Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 31, No. 2, pp. 107-111 February 2018
DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2018.31.2.107
ISSN 1226-7945(Print), 2288-3258(Online)

저항 온도계수와 방열 구조설계에 따른 션트 고정 저항의 전기적 특성

김은민[1], 김현창[2], 이선우[3,a]

[1] 부경대학교 금속공학과
[2] 스마트전자 종합연구소
[3] 인하공업전문대학 전기정보과

Electrical Properties of Temperature Coefficient of Resistance and Heat Radiation Structure Design for Shunt Fixed Resistor

Eun Min Kim[1], Hyeon Chang Kim[2], and Sunwoo Lee[3,a]

[1] Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Busan 48547, Korea
[2] Research Center, Smart Electronics Inc., Ulsan 44956, Korea
[3] Department of Electrical Information, Inha Technical College, Incheon 22212, Korea

(Received November 13, 2017; Revised November 17, 2017; Accepted November 22, 2017)

Abstract: In this study, we designed the temperature coefficient of resistance (TCR) and heat radiation properties of shunt fixed resistors by adjusting the atomic composition of a metal alloy resistor, and fabricated a resistor that satisfied the designed properties. Resistors with similar atomic composition of copper and nickel showed low TCR and excellent shunt fixed resistor properties such as short-time overload, rated load, humidity load, and high temperature load. Finally, we expect that improved sensor accuracy will be obtained in current-distribution-type shunt fixed resistor for IoT sensors by designing the atomic composition of the metal alloy resistor proposed in this work.

Keywords: Shunt resistor, Temperature coefficient of resistance (T.C.R), Heat radiation design, Current sensing

1. 서 론

최근 각광받고 있는 사물인터넷은 네트워크 기반의 사물 및 전자·전기기기 등에 센서를 부착하여 데이터를 인터넷으로 주고받는 기술이나 환경을 통칭하는 것으로 기존의 '인터넷에 연결된 기기'와 달리 인간의 조작 없이 사물이 서로의 정보를 공유하며 동작하는 기술이다 [1]. 이상과 같은 초연결사회 및 에너지 저장장치 기반 네트워크는 자동차 자율 주행, 건강 의료, 수면, 요리, 금융 등 사용자가 의식하지 않더라도 필요한 정보를 적합한 시점에 전달해 주는 기기가 보편화될 것으로 예상되고 이와 같은 환경에서 가장 중요한 핵심 기술이 센서의 감지 기술이다 [2]. 해당 기술은 로고스키코일(rogowskii-coil)을 이용한 마그네틱 홀 방식의 전류 측정에 비하여 라인 전류를 고정 저항에 흘려 전압 강화량을 통해 상태 변화를 측정하는 전류 분배 션트 방식이 최소의 공간 사용과 더 정밀한 측정결과로 각광받고 있다. 하지만 발전된 인터페이스 기술과 소프트웨어 기술, 연결망 기술에 비하여 센싱의 기본이 되는 전류 분배 션트 저항의 수동 부품 기술은 1980년대 이후로 국내 및 해외의 연구가 종료된 상태로 기술 발전이 이루어지고 있지 않는 분야이다 [3]. 즉 현재 4

a. Corresponding author; swlee@inhatc.ac.kr

Copyright ©2018 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

차 산업혁명이 추구하는 사물인터넷 기반의 초연결사회로의 발전에 최대 걸림돌은 보안 문제도, 안전 문제도 아닌 1980년대에 중지된 션트 부품의 정밀도 상승 문제로, 전류 분배 기반의 션트 고정 저항의 발전 없이 사물인터넷 기술의 확산을 기대하기 어려운 실정이다. 션트는 고정 저항기로 분류되며 높은 전류 통전, 주변 온도의 상승, 기압 변화와 습도 변화 등 여러 환경적 교란 요소에 대한 일정한 저항을 유지하는 것이 가장 중요한 특성이다 [4]. 단일금속 상태에서보다 합금 상태에서는 격자의 선팽창계수가 낮아져 체적의 팽창이 작아져서 T.C.R이 낮아지므로 적당한 합금 설계가 필수적이다. 또한, 와이어형 션트 저항보다 필름형 션트 저항에서의 열 방출이 용이하여 저항체 전체에서 고른 온도 분포를 보이기 때문에 T.C.R이 안정적인 값을 나타내게 된다. 이러한 이유로, 환경적 요소에서 소재의 저항을 변화시키는 요인은 온도의 변화가 미치는 영향이 크고 때문에 저항의 고정성을 구현하는 방법으로 방열 구조로 온도의 상승에 따른 열 이동 속도를 높이는 방법과 온도가 상승하여도 소재의 저항 변화가 적은 재료를 사용하는 방법으로 접근한다.

이에 본 연구에서는 센서의 기반이 되는 감지의 정밀도를 향상시키기 위한 션트의 성능을 저항 온도계수(temperature coefficient of resistance, T.C.R)와 정격전력 특성을 통하여 분석하였고 방열형 저항 구조와 저항 고정 재료 설계의 효과를 비교하여 최적 센싱 정밀도 향상 방법을 제시하였다. 이와 함께 방열 구조와 저항 값 고정 재료의 성능 평가를 통하여 전류 분배형 션트 저항의 감지성능을 최대화할 수 있는 저항 설계 방법을 연구하였다.

2. 실험 방법

온도 변화에 대한 저항의 변화를 최소화하기 위한 방법을 구현하기 위하여 열 이동 속도를 최대화할 수 있는 필름 고정 저항 구조와 열 이동 속도를 최소화할 수 있는 금속 와이어를 이용한 고정 저항 구조로 샘플을 제작하였다. 금속 와이어를 이용한 고정 저항 구조는 저항 금속에서 방열 재료(세라믹 로드, 금속 캡)로의 열 이동을 최소화할 수 있기 때문에 재료 고유의 저항 고정성을 시험하기 용이하다. 실험은 방열 구조와 저항 고정 재료의 영향을 확인하기 위하여 구리(copper, Cu)에 니켈(nickel, Ni) 함량을 조정하여 합금을 제작하였고, Cu 100 wt%와 Ni 100 wt%는 시험에서 제외하였다. 기준 금속인 Cu 100 wt%에 Ni을 각각 5, 10, 20, 45, 65, 85 wt%의 합금을 진공용융로에서 용융하여 잉곳 형태로 제조하였고 조성은 표 1과 같다.

Table 1. Composition of the metal alloys.

Alloy	Composition (wt%)	
	Cu	Ni
Cu-5Ni	95	5
Cu-10Ni	90	10
Cu-20Ni	80	20
Cu-45Ni	55	45
Cu-65Ni	35	65
Cu-85Ni	15	85

이후에 분산화 열처리와 상하부 편석 제거를 통해 농도를 조정하고 제작된 합금의 반은 필름 증착을 위한 타겟 금속으로 가공, 나머지 반은 압출 인발 신선 공정을 거쳐 와이어로 제작하였다. 제작된 합금의 조성을 확인하기 위해 EDX (energy dispersive X-ray) 분석을 수행하였으며, 전기적인 특성으로는 제작 합금의 저항, 온도 변화에 따른 저항 변화, 단시간 과부하, 정격부하 등에 의한 정격전력을 측정하였다.

전기적인 특성의 측정을 위해 저항의 구조를 표준 2 W급의 상용 션트 규격 크기로 제작하였으며, 각각 제작 후 저항이 다른 합금의 최종 저항 값을 일치시키기 위하여 와이어 저항의 권선 횟수와 와이어의 선경으로 저항을 조정하여 샘플을 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

동일 조건에서의 실험을 위해 각 조성의 션트를 12 Ω으로 20개씩 제작하여 저항의 리드 와이어와 소체 용접부에서 가장 근접한 지점을 측정하여 저항을 확인하였으며 그림 1에 나타내었다. 모든 니켈 조성에서 9.9 Ω과 10.1 Ω 사이에 저항이 분포하여 저항 허용오차 F급(1%) 이내로 션트의 특성을 만족하였다.

저항을 측정한 션트로부터 식 (1)과 같이 온도 변화에 따른 션트의 저항 변화인 T.C.R을 측정하였고, 각 저항체의 저항 값을 25℃에서 125℃까지 변화시키며 측정하여 변화의 경향을 그림 2와 그림 3에 나타내었다 [5].

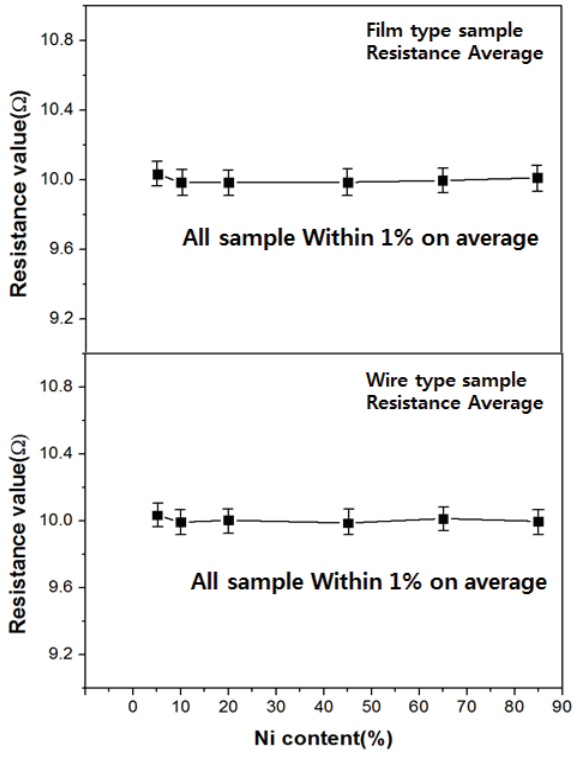

Fig. 1. Resistance measurement results for the sample structure.

$$TCR = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \times 10^6 \quad [ppm/℃] \tag{1}$$

R_1 : 최저온도에서의 저항
R_2 : 최고온도에서의 저항
T_1 : 최저온도 (25℃)
T_2 : 최고온도 (125℃)

이상의 결과로부터 Cu에 대한 Ni의 함량이 증가할수록 T.C.R은 낮아지고 안정해지며, 합금 함량 55 wt%의 Cu와 45 wt%의 Ni인 표면 증착 저항에서 69.65 ppm/℃로 최소 T.C.R이 나타난다.

또한 그림 4와 같이 동일한 재료임에도 불구하고 증착 제작된 필름형 션트가 와이어 형태의 션트 저항보다 T.C.R이 더 낮아 안정한 것이 확인되어 단시간 과부하 시험을 통하여 실제 부하에 대한 온도 상승의 추이를 확인하였다.

그림 5와 그림 6에는 인가되는 전류에 따른 온도 변화를 측정하여 제작 방법에 따른 각 시료의 온도 거동을 나타내었다. 모든 합금에서 방열 구조 설계가 실시된 증착형 션트 저항이 더 낮은 온도를 나타내는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과로 단기간의 온도 변화와

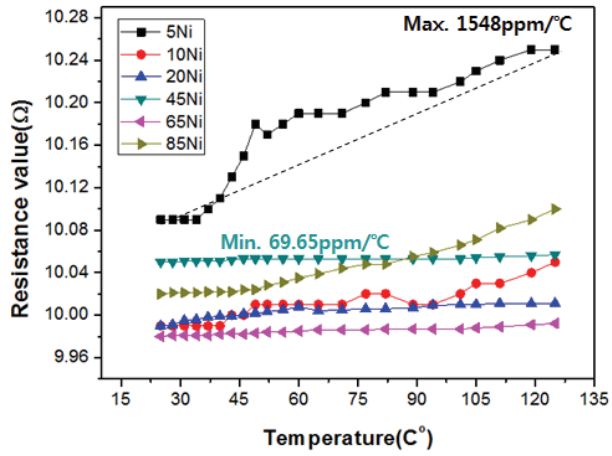

Fig. 2. Resistance change with temperature for the film type resistor.

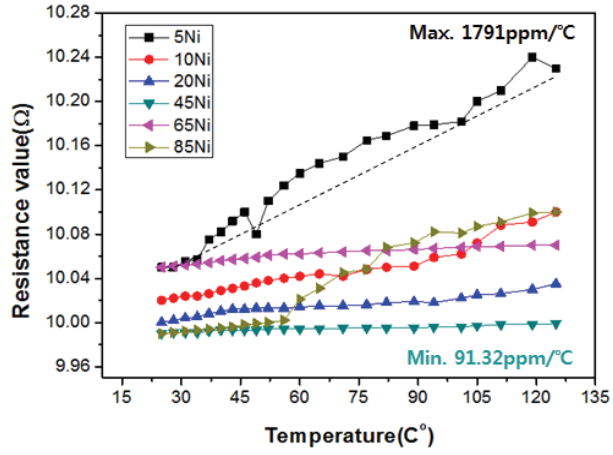

Fig. 3. Resistance change with temperature for the wire type resistor.

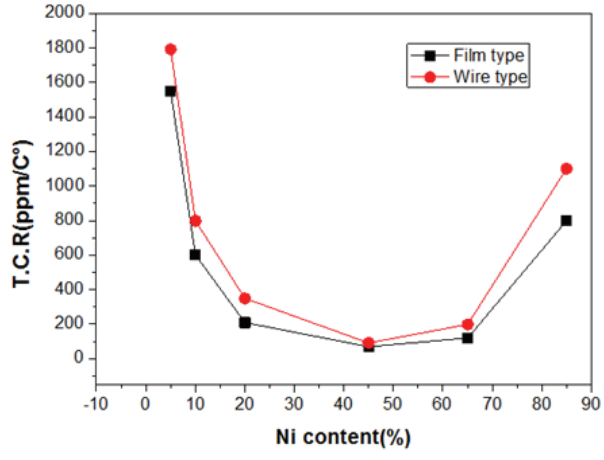

Fig. 4. TCR changes with the Ni concentration in the alloy for the resistor structure.

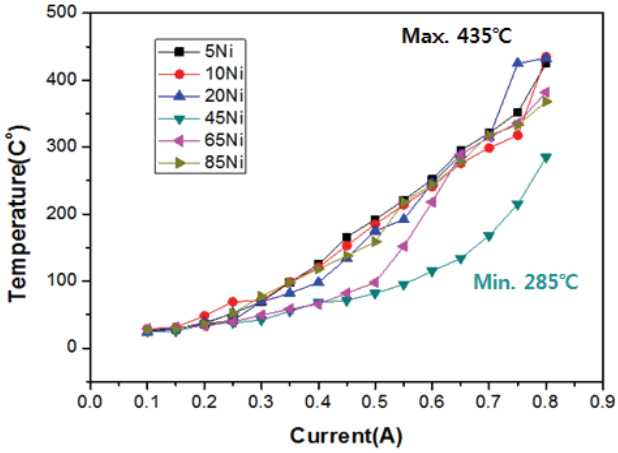

Fig. 5. Temperature change due to short-time overload for the film type resistor.

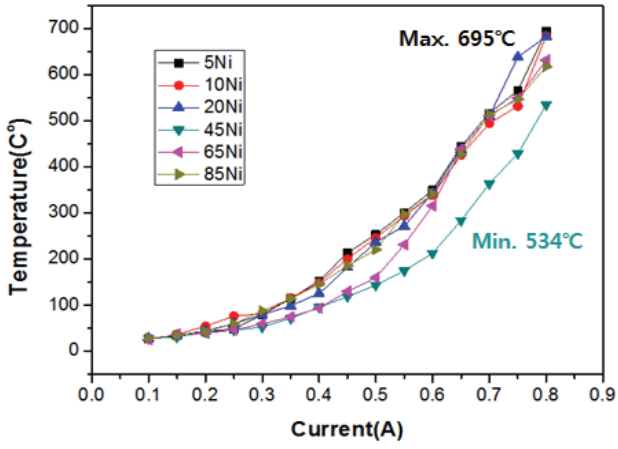

Fig. 6. Temperature change due to short-time overload for the wire type resistor.

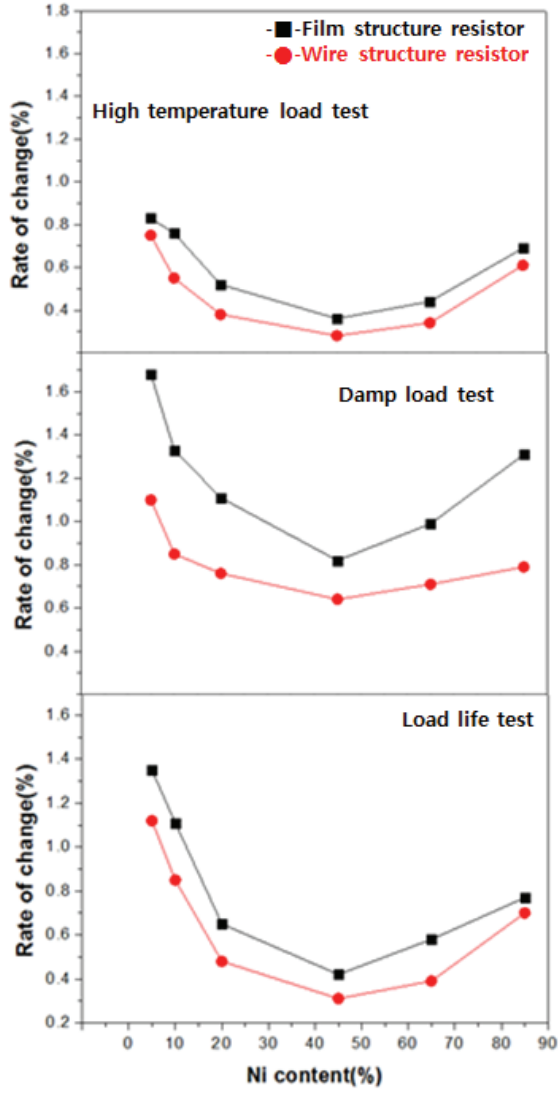

Fig. 7. Results of resistor long-term environmental test.

밀접한 부하특성에서는 박막 증착 션트의 형태가 저항의 고정성을 유지하기 용이하다고 판단할 수 있다 [6].

그림 7은 장기 환경시험에 대한 저항의 변화율을 비교한 결과이며, 시험은 고온, 고습도, 전기 부하에 대하여 1시간 전류 인가와 15분 휴식을 100회 반복한 시험이다. 결과로부터 on/off가 반복되는 실제 사용환경에서는 와이어 구조의 션트 저항에서 저항 변화가 적었으며, 합금 함량에 따른 T.C.R이 낮은 금속일수록 저항의 변화가 적은 것을 알 수 있었다. 저항의 정격전력은 식 (2)로부터 저항 금속의 선경에 비례하며, 정격전력을 상승시키는 요인이 저항 금속의 직경에 따름을 알 수 있다 [7].

$$\text{정격전력}(P) = \text{전압}(V) \times \text{전류}(I)\,[W] \qquad (2)$$

$$P(I^2 \times R) = V \times I \leqq \left(R = \frac{\rho L}{A}\right)$$

$$V = I \times \frac{4\rho L}{\pi D^2}$$

상수인자를 제외한 $I \propto D$ or $V \propto D$

즉, 수명과 관련한 부하에 대한 인자는 저항 재료의 직경과 관련한 인자로 장기간 지속적으로 인가되는 부하에 상대적으로 재료의 직경이 큰 와이어 구조의 션트 형태가 더 고정적인 저항 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.

Table 2. Rated power determination test of resistor.

Rated power	1W	*2W*	3W	4W
S.T.O	OK	OK	OK	FAIL
Load life	OK	OK	FAIL	FAIL
Rated load	OK	OK	OK	OK
Humidity load	OK	OK	OK	OK
High temp. load	OK	OK	FAIL	OK
Atmos. cond.	OK	OK	OK	OK

이상의 결과를 요약하면, (1) 저항 금속의 박막 구성을 통한 방열 효과 상승은 고정 저항의 단기 특성 시험(단시간 과부하, T.C.R 등)에서 우수한 전기적 특성을 보이며, (2) 저항 금속의 와이어 구성을 통한 돌입 전류 내성 효과 상승 방법은 장기 특성 시험(정격부하, 고온부하, 내습부하 등)에서 안정적인 전기적 특성을 보이며, (3) 정격전력은 표 2와 같이 모든 특성을 만족한 최대 정격전력이 해당 션트의 정격전력이 되기 때문에 합금을 통한 T.C.R 안정화와 방열 구조 설계가 적절히 이루어져야 한다는 것을 알 수 있다.

장기 단기 특성 시험 결과로부터 션트의 안정과 온도에 저항 변화율이 낮은 합금 적용은 저항의 고정성을 구현하기 위한 방법으로 Cu-Ni 합금이 5:5에 가까울수록 T.C.R은 낮았고 이에 따른 저항 변화가 낮아짐에서 알 수 있었다 [8,9]. 그리고 T.C.R의 안정화는 합금에 따라 T.C.R을 낮추는 것만으로도 가능하지만 저항 금속과 단자 금속의 열전도도와 방열 재료와의 접촉 면적 등에 의한 설계가 가능함을 확인하였다. 하지만 돌입 전류성 부하가 주기적으로 인가되는 장기 시험의 경우 저항 재료의 선경이 작아짐에 따라 저항 안정성이 낮아져 적정한 저항 재료의 선경 유지와 방열 설계가 동시에 수행되어야 최저의 전류분배 션트 고정 저항 설계가 가능하다 [10].

4. 결 론

본 논문에서는 전기전자 및 사물 인터넷 정보통신 분야에 적용되는 IoT 센서의 시작인 전류분배 션트 고정 저항의 T.C.R 안정화 특성과 방열 특성 설계를 통하여 션트 고정 저항의 전기적인 특성을 고찰하였다. 합금 설계한 션트의 금속을 각각 스퍼터링 증착 및 와이어 신선을 통해 제작하고 현재 상용 전자용 션트 저항 2 W 표준 구조를 바탕으로 완제품을 제작하여 합금 함량과 방열 형태에 따른 전기적 특성을 측정하였다. 실험 결과로부터 Cu-Ni의 함량이 5:5에 가까울수록 낮은 저항 온도계수와 우수한 고정 저항의 특성을 만족하였고 션트 저항의 합금 설계에서 합금의 함량에 따른 T.C.R 특성과 방열 특성 구현을 확인하였다.

이상과 같은 결과를 통해 전류 분배형 센서 동작에 핵심이 되는 션트 고정 저항의 오동작을 최소화할 수 있고, 감지 동작의 시작이 되는 션트 저항의 T.C.R과 방열 특성 개선을 통해 센싱 동작의 정밀성을 상승시킬 수 있다는 것이 확인되었다. 또한 본 연구를 통해 정격전력을 최대화하며 저항 허용오차를 최소화하기 위한 저항 단기시험 및 장기시험의 경향을 재료 설계 방법과 구조 설계 방법으로 제시되었다고 판단할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 2016년 선정 기초연구개발과제 연구비에 의해 지원되었음(과제번호: R17XA05-58).

REFERENCES

[1] H. R. Kim, S. P. Hong, and S. M. Park, *J. Secur. Eng.*, **13**, 155 (2016).
[2] K. S. Min, *IITP Weekly ICT Issue*, **1700**, 12 (2015).
[3] F. Zandman, P. R. Simon, and J. Szwarc, *Resistor Theory and Technology, 1st ed.* (Vishy Inter technology Inc, Malvern, USA, 2001) p. 52.
[4] J. S. Hwang and H. J. Kim, *Fixed wire wound resistors – Power type*, **KS C 5115-4**, 15 (2001).
[5] E. M. Kim. S. C. Kim, and S. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **29**, 365 (2016). [DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.6.365]
[6] Y. G. Ko, C. W, Lee, S. Namkung, D. H. Lee, and D. H. Sin, *Trans. Mater. Process.*, **18**, 476 (2009).
[7] E. M. Kim, S. H. Lee, D. K Cho, and S. H. Kim, *J. Korean Trans. Electrical Eng.*, **63**, 1070 (2014). [DOI: https://doi.org/10.5370/kiee.2014.63.8.1070]
[8] Littelfuse, http://www.littelfuse.com/products/fuses (2017).
[9] Cooper Bussmann, http://www.cooperindustries.com/content/public/en/bussmann/electrical/products (2017).
[10] S. Yarlagadda, T. T. Hartley, and I. Husain, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **49**, 2720 (2013). [DOI: https://doi.org/10.1109/TIA.2013.2264794]