

Estudio de la generación eólica empleando un generador de inducción

J. Martínez Patiño, A. Medina Flores, J. G. Banda Navarro

Universidad de Guanajuato,
Departamento de Ingeniería Eléctrica,
Salamanca, Gto.,
México

jesusmp23@salamanca.ugto.mx

Resumen. El objetivo de esta investigación es mostrar un panorama general de las bases, conceptos y características de la generación eólica, así mismo la importancia que tiene como una fuente renovable de energía. Se presenta un estudio del generador de inducción, mostrando las ventajas y desventajas de su uso en la generación eólica, los tipos de sistemas de conversión que existen y la tendencia tecnológica del sistema con el generador de inducción.

Palabras claves: Generación eólica, generador de inducción.

Study of Aeolic Generation Using an Induction Generator

Abstract. The objective of this research is to provide an overview of the foundations, concepts, and characteristics of wind power generation, as well as its importance as a renewable energy source. A study of the induction generator is presented, showing the advantages and disadvantages of its use in wind power generation, the types of conversion systems available, and the technological trends in the use of induction generators

Keywords: Aeolic generation, induction generator.

1. Introducción

El viento es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un calentamiento desigual de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. La producción de energía aprovechando la energía cinética del viento es lo que denominamos como energía eólica. Una turbina eólica o aerogenerador es un dispositivo mecánico que convierte la energía cinética del viento en electricidad, de esta manera las turbinas eólicas son divididas en turbinas eólicas de velocidad fija y de velocidad variable.

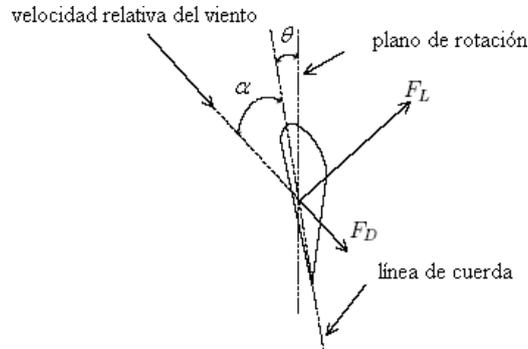


Fig. 1. Conversión aerodinámica.

La potencia mecánica generada por la turbina eólica es transformada en potencia eléctrica por un generador que puede ser de inducción o síncrono. El uso de la electrónica de potencia ha impulsado el desarrollo de diferentes técnicas para efectuar la conversión, siempre hacia la búsqueda de un mejor diseño, operación y eficiencia de los sistemas.

2. Conversión aerodinámica

El aire incidente sobre las palas se divide en dos corrientes, una circula en la parte superior del perfil aerodinámico de longitud mayor y velocidad mayor que la inferior, resultando una diferencia de presión que da como resultado la aparición de una fuerza ascendente (sustentación), F_L y una fuerza de arrastre, F_D .

La dirección de la fuerza ascendente F_L es perpendicular a la dirección del flujo de aire y la fuerza de arrastre F_D está en la dirección del flujo de aire. El ángulo de paso θ , es el ángulo entre la línea de cuerda del alabeo o hélice y el plano de rotación. El ángulo de ataque, α , es el ángulo entre la línea de cuerda del alabeo y la dirección relativa del viento. La figura 1 muestra la conversión aerodinámica. Si el ángulo de ataque excede un cierto valor, aparecerá una turbulencia arriba del perfil aerodinámico la cual reduce su fuerza de sustentación y en consecuencia el par extraído e incrementa su fuerza de arrastre.

3. Relaciones de potencia

La potencia extraída del aire (viento) en movimiento es expresada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2}(\rho A V) * V^2 = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Como muestra la ecuación 1 la cantidadde energía transferida al rotor depende de la densidad del aire, del área de barrido por el rotor y de la velocidad del viento como se muestra en la figura 2.

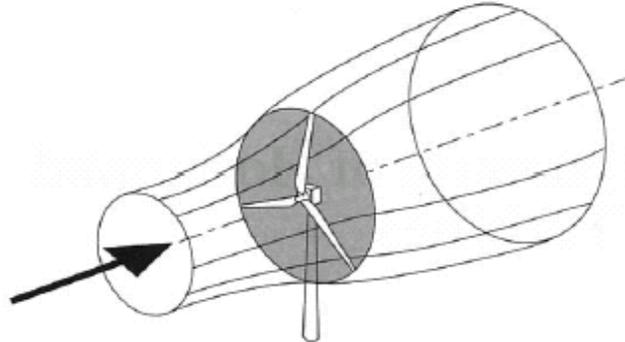


Fig. 2. Tubo de corriente del fluido del viento incidente.

Sin embargo, una cantidad de esa potencia puede ser teóricamente convertida en potencia mecánica así, la potencia extraída por las aspas del rotor es la diferencia entre las potencias del viento aguas arriba y aguas abajo.

4. El coeficiente de potencia relaciones de potencia

El coeficiente de potencia, C_p , es el rendimiento con el cual funciona el aerogenerador y expresa qué cantidad de la potencia total del viento incidente es realmente capturada por el rotor. Esta relación se muestra a continuación:

El límite de Betz es el máximo coeficiente de potencia, con el que puede funcionar un aerogenerador ideal:

$$C_{p\max} = 0.5925$$

Esto indica que la máxima potencia que se puede obtener en teoría, de una corriente de aire, con un aerogenerador ideal, nunca podrá superar al 59.25 % de la potencia del viento incidente. La máxima potencia del viento es extraída, cuando la velocidad del viento aguas abajo iguala a un tercio de la velocidad aguas arriba, bajo esta condición:

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \rho * A * V^3 * 0.59 \quad (5)$$

El coeficiente de potencia C_p depende de la velocidad de viento incidente, de la velocidad de giro de las palas, del ángulo de paso, y de la razón de velocidad de punta o promedio (λ), esta última expresa la relación entre la velocidad en la punta de la pala y velocidad del viento incidente, como la muestra la ecuación 6:

$$\lambda = \frac{w_{rot} * R}{V} \quad (6)$$

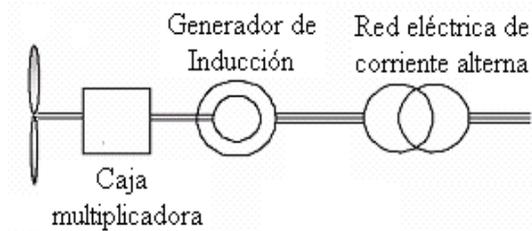


Fig. 3. Sistema de generación eólico de velocidad fija.

Por tanto la potencia extraíble del viento puede ser escrita como sigue:

$$P = \frac{1}{2} \rho * A * C_p(\theta, \lambda) * V^3 \quad (7)$$

5. Sistemas de conversión de energía

Las turbinas eólicas son divididas en turbinas eólicas de velocidad fija y en turbinas eólicas de velocidad variable.

Sistema de velocidad fija

El generador en las turbinas eólicas de velocidad fija es del tipo de inducción conectado directamente a la red. La máquina de inducción ha sido mas ampliamente adoptada debido a su mas bajo costo y superioridad mecánica de compatibilidad con variaciones rápidas de viento. Este tipo de sistema es por tanto bastante barato y robusto. La figura 3 muestra el esquema del sistema del generador eólico de velocidad fija.

Sistema de velocidad variable.

Actualmente, hay dos grupos dominantes de los conceptos de turbina eólica de velocidad variable en el mercado:

Concepto de velocidad completamente variable: donde el estator del generador está conectado a la red a través de un convertidor de El coeficiente de potencia de escala completa o quemaneja toda la potencia del sistema. El generador puede ser síncrono o decampo magnético permanente (SG o PMSG) o un generador de inducción (IG). Figura 4.

Concepto de velocidad variable limitada: donde el estator del generador esta conectado a la red. La frecuencia del rotor y de esta manera la velocidad del rotor es controlada. La máquina es un generador de inducción de rotor devanado (WRIG). Hay dos especiales conceptos para la turbina eólica:

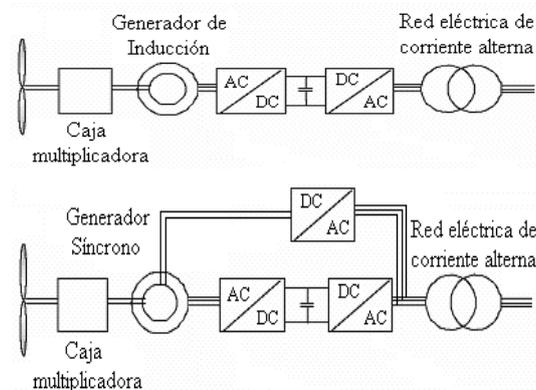


Fig. 4. Sistemas de generación eólica de velocidad completamente variable.

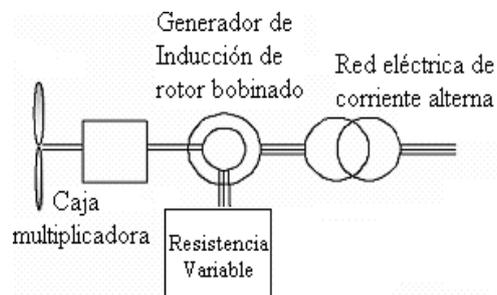


Fig. 5. Sistemas de generación eólica de velocidad variable limitada usando la resistencia variable del rotor.

- Concepto de la resistencia variable del rotor del generador: donde el rotor está conectado a una resistencia externa la cual define o dimensiona el rango de velocidad variable (típicamente 10% arriba de la velocidad síncrona). Figura 5.
- Concepto del Generador de inducción de doble alimentación (DFIG): donde el rotor es controlado por un convertidor de escala parcial de potencia, es decir que no maneja toda la potencia nominal. El convertidor define el rango de velocidad variable (típicamente +/- 30% alrededor de la velocidad síncrona). Figura 6.

El concepto con el generador de inducción de doble alimentación(DFIG) se distingue como una opción muy atractiva con un rápido crecimiento de demanda en el mercado.

La característica fundamental del DFIG es que la potencia procesada por el convertidor de potencia es únicamente una fracción de la potencia total de la turbina eólica y por lo tanto su tamaño, costo y pérdidas son mucho mas pequeñas comparadas a un convertidor de escala completa usado en el concepto de velocidad completamente variable.

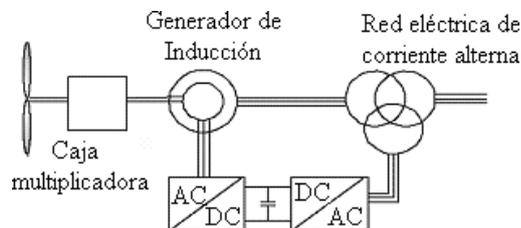


Fig. 6. Sistemas de generación eólica de velocidad variable limitada usando el DFIG.

6. Concepto del generador de inducción de doble alimentación (DFIG)

Este sistema consiste de una turbina eólica con un generador de inducción de doble alimentación. Esto significa que el estator está directamente conectado a la red mientras que el devanado del rotor está conectado mediante los anillos deslizantes a un convertidor permitiendo controlar el voltaje en magnitud y fase. El sistema solamente necesita un convertidor que pueda manejar el 30% de la potencia nominal del generador, lo cual implica menores pérdidas y una reducción de costo.

En contraste con un convencional generador de inducción, la potencia eléctrica de una máquina de inducción de doble alimentación es independiente de la velocidad. Por lo tanto es posible llevar a cabo un generador eólico de velocidad variable y por tanto operar la turbina en el punto aerodinámico óptimo para cierto rango de velocidad del viento.

La principal característica del DFIG es que la potencia procesada por el convertidor es únicamente una fracción de la potencia total de la turbina eólica y por lo tanto su tamaño, costo y pérdidas son mucho más pequeñas comparadas a un convertidor de potencia de gran escala.

Este convertidor es bidireccional y consiste de dos independientes convertidores controlados por voltaje conectados a un bus común de DC. Estos convertidores son ilustrados en la figura 7 y son el convertidor del lado del rotor y el convertidor del lado de la red.

A fin de cubrir un amplio rango de operación de la velocidad sub-síncrona y súper-síncrona, el DFIG es capaz de trabajar como generador en ambos modos sub-síncrono (deslizamiento positivo $s > 0$) y súper-síncrono (deslizamiento negativo $s < 0$), el convertidor debe de ser capaz de operar con el flujo de potencia en ambas direcciones.

El convertidor de potencia compensa la diferencia entre la frecuencia mecánica y eléctrica por inyectar una corriente al rotor con una frecuencia variable de acuerdo a la velocidad de la flecha. A continuación se muestran algunas ventajas y desventajas del DFIG:

- Se puede hacer un control desacoplado de potencia activa y reactiva mediante el control independiente de la corriente de excitación del rotor.

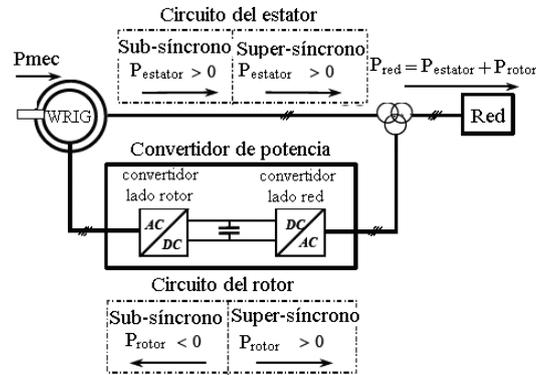


Fig. 7. Diagrama del flujo de potencia en un generador de inducción de doble alimentación.

- Costo reducido del inversor debido a que su capacidad es típicamente 25 o 30% de la potencia total del sistema, mientras que el rango de velocidad es +/- 30% alrededor de la velocidad síncrona.
- Control de la potencia aerodinámica por Stall o pitch.
- Operación en el punto máximo del coeficiente de potencia C_p debido a la velocidad variable.

Entre las desventajas están:

- Construcción más cara que otros sistemas.
- Generación de armónicos.
- Operación a velocidad variable pero en un rango limitado.

7. Conclusiones

El uso de las energías renovables como la eólica, atrae beneficios para el país como el ahorro de combustibles fósiles, la reducción de las emisiones a la atmósfera de gases contaminantes como el CO_2 , la creación de empleos en la industria del ramo y el fortalecimiento de la ciencia y tecnología del país. A su mismo, debido a la reducción de la contaminación el impacto ambiental que se produce por el uso de la energía eólica es menor.

Las energías renovables ofrecen importantes oportunidades para aplicaciones en entornos donde la energía convencional no llega, o sólo de manera parcial.

Es necesario mejorar diferentes aspectos en la generación eólica en México, se debe dar un mayor apoyo al desarrollo tecnológico en esta área para hacer a la energía renovable competitiva frente a las formas convencionales de producción de energía. Es necesario facilitar el diseño, construcción y operación de las formas de transmisión y distribución de energía provenientes de fuentes renovables.

Por todo lo anterior, es recomendable establecer las bases para lograr el apoyo al desarrollo tecnológico de los sistemas de generación eólica, respaldado por la

infraestructura correspondiente defabricación, instalación y financiamiento, con objeto de que la energía eólica contribuya de manera significativa a la oferta energética del futuro.

Se han presentado así mismo las características y las diferentes maneras o tecnologías que pueden ser aplicadas para la conversión de la energía eólica aenergía eléctrica. Se realizo una breve descripción de cada sistema mostrando los puntos más importantes de cada uno.

Seleccionando el DFIG, un sistema de los mencionados en este proyecto de operación de velocidad variable, se realizó el estudio mostrando sus características principales, así como ventajas y desventajas. También se han mostrado la tendencia de los nuevos aerogeneradores que es hacia la operación de velocidad variable, ya que presentan características muy atractivas para su implementación como una mayor captura de energía.

References

1. Banda Navarro, J.G.: Estudio de la generación eólica empleando un generador de inducción. Tesis FIMEE (2007)
2. Girón Rodríguez. M.Á.: El generador de corriente alterna asíncrono. Tesis FIMEE (2001)
3. Mukund R. Patel, Ph.D.: Wind and Solar Power Systems, CRC Press (1999)
4. Kosow Irving L.: Maquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall. Segunda Edición (1993)