

순간전압강하를 고려한 계통연계형 하이브리드 PCS 제어

이용식, 정성원, 김재현
순천대학교

On-Grid Hybrid PCS Control considering the Momentary Voltage Sag

Yong-Sik Lee, Sung-Won Jeong, Jae-Hyeon Gim
Sunchon National University

Abstract - The on-grid distributed power system operated anti-islanding due to the momently voltage sag of the power system, fault and etc. According to the 'Dispersed Generations in Distribution Systems Connection Technology Standard', the utilizable time ratio of PCS is low because of being put into in the steady state of the power system after 5 minutes. In this paper, the output characteristic is optimized with the hybrid system consisting of the wind system and PV system. And energy of hybrid system is supplied to the power system. Also, DVR function was applied to PCS to compensate the voltage sag frequently happening for a power system. The control performance of the proposed hybrid PCS is analyzed and simulated using PSIM to validate the system performance.

1. 서 론

신재생에너지 전원은 자연조건에 따라 다른 출력특성을 가지고 있어 전력공급의 안정성 및 지속성의 문제를 지니게 된다. 이에 따라 다양한 자연조건을 고려하여 복합적으로 구성된 하이브리드 시스템에 대해 연구가 활발해 지고 있다. 하이브리드 시스템은 독립형과 계통연계형으로 나뉘며, 계통연계형 하이브리드 시스템은 신재생에너지원의 출력특성을 최적화하여 단일 전원시스템에 비해 전력공급에 대해 안정적이며, 신뢰성이 높고, 전력수요관리의 다양한 활용성을 가지고 있다.

일반적으로 계통연계형 분산전원 시스템은 계통의 순간 전압강하, 고장, 유지보수 등으로 인해 단독운전 방지 동작을 하게 되며, '분산형 전원 배전계통 연계기술 기준'[1]에 따라 계통의 정상상태로 5분간 유지후 투입되기 때문에 이용률이 저조하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 PMSG(Permanent Magnet Synchronous Generators)를 이용한 풍력발전과 태양광 발전으로 구성된 하이브리드 시스템으로 풍력발전 및 태양광 발전의 최대 전력점(MPPT) 추종 알고리즘을 적용하여 효율을 높이고, 계통에 전력을 공급함과 동시에 전력시스템의 외부적 요인이나 대용량 부하의 사용에 따라 일어날 수 있는 전압강하를 보상하기 위한 DVR(Dynamic Voltage Restorer) 제어기능을 적용한 PCS를 제안한다. 제안된 PCS의 동작특성을 분석하기 위해 PSIM을 이용하여 모의실험 하였으며, 각 부하 및 전압강하에 따른 PCS 동작특성을 분석함으로써 PCS의 제어설계에 대한 타당성을 입증하였다.

2. 하이브리드 계통연계형 PCS 구성

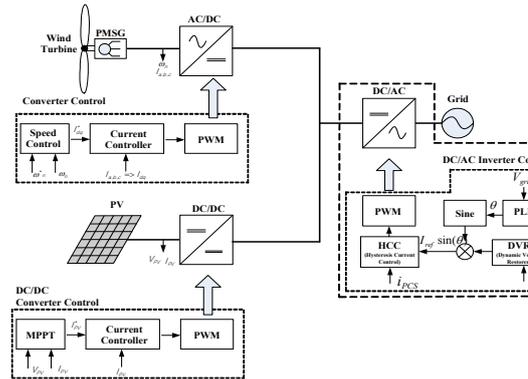
본 논문에서 제시한 시스템의 제어구성도는 그림 1과 같으며, 소형 풍력발전 시스템은 PMSG 발전기, 속도제어기, 3상 AC/DC 컨버터로 구성되며, 태양광 발전은 MPPT 제어기, DC/DC 컨버터로 구성된다. 계통연계를 위해 PLL로 위상추종 및 기준전류를 생성하고, HCC로 인버터를 제어하며, 계통 전압에 따라 DVR 제어가 가능하도록 설계하였다.[2]

2.1 하이브리드 시스템의 모델링

태양전지를 수학적으로 모델링하기 위해 한 개의 이상적인 다이오드와 광전류 I_{ph} , 셀의 역포화전류 I_0 , 병렬저항 R_{sh} , 직렬저항 R_s 로 나타낼 수 있다. 등가회로의 저항성분을 고려한 V-I 특성수식에서 직렬저항 성분은 매우 작고, 누설저항 성분이 매우 큰 이상적인 조건을 고려하여 태양전지의 V-I특성 수식은 식(1)과 같다.[3]

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp\left(\frac{qV_s}{AkT}\right) - 1 \right\} \quad (1)$$

여기서, q 는 전하량, k 는 볼츠만상수, A 는 제조상수, T 는 셀의 온도 [$^{\circ}K$] 이다.



〈그림 1〉 전압강하를 고려한 하이브리드 PCS 제어

풍력발전기에서 유입되는 풍력 에너지는 식(2)와 같이 전력계수 C_p 와 풍속 V_{wind} 의 3승에 비례한다. 또한, 풍속에 대한 블레이드의 회전 속도비인 주속비 λ 는 식(3)과 같다.[4]

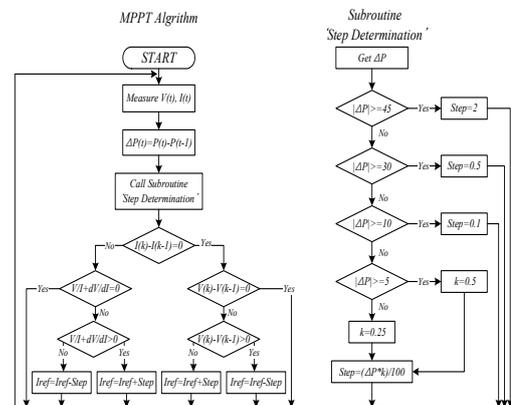
$$P_r = 0.5\rho A V_{wind}^3 C_p(\lambda) \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{\omega_m R}{V_{wind}} \quad (3)$$

여기서, ρ 는 공기밀도 [kg/m^3], A 는 블레이드의 회전 단면적 [m^2], $C_p(\lambda)$ 는 블레이드 출력계수, V_{wind} 는 풍속 [m/s]이며, 수식적으로 최적 C_p 에 따라 최대 풍력에너지가 발생한다.

2.2 MPPT 제어

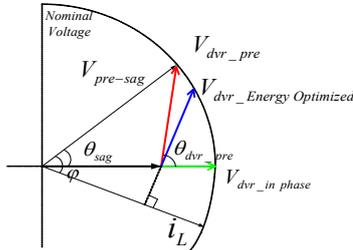
본 논문에서 제시한 시스템의 MPPT 제어 알고리즘은 기존의 P&O 기법과 IncCond 기법에 비해 추종속도 및 자러진동을 개선한 Step 변동 IncCond 전류제어형 알고리즘을 적용하였다. 태양전지의 출력오차 $\Delta P = P(t) - P(t-1)$ 에 따라 4가지 경우로 나뉘어 이득 값이 0.001~2로 결정된다.



〈그림 2〉 개선된 IncCond MPPT 알고리즘 순서도

2.3. DVR 제어

본 논문에서는 전력 품질 보상을 위해 PCS에 DVR 기반의 제어 알고리즘을 추가 적용하였다. DVR의 주요기능은 IEEE Std. 1159에서 규정하는 전압강하에 대하여 부하 측의 전압을 보상하는 것으로써 보상방법 벡터도는 그림 3과 같다. 이 벡터도를 이용한 DVR 전압보상 방법은 동상기법(In-phase control), 사고 전 기법(Pre-sag control), 최소 에너지 기법(Minimum energy control)의 3가지가 있다.[5,6]



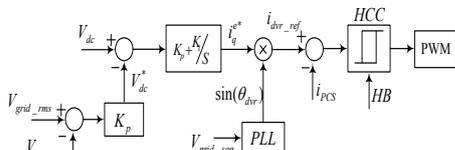
〈그림 3〉 보상전압 계산 방법

본 논문에서는 전력 품질 기능을 가진 PCS를 최적상태로 제어하기 위해 사고 전 전압의 크기와 위상각에 동기 된 전압에서 사고 시의 전압 차의 크기에 따라 보상전압(V_{dvr_pre})이 결정되는 사고 전 기법을 사용하였으며, 보상전압 크기와 보상 위상각은 식(4),(5)와 같다.

$$|V_{dvr}| = |V_{pre_sag}| - |V_{sag}| \quad (4)$$

$$\theta_{dvr} = \tan^{-1} \left(\frac{V_{pre_sag} \sin(\theta_{pre_sag})}{V_{pre_sag} \cos(\theta_{pre_sag}) - V_{sag} \cos(\theta_{sag})} \right) \quad (5)$$

그림 4는 본 논문에서 제안한 전력품질 개선 기능을 위한 제어블록도이며, DC link의 전압 값에 대해 기준 전류 진폭($I_{dvr_ref_amp}$)이 결정되고, PLL의 위상정보와의 연산으로 기준 전류($I_{dvr_ref_amp} \sin(\theta_{dvr})$)를 결정한 후 HCC에 의해 PWM 신호를 생성한다.



〈그림 4〉 전압강하 보상제어

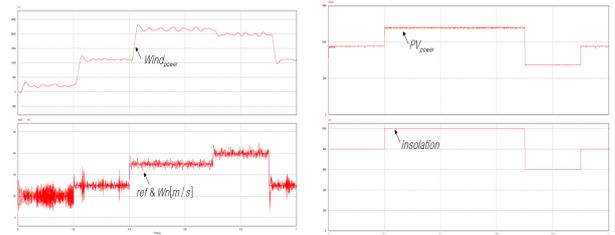
3. 시스템 구성 및 성능결과

제안한 하이브리드 계통연계형 PCS제어의 성능을 분석하기 위하여 Psim 시뮬레이터를 이용하였으며, PCS설계조건은 표1과 같다.

〈표 1〉 모의실험을 위한 PCS 설계조건

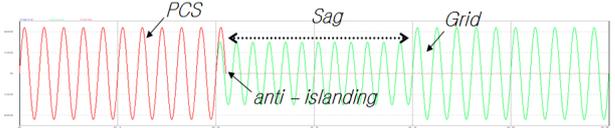
변수	크기	변수	크기
태양광 어레이	1.2[kW]	DC Capacitor[μF]	2200
풍력터빈	5[kW]		
풍속[m/s]	8~12		
온도[℃]	25~28	L_{inv} [mH]	6
일사량[W/m ²]	600~1000	L_{grid} [mH]	2
발전기	$R_s = 0.1[\Omega]$ $L_s = 5.5[mH]$ $P = 6$ $K_p = 147[V_{ph}/krpm]$ $mech.T_c = 0.4[s]$	C_{inv} [μF]	22
		Load[VA]	2,000
		Sag[pu]	0.1~0.9
		계통전압[V]	220

하이브리드 시스템의 풍력발전 및 태양광 발전의 출력특성은 그림 5와 같다. 제안한 시스템은 정상상태일 때 부하의 전력을 공급하되, 잉여 전력은 계통으로 유입된다. 그림 6은 전력시스템에 순간전압강하가 발생하였을 때 기존의 계통연계형 PCS의 동작특성으로 단독운전을 하게 되어 계통에 재병입시까지 시간이 지연되게 됨으로써 이용률이 떨어진다. 본 논문에서 제안한 하이브리드 시스템의 PCS 동작특성은 그림 7과 같고, 순간전압강하를 보상함으로써 지속적으로 계통에 연계되어 시스템의 이용률을 높이고, 전력품질이 개선됨을 확인할 수 있다.

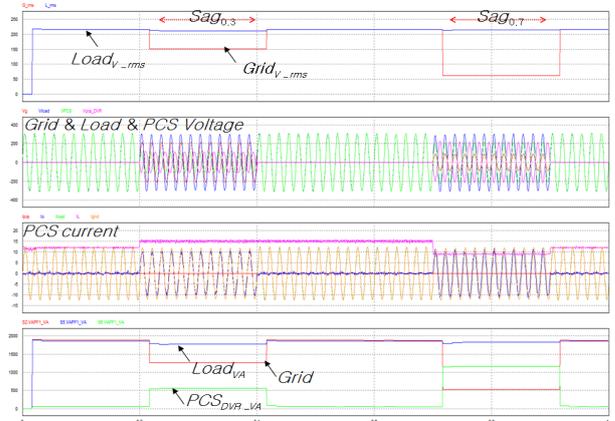


(a) 풍력발전 출력 특성 (b) 태양광 발전 출력 특성

〈그림 5〉 풍력발전 및 태양광 발전 출력 특성



〈그림 6〉 순간전압강하에 대한 기존의 PCS 동작특성



〈그림 7〉 순간전압강하 발생 시 하이브리드 PCS 동작특성

4. 결 론

본 논문에서는 전력시스템의 순간 전압강하 개선을 위한 하이브리드 계통연계형 PCS 제어설계로써, 풍력발전 및 태양광 발전의 시스템구성을 위해 이론적 해석을 토대로 동작원리 및 시스템 제어 알고리즘을 분석하여 적용하였다. 제안된 시스템은 기존의 PCS에 비해 전력시스템에 순간전압강하가 발생하였을 경우 하이브리드 전원으로 순간전압강하를 보상하여, 지속적으로 계통연계가 가능하기 때문에 시스템의 이용률을 향상시키고, 전력시스템의 전력품질이 향상됨을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 배전처, “분산형전원 배전계통 연계 기술기준”, 2010년
- [2] 이용식, “전력 품질 개선을 위한 계통연계형 PV PCS 제어”, 순천대학교 대학원, 석사학위 논문, 2011년
- [3] A. Soteris, Kalogirou, “Solar energy engineering : processes and systems”, Burlington, MA : Elsevier/Academic Press, pp. 476-510, C2009
- [4] T. Tafticht, K. Agbossou, A. Cheriti, M.L. Doumbia, “Output Power Maximization of a Permanent Magnet Synchronous Generator Based Stand-alone Wind Turbine”, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2006, pp, 2412-2416, Montreal, 9-13 July 2006
- [5] H. Ezliji, M. Fazlali, A. Ghatresamani, M. Nopour, “A Novel Adaptive Hysteresis Band Voltage Controller for Dynamic Voltage Restorer”, European Journal of Scientific Research, Vol. 37, No. 2, pp. 240-253, 2009
- [6] C. Meyer, C. Romaus, and R.W. De Doncker, “Optimized Control Strategy for a Medium-Voltage DVR”, IEEE 36th (PESC 2005), pp. 1887-1893, June. 2005