

3상 교류 불평형 전압 제어 기법

장 두 원, 최 경 달, 주 형 길
한국산업기술대학교 에너지 대학원

A Control Method For Three Phase Unbalanced Voltage

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

Abstract - 본 논문은 3상 불평형 전압이 부하에 인가될 때 선간 전압의 실효값을 측정해서 불평형을 검출하고 불평형이 발생되면 선간전압의 실효값이 평형이 되도록 각 상의 상전압을 전력소자를 사용한 위상각제어를 통해서 각 상별 스위칭각을 비대칭적으로 조절함으로써 3상 전압 불평형 개선하고자 한다. 이를 모의 실험을 통해 유도전동기 부하에서 검증하였고 이를 통한 고조파 영향을 분석하였다

1. 서 론

산업이 발달하면서 전기 품질에 많은 관심을 가져오고 있다. 특히 산업 전반에 걸쳐 사용되고 있는 3상 전원에 대한 고품질이 요구되고 있다. 전기 품질에 영향을 주는 요소로 전압 세그, 스웰, 서지 및 정전, 그리고 고조파와 전압 불평형 등이 있다. 이 중에서 전기 품질에 지속적인 영향을 주는 요소 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 불평형보다 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 능동보상방식 등이 진행되어 왔다[3,4].

본 논문에서는 3상 선간전압 불평형을 상전압의 크기가 서로 다른 것을 원인으로 보고 대칭 좌표법을 통해 원인별 상전압 크기 변화를 분석하여 제어 방법을 분류 한다. 전력소자를 사용하여 각 상전압의 크기를 비대칭적으로 조절하여 3상 선간전압의 불평형을 제어하는 방법을 제안하고자 한다.

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 선전압을 통해 불평형율을 정의하는 LVUR(Line Voltage Unbalance Rate)이 있다[5].

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

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

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

〈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

VUF, PVUR 그리고 LVUR은 동일한 전압 불평형에 대해 표 1과 같이 차이를 보인다. 따라서 본 논문에서는 NEMA(National Electrical Manufacturers Association)에서 정하는 LVUR을 기준으로 불평형을 정의하고자 한다.

2.2 제안하는 전압 불평형 제어 방법

전압 불평형은 3상 전압 크기와 위상각의 불평형으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 3상 전압 값의 불평형에 의한 전압 불평형의 현상과 원인을 분석하여 위상각 제어에 의한 상전압 제어를 통해 불평형 전압을 제어하고자 한다. 선간 전압의 불평형은 전압 벡터도에 의해서 각 상별 크기의 변화로 표현될 수 있다. 따라서 3상 불평형 현상이 생기게 되면 그 원인을 각 상의 크기 변화로 나타낼 수 있게 되고 각 상의 크기를 스위칭소자를 사용하여 비대칭적으로 제어함에 따라 상전압 크기 조절로 선간 전압의 불평형을 감소시킬 수 있게 된다[6].

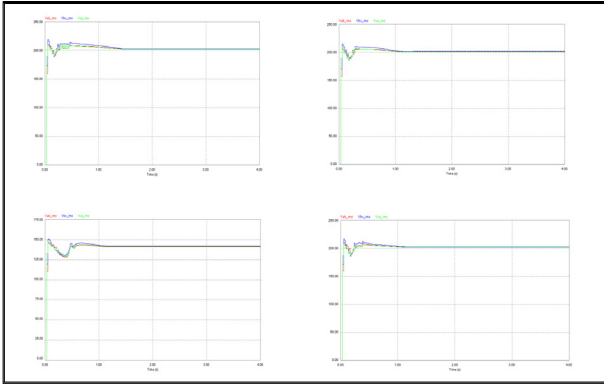
불평형 현상과 원인별로 분류하면 13가지 제어 모드를 구성할 수 있게 된다[6]. 선간 전압의 불평형 발생하면 제안하는 전압 제어 방법의 제어모드를 통해 각각의 경우에 따른 상전압을 제어 하게 된다. 제어된 상전압을 통해서 선간전압의 실효값이 평형을 이루게 함으로 불평형을 감소시킬 수 있다.

2.3 모의실험

PSIM을 사용하여 3상 불평형 전압을 인가한 후 각 선간 전압의 실효치를 측정하여 불평형을 검출하고 이에 따라 제어 모드를 결정하였다[6]. 제어 모드에 따라 각 상별 위상각을 조절하여 상전압을 제어하였다.

제어 흐름은 먼저 부하의 선간전압을 측정하여 선간 전압의 실효값을 계산한다. 각 선간 전압의 실효값이 일정 하지 않을 경우 불평형으로 판단하므로 불평형을 검출 한다. 검출된 불평형의 원인을 제어 모드에 따라 분류하고 각각의 제어모드에 따른 상전압을 제어한다. 상전압을 제어 할 때는 각 상마다 역병렬로 연결된 전력 소자의 스위칭 각을 조절하므로 상전압의 크기를 조절한다. 이와 같이 각 상별로 전력소자를 제어하므로 상전압을 비대칭적으로 제어하게 된다.

유도 전동기 모의실험은 표 1에서와 같이 각각의 불평형 전압의 경우에 대해 실행하였고 그에 따른 불평형율과 유도 전동기에서의 토오크와 고조파 왜곡을 분석하였다. 그림 1은 각 경우에 있어서 3상 불평형 전압의 실효값이 제어를 통해 평형으로 수렴하는 과정을 나타내고 있다. 그림 1의 실험 결과를 표 2에 정리하여 제어전과 제어후의 선간 전압의 변화와 전압 불평형율의 변화를 비교하여 나타냈다. 실험을 통해 선간 전압의 불평형율이 현저히 감소함을 알 수 있었다. 하지만 선간 전압의 평형 전압이 다소 감소함을 알 수 있었다.



〈그림 1〉 3상 실효값 파형

〈표 2〉 불평형 전압과 제어 전압 비교

case	불평형 전압				제어 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

〈표 3〉 각 상별 고조파 왜곡(THD)

	불평형 전압				제어 전압			
	case1	case2	case3	case4	case1	case2	case3	csae4
a상	1.53	1.49	1.48	1.52	1.35	0.091	0.20	0.08
b상	0.68	0.68	0.68	0.68	1.42	0.092	0.22	0.07
c상	0.71	0.72	0.71	0.72	1.39	0.093	0.20	0.07

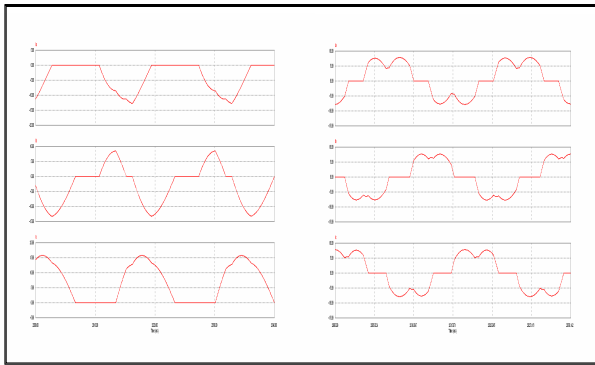
표 3은 고조파 왜곡율을 불평형 전압이 인가 될 때와 불평형 전압제어를 한 경우로 나타냈다. 다소 왜곡이 줄어드는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

3상 전원 전압 불평형을 해소하기 위해서 본 논문에서 제안한 비대칭 위상각 제어 방식을 적용하여 PSIM으로 모의실험을 하였다. 표 2에서 나타나는 것과 같이 본 논문에서 제안한 방식을 적용한 결과 유도전동기에서 불평형율은 모두 NEMA에서 규정하는 불평형 허용범위인 1[%]을 초과하지 않는 만족한 결과를 얻었고 불평형 전류는 전압 불평형율을 감소시킴으로 평형에 가까워짐을 그림 2의 결과를 통해 알 수 있었다. 또한 그림 3에 나타난 실험을 통한 결과로 토오크 맥동이 저감함을 알 수 있었다. 고조파 왜곡도 본래의 불평형 전압 보다 제어 했을 경우 다소 감소함을 표 3의 결과로 알 수 있었다.

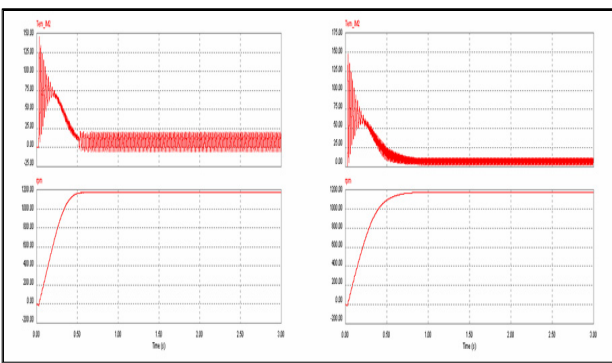
[참 고 문 헌]

- [1] 김종겸, "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.
- [6] 장두원, 최경달, 주형길, "비대칭 위상각 제어를 이용한 3상 불평형 제어", KIEE 춘계학술대회 논문집, pp171-172, April. 2007.



〈그림 2〉 전류 비교 파형(좌:제어전,우:제어후)

그림 2는 표 2의 case1과 같은 불평형율의 경우에 있어서 상전류 파형을 각각 나타내고 있다. 불평형이 인가 될 때의 전류 파형을, 제어를 하지 않을 경우와 제어를 했을 경우를 구분하여 나타내고 있다. 불평형 전압이 인가 될 때 다소 높은 전류가 발생하며 3상 모두 불평형의 전류 파형이 그림 2(좌)처럼 나타남을 알 수 있다. 이와 반대로 제안하는 제어 방법을 사용한 경우는 3상 모두 평형한 전류파형이 나타남을 그림 2(우)를 통해 알 수 있다.



〈그림 3〉 토오크 및 RPM 비교 파형(좌:제어전,우:제어후)

그림 3은 그림 2에서와 같은 조건의 case1 불평형에서 제어하기 전과 제어 후의 유도전동기의 토오크와 속도를 각각 나타내고 있다. 정상 상태(1200RPM)에서의 토오크 맥동을 비교해 볼 때 제어 후(그림 3(우))의 맥동 토오크가 제어 전 맥동 토오크에 비해 현저히 감소함을 알 수 있다. 이것은 제어 전의 경우 스위칭에 의한 고조파 성분 이외에 불평형에 의한 맥동 토오크가 포함 되어 있으나 제어 후에는 불평형에 의한 맥동 토오크가 제거되어 맥동 토오크가 나타내고 있다.