

간섭제거를 위한 대역확산 임피던스 측정

Spread Spectrum Impedance Measurements for Rejecting Interference

강현각*, 장용규**, 황인덕***

Hyun-Kag Kang, Yong-Gyu Jang, In-Duk Hwang

Abstract - When measuring impedance of electronic component and so on, even the small size can reject the interference to shielding object. But, the interference through human body is grown when measuring bioimpedance without establishing shield specially. Consequently, when measuring bioimpedance in this paper, it proposed impedance measurement method to take advantage of spread spectrum technology, so that can reject the interference without establishing shield specially. Spread spectrum impedance measurement method to propose in this paper can reject the interference signal that occurring from medical instruments in the human body, the interference signal that is flowed in from surrounding environment when measuring impedance. It improved *SJR*(signal to jamming ratio) about 22dB than conventional method that actually realize and experiment spread spectrum impedance measurement method.

Key Words : Bioimpedance, Impedance Analysis, Spread Spectrum, Jamming, Interference

1. 서론

생체임피던스(Bioimpedance)분석은 EIT(Electrical Impedance Tomography), 체성분분석(Body composition analysis), ICG(Impedance cardiography) 등 여러 분야에 응용될 수 있는 기술이다[1-3]. 그러나 생체임피던스 분석에서는 여러 가지 오차가 발생할 수 있다. 그 중의 하나가 전압을 측정할 때 인체를 통한 외부간섭(jamming or interference)의 영향으로 인한 오차이다. 크기가 작은 전자부품 등의 임피던스를 측정할 때에는 object를 차폐시켜서 외부간섭의 영향을 제거할 수 있다. 그러나 특별히 차폐시설을 설치하지 않고 인체의 임피던스를 측정할 때에는 인체를 통한 외부간섭이 커지게 된다.

현대의 무선통신 기기에서는 대역확산(Spread Spectrum) 기술을 사용하여 외부간섭을 제거하고 주파수 효율을 높이고 있다[4]. 이러한 대역확산 기술을 이용하면 특별히 차폐시설을 설치하지 않고도 외부간섭의 영향을 제거할 수 있을 것으로 예상되지만 현재 대역확산 기술은 임피던스 측정 시스템에서 사용되지 않고 있다.

그러므로 본 논문에서는 인체의 임피던스를 측정할 때 특별히 차폐시설을 설치하지 않고도 외부간섭의 영향을 제거할 수 있는 대역확산 기술을 이용한 임피던스 측정방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 대역확산 임피던스 측정방법은

①임피던스를 측정할 때 주변 환경으로부터 유입되는 외부간섭신호, ②인체에 장착한 의료기구로부터 발생하는 외부간섭신호의 영향을 제거할 수 있다. 대역확산 임피던스 측정방법을 실제로 구현하여 실험한 결과 신호 대 재밍 비(*SJR*; Signal to Jamming Ratio)을 약 22dB 향상시킬 수 있었다. 먼저 대역확산방식의 임피던스 측정원리를 정리하고 임피던스 측정방법의 구현 내용, 실험 결과에 대하여 기술한다.

2. 이론

임피던스가 Z 인 샘플의 임피던스를 측정하기 위해서는 그림 1에서와 같이 샘플에 전류 I 를 인가하고 이때 샘플에 유도되는 전압 V 를 측정하여 $Z=V/I$ 의 관계식을 사용하여 구한다. 기존방식으로 임피던스를 측정할 때에는 그림 1의 a)와 같이 샘플에 인가하는 전류의 파형은 정현파이며 따라서 유도되는 전압도 크기와 위상이 변한 정현파이다. 이에 반하여 본 논문에서 제안하는 대역확산 임피던스 측정 방식에서는 그림 1. b)와 같이 대역확산된 전류를 인가하고 대역확산된 전압을 측정한다. 그림 2에는 기존의 방식과 대역확산 방식에 사용된 전류를 상세히 표현하였다. 기존의 방식에서는 그림 2. a)와 같이 시간영역에서 연속적인 정현파(주파수 영역에서 임펄스 함수)를 사용한다. 그러나 대역확산 방식에서는 그림 2. b)와 같은 파형을 사용한다. 그림에서 f_s 는 측정 주파수, f_n 는 의사 잡음(Pseudo-noise)의 칩율(chip-rate)이다. 그림 2. b)의 파형은 의사잡음(대역확산) 부호가 10110...일 때의 예를 나타낸다. 대역확산 임피던스 측정에서는 칩 주기마다 의사 잡음 부호에 따라 파형의 위상이 180도 바뀔 수 있다.

저자 소개

*大田大學 電子工學科 碩士課程

**大田大學 電子工學科 碩士課程

***大田大學 電子工學科 副教授

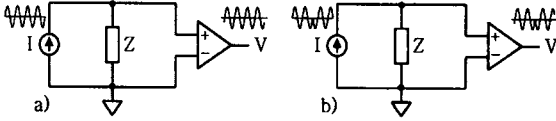


그림 1. 임피던스 측정의 블록도. a): 기존의 방식, b): 본 논문에서 제안하는 대역확산 방식.

대역확산 임피던스 측정에서 외부간섭을 감소시키고 측정하고자 하는 전압만을 측정하는 방법은 그림 3과 같다. 그림 3의 구조 자체는 기존의 임피던스 측정에서 사용하는 위상 예민 검출기(Phase sensitive detector)와 같다. 기존의 임피던스 측정에서 리액턴스 성분을 측정하기 위해서는 동위상(In-phase) 신호와 쿼드러춰(Quadrature) 신호를 멀티플라이어에 인가하고 저역통과된 신호를 측정한다. 이때 기존 방식에서는 입력단에 입력되는 외부간섭의 주파수가 I와 Q신호의 주파수와 비슷하면 외부간섭의 영향을 크게 받는다. 대역확산 임피던스 측정을 수행할 때는 멀티플라이어에 인가하는 신호로 대역확산된 신호를 사용한다. 그러면 원하는 전압신호는 역확산되어 측정되지만 외부간섭은 대역확산되므로 저역통과 필터를 통과한 후의 외부간섭 신호의 전력은 감소하게 된다.

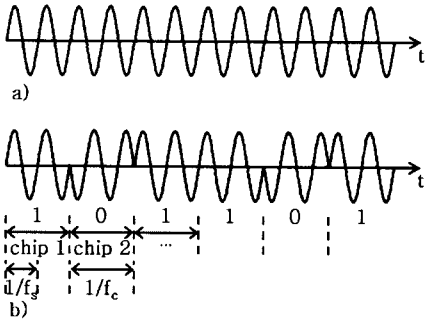


그림 2. 기존의 임피던스 측정에 인가되는 전류의 파형: a)과 대역확산 임피던스 측정에 인가되는 전류의 파형: b)

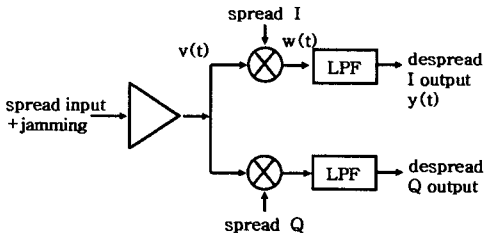


그림 3. 대역확산 임피던스 측정 회로의 블록다이어그램.

대역확산 임피던스 측정방법이 기존의 방법보다 외부간섭의 영향을 감소시키는 것을 이론적으로 정리하면 다음과 같다. 대표적인 외부간섭으로 single-tone jammer를 가정한다. 대역확산방식에서 I-multiplier의 입력신호는 수식(1)로 정의되며 P_s 는 신호전력, P_j 는 제밍전력, f_s 는 신호주파수, f_j 는 제밍주파수이며 $c(t)$ 는 코드파형으로 $c(t) = \pm 1$ 의 값을 갖는다.

$$v_{ss}(t) = \sqrt{2P_s}c(t)\cos(2\pi f_s t + \phi) + \sqrt{2P_j}\cos(2\pi f_j t) \quad (1)$$

$v_{ss}(t)$ 가 I-multiplier에서 확산신호 $\sqrt{2P_s}c(t)\cos(2\pi f_s t)$ 와 곱해진 후의 I-multiplier의 출력 신호는 수식(2)로 표현된다.

$$w_{ss}(t) = \sqrt{P_s P_j}[\cos\phi + \cos(4\pi f_s t + \phi)] + \sqrt{P_s P_j}c(t)\{\cos[2\pi(f_j - f_s)t] + \cos[2\pi(f_j + f_s)t]\} \quad (2)$$

(T_c : the duration of a spreading code symbol)

$w_{ss}(t)$ 가 LPF를 통과하여 고주파 성분들이 제거되면 고주파항을 무시하였을 때 $w_{ss}(t)$ 의 전력 스펙트럼밀도는 수식(3)으로 표현 가능하며 여기서 $f_c = \frac{1}{T_c}$ 는 $c(t)$ 의 code rate 이다.

$$W_{ss}(t) = P_s P_j \cos^2\phi \delta(f) + \frac{P_s P_j}{4f_c} \left\{ \text{sinc}^2 \left[\frac{f - (f_j - f_s)}{f_c} \right] + \text{sinc}^2 \left[\frac{f + (f_j - f_s)}{f_c} \right] \right\} \quad (3)$$

또한 LPF를 이상적이라고 가정하고 LPF의 차단주파수 $f_o \ll f_c$ 이면 LPF의 출력은 수식(4)와 같아지며 이때의 신호대 제밍비는 수식(5)로 표현할 수 있다.

$$Y_{ss} = P_s P_j \cos^2\phi + \frac{P_s P_j}{f_c} f_o = S + J \quad (4)$$

$$SJR_{ss} = \frac{P_s \cos^2\phi}{P_j} \frac{f_c}{f_o} \quad (5)$$

그러나 기존의 표준방식에서는 I-multiplier의 입력신호를 수식(6)과 같이 정의하고 I-multiplier에서 $\sqrt{2P_s}c(t)\cos(2\pi f_s t)$ 와 곱해진 후 I-multiplier의 출력은 수식(7)과 같이 표현된다.

$$v_{con}(t) = \sqrt{2P_s}c(t)\cos(2\pi f_s t + \phi) + \sqrt{2P_j}\cos(2\pi f_j t) \quad (6)$$

$$w_{con}(t) = \sqrt{P_s P_j}[\cos\phi + \cos(4\pi f_s t + \phi)] + \sqrt{P_s P_j}c(t)\{\cos[2\pi(f_j - f_s)t] + \cos[2\pi(f_j + f_s)t]\} \quad (7)$$

또한, LPF를 통과하여 고주파 성분들이 제거되면 LPF의 전달함수를 다음의 수식(8)과 같다고 할 때 LPF의 출력신호는 수식(9)와 같이 표현된다.

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_o}\right)^2}} e^{-\theta}, \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{f}{f_o}\right) \quad (8)$$

$$y_{con}(t) = \sqrt{P_s P_j} \cos\phi + \sqrt{\frac{P_s P_j}{1 + \left(\frac{f_j - f_s}{f_o}\right)^2}} \cos[2\pi(f_j - f_s)t - \theta] \quad (9)$$

그러므로 SJR 은 수식(10)과 같이 나타나며 $f_o \ll f_j - f_s$ 일 때의 SJR 은 수식(11)과 같이 표현할 수 있다.

$$SJR_{con} \approx 2 \frac{P_s \cos^2\phi}{P_j} \left[1 + \left(\frac{f_j - f_s}{f_o}\right)^2 \right] \quad (10)$$

$$SJR_{con} \approx 2 \frac{P_s \cos^2\phi}{P_j} \left(\frac{f_j - f_s}{f_o}\right)^2 \quad (11)$$

따라서 기존의 표준방식에 대하여 대역확산방식에 의한 SJR 의 향상비는 수식(12)와 같이 표현된다.

$$\frac{SJR_{ss}}{SJR_{con}} \approx \frac{f_c f_o}{2(f_j - f_s)^2} \quad (12)$$

3. 실험 및 결과

3.1 대역확산 임피던스 측정방법의 구현

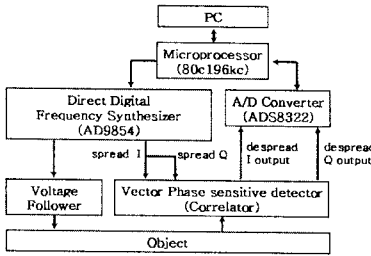


그림 4. 대역확산 임피던스 측정 시스템의 구성도

대역확산 임피던스 측정방법은 측정 주파수를 발생시키는 디지털주파수합성기(DDFS; Digital Direct Frequency Synthesizer), DDFS의 신호를 받아서 object에 전류를 인가하기 위한 전압원, object에 흐르는 전류와 인가된 전압의 동위상 성분과 쿼드러처 성분을 측정하기 위한 복소 위상 예민 검출기, AD변환기, 이들을 제어하기 위한 마이크로프로세서로 구성되어 임피던스를 측정한다. 이렇게 구현한 임피던스 측정 시스템의 구성도를 그림 4.에 나타내었다.

대역확산에는 길이가 31인 골드 코드(Gold code)를 사용하여 코드가 0일 때 DDFS에서 출력되는 신호의 위상이 0이 되고 코드가 1일 때 위상이 180도가 되도록 하였다. 이 신호가 임피던스 측정에 사용되는 object에 인가된다. 즉, object에 인가된 전압은 대역확산된 신호가 된다. 측정된 대역확산 신호가 위상 예민 검출기에서 검출될 때 DDFS의 출력을 위상 예민 검출기의 I 및 Q 신호로 사용하면 위상 예민 검출기에서는 대역압축(despreading)된 출력을 얻을 수 있다.

3.2 대역확산 임피던스 측정방법의 성능 분석

1kΩ의 저항을 object로 사용하고 제밍신호를 인가했을 때 대역확산 임피던스 측정방법과 기존의 임피던스 측정방법을 비교하였다. object에 인가되는 DDFS의 출력은 주파수 74kHz, 피크전압 100mV로 하고, 제밍신호는 주파수 74.5kHz, 피크전압 10mV로 하였다.

대역확산 임피던스 측정방법과 기존 방식에서 임피던스 측정을 수행한 결과는 그림 5.와 같다. 이때 AD변환기의 샘플율은 40kHz(샘플주기: 25μs), 위상 예민 검출기의 저역통과 필터의 차단 주파수는 100Hz로 하였다. 멀티플라이어의 앞에 위치한 버퍼의 이득은 5, 저역통과 필터의 DC이득은 10이다.

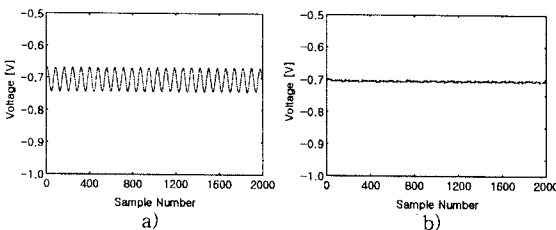


그림 5. 제밍신호가 있을 때 기존방식에 의한 전압측정 결과: a)와 제밍신호가 있을 때 대역확산방식에 의한 전압측정 결과: b)

그림 5.a)는 기존방식의 임피던스 측정방법을 사용하여 전압을 측정된 결과이다. 제밍신호와 위상 예민 검출기의 주파수 차이가 500Hz(그림은 오차신호로서 주기는 80샘플 즉, 2ms이다.)이므로 외부간섭은 500Hz로 나타난다. 그러므로 위상 예민 검출기에서 전압을 측정하는 시점의 제밍신호의 위상에 따라 위상 예민 검출기의 출력은 약 0.1V의 변화가 발생할 수 있다.

그림 5.b)에서는 대역확산방식에서 전압을 측정된 결과이다. 그림으로부터 대역확산방식에서는 외부간섭의 영향이 거의 없음을 확인 할 수 있다.

3.3 대역확산방식과 기존방식의 SJR 분석

표1.은 제밍신호를 인가했을 때 기존방식과 대역확산방식에서의 SJR를 나타내었다. 대역확산방식의 SJR이 기존방식의 SJR보다 약 22dB 향상되었음을 확인할 수 있다.

표1. 기존방식과 대역확산방식의 SJR비교

제밍 신호	대역확산방식의 SJR _{ss} [dB]	기존방식의 SJR _{con} [dB]	SJR _{ss} - SJR _{con}
74.1kHz	33.98	5.92	28.06
74.2kHz	36.31	9.68	26.63
74.5kHz	38.40	16.61	21.79
75.0kHz	37.24	22.36	14.88
76.0kHz	33.49	28.23	5.26
78.0kHz	24.27	34.27	-10.0

4. 결론

임피던스를 측정할 때 외부간섭의 영향을 감소시킬 수 있는 대역확산 임피던스 측정방법을 제안하였다. 제안된 대역확산방식의 임피던스 측정방법은 임피던스를 측정할 때에 주변 환경으로부터 유입되는 외부잡음신호, 인체에 장착한 의료기구로부터 발생하는 잡음의 영향을 제거할 수 있다.

제안한 대역확산 임피던스 측정방법을 실제로 구현하여 기존의 방식에서보다 SJR을 크게 향상시킬 수 있음을 보였다.

본 논문에서 제안한 대역확산 기술을 이용한 임피던스 측정 기술은 최근 연구 및 응용이 활발한 인체의 임피던스 측정에 유용하게 응용될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1]. Boone, K. G., and Holder, D. S.: 'Current approaches to analogue instrumentation design in electrical impedance tomography', *Physiol. Meas.*, 1996, 17, pp. 229-247.
- [2]. Riu, P. J., Rosell, J., Lozano, A., and Pallas-Areny, R.: 'Multi-frequency static imaging in electrical impedance tomography: Part 1 instrumentation requirements', *Med. & Biol. Eng. & Comp.*, 1995, 33, pp. 784-792.
- [3]. S. Grimnes and O.G. Martinsen, *Bioimpedance & Bioelectricity Basics*, Academic Press, 2000.
- [4]. R. E. Ziemer and W. H. Tranter, *Principles of Communication*, John Wiley & Sons, 4th edition, 1995.