

Saturable Core를 이용한 LDC Test-Bed의 인덕터 시뮬레이션 설계

성원용, 김윤성, 안정훈, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Design of Inductor Simulation for LDC Test-Bed Using Saturable Core

Won Yong Sung, Yun Sung Kim, Jung Hoon Ahn, Byoung Kuk Lee*
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 코어의 다양한 재질, 단면적으로 인한 인덕터의 특성변화를 시뮬레이션 하기 위해 PSIM의 Saturable Core를 이용하여 인덕터 구성을 한다. 특히 전기자동차의 LDC (Low voltage DC DC Converter)용 인덕터의 Test Bed를 구성하고, 인덕터 설계 시 코어의 변화에 따른 인덕터 특성의 변화를 시뮬레이션을 통해 구현한다. 또한 설계된 인덕터를 시뮬레이션에 구현하여 비 이상적인 특성을 가지는 인덕터를 구현하고, 이를 통해 시뮬레이션을 통한 인덕터 검증의 필요성을 제시한다.

1. 서론

최근 주목받고 있는 전기자동차는 전장부하에 전원을 공급하는 LDC를 필요로 한다. LDC의 성능은 스위칭 소자와 능동 소자인 인덕터의 특성에 많은 영향을 받는다. 특히 인덕터는 시스템의 부피, 무게와 성능 등에 큰 영향을 준다. 그러므로 LDC에서의 인덕터는 안정적인 전력전달을 할 수 있는 자성체 재질 선택 및 최적화 과정이 매우 중요하며 이미 글로벌 자동차 생산업체는 이에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 그러나 제작된 자성체의 성능 평가는 일부 단품 평가에 그치고 있어 기술 확보에 어려움을 줄 수 있다.^[1,2]

따라서 본 논문에서는 LDC용 인덕터의 성능 검증을 목적으로 하는 범용성 LDC 인덕터 Test Bed를 설계함에 앞서 Test Bed의 시뮬레이션 플랫폼을 구축하고, 개발된 코어의 특성을 구현하여 설계된 인덕터를 간편하고 다양하게 검증할 수 있도록 구현함으로써 인덕터 설계의 시행착오를 줄이는데 그 목적이 있다. Saturable Core를 비롯한 Magnetic Elements를 이용하여 인덕터의 특성을 구현하고, 실제 자성체 코어를 적용하여 시뮬레이션을 수행한다.

2. 시뮬레이션 플랫폼 설계

2.1 Saturable Core를 이용한 인덕터 설계

그림 1에 나타난 Saturable Core는 PSIM에서 제공하는 Magnetic Elements의 하나로 인덕터에 사용되는 코어의 특성을 적용하여 실제 코어와 유사한 특성을 가지는 인덕터를 시뮬레이션으로 구현하는데 사용된다. 따라서 실제 인덕터를 설계하는데 필요한 A_L , Turns, A_c , B_s 등을 Saturable Core에 적용

하면 실제 코어와 유사한 특성을 지니는 코어를 시뮬레이션 할 수 있다.

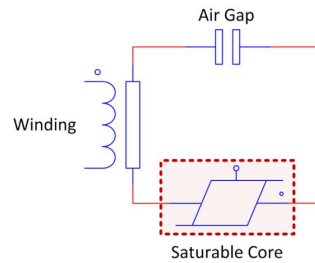


그림 1 Saturable Core를 이용한 인덕터 모델

Fig. 1 Inductor Model Using Saturable Core

Saturable Core의 변수는 A_L 와 Coefficient phi sat 등이 있다. 여기서 Inductance Factor A_L 은 1턴 당 발생하는 인덕턴스의 크기를 의미하고, 식 1에 나타난 것같이 코어의 재질이 가지는 투자율 (μ_r)과 공극의 투자율 (μ_0), 코어의 유효 단면적 (A_c)과 자로길이 (MPL)에 따라 결정된다.

$$A_L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A_c}{MPL} \quad (1)$$

따라서 구성하려는 코어의 A_L 을 Saturable Core에 적용하면 실제 코어와 유사한 유효 단면적, 투자율, 자로길이의 특성을 지니게 된다. 또한 Coefficient phi sat은 코어가 저장할 수 있는 최대 자속의 양을 의미하며, 각 코어의 재질이 지니는 특성인 포화 자속밀도 (B_s)와 코어의 형상 및 크기에서 알 수 있는 유효단면적의 곱을 통해 구할 수 있다. 따라서 더 높은 포화 자속밀도를 지니고 있는 소재로 변경하거나 더 큰 유효 단면적을 가진 코어로 변경하려면 Saturable Core의 Coefficient phi_sat을 증가시켰을 때 실제와 동일한 효과를 지닌다. 또한 이렇게 설계된 코어에 Winding이라는 소자에 권선 수를 적용하여 Saturable Core와 연결하게 되면 시뮬레이션 구현 대상으로 선정된 코어에 특정 권선 수만큼을 감았을 때의 인덕턴스를 갖는 인덕터 모델을 구현하게 된다.

2.2 시뮬레이션

본 논문에서 Saturable Core를 이용하여 인덕터 Test Bed의 시뮬레이션을 구현하였다. 변압기 1차 측은 별도의 추가 회로

없이 스위치들을 소프트 스위칭하여 스위칭 손실을 줄여 효율을 높일 수 있는 장점을 가져 LDC 제품들에 많이 사용된 Phase Shift Full Bridge Converter로 구성 하였다. 또한 변압기 2차 측은 손실이 적게 발생하여 저전압 대전류 토폴로지에 많이 사용되는 Center tap 정류방식을 사용하여 구성한다. 시뮬레이션을 수행한 시스템 사양은 표 1에 나타내었다.

표 1 시스템 사양
Table 1 Specifications of System

Parameter	Value	Parameter	Value
V_{in} [V]	300	V_{out} [V]	14
P_{rated} [kW]	1.8	f_{sw} [kHz]	100
L_{out} [uH]	6	Turn Ratio (N_s/N_p)	0.067

그림 2는 출력 인덕터를 Saturable Core와 Winding으로 구성된 Test Bed의 시뮬레이션 회로도이다. 또한 인덕터에 흐르는 전류를 이용하여 자화력 (H)을 계산하고 인덕터의 Saturable Core에서 출력되는 자속 (ψ)을 이용하여 자속밀도 (B)를 계산하였다. 창성사의 MPP, High Flux, Sendust 등 3가지 재료의 코어를 사용하여 구성된 인덕터의 사양은 표 2에 나타내었다.

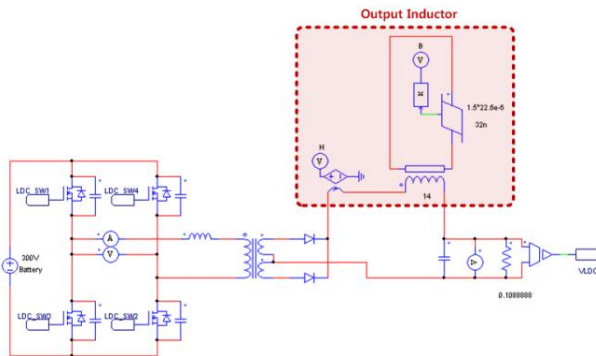


그림 2 시뮬레이션 회로도
Fig. 2 Simulation Schematic

표 2 인덕터 시뮬레이션 파라미터
Table 2 Inductor Simulation Parameter

Core No.	CM203060	CH203060	CS203060
B_s	0.7 T	1.5 T	1.0 T
Turns	14	14	14
Inductance	6.53 uH	6.53 uH	6.53 uH

표 2에 나타난 인덕터를 기반으로 수행한 시뮬레이션 파형을 그림 3에 나타내었다. CM203060, CH203060, CS203060은 60u의 동일한 투자율과 크기를 갖지만 서로 다른 재료로 구성되어 포화 자속밀도가 다르다. 그래서 코어의 포화 수준에 따라 전류의 추세가 변화하였다. 포화 자속밀도가 0.7 T인 MPP의 경우 동작 영역에서 포화 자속밀도를 넘는 자속밀도가 발생하여, B H 커브가 비선형적으로 변화해 전류의 파형이 일그러지는 현상이 출력되었다. 또한 Sendust는 1.0 T, High Flux는 1.5 T로 포화 자속밀도가 MPP에 비해 높아 비교적 선형적인 전류가 출력되었다.

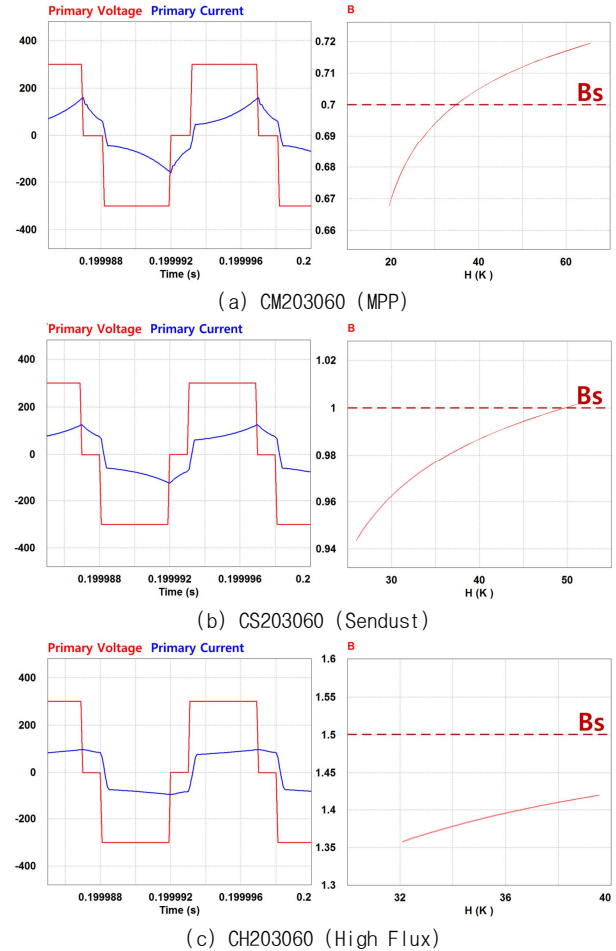


그림 3 변압기의 1차 측 전압, 전류와 인덕터의 B-H 곡선
Fig. 3 Transformer Primary Voltage and Current and B-H Curve of Inductor

3. 결론

본 논문에서는 인덕터의 특성을 시험하기 위한 LDC 인덕터 Test Bed의 시뮬레이션을 구성하였고, Saturable Core로 인덕터를 구성하여 시뮬레이션 하였고, 코어의 특성에 따라 인덕터의 특성이 변화하는 것을 확인하였다. 실험을 통해 인덕터의 특성을 변화시키려면 번거로운 과정을 거쳐야 하지만 시뮬레이션에서 코어, 권선수 등을 변화시켜 특성을 관찰하는 것이 가능하다. 향후 LDC 인덕터 Test Bed의 하드웨어 구성에 앞서 다양한 코어로 구성된 인덕터의 특성을 시뮬레이션 하고 실험을 통해 검증한 뒤, 변압기에도 적용할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 한국산업기술평가원 지원 하에 수행된 우수제조기술연구센터사업 (No. 10038825)의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] Colonel Wm. T. McLyman, "Transformer and Inductor Design Handbook", Fourth Edition, CRC Press
- [2] Alex Van den Bossche, Vencislav Cekov Valchev, "Inductors and Transformers for Power Electronics", Taylor & Francis