

Fuzzy Decision-Making을 이용한 지능형 변압기 보호 계전 알고리즘

이승재, 강상희, 최면송, °김상태, 강대훈
영지대학교

김기화
가톨릭 상지 전문대

김일동, 장병태, 임성일
한전전력연구원

An Intelligent Power Transformer Protective Relaying Algorithm Based on Fuzzy Decision-Making

S.J. Lee, S.H. Kang, °S.T. Kim, D.H. Kang
Myongji University

K.H. Kim
Sang Ji Catholic College

I.D. Kim, B.T. Jang, S.I. Lim
KEPRI

Abstract - In this paper an intelligent power transformer protective relaying algorithm based on Fuzzy Decision-Making is presented. The introduced protection algorithm contains several internal fuzzy rule-bases including bpa(Basic Probability Assignment: m) which are subject to off-line pre-installation by the analysis of the transformer transient characteristics for detecting the internal fault.

Dempster-Shafer's rule of combination is used for the inference method with rules to decide the situation of a transformer.

The proposed algorithm is immune to the saturation of transformer, inrush conditions, over excitation, and external fault. The included results of testing show practically sufficient sensitivity and selectivity of the proposed algorithm.

의 증대, 고압화 및 지중화에 의한 계통의 정전용량 증대 등과 같은 계통 조건의 복잡화로 기존의 억제 기능을 포함한 비율 차동 계전 방식으로는 효과적인 변압기 보호가 어려워지고 있다. 따라서 인공지능을 사용한 지능형 계전기의 개발이 불가피하게 되었다.

본 논문에서는 EMTP내의 변압기 모델들을 사용하여 변압기의 여러 가지 과도특성을 모의하였고, 변압기 1,2차측의 전류로 구성된 차동전류를 이산 푸리에 변환(DFT: Discrete Fourier Transform)을 이용하여 고조파 분석을 하였고, 이 결과를 사용하여 퍼지 추론에 이용되는 내부 사고 검출을 위한 fuzzy rule-base를 구성하였다. 구성되었던 룰들의 결합 방법으로는 사람의 판단에 가장 가깝다는 Dempster-Shafer 룰 결합(Dempster-Shafer's Rule of Combination)을 이용하여 추론하였다.

1. 서 론

전력용 변압기의 보호에는 대부분 차동전류에 기초한 보호 계전기가 사용되고 있다. 이는 변압기의 권선비를 고려한 1,2차측 전류가 키르히호프 전류 법칙을 만족하는가로 내부 사고의 여부를 판단하는 것이다. 그러나 변압기의 특성상 차동전류 기법만으로는 내부 사고 여부를 판단하기가 어렵다. 이와 같은 원인으로는 여자시와 같은 변압기 단자 전압의 급변으로 인한 전류 불균형, 단자 전압의 상승이나 주파수 저하 등이 초래하는 변압기 과여자에 기인한 여자 전류의 증가, 외부사고시 변류기 포화에 의한 계전 전류의 불일치, 변압기 권선의 내부 사고 위치에 따른 차동전류의 큰 편차등이 있다.

기존의 차동전류 계전기는 여자 돌입 전류는 보호계전기내에 지연 요소 함유나 제2고조파 억제 기능으로, 과여자는 제5고조파 억제 기능으로, 변류기 포화나 변류기를 포함한 변압기 1,2차측 특성 차등은 비율 차동 요소로 대응하였다. 그러나 변압기 효율

2. BPA(m)값 선정과 멤버십 함수

본 연구에서는 EMTP를 이용하여 내부사고, 여자 돌입, 과여자, 외부사고등을 여러 가지 형태로 모의하였다. EMTP 출력 분석 결과로부터 완전 고장인 구간과 완전히 정상인 구간, 즉 crisp 영역을 구분하고, 그 사이의 애매한 부분을 fuzzy 영역으로 설정한다. 이 fuzzy 영역을 삼등분하고 삼각형법을 적용한 fuzzy setting을 하여 퍼지 멤버십 함수를 만들고 각 구간을 Small, Medium, Large라 하고 이에 따라 룰을 만든다.

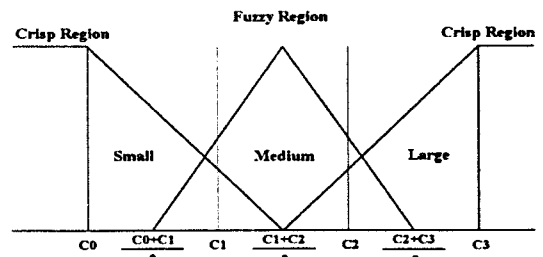


그림 1 Fuzzy Setting

본 연구에서는 사고판별에 1/2주기, 3/4주기, 1주기 각각 따로 만들어진 룰을 적용한다. 이는 사고 일 경우, 빠르게는 1/2주기에서 판단을 하고 늦어야 1주기내에서 판단하도록 하여 빠른 고장판별이 되도록하고, 고장 이외의 여자돌입, 과여자, 외부사고 등은 진단의 문제이기 때문에 1주기까지 기다려 그 결과를 보고 판단하고자 했다. fuzzy 영역에 해당하는 각 구간에서, 총 경우의 수에 대한 각 결과(사고, 여자돌입, 과여자, 외부사고)의 비가 bpa(m)값이 된다. 그림 2는 분석된 차동전류의 값이 1.99이하에서는 확실히 고장이 아니고, 11.07이상인 경우 확실히 고장임을 나타내는 crisp 영역을 보여주고 있다. 그림의 가운데 부분은 판단하기 애매한 fuzzy 영역이고, 그에 대한 룰과 bpa 값은 아래와 같다.

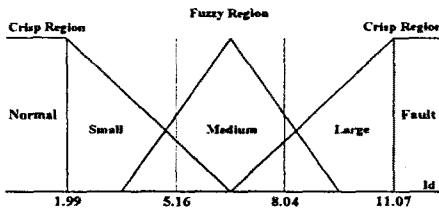


그림 2 차동전류의 1/2주기 멤버십 함수

If Id = S, then Fault = 0.71
 Inrush = 0.04
 O.E = 0.12
 E = 0.08

If Id = M, then O.E = 1

If Id = L, then E = 1

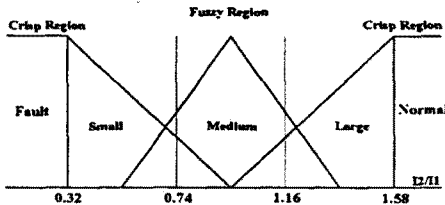


그림 3 기본파에대한 제2고조파 비의 1/2주기 멤버십 함수

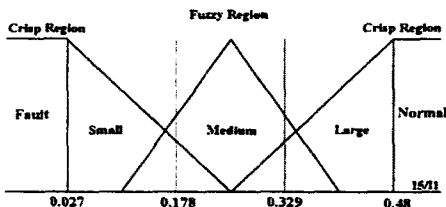


그림 4 기본파에대한 제5고조파 비의 1/2주기 멤버십 함수

여기서 단순가설과 복합가설이 나오게 되는데, 이에 대한 선정 기준은 어떤 bpa(m)값이 α 값(예: 0.7)을 넘을경우 단순가설로 취급하고, β 값(예: 0.2) 미만일 경우 가설로 취급하지 않고 버린다. 또 두 개 이상의 bpa(m)값에서 서로의 차이가 β 이내이고 합이 α 를 넘게 되면 복합가설로 취급하며, 단순가설의 가중치로 사용한다. 이렇게 구해진 bpa(m)값을 실제통에서 들어온 데이터와 결합하여 새로운 bpa(m')값을 만들고, 이 값을 Dempster-Shafer 룰 결합에 적용하여 추론한다

3. 추론

3.1 Dempster-Shafer의 룰 결합

각 룰에 의하여 생성된 bpa(m)값으로 상태(고장, 여자돌입, 과여자, 외부고장)판단을 하기 위하여 각 룰을 결합하는 방법이 필요하며 본 연구에서는 아래 식과 같은 Dempster-Shafer의 룰 결합을 이용하여 계산한다. 이 식의 m값이 bpa 값이며 K는 정규화(normalize)시키기 위한 값이다.

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

$$K = \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C) \quad , m_{1,2}(\emptyset) = 0. \quad (2)$$

3.2 추론 과정

1차측 전류와 2차측 전류의 차인 차동전류의 실효값이 임의의 기준값을 두 번 연속 넘을 경우, 이것을 사고의 징후로 본다. 사고의 징후가 보이게 되면, DFT를 통해 고조파를 추출하고, 각 룰에서 차동전류의 데이터와 고조파 분석 데이터등을 이용하여 해당하는 영역의 지지도와 fuzzy rule-base의 기존 bpa(m)값이 결합하여 새로운 bpa(m')값을 구하고, 이 bpa(m')값들이 사고판정부, 즉 Dempster-Shafer 룰 결합의 추론부에 입력이 되어 상태판단을 하게 된다. 최종 판결시 다음과 같은 조건에 의해 판정을 내리게 된다.

최고지지도 > 그 다음 지지도 × 2 → 결정
 최고지지도 < 그 다음 지지도 × 2 → 보류

보류시 설정시간 기다린후 최종 높은 것을 선택한다.

4 사례 연구

퍼지추론을 위한 멤버십 함수를 얻기 위해 그림 5와 같은 대상 계통에서 획득한 과도 전압, 전류 신호의 분석을 수행하였다. EMTP 모의 시간은 사고 전 2주기, 사고후 5주기이고, 주기당 16번 샘플링을 하였다. 외부사고는 부하역률 1.0인 경우에 변압기 2차측 a상과 b상의 위상차가 0°, 90° 인 때의 단락을 모의하였고 여자돌입은 같은 부하역률에서

Va의 위상이 0° 인 경우와 90° 인 경우에 변압기를 투입한 경우이고, 과여자는 부하역률 0.9에서 전

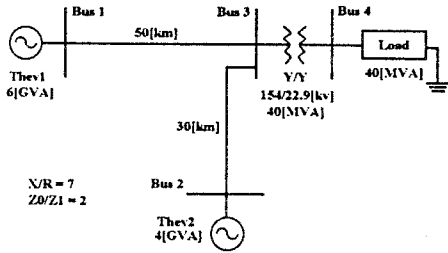


그림 5 모델 계통도

원의 과전압이 각각 20%와 40%인 경우를 모의하였다. 내부사고에서 상지락 사고는 부하 역률 1.0에서 변압기 1차측의 Va의 위상이 0° 인 경우와 90° 인 경우에 a상 지락을 모의하였다. 상간 단락 사고는 같은 부하 역률에서 Va의 위상이 0° 인 경우와 90° 인 경우 a상과 b상의 단락을 모의하였다. 층간 단락 사고는 1차측 권선과 2차측 권선을 모두 모의하였다.

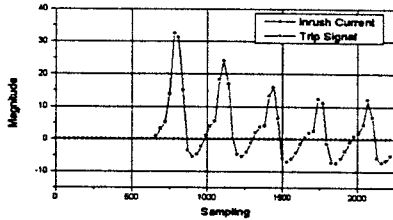


그림 6 여자돌입 0° 투입시

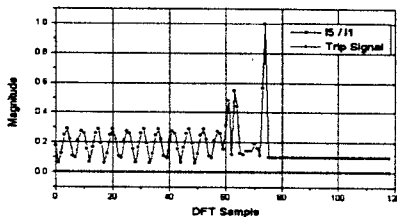


그림 7 과여자 30%

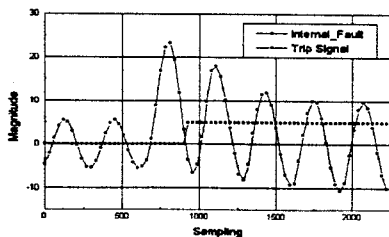


그림 8 내부 단락 사고

표 1. 사례연구 최종 출력값

사례 출력	여자돌입 (그림 6)	과여자 (그림 7)	내부사고 (그림 8)
고장	0.161799	0.151801	0.742361
여자돌입	0.569100	0.300101	0.216305
과여자	0.268732	0.547846	0.039576
외부사고	0.000369	0.000253	0.001758
최종 출력	Inrush	O-Excit	Internal-F

여자돌입 0° 투입시와 과여자 30%는 1주기를 모두 체크한 경우이다. 출력값에서 보듯이 여자돌입과 과여자의 지지도가 가장 크다. 과여자인 경우 최고지지도가 다음 지지도의 2배가 안되어 설정시간(예: 10 cycle)이 지난후 최고지지도로 판단한 경우이다. 내부 단락 사고시 본 알고리즘은 1/2주기만을 체크하여 판단한 경우이다. 고장의 지지도가 가장 커 고장임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 지능형 변압기 보호 계전 알고리즘을 위해 EMTP를 이용하여 변압기의 과도특성을 모의하였고, 그 결과로 1,2차측의 전류 순시값과 차동전류 분석을 하였으며, 또한 차동전류의 고조파 분석을 하였다. 그 결과로 내부 사고 검출을 위한 fuzzy rule-base를 구성하고, Dempster-Shafer를 결합을 이용하여 얻어낸 결과값이 신뢰도가 있음을 확인 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김명철, 강상희, 이승재, "변압기 내부사고 검출을 위한 Fuzzy Rule-Base 연구" 명지대학교 석사학위 논문, 1996
- [2] 김명철, 강상희, 이승재, 김기화, 김일동, "차동전류 보호계전을 위한 변압기 특성분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, p671-p673, 1996
- [3] Walter A. Elmore, "Protective Relaying Theory and Applications", ABB Power T&D Company Inc., p145-p165, 1994
- [4] B. Kasztenny, et al., "A Self-Organizing Fuzzy Logic Based Protective Relay - An Application to Power Transformer Protection", IEEE SM 383-3 PWRD. 1996
- [5] George J. Klir, Tina A. Folger, "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information", Prentice Hall p114-p118, 1992
- [6] John Yen, "Generalizing the Dempster-Shafer Theory to Fuzzy Sets", IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, p559-p570, 1990