 (2)				1.3 (4)
합계	1.7 (5)	2.0 (6)	12.5 (38)	14.5 (44)	31.4 (95)	20.1 (61)	17.5 (53)		0.3 (1)	100 (303)

표 2.4 PQ항상기기 및 분산전원의 시험평가 방안

운전상태		PQ항상기기	SSTS	DVR	D-STATCOM
정상 상태	2.5%상시전압 변동		No response	No response	1분이내 2.5% 전압보상
	역률90% 이하변동		No response	No response	1분이내 역률90%이상
비정상 상태	불평형(3-5%)		No response	1초이내 불평형률 3%이내	1초이내 불평형률 3%이내
	평형/불평형 Sag (20ms: 0%/40%/70%, 20ms - 0.5sec: 70%, 0.5sec - 10sec: 80%, 10sec이후: 90%)		No response	반주기rms감지, 반주기내동작 최소전압보상한도: 90-110% 보상최대지속시간: 10 cycles(0.17sec) 불평형률: 3%이내	No response
	평형/불평형 Swell (8.3ms -0.5sec: 120%, 0.5sec이후부터 110%)		No response	반주기rms감지, 반주기내동작 최대전압보상한도: 90-110% 보상최대지속시간: 10 cycles(0.17sec) 불평형률: 3%이내	No response
	Flicker발생 (0.1초주기 2.5%)		No response	No response	2.5%전압보상
비상상태 (70%미만 20ms 초과)			반주기rms감지, 반주기내동작 동기절체	No response	No response

에서의 같이 ITI curve 상에서 전압의 크기가 70 %미만인 상태가 20ms 이상 지속되는 경우에 동작하도록 하기와 같이 설정하는 타당하다.

- 동작조건 : 크기 70%미만(반주기 rms기준),반주기가내동작
- PQ보장한도 : 연계배전계통 전력 품질

라. 전력품질(PQ)항상기기의 성능평가 방안

PQ항상기기의 시험평가 방안으로서는 그 시험평가 대상을 크게 3가지로 나누어 수행하는 것으로 한다. 첫째, 정상상태에서는 D-STATCOM 및 분산전원에 대하여 2.5% 상시전압변동과 역률변동시험을 수행하여 그 성능 및 이상유무를 체크한다. 둘째, 비정상상태에서는 불평형, 불평형 Sag 및 Swell, 플리커시험을 수행하여 하기의 표에 있는 내용을 기준으로 하여 성능평가를 수행한다. 비상상태의 경우는 전압크기 70%이하 및 지속시간 20ms이상의 sag 및 정전에 대하여 SSTS의 동작성능을 시험평가하도록 한다.

이를 기준으로 한 성능평가시험장의 구성도를 하기에 제시한다.

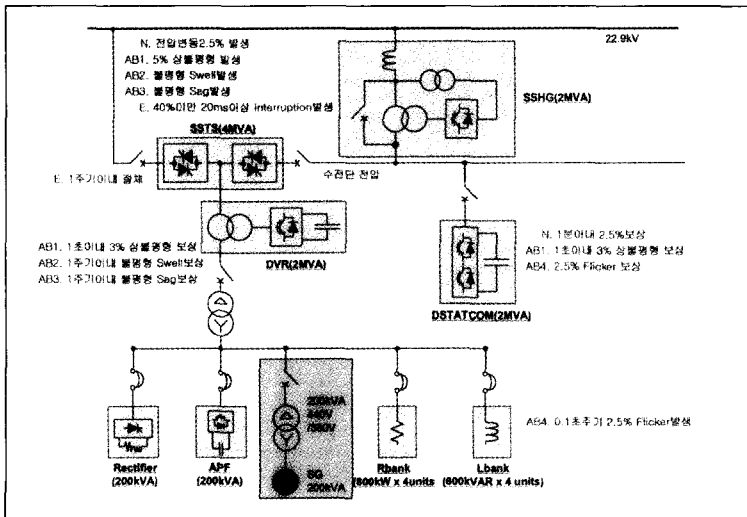


그림 25 PQ항상기기 및 분산전원의 시험평가 개념도 (N: 정상상태, AB: 비정상상태, E: 비상상태)