역방향 매트릭스 컨버터를 이용한 분산 발전 시스템의 입력 전압 불평형 발생 시 전류 왜곡 저감을 위한 제어 전략

최동호, 박영수, 이교범
아주대학교

Control Strategy for Reduction of Current Distortion in Distributed Generation Using Reverse Matrix Converter under Unbalanced Input Conditions

Dongho Choi, Yeongsu Bak, and Kyo Beum Lee
Ajou University

ABSTRACT

본 논문에서는 역방향 매트릭스 컨버터를 이용한 분산 발전 시스템의 입력 전압 불평형 발생 시, 전류 왜곡 저감을 위한 제어 전략을 제안한다. 분산 발전 시스템을 위한 역방향 매트릭스 컨버터는 발전기의 전력을 계통으로 전달하기 위해 사용된다. 발전기에서 불평형 전압이 발생되는 경우, 역방향 매트릭스 컨버터의 입출력 전류에 왜곡이 발생한다. 정상분 및 역상분 전압, 전류를 이용한 제안하는 제어 전략을 통해 역방향 매트릭스 컨버터의 입출력 전류의 왜곡을 저감할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 제어 전략의 타당성을 검증한다.

1. 서 론

분산 발전은 신재생 에너지, 디젤 발전기, 마이크로 터빈 등을 이용하여 발전되는 전력을 수요지로 공급하기 위한 시스템이다. 분산 발전은 발전기로부터 발전된 전력을 계통으로 전달하기 위한 전력 변환 시스템을 요구한다. 일반적으로 발전기에서 발생된 전압보다 계통 전압의 크기가 크기 때문에 승압형 컨버터인 역방향 매트릭스 컨버터를 사용할 수 있다[1]. 분산 발전 시스템에서 발전되는 입력 전압에 불평형이 발생할 경우, 입력 전류에 왜곡이 발생한다. 또한, 역방향 매트릭스 컨버터는 직류단 에너지 저장 소자가 없기 때문에 입력 전류의 왜곡은 출력 전류에도 영향을 미친다[2]. 출력 전류의 왜곡은 계통으로 전달되는 전력에 맥동을 유발하고, 이는 분산 발전 시스템의 신뢰성 및 안정성을 저하시킨다.

본 논문에서는 역방향 매트릭스 컨버터를 이용하는 분산 발전 시스템에서 입력 전압의 불평형이 발생할 경우, 입출력 전류에 발생하는 왜곡을 저감하기 위한 제어 전략을 제안한다.

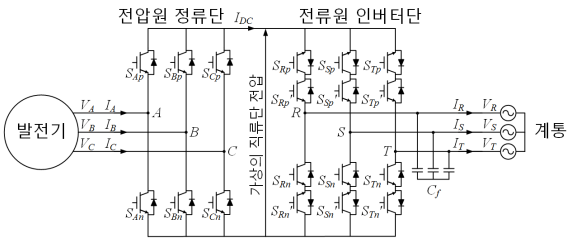

그림 1 역방향 매트릭스 컨버터의 토폴로지
Fig. 1 Topology of Reverse Matrix Converter

2. 역방향 매트릭스 컨버터의 토폴로지 및 입출력 전류의 왜곡 저감 전략

2.1 역방향 매트릭스 컨버터의 토폴로지

역방향 매트릭스 컨버터의 토폴로지는 그림 1과 같다. 역방향 매트릭스 컨버터는 전압원 정류단과 전류원 인버터단으로 구성되며, 직류단에 에너지 저장 소자가 없으므로 가상의 직류단 전압을 갖는다[3]. 역방향 매트릭스 컨버터의 입력은 발전기와 연결되며, 출력은 필터 커패시터를 통해 계통과 연결된다.

2.2 입출력 전류 왜곡 저감을 위한 지령 전류 계산

입력 전압의 불평형이 발생할 경우, 그림 2의 검출 방법을 이용해 입력 전압, 전류의 정상분 및 역상분 전압을 검출한다.

역방향 매트릭스 컨버터의 유효 전력 $P(t)$와 무효 전력 $Q(t)$는 식 (1)과 같이 DC 성분과 AC 성분의 합으로 표현된다.

$$\begin{aligned} P(t) &= P_0 + P_{\cos 2}\cos(2\omega t) + P_{\sin 2}\sin(2\omega t), \\ Q(t) &= Q_0 + Q_{\cos 2}\cos(2\omega t) + Q_{\sin 2}\sin(2\omega t). \end{aligned} \tag{1}$$

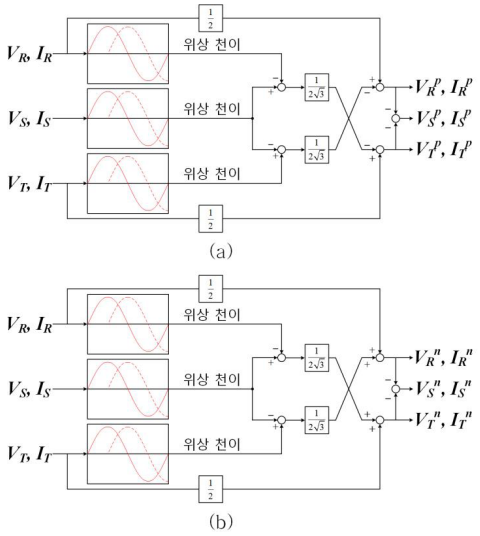

그림 2 정상분 및 역상분 검출 방법
Fig. 2 Detection method of positive and negative phase-sequence components

식 (1)의 계수들은 식 (2)와 같이 정상분 및 역상분으로 분리된 전압과 전류의 관계로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} P_0 \\ Q_0 \\ P_{\cos 2} \\ P_{\sin 2} \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} V_d^p & V_q^p & V_d^n & V_q^n \\ V_q^p & -V_d^p & V_q^n & V_d^n \\ V_d^n & V_q^n & V_d^p & V_q^p \\ V_q^n & -V_d^n & -V_q^n & V_d^p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d^p \\ I_q^p \\ I_d^n \\ I_q^n \end{bmatrix}. \quad (2)$$

식 (2)에서 유효 전력의 AC 성분 계수인 P_{cos2}와 P_{sin2}는 전류 왜곡의 원인이 되는 성분이다. P_{cos2}와 P_{sin2}에 0을 대입하여 식을 정리하면, 식 (3)과 같이 입출력 전류의 왜곡을 저감하기 위한 새로운 지령 전류를 계산할 수 있다.

$$I_d^{p*} = \frac{V_d^p}{V_q^p} I_{qe}^* + I_{de}^*, \qquad I_q^{p*} = I_{qe}^* - \frac{V_d^p}{V_q^p} I_{de}^*,$$
$$I_d^{n*} = -\frac{V_d^n}{V_q^p} I_{qe}^* + \frac{V_q^n}{V_q^p} I_{de}^*, \quad I_q^{n*} = -\frac{V_q^n}{V_q^p} I_{qe}^* - \frac{V_d^n}{V_q^p} I_{de}^*. \quad (3)$$

3. 시뮬레이션

제안하는 제어 전략의 타당성을 검증하기 위해 PSIM 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같으며, 계통 측 d q축 전류는 각각 0 A, 5 A로 제어하였다.

그림 3은 입력 전압 불평형이 발생한 경우의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 3(a)는 입력 선간 전압이며, 1.4초에서 불평형 전압이 발생한다. 입력 선간 전압에 불평형이 발생하는 경우, 그림 3(b)와 그림 3(c)와 같이 입출력 상전류에 왜곡이 발생한다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation parameter

파라미터	값	파라미터	값
발전기 선간 전압	150 V_{rms}	계통 선간 전압	380 V_{rms}
발전기 주파수	30 Hz	계통 주파수	60 Hz
제어 주기	100 μs	스위칭 주파수	10 kHz

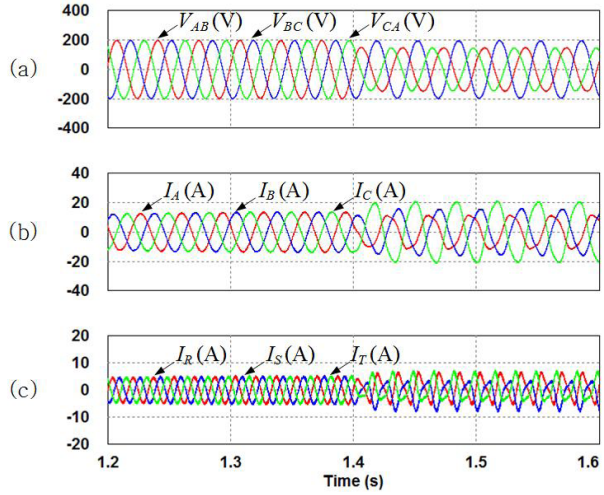

그림 3 입력 전압 불평형 발생 시, 입출력 전류
Fig. 3 Input-output current under unbalanced Input voltage

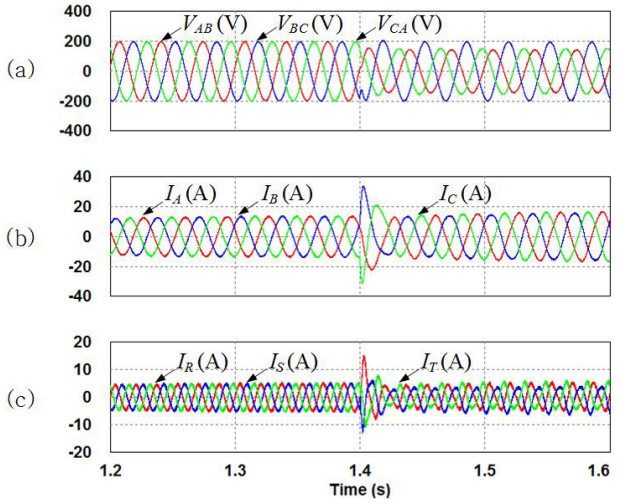

그림 4 입력 전압 불평형 발생 시, 입출력 전류 왜곡 저감
Fig. 4 Reduction of input-output current distortions under unbalanced input voltage

그림 4는 입력 전압 불평형이 발생한 경우, 제안하는 제어 전략을 적용한 시뮬레이션 결과이다. 1.4초에서 입력 선간 전압에 불평형이 발생하는 경우, 제안하는 제어 전략을 통해 입출력 전류의 왜곡이 저감된다.

4. 결 론

역방향 매트릭스 컨버터를 이용한 분산 발전 시스템에서 입력 전압에 불평형이 발생할 경우, 입출력 전류에 왜곡이 발생한다. 또한, 입력 전류의 왜곡은 출력 전류에도 영향을 미치며, 분산 발전 시스템의 신뢰성 및 안정성을 저하시킨다. 본 논문에서는 입력 전압 불평형이 발생할 경우, 입력 전압과 전류의 정상분 및 역상분을 검출하고, 제안하는 제어 전략을 통해 입출력 전류의 왜곡을 감소시킨다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 제어 전략의 타당성을 검증하였다.

참 고 문 헌

[1] X. Liu, P. C. Loh, P. Wang, F. Blaabjerg, Y. Tang, and E. A. Al Ammar, “Distributed Generation Using Indirect Matrix Converter in Reverse Power Mode,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 3, pp. 1072 1082, Mar. 2013.

[2] H. G. Jeong and K. B. Lee, “A Control Scheme to Fulfill the Grid Code under Various Fault Conditions in the Grid Connected Wind Turbines,” Electr. Eng., vol. 96, no. 2, pp. 199 210, Jun. 2014.

[3] Y. Bak, E. Lee, and K. B. Lee, "Indirect Matrix Converter for Hybrid Electric Vehicle Application with Three Phase and Single Phase Outputs," Energies, vol. 8, no. 5, pp. 3849 3866, Apr. 2015.