

유전자 알고리즘을 사용한 안테나 고차 변압회로 구성과 변압 회로를 사용한 Wheeler cap 효율 측정법

조 치현*, 추 호성*, 박 익모**, 강진섭***

*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1

**아주대학교 전자공학부, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5

***한국표준과학연구원 기반표준부, 대전시 유성구 도룡동 1번지

전화 : (02) 320-3066 / 팩스: (02) 320-1119

On the Design of High Order Transformer Circuits for Antennas Using the Genetic Algorithm and its application to the Wheeler cap Measurement

Chihyun Cho*, Hosung Choo*, Ikmo Park**, Jinseob Kang***

*School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

**Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University, Suwon, Korea

***Division of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science

E-mail : hschoo@hongik.ac.kr

Abstract

Generally, the Wheeler cap method used to measure the efficiency of small antennas. This method often gives an unreliable efficiency when the antenna has complicated operating principle. However, if the high-order circuit model which more closely represents the input impedance of the antenna is used in Wheeler cap method, then more accurate efficiency can be achieved. In this paper, we propose a novel method that builds the high-order circuit model using transformer circuits with the genetic algorithm. To efficiently reduce the searching space in the GA and improve the convergence of the GA results, we suggest a way to find appropriate initial values. We verifies the proposed method by measuring the efficiency of some passive RFID tag antennas.

I. 서 론

소형 안테나의 효율 측정에 가장 많이 사용되는 Wheeler cap 측정법은 자유공간에서 측정된 저항 또는 컨덕턴스 값과 cap으로 차폐시켜 측정된 저항 또는 컨덕턴스 값의 차이를 이용하여 안테나의 효율을 측정하는 방법이다^[1-4] 또한 이 방법은 안테나가 복잡한 동작 원리를 가지더라도 안테나의 입력 임피던스를 정확히 묘사할 수 있는 고차 회로모델의 구성이 가능하면 정확한 효율 측정이 가능하다^[5] 최근 Cauchy 방법을 이용하여 고차회로 모델을 구성하는 방법이 제안되었지만, 이 방법은 복소 다항식으로 임피던스를 나타낸 후 다시 회로 모델로 변환해야 하며 고차회로 모델에 사용되는 소자의 수가 크게 증가한다는 단점이 있다^[6].

본 논문에서는 유전자 알고리즘과 변압 회로를 이용한 고차회로 모델을 구성하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 적은 수의 소자로도 비교적 정확하게 안테

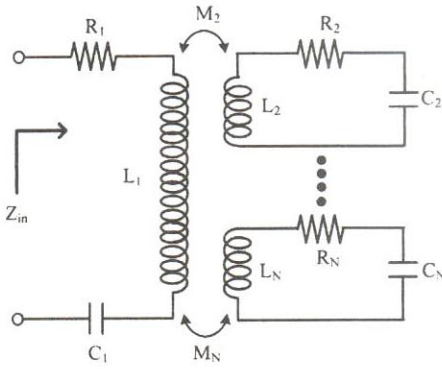


그림 1. 변압 회로를 이용한 고차회로 모델

나의 입력 임피던스를 나타낼 수 있으며, 고차회로의 구성에 소요되는 시간을 크게 줄일 수 있다. 제안된 고차회로 구성법의 정확성을 검증하기 위해 복잡한 동작 원리를 가지는 수동형 RFID 태그 안테나의 효율을 측정하고 비교·검토하였다.

II. 유전자 알고리즘과 변압 회로를 이용한 고차회로 구성

변압 회로를 이용하여 구성된 고차 RLC 회로의 기본 구조를 그림 1에 나타내었다. 고차회로는 N개의 직렬 RLC 회로로 구성되며, 입력단에 연결된 RLC 회로와 (N-1)개의 RLC 회로가 변압기를 통해 병렬로 연결된 구조이다. 이때, 각각의 RLC 회로의 입력 임피던스는 식(1)로 계산되며, 전체 입력단에서 바라본 임피던스는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$Z_i = R_i + j\omega L_i + \frac{1}{j\omega C_i}, \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

$$Z_{in} = Z_1 + \frac{\omega^2 M_2^2}{Z_2} + \frac{\omega^2 M_3^2}{Z_3} + \dots + \frac{\omega^2 M_N^2}{Z_N} \quad (2)$$

입력단에 직접 연결된 Z_1 에 의해 전체적인 안테나 입력 임피던스 형태가 결정되며, 변압기를 통해 Z_1 에 연결된 (N-1)개의 회로들은 각각의 RLC 회로의 공진주파수에서 안테나의 입력 저항과 리액턴스를 크게 진동(fluctuation)시킨다. 이때 진동의 세기는 Z_1 과 결합되는 상호 결합 계수(mutual coupling coefficient) M 에 의해 결정된다. 따라서 변압기와 Z_1 에 연결된 RLC 회로의 수는 안테나 전체 임피던스의 진동 횟수에 의해 결정되므로 변압 회로를 이용한 고차회로 모델은 비교

적 적은 수의 소자로 안테나의 입력 임피던스를 나타내는 것이 가능하다.

본 논문에서는 각 회로의 소자 값들을 유전자 알고리즘을 이용하여 측정 입력 임피던스를 가능한 정확하게 묘사할 수 있도록 최적화하였다. 유전자 알고리즘은 빠른 시간 안에 비교적 넓은 조사범위(searching space)에서 최적화 결과의 도출이 가능하지만, 해를 조사하는 범위가 본 연구에서 다루는 회로 소자 값 검출 문제와 같이 너무 큰 경우에는 초기값에 따라 해를 찾지 못하는 경우가 발생된다. 따라서 고차회로의 소자 값들의 최적화를 위해 다음과 같은 방법을 이용하여 각 소자들의 초기값을 설정하였다.

우선 입력단에 연결된 RLC 회로는 전체 안테나 입력 임피던스의 기본 형태를 결정하기 때문에, K개의 측정 데이터 중 큰 진동이 없는 주파수에서의 데이터를 이용하면 Z_1 소자의 초기값 추출이 가능하다. 본 논문에서는 측정 데이터 중 가장 낮은 주파수 f_l 과 가장 높은 주파수 f_k 의 임피던스를 이용하여 초기값을 설정을 하였으며 다음의 식을 이용하였다.

$$R_1 = (R_{meas}(f_k) - R_{meas}(f_l))/2 \quad (3)$$

$$j\omega(f_l)L_1 + \frac{1}{j\omega(f_l)C_1} = X_{meas}(f_l) \quad (4)$$

$$j\omega(f_k)L_1 + \frac{1}{j\omega(f_k)C_1} = X_{meas}(f_k) \quad (5)$$

식(3)에서 R_1 의 초기값은 주파수 f_l 과 f_k 에서 측정된 입력 저항 값의 평균값을 이용하였으며, L_1 과 C_1 은 주파수 f_l 과 f_k 의 측정 리액턴스 값을 이용하여 식(4)와 식(5)의 2차 연립 방정식을 세워 그 초기값을 결정하였다. 또한 변압기에 연결된 각 R_i , L_i , C_i , M_i 의 초기값들은 식(6)-(8)과 같이 측정 데이터로부터 각 소자 값들을 역으로 추출하였다. 이때 초기값 R_i 은 임의로 설정한 값이며 일반적으로 RF 시스템에서 사용되는 50 Ω 특성 임피던스를 이용하였다.

$$M_i = \sqrt{R_{meas}(f_i) - \frac{R_i R_1}{(2\pi f_i)^2}} \quad (6)$$

$$L_i = \frac{M_i^2 (2\pi f_i)^2}{X_{meas}(f_i) - X_1 2(2\pi f_i)} \quad (7)$$

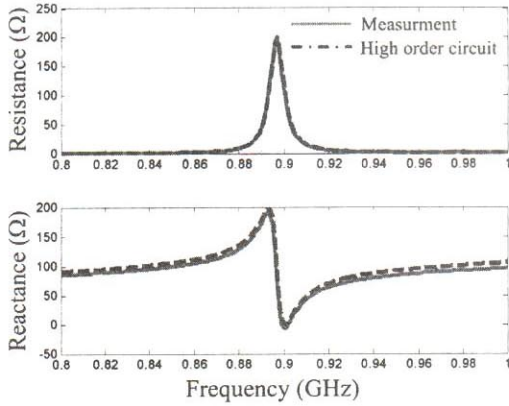


그림 2. 자유공간에서의 태그 안테나 입력 임피던스

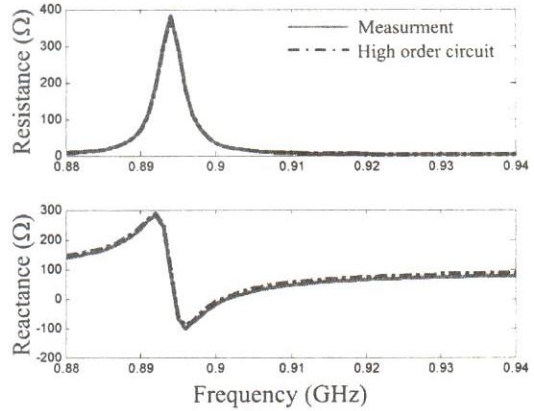


그림 3. Cap으로 차폐시킨 후의 태그 안테나 입력 임피던스

$$C_i = \frac{1}{(2\pi f_i)^2 L_i}, \quad (i = 2, 3, \dots, N) \quad (8)$$

여기서 R_i 와 X_i 는 수식 (3)-(5)에 의해 추출된 Z_i 의 저항과 리액턴스 값이며, M_i, L_i, C_i 는 입력단 RLC 회로에 연결된 i 개의 RLC 회로 초기 소자 값과 변압기 결합계수의 초기 값이다. 또한 f_i 는 측정 저항의 진동 값이 최대치가 되는 주파수를 의미하며, C_i 의 초기 소자값은 f_i 의 주파수에서 공진하도록 L_i 의 초기값으로부터 설정하였다. R_{meas} 와 X_{meas} 는 각각 측정된 저항과 리액턴스 값을 의미한다. 유전자 알고리즘의 최적화 조사 범위는 식 (3)-(8)을 이용하여 결정된 초기값을 바탕으로 결정하였으며, 우선 충분한 조사 범위를 정하고 다음의 식을 이용하여 최적화를 진행하였다.

$$cost = \left(\sum_{i=1}^K Z'_{meas} - Z'_{in} \right) / K \quad (9)$$

비용평가 함수는 K 개의 측정된 Z_{meas} 데이터와 고차회로를 이용해 계산된 Z_{in} 의 차이를 이용하였다. 최적화가 진행되면서 $cost$ 값이 더 이상 변화하지 않고 수렴하면 찾은 각 소자 값을 바탕으로 다시 조사 범위를 좁게 재설정 하여 최적화를 진행하였다. 위의 과정을 반복할수록 유전자 알고리즘을 이용한 고차회로 모델은 더욱 정확하게 안테나의 입력 임피던스를 나타낼 수 있다.

III. 고차회로를 이용한 효율 측정

제안된 고차회로 방법을 이용하여 UHF 대역 수동형 태그 안테나^[7]의 효율을 측정하였다. 수동형 태그의 경우 50Ω이 아닌 태그 칩의 입력 임피던스에 공액 정합하도록 설계되어 복잡한 임피던스 특성을 가지므로 정확한 안테나의 효율 측정에 많은 어려움이 있다. 유전자 알고리즘과 변압 고차회로를 이용하여 최적화된 태그 안테나의 입력 임피던스를 그림 2에 나타내었다. 각각 실선과 점선은 측정된 안테나의 입력 임피던스와 고차회로 모델을 이용한 임피던스이며, 두 결과가 잘 일치함을 보여준다. 측정된 입력 임피던스는 커다란 진동을 1회 가지므로 1개의 변압기를 이용하여 안테나의 고차회로를 구성하였다. 고차회로를 구성하는 각 소자 값들은 표 1에 정리하였다. 그림 3은 안테나가 cap으로 차폐된 후 측정된 입력 임피던스와 이를 고차회로를 이용하여 나타낸 결과이다. 점선과 실선은 각각 cap으로 차폐된 안테나의 입력 임피던스와 회로모델의 임피던스이며, 고차회로 모델이 차폐된 안테나의 입력 임피던스도 잘 나타내고 있음을 보여준다. 역시 차폐된 안테나의 고차회로 모델에서 사용된 각 소자값들을 표 1에 정리하였다. 자유공간에서의 소자값과 cap으로 차폐된 후의 소자값을 비교하면 저항값과 커패시터값만 변하고, 인덕터와 결합계수의 값은 동일하다. 이론적으로 두 회로모델의 소자값은 오직 각 저항값들만 차이를 가져야 하지만 커패시터값의 미세한 변화는 안테나와 cap 사이에 발생한 기생 커패시턴스에 의한 것으로 사료된다. 그림 4는 cap으로 안테나를 차폐시켜 측정된 손실저항을 이용하여

자유공간에서 측정된 저항을 복사저항과 손실저항으로 구분하여 나타낸 고차회로도이다. 소모 전력의 비를 이용하여 계산된 안테나의 효율을^[5] 그림 5에 실선으로 나타내었다. 점선은 상용 시뮬레이션 툴을 이용한 안테나의 효율을 의미하며, 회색 파선과 검은색 파선은 각각 기존의 Wheeler cap 효율 측정법을 이용한 결과이다. 고차회로를 바탕으로 계산된 안테나의 효율이 비교적 정확함을 보여주며, 이는 유전자 알고리즘을 이용한 고차회로 구성이 안테나의 입력 임피던스를 정확하게 나타내고 있음을 보여준다.

IV. 결론

본 논문에서는 유전자 알고리즘과 변압 고차회로 모델을 이용하여 안테나의 입력 임피던스를 나타내는 방법을 제안하였고, 유전자 알고리즘의 효과적인 최적화를 위해 각 소자의 초기값 설정 방법을 유도하였다. 변압 고차회로는 적은 수의 소자로도 안테나 입력 임피던스를 비교적 정확하게 나타낼 수 있으며 유전자 알고리즘을 통해 회로 구성에 소요되는 시간의 단축이 가능하다. 제안된 고차회로 구성 방법을 검증하기 위해 복잡한 임피던스 특성을 갖는 안테나의 효율을 측정하였다.

참고 문헌

- [1] G. S. Smith, "An analysis of the Wheeler method for measuring the radiation efficiency of antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 25, pp. 552-556, July 1977.
- [2] E. Newman, P. Hohley, and C. H. Walter, "Two methods for the measurement of antenna efficiency", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 23, pp. 457- 461, July 1975.
- [3] D. M. Pozar, B. Kaufman, "Comparison of three methods for the measurement of printed antenna efficiency", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 36, pp. 136-139, Jan. 1988.

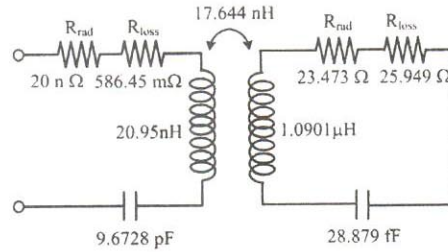


그림 4. 태그 안테나의 고차회로 모델

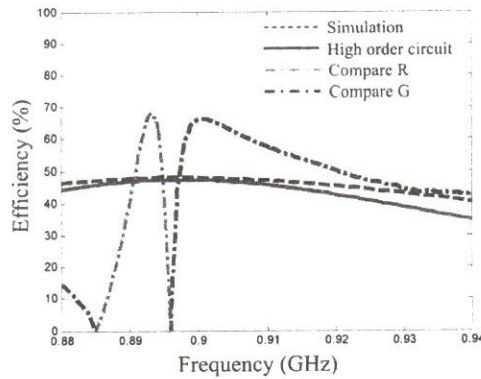


그림 5. 태그 안테나의 복사효율

표 1. 태그 안테나 고차회로의 각 소자값

	R_1	R_2	L_1	L_2	C_1	C_2	M
Free space	586.47 mΩ	49.422 Ω	20.95 nH	1.0901 μH	9.6728 pF	28.879 fF	17.644 nH
in the cap	586.45 mΩ	25.949 Ω	20.95 nH	1.0901 μH	9.6728 pF	29.073 fF	17.644 nH