

단권변압기 구조를 이용한 UPFC 토폴로지

이상훈, 윤영두
 명지대학교

UPFC Topology Using Autotransformer Structure

Sang-Hoon Lee, Young-Doo Yoon
 Myongji University

ABSTRACT

본 논문은 단권변압기 구조를 이용한 새로운 UPFC 토폴로지를 제안한다. 제안된 토폴로지는 N:1:1:1 복권 변압기를 단권 변압기로 사용하고, 양방향 컨버터와 인버터가 결합된 구조의 전력변환장치를 사용한다. 또한, 기존의 UPFC에서 사용한 2개의 직·병렬 변압기를 1개로 줄임에 따라, 제작 비용 및 설치 공간의 절감 효과를 얻을 수 있다. 제안된 토폴로지의 유효성은 실험을 통해 검증되었다.

변압기 수가 줄어들고, 낮은 정격의 반도체 스위치를 사용하므로 설치비용 및 시스템의 부피가 확연히 줄어드는 것을 직관적으로 알 수 있다. UPFC 기기가 고장 혹은 미사용 시 Bypass Circuit을 통해 전력 수송전달이 가능하다.

1. 서론

세계 전력 수요가 해가 거듭될수록 지속적으로 증가함에 따라 전력난이 예상되며, 이는 전력 생산 용량 및 송전시설 증설이 필요함을 의미한다^[1]. 그러나, 발전 및 송전시설의 증설은 환경적, 사회적 요인 등으로 인해 제한이 된다. 따라서, 전력전송의 효율성을 높이고, 송전 용량을 극대화하기 위해 유연교류 송전시스템(FACTS: Flexible AC Transmission Systems) 기술이 도입되고 있다. 이들 기기 중 유효 및 무효전력 조류제어, 모션 전압제어가 가능한 UPFC(Unified Power Flow Controller)가 가장 효과적이지만, 설치비용이 고가이며, 설치 공간 또한 많은 비중을 차지하므로 적용이 한정적이다^[2]. 결과적으로, 설치비용이 저렴하고 공간 절약이 가능한 새로운 UPFC 토폴로지에 대한 필요성이 대두되고 있다.

본 논문에서는 기존의 UPFC의 단점을 보완하기 위해, 단권 변압기 구조를 이용한 UPFC 토폴로지를 제안한다.

2. 제안된 UPFC 시스템

2.1 시스템 구성 및 특징

그림 1은 N:1:1:1 복권 변압기 3개를 나타내며, 그림 2는 제안된 UPFC 토폴로지의 3상 중 하나의 상만 나타낸 등가회로이다. 복권변압기를 단권변압기로 연결하여 변압기 블록을 구성하고, 양방향 3상 컨버터와 하나의 폴로 구성된 인버터가 결합된 구조의 전력변환장치를 사용하는 토폴로지이다. 단권변압기를 사용함으로써 절연 특성이 사라지는 반면에, 변압기 용량이 턴 비에 비례하여 커지기 때문에, 기존의 변압기보다 낮은 용량의 변압기로 시스템을 구성할 수 있다. 또한, 전력변환장치에 사용되는 반도체 스위치의 정격 전압이 변압기의 턴 비에 비례하여 작아진다. 따라서, 기존 시스템 대비 제안된 시스템의

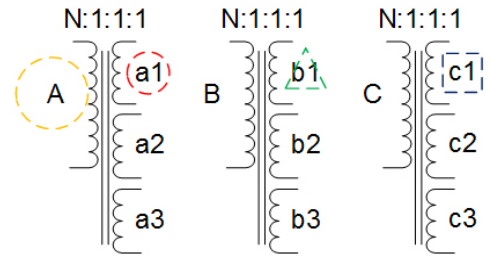


그림 1 N:1:1:1 3상 복권 변압기

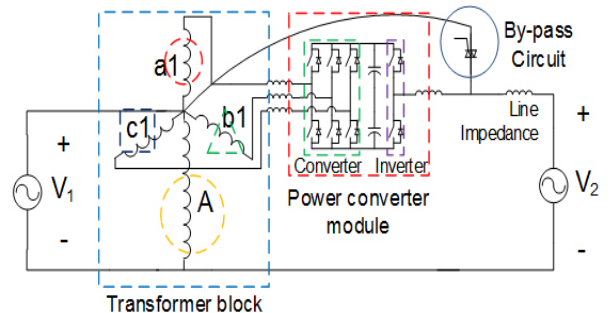


그림 2 단권변압기 구조를 이용한 UPFC 단상 등가회로

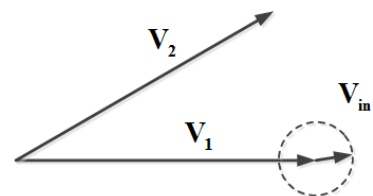


그림 3 제안된 UPFC의 전력 조류 제어 개념도

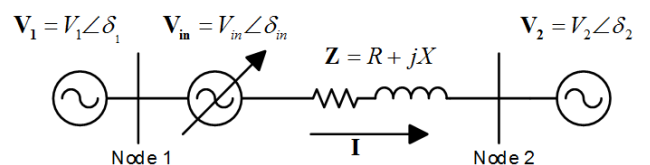


그림 4 제안된 UPFC와 계통의 등가모델

2.2 전력 조류 제어 방법

양방향 3상 컨버터의 직류단 전압 제어는 참고문헌^[3]의 방법을 이용하여 단위 역률 제어를 하고 있다. 그림 3은 제안된 UPFC의 전력 조류 제어에 대한 페이스도를 나타낸다. 송신단 전압(V_1)과 수신단 전압(V_2) 사이의 조류를 제어하기 위해 전압(V_{in})을 추가함으로써, 두 노드 사이의 유효 및 무효 전력을 제어할 수 있다.

2.3 V_{in} 전압 합성 방법

그림 4는 제안된 UPFC와 계통의 등가모델을 나타낸다. 키르히호프 법칙에 따라 선전류를 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 노드 1에서의 복소전력을 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, S_0 는 $V_{in}=0$ 일 때의 복소전력을 나타내며, S_{ref} 는 UPFC에 의해 제어되는 복소전력 지령을 나타낸다.

$$I = \frac{V_1 \cos \delta_1 + V_{in} \cos \delta_{in} - V_2 \cos \delta_2}{R + j\omega L} + \frac{j V_1 \sin \delta_1 + j V_{in} \sin \delta_{in} - j V_2 \sin \delta_2}{R + j\omega L} \quad (1)$$

$$S_0 + S_{ref} = (V_{in} + V_1) \cdot I^* \quad (2)$$

식(1), 식(2)를 이용하여 식(3), 식(4)와 같이 유효 및 무효 전력 성분으로 나눌 수 있다.

$$P_0 + P_{ref} = V_1 \frac{R(V_1 \cos \delta_1 + V_{in} \cos \delta_{in} - V_2 \cos \delta_2)}{|Z|^2} + V_1 \frac{\omega L(V_1 \sin \delta_1 + V_{in} \sin \delta_{in} - V_2 \sin \delta_2)}{|Z|^2} \quad (3)$$

$$Q_0 + Q_{ref} = V_1 \frac{-R(V_1 \sin \delta_1 + V_{in} \sin \delta_{in} - V_2 \sin \delta_2)}{|Z|^2} + V_1 \frac{\omega L(V_1 \cos \delta_1 + V_{in} \cos \delta_{in} - V_2 \cos \delta_2)}{|Z|^2} \quad (4)$$

UPFC가 송신단에 설치된다고 가정하면, 송신단 전압의 위상(δ_1)을 측정할 수 있으며, 0으로 놓을 수 있다. 따라서, 식(3)과 식(4)를 이용하여 유효 및 무효 전력의 크기에 따라 조류 제어에 필요한 V_{in} 전압의 성분을 식(5), 식(6)으로 나타낼 수 있으며, 이를 통해 V_{in} 전압의 크기와 위상을 계산할 수 있다.

$$V_{in} \cos \delta_{in} = \frac{R \cdot P_{ref} + Q_{ref} \cdot \omega L}{V_1} \quad (5)$$

$$V_{in} \sin \delta_{in} = \frac{\omega L \cdot P_{ref} - R \cdot Q_{ref}}{V_1} \quad (6)$$

3. 축소모형 실험 결과

제안된 UPFC 토폴로지의 검증을 위해 220 V 계통에서 실험을 실시하였다. 직류단 전압은 100 V로 제어하였다. 그림 5는 복소전력의 지령을 2 kVA에서 2+j1 kVA로, 그림 6은 2+j1 kVA에서 j1 kVA로 변경했을 때의 실험 결과를 나타낸다. 복소전력의 지령에 따라 합성된 전압(V_{in})의 크기와 위상(δ_{in})이 변하며, 선전류(I)의 크기와 위상이 안정적으로 변하는 것을 확인할 수 있다.

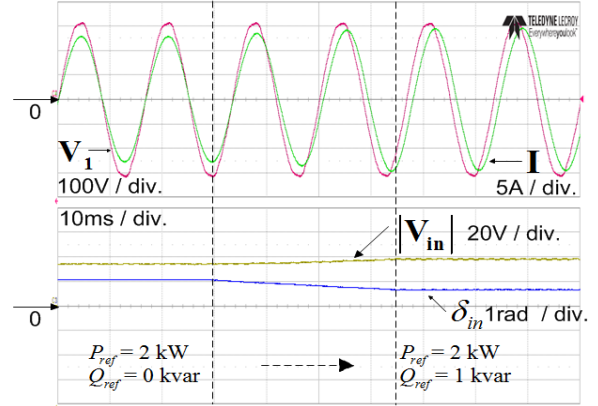


그림 5 복소전력 지령 변화에 따른 V_1 , I , V_{in} , δ_{in} 의 측정 파형

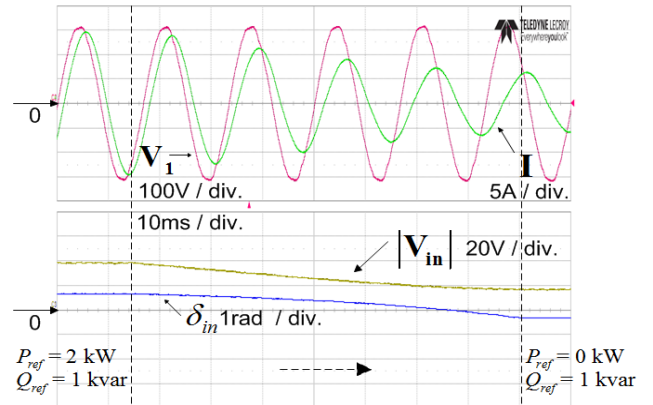


그림 6 복소전력 지령 변화에 따른 V_1 , I , V_{in} , δ_{in} 의 측정 파형

4. 결론

본 논문에서는 단권변압기 구조를 사용한 새로운 UPFC 토폴로지를 제안하였다. 제안된 시스템은 하나의 변압기만 사용하고, 전력변환장치에 사용되는 반도체 스위치의 가격 전압을 변압기 턴 비에 비례하여 낮출 수 있다. 결과적으로, 제안된 토폴로지를 통해 기존 UPFC 시스템보다 설치비용 및 공간 절감이 가능하며, 실험을 통하여 제안된 토폴로지의 유효성을 입증하였다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2014R1A1A1005138)

참고 문헌

- [1] R. Leon Vasquez-Amez and L. Cera Zanetta, Jr., "Compensation Strategy of Autotransformers and Parallel Lines Performance, Assisted by the UPFC" IEEE Trans. Power Delivery, vol. 20, pp. 1550, Apr. 2005.
- [2] Shuitao Yang and Fang Z. Peng, "Modulation and Control of Transformer-less UPFC," IEEE Trans. on Power Electronics, to be published.
- [3] 설 승기, 전기기기제어론, 개정판 4 장 6 절, 2012 년 3 월, 흥릉 과학 출판사