

Measurement of Transient Current by using the Rogowski Coil

李 福 熙*·吉 暲 碩**·鄭 丞 洙***·丁 尙 鎮
 (Bok-Hee Lee·Gyung-Suk Kil·Seung-Soo Chung·Sang-Jin Chung)

Abstract—This paper presents the operation principle and design rule of the Rogowski coil which can measure the transient current and describes the calibration and application experimental results for performance evaluation. It is obtained that the response curves of the Rogowski coil with the turns of 300 and the passive integrator to sinusoidal input give a good linearity up to the frequency of 500 [kHz] and the current measurement system having the Rogowski coil is the frequency bandwidth of 40 [Hz] ~ 700 [kHz]. As an application experiment for the fabricated modeling power transmission line, the impulse current, which imitates the direct lightning return stroke to overhead ground wire, is measured by the Rogowski coil and its fast Fourier transformation is carried out. The equivalent circuit of the Rogowski coil considering the stray capacitances is proposed, and the theoretical analysis is in good agreement with the measurement results. Also, it is found that for high frequency domain the stray capacitance such as a distributed capacitance to the shield and the capacitance between windings of coil should be considered in designing the Rogowski coils since the resonance originates from the stray capacitance and the self-inductance of the Rogowski coil.

Key Words : Rogowski coil(로그우스키코일), Transient current(과도전류),
 Sensor(센서), Resonance(공진), Calibration(교정)

1. 서 론

송전선은 가혹한 자연환경속에 노출되어 있어 자연조건 (낙뢰, 바람, 비, 눈) 등이 주요 사고원인이 되고 있으며, 그 중에서도 낙뢰에 의한 사고가 가장 많이 발생하고 있다. 가공송전선의 낙뢰에 의한 사고율은 송전전압의 격상과 더불어 절연내력이 높아지기 때문에 감소 추세에 있지만, 자연뢰에 의한 사고대책은 아직도 많은 연구를 필요로 하고 있다. 우리나라에서 차기송전전

압으로 선정된 765 [kV]의 송전이 시험운전중에 있으며, 이와 같은 기간송전선의 사고는 고장의 범위가 대단히 넓으므로 무정전공급을 실현하기 위하여는 자연뢰에 의한 사고방지가 매우 중요하다. 특히, 가공송전선이 직격뢰로 인하여 사고에 이르는 메카니즘으로는 뇌차폐의 실패와 역섬락에 의한 것으로 분류되는 데, 다상사고나 변전소에 침입하는 뇌써-지의 요인으로서 역섬락이 더욱 문제시 되고 있다. 이것은 접지된 절탐이나 가공지선에 낙뢰가 들어왔을 때 접지축의 전위가 절탐과 도체사이의 절연내력을 초과하여 상승됨에 따라 사고가 유발되는 것으로, 뇌격전류의 피크치보다는 전류의 변화율 즉, 뇌격전류의 파형과 직접적인 상관관계를 갖게 된다.[1],[2]

뇌격전류의 변화율은 절탐전위 상승파형에 크

*正 會 員 : 仁荷大 工大 電氣工學科 副教授·工博

**正 會 員 : 仁荷大 大學院 電氣工學科 博士課程

***正 會 員 : 斗山機械(株) 研究所 研究員

正 會 員 : 韓電技術研究院 責任研究員·工博

接受日字 : 1994年 2月 26日

1 次修正 : 1994年 5月 9日

계 영향을 미치지 않기 때문에 가공송전선에 직격되
 가 습되하였을 때 사고를 유발시키게 될 가능성
 의 여부판정은 뇌격전류 파형의 분석이 반드
 시 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 주로 고속
 펄스의 측정에 이용되고 있는 로고우스키코일을
 이용한 과도전류측정계의 구성에 대한 실험을
 수행하였다. 로고우스키코일을 이용한 전류측정
 계의 장점을 요약해 보면 다음과 같다.[3],[4]

- 1) 비접촉측정이 가능하므로 측정회로에 의하여
 피측정회로의 특성에 영향을 주지 않는다.
- 2) 공심형으로 제작하면 자기포화현상이 없고
 설계조건에 따라 주파수대역의 조정이 간편하다.
- 3) 측정회로구성이 곤란한 프라즈마전류와 같은
 공간전류의 측정이 가능하다.
- 4) 오랜 기간의 안정성을 유지할 수 있으며, 제
 작이 용이하다.

본 연구에서는 뇌격전류와 같은 단펄스성 과
 도전류를 정확하게 측정할 수 있는 계측시스템
 을 구성하기 위한 목적으로 감지용센서와 교정
 기법에 대한 기초적 연구를 수행하였다. 과도전
 류의 감지용센서로 사용되는 로고우스키코일은
 미지의 신호를 미분신호로 감지하므로 실제 입
 력신호로 변환시키기 위한 적분기를 구성하여,
 이에 대한 응답특성을 조사하였다. 또한, 시제작
 한 전류측정계에 대한 교정실험을 통해 주파수
 응답특성을 파악하였으며, 적용실험으로서 모의전
 송선로에 표준뇌격전류파형의 과도전류를 흐르
 게 함으로써 가공지선에 뇌격이 습되한 것을 모
 의하여 시제작된 로고우스키코일로 측정하고, 과
 도전류측정계의 응용성과 성능에 대하여 고찰하
 였다.

2. 이 론

로고우스키코일은 전자유도작용을 이용하여
 시변전류를 감지하는 센서로서 로고우스키코일
 의 자체인덕턴스 L 과 출력임피던스 Z 및 피측
 정전류의 주파수에 따라 다른 형태의 출력값을
 갖는다. 로고우스키코일에 유기되는 전압은 코
 일단면을 통과하는 자속의 시간변화율에 비해
 하므로 유기전압을 적분하여 자속 혹은 전류를
 측정하게 된다.[5]~[7]

그림 1에서 중심도체와 로고우스키코일사이
 의 상호인덕턴스 M 은 다음의 식으로 표현된
 다.

$$M = \frac{4nA}{D} \times 10^{-7} [H] \quad (1)$$

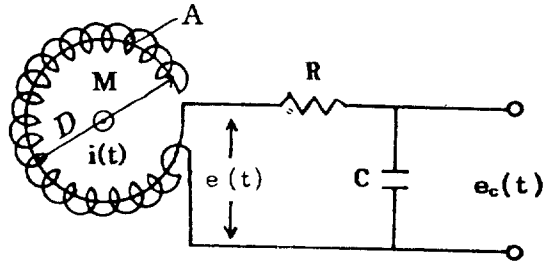


그림 1 로고우스키코일의 원리도

Fig. 1 Principle diagram of the Rogowski coil

여기서 D 는 로고우스키코일의 직경, n 은 감
 진수이다. 로고우스키코일에 유도되는 기전력
 $e(t)$ 는 다음과 같다.

$$e(t) = nA \frac{\partial B}{\partial t} [V] \quad (2)$$

만일 R 과 C 가 대단히 큰 경우 즉, $sL+1/sC$
 $\ll R$ 이면 출력전압의 순시값 $e_c(t)$ 는

$$e_c(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t e(\tau) d\tau = -\frac{nAB}{RC} [V] \quad (3)$$

이 되며, 자속밀도 $B = \frac{4 \times 10^{-7}}{D} i(t)$ 이므로

$$e_c(t) = -\frac{nA}{RC} \cdot \frac{4 \times 10^{-7}}{D} i(t) [V] \quad (4)$$

$$i(t) = -\frac{RC}{M} e_c(t) [A] \quad (5)$$

가 된다. 식 (5)로부터 피측정전류 $i(t)$ 가 적
 분기의 출력전압에 비례하므로 $e_c(t)$ 를 측정함
 으로써 미지전류 $i(t)$ 의 산출이 가능하다. 이
 때 로고우스키코일의 자체인덕턴스 L 이 저항
 R 에 비하여 대단히 작고 시정수 RC 가 충분히
 커야만 주파수대역이 낮아지며 정확도가 개선
 된다.[8]

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서 구성한 전류측정계는 그림 2와
 같이 로고우스키코일, 증폭기 및 적분기로 구

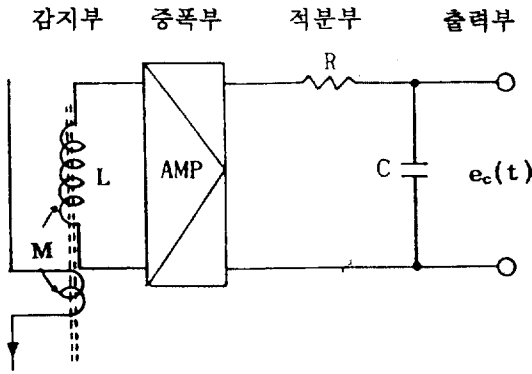


그림 2 전류측정계의 개략도
Fig. 2 Schematic diagram of the current measurement system

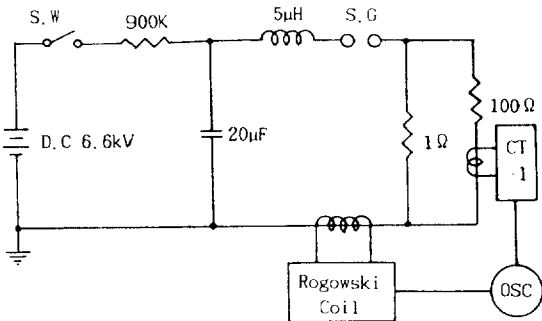
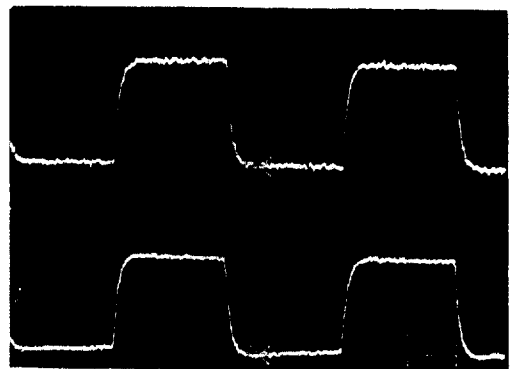


그림 3 임펄스대전류발생장치의 등가회로와 전류측정계
Fig. 3 Equivalent circuit for the impulse high current generator and current measurement system

성되어 있다. 로고우스키코일은 중심도체와 코일의 상호인덕턴스, 코일의 선간정전용량, 응답도 등을 고려하여 뇌격전류와 레이저전원전류와 같은 $\mu\text{s} \sim \text{ms}$ 정도 시간영역의 전류측정이 가능하도록 제작하였으며, 본 연구에서 구성한 전류측정계의 제원은 다음과 같다.

- 감긴수 (n) : 300 [회]
- 로고우스키코일의 직경 (D) : 30 [cm]
- 감지면적 (A) : 7.07 [cm^2]
- 적분기 : Polypropylene Capacitor와 금속피막 저항 사용 (감쇠시정수 $\tau = 15 \text{ ms}$)
- 증폭회로 : LH0032 OP-AMP (Bandwidth : 70 [MHz], $R_{in} : 10^{12}$)

뇌격전류의 파형은 뇌방전특성의 요인에 의하여 변화하며, 주파수 성분은 대체로 수백 Hz ~ 수백 kHz 정도이다. 로고우스키코일의 설계시 직경은 주로 피측정도체에 입사되는 뇌격전압에 대한 절연내력에 의하여 제한되고, 감긴수는 응답감도와 응답의 상승시간에 의하여 정해지게 된다. 따라서 이들의 상관관계를 고려하여 본 연구에서는 권수 300회, 직경 30 [cm]의 로고우스키코일로 결정하였으며, 권수와 직경의 영향을 알아보기 위하여 권수 500회, 직경 25[cm]의 로고우스키코일에 대하여도 조사하였다. 측정계의 계단응답과 주파수대역 등 기본성능을 파악하기 위한 교정실험은 로고우스키코일의 중심에 위치한 도체에 직각파와 정현파전류를 인가하여 자계를 발생시켜 로고우스키코일에 감지된 전압을 측정하였다. 또한 전류프로브(Tek. A6302) 로 입력전류를 측정하여 로고우스키코일의 출력과 비교함으로써 교정실험을 수행하였다. 그리고 로고우스키코일은 입사된 자계의 미분량으로 검출하므로 원래의 신호로 복원시키기 위해서 적분기를 사용하였다. 그러나 로고우스키코일에 의하여 감지된 미분신호를 RC적분기를 통하여 적분시키면 대단히 미약한 신호로 되기 때문에 오실로스코프로 출력시키는 것이 불가능하여 광대역의 연산증폭기 LH0032를 이용하여 로고우스키코일의



위 : 입력전류 [2 A/div, 5 $\mu\text{s}/\text{div}$]
 아래 : 출력파형 [2 A/div, 5 $\mu\text{s}/\text{div}$]

그림 4 입력전류파형과 측정계의 출력파형
Fig. 4 Input current waveform and output waveform of the measurement system

감지전압을 증폭시킨 후 적분기를 통해 오실로스코프로 관측되는 측정계를 구성하였다.

적용실험으로는 축소형 모델송전철탐을 제작하여 가공지선에 직격뢰가 습뢰하였을 때 흐르게 되는 뇌격전류를 측정하는 모의실험을 수행하였다. 이 때 뇌격전류발생장치로는 수 kA 정도의 대전류를 발생시킬 수 있는 회로를 구성하고 전송선로에 임펄스대전류가 흐르도록 하여 분류기와의 조합에 의한 전류프로브(Tek. A6302)와 로고우스키코일형 전류측정계로 파형을 측정하고, 이들 출력파형에 대하여 비교, 검토하였다. 임펄스대전류발생을 위한 고전압 발생장치는 D.C. 6.6 [kV]까지 발생시킬 수 있으며, 그림 3에 모의전송선로와 임펄스전류발생장치를 포함한 등가회로를 나타내었다.

또한 전류측정시 노이즈의 침입을 방지하기 위해 모든 측정장비를 차폐함에 내장하였으며, 전원으로부터 침입하는 잡음은 절연변압기와 노이즈필터를 이용하여 제거하였다. 이 때 모든 신호는 오실로스코우프(Tek. 2440)로 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 측정계의 특성

로고우스키코일의 감지전압은 미지자계의 시

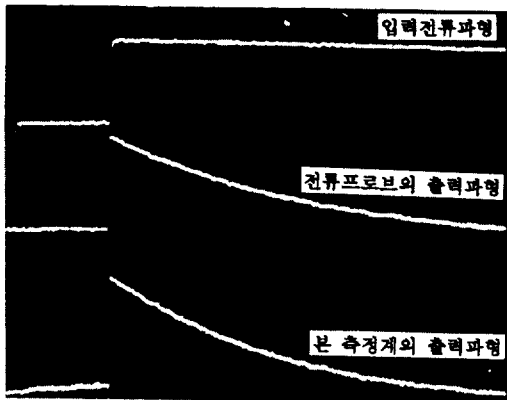


그림 5 계단입력전류에 대한 본 측정계와 전류 프로브의 출력파형의 비교

Fig. 5 Comparison between output waveforms of the current measurement system and the current probe(Tek. A6302) to a step current input

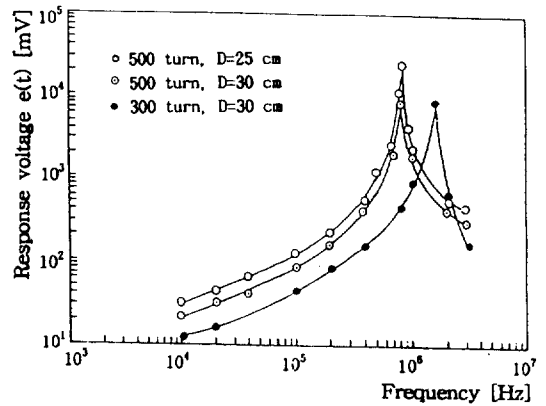


그림 6 로고우스키코일의 직경과 권수에 대한 주파수응답특성

Fig. 6 Frequency response characteristics according to diameter and turns of the Rogowski coil

도함수에 의하여 나타나므로 주파수의 변화에 따라 출력전압이 달라진다. 따라서 측정하고자 하는 미지전류의 주파수에 따라 측정계의 시정수를 선정해야 한다. 오실로스코우프의 입력결합을 AC로 하는 경우 저역측차단주파수는 결합정전용량(C)과 입력저항(R)의 시정수에 의해 식 (6)과 같이 정해진다.[9]

$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} \quad (6)$$

중심도체에 직각과 입력전류에 대한 로고우스키코일의 응답특성을 측정하는 교정실험을 수행한 결과 전류측정계의 감쇠시정수가 14 [ms]로 나타났다. 따라서 저역측차단주파수는 약 10 [Hz]이므로 상용주파전류와 같이 완만하게 변화하는 준정상자계를 유발시키는 저주파전류의 측정도 가능함을 알 수 있다. 또한, 측정계의 주파수대역 범위의 구형과전류에 대한 감응도를 측정된 결과를 그림 4에 나타내었는데, 입력전류파형과 로고우스키코일형 전류측정계의 출력파형이 잘 일치함을 보여주고 있다. 본 전류측정시스템의 전류감도는 증폭기의 배율이 135일 때 약 0.392[A/mV]이다. 더불어 최대 측정범위는 공심이므로 자기포화를 일으키지 않고, 증폭기의 배율조정과 오실로스코프의 입력단에 감쇠기를 적용하게 되면 수 MA 이상의 전류측정도 가능하며, 이 때 전류측정계의 배율조정도 간편하게

이루어질 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 5에는 전류측정계의 성능을 기존의 전류 측정기와 비교하기 위하여 동일한 직각과 입력 전류에 대해 상용의 전류프로브(Tek. A6302) 및 로고우스키코일을 이용하여 측정한 각각의 출력파형을 나타내었다. 전류프로브와 로고우스키코일을 이용한 전류측정계의 출력의 감쇠시정수가 거의 일치함을 보여주고 있다. 한편, 전압 또는 전류와 같은 전기적 신호측정계의 주파수대역의 상한 즉, 고역차단주파수는 단위계단 입력에 대한 응답파형의 상승시간에 의하여 결정된다. 또한, 오실로스코프용 증폭기의 응답특성이 가우시안분포를 가지는 경우 대역폭 $B\omega$ [MHz]와 측정계의 응답파형의 상승시간 t_r [ns]사이에는 식 (7)의 관계가 성립된다.[9], [10]

$$B\omega \times t_r = 350 \quad (7)$$

직각과전류입력에 대한 본 전류측정시스템의 응답파형의 상승시간은 약 7[ns]이었으며, 주파수대역의 상한인 고역차단주파수는 약 50 [MHz]임을 알 수 있었다.

식 (7)을 적용하여 주파수대역을 결정하는 것은 그 주파수대역내에서 비선형적인 요소 또는 이상현상이 나타나지 않는 경우에 한하여 적용된다. 그러나 주파수대역내에서 센서 또는 적분기, 증폭기 등이 선형적으로 작용하지 않거나 공진 현상이 일어나게 되면 이는 믿을 수 없는 결과로 된다. 따라서 본 연구에서는 고역차단주파수의 정확성 여부를 확인하기 위하여 정현파 입력에 대하여 로고우스키코일과 적분기의 응답특성 및 전류측정시스템의 응답특성을 조사하였다.

그림 1에 나타낸 회로의 중심도체에 입력된 정현파의 전류값을 일정하게 하고 주파수를 변화시켰을 때 로고우스키코일과 적분기 그리고 전류측정계의 각각의 주파수응답특성을 측정한 결과를 그림 6과 그림 7에 각각 나타내었다. 로고우스키코일의 감지전압은 입력전류의 시도함수에 비례하므로 주파수의 증가와 더불어 상승하고 있다. 300회의 권수를 가지는 로고우스키코일의 응답특성은 약 1.85 [MHz] 부근에서 피크 크치를 나타내었으며, 이것은 로고우스키코일의 자체인덕턴스와 코일과 시일드 사이의 정전용량 및 코일사이의 정전용량(약 80 pF) 등에 의한 공진현상에 기인된 것으로 생각된다. 그리고 로

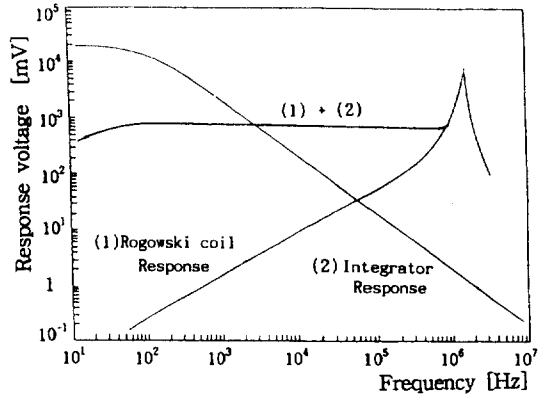


그림 7 전류측정계의 주파수응답특성
Fig. 7 Frequency response characteristics of the current measurement system

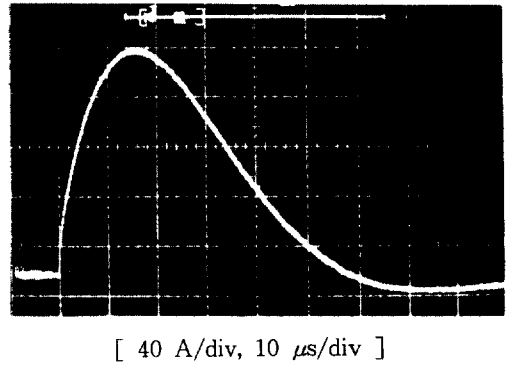


그림 8 전류프로브의 출력파형
Fig. 8 Output waveform of the current probe (Tek. A6302)

고우스키코일의 공진주파수는 그림 6에서와 같이 로고우스키코일의 직경에는 거의 무관하지만 권수에 따라 크게 변화함을 알 수 있었다. 공진주파수는 로고우스키코일의 권수가 증가할수록 자기인덕턴스와 표류정전용량의 증가로 인하여 낮아지고 있다. 로고우스키코일 자체의 회로정수 (R_s, L, C)에 의한 공진주파수는 전류측정계의 고역차단주파수를 제한하기 때문에 로고우스키코일의 설계시 표류정전용량은 반드시 고려해야 할 요소임이 밝혀졌다.

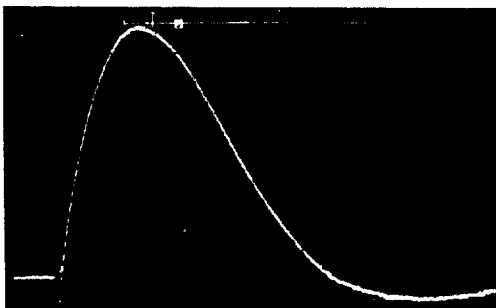
전류측정시스템의 응답특성은 적분기와 로고우스키코일 응답특성의 합성으로 나타나게 되므로 주파수의 변화에 대하여 거의 일정한 응답전

압을 나타내는 범위가 주파수대역이다. 정현파전류를 입력시켜 측정한 전류측정계의 주파수대역은 약 40 [Hz]에서 700 [kHz]임을 알 수 있다. 이론치와는 약간의 차이가 있으나 이것은 측정회로의 분포정전용량과 인덕턴스의 영향 때문인 것으로 생각된다.

4.2 적용실험결과

모의송전선에 임펄스대전류를 인가시켜 로고우스키코일을 이용하여 구성된 전류측정계로 측정한 결과 및 분류기와 전류프로브(Tek. A6302)의 조합에 의한 측정결과에 대하여 기술한다. 전류측정에 사용된 101 : 1 분류기와 조합된 전류프로브는 펄스의 피크 측정값 4 [kA], 상승시간 7 [ns]로 본 실험에 적용하는 전류의 측정에는 충분한 정확도와 응답특성을 가지고 있다. D.C 0~6.6[kV]의 직류충전용 전원을 이용한 임펄스전류발생장치를 구성하여 모의송전선에 인가시켜 분류기를 병용한 전류프로브와 로고우스키코일형 전류측정계로 측정한 결과를 그림 8 과 그림 9에 각각 나타내었으며, 거의 일치함을 알 수 있다.

그림 10에는 임펄스발생장치에 의해 모의송전선로에 인가된 뇌격전류파형을 고속프리에 변환(fast Fourier transformation) 방법으로 분석한 주파수스펙트럼을 나타내었다. 수 kHz 상분의 주파수이외의 고주파성분은 대단히 미약하므로 전류파형측정의 정확도가 우수하였음을 알 수 있다. 따라서 약 40 [Hz]에서 700 [kHz] 까지



[40 A/div, 10 μs/div]

그림 9 로고우스키코일을 이용한 전류측정계의 출력파형

Fig. 9 Output waveform of the current measurement system with the Rogowski coil

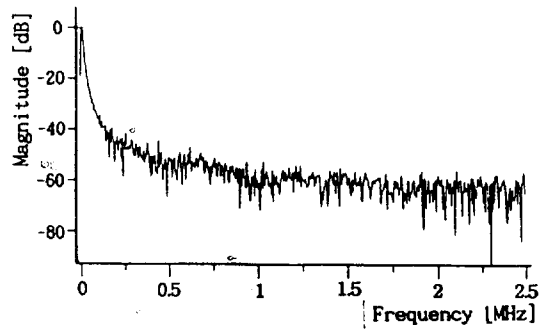
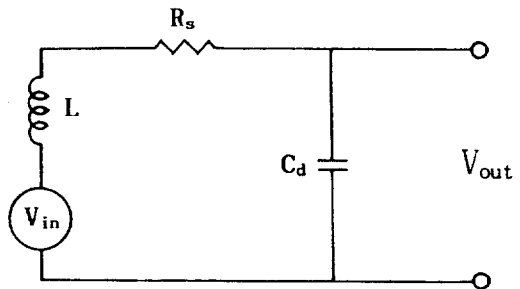


그림 10 임펄스전류발생장치에서 발생된 펄스성 전류파형의 FFT 결과

Fig. 10 FFT result of pulsed current waveform generated by the impulse current generator



- R_s : 로고우스키코일의 저항
- L : 자체인덕턴스
- C_a : 표류정전용량
- V_{in} : 감지전압, V_{out} : 출력전압

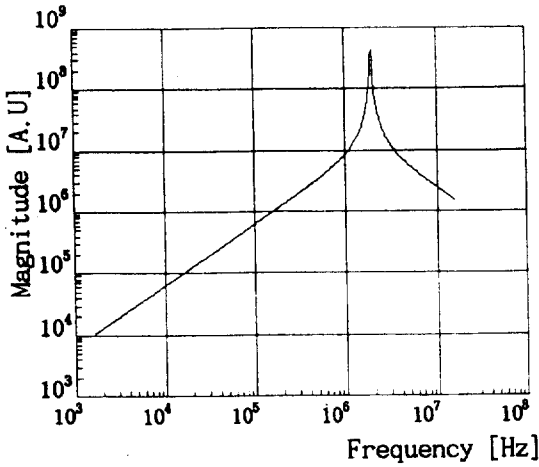
그림 11 표류정전용량을 고려한 로고우스키코일의 등가회로

Fig. 11 Equivalent circuit of the Rogowski coil in consideration of the stray capacitance

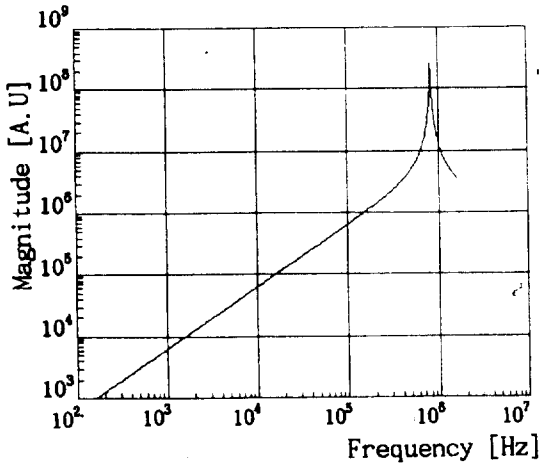
의 주파수대역을 가지는 본 측정기로 모의실험에 사용된 뇌격전류파형의 모든 주파수성분을 거의 왜곡없이 측정할 수 있음이 확인되었다. 지금까지 로고우스키코일은 소형으로 수 MHz 이상의 고주파전류의 측정에 이용되어 왔지만, 측정대상 전류의 크기와 주파수에 따라 이의 설계조건이 바뀌게 되며, 응답특성의 파악에 특히 주의하여야 됨이 확인되었다.

4.3 이론적 고찰

로고우스키코일을 이용한 전류측정계는 전자



(a) 권수 300회, 직경 30 [cm]



(b) 권수 500회, 직경 30 [cm]

그림 12 로고우스키코일의 주파수응답의 이론적 계산

Fig. 12 Theoretical results for the frequency response of the Rogowski coil

유도작용에 의한 시변전류를 감지하는 방법으로 측정회로는 피측정회로에 어떠한 영향도 주지 않으며 비접촉방식이므로 절연이 용이하고, 수 ~ 수백 kA의 대전류를 감쇠없이 측정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 측정계자체의 특성에 의하여 주파수대역이 제한되는 경우가 있다.

주파수대역은 로고우스키코일의 자체인덕턴스, 적분기의 저항 및 캐패시턴스에 의하여 조절이 가능하나, 공진주파수가 전류측정계의 고역측차단주파수를 제한하므로 고주파영역의 과도전류

측정을 대상으로 하는 로고우스키코일 설계시는 코일의 분포정전용량과 선간정전용량이 반드시 고려되어야 함이 밝혀졌다. 따라서 본 연구에서는 이러한 현상의 검토를 위하여 로고우스키코일의 분포정전용량 및 선간정전용량 등 표류정전용량을 고려한 로고우스키코일의 등가회로를 그림 11에 나타내었다. 로고우스키코일의 저항과 자체인덕턴스는 이론적 산출 또는 실측이 가능하며, 이들의 값은 각각 $R_s = 0.82 [\Omega]$, $L = 84.8 [\mu H]$ 이다. 그림 6의 주파수응답특성으로부터 공진주파수는 약 1.85 [MHz]이므로 직렬공진조건으로부터 산출된 표류정전용량은 약 80 [pF]이다. 그림 11의 등가회로에 이들 회로정수를 적용하여 계산한 이론적인 주파수응답특성을 그림 12에 나타내었는데, 그림 6의 실험결과와 잘 일치하고 있으며, 마찬가지로 로고우스키코일의 주파수응답의 피크치는 권수에 따른 자기인덕턴스와 표류정전용량에 의하여 변화되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 뇌방전시 또는 전기시설물에서의 뇌격시, 전력계통의 운전조작 및 고장시에 흐르게 되는 과도전류와 단시간의 고속펄스성 전류의 측정을 위한 로고우스키코일형 전류센서의 동작원리를 이론적으로 해석하고, 제작한 후 교정실험과 뇌격전류의 측정에 상응하는 모의실험을 수행한 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 권수 300회, 직경 30[cm]인 로고우스키코일을 사용한 전류측정계의 주파수대역은 약 40 [Hz] ~ 700 [kHz]이었다. 따라서 상용주파전류, 펄스성 뇌격전류 등의 측정도 가능함을 알 수 있다.
- (2) 주파수 변화에 따른 로고우스키코일의 감지전압은 코일의 권수가 300회인 경우 약 1.85 [MHz]에서 피크치가 나타났다. 이러한 현상은 로고우스키코일의 자체인덕턴스와 표류정전용량에 의한 공진현상에 기인된 것이며, 로고우스키코일 설계시는 센서자체의 표류정전용량을 고려하여야 함을 알 수 있다.
- (3) 로고우스키코일의 자체인덕턴스와 표류정전용량에 의한 공진주파수는 코일의 직경에는 거의 의존하지 않지만 권수의 증가와 더불어 감소하는 결과가 얻어졌다.
- (4) 펄스성 뇌격전류의 측정에 상응하는 적용

실험에서 분류기와 상용전류프로브(Tek. A6302)의 조합으로 측정된 전류파형과 로고우 스키코일을 이용한 전류측정계의 출력파형은 거의 일치하였으며, 시제작된 전류측정계의 응답특성이 우수함을 알 수 있었다.

“본 연구는 1992년도 한국전력공사 연구비 지원으로 수행되었음”

참 고 문 헌

[1] Y. Goto, et al; "Current Waveform Measurement of Winter Lightning Stroke an Isolated Tower", 20th ICLP, Paper No.1. 9p, 1990.

[2] K. Nakahori, T. Egawa and H. Motani; "Charateristics of winter lightning currents in Hokuriku District", IEEE Trans., Vol. PAS-101, pp. 4407-4412, 1982.

[3] 日本電氣學會; "大電流工學バンドブック", コロナ社, 1992, pp. 264~275.

[4] Donald G. Pellinen, et al; "Rogowski coil measuring fast, high-level pulsed currents ", Rev. Sci. Instrum. 51(11), 1980.

[5] V. Nassisi and A. Luches; "Rogowski coils : theory and experimental results", Rev. Sci. Instrum. 50(7), 1979.

[6] 竹内利雄; "雷放電現像", 名古屋大學出版會, 1987, pp. 43~65.

[7] 李福熙; "高電壓大電流工學", 淸文閣, 1993, pp. 150~186.

[8] M. Arakane and Y. Katuraki; "Development of Lightning Wave Memory and its Application on Lightning Observation on Transmission Tower and Ground Wires", T. IEEJ, Vol.111~B, No.1, 1992.

[9] 백용현, 안창환, 이복희; "전계측정용 센서의 개발", 대한전기학회 논문지, Vol.40, No.6, pp. 630-637, 1991.

[10] J. Lalot : "Generation and Measurement of Fast Transient Overvoltages with Special Reference to Disconnecter Operation in GIS", CIGRE, No. 33 ~ 86, 1986.

저 자 소 개

이복희(李福熙)

전기학회 논문지 제43권 6호 참조



정승수(鄭丞洙)

1969년 2월 1일생. 1987년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 두산기계(주) 연구소 연구원.

길경석(吉暻碩)

전기학회 논문지 제43권 6호 참조



정상진(丁尙鎭)

1949년 11월 8일생. 1972년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 영국 맨체스터대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력공사 기술연구원 책임연구원.