

DC-DC 컨버터의 고속 손실측정과 분석을 위한 PC 기반 계측시스템

安泰榮*, 朱政圭**

A PC-based instrumental system for fast measurement
and analysis of power losses in DC-DC converter

T.Y. Ahn, and J.K. Ju

요 약

본 논문에서는 스위칭 전원장치의 효율을 높은 정밀도로 측정하고 분석할 수 있는 PC 기반 가상계측 기를 구성하여 운용한 결과를 보고한 것이다. 고전압 저전류 방식에 적합한 간접 측정방식과 저전압 대전류 전원장치에 적합한 직접 측정방식의 비교를 수행하였으며, 직접 측정방식에서는 측정 편차를 최소화시키기 위해서 보상 기능을 추가 하였다. 구성된 가상계측기의 성능을 검증하기 위해서 50W급 통신기용 전원장치를 대상으로 특성을 계측하였다. 그 결과 기존의 방법에 비해서 전원장치의 정상상태 특성을 정확하게 평가할 수 있으며, 반복 측정 오차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 실시간 측정이 가능하며, 측정 시간도 절약할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper present a new fully-automated PC-based instrumental system that could quickly measure and analyze the efficiency of switching power supplies for the entire operating range. In the proposed system, we applied an indirect method for high-voltage low-current measurements and a direct method for low-voltage high-current measurements, in order to obtain a high accuracy with minimum equipment requirement. Compared to the conventional methods, the newly proposed system offers more accurate and much faster real-time assessment of the efficiency with minimum measurement error. The performance and accuracy of the proposed system are verified using a 50 W switching power supply intended for telecommunication applications.

Key Words : DC-DC converter, power loss measurement system, Labview

1. 서 론

스위칭 전원장치는 기본적으로 높은 효율로 전력변환을 수행하면서 안정된 출력전압을 제공하기 때문에

산업 전반에 널리 사용되고 있으며, 그 사용 범위도 날로 확대되고 있는 추세이다. 또한 시스템에 스위칭 전원장치가 장착되는 경우, 시스템의 크기에 전원장치의 크기가 제한되고, 한정된 공간에서 성능을 발휘하기 위해서는 전력 손실을 줄일 필요가 있다. 따라서 전원장치의 전력변환 효율을 높이는 것이 제품의 소형화와 신뢰성을 높이는 중요한 방법이 되기도 한다.

일반적으로 스위칭 전원장치를 주어진 기간 내에 설계, 개발하기 위해서는 개발된 전원장치를 신속하고 정확하게 평가하는 것이 필요하다. 특히, 스위칭

*정회원, 청주대 정보통신공학부 조교수
E-mail : tyahn@chongju.ac.kr

**학생회원, 청주대 전자공학과 석사과정

접수일자 : 2003. 9. 8

1차심사 : 2003.10.14

심사완료일 : 2003.10.21

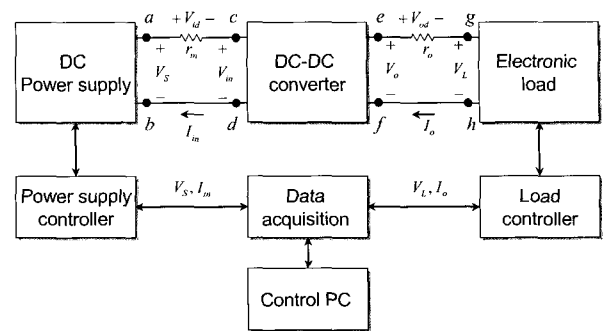
전원장치의 기본적인 성능을 빠르게 측정하고, 측정 결과를 분석할 수 있도록 자료를 정리, 통합시키는 것이 중요하다. 따라서 각 계측기와 측정 장비를 통합하여 제어하고, 데이터를 분석할 수 있도록 시스템을 구성하는 것이 필요하지만, 전문 인력과 많은 비용, 시간이 필요하였다. 또한 시스템의 구성이 고정되면, 측정 변수와 분석을 자유롭게 변경할 수 없기 때문에 사용자가 직접 제어하고 프로그래밍 하는 것이 요구된다.

최근 각 계측기의 성능이 향상되고, 정밀도가 향상되면서 개인용 컴퓨터로 GPIB 또는 RS-232 등의 통신기능을 이용하여 계측기를 제어할 수 있게 되었다¹¹⁻¹³. 이러한 PC 기반 컴퓨터의 성능이 향상되면서 과거에 비해 많은 발전을 거듭하였고, 다양한 프로그램들이 개발되면서 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 그래픽중심으로 발전하였다^{4,5}. 그 중에 LabVIEW 프로그램은 지금까지 독립적으로 운용되던 각종 계측기를 개인용 컴퓨터와 인터페이스시켜서 손쉽게 통합 관리 할 수 있도록 사용자가 직접 프로그래밍 할 수 있는 대표적인 PC 기반 계측 프로그램이다^{16,7}.

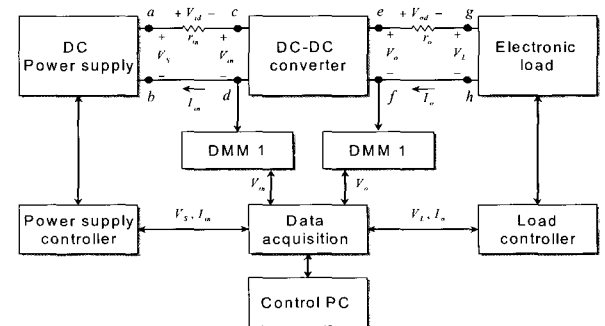
본 논문에서는 GPIB를 이용하여 PC와 계측기를 통합시키고, LabVIEW 프로그램을 이용하여 스위칭 전원장치의 효율을 높은 정밀도로 측정하고 분석할 수 있는 PC 기반 가상계측 시스템을 구성하여 운용한 결과를 보고한 것이다. 특히, 고전압 저전류 방식에 적합한 간접측정방식과 저전압 대전류 전원장치에 적합한 직접측정방식의 비교를 수행하였으며, 직접측정방식에서는 측정 오차를 최소화시키기 위해서 프로그램 내에 입력전압과 출력전류 보상 기능을 추가 하였다. 구성된 가상계측기의 성능을 검증하기 위해서 50W급 통신기용 전원장치를 대상으로 효율을 측정하였다. 그 결과 가상계측기를 통하여 측정된 효율은 실시간 그래프로 나타내었으며, 효율 데이터는 수집 가공하여 3차원 그래프로 변환하여 직관적으로 전원장치의 성능을 평가 할 수 있도록 하였다.

2. 가상 계측기의 구성

그림 1은 전원장치의 효율 측정용 PC 기반 가상 계측 시스템의 기본 구성 방법을 나타내었다. 본 논문에서는 효율 측정을 크게 두 가지 방법으로 구분하였다. 그림 1(a)에는 일반적으로 구성할 수 있는 간접 데이터 획득 방법을 나타내었다. 우선, 측정용



(a) 간접 데이터 획득 방법



(b) 직접 데이터 획득 방법

그림 1 효율측정시스템의 구성방법

Fig. 1 Construction process of efficiency measuring system

전원장치를 중심으로 직류전원 공급 장치에서 전력이 공급되고, 전자부하에서 전력을 소비할 수 있도록 하였다. 전원장치와 전자부하 컨트롤러를 통해서 입력 전압 V_s , 입력전류 I_m , 출력전압 V_L , 출력전류 I_o 의 데이터를 수집하고 제어용 PC에서 연산과 제어를 할 수 있도록하였다. 그림 1(b)에는 (a)의 기본 구성에서 2개의 DMM(Digital multi meter)을 추가하여 측정용 전원장치의 입력전압 V_{in} 과 출력전압 V_o 를 직접 측정할 수 있도록 하였다.

이때 각 DMM, 전원장치와 전자부하는 GPIB 케이블을 통하여 PC와 연결하였다. 시스템의 구성에 사용된 DMM은 Agilent의 34401A를 사용하였고, 직류전원 공급 장치는 Kikusui의 PAS80-9와 GPIB 인터페이스를 위하여 전원장치 컨트롤러 PIA4830을 연결하였고, 전자부하는 Kikusui의 PLZ303W 및 NI의 PC-GPIB를 사용하여 구성하였다. PC에는 각 계측기를 통합 제어하기 위해서 LabVIEW 6.0을 사용하였다. 그림 1의 구성 방법에서 직류전원장치와 측정용 전원장치를 연결해주는 전원선과 전자부하

를 연결해주는 전원선의 내부저항을 각각 r_{in} , r_o 라고 하면 내부저항에 걸리는 전압강하는 다음과 같다.

$$V_{id} = r_{in} I_{in} \quad (1)$$

$$V_{od} = r_o I_o \quad (2)$$

따라서 전원장치의 출력전압과 전자부하 전압은 각각 다음과 같다.

$$V_S = V_{id} + V_{in} \quad (3)$$

$$V_L = V_o - V_{od} \quad (4)$$

또한 그림 1 (a)의 구성으로 측정할 수 있는 효율을 η_I , (b)의 구성으로 측정할 수 있는 효율을 η_D 라고 하면, 각각의 효율은 다음과 같이 계산된다.

$$\eta_I = \left(\frac{V_S I_{in}}{V_L I_o} \right) \times 100 [\%] \quad (5)$$

$$\eta_D = \left(\frac{V_{in} I_{in}}{V_o I_o} \right) \times 100 [\%] \quad (6)$$

각 구성에 의해서 측정된 효율의 비는 다음 식과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{\eta_D}{\eta_I} = \left(\frac{V_o}{V_o - V_{od}} \right) \left(\frac{V_{in} + V_{id}}{V_{in}} \right) \quad (7)$$

이때 우변의 각 항은 항상 모두 1보다 큰 값을 갖게 되므로, 다음의 등식이 성립한다.

$$\therefore \eta_D > \eta_I \quad (8)$$

식 (8)의 결과로부터 그림 1 (a)의 직접 데이터 획득방법은 (b)의 간접 데이터 획득방법보다 항상 크거나 같은 값이 된다는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 내부저항 r_{in} , r_o 과 전류 I_{in} , I_o 의 값이 작을수록 두 방법의 차이가 비례하여 작아진다는 것을 알 수 있고, 따라서 (a)의 방법은 고전압 저전류용 전원장치의 측정용으로 적합하다. 또한 최소의 장치로 기본 특성을 측정할 수 있고, 구성방법이 간단하며, 각 기기의 제어 시간이

짧아지기 때문에 전체 측정시간을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 한편, (b)의 방법은 각 전력선의 내부저항에 의한 전압강하를 보정할 수 있기 때문에 저전압 대전류용에 적합하며, 비교적 높은 정밀도를 갖는 가상 계측기를 구성할 수 있다.

3. LabVIEW 프로그래밍

그림 2는 전원장치의 효율 측정용 가상계측 시스템을 구성하기 위한 프로그램 흐름도를 나타낸 것이다. 그림에서 우선 프로그램이 시작되면 준비된 각 장비가 순서에 의해서 턴온 되고, 각 변수는 초기값으로 설정된다. 또한 측정용 전원장치의 입력전압 범위, 부하전류 범위, 측정 횟수 등이 설정되면, 전압과 전류의 측정 간격이 계산된다. 전원장치의 입력전압을 가변하면서 부하전류를 최소값에서 최대값까지 설정된 간격으로 조절하면서 각 계측기에서 필요한 데이터를 측정한다. 측정된 데이터로부터 효율과 손실 등을 연산하고 임의의 파일에 저장하고 다음 단계를 진행한다.

이때 그림 1(a)의 경우에는 전원장치의 전압과 전자부하의 전류를 가상계측 시스템이 직접 설정하기 때문에 설정값과 측정값의 차이가 거의 발생하지 않지만, (b)의 경우에는 전원장치의 설정전압과 DMM1에서 측정된 전압이 내부저항에 의해서 오차가 발생하게 되고, 이러한 값의 차이를 보상하기 위한 보상기능을 추가해야한다. 그림 2의 흐름도에서 입력전압과 부하전류가 설정한 오차 범위에 들어올 수 있도록 보상 명령을 추가하였다.

실제로 가상계측 시스템의 측정값이 보정되어 오차 범위 내에서 동작되면, 입력전류와 출력전압을 측정하여 효율을 계산하며 이때 계산된 효율은 실시간으로 PC모니터에 그래프로 표현하였다. 특히 부하변동에 의한 효율 측정은 입력전력과 출력전력, 출력전압 안정도 등을 동시에 표시할 수 있도록 하였다. 그래프로 표시한 것과 별도로 측정하여 얻어진 데이터는 파일로 저장되어 측정 후에 그래픽 프로그램을 활용하여 결과를 분석할 수 있도록 하였다.

그림 3은 LabVIEW 프로그램으로 실제로 작성된 효율 측정 프로그램의 블록 다이어그램을 나타내었다. 기본적으로는 그림 2의 흐름도를 참고하여 작성하였고, 각 계측기가 안전하게 동작할 수 있도록 프로그램 내부에 보호 장치를 추가하였다. 또한 측정

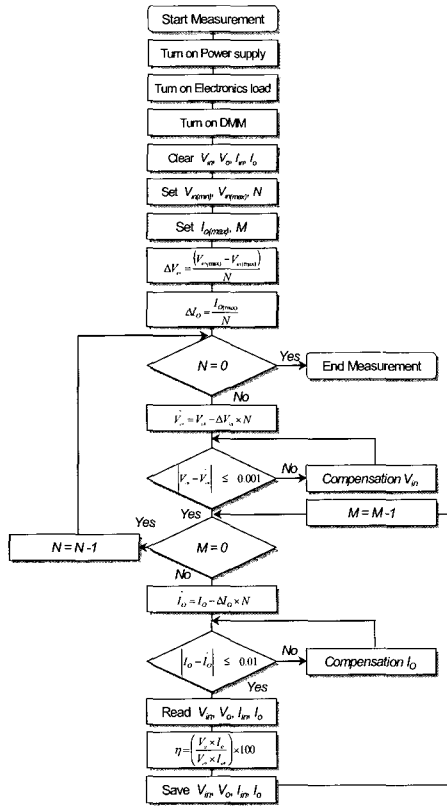


그림 2 프로그램 흐름도
Fig. 2 Program flow chart

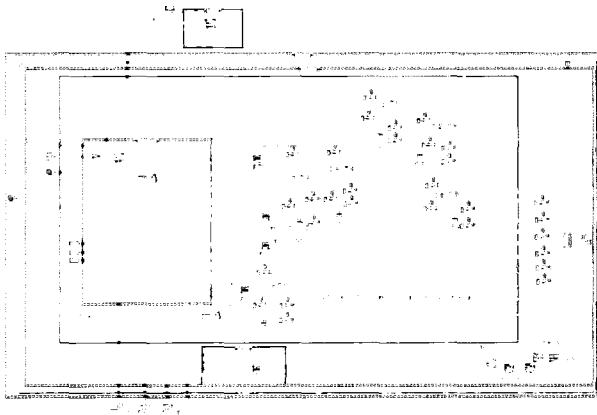


그림 3 LabVIEW 프로그램의 작성의 예
Fig. 3 Example framing of LabVIEW programming

용 전원장치의 측정값이 허용된 범위를 벗어나게 되면 측정용 전원장치의 보호를 위해서 즉시 측정을 중지하도록 하였다.

그림 4에는 입력전압과 부하전류의 보상기능을 평가하기 위해서 그림 1의 방법으로 가상계측 시스템

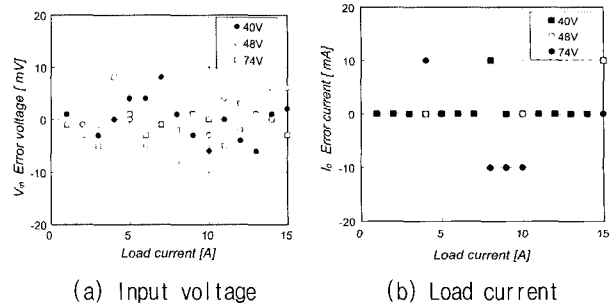


그림 4 입력전압과 부하전류의 실측 오차
Fig. 4 Measured errors for the input voltage and load current

표 1 측정용 전원장치의 사양
Table 1 Specifications of measuring power supply

Parameters	var.	Value	Unit
Input voltage range	Vin	40 - 74	V
Output voltage	Vo	3.3	V
Maximum load current	Io	15	A
Maximum power	Po	50	W
Switching frequency	fs	200	kHz

을 구성하고 그림 2의 흐름도를 기본으로 LabVIEW 프로그램을 작성한 후, 측정된 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

그림 4(a)에는 입력전압의 편차전압을 부하전류에 따라서 나타낸 것이며, (b)는 부하전류의 편차전압을 나타낸 것이다. 그림으로부터 보상된 값 전압과 전류의 편차가 모두 10mV, 10mA 이내로 제한되고 있다는 것을 알 수 있다. 그림 5에는 임의의 전원장치를 선정하여 직접과 간접 측정방법에 의한 비교결과를 나타내었다.

측정에서 사용된 전원장치의 전기적 사양을 표 1에 정리하였고, 표로부터 전원장치는 3.3V의 출력전압과 15A의 출력전류를 갖는 대표적인 통신기용 저전압 대전류 출력 형태라는 것을 알 수 있다.

그림 5 (a)에서 측정효율은 식 (8)에서도 언급되었듯이 직접방법이 간접방법보다 높다는 것을 알 수 있다. 직접방법은 (b)에서 입력전압이 50V로 일정하게 수렴하고 있으며, (c)에서는 출력전압이 3.3V로 안정되고 있는 것을 보여주고 있다. 특히 식 (8)의 비교 결과에서 알 수 있었듯이 간접방식이 직접방식에 비해서 전력 손실이 높게 측정되고 있다는 것을 (d)의 결과로부터 알 수 있다. 이 측정 오차는 전력

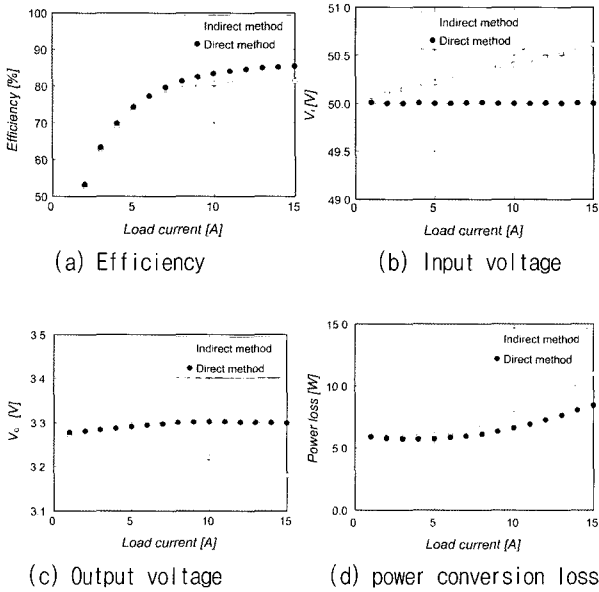


그림 5 직접과 간접 측정 방법에 의한 측정 결과
Fig. 5 Measuring results for the direct and indirect method

선의 내부저항에 의한 전압편차를 보정하지 않았기 때문이다.

4. 측정 결과

본 논문에서 구성한 효율 측정용 가상계측기의 평가를 위해서 통신기용 전원장치를 대상으로 측정하였다. 준비된 측정용 전원장치가 저전압 대전류 형태의 출력이므로 측정 오차를 최소화하기 위해서 그림 1 (b)와 같은 직접 데이터 획득 방법으로 구성 연결하였으며, 그림 2와 3의 LabVIEW 프로그램으로 프로그램 된 PC와 컨트롤러에서 제어되도록 하였다. 그림 6에는 실제로 측정을 위해 구성된 가상계측 시스템의 실제 실험 사진을 나타내었다. 그림에서 중앙에 측정용 전원장치를 위치시키고, 우측 하단에 전자 부하, 좌측 하단에 전원장치와 DMM을 배치하였다. 측정용 전원장치의 동작상태를 확인하기 위해서, 스위치 파형을 오실로스코프로 확인하면서, 우측 상단에 가상계측기의 측정결과를 실시간으로 확인 할 수 있도록 하였다.

그림 7은 효율 측정용 가상계측기의 운용 화면을 보여주고 있다. 그림 에서는 입력전압이 일정한 상태에서 부하에 따른 전력변환 효율, 전력손실, 입력전압, 입력전류, 출력전압, 출력전력을 나타내고 있다.

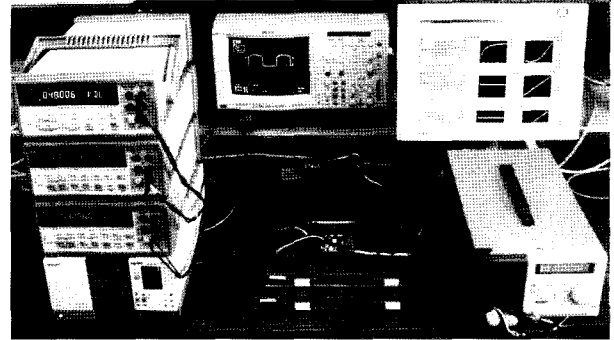


그림 6 효율 측정 시스템의 구성 사진
Fig. 6 Construction picture of efficiency measuring system

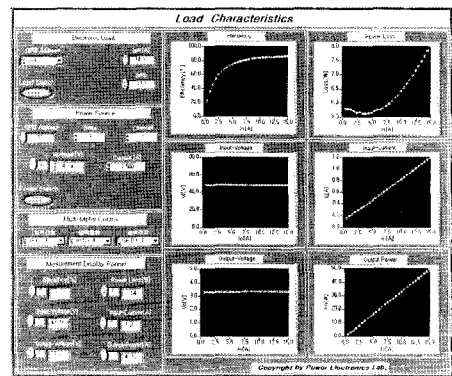


그림 7 가상계측기의 측정 화면
Fig. 7 Front panel for measuring of the virtual instrument

가상계측기의 측정 결과를 임의의 파일에 저장할 수가 있는데, 표 2에는 획득된 데이터의 일부를 나타내고 있다. 각 데이터는 필요에 따라 적절히 가공하여 손실 분석에 중요한 판단 자료로 사용될 수 있으며, 출력전압 결과로부터 정상상태의 출력전압 안정도를 계산할 수 있다.

그림 8은 가상계측기에서 얻어진 결과를 그래프 프로그램을 이용하여 3차원으로 나타낸 것이다. 그림에서 x축은 부하전류, y축은 입력전압, z축은 전력변환 효율이었을 때 측정용 전원장치는 전체적으로 부하전류에 따라서 완만하게 상승하고 있으며, 최대 전류에서 최대 효율을 나타내고 있다.

그림 9에는 측정용 전원장치의 내부 전력손실을 보여주고 있고, 그림에서 손실은 부하전류와 입력전압이 높을수록 증가하고 있으며 특히, 45V입력전압과 5A 부하전류에서 손실이 최소가 되고 이때 손실

표 2 측정 데이터의 예
Table 2 Example of measured data

Load Current	Output voltage	Input voltage	Input current	Power loss	Output power	Efficiency
I_o [A]	V_o [V]	V_{in} [V]	I_{in} [A]	P_L [W]	P_o [W]	η [%]
1.00	3.278	49.998	0.182	5.84	3.28	35.95
1.99	3.280	50.000	0.246	5.75	6.56	53.29
...
13.01	3.299	49.994	1.005	7.36	42.89	85.35
14.00	3.298	49.999	1.078	7.71	46.17	85.68
15.00	3.297	50.010	1.151	8.09	49.46	85.94

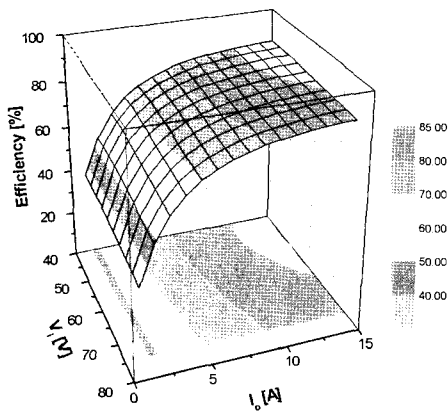


그림 8 전력 변환 효율
Fig. 8 Power conversion efficiency

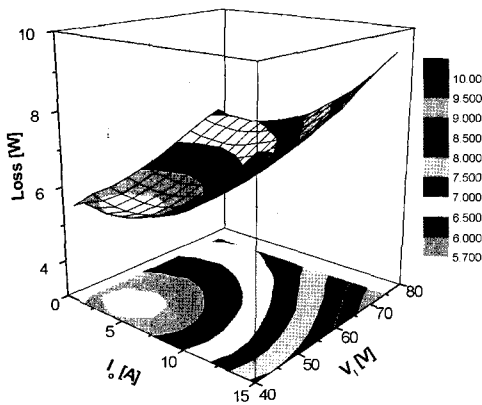


그림 9 내부 전력 손실
Fig. 9 Inner power loss

이 약 5.7W 이하라는 것을 xy 평면의 등고선을 통해 알 수 있다.

그림 10은 출력전압을 나타낸 것이며, 그림으로부터 출력전압이 최소 3.275V에서 최대 3.30V 사이에 존재하기 때문에 출력전압은 약 0.76% 이내에

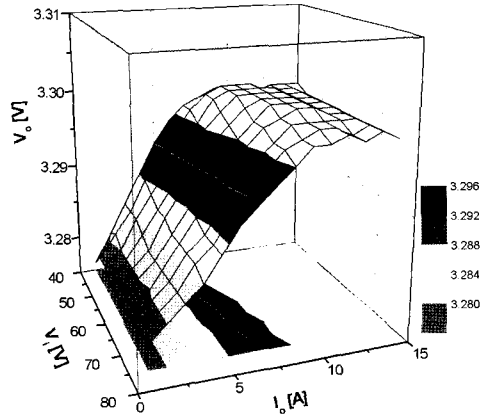


그림 10 출력 전압
Fig. 10 Output voltage

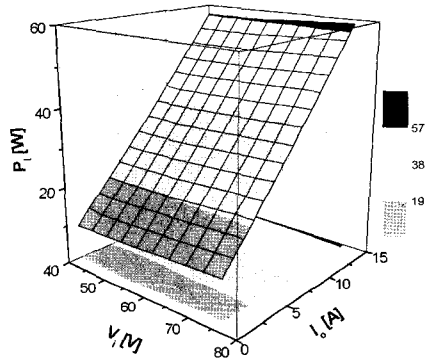


그림 11 입력 전력
Fig. 11 Input power

서 안정되고 있음을 알 수 있다. 그림 11은 입력전력을 그래프로 나타낸 것이며, 전체적으로 입력전력은 부하전류에 비례하고 있으며, 입력전압에 대해 일정하게 유지되고 있다는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 구성한 전원장치 효율 측정용 가상계측 시스템은 전원장치 설계와 개발을 위해서 반복적으로 수행할 필요가 있는 효율 측정을 기존의 방법에 비해서 정확하게 할 수 있고, 반복 측정 오차를 현저하게 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 실시간 측정이 가능하며, 측정 시간도 절약할 수 있었다. 따라서 PC를 기반으로 한 가상계측기에서 얻어진 결과는 실험자가 직접 전원과 부하장치를 조작하여 얻은 데이터에 비해서 객관적이고, 정확하며, 신속하게 얻을 수 있다는 장점이 있다.

5. 결론

본 논문에서는 LabVIEW를 이용하여 스위칭 전원 장치의 효율을 높은 정밀도로 측정하고 분석할 수 있는 PC 기반 가상계측 시스템을 구성하여 운용한 결과를 보고한 것이다.

특히, 고전압 저전류 방식에 적합한 간접 측정방식과 저전압 대전류 전원장치에 적합한 직접 측정방식의 비교를 수행하였으며, 직접 측정방식에서는 측정 오차를 최소화시키기 위해서 프로그램 내에 입력전압과 출력전류 보상 기능을 추가 하였다. 구성된 가상계측기의 성능을 검증하기 위해서 50W급 통신기용 전원장치를 대상으로 특성을 계측하였다. 그 결과 가상계측기를 통하여 측정된 각 데이터는 실시간 그래프로 나타내고 있으며, 효율 데이터는 수집 가공하여 3차원 그래프로 변환하여 직관적으로 전원 장치의 성능을 평가 할 수 있다는 것을 보였다.

따라서 본 논문에서 구성한 전원장치 효율 측정용 가상계측 시스템은 전원장치 설계와 개발을 위해서 반복적으로 수행할 필요가 있는 효율 측정을 기존의 방법에 비해서 정확하게 할 수 있고, 반복 측정 오차를 현저하게 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 실시간 측정이 가능하며, 측정 시간도 절약할 수 있었다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] Rahman Jamal, Herbert Pichlik, "LabVIEW applications and solutions," Prentice Hall, 1999.
- [2] John Essick, "Advanced LabVIEW Labs," Prentice Hall, 1998.
- [3] Gary W. Johnson, "LabVIEW graphical programming," McGraw Hill, 1997.

- [4] Stephan Buller, Eckhard Karden, Andreas Lohner, Rik W. De. Doncjer, "LabVIEW-Based Universal Battery Monitoring and Management System," INTELEC, pp. 630-635, 1998.
- [5] Collamati L., Filippetti F., Franceschini G., Pirani, S. Tassoni, C., "Induction machine stator fault on-line diagnosis based on LabVIEW environment," MELECON '96., vol.1, pp. 495-498, 13-16 May 1996.
- [6] Kral C., Pirker F., Pascoli G., Berghold W., "A Labview based rotor fault diagnostics tool for inverter fed induction machines by means of the Vienna monitoring method at variable speed," IEEE CIEP 2000, pp. 324-329, 15-19 Oct. 2000.
- [7] Jen-Hao Teng, Shun-Yu Chan, Jin-Chang Lee, "A LabVIEW based virtual instrument for power analyzers," Proceedings PowerCon 2000, vol.1, pp. 179-184, 4-7 Dec. 2000.

저 자 소 개



안태영(安泰榮)

1984년 한양대 전자공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 九州大學校(박사). 1995년 일본 세이코 전기 선임연구원. 1996년 삼성전자 반도체 선임연구원 1997년-현재 청주대학교 정보통신공학부 조교수



주정규(朱政圭)

1976년 5월 25일생. 2002년 청주대 전자 정보통신공학부 졸업. 2003년 현재 동 대학원 전자공학과 석사 과정.