

## 역전압 Commutation을 이용한 Thyristor Chopper에 관한 연구

박상길 · 홍봉기 · 장지원

## A Thyristor Chopper Using Reverse Voltage Commutation

Sang-gil PARK\*, Bong-ki HONG\*, Jee-won CHANG\*

A reverse voltage commutating thyristor chopper was described. The chopper consists of commutating capacitor charging circuit and commutating thyristor.

By superimposing the charged voltage on capacitor to load voltage, powerful reverse voltage could be induced on main thyristor cathode. And in that wise the chopping action was performed without all the reactors of the proposed circuit.

An energy recovery circuit was employed in the chopper circuit for recovering the energy that was consumed in main thyristor commutation.

The operating principles of the chopper circuit was analyzed and experimental results were as following.

- i) All reactors were eliminated.
- ii) By applying energy recovery circuit to the chopper, 67% of the consumed energy was recovered to source.
- iii) Turn off time of the proposed chopper was derived as  $T=RC \ln 2$ .

## 서론

Chopper는 직류전원으로부터 가변출력의 직류를 발생시키는 장치로서, DC motor 속도제어, DC-AC inverter, DC-DC converter 등에 널리 사용되어 왔다. <sup>1),2)</sup>

Chopper에 의한 D.C motor의 구동이 위상제어나 콘버터 또는 인버터에 의한 구동보다 탁월한 것은 회생제동이 가능하기 때문이다. <sup>3),4),5)</sup>

현재 inverter에도 보다 출력파형이 정현파에 가깝도록 하기 위해 Chopper를 사용하는 경우가 많다. <sup>3),6)</sup>

일반적으로 소전력용의 Chopper는 transistor로 구성이 되므로 복잡한 commutation 방식이 필요치 않으나, 대전력용으로는 transistor가 불리하여 구조적으로 견고한 thyristor를 이용하게 된다. thyristor를 이용한 chopper에서는 main thyristor를 commutation하기 위해 전원측과 직렬 연결된 reactor와

resonance reactor를 사용하게 되며, 부하가 커지게 되면 main thyristor를 통과하는 전류가 증가하게 되므로 충분한 turn off time을 얻기 위해 이들 reactor의 reactance가 커져야 한다.

본 연구에서는 이들 reactor를 제거키위해 commutation capacitor에 충전된 전압을 main thyristor에 역으로 가하는 방법을 연구하였다.

## 역전압 commutation chopper의 구성 및 작동원리

회로의 구성은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서  $th_1$ 은 부하에 전력을 공급하는 thyristor이며 이 thyristor가 스위칭 작용을 하여 공급전력을 제어하게 된다.  $th_2$ 는 commutation capacitor C를 충전하기 위해 구성된 것이며,  $th_3$ 는  $th_1$ 에 역전압을 걸어 turn off하기 위한 thyristor이다. 그리고 transformer와 diode는 commutation시 소요되는 에너지를 회생하여 전원측에 되돌려 주기

\*釜山水産大學 : National Fisheries University of Busan

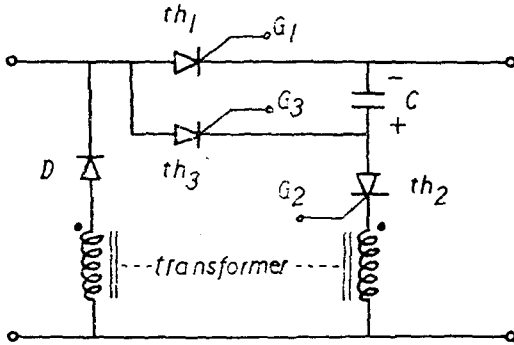
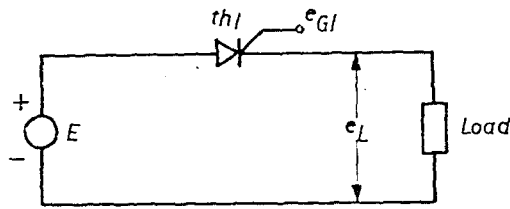


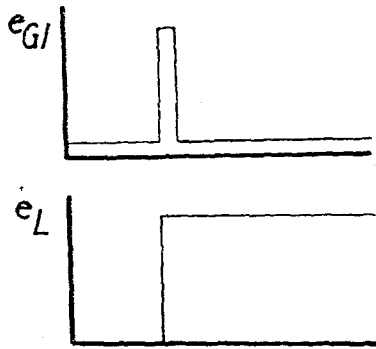
Fig. 1 Circuit diagram of proposed chopper.

위한 것이다.

처음 capacitor가 Fig. 1에 표시된 바와 같이 충전되어 있을 때,  $th_1$ 이 trigger되어 turn on하게 되면, Fig. 2와 같이 부하측에 전원전압  $E$ 의 전압이 걸리게 된다. 다음,  $th_2$ 가 trigger되면 Fig. 3과 같이 capacitor C가 전원전압으로 충전되게 된다. 이때 에너지 회생변압기의 일차측권선내부저항과 이차측권선의 내부저항을 각각  $r_1$ ,  $r_2$ 라 하며, 권선비를  $n$ 이라 할 때, 에너지 회생경로는 Fig. 4와 같이 표시할 수 있다.



(a) Load circuit diagram



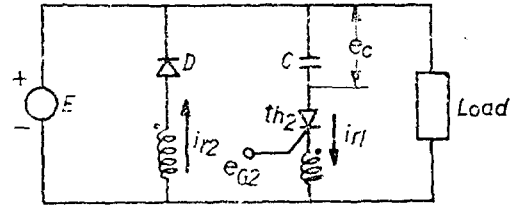
(b). Load voltage curve.

Fig. 2 Turn on state of main thyristor.

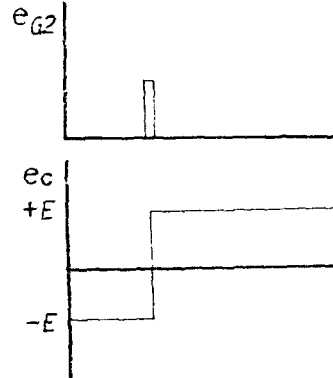
Fig. 4의 회로에서

$$E = -E + \frac{1}{C} \int_0^t i_r(t) dt + (r_1 + \frac{r_2}{n}) i_r + \frac{E}{n} \dots \textcircled{1}$$

이며, 식①을 Laplace 변환하면,



(a) Capacitor charging circuit



(b) Voltage across commutating capacitor  
Fig. 3 Capacitor charging state.

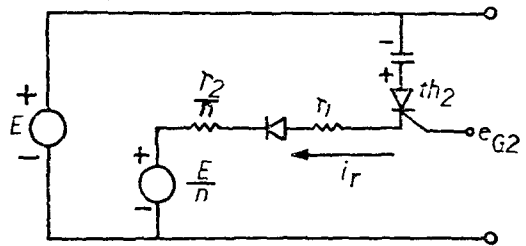


Fig. 4 Energy recovery equivalent circuit.

$$\frac{\hat{i}_r(s)}{CS} + (r_1 + \frac{r_2}{n}) \hat{i}_r(s) = \frac{E}{S} (2 - \frac{1}{n})$$

이 되므로,

$$i_r(t) = E(2 - \frac{1}{n}) \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{(r_1 + \frac{r_2}{n})C}} \right\} \dots \textcircled{2}$$

가 된다.

그리고 실제로 전류가 흐르는 기간은  $i_r(t)$ 가  $th_2$ 의 holding current보다 큰 기간 동안이다. 따라서 이 기간동안 capacitor는 전원전압과 동일한 극성으로 충전되고 충전되는 전류가 줄어들어  $th_2$ 의 holding current와 동일하게 되는 기간부터  $th_2$ 는 turn off 된다. 그리고 식②에서 회생되는 에너지의 양을 보다 많게 하기 위해서는 권선비를 크게 할수록 좋다는 것을 알 수 있다. 다음  $th_3$ 를 trigger하면 Fig. 5와 같이 load측에 순간적으로 전원전압의 2배가 걸리게 되고,  $th_1$ 은 역 바이어스가 걸리므로  $th_1$ 에는 전류가 흐르지 않게 된다.

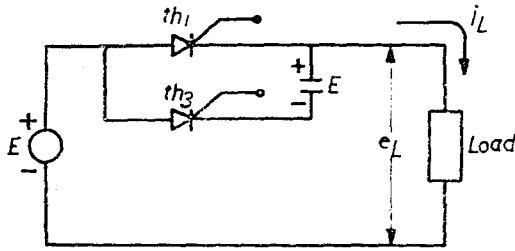


Fig. 5 Equivalent circuit diagram of turn off state.

Fig. 5에서 부하의 저항치가 R이며 부하측 전류를  $i_L$ 이라 하면,

$$E = -E + \frac{1}{C} \int i_L(t) dt + i_L R$$

이므로,

$$e_L = 2Ee^{-\frac{t}{RC}}$$

가 된다. 여기서  $e_L \geq E$ 인 기간 T는,

$$T = RC \ln \frac{2E}{E} = RC \ln 2 \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

가 된다. 식③에서 표시하는 기간 T동안은  $th_1$ 으로 전류가 흐르지 않으므로  $th_1$ 의 turn off time이 T보다 적을 때  $th_1$ 은 turn off가 된다. 이와 같은 chopper의 동작을 trigger 순서와 부하전압으로 도시해 보면 Fig. 6과 같이 표시할 수 있다.

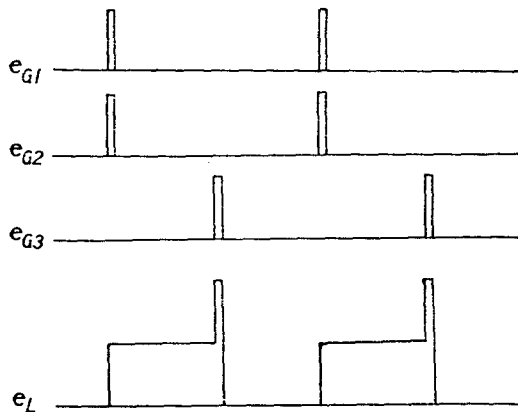


Fig. 6 Timing for trigger signal of thyristors.  
 $e_{G1}$  : trigger signal for main thyristor.  
 $e_{G2}$  : trigger signal for capacitor charging thyristor.  
 $e_{G3}$  : trigger signal for commutating thyristor.  
 $e_L$  : load voltage.

실 험

Trigger회로의 구성은 Fig. 7과 같다. 먼저 전원

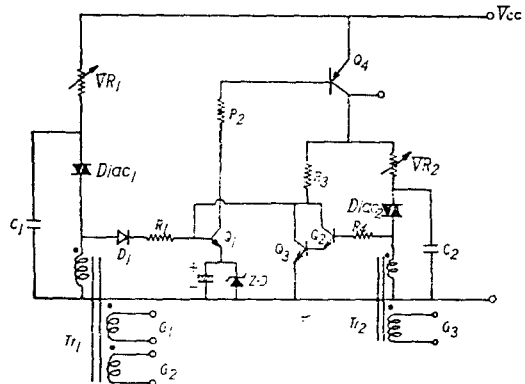


Fig. 7 Trigger circuit (synchronized relaxation oscillator).

이 입력되면  $VR_1$ 을 통하여  $C_1$ 이 충전된다. 이 때  $C_1$  양단의 전압이  $diac_1$ 의 peak point에 달하게 되면  $C_1$ 은  $diac_1$ 과 pulse transformer의 1차측을 통하여 순간적으로 방전된다.

Transformer  $tr_1$ 에 pulse가 발생하는 순간  $D_1$ ,  $R_1$ 을 거쳐 pulse 전류가  $Q_1$ 의 base, emitter로 흐르게 되고  $Q_1$ 이 도통되어  $R_2$ 로 전류가 흐르므로  $Q_4$ 가 도통하게 된다.  $Q_4$ 가 도통되면  $R_3$ 를 통하여  $Q_1$ 이 계속 도통하게 되므로 transformer  $tr_1$ 에 계속 pulse가 발생하지 않더라도  $Q_4$ 는 도통이 지속된다.  $Q_4$ 가 도통되어,  $C_2$  양단의 전압이  $diac_2$ 의 peak point에 도달하면 transformer  $tr_2$ 에 pulse가 발생한다. 이 pulse가  $R_4$ 를 통하여  $Q_2$ 의 base에 걸리게 되면  $Q_3$ 의 collector 전압은 0 volt에 가까와 진다.

따라서  $Q_1$ 의 base 전압이 emitter 전압보다 낮아져서  $Q_1$  및  $Q_4$ 가 turn off된다.

이와 같은 동작을 계속 되풀이 하게 되면 Fig. 7의 capacitor  $C_1$ ,  $C_2$  양단의 전압파형은 Fig. 8과 같이 된다.

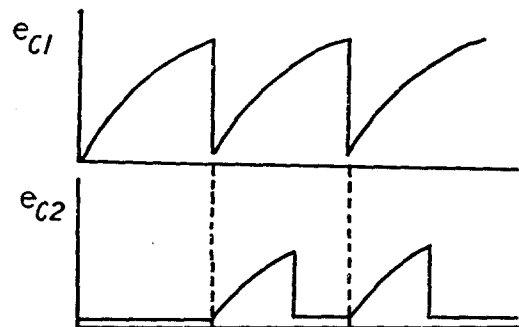


Fig. 8 Output wave-form on the diacs.

이상과 같은 trigger회로를 Fig. 9와 같이 결선하여

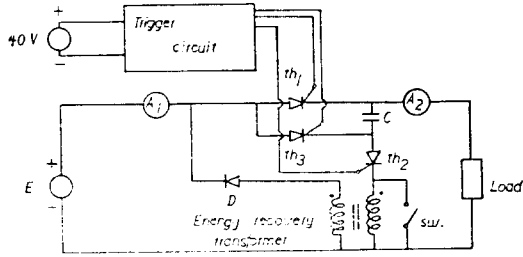


Fig. 9 Circuit diagram for experimental device.

실험회로를 구성하였다. 사용한 thyristor는 C35H였고, energy recovery transformer의 권선비는 10이었다. Trigger 회로의 transistor는 모두 2SC372이었으며 diac<sub>1</sub>, diac<sub>2</sub>의 peak voltage는 20Volt였다. VR<sub>1</sub> 및 VR<sub>2</sub>는 각각 100KΩ, 50KΩ이었다.

먼저 스위치 SW를 단락하여 energy recovery를 행하지 않고 commutating capacitor C의 값을 1μF, 2μF, ...10μF으로 변화시키면서 각각의 용량에 대하여 main thyristor를 turn off할 수 있는 최소의 저항치를 구하였다. 그리고 에너지 회생회로의 역할을 알아 보기 위해 부하를 40Ω으로 두고 전원전압을 50Volt로 선택하여, 부하측 pulse주파수를 500Hz로 두고 pulse width를 각각 0.50, 0.75, 1.00, ...1.75 msec로 변화시키면서 스위치 SW를 단락했을 때와 개방했을 때의 부하측 전류와 입력전류를 각각 측정하였다.

### 결과 및 고찰

Fig. 10의 파형 1,2는 회로 Fig. 7의 C<sub>1</sub> 및 C<sub>2</sub> 양단의 전압을 측정한 파형이며 파형 3,4는 transformer tr<sub>1</sub> 및 transformer tr<sub>2</sub>의 출력전압파형을 측정한 것이다. 그리고 이는 Fig. 8의 파형과 잘 일치되고 있다.

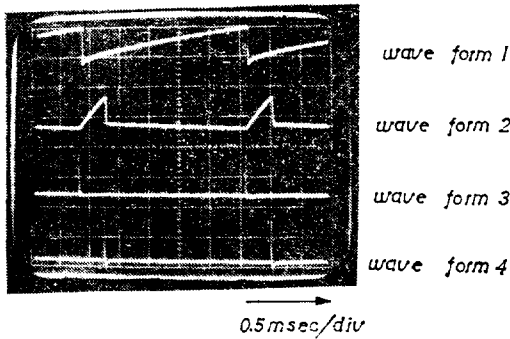


Fig. 10 Wave-form of the trigger pulses.

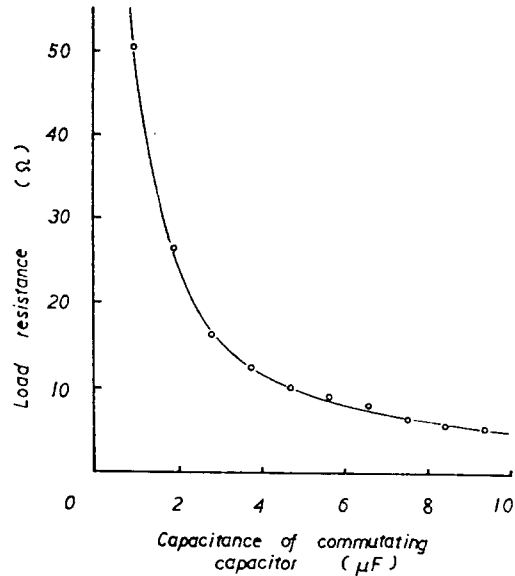


Fig. 11 Capacitance of commutating capacitor vs. minimum value of the commutable load.

Fig. 11은 각각의 commutating capacitor 용량에 대해 turn off할 수 있는 최소의 저항치를 나타내고 있다. 이들 값에 의한 turn off time의 평균치를 내면 34.04μsec이다. 이것은 제작자의 data에 의한 30 μsec에 매우 접근한다. 따라서 식(3)에 의해서 th<sub>1</sub>에 역전압이 걸리는 시간을 계산할 수 있다.

Fig. 12는 각각의 pulse width에 대해, 에너지 회생을 행했을 경우와 행하지 않았을 경우의 전원측

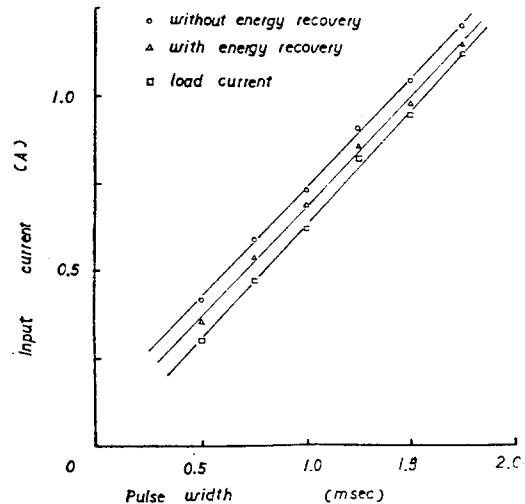


Fig. 12 Pulse width vs. input current.

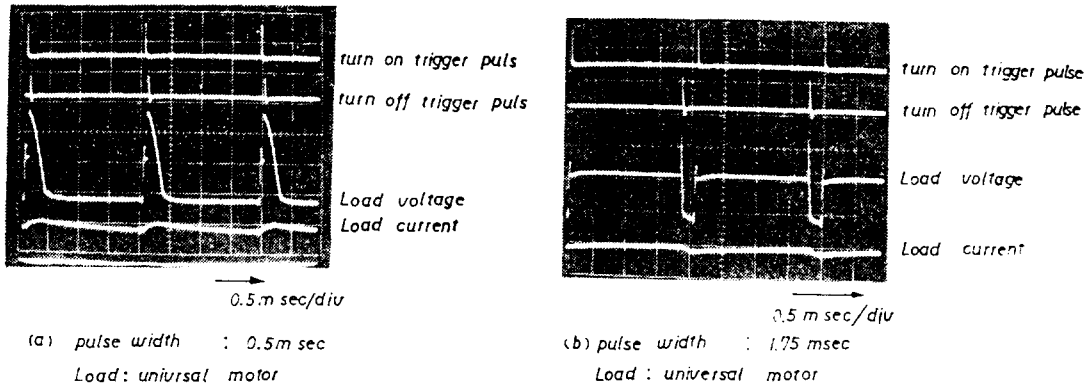


Fig. 13 Output wave-form of the proposed chopper.

전류 및 부하측 전류를 나타내고 있다.

여기서 에너지 회생을 하지 않았을 경우 최대 37.7%의 전류가 부하를 통과하지 않고 허비되고 있으며 에너지 회생회로를 부가했을 경우 이를 67%까지 회수할 수 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 13. (a), (b)는 전원전압 50Volt로서 free wheeling을 행하여, universal motor를 부하로 두고, pulse width를 각각 0.30msec, 1.75msec로 두어 motor를 구동했을 경우를 나타내고 있다. 여기서 최하부의 파형은 전류파형으로 전압파형에 비해 매우 평활되어 있다는 것을 알 수 있는데, 이는 armature 및 stator winding의 인덕턴스와 free wheeling diode에 의한 것으로 본다.

## 결 론

종래의 thyristor chopper는 reactor가 필수불가결하여, reactor의 내부저항에 의한 에너지 손실을 피할 수 없다.

본 연구에서는 main thyristor를 commutation하기 위해, commutation capacitor에 충전된 전압을 main thyristor에 역으로 가하여 main thyristor를 commutation하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 종래의 thyristor chopper에 필수불가결한 모든 reactor를 제거하여 chopping 작용을 가능케 할 수 있었다.

ii) Commutation capacitor에 의해 부하를 통과하지 않고 허비되는 에너지의 67%를 회수할 수

있었다.

iii) 본 thyristor chopper의 turn off time은  $T = RC \ln 2$ 에 의해 계산된다.

## 문 헌

- 1) 김한성(1982) : 병면커패시터를 사용한 DC Chopper의 특성연구. 대한전기학회, Vol. 31, no. 3, 226~234.
- 2) Dewan, S. and Straughen, A. (1975) : Power semiconductor circuit. John Wiley and Sons, Inc., 298-309.
- 3) Tung Hai Chin and Motomu Nakano(1980) : A Coupled-Reactor-Commutating Sinusoidal-Wave Inverter. IEEE, vol. 1A-16, no. 1, 96-102.
- 4) Murphy, J., et al(1977) : Variable Speed Drives. Electrical Review, vol. 201, no. 24, 23-26.
- 5) Kielgas, H. and Nill, R. (1980) : Converter Propulsion Systems with Three Phase Induction Motor Traction Vehicles. IEEE, vol. 1A-16, no. 2, 222-233.
- 6) Arrillaga, J., et al(1978) : Dynamic Modeling of Single Generators Connected to HVDC Converters. IEEE, vol. PAS-97, no. 4, 1018-1027.