

기/술/에/설

전원과 전력전자 시스템의 전력품질개선

원 중 연 <성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부 교수>

1. 서 론

90년대 들어 국제간 무한 경쟁시대 돌입으로 경영 환경에 큰 변화가 일어나면서 내부적으로는 국민생활 수준이 급성장 되고 정보화 사회로의 급속한 진전과 더불어 전기품질에 대한 고객욕구 또한 새로운 변화를 갈망하고 있다.

전력품질의 문제는 크게 전압의 품질 문제와 전류의 품질 문제로 구분할 수 있다.

먼저 전압의 품질 문제는 선로상의 사고나 고장 등에 의해서 주로 발생하는 문제로 voltage sag(전압 이도), swell(용기) 또는 순간정전 등의 현상으로 나타나게 된다.

이러한 현상은 수용가에 정전을 유발하게 하여 기기의 재시동, 오동작 또는 파손을 일으키는 원인이 된다. 한편 전류의 품질 문제는 수용가 자체에서 사용하고 있는 부하에 의해서 발생된다.

즉, 예고 없는 정전이나 주파수 변화는 국가 기간 산업에 대한 영향과 국민에 대한 신뢰성 상실은 물론 전력산업에 대한 이미지 손상을 초래하게 된다.

그림 1은 한국전력공사의 품질목표에 대한 시대적 변천을 보여준다.[1]

전력수요의 증가에 따라 송전용량을 충분히 활용하고 전원전압변동을 최대한 억제하여 양질의 전력

을 공급하기 위하여 전력계통과 부하와의 최적 인터페이스가 매우 중요하게 대두되고 있다.

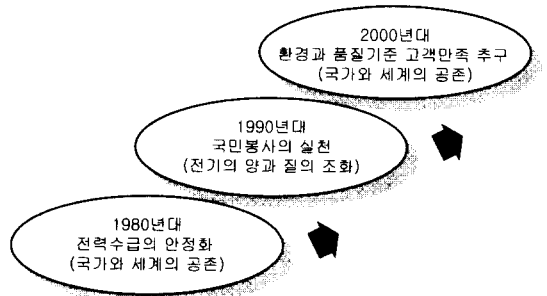


그림 1. 품질목표의 시대적 변천

그 중에서도 전력전자기기의 보급이 날로 증가 추세에 있어 전원과 전력전자기기 사이의 전력품질 개선에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

전력계통에서 부하에 전력을 전달할 때, 전동기가 변속 구동시스템, 스위치 모드 파워 서플라이, UPS, HVDC 송전 등과 같은 전력전자기기 부하에 의한 무효전력과 고조파들은 전원전압의 왜곡, 발전기, 송전선과 변압기 등의 전력계통 장치들의 VA용량 증대를 가져온다.

더불어 전기기기, 케이블, 진상 콘덴서 등의 소자들에 열 및 소음을 발생시키고 더 나아가 절연과피

또는 수명단축을 초래한다. 또한 컴퓨터, 계측장비 등의 각종 전자장비의 오동작, 통신 시스템의 EMI 현상을 야기하며, 전동기의 이상 진동 토크 발생, 철손, 동손 등의 손실을 증대시킨다.

따라서 무효전력과 고조파 발생에 대한 효과적인 대책 개발에 관한 연구는 매우 중요하고 전력 사용 환경의 변화에 비추어 꾸준히 연구되어야 한다.[2]

2. 국내·외 현황

전기는 매우 편리한 에너지로서 모든 사업의 원동력일 뿐만 아니라 현대 생활을 안락하게 하는 가장 중요한 편의상품이다.

산업의 고도화와 국민생활의 향상에 따라 신소재 개발에 힘입은 모든 산업제품의 정밀성 및 효율성 향상, 가정용 컴퓨터 등 첨단 가전기기의 보급이 증가되고 있다.

전기품질의 용건으로는 무정전, 일정주파수, 정전압 및 순 정현파를 들 수 있는데, 앞의 3개 항목에 대하여는 전력 수용가에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 이미 오래 전부터 많은 설비투자자와 기술개선이 이루어져 현재는 선진국과 동일한 수준에 와 있다고 볼 수 있다.

그러나 고조파 문제는 전기를 공급하는 한국전력공사와 사용자 모두가 그 피해의 심각성을 인식하고 있다.

고조파의 발생요인은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데 그 하나는 현재 사용이 급격히 늘어난 첨단 제어장치, 전력전자기기 등 다양한 반도체 전력변환 설비에 의한 것이며 다른 하나는 기존 전력기기(변압기 및 회전기)의 비선형 특성영역에서의 운전으로 인한 것을 들 수 있다.

이러한 비선형 부하의 유형이나 양이 증대하면, 전원측의 많은 고조파 전류가 흐르게 되고 따라서 전압의 왜형이 발생하여 계통 내에 다른 설비까지 악영향을 미친다.

뿐만 아니라 무효전력의 증가로 역률까지 저하되는 등 전력품질상의 심각한 문제가 초래된다.

이와같은 고조파문제에 대한 국내의 동향은 다음과 같다.

대한전기학회에서는 1998년도에 고조파 저감기술 현황과 전망에 대한 기술 조사보고서를 발표하여 고조파 대책수립의 출발점의 계기가 되었다. 한편 전기공급자인 한국전력공사는 1994년도에 전력사업의 장기 전원 개발계획에 따라 투자비용 절감과 전기품질 향상 대책을 수립하여 좋은 전력을 적절하게 공급함으로써 국내 산업계의 국제 경쟁력을 확보하였다.

한국전력공사의 전기품질을 향상시키기 위한 5개 중점 실천전략을 가지고 있다.[1]

- ① 고객만족(서비스)지향의 전기품질 향상
- ② 전원 및 전력공급 적정 확충
- ③ 전기품질 향상을 위한 기술 개발
- ④ 전기품질 활동 전개
- ⑤ 전기품질 역할분담과 협력 체계 구축

이밖에 1998년도에 통상산업부 주관으로 무효 전력제어에 의한 에너지 절감 방안 연구가 수행되었으며, 전력계통과 전력전자 설비와의 사이에서 발생하는 무효전력의 적절한 제어가 필요함을 여러 가지 면으로 다루었다.[2]

미국에서는 이러한 전력품질 문제에 의하여 연간 약 26억불 이상의 손실이 발생되는 것으로 추정되고 있다.

일본, 프랑스, 영국, 캐나다 등의 선진국에서 연구가 활발히 이루어지고 있으며 최근에는 실용화에도 관심이 고조되고 있는 형편이다.

최종적으로는 고조파 전압관리를 적용하여 전력계통의 전압왜곡이 허용값 이내로 유지되도록 세밀하게 운용된다.

프랑스에서는 고조파 전압 왜곡율이 총합왜곡율로 5% 이내로 두고 있다.

3. 배전계통에서 본 전력품질개선방안(3)

산업 사회의 기술이 고도로 성장할수록 안정적인

면서 신뢰성이 높은 양질의 전력을 필요로 한다. 앞으로 전기부하의 50[%]이상의 전력전자시스템을 거쳐 전력을 공급받게 될 것이며 전력전자장비의 발생 고조파에 대한 문제해결이 절실히 요구될 것이다.

전력전자기술의 발전에 따라 최근의 전기설비에서는 FA 및 OA용 전원, 정보통신용 전원으로 무정전 전원장치가 필수적으로 필요하며, 또한 에너지 절약을 위한 전동기 가변속 구동장치가 많이 채택되고 있다.

이러한 무정전 전원 공급장치나 전동기 가변속 구동장치는 인버터를 사용하게 되며, 인버터는 직류를 교류로 변환하는 장치로 그 전단에는 일반적으로 교류를 직류로 변환하는 컨버터가 접속되어 있다. 그런데, 이러한 컨버터는 고조파 전류의 발생원으로써 이 고조파 전류가 그림 2와 같이 계통을 따라 전원까지 역류하고 있다.

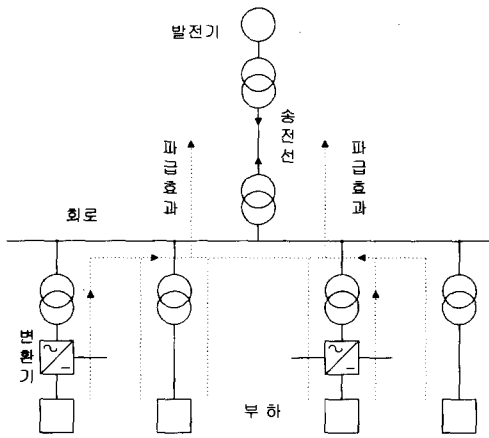


그림 2. 고조파 유출경로

이러한 고조파 전류는 전원으로부터 부하단까지의 임피던스에 의하여 전압강하를 일으키고, 이 전압강하에 따라 비록 전압파형이 순정현파라고 할지라도 부하단의 전압파형은 왜형파가 된다.

이런 전압 찌그러짐은 각종 계전기 오동작, 정밀 전자기기의 동작불량, 기기 손상 및 과열의 원인이 될 수 있다. 따라서 전력품질보증의 문제로서 양질의 전원 즉 주파수, 전압 등이 안정되어야 전기설비의

기능을 만족할 수 있으며, 또한 EMC의 문제로서 전자기장해 방지 측면에서도 만족하여야 한다.

고조파 문제를 해결하기 위한 전력전자공학을 이용한 방법에는 상수 증대법, 수동 필터, 능동 필터가 많이 사용되고 있다.

상수 증대법은 위상변화가 가능한 변압기를 사용하여 6상 정류기를 기본단위로 12상, 24상, 36상등으로 상수를 증대시키는 방법이다. 상수가 커질수록 교류 입력전류는 다단상태가 되어 권수비를 조정하여 정현파에 근사하도록 만드는 기법으로 각 정류기가 평형상태로 운전시 고조파 저감 특성이 우수하다.

그러나 상수 증대시 많은 변압기가 필요하며, 전원 임피던스로 인한 전류증폭현상, 점호각의 불일치 등의 문제로 상수를 24상 이하로 제한하여 사용하고 있다.

계통 내에 고조파를 제거하기 위하여 널리 사용되어 온 수동필터는 다음과 같은 문제점을 지니고 있다.

가) 수동필터의 고조파 제거능력은 전원 임피던스의 크기에 많은 영향을 받는다. 따라서 필터의 적절한 설계를 위해서는 전원임피던스의 크기를 알 수 있어야 하는데 전원 임피던스의 정확한 추정이 어려운 경우가 많으므로 원하는 만큼의 성능을 구현하기가 어렵다.

나) 전원임피던스는 계통의 접속상태에 따라 그 크기가 변화하기 때문에 계통의 어느 부분을 차단, 혹은 투입한다든지 설계가 변경되든지 하여 계통의 구성이 달라지면 필터의 성능이 영향을 받게 되므로 일정한 성능을 기대하기가 어렵다.

다) 수동필터는 전원의 입장에서 볼 때 전원의 내부 임피던스와 직렬 연결된 회로로 간주된다. 여러 가지 원인에 의하여 전원전압 자체에 고조파 성분이 포함되어 있는 경우가 있으며, 이로 인하여 수동 필터와 전원임피던스가 직렬공진을 일으킬 가능성이 있다.

라) 수동필터는 고조파 전류원이 되는 부하의 입장에서 볼 때 전원 임피던스와 병렬 접속된 회로로

간주된다.

따라서 이들 간의 병렬공진이 야기될 수 있다. 이 때에는 전원측 고조파전류가 제거되는 것이 아니라 증폭되는 현상이 나타난다.

특히 그림 3의 직렬 및 병렬공진에 의해서 필터 자체가 인근에 설치된 진상용 커패시터가 소손되는 등의 사고가 빈번히 일어나고 있다. 공진을 억제하기 위해서는 필터의 감쇄율을 증가시키는 방법을 생각할 수 있으나 이는 필터의 고조파 흡수능력을 저하시키며 불필요한 손실을 발생하는 문제를 지니고 있다.

그리고 이러한 문제점을 피하기 위해 수동필터를 전혀 사용하지 않는 경우에는 고조파 전류원에 병렬로 접속되는 인근 기기들에 미치는 영향을 줄이기 위해 전원 임피던스를 가능한 한 줄여야 한다. 그러나 이는 단락용량을 증가시키게 되어 주변압기와 차단기 등의 용량을 증가시켜야 하는 부담이 따른다.

수동필터는 구조가 단순하고 설치 및 보수유지가 비교적 용이하다는 등의 이점이 있기는 하나 위와 같은 문제점을 지니고 있어 근래에 수동필터의 약점을 탈피하기 위한 방안으로 능동 전력 필터(active power filter)의 개념이 도입되었다.

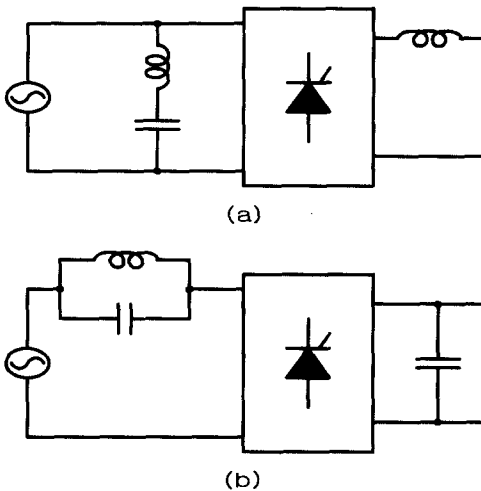


그림 3. 수동필터의 종류

- (a) 직렬공진 동조필터
- (b) 병렬공진 동조필터

그림 4는 1970년대 중반 Gyugi 등이 제시한 능동 필터의 기본개념으로 부하에 병렬로 접속되어 고조파 전류를 계통에 주입, 부하의 고조파 전류를 상쇄하는 방식이다. 그림 4(a)의 병렬형 능동 필터에서는 전류원을 사용하여 부하의 고조파 맥동전류 I_R 과 전원전압에 포함된 고조파 전압 V_r 을 상쇄시키는 데에 필요한 고조파 전류 I_r 간의 차이 즉 $I_R - I_r$ 을 계통에 주입한다. 만일 I_r 에 의한 전원임피던스의 전압 강하가 V_r 과 일치하면 부하의 단자전압 V_T 에는 고조파 성분 전압이 나타나지 않고 전원의 기본파 성분 V_F 만 남게 된다. 한편 전압원을 사용한 그림 4(b)에서는 부하 접속단에 $V_T = V_F$ 가 되도록 전압원을 병렬로 연결한다.

이 때 전원측에는 V_S 와 V_T 의 차이 V_r 에 의한 고조파 전류 I_r 이 흐르고 이 전류와 부하의 고조파 전류 I_R 의 차이에 해당하는 $I_R - I_r$ 이 병렬 전압원에 흐르게 된다.

따라서 이는 전류 주입식이라기보다는 고조파전류

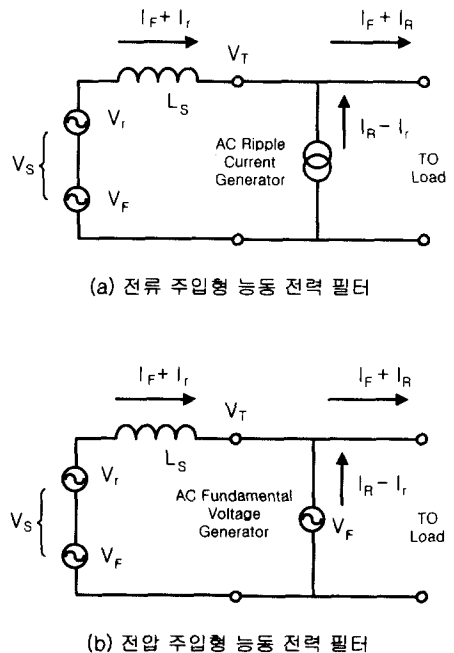


그림 4. 능동형 전력필터의 기본개념

를 흡수하는 방식에 해당한다. 어느 경우에도 병렬회로는 고조파 전류의 단락경로를 제공함으로써 전원과 부하간에 고조파전류가 반대편으로 유입되지 않도록 차단하는 기능을 한다.

일반적으로 병렬형 능동필터는 부하전류에 포함된 고조파 전류가 전원측으로 유입되지 않게 하는 것이 그 주목적이 된다.

능동필터가 제안된 초기에는 기술적 환경이 이를 구현할만한 수준에 이르지 못하여 별다른 진전이 없었으나 80년대에 이르러 전력용 트랜지스터, GTO 등 자기소호형 스위칭 소자들이 비약적으로 발전하고 PWM제어기술의 진보에 따라 현재에는 적용이 되고있다.

능동필터는 컨버터를 사용하여 고조파 전류를 보상하는 방식이다. 전원측, 부하측의 조건에 영향을 받지 않으므로 끊임없이 변하는 전원계통에서도 안정한 고조파 제거 기능을 발휘할 수 있다.

능동필터는 임의의 고조파를 폭넓게 보상할 수 있고 보상량을 제어할 수 있기 때문에 과부하가 되지

않는 특징이 있어 LC필터에 비하여 고가이지만 특정 수용가의 설치가 증가하고 있다.

그림 5(a)는 현재 실용화되고 있는 가장 일반적인 단독방식으로 인버터가 전원과 직접 연결된다. 그림 5(b)는 주입회로 방식으로 역률 개선용 콘덴서 설비의 C와 L 접속점에 인버터를 접속한 것으로서 인버터의 용량은 단독방식에 비해서 저감되고 운전효율도 저감된다. 그림 5(c)는 LC 필터 병용 방식이다.

여기에서 고차 고조파는 LC 필터에 맡기고 LC필터에 의한 저차 고조파의 확대현상을 인버터에서 억제하는 방식이다.

수용가에 공급신뢰성이 높고 전압의 질이 좋은 양질의 전력을 공급하기 위해 전력전자 기술을 이용한 정지형 기동 보상기 (synchronous static compensator ; STATCOM) 가 연구 개발되고 있다.

그림 6의 STATCOM은 기존의 조상설비보다 시

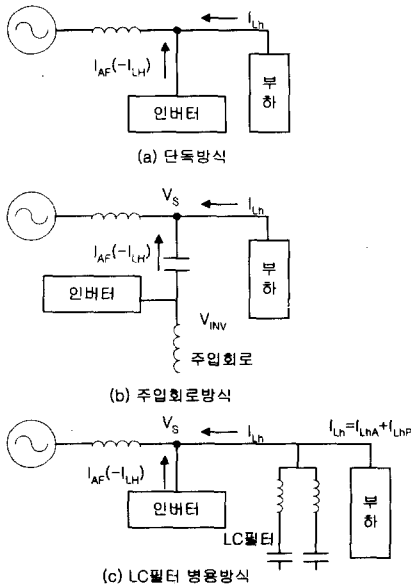


그림 5. 능동필터의 여러가지 시스템 구성방식

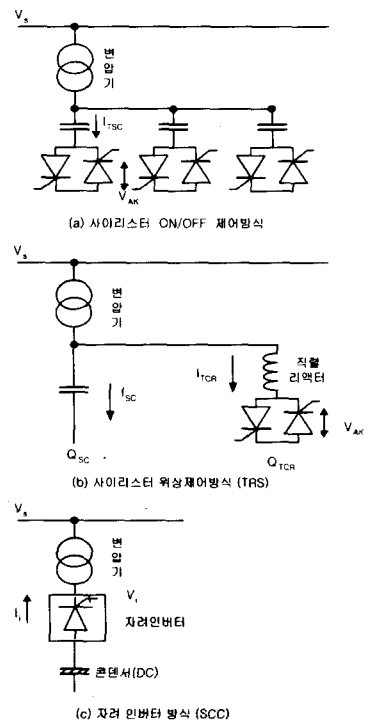


그림 6. STATCOM의 여러방식과 동작원리

시스템의 동특성이 현저히 빠르게 보상함으로써 전력 반도체를 회로소자로 갖고 있는 비선형 부하나 산업용 유도성 부하들에서 발생하는 역률저하, 전압강하 및 왜곡, 플리커등의 영향이 수용가나 선로로 파급되는 것을 방지할 수 있는 장치이다[4, 5].

자가용 전기설비를 갖춘 생산공장에서의 전력은 제품원료의 일부로서 효율적인 사용이 양질의 저렴한 제품을 만드는 것이 된다. 특히 반도체, 석유화학 등 플랜트 산업에서는 공정의 일부분의 정전 또는 순간전압 강하 발생으로 루트 전체가 못쓰게 되거나 설비에 손상이 발생할 수 있기 때문에 자가용 전기 설비는 높은 전력공급 신뢰도가 요구된다.

더욱이 정보화 시대가 되면서, 침투 부하의 급증, 단선 사고, 3상 불평형 등에 의한 전압 이도가 전력 품질을 나쁘게 하여 급증하는 정보통신기기의 정보 유실사고, 네트워크 시스템의 교환정보 파괴사고 등이 빈번하게 일어난다.

개인용 기기는 $\pm 10\%$ 이내, 대형 기종은 $\pm 5\%$ 이내의 전압변동율을 유지하는 양질의 전력품질이 요구되고 있다.

또한, 안정성과 신뢰성이 일반 전기기기에 비해 월등히 높아야 하는 의료용 전기기기 시스템은 더욱 더 민감하고 안전하게 설계·제작해야 하고 이에 맞는 안정성 있는 전원설비로 고품질의 전력공급이 필요하다.

전압 이도는 산업체의 배전시스템에서 전동기 기동시에, 단락회로, 회로의 전자접촉기가 빠르게 닫힐 때 발생한다.

전형적인 전압이도는 순간적인 강하가 5~20 사이클 상하로 계속되고 정격값의 20% 이하의 전압크기가 가변속 운전을 트립할 수도 있다. 특히 연속적인 산업공정에서 일어나는 방해요소인 트립핑은 많은 가격손실을 가져온다.

전압 이도는 장비에 손해를 입히지는 않지만 가변속 구동과 같은 민감한 부하의 운전에는 방해를 줄 수 있다. 섬유나 제지공장에서 짧은 전압 이도는 최

종 제품에 손해를 줄 수 있다.

그러므로 전압이도나 단기간 정전하에서 가변속 운전의 성능개선에 관한 연구가 필요하다[6, 7].

섬유공장이나 제지공장에서 일어나는 전압 이도는 속도변동을 야기하고 최종 제품에 손해를 주게 된다. 그림 7의 (a)는 a상의 전압 이도이고, (b)는 이에 상응하는 직류링크 전압을 보여준다. 직류 링크 전압의 강하는 대부분 가변속 구동에서의 트립수준을 초과하고, 트립핑 방해의 원인이 된다.

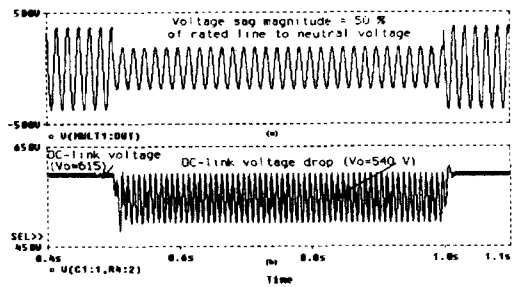


그림 7.

(a) 전형적인 전동기 A상의 전압이도

(b) 직류링크 전압 Vo

그림 8은 전압 이도가 있는 경우에 직류 링크 전압을 유지하기 위한 승압형 컨버터를 삽입한 회로이다. 전압 이도가 발생하게 되면 IGBT 스위치가 정격값 근처에서 턴온/오프 된다[6, 8].

전력품질에 관하여 금년도 전력전자학회지 2월호에 기술특집이 실려있으므로 참고로 하면 도움이 될 것으로 사료된다[9].

4. 결 론

쾌적하고 편리한 생활을 바라는 소비자의 요구와 지구환경 보전을 위한 자원절약, 에너지 절약의 필요성 때문에 깨끗하고, 안전하고 제어성이 좋은 전기 에너지의 의존도가 증가하고 있다. 즉, 전력 소비량이 증가함에 따라 품질 및 신뢰성이 더욱 높은 전력의 공급이 요청되고 있다.

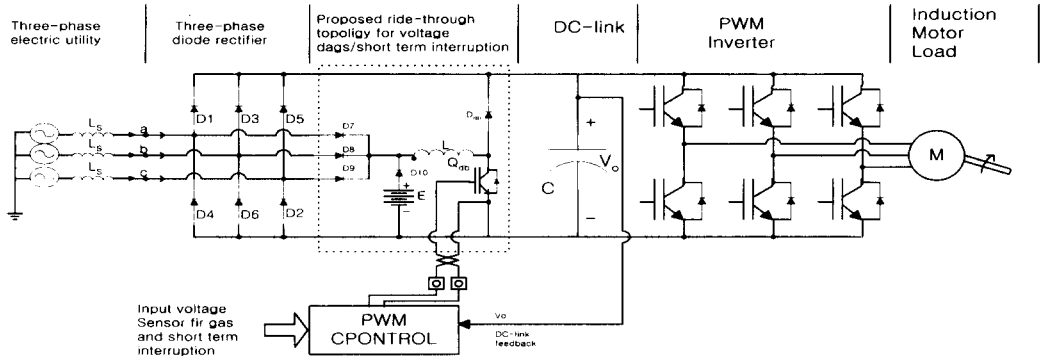


그림 8. 단기간 정전 방지를 위한 다이오드 D_{10} 과 에너지 저장 전원 E 를 가진 억제 방법 회로

전력품질은 크게 공급 신뢰성과 전압의 질로 평가 된다. 전력계통에서 전력의 공급 신뢰성에 영향을 주는 요인으로는 전력공급이 일시적으로 중단되거나 외란 등으로 인해 전압이 순간적으로 허용 범위를 벗어나는 경우이다.

전압의 질을 떨어뜨리는 요인으로는 고조파 문제, 전압 불평형, 전압의 순간 급상승, 써지의 발생 등을 들 수 있고 이 요인들은 수용가 측 설비의 회로와 부하에 전기적인 절연을 파괴하고 오동작을 일으키는 등 악영향을 미치게 되므로, 전력품질 개선을 위한 정부, 전력회사 및 전기사용자의 절대적인 관심이 필요하다.

즉, 고조파의 근본적인 특성상 장애발생 요인은 고조파 발생기기에만 귀착시킬 문제는 아니고 계통 자체가 전압왜형을 확대시키도록 구성되어 있다는 점(즉, 직렬리액터를 부착시키지 않은 진상 커패시터의 보급, 케이블계통의 증가 등), 전압왜형에 상대적으로 약한 기기가 발달 보급되었다는 점 등과 같이 각종 요인이 복합적으로 구성되어 있으므로 전력계통 전체에서 대응책이 강구되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] 김원동, "한전의 전기품질 향상 추진현황과 향후 전망", 전기저널, pp.18~26, 1997년 12월호.
 [2] 신중린 외 3인, "무효전력 제어에 의한 에너지 절감 방안 연구", 통산산업부, 1998. 2
 [3] 유상봉, 김세동, "전기설비의 고조파 대책기술", 전기저

널, pp.29~37, 1997년 2월호

[4] 오영용, 이은용, 임수생, 김석곤, 이승화, "자기변전설비용 STATCOM의 수전단 역률개선과 고조파 전류 필터링", 98년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.79~81, 1998.
 [5] 임수생, 이은용, "전력품질개선의 필요성과 STATCOM", 대한전기학회학회지, vol. 48, No.4, pp.56~61, 1999.
 [6] C. Attaianese, A. Ometto, A. pefetto, N. Rotondale, "A Power Quality Approach to Induction Motor Drives", Proceeding of PEMC'96, pp.2/366~2/370, 1996.
 [7] M. Oshima, I. Masada, "A Novel Digital Control Scheme for a Sinusoidal Input Single Phase Rectifier", 7th European Conference on EPE'97, pp.2.232~2.237, 1997.
 [8] A. Van Zyl, R. Spee, A. Faveluke and S. Bhowmik, "Voltage Sag Ride Through for Adjustable Speed Drives with Active Rectifier", IEEE Industry Application Society, Annual Meeting, pp.486~492 1997.
 [9] 최재호 외 5인, "전력품질 기술특집", 전력전자학회지, pp.29~37, 2000.2.

◇ 著 者 紹 介 ◇



원 충 연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대학교 공대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 1988년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수. 당 학회 편수위원.