

Design and Implementation of a Low-Noise SMPS for Distributed Control Systems

분산제어시스템을 위한 저잡음 SMPS의 설계 및 구현

Tai-Hyun Cheong*, Jong-Tae Park*, Chong-Gun Yu*

정태현*, 박종태*, 유종근*

Abstract

In this paper, a new efficient SMPS has been designed and implemented. It can replace the existing product that is widely used in industry. To investigate the performance of the conventional SMPS, the output voltage changes due to variations in the input voltage and the load conditions, and the ripple and noise voltages have been measured and analyzed. As a result, it has been confirmed that the noise in the conventional SMPS is severe due to the deficiency of patterns for current. This is because the conventional SMPS draw out all outputs using one transformer and the alarm logic exists in the output path. To solve this problem, the switching frequency is increased from 17KHz to 70KHz and the current patterns are fully guaranteed by separating the alarm circuit and PWM circuit as a sub-board from the main board. Measurement results shows that the output noise of the designed SMPS decreases below 32% of the conventional SMPS noise for various test conditions, and both the line and load regulations are improved.

요약

본 논문에서는 기존 산업분야에 사용되고 있는 제품을 대체 할 수 있는 효율적인 SMPS를 설계하고 구현하였다. 기존의 분산제어시스템에서 사용하고 있는 SMPS의 성능을 분석하기 위하여 입력전압 및 부하 변동에 따른 출력 값 변화, 리플전압과 잡음 전압의 최대값 등을 측정하고 분석하였다. 그 결과 기존의 SMPS는 스위칭 주파수가 17KHz로 가청잡음이 발생하며, 하나의 변압기로 전 출력을 인출하였고, 출력선로에 경보 로직 회로를 구성하고 있기 때문에 전류가 흐를 수 있는 동박면(Pattern)이 부족하고 잡음이 크게 발생하는 것을 확인하였다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 스위칭 주파수를 70KHz로 높이고, 경보회로 부분과 PWM 제어회로 부분을 하위의 보드(Sub-board)로 처리하여 전류가 흐를 수 있는 동박면을 충분히 확보하였다. 그 결과 모든 설정 조건에서 기존의 SMPS보다 잡음이 32% 이하로 감소하며, 입력전압변동 및 부하변동 특성이 향상되는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

Key words : SMPS, DCS, PWM, Noise, Line Regulation

1. 서론

산업사회의 고도화로 가정뿐만 아니라 산업전반에

전기, 전자기기의 수요가 급증하고 있으며, 기기에 안정된 전원을 공급하는 전원장치는 소형화, 경량화, 신뢰성, 안정성 및 효율성 등의 요구조건을 필요로 하고 있다. 이러한 요구에 맞는 고속 스위칭 소자를 이용한 SMPS (Switched Mode Power Supply)는 반도체의 집적화 기술로 전원장치를 소형화, 경량화 시키는 물론, 직류를 고주파로 변환하고 이를 다시 직류로 변환함으로써 효율을 높일 수 있는 장점이 있다[1~5]. 최근 특수한 경우를 제외하고는 거의 모든 기기에서 SMPS 전원 방식을 채택하고 있다. 그러나 스위칭

* 仁川大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, University of Incheon)

★ 교신저자: 유종근 (chong@incheon.ac.kr)

※ 이 논문은 인천대학교 2007년 자체 연구비 지원에 의하여 연구되었음

接受日:2007年 8月 16日, 修正完了日: 2008年 3月 28日

방식의 전원은 리플 및 잡음 성분이 발생하여 다른 기기의 잘못된 동작을 유발시키기도 하며, 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 방사 및 전도 잡음이 증가하는 단점이 있다[6]. 또한 분산제어시스템 (DCS: Distributed Control System)에 사용되는 SMPS는 외국 기업에 의존적이며, 잡음 발생이 많으며, 짧은 수명으로 인한 고장 수리의 즉각적인 대처가 어려운 상황이다[7, 8].

본 논문에서는 기존의 분산제어시스템에 사용되고 있는 SMPS의 특성 및 전기적 사양을 분석하여 기존의 SMPS보다 리플과 잡음을 감소시키고 효율을 향상시킨 분산제어시스템용 SMPS를 설계하고 구현하였다.

2장에서는 기존 SMPS의 성능 분석 및 문제점에 대해 언급하고 3장에서는 이러한 문제점들을 해결한 SMPS의 설계 및 구현 과정에 대해 언급한다. 4장에서는 구현된 SMPS의 동작 테스트와 기존 제품과의 성능 비교에 대해 언급하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 SMPS의 성능 분석

1. 기존 SMPS

GE사의 분산제어 시스템인 MARK-V용 전원 공급장치인 TCPS[9]를 분석 모델로 선정하였다. TCPS의 회로구성은 그림 1의 블록도와 같다.

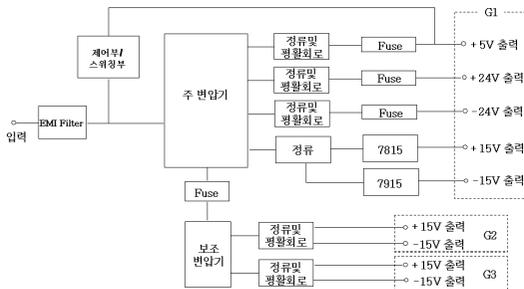


Fig. 1. Block diagram of the conventional SMPS
 그림 1. 기존 SMPS의 블록 다이어그램

그림 1에서 보듯이 회로구성은 입력단 1차측은 전원필터(EMI Filter)부와 제어 및 스위칭부로 구성되어 있으며 전채전력제어 및 +5V출력제어를 한다. 변압기는 주변압기와 보조변압기로 구성되어 주변압기에서 유기된 교류파형으로 보조 변압기에서 접지가 다른 출력을 유기시킨다. 주변압기 및 보조변압기에서 유기된 파형은 정류 및 평활회로 또는 정전압 IC를 통

하여 시스템 사용 전압을 출력한다.

2. 전기적 시험 환경

전기적 시험은 입력전압 변동에 따른 출력전압의 변화(Line Regulation), 출력 부하변동에 따른 출력전압의 변화(Load Regulation) 그리고 출력 전압별 리플(Ripple)전압 및 잡음전압의 최대값(Noise p-p)값을 측정하였다.

기존 제품인 GE사의 TCPS의 성능을 측정하기 위해 다음과 같은 장비를 사용하였다. 오실로스코프는 Agilent사의 54622D Mixed Signal이고, 전자로드는 PRODIGIT사의 3311, 3310, 3315 DC, 전압계는 KEITHLEY사의 2000, 기록 장치는 HIOKI사의 Hicorder 8855를 이용하였다. 측정 결과는 4장에 보았다.

3. 분석 결과 및 문제점

TCPS의 성능을 분석한 결과, 출력전압의 설정면에서 보면, +5V와 정전압 IC를 사용한 출력을 제외하고는 기준전압에서 크게는 20%가까이 많이 벗어나는 특성을 보인다. 이 전압이 제품의 동작범위 이내에 있다 하더라도 전력소비가 크며 부품에 많은 스트레스가 인가된 상태에서 동작하게 되어 부품의 수명에도 영향을 주게 된다. 출력부하 변동에 따른 출력전압 변동 역시 크게는 15%까지 많은 변화를 보이고 있고, 리플전압 및 잡음전압의 최대값도 기준치인 2%를 많이 넘어서고 있는 것이 측정결과 확인되었다.

이는 +5V 출력전압만을 안정화 제어하고, 다른 출력 전압들은 하나의 변압기에서 인출하고 있으며, 전원보드의 출력선로에 경보회로를 배치함으로써 충분한 동박면을 확보하지 못한 것이 잡음 발생의 주된 원인으로 분석된다. 또한, 동작시 가청잡음이 발생하는데, 이는 스위칭 주파수가 약 17KHz로서 가청주파수대 내에서 발견하고 있기 때문으로 분석된다.

III. 저 잡음 SMPS 설계

기존 제품은 약 17KHz의 스위칭 주파수에서 동작하기 때문에 가청 잡음이 발생하며, 하나의 변압기에서 여러 개의 출력이 유기되고, 출력회로 동박면에 경보회로를 구성하였기 때문에 전류가 흐를 수 있는 동박면이 부족하고 이로 인하여 많은 잡음이 발생하는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 전력소모는 약간 증가하지만 가청 잡음을 줄이기 위해 스위칭 주파수를 70KHz로 높였으며, 제어 및 보호 회로를 PWM(Pulse Width Modulation)제어회로를 적용하여

경보회로 부분과 함께 하위의 보드로 처리함으로써 출력 선로인 등박면을 충분히 확보하여 잡음 문제를 해결하였다.

1. SMPS 설계

본 논문에서 설계한 분산제어시스템용 SMPS는 입력력을 공급받아 스위칭 및 평활회로를 거쳐 출력을 얻게 된다. 이때 중간에 발생하는 잡음을 줄이기 위해 필터부와 제어부로 크게 나눌 수 있다. 그림 2에서와 같이 입력이 공급되면, 두 개의 전원필터를 거쳐 출력 전압을 유지시키는 회로 고주파변환기 T1, T2로 분리된다. T1, T2의 회로부에 출력전압의 안정화와 과전류 보호와 과전압 보호를 위해 PWM1, PWM2를 두어 이들을 제어하게 하였다. FET1, 2는 구형과 교류를 만들게 된다. 교류는 1차측과 2차측으로 분리된 T1과 T2에 의해 필요한 출력전압이 유지되어 평활회로를 거쳐 출력하게 된다.

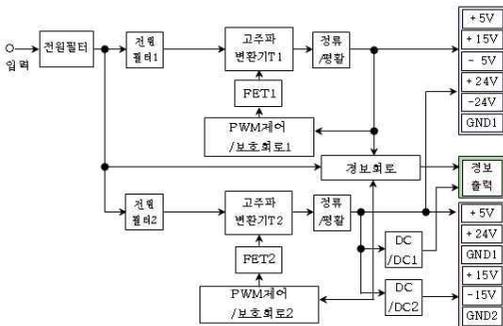


Fig. 2. Block diagram of the proposed SMPS
그림 2. 제안된 SMPS의 블록 다이어그램

2. 입력단

설계된 EMI 필터는 외부 잡음 및 T1 또는 T2의 잡음을 차단하여 출력 전압을 안정화 시킬 수 있게 설계하였다. 설계 시 고려해야 할 중요한 사항중 하나가 잡음이며, 잡음은 불요전자파로 전원선을 통해 다른 기기에 영향을 주는 전도잡음(CE)과 공기 중을 통해 다른 기기로 전달되는 방사잡음(RE)로 구분할 수 있다.

전기를 소비하거나 생성하는 모든 기기들은 전자파를 발생시키고 전자파의 영향을 받기도 한다. 전자파를 차단하기 위해서는 EMI 필터를 실장 함으로써 효과적으로 대응할 수 있으며, 이것은 전원 입력단에 설치되어 기기에서 방출되어 전원선을 통해 빠져나가는 불요전자파를 차단, 흡수, 대지로 통과(bypass) 시켜주는 역할을 하고 있다. 그림 3에서 보듯이 설계

된 SMPS에서는 2단계에 걸쳐 EMI 필터를 설계함으로써 전도잡음을 최소화하였다.

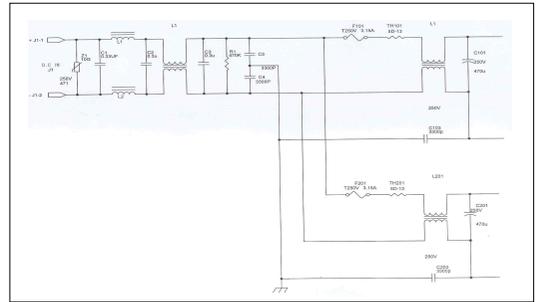


Fig. 3. Schematic of the input stage
그림 3. 입력단 회로

3. PWM 제어부

원하는 입력 신호를 고주파로 변환한 뒤 반도체 소자를 스위칭 시켜 직류로 변환하는 방법으로 전력 손실을 작게 감소시키고 출력전압을 안정화시키는 데 목적이 있다. 때문에 DC-DC 컨버터에 있어서 부품의 기생 요소들에 의하여 부하가 변동하고 출력 전압의 저하가 발생하면 안정화 전원으로서의 응용은 곤란하게 되므로 출력 전압을 안정화 시켜줄 수 있는 부하 제한 제어 회로가 필요하게 된다. 본 논문에서는 펄스폭변조를 이용하여 부하 제한 회로를 설계하였다.

그림 4에서 보듯이 일반적인 PWM 제어회로는 출력전압의 오차를 검출하여 증폭하는 오차 증폭기, 검출된 오차 전압과 톱니파를 비교하여 펄스를 발생시키는 비교기, DC-DC컨버터의 스위치를 구동하는 구동 회로 등으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 PWM 제어를 위해 미쯔비시사의 M51995AFP의 IC[10]를 사용하였다. 스위칭 주파수 발전부의 잡음이 Pattern에 실리는 것을 방지하기 위하여 하위기판으로 설계하였다.

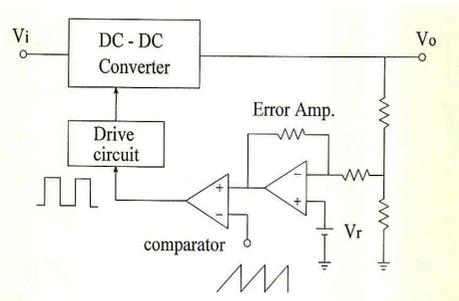


Fig. 4. PWM control circuits
그림 4. PWM 제어회로

4. 출력단

하나의 트랜스포머 사용할 경우 다중 전압 출력회로의 구성으로 인해 전압 안정화율이 떨어지고 잡음의 증가도 원인이 되었다. 따라서 본 논문에서는 SMPS 설계시 많은 부하를 공급하는 +5V, +24V 두 영역으로 나누어 전체용량을 두 개의 제어부로 설계하여 출력전압을 안정화하였고, 제어회로를 하위기관으로 구성하여 잡음이 출력선로에 실리는 것을 방지하였다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 설계하고 구현한 SMPS에 대해 GE사의 TCPS의 성능 측정시와 같은 환경에서 시험을 실시하였으며, 그 측정치를 TCPS의 분석치와 비교하였다. 구현된 SMPS 사진과 시험 환경 사진을 그림 5와 6에 각각 보였다.



Fig. 5. Photograph of the implemented SMPS
 그림 5. 구현된 SMPS 사진

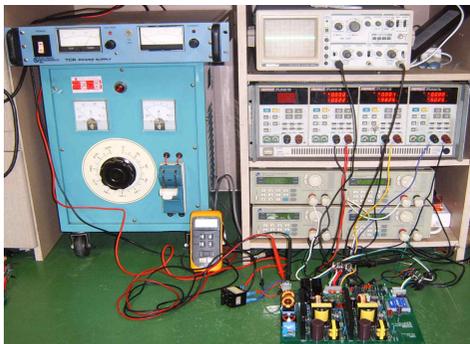


Fig. 6. Test setup
 그림 6. 성능 측정 환경

1. 입력전압변동 시험

출력전류를 최대동작전류로 하고 입력전압을 DC 90~150V로 변화하면서 출력전압의 변동을 측정하였다. 표 1에서 보듯이 입력 전압 변동 시험은 서로 같은 조건으로 A는 입력 전압을 90V로, B는 125V, C는 150V로 측정하였으며, 기존 제품의 경우 발진 및 주파형의 떨림으로 최대 부하로 테스트를 할 수 없어 출력이 안정한 범위 내에서 측정을 하였으며, 본 논문에서 설계한 SMPS인 경우 설계치의 부하를 인가하여 측정하였다.

Table 1. Comparison of the line regulation characteristics
 표 1. 입력전압변동 시험 비교

조건	+5V	+24V	-24V	+15V	-15V	+15V	-15V	Unit
	GND1						GND2	
	1.0A (8A)	0.5A (3A)	0.5A (1A)	0.3A (1A)	0.3A (1A)	0.2A (0.5A)	0.2A (0.5A)	
A	TCPS	5.10	25.38	28.52	14.82	15.18	15.08	V
	본논문	4.94	23.97	24.24	15.01	14.99	14.98	
B	TCPS	5.10	25.46	28.55	14.82	15.19	15.04	V
	본논문	4.94	23.97	24.21	15.01	14.98	14.98	
C	TCPS	5.12	25.51	28.60	14.83	15.20	15.07	V
	본논문	4.94	23.97	24.20	15.01	14.98	14.97	
비율	TCPS	0.36	0.54	0.33	0.06	0.13	0.26	%
	본논문	0.00	0.00	0.16	0.00	0.06	0.00	
개선을		0.8	5.96	18.08	1.13	1.13	0.13	0.78

개선을: 설정 전압 개선을 (B조건 기준)
 입력전압(Vdc) : :A(90), B(125), C(150),

기존제품의 경우 출력전압이 기준전압과 많은 차이를 보이고 있으며, 특히 -24V의 경우 기준전압보다 약 20%정도의 높은 값을 지시하고 있다. 이는 TCPS 제품이 +5V만 제어할 수 있고 나머지 출력들은 5V전압의 변동률과 전압비례에 의해서 결정되기 때문이다. 설계된 SMPS의 경우 모든 전압 값이 기준전압의 1% 범위 안에 있으며, 변동률 역시 1% 이내로 거의 변동하지 않음을 확인할 수 있다.

2. 부하변동 시험

입력전압을 125V DC로 유지하고, 출력측 부하를 최소, 중간, 최대로 변화시키면서 그때의 전압 변동을 기록하였다. 표 2의 부하변동시험 비교 측정표를 보면 TCPS 경우 +5, +15, -15V를 제외한 나머지 전압의 전압 변동률이 10~15%의 변동을 보이고 있는 반면, 본 논문에서 설계한 SMPS의 경우 -24V가 2%의

변동률을 보이고, 나머지 전압은 1% 이내의 변동률만을 나타내고 있다.

Table 2. Comparison of the load regulation characteristics 표 2. 부하변동 시험 비교

조건		+5V	+24V	-24V	+15V	-15V	+15V	-15V	Unit
		GND1				GND2			
최저	TCPS	5.09	23.61	26.67	14.75	15.18	13.80	13.89	V
	본논문	5.02	23.98	24.00	14.99	14.98	14.98	15.02	
최고	TCPS	5.14	26.26	30.65	14.83	15.24	16.06	16.22	V
	본논문	5.03	24.04	24.45	15.06	15.00	15.03	15.03	
변화	TCPS	39	2650	3980	80	60	2260	2330	mV
	본논문	10	60	450	70	20	50	10	
비율	TCPS	0.78	11.04	16.58	0.53	0.40	15.06	15.53	%
	본논문	0.20	0.25	1.87	0.46	0.13	0.33	0.06	
개선을		0.58	10.79	14.71	0.6	0.27	14.73	15.47	

3. 잡음 시험

입력전압을 90, 125, 150V DC 상태에서 출력부하를 최대로 하고 이때 발생하는 리플과 잡음 최대값을 측정하였다. 표 3과 그림 7은 기존 제품과 설계한 제품의 잡음 최대값 비교를 나타내고 있다. 수치와 그림에서 보듯이 기존 제품보다 설계한 제품의 잡음 특성이 좋은 것을 확인할 수 있다. 모든 설정 조건에서 설계된 제품의 잡음은 기존제품의 잡음의 32% 이내로 감소된 것을 알 수 있다. TCPS의 경우에는 분산 제어시스템에서 요구되는 잡음 최대치에 대한 기준치인 기준전압의 2%이내를 많이 벗어나고 있는 반면, 본 논문에서 설계된 시스템의 경우 모든 출력전압에서 잡음의 최대치가 기준전압의 2%이내로서 잡음에 대한 기준치를 만족하고 있다.

V 결론

본 논문에서는 기존의 분산제어시스템에 사용되고 있는 SMPS의 특성 및 전기적 사양을 분석하여 리플과 잡음을 감소시키고 보다 안정화된 SMPS를 설계 및 구현하였다. 기존 제품에서 발생하던 가청 잡음과 전류선 동박면 부족으로 인한 잡음 발생 문제를 해결하기 위해, 스위칭 주파수를 70KHz로 높였으며, 경보 회로 부분과 PWM 제어회로 부분을 하위보드에 처리함으로써 전류가 흐를 수 있는 동박면을 확보하고 잡음 문제를 해결하였다.

Table 3. Comparison of the noise characteristics 표 3. 잡음 비교

조건		+5V	+24V	-24V	+15V	-15V	+15V	-15V	Unit
		GND1				GND2			
		3.0A (8.0)	0.5A (3.0)	0.5A (1.0)	0.3A (1.0)	0.3A (1.0)	0.2A (0.5)	0.2A (0.5)	
A	TCPS	488	700	780	400	463	344	419	mV
	본논문	88	113	188	69	69	100	100	
	잡음비	18.0	16.1	24.1	17.3	14.9	29.1	23.9	
B	TCPS	507	780	810	413	475	407	413	mV
	본논문	88	88	188	75	94	107	100	
	잡음비	17.4	11.3	23.2	18.2	19.8	26.3	24.2	
C	TCPS	513	800	780	425	557	382	419	mV
	본논문	88	88	194	75	75	119	107	
	잡음비	17.2	11.0	24.9	17.6	13.5	31.2	25.5	

잡음비: 본논문/TCPS
입력전압(Vdc) :A(90), B(125), C(150)

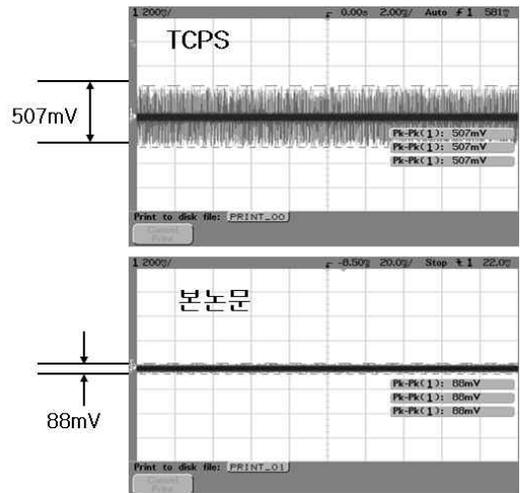


Fig. 7. Noise comparison @ +5V 그림 7. +5V 출력에서의 잡음 비교

구현된 SMPS의 성능을 기존제품과 비교하기 위하여 입력전압변동 시험, 부하변동 시험, 잡음시험 등을 수행한 결과, 모든 설정 조건하에서 출력 잡음이 기존제품 잡음의 32% 이내로 감소함을 확인하였으며, 입력전압 및 부하 변동 특성이 크게 향상되는 것을 확인하였다. 본 논문에서 설계 및 구현된 SMPS는 기존제품에 비해 저 잡음으로 안정화된 전원을 공급할 수 있기 때문에 발전소 및 분산제어시스템을 사용할 수 있는 다양한 분야에 적용이 가능하다.

참고문헌

- [1] D. Caldwell, "Microcontroller Enables Digital Control in SMPS," *Power Electronics Technology*, vol. 30, no. 2, pp. 30-37, 2004
- [2] K. Koike, T. Sato, M. Kawamoto, K. Okada, "High Efficiency-Space Saving SMPS Power IC: STR-W6500," Sanken Technical Report, vol. 37, no. 1, pp. 31-34, 2005
- [3] P. P. Chen, H. H. Zhong, Z. M. Qian, Z. Y. Lu, "The Passive EMI Cancellation Effects of Y Capacitor and CM Model of Transformers Used in Switching Mode Power Supplies (SMPS)," *PESC record*, vol. 35, no. 2, pp. 1076-1079, 2004
- [4] 백근중, "스위칭 모드 전원 공급기의 스위칭 잡음 감소 대책에 관한 연구," 연세대학교 산업대학원, 1996
- [5] 성주영, "스위칭 모드 직류 전원 공급기의 전도성 잡음 감소대책에 대한 분석," 단국대학교 대학원, 2000
- [6] 최평, 석병석, "SMPS용 다기능 PWM IC 설계," 경북대학교 전자기술 연구소, vol. 15, no 1, pp. 86-94, 1994
- [7] 이재학, "고주파 대응 SMPS 소형화에 관한 연구," 숭실대학교 산업대학원, 1990
- [8] O. Trescases, G. Wei and W. T. Ng, "A Segmented Digital Pulse Width Modulator with Self-Calibration for Low-Power SMPS," *IEEE Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits*, pp. 367-370, 2005
- [9] <http://www.ge.com/>
- [10] <http://www.mitsubishichips.com/>

저 자 소 개

정 태 현 (학생회원)



1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1988년 3월 ~ 1991년 3월 : LG산전(주) 전자설계실 연구원
 1991년 4월 ~ 1994년 8월 : 화승전자(주) 연구소 선임연구원
 1994년 9월 ~ 현재 : 일형전자 대표, 시립인천전문대학 겸임교수
 2005년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 대학원 전자공학과 석사과정
 <주관심분야> 분산제어시스템을 위한 SMPS 설계

박 중 태 (정회원)



1981년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1983년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1987년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1983년 8월 ~ 1985년 8월 : 금성반도체(주) 연구소 연구원
 1991년 1월 ~ 1991년 12월 : MIT Post Doc.
 2000년 7월 ~ 2001년 8월 : UC Davis 방문교수
 1987년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야> CMOS Reliability, Nano-scale CMOS, SOI/MOSFET, RF-CMOS

유 종 근 (정회원)



1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1987년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1993년 2월 : Iowa State University 전기 및 컴퓨터공학과 Ph.D.
 1994년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야> CMOS Analog/Mixed-mode IC 설계, RFIC 설계