

선형 및 비선형 부하의 운전시 커패시터 동작 특성 분석

이은웅^{*}, 이동주^{*}, 김일중^{**}, 김종겸^{***}, 박영진^{***}
충남대학^{*}, 호서대학^{**}, 강릉대학^{***}

Analysis for Power Capacitor Characteristics by Linear and Non-linear Load Operation

Lee Eun-Woong^{*}, Lee Dong-Ju^{*}, Kim Il-Joong^{**}, Kim Jong-Gyeum^{***}, Park Young-Jeen^{***}
Chungnam National Univ^{*}, Hoseo Univ^{**}, Kangnung National Univ^{***}

Abstract - 전력용 커패시터는 부하에 필요한 무효전력을 대신 공급함으로써 공급전력을 줄여 역률을 개선하기고, 전압을 안정시키며, 손실의 저감으로 전원용량을 증대할 수 있는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그러나 전압 불평형과 같은 전기품질의 저하와 비선형 부하 등과의 혼합 사용시 전압 및 전류 등의 증가로 인해 전기적인 스트레스를 받게 된다. 본 논문에서는 선형 및 비선형 부하의 사용시 역률 보상으로 운전되고 있는 커패시터가 어떤 특성변화를 나타내는지에 대해 유도성 부하와 컨버터 회로를 사용하여 모의 실험을 실시하였다.

1. 서 론

산업현장에서 사용하는 부하는 전동, 전열 등과 같은 선형부하도 있고, 전력변환장치를 사용하여 기기를 효율적으로 운전하도록 하는 비선형 부하가 있다. 전동부하와 같은 선형부하는 역률이 높지만, 유도성 부하의 경우 역률이 낮아 이를 보상하기 위해 보상용 커패시터를 사용해야 한다.

전력용 커패시터는 전압안정과 무효전력 제공 및 손실저하를 통해 전원 시스템의 용량을 안정화시키는데 도움이 된다. 그러나 역률 보상을 위해 설치한 커패시터가 정격부하 용량보다 낮은 범위에서 운전하거나 비선형 부하와 함께 사용할 경우 전압 및 전류의 증가로 인한 스트레스로 열화의 원인이 될 수 있다. 최근 부하의 변화에 대응하기 위해 변압기측에 역률 보상 커패시터를 여러 대 설치하여 부하의 변화에 따라 자동적으로 역률을 조절할 수 있는 장치의 보급이 점차 증가하고 있다.

커패시터는 부하에 필요한 무효전력을 제공하는 동시에 비선형 부하에서 발생하는 고조파 성분을 흡수하는 필터의 역할을 하기 때문에 정격 허용범위를 초과할 경우 스트레스로 고장이 날 수 있다.

본 논문에서는 역률 보상용으로 설치하는 커패시터가 선형부하와 비선형 부하를 동시에 사용할 경우 어떤 동작특성을 나타내는지를 시뮬레이션을 통해 분석하고자 한다.

2. 부하와 커패시터

2.1 선형 및 비선형 부하

선형부하(linear load)란 본래 정상적인 동작 상태에서 인가전압의 주기 내내 전력원에 일정한 부하 임피던스를 나타내는 전기적인 부하장치를 말하고, 비선형 부하(nonlinear load)란 불연속적으로 전류를 끌어들이는 전기적인 부하 또는 부하의 임피던스가 정현적인 전압원의

주기 동안 내내 변화하는 것을 말하는 것으로서 전력변환장치와 같은 비선형부하의 사용증가는 자체 및 다른 설비에 좋지 못한 전력품질을 낳을 수 있다[1,2].

선형부하에서 저항부하는 역률이 1이지만, 유도전동기나 유도모터, 아크 용접기와 같은 것은 역률이 낮은 편이다. 따라서 역률을 보상하기 위해 커패시터를 부하측에 개별로 부착하거나 전원측 또는 PCC 등에서 일괄해서 보상하는 경우도 있다.

비선형 부하에서는 전력변환과정에서 고조파가 발생하는데 이 고조파를 줄이기 위해 커패시터와 리액터를 조합한 수동 필터를 사용한다. 이때 커패시터의 부착에 따라 시스템에서 공진이 발생하면 공진점 부근에서는 높은 전압 및 전류가 발생하여 스트레스로 작용하게 된다.

2.2 커패시터

커패시터는 유도전동기와 같은 유도성 부하에 필요한 무효전력을 전원측을 대신하여 제공함으로써 역률 개선과 전원용량의 여유를 높일 수 있는 효과를 가지고 있다. 또한 비선형 부하의 사용시 발생하는 고조파 전류성분에 대해서는 필터로서 작용할 수 있다. 그러나 유도성 리액턴스와 커패시터의 용량성 커패시턴스에 의한 공진시 전압 및 전류 성분의 확대로 커패시터는 높은 스트레스를 받아 수명에 큰 지장을 초래할 수 있다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서는 선형 및 비선형 부하의 사용시 커패시터가 받는 영향을 분석하기 위해 선형부하로 저항 및 유도성 성분의 코일을 사용하였고, 비선형 부하는 semi-converter의 정류기 회로를 적용하였다. 계산에 사용된 회로는 그림 1과 같다. 해석에는 전자계과도해석 프로그램의 ATPDRAW를 이용하였다[3].

그림 1에서 회로의 주파수 특성 등을 고려하기 위해 전원측과 정류기측에서는 변압기를 포함시켜 해석하였다. 사용된 전원 변압기는 30[kVA]이고, 선형부하는 7[kVA]이며, 비선형 부하로는 차단기의 동작에 필요한 직류를 공급하도록 한 Semi-converter설비로서 전압변환 변압기의 용량은 5[kVA]가 사용되었다. 전원 변압기 2차측에 설치하는 커패시터는 변압기의 5%에 해당되는 용량을 선정하였다. 해석은 선형부하만 운전한 경우, 비선형 부하만 운전한 경우 그리고 선형 및 비선형 부하를 함께 운전한 경우에 대해 각각 특성변화를 모의하였다.

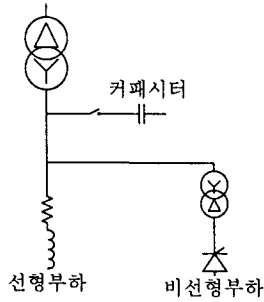
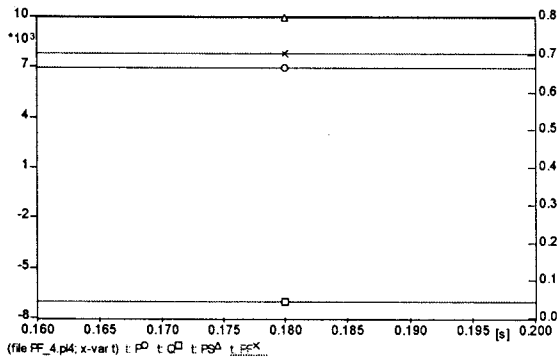
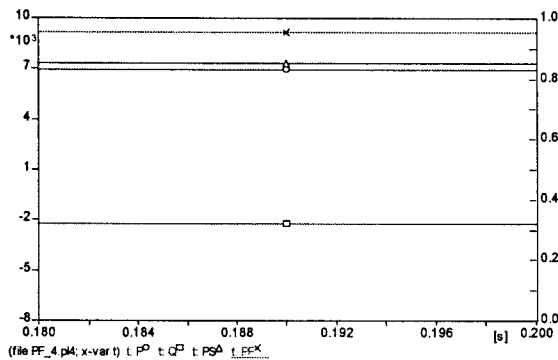


그림 1. 선형 및 비선형 부하 회로도

그림 2는 선형부하만의 운전에서 커패시터 부착전후 전력(유효:○, 무효:□, 피상:△) 및 역률(×) 특성을 해석한 결과이다. 그림 2에서 좌측은 전력을 그리고 우측은 역률을 나타낸 것이다.



커패시터 설치 전



커패시터 설치 후

그림 2. 선형 부하만의 운전시 전력 및 역률

그림 2에서와 같이 커패시터 설치 전후에 유효전력에는 변화가 거의 없지만, 설치 후에 무효전력은 감소하고 피상전력은 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 역률은 0.7에서 0.95로 증가하였다.

그림 3은 그림 2)에서와 같은 운전조건에서 임피던스 변화를 나타낸 것으로서 101[Hz] 부근에서 병렬공진이 발생함을 알 수 있다. 이 주파수에서 전압의 확대가 계속될 경우 커패시터는 전압 스트레스를 받을 수 있다.

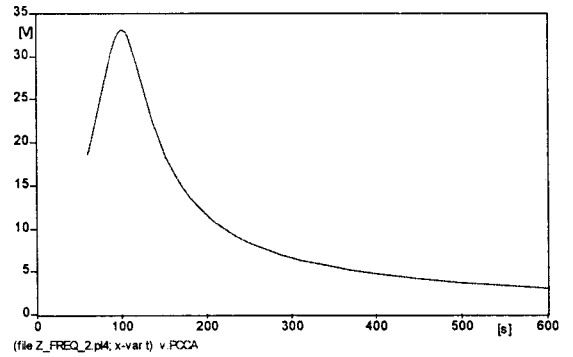
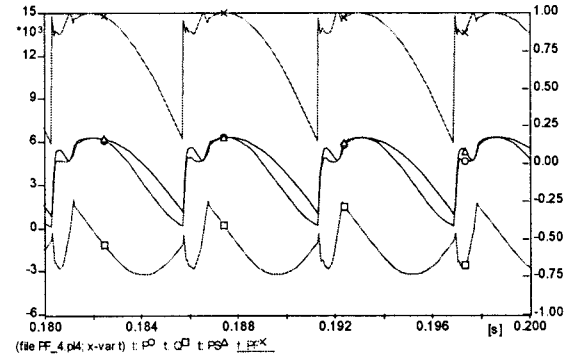
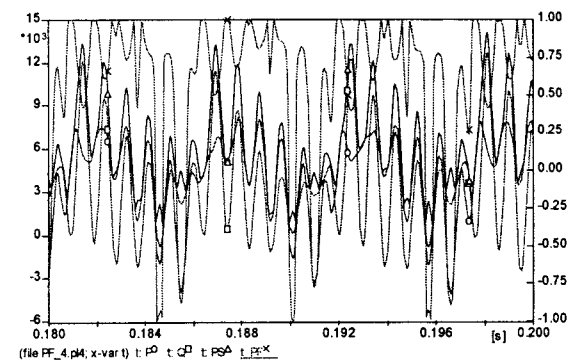


그림 3. 임피던스

다음 그림 4는 그림 1에서와 같이 선형부하를 사용하지 않고 비선형 부하만을 운전한 경우 커패시터의 부착전후 전력 및 역률 변화를 나타낸 것이다. 선형부하만의 운전에 비해 전력은 맥동성분으로 인해 매우 불안정한 상태라는 것을 알 수 있다.



커패시터 설치 전



커패시터 설치 후

그림 4. 비선형 부하만의 운전시 전력 및 역률

그림 4)에서와 같이 커패시터를 고려하지 않고 비선형 부하만 운전한 경우에 비해 커패시터를 고려한 그림 4)에서 전력은 보상으로 높아졌지만 맥동성분의 존재로 불안정한 모습을 나타내고 있다.

그림 5는 그림 4)와 같이 비선형 부하만에 커패시터를 부착하고서 운전하는 경우에 대한 임피던스 변화를 나타낸 것으로서 병렬공진이 405[Hz] 부근에서 발생함을 확인할 수 있다. 이는 선형 부하에서와 달리

고조파 성분에 의해 병렬공진점이 높아짐을 알 수 있다.

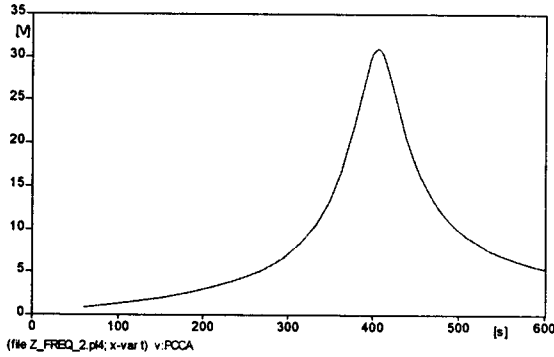
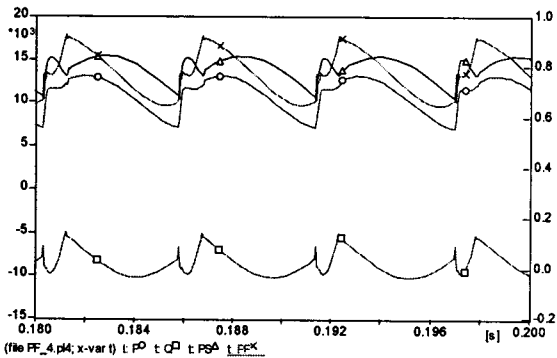
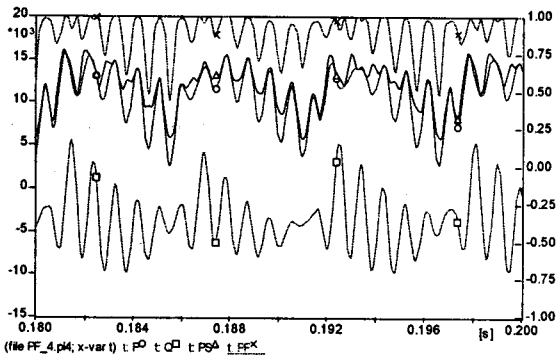


그림 5. 임피던스

다음 그림 6은 선형 및 비선형 부하를 동시에 운전하는 경우에 대해 해석한 결과이다.



커패시터 설치 전



커패시터 설치 후

그림 6. 선형 및 비선형 부하 운전시 전력 및 역률

그림 6에서 커패시터 설치 후 무효전력 및 피상전력은 줄어들어 역률은 높아지지만, 맥동성분의 존재에 의해 불안정한 상태를 나타낸다. 따라서 안정된 전력 특성을 유지하기 위해서는 고조파 성분의 제거나 자동역률 제어장치 등이 필요하게 된다.

그림 7은 그림 6)와 같은 조건에서의 임피던스 변화를 나타낸 것으로서 병렬공진이 418[Hz]부근에서 발생함을 확인할 수 있다.

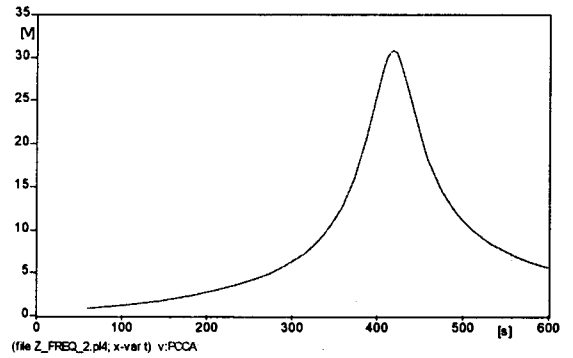
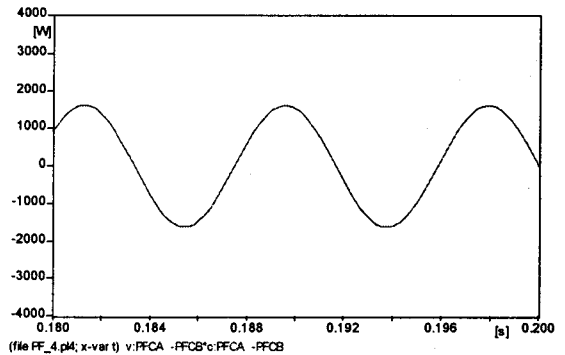


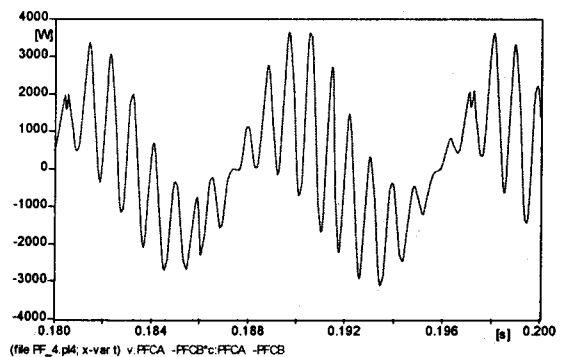
그림 7. 임피던스

그림 7에서 공진 주파수가 부하의 운전에 따라 이동하는데 설치되는 커패시터와 부하의 유도성 리액턴스 값에 따라 약간 이동함을 알 수 있다. 따라서 공진점의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 필터의 설치가 필요하지만 그렇지 못할 경우 공진점 부근에서 부하 또는 전원시스템에 전압 및 전류 스트레스로 작용할 수 있다.

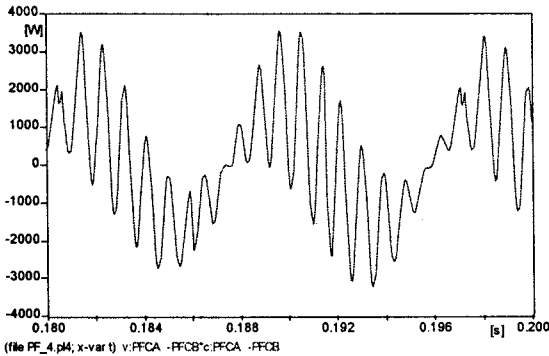
역률 보상을 위해 설치하는 전력용 커패시터가 부하의 종류 및 운전 패턴에 따라 어떤 특성변화를 하는지 확인하는 것이 필요하다. 그림 8은 3가지 운전 모드에 대해 커패시터에서의 전력값을 해석한 결과이다.



선형 부하만 운전시



비선형 부하만 운전시



선형 및 비선형 운전시
그림 8. 커패시터 전력

그림 8(a)에서와 같이 선형 부하만 운전하는 경우 낮은 역률을 보상하기 위해 설치한 커패시터에는 고조파 성분이 포함되지 않은 기본파 전압 및 전류만 있으므로 전력은 거의 일정한 값을 유지한다. 그러나 그림 8(b)와 같이 비선형 부하만 운전하는 경우에 역률 보상을 위한 커패시터는 전압 및 전류의 리플현상으로 커패시터에는 고조파 성분이 포함된 전력변화를 나타낸다. 또한 그림 8(a)와 같이 선형에 비선형 부하를 운전할 경우 커패시터는 비선형 부하의 단독운전과 비슷한 결과를 나타내는데 그 값은 약간 높게 나타내고 있다. 전력 파형에서 맥동은 전압에 비해 고조파 성분이 많은 전류성분에 거의 지배적이라고 볼 수 있다. 따라서 고조파에 대한 저감대책이 필수적이다.

4. 결 론

수용가에 사용되는 지상 부하의 역률을 보상하기 위해 커패시터를 부하마다 또는 일괄로 설치한다. 사용되는 부하가 선형만 존재할 경우 큰 문제점이 없지만, 대부분의 수용가에는 선형 및 비선형 부하가 함께 사용되고 있다. 이들 부하에서 커패시터가 받는 스트레스의 정도를 해석하기 위해 전력특성의 변화를 해석하였다.

역률 보상을 위해 설치하는 커패시터는 선형부하에는 양호한 특성을 나타내지만, 비선형 부하의 존재시 공진점이 저차에서 높은 차수로 이동하며, 전압 및 전류 고조파로 인해 커패시터에서의 전력값이 높아지고 리플성분의 포함하므로 스트레스로 작용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 전력산업연구개발사업의 지원에 의하여 수행된 과제임 (과제번호 : R-2007-3-186)

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Standard 519-1992 limits
- [2] 김종걸 외 2인, "선형 및 비선형 부하량에 따른 고조파 성분의 변화", 대한전기학회 논문지 Vol.51(B), No.8, pp.441 ~ 448, 2002.8
- [3] H.W. Dommel, "Electromagnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book)", BPA 1986.