

퍼지이론을 적용한 최적 인덕터 설계 파라미터 선정에 관한 연구

윤창선*, 배동관*, 김광현*, 이재신**, 김병철***

*전남대 전기공학과, **(주)한국화이바, ***조선이공대 전기과

A Study on the Selection of Parameter for the Optimal Inductor Design using Fuzzy Theory

Chang-Sun Yun*, Dong-Kwan Bae*, Kwang-Heon Kim*, Jae-Sin Lee**, Byung-Chul Kim***

*Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

**Hankuk Fiber Co., Ltd.

***Chosun Colledge of Science & Technology

Abstract

This paper describes the program of optimally choosing parameter in designing inductor, which applied by fuzzy theory, and verifies the reliability of program to use in design of power supply fo electronic machine and information communication. It is available to find optimal value of complex and various parameter, such as core, winding, winding number, and air-gap, etc., needed on designing inductor. We expects to minimize time and cost of inductor design.

1. 서론

전원장치인 SMPS에 대하여 활발히 연구되고 있으나, 설계시 소형화하기 위해서 공진형으로 이용되는 인덕터와 필터용 인덕터의 최적 설계에 관한 연구가 국내에서는 그리 활발하지 않은 실정이다. 인덕터 제작시 전력손실, 크기, 모양, 비용 등의 많은 구성 파라미터들을 설계자가 반복적 방법에 의해 구하고 있어 인덕터 설계의 최적화에 어려움을 겪고 있다[1]. 인덕터 및 트랜스포머는 전자기기 및 정보통신기기의 전원회로의 많은 부분에서 필요한 요소이며, 기본적으로 코어와 권선, 권선수의 조합으로 구성되어진다. 결국 이들의 적당한 조합을 찾는 것이 최적의 인덕터 및 트랜스포머를 설계하는 방법이다[2, 3, 4].

설계자는 목표하는 인덕터를 만들기 위해 코어와 권선, 권선수의 최적의 조합을 찾기 위해 많은 반복적 절차를 거치게 되는데, 수 많은 코어와 권선이 존

재하고, 중량이나 비용 그리고 구성요소의 인덕터 설계시 차지하는 중요도와 같은 여러 가지 제한조건과 목표를 만족시켜야 하기 때문에 그 반복작업은 많은 시간과 노력을 요구하고 있다.

따라서, 이 연구는 최적화된 인덕터 설계를 위해 많은 코어와 권선 중 최적의 조합을 갖는 인덕터 파라미터를 선정한다. 퍼지이론을 적용하여 프로그램을 개발하여 많은 코어와 권선의 제작사의 다양한 데이터 중 최적의 파라미터를 단계별로 계산하여 짧은 시간내에 코어, 권선, 권선수, 공극 등을 선정한다[5]. 선정된 최적의 조합으로 실제 인덕터를 제작하여 풀브리지 컨버터형 SMPS에 적용, 그 동작특성을 비교 분석[6, 7]하고 제작한 인덕터 설계의 타당성을 검증하였다.

2. 인덕터 설계

2.1 설계 파라미터

인덕터의 설계는 코어, 권선, 권선수, 공극의 최적의 조합으로 결정된다. 인덕터가 3가지 구성요소의 조합에 의해 선정되는 관계는 그림 1과 같이 코어의 모양, 재질, 크기와 권선의 형태, 두께, 절연간격과 이들 관계에 의한 공극과 권선수에 의해 결정된다.

기존의 인덕터 설계 방법은 코어와 권선의 다양한 데이터를 기반으로 설계자의 경험에 의존하여 반복적인 방법으로 설계된다. 먼저, 설계자는 설계 입력값을 수집하여 인덕턴스를 계산하고 재질, 형태, 사이즈를 고려한 코어를 선택하여 허용전력손실, 자속밀도, 최소 권선수를 계산한다. 이에 따라 모양과 사이즈를 고려한 권선을 선택하고 최대인덕턴스, 공극을 계산

하여 인덕터를 설계한다. 이런 과정을 반복하여 설계자가 원하는 최적의 인덕터가 나오도록 하는 절차를 거친다. 그림 2는 설계자의 반복적 작업에 의한 인덕터 설계 과정을 도식화 한 것이다.

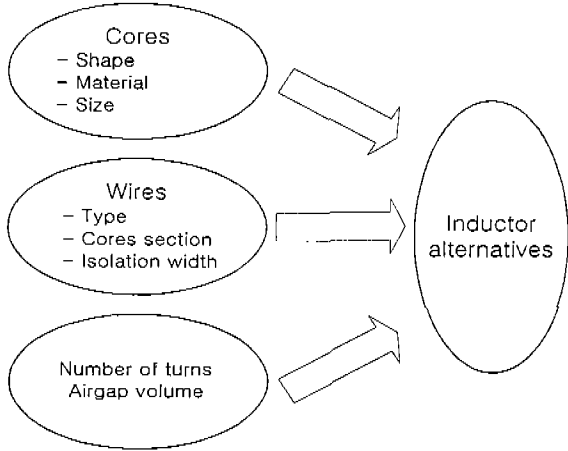


Fig. 1 Alternatives by combining the three elements of inductor

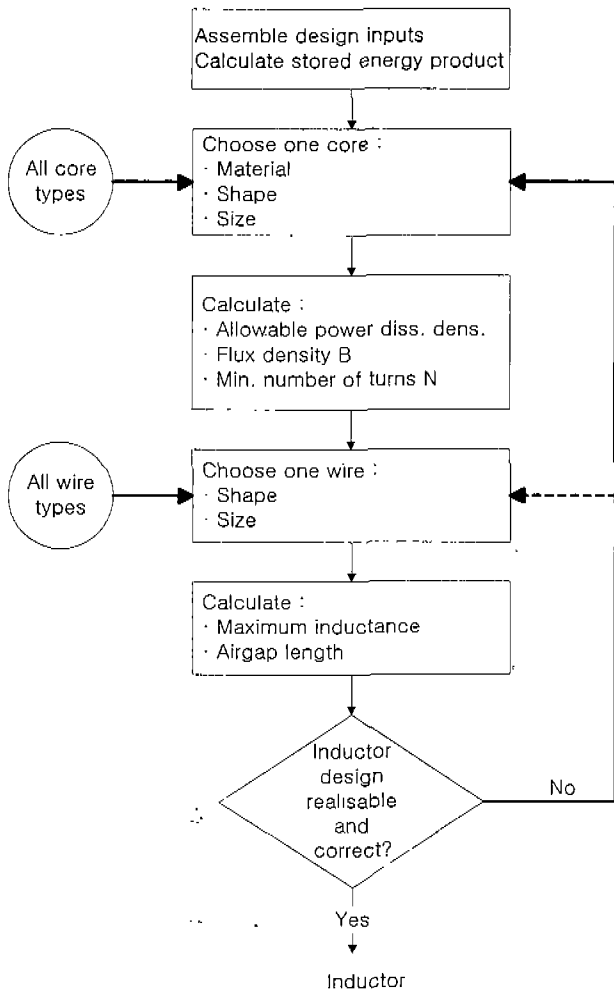


Fig. 2 Conventional design method for inductors

2.2 파라미터 선정 과정

이 연구에서 제안한 방법은 컴퓨터를 기반으로 퍼지이론을 적용하여 전문가적 지식과 제작자의 경험에 의존하는 반복적 설계방법으로 인한 설계의 어려움을 해소하였다. 먼저, 초기변수인 인덕턴스 값, 직류분 전류, 교류분 전류, 침두전류, 주파수, 온도상승, 자속 밀도, 코어재질, 코어형태를 고려하여 코어와 권선의 데이터 베이스로부터 초기변수를 만족하는 모든 코어와 권선을 선정한다. 선정된 모든 코어와 권선의 조합에 대한 권선수와 공극을 계산한다. 이를 기반으로 공극, 비용, 전력손실, 온도상승, 권선수, 중량의 퍼지함수를 적용하여 인덕터 조합의 순위를 결정한다. 순위에 따라 설계자가 적당한 인덕터의 조합을 선정하여 인덕터를 제작한다. 제안한 최적 인덕터 설계 프로그램의 파라미터 선정 방법의 흐름은 그림 3과 같다.

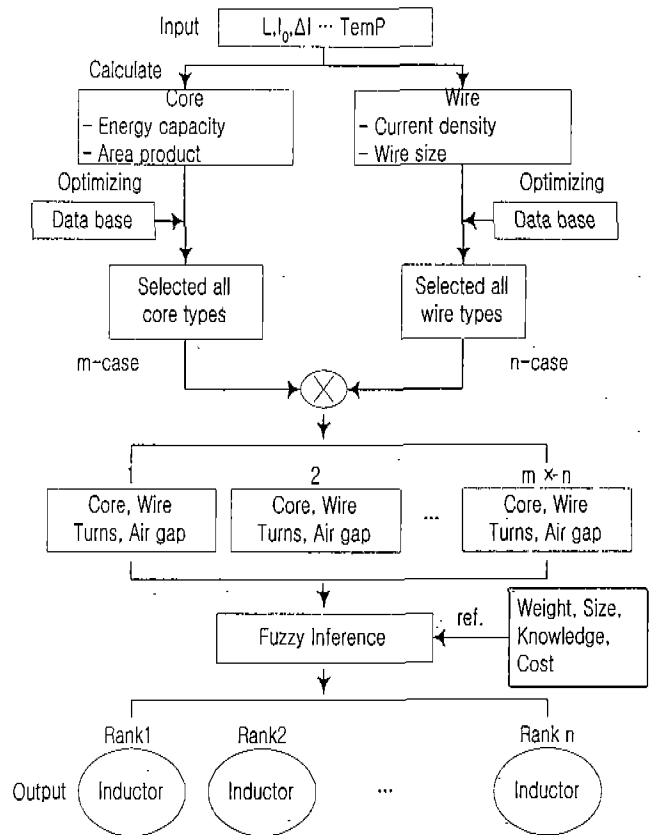


Fig. 3 Flowchart of proposed Inductor design

3. 퍼지이론

3.1 퍼지함수

퍼지이론은 불확실하고, 애매모호한 부분의 해소를 위해 필요하다. 제안한 방법에서 퍼지이론은 설계자의 유연한 제한치와 목표 그리고 주간적인 평가를 다루기 위해 적용했다. 설계 과정중 동시에 여러 가지

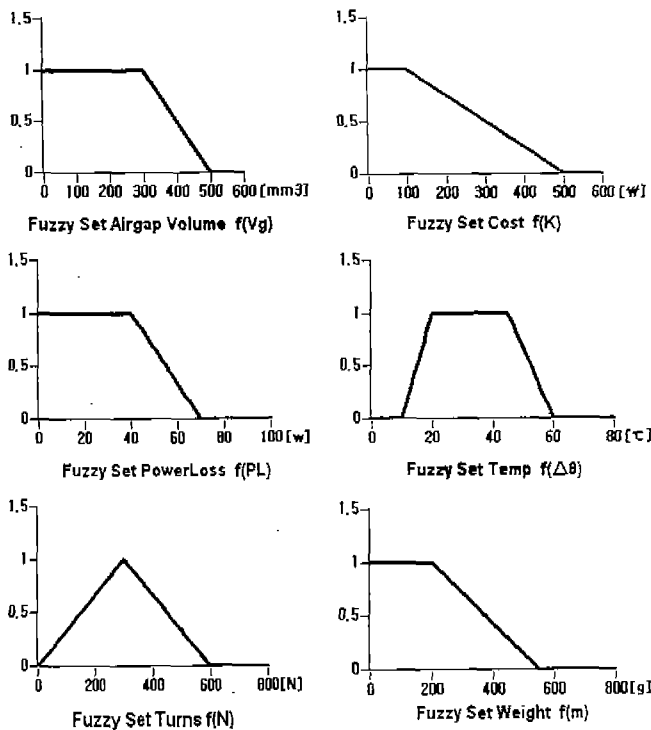


Fig. 4 Membership functions of design constraints and goals

의 속성-[공극, 비용, 전력손실, 온도상승, 권선수, 중량]-을 판단기준으로 고려함으로써, 각각의 속성들의 설계 기준의 만족정도를 나타내고, 이러한 다양한 기준들의 중요도에 관련한 정보를 조합하여 최적 인덕터 파라미터 조합의 순위를 결정한다.

퍼지함수에 의해 목표치와 제한치를 모델링 하였으며 한가지를 예로 들면, 중량에 대한 만족도는 $f(m)$ 으로 모델링하였고, 퍼지집합에 의해 중량에 대한 만족도는 서로 다른 만족도를 가진다. 목표치와 제한치가 모델링 되어진 멤버쉽 함수를 그림 4에 나타내었다.

3.2 퍼지추론

퍼지함수의 결정 후에 목표함수에 의한 설계의 만족도가 결정되어진다. 어떤 응용에서 인덕터 구성 요소중 다른 요소들 보다 좀더 중요한 요소가 있을 수 있다. 예를 들어 인덕터의 비용은 중요하지 않고 대신 사이즈와 신뢰성이 중요한 경우가 있을 수 있다. 그림 5는 인덕터 구성요소의 중요도에 의한 목표함수를 나타낸다. 인덕터 구성요소 질량, 부피, 온도상승, 권선수, 전력손실, 비용 등은 사이즈, 신뢰성, 비용으로 그룹화한다. 설계자에 의해 그룹 지어진 요소들의 중요도가 결정되며, 구성요소 각각의 중요도와 그룹 지어진 기준의 중요도에 의해 목표함수가 결정되어진다.

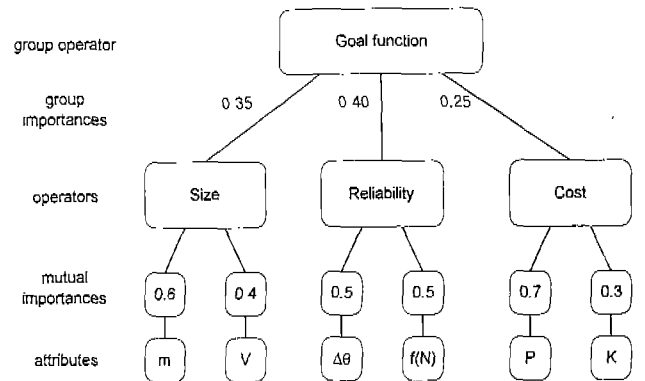


Fig. 5 Tree of goal function

4. 결과 및 고찰

이 프로그램은 비주얼베이직 언어를 기반으로 하였으며, 코어 및 권선의 데이터베이스는 국내에서 구입이 가능한 회사제품 자료를 토대로 구성하였다.

4.1 설계사례

이 프로그램으로 순위화된 인덕터 파라미터를 적용, 전자기기 또는 정보통신용의 전원용으로 쓰일수 있는 ZVT(Zero Voltage Transition)방식의 풀 브리지 컨버터의 필터용 인덕터 설계에 적용하였다.

먼저 시뮬레이션 툴인 PSpice를 이용, 초기변수인 인덕터 값과 직류분 전류, 교류분 전류 등을 결정하였다. 파라미터 입력 후 선정과정을 거친 후 퍼지추론으로 인덕터 순위를 결정하였고, 실제 인덕터 특성을 LCR미터와 시뮬레이션 파형으로 비교 검토하였다. 그림 6과 7은 ZVT방식의 풀 브리지 컨버터의 회로도와 시뮬레이션 파형이다.

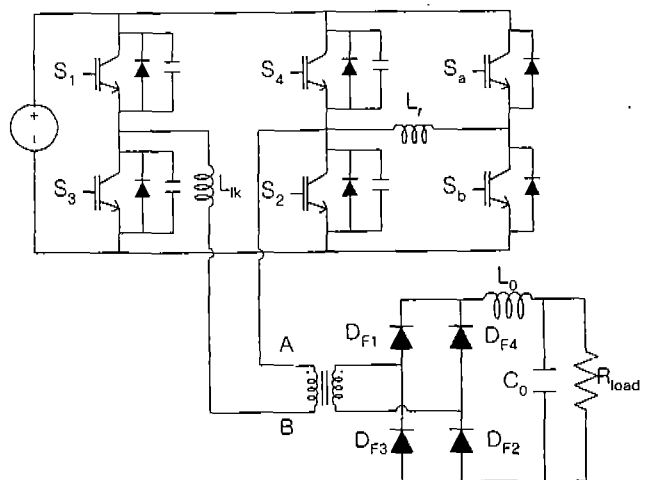


Fig. 6 Conventional FB-ZVT PWM DC/DC converter configuration

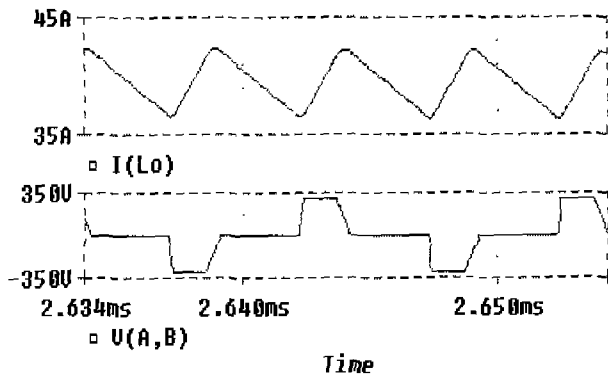


Fig. 7 Simulation waveform of FB-ZVT converter

Table. 1 Input data of program

Attribute	Symbol	Value
인덕턴스	L	27.2 [μH]
주파수	f	100 [kHz]
첨두전류	I_p	41 [A]
직류전류	I_{dc}	38 [A]
교류전류	I_{rms}	3 [A]
온도상승	T_r	53 [$^{\circ}C$]

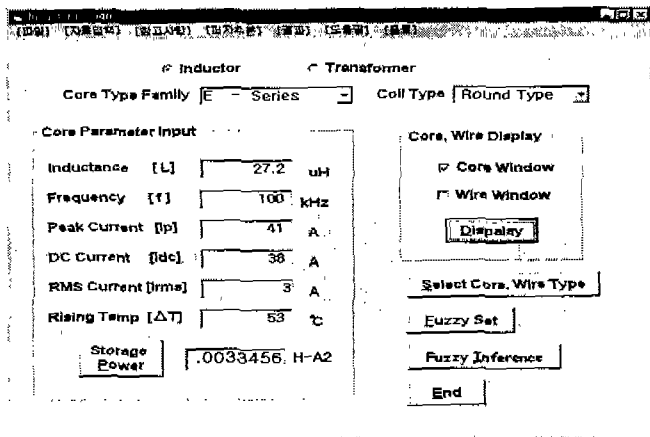


Fig. 8 Inductor design program

Fuzzy Inference Result					
Inductor Ranking List					
Rank	EType	Acu	Lmax	Turns	Air Gap
1	EE0505S	.1636364	.0327633	18	.03374196
2	EE0606S	.1636364	.0291229	16	.02988519
3	EE0808S	.1941287	.1544481	43	.09304643
4	EE0909S	.1941287	.0478104	22	.04731689
5	EE1010S	.213588	.222951	62	.14737652
6	EE1011S	.2181818	.4074018	65	.15382069
7	EE1308S	.2511461	.493723	50	.12998608
8	EE1312S	.2356633	.695989	88	.22175201
9	EE1312N	.2745394	.6641759	61	.17058977
10	EE1313S	.270903	.3379219	58	.1627644
11	EE1614S	.2816715	.7504661	92	.26751763
12	EE1616S	.3004129	.7468208	86	.26211171
13	EE1625S	.2866274	1.4559102	169	.5152472
14	EE1916S	.3180519	.9270727	97	.30968717
15	EE1916S	.305246	1.0354568	111	.34487905
16	EE1927S	.3180519	1.8732622	196	.64775814
17	EE2017S	.3085557	1.2654702	131	.4128815
18	EE2020A	.3211549	1.0187648	99	.3179876
19	EE2020S	.3420889	1.3549572	108	.36366961
20	EE2027S	.3180519	2.0644092	215	.71896198

Fig. 9 Ranking of optimized parameter of inductor

최적의 인덕터 파라미터 조합 선정 프로그램의 초기변수로 결정된 파라미터들은 표 1과 같다.

4.2 사용자인터페이스

초기변수를 그림 8의 최적 인덕터 파라미터 선정 프로그램에 입력하여 산정된 인덕터 최적의 파라미터의 순위는 그림 9와 같다.

5. 결론

인덕터 설계를 위해 퍼지이론을 이용한 최적 인덕터 설계 파라미터 선정 프로그램을 제안하였다. 인덕터 설계 프로그램을 이용하여 설계자의 전문적 지식 없이 빠른 시간내에 인덕터 설계가 가능하며, 다양한 부하에 대한 설계 및 제작 파라미터를 도출시킬 수 있게 되었다. 향후에는 국내 및 국제의 각종 재질 및 모양에 따른 코어 및 권선의 데이터 확보가 시급하며, 인덕터 선정의 신뢰성 향상에도 좀 더 많은 노력이 수반되어야 한다.

참고문헌

- [1] W. T. McLyman, "Transformer and Inductor Design Handbook", New York, Marcel Dekker, 1988
- [2] R. K. Dhawan, N. Mohan, R. Nilssen, P. Davis, "Applying Expert Systems for Designing High Frequency Power Transformers", APEC'94, PP.318-325
- [3] W. G. Hurley, W. H. Wölfle, "Optimized Transformer Design : Inclusive of High-Frequency Effects", IEEE Trans. Power electron., vol. 13. NO. 4. July 1998
- [4] R. Petkov, "Optimum Design of a High-Power, High-Frequency Transformer", IEEE Trans. Power electron., vol. 11. NO. 1. January 1996
- [5] R. K. Dhawan, P. J. Davis, "Fuzzy Logic Based Inductor Design Program", APEC'97, PP.579-584
- [6] G. Hua, C. S. Leu, F. C. Lee, "Novel Zero Voltage Transition PWM Converters", PESC'92, PP.55-61
- [7] M. Marx, D. Schröder, "Analysis of a Zero Voltage Transition DC-DC Full-Bridge Converter" PESC'95, PP.298-303