

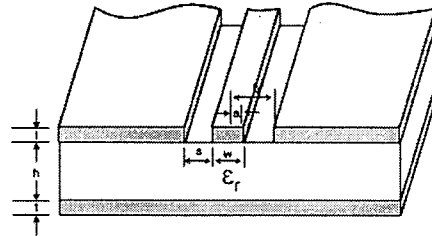
6.6kV 회전기 고정자 권선에서 부분방전 진단을 위한 평판 안테나 센서 설계

임광진, 키아우소원, 신동훈, 박노준, 박대희
원광대학교

The Design of a Planar Antenna Sensor for Partial Discharge diagnosis in 6.6kV Rotary Machine Stator Windings

Kwang-Jin Lim, Kyaw-Soe Lwin, Dong-Hoon Shin, Noh-Joon Park, Dae-Hee Park
Wonkwang University

Abstract - In 6.6kV Rotary Machine Stator Windings, Corona Discharge, Discharge at Conductor Surface, Slot Discharge and Endwinding Discharge is happened by electronic degradation. Also, if Partial Discharge cause in inner-part of Rotary Machine Stator Windings, it will be happended voltage and current pulse. In case of discharge spark, RF electromagnetic wave, which tranmits at discharge position, can happen. To detect this kind of RF electromagnetic wave efficiently, we have designed Planar Antenna Sensor with the CST MWS simulation program. Also we have confined the application possibility, which can analyze the partial discharge in Rotary Machine Stator Windings. In the Future, sample of planar antenna sensor will be able to compare with the data of simulation by CST MWS program.



〈그림 1〉 CPWG 급전구조

1. 서 론

최근 전력설비 용량의 증가와 기술의 진보에 따라 터빈 발전기, 수차 발전기, 대형 전동기 등의 회전기가 대용량화, 고전압화, 소형 경량 화됨에 따라 절연 고장 예방을 위한 절연 진단이 중요시되고 있다. 이들 회전기 고장의 대부분은 권선 소손이며 절연체 중에서 가장 중요한 부분은 고정자인 전기자 권선이다. 고정자의 절연 고장은 복구하는데 장시간이 요구되므로, 회전기의 예측진단에 따른 정비와 더불어 고장을 미연에 발견하고 불시정지에 따른 파급을 막기 위해서는 상시감시가 요구된다[1].

고압회전기에서 고정자 권선은 운전 중에 열적, 기계적, 전기적 응력(Stress) 및 외부환경에 의한 열화요인이 단독 혹은 복합적인 작용으로 부분방전이 발생된다. 이러한 열화로 회전기 고정자 권선 내부에서 부분방전이 일어나면 전압과 전류 펄스가 발생되며, 이로 인한 펄스에 의해 RF 전자기파가 발생된다. 부분방전에 의해 발생 되는 전자기 왜란은 수백[kHz] ~ 수백[MHz]범위에서 RF 주파수를 갖는다. 전자기 왜란을 측정하기 위해 RF 안테나를 사용한다면, 고정자 권선에서 부분방전 유무 및 발생 위치를 확인할 수 있다[1]. 특히 평면 안테나 센서를 이용할 시 검출감도가 좋고, 검출범위가 넓어 보다 효율적으로 부분방전 신호를 검출할 수 있다[2][3].

따라서 본 연구에서는 수백[kHz] ~ 수백[MHz] 범위에서 발생되는 부분방전 신호를 측정하기 위해 CST MWS(Computer Simulation Technology Microwave Studio)시뮬레이션을 이용하여 마이크로스트립 형태의 평판 안테나를 설계하고자 한다.

2. 본 론

2.1 CPWG 급전방식

마이크로스트립 소자는 두 개의 평행 금속이 얇은 유전체 기판에 의해 분리된 층형 구조이며, 유전체 기판의 두께(h)는 한 파장 보다 작은 크기이다. 일반적인 평면패치 마이크로스트립 안테나의 공진 길이(L)는 다음과 같다.

$$L \approx 0.49 \lambda_d = 0.49 \times \frac{\lambda}{\epsilon_r}$$

마이크로스트립 안테나는 일반적으로 넓은 패턴(pattern)을 가지도록 설계된다. 이는 패치에 바로 붙은 급전형태에 따라 적당하게 형성되고 다양한 모양의 패턴은 적절한 형태의 모드를 선택함으로써 얻어진다. 유전체 기판의 아래 금속은 접지 면으로 동작하게 된다[4]. 위쪽 금속은 길고 좁은 마이크로스트립 전송선로와 구형패치가 구성된다. Coaxial Cable의 입력 임피던스 Z_A 는 특정임피던스 $Z_0(50\Omega)$ 인 안테나와 정합시켜야 한다. 임피던스 정합은 그림 1과 같이 ϵ_r , h, a, b와 관련이 있다[5][6].

그림 1.은 CPWG(Coplanar Waveguide)모형이며, 여기서 t는 도체 층의 높이, h는 유전체 층의 높이, a는 마이크로스트립선로, b는 도파로의 간격이다. CPWG의 설계는 다음과 같은 수식으로 각각의 파라미터를 구할 수 있다.

도체내의 실효 유전상수는 식 (1)과 (2)로부터 구하며,

$$\epsilon_e = 1 + q(\epsilon_r - 1) \tag{1}$$

$$q = \frac{K(k_1)/K(k_1')}{K(k_1)/K(k_1') + K(k_2)/K(k_2')} \tag{2}$$

특성 임피던스 계산은 다음 식에 의한다.

$$Z_0 = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_e}} \frac{1}{K(k_1)/K(k_1') + K(k_2)/K(k_2')}$$

여기서, 도체와 유전체내에서의 전파 상수는 다음과 같다.

$$k_1 = \frac{\tanh(\pi a/2b)}{\tanh(\pi b/2b)} \tag{3}$$

$$k_2 = \frac{\tanh(\pi a/2b_1)}{\tanh(\pi b/2b_1)} \tag{4}$$

$$k_i' = \sqrt{1 - k_i^2} \tag{5}$$

중심도체의 스트립선로와 슬롯의 폭은 다음 식(6)과 (7)에 의하여 계산된다[7].

$$w = \frac{w + 1.25}{\pi} \left[1 + \left(\frac{4\pi w}{t} \right) \right] \tag{6}$$

$$s = \frac{s + 1.25}{\pi} \left[1 + \left(\frac{4\pi w}{t} \right) \right] \tag{7}$$

CPWG 급전 구조에서 중앙 스트립라인의 폭(W), 슬롯의 폭(S)의 값을 변화시켜 원하는 임피던스 값을 구현할 수 있다.

2.2 안테나 구조

본 논문에서 제안한 평판 안테나 센서의 설계구조는 그림 2와 같다.

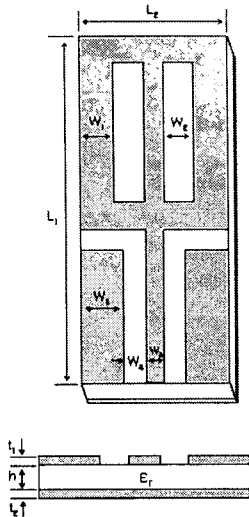


그림 2. 평면 안테나 센서의 구조

제한한 안테나 센서의 제작 시 사용할 기판은 FR-4 기판이다. 따라서 비유전율 $\epsilon_r=4.6$, 두께가 1.6[mm]로 했으며, t_1 , t_2 의 재질은 전기도체(PEC)로 설정하였다. 그외에 안테나 센서의 파라미터 값은 표 1과 같이 설정하였다.

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
L_1	100	W_4	2.822
L_2	20	W_5	3
W_1	5.5	t_1	0.1
W_2	3	t_2	0.1
W_3	5.678	h	1.6

표 1. 안테나 센서의 파라미터 값

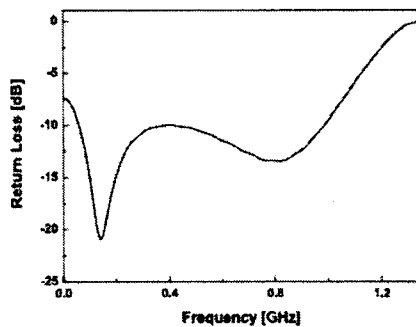


그림 3. 시뮬레이션의 반사계수

설계된 평면 안테나 센서의 반사계수 출력이 140[MHz] 임을 알 수가 있다. 안테나의 반사계수는 -20[dB] 이하의 값에서 안테나의 측정주파수 대역을 결정함으로써 신뢰성을 가진다. 하지만, 일반적으로 -10[dB] 이하의 값을 갖는 주파수 대역을 그 안테나의 측정주파수 대로 사용한다. 따라서 그림 3에서 보는 것과 같이 -10[dB] 이하의 값을 갖는 주파수 대역은 약 60[MHz] ~ 1[GHz] 사이에서 나타나고 있으며, 안테나 설계 시 고려한 100[kHz] ~ 수백 [MHz] 범위에서 발생하는 부분방전 신호를 측정하기 위한 대역을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문은 절연진단기술에 적용을 위하여 평면 안테나 센서 설계를 통해 실제 적용가능성을 검토한 연구이다. 회전기 고정자 권선 내부에서 발생하는 부분방전 신호를 검출 감도가 좋고, 보다 효율적으로 검출하기 위해서 CST MWS 프로그램을 이용하여 평면 안테나 센서 설계를 하였다. 설계된 평면 안테나 센서는 시뮬레이션을 통하여 나타난 반사계수가 약 60[MHz] ~ 1[GHz]로 부분방전 신호

가 발생하는 100[kHz] ~ 수백 [MHz] 대역을 만족하고 있음을 확인하였다.

앞으로 본 논문에서 설계된 평면 안테나 센서를 FR-4 기판으로 제작하고, 모의 6.6kV 회전기 고정자에 적용을 통해 부분방전신호를 측정/분석하여 실제 전력기기의 이상 유무를 검출할 수 있는 감시 시스템 구축에 사용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 전력산업연구개발의 지원에 의하여 한전전력연구원 (R-2006-1-241-003) 및 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성, 지원 사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김진구, "고압회전기의 절연진단 기술", 전기저널, NO. 287, pp.48-53, 2000.
- [2] IEEE Std 1434-2000, IEEE Trail-Use Guide to the Measurement of PD in Rotating Machinery, 2000.
- [3] H. Okubo, H. Yamashita, N. Hayakawa, T. Ueda, M. Hikita, "Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharges and its Relation to partial-Discharge characteristics", ETEP Vol.7, No1, pp. 57~63, January /February 1997.
- [4] 안상철, "광대역 마이크로스크립 급전 슬롯 안테나 설계", 울산대 석사학위논문, pp. 3~4, 2004.
- [5] Rajesh Mongia, Inder Bahl, Prakach Bhartia, "RF AND MICROWAVE COUPLED-LINE CIRCUITS", Artech House Boston, pp. 101~105, 1999.
- [6] 윤영중, 홍의석, 전계석, 김민준, 임영석, 정백호, "안테나 이론과 설계", 교보문고, pp. 261~268, 2000.
- [7] Rainee N. Simons, "Coplanar Waveguide Circuits Components and Systems", IEEE transactions on antennas and propagation, Vol. 50, No. 3, April, 2002.