

배전계통의 고 임피던스 고장 검출 고조파 변수 성능 평가

오응택 김창중
(한국기술교육대학교) (수원대학교)Performance Evaluation of the Harmonic Parameters for High Impedance Fault
Detection in Distribution SystemYong Taek Oh
(Korea Univ. of Tech. and Educ.)C. J. Kim
(University of Suwon)

Abstract - High impedance fault(HIF) is random in its behavior even in a similar environment. The detection of the HIF has focused on the development of algorithms based on harmonic parameters of the arc currents. However, a fact that proper selection of the harmonic parameters, rather than algorithm selection, is more important is shown in this paper by applying three different performance evaluation methods on two HIF detection algorithms using eight harmonic parameters.

1. 서 론

배전선로의 고 임피던스 고장(HIF: High Impedance Fault)시에는 상(phase) 혹은 지락 전류가 감지될 수 있을 만큼 큰 고장전류가 발생되지 않는다. 이들 사고는 아크가 수반되고 대형화재로 혹은 인체에 치명적인 손상을 주는 사고로 진전될 수 있다. HIF를 검출하기 위하여 대부분의 많은 연구는 아크에 의해 생성되는 고조파 및 고주파 성분 전류에 관심을 가져왔으며 대표적인 방법으로 아크에 의해 만들어진 고조파 성분을 주파수 스펙트럼으로 분석하여 각 상에 대한 고조파 에너지의 연속적인 증가를 검출하는 에너지법[1]과 아크에 의한 고조파 성분의 불규칙 정도를 감지하여 HIF를 판별하는 Randomness법[2] 등이 있다.

아크의 고조파 전류와 유사한 파형의 신호는 스위치 조작이나 캐패시터의 조작에 의해서 배전선로에 수시로 발생할 수 있으므로 HIF를 식별하기에는 상당한 어려움이 있다[3]. 또한, HIF전류의 특성은 외부 요소에 많은 영향을 받기 때문에 최근의 연구는 HIF 검출의 정확도(Sensitivity)와 안정도(Security) 개선을 위해 검출방법에 환경변수를 이용하는 인공지능 기술의 적용을 시도하고 있다[4].

본 연구에서는 아크에 따른 다양한 고조파 성분 중에서 특정 계통환경에서 우수한 성능을 나타내는

단일 고조파 또는 복합 고조파에 대한 검출 성능 분석을 위하여, 상기한 두 가지의 HIF검출법을 인공지역에 의한 고장데이터에 적용하여 검출 성능을 통계적으로 해석, 고장 검출의 성능 및 오동작 확률을 평가하였으며, 단일 고조파와 복합 고조파의 관련성을 Rank correlation (순위 상관성)에 의해 분석함으로써 HIF검출을 위한 변수 선정의 지침을 제시하였다.

2. HIF 검출법

기존의 고장 검출방법은 다수가 제시되었으나, 고조파 성분을 분석하는 방법 중에 검출성능이 우수한 에너지법과 Randomness법을 본 검출변수 성능평가에 적용하였다.

2.1 에너지법

에너지법은 고주파의 전류신호에 대하여 어떤 시간동안에 포함된 에너지를 계산하는데 그 변수로는 60Hz의 전류신호를 특정 고조파로 여과한 고조파 성분 각각의 순간적인 크기를 고려하지 않고 정해진 시간 구간 전체 에너지의 양에 의해 검출하는 방법이다. 에너지법에 의한 고장 판별은 외란(Disturbance)에 대한 과정을 우선 인식하고, 다음으로 이상상태(Event)를 확인한 후에 고장(Fault)인지 정상상태인지를 판별하게 된다.

에너지법은 계층적 검출과정에 있어 임의의 임계치(Threshold value)가 검출에 있어 중요한 결정요소가 될 수 있다. 본 논문에서 적용한 임계치는 실제 현장 적용에 있어 가장 우수한 성능을 보인 값으로 정하였다.[1]

2.2 Randomness 법

HIF에서 고조파의 산발적인 주기성은 어떤 특정 시간에 있어 에너지의 증가를 해석하는 에너지 해

석방법의 문제점으로 지적되었다. Randomness법은 불규칙적인 신호의 변형을 HIF의 식별요소로서 이용하는 방법이다. 즉, Jump와 Difference 요소에 의해 정해진 임계치 이상의 값에 도달하면 고장으로 판정한다.

3. 데이터 해석

통계적인 평가분석을 위한 자료는 인공지락 시험에 의해서 수집된 것으로서 Texas A&M 대학에서 취득한 자료를 이용하였다. 이 자료를 8개의 고조파 성분 즉, odd, even, third, fifth, second, firth, sub, high에 의하여 성능 테스트하였으며 테스트 결과는 normal, disturbance, event, fault로 분류하였다. 고조파 변수 성능 평가에 사용된 두 검출법의 임계치는 아래와 같다.

에너지법

disturbance 임계치: 3.0
 event 임계치: 4.0
 fault 임계치: 5.0

Randomness법

Jump 1 (fault) 임계치: 5회
 Jump 2 (event) 임계치: 3 회
 Diff 1 (fault) 임계치: 15회
 Diff 2 (event) 임계치: 2 회

3.1 민감도 분석(Sensitivity Evaluation)

민감도에 대한 분석을 위하여 각각의 고조파 요소에 대하여 각 검출법의 검출 성능을 평가하였다. 고장데이터로는 선로에 캐패시터가 있는 경우 (15 경우), 접지된 금속체와의 지락 (19 경우) 및 HIF (58경우) 등을 포함한 88개 고장데이터를 분석하였다. 각각의 고조파에 대한 두 가지 검출법의 고장 검출확률은 표 1에, 검출 성능은 그림 1에 나타내었다. 그림 1과 표 1에서 보면, 각 고조파 성분에 대한 검출성능 평가에 있어 sub, even, 2고조파, 4고조파에 의한 검출 성능은 odd, 3고조파, 5고조파 변수에 의한 검출성능 보다 우수하였다.

표 1. HIF 검출율

Table 1. Detectability of HIF

	odd	even	sub	3	5	2	4	hif
Energy	0.54	0.67	0.61	0.57	0.49	0.68	0.74	0.15
Randomness	0.33	0.56	0.65	0.36	0.33	0.68	0.72	0.00

또한, 에너지법에 의한 검출 성능이 일반적으로 양호하였고, randomness법에 의한 검출의 경우, odd, 3, 5 고조파 변수의 검출 성능이 36%미만으로 극히 불량하였다.

3.2 안정성 분석(Security Evaluation)

에너지법

Randomness법

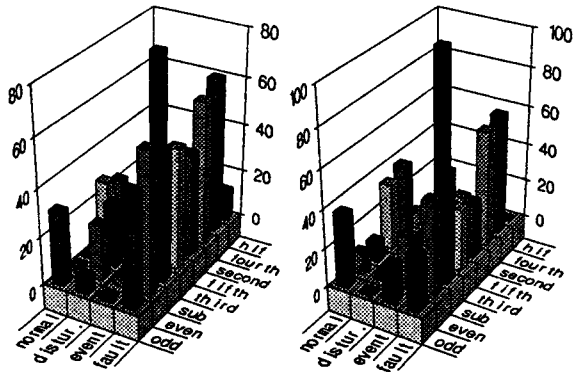


그림 1. 고장 검출율 히스토그램

Fig 1. Histogram of Fault Detectability

각각의 변수에 의하여 event와 정상시에 대한 검출 오동작 비율을 평가하는 것으로 각 임계치는 민감도 해석과 같은 기준으로 적용하였다. 각 고조파 변수에 대한 오동작 평가를 위하여 7개의 정상상태 데이터, 12개의 스위칭 조작에 의한 event 데이터를 이용하였으며, 정상상태에 대한 오동작율 히스토그램과 Event상태에서의 오동작 비율을 그림 2와 표 2에 나타내었다.

에너지법

Randomness법

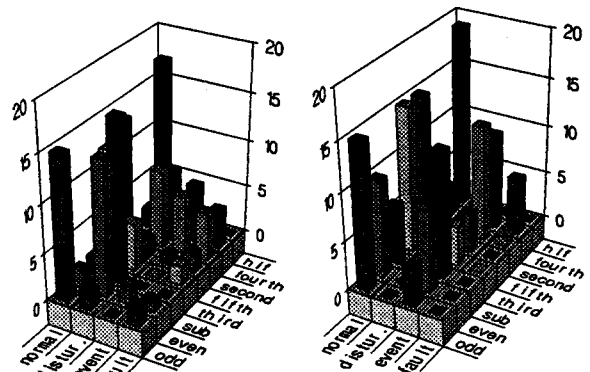


그림 2. 오동작율 히스토그램

Fig. 2. Histogram of False Alarm Rate for Normal

표 2. HIF 오동작율

Table 2. False Detection Rate for Event

	odd	even	sub	3	5	2	4	hif
Energy	0.10	0.05	0.00	0.10	0.10	0.26	0.26	0.00
Randomness	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.053	0.37	0.00

에너지법에 의하면 각 고조파에 대한 오동작용은 모든 고조파 변수 중에 2, 4고조파의 경우 30% 정도의 오동작용을 보인 반면 나머지는 10% 이하이다. randomness법에 의한 경우 2 고조파의 경우 10%, 4 고조파의 경우 오동작용이 40%인 반면 기타 고조파는 거의 오동작 하지 않는다. 일반적으로 2, 4 고조파를 제외하면 randomness법이 오동작면에서 우수하고, 에너지법에서는 odd와 sub 고조파가, Randomness법에서는 even과 sub 고조파가 민감도와 안정성 측면에서 양호한 검출변수임을 알 수 있다.

3.3 Rank Correlation

Rank correlation 해석은 복합고조파 (단일 고조파의 집합인 Odd harmonic 또는 Even Harmonic)와 단일 고조파(3, 5, 7, 9고조파와 2, 4, 6, 8고조파) 사이의 관련성을 분석하여 복합고조파와 단일 고조파를 검출변수로서 동시에 사용하여야 하는지 아니면 복합 또는 단일 고조파중 어느 하나만을 사용해도 되는지를 판단하고자 한다. Rank Correlation (rc)는 아래의 식으로 표시된다 [5].

$$rc = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |RX(i) - RY(i)|}{\Delta n}$$

단 Δ 는 순위값의 최대치를 나타내고,

$RX(i)$ 는 변수 X의 순위,

$RY(i)$ 는 변수 Y의 순위임

Rank Correlation을 조사하기 위하여 우선 검출결과를 순위(rank)로 표시하여야 하는데 본 논문에서는 N(normal)은 1, E(event)는 3, F(fault)는 5로 순위를 정하였다.

본 논문에서는 복합-단일 고조파의 상관성을 odd - 3고조파, odd - 5고조파, 3 - 5고조파, even - 2고조파, even - 4고조파, 2 - 4고조파 correlation 값을 표 3에 나타내었다.

표 3. 고장데이터에 대한 rank correlation
Table 3. Rank Coefficient value of harmonic pairs for fault data

	odd - 3	odd - 5	3 - 5	even-2	even-4	2-4
Energy	0.95	0.83	0.82	0.97	0.93	0.94
Randomness	0.95	0.83	0.85	0.89	0.85	0.88

고장에 대한 rank correlation은 표 3에 의하면 에너지 알고리즘에 대하여 odd-5고조파, 3-5고조파는 상대적으로 순위관련성이 적으며, odd-3 고조파 변수 쌍은 높은 상호관련성이 있으며, 에너지법은 randomness법보다 각각의 고조파 변수에 대하여 더욱 높은 관련성을 보이는 것을 알 수 있다.

정상과 스위칭조작에 의한 경우에 대한 rank correlation은 even-2 고조파 쌍과 2-4 고조파 쌍이

그 관련성이 적음을 표 4에서 알 수 있다.

표 4. 정상과 event에 대한 rank correlation
Table 4. Rank Coefficient value of harmonic pairs for normal & event data

	odd - 3	odd - 5	3 - 5	even-2	even-4	2-4
Energy	0.92	0.97	0.89	0.84	0.84	0.6
Randomness	1.00	0.96	0.96	0.79	0.83	0.63

상기 결과에 의하여 결론을 추론한다면 일반적으로 even-2고조파, 2-4고조파, even-4고조파의 경우에 관련성이 아주 적으므로 검출변수의 선정에 있어서는 이들 모두를 다 대상으로 하여야 할 것이다. 그러나 odd-고조파 쌍은 높은 관련성을 보여서 단일 또는 복합 odd harmonic 검출 변수를 선정함이 양호한 HIF 검출성능을 얻을 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 배전선로의 HIF를 검출하는 방법으로 많이 사용되는 고조파 검출변수에 대한 성능 평가를 실시하기 위해 HIF검출법인 에너지법과 Randomness법을 사용하여 각 고조파에 대하여 인공지락에 의한 데이터를 대상으로 민감도와 안정도에 따른 해석을 수행하였다. 또한, 복합고조파와 단일 고조파 사이의 관련성을 조사하고 검출 변수의 사용여부를 평가하기 위하여 Rank correlation을 실시하였다. 본 논문에서는 알고리즘의 개발도 중요하지만 비슷한 알고리즘일 경우 검출변수의 적절한 선택이 민감성과 안전성을 만족시키는 HIF에 더 중요하다는 사실을 발견하였다.

[참 고 문 헌]

- [1]B.D.Russell,Ketan Mehta, Ram P. Chinchali,"An Arcing Fault Detection Technique using Low Frequency Current Components", IEEE Tran. on Power Delivery,Vol.3, No.4,Pp.1493-1500, 1988
- [2]C.L.Benner,P.W.Carswell,B.D.Russell,"Improved Algorithm for Detecting Arcing Faults using Random Fault Behavior", Southern Electric Industry Application Symposium, Nov 15-16,1988
- [3]C.J.Kim,B.D.Russell,"Harmonic Behavior during Arcing Faults on Power Distribution Feeders",Electric Power Systems Research, 14(1988) Pp.219-225
- [4]C.J.Kim, Yong-Taek Oh,"Distribution Fault Identification Using Fuzzy Logic-Based Decision Making System",ISAP '97, July 6-10, Seoul,Korea
- [5]A.M.Mood,F.A.Graybill,D.C.Boes,"Introduction to the Theory of Statistics", Third Edition, McGraw-Hill, 1982