

Chopper 방식을 이용한 형광등의 집단조광제어 시스템 개발

論 文

56-9-11

Dimming Control System for Multi-Fluorescent Lamp Using Chopper Technique

全 曠 煥[†] · 林 秉 魯^{*} · 朴 鐘 演^{**}

(Kyoung-Jun Jeon·Byoung-Noh Lim·Chong-Yeun Park)

Abstract - This paper proposed the voltage compulsion method that used chopper for light dimming control of fluorescent lamp. During the dimming period, electronic ballasts have the bad characteristics such as low power factor, high THD(Total Harmonic Distortion) and etc. The proposed dimmer improves power factor, THD of electronic ballast and has benefit such as low cost, simple build up.

Key Words : 조광기, Chopper, Dimming, 집단조광제어시스템

1. 서 론

사회의 발전에 따라서 Home Automation 및 Intelligent Building화에 대응하는 쾌적한 조명환경에 대한 관심이 높아지고 있으며, 조명에너지의 절전 및 전력품질에도 관심이 높아지는 추세이다. 이러한 이유로 조명용 전력의 절전과 인테리어 측면에서 조광제어의 필요성이 높아지고 있다. 기존의 형광등 조광제어는 전자식 안정기 자체에 조광제어 기능을 포함하고 있으며, 그 방법으로 인버터부의 구동주파수를 변화시키는 방법과 DC_Link 전압을 가변하는 방법을 사용 중이다.[1][2][3] 그러므로 기존 시스템에 조광제어를 할 경우에는 전용 안정기로 전량 교체해야 하는 번거로움 단점이 있다. 이에 기존에 설치되어 있는 형광등용 전자식 안정기의 교체를 하지 않고, 간편한 설치가 요구되는 조광제어의 개발이 요구되는 실정이다. 또한, 기존의 Triac 소자를 이용한 전압위상제어방식은 조광제어 시 안정기의 역률 및 THD(Total Harmonic Distortion)가 나빠지는 단점을 가지고 있다.[4][5] AC Chopper를 이용한 방식은 고 역률 및 저 THD를 구현할 수 있지만, 용량에 따른 크기가 커지는 단점이 있다. 또한, 4개의 스위칭소자를 사용하므로 가격이 올라가는 단점과 소비되는 전력도 매우 큰 단점을 가지고 있다.[6]

현재 시판되는 전자식 안정기의 대부분이 수동역률보상회로를 사용하고 있으며, 본 논문에서는 제안한 방식은 입력전압의 맥류상태에서 Chopping 방식을 이용한 전압강압방식을 이용하였으며, 전자식 안정기의 입력전압의 크기만을 가감하기 때문에 능동역률 보상방식에는 적합하지 않다. 수동

역률보상회로를 적용한 안정기를 대상으로 하여 집단조광제어시스템을 구현하였다. 기존 조광제어시스템의 단점인 설치상의 문제점과 조광제어시의 안정기의 역률 및 THD가 나빠지는 문제점을 해결하는 구조를 제안하였으며, 실제 회로를 제작하여 IEC 61000-3-2의 기준에 적합하고 기존의 문제점을 해결되었는지 실험을 통하여 증명하였다.

2. 제안한 조광제어 시스템

2.1 조광제어 시스템의 원리

제안한 조광제어 시스템의 블록다이어그램은 그림 1과 같으며, 조광제어를 위해서 Chopper를 이용한 전압강압방식을 사용하였다. 형광등의 집단조광제어를 실현하기 위해서 병렬로 전자식 안정기를 연결하였으며, Chopper를 이용한 전압강압방식은 스위칭 Duty에 변화에 의해서 부하에 공급되는 전압의 크기를 제어하였다. 스위치의 제어신호는 마이크로컨트롤러의 PWM 출력에 의해서 제어가 된다.

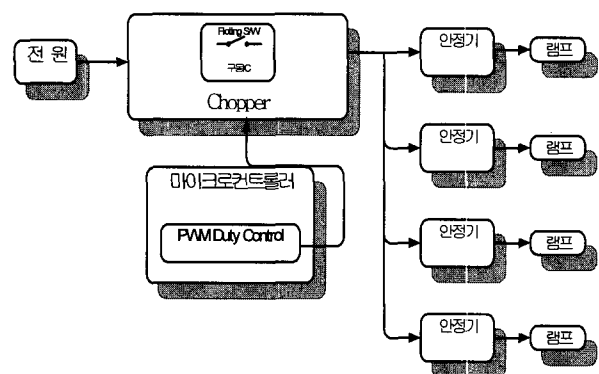


그림 1 시스템의 블록다이어그램
Fig. 1 The block diagram of system

† 교신저자, 正 會 員 : 江原大學 電氣·電子工學科 碩士
E-mail : fortunate01@hanmail.net

* 學生會員 : 江原大學 電氣·電子工學科 碩士課程

** 正 會 員 : 江原大學 IT특성화대학 教授·工博

接受日字 : 2007年 5月 7日

最終完了 : 2007年 7月 23日

2.2 Chopper를 이용한 전압강압방식의 원리

본 논문에서 제안한 조광제어 시스템은 Chopper를 이용한 전압강압방식을 이용하였으며, 그림 2와 같이 동작 할 수 있다. 여기서 L_1 , C_1 , C_2 의 ESR(Equivalent series resistance)는 무시하였다. 스위치 M1은 40kHz로 구동하며, Duty의 변화에 따라서 부하에 공급되는 전압을 가변하는 방식을 사용하였다.

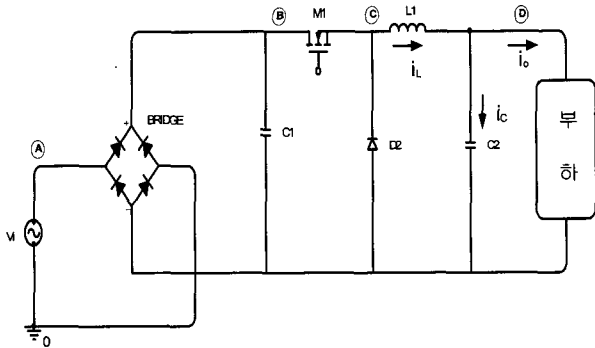


그림 2 Chopper의 동작 회로도
Fig 2. The equivalent circuit of Chopper

기존의 전압 강압형 컨버터의 경우는 DC 전압의 크기를 가변 하였으나, 고안된 방법은 전파 정류된 전압의 기본주파수 성분인 120Hz의 리플 성분만을 사용하며, 스위칭 주파수인 40kHz의 파형을 제거하는 필터를 사용하였다. 논문에서 사용된 방식은 스위치의 Duty를 조절함으로써 부하에 공급하는 전압의 크기를 제어하게 된다. 그림 3은 그림 2의 각부의 동작 파형을 나타내었다.

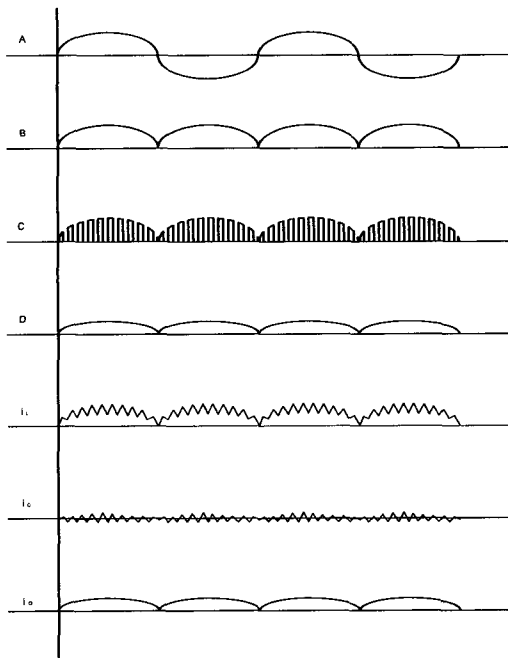


그림 3 Chopper의 동작 파형
Fig 3 The waveform of Chopper

그림 3의 A는 입력 전압의 파형이며, B의 파형은 전파 정류된 전압파형이다. C의 파형은 Chopper를 이용한 전압강압방식의 스위칭 동작에 의해서 발생된 파형이며, 스위칭 동작에 의해서 인덕터에 흐르는 전류의 파형은 i_L 과 같으며, 주파수 분석결과 120Hz에 기본주파수 성분과 스위칭 주파수인 40kHz성분을 볼 수 있다. 커패시터로 흐르는 전류 i_C 의 파형은 40kHz 성분에 대해서 흐르게 된다. 부하로 흐르는 전류 i_o 은 40kHz 성분이 제거된 120Hz성분만이 흐르게 된다. 여기서 부하를 저항 성분으로 가정할 경우 출력전압의 파형은 D와 같게 된다.

2.3 집단조광제어 부하의 모델링

집단 조광제어 부하는 전자식안정기(PL-55W 5등/PF = 0.98이상/전류 THD = 17%)를 설정하였으며, 입력전원은 220V를 사용하였으며, 그림 4와 같은 입력 전압 및 전류 파형을 갖으며, 측정된 역률과 THD에 의해서 모델링 시 저항성 부하로 가정하였다.

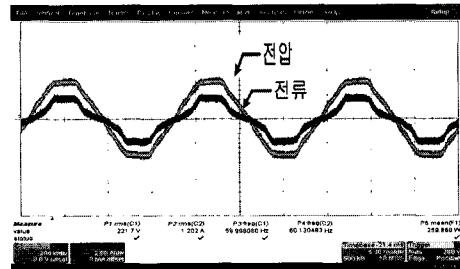


그림 4 부하의 입력 전압/전류 파형
Fig. 4 Input voltage and current waveform for load(200V/div, 2A/div)

부하의 등가저항은 전력의 함수로 식(1)과 같이 구할 수 있다. 정상상태에서의 램프의 전력을 가변하면서 램프의 전압을 얻어 전력에 대한 등가저항을 구하였다.[7] 실험을 통해 램프의 광 출력 상태가 안정적인 상태까지 얻어진 램프의 등가저항은 그림 5와 같다.

$$R(p) = \frac{v^2(p)}{p} \tag{1}$$

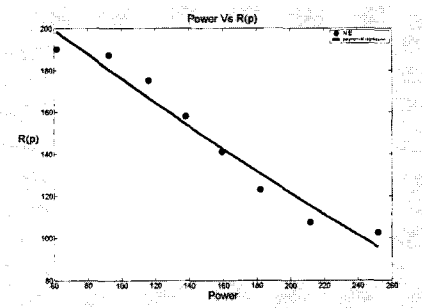


그림 5 전력에 대한 부하 저항
Fig. 5 Power Vs Load Resistance

그림 5에서 램프의 입력 전력이 감소할수록 램프의 등가 저항이 증가하는 것을 알 수 있으며, 등가저항 $R(p)$ 은 그림 5로부터 회귀분석에 의한 다항식으로 식(2)과 같이 얻었다.

$$R(p) = 0.0003p^2 - 0.648p + 237.269 \quad (2)$$

3. 필터 설계 방법

Chopper를 이용한 전압강압방식의 필터설계방법은 인덕터의 설계와 커패시터 설계방법으로 나뉘어서 설명할 수 있다. 즉, 인덕터의 설계를 하기 위해서는 인덕터에 흐르는 전류의 파형에 의해서 설계가 가능하며, 그림 6은 인덕터에 흐르는 전류의 파형이다. 스위치 M1이 on하면 DT 구간 동안 전류가 증가하게 된다. 또한, 스위치가 M1이 off하게 되면 (1-D)구간 동안 전류는 감소하게 된다.

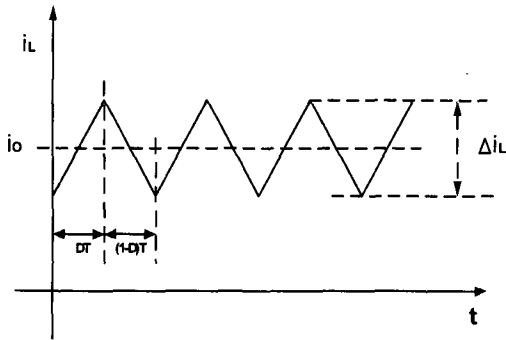


그림 6 인덕터의 전류 파형
Fig 6 The current waveform of the inductor

스위치가 off구간(DT < t < T)에서 Δi_L 는 식(3)과 같이 흐르며,

$$\Delta i_L = \frac{V_o}{L_1}(1-D)T \quad (3)$$

식(3)로부터 L_1 값을 구할 수 있다.

$$L_1 = \frac{V_o(1-D)T}{\Delta i_L} \quad (4)$$

Chopper를 이용한 전압강압방식은 설계 시 그림 7에서처럼 연속과 불연속 모드의 경계를 최소전압으로 설정해야 한다. 최소전압은 그림 5에 의해서 80V로 설정하였으며, 이때의 Duty는 0.35로 결정하였다. 그림 7은 최소전압인 상태의 인덕터 전류 i_L 이 연속과 불연속의 경계에서 파형이며, i_o 는 출력전류의 평균전류이며, 출력전류 i_{omin} 은 최소값을 의미한다.

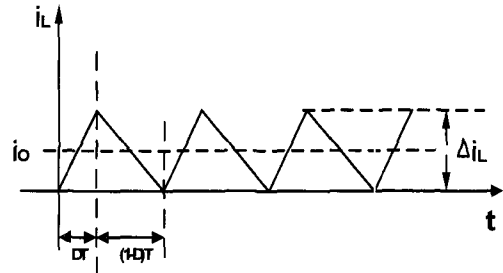


그림 7 연속 및 불연속 모드의 경계에서 인덕터 전류
Fig 7 The current waveform of the inductor of the critical mode

그림 8의 i_L 의 파형에서 ΔQ 는 출력 커패시터 C_2 에 충전되는 전하량을 표시하였다. 그림 7의 전류의 파형은 주기적인 파형이며, 푸리에 급수의 의해서 DC 성분과 AC 성분으로 볼 수 있다. DC 성분은 출력 전류인 i_o 가 되며, AC 성분은 출력 커패시터에 충전량인 ΔQ 가 된다. 여기서 i_o 는 식(5)과 같이 표현할 수 있다.

$$i_o = \Delta i_L / 2 = i_{omin} \quad (5)$$

최소 전력은 Duty 0.35일 때로 설정하였고, i_{omin} 의 값은 식(1)과 식(2)에 의해서 구할 수 있다. ΔQ 의 면적은 식(6)로부터 식(6)을 구할 수 있다.

$$\Delta Q = \frac{\Delta i_L}{8} T \quad (6)$$

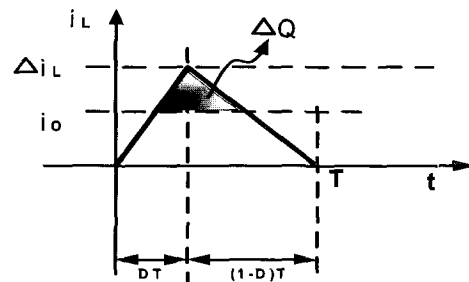


그림 8 커패시터에 충전되는 전하
Fig 8 Electric charge in capacitor

식(6)의 관계에서 출력전압은 리플 Δv_o 을 구하면 식(7)과 같다.

$$\Delta v_o = \frac{\Delta Q}{C_2} = \frac{V_o(1-D)}{8L_1C_2} T^2 \quad (7)$$

식(7)로부터 커패시터의 값을 구하면 식(8)과 같다.

$$C_2 = \frac{V_o(1-D)T^2}{8L_1\Delta v_o} \quad (8)$$

본 연구에서 스위칭 주파수를 40kHz로 하였으므로 $T = 25\mu s$ 가 된다. 또한, 부하의 용량은 275W(PL55W 5등/PF = 0.98)로 설정하였으며, i_{omin} 의 최소전류는 0.1A로 설정을 하고 식(4)로부터 인덕턴스를 구하면 $L_1=14mH$ 이며, 출력 전압의 리플 성분인 Δv_o 을 8V로 설정을 하고 식(7)로부터 커패시터의 값은 $C_2 \cong 0.039\mu F$ 것을 알 수 있다. 표 1은 그림 2의 소자 값을 정리하였다.

표 1 Chopper의 소자 값

Table 1 The element values of Chopper

구동 주파수	40KHz
C_1	0.1 μ F
C_2	0.039 μ F
L_1	14mH

4. 실험 및 결과 검토

집단 조광제어 시스템의 부하는 275W(PL-55W 5등)를 사용하였으며, 조광제어를 하기위해서 마이크로컨트롤러를 사용하여 외부제어신호로부터 PWM Duty를 변화시키도록 설계하였다. PWM의 스위칭 주파수는 40kHz를 사용하였으며, Duty의 최소값은 0.35으로 제한하였다. 또한, 입출력 필터는 설계 식에 의해서 L_1 값은 15mH로 설정하였으며, C_2 값은 0.033 μ F으로 설정하였다. 스위치 소자는 MosFET IRFP460을 사용하였다.

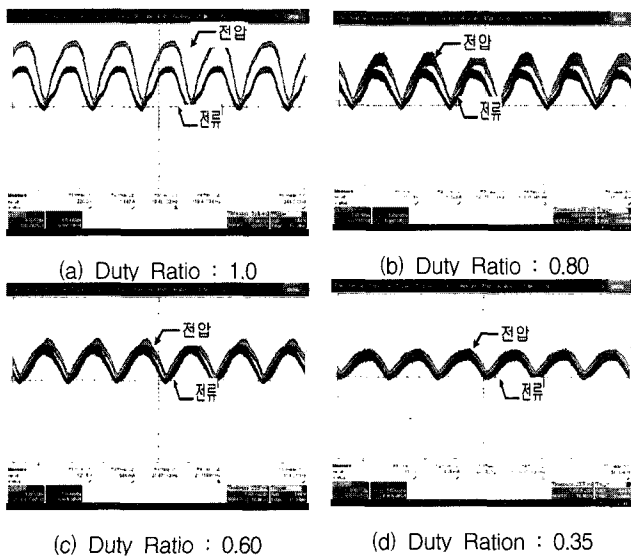


그림 9. 조광제어시의 Chopper에 출력 전압/전류파형 (100v/div, 1A/div)

Fig. 9 The Dimming of output voltage and current waveform for Chopper (100v/div, 1A/div)

제안한 회로의 Duty 비의 의해서 총 8단계로 구분하여 측정 한 하였으며, 출력 전압의 변화에 따른 역률 및 THD의 변화가 없는지를 측정하였다. AC입력에 대해서 전파정류 후

맥류에 대해서 Chopping을 하게 되며 L_1, C_2 에 의해서 스위칭 주파수는 필터링 하게 되며, 120Hz의 맥류 파형을 만들게 된다. 그림 9는 Duty 변화에 따른 전압/전류의 파형이며, 여기서 전압과 전류의 위상차가 동상인 것을 알 수 있다. 파형에서 보듯이 전류의 왜곡현상도 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 또한, Duty의 변화에 대해서 전압 값의 크기가 감소하는 것을 알 수 있으며, 식(2)에서 램프의 등가모델링에 의한 전력에 따른 저항값은 전류의 감소를 나타내며, 실제 측정된 전류가 감소하는 것을 알 수 있다.

제안한 시스템의 전류고조파의 범위는 IEC 61000-3-2에 의해서 조건이 만족하도록 설계해야한다. 또한, 기존의 전자식 안정기의 입력 전압을 가변하여도 국내 전자식 안정기 기준인 KS C IEC 60929의 조건에 만족해야한다. 제안된 시스템의 Duty 비에 따른 상용전원의 역률 및 THD 측정은 전력분석기(XITRON 2551)를 사용하였으며, 측정된 데이터는 표2에 정리하였다.

제안된 시스템의 입력전압의 값과 전류의 변화량을 보여 주고 있으며, 제안된 시스템은 실험에 의해서 역률은 0.97이상을 유지하였으며, THD도 고조파 함유율이 20%이하를 유지하는 것을 알 수가 있다. 그리고 IEC 61000-3-2를 만족하는 것을 알 수 있다.

표 2 제안한 조광제어 시스템의 조광제어 단계에 따른 특성

Table 2 Shows the experimental result of the developed dimming control system.

Duty Ratio (Level)	입력 전압 (Vrms)	입력 전류 (Irms)	Chopper 전압값 (Vrms)	소비 전력 (W)	역률	전류 THD (%)
1	220	1.20	220	264	0.98	16
0.9	220	1.00	200	229	0.98	15
0.8	220	0.93	180	203	0.98	14
0.7	220	0.82	160	177	0.98	13
0.6	220	0.70	140	151	0.98	13
0.5	220	0.61	120	133	0.97	13
0.45	220	0.38	100	92	0.97	13
0.35	220	0.28	80	62	0.97	13

그림 10은 실험에 의해 구해진 Duty 변화에 따른 전력을 그래프로 표현하였으며, 전력의 변화가 선형적으로 변화하는 것을 알 수 있으며, 그림 5의 부하에 대한 모델링이 타당함을 보여주고 있다.

본 논문에서 제안된 방법에 의해 구현된 집단 조광제어 시스템은 기존의 방식에 의한 조도조절 방법보다 고 역률 및 저 THD를 실현하였다.[6] 또한, AC Chopper 방식보다 스위칭 소자의 개수도 줄일 수 있으므로 조광제어기의 제작 시의 단가 및 소비되는 전력도 줄어드는 것을 알 수 있다.

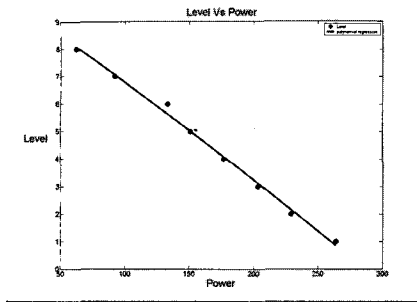


그림 10 Duty Ratio(Level) Vs 전력
Fig 10. Duty Ratio(Level) Vs Power

5. 결 론

본 논문은 Chopper를 이용한 전압강압방식을 이용하여 집단 조광제어 시스템의 구현하였으며, 일반적으로 조광제어 시 역률 및 THD가 나빠지는 특징을 가지고 있다. 그러나 제안된 회로는 실험을 통해 IEC 61000-3-2의 조건을 만족하며, 역률 0.97% 이상을 실현하였으며, THD는 20% 이하로 구현하였다. 또한, 주파수 가변방식으로 집단 조광제어 시스템을 구성할 경우 전용 전자식 안정기를 사용해야 하는 단점을 가지고 있으며, 소비자는 많은 비용을 부담해야 한다. 그러나 제안된 회로는 기존 전자식 안정기에 적용이 가능하며, 간단한 설치방법 및 저가로 집단 조광제어 시스템을 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 제안된 방법의 단점은 능동 역률보상방식을 사용한 전자식 안정기에서는 조광제어가 되지 않는 단점을 가지고 있으며, 모든 전자식 안정기와의 호환성을 가지기 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Chin S. Moo, Ying C. Chuang, Yung H. Huang, Horn N. Chen, "Modeling of Fluorescent Lamps for Dimmable Electronic Ballast", in Proc. 1996 IEEE Ind. Applicat. Soc. IAS Annu. Meeting, pp. 2231-2236.

[2] C. Moo, H. Cheng, T. Lin, and H. Yen, "Designing a dimmable with voltage control for fluorescent lamp", in Proc. IEEE Int Symp. Ind. Electron, 1999, pp. 786-791.

[3] Y. K. Eric Ho, Stephen T. S. Lee, Henry Shu-Hung Chung, and S. Y. (Ron) Hui, "A Comparative Study on Dimming Control Methods for Electronic Ballast", IEEE Transaction on Power Electronics, Nov. 2001, Vol. 16, No. 6, pp. 828-836.

[4] G. Choe, A. K. Wallace, M. H. Park, "An Improved PWM Technique for AC Choppers", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 4, October 1989.

[5] H. Bodur, A. F. Bakan, M. H. Sarul, S. Pravadtptglu "Analyse of Current Controlled PWM Technique in

AC Choppers and Realization of an Application Circuit", Elektik Muh. 6. Ulusal Kong, Bursa, TURKEY, 1995.

[6] 정동열, 박종연, "AC Chopper를 이용한 다등용 조광제어 시스템에 관한 연구", 대한전기학회 논문집, Vol. 52B, No. 4, pp180-182, 4. 2003

[7] Fabio Toshiaki Wakabayashi, Carlos Alberto Canesin, "An Improved Design Procedure for LCC Resonant Filter of Dimmable Electronic Ballasts for Fluorescent Lamps, Based on Lamp Model, IEEE Transac., on Power Electronics, vol. 20, No. 5, pp.1186-1196, Sep. 2005

저 자 소 개



전 경 준 (全 暻 竣)

1976년 01월20일생. 2001년 강원대학교 전기공학과 졸업. 2003년 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사. 2003년~현재 (주)화승전기 기술연구소 선임 연구원



임 병 노 (林 秉 魯)

1978년 11월18일생. 2002년 안양과학대 전기제어졸업(전문학사). 2001~2004년 (주)ADG 선임 연구원. 2006년 한림대학교 전자과 졸업(학사). 2006년~현재 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정



박 종 연 (朴 鍾 演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1980년 경북대 대학원 졸업(석사). 1984년 동대학원 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산 공대 조교수, 부교수. 1984년~현재 강원대학교 IT특성화대학 전기전자 정보통신공학부 교수.