

릴레이 접점의 부하에 따른 바운스 현상 분석

최순호¹, 김관식¹, 류재만¹, 허창수^{1,a}

¹ 인하대학교 전기공학과

Analysis of the Bounce Phenomenon According to the Load of the Relay Contact

Sun-Ho Choi¹, Kwan-Sik Kim¹, Jae-Man Ryu¹, and Chang-Su Huh^{1,a}

¹ Department of Electrical Engineering, INHA University, Incheon 402-751, Korea

(Received November 5, 2014; Revised December 22, 2014; Accepted January 6, 2015)

Abstract: The power relay can be easily controlled with high voltage and current through the contacts. For this reason, has become widely used range in a variety of applications. In this study, we measured the contact resistance between the bouncing phenomenon of contact due to the change of load. The results of the experiment, the contact resistance increases with the deterioration of the contact, it is possible to predict the life of the relay contacts through the contact resistance. And relay bounce duration time have occurred in 3.5 ms or less. In addition, it is possible to use the results to design an arc suppression circuit device.

Keywords: Bouncing phenomenon, Arc suppression circuit, Contact resistance

1. 서론

릴레이는 용도에 따라 다양한 소재의 접점을 사용하여 고전압·대전류 분야를 낮은 비용으로 제어할 수 있는 장치이다. 또한, 자동 전력제어가 필수적인 스마트 그리드 (smart grid) 분야와 대전류를 효율적으로 제어하여야 하는 전기 자동차(electric vehicle)에 적용된 릴레이의 수요가 점차 증가하는 시점에서 릴레이의 중요성이 높아지고 있다. 릴레이 수명과 관련이 높은 접점의 가져야 하는 특징은 크게 전기적 성질, 열적 성질, 기계적 성질, 화학적 성질을 만족하는 재료를 사용하여야 하고 이를 충족하는 접점을 제작하여 적용하여야 한다. 릴레이의 접점은 회로 개폐 시 발생하는 아

크(arc)에 의해서 접점이 손상·소모되어 릴레이의 수명이 좌우된다 [1]. 이런 이유로 접점의 수명과 신뢰성을 확보하기 위해 다양한 방법이 제시되고 있다. 접점의 아크 저감방식으로 릴레이 접점부에 상대적으로 높은 압력의 기체 절연가스(ex. SF₆)를 주입하여 아크 소호 시간과 절연 회복시간을 짧게 하는 방식이나 접점의 아크발생 위치에 외부자계를 발생하게 하여 접점부의 아크에 의한 손상을 최소화하는 방식이 제시되고 있다. 또한, 접점과 병렬로 스너버 회로(snubbers circuits)와 트라이액(Triac)을 조합한 우회 회로를 연결한 방식이 제시되는데, 이 방식은 회로로 초기 작동에 따른 아크발생을 근본적으로 차단할 수 있는 방식이다.

아크저감장치(우회 회로)를 이용한 방법은 접점의 상태 변화 시 순간적으로 작동하여 아크발생을 최소화하는 것으로 우회 회로의 작동시간은 릴레이 바운싱 현상(bouncing phenomenon)을 고려하여 결정하여야 한다. 바운싱 현상은 릴레이의 접점 작동 시 기계적 충격 때문에 발생하는 것으로 접점 제작소재가 금속인 이유로 접점의 기계적 충돌 이후 불가피하게 다시 떨

a. Corresponding author; cshuh@inha.ac.kr

어지는 현상이 발생한다 [2-4]. 바운싱 현상 발생 시 지속적인 아크가 발생하기 때문에 아크저감장치(우회 회로)를 설계하여 적용할 때 열화에 따른 접점의 바운싱 횟수와 지속시간에 대한 결과를 바탕으로 아크저감 장치를 설계하여야 한다.

본 연구에서는 래칭 릴레이 샘플을 부하 변화에 따라 열화 진행하여 접점에서 발생하는 바운싱 현상을 별도의 분류기준을 설정하여 분석하였다. 또한, 릴레이 접점 작동횟수에 따라 접점의 접촉저항을 측정함으로써 접점 열화에 따른 접촉저항의 변화를 알아보았다.

2. 실험 방법

2.1 바운싱 현상 측정 및 적용

실험에서는 같은 종류의 래칭 릴레이에 AC 347 V 에 10 A, 20 A, 30 A 부하를 인가하여 실험을 진행하였으며, 인가전압의 역률은 1.0이고, 릴레이 동작 특성은 On/Off=1.5s/1.5s (total 1cycle, 3s) 간격으로 별도의 카운터 기기를 활용하여 릴레이를 제어하였다. 실험에 사용되는 인가전압의 변화 시 전압에 따라 전류가 변화하기 때문에 이를 일정하게 유지하기 위해 AVR (automatic voltage regulator) 장치를 사용하여 일정한 인가전압을 유지하였으며, 무유도 저항으로 제작한 로드 뱅크(load bank)를 릴레이에 연결하여 부하를 가하는 방식으로 접점 열화를 진행하였다. 부하에 의한 바운싱 현상에서 접점에 작용하는 힘은 고정접점 (fixed contact)과 가동 접점(moving contact)에서 전류의 힘(F_A : force of current flow)과 기계적 힘(F_S : mechanical force)이 같은 방향으로 작용하고 제시된 힘의 방향과 반대로 전자반발력의 힘(F_B : electromagnetic repulsion force) [5]이 작용하기 때문에 접점에서의 바운싱 현상은 복합적인 힘이 작용한다. 접점 바운싱 현상의 측정은 오실로스코프 프로브에 저항과 DC 6 V 전원을 연결하여 릴레이 작동신호 이후 순간적인 DC 파형으로 바운싱 현상을 검출하였으며, 도출된 측정 결과는 GPIB를 통해 컴퓨터에 파형과 데이터를 저장하였다 [6,7].

측정 시 릴레이 접점에 AC 부하를 인가한 상황이 아닌 DC 전압을 인가하여 측정하였기 때문에 전류의 힘과 전자반발력 힘을 제외하고 기계적인 힘에 의한 바운싱 현상을 측정된 것이고 이를 인지하며 실험 결과를 분석하여야 한다. 바운싱 현상의 열화 진행은

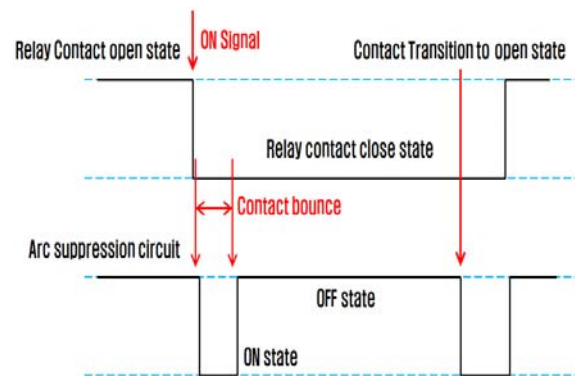


Fig. 1. Operating circuit of the arc suppression circuit.

on/off 동작 1사이클 1회 기준으로 20만회까지 하였으며, 바운싱 현상 측정은 1만회 당 5회 진행하여 결과를 분석하였다. 릴레이 동작에 따라 작동하는 아크저감회로의 동작파형 예시는 그림 1과 같고, 아크저감회로는 예상되는 릴레이 접점 바운싱 현상의 지속시간보다 더 길게 작동하여야 접점의 아크에 의한 손상을 최소화할 수 있다. 또한, 아크저감장치가 작동하여 접점의 아크발생을 우회시킨 이후 릴레이 접점의 상태 변화가 없을 때는 아크저감장치가 동작하지 않는 OFF state가 된다.

2.2 릴레이 접촉저항 측정

릴레이 접점의 접촉저항 측정 방식은 4단자법을 적용하였으며, 측정 횟수는 바운싱 현상과 같은 간격으로 1만회에 간격으로 접촉저항을 측정하고 20만회까지 접촉저항 변화를 분석하였다. 접점의 부하 변화 조건에서 열화가 진행됨에 따라 변화되는 접촉저항 결과는 그림 2와 같다. 열화가 진행되지 않은 초기 접점의 경우 11 mΩ 이하를 유지하지만, 접점의 열화가 진행됨에 따라 접촉저항이 변화되는 것을 알 수 있다. 열화 조건 AC 347 V/10 A, 20 A에서는 열화가 진행되어도 접촉저항이 0~200 mΩ을 유지하는데 반면에 AC 347 V/30 A의 경우에는 약 11만회 이상 접점 열화가 진행될 경우 접촉저항이 200 mΩ 이상으로 급격히 변화하는 것을 알 수 있다. 이런 결과에서 열화에 따른 접점 표면의 상태 변화와 사용된 샘플 접점 제작 시 사용된 은 합금의 소손으로 인하여 릴레이의 접점 역할은 수행하지만, 접촉저항이 200 mΩ 이상으로 급격히 상승하는 이유를 찾을 수 있으며, 릴레이 접점의 수명 확인 측면에서 접점의 접촉저항 변화를 활용할 수 있다.

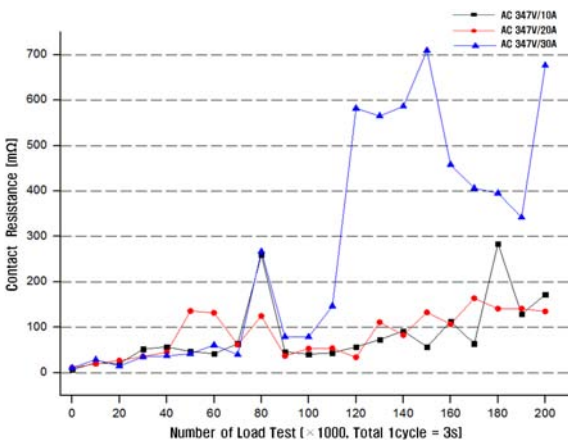


Fig. 2. Change of the contact resistance due to the change of load.

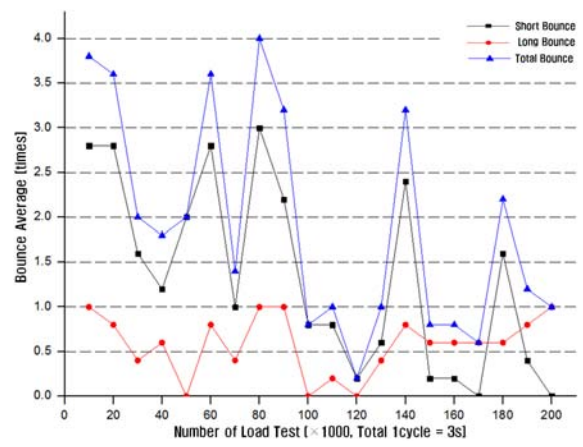


Fig. 4. Change in the average number of bounce (347 V/20 A).

3. 결과 및 고찰

3.1 부하 변화에 따른 바운싱 횟수

릴레이 접점이 동작 신호에 의해 접점이 닫힐 경우 다양한 지속시간을 가지는 바운싱 현상이 발생하고, 지속시간이 길어질 경우 고정접점과 가동접점의 순간 가동 범위가 증가하므로 높은 에너지의 아크발생 확률이 높아진다. 또한, 바운싱 현상의 지속시간이 짧을 경우에 접점의 열화 및 신뢰성에 미치는 영향이 미비하다고 알려졌기 때문에 바운싱 현상을 분석할 시 별도의 기준을 세워야 한다.

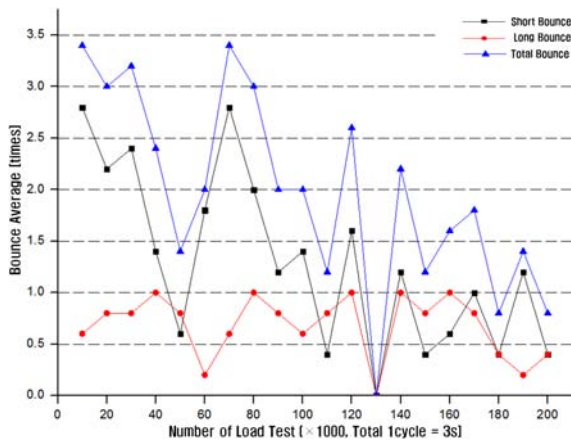


Fig. 3. Change in the average number of bounce (347 V/10 A).

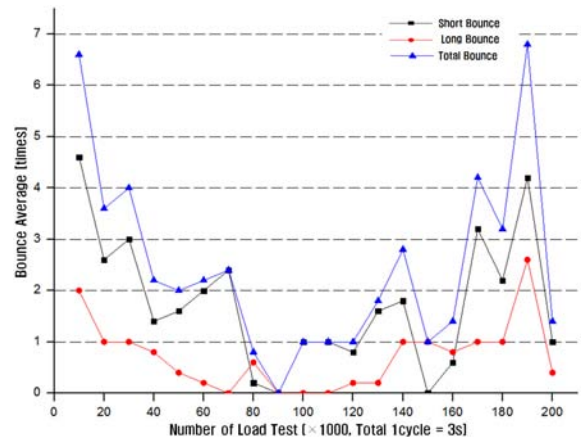


Fig. 5. Change in the average number of bounce (347 V/30 A).

바운싱 현상 지속시간에 대한 분류 기준은 정해져 있지 않기 때문에 본 연구에서는 0.2 ms를 기준으로 분류(long bounce, short bounce)하였다. 또한, 열화가 진행되지 않은 접점의 초기 상태는 접합이 안정화 되지 않아 바운싱 현상의 횟수와 지속시간이 과도하게 발생하므로 초기 상태의 측정 결과는 분석에서 제외하였다. 부하 변화에 따라 접점에서 발생하는 바운싱 현상을 분류 기준을 적용하여 분석한 바운싱 횟수의 분석결과는 그림 3~5와 같다. 부하 변화에 따른 바운싱 현상 변화에 대한 실험 결과에서 부하 AC 347 V/10 A, 20 A의 경우에는 AC 347 V/30 A의 조건과 달리 바운싱 현상이 발생하지 않는 안정화 단계 도달에 상대적으로 늦어 불규칙한 바운싱 현상이 지속해서 발생

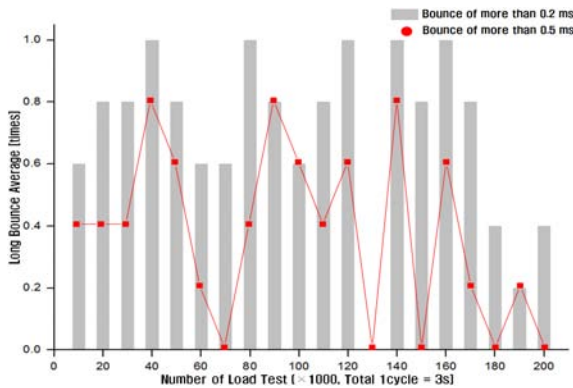


Fig. 6. Change in the average number of bounce (more than 0.2 ms, 347 V/10 A).

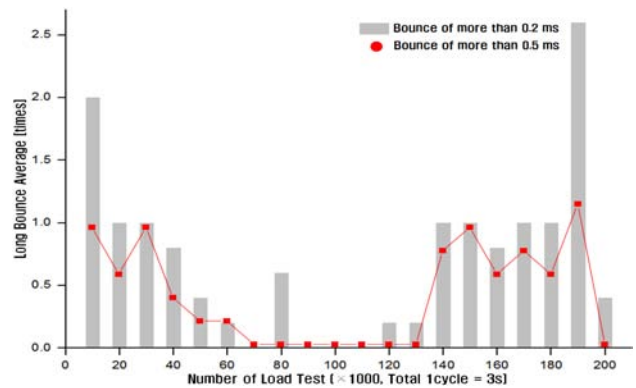


Fig. 8. Change in the average number of bounce (more than 0.2 ms, 347 V/30 A).

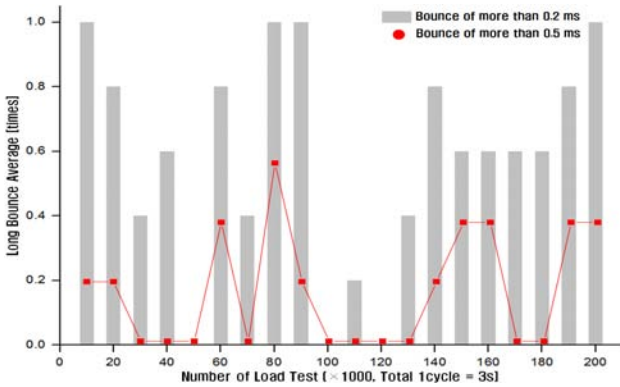


Fig. 7. Change in the average number of bounce (more than 0.2 ms, 347 V/20 A).

하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과가 도출되는 이유는 9만회 부근에서 안정화되는 347 V/30 A 부하 조건과 달리 상대적으로 낮은 부하에서는 점점 열화에 따른 형상의 변화로 바운싱 현상이 발생하지 않는 구조로의 변형이 되지 않는 것에서 이유를 찾을 수 있다.

바운싱 현상의 총 횟수 변화로 수명을 예측할 수 있는지를 판단하기 위해 초기 부하 조건에 따라 각각의 바운싱 횟수가 최소화되는 부하 인가 횟수까지 최소자승법을 분석하고 상관관계를 분석할 수 있는 결정계수 (R^2)를 도출한 결과 347 V/10 A ($R^2=0.35$), 347 V/20 A ($R^2=0.27$), 347 V/30 A ($R^2=0.78$)의 결과값을 나타냈다. 이 결과를 통해 낮은 부하에서의 결과는 열화 횟수에 따라 결과가 불규칙하게 발생하고 상관관계가 낮다고 할 수 있고 AC 347 V/30 A 조건에서는 상대적으로 결정계수가 높아 일정한 높은 부하 조건에서는

바운싱 횟수에 따라 수명 예측이 가능하다. 장시간 동안 발생하는 바운싱 현상(0.2 ms, 0.5 ms)의 추가적인 분석은 그림 6~8과 같다.

그림 8과 같이 AC 347 V/30 A 샘플의 경우에는 초기에는 장시간의 바운싱이 낮은 수준의 부하에 비해 상대적으로 많은 횟수가 발생하지만, 점차 감소하여 바운싱 현상에서 안정화되는 것을 알 수 있으며 일정 횟수 이후에 재증가하고, 그림 6, 7과 같이 실험 조건 347 V/10 A, 20 A 조건에서는 0.5 ms 이상의 긴 바운싱 현상의 발생 횟수가 열화 진행에 따라 불규칙하게 발생하는 결과를 통해 점점 형상의 안정화가 되지 않는 것을 알 수 있다.

3.2 부하에 따른 바운싱 총 지속시간

릴레이에 가해지는 부하 변화에 따른 바운싱 현상의 총 지속시간 변화는 그림 9와 같다.

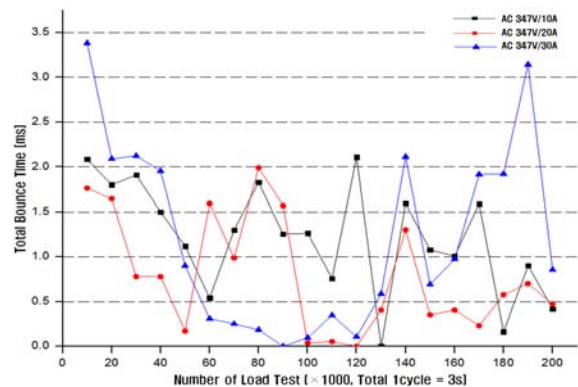


Fig. 9. Total duration time of bouncing phenomenon.

릴레이의 접점 열화를 20만회 진행할 경우 바운싱 총 지속시간은 약 2 ms 이하로 바운싱 현상이 발생한다. 또한, 347 V/30 A에서 바운싱 총 지속시간이 최대로 관찰되지만, 일부 실험 횟수에서 발생하며 이 경우에도 3.5 ms 이상으로는 발생하지 않는다. 이 결과를 바탕으로 아크저감장치 설계에 우회 회로는 초기 조건부터 바운싱 현상 총 지속시간 최소 2 ms 이상 작동하여야 하며, 최대로 지속하는 3.5 ms를 포함할 경우 실험 결과를 적용한 가장 효과적인 아크저감 성과를 얻을 수 있다.

4. 결론

릴레이 접점에서 발생하는 아크 발생을 최소화하고 수명을 증가시키기 위해 제안되는 다양한 방법 중 우회 회로 방식을 적용하기 위해서는 바운싱 현상의 부하에 따라 발생하는 횟수와 지속시간을 분석하여야 한다. 그 결과 부하 변화에 따라 바운싱 현상이 달리 나타나는 것을 알 수 있다.

1. 아크저감장치를 개발 시 접점 작동에 따른 delay time을 고려하지 않을 경우 바운싱 지속시간이 가장 급격하게 변화하는 AC 347 V/30 A 조건을 적용하여 최대로 발생하는 지속시간 3.5 ms 조건을 충족하는 아크저감장치를 설계하여야 한다.
2. 바운싱 횟수는 부하 조건에 따라 변화하며 각기 다른 결과를 나타내지만, 부하 조건 AC 347 V/10 A, 20 A의 조건에서는 지속시간이 최대로 발생하여도 약 2 ms의 시간 이내로 발생하므로 아크저감장치(우회 회로)의 지속시간을 설정할 때, 이를 적용하면 바운싱 횟수와 상관없이 릴레이 접점을 아크 열화에서 보호할 수 있다.
3. 기계적 바운싱 현상을 바탕으로 한 릴레이 접점의

수명 판단에서 AC347 V/30 A의 경우에는 임계값을 가지고 초기부터 최솟값이 되는 부분까지의 결과 값에 대한 상관계수가 높아 접점수명 예측이 가능하다.

4. 전력용 릴레이의 적용분야가 점차 다양해지고 고전압-대전류 조건에서 사용되기 때문에 신뢰성을 확보하려는 노력이 지속해서 이루어져야 한다. 결과적으로 릴레이 접점의 수명을 결정하는 열, 아크 그리고 기계적인 마멸현상을 최소화할 수 있는 다양한 연구가 진행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발사업(No.C0213181)의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

REFERENCES

- [1] H. K. Cho and E. W. Lee, *KIEE*, **55**, 146 (2006).
- [2] J. M. Ryu, S. H. Choi and C. S. Huh, *KIIEE*, **27**, 42 (2013)
- [3] P. G. Slade, *Electric Contacts; Principles and Application*, (1999).
- [4] R. Holm, *Electrical Contacts Theory and Application*, 4th Ed. (1979).
- [5] X. Li and D. Chen, *IEEE Trans. Comp. Pack. Man.*, **28**, 877 (2005).
- [6] J. W. McBride, *IEEE Trans. Comp. Pack. Man.*, **14**, 319, (1991).
- [7] E. Hetzmanseder, W. Rieder, *IEEE Trans. Comp. Pack. Man.*, **17**, 8, (1994).
- [8] L. Morin, N. B. Jemaa, and D. Jeannot, *IEEE T. Compon. Pack. T.*, **23**, 240 (2000)
- [9] Y. K. Ko, S. S. Cho, H. Huh, S. Y. Lee, H. T. Park, and I. S. Oh, *ISIE*, 189 (2009)