

모터의 기여특성과 계통구성

Contribution Characteristic of Motor and System Configuration

전명수, 정연해, 정형용,
이기철
일렉컨설팅, 한국전력기술인협회

1. 서론

전력설비는 날로 고품질이 요구되고 전원용량은 대형화 되고 있다. 부하설비는 전동기 부하가 주종을 이루며, 전력계통은 상호 연계되어 전원과 부하설비 특히, 모터설비는 전원계통에 기여하는 영향이 커서 고장 해석이나 모터의 재기동 또는 순간 정전후 재 투입시 모터의 기여특성을 고려하지 않을 경우 대형사고로 확산될 수 있다. 그러므로 전력계통의 신뢰성 유지를 위하여 모터의 기여 전류, 잔류 전압 특성 및 계통구성과 전력설비 정격에 대해 검토하였다.

2. 본론

2.1 모터의 계통 기여특성

모터는 인덕턴스 성분인 코일과 철심을 주로 하여 구성되어 코일에 전기 에너지를 저장하고 회전 하며, 또한 회전자가 회전하므로 관성에너지를 저장하고, 전원으로부터 에너지를 받아 부하에 동력을 전달하는 기계설비이다. 그러므로 전원이 단락되거나 개방될 경우 등 급격한 변화가 발생할 경우는 모터에 축적된 기계적 전기적 에너지가 발산하게 되며, 전원계통과 복합 작용하여 과대한 전류와 높은 써지 전압을 발생시킴으로 절연이 파괴 되거나, 차단기 콘택 또는 Power fuse를 용단시키고 계전기가 오동작 될 수 있다.

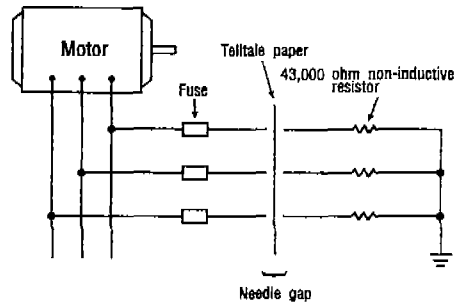


그림 1 써지보호 Needle 설치

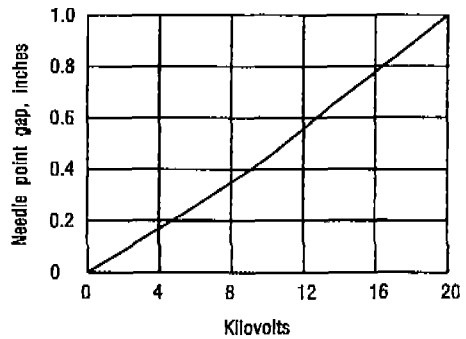


그림 2 Needle gap과 방전전압

2.1.1 Surge Voltage

가동중인 모터회로를 개방할 때에 코어의 자속이 순간적으로 없어질 수 없으며, 서서히 감소하게 된다. 가동중인 모터의 VCS가 개방될 때 유도성 회로를 급격히 차단하게 되므로 순간적으로 높은 Surge 전압이 모터 단자에 나타나게 되고, 이는 설비의 절연을 위협할 수 있으므로 VCS 자체적으로도 대책이 강구되고 있으나

유도성이 큰 모터의 Surge 전압 대책이 필요하게 되고, 그 일례로 Needle gap을 두어 일정전압 이상은 방전하게 하므로써 VCS 극간 또는 대지로의 섬락이나 또는 설비의 절연 파괴를 예방할 수 있다.

Needle point의 간격을 조정하여 Surge Voltage를 방전시켜서 순간적으로 발생하는 Surge 전압으로부터 설비를 보호할 수 있다.

2.1.2 잔류전압

정상가동중인 모터의 터미널 Voltage(V_B)와 내부 권선 Generation Voltage(V_G)는 평형을 이루고 그림 3과 같은 등가회로로 그릴 수 있다.

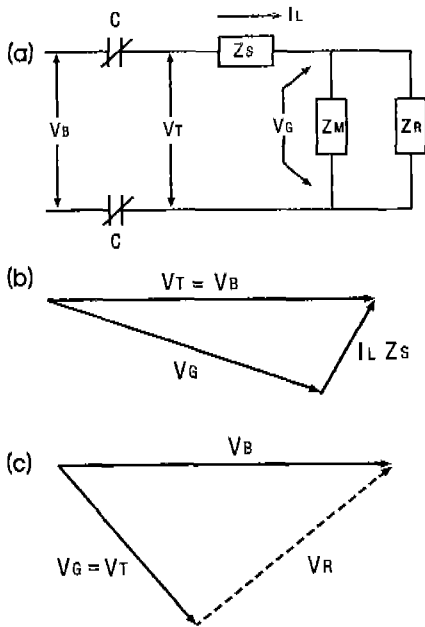


그림 3 모터 등가회로

그림 3에서 Contactor "C"를 개방하기 전에는 Line Voltage V_B 와 모터 터미널 Voltage V_T 가 동일하다. 이는 모터 내의 Generation Voltage(V_G)와 Stator Impedance 전압강하의 합이 V_T 가 되기 때문이다. (그림 3의 (b) 참조) 그러나, Contactor "C"를 개방하면 부하 전류 I_L 이 없으므로 $I Z$ 의 강하가 없으므로 V_G 는 V_T 와 같아지고 위상각이 크게 된다. V_T 와 V_B 는 다른 2개의 전압으로 나타난다.(그림 3의 (c)

참조)

전원을 개방하면 코어의 자속이 순간적으로 없어질 수 없으며, 수초까지 지속되게 된다. 이 동안 개방된 리드선에는 Generation Voltage (V_G)가 유지되고 주파수와 전압의 크기는 모터의 속도가 감소함에 따라 서서히 감소하게 된다. 이 전압을 잔류 전압이라 하며, 자속 세기의 변화는 $e^{-t/c}$ 의 식으로 주어진다.

t = 회로 개방후의 시간

e = 자연대수 (2.718)

c = Open Circuit Time Constant

모터 개방단자의 잔류전압은 자속의 세기 (Flux density)에 따라 $1/(e^{-t/c})$ 식으로 변화한다. 모터 개방후 시간 t 가 c 와 같은 시간이 경과될 때 ($t=c$)의 잔류전압은 $1/e=0.368$ PU (개방전의 전압을 1 PU라 할 때)로 되며, 그 변화 곡선을 그림 4와 같이 나타내게 된다.

Open Circuit Time Constant C 값은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$C = \frac{X_M + X_{2R}}{2\pi f R_{2R}}$$

X_M = per unit magnetizing reactance of motor

X_{2R} = per unit rotor reactance at running speed

R_{2R} = per unit rotor resistance at running speed

이 값은 다른 속도에서는 약간 다르게 되며, 정확한 계산은 아니다.

460V~4000V 60Hz 4극 모터의 대표적인 Open Circuit Time Constant 값을 그림 4에 나타낸다.

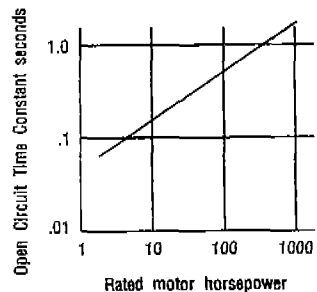


그림 4 용량에 따른 "C" 값의 변화

2.1.3 모터의 재기동과 기여전류

그림 3 에서 모터 회로를 개방하면 Line Voltage V_B 는 초기상태와 변함없이 그림 5의 12시 방향에 있고 모터의 잔류전압 V_G 는 시계 방향으로 Solw down 하여 V_B 와 V_G 의 전압차 V_R 은 크게 발생한다. 최대의 경우는 V_G 가 6시 방향(V_B 와 V_G 가 180° 상차각)에 이를때이며, 이때의 전압차는 $\dot{V}_R = \dot{V}_B - \dot{V}_G \approx 2V_B$ 가 되며, 이 때에 모터회로를 투입하면 큰 돌입전류가 발생하게 되고 심한 경우 로터가 비틀리고 Shaft가 부러지는 경우도 발생하게 된다.

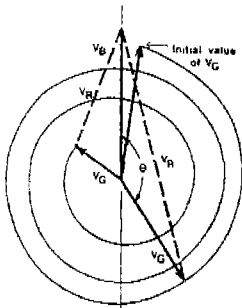


그림 5 잔류전압의 변화

이같은 재기동 돌입전류는 기동전류의 역을 재기동시간 자기 포화 등에 따라 달라지며, 순시 재기동의 돌입전류(파고치)은 전부하전류(실효치)의 27배 까지 발생할 수 있다. 이는 기동 역을 0.5 경우 DC 과도 성분 1.7배 기동전류 8배 V_B 와 V_G 가 180° (2배)상차일 때의 경우 ($8 \times 1.7 \times 2 = 27$)이며 실효치로는 19배에 해당한다. 또한 Y- Δ 기동시에도 동일한 사항이 발생하게 되며, 파고치로는 22배 [$8 \times 1.7 \times (1 + \frac{1}{\sqrt{3}}) = 22$]실효치로는 15배에 해당하는 돌입전류가 흐를 수 있다.

2.2 모터의 재기동

2.2.1 재기동시 고려할 사항

모터의 전원을 open 후 재투입할 경우는 상당한 돌입전류가 예상되므로 모터에 Damage를 주는 것은 물론이고 전력계통 사고로 확산될 수 있으므로 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 1) 재투입시간의 지연 잔류전압이 소멸될 때까지 지연시켜 1~2초후 재투입
- 2) 저전압 계전기에 의해 잔류전압의 크기가 정격전압의 25% 이하로 될 때 재투입
- 3) 보다 대형이거나 동기전동기 등의 재기동에는 고속도 저주파 계전기 파워 릴레이 등에 의한 세심한 검토가 추가로 필요하지만 일반적으로 위 1) 또는 2)의 방법 중 하나를 선택하면 해결할 수 있을 것이다.

2.2.2 모터 용량별 정수

기동중인 모터는 개방할 때 단자에 나타나는 잔류전압 지속시간과 단자를 단락시킬 때 모터가 공급하는 고장전류의 공급시간을 소개한다.

제조사	용량 (KVA)	전압 (KV)	open circuit time constant	short circuit time constant
siemens	784	3.3	1.765 sec	0.057 sec
siemens	2966	6.6	3.164 sec	0.093 sec
siemens	1944	3.3	2.824 sec	0.103 sec

3. 결 론

전력설비의 주종을 이루는 모터의 특성을 올바르게 이해하고 적절히 운용함은 전력설비의 신뢰성을 높이는 것은 말할 것도 없고, 생산성의 향상에 필수적이라 할 수 있겠다. 따라서 전력계통의 단락 고장시는 모터의 고장 기여 전류를 모터를 기동하거나 재기동시는 돌입전류 기동전류 잔류전압 특성을 반드시 고려하여 설비의 정격 및 계통 구성에 반영하여야 할 것이다.

참고 문헌

1. Managing Motor second Edition Richard L.Nailen. PE
2. 三菱 N.F.B 기술자료집
3. Mobil Engineering Guide Load Flow, Motor Start and Restart