

# LVDC용 IMD의 계측범위 확장을 위한 펄스 진폭 가변 기술

정중윤, 송성근, 안정훈<sup>†</sup>

한국전자기술연구원

## Pulse Amplitude Modulation Tecnique for Measurment Range Extention of Insulation Resistance Monitoring Device on LVDC Distribution System

Jong-Yun Jeong, Sung-Geun Song, and Jung-Hoon Ahn<sup>†</sup>

Korea Electronics Technology Institute

### ABSTRACT

직류배전에서는 주로 비접지(IT)방식이 사용되고 있다. 비접지 방식은 1선 지락과 같은 사고에서 사고전류가 매우 낮아 사고를 인지하기가 어렵기 때문에 절연저항감시장치(IMD, Insulation Monitoring Device)를 통해 단락사고를 조기에 검출하도록 하고 있다. 현재 대부분의 IMD는 선로에 펄스를 주입하는 방식을 사용하고 있다. 본 논문에서는 기존 펄스 주입 방식의 문제점을 분석하고 다양한 조건에서도 안정적인 절연저항 계측이 가능한 방안을 제안하였다. 시뮬레이션 수행 및 실제 제작품을 제작하여 개선방안에 대한 성능을 검증하였다.

IMD 내부에는 계측용 회로가 존재하며 주입된 펄스전압과 절연저항  $R_F$ 에 의해 발생된 폐회로를 통해 전류  $I_m$ 이 발생되고 계측용 저항  $R_m$ 에는 전원과 대지사이의 절연저항과 내부저항 비율에 따른 전압이 계측된다. 여기서 내부저항의 값은 설계된 값으로 고정이기 때문에 외부 절연저항의 값을 계산을 통해 구할 수 있다. 절연저항의 값을 측정하기 위해 주입되는 펄스전압은 높은 저항값에서 규정값을 초과하지 않도록 최대값이 정해져 있어, 일정 저항 이상은 측정오차가 커지거나 측정이 되지 않는 단점을 가지고 있다. 그림 2와 같이 출력 파형을 측정한 결과 낮은 저항에서 매우 낮은 진폭의 전압이 계측되었으며, 그로인해 노이즈에 의한 계측오차가 발생할 가능성이 있다.

### 1. 서론

최근 ESS(Energy Storage System)에서 화재가 다수 발생하여 이와 같은 사고를 방지하기 위하여 사전에 이상징후를 조기에 발견하고 선조치를 하기위한 방안이 다양하게 연구되고 있다. ESS의 증가에 따라 동일한 DC 전원을 사용하는 직류배전에 대한 논의가 이루어지고 있고, 직류배전은 ESS와 같은 비접지 방식이 사용되고 있다. 비접지 방식은 1선 지락과 같은 사고에서 사고전류가 매우 낮아 사고를 인지하기가 매우 어려운 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 IMD의 설치를 의무화하고 있다. 현재 대부분의 상용 IMD는 전원선과 접지 사이에 계측용 펄스전압을 주입하는 펄스주입방식을 사용하고 있다<sup>[1]</sup>. 펄스를 주입하는 발진회로는 전류원의 역할을 수행하며 절연저항의 크기에 따라 IEC61557-8 규격을 만족하도록 최대 전압과 전류가 제한되게 된다.

본 논문에서는 기존 펄스 주입 방식의 문제점을 분석하고 주입되는 펄스의 진폭의 크기를 조절하여 다양한 조건에서도 규정을 만족하는 범위에서 높은 정확도를 가지며 안정적으로 절연저항 계측이 가능한 방안을 제안하였다. 또한, 시뮬레이션 및 실제 제작품을 제작하여 펄스 진폭 가변 기술에 대한 성능을 검증하였다.

### 2. 기존 IMD의 문제점

현재 대부분의 상용 IMD는 그림 1과 같이 전원선과 접지 사이에 계측용 펄스전압을 주입하는 방식으로 전원선과 접지 사이에 펄스전압을 주입하면 선로와 대지사이의 절연저항과 누설 캐패시턴스에 의해 돌아오는 값을 측정하는 방식을 사용한다.

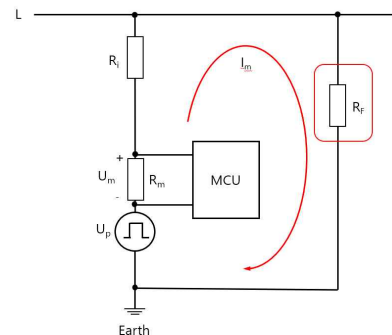


그림 1 IMD 측정방식

Fig. 1 Insulation Resistance Measurement Method of IMD



그림 2 절연저항 측정 파형

Fig. 2 Insulation Resistance Measurement Waveform

### 3. 펄스 진폭 가변 기술

기존 고정된 값의 펄스 주입방식 문제점을 해결하기 위한 방안으로 본 논문에서는 펄스 진폭 가변기술을 제안하였다. 제안한 방식은 전압 변동과 무관하게 일정한 전류를 공급이 가능한 정전류

원 회로를 구성하였다. 그림 3과 같이 전류원 회로는 전류 거울 회로를 적용하였으며, 전류원의 크기를 조절하기 위하여 MOSFET을 이용하여 전류 거울회로의 전류를 조정하도록 하였다. 전류원의 크기는 LVDC의 절연저항 측정 범위와 규격을 고려하여 3가지로 선정하였다.

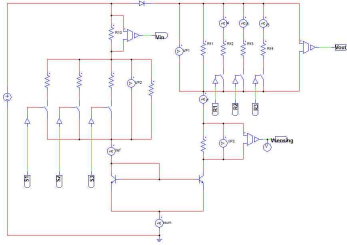


그림 3 펄스 가변 시뮬레이션 회로  
Fig. 3 Pulse Variable Simulation Circuit

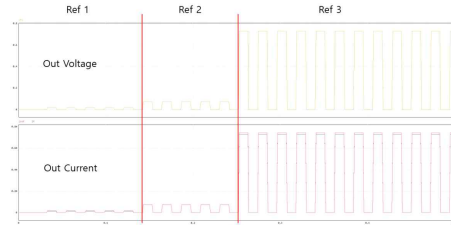


그림 4 시뮬레이션 결과 파형  
Fig. 4 Simulation Result Waveform

절연저항 1kR을 대상으로 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 4와 같이 Ref1 부분과 같이 낮은 전류에서는 측정되는 전압의 크기도 작기 때문에 실제 환경에서 계측의 어려움이 생길 수 있음을 확인하였다. 따라서 Ref3과 같이 주입되는 전류의 크기를 증가시켜 측정되는 전압의 크기를 증가시켜 절연저항을 계측 정확도를 높일 수 있었다.

시뮬레이션 회로를 바탕으로 펄스 가변이 가능한 시제품을 그림 5와 같이 제작하였다. 시제품 구성의 핵심은 펄스 주입 및 가변을 수행하는 MOSFET 부분과 전류 거울 회로를 만드는 BJT 회로로 구성되어있으며, 절연저항을 측정하기 위한 센스포트 및 외부에 신호를 주기위한 릴레이가 있으며, IMD와 통신을 위한 랜 포트와 IMD에서 직접적으로 현재상태를 확인 가능하도록하는 LCD화면으로 구성하였다. 또한 LVDC를 모사한 TEST-BED를 이용하여 시제품 IMD의 테스트를 진행하였다. TEST-BED는 그림 6과같이 LVDC 배전계통을 모사하기 위하여 내부에는 선로저항과 모의 절연저항, 그리고 DC전원장치로 구성하였으며, 외부 DC전원과 부하를 연결하도록 하였다. TEST-BED를 이용하여 다양한 절연저항의 크기를 모사하며 시제품 IMD를 성능을 검증하였다. 시제품 IMD는 3가지의 Reference 전류원으로 정하였으며, 같은 절연저항 조건에서 전류원의 크기에 따른 차이를 오실로스코프를 통해 확인하였다. 50kOhm과 1kOhm에서 파형을 그림 7과 같이 비교한 결과 1kOhm의 조건에서는 시뮬레이션과 유사한 결과 값이 확인되었으며, 전류원의 크기가 큰 Ref3 조건에서 측정전압이 가장 높게 측정됨을 확인하였으며, 전류원의 크기가 낮은 Ref1 조건에서는 전압크기가 매우 작아 측정의 어려움이 있음을 확인하였다. 50kOhm의 조건에서도 동일한 형태의 파형이 계측되었으며, 더 높은 저항에서는 전류원의 크기로 인해 IMD 규격을 초과하는 전압이 발생할 가능성을 확인하였다. 따라서, 시뮬레이션 및 시제

품을 이용한 시험 결과 다양한 저항 조건에서도 기존 방식과 다르게 저항의 크기에 따라서 주입되는 펄스를 가변하게 되면 낮은 저항에서도 측정 펄스의 크기가 증가함에 따라 계측 정확도가 증가함을 확인하였다. 또한 높은 저항에서는 주입되는 펄스전압을 감소시켜 규정값을 넘기지 않도록 하면서 높은 저항을 안정적으로 계측이 가능함을 확인하였다.



그림 5 IMD 시제품  
Fig. 5 IMD Prototype

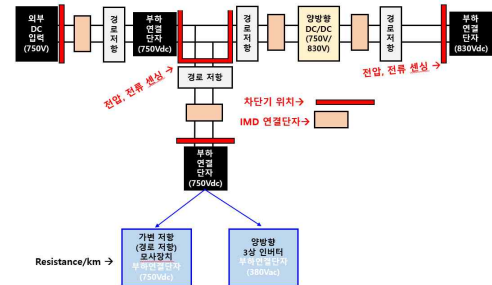


그림 6 IMD TEST-BED 구성  
Fig. 6 TEST-BED Configuration

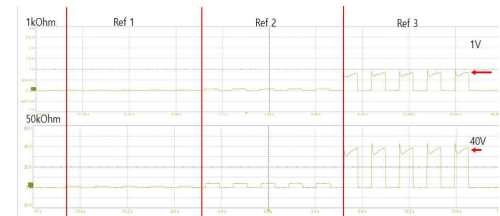


그림 7 IMD 펄스 파형  
Fig. 7 IMD Pulse Wave

## 4. 결 론

본 논문에서는 기존 펄스 주입 방식의 문제점을 분석하고 다양한 절연저항 조건에서도 안정적인 계측이 가능한 방안을 제안하였다. 제안한 방안을 통하여 시뮬레이션 수행하였으며, 실제 제작품을 제작하여 성능검증을 수행하였다. 그 결과 절연저항의 크기에 따라 입력되는 펄스의 진폭 가변을 통하여 다양한 조건에서도 안정적인 절연저항 계측이 가능함을 확인하였다.

이 논문은 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20206900000020)

## 참 고 문 헌

- [1] 안정훈, 정종윤, 송성근.(2022).저전압 직류배전용 절연감시 장치 하이브리드 발진회로 개발.전력전자학회 학술대회 논문집, 598-599.