KOSDI ISSN : 1976-2208 (Print)
ISSN : 2671-5287 (On-line)
www.sodi.or.kr

Journal of the Society of Disaster Information
Vol. 19, No. 4, pp. 844-850, December 2023
https://doi.org/10.15683/kosdi.2023.12.31.844

Original Article

백열전구를 이용한 학습 교구용 단락보호장치에 대한 고찰

A Study on the Short-circuit Protection System for Learning Teaching Instruction Using Incandescent Light Bulb

김홍용*
Hong-yong Kim*

Professor, Department of Smart Electricity, Korea Polytechnic, Incheon, Republic of Korea

***Corresponding author:** Hong-Yong Kim, hykim2020@kopo.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: This paper is about the development of a short-circuit protection power supply device using incandescent bulbs and its application for educational materials. This article, which considers electrical safety and energy conservation at the same time, has many kinds of potential applications for both educational and industrial areas. The above mentioned short-circuit protection power supply device using incandescent bulbs enhances safety and efficiency compared to normal current power supply devices. Additionally, as an educational materials, it can be used for electric safety training, and provides practical electrical safety knowledge on our actual life. **Method:** Using incandescent bulbs, design new type of short-circuit protection power supply device, and through verifying the function and safety of the device, make new type device, and applying it for an educational tool. **Conclusion:** This study is to develop new type of power supply device, and verify the possibility of the application for the device as an educational materials. Through this research, show an innovative solution, which contribute to electrical safety and energy conservation, and open the potential possibility on educational and industrial sectors.This kind of research is expected to contributes to enhanced research, and education on electrical safety and energy conservation management.

Keywords: Short Circuit Protection, Voltage Distribution Law, Educational tool for Short Circuit Protection

요 약

연구목적: 본 논문은 백열전구를 이용하여 단락보호 전원공급 장치를 개발하고, 이를 학습 교구로 활용하는 연구에 관한 것이다. 전기 안전과 에너지 절약을 동시에 고려한 이 연구는 교육과 산업 분야에서 중요한 응용 가능성을 가지고 있다. 백열전구를 활용한 단락보호 전원공급 장치는 기존의 전원공급 장치와 비교하여 안전성과 효율성을 향상시키는데 도움이 되며, 학습 교구로 학습자들에게 전기 안전 교육을 제공함으로써 실생활에서의 전기 안전 지식을 습득하는데 기여한다. **연구방법:** 백열전구를 사용하여 단락보호 전원공급 장치를 개발하고 개발된 장치의 성능 평가 및 안전성 확인을 통해 학습 교구로 활용할 수 있는 새로운 전원공급장치를 제작 한다. **결론:** 백열전구를 활용한 단락보호 전원공급 장치의 개발과 학습 교구로의 응용 가능성을 탐구한 연구이다. 이를 통해 전기 안전과 에너지 절약에 기여할 수 있는 혁신적인 솔루션을 제시하였으며, 교육 분야와 산업 분야에서의 응용 가능성을 열어놓았다. 이러한 연구는 전기 안전 및 에너지 관리 분야에서의 연구와 교육에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어: 단락보호, 전압분배법칙, 단락보호용 학습교구

Received | 24 October, 2023
Revised | 22 November, 2023
Accepted | 24 November, 2023

OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

ⓒ Society of Disaster Information All rights reserved.

서 론

전기 안전은 현대 사회에서 매우 중요한 이슈 중 하나이다. 전기 단락은 전기기기나 회로에 이상 현상으로 발생하는 위험 요소 중 하나로, 이를 효과적으로 관리하고 방지하기 위한 장치가 필요하다. 또한, 에너지 절약은 지속 가능한 에너지 사용을 위한 핵심 요소 중 하나로, 전력 소비를 최적화하고 에너지 낭비를 방지하는 방법을 연구하는 것이 중요하다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하고 소모성이 높은 휴즈와 차단장치의 의존도를 낮출 수 있도록 백열전구를 활용한 단락보호 전원공급 장치를 개발하고, 이를 학습교구로 응용하는 방법을 탐구한다. 단락회로의 보호를 위해 백열전구를 부하와 직렬로 연결하여 단락을 쉽게 감지할 수 있는 전원공급 장치를 개발하고자 한다.

1차 전원 공급 장치 회로

기기 특징 및 성능

Option.1과 Option.2에서 과전류 계전기(EOCR)와 수동 선택 스위치1(Select Switch 1)를 Fig. 1에서 적용한다. Option.1의 경우 과전류 계전기(EOCR)를 설치하여 회로에 연결된 내구력이 약한 전자기기 또는 정밀측정 장치에 흐르는 과전류에 대한 성능시험이 가능하다. Option.1 적용 시험 전원공급 중 회로에 문제가 발생하여 성능시험의 진행이 불가능할 경우 임시 전원으로 사용할 수 있도록 Option. 2를 설계 하였다.

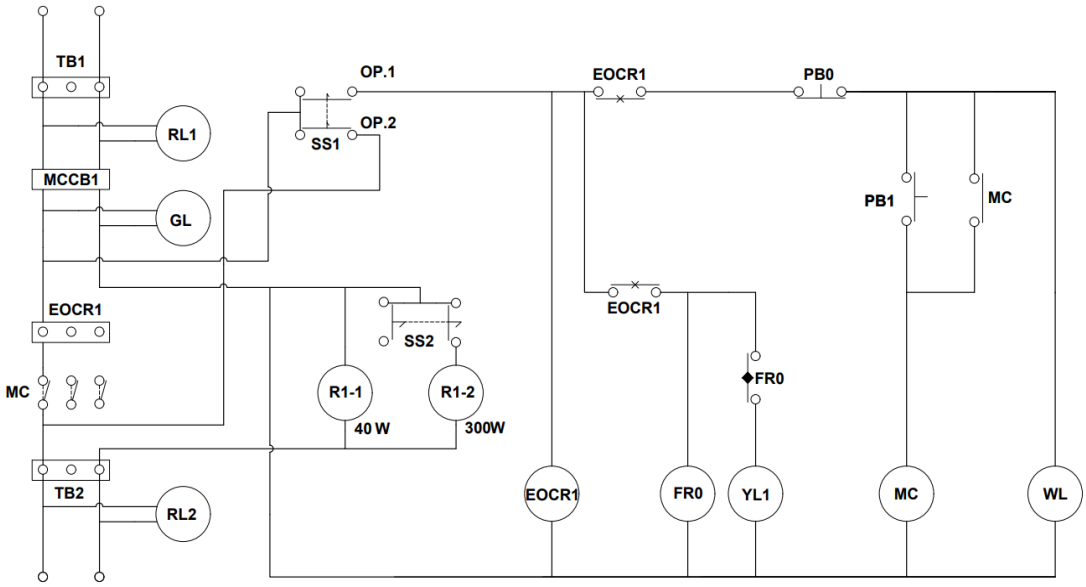


Fig. 1. Primary power supply circuit

단락보호용 전구(R1-1) 40[W]의 2차 부하와의 직렬 연결과 1차 단락보호 장치의 저항을 낮추기 위해 전구(R1-2) 300[W]와 전구(R1-1) 40[W]를 병렬로 접속하고 수동 선택 스위치2(Select Switch 2)를 사용한다. 2차 피 실험기기에 단락이 발생하였을 경우 선택 스위치2(Select Switch 2)에 의하여 선택된 전구(R1-1)와 전구(R1-2)가 동시에 점등이 되도록 설계하였다.

전구(R1-1) 40[W]가 단독으로 2차 부하에 전원공급할 경우 전구(R1-2) 300[W]와 전구 (R1-1) 40[W]가 병렬로 연결된다. 소비전력에 따른 2차 회로의 부하 수용량의 변화 측정을 위해 설계하였다. 과전류 계전기(EOCR1)는 회로의 과전류 보호장치로서 평상시에는 전원을 정상적으로 공급하고 과전류가 발생할 경우에는 회로의 전원공급을 차단하여 이상발생 표시 램프(YL1)가 깜박거리며 이상을 알린다.

2차 부하회로

기기 특징 및 성능

강제 단락 성능 시험을 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 수동 푸시버튼 스위치(PB2-1)와 스위치(PB2-2)에서 전구(R2-1) 10[W]과 전구(R2-2) [10W]가 점등하고 1차 회로의 수동 선택 스위치(SS2)를 통해 소비전력의 변화에 따라 전구의 밝기를 비교할 수 있다. 즉, 1차 단락보호 장치의 소비전력에 따른 2차 회로의 부하용량 비교를 할 수 있다. 수동 푸시버튼 스위치(PB2-1)와 스위치(PB2-2)를 통해 전구(R2-1) 10[W]와 전구(R2-2) [10W]를 병렬 점등되면 두 전구의 밝기의 차이를 확인할 수 있다.

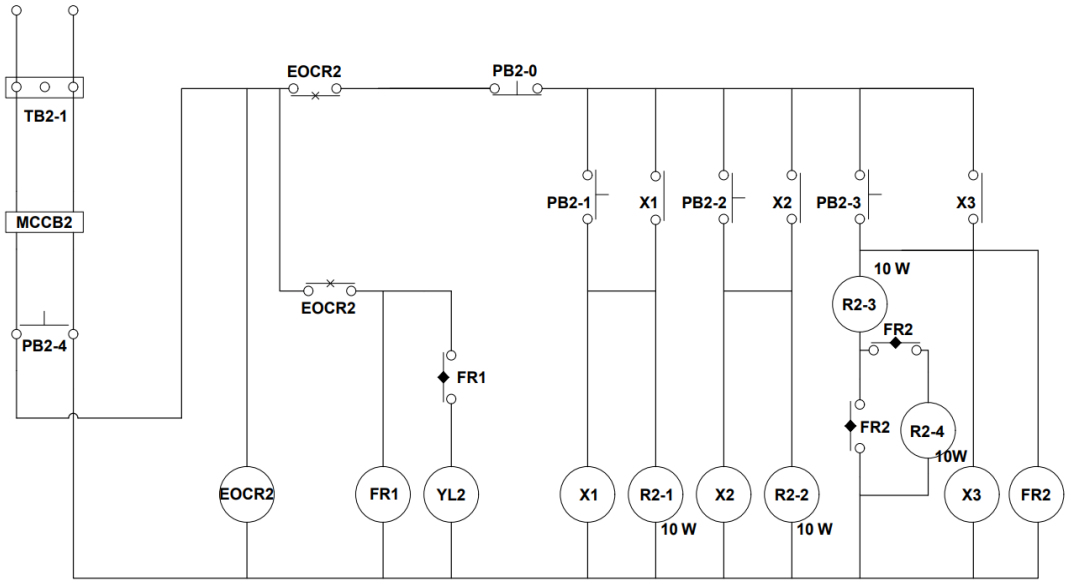


Fig. 2. Secondary load circuit

수동 푸시버튼 스위치(PB2-3)을 통해 전구(R2-3)가 점등 후 플리커 릴레이(FR2)에 의하여 전구(R2-3)와 전구(R2-4)가 직렬연결로 변경된다. 전구(R1-1)10[W]와 전구(R1-2)10[W]은 밝기의 차이로 전압분배 현상을 확인할 수 있다. 즉, 소비전력이 동일한 부하를 직렬연결할 경우 회로에 동일하게 전압이 분배된다. 플리커 릴레이(FR2)에 의하여 전구(R2-3) 단독으로 작동과 전구(R2-3)와 전구(R2-4)가 직렬 접속을 반복하게 된다. 과전류 계전기(EOCR2)는 회로에 과전류 보호장치로서 평상 시에는 회로의 전원을 정상적으로 공급하고 과전류 발생할 경우 회로의 전원공급을 차단하며 이상발생 표시 램프(YL2)가 깜박거리고 이상을 알리도록 설계했다.

성능시험 절차 및 시험결과

준비단계

① 터미널 블럭(TB2)과 Fig. 2 회로에서 터미널 블럭(TB2-1)을 접속하여 전원공급 대기 상태를 Fig. 1 회로에서 확인할 수 있다.

② 전원을 인가하면 표시 램프(RL1)의 점등 여부로 전원 상태를 확인할 수 있다.

③ 배선용 차단기(MCCB1)를 동작하면 표시 램프(GL)의 점등 여부로 전원 상태를 확인할 수 있다.

④ 수동 선택 스위치를 OP.1으로 선택하고 표시 램프(WL)의 점등 상태로 OP.1의 동작 대기 상태를 확인할 수 있다.

⑤ 과전류 차단 장치(EOCR1)의 작동 검사 시 표시 램프(YL1)의 깜박거림을 확인할 수 있다(단, 플리커 릴레이(FR0)는 0.5초로 설정한다.).

⑥ 수동 조작버튼 스위치(PB1)를 동작하여 전원공급 장치를 동작하면 전원공급 여부는 표시 램프(RL2)의 점등으로판단 가능하다.

⑦ 배선용 차단기(MCCB2)를 동작하여 2차 회로를 동작 대기 상태로 만든다.

⑧ 과전류 차단기(EOCR2) 작동 검사 시 표시램 프(YL2)가 점등한다. (단, 플리커 릴레이(FR1)는 0.5초로 설정한다.)

⑨ 기기의 구성은 Fig. 3(a)에서 Test 준비 완료 상태는 Fig. 3(b)에서 확인할 수 있다.

(a) Device configuration (b) Standby mode

Fig. 3. Device configuration, & Standby mode

단락보호장치의 소비전력과 2차 회로의 부하 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

식(1)~(11)을 증명하기 위해 전구(R1-1)의 40[W]를 단독으로 연결하기 위해 2차 부하와 직렬 연결한다. 전구(R1-2)의 300[W]와 전구(R1-2) 10[W]의 병렬 합성 저항이 2차 부하와 연결할 경우 전압 크기가 큰 것을 확인할 수 있다. 단락보호 장치의 소비전력이 감소할수록 2차 회로에 더 많은 부하를 수용할 수 있다.

$$P\ (\text{소비전력}) = V\ (\text{전압}) \times I\ (\text{전류}) \times \cos\theta = I^2R = V^2/R[W] \quad (1)$$

식(1)에서 300[W] 전구의 저항 (P = 300 [W] / V = 220 [V])을 적용하면

$$300 = 220^2/R \Rightarrow R = 220^2/300 = 161.33[\Omega] \quad (2)$$

식(1)에서 40[W] 전구의 저항 (P = 40 [W] / V = 220 [V])을 적용하면

$$40 = 220^2/R \Rightarrow R = 220^2/40 = 1{,}210[\Omega] \quad (3)$$

식(1)에서 10[W] 전구의 저항 (P = 10 [W] / V = 220 [V])을 적용하면

$$10 = 220^2/R \Rightarrow R = 220^2/10 = 4{,}840[\Omega] \quad (4)$$

(a) Selection 40W on R1-1 (b) Selection 40W & 300W Parallel Connection on R1-1 & R1-2

Fig. 4. Load capacity changes according to power consumption of short-circuit protection function

식(1)~(4)의 결괏값을 적용하여 병렬 연결하면 합성 저항 식(5)와 같이 정리할 수 있다.

$$R0 = R1 \times R2 / (R1+R2) \quad (5)$$

식(1)~(4)의 결괏값을 적용하여 직렬회로에서 전압 분배 법칙 식(6)으로 정리할 수 있다.

$$V1 = [R1 / (R1+R2)] \times V0,\ V2 = [R2 / (R1+R2)] \times V0 \quad (6)$$

식(7)~(11)을 Fig. 4에서 단락 보호 장치의 소비전력에 따라 2차 회로의 부하 변화를 확인할 수 있다.

1차 회로 단락 보호 장치 합성 저항은

$$R0 = (161.33 \times 1{,}210) / (161.33 + 1{,}210) = 142.35[\Omega] \quad (7)$$

1차 회로 40[W]와 2차 회로 전구10[W] 를 선택 할 경우 전압분배 법칙은

$$V1\cdot(R1\text{-}1) = [1{,}210/(1{,}210+4{,}840)] \times 220 = 44[V] \tag{8}$$

$$V2\cdot(R2\text{-}1) = [4{,}840/(1{,}210+4{,}840)] \times 220 = 176[V] \tag{9}$$

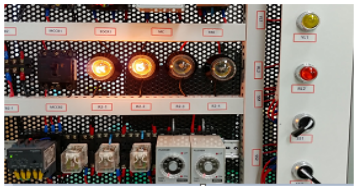
이며, 1차 회로 전구 40[W]와 전구 300[W]의 병렬 합성 저항과 2차 회로 10[W] 전구를 선택 할 경우 전압분배 법칙은

$$V1\cdot(R1\text{-}2\ \&\ R1\text{-}1) = [142.35 / (142.35 + 4{,}840)] \times 220 = 6.28[V] \tag{10}$$

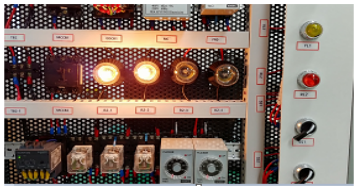
$$V2\cdot(R1\text{-}2\ \&\ R1\text{-}1) = [4{,}840 / (142.35 + 4{,}840)] \times 220 = 213.72[V] \tag{11}$$

으로 나타낼 수 있다. 또한, Fig. 4(a)에서 전구(R2-1)[10W]와 동일한 소비전력의 전구(R2-2)[10W]의 밝기 차이가 없는 것을 확인할 수 있으며 이것은 병렬 연결 시 전압이 일정하게 유지되는 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 5(a)~(b)에서 2차 회로의 강제 단락과 단락보호장치의 동작을 확인한다. Fig. 2에서 2차 회로 수동 푸시 버튼 스위치(PB2-4)를 누르면 강제 단락이 발생하고 1차 회로 수동 선택 스위치(SS2)에 의해 1차 회로의 전구(R1-1과 R1-2)가 동시에 점등된다.



(a) Short-circuit protection function 1



(b) Short-circuit protection function 2

Fig. 5. Short-circuit protection function

직렬 연결 시 부하에 저항의 크기에 따라 전압이 분배되며 1차 회로의 소비전력은 전구 300[W]와 전구 40[W]의 병렬 합성으로 설정한다. 식(12)~(17)을 증명하기 위해 Fig. 6(a)에서 전구(R2-3)와 전구(R2-4)를 각각 10[W]를 설치하고 푸시 버튼 스위치(PB2-3)를 누르면 전구(R2-3)가 점등된다. Fig. 6(b)에서 5초 후에 플리커(FR2)가 작동하여 전구(R2-4)가 점등 되고 전구(R2-3)와 전구(R2-4)는 직렬로 연결되고 전압분배 현상으로 소비전력이 동일하게 된다. 전구(R2-3)가 단독으로 점등 했을 때 보다는 밝기가 어두워지고 플리커 릴레이(FR2)에 동작하여 전구(R2-3와 R2-4) 사이의 직렬과 병력 접속이 반복 동작한다.

식(7)에서 1차 회로 전구 (R1-1) 40[W]와 전구(R1-2) 300[W]의 병렬 합성 저항 => 142.35 [Ω] (12)

식(4)에서 2차 회로 전구 (R2-3) 10[W]와 전구(R2-4) 10[W]의 직렬 합성 저항 => 4,840 + 4,840 = 9,680[Ω] (13)

식(6)에서 1차 회로 142.35[Ω]와 2차 회로 9,680[Ω]의 전압분배 법칙은

$$V1 = [142.35 / (142.35 + 9{,}680)] \times 220 = 3.19[V] \quad (14)$$

$$V2 = [9{,}680.00 / (142.35 + 9{,}680)] \times 220 = 216.81[V] \quad (15)$$

(a) Normal connection (R2-3 On / R2-4 Off) (b) Voltage distribution on direct connection with R2-4

Fig. 6. Voltage distribution on parallel & direct connection

식(6)에서 2차 회로 전구 10[W] (4,840[Ω])와 전구 10[W](4,840[Ω])에 V0 = 216.81[V] 전압분배 법칙은

$$V10 = [4{,}840 / (4{,}840 + 4{,}840)] \times 216.81 = 108.41\ [V] \quad (16)$$

$$V40 = [4{,}840 / (4{,}840 + 4{,}840)] \times 216.81 = 108.41[V] \quad (17)$$

으로 나타낼 수 있다. 소비전력과 저항이 동일한 직렬회로는 전압분배 법칙으로 두 전구의 밝기가 같은 것을 확인할 수 있다.

결 론

본 연구는 백열전구를 활용한 단락보호 전원공급 장치의 개발과 학습 교구로의 응용 가능성을 탐구한 연구이다. 이를 통해 전기 안전과 에너지 절약에 기여할 수 있는 혁신적인 솔루션을 제시하였으며, 교육 분야와 산업 분야에서응용 가능성을 열어 놓았다. 이러한 연구는 전기 안전 및 에너지 관리 분야에서의 연구와 교육에 기여할 것으로 기대된다.

References

[1] Kim, H.-Y. (2019). “Development of smart multi-function ground resistivity measurong device using Arduino in wind farm.” The Journal of the Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 19, No. 6, pp. 65-71.

[2] Kim, H.Y. (2021). “A study on smart ground resistance measurement technology based on Aduino.” Journal of the Socirty of Disaster Information, Vol. 17, No. 4, pp. 684-693.

[3] Kim, H.-Y. (2022). “Development of electrical sequence control safety module circuit using artificial intelligence controller.” The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 18, No. 4, pp. 699-705.