

새로운 승·강압 초퍼 회로를 이용한 부하 다분할 특성

(A Multi-Load Sharing Characteristic Using Novel Buck-Boost Chopper Circuit)

서기영* · 문상필 · 권순걸 · 이현우 · 정상화

(Ki-Young Suh · Sang-Pil Mun · Soon-Kurl Kwon · Hyun-Woo Lee · Sang-Hwa Jung)

요 약

DC-DC 컨버터는 각종 산업용, 가정용 기기에 널리 이용되어지고 있다. 다양한 전장품을 내장한 자동차에서는 전압이 다른 전장품을 한 개의 배터리에서 DC-DC 컨버터를 이용해서 전압을 변환해서 이용되고 있다. 그러므로 이와 같은 구성의 전원회로에는 각각의 전장품에 대응하기 위해 복수의 변환기를 필요로 하지만 회로가 복잡하고 코스트가 상승하는 원인이 된다. 본 논문에서는 이러한 배경으로 하나의 전원을 이용한 간단한 구성의 새로운 승·강압 초퍼 회로를 제안하여 서로 다른 복수의 출력 전압을 얻었다. 제안한 초퍼 회로는 기존의 회로에 승압용 스위치를 추가하여 구성하였으며, 이를 이용하여 부하를 분할화 시켰다. 그리고 제안한 회로는 승압용 스위치와 강압용 스위치의 듀티비를 각각 별도로 조절하여 넓은 범위에서 서로 다른 2개의 출력전압을 정확히 제어하였다. 이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 증명하였다.

Abstract

A DC-DC converter is being widely used for various household appliances and for industry applications. The DC-DC converter is powered from single battery, and the voltage is varied according to the purpose. In the vehicle, various accessories whose electric power is different are being used. Thus, plural number of DC-DC converter should be provided, so these situations bring complicated circuits, and accordingly, higher cost. Under such backgrounds, in this paper, we propose a novel buck-boost chopper circuit with simply configuration which can supply to two or more different output loads. The propose chopper circuit can control output voltages by controlling duty ratio by using typically two switching devices, which is composed by single boost-switch and single buck-switch. The output voltage can be controlled widely. A few modified circuits developed from the fundamental circuit are represented including the general multi-load circuit. And all this merits and appropriateness was proved by computer simulation and experience.

Key Words : Buck-boost chopper circuit, DC-DC converter, multi-load characteristic

* 주저자 : 경남대학교 전자전기공학부 교수

Tel : 055-249-2630, Fax : 055-249-2839

E-mail : skiyoun@kyungnam.ac.kr

접수일자 : 2004년 10월 11일

1차심사 : 2004년 10월 15일

2차심사 : 2004년 11월 11일

심사완료 : 2004년 11월 19일

1. 서 론

DC-DC 컨버터는 각종 산업용, 가정용 기기에 널리 이용되어지고 있다. 예를 들면, 다양한 전장품(電

裝品)을 내장한 자동차에서는 구동 전압이 다른 전장품을 한 개의 배터리에서 DC-DC 컨버터를 이용해서 전압을 변환해서 이용되고 있다(1). 그러므로 이와 같은 구성의 전원회로에는 각각의 전장품에 대응하기 위해 복수의 변환기를 필요로 하지만 회로가 복잡하고 코스트가 상승하는 원인이 되는 문제점이 있다. 최근에는 각종 전장품의 소비전력의 증대에 대해서 배선에서의 전력 손실을 저감하는 목적으로 배터리 전압을 36[V]화 하는 연구가 많이 이루어지고 있다(2)~(5).

또한, 자동차에 한하여 일반적인 전자회로에 이용되어진 마이컴과 OP-Amp 등의 아날로그 회로와 디지털 회로를 동시에 수용할 있는 시스템에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있는 추세이다(6).

본 논문에서는 이러한 배경으로 하나의 전원을 이용한 간단한 구성의 새로운 승·강압 초퍼 회로를 제안하여 서로 다른 복수의 출력 전압을 얻고자 한다. 제안한 초퍼 회로는 기존의 회로에 승압용 스위치를 추가하여 구성하였으며, 이를 이용하여 부하를 분할화 시키고자 한다. 그리고 제안한 회로는 승압용 스위치와 강압용 스위치의 듀티비를 각각 별도로 조절하여 넓은 범위에서 서로 다른 2개의 출력전압을 정확히 제어하여 평형 부하에 대한 출력전압의 특성과 불평형 부하에 대한 출력전압의 특성을 비교하여 서술하고자 한다. 이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험의 결과를 통하여 그 타당성을 증명하고자 한다.

2. 제안한 부하 다분할형 승·강압 초퍼 회로

2.1 회로구성 및 해석

그림 1은 일반적인 회로를 나타낸 것이다. 그림에서 S 는 스위칭 소자이며, D_1, D_2 는 스위치 S 의 보호용 다이오드 및 단락방지용 다이오드를 각각 나타내고 있다.

일반적인 회로는 스위칭 소자 S 의 ON시에는 전원 V_s 에 의해 출력 V_2 에 전력이 공급되며, OFF시에는 전원 V_s 에 의해 출력 V_1 과 V_2 에 전력이 공급된

다. 대략 $V_s \approx V_1 + V_2$ 로 되며, 듀티비 d 의 변화로서 V_s 가 V_1 와 V_2 에 배분시킨다.

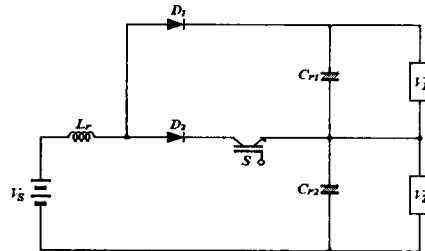


그림 1. 일반적인 회로
Fig. 1. Conventional circuit

이에 반해 제안한 회로는 기본적으로 ON시의 동작은 일반적인 강압 초퍼의 ON시와 같은 동작을 하지만 OFF시에 있어서는 승압 초퍼의 환류 모드 경로를 변경하여 새로운 개념을 추가하였다.

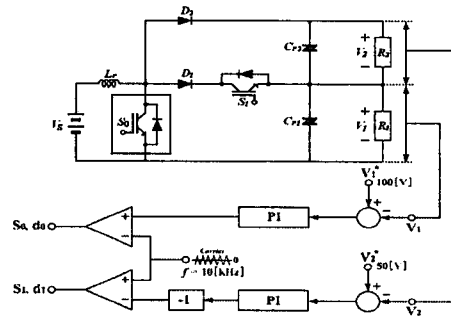


그림 2. 제안한 승·강압 초퍼 회로
Fig. 2. proposed buck-boost chopper circuit

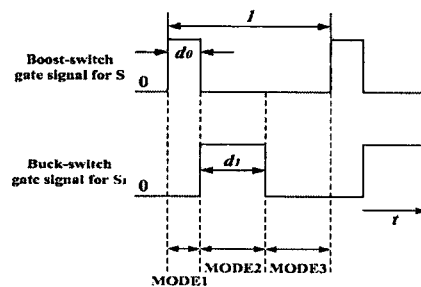


그림 3. 스위치 S_1 과 S_0 의 게이트 신호
Fig. 3. Gate signal of switch S_1 and S_0

그림 2는 제안하는 회로 구성을 나타낸 것이며,

새로운 승압압 쪼퍼 회로를 이용한 부하 다분할 특성

그림 1에서 S_0 을 추가하여 넓은 범위에서 출력전압을 제어할 수 있게 하였다. 그림 2의 제어 회로에서는 각각 V_1 과 V_2 의 전압을 기준값 V_1^* 과 V_2^* 으로 설정하였으며, 상단의 V_1 의 제어에 대해 V_2 에서는 반전회로를 부가하였다. 이것은 그림 8에서 나타낸 것처럼 V_1 과 V_2 의 특성이 각각 듀티비의 변화에 따라서 반대 방향으로 변화하기 때문이다.

그림 3은 스위칭 소자의 게이트 신호 파형을 나타낸 것이다. 그림 4는 스위치 S_1 의 듀티비를 변화시킬 경우의 출력전압 특성을 나타낸 것이다. 그림 4에서 $d_0=0$ 인 경우 듀티비 d_1 을 0에서 1까지 변화시키면 2개의 출력전압은 광범위하게 변화되며, 승압 동작을 시킬 경우 전체적으로 2개의 합 출력전압이 함께 승압되는 것을 알 수 있다.

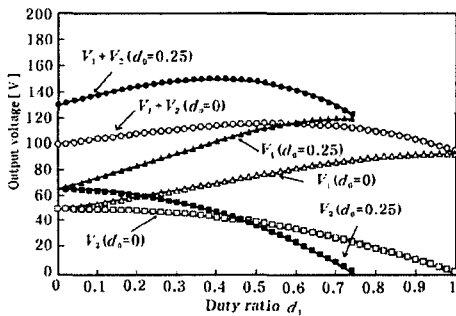


그림 4. 출력전압의 특성
Fig. 4. Characteristics of output voltage

제안한 회로는 기존의 초퍼 회로와 같이 기본적으로 부하를 간단히 분할하는 특성을 가지지만 출력전압을 정확히 컨트롤하기 위해 승압용 스위치를 부가하였으며, 기존의 초퍼에서 병렬을 이용해서 2출력

을 얻을 경우와 비교하면 다이오드 및 스위치의 개수는 동일하나, 한 개의 인덕터를 사용하여 승·강압을 제어할 수 있도록 한 것이 차이점이다. 그림 5는 제안한 회로의 모드 해석을 나타낸 것이다.

(1) 모드 I(그림 5(a))

모드 I은 승압용 스위치 S_0 을 턴-온하면 전원 V_s 에서 전류가 그림 5(a)와 같이 흐르며, 인덕터 L_r 에는 전기적 에너지가 축적되어지는 모드이다. 모드 I에서는 전원과 부하는 분리되며, 전(前)모드에서 커패시터 C_{r1} 과 C_{r2} 에 충전된 에너지는 부하측으로 공급된다.

(2) 모드 II(그림 5(b))

모드 II는 스위치 S_0 를 턴-오프하고, 스위치 S_1 을 턴-온하면 그림 5(b)와 같이 V_s 에 의해 전류가 커패시터 C_{r1} 을 충전하면 부하 R_1 에 전력을 공급하는 모드이다. 이때 상측회로의 C_{r2} 는 전하를 방출하고, 부하 R_2 에 전력을 공급하며, 스위치 S_1 이 턴-온을 종료하면 이 모드는 끝난다.

(3) 모드 III(그림 5(c))

모드 III에서는 스위치 S_1 을 턴-오프하면 입력 전류는 하측 스위치 회로에서 상측 다이오드 회로로 전류(轉流)되는 모드이다. 이때, 커패시터 C_{r1} 과 C_{r2} 는 동시에 충전하며, 부하에도 전력이 공급된다.

제안한 회로에 있어서 스위치 S_0 을 전체 기간에서 ON하지 않을 경우에 출력전압 V_1 과 V_2 의 방정식은 승압 스위치 S_1 의 듀티비 d_1 를 이용해서 아래와 같이 나타낼 수 있다.

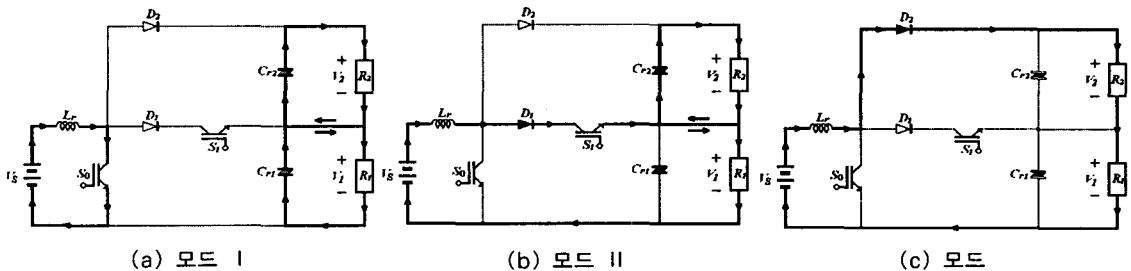


그림 5. 모드 해석
Fig. 5. Mode analysis

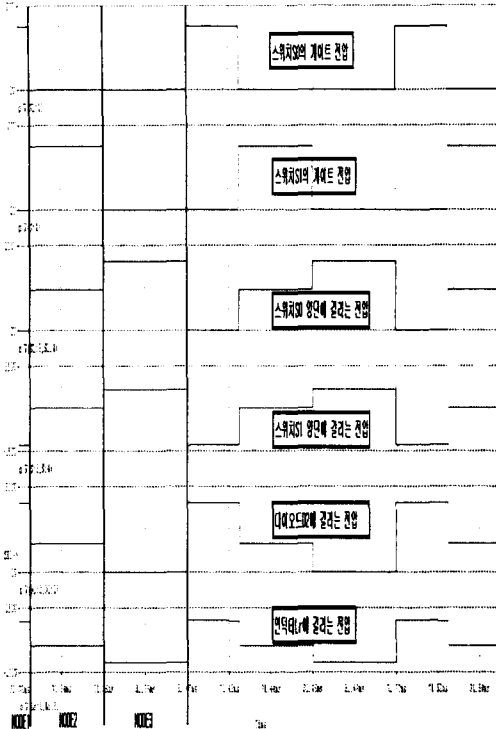


그림 6. 시뮬레이션 파형
Fig. 6. Simulation waveform

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{V_s}{1+(1-d_1)^2} \\ V_2 &= \frac{(1-d_1)V_s}{1+(1-d_1)^2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

또한, 승압 스위치 S_0 가 동작할 경우에는 식(1)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{(1-d_0)V_s}{(1-d_1)^2+(1-d_0-d_1)^2} \\ V_2 &= \frac{(1-d_0-d_1)V_s}{(1-d_1)^2+(1-d_0-d_1)^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

여기서, d_0 과 d_1 은 스위치 S_0 와 S_1 의 듀티비이며, V_s 는 입력전압이다.

출력전압의 제어범위는 $1 \geq d_0 + d_1$ 이다. 그리고 식의 간략화하기 위해서 회로내의 입력 전류는 일정한

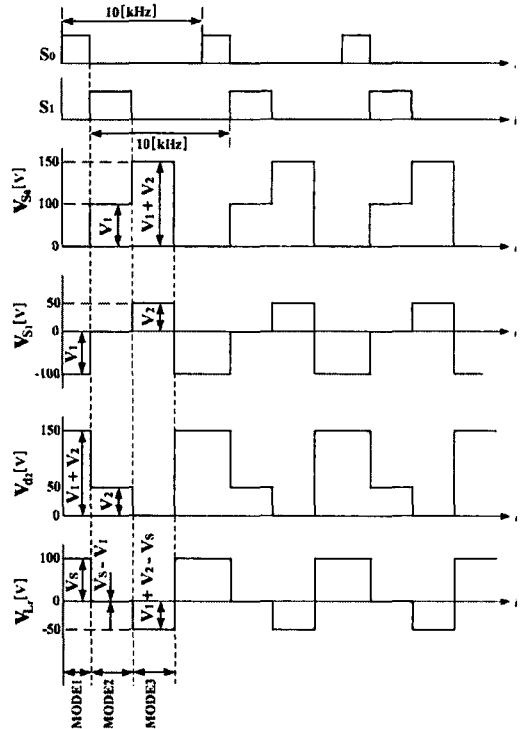


그림 7. 파형 분석
Fig. 7. Waveform analysis

게 흐르며, 출력 부하저항 R_1 과 R_2 는 같은 값을 가진다고 가정하면 입력전력($V_s I$)과 출력전력($V_1 I$ 과 $V_2 I$)는 $V_1 d_1$ 과 $(V_1 + V_2)(1 - d_0 - d_1) I$ 의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_s = V_1 d_1 + (V_1 + V_2)(1 - d_0 - d_1) \quad (3)$$

또한, V_1 과 V_2 로서 소비하는 전력은 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{V_1^2}{R} = V_1 d_1 I + V_1 (1 - d_0 - d_1) I \quad (4)$$

$$\frac{V_2^2}{R} = V_2 (1 - d_0 - d_1) I \quad (5)$$

3. 시뮬레이션 및 실험결과 고찰

표 1은 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로 정수를

새로운 승강압 쏘퍼 회로를 이용한 부하 다분할 특성

나타낸 것이다. 그림 6은 이 정수를 이용해서 스위치 S_0 과 S_1 , 다이오드 D_2 , 인덕터 L_r 의 시뮬레이션 파형을 나타낸 것이다.

표 1. 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수
Table 1. Circuit parameter using experiment and simulation

입력전압 V_s	100[V]	
인덕터 L_r	5[mH]	
커패시터 C_{r1}, C_{r2}	2200[μ F]	
듀티비 d	승압비(d_0)	0.25
	강압비(d_1)	0.35~0.5
스위칭 주파수 f_s	10[kHz]	
부하저항 R_1, R_2	50[Ω]	

그림 7은 그림 6의 PSpice ver.10.0을 이용해서 나타낸 시뮬레이션 파형을 모드 해석하기 위하여 파형을 분석한 것이다.

모드 I에서는 승압 스위치 S_0 가 통전하기 위해 0으로 되며, 강압 스위치 S_1 에는 부하전압이 역방향으로 인가된다. 그리고 다이오드 D_2 에는 부하전압의 합인 $V_1 + V_2$ 가 걸린다.

모드 II에서는 승압 스위치 S_0 을 턴-오프하고, 강압 스위치 S_1 을 턴-온하는 모드이다. 이때 통전하고 있는 강압 스위치 S_1 을 통해 승압 스위치 S_0 에는 V_1 을 순방향으로 가하고, D_2 에는 V_2 를 가한다. 그리고 L_r 에는 $V_s - V_1$ 을 순방향으로 인가한다.

모드 III에서는 스위치 S_1 을 턴-오프하기 위해서 통전하고 있는 D_2 을 통해서 S_0 에 $V_1 + V_2$ 을 인가하며, 스위치 S_1 에는 V_2 가 순방향으로 인가된다. 이때 스위치 S_0 에는 2개의 부하와 전원과 차이의 전압이 인가된다.

그림 8은 제한한 초퍼회로의 실험 파형을 나타낸 것이다. 그림 8의 실험 파형은 그림 6의 시뮬레이션 파형과 약간의 차이는 있는데 이것은 스위치 S_0 와 S_1 에서의 게이트 신호를 삼각파와 정·부 2개의 기준전압을 이용해서 그림에서 나타낸 것처럼 서로 대칭적인 신호 펄스를 사용했기 때문이다. 그리고 그

림 4에서 나타낸 것처럼 과전압을 고려하였다.

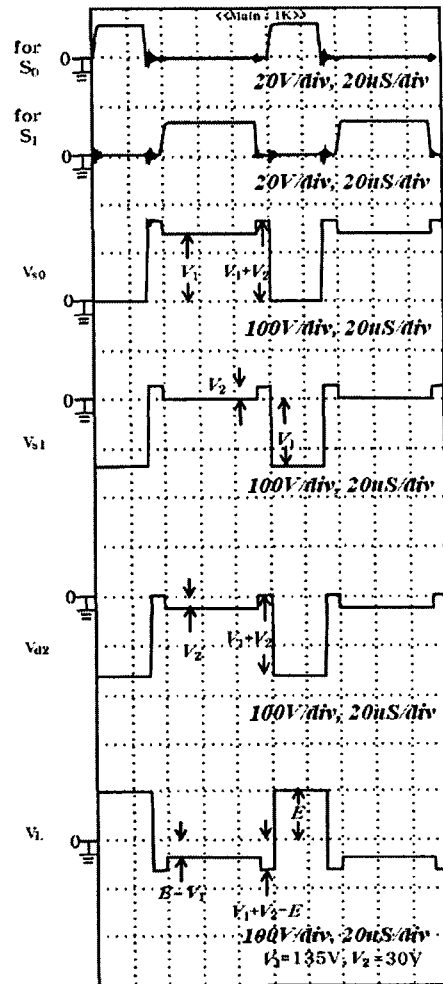


그림 8 각부의 실험 파형
Fig. 8 The Experiment waveform of a each

그림 9는 $V_s=100[V]$, 각 회로의 저항을 $0.5[\Omega]$, 부하저항 $R=50[\Omega]$, 스위칭 주파수 $f_s=10[kHz]$ 일 때 제안한 회로를 시뮬레이션에 의해 승압 스위치 S_0 의 듀티비 d_0 를 $0.1\sim 0.3$ 으로 설정하고, 강압 스위치 S_1 의 듀티비 d_1 를 $0\sim 1$ 까지 변화될 때의 출력전압특성을 나타낸 것이다.

그림 9에서 알 수 있듯이 제안한 초퍼의 듀티비 d_1 을 상승하면 출력전압 V_1 도 상승하는 특성을 가진다.

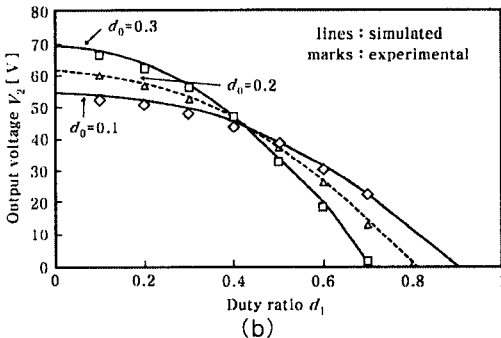
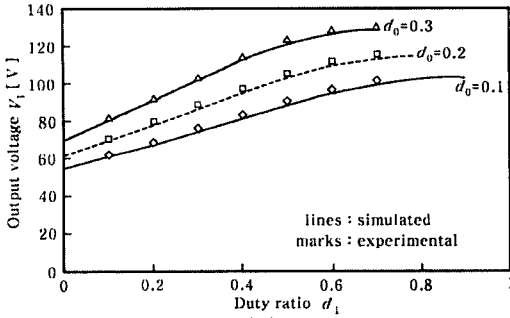


그림 9. 출력전압의 강압 특성
(a) 출력전압 V_1 의 특성
(b) 출력전압 V_2 의 특성

Fig. 9. The Buck characteristics of output voltage
(a) characteristics of output voltage V_1
(b) characteristics of output voltage V_2

그림 10은 강압 스위치 S_1 의 듀티비 d_1 을 고정해서 승압 스위치 S_0 의 듀티비 d_0 을 변화시킬 경우의 출력전압 승압 특성이 된다.

그림 10(a)에서 알 수 있듯이 V_1 는 통상적으로 승압 초퍼와 유사한 모양을 나타내는데 반해, V_2 는 듀티비 d_0 가 증가하면서 승압 특성으로 증가하다가 최대값의 경로($d_0 + d_1 = 1$)에서 0으로 변하는 특성을 가진다.

그림 10에서 일정한 듀티비 d_1 에 대하여 출력 V_1 , V_2 의 최대값 V_{1max} , V_{2max} 는 다음과 같다.

$$V_{1max} = \frac{V_s}{d_1} = \frac{V_s}{1-d_0} \quad (\because d_0 + d_1 = 1) \quad (6)$$

$$V_{2max} = \frac{V_s}{2(1+\sqrt{2})d_1} \quad (\because d_0 = 1 - d_1 - \frac{1}{\sqrt{2}}d_1) \quad (7)$$

위 식에서 각 듀티비 d_1 에 대한 최대값을 구할 수 있다. 그림 11은 불평형 부하에 대한 출력전압의 특성을 나타낸 것이다.

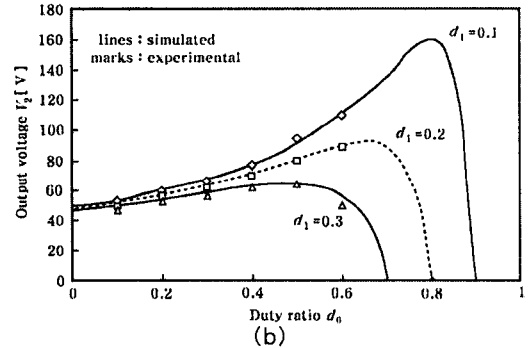
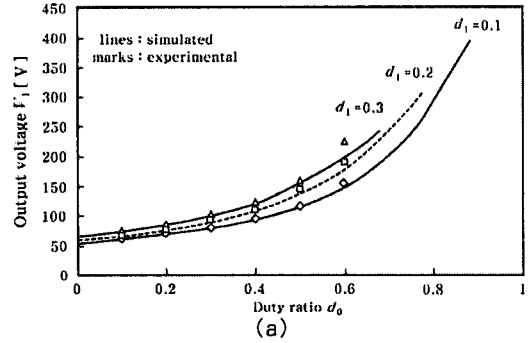


그림 10. 출력전압의 승압 특성
(a) 출력전압 V_1 의 특성
(b) 출력전압 V_2 의 특성

Fig. 10. The Boost characteristics of output voltage

(a) characteristics of output voltage V_1
(b) characteristics of output voltage V_2

그림 11(a)은 $R_2=50[\Omega]$ 으로 일정하게 한 후에 R_1 을 10~1000 $[\Omega]$ 로 변화시킬 때의 부하전압 V_1 , V_2 의 변화를 나타내고 있다. 그림 11(b)은 $R_1=50[\Omega]$ 을 일정하게 해서 R_2 을 10~1000 $[\Omega]$ 로 변화했을 때를 부하 전압의 변화를 나타낸 것이다.

두 그림에서 알 수 있듯이 서로 다른 특성을 가지며, 부하저항이 크게 될 때의 특성이 접히는 곳의 변화는 인덕터 전류가 불연속으로 되는 분기점을 나타내고 있다.

새로운 승강압 초퍼 회로를 이용한 부하 다분할 특성

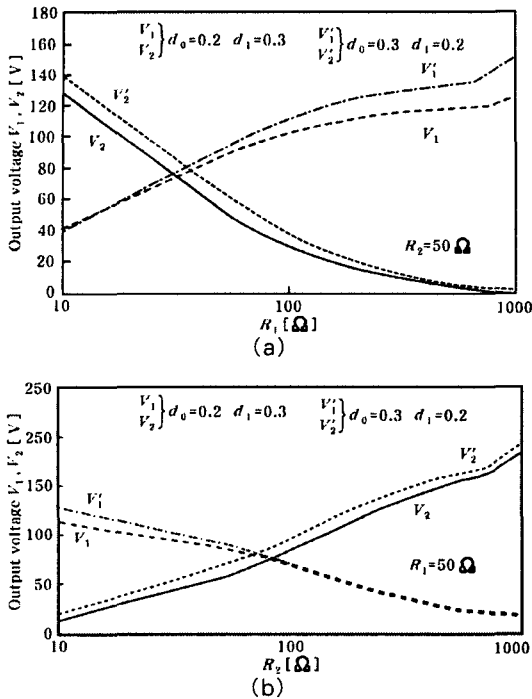


그림 11. 불평형 부하시의 출력전압 특성
Fig. 11. Output voltage characteristics for unbalance load

4. 결 론

시대의 진보에 따라서 기술적 요소도 다양하게 되고 있는 상황을 배경으로 출력부하를 분할해서 제어 가능한 새로운 개념을 가지는 승·강압 초퍼 회로를 제안하였다.

제안한 초퍼 회로는 기존의 회로에 승압용 스위치를 추가하여 구성하였으며, 이를 이용하여 부하를 분할화 시켜 서로 다른 복수의 출력 전압을 얻었다. 그리고 제안한 회로는 승압용 스위치와 강압용 스위치의 듀티비를 각각 별도로 조절하여 넓은 범위에서 서로 다른 2개의 출력전압을 정확히 제어하여 평형 부하에 대한 출력전압의 특성과 불평형 부하에 대한 출력전압의 특성을 비교한 결과 기존의 초퍼 회로보다 우수한 특성을 가진다. 하지만 제안한 방식은 전체 전류의 분담을 인덕터에 의해서 부담하기 때문에 전류의 용량이 증대하는 단점이 있다. 이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험의 결과를 통하여 그 타당성을 증명하였다.

본 연구는 2005학년도 경남대학교 학술논문게재연구비 지원으로 이루어졌습니다.

References

- (1) T.Tachibana, S.Abou, "Realized Automobile 42(V) Power Supply and Issues to Future Power Supply", Proc. of the 2002 Japan Industry Appl. Society Conference, Vol.1, pp.57-60, 2002
- (2) N.Mohan, W.P.Robbins, "Power Electronics Converters, Applications and Design, Second Ed.," Willey & Sons, Inc., p.160-164, 1995.
- (3) 仲谷行雄, 谷口豊則, "降壓形 컨버터의 特性解析", 半導體電力變換研究會連丘資料, SPE-95-87, 1995.
- (4) 長尾道彦, 今永定利, 原田耕介, "不連續모트動作 高力率 昇降壓形 AC-DCレギュレタ 特性解析", 電子情報通信學 會新學技報, pp.12~22, 1993.
- (5) 逸藤 久仁, etal, "降壓チョップ形高力率電源の インダク タ電流 連續モードにおける解析", 信學技報, FE92-2, pp. 913, 1992
- (6) K.Fujiwara and H.Nomura, "Improvement of Current Waveform for 200V Input Single-phase Rectifiers Using Modified Voltage-doubler Circuit", Proceedings of Power Conversion Conference-NAGAOAKA, pp.897~900, 1997. IEEE Trans, Vol.15, No.2, pp.73~79, 2001.

◇ 저자소개 ◇

서기영 (徐基永)

1942년 4월 18일생. 1965년 한양대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현 경남대 전기전자공학부 교수.

문상필 (文相翊)

1975년 2월 9일생. 1997년 부경대 전기공학과 졸업. 1999년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동대학원 전기공학과 졸업(박사).

권순결 (權純潔)

1951년 10월 19일생. 1973년 영남대 전기공학과 졸업. 1980년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현 경남대 전기전자공학부 교수.

이현우 (李鉉雨)

1953년 4월 28일생. 1979년 동아대 전기공학과 졸업. 1984년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동아대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현 경남대 전기전자공학부 교수.

정상화 (鄭相和)

1962년 11월 30일생. 1990년 부경대 전기공학과 졸업. 1995년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 박사수료.