
전자식 전력량계 (Static WHM) 의 기능과 개발현황

김 영 래

한전기술연구원 전력연구실 선임연구원

1. 전력량계의 '전자화' 배경

전력량계는 전기사업자와 수용가와의 전력거래에 있어서 없어서는 안될 중요한 계측기이다. 전력량계는 오랫동안 유도형인 기계식 전력량계가 사용되어 왔으나 근년에 들어서는 전자기술의 발달과 전자 부품의 가격인하로 전자식이 기계식보다 성능 및 가격면에서 유리해졌다.

또 전력의 안정적 공급, 전력 Cost의 저감 및 수용가 서비스의 향상을 위하여 전력 공급설비의 확충이 필요하나 주변 환경문제로 발전소 건설의 곤란 및 원유 가격변동과 원전의 안전성 문제로 전원입지난이 가중되고 있어 이의 건설에 막대한 자금이 소요되고 있다.

이의 해결방안으로 새로운 부하의 창출이 필요하게 되었고 이로 인해 계약종별이 다양화되어 이에 제공되는 전력량계는 다종 다양화되고 있다.

계약종별이 다양화됨에 따라 수용장소에 설치되는 전력량계의 수를 증가시켜 설치공간, 시공, 유지보수, 관리측면에서 여러 가지 문제점이 발생하게 되므로 전력량계의 수를 줄일 필요가 있다.

또한 계절별, 시간대별 요금 적용과 원격검침 및 부하관리를 위하여 "Data의 신속한 송수신과

원격 제어기능"이 필요하게 되어 현대의 전력량계로 모든 정보량을 나타내고 송수신이 가능한 전자식 전력량계가 개발되었다.

2. 전자식 전력량계의 원리

가. 전력량계의 기능

전력량이란 아래에 표시하는 것과 같이 전력(전압×전류)의 시간적분으로 나타낸다.

$$W = \int_0^t P dt = \int_0^t V \cdot I dt$$

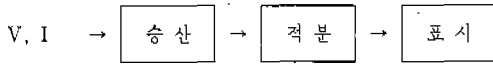
이 식에서 알 수 있듯이 전력량계는 아래와 같은 기능이 필요하다(그림 1 참조).

- ① 승산 기능
- ② 적분(적산)기능
- ③ 표시기능

가. 승산 기능

승산 기능에는 아래와 같이 5개의 승산방식이 있다.

- ① 시분할 승산방식
- ② 가변 Conductance 승산방식



〈그림 1〉 전자식 전력량계의 기능 블록도

- ③ Hole 소자 승산방식
- ④ Diode 2승 화차방식
- ⑤ Digital 승산방식

이중 시분할 승산방식에 대하여 소개하면 이 방식은 아날로그 계산기 등에 사용되어온 승산방식이며 그림 2에 표시된 것과 같이 Mark Space 변조, 진폭변조 및 Low-pass Filter(저주파 통과 필터) 회로로 구성된다.

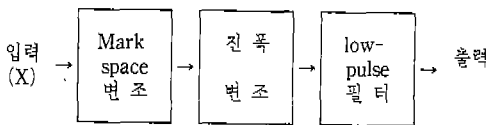
Mark Space 변조회로는 그림 3(b)와 같이 출력 신호를 발생하는 회로이고 진폭변조회로는 그림 3(d)와 같이 출력신호를 발생한다.

Low-pass 필터는 진폭 변조회로의 출력신호를 입력으로 하여 평균화한다.

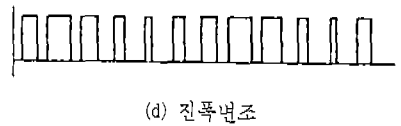
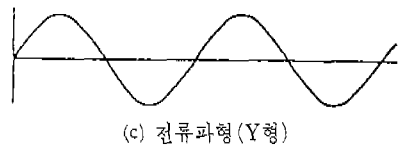
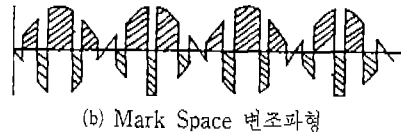
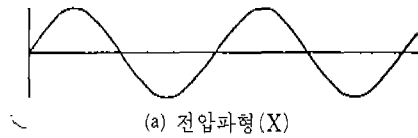
다. 적분기능

승산기능에 의하여 얻어진 피측성 회로의 전력에 비례한 전압 또는 전류를 시간적분하는 것에 따라 전력량이 얻어진다. 전력량계의 계량은 영구 적산하기 때문에 이 전압, 전류를 그대로의 형태로 영구 적분하는 것은 불가능하다.

이것을 해소하기 위하여 일정한 적분을 반복하여 행하고 이 적분의 횟수를 계수하는 것에 따라 전력량을 얻는다.



〈그림 2〉 시분할 승산 블록도



〈그림 3〉 교류승산 파형

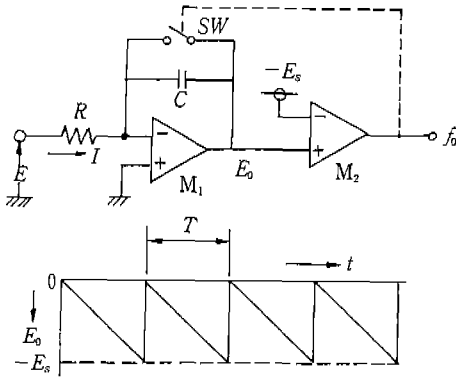
이 적분방법에는 아래와 같이 3가지 방법이 있다.

- ① Reset형 전압 주파수 변환회로
- ② 2중 적분형 전압 주파수 변환회로
- ③ 전하(電荷) 보상형 전압주파수 변환회로

이중 Reset형 전압 주파수 변환회로를 소개하면,

이 방식은 그림 4에서 보는 바와 같이 연산증폭기 M_1 과 콘덴서 C , 저항 R 에 의하여 적분기를 구성하고 입력전압 E 에 비례한 전류 I 를 콘덴서 C 에 적분하여 비교측정기 M_2 에 의하여 적분기의 출력이 일정 전압 $-E_s$ 에 도달할 때마다 스위치 SW 에 의하여 콘덴서 C 를 방전하고 방전 직후에 비교측정기 M_2 에 의해 스위치 SW 를 개로하는 것에 따라 다음 주기의 적분을 행한다.

일정전압 $-E_s$ 에 도달할 때까지의 시간을 T , 콘



<그림 4> Reset형 V/F 회로

덴서 C에 충전된 전하와 방전된 전하의 양이 같다고 보면

$$E/R \cdot T = C \cdot E_s$$

로 된다.

출력주파수 f_0 는

$$f_0 = 1/T = E/CE_s R$$

로 표시되고 입력전압 E에 비례한다.

라. 표시 기능

표시방식은 액정표시로 전기적 표시 소자중에서는 저소비 전력이고 정전시에 있어서는 표시의 유지가 용이하다. 또, 많은 정보가 하나의 액정표시 소자로 표시가능하여 많이 채택하고 있다.

3. 전력량계의 전자화 이점

전력량계의 전자화 이점은 아래와 같다.

(1) 형상·구조 측면

- 소형화 및 경량화
- 디자인의 자율성
- 설치공간 감소

○ 설치자세·방향의 자유화

(2) 성능 측면

- 광범위성
- 고정도화(高精度化)
- 고안정화(高安定化)
- 고신뢰성
- 경년변화 안정성
- 저소비 전력화

(3) 기능 측면

- 다종의 계량 기억표시를 집합·일체화 용이
- 시계나 장기달력을 이용하여 계절별, 시간대별 계량표시가 용이
- 화면의 교체표시에 의해 많은 정보를 표시 가능
- 컴퓨터와 연결하여 데이터 처리가 용이
- 승률, 변성비 설정 및 교체가 용이
- 요금제도 변화에 따른 적용성 용이
- 자동검침, 부하제어의 대응이 용이

(4) 부가 기능 측면

- 결상 계량표시
- 정전 감시
- 역률 감시
- 누적 최대전력 표시
- 전지잔량 표시
- 수용가의 최대 전력감시를 위해 계량 Pulse, 시한 Pulse 등의 Pulse Service가 용이
- 수전일지의 작성, Load Survey Data의 작성 가능
- 자기진단 기능 내장

(5) 운용 측면

- 특정일시의 계량치를 기억(검침치)
- 고속 Pulse에 의해 단시간 시험

4. 전자식 전력량계에 요구되는 성능 및 구조와 구비조건

가. 전자식 전력량계에 요구되는 성능 및 구조와 구비조건

- (1) 전력량계의 사용조건에 관계되는 성능 및 구조
- 전원상태의 변동, 이상에 대응하는 성능 및 구조
 - 부하의 변화에 대응하는 성능 및 구조
 - 전력량계의 성능을 유지하기 위하여 대응하는 성능 및 구조

- (2) 전력량계가 사용되는 환경조건에 관계되는 성능과 구조

- 온도조건에 대응하는 성능 및 구조
- 습도조건에 대응하는 성능 및 구조
- 전자환경에 대응하는 성능 및 구조
- 분진 및 유해가스에 대응하는 성능 및 구조

- (3) 전력량계 운용상의 제약에 관계되는 성능 및 구조

- 전력량계의 시험, 검사, 점정에 대응하는 성능 및 구조
- 수용가에 설치하여 장기간 무보수운전 하는 것에 대응하는 성능 및 구조
- 수리하는 것에 대응하는 성능 및 구조(회로키 판 카드화)
- 컴퓨터와 연결하여 데이터 처리가 용이
- 승률, 변성비 설정 및 교체가 용이
- 요금제도 변화에 따른 적응성 용이

나. 전자식 전력량계의 구비조건

- (1) 기술적 구비조건

- 고정도화 및 고안정화가 될 것
- 거래용 전력량계로서 공정성을 기하기 위하여

현용의 기계식 전력량계와 동등 이상의 성능 및 구조를 가질 것

- 전자화하여도 거래용 전력량계로서 요구되는 조건은 변화하지 않기 때문에 기계적 전력량계가 가지는 기능을 계속하여 보유할 것

- (2) 기능적 구비조건

- 경년변화가 적은 고정도의 전력량계일 것(高精度化, 高安定化)
- 각종 부가기능을 부가할 수 있을 것(多機能化)
- 가볍고, 얇고, 작을 것(輕薄短小化)
- 가격이 저렴할 것(低價化)

5. 전자식 전력량계의 약점과 대책

가. 부품레벨에서의 약점과 대책

- (1) 온도의 영향

전자부품에는 보존온도와 동작온도 범위가 규정되어 있어 이 범위를 초과하면 파괴 또는 계속하여 정상적인 동작이 되지 못하는 경우가 있고 초과하지 않아도 그것에 가까운 상태가 오래 계속되면 열화의 원인이 되기 때문에 매우 신중한 검토를 필요로 한다.

이 동작 온도범위는 전자부품의 종류, 용도에 따라 개별로 설정되어지기 때문에 전력량계의 환경조건에 부합하여 사용되는 부품을 조달하지 않으면 안된다.

전력량계는 그 성격상 옥외에 설치하기 때문에 전자식 전력량계용 부품으로서 $-25\sim+75^{\circ}\text{C}$ 정도의 온도범위를 커버하는 전자부품이 필요하기 때문에 대략 $0\sim70^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위가 설정되어 있는 범용부품은 사용할 수가 없다.

대책으로서는 산업기용 부품($-25\sim+80^{\circ}\text{C}$)을 개별로 검사, 선택하여 사용하든가 또는 광범위용 부품($-40\sim+85^{\circ}\text{C}$)를 사용한다.

(2) 상용주파 내전압의 영향

범용부품에 있어서 상용주파 내전압은 AC 1500V 1분간이 규정되어 있기 때문에 전자식 전력량계에 사용해서는 안된다. 따라서 전자식 전력량계 전용부품을 개발 사용하여야 한다.

(3) 액정 표시소자의 전용 부품화

직사광선의 영향을 직접 받는 전자부품에 액정 표시소자가 있다. 이것은 계량장치의 박형화, 저전력 동작화 및 한개의 표시기에 복수 표시화를 달성하는 수단으로서 사용되었지만 범용부품에서는 전력량계의 사용 온도범위를 커버할 수 없기 때문에 사용되어서는 안된다.

대책으로서는 사용 온도범위를 넓게, 또한 내습성능을 향상시킨 전자식 전력량계 전용의 액정표시소자를 사용하여야 한다.

(4) 고성능 전지의 전용 부품화

전자식 전력량계에는 정전시에 있어서 메모리 백업, 표시소자 구동용 및 시계 구동용 전원 등으로 인하여 장수명 전지가 필요하지만 범용의 전지에서는 전력량계의 사용 온도범위를 커버하지 못하기 때문에 사용해서는 안된다.

대책으로서는 $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$ 의 넓은 온도범위로 안정하게 동작하고 10년간의 장기간 사용(자기 방전을 1%/년)에도 견디는 고성능 전지를 개발 사용하여야 한다.

나. 회로레벨의 약점과 대책

전자식계기는 그 성격상 아날로그 회로와 디지털 회로로 구성된다. 아날로그 회로는 환경조건의 변화 또는 시간경과에 의하여 특성이 변하고 또한 μV , mV 급의 노이즈(Noise)까지도 문제가 되는 특징이 있다.

또한, 디지털 회로는 아날로그 회로와 같은 경향이 없는 반면 응답이 빠르고 수십 ns 이하의 약한 펄스에도 응답하는 특징이 있다. 이 때문에 유도형 계기에서는 거의 문제가 되지 않았던 전원의 변동, 이상현상이 전자식계기의 성능을 크게 좌우하는 요인으로 작용한다.

대책으로는 전원회로를 튼튼하게 하거나 전원회로의 고주파 임피던스를 낮게 한다.

다. 구조레벨에서의 약점과 대책

(1) 내습성능의 향상

거래용 전력량계는 재해시에 폭발 등을 고려하여 완전밀폐 구조를 채용하지 않는다. 이 때문에 주위온도의 변화에 의한 호흡작용으로 내부에 결로현상이 생긴다. 습기는 전자부품에 각종 폐해를 주기 때문에 탑재하는 부품의 내습성능에 관계없이 고습상태하에서도 장기간 동작시킬 수 있는 방습대책이 필요하다.

(2) 내강전 자기성능의 향상

거래용 전력량계는 그 성격상 옥외에 설치하기 때문에 고출력 트랜스에서 발생하는 강한 전자계에 의한 전자식 전력량계의 오동작, 오계량 등에도 배려하지 않으면 안된다.

라. 전력량계 레벨의 약점과 대책

(1) 고장모드

전자식 전력량계는 유도형 전력량계의 고장모드(특성이 천천히 열화하여 생기는 고장: 열화고장)와 달리 어느 시점에서 돌연히 생겨 한층 그 기능이 완전히 잃게 되는 고장모드(돌발고장) 또는 어떤 시간에 고장상태를 나타내지만 자연히 원래의 기능을 회복하는 고장모드(간헐고장)를 가지고

있다. 이 때문에 고장품으로 떼어낸 전력량계가 고장품으로 판단된 증상을 재현하지 않는 경우도 있다.

(2) 동작 전압범위

전자식 전력량계는 시동전류로 연속적으로 동작하는 유도형 전력량계와 다르며 정격전압의 90% 이하로 떨어지면 오차는 급격하게 커지고 정격전압의 70~80%로 계량동작이 정지한다. 그러나 동작전압 범위를 크게 하면 전력손실이 커진다.

(3) 내구도

전자식 전력량계에는 장기간 무보수로 사용되기 때문에 환경조건이나 사용조건을 정확히 파악하여 최적설계가 되게끔 지속적인 연구개발이 필요하다.

(4) 메모리 보상시간

전자식 전력량계는 정전시에는 전지에 의하여 메모리 등을 백업하기 때문에 적은 시간에도 전지에서 전원공급이 끊어질 경우에는 메모리가 소실하여 없어지는 약점이 있다.

따라서 전력량계가 검정만료기간을 마칠 때까지의 기간에 발생하는 정전시간(무통전시간을 포함)의 누적치의 파악이 불가능하므로 이 수치를 적게 결정하는 것은 의외로 대단히 어렵다.

정전시간의 과도한 설정은 전자식 전력량계의 소형화 및 저가화에 역행하는 것으로 이것은 전자식 전력량계 고유의 약점이다.

6. 전자식 전력량계의 기능(다기능용인 경우)

(1) 특징 : 기계적인 구동부분이 없다.

(2) 다기능 전력량계

유효전력량계, 무효전력량계, T.S, 보조릴레이, D/M부, 계량펄스 출력, 부하기록 등의 기능이 1대에 내장된 다기능 전력량계이다.

(3) 원격검침 및 조정기능

전화선을 이용하여 한 장소에서 원격검침 및 조정이 가능하다.

(4) LCD 표시 기능

LCD(액정 표시장치)를 이용한 디지털 표시창으로 모든 정보를 나타낼 수 있다.

(5) 부하관리 기능

Interval당 부하기록이 가능하여 부하관리가 용이하다.

(6) 계절별, 시간대별 계량기능

계절별, 시간대별 계량 및 조정이 가능하다.(원격검침 및 원격조정 가능)

(7) Time Switch 및 Calendar 기능

- 원격시간 조정가능
- 연, 월, 일 및 요일 조정가능

(8) 측정 기능

- 유효전력량(양방향 측정 가능)(kWh)
- 무효전력량(진상, 지상 구분 측정가능)(kVARh)
- 피상 전력량(kVAh)
- 전력(kW)
- 무효전력(kVAR)
- 피상전력(kVA)
- 역률

(9) 자기진단 기능

- 동작상태 점검
- 배터리 저전압 점검
- 전원공급 결상

7. 전력량계의 세계적 추세와 개발 현황

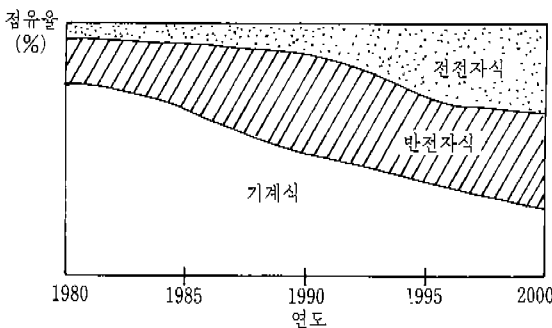
가. 전력량계의 세계적 추세

전력량계의 세계적 추세를 살펴보면 근 100년 가까이 유도형인 기계식 전력량계가 사용되어 왔으나 1980년도부터 점차 기계식은 감소추세에 있고 단기능인 반전자식이 증가추세에 있다. 1990년도부터는 전자기술의 발달 및 전자부품의 가격인하와 전력환경의 변화가 3위일체가 되어 다기능이 가능한 전전자식 전력량계를 요구하고 있어 점차 전전자식 전력량계를 개발하여 사용하고 있는 추세이다.

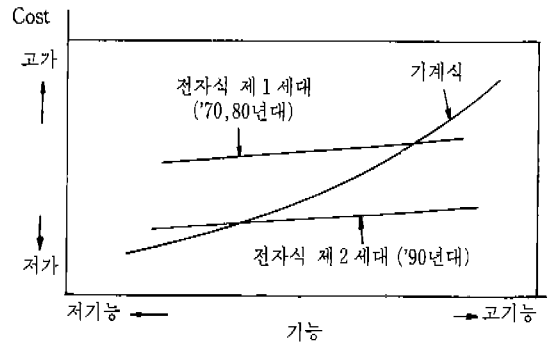
전력량계의 세계적 변화추세는 그림 5와 같고, 전력량계의 기능과 Cost와의 관련은 그림 6과 같다.

나. 전자식 전력량계의 개발 현황

전력량계의 세계적 추세에서 보는 바와 같이 기능면, 가격면 등에서 전자식은 기계식에 비하여 월등히 우수한 성능을 가질 수 있어 선진 외국에서는 기계식 생산라인을 줄이고 다종 다양한 전자



〈그림 5〉 전력량계의 세계적 변화추세



〈그림 6〉 전력량계의 기능과 Cost

식 전력량계를 개발하여 보급하고 있다. 국내외의 전자식 전력량계의 개발현황을 살펴보면

(1) 한국

1994년도에 대한전선에서 전자식 전력량계를 개발하여 보급하고 있으며 이 전력량계는 기계식인 3종 계기를 단순히 전자화한 것으로 원격검침 및 조정기능은 없다.

(2) 일본

1975년도에 전자식 정밀 전력량계 개발을 시작으로 전자식 전력량계를 사용하기 시작하였으며 연도별 개발현황은 아래와 같다.

- 1975년 전자식 정밀 전력량계 개발
- 1980년 기록형 최대 수요전력계 개발
- 1986년 전자식 특별정밀 전력량계 개발
전력수용용 전자식 복합계기 개발
- 1987년 계절별, 시간대별 전자식 계기 개발
실량제 전자식 복합계기 개발
- 1990년 가정용 복합계기 개발

(3) 미국

1976년도에 가정용 시간대별 요금제도의 일부 실시로 전자식 전력량계를 사용하기 시작하였으며 GE사의 개발현황은 아래와 같다.

- 1976년 T-76 Tou 적산전력계 개발
- 1980년 TM-80 Tou 적산전력계 개발
- 1982년 TMR-82 기록형 수요전력계 개발
- 1983년 M-90 전자식 수용전력계 개발
- 1986년 TM-90 전자식 전력량계 개발
- 1990년 TM-900 주거용 Tou 전자식 전력량계 개발
- 1991년 Phase 3 전자식 전력량계 개발

- ZV 105/205 전자식(정밀급) 산업용 전력량계 개발
- MM 2000 전자식 산업용 전력량계 개발

(4) 프랑스

1975년도에 주택, 농업용에 시간대 요금제도 도입(축열 Heater pump 수용기) 및 '88년도에 계약종별 다양화로 전자식 전력량계를 사용하기 시작하였다.

(5) 영국

1978년도에 시간대별 요금제 실시로 전자식 전력량계를 사용하기 시작하였다.

(6) 스위스

스위스는 1970년대부터 산업용으로 개발하여 사용하기 시작하였으며 Landis & Gyr의 연대별 개발현황은 아래와 같다.

- 1970년대 ZT 102/105 전자식(정밀급) 산업용 전력량계 개발
- 1980년대 ZA 310 C 전자식 산업용 전력량계 개발
 - ZA 410 //
 - ZB 120 //
 - ZB 210 //
 - ZB 310 //
 - ZB 410 //
- 1990년대 ZU 102/202 전자식(정밀급) 산업용 전력량계 개발
 - ZV 102/202 //
 - ZU 105/205 //

8. 결 론

전자식 전력량계는 종래에는 단기능이었으나 최근의 전력환경은 다기능인 전자식 전력량계를 요구하고 있다.

그러나 전력량계는 그 기능에 따라 Cost가 변하기 때문에 사용자가 요구하는 기능에 맞게 개발하여 사용하여야 한다.

전자식 전력량계는 기능면에서는 기계식에 비하여 월등한 성능을 갖고 있지만 전자부품의 약점인 온도·습도, 고주파성 노이즈, 순시전압 강하, 고주파 전자계, 충격과 내전압 및 내열·내한성의 영향 등에 약하기 때문에 이를 최소화할 수 있는 회로구성 및 부품 개발이 필요하다.

또한 전자식 전력량계 사용시는 각종 정보(정전, 휴전, 요금안내, 고장신고 등)를 이곳을 통하여 고객에게 송수신할 수 있어 이에 대한 연구개발이 이루어진다면 빠르게 진전되고 있는 정보화 사회를 이끌어갈 수 있을 것으로 생각된다.

●참고문헌●

1. 전자식 전력량계의 현황과 장래, 일본, OHM, 1988. 11
2. 전자식 전력량계 세미나, GE, 1991
3. 전자식 전력량계 운용 및 부설, 한국전력, 1994. 5
4. 검침 및 계량정책 토론회, 한국전력, 1994. 5
5. 전자계산기, 일본, 코로나사, 平山, 小原
6. Analog Intergrated Circuit, John Wiley & Sons사, Raul R. Grey