

안태영 (한양대학교) 이운종 (전기공학과) 김희준

THE NEW MULTI-OUTPUT DC-DC CONVERTER USING THE CURRENT-FED CONVERTER

T.Y.AHN Y.J.LEE H.J.KIM
DEPT. OF ELECTRICAL ENG. HANYANG UNI.

ABSTRACT

The current-fed DC-DC converter, which is known as the most stable DC-DC converter, has a two-winding reactor in series with the input. In this paper the new multi-output DC-DC converter circuit, in which the 2nd winding of the reactor is creating the 2nd output, while the 2nd winding is feeding the energy to input in the current-fed converter, is proposed. The steady state characteristics of the new circuit are clarified. And it is found that the maximum value exists in the 2nd output.

1. 서론

스위칭모드직류안정화전원은 크게 나누어서 직류입력전압을 얻고자하는 직류출력으로 변환시키는 DC-DC 컨버터회로와, 컨버터출력으로부터 부귀환을 걸어서 스위치의 시비율을 조절함으로써 출력을 안정화시키는 제어회로등으로 구성되어 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 이러한 스위칭모드직류안정화전원은 컴퓨터, 전자통신용기기 및 OA기기등의 안정된 전원이 필요한 곳에 폭넓게 사용되고 있다. 한편 각종 전자기기가 급속한 소형화, 고밀도화됨에따라 전원부분에 있어서도 하나의 전원으로 부터 다출력을 얻음으로써 기기전체를 고밀도화시킬 수 있는 다출력회로에대한 논의가 활발하게 진행되고있다.⁽³⁾ 스위칭모드직류안정화전원에 있어서 다출력회로는 DC-DC 컨버터 회로의 리액터 또는 변압기에서 복수개의 권선을 뽑아 출력을 얻음으로써 구성된다.

본 연구에서는 DC-DC 컨버터 회로중 가장 안정성이 뛰어난 것으로 알려진 전류환류형콘

버터에서 2권선리액터의 권선중 입력전원으로 에너지를 회생시키는데 이용하는 2차측권선으로부터 출력을 얻음으로서 기존의 다출력회로중 가장 간단한 구성의 새로운 회로를 제안하였고 정상상태 특성및 시비율에대한 출력전압비및 레귤레이션특성을 실험하였다.

2. 회로구성및 동작

본 논문에 사용된 기호는 아래와 같다.

- V_i : 입력 dc 전압
- V_{o1}, V_{o2} : 출력전압
- N_1, N_2 : 리액터의 1차 및 2차측의 권선수
- r_1, r_2 : 회로의 등가저항분
- C_1, C_2 : 평활콘덴서의 용량
- ϕ : 리액터의 자속
- \mathcal{R} : 리액터의 자기저항
- R_1, R_2 : 부하저항

트랜지스터 스위치는 d_1, d_2 ($d_1 + d_2 = 1$)의 시비율을 갖는 외부 스위칭 신호에의해 제어된다.

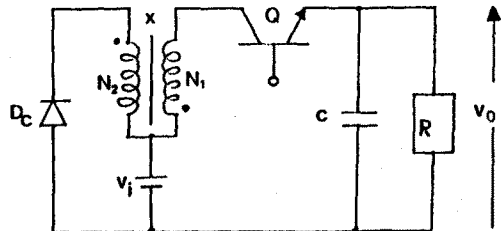


그림 1 전류환류형 DC-DC 컨버터의 기본회로
Fig. 1 Basic Circuit of Current-fed DC-DC Converter

그림1에 전류환류형 DC-DC 컨버터의 기본회로를 나타냈다.⁽⁴⁾ 이 컨버터의 구조상 특징은 2권선 리액터 X가 입력전원에 직렬로 삽입되어 있는 것이다.

동작원리는 우선 스위치 Q가 ON이되면 리액터를 통해 출력에 전력이 전달됨과 동시에 리액터에는 1차권선 N₁을 통하여 에너지가 축적된다. 이때 2차권선에 나타나는 역방향 전압에 의해 환류다이오드 D_C는 OFF된다. 다음 Q가 OFF되면 리액터에 축적된 에너지는 2차권선 N₂와 환류다이오드 D_C를 통하여 입력전원측에 회생한다.

그림1의 전류환류형회로에서 스위치 Q가 OFF인 기간에 에너지를 회생시키는 부분을 입력전원이 아니라, 새로운 출력 Vo₂에 에너지를 회생시키면 이 회로의 특성을 유지하면서 손쉽게 2출력을 구성할 수 있다. 그림2에 이 회로를 나타냈다. 회로구성은 그림1의 전류환류형회로와 거의 비슷하나, 단지 리액터 X의 2차측 권선으로부터 새로운 출력을 구성하고 있다는 점이 다르다.

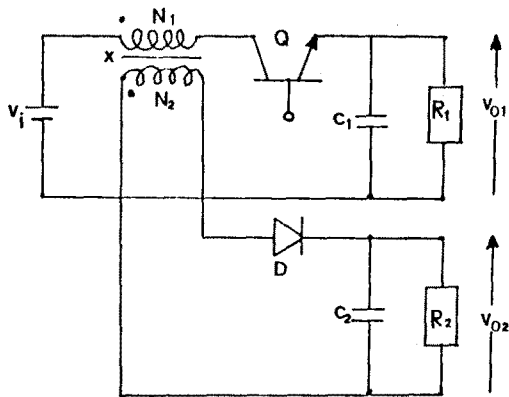
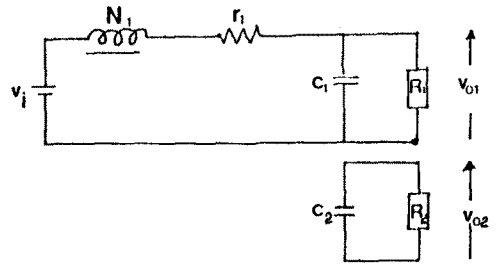


그림2. 새로운 2출력컨버터회로
Fig.2. New converter circuit with two output

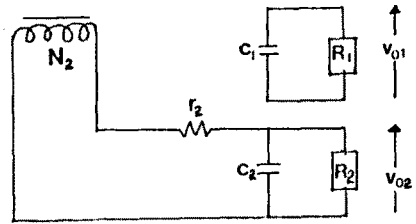
3. 정상상태특성

3.1 상태방정식

그림3(a)와 (b)는 스위치Q가 ON및 OFF상태에서의 등가회로를 나타내며 여기서 해석을 간단하게 하기위해 회로의 스위치소자들은 이상적인 것으로 가정한다.



(a) Q ON 상태
(a) Q ON State



(b) Q OFF 상태
(b) Q OFF State

그림3. 등가회로
Fig.3. Equivalent Circuit

[Q ON 상태]

이 상태에서 스위치Q는 ON이 되고, 리액터의 2차측에 유기되는 역방향 전압에 의해 다이오드 D는 OFF된다. 이때 리액터의 1차측에는 입력전원으로부터 에너지가 축적된다. 따라서 이 기간 동안 두 출력전압 Vo₁, Vo₂ 및 리액터자속 ϕ에 관한 회로방정식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\phi}{dt} &= \frac{V_i}{N_1} - \frac{r_1 \phi}{N_1^2} - \frac{V_{o1}}{N_1} \\ \frac{dV_{o1}}{dt} &= \frac{\phi \omega}{C_1 N_1} - \frac{V_{o1}}{C_1 R_1} \\ \frac{dV_{o2}}{dt} &= -\frac{V_{o2}}{C_2 R_2} \end{aligned} \right\} < 1 >$$

[Q OFF 상태]

이 상태에서 스위치Q가 개방되고 다이오드D가 전도되며 리액터에 저장된 에너지는 출력회로를 통해 나간다. 각 출력전압 Vo₁, Vo₂ 및 자속 ϕ에 관한 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{d\phi}{dt} &= -\frac{r_2 \mathcal{R} \phi}{N_2^2} - \frac{Vo_2}{N_2} \\ \frac{dVo_1}{dt} &= -\frac{Vo_1}{R_1 C_1} \\ \frac{dVo_2}{dt} &= \frac{\phi \mathcal{R}}{N_2 C_2} - \frac{Vo_2}{R_2 C_2} \end{aligned} \quad \langle 2 \rangle$$

상태벡터 \bar{X} 을 $\bar{X} = [\phi \quad Vo_1 \quad Vo_2]^T$

라고 정의하면, 식 < 1 >과 < 2 >로부터 스위치 Q의 ON, OFF에 따른 각각의 상태방정식을 구하면 다음과 같다.

Q ON 상태

$$\frac{d}{dt} \bar{X} = \bar{A}_1 \bar{X} + \bar{B} V_i \quad \langle 3 \rangle$$

$$\bar{A}_1 = \begin{bmatrix} -\frac{r_1 \mathcal{R}}{N_1^2} & -\frac{1}{N_1} & 0 \\ \frac{\mathcal{R}}{C_1 N_1} & -\frac{1}{C_1 R_1} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{C_2 R_2} \end{bmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{N_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Q OFF 상태

$$\frac{d}{dt} \bar{X} = \bar{A}_2 \bar{X} \quad \langle 4 \rangle$$

$$\bar{A}_2 = \begin{bmatrix} -\frac{r_2 \mathcal{R}}{N_2^2} & 0 & -\frac{1}{N_2} \\ 0 & -\frac{1}{R_1 C_1} & 0 \\ \frac{\mathcal{R}}{N_2 C_2} & 0 & -\frac{1}{R_2 C_2} \end{bmatrix}$$

3.2 정상상태의 출력전압

상태평균화법으로부터 식 < 3 >과 < 4 >는 다음과 같이 하나의 평균화된 상태방정식으로 근사할 수 있다.

$$\frac{d\bar{X}}{dt} = (\bar{A}_1 d_1 + \bar{A}_2 d_2) \bar{X} + \bar{B} d_1 V_i \quad \langle 5 \rangle$$

정상상태에서 식 < 5 >는

$$(\bar{A}_1 d_1 + \bar{A}_2 d_2) \bar{X} + \bar{B} d_1 V_i = 0$$

가 되므로 식 < 5 >로부터 정상상태의 두 출력전압 Vo_1 과 Vo_2 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Vo_1 = \frac{d_1^2 R_1 n^2 V_i}{r_1 d_1 n^2 + r_2 d_2 + d_1^2 R_1 n^2 + d_2^2 R_2} \quad \langle 6 \rangle$$

$$Vo_2 = \frac{d_1 d_2 R_2 n V_i}{r_2 d_1 n^2 + r_2 d_2 + d_1^2 R_1 n^2 + d_2^2 R_2} \quad \langle 7 \rangle$$

$$n = N_2 / N_1$$

그림 4.는 시비율의 변화에 대한 두 출력간 전압값을 나타낸다. 이 결과로부터 출력 2에는 최대값이 존재하고 있음을 알 수 있다.

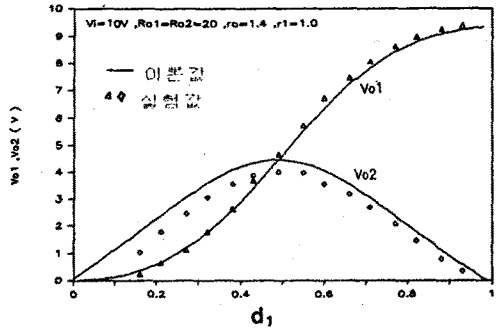


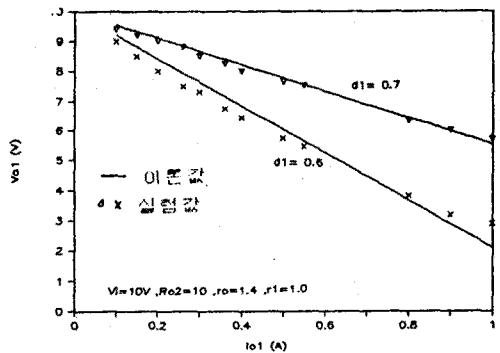
그림 4. 시비율 d_1 의 변화에 대한 출력전압
Fig. 4. Output Voltage Vs. Duty ratio d_1

이 출력전압을 부하의 특성을 구하기 위한 표현식으로 나타내면 다음과 같다.

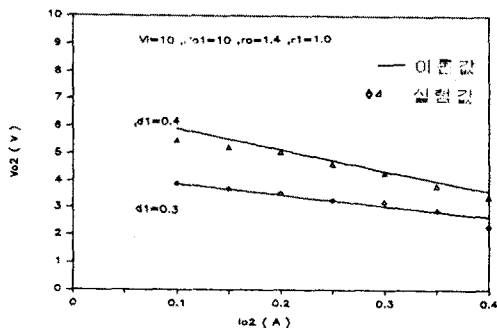
$$Vo_1 = V_i - \left[\frac{r_1}{d_1} - \frac{r_2 d_2}{d_1^2 n^2} + \frac{d_2^2 R_2}{d_1^2 n^2} \right] I_{o1} \quad \langle 8 \rangle$$

$$Vo_2 = -nV_i - \left[\frac{r_1 d_1}{d_2^2} n^2 + \frac{r_2}{d_2} + \frac{d_1^2 n^2 R_1}{d_2^2} \right] I_{o2} \quad \langle 9 \rangle$$

그림 5는 두 출력전압의 부하특성을 나타내며 Vo_1 에서는 시비율 d_1 이 클수록, Vo_2 에서는 시비율 d_1 이 작을수록 수하특성이 양호함을 알 수 있다.



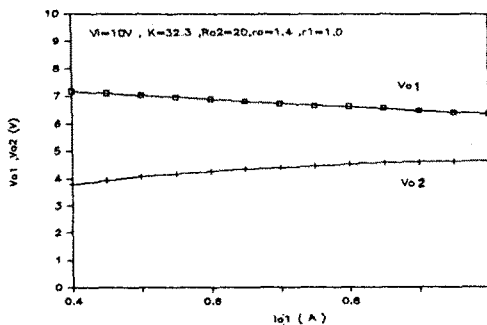
(a) Vo_1 의 부하특성
(a) Load Characteristics of Vo_1



(b) Vo2의 부하특성
(b) Load Characteristics of Vo2

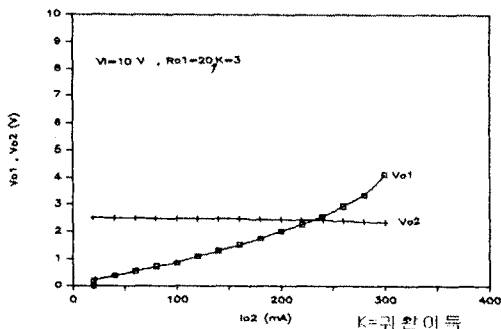
그림 5 부하 특성
Fig. 5 Load Characteristics

두 출력의 레귤레이션특성을 알아보기 위해 각각의 출력에 귀환을 걸었을 때 부하특성의 실험결과를 그림 6에 나타냈다. (a)는 Vo1을 레귤레이션 시켰을 때 부하전류 Io1의 변화에 대한 두 출력전압값을 나타내며 (b)는 Vo2를 레귤레이션 시켰을 때 부하전류 Io2의 변화에 대한 두 출력전압값을 나타낸다. Vo2 레귤레이션 경우 Vo1보다 다소간의 전압변동이 생기고 있음을 보여주고 있다.



K = 귀환이득

(a) Vo1 - Io1



(b) Vo2 - Io2

그림 6. Vo1 및 Vo2 귀환시 부하특성
Fig.6 Load Characteristics in case that Vo1, Vo2 are Regulated

4. 결 론

이상으로 전류환류형 DC-DC 컨버터의 2권선 리액터에서 2차권선에 의한 출력을 고려한 새로운 다출력회로를 제안하고 이론적인 해석 및 실험을 통하여 그 정상특성을 밝혔다. 또한 두 출력의 레귤레이션특성에 관한 실험결과를 제시하였다. 특히 시비율 변화에 대한 출력전압의 변화에 있어서는 2차권선에 의한 출력이 최대값이 존재하고 있음을 알 수 있었다. 그리고 이 새로운 회로에 대한 동특성을 이론 및 실험을 통해 명확히 하는 것이 앞으로의 과제라고 생각한다.

REFERENCE

- 1] K. Harada : "State of the art in DC-to-DC converters", IEEE INTELEC '83 PP. 35-42 (Oct. 1983)
- 2] R.D.Middlebrook and S.Cuk : "A general unifie approach to modelling switching converter power stage". IEEE PESC '76 Record, PP.18-34
- 3] K.Harada and T.nabesima : "Dynamic characteristics of switching regulators", Intern. Wiss. Koll., TH Ilmenau, PP.29-32 (Sept. 1981)
- 4] K.Harada and H.J.Kim : "Analysis of the push-pull current-fed DC-DC converter", IPEC Record, PP. 493 - 503 (Mar. 1983)
- 5] 金 輝 燦, 原 田 耕 介 : "전원에 에너지가 회생되는 전류형 DC-DC컨버터의 해석", 대한전자공학회 논문지 Vol.20, No.4, PP.41 - 46 (July 1983)