

퍼지 패턴분류를 이용한 전력계통에서의 고장검출

*김희수. *고재호. *방성윤. *임화영

*광운대학교 제어계측공학과

Fault Detection of Power Systems Using Fuzzy Pattern Classification

Kim Hee-Soo, Ko Jae-Ho, Bang Sung-Yun, Yim Hwa-Yeoung

*Dept. of Control & Inst. Eng. Kwangwoon Univ.

Abstract - Fault Detection of power system must be rapid and precise over input signal without relation to any disturbance. But, it is difficult to detect current unbalance, over voltage, and underfrequency for digital relay comparison of fault perfectly. In this paper, we measure each phase current and infer type of fault using fuzzy pattern classification.

1. 서 론

전력계통에서의 고장검출은 입력신호의 왜곡에 관계없이 신속하고 정확하여야 한다. 그러나 대부분의 디지털 계전기는 전류의 불균형, 부하전압의 상승이나 주파수저하등에 의해 고장 여부를 완전하게 파악해내기는 어렵다. 본 논문에서는 Matlab을 이용하여 고장을 시뮬레이션하고 각 상의 전류를 측정하여 고장유형을 패턴화 하였다. 이를 퍼지모델로 구현하여 모의고장시 고장유형을 판별할 수 있었다.

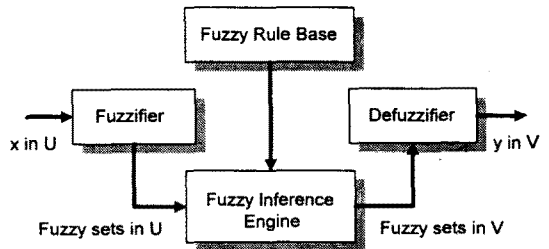
2. 본 론

퍼지 시스템은 측정 대상체로부터 발생하는 일련의 동작들을 측정하기 위한 퍼지 규칙의 집합체로 구성된 시스템이다. 일반적으로 모델이 복잡하거나 비선형등으로 복잡한 시스템에 경험이나 직관등에 의해 규칙을 언어 변수로 표현할 수 있으며 측정 대상 시스템의 수학적 모델링이 필요하지 않는다는 이유로 간단히 적용할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 전력계통내에서의 고장들을 퍼지 패턴 인식을 이용하여 성능을 평가하였다.

2.1 퍼지 시스템

퍼지 시스템은 <그림 1.>에서 보는 바와 같이 정량적인 입력을 퍼지화하는 퍼지화기(Fuzzifier), 퍼지값을 추론하는 추론 엔진(Inference Engine), 추론 과정에서 이용되는 규칙 기반(Rule Base), 규칙

기반을 구성하는 IF-THEN 규칙, 퍼지값을 다시 정량적인 값으로 바꾸어주는 비퍼지화기(Defuzzifier)로 나누어진다. 퍼지화기, 추론 엔진 비퍼지화기는 여러 가지가 제시되어 있지만 Singleton 퍼지화기, Product 추론 엔진, Center Average 비퍼지화기가 보편적이다.



<그림 1.> 퍼지 시스템

2.1.1 IF THEN 규칙 베이스

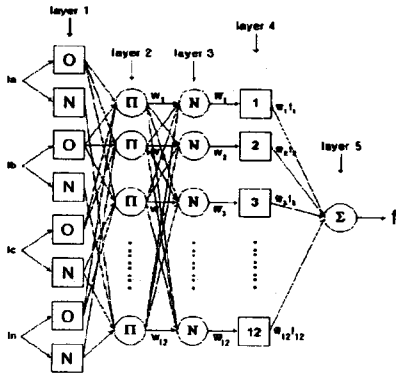
퍼지 시스템을 구성하기 위해서는 우선 상태변수와 출력 변수를 정해야 하는데 상태 변수로는 각 상에 흐르는 전류(Ia, Ib, Ic, In)로 정하였고, 출력 변수는 고장유형별 패턴으로 정하였다. IF-THEN 규칙은 다음과 같다.

IF I_a is N and I_b is N and I_c is N and I_n is N, THEN f_1 .
 IF I_a is O and I_b is N and I_c is N and I_n is O, THEN f_2 .
 IF I_a is N and I_b is O and I_c is N and I_n is O, THEN f_3 .
 IF I_a is N and I_b is N and I_c is O and I_n is O, THEN f_4 .
 IF I_a is O and I_b is O and I_c is N and I_n is N, THEN f_5 .
 IF I_a is N and I_b is O and I_c is O and I_n is N, THEN f_6 .

IF I_a is O and I_b is N and I_c is O and I_n is N, THEN f_7 .
 IF I_a is O and I_b is O and I_c is N and I_n is O, THEN f_8 .
 IF I_a is N and I_b is O and I_c is O and I_n is O, THEN f_9 .
 IF I_a is O and I_b is N and I_c is O and I_n is O, THEN f_{10} .
 IF I_a is O and I_b is O and I_c is O and I_n is N, THEN f_{11} .
 IF I_a is O and I_b is O and I_c is O and I_n is O, THEN f_{12} .

O(over), N(normal)은 각 상전류에 대한 퍼지 집합이다.

2.1.2 적응 퍼지모델



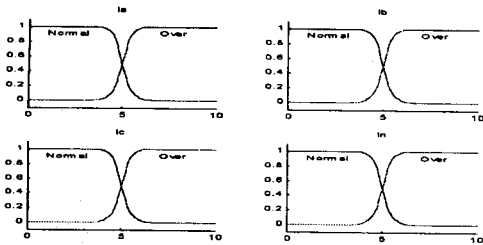
<그림 2> 적응 퍼지모델

<그림 2>는 적응퍼지모델을 나타내었다. 그리고 각각의 Layer의 역할은 다음과 같다.

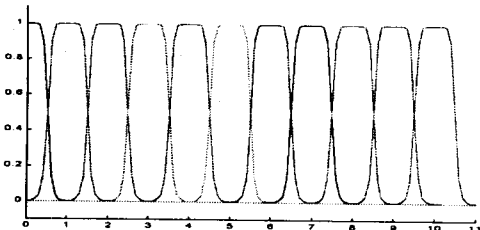
- Layer1 ; 입력 Ia, Ib, Ic, In에 대한 소속함수의 출력값
- Layer2 ; 소속함수의 출력값들의 T-norm연산
- Layer3 ; 각각의 규칙에 대한 Normalized firing strength.
- Layer4 ; 각각의 규칙에 대한 출력
- Layer5 ; 모든 규칙의 출력의 합

2.1.3 소속함수

각각의 상태 변수에 대한 조건부 소속함수는 2부분으로 나누어 <그림 3>과 같이 정의 하였다. 그리고 결론부 소속함수는 <그림 4>와 같이 12부분으로 분할하였다. 여기서 abc상 단락사고와 abc상 단락사고의 유형은 유사하므로 그 가중치를 동일하게 설정하였다.



<그림 3> 조건부 소속함수



<그림 4> 결론부 소속함수

<표 1>는 결론부 소속함수에 대한 가중치를 나타내었다.

| 가중치(w _i) | 고장의 종류 |
|----------------------|----------------|
| 0 | 정상상태 |
| 1 | A상 지락 |
| 2 | B상 지락 |
| 3 | C상 지락 |
| 4 | A, B상 단락 |
| 5 | B, C상 단락 |
| 6 | C, A상 단락 |
| 7 | A, B상 단락,지락 |
| 8 | B, C상 단락,지락 |
| 9 | C, A상 단락,지락 |
| 10 | A, B, C상 단락 |
| 10 | A, B, C상 단락,지락 |

<표 1> 결론부 소속함수

2.1.3 퍼지제어기

Center Average 비퍼지화기, Product 추론 엔진, Singleton 퍼지화기를 이용하여 두 제어기에 대한 출력을 구하면 다음과 같다.

$$f = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{f} \left[\prod_{j=1}^m \mu_j(I_a) \mu_j(I_b) \mu_j(I_c) \mu_j(I_n) \right]}{\sum_{i=1}^n \left[\prod_{j=1}^m \mu_j(I_a) \mu_j(I_b) \mu_j(I_c) \mu_j(I_n) \right]}$$

2.2 시뮬레이션 결과

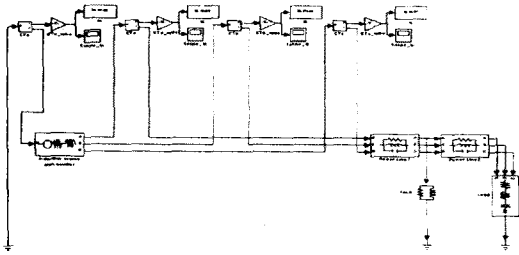
고장의 종류는 12가지로 아래의 <표 2>와 같다.

| 고장상 | 고장의 종류 |
|------|----------------|
| NM | 정상상태 |
| AG | A상 지락 |
| BG | B상 지락 |
| CG | C상 지락 |
| AB | A, B상 단락 |
| BC | B, C상 단락 |
| CA | C, A상 단락 |
| ABG | A, B상 단락,지락 |
| BCG | B, C상 단락,지락 |
| CAG | C, A상 단락,지락 |
| ABC | A, B, C상 단락 |
| ABCG | A, B, C상 단락,지락 |

<표 2> 고장의 종류

2.2.1 Matlab Simulation

이 기법을 검증하기 위해 선택한 모델계통은 154[kV] 송전선로로서 100[km]의 공장을 갖는 전력계통을 이용하였으며, 부하 와 전원 및 선로정수는 Matlab Simulink의 값을 이용하였고 <그림 5>의 계통구성이다.

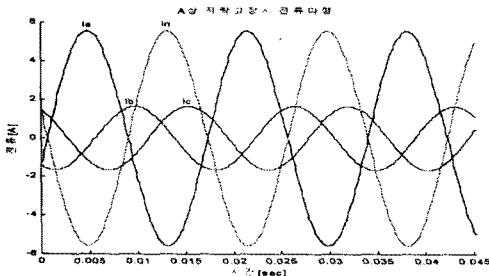


<그림 5> 고장모델

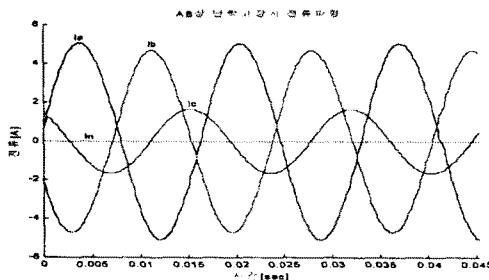
Matlab의 Simulink로 각각의 고장을 모의하여 구현한결과는 <표 2>과 같다. 그리고 <그림 6> ~ <그림 8>는 학습을 위한 고장시의 전류 Data중 일부이다. 이들 모델을 통하여 분류된 패턴분류값은 <표 3>에 나타나 있다.

| 고장상 | 고장의 종류 | 목표값 | 결과값 |
|-------|----------------|-----|--------|
| NM | 정상상태 | 0 | 0 |
| AG | A상 지락 | 1 | 1.0181 |
| BG | B상 지락 | 2 | 2.0142 |
| CG | C상 지락 | 3 | 3.0142 |
| AB | A, B상 단락 | 4 | 4.0078 |
| BC | B, C상 단락 | 5 | 5.0064 |
| CA | C, A상 단락 | 6 | 6.0051 |
| ABG | A, B상 단락,지락 | 7 | 6.9952 |
| BCG | B, C상 단락,지락 | 8 | 7.9938 |
| CAG | C, A상 단락,지락 | 9 | 8.9904 |
| ABC | A, B, C상 단락 | 10 | 9.9895 |
| ABCG | A, B, C상 단락,지락 | 10 | 9.9895 |
| TEST1 | 모의사고 | ? | 1.0031 |

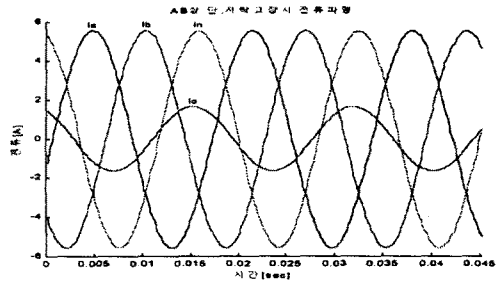
<표 3> 패턴분류값



<그림 6> A상 지락고장

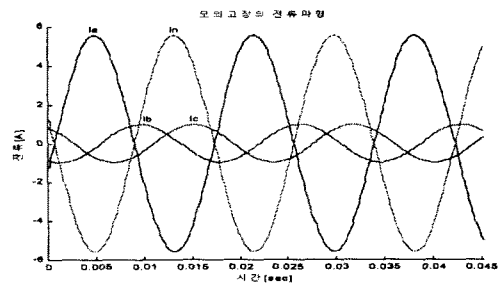


<그림 7> AB상 단락고장



<그림 8> AB상 단,지락고장

<그림 9>은 모의고장(A상 지락고장)의 전류파형이다. 이 파형을 퍼지패턴인식한 결과값은 <표 3>와 같이 1.0031를 나타냈고, 이것은 A상 지락고장시의 값과 유사함을 알 수 있으며 이로서 모의고장은 A상 지락이라고 말할 수 있다.



<그림 9> 모의고장시의 전류파형

3. 결 론

본 논문에서는 간단한 퍼지 제어를 설계하여 전력계통에서의 고장검출을 구현할 수 있음을 보였고 고장추정을 고속으로 판별할 수 있음을 보였다. 이상의 결과로서 디지털 계전기의 종래의 문제점을 보완할 수 있을것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Li-Xin Wang, "A Course in Fuzzy and Control", Prentice-Hall, 1997
- [2] Li-Xin Wang, "Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis", Prentice-Hall, 1994
- [3] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, E. Mizutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice Hall, 1997
- [4] Walter A. Elmore, "Protective Relaying Theory and Applications", Marcel Dekker Inc., 1994
- [5] "Power System Blockset", Mathworks Inc. 1998