

홍순찬 · 오수홍 · 서동조\*  
 단국대학교

New Two - Quadrant Chopper for the DC Series Motor

Soon-Chan Hong, Soo-Hong Oh, Dong-Jo Seo  
 Dankook University

ABSTRACT

New chopper circuits for decoupled operation of the dc series motor are presented. These new choppers are capable of controlling field current completely separately, while offering capability of bidirectional armature energy flow.

To develop the chopper circuit, with minimum number of switching elements, the complete family of possible conduction circuits are systematically investigated. Then one or two quadrant chopper circuits which offer the desired operations are synthesized from the resulting conduction circuits.

Finally, the developed chopper circuits are completely analyzed. The details of operation of the chopper circuits are also fully described.

1. 서 론

직권직류전동기는 기동보조크 특성이 좋기 때문에 전인용전동기로서 오랫동안 사용되어 왔으나 타여자전동기와는 달리 부하전류가 계자회로에 흐르므로 독립된 계자제어가 어려운 단점이 있다. 반면에 타여자전동기는 독립된 계자제어가 손쉬우므로 효율을 향상시키는 제어알고리즘을 실현한다든가[1] 하는 성능향상을 위한 제어가 용이하다. 또한 직권전동기는 본권전동기와는 달리 기계에너지를 흡수하는 제동기로서 사용될수 없는것으로 알려져 있다[2].

그러나 직권전동기계통에서도 별도의 계자제어가 가능하다면 효율을 향상시키는 제어알고리즘이나[3] 속도제어등이 매우 용이해진다. 따라서 계자전류를 전기자전류와 별도로 제어하기 위하여 여러가지 전력회로들이 고안되었으나[4]-[6] 이 회로들은 계자회로를 분리해야하는등 여러가지 단점이 있다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 Rashid와 Bhadra가 새로운 회로를 제안 하였다[7]. 이들이 제안한 회로는 계자회로를 분리하는 단점은 없으나 모우드에 따라 계자전류와 전기자전류의 독립적인 제어가 불가능할 수도 있을뿐만 아니라 1상한에서만 동작이 가능하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 직권전동기계통에서 계자전류와 전기자전류를 완전히 별도로 제어할수 있고 2상한에 걸쳐 동작하여 회생제동도 가능한 새로운 2상한 효터를 제안하고자 한다.

2. 사용가능한 도전회로

2상한 효터를 구성하기 위하여 생각할 수 있는 모든 도전회로를 고려하여야하며 이들로부터 최소한의 스위칭소자를 사용하면서 원하는 제어특성을 갖는 효터를 구성해야 한다. 따라서 그림 1과 같은 일반적인 구성도를 고려한다.

그림 1의 구성도는 기존의 직권전동기의 세단자와 직류전원 두단자 사이에서 전류가 흐를수 있는 모든

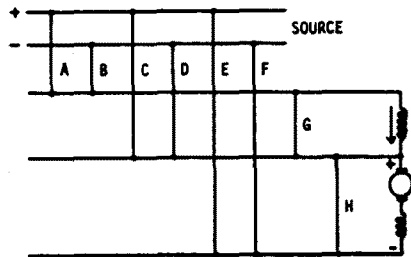


그림 1. 직권직류전동기운전계통의 일반적인 구성도.

경로를 표시하고 있으며 A-F는 전천선과 직권 전동기사이의 전력수수경로이며 G와 H는 계자회로와 전기자회로의 환류경로이다. 또한 계자전류는 그림에서와 같이 첫방향에서 아래 방향으로 흐르는 것으로 정의하고 전기자 전압도 그림에서와 같이 정의한다. 전기자전류는 정상운전이나 회생제동이나에 따라 방향이 다를 수 있다.

A-H의 여덟개의 전류경로는 전류의 흐름에 따라 세가지의 서로 다른 모우드를 가진다. 즉 첫째는 전류가 첫방향에서 아래방향으로 흐르는 경우이고 둘째는 전류가 아래방향에서 첫방향으로 흐르는 경우이며 셋째는 전류가 흐르지 않는 경우이다. 편의상 이 세가지 모우드는 그림 2와 같이 +1, -1, 0으로 정의한다.



그림 2. 전류흐름의 정의

생각할 수 있는 모든 도전회로는 전천선과 직류 전동기를 연결하는 전류경로가 여덟개이므로 총 6561가지이다. 이 중에서 우선 다음의 경우가 제외된다.

- 1) 단락회로가 구성되는 경우 - 4058 가지

예) (a) A=+1 B=-1  
(b) R=+1 H=-1 D=-1

- 2) 전천선과 부하가 분리되는 경우 (단, 환류회로의 경우는 별도로 고려) - 1143가지

예) (a) A=+1 B=+1 C=+1  
D=+1 E=+1 F=+1  
(b) A=0 B=0 C=0  
D=0 E=0 F=0  
(c) A=-1 B=-1 C=-1  
D=-1 E=-1 F=-1

- 3) 하나의 전천선에서 동시에 둘 또는 세 전류가 흐르는 경우 - 1280 가지

예) (a) A=+1 C=+1 E=+1  
(b) A=-1 C=-1 E=-1  
(c) B=+1 D=+1 F=+1  
(d) B=+1 D=-1 F=0

위의 세 경우는 구성자체가 불가능한 경우이므로

우선적으로 제거되어야하며 결국 80가지의 도전회로가 남는다.

본 연구에서는 계자전류와 전기자전류가 연속이며 계자전류와 전기자전압을 그림 1에서와 같이 정의 하였으므로 다음 단계에서는 아래의 경우가 제외 되어야 한다.

- 4) 계자회로의 개방

예) (a) A=0 B=0 G=0

- 5) 계자전류의 방향에 따라

예) (a) A=-1  
(b) B=-1  
(c) G=+1

- 6) 계자회로로부터의 에너지반환

예) (a) B=+1

- 7) 전기자전압의 극성에 따라

예) (a) D=+1 E=-1  
(b) D=-1 E=+1

- 8) 전기자회로의 개방

예) (a) E=0 F=0 H=0

위의 경우들을 제외하고 환류회로를 고려하면 현하는 동작을 할 수 있는 도전회로는 그림3과 같이 10 가지가 된다

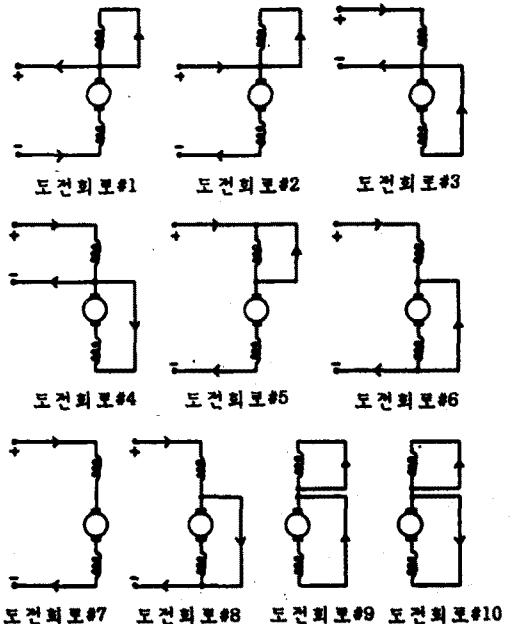


그림 3. 사용가능한 도전회로

3. 효퍼의 구성

그림 3의 사용가능한 도전회로를 전기자회로와 계자회로의 동작에 따라 분류하면 표 1과 같다.

표 1. 사용가능한 도전회로의 분류

전기자회로 \ 계자회로	계자회로	여 자	비 여 자
모우드 A		도전회로#7	도전회로#2 도전회로#5
모우드 B		도전회로#3 도전회로#6	도전회로#9
모우드 C		도전회로#4 도전회로#8	도전회로#10
모우드 D		없음	도전회로#1

도전회로중에서 도전회로 5는 계자전류가 전기자 전류보다 클 경우에만 동작이 가능하며 도전회로 6은 반대로 전기자전류가 계자전류보다 클 경우에만 동작이 가능하다. 또한 도전회로 7은 전기자전류와 계자전류의 순시치가 같아야 한다.

본 연구에서는 전기자전류와 계자전류가 완전히 별도로 연속제어될 수 있는 2상한효퍼를 구성하여야 하므로 위와 같은 단점을 지닌 도전회로는 제외한다. 또한 도전회로 4와 도전회로 8은 같은 회로이므로 전의상 도전회로 8을 제외한다. 표 2는 나머지 선택된 도전회로의 분류를 나타내고 있다.

표 2로부터 1상한효퍼와 2상한효퍼가 구성될 수

표 2. 선택된 도전회로의 분류

계자전류 \ 모우드	여 자	비 여 자
A	없음	도전회로 #2
B	도전회로 #3	도전회로 #9
C	도전회로 #4	도전회로 #10
D	없음	도전회로 #1

있다. 1상한효퍼는 단순히 모우드 A와 B의 결합으로 구성될 수 있으며 2상한동작은 모우드 C와 모우드 D의 결합이므로 2상한효퍼는 네가지 모우드를 모두 결합시켜 구성할 수 있다. 이상으로부터 1상한효퍼와 2상한효퍼를 구성하면 그림4와 5와 같다.

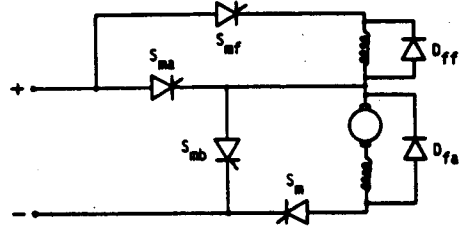


그림 4. 1상한효퍼

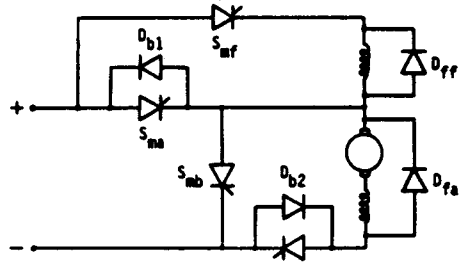


그림 5. 2상한효퍼

그림 4의 1상한효퍼는 네개의 능동스위치와 두개의 다이오드로 구성되어 있으며 그림 5의 2상한효퍼는 네개의 능동스위치와 네개의 다이오드로 구성되어 있다. 그러므로 2상한효퍼는 능동스위칭소자의 추가 없이 단순히 두개의 다이오드를 더 사용함으로써 구성될 수 있으며 따라서 최소한의 능동스위치를 사용한 회로라고 말할수 있다.

4. 효퍼의 동작

망장에서 얻어진 효퍼는 여러가지 다른 시퀀스로 동작될 수 있다. 동작가능한 모든 시퀀스는 다음과 같다.

1) 1상한 운전

시퀀스1: 도전회로#2 → 도전회로#3 → 도전회로#9

시퀀스2: 도전회로#2 → 도전회로#9 → 도전회로#3

2) 2상한 운전

시퀀스3: 도전회로#4 → 도전회로#10 → 도전회로#1

시퀀스4: 도전회로#10 → 도전회로#4 → 도전회로#1

3) 1 - 2 상한 운전

시퀀스5: 도전회로#2 → 도전회로#3 → 도전회로#9

시퀀스6: 도전회로#2 → 도전회로#9 → 도전회로#3

시퀀스7: 도전회로#2 → 도전회로#9 → 도전회로#3

시퀀스8: 도전회로#2 → 도전회로#3 → 도전회로#4

시퀀스9: 도전회로#2 → 도전회로#9 → 도전회로#4

시퀀스10: 도전회로#2 → 도전회로#9 → 도전회로#10

시퀀스11: 도전회로#2 → 도전회로#9 → 도전회로#3  
 도전회로#1 ← 도전회로#10 ← 도전회로#4

2상한쇼퍼 동작을 위하여는 위의 11가지 시퀀스 중에서 세가지 또는 그 이상의 시퀀스가 사용되는데 이는 스윗칭제어회로의 설계에 달려있다. 그림 6은 이중의 한 예로서 전기자전류와 계자전류가 별도로 제어됨을 알 수 있다.

6. 실험결과 및 검토

본 연구에서 제안한 2상한쇼퍼를 실험하기 위하여 그림 7과 같은 스윗칭제어회로를 사용하였다. 또한 그림 5의 2상한쇼퍼에서  $S_{mb}$ 와  $S_m$ 은 전력용 트랜지스터를 사용하였으며  $S_{ma}$ 와  $S_{mf}$ 는 전부회로가 없는 SCR을 사용함으로써 능동스윗칭소자의 숫자를 줄였다.

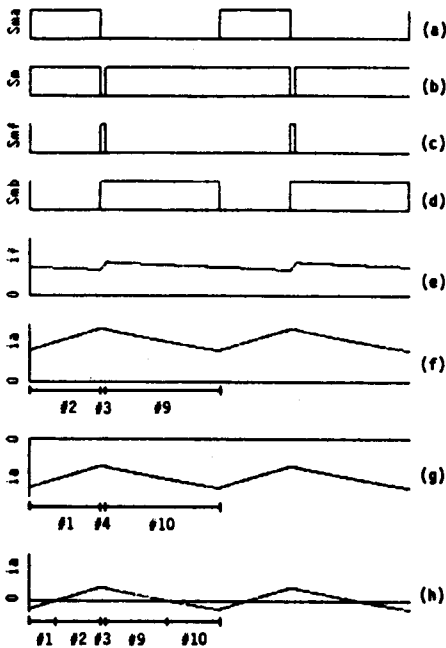


그림 6. 시뮬레이션. (a) - (d) 점호신호, (e) 계자전류의 파형, (f) 1상한운전시의 전기자전류, (g) 2상한운전시의 전기자전류, (h) 1-2상한운전시의 전기자전류.

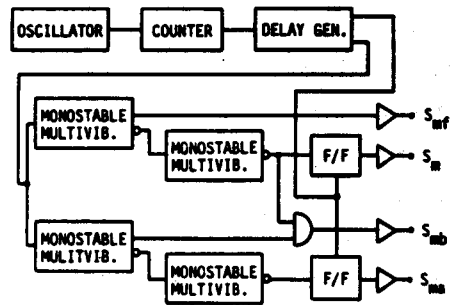


그림 7. 스윗칭제어회로의 블록선도

실험에 사용된 전동기의 정격은 다음과 같다.

- 정격전압 : 125 V
- 정격전류 : 2.4 A
- 정격출력 : 0.3 kW
- 정격속도 : 1800 rpm

그림 8은 1상한운전시의 전기자 및 계자의 전압, 전류파형을 나타내고 있으며 그림 9는 2상한운전시의 경우이다. 그림 10은 1상한운전에서 2상한운전으로 전환되는 과도상태에서의 전기자전압과 전기자전류의 파형으로 회생모우드로 급속히 전환된 후 에너지가 서서히 전환으로 반환됨을 알 수 있다.

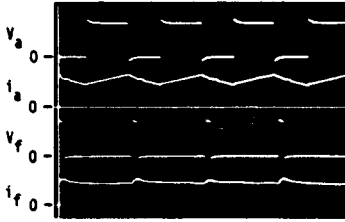


그림 8. 1상한운전시의 파형

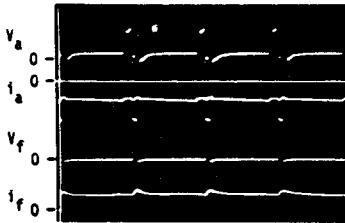


그림 9. 2상한운전시의 파형

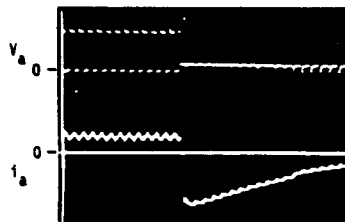


그림 10. 1상한운전에서 2상한운전으로 전환되는 과도상태에서의 파형

### 6. 결 론

본 연구에서는 직류직권전동기의 전기자전류와 계자전류를 완전히 별도로 제어할 수 있는 새로운 2상한 요퍼를 제안하였다. 새로운 요퍼를 구성하기 위하여 생각할 수 있는 모든 경우를 고려한 다음, 체계적으로 타당성을 조사하여 구성가능한 모전회로를

얻었으며, 이중에서 선택된 모전회로로부터 능동 스위칭소자를 최소한으로 사용한 2상한요퍼를 구성하였다.

새로운 요퍼를 사용한 직권전동기계통에서 전기자 전류와 계자전류가 별도로 제어되며 2상한운전이 가능함을 실험을 통하여 확인하였다. 따라서 본 연구에서 제안한 2상한요퍼를 사용하면 속도제어 뿐만 아니라 효율을 향상시키는 제어알고리즘이나 회생제동의 효과적인 실현이 가능해진다.

### 참 고 문 헌

- [1]. Soon Chan Hong and Min Ho Park, "Microprocessor-based optimal efficiency drive of a separately excited dc motor", IEEE TENCON Proc., pp. 126-128, 1984.
- [2]. 이승현, 임달호, 전기기기, 보성문화사, 1980, p. 311.
- [3]. Min Ho Park and Soon Chan Hong, "Microprocessor-based high efficiency drive of a dc series motor", IEEE IECON Proc., pp. 455-459, 1984.
- [4]. M. Ashiya, h. Tetsuno, M. Maruto, M. Shinobu and K. Katsuki, "Automatic variable field chopper control equipment for TBITO rapid transit authority's Yurakucho Line", Mitsubishi Electric Eng., no. 40, pp. 36-42, 1974.
- [5]. M. H. Rashid, "Automatic armature and field control of dc series motors", Proc. IEE, Part B, vol. 128, no. 1, pp. 73-77, and no. 6, pp. 358-359, 1981.
- [6]. M. H. Rashid, "Dynamic response of automatic armature and field control of dc series motors", International Power Electronics Specialists Conference, Tokyo, March 26-29, pp. 1197-1208, 1983.
- [7]. M. H. Rashid and S. N. Bhadra, "Sequential choppers for field control of dc series motors", International Conference on Electrical Machines, 1984.