

고압전자식 배전반 개발

* 변영복*, 조기연*, 정재욱**

(* 한국전기연구소 전력전자연구실, ** (주)광명제어)

A Development of the Digital Switchboard for the High Voltage Customer

* Young-bok Byun*, Ki-youn Joe*, Je-wook Jyung**

(* KERI, ** Kwang Myung Industrial Control Co., LTD.)

Abstract

This paper describes the development of a digital multifunction controller for the protection, measurement and control of the high voltage customer switchboard.

The magnitude of the fundamental component is estimated using a simple filter based on cross-correlation with a heptagonal wave. The characteristics of flexible relay functions such as adjustable pickup and time-dial settings, various time-magnitude curve and directional capability including measurement functions are presented. The controller implementation is carried out on two microprocessors for real time operation.

I. 서론

전기적 사고로부터 부하를 보호하고 원활한 전력수급을 위한 배전반의 기본 기능은 계측, 보호, 제어기능이다. 이러한 기능을 수행하기 위하여 각 기능에 적합한 개개의 기계식 및 정지형 계기들이 실장되어 왔다. 그러나 디지털 기술의 발전으로 이러한 개개의 계기들의 기능을 하나의 디지털 제어장치로 수행할 수 있게 되었으며 가격면에서도 경쟁력을 가지게 되었다. 이러한 복합 제어장치를 수용한 배전반은 성능개선, 공정절감, 유연성, 판넬 면적과 결선의 감소, 감시반과의 간단한 인터페이스, 자기감시등의 장점을 가진다.

배전반의 디지털 복합 제어장치는 두가지 유형으로 개발되고 있다. 첫번째, 아날로그 보호계전기등 기존 기기를 사용하면서 제어 Logic 및 통신기능 등만 디지털 방식으로 대체하는 것이다. 이 방법은 아날로그 계기의 정확도에 의존하게 되고 위에서 언급한 디지털 방식의 장점을 충분히 활용할 수 없다. 두번째, 보호계전기 기능을 포함한 배전반에서 필요한 모든 기능을 디지털화 함으로서 디지털 방식의 장점을 최대한 활용한 방식이다.

고압 전자식 배전반의 제어장치 개발은 두번째 방식으로 접근하였으며 개발에 필요한 디지털 필터 방식과 한시요소 디지털 보호 계전 방식에 대하여는 이미 발표한 바 있다[1].

본 논문에서는 기본파 성분 추출을 위한 디지털 필터에 대하여 간단히 정리하고 상업화된 고압전자식 배전반의 각 기능 특성 및 알고리즘과 하드웨어 구성 및 적용예에 대하여 기술한다.

II. 기본파 성분 추출

입력 전압, 전류와 reference (odd, even) fundamental functions 의 저장된 1주기 sample data를 correlating하면 원하는 기본파 성분을 추출할 수 있다.

이산형태에서 주기당 N sampling rate인 경우 다음과 같이 주어진다.

$$V_s = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N W_{is} v_i \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$V_c = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N W_{ic} v_i \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$V = (V_s^2 + V_c^2)^{1/2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} (V_c/V_s) \quad \dots \dots \dots (4)$$

v = DC component + sine terms + cosine terms

여기에서 V_s 는 sine 성분, V_c 는 cosine 성분, V 는 기본파 성분크기, v_i 는 신호 v의 i번째 sample, W_i 는 sample weight(Fourier, Walsh, Harr-등 방식에 따라 값이 달라진다)이다[2][3].

여기에서 W_{is} 와 W_{ic} 의 값이 $1-1/2^n$ 의 형태를 가지면 n right-shift에 의해 계산이 가능하므로 곱셈계산이 없어져 연산속도가 증가된다. N=12인 경우 1-shift algorithm은 Even과 Odd의 heptagonal wave와의 cross-correlation에 의한 Filter가 되고 그 주파수 특성은 Fourier algorithm처럼 우수하면서 계산시간은 대폭 감소된다[1].

III. 보호계전기능

표1은 전자식 배전반 각 보호계전 기능의 동작특성과 조정범위를 나타낸 것이다. 순시, 한시 및 방향 동작요소를 가지고 있으며 접지계 및 비접지계 모두 적용할 수 있는 기능을 가지고 있다.

한시요소 특성은 IEC255-4와 한전규격을 기준으로 하여

$$t = F(I) = C + \frac{k}{|n-1|} \quad \dots \dots \dots (5)$$

로 하였다. 여기에서 1은 기준전류에 대한 고장전류의 비, t는 Time delay이고 k와 n은 계수이다.

한시요소 보호계전 알고리즘은 Look-up table을 이용한 Fast Relaying Decision Algorithm [1]을 사용하였다.

방향성 동작 요소 중 DOCR은 90° 진전류 방식을 선택하였으며 고장전류의 위상각은 보통 lead 50° ~ lag 10° 범위이다.

V_{bc} 에 대한 I_a , V_{ab} 에 대한 I_c 의 위상에 의해 사고판단을 하며 최대감도각은 lead 20° ~ lead 60° 사이에서 설정할 수 있게 하였다.

표1. 각 보호계전 기능의 동작 특성 및 조정범위

보호계전기능	동작구분	동작치 결정	동작시간특성		비고
			조정범위	특성	
OCR	순시 동작요소	정격전류의 300%~1600% (1A단위로 조정가능)	1ms 단위로 조정	순시	
	한시 동작요소	정격전류의 40%~200% (1A단위로 조정가능)	t ₂₀ =50msec 부터 1msec 단위로 조정	반한시, 강반한시 및 초반한시	3개 특성 동시 내장 선택 사용
DOCR	방향 동작요소	최대감도 위상: 20° ~ 60° 사이 1° 단위			OCR과 연동
OVR	한시 동작요소	정격전압의 120%~140%	t ₂₀ =100msec 부터 1msec 단위로 조정	반한시	
UVR	한시 동작요소	정격전압의 50%~80%	t _{0.8} =200msec 부터 1msec 단위로 조정	반한시	
OCGR					OCR과 특성동일
GR	순시 동작요소	1mA단위로 조정	1msec 단위로 조정	순시	비접지계에 사용
OVGR	순시 동작요소	1V단위로 조정	1msec 단위로 조정	순시	
DGR	순시 동작요소	영상전압: 1V 단위로 조정 영상전류: 1mA 단위로 조정 최감도 위상: 전상 20° ~ 60° 사이 1° 단위	1msec 단위로 조정	순시	

방향성 검출은 사고지점으로 흐르는 유효전력(P=Vicosφ)의 방향을 판단함으로써 이루어진다. 그러나 최대감도각을 상황에 따라 달리 설정하므로 최대감도각을 고려한 방향 판단은 V_{bc}가 기준인 경우 다음식에 의해 행해진다.

$$P = V_{bc} I_a \cos(\theta_b - \theta) > 0 \quad \dots \dots \dots (6)$$

여기에서 θ_b = 최대감도각

θ = V_{bc}와 I_a의 위상각

식 (6)을 풀어쓰면

$$\begin{aligned} P &= V_{bc} I_a [\cos \theta_b \cos \theta + \sin \theta_b \sin \theta] \\ &= \cos \theta_b [V_{bc} I_a \cos \theta] + \sin \theta_b [V_{bc} I_a \sin \theta] \\ &= \cos \theta_b \cdot P_{abc} + \sin \theta_b \cdot Q_{abc} \quad \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

식 (7)의 P_{abc}와 Q_{abc}는 다음식에 의해 쉽게 계산된다.

$$P_{abc} = V_{bc} I_{ar} + V_{bc} I_{ai} \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$Q_{abc} = V_{bc} I_{ar} - V_{bc} I_{ai} \quad \dots \dots \dots (9)$$

DGR은 영상전압과 영상전류의 위상차에 의해 방향성을 판별한다. 먼저 영상전압과 영상전류가 정정치를 초과하였는가 판단한 후 초과하였을 경우 방향성 판단을 DOCR과 같은 방법으로 한다.

즉,

$$\begin{aligned} P &= V_o I_o \cos(\theta_h - \theta) \\ &= V_o I_o [\cos \theta_h \cos \theta + \sin \theta_h \sin \theta] \\ &= \cos \theta_h [V_o I_o \cos \theta] + \sin \theta_h [V_o I_o \sin \theta] \\ &= \cos \theta_h P_o + \sin \theta_h Q_o > 0 \quad \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

여기에서 θ_h 는 최대감도각이며 θ 는 영상전압에 대한 영상전류의 위상각이다.

IV. 계속 특성

표2는 각 전기량의 계속방식과 표시 범위를 나타낸 것이다.

제 전기량의 계속방식은 식(1)~식(4)에 의해 유도된다.

식(3)의 최대치 연산은 제곱근 계산 때문에 연산시간이 많이 소요되므로 Schweiter, Aliaga에 의해 제시된 Piecewise linear approximation technique[4]을 이용하여 3상 전압, 전류의 최대치를 계산한다.

유효전력과 무효전력은 다음식에 의하여 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{Active Power} &= V_A I_A \cos(\theta_v - \theta_i) \\ &= V_A I_A (\cos \theta_v \cos \theta_i + \sin \theta_v \sin \theta_i) \\ &= V_A \cos \theta_v I_A \cos \theta_i + V_A \sin \theta_v I_A \sin \theta_i \\ &= V_r I_r + V_l i \quad \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reactive Power} &= V_A I_A \sin(\theta_v - \theta_i) \\ &= V_A I_A (\sin \theta_v \cos \theta_i - \cos \theta_v \sin \theta_i) \\ &= V_A \sin \theta_v I_A \cos \theta_i - V_A \cos \theta_v I_A \sin \theta_i \\ &= V_l r - V_r i \quad \dots \dots \dots (12) \end{aligned}$$

여기에서 I_A와 V_A는 각각 A상 전압, 전류의 최대치이고 θ_v, θ_i 는 각각 전압, 전류와 Reference wave와의 위상차이다.

표2. 계속특성

기능	계속 방법		단위	표시범위	비고
	직접	계산			
전류	I _R -I _S -I _T		A, KA	0-9999A	3CT
	I _R -I _T	I _S		10-999KA	2CT
영상전류	I _o		mA, A	0-9999mA	ZCT
		I _o		10- 999A	Σ3I
최대전류		I _m	A, KA	0-9999A 10-999KV	
전압	V _R -V _S -V _T		V, KV	9-999V	3PT
		V _{RS} -V _{ST} -V _{TR}		10-999KV	
영상전압	V _o		V	0-9999V	GPT
유효전력		W	W, KW, MW	0-9999W 10-999KW 10-100MW	
무효전력		Var	KVar, MVar	0-9999Var 10-999KVar 1-999MVar	
유효전력량		Wh	Wh, KWh, MWh	0-999Wh	
				1-9999KWh 1-999MWh	
무효전력량		Varh	KVarh, MVarh	0-999Varh	
				1-999KVarh 1-999MVarh	
역율		PF		0-1 I 혹은 C	
주파수	V _r		Hz	45Hz-65Hz	

3상전력은 각 상전력의 합이며 전력량은 전력의 누적치로 쉽게 계산된다. 또한 역율은 전압, 전류의 최대치와 Active Power를 이용하여 다음 식과 같이 계산된다.

$$\text{Power Factor} = \frac{\text{Active Power}}{V_{\text{peak}} I_{\text{peak}}} \dots \dots \dots (13)$$

주파수를 계속하기 위해서 여러가지의 Digital frequency relay algorithm을 사용할 수 있으나, CPU의 부담을 고려하여 Zero crossing detector에 의해 수행된다.

각 계층의 오차는 PCT의 오차를 고려하지 않을 때 2% 이내이다.

V. 하드웨어 구성과 적용

제어장치의 구성도는 그림 1와 같다.

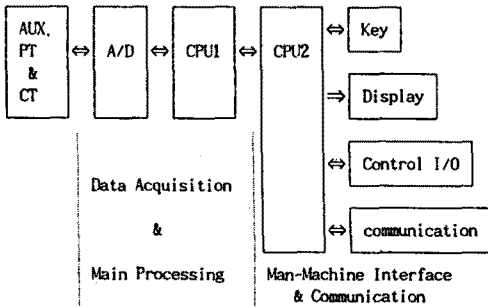


그림 1. 제어장치의 전체 구성도

실시간 처리를 위하여 두개의 CPU를 사용하여 CPU1은 Data acquisition, filtering, 보호계전등 주 Algorithm을 수행하고 CPU2는 통신과 Man-Machine Interface기능을 수행한다.

그림 2는 개발된 고압 전자식 배전반 제어장치의 외관이다.

그림 3은 비접지 계통 적용예를 나타낸 계통접속도이다.

접지, 비접지 및 Feeder 중요도에 따라 CT, PT의 갯수를 조정할 수 있고 그에 따라 보호계전기능을 선택할 수 있다.

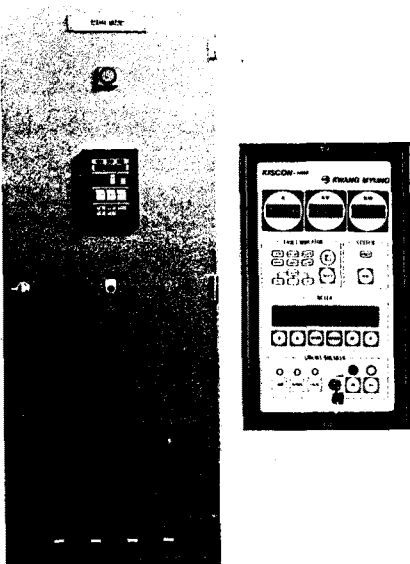


그림 2. 고압전자식 배전반과 제어장치

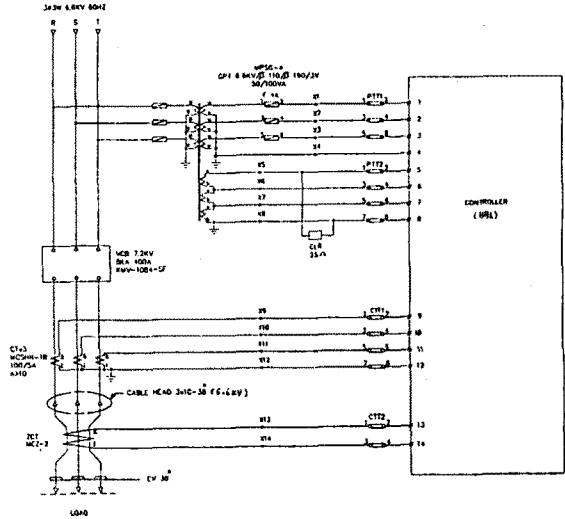


그림 3. 제어장치 접속도

VI. 결론

고압전자식 배전반은 보호계전 기능을 포함함 기존 배전반에서 필요한 주요 기능들을 디지털화 함으로서 디지털 방식의 장점을 최대한 활용하였다. Heptagonal wave와의 Cross-correlation에 의한 Digital filter에 의해 보호특성이 사고시 DC성분과 고조파 성분에 영향을 받지 않는다. Look-up table에 의한 한시요소 보호계전, Piecewise linear approximation technique에 의한 제곱근 계산, 각 전기량의 간단한 연산방식에 의하여 30가지 기능이 실시간 처리되었다. 보호계전 특성은 3%이내의 오차를 가지며 계속특성의 오차는 2% 이내이다.

접지, 비접지계에 관계없이 적용할 수 있으며 Feeder에 따라 PT, CT의 결선, 관련기능의 선택등도 쉽게 할 수 있다.

향후 개발 방향은 Motor 및 Transformer등의 보호기능을 구현함으로서 적용범위를 넓히고 AI기법에 의한 보호계전, 차단기 열화 진단, 관련 수전 설비(SVC, Demand Controller등)의 일체화 및 다 단적 배전반용 제어장치등 무점검 지향의 성능향상과 가격 경쟁력 개선을 추구하는 것이다.

참고문헌

- [1] 변영복, 조기연, 구원희, 김중수, "마이크로프로세서를 이용한 전자식 배전반 개발", 90년도 추계학술대회 논문집, pp375~379.
- [2] H.M.Verma, K.Soundararajan, "Digital Differential Relaying for Generator Protection : Development of Algorithm and Off-Line Evaluation", Electric Power System Research, Vol 17, 1989, pp109~117.
- [3] Y. G. Paithankar, "Fast (1-Shift) Orthogonal Functions for Extraction of the Fundamental Frequency Component for Computer Relaying", Electric Power System Research, Vol 14, 1988, pp233~236.
- [4] W.T. Adams, J.Brady, "Magnitude Approximation for Microprocessor Implementation", IEEE Trans, on MICRO, Vol 3, No. 5, 1983, pp27~31
- [5] 신대승, "보호계전 시스템 기술", 도서출판 技多利, 1993.