

지능형 조명 제어 시스템용 LED 단말기 개발

(A Study for Designing of Intelligent Lighting Control LED Apparatus)

유수엽*, 이기현**

SooYeub Yoo*, Michael Lee**

(주)디에이치 블레콤*, (주)금호전기**

Abstract

This paper is a report of designing for LED lights driver unit. The main purpose of driver designing is high electrical efficient performance and intelligent control LED driver. This LED driver can be used for intelligent light control. This product expects to improve the light control by dimming instead of interlace on/off light control that increases the social cost such as car accidents and etc.

Key Words :LED, intelligent Lighting control, 지능형 조명제어, 동기구, 고효율 동기구, high efficiency

1. 서론

환경 친화적이고, 에너지를 저감하는, 고효율 인증 조명 기기의 필요성이 더욱 요구 되고 있다. 이러한 단말 시스템의 필요조건을 명기하는 조명들은 주로 조명 기기의 효율화에 초점이 맞춰져있다. 이러한 조명기기를 이용하여 효율적인 운용을 위한 시스템에 관한 사항은 아직까지 구시대의 조명기기형태의 단말기에 머물러있다.

즉 On/Off 제어를 기준으로 연결되어있다. 여기에서는 LED(Light Emitting Diode)를 사용한 동기구의 특성을 살린 지능형 조명 제어시스템을 가정하고, 이 조명 시스템에서 요구하는 LED 조명을 개발하고자 한다.

LED는 반도체의 다이오드의 특성을 가진 소자로 기존의 조명등과 다른 전기적 특성을 가진다. 이 LED는 단방향의 전류에 의하여 발광이 그 직류전류에 따라 변하는 소자로 응답속도가 매우 빠르고, 그 효율이 최근 매우 높게 향상하여 기존의 조명등을 대체하는 정책을 이끌어 내기까지 하였다.

표1은 대표적인 조명등과 비교한 비교표이다.

표1: LED와 백열등, 형광등의 특징비교

종류	장점	단점	특징
백열등	입력전력제어가 용이	효율이 낮아진다	AC/DC 모두 가능함
형광등	효율이 좋다	전력제어가 불편	교류만 다능
LED	효율이 좋다	직류 전류로 제어됨	전류제어필요

이러한 소자를 적용한 제품은 고효율의 동기구의 구현이 가능하다. 그러나 전체 조명 시스템을 고효율 등으로 변경하는 것은 새로운 기술제품을 적용한 제품의 효율만 올리는 소극적 방법이 된다. 따라서 이러한 조명기구의 특징을 살린 고효율로 조명을 제어하기 위한, 고효율 조명시스템을 요구하게 이르렀다. 이는 조명시스템의 에너지 절감율, 효율적인 운용방법으로 취득하고자하는 방법으로, IT기술과 조명기술 및 경영과학(Operation Research)의 접합 기술이

라 할 수 있다.

여기에서는 새롭게 요구되는 '지능형 조명제어'정책에 어울리는 LED를 이용한 에너지 절약 시스템을 가정하고, 이러한 시스템에 어울리는 조명 시스템을 가상으로 구성하고, 그 구성에 어울리는 조명기기를 개발하는데 있다.

2. 지능형 조명제어 시스템

2.0 지능형 조명제어 시스템의 개요

위의 그림1은 시스템의 모형이다. 제어장치에서는 시스템의 센서의 입력과 시간데이터를 이용하여 단말의 On/Off를 제어하여, 시스템이 수동으로 On/Off되는 시스템의 동작상태와 비교하여, 전력의 소비량을 최적화 시키는 시스템이다.

제어시스템은 전체 시스템의 동작을 정해진 시간에 따라 제어를 하며, 각 시스템을 섹터로 나누어 그 섹터내의 각 센서 입력을 참고하여 시스템을 제어하여 준다.

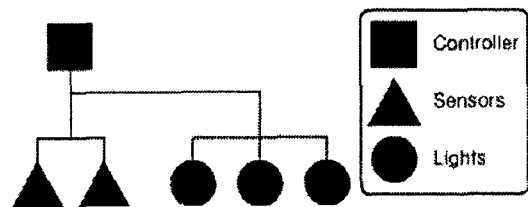


그림1. 시스템의 구성모형

2.1 지능형 조명제어 시스템의 국내 설치

위의 그림1은 가장 간단한 시스템의 모형도이다. 전체 시스템은 이러한 간단한 제어 유닛시스템이 모여서 전체 시스템을 구성하게 된다. 전체 시스템의 제어를 한, 두개의 제어기로 연결되는 단순한 가로등이나, 터널등 등의 시스템에서는 별 문제가 없으나, 대형건물에서는 이러한 제어가 매우 복잡한 운용 알고리즘과 계층적 통신망이 필요하다.

이러한 상황은, 이 전력제어운용을 연구한 여러 논문에서

언급되었다.[1] 특히 이러한 운용을 기존의 조명시스템이 설치된 건물에 무선이나 전력선 통신을 이용하여 제어하려는 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이 연구의 필요는 얼마만큼 운용을 적절하게 하는가에 따라 전력 손실을 최소화하는 물론이며, 전기 에너지를 아껴 사용자에게 비용을 절감하게 하여주는 것은 물론, 사회적인 비용 - 발전 시스템, 송배전시스템의 경량화 등 - 을 절감 할 수 있기 때문에 이러한 연구가 많이 연구되고 있다.

더욱이 국내에서는 절전을 이유로 가로등을 격등으로 점등하거나 건물내 한등 끄기 운동을 벌이고 있으나, 이는 매우 전 근대적인 생각으로 이에 대한 간접 지출은 생각하지 못하고 있는 실정이다.

가령 가로등 격등을 한 경우에는 운전자의 물체의 식별력을 저하시키며, 반복적인 명암의 교체로 쉽게 운전자의 시력에 피로감을 주어, 교통사고가 증가하는 사회적 비용이 절감비용의 16배까지 증가한다는 연구가 있다. 또한 사무실 한등 끄기 역시, 전체 등의 부분적인 점등으로 사무실내 근무자들의 자리마다 명암이 생기고, 이에 따라 사무실내 '명암'과 '음지'가 발생하여 전체 조명이 고르지 않게 된다.

이러한 정책은 과거 On/Off에 의하여 조명이 제어되는 형광등과 같은 방전관조명 위주의 기술에 기인한다. 방전관 조명은 적정 전류, 전압에서 효율이 극대화 되며, 이의 밝기제어를 위한 전류의 제어는 제어도 힘들뿐 더러, 전등의 수명을 원래 주어진 수명보다 단축되는 경향을 보인다.

이에 반하여 백열등의 조명은 전류를 제한하여 정격 전류보다 적게 전력을 입력하면 그 수명이 비약적으로 늘어나게 된다. 따라서 국외의 많은 연구들이 조명등의 밝기제어를 염두엔 연구가 진행되어왔다.

현재 국내의 많은 조명기기 제조회사들이 형광등이나 방전등의 on/off기능을 개선하여, 등의 밝기를 선형제어 할 수 있는 안정기를 발매하고 있으나, 가격이 비싸 저가의 On/Off제어기능의 조명기기가 설치되고 있는 경우가 많다. 따라서 국내의 지능형 조명제어 시스템의 설치는 On/Off 위주의 정책이 지배적이다.

따라서 현재 국내 정책에서도 이를 반영하듯이 다음과 같은 on/off 기능에 기초한 지능형 조명제어 시스템이 운용되고 있다.

- (가) 조명제어시스템 중앙제어서버 운영프로그램 적정동작
- (나) 그룹별, 패턴별 조명부하 적정동작
- (다) 스케줄에 의한 조명자동제어 적정동작
- (라) 원격 및 현장에서 직접 조명제어 적정동작

2.2 차세대 지능형 조명제어 시스템의 일예

이러한 지능형 시스템은 구미 여러 국가에선 보다 발전된 형태의 시스템으로 발전하여, 기존의 조명시스템에 연계하여 구성된다. 대표적인 시스템의 단위 구성을 그림2와 같이 센서, 제어, 구도이 한 개의 유닛으로 구성하여 동작시키고 있다. 이러한 시스템은 단거리 무선망을 연결하여 운용하며 설치가 간단하며, 효율적으로 전체 시스템을 제어할 수 있다.

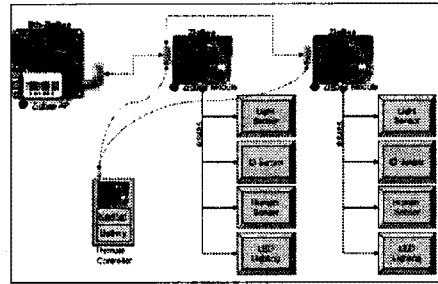


그림 2. 무선으로 구성된 지능형 조명 제어 시스템

그림2의 구성은 전체시스템의 예로서, 시스템의 단위가 조명등 및 광센서, 인체센서와 더불어 사무실 출입 시에 각 개인의 RF-ID등의 인식을 하여 사무실이나 작업장의 조명을 섬세하게 제어하게 해주는 기능을 가진 시스템의 한 예이다. 이 시스템은 중앙에서 단말의 센서의 상태를 수집하기도 하지만, 전체 시스템의 동기구동에 명령을 내려 줄 수도 있다. 이러한 구성과 더불어 간 단말이나 그룹은 그룹대로 독립적인 기능을 수행 할 수 있어야 한다.

이러한 복잡한 기능을 섬세하게 제어하면, 인간에게는 편리함을 주며, 전체 전기소모를 줄여준다.

이때 단말이 On/Off만하여서는 조명시스템의 섬세한 제어가 매우 힘들어 진다. 즉 사용자의 위치의 밝기를 최적화 시키거나, 외부 입력 광의 세기에 따른 실내조명의 제어는 무척 어렵거나 포기하여야 한다. 즉 지능형 조명제어의 의미가 퇴색하게 된다.

한 실례를 들어 보면, 큰 사무실에 1명의 사무원이 저널 늦게 일을 하게 되면 그 사무실의 전등을 모두 켜 놓는 것은 물론 그 에 따른 복도, 화장실, 등 여타 부속건물도 전등을 켜 놓는 경우가 많이 있다. 이를 절감하기 위하여 PIR motion sensor (Passive Infrared Sensor)를 부착한 동기구가 많이 발매 되고 있고, 실제로 이를 부착 설치한 곳이 많다. 그러나 실제 이러한 센서는 인체가 센서부착지점에 직선거리 수m의 가까운 곳에 접근 하였을 때나 계속 움직임이 있어야 동작이 보장된다. 실내에서는 PIR sensor는 동작이 안정적이지만 실외에 설치된 경우에는, 온도차이가 있는 바람이나, 개나 고양이등 동물들에 의한 동작이 빈번하다.

이러한 예를 열거하자면 수없이 많으나 여기에서는 최종적인 조명기기는 조명단말기의 기능과 성능을 고찰 하는게 목적이므로 차세대형 지능형 조명 단말장치의 성능과 기능을 검토하기로 한다.

2.3 지능형 조명 제어기의 성능및 기능

지능형 조명 제어는 주목적은 전력소비 절감, 소비자에게 최적의 조명 환경 제공에 있다. 따라서 단말도 이러한 요구에 맞추어 사무실이나 작업장내의 조명이 제어야 한다. 따라서 다음과 같은 몇 가지 기능이 필요하다.

- (가) 네트워크 제어기능
- (나) 독립적 제어기능
- (다) 고 효율 조명 기기
- (라) 고 신뢰성 기기

이러한 성능과 기능은 당연한 것 같으나 조명기기에서 이러한 기능을 구현은 별로 구현되지 않았고 또한 실제로는 매우 어려운 비용과, 설치의 복잡성을 지녔다.

가령 네트워크로 켜거나 끄는 기능도, 실제구현된 방법은

네트워크로 제어되는 Relay Box에 등기구를 연결하여 제어 기능을 구현하는 것이 대부분이다. 또한 건물이나 빌딩에 설치된 조명기구를 제어하기 위한 대한 Network의 프로토콜도 아직 표준화가 되어 있지 않아, 선진 여러 업체에서 개발된 통신 기법과 프로토콜이 시정을 과점하고 있고 후발 업체는 정보 통신기기에서 사용하는 통신 프로토콜을 변형한 여러 통신기법이 사용되고 있다.

본 연구에서는 수요자의 요구에 맞추며 차세대 수요가 있을 것을 예측하여 다음과 같은 기능을 갖는 조명 단말을 설계, 개발하기로 하였다.

- (가) 조명등이 밝기가 제어되어야 하며, 8비트의 디지털 값에 비례하여야 한다.
- (나) 조명등에는 최소한 네트워크기능을 다룰 수 있는 제어회로가 구비되어야 한다.
- (다) 조명의 전력을 비례적으로 제어 할 수 있는 전원장치가 필요하다.
- (라) 사용자의 제어신호단자가 따로 연결이 가능해야 한다.

이러한 여러 가지 필요사항을 종합하여 조명기구의 전체 시스템 설계 하였다.

각 필요기능은 다음과 같은 기준에 의하여 결정하였다.

2.3.1 네트워크 제어기능의 구현

조명 단말에 네트워크 기능을 넣는 요구는 많은 미국과 유럽 업체에서 LED 단말제조업체에 요구하여 왔다. 이러한 요구에 거의 대부분이 현재는 무대조명으로 사용하는 조명 프로토콜이 대부분이다. 가령 ANSI E1.11 - 2004 (USITT DMX512 -A) 규격이 그 예라 하겠다. 디지털로 완전히 소동한 상태를 0이라고 하면, 완전히 켜진 상태는 255로 총 256 단계로 조명을 제어하는 프로토콜로 한 파티라인에 총 512 개의 조명기구를 연결할 수 있으며 조명의 데이터는 1초에 40번 data를 update한다. 이는 조명기구를 실시간 조절하는데 인간이 그 밝기의 켜어짐이 없이 연속적으로 빛의 밝기가 변화되는 정도를 구현하기 위하여서 이다. 제어기로부터 단말기로 보내지는 데이터는 단말에서 신호의 수신여부를 검증함이 없이 보내지며, 단말의 상태는 별도의 기구나 사람이 검증하여야 한다.

이러한 일방향의 데이터를 RS485의 하드웨어 프로토콜의 변형으로 시스템이 구성되며, 하드웨어적으로는 한 라인접속속도 32개의 단말이 연결 될 수 있다.

2.3.2 독립적 제어기능의 구현

통신망을 이용하여 제어 되는 기능 외에 조명기구는 기본적으로 제어가 가능한 기능을 사용자는 요구하고 있다. 즉 네트워크상에 조명 기구가 연결 되어 있을지라도, 사용자가 요구하는 기능은 네트워크상으로 오는 신호가 있을지라도, 사용자가 별도로 광량이나 색의 밝기, 종류를 제어하고 싶은 경우가 많다. 이 경우 개별적인 제어가 용이하게 별도의 제어라인을 조명기구에 구비하거나 중앙의 제어기에 별도의 제어 신호를 입력 하여 줄여야한다. 이러한 기능은 개별의 조명기구에 별도의 제어 라인을 붙여 구현 하도록 한다. 이 제어신호역시 미주지역과 유럽 일부 지역에서는 ANSI E1.3의 정해진 규격을 만족할 것을 요구하고 있다.

ANSI E1.3은 0 ~ 10V의 제어 신호로 외부에서 0 ~ 10V로 기구의 밝기를 제어하는 신호로, 실제로는 0.6까지는

diode등으로 여러 제어 신호를 합칠 수 있어 0~0.6V까지는 Off로 그 이상은 제어하는 방식을 택하게 하고 있다. 이러한 기능은 시스템의 사용자 측에서 요구되는 사항으로, 아직 국내에서는 On/Off만 보편화 되어있고 일부 조명업체에서는 제어기가 BAS(빌딩자동화)기능으로 출하되고 있으나 많은 외국국가들에서 일반 조명용의 0~10V의 제어기가 시장에 나와 있다.

2.3.3 고효율 조명기기 성능구현

조명기구의 효율은 전원공급 순서부터 보면, 안정기 또는 드라이버의 효율과, 광원 자체의 효율이 빛을 내기 위한 효율이 기초가 된다. 이 빛이 등기구의 반사판 확산판, 투명창을 통하여 나오게 되는 등기구 효율로 낮아지게 된다.

본 개발 관점에서 등기구의 효율은 등기구 개발자에게 남겨두기로 하고, 순수한 빛을 만들어 내는 전자의 경우에 중점을 두기로 하였다. 즉 안정기 또는 드라이버의 효율을 극대화 하고 성능 좋은 LED를 사용하여 고효율의 광원을 만들어 내는 방향으로 제품을 개발하기로 하였다.

LED의 점등에는 직류 전류가 필요하다. 직류 전류는 직류 전원장치에 의하여 공급되는데 기존의 전원장치의 효율이 생각보다 많이 낮은 것을 알 수 있다. 가령 국내에 LED광고문자판용 전원을 많이 공급하는 P사의 경우 전원장치의 효율이 80%전후하며 사용 온도는 섭씨 50도로 한정하였다. 실제 주변 온도를 50도로 높이고 정격 전류를 흘리면 전원장치의 내부 트랜스포머가 약 80 ~ 90도 정도를 상회하게 된다. 이러한 장치의 동작온도를 80도정도로 높게 되면 트랜스 온도는 120~130도로 올라가며, 이때 트랜스의 효율이 떨어지고 전력 전자부품들- 트랜지스터 및 다이오드-의 소비가 증가하며 부품의 온도가 더욱 올라가게 된다. 이대 손실이 각 부품의 최대 허용 온도를 상회하여 소손되는 현상이 나타나게 된다.

따라서 전원장치가 고온에서 안정적인 동작을 하는 제품이 드물다. 이러한 제품이 고온에서도 고효율을 유지하는 성능을 갖도록 설계하였다.

또한 앞에서 언급되었듯이, 본기기 기능에 LED조명이 광원의 세기를 선형적으로 광범위하게 조절하는 기능을 갖는 것을 원한다. 따라서 본 연구에서는 광범위한 범위에 걸쳐 고효율이 유지되도록 전원장치의 설계가 되어야한다.

이러한 요구에 부합되는 전원회로는 기존의 많은 전원설계자들이 사용하는 flay-back type이나 forward type의 전원회로는 전원회로의 트랜지스터를 강제로 On-Off시키는 hard -switching 이므로 전원장치의 손실을 발생한다. 이를 ZCS(Zero Current Switching)이나 ZVS(Zero Voltage Switching)를 사용하면 스위칭 손실을 최소화 할 수 있으므로 이를 채택한 LLC 공진형 전원회로를 채택하기로 하였다.

이 공진형 전원장치는 현재 350Watt 직류 출력 제품이 97.5%의 효율을 가진 전원장치가 시중에 상품으로 나와 있을 만큼 고효율이 보장된 제품이지만, 트랜스-인덕터의 성능과 생산의 균일성이 보장된 고압 콘덴서등 전력전자 부품이 필요하다.

본 연구에서는 이에 대한 충분한 경험을 살려 이 회로를 채택하고 제품의 성능을 약 90%정도에 맞추어, 저가격으로도 원하는 성능을 구현 하도록 하였다.

이 회로의 채택은 10 ~ 100%까지 회로의 스위칭 손실이

거의 없어 효율이 거의 일정하게 구현 된다는 장점이 있다. 따라서 전원회로의 스위치소자인 MOSFET등의 구동장치만 적절하게 설계하면 효율을 극대화하기가 용이하여 진다.

2.1.4 고 신뢰성 조명기기 성능구현

LED등기구의 수명은 대략 50,000시간의 수명을 요구하고 있다. LED등의 수명이 LED의 온도와 LED의 수명에 따라 전체 수명이 결정되지만, 실제로 시스템의 수명은 전원회로의 신뢰성에 따라 결정될 수도 있다.

즉 시스템의 신뢰성은 가장 취약한 요소에 의하여 결정되므로, 전원장치의 수명이 LED보다 길지 못하면 전원장치의 수명이 전체 시스템의 수명을 결정하게 된다.

이러한 문제점은 전원장치의 MTBF (mean time between failure)를 길게 하는 방법만이 그 문제점을 해결할 수 있다. 즉 MTBF를 길게 하려면 전체 부품의 동작온도를 부품의 정격 온도보다 낮추는 노력이 필요하다.

가령 105도의 콘덴서가 수명이 2,000시간이 보장된 시간이라면 라면 85도의 동작온도에서는 200,000시간이 보장된다. 이러한 전체 시스템의 동작 온도 낮추는 효과는 부품의 수명을 연장 시켜줄 수 있기 때문에 시스템의 방열에 신경을 쓴 제품의 구성이 필요하다.

이러한 노력 외에 부품의 내압을 충분히 높여 부품의 예상 수명을 늘려 주어야한다. 즉 고압부품은 온도에 영향을 받는 외에 부품에 인가된 고압의 총 방전 회수에도 영향을 받는 것이 알려져 있다.

2.1.5 다 입력에 대응한 조명기기 제어알고리즘구현

LED전원장치의 입력에는 이미 언급된바와 같이 2가지 이상이 연결된다. 여기에서는 3가지 입력을 가정하고 이 3가지 입력에 대하여 그림 3과 같은 논리 천이상태를 갖는 시스템을 설계하였다.

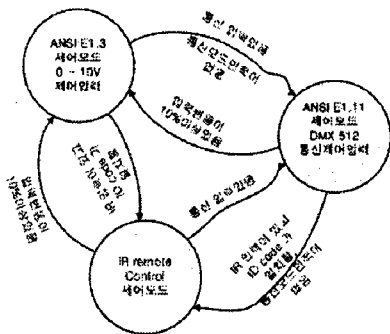


그림 3. 사용자 입력에 따른 조명단말기의 제어

이 상태천이도는 대표적인 상태 특성표이고, 각 모드에서도 특수상태천이상태를 첨부하여, 설정하여 비상시에 통신이 우위를 갖는 등 여러 가지 보조기능을 첨부하였다.

3. 실험 및 결과

본제품의 개발은 다음과 같이 3개 개발팀이 개발 하였다.

- (가) 전원장치 개발팀
- (나) 디지털 제어 개발팀
- (다) 통신 및 제어용 소프트웨어 개발팀

그 결과 다음과 같은 성능을 갖는 시제품의 시제품의 개발이 가능하였다.

- (가) 효율 90% 전원장치, 역률 95%이상
- (나) 8 비트의 분해능 갖는 LED제어회로 개발
- (다) 여러 입력을 갖는 통신 및 제어용 소프트웨어 탑재 이 시제품이 그림 4에 표시되었다.

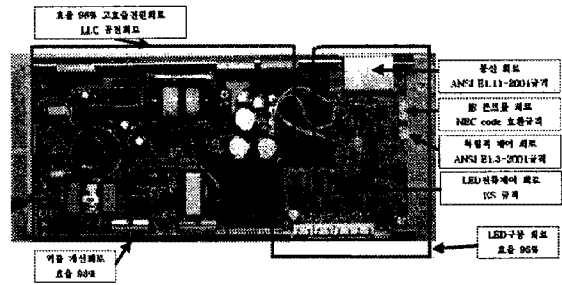


그림 4. 시제품의 외형

4. 결론 및 추후과제

고효율 성능을 갖는 85W 출력 LED 전원장치를 개발하였다. 이 개발품은 LED의 구동에 정격에 90%이상의 효율을 보임은 물론, 10%로 밝기를 저하시 전원의 효율이 50% 이상 유지 되는등 높은 효율을 보여준은 물론, 여러 입력에 지능적으로 대처하여 사용자에게 편리함을 제공함은 물론 장차 수요가 예상되는 지능형 조명제어장치에 보다 편리하게 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

1. Jaspal S Sandhu, alice M Agogino, Adrian K. Agogino, 'wireless Sensor Networks for Commercial Lighting Control: Decision Making with Multi-agent System', 2004 American Association for Artificial Intelligence.
2. Bo Yang, 'Topology Investigation for Front End DC/DC Conversion for Distributed Power System.' Dissertation of Ph. D. 2003, Virginia Polytechnic University
3. Robert W. Ericson, Dragan Marsimovic, 'Fundamental of Power electronics'
4. 'KS CIEC 60598-1 규격' 2002

(부록). 고압 콘덴서의 수명예측

고압 콘덴서는 냉각이 충분히 보장 되어도 동작 전압에 따라 수명이 예측된다. 플라스틱 필름 축전기는 충방전에 따라 다음과 같은 신뢰도가 결정된다.

$$N \approx \left(\frac{V}{V_b} \right)^{-8} d^{-\beta} Q^{-2.2}$$

- Where: N = number of discharges to failure
 V = application operating voltage
 Vb = capacitor breakdown voltage
 d = dielectric thickness
 β = thickness exponent, typically less than 3
 Q = circuit quality factor

회로의 Q factor는 전압의 역수에 비례하는 것으로 알려졌다.

as follows: $Q = \frac{\pi}{2(1 - V_r)}$

Where: Vr = voltage reversal (0 < Vr < 1 so that a voltage reversal of 50% yields a Vr = 0.5)