

3상 불평형 부하에 대한 입력 역률 개선

鄭 然澤*, 徐 英洙*, 成大鏞**, 林 英培***, 朴 相鎭***
 *명지대 교수 **충전대 조교수 ***명지대 대학원 전기공학과

THE POWER-FACTOR IMPROVEMENT FOR INPUT LINE OF THREE PHASE UNBALANCED LOAD

Yon-Taek Jung, Young-Soo Seo, Dae-Yong Sung, Young-Bae Lim, Sang-Ho Park
 Depart. of Electrical Eng. Myong Ji University

ABSTRACT

In this paper, the parameter for control variable is consist of value that take measured the input line current and input total power-factor, and the compensation susceptance is calculated by its parameters.

The compensator can reduce the reactive power generation by the system to zero, thus the input total power-factor is kept on sustaining the unit power-factor.

1. 서론

不平衡 負荷에서 制御 방법상의 문제점을 改善하기 위하여, 부하를 불평형으로 운전할 때 측정된 入力 電流와 入力 力率을 演算器에 의해 補償하여야 할 각 相의 서셉턴스값이 演算되고 이 값이 力率을 개선할 制御量이다.

이 관계를 적용하여 3相 불평형 負荷를 각 상별로 제어하여 불평형에 따른 入力 力率을 單位 總合 力率로 補償되는 방법을 제시 하였다.

그 결과 3상 불평형 부하 시스템으로 운전 되는 入力 力率은 각 상의 負荷 변동에 관계없이 單位 總合力率로 유지 할수 있었다.

2. 주회로 구성

본 논문에서는 無效 電力 補償 方法으로서 TCR-FC (Thristor Controlled Reactor-Fixed Capacitor) 방식의 무효 전력 보상을 이용하였다.

그림 2-1은 부하, 고정 캐피시터 및 TCR의 해석에 관한 회로도이다.

無效 電力을 발생하는 不平衡 誘導性 負荷에 대해 다이리스터 교류스위치가 있는 無效 電力 補償器(TCR)와 고정 캐피시터(FC)를 병렬로 접속하여 이들 3그룹에서 발생하는 무효 전력의 합이 무효 전력을 최소로 억제 시킴으로써 총합 역률을 단위역률로 유지할 수있는 역할을 한다.

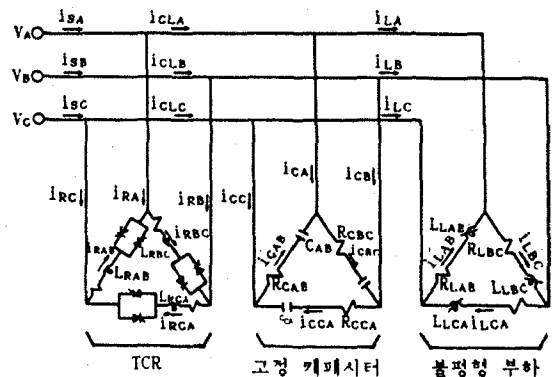


그림 2-1 시스템의 결선.

入力 總合 力率이 "1" 이 되기 위해서는 부하, 고정 캐피시터, TCR의 서셉턴스 총합이 "0" 이 되어야 한다.

부하와 고정 캐피시터의 서셉턴스 합을 BCL이라 하면,

$$B_{CL} = B_c - B_L \quad (2-1)$$

이므로 무효 전력을 "0"으로하기 위해서는

$$B_{CL} = B_r \quad (2-2)$$

이 되며 Br은 TCR에서 보상 하여야 할 서셉턴스 값이다.

3. 보상 서셉턴스에 대한 이론

그림 3-1은 3상 시스템의 系統圖이다.

線間 電壓

$$V_{AB} = \sqrt{3} V_m \sin \omega t$$

$$V_{BC} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$V_{CA} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

正相 相順으로된 平衡 3상 전압은 A상을 기준으로 하면,

$$V_A = V$$

$$V_B = h^2 V$$

$$V_C = hV$$

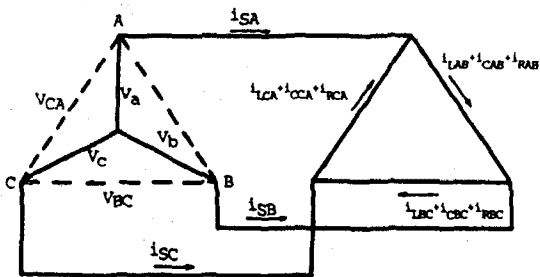


그림 3-1 3상 부하 불평형 시스템의 계통도.

따라서 線電流는 식 (3-1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} I_{SA} \\ I_{SB} \\ I_{SC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{AB} - I_{CA} \\ I_{BC} - I_{AB} \\ I_{CA} - I_{BC} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y_{AB}(1-h^2) - Y_{CA}(h-1) \\ Y_{BC}(h^2-h) - Y_{AB}(1-h^2) \\ Y_{CA}(h-1) - Y_{BC}(h^2-h) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ V \\ V \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

여기서

$$I_{AB} = I_{LAB} + I_{CAB}$$

$$I_{BC} = I_{LBC} + I_{CBC}$$

$$I_{CA} = I_{LCA} + I_{CCA}$$

그러므로, 요구되는 보상 서셉턴스는

식(3-2)와 같다.

$$B_{AB} = \frac{1}{3V^2} [I_m(V_A I_{SA}) + I_m(V_B I_{SB}) - I_m(V_C I_{SC})]$$

$$B_{BC} = \frac{1}{3V^2} [I_m(V_B I_{SB}) + I_m(V_C I_{SC}) - I_m(V_A I_{SA})]$$

$$B_{CA} = \frac{1}{3V^2} [I_m(V_C I_{SC}) + I_m(V_A I_{SA}) - I_m(V_B I_{SB})] \quad (3-2)$$

또한 식(3-2)를 상과표로 변환 하면 최종적으로 補償 하에야 할 TCR 레귤레이터 補償 서셉턴스를 식 (3-3)과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} B_{BRAB} \\ B_{BRBC} \\ B_{BRCA} \end{bmatrix} = -\frac{1}{3V} \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 0 & -\sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |I_{SA}| \cos \theta_{SA} \\ |I_{SB}| \cos \theta_{SB} \\ |I_{SC}| \cos \theta_{SC} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & -1/2 & 1/2 \\ -1 & -1/2 & -1/2 \\ 1 & 1/2 & -1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |I_{SA}| \sin \theta_{SA} \\ |I_{SB}| \sin \theta_{SB} \\ |I_{SC}| \sin \theta_{SC} \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

그림 3-2는 電源 電壓이 對稱이고 負荷는 Δ결선 되었으며 각 負荷의 어드미턴스가 같지 않은 不平衡負荷의 向量도를 나타내었다.

부하의 각 선전류 I_{LA}, I_{LB}, I_{LC} 에 대해서 고정 캐패시터 전류 I_{CA}, I_{CB}, I_{CC} 가 부하에 대해 과보상되면 과보상된 크기만큼 역방향으로 TCR 리액터 전류 I_{RA}, I_{RB}, I_{RC} 에 의해 제어 되어 力率이 補償된다.

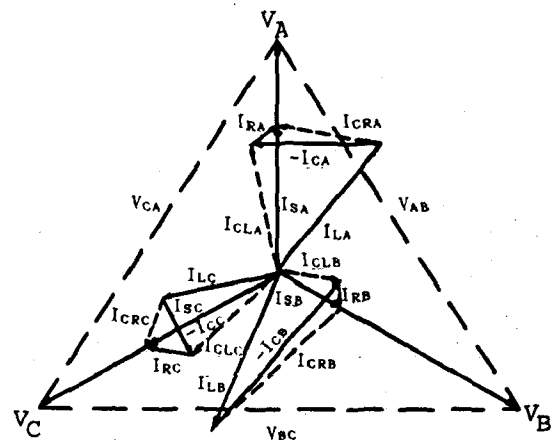


그림 3-2 불평형 부하의 보상 向量도.

4. 서셉턴스 연산기

그림 4-1은 서셉턴스 演算器의 상세도이다. 기존 입력 전압과 비교 입력 전류 양의 기울기가 역률 편차 비교기에 가해진다. 역률 편차 비교기에서 출력된 역률 편차 비교량을 각 상의 서셉턴스량으로 변형 시키기 위하여 $\sin\omega t, \cos\omega t$ 값으로 나타내고, 이를 입력 전류와 곱셈 연산을 하여 식 (3-3)에 의해 구성된 연산기에 가해진다. 따라서 연산기에서 출력된 각 상의 서셉턴스량이 TCR에서 補償하여야 할 서셉턴스 制御量이 된다.

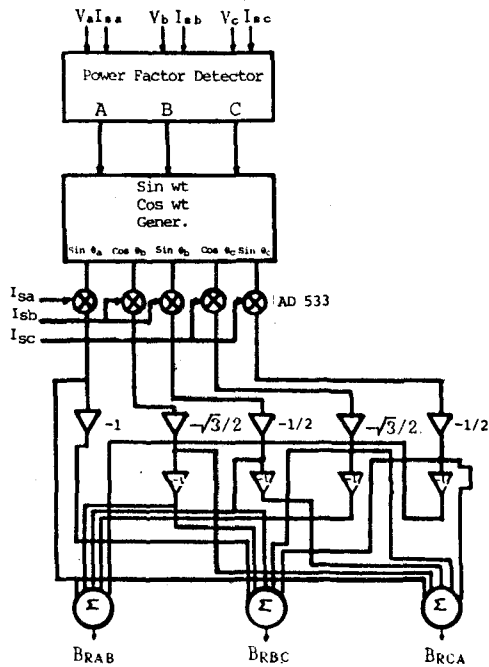


그림 4-1 서셉턴스 연산 블록도.

5. 실험 결과

그림 5-1의 (a), (b)는 각 부하 역률이 0.48, 0.79인 경우의 入力 力率이 補償된 入力 電流 파형을 나타낸다.

표 1은 부하 전류변화에 대한 입력 총합역률 변화를 에너지 분석기로 분석한 결과이다. 부하 변동에 따른 입력 총합 역률이 항상 일정하게 유지됨을 알수 있다.

그림 5-2는 부하 전류의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

그림 5-3은 TCR이 동작하기 전 입력 전류의 스펙트럼 분석이고 그림 5-4는 TCR 동작 후 입력 전류 스펙트럼을 분석한 결과로서 고주파가 상당히 줄어들음을 알수있다.

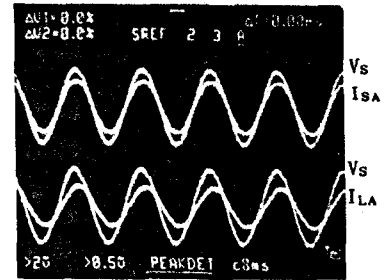
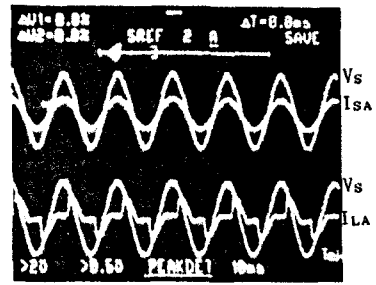


그림 5-1 부하 역률 변화에 대한 입력 특성.

- (a) 부하 역률 = 0.48
- (b) 부하 역률 = 0.79

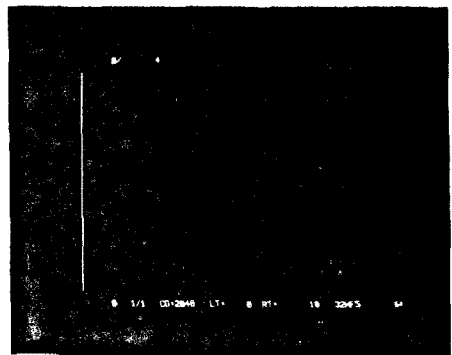


그림 5-2 부하 전류의 스펙트럼

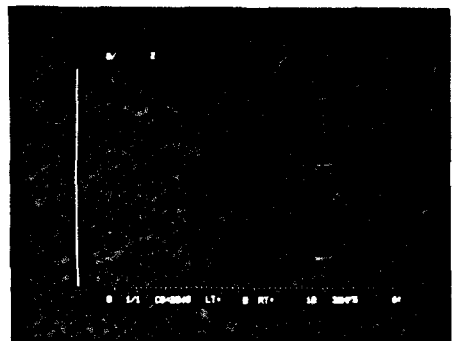


그림 5-3 TCR 동작 전 입력 전류 스펙트럼

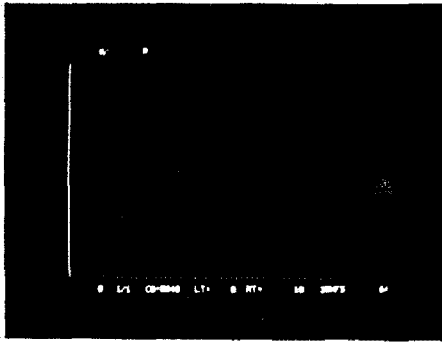


그림 5-4 TCR 동작 후 입력 전류 스펙트럼

표 1. 부하 전류 변화에 대한 입력 종합 역률 변화

MANUAL Page 1 26-03-90 13:34:10 E(CA) V 207.4 I A 3.310 Cosφ 1.000 I W 1189	MANUAL Page 1 26-03-90 13:38:43 E(CA) V 207.5 I A 3.216 Cosφ 1.000 I W 1156
MANUAL Page 1 26-03-90 13:34:20 E(CA) V 207.5 I A 3.331 Cosφ 1.000 I W 1197	MANUAL Page 1 26-03-90 13:38:55 E(CA) V 207.5 I A 3.280 Cosφ 0.999 I W 1152
MANUAL Page 1 26-03-90 13:35:30 E(CA) V 210.7 I A 3.214 Cosφ 0.999 I W 1172	MANUAL Page 1 26-03-90 13:43:22 E(CA) V 209.5 I A 3.222 Cosφ 0.999 I W 1160
MANUAL Page 1 26-03-90 13:35:51 E(CA) V 210.0 I A 3.192 Cosφ 0.999 I W 1150	MANUAL Page 1 26-03-90 13:43:46 E(CA) V 209.6 I A 3.512 Cosφ 0.999 I W 1274
MANUAL Page 1 26-03-90 13:35:26 E(CA) V 209.5 I A 3.194 Cosφ 1.000 I W 1159	MANUAL Page 1 26-03-90 13:44:49 E(CA) V 209.3 I A 3.470 Cosφ 1.000 I W 1250
MANUAL Page 1 26-03-90 13:36:20 E(CA) V 209.6 I A 3.049 Cosφ 0.999 I W 1106	MANUAL Page 1 26-03-90 13:45:16 E(CA) V 209.4 I A 2.970 Cosφ 1.000 I W 1000
MANUAL Page 1 26-03-90 13:36:57 E(CA) V 209.3 I A 2.217 Cosφ 1.000 I W 205.7	MANUAL Page 1 26-03-90 13:45:40 E(CA) V 209.7 I A 2.770 Cosφ 0.999 I W 1000
MANUAL Page 1 26-03-90 13:37:07 E(CA) V 209.0 I A 2.490 Cosφ 1.000 I W 897.6	MANUAL Page 1 26-03-90 13:45:57 E(CA) V 209.7 I A 2.742 Cosφ 1.000 I W 956
MANUAL Page 1 26-03-90 13:37:10 E(CA) V 209.2 I A 2.560 Cosφ 0.999 I W 929.9	MANUAL Page 1 26-03-90 13:46:07 E(CA) V 209.0 I A 2.746 Cosφ 1.000 I W 950
MANUAL Page 1 26-03-90 13:37:35 E(CA) V 208.5 I A 3.065 Cosφ 0.999 I W 1106	MANUAL Page 1 26-03-90 13:49:23 E(CA) V 210.2 I A 2.597 Cosφ 1.000 I W 945.3

6. 결론

入力電流와 入力總合力率을 제어 변수로한 3상 불평형 무효 전력 보상 시스템을 제어한 결과 다음과 같은 특성이 있었음을 알수 있었다.

- ① 무효 전력은 進相에서 遲相까지 연속적으로 制御할 수 있었다.
- ② 불평형 상태에서 각 상별 제어에 어려움이 따르는 Δ결선 부하에 대해서도 單位總合力率을 유지할 수 있었다.
- ③ 부하 변화에 따라 高調波 발생으로 입력線電流에 주는 高調波 영향이 감소되고 전류의 불평형률도 어느 정도 해결된다...

앞으로 정밀제어 및 고장시 일어날 수 있는 문제점을 해결하기 위해 마이크로프로세서 제어가 필요하다.

REFERENCE

1. Timothy J.E Miller, " Reactive Power in electric System.", John Willey & Sons ,pp181-243,1982.
2. Yoshiki Matsuo , Michio nakano , " A Discrete-Time Feedback Control Method for a Thyristor Power Compensation", JIEE.
3. W. Shepherd , PZakihani , " Power Correction in Nonsinusoidal System by the use of Capacitance", J. Phys.D. Appl. phas, Vol. 6, pp. 1850-1861, 1973
4. Young Soo Seo , "A Sustaining Unit Power-Factor by Means of Reactive Power Compensation In Three-Phase Unbalanced Load System" ,Vol 2 pp 993-1000, IPEC-Tokyo, 1990.
5. 서영수. " 무효 전력 보상과 그 장치 ", 전기 설비, 5월-11월 특집 1985