

Fuzzy 보호계전기의 기본 설계

이승재* 강상희* 김기화*
* 명지대학교

김일동**
** 진력연구원

A Preliminary Design of Fuzzy Protective Relay

Seung-Jae Lee* Sang-Hee Kang* Ki-Hwa Kim*
** Myong Ji University

Il-Dong Kim**
** KEPRI

Abstract

The conventional relay which determines the fault state based on the current and voltage has a certain limitations due to the uncertainties involved in the data and the decision making criteria. This study proposes the fuzzy relay applying the Belief-Measure to make a decision on the fault based on the various criteria and integrated data.

I. 서론

보호계전기는 계통의 전압, 전류 등을 변류기를 통하여 측정하고 이로부터 특정 고조파성분 추출 등의 계전기 적용데이터로의 변환과정을 거쳐 이를 정정값과의 비교를 통하여 정해진 기준을 넘을 경우 사고로 판정한다. 그러나 데이터에는 측정오차 및 가공오차등이 포함되어있으며, 정정치를 기준으로 동작하게 되어 있는 보호계전기의 동작은 상황에 따라 불확실한 경우가 발생한다. 또한 사고판정에 있어서도 변압기보호에서 보듯이 어떤 정보를 가지고 어떤 기준에 의하여 사고를 판단할 수 있는지가 불확실한 경우도 있다. 이러한 입력정보의 불확실성 및 판정기준의 모호성은 보호계전기의 오동작 또는 부동작의 원인이 되며 이로 인한 계통상의 중대한 문제를 야기시키기도 한다.

보호계전기의 동작신뢰도를 높이기 위한 종래의 연구는 단일 기준에 의한 판단방법의 개선에 치중되어 왔으나 [1,2,3] 이는 계통의 복잡성과 사고현상의 다양성에 비추어 볼 때 근본적으로 한계가 있다고 할 수 있으며, 특히 입력정보 및 계전기 동작치의 Uncertainty의 처리문제에 있어서의 개선이 요구된다. 이러한 문제점을 해결하는 방법으로서 최근 Fuzzy Logic을 적용한 연구가 제시되었다 [4,5]. 다양한 정보와 다양한 판단방법을 종합적으로 고려할 수 있는 Fuzzy Logic을 이용하는 방법은 보호계전기의 판단신뢰도를 높여 줄 것으로 기대된다. 그러나 Fuzzy Logic 은 'Vagueness' 성격의 불확실성을 갖는 Fuzzy 입력정보의 처리에는 적절한 기법이기는 하나 판정방법에 포함된 'Ambiguity' 성격의 불확실성을 다루는 데는 모순점이 있다 [6].

본 논문에서는 Belief Measure를 이용하여 다양한 기준에 의하여 고장상황을 종합 판단하는 새로운 개념의 Fuzzy 보호계전기를 제안한다. 입력정보와 계전기정정치의 불확실성을 다루기 위하여 Fuzzy화한 정보로 변환하였으며 이들의 결합으로 고장에 대한 확신 도를 결정하며 이를 기준으로 고장판단을 수행하게 된다.

II. Belief Measure

불확실성 (Uncertainty) 에는 'Vagueness' 와 'Ambiguity' 두 가지가 있다. Fuzzy Set 이론으로 다루어지는 Vagueness는 경계의 불확실성으로 인한 Uncertainty를 나타내며 Fuzzy Measure 로 다루어지는 Ambiguity 는 어느 crisp set에 속하느냐의 선택상의 Uncertainty를 나타낸다. 본 연구에서 다루고있는 보호계전기의 문제는 명확한 경계를 갖고 있는 Crisp 한 상태인 '고장' 아니면 '비고장'의 상태중 현재 상태가 주어진 전압, 전류 등의 정보를 증거로 볼 때 어느 상태에 속하느냐의 선택의 문제로서 Fuzzy Measure 문제이다.

Fuzzy Measure 에는 Belief measure, Plausibility measure, probability measure, possibility measure, Necessity measures 등이 있으며 이중 가장 많이 이용되는 Belief Measure 의 기본 이론을 살펴보면 다음과 같다.

Belief Measure 는 Axiom 1-4 를 만족시키고 Universal Set X 의 Power Set P(X)를 0에서 1 사이의 값으로 mapping 시키는 함수로 정의된다. 즉

$$Bel : P(X) \rightarrow [0, 1]$$

$$\text{Axiom 1 : } g(\emptyset) = 0 \text{ and } g(X) = 1.$$

$$\text{Axiom 2 : } A, B \in P(X), A \subseteq B, \text{ 이면}$$

$$g(A) \leq g(B).$$

$$\text{Axiom 3 : } A_i \in P(X), i \in N$$

$$A_1 \subseteq A_2 \subseteq \dots \text{ OR } A_1 \supseteq A_2 \supseteq \dots \text{ 이면}$$

$$\lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g(\lim_{i \rightarrow \infty} A_i)$$

$$\text{Axiom 4 : } Bel(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) \geq$$

$$\sum_i Bel(A_i) - \sum_{i < j} Bel(A_i \cap A_j)$$

$$+ \dots + (-1)^{n+1} Bel(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n)$$

Belief measure 는 degree of evidence를 나타내는 bpa (basic probability assignment) 함수 m 으로부터 구하여진다.

$$m : P(X) \rightarrow [0, 1]$$

$$m(\emptyset) = 0, \sum_{A \in P(X)} m(A) = 1$$

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B)$$

다수의 정보시 각각의 증거 또는 정보는 각기 다른 m 값을 갖게되며 이들은 Demster 의 결합 룰을 이용하여 합성된 m을 계산할 수 있으며 이로부터 최종 Belief 값이 구하여진다.

$$m_{1,2}(A) = \frac{\sum_{B \subseteq A} m_1(B) \cdot m_2(C)}{1 - K}$$

$$K = \sum_{B \subseteq C} m_1(B) \cdot m_2(C)$$

III. FUZZY RELAY

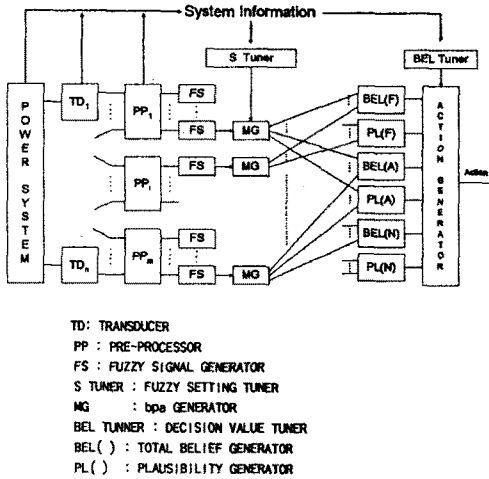


그림 1 Fuzzy 보호계전기의 기본구조

그림 1에서 보이는 바와 같은 기본구조를 갖는 Fuzzy relay는 계통으로부터 전압, 전류, 압력, 온도, 스위치상태 등의 다양한 정보를 변류기(TD)를 통하여 취득하고 필요에 따라 가공데이터를 생성한다(PP). 취득된 정보는 FS에서 Fuzzy 신호화하여 S Tuner로부터 제공되는 Fuzzy 정정치와 비교를 하여 전신호면적에 대한 정정치와의 중복면적의 비로써 판단 룰의 조건부 확신도를 결정하고 이를 지지되는 상태(고장, 비교장)를 갖는 판단 룰의 결론부의 확신도를 곱하여 bpa 값을 결정한다(MG). 이와 같은 과정을 모든 판단 룰에 적용을 하여 최종적으로 고장(F), 경보(A), 정상(N) 상태에 대한 Belief 및 Plausibility를 계산하여 Bel Tuner로부터의 임계값과 비교를 하여 최종 결론을 발생시킨다.

1. FUZZY 신호

입력 정보에 포함된 불확실성을 고려하기 위하여 입력 정보는 데이터 윈도우의 Fuzzy membership degree를 1로하여 윈도우 내의 최소값, 최대값을 좌우 경계로한 삼각형 membership 함수를 갖는 Fuzzy신호로 변환된다.(그림 2)

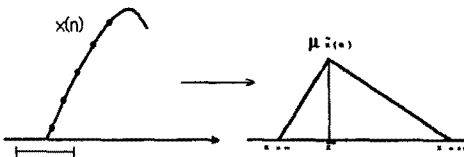


그림 2 Fuzzy Signal

2. 판단 RULE 과 Fuzzy 정정치

판단 Rule은 증거부와 이에 의하여 지지되는 상태와 지지도 값으로 구성되는 결론부를 갖으며 이의 일반적 형태는 다음과 같다.

$$S_{11} < E_i < S_{12} \rightarrow \{(F, m_{11}), (N, m_{12}), (A, m_{13}), ((F, N), m_{14}), ((F, A), m_{15}), ((N, A), m_{16}), (H, m_{17})\}$$

여기서 판단룰은 증거 E_i 는 계통으로부터 취득된 Fuzzy Signal로서 Fuzzy 정정치 (S_i) 조건을 만족할 경우 지지되는 3가지 상태(고장 F, 경보 A, 정상 N)와 각각에 배정되는 지지도(m)로

구성된다. 조건부는 아래의 3가지 형태가 가능하며 각각의 경우에 대한 Fuzzy 정치는 존재의 정정치에 해당하는 임계치를 membership degree를 0.5 로하여 그림 3과 같이 구성한다.

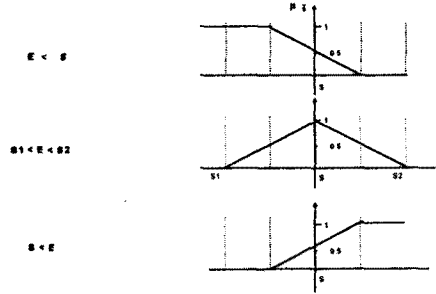


그림 3 Fuzzy Setting

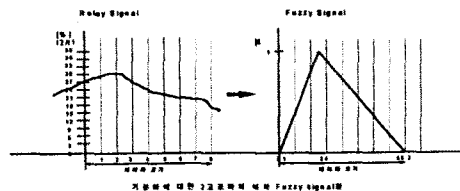
IV. 변압기 보호계전기 예제

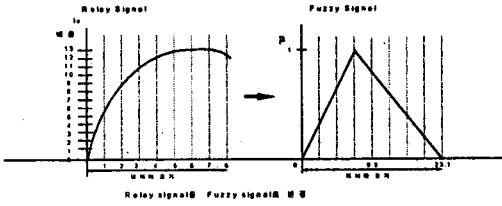
본 장에서는 제안된 Fuzzy 계전기의 개념을 변압기 보호문제의 적용을 예제를 통하여 가능성을 검증한다. 기존의 전력용 변압기 보호에는 대부분 비율차동계전기가 적용되고 있다. 비율차동 계전기의 사고판정 방법은 변압기 1차측과 2차측에 흐르는 전류의 차이를 비교하여 일정수준 이상의 전류차가 발생할 경우 사고로 판정한다. 이 계전기는 정상상태에서는 정확한 내부고장을 판단하며, 빠른 동작시간등 장점이 많이 있다. 그러나 이런 차전류만을 근거로한 계전기들은 돌입전류, 과여자현상, CT포화 등에 의한 오동작의 문제점을 갖고 있다. 이와 같은 문제점중 가장 심각한 문제점인 돌입전류에 의한 문제점을 해결하고자 종래의 보호계전기는 돌입전류가 정상상태로 되는 일정 기간동안 보호계전기의 동작을 정지시키는 방법을 사용하였으나, 근래 들어 돌입전류 발생시 2고조파 성분인 2고조파를 많이 함유하고 있다는 점을 근거로 2조파 억제요소를 적용하였다. 그러나 최근 변압기 철심의 제질이 향상되고, Cable사용 선로가 증가하면서 돌입전류 발생시 2고조파의 함유비가 낮아져 2고조파만을 측정하여 돌입전류 억제요소로 적용하는 것이 어렵게 되었다.

본 장에서는 돌입전류와 고조파를 고조파와 차동전류 2가지 정보를 이용하여 중첩 판단하는 Fuzzy 계전기에 대하여 기술한다. 고장 전류와 돌입전류를 구별하기 위한 6개의 Fuzzy Rule을 다음과 같이 선택하였다.

- 룰 1 : IF(차동전류 값이 정격전류 보다 약30배 이상발생) Then(F, 1)
- 룰 2 : IF (차동전류의 값이 정격전류의 약 20배 이상, 약 30 배 미만 발생) Then(F, 0.7)(1, 0.2)
- 룰 3 : IF (차동전류의 값이 정격전류의 약 10배 이상, 약 20 배 미만 발생) Then(F, 0.5)(1, 0.3)
- 룰 4 : IF (기본파에 대한 2고조파의 비율이 약 10% 이상 발생) Then(1, 1)
- 룰 5 : IF (기본파에 대한 2고조파의 비율이 약 6% 이상, 약 10% 미만 발생) Then(1, 0.8)
- 룰 6 : IF (기본파에 대한 2고조파의 비율이 약 6% 미만 발생) Then(F, 1)

EMTP 시뮬레이션 을 통하여 생성된 차동전류와 2고조파 비율은 그림 4. (a)와 같고 이를 Fuzzy화한 데이터는 그림 4. (b)와 같다.





(a) Relay Signal (b) Fuzzy signal

그림 4 적용 Fuzzy signal

Fuzzy Rule에 보이는 정정치를 Fuzzy화한 결과는 그림 5와 같다.

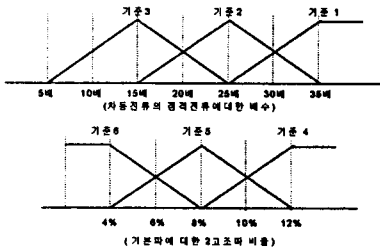


그림 5 적용 Fuzzy Setting

Fuzzy 신호(그림 4)와 Fuzzy 정정치(그림 5)의 면적 비로 구한 각 룰의 조건부 확신도는 그림 6과 같이 구하여 진다.

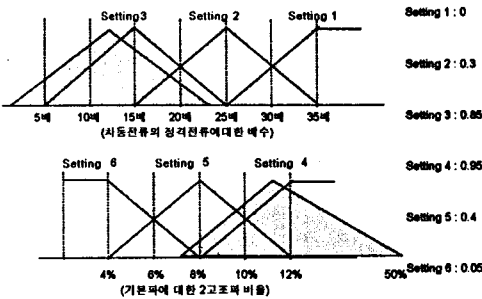


그림 6 계전기 Setting과 결합값

조건부 확신도를 각 룰의 확신도(또는 룰 자체의 bpa)에 곱함으로써 룰의 최종 bpa를 얻는다.

룰 번호	조건부	결론부	F	I	F,I
1	0.0	F: 1.0	0	0	1
2	0.3	F: 0.7	0.21	0.06	0.73
		I: 0.2			
3	0.85	F: 0.5	0.425	0.255	0.32
		I: 0.3			
4	0.95	I: 1.0	0	0.95	0.05
5	0.4	I: 0.8	0	0.32	0.68
6	0.05	F: 1.0	0.05	0	0.95

이로부터 고장 및 돌입진류에 대한 최종확신도를 구하면 다음과 같으며 이를 기준으로 최종 판단을 내릴 수 있다.

$$Bel(F) = \sum_{A \in F} m(A) = 0.037$$

$$Bel(I) = \sum_{A \in I} m(A) = 0.945$$

V. 결론

본 논문에서는 입력정보의 불확실성을 Fuzzy Set 이론으로 해석하고 사고판정에 있어서 다양한 정보 및 판단기준을 Belief Measure 를 이용하여 종합 판단하는 새로운 보호계전기를 제안하였다.

참고문헌

- [1] Ivi Hermanto, Y.V.V.S Murty, M.A. Rahman "A Stand-Alone Digital Protective Relay For Power Transformer", IEEE Tr. Power Delivery, Vol.6, No.1, p85-90, 1993.
- [2] T.S.Sidhu, M.S.Sachdev "On-Line Identification of Magnetizing Current and Internal Faults in Three-phase Transformers", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 7, No 4, p1855-1891, 1992,
- [3] Michel Habib, Miguel A. Marin "A Comparative Analysis Of Digital Relaying Algorithms For The Differential Protection Of Three Phase Transformers", IEEE Tr. Power Delivery, Vol.3, No.3, p1378-84, 1988.
- [4] Andrzej Wiszniewski, Bogdan Kasztenny "A Multi-Criteria Differential Transformer Relay Based On Fuzzy Logic", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 4, pp1786-1792, 1995,
- [5] K. Tomsovic, M. Tapper, T. Ingvarsson "A Fuzzy Information Approach to Integrating Different Transformer Diagnostic Method", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July 1993, pp1638-1646
- [6] George J. Klir and Tina A. Folger, "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information", Prentice Hall, 1992