

다이나믹 UPS 시스템의 전력품질 외란발생을 위한 전압 Sag-Swell 발생기

邊宇烈[†], 金重元^{**}, 李起守^{***}, 魯義哲[†], 金仁東^{***}, 全泰園^{****}, 金興根[§]

Voltage Sag-Swell Generator for Power Quality Disturbance of Dynamic UPS System

W. Y. Byeon, J. W. Kim, K. S. Lee, E. C. Nho, I. D. Kim, T. W. Chun, and H. G. Kim

요 약

본 논문에서는 새로운 방식의 전압 sag-swell 발생기를 제안하여 UPS(Uninterruptible Power Supply), DVR(Dynamic Voltage Restorer), DSTATCOM(Distribution Static Compensator), SSTS(Solid State Transfer Switch) 등의 전력품질 개선장치들의 성능시험을 하는데 용이하도록 하였다. 제안한 방식에 대하여 단상과 3상의 경우 전압 sag, swell, outage, unbalance 발생원리 및 동작원리를 설명하였으며 시뮬레이션과 실험을 통하여 효용성을 입증하였다. 제안한 방식은 간단한 구조, 높은 신뢰도, 넓은 전압변동발생 범위, 간단한 제어 등의 장점 뿐 아니라 저렴한 비용으로 시스템을 구현할 수 있는 특징이 있으므로, 특히 실험실 레벨에서 효과적으로 경제적인 시스템을 구현하고자 하는 경우에 크게 기여할 것으로 기대한다.

ABSTRACT

This paper describes a new voltage sag-swell generator for the test of custom power devices such as UPS, DVR, DSTATCOM, SSTS, etc. Voltage sag, swell, outage, and unbalance generation mechanism and the operating principle are described for the proposed scheme. The usefulness of the scheme is proved through simulations and experiments. The proposed scheme has good features of simple structure, high reliability, wide range of sag and swell variation, and easy control. Especially, the scheme can provide a cost-effective implementation of a power quality disturbance generator. Therefore, it is expected that the scheme will contribute to the self implementation of the system with low cost in laboratory.

Key words : Voltage sag, swell, outage, unbalance

1. 서 론

전기, 전자, 정보통신 기술의 비약적 발전에 힘입어 현대 사회는 정보화 사회로 진입하여 일반 가정은 물론 전체 사회 및 산업 시스템이 보다 긴밀히 유기적으로 결합되어 다양성과 새로운 가치 창출을 추구하고 있다. 그런데 이러한 정보화 사회의 기본이 되는 정보처리 시스템은 매우 안정된 전원이 공급되지 않으면 신뢰도를 전혀 확보할 수 없다. 즉, 산업용 첨단장비, 의료기기, 컴퓨터, 금융, 사무용기기 등 고도의 디지털 정보처리 시스템을 요하는 기기는 상용전원의 Sag,

[†]교신저자 : 정회원, 부경대 공대 전기제어계측공학부 부교수
E-mail : nhoec@pknu.ac.kr

^{**}정회원, KT부산전산국 시스템운용과 근무

^{***}정회원, 부경대 대학원 전기공학과 졸업예정(석사)

^{****}정회원, 부경대 공대 전기제어계측공학부 부교수

[§]정회원, 울산대 전기전자정보시스템공학부 교수

[§]정회원, 경북대 전자전기공학부 교수

접수일자 : 2004. 12. 31 1차 심사 : 2005. 1. 15

심사완료 : 2005. 1. 24

Swell, 순간정전, 과전압, 저전압, 전압 불평형 등의 전압 변동에 매우 민감하게 반응하여 오동작 또는 동작이 정지되는 결과를 초래할 가능성이 매우 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전력 품질을 개선하기 위한 다양한 방안들이 제시되어 사용되고 있다. 정전 및 전압변동에 대응하기 위해 UPS가 대표적으로 사용되고 있으며, 최근에는 고전압 대전류 전력제어기기인 Custom Power Devices에 대한 관심이 고조되어 DVR, DSTATCOM, SVC(Static Var Compensator), Active Filter, SSTS 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[1].

그런데 이러한 전력품질개선 장치들의 성능을 테스트하기 위해서는 Sag, Swell, 순간정전 등의 전압 변동을 임의로 발생시켜 줄 수 있는 장치가 반드시 필요한데 기존의 장치는 너무 고가이므로 활용하기가 용이하지 않다^[2,3]. 최근 저가이면서 실용적인 TCR (Thyristor Controlled Reactor)을 이용한 방식^[4]이 제안되었으나 과도한 유효전력을 필요로 한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 구조가 간단하며 신뢰도가 매우 높은 새로운 방식의 전압변동 발생장치를 제안하고자 한다. 제안한 방식의 전압변동 발생장치를 차세대 환경친화형 UPS로 각광 받고 있는 플라이휠의 저장에너지를 이용한 다이나믹 UPS 시스템^[5,6]의 성능 테스트에 적용하여 동작원리와 특성해석을 하고자 한다.

2. 제안한 방식의 회로 구성

그림 1과 2는 각각 제안한 방식의 전압 변동 발생기를 단상과 3상에 적용한 경우를 나타낸다. 일정한 전원전압 v_s 로부터 Sag, Swell, Outage의 전압 변동이 있는 부하전압 v_o 를 만들기 위해서 v_s 와 v_o 사이에 직렬로 v_d 를 추가한다. v_d 의 전압은 v_T 에 의해 결정되며 v_T 는 전원전압 v_s 로부터 얻어진다.

$T(T_a - T_c)$ 는 슬라이다스를 의미하며 접점이 I-영역에 있는 경우는 Swell, II-영역에 있는 경우는 Sag를 발생하며 Sag 및 Swell의 크기를 조절하려면 접점의 위치를 바꾸면 된다. 크기를 고정하여 사용하는 경우는 단권 변압기로 사용하면 된다. S_1, S_2, S_{B1}, S_{B2} 는 SCR 사이리스터로 구성되며 Harmonic Distortion이 필요한 경우는 SCR 대신 IGBT나 IGCT 등 온/오프 제어 가능소자를 사용하면 된다.

3. 제안한 회로의 동작원리

3.1 Sag/Swell/Outage 발생원리

그림 1의 단상 발생기와 그림 2의 3상 발생기의 동작 원리는 동일하므로 설명의 편의상 단상 발생기에 대하여 동작원리를 기술한다.

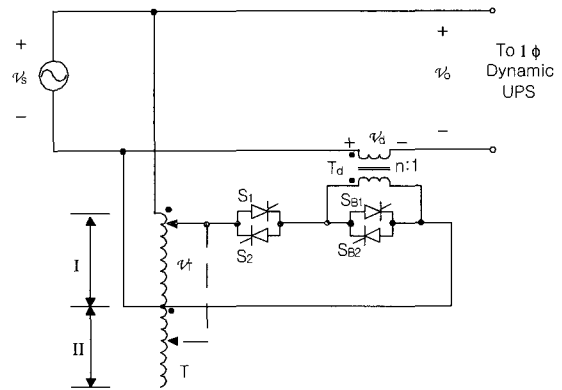


그림 1 단상 전압변동 발생기
Fig. 1 1 ϕ voltage disturbance generator

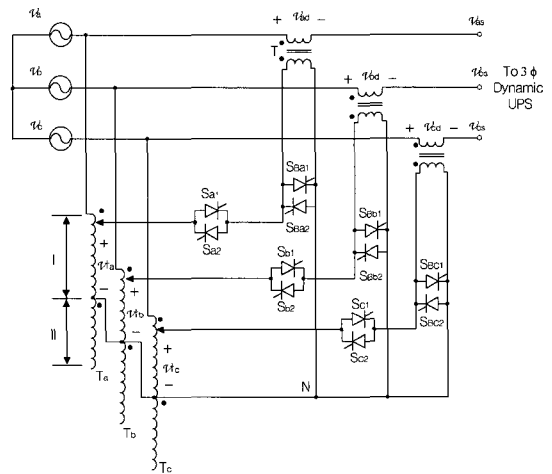


그림 2 3상 전압변동 발생기
Fig. 2 3 ϕ voltage disturbance generator

표 1 전압변동을 위한 각 부분 동작 조건
Table 1 Operating condition voltage disturbance generator

V_o	S_1, S_2	S_{B1}, S_{B2}	T접점
정상	OFF	ON	-
Sag	ON	OFF	II-구간상단
Swell	ON	OFF	I-구간
Outage	ON	OFF	II-구간하단

그림 1에서 v_s, v_o, v_d 의 관계는

$$v_o = v_s + v_d \quad (1)$$

이며, 여기서

$$v_d = v_T/n \quad (2)$$

$$v_T = v_s/n_T \quad (3)$$

이다. 여기서 n_T 는 슬라이더스 T 의 변압비이다.

따라서 Sag를 발생시키려면 v_o 보다 작아지도록 해야하며, 이를 위해서는 v_d 가 마이너스(-)로 출력되어야 한다. S_{B1} 과 S_{B2} 가 온되어 있으면 T_d 의 1차와 2차는 단락상태이므로 v_d 는 영이 되어 정상상태를 유지한다. 이때 S_{B1} 과 S_{B2} 를 턴오프하면서 S_1 과 S_2 를 턴온하면 T_d 의 1차측에는 슬라이더스 2차측 전압 v_T 가 인가된다. v_d 의 극성이 마이너스가 되기 위해서는 v_T 는 T 의 II-구간에서 얻어져야 한다. 이때

$$v_o = v_s(1 - 1/n \cdot n_T) \quad (4)$$

이 되며 Sag의 정도는 T 와 T_d 의 변압비로 결정된다. 슬라이더스의 구조상 I, II 구간내의 임의의 지점에서 v_T 를 용이하게 얻을 수 있으며, 전압 Sag 정도도 접점 위치에 따라 임의로 설정 가능하므로 0~100% 전 범위에 걸쳐 광범위한 Sag를 얻을 수 있다. 접점이 T 의 하단부로 내려올수록 Sag의 정도는 증가하여 100%가 되면

$$v_d = -v_s \quad (5)$$

가 되어 식 (1)에서

$$v_o = 0 \quad (6)$$

이 되므로 Outage 즉, 정전상태를 발생하게 된다. T 의 접점을 I-구간에 두면 식 (1)~(3) 으로부터

$$v_o = v_s(1 + 1/n \cdot n_T) \quad (7)$$

이 되어 Swell 이 발생하며 Swell의 정도는 n_T 로 조

절한다.

3.2 Unbalance 발생원리

그림 2에서 v_{as}, v_{bs}, v_{cs} 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_{as} = v_a(1 - 1/n \cdot n_{Ta}) \quad (8)$$

$$v_{bs} = v_b(1 - 1/n \cdot n_{Tb}) \quad (9)$$

$$v_{cs} = v_c(1 - 1/n \cdot n_{Tc}) \quad (10)$$

여기서, n_{Ta}, n_{Tb}, n_{Tc} 는 각각 슬라이더스 T_a, T_b, T_c 의 변압비를 의미하며 접점위치에 의해 결정된다.

n_{Ta}, n_{Tb}, n_{Tc} 는 서로 동일한 값을 취할 수도 있고 상이하게도 할 수 있으므로 v_{as}, v_{bs}, v_{cs} 의 전압 불평형은 각 슬라이더스의 접점 위치만 상이하게 설정함으로써 간단히 얻을 수 있다. 또한 전압 불평형 정도도 용이하게 조절할 수 있다.

3.3 Harmonic distortion, notches 발생원리

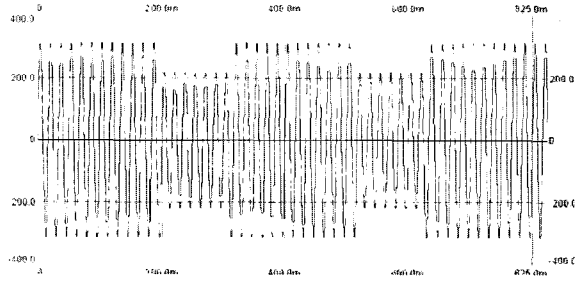
그림 1과 2의 SCR 사이리스터를 IGBT 또는 IGCT 등의 온·오프 제어가능 소자로 바꾸면 임의의 시점에서 특정 구간 동안 온·오프가 가능하므로 notches를 간단히 발생시킬 수 있으며 또한 원하는 양의 harmonic distortion 발생도 가능하다.

4. 시뮬레이션 결과

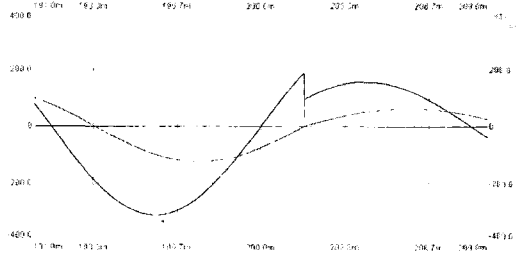
전압 sag, swell, outage는 각 상이 동일하므로 우선 단상에 대해 시뮬레이션 한다. 시뮬레이션 조건은 다음과 같다. $v_s = 220 \text{ V}$, $n = 1$, 출력 = 3 kVA. 그림 3은 30% Sag가 발생하는 경우의 출력전압과 출력전류를 나타낸다.

그림 4는 역률 0.8일 때 Outage가 발생하는 것을 나타낸다. 직렬변압기에 인가되는 전압의 크기가 전원전압과 동일하고 위상이 정반대가 되도록 함으로써 서로 상쇄되어 출력은 정확히 0이 됨을 알 수 있다.

그림 5는 50% Swell 이 발생하는 것을 나타낸다. 그림 6은 3상 전압불평형이 발생하는 것을 나타내는데 a상 전압은 전원전압을 그대로 출력하고, b상과 c상은 각각 전원전압의 80%, 50%를 출력하는 경우이다.



(a) 출력전압
(a) Output voltage



(b) 출력전압과 전류
(b) Output voltage and current

그림 3 30% Sag 발생시 출력전압과 전류 (PF = 0.8)
Fig. 3 Output voltage and current at 30% sag

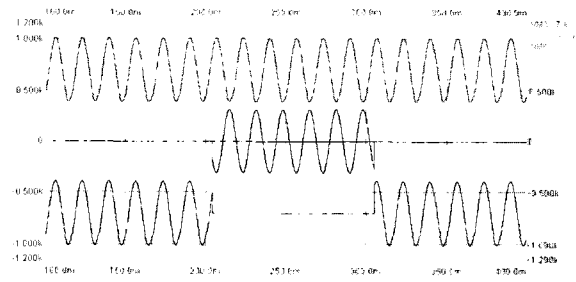


그림 4 Outage 발생시 전원전압 (위), 직렬변압기 전압 (중간), 출력전압 (아래)

Fig. 4 Source voltage(top), series transformer voltage(middle), output voltage(bottom)

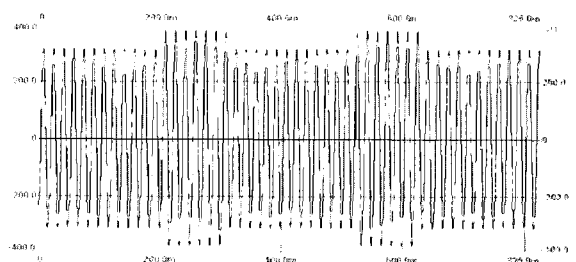


그림 5 50% Swell 발생시 출력전압
Fig. 5 Output voltage at 50% swell

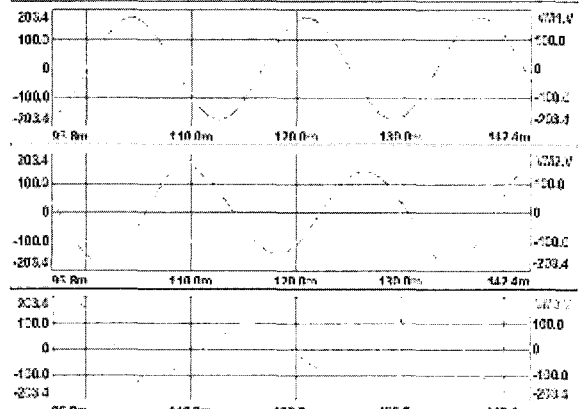


그림 6 전압불평형 발생시 출력전압 : (위) Vas=100%, (중간) Vbs=80%, (아래) Vcs=50%

Fig. 6 Output voltage at voltage Unbalance: (top) Vas=100%, (middle) Vbs=80%, (bottom) Vcs=50%

5. 실험 결과

시뮬레이션에서와 유사한 조건으로 실험을 한 결과는 다음과 같다. 그림 7은 30% sag가 발생하는 경우의 전원전압과 출력전압을 나타내고, 그림 8은 정상상태에서 sag로 변환이 이루어지는 과정에서의 출력전압, 직렬변압기 전압, 출력전류를 나타낸다. 그림 9는 2회 연속하여 outage가 발생할 경우의 전원전압과 출력전압을 나타내는데 거의 완벽하게 outage가 발생되고 있음을 알 수 있다. 그림 10은 30% swell이 발생한 경우의 출력전압과 직렬변압기 전압 및 출력전류를 나타낸다. 그림 11은 3상에서 각 상의 출력전압을 전원전압의 50%, 30%, 60%로 설정하여 전압 불평형이 되도록 한 경우를 나타낸다.

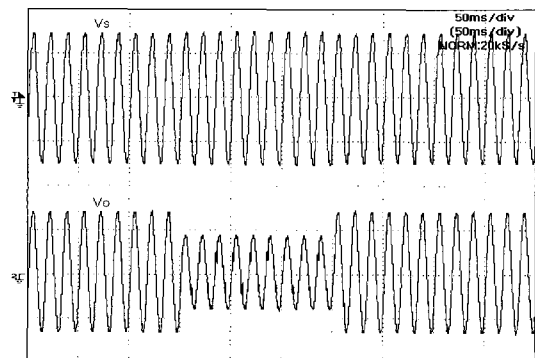


그림 7 30% sag 발생시 전원전압과 출력전압 (200V/div)
Fig. 7 Source voltage and output voltage at 30% sag (200V/div)

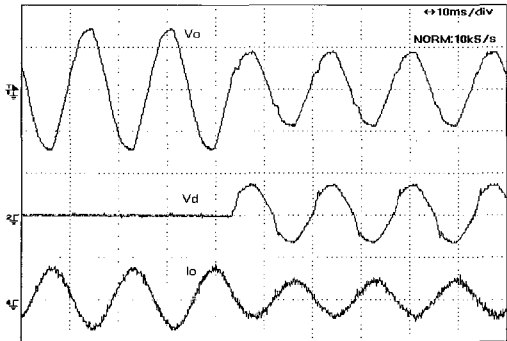


그림 8 30% sag 발생시 출력전압, 직렬변압기 전압, 출력전류 (200V/div, 20A/div)
 Fig. 8 Output voltage, series transformer voltage, output current (200V/div, 20A/div)

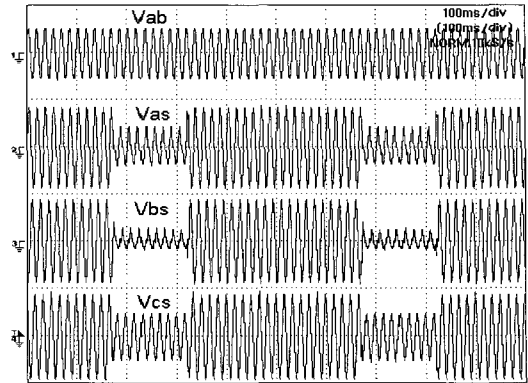


그림 11 3상 전압불평형 발생시 전원 선간전압 (500V/div), a-c상 출력전압 (200V/div)
 Fig. 11 Source line-to-line voltage (500V/div), output voltage Va-c (200V/div) at 3Φ voltage unbalance

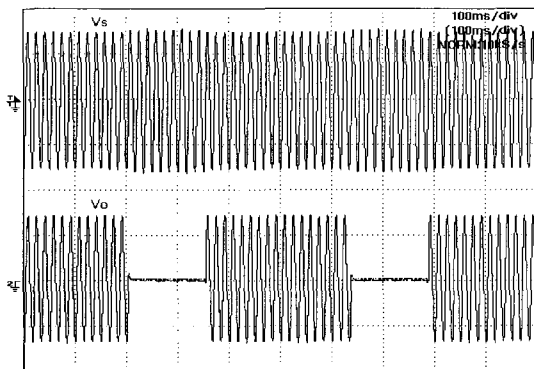


그림 9 Outage 발생시 전원전압과 출력전압 (200V/div)
 Fig. 9 Source voltage and output voltage at outage (200V/div)

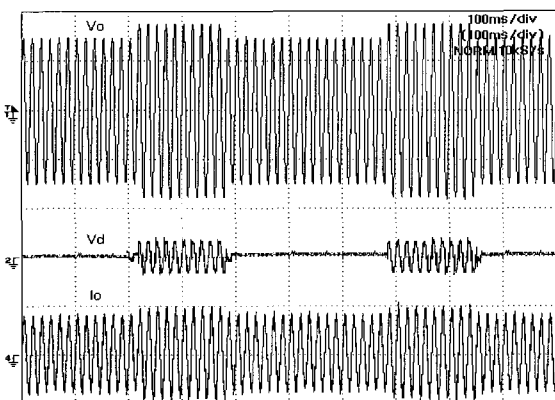


그림 10 30% swell 발생시 출력전압, 직렬변압기 전압, 출력전류 (200V/div, 20A/div)
 Fig. 10 Output voltage, series transformer voltage, output current (200V/div, 20A/div)

6. 결 론

본 논문에서는 전력품질 개선을 위한 UPS, DVR, DSTATCOM, SSTS 등의 Custom Devices의 성능 테스트를 위한 새로운 방식의 전압변동 발생장치를 제안하였다.

제안한 방식에 대한 시뮬레이션 및 실험 결과 광범위한 전압변동 발생이 가능하였으며 부하 역률에 무관하게 안정된 동작이 이루어짐을 확인하였다. 기존의 방식에 비하여 구성이 매우 간단하므로 신뢰도가 높고 제작비용이 저렴하여 중·소용량은 물론 대용량 Custom Devices에도 효과적으로 적용 가능할 것으로 기대한다. 특히 실험실 레벨에서 저비용으로 전력품질 외란을 발생시키고자 하는 시스템 구현에 크게 기여할 것으로 기대된다. 제안한 방식이 갖는 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 구조가 매우 간단하여 효율이 높고 소형 경량화가 가능하다.
- 슬라이닥스와 SCR 사이리스터를 사용함으로 경제적이고 신뢰도가 높다.
- Sag와 Swell의 크기를 임의로 바꿀 수 있다.
- 전압 변동 범위가 매우 넓다. (0 ~ 100%)
- Outage, 저전압, 과전압 발생도 가능하다.
- 스위치를 SCR 사이리스터 대신 IGBT나 IGCT등의 온·오프 제어가능 소자를 사용하면 harmonic distortion과 notches 발생도 가능하다.
- 제어가 간단하다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전
력연구원 주관으로 수행된 과제 (R-2002-B-043)임.

참 고 문 헌

- [1] 최재호, "전력품질 장애와 대책," *전력전자학회지* 5권 1호 2000, pp. 13~18.
- [2] Power Standards Lab. "Industrial Power Corruptors -standard power quality disturbance generators." 2003.
- [3] Elgar electronics Co., "Smartwave Switching amplifier operation manual." 2002
- [4] Y.H.Chung, G.H.Kwon, T.B.Park, and G.Y.Lim, "Voltage Sag and Swell generator with thyristor controlled rectifier," *IEEE Power Con 2002*, Vol. 3, 2002, pp. 1933~1937.
- [5] R.S.Weissbash, G.G.Karady, and P.G.Farmer, "A combined uninterruptible power supply and dynamic voltage compensator using a flywheel energy storage system," *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 16, No. 2, April 2001, pp. 265~270.
- [6] R.G.Lawrence, K.L.Craven, and G.D.Nichols, "Flywheel UPS," *IEEE IA Magazine*, May/June, 2003, pp. 44~50.

저 자 소 개



변우열(邊宇烈)

1955년 5월 10일생. 1987년 동아대 전기공학과 졸업. 1997년 부경대 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1982년 1월~현재 KT부산 전산국 시스템운용과 근무.



김중원(金重元)

1977년 3월 25일생. 2002년 부경대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업예정(석사).



이기수(李起守)

1977년 1월 14일생. 2003년 부경대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업예정(석사).



노의철(魯義哲)

1960년 8월 2일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공학박). 1997년~1998년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 1995년~현재 부경대 공대 전기제어계측공학부 부교수.



김인동(金仁東)

1960년 8월 27일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공학박). 1991년~1996년 대우중공업 철도차량연구소 책임연구원. 1997년~1998년 미국 Univ. of Tennessee 방문교수. 1996년~현재 부경대 공대 전기제어계측공학부 부교수.



전태원(全泰園)

1959년 1월 30일생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 울산대 전기전자정보시스템공학부 교수.



김흥근(金興根)

1956년 4월 24일생. 1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1990년~1991년 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 방문교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수.