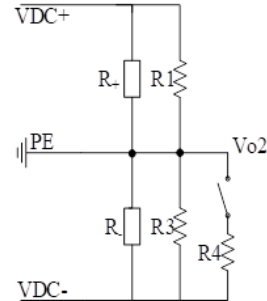
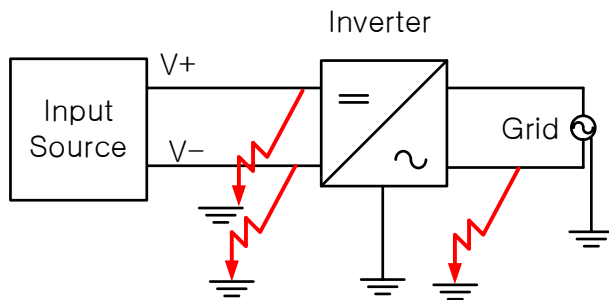


Analysis of Ground Fault and Prevention in Distributed Energy Resources

분산자원 시스템의 지락사고 분석 및 예방

Ilyong Lee
 이일용



최 근 태양광, 풍력, ESS 등 분산전원 특성을 갖는 에너지원이 증가하여, 기존의 전력계통 운영과 다른 방식을 반드시 사용해야 하는 경우가 증가하고 있다. 특히 2050 탄소중립 정책 실행에 따라, 전체 계통의 대부분을 신재생에너지원이 전력을 공급하여야 하기 때문에, 국내 계통은 대표적인 신재생에너지원으로서 태양광발전과 풍력발전시스템의 대대적인 설치가 예고되고 있다. 또한, 이러한 신재생에너지원의 변동성을 능동적으로 흡수하기 위한 대규모 ESS도 국가와 한국전력공사 자체적인 설치를 계획하고 있다.

신재생에너지와 ESS 등 대부분의 분산전원은 발전 혹은 저장된 에너지원이 DC 형태로 존재하게 된다. 이러한 경우, 일반적인 계통에 연계하기 위하여 반드시 계통 전압과 동일한 AC 전원으로 변환하여야 한다. 이러한 전력변환을 위한 장치로 가장 대표적으로 사용되는 시스템은 PCS(혹은 인버터)를 포함한 전력변환 시스템으로, DC 전력을 입력 받아 전압을 PWM 등 다양한 방법으로 변조하여 AC의 전압과 전류를 출력한다. 이러한 시스템은 대부분 전위가 연속적이지 못하고, 불연속의 특성을 나타내며, 또한, 접지의 전위 역시 불연속적인 전위가 지속적으로 반복되어 특정한 지점의 접지를 할 수 없다는 단점이 있다. 따라서, 대부분의 분산전원 시스템은 비접지 시스템을 채용하고 있으며, 이러한 시스템은 1선 지락 등의 고장이 발생한 경우, 시스템 내부에 특별한 보호장치가 구비되어 있지 않은 경우, 사고의 인지가 불가능하여 시스템의 지속적인 스트레스로 절연파괴 및 화재 등 다양한 2차 사고 발생이 가능하다.

이는 특히, 국내 다양한 현장에서 발생한 ESS 시스템의 배터리 화재사고 등에서 1선지락으로 인한 사고 사례가 대표 사례로 채택되기도 하였다. 하지만, 실제 분산전원시스템이 설치되는 현장에서는, 지락사고에 대한 보호 시스템이 설치되는 곳은 일부 대형 현장을 제외하고는 없다. 특히, 한국전력공사에서 실시한 376MW FR ESS 시스템 설치 공사에서도, 지락 보호시스템이 별도로 설치되지 않아 산업부에서 지락사고에 대한 위험 조치를 권고한 이후 2020년부터 현재까지 모든 현장에 대규모 자본을 투입하여 지락 보호시스템을 설치 중이며, 이의 대부분의 장비는 독일 등 해외 자본의 보호시스템이 대부분 사용되어 국내 기술의 보호시스템의 설치는 전무한 상태이다. 따라서, 본 보고서에서는, 이러한 비접지 시스템을 채용하고 있는 분산전원시스템의 지락을 빠르게 검출하고, 보호할 수 있으며, 특히, 고가인 별도의 특별한 장치를 설치하지 않고 손 쉽게 지락을 검출할 수 있는 방법을 소개한다.

I. 분산전원용 전력변환시스템의 1선지락 시나리오

분산전원용 전력변환시스템의 대표적인 예로는 인버터와 같은 전력변환장치를 통해 전력계통에 연계되는 시스템으로, 현재 동기기나 유도기와 같은 전동기를 활용하지 않는 대부분의 분산전원의 경우 해당 방식을 채용하고 있다.



저자 **이 일 용** | 한국전력공사 전력연구원 연구전략실.

이일용 선임연구원은 2013.1.1에 LS산전 중앙연구원에 입사하여 ESS 태양광 등 분산전원의 PCS분야기술연구원으로 재직하였으며, 2016년 한국전력공사 전력연구원에 입사하여 발전과 분산전원분야의 제어 전문가로 활동하였다. 현재는 연구전략실 R&D 정책팀에서 연구지원 업무를 수행 중이다.

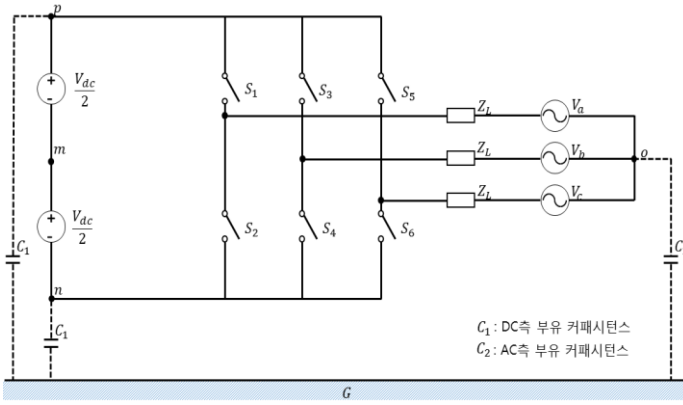


Fig. 1. 인버터시스템의 대표적인 부유 커패시턴스

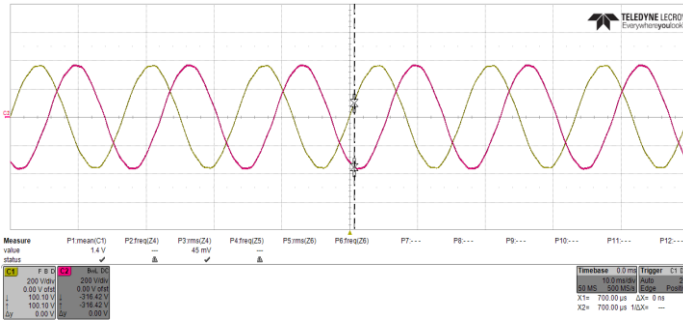


Fig. 2. 인버터시스템의 스위칭 전 AC 대지 전압

일반적으로 인버터를 활용한 전력변환시스템이 포함되는 경우 계통부의 전원은 비접지 시스템으로 Δ 상 변압기를 사용한다. 이는 대부분의 인버터 시스템은 3고조파를 주입하여 전압활용범위를 증대하는 제어 방법(이하 SVPWM: Space Vector Pulse Width Modulation)이 사용된다. 이러한 인버터시스템은 필수적으로 대지간의 부유 커패시턴스에 의한 공통전압이 생성되며, 이에 대한 검토를 위하여 다음과 같이 Fig. 1에 대하여 전압에 대한 식을 정리하면 다음 식(1)~(3) 과 같다.

$$V_{abc_g} = V_{abc_o} + V_{O_g} \tag{1}$$

$$V_{p_g} = \frac{V_{dc}}{2} + V_{mo} + V_{O_g} \tag{2}$$

$$V_{mo}(V_{om}) = \frac{V_{ao} + V_{bo} + V_{co}}{3} = \pm \frac{V_{dc}}{6}, \pm \frac{V_{dc}}{2} \text{ where, } S_{135} \text{ or } S_{246} \text{ On} \tag{3}$$

식 (2)로부터 DC측의 대지전압과 AC측 중성점의 대지전압은 스위칭에 따라 식 (3)과 같은 전압차를 가진다. 이는 곧 AC 및 DC 측의 부유 커패시턴스에 의해 어느 한쪽에서 스트레스를 갖는 것을 의미한다.

이와 같이 인버터가 동작하고 있는 경우에는 비접지 스템의 인버터와 이와 연결된 전원, 계통 등은 항상 다양한 CMV 전압의 변화가 일어나게 된다. 다음 Fig. 2 ~ Fig. 5는 실제 ESS 현장에서 측정된 CMV 전압의 파형을 나타낸다.

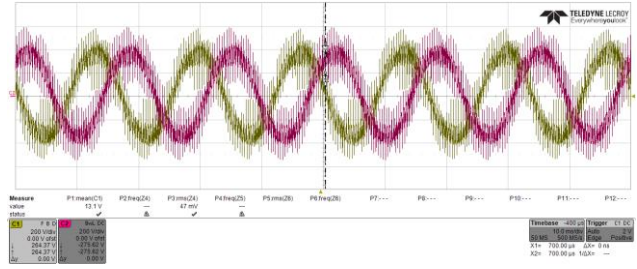


Fig. 3. 인버터시스템의 스위칭 후 AC 대지 전압

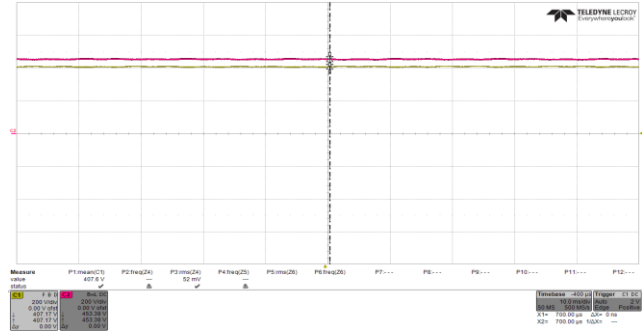


Fig. 4. 인버터시스템의 스위칭 전 DC 대지 전압

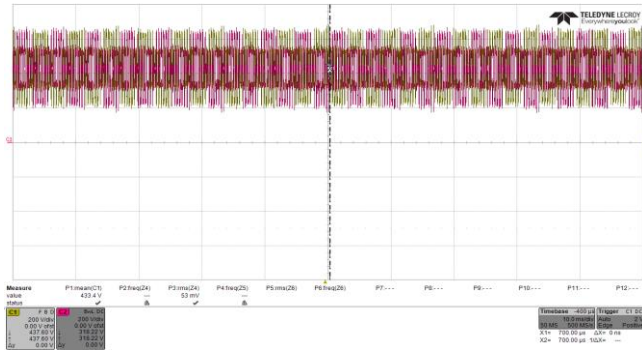


Fig. 5. 인버터시스템의 스위칭 후 DC 대지 전압

인버터가 동작하지 않는 경우에는, 시스템에 산재하여 있는 분산된 임피던스 등에 의하여, 일정한 AC 혹은 DC CMV 전압이 존재하나, 인버터의 동작과 동시에 인버터 스위칭 주파수에 의해 발생하는 글리치 전압과 인버터가 SVPWM에 의하여 발생하는 계단형식의 고주파수 전위가 교번하여 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이렇 듯 발생하는 고주파수 전압은 시스템에 가해해지는 스트레스를 심화시켜, 장시간 운전 시 시스템의 내전압 스트레스 내성을 약화시키며, 누설전류를 심화시키는 문제를 발생시킨다. 특히, 비접지 시스템의 경우 1선 지락 발생의 경우 일반적으로 CMV 상승 외 별다른 증상 없이 정상동작을 하는 문제가 빈번히 발생하고 있다. 다음 그림은 이러한 1선 지락 상황을 모의하기 위한 개념도 및 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

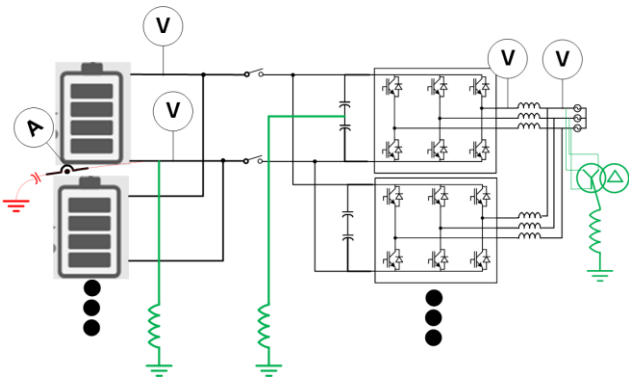


Fig. 6. 지락모의 시뮬레이션 개념도

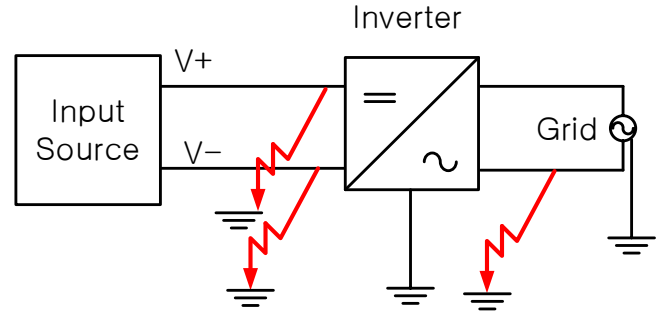


Fig. 9. 분산전원시스템의 지락사고 간략 개념도

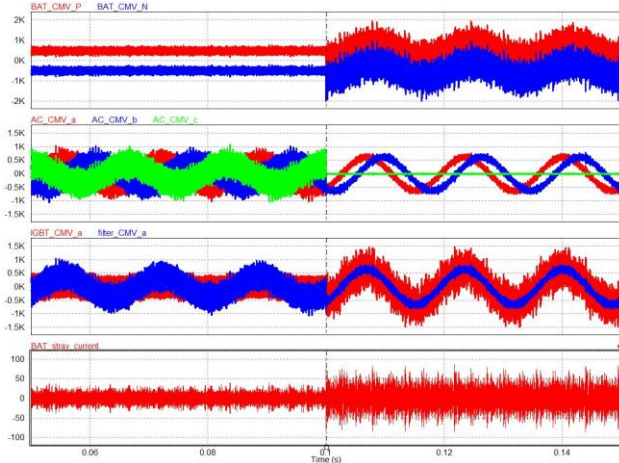


Fig. 7. AC 지락 시 인버터시스템의 각 부위 대지 전압

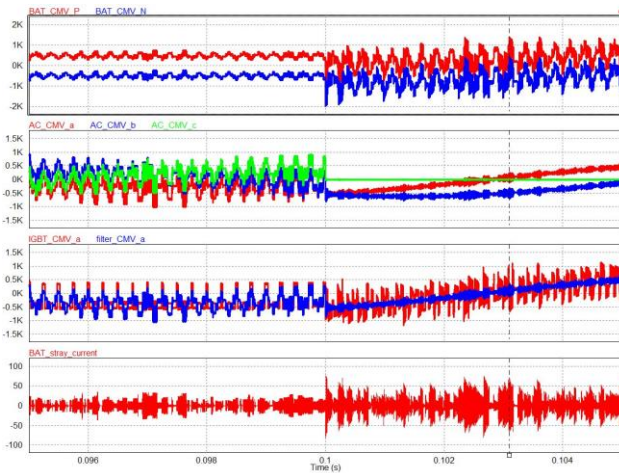


Fig. 8. AC 지락 시 인버터시스템의 각 부위 대지 전압의 확대파형

1선 지락에 의해 배터리측에 가해지는 전압 스트레스는 기존 약 1kV정도의 전압 스트레스에서 2배 이상의 전압 스트레스가 가해지게 되며, 특히, 기존의 DC전압 스트레스가 DC+AC+스위칭의 다양한 전압이 유기되어 사고 발생 시 더 큰 파급효과를 불러 일으킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 1선지락에 의하여 내부 절연파괴에 의한 대표적인 사고사례는 최근 다양한 현장에서 발생한 ESS 화재 사고 및 산업부 고시 내용에 의하여 손 쉽게 확인할 수 있다.

II. 지락 관련 기술기준 및 측정 설비

태양광/ESS등 분산전원의 주요 부품인 태양광 모듈, 배터리 셀 과 전력변환 장치는 국내 KS규격 및 국제 IEC 규격에 의해 통상 500V 이상(최대 4000V)의 절연 내력을 요구하고 있다. 또한, 발전소 준공을 위해서는 전기안전공사에서 시행하는 태양광 발전 설비 설비 점검지침을 통한 시험을 반드시 통과하여야 발전사업 준공 가능하며, 전기안전공사에서 주기적인 발전소 점검으로 해당 성능 유지를 요구하고 있다.

분산전원 시스템의 주요 금액 구성 비율은 태양광패널, 배터리 등 핵심 소재 50%, 전선 등 와이어링 10%, 전력변환장치 5%의 비율로 구성되며, 나머지 35%는 토목, 구조물, 공사비용 등으로 이루어진다. 이중 지락 등에 의한 절연과 관계된 부분 태양광 모듈, 배터리, 전력변환 장치, 접속반, 절선용 전선, 기타 통신장치 등 전체 구성 중 70% 내외로 분산전원의 대부분의 사항이 지락 및 절연저항과 관련이 있어 관리의 주요 사항으로 절연에 대한 문제는 여러 차례 강조하여도 지나치지 않다.

만일 분산전원시스템의 절연이 완전하지 않다면 발생 가능한 문제는 다음과 같다.

Fig. 9와 같이 구성된 경우 전력변환 장치가 동작하지 않으면 발전단지 관리자 혹은 작업자는 영향이 없는 것으로 판단할 수 있다. 하지만, 이는 전력변환장치가 동작하거나, 오결선 등의 문제로 인해 작업자에게 직접적인 전기 상해가 가해질 수 있는 상황이다.

특히 Input Source의 +나 -측에 접촉된 경우 초기 접촉 시 대전된 전하로 인해 작업자는 더 큰 상해를 입을 수 있다.

인체의 상해뿐만 아니라, 분산전원시스템에 저하된 절연성능으로 인해 누설 전류가 흐르게 되고, 편중된 누설전류로 인해 분산전원시스템의 수명을 단축시키고, 심한 경우 절연파괴로 인해 해당 지점 발화를 시작으로 연속적으로 발생하는 전소화재로 이어질 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 현장에서는 다양한 분산전원 시스템 관리 시 전기안전관리를 반드시 선임하고 있으며, 안전관리사는 주기적으로 절연 내력을 측정, 관리하고 있다.

기본 적인 분산전원시스템의 절연 저항은 통신부위를 제외하고 V당 1kΩ이상의 저항 값을 요구하고 있으며, 해당 저항 값은 선진 유럽국가, 일본 등 신재생 에너지의 선진 국가에서 IEC 62109-1 등 관련 인증기준을 활용하여 채용하고 있는 값과 동일한 값이다. 이러한 분산전원시스템의 절연저항을 측정하는 대표적인 방법은 2가지이다.



Fig. 10. 메거(Megger)의 대표적 예



Fig. 12. 펄스파 주입식 절연저항 측정 제품의 예

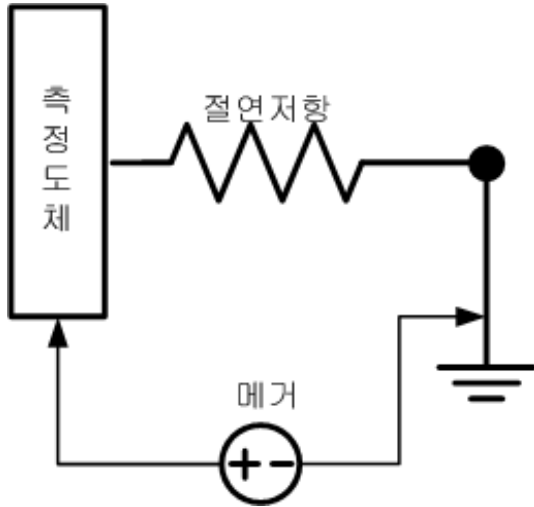


Fig. 11. 메거를 활용한 절연저항 측정 방법

A. Megger(메거)를 이용한 측정 방법

메거를 이용한 절연저항 측정 방법은 다음과 같이 간단하게 나타낼 수 있다. 다음 그림과 같이 측정하려는 도체와 장치에 결선한 후 테스트 전압을 인가한다. 인가된 전압에 의해 유기되는 전류 값을 측정하여 $V=IR$ 에 의해 절연저항 R 값을 측정하는 원리로, 인가하는 전압은 저압의 경우 측정 전류오차가 크기 때문에 일반적으로 kV 단위의 테스트전압을 사용한다. 일반적인 절연요건의 경우 최소 500V에서 최대 1000V 사이이며, 고압 테스트기를 사용하므로, 반드시 설비사용과 운용에 능숙한 전문가가 측정을 담당한다. 전기안전공사에서 발행한 태양광 발전설비의 점검지침(KESG-III-M-3-2014)에 의하면, 메거를 사용할 경우 반드시 500V 이상의 전압을 사용하여야 하며, 절연저항은 $1M\Omega$ 이상의 값을 측정하여야 한다. 현재 한국전력공사에서 관리하는 ESS시스템의 경우 1000V의 전압을 사용하여 절연저항 기준 $1M\Omega$ 이상의 값을 요구하고 있다. 또한, 분산전원시스템의 개별 장치 절연저항 측정 시 서지 어레스터나 바리스터 등 내전압, 내 펄스, 내 서지 등 이상 전압을 감지하고 회로를 보호하는 장치가 설치된 경우 해당 장치를 모두 제거한 후 측정을 해야 하므로, 메거를 이용하여 절연저항 측정 시 반드시 설비를 정지하여 측정하여야 하고, 모든 장비를 측정하기 위해서는 수 일간 시스템을 정지를 해야하기 때문에 손실 발생이 필수적이다(100MW 태양광 발전소 기준 1일 손실: 70백만원(SMP+REC 20만원, 3.5h 발전기준))

Fig. 10은 시판중인 다양한 메거 장치를 나타낸다. 메거 장치는 오차율이 크고 보호 장치가 없는 저렴한 모델은 가격이 수십 만원이지만, 다양한 보호장치를 가진 경우 수백 만원에 이른다. 간단한 알고리즘에 의해 절연저항을 측정하지만, 고 전압을 발생하여야 하고, 미세 전류를 측정하여 정확한 저항값을 얻어내기 어렵기 때문이다.

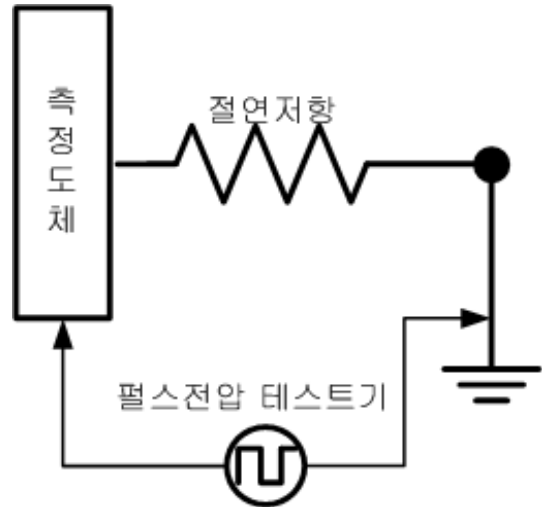


Fig. 13. 펄스파주입식 절연저항 측정 방법

B. 테스트 전압 펄스를 이용한 측정 방법

메거를 활용한 저항 값 측정의 위험성을 저감하기 위해 사용하는 절연저항 측정 장치로, 측정 방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 13과 같이 측정 하려는 도체와 장치에 결선한 후 다음과 같은 구형 전압 파형을 입력한다. 입력 전압은 수십~수백V 사이이며, 수~수십Hz의 저주파수 입력을 통해 전력변환장치에서 발생하는 고주파 영역의 전압을 회피한다. +와 구형파 전압을 입력함으로써, 메거와 동일 측정 전압 범위를 가지는 경우에도 1/2의 전압만을 이용하여 저항 값을 측정 가능하다. 하지만, 해당 시스템의 경우 분산전원의 특성 상 무수한 병렬운 DC측과 도선, 도체 등과 대지사이 발생하는 커패시턴스에 의한 측정오차가 발생하여 유전율이 변화하는 날씨의 변동, 계절의 변동에 의해 오동작 할 가능성이 있으며, 메거에 비해 상대적으로 비싼 가격(1기당 수백~수천만원)으로 인해 수십 MW 이상의 대용량 시스템에서만 간간히 사용되고 있다.

제안하는 절연저항 측정방식을 적용함에 있어 대표적인 분산 전원시스템으로서 태양광 발전소를 구성하는 방법은 다음과 같이 2 가지로 나눌 수 있다. 중앙 집중형의 경우 설비의 구성이 간략하고 특히 절연저항 측정 등 유지보수가 간단하지만, 스트링 별 발전전력 차에 의한 손실이 있어 고효율 발전을 위해서는 다음 그림과 같은 멀티스트링 방식을 주로 채용한다. 이러한 다중 스트링 방식의 태양광 발전소의 경우 테스트 펄스 주입 형 절연저항 측정장치를 사용할 경우, 매 스트링 마다 측정장치를 설치하여야 하며, 스트링이 늘어날 때 마다 설치비용은 기하급수적으로 증가한다. 중앙 집중형 방식과 멀티스트링 방식 태양광 발전소는 모두 다음과 같은 접지구조를 가지고 있다.

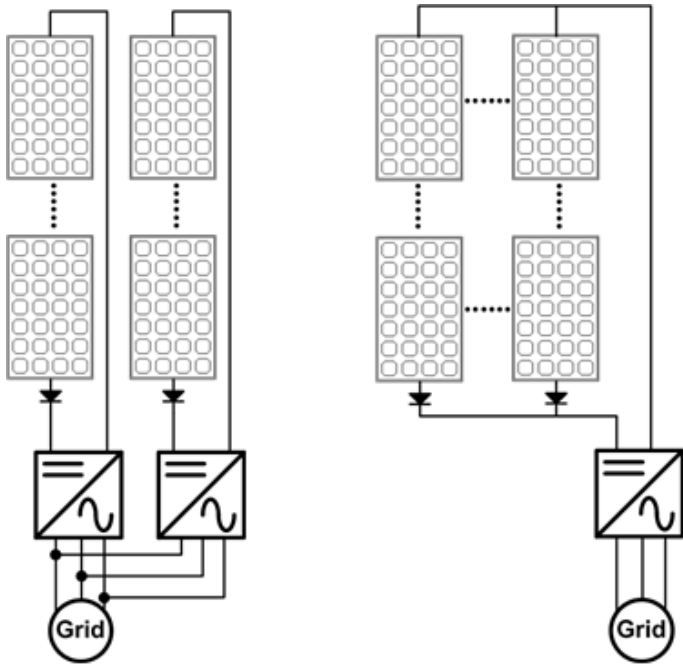


Fig. 14. 다양한 태양광발전 연계 방법

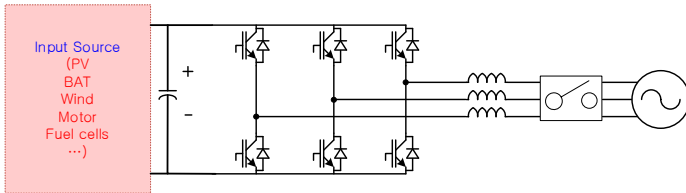


Fig. 15. 일반적인 분산전원시스템의 구조도

이러한 구조에서는 PV의 +전압단자 및 -전압단자가 PV 모듈에서부터 계통까지 직렬로 결선되는 구조로, 만일 태양광 모듈의 +단 및 -단의 절연 저항 값을 측정한다면, 태양광 발전소에서 전력변환용 인버터, 계통 저압 측 변압기까지 모두 절연저항 측정 및 감시가 가능하다. Fig. 7은 일반적인 태양광 발전소의 구성도를 나타낸다. 해당 그림은 간략하게 태양광 모듈 어레이를 하나의 어레이 구성으로 나타내고, 인버터와 계통연계부를 나타낸다. 보통 PV 어레이, 인버터, 계통 등은 외함의 접지가 이루어져 있고 해당 도면은 이를 나타내고 있다.

III. 간략한 절연저항 측정 시스템 제안

기존의 메거와 같은 절연저항 측정 장치는 500V~1000V의 테스트 전압을 인가하여 계통과 연결된 부유나 내전압, 내서지, 소자 등을 제거한 후 측정이 가능했다. 또한 테스트 펄스 주입식 절연저항 측정 장치는 메거 장치보다 안전사항에 필요요건이 적지만, 상시 감시장치로서 설치할 경우 분산전원의 특성 상 다수의 전원이 존재하고, 각 전원 별 감시장치를 설치함으로써 기하급수적인 비용증가를 가져온다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 보고서에서는 아주 간략한 구조의 태양광발전을 포함한 다양한 분산전원시스템의 절연저항 측정 장치를 제안한다.

Fig. 16은 제안하는 절연저항 측정용 회로의 간략도를 나타낸다. 본 회로에서와 같이 본 발명에서는 전압발생장치나 테스트 펄스를 발생하기 위한 추가 장치가 필요 없는 간단한 구조를 가진다.

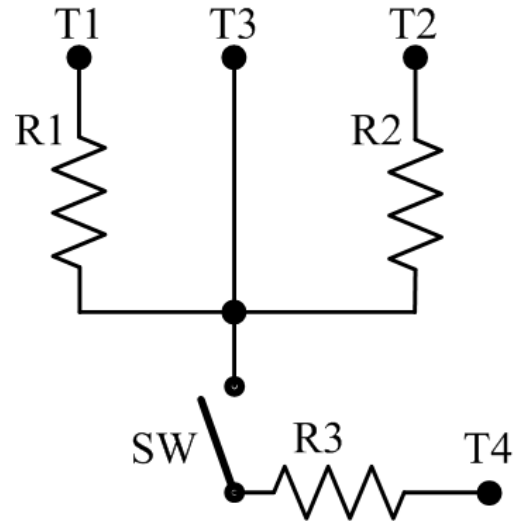


Fig. 16. 절연저항 측정 회로의 간략도

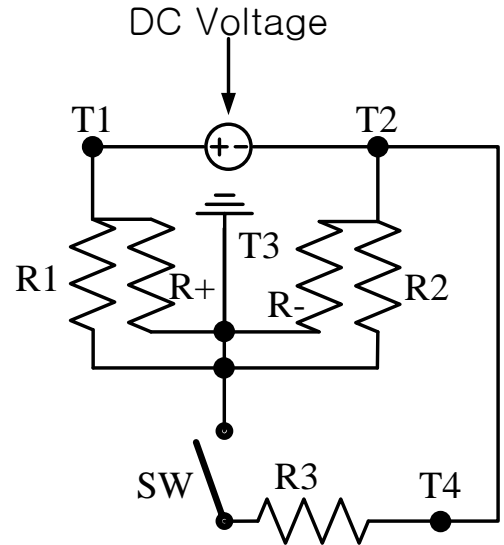


Fig. 17. 절연저항 측정 회로도의 결선

A. 절연저항 측정 알고리즘

또한, 단순히 저항 R1, R2, R3, 스위치(릴레이) SW만이 구성되고, 별도의 전류측정 장치가 필요하지 않고, 회로에 유기되는 전력이 매우 작고 단순한 구조를 가지기 때문에 발생하는 원가는 수천원에 불과하다. 이 회로의 결선 방법은 Fig17. 과 같이 T1과 T2 단자는 DC의 +측과 DC의 -측에 결선한 후 T3 단자를 분산전원시스템의 PE(Protective Earth, 접지)단자에 결선한다. T4 단자는 T1 혹은 T2 단자에 결선한다.

분산전원시스템의 절연저항은 DC전원단과 인버터의 전원단, 계통의 전원단 등 무수히 많은 부분과 연결되어 복합적인 저항들의 집합이지만, 전원단이 모두 같은 라인에 접속된 분산전원시스템의 모델은 다음과 같이 모든 저항들이 병렬로 결선되어 간략하게 다음과 같이 결선된 모델은 나타낼 수 있다(단, V+ 는 DC전원의 + 측 전압, V-는 DC전원의 -측 전압, R+는 DC전원의 +단자 측과 접지 간 절연저항, R-는 DC전원의 -단자 측과 접지 간 절연 저항이다.

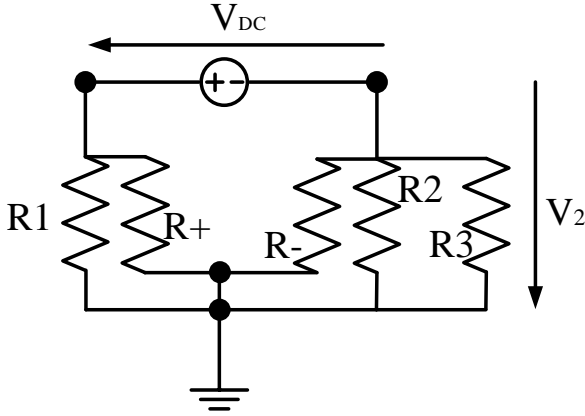


Fig. 18. 스위치 Turn On 상태의 회로도

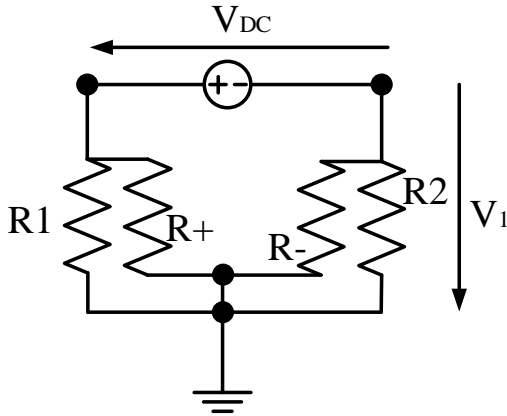


Fig. 19. 스위치 Turn Off 상태의 회로도

앞서 기술한 것처럼 분산전원시스템에서는 DC+측과 접지 간 저항, DC-측과 접지 간 저항을 측정하면 시스템 전체의 절연 저항 값을 알 수 있다. 저항을 측정하는 방법은 분산전원시스템의 DC측 전압이 R1, R2, R+, R-가 결선된 단자에 각각 분배되어 나타나고, 나타나는 전압은 R1과 R2, R+와 R-의 비율에 따라 결정된다. 단순히 SW 및 R3가 포함되지 않은 회로라면 2개의 미지수를 가지는 1개의 방정식으로 해를 구할 수 없지만, SW와 R3를 동작을 시켜 추가적인 회로를 구성해 1개의 방정식을 추가 구성한다.

Fig. 19에서 SW를 Turn Off 한 경우 그림17과 같이 간략도로 나타낼 수 있다. 그림17에서 V_{DC}의 전압(T2와 T1 사이의 전압)은 DC 전원단의 전압으로 각 저항에 분배전압을 생성시킨다. 분배되는 전압은 R1단 과 R2 단에 각각 측정 가능하며, 다음과 같이 수식 전개가 가능하다.

$$(R_+//R_1)V_1 = (R_-//R_2)(V_{DC}/V_1) \text{ where, '//' - 병렬연산} \quad (4)$$

현재 우리가 알 수 있는 값은 R1, R2, V_{DC}, V1이고, 미지수는 R+와 R-로 위의 1개의 1차 방정식을 풀 경우 방정식의 해는 1차 함수로 표현되어 R+와 R-를 정확하게 계산하는 것은 불가능하다. 따라서, 본 제안에서 추가한 SW와 R3를 이용한다.

만일 Fig. 19에서 SW를 Turn On 한 경우 Fig. 18과 같이 간략 회로도 표현이 가능하며, 위와 같은 방법으로 분배되는 전압

에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

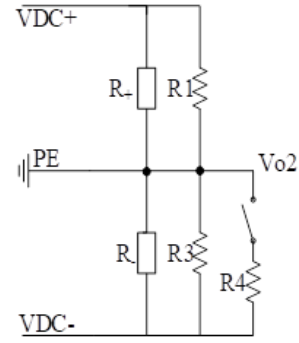


Fig. 20. 시뮬레이션 구성을 위한 간략 회로도

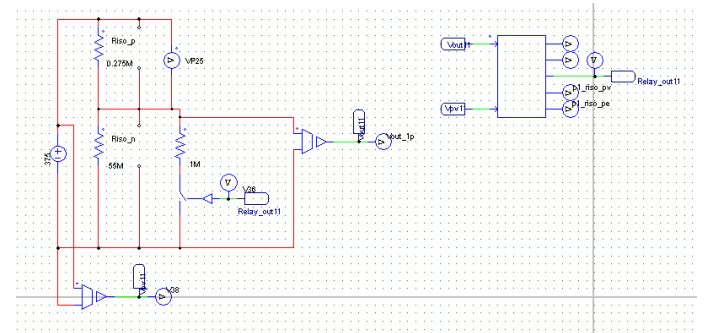


Fig. 21. PSIM 시뮬레이션 회로도

$$(R_+//R_1)V_2 = (R_-//R_2//R_3)(V_{DC} - V_2) \quad (5)$$

SW를 Turn On 함과 동시에 R2와R-단의 합성 저항은 R3에 의해 변화함으로 인해 V_{DC}에 의해 인가되는 전압 V1은 V2로 변화하고, 변화된 전압은 외부에서 측정이 가능하다. 이제 우리가 R1, R2, R3를 알고 V_{DC}, V1, V2를 알고 있으므로, 미지수가 2개인 1차방정식 2개가 생성되어 정확한 해를 구할 수 있게 된다. 위의 두 수식은 다음과 같이 전개가 가능하다

$$\frac{(R_+//R_1)}{(R_-//R_2)} = \frac{(V_{DC} - V_1)}{V_1} = \alpha \quad (6)$$

$$\frac{(R_+//R_1)}{(R_-//R_2//R_3)} = \frac{(V_{DC} - V_2)}{V_2} = \beta \quad (7)$$

이 수식을 풀어 R+와 R-에 대해 정리하면, 다음과 같이 정리가 가능하다

$$R_+ = \frac{(\alpha - \beta)R_1 - \frac{R_1}{R_3}}{1 - \alpha + \beta} \quad (8)$$

$$R_- = \frac{1 - \frac{\alpha}{\beta}}{(\frac{\alpha}{\beta} - 1) \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (9)$$

수식에 따르면, 결선된 저항 R1, R2, R3가 중간의 스위치에 의해 전압을 변경시켜 2원 2차 연립 방정식을 만들어 1개의 해를 가지는 방정식으로 풀이된다.

따라서, 본 보고서에서 제안한 방법으로 단 3개의 저항과 전류가 거의 흐르지 않으므로, 용량이 매우 작은 1개의 스위치(소형 릴

레이, 차단기 등)만으로 복잡한 절연저항 측정을 간단히 가능하다.

B. 절연저항 측정 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 다음 그림과 같은 절연저항 측정 간략 회로도를 기반으로 다음과 같은 시뮬레이션회로도를 PSIM 프로그램을 활용하여 작성하였다. 시뮬레이션의 연산을 위해 앞서 기술한 2차방직식을 C코드로 작성하여 연산 프로그램을 입력 및 활용하였으며, 측정되는 전압 값을 활용하여 저항 값을 출력한다.

다음 표는 측정된 저항 값을 나타낸다. 측정의 정확도를 확인하기 위해 DC의 전압과 측정할 절연 저항 값을 변화시키며 측정하였고, 각 모드 별로 측정되는 오차는 최대 약 5% 이내로 매우 정확한 측정 오차를 보였다. 이때 발생하는 약간의 오차는 C언어의 Float 변수를 사용함에 있어 매우 적은 미소 차이 값을 연산하는 알고리즘으로 인해 발생하는 소수점 연산 오차 등에 의하여 발생한 것으로 사료된다.

R+측 측정값						
		DC전압				
		200	300	400	500 V	
절연저항	10M	10.0000	10.0000	10.0000	10.0102	Mohm
	1M	1.0000	0.9998	1.0000	1.0000	Mohm
	100k	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	Mohm

*negative측 절연저항은 10M 고정

R-측 측정값						
		DC전압				
		200	300	400	500 V	
절연저항	10M	10.0000	10.0000	10.0000	10.0102	Mohm
	1M	9.9931	9.9764	9.9931	10.0032	Mohm
	100k	9.9624	9.9236	9.9892	9.9605	Mohm

*Positive측 절연저항은 10M 고정

IV. 결론

본 보고서에서 제안한 알고리즘 및 회로를 사용하는 경우, 분산전원시스템의 절연저항을 측정하기 위해 고 비용의 장비를 구비하지 않아도 되고, 절연저항 감시를 위해 고 비용의 절연저항 감시 장치를 설치하지 않아도 된다. 또한, 해당 회로를 인버터나 접속반,

수배전반등 분산전원시스템 내부에 내장하여 사용하는 경우, 사용자가 원하는 시간과 원하는 주기로 절연저항 측정이 가능하다. 또한 회로를 구성하는 데에 수W급 저항 3개, DC용 스위치1개로 추가적인 고전압 발생회로가 없이 단순히 구성할 수 있으므로, 제작 원가 기존 메거 대비 수십 배의 원가절감이 가능하다. 특히 해당 회로는 어떠한 분산전원이라도, DC전원을 사용한다면 설치가능하고, 매일, 혹은 매 점검 주기별로 간단히 절연저항 측정을 수행하여 시스템의 안정성을 점검할 수 있으며, 절연저항 점검을 위해 발전소에 안전관리자가 방문하지 않아도 점검이 가능하여 분산전원 시스템의 완전 무인화에 기여할 수 있다.

V. 스마트 인버터 주요 기능 요약 및 전망

본 고에서는 스마트 인버터의 주요 기능인 자가 통제, 자가 적응, 자가 보안, 자가 복구 기능에 대하여 살펴보았다. 스마트 인버터는 자가 통제 기능으로 가상 관성을 만들어 그리드 코드를 만족하면서 전압보상과 보조서비스를 제공할 수 있다. 즉, 그린에너지 계통 투입률이 증가하더라도 계통 형성 인버터를 사용한다면 계통 관성을 유지할 수 있을 것으로 전망된다. 이와 관련하여 계통 형성 인버터의 계통 주파수 및 전압 형성을 위한 중앙 집중/분산 제어방식에 대해 알아보았다. 스마트 인버터 자가 적응 기능은 인버터의 안정적인 운영과 성능 향상을 위하여 전력계통의 전력손실을 감지하고 이에 대응할 수 있는 적응형 제어 기술을 말한다. 자가 보안 기능은 사이버 공격에 대비하기 위해 보안 통신 네트워크를 통해 스마트 인버터를 제어할 수 있는 기술이다. 마지막으로, 스마트 인버터 고장진단에 대한 중요성과 자가 복구 기능에 대하여 살펴보았다. 자가 복구 기술은 통해 계통 고장이 발생했을 때 인버터의 갑작스러운 탈락을 방지할 수 있도록 하는 기술이다.

References

[1] 김수열, 임지훈, 이일용, 김진태, 최인규, 김형근. (2020). ESS 지/단락 실증시험에 기반한 BESS 고장모의 해석. 전기학회논문지, 69(10), 1445-1455.

[2] 산업통상자원부 보도자료, "ESS 사고원인 조사결과 및 안전강화 대책 발표", (2019.06.10 보도자료).