

## Two-Level 전압 인가에 의한 전자접촉기 구동 전력 저감

### Reduce Power of Magnetic Contactor using the Two-Level Apply Voltage

이강열<sup>1</sup>, 나혜영<sup>2</sup>, 박성미<sup>3</sup>, 박성준<sup>4</sup>, 손경종<sup>5\*</sup>

Kang-Yeol Lee<sup>1</sup>, Hye-Young Na<sup>2</sup>, Seong-Mi Park<sup>3</sup>,

Sung-Jun Park<sup>4</sup>, Gyoung-Jong Son<sup>5\*</sup>

#### 〈Abstract〉

Currently, due to the rapid increase in power demand and the increase in capacity of power converters, the capacity of electromagnetic contactors is also increasing, and the burden on SMPS for the power that can drive them is increasing. Although the initial starting operation current of an electromagnetic contactor is significantly larger than the holding current for maintaining contact, most electromagnetic contactors apply the same voltage as the initial starting operation. An electromagnetic contactor must continuously apply a holding current to maintain the contact point, and the larger the capacity, the larger the current must be applied. This paper proposes a two-level magnetic contactor drive that allows setting the initial starting operation current to fully attach the contact point of the magnetic contactor and the holding current to maintain subsequent operation. In addition, a low-cost drive topology of analog and digital methods was proposed for various field applications, and an algorithm based on the ripple of the excitation current was proposed to determine whether the magnetic contactor was opened or closed without using a separate contact

---

1 주저자, 전남도립대학교, 교수  
E-mail: leeky8255@naver.com

2 참여저자, 전남대학교 전기공학과, 석사과정  
E-mail: hyeyoung9895@naver.com

3 참여저자, 한국승강기대학교 승강기공학부, 교수  
E-mail: seongmi@klc.ac.kr

4 참여저자, 전남대학교 전기공학과, 교수  
E-mail: sjpark1@jnu.ac.kr

5\* 교신저자, 한국지능형사물인터넷협회, 부회장  
E-mail: gison@naver.com

1 Main Author, Jeonnam State University, Professor

2 Co-author, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University, Master Course

3 Co-author, Dept. of Lift Engineering, Korea Lift College, Professor

4 Co-author, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University, Professor

5\* Corresponding, Korea Intelligent IOT Association Vice-chairman

point. The feasibility of the proposed method was proven through Psim simulation experiments.

*Keywords : Magnetic contactor, Starting current, Holding current, Two-level, Driving power*

## 1. 서론

최근 신재생 발전원이나 DC-마이크로그리드의 활성화로 인해 DC 여자방식의 전자접촉기 사용이 증대되고 있다. 향후 완전한 DC 전력의 수요가 이루어질 때 AC 전원의 부재로 인하여 모든 전자접촉기는 DC로 구동할 것으로 예상된다. 또한 기존 AC 망에서도 전자접촉기의 오프 시 발생하는 아크로 인한 주변 전자기기의 오동작 방지를 위해 DC 여자방식의 전자접촉기 사용이 증대되고 있다 [1][2].

현재 전력수요의 급증과 전력 변환기의 대용량화에 따라 전자접촉기의 용량도 대용량화가 이루어지고 있으며 이를 구동할 수 있는 전력에 대한 SMPS의 부담이 증대되고 있다. 전자접촉기의 구동 원리는 여자 코일에 전류가 인가되면 전자력에 의해 접점이 붙게 되어 전력 회로가 연결되고, 전류가 흐르지 않으면 전자력이 자력을 잃고 내부에 장착된 스프링에 의해 접점이 떨어져 전력 회로와 부하가 분리된다. 전자접촉기의 초기 기동 동작 전류는 접점을 유지하기 위한 유지전류보다 상당히 큰 값임에도 불구하고 현재 대부분 전자접촉기는 초기 기동 동작과 같은 전압을 인가하고 있다. 전자접촉기는 접점을 유지하기 위해 지속적인 유지전류를 인가해야 하고, 대용량일수록 큰 전류를 인가해야 한다. 이러한 지속적인 유지전류의 구동 전력을 줄일 수 있다면 전자접촉기 운용을 위한 에너지 손실을 줄일 수 있고, 접촉기의 내구성 향상을 기대할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 전자

접촉기의 접점이 완전히 붙을 수 있도록 하는 초기 기동 동작 전류와 이후 동작을 유지할 수 있는 정도의 유지전류를 설정할 수 있도록 하는 2-레벨 전자접촉기 구동 드라이브를 제안한다. 또한 Psim 시뮬레이션 실험을 통하여 제안된 방식의 타당성을 입증하였다[3][4].

## 2. 전자접촉기 분석

### 2.1 전자접촉기의 자기력 특성

전자접촉기는 여자 코일에 의한 전자력과 내부에 장착된 스프링에 의해 접점을 개폐하는 기기이다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 여자전압이 없는 경우에는 스프링에 의해 접점이 개로 되어있는 상태가 되며, 외부에서 여자를 위한 전원을 공급함으로써 내부 코일이 여자 되고, 이 전자력에 의해

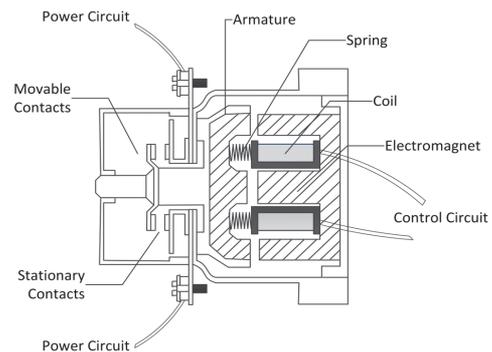


Fig. 1 Structure of electromagnetic contactor

접점이 폐로 된다. 전자접촉기에서 개로 시 공극은 전자접촉기의 전압 내력과 비례하게 되며, 전압 내력을 키우기 위해서는 큰 공극을 갖는 자기회로로 구성하여야 한다. 또한 폐로 시에는 자기회로의 공극이 거의 없는 상태가 되어 자속이 포화하는 기자력을 인가하게 된다[5][6].

Fig. 2(a)는 전자접촉기의 자기회로를 나타내며, Fig. 2(b)는 자기 등가회로를 나타낸다. 자기회로에서 자기저항은 자기회로의 구조와 주로 사용되는 자성재료인 주강에 의해 식 (1)과 같이 결정된다.

$$R = \frac{l}{\mu A} \quad (1)$$

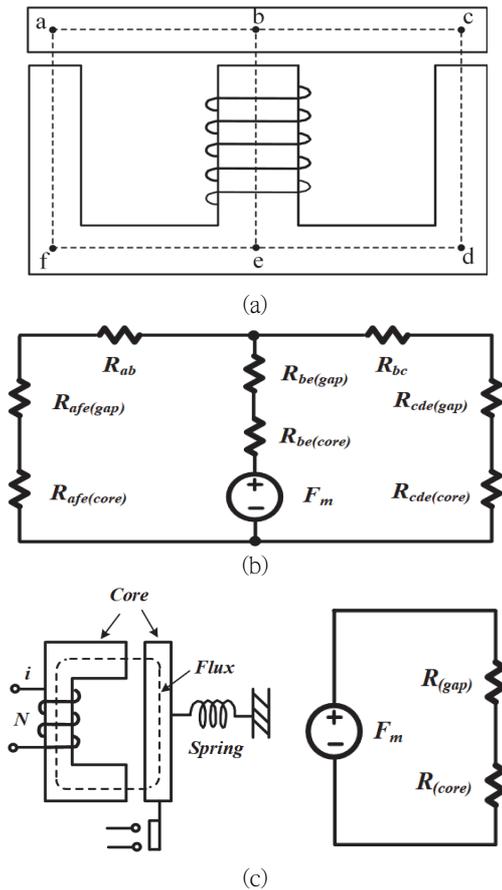


Fig. 2 Magnetic circuit structure and equivalent circuit

식 (1)의  $l$ 은 자기회로의 등가길이이며,  $A$ 는 자기회로의 등가면적이다. Fig. 2(b)는 기자력  $F_m$ 을 기준으로 양 대칭 자기회로 구조를 나타내고 있다. 본 논문에서는 자기회로의 해석을 간단히 하기 위해 Fig. 2(a), Fig. 2(b)를 Fig. 2(c)와 같이 간이 자기회로 및 등가회로로 대체하였다. Fig. 2(c)의 자기회로에서 철심의 유효 길이가  $l_c$ 이고 공극의 유효 길이가  $l_g$ 인 자기회로에서 기자력은 식 (5)와 같다.

$$Ni = H_g l_g + H_c l_c = \frac{B_g}{\mu_0} l_g + H_c l_c \quad (2)$$

식 (2)로부터 공극의 자속밀도는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$B_g = B_c = -\mu_0 \frac{l_c}{l_g} H_c + \frac{\mu_0}{l_g} Ni \quad (3)$$

Fig. 2(c)와 같은 간략화 된 등가회로에서 철심의 자기저항을 무시하면 거의 모든 자계 에너지는 공극에 저장되며, 공극의 자속 밀도는 아래와 같다.

$$B_g = \frac{\mu_0}{l_g} Ni \quad (4)$$

이때 전자력은 식 (2)와 같다.

$$f_m = \frac{A_g}{\mu_0} B_g^2 = \frac{\mu_0 A_g}{l_g^2} N^2 i^2 \quad (5)$$

식 (2)에서 전자접촉기가 폐로 된 상태일 때의 전자력은 스프링의 힘보다 큰 전류가 될 수 있도록 코일의 저항을 설계하게 된다. 따라서 개로나 폐로 시와 같이 공극의 변화가 없는 경우 코일의 역기전력은 영이 되어 저항에 의해서만 전류가 결

정되므로 동일한 전류가 된다.

### 2.2 전자접촉기의 갭에 따른 자속 특성

식 (5)에서 알 수 있듯이 전자접촉기에서 전자력은 공극의 자속밀도와 단면적에 의해 결정된다. 자속밀도는 자계의 세기와 자성재료에 의해 결정되며 자성재료에 따른 자화곡선은 Fig. 3과 같다.

자속밀도는 자계의 세기가 작은 영역에서는 거의 선형적으로 증가하나, 자계강도 값이 큰 영역에서는 비선형적으로 변함으로 B-H곡선인 자화곡선은 자기회로의 특성을 결정하는 주요한 특성이 다[7][8].

재료마다 자화 수준이 다르고, 투자율은 자계강도와 함께 증가하며 포화에 가까워지면 최대에 도달한 다음 감소하여 자기저항이 증가하게 된다. 일반적으로 계전기에 사용되는 자성재료는 주로 주강을 많이 사용하며 자속밀도가 0.8 [T]부터 포화하기 시작하므로 대부분 0.8[T]로 설계한다. 전자력의 크기는 식 (5)에서 알 수 있듯이 자기회로

의 단면적으로 결정한다. 주강 자성재료를 사용하는 자계회로에서 0.8 [T]의 자속밀도를 유지하기 위한 기자력  $F_c$ 는 Fig. 3에서 아래와 같다.

$$F_c = 510 [At/m] \tag{6}$$

또한 공극에서 필요로 하는 기자력은 아래 식과 같다.

$$F_g = \frac{B_g}{\mu_o} l_g \tag{7}$$

따라서 총 기자력은 아래와 같이 정의된다.

$$F = F_g + F_c = \frac{0.8}{\mu_o} l_g + 510 \tag{8}$$

식 (8)의 기자력을 발생하기 위한 전류는 아래와 같다.

$$i = \frac{F}{N} = \frac{0.8}{\mu_o N} l_g + \frac{1}{N} 510 \tag{10}$$

식 (10)에서 알 수 있듯이 전자접촉기에서 개로 및 폐로 시 자기회로의 공극은 변하게 되고, 이 공극의 변화로 일정 값 이상의 전자력을 발생하기 위한 전류가 변하게 된다. 일반적인 전자접촉기 설계에서 여자코일의 전류설계는 전자접촉기 개로 시, 즉 공극이 최대일 경우에 설계 자속밀도를 갖는 값으로 아래 식과 같이 정의한다.

$$i_{rate} = \frac{0.8}{\mu_o N} l_{g-max} + \frac{1}{N} 510 \tag{11}$$

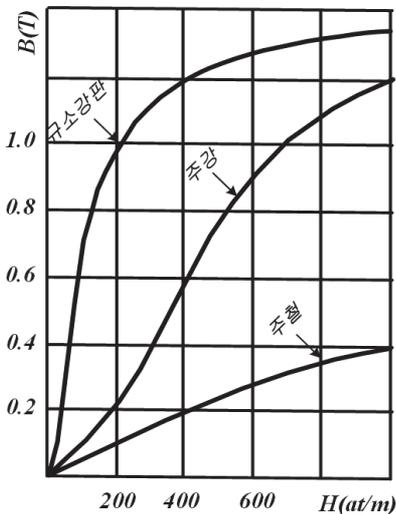


Fig. 3 Magnetization curve according to magnetic material

Fig. 4는 식 (11)에서 주어진 전류는 전자접촉기에 인가하는 경우 자기포화가 없다는 가정하에 전

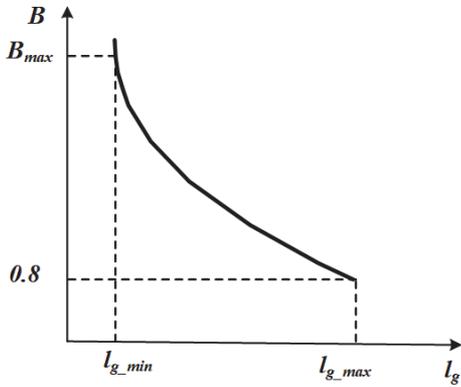


Fig. 4 Magnetic flux density according to gap in magnetic contactor

자접촉기에서 갭에 따른 자속밀도를 나타내고 있다. 공극이 가장 큰 개로 상태에서는 설정 자속밀도를 갖고, 공극이 가장 적은 폐로상태에서는 자속밀도가 매우 큰 값이 된다. 실제 전자접촉기에서는 갭이 적은 부분에 자속 포화가 발생하게 된다. 이러한 단일전류 여자방식은 전자접촉기의 폐로 시 필요 이상의 전자력이 발생하게 되고, 전자접촉기 용량 증대 시 운용을 위한 큰 전력 손실로 인하여 구동용 SMPS의 부담이 증대되고 있다.

### 2.3 제안된 2-레벨 여자

전자접촉기의 전자력은 자속밀도에 의해 결정되며 갭에 따라 동일한 자속밀도를 갖는 전류는 식 (10)과 같이 상이한 값이 된다.

Fig. 5는 식 (10)에서 전자접촉기의 갭에 따른  $0.8[T]$  자속밀도 유지를 위한 전류를 도식화한 것이다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이 전자접촉기 자기회로에서 갭에 따라 일정 자속밀도를 유지하기 위한 전류는 단조증가 1차 함수 형태가 된다. 전자접촉기는 개로 상태인 경우 갭은 최대 상태가 되고 동일한 자속밀도를 유지하는 전류는 최대가 되며,

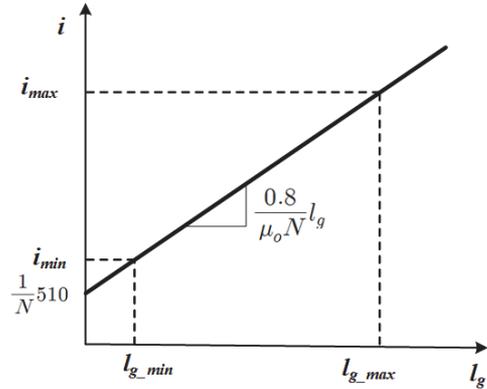


Fig. 5 Current for maintaining 0.8[T] magnetic flux density according to the gap

전자접촉기가 폐로 상태인 경우 갭은 최소가 되고 동일한 자속밀도를 유지하는 전류는 최소가 된다. 자기에서 갭이 변동하는 시간은 폐로 및 개로 상태가 바뀌는 매우 짧은 시간이며, 대부분의 동작은 공극이 최소인 폐로 상태나 공극이 최대인 개로 상태이다. 따라서 개로 상태에서 자속밀도를 일정하게 하는 최대전류와 폐로 상태에서 동일한 자속밀도를 유지하는 최소전류인 두 개의 전류 레벨을 설정하여 전자접촉기를 동작시키면 적은 여자전류로 폐로 상태를 유지할 수 있다. 안정된 폐로 동작을 위해 전자접촉기 폐로 동작 시 초기에는 최대전류로 여자코일을 여자시키고, 전자접촉기가 완전히 폐로 상태가 되는 시간 이후에 최소 전류로 여자코일을 여자시킨다. 폐로 상태의 동작 시간이 많은 전자접촉기를 이러한 동작모드로 운용할 경우 전자접촉기 구동용 SMPS의 전력 부담을 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다.

Fig. 6은 감압컨버터로 동작하는 2-레벨 여자전류를 갖는 전자접촉기 기본 구동 회로를 나타내고 있다. 일전 직류구동 전자접촉기의 자기회로는 주파수에 따른 히스테리 손실이나 와전류 손실이 없다. 직류구동 전자접촉기는 성층 철심을 사용하지 않고 단일 철심으로 제작됨으로 여자전류에 리플

이 존재하는 경우 손실증대는 크게 발생한다. 따라서 직류구동 전자접촉기의 여자전압은 고조파 전압이 없는 일정한 전압인가 방식이 바람직하다. Fig. 6의 수동저주파 필터인 LC 필터로 스위칭에 의해 발생하는 고조파 전압을 제거하여 일정한 전압을 발생시킨다. 그러나 경제적 문제에 의해 LC 필터를 제거하고 PWM에 의해 전자접촉기의 여자 전류를 제어하는 경우 고조파 전류에 의한 손실을 저감하기 위해 낮은 스위칭 주파수로 구동하는 것이 바람직하다.

Fig. 6의 감압컨버터의 스위치의 시비율에 따른 출력전압은 아래와 같이 정의된다.

$$V_R = DV_{in} \quad (12)$$

식 (12)로부터 감압컨버터는 시비율 설정으로 다양한 전압을 설정할 수 있다.

Fig. 6과 같은 감압컨버터를 구성할 경우 파워 회로, 제어 전원회로, 스위치 구동을 위한 전원회로, 제어회로 등으로 인하여 경제적 타당성에 큰 약점이 있다.

현재 많은 회사에서 소용량 SMPS용 전용 칩을 생산하고 있으며, 그 가격도 매우 저렴한 장점을 갖고 있다. 따라서 구동 회로가 내장된 소용량 SMPS 전용 칩을 적절히 선택하면 위의 경제적 단점을

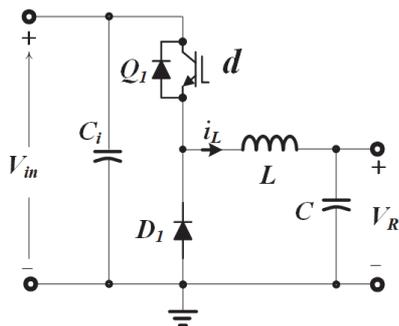


Fig. 6 Electromagnetic contactor driving circuit with 2-level excitation current

극복할 수 있다.

Fig. 7은 산업계에서 많이 사용되는 소용량 감압형 DC/DC 컨버터인 LM2576 칩 내부 구성도이다. LM2576 칩의 특징은 가격이 매우 저렴하며, 피드백 저항의 설정으로 출력전압 값을 설정할 수 있다. 특히 본 칩은 52 [kHz]의 높은 스위칭 주파수로 동작하면서, 전류 제한 회로에 의해 출력 단락 시에도 문제가 없는 장점이 있다.

Fig. 8은 본 본문에서 제안하는 LM2576을 이용한 2레벨 전자접촉기 구동회로이다. 제안된 구동회로의 사용 방법은 2가지로 구분할 수 있다. 첫째는 입력전압(Vin)을 인가한 상태에서 LM2576의 칩 온/오프 단자를 이용하여 전자접촉기를 구동하는 방법이다. 이 방법은 전자접촉기 구동을

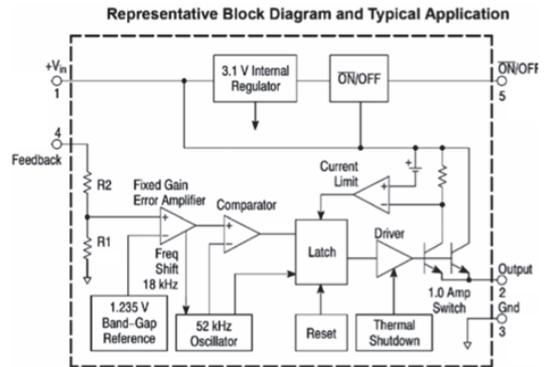


Fig. 7 Internal diagram of LM2576 chip

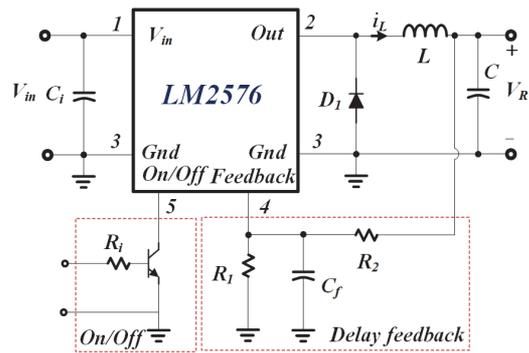


Fig. 8 Proposed analog type 2-level driving circuit

위한 추가적 구동 회로 없이 사용이 가능한 방법이다. 두 번째 방법은 LM2576의 칩 온 한 상태에서 입력전압을 인가하는 방법이다. 이 방법은 기사용 중인 시스템에 적용하기 쉬운 방법이다.

본 구동회로의 특징은 2레벨 전압을 발생을 위해서 전압 피드백 회로에 저주파필터인 RC회로에 의한 시 지연을 이용한 것이다. 이 회로의 시 지연시간은 전자접촉기의 폐로 시간보다 큰 값으로 설정하여야 한다.

본 회로에서 출력전압은 전압피드백 전압 분배 회로 저항에 의해 아래 식과 같다.

$$V_R = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (13)$$

최소 여자전압은 아래와 같이 정의된다. 최근 에너지관리를 위한 대용량 전자접촉기의 IOT화가 추진되고 있으며, 이러한 IOT화에 대응하기 위해서는 전자접촉기 구동 회로에 마이컴 장착이 필수적이다. 이러한 시스템에서는 전자접촉기의 과전류보호, 온/오프 상태 및 고장 여부에 대한 정보를 상위제어기에 전달이 요구되고 있으며, 이러한 기능을 추가 센서 없이 구현하는 것에 대한 연구가 필요하다[9][10].

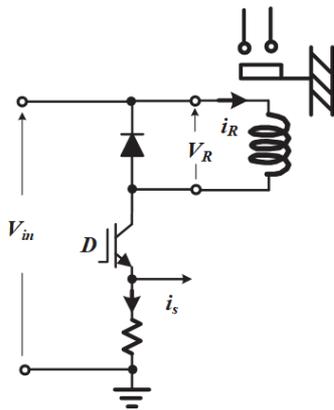


Fig. 9 Proposed digital 2-level driving circuit

Fig. 9는 자체 마이컴에서 구동되는 감압컨버터로 동작하는 2-레벨 여자전류를 갖는 전자접촉기 구동 회로를 나타내고 있다.

본 전력 회로는 스위치 구동용 독립전원을 제거하기 위해 변형된 감압컨버터이다. 스위치 온 시 입력전압은 스위치를 통하여 전자접촉기 여자 코일에 인가되고, 스위치 오프 시 휠링다이오드를 통하여 영 전압이 인가된다. 일반적으로 전자접촉기의 여자 인덕터는 매우 큰 값을 가져 전압에 대한 전류는 낮은 Cut-off 주파수를 LPF 특성을 가진다. PWM에 의해 전자접촉기의 여자전류를 제어하는 경우 고조파 전류에 의한 손실을 저감하기 위해 낮은 스위칭 주파수로 구동하는 것이 바람직하다. Fig. 10은 2 레벨 구동회로의 동작 파형을 나타내고 있다.

Fig. 10과 같이 제어기의 샘플링 주파수에 비하여 현저히 낮은 주파수로 전력용 스위치 회로를 구동하므로 제어기는 전류의 순시 파형을 계측할 수 있는 장점이 있다. 이러한 점을 이용하여 본 논문에서는 여자전류의 기울기 정보에 의해 전자접촉기의 개로 및 폐로 정보를 취득하여 전자접촉기의

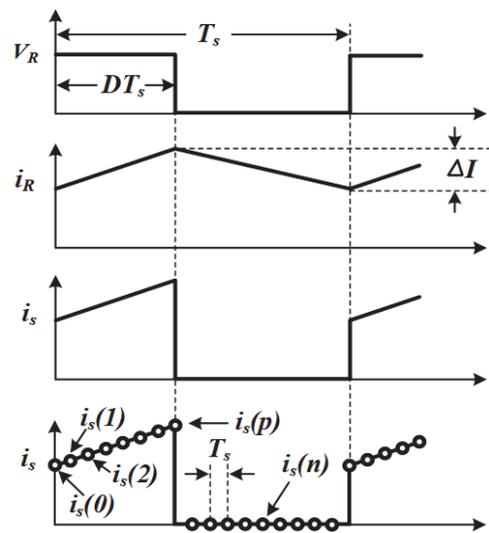


Fig. 10 Operation waveform of drive circuit

고장 여부를 판단할 수 있다. 여자전압 인가 시 여자전류의 기울기는 아래 식과 같이 정의된다.

$$\frac{d}{dt}i_s = \frac{i_s(p) - i_s(0)}{pT_s} = a \quad (14)$$

Fig. 9과 같은 구동 드라이브에서 여자 코일에 인가되는 입력전압은 일정한 값이 되므로 여자전류의 기울기는 전자접촉기의 갭에 따라 변하는 인덕터 값, 즉 아래와 같다.

$$\frac{d}{dt}i_s = \frac{V_{in}}{L(l_g)} \quad (15)$$

따라서 식 (14)에 의해 계측된 값 a와 식 (15)를 이용하면 전자접촉기의 현재 갭 이하의 인덕터를 구할 수 있으며, 이 값의 크기에 따라 전자접촉기의 개로 및 폐로 시 상태를 관측할 수 있다.

$$L(l_g) = \frac{V_{in}}{a} \quad (16)$$

### 3. 시뮬레이션 및 실험결과

#### 3.1 시뮬레이션 결과

식 (5)에서 보는 바와 같이 전자접촉기의 전자력은 전류의 제공에 비례하고, 공극의 제공에 반비례하는 특성이 있다. 동일한 여자전류가 흐르는 전자접촉기에서 폐로 상태의 전자력은 개로 상태의 전자력에 비하여 크게 되는 구조로 폐로 상태에서는 전자력의 근원이 되는 여자전류를 줄여도 그 동작에는 문제가 없다. 따라서 전자접촉기의 구동 손실을 줄이기 위해서는 폐로 상태의 전류를

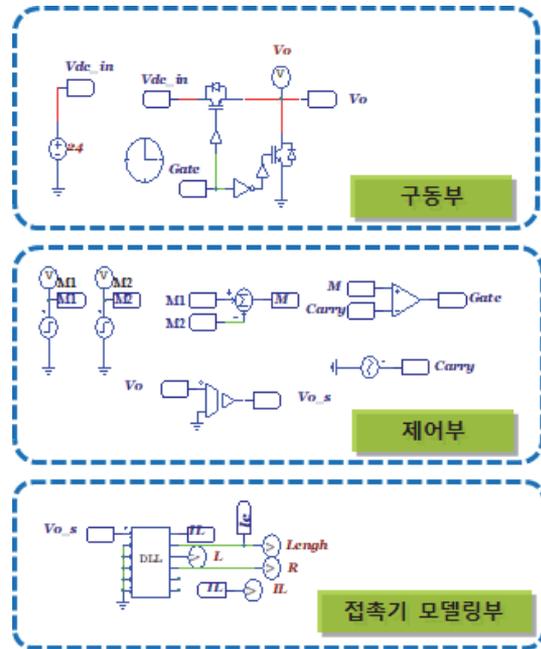


Fig. 11 Simulation circuit for magnetic contactor operation analysis

저감할 수 있는 구동 드라이브가 필요하다.

Fig. 11은 본 논문에서 제안한 2-레벨 구동 드라이브의 타당성을 검증하기 위한 Psim 시뮬레이션 회로도이다.

시뮬레이션 회로도는 크게 전자접촉기를 구동하는 파워부와 2레벨 여자전류를 제어하는 제어부 및 전자접촉기 거동을 분석하는 모델링부로 구성된다.

모델링부에는 전자접촉기의 전압을 입력받아 전자접촉기의 전류와 전자력을 계산하고 전자접촉기 무빙부의 거동을 계산하여 공극과 이에 따른 인덕터를 출력하게 하였다.

Fig. 12은 시뮬레이션 결과 파형이다. 파형에서 알 수 있듯이 전자접촉기 폐로 동작에서 초기에는 전원전압 24 [V]가 직접인가 되고, 폐로동작이 완전히 완료된 200 [msec] 이후에는 여자전류 저감을 위해 PWM을 행한다. 시뮬레이션 결과 폐로상

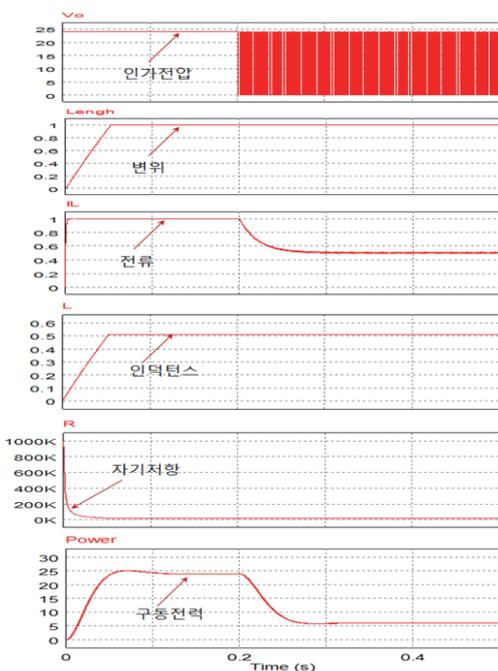
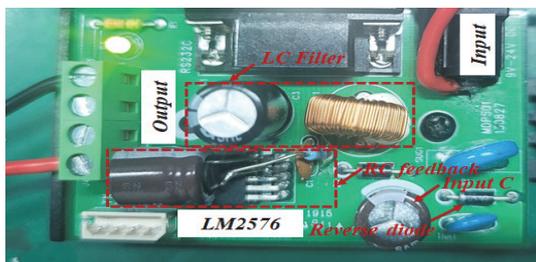
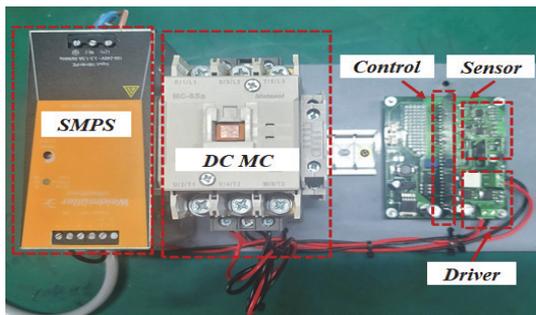


Fig. 12 Simulation result



(a) Analog type 2-level drive circuit



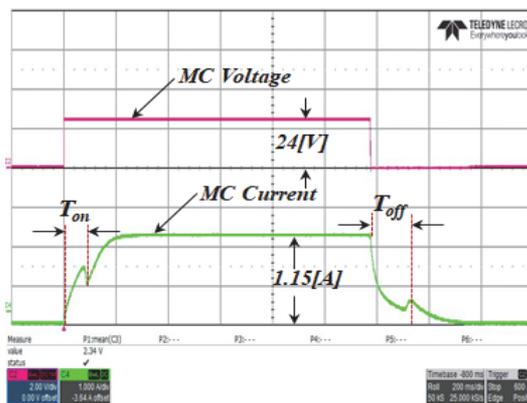
(b) Digital 2-level driving circuit

Fig. 13 Proposed 2-level magnetic contactor drive circuit photo

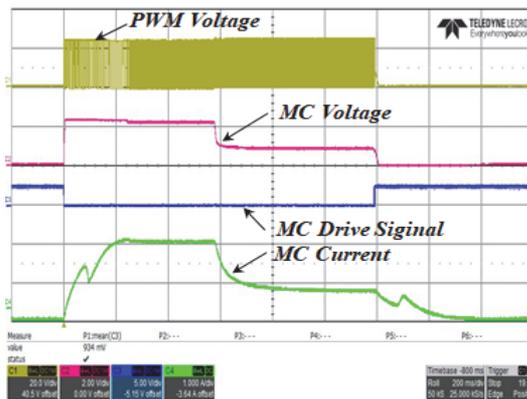
태에서의 전류는 전자접촉기 정격 전류의 50 [%]로 설정하여 구동 전력의 70[%] 저감효과를 확인하였다.

Fig. 13은 제안된 2-레벨 전자접촉기 구동회로 사진을 나타내고 있다. Fig. 13(a)는 LM2576을 이용한 아날로그 방식 2-레벨 구동회로를 나타내고 있으며, Fig. 13(b)는 DSP를 이용한 디지털 방식 2-레벨 구동 회로를 나타내고 있다.

Fig. 14는 DC 전자접촉기에서 기존 여자방식과 제안된 2-레벨 여자방식의 특성을 비교한 파형이다. 기존 여자방식인 Fig. 14(a)에서는 24 [V] 여자전압에 의한 1.15 [A] 여자전류가 형성되어 동작하게 된다. 전자접촉기의 폐로 시간(Ton)은 약



(a) Existing excitation method

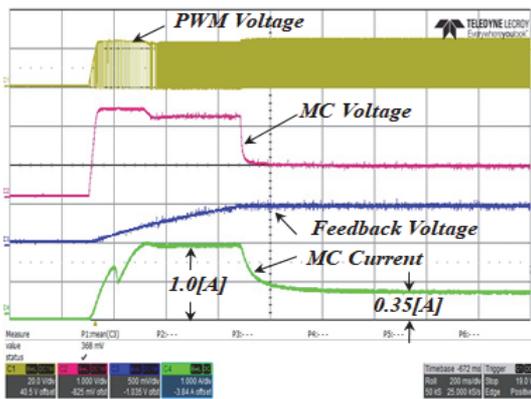


(b) Proposed 2-level excitation method

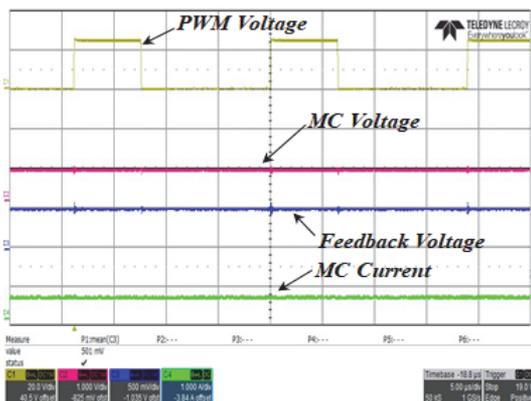
Fig. 14 Comparison of MC driving characteristics

200 [msec]이며, 개로 시간(Toff)은 300 [msec]로 나타났다. 제안된 2-레벨 여자방식인 Fig. 14(b)는 Fig. 8의 구동 회로에서 DC전압을 인가한 상태에서 전자접촉기 온/오프 신호에 의해 구동하는 경우의 파형이다. LM2576은 최대 시비율이 0.98이고, 전자접촉기 폐로 과정에 최대 시비율로 동작하며, 폐로가 완전히 이루어진 이후에는 시비율 0.4로 동작하여 2-레벨 여자전류가 형성됨을 알 수 있다. 이 경우 기존 구동 방식에 비해 87 [%]의 전력 저감을 확인할 수 있었다.

Fig. 15는 아날로그 방식 2-레벨 구동회로를 이용하여 LM2576칩 on한 상태에서 입력전압을 인가하는 경우 실험 결과 파형이다. Fig. 15(a)의



(a)



(b)

Fig. 15 MC Driving Circuit Characteristics Analysis

전자접촉기인가 전압 파형은 구동회로의 콘덴서로 인하여 초기에는 램프 파형이 되며, 폐로 동작 초기에 출력전압은 24 [V]가 되지만, RC필터를 이용한 피드백 전압은 단조증가함수가 되어 최대 시비율로 동작한다. 전자접촉기가 완전히 폐로 상태에서 출력전압은 원하는 전압으로 제어됨을 알 수 있다. Fig. 15(b)는 폐로 상태인 경우의 파형으로 시비율은 약 0.4로 적은 여자전류를 형성함을 알 수 있다.

Fig. 16은 마이컴을 이용한 디지털 방식 2-레벨 구동 회로를 이용하여 정상상태 여자전류 값 설정에 따른 구동파형이다. 마이컴에서는 전자접촉기 온/오프 신호에 따라 실제 접촉기의 정상 동

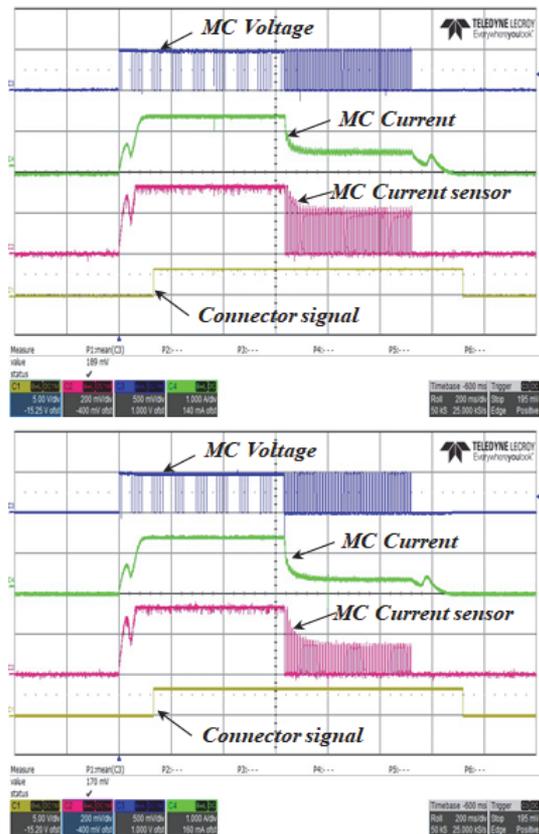
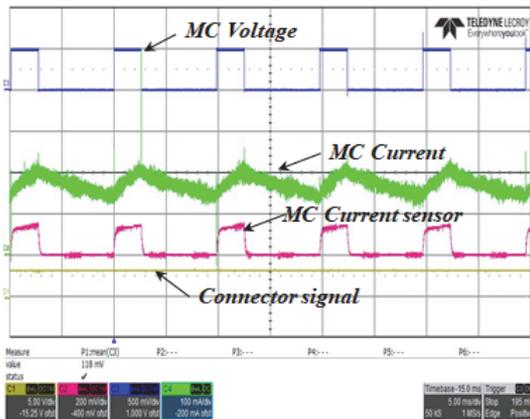


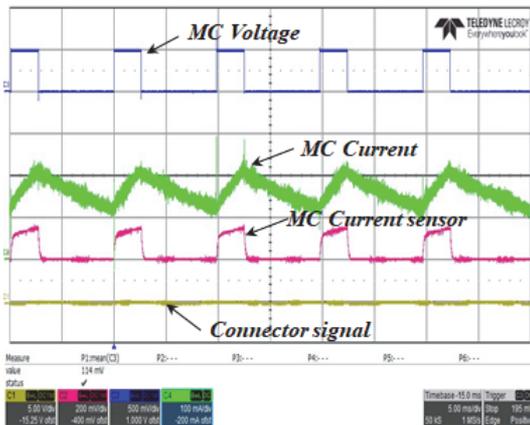
Fig. 16 Characteristics according to steady state excitation current setting

작 여부를 식 (16)에 의해 판단하여 출력을 구현 하였다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 폐로 정상상태의 전류설정에 관계 없이 전자접촉기의 개폐 상태를 검출할 수 있었다.

Fig. 17은 전자접촉기의 폐로상태의 정상 여부에 대한 측정을 분석한 파형이다. Fig. 17(a)는 정상상태의 파형이고, Fig. 17(b)는 2 [mm] 갭지를 사용하여 전자접촉기 점접 동작에 에러를 발생한 경우의 파형이다. 실험 파형 결과로부터 알 수 있듯이 점접 상태 출력은 정확한 동작이 이루어짐을 확인할 수 있었다.



(a) During normal operation



(b) In case of abnormal operation

Fig. 17 Characteristic waveform according to closing operation status

#### 4. 결론

본 논문에서는 전자접촉기의 정상상태 구동 전력을 줄이기 위해 2-레벨 여자전류방식의 구동 회로를 제안하였다. 또한 제안된 방식의 다양한 현장 적용을 위하여 아날로그 및 디지털 방식의 저가형 구동 드라이브 토폴로지를 제안하였고, 전자접촉기의 개폐로 동작 여부를 별도의 접점을 사용하지 않고 여자전류의 리플 기반으로 한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방식의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 진행한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 전자접촉기 구동을 위한 LM2576을 사용한 제안된 아날로그 방식의 2-레벨 여자방식은 기존 시스템에 적용 시 경제적인 부담을 저감 할 수 있고, 특히 LM2576의 온/오프 제어 단자를 이용한 방식의 경우 별도의 구동 드라이브 없이 저가로 구현할 수 있는 장점이 있다.
- 전자접촉기 구동을 위한 DSP를 사용한 제안된 디지털 방식의 2-레벨 여자방식은 전자접촉기 정격전압 이상의 다양한 전압에 사용 가능하고 특히 여자전류의 전류 리플 정보에 의한 점접 오동작 상태 검출등 다양한 기능 추가가 가능한 장점이 있다.
- 제안된 방식은 기존방식 대비 전자접촉기 구동 전력을 50-75 [%]까지 저감을 할 수 있음을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다(2021RIS-002).

## 참고문헌

- [1] K. Engelen, E. Leung Shun, P. Vermeyen, I. Pardon, R.D'hulst, J. Driesen, R. Belmans, "The Feasibility of SmallScale Residential DC Distribution Systems," 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON), pp.2618-2623 (2006).
- [2] Chang-Keun Kwon, Jae-Hun Jung, Eui-Cheol Nho, In-Dong Kim, \*Heung-Geun, "High Efficiency Bidirectional DC-DC Converter for Battery Charging and Discharging of Electric Vehicle.", 2014 Power Electronics Annual Conference, pp 319 – 320(2014).
- [3] ANSI/IEEE Std. 446-1987, "IEEE Recommended Practice for Emergency Standby Power, Systems for Industrial and Commercial Applications". (IEEE Orange Book), p.75 (1987).
- [4] Seok-Woo Han, "Review on the effects of magnetic contactors according to power quality", The Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, p150 (2022).
- [5] A. Varatharajan, P. Pescetto and G. Pellegrino, "Sensorless Self-Commissioning of Synchronous Reluctance Machine with Rotor Self-Locking Mechanism," 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), USA(2019).
- [6] S. W. Park, T. Woo, S. -c. Choi, H. -J. Lee and Y. -d. Yoon, "Mitigating Rotor Movement During Estimation of Flux Saturation Model at Standstill for IPMSMs and SynRMs," early access, in IEEE Transactions on Industrial Electronics (2022).
- [7] Kang Yong Cheol, Lee, Byung Eun, "Development of a Compensating Algorithm for an Iron-cored Measurement CT using Flux-magnetizing Current Curves and Voltage-core Loss Current Curves", Journal of the Korean Electrical Society, vol. 58, no.10, pp. 1849-1854 (2009).
- [8] "Major B-H Loop Measurement of Toroidal Shape Magnetic Powder Core", Journal of the Korean Magnetics Society 24(3), pp 76-80 (2014).
- [9] L.Chettri, and R.Bera, "A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems," IEEE Internet of Things Journal, Vol.7, No.1, pp.16-32 (2020).
- [10] D.W.Lee, K.Cho, and S.H.Lee, "Analysis on Smart Factory in IoT Environment," Journal of The Korea Internet of Things Society, Vol. 5, No. 2, pp.1-5 (2019).

---

(접수: 2023.09.08. 수정: 2023.09.26. 게재확정: 2023.10.04.)