

원전에 사용되는 직류전압제어 대전류원의 개발

Large-Scale Current Source Development in Nuclear Power Plant

김종호 · 최규식*
(주)우진엔텍 기술연구소

Jong-ho Kim · Gyu-shik Che*

R&D Center of Woojintec Inc., Gyeonggi-do, 18481, Korea

[요 약]

원전해체 시 대용량 처분시스템을 구동하거나 운영 중 제어봉 구동장치 제어시스템과 같은 대규모 측정전류를 요하는 중요설비를 측정 및 테스트하기 위해서는 측정 매체로서 안정적으로 전류를 공급할 수 있는 전류원이 필요하다. 그러나, 흔히 말하는 전원공급기는 전압원으로서 전압만을 내기 때문에 측정부하에 관계없이 일정한 전류를 공급할 수 있는 전류원 역할을 하지 못한다. 전류원은 전압원과 달리 제품을 만들기가 쉽지 않다. 원전 부품의 전류-전압 변환시험과 같은 건전성을 평가하기 위해서는 정상전류치보다 몇십배 훨씬 큰 수십 mA나 암페어 수준의 전류를 인가하여 테스트를 수행해야 하기 때문에 암페어(ampere) 단위의 전류를 공급할 수 있는 전류원이 필수적이다. 따라서 본 개발품에서는 이러한 필요에 의하여 입력이 전압으로 나타나는 전압원을 이용하여 측정대상에 원하는 전류를 일정하게 공급할 수 있는 전압제어으로서 대용량 전류를 공급할 수 있는 직류전압제어 대전류원을 개발하였다. 개발된 제품의 신뢰성을 확인하기 위하여 원전에서 사용되는 실제의 데이터값을 적용하여 테스트하였으며, 그 결과를 분석하여 선택회로의 정당성을 입증하였다.

[Abstract]

A current source capable of stably supplying current as a measurement medium is required in order to measure and test important facilities that require large-scale measurement current, such as a control element drive mechanism control system(CEDMCS), in case of dismantling a nuclear power plant. However, it can provides only voltage power as a source, not current, although direct voltage controlled constant current source is essential to test major equipment. That kind of source is not available to supply stable constant current regardless of load variation. It is just voltage supplier. Developing current source is not easy other than voltage source. Very large-scale current source up to ampere class more than such ten times of normal current is inevitable to test above mentioned equipment. So, we developed large-scale current source which is controlled by input DC voltage and supplies constant stable current to object equipment according to this requirement. We measured and tested nuclear power plant equipment using given real site data for a long time and afforded long period load test, and then proved its validity and verification. The developed invention will be used future installed important equipment measuring and testing.

Key word : Current source, Control element drive mechanism control system, Direct voltage controlled current source, I-V converter, Stable constant current.

<https://doi.org/10.12673/jant.2024.28.3.348>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 22 April 2024; Revised 25 June 2024
Accepted (Publication) 28 June 2024 (30 June 2024)

*Corresponding Author; Gyu-Shik Che

Tel: +82-31-379-3629

E-mail: gsche@hanmail.net

I. 서론

원자력발전소에서 원자력발전소를 안정적으로 안전하게 운전하기 위한 각종 감시 및 제어계통들이 있으며, 이 감시 및 제어계통에는 각종 제어카드들이 있다. 이들의 목적은 발전소의 출력상태를 안전하게 유지하도록 실시간으로 감시하면서 발전소의 출력이 부하가 필요로 하는 만큼 출력되도록 계측시스템들을 제어하는 것이다.

원전에 쓰이는 제어봉 구동장치 제어시스템 (CEDMCS; control element drive mechanism control system)과 같은 대규모 측정전류를 요하는 중요설비를 테스트하기 위해서는 측정매체로서 안정적으로 전류를 공급할 수 있는 전류원이 필요하다. 흔히 말하는 전원공급기는 전압원으로서 전압만을 내기 때문에 측정부하에 관계없이 일정한 전류를 공급할 수 있는 전류원 역할을 하지 못한다.

원전전자부품이나 소자의 열화를 평가하기 위해서는 대상에 대해서 가속수명법이나 가열법 등의 극한적인 환경을 만들어서 테스트해야 된다. 가속수명법에서 부품의 열화를 평가하는 가장 신뢰성이 높은 방법은 소자에 대전류를 공급하여 소자가 발열되어서 열화되어가는 과정을 분석하는 일이다.

그런데 전압원과 달리 전류원은 대용량을 만들기가 쉽지 않다. 소용량이라 하더라도 전류원 공급기는 고가이다. 그동안 측정 대상 시스템에 필요한 일정전류를 공급할 수 있는 전류원이 있기는 하나 그 용량이 수 $\mu\text{A}(10^{-12}\text{A})$ 에서 수 $\text{mA}(10^{-3}\text{A})$ 를 낼 수 있는 극히 적은 용량의 것이어서 수백 mA 에서 A (암페어)를 필요로 하는 전류원의 요건에 만족하지 못했다. 이와 관련한 그동안의 연구개발이나 상용화 내용을 살펴보면 연산증폭기를 이용하여 전압을 전류로 변환할 수 있다[1]는 이론이 제시되었고, BJT(bipolar junction transistor)를 이용하여 전류거울로 1 mA 단위의 정전류원을 만들 수 있다는 이론[2]에 의한 제품이 있으며, OP AMP를 이용하여 안정적인 전류원을 만들 수 있으나[3], 이것도 출력전류가 몇 mA 수준으로서 대전류용으로는 부적당하다. transistor active constant current source basics 이론[4]에 의한 것도 mA 수준밖에 안되고 실제로는 불안정하다. 애플리케이션에서 개발한 양방향성 전류원설계 제리 스틸 (Jerry steel)[5]에 의한 것도 극히 적은 전류원에 해당한다. 이상의 모든 전류원이 대전류로 사용하려면 선형성이 훼손되어 mA 단위밖에 출력할 수 없다는 큰 단점이 있다. 기타 [6]에서도 전류원이 제시되었으나 실현성이 부족하다.

이 전류원들은 mA 이하의 극소용량이거나 커봤자 수십 mA 수준으로서 우리가 원하는 대전류용으로는 쓸 수가 없다. 그리고 이 정도의 작은 전류를 공급하는 전류의 가격이 전압원의 가격에 비하여 매우 비싸다. 원전전자부품의 가속수명시험과 같은 극한상황의 열화를 평가하기 위해서는 시료에 정상전류치보다 몇십배 훨씬 큰 수백 mA 나 A 수준의 전류를 인가하여 시료를 가열열화시켜서 테스트를 수행해야 하기 때문에 암페어 (ampere) 단위의 전류를 공급할 수 있는 전류원이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 입력이 직류전류원인 전압원을 이용하여 열화대상시료에 원하는 전류를 일정하게 공급할 수 있는 전압제어으로서 대용량 전류를 공급할 수 있는 직류전압제어전류원을 개발하였다.

본 논문의 제2장에서는 전체적인 기능을 설명하는 기능블럭도를 제시하고, 제3장에서는 기능블럭도의 각각에 대한 역할을 설명하였다. 제4장에서는 개발된 실제 회로를 구성하여 발전소에서 적용하고 있는 값을 대입하여 개발된 내용의 정당성을 입증하였다. 제5장에서는 결론으로서 이상의 내용을 정리하고 앞으로의 과제에 대하여 언급하였다.

II. 제안된 회로의 기능 블럭도

본 연구에서 개발한 회로는 가변전압조정장치와 프로세서를 이용하여 직류전압을 조정함으로써 암페어 수준의 대전류를 발생시켜 측정대상부하(RL)에 일정전류를 공급할 수 있는 대전류발생장치이다. 이 장치는 원전계측제어대상 부하(RL)에 대한 시험을 하기 위한 부품이나 소자에 대전류를 공급하기 위한 것으로서 그 기능블럭도는 그림 1과 같고 이 기능블럭도에 적합한 구체적인 실제 회로도도 그림 2와 같다.

본 개발회로는 계측 대상 부하(RL)에서 필요로 하는 일정전류(IL)를 얻기 위하여 정전류원을 통하여 조건에 맞는 전류를 결정하는 것을 목적으로 한다. 이 전류는 프로세서가 조정하는 전압조정장치를 이용하여 결정되며, 전압조정장치에서 결정된 전압값은 평활회로와 전압보상회로를 거쳐서 정전류원에 입력되어 부하에 흐르는 전류(IL)를 일정전류가 되도록 조정한다. 일정전류란 부하에서 필요로 하는 전류를 말한다. 한편, 본래 전압조정장치에서 발생하는 전압에 의하여 정전류원에서 조정되는 일정전류(IL)가 원하는 값과 동일한가를 비교하기 위하여 평활회로의 출력전압값이 출력전류측정회로의 ADC(U2)를 거쳐서 프로세서(U3)로 귀환되는 한편, 전압조정장치의 프로세서로 귀환되어 전압조정장치(1)의 증폭기에서 부하에 필요한

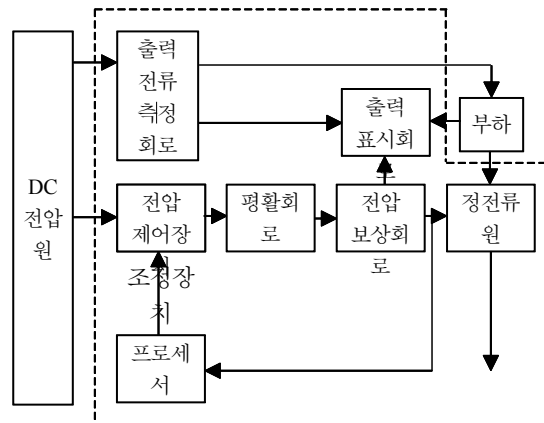


그림 1. 개발품의 기능블럭도

Fig. 1. Functional block diagram of development.

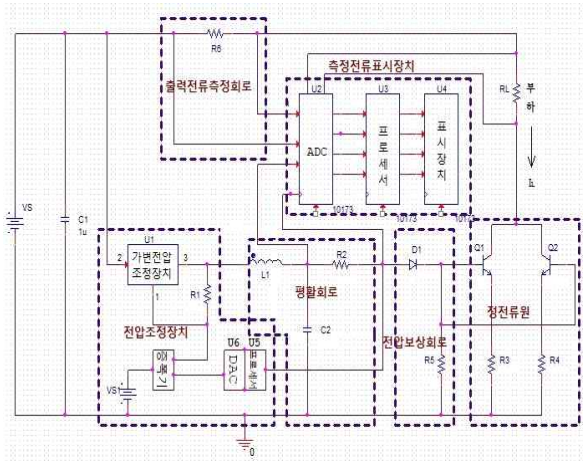


그림 2. 전체회로도
Fig. 2. Overall circuit diagram.

일정전류를 내도록 전압조정장치(1)의 증폭기에서 전압을 조정한다.

이와 같은 과정을 통해서 부하의 변동에도 불구하고 부하에 일정전류(IL)다 흐르게 되어 원하는 측정을 수행할 수 있도록 한다.

또한, 이 원전계측조정전류값(IL)과 부하전압, 전류원으로 입력되는 전류값을 표시하기 위해 이 값들을 전압으로 변환시켜서 디지털화회로를 거쳐서 최종적으로 표시기(U4)에 표시한다.

즉, 정전류원을 이용하여 필요한 부하전류(IL)를 얻기 위하여 전압조정장치에 있는 프로세서를 이용하여 전압조정장치를 조정하여 정전류원을 통하여 원하는 일정전류를 발생시킨다. 우선 프로세서를 이용하여 전압조정장치의 필요전압을 결정하여 이에 적합한 명령을 입력시키면 이에 맞는 전압을 발생시킨다.

이 전압은 평활회로를 통과한다. 그리하여 전압보상회로를 거친 후 정전류원의 핵심을 이루는 BJT(bipolar junction transistor) 차동증폭기(Q1, Q2)의 베이스에 인가된다. 이에 의하여 증폭기의 에미터단을 이용하여 원하는 정전류의 출력전류 IL을 내게 한다.

한편 부하에 필요한 원전계측제어용 전류 IL은 출력전류측정회로를 거쳐서 부하에 공급되며, 이 출력전류와 부하전압 VL, 정전류원의 베이스에 공급되는 제어전류를 표시하기 위한 출력표시회로로 구성된다.

III. 블럭별 기능

각 블럭별 기능은 다음과 같다.

3-1 전압조정장치

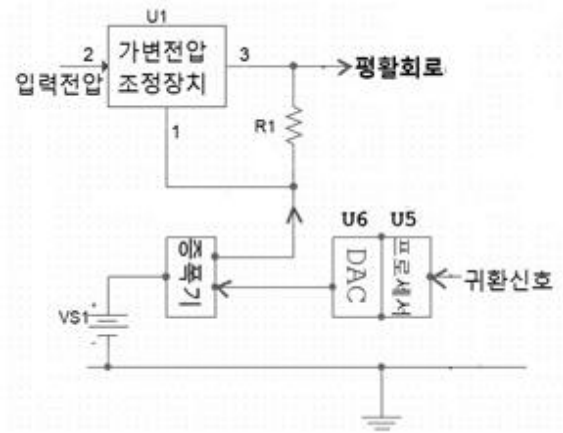


그림 3. 전압조정장치
Fig. 3. Voltage controller.

그림 3에서처럼 가변전압조정장치 U1, 저항 R1, 마이크로 프로세서(U5), DAC(Digital-to-Analog Converter)(U6), 연산증폭기로 구성된 회로이며, 이 전압조정장치에서 입력은 정해진 범위 내에서 제한적으로 가변적인 직류전압원(DC 전원)을 사용하며, 이 직류전압원에서 필요한 입력을 받아 마이크로프로세서에서 지시된 값에 따라 증폭기, 저항 R1을 통하여 조정된 일정한 출력전압을 평활회로(2)쪽으로 내도록 한다. 이 장치는 시스템의 공급전압인 DC 입력이 30 V 정도의 비교적 고압인 입력전압에 대해서 동작하도록 구성되었으며, 가변전압조정장치(U1)에서 프로세서의 지시된 값에 따라 1.00~8.00 V 정도의 가변적인 전압을 평활회로쪽으로 출력시킬 수 있다.

3-2 평활회로

그림 4에서 보는 바와 같으며, 이 평활 회로는 인덕터 L과 커패시터 C의 특성을 이용하여 원하는 주파수를 통과시키거나 차단시킬 수 있도록 설계하였다. 전압조정장치에서 출력되는 직류전압값에 조정과정에서 잡음이 혼입되거나 맥류파형이 발생될 수 있으므로, 이들을 제거하여 직류성분의 전압을

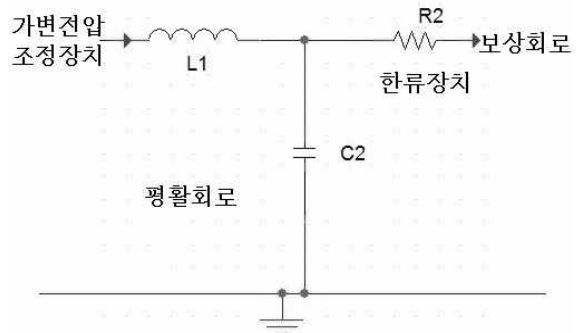


그림 4. 평활회로
Fig. 4. Filter circuit.

얻기 위함이며, 인덕터 L1, 캐패시터 C2, 저항 R2로 이루어진 일종의 저주파필터(LPF; low pass filter)이다.

그림 4에서 보는 바와 같이 인덕터 L1의 교류임피던스 XL은 다음과 같이 표시된다.

$$X_L = 2\pi fL \quad (1)$$

여기서 f는 혼입되는 잡음의 주파수(Hz), L은 인덕터의 인덕턴스(H)이다. 이 식에 의하면 f=0 Hz인 직류전압에 대해서는 임피던스가 0이므로 입력되는 전압이 그대로 전압보상회로 쪽으로 전달된다. 입력되는 전압에 교류성분의 잡음이 혼입되면 그 주파수 f가 커질수록 교류임피던스 XL이 커져서 인덕터 L1을 통과하지 못하고 소멸되어 전압보상회로 쪽으로 전달되지 못한다.

한편, 통과회로에 병렬로 연결된 캐패시터 C2에 의한 교류임피던스 XC는 다음과 같이 표시된다.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC_2} \quad (2)$$

여기서 C2는 캐패시터의 용량(F)이다. 이 식에 의하면 f=0 Hz인 직류전압에 대해서는 임피던스가 무한대(∞)이므로 입력되는 전압이 접지쪽으로 분기되지 않고 온전하게 그대로 전압보상회로 쪽으로 전달된다. 입력되는 전압에 교류성분의 잡음이 혼입되면 그 주파수 f가 커질수록 교류임피던스 XC가 단락상태로 작아져서 캐패시터를 통하여 접지쪽으로 분기되어 소멸되므로 전압보상회로 쪽으로 전달되지 못한다.

즉, 인덕터 L1을 이용한 평활회로는 주기가 짧은 고주파 성분은 통과하지 못하고 직류전압 성분만 통과하게 된다. 반대로, 캐패시터 C2를 이용한 평활회로는 직류전압 성분은 접지쪽으로 분기되지 않고 출력쪽으로 온전하게 전달되며, 교류 성분은 접지쪽으로 분기되므로 출력쪽으로 전달되지 못한다. 우리가 필요로 하는 전압은 직류이므로 이 평활회로를 통하여 직류전압만이 정전류원쪽으로 온전하게 전달된다.

3-3 전압보상회로

가변전압조정장치를 통해서 출력되는 전압은 1.00 V~8.00 V 범위이나, 평활회로를 거치는 중에 손실이 발생할 수 있으므로 이를 보상해줄 필요가 있다. 따라서 전압보상회로에서 출력값을 조정하여 0 V~6 V의 범위로 맞춘다. 회로는 그림 5와 같이 저항 R2, 다이오드 D1, 안정화저항 R5로 이루어진다.

실리콘(silicon : Si) 정류다이오드(D1)의 경우 상온에서 순방향전압강하는 0.65 V이고, 뒷단 정전류원의 Q1, Q2의 베이스와 에미터 사이의 전압강하도 동일한 순방향다이오드 전압 0.65 V 만큼 강하되므로, 가변전압조정기의 최소출력전압이 1.00 V를 거의 상쇄하여 정전류원의 에미터에 저항에 걸리는 전압 VE를 0 V~6 V의 범위로 맞출 수가 있어서 출력전류를

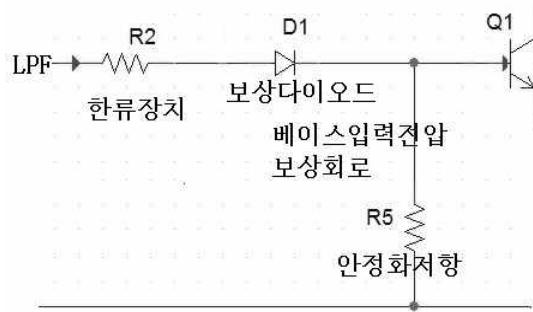


그림 5. 전압보상회로

Fig. 5. Voltage compensation circuit.

0 mA부터 2.6 A까지의 범위로 조절할 수 있다. 한류장치(R2)는 정전류원에 입력되는 불필요한 우발적인 돌발전압을 제한하기 위한 장치이다.

3-4 정전류원

그림 6에서 볼 수 있는 바와같이 동일한 특성을 갖는 BJT(bipolar junction transistor) Q1, Q2, 안정화저항 R5, 에미터저항 R3, R4로 이루어진 회로이다.

이 회로는 앞의 전압조정장치에서 출력된 전압이 평활회로, 전압보상회로를 거쳐서 정전류원인 BJT 차동증폭기의 각 베이스에 인가되어 원하는 출력전류 IL을 얻기 위한 회로이다. 차동증폭기 Q1, Q2가 전류거울 역할을 하는 전류원이고, 이 두 BJT 증폭기의 각각의 에미터전류는 각 증폭기의 출력전류의 정확히 반이 되며, 인가된 베이스전압에 따라 변한다. 저항 R3, R4의 값으로 출력전류의 범위를 결정한다. 이 결정된 에미터 저항들은 R3=R4이며, 전압조정장치의 출력전압에 비례하여 출력전류 IL이 흐르며, 부하 RL의 크기에는 관계 없다.

Q1, Q2 각각의 에미터 전압을 VE1, VE2라 하고 여기에 흐르는 전류를 IL1, IL2라 하면 각각의 에미터전압은 VE1=VE2이며, 이 값들은 Q1, Q2 각각의 베이스전압보다 0.65 V만큼 낮다. 즉, $V_{E1} = V_{E2} = V_B - 0.65$ 이고 $IL1=IL2$ 이다. 그러므로 IL1과 IL2는 다음식과 같다.

$$I_{L1} = \frac{V_{E1}}{R_3} = \frac{V_{B1} - 0.65}{R_3}, \quad I_{L2} = \frac{V_{E2}}{R_4} = \frac{V_{B2} - 0.65}{R_4} \quad (3)$$

이 두 전류를 합한 값이 부하에 흐르는 총 전류 IL이므로 IL은 다음과 같이 표시된다.

$$I_L = I_{L1} + I_{L2} = \frac{V_{B1} - 0.65}{R_3} + \frac{V_{B2} - 0.65}{R_4}$$

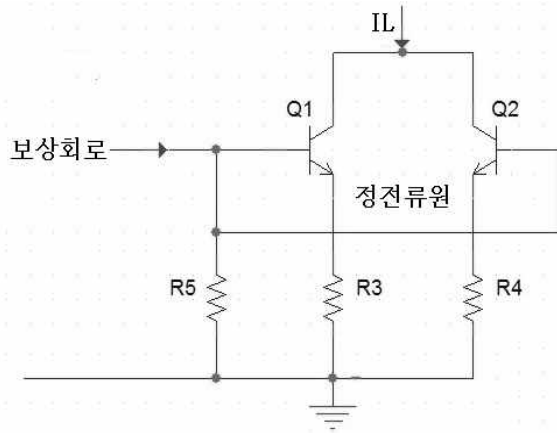


그림 6. 정전류원
Fig. 6. Constant current source

$$= \frac{(제어전압 - 1.3)}{R_3} = \text{일정} \quad (4)$$

그러므로 전압조정장치에서 전압을 조정하여 전류원의 Q1, Q2의 베이스에 입력되는 전압에 의해 부하 RL의 변화에는 관계 없는 일정한 전류가 흐르는 전류원을 구성할 수 있다.

따라서 이와 같이 차동증폭기를 이용하여 전류거울 효과를 내서 원하는 출력전류를 얻을 수 있게 할 뿐더러 두 개의 증폭기에 흐르는 전류가 동일하게 출력전류의 반씩을 흐르게 할 수 있다.

3-5 출력전류측정회로

출력전류 즉, 부하에 흐르는 총전류 IL을 측정하여 그 값을 표시장치(U4)에 표시하기 위한 회로이다. 표시하기 위한 값으로는 전류보다 전압이 효과적이므로 직렬저항 R6을 선로에 연결하여 이 양단의 전압을 측정한다. 이 회로는 그림 7과 같이 저항 R6로 구성된다. 저항 양단의 전압을 VR이라 하고 여기에 흐르는 부하전류를 IL이라 하면 다음과 같은 전류값이 얻어진다.

$$V_R = R_6 \times I_L \quad (5)$$

예를 들어서 부하에 흐르는 출력전류 IL의 값이 0~2.6 A가 되도록 조정하고 싶다면 이 양단의 전압 VR의 범위가 전압조정장치의 ADC(U2)에서 필요로 하는 0~5 V가 되도록 저항 R6의 값을 맞춘다.

여기서 측정된 값을 디지털형식으로 표시하기 위해서는 아날로그-디지털 변환기(ADC: analog-to-digital converter)(U2)를 통하여 표시장치(U4)에서 필요로 하는 디지털값으로 변환한다.

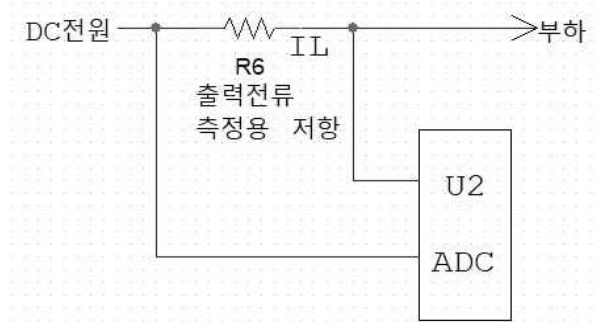


그림 7. 출력전류측정회로
Fig. 7. Output voltage measuring circuit

3-6 출력표시회로

출력전류 IL을 VR로 변환하여 ADC(U2)를 거쳐서 디지털화된 값을 마이크로프로세서(U3)를 통하여 디지털신호로 변환하여 표시기(display)(U4)에 표시하는 회로로서 그 그림은 그림 8과 같다. 마이크로프로세서 U3, 표시장치 U4, 기타 이러한 회로를 동작시키기 위한 전압원, 각종 저항, 캐패시터 및 디지털신호선으로 구성된다.

출력표시장치(U4)로서는 7-segment displays를 사용한다. 이는 ADC(U2)에서 출력되는 값을 받아서 그 값들을 숫자나 문자로 표시한다. ADC(U2)로 입력되는 입력값으로는 출력전류, 출력전압, 베이스전류가 있다.

IV. 시뮬레이션

본 연구에서 개발한 그림 2와 같은 개발장치의 성능을 입증하기 위해 회로의 각 소자에 다음 표 1의 값들을 적용하여 시뮬레이션하였다. 부하저항(RL)으로서는 대전류용이므로 1~12 Ω까지의 범위에서 가변시킬 수 있도록 하고 전압조정장치의 출력전압은 1.00 V~6.00 V까지 변화시키면서 이에 비례하는 부하전류 IL이 부하저항의 크기에는 관계없이 일정하게 흐르는지 점검하도록 하였다.

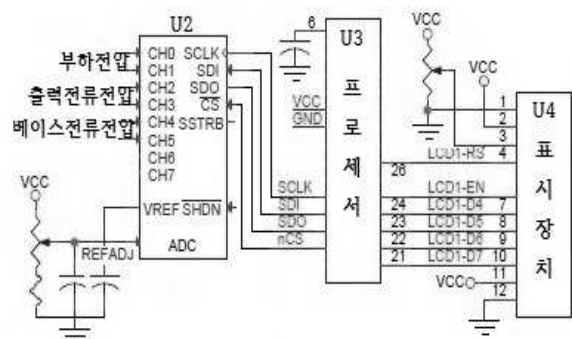


그림 8. 출력표시회로
Fig. 8. Output display

표 1. 회로의 부품 적용 값
Table 1. Part values of circuits.

부 품	값	부 품	값
VS	0~+30VDC	C2	100uF
Processor	PIC16C874	R1	510Ω
U1	LM317K	R2	20Ω, 50W
U2	ADS1115(A DC)	R3	3 . 3 3 Ω , 50W
U3	PIC16C874	R4	3 . 3 3 Ω , 50W
U4	7 - S e g . Display	R5	100K
Q1	TIP35	R6	0.2Ω, 50W
Q2	TIP35	L1	100uH
C1	1uF	D1, D2	1N914

시뮬레이션 결과, 전압조정장치의 출력전압에 의하여 정전류원의 베이스(Q1, Q2의 베이스)로 흘러들어가는 전류는 그림 9와 같은 모습을 보여준다. 전압조정장치의 조정전압을 0 V부터 시작하여 6 V까지 변경시켜서 부하저항 RL의 크기와 관계없이 정전류원의 베이스(Q1, Q2의 베이스)에 원하는 전류가 흐른다는 것을 보였다. 그림 9에서 전압조정장치의 출력전압이 6 V를 초과하고 RL=12 Ω인 경우 Q1, Q2의 베이스쪽에 과도한 전류가 흐르는 이유는 출력전류 RL이 포화에 이르러 부하저항과 에미터저항 R3, R4의 과도한 불균형에 의하여 돌입 전류가 생기기 때문이다. 그러므로 전압조정장치의 출력전압은 5 V를 초과하지 않는 게 좋다.

정전류원(4)의 베이스에 인가된 조정전압에 의하여 정전류원(4)의 에미터에 걸리는 전압 VE1, VE2는 그림 10과 같다. 부하 RL의 크기에 관계없이 조정전압에 의하여 출력전류가 결정된다는 것을 볼 수 있다. 단, 부하저항의 크기에 따라서 부하 양단에 걸리는 전압에 한계가 있으므로 부하저항 RL의 크기가 얼마냐에 따라 그림에서처럼 에미터의 포화전압이 결정된다. 예를 들면 전압조정장치(1)의 출력전압이 5.2V를 초과할 때

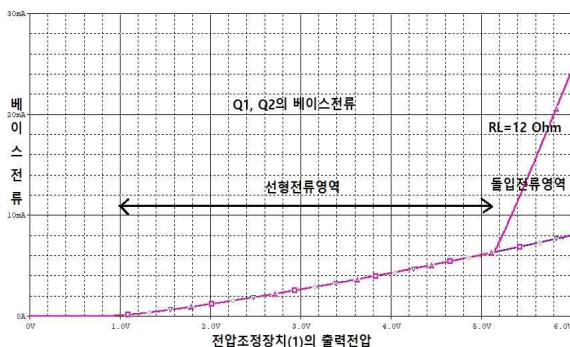


그림 9. 각 트랜지스터의 베이스전류
Fig. 9. Base currents of each transistor

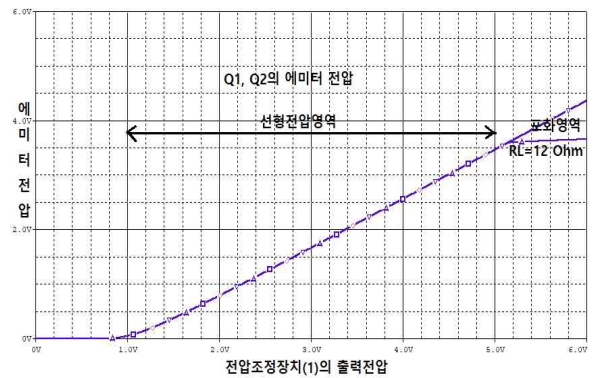


그림 10. 각 트랜지스터의 에미터전압
Fig. 10. Emitter voltages of each transistor

RL=1 Ω이면 주어진 전압범위 내에서 포화전압이 없으나, RL=12 Ω이면 에미터의 전압은 4.3605 V가 정상이나 이 시스템이 포화되어 3.6572 V로 제한된다.

그림 11에서는 최종출력전류 IL을 보여준다. 부하의 크기에 관계 없이 전압조정장치(1)의 출력전압에 비례하는 전류를 일정하게 내고 있음을 볼 수 있다. 전압조정장치의 출력전압이 더욱 더 증가하게 되면 이에 따라 부하에 흐르는 전류 IL도 증가하게 되므로 어느 범위를 초과하게 되면 이 값이 포화치가 이르게 된다. 예를 들어서 시스템의 공급전압이 30 V이고 RL=1 Ω이면 주어진 전압범위 내에서 부하의 포화전류의 한계가 없으나, RL=12 Ω이면 부하의 전류는 2.6030 A가 정상이나 이 시스템이 포화되어 2.1480 A로 제한된다.

그림 12에서는 조정전압 대비 부하의 출력전압관계를 보였다. 부하의 저항값이 클수록 이에 정비례하여 전압이 상승함을 알 수 있다. 전압조정장치(1)의 출력전압이 5.V 이상이 되면 이 또한 포화전압이 존재한다.

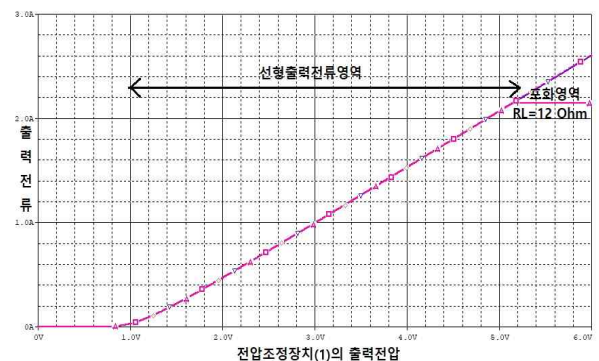


그림 11. 출력전류
Fig. 11. Output currents

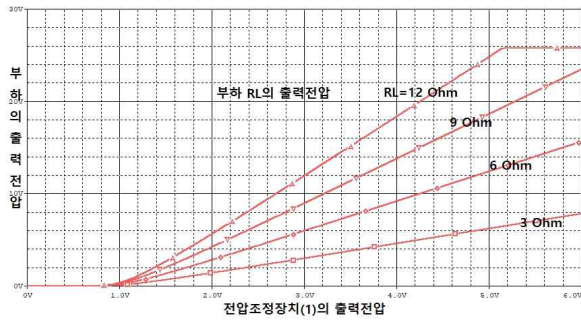


그림 12. 부하전압변화

Fig. 12. Load voltage variations

표 2. 전압조정장치의 출력전압 대비 출력전류 IL, 베이스전류, 베이스전압, 에미터 전압, 출력전압 VL

Table 2. Various values vs. output voltage.

UI Out 항 RL (Ω)	부 하 저 항 RL (Ω)	출력전류 IL(mA)	참고사항			
			Q1, Q2의 베이스 전류 (mA)	Q1, Q2의 VB(V)	Q1, Q2의 VE(V)	Q1, Q2의 VL(V)
1V	3	27.6	0.066	0.526	0.046	0.0827
	6	27.6	0.066	0.526	0.046	0.1655
	9	27.6	0.066	0.526	0.046	0.2483
	12	27.6	0.066	0.526	0.046	0.3310
2V	3	467.3	1.170	1.336	0.782	1.4022
	6	467.3	1.170	1.336	0.782	2.8044
	9	467.3	1.170	1.336	0.782	4.2065
	12	467.3	1.170	1.336	0.782	5.6087
3V	3	992.7	2.670	2.236	1.662	2.9782
	6	992.7	2.670	2.236	1.662	5.9565
	9	992.7	2.670	2.236	1.662	8.9347
	12	992.7	2.670	2.236	1.662	11.913
4V	3	1528	4.260	3.146	2.559	4.5851
	6	1528	4.260	3.146	2.559	9.1701
	9	1528	4.260	3.146	2.559	13.755
	12	1528	4.260	3.146	2.559	18.360
5V	3	2065	6.05	4.056	3.460	6.1978
	6	2065	6.05	4.056	3.460	12.396
	9	2065	6.05	4.056	3.460	18.584
	12	2065	6.05	4.056	3.460	24.791
6V	3	2603	7.96	4.963	4.361	7.8089
	6	2603	7.96	4.963	4.361	15.618
	9	2603	7.96	4.963	4.361	23.417
	12	2148	7.96	4.255	3.657	25.776

이상의 결과를 정리하면 다음 표 2와 같이 요약할 수 있다.

(동작전압 30 V, RE=2×3.33 Ω인 경우)

위의 표 2에서 보듯 본 직류전압제어 대전류원은 부하저항 RL의 변화에는 관계 없이 오직 전압조정장치의 출력전압에 비례하는 출력전류를 내는 장치로 적합함을 알 수 있다.

V. 결 론

그동안 측정 대상 시스템에 필요한 일정전류를 공급할 수 있는 전류원이 있기는 하나 그 용량이 수 μA (10^{-12} A)에서 수 mA (10^{-3} A)를 낼 수 있는 극히 적은 용량의 것이어서 수백 mA에서 A(암페어)를 필요로 하는 전류원의 요건에 만족하지 못했다. 원천 부품의 전류-전압 변환시험과 같은 건전성을 평가하기 위해서는 정상전류치보다 몇십배 훨씬 큰 수십 mA나 A 수준의 전류를 인가하여 테스트를 수행해야 하기 때문에 암페어(ampere) 단위의 전류를 공급할 수 있는 전류원이 필수적이다.

따라서 본 개발품에서는 이러한 필요에 의하여 입력이 전압으로 나타나는 전압원을 이용하여 측정대상에 원하는 전류를 일정하게 공급할 수 있는 전압제어으로서 대용량 전류를 공급할 수 있는 직류전압제어 대전류원을 개발하였다.

본 장치는 계측 대상 부하(RL)에서 필요로 하는 일정전류(IL)를 얻기 위하여 정전류원을 통하여 조건에 맞는 전류를 결정하는 것을 목적으로 한다. 이 전류는 프로세서가 조정하는 전압조정장치를 이용하여 결정되며, 전압조정장치에서 결정된 전압값은 평활회로와 전압보상회로를 거쳐서 정전류원에 입력되어 부하에 흐르는 전류(IL)를 일정전류가 되도록 조정한다. 한편, 본래 전압조정장치에서 발생하는 전압에 의하여 정전류원에서 조정되는 일정전류(IL)가 원하는 값과 동일할가를 비교하기 위하여 평활회로의 출력전압값이 출력전류측정회로의 ADC(U2)를 거쳐서 프로세서(U3)로 귀환되는 한편, 전압조정장치의 프로세서로 귀환되어 전압조정장치의 증폭기에서 전압을 조정하여 부하에 필요한 일정전류를 내도록 전압조정장치의 증폭기에서 전압을 조정한다. 이와 같은 과정을 통해서 부하의 변동에도 불구하고 부하에 일정전류 ILDL 흐르게 되어 원하는 측정을 할 수 있도록 한다.

또한, 이 원천계측조정전류값(IL)과 부하전압, 전류원으로 입력되는 전류값을 표시하기 위해 이 값들을 전압으로 변환시켜서 디지털회로를 거쳐서 최종적으로 표시기(U4)에 표시한다.

본 장치의 성능을 확인하기 위한 시뮬레이션을 통하여 주어진 전압 범위 내에서 전압조정장치를 이용하여 필요로 하는 출력전류를 얻을 수 있음을 확인하였다.

Acknowledgments

이 연구는 산업통상자원부/한국에너지기술평가원의 원전해체 경쟁력강화 기술개발사업/원전 해체현장 방사능 측정시스템 개발 및 실증(과제번호: RS-2023-00236726) 과제의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] K. J. Park, *Operational Amplifier*, 3rd ed., Suyoo, Gangbuk, Seoul: Bookshill, 2013.
- [2] R. L. Boylestad, L. Nashelsky, and F. J. Monssen, *Laboratory Manual to Accompany Electronic Devices and Circuit Theory*, 11th ed., Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.
- [3] Texas Instruments : *Comprehensive Study of the Howland Current Pump*, Texas Instruments, AN-1515, pp.1-17, 2013.
- [4] JLCPCB, *Active Transistor Cconstant Current Source*, Available: https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/transistor/active-constant-current-source.
- [5] IT BIZ NEWS, [Internet] Available : <http://www.itbiznews.com/news/articleView.html?>
- [6] H. Trietley, *An Introduction to Current Sources, All About Circuit*, [Internet] Available: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/an-introduction-to-current-source/>



김 종 호 (Jong-ho Kim)

1990년:명지대학교 자연과학대학 물리학과 (이학사),
 1999년:명지대학교 자연과학대학 대학원 물리학과 (이학박사),
 2000년 - 2005년 (주)세영엔디씨 부설연구소 연구소장,
 2009년 - 현재 (주)우진엔텍 부설연구소 연구소장
 ※관심분야: 제어계측, 원자력

1992년:명지대학교 자연과학대학 대학원 물리학과 (이학석사)
 1997년 - 2000년:삼성전자 삼성생명과학연구소 연구원
 2005년 - 2009년 한국방사선기술(주) 부설연구소 연구소장



최 규 식 (Gyu-shik Che)

1973년 서울대학교 공과대학 전기공학과 (공학사),
 1993년 명지대학교 전기공학과 (공학박사),
 1993년 ~ 2014 건양대학교 의공학과 교수,
 2015~현재 (주)우진엔텍 고문
 ※관심분야: 전자회로, 원자력

1983년 뉴욕공과대학 전기공학과 (공학석사)
 1978년 ~1993년 한국전력기술 중앙연구소 책임연구원
 2014~2015 (주)맥스파워 연구소장