

Load Switching 기법을 이용한 중성선 전류 저감기법에 관한 연구

박건우*, 이상봉*, 김철환*, 정창수**, 유연표**
 성균관대학교* 한국전력공사**

A Study on the Neutral Current Reduction using Load Switching Method

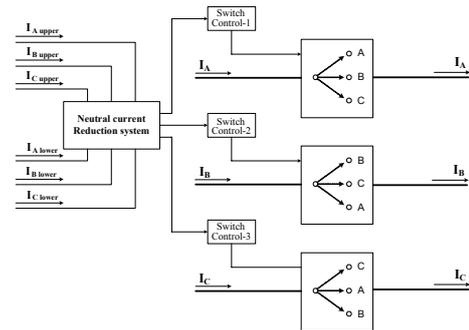
Keon-Woo Park*, Sang-Bong Rhee*, Chul-Hwan Kim*, Chang-Soo Jung**, Yun-Pyo-You**
 Sungkyunkwan University*, KEPCO**

Abstract - 본 논문은 배전계통에서 load switching 기법을 이용한 중성선 전류저감 방법에 대한 연구결과를 제시하였다. 본 방법의 동작은 중성선과 상전류의 변화에 의해 결정되며, 저감 방법에 대한 구성은 실효치 변환부, 3상전류 비교부, 최적조건 선택부 그리고 스위치 제어부로 총 4부분으로 구성되어있으며, 각 부분은 EMTP/MODELS를 이용하여 구현하였다.

치 변환부, 상전류 비교부, 최적조건 선택부 그리고 스위치 제어부로 구성되어 있다.

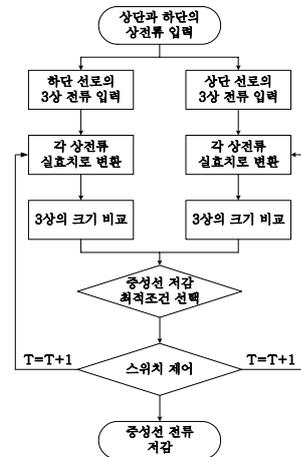
1. 서 론

현재 우리나라 배전계통의 표준 배전방식은 3상 4선식이며, 한국전력에서는 이러한 방식으로 일부 구간에서 1단 장주와 2단 장주를 병행하여 운용하고 있다. 3상 평형 배전선로의 정상적인 운전 상태에서는 중성선에 흐르는 전류는 이론적으로 항상 0이 되어야 하기 때문에 중성점을 접지하더라도 중성점과 접지 사이에는 전류가 흐르지 않는다. 하지만, 최근 산업의 급속적인 발전으로 인해 수용가의 비선형 및 불평형 부하가 증가하는 추세이며, 이로 인해 중성선에는 부하의 불평형에 의한 전류가 흐르게 된다[1]. 배전계통의 중성선에 흐르는 전류는 중성선의 과열, 그리고 전기설비의 고장 및 화재를 일으키며 또한, 기기의 절연 파괴 및 오동작을 야기 시킬 수 있다. 따라서 중성선 전류를 가능한 저감시켜 계통의 전반적인 전기품질 향상을 위한 연구가 필요한 실정이다.



<그림 1> Load Switching을 이용한 중성선 전류 저감 기법 구성도

한전은 1단장주 구간, 2단 장주 구간을 병행 운용하고 있으며 이러한 병행구간에서는 중성선을 공용으로 사용하고 있다. 즉, 1단 장주 구간이 2단 장주 구간으로 변경될 경우에는 각각 단독으로 구성되어 사용하던 중성선을 서로 공용하게 되는데 이때, 불평형 부하에 의해서 공용하는 중성선의 전류가 증가하는지, 아니면 서로 상쇄되어 감소하는지에 대해 많은 의견이 분분한 상황이다. 저자들의 기존 연구를 통해 중성선 공용시 상단 및 하단의 상 배열이 각 상전류의 크기를 서로 완화시키는 보완적일 관계를 갖는 경우 최소의 중성선 전류가 흐름을 분석하고 확인하였다[2].



<그림 2> Load Switching을 이용한 중성선 전류 저감 기법 흐름도

본 논문에서는 기존의 연구 결과를 바탕으로 중성선 전류 감소를 목적으로, load switching을 이용한 중성선 전류 저감 방법을 EMTP MODELS를 이용하여 구현하였다. 구현된 기법을 1단, 2단 장주를 혼용하는 한전의 실 계통에서 적용하고 결과를 분석함으로써 본 연구개발의 타당성과 효용성을 입증하였다.

2. Load Switching을 이용한 중성선 전류 저감 기법

2.1 선행연구

본 논문은 '한전 배전 계통을 이용한 2단장주의 불평형 부하에 따른 중성선 전류의 영향에 관한 연구[2]'를 토대로 진행이 되었다. 기존의 선행연구를 통해 알 수 있듯이 2단 장주로 구성된 배전 장주에서 상단 선로와 하단 선로의 중성선 접지점이 공통으로 사용될 경우 중성선 전류의 크기는 3상의 위상이 120°로 일정한 차이를 나타내고, 상단의 A·B·C상과 하단의 A·B·C상의 부하 크기 비율이 서로 상반되게 배열이 될 때 가장 작은 값으로 나타내게 됨을 확인하였다.

2.2 EMTP를 이용한 중성선 전류 저감 기법 구현

Load Switching을 이용한 중성선 전류 저감 기법은 부하에 의해 불평형이 발생한 배전계통에서 각 상의 크기를 비교하여 각 상의 배열을 변경함으로써 중성선 전류를 최대로 저감시키는 것이다. 이를 위한 제안된 기법의 구성은 중성선 전류 저감 시스템부와 9개의 스위치를 포함한 스위치 제어부로 구성되어 있으며, 시스템의 설계는 ATPDraw와 MODELS를 이용하였다. 다음 그림 1은 2단 장주로 구성된 배전장주의 load switching을 이용한 중성선 전류 저감 기법에 대한 시스템 구성도를 나타내고 있다.

그림 2는 2단 장주로 구성되어 있는 배전계통의 load switching을 이용한 중성선 전류 저감 기법의 흐름도이다. 구현된 시스템은 크게 실효

2.3 실효치 변환부

정상 운전 시 전력계통의 전압과 전류는 일정한 주파수를 갖는 정현파인 비선형 특성을 나타내고 있으며, 양의 값과 음의 값을 모두 포함하고 있기 때문에 일정기간 동안의 3상에 흐르는 상전류의 크기를 직접 비교하기가 쉽지 않다. 따라서, 3상전류의 크기 비교를 용이하게 하기 위해 본 논문에서는 각 상전류를 비교시간동안 선형 특성을 갖는 RMS(Root Mean Square)로 변환하여 적용하였다. 중성선 전류 저감 기법에 사용된 실효치는 EMTP/MODELS를 이용하여 한주기당 1200번의 샘플링을 수행하였기 때문에 보다 정밀한 값을 얻을 수 있고, 이렇게 계산된 실효치는 상전류 비교부로 전달되게 된다.

2.4 상전류 비교부

상전류 비교부는 부하 변동에 따라 변화하는 3상의 상전류를 실효치 변환부에 의해 실효치로 변환된 출력을 입력으로 받아서 3상의 상전류 크기를 비교하게 된다. 이렇게 비교된 상전류의 크기는 최대·중간·최소의 상태로 나타내어 일정상수를 출력하게 된다. 이와 같은 방법을 이용하여 2단 장주로 구성된 배전 장주의 상단과 하단의 상전류 크기를

비교한 결과를 최적 조건 선택부로 전달하게 된다.

2.5 최적조건 선택부

최적조건 선택부는 스위치 제어를 위한 최적의 조건을 선택하는 영역이다. 2단 장주로 구성된 배전장주의 경우 상단과 하단의 부하 불평형으로 인해 각각의 상전류의 크기를 비교해 보면 상단 부하의 6가지 경우와 하단 부하의 6가지 경우로 나타날 수 있고, 이를 조합해 보면 총 36가지의 경우로 나타날 수 있다. 36가지의 조합의 경우에서 2단 장주로 구성된 중성선 전류의 크기가 최소가 되는 최적 조건은 상단과 하단의 불평형 부하의 크기가 서로 상반되게 배치되는 경우이다.

최적 조건 선택부의 가장 큰 특징은 스위치 제어를 위한 스위칭 시그널을 출력하는 것이다. 상단과 하단의 상전류 크기의 상관관계를 고려하여 중성선 전류가 최적으로 저감되기 위한 스위칭 시그널을 출력하게 된다. 이때, 상단과 하단의 부하 불평형의 조건을 고려한다면 36가지의 조건으로 나타낼 수 있고, 이 경우는 다음 표 1과 같다.

표 1은 상단과 하단의 부하 불평형에 따른 중성선 전류 저감 기법에 대한 스위치 제어 신호를 의미한다. 예를 들어, 상단의 부하 불평형이 $A > C > B$ 순으로 크고, 하단의 부하 불평형이 $B > C > A$ 크다고 가정 할 때, 스위치 제어 신호는 ABC를 출력하게 된다. 이렇게 출력된 신호는 스위치 제어부의 입력으로 들어가게 된다.

<표 1> 부하 변동에 따른 3상 상전류 크기

상단 하단	A>B>C	A>C>B	B>A>C	B>C>A	C>A>B	C>B>A
A>B>C	CBA	BCA	CAB	ACB	BAC	ABC
A>C>B	CAB	BAC	CBA	ABC	BCA	ACB
B>A>C	BCA	CBA	ACB	CAB	ABC	BAC
B>C>A	ACB	ABC	BCA	BAC	CBA	CAB
C>A>B	BAC	CAB	ABC	CBA	ACB	BCA
C>B>A	ABC	ACB	BAC	BCA	CAB	CBA

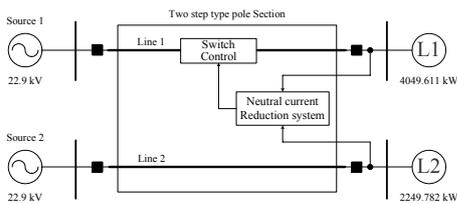
2.6 스위치 제어부

스위치 제어부는 각 상마다 하나의 스위치 제어부와 3개의 스위치로 구성되어 있으며, 총 3개의 스위치 제어부와 9개의 스위치로 구성되어 있다. 이 9개의 스위치를 이용하여 6가지 종류로 3상 부하의 상 배정을 새롭게 할 수 있다. 스위치 제어부에 사용된 스위치는 TACS (Transients Analysis of Control Systems) 스위치이며 ATPDraw에서 사용하는 일반적인 스위치는 스위치 개폐 시간을 수동적으로 제어해 주어야 하지만, TACS 스위치(TACS-controlled TYPE 13 switch)는 사용자에 의해 구현된 MODELS를 통해 능동적으로 제어가 가능하다.

3. 시뮬레이션 및 결과 검토

3.1 시뮬레이션 조건

접지점을 공유하고 2단 장주로 구성된 배전계통에서 load switching 기법을 이용하여 중성선 전류 저감을 비교하기 위한 모델 계통은 다음 그림 3과 같다.



<그림 3> 중성선 전류 저감 기법 모의를 위한 모델 계통

그림 3에서 보는 바와 같이 2단 장주 구간에서 중성선 전류 저감 기법은 상단 선로에 구성하였다. 부하는 3상 부하를 사용하였으며, 각상의 위상은 120°의 위상 차이가 나도록 일정하게 유지하도록 유효부하 만을 고려하였다. 모델 계통에 연결된 부하는 상단과 하단 선로에 각각 4049.611[kW]와 2249.784[kW]를 연결 하였으며, 사례연구를 위한 설비 불평형률은 내선규정(115-1 불평형 부하의 제한)에서 저압, 고압 및 특고압수전의 3상 3선식 혹은 3상 4선식에서 불평형부하의 한도는 단상접속부하로 계산하여 30% 이하로 하는 것을 원칙으로 한다는 것을 고려하여 불평형 부하를 설정하였다.

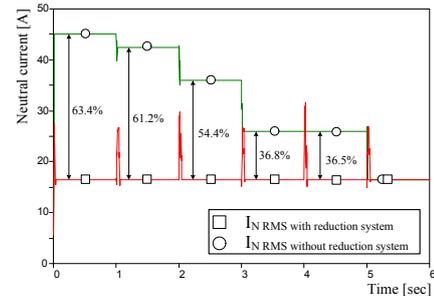
본 논문의 시뮬레이션은 상단과 하단으로 구분된 모델계통에서 하단의 부하 불평형 비율을 일정하게 고정 시킨 후, 상단의 부하 불평형 비율을 시간에 따라 일정한 비율로 가변 시키면서 중성선 전류 저감 기법이 포함된 계통과 그렇지 않은 계통을 비교해 보았다. 표 2는 시뮬레이션을 위한 상단과 하단 부하의 부하 불평형 비율을 나타내고 있다.

<표 2> 시뮬레이션을 위한 각상의 부하 불평형 비율

Case Study	시간 [sec]	구간	하단 부하 불평형 비율 A : B : C	상단 부하 불평형 비율 A : B : C
	0~1	A	13.5 : 1.2 : 1.0	1.35 : 1.2 : 1.0
1~2	B	1.35 : 1.0 : 1.2		
2~3	C	1.2 : 1.35 : 1.0		
3~4	D	1.0 : 1.35 : 1.2		
4~5	E	1.2 : 1.0 : 1.35		
5~6	F	1.0 : 1.2 : 1.35		

3.2 시뮬레이션

본 연구의 시뮬레이션은 표 2에 나타난 바와 같이 하단의 부하 불평형 비율이 $A > B > C$ 순으로 클 때, 상단의 부하 불평형 비율을 6가지 조건으로 가변하여 시뮬레이션을 수행 하였으며, 그 결과는 다음 그림 4와 같다.



<그림 4> Case Study의 시뮬레이션 결과

그림 4에서와 같이 시간의 변화에 따라 부하를 가변 시켰기 때문에 중성선 전류 저감 기법을 적용하지 않은 계통의 중성선 전류는 불규칙하게 흐르는 것을 확인할 수 있다. 반면에 중성선 전류 저감 기법을 적용한 계통은 중성선 전류가 최적으로 저감되었기 때문에 중성선 전류가 일정한 것을 알 수 있다. 하지만, 부하의 변화로 인한 스위칭 동작으로 3 cycles 정도의 과도현상이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 표 3은 조건에 따른 전류의 저감정도를 나타낸다. 표3에서와 같이 저감기법을 적용하는 경우 기존의 계통보다 최대 약 60%의 중성선 전류가 저감 되는 것을 확인할 수 있다.

<표 3> 시뮬레이션 결과 및 저감 비율

Case Study	구간	중성선 전류[A]		저감 비율 [%]
		저감시스템 미적용 계통	저감시스템 적용 계통	
Case Study	A	44.98	16.447	63.4
	B	42.39	16.447	61.2
	C	36.09	16.447	54.4
	D	26.017	16.447	36.8
	E	25.906	16.447	36.5
	F	16.447	16.447	0

4. 결 론

중성선 저감 목적으로 구현된 본 기법을 모델계통에 적용해 본 결과 본 시스템이 적용되지 않은 기존 모델계통에 비해 최대 63.4%까지 중성선 전류가 저감 되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 부하 불평형 비율이 어느 하나의 선로에서만 일정하다면, 중성선 전류 저감 기법이 적용된 모델계통의 중성선 전류는 상단과 하단의 부하 불평형에 의한 불평형 전류를 지속적으로 검출하여 스위치를 동작시켜서 본 시스템이 작동하기 때문에 저감 기법이 적용된 모델계통의 중성선 전류는 부하의 가변에 의해 스위칭 되는 시간(3 cycles 이내)을 제외하고 일정하게 저감이 되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과는 배전계통의 전력 품질 향상에 상당한 도움이 될 것으로 판단되며 향후 연구로 실제 부하 모델링을 위한 무효전력의 고려가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2007-2-055) 주관으로 수행된 과제임.

[참고 문헌]

- [1] Thomas M. Gruz, "A Survey of Neutral Current in Three-Phase Computer Power System", IEEE Transactions on Industry Applications Vol. 26, No. 4, pp. 719-725, July, 1990
- [2] 박건우, 서훈철, 김철환, 정창수, 유연표, 임용훈, 이원정, "한전 배전계통을 이용한 2단장주의 불평형 부하에 따른 중성선 전류의 영향에 관한 연구", Trans. KIEE. Vol. 56, No. 3, MAR, 2007