

새로운 액티브 스너버를 이용한 소프트 스위칭 PWM 컨버터의 특성해석

(Characteristics Analysis of Soft Switching PWM Converter Using a New Active Snubber)

조만철 · 문상필 · 김철용 · 서기영 · 권순결

(Man-Chul Cho · Sang-Pil Mun · Chil-Ryong Kim · Ki-Young Suh · Soon-Kurl Kwon)

요 약

본 논문은 기존 컨버터에 보조 스위치와 공진 인덕터, 공진 커패시터, 두개의 다이오드를 추가하여 새로운 소프트 스위칭 액티브 스너버회로가 부가된 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 공진 에너지 회생율을 최대화함으로써 전체적인 효율을 증가시켰으며, 모든 스위칭 소자들이 소프트 스위칭 조건에서 턴-온/턴-오프하여 스위칭 손실을 최소화하였다. 그리고 공진 에너지를 완전히 입력으로 회생시켜 전도손실을 저감시켰다. 이러한 결과는 시뮬레이션과 실험을 통하여 증명하였다.

Abstract

This paper proposes converter that new soft switching active snubber circuit is added, the resonance energy return to life rate doing maximum whole efficiency increase. Proposed converter adds auxiliary switch and resonance inductor, resonance capacitor, two diodes to existing converter, all switch elements play turn-on/turn-off under soft switching condition and minimized switching losses. Conduction loss department is that watch layer bringing back to life resonance energy by input perfectly. These result proved through simulation and an experiment.

Key Words : PWM DC-DC converters, New active snubber, Zero Voltage Transition

1. 서 론

스위칭 전원에 사용되는 인덕터나 변압기 등의 자기소자(Magnetic Devices) 및 평활 콘덴서는 동작

주파수를 상승시킴으로써 소형으로 할 수 있기 때문에, 스위칭 주파수의 고주파화는 스위칭 전원의 소형화에 유용한 방법이나 스위칭 손실의 증가 및 효율의 감소의 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 고주파수 스위칭이 가능한 소프트 스위칭 PWM 컨버터의 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]. 이러한 소프트 스위칭 PWM 컨버터는 공진회로와 임의의 보조 스위치를 첨가하여 공진 시간, 공진 에너지, 전도 손실, 스위칭 손실을 줄일 수

* 주저자 : 경남대학교 전기공학과 석사과정
Tel : 055-249-2633, Fax : 055-249-2839
E-mail : killer9x@naver.com

접수일자 : 2006년 10월 20일
1차심사 : 2006년 10월 27일, 2차심사 : 2007년 1월 8일
심사완료 : 2006년 1월 30일

있는 새로운 스위치 제어방식인 영전압 및 영전류 방식을 채택하고 있다. 스위치 제어방식중 영전류 방식의 경우에는 전류 스트레스가 기존의 PWM 방식에 비해 약간 증가하고, 영전압 방식의 경우는 전압과 전류 스트레스가 거의 기존의 PWM 컨버터와 같다[2-3]. 그러나 이 방식들은 주 스위치의 전류 스트레스의 증가와 보조 스위치의 턴-오프 손실과 EMI 노이즈의 증가를 가져오는 단점을 가진다. 전파형ZVT(Zero Voltage Transition)PWM DC-DC 컨버터는 주 스위치와 보조 스위치 및 정류용 다이오드가 턴-온/턴-오프시 소프트 스위칭 하여 스위칭손실을 저감 시켰다. 그러나 공진 모드에서 공진 인덕터 L_r 에 충전된 에너지가 완전히 입력으로 회생하지 못하고 잔여 에너지성분이 남아 이후에 전도손실로 감소하는 단점을 가진다[4-6]. 그러므로 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 기존 컨버터에 보조 스위치 S_a 와 공진 인덕터 L_r , 공진 커패시터 C_r , 다이오드 D_1 과 D_2 를 추가한 새로운 컨버터를 제안하여 그 특성을 서술하고자 한다. 제안한 컨버터는 모든 스위칭 소자들이 소프트 스위칭 조건에서 턴-온/턴-오프하여 스위칭 손실을 최소화하고, 공진 에너지를 완전히 입력으로 회생시켜 전도손실의 저감 및 효율을 증가시키고자 한다.

2. 제안한 액티브 스너버를 이용한 DC-DC 승압 컨버터의 회로구성 및 원리

일반적으로 고주파에서 동작되어지는 PWM 승압 컨버터는 다이오드의 역회복 전류에 의해서 발생하는 스위칭 손실을 감소하기 위해서 작은 포화 인덕터를 부착하지만 스위치의 턴-오프시에 전압 스트레스가 발생하는 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 새로운 액티브 스너버를 이용하여 영전압과 영전류로 턴-온과 턴-오프를 실현하였다.

그림 1은 제안한 새로운 액티브 스너버를 이용한 DC-DC 컨버터의 주 회로도를 나타낸 것이다. 그림 1에서 점선으로 표시된 새로운 액티브 스너버 회로는 보조 스위치 S_a 와 공진 인덕터 L_r , 공진 커패시터

C_r , 다이오드 D_1 과 D_2 로 구성된다. 그림 2는 제안한 DC-DC 컨버터의 한 주기 동안의 동작모드를 나타낸 것이다. 편리한 해석을 위해서 입력 인덕터와 출력 커패시터는 충분히 크며, 인덕터의 전류는 일정 전류 I_L 로 출력 전압은 정전압 V_0 로 가정하였다. 동작 모드별 해석은 다음과 같다.

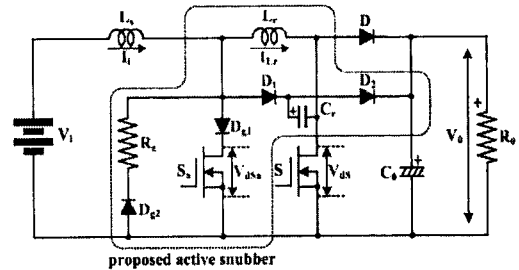


그림 1. 제안한 액티브 스너버를 이용한 DC-DC 승압 컨버터

Fig. 1. DC-DC boost converter using proposed active snubber

모드 1은 전 단계 모드에서 스위치 S와 S_a 가 턴-오프되고, 다이오드D는 도통되는 상태에서 스위치 S_a 를 ZCS로 턴-온하는 모드이다. 이때, 스너버 커패시터 C_r 의 전압은 0이 되며, 인덕터에 흐르는 전류 $i_{L_r}=I_i$ 이다. 그리고 스위치 S_a 의 전류는 점차적으로 증가하며, 인덕터 L_r 에 흐르는 전류는 선형적으로 감소한다. 스위치 S_a 의 전류는 I_i 에 도달하며, 이때, 간격 t_1 은 식 1과 같다.

$$\Delta t_1 = \frac{I_i \times L_r}{V_0} \quad (1)$$

모드 2는 스너버 커패시터 C_r 의 축적된 에너지가 L_r 와 S_a 를 통하여 방전되는 모드이다. 이때, 스위치S에 걸리는 전압 V_{as} 는 0으로 떨어지며, 스위치S의 역방향 다이오드는 L_r 를 통해 흐르는 작은 역전류를 차단한다. 그리고 스위치 S_a 는 턴-오프된다. 모드 2에서 공진시간 간격 t_2 는 매우 짧으며, 식 2와 같다.

$$\Delta t_2 = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r \times C_r} \quad (2)$$

모드 3은 스위치 S_a 가 턴-오프일 때, 입력전류는

새로운 액티브 스너버를 이용한 소프트 스위칭 PWM 컨버터의 특성분석

다이오드 D_1 을 통해 커패시터 C_r 에 충전되는 모드이다. 이때, 커패시터 C_r 의 전압은 점차적으로 상승하며, 스위치 S_a 는 영전압 턴-오프를 하게 된다. 그리고 커패시터에 걸리는 전압 V_{Cr} 는 출력전압 V_0 에서 고정되며, 다이오드 D_2 는 도통된다.

모드 4에서 인덕터 전류는 최대로 상승하며, 부하 전류는 다이오드 D_1 과 D_2 를 통하여 선형적으로 떨어

지는 모드이다. 그리고 입력전류와 인덕터에 흐르는 전류 I_L 가 같아지면 다이오드 D_1 과 D_2 에 흐르는 전류는 영이 되어 턴-오프 된다.

모드 5는 기존의 승압 컨버터처럼 스위치 S 를 통하여 입력전류가 흐르는 모드이다.

모드 6은 스위치 S 의 영전압으로 턴-오프하는 모드이다. 이때, 입력전류는 다이오드 D_2 를 통해 역방

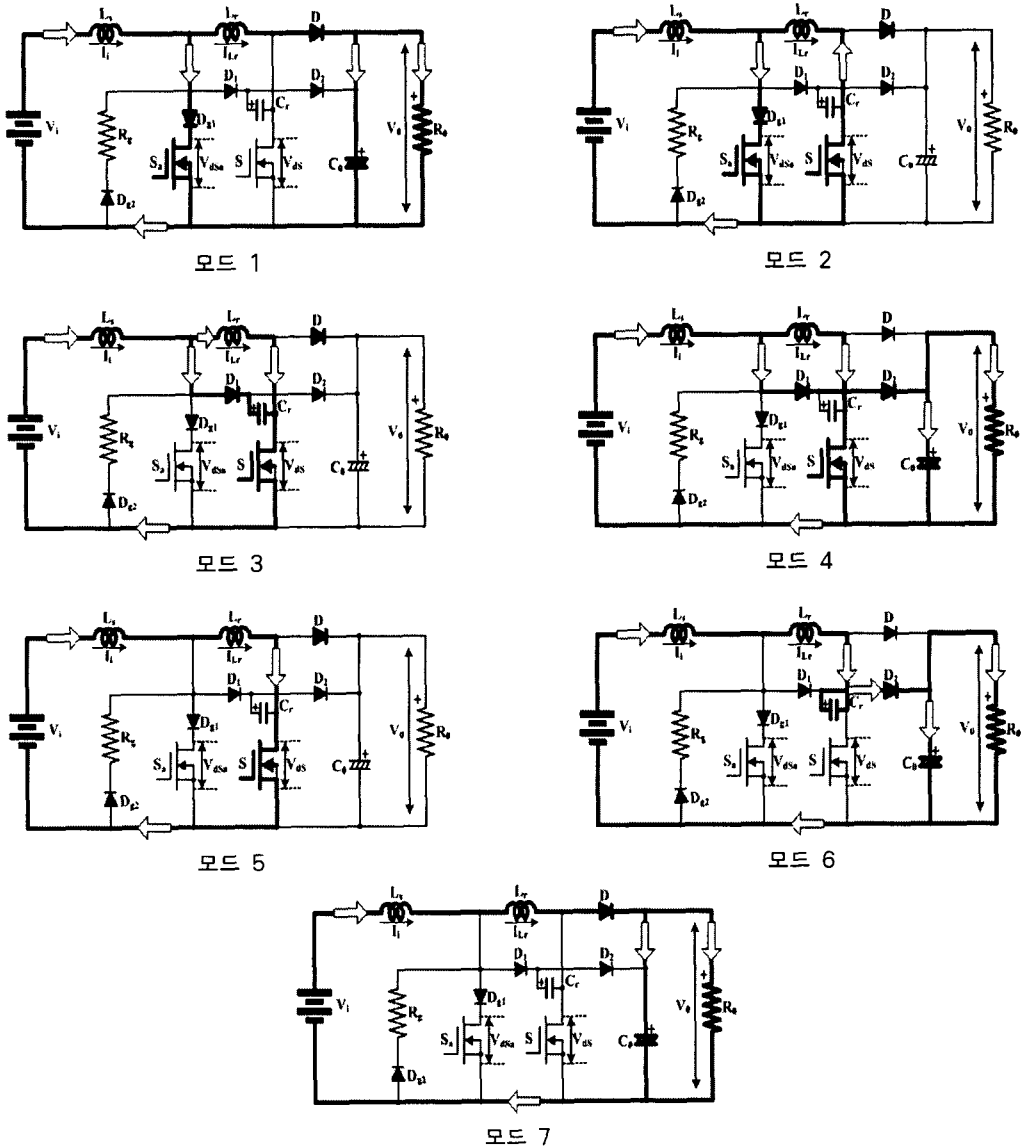


그림 2. 동작 모드
Fig. 2. Operation mode

3. 시뮬레이션 및 실험결과 고찰

향으로 커패시터에 에너지가 충전되며, 스위치S 양단에 걸리는 전압 V_{ds} 는 점차적으로 증가한다. 그리고 커패시터에 걸리는 전압 V_{Cr} 가 0이 되고, 다이오드D는 도통하기 시작하면 모드6은 끝나고 모드7로 이동한다.

모드7은 입력전류가 다이오드D를 통하여 출력전압 V_0 에 흐르는 모드이다. 모드7의 동작은 일반적인 승압용 컨버터와 같으며, 다음 주기를 시작하기 위해 스위치 S_a 는 다시 턴-온 된다.

표 1은 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로 정수를 나타낸 것이다. 시뮬레이션에 사용된 수동 소자는 이상적인 것으로 하였으며, 그 외의 능동 소자는 실제 소자와 가장 가까운 조건으로 모델링하여 사용하였다.

그림 4와 그림 5는 제안한 DC-DC 컨버터의 각부 시뮬레이션 파형과 실험 파형을 나타낸 것이다.

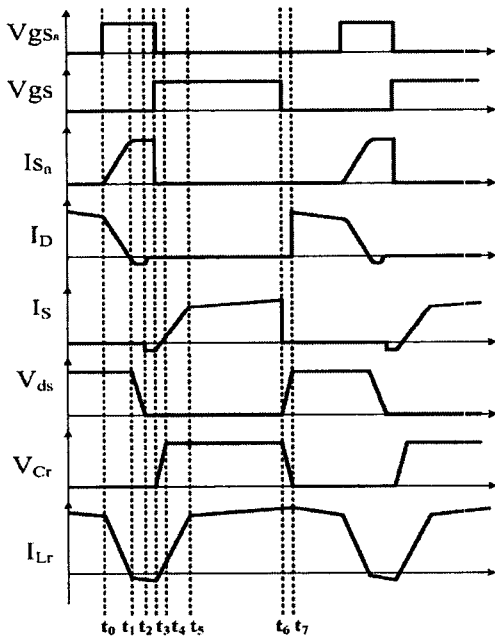


그림 3. 제안한 승압형 DC-DC 컨버터의 동작 파형
Fig. 3. Operation waveform of the proposed boost DC-DC converter

위의 설명에서 알 수 있듯이 스위치에 증가된 전압과 전류는 손실 없이 영전류 또는 영전압으로 동작되어지며, 스너버 커패시터 C_r 과 인덕터 L_r 의 위치는 C_r 의 충전이 인덕터 L_r 에 방전하지 않게 위치하여야 보조 스위치에 발생되어지는 침투전류를 감소시킬 수 있다. 그리고 높은 스위칭 주파수를 고려하여 공진 인덕터를 선택하여야 주 스위치의 턴-오프시의 손실과 주 다이오드의 역회복 전류는 감소시킬 수 있다. 그림 3은 모드별 동작파형을 나타낸 것이다.

표 1. 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수
Table 1. Simulation and Experimental using Parameter

V_i	75~150[V]
L_r	13[μ H]
L_s	0.55[mH]
C_r	2[nf]
C_0	100[μ f]
f_s	150[khz]
P_0	350[W]

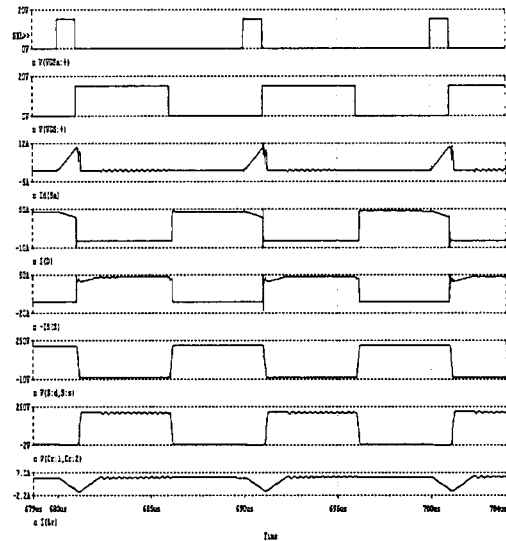
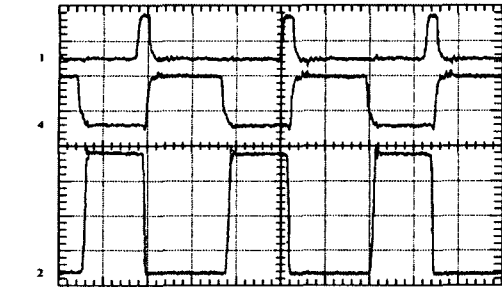
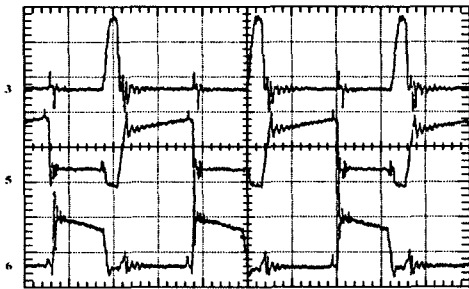


그림 4. 제안한 승압형 DC-DC 컨버터의 시뮬레이션 파형
Fig. 4. Simulation waveform of proposed boost DC-DC converter

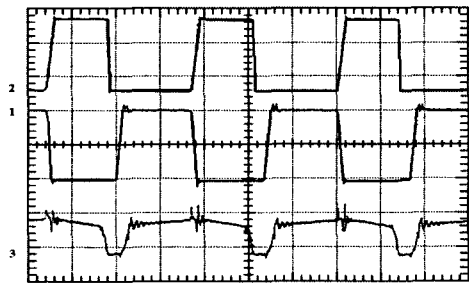
새로운 액티브 스너버를 이용한 소프트 스위칭 PWM 컨버터의 특성분석



(a) CH1(V_{GSa}) : 20(V/div), CH4(V_{GS}) : 20(V/div), CH2(V_{ds}) : 100(V/div)



(b) CH3(I_{Sa}) : 5(A/div), CH5(I_s) : 5(A/div), CH6(I_a) : 5(A/div)



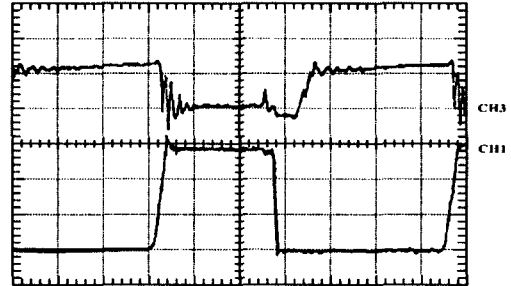
(c) CH2(V_{ds}) : 100(V/div), CH1(V_{cr}) : 100(V/div), CH3(I_L) : 5(A/div)

그림 5. 제안한 승압형 DC-DC 컨버터의 실험 파형
Fig. 5. Experimental waveform of proposed boost DC-DC converter

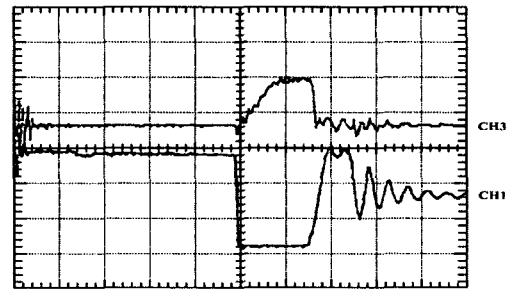
그림 6은 제안한 DC-DC 컨버터의 주 스위치와 보조 스위치의 전압과 전류 파형을 나타낸 것이다. Fig. 6에서 주 스위치는 ZVZCS로 턴-온, ZVS로 턴-오프하며, 동시에 주 다이오드 D는 그림 5(b)에서 알 수 있는 것과 같이 부드럽게 턴-오프된다. 그러므로 스위칭 손실이 저감 되는 것을 확인 할 수 있다.

그림 7은 제안한 소프트 스위칭 승압 컨버터와 하

드 스위칭 승압 컨버터의 효율 특성을 나타낸 것이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 제안한 컨버터의 효율은 정격 부하에서 97[%]을 가지므로 2.5[%]상승된다.



(a) CH1(V_{ds}) : 100(V/div), CH3(I_s) : 5(A/div)



(b) CH1(V_{Sa}) : 100(V/div), CH3(I_{Sa}) : 5(A/div)

그림 6. 주 스위치와 보조 스위치의 전압과 전류 파형
Fig. 6. Voltage and current waveform of main switch and auxiliary

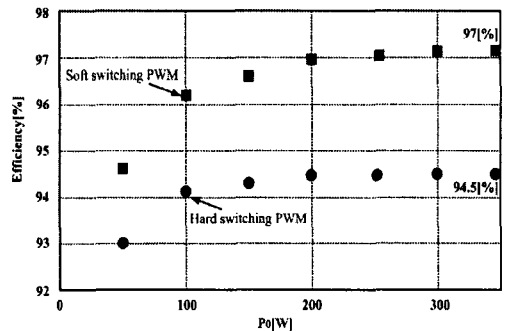


그림 7. 소프트 스위칭 승압 컨버터와 하드 스위칭 승압컨버터의 효율 특성
Fig. 7. Efficiency character of soft switching boost converter and hard switching boost converter

4. 결 론

제안한 액티브 스너버 소프트 스위칭 PWM 컨버터는 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 제안한 DC-DC 컨버터의 주 스위치의 보조 스위치의 턴-온과 턴-오프를 동시에 영전압과 영전류로 정확히 동작함으로써 전부하범위내에서 정류 손실 및 전압과 전류의 스트레스를 감소시킬 수 있었다.

둘째, 기존 DC-DC 컨버터에 다이오드(D₁-D₂-Dg1-Dg2)와 저항(Rg)을 삽입함으로써 스너버 다이오드에서 발생하는 역회복전류를 흡수함으로써 고주파성분을 저감시킬 수 있었다.

셋째, 커패시터C_r와 인덕터L_r의 위치를 조절하게 배렬함으로써 C_r의 충전이 L_r에 방전하지 않게 함으로써 보조스위치에서 발생하는 침투전류를 감소시켰다.

넷째, 커패시터C_r는 주 스위치의 턴-오프 손실을 저감시키며, 인덕터L_r는 주 다이오드D의 역회복 전류를 감소시켰다.

다섯째, 제안한 컨버터가 기존의 컨버터보다 정격 부하에서 약 2.5[%]효율이 상승하였다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축 지원 사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

References

[1] F.C. Lee, "Novel Zero Voltage Transition PWM Converters", Proc. of IEEE PESC '92, pp.55-61, 1992.
 [2] D.C. Martins, J.A. Brilhante, and I. Barbi, "A family of DC to DC PWM converters using a new ZVS commutation cell", Proc. of IEEE PESC '93, pp.524- 530, 1993.

[3] Joel P. Cegner, "Zero Voltage Transition converters using an inductor feedback technique", Proc. of IEEE APEC'94, pp.862-868, 1994.
 [4] Katsunori Taniguchi, "Quasi resonant PWM converter with high quality input waveforms and high efficiency", Proc. of IEEE PESC'94, pp. 1131-1136, 1994.
 [5] L.R. Barbosa, J.B. Vieira Jr, "A family of PWM soft single switched converters with low voltage and current stresses", Proc. of IEEE PESC'97, pp.469-474, 1997.
 [6] K.Y. Suh, S.P. Mun, "액티브 보조 공진 스너버를 이용한 ZVT-PWM AC-DC 컨버터의 실험적 고찰", 조명전기설비학회논문지, Vol.18-2, pp.75-82, 2004.

◇ 저자소개 ◇

조만철 (趙萬哲)

1979년 12월 16일생. 2006년 경남대 전기공학과 졸업. 현재 2007년 동 대학원 전기공학과 석사과정.

문상필 (文相弼)

1975년 2월 9일생. 1997년 부경대 전기공학과 졸업. 1999년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경남대 전기공학과 강의전담교수.

김칠용 (金七龍)

1960년 5월 15일생. 2003년 경남대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 2007년 동 대학원 전기공학과 박사과정.

서기영 (徐基永)

1942년 4월 18일생. 1965년 한양대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경남대 전기공학과 교수.

권순걸 (權純杰)

1951년 10월 19일생. 1973년 영남대 전기공학과 졸업. 1980년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경남대 전기공학과 교수.