

# 고 전력 Source Measurement Unit의 설계 및 제작

## Design and Implementation of High Power Source Measurement Unit

이 상 구\*, 백 왕 기\*\*, 박 중 식\*\*\*

\* 경북대학교 전자공학과(전화:(053)940-8839, 팩스:(053)984-7065, E-mail : sglee@elecscom.com)

\*\* (주)일렉스 부설연구소(전화:(053)940-8839, 팩스:(053)984-7065, E-mail : wkbaek@elecscom.com)

\*\*\* 경북대학교 전자공학과(전화:(053)940-8839, 팩스:(053)984-7065, E-mail : jspark@palgong.knu.ac.kr)

**Abstract :**

In this paper, high power SMU(Source Measurement Unit) having 50V / 1.5A source/measure range has been designed and implemented. The SMU has two operation mode, voltage mode and current mode. The SMU can be used as variable voltage source, variable current source, voltage meter, or current meter. Combining two different unit, output power can be doubled as 100V / 1.5A.

The developed SMU can be used many semiconductor testing system and electronic device inspecting system.

**Keywords :** Source Measurement Unit, SMU, Semiconductor tester

### I. 서론

반도체 산업의 발달에 따라 제작되는 반도체 제품의 구조가 복잡해지고 여러 가지 기능들이 추가되면서 이를 테스트하는 기술 또한 점점 더 어려워지게 되었다. 이로 인하여 제품을 직접 테스트하는 테스터 및 분석 기기의 중요성 또한 날로 증가되고 있다.

일반적인 반도체 소자들을 테스트 할 때에는 DC 테스트, 기능 테스트가 필수적으로 이루어져야하며 필요에 따라서는 AC 테스트가 수반될 수도 있다. DC 테스트에서는 각 입력 및 출력 핀들의 입출력 전압 전류 특성을 측정하고, 소모되는 파워 등 기본적인 DC 특성을 검사하게 되며, 기능 테스트는 특정 소자가 가지는 기능이 제대로 동작되는 지를 테스트 한다. AC 테스트의 경우는 각 입출력 핀들의 시간 및 주파수 특성에 관한 테스트를 수행한다.

본 논문에서는 50V/1.5A 사양을 가지는 고 전력 SMU를 설계하고 제작하여 그 특성을 검사하였다. 제작된 SMU는 VFD(Vacuum Fluorescent Display) 모듈 테스터에 적용되어 성능을 검증하였다.

고 전력 SMU는 DC전원 공급 및 AC 전원 공급기능과 DC Offset + AC 전원 공급기능을 가지도록 설계되었으며 과전류 인가에 의한 DUT의 파괴를 막기 위하여 전류 제한 기능을 가지도록 설계하였다.

전압 및 전류의 인가 측정시의 오프셋 및 이득오차에 의해 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위하여 전압 / 전류 보정 모델을 적용하여 이 오차를 최소화 할 수 있도록 하였다.

### II. SMU의 구조

#### 1. SMU의 전체구조

SMU는 출력단자를 통하여 피 측정 소자의 단자에 설정된 전압 혹은 전류를 인가하거나, 출력단자에 연결된 소자에서 발생하는 전압 혹은 전류를 측정하는 기능을 갖는다. 주로 개별 반도체 소자나 IC등의 특성 검사 시에 사용될 수 있으며 전기적 특성을 검사해야 하는 여러 부분에도 사용 될 수 있다.

설계한 SMU의 구성은 다음과 같다.

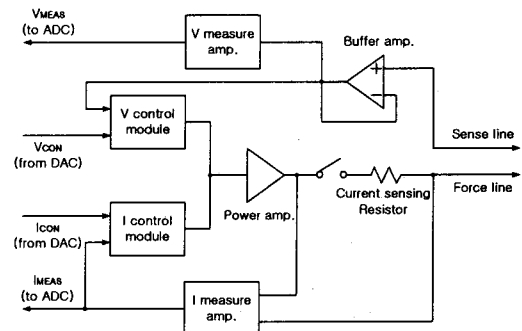


그림 1. SMU의 구조.

Fig.1. Structure of SMU.

#### 2. 전압 제어부의 구조

전압 제어 부는 D/A 변환기로부터 입력되는 전압을 정해진 증폭기의 이득을 가지고 증폭하여 피 측정 소자에 정확한 전압이 인가되도록 하며 피 측정 소자의 단자 전압을 측정할 수 있다.

전압 제어 부는 전압 모드로 동작 시에는 피 측정 소자에 바이어스 전압을 인가하여 피 측정 소자로 흐르는 전류를 측정할 수 있도록 하며 전류 모드로 동작 시에는 피 측정 소자에 발생하는 전압이 정해진 값 이상으로 넘어가는 것을 방지하는 전압 제한 값을 인가하고 피 측정 소자에 전류를 인가한 상태에서 피 측정 소자에 발생하는 전압을 전압 측정부에서 측정하는 역할을 한다. 전압 제어부의 블록도를 그림 2.에 나타내었다.

전압 제어부에의 D/A 변환기로부터 입력되는 전압은 -10V에서 10V의 범위를 가지며 전압 인가부에서는 이 전압을  $R_1$ 과  $R_2$ 를 이용하여 증폭하여 피 측정 소자에 인가하게 된다. 피 측정 소자에 인가되는 전압은

$$V_{DUT} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{CON} \quad (1)$$

와 같이 결정된다. 전압 인가 부는 -50V에서 +50V까지의 전압을 인가하기 위하여  $R_1$ 과  $R_2$ 에 의한 증폭도는 5를 가지도록 하였다.

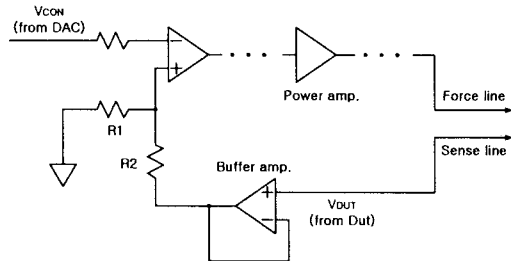


그림 2. 전압 제어 부  
Fig. 2. Voltage control part

### 3. 전류 제어부의 구조

전류 제어 부는 전류 모드 시에는 피 측정 소자에 바이어스 전류를 인가하고 전압 모드 시에는 전압 제한 값을 인가하고 전류 측정부에서 피 측정 소자로 흐르는 전류를 측정하는 역할을 한다. 전류 제어부의 블록도를 그림3.에 나타내었다.

전류 인가부에서 D/A 변환기로부터 입력되는 전압은 전압 인가부와 마찬가지로 -10V에서 10V까지의 전압 범위를 가지고 이는  $V_{IS}$ 는  $Q_1$ 의 드레인,  $-V_{IS}$ 는  $Q_2$ 의 드레인에 인가되어 피 측정 소자에 흐르는 전류를 제어하게 된다.<sup>[21],[5]</sup>

$$I_{OUT} = \frac{1}{R_{RANGE}} \frac{R_1}{R_2} V_{IS} \quad (2)$$

$R_1$ 과  $R_2$ 의 저항 값을 동일하게 설정하면

$$I_{OUT} = \frac{1}{R_{RANGE}} V_{IS} \quad (3)$$

가 되어 전류 검출 저항 양단에는 각 레인지마다

-10V에서 +10V까지의 전압이 걸릴 수 있다. 따라서 설정되는 전류 값은 D/A 변환기로부터 발생하는 전압을 단순히 전류 검출 저항으로 나눈 값이 된다.

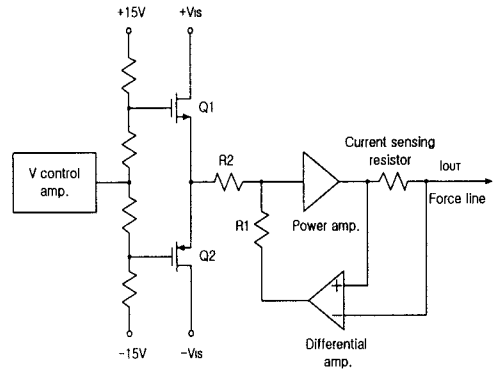


그림 3. 전류 제어 부  
Fig. 3. Current control part

### 4. 서로 다른 기준 전위를 가지는 Unit을 이용한 고 전력 출력

고 전력의 SMU를 구성하는 데는 고 전력으로 인한 열 발생을 처리하기 위하여 이에 대응하는 부품의 사양이 만족되어야 한다. 본 논문에서는 서로 다른 기준 전위를 가지는 SMU 두개를 사용하여 고 전력의 출력 발생이 가능하도록 하였다.

서로 다른 두개의 SMU를 사용하여 한 개의 SMU의 출력을 다른 하나의 SMU의 기준 전위로 사용함으로써 시스템 내부에서 소모되는 열 발생과 관련된 전력은 하나의 SMU 사용 시와 동일하나 피 측정 소자로 공급되는 전력은 하나의 SMU 사용 시보다 두 배를 공급할 수 있다. 그 블록도를 다음 그림 4.에 나타내었다. 서로 다른 SMU에 공급되는 전원은 서로 분리되어 있어야 하며 각각 동일한 사양을 갖는다.

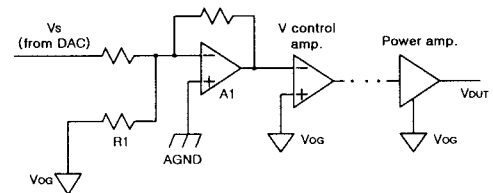


그림 4. 서로 다른 두개의 SMU를 사용한 고전력 출력 SMU

Fig. 4. High power output using two different SMU

그림 4.에서 보듯이 차동 증폭기를 이용하여 두개의 SMU의 입력 전압과 출력 전압을 결합하게 된다. 전력 출력 SMU의 출력 전압을  $V_{DUT}$ 라 하고 오프셋 인가

SMU의 출력을  $V_{oc}$ 라고 한다면  $A_1$  증폭기의 출력은 다음과 같이 표시된다.

$$V_{A1} = V_S + V_{OC} \quad (4)$$

따라서 전력 출력 SMU의 출력 전압은 다음과 같다.

$$V_{DUT} = A \times V_S + V_{OC} \quad (5)$$

$V_{oc}$ 가 -50V에서 +50V까지 공급이 가능하고  $A \times V_S$ 가 -50V에서 +50V까지 공급이 가능하므로 두 유닛을 결합하였을 때는 100V, 1.5A 사양을 가지는 SMU로 사용이 가능하다. 이때 피 측정 소자로 흐르는 전류를  $I_{DUT}$ 라 하면 출력되는 전력은 다음과 같다.

$$P_{OUT} = V_{DUT} \times I_{DUT} \quad (6)$$

이때, 전력 출력 SMU의 전력 공급부에서 소모되는 전력은 전원 전압이  $V_{SUPP}$ 라 하면

$$P_{DISS} = (V_{SUPP} - V_{DUT} - V_{OC}) \times I_{DUT} \quad (7)$$

이 되어 하나의 SMU를 사용하여 동일 전압과 전류를 인가할 때의 전력 소모가 되는

$$P_{DISS} = (V_{SUPP} - V_{DUT}) \times I_{DUT} \quad (8)$$

보다 절반 정도를 전력 소모만을 하기 때문에 개별 소자에서 발생하는 열량을 현격하게 줄일 수 있게 된다.

### III. 실험 및 고찰

#### 1. 전압모드 시뮬레이션

전압 모드 동작 시에는 피 측정 소자에 전압을 인가한 상태에서 피 측정 소자로 흐르는 전류를 측정하게 되는데 피 측정 소자로 흐르는 전류가 전류 제한 값 이상이 되면 회로의 동작 상태가 전류 모드로 변환되어 전류 제한 값의 전류를 인가하는 정 전류 원으로 동작하게 된다.

전압 모드 시뮬레이션에서는 설정한 전압이 제대로 피 측정 소자에 정상적으로 인가되는지의 여부와 전류 제한 값을 넘었을 때의 전류 제한 동작에 대해서 시행하였다. 전류 검출 저항은 10Ω을 사용하고 DUT는 20Ω의 저항을 사용하여,  $V_{CON}$ 의 전압을 -7V에서 7V까지 가변하면서 출력단의 전압과 전류, 전류 검출 저항 양단의 전압을 시뮬레이션 하였다. 전류 제한 값으로 사용되는  $I_{CON}$ 은 10V로 고정하여 1A이상의 전류가 흐르지 못하도록 하였다.

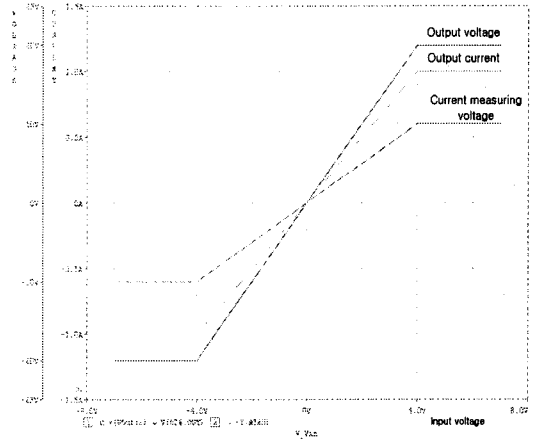


그림 5. 전압 모드 시뮬레이션

Fig. 5. Voltage mode simulation

전압 제어부의 이득이 5이므로  $V_{CON}$ 이 -7V에서 7V이면 출력 전압은 -35V에서 35V까지가 되어야하나 전류 제한값이 1A로 설정되었으므로 입력 전압이 -7V에서 -4V까지는 -1A의 전류를 인가하는 정전류 원으로 동작하여 출력 전압이 -20V로 고정되며, 입력 전압이 4V에서 7V까지는 1A의 전류를 인가하는 정전류 원으로 동작하여 출력 전압이 20V로 고정됨을 볼 수 있다. 나머지 부분에서는 가변 전압 원으로 동작됨을 볼 수 있다.

#### 2. 전압 / 전류 인가 및 측정

본 논문에서 제작된 SMU는 50V, 1.5A의 출력 사양을 가지고 임의의 전압 및 전류를 인가, 측정할 수 있다.

전압 인가 기능으로는 DC 전압 인가 기능, AC 전압 인가 기능, DC + DC 오프셋 전압 인가 기능, AC + DC 오프셋 전압 인가 기능, DC + AC 오프셋 전압 인가 기능, AC + AC 오프셋 전압 인가 기능이 있다. 이 중에서 DC + DC 오프셋 전압 인가 기능, AC + DC 오프셋 전압 인가 기능, DC + AC 오프셋 전압 인가 기능, AC + AC 오프셋 전압 인가 기능은 두 개의 SMU를 동시에 사용하여 하나는 오프셋 인가 SMU로 사용하며 다른 하나는 전력 공급 SMU로 사용한다. 전류 인가 기능도 전압 인가 기능과 동일한 기능을 가진다.

AC 공급 기능은 메모리에 미리 계산된 파형의 데이터를 입력하고 출력하고자 하는 주파수가 출력되도록 정해진 클릭으로 구동시킴으로서 이루어 질 수 있다. 파형의 데이터를 가지고 파형을 만들어 내게 되므로 임의의 파형도 만들 수 있다.

그림 6은 에서  $V_S$ 에 1V의 DC전압을 인가하여 출력이 5V의 DC전압이 되도록 하고,  $V_{oc}$ 에 오프셋 인가 유닛의 출력 5V<sub>ac</sub>를 인가하여 전력 공급 유닛의 출력이

$5V_{AC} + 5V_{DC}$  되도록 설정하여 SMU의 출력 파형을 오실로스코프로 측정된 결과를 표시한다.

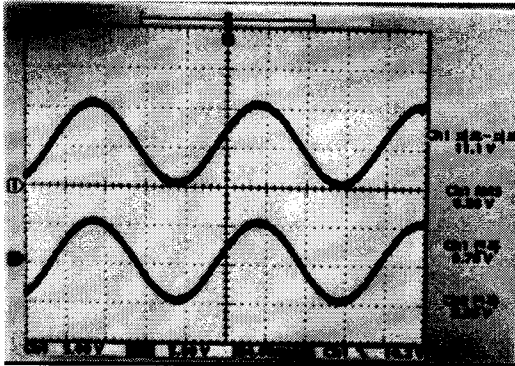


그림 6. DC + AC 오프셋 전압 인가 시의 SMU 출력 파형

Fig.6. SMU output waveform when DC + AC offset voltages are applied

#### IV. 결론

본 논문에서는 50V/1.5A의 source/measure 영역을 갖는 SMU를 설계하고 제작하였다. SMU는 전압 모드 및 전류 모드를 가질 수 있도록 회로를 설계하였으며 이를 Spice 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 회로가 정상적으로 동작하는지를 테스트 하였고, 구현된 회로를 가지고 전압 / 전류 인가 및 측정 특성을 검사 하여 설계 기준에 적합함을 확인하였다. 또한 두 개의 유닛을 이용하여 100V / 1.5A 사양의 고 전력 출력을 낼 수 있도록 회로를 설계하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.

#### 참고문헌

[1] YHP, *Model 4145 Semiconductor Parameter Analyzer Operation and Service Manual*, YOKOGAWA-HEWLETT-PACKARD, LTD., 1984, p. 234 ~ 245

[2] FET/TEST Inc., *Model 3600/3600D Test System Maintenance Training Guide*, pp. 74 ~ 76

[3] Robert j. Feugate, Jr, *Introduction To VLSI Testing*, Prentice Hall, 1988. pp. 39 ~ 41

[4] KEITHLEY, *236/237/238 Source Measure Unit Quick Manual*. pp. 1-3 ~ 1-4

[5] P. Horowitz and W. Hill, *The Art of Electronics*, 2nd Ed., Cambridge University Press, 1989, pp. 140 ~ 143

[6] 최인규, “전자 소자의 특성 분석 시스템에서 전류 오차 보상을 이용한 저전류 측정”, *경북대학교 학위논문집*, 2002

[7] David A. Bell, *Operational Amplifiers Applications, Troubleshooting, and Design*, Prentice Hall, 1990, pp. 54 ~ 59