
대형 교통신호용 LED 구동 SMPS 설계

신현용*

Design of LED Driving SMPS for Large Traffic Signal Lamp

Hyun-yong Shin*

요약

본 연구에서는 철도 및 공항 등 대형 교통수단의 표시등으로 사용하기 위한 LED 신호등 구동회로를 설계하고 제작된 SMPS의 전기적 특성을 측정하였다. 입력전압 8~12VAC 및 8~16VDC에 대하여 출력전압, 출력전류 및 전력효율은 각각 6VDC, 1.85ADC 및 >70%이었다. 또한 규정한 AC 입력전압에 대하여 측정된 역률은 모두 0.75 이상의 값을 얻었다.

ABSTRACT

In this study, SMPS to drive LED traffic signal light for the railroad and airport was designed and its electrical characteristics was measured. The output voltage, output current and its power efficiencies to the input voltage 8~12VAC and 8~16VDC were 6VDC, 1.85ADC and >70%, respectively. Also the power factors of the SMPS were above 0.75 in the AC input voltage range.

키워드

Light Emitting Diode, SMPS, AC/DC Converter, Power Efficiency, Power Factor

1. 서론

사회적으로 에너지절약 기술개발 및 상품화에 대한 요구가 지속적으로 유지되고 있으며, 다른 한편으로는 각종 교통시설물을 통하여 사용자의 안전성을 향상시키고자하는 노력이 계속되어 왔다. 즉, 높은 안전성을 가지면서도 전기를 절감할 수 있는 교통 시설물에 대한 요구가 점점 높아져 가고 있다. 따라서 이러한 요구사항을 충족할 수 있는 전기전자부품소재의 개발이 지속되고 있다.

최근 급속한 기술개발에 따라 발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)는 그 광도가 현격히 증가됨에

따라 단순 지시기능을 넘어서 표시소자 등의 광원으로 활용되고 있다. 특히, LED는 일반 광원에 비해 에너지 소비율이 극히 낮아 에너지 절약 정책과 잘 호응되기 때문에 다양한 응용분야에 대해 많은 연구개발이 진행되고 있다[1][2]. LED는 광의 높은 직진성 및 높은 파장 선택도로 인하여 주야간 표시소자로 적합할 뿐만 아니라 최근 대량생산에 따라 가격도 저렴하여 조명기구에도 응용되어 그 응용폭이 크게 확대되고 있다. 일례로 최근 보급되고 있는 LED 교통신호등은 기존 램프형 광원에 비해 90% 정도의 전기절약 효과를 가져왔을 뿐만 아니라 유지보수비용을 크게 절감할 수 있고 높은 시야율을 확보함으로써 교통사

* 남서울대학교 전자공학과
심사완료일자 : 2009. 05. 07

고 방지에 많은 기여를 하고 있는 실정이다[3][4].

우리나라의 신호등의 수는 2003년 1월 통계에 의하면 약 36만 set (4색등, 3색등, 보행등, 보조등, 경고등 포함)으로 철도용 신호등까지 포함시키면 약 100만 개로 추정되며 매년 10% 정도가 신규로 설치되고 있는 현실이다. 자동차 도로용 신호등은 2002년부터 현재까지 점차적으로 LED 신호등으로 교체가 진행되고 있다. 그러나 또 다른 교통수단인 철도, 항공, 항만 등에 필요한 LED를 이용한 방향지시 및 표시장치는 아직 미미한 실정이다. 이는 LED가 높은 시인성을 가짐에도 불구하고 기존의 광원에 비해 광도가 약하기 때문에 광학적 지식 위에 기구를 설계해야하는 어려움이 있으며, 동시에 광의 움직임에 대한 사전이해가 선행되어야 하기 때문이다. 본 연구에서는 최종 목표인 철도 및 항공용 표시장치로 적용하기 위하여 요구되는 전기적 사양에 맞도록 LED 광에 대한 경로 및 그 특성을 분석하여 대형교통수단의 안전성을 높일 수 있으며, 큰 전기절감 효과를 가져 올 수 있을 뿐만 아니라 반영구적 수명을 갖는 LED를 광원으로 채택함으로써 유지보수에 따른 경제적 손실을 최소화하기 위한 LED 표시장치의 핵심인 구동장치를 개발하고자 하였다.

II. 회로설계

그림 1는 본 연구에서 개발하고자 하는 대형교통표시용 LED module을 위한 전원공급장치인 SMPS의 기본 구조를 나타낸 것이다. 본 연구에서 제작하고자 하는 SMPS는 surge와 lightning에 대한 보호회로를 가진 입력부, AC를 DC로 변환시키는 스위치회로, 발진을 위한 스위칭 converter 회로 및 출력전류의 크기를 항시 검출하여 전류 값의 변동을 feedback 시켜 출력전류를 원하는 수준으로 계속적으로 보상할 수 있는 전류검출회로 등의 4 부분으로 구성하였다.

입력부 회로는 그림 2와 같이 AC/DC 입력전원부, 과전류 보호를 위한 fuse, 외부 surge차단회로 및 내부에서 발생하는 EMI 제거용 line filter 등으로 구성하였다.

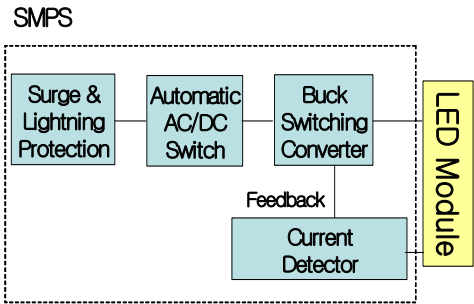


그림 1. 전원공급장치의 구성도
Fig. 1 Schematic diagram for SMPS

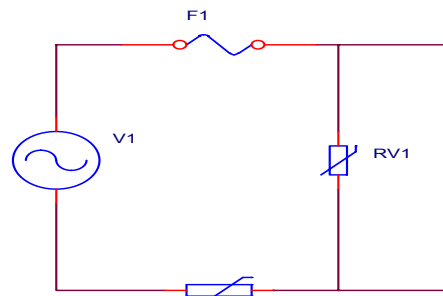


그림 2. 전원공급장치의 입력부
Fig. 2 Input part of the power supply

과전류 보호장치는 varistor(RV1)과 fuse(F1)으로 구성되어 있으며 내부 회로에 이상이 생겨서 과전류가 흐르게 되면 F1이 끊어지도록 설계하였다. 신호기구는 일반적으로 실외에 설치되기 때문에 낙뢰에 의하여 심각한 손상을 입을 수 있다. 따라서 직접적으로 충격을 받는 경우에는 보호하기가 어려우나 간접적인 surge에 대한 보호기능은 반드시 필요하다. 이러한 외부 surge 차단을 위하여 RV1을 입력전원과 병렬로 설치하여 입력전원에 포함되어 들어오는 외부 surge가 내부회로로 유입되지 아니하고 RV1을 통하여 방전되어 입력부 이후에 사용되는 반도체를 보호할 수 있도록 하였다. 어떤 원인에 의해서 입력전압이 상승하여 과전압 상태가 되면, 이 순간 surge용 RV1이 파손되면서 쇼트상태가 되어 역시 F1이 끊어지도록 설계하였다. 또한 일반적으로 스위치가 on되는 순간에 주로 발생하는 돌입전류로부터 회로를 보호하기 위하여 NTC를 삽입하였다.

용량성이나 유도성 부하, 스위칭 회로, 디지털 회로

및 thyristor 등을 사용하는 회로는 단순한 전자회로와 비교하면 EMI noise 문제가 비교적 많은 편이다. SMPS 회로 역시 용량성 부하이며, 스위칭 동작회로를 구성하고 있어 여타 회로에 비하여 noise 성분을 많이 포함하고 있다. EMI noise를 감소시키기 위하여 line filter(LF)와 커패시터 C1을 이용하여 noise filter 회로를 구성하여 노이즈에 대한 감쇄율을 증대시켰다. LF 용량과 C1의 값을 조정함으로써 EMI의 잡음단자 전압(conducted emission)을 설정된 기준에 적절한 값으로 설계하였다.

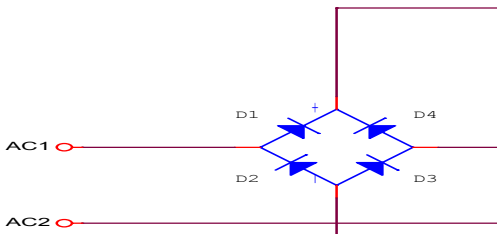


그림 3. AC/DC 컨버터의 브리지 정류회로

Fig. 3 Bridge rectifying circuit for AC/DC converter

AC를 DC로 변환시키기 위하여 정류회로를 필요로 하며, 이 회로에서는 출력용 FET의 스위칭 동작전압인 직류 300V와 IC의 시동전원으로 직류 18V가 필요하다. 출력용 FET의 동작에 필요한 직류전압 300V는 그림 3과 같이 bridge diode를 사용하여 입력전원을 정류하여 얻고, IC 시동용 전원은 그림 4와 같이 간이형 정전압 회로를 구성하여 확보하였다. 트랜지스터 Q1의 collector는 AC/DC 변환회로의 출력전압 300V에 R2를 통해서 연결되어 있고, collector와 base 사이에 저항 R3를 삽입하였고 base와 emitter 사이에는 zener 전압이 18V인 zener diode를 사용하였으며 출력단에 전해콘덴서 C7을 연결하였다. 전원이 인가되는 순간에 base 전압은 zener 전압을 유지하게 되고, 출력측 emitter 전압은 bridge 정류회로의 출력전압 300V로부터 R2와 Q1를 통하여 전해콘덴서 C7에 약 18V를 충전시키도록 하였다.

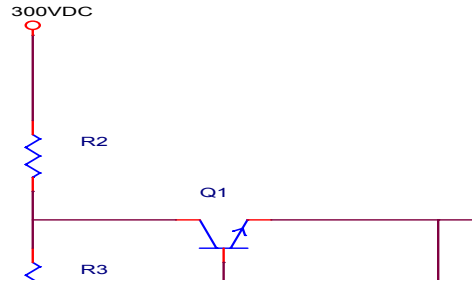


그림 4. IC 시동용 정전압 회로

Fig. 4 Constant voltage circuit for IC start-up

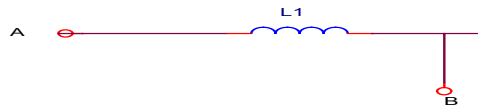


그림 5. 전원공급장치의 역률 개선 회로

Fig. 5 Power factor improving circuit for SMPS

그림 5는 역률개선을 위하여 채택한 회로를 나타낸 것으로 인덕터 L1, 다이오드 D5, 그리고 커패시터 C5를 제거하면 일반적인 리플제거 회로가 된다. 이 L1, D5 및 C5를 회로에 추가함으로써 역률을 개선할 수 있으며, 각각의 동작 특성은 다음과 같다. 인덕터 L1은 node A와 node B 사이를 고주파 전류로부터 분리하는 역할을 하며, 다이오드 D5는 node B의 전위가 낮아졌을 때 역전류가 흐르는 것을 방지한다. 그러면 일정 peak의 전류가 흐르게 된다. 따라서 PF와 THD는 보상이 아닌 상태가 되어, node B에서 커패시터 C5를 통해 전원 위상의 파형을 node C로 입력하는 과정을 필요로 하게 된다. 이는 일정하게 흐르려는 전류 파형을 C5로 feedback 상쇄시켜 출력 FET로 흐르는 전류를 제어하여 마치 L1에서 입력전류파형과 동위상의 low THD 상태를 유지하도록 switching하는 것처럼 파형이 구성된다. 이후 커패시터 C6과 C7로 리플 전압을 제거하여 B+ 전원파형을 형성함으로써 역률이 개선되도록 하였으며, 각 소자의 값을 조절하여 최대의 역률 값을 얻도록 하였다.

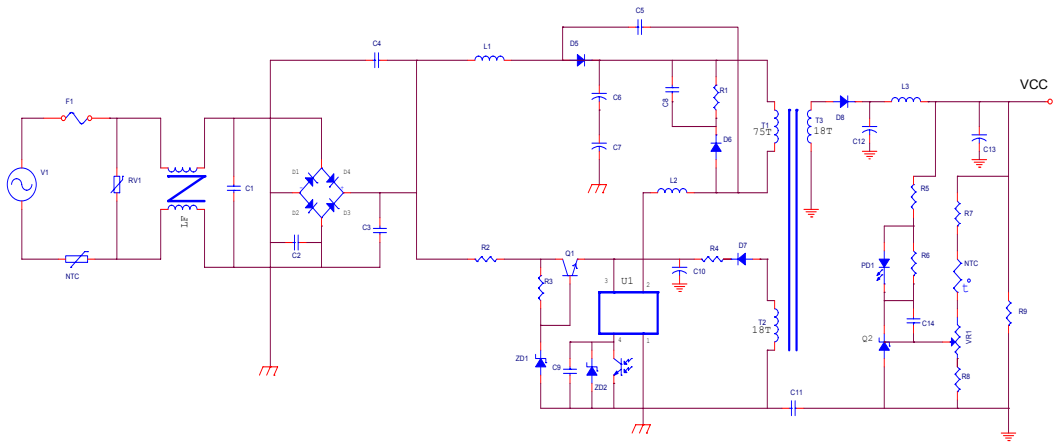


그림 6. AC/DC 겸용 LED 전원공급 장치 회로도
Fig. 6 Circuit diagram for AC/DC LED power supply

본 연구에서는 Fairchild사의 KA5M 계열의 SMPS 용 power switch IC를 사용하였으며 주요 사양은 다음과 같다. 발진주파수는 67kHz의 고정발진 방식이며 최대 듀티비가 77%이며 0.1mA의 낮은 기동전류를 필요로 한다. 그리고 전류제한 기능, 다양한 전압 보호 기능 및 thermal shutdown 기능을 내장하고 있어 옥외용으로 사용하기에 적합하였다. 일반적으로 모든 SMPS용 IC가 출력 FET를 가지는 것은 아니다. 그러나 일반적으로 많이 사용되는 상용전원의 적은 전력을 converting 하는 것이라면 출력 FET를 사용한다. KA5M과 같은 계열의 SMPS용 IC는 최대정격이 800V/3A인 출력용 power MOSFET를 내장하고 있으며 PWM 파형을 출력하도록 되어있다.

그림 6은 본 연구에서 설계한 AC/DC 겸용 LED SMPS의 회로도이며 그림 7은 제작된 SMPS를 보여주는 사진이다. 제작된 SMPS가 목표로 하는 전기적 특성은 다음과 같다. 입력신호의 정격입력전압은 8~12VAC/8~16VDC, 입력전압 변동범위는 6~18VAC/4~18VDC이며 정격 입력주파수는 AC의 경우 50~60Hz이다. 출력신호의 정격출력전압은 5.7VDC, 정격출력전류: 1.7A±10% 및 AC 맥동전압은 50mV@10VAC를 목표로 하였다. 또한 SMPS의 전력 효율과 역률은 정격 입력전압과 최대 출력전류 조건 하에서 각각 75% 및 0.75 이상으로 목표치를 설정하였다.

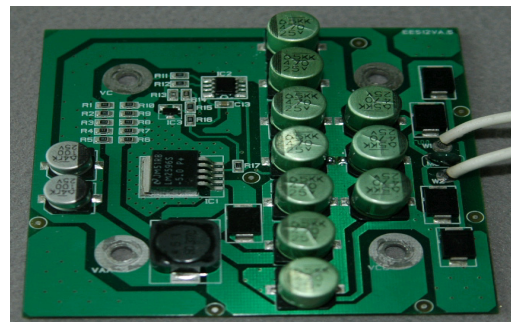


그림 7. 제작된 AC/DC 겸용 LED 전원공급 장치
Fig. 7 Photograph of AC/DC LED power supply

III. 결과 및 고찰

제작된 전원공급 장치의 특성을 평가하기 위하여 그림 8과 같은 LED 배열을 제작하였다. LED 배열은 그림 8과 같이 전면부의 적색 LED와 측면부의 백색 LED를 분리하여 배열하고 전원공급 장치로부터 입력신호를 받아 구동되도록 하였으며 필요에 따라 Vf 및 전력 조절을 위해 저항을 연결할 수 있도록 구성되어 있다.

DC 입력전압에 대한 출력특성을 측정한 결과를 그림 9, 그림 10, 그림 11에 나타내었다. 그림 9는 DC 입력전압에 대한 출력전압을 측정한 결과로 8VDC 이상의 입력전압에 대해 6VDC의 일정한 전압이 출력되

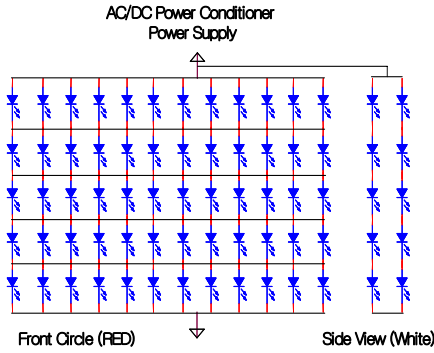


그림 8. LED array
Fig. 8 LED array

고 있음을 볼 수 있다. 8VDC 이하의 전압이 인가되었을 때는 LED의 구동은 가능하였으나 조도가 줄어드는 현상을 보였으며 2VDC 이하에서는 LED의 구동이 정지되었다.

그림 10은 DC 입력전압에 대한 출력전류 특성을 측정된 결과를 보여주는 것으로 8VDC 이상의 입력전압에 대하여 약 1.85A의 일정한 전류를 출력함을 알 수 있다. 그림 11은 DC 입력전압에 대한 전원공급장치의 전력효율을 측정된 그래프이다. 8VDC 이상의 입력전압에 대하여 전력효율이 70~80%의 범위를 나타내고 있음을 알 수 있다.

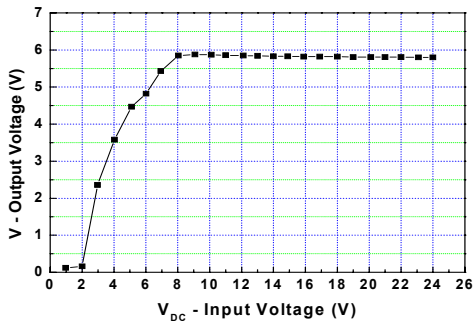


그림 9. DC 입력전압에 따른 출력전압 특성
Fig. 9 Output voltage characteristics with DC input voltage

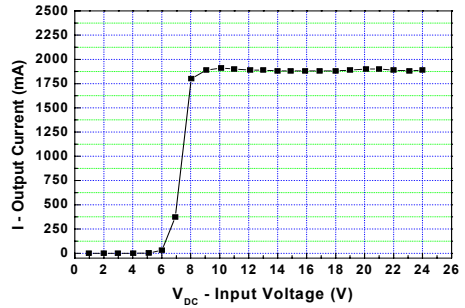


그림 10. DC 입력전압에 따른 출력전류 특성
Fig. 10 Output current characteristics with DC input voltage

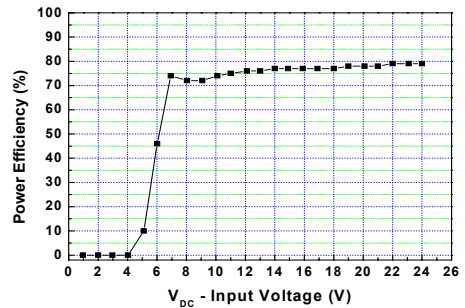


그림 11. DC 입력전압에 대한 전력효율
Fig. 11 Power efficiency with DC input voltage

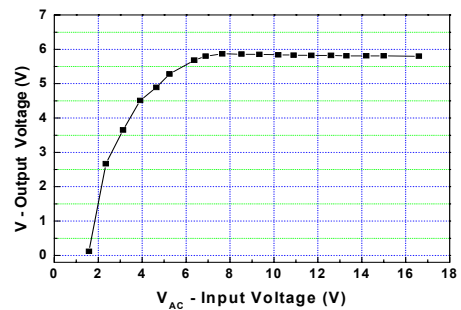


그림 12. AC 입력전압에 따른 출력전압 특성
Fig. 12 Output voltage characteristics with AC input voltage

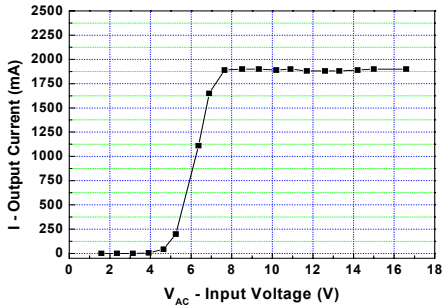


그림 13. AC 입력전압에 따른 출력전류 특성
Fig. 13 Output current characteristics with AC input voltage

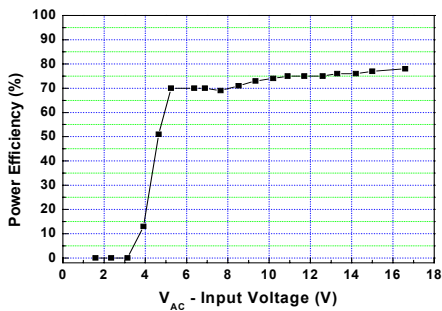


그림 14. AC 입력전압에 대한 전력효율
Fig. 14 Power efficiency with AC input voltage

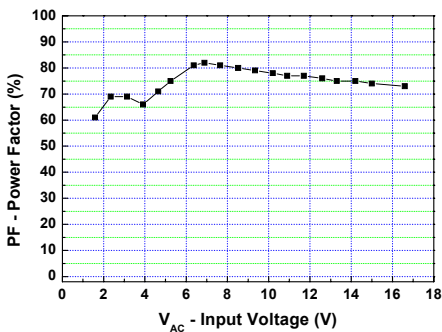


그림 15. AC 입력전압에 대한 역률변화
Fig. 15 Power factor variation with AC input voltage

AC 입력전압에 대한 SMPS의 출력특성을 측정된 결과를 그림 12, 그림 13, 그림 14 및 그림 15에 나타내었다. 그림 12는 AC 입력전압에 대한 출력전압을 측정된 결과로 8VAC 이상의 입력전압에 대하여 약 6VAC의 전압에서 포화되어 일정한 전압이 출력되고 있음을 볼 수 있다. DC 입력전압의 경우와 마찬가지로 2VAC 이하의 입력전압이 인가되었을 때에는 LED의 구동이 정지되었다. 그림 13은 AC 입력전압에 대한 출력전류 특성을 측정된 결과를 보여주는 것으로 8VAC 이상의 입력전압에 대하여 약 1.85A의 일정한 전류를 출력함을 알 수 있다. 그림 14는 AC 입력전압에 대한 SMPS의 효율을 측정된 결과이다. DC 입력전압의 경우와는 다르게 약 5VAC 이상의 입력전압에 대하여 전력효율이 70~80%의 범위를 나타내고 있음을 볼 수 있으나 DC 입력전압과 비교할 때 약간 낮은 효율을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 17은 AC 입력전압에 대한 역률의 변화를 나타낸 것으로 정상 구동범위인 8~12VAC에서 목표치인 0.75 이상임을 볼 수 있다.

IV. 결론

최근의 경제 불황으로 인하여 친환경 에너지 소자로 각광을 받고 있는 고효도 LED를 철도, 항공 등의 대형 교통수단의 교통표시등으로 사용하기 위하여 필요한 LED 구동 SMPS 회로를 설계 제작하고 전기적 특성을 조사하였다. 입력전압 8~12VAC 및 8~16VDC에 대하여 약 6VDC와 1.85ADC의 일정한 출력전압과 출력전류를 얻었다. 규정된 AC와 DC의 입력전압의 범위에서 모두 70% 이상의 전력효율을 나타내었다. 또한 규정한 AC 입력전압에 대하여 측정된 역률은 모두 0.75 이상의 값을 얻었다.

향후 제작된 SMPS의 CSPR 규격에 따른 0.15MHz에서 1GHz 사이의 EMI를 측정하여 미국 FCC 규정 (FCC Title 47, SubPart B. Section 15)에서 정한 기준치를 만족하는지 확인할 필요가 있으며, 또한 LED array module에 대한 광학특성에 대한 측정도 수행하여 실용화를 위한 개발을 완료시킬 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] 홍창희, “고출력 LED의 신기술동향 및 응용”, 조명·전기설비, Vol. 18, No. 3, pp.3-10, 2004.
- [2] 김민식, “고휘도 LED의 응용분야 및 시장전망”, 정보통신진흥원 학술정보, pp.70-72, Feb. 2003.
- [3] J. Bullough, "Optimizing the Design and Use of LED for Visually Critical Application - Comparison of Traffic Signal Requirements", Lighting Research Center, 1998.
- [4] 정만봉, 정학근, 유승원, “LED 교통신호등 국내 보급 타당성 분석”, 한국에너지공학회, 추계학술대회 논문집, pp.153-158, 2001.

저자 소개



신현용(Hyun-yong Shin)

1979년 2월 : 연세대학교 전기공학과 (공학사)

1981년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)

1987년 2월 : 루이지애나주립대학교 대학원 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)

1994년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 전자재료, 반도체공정, 센서 및 센서응용