

Voting 기법을 이용한 디지털 정전용량 계측 시스템에서의 성능 개선

이원경\*, 신두진, 허욱열  
인하대학교 전기공학과

Performance Improvement of Digital Capacitance Measurement System using Voting Method.

Won-Kyung Lee\*, Doo-Jin Shin, Uk-Youl Huh  
Department of Electrical Engineering, Inha University

**Abstract** - In this paper, we propose a voting method for capacitance measurement. Nowadays the measurement system is changing from analog system to digital system. However, capacitance measurement system has a data error because of the noise. The data of general digital measurement system include an internal and external measurement noises that highly affect to the results. Therefore, this paper proposes data compensation method using voting method. Finally, simulation results are used to demonstrate the efficiency of the proposed method.

1. 서 론

현재 계측 시스템은 신호 처리의 대용량 및 고속화로 되어감에 따라 사용자의 편의나 필요에 따라 아날로그 방식에서 점차 디지털 방식으로 개발되는 추세에 있다. 아날로그 방식의 정전용량 계측기는 수동으로 하기 때문에 느리고, 오차가 심하지만 데이터의 손실이 없다. 그리고, 디지털 계측기는 마이크로 프로세서로 제어되고, 측정된 결과는 똑같은 측정 절차를 거쳐 단시간 내에 얻어지므로 많은 시스템 오차가 제거된다. 마이크로 프로세서는 직렬이나 병렬 형태로 미지 부품의 크기와 위상을 계산하는 데 사용되고 실제값과 양호도를 계산하여 보여주며 조작이 용이하다.

본 논문에서는 계측기 시스템에 있어서 정확한 값을 획득하기 위해서 디지털 계측기의 내부 오차를 검출하여 측정된 계측 값에 오차 검출 및 수정 알고리즘을 사용하여 정확한 값을 계측하는데 Voting 방법을 이용하였고, 잡음이 있는 경우와 Voting 방법을 사용한 경우를 모의 실험을 통하여 결과를 보인다.

2. 정전용량의 계측

2.1 정전용량의 측정

2.1.1 처한법

그림 1과 같이 결합 코일을 통하여 발전기를 포함한 회로를 구성하였다. 먼저 스위치 S를 콘덴서 C<sub>x</sub>측에 접속하고 발전 주파수를 가감하여 LC<sub>x</sub>회로가 공진 되도록 한다. 공진이 되면 전류계 A의 지시가 최대로 된다. 다음에 스위치 S를 용량 C<sub>S</sub>측으로 바꾸고, 주파수를 전파 변함없이 그대로 고정해 두고 가변용량 C<sub>S</sub>를 조정하여 다시 공진 되도록 한다. 이때 가변용량 C<sub>S</sub>의 용량 값이 피 측정용량 C<sub>x</sub>의 용량 값과 같게 되므로 측정하고자 하는 C<sub>x</sub> 용량 값을 알 수 있다.

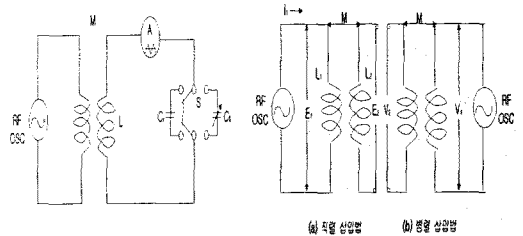


그림 1. 용량 측정 방법

2.1.2 삽입법

삽입 방법에는 직렬 삽입법과 병렬 삽입법이 있다. 전자는 피측정 용량 C<sub>x</sub>가 표준 가변용량 C<sub>S</sub>의 최대값 보다 큰 경우에 사용되고 후자는 적은 경우에 해당된다. 그림 1(a)에서 스위치 S를 닫고 가변용량 C<sub>S</sub>를 조정하여 C<sub>S</sub>값이 적은 쪽에서 발전주파수에 공진을 시키고, 이때의 C<sub>S</sub>값을 C<sub>1</sub>이라 하자. 다음에 스위치 S를 열고 C<sub>x</sub>와 직렬로 연결한 다음 C<sub>S</sub>를 조정하여 같은 주파수를 공진시켰을 때의 C<sub>S</sub>값을 C<sub>2</sub>라 하면 L은 공통이므로 C<sub>1</sub>은 식(1)로부터 구해진다.

$$C_x = \frac{C_1 C_2}{C_2 - C_1} [F] \quad (1)$$

또한 그림 1(b)에서는 스위치 S를 열고 가변용량 C<sub>S</sub>를 조정하여 C<sub>S</sub>의 값이 큰 쪽에서 발전 주파수에 공진을 시키고, 이 때의 C<sub>S</sub>값을 C<sub>1</sub>이라 하자. 다음에 S를 닫고 같은 주파수에서 다시 C<sub>S</sub>를 조정하여 공진되었을 때 식(2)로부터 C<sub>x</sub>를 구할 수 있다.

$$C_x = C_1 - C_2 [F] \quad (2)$$

식(2)로부터 피측정용량 C<sub>x</sub>의 값을 구할 수 있다. [1].

2.2 역률과 손실각

콘덴서 C는 그 전극을 지지하는 용기(Holder)의 절연이 불량하든가 전극간에 유전체 손실이 있으면 이상적인 콘덴서 C에 대하여 직렬 일 경우 병렬로 저항 R을 접속한 것과 같다. 이것을 그림으로 나타내면 그림 2,3과 같다.

그림 2는 직렬회로에 관한 것으로서 그림 2(a)에서 a-b사이에 전압 E를 가하고, 전류 I가 흐르면 저항 및 콘덴서의 단자전압 E<sub>R</sub> 및 E<sub>C</sub>는 그림 2(b)와 같은 벡터 관계를 가진다.

그림에서는 δ를 비교적 크게 그렸지만 일반적으로 δ << ψ이다. 그림에서 역률은 cos ψ이므로 역률 = cos ψ = sin δ ≈ tan δ로 되어 콘덴서의 역률은 tan δ로 표

시하고  $\delta$  를 손실각 이라고 한다.

$$\tan \delta = \left| \frac{E_R}{E_C} \right| = \frac{IR}{\frac{I}{\omega C}} = \omega CR \quad (3)$$

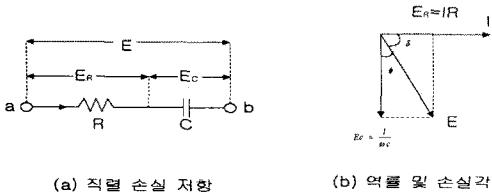


그림 2. 콘덴서의 손실 및 역률

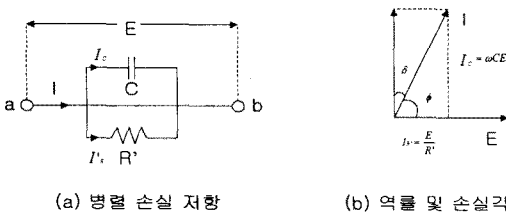


그림 3. 콘덴서의 손실 저항과 손실각

그림3은 병렬회로의 경우에서와 같이 a-b사이에 전압 E를 가하고, C에 흐르는 전류를  $I_C$ , R'를 흐르는 전류를  $I_{R'}$ 라 하면 다음과 같은 벡터 관계를 얻는다. 이 때 역률은 전과 마찬가지로  $\tan \delta$  로 표시되므로 다음과 같다.

$$\tan \delta = \left| \frac{I_{R'}}{I_C} \right| = \frac{E}{\omega CE} = \frac{1}{\omega CR'} \quad (4)$$

위에서 직렬회로와 병렬회로의 두 가지로 설명하였으나 일반적으로 직렬접속 등가회로의 경우를 많이 사용한다. 한편 직렬의 경우  $Q=1/\omega CR$ 이고, 병렬의 경우  $Q=\omega CR'$ 이므로 식(5)와 같다. [1].

$$Q = \frac{1}{\tan \delta} \quad (5)$$

### 3. 디지털 정전 용량 계측기

수동적으로 평형이 이루어진 브리지는 너무 느려서 생산 환경에서는 사용될 수 없고, 현재 사용되는 대부분의 브리지는 자동이며 마이크로 프로세서로 제어된다. 측정된 결과는 똑같은 측정 절차를 거쳐 단시간 내에 얻어지므로 많은 시스템 오차가 제거된다. 마이크로 프로세서는 직렬이나 병렬 형태로 미지 부품의 크기와 위상을 계산하는데 사용되고 실제 값과 판별하여 표시해 준다.

디지털 계측기는 120Hz~1KHz의 주파수범위 내에서 0.1%의 정확도로 정전용량의 실제 값과 양호도를 측정할 수 있다. 그림4에서 보면 수정 발진된 주파수 발생기는 정확하게 조정된 주파수의 정현파를 콘덴서에 인가한다. 게다가 위상 검출기에는 90°의 위상차가 있는 두 신호가 인가된다. 이 신호들은 위상 검출기의 기준 주파수로 동작되고, 콘덴서에 전압과 전류를 제공하여 동상, 직교위상 위상벡터로서 측정하게 된다. 이렇게 측정된 신호는 적분기를 통해서 아날로그/디지털 변환기를 경유하여 마이크로프로세서에 전달된다. 여기에서 콘덴서의 값이 계산되고 그 결과가 화면에 디스플레이 된다.

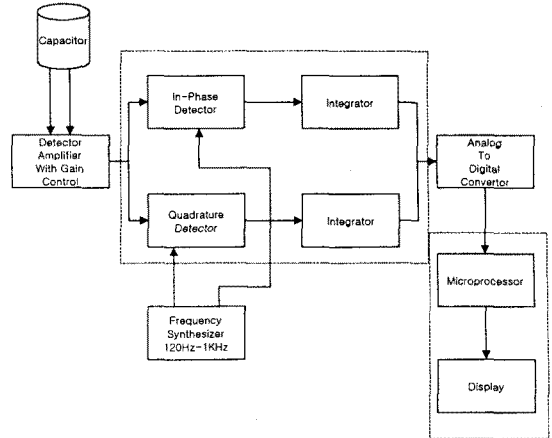


그림 4. 디지털 정전용량 계측기의 구조

## 4. Voting Methode

Voting 방법은 측정 데이터가 다중 채널일 때를 기반으로 하여 디지털화 된 측정치의 신뢰도를 높이기 위한 구현방법이다. 이 방법은 하드웨어적인 방법이나 소프트웨어적인 방법 등 다양한 측정 데이터를 처리하는데 있어서 유용하게 사용된다. 이 방법은 여러 개의 입력 채널로 측정 데이터가 들어오면 각각의 측정 데이터를 조합 연산하여 검출 및 수정을 한다. Voting 방법에는 Bit-Voting방법과 이 방법의 확장 적인 방법인 Word-Voting 방법이 있다.

### 4.1 Bit-Voting

Bit-Voting방법은 n개의 측정 데이터를 입력받아 AND 게이트와 OR 게이트를 거쳐서 출력이 되는 구조를 가지고 있다. 이 구조에서 오류 수정을 하기 위한 조건은 n개의 입력 중에서 최소한 m개 이상의 비트가 1이 되어야 하고 이 조건을 만족하는 입력 측정 데이터가 m개의 AND 게이트일 경우 만족하는 AND 게이트의 개수는 다음과 같은 식에서 결정된다.

$$nCm = \frac{n!}{n!(n-m)!} \quad (6)$$

그리고 출력을 결정하는 OR 게이트의 수는 1개로 구성한다.

### 4.2 Word-Voting

Word voting방법은 Bit Voting의 확장 적인 개념으로서 n개의 측정 데이터의 입력을 워드로 출력하는 방법인데, 이것은 한 개의 출력 워드는 m개 이상의 동일한 값이 입력될 때 나타낼 수 있다.

### 4.3 Voting Methode의 에러 검출 및 수정

일반적인 에러 검출 방법으로는 관측자나 필터를 이용하여 실제 값과 측정값과의 차이를 구하여 일정값 이상일 때 에러를 판단하여 수정하게 된다.

본 논문에서는 에러를 검출하고 수정하기 위하여 관측자나 필터를 사용하지 않고 Voting 방법을 이용하였다.

Voting 방법에서 측정 입력 비트에 중복된 n개의 입력이 있을 때 이 구간에서 에러를 판별하기 위해서 측정 입력 채널이 n개, OR입력이 m개인 Bit-voter를 구성하였다. 측정 입력 신호를 n×r 행렬이라 하고 이 행렬을 V라고 할때 Voting의 입력은 다음의 식에 의해서 결정된다.

$$X_k(i) = V_{ki} \quad (7)$$

$i=1,2,3,\dots,n$  : 입력 채널  
 $k=1,2,3,\dots,r$  :  $k$ 번째 벡터  
 $n=5, m=3$  일때의 출력은 다음과 같다.

$$Y_k = \sum_{d=1}^4 \sum_{q=2}^4 \sum_{r=3}^5 X_k(d)X_k(q)X_k(r) \quad (8)$$

$k=1,2,\dots,r$

식(11)에서 결정된 출력  $Y_1$ 부터  $Y_r$ 은 원래의  $r$ -bit로 구성된 데이터를 수정하게 된다.

### 5. 모의 실험 및 결과

본 논문에서의 모의 실험은 샘플링 데이터의 개수비에 대한 신호의 비율로 실행하였다. 이 입력은 임의적인 것이며 잡음은 난수적으로 발생시킨 것이다.

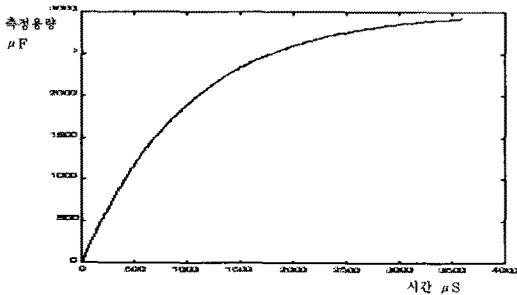


그림 5. 잡음이 섞이지 않은 일반적인 데이터

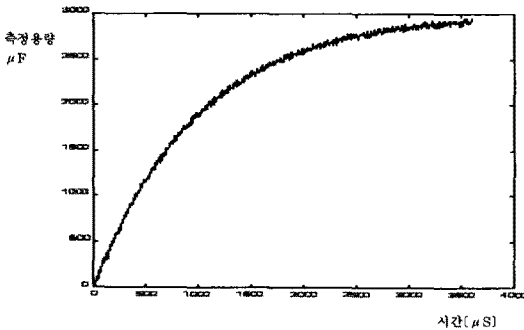


그림 6. 잡음 15%일 때의 데이터

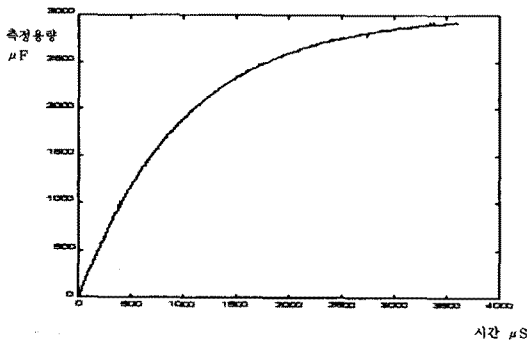


그림 7. Voting 방법을 적용한 데이터

여기서 잡음 15%라는 것은 하나의 시간에 샘플링된 값을 Voting 방법에서 잡음으로 인식할 가능성을 말한다. 정전용량 계측기에 Voting 방법을 적용시켜 모의 실험을 한 결과 잡음이 제거되어 원래의 데이터와 거의 비슷한 데이터를 얻을 수 있었다.

### 6. 결 론

본 논문에서는 디지털 정전 용량 계측기 내부의 잡음 즉, 디지털로 변환될 때 내부의 잡음이 포함된 측정 파형이 그대로 디지털 화 되어 출력 데이터에 영향을 미치므로 이 데이터의 오차를 Voting 방법을 적용하여 모의 실험을 통하여 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있었다. 앞으로 짧은 시간에 많은 데이터의 연산이 가능하도록 범용성을 추구한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] ROBERT D.CUTKOSKY, "An Automatic High-Precision Audiofrequency Capacitance Bridge", IEEE Transactions on instrumentation and measurement, Vol. IM-34, No.3, 383-389, September 1985.
- [2] Carl G. Andeen, Euclid: both of Olilo, "High Precision Capacitance Bridge", United States Patent, No. 4 772 844, Sep. 20, 1988.
- [3] Behrooz Parhami, "Voting Algorithms", IEEE Transactions on reliability, Vol. 43, No. 4, 617-629 December 1994.
- [4] 김경수, 박영진, "Disturbance Attenuation via Static Output Feedback for Uncertain System", Proceedings of the 13<sup>th</sup> KACC, 295-297 October 1998.
- [5] N. Kandil, V. K. Stood, K. Khorasani, and R. V. Patel, "Fault Identification in an AC-DC Transmision System using Neural Networks." vol. 7, no. 2, pp. 812-819, May, 1992.
- [6] J. R. Glover, "Adaptive noise canceling applied to sinusoidal interferences.", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-25, no. 6, Jr, 1977.
- [7] A. M. Thompson, "The precise measurement of small capacitances.", IRE Trans. Instrum., vol. I-7, pp.245-253, Dec. 1958.
- [8] R. D. Cutkosky and J. Q. Shields, "The precision measurement of transformer ratios", IRE Trans. Instrum., vol. I-9, pp. 243-250, Sept. 1960.
- [9] J. Q. Shields, "Measurement of four-pair admittances with two-pair bridges", Ieee trans. Instrum. Meas., vol. IM-23, pp. 345-352, Dec. 1974.