

# 各国における風力発電の系統連系要件 (Grid code)

日本風力発電協会 企画局長 齊藤 哲夫

## はじめに

全発電設備容量に占める風力発電設備の容量比率が高まっていることから、系統事故に伴う、電圧低下、電圧上昇、周波数上昇、周波数低下に対応して、風力発電機の運転継続領域や制御方法を規定した Grid codes は、欧米各国で定められている。該当国に納入する新規導入風車は、この規程に従った製品を納入する事により、通常運転時および系統事故直後の電圧および周波数安定に寄与している。

中国では、2011年2月24日に発生した589基の風力発電機解列を契機に、国家電力監管委員会は、これから建設する風力発電所には事前に瞬時電圧低下時の運転継続機能 (LVRT) を備えるよう求めた。

日本における発電設備の常時運転領域は JEC-2130 (同期機) などにより電圧変動±5%、周波数変動±5%の連続運転を規定しているが、短時間の電圧低下時などにおける運転継続領域は規定されておらず、現在、規定化に向けて検討が行われている。

本稿では欧米の連続運転可能電圧および周波数範囲に加えて、系統事故などに伴う、瞬時電圧低下時の運転継続能力など、風力発電の系統連系に係わる要求仕様を紹介する。

## 瞬時電圧低下

系統事故 (短絡、地絡) による電圧低下量および継続時間は、短絡インピーダンス、短絡点からの距離 (≒送電線インピーダンス) および発電機のインピーダンスなどとの比および保護リレーシステムの設定値などにより変わる。

火力・水力発電所などに適用されている直流励磁同期機 (固定速度機) の場合は、系統事故中の残存電圧と継続時間に応じて、原動機入力エネルギーと発電出力エネルギーとの差の積算により加速脱調方向へ移行するので、これにより運転継続可能領域が決まる。

瞬時電圧低下の様相を図-1に、残存電圧と継続時間をパラメータとした運転継続可能領域のイメージを図-2に示す。

大型火力発電設備の場合など、高速回転で慣性定数 (M [kW-sec] : フライホイール効果) が大きいほど、運転継続可能領域が広がる (曲線が右にシフトする)。逆に言うと回転速度が低く、軽く、回転体直径が短い小水力発電設備などは運転継続可能領域が狭まる (曲線が左にシフトする)。

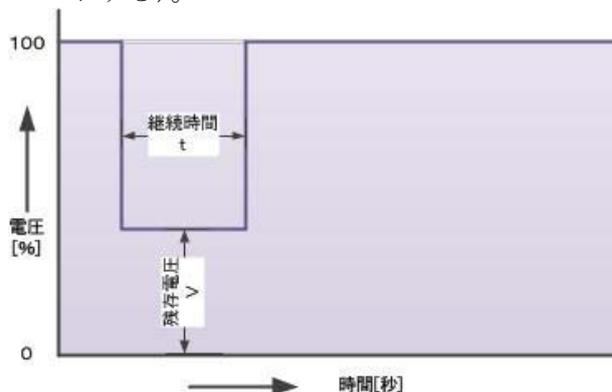


図-1 瞬時電圧低下様相

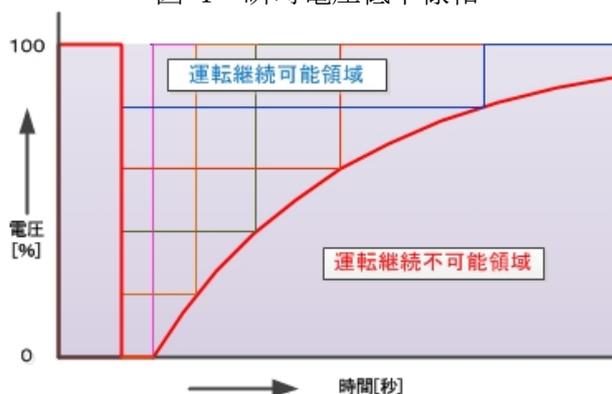


図-2 運転継続可能領域と不可能領域

日本における、系統事故などに伴う瞬時電圧低下の一般的な継続時間は、以下の通りである。(系統連系規定 JEAC9701-2010)

- 500・275kV 系 . . . . . 0.07~0.3 秒
- 154・77 (66) kV 系 . . . . . 0.1 ~2.0 秒
- 6.6kV 系 . . . . . 0.3 ~2.0 秒

## LVRT (Low voltage ride through) の要求仕様

各国の LVRT 要求仕様を、図-3 に示す。アメリカは3秒までのランプ状と広い領域を要求しているが、欧州系はその半分程度である。また、殆どの国は、超高压送電線へ連系（≒大容量WF）または設備容量（20MW 以上など）の場合に適用することを規定している。これらは系統への影響度、系統構成および電源種別構成比の差によるものと考えられる。

また、残存電圧 0%にも対応して ZVRT (Zero voltage ride through) と称する場合もある。

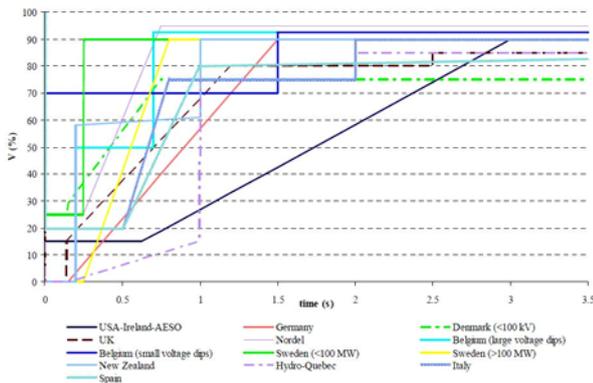


図-3 各国の LVRT 要求仕様

## DVS (Dynamic Voltage Support) 要求仕様

電圧低下時に所定の無効電流を供給することによって系統電圧を支えるとともに、系統事故除去後の早期電圧回復を目的として、積極的に無効電流（無効電力ではない）の供給を規定している国もある。この機能は直流励磁同期機（固定速度）の電圧調定率運転と同等ともいえるが、無効電流制御を行うことは、風力発電機（可変速度機）の特徴を有効活用したものといえる。ドイツとスペインの例を図-4 に示す。

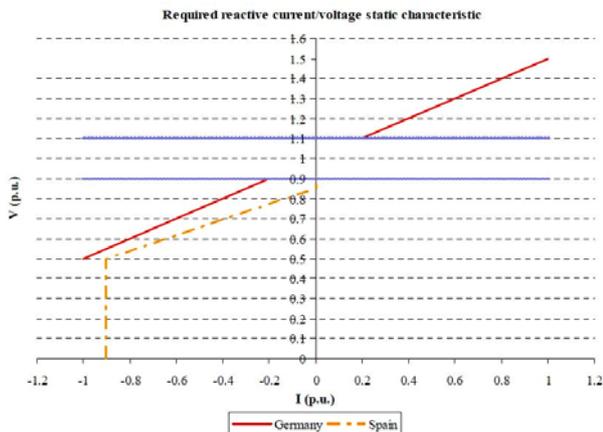


図-4 各国の DVS 要求仕様

## LVRT 対応システム

### ① 二次励磁制御誘導発電機方式

三相交流励磁同期発電機、DFIG (Doubly Fed Induction Generator) とも呼ばれているが、最近の風力発電機の主流（新設機の約 80%）である。図-5 に DFIG の機器構成を、図-6 に二次励磁制御回路の構成を示す。

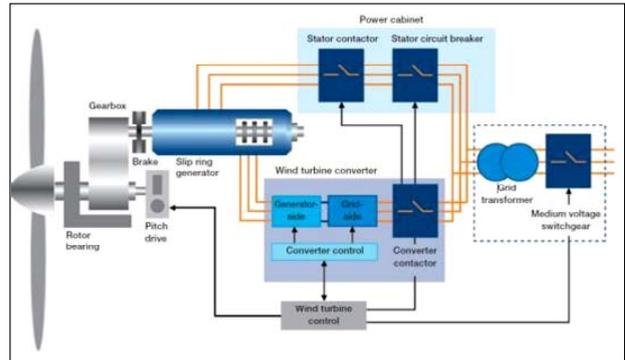


図-5 DFIG 構成図

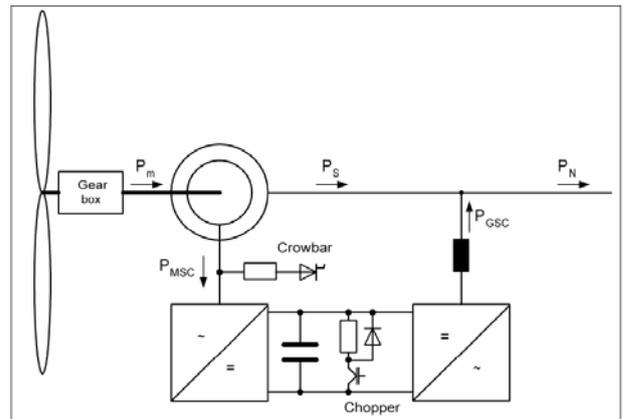


図-6 二次励磁制御回路構成図

二次励磁制御回路は、保護用のクローバー、4象限コンバータ、また DC リンクには平滑用キャパシターに加えて、最近の LVRT 機能に必須のチョッパーにより構成されている。

系統事故などに伴う電圧低下中は、その低下量に応じて4象限コンバータが無効電流および有効電流を系統へ供給する。また、チョッパーは、加速を防止（トルク低減）すべくエネルギー吸収・DCリンク電圧制御を行う。

図-7 にトルク低減機能付き制御システムブロックを示す。

なお、DCリンクにチョッパー制御を付加せずに、キャパシターおよび IGBT 保護用のクローバー動作またはクローバーを IGBT で短絡することにより二次回路を短絡し、無制御の籠型誘導発電機として対応する機種もある。

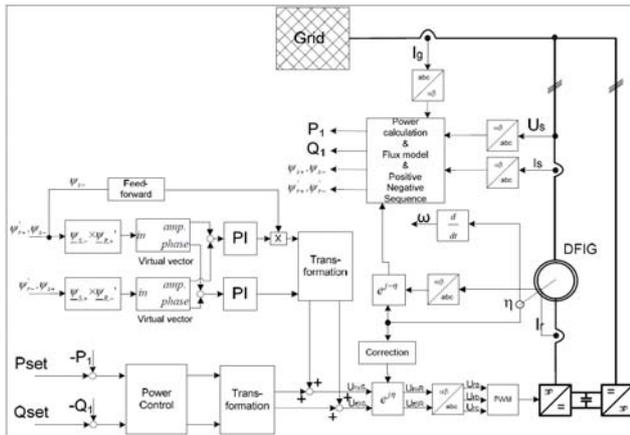


図-7 トルク低減機能付き制御システムブロック図

## ② 同期発電機+フル容量コンバータ方式

直流励磁同期発電機または永久磁石同期発電機にフル容量コンバータを組み合わせた低速発電方式の可変速度風力発電機は、増速器省略のメリットなどから適用率も約 20%に達している。

図-8 に直流励磁同期発電機+フル容量コンバータ方式の機器構成を、図-9 に永久磁石同期発電機+フル容量コンバータ方式の機器構成を示す。

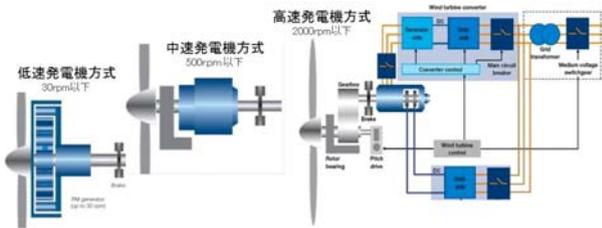


図-8 直流励磁同期発電機+フル容量コンバータ方式

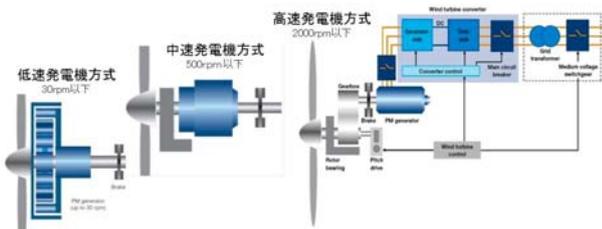


図-9 永久磁石同期発電機+フル容量コンバータ方式

LVRT に関しては、図-6 に示した二次励磁制御回路の保護用のクローバ、4象限コンバータ、(DC リンクの平滑用キャパシターおよびチョッパを含む) が、主回路(一次回路)に直列に接続されており、図-7 に示したシステムブロック図の電圧および電流検出点が異なるが、

基本的な制御方式は同じであり、電圧低下中には、その低下量に応じて4象限コンバータが無効電流および有効電流を供給する。また、チョッパは、加速を防止(トルク低減)すべくエネルギー吸収・DCリンク電圧制御を行う。

## 連続運転可能電圧と周波数範囲の要求仕様

デンマークでは、電圧範囲を定格の 90~106%と規定している。他国は未確認であるが、欧州では IEC 規格や EN 規格が適用されている事から同等と考える。また、図-3 に示した LVRT 要求仕様からも最低電圧を 90%と規定しているようである。

欧州における運転周波数範囲を、図-10 に示す。

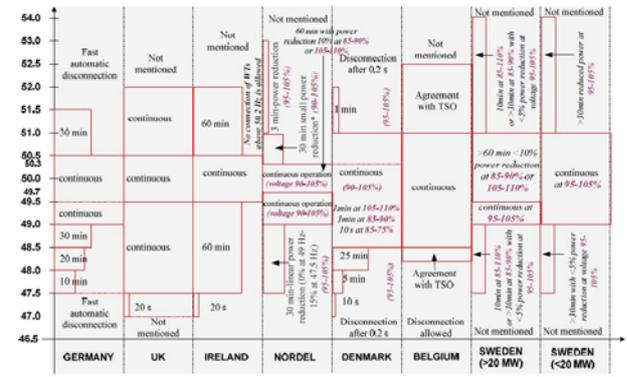


図-10 各国の連続運転可能周波数範囲要求仕様

## 参考

### 各国のグリッドコード

- Grid Code - High and extra high voltage. E.ON Netz GmbH, Bayreuth, Germany, 1st April 2006.
- The Grid Code, Issue 3, Revision 24 National Grid Electricity Transmission plc, UK, 19th November 2007.
- Grid Code - Version 3.0. ESB National Grid, Ireland, 28th September 2007.
- Nordic Grid Code (Eltra a.m.b.a. / Elkraft System a.m.b.a. / Fingrid Oyj / Statnett SF / Affärsverket svenska kraftnät). Nordel, September 2006.
- Grid connection of wind turbines to networks with voltages below 100 kV, Regulation TF3.2.6. Energinet, Denmark, May 2004.
- Grid connection of wind turbines to networks with voltages above 100 kV, Regulation TF3.2.5. Energinet, Denmark, December 2004.
- Grid code for the local transmission system operator (Arrêté du Gouvernement wallon relatif à la révision du règlement technique pour la gestion du réseau de transport local d'électricité en Région wallonne et l'accès à celui-ci, 24 May 2007). Walloon Energy Commission (Commission Wallonne pour l'Energie-CWaPE), Wallonia, Belgium.
- Transmission Provider Technical Requirements for the Connection of Power Plants to the Hydro-Quebec Transmission System. Hydro Quebec Transenergie, March 2006.
- Wind power facility technical requirements. Revision 0. Alberta Electric System Operator, Canada, 15 November 2004.11
- Interconnection for Wind Energy, Final Rule. Federal Energy Regulatory Commission, USA, 2 June 2005.
- Requisitos de respuesta frente a huecos de tension de las instalaciones de produccion de regimen especial, PO 12.3. REE, Spain, November 2005.
- CEI 11/32, Appendice N.6 - Normativa impianti di produzione eolica. February 2006 (draft).
- Affärsverket svenska kraftnäts föreskrifter om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar. Svenska Kraftnät, Stockholm, Sweden, 2002.
- Connection and Dispatch Guide. Transpower New Zealand Limited, March 2004.