

## Line-Interactive 전압보상기에 관한 연구

우성민, 강대욱, 이우철, 최창호\*, 현동석  
한양대학교, \*포스콘기술연구소

### A Study of Line-Interactive UPS with Voltage Compensator

Sung-Min Woo, Dae-Wook Kang, Woo-Cheol Lee, Chang-Ho Choi\*, Dong-Seok Hyun  
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ,  
R&D Center, POSCON Co.Ltd\*.

#### ABSTRACT

Power Quality and Reliability are becoming important issues for critical and sensitive loads. This paper describes the Line Interactive UPS with the function of Voltage Compensator that is "Line interactive Dynamic Voltage Restorer(LIDVR). The main purpose of a LIDVR is to compensate for voltage sag(dip), outage and overvoltage. The overall system consists of three controller 1) current controller with prediction 2) voltage controller and 3) proposed variable DC LINK controller. The variable DCLINK control technique using the LIDVR protects DC LINK from overflowing the input current. The simulation results are depicted in this paper to show the effect of this proposed system.

#### 1. 서 론

산업사회가 급속하게 발전함에 따라 안정적이면서도 신뢰성을 갖춘 양질의 전력을 필요로 한다. 현재 수용가의 제어 및 자동화와 관련된 장비들의 경우 대부분이 비선형 부하특성을 지니는 전력소자를 내장하고 있으며 이로 인해 전압의 변동 및 고조파, 전원 불평형등과 같은 현상들이 심각한 문제로 대두되고 있다. 또한 모터와 같이 부하변동이 심한 기기를 사용할 때 모선(BUS)에서 전원을 사용하는 경우에는 이로 인하여 순간전압강하와 같은 현상이 많이 발생되며 이러한 문제점으로 제어 기기들이 영향을 받게되어 그 결과 막대한 양의 경제적인 손실을 가져올 수가 있다. 일반적으로 이러한 순간전압강하를 보상하는 장치로는 무정전전원공급

기(UPS)와 동적전압보상기(DVR)를 실례로 들 수 있다.[1]

UPS와 DVR은 각각 선로에 병렬 또는 직렬로 삽입하여 순간전압발생시 보상하는 장치로서 요즘 들어와서 많은 연구가 수행되어지고 있다.

UPS의 주목적은 전원의 이상으로 인하여 부하에 전력이 공급되지 않을 때 일정전압, 일정주파수를 갖는 전력을 부하에 공급하는 장치로서 일반적으로 세가지 정도로서 분류되어 질 수 있다. 첫 번째는 온라인방식으로서 정류기/인버터가 한페어로 구성되어 있다. 이 방식은 평상시에는 정류기에 의해 DC LINK(또는 배터리)가 충전되고 인버터에 의해 일정전압/주파수가 부하에 전력을 공급하는 방식이다. 비상시에는 절체 스위치에 의해 전원을 끊고 전력을 끊김 없이 공급하게 된다. 두 번째는 오프라인 방식으로서 평상시에는 전원과 부하가 직렬 연결되어 에너지를 공급하게 되며 비상시에는 절체 스위치에 의해 전원을 끊고 부하와 병렬로 연결되어 있는 UPS로부터 전원을 공급하게 된다. 마지막으로 라인인터랙티브형태의 UPS로서 기존의 DC LINK(또는 배터리)를 충전하기 위한 별도의 정류기가 필요 없다. 평상시에는 UPS가 컨버터로서 동작하거나 또는 능동전력필터로 동작하면서 DC LINK(또는 배터리)를 충전하는 장치로서 동작하다가 비상시에는 역시 절체 스위치에 의해 전원을 끊고 충전되어 있던 DC LINK(또는 배터리)를 이용하여 전력을 부하에 공급하게 되는 방식이다. 최근에는 위의 세가지 형태의 장단점을 적절히 배합한 직병렬 혼합형태인 UPQC를 UPS로 사용하려고 하는 연구가 논의되고 지고 있다.[2][3]

본 논문에서는 라인인터랙티브형태의 순간전압보상기에 관한 연구를 수행하였다. 또한 DC LINK를 충전하는 방식에 있어서 기존과는 달리 기준전압을 가변하면서 제어하는 방식을 LIDVR에 적용하였으며 시뮬레이션을 통하여 LIDVR이 순간전압강하시에도 효과적으로 동작함을 보여주고자 한다.

## 2. 라인인터랙티브형태의 순간전압보상기

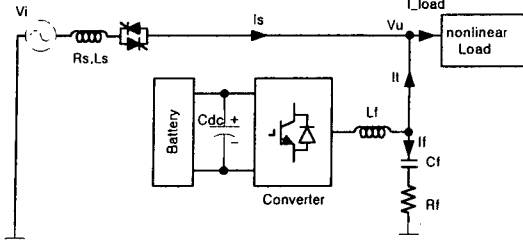


그림 1 라인 인터랙티브형 순간전압보상기  
Fig. 1 The Configuration of Line-Interactive with Dynamic Voltage Compensator

그림 1.은 제안된 라인인터랙티브형 순간전압보상기(LIDVR) 시스템의 구성을 나타내어주고 있다. LIDVR은 3상 PWM 컨버터, LC 필터( $L_f, C_f$ ), DC LINK 그리고 전원의 이상으로 인해 부하단에 전력공급이 중단되었을 때 전원을 공급 하기 위한 배터리로 구성되어 있다.

### 2.1 시스템 모델링

제안된 LIDVR에 키르히호프의 전류방정식(KCL)와 키르히호프의 전압방정식(KVL)을 적용하면 다음과 같이 LIDVR의 출력전류( $I_u$ )에 의한 LC필터 출력전압( $V_u$ )을 구할 수 있다.

$$I_{invo} = I_{load} + I_f - I_s \quad (1)$$

$$V_u = V_i - \Delta V_{Ls} \quad (2)$$

위에서 (1)을 (2)에 대입하고 정리하면

$$V_u = V_i - (I_{Load} + I_f - I_{invo})X_{Ls} \quad (3)$$

정상모드에서  $I_u$ ,  $\Delta V_{Ls}$  는 일정하다 따라서 전압 변동시 보상하기 위한 필터 커패시터 전압  $V_u$  는 결국 입력전압  $V_i$  또는 부하에 흐르는 전류  $I_{Load}$  에 의해 결정되어 순간전압강하 또는 상승을 보상하게 된다.

## 3. 순간전압보상기의 원리

순간전압보상기는 입력전압의 상태에 따라 다음과 같은 세가지 경우의 동작모드로 분류되어질 수 있다.

### 3.1 MODE I

그림 3.1 은 전원전압이 정상적인 모드로서 LIDVR의 컨버터부는 DCLINK의 전압을 충전하며 역률제어의 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

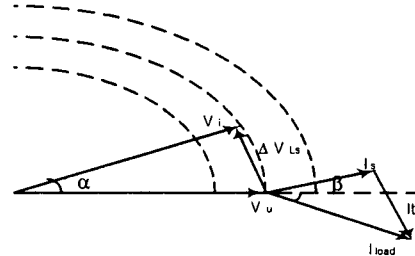


그림 3.1 MODE I 전원전압정상  
Fig. 3.1 MODE I Normal Condition

또한 출력전압 즉 부하에 공급되어지는 전압을 일정하게 유지한다. 여기서  $\alpha$ 는 전원전압( $V_i$ )와 컨버터출력전압( $V_u$ )의 위상차를 나타내며  $\beta$ 는 부하역률을 나타내게된다.

### 3.2 MODE II

그림 3.2 는 전원전압에 순간전압강하가 발생했을 경우로서 LIDVR의 컨버터부는 DC LINK의 전압을 충전하면서 부하에 일정한 전압을 공급하게되는 모드이다. 그림에서 보듯이 전원전압벡터는 정상시보다 작은 크기를 갖게 되며 DC LINK는 부하에 일정전압을 유지하기 위해 방전하게 된다. 이때 방전된 DC LINK를 충전하기 위해  $\alpha$  값은 정상상태시보다 큰 값을 가지게 된다.

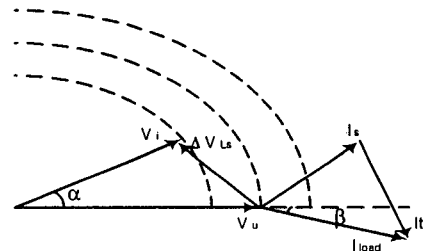


그림 3.2 MODE II : 순간전압강하  
Fig. 3.2 MODE II : Source Voltage Sag

### 3.3 MODE III

그림 3.3 은 전원전압이 순간적으로 상승 했을 때의 경우로서 LIDVR의 컨버터부는 DC LINK 전압과 부하전압을 일정하게 유지하려고 하는 모드이

다. 이때는 부하전압을 일정하게 유지하기 위해서  $\alpha$ 는 정상상태보다 적은 값을 가지게된다

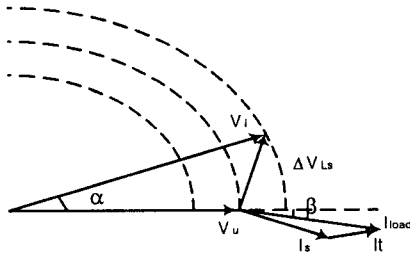


그림 3.3 MODE III :순간전압상승  
Fig. 3.3 MODE III :Source OverVoltage

#### 4. 라인인터랙티브형 순간전압보상기의 제어

본 논문에서 LIDVR의 제어는 동기 회전좌표계(SRF)에서 구현되어진다. 이는 평형3상 전원전압과 LIDVR측의 출력전압이 모두 직류값으로 나타내어 지게 됨으로써 효과적인 제어가 가능하게 됨을 알 수 있다. 또한 동기 회전좌표계(SRF)에서 입력전압이 q축 성분만을 갖도록 제어함으로써 q축 성분은 유효성분, d축 성분은 무효성분이 되어 효과적인 제어를 하게 된다. 또한 전원전압의 외란이나 센서 사용시 발생할 수 있는 노이즈를 컨트롤 보드에서 디지털필터를 사용하여 잡음에 둔감한 제어가 가능하게 하였다.

##### 4.1 순간전압보상기의 제어

LIDVR은 PCC(Point of Common Coupling)단의 전압과 전원의 입력전압을 비교하여 LIDVR의 출력전압을 결정하게 되며 이때 위상차를 이용하여 DC LINK의 전압을 제어하게 된다. 측정된 전원전압과 부하전류 그리고 인버터제어를 위한 모든 평형 3상변수들은 동기좌표계(SRF)에서 제어하게 된다. 따라서 q축 성분은 유효성분 그리고 d축 성분은 무효성분으로서 '0'로 나타나게 되며 이러한 직류값으로 변환된 값으로 제어를 하게 된다.

앞서 구한 식 (1),(2) 그리고 (3)을 다음과 같이 나타내어질 수 있다.

$$C_f \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v_{cfa} \\ v_{cfb} \\ v_{cfc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{cfa} \\ i_{cfb} \\ i_{cfc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{aLoad} \\ i_{bLoad} \\ i_{cLoad} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$L_f \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{cfa} \\ i_{cfb} \\ i_{cfc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{pfa} \\ v_{pfb} \\ v_{pfc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} v_{ca} \\ v_{cb} \\ v_{cc} \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (4) 및 식 (5)는 동기회전좌표계로 변환하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_{\alpha q}^e = L \frac{di_{\alpha q}^e}{dt} + V_{\alpha q}^e + L\omega i_{\alpha d}^e \quad (6)$$

$$V_{\alpha d}^e = L \frac{di_{\alpha d}^e}{dt} + V_{\alpha d}^e - L\omega i_{\alpha q}^e \quad (7)$$

$$i_{\alpha q}^e = C \frac{dV_{\alpha q}^e}{dt} + i_{Lq}^e + C\omega V_{\alpha d}^e \quad (8)$$

$$i_{\alpha d}^e = C \frac{dV_{\alpha d}^e}{dt} + i_{Ld}^e - C\omega V_{\alpha q}^e \quad (9)$$

식 (6), (7), (8) 그리고 (9)을 사용하여 LIDVR의 전압 및 전류제어기를 구성하게 된다.

$$i_{\alpha q}^{e*} = \left( K_{p+} \frac{K_I}{s} \right) (V_{\alpha q}^{e*} - V_{\alpha q}^e) + i_{Lq}^e + \omega C V_{\alpha d}^e \quad (10)$$

$$i_{\alpha d}^{e*} = \left( K_{p+} \frac{K_I}{s} \right) (V_{\alpha d}^{e*} - V_{\alpha d}^e) + i_{Ld}^e + \omega C V_{\alpha q}^e \quad (11)$$

$$V_{\alpha q}^{e*} = \left( K_{p+} \frac{K_I}{s} \right) (i_{\alpha q}^{e*} - i_{\alpha q}^e) + V_{\alpha q}^e + \omega L i_{\alpha d}^e \quad (12)$$

$$V_{\alpha d}^{e*} = \left( K_{p+} \frac{K_I}{s} \right) (i_{\alpha d}^{e*} - i_{\alpha d}^e) + V_{\alpha d}^e - \omega L i_{\alpha q}^e \quad (13)$$

식 (10), (11), (12) 그리고 (13)을 이용하여 그림 4.1에 LIDVR의 전압 및 전류제어블럭도를 나타내었다. 여기서 부하측에 흐르는 전류는 예측제어기를 사용하므로써 좀더 빠른 속응성을 나타낸다.

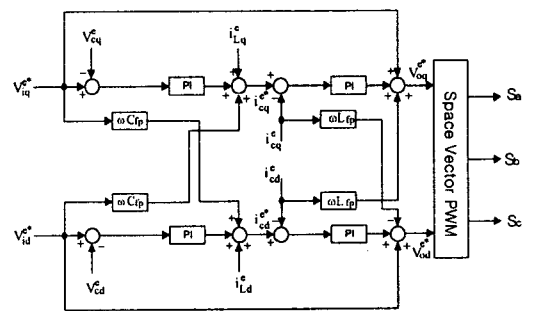


그림 4.1 LIDVR의 동기좌표계 제어기  
Fig. 4.1 Synchronous reference frame Controller for LIDVR

## 4.2 DC LINK 컨트롤 제어

그림 4.1은 DC LINK 컨트롤 블록도이다. 전원측의 입력전압과 LIDVR의 출력전압과의 위상차를 이용하여 DC LINK(또는 배터리)를 충전하게 된다. 또한 DC LINK 충전시 DC LINK 전압의 레퍼런스를 가변하므로써 과도한양의 전류유입을 막을 수 있는 효과가 있다.

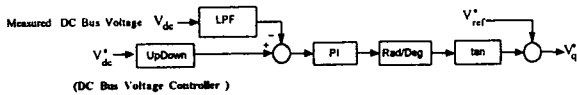


그림 4.2 제안한 가변 DC LINK 제어기  
Fig. 4.2 The Block of the Proposed DC LINK Controller

## 5. 시뮬레이션

LIDVR의 제어 및 제안된 가변 DC LINK제어기를 갖는 시스템의 타당성 검증을 위해 ACSL을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. LIDVR의 주목적인 전압보상의 수행을 위해 전원전압을 25%감소하는 것으로 가정하였으며 부하는 비선형부하특성을 가지고 있는 다이오드부하를 사용하였다.

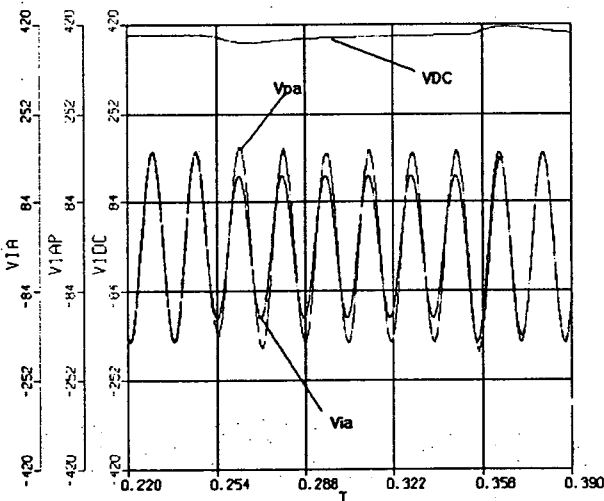


그림 5.1 순간전압보상  
Fig. 5.1 The Compensation of Voltage Sag

그림 5.1은 전원전압이 0.35초에서 75%로 감소하였을때와 0.5초에서 다시 전원전압이 복구하였을때이며 이때 PCC 단의 전원전압 및 DC LINK의 전압을 보여주고 있다. 그림5.2는 가변 DC LINK제어기의 동작을 보여주고 있다. LIDVR의 주된 목적인 전압보상이 효과적으로 보상되고 있음을 알 수 있다. 또한 제안된 가변 DCLINK제어기 역시 잘 수행되어지고 있음을 알 수 있다.

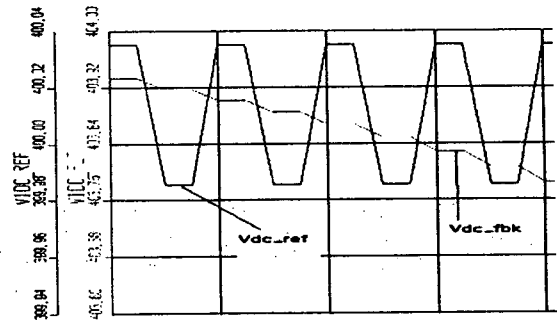


그림 5.2 가변된 DC LINK 기준전압  
Fig. 5.2 Variable DC LINK Reference

## 5. 결 론

본 논문에서는 라인인터랙티브형태의 순간전압보상기(LIDVR)에 관한 연구를 수행하였다. 제안된 LIDVR의 시스템은 순간전압강하에도 부하단에 일정한 전압을 공급함을 알 수 있었으며 또한 제안한 가변 DC LINK 제어기를 LIDVR에 적용하여 이의 타당성을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

향후 실험을 통해 본 시스템에 관한 연구가 계속 수행될 것이며 DCLINK의 효율적인 제어 및 용량감소에 관한 연구가 수행될 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] N.G.Hingorani, "Introducing Custom Power", IEEE SPECTRUM, pp. 41~48, June 1995.
- [2] R. Cheung, P.Yu, "New-Interactive UPS System with DSP-Based Active Power Line Conditioning", PESC, pp. 981~985, 1996.
- [3] Karve, S, "Three of a Kind[UPS topologies, IEC standard]", IEE Review, Vol. 46, 2000, March
- [4] Wen-Jung Ho, Jan-Bin Lio, Wu-Shiung Feng, " A line-interactive UPS structure with built-in vector-controlled charger and PFC", Power Electronics and Drive Systems, Vol. 1, pp. 127 ~ 132, 1997
- [5] Yu Qin, Shanshan Du, " A DSP based active power filter for line interactive UPS", IECON, pp. 884~888, 1995.
- [6] Jun-seok et al, "Modified deadbeat digital controller for UPS with 3phase PWM inverter", IAS, pp. 287~292, 1999
- [7] T.Kawabata et al, "Three phase parallel processing UPS using multifunctional inverters.", IAS, pp. 982~987, 1989
- [8] M.Boost et al, "Towards a zero-output impedance UPS system.", IEEE Transaction on Ind. Appl., Vol. 25, No. 3, pp. 408~418, 1989