

# 확률 기반 이중화 시스템 안정도 분석

박호환  
LS산전

## Stability Analysis of Redundancy System depending on Probability

Park Ho Hwan  
LSIS

### ABSTRACT

이중화는 전력 전송 시스템, 발전 시스템, 철도 제어 시스템 등 많은 자동화 시스템에서 유지 보수 및 안정도 증진을 위해 사용된다. 그러나, 이중화 개념을 도입할 경우 각 제어기나 통신 라인 측정시스템 등 모든 구성요소들이 2배로 사용되게 되어 시스템 구축 비용이 증가하고 이중화 제어를 위한 알고리즘 및 COL(Change Over Logic)과 같은 이중화 제어용 모듈 등을 추가해야 하는 추가적인 부담도 발생된다. 하지만, 시스템을 이중화할 경우 전체 시스템의 안정도가 어느 정도 개선되는지에 대한 연구는 미미하며, 그럼에도 불구하고 각 산업 전반에서 다양한 구조의 이중화를 채택하고 있다. 따라서 본 논문에서는 확률을 기반으로 시스템 이중화가 전체 시스템 안정도에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다.

### 1. 서 론

전력 전송 시스템, 발전 시스템, 철도 제어 시스템 등 많은 자동화 시스템에서는 유지 보수 및 안정도 증진을 위해 시스템을 이중화한다. 그러나 시스템을 이중화하기 위해서는 각 제어기, 통신 선로, IO 인터페이스, 측정 시스템 등 각 구성 요소들이 2배로 사용되게 되고 이중화 제어를 위한 알고리즘 추가 및 COL(Change Over Logic)과 같은 이중화 제어용 모듈을 설치해야 하는 추가 부담이 발생한다. 하지만, 시스템 유지 보수 및 안정도를 위해 시스템 이중화는 꼭 필요한 기술이며, 특히 유지보수 및 안정도를 중요시 하는 전력 전송 시스템이나 발전 시스템 등에서는 제어기 구성을 위한 필수 기술이라고 할 수 있다. 따라서, 비용이나 안정도 등을 고려하여 시스템 이중화 정도를 선정하고 실제 구현에 반영하는 것이 필수적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 제어기 및 통신 선로를 이중화 할 경우, 전체 시스템의 안정도가 어떻게 변하는지 확률을 기반으로 하여 분석하였으며, 이중화 구성에 따른 안정도의 변화 양상을 분석하였다.<sup>[1]</sup>

### 2. 본 론

#### 2.1 시스템 안정도

시스템 안정도를 분석하기 위해서는 시스템 안정도를 정의할 필요가 있다. 본 논문에서는 확률을 기반으로 하여 시스템

안정도를 정의하고 있다.

#### 2.1.1 랙의 안정도

1개의 랙 안에  $n$ 장의 보드를 장착하여 시스템을 구성할 때, 각 보드는 HW 불량률 및 SW 버그 및 타이아웃 등에 의해 이중화 절체를 필요로 하게 된다. 이런 상황을 Fault 상황으로 보고 특정 시점에서 각 보드가 Fault 없이 잘 동작할 확률을  $P_i (i = 1..n)$  로 정의 하면, 특정 시점에서 랙  $A$ 가 Fault 없이 잘 동작할 확률  $P_A$ 는

$$P_A = P_1 P_2 \dots P_n = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

가 된다.

#### 2.1.2 이중화 시스템 구성

이중화 시스템을 구성하기 위해서는 제어기의 규모에 따라 제어 레벨을 나누고 각 레벨별 통신 채널의 수 등 기타 사양을 고려하여 전이중화 혹은 반이중화를 구성할 수 있다.

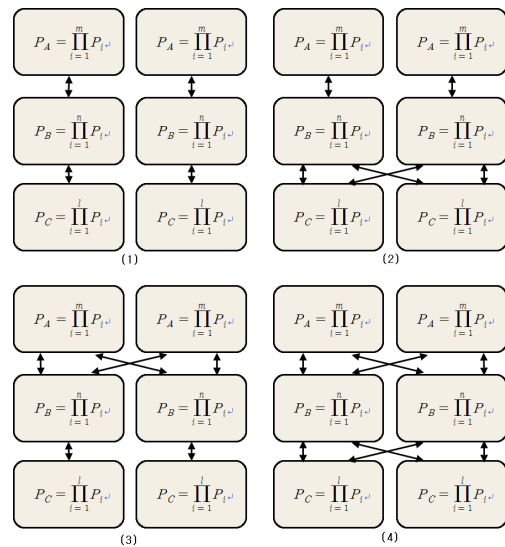


그림 1 A, B, C 3계층 이중화 구성  
Fig. 1 Redundancy structure of 3 level System

그림 1은 전체 시스템을 3개 계층으로 나누어 구성하고 각각의 레벨 및 통신라인을 이중화하는 구조를 보여준다.

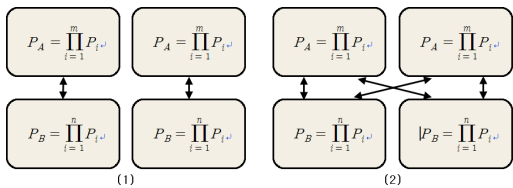


그림 2 A, B 2계층 이중화 구성  
Fig. 2 Redundancy structure of 2 level System

그림 2는 전체 시스템을 2개 계층으로 나누어 구성하고 각각의 레벨 및 통신라인을 이중화하는 구조를 보여준다. 각각의 경우 이중화 시스템은 주시스템과 동일한 HW 구성 및 SW를 가지므로 동일한 안정도 확보를 가진다.

### 2.2 안정도 분석

동일한 수의 보드를 사용하는 시스템을 2레벨 혹은 3레벨로 나누는 경우, 몇 가지 가정과 함께 각각의 어떤 안정도를 보이는지 분석적인 방법을 통해 알아본다.

2레벨 반 이중화 시스템의 경우, 특정 상황에서 전체 시스템이 동작하고 있을 확률  $P_H$ 는 Fault인 랙이 0개이거나 1개 혹은 2개인 경우 가능하며, 아래의 수식과 같다.

$$\begin{aligned} P_0 &= P_A^2 P_B^2 & (2) \\ P_1 &= 2P_A P_B (P_A + P_B - 2P_A P_B) \\ P_2 &= 2P_A P_B (1 - P_A)(1 - P_B) \end{aligned}$$

$$P_H = P_0 + P_1 + P_2 = P_A P_B (2 - P_A P_B) \quad (3)$$

동일한 방법으로 전이중화하는 경우의 확률  $P_F$ 는

$$P_F = P_0 + P_1 + P_2 = P_A P_B (2 - P_A)(2 - P_B) \quad (4)$$

와 같고 3레벨로 구분하는 경우에도 같은 방법으로 구할 수 있다. 본 연구에서는 2레벨의 B시스템을 절반으로 나누어 B'과 C'으로 구성하고, 3레벨 예시의 (1), (2)와 (4)의 경우에 대해서 분석하였다.

#### 2.2.1 각 보드의 Fault 확률이 P로 동일하다고 가정

이 경우 2레벨 시스템에서 각각의 랙이 안정할 확률은 P에 대한 보드수의 거듭제곱으로 나타난다. 이 때 시스템이 동작하려면 반 이중화의 경우 Fault가 발생한 랙이 0개 이거나 1개 이거나 2개인 경우 가능하며, 각각의 확률 수식 (3)과 (4)에 대입하여 계산하면,

$$P_{2.1} = 2P^{m+n} - P^{2m+2n} \quad (5)$$

$$P_{2.2} = 4P^{m+n} - 2P^{2m+2n} - 2P^{m+2n} + P^{2m+2n} \quad (6)$$

$$P_{3.1} = 2P^{m+n} - P^{2m+2n} \quad (7)$$

$$P_{3.2} = 4P^{m+n} - 2P^{m+1.5n} - 2P^{2m+1.5n} + P^{2m+2n} \quad (8)$$

$$P_{3.4} = 8P^{m+n} - 4P^{2m+n} - 8P^{m+1.5n} + 2P^{m+2n} + 4P^{2m+1.5n} - P^{2m+2n} \quad (9)$$

가 된다.

#### 2.2.2 m과 n을 동일하다고 가정

m과 n을 여러 가지로 선택할 수 있으나 문제를 단순화하기 위해  $m = n, m + n = 12$ 으로 가정하고 수식에 대입하여 안정도를 분석하였다.

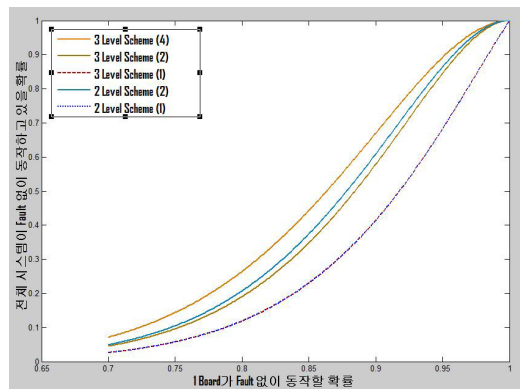


그림 1 1개 보드의 확률에 따른 시스템 안정도  
Fig. 1 System Stability vs Stability of 1 board

그림 1에서 알 수 있듯이 반이중화보다 전이중화를 채택할 경우, 안정도 개선이 발생하며, 레벨을 나누고 그 사이에 전이중화를 채택하는 경우에는 전이중화에 의한 개선 정도가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문은 확률을 기반으로 이중화 시스템의 안정도를 분석하였다. 반 이중화보다 전 이중화를 채택하는 것이 시스템 안정도 향상에 도움이 되며, 레벨을 많이 나누는 것은 전 이중화 안정도 향상에 방해가 된다는 점을 확인하였다. 하지만 무엇보다도 결과 그래프에서 알 수 있듯이 각 보드의 안정도가 높다면, 이중화 안정도의 개선 정도는 미미해 지므로 이중화의 안정도 보다는 각 보드의 안정도를 개선하는 것이 가장 선행되어야 한다는 것을 알 수 있다.

### 참고 문헌

[1] 오영진, 정용호, "HVDC C&P 시스템의 네트워크 이중화 방법에 관한 연구", 전력전자학회 2012 추계학술대회 논문집, 2012. 11, 185-186.  
[2] 이일화, 정용호, "HVDC 시스템 이중화 방안에 대한 고찰", 전력전자학회 2012 추계학술대회 논문집, 2012. 11, 187-188.