

IEC60479 인체 임피던스 모델 분석을 통한 직류환경에서의 누설전류검출

이진성*, 김효성*, 왕용필**

* 공주대학교 전기전자제어공학부, ** 한국전기산업연구원

DC Residual Current Detection Algorithm based on Analysis of IEC60479 Impedance Model for Human Body

Jinsung Lee*, Hyosung Kim*, Yongpil Wang**

*School of EE and Control Engineering, Kongju National University

**Electrical Industry Research Institute of Korea

ABSTRACT

본 논문은 IEC 60479 표준 “인체감전의 생리학적인 현상”에 제시되어 있는 인체감전 현상에 대하여 교류환경과 직류환경에서 인체임피던스의 특성을 실험을 통하여 분석한다^[1]. 연구 결과, 적어도 상용주파수 이하에서는 IEC 60479 표준에서 제시하는 인체 임피던스 모델의 수정이 필요함을 발견하였다. 또한 도출된 실험 결과를 활용하여 직류 배전시스템의 TN 접지방식에서 인체 감전 및 설비 누전에 따른 사고에 대하여 구분동작이 가능한 직류전용 누설전류 검출(DC Residual Current Detection) 기법을 제안한다.

던스의 전기적 등가회로는 저항과 병렬커패시터, 그리고 직렬 저항으로 구성되는 3개의 요소를 갖는다고 제시한다.

인체의 내부인 직렬저항 R_i 와 인체 내부를 둘러싼 피부를 묘사하는 병렬 저항 R_s 및 병렬 커패시터 C_s 의 병렬회로로 나타낸다. 또한 랜들 등가회로에서 병렬저항 R_s 는 시간에 따라 서서히 감소한다고 하며, 수식적으로 식 (1)과 같이 정량화 한다. R_0 는 접촉전압이 인가되지 않았을 때의 피부의 초기 저항값이며, 접촉전압이 인가된 후에 최종적으로 피부의 저항값은 R_v 로 서서히 수렴한다고 설명한다.

1. 서론

인체 감전의 생리학적인 현상을 규정한 IEC 60479에 의하면 인체의 전기적 등가회로는 저항 R과 커패시터 C로 구성되는 랜들 등가회로의 형태로 정의하고 있다. 랜들 등가회로의 임피던스 주파수 스펙트럼은 주파수 제로에서 무한대까지 반원 형태의 궤적을 그리는 특징이 있다.

본 논문에서는 상용주파수 이하의 주파수대에서 실제 인체를 대상으로 하여 위험하지 않은 낮은 레벨의 감전실험을 수행하여 IEC 60479에서 제시하는 랜들 등가회로를 토대로 파라미터를 분석한다. 또한 실험결과를 활용하여 직류 배전시스템의 TN 접지 방식에서 인체 감전 및 설비 누전에 따른 구분동작이 가능한 직류전용 누설전류 검출 기법을 제안한다.

$$R_s(t) = R_v + (R_0 - R_v)e^{-\frac{t}{0.05}} \quad (1)$$

3. 저 전류 인체 감전 실험

2.2 DC 및 AC 인체감전 실험 조건 및 구성

IEC 60479 인체감전의 생리학적인 현상에 제시되어 있는 직류에서의 인체감전 현상을 검증하기 위한 저 전류 인체감전 실험을 하였다. 감전 접촉시간은 피부저항 R_s 의 최종 저항값을 도출하기 위해 2s동안 진행 하였고, 인체에 흐르는 전류가 2mA가 넘지 않도록 실험 조건을 구성 하였다. 그림 2(a)의 실험파형에서 나타나는 용량성 전류 i_3 는 병렬 커패시터에 의해 발생하며, 직렬 저항 R_i 와 병렬 커패시턴스 C_s 는 식 (2)와 식 (3)으로 구할 수 있다. 피부저항 R_s 는 초기저항 R_{s_0s} 에서 R_{s_2s} 까지 가변되며, 그에 따른 저항값은 식 (4)및 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

AC 인체감전 실험구성은 DC 인체감전 실험과 동일하며, 전원의 주파수는 60Hz ~ 30Hz까지 5Hz 단위로 총 7가지의 실험을 진행 하였다. 그림 2(b)는 접촉전압 100Vac에서의 실험 파형을 나타내며, 이때의 주파수는 60Hz이다. 실험파형에서 보듯이 AC 감전 시에도 병렬 커패시터 성분에 의해 진상성분의 전류가 흐름을 알 수 있다. 그림 3에서 보듯이 IEC 60479에서 제시하는 인체임피던스의 랜들 등가회로의 스펙트럼 궤적은 주파수가 무한대에서 제로로 변화함에 따라 실수축의 값이 증가하며 반원의 궤적을 그린다.

2. IEC 표준 인체 감전현상

2.1 IEC 60479 표준 인체 임피던스 모델

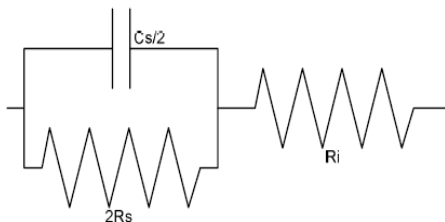
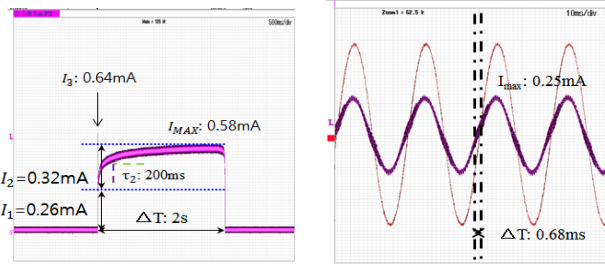


그림 1 IEC 60479에서 제시하는 인체 임피던스 등가회로

IEC 60479에서 인체 임피던스는 그림 1에서 보듯이 인체 임피

Table 1 저전류 인체감전 실험 조건

Parameter	Value
Contact voltage	100[V _{DC}]
	100[V _{AC}]
Gender	Man
Contact humidity	dry
Contact skin temperature	29[°C]



(a)DC 감전실험 파형 (b)AC 감전실험 파형
Fig. 2 저전류 DC 인체감전 실험 결과

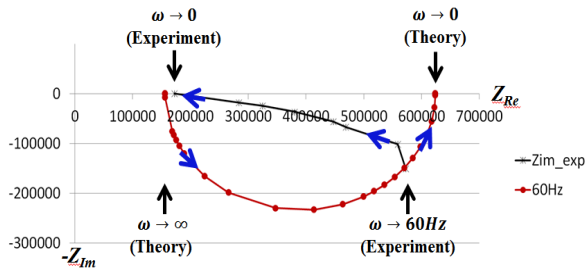


Fig. 3 실험결과와 IEC 60479 표준의 임피던스 스펙트럼 겹적

하지만 인체감전 실험결과로 그려지는 인체임피던스의 스펙트럼 궤적은 반원의 형태를 그리지 못하고 주파수가 60Hz에서 제로로 변화할수록 실수축의 값이 오히려 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 60Hz이하의 주파수대에서 IEC 60479 표준의 데이터에 문제가 있음을 의미한다. AC 실험은 DC 실험과 다르게 초기에 과도성 피크전류가 나타나지 않음으로 인체의 내부저항 R_i 를 도출할 수 없다. 따라서 인체의 내부저항 R_i 는 DC 감전 시의 저항값과 동일하다고 가정하고 등가회로 해석을 진행 하였다. AC 감전 시 2초후의 최종 저항값 R_{s_2s} 는 식 (6)와 같이 도출할 수 있다. 병렬 커패시터 C_s 는 식 (7)와 같이 전개 된다.

$$R_i = \frac{V}{i_3} = 156k\Omega \quad (2)$$

$$C_s = \frac{\tau_c}{R_i} = 128pF \quad (3)$$

$$R_{s_0s} = \frac{V_{DC}}{i_1} - R_i = 228k\Omega \quad (4)$$

$$R_{s_2s} = \frac{V_{DC}}{i_1 + i_2} - R_i = 16k\Omega \quad (5)$$

$$R_{s_2s} = \left| Re_{(R_{s_2s} // C_s)} \cdot \left\{ \left(\frac{Im_{(R_{s_2s} // C_s)}}{Re_{(R_{s_2s} // C_s)}} \right)^2 + 1 \right\} \right| = 468k\Omega \quad (6)$$

$$C_s = \left| \frac{\tan \phi}{\omega R_{s_2s}} \right| = \left| \frac{Im_{(R_{s_2s} // C_s)}}{\omega R_{s_2s}} \right| = 2.05nF \quad (7)$$

4. 직류에서 설비지락사고와 인체감전사고의 구분

직류는 설비의 지락사고와 인체의 감전사고를 구별하여 검출이 가능하다. 그 이유는 설비의 지락사고는 전류가 급격한 기울기를 가지고 상승하며, 인체의 감전사고는 인체의 임피던스 특성에 의하여 완만한 기울기를 가지며 상승하기 때문이다.

그림 4와 그림 5는 DC에서의 인체 감전 및 설비지락 사고 시뮬레이션 회로 및 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 인체감전에 의하여 흐르는 전류는 완만한 기울기를 가지며 증가하지만, 설비지락 사고의 경우 급격하게 전류가 사고레벨로 증가됨을 확인할 수 있다. 따라서 직류에서는 인체감전 사고와 설비지락 사고를 누설전류의 기울기를 판단하여 구별할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

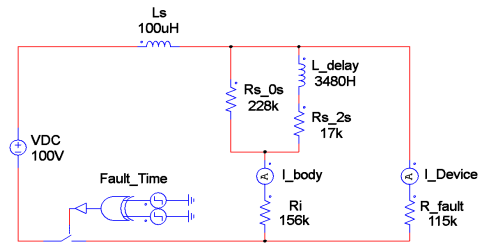


Fig. 4 DC인체감전 및 설비사고 시뮬레이션 회로

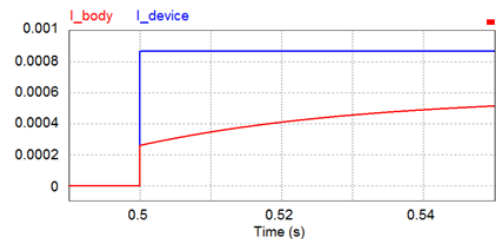


Fig. 5 DC인체감전 시뮬레이션 결과

5. 결론

본 논문에서는 IEC 60479에서 제시하는 임피던스 모델인 랜들 등가회로는 실제 실험결과와 모순되는 점을 발견 하였으며, 표준의 수정이 필요함을 확인하였다. 또한 실험결과를 토대로 직류 배전시스템의 TN 접지 방식에서 인체 감전 및 설비 누전에 따른 구분동작이 가능한 직류전용 누설전류 검출 기법을 제안하였다. 개발된 누설전류 검출기는 노이즈성 전류에 대해서 둔감하게 동작하여 주요설비에 대한 전력 공급의 안정성을 도모함과 동시에, 인체의 감전사고에 대해서는 민감하게 동작하여 생명을 보호하는 두 가지 목적을 달성할 수 있음을 증명 하였다. 제안된 기술은 고도의 신뢰성이 보장되어야하는 배전망에 적용할 수 있으며, 직류 배전시스템의 TN 접지 방식에서 인체에 대한 감전 및 설비 누전에 대한 사고에 대하여 통합적으로 보호가 가능하다.

이 논문은 2016년도 정부(교육과학기술부)의 한국연구재단에서 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2016R1D1A3B01008279)

References

[1] IEC 60479 "Residual Current Protective Device Dependent or Independent of Line Voltage", 2008.