한국신·재생에너지학회 2007년도 춘계학술대회논문집 pp.644~647

울돌목 조류발전소 설치용 1MW 발전설비 시제품 제어특성

박 정우[1], 이 기욱[2], 김 동욱[3], 이 광수[4], 박 진순[5]

Control characteristics of the prototype power trains of 1MW Uldolmok tidal current plant

Jungwoo Park, Kiwook Lee, Dongwook Kim, Kwangsoo Lee, Jinsoon Park

Key words : Renewable Energy, Tidal Current Plant, Doubly-fed Induction Generator, Synchronous Generator, Electrical Energy Converter, Power Control, Power Factor Control

Abstract : We have developed electrical power train for 1MW tidal current plant which is composed of both 500kW tidal current plant with doubly-fed induction generator and 500kW tidal current plant with synchronous generator. To check performances of the protype, 2MW dynamometer is used to simulate a helical turbine, and then protype generator and converter are coupled with the dynamometer separately. From the suggested experimental results it is reconfirmed that two kinds of the power train to be installed at the Uldolmok located at southwestern shore in Korea are able to operate under all kinds of the condition about speed and power.

1. 서 론

환경 문제와 에너지 문제를 해경하기 위한 일환으로 신재생에너지에 대한 연구가 국내외적인 현안이 되고 있다. 우리나라에서도 신재생에너지 개발을 위한 중장기 계획이 운영되고 있으며 해양 부문에서는 조류발전과 조력에 대한 연구가 집중되고 있는 현황이다.

본 논문은 조류발전과 관련한 것으로, 조류발전 시스템을 상용화하기 위하여 그동안 여러 기관에서 각 부문에 대한 요소 기술을 개발해 왔으며 그 결실이 1MW 조류발전소 건설로 결집되면서 점점 더 주목을 받고 있다.

울돌목에 건설 중에 있는 조류발전소는 전체 설비 용량이 1MW이며, 권선형유도발전기를 갖는 500kW 조류발전 시스템과 동기발전기를 갖는 500kW 조류발전 시스템으로 구성되며, 계통 연계형으로 운영될 예정이다.

이러한 배경에서, 현장에 설치할 2종류 발전설비에 대해 수행된 사전 평가 결과를 제시함으로써 시제품으로 개발한 권선형유도발전기 제어용 전력변환장치와 동기발전기 제어용 전력변환장치에 대한 제반 성능을 검증하고, 주문 사양으로 제작된 현장 설치용 발전기 성능을 확인함으로써 조류발전소 설치용 설비에 대한 타당성을 입증하고자 한다.

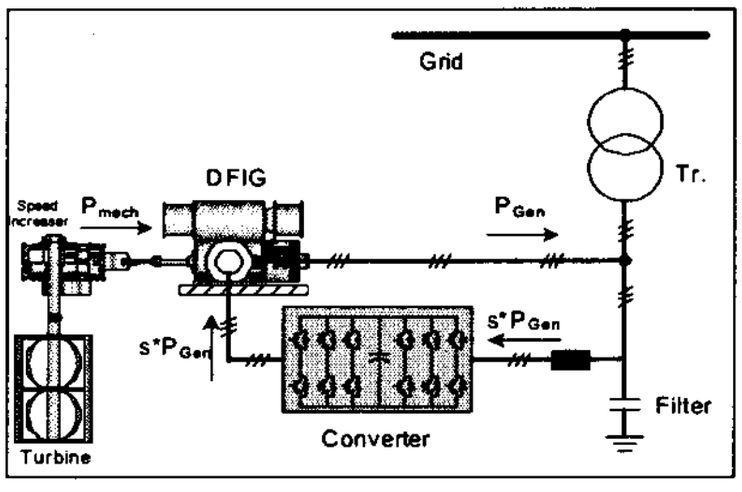

Fig. 1 500kW tidal current system with a DFIG

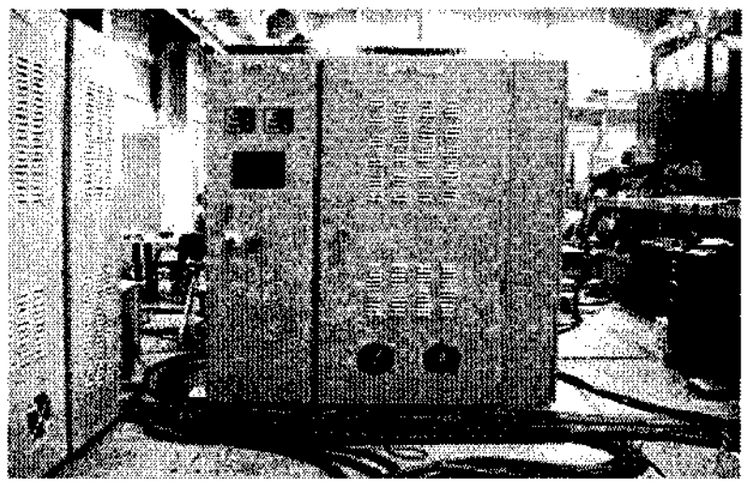

Fig. 2 250 KVA prototype converter for the DFIG

2. 1MW 조류발전 시스템

울돌목에 설치될 1MW 조류발전소는 500kW 발전 시스템 2기로 구성되며, 22.9kV 전력 계통에 연계되어 전기를 수송하는 계통 연계형으로 설계되었다. 권선형유도발전기를 갖는 조류발전 시스템과 시제품 제어장치를 그림1과 그림2에 나타내었다. 그리고 동기발전기를 갖는 조류발전 시스템과 시제품 제어장치를 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

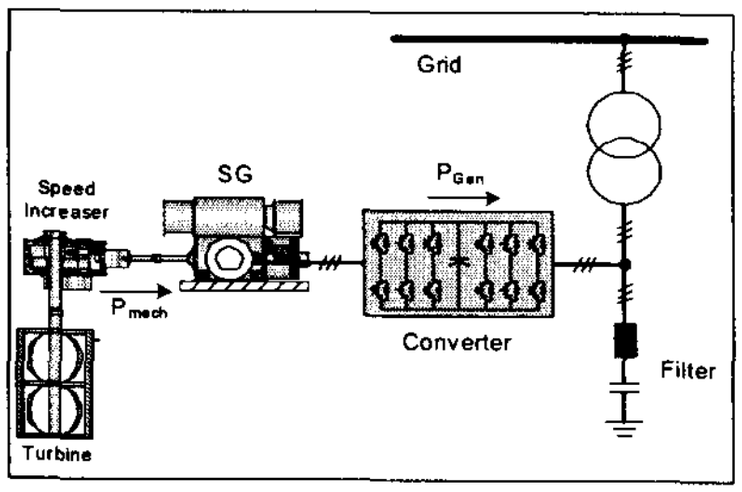

Fig. 3 500kW tidal current system with a SG

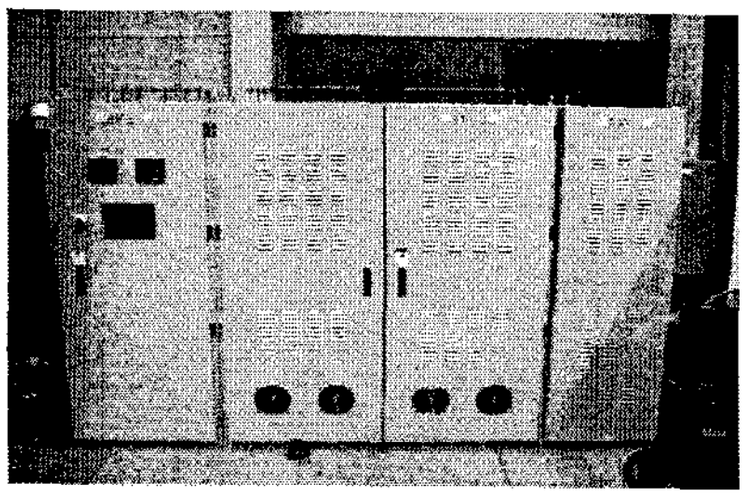

Fig. 4 550 kVA prototype converter for the SG

3. 결합 실험

발전소에 설치될 설비를 평가하는 항목에는 분야에 따라 많은 항목이 있겠으나, 전기적인 사양을 검증하는 것에 제한을 하고자 하며 전력 제어 특성, 역률 제어 특성, DC_link 전압 일정제어 특성, 그리고 고조파 왜형율 특성을 통해 발전기와 제어장치(converter)가 결합된 조건에서 양호하게 운전될 수 있음을 확인받고자 2MW 다이나모메터를 이용한 수차 시뮬레이터를 사용하여 부하 실험을 하였다.

그림 5는 500kW 권선형유도발전기를 갖는 시스템 특성을 나타내는 것으로, 계통으로 발전되는 유효 전력(Pn) 크기가 발전기 운전 속도에 연동되어 500kW 까지 잘 수송되는 특성을 보이고 있다. 주목할 점은 1800rpm 속도에서 관찰해 보면 고정자 권선을 통해 발전되는 유효전력(Ps) 크기가 약 400kW 이며 회전자 권선과 전력변환장치를 거쳐서 최종적으로 계통까지 전달되는 유효전력 크기는 100kW 정도 밖에 되지 않다는 것을 알 수 있다. 이것은 정격 용량의 20% 정도에 해당되는 아주 작은 전력(슬립전력)을 제어하여 고정자 권선으로 발생되는 80% 에너지를 변환효율 100%로 전력 계통까지 전달하고 있다는 점이다.

그림 6은 역률제어 특성을 보이는 것으로, 속도에 관계없이 고정자측 권선과 계통 권선은 언제나 역률 -1로 양호하게 유지됨을 보여 주고 있으며, 회전자 권선측에서의 역률은 속도에 따라 0.4~1.0 사이에서 운전됨을 보여준다. 회전자 권선에서의 역률이 좋지 않은 것은 회전자측 컨버터에서 갖고 있는 역률제어에 대한 자유도를 에너지가 많이 흐르는 고정자측에 사용하는 것으로부터 기인된 것이다.

그림 7은 AC-DC-AC 컨버터의 중앙 위치하는 직류링크 전압을 일정하게 묶을 수 있는지에 대한 특성을 확인하는 것으로 기준 전압 1,100V에 대해 양호하게 유지됨을 보여 주고 있다.

그림 8과 그림 9는 전류와 전압에 대한 고조파 왜형율을 나타낸 것으로, 고압 측(변압기 1차)에서 측정한 전류, 전압에 대한 고조파 함유율이 5% 이하로 매우 양호한 특성을 갖는다는 것을 보여주고 있다.

그림 10은 500kW 동기발전기를 갖는 시스템 특성을 나타내는 것으로, 전력변환장치는 2 set로 구성되어 있으며, 각각 240kW를 발전하고 있는 실험 결과로부터 합성 출력은 최대속도 1500 rpm에서 480kW를 발전하고 있음을 알 수 있다.

그림 11은 역률제어 특성을 보여주는 것으로 운전 속도와 발전 크기에 관계없이 전 구간에서 역률이 -1로 양호하게 운전됨을 보여주고 있다.

그림12는 DC링크 전압 일정제어 특성을 보여주는 것으로 기준제어 전압인 1,100V를 전 영역에서 양호하게 제어되고 있음을 보여주는 파형이다.

그림 13과 그림 14는 전류와 전압에 대한 고조파 왜형율을 나타낸 것으로, 특히 저압 측(변압기 2차)에서 측정한 전류에 대한 고조파 함유율은 최대 15% 까지 악화될 수 있으나 이것도 권선형유도발전기에서 나타나는 특성과 같은 경향에 해당되며 고압 측에서 측정하면 5% 이하가 되는 양호한 특성을 보이는 것으로 후에 확인한 바 있다.

4. 결 론

울돌목에 세계 최대 용량으로 건설하고 있는 1MW 조류발전소 설치용 발전 설비 2종에 대한 제어 특성을 제시하였다.

500kW 권선형유도발전기를 갖는 조류발전 시스템과 500kW 동기발전기를 갖는 조류발전 시스템 각각에 대한 부하 실험으로부터 발전소 구축을 위해 설치할 수 있는 양호한 특성을 갖도록 개발되었음을 검증할 수 있었다.

향후, 발전소에 설치되어 실증 운전 용도로 사용함으로써, 발전 시스템에 대한 차별성을 규명하는데 이용될 수 있으며, 최대출력제어와 계통연계 환경에서 요구되는 제어 기술을 개발하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

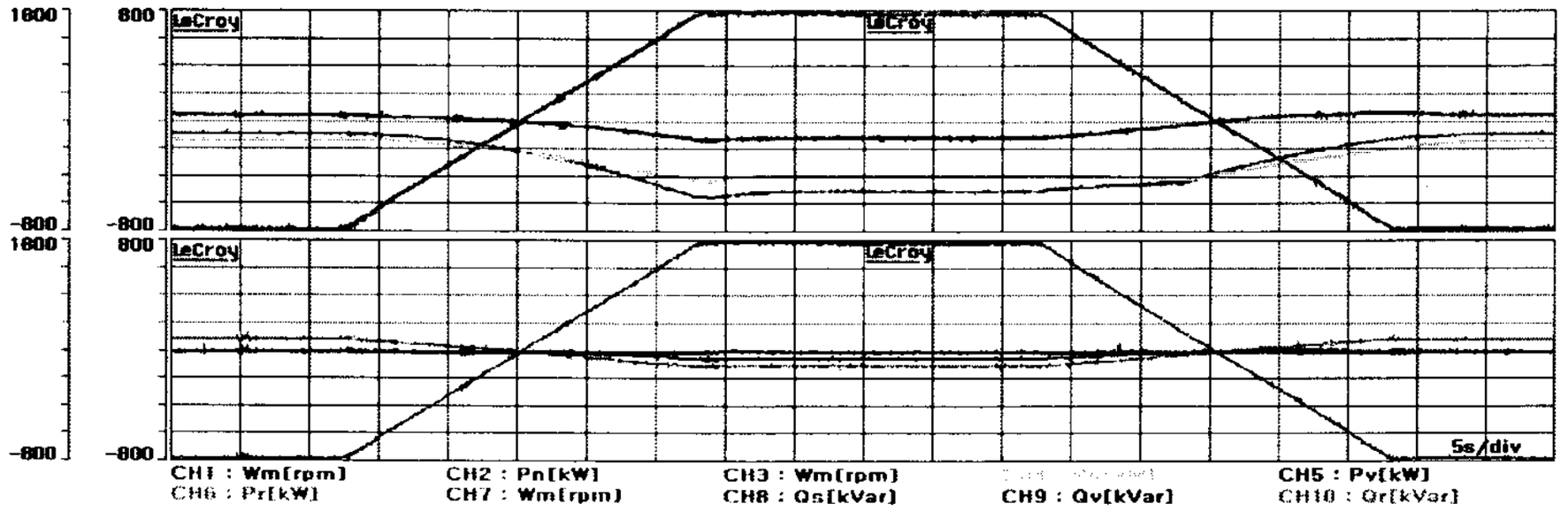

Fig. 5 Power control characteristics of the 500kW tidal current system with a DFIG

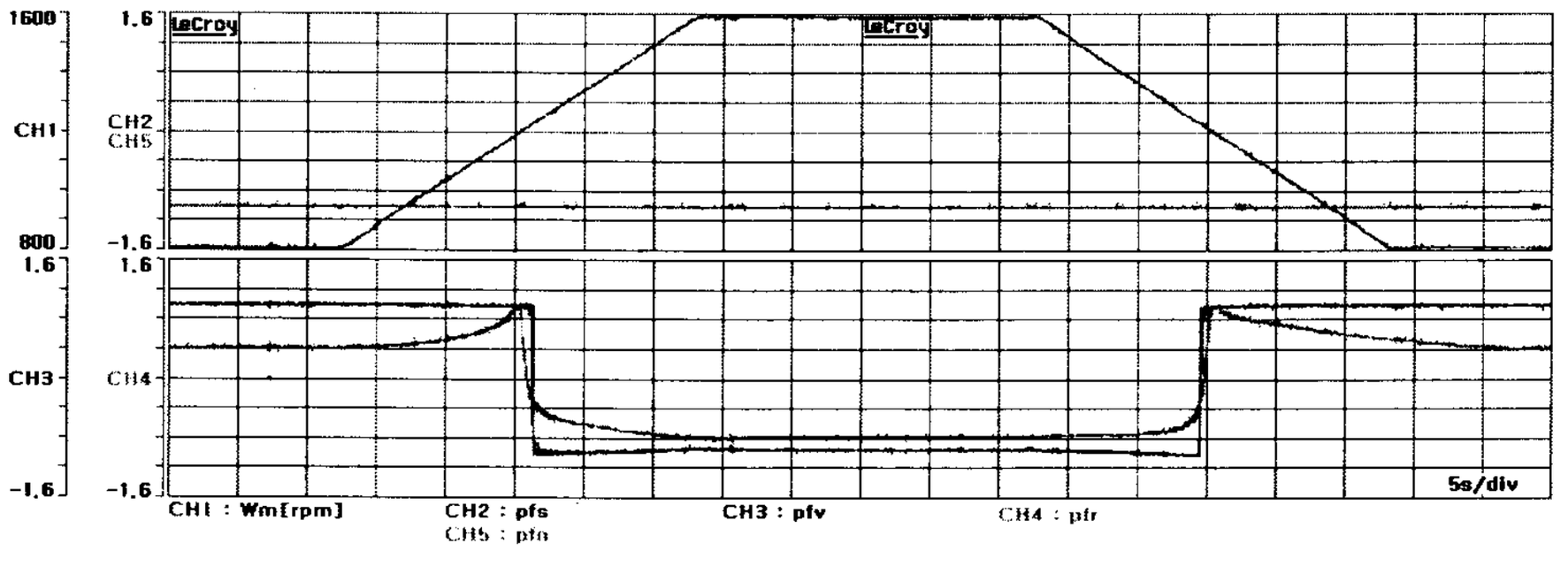

Fig. 6 Power factor control characteristics of the 500kW tidal current system with a DFIG

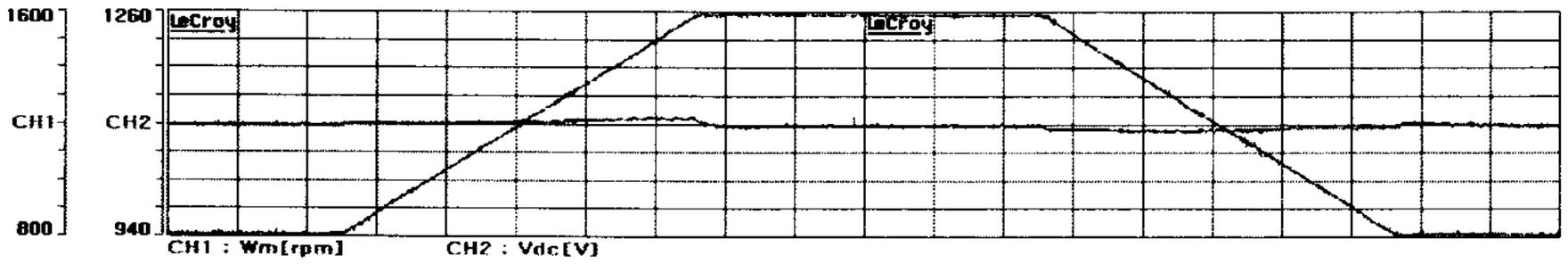

Fig. 7 DC_link voltage control characteristics of the 500kW tidal current system with a DFIG

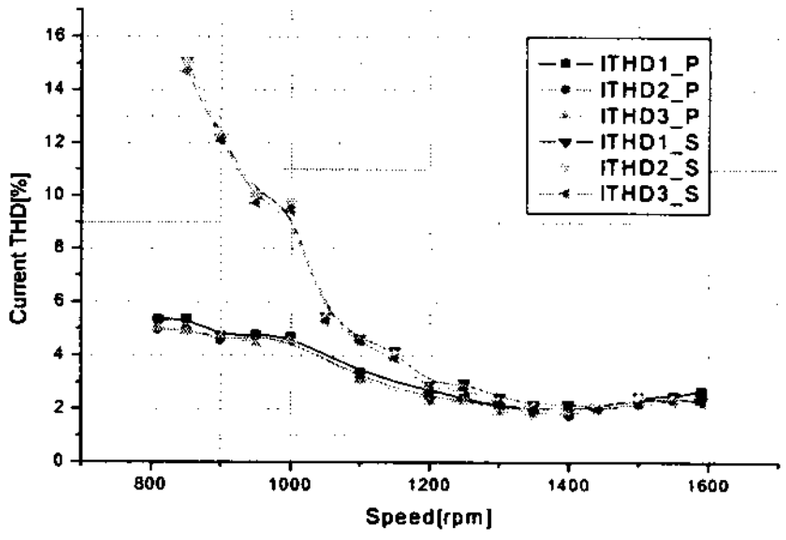

Fig. 8 Current THD characteristics of the DFIG system

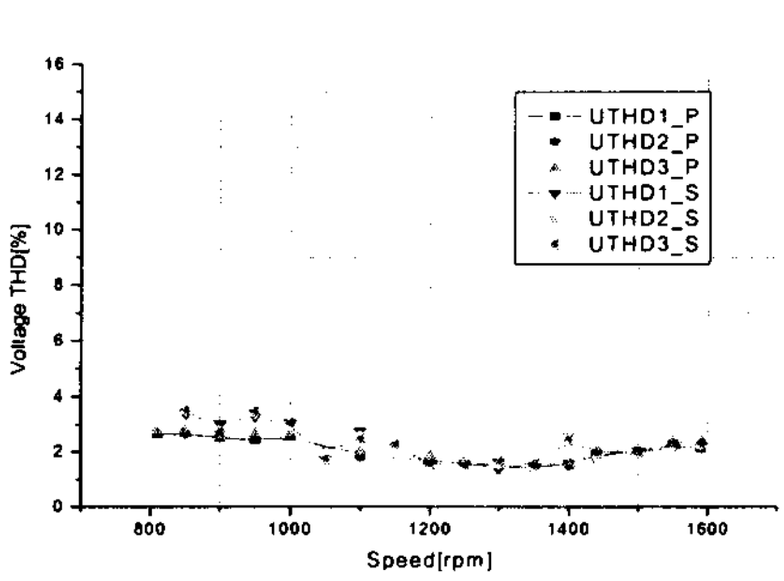

Fig. 9 Voltage THD characteristics of the DFIG system

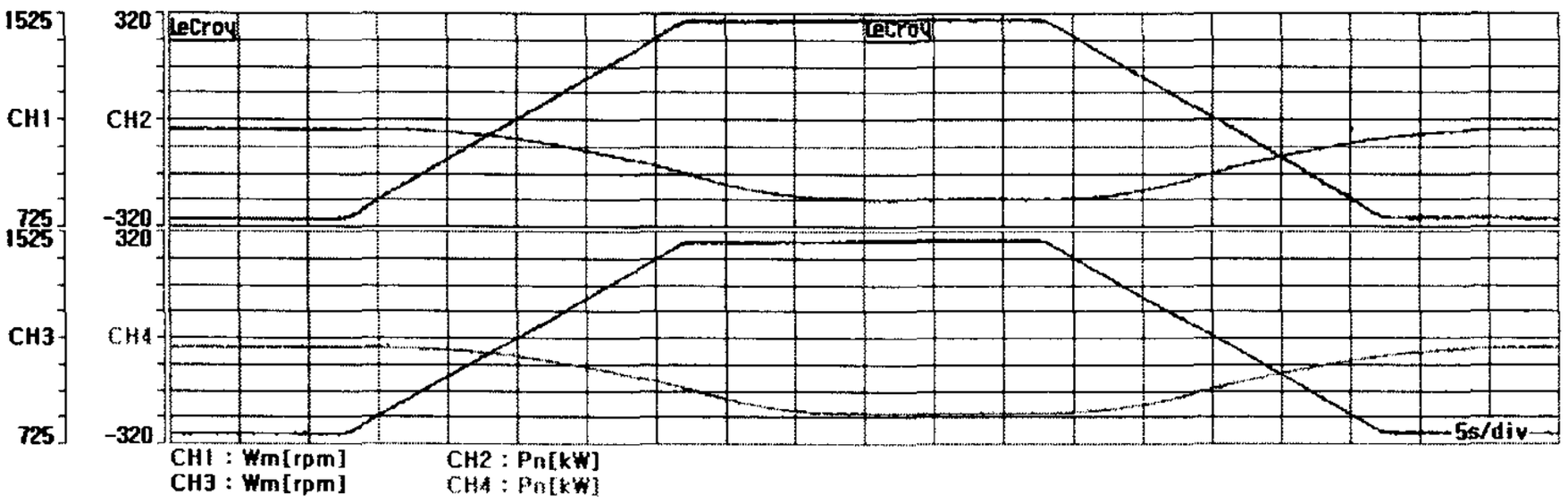

Fig. 10 Power control characteristics of the 500kW tidal current system with a SG

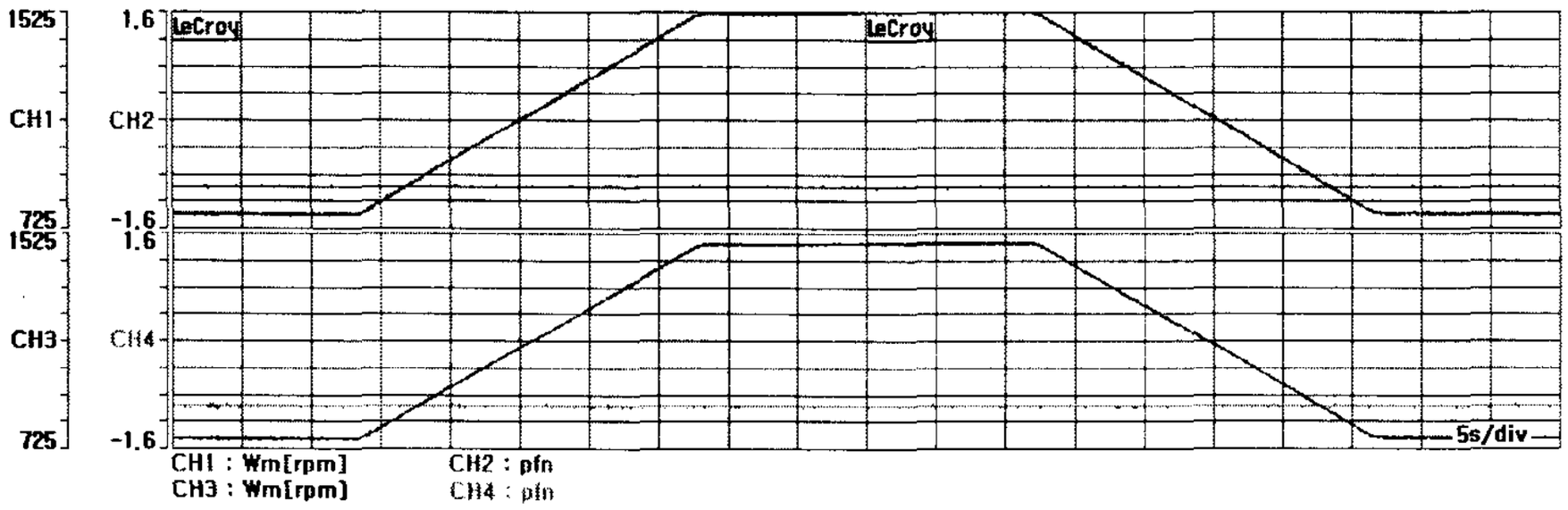

Fig. 11 Power factor control characteristics of the 500kW tidal current system with a SG

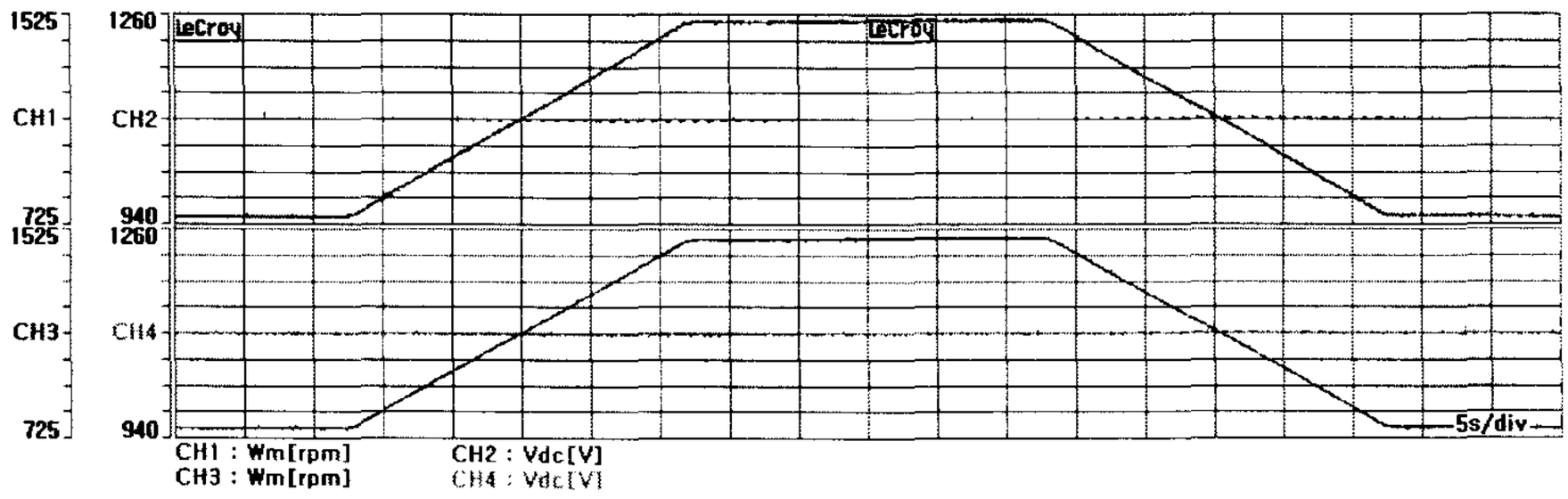

Fig. 12 DC_link voltage control characteristics of the 500kW tidal current system with a SG

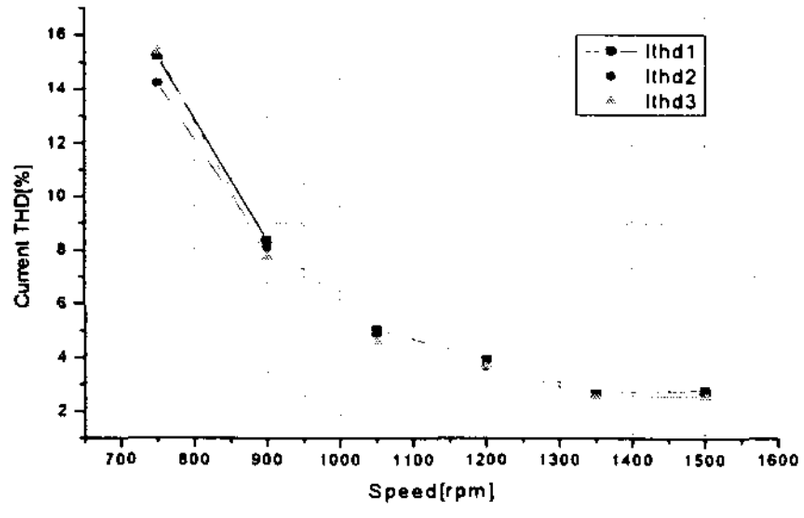

Fig. 13 Current THD characteristics of the DFIG system(3 phases)

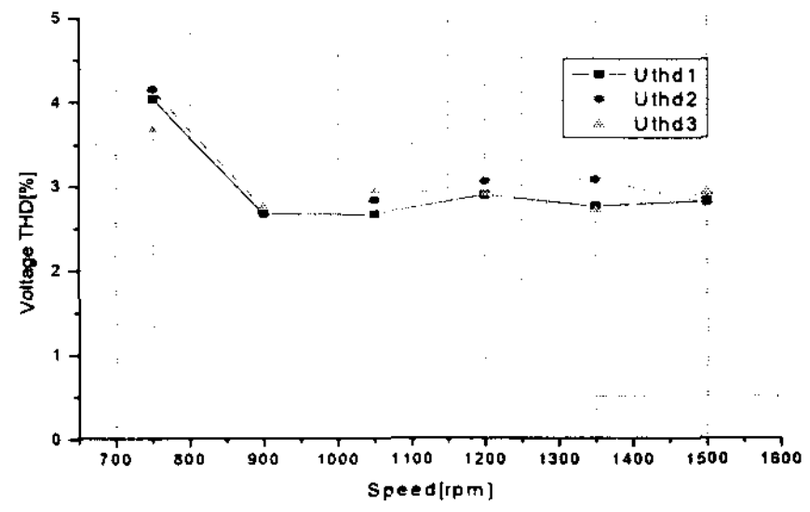

Fig. 14 Voltage THD characteristics of the DFIG system(3 phases)