

PSCAD/EMTDC를 이용한 전압 Sag 보상을 위한 배전용 정지형 보상기의 LQR 제어기 설계

이명언 · 정수영* · 최규하**

서일대학 전기과, *서울대학교 전기공학부, **건국대학교 전기공학과

E-mail : emyungun@hanmail.net

Design of LQR Controller of DSTATCOM for Compensating Voltage Sag Using PSCAD/EMTDC

Myung-Un Lee, Soo-Young Jung* and Gyu-Ha Chol**

Myungji College, *Seoul Nat'l Univ., **Konkuk Univ.

요 약

본 논문에서는 전압 sag 보상을 위한 배전용 정지형 보상기(DSTATCOM) 제어기를 설계하고 PSCAD/EMTDC로 확인하였다. DSTATCOM의 전류성분을 dq 분해 해석을 통하여 상태방정식을 유도하고 부하모델과 네트워크의 제약조건을 고려하여 결합 모델을 제시하였다. 1선 지락 사고시 PI 제어기보다 LQR 제어기의 응답 특성이 우수함을 검증하고 전압 Sag가 개선됨을 보였다.

Abstract — This paper presents the design of DSTATCOM (Distribution Static Synchronous Compensator) controller. The results are verified by using PSCAD/EMTDC package. The state equation derived by dq decomposition analysis of DSTATCOM current component is applied to load model and the combined model which considered constraint condition. In case of single line to ground fault, the conventional method of PI control is compared with LQR control technique. LQR control is shown to be superior in terms of response profile and composition of voltage sag.

1. 서 론

현재 산업용 공장이나 정보를 처리하는 상업용 빌딩 등에서 고품질의 전력에 대한 요구가 증가하고 있다. 이는 수주기 내의 전압 강하나 왜곡에도 생산품의 품질에 큰 영향을 받고, 정보의 손실을 야기하여 막대한 경제적인 손실을 야기하기 때문이다. EPRI의 보고서에 의하면 미국의 경우 전력 품질의 저하에 따른 경제적 손실이 매년 4천억 달러에 달하는 것으로 알려졌다. 이는 우리나라의 경우도 예외가 아니어서 우리나라 전체의 피해액은 매년 약 2700~6500억원 정도로 추산되고 있다^{[1][4]}.

이에 따라 전력 전자 기술을 이용하여 배전 계통에 효과적 전력 수급을 위한 연구 즉 Custom Power에 대한 연구가 진행되고 있다. Custom Power 기기는 직렬 보상 기기인 DVR(Dynamic Voltage Restorer), 병렬 보상 기기인 DSTATCOM(Distribution STATic COMPensator), 그

리고 직(병렬 보상 기기인 UPQC(Unified Power Quality Compensator) 등 3가지로 구분된다.

전력의 품질에 영향을 주는 것은 정전(Outage), 전압의 순간적인 급강하와 급상승(Voltage Sag and Swell), 고조파(Harmonics), 전압 불평형(Voltage Unbalance), 그리고 전압 변동과 깜박임 현상(Voltage Fluctuation and Flicker) 등이 있다^[2]. 배전 계통의 경우 선로의 임피던스가 크고 방사형 계통이 많기 때문에 전압의 Sag가 많이 발생하고 전압 변동의 시간과 크기에 따라 부하에 치명적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 보상이 절실히 필요하다.

그 중 DSTATCOM은 기본적으로 전압을 전원 전압에 병렬로 전압을 연결하는 장치로 빠르게 제어되는 크기와 위상각과 함께 기본 주파수에서 평형 3상 정현파 전압을 발생한다. 이러한 형태의 제어기가 무효 전력에 의한 전압보상, 비선형 부하의 전원측 파급효과 방지 및

역률 개선의 역할한다.

본 논문은 배전 계통에서의 전압 보상을 위한 DSTATCOM의 선형 모델 및 피드백 제어 방법을 제안하고 동적 특성 및 LQR 제어기가 PI 제어기보다 우수함을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 확인 하였다.

2. DSTATCOM의 등가 모델

Fig. 1은 DSTATCOM의 기본적인 등가 모델을 나타낸다. 여기서 R_s 는 인버터 전도 손실과 변압기 권선 저항 손실의 합이고 L_s 는 변압기의 누설 인덕턴스이고 R_p 는 인버터의 스위칭 손실 및 커패시터의 전력 손실의 합을 말한다. 그리고 회로에서 전압원 인버터 블록은 이상적인 손실 없는 전력 변압기로서 가정하였다^[5].

Fig. 1에서 보듯이 DSTATCOM은 IGBT를 이용한 자력식 인버터 뒤에 DC 전압원과 변압기로 이루어져 있다. 배전 계통 또한 전압원으로 모델링 가능하다. 두 전압원은 변압기의 누설 리액턴스로 나타내는 리액터에 의해 연결된다. DSTATCOM 출력 전류 I 는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$I = \frac{E - V}{R_s + j\omega L_s} \quad (1)$$

여기서, V 는 계통 3상 전압(v_a, v_b, v_c)의 실효값, E 는 인버터의 3상 출력 전압(e_a, e_b, e_c)의 실효값, $R_s + j\omega L_s$ 는 리액턴스(변압기 누설 리액턴스 및 시스템 단락 전류 리액턴스의 합)이다.

Fig. 1에서 E 와 V 가 같다면 무효전력은 계통에 전달되지 않는다. 그러나 만일 E 가 V 보다 크다면 I 는 계통에 진상 전류를 공급하고 E 가 V 보다 작다면 I 는 계통에 지상 전류를 공급하게 된다. 이때 무효전력의 흐

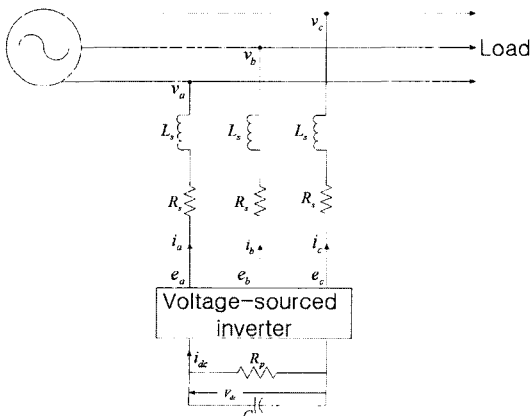


Fig. 1. DSTATCOM model with power system.

름은 E 와 V 의 차이에 비례한다.

Fig. 1에서 교류측 회로 방정식은 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{di_b}{dt} \\ \frac{di_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_s} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R_s}{L_s} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R_s}{L_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{1}{L_s} \begin{bmatrix} e_a - v_a \\ e_b - v_b \\ e_c - v_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 Per-unit 개념을 도입하여 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} L'_s &= \frac{\omega_b L_s}{Z_{base}}, & C' &= \frac{1}{\omega_b C \cdot Z_{base}}, & R'_s &= \frac{R_s}{Z_{base}}, & R'_p &= \frac{R_p}{Z_{base}} \\ i'_{abc} &= \frac{i_{abc}}{I_{base}}, & v'_{abc} &= \frac{v_{abc}}{V_{base}}, & e'_{abc} &= \frac{e_{abc}}{V_{base}} \\ v_{base} &= \frac{V_l}{\sqrt{3}}, & Z_{base} &= \frac{V_l^2}{S_{base}}, & I_{base} &= \frac{V_{base}}{Z_{base}} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 ω_b 는 전력계통의 기본 각주파수이고 v_l 은 전력 계통의 선간 전압을 말한다. 그렇다면

$$\begin{bmatrix} \frac{di'_a}{dt} \\ \frac{di'_b}{dt} \\ \frac{di'_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_a \\ i'_b \\ i'_c \end{bmatrix} + \frac{\omega_b}{L'_s} \begin{bmatrix} e'_a - v'_a \\ e'_b - v'_b \\ e'_c - v'_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

동기 좌표 변환을 사용하면 식(5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} \frac{di'_d}{dt} \\ \frac{di'_q}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} & \omega \\ \omega & -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_d \\ i'_q \end{bmatrix} + \frac{\omega_b}{L'_s} \begin{bmatrix} e'_d - |V| \\ e'_q \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $\omega = d\theta/dt$ 이다. Fig. 2는 동기 좌표계에서 교류측 회로 벡터를 해석하였다.

i'_d 이 음이면 선로에서 용량성 부하로 보이고 i'_q 가 양이면 유도성 부하로 보인다.

인버터에 의해서 야기되는 전압고조파를 무시하면

$$e'_d = kV_{dc} \cos \alpha \quad (6)$$

$$e'_q = kV_{dc} \sin \alpha \quad (7)$$

여기서, k 는 DC측 전압과 AC측 상전압의 최대 크기와

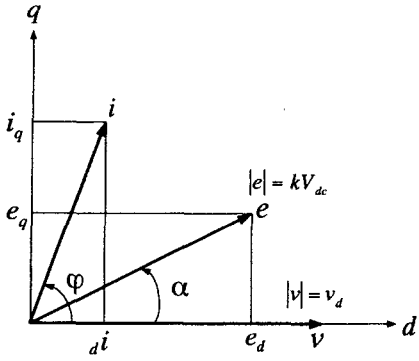


Fig. 2. DSTATCOM vector diagram.

관계되는 계수이고 α 는 인버터 출력단 전압과 선로 전압과의 위상차이다. 또한 본 논문에서는 k 가 α 에 비례하여 제어 효과가 적다고 가정하였다.

인버터의 교류와 직류측 양단자에서 순간 전력은 동일하므로 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$v_{dc}i'_{dc} = \frac{3}{2}(e'_d i'_d + e'_q i'_q) \quad (8)$$

직류측에 키르히호프의 전류법칙을 적용하며 식 (9)와 같다.

$$\frac{dv'_{dc}}{dt} = -\omega_b C' \left(i'_{dc} + \frac{v'_{dc}}{R'_p} \right) \quad (9)$$

위 식을 식(5)에 대입하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} \frac{di'_d}{dt} \\ \frac{di'_q}{dt} \\ \frac{dv'_{dc}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} & \omega & \frac{k \omega_b \cos \alpha}{L'_s} \\ \omega & -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} & \frac{k \omega_b \sin \alpha}{L'_s} \\ -\frac{3}{2} k C' \omega_b \cos \alpha & -\frac{3}{2} k C' \omega_b \sin \alpha & -\frac{\omega_b C'}{R'_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_d \\ i'_q \\ v'_{dc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\omega_b}{L'_s} |v| \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

식 (10)에 보인 상태 방정식은 위상각 α 을 입력 변수로 할 때 비선형 특성을 갖는다.

참고문헌¹⁵에서 주어진 Table 1을 이용하여 식 (10)의 α_0 (첨자는 정상상태 값)에 대한 정상상태 해를 구하면 Fig. 3과 같다. α_0 가 $-1.5^\circ \sim 1.5^\circ$ 사이에서 i'_{q0} , i'_{d0} , v'_{dc0} 는 거의 직선으로 변하고 i'_{q0} 가 $-1 \text{ pu} \sim 1 \text{ pu}$ 사이에서 α_0 의 변화는 매우 적다.

Table 1. Typical system parameters (pu).

L'_s	0.15	R'_s	0.01
C'	0.88	R'_p	100/k
k	$4/\pi$	ω_b	377

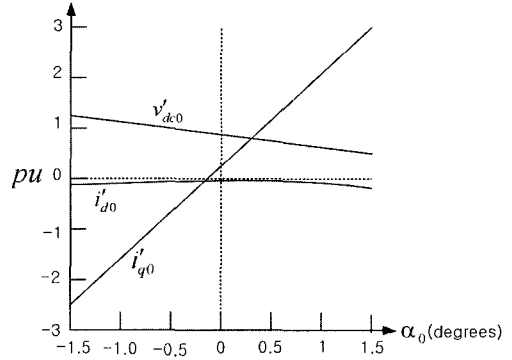


Fig. 3. Output voltage angle at steady-state operation point.

손실을 무시하면(즉, $R'_s=0$, $R'_p=\infty$) 정상상태 해는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_b, \quad i'_s = i'_{q0}, \quad |v'| = v'_0 \\ \alpha_0 &= 0, \quad i'_{d0} = 0, \quad v'_{dc0} = \frac{1}{k} [v'_0 - i'_{q0} L'_s] \end{aligned} \quad (11)$$

에 의해서 구할 수 있다.

정상상태 평형점에 대한 해를 구하는 것이 가능하고 선형화 과정에 의해 전개하고 미소 변화의 2차 항을 무시하여 상태 방정식을 구하면 아래 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} \frac{d\Delta i'_d}{dt} \\ \frac{d\Delta i'_q}{dt} \\ \frac{d\Delta v'_{dc}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} & \omega_b & \frac{k \omega_b \cos \alpha_0}{L'_s} \\ -\omega_b & -\frac{R'_s \omega_b}{L'_s} & \frac{k \omega_b \sin \alpha_0}{L'_s} \\ -\frac{3}{2} k C' \omega_b \cos \alpha_0 & -\frac{3}{2} k C' \omega_b \sin \alpha_0 & -\frac{\omega_b C'}{R'_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i'_d \\ \Delta i'_q \\ \Delta v'_{dc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\omega_b}{L'_s} & -\frac{k \omega_b v'_{dc0}}{L'_s} \sin \alpha_0 \\ 0 & -\frac{k \omega_b v'_{dc0}}{L'_s} \cos \alpha_0 \\ 0 & \frac{3}{2} k C' \omega_b (i'_{dc0} \sin \alpha_0 - i'_{q0} \cos \alpha_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v' \\ \Delta \alpha \end{bmatrix} \quad (12)$$

위의 식(12)에서 α_0 의 변화가 $-1.0^\circ \sim 1.0^\circ$ 범위에 있으므로 $\alpha_0 \approx 0$ 이라고 가정하고 손실을 무시($R'_s=0$, $R'_p=\infty$) 한

다. 또한 DSTATCOM의 특성에 직접 관여되는 것은 i_{q0} , v_{dc0} 이다. 따라서 아래 식 (13)을 사용해도 오차는 적을 것이다.

$$\begin{bmatrix} \frac{d\Delta i_d'}{dt} \\ \frac{d\Delta i_q'}{dt} \\ \frac{d\Delta v_{dc}'}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_b & \frac{k\omega_b}{L_s'} \\ -\omega_b & 0 & 0 \\ -\frac{3}{2}kC'\omega_b & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d' \\ \Delta i_q' \\ \Delta v_{dc}' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\omega_b}{L_s'} & 0 \\ 0 & \frac{k\omega_b v_{dc0}}{L_s'} \\ 0 & -\frac{3}{2}kC'\omega_b i_{q0}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v' \\ \Delta \alpha \end{bmatrix} \quad (13)$$

위의 DSTATCOM의 동적모델을 포함한 배전계통 모델은 다음 3가지 모델로 구성할 수 있다.

1) 부하 모델

$$x=f(x,z) \quad (14)$$

2) DSTATCOM의 동적 모델

$$y=g(y,z) \quad (15)$$

3) P, Q 흐름을 제어하는 네트워크의 제약조건

$$h(x, y, z)=0 \quad (16)$$

단, x: 계통의 부하의 상태

y: DSTATCOM의 상태(i_d' , i_q' , v_{dc}')

z: 선로 전압의 크기와 각

이 시스템은 동작점에 대해서 선형화하면 식 (17)으로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{load} & 0 & B_{xz} \\ 0 & A_{dstat} & B_{yz} \\ C_{zx} & C_{zy} & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ E \\ 0 \end{bmatrix} \Delta \alpha \quad (17)$$

여기서 E는 식 (13)에 의해서 다음과 같다.

$$E = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k\omega_b}{L_s'} v_{dc0}' \\ -\frac{3}{2}k\omega_b C' i_{q0}' \end{bmatrix} \quad (18)$$

네트워크 방정식이 해가 존재하고 가역적(invertible) 이라고 가정하면 다음과 같이 축소차수 선형 시스템으로 표현 가능하다^[6].

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} \\ A_{yx} & A_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ E \end{bmatrix} \Delta \alpha \quad (19)$$

여기서

$$\begin{aligned} A_{xx} &= A_{load} - B_{xz} D^{-1} C_{zx} & A_{xy} &= -B_{xz} D^{-1} C_{zy} \\ A_{yy} &= A_{dstat} - B_{yz} D^{-1} C_{zy} & A_{yx} &= -B_{yz} D^{-1} C_{zx} \end{aligned}$$

이다.

3. 제어 기법

식 (19)에서 주어진 선형화된 방정식은 식 (20) 형태의 상태 피드백 제어기의 설계하는데 사용될 수 있다.

$$\Delta y = -K_f \Delta \alpha \quad (20)$$

이를 이용하여 상태 피드백 페루프 제어 시스템은 식 (21)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} \\ A_{yx} & A_{yy} - EK_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (21)$$

3-1. PI 제어

기존의 PI 제어는 전압 응답의 전형적인 제어 방식으로 사용되어 왔다^{[7][8]}. 블록 선도는 Fig. 4와 같다. 여기서 K_p , K_i 는 제어기의 비례 요소 및 적분 요소를 가르킨다. 또한 α_{min} , α_{max} 는 DSTATCOM의 커패시터의 용량 및 무효전력 공급능력에 의해 제한되어지는 최소 및 최대 각이다.

PI 제어는 상태피드백 형태로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

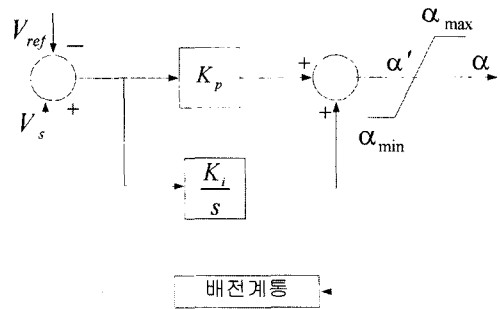


Fig. 4. PI control block diagram.

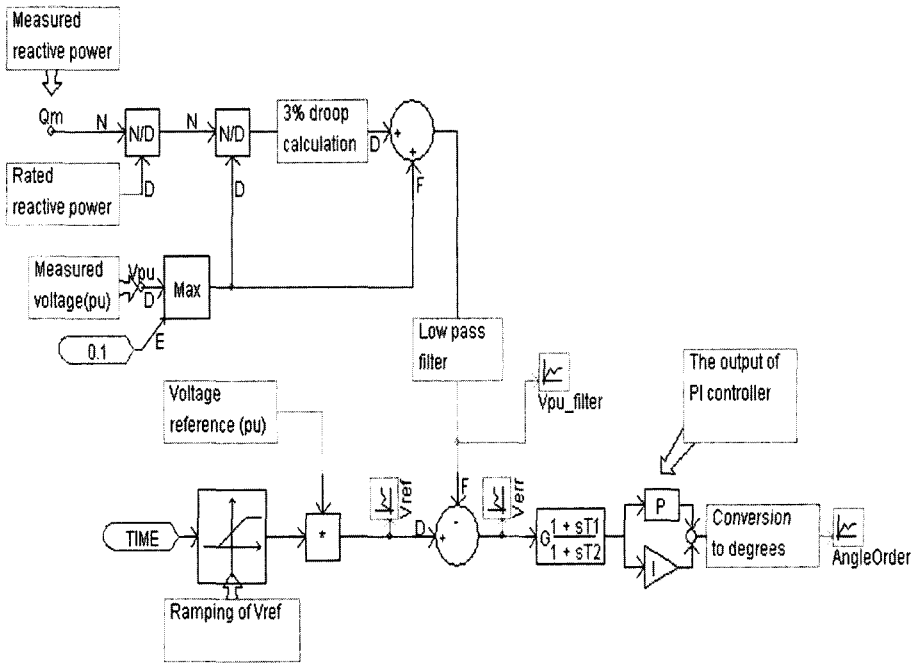


Fig. 5. PSCAD/EMTDC control block.

$$\omega = V_s - V_{ref} \tag{22}$$

여기서 상태변수 ω 를 오차 전압의 적분으로 정의 하자. 그렇다면 제어각 α 는 식 (23)과 같다.

$$\alpha = K_p(V_s - V_{ref}) + K_i \omega \tag{23}$$

위 모델을 위한 제어기 조정 방법으로 Ziegler와 Nichols에 의한 조정을 기초로 하여 제어기 변수를 선정하였다¹⁹⁾.

Fig. 5는 PSCAD/EMTDC에 의해서 구현된 α 각 제어 블록도를 나타낸다.

3-2. Linear Quadratic Regulator(LQR) 제어

이 방법에서는 성능척도를 최소화 함에 의해 간접적으로 시스템의 극점을 이동시킬 수 있다. 이때 성능 척도(performance measure) 다음과 같다.

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} [(V_s - V_{ref})' Q (V_s - V_{ref}) + \Delta \alpha^T R \Delta \alpha] dt \tag{24}$$

여기서 **Q**는 양의 반한정(Positive semi-definite) 대칭 행렬이고 **R**은 양의 한정(Positive-definite) 대칭 행렬이다. 주어진 목적 함수는 기준전압 V_{ref} 와 배전 선로의 전압 V_s 의 차를 최소화 하도록 됨으로써 상태 제한 이득 행렬 **K**를 최적화 할 수 있다. 본 논문에서는 최적 제어 $\Delta \alpha^*(t)$ 를 해밀턴-자코비-벨만(Hamilton-Jacobi-Bellman)

방정식을 사용하여 리카티(Riccati) 미분 방정식으로 접근하였다¹⁰⁾.

4. 시뮬레이션

제안한 제어기들을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 Fig. 6에서 보여준 IEEE 13버스에 적용하였다¹¹⁾. Fig. 6에서 전원측으로부터 가장 먼 거리에 있는 150번 버스 후단이 중부하라고 가정한다. 따라서 전압 문제에 민감하다. 본 논문에서는 150번 버스 앞단에 DSTATCOM을 두었다.

그리고 32번 버스전단에 1선 지락 사고를 모의 하였다. 여기서 사고 지속시간은 0.3초로 두었고 원하는 초기 전압 동작점은 0.985pu로 두었다. Fig. 7은 Fig. 6의

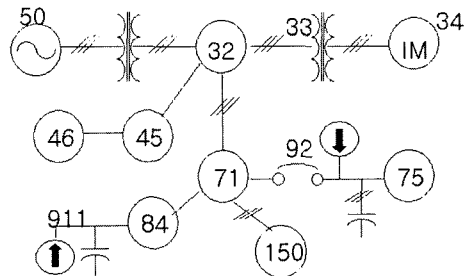


Fig. 6. IEEE 13 bus radial power system.

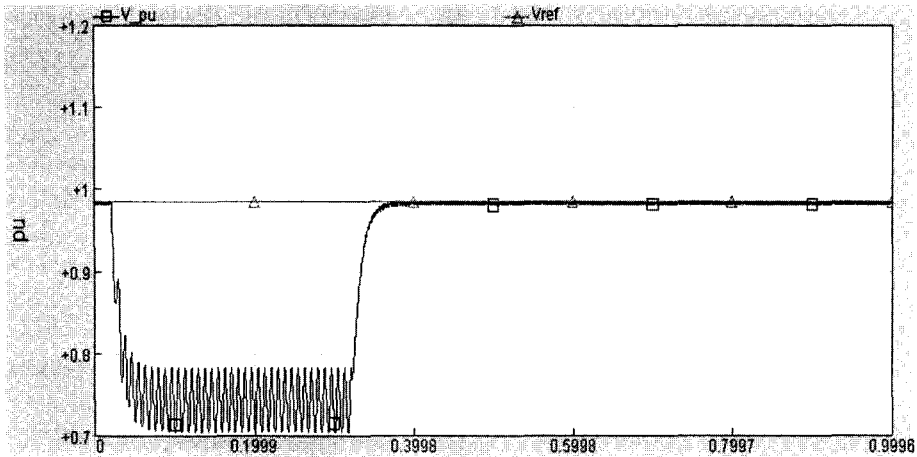


Fig. 7. Voltage response without control.

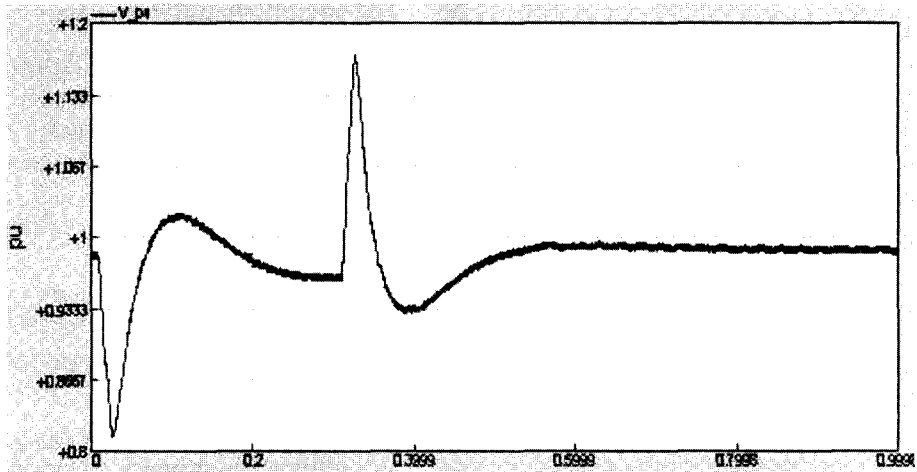


Fig. 8. Voltage response with PI control.

표기된 설치점 위치에서 DSTATCOM 제어 전의 3상 전압의 실효값의 전압 새그 파형을 나타낸다. 이 그림에서 정상상태 전압이 거의 70% 새그가 발생함을 알 수 있다^[2].

PSCAD/EMTDC를 이용하여 PI 제어에 의한 시뮬레이션 결과 Fig. 8와 같다.

PI 제어기의 비례이득 K_p 는 0.5, 적분 이득 K_i 는 32.34로 두었다.

LQR 제어에서는 R 의 가중치를 40, Q 의 가중치는 50,000으로 둘 때 만족할 만한 성능 함수를 얻을 수 있었다. LQR 제어의 크기에 대한 응답은 Fig. 9에 나타내었다.

DSTATCOM 전력전자 기기들은 요구되는 위상각을 출

력하도록 프로그램 된다.

PI 제어기에 비교하여 LQR 제어기의 과도 응답 특성이 우수함을 알 수 있다. 특히 오버슈트(overshoot)가 기존의 제어방식에 비교하여 7% 정도 감소함을 알 수 있다.

PI 제어의 높은 진동 응답과 비교하여 LQR 제어기의 보다 완만한 궤도는 전력 전자 소자의 보다 좋은 성능 및 제어각의 감소를 기대할 수 있다. 또한 제어각의 감소는 낮은 전도 손실 및 낮은 정격의 전력전자 기기를 기대 할 수 있다.

DSTATCOM은 DC 커패시터에 배터리 또는 SMES (Super magnetic energy storage)와 같은 DC 전원을 가지지 않는다면 전압 sag 보상 용도 및 과도 안정도와 같은 유효 전력의 제어로 사용될 수 없고 무효 전력 제어,

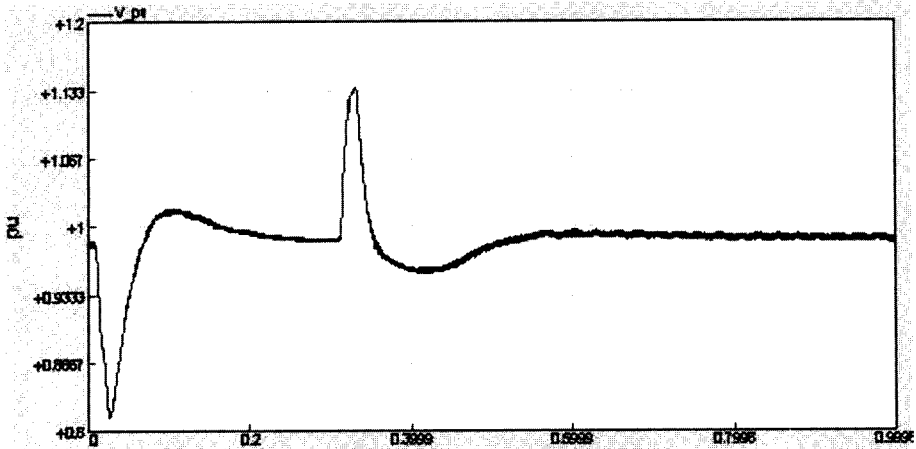


Fig. 9. Voltage response with LQR control.

부하에 의해 야기되는 고조파 전류 보상, 배전계통의 동적 특성 및 조류흐름에 국부적인 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서 α 각 제어에 의해서 무효 전력 주입이 가능하며 부분적인 전압 세그 보상이 가능함을 확인 할 수 있다¹³⁾.

5. 결 론

DSTATCOM의 선형 모델을 제안하였고, 이를 배전계통의 전력 품질 향상을 위해 2가지의 전압 제어 기술을 적용하였다. 1선 지락 사고시에 본 논문에서 제시한 방법을 이용한 시뮬레이션을 통해 전압 sag가 개선됨을 보였고 LQR 제어에 의한 제어가 기존의 제어 방식보다 응답특성이 우수함을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 검증하였다.

참고문헌

- Chan, K. and Kara, A.: "Voltage Sags Mitigation with an Integrated Gate Commutated Thyristor based Dynamic Voltage Restorer", Harmonics and Quality of Power Proceedings, 8th International Conference, 1, 561 (1998).
- Yun, S.-Y., Oh, J.-H., Rim, S.-J. and Kim, J.-C.: "Mitigation of Voltage Sag Using Feeder Transfer in Power Distribution System", Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting Conference, 3, 1421 (2000).
- Jung, S.-Y., Moon, S.-I., Kim, T.-H. and Han, B.-M.: "Control of DSTATCOM using Direct Output Control", Proceedings of the KIEE Summer Annual Conference, 7, 81 (2001).
- Vilathgamuwa, M., Ranjith Perera, A.A.D., Choi, S.S. and Tseng, K.J.: "Control of Energy Optimized Dynamic Voltage Restorer", Industrial Electronics Society, IECON Proceedings the 25th Annual Conference of the IEEE, 2, 873 (1999).
- Schauder, C. and Mehta, H.: "Vector Analysis and Control of Advanced Static VAR Compensator", IEE Proceedings-C, 140(4), (1993).
- Chen, C.-T.: "Linear System Theory and Design", Oxford University Press (1999).
- Padiya, K.R. and Devi, A.L.: "Control and Simulation of Static Condenser", Proceedings of IEEE Power Electronics Conference and Exposition (1994).
- Mori, S. *et al.*: "Development of a Large Static Var Generator Using Self-commutated Inverters for Improvement Power System Stability", IEEE Trans. on Power Systems, 8(1), (1993).
- Gene F. Franklin, J. David Powell, And Abbas Emami-naeini: "Feedback Control of Dynamic Systems", Addison Wesley (1994).
- Donald E. Kirk: "Optimal Control Theory", Prentice Hall (1970).
- IEEE Distribution Planning Working Group Report: "Radial Distribution Test Feeders", IEEE Trans. on Power Systems, 6(3), (1991).
- Dugan, R.C. *et al.*: "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 12 (1996).
- Math H. J. Bollen: "Understanding Power Quality Problems", IEEE Press, 430 (2000).