산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제35권, 2015.
Journal of Industrial Technology, Kangwon Natl. Univ., Korea, No. 35, 2015.

대기전력저감형 누전차단기의 개발

Development of standby power saving Leakage Breaker

장 향 원* 박 찬 원**
Jang, Hyang-Won Park, Chan-Won

Abstract

This paper presents a development of the ELB (Electronic Leakage Breaker) based on a reduction of standby power dissipation as with maintaining conventional performance. In order to minimize the standby power consumption of the conventional circuit, we analyze the cause of 0.3W dissipation of the circuit. By employing the TR-triggered circuit to secure the standby power of 0.10W after testing and evaluation while CRD inserted circuit showed the performance of 0.17W levels. Implementing SMPS IC and TNR device circuit was designed and showed of its power to less than 0.06W. Developed ELB is expected much standby power savings in large power distributor or heavy users.

키워드 : *전자식 누전차단기, 대기전력저감, 누전차단회로*
Keywords : *electronic leakage breaker, standby power saving, ground fault interrupter*

1. 서론

누전차단기는 장치의 설치와 동작이 인명 및 재산으로 피해가 직접적으로 연결되기 때문에 건설, 전기공사업계는 물론, 일반주택, 빌딩, 학교, 공공건물에 있어서도 감전재해에 대한 의식이 고조되고 법적인 면에서도 누전차단기의 설치의무 장소가 확대되고 있다. 최근 전기 에너지의 사용이 매년 급속히 상승되면서 에너지절감과 저소비전력의 제품에 개발기술이 집중되고 있으며 이에 따라 각종 전자제품, 아답터(직류전원장치) 등의 최대 대기전력을 법제화하여 제한하고 있다[1]. 이와 함께 에너지 절약에 대한 인식도 높아지고 있어 모든 산업분야와 가정용 전기기기에도 대기전력에 대한 관심이 많아져 누전차단기의 대기 전력을 최소화할 필요성이 증가되고 있다. 즉, 학교, 아파트, 빌딩 등 대부분의 수전단에서 다수의 누전 차단기가 설치되어 있고 1년 365일 작동이 되고 있어 소모되는 대기전력을 무시할 수 가 없는 수준이므로 이를 최소화 또는 절약하는 기술이 요구되고 있다. 그러나 기존의 누전차단기 제조사들은 국내외적으로 이를 규제하는 법안이 아직 존재하지 않고 개별누전차단기로서는 그다지 많은 소비전력이 아니므로 아직까지 이를 위한 개선을 시도하고 있지 않고 있는 실정이다.

일반적으로 누전차단기에 사용되는 GFI(Ground Fault Interrupter) IC의 동작전압은 DC8V~20V 정도로 실제 소비전력은 8V(최소동작전압) 에 550uA (대기상태 IC 소비전류)의 전류가 흘러 0.00044w의 전력이 소비되지만[2], 현재의 시중의 제품들은 IC에 직류전원을 공급하기위하여 구성되

* 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정
** 강원대학교 전기전자공학과 교수, 공학박사, 교신저자

는 회로를 포함한 누전차단기의 대기전력은 0.3w 수준으로 분석되었다. 이 값은 일반 정류형전원장치(아답터)에 비해 그리 큰 대기전력은 아니지만 수십개 또는 수백개 이상이 사용되는 산업체나 대형 빌딩을 고려하면 적지 않은 대기전력이 된다.

본 연구에서는 누전차단기의 다른 성능은 동등 이상으로 유지하면서 대기전력을 최소화하기 위하여 GFI IC에 공급되는 전원회로를 개선하는 기술로 다양한 방법을 제시하고 개발, 평가하여 최적의 회로에 의한 대기전력 저감형 누전차단기를 개발하였다.

2. 누전차단기의 개요 및 연구내용

누전차단기는 그림 1과 같이 누전 검출부(GFI IC), 영상변류기(ZCT), 차단기구(trip coil) 등으로 구성된 장치로써 전기기계기구의 금속제 외함 또는 외피 등의 금속제 부분에 누전, 절연파괴 등으로 인하여 발생되는 지락전류가 일정 값 이상일 경우 주어진 동작시간 이내에 전기기계기구의 전로를 차단하는 장치이다[3]. 누전이 없을 경우에는 자성체 코어를 통과하는 교류전류의 량이 방향은 반대이면서 같기 때문에 두 전류에 의해서 발생되는 자속은 서로 상쇄되어 발생되는 기전력은 0이 된다. 그러나 누전이 발생하면 입력전류와 출력전류가 차이가 나고, 자성체 코어를 통과하는 총전류의 량은 그 차이가 된다. 결국 이 전류는 유도기전력을 발생시키고, 이렇게 발생된 유도기전력은 누전검출부를 통하여 SCR을 트리거하는 트립회로를 작동시켜 입력 전원 스위치를 차단시키는 동작을 한다. 즉, 정상상태에서는 영상변류기에 발생하는 자장이 서로 상쇄되어 누전전류가 검출되지 못하므로 차단기 동작 되지 않으나 누전시에는 누전전류를 감지하여 차단작용을 하는 것을 기본 원리로 한다[4].

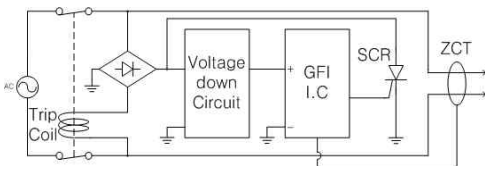

그림 1 누전차단기의 구성도

3. 실험 및 결과

3.1 기존제품회로의 대기전력 0.3w 발생원인 분석

그림 2와 같이 현재 시중에서 주로 생산되고 있는 누전차단기에 사용되는 GFI IC(Interpion사 I911L)의 동작전압은 DC20V 이하이고 대기 전력은 0.3w 수준이므로 회로도의 전원전압강하회로의 저항에서 약 200V의 전압이 강압될 때 소비전력은 $\frac{(200\,V)^2}{150 \cdot 10^3\,\Omega} = 0.27$w 정도가 소비되는 것으로 계산되므로 손실이 큰 전압강하용 저항을 대체할 수 있는 IC 전원 공급용 소자 또는 회로 개발이 필요한 것으로 분석되었다.

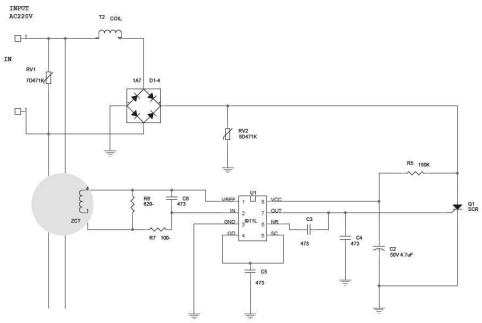

그림 2 기존 제품의 회로도

3.2 정전류다이오드(CRD)를 적용한 회로

대기전력 저감을 위하여 기존의 단순전압강하 저항대신 그림 3의 회로와 같이 정전류다이오드(Current Regulative Diode ; CRD)를 적용하여 동작특성을 분석하여 보았다.

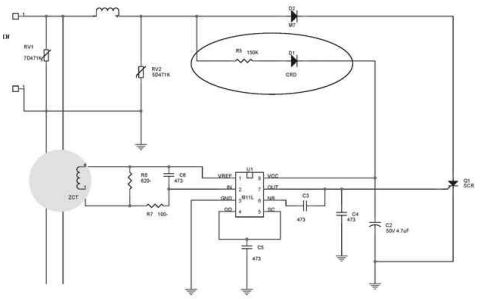

그림 3 누전차단기의 구성도

5개 종류의 CRD와 직렬저항을 달리하는 회로를 구성하여 실험측정한 결과 표 1과 같은 결과를 얻었다. 즉 CRD가 전류를 제한하는 소자이므로 대기소비전력은 줄어들지만 누전 감지 후 트립을 시키기 위해서는 솔레노이드를 동작시키기위한 트립전류가 필요한데 전류가 0.79mA이하의 회로구성에서는 트립동작안정성이 불안하여 실용적으로 적용하기에는 무리가 있는 것으로 관찰되었다. 0.5mA 부근의 전류에서는 소비전력은 0.1w 정도

로 기존보다 1/3수준으로 양호하였으나 트립의 동작안정성은 불안한 결과를 보였다.

표 1 직렬저항과 CRD의 종류변화에 따른 측정 소비 전류와 대기전력

직렬 저항	CRD	전류 (mA)	대기전력 (W)	트립동작 안정성
150K	S-501 T	0.79	0.167	안정
150K	S-301 T	1.42	0.308	안정
150K	S-701 T	0.81	0.171	안정
474K	S-501 T	0.53	0.106	불안정
684K	S-501 T	0.50	0.100	불안정

3.3 TR 트리거 방식의 개발

GFI IC의 전원을 누전이 발생했을 때에만 공급할수 있다면 대기전력을 대폭 줄일수 있게 된다. 따라서 GFIIC에 공급되는 전원을 누전이 감지하는 순간 전원의 공급이 통전되는 스위칭회로를 구성하여 평소에는 거의 전력이 소비되지 않도록 하는 회로를 설계하였다. 이와 같은 아이디어를 구현하기 위하여 PNP, NPN 트랜지스터로 구성되는 트리거 스위칭회로를 구성하고 누전이 발생하는 것을 감지하는 트리거 레벨조정하여 가능성을 검토하였다[5]. 이하는 이들 회로의 구성과 실험결과를 제시한다.

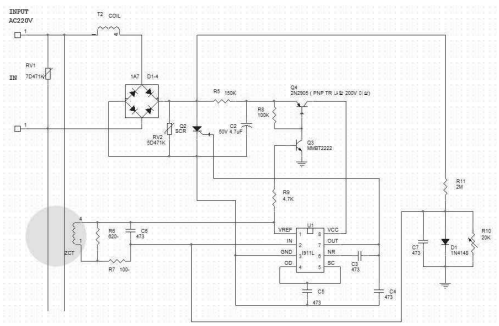

그림 4 TR 트리거 방식의 전원회로를 구성한 누전차단기 회로

그림 4는 이를 구현한 회로로서 각 부분의 동작은 다음과 같다. T2는 트립코일로서 SCR Q2가 트리거되면 브릿지다이오드의 경로를 통하여 트립코

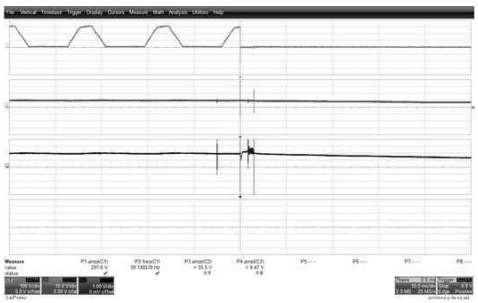

그림 5 누전발생시의 전원전압(상)과 트리거신호(중), 그리고 센싱전압(하) (100V,10V,1.0V/div, 10μs)

일로서 동작된다. 누전시 ZCT에서 발생된 미세한 영상전류신호는 두 저항의 전압분배와 커패시터의 파형안정회로를 통하여 GFI IC의 REF와 연결된 트랜지스터의 베이스에 연결된다. 트랜지스터의 베이스에 베이스-에미터 순방향 바이어스를 넘는 신호가 들어오면 트랜지스터가 turn on 되고 이는 저항과 트랜지스터의 베이스를 통하여 트랜지스터를 turn on 시킨다. 트랜지스터가 on 되면 브릿지 다이오드로부터 공급되는 전원이 150kΩ저항을 통하여 전압감쇄된 형태를 GFI IC에 공급되어 IC의 2번 핀으로 누전판단을 하고 7번핀으로 트리거 신호를 출력하여 SCR을 turn on 시킨다. 이때 가장 핵심적인 동작은 트랜지스터를 트리거시키는 신호의 안정성인데 B-E간 순방향 바이어스레벨을 맞추어 주기위한 다이오드와 저항, 커패시터회로가 구성된다. 가변저항을 가변하여 어느 정도 레벨을 조정할 수 있게 하였으며 이들의 동작에서 관찰된 파형은 다음 그림 5와 같다.

표 2 트랜지스터 트리거 방식의 diode구성에 따른 측정 소비 전류와 대기전력

시작품 No.	diode 구성	전류 (mA)	대기 전력 (W)	트립동작 안정성
1-1	F.B	1.73	0.175	안정
1-2	F.B	1.32	0.152	안정
2-1	H.B	0.81	0.171	안정
2-2	H.B	0.73	0.106	안정
2-3	H.B	0.69	0.101	불안정

트랜지스터트리거방식의 회로를 제작하고 전원정류 다이오드방식을 변화한 테스트 실험결과 표 2와 같이 대기전력은 0.1w수준 까지 근접하였다.

그러나 트리거 트랜지스터의 베이스 바이어스전류가 흐를 수밖에 없는 구조로 그 이하로 유지하기에는 한계가 있었다. 일부 샘플(시작품 No. 2-3)은 바이어스회로의 온도 안정성과 드리프트 특성이 다수 불안하여 장기안정성에 다소 문제가 있는 것으로 판단되었다. 대기전력 0.1w 근처로 바이어스를 맞춘 샘플은 가변저항의 변화에 매우 민감한 특성을 보여 본 방식의 안정화에는 보완이 필요한 것으로 판단되었다.

3.4 무손실소자와 SMPS IC 강압회로 방식의 개발

트랜지스터 트리거회로에 의한 방식의 회로를 제작하고 테스트하였으나 기대하는 결과의 도출이 어렵고 동작 안정성의 해결이 난해함에 따라 다른 방식을 시도하고자하여 고효율 150V/100mA Step-down regulator (LTC3639)를 적용하여[6] 전원회로를 구성한 회로를 개발하였다. 그러나 GFI IC 전원에 맞추기 위해서는 60V 정도의 전압강하가 더 필요하므로 이 부분은 무손실스위칭소자인 TNR 소자를 이용하여 해결하였다[7].

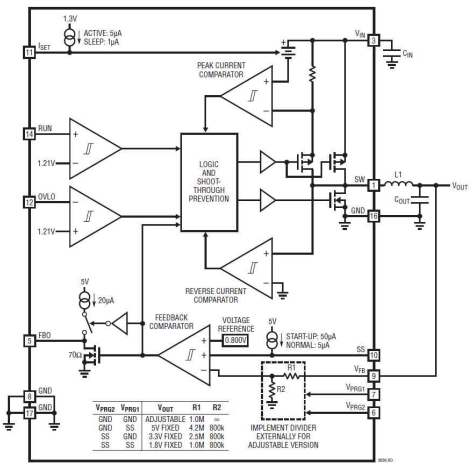

그림 6 Linear Technology사의 Step-down regulator (LTC3639)

다수의 실험을 통하여 100V형 TNR을 직결하고 RC필터를 실험적 방법으로 소비전력과 리플전압과의 최적값을 찾아 그림 7의 회로와 같이 설계하고 시작품을 제작하였다. 기존의 누전감시 GFI IC는 J2의 소켓으로 별도의 기판으로 처리하여 배선과 공간을 절약하였다. 즉, TNR로 손실없이 100V를 전압강하하고 다시 LTC3639로 100V 강하하여 LTC3639의 동작 여유도를 확보하였다. 이와 함께 병행실험으로 100V TNR 2개를 직렬연결하는 방법도 시도해보았으나 전류피크와 리플이 심하여 안정된 저전압공급이 어려웠다.

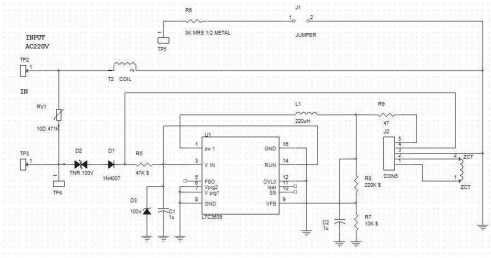

그림 7 TNR과 SMPS IC로 이루어진 200V 강압회로 (con5 : GFI IC module)

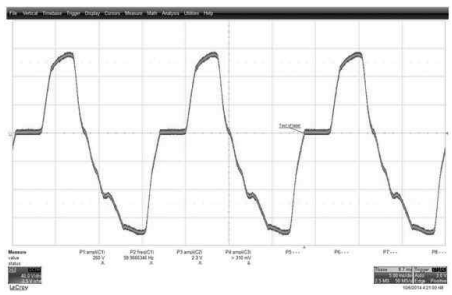

그림 8 TNR에 의해 변화한 파형 (40V/div, 5.0ms)

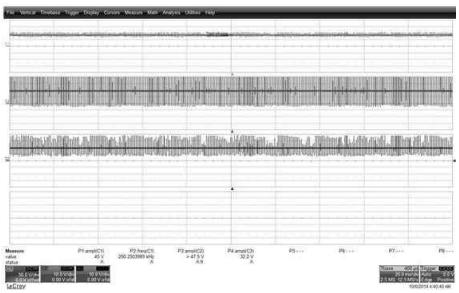

그림 9 SMPS chip의 입력, 스위칭, 출력 파형 (50V,10V,1.0V/div, 20ms)

그림 8은 전원전압의 TNR에 의한 파형 변화를 오실로스코프로 측정한 파형이다. TNR에 전압이 걸려 전원전압의 상당부분이 제거되므로 SMPS chip에 인가되는 입력전압의 감소효과를 관찰할 수 있다. 그림 9는 SMPS chip의 입력, 스위칭, 출력 파형을 관찰하여 SMPS chip이 정상 작동하는지 관찰한 것으로 290 kHz로 스위칭 되는 출력전압파형 약 100V의 DC 전압이 20V로 step down 되어

출력되며 스위칭에 의한 노이즈가 발생되는 것이 관찰되었으며 SMPS chip이 정상적으로 차단기 IC에 전원을 공급하는 것을 확인하였다. 그림 10은 부품실장완성기판과 기구가 조립된 사진이다.

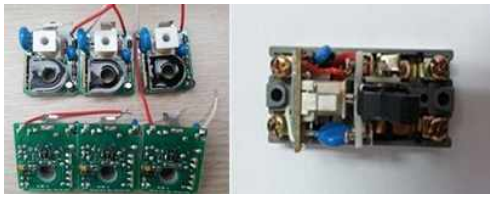

그림 10 부품실장완성기판과 기구가 조립된 사진

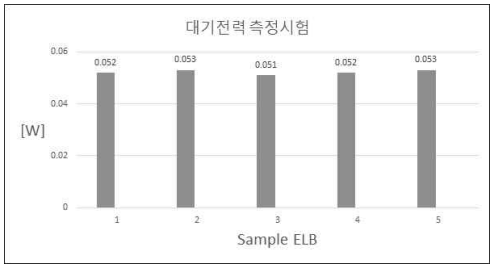

그림 11 대기전력측정 시험결과

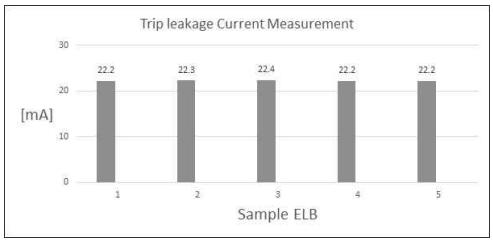

그림 12 누전트립전류측정 시험결과

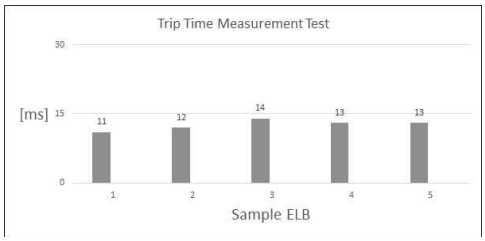

그림 13 누전트립시간측정 시험결과

그림 11는 무부하 상태의 대기전력측정 시험결과이며 5개의 샘플모두 0.06w이하의 대기전력이 측정되어 상당한 수준의 대기전력을 절감한 효과를 나타내었다. 그림 12는 누전트립전류를 가변하여 측정한 시험결과이며 각 샘플모두 법정기준인 30mA감도 이하를 보여주었다. 그림 13은 누전트립시간측정 시험결과로서 각 전원단의 파형을 오실로스코우프로 관찰하고 그 시간을 비교 측정하였다. 평가결과 18ms와 11ms의 반응속도를 나타내었으며 형식의 규격속도가 30ms 이내인 점을 감안할 때 개발된 시제품들은 상품화가 충분히 가능한 응답시간 성능을 보여 주었다.

4. 결론

누전차단기의 대기전력을 최소화하기 위하여 기존제품회로의 대기전력 0.3w 발생원인을 분석하고 전원전압 강하용 저항에서의 소비전력 발생원인 규명하였으며 이를 저감하기위한 다양한 방법을 제시하고 개발, 평가하여 최적의 회로에 의한 누전차단기를 개발하였다.

CRD를 적용한 대기전력 누전 차단기 시험에서 대기 소비전력 0.17w 수준의 성능을 확보하였으며 TR 트리거 방식 대기전력 저감회로를 제시하여 시험 평가 후 0.10w의 대기 소비전력을 확보하였다. 두 방식 모두 일부 샘플에서 트리거동작의 안정성이 미흡하여 무손실소자와 SMPS IC 강압회로방식을 설계하고 시제품을 제작하여 테스트한 결과 누전트립개시전류감도와 트립응답시간특성은 규격이상의 우수한 성능을 유지 하면서 대기 소비전력 0.06w 미만의 저감형 누전차단기를 개발하였다.

한편 대기전력 0.1w까지는 현재 부품과 실장에서 경제성과 안정성이 확보된 상태로 바로 상품화할 수 있는 상태이며 개발된 누전차단기는 소형 누전차단기로서 개개의 절감효과는 미미하나 대단의의 분전반이나 대량사용 수용가에서의 대기전력 절감효과가 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 국립기술표준원, *전기 안전 규격*, 2002.
[2] I911L Ground Fault Interrupter IC, *Earth Leakage Current Detector Databook*, Interpion, 2012.
[3] 日本 松下 電子式 漏電遮斷器 技術 報告書, Matsushita Co., Ltd., Japan, 2000.
[4] Ramon Pallas-Areny and John G. Webster, *Sensors and Signal Conditioning 2nd edition*, John Willey & Sons, INC., 2001.
[5] Joseph J. Carr, *Sensors and Circuits*, PTR Prentice Hall, 2000.
[6] Linear Technology user manual, *Step-down regulator (LTC3639)*, 2014.
[7] 日本 電力用 半導體 技術 マニュアル, ohm 社, Japan, 2003.