

자동 탭 절환 내장형 주상변압기 개발에 관한 연구

(Development Pole Transformer with Automatic Tap Changer)

남궁원* · 이성우 · 장문종

(Won Nam-Koong · Sung-Woo Lee · Moon-Jong Jang)

Abstract

Change of supply voltage, customer load, output of distributed generation, etc cause voltage change in distribution system. OLTC and SVR are usually used to supply normal voltage at customer. But usage of these devices is inefficient and uneconomical in certain circumstances. To solve this problem, new pole transformer which has automatic tap changer is developed. The transformer changes tap when voltage changes. And it has latch switch and reactor for supplying power without outage. To verify normal operation of tap changer, test is conducted. SVR and 50kVA load is used for test.

Key Words : Pole Transformer, Tap Changer, Voltage Change, OLTC, SVR

1. 서 론

송출전압 변동, 수용가의 부하변동, 분산전원의 발전량 변동 등이 배전계통의 전압변동의 주요 원인이다. 전력회사에서 수용가에 안정적인 전압을 공급하기 위해서 변압기의 탭을 조정하는 방식으로 규정전압을 만족시킨다. 국내 배전계통의 경우 탭을 조정하여 전압을 조정하는 장치로는 OLTC(On Load Tap Changer), SVR(Step Voltage Regulator)이 있다. 하지만 한국의 전력계통의 경우 하나의 OLTC를 이용하여 다수의 배전선로의 전압을 조정한다. OLTC의

탭을 조정하는 방식으로 주로 사용되는 방식은 DVM(Digital Volt Meter), LDC(Line Drop Compensator)이다. DVM은 설정해둔 상한, 하한 전압 기준을 벗어날 경우 탭이 변동하는 방식이며, LDC방식은 다수의 배전선로를 하나의 배전선로로 등가화 시켜 송출전압을 결정한다. 따라서 부하 특성이 다른 다수의 배전선로가 혼재되어 있을 경우 모든 배전선로에 적절한 전압을 공급하기가 힘들다. 또한 전압 변동이 심하거나 전압강하가 기준 이상으로 발생하는 선로를 대상으로 설치하는 SVR의 경우 비용이 고가라 경제적으로 많은 부담이다. 따라서 특정 일부 지역에만 전압문제가 발생할 경우 OLTC로는 해결하기가 쉽지 않고 SVR을 설치할 경우 금전적인 부담이 크다. 이런 경우 전압문제가 발생하는 지역의 전압을 해결하는 장치를 설치하여 운영하는 것이 전압문제도 해결하고 경제적으로도 합리적이다. 이러한 필요성을 해결하기 위해 기존의 탭이 고정된 주상변압기를 개선하여 탭

* 주(교신)저자 : 한국전력 전력연구원
* Main(Corresponding) author : KEPO Research Institute
Tel : 042-865-5937, Fax : 042-865-5904
E-mail : one2sori@kepco.co.kr
접수일자 : 2013년 7월 2일
1차심사 : 2013년 7월 4일, 2차심사 : 2013년 8월 22일
심사완료 : 2013년 8월 28일

이 전압에 따라 자동으로 조정되어 수용가에 적정전압을 공급하는 주상변압기가 개발되었다. 또한 전압변동을 위해 탭이 변경 시 무정전 변경이 가능하여 무정전 전력공급이 가능하다. 본 논문에서는 개발된 주상변압기의 기능, 동작원리, 실험결과를 설명한다. 한국전력에서 일반적으로 사용되고 있는 22.9kV general type pole transformer(50kVA)를 기본으로 탭 절환 동작부, 제어부가 추가되었다. 변압기의 탭은 3개로 13800, 13200, 12600/230V이 있다. 동작 알고리즘은 3차측 전압을 측정하여 1차측 전압을 계산하고 전압이 허용범위에서 벗어날 경우 자동으로 탭이 변동하여 2차측 전압이 허용범위 안으로 들어오게 하는 방식이다. 이때 탭이 바뀔 경우 무정전으로 전력을 공급하기 위해 래치 스위치, 리액터가 사용이 되었다.

2. 본 론

2.1 자동 탭 절환 알고리즘

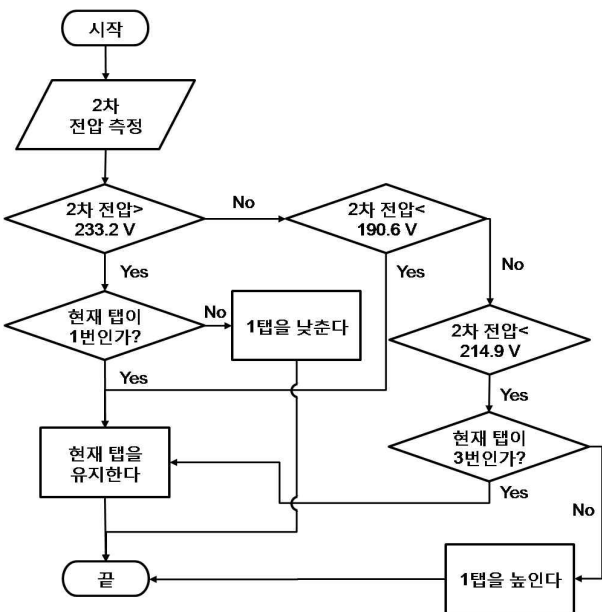


그림 1. 탭 변화 알고리즘
Fig. 1. Algorithm of tap change

2차 권선과 3차 권선의 고정된 권선비로 인해 2차 전압이 230V 일 경우 3차 전압은 약 15.6V이다. 1차측 1번(13800V), 2번(13200V), 3번(12600V) 탭 각각의 턴

수는 2410회, 2525회, 2640회 이며 2차측은 44회 3차측은 3회이다. 동작 알고리즘은 2차측 전압 기준으로 설정되었다. 전기사업법 시행규칙 제18조(전기의 품질 기준)에 의해 220V 수용가는 220V 상하 13V 이내로 공급 받아야 한다. 따라서 본 연구에서는 233.2V를 과전압 기준 214.9V를 저전압 기준으로 설정하였으며 이는 환경의 변화, 사용자의 선택 등의 이유로 변경할 수 있다. 공급2차측 전압이 233.2V 이상일 경우 알고리즘에서는 과전압이라 판단을 하고 현재의 탭에서 1탭을 낮춘다. 예를 들어 2번 탭(13200/230V)에서 1번 탭(13800/230V)으로 변동하는 것이다. 2차측 전압이 214.9V 이하일 경우는 알고리즘은 저전압이라고 판단을 하고 현재의 탭에서 1탭을 높인다. 예를 들어 2번 탭(13200/230V)에서 3번 탭(12600/230V)으로 변동하는 것이다. 2차측 전압이 190.6V 이하일 경우는 탭절환장치 정상동작 전압 범위에 비해 탭절환장치에 낮은 전압이 공급이 되어 개발된 기기 특성 상 비정상적인 동작이 발생 할 가능성이 있어 탭 절환 장치가 동작하지 않는다.

현재 탭이 1번(13800/230V)이고 2차측 전압이 233.2V 이상이 경우 더 이상 낮은 전압을 공급할 탭이 없기 때문에 탭 절환장치는 동작하지 않는다. 또한 현재 탭이 3번(12600/230V)이고 2차측 전압이 214.9V 이상이 경우 더 이상 높은 전압을 공급할 탭이 없기 때문에 탭 절환장치는 동작하지 않는다.

표 1. 조건에 따른 탭 변동
Table 1. Tap change according to conditions

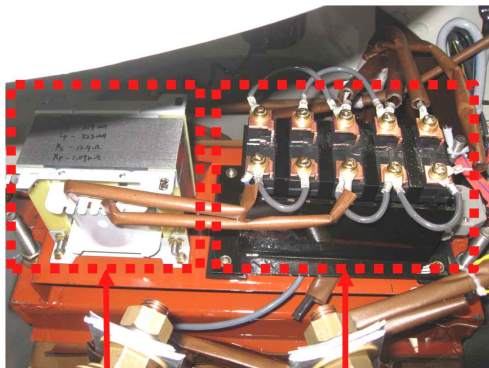
현재 탭	2차측 전압(V)	3차측 전압(V)	변동된 탭 번호
1번	$233.2 \leq V$	$15.9 \leq V$	변동없음
	$190.6 < V < 214.9$	$13.0 < V < 14.7$	2
	$V \leq 190.6$	$V \leq 13.0$	변동없음
2번	$233.2 \leq V$	$15.9 \leq V$	1
	$190.6 < V < 214.9$	$13.0 < V < 14.7$	3
	$V \leq 190.6$	$V \leq 13.0$	변동없음
3번	$233.2 \leq V$	$15.9 \leq V$	2
	$190.6 < V < 214.9$	$13.0 < V < 14.7$	변동없음
	$V \leq 190.6$	$V \leq 13.0$	변동없음

2.2 변압기 설계

표 2. 변압기 사양
Table 2. Transformer specification

전력 kVA	1차측 전압 V	2차측 전압 V	3차측 전압 V	%Z %
50	13,800 13,200 12,600	230	15.6	3.2

변압기의 동작부는 래치 스위치와 리액터로 구성되어 있으며 동작신호를 제어부로부터 받는다. 래치 스위치는 동작 신호에 따라 탭 상태를 변동시키기 위해 회로 구성을 변동시킨다. 단락전류와 탭간 걸리는 600V에 견디기 위하여 리액터가 사용된다.



리액터 래치 스위치

그림 2. 래치 스위치와 리액터
Fig. 2. Latch switch and reactor

$$I_n = \frac{P}{V} = \frac{50000}{12600} = 3.97 \quad (1)$$

I_n : 정격전류 A
 V : 1차측 전압 V
 P : 변압기 전력크기 VA

$$I_s = \frac{100}{\%Z} I_n = \frac{100}{3.2} \times 3.97 = 124.1 \quad (2)$$

I_s : 전체 코일 기준 단락전류 A
 $\%Z$: % 임피던스 %

(2)번 식과 같이 전체 코일 기준의 단락전류는 124.1A이며, 탭 간 단락전류는 (3)과 같이 5.9A이다.

$$I_{Stap} = 124.1 \times \frac{600}{12600} = 5.9 \quad (3)$$

I_s tap : 탭간 단락전류 A

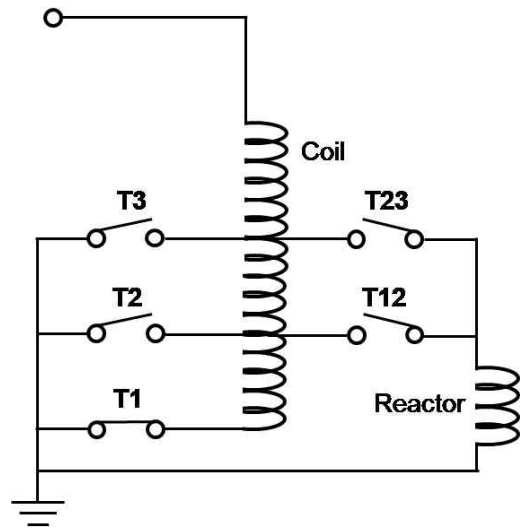


그림 3. 탭 절환 장치 구성
Fig. 3. Configuration of tap changer

그림 3은 탭 변경 시 무정전 전원 공급이 가능하기 위해 리액터를 사용한 회로 구성도이다. 리액터는 단락전류를 견디기 위해 사용이 돼 있는데 탭간 전압 600V와 단락전류 5.9A를 기준으로 설계되었다.

$$V_{tap} = 2\pi f L I_{stap} \quad (4)$$

V_{tap} : 탭간 전압 V
 f : 주파수 Hz
 L : 인덕턴스 H

$$L = \frac{V_{tap}}{2 \times \pi \times f \times I_{stap}} \quad (5)$$

$$= \frac{600}{2 \times \pi \times 60 \times 5.6}$$

$$= 0.284[H]$$

식 (5)으로부터 리액터의 용량은 300mH로 결정하였다.

탭이 1번에서 2번으로 변동할 경우 변경 순서는 다음과 같다.

- 1단계 T1 투입
- 2단계 T12 투입
- 3단계 T1 개방
- 4단계 T2 투입
- 5단계 T12 개방

2.3 실험 결과

전압의 변압에 따른 탭 절환이 정상적으로 되는지 실험이 이루어졌다. 시험에서 1차측에 공급된 전압은 상전압 기준 13,200V이며 개발된 주상 변압기로 공급되는 전압의 변동을 위해 SVR이 사용되었다. 변압기 2차측에는 50kVA의 부하가 인가된 상태로 실험이 진행되었으며 구성은 그림 4와 같다. 실험에 사용된 변압기는 2대로 동일하게 제작되었으며 편의상 1번 변압기, 2번 변압기로 지칭하겠다.

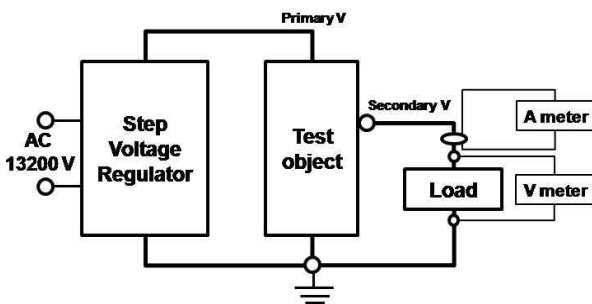


그림 4. 실험 구성
Fig. 4. Configuration of test

실험은 다음과 같이 진행되었다. 실험 시작 시 변압기의 탭은 2번 탭에 위치한다. 그림 4와 같이 변압기에 전원을 공급하는 선로에 SVR이 있으며 이를 이용하여 선로 전압을 조정한다. SVR을 이용하여 선로 전압을 상승시키면(1번 변압기 1~147초, 2번 변압기 1~165초) 동시에 변압기 1차 및 2차에 인가되는 전압도 상승된다. 전압을 계속 상승시키면 변압기 2차측 기준으로 최근 10초간 평균 전압이 233.2V를 초과하

고, 이 경우 변압기의 제어부는 과전압이라고 판단하여 1탭을 낮추게 된다. 실험 처음 시작 시 탭은 2번 탭이므로 1번으로 바뀌게 된다. 변압기 탭이 1번으로 바뀐 후 SVR을 통해 다시 전압을 지속적으로 하강시키면(1번 변압기 148~228초, 2번 변압기 166~216초) 동시에 변압기 1차 및 2차에 인가되는 전압도 하강한다. 변압기 2차측 기준으로 최근 10초간 평균 전압이 214.9V 이하가 되면 변압기의 제어부는 저전압이라고 판단하여 1탭을 높게 된다. 따라서 탭은 1번에서 2번으로 변동하게 된다. 다시 SVR을 통해 전압을 지속적으로 하강시키면(1번 변압기 229~307초, 2번 변압기 217~272초) 앞의 경우와 동일하게 1탭이 높아지며 탭은 2번에서 3번으로 변동한다. 마지막으로 탭이 3번이 되면 SVR을 통해 다시 전압을 지속적으로 상승시켜(1번 변압기 308~380초, 2번 변압기 273~334초) 변압기 2차측 최근 10초간 평균 전압이 233.2V 이상이 되어 3번 탭에서 2번 탭으로 변동하게 된다.

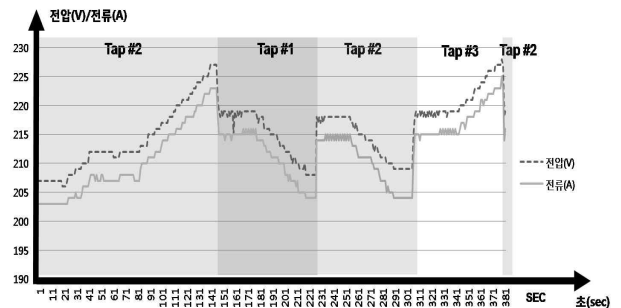


그림 5. 1번 변압기 실험 결과
Fig. 5. Test result of #1 transformer

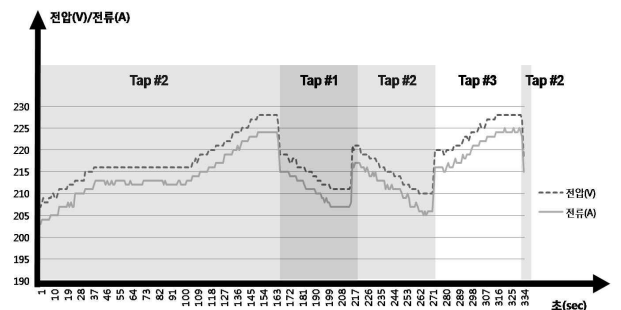


그림 6. 2번 변압기 실험 결과
Fig. 6. Test result of #2 transformer

표 3. 1번, 2번 변압기 실험 결과
Table 3. Test result of #1, #2 transformer

1번 변압기 실험결과				2번 변압기 실험결과		
Sec	전압 V	전류 A	Tap No.	Sec	전압 V	전류 A
138	225	222	2	156	228	224
139	225	222	2	157	228	224
140	225	222	2	158	228	224
141	226	222	2	159	228	224
142	227	223	2	160	228	224
143	227	223	2	161	228	224
144	227	223	2	162	228	224
145	227	223	2	163	228	224
146	227	223	2	164	228	224
147	227	223	2	165	228	224
148	221	218	1	166	226	222
...
219	210	205	1	207	211	207
220	208	204	1	208	211	207
221	208	204	1	209	211	207
222	208	204	1	210	211	207
223	208	204	1	211	211	207
224	208	204	1	212	211	207
225	208	204	1	213	211	207
226	208	204	1	214	211	207
227	208	204	1	215	211	207
228	208	204	1	216	212	208
229	218	214	2	217	221	217
...
298	209	204	2	263	210	206
299	209	204	2	264	210	206
300	209	204	2	265	210	206
301	209	204	2	266	210	205
302	209	204	2	267	210	206
303	209	204	2	268	210	205
304	209	204	2	269	210	206
305	209	204	2	270	210	206
306	209	204	2	271	210	206
307	209	204	2	272	210	206
308	215	211	3	273	215	211

1번 변압기 실험결과				2번 변압기 실험결과		
Sec	전압 V	전류 A	Tap No.	Sec	전압 V	전류 A
...
371	226	222	3	325	228	224
372	226	222	3	326	228	224
373	226	222	3	327	228	224
374	226	223	3	328	228	225
375	227	223	3	329	228	224
376	227	223	3	330	228	224
377	227	223	3	331	228	224
378	227	223	3	332	228	225
379	227	223	3	333	228	224
380	228	225	3	334	227	223
381	227	223	2	335	218	215

그림 5, 6의 가로축과 표 3의 sec는 실험 경과 시간이다. 1번 변압기는 381초, 2번 변압기는 335초 동안 실험이 진행되었다. 그림 5, 6의 세로축은 전압과 전류를 표시하며 파란 선은 전압, 붉은 선은 전류를 나타낸다. 그림 5, 6의 그래프 배경의 색의 변동은 탭의 변동을 나타내기 위한 표시이며 상단에 Tap #2 등과 같이 현재 탭 상태를 표현한다. 1번 변압기를 기준으로 148초에 2번 탭에서 1번 탭으로 229초에 1번 탭에서 2번 탭으로 308초에 2번 탭에서 3번 탭으로 381초에 3번 탭에서 2번 탭으로 변환 것을 확인할 수 있으며 이는 표 3의 Tap No.와 sec에서도 확인할 수 있다. 표 3은 1번, 2번 변압기의 시간에 따른 전압, 전류, 탭 변동을 나타내고 있으며 방대한 양으로 인해 탭 변동 전 10초간의 데이터를 제외하고는 생략을 하였다.

전압이 상승하는 경우 탭이 바뀌기 전 10초 동안의 2차측의 평균 전압은 226.3~228.0V로 알고리즘에서 상승 기준 전압인 233.3V와 5.2~6.9V 차이가 있다. 전압이 하강하는 경우 탭이 바뀌기 전 10초 동안의 2차측의 평균 전압은 208.2~211.1V로 알고리즘에서 하강 기준 전압인 214.9V와 3.8~6.7V 차이가 있다. 이는 변압기와 부하사이의 전압강하와 변압기내의 전압 측정부의 오류로 여겨지며 보다 정확한 분석을 위해 추가 연구가 필요하다.

3. 결 론

본 연구는 자동 탭 절환장치가 내장된 주상변압기에 관한 알고리즘과 설계, 실험으로 진행되었다. 본 논문에서 다룬 변압기는 공급전압, 부하, 분산전원의 출력 등의 변동으로 전압이 변동되어도 탭의 변동을 통해 수용가에 규정전압내의 전압을 공급한다. 탭이 변동되는 기준전압은 10초간의 평균 전압이며 상승 시는 233.3V 이상 하강 시는 214.9V이다. 래치 스위치와 리액터는 정전 없이 탭을 변동하기 위해 사용되었다. 사용된 리액터의 용량은 300mH이며 이는 단락전류와 탭간 전압으로부터 계산되었다. 실험은 2개의 변압기에서 진행되었으며 전압의 변동을 위해 SVR이 사용되었으며 전류가 흐르는 상황을 모의하기 위해 50kVA의 부하가 사용되었다. 이와 같은 조건으로 실험이 진행되었으며 전압 상승과 하강에 따른 탭이 변동되는 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] William H. Hayt, Jr., Jack E. Kemmerly and Steven M. Durbin, Engineering Circuit Analysis: McGrawHill, sixth Edition, p.423-450.
- [2] Kyungsang Ryu, Byeongki Kim, Seokhwan Song, Daeseok Rho and Jincheol Shin, "Optimal Operation Method of Step Voltage Regulator using Least Squares Method," KIEE, pp.346-348, October. 2011.
- [3] Sung-Woo Lee, Bok-Nam Ha, In-Yong Seo, Chang-Hoon Shin, Moon-Jong Jang, Jung Chul Lee, Jeong In Lee, "I/V/C Simulation with Load Flow," KIEE, pp.412-414, July. 2010.
- [4] The Electricity Enterprises Act enforcement regulations article 18 (electricity quality standards), 2013.3.23.
- [5] Technical Standards of KEPCO, ES-5950-0016, 22.9kV General Type Pole Transformers, 2012.3.30.
- [6] Registration Technical Specifications of KEPCO, RS-6110-0033, Distribution Step Voltage Regulator, 2008.11.07.
- [7] KEPCO Procedure standards, H0 - Distribution - Procedure - 0003, Distribution Voltage Management Procedure of SOP, 2012.02.07.

◇ 저자소개 ◇



남궁원(南宮源)

1982년 1월 18일생. 2010년 한양대학교 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원(분산전원과 스마트그리드분야의 연구).



이성우(李聖雨)

1960년 9월 29일생. 1999년 동국대학교 졸업(박사). 현재 한국전력공사 전력연구원(분산전원과 스마트그리드분야의 연구).



장문종(蔣汶宗)

1970년 4월 24일생. 1997년 KAIST 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원(분산전원과 스마트그리드분야의 연구).