

Dual-slope A/D 변환을 이용한 배전선 전압관리용 계측기 개발

(Development of the voltage management recorder using a dual-slope A/D converter for power distribution lines)

손 수 국*

(Su - goog Shon)

요 약

본 논문에서는 배전선의 전압관리를 위한 계측시스템의 개발에 관하여 제안한다. 배전선 전압특성 및 측정상의 문제점이 분석되고, 전압관리를 위한 계측기의 기능에 대하여 제안한다. 노이즈 특성이 좋은 이중기울기 (dual-slope) 방식의 A/D 컨버터를 적용하여 전압측정을 하는 알고리즘과 배전선 전압관리계기의 개발에 관하여 제안한다. IEEE 1159기준 분석에 따른 배전선의 정전 및 복귀 와 규정전압 초과 빈도 수 같은 전압변동 특성 등이 데이터베이스 제안에 의하여 분석된다. 실험을 통하여 그 편리성이 증명된다.

Abstract

This paper describes the development of a new voltage recorder for the voltage management of power distribution lines. The voltage characteristics and measurement problems for the power distribution lines are analyzed, and the functions required for the recorder are discussed. Applying a dual-slope A/D converter with low noise characteristics the voltage measurement algorithm, design and implementation for the recorder are discussed. Finally, the voltage variations of long-duration over-voltages or under-voltages, and short-duration temporary interruption based on IEEE 1159 are analyzed. It is verified with the experiment.

Key Words : dual-slope, voltage record, event recorder, voltage management

1. 서 론

* 주저자 : 수원대학교 정보통신공학과 교수
Tel : 031-220-2615, Fax : 031-220-2494

E-mail : sshon@mail.suwon.ac.kr

접수일자 : 2002년 5월 20일

1차심사 : 2002년 5월 21일, 2차심사 : 2002년 7월 22일

심사완료 : 2002년 8월 27일

전력산업의 구조조정 과정 중에 배전산업의 민영화
가 언급되고 있으며, 배전선의 품질에 따른 전력요
금 차등화 정책이 언급되고 있다. 첨단시설을 운영하
는 전기사용자가 전기품질 특히 전압품질에 대한 요
구조건을 강화하고 있기 때문이다. 점차 전압관리의
중요성이 증대하고 있고 이에 따른 국제적인 관리기
준 제정 및 검토도 활발히 연구되고 있다. 국내에서는

과거에 제정된 전압관리 기준 및 측정방법에 의하여 수행되어 오고 있는데 수요자의 요구에 상응한 전압 관리기법이 연구되어져야겠다.

전압측정기술은 아날로그와 디지털 방식으로 구분되어진다. 전압측정기의 정밀도는 보통 아날로그 방식 경우 전체측정범위에 대하여 $\pm 2\%$, 디지털방식 경우 $\pm 0.6\%$ 로 나타나 있다[1]. 디지털방식의 전압측정을 위해서는 A/D 컨버터에 의한 아날로그의 디지털 신호로의 변환이 필요하다. A/D 변환 방법에도 병렬과 직렬 방식으로 구분되는데, 각기 장단점이 있다. 직렬방식의 경우 단일기울기(slope)와 이중-기울기(dual-slope) 방식이 사용되고 있는데, 본 연구에서는 계측기의 크기를 줄이는 목적으로 노이즈 특성에서 우수한 것으로 나타난 이중기울기 컨버터를 채택한다[2].

배전선 전압관리에서는 전압의 측정 외에도 정전 및 복귀 관리, 과/부족 전압관리, 및 배전선 인입/말단 지점 전압관리 등을 위한 다양한 관리변수가 필요하다. 또한 시계기능, 전원, 및 통신 등도 해결되어야 하는 중요변수들 중의 하나다.

IEEE Standard 1159-1995 [3]에는 단상 배전선의 전압품질에 대한 이론적 평가기법 그리고 IEEE P1159.1 [4]에는 전압품질 측정 및 기록에 관한 사항이 제안되어 있다.

IEEE 1159에 따르면 전압품질은 기간에 따라 과도, 단기, 장기(long-duration)로 분류되어 평가가 이루어지고 있다. 정밀한 전압품질 평가를 위해서는 과도 또는 단기간의 전압변화 특성인 평균전압(slow averaging), 순간저전압/순간고전압(sag/swell), 및 임펄스 값들에 대한 통계처리가 필요하다. 또한 각종의 외란(disturbance) 카운트에 대한 측정도 필요하다. 현재로서는 이러한 정밀 측정을 위하여 수 천 만 원이나 하는 고가의 장비를 사용하여야한다. 이러한 장비를 배전선 전압관리를 위하여 여러 곳에 설치하는 비용 및 운영상의 문제가 있다. 종전[5]의 제품보다 소형이며, 저렴하고 사용이 편리한 전압관리용 기록계기를 개발할 필요가 있다. 이는 더 많은 전기수요자를 위한 전압품질 평가가 실질적으로 가능해지는 장점이 있다.

과거 10여 년 전에 만하여도 배전선에서의 전압측

정 및 기록은 잉크에 의한 펜-레코드형 계기가 주로 사용되었다. 측정 과 분석에서의 부정확함을 개선하고자 새로운 개념의 전압기록계기를 개발하게 되었다. 측정된 전압을 메모리카드(SRAM)에 저장한 후에 컴퓨터를 이용하여 자동으로 저장된 데이터를 분석하는 계측기였다[5]. 그밖에도 전자계측기술의 발달로 많은 전압기록 관련 계측장비들이 출현하게 되었다. Oscillographic 기록계라는 계측기는 플래시 메모리에 디지털 전압의 실효치를 기록하며, LCD 에 측정 및 저장된 데이터를 그래프로 표시한다. 혼합형(Hybrid) 기록계는 교류전압을 플라피 디스크에 저장하고 RS-232C 통신 케이블을 통하여 PC로 데이터를 전송한 후에 측정 데이터를 분석한다. 이밖에도, 범용 데이터 로거가 있는데 이는 평균전압 값만 기록하도록 되어 있다. 이 밖에도 사건(event)기록계기는 정전 또는 복귀시각만 기록하고 있다.

본 논문에서는 종전의 측정장비보다 저렴하고, 소형이면서 기능도 뛰어난 전압관리용 계측기의 개발을 목표로 하였다. 이를 위하여 전압 측정기록기술과 사건기록 기술을 융합하였으며, 이중기울기 A/D 및 마이크로콘트롤러의 적용에 의하여 가능하게 되었다. 이에 대한 알고리즘 개발 및 고려사항에 관하여 연구한다. 결론으로 목적인 전압관리계기가 개발되었으며 실험적으로 평가된다.

2. 배전선 전압관리 규정 및 고려사항

2.1 배전선 전압관리 규정 분석

현재 과도 및 단기간(수 사이클 기간) 전압관리를 위한 측정은 특수한 목적의 경우에만 이루어지고 있다. 전압관리 및 측정에 대하여 IEEE 1159에서는 장기기간(long-duration) 전압 변화에 대한 평가지수로 지속정전(sustained interruption), 부족전압(undervoltages), 과전압(overvoltages) 등을 설명하고 있다. 한 예로 실효전압변동(RMS variation indices)에 대한 정도를 평가하여 나타내고 있는데 SARFI (System Average RMS Variation Frequency Index) 라는 평가지수가 사용되고 있다. 정전에 대하여는 IEEE Standard 1159-1995에서 규정 실효전압의 0% 전압으로 1분 이상 지속되는 것으로 정의하고 있다

[3]. 이러한 경우는 고장구간에 있는 모든 전기사용자가 그러한 사고에 대하여 영향을 받기 때문에 매우 중요한 관찰 대상이다. 이밖에도 IEEE P1366 [6]에서는 일시정전사건(temporary interruption event) 측정을 위하여 최대 5분을 규정하고 있기도 하며, 산업용 부하에 대한 순간저전압의 영향을 조사하기 위해서 15분과 30분의 샘플링 측정기간을 규정하여 사용하는 경우도 있다. 국내는 물론이고 많은 나라는 배전선의 전압관리를 위하여 측정전압의 30분 평균값을 전압품질 평가지수의 기본자료로 활용한다.

2.2 전압관리계기 및 분석시스템

전압관리시스템은 전압관리계기와 분석시스템으로 구성된다. 첫째로 전압관리계기는 이중기울기 A/D 변환을 적용하여 배전전압을 측정하는 방식을 사용하며 추가로 정전사고 등의 이벤트도 관찰할 수 있도록 설계한다. 이 밖에 많은 것들이 고려되어야 한다. 장시간 배전선에 설치되어 사용되므로 견전지 같은 외부전원을 사용하지 않고 자체 선로전원만을 사용하여 측정기능을 수행하도록 전원이 해결되어야 한다. 물론 자체전원으로 정전 및 복구시간도 정확히 기록할 수 있어야 한다. 차단기 작동여부도 검출할 수 있을만큼 반 사이클 내에 정전 및 복구시간 기록이 가능하다. 정밀도, 정확도, 샘플링 등의 정도에 따라 Class A와 B로 분류되는데, 본 개발에서는 일반적 측정 및 휴대측정에 적합한 Class B의 사양을 따라 설계한다. 전압관리계기의 주요기능을 살펴본다. 실효 전압변화에 대한 다양한 평가지수 및 계산방법들 때문에 전압관리계기의 데이터 기록 샘플링 주기를 2초에서 1시간까지 다양하게 설정할 수 있도록 한다. 각 샘플링 주기동안 실효 전압을 측정하여 하나의 평균값으로 저장하게 된다. 각 전압 측정 지점의 식별을 위한 고유 ID 번호가 입력되는 데이터구조가 필요하다. 장/단 기간동안 일시정전(temporary interruptions), 순간저전압, 순간고전압에 대한 측정이 필요하다. 배전선에서 변전소측 인출전압, 배전선 말단전압, 5% 또는 10% 이내 전압강하 지점 등과 같은 다수 지점에서의 동기 측정이 가능하도록 각 계기에 자동측정 시간 설정이 필요하다.

끝으로 분석시스템은 전압관리를 위하여 측정된

실효전압 및 사건기록 데이터를 DB로 관리하며 배전선로 또는 측정지점별로 정전 및 전압변동을 등에 대한 품질평가를 하는 시스템이다[7]. 관리계기에 저장된 데이터의 HARD COPY 기능, 동일 배전선에서 측정된 전압을 동일 화면에서 비교 분석, 시간대별, 전압 평균, 최대, 최소 및 상하한 초과 데이터 수 등의 다양한 분석, 및 측정위치별 데이터베이스 구축, 정전 및 복구시각의 분석이 필요하다.

3. 전압관리계기 설계 및 개발

3.1 실효값 측정

배전선의 전압변동 사항을 평가하기 위하여서는 실효전압의 측정이 필요하다. 정류 와 증폭회로를 거쳐 실효값으로의 변환과정을 거친다.

배전선의 프리임력전압 (80 ~300[V])은 변압기 및 분류기를 통하여 수 볼트 이하의 저전압 신호로 강압된다. 예를들어 200[V] 교류전압 인가 시 정류회로에 인가되는 전압은 저전압 2[V] 신호가 된다. 이때 정류회로에 일반 다이오드를 사용한 정류회로를 사용할 수도 있으나, 다이오드를 통한 전압강하의 문제점(약 1[V])이 있다. 이러한 문제점은 계측기의 정확도를 부정확하게 한다. 이러한 이유로 이상적 다이오드 출력회로 특성을 갖는 OP 앰프를 사용한다. 정류회로를 거친 후 평균값 및 1.11072 배의 증폭회로를 거쳐 실효값으로 (1) 식과 같이 변환하게 된다[8].

$$v_{rms} = 1.11072 \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \quad (1)$$

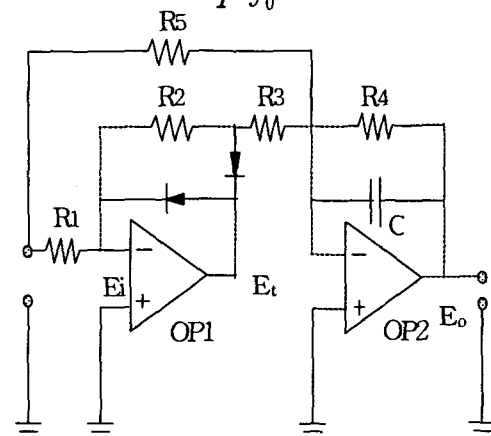


그림 1. 실효전압 계산회로
Fig. 1. RMS voltage calculation circuit

그림1은 저전압 입력 교류신호가 OP1을 포함하는 출력반전회로와 OP2를 포함하는 가산기 및 정류회로를 통한 후 직류 및 실효전압 신호로 변환되는 과정을 설명한다.

전반부 출력반전회로 OP1에서는 역 방향으로 된 다이오드를 통하여 +E_i의 반주기 입력에 대하여 -E_i의 반주기 출력을 얻는다. 보통 출력전압 E_o는 아주 작은 신호크기를 갖고 있다. 반전 증폭 및 가산기부인 OP2의 입력단자는 기준전위(접지)에 접속되어 있고, OP1 출력전압 E_i이 저항소자(R3)를 거쳐 역상(-) 입력단자에 가해지고 있다. 이 결과로 (-)입력단자의 (+)입력전압 신호는 마이너스 극성의 출력전압으로 반전된 후, OP2에 연결된 저항소자 (R4)를 경유하여 (-)입력단자에 부궤환(Negative feedback)된다. 출력전압은 입력전압 E_i의 -(R4 / R5) 비율로 증폭되고 극성도 반전된다. 실험적으로 정류된 직류전압의 평균전압이 1.62 [V], 리플 진폭은 약 130 [mV]로 나타났다.

3.2 Dual-slope A/D 변환

실효전압 값으로 변환된 교류전압에 대하여 A/D 변환이 필요하다. Successive approximation, 기울기 변화(slope variation)등 다양한 A/D 변환 기술이 있다[9]. Successive approximation 방법은 가장 광범위하게 사용되는 것으로 일련의 표준전압과 미지의 측정전압을 비교기로 분석하는 것인데, 표준전압이 고에서 저전압으로 일련의 변화시 비교기의 사인이 바뀌는 순간에 그때의 표준전압을 통하여 미지의 전압 값을 알게되는 방법이다. 이중기울기 A/D 컨버터에서는 미지전압을 디지털로 측정될 수 있는 시간간격으로 변환된다. 그 미지의 신호가 고정된 시간동안 1차적으로 적분된다. 그리고 알려진 표준전압을 인가하여 1차 적분값이 영으로 감소할 때까지 2차적으로 적분된다. 2차 적분기간을 카운터가 측정하는데 이것을 통하여 A/D 값이 계산된다. 본 논문에서는 부품사용간소화를 통한 제품소형화 및 저렴화, 그리고 사건기록과 같은 전압관리 기능들과의 융합성을 고려하여 이중기울기변환 방법을 사용한다. 신호의 적분을 통하여 A/D 변환을 하기 때문에 저주파필터처럼 작용하여 정밀도가 단일기울기 방법[2]보다 크게 향상

된다.

그림2는 이중기울기 A/D 변환에 대한 회로도이다. 적분기(Integrator), 영점통과비교기(Zero crossing comparator), 및 제어논리(Control logic)로 구성되며, 외부로는 입력 A, B, 및 영점비교기(Zero crossing comparator)가 연결된다.

A/D컨버터는 4 단계 변환사이클인 Auto Zero, Integration, Deintegration, 및 Integration Zero을 수행한다. Auto Zero 단계에서는 Integration이 영으로 설정된다. 입력전압이 고정적분기간(t_{fix}) 동안 1차 적분된 후, Deintegration 단계가 진행되게 되는데 이때는 적분기의 입력단자에 입력과는 반대 극성으로 기준전압(Reference Voltage)이 인가된 후 2차 적분이 이루어진다. 인가전압 극성이 반대로 되어 적분치가 감소하게 된다. 동시에 외부의 마이크로컨트롤러 내부에 있는 타이머가 작동을 시작하여 적분 값이 영이 될 때까지 진행된다. 그리고 비교기의 극성상태가 바뀌면 외부 마이크로컨트롤러에 있는 타이머의 동작도 정지하게 한다. 이때 타이머의 변동적분시간을 t_{var} 라고 하며 입력전압에 따라 변환한다.

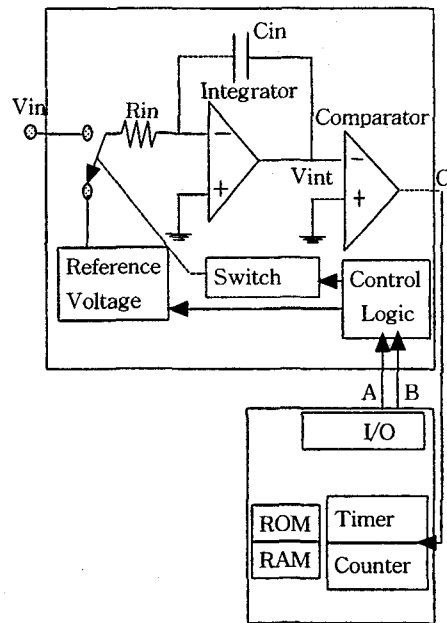


그림 2. 이중기울기 A/D 컨버터 및 제어
Fig. 2. Dual-slope A/D converter and control

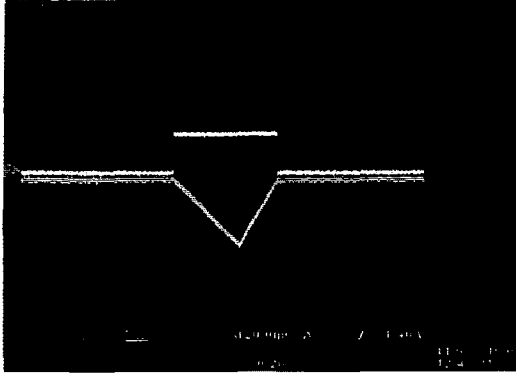


그림 3. 적분기(위)와 비교기(아래) 출력
Fig 3. Integrator(up) and Comparator(down) output

그림 3에는 적분기와 비교기출력 에 대한 실험 결과가 나타나 있다. 입력전압(Vin)이 양수이므로 적분기의 출력은 음수로 나타나고 있고 비교기는 OP 앰프의 포화 최대 전압으로 하여 양수 값으로 측정되었다. 고정적분시간(t_{fix})는 33 [msec]이며, 변동적분시간 (t_{var})은 20 [msec]로 나타나 있다.

3.3 전압측정 및 계산 알고리즘

타이머 및 카운터에 기록된 결과 값이 전압계산에 중요한 역할을 한다. 입력전압(Vin), 기준전압 (Vref), 고정적분시간(t_{fix})등에 관한 관계식(2)이 아래와 같이 성립된다 [10]:

$$\frac{1}{R_{int} C_{int}} \int_0^{t_{fix}} Vin(t) dt = \frac{Vref t_{var}}{R_{int} C_{int}} \quad (2)$$

여기서 Vref = 기준전압 (Reference Voltage)

t_{fix} = 고정적분시간

t_{var} = 변동적분시간

샘플링 기간동안 입력전압이 일정하다고 가정하면 식(2)이 관계식(3)처럼 수정된다.

$$Vin = Vref \frac{t_{var}}{t_{fix}} \quad (3)$$

입력전압은 t_{var} 를 측정함으로써 계산된다. 마이크로컨트롤러를 사용하여 입력전압을 계산하는 알고리즘을 그림4에서 설명한다. 변동적분시간(t_{var})을 측정하기 위하여 8비트 마이크로컨트롤러에 내장된 16비트(상/하위 값을 갖는 TH1/TL1)의 8비트 타이머가 종속연결) 타이머를 사용한다.

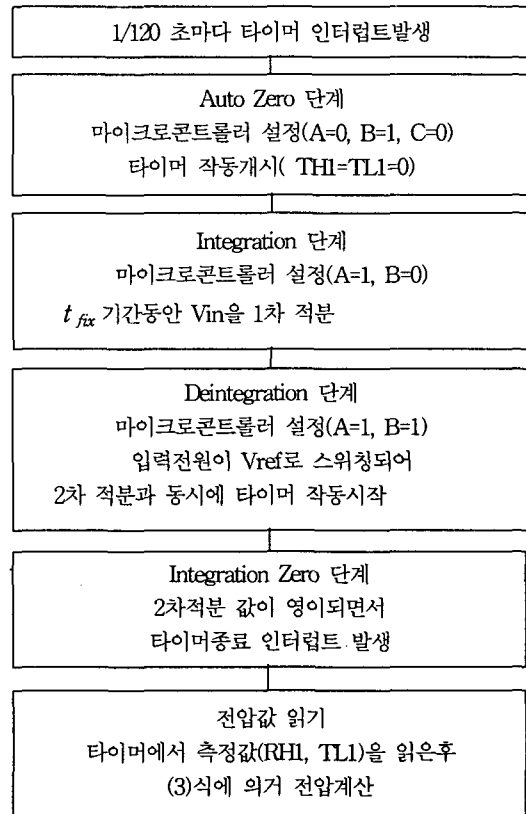


그림 4. A/D변환 과정
Fig. 4. A/D conversion procedure

그림(5)에 있는 어셈블러 프로그램의 계산식(4)에 서와 같이 타이머를 통하여 전압을 계산하면 12bit의 A/D컨버터 값이 된다. 끝으로 측정된 전압은 샘플링 기간에 따라 식(5)와 같이 하나의 평균전압 Vavg으 로 계산되어 메모리에 저장된다.

$$Vavg = \frac{\sum_{i=1}^N v(i)}{N} \quad (5)$$

여기서 N은 샘플 수이고, $v(i)$ 는 측정전압이다.

```

unsigned char ad_timer;
unsigned int ad_value;
unsigned long SumAD;
// A, B, Comparator_Out 의 신호 제어 및 모니터링
// 으로부터 A/D변환 과정
interrupt [0X0B] void timer_0(void)
{
    TH0 = -240;
    switch (ad_timer) {
    case 0: // Auto Zero 단계
        A= 0; B= 1; Comparator_OUT= 0;
        TF1= TR1= TH1= TL1 = 0; break;
    case 4: // Integration 단계
        A= 1; B= 0; break;
    case 8: // Deintegration 단계
        B= 1; TR1=1; break;
    case 15: // Integrator Output Zero
        A = B = Comparator_OUT= 0; break;
    }
    // 선로전압에 대하여 샘플링 값을 마이크로컨트롤러
    // 의 타이머로부터 계산하는 루틴
    interrupt [0X03] void EX0_int(void)
    {
        TR1 =0;
        ad_value = (TH1 *16 + TL1 /16) - 4; //12bit A/D
        변환과정 (4)
        SumAD += ad_value
    }
}
    
```

그림 5. A/D변환 어셈블러 프로그램 일부
Fig. 5. A/D conversion assembler program

3.4 시스템 구성

그림6은 전압관리계기에 대한 블록도이다. A/D 컨버터, 마이크로컨트롤러, RS-232C, 메모리, 및 LCD로 구성되었다. 데이터의 수집, 변환, 저장, 읽기는 마이크로컨트롤러가 담당한다.

마이크로컨트롤러로 8bit 단일칩(AT89C52)을 사용하였으며[11][12], 주변의 기기들 제어는 firmware의 기능들을 통하여 이루어진다. 이중기울기 A/D 변환기는 12 bit의 분해 능력을 갖고 1초에 7 또는 8회의 실제전압 값을 읽어 주어진 샘플링 기간 동안 평균값을 계산하게 된다.

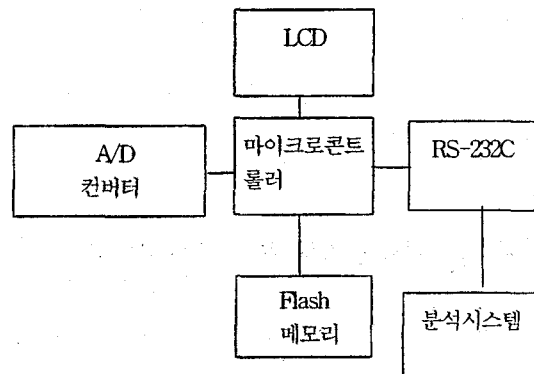


그림 6. 전압관리계기 블록도
Fig. 6. Voltage management recorder

Flash 메모리는 1 Mbit의 데이터 저장용량을 갖고, RS-232C 통신포트를 통하여 메모리에 저장된 데이터는 분석 시스템과 데이터 송수신 할 수 있다.

분석시스템은 Flash 메모리에 저장된 데이터를 분석하는데 이용된다. 분석시스템은 데이터 처리를 위하여 마이크로소프트사의 Access를 활용한다. 전압 데이터로부터 평균값, 과전압, 부족전압, 전압평균값의 시간대별 변화, 정전 및 복구 시간에 대한 다양한 통계분석이 FarPoint사의 Spread를 통하여 이루어진대[13]. 아울러 Zoom-in, Zoom-out 등의 다양한 그래픽 기능도 지원된다. 데이터 분석작업 후에 저장된 데이터는 삭제되지 않고 미래의 조사 및 전압관리 측정지점의 선정을 위하여 데이터베이스에 저장된다.

4. 결 론

전압관리계기와 분석시스템의 개발로 특정 측정 지점에서의 전압품질에 대한 편리하고 다양한 측정 및 분석이 가능하게 되었다. 그림 7에는 측정으로부터 이루어진 분석의 한 예를 나타내고 있다. 그림에는 배전선로의 인출, 직하, 말단 부분에서의 전압변동 특성이 샘플링 주기마다 그래프로 그려져 있다. 동일 그래프에 인출, 직하, 및 말단에서의 동일 시간대별로 전압측정 데이터를 나타낼 수 있어 각 지점간의 전압 강하 분포를 분석하는데 활용될 수 있다. 이 밖에도 각종의 전압관리 분석 도구메뉴 (파일관리, 데이터분석, 고객관리, 환경설정)가 개발되었고, 측정개시, 종

Dual-slope A/D 변환을 이용한 배전선 전압관리용 계측기 개발

료일자, 배전선로 ID, 및 고객정보 등 다양한 정보가 그림에 표시된다.

이러한 기능의 구현으로 IEEE 1159에서 추천하는 배전선로의 장/단기간 전압변화와 일시정전사건에 대한 평가가 실용적으로 이루어지게 되었다.

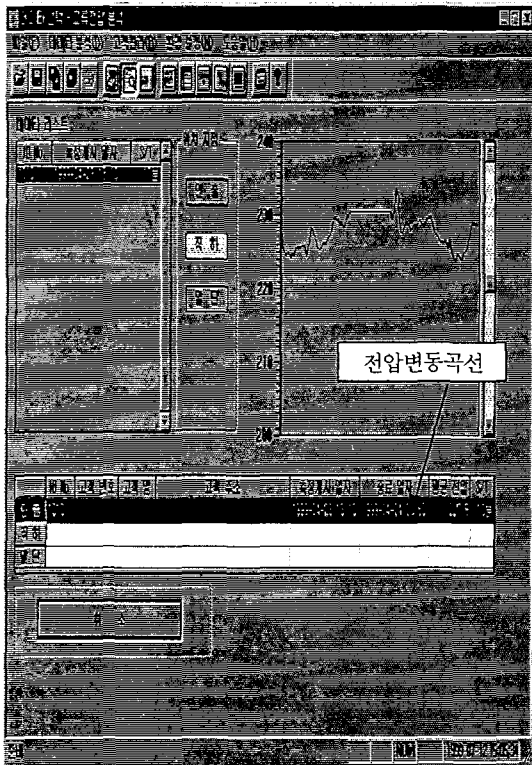


그림 7. 전압분석의 실제
Fig 7. An example of voltage analysis

전압관리계기의 개발을 통하여 전압측정 데이터의 저장에 가능하여 졌으며, 데이터베이스 기법을 활용한 통계적처리를 통하여 IEEE 1159와 같은 국제적인 전압품질평가 방법을 적용할 수 있게되었다. 뿐만 아니라 정전과 같은 사건기록에 대한 관리기능도 마이크로컨트롤러를 통하여 가능하게 되었다.

기존 개발된 계측기와 비교하여 이중기울기 A/D 변환을 사용하는 개발계기는 부피 및 중량이 1/3로 감소되어 휴대 및 설치가 편리해졌다. 또한 가격도 저렴하게 되었다. 타이머 설정 기능으로 서로 다른 측정지점에 대한 동시시간대 측정 및 분석도 가능하게 되었다. 플래시 메모리의 도입으로 기존계기에서의 기구

적 착탈의 문제점을 제거하였다. 윈도우에서 사용되는 GUI 환경의 분석시스템으로 사용이 편리해졌고, 기존의 파일관리방식에서 Microsoft Access, Spreadsheet 도입으로 관리방식이 개선되어 데이터의 분석기능이 다양하고 강력해졌다. 이러한 기술개발의 결과로 전압품질평가가 다양하고 경제적으로 이루어져 전압관리의 개선에 효과적일 것으로 기대한다.

본 연구는 (주)에디테크와 산학연전소사업 사업 지원에 의하여 수행되었음.

References

- (1) David A. Bell, "Electronic Instrumentation and Measurements", Prentice Hall, 1994.
- (2) Texas Instruments, "A Low-Cost Single-Phase Electricity Meter using the MSP430C11x, Application Report, 1999.
- (3) IEEE Std. 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.
- (4) IEEE P1159.1 Guide For Recorder and Data Acquisition Requirements For Characterization of Power Quality Events, 2000.
- (5) HoYong Kim, Sugoog Shon, etc "Improvement of voltage management technology for power distribution lines", KEPCO Research Report, 1990.
- (6) IEEE P1366, IEEE Trial Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices.
- (7) Sugoog Shon, SangJun Choi, "Development of multifunction voltage recorder", KIEE Conference Proceeding, 1999. 11.
- (8) "Practical Analog IC Technology", Sehwa Press, 1994.
- (9) P. Miller, Texas Instruments Analog Applications Journal, pp 1-3, August 1999.
- (10) "TelCom Semiconductor Data Sheets and Manual", Precision Analog Front Ends, 1999.
- (11) Jongrae Na, Sehong Moon, "Intel 8051 Architecture and Design application", Ohm Press, 1993.
- (12) Intel Data Sheet "Embedded Microcontrollers and Processors" Volume 1, 1992.
- (13) FarPoint Technologies. Inc. "Spread 3.0 manual"

◇ 저자소개 ◇

손 수 국 (孫守國)

1959년 7월 15일생. 1982년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1984년 서울대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 미국 University of Texas at Austin 공학박사, 현재 수원대학교 정보통신공학과 전임강사.