

Linear Regulator IC Series

Linear Regulator 의 기초

No. 15020JAY17

Linear Regulator 는 3 단자 Regulator 와 Dropper 등으로 불리며, 회로가 심플하여 간단하게 사용할 수 있어, 예전부터 많은 설계자에게 친숙한 전원입니다. 예전에는 디스크리트 구성된 적도 있었지만, IC 가 발전됨에 따라 간단하고 편리하며, 소형화가 가능하여 다양한 전원 어플리케이션에 이용되고 있습니다.

최근에는 고효율이 전자기기의 필수요건이 되어, 높은 출력전력을 필요로 하는 기기에서는 스위칭 전원이 주류가 되고 있습니다만, 간단하면서 면적이 적고, 무엇보다 낮은 노이즈 내성을 가지는 Linear Regulator 는 모든 어플리케이션에 필요한 전원입니다.

본 어플리케이션 노트에서는 Linear Regulator 의 개요를 설명합니다.

Linear Regulator 의 동작원리

Linear Regulator 는 기본적으로 입력, 출력, GND 핀으로 구성되며, 출력이 가변일 경우는 출력전압의 귀환이 필요하기 때문에 귀환(Feedback)핀이 추가됩니다. (Figure 1)

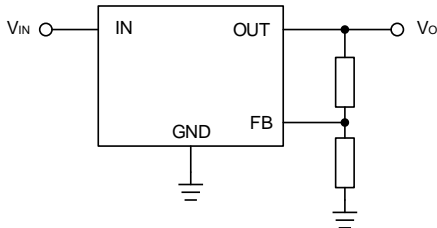


Figure 1. Linear Regulator 의 기본구성

Linear Regulator 내부회로의 개요는 Figure 2 와 같습니다. 기본적으로 에러앰프(오차 검출용 OP AMP)와 기준 전압원, 출력트랜지스터에 의해 구성됩니다. 출력 트랜지스터는 이 그림에서는 Pch MOSFET 로 구성되어 있습니다만, Nch MOSFET 은 물론, PNP/NPN 의 바이폴라 트랜지스터도 사용됩니다. 동작은 완전한 아날로그입니다.

OP AMP 를 사용한 기본적인 제어회로의 하나인 귀환루프 회로로 제어되고 있습니다.

입력과 부하가 변동하여 출력전압이 변동하기 시작해도 에러앰프가 연속적으로 Regulator 의 출력전압으로부터 귀환전압과 기준전압을 비교하여 차분이 제로가 되도록 파워 트랜지스터를 조정하여, Vo 를 일정하게 유지합니다.

이것이 귀환루프제어에 의한 안정화(Regulation)입니다. 기본적으로 앞서 얘기했듯이 에러앰프의 비반전 단자의

전압은 항상 V_{REF} 와 같도록 하기 때문에 R_2 에 흐르는 전류는 일정하게 됩니다. R_1 과 R_2 에 흐르는 전류는 (V_{REF}/R_2) 로 구해지므로, V_o 는 이 전류 $\times (R_1 + R_2)$ 가 됩니다. 이것은 옴의 법칙 그대로입니다. 이를 식으로 표현하면 식(1)과 같습니다.

$$V_o = \frac{V_{REF}}{R_2} \times (R_1 + R_2) = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \times V_{REF} \quad [V] \quad (1)$$

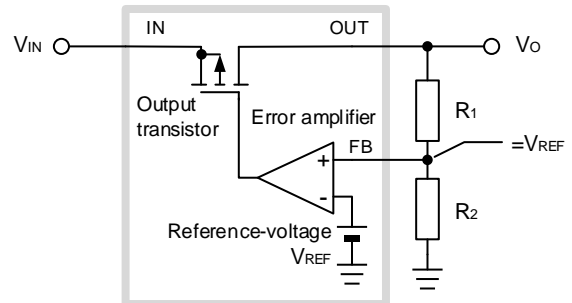


Figure 2. 내부회로의 개요

Linear Regulator 의 분류

Series Regulator, 3 단자 Regulator, Dropper, LDO 등과 같은 명칭을 들어본 적이 있을 것입니다만, 모두 Linear Regulator 를 지칭하는 말입니다. 이러한 명칭과는 별개로 기능과 방식에 따라서 다음과 같이 분류할 수 있습니다.

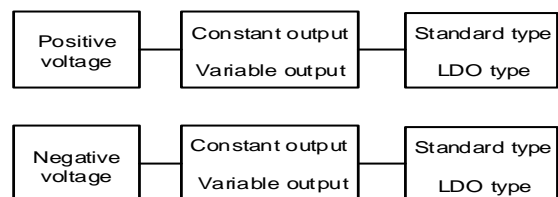


Figure 3. Linear Regulator 의 체계

먼저 크게 나누자면 정전압용과 부전압용으로 나눌 수가 있고, 부전압용은 그다지 활용도가 높지는 않습니다. 다음은 고정출력용과 가변출력용으로 나눌 수 있습니다. 고정형은 표준 형번호는 78xx(정), 79xx(부)타입으로 대표되고 입력과 출력, GND 3 단자로 구성되어 있고, 설정용 저항이 IC 에 내장되어 있기 때문에 귀환 핀이 밖으로 나올 필요는 없습니다. 가변형은 Figure 1 과 같이 GND 를 기준으로 귀환 핀이 외부에 있는 4 단자 구성이 됩니다. 가변형에는 GND 가 플로팅 동작인 317(정전압)과 1117 (정전압), 337 (부전압) 타입이 있으며, 이들은 3 단자 타입입니다.

고정과 가변의 다음으로는 표준형과 LDO형으로 나뉩니다. LDO 는 Low-dropout 의 약칭으로 표준형의 dropout 전압 (안정화 동작이 가능한 최저 입력 전압차)이 3V 이지만 LDO 형은 dropout 전압을 1V 이하로 개량한 것으로 VCC 의 전압이 3.3V 부터 LDO 출력하는 타입이 일반적입니다. 12V 부터 5V 로 변환하는 타입이 주류이던 때에는 dropout 전압은 표준형의 3V 로도 충분했지만, 3.3V 의 출력 전압이 필요한 때에 VCC=5V 에서 VOUT=3.3V 를 출력하기 어렵기 때문에 LDO 가 탄생하게 되었습니다.

상기 내용의 Linear Regulator 는 모두 출력 트랜지스터가 외장형이지만, 대전류를 흘리기 위해서 출력 트랜지스터를 외장으로 설정하는 Linear Regulator 를 Controller 라고 하는 IC 도 있습니다.

그 외로는 제조 Process 의 특징으로 인한 분류가 있습니다. 일반적으로 바이폴라(Bipolar) Process 의 Linear Regulator 에는, 35V 나 50V 정도로 내압이 높은 IC 가 많지만 소비전류가 수 mA 로 높은 편입니다. CMOS 의 Process 는 최근에는 20V 의 높은 내압을 가지는 제품도 있지만 대부분 5V 까지의 내압을 가집니다. 소비전류는 수십 μ A 로 매우 적습니다.

로움에서는 Bipolar 와 CMOS 의 특징을 겸비한 Bi-CDMOS Process 를 사용하여, 50V 내압에도 소비전류를 수 μ A 로 실현시킨 LDO IC 상품화하고 있습니다.

Model : Manufacturing process
 BAxxxx : Bipolar
 BUxxxx : CMOS
 BDxxxx : Bi-CDMOS

Figure 4. ROHM 형명과 제조 Process

Package 에 관해서는, Linear Regulator 는 방열이 중요하므로 열 저항이 낮은 Package 가 사용됩니다. Thru hall 의 형식에서는 방열판이 붙어있는 TO-220 계열, 표면 실장형식에서는 실장면에 방열 PAD 를 탑재한 타입이 사용됩니다.



Figure 5. Package

Linear Regulator 의 회로 구성과 특징

Linear Regulator 의 회로 구성은, 기본적으로 Figure 6 과 같이 귀환 루프회로이지만 출력 트랜지스터의 종류에 의해 dropout 전압이 달라집니다.

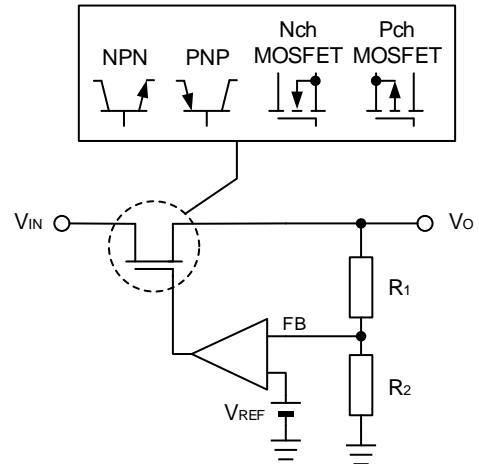


Figure 6. 기본 회로와 출력 트랜지스터

크게는 표준형과 LDO 형의 차이이지만 LDO 중에서도 다시 3 종류로 나뉩니다. 바이폴라 NPN 트랜지스터를 사용한 LDO 는 많지 않지만, 대전류를 흘릴 수 있습니다. 크기는 10A 의 사양도 있으며 dropout 전압이 1~2V 정도로 LDO 중에서도 높은 부류에 속합니다. 바이폴라 PNP 트랜지스터 LDO 는, 현재 바이폴라 LDO 계의 주류가 되었습니다. 초기에는 기동시의 돌입전류나 전류의 용량에 어려움이 많았으나 현재는 많은 개량이 진행되고 있습니다. MOSFET 를 출력 트랜지스터로 사용하게 된 것은 이전보다 한층 더 낮은 출력전압에 대한 대응 요구와 배터리의 구동 Application 을 고려한 저 소비 전력화의 추구에 기인 한 것입니다. (Figure 7)

Control transistor	Dropout voltage
NPN standard type	Around 3V
NPN LDO	1V to 2V
PNP LDO	$\leq 0.5V$
MOSFET LDO	$\leq 0.5V$

Figure 7. 출력전압과 Dropout 전압

장점과 단점

Linear Regulator 의 장점은 무엇보다 간단한 구성입니다. 입력과 출력에 콘덴서를 1pcs 씩 추가하는 정도로 동작되므로 실질적인 회로설계가 불필요하다고 말할 수 있습니다. 굳이 말하자면 회로설계보다 방열설계 쪽이 더 복잡할 수 있습니다. 또한, 스위칭 전원에 의한 노이즈가 없고, Ripple 제거 특성이나 전압의 노이즈 자체도 적기 때문에 노이즈에 민감한 AV, 통신, 의료기기 등에서 선호하는 경향이 있습니다. 단 회로설계가 불필요하다고 하더라도 주의점이 있습니다. 최근에는 대용량에 저 ESR 의 세라믹 콘덴서나 낮은 임피던스의 전해콘덴서가 상용화되고 있습니다. 만약 이 부품들을 「출력에 세라믹 콘덴서 사용가능」 이라고 기재되어 있지 않은 IC 에 사용하게 되면 제법 높은 확률로 발진을 일으키게 됩니다. 오래전에 개발된 IC 는 개발시점에 저 ESR 콘덴서가 출시되지 않았기 때문에 기존의 고 ESR 콘덴서를 출력에 접속한 상태로 에러앰프의 위상 보상에 사용되고 있었습니다. 이러한 IC 에 저 ESR 의 콘덴서를 접속하게 되면 위상 지연이 발생하여 AMP 가 발진하게 됩니다. 최근 개발된 IC 는 저 ESR 의 출력 콘덴서를 고려하여 개발되었기 때문에 폭넓은 종류의 콘덴서의 사용이 가능합니다.

단점은 입출력의 전압차가 크면 손실이 커지고, 그 손실의 대부분이 열로써 소비되므로 조건에 따라서는 상당한 열이 발생하기도 합니다. 수[W]이상의 전력으로 사용하기 위해서는 발열 문제를 해결할 필요가 있습니다. 이 온도 상승이 IC Chip 의 Junction 온도의 최대 정격을 넘기게 되어 IC 의 최대정격전류까지 사용하지 못하는 경우가 자주 있습니다. 또한, Linear Regulator 는 강압만 가능합니다. 이는 부전압용의 경우에도 동일하며 부전압의 경우 혼동하기 쉬운 점이 부전압용의 Linear Regulator 를 -5V 입력으로 예를 들자면 입력보다 더 낮은 전압(예 -12V)을 출력하지 못합니다. 이는 전위가 입력의 -5V 에서 출력의 -12V 로 떨어지므로 강압으로 보이지만 전압을 GND 기준으로 보면 -5V 에서 -12V 로 마이너스 방향으로 증가하고 있으므로 마이너스 방향으로 승압하는 것이 되기 때문입니다. 따라서 부전압의 입출력 관계는 -12V 를 입력하여, -5V 를 출력하는 형태가 됩니다. (Figure 8)

장점	단점
- 설계가 간단	- 입출력 전압차가 크면 효율악화
- 부품수가 적음	- 저효율 = 발열이 큼
- 적은 면적 (발열이 적은 경우)	- 발열이 크면 실장의 면적이 커짐
- 노이즈가 적음	- 강압만 가능
- 저가	

Figure 8. 장점과 단점

효율과 열 계산

Linear Regulator 의 효율과 열 계산에 대해 설명합니다.

Linear Regulator 의 효율

효율의 정의는 [인가된 전력과 변환된 전력의 비율]로 통상적으로 [%]로 표시합니다. 이는 DCDC 도 동일합니다. 식 (2)(3)에 효율 η 의 식을 나타냅니다. 입력전류 I_{IN} 에 포함된 I_{CC} 는 IC 자체의 소비전류입니다. 이는, 작은 양이기 때문에 부하전류가 수 100mA 이상으로 클 때에는 무시해도 됩니다. 이런 경우 입력과 출력이 동일 전류가 되기 때문에 식(4)와 같이 단순히 출력전압을 나누는 것만으로 계산이 됩니다.

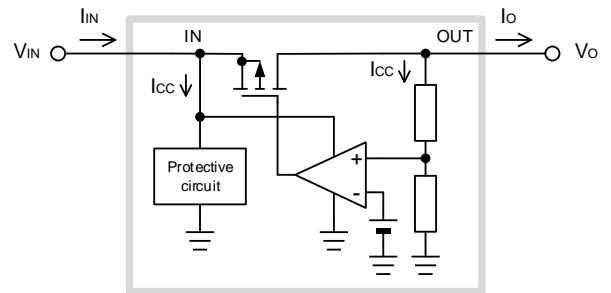


Figure 9. 전류 경로

$$\eta = \frac{P_O}{P_{IN}} \times 100 \text{ [%]} \tag{2}$$

$$= \frac{V_O \times I_O}{V_{IN} \times I_{IN}} \times 100 \text{ [%]} \tag{3}$$

단, $I_{IN} = I_O + I_{CC}$

$$\cong \frac{V_O}{V_{IN}} \times 100 \text{ [%]} \tag{4}$$

단, $I_{CC} \ll I_O$

예를 들면 5V 에서 3.3V 의 변환에서의 효율은 66%로 계산되며, 근래의 DCDC 의 효율은 80%~90%이상이므로 66%는 매우 낮은 효율입니다.

여기서, 입력전압 5V 를 3.8V 로 변경하게 되면 효율이 86.8%가 됩니다. 즉, Linear Regulator 도 입출력의 전압차를 작게 하면 효율이 높아지고, DCDC 와 동등수준의 고효율을 얻을 수 있습니다. Figure 10 을 보면 V_{IN} 이 dropout 전압 $V_{DROPOUT}$ 에 가까워 질수록 손실전력이 줄고 효율이 높아집니다. 이 조건에서 입출력차는 0.5V 이므로 Linear Regulator 의 선택지는 LDO 가 되며, 이와 더불어 dropout 전압이 0.5V 이하의 LDO 가 되므로 표준형의 Linear Regulator 로는 이 조건을 만족하지 못합니다. 혹시 불가피하게 Linear Regulator 를 사용하게 된다면 입력전압은 dropout 전압을 3V 로 가정하면 6.3V 이상이 필요하여 위에서 언급한 5V 입력 조건에 대응이 불가하며, 효율도 52%로 떨어집니다. 반대로 12V 에서 5V 를 출력할

때는 LDO 도 표준형에서도 효율이나 손실은 동일합니다.

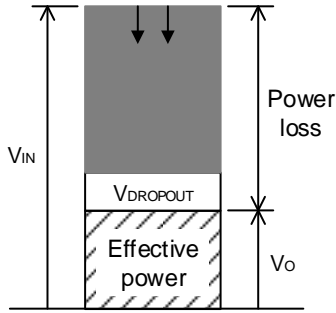


Figure 10. 입력전압과 손실전력의 관계

Linear Regulator 의 효율은 입출력 전압차에 의존합니다. dropout 전압은 입출력의 전압차를 얼마나 작게 하는 것인가에 기인하지만 식에 dropout 전압의 항목이 없기 때문에 효율에는 직접적인 관계는 없습니다.

Linear Regulator 의 열 계산

열 계산에는, 손실전력, Package 의 열특성 파라미터 및, Package 상면 중심온도의 정보가 필요합니다. 손실전력은 효율계산에서의 계산방법과 동일하며, 단순히 입출력 전압차와 입출력 전류를 곱한 값이 됩니다. (식(6)). 열특성 파라미터는 일반적으로 Datasheet 에 기재되어 있습니다만 그렇지 않을 경우에는 각 IC Maker 에 문의해야 할 필요가 있습니다. Package 상면 중심온도는 열전대를 Package 의 상부 중심에 밀착 고정하여 측정한다면 가장 정확하게 측정이 가능합니다.

일반적으로는 Junction(Chip)으로부터 Package 상면 중심까지의 열특성 파라미터 ψ_{JT} 를 사용합니다.

IC 에 따라서는 Junction(Chip)으로부터 주위(Ambient)간의 열저항 θ_{JA} 이 제공되는 경우가 있습니다. (Figure 11)

접근 방법으로는, 식(5)와 같이 손실전력과 열특성 파라미터로부터 IC chip 의 발열량을 구하고, 그에 Package 상면 중심온도를 더하면 Chip 의 온도를 구할 수 있습니다. 계산된 T_J (Junction 온도)가 T_{jmax} (Junction 온도의 최대정격)를 넘지 않도록 합니다. 혹시, T_{jmax} 를 넘었을 경우는 조건의 변경이 필요합니다.

이것은 IC 사양 그대로의 사용이 아닌 입출력 전압, 출력 전류, 주위 온도에 따라 사용 상 제한이 따른다는 것을 의미하는 것입니다.

$$T_J = P \times \psi_{JT} + T_T \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

$$P = (V_{IN} - V_O) \times I_{IN} \quad [W] \quad (6)$$

P : 손실전력 [W]

ψ_{JT} : 열특성 파라미터

T_T : Package 상면 중심온도 [°C]

또한, 열저항 θ_{JA} 을 이용하여 간이로 Chip 의 온도를 산출하는 것도 가능합니다. 이 경우에는 주위온도의 정보가 필요합니다. 주위온도의 정보에 대해서는, 예를 들면 70°C와 같이 임의로 상정한 온도여도 상관없습니다. 가혹조건에서 측정하는 경우도 있기 때문입니다.

접근 방법으로는, 식(7)과 같이 손실전력과 열저항으로부터 IC chip 의 발열을 구하고, 그에 주위환경온도를 더하는 것으로 Chip 의 온도를 구할 수 있습니다.

$$T_J = P \times \theta_{JA} + T_A \quad [^\circ\text{C}] \quad (7)$$

$$P = (V_{IN} - V_O) \times I_{IN} \quad [W] \quad (8)$$

P : 손실전력 [W]

θ_{JA} : 열저항

T_A : 주위환경온도 [°C]

일반적으로, 정격을 넘었다는 이유로 입력전압이나 출력전압을 변경하는 일은 없다고 보여집니다. 대처 방법으로는 출력전류를 낮추는 것이라고 생각됩니다.

이 경우 전력제공을 받는 Device 는 가급적 소비전류가 낮은 Device 를 선정하는 것이 방법이 되겠습니다.

또 다른 방법으로는 주위온도를 낮추는 것도 방법이 되겠습니다. 자연대류의 공랭에서 FAN 에 의한 냉각으로 변경하거나, 이미 FAN 이 있는 경우에는 냉각 능력을 높인다거나, 공기의 흐름을 재설계 하는 것도 하나의 방법입니다.

또한, Linear Regulator 에 방열판을 부착하여 열저항을 낮추는 방법도 효과적입니다. 다만 방열판의 Cost 및 기판의 사이즈 확대는 부담스러운 검토 항목이 됩니다. 다른 방법으로는 IC 의 입력부에 저항을 삽입하여 발열을 분산시키는 방법이나, 전원의 효율을 높여 발열을 낮추는 방법으로는 DCDC 타입을 검토하시는 방법도 있겠습니다.

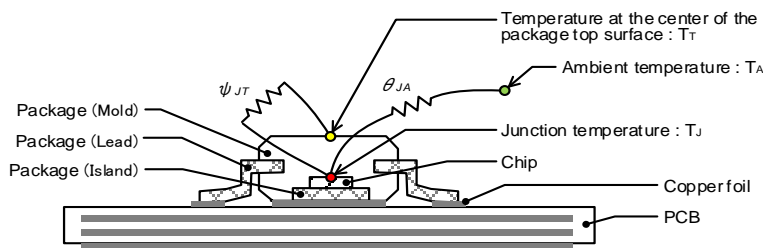


Figure 11. 열특성 파라미터 ψ_{JT} 와 열저항 θ_{JA} 의 정의

Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.com/contact/>