

자기유지형 릴레이 바운싱의 영구자석 영향

(The Influence of Permanent Magnet on the Bouncing of Latching Relay)

류재만* · 최순호 · 허창수

(Jae-Man Ryu · Sun-Ho Choi · Chang-Su Huh)

Abstract

The electrical relay is an essential part of the Smart Grid, Electrical Vehicle (EV) and LED lighting system. For these reasons, research of electrical relay is actively underway. In this paper, analyze of the relationship between the bouncing of relay contact and magnetic flux of permanent magnet. Experiment result, changes the bouncing numbers depending on the magnetic flux of the latching relay. And find the value of the magnetic flux that occurs to minimize the bouncing of the contacts. In additions, by the increasing the magnetic flux, unconditional bounce is not reduced. The bouncing number of latching relay is less than expected the armature relay for present results. Further experiments are need to prove it, bouncing on the armature relays.

Key Words : Latching Relay, Keeping Relay, Contact Bouncing, Permanent Magnet, Magnetic Flux

1. 서 론

릴레이는 다양한 용도로 사용되지만, 1차적으로 전기공급 유·무를 제어하는 부품으로써 단순한 기계장치의 제어부터 복합적인 제어까지 가능하게 하는 장치이다. 릴레이는 개별적으로 제어가 가능한 장점을 가지고 있으며, 이런 특성을 활용하여 회로를 독립적으로 구성할 수 있다. 또한 접점을 저전압으로 구동이 가능한 전자석 원리를 사용하고 고전압, 대전류를 비

교적 쉽게 조작이 가능하다[1]. 고전압, 대전류의 제어는 현재 각광을 받고 있는 전력분야 스마트그리드(Smart Grid), 전기자동차(Electric Vehicle), LED 조명 제어장치의 수요증가와 맞물려 안전한 제어가 가능한 릴레이의 개발은 필수적인 사항이 되었다. 일반적인 릴레이의 구성은 전자석의 힘을 이용하기 위한 코일부와 전기가 흐를 수 있는 접점부로 구성되어 있다. 이와 같은 코일부와 접점부의 조합을 한 릴레이를 전기자릴레이(armature relay)라고 하며, 전기자릴레이에 영구자석을 배치한 것을 자기유지형 릴레이(Latching relay, Keeping relay)라고 한다. 전기자릴레이와 자기유지형 릴레이의 차이점은 순간정전에 따른 상태변화이다. 영구자석을 사용하는 자기유지형 릴레이는 내부 장치에 자로를 형성하여 구동 시 발생하는 릴레이 자체의 소비전력을 일반 릴레이보다 줄

* 주(교신)저자 : 인하대학교 공학대학원, 정호그룹 회장

* Main(Corresponding) author: Graduate school of Engineering, INHA University

Tel : 032-860-7408, Fax : 032-863-5822

E-mail : jmryu@junghocorp.com

접수일자 : 2013년 1월 18일

1차심사 : 2013년 1월 28일, 2차심사 : 2013년 3월 7일

심사완료 : 2013년 3월 11일

일 수 있고, 정전 시 접점상태를 자체적으로 유지하여 릴레이를 사용한 장치의 효율성과 안정성을 높이는 효과를 얻을 수 있다. 이런 이유로, 추후에 가정용 스마트그리드 시스템과 전기자동차분야에서 많은 수요가 예상된다. 릴레이 접점이 작동할 때, 접점에 작용하는 힘은 세가지로 분류할 수 있는데 솔레노이드(Solenoid) 구조에서 접점을 움직이게 하는 기계적 힘과 릴레이를 적용한 회로가 완전한 구성을 하고 있을 때, 통전 시 발생하는 전류의 흐름에 의한 힘, 마지막으로 접점 자신의 자계영역과 전기전류의 상호작용에 의하여 발생하는 전자반발력(Electromagnetic Repulsion Force) 을 들 수 있다[2].

본 논문에서는 릴레이 접점에 작용하는 기계적 힘에 의한 접점에 작용하는 바운싱 현상을 인지하고, 릴레이 내부에 사용하여 접점의 움직임을 고정하는 영구자석을 변화시켜, 표면자속밀도 변화에 따른 바운싱 현상을 관찰함으로써 영구자석의 힘에 따라 접점의 바운싱에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 관련이론 및 실험방법

2.1 접점에 작용하는 힘

릴레이의 솔레노이드 힘에 의해서 릴레이의 접점이 움직이게 되고 이런 과정에서 접점에 기계적인 힘이 작용하게 된다. 릴레이의 접점은 금속(고체)으로 구성되어 있기 때문에 단단한 두 물체가 기계적 힘에 의해 충돌할 경우, 불가피하게 접점이 접한 다음 다시 떨어지는 바운싱 현상이 발생하고, 회로가 정상적으로 작동한다면, 접점에서 아크가 발생한다. 바운싱 현상이 1회만 발생하는 것이 아닌 금속의 진동과 같이 접점의 움직임으로 연속적으로 리바운싱 현상이 발생하게 된다[3-4]. 릴레이의 안정적이고 장기적인 수명을 가지기 위해서는 접점의 수명을 줄이는 인자들을 최대한 제거하거나 보완해야 하며, 바운싱현상은 기계적인 힘에 의해서 필수적으로 발생하기 때문에 바운싱의 크기, 횟수, 지속시간을 최소한으로 줄여야 한다. 접점에서 발생하는 바운싱 현상은 전압, 전류에 따라서 특성이 달라진다. 또한 일정한 기계적 힘이 작용하더라도

바운싱 현상을 통해 아크가 발생하고, 아크에 따라서 금속표면의 용융으로 바운싱에 의한 힘이 접점에 표면에 흡수되기 때문에 달라질 수 있다. 또한 그림 1과 같이 기계적 힘(F_S)과 전류의 힘(F_A), 전자반발력 힘(F_B)에 의하여 접점에 미치는 종합적인 힘이 변화하기 때문에 실험을 진행할 때에는 같은 조건에서 실험하고 경향성을 관찰할 필요성이 있다.

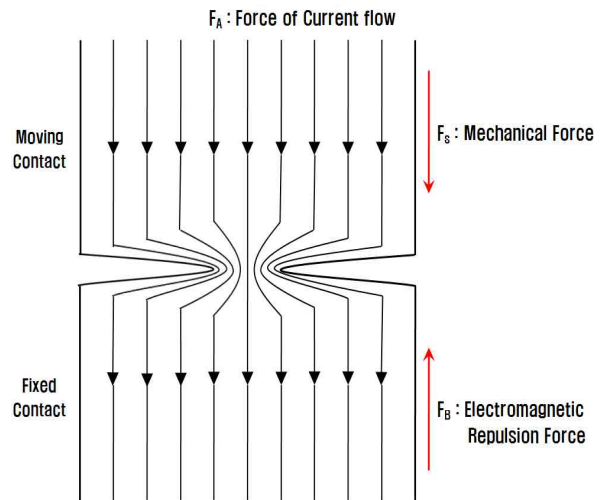


그림 1. 릴레이 접점에서의 힘의 종류[3]
Fig. 1 The kind of power in the relay contact

2.2 영구자석의 표면자속밀도 측정

실험에 사용된 자석의 표면자속밀도를 측정하기 위해서 가우스미터(KANETEC Co., TM-701)를 사용하였고, 가우스미터의 측정범위는 0~30,000G로 사용한 영구자석의 표면자속밀도를 비교적 간단하게 측정이 가능하다. 가우스미터는 반도체의 홀효과(Hall effect)를 사용하여 측정하기 때문에 측정각도, 거리, 측정대상물의 최소 크기를 고려해야 한다. 측정대상물과 가우스미터의 센서부와 수평상태에서 각도차이가 난다면 식 (1)과 같이 오차가 발생하고 센서와 측정하려고 하는 샘플의 거리가 달라진다면 재현성이 나빠지기 때문에 측정에는 샘플과의 거리와 각도를 주의하면서 실험을 진행하였다. 또한 샘플의 크기가 가우스미터 센서부의 크기보다 최소 3배 이상이 되어야 좋은 측정이 가능하다.

$$\text{오차}(\%) = (1 - \cos \theta) \times 100 \quad (1)$$

θ (췌타) : 측정샘플과 센서부의 수평상태부터의 차이를 나타낸다.

앞서 말한 것과 같이 가우스미터의 위치와 흔들림에 따라 오차가 발생할 수 있기 때문에 가우스미터 센서부와 자석의 위치를 샘플마다 일정하게 위치하도록 하기 위해 센서부 고정장치와 샘플 고정판을 사용하여 결과의 신뢰성과 재현성을 가지도록 하였다. 가우스미터를 통해 측정된 샘플의 N극과 S극의 표면자속밀도는 자력선이 N극을 통해 S극으로 들어가는 특성을 가지고 있고 N극이 S극보다 더 크게 나타날 수 있다. 이런 특성을 고려하여 N극을 기준으로 영구자석의 샘플 표면자속밀도를 판단하였다. 실험에 사용된 영구자석 샘플은 국내에서 생산되는 제품을 사용하였고 표면자속밀도를 측정 시 상대적인 비교를 위해서는 영구자석의 외부형상(크기, 두께)이 같아야 하므로 같은 형상의 제품을 사용하였다. 측정된 영구자석의 표면자속밀도를 자력선이 작용하는 면적에 적용하여 자속을 구했으며, 보빈부에 작용하는 자속의 변화가 바운싱에 미치는 영향을 관찰하였다. 또한 본 실험에 사용된 6종의 샘플과 별도 실험으로 같은 샘플을 사용하여 두께는 일정한 상태에서 면적이 변화하였을 때의 표면자속밀도의 측정하고 앞서 실험한 방식과 같은 방식으로 실험을 진행하였다. 면적과 표면자속밀도가 같은 동일한 샘플의 면적이 줄었을 때, 가우스미터 측정상의 표면자속밀도는 증가하게 된다. 이러한 이유로 표면자속밀도 수치를 사용하지 않고 자석의 면적이 따른 총 자속으로 비교하였다. 그 결과 면적이 감소함에 따라 영구자석의 표면자속밀도는 증가하게 되지만 자속은 감소하게 된다.

2.3 접점특성 및 바운싱 현상 측정

실험된 사용된 릴레이는 비교적 낮은 전류에서 사용되는 특성상 접점의 제작소재는 은 합금이고[5], 가동 접점과 고정접점 모두 같은 접점을 사용하였다. 또한 접점은 평평한 구조에서 중심부가 약간 솟은 형상으

로 접점이 닫힐 경우에 그림 2와 같이 접점이 중심에 접촉하게 된다. 자기유지형 릴레이에 사용된 표면자속밀도가 다른 영구자석의 변화에 따라 접점에서 발생하는 바운싱현상을 측정하기 위해서 전압을 인가한 완전한 회로를 구성하고 릴레이의 동작시에 오실로스코프(200MHz, 200MS/s)를 사용하여 전압 파형을 측정하였다[6-7]. 바운싱현상은 접점의 기계적인 충격에 의한 것이고 변화 인자는 내부 영구자석에 변화되는 표면자속밀도이기 때문에 같은 릴레이 제품의 보빈부를 고정하는 영구자석만 교체하여 실험을 진행하였다. 측정횟수는 샘플 당 총 5회를 측정하였으며, 오실로스코프에서 관찰되는 파형을 토대로 바운싱 발생 횟수와 접점이 작동 후 접점 바운싱이 시작되어 안정화 될 때까지 지속시간을 측정하였다. 접점에서 발생한 바운싱의 횟수와 지속시간의 평균값을 가지고 바운싱 현상에 대한 경향성을 관찰하였다. 또한 영구자석의 면적변화(두께일정)에 따른 접점의 바운싱 실험은 접점부에 일정한 전압을 인가하고 파형측정은 오실로스코프(500MHz, 5GS/s)를 사용하여 측정하였다. 또한 그 결과 분석은 앞서 제시한 방법과 같은 방식으로 바운싱의 횟수, 지속시간으로 변화를 관찰하였다.

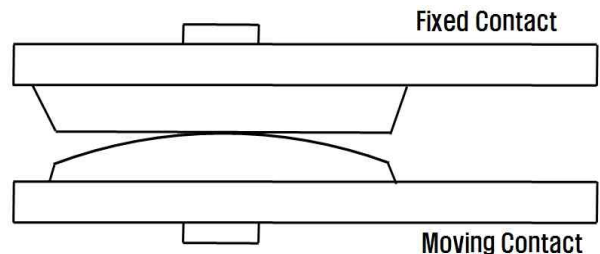


그림 2. 릴레이 접점의 접촉 형상(닫힌 상태)
Fig. 2. The contact geometry of relay contact (Close)

3. 결과 및 고찰

3.1 영구자석의 표면자속밀도와 자속

자기유지형 릴레이의 내부에 사용된 영구자석의 표면자속밀도는 가우스미터로 측정한 결과 시료마다 N극과 S극의 표면자속밀도가 다르게 나오지만 N극의

기준으로 계산을 하였다. 측정된 표면자속밀도에 사용한 영구자석의 면적을 적용하여 계산한 자속은 14~19.2 μ Wb으로 변화하였다. 샘플에 따른 보빈에 영향을 미치는 자속은 표 1과 같이 변화한다. 또한 이 실험을 바탕으로 추가적으로 영구자석 면적변화에 따른 표면자속밀도의 변화가 바운싱현상에 미치는 영향을 알아보기 면적을 변화시킨 후 실험을 진행하였다. 영구자석의 면적이 감소하면 보빈에 작용하는 자속은 감소하게 된다. 초기 영구자석이 보빈에 미치는 자속은 14.8 μ Wb이지만 면적을 점차 줄였을 때(두께일정) 11.4 μ Wb와 8.8 μ Wb로 감소하게 된다. 이와같이 영구자석의 면적변화에 따른 자속의 변화가 점점 바운싱에 미치는 영향을 상대적으로 분석하였다.

3.2 자속에 따른 점점 바운싱

점점의 발생 바운싱의 횟수는 측정된 파형에서 발생한 전압의 크기와 관계없이 총 횟수로 결정하였고, 지속시간은 바운싱이 시작하여 안정화 될 때까지를 계산하였다. 그림 4은 자속 14 μ Wb, Test 5 바운싱 파형으로 최대 바운싱 횟수와 최대 지속시간이 발생하였다. 반면에 최소로 발생한 경우는 그림 5에서와 같이 자속 18 μ Wb, Test 4의 경우이다. 그림 4, 5를 비교하였을 때 파형의 크기에 따라 점점표면에 발생하는 아크의 크기와 점점의 열화정도를 판단할 수 없기 때문에 바운싱의 횟수가 점점표면에 발생하는 아크의

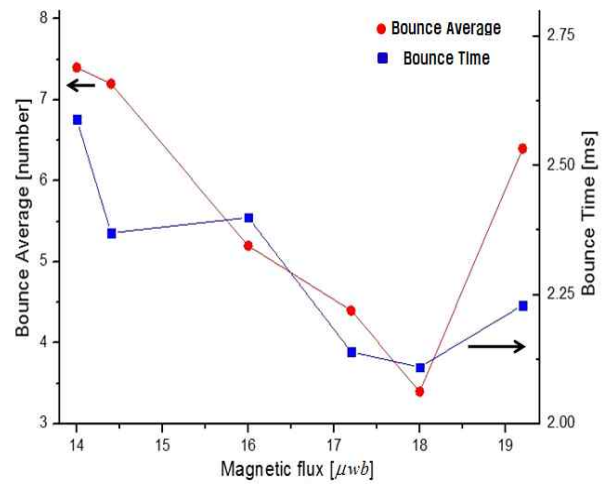


그림 3. 자속변화에 따른 점점 바운싱 횟수 및 지속시간
Fig. 3. The bouncing number and time according to the change of magnetic flux

횟수와 같고, 점점 표면이 열화가 된다는 것을 가정해야 한다. 본 실험결과를 종합했을 경우, 영구자석의 자속의 변화에 따른 바운싱의 횟수와 지속시간은 표 1과 같다. 점점에 작용하는 기계적 힘이 항상 동일하게 작용하지 않는다는 것을 예상하고 실험을 진행하였지만, 영구자석이 보빈에 작용하는 자속이 증가함에 따라 경향성 있는 결과가 관찰되었다. 그림 3에서와 같이 자기유지형 릴레이에 사용된 영구자석의 자속이 14 μ Wb일 경우에는 평균 7.4회의 바운싱과 지속시간 2.59ms동안 발생하였지만 작용하는 자속이 증가함에

표 1. 영구자석 변화에 따른 점점 바운싱 횟수 및 지속시간

Table 1. The bouncing number and time according to the change of permanent magnet

sample	Magnetic flux μ Wb	Test 1 Bounce Number/ Time ms	Test 2 Bounce Number/ Time ms	Test 3 Bounce Number/ Time ms	Test 4 Bounce Number/ Time ms	Test 5 Bounce Number/ Time ms	Average Bounce Number/ Time ms
1	14	5 / [2]	7 / [2.25]	7 / [2.4]	8 / [2.3]	10 / [4]	7.4 / [2.59]
2	14.4	9 / [2.5]	5 / [2.2]	7 / [2.25]	8 / [2.5]	7 / [2.4]	7.2 / [2.37]
3	16	5 / [2.4]	6 / [2.5]	5 / [2.3]	5 / [2.4]	5 / [2.4]	5.2 / [2.4]
4	17.2	4 / [2.2]	3 / [2]	5 / [2.1]	4 / [2.2]	6 / [2.2]	4.4 / [2.14]
5	18	3 / [2]	3 / [1.8]	6 / [2.2]	2 / [2.3]	3 / [2.25]	3.4 / [2.11]
6	19.2	7 / [2.3]	5 / [2]	7 / [2.3]	7 / [2.3]	6 / [2.25]	6.4 / [2.23]

따라 바운싱과 지속시간이 점차감소하다 18 μ Wb에서 최소로 발생하게 된다.

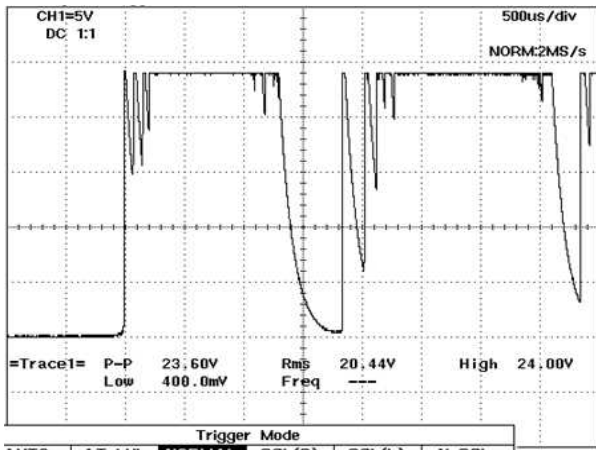


그림 4. 자속 14 μ Wb, Test 5의 파형
Fig. 4. The waveform of the magnetic flux 14 μ Wb, Test 5

하지만 그 이상의 표면자속밀도에서는 바운싱 횟수와 지속시간이 재 증가한다. 이런 결과를 바탕으로 자기유지형 릴레이에 사용된 영구자석은 릴레이의 접점 상태를 유지하는 것과 동시에 접점에서의 바운싱현상에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

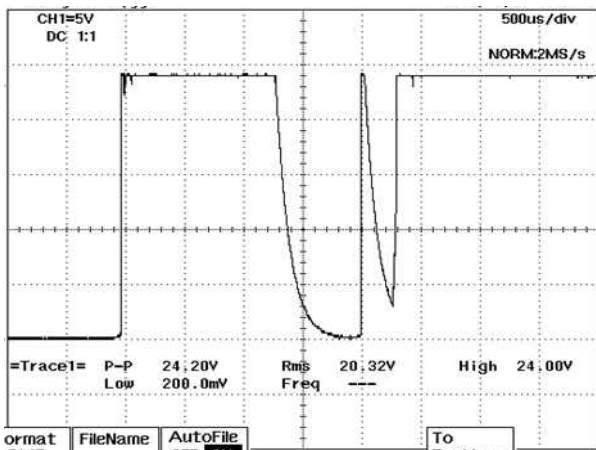


그림 5. 자속 18 μ Wb, Test 4의 파형
Fig. 5. The waveform of the magnetic flux 18 μ Wb, Test 4

3.3 영구자석 면적에 따른 접점 바운싱

자기유지형 릴레이에 사용되는 영구자석의 면적변화에 따른 변화를 관찰하기 위해 기준 샘플과 두께는 동일한 상태에서 면적을 변화시킨 후 같은 방식으로 실험한 결과는 그림 6~8과 같다. 기준샘플과 면적을 변화시킨 영구자석 샘플의 자속의 계산수치는 각각 14.8, 11.4, 8.8 μ Wb인 것을 알 수 있다. 그림 7와 같이 기준샘플의 경우에는 바운싱 발생횟수는 약 5회이고 지속시간은 2.5ms정도로 앞서 실험한 샘플 2, 3 사이의 표면자속밀도에서 거의 비슷한 수준으로 발생한다. 또한 자속이 감소함에 따라 그림 7~8과 같이 바운싱의 횟수와 지속시간이 증가한다. 그림 7과 같이 보빈에 작용하는 자속이 11.4 μ Wb인 경우 바운싱의 지속시간은 약 3.5ms이고 그림 8의 경우처럼, 작용하는 자속이 8.8 μ Wb일 경우에는 더 긴 시간인 약 4ms동안 바운싱현상이 발생하였다. 앞서 진행한 실험에서 보빈에 작용하는 자속이 14~19.2 μ Wb의 경우에 바운싱의 지속시간이 3ms이하였다는 점과 비교하여 보빈에 작용하는 자속이 감소할 때, 점점에서 발생하는 바운싱의 횟수와 지속시간이 증가하는 것을 알 수 있다. 이런 결과에서 전기자릴레이(armature relay)는 자기유지형 릴레이와 비교하여 더 많은 바운싱 횟수와 지속시간이 발생함을 예상할 수 있다. 릴레이 설계 시 같은 접점과 같은 조건으로 구동할 경우에 접점에 사용하

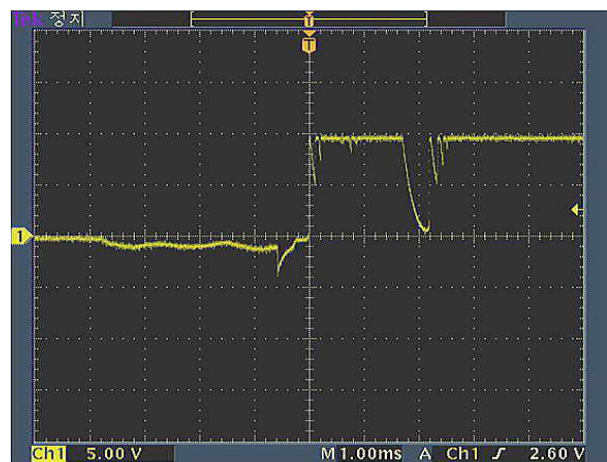


그림 6. 면적변화에 따른 바운싱현상(자속 14.8 μ Wb)
Fig. 6. The bouncing phenomenon according to area change(Magnetic flux 14.8 μ Wb)

는 영구자석의 유·무에 따라 변화되는 바운싱 현상과 관련하여, 점점 열화정도가 달라짐을 예상할 수 있고 자기유지형 릴레이가 점점 신뢰성을 확보하는데 유리할 수 있다.



그림 7. 면적변화에 따른 바운싱현상(자속 11.4 μ wb)
Fig. 7. The bouncing phenomenon according to area change(Magnetic flux 11.4 μ wb)

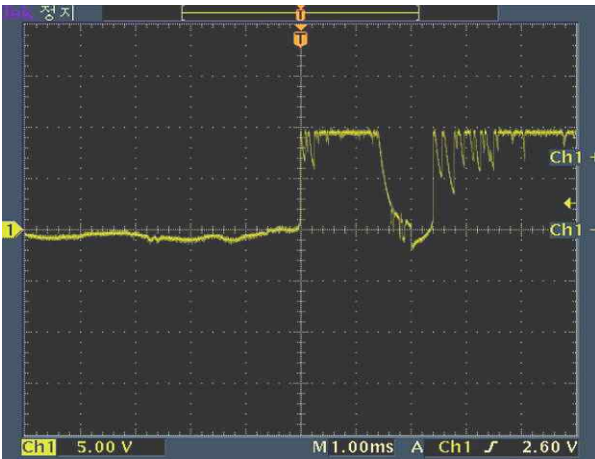


그림 8. 면적변화에 따른 바운싱현상(자속 8.8 μ wb)
Fig. 8. The bouncing phenomenon according to area change(Magnetic flux 8.8 μ wb)

4. 결 론

영구자석이 사용된 자기유지형 릴레이의 보빈에 작용하는 자속이 14~19.2 μ wb일 경우에 바운싱 총 지속시간은 약 3ms 이내이고, 자속이 약해질수록 바운

싱 지속시간이 증가한다. 점점의 바운싱 횟수 또한 영구자석의 자속의 영향을 받아 자속이 증가함으로써 바운싱의 횟수가 감소하다 다시 증가하는 현상을 보인다.

- 1) 낮은 전압, 전류 상황에서 짧은 시간동안의 바운싱 현상은 점점에 큰 영향을 미치지 않지만, 반면에 EV 릴레이와 같은 고전압, 대전류 조건에서는 점점에서 발생하는 아크로 인해 릴레이의 수명과 릴레이를 사용한 장비의 장기 신뢰성확보가 어려워진다. 이와 같은 이유로 점점에서 발생하는 바운싱 횟수와 지속시간을 최소화 할 필요가 있다.
- 2) 앞서 설명한 바와 같이 자기유지형 릴레이에 사용된 영구자석은 바운싱 현상에 직·간접적으로 작용한다. 또한 영구자석의 보빈에 작용하는 자속의 상승에 따라 무조건적으로 감소하지 않고 일정 자속에서 최소 바운싱횟수와 지속시간을 가지게 된다. 이런 이유로 릴레이 설계시 임의의 영구자석을 사용하면 안 되며, 점점의 상태 유지 및 바운싱을 최소화 할 수 있는 자속을 가지는 영구자석을 사용하여야 한다.
- 3) 본 연구에서는 자기유지형 릴레이 점점에 작용하는 기계적인 힘만을 고려하여 결과를 분석하였고, 점점에 작용하는 전류의 힘과 전자반발력에 의한 힘은 고려하지 않았다. 자기유지형 릴레이의 바운싱현상을 최소화하기 위해서는 릴레이에 적용되는 전압, 전류에 따라 점점 작용힘을 종합적으로 고려하여 보빈에 작용하는 자속이 맞는 영구자석을 선택하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-1010)

References

[1] Y. K. Ko, S. S. Cho, H. Huh, S. Y. Lee, H. T. Park, I. S. Oh, "Design of HEV-relay using repose surface method to improve bounce characteristic", IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.169~174, 2009.

- [2] X. Li, D. Chen, "3-D finite element analysis and experimental investigation of electrodynamic repulsion force in mold case circuit breakers.", IEEE Transactions Components and Packaging Technologies, Vol.28, No.4, pp.877~883, 2005.
- [3] Paul G. Slade, "Electrical Contacts: Principles and Applications", 1999.
- [4] Ragnar Holm, "Electrical Contacts Theory and Application" Fourth Edition, 1979.
- [5] Milenko Brounovic, Valery V. Konchits, Nikolai K. Myshkin, "Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology", 2007.
- [6] McBride, J. W., "An experimental investigation of contact bounce in medium duty contacts", IEEE Transaction on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol.14, No.2, pp. 319~326, 1991.
- [7] Hetzmannseder, E., Reider, W., "The influence of bounce parameter on the make erosion of silver/metal-oxide contact materials", IEEE Transaction on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol.17, No.1, pp. 8~16, 1994.

◇ 저자소개 ◇



류재만 (柳在晩)

1959년 2월 19일생. 2013년 인하대학교 공학대학원 석사과정. 2010년 한국조명전기설비학회 국제이사. 2012년 국제조명한국위원회(KCIE) 부회장. 현재 정호그룹 회장.



최순호 (崔淳豪)

1984년 10월 12일생. 2010년 인하대학교 전기공학과 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



허창수 (許昌洙)

1955년 1월 27일생. 1981년 인하대학교 전기공학 졸업. 1983년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983~1993년 한국전기연구원 기능재료연구실장. 1997~1998년 미국 케네디컷 대학교 교환교수.

현재 인하대학교 전기공학과 교수.