

DC배전계통의 보호를 위한 활선절연저항 감시기

김용중, 김효성

공주대학교 전기전자제어공학부

Protective insulation monitoring device in DC distribution systems

Yong Jung Kim, Hyosung Kim

School of EE and control Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

IEC 60364에서 규정하는 접지방식 중 IT접지시스템은 접지극에서의 전식문제가 없으므로 DC배전계통에 가장 적합한 것으로 전망되고 있다. 그러나 IT접지시스템의 장점을 확보하기 위해서는 운전 중인 전력선의 절연상태를 지속적으로 감시할 필요가 있으며, IEC61557은 IT접지환경에서 전력선의 절연상태를 감시하는 활선절연저항감시장치(Insulation Monitoring Device; IMD)를 설치할 것을 규정하고 있다. 본 논문에서는 활선상태인 전력선의 절연저항을 모니터링 함으로써 IT 접지시스템의 안정성을 증진시킬 수 있는 활선절연저항감시장치를 개발하고 성능을 검증한다.

1. 서론

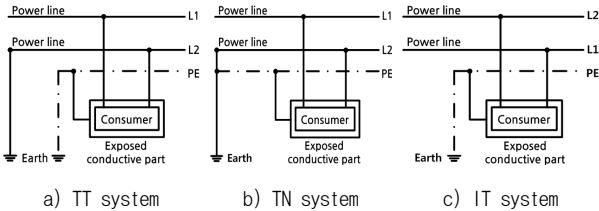


그림 1 전원접지 및 노출성도전부 접지에 따른 접지시스템
Fig. 1 Earthing systems in regard to ground of power lines and exposed conductive part

태양광발전 및 신재생에너지를 이용한 분산발전이 발달함에 따라 마이크로그리드와 나노그리드 형태의 DC배전이 점차적으로 확산되고 있다.^[1] IEC 60364는 전기설비에 따른 접지시스템을 3가지로 분류하고 있으며 시스템은 전력선의 전원접지와 사용자설비 측 노출성도전부 접지방식에 따라 나뉜다. 그림 1은 3가지 접지시스템을 나타낸다. TT시스템은 전력선의 전원접지와 사용자설비 측 노출성도전부 접지가 독립적으로 설치되며, TN시스템은 전원접지와 사용자설비 측 접지가 공통으로 연결된다. 반면 IT시스템의 경우, 전력선의 어느 쪽도 대지와 접지하지 않고 사용자설비의 도전성 외함만을 접지한다.

이들 중 IT접지시스템은 접지극에서의 전식문제가 발생하지 않으므로 AC 배전계통에 비하여 전식문제가 100배 정도 심각한 DC 배전계통에 가장 적합한 것으로 전망되고 있다. 그러나 IT시스템의 장점을 확보하기 위해서는 1선지락이 발생하였을 때 사고를 발견하고 해제함으로써 2선지락 사고로 이어지는 것을 예방하여야 한다. 이를 위하여 IEC61557은 IT시스템 환경에서 활선절연저항감

시장치를 설치하여 1선지락 사고를 조기에 발견하도록 규정하고 있다.

본 논문에서는 활선상태인 전력선의 절연상태를 모니터링 함으로써 인명 및 설비를 보호하기 위한 DC 배전용 활선절연저항 감시기를 개발하고 그 성능을 검증한다.

2. 활선절연저항 감시기

2.1 시스템 구성

전력선의 절연저항을 측정하기 위한 활선절연저항 감시기의 구성도는 그림 2와 같다. 제안된 활선절연저항 감시기는 브릿지저항 및 절연저항, 테스트저항으로 구성된 폐루프에 펄스파를 인가하여 절연저항 변화에 따른 테스트저항, R_t 의 인가전압, V_t 를 관찰함으로써 전력선의 절연저항을 측정한다.

2.2 측정 알고리즘

그림 3은 그림 2의 활선절연저항 감시기 구성도를 간략화한 절연저항 측정등가회로이다. R_{im} 은 전원에 존재하는 미지의 전원내부저항 성분을 나타내며, 이러한 전원내부저항 성분은 테스트저항, R_t 을 제외한 회로구조가 직병렬회로가 아닌 휘스톤 브릿지구조를 갖게 하는 주요한 원인이다. 그러므로 절연저항을 측정하기 위해서는 전력선의 절연저항과 측정회로가 전원내부저항, R_{im} 에 독립적이어야 한다.

2.2.1 절연저항의 비대칭 조건

절연저항의 비대칭 조건일 경우, 측정등가회로는 휘스톤 브릿지 구조의 불평형 조건이기 때문에 전원내부저항, R_{im} 과 전력선의 절연저항을 ΔY 변환하여 그림 4a)와 같은 직병렬 등가회로로 나타낸다. 이때, 전체합성저항과 검출전압은 식 (1)과 식 (2)와 같다.

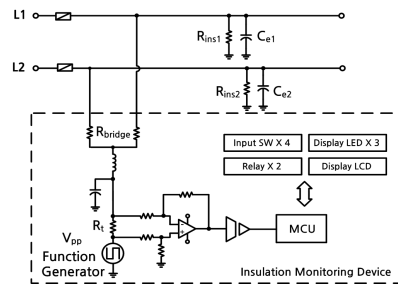


그림 2 활선절연저항 감시기 구성도
Fig. 2 Scheme of IMD

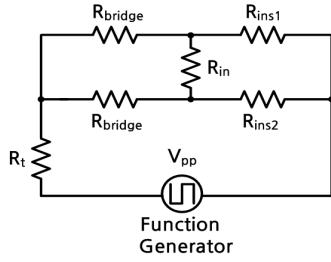
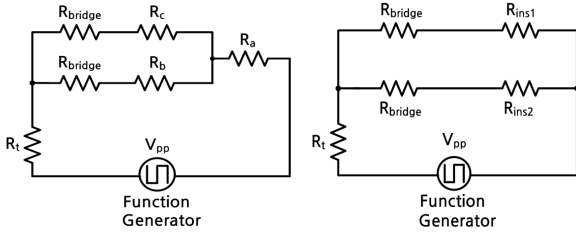


그림 3 절연저항 측정등가회로
Fig. 3 equivalent circuit for measuring insulation resistances



a) 절연저항 비대칭 조건 b) 절연저항 대칭조건

그림 4 절연저항측정 직병렬 등가회로
Fig. 4 series-parallel equivalent circuits for measuring insulation resistances

$$R \quad (1)$$

$$V_{t_asym} = \frac{R_t}{R} \quad (2)$$

식 (1)은 휘스톤 브릿지 불평형조건의 절연저항 측정회로가 전원내부저항, R_{in} 에 독립적이지 않음을 나타내고 식 (2)는 전원내부저항의 영향으로 인해 전력선의 개별적인 절연저항측정이 용이하지 않음을 나타낸다.

2.2.2 절연저항의 대칭 조건

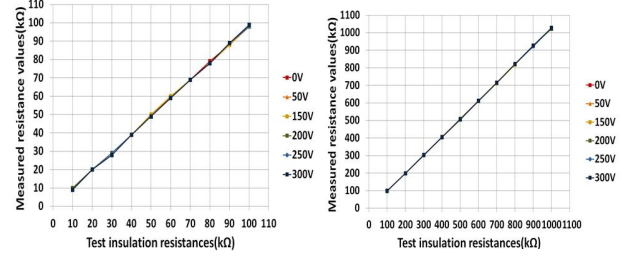
절연저항의 대칭 조건인 경우, 측정등가회로는 휘스톤 브릿지 구조의 평형 조건이며 측정회로의 전류는 전원내부저항, R_{in} 으로 더 이상 흐르지 않는다. 그러므로 측정등가회로는 그림 4b)와 같이 전원내부저항, R_{in} 에 독립적인 직병렬회로를 구성한다. 이때, 전체합성저항과 검출전압은 식 (3), (4)와 같다.

$$R \quad (3)$$

$$V_{t_sym} = \frac{R_t}{R} \quad (4)$$

$$R_{\in s} = 2 \left(\frac{V_{pp}}{V_{t_sym}} \cdot R_t - R_t - \frac{R_{bridge}}{2} \right) \quad (5)$$

식 (3)은 휘스톤 브릿지 평형조건의 절연저항 측정회로가 전



a) 10kΩ~100kΩ 측정그래프 b) 100kΩ~1MΩ 측정그래프

그림 5 10kΩ~1MΩ 절연저항 측정그래프
Fig. 5 Measurement graphs in 10kΩ~1MΩ

원내부저항, R_{in} 에 독립적임을 나타내고, 식 (3)과 식 (4)를 통해 유도된 식 (5)는 전력선의 대칭적인 절연저항변화를 측정하는 절연저항측정 알고리즘이다.

2.3 실험결과

그림 5는 제안된 활성절연저항감시기를 이용하여 0V~300V 활성상태인 전력선에 10kΩ~1MΩ 범위의 대칭적인 절연저항변화를 측정하는 실험에 따른 절연저항 측정그래프이다. 측정 그래프를 통해 다양한 활성조건에서 대칭적인 절연저항변화에 선형적으로 추종하는 활성절연저항감시기의 동작특성을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 DC전원계통에서 활용되는 IT시스템의 인체와 설비보호를 위한 계전기로서 활성 상태인 전력선의 절연저항을 측정할 수 있는 활성절연저항감시기(IMD)를 개발하고 성능을 검증하였다. 본 연구는 미지의 전원내부저항, R_{in} 을 고려한 절연저항 측정회로해석을 통해 절연저항의 비대칭조건에 따른 개별적인 절연저항측정에 대하여 고찰하였고, 대칭조건에 따른 절연저항측정 가능성과 그에 따른 측정알고리즘을 개발하였다. 측정회로해석을 근거로 한 절연저항측정 알고리즘을 통해 전원전압이 변화하는 전력선의 대칭적인 절연저항변화를 측정하였으며, 그 결과 활성상태인 전력선의 대칭적인 절연저항변화를 선형적으로 추종하는 활성절연저항감시기의 성능을 검증하였다.

본 논문은 산업통상자원부 기술표준원 제품안전기술기반조성 사업으로 지원된 연구결과입니다 (과제번호: 10043674).

참고 문헌

[1] H. Kakigano, Y. Miura, T. Ise, & R. Uchida, "DC micro grid for super high quality distribution system configuration and control of distributed generations and energy storage devices," 37th IEEE Innovative Smart Grid Technologies, pp.1 7, 2006, June.