

C54x DSK를 이용한 디지털 오실로스코프의 구현

이경화* · 정혜윤* · 신건일** · 권호열***

An Implementation of Digital Oscilloscope Using C54x DSK

Lee, Kyung-Hwa* · Chung, Hye-Youn* · Shin, Gun-Il** · Kwon, Ho-Yeol***

ABSTRACT

In this paper, a digital oscilloscope is implemented using a C54x DSK with PC. This digital oscilloscope has some basic measurement functions with a capability to change Volt/Div and Time/Div as well as to set appropriate trigger level automatically. Also several stored waveforms and current input waveform can be displayed simultaneously. Experimental results show that our approaches are versatile and cost-effective particularly in educational installment.

1. 서 론

디지털 신호처리 프로세서 (DSP) 는 외부로부터 입력된 음성 등의 아날로그신호를 디지털신호로 변환하여 실시간으로 고속 처리하는 전용 프로세서이다.[1] 사운드, 이미지, 비디오 등의 멀티미디어 정보는 원시신호 상태에서는 대부분 아날로그 형태로 구성되어 있으며, 이들 아날로그 정보를 컴퓨터로 처리하려면 디지털형식으로 변환시켜야 할 뿐 만 아니라 변환된 디지털 신호로부터 원하는 결과를 얻기 위해 많은 수치연산 작업이 이루어져야 한다. DSP는 이와 같은 과정을 보다 효율적으로 처리할 수 있도록 설계된 반도체 연산장치로서 각종 미디어 기기의 성능을 높이기 위해 사용되고 있다. 멀티미디어 정보처리의 양이 방대해지고 있는 오늘날, 멀티미디어의 핵심 프로세서인 DSP의 중요성은 점차 증대되고 있다.[2][6]

한편, 오실로스코프는 전자 분야에서 가장 광범위하게 사용되는 장비중의 하나로서 시시각각으로

변화하는 전기적인 신호의 변화를 스크린상에 반복적으로 묘사시켜 파형, 또는 다른 전기현상들을 측정, 분석하는데 사용되는 실험용 측정기기이다.[3] 특히, 최근 많이 쓰이기 시작한 디지털 오실로스코프는 함수발생기 등의 신호원으로부터 얻어지는 아날로그 신호파형을 충분히 높은 속도로 샘플링하여 디지털 신호로 변환시킨 후 스크린 상에 출력하는 오실로스코프로서, 자체적으로 내장하고 있는 DSP와 메모리를 이용하여 주파수 스펙트럼상의 다양한 필터링 처리는 물론 파형의 일시저장 및 재생기능을 이용한 신호파형의 비교분석등에 탁월한 성능을 가지고 있으므로 연구용은 물론 기초실험을 위한 교육용 측정장비로 활용용도가 커지고 있다.

본 논문에서는 Texas Instruments사의 TMS320 C542 DSP 가 장착된 개발자키트인 C54x DSK를 이용하여 디지털 오실로스코프를 구현하였다. 먼저 디지털 오실로스코프를 구현하기 위해 사용된 DSK의 구조를 설명하였으며, 전체 프로그램의 수행과정, 트리거 구현방법 및 프로그램의 구현 환경에 대해 기술하였다. 이와 더불어 프로그램의 실행 결과를 보이고, 프로그램의 개선할 사항에 대해 논하였다.

* 강원대학교 컴퓨터공학과

** 강원대학교 대학원 전자공학과 석사과정

*** 강원대학교 컴퓨터공학과 부교수

이 연구는 강원대학교 멀티미디어 특화연구센터(MRC)의 1997년도 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

2. C54x DSK의 구성

C54x DSK의 구성도는 그림 1과 같다. DSK는 아날로그 입력 단자로부터 받아들인 아날로그 신호를 디지털 데이터로 변환하여 주는 TLC320AC01과 40 MIPS로 고정 소수점 연산을 하는 TMS320C542 DSP, 그리고 PC와 DSP사이의 통신을 위한 HPI (Host Port Interface) 등으로 구성되어 있다.[4]

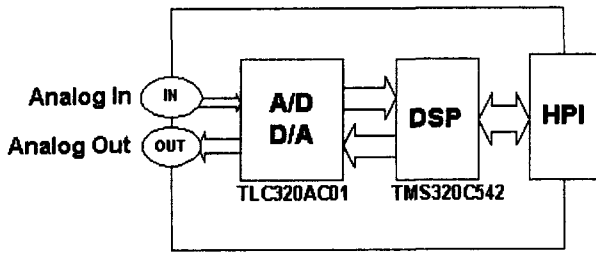


Fig 1. DSK (DSP Starter Kit)

AC01은 아날로그-디지털 변환(A/D)과 디지털-아날로그 변환(D/A)이 각각 14 bit의 분해능과 70 dB의 신호대외형율을 갖는 음성대역폭의 프로세서로서, A/D 채널을 이용해 입력받은 데이터를 동시에 D/C 채널로 전송하는 것이 가능하다. AC01이 수용할 수 있는 최대 주파수는 10.8 kHz이며, A/D 채널의 샘플링율은 최대 43.2 kHz, D/A 채널의 샘플링율은 최대 25 kHz 이내로 프로그램에서 설정 가능하며, 기본설정값은 15 kHz이다.[5]

C542 DSP는 하나의 프로그램 버스와 3개의 데이터 버스, 4개의 어드레스 버스를 가진 진보된 하버드 구조로 설계되었으며, 응용 프로그램을 위한 특별한 논리 회로를 포함하고, 온-칩 메모리, 온-칩 주변 장치들, 그리고 고도로 분화된 명령 집합으로 구성되어 있다. 또한 주변기기의 빠른 개발을 위해 모듈 구조로 디자인되었고, 성능향상과 낮은 전력 소비를 위해 진보된 IC 제조 기술을 사용하고 있다.

HPI는 PC에서 제어신호를 C542로 전송하거나, DSK에서 처리된 결과를 PC로 전송할 수 있도록 한다. 8비트 양방향 전송과 4비트 단방향 전송을 모두 지원함으로써, 고속의 응용 프로그램을 실현하는 것이 가능하다.

3. 디지털 오실로스코프의 구현

3.1 시스템의 구성

DSK를 이용해 디지털 오실로스코프를 구현하기 위해 사용한 하드웨어는 펜티엄 MMX 200 MHz에 32MB의 램이 장착된 PC와, C54x DSK, 그리고 신호원인 함수발생기와 측정과형의 검증을 위한 아날로그 오실로스코프이다.

각 장치들의 연결은 그림 2와 같다. 연결된 시스템에서 DC 5V의 전압을 사용하는 DSK는 함수발생기로부터 입력받은 아날로그 신호를 디지털화하여 HPI를 통해 PC로 전송하고, 동시에 디지털화된 신호를 아날로그 신호로 변환하여 출력 포트를 통해 오실로스코프로 전송한다. HPI는 프린터 케이블을 이용해 PC의 병렬 포트와 연결된다.

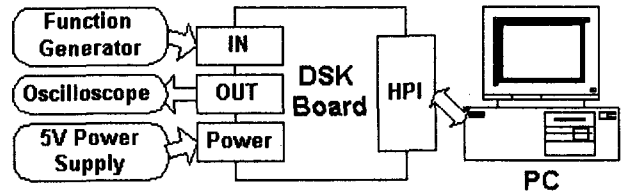


Fig 2. Experimental Setup

3.2 소프트웨어 개발환경

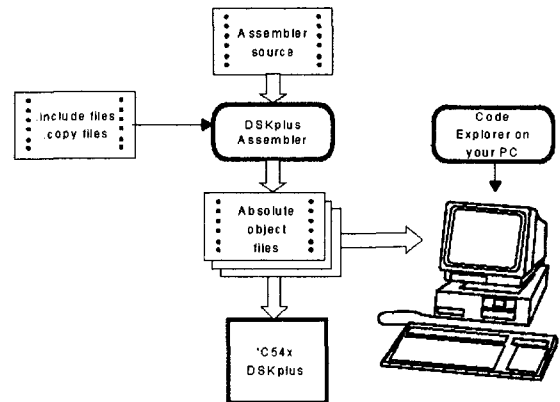


그림3. DSP 어셈블러 개발 과정

그림 3은 어셈블러 소프트웨어의 개발과정을 보여준다. DSP 어셈블러는 어셈블리 파일을 입력받아, 실행 코드를(object files) 생성한다. 생성된 코드는 DSP의 로더인 LoadApp.exe에 의해 DSP

의 메모리에 적재되고 실행된다. 코드가 적재된 후에 시스템은 LoadApp.exe의 실행을 종료하고, 도스 프롬프트를 복귀시킨다. 실제로 본 논문에서 구현된 오실로스코프에서는 별도의 로딩 과정없이 PC에서 실행되는 프로그램의 시작부에서 DSP 실행 코드를 DSP로 자동 적재하도록 개선하였다.

이와 함께 본 논문에서는 DSP에 적재되는 어셈블리 프로그램을 위해 C54x Code Explorer를 사용하였고, 스크린상에 파형을 출력하기 위한 프로그램의 작성에는 Borland C++ 3.1 컴파일러를 이용하였다.

3.3 동작 순서도

프로그램은 DSK의 DSP에서 실행되는 부분과, PC에서 실행되는 부분으로 나눌 수 있다. 그림 4에서 왼쪽은 DSK에서 실행되는 부분, 오른쪽은 PC에서 실행되는 되는 부분의 순서도이다.

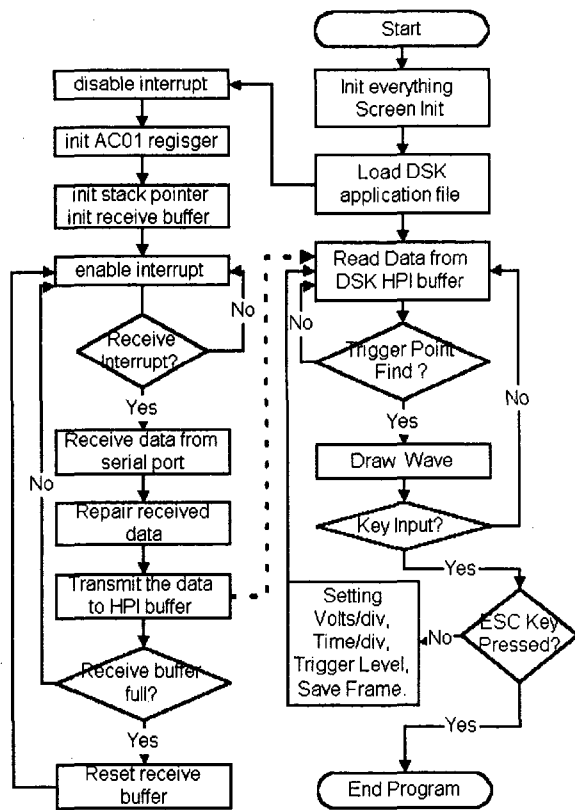


Fig 4. System level flow chart

DSP에서 실행되는 부분은 아날로그 신호를 디지털화하여 버퍼에 저장하는 역할을 한다. 프로그램은 우선 인터럽트 불가 상태에서 AC01의 레지

스터와 DSP의 수신버퍼, 스택 포인터등을 초기화한 뒤 인터럽트를 가능하게 한다. 인터럽트 가능 상태에서 수신인터럽트가 걸릴 경우 직렬포트로부터 데이터를 가져와 HPI 버퍼로 전송한다. 수신버퍼가 가득차면 초기화를 해주고 프로그램은 계속된다.

PC에서 실행되는 부분은 DSK로부터 데이터를 받아들여, 스크린상에 출력하는 역할을 한다. 먼저 Volts/div, Time/div, Samples 등을 초기화 하고 DSK의 HPI 버퍼로부터 디지털화된 데이터를 읽어 들인다. 그런 다음 출력 데이터의 최소값과 최대값을 구하여 그 중간값으로 트리거레벨을 자동 설정한 뒤 Volts/div, Time/div 설정값에 따라 스크린 상에 파형을 출력한다. 키보드로부터 입력이 들어와 Volts/div, Time/div, 트리거 레벨등의 설정값이 변경될 경우에 그 설정치는 다음에 출력될 파형부터 적용된다. 프로그램은 ESC키가 입력될 때까지 계속 실행된다.

3.4 디지털 트리거의 구현

일반적으로 아날로그 방식을 사용한 오실로스코프에서는 음극선관에 반복적으로 표시되는 입력 파형을 정지시킨 것처럼 나타내기 위해서 입력신호와 시간축 편향신호의 주기가 정수배로 일치시키는 트리거기능을 사용한다. 반면에 디지털 오실로스코프에서는 모든 입력파형이 일단 수치데이터로 변환되어 저장된 후 화면에 표시되므로 시간축 편향신호의 주기를 제어하지 않아도 입력파형의 수치데이터를 분석하여 트리거시점을 결정할 수 있으므로 트리거기능의 구현에 상대적으로 많은 융통성을 갖는다.

본 연구에서 구현된 트리거는 먼저 얻어진 데이터를 분석하여 최적의 트리거레벨을 설정한 후, 설정된 트리거레벨을 기점으로 트리거의 기준값을 결정하고, 끝으로 그 기준값과 다음에 출력될 파형의 데이터를 비교하여 트리거 시점을 찾는 세 단계 과정을 거치도록 되어있다.

(1) 트리거레벨의 설정

트리거를 구현하기 위한 첫 번째 과정인 디지털 오실로스코프의 트리거레벨을 설정하는 방법으로서, 본 연구에서는 제어프로그램에서 자체적으로 자동설정하는 경우와 사용자에게 의해 직접 수동 설정되는 경우를 모두 고려하였다. 그리고 트리거를 발생시키는 파형의 경사조건은 신호파형의 1차 미분치가 양이 되도록 설정함으로써 입력신호가

증가하면서 신호레벨이 트리거레벨과 일치할 때 트리거 기능이 동작하도록 하였다.

자동설정의 경우에는 먼저 그림 5처럼 신호파형의 최대값과 최소값을 검출한 후, 이들로부터 계산하여 얻은 중간값으로 트리거 레벨이 설정된다. 그러나 수동설정의 경우 트리거레벨은 사용자가 임의로 설정한 특정레벨로 설정된다.

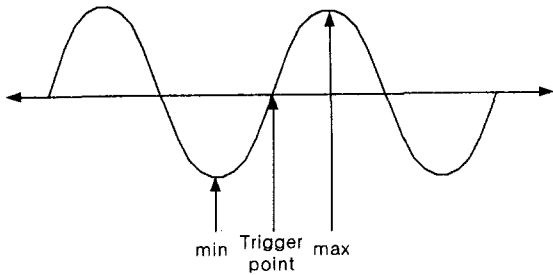


Fig 5. Search for a trigger level

(2) 트리거 기준값의 설정

트리거레벨이 설정되었다면, 트리거레벨을 시점으로 하는 트리거 기준값을 결정하여, 세 번째 과정에서 다음에 출력할 파형의 데이터에서 설정된 트리거 기준값과 유사한 부분을 검색함으로써 현재의 파형과 동일한 시점에서 트리거가 발생할 수 있도록 하였다.

```

if(trigger == TOFF) {
  do{
    y1=thisframe[pixel];
    y2=thisframe[pixel+1];
    y3=thisframe[pixel+2];
    if( (y1>=level-5)&&(y1<=level+5)&&(y1<=y2)
      &&(y2<=y3) ) {
      X1=y1; X2=y2; X3=y3;
      find = OK;
      trigger = TON;
    }
    else pixel++;
  }while( (pixel<=findend) && (find != OK));
}

```

Fig 6. Reference level setup in Trigerr OFF

디지털 수치데이터 형태로 저장되어 있는 신호 파형을 조사하여 트리거의 레벨과 경사에 대한 조

건을 동시에 만족하는 트리거 시점을 찾아 트리거 기준값을 결정하는 프로그램은 그림 6과 같다.

우선 트리거의 기준값을 설정하기 위해 신호파형에서 연속된 3개의 샘플데이터를 변수 y1, y2, y3에 차례로 저장한뒤 트리거 발생기준을 만족하는지 조사한다. 만약 y1이 설정된 트리거 레벨에서 ±5 범위안에 속하고, y2가 y1과 같거나 큰 값이며, y3가 y2와 같거나 큰 값일 경우 y1, y2, y3를 트리거의 기준값으로 인정하였다. 여기에서 y2와 y3는 트리거의 경사조건을 만족시키기 위해 위와 같이 설정하였으며, y1은 신호파형의 진폭이 지나치게 크거나 주파수가 높은 경우에는 신호의 샘플데이터의 변화가 커져서 레벨이 정확하게 트리거레벨에 일치하지 않는 경우를 고려하여 트리거레벨을 중심으로 ±5 범위안의 값으로 설정하였다.

y1, y2, y3 모두가 트리거의 기준값 설정조건을 만족시키면 트리거는 ON 상태로 되고, X1, X2, X3 에 그 값을 저장하여, 세 번째 트리거 구현 과정에서 사용하도록 하였다. 만약 y1, y2, y3가 설정조건을 만족하지 못했다면 다음의 샘플데이터를 읽어와 트리거의 기준값을 찾는 과정을 반복한다.

트리거의 기준값은 트리거가 OFF 상태일 경우, 사용자에게 의해 트리거 레벨이 설정될 경우, 출력 신호의 Volts/Div이 변경되어 출력 데이터가 변경될 경우에 재설정되도록 하였다.

그림 7은 트리거 레벨이 0일 경우에 위의 과정을 거쳐 설정된 트리거 기준값 X1, X2, X3를 보여준다.

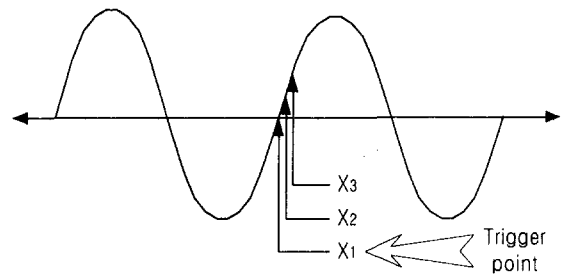


Fig 7. Search for a trigger timing

(3) 트리거시점 결정

트리거 기준값이 설정되어 트리거가 ON 상태 라면, 다음에 출력 될 파형에서 현재 출력되고 있는 파형의 트리거와 동일한 시점에서 트리거가 일어나도록 하기 위해 설정된 트리거 기준값과 유사

한 부분을 다음에 출력될 파형의 데이터에서 찾아 내야 한다. 그 과정은 그림 8과 같다.

```

if(trigger == TON) {
    dot
    y1 = thisframe[pixel];
    y2 = thisframe[pixel+1];
    y3 = thisframe[pixel+2];
    if( y1<=y2 && y2<=y3) {
        if( ((y1-2)<=X1) && (X1<=(y1+2)) ) {
            diff = (y2-y1)-(X2-X1);
            if( (-3<=diff) && (diff<=3) ) {
                diff = (y3-y2)-(X3-X2);
                if( (-4<=diff) &&(diff<=4) ) {
                    find = OK;
                }
            }
        }
    }
    pixel++;
}while( pixel <= findend) && ( find != OK );
y1=y2=y3=0;
if( find != OK ) {
    trigger = TOFF;
    pixel = 1;
}
}

```

Fig 8. Trigger timing setup in Trigger ON

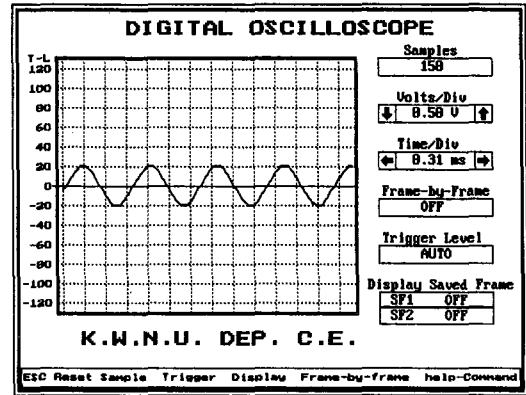
트리거의 기준값을 설정하는 방법과 비슷한 방법으로, 다음에 출력될 샘플데이터를 변수 y1, y2, y3에 순서대로 저장한 뒤, 트리거의 기준값이 들어있는 X1, X2, X3와 각각 비교한다. y1은 X1을 중심으로 ± 2 범위안의 값, y2는 X2-X1과 y2-y1의 차이가 ± 3 범위안의 값, y3는 X3-X2와 y3-y3의 차이가 ± 4 범위안의 값이면 설정된 기준값과 현재의 데이터샘플이 동일한 것으로 인정한다. 여기에서 동일데이터로 인정하는 범위를 각각 ± 2 , ± 3 , ± 4 로 설정한 이유는 이 범위를 작게하면 출력될 파형의 데이터에서 트리거 기준값과 유사한 부분을 찾을 확률이 낮아지고, 크게 하면 트리거 발생범위가 넓어짐에 따라 출력되는 파형이 지나치게 좌우로 진동하기 때문에 이처럼 설정하였다.

y1, y2, y3가 위의 세 조건을 모두 만족하지 못했을 경우는 다음 샘플데이터에서 기준값과 일치하는 부분을 검색한다. 현재 출력될 파형의 전체 데이터에서 설정된 트리거 기준값과 일치하는 부분을 찾지 못하면 Trigger는 OFF 상태로 되고,

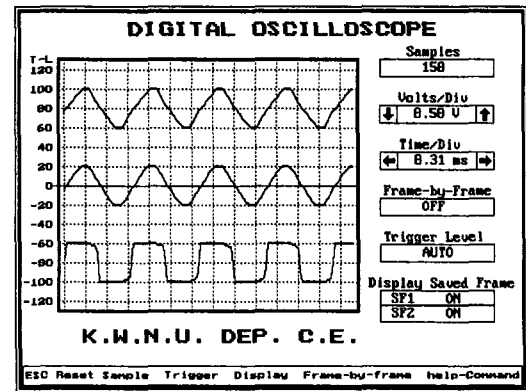
트리거 레벨은 자체적으로 재설정된다.

4. 실험결과

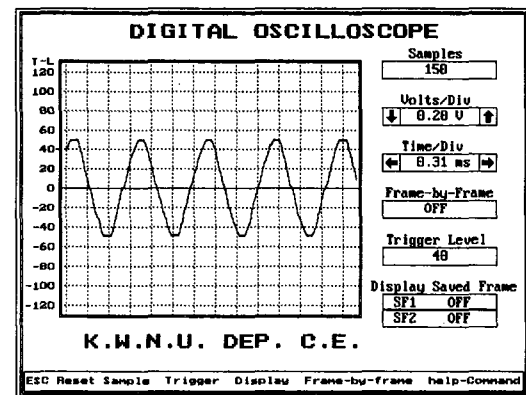
구현된 디지털 오실로스코프의 출력화면은 그림 9와 같다.



(a)



(b)



(c)

Fig 9. Results. (a) Sine wave. (b) Comparisons of stored waveforms. (c) Triggered waveform.

구현된 시스템에서 Volts/Div는 0.1V에서부터 0.2V, 0.5V, 1V, 2V, 5V 로 위/아래 방향키를 이용하여 변경가능하고, Time/Div 값은 최대 0.62ms에서 최소 0.04ms까지 왼쪽/오른쪽 방향키를 사용하여 변경 할 수 있다. 출력 가능한 샘플수는 20개에서 300개로 'S' 키를 사용하여 입력할 수 있다. 또한 'D' 키를 사용하여 파형을 2개까지 저장할 수 있으며, 저장된 파형을 동시에 보여주는 것이 가능하다.

트리거 레벨을 설정하는 것은 'T'로서, 트리거 레벨을 설정해 주지 않았을 경우는 파형의 최대치와 최소치의 중간값으로 상승 경사면에서 자동 설정된다. 만약 입력된 트리거 레벨이 파형의 최대, 최소치를 초과 했을 경우에도 위와 동일한 방법으로 자동 설정된다. 또한 'F' 키를 이용하여 화면을 정지시킨 뒤, 스페이스바를 누르면 화면 단위로 파형을 볼 수 있다. 'R'키는 DSK에 실행파일을 다시 적재시킴으로서 DSK를 재초기화한다. 프로그램은 'ESC'키를 누르면 종료된다. 또한 위에서 설명한 모든 기능들은 마우스를 통해서도 이용가능하다.

구현된 오실로스코프에서 샘플링율은 36 kHz로 설정하였으며 처리 가능한 최대 주파수는 A/D 변환기의 특성상 10.8 kHz 이다. 그림 9(a)는 0.5 V/Div, 0.31 ms/Div, 샘플수 150개인 1 kHz의 정현파이다. 그림 9(b)는 0.5 V/Div, 0.31 ms/Div, 샘플수 150개로 저장된 1 kHz의 삼각파와 구형파를 현재 출력되고 있는 정현파와 동시에 나타내고 있는 것이다.

그림 9(a)와 그림 9(b)에서 트리거 레벨은 파형의 최대값과 최소값의 중간 값으로 자동 설정된 상태이다. 그리고 마지막 그림 9(c)는 1 kHz의 정현파를 0.2 V/Div, 0.31 ms/Div, 샘플수 150개, 트리거 레벨을 40으로 설정한 경우이다.

5. 결 론

본 논문에서는 TMS320C542 DSP가 장착된 C54x DSK 를 이용하여 디지털 오실로스코프를 구현하였다. 구현된 시스템은 음성대역이상의 낮은 주파수에 대하여 양호한 파형측정 성능을 보여주고 있으며, 디지털 메모리를 이용한 디지털 트리거 기능과 입력 파형의 저장을 통한 다수파형의 동시 비교분석기능은 본 연구에서 구현된 디지털 오실로스코프의 활용도를 크게 높일 것으로 기대된다.

본 논문의 주제와 관련하여 추후 연구되어야 할 과제는 현재 도스상에서 구현되어 있는 시스템을 개선된 그래픽 사용자 인터페이스를 제공할 수

있도록 윈도우즈환경에서 실행하도록 개선하는 일과, 스펙트럼 분석기능을 포함하는 다양한 디지털 신호처리기능을 DSP를 이용하여 구현하는 일, 그리고 피측정 신호파형의 주파수범위 및 측정감도를 보다 넓힐 수 있도록 A/D변환 및 D/A변환 부분을 새로 설계하는 일 등이다.

참 고 문 헌

1. K. Sheno, Digital Signal Processing in Telecommunications, Prentice-Hall, 1995.
2. Texas Instruments, TMS320C54x DSP Reference set, Owensville, 1996.
3. 大韓電子工學會編, 基礎電氣電子工學實驗, 敎學社, 1995.
4. Texas Instruments, TMS320c54x DSKplus DSP Starter Kit User's Guide, 1996.
5. Texas Instruments, TLC320AC01C Data Manual, 1996.
6. Texas Instruments, TMS320c54x DSP Design Workshop Student Guide, 1997.