

**Programmable IC를 이용한 다기능 전자식 삼상 전력량계 기능 구현**

° 박종범\*, 안홍홍\*, 김홍\*\*, 김정수\*\*  
 \*한국전력공사 전력연구원 \*\* (주)에이엠일렉

**Implementation of Three-Phase SAMRT Meter using Programmable IC**

° Jong Beom Park\*, Yong Ho An\*, Hong Kim\*\*, Jung Soo Kim\*\*  
 \*KEPRI, \*\*AMR Tech, Inc.

**Abstract** - According to the deregulation of governments in the world, the power industries of United State and European nations are proceeding remote meter reading and remote load control. But the core technology of multifunctional electronic meter implemented by programmable one-chip IC, which can be the right answer of all the power industry's efforts is now still under development in the advanced countries. Implementation of smallest size, lowest price three-phase meter with features which enable distribution automation such as bidirectional communication. The three phase metering IC and meter can be used as metering, automatic meter reading and transformer monitoring. Prepayment billing system.

수신장치 등의 전자부품을 장착한 반전자식 계량기를 약 US\$ 100~150선에서 구입하여 사용하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 반전자식 전력량계는 계량, 계량된 자료보관, 원격 자료전송 등의 기능은 있으나 기존의 문제점인, 도전방지(theft tampering), 시간대별 검침, 최대 수요치 측정, 역률 측정, 고객측 부하제어(load profile), 선불(prepayment), load profile & event logging 등의 중요기능이 포함되지 않아 전력공급의 선진화가 지연되고 있는 실정이다.

이러한 문제를 전력회사측과 전력 사용자의 양측 모두를 위하여 여러 가지 반도체를 하나의 ASIC(application specific integrated circuit) 칩으로 통합 개발하여 모든 선진 기능을 포함하면서도, 회로가 단순화되고 표준화되며, 사후관리가 극히 용이하고, 가격이 저렴한 3상 전력량계 개발하여야 하며, 그리고 이 용도의 ASIC 3상용 IC를 개발하여야한다. 현재 단상 전용 IC와 단상용 디지털 전력량계가 완성되었으며, 본 논문에서는 3상 전자식 전력량계 IC 제작 전 FPGA(filed programmable gate array) 구현과 및 3상 전자식 전력량계 전용 IC 기능구현에 대하여 논의하려고 한다.

**1. 서 론**

1세기 전에 개발된 기계식 전력량계는 국내에서 60년 대부터 생산되어 현재까지 사용되고 있다. 전력량계는 2가지 방식으로 직류형과 교류형이 있으며, 이는 전기에너지 공급방식에서 교류가 대부분을 점유하게 되어, 이에 따라 이동자계의 원리를 사용한 유도형 교류용이 현재 주종을 이루고 되었다. 전력량계는 일반대중 소비자의 생활과 밀접한 관계가 있으면서도 일반이 직접 구입하여 사용하는 예가 극히 적은 관계로 큰 관심을 얻고 있지는 못하나, 초창기부터 현재에 이르기까지 각국에서 실험과 연구가 계속되어 제품의 질과 수명을 향상시켜왔다. 그 동안 우리나라에서도 꾸준히 연구개발한 결과 일반 범용에 한해서는 외국 규격에 손색이 없는 수준의 제품을 생산, 수출하는 단계까지 도달하게 되었다.

전세계에 전기를 사용하는 인구는 현재 60억을 넘었으며, 그에 따른 계량기의 수량도 약18억 개에 육박하고 있다. 이 거대한 에너지 공급 및 그 대금회수를 효율화시키기 위해 전세계 전력회사들은 끊임없는 노력을 하여 왔으며, 전기공급 품질향상, 수급체계의 신뢰성 향상, 전체 system의 단순화 및 효율화 등은 현재까지도 개선하고 있는 중이다. 현재 선진제국의 GE등 유명회사들이 주도하여 전자식 전력량계를 생산 및 판매하고 있으나 그 가격은 매우 고가이며, 각 업체에 따라 케이스설계, 회로설계, 기능, software, 통신 protocol, 회로에 사용하는 반도체 등이 상이하여 구입 후 설치 시부터 각 사의 특유 기술자료로 설치 시운전, 운영, 하자보수, 원격통신 등을 하고 있고, 여러 제조사의 표준이 각기 다른 관계로 한 개의 전력회사 내에서 업무의 표준화, 선진화(원격검침 및 제어) 등에 여러 가지 문제점이 발생하고 있어 향후 여러 가지 문제가 제기될 전망이다. 특히 회로도가 공급회사에 따라 다르고 그 부품도 회사마다 각기 다르기 때문에 사후관리 및 운영, 기술관리에 막대한 인력과 경비소요가 예상된다.

가정용 단상 전자식 전력량계에 대해서는 그 가격이 기존의 기계식과 현격한 차이가 있어 현재 미국을 비롯한 선진국에서는 기존의 기계식 계량기에 encoder, memory, 송

**2. FPGA 개요**

직접회로 (IC: integrated circuit)는 범용(standard) IC와 ASIC의 두 가지로 분류된다. 범용 IC는 기억소자, micro processor 등과 같이 반도체 생산업자가 회로를 설계, 개발 및 양산하여 일반적인 목적에 쓰는 반면, ASIC은 사용자가 요구하는 기능을 만족시키는 IC를 설계하고 개발하여 반도체 제조공장(foundry)에서 chip으로 제조하여 특정 용도에 사용하게 된다. 즉, 특정의 용도에 쓰이도록 설계된 IC로 최종 사용자의 목적에 한정해서 사용하게 설계된 IC를 의미한다.

**2.1 FPGA 정의**

FPGA는 프로그램이 가능한 로직 칩의 한 형태이며, PLD(programmable logic device)와 비슷하지만, PLD가 일반적으로 수백 개의 게이트에 제한되는데 반해, FPGA는 수천 개의 게이트를 지원한다. FPGA의 설계와 시험 후 이상이 없으면, 성능을 더 높이기 위해 ASIC 칩들로 변환하게 된다. 반도체 기술의 발달로 자기가 필요로 하는 IC 즉, ASIC을 직접 설계할 수 있는 시대가 도래하였다. 그러나 반도체 생산 기술이 발전했다 고 하지만 아직까지 ASIC의 제작비용은 큰 부담이 되고 있으며 한번 실패에 따른 turn-around time이 상당히 소요되므로, 제작에 앞서 설계된 ASIC을 철두철미하게 검증을 수행하여야 한다. IC 설계를 검증하는 방법으로는 시뮬레이션, 하드웨어 에뮬레이션을 생각할 수 있는데, 설계된 ASIC을 다른 부품들로써 미리 만들어 보는 하드웨어 에뮬레이션이 보다 완벽한 검증을 할 수 있다. ASIC을 구현하는 부품으로 현장에서는 FPGA가 널리 이용되고 있으며, FPGA를 통하여 IC가 제작되기 전 설계된 IC의 실험으로 이상 유무를 확인하고 수정

할 수 있다.

## 2.2 FPGA 구조

PLD의 복잡도가 증가함에 따라 PA(programmable array)의 크기가 다루기 어려운 정도로 커지자 큰 PA를 작은 array로 분할된 구조의 PLA계통의 device가 등장하였다. 즉, 규칙적으로 array된 작은 logic module(CLB: configuration logic block)과 이를 연결하기 위한 routing에 의해 정기적으로 현장에서 programming하여 사용한다. 이것이 FPGA이며 높은 집적도를 가지고 있고, 현재 FPGA는 10,000 gate이 내의 design에 이르러 비용상 월 10,000개 미만의 소비량의 one-chip에 ASIC 대신 사용되는 추세이다. FPGA chip의 내부에는 CLB라는 logic unit가 균일하게 배치되어 있으며 CLB와 CLB사이에 신호들의 연결을 위한 routing channel이 형성되어 있다. XC400XL 디바이스의 경우 하나의 CLB에는 2개의 F/F과 2개의 4 input LUT(memory look up table)이 존재하는데 4 input LUT는 16bit RAM을 이용하여 logic을 구성한 것으로 16개의 1bit memory cell에 1 또는 0의 값을 넣어 놓고 address input 4bit의 값에 따라 16가지 pattern중 하나를 출력할 수 있어 4bit 입력의 combinatorial logic을 완벽하게 cover할 수 있다. 이렇게 소규모의 logic unit들이 균일하게 배치되어 있고, logic unit들 간의 연결을 담당하는 routing channel로 구성된 구조는 gate array와 유사한 형태인 관계로 field programmable gate array라고 부르게 되었다. random logic이나 F/F이 많이 사용되는 design에 적합한 구조를 갖고 있으며 하나의 FPGA의 logic size가 작게는 수천 gate부터 많게는 100만 gate급의 대용량까지의 다양한 size와 memory를 탑재한 chip들의 등장으로 ASIC에 버금갈 정도의 system을 1 chip의 FPGA로 구현할 수 있게 되었다. 하나의 design block이 FPGA에 구현될 때 logic size는 몇 개의 CLB를 사용하였는가에 따라서 결정된다. 장·단점은 다음과 같다.

- 장점 : no NRE cost, fast time to market. ASIC으로 가기 전 test용으로 널리 사용된다. PLD에 비해 전력 손실이 적다. 설계 변경, 오류로 발생하는 시간 및 비용을 줄일 수 있다.
- 단점 : 동작 속도가 느리다.

그림1은 구현한 FPGA 보드 내부구성 블록도를 나타내고 있고, 그림2는 FPGA 보드 사진을 보여주고 있다.

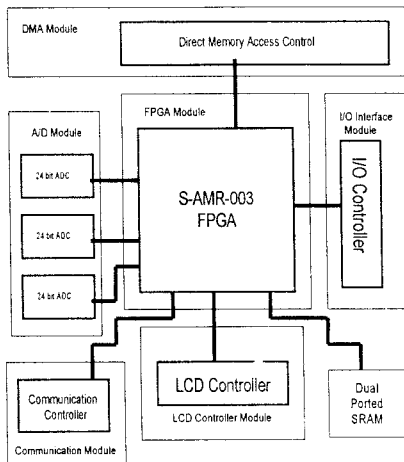


그림 1. FPGA 내부구성도

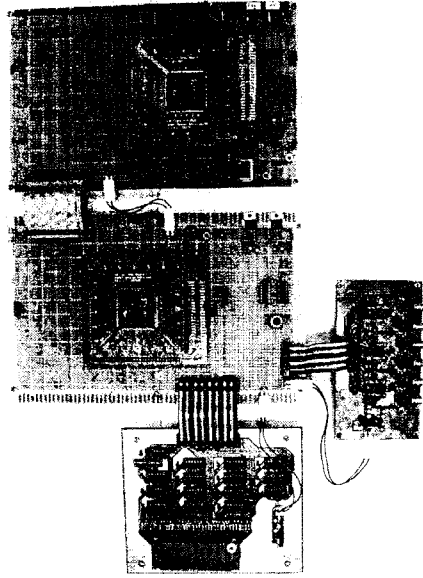


그림 2. FPGA 보드 사진

## 3. 3상 전자식 전력량계 IC

### 3.1 3상 전자식 전력량계 IC 개요

구현한 3상 전자식 전력량계 IC는 7자리의 숫자를 표시할 수 있는 액정표시화면 드라이버를 내장하고 있다. 이 표시장치를 통하여 수백개의 다양한 검침데이터를 표시한다. 3상 전자식 전력량계 IC는 유효전력량만을 측정하는 기존의 방식과는 달리, 양방향 유효전력과 양방향 무효전력, 피상전력을 실시간으로 산출하며, 동시에 실시간으로 다양한 분석, 분류작업을 수행한다. 전력연산의 과정을 역률의 계산과정도 고려하고 있다. 연산된 에너지는 kWh 또는 kvar, KVA의 형태로 출력된다. 삼성 전자식 전력량계 IC는 최소 1/10 kWh, kvar, kVA 단위로 에너지를 표시할 수 있다. 3상 전자식 전력량계 IC는 혁신적인 범용 전력연산 IC로써, 3상 전력 시스템에서 에너지 측정을 수행하는데 최적의 성능을 발휘한다. 그림3은 160개 핀을 사용하여 구현한 3상 전자식 전력량계 IC 형태를 보여주고 있다.

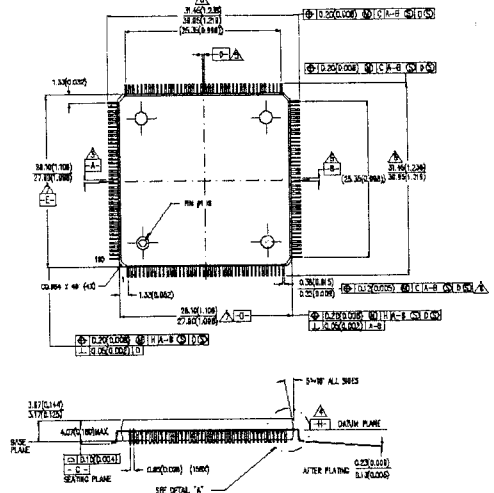


그림 3. 160 핀으로 구성된 One Chip IC

구현한 삼상 전자식 전력량계 IC의 특징은 다음과 같다.

- 양방향 유효전력, 양방향 무효전력, 피상전력을 측정한다.
- 7자리까지의 지침을 표시하며, 소수점을 표시한다.
- 7개의 요금을 지정하여, 총 전력량을 따로 보관할 수 있다.
- 추가로 총에너지 사용량을 저장하는 레지스터를 제공한다.
- IEC 61036의 정확도 0.2, 0.5, 1등급을 만족시킨다.
- 양방향 통신포트를 지원한다.
- Calibration을 위한 pulse 출력을 내보낸다.
- 40mW 이내의 전력을 소모한다.
- 다양한 종류의 전류센서와 연결할 수 있다.
- 광범위한 온도범위에서 동작한다.
- ESD에 대하여 보호된다.

### 3.2 3상 전자식 전력량계 IC 기능구현

3상 전자식 전력량계는 CMOS 공정으로 제작하며, 아날로그 신호와 디지털 신호가 혼합된 집적회로 IC이다. 구현한 IC는 최첨단 아날로그-디지털 변환기술을 사용함으로써, 최종적으로 IEC 61036 0.2, 0.5, 1급 이상의 성능을 나타낼 수 있다. 칩에 내장되어 있는 LCD드라이버는 최대 7자리까지의 지침을 표시할 수 있으며, 7단계의 요금을 레지스터는 외부에서 선택하여 선택적으로 에너지를 저장할 수 있다. 이 뿐만 아니라, 요금을 별도의 구분과는 달리 전체의 사용량을 저장하는 레지스터가 별도로 지정되어 있다. 구현한 IC는 전류, 전압센서로부터 들어오는 입력신호를 처리하는 아날로그-디지털 컨버터를 포함하여, 전력연산과 에너지 적산 등의 필요한 모든 기능을 포함하고 있다.

가. 액정화면 디스플레이 드라이버

3상 전자식 전력량계 IC는 4개의 백플레인과 6자리의 숫자, 1개의 소수점과, 10여개의 아이콘을 켤 수 있다. 기타 그 외에도 9개의 숫자를 확장하여 드라이브 할 수 있으며, 최상위의 숫자는 LCD13과 LCD12 핀에 의하여 디스플레이의 위치가 지정되며, 최하위의 숫자는 LCD1과 LCD0에 의하여 번지가 지정된다. LCD에 표시되는 숫자의 kWh 및 kvar, kVA 수치는 다음의 표와 같은 형식으로 표시된다. 표시숫자의 최하위 자리가 나타내는 단위는 0.1 kWh 이다.

10 <sup>0</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup>	KWh 또는 kvar, kVA
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	---------------------

나. IC의 프로그래밍

3상 전자식 전력량계 IC는 여러 가지 동작옵션을 지정할 수 있는 레지스터를 가지고 있다. 이러한 레지스터는 다음과 같은 옵션사항을 지정하기 위하여 사용된다.

- 기울기상수의 조정

적산되는 전력량의 기울기는 calibration 을 통하여 산출한 기울기 상수를 IC 로 기록함으로써, 조정할 수 있다. IC 내부에 있는 기울기상수의 레지스터 값을 변경함으로써, LCD에 표시되는 에너지의 값뿐만 아니라 에너지펄스의 속도도 변경되게 된다

- 기울기 상수의 프로그래밍

디스플레이되는 숫자는 500번째 펄스가 출력될 때 마다 증가한다.

- 오프셋상수의 조정

기본적으로 class 1의 정확도를 목표로 한다면, 오프셋조정은 필요로 하지 않는다. 이 기능은 PCB layout 상에서의 오류를 교정하거나 1급 이상의 정확도가 요구되는 경우에 사용한다. IC의 오프셋상수는 calibration

도중에서 결정된 오프셋상수의 값을 IC에 써넣음으로써, 조정될 수 있다. 오프셋상수는 다음과 같은 절차를 따라서 계산한다. 일단 오프셋조정이 필요한 전류범위에서 선형적으로 나타나는 에너지오차를 측정한다.

- 계기번호 및 생산자 확인정보

3상 전자식 전력량계 IC에는 계기번호 및 생산자 식별번호를 저장할 수 있도록 11 개의 바이트가 할당되어 있다. 광포트를 사용하는 통신프로토콜에 적용하기 위하여, 11개 바이트에 포함된 각각의 니블은 64 ~ 74 까지에 해당하는 ASCII code로 변환되어 22개의 바이트에 분리되어 송신된다.

## 5. 결 론

아날로그 방식 또는 기계식으로는 1급의 정확도를 얻는데 한계가 있으며, 기존에 많은 방법과 특허들이 실효전력을 연산하기 위하여 노력하였으나 정확한 값을 얻을 수가 없었다. 디지털 신호처리방식에 의하여 전력을 연산할 경우 아주 정확한 true-rms 의 각종 전력 및 전력량을 산출할 수 있다. 그 핵심반도체들은 국내에서 아직 생산되는 것이 없어 국내에는 원천기술이 전무한 상태이다. 이러한 디지털 방식의 전력연산이 국내시장에서 경제성이 있는 가격으로 생산하려면 반드시 주문형 반도체를 제작함으로써, 생산원가를 낮추고, 높은 품질관리 비용을 낮추어야 한다. 이에 정밀도 1급의 단상 유효, 무효, 실효 및 최대수요 전력량계의 구현에 필요한 반도체소자에 대한 구조설계와 알고리즘 구현 및 최적의 성능을 얻기 위하여 주변부품들이 미치는 영향에 대하여, 집중적으로 검토, 연구하여 3상 전자식 전력량계 IC를 구현하였으며, 구현한 삼상 전자식 전력량계를 활용하여 고정밀도의 ASIC 반도체 핵심부품을 개발하여 원천기술을 확보하고, 경제성 있는 3상 전자식 전력량계의 개발하여야 할 것이다. 향후 국내계기업체에 개발된 삼상 전자식 전력량계 IC를 공급하여 전자식 전력량계의 경제성을 확보하고 국내의 전력량계 및 요금시스템의 선진화를 촉진시킬 될 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 판매사업단, "계기 및 검침업무보고", 1998.6
- [2] 한국측정기기 교정협회, "계량기 검사기술 I", 한국측정기기 협회, 1996.4
- [3] 박종범 외, "저압용 3상 전자식 전력량계 개발", 최종보고서, 1999.12.
- [4] 윤기갑 외, "Programmable IC를 이용한 다기능 전자식 3상 전력량계 개발", 중간보고서, 1999.12.
- [5] 박종범 외, "Programmable IC를 이용한 다기능 전자식 단상 전력량계 기능 구현", pp644-646, '2000대한전기학회 추계학술대회 논문집, 2000.