

AC-DC 변환 전력용 반도체 칩과 Inductorless AC-DC One-chip 회로설계 현황

조 영 창(에이스전자기술(주)), 차 형 우(청주대학교), 이 만 섭(한국정보통신대학원대학교)

1. 서 론

상용 교류(AC) 110V/220V를 임의 직류(DC)로 변환하는 전원회로는 가전기기, 정보기기, 휴대용 정보기기, 통신장비 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.^[1, 2] AC-DC 변환은 변압기(transformer), 브리지 다이오드(bridge diode), 평활회로, 선형 레귤레이터(regulator) 반도체 칩으로 구성되는 선형전원변환 방식과 변압기, 브리지가이드, 인덕터, 다이오드, 스위치, 스위칭제어회로로 구성되는 스위칭-모드 전원공급기(switching-mode power supply : SMPS) 방식이 있다. 전자는 비교적 큰 변압기를 사용하고, 저효율 레귤레이터를 사용하기 때문에 장치의 부피가 크고 전원 변환 효율이 낮다는 문제점을 갖고 있다. 후자는 선원전원 변환 방식을 개선하였지만, 스위칭 잡음이 많기 때문에 아날로그 전자·통신장치에서는 잡음을 고려해야하는 문제점이 있다.

이러한 방식에서는 변압기를 사용함으로써 교류전압과 직류전압을 절연시키고 있고, 사용되는 전력용 반도체는 78, 79 시리즈 레귤레이터 칩, 브리지 및 정류용 다이오드, MOSFET

(Metal-oxide- silicon filed-effect transistor) 스위칭 소자, 비교 및 증폭소자, PWM(pulse-width-modulation) 소자 등이 사용되고 있다.^[3, 4]

약 10년 전에, 인덕터를 사용하지 않고 상용 교류 110/220V전원을 직접 연결하여 직류 5V 50mA(0.25W)를 얻는 단일-반도체 칩이 개발되어 상용화하고 있다.^[5] 이 칩은 상용 교류전압을 RC 회로를 사용하여 낮은 교류전압으로 만든 다음, 브리지 다이오드, 제너다이오드, 선형 레귤레이터를 사용하여 5V로 만든다. 이 방식에서는 교류와 직류간 비절연되었기 때문에 사용상에 주위가 필요하다. 이 칩은 선형 레귤레이터를 상용하였기 때문에 효율이 낮고 출력전력이 0.25W 정도 때문에 특수한 곳에 사용되어 왔다.

최근에, 출력전력을 1W이상 높이기 위해 Power integration사와 ROHM사에서는 반도체 칩과 인덕터를 사용하는 하이브리드형 AC-DC 변환 소자를 개발하여 상품화 하고 있다.^[6, 7] 이 소자 역시 비절연이지만 출력 DC 전력이 크기 때문에 가전기기용 제어시스템의 전원 소자로 응용되고 있다.^[8]

주목할 만한 것은, 2007년에 에이스전자기술

(주)에서는 2.5W Inductorless AC-DC 변환회로를 국내 및 국외에서 발표한 바가 있다.^{[9]-[11]} 이 방식은 현존하는 AC-DC 변환방식을 탈피하여 완전히 새로운 방식으로 접근하였고 단일 반도체 칩으로 개발할 수 있는 회로들로 구성되었다. 특히 지적소유권도 확보되었기 때문에 그 결과가 기대된다.

본 보고서에서는 전원회로의 종류, 종래의 저전력 inductorless 전원회로, 하이브리드 전원회로, 그리고 최근에 발표된 고전력 inductorless 전원회로에 대하여 논의하고 각각 사용되고 있는 전력용 반도체 칩에 대한 현황과 앞으로의 기술방향에 대하여 서술한다.

II. 절연된 전원 회로의 종류

AC를 DC로 바꾸는 전원 회로에는 크게 절연 회로와 비절연 회로로 구분된다. 절연회로는 일반적으로 변압기를 사용하여 AC와 DC의 별도의 접지를 사용하여 절연시키는 방법을 취하고 있다. 이러한 절연 전원회로에는 선형전원회로와 스위칭-모드 전원공급기(SMPS) 방식의 전원회로가 있다. 선형전원 회

로에 사용되는 변압기는 상용 주파수를 사용하기 때문에 변압기가 비교적 크고, SMPS 방식에서는 높은 주파수를 다루기 때문에 변압기의 부피가 작아 소형 전원장치를 실현하는데 많은 장점을 갖고 있다.

1. 선형전원회로

선형전원공급기 회로를 그림 1에 나타냈다. 이 전원 회로는 AC 120V를 DC 5V(2.5W)로 변환하는 전원공급장치로 AC120V를 AC 12.6V로 변환하는 변압기, AC 12.6V를 전파정류하는 브리지 다이오드(~), 평활용 커패시터(~), 레귤레이터 반도체로 구성되며 다음과 같은 장단점을 갖고 있다.

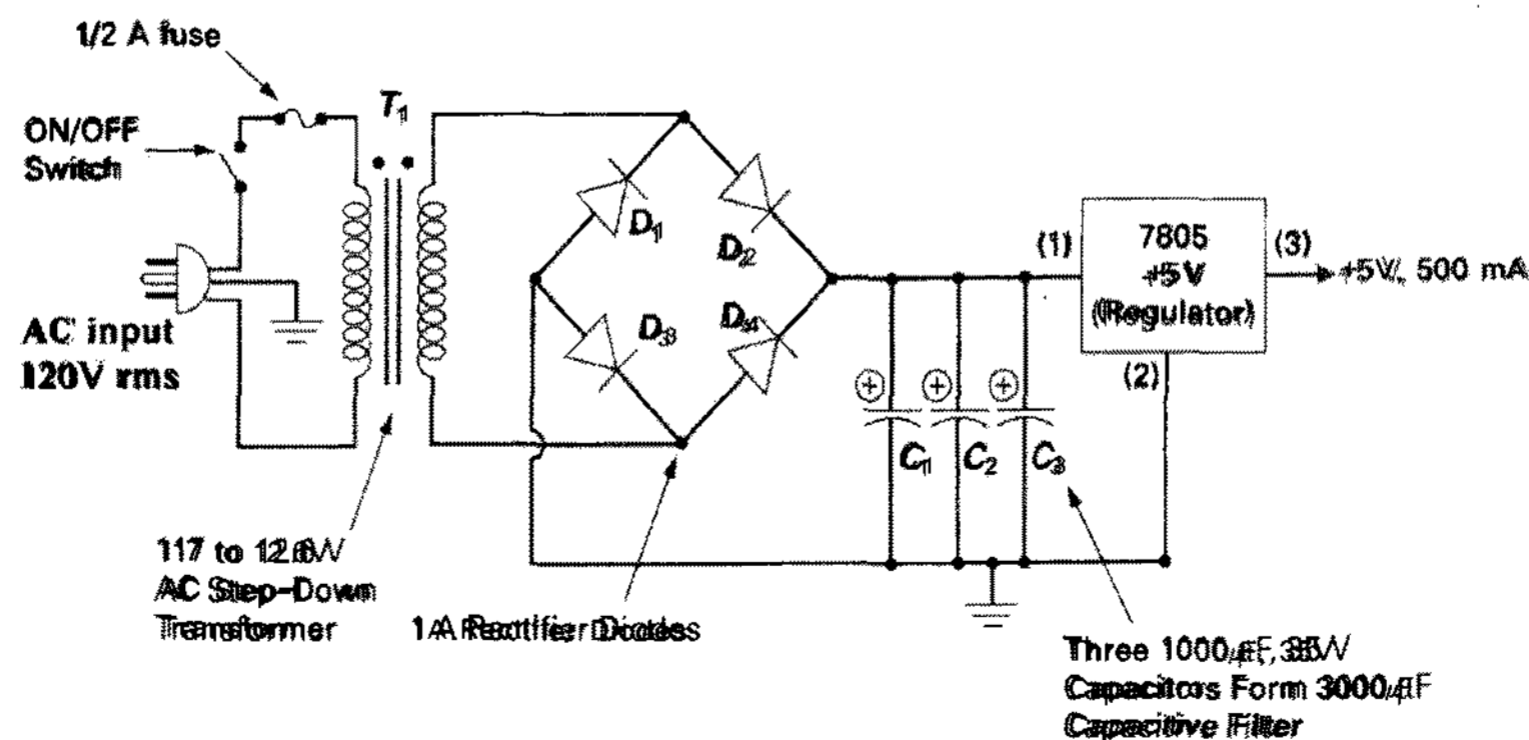
- 장점 : 고주파 잡음이 없다.

(아날로그 정보기기에 주로 사용)
안정된 직류 전력을 얻을 수 있다.

- 단점 : 전력변환 효율이 낮다.

전원장치의 부피가 크다.

선형전원공급기를 실현하는데 사용되는 대표적인 레귤레이터 반도체 부품의 식별 방법을 표 1에 나타냈다.



〈그림 1〉 절연된 선형 전원 회로 블록도

〈표 1〉 선형 레귤레이터의 식별 방법

| Maker ID | 기능 | 출력전류 | 출력전압 |
|---|--|-------------------------------------|---|
| LM : National Semiconductor MC : Motolar Semiconductor | 78 : Positive Output 79 : Negative Output | L : 100mA M : 500mA None : 1A | 05 : 5V 12 : 12V 15 : 15V 24 : 24V |

2. 스위칭모드 전원회로공급기
(switching-mode power supply : SMPS)

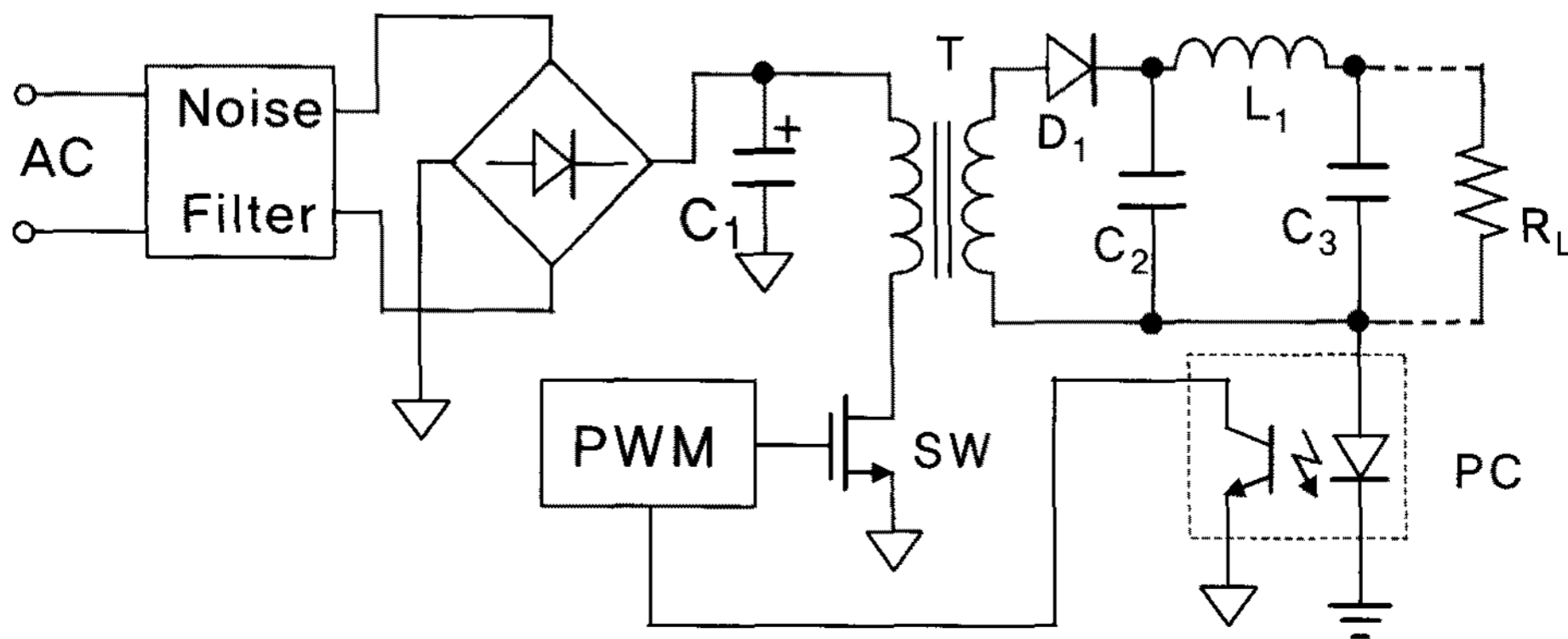
스위칭-모드 전원 공급기(SMPS) 회로를 그림 2에 나타냈다. 회로는 노이즈 필터, 브리지 다이오드, 고주파수용 변압기, 평활회로, 출력 전압 검출회로, PWM(pulse width modulation) 발생기, 스위칭 트랜지스터로 구성된다. SMPS는 60Hz 상용 전원을 리플이 있는 직류전원으로 만든 다음, 20kHz 이상의 스위칭 동작을 시켜 DC전원을 만드는 원리로서 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 장점 : 전력변환 효율이 높다.
 변압기가 고주파수에서 동작하게 때문에 전원장치의 부피가 작아진다.
- 단점 : 고주파 잡음이 많다

(디지털 전자 및 전기기기에 주로 사용) 다양한 기능을 추가한 직류 전력을 얻을 수 있다.

III. 비절연된 전원 회로의 종류

비절연 전원회로는 일반적으로 절연이 안되어 많은 분야에서 사용제한을 받는 것으로 알려져 있으나 예를 들면 냉장고, 세탁기, 에어컨, 진공청소기, 전자밥통/밥솥, 공기청정기, 냉온수기, 각종자동판매기, 기타 제품 단독으로 동작하는 모든 기기 등등과 같이 수많은 분야제품에 사용될 수 있다. 단적으로 말하면 비절연방식은 유선 Network으로 타 제품과 연결되는 제품의 사용에만 제한을 받는 것입니다.



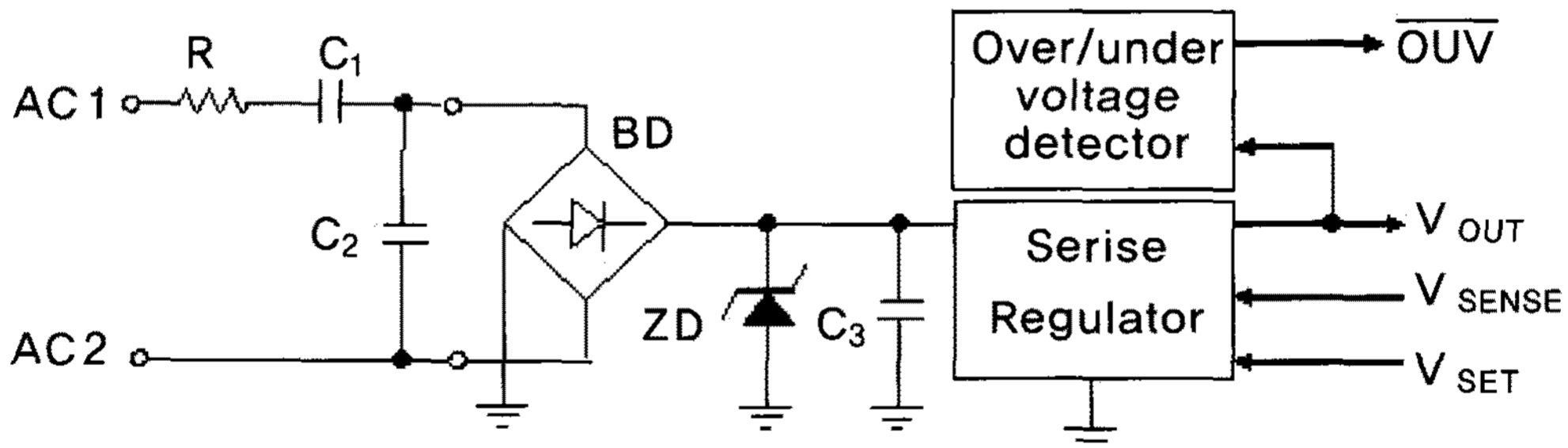
〈그림 2〉 절연된 SMPS 전원회로 블록도

다. Inductorless 비절연 전원회로는 MAXIM사가 가장 먼저 개발 및 상용화하고 있는 반도체 칩 MAX610이 가장 대표적이다. 이 칩이 공급하는 최대전력은 5V 50mA(0.25W)로 초 저전력용이다.^[6] 최근에 1W~5W 전원 장치용 고전압(700V 이상) 스위칭 트랜지스터가 출시되어 낮은 대기전력과 높은 효율을 갖는 AC-DC 변환기가 발표되었다.^[7, 8] 그러나, 이 변환기는 인덕터를 사용하고 있어 단일 칩으로 만드는 것이 불가능한 단점이 있다.

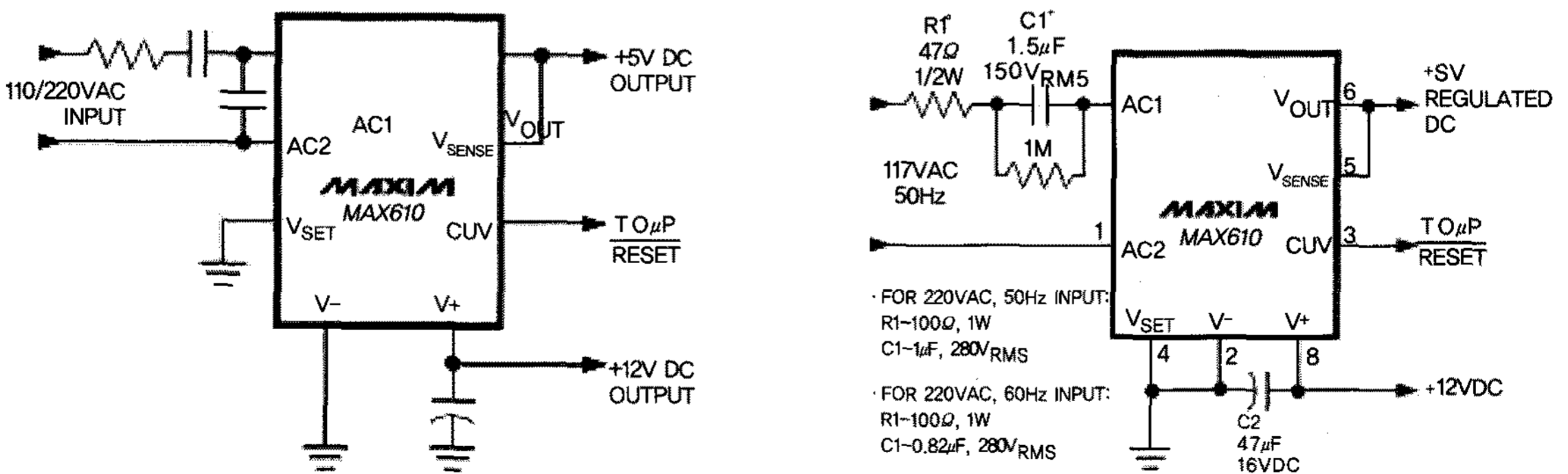
1. Inductorless 저전력 전원 회로

Inductorless 저전력 AC-DC 변환 전원회로

의 기본 원리를 그림 3에 나타냈다. 이 전원회로는 AC 상용 전압을 낮은 전압으로 바꾸는 전압분배회로(R, C1, C2), 교류를 직류로 바꾸는 브리지 다이오드 BD, 리플을 포함한 일정한 직류전압을 만들기 위한 정류 회로(ZD, C3), 리플을 일정한 DC전압으로 만들기 위한 선형 레귤레이터, 그리고 출력전압을 일정하게 만들기 위한 전압 검출기로 구성된다. 이와 같은 전원의 경우 저항기를 통해 흘릴 수 있는 전류가 제한되기 때문에 큰 전류 출력을 갖는 전원장치를 실현하기가 어려운 현실이다. 그림 3의 원리를 바탕으로 상용화되고 있는 반도체 소자는 MAX610이 있으며, 그 응용 예를 그림 4에 나타냈다.



〈그림 3〉 비절연된 종래의 AC-DC 변환 원리도



〈그림 4〉 비절연된 상용 전원 부품의 블록도(a)와 사용 예(b)

그림 3에 나타낸 회로는 최초로 인덕터를 사용하지 않은 전원회로로 다음과 같은 곳에 응용되고 있다.

- Minimum-Component-Count Power Supplies
- Uninterruptible 5V Power Supplies
- Precision Battery Chargers
- Line-Powered Appliances
- Industrial Controls
- Off-Line Instruments
- Triac Output Power Controllers

2. Inductor를 사용한 고전력 전원회로

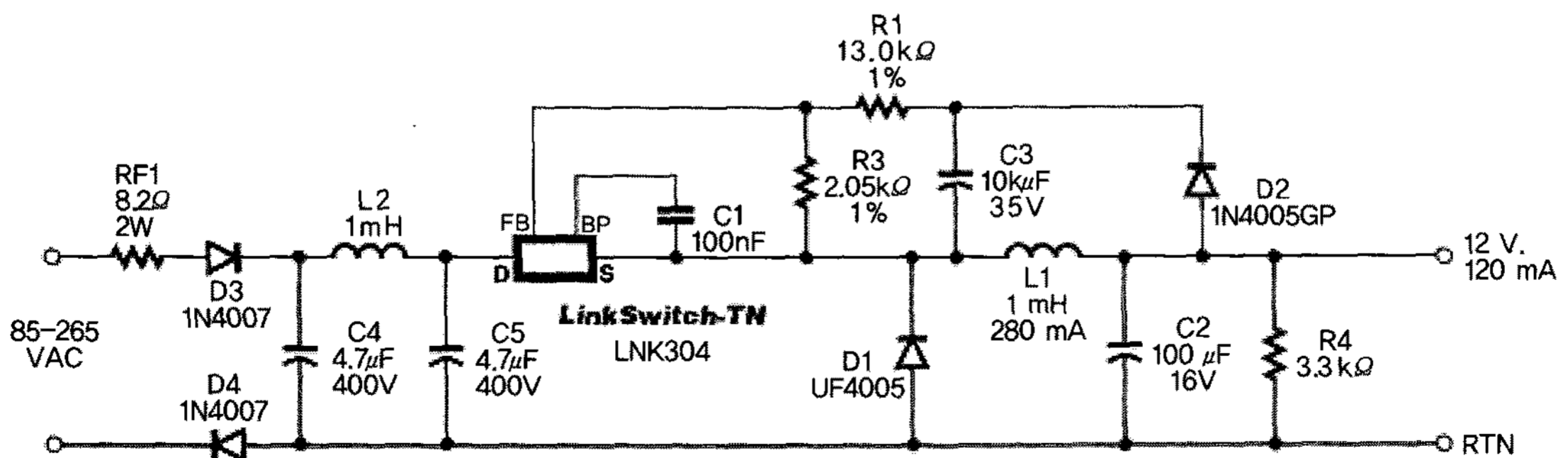
그림 4에 나타낸 구조에서는 1W 이상의 전력을 공급할 수 없기 때문에, 비절연 전원회로에서 1W이상의 전력을 공급하기 위해서는 에너지 저장 소자인 인덕터를 사용하지 않는 방법은 최근까지 제시되지 못했다. 그 이유는 고전압 반도체공정 개발이 늦어져 고전압 스위칭 소자가 상용화가 되지 못하였기 때문이다.

최근에 고전압 반도체공정 개발에 따라 고전압 고전력 스위칭 소자의 개발에 따라 높

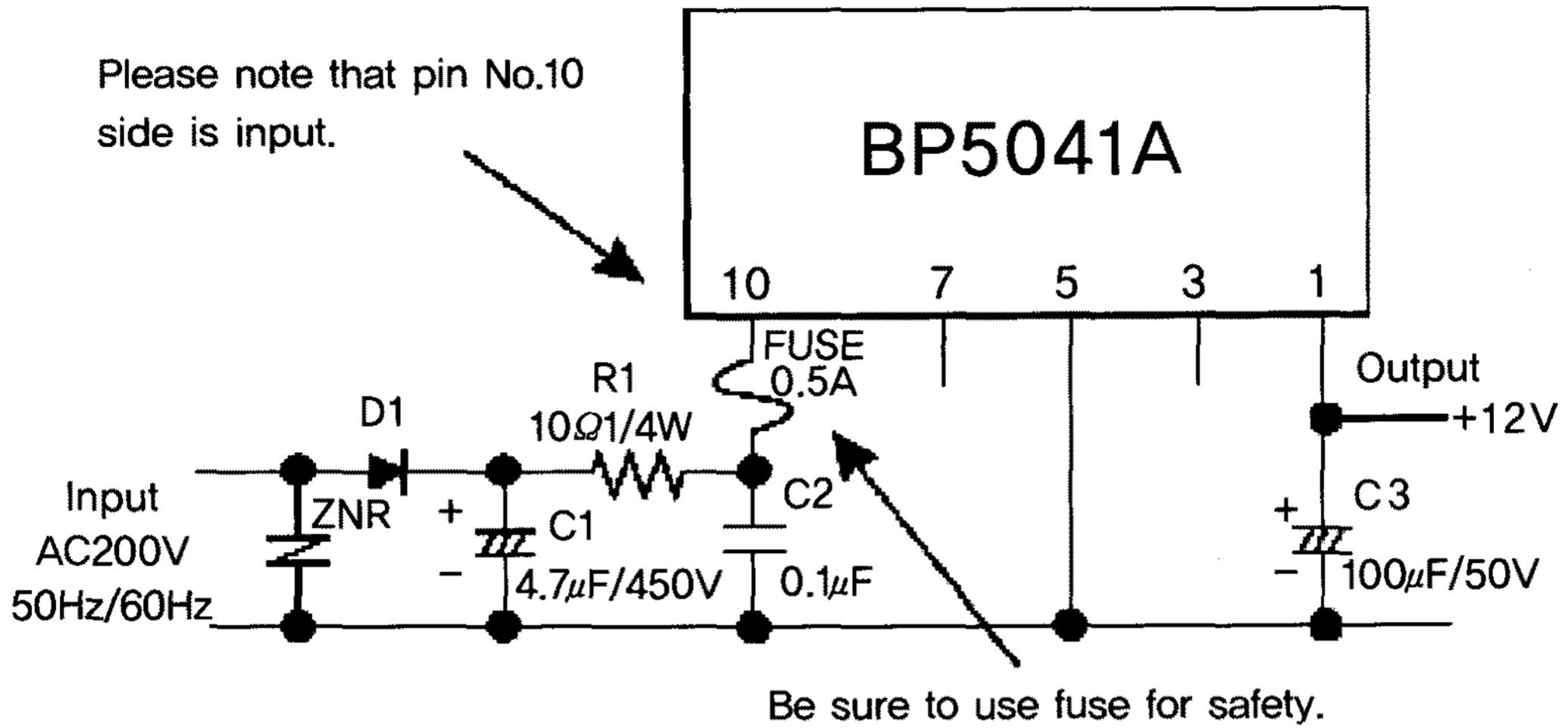
은 AC 전압을 높은 DC전압으로 변환하고 높은 DC 전압을 낮은 DC 전압으로 변환하여 AC를 DC로 변환하는 회로들이 발표되어 상용화 하고 있다. 그 대표적으로 Power Integration사의 LNK302 Series를 사용한 AC-DC 변환 회로를 그림 5에 나타냈다.^[7] 회로는 AC 전압을 같은 크기의 DC 전압으로 평활시키는 정류 및 평활 회로, 높은 DC 전압을 DC 12V로 변환하는 Buck형 DC-DC 변환 회로로 구성된다. 그림에서 LNK304는 출력전압의 레벨을 검출하여 스위칭 소자의 펄스 폭을 조절하여 출력 전압을 일정하게 만드는 역할을 한다.

IV. 하이브리드 전원회로

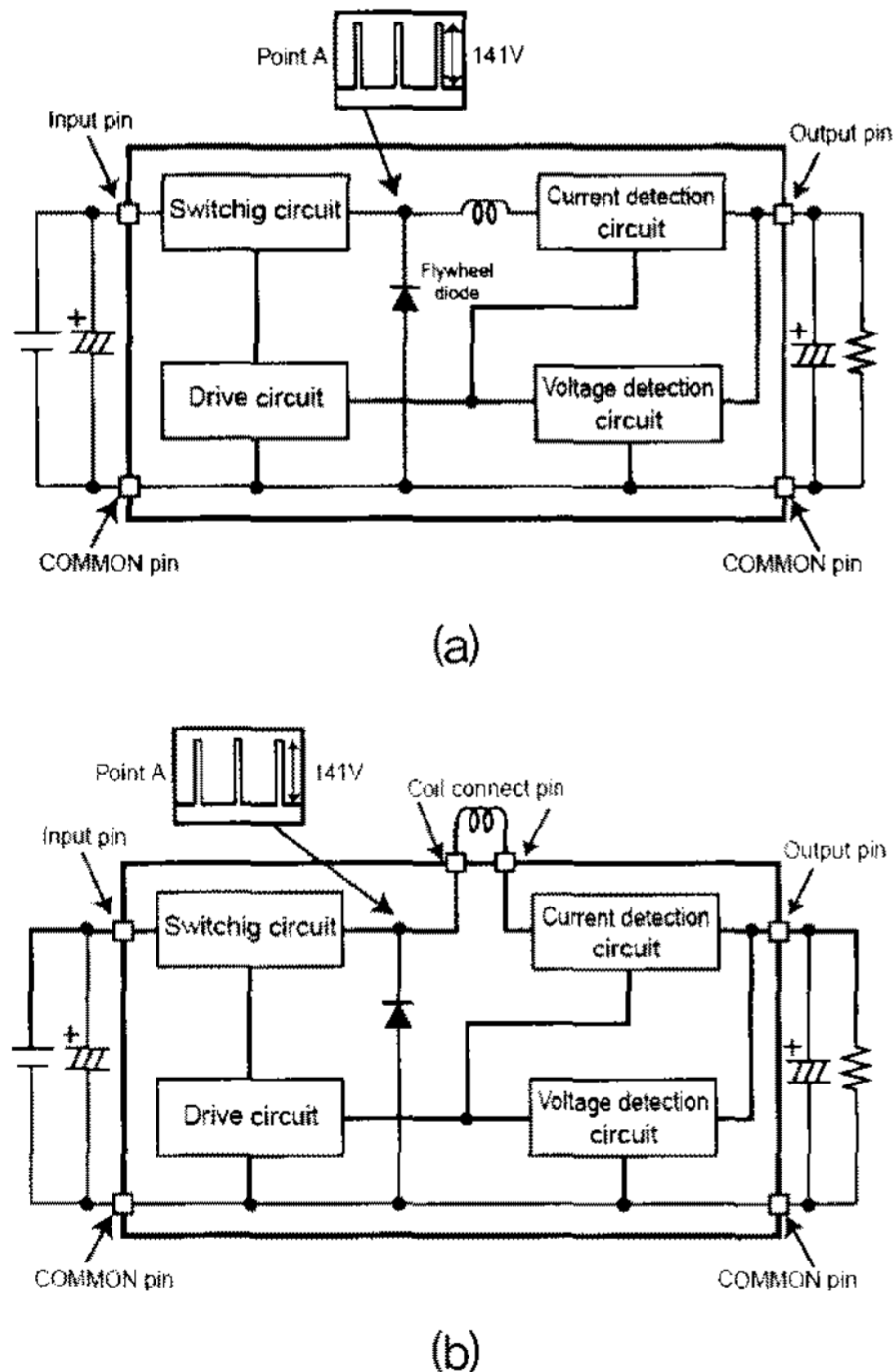
최근에 ROHM사에서는 AC-DC전원용으로 인덕터 내장형(하이브리드형)과 외장형 반도체 칩을 시판하였다. 하이브리드 칩을 사용한 전원회로를 그림 6에 나타냈다. 회로는 크게 AC 220V를 110V정도로 낮추는 정류와 평활 회로, 그리고 110V DC를 12V로 변환하는 DC-DC 변환기로 구성된다. 이 회로 구성은



〈그림 5〉 인덕터와 스위칭 소자를 사용한 비절연된 AC-DC 변환 회로도



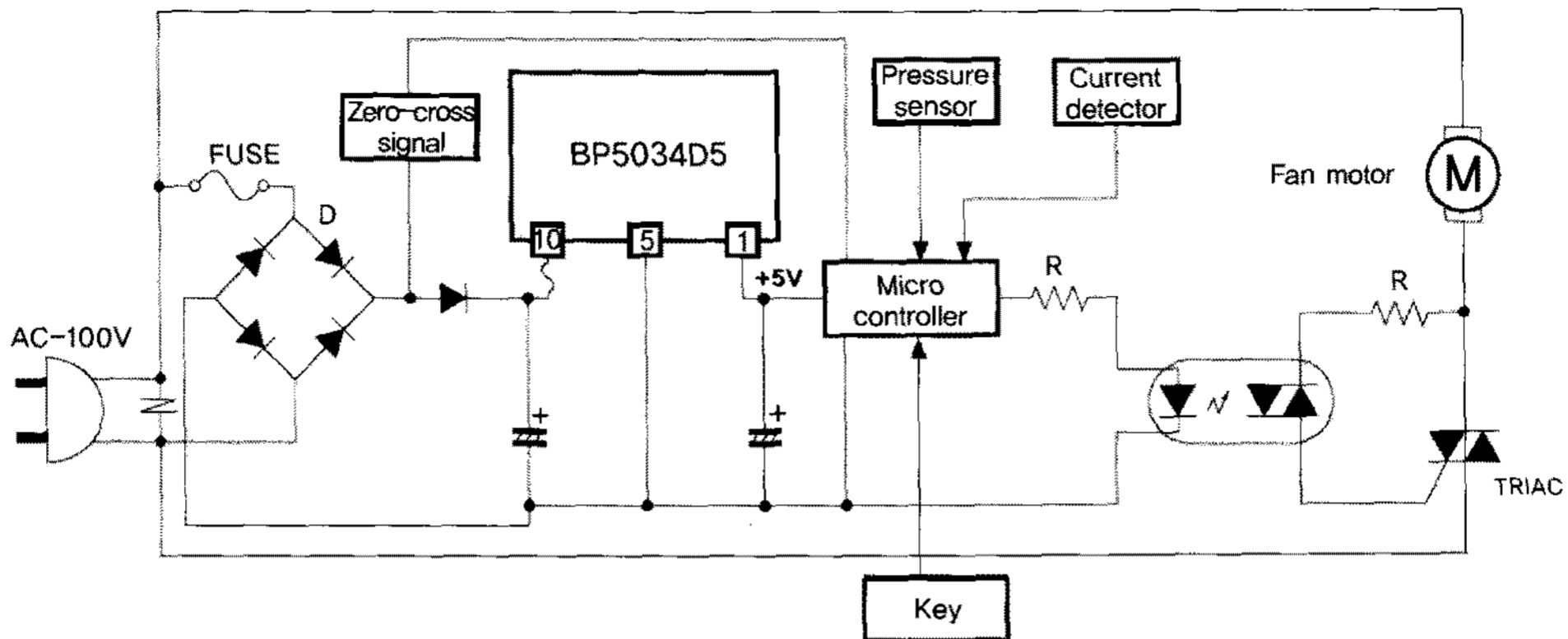
〈그림 6〉 RHOM사가 시판중인 BP5041A를 사용한 하이브리드형 전원 전원회로



MAX사가 발표한 AC-DC 변환 원리와 유사하지만, 인덕터를 사용하였기 때문에 출력 전력을 높일 수 있다는 장점이 있다. 출력전류는 100mA~300mA까지의 범위를 갖는 부품이 출시되고 있다.

RHOM사의 하이브리드 AC-DC 전원 소자 BP5041A의 블록도는 그림 7에 나타냈다. 그림 7에서 내부 블록도는 동일하고 인덕터를 외장하는냐 내장하느냐만 차이가 있고 이 부품은 단일 칩으로 나온 것이 아니고 하이브리드 모듈형태로 출시되고 있다. 현재 본 제품은 비절연 가전기기, 정보기기, LED 드라이브 등에 사용되고 있으며, 모터(motor) 구동에 적용한 예를 그림 8에 나타냈다.

〈그림 7〉 종래의 하이브리드형 전원용 반도체 소자 내부 블록도
 (a) 인덕터 내장용(하이브리드)
 (b) 인덕터 외장용



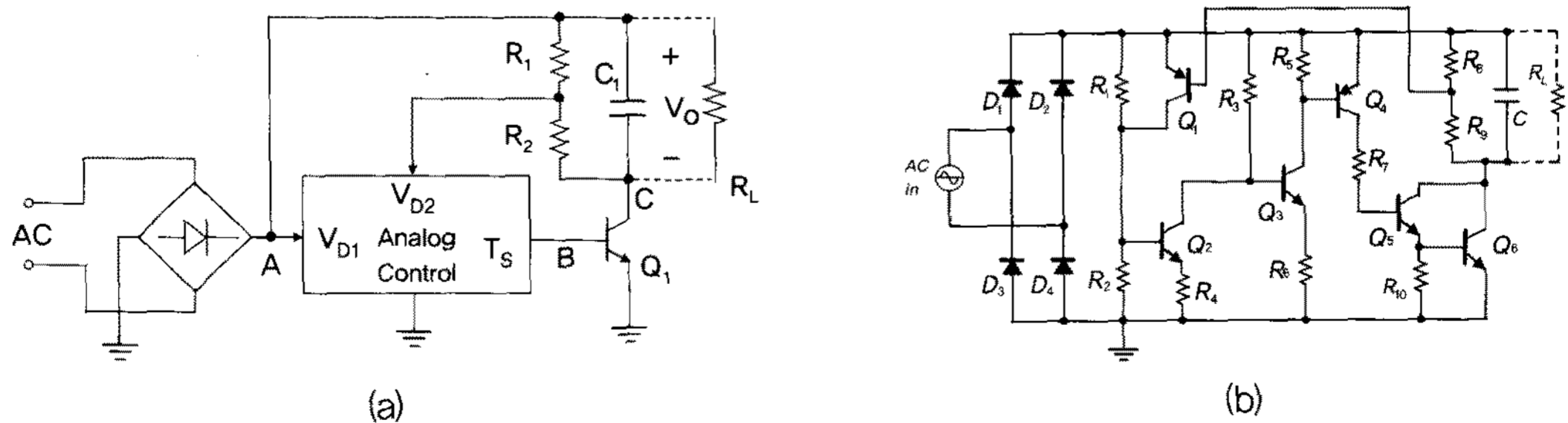
〈그림 8〉 RHOM사의 하이브리드형 전원 반도체 소자의 모터 구동 예

V. 새로운 원리의 Inductorless 전원회로

MAX사가 발표한 AC-DC 변환회로는 기본적으로 높은 AC 전압을 낮은 DC 평활전압으로 바꾼 다음 선형 레귤레이션을 시켜 DC 전압을 만드는 원리와 Rohm사 같이 높은 AC 전압을 높은 DC 전압으로 평활시키고 고압 스위칭시켜 커패시터를 이용하여 낮은 DC 전압으로 만드는 방법이 있다. 이후에 나온 비절연 전원회로들도 이와 같은 기본적인 원리를 벗어나지 못 하였다. 그러나, 최근에 에이스전자 기술(주)에서는 인덕터를 사용하지 않고 AC를 DC로 변환하는 원리에 대한 원천기술을 확보하였고,^[9] 연구결과를 국내 및 국외에서

최초로 발표하였다.^[10, 11]

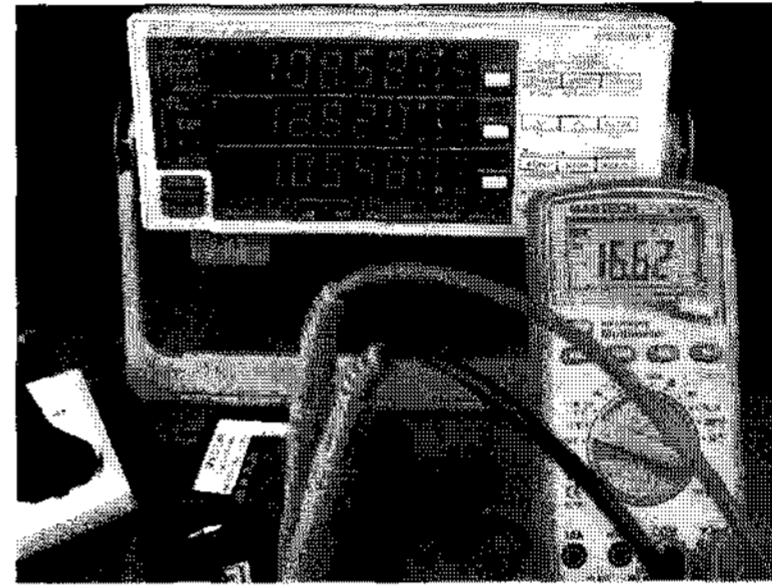
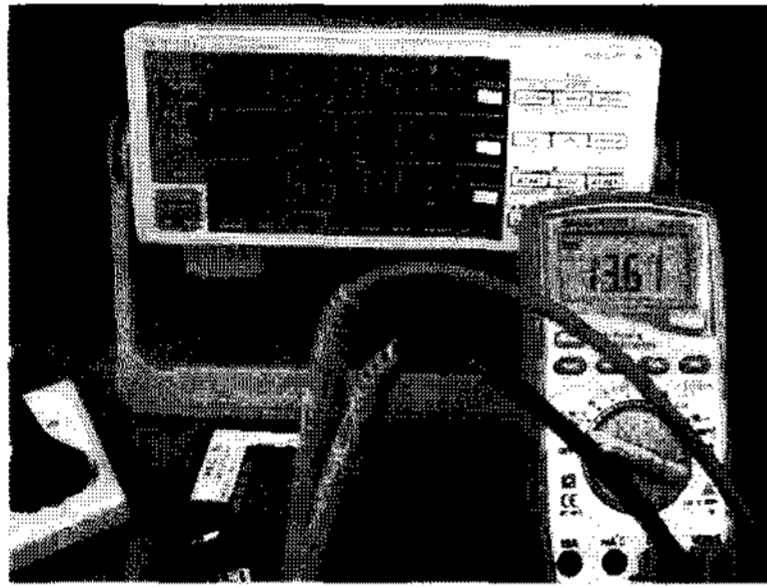
에이스전자기술(주)가 발표한 자료를 바탕으로 Inductorless 전원회로를 소개 하면 다음과 같다. Inductorless 전원회로의 AC-DC 변환 방식은 전파 정류된 교류전원의 낮은 전압 레벨을 검출하여, 출력단 트랜지스터 스위치를 도통시켜 부하에 큰 전류를 흐르게 한 다음, 이를 커패시터와 저항 부하를 이용하여 평활시켜 DC 전압으로 만드는 것이다. 일정한 DC 전압을 얻기 위해 출력단의 전압을 검출, 귀환시켜 스위칭 시간을 조절하게 하였다. 이 원리로 발표한 전원회로의 블록도와 기본 회로를 그림 9에 나타냈다. 블록도 구성은 AC전압을 전파 정류하는 브리지다이오드, 전파 정류신



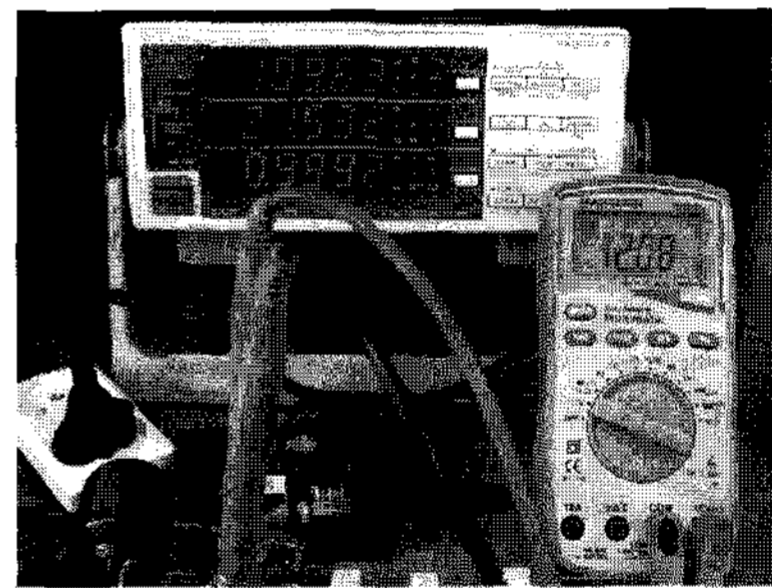
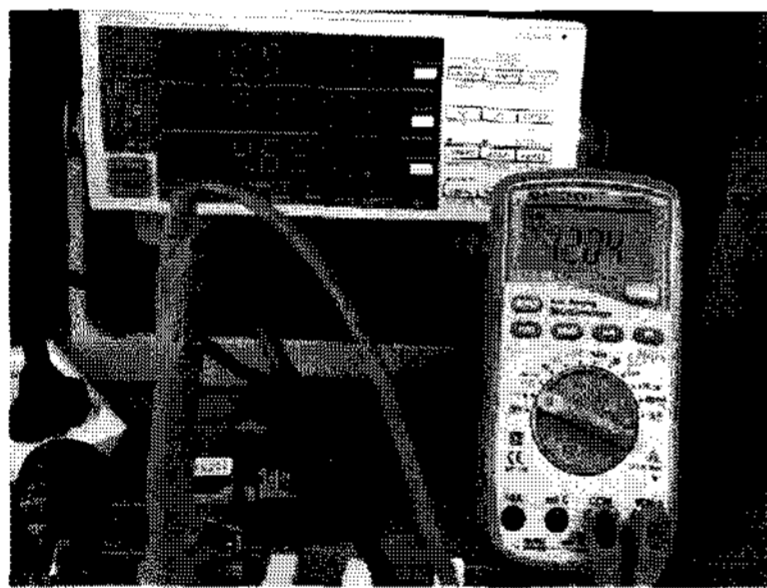
〈그림 9〉 새로운 원리의 inductorless 전원회로 (a) 블록도, (b) 간략화된 회로도

호의 낮은 전압을 검출하여 출력단 스위칭을 구동하고, 출력전압 레벨을 검출하는 아날로그 제어부, 검출된 낮은 전압을 DC로 변환하는 평활회로로 구성된다. 그림 9(a)의 블록도를 고전압 트랜지스터를 사용하여 구성한 회로를 그림 9(b)에 나타냈다.

회로에서 $D_1 \sim D_4$ 는 전파 정류기를 구성하고 R_1, R_2, Q_2, R_4 는 정류된 낮은 전압을 검출한다. Q_3, Q_4 와 $R_3, R_5 \sim R_7$ 은 출력단 트랜지스터를 구동하기 위해 전류 증폭을 하고 Q_5, Q_6 과 R_6 은 출력단 트랜지스터를 구성하고 한다. R_8, R_9, Q_1 는 출력 전압 및 전류를 일정하게 유지하기 위



(a) 선형변압기 방식(왼쪽 : 50 Ω 부하 사용, 오른쪽 : 무부하)



(b) SMPS 방식(왼쪽 : 50 Ω 부하 사용, 오른쪽 : 무부하)



(c) 에이스전지기술(주) 방식의 변환기(왼쪽 : 50 Ω 부하 사용, 오른쪽 : 무부하)

<그림 10> 50 Ω 부하를 사용하였을 경우의 실험 사진:(a)선형변압기 방식, (b) SMPS 방식, (c) 제안한 방식

〈표 2〉 종래의 전원회로와 〈그림 9〉에서 제안한 전원회로의 성능 비교

| Type | Load | Input Power[W] | Stand-by Power[W] | Output (Efficiency) | Module Weight[g] |
|-------------|------------------|----------------|-------------------|---------------------|------------------|
| Transformer | 50ohm, 1000uF | 5.7 | 1.09 | 13.04V (62.8%) | 600 |
| S.M.P.S. | | 4.6 | 0.99 | 12.08V (63.2%) | 200 |
| 에이스전자 기술(주) | | 4.4 | 0.99 | 12.04V (66.5%) | 20 |

한 귀환 증폭기 부분이다. R_8, R_9 는 무부하시 대기 전력을 줄이기 위해 매우 큰 저항을 사용한다. 인덕터나 변압기를 사용하지 않아도 될 수 있는 이유는 교류전압 주기 중에 낮은 전압 부분에서만 스위칭이 일어나기 때문이다. 또한, 낮은 전압을 사용하기 때문에 전력용 반도체에 부하가 적고 출력단에 충격도 적으며 기존방법들과 다르게 스위칭이 빈번하지 않아 잡음도 적다는 특징이 있다.

발표 논문^{[10]-[11]}를 바탕으로 에이스전자기술(주)에서 개발한 Inductorless 전원회로의 실험 결과를 그림 10에 나타냈다. 실험결과 사진의 상측 계측기에서 상위 숫자는 전원회로의 입력 전압[V], 중간 숫자는 입력 전류[A], 밑의 숫자는 전력[W]을 의미하고, 오른쪽 밑의 계측기의 숫자는 전원회로의 출력전압을 의미한다. 표 2에 선형변압기 방식, SMPS방식, 그리고 에이스전자기술(주) 방식에 대한 각각의 성능을 정리하였다.

표 2의 바탕으로 에이스전자기술(주)에서 개발 전원회로는 40mW의 대기전력, 66.5%의 전력전달 효율, 소형이고 매우 가벼운 전원 장치라는 것을 알 수 있다. 특히, 그림 9에 나타난 회로에서 인덕터와 커패시터(평활 회로의 커패시터는 제외 : 외장용)를 사용하지 않았기 때문에 XFAB^[12]과 같은 고전압(350V

및 650V) 반도체공정을 이용한다면 단일 칩으로 만들 수 있어 전원 코드의 플러그 부분에 내장을 시킬 수 있어 획기적인 전원회로 및 장치가 될 것으로 예상된다.

VI. Inductorless 전원회로의 향후 과제

MAXIM사의 Inductorless 전원회로는 0.25W출력으로 저전력 회로에 사용되고 있기 때문에 그 응용범위가 매우 좁다. RHOM사의 하이브리드 전원회로와 Power integration사의 전원회로는 출력전력이 크지만 인덕터를 사용하고 있을 뿐만 아니라 많은 부품을 사용하고 있다. 에이스전자기술(주)에서 개발하는 AC-DC 전원 회로는 2.5W-5W 사이의 전원회로를 실현할 수 있고, 인덕터를 상용하지 않기 때문에 단일 반도체로 개발이 가능하기 때문에 때문에 LED 구동전원, 가전기기 전원회로 등에 다양하게 응용될 수 있을 것이다. 에이스전자기술(주)에서는 XFAB을 이용하여 AC-DC를 개발하여 빠른 시간에 출시할 예정이다.

Ⅶ. 결 론

절연 전원회로는 변압기를 사용하지 않고는 현재까지의 기술로서는 실현할 수 있는 방법이 보고된 바가 없다. 절연 전원회로는 아마도 앞으로도 변압기 기능을 하는 소형 부품이 개발되지 않는 한 당분간은 현재의 방법으로 유지 및 개선되어 질 것이다. 그러나, 비절연 전원회로는 MAXIM사의 MAX610, Power integration사의 LNK304등, RHOM사의 하이브리드 AC-DC 변환 부품 BP5041등, 에이스전자기술(주)에서 개발하고 있는 방법의 전원회로가 각광을 받을 것으로 예상된다. 특히, 에이스전자기술(주)에서 개발하고 있는 방법의 전원회로는 인덕터를 전혀 사용하지 않기 때문에 단일 반도체 칩으로 제작이 가능하고, 대기전력과 효율이 높기 때문에 앞으로의 시장을 주도할 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] <http://www.lge.co.kr/>
- [2] <http://www.sec.co.kr/index.jsp>
- [3] http://www.fairchildsemi.com/whats_new/
- [4] <http://www.kec.co.kr/>
- [5] Data sheet MAX611/612, AC-to-DC Regulator
- [6] <http://www.powerint.com/>
- [7] Data sheet LNK302/304-306 LinkSwitch-TN Family.
- [8] <http://www.rohm.co.kr/>
- [9] 조영창, “직접 변환 스위칭을 이용한 전원 공급 장치” 공개특허공보(10-2006-0031137)
- [10] 조영창, 차형우, 윤진한, 이만섭, “Inductor를 사용하지 않은 새로운 AC - DC 변환 방식” 2007년도 한국전력전자학술대회 논문집 pp. 138-140. 2007년 7월
- [11] Man-Seop Lee, Young-Chang Cho, and Hyeong-Woo Cha, “A Novel AC-DC Converter Un-requiring Inductors for Power Conversion”, The IEEE APEC 2008 conference, Feb., 2008.
- [12] <http://www.xfab.com/>

저자소개



조영창

1971년 3월 중앙대학교 전자공학과 입학
 1979년 1/3월 중앙대학교 졸업과 동대학원 입학
 1981년 1월 중앙대학교 대학원 수료
 1977년 11월~1986년 9월 대한전선 음향개발/
 대우통신 연구소
 1993년 3월~2001년 2월 부천대학(1년전임강
 사), 충북대학(3년겸
 직교수)
 1986년 11월~2008년 현재 에이스전자기술 대
 표

주관심 분야 : 전자회로, 반도체설계



차형우

1989년 2월 청주대학교 반도체공학과(학사)
 1991년 2월 청주대학교 전자공학과(석사)
 1997년 3월 시즈오카(静岡)대학교 전자응용과
 학과(박사)
 1991년 2월~1993년 6월 블로코드테크놀리
 지(주) 주임연구원
 1997년 9월~2008년 7월 청주대학교 전자정
 보공학부 부교수

주관심 분야 : CMOS/Bipolar 아날로그 회로설계,
 전력용반도체회로 설계, 센서인터페이
 스 회로 설계

저자소개



이만섭

1991년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
 1978년 2월 부산대학교대학원 전자공학과 석사
 1976년 2월 부산대학교 전자공학과 학사
 1979년 6월~1997년 12월 한국전자통신연구원
 재직
 1993년 3월~1997년 2월 전북대학교 정보통신
 공학과 겸임 교수
 1993년 4월~1997년 6월 한국전자통신연구원 광
 대역전송연구부 부장
 1994년~2001년 한국통신학회 전송연구회 위원장
 1998년 1월~2008년 현재 한국정보통신대학교
 교수
 1998년 1월~1999년 2월 한국정보통신대학교
 통신공학부 학부장
 1999년 6월~2006년 2월 정보통신산학연공동연
 구센터 소장
 2000년 6월~2005년 4월 정보통신창업보육센터 소장
 2006년 8월~2008년 현재 ACE-ICU 산학연구소장
 주관심 분야 : 레이저 응용, 전력IC 설계, 광통신
 시스템 해석 및 설계