

半導体 센서 回路의 設計 方法

1. 回路 構成

電子回路 構成이 잘 됐는지 못됐는지는 무엇으로 결정되는 것일까. 그것은 回路가 사용되는 목적과 장소에 따라 크게 달라진다. 예를 들면 家庭用 回路에서는 저렴한 가격으로 제조할 수 있어야 하고 工業用 回路에서는 신뢰성과 精度가 높아야 하는 것이 중요한 評價基準이 된다. 또 때로는 開發期間이 한정되어 있어서 단기간에 만들 수 있는 회로가 좋은 회로라고 말하는 적도 있다.

그러나 오늘날에 있어서는 대부분의 경우 공통적으로 좋은 회로라고 일컬어지는 것에는 하

나의 傾向이 나타나고 있다. 그것은 信號의 흐름에 充實하고 設計者 이외의 사람에게도 動作原理가 이해되고 補修管理도 용이한 것이 높이 평가된다는 것이다. 真空管 등과 같은 能動素子가 高價였던 시대와는 달리 현대는 IC를 저렴한 가격으로 이용할 수 있기 때문에 가령 素子數가 증가해도 기존 IC回路나 回路 블럭을 이용할 수 있고 또 반대로 다른 시스템에 장착할 수 있는 回路 構成이 환영을 받고 있다.

센서는 回路가 일반적으로 負荷價值가 높고 동시에 용도가 다양하고 소량 생산되기 쉬우므로 특히 위에서 언급한 것과 같은 傾向이 두드러지고 있다.

2. 센서의 配置

센서로부터의 정보를 얻는데 있어서 가장 중요하고도 獨創性이 요구되는 것이 센서의 選擇과 配置이다.

예를 들면 圖 1 (a)의 포토 인터럽터에서는 發光源으로서 近赤外 LED를 사용하면 放射效率이 높은 光源을 얻을 수 있으나 얇은 종이 등은 光선이 투과해버려 檢出할 수 없다. 따라서 종이의 檢出에는 可視光을 사용하는데 이 경우에는 주위가 밝으면 太陽光 등의 外亂으로 誤動作을 한다. 주위의 光선과 信號의 光선을 구별하기 위해 發光源을 數 KHz의 方形波로 驅動하여 受光素子로부터의 信號는 發光源을 사용한 것과 같은 周波數 성분만을 증폭한다.

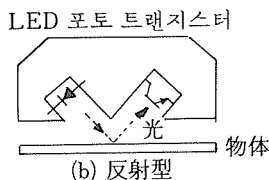
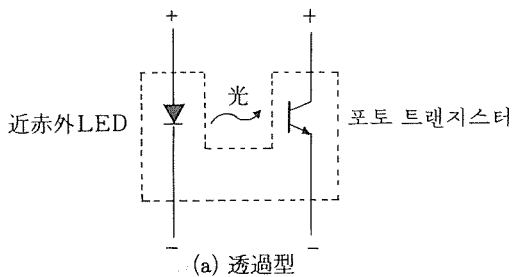


圖 1 포토 인터럽터

圖 1 (b)의 反射型(포토 레플렉터라고도 불리움)으로 흰종이 위의 붉은 색 마크를 檢出하는 경우를 생각해 본다. 이 경우 發光源에 붉은 색의 LED를 사용하면 문제가 있다. 붉은 색이라는 것은 광선 중의 붉은 波長成分을 반사하므로 붉게 보인다. 붉은 마크에 붉은 광선을 照射해도 당연히 반사되어 바탕의 흰색과의 차이가 不明確해진다. 따라서 이와 같은 경우에는 發光效率은 떨어지지만 초록색의 LED를 光源으로 하는 것이 S/N(信號對 雜音比)가 향상된다.

센서의 배치가 중요하다는 사례를 또하나 들어본다. 圖 2는 (株) 東芝, 宇野 등이 개발한 基板 実裝部品 檢査裝置의 檢査方法을 나타낸 것이다. 이 檢査方法은 基板上的의 칩 部品에 비스듬하게 두방향에서 서로 교대로 照射하여 그때 部品の 측면에 일어나는 그림자로부터 부품의 裝着狀態를 보는 것이다. 램프로써 스토로보를 사용하고 카메라의 走査線에 同期시켜서 發光시키고 있다. 基板上的의 配線 패턴이나 文字와, 立体狀의 칩 部품을 식별하는 교묘한 방법이다.

3. 增幅回路

增幅回路의 일반적인 해설은 전문서적에 맡기기로 하고 여기서는 回路에 관계가 깊은 앰프

의 드리프트, 消費電力 및 코스트에 관해 현재 어느 정도까지 실현 가능한가를 본다.

가. 低 드리프트

현대의 오페 앰프 標準品이라 할 수 있는 TL 081(텍사스 인스트루먼트 : TI)의 오프셋 電壓溫度 드리프트는 標準이 $10\mu V/^{\circ}C$ 로 되어 있다. 이 수치는 熱電對K(크로멜 아르멜)가 발생하는 약 $42\mu V/^{\circ}C$ 와 비교하면 이의 약 25%에 해당하는 것이다. 따라서 低 드리프트의 앰프가 必要하다는 것이 분명해진다.

表 1은 현재의 低 드리프트 및 低雜音 오페 앰프의 특성을 나타내고 있다. OP-77은 유명한 OP-07의 高精度型이지만 Through rate가 $0.6V/\mu S$ 와 741型이 같으며 현대의 오페 앰프로서는 적다는 것만을 제외하면 다른 것은 汎用 앰프가 흉내도 낼 수 없는 데이터가 즐비하다.

個別部品으로 自作해도 이 低 드리프트는 달성할 수 없을 것이다. OP-07C는 溫度 드리프트 $0.5\mu V/^{\circ}C$ (최대 $1.8\mu V/^{\circ}C$)에서 經時 드리프트 $0.4\mu V/月$ 로 안정된 特性을 나타내어 入手가 용이하다.

ICL 7600/01과 TSC 914B는 한결같이 쇼퍼 스타비 라이즈드 型 IC로 增幅할 수 있는 信號는 直流에서 10Hz 정도이다. 出力에는 초핑에 따른 노이즈가 나타나기 때문에 3차의 遮斷特性을 갖는 로패스 필터를 附加하는 예를 많이 볼

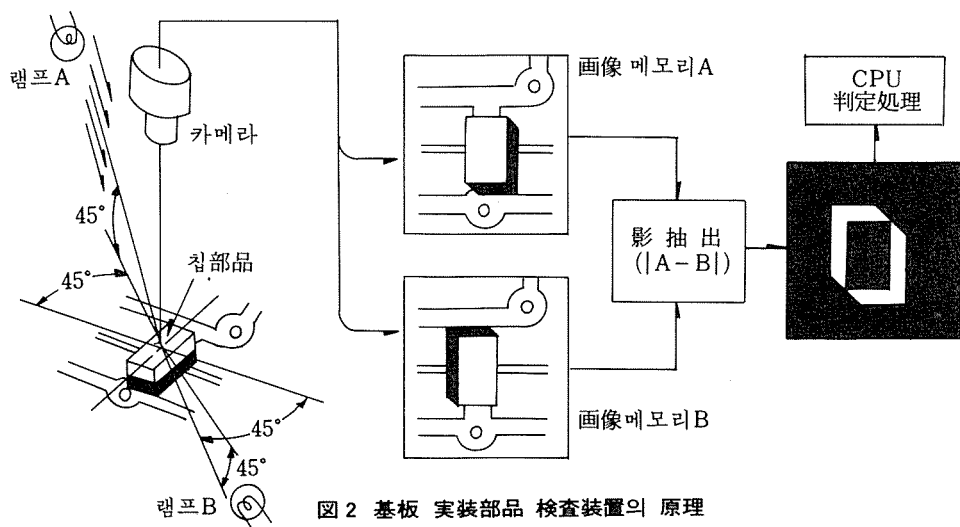


圖 2 基板 実裝部品 檢査裝置의 原理

表 1 低드리프트, 低雜音 오페 앰프 例

I C 型 名	OP-77F/G	LT1028	ICL7600/7601	TSC914B
메 이 커	PMI	리니어테크놀로지	인 터 실	텔레다이센·세미컨덕터
入力오프셋電壓 (μV)	20	20	± 2	15
入力오프셋溫度 드리프트 ($\mu V/^{\circ}C$)	0.2		0.005	0.25
經時드리프트	0.4 μV /月	0.3 μV /月	0.2 μV /年	
入力換算雜音	9.8 nV/ \sqrt{Hz} (1KHz)	0.9 nV/ \sqrt{Hz} (1KHz)	0.8 μV_{rms} (0.1~10Hz)	11 μV_{p-p} (0.1~10Hz)
入力바이어스電流	1.2 nA	30 nA	30 pA	120 pA
CMRR (dB)	140	126	88	110
드루레이트 (V/ μV)	0.6	15		
備 考	OP-7高精度型	入力差動 임피던스 20K Ω	초퍼形 7601은 位相補償 外付	초퍼 發振器內藏 4回路 1.2回路 들어있음

※ 테이터는 標準值

수 있다. 安定性에서는 하이브리드型的의 특수한 IC를 제외하면 ICL7600/01의 0.005 $\mu V/^{\circ}C$ 는 최고의 것이다. 또 TSC914는 오페 앰프 回路가 1개 들어 있는 911, 2개 들어 있는 913과 더불어 콘벤서와 發振器 內藏에서 汎用品과 간단하게 맞바꿀 수가 있다.

低雜音 앰프로서는 LT 1028이 우수한 特性을 나타내고 있다. 入力換算雜音電壓이 1KHz 에서 약 1nV/ \sqrt{Hz} 이다. 이 수치는 62 Ω 의 저항이 발생하는 熱雜音과 같으며 反轉과 非反轉 入力を 갖는 오페 앰프 구성으로서의 따로 예를 볼 수 없는 特性이라 할 수 있다. 入力 임피던스가 差動入力時에 20K Ω 로 작다는데 설계상에서 주의해야 할 것이다.

나. 低消費 電力

電源으로서 電池를 사용하면 電源이 간단해져서 센서의 휴대가 가능해지는 등의 利点이 있다.

센서回路 가운데서 디지털 論理回路는 CMOS로 구성하면 基本論理(예를 들면 NAND) 1개당 1 μA 이하가 된다. 그러나 트랜지스터는 바이어스 電流를 줄여 가면 信号 增幅機能을 잃게 되므로 앰프의 소비전류를 줄여가는 것은 곤란하다. 市販하는 앰프에는 TL081로 標準值 1.4mA로 되어 있다.

현재, 入手할 수 있는 低消費 電流 오페 앰프는 TL066, TCL271(모두 TI) 등이다. 바이어스

電流可變型에서 TL066은 5 μA , TCL271은 10 μA 부터 사용할 수 있다. 또 TCL 27X시리즈는 回路가 2개 들어 있는 272, 4개 들어 있는 274도 選擇할 수가 있다. 동시에 TCX27시리즈 溫度 드리프트가 標準이며 0.7 $\mu V/^{\circ}C$ 로 작은 것도 특징이다. 電源電壓은 3V부터 作動한다.

電源電壓이 작아도 되는 오페 앰프로서는 ICL 72611/12(인터실)이 있다. 이 IC는 電源電壓 1~16V에서 作動하며 消費電流 200 μA 이다.

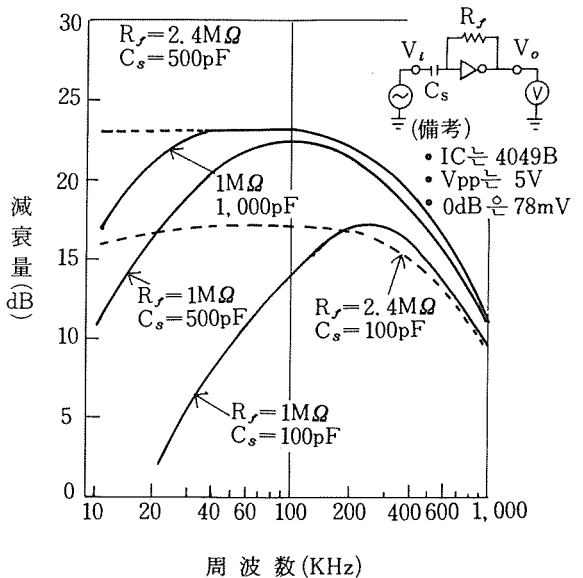


圖 3 인버터 (4049 B) 를 사용한 反轉 增幅器

汎用の 오프 앰프에서는 TL06X 시리즈가 1회로당 200 μ A, LM324 (4회로들이)가 마찬가지로 1회로당 200 μ A (電源電圧 5V時) 등이 低消費電力 앰프이다. 모두 Second Source를 많이 入手하기가 쉽다. LM324는 單一 電源回路用에도 적합한 설계로 되어 있다.

다. 低價格

오프 앰프의 가격은 流通經路에 따라 차이가 크며 안정된 것은 아니다. 그러나, 多數 使用되고 있는 IC일수록 가격이 저렴하며 TL082 (2회로 들이)는 샘플 가격이 120엔 정도이다. 따라서 1회로당 60엔이라는 것이 오프 앰프의 단가가 된다. 저렴한 앰프라면 디지털 論理 回路를 사용한 反轉增幅器가 가장 적합하다. 圖 3에서 보인 앰프는 실제로 玩具의 센서 등에 사용되고 있는 것이지만 단가를 20엔 이하로 구성할 수 있다. 물론 이의 특성은 오프 앰프용 IC를 사용한 것과는 비교할 수 없을 만큼 뒤지고 있다.

라. 特殊 앰프

同相分除去比 (CMRR)가 높은 差動 앰프를 만드는데 적합한 밸런스 抵抗器가 들어 있는 앰프 INA 105 (바브라운取扱), 3 포트 絶緣앰프 AD 210A (아날로그·디바이스즈 : AD), 增幅率의 外部制御가 가능한 AD526 (AD) 등, 센서回路에 이용하고 싶은 특징이 있는 IC가 발매되고 있다. 增幅器도 디지털 回路와 마찬가지로 自作시대에서 IC 選択 時代로 접어든 것이다.

4. 리니어 라이즈

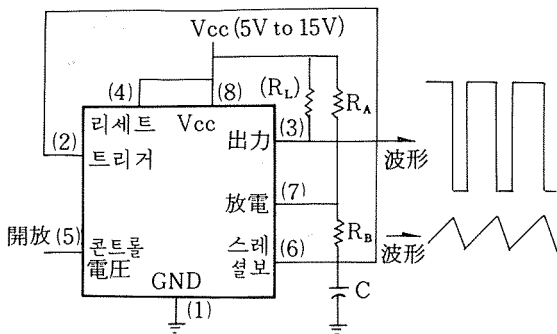


圖 5 서미스터의 抵抗値와 555의 發振周波數 (點은 NE 555를 Vcc=10에서 使用한 實驗值)

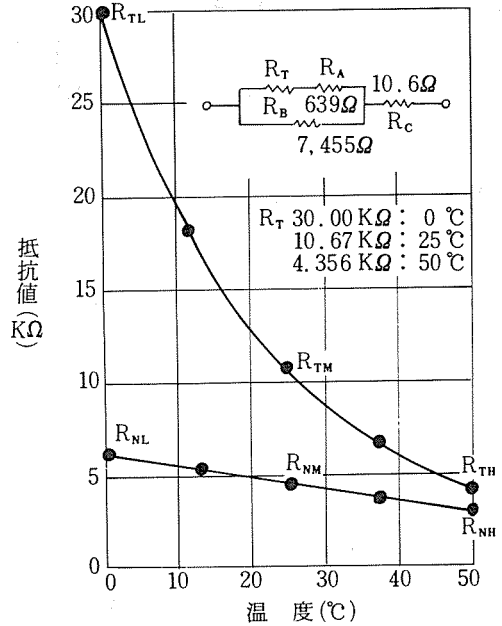
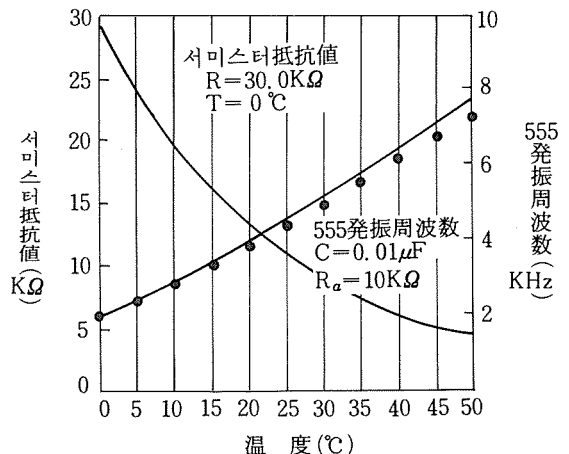


圖 4 서미스터와 補正抵抗器에 의한 네트워크의 抵抗値

센서의 非線形性을 直線化하는 것이 리니어라이즈이다. 이의 대표적인 技法은 다음과 같다. 가. 抵抗器를 센서와 병렬로 접속하는 방법 서미스터라든지 抵抗値 變化型의 湿度 센서와 같이 抵抗値 變化幅이 크고 더우기 指數 関數의 變化する 센서에는 센서와 병렬로 抵抗器를 달아서 抵抗値의 變化幅을 적게 하는 동시에 리니어 라이즈 한다.

圖 4에 JIS로 規定된 서미스터를 0~50°C 사이에서 리니어 라이즈한 사례를 나타내고 있다.



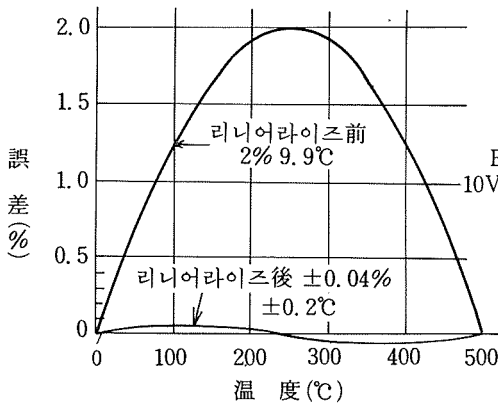
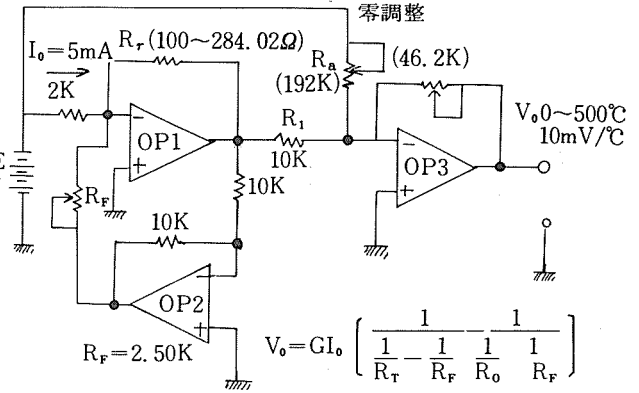


圖 6 白金測濕抵抗體의 正歸還에 의한 誤差의 減少



서미스터의 抵抗值 變化幅이 한자리대 정도이면 그래프상으로는 直線으로부터 떨어진 것은 인정되지 않는다.

나. 周波數 變調에 의한 方法

디지털 회로와 混在하는 경우로서 抵抗值 變化幅이 적을 때 예를 들면 디지털 體溫計 등은 周波數 變調方法이 有效하다.

圖 5는 汎用 타이머 IC 555의 抵抗器 RA 에 서미스터를 사용한 실험사례를 나타낸 것이다. 디지털 회로에 信號를 입력하는 수단으로서도 A/D變換器를 必要로 하지 않는 이점이 있다.

다. 正歸還에 의한 方法

센서出力의 수치가 커짐에 따라 增加率이 감소하는 경향을 나타내는 것, 포화하는 것 등에는 正歸還에 의한 리니어 라이즈가 有效하다.白金測濕抵抗體를 0~500°C에서 10mV/°C의 出力을 얻을 수 있도록 補正한 回路의 오차를 圖 6에서 나타낸 것이다.

라. 테이블 補間法

마이크로 컴퓨터를 사용하여 ROM 테이블에 補正表를 작성해 둔다. 예를 들면 12비트의 데이터이면 上位 4비트의 데이터로 補正表를 檢索하여 下位 8비트의 데이터로 直線補間한다. 이 경우 아날로그 회로에서는 15번이나 折線近似的을 한 것과 동등하다.

이 方法은 디지털 信號의 處理方法으로서 널리 이용되고 있다. 그러나 入力信號 크기의 폭이 넓으면 A/D變換時의 오차가 크며 精度가 약

화되므로 信號壓縮한 후에 A/D變換하는 것이 좋은 것이다.

마. 關數近似的

앞에서 말한 테이블 補間法은 處理속도가 빠르고 가장 實用的인 方法이라 할 수 있다. 그러나 테이블表를 작성할 때와 스텝間이 넓을 때는 高次의 關數 近似가 행해진다. 高次의 關數 近似를 하기 위해서는 먼저 變數의 범위를 絕對值에서 1이하가 되도록 規格化한다. 다음으로 N點의 데이터로부터 N-1次式을 만든다. 이 式을 테일러 展開 또는 체비셰프 展開로 近似한다. 圖 7에 0~900°C의 범위에서 熱電對E(CRC)를 4次式에서 近似한 결과가 제시되고 있다. 테일러 展開 近似에서는 變數의 極限 근방에 誤差가 급증한다.

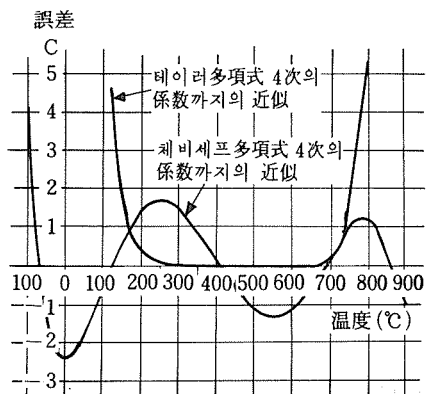


圖 7 데이터 展開의 체비셰프 展開에 의한 近似 誤差의 比較

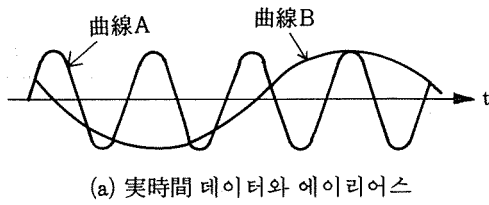


圖 8 샘플링과 에이리어스

5. A/D變換器의 사용방법

가. 샘플링

데이터의 샘플링은 신호중에 포함되어 있는 최대주파수의 2배 이상의 주파수로 한다. 예를 들면 音聲주파수에서 20KHz까지의 신호를 샘플링하기 위해서는 40KHz 이상에서 샘플링한다. 그 이하의 주파수에서 샘플링하면 에이리어싱 (Aliasing)이라 불리는 현상이 나타난다. 圖8에 實時間 領域과 周波數 領域에서 Aliasing을 나타낸다.

圖 8 (a)에 있어서 曲線B를 實在의 信號 10 KHz로 한다. 샘플링 點은 黑點에서 나타나며 周波數는 8 KHz이다. 따라서 信號10KHz의 절반 5 KHz를 對稱軸으로 하여 8 KHz를 反轉한 周波數 2 KHz가 Aliasing으로 되어 曲線A로서 나타난다.

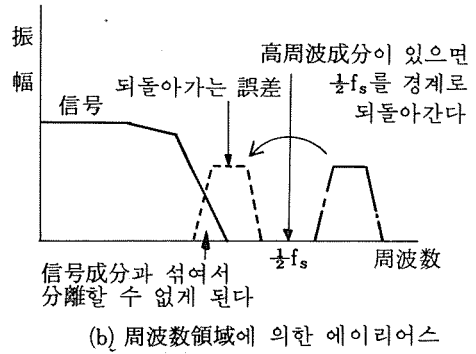
周波數 領域에서 나타내면 같은 圖 8 (b)와 같은 反還 誤差로서 나타난다.

따라서 FFT 등이 분석한 데이터는 샘플 周波數의 1/2 이하의 데이터만이 의미가 있는 데이터이다. 그러나 디지털 필터 등으로 信號處理할 때는 샘플 周波數의 1/2의 周波數에 대해 대칭에 필터를 걸 필요가 있다.

나. A/D變換器의 선택

A/D變換器를 선택하는 데는 分解能, 變換時間과 變換方法, 非直線精度 등을 선택기준으로 한다. 分解能은 8 비트에서 0.39%, 12비트에서 약 0.024%가 된다.

變換時間은 變換方法에 따라 달라지지만 變換方法은 주로 並列比較, 逐次比較, 2重積分型 등이 있다. 대부분의 變換時間은 並列比較



(b) 周波數 領域에 의한 에이리어스

가 ns, 逐次比較가 μs , 2重積分이 ms의 순서로 되어 있다. 画像處理에는 並列比較, 퍼스널 컴퓨터 정도의 信號入力에는 逐次比較, 판넬 미터 등은 2重積분을 각각 사용하고 있다.

사용상에 있어서 주의할 점으로서는 逐次比較方式은 A/D 變換中에 아날로그 入力이 변화하면 最終變換值가 폭주하는 우려가 있다. 따라서 통상은 아날로그 데이터용 샘플 홀드 回路를 附加한다.

한편 2重積分方式은 變換時間은 오래 걸리지만 變換中에 아날로그 入力이 변화하더라도 변화는 평균화되어 出力 디지털 데이터에 나타나기 때문에 오차는 적어진다. 나아가서 이 성질을 적극적으로 이용하여 데이터 積分時間을 商用電源이 誘導하는 잡음을 제거하는 메리트가 있다. 溫度計測 등과 같이 변화가 완만하다고 미리 알려지고 있으나 計測에는 2重積分型 A/D 變換器를 적극적으로 사용해야 한다.

다. 마이크로 컴퓨터와의 接統

마이크로 컴퓨터와의 접속은 일반적으로는 圖 10과 같이 된다. A/D變換器의 내부에는 마이크로 컴퓨터와의 인터페이스를 포함한 IC도 많이 시판되고 있으며 특히 어려움 없이 접속할

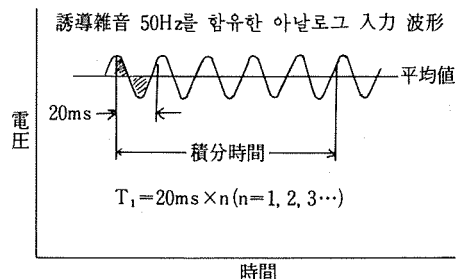


圖 9 아날로그의 積分時間과 商用電源 誘導雜音의 除去

수가 있다.

퍼스널 컴퓨터용에는 A/D 변환 보드가 多数市販되고 있으며 販賣台수가 많은 퍼스널 컴퓨터에서는 가격적으로도 自作했을 경우와 差無없이 入手할 수 있다. 예를 들면 NEC의 PC98 시리즈용의 12비트 8채널, 變換時間 25 μ s의 A/D 變換 보드가 6만엔대에서 製品化되고 있다.

라. 퍼스널 컴퓨터와 A/D 변환 소프트웨어

퍼스널 컴퓨터에 A/D 변환기를 접속했을 때의 소프트웨어에 대해 PC 9801을 예로 들어 설명한다.

퍼스널 컴퓨터용 언어로 A/D 변환 데이터를 퍼스널 컴퓨터상에 집어 넣는 순서로서는 Out 명령으로 채널 設定과 샘플 홀드 및 A/D 變換開始의 신호를 出力하여 A/D 變換기의 EOC (End of Conversion)를 체크한 다음 INP 명령으로 데이터를 넣는다. NEC의 n88 BASIC의 Out 와 INP 命令은 8비트 데이터밖에 供給할 수 없기 때문에 8비트 이상의 데이터는 上位와 下位로 分割하여 入力한다.

BASIC에서는 1명령에, 약1ms 정도 필요함으로 1 데이터를 配列變數로 入力하는데 10ms 정도 걸린다.

한편 Machine 用語를 사용하면 CPU에 의한 MOV 명령으로 배열에 전송해도 A/D 變換時間 플러스 10數 μ s 정도에서 연속적으로 데이터를

入力할 수 있다.

BASIC은 MS-DOS 상의 n88 BASIC을 사용하여 Machine 用語는 미리 DOS의 아셈블러로 COM 파일로서 작성해 둔다. BASIC 상에서 BLOAD文으로 COM 파일을 Load하지만 이 경우에 COM 파일상의 어드레스가 100H 전환되어 메모리에 들어간다. 다음 CALL文을 實行하여 BASIC 상의 변수를 Machine 用語 프로그램에 인도하는 동시에 Machine 用語 프로그램의 실행을 개시한다.

이 경우 코드 세그먼트는 Machine 用語 영역에 設定되어 있으나 데이터 세그먼트는 BASIC 측에서 管理한 대로 있다. 따라서 데이터 세그먼트를 코드 세그먼트-10H에 다시 設定함으로써 아셈블러에서 設定한 버퍼 領域을 사용하는 일을 할 수 있다. 동시에 버퍼의 오프 세트를 CALL文의 參數를 통하여 BASIC 측에 되돌려 둔다.

이상과 같은 방법으로 BASIC과 Machine 用語가 링크되며 나아가서 각각 독립하여 프로그램의 개발과 변경이 가능해진다.

이상 몇가지 사례로서 센서 回路의 전기적 처리방법을 보아왔다. 센서의 대상이 넓고 변화가 많아 요점을 간추리기가 어렵지만 센서와 回路素子の 작동을 잘 이해하는 것이 기본이 될 것이다.

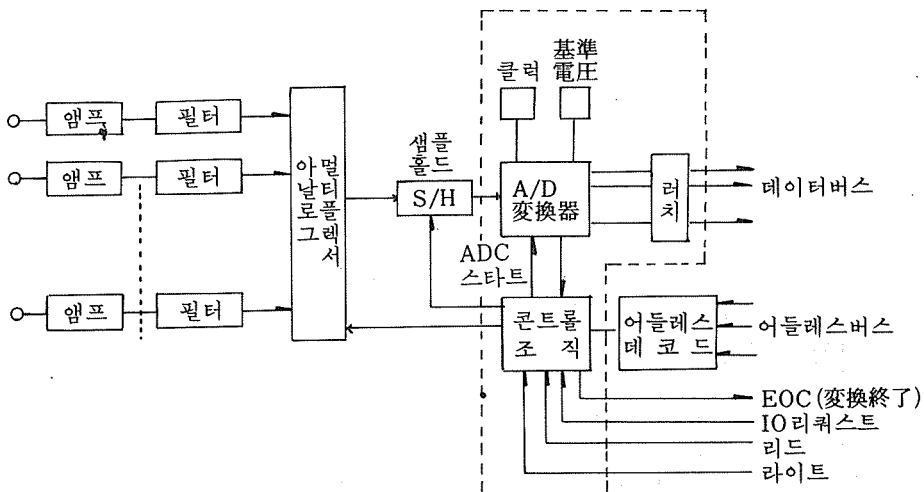


圖10 A/D 變換器와 센서 및 마이크로 컴퓨터의 接續