

전압원 인버터에 의한 송전계통 제어

한 병 문*

(*인천대 공대 전기공학과 조교수)

1. 서 론

최근에 와서 환경문제, 통행권문제 그리고 비용문제 등으로 인하여 새로운 송전선로를 건설하는 것은 대단히 어려운 상황이다. 따라서 기존에 시설된 선로를 최대한으로 활용하는 문제가 대두되어 왔고, 이러한 요구는 대용량 반도체소자의 출현과 컴퓨터를 이용한 정밀제어의 발달로 실현 가능하게 되었다.

교류 송전선로를 통해 전송되는 전력은 선로의 임피던스, 송/수전단 전압의 크기와 위상에 대해 함수관계를 갖는다. 따라서 이 세 독립 변수를 신속 정확하게 제어할 수 있다면 송전선로를 통해 전송되는 전력을 융통성 있게 조정할 수 있고, 결과적으로 최대전력의 전송, 계통의 과도안정도 증가 그리고 계통의 저주파공진 감쇄 등의 효과를 얻을 수 있다[1,4,6].

이러한 목적으로 맨 먼저 시도된 것이 기계식 스위치를 사용한 캐패시터 뱅크와 탭변경식 전압조정기 그리고 동기조상기였다. 그러나 이 장비들은 동작특성이 느리고, 불연속적이며, 또한 효율과 신뢰도가 낮아 선로임피던스의 최적화, 전압변동의 최소화 그리고 정확한 위상조정이 어려웠다.

그후 반도체 기술이 점차 발전함에 따라 대용량 다이리스터가 개발되어 이 기계식 스위치를 대체하게 되었고 이를 이용한 정지형 무효전력보상기, 직렬 캐패시터뱅크 그리고 위상조정기가 개발되어 사

용중에 있거나 시험적으로 운용되고 있다. 그러나 이들 장비도 대용량의 캐패시터와 리액터를 필요로 하여 시설규모가 커져 장소와 비용 문제가 따르고, 또한 동작특성이 느리고 불연속적인 단점을 가지고 있다.

최근 대용량 GTO(Gate-Turn-Off) 다이리스터 개발에 힘입어 초대형 전압원 인버터의 제작이 가능해지면서, 이를 이용해 위의 세 변수를 제어하는 연구가 미국과 일본에서 활발히 진행중에 있다. 현재 이들 국가에서는 이미 야지시험(field test)을 위해 초대형 무효전력 보상장치(Static Condensor)를 제작 완료 했거나 제작중에 있어, 앞으로 이 분야의 연구는 계속 가속화될 것으로 보인다[1,2,7,8].

본 해설에서는 먼저 위의 세 변수를 제어하기 위해 이론적으로 어떠한 보상법이 가능한가 알아보고, 이 보상법이 최대전력 전송과 계통 성능에 어떠한 개선을 주는지 기술하며, 마지막으로 이 보상법을 실행하는데 전압원 인버터가 어떻게 사용될 수 있는지를 설명하고자 한다.

2. 송전계통의 특성

송전계통에서 이상적으로 요구되는 특성은 선로에서 소모하는 무효전력을 최소화하여 주어진 선로를 통해 최대전력을 전송하고, 계통에 연결된 모든 발전기들을 동기상태로 유지시키며, 계통의 전압을 가능한 정격으로 유지하는 것이다.

주어진 선로를 통해 전송 가능한 최대전력은 계통의 안정동작을 고려해서 부하인가한계(Loading Limit)로 제한 되는데, 이 값은 선로에서 발생하는 무효전력과 부하의 역률변동을 감안하여 선로의 열발생한계(Thermal Limit)내에서 충분한 여유를 두고 정하는 것이 보통이다. 따라서 선로에서 소모되는 무효전력을 적절히 감소시키면 전송 가능한 최대전력은 열발생한계에 더 가깝게 운용 가능하다. 계통의 안정도는 동기상태를 유지하거나 유지하려는 정도를 표시하는 것으로, 의도적으로 계통을 정상상태에서 동작 시키거나, 외란에 의해 계통이 정상상태를 벗어났을 경우 이를 신속히 복귀시키는 특성을 갖는다. 정격전압 유지는 계통의 적절한 동작과 부하를 최대로 유용하는데 중요한 요소로, 저전압에서는 부하의 성능이 저하되고 또한 과전압에서는 부하의 손실과 자기포화현상에 의한 고조파 증가를 가져온다.

송전계통의 특성을 살펴보기 위해 두개의 발전기를 갖는 간단한 전력계통을 그림 1의 (a)에 보았다. 만일 송전선로가 인덕턴스만 갖는 것으로 하고

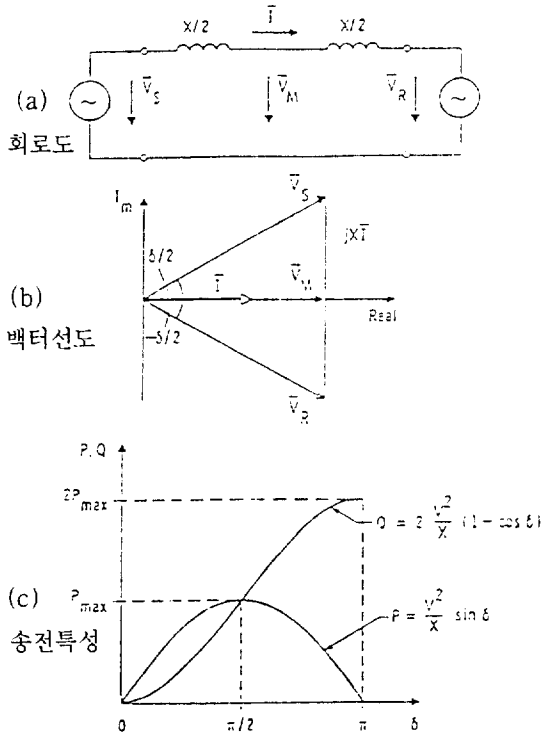


그림 1. 간이화된 전력계통

송전단과 수신단의 전압이 같다고 하면, 중간점에서의 전압 V_M 은 그림 1의 (b)에 보인 벡터선도에서 다음 수식으로 표현된다.

$$V_M = V \cos \frac{\delta}{2}$$

또한 이 선로를 통과하는 전류 I 는 다음과 같다.

$$I = \frac{2V}{X} \sin \frac{\delta}{2}$$

그러므로 선로의 손실을 무시하면 송/수전 양단과 중간점에서의 유효전력은 다음 관계식을 갖는다.

$$P = \frac{V^2}{X} \sin \delta$$

이 식으로 부터 선로를 통해 전달되는 유효전력은 선로의 리액턴스와 송/수전단 전압과 그 위상각에 의해 제어가 가능한 것을 알 수 있다.

한편 송/수전 양단에서의 무효전력 Q_S 와 Q_R 는 다음 관계를 갖는다.

$$Q_S = -Q_R = \frac{V^2}{X} (1 - \cos \delta)$$

따라서 선로에서 소모되는 무효전력 Q 는 다음과 같다.

$$Q = 2Q_s = \frac{2V^2}{X} (1 - \cos \delta)$$

그림 1의 (c)는 유효전력 P 와 무효전력 Q 의 위상각 δ 에 따른 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 무효전력 Q 는 $\delta = \pi/2$ 에서 유효전력 P 와 같고 $\delta = \pi$ 에서 유효전력 P 의 두배가 된다.

3. 적용 가능한 보상법

3.1 병렬 보상법

앞절에서 설명한 송전선로의 중간점에 이상적인 무효전력 보상기를 병렬로 연결한 경우를 그림 2의 (a)에 보였다. 이 무효전력 보상기는 출력전압이 정현파이고, 그 크기는 송/수전단의 전압과 동일하며 위상각은 선로 중간점의 전압 V_M 의 위상과 동일한 전압원으로, 유효전력의 소모가 없이 송전선로에 무효전력만 공급하는 역할을 한다. 이와같이 중간점에 보상기를 설치할 경우 송전선로는 $X/2$ 의 리액턴스를 갖는 좌측부분과 우측부분으로 나누어 지는데, 유효전력은 송전단에서 중간점으로 이동하고 다시 이 중간점에서 수신단으로 이동하는 것

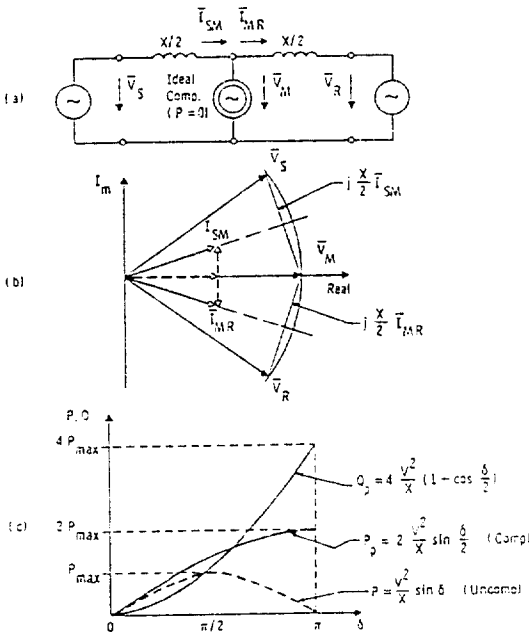


그림 2. 중간점 병렬보상
(a) 회로도 (b) 벡터선도 (c) 송전특성

로 생각할 수 있다. 송/수전단의 전압과 중간점의 전압을 앞절에서와 같이 정의하고 좌우측 선로에 흐르는 전류를 각각 I_{SM} 과 I_{MR} 이라고 정의하면 이들의 벡터선도는 그림 2의 (b)와 같다.

유효전력은 송/수전단과 중간점에서 모두 같고 그 관계는 다음 식으로 표현된다.

$$P_P = 2 \frac{V^2}{X} \sin \frac{\delta}{2}$$

한편 중간점에 있는 보상에 의해 공급되는 무효전력은 다음과 같다.

$$Q_P = 4 \frac{V^2}{X} (1 - \cos \frac{\delta}{2})$$

이상적인 병렬보상에서 유효전력 P_P 와 무효전력 Q_P 의 위상각 δ 에 따른 변화는 그림 2의 (c)와 같다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 유효전력 P_P 와 무효전력 Q_P 는 모두 두배로 증가한다. 따라서 선로에서 소요되는 무효전력 Q_P 를 중간점에서 무효전력 보상으로 공급하면 이 선로를 통해 최대 두배의 유효전력 전송이 가능하다.

3.2 직열 보상법

그림 3의 (a)는 캐패시터에 의한 송전선로의 직열보상을 나타낸 것이다. 이 경우 관련 전압과 전류의 벡터선도는 그림 3의 (b)와 같으며, 전체 선로의 리액턴스는 다음과 같이 표현된다.

$$X = X_L (1 - s)$$

여기서 s 는 직열보상 정도를 나타내는 정수로, $s = X_C / X_L$ 로 정의되며 그 값은 $0 < s < 1$ 이다. 보상된 선로에 흐르는 전류와 유효전력은 다음과 같다.

$$I_s = I \angle \theta = \frac{2V}{X_L(1-s)} \sin \frac{\delta}{2}$$

$$P_s = \frac{V^2}{X_L(1-s)} \sin \delta$$

또한 직열 캐패시터에 의해 공급되는 무효전력은 다음과 같다.

$$Q_{sc} = I^2 X_C = \frac{2V^2}{X_L} \frac{s}{(1-s)^2} (1 - \cos \delta)$$

그림 3의 (c)는 보상후 유효전력 P_s 와 무효전력

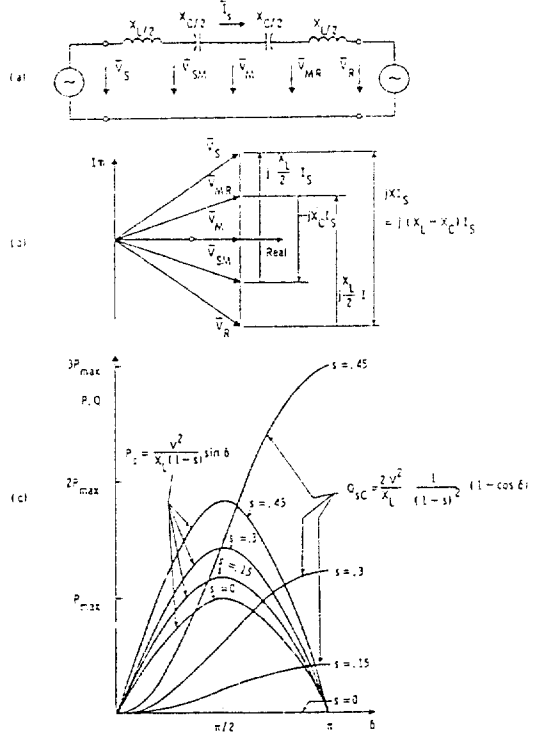


그림 3. 직열 보상법
(a) 회로도 (b) 벡터선도 (c) 송전특성

Qsc의 변화를 위상각 δ 와 보상계수 s 에 따라 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프에서 전송 가능한 전력은 s 가 증가함에 따라 큰 변화율로 증가하고 직렬 캐패시터에 의해 공급되어야 하는 무효전력 또한 급속히 증가함을 알 수 있다.

3.3 위상각 보상법

그림 4의 (a)는 송전단과 발전기 사이에 위상변이기를 설치한 경우 회로의 구성을 나타낸 것이다. 이 위상변이기는 정현과 전압원으로 전압의 크기와 위상을 모두 제어 가능한 것으로 가정하였다. 따라서 송전단의 전압 V_S 는 발전기의 전압 V_G 와 위상변이기의 전압 V_{pq} 와의 벡터합으로 그림 4의 (b)와 같이 표현 가능하다. 이 방법의 기본원리는 위상변이기가 공급하는 전압의 크기 V_{pq} 와 위상각 α 를 전력각(power angle) δ 가 $\pi/2$ 이상에서도 계속 유지되도록 하여 최대전력을 전송하는 것이다. 여기서 위상각 α 는 발전기의 전압과 송전단의 전압이 이루는 각도를 의미하며 따라서 실제 송/수전단

사이의 위상각은 $\delta - \alpha$ 이다. 이 관계를 가지고 위상각을 제어하면 전송되는 전력 P_a 는 다음 수식으로 표현 가능하다.

$$P_a = \frac{V^2}{X} \sin(\delta - \alpha)$$

유효전력 P_a 를 전력각 δ 와 위상변이각 α 에 관하여 그래프로 표시하면 그림 4의 (c)와 같다. 이 그래프에서 알 수 있는 사실은 위상변이기는 전송가능전력을 증대시키지는 못하지만 $\pi/2 < \delta < \pi/2 + \alpha$ 범위 내에서 δ 값에 관계없이 보상전에 계통이 가지고 있는 최대 전송가능전력을 계속 유지시켜 주는 역할을 한다. 즉 δ 에 관한 P 곡선을 우측으로 이동 하는 것과 같다. 또한 만일 위상변이기의 전압을 반대 극성으로 삽입하면 δ 에 관한 P 곡선을 좌측으로 이동한 것과 동일하다. 이 경우 최대 전력점은 $\pi/2$ 이하에서 도달되는 현상을 나타낸다. 앞의 두 보상법과는 달리 이 위상변이기에 의한 보상에서는 무효전력과 유효전력을 모두 조정 가능하다.

이 위상변이기의 VA 정격은 다음 수식으로 표현 가능하며,

$$W = |V_{pq}| |I| = |V_G - V_S| I$$

만일 송/수전단 전압과 위상변이기의 전압이 동일하면 위상변이기의 VA 정격은 다음과 같이 표현된다.

$$W = \frac{4V^2}{X} \sin \frac{\delta - \alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$$

이 방정식에서 계수 $\sin[(\delta - \alpha)/2]$ 은 선로에 흐르는 전류에 의해 유도되어 나온 것이고 계수 $\sin(\alpha/2)$ 는 주입된 전압의 크기에서 유도된 것이다.

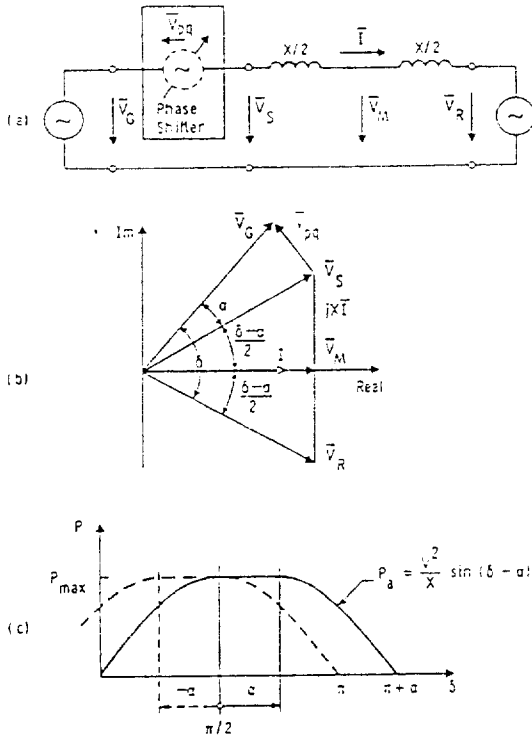


그림 4. 위상변이기에 의한 보상
(a) 회로도 (b) 벡터선도 (c) 송전특성

4. 계통의 동적특성 개선

4.1 과도 안정도

실제적으로 정상상태에서 전력계통을 전송가능 최대치로 운용하는 것은 불가능하다. 왜냐하면 선로고장, 부하인가 및 제거와 같은 동적교란이 발생되었을 때 이를 회복할 수 있는 충분한 여유를 필요로 하기 때문이다.

만일 보상전과 앞절에서 설명한 각각의 보상후 모든 계통이 정상상태에서 동일한 전력을 전송하고

있고, 동일한 고장이 동일한 순간에 발생하여, 동일한 시간동안 지속되었다고 하면, 보상전과 보상후 계통의 동적거동은 그림 5의 (a)에서 (d)와 같이 등면적법을 이용하여 분석 가능하다. 여기서 계통의 전기적 출력을 P_m 으로 그리고 각각의 전력각을 $\delta_1, \delta_{p1}, \delta_{s1}, \delta_{a1}$ 으로 정의하였다.

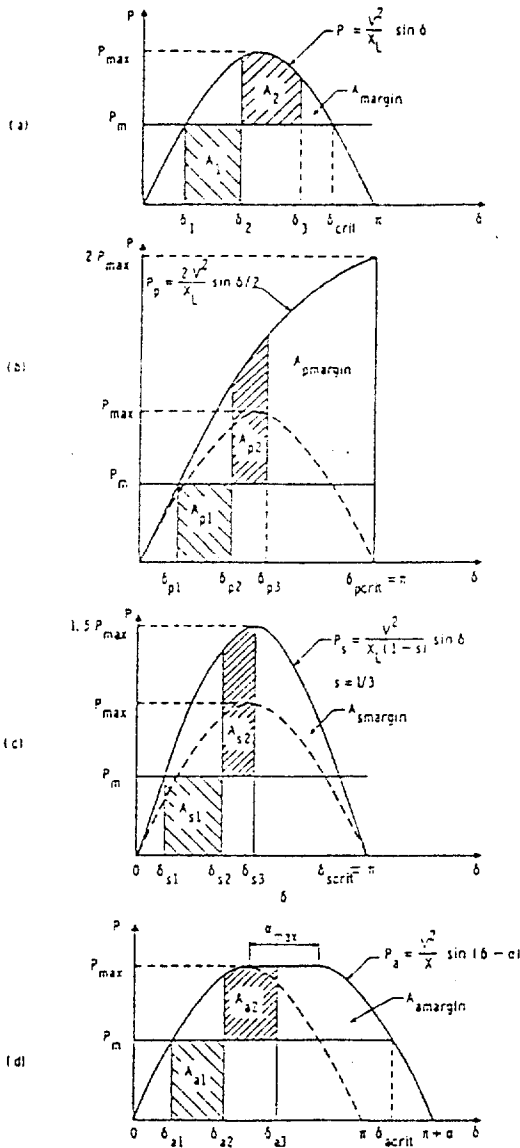


그림 5. 등면적법에 의한 과도안정도 해석
 (a) 보상전 (b) 병렬 보상후
 (c) 직렬 보상후 (d) 위상변이 보상후

고장중에는 발전기의 기계적 출력이 일정값인 P_m 을 유지하나 전송되는 전기적 출력이 영이 되어서 발전기는 처음 정상상태에서 $\delta_1, \delta_{p1}, \delta_{s1}, \delta_{a1}$ 을 갖다가 고장제거 순간에는 $\delta_2, \delta_{p2}, \delta_{s2}, \delta_{a2}$ 까지 가속된다. 그리고 가속되는 에너지는 각 그래프에서 면적 $A_1, A_{p1}, A_{s1}, A_{a1}$ 으로 표현된다. 고장제거 후에는 전송전력이 기계적인 입력을 초과하여 발전기는 감속하고 전력각은 회전자에 축적된 운동에너지에 의하여 더욱더 증가하게 된다. 결과적으로 면적 $A_2, A_{p2}, A_{s2}, A_{a2}$ 에 의하여 정의되는 감속에너지가 면적 $A_1, A_{p1}, A_{s1}, A_{a1}$ 으로 정의되는 가속에너지와 같은 점인 $\delta_3, \delta_{p3}, \delta_{s3}, \delta_{a3}$ 에서 정상상태에 도달한다.

만일 고장제거후 최대 회전자각 $\delta_3, \delta_{p3}, \delta_{s3}, \delta_{a3}$ 가 해당 임계 회전자각 $\delta_{crit}, \delta_{pcrit}, \delta_{scrit}, \delta_{acrit}$ 보다 적은 값에 위치하면, 계통은 과도적으로 안정된 상태를 유지한다. 이때 최대 진동각과 임계각 사이의 차를 과도 안정여유로 정의하는데 그림 5에서 $A_{margin}, A_{pmargin}, A_{smargin}, A_{amargin}$ 으로 표현된 것이 이것을 나타낸다. 이 그림에서 보상된 모든 전로는 비보상된 선로에 비해 대단히 큰 과도안정여유를 갖는다는 것을 알 수 있다.

4.2 계통 공진 감쇄

정상적으로 동작하고 있는 전력계통에 미소한 외부교란이 발생하면, 발전기의 전력각은 정상상태 값을 기준으로 하여 공진하게 된다. 이때 공진 주파수는 전체 기기계통의 고유진동주기에 의해 결정된다. 이러한 기기계통의 진동은 전송되는 전력에도 공진효과를 유발하여 적절히 감쇄하지 않으면 전송 가능전력을 제한하는 요인으로 작용한다.

그림 6의 (a)에서 (e)까지는 앞에서 설명한 세가지 보상법이 전력계통의 진동현상을 감쇄하는데 어떠한 효과를 주는 가 보인 것이다. 먼저 (a)는 전력각 δ 가 정상상태 값인 δ_0 주위를 비감쇄 또는 감쇄 진동하고 있는 것을 나타내고 있으며, (b)는 전력 P 가 정상상태 전력 P_0 의 주위를 진동하고 있는 것을 나타낸다. (c)는 무효전력 병렬보상기의 Q_p 가 어떻게 변화하는가를 나타내고 있다. 보상기의 Q_p 가 양이면 중간점의 전압은 증가되고, $d\delta/dt$ 가 양인 경우 전송전력은 증가하며, $d\delta/dt$ 가 음인 경우 전송전력은 감소한다. (d)는 직렬보상기에 있어서

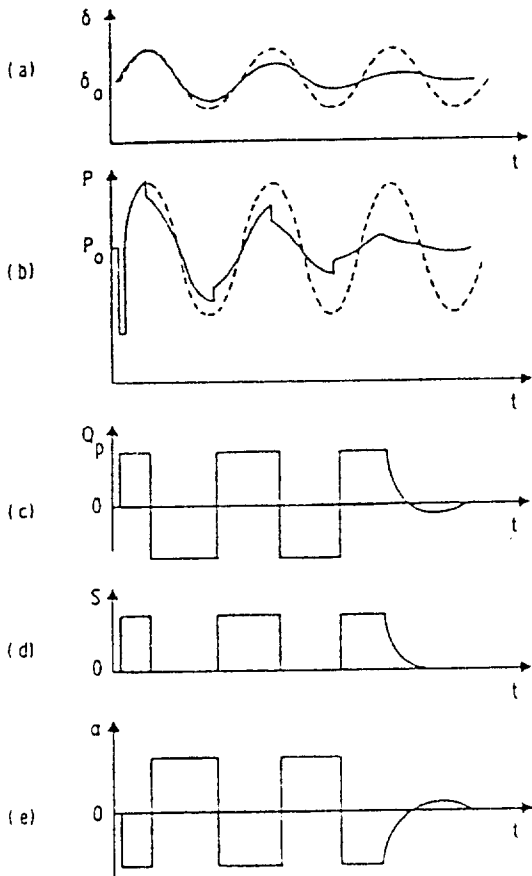


그림 6. 계통의 공진감쇄

- (a) 발전기의 전력각 (b) 전송전력
- (c) 병렬보상 무효전력 (d) 직열 보상비
- (e) 위상변이기의 각

s의 변화를 나타내는데, $d\delta/dt$ 가 양이면 s는 증가하여 선로 리액턴스를 감소시켜 전송가능 전력을 증대한다. 반면에 $d\delta/dt$ 가 음이면 s는 감소되고 전송전력은 감소한다. (e)는 위상변이기가 생성하는 각 α 의 변화를 나타낸다. 각 α 의 범위를 $\alpha < \alpha_{max}$ 이고 δ 의 범위는 $0 < \delta < \pi/2$ 이다. 만일 $d\delta/dt > 0$ 이면 각 α 는 음의 값을 가지고 δ 에 관한 전력곡선을 좌측으로 이동시켜 전송가능한 유효전력을 증대시킨다. $d\delta/dt < 0$ 이면 α 는 양이 되어 전력곡선을 우측으로 이동하여 결과적으로 전송전력은 감소된다.

5. 전압원 인버터에 의한 보상

5.1 무효전력 보상장치[5.6,9]

전압원 인버터를 이용한 무효전력 보상장치를 그림 7에 나타내었다. 이 보상장치는 3상 전압원 인버터와 dc 캐패시터로 구성되어 있으며 진상 및 지상 무효전력을 모두 보상할 수 있다. 이 인버터는 선로 중간점의 전압 V와 위상이 동일한 출력전압 V_o 를 발생하고 그 크기는 인버터의 스위칭각에 의해 조정된다. 따라서 V_o 의 신속한 제어가 가능한데, 만일 $V_o > V$ 이면 인버터가 흡수하는 전류는 진상을 갖고, $V_o < V$ 이면 인버터가 흡수하는 전류는 지상을 갖는다. 따라서 인버터의 전압 V_o 를 최소와 최대값인 $V_{omin} = V_o - \Delta V$ 와 $V_{max} = V_o + \Delta V$ 사이에서 적절히 조절하면 무효전력을 연속적으로 지상 최대치에서 진상 최대치까지 변경 가능하다.

인버터가 완전히 무효전력으로 쓰일 경우 이론상으로는 유효전력의 소모가 없으나 실질적으로는 스위칭소자에서 발생하는 손실에 따른 보상과 dc 캐패시터의 전압유지 때문에 V_o 와 V사이에는 약간의 위상차를 갖는다.

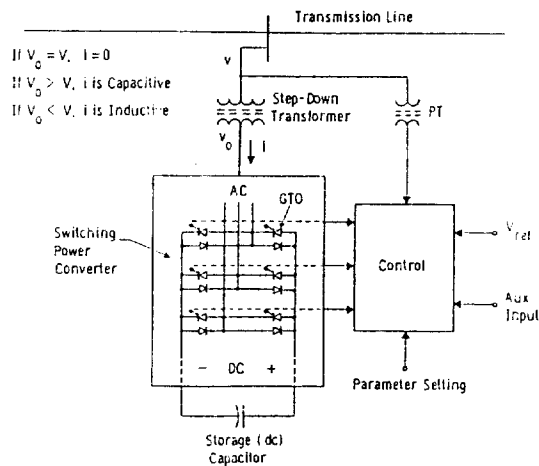


그림 7. 전압원 인버터에 의한 무효전력 보상장치

5.2 직열 보상장치[1.4]

전압원 인버터를 송전선에 직렬로 삽입하여 선로의 리액턴스를 가감하는 원리를 그림 8에 보였다. 이 장치에서 인버터에 의해 발생하는 전압 V_c 는 선로전류에 대해 $\pi/2$ 의 지연각을 갖으며, 이 선로전류의 크기에 비례하여 V_c 의 크기를 조절하면 직렬로 캐패시터를 삽입 하는 것과 동일한 효과를 갖는다. 수

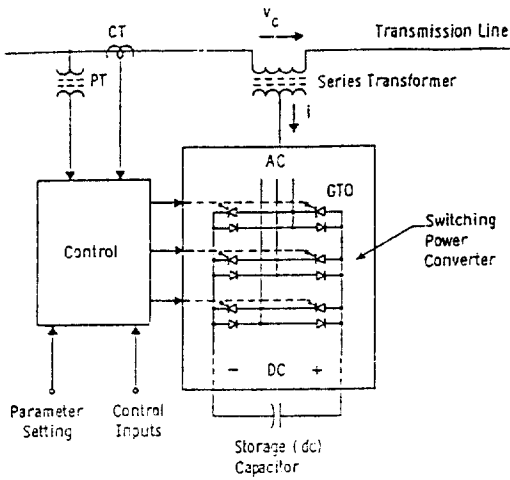


그림 8. 전압원 인버터에 의한 직렬 보상장치

학적으로 선로전류와 인버터 출력전압과의 관계는 $V_c = kIe^{-j\pi/2}$ 이고 여기서 k 는 직렬보상 정도를 나타낸다. 따라서 k 를 조절함으로써 해서 직렬 보상 정도는 연속적으로 변화 가능하다. 만일 인버터의 출력 전압을 반대로 하면 선로의 임피던스는 오히려 증대 되는데 이 특성은 고장전류를 제한하거나 계통의 진동을 감쇄하는데 유용할 것으로 보인다.

5.3 위상 변이장치[2.3]

그림 9에 보인 것은 전압원 인버터를 이용한 위상 변이 및 전압조정 장치이다. 이 장치는 두개의 인버터가 하나의 에너지 저장용 커패시터를 공유하고 있으며 인버터 II는 선로와 직렬로 전압 V_{pq} 를 주입하는데 사용된다.

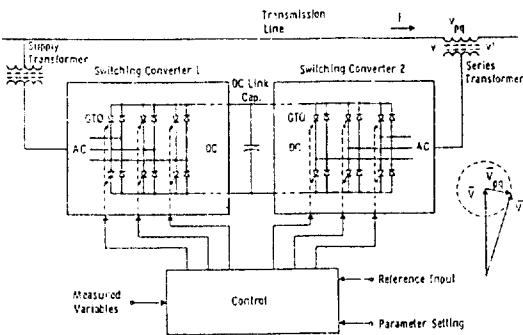


그림 9. 전압원 인버터에 의한 위상 변이장치

이 주입되는 전압 V_{pq} 는 그림 9의 벡터선도에 나타난 바와 같이 계통전압 V 와 임의의 위상각을 갖는다. 따라서 주입되는 전압은 위상변이와 전압 조정을 동시에 할 수 있으며, 전압주입을 보상하는데 필요한 모든 무효전력을 생성 또는 흡수한다. 그러나 위상변이에는 유효전력이 필요한데 이 유효전력은 송전단에서 인버터 I에 의해 공급된다. 동작요건에 따라 인버터 I의 VA 정격은 인버터 II의 그것에 비해 대단히 적다. 그 이유는 인버터 I은 보상에 필요한 유효전력만 공급하는데 반해 인버터 II는 전체 주입되는 VA 정격에 관계하기 때문이다. 또한 계통에 병렬로 연결된 인버터 I은 고장시 선로에 흐르는 서어지전류에 대해 일반적으로 면적이 강하나, 인버터 II는 이 서어지전류에 대해 바이패스를 통한 보호가 필요하다. 이 전압원 인버터를 이용한 위상변이 및 전압조정 장치는 전력계통에 있어서 궁극적인 보상법이 될 가능성이 매우 높다. 그 이유는 적절한 조정에 의해 이 보상장치는 앞에서 설명한 세가지 보상법을 모두 실현할 수 있기 때문이다. 또한 보상시 소요되는 무효전력을 내부에서 생성 및 제공하기 때문에 송전선로의 어느 곳에 위치해도 관계없는 잇점이 있다.

6. 결 론

교류 전력전송은 송전선로의 임피던스, 송/수전단 전압의 크기와 위상에 대해 함수관계를 갖는다. 따라서 이들 세 임계변수들을 적절히 제어하면 이 선로를 통해 전송가능한 전력이 증가하며, 계통의 과도안정도와 공진감쇄를 증대할 수 있어 융통성 있는 전력전송이 가능하다.

최근에 와서 대용량 전력전자소자의 개발과 컴퓨터를 이용한 정밀제어 기술의 발달로 초대형 전압원 인버터의 생산이 가능하게 되었다. 이 전압원 인버터를 이용하면 전력계통에서 그동안 요구되어 왔던 병렬보상, 직렬 보상 그리고 위상변이보상을 단일화하여 실현 가능하다.

이러한 인버터에 의한 보상장치 개발은 설비규모의 감소, 설치비용의 절감 그리고 계통의 성능향상과 융통성을 부여한다. 또한 이렇게 단일 인버터를 사용함으로써 표준화와 모듈화가 가능하여 제작비용의 절감과 정비용이도가 증가 된다. 따라서 생산

성을 증대하고 리드타임(lead time)을 감소시켜 비용대효과면에서 전력회사나 장비제작사에 큰 이익을 준다.

현재 미국과 일본에서는 이 분야의 연구가 대단히 활발하여 이 전압원 인버터를 이용한 융통성 있는 교류송전(Flexible AC Transmission)의 실현이 90년도 말에는 가능할 것으로 예측된다. 미국에서는 EPRI(Electric Power Research Institute), Westinghouse, TVA(Tennessee Valley Authority)가 공동으로 100 MVar 무효전력 보상장치(Static Condenser)를 개발 및 제작중에 있고 95년에 TVA 송전선로에 연결하여 야지시험을 계획하고 있으며 이를 위해 계통의 컴퓨터 시뮬레이션과 모형실험을 완료하였다.

한편 일본에서는 간사이전력과 미쯔비시사가 공동으로 80 MVar 무효전력 보상장치를 개발 완료하여 이미 야지시험중에 있다. 이러한 선진국 추세를 고려할때 국내에서도 이 분야의 연구는 반드시 필요하다고 생각되며 그 일차적인 단계로 계통의 축소모형 제작과 이의 실험을 통한 기초연구가 착수되어야 할 것 같다.

참 고 문 헌

[1] N. G. Hingorani, "Flexible AC Transmission", IEEE SPECTRUM April, 1993, pp. 40-45

[2] Westinghouse Science & Technology Center, "Unified Power Flow Control System" Proposal for Electric Power Research Institute(EPRI), Nov., 1992

[3] L. Gyugyi, "A Unified Power Flow Control Concept for Flexible AC Transmission Systems", 5th IEE International Conference on AC/DC Transmission, Sep., 17-20, 1991

[4] L. Gyugyi, "Solid-State Control of Electric Power in AC Transmission", Invited Paper, No. T-IP-4, International Symposium on Electric Energy Conversion, Capri, Italy, 1989

[5] C. Edward, et al., "Advanced Static Var

Generator Employing GTO Thyristors", IEEE PES Winter Meeting, Paper No. 88-WM109-1, Jan., 31-Feb. 5, 1988

[6] L. Gyugyi, "Power Electronics in Electric Utilities: Static Var Compensator", Invited Paper Vol. 76, No. 4, Proceedings of IEEE, Special Issue on Power Electronics, April, 1988

[7] Westinghouse Science & Technology Center, "Advanced Static Var System for Utility Applications", Report for Electric Power Research Institute(EPRI), Sep., 1991

[8] K. Matsuno, et al., "Power System Stability Enhancement by Static Var System Using Self-Commutated Inverters", Proceedings of IEE Japan, Vol. 111-B, No. 1, Jan. 1991, PP. 57-66.

[9] S. Mori, et al., "Development of a Large Static Var Generator using Self-commutated Inverters for Improving Power System Stability", IEEE PES Winter Meeting, Paper No. 92-WM165-1PWRS, Jan. 26-30, 1992



한병문(韓炳文)

1953년 5월 14일생. 1976년 2월 서울 공대 전기공학과 졸업. 1988년 12월 아리조나 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 5월 아리조나 주립대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1978~86년 대한항공 기술연구소. 1983~84년 美國 Northrop 중앙연구소. 1987~92년 美國 아리조나 주립대 전기및 에너지연구소. 1992~93년 美國 Westinghouse 중앙연구소. 현재 인천대 공대 전기공학과 조교수.