

비대칭 위상각 제어를 이용한 불평형 전압 제어

장 두 원, 최 경 달, 주 형 길
한국산업기술대학교 지식기반 에너지 대학원

Unbalanced Voltage Control Using Asymmetrical Phase Angle Control

Doo-Won Chang, Kyeong-Dal Choi, Hyeong-Gil Joo,
Korea Polytechnic Univ.

Abstract - 본 논문은 3상 불평형 전압이 인가될 때 순간 전압의 실효값을 측정해서 불평형율을 검출하고 순간 전압의 실효값이 평형이 되도록 각 상의 상전압을 전력소자를 사용한 위상각제어를 통해서 각 상별 스위칭각을 비대칭적으로 조절함으로써 3상 전압 불평형을 개선하고자 한다. 이를 모의실험을 통해 저항 부하와 유도 전동기 부하에서 검증하였다.

$$PVUR = \frac{\text{최대 상전압} - \text{평균 상전압}}{\text{평균 상전압}} \times 100 \% \quad (2)$$

$$LVUR = \frac{\text{최대 순간전압} - \text{평균순간 전압}}{\text{평균 순간전압}} \times 100 \% \quad (3)$$

VUF, PVUR 그리고 LVUR은 동일한 전압 불평형에 대해 표 1과 같이 차이를 보인다.

1. 서 론

표 1 전압 불평형을 비교

V_a [V]	V_b [V]	V_c [V]	정상분 전압[V]	역상분 전압 [V]	LVUR [%]	PVUR [%]	VUF [%]
127	127	127	127	0	0	0	0
117	127	127	123.6	3.3	2.7	2.7	2.7
117	122	127	122.	2.89	2.0	4.1	2.4
117	121	125	121	2.3	1.6	3.3	1.9
117	127	124	122.6	2.9	2.3	3.5	2.4

산업이 발달하면서 전기 품질에 많은 관심을 기울이고 있다. 특히 산업 전반에 걸쳐 사용되고 있는 3상 전원에 대한 고품질이 요구되고 있다.

전기 품질에 영향을 주는 요소로는 전압 새그, 스웰, 서지 및 정전, 그리고 고조파와 전압 불평형 등이 있다. 이 중에서 전기 품질에 지속적인 영향을 주는 것 중 하나가 전압 불평형이다[1]. 전압 불평형은 불평형 부하나 불평형 임피던스에 의해서 주로 발생하게 된다. 이러한 원인을 통해 발생한 전압 불평형은 전류 불평형을 만들게 되고 특히 유도 전동기의 경우 전압 불평형 보다 더 큰 전류 불평형을 초래한다. 이런 전류 불평형은 전기기기나 부하에 나쁜 영향을 미치게 된다. 특히 전기기기 중에서 산업 전반에서 빈번히 사용되는 유도기기에 많은 영향을 미치게 되는데 그 영향으로는 효율 감소 및 절연 파괴, 토크 감소, 진동, 소음 증가 등이 있다. 따라서 불평형 전압이 유도기에 미치는 영향에 대한 다각적인 연구가 진행되어 왔다[2].

또한 불평형을 감소시키기 위한 연구로 인버터를 사용한 방식, 직병렬 능동보상기방식 등이 진행되어왔다[3,4]. 본 논문에서는 대칭 표피법을 통해 3상 순간전압 불평형의 원인을 상전압의 크기 변화로 보고 제어 방법을 분류하여 전력소자를 사용해서 비대칭적으로 상전압의 크기를 조절해서 3상 순간전압을 평형으로 만드는 방법을 제안하고자 한다.

2.2 제안하는 전압 불평형 제어 방법

전압 불평형은 3상 전압 크기와 위상각의 불평형으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 3상 전압값의 불평형에 의한 전압 불평형의 현상과 원인을 분석하여 위상각 제어에 의한 상전압 제어를 통해 불평형 전압을 제어하였다. 순간 전압의 불평형은 전압 벡터도에 의해서 각 상별 크기의 변화로 표현될 수 있다. 따라서 3상 불평형 현상이 생기게 되면 그 원인을 그림 1과 같이 각 상의 크기 변화로 나타낼 수 있게 된다. 그러므로 각 상의 크기를 스위칭소자를 사용하여 비대칭적으로 제어함에 따라 상전압 크기 조절로 순간 전압의 불평형을 감소시킬 수 있게 된다. 불평형 현상과 원인을 분류해서 표 2와 같이 13가지 제어 모드로 만들어 제어했다.

2. 본 론

2.1 전압 불평형을

전압 불평형율은 정상분 전압과 역상분 전압의 비로 정의하는 VUF(Voltage Unbalance Factor)와 상전압을 통해 불평형율을 정의하는 PVUR(Phase Voltage Unbalance Rate) 그리고 순간전압을 통해 불평형율을 정의하는 LVUR(Line Voltage Unbalance Rate)가 있다[5].

$$VUF = \frac{\text{역상분 전압}}{\text{정상분 전압}} \times 100 \% \quad (1)$$

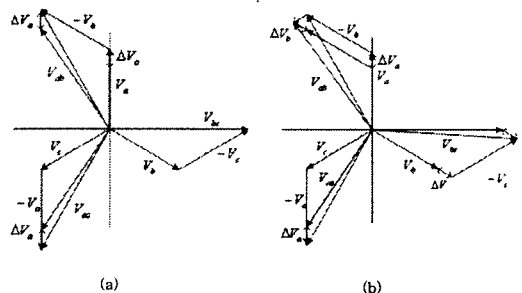


그림 1 (a) $\Delta V_a > 0$ (b) $\Delta V_a < 0, \Delta V_b > 0$

표 2 제어 모드와 현상 및 원인

mode	현상			원인			대책			
	ΔV_{Ab}	ΔV_{Bc}	ΔV_{Ca}	ΔV_{Aa}	ΔV_{Bb}	ΔV_{Cc}	ΔS_a	ΔS_b	ΔS_c	
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
1	1	1	2	0	-	0	0	-	0	
2	1	2	1	-	0	0	-	0	0	
3	2	1	1	0	0	-	0	0	-	
4	1	2	2	0	0	-	-	-	0	
5	2	2	1	0	-	0	-	0	-	
6	2	1	2	-	0	0	0	-	-	
7	1	2	3	0	++	-	-	-	-	
				0	-	-	-	-	-	-
				0	-	-	-	-	-	-
				0	-	-	-	-	-	-
8	1	3	2	-	0	-	-	-	-	
				-	0	-	-	-	-	-
				-	0	-	-	-	-	-
				-	0	-	-	-	-	-
9	2	1	3	-	-	0	0	-	-	
				-	-	0	0	-	-	-
				-	-	0	0	-	-	-
				-	-	0	0	-	-	-
10	3	1	2	-	0	-	0	-	-	
				-	0	-	0	-	-	-
				-	0	-	0	-	-	-
				-	0	-	0	-	-	-
11	2	3	1	-	-	0	-	-	-	
				-	-	0	-	-	-	-
				-	-	0	-	-	-	-
				-	-	0	-	-	-	-
12	3	2	1	0	-	-	-	-	-	
				0	-	-	-	-	-	-
				0	-	-	-	-	-	-
				0	-	-	-	-	-	-

2.3 모의실험

PSIM을 사용하여 표 3과 같이 3상 불평형 전압을 인가한 후 각 선간 전압의 실효치를 측정하여 불평형을 검출하고 이에 따라 표 2에 근거하여 제어 모드를 결정한다. 제어 모드에 따라 각 상별 위상각을 조절하여 상전압을 제어한다. 제안된 제어방식의 흐름도는 그림 2와 같다.

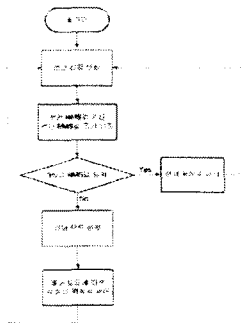


그림 2 제어 흐름도

저항 부하에서의 모의실험은 표 3의 임의의 불평형 전압에 대해 실행하였다. 그림 3은 각 경우에 있어서 불평형 전압을 제어하는 과정을 나타내고 있다. 이의 결과를 표 4에 나타내었다. 유도 전동기에서의 모의실험도 저항 부하에서의 모의실험과 동일하게 실행하였고 그림 4와 표4에 전압제어 과정과 결과를 나타내었다.

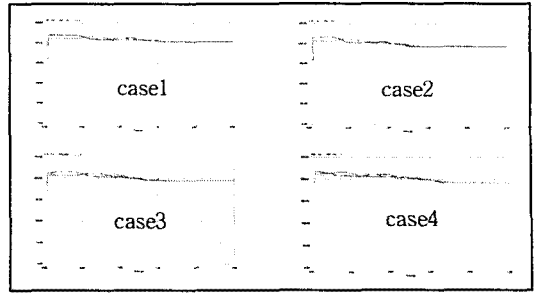


그림 3 3상 실효값 파형(저항부하)

표 3 불평형 전압과 보상전압 비교(저항부하)

case	불평형 전압				보상 전압			
	Vab[v]	Vbc[v]	Vca[v]	LVUR[%]	Vab[v]	Vbc[v]	Vca[v]	LVUR[%]
1	211	219	211	2.7	204.5	205	204.2	0.24
2	207	215	211	2.0	198.2	198.8	198.8	0.23
3	206	212	209	1.6	198.9	198.8	198.7	0.27
4	211	217	208	2.3	200	199.7	200.5	0.22

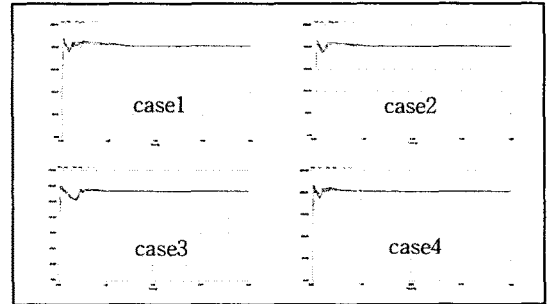


그림 4 3상 실효값 파형(유도전동기)

표 4 불평형 전압과 보상전압 비교(유도전동기)

case	불평형 전압				보상 전압			
	Vab[v]	Vbc[v]	Vca[v]	LVUR[%]	Vab[v]	Vbc[v]	Vca[v]	LVUR[%]
1	211	219	211	2.7	202.4	202.8	201.9	0.21
2	207	215	211	2.0	201.3	201.7	200.8	0.21
3	206	212	209	1.6	199.9	200.2	199.4	0.18
4	211	217	208	2.3	202.4	202.8	202.0	0.19

3. 결론

3상 전원 전압 불평형을 해소하기 위해서 본 논문에서 제안한 비대칭 위상각 제어 방식을 적용하여 PSIM으로 모의실험을 하였다. 표 4,5에서 나타나는 것과 같이 불평형율이 저항부하, 유도전동기에서 모두 NEMA에서 규정하는 불평형 허용범위인 1[%]을 초과하지 않는 만족한 결과를 얻었다.

[참고 문헌]

- [1] 김중경, "불평형 전압 운전시 유도전동기의 동작 특성해석", Trans. KIEE, vol.53B, No.6, Jun 2004.
- [2] Ching-Yui Lee, "Effects of Unbalanced Voltage on the Operation Performance of a Three-Phase Induction Motor", IEEE Trans on EC, Vol.14, No.2, pp.202-208, Jun 1999.
- [3] Miroslav Chomat, "Compensation of Unbalanced Three-Phase Voltage Supply in Voltage Source Inverter", IEEE, 2002.
- [4] 이우철, "대칭좌표계를 이용한 불평형 전원전압 보상에 관한 연구", 한경대학교 논문지, Vol.36, Dec 2004.
- [5] P.Pillay and M. Manyange, "Definitions of voltage unbalance", IEEE Power Eng. Rev.Mag., Vol.5, pp.50-51, May 2001.