

DVR시스템에 사용되는 인버터부의 LC필터 설계와 피드백 성능분석

Design and Feedback Performance Analysis of the Inverter-side LC Filters Used in the DVR System

박종찬* · 손진근†
(Jong-Chan Park · Jin-Geun Shon)

Abstract - Voltage sags are considered the dominant disturbances affecting power quality. Dynamic voltage restorers(DVRs) are mainly used to protect sensitive loads from the electrical network voltage disturbances such as sags or swells and could be used to reduce harmonic distortion of ac voltages. The typical DVR topology essentially contains a PWM inverter with LC Filter, an injection transformer connected between the ac voltage line and the sensitive load, and a DC energy storage device. For injecting series voltage, the PWM inverter is used and the passive filter consist of inductor(L) and capacitor(C) for harmonics elimination of the inverter. However there are voltage pulsation responses by the characteristic of the LC passive filter that eliminate the harmonics of the PWM output waveform of the inverter. Therefore, this paper presented design and feedback performance of LC filter used in the DVRs. The voltage control by LC filter should be connected in the line side since this feedback method allows a relatively faster dynamic response, enabling the elimination of voltage notches or spikes in the beginning and in the end of sags and strong load voltage THD reduction. Illustrative examples are also included.

Key Words : Dynamic voltage restorers(DVRs), LC passive filter, PWM inverter, THD(total harmonic distortion) reduction, Voltage sag

1. 서 론

전력계통에서 전기적으로 민감한 정밀부하의 수요가 증대함에 따라 전기품질(power quality)의 중요성이 날로 커지고 있다. 이러한 전기품질의 저하 문제에서 큰 요소를 차지하는 것이 전압변동의 문제이며, 특히 순시적 전압강하의 문제에 따른 경제적 손해의 과급효과 문제는 해결하여야 할 시급한 과제이다. 이를 위한 효과적인 대안으로 직렬보상장치 또는 동적전압보상기(DVRs)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1, 2].

이러한 전압 크기변동의 보상장치인 DVR은 순시전압강하 및 순간정전이 발생하는 순간에만 동적으로 전압을 보상하는 오프라인의 제어 방식이기 때문에 기존의 온라인 방식으로 가동되는 UPS보다 운전효율이 높으면서 효과적인 방식으로 알려져 있다. 이의 DVR시스템의 구성은 IGBT 등 전력용 반도체 스위칭 소자로 구성된 PWM 인버터 및 인버터부-LC필터, 매칭변압기 및 DC에너지 저장장치 등으로 이루어져 있다.

DVR의 동적 특성은 PWM 인버터의 고조파 전압을 제거

하는 LC필터와 부하의 종류에 따라 달라지게 되며 적절한 LC필터의 설계와 DVR의 출력 전압을 적절히 제어 해야만 안정된 보상 전압을 부하에 공급하여 순시적 전압강하보상 장치로서 이용할 수 있다. 이의 적절한 전압제어를 위한 개루프 제어기법의 사용은 DVR의 출력 전압을 원하는 대로 제어하기에는 어려움이 있으며, 경우에 따라서는 출력 전압의 전고조파왜곡(THD)이 커질 수도 있다. 따라서 전압제어의 수행 및 시스템의 동적 응답 특성을 개선하기 위하여 피드백제어를 수행해야 한다[3, 4].

특히 DVR의 PWM 인버터부에 설치하는 LC필터의 동작은 시스템이 정상상태 운전을 하고 있을 때에는 고조파 등의 필터링 기능이 우수하지만 전압을 투입하는 시점에서 많은 전압 진동이 발생할 수 있으며 이런 문제 해결 방법으로 LC필터의 전압이나 전류의 케환루프 제어기법이 필요하다. DVR의 부하 전압 제어를 위해서는 부하 전압의 케환이 필요하고 동특성을 향상시키기 위하여 인덕터 전류 혹은 커패시터 전류의 케환을 이용하여 다중 케환 루프를 구성하여 사용하는 것이 유리하다. 이러한 형태의 다중 루프는 전동기 제어에 사용되는 제어기의 형태와도 유사하기도 하다[5, 6].

따라서 본 논문에서는 DVR시스템의 인버터부에 대한 고조파 개선을 위한 LC수동필터의 설계기법 및 이의 제어기법에 대한 동특성 성능 향상을 위하여 모의실험 및 간이적 실험을 수행하여 그 결과를 보고하였다. 이의 결과 전류 케환에 대한 다중 케환 루프의 제어 특성에 대하여 인덕터 및 커패시터에 흐르는 각각의 전류를 케환으로 이용하는 방법에는 그 특성이 조금씩 차이가 있음을 확인하였다. 이의 설

* Dept. of Electrical Engineering, Osan University, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Gachon University, Korea

E-mail : shon@gachon.ac.kr

접수일자 : 2015년 5월 7일

수정일자 : 2015년 5월 20일

최종완료 : 2015년 5월 22일

계 및 제어특성에 대해서는 보드선도를 통하여 고조파 등 저주파영역에서의 저역통과 필터링의 특성 및 공진의 발생 측면, 부하변동에서의 외란의 제어특성, FFT의 결과 파형 등의 다양한 관점에서 특성 분석을 수행하였다.

2. DVR의 제어특성과 필터설계

2.1 DVR의 구성과 제어특성

배전계통에서의 순시적 전압강하(voltage sag)는 계통의 지락사고와 낙뢰, 대형 전동기의 기동이나 순간적인 부하급증 등의 원인으로 발생하며 이의 지속시간은 약 8[ms]~3[s]에 해당하는 경우로 주로 정의한다. 이러한 순시적 전압강하의 보상장치는 직렬로 전압을 주입하는 장치가 경제적인 측면에서 효과적인 것으로 나타났으며 이에 대한 명칭으로는 주로 DVR로 통용되고 있다[2, 4].

이러한 DVR의 기능은 부하에 공급되는 전압 중에서 순간적 전압강하의 발생 크기 만큼을 부하에 추가로 공급해주는 직렬 전압주입장치이며 이의 시스템 구성은 그림 1과 같다. 이는 임의의 전압을 발생시켜 줄 수 있는 ①. PWM 인버터 ②. 전압고조파 제거용 LC수동필터 ③. 절연 및 전압을 주입하기 위한 정합 변압기(matching transformer) ④. DC에너지 전력저장 장치 등으로 이루어진다.

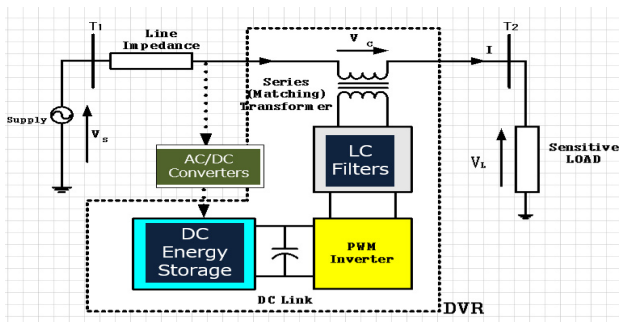


그림 1 DVR 시스템의 구성
Fig. 1 Configuration of DVR system

그림 1과 같이 순시적 전압강하의 문제에 대응하기 위한 DVR의 전기적 등가회로를 그림 2와 같이 나타냈다. V_s 는 전원 전압을 나타내고 V_{comp} 는 직렬전압의 보상을 나타낸 것이며, R_f, L_f, C_f 은 각각 LC필터의 저항, 인덕턴스, 커패시턴스 파라미터를 나타내며, 저항과 인덕터의 직렬 R-L부하로 가정한다. 또한 직렬 보상전압 V_{comp} 는 PWM 인버터의 출력 모델링으로 정현파 제어 전원으로 처리한다.

이와 같은 DVR시스템의 직렬 보상전압의 주입은 전통적으로 개루프 제어를 통하여 출력 전압이 제어된다. 이의 개루프 제어의 기본 개념은 그림 3의 블록다이어그램으로 표현할 수 있으며 부하전류의 외란을 i_d 로 나타냈다. 그림 3과 같은 제어 시스템에서 개루프 제어기의 전달함수를 구할 수 있으며, 지령 전압에 대한 출력 부하전압의 전달함수 H_{O-ref} 를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{O-ref} = \frac{K_i(R_f + sL_f)}{L_f L_f C_f s^3 + C_f (R_f L_f + L_f R_f) s^2 + (L_f + L_f + C_f R_f R_f) s + R_f + R_f} \quad (1)$$

이의 전달함수에 대해서는 전달함수의 극점의 실수부가 시스템의 제동을 결정하게 되는데 LC필터의 인덕턴스 권선 저항 R_f 에 의하여 결정된다. R_f 가 커지면 제동이 커지게 되므로 PWM인버터의 초기 전압 오버슈트와 진동을 억제할 수는 있지만 전력 손실이 커지고 LC필터를 통과한 후의 전압 위상 지연이 발생하고 필터에서 발생하는 전압강하가 커지게 된다. 따라서 시스템의 효율과 정밀성을 위해서는 인덕턴스의 권선 저항 R_f 를 최소로 해야 한다.

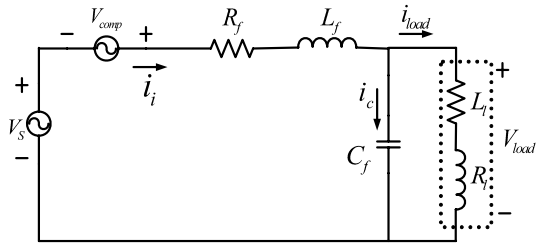


그림 2 DVR 시스템의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of DVR system

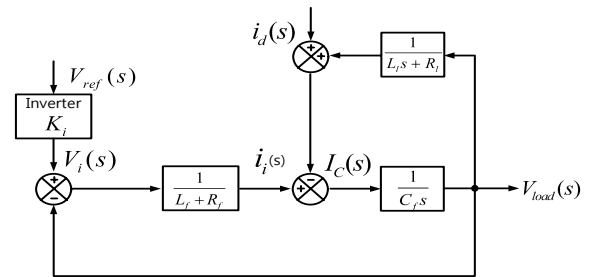


그림 3 DVR 시스템의 개루프 전압제어기
Fig. 3 Open loop voltage controller of DVR system

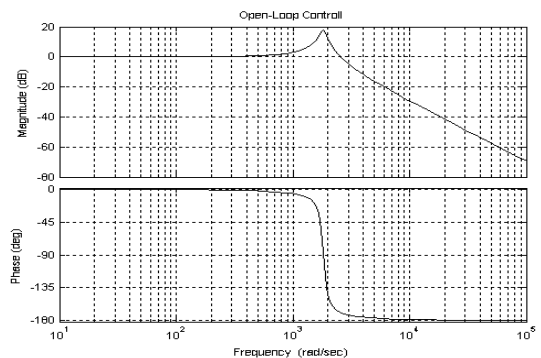


그림 4 개루프 제어시 시스템의 출력전압 보드선도
Fig. 4 Bode-diagram of open loop voltage control system

그림 4는 식 (1)에 의한 개루프 전압제어기의 보드 선도를 나타내고 있다. 이의 응답은 전체적으로 보아 저역통과 필터의 특성을 보이고 있으나 차단 주파수 부근에서 공진이 발생하여 출력 전압에 오버슈트와 진동이 발생할 수 있다고 판단되며 또한 전체적으로 보아 대역폭이 좁은 편이라 할 수 있다.

2.2 DVR 출력의 LC필터 설계

DVR에서의 전압보상 동작 원리는 부하에 공급되는 전압이 외부의 순시적 전압강하 현상에 의하여 기준 전압보다 낮아지게 되면 해당 부족한 만큼의 전압을 전력 저장 장치로부터 공급하게 된다. 이때의 DVR 동작 특성은 PWM 인버터의 고조파 전압을 제거하는 LC필터와 부하의 종류에 따라 달라지게 되므로 출력 전압을 적절히 제어할 수 수행하여 부하에 전원을 공급하여 하며, 또한 출력전압에 포함된 스위칭 고조파를 줄일 수 있는 수동필터의 도입이 필요하다[7].

이의 LC출력필터의 설계에 있어서는 신중하게 고려되어야 할 점이 바로 공진의 문제다. 이의 공진주파수 대역에서는 시스템의 개루프 이득이 0[dB] 보다 높아져서 시스템이 불안정 하게 된다. 이의 쉬운 방법으로는 낮은 수치의 저항을 이용한 댐핑 방법이 있으나 이는 첨가한 저항이 전력을 계속 소비하므로 전체 효율이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 직류링크단 전압 그리고 스위칭 주파수를 고려하여 LC수동필터의 계수를 결정하여 공진문제를 피하게끔 이를 설계하였다.

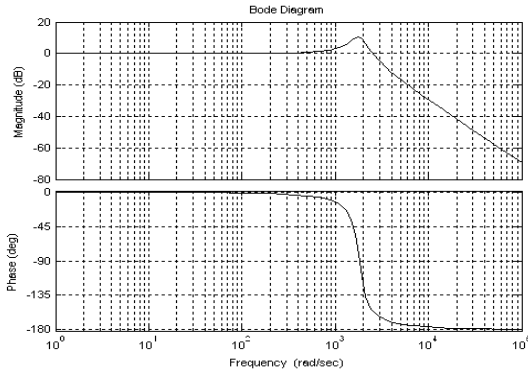


그림 5 LC출력 필터의 주파수 응답
Fig. 5 Frequency response of LC filter

LC출력필터의 설계는 그림 5와 같은 2차 수동 저역통과 필터의 응답 특성을 갖도록 필터의 파라미터를 다음과 같이 선정한다. 우선 수동필터의 직류링크단 전압 V_{dc} 는 약 195[V]로 그리고 스위칭 주파수는 10[kHz]로 설정할 때 이 필터의 공진주파수 및 공진주파수에서 임피던스는 각각 식 (2), 식 (3)으로 표현하여 그 값을 선정한다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_f C_f}} \text{ [Hz]} \quad (2)$$

$$z_0 = \sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \text{ [\Omega]} \quad (3)$$

이의 DVR 시스템에서는 출력전압의 크기와 위상은 지령에 따라서 변동되지만 주파수는 상용주파수로 거의 고정된다고 가정한다. 즉 출력주파수 대역은 60[Hz]이고 인버터의 출력전압을 5고조파까지만 고려하여 공진주파수를 300[Hz]로 선정한다. 따라서 LC출력필터용 인덕터 L_f 의 용량은 3[mH]으로 선정하고 또한 C_f 의 용량은 100[μF]로 설정할 수 있으며, 식 (3)을 통하여 공진주파수에서의 임피던스는

약 5.6[Ω]으로 선정하였고 이에 대한 주파수 응답특성을 그림 5에 나타냈다.

3. DVR의 페루프 제어기의 특성 비교

DVR의 전압제어를 위한 개루프 제어 기법으로는 동적 전압보상장치의 출력 전압을 원하는 대로 제어하기에 어려움이 있고 경우에 따라 출력 전압의 전고조파왜곡이 커질 수도 있다. 따라서 전체 시스템의 동적 응답 특성을 개선하기 위하여 폐환 제어를 수행하여야 함은 물론이고 동특성을 향상시키기 위하여 인덕터 전류 혹은 전류의 폐환을 이용하여 다중 폐환 루프를 구성하여 사용한다.

기존의 동적 전압보상 장치의 출력 전압 제어기법에서 주로 사용되는 구조는 전압 제어를 외부 루프에 두고 빠른 내부 제어루프에는 전류제어를 수행하는 방식이 사용되고 있다[7]. 이의 내부 제어루프에서의 전류제어 수행은 인덕턴스로 흐르는 전류를 폐환으로 이용하는 방법과 커패시턴스로 흐르는 전류를 폐환으로 이용하는 방법의 두 가지가 있다.

3.1 인덕턴스의 전류폐환과 그 특성

LC필터 인덕턴스 전류를 폐환으로 이용하는 전체 시스템의 제어 블록 다이어그램은 그림 6과 같다. 그림 6에서 폐환으로 사용한 물리량은 두 가지가 있다. 하나는 전압 폐환 루프이고 하나는 인덕터에 흐르는 전류 값을 폐환 받은 것이다. 그러나 전압 폐환과 인덕터 전류 폐환 만으로는 정상상태 오차가 발생하므로 발생한 정상상태 오차를 최대한 보상해주기 위해서 전압 지령의 전향 보상 성분을 추가하였다.

이와 같은 시스템에서 페루프 제어기의 전달함수를 구할 수 있으며, 지령 전압에 대한 출력 부하전압의 전달함수와 외란 부하전류에 대한 출력 부하 전압의 전달함수를 각각 식 (4)와 식 (5)로 구할 수 있다. 이때의 제동율은 식 (6)으로 나타냈다.

$$G_{I_{ref}} = \frac{(1+k_v k_c)k_i (sL_f + R_f)}{a_{e3}s^3 + a_{e2}s^2 + a_{e1}s + a_{e0}} \quad (4)$$

$$G_{I_{ld}} = \frac{-L_f L_f s^2 - (R_f L_f + L_f R_f + k_v k_c L_f)s - (R_f R_f + k_v k_c R_f)}{a_{e3}s^3 + a_{e2}s^2 + a_{e1}s + a_{e0}} \quad (5)$$

$$\xi = \frac{R_f + k_v k_c}{2L_f} \frac{\sqrt{L_f C_f}}{\sqrt{1 + k_v k_c k_i + \frac{k_v k_c}{R_f}}} \quad (6)$$

여기서 각각의 계수는 다음과 같다.

$$a_{e3} = C_f L_f L_f, a_{e2} = C_f (R_f L_f + L_f R_f + k_v k_c L_f),$$

$$a_{e1} = C_f R_f R_f + L_f + L_f + k_v k_c k_i R_f,$$

$$a_{e0} = R_f + R_f + k_v k_c k_i R_f + k_v k_c$$

그림 7은 인덕터 전류를 폐환으로 이용하는 폐환 제어 출력 전압의 보드 선도를 나타낸 것이다. 보드 선도의 모양이 완전한 저역통과 필터의 특성을 보이고 있다. 이의 결과는 공진 주파수에서의 오버슈트와 진동이 발생하지 않는 장점

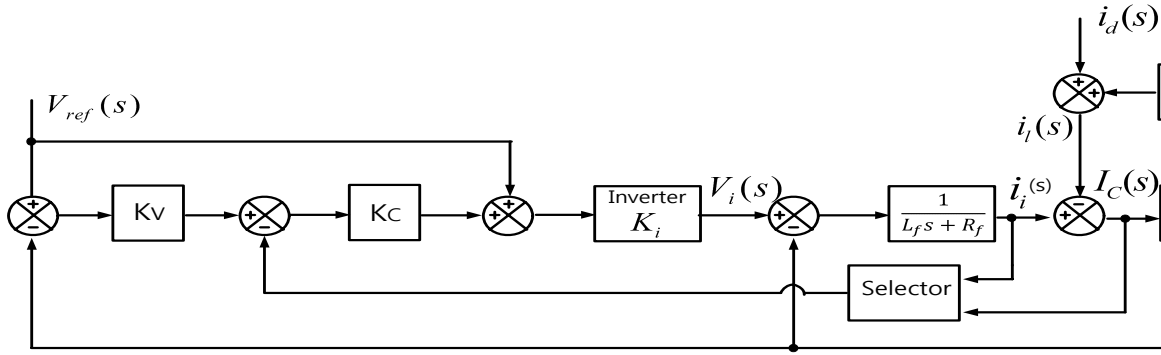


그림 6 커패시터 및 인덕터 전류의 궤환 제어시스템
Fig. 6 Feedback control system of capacitor and inductor

이 있다. 따라서 인덕터 전류를 궤환으로 이용한 제어기법은 실제 적용에 우수한 장점을 가진다고 볼 수 있다.

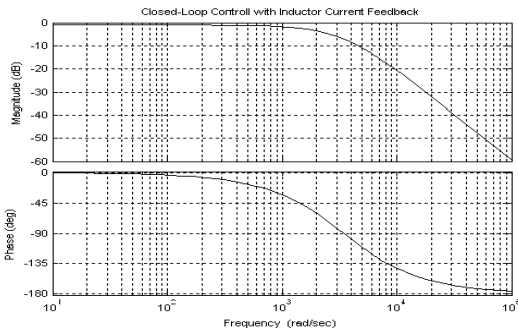


그림 7 인덕터 전류 궤환의 제어 출력전압 특성
Fig. 7 Feedback control response of inductor current

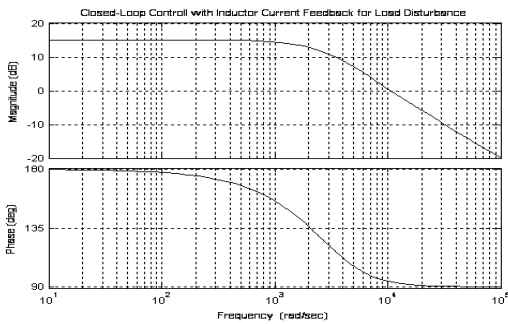


그림 8 인덕터 전류 궤환의 출력전압 특성(부하변동)
Fig. 8 Feedback control response of inductor(Load variance)

또한 그림 8에는 인덕터 전류를 궤환으로 이용하는 궤환 제어 출력 전압의 제어 특성에서 부하 변동에 따른 시스템의 출력전압의 응답을 보이고 있다. 그림 7과 비교하여 낮은 차수의 고조파가 크게 증폭되는 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경우에는 낮은 차수의 고조파가 외란으로 발생하게 되면 출력 전압을 제어하는 것이 실제적으로 불가능해 질 수 있어 현실적으로 사용하기에 무리가 있다고 판단된다. 이러한 단점을 극복할 수 있는 것으로 커패시터 전류를 궤환으로 이용하는 방법을 고려할 수 있다.

3.2 커패시터 전류의 궤환과 그 특성

LC필터의 커패시터 전류를 궤환으로 이용하는 궤환 출력 전압의 제어에 대한 전체 시스템의 제어 블록다이어그램은 그림 6에서처럼 선택단자(selector)를 통하여 제어를 수행하게 된다. 앞에서의 인덕터 전류를 궤환으로 이용하는 경우에 비하여 차이점은 커패시터의 전류를 궤환으로 이용하는 점을 제외하고는 모두 같다. 이와 같은 시스템에서 페루프 제어기의 전달함수를 식 (7), 식 (8)과 같이 구할 수 있다. 즉, 지령 전압에 대한 출력 부하전압의 전달함수와 외란 부하전류에 대한 출력 부하 전압의 전달함수를 각각 식 (7)과 식 (8)로 구할 수 있으며, 식 (9)는 이의 제동율을 나타낸다.

$$G_{2ref} = \frac{(1+k_v k_c)k_i (sL_l + R_l)}{a_{e3}s^3 + a_{e2}s^2 + a_{e1}s + a_{e0}} \quad (7)$$

$$G_{iid} = \frac{-L_l L_f s^2 - (R_f L_l + L_f R_l)s - R_f R_l}{a_{e3}s^3 + a_{e2}s^2 + a_{e1}s + a_{e0}} \quad (8)$$

$$\xi = \frac{R_f + k_c k_i}{2L_f} \frac{\sqrt{L_f C_f}}{\sqrt{1+k_c k_v k_i}} \quad (9)$$

단, 각각의 계수는 다음과 같다.

$$a_{e3} = C_f L_f L_l$$

$$a_{e2} = C_f (R_f L_l + L_f R_l + k_c k_i L_l)$$

$$a_{e1} = C_f R_f R_l + L_l + L_f + k_c k_v k_i R_l + k_c k_i C_f R_l$$

$$a_{e0} = R_f + R_l + k_v k_c k_i R_l$$

그림 9에는 커패시터 전류를 궤환 받아 제어하는 경우의 출력전압의 보드선도를 나타낸 것이다. 이 경우도 인덕터 전류를 궤환으로 제어하는 경우와 마찬가지로 임출력 전압의 특성이 전형적인 저역통과 필터의 특성을 보인다.

그림 10에는 부하의 외란에 대한 시스템의 출력 특성의 보드 선도를 보인다. 이 경우에는 인덕터 전류를 궤환 받아 제어하는 그림 9와 비교할 때에 저주파의 부하 외란에 대한 이득이 작음을 볼 수 있다. 이것은 부하 외란에 대하여 좀더 강한 특성을 보일 수 있음을 의미한다. 따라서 인덕터 전류를 궤환으로 사용하는 경우에는 부하 외란을 감소시키지 못하고 오히려 증폭을 시키는 특성이 있으므로 제어기로

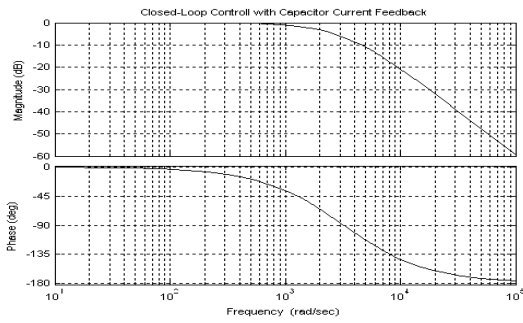


그림 9 커패시터 전류 제환의 제어 출력전압 특성
 Fig. 9 Feedback control response of capacitor current

서 적합하지 못하지만 커패시터 전류를 제환으로 사용하는 경우에는 부하의 외란을 감소시키는 특성이 있으므로 제어 기로서 적합하다고 할 수 있다.

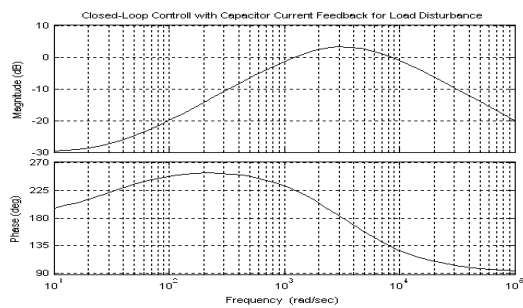


그림 10 인덕터 전류 제환의 출력전압 특성(부하변동)
 Fig. 10 Feedback control response of inductor(Load variance)

4. DVR의 (간이)동작과 필터의 FFT분석

그림 11은 본 논문에서 DVR의 동작과 필터 특성을 분석하기 위한 간이형 실험장치의 개념도를 나타낸 것이다. 이의 구성은 전원 및 선로 임피던스 그리고 민감부하로 구성된다. 지락사고에 의한 순시전압강하를 모의하기 위해서 양방향 반도체 교류스위치를 사용한다. 이의 지락사고 모의는 선로임피던스와 부하로 구성되어 있는 회로에서 부하와 병렬로 지락사고 저항이 연결되면 부하의 전압이 하강하게 된다. 이러한 지락사고 모의 저항을 임의의 시간 동안에 연결하거나 차단하기 위한 제어는 DSP 제어보드의 신호를 이용

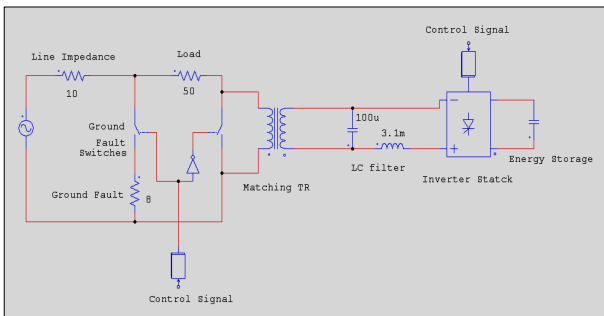


그림 11 DVR의 간이동작을 위한 실험장치의 구성
 Fig. 11 Experimental device of simplicity DVR operation

한다. 이의 지락사고를 발생시키는 교류 스위치와 변압기를 연결하는 교류스위치는 상보적 관계를 갖도록 제어하도록 하였다.

그림 12는 그림 11과 같이 지락사고의 모의에 따른 강제적 Voltage Sag의 스위칭에 의하여 직렬전압 보상후의 정상적 부하전압과 입력전압의 Sag, 보상 순간의 전류 파형 및 보상전압의 지령신호를 각각 나타낸 것으로 간이형 DVR실험장치의 동작이 잘 수행됨을 보이고 있다. 또한 그림 13은 위의 동일조건에서 필터의 출력전압과 전류를 각각 나타내고 있으며 그림 14, 그림 15에서는 Voltage Sag발생의 스위칭신호와 함께 이의 전압 및 전류의 FFT결과를 각각 나타내고 있다. 이의 필터설계 역시도 간이형 DVR과 잘 매칭되어 이의 고조파 감소 기능이 무난히 수행됨을 보이고 있다.

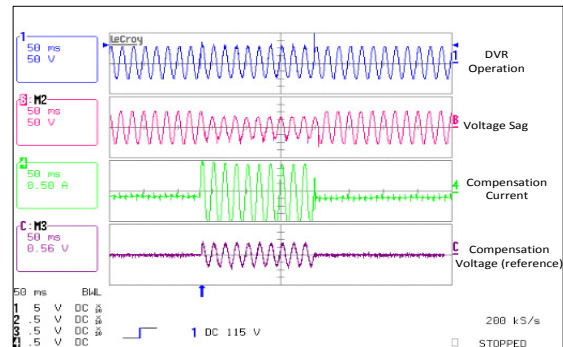


그림 12 DVR의 간이동작의 실험파형
 Fig. 12 Experimental waveform of simplicity DVR operation

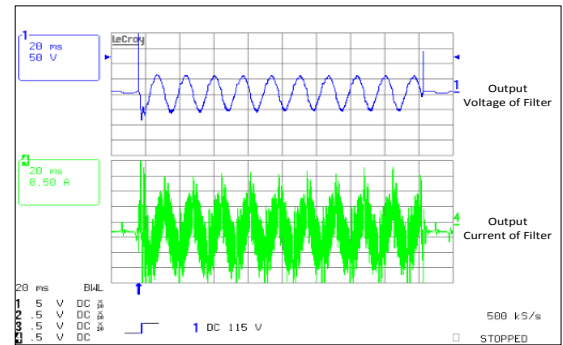


그림 13 DVR 필터의 실험특성
 Fig. 13 LC filter characteristics of simplicity DVR

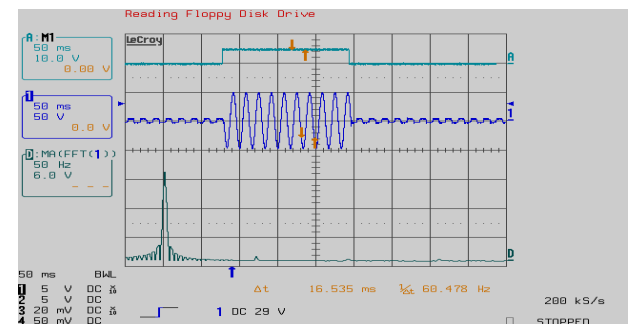


그림 14 DVR 필터의 전압파형과 FFT결과
 Fig. 14 Voltage output & its FFT results of DVR filter

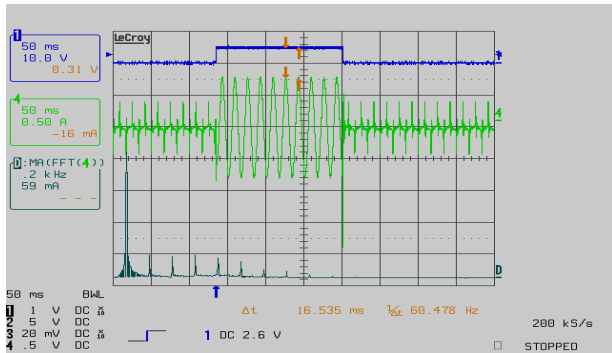


그림 15 DVR 필터의 전류파형과 FFT결과
 Fig. 15 Current output & its FFT results of DVR filter

5. 결 론

전력계통에서 순시적 전압강하의 보상장치인 DVR 시스템은 직렬전압의 다이내믹 주입장치이지만 PWM 인버터의 스위칭 작용으로 전압고조파의 발생이 불가결하며, 이를 효과적으로 억제하기 위하여 LC수동필터를 사용하게 된다. 그러나 주입 전압의 투입 시점에서 많은 전압 스파이크가 발생할 수 있으므로 전압 또는 전류의 제한 제어가 필요하다. 이의 방법의 일환으로 본 논문에서는 내부 제어루프에서의 전류 제한 제어기법에 대하여 인덕터 및 커패시터에 흐르는 각각의 전류를 제한으로 이용하는 기법에 따른 동작 특성을 비교함과 동시에 LC필터의 설계기법과 FFT특성을 고찰하였다.

모의 및 실험의 결과에서 인덕터 전류의 제한 제어기 경우에는 부하변동이 없을 시에는 저역통과 필터의 특성을 보였으나 부하변동 시에는 낮은 차수의 고조파가 증폭되어서 현실적으로 사용하기에 무리가 있었다. 또한 커패시터 전류의 제한제어 경우에는 부하변동이 없을 시에는 저역통과 필터의 특성이 좋았고 부하 변동시에는 부하 외란에 강인한 특성이 나타나고 있어서 전압 제어기로 사용하기에 보다 적합함을 확인할 수 있었다. 이의 결과에 대해서는 향후 실제의 DVR 구현에 있어서 전압 또는 전류 제어기로써의 사용 적합도 판단에 기여할 것이라 사료된다.

References

[1] R. S. Weissbach, G. G. Karady, and R. G. Farmer, "Dynamic voltage compensation on distribution feeders using flywheel energy storage," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 14, pp. 465~471, Apr. 1999.
 [2] Fitzer, C., Arulampalam, A., Barnes, M., Zurowski, R., "Mitigation of saturation in dynamic voltage restorer connection transformers," Power Electronics, IEEE Trans. Vol. 17, No.6, pp. 1058~1066, Nov. 2002
 [3] A. Kara, P. Dahler, D. Amhof, H. Gruning, "Power supply quality improvement with a dynamic voltage restorer (DVR)," IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp.986 ~993,1998.

[4] N.H. Woodley, A. Sundaram, T. Holden, T.C. Einarson, "Field experience with the new platform-mounted DVR/sup TM/, "IEEE International Conference on PowerCon 2000, pp. 1323 ~1328, 2000.
 [5] M.H. Haque, " Voltage sag correction by dynamic voltage restorer with minimum power injection," IEEE Power Engineering Review, Volume: 21 Issue: 5, pp.56~58, May 2001.
 [6] Jin-Geun Shon, "Series Voltage Compensation Systems for Voltage Sag by Using an Environmentally Friendly Ultra-capacitor", The Transactions of KIEE, Vol. 58-4, pp.763-769, 2009.
 [7] Jin-Geun Shon, "Development of On-Line Type Voltage Sag Compensation Systems by Using a Supercapacitor", The Transactions of KIEE, Vol. 58-2, pp.101-107, 2009.

저 자 소 개



박종찬 (朴鍾讚)

1955년 12월 19日生. 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년 ~ 현재 오산대학교 전기과 교수.

E-mail : jcpark@osan.ac.kr



손진근 (孫珍勗)

1990년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1992/1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사/박사). 2002. 2~2003. 2 일본 가고시마대학 전기공학부 Post-doc. 2009. 1~2010. 2 Michigan State University 방문교수. 2015년 당학회 이사. 1997년~현재, 가천대학교 전기공학과 교수.

E-mail : shon@gachon.ac.kr