

Anàlisi de l'operació de sistemes elèctrics amb alta penetració de renovables

Manresa Nadal, Josep

1. Introducció

L'ús massiu de combustibles fòssils durant l'últim segle és la principal causa del conegut com a canvi climàtic provocat pels gasos d'efecte hivernacle. A mesura que aquest fenomen s'ha anat prenent seriosament s'ha posat de manifest la necessitat de reduir les emissions de CO₂ a l'atmosfera i la generació d'electricitat és un dels sectors que més emissions porta associades, especialment quan aquesta es fa amb la crema de carbó en centrals tèrmiques. La necessitat de reduir l'ús de combustibles fòssils com a font d'energia per fonts d'energia renovables fa que el sistema elèctric s'hagi d'adaptar a unes condicions, les de les fonts renovables, molt diferents de les tradicionals fonts d'origen fòssil.

L'objectiu del present treball és analitzar els efectes de la incorporació de tecnologies de generació renovable en el sistema elèctric, identificar les variables que afecten a l'estabilitat del sistema i definir els requisits tècnics que permeten una correcta integració d'aquest tipus de tecnologies al sistema elèctric.

2. Sistema Elèctric

La funció d'un sistema elèctric és la de convertir l'energia primària en energia elèctrica i transportar-la als punts de consum. El formen el conjunt de centrals elèctriques de distintes tecnologies de generació, les línies de transmissió i

distribució, els transformadors i d'altres elements de control, connexió, etc.

Als sistemes elèctrics en la seva concepció clàssica l'energia es genera en uns pocs punts de manera centralitzada. Les centrals de generació elèctrica de gran potència unitària es distribueixen en el territori en funció de factors com la fàcil accessibilitat de les matèries primeres o bé la disponibilitat d'aigua per la refrigeració. A través de línies de transport l'energia generada es transporta en alta tensió per minimitzar les pèrdues cap a les àrees de consum i a mesura que s'aproximen els punts de consum, es va disminuint la tensió i l'energia es va distribuint per ciutats, zones industrials, zones aïllades i grans consumidors.

Les centrals de generació en el sistema elèctric convencional estan equipades amb grups de generadors síncrons connectats en paral·lel a la xarxa que giren en sincronisme a la velocitat adequada per operar a la mateixa freqüència. Depenent de la tecnologia utilitzada per accionar els generadors i d'altres consideracions econòmiques o de seguretat, la central tindrà unes característiques operatives determinades que caracteritzaran el seu rol dins el sistema elèctric:

- Centrals nuclears: Generació de base.
- Centrals tèrmiques: Generació de base.

- Centrals hidroelèctriques: Seguiment de la demanda i cobertura de puntes
- Centrals de gas: Seguiment de la demanda i cobertura de puntes
- Centrals de cicle combinat: Seguiment de la demanda

Avui dia els sistemes elèctrics integren des d'algunes de les més antigues tecnologies industrials fins a tecnologies d'avantguarda. La necessitat d'introduir noves formes de generació per disminuir la dependència de fonts d'energia no renovables i contaminants ha introduït noves necessitats tecnològiques i reptes que han conduït a modificar substancialment el model de sistema elèctric clàssic i per tant també la seva operació.

Totes les tecnologies de generació convencionals tenen un element en comú, el generador síncron, que condicionava la operació del sistema. En contrast, les noves tecnologies de generació renovable, de les que destaquen la eòlica i la fotovoltaica, difereixen de les centrals convencionals en les característiques elèctriques del generador, els patrons de disponibilitat del recurs primari, la seva escala i el rang de localitzacions apropiades per la seva implantació donant lloc al concepte de generació distribuïda.

3. Generadors eòlics

Els generadors eòlics són màquines que a partir de l'energia primària del vent obtenen energia elèctrica.

- Turbina de velocitat fixa

Utilitza un generador d'inducció de gàbia d'esquirol connectat directament a la

xarxa i amb el rotor accionat per la turbina a través d'una caixa de canvis. Ja que el generador d'inducció requereix de potència reactiva per poder funcionar aquesta turbina pot estar equipada amb una bateria de condensadors o pot obtenir l'energia reactiva de la xarxa. Aquest concepte ha de treballar a una velocitat del rotor quasi fixa (amb una variació entre 1% i 2%) i no aporta capacitats de suport a la xarxa.

- Turbina de velocitat variable doblement alimentada

Equipada amb un generador d'inducció de rotor bobinat en que el rotor es alimentat a través d'un convertidor (conjunt rectificador - inversor) per controlar l'excitació i així desacoblar la freqüència mecànica i elèctrica del rotor. La inclusió d'un convertidor proporciona a la turbina capacitat de control de reactiva i de suport a la xarxa en cas de sots de tensió. Un 40% de la potència es gestionada pel convertidor i per tant les capacitats de la turbina estaran limitades a aquest percentatge. Així mateix el rang de variació de velocitat és del 40% de la velocitat síncrona.

- Turbina de velocitat variable amb convertidor "full converter"

La principal característica d'aquest concepte és que el generador està connectat a la xarxa a través d'un convertidor (conjunt rectificador - inversor) que desacobla totalment la turbina de la xarxa. A partir d'aquí es poden utilitzar distintes variants, amb caixa de canvis o sense, amb generador d'inducció, síncron o síncron amb imants permanents. Gràcies al convertidor, el generador pot treballar dins d'un rang de velocitats molt ampli i el propi convertidor proporciona un ampli

conjunt de capacitats de control de reactiva i de suport a la xarxa.

4. Generadors fotovoltaics

Els generadors fotovoltaics generen energia elèctrica a partir de la conversió directe de l'energia de la radiació solar per mitjà de cèl·lules fotovoltaïques. Les cèl·lules fotovoltaïques s'agrupen connectades en sèrie per formar mòduls o panells amb una tensió determinada. Es formen agrupacions de mòduls per aconseguir la potència necessària connectats en sèrie o en paral·lel per tenir la tensió i corrent desitjades. Per poder injectar el corrent continu procedent del generador fotovoltaic a la xarxa de corrent altern cal sempre utilitzar un inversor. La tecnologia d'inversors amb IGBT permet convertir el corrent continu en corrent altern i a més dotar a les plantes fotovoltaïques de capacitat de control de reactiva i suport a la xarxa si així s'implementa en el control del convertidor.

5. Emmagatzematge

Amb la introducció en els sistemes elèctrics de fonts d'energia distribuïdes i renovables, es planteja la necessitat de disposar de sistemes d'emmagatzematge d'energia per tal d'aportar flexibilitat al sistema, controlar la intermitència dels recursos renovables i permetre una major penetració i integració de d'aquests recursos. Disposar d'energia emmagatzemada permet reduir la potència de suport, com centrals tèrmiques de gas. Per aquest objectiu, algunes tecnologies són:

- Hidràulica de bombeig
- Aire comprimit
- Emmagatzematge tèrmic
- Hidrogen

- Bateries

I en segon terme millorar les característiques de plantes generadores renovables per fer-les capaces de aportar estabilitat al sistema. Per aquest objectiu, algunes tecnologies són:

- Bateries
- Volant d'inèrcia
- Super condensadors
- Superconductors magnètics

6. Operació del sistema

Per aconseguir el correcte funcionament d'un sistema elèctric és necessari un control dels seus paràmetres de funcionament que assegurin que el flux d'energia es faci de forma estable en tot moment i que l'energia elèctrica que arriba als punts de consum estigui sempre dins dels marges de qualitat necessaris.

El primer objectiu de l'operació del sistema és assegurar que es generi en tot moment la potència necessària per abastir la demanda. Ja que la demanda és variable i majoritàriament incontrolable, la generació ha d'anar adaptant-se en tot moment.

El segon objectiu de l'operació és que tot el sistema treballi de manera estable i que tots els paràmetres es mantinguin dins dels rangs de seguretat i qualitat fixats. Les operacions dins d'aquest objectiu tenen un espai temporal més curt, requereixen de actuacions pràcticament instantànies i automàtiques o dinàmiques.

La freqüència de l'ona de la tensió s'ha de mantenir dins d'uns límits per a que el subministrament elèctric es porti a terme amb la qualitat acceptable. Variacions en la freqüència que s'allunyin del valor

nominal poden causar el mal funcionament de càrregues dependents de la freqüència com motors o equips electrònics.

La freqüència del sistema és un paràmetre lligat al balanç entre potència

activa generada i potència activa consumida segons el model de la figura 1. En règim permanent tots els generadors connectats al sistema funcionen a la velocitat de sincronisme.

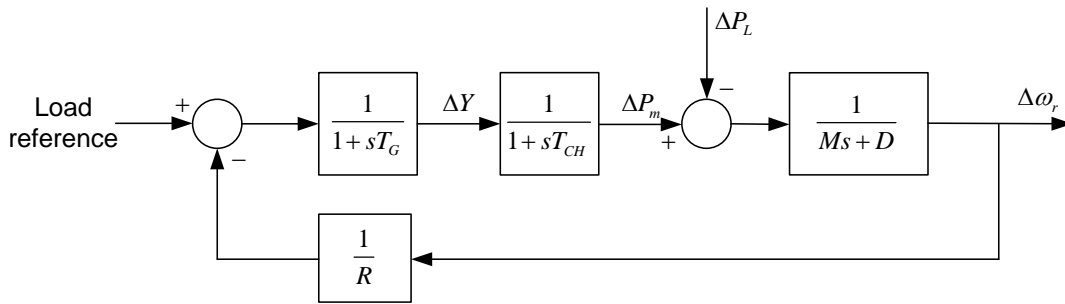


Figura 1. Model freqüència - potència per regulació primària

TCH: Constant de temps de la turbina TG: Constant de temps del regulador; M: Inèrcia; D Constant d'esmortiment; R:Constant de regulació

La tensió d'un nus de la xarxa està lligada a la potència reactiva que s'hi entrega o consumeix. Els sistemes de generació han de regular la potència reactiva, capacitiva o inductiva, en funció de la tensió desitjada al nus. Controlar la generació, consum i flux de reactiva a tots els nivells del sistema permet realitzar un control de tensió.

7. Integració de renovables a la xarxa

En l'anàlisi en règim permanent els transitoris provocats per perturbacions no es tenen en compte i l'estat del sistema es manté constant. La càrrega del sistema, incloent les pèrdues en la transmissió és exactament igual a la generació i per tant la freqüència del sistema es manté invariable en 50 Hz. En règim permanent l'operació del sistema elèctric ha de garantir que el balanç entre potència generada i potència demandada.

La quantitat d'energia renovable que podrà acollir el sistema estarà condicionada per la flexibilitat del sistema elèctric, entesa com la capacitat per part de la generació síncrona convencional de variar la seva potència respecte la seva potència nominal, o en altres paraules, la capacitat d'adaptar-se a les variacions de potència en el temps pròpies de la generació renovable.

Tradicionalment, les renovables, degut al seu caràcter no gestionable, han participat de forma limitada en els serveis d'ajust. Al disposar de nul·la o mínima capacitat d'emmagatzematge d'energia es fa difícil la participació amb una banda de reserva a pujar encara que sí que és possible si la planta funciona obtenint una potència del recurs primari menor a la màxima disponible. També pot limitar la potència que entregarà a la xarxa si així es requereix. Tot això pot fer-ho amb temps de reacció molt curts

degut a la baixa inèrcia dels sistemes renovables connectats a la xarxa per mitjà de convertidors estàtics i per tant la seva participació en els serveis d'ajust i en la reserva de potència és factible i fins i tot presenta avantatges.

Mentre la penetració de renovables no ha estat gaire important les variacions sobtades per raons meteorològiques no han tingut gaire efecte en la operació del sistema i han estat negligides pels operadors del sistema ja que podien ser comparables a les fluctuacions pròpies de la demanda. En un escenari en que les renovables com la fotovoltaica, amb inèrcia pràcticament nul·la i lligada a variacions sobtades provocades per núvols, augmenten en potència instal·lada, aquests efectes no es poden negligir més.

Per tal de complir amb els requeriments imposats per els procediments d'operació, els convertidors estàtics de potència que incorporen les tecnologies de generació renovables han de permetre el control desacoblat de potència activa i potència reactiva. Per tant, la topologia de convertidor utilitzada per connectar generació renovable a la xarxa serà el anomenat convertidor de font de tensió o VSC (Voltage Source Converter) basat en interruptors tipus IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) i que permeten modular qualsevol forma d'ona i el control independent de potència activa i reactiva.

Els procediments d'operació són el conjunt de requeriments i procediments que regeixen l'operació del sistema. L'operador del sistema és el responsable de la operació satisfactòria del sistema elèctric en condicions normals i excepcionals i per això fixa una sèrie de paràmetres mínims dintre dels que el sistema ha de treballar i defineix uns

requeriments tècnics que tots els agents connectats al sistema han de complir, incloent generació, interconnexions i consumidors. De tota manera, els requeriments dirigits als grans consumidors i a les interconnexions no estan encara gaire estesos i la majoria de requeriments van dirigits als generadors.

Els generadors han de contribuir a mantenir el funcionament del sistema dins uns marges de seguretat i estabilitat. En regim permanent, han d'aportar l'energia requerida dins els marges de tensió i freqüència requerits i en regim dinàmic han de participar en el control de freqüència essent capaços de continuar en funcionament en cas de falta tot ajudant al sistema a recuperar-se (capacitat de FRT).

8. Conclusions

Les tecnologies renovables s'han de dotar de sistemes per participar també el control de l'operació del sistema, aportant reserva de potencia, capacitat d'aportar reactiva i sistemes d'estabilització de xarxa en cas de pertorbacions. En aquest sentit la incorporació de convertidors d'electrònica de potència com elements d'enllaç entre els generadors renovables i la xarxa permet controlar i adequar el flux de potència entregada pels generadors a la xarxa. Finalment, els procediments d'operació recullen les regles a complir per part dels generadors renovables per facilitar l'operació del sistema. A més, el fet que el punt clau per a la integració de renovables a la xarxa sigui disposar d'energia de reserva, indica que la introducció de tecnologies per emmagatzemar energia elèctrica pot augmentar el potencial de penetració d'electricitat renovable.