

다채널 전력분석시스템의 구현

李明彦[†], 俞在根^{*}, 李尙益^{**}, 曹明絃^{***}, 崔圭夏^{****}

Implementation of Multi-Channel Power Components Measurement System

Myung-Un Lee, Jae-Geun Yoo, Sang-Ick Lee, Myung-Hyun Cho and Gyu-Ha Choe

요 약

전력 외란을 해결하기 위해서는 전력 계통의 전원 측과 부하 측 양단에서 전력 성분의 측정이 요구된다. 본 논문은 전원 측과 부하 측 양단에서 동시에 전력 성분을 측정하고 분석할 수 있는 DSP(디지털 신호 처리 장치) 기반의 다채널(전압 8채널, 전류 10채널) 전력 성분 측정 시스템을 제안하였다. 개발된 시스템은 YOKOGAWA 2558을 이용하여 전압과 전류를 보정한 후, 전력 계통 현장에서 실험하였다.

ABSTRACT

In order to solve power disturbances, power components measurement for both supply and demand side of power system must be implemented. This paper proposed a DSP (Digital Signal Processor)-based multi-channel (voltage 8-channel and current 10-channel) power components measurement system that simultaneously can measure and analyze power components for both supply and demand side. After voltage and current measurement accuracy revision using YOKOGAWA 2558, the developed system was tested in the field.

Key Words : digital signal processor(DSP), multi-channel, power measurement, harmonics

1. 서 론

최근 산업용 플랜트나 빌딩 등의 전기 부하설비와 회로가 다양화되고 보다 복잡해짐에 따라 제어 장치의 기능 불량, 컴퓨터 시스템의 데이터 손실, 케이블이나 변압기의 과열과 같은 다양한 문제들이 발생하고 있다. 컴퓨터나 가변속도장치, 전기로와 같은 비선형 부하들의 사용에 의한 고조파 왜곡은 전력 계통에 보다 큰 문제점들을 야기 시킨다^[1-2]. 이러한 문제와 우려는 유효전력, 무효전력, 피상 전력, 그리고 전압과 전류의

rms값, 역률, 전력의 품질과 같은 전력성분들의 측정이 필요하게 되었다^[3-4].

실제 측정 장치에는 휴대할 수 있는 기구들에서 포터블 모니터까지 다양한 전력측정 장치가 사용 가능하다. 이러한 장치들은 전압 4채널과 전류 5채널을 가지고 있다. 이것은 3상 4선 전력 계통의 전원측이나 부하 측 한 쪽의 전력 성분만을 측정할 수 있다. 그러나 에너지 효율 개선과 전력 외란을 해결하기 위해서는 주어진 전력 문제들에 대한 측정 시 보정되기 전에 필수적으로 전력계통의 전원 측과 부하 측 양단에서 전력성분들의 측정이 동시에 이루어져야 한다^[5-6].

따라서, 전력 계통 양단에서의 전력 성분들을 동시에 측정할 수 있는 DSP 기반의 다채널(전압 8채널, 전류 10채널) 전력 성분 측정 시스템을 제안하였다.

DSP는 다채널 A/D 컨버터로부터 디지털 전압과 전류 데이터를 읽으며, 이 값을 메모리안의 데이터 배열에 저장시킨다. 이 때, DSP는 입력 포인트들의 수가 2

[†]교신저자 : 정회원, 서일대 전기과 겸임교수

E-mail : emyungun@hanmail.net

^{*}정회원, KESCO 부장

^{**}정회원, 전기안전연구원 선임연구원

^{***}정회원, 서일대 전기과 부교수

^{****}정회원, 건국대 전기공학과 교수

접수일자 : 2005. 12. 29

1차 심사 : 2006. 1. 17

2차 심사 : 2006. 1. 25

심사완료 : 2006. 3. 30

의 배수이며 전력(유효, 무효, 피상 전력)과 역율 등을 계산하는 2진수 128 포인트 FFT 알고리즘을 이용하여 전압과 전류의 각 주기에서 푸리에 변환에 의한 주파수 분석을 수행하였다^[7].

그리고 표준 전압 및 전류 발생장치인 YOKOGAWA 2558를 이용하여 개발된 시스템의 오차를 수정하였다. 개발된 시스템에서의 유효, 무효, 피상 전력 측정과 고조파 분석의 정확성은 프로그래밍이 가능한 교류 전원(PACIFIC 345AMX)를 이용하여 실험하였다. 실험결과 약 0.3%의 정확성을 보였다.

2. 시스템 설계

그림 1은 제안된 다채널 전력 측정 시스템의 기본 블록 다이어그램이다. 제안된 시스템은 크게 전압 8채널, 전류 10채널을 측정 센서를 가진 아날로그 신호 입력 블록, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 ADC 블록, 주변 장치를 제어하고 동작 함수를 수행하는 디지털 신호 처리 블록, 시스템 인터페이스 처리를 수행하는 PLD 블록, 스테틱 램(SRAM)과 플래시 롬(FROM)의 메모리 블록, 화면 표시를 위해 직렬연결을 거쳐 측정 결과를 개인용 컴퓨터로 전달하는 인터페이스 블록, 제안된 시스템에 동작 전원을 공급하는 동작 전원부로 구성하였다. 그림 2는 14bit 분해능을 가지고, ±5V를 A/D 변환할 수 있는 AD7865-AS1 4개를 사용한 ADC 회로의 일부분을 나타내며, 표 1은 제안시스템의 설계사양이다.

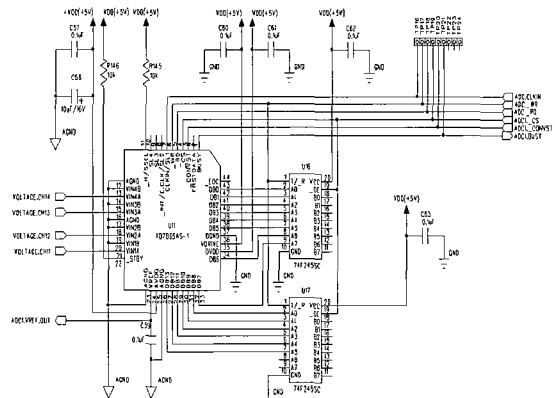


그림 2 ADC 회로
Fig. 2 Circuit of ADC

표 1 제안된 시스템의 사양
Table 1 Specification of proposal system

항 목	사 양
입력전원	110~220V, 50/60Hz
아날로그 입력채널	전압 8ch, 전류 8ch
최대 입력전압 및 전류	600V/ 3,000A 이하
내장 메모리	28MB
ADC resolution	14bit
외부 통신	RS232cs
측정 요소	전압, 전류, 전력량, 고조파

3. 시스템 개발

3.1 시스템의 개발

그림 3은 개발된 시스템의 사진이고, 기본 동작은 그림 4의 플로우차트와 같다. 동작전원이 인가되면, 리셋-IC에 의해 리셋 Low의 신호가 입력되고 이에 따라 DSP, EPLD의 동작에 따라 UART IC, 메모리, ADC의 초기화가 수행된 후, 그림 5와 같이 외부 PC의 모니터 프로그램에 의해 ADC, MSR, COM 모드를 처리 루틴에 따라 동작한다. 전압신호는 저항으로 구성된 분압회로를 구성하여 ADC의 입력채널에 입력되고, 전류신호는 전류를 전압으로 변환하는 HIOKI 계측기용 전류센서를 이용하여 신호변환부에서는 적절한 크기의 신호로 변환하였다.

ADC_Mode는 외부 모니터 프로그램에 의해 1p1ch(단상 1채널), 1p2ch(단상 2채널), 3p1ch(3상 1채널), 3p2ch(3상 2채널)과 같이 각각의 ADC 동작 조건들이 결정되고, 측정한 전압/전류의 ADC 데이터를 저장하기 위해 적절한 타이머 인터럽트와 어드레스가 주변장

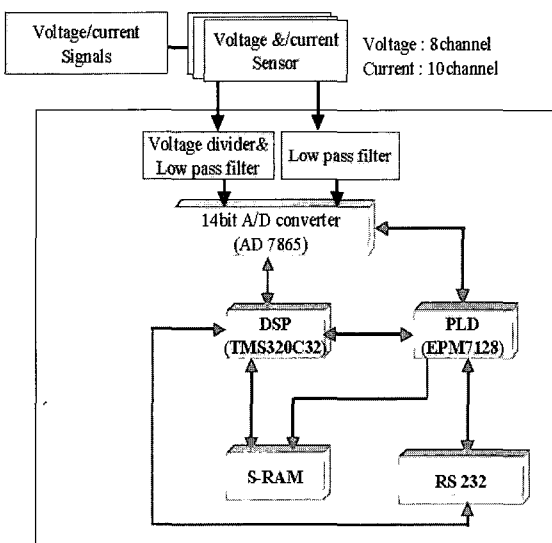


그림 1 제안 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of the proposed system

치에 할당된 후, 타이머 인터럽트에 의해 ADC가 동작하고, 측정된 전압과 전류 신호 데이터는 디지털 데이터로 변환된다^[8]. ADC 동작이 완료되면, 관련된 인터럽트가 동작되고, ADC 처리 데이터는 메모리에 저장된다. COM_Mode에서 측정된 데이터는 PC로 데이터를 출력하도록 명령하는 개발된 시스템에 의해 수집되어질 수 있고, 데이터는 PC에 저장되고 화면에 표시된다.

DSP는 다채널 ADC로부터 변환된 디지털 전압과 전류 데이터를 읽으며, 이 값을 메모리안의 데이터 배열에 저장시킨다. 이 때, DSP는 입력 포인트들의 수가 2의 배수이며 전력(유효, 무효, 피상 전력)과 역률 등을 계산하는 2진수 128 포인트 FFT 알고리즘을 이용하여 전압과 전류의 각 주기에서 푸리에 변환에 의한 주파수 분석을 수행하였다.

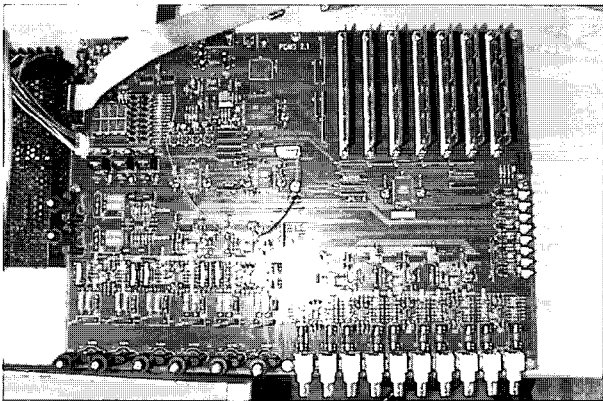


그림 3 개발된 시스템
Fig. 3 Developed system

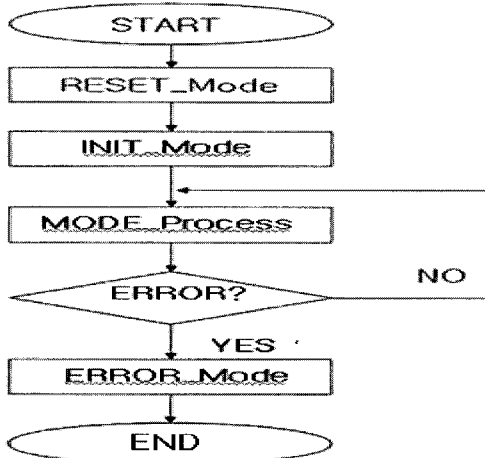


그림 4 개발시스템의 메인 플로우차트
Fig. 4 Basic operation flowchart of the developed system

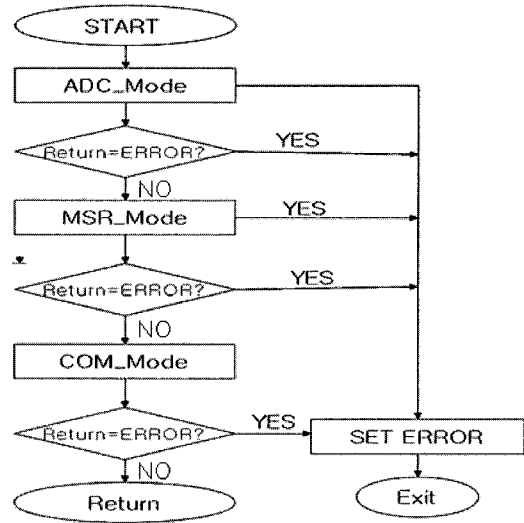


그림 5 MODE_Process의 플로우차트
Fig. 5 MODE_Process routine flowchart

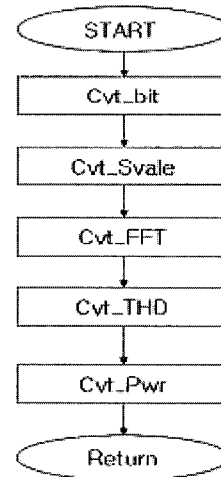


그림 6 MSR_mode의 플로우차트
Fig. 6 Flowchart of MSR_mode routine

MSR_Mode는 그림 6에 보여지는 것처럼 5개의 루틴으로 구성되어진다. 첫 번째로, Cvt_Bit 루틴은 14비트 ADC 처리 데이터를 DSP에 적합한 32비트처리 데이터로 변환한다. 계산과 변환 에러를 최소화하기 위해, 이러한 처리 데이터는 Cvt_Scale 루틴에 의해 실제 데이터의 크기로 변환된다. Cvt_FFT 루틴은 전압과 전류 데이터를 FFT처리에 의해 차수별 전압과 전류의 고조파 크기와 위상을 계산한다. Cvt_THD루틴은 전압과 전류의 총합왜형률(THD)를 계산한다. 마지막으로 Cvt_Pwr 루틴은 역률과 유효, 무효, 피상 전력을 계산한다.

3.2 시스템의 오차보정

개발된 시스템의 확도를 향상시키기 위해서 표준 전압 및 전류 발생장치인 YOKOGAWA 2558를 이용하여 오차를 보정하였으며, 실험 결과 약 0.3 %의 오차 범위로 시스템을 보정했다. 전압과 전류 측정의 결과, 대부분의 오차가 전압 분배기, 전압 follower, 필터에 의한 오차보다는 ADC의 이득 오차에 기인한다는 것을 알게 되었다.

전압과 전류측정 오차를 보정하기 위해서는 표준 전압과 전류를 입력하고, 개발된 시스템에 의해 측정된 전압과 전류의 최대값(Vpp-max and Ipp-max)과 실효값(Vrms and Irms)을 표준 전압과 전류의 값에 일치하도록 내부 프로그램으로 이득을 조정하였다.

표 2는 전압과 전류 rms와 시스템의 측정 오차를 보정하는데 사용되어지는 최대값을 나타낸다. 표 3과 표 4는 개발된 시스템으로 측정한 오차 보정 전후의 전압과 전류값들이다.

표 2 개발된 시스템에서 오차 보정을 위해서 사용된 전압과 전류 값

Table 2 Voltage and current values used to revise measurement errors of the developed system

Standard Input-Voltage		Standard Input-Current	
Vrms [V]	Vpp-max[V]	Irms[A]	Ipp-max[A]
110	155.56	30	42.43
220	311.13	60	84.85
380	537.40	120	169.71
440	622.25	180	254.56

표 3 오차 보정 이전과 이후의 전압값

Table 3 Voltage values before and after errors revision

Channel	Vpp-max(440Vrms)		
	Standard Value[V]	Measured Value[V]	Value after revision[V]
V1-R	622.25397	657.52302	622.259397
V1-S		658.08705	
V1-T		654.12249	
V1-N		655.51758	
V2-R		617.32701	
V2-S		617.76297	
V2-T		616.45508	
V2-N		616.97824	

표 4 오차 보정 이전과 이후의 전류값

Table 4 Current values before and after errors revision

Channel	Vpp-max(440Vrms)		
	Standard Value[A]	Measured Value[V]	Value after revision[V]
I1-R	254.558844	276.61140	254.55844
I1-S		275.14640	
I1-T		273.55960	
I1-N		275.14640	
I1-G		257.69040	
I2-R		257.73740	
I2-S		255.61520	
I2-T		256.95800	
I2-N		256.95800	
I2-G		253.54000	

4. 실험 및 결과

개발된 시스템은 전력 시스템의 전원 측과 부하 측의 전력성분들을 동시에 측정하기 위해서 그림 7과 같이 3상 전력 계통의 전원측과 부하측 양단에 시스템을 연결하였다. 그림 7의 전력 계통은 100HP 직류 모터와 무효 전력을 보상하는데 이용되는 커패시터 뱅크, 기타 부하로 구성된 측정계통을 나타낸다.

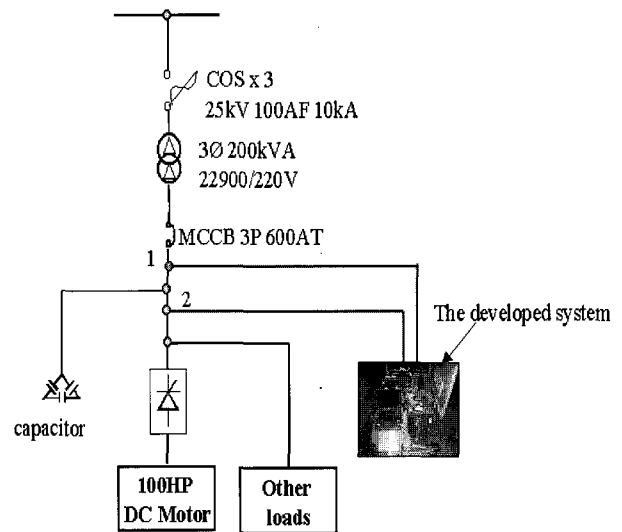


그림 7 개발시스템의 현장시험을 위한 계통도

Fig. 7 Wiring diagram for field test of the developed system

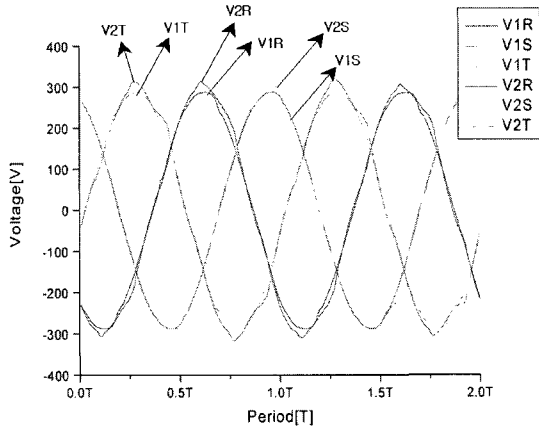


그림 8 전압파형
Fig. 8 Voltage waveforms

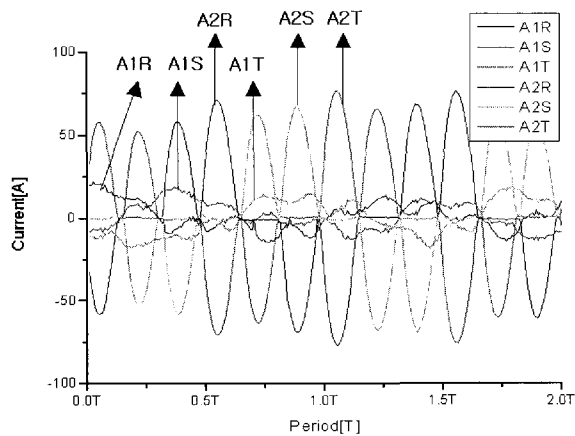


그림 9 전류파형
Fig. 9 Current waveforms

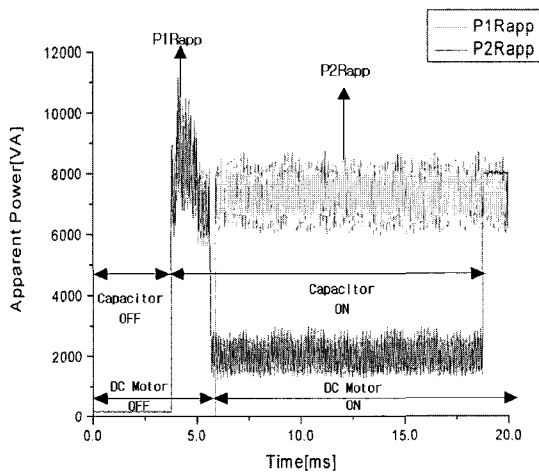


그림 10 피상전력
Fig. 10 Apparent power

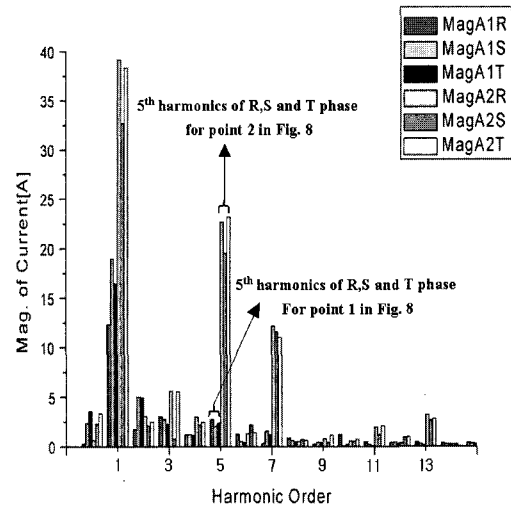


그림 11 스펙트럼의 고조파 크기
Fig. 11 Harmonic magnitude spectrum

그림 8과 9는 개발시스템을 이용하여 동시에 측정된 전원측과 부하측의 3상 전압과 전류 파형이다. 그림 8에서 전원측, 부하측의 전압파형은 정현파로 거의 유사한 형태를 나타내지만, 그림 9의 전원측과 부하측의 전류 파형은 각각 다른 파로 나타났다. 부하측 2의 전류 파형은 고조파 발생원인 직류 모터에 의해 고조파 전류가 심하게 때문에 왜형되었으며, 전원측 1의 전류 파형은 발생 고조파 전류의 분류에 의해 정현파와 유사하게 나타난다.

그림 10은 전원측 1과 부하측 2의 한 상(R상)의 피상 전력 크기의 변화를 나타낸다. 피상 전력의 변화는 직류 모터와 역률 보상용 커패시터의 동작 상태에 따라 서로 다르다는 것을 확인하였다.

그림 11은 그림 9의 전류파형을 주파수 분석한 결과로 각 차수별 고조파 크기를 나타낸다.

개발된 시스템을 이용하여 전원 측과 부하 측 모든 상에서의 전력 성분 및 전력 외란을 동시에 측정하였고. 그 결과로서, 특정 부분의 전력 모니터링 또는 분석과 같은 특정한 요구사항을 해결하는데 적용될 수 있다는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 비선형 부하를 사용하는 전력계통의 전력품질 문제를 분석하기 위하여 전원측과 부하측을 동시에 측정하고 분석하는 DSP 기반 다채널(전압 8채널과 전류 10채널) 전력 측정 시스템을 제안하였으며,

설계 및 구현단계에서의 각 채널의 입력오차를 보정하였다. 개발된 시스템은 직류전동기를 사용한 3상 4선식 전력 계통의 전원측과 부하측 양단에 연결하여 각 지점의 전력 성분을 측정하고 분석하였다. 기존에는 고가의 계측기 2대를 사용하였으나 개발된 시스템을 사용하면 저비용으로 전력 성분들을 동시에 정확하게 측정 및 분석할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] The report of IEEE Task Force, "Effects of harmonics on equipment", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, April 1993, pp. 672~680.

[2] 정용채, "저전력 스위칭 전원회로에서의 EMI 분석 및 대책," 전력전자학회 논문지, 제6권 제2호 4월 2001. PP14 1~148.

[3] Dong-Jun Won, Il-Yop Chung, Joong-Moon Kim, Seon-Ju Ahn, Seung-II Moon, Jang-Cheol Seo and Jong-Woong Choe, "Power Quality Monitoring System with a New Distributed Monitoring Structure", KIEE Trans. on PE, Vol. 4-A, No. 4, pp. 214~220, 2004.

[4] J. Arrillaga, N. R. Watson and S. Chen, " Power System Quality Assessment", WILEY, January, 2001.

[5] Ringo P K Lee, L L lai and Norman Tse, "A Web-based Multi-channel Power Quality Monitoring System for a Large Network", Power System Management and Control, 17~19 April 2002 Conference Publication No. 488, pp.112~116.

[6] 이상훈, 최재호 "컴퓨터 응용 부하들을 위한 전압의란검출방법" 전력전자학회 논문지, 제5권 제6호 12월 2000. PP. 584~591.

[7] 한석우, 최규하 "순간전압변동 보상 기능을 갖는 3상 하이브리드형 직렬 능동전력필터" 전력전자학회 논문지, 제5권 제6호 12월 2000. PP.544~551.

[8] Texas Instruments, "TMS320C32 Digital Signal Processor Data sheet", [http:// www.ti.com](http://www.ti.com). 2001.



유재근(俞在根)

1965년 12월 6일생. 1992년 건국대 대학원 전기공학과(석사). 2001년 건국대 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 KESCO 부장.



이상익(李尙益)

1968년 12월 9일생. 1996년 호서대 대학원 전기공학과(석사). 2001년 건국대 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 전기안전연구원 선임연구원.



조명현(曹明紘)

1961년 5월 22일생. 1982년 조선대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 졸업(석사). 1992년 동 대학원 졸업(공학). 현재 서일대 전기과 부교수.



최규하(崔圭夏)

1955년 7월 24일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1987년~1988년 미국 오레곤주립대 Post-Doc. 1997년~1998년 건국대 연구처장. 2002년~2004년 건국대 교무처장. 현재 건국대 전기공학과 교수. 에너지전자 신기술연구센터 소장. 당 학회 부회장.

저 자 소 개



이명언(李明彦)

1960년 6월 11일생. 1985년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1993년~2001년 대양전기학원장. 2002년~현재 서일대 전기과 겸임교수.