

Novel C-Dump 인버터에 의한 SRM의 구동특성

* 안영주, ** 조철체, *** 안진우, **** 황영문
*부산공업대학교, **경성대학교, ***부산대학교

Performance of Switched Reluctance Motor Driven by Novel C-Dump Inverter

*Young-Joo An, Cheol-Je Joe, **Jin-Woo Ahn, ***Young-Moon Hwang
* P.N.U.T, ** K.S.U, *** P.N.U

Abstract

This study describes the influence of the mutual inductance between the adjacent phase windings of variable reluctance motor[VRM] and presents a new type of inverter for reduction of such influence.

In this inverter topology, though an additional power switch is used as compared with the conventional C-dump inverter circuit, unwanted negative torque produced by the mutual inductance is remarkably reduced. Hence, the circuits results in increase of the average torque and contributes to the improvement of overall drive efficiency.

Theoretical prediction is verified by experimental results obtained with the integration of presented inverter and prototype 6/4 VRM.

1. 서 론

가변속 전동기구로서는 오랜동안 적류전동기가 주류를 이루 이 왔으나, 오늘날 고전압 대전류 고속스위칭 반도체소자의 개발과 전력전자기술의 향상으로 가변전압 가변주파수 변환기로 구동하는 유도전동기의 가변속전동기구 사용이 증가하고 있다. 이러한 추세와 더불어, 최근 구조적으로 유도전동기보다 간단하고 경량화된 SRM에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다.[1-4]

SRM이 갖고 있는 고속운전능력, 높은 기동도오크, 높은 토크/관성비, 고효율 및 감소된 인버터의 스위칭소자 수 등의 잇점들이 앞으로 여러 방면에서 SRM의 사용증가를 예측하게 한다.

지금까지 SRM드라이버에 관한 다수의 연구보고가 발표되어 있으나, 전동기의 상권선 사이에 존재하는 상호인더턴스에 관해서는 언급한 바가 거의 없으며, 주로 인버터의 구성 및 정격, 드라이버의 종합적인 성능 등에 관한 것이 대부분이다.

인접상간에 존재하는 상호인더턴스는 상 스위치의 놓적 상태에 따라 현재 여자되고 있는 상의 전류변화에 의해 인접상간에

전압을 유도하고, 유도전압은 다시 인버터에서 제공되는 경로를 따라 전류를 흐르게 한다. 보통 이를 유도전압에 의한 유도전류는 유도된 상에 있어서 인더턴스가 감소하는 구간에 존재하며, 결과적으로 음의 토크를 발생하고, 전체적으로는 전동기의 평균토크를 감소시킨다.

이리한 상호 인더턴스에 의한 영향은 전동기의 기하학적 구성방법에 의해 감소시킬 수 있으나, 전동기를 구동하는 인버터에 의해서 상호인더턴스의 영향을 줄이는 방법을 고려하는 것도 바람직 하다.

본 연구에서는 VRM에서 존재하는 상호인더턴스의 크기에 관하여 조사하고, 이의 영향을 줄일 수 있는 인버터의 동작방법을 제시한다. 그리고 SRM드라이버의 동작을 확인하기 위해 피시험용 6/4 VRM을 세작하고 상호인더턴스에 대한 영향을 실험을 통하여 확인하였다.

2. SRM Drive의 구성과 기본특성

2.1. VRM

여러가지 기하학적 구조를 갖는 SRM에 대하여 몇가지의 논문들이 발표되어 있다[1]. 본 연구에서는 6개의 고정자 자극과 4개의 회전자 자극을 갖는 6/4 VRM을 선택하여 피시험용 전동기를 세작하였다. 피시험용 전동기의 단면도 및 개략적인 전동기의 치수는 그림 1과 같다.

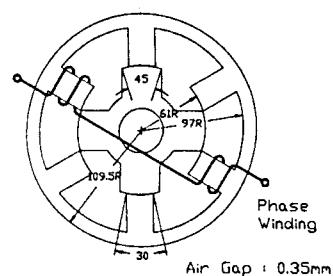


그림.1 피시험 전동기의 단면도

2.2. VRM Drive Inverter

현재까지 발표된 VRM 구동용인버터는 여러가지가 발표되어 있다[2]. 본 연구에서는 그림 2에서와 같이 기존의 C-dump 인버터 회로에 전동기의 상호인덕턴스의 영향을 줄이기 위해 프리휠링 다이오드와 램퍼용 콘덴서 사이에 전력용 스위치 SS를 추가한 회로를 사용하였다.

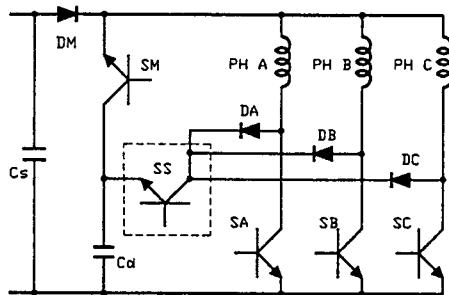


그림 2. SRM 구동용 인버터

2.3. SRM의 기본 동작원리

SRM의 동작은 한 상에 대한 working stroke를 고리함으로서 설명될 수 있다.

그림 1의 경우, 상A를 여자시키면 회전자는 상A에 대하여 자기회로의 퀼릭던스가 최소가 되는 방향 - 즉 시계 방향으로 토오크를 발생하게 된다. 계속하여 각 상들을 A,C,B,A... 순으로 순차적으로 working stroke를 반복함으로써 회전자는 놓일한 방향으로 계속 회전하게 된다.

SRM의 동작은 각 상의 전압과 토오크 등식으로 기술할 수 있다. 한 상에 대한 전압방정식은 다음과 같다.

$$v = R \cdot i + \frac{d\lambda}{dt} \\ = R \cdot i + L(\theta) \frac{di}{dt} + \frac{dL(\theta)}{d\theta} \cdot i \cdot \omega \quad (1)$$

단, R : 한 상당의 저항, v : 상에 인가되는 전압

λ : $L(\theta) \cdot i$ 한 상의 자속쇄교수, i : 상전류

ω : $d\theta/dt$ 전동기 속도

상A에서 발생된 순시토오크 τ 는 권선에 저장된 코에너지의 변화율로 나타내면 식(2)와 같이 된다.

$$\tau = \frac{\partial W'(\theta, i)}{\partial \theta} = \frac{1}{2} \frac{dL(\theta)}{d\theta} \cdot i^2 \quad (2)$$

즉, 전동기에서 발생된 순시토오크 τ 는 상에 흐르는 전류의 방향과는 관계없이 전류크기의 제곱과 인덕턴스변화율의 곱에 비례한다.

3. 상호인덕턴스의 영향

폐시험전동기에서 측정한 인접상간의 유도전압의 크기의 변화는 그림 3과 같다. A상에 인가된 전원은 상용교류 60Hz로 자기회로가 포화되지 않을 정도의 낮은 전압을 사용하였다. 상

A에 인가하는 단자전압을 기준으로 하여 각각의 회전자 위치 변화에 대한 상 B에 유도되는 전압의 크기를 비로 나타낸 것이다.

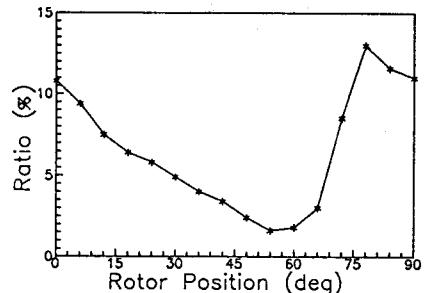


그림 3. 인접상간의 유도전압의 크기

SIRM이 토오크를 발생하기 위해서는 인덕턴스가 변화하는 구간에서 상권선에 전류가 흐러야 하며, 전압원으로 구동되는 인버터는 회로의 인덕턴스와 저항 및 전동기의 역기전력 때문에 전류는 천천히 변화한다. 보통, 인덕턴스가 변화하는 구간에 원하는 크기의 전류를 빠르게 확립하기 위하여 인덕턴스가 가장 낮은 구간에서 상권선에 전압을 인가한다. 상 A의 여자는 그림에서 0~7.5[deg]의 구간에 시작하여, 상여자를 끝내는 시점은 상전류의 크기 및 회로의 상태에 따라 다르지만, 보통 인덕턴스가 감소하는 기간에 전류가 존재하게 되면 음의 토오크를 발생하기 때문에, 가능한 한 전류의 감쇄부분이 여기에 까지 이르지 않도록 보다 일찍이 상여자를 끝내도록 한다.

그림 3에서 알 수 있듯이, A상의 인덕턴스가 최대값에서 감소하기 시작하여 최소값에 도달하는 시점 부근에서 유도전압의 크기가 최대임을 나타낸다. 그리고 A상을 여자하는 시점에서 또 다른 구간에 비하여 유도전압의 크기가 상당히 크게 나타날 수 있다.

반일 B상에 유도된 전압으로 인하여 전류가 흐르게 되면, 이 유도전류는 그림에서처럼 인덕턴스가 감소되는 구간에 존재하므로, 원래의 전동기의 회전방향에 대하여 음의 토오크를 발생하고 전체적인 평균토오크를 감소시킨다.

그림 4는 상호인덕턴스의 영향을 받고 있는 전류파형의 예를 나타낸다.

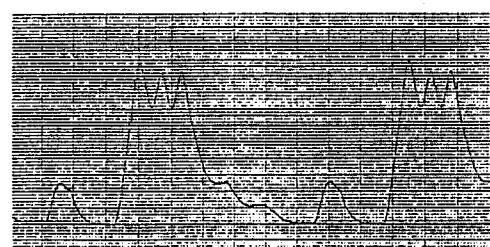


그림 4. SRM에서 상호인덕턴스의 영향을 받는 상전류 파형에

4. 구동용 인버터의 동작

3절에서 조사된 상호인더턴스의 영향을 줄이기 위하여 세시한 인버터의 동작을 고려하면 다음과 같다.

4.1. 전류화립기간

인접상간의 상호인더턴스는 상당히 큰 값을 갖고 있으며, 여자 초기에 A상에서의 전류상승도 인더턴스가 낮기 때문에 급격하게 된다. 따라서 B상에 유도되는 전압은 A상의 전류변화율에 직접적으로 비례하므로 크게 된다. A상에서 발생된 자속은 B상과는 역방향으로 쇄교하게 되고 퀸션에서는 이 자속의 변화를 감소시키려는 방향으로 억기전력이 유도된다(그림 5에 세시된 방향). 이 억기전력은 상스위치 SB가 off되어 있으므로 상스위치 쪽으로는 흐를수가 없다. 그러나 프리휠링 다이오드 DB와 SS,Cd의 경로를 고려할 수 있으나, 현재의 경우 SS의 스위치가 off되어 있으므로 B상에는 전류가 흐를 수 없게 된다.

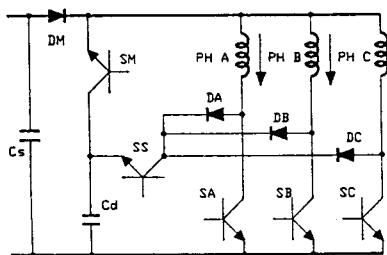


그림 5. A상에서의 전류화립시 B상에서의 유도전압

4.2. 전류감소기간

상스위치를 오프하면, A상에서 흐르는 전류는 상 A \rightarrow DA \rightarrow SS \rightarrow Cd \rightarrow 전원 \rightarrow 상 A의 경로를 경유하여 흐르게 된다. 상 A의 전류는 림퍼콘덴서의 전압이 상승함에 따라 감소하게 되고, 따라서 발생 자속 및 B상과 쇄교하는 자속도 감소하게 된다. 이때 B상에 유도되는 억기전력은 자속을 일정하게 유지하기 위하여 자속을 증가시키려는 방향으로 발생한다. B상에 유도된 억기전력에 의한 전류의 방향은 스위치 SM,SS 및 프리휠링 다이오드 DB에 대해 역방향 바이어스가 되므로 전류가 흐를 수 없다.

5. 실험결과

그림 6은 본 연구에서 세시한 인버터와 연구실에서 세작한 피시험전동기를 사용하여 구성한 SRM 구동시스템에 있어서의 상전류의 파형이다. 그림 6은 부하토오크 0.495 [Nm], 직류링크전압은 DC 50[V], 림퍼콘덴서의 전압 169[V], 전동기의 속도 1040[rpm]일 때의 전류파형이다.

그림 7은 기존의 C-dump 인버터와 본 연구에서 세시한 C-dump 인버터를 사용하여, 각각의 속도-토오크 특성을 측정한

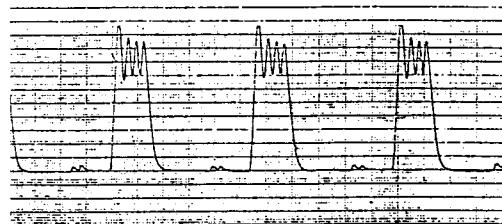


그림 6. 피시험 전동기의 상전류 파형

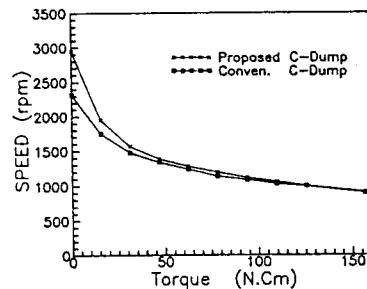


그림 7. 속도-토오크 특성

6. 결 론

본 연구에서는 SRM의 상호인더턴스에 관한 영향을 고려하였고, 상호인더턴스에 의해 발생된 전류는 상인더턴스와 결합하여 음의 토크를 발생하며, 전체적으로는 전동기의 평균토오크를 감소시키고, 결과적으로 전동기의 효율을 저하시키게 된다. 이러한 상호인더턴스의 영향을 줄이기 위해 수정된 세로운 SRM구동용 인버터 회로를 제시하였고, 실험결과 측정된 과정에 의해 상호인더턴스의 영향이 크게 감소되는 것을 알았다. 그리고 이러한 상호 인더턴스 영향의 감소로 전동기의 평균 토크가 증가하고, 또한 SRM 시스템의 효율도 또한 증가될을 알 수 있다.

REFERENCES

- P.J.Lawrenson, J.M.Stephenson, P.T.Blenkinsop, J.Corda, and N.N.Fulton, " Variable speed reluctance motors," IEE Proc., vol. 127, pt. B, no. 4, pp. 253-265, July 1980.
- Slobodan Vukosavic and V.R.stefanovic, " SRM Inverter Topologies:A Comparative Evaluation," IEEE Trans. Indu. Appl., vol.27, no.6, pp.1034-1047, Nov./Dec. 1991.
- M.Ehsani, I.Husain, K.R.Ramani and S.Mahajan, " Sensor Elimination in Switched Reluctance Motor Drives:An Overview and State of the Art," Proc. ISPE, pp.378-386, April 1992.
- Thomas A. Lipo, Vladimir Blasko and Ahmet M. Hava, " A Modified C-Dump Converter for Variable-Reluctance Machines," IEEE Trans. Industry Applications, vol. 28, no. 5, pp.1017-1022, Sept./Oct. 1992.