

전압품질이 저압 전기기기 운전에 미치는 특성연구

박인덕, 이근준
그린넷파워, 충북과학대학

The study on the characteristics of operating limit of low voltage electric machine under the effects of voltage quality

In-Deok Park, Geun-Joon Lee
GreenNetPower, Chungbuk Provincial College of Science&Technology

Abstract - This paper studies on operating limit curve of low voltage electric machinery with respect to source voltage variation or sag. Also, it discusses electric machine and compensation equipment design methodology based on voltage quality effect assessment technology. Voltage quality standards, such as SEMI47, CBEMA, ITIC curve are regarded to examine the relation between time constants of load and sagging time of sag generator, the load(low voltage electric machinery) study. Voltage sag characteristics of loads, time constant and sag relation voltage-time operating limits are tested and verified.

Technology Industry Council) 곡선으로 규정하고 있다.

1. 서 론

개인용 컴퓨터, 고압 방전등, 반도체 소자의 스위칭을 이용하는 전자장비등 비선형 부하는 고조파 전류를 발생시켜 전압파형왜곡, 과도한 중선선 전류, 측정오차, 오동작이나 일시정지등 많은 고조파 장애를 일으킬 수 있다. 또한, 순간전압강하(Voltage Sags)와 순간정전현상(Interruptions)은 대부분 계통의 고장이나 대용량 전동기의 기동에 의해 발생되어 진다. 따라서, 외부 외란에 의한 이상전압 발생에 따른 전압저하, 고조파의 영향에 배제되었던 대다수 산업현장의 모터, 계전기, 고압방전등, 컴퓨터, 인버터 등 저압 전기기기는 전압품질에 따라 민감하게 동작을 하는 전기장치 및 전기기기 이다 [1~2]. 이렇게 민감한 부하의 전압변동에 따른 저압전기기기의 전압품질의 영향평가에 대해 연구는 수행된 바가 없다. 본 연구는 기존까지 전압변동에 따른 전력품질에 대해 문제가 되지 않았던 전압, 전류의 순간정전(Sag) 발생시 전압품질이 부하의 운전한계에 미치는 특성에 대한 연구를 수행하고자 한다. 따라서 전압품질이 저압전기기기 및 보호제어장치의 설계방법에 전압 변동간 특성 시험, 전압-시간 특성 조사, 전압품질이 저압전기기기 운전한계에 미치는 부하의 운전특성을 결정하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 저압 전기기기의 전압품질시험 시스템

그림 1은 본 연구에 사용된 전압품질시험 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 시스템 구성도는 AVR(Automatic Voltage Regulator), Sag Generator, Load(저압전기기기, 파워컨버터, 개인용 컴퓨터, 고압수은등, 계전기)로 구성 되어있다. Bypass S/W는 AVR의 단락사고시 또는 용량 초과시 안정적인 계통의 전원을 Sag generator에 공급해줌으로써 Sag 시험을 원활하게 하기 위함이다. AVR은 부하 시험을 하는데 있어 Sag generator에 의한 전압변동없이 일정 전압을 공급함으로써 부하에 Sag 발생시 필요한 전압, 전류, 전력분석 데이터를 취득할 수 있다. Sag generator는 부하에 일정시간 Sag를 발생함으로써 부하에 미치는 영향을 측정 할 수 있다. 전압품질의 정도를 나타내는 평가지표로서는 일반적으로 주파수 유지율과 전압유지율 그리고 순시전압저하, 순시전압상승, 고조파왜율, 전압불평형, 순간정전등과 같은 미소외란의 요소들이 고려되고 있다. 국제적인 규격으로 IEEE std [3], SEMI(Semiconductor Equipment and Materials International) F47 등이 있으며, 전원의 정밀 기기에 대한 영향 평가 및 기준설정의 CBEMA(Computer Business Equipment Manufacturers Association) 곡선, ITIC(Information

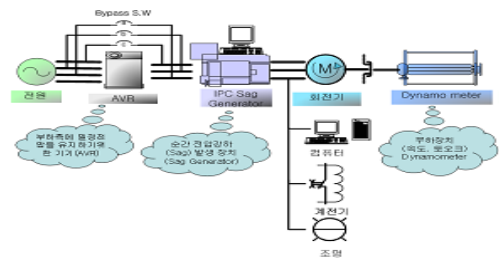


그림 1. 전력품질 부하시험 시스템 구성도

2.1.1 부하시험 종류

순간 전압저하에 따른 저압 전기기기에 대한 저압 기기의 종류를 표 1에 나타내었다. 저압 전기기기의 부하로는 컴퓨터, 일반산업용 저압전동기, 인버터, 컨버터, 고압수은등, 계전기 등 이다.

표 1. 시험부하 종류

설비구분	적용개소	영향
FA기기, OA기기	컴퓨터(P4) projector	10~20% 이상의 전압저하가 0.003~0.02s 계속되면 메모리의 손실, 프로그램 오동작, 송수신의 정지를 초래
전자개폐기	인버터, 컨버터	50%정도 이상의 전압저하가 0.005~0.02s 계속하면 전자개폐기가 동작 전동기 정지를 초래
가변속전동기	일반산업용전동기(0.5 ~ 4 HP)	20% 이상의 전압 저하가 0.005~0.02s 계속하면 전동기 정지를 초래
고압 수은등 (램프)	400 ~1000 [W]	20~30% 이상의 전압 저하가 0.05~1s 이상 계속되면 소등
계전기	수전설비계전기	계전기 동작 정지

2.1.2 부하시험

순간전압 강하를 정량적으로 표현하기 위해서 본 연구에서는 전원측 순간전압강하 특성과 순간전압강하에 의한 기기의 응답 특성시험으로 실제 수용가의 기기들은 제조자나 모델에 따라 표준과 다소 다를 수 있으므로, 더욱 안정성을 보장하기 위해서는, 순간 전압강하에 대한 기기의 특성곡선의 산출이 필요하다.

2.1.1 Voltage-sag energy의 정의

전압강하에너지 E_{vs} 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_{vs} = \int_0^T \left[1 - \left\{ \frac{V(t)}{V_{nom}} \right\} \right]^2 dt \times 100 \quad (1)$$

여기서, $V(t)$ 는 이벤트 동안에 전압의 크기이고, V_{nom} 은 공칭 전압이

다. 전압과 공칭전압은 동일하게 Volt(또는 kV, per unit)로 나타낼 수 있다. 전압 크기가 1/2사이클마다 갱신되는 1사이클 실효치 전압일 때 식(1)는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$E_{vs} = \frac{50}{f_0} \sum_{k=1}^N \left[1 - \left(\frac{U_{rms(1/2)}(k)}{V_{nom}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

여기서 총합은 이벤트의 기간에 대한 것이다.

2.1.2 Voltage-sag energy의 해석

공칭 전압 V_{nom} 에 유효전력 P_0 를 가진 임피던스 부하를 고려해보면 전압이 sag 발생기간 동안 V 만큼 떨어졌을 때의 전력의 감소는 식(3)과 같다.

$$\Delta P = P_0 \left\{ 1 - \left(\frac{V}{V_{nom}} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

식(3)을 기간 T 로 적분하면 식(4)과 같은 에너지의 변화량으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta E = \int_0^T \Delta P dt = P_0 \int_0^T \left\{ 1 - \left(\frac{V(t)}{V_{nom}} \right)^2 \right\} dt \quad (4)$$

식(4)을 식(1)와 비교하면 에너지 변화량은 기준전압에 대한 이벤트 동안의 발생 전압 변화에 비례함을 알 수 있다. 전압의 실효값이 이벤트 기간 동안에 일정하다고 가정하면, 그 결과 식(1)는 식(5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{vs} = \left[1 - \left(\frac{V}{V_{nom}} \right)^2 \right] \times 100 \times T \quad (5)$$

예를들면, 식(5)에서 공칭전압 0.75pu의 크기와 4사이클(0.0667초, 60Hz) 기간 동안 전압강하는

$$E_{vs} = [1 - 0.75^2] \times 100 \times 0.0667 = 2.92 \text{ 가 된다.}$$

전압강하에너지 E_{vs} 는 또한 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$E_{vs} = \int_0^T \left[1 - \left(\frac{V(t)}{V_{nom}} \right)^2 \right] dt \quad (6)$$

식(6)에서 전압강하에너지는 기존의 전압과 이벤트의 기간을 이용함으로써 식(7)로 나타낼 수 있다.

$$E_{vs} = \left[1 - \left(\frac{V}{V_{nom}} \right)^2 \right] \times T \quad (7)$$

예를 들어, 식(7)에서 공칭전압 0.75pu의 크기와 4사이클(0.0667초, 60Hz) 기간 동안 전압강하는

$$E_{vs} = [1 - 0.75^2] \times 0.0667 \text{ sec} \\ = 0.0292 \text{ sec or } 29.2\text{ms or } 1.75\text{cycles 이 된다.}$$

Voltage-sag energy는 전압강하와 같은 임피던스 부하에 대한 에너지의 동일 손실을 유발하여 정전 기간만큼 해석할 수 있다.

2.1.3 전압품질 저압 전기기기 시험조건

순간정전 전압의 크기와 지속시간에 대한 저압 전기기기에 대한 영향 한계의 시험조건은

- ① 공칭 주파수 조건
- ② 공칭전압
- ③ 순간정전전압(Dips or Sag)
 - 공칭전압에 1%보다 작은 RMS 값을 갖는 주기.
- ④ 순간정전기간
- ⑤ 불평형전압

$$V_{unbal\%} = \frac{\text{낮은전압}}{\text{높은전압}} [RMS]$$

- ⑥ 고조파전압

$$THD_U = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}{U_1^2}}$$

U_1 = 기본과 전압, U_h = n 차고조파전압의 실효치, h = 고조파차수

조건을 두었으며 표 2는 전압품질 저압 전기기기 시험조건에 대해 국제 규격을 나타낸다.

표 2. 전압품질 저압 전기기기 시험조건

번호	측정변수	입력전압 (EN 50160)	저전압 EMC 규격 (EN 61000)	
			EN 61000-2-2	다른 분야
1	주파수	-10s 이내 주기의 99.5% 동안 $\pm 1\%$ -주기의 100% 동안 $-6\% \sim 4\%$	2%	
2	전압변화	LV:5% 기본 MV:4% 기본	3% 기본	3% 기본 4% 최대
3	공급전압 강하	지속시간 < 1s, 깊이 < 60% 스위치 on 부하시 전압강하 제한 LV:10~50% MV:10~15%		30%이상 10ms 60%이상 100ms (EN61000-6-1,6-2) 60%이상 1000ms (EN61000-6-2)
4	짧은 장애의 공급전압	LV,MV(3분이상) 수백/년간 지속70% < 1초3s		5초동안 95%강하 (EN 61000-6-1,6-2)
6	긴장애의 공급전압	3s 이상		
7	공급전압 불평형	주기의 95%~ 2% 10분rms 값	2%	2% (IEC 61000-2-12)
8	고조파 전압		6%~5고조파 5%~7고조파 3.5%~11고조파 3%~13고조파 THD < 8%	5%~3차, 6%~5차 5%~7차, 1.5%~9차 3.5%~11차, 3%~13차 0.3%~15차, 2%~17차 (EN 61000-3-2)
9	고조파내의 전압		0.2%	

그림 2,3은 5HP 3상 유도전동기 부하로 200V, 4극, 60Hz 대상으로 전압 강하 1,10,20cycle에 대해 각각 0.5, 0.1pu에 대한 실험결과 파형을 나타낸다.

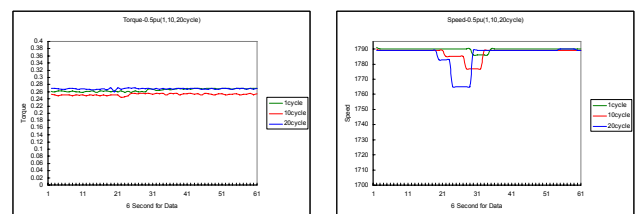


그림 2. 전압강하 0.5pu => 1&10&20cycle 의 속도, 토크

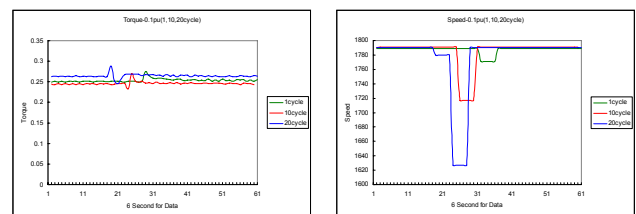


그림 3. 전압강하 0.1pu => 1&10&20cycle 의 속도, 토크

표 3은 고압나트륨등 220V400W의 전압 동작영역 한계를 나타내며, 표 4는 전자접촉기의 전압 동작영역 한계를 나타낸다.

표 3. 고압나트륨등 220V 400W(on : ☐, off : ●)

시간(cycle)		1	10	20	30	60	120	300	600
0.1 pu	동작상태	☐	●	●	●	●	●	●	●
0.475 pu	동작상태	☐	●	●	●	●	●	●	●
0.5 pu	동작상태	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

표 3에서 나타나듯이 입력전압 0.5pu에서는 점등된 상태를 나타내지만 0.475pu에서는 소등상태를 보인다. 전압강하에 의한 나트륨등의 입력전압 한계동작전압은 0.5pu이다.

표 4. 전자접촉기 220V 2HP(on : ☐, off : ●)

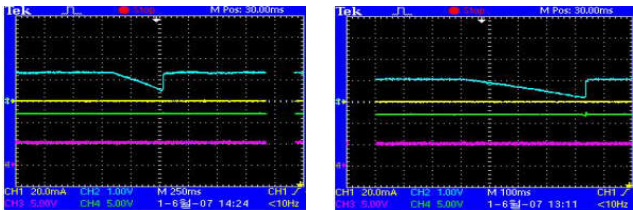
시간(cycle)		1	3	5	10	20	25	30
0.1 pu	동작상태	☐	●	●	●	●	●	●
0.575 pu	동작상태	☐	●	●	●	●	●	●
0.6 pu	동작상태	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

표4는 전자접촉기의 동작 한계영역을 나타내며, 전압 0.6pu에서는 on 상태를 나타내지만 0.575pu에서는 off상태를 나타낸다. 그러므로 전자접촉기의 전압강하에 대한 동작영역한계는 0.6pu이다.
표 5는 PC의 전원공급 장치에 대한 입력전압 강하시 1차측 DC전압과 2차측 DC 전압의 변화에 대한 PC의 동작 상태를 나타낸다. 입력 전압 품질 변화에 따라 PC의 동작영역의 한계를 나타낸다.

표 5. PC-Power Supply 220V 250W(on : ☐, off : ●)

시간(cycle)		1	5	10	26	28	29	30	31	40	60	120
0.1pu	동작상태	☐	☐	☐	☐	●	●	●	●	●	●	●
0.425pu	동작상태	☐	☐	☐	☐	☐	●	●	●	●	●	●
0.45pu	동작상태	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

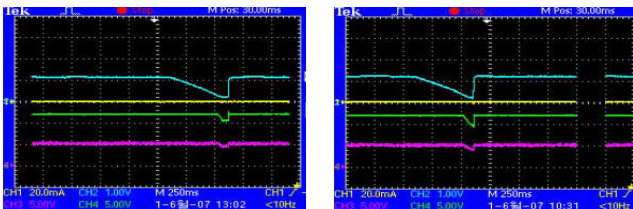
그림 4는 전압강하의 영향으로 입력전압 강하가 발생(26cycle)이 되어도 입력측 DC-Link전압은 전압강하 발생시간 만큼의 전압변화를 보이지만 출력측 전압에는 변화가 없다. 그러므로 PC는 정상적인 동작을 하고 있음을 보여주고 있다. 그림 5는 전압강하 발생(30cycle)시 입력측 DC-Link전압의 전압강하 발생시간 만큼의 전압변화를 보이며 캐패시터 용량의 한계를 벗어난 영향으로 출력측 전압에 전압강하가 보이고 있다. 출력측 전압강하는 PC의 하드 디스크 입력전압에 직접적인 영향을 끼친다. 그러므로 PC는 비 정상적인(Off) 동작을 하고 있음을 보여주고 있다.



(a) 0.1pu 26cycle

(b) 0.425pu 26cycle

그림 4. PC 전원공급장치 전압강하에 의한 입력측 DC-Link 전압과 출력측 DC전압



(a) 0.1 pu 30cycle

(b) 0.425 30cycle

그림 5. PC 전원공급장치 전압강하에 의한 입력측 DC-Link 전압과 출력측 DC전압

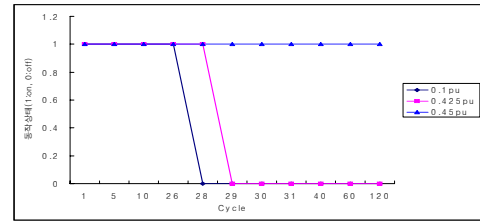


그림 6. PC 전원공급장치의 동작영역 한계곡선

그림 6은 PC 전원공급장치의 전압강하에 대한 동작영역한계 곡선으로 0.45pu에서 한계전압을 나타낸다.

3. 결 론

본 실험에서는 입력전원에 연결된 3상 모터에 전압강하가 발생하였을 때의 속도와 토크 곡선을 보았으며, 고압나트륨등과 전자접촉기의 전압강하에 따른 동작영역 한계를 정의 하였다. 또한 PC 전원공급장치의 전압강하에 의한 동작영역의 한계전압과 시간을 정의 하였다. 유도전동기를 구동하기 위해 전자접촉기-인버터-모터보호회로-유도전동기로 구성하게 된다면 전원 측에 가장 가까운 기기의 동작영역 범위 안에서 기동이 이루어진다. 앞으로 선행될 연구로는 Sag 에 의한 전압강하 발생시 영향을 줄 수 있는 고조파 분석과 저감 대책 연구가 되어야 한다.

본 연구는 2006년도 전력산업 연구개발 사업 전력기술기초연구에 의해 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] J. C. Das, "Effects of Momentary Voltage Dips on the Operation of Induction and Synchronous Motors", IEEE Trans on IAS, vol.26, no.4, pp.711-718, Jul/Aug 1990.
 [2] Luis Guasch, Felipe Corcoles, Joaquin Pedra " Effects of Symmetrical and Unsymmetrical Volatge Sags on Induction Machines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No. 2, April 2004.
 [3] IEEE Standard 1346-1998, Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment. This standard provides financial procedure.
 [4] Bollen, M.H.J.; Sabin, D.D.; Thallam, R.S., Voltage-sag indices - recent developments in IEEE PI564 task force, Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, 2003. CIGRE/PES 2003. CIGRE/IEEE PES International Symposium 8-10, Page(s):34-41,Oct. 2003