

부하변동에 대응하는 역률개선형 전력질감시스템

*김태수, **강형식, *주경돈, *류승헌, *구경완, **한상옥
*대전기능대, **청주기능대, *영동대, **충남대

Electric energy saving system with high speed response to load variation using power-factor correction

*Tae Soo Kim, **Hyung Sik Kang, *Kyung Don Joo, *Seung Heon Lyu, *Kyung Wan Koo, **Sang Ok Han
*Taejon Polytech. Col., **Chongju Polytech Col., *Youngdong Univ., **Chungnam Nat'l Univ.

Abstract - Small type electric energy saving system is proposed in this paper. The system improves power factor fastly according to load variation of each customer. Phases of voltage and current are detected as 1[ms] unit. Phase coincident algorithm is applied for power factor improvement. Capacitance is controlled for optimal power factor correction. Series reactor is controlled for harmonics reduction. Non-contact device is used for fast response and long life. Test result shows the effect of this system. Power factor of 40[W] electric fan is improved from 95[%] to 100[%]. In the case of electric light, power factor is improved from 82[%] to 100[%]. Response time for load variation is less than 1[ms].

1. 서 론

전력수용가에서 역률이 개선된다면 부하전류가 감소하게 되므로, 같은 설비로도 공급용량에 여유가 생기게 된다. 즉, 공급설비 용량을 더 늘리지 않고도 부하의 증설이 가능해 진다. 전력수용가의 부하 역률을 개선하면 그만큼 전력회사는 설비 합리화가 이루어지기 때문에, 수용가의 역률 개선을 촉진한다는 목적으로 기본요금에 역률 할증제도를 실시하고 있다. 현재 국내의 경우 역률은 최대 90%를 넘지 않으며 부하의 성질에 따라서는 60%까지 되는 경우도 있다. 이를 전력회사에서 일괄적으로 역률 개선시키는 것은 선로 및 전압 조정의 차원까지 고려하여야 하므로 무리가 있다. 그러나 분산제어 방식을 적용하여 수용가 각각에서 역률 개선을 시도한다면 통합적으로 매우 많은 전력질감 효과를 기대 할 수 있다. 일반적인 역률 개선의 구현 방법으로는 무효전력에 의한 동적 제어방식, 전압에 의한 제어방식, 역률 계전기에 의한 제어방식, 전류 검출에 의한 제어, 시간에 의한 제어 등으로 나눌 수 있다. 각각에 대한 특징을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 무효전력에 의한 동적제어는 무효전력 검출을 위해 무효전력계전기를 사용해 정정치 보다 커졌을 때 투입하고 작아졌을 때 개방하는 방식으로 부하에 항상 동적으로 대응하는 방식이다. 이 방식은 역률 개선용으로 콘덴서를 설치하는 경우에 가장 적합한 방식이며, 콘덴서의 군 용량을 부하의 성질에 따라 변경하는 방식으로 무효전력계전기를 2조 또는 수조 사용하여 군 제어를 하기도 한다. 둘째, 전압에 의한 제어는 모선

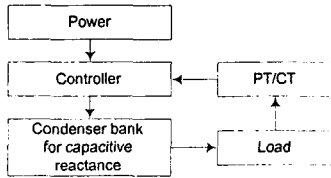
전압이 정정치 보다 내려갔을 때 콘덴서를 투입하고 정정치 이상이 되면 차단하는 방법으로 1차 변전소처럼 그 목적이 모선전압 조정에 있는 경우에 사용하며 소규모의 역률 개선용으로는 사용되지 않는다. 셋째, 역률계전기에 의한 제어는 역률계전기를 사용해서 제어하는 방법으로 역률 개선 폭이 적은 곳에서 적용하는 시스템이다. 소형으로 구현할 수 있는 장점이 있으나 조정 폭이 부하의 감소와 더불어 작아지고 그 폭이 1군의 용량보다 작아지는 곳에서는 헌팅을 일으키게 된다. 때문에 회로전력이 기준이하가 되면 자동제어 기능을 정지시켜 헌팅을 방지하도록 하여야 하는 단점이 있다. 넷째, 전류에 의한 제어는 부하상태에 따라 역률이 일정한 경우에 쓰이는 것으로 전류계전기로 검출하여 제어한다. 이 방식은 미리 무효전력과 부하전력의 관계를 조사하여 데이터에 의하여 정정(correction)해야 하는 단점이 있다. 다섯째, 시간에 의한 제어는 부하변동이 시간에 의존되는 상점, 백화점처럼 조업 시에는 일정한 부하가 되고 종업시에는 무 부하가 되는 경우에 사용된다. 이는 타임 스위치에 의해 제어되므로 동적 부하에 대응하지 못하며, 미리 제어데이터를 준비해야 하는 단점이 있다.

본 연구에서는 동적 부하에 신속하게 대응할 수 있으며 소규모별로의 분산 역률제어가 가능토록 무효전력에 의한 동적 제어를 무점점방식으로 구현하는 방법을 사용하였다. 무효전력의 보상을 위해 콘덴서 뱅크를 이용할 경우 유점점 개폐 방식에서는 개폐시 점점의 마모, 불꽃 발생, 채터링 현상, 동작속도 등 많은 문제점이 있기 때문에 반도체소자를 사용한 무점점 개폐 방식을 채택했다. 부하의 무효전력은 전압검출기 PT(Potential Transformer) 및 전류검출기 CT(Current Transformer)를 사용하여 검출하였다.

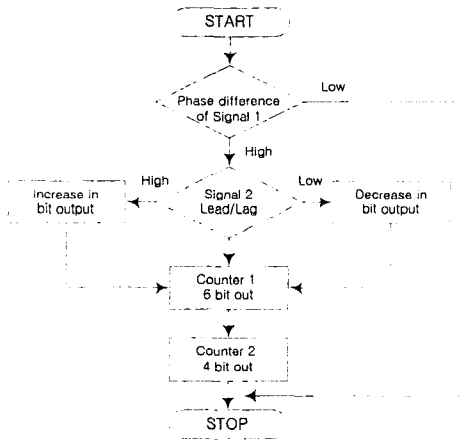
전압과 전류의 위상차 1[ms] 단위로 검출, 이를 최대한 일치시키는 알고리즘을 적용하는 방법으로 역률 개선을 수행하였다. 이 두 검출기에서 검출된 신호를 비교기에서 비교하여 위상 차를 구하였고, 위상 차는 마이크로에서 인식하여 역률 개선 알고리즘에 의하여 연산된다. 이 연산된 결과는 위상일치부의 커패시턴스를 최적 값으로 조정하도록 하여 부하의 효율을 최대로 개선 할 수 있도록 하고, 이때 발생하는 고조파를 최소화하기 위해서 직렬 리액터를 커패시턴스값과 대응하여 삽입되도록 하여 주었다.

2. 실험

그림 1은 부하변동에 따르는 전압, 전류의 위상 차를 검출하여 Controller 에서 마이컴을 이용하여 C프로그램으로 6bit 순차제어를 하고 트라이악을 이용하여 콘덴서뱅크를 부하와 병렬로 접속하여 개폐하도록 하였으며 또한, 직렬 리액터를 4bit로 제어하여 항상 최적의 역률을 유지하도록 설계된 제어 시스템의 구성도이다.



(a) schematic diagram



(b) flow chart

Fig. 1 Power saving system with moving load

3. 결과 및 고찰

시험을 위한 장비로는 텍트로닉스 100(Mhz) 디지털 오실로스코프와 효율 측정기는 요꼬가와 0.5%급 역률계 전력 측정기는 요꼬가와 0.5%급 전력계를 이용하여 측정하였다.

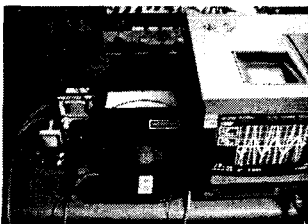
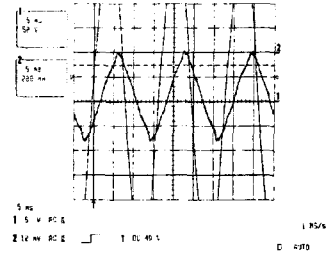
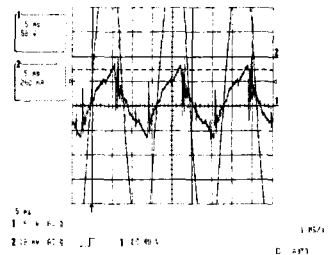


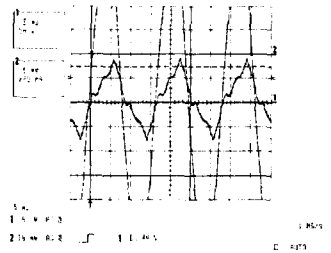
Fig. 2. The photo of experimental setup for measuring power factor and power consumption



(a)

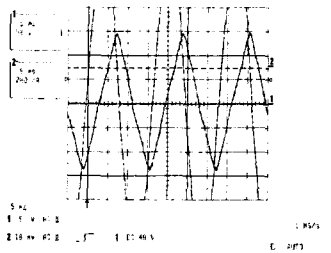


(b)

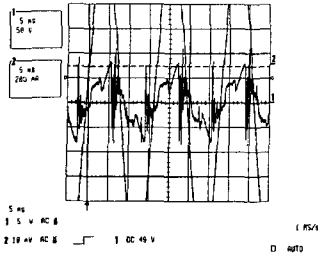


(c)

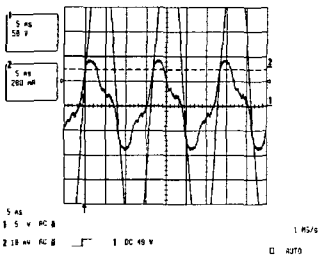
Fig. 3 Characteristics of load circuits with fan(40W): (a) before power factor improving($\cos \theta = 0.95$), (b) after power factor improving($\cos \theta = 1$), (c) after power factor improving with series reactor attachment($\cos \theta = 1$)



(a)



(b)



(c)

Fig4. Characteristics of load circuits with fluorescent lamp: (a) before power factor improving($\cos \theta=0.95$), (b) after power factor improving($\cos \theta=1$), (c) after power factor improving with series reactor attachment($\cos \theta=1$)

여러 가지 부하들에 따른 본 시스템의 역률 개선 및 전력절감 효과를 표1에 요약 정리하였다. 이 중 형광등과 팬을 부하로 하는 실제 특성 그래프는 Fig.3와 Fig.4에 나타내었다.

Table 1 Summary of experimental results according to various loads

부 하	특성값			역률 개선 전			역률 개선 후		
	I_p [mA]	전력 [W]	역률 [%]	I_p [mA]	전력 [W]	역률 [%]	I_p [mA]	전력 [W]	역률 [%]
형광등 40[W]	550	85	82	350	54	100			
FAN 40[W]	350	54	95	300	46	100			
백열등 60[W]	400	62	99	390	60	100			
FAN, 형광등	800	124	60	600	93	100			
백열등, FAN	700	109	95	650	101	100			
백열등, 형광등	760	118	80	680	105	100			
백열등, 형광등, FAN	1080	168	76	950	147	100			

Fig. 3(a)는 팬(40(W))을 사용한 부하회로에서 전압과 전류의 위상을 검출한 역률 $\cos \phi = 0.95$ 에서 제어기를 동작시켜 역률을 개선한 결과 Fig. 3(b)과 같이 $\cos \phi = 1$ 로 개선되었으며, 또한 Fig. 3의 전류값 $I_p = 350$ [mA]로 Fig. 3(b)의 전류값은 $I_p = 300$ [mA]로 낮아졌고, Fig 4(a)와 Fig. 4(b)은 형광등(40(W))만의 부하에서는 $\cos \phi = 0.82$ 에서 $\cos \phi = 1$ 로 개선효과를 얻었고, Fig. 4(a)의 전류값 $I_p = 550$ [mA]이고 Fig. 4(b)의 전류값 $I_p = 350$ [mA]로 역률 개선전의 전

류 값보다 개선 후의 전류 값이 현저히 낮아지므로 전력 손실이 감소하는 효과를 확인 할 수 있다.

Fig. 3(a)에서 Fig. 4(c)까지의 실험결과에서 역률 개선전의 전류 파형과 역률 개선후의 전류 파형을 비교해 보면 개선전의 파형에 비해 개선후(부하와 콘덴서 뱃크를 병렬 접속)의 전류 파형은 고조파 전류가 유입되어 콘덴서 전류의 파형은 안정되지 않아 제어기 오작동의 원인이 되고있다. 직렬 리액터를 부착함으로써 Fig 3(c)와 Fig. 4(c)과 같이 고조파가 현저히 감소하도록 하였다.

4. 결 론

전력 절감 시스템을 설계 및 구현하여 실험한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 비유도성 부하인 형광등을 이용하여 역률 개선 전과 개선 후의 역률을 비교한 결과 82%에서 100%로 개선되었다.
2. 유도성 부하인 모터를 이용하여 역률 개선 전과 개선 후의 역률을 비교한 결과 95%에서 100%로 개선되었다.
3. 전력 절감 시스템의 구현에 있어서 저가의 마이크로 PIC16C711을 이용하여서도 가능하다.
4. 무효전력의 상쇄를 위한 방법으로 병렬로 연결되는 용량성 리액터는 기존의 부하와 탭크 회로를 형성하므로 고조파를 발생하는 원인이 됨을 확인하였다.
5. 전력 절감의 과정에서 발생하는 고조파의 제거를 위해 인덕티브 리액터를 삽입함으로써 고조파의 절감 효과를 가질 수 있다.
6. Table 1에서 서로 다른 특성을 가진 부하가 동시에 동작될 때에는 서로 보완하여 개선 될 수도 있지만 역률이 더욱 나빠질 수 있음을 알 수 있다.

향후 과제로는 좀 더 큰 동적 부하에서 매우 적은 값의 캐패시터를 이용하여 효율을 개선시킬 수 있는 방안이 요구되며, 효율 개선 과정에서 발생하는 고조파 및 파형 왜곡이 작거나 효율적으로 제거하는 방안이 연구되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] CMOS IC 규격집, 편집부, 도서출판 세화, 1998
- [2] 역률 보상회로와 하드브리지를 이용한 고효율 인버터 기술개발에 관한 보고서, 산업자원부, 1999
- [3] 김성환, 역률 개선을 위한 전치레귤레이터 설계에 관한 연구, 고려대 석사논문, 1995
- [4] PIC BASIC, Compiler, 1999
- [5] Chung-Wook Roh. Design of new magnetic coupled power conversion circuit for power factor correction and battery drive applications, 한국과학기술원, 2000