

알루미늄 가공 현장에서 금속 불순물 검출

Detection of Metal Impurities at Aluminum processing factory

황 종 명¹, 안 부 환², 이 장 명³

Jong-Myung Hwang¹, Bu-Hwan Ahn², Jang-Myung Lee³

Abstract This paper proposed a new magnetic field detection algorithm to detect metal pieces in food producing processes. This algorithm can detect mixed metal pieces by sensing magnetic field. Some metal pieces are passed through an over-current circuit to magnetize them. The magnetic field sensor can detect the change in the magnetic field on the conveyor belt caused by the flow of the metal pieces in the food product. However, such a method detects the output of signals that change their amplitude and phase according to the movement of the conveyor belt with the food product, in which the equilibrium of the positive signal that is created in the receiver coil loses its balance due to the magnetized material. This includes not only the signal elements resulting from the effect of the alternating magnetic fields of the mixed metals, but also the signal elements resulting from the effect of the alternating magnetic fields of the examined object itself.

Keywords : The magnetic field sensor, Differential circuit, Magnetized steel balls

1. 서론

알루미늄 가공 라인에서 불순물 검출을 위해 산업용 로봇이 사용되고 있다. 본 논문에서는 기존의 검출 방식과 달리 자기장 검출센서를 사용하여 불순물을 검출하는 방법을 제안한다.

기존의 알루미늄 가공현장에서 사용하고 있는 혼입금속의 검출장비는 반송로에 과전류를 통과하여 자계를 발생시켜 피검사체의 혼입되어 있는 금속에 의한 자계 변화를 검출하는 방법을 채용함으로써 가공라인에서의 불량품을 판별하고 있다. 하지만 이러한 방식의 검출 방법은 피검사체가 교번자계 속에 존재하는 경우 수신코일에 발생하는 양 신호의 평행상태가 무너져 진폭 및 위상이 변화하는 신호가 출력된다. 이 신호는 혼입금속에 의한 영향뿐 아니라 피검사체 자신의 교번자계에 대한 영향으로 인한 신호성분까지 포함되어 있어서 혼입금속의 검출한계가 결

정되어 버리는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하고 보다 나은 검출을 하기 위해 기존에 제시한 자기감응 원리에 기반한 과전류방지 검출방법을 채용하는 대신 알루미늄 가공공정에서 자화된 금속 철구를 자기장 검출센서를 이용하여 금속 철구의 유무 및 움직임을 정확히 판단할 수 있는 회로 설계방법 및 판단알고리즘을 제안한다.^[1]

자기장 검출센서를 사용하여 자화된 철구의 유무 및 움직임 판단은 검출회로의 출력신호에 지구 자기장 정보와 자화된 철구의 자기장 정보를 포함하고 있다. 이때 검출장치에 외부 흔들림이 발생하지 않았을 경우에는 지구 자기장은 정적인 특성을, 자화된 철구는 동적인 특성을 나타내므로 정확한 검출이 가능하다. 하지만 외부에서 흔들림이 발생하였을 경우에는 지구 자기장 및 자화된 철구 모두 동적인 특성을 나타내므로 외부 흔들림에 대한 판별이 이루어져야 한다.^[2, 3]

따라서 본 논문에서는 이러한 기술적인 문제를 해결하기 위해서 자기장 검출센서의 출력이 미분회로를 추가하여 미분회로의 출력정보를 통하여 자화된 철구의 유무 및 움직임을 검출하는데 사용한다. 또한 신호 처리기에서는 자화된 철구가 존재하지 않는 경우 미분회로의 출력과 준

Received: Oct. 19. 2009; Reviewed: Nov. 20. 2009; Accepted: Nov.25. 2009
※ 본 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-10171-0).

¹ 부산대학교 전자전기공학과 석박사통합과정

² 부산대학교 전자전기공학과 석사과정

³ 부산대학교 전자전기공학과 교수

재하는 경우의 출력 사이의 오차 값을 통하여 외부 흔들림에 의한 것인 것 자화된 철구에 의한 것인지를 판별하게 된다. 여기서 외부 흔들림 및 자화된 철구가 존재하지 않는 경우의 미분회로의 출력 값은 이론적으로는 '0' 이지만 실제 자기장 검출센서를 포함한 전체 회로는 외부 환경의 영향으로 인해 '0' 값을 기준으로 작게 진동을 한다. 그러므로 신호 처리기에서는 주기적으로 기준 전압을 업데이트 해야만 한다.^[4, 5]

2. Existence of Magnetized Sreel Balls

이번 섹션의 구성은 자화된 철구의 유무, 움직임 검출을 위한 회로 구조 설계 및 노이즈 필터링, 판단 알고리즘, 주기적인 시 변 기준 전압에 대한 추종 보상, 외부 흔들림 식별에 관련된 소프트웨어 설계방법으로 구성된다.

2.1 자기장 검출 회로

위 그림은 자기장 검출회로이다. 그림 1에서 자기장 검출회로의 입력단자에 V_{cc} 만큼 전압을 인가했을 경우 외부 자기장에 의해 기자력이 발생하고, 이 기자력에 의해 bridge형 회로의 내부 저항들이 상응한 변화를 일으킨다. 이러한 변화는 자기장 검출센서의 병렬로 연결된 중간단자의 전압 차로 반영된다. 이 두 전압은 차동 필터 및 필터링 회로를 거친 후 미분회로의 입력으로 사용된다. 일반적으로 두 전압의 차는 2.5~4mV/Gauss의 크기의 감도를 가진다.

전체적으로 그림 1에서 자기장 검출회로의 출력 전압과 자기장 검출 센서의 출력전압 사이에는 아래와 같은 식이 성립된다.

$$V_{OUT} = (OUT_+ - OUT_-) \times (R / R_{GAIN}) + REF \quad (1)$$

위에서와 같이 출력전압에 포함된 고주파 노이즈는 신

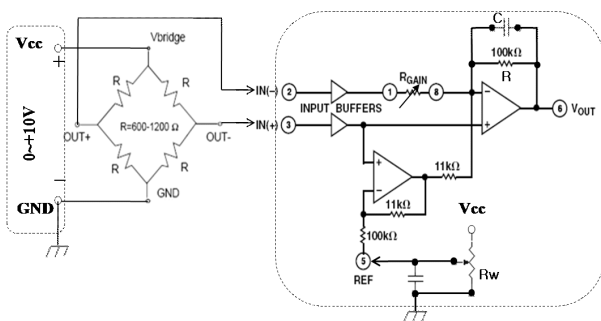


그림 1. 자기장 검출 회로

호처리기의 판단 알고리즘 실행에서 오동작을 유발하게 되므로 그림 1에서와 같이 일정 크기의 콘덴서를 추가하여 적분기능을 시행하여 고주파 노이즈를 제거한다. 또한 기준전압, REF는 가변저항(R_{GAIN})에 의해 임의의 전압레벨로 설정이 가능하다. 신호처리기에서의 판단 알고리즘은 뒤에서 설명하도록 한다.

자기장 검출 센서와 알루미늄 가공품 사이에는 일정한 거리를 유지해야 된다. 본 논문에서는 25~30mm의 거리를 두고 실험을 하였다. 또한 거리에 대응하는 충분한 감도를 측정하기 위해 식 (1)에서 가변저항(R_{GAIN}) 값을 줄이는 방법으로 증폭계수를 높일 수 있었다. 하지만 증폭계수의 지나친 증가로 인하여 증폭회로의 포화현상이 일어났고 이로 인해 신호처리기에서 인식이 불가능한 현상이 발생하였다. 또한 자기장 검출센서 마다 파라미터 값 특성이 일치하지 않아 동일한 증폭계수에 대해 같은 출력효과를 획득하기가 어려웠다.

본 논문에서는 그림 1에서 가변저항 값을 100Ω으로 설정 후 실험한 결과 자기장 검출센서에서는 부분적으로 포화현상이 발생하지 않았지만 기타 센서에서 포화현상이 발생하여 자화된 철구의 움직임에 대해 무응답 현상이 발생하였다. 또한 가변저항을 크게 하였을 경우는 전체적인 포화현상은 극복할 수 있었지만 자기장 검출회로의 감도가 급격히 저하되는 현상을 확인할 수 있었다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 새로이 고안한 것이 자기장 검출회로의 출력 단에 미분회로를 추가하여 포화현상 또는 감도 저하에 대한 보상방법이다.

2.2 미분회로

자기장 검출회로에서 포화현상을 방지하기 위해서 가변저항을 설정, 미분회로에서는 출력신호(V_{OUT})의 시간에 대한 변화율 즉, 미분 값을 증폭하는 역할을 담당한다. 또는 미분회로의 추가로 인해 출력 신호의 변화율에 대한 증폭은 자화된 철구의 유무 및 움직임판단에 필요한 정보

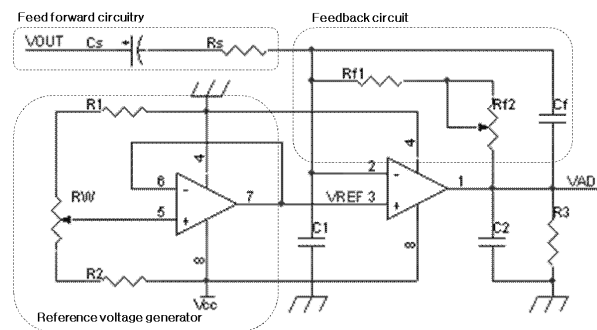


그림 2. 미분회로

로 활용 할 수 있다는 것이 본 논문에서 제안하는 중요한 개선점 중 하나이다.

미분회로에서 자기장 검출회로의 출력전압(V_{OUT})과 미분회로의 출력전압(V_{AD}) 사이의 관계식은 아래와 같다.

$$V_{AD} = -\left(\frac{Z_f}{Z_s}\right) \times V_{OUT} \quad (2)$$

$$Z_s = R_s + \frac{1}{j\omega C_s} \quad (3)$$

$$Z_f = \frac{R_{f1} + R_{f2}}{1 + j\omega C_f (R_{f1} + R_{f2})} \quad (4)$$

그림 2에서 저항과 콘덴서에 의해 입력 쪽에서의 임계 주파수가 결정된다.

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi R_s C_s} \quad (5)$$

미분회로에 인가된 자기장 검출회로의 출력전압이 속하는 주파수 영역(f_{VOUT})은 아래 식 (6)을 만족해야만 정상적인 미분동작이 가능하다.

$$f_{VOUT} < f_{c1} \quad (6)$$

[그림 2]의 피드백 회로에서 저항과 콘덴서는 피드백 방향에서 임계주파수를 결정한다.

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi R_f C_f} \quad (7)$$

미분회로에 인가된 자기장 검출회로의 출력전압이 속하는 주파수 영역(f_{VOUT})은 아래 식 (8)을 만족해야만 정상적인 적분동작이 가능하다.

$$f_{VOUT} < f_{c2} \quad (8)$$

이러한 적분동작은 고주파 노이즈 제거를 위한 1차 저주파 아날로그 필터로 볼 수 있다.

미분회로의 출력전압에는 자화된 철구의 움직임 정보 외에도 회로시스템 자체의 고유한 고주파 성분을 포함하고 있으므로 식 (9)를 만족하는 조건으로서 식 (2), (3), (4)에 대해 각각의 파라미터 값을 설정해야 된다.

$$f_{c2} < f_{VOUT} < f_{c1} \quad (9)$$

회로시스템 자체의 고주파 성분은 자화된 철구의 움직임 정보의 주파수영역에 비하여 훨씬 크므로 식 (9)를 만족하는 경우 고주파 성분은 피드백 회로의 적분동작에 의하여 제거된다

2.3 신호처리 알고리즘

다음의 설명은 미분회로의 출력전압에 대하여 신호처리기가 A/D변환을 거친 후 내부의 신호처리 과정을 도식화 한 것이다⁶⁾.

알고리즘 구성도의 초기화 루틴(그림 3의 1)에는 신호처리가 부팅된 후, 기준전압 획득을 위한 알고리즘 루프가 실행된다. 이러한 기준전압은 식 (10), (11)에 의하여 획득 된다.

$$V_{OUT}[i] = A \times V_{OUT}[i-1] + V_{AD} \quad (10)$$

(i=1, 2, 3, ..., N) 0 < A < 1

$$AD_{REF} = \frac{V_{OUT}[N]}{N} \quad (11)$$

N은 신호처리기의 샘플링 치수를 의미하고 $V_{OUT}[i]$ 는 매개의 샘플링 시각 1차 디지털 저주파 필터의 출력이 된다. 때문에 식 (10)에서 계수 A는 식 (12)를 만족해야만 1차 저주파 필터의 안전성이 보장된다.

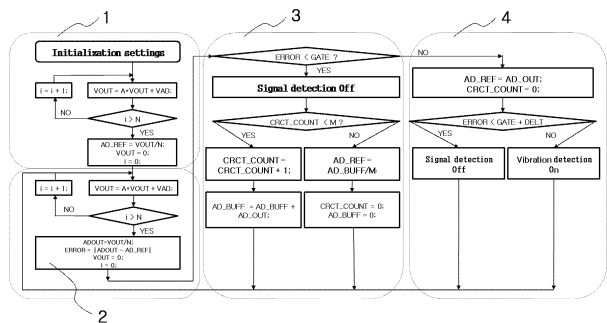


그림 3. 알고리즘 구성도

$$|A| < 1 \quad (12)$$

알고리즘 구성도 블록(그림 3의 2)에서 측정된 AD_{OUT} 값을 식(10)의 1차 저주파 필터를 사용하여 식 (13)을 통해 구해진다.

$$AD_{OUT} = \frac{V_{OUT}[N]}{N} \quad (13)$$

$$ERROR = AD_{OUT} - AD_{REF} \quad (14)$$

식 (11), (13), (14)에 의해 오차 값이 구해지면 이 오차 값 정보로부터 아래에 설명된 시 변 기준전압에 대한 추종보상 블록(그림 3의 3)과 외부 흔들림 인식 알고리즘 블록(그림 3의 4)이 구현된다.

시 변 기준전압에 대한 추종보상 블록은 정적인 지구자 기장이 인가되었다는 가정 하에서, 자화된 철구가 존재하지 않는 경우 시 변 기준 전압정보에 대한 추종보상을 실행하는 루프가 된다. 본 논문에서는 식 (14)에 의하여 구해진 오차 값이 미리 설정된 문턱 값(GATE)보다 작은 경우에는 자화된 철구가 알루미늄 부품에 박혀있지 않는 것으로 간주 한다. 때문에 식 (14)에 의하여 계산된 오차 값 ERROR가 식 (15)를 연속적으로 M차 만족할 때, 매번마다 측정된 AD_{OUT} 을 누적한 후, M로 나누어 주는 과정이 바로 주기적인 시 변 기준전압에 대한 추종보상이다.

$$|ERROR| < GATE \quad (15)$$

이러한 누적과정은 식 (16)으로 표시되며 계산된 오차 정보에 근거한 시 변 기준전압은 식 (17)을 만족한다.

$$AD_{BUFF}[i] = AD_{BUFF}[i-1] + AD_{OUT} \quad (16)$$

(i=1, 2, 3, ..., M)

$$AD_{REF} = \frac{AD_{BUFF}}{M} \quad (17)$$

외부 흔들림 인식 알고리즘 블록은 식 (14)에 의하여 구해진 오차 값이 문턱(Gate) 값을 초과 한 경우 알루미늄 부품에 박혀있는 자화된 철구에 의하여 발생하였는지 아

니면 외부의 흔들림 때문에 발생하였는지를 판별하는 방법이다.

외부 흔들림 인식 알고리즘 블록에서 진동의 특징을 구별 함으로써 불량품을 검출한다.

산업용 로봇에 앞서 설명한 회로에 기반을 둔 간단한 제어 보드와 센서의 배치를 통하여 불량품을 검사할 수 있다.

자화된 철구는 직경이 1.8-2.0mm의 크기를 갖게 되므로 그림 4의 강자성체에 의하여 자화되어도 자성의 세기는 상대적으로 미약하다. 동시에 자기장센서의 평균거리는 25-30mm이므로 미분회로의 출력도 매우 미약한 특징을 나타내고 있다. 이와 반면에 진동과 같은 흔들림에 의하여 발생하는 미분회로의 출력은 순간적으로 큰 폭의 변화로 나타낸다. 이러한 특징으로부터 외부 흔들림 인식 알고리즘 블록에서처럼 식 (15)의 문턱 값 GATE에 DELT 값을 더한 후 식 (18)에 근거하여 오차 값 ERROR가 자화된 철구에 의한 발생하였는지 혹은 외부의 흔들림에 의한 발생하였는지를 판단한다.

$$|ERROR| < GATE + DELT \quad (18)$$

식 (18)을 만족하면 자화된 철구에 의하여 발생하는 것으로 판정되고 반대의 경우는 외부의 흔들림에 의하여 발생하였다고 판정한다. 전체적인 신호처리과정에서 식 (10)~(18)에서 제시된 파라미터 값 A, GATE, DELT, N, M 들은 부동한 설정 값에 따라서 성능의 차이를 보이므로 특정된 자기장 검출센서에 대하여 최적의 파라미터 튜닝과정이 필수적으로 이루어 져야 한다⁷⁾.

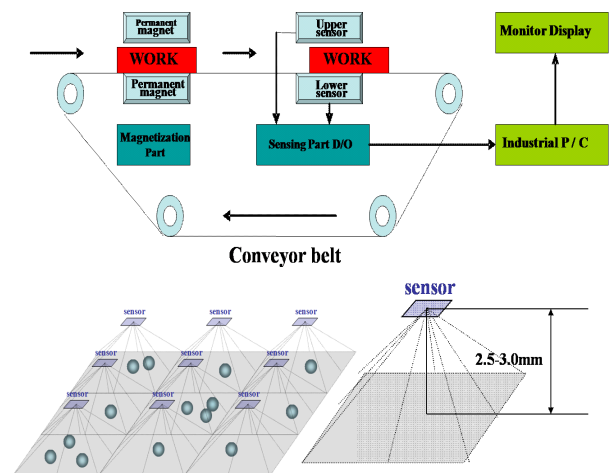


그림 4. 자기장 검출 센서를 이용한 자화된 철구의 유무 맞춤형 판단 구성도

3. RESULT OF EXPERIMENT

설계된 회로 구조의 적합성과 알고리즘의 효율성을 검증하기 위해 자기장 검출회로와 미분회로의 소자들의 파라미터 값, 그리고 알고리즘에 사용할 파라미터 값을 표 1에서 정리 하였다.

그림 5는 외부 흔들림과 자화된 철구가 박혀있지 않는 조건에서의 결과이다.

첫 번째 그래프는 식 (10)과 식 (13)에 의해 획득한 ADOUT값을 나타낸다. 그래프에서 보듯이 출력은 외부 환경의 영향을 받아 기준점 근처에서 진동하는 모습을 볼 수 있다. 이로 인하여 주기적인 보상이 필수적으로 이루어져야 한다는 것을 확인 할 수 있었다. 두 번째 그래프는 기준전압의 진동 현상에 대한 추종효과로 [그림 3]의 3과 식 (16), 식(17)을 이용하여 획득한 것이다. 여기서 계단식 효과는 알고리즘 루프의 실행속도를 $\frac{1}{M}$ 로 설정하였기 때 문이다. 세 번째 그래프는 식 (13)과 식 (16)에 의해 계산 된 ADOUT과 ADREF 값을 식 (14)에 적용 후 알고리즘 블록

표 1. 회로 소자 및 알고리즘에 사용될 파라미터 값

자기장 검출회로			미분회로					전원
R	R _{GAIN}	C	R _S	R _{f1}	R _{f2}	C _S	C _f	V _{cc}
100 kΩ	330 Ω	0.1 μF	330 Ω	330 kΩ	100 kΩ	2.2 μF	1.0 μF	+5 V
필터극점	오차 문턱 값	흔들림 정보 임계치	샘플링 차수	기준전압 샘플링 차수				
A	GATE	DELTA	N	M				
0.9825	1.0	0.01	256	100				

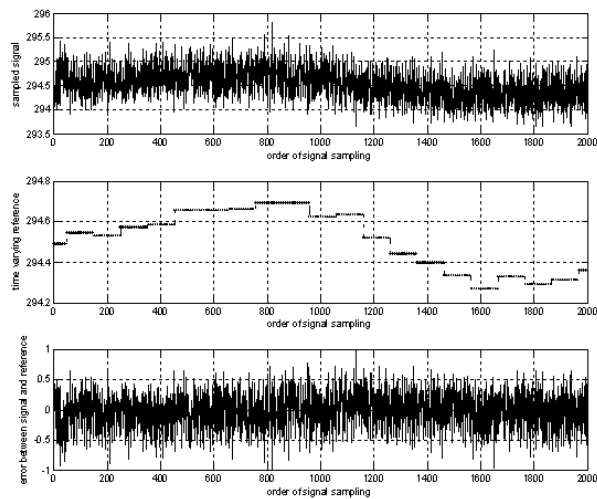


그림 5 외부 흔들림 및 자화된 철구가 없을 경우

3에 의해 얻은 값이다.

위 실험결과 알고리즘 루프는 시변 기준전압에 대하여 정확히 보상이 가능하고, 추종오차 또한 TABLE I에 제시된 GATE값 안에 한정되어 있다는 것을 증명하였다.

그림 6은 외부의 흔들림이 존재하지 않고 알루미늄 부품에 자화된 철구가 박혀있는 상황을 근사화하여 하나의 자화된 철구를 알루미늄 위에서 움직여 가며 획득한 곡선이다.

그림 6의 a 그림에서 볼 수 있듯이 자화된 철구의 움직임에 따라 미분회로의 출력 값이 현저히 증가함을 확인할 수 있다. 이러한 외부의 강제적인 영향으로 인해 b 그림에 도시된 시변 기준전압에 대한 추종효과가 튀기는 현상이 발생한다. 하지만 전체적인 흐름으로 볼 때 여전히 시변 기준전압을 추종함을 알 수 있다. 또한 c 그림으로부터 오차 곡선은 추종 곡선을 기준으로 하여 오차 값은 문턱 값 (GATE) 보다 현저히 커졌음을 확인했다. d 그림에서 볼 수 있듯이 오차 값이 문턱 값(GATE) 보다 커진 경우 좌표가 '+1'로 튀어 자화된 철구가 있음을 의미한다.

따라서 그림 6의 실험 결과는 미분회로의 추가로 인한 자화된 철구의 움직임 정보에 대한 정확한 검출 과정이다.^{18, 91}

그림 7은 자화된 철구가 존재하지 않고 흔들림만 존재하는 경우 획득한 실험결과이다. 그림 7의 c에서 볼 수 있듯이 그림 6의 c에 비하여 진동이 매우 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 말한 것과 같이 미분회로의 출력에서는 자화된 철구가 존재하는 경우에 비해 외부 흔들림이 작용한 경우 출력이 순간적으로 크게 변화한다는 사실로부터 그림 c는 외부 흔들림에 의한 진동이라 볼 수 있다. 이로 인해 그림 7의 d에서는 외부 흔들림에 의한 진동이

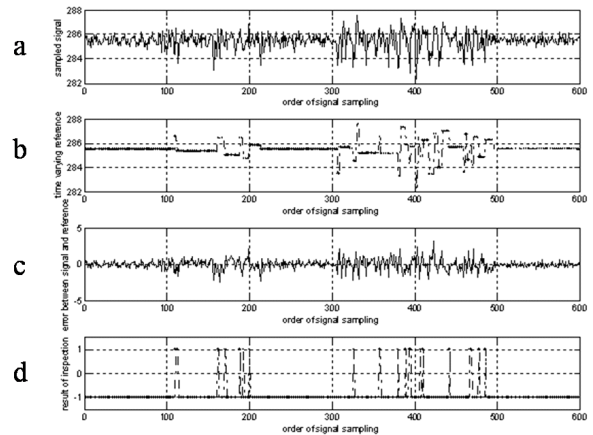


그림 6. 외부 흔들림이 존재하지 않고, 자화된 철구가 박혀있는 상황에서의 실험 데이터

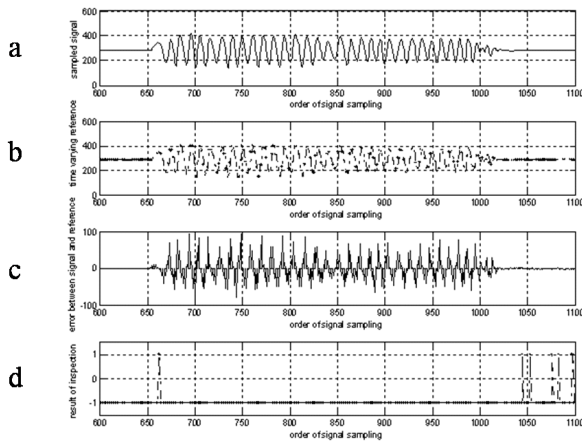


그림 7. 자화된 철구가 존재하지 않고, 흔들림만 존재하는 경우의 실험 데이터

라 판단하고 ‘-1’ 값을 유지 하는 것을 볼 수 있다.

그림 6, 그림 7의 d 그림의 중 좌표 ‘-1’은 외부의 흔들림에 반응하지 않는 것을 표시하고, ‘+1’은 자화된 철구의 움직임 검출에 대해서만 반응한다는 것을 의미한다.^[10, 11]

4. 결론

본 논문에서는 종래의 기술에서 제시된 자기감응 원리 기반의 과전류 검출 방식을 방법으로 채용하는 대신 자기장 검출센서를 이용하여 알루미늄 가공공정에서 자화된 금속 철구의 유무 및 움직임에 대해 새로운 회로 설계방법 및 판단 알고리즘을 구현하여 보다 정확히 판단할 수 있도록 하였다. 종래의 검출장비는 교번자계를 형성하는 과정에서 고주파 노이즈로 인한 피검사체 인식능력의 한계를 나타낸다. 이해 비해 본 논문에서 제시한 기술은 과전류에 의한 교번자계의 발생장치가 필요 없고, 안정적인 저 전압 공급만으로도 미세한 자성체에 대한 검출이 가능하다는 것이다.

또한 전체 회로시스템 구조와 검출에 필요한 다양한 알고리즘 구현이 간단하여 종래 검출 장비에 비하여 저렴한 가격으로 구성되었다는 장점이 있다.

참고문헌

- [1] M. N. Deeter, A. H. Rose, and G. W. Day, “Fast, Sensitive Magnetic-Field Sensors Based on the Faraday Effect in YIG,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 8, no. 12, pp. 1838-1842, Dec. 1990.
- [2] J. R. Maze, P. L. Stanwix, J. S. Hodges, S. Hong, J. M. Taylor, P. Cappellaro, L. Jiang, M. V. Gurudev Dutt, E. Togan, A. S. Zibrov, A. Yacoby, R. L. Walsworth, and M. D. Lukin, “Nanoscale magnetic sensing with an individual electronic spin in diamond,” *Nature*, vol. 455, pp. 645-648, Oct. 2008.
- [3] J. Zhai, Z. Xing, S. Dong, J. Li, and D. Viehland, “Detection of pico-Tesla magnetic fields using magneto-electric sensors at room temperature,” 2006 *American Institute of Physics*, vol. 88, no. 062510, Available: <http://apl.aip.org/apl/copyright.jsp>
- [4] Michael J. Caruso, Carl H. Smith, “A New Perspective on Magnetic Field Sensing,” *Technical Articles*, Honeywell SSEC, Available: <http://www.magneticsensors.com>
- [5] M. C. K. Wiltshire, J. B. Pendry, I. R. Young, D. J. Larkman, D. J. Gilderdale, and J. V. Hajnal, “Microstructured Magnetic Materials for RF Flux Guides in Magnetic Resonance Imaging,” *Science* 291, p.849, 2001.
- [6] S. H. Lim, S. H. Han, K. H. Shin, and H. J. Kim, “Computer Simulation of Sensing Current Effects on the Magnetic and Magnetoresistance Properties of a Crossed Spin,” *Valve Head*, pp. 44-49, Apr. 2000
- [7] Y. W. JEONG, D. Y. LIM, Y. J. YOO, “A Method and System to Compensate Vertical Component of 3-Axes Magnetic Field Sensor Using the Earth’s Field,” *KFIS Spring Conference*, vol.16, no.1, 2006.
- [8] M. Pannetier, C. Fermon, G. L. Goff, J. Simola, and E. Kerr, “Femtotesla Magnetic Field Measurement with Magnetoresistive Sensors,” *Science*, vol. 304, pp. 1648-1650, June 2004, Available: <http://www.sciencemag.org>
- [9] J. W. Wilson, G. Y. Tian, S. Barrans, “Residual magnetic field sensing for stress measurement,” *Sensors and Actuators*, vol. 135, pp. 381-387, Aug. 2006, Available: www.elsevier.com/locate/sna
- [10] P. D. D. Schwindt, S. Knappe, V. Shah, L. Hollberg, and J. Kitching, “Chip-scale atomic magnetometer,” *APPLIED PHYSICS LETTERS*, vol. 85, no 26, Dec. 2004

- [11] Sunier. R. Vancura, T. Yue Li Kirstein, K.-U. Balters, and H. Brand. O, "Resonant Magnetic Field Sensor With Frequency Output," *Microelectromechanical Systems*, vol. 15, pp.1098-1107, Oct. 2006.



안 부 환

2008 부산대학교 전자공학과
(공학사)
2008~현재 부산대학교 전자
전기공학과(석사)과정
관심분야: 로봇틱스, 비선형
제어



황 종 명

2006 동아대학교 전자공학과
(공학사)
2008~현재 부산대학교 전자
공학과(석박사통합)과정
관심분야: 지능로봇제어, 로
보틱스, 비선형제어



이 장 명

1980 서울대학교 전자공학과
(공학사)졸업
1982 동대학원(공학석사)졸업
1990 USC (공학박사) 졸업
1992~현재 부산대학교 전자
공학과 교수
관심분야: 지능로봇제어, 마이크로 프로세서 응용
시스템 설계