

Annexes de l'étude d'impact

Partie 1/5 - Données techniques ENERCON

INTERVENT
l'élan de l'énergie renouvelable

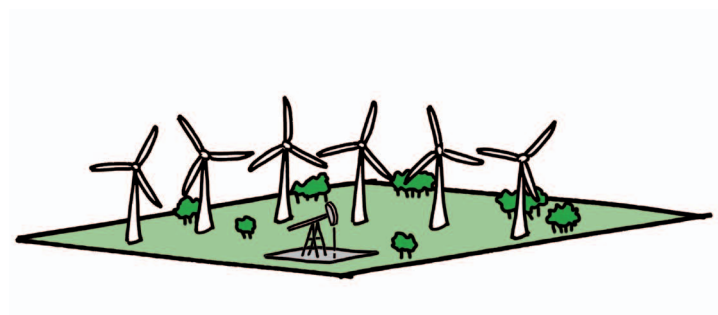
Projet de Parc Eolien à Champguyon

SEPE Griottes
C/O INTERVENT
Tour de l'Europe
68100 MULHOUSE



Mai 2022

MA12



1.

Données techniques Enercon

- Description technique de la E-103 EP2
- Description technique de la E-138 EP3
- Description technique de la E-92
- Description technique de la E-115

Description technique

Éolienne ENERCON

E-103 EP2 / 2000/2350 kW

Editeur	<p>ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne Téléphone : +49 4941 927-0 ▪ Fax : +49 4941 927-109 E-mail : info@enercon.de ▪ Internet : http://www.enercon.de Directeur général : Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben Tribunal compétent : Aurich ▪ Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411 N° TVA : DE 181 977 360</p>
Remarque sur les droits de propriété intellectuelle	<p>Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.</p> <p>ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.</p> <p>Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.</p> <p>Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.</p>
Marques déposées	<p>Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.</p>
Réserve de modification	<p>ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.</p>

Informations sur le document

ID du document	D0503762-5		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0432159-5/2017-12-20		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2018-07-03	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Aperçu de l'éolienne ENERCON E-103 EP2.....	1
2	Le concept d'éoliennes ENERCON.....	2
3	Composants de l'éolienne E-103 EP2.....	3
3.1	Pales du rotor.....	4
3.2	Nacelle.....	4
3.2.1	Générateur annulaire.....	4
3.3	Mât.....	5
4	Système d'alimentation du réseau.....	6
5	Système de sécurité.....	8
5.1	Dispositifs de sécurité.....	8
5.2	Le système de capteurs.....	8
6	Système de contrôle.....	11
6.1	Contrôle d'orientation.....	11
6.2	Réglage des pales du rotor.....	11
6.3	Démarrer l'éolienne.....	12
6.3.1	Préparation du démarrage.....	12
6.3.2	Mesure du vent et orientation de la nacelle.....	12
6.3.3	Excitation du générateur.....	13
6.3.4	Injection de puissance.....	13
6.4	Modes de fonctionnement.....	14
6.4.1	Mode charge pleine.....	14
6.4.2	Mode charge partielle.....	15
6.4.3	Fonctionnement à vide.....	15
6.5	Arrêt sécuritaire de l'éolienne.....	16
7	Système de surveillance à distance.....	17
8	Maintenance.....	18
9	Données techniques E-103 EP2.....	19

1 Aperçu de l'éolienne ENERCON E-103 EP2

L'éolienne ENERCON E-103 EP2 est une éolienne à entraînement direct d'une puissance nominale de 2000/2350 kW, dotée d'un rotor à trois pales, d'un système actif de réglage des pales (réglage Pitch) et fonctionnant à vitesse variable. Elle a un diamètre de rotor de 103 m et peut être livrée avec les hauteurs de moyeu de 78 m à 138 m.



Fig. 1 : Vue d'ensemble de l'éolienne ENERCON E-103 EP2

2 Le concept d'éoliennes ENERCON

Sans boîte de vitesse

Le système d'entraînement de l'E-103 EP2 ne comporte que peu de pièces tournantes. Accouplés l'un à l'autre directement sans boîte de vitesse intercalée, le moyeu du rotor et le rotor du générateur annulaire forment une unité solidaire. Les sollicitations mécaniques sont ainsi réduites et la durée de vie technique accrue. Le nombre et l'étendue des opérations de maintenance et de service s'en trouvent réduits (entre autre moins de pièces d'usure, pas de vidange d'huile de la boîte de vitesse), ce qui se traduit par une baisse des coûts d'exploitation. Étant donné que l'éolienne ne possède pas de boîte de vitesse et de pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur et les émissions sonores sont considérablement réduites.

Réglage actif des pales

Chacune des 3 pales du rotor est équipée d'un système de réglage des pales. Chaque système de réglage des pales comporte un entraînement électrique, une commande et une alimentation de secours. Les systèmes de réglage des pales limitent la vitesse de rotation du rotor et par conséquent la puissance provenant du vent. La puissance maximale fournie par l'E-103 EP2 est ainsi limitée exactement à la puissance nominal même à court terme. Lorsque les pales du rotor sont mises en drapeau, le rotor s'arrête, sans que l'arbre d'entraînement soit soumis à une charge quelconque par l'utilisation d'un frein mécanique.

Raccordement indirect au réseau

L'énergie produite par le générateur annulaire est acheminée dans le réseau de distribution ou de transport par le système d'alimentation du réseau ENERCON. Le système d'alimentation du réseau ENERCON qui se compose d'un redresseur, d'une liaison CC (DC link) et d'un système modulaire d'onduleurs offre un rendement énergétique maximal et une compatibilité au réseau élevée. Les caractéristiques électriques du générateur annulaire sont par conséquent insignifiantes pour le comportement de l'éolienne sur le réseau de distribution ou de transport. En fonction de la vitesse du vent, la vitesse de rotation, l'excitation, la tension de sortie et la fréquence de sortie du générateur annulaire peuvent varier. L'énergie du vent peut ainsi toujours être utilisée de manière optimale également dans la plage de charge partielle.

3 Composants de l'éolienne E-103 EP2

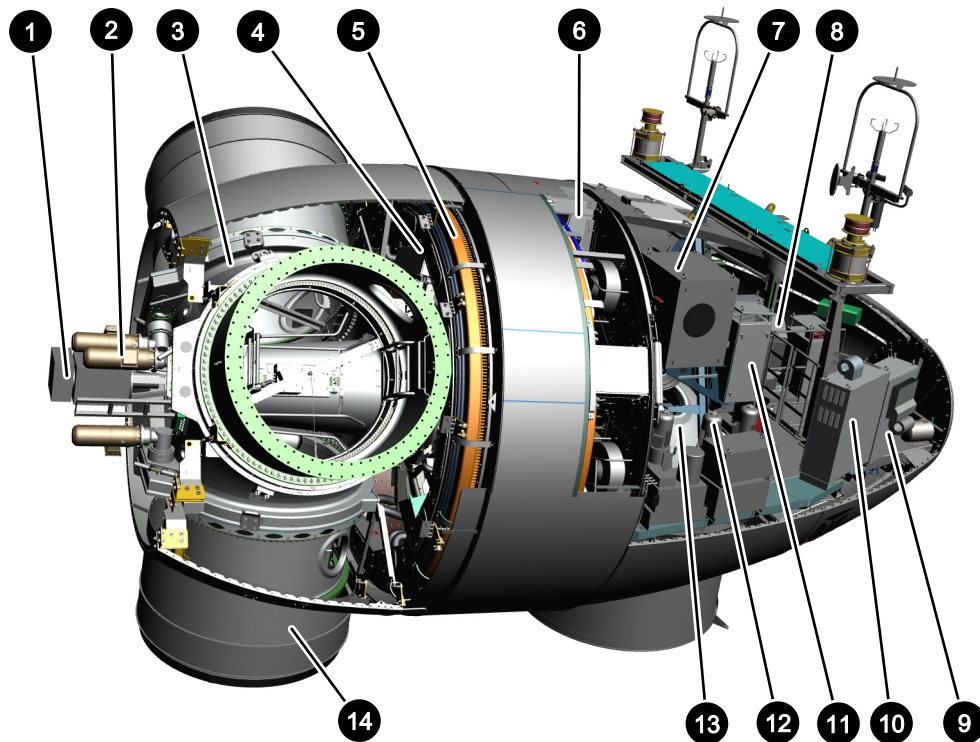


Fig. 2 : Vue de la nacelle ENERCON E-103 EP2

1 Collecteur	2 Entraînements de réglage des pales (pitch)
3 Moyeu du rotor	4 Rotor du générateur
5 Stator du générateur	6 Support du stator
7 Armoire du redresseur	8 Armoire de commande de la nacelle
9 Armoire de commande du système d'orientation (yaw)	10 Armoire du régulateur d'excitation
11 Armoire de filtres	12 Entraînements d'orientation
13 Support principal	14 Adaptateur de pale

3.1 Pales du rotor

Les pales du rotor en matière synthétique renforcée de fibres de verre et de fibre de carbone (fibre de verre/fibre de carbone + résine époxy), de bois de balsa et de mousse jouent un rôle important dans le rendement de l'éolienne et dans son comportement par rapport à l'émission sonore. La forme et le profil des pales du rotor de l'E-103 EP2 ont été conçus en fonction des critères suivants :

- Coefficient de puissance élevé
- Longue durée de vie
- Faibles émissions sonores
- Faibles contraintes mécaniques
- Utilisation optimale de matériaux

Une des particularités est le profilage des pales de rotor qui s'étend jusqu'à la nacelle. Les pertes internes liées à l'écoulement de l'air sur les pales du rotor traditionnelles sont ainsi évitées. L'énergie du vent peut être exploitée de manière optimale grâce à la géométrie de la nacelle, favorisant l'écoulement de l'air.

Les pales de l'E-103 EP2 sont tout spécialement conçues pour un système de réglage des pales variable et pour une vitesse de rotation variable. Le revêtement de la surface sur la base de polyuréthane (PU) protège les pales des influences environnementales comme p. ex. les rayons UV et l'érosion. Le revêtement est très résistant à l'abrasion.

Le réglage d'angle des trois pales du rotor est assuré par trois systèmes de réglage des pales indépendants commandés par microprocesseurs. L'angle de pale réglé est surveillé en permanence par une mesure d'angle des pales, et les trois angles de pale du rotor sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux régimes de vent dominants.

3.2 Nacelle

3.2.1 Générateur annulaire

Les éoliennes ENERCON utilisent un générateur synchrone multipolaire à excitation indépendante (générateur annulaire). L'éolienne fonctionne avec une vitesse de rotation variable pour permettre l'exploitation optimale du potentiel éolien, quelle que soit la vitesse du vent. Le générateur annulaire produit ainsi du courant alternatif avec une tension, une fréquence et une amplitude variables.

Les bobinages dans le stator du générateur annulaire forment deux systèmes de courant alternatif triphasé indépendants. Ces deux systèmes sont redressés séparément dans la nacelle, rassemblés dans le système de distribution de courant continu puis à nouveau convertis en courant triphasé avec une tension, une fréquence et une relation de phase conformes au réseau par les onduleurs situés dans le pied du mât.

Ainsi le générateur annulaire n'est pas raccordé directement au réseau absorbant du distributeur d'électricité mais il est découplé du réseau par le convertisseur intégral.

3.3 Mât

Le mât de l'éolienne E-103 EP2 est un mât acier ou un mât hybride composé de sections préfabriquées en béton avec section en acier.

La couche de peinture ou la protection contre les intempéries et la corrosion sont appliquées sur tous les mâts en usine, de sorte que, après le montage, les seuls travaux nécessaires dans ce domaine sont la correction des défauts et des éventuels dommages occasionnés lors du transport. La partie inférieure du mât est recouverte d'une peinture extérieure aux nuances de couleurs (ce dégradé de couleurs peut être supprimé en option).

Le mât acier est un tube en tôle d'acier qui s'affine de manière linéaire vers le haut. Il est préfabriqué en quelques grandes sections en usine. Les extrémités des sections sont munies de brides percées de trous pour le montage.

Les sections de mât sont simplement posées les unes sur les autres et vissées sur le lieu d'installation. Le mât est relié à la fondation au moyen d'une cage d'ancrage.

Le mât hybride se compose de sections préfabriquées en béton assemblées sur le lieu d'installation. Les sections sont généralement placées à sec les unes sur les autres, mais une couche de compensation de mortier peut aussi être appliquée. Les joints verticaux sont reliés entre eux au moyen de raccords vissés. Ensuite, la section en acier supérieure est posée et vissée.

Le mât hybride est précontraint dans le sens vertical par des câbles de précontrainte fabriqués en acier de précontrainte. Les câbles de précontrainte sont installés verticalement à travers des passages dans les éléments en béton ou à l'extérieur sur la paroi intérieure du mât. Ils sont ancrés dans la fondation.

Pour des raisons techniques et économiques, la partie supérieure plus étroite du mât en béton préfabriqué est composée d'acier. Il n'est p. ex. pas possible de monter le palier d'orientation directement sur les éléments en béton et l'épaisseur beaucoup plus fine de la partie en acier offre plus d'espace dans le mât.

4 Système d'alimentation du réseau

Le générateur annulaire est connecté au réseau via le système d'alimentation du réseau ENERCON. Ce système se compose de systèmes d'onduleurs et de redresseurs modulaires dotés d'une liaison CC (DC link) commune.

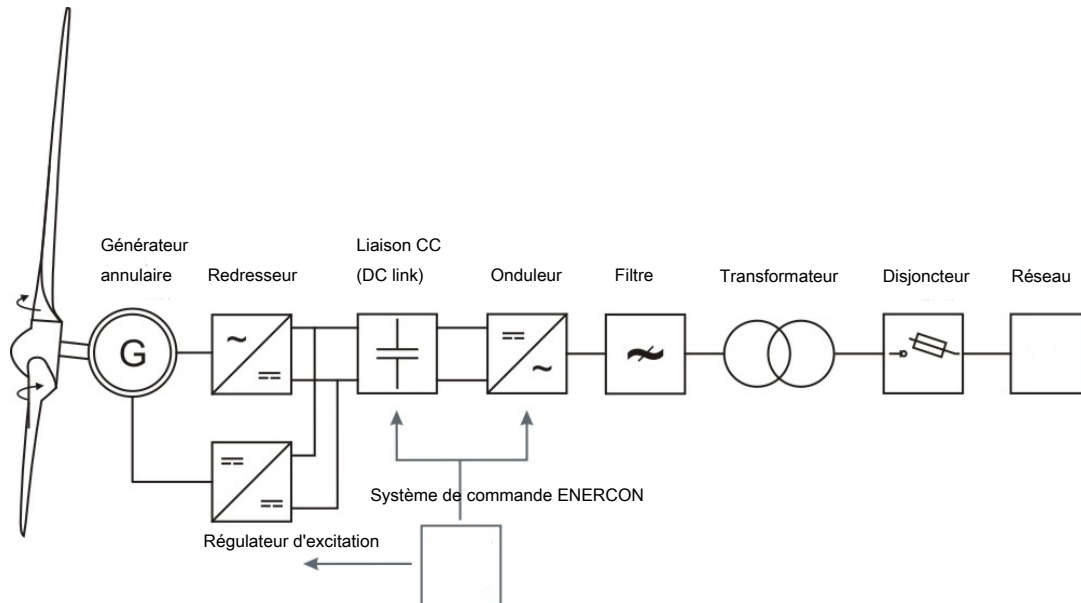


Fig. 3 : Schéma électrique simplifié d'une éolienne ENERCON

Puissance réactive

L'éolienne E-103 EP2 peut au moyen de la commande FACTS standard (Flexible AC Transmission System) fournir au besoin de la puissance réactive et ainsi contribuer au bilan de la puissance réactive et au maintien de la tension dans le réseau. Déjà à partir de 10 % de la puissance active nominale, toute la plage de réglage de puissance réactive est disponible. La plage de réglage maximale pour la puissance réactive dépend de la configuration de l'éolienne.

Configuration FT

L'éolienne E-103 EP2 est équipée de manière standard de la technologie FACTS qui remplit les exigences élevées des codes de réseau spécifiques. Elle peut surmonter des états de système en panne dans le réseau (sous-tension, surtension, réenclenchements automatiques etc.) pendant une durée d'erreur allant jusqu'à 5 secondes (FT = FACTS + FRT- Fault Ride Through (capacité de maintien de l'alimentation en creux de tension par défaut)) et par conséquent, elle peut rester raccordée au réseau pendant un cas d'erreur.

Si la tension mesurée sur le point de référence dépasse une valeur limite définie, l'éolienne ENERCON passe du fonctionnement normal au mode défaut.

Une fois la panne résolue, l'éolienne se remet en mode de fonctionnement normal et fournit la puissance disponible au réseau. Si la tension ne revient pas dans un délai réglable (max. 5 s) dans la plage de fonctionnement admissible pour le mode de fonctionnement normal, l'éolienne est coupée du réseau.

Lors du passage de la panne réseau, il existe de différents modes de défaut avec de différentes stratégies de l'injection de courant réactif supplémentaire pendant la panne de réseau. Les stratégies de commande contiennent en revanche des possibilités de réglage différentes pour les types de pannes ou d'erreurs.

La stratégie de commande appropriée doit être choisie en s'appuyant sur les règles de projet et de raccordement au réseau spécifiques, qui doivent être confirmées par l'exploitant du réseau concerné.

Configuration FTS

FACTS Transmission (FRT) avec l'option STATCOM

Comme la configuration FT, l'option STATCOM (**Static Compensator**) permet à l'éolienne de délivrer et recevoir de la puissance réactive, indépendamment du fait qu'elle produit elle-même de la puissance active et l'injecte dans le réseau. Tout comme le fait une centrale électrique, elle peut ainsi soutenir à tout moment le réseau électrique de manière active. Il faut vérifier sur le projet concerné si la configuration peut être utilisée.

Configuration FTQ

FACTS transmission (FRT) avec option Q+

La configuration FTQ possède toutes les caractéristiques de la configuration FT. Elle possède en outre une plage de réglage de puissance réactive étendue.

Configuration FTQS

FACTS transmission (FRT) avec des options Q+ et STATCOM

La configuration FTQS possède toutes les caractéristiques des configurations FTQ et FTS.

Protection de fréquence

Les éoliennes ENERCON peuvent être utilisées sur des réseaux de fréquence nominale de 50 Hz et 60 Hz.

La plage opérationnelle de fonctionnement de l'E-103 EP2 est définie par une limite minimale et maximale de fréquence. Les événements de sur-fréquence et de sous-fréquence au point de référence de l'éolienne entraînent un déclenchement de la protection de fréquence et un arrêt de l'éolienne après le délai de temporisation maximum de 60 s.

Régulation puissance-fréquence

Si à cause d'une panne de réseau il y a une sur-fréquence de courte durée, les éoliennes ENERCON peuvent dynamiquement réduire leur injection de puissance afin de contribuer au rétablissement de l'équilibre entre le réseau de production et de transmission.

La puissance active injectée des éoliennes ENERCON peut dans un mode de fonctionnement normal être limitée de manière préventive. Dans le cas d'une sous-fréquence, la puissance fournie par cette limitation est mise à disposition pour stabiliser la fréquence. La caractéristique de cette régulation peut être adaptée de manière très flexible aux exigences les plus variées.

5 Système de sécurité

L'E-103 EP2 dispose d'une multitude d'installations relevant de la sécurité, qui servent à maintenir l'éolienne de façon permanente dans une plage de fonctionnement sécuritaire. À part les composants qui offrent un arrêt sécuritaire des éoliennes, il y a aussi un système de capteurs très complexe. Ce système enregistre en permanence tous les états de fonctionnement de l'éolienne et met à disposition les informations correspondantes par le biais du système de surveillance à distance ENERCON SCADA.

Si les paramètres de service relevant de la sécurité se situent à l'extérieur d'une plage autorisée, l'éolienne reste en service avec une puissance limitée ou elle est arrêtée.

5.1 Dispositifs de sécurité

Boutons d'arrêt d'urgence

Des boutons d'arrêt d'urgence se trouvent dans l'éolienne ENERCON, à côté de la porte du mât, sur l'armoire de commande dans le pied du mât, sur l'armoire de commande de la nacelle et, si nécessaire, sur d'autres niveaux de l'E-module. Lors de l'actionnement d'un bouton d'arrêt d'urgence, le frein du rotor est activé. Les pales du rotor subissent un réglage d'urgence.

Restent alimentés :

- le frein du rotor
- les feux de balisage lumineux
- l'éclairage
- les prises

Interrupteur principal

Des interrupteurs principaux sont installés dans l'éolienne ENERCON au niveau de l'armoire de commande et sur l'armoire de commande de la nacelle. Lors de leur activation, ils mettent presque toute l'éolienne hors tension.

Restent alimentés :

- les feux de balisage lumineux
- l'ascenseur de service
- les prises
- l'éclairage
- la zone HTA

5.2 Le système de capteurs

De nombreux capteurs enregistrent continuellement l'état actuel de l'éolienne ainsi que les paramètres ambiants significatifs (p. ex. vitesse du rotor, température, vitesse du vent, charge de pale, etc.). Le système de contrôle analyse les signaux et commande l'éolienne en règle générale de sorte que l'énergie éolienne actuellement disponible soit utilisée de manière optimale tout en garantissant la sécurité de fonctionnement.

Capteurs redondants

Afin de garantir un contrôle de plausibilité par comparaison des valeurs signalées, des capteurs redondants sont montés pour certains états de fonctionnement. Cela s'applique p. ex. à la mesure de la température dans le générateur, la mesure de la vitesse du vent ou la mesure de l'angle actuel du pale du rotor. Tout capteur défectueux est détecté et peut être réparé ou remplacé par l'activation d'un capteur de réserve. En règle générale, l'éolienne peut ainsi continuer à fonctionner en toute sécurité sans que des grands composants soient remplacés.

Contrôle des capteurs

Le bon fonctionnement des capteurs est contrôlé régulièrement en cours de service par le système de contrôle ou, si cela n'est pas possible, dans le cadre de la maintenance.

Contrôle de la vitesse

Le système de contrôle de l'éolienne ENERCON règle la vitesse du rotor en modifiant l'angle de pale de manière à ce que la vitesse nominale ne soit pas trop fortement dépassée par grand vent. Le réglage des pales n'est cependant pas en mesure de réagir suffisamment vite en présence d'événements soudains, comme par exemple une forte rafale ou une diminution brutale de la charge du générateur. Si la vitesse nominale est dépassée de plus de 15 %, le système de contrôle de l'éolienne arrête le rotor. L'éolienne tente de redémarrer automatiquement au bout de 3 minutes. Si ce défaut se produit plus de cinq fois en 24 heures, la présence d'un dysfonctionnement est alors suspectée. Aucune autre tentative de démarrage n'a lieu.

Parallèlement à la surveillance électronique, un capteur de survitesse électromécanique (capteur de force centrifuge) est installé à l'intérieur ou à côté des 3 armoires de réglage des pales. Chacun de ces capteurs peut arrêter l'éolienne grâce à un réglage d'urgence. Ils réagissent lorsque la vitesse nominale du rotor est dépassée de plus de 25 %. Les capteurs de survitesse doivent être réinitialisés manuellement après avoir recherché et éliminé la cause de la survitesse pour permettre le redémarrage de l'éolienne.

Surveillance des vibrations

Le capteur de vibrations détecte les fortes vibrations et secousses excessives qui peuvent par exemple se produire lors d'une panne du redresseur. Il est monté sur le bord inférieur du support principal de l'éolienne et se compose d'un détecteur muni d'une tige à ressorts à l'extrémité de laquelle se trouve une boule retenue par une chaîne. La boule est posée sur l'extrémité d'un tube vertical court. En cas de fortes vibrations, la boule tombe de son support, actionne le capteur par l'intermédiaire de la chaîne, déclenchant ainsi un réglage d'urgence des pales du rotor qui arrête le rotor.

Système de surveillance de l'entrefer

La largeur de l'entrefer entre le rotor et le stator du générateur annulaire est surveillée à l'aide de micro-rupteurs répartis tout autour du rotor. En cas de déclenchement de l'un des micro-rupteurs dû au sous-dépassement de la distance minimale, l'éolienne est stoppée et redémarrée rapidement peu de temps après.

Si ce défaut se produit à nouveau en 24 heures, l'éolienne reste à l'arrêt jusqu'à ce que la cause ait été supprimée.

Surveillance des oscillations

La surveillance des oscillations détecte les oscillations ou les déflexions de forte ampleur de la pointe du mât de l'éolienne.

2 capteurs d'accélération enregistrent les accélérations de la nacelle dans la direction de l'axe du moyeu (oscillations longitudinales) et dans la direction transversale (oscillations transversales). À partir de ces données, le système de contrôle calcule continuellement les mouvements du mât par rapport à sa position de repos. Si les oscillations dépassent la valeur autorisée, l'éolienne s'arrête. Elle redémarre automatiquement après quelques instants. Les capteurs d'accélération sont montés sur le même dispositif de fixation que le capteur de vibrations. Si, pendant 24 heures, le mât présente à plusieurs reprises des oscillations dépassant les limites admissibles, l'éolienne ne tente plus de redémarrer.

Système de surveillance de la température

Certains composants de l'éolienne ENERCON sont refroidis. Des capteurs de température mesurent continuellement la température des composants de l'éolienne qui doivent être protégés des températures élevées.

Lorsque la température est trop élevée, le système de contrôle réduit la puissance de l'éolienne ou arrête cette dernière, si nécessaire. L'éolienne refroidit et redémarre en général automatiquement dès que la température retombe sous la valeur limite prescrite.

Certains points de mesure sont également équipés de capteurs de surchauffe. Ceux-ci provoquent également un arrêt de l'éolienne, dans certains cas, sans redémarrage automatique après refroidissement, lorsque la température dépasse une certaine valeur seuil.

Certains modules, tels que l'accumulateur d'énergie du balisage de danger et le générateur p. ex., sont réchauffés lorsque la température est trop basse afin de les maintenir dans un état opérationnel.

Système de surveillance du bruit interne à la nacelle

La tête du rotor contient des capteurs qui réagissent aux bruits de chocs élevés pouvant provenir de composants desserrés ou défectueux. L'éolienne est stoppée lorsqu'un des capteurs signale des bruits et en l'absence d'un message indiquant une autre cause.

Les messages de toutes les éoliennes d'un parc sont comparés les uns aux autres pour exclure toute cause extérieure de bruits (grêle lors d'un orage notamment). Les éoliennes individuelles sont en outre équipées d'un capteur de bruits placé dans la salle des machines. Lorsque les capteurs de plusieurs éoliennes ou le capteur de bruits de la salle des machines signalent des bruits simultanément, on peut alors supposer que les causes sont extérieures. Les capteurs de bruit sont désactivés pendant un court instant de sorte qu'aucune des éoliennes ne soit stoppée dans le parc éolien.

Surveillance anti-torsion des câbles

Si la nacelle de l'éolienne tourne jusqu'à trois fois sur son axe, vrillant ainsi les câbles descendus dans le mât, le système de contrôle de l'éolienne les dévrille automatiquement dès que possible.

La surveillance anti-torsion des câbles dispose de capteurs qui coupent l'alimentation électrique des moteurs d'orientation lorsque la plage de réglage autorisée est dépassée.

6 Système de contrôle

Le système de contrôle de l'E-103 EP2 repose sur un système de microprocesseurs développé en interne par la société ENERCON qui interroge tous les composants de l'éolienne au moyen de capteurs et recueille des données, telles que la direction et la vitesse du vent, et adapte ainsi en fonction le mode de fonctionnement de l'E-103 EP2. L'état actuel de l'éolienne et les éventuelles pannes sont affichés sur l'écran de l'éolienne de l'armoire de commande située dans le pied du mât.

6.1 Contrôle d'orientation

Le palier d'orientation muni d'une couronne extérieure se situe sur la connexion supérieure du mât. Il permet la rotation de la nacelle et ainsi le contrôle d'orientation (yaw control).

Si l'écart entre la direction du vent et la direction de l'axe du rotor est supérieur à la valeur maximale autorisée, les entraînements d'orientation sont activés et permettent alors à la nacelle de suivre le vent. La commande des moteurs d'orientation garantit un démarrage et un freinage en douceur. Le système de contrôle surveille le processus d'orientation. En cas de détection d'irrégularités, le processus d'orientation est désactivé et l'éolienne est stoppée.

6.2 Réglage des pales du rotor

Principe de fonctionnement

Le système de réglage des pales modifie l'angle d'attaque avec lequel l'air arrive sur le profil des pales. La modification de l'angle de pale induit également une modification de la force ascensionnelle de pale, et donc également de la force avec laquelle la pale fait tourner le rotor.

Lors du fonctionnement normal (mode automatique), l'angle de pale est réglé de sorte que, d'une part, l'énergie du vent soit utilisée de manière optimale et que, d'autre part, l'éolienne ne soit soumise à aucune surcharge ; pour ce faire les conditions cadre comme l'optimisation acoustique sont respectées. Le réglage de pales permet également le freinage aérodynamique du rotor.

Lorsque l'éolienne atteint sa puissance nominale et que la vitesse du vent continue d'accélérer, le système de réglage des pales tourne légèrement les pales du rotor hors du vent de manière à ce que la vitesse du rotor et la puissance absorbée du vent et transformée par le générateur n'excèdent pas ou seulement accessoirement les valeurs nominales.

Structure

Chaque pale est équipée de son propre système de réglage des pales. Le système de réglage des pales se compose d'une armoire de réglage des pales (pitch box), d'une boîte relais des pales, d'un moteur de réglage des pales (pitch) et d'une unité condensateur. L'armoire de réglage des pales (pitch box) et la boîte relais des pales, commandent le moteur de réglage des pales (pitch). L'unité condensateur emmagasine l'énergie nécessaire pour un réglage d'urgence, reste en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en permanence.

Angle de pale

Positions particulières des pales du rotor (angle de pale) dans le cas de l'E-103 EP2 :

- A : 2°** Position normale en mode charge partielle : exploitation maximale du vent.
- B : $\geq 60^\circ$** Fonctionnement à vide (l'éolienne n'injecte aucune puissance dans le réseau en raison de la faible vitesse de vent) : En fonction de la vitesse du vent, le rotor tourne à une vitesse minimale ou s'arrête en cas d'absence complète de vent.
- C : 92°** Mise en drapeau (le rotor a été stoppé manuellement ou automatiquement) : Même lorsque le vent souffle, les pales du rotor ne créent aucune force ascensionnelle, le rotor est immobile ou tourne très lentement.

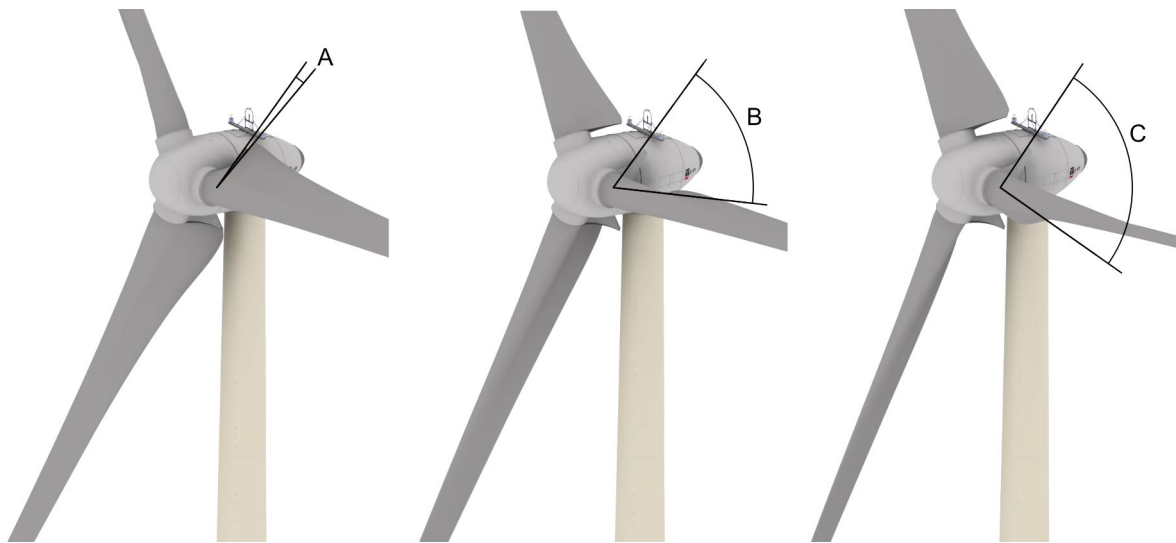


Fig. 4 : Positions particulières de la pale

6.3 Démarrer l'éolienne

6.3.1 Préparation du démarrage

L'éolienne est arrêtée aussi longtemps que l'état principal > 0 persiste. Dès que l'état principal est 0, l'éolienne est prête et le processus de démarrage est entamé. Si certaines conditions limites pour un démarrage ne sont pas encore complétées, comme par ex. la charge des unités condensateurs de réglage d'urgence de rotor, l'état 0:3 - Start lead-up (préparation de démarrage) est affiché.

Pendant la préparation de démarrage, débute une phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes de l'éolienne.

6.3.2 Mesure du vent et orientation de la nacelle

Une fois la préparation de démarrage terminée, l'état 0:2 - Turbine operational (éolienne prête) apparaît à l'écran.

Si le système de commande est en fonctionnement automatique, que la vitesse moyenne du vent est supérieure à 1,8 m/s et que la déviation de la direction du vent est suffisante pour un processus de contrôle d'orientation (yaw control), l'éolienne commence à s'orien-

ter vers le vent. 60 secondes après la fin de la préparation de démarrage, l'éolienne se met en fonctionnement à vide. Les pales du rotor avancent lentement, ceci pendant que les unités des condensateurs du système de réglage d'urgence de pale sont contrôlées.

Si l'éolienne est équipée de jauges de contrainte, les pales s'arrêtent à un angle de 70° et procèdent à la vérification des points de mesure de charge, qui peut prendre plusieurs minutes selon les circonstances. Pendant ce temps, l'état 0:5 - Calibration of load control (calibrage de la régulation de charge) est affiché.

Le processus de démarrage (état 0:1) débute lorsque la vitesse moyenne du vent est supérieure à la vitesse actuelle de démarrage (env. 2,0 m/s) pendant la phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes. Si ce n'est pas le cas, l'éolienne reste en mode de fonctionnement à vide (état 2:1 - Lack of wind:Wind speed too low (manque de vent : vitesse du vent trop faible)).

Besoins propres de l'éolienne

Étant donné que pendant ce temps l'éolienne ne fournit aucune puissance active, l'énergie électrique nécessaire pour les besoins propres de l'éolienne est prélevée du réseau.

6.3.3 Excitation du générateur

Dès que le rotor aura atteint une vitesse de rotation dépendante du type d'éolienne, l'excitation du générateur commencera. Le courant nécessaire est tiré du réseau pour une courte durée. Si le générateur atteint une vitesse de rotation suffisante, alors l'éolienne s'alimente elle-même en courant. Le courant pour l'excitation propre est prélevé de la liaison CC (DC link) du redresseur et l'énergie prélevée du réseau est réduite à zéro.

6.3.4 Injection de puissance

Le processus d'injection est initié dès qu'une tension de liaison CC suffisante est disponible et que le régulateur d'excitation n'est plus couplé au réseau. Après l'augmentation de la vitesse de rotation du fait de la présence suffisante de vent et d'une puissance nominale $P_{nom} > 0$, les contacteurs de ligne (côté basse tension) se ferment et l'E-103 EP2 commence à injecter la puissance dans le réseau à partir d'environ 4,8 tr/min.

Le contrôle de la puissance règle le courant d'excitation de sorte à ce que l'injection se déroule selon la courbe de puissance exigée.

Le gradient pour l'augmentation de la puissance (dP/dt) après une panne de réseau ou après un démarrage normal peut être déterminé dans le système de contrôle à l'intérieur d'une plage spécifique. Vous trouverez de plus amples informations à ce sujet dans la fiche de données *Caractéristiques techniques relatives au réseau* pour le type d'éolienne ENERCON concerné.

6.4 Modes de fonctionnement

Dès que la phase de démarrage de l'E-103 EP2 est terminée, l'éolienne est en fonctionnement automatique (fonctionnement normal). Lorsque l'éolienne fonctionne, les régimes de vent sont constamment déterminés ; la vitesse du rotor, l'excitation et la puissance du générateur sont optimisées, la position de la nacelle est adaptée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré.

Afin d'optimiser la génération de courant en présence de conditions de vent diverses, l'éolienne commute entre 3 modes de fonctionnement dans le cadre du fonctionnement automatique en fonction de la vitesse du vent. Sous certaines conditions, l'éolienne s'arrête aussi lorsque la configuration de l'éolienne le prévoit (p. ex. en raison d'arrêt pour cause de zone d'ombre). De plus, le distributeur d'électricité du réseau dans lequel l'énergie produite est injectée a la possibilité d'influencer directement le comportement de l'éolienne par commande à distance, p. ex. pour réduire temporairement l'alimentation réseau.

L'E-103 EP2 commute entre les modes de fonctionnement suivants :

- Mode pleine charge
- Mode charge partielle
- Fonctionnement à vide

6.4.1 Mode charge pleine

Vitesse du vent

$v \geq 11$ (2000 kW)/12 (2350 kW) m/s

Lorsque la vitesse de vent est égale ou supérieure à la vitesse de vent nominale, l'éolienne maintient la vitesse de rotation du rotor sur la valeur de consigne (env. 14,8 (2000 kW)/15 (2350 kW) tr/min) grâce au réglage des pales et limite ainsi la puissance à sa valeur nominale de 2000/2350 kW.

Système de mode tempête activé (cas normal)

Le système de mode tempête permet le fonctionnement de l'éolienne même à des vitesses de vent élevées, mais à une vitesse de rotor et une puissance réduites.

Au-dessus d'env. 28 m/s (sur une moyenne de 12 s) et lorsque la vitesse du vent continue d'augmenter, la vitesse de rotation est réduite linéairement de 14,8 (2000 kW)/15 (2350 kW) tr/min jusqu'à la vitesse de rotation à vide pour une vitesse de vent de 34 m/s env., en positionnant les pales hors du vent. La puissance injectée diminue alors conformément à la courbe de puissance de la vitesse de rotation.

Lorsque la vitesse du vent est supérieure à 34 m/s (sur une moyenne de 10 min), les pales sont pratiquement mises en drapeau. L'éolienne continue de fonctionner à vide sans fournir de puissance, mais reste connectée au réseau absorbant. Si la vitesse du vent chute en-dessous de 34 m/s, l'éolienne reprend alors automatiquement l'injection de courant.

Le système de mode tempête est activé par défaut et peut uniquement être désactivé via la maintenance à distance ou sur site par ENERCON Service.

Système de mode tempête non actif

Si le mode tempête est exceptionnellement désactivé, l'éolienne est arrêtée pour des raisons de sécurité, lorsque la vitesse du vent dépasse 25 m/s (moyenne sur 3 minutes) ou 30 m/s (moyenne sur 15 s). L'éolienne démarre automatiquement si à l'intérieur de 10 minutes après l'arrêt, aucun des deux événements ne survient.

6.4.2 Mode charge partielle

Vitesse du vent

$2,5 \text{ m/s} \leq v < 11 \text{ (2000 kW)}/12 \text{ (2350 kW) m/s}$

Pendant le mode charge partielle (la vitesse du vent se situe entre la vitesse de démarrage et la vitesse nominale) la puissance maximale possible est soutirée du vent. La vitesse du rotor et la puissance fournie dépendent de la vitesse du vent actuelle. Pour cela le réglage des pales débute dès la plage limite du mode charge pleine afin de garantir une transition continue.

6.4.3 Fonctionnement à vide

Vitesse du vent

$v < 2,5 \text{ m/s}$

Lors de vitesses de vent en dessous de 2,5 m/s le courant ne peut être injecté dans le réseau. L'éolienne fonctionne en mode fonctionnement à vide, ce qui signifie que les pales du rotor sont en grande partie tournées hors du vent (angle de pale $\geq 60^\circ$) et le rotor tourne lentement ou reste immobile en l'absence totale de vent.

Grâce à ce déplacement lent (fonctionnement à vide), les paliers du rotor sont moins sollicités que lors d'une immobilisation prolongée, et une reprise de la production et de l'injection de courant est plus rapide lorsque le vent devient plus fort.

6.5 Arrêt sécuritaire de l'éolienne

L'éolienne ENERCON peut être arrêtée par une manipulation manuelle ou automatiquement par le système de commande.

Les raisons sont divisées en groupe selon le risques.

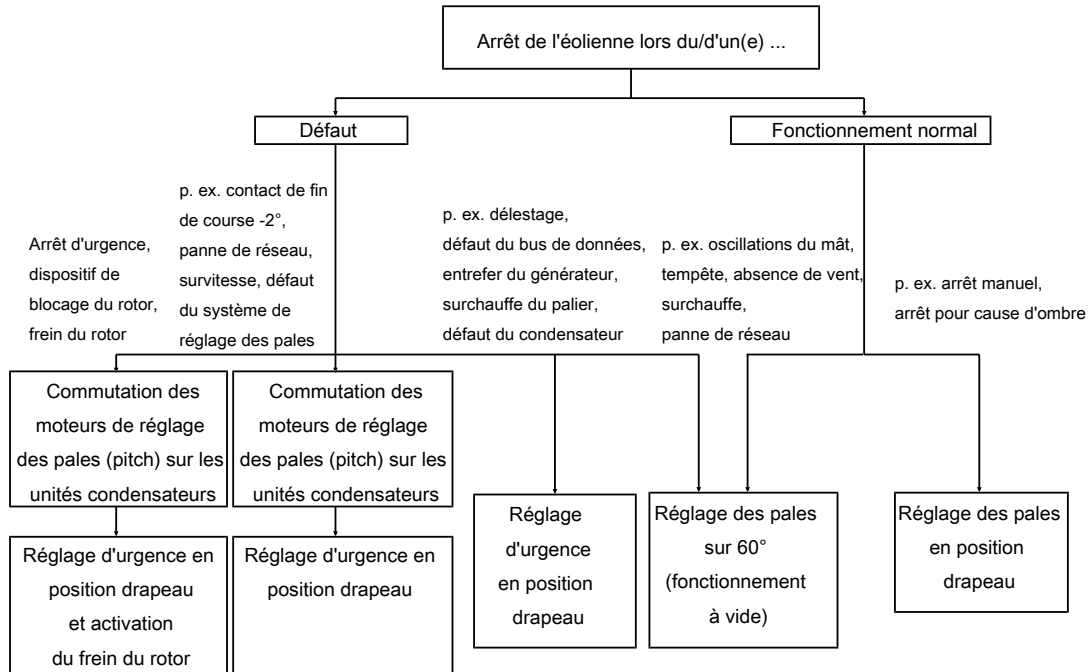


Fig. 5 : Aperçu des opérations d'arrêt

Arrêt de l'éolienne par le système de réglage des pales

Lors d'une panne ne relevant pas de la sécurité, la commande fait sortir du vent les pales du rotor et ainsi ces dernières ne produisent plus de force ascensionnelle et l'éolienne s'arrête.

Réglage d'urgence

L'accumulateur d'énergie des systèmes de réglage des pales emmagasine l'énergie nécessaire à un réglage d'urgence, reste en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en continu. Lors d'un réglage d'urgence, les systèmes d'entraînement de l'accumulateur d'énergie correspondant sont alimentés en énergie. Les pales du rotor se mettent dans une position dans laquelle elles ne produisent aucune force ascensionnelle (mise en drapeau) de manière incontrôlée et indépendamment les unes des autres.

Étant donné que les 3 systèmes de réglage des pales se contrôlent mutuellement, tout en fonctionnant individuellement, les systèmes de réglage des pales peuvent continuer à fonctionner et arrêter le rotor même si l'un d'eux est défaillant.

Freinage d'urgence

Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence est actionné ou que le dispositif de blocage du rotor est activé pendant que le rotor tourne, la commande de l'éolienne déclenche un freinage d'urgence.

En outre au réglage d'urgence des pales du rotor le frein du rotor est activé. Le rotor est freiné pendant 10 à 15 secondes de la vitesse nominale jusqu'à l'arrêt.

7 Système de surveillance à distance

Toutes les éoliennes ENERCON sont raccordées en série à la succursale de Service régionale via le système ENERCON SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Celle-ci peut consulter à tout moment les données de fonctionnement de chaque éolienne et réagir immédiatement en cas de défauts ou de dysfonctionnements, si nécessaire. Tous les messages d'état sont transmis via le système ENERCON SCADA à la succursale de Service régionale où ils sont enregistrés de manière permanente. C'est là la seule manière de mettre à profit toutes les expériences acquises lors de l'exploitation à long terme dans la stratégie de développement future des éoliennes ENERCON.

Le raccordement des éoliennes passe par un ordinateur spécialement prévu à cet effet (ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)), qui est installé habituellement dans le poste de livraison ou dans le poste source du parc éolien. Chaque parc est équipé d'un ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Le système ENERCON SCADA, ses caractéristiques et son utilisation sont décrits dans des documents séparés.

Si l'exploitant le souhaite, la surveillance des éoliennes peut être assurée par un autre organisme.

8 Maintenance

Pour garantir le fonctionnement sûr et optimal de l'éolienne, il est nécessaire d'effectuer régulièrement des opérations de maintenance.

Selon les exigences, les éoliennes ENERCON sont régulièrement entretenues ; au moins une fois par an.

Lors de la maintenance, tous les composants et fonctions relatifs à la sécurité sont contrôlés comme par exemple le réglage des pales, le système de contrôle d'orientation (yaw), les systèmes de sécurité, le système de protection parafoudre, les points d'attache et l'échelle. Les raccords vissés des raccords portants (composants principaux) sont contrôlés. Tous les autres composants font l'objet d'une inspection visuelle pendant laquelle des anomalies et des dommages sont constatés. Les lubrifiants consommés sont remplis.

Les fréquences de maintenance et les cadres de maintenance peuvent varier en fonction des directives et des normes régionales.

9 Données techniques E-103 EP2

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation du type	E-103 EP2
Puissance nominale	2000/2350 kW
Hauteurs des moyeux	78,33 m, 84,58 m, 98,00 m, 98,38 m, 108,38 m, 138,48 m
Diamètre du rotor	103 m
Classe de vent CEI (éd. 3)	IIIA et S
Vitesse de vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	37,5 m/s (IIIA) ; 38,0 m/s (S) Correspond à un équivalent de charge d'env. 52,5 m/s (IIIA) (rafale de 3 s) ; 53,2 m/s (S) (rafale de 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	7,5 m/s (IIIA) ; 8,6 m/s (S)

Rotor avec système de réglage des pales	
Type	Rotor face au vent à système de réglage actif des pales
Sens de rotation	Sens horaire
Nombre de pales	3
Longueur des pales	49,3 m
Surface balayée	8332 m ²
Matériau de la pale	Plastique renforcé de verre/matière plastique renforcée de fibres de carbone/résine époxy bois de balsa/mousse
Vitesse de rotation inférieure de l'injection de puissance jusqu'à la vitesse nominale	4,8 - 14,4 (2000 kW)/14,6 (2350 kW) tr/min
Vitesse en bout de pale à la vitesse de rotation de consigne	jusqu'à 79,82 (2000 kW)/80,89 (2350 kW) m/s
Vitesse du vent de coupure	28 - 34 m/s (avec l'option système de mode tempête ENERCON)
Angle de cône	0°
Angle d'axe du rotor	5°
Système de réglage des pales	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec alimentation électrique de secours dédiée

Arbre d'entraînement avec générateur	
Concept d'éolienne	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	Palier à deux rangées de rouleaux coniques/palier à rouleaux cylindriques
Générateur	Générateur annulaire ENERCON, à entraînement direct
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON à fréquence d'horloge élevée et courant de forme sinusoïdale
Degré de protection/classe d'isolation	IP 23/F

Système de freinage	
Frein aérodynamique	Trois systèmes de réglage des pales indépendants avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Intégré
Dispositif de blocage du rotor	par crans de 15°

Système de contrôle d'orientation	
Type	Électrique avec moteurs d'orientation (yaw)
Commande	Active par transmissions d'orientation

Système de contrôle	
Type	Microprocesseur
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON
Système de surveillance à distance	ENERCON SCADA
Alimentation sans interruption (ASI)	Intégré

Types de mât			
Hauteur du moyeu	Hauteur totale	Modèle	Classe de vent
78,33 m	129,83 m	Mât en acier avec cage d'ancrage	CEI IIIA ¹
84,58 m	136,08 m	Mât en acier avec cage d'ancrage	CEI IIIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
98,00 m	149,50 m	Mât en acier avec cage d'ancrage	CEI IIIA / S ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
98,38 m	149,88 m	Mât hybride	CEI IIIA ¹
108,38 m	159,88 m	Mât hybride	CEI IIIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
138,38 m	189,88 m	Mât hybride	CEI IIIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²

¹Édition 3 ; ²Édition 2012

Description technique

Éolienne ENERCON

E-138 EP3

Editeur	<p>ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne Téléphone : +49 4941 927-0 ▪ Fax : +49 4941 927-109 E-mail : info@enercon.de ▪ Internet : http://www.enercon.de Directeur général : Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben Tribunal compétent : Aurich ▪ Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411 N° TVA : DE 181 977 360</p>
Remarque sur les droits de propriété intellectuelle	<p>Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.</p> <p>ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.</p> <p>Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.</p> <p>Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.</p>
Marques déposées	<p>Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.</p>
Réserve de modification	<p>ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.</p>

Informations sur le document

ID du document	D0628462-3		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0612062-3/2018-03-15		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2018-04-06	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Aperçu de l'éolienne ENERCON E-138 EP3	1
2	Le concept d'éoliennes ENERCON	2
3	Composants de l'éolienne E-138 EP3	3
3.1	Pales du rotor	4
3.2	Nacelle	4
3.2.1	Générateur annulaire	5
3.3	Mât	5
4	Système d'alimentation du réseau	6
5	Système de sécurité	9
5.1	Dispositifs de sécurité	9
5.2	Le système de capteurs	10
6	Système de contrôle	12
6.1	Contrôle d'orientation	12
6.2	Réglage des pales du rotor	12
6.3	Démarrer l'éolienne	13
6.3.1	Préparation du démarrage	13
6.3.2	Mesure du vent et orientation de la nacelle	13
6.3.3	Excitation du générateur	14
6.3.4	Injection de puissance	14
6.4	Modes de fonctionnement	15
6.4.1	Mode charge pleine	15
6.4.2	Mode charge partielle	16
6.4.3	Fonctionnement à vide	16
6.5	Arrêt sécuritaire de l'éolienne	17
7	Système de surveillance à distance	18
8	Maintenance	19
9	Caractéristiques techniques de l'E-138 EP3	20

1 Aperçu de l'éolienne ENERCON E-138 EP3

L'éolienne ENERCON E-138 EP3 est une éolienne à entraînement direct d'une puissance nominale de 3500 kW, dotée d'un rotor à trois pales, d'un système actif de réglage des pales et fonctionnant à vitesse variable. Elle a un diamètre de rotor de 138,6 m et peut être livrée avec des hauteurs de moyeu comprises entre 81 m et 160 m.



Fig. 1 : Vue d'ensemble de l'éolienne E-138 EP3

2 Le concept d'éoliennes ENERCON

Sans boîte de vitesse

Le système d'entraînement de l'E-138 EP3 ne comporte que peu de pièces tournantes. Accouplés l'un à l'autre directement sans boîte de vitesse intercalée, le moyeu du rotor et le rotor du générateur annulaire forment une unité solidaire. Les sollicitations mécaniques sont ainsi réduites et la durée de vie technique accrue. Le nombre et l'étendue des opérations de maintenance et de service s'en trouvent réduits (entre autre moins de pièces d'usure, pas de vidange d'huile de la boîte de vitesse), ce qui se traduit par une baisse des coûts d'exploitation. Étant donné que l'éolienne ne possède pas de boîte de vitesse et de pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur et les émissions sonores sont considérablement réduites.

Réglage actif des pales

Chacune des 3 pales du rotor est équipée d'un système de réglage des pales. Chaque système de réglage des pales comporte un entraînement électrique, une commande et une alimentation de secours. Deux moteurs à excitation compound en courant continu avec un engrenage installé par pale sont utilisés comme entraînement du système de réglage des pales. Les systèmes de réglage des pales limitent la vitesse de rotation du rotor et par conséquent la puissance provenant du vent. La puissance maximale fournie par l'E-138 EP3 est ainsi limitée exactement à la puissance nominal même à court terme. Lorsque les pales du rotor sont mises en drapeau, le rotor s'arrête, sans que l'arbre d'entraînement soit soumis à une charge quelconque par l'utilisation d'un frein mécanique.

Raccordement indirect au réseau

L'énergie produite par le générateur annulaire est acheminée dans le réseau de distribution ou de transport par le système d'alimentation du réseau ENERCON. Le système d'alimentation du réseau ENERCON, qui se compose de systèmes d'onduleurs et de redresseurs modulaires dotés d'une liaison CC (DC link) commune, garantit un rendement énergétique maximal et une compatibilité au réseau élevée. Les caractéristiques électriques du générateur annulaire sont par conséquent insignifiantes pour le comportement de l'éolienne sur le réseau de distribution ou de transport. En fonction de la vitesse du vent, la vitesse de rotation, l'excitation, la tension de sortie et la fréquence de sortie du générateur annulaire peuvent varier. L'énergie du vent peut ainsi toujours être utilisée de manière optimale également dans la plage de charge partielle.

3 Composants de l'éolienne E-138 EP3

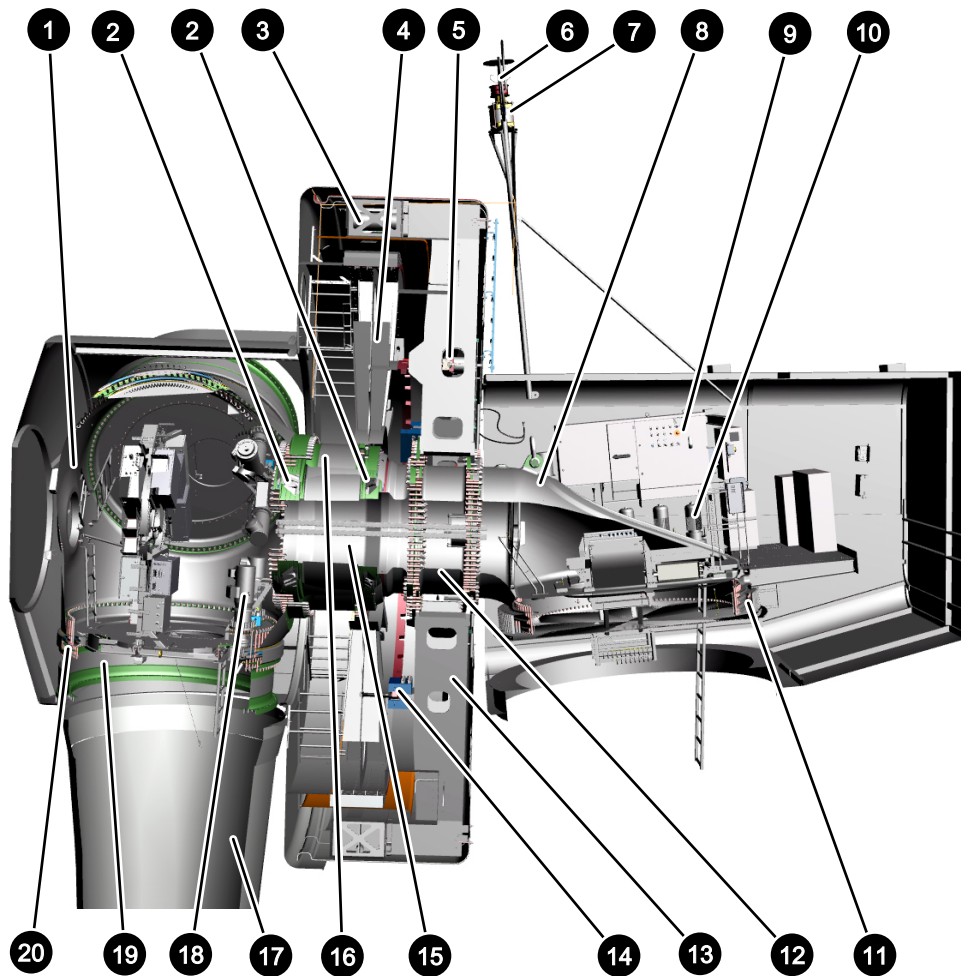


Fig. 2 : Coupe transversale de la nacelle

1	Moyeu du rotor	2	Palier du moyeu
3	Stator du générateur	4	Rotor du générateur
5	Dispositif de blocage du rotor	6	Dispositif de mesure du vent avec paratonnerres
7	Feux de balisage lumineux (en option)	8	Support principal
9	Armoire de commande de la nacelle	10	Entraînement d'orientation
11	Palier d'orientation	12	Étoile du stator
13	Bras de support	14	Frein du rotor
15	Arbre de moyeu	16	Support du rotor
17	Pale du rotor	18	Entraînements de réglage des pales
19	Adaptateur de pale	20	Palier de bride de pale

3.1 Pales du rotor

Les pales divisées en plastique renforcé de fibres de verre (fibre de verre et résine époxy), bois de balsa et mousse jouent un rôle important dans le rendement de l'éolienne et dans son comportement par rapport à l'émission sonore. La pale du rotor est fabriquée à partir de deux demi-coques et par infusion sous vide. La forme et le profil des pales de l'éolienne E-138 EP3 ont été conçus en fonction des critères suivants :

- Coefficient de puissance élevé
- Durée de vie élevée
- Faibles émissions sonores
- Faibles contraintes mécaniques
- Utilisation optimale des matériaux

Les pales de l'éolienne E-138 EP3 sont tout spécialement conçues pour fonctionner avec le système de réglage des pales variable et à vitesse de rotation variable. Le revêtement de surface à base de polyuréthane (PU) protège les pales des influences environnementales comme p. ex. les rayons UV et l'érosion. Le revêtement est très résistant à l'abrasion et robuste.

Le réglage du pas des 3 pales est assuré par trois systèmes de réglage des pales indépendants, commandés par microprocesseurs. L'angle de pale réglé est surveillé en permanence par 2 mesures d'angle des pales et les 3 angles de pale sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux régimes de vent dominants.

Les pales de rotor sont en option ou en série équipées d'un profilé dentelé dans une partie du bord de fuite. Ce peigne de bord de fuite (Trailing Edge Serration) réduit les turbulences au niveau du bord de fuite et limite ainsi l'émission sonore de l'éolienne.

Des vortex se trouvent à l'intérieur des pales sur l'extrados. Les vortex ralentissent le décrochage du courant de couche limite de la surface des pales. Par conséquent, les propriétés aérodynamiques de l'éolienne réagissent moins sensiblement aux modifications temporaires de la surface et aux conditions de vent. La puissance de l'éolienne augmente et les émissions sonores sont réduites.

3.2 Nacelle

Le moyeu du rotor tourne sur 2 paliers du rotor autour de l'arbre du moyeu fixe. Parmi les composants fixés sur le moyeu figurent les pales et le rotor du générateur. Le collecteur se trouve à la pointe de l'arbre du moyeu. Il transmet l'énergie électrique et les données par l'intermédiaire de contacts à frottement entre la partie fixe et la partie rotative de la nacelle.

L'élément porteur du stator du générateur fixe est un support du stator avec 6 bras de support. Le support du stator est fixé solidement au support principal via l'étoile du stator. Aux extrémités des bras de support se trouve l'anneau de support du stator avec les bobines en aluminium dans lesquels le courant est induit.

Le support principal est l'élément porteur central de la nacelle. Toutes les pièces du rotor et du générateur sont fixées à lui directement ou indirectement. Le support principal pivote sur le sommet du mât par l'intermédiaire du palier d'orientation. Toute la nacelle peut être tournée à l'aide des entraînements d'orientation pour que le rotor soit orienté en permanence de manière optimale au vent.

L'habillage de la nacelle se compose de plastique renforcé de fibres de verre. Il se compose de plusieurs éléments et est fixé au stator du générateur, à la plateforme de la nacelle et (dans la zone du rotor) au moyeu par le biais de profilés en acier.

3.2.1 Générateur annulaire

Les éoliennes ENERCON utilisent un générateur synchrone multipolaire à excitation indépendante (générateur annulaire). L'éolienne fonctionne avec une vitesse de rotation variable pour garantir l'exploitation optimale du potentiel éolien, quelle que soit la vitesse du vent. Le générateur annulaire produit ainsi du courant alternatif avec une tension, une fréquence et une amplitude variables.

Les bobinages dans le stator du générateur annulaire forment plusieurs systèmes de courant alternatif triphasé indépendants. Ces systèmes sont redressés séparément dans le pied du mât puis à nouveau convertis en courant triphasé présentant une tension, une fréquence et une relation de phase conformes au réseau par les onduleurs.

Ainsi le générateur annulaire n'est pas raccordé directement au réseau absorbant du distributeur d'électricité mais il est découplé du réseau par le convertisseur intégral.

3.3 Mât

Le mât de l'éolienne E-138 EP3 est soit un mât hybride, composé de sections en béton préfabriqué et d'une section en acier, soit un mât tubulaire en acier.

La couche de peinture ou la protection contre les intempéries et la corrosion est appliquée sur tous les mâts en usine, de sorte que, après le montage, les seuls travaux nécessaires dans ce domaine sont la correction des défauts et des éventuels dommages occasionnés lors du transport. La partie inférieure du mât est recouverte d'une peinture extérieure aux nuances de couleurs (ce dégradé de couleurs peut être supprimé en option).

Le mât tubulaire en acier est un tube en tôle d'acier constitué de quelques grandes sections. En fonction de la variante du mât, certaines sections peuvent être d'une seule pièce ou divisées en plusieurs éléments longitudinaux. Les éléments longitudinaux sont d'abord assemblés en sections sur le lieu d'installation. Les extrémités des sections sont munies de brides percées de trous pour le montage. Les sections de mât sont simplement posées les unes sur les autres et vissées sur le lieu d'installation. Le mât est relié à la fondation au moyen d'une cage d'ancrage.

Le mât hybride se compose de sections préfabriquées en béton assemblées sur le lieu d'installation. Les sections sont généralement placées à sec les unes sur les autres, mais une couche de compensation de mortier peut aussi être appliquée. Les joints verticaux sont reliés entre eux au moyen de raccords vissés. Ensuite, la section en acier supérieure est posée et vissée.

Le mât hybride est précontraint dans le sens vertical par des câbles de précontrainte fabriqués en acier de précontrainte. Les câbles de précontrainte sont installés verticalement à travers des passages dans les éléments en béton ou à l'extérieur sur la paroi intérieure du mât. Ils sont ancrés dans la fondation.

Pour des raisons techniques et économiques, la partie supérieure plus étroite du mât en béton préfabriqué est composée d'acier. Il n'est p. ex. pas possible de monter le palier d'orientation directement sur les éléments en béton et l'épaisseur beaucoup plus fine de la partie en acier offre plus d'espace dans le mât.

4 Système d'alimentation du réseau

Le générateur annulaire est connecté au réseau via le système d'alimentation du réseau ENERCON. Ce système se compose de systèmes d'onduleurs et de redresseurs modulaires dotés d'une liaison CC (DC link) commune.

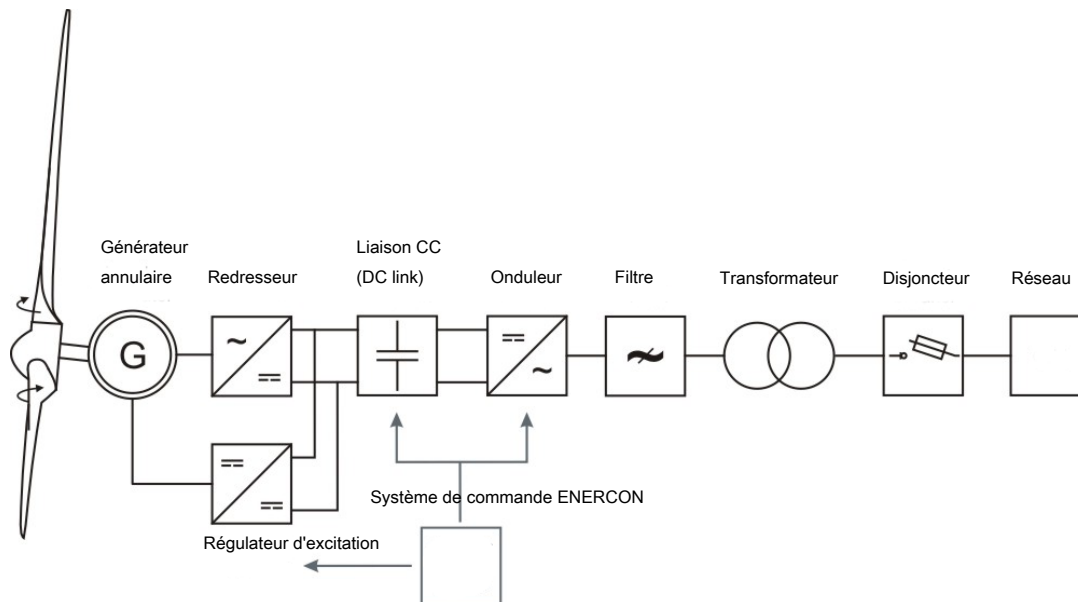


Fig. 3 : Schéma électrique simplifié d'une éolienne ENERCON

Le système d'alimentation du réseau – tout comme l'excitation du générateur et le système de réglage des pales – est piloté par le système de commande, avec, pour objectifs, un rendement énergétique maximal et une compatibilité au réseau élevée.

Le découplage du générateur annulaire et du réseau permet de transmettre la puissance produite de façon optimale. Les modifications soudaines de la vitesse du vent induisent une modification contrôlée de la puissance injectée côté réseau. De la même façon, les éventuelles pannes du réseau électrique n'ont pratiquement aucune répercussion du côté mécanique de l'éolienne. La puissance électrique injectée sur le réseau par l'éolienne E-138 EP3 peut être réglée avec précision de 0 kW à 3500 kW.

En général, les caractéristiques que doit afficher une éolienne ou une centrale éolienne définie en matière de raccordement au réseau absorbent de courant sont déterminées par l'exploitant du réseau électrique. Pour pouvoir satisfaire aux différentes exigences, les éoliennes ENERCON peuvent être fournies dans différentes configurations.

Le système d'onduleurs situé dans le pied du mât est conçu en fonction de la configuration de l'éolienne. En règle générale, un transformateur convertit la basse tension directement dans ou sur l'éolienne de 630 V à la tension HTA souhaitée.

Puissance réactive

L'éolienne E-138 EP3 peut au moyen de la commande FACTS standard (Flexible AC Transmission System) fournir au besoin de la puissance réactive et ainsi contribuer au bilan de la puissance réactive et au maintien de la tension dans le réseau. Déjà à partir de 10 % de la puissance active nominale, toute la plage de réglage de puissance réactive est disponible. La plage de réglage maximale pour la puissance réactive dépend de la configuration de l'éolienne.

Configuration FT

L'éolienne E-138 EP3 est équipée de manière standard de la technologie FACTS qui remplit les exigences élevées des codes de réseau spécifiques. Elle peut surmonter des états de système en panne dans le réseau (sous-tension, surtension, réenclenchements automatiques etc.) pendant une durée d'erreur allant jusqu'à 5 secondes (FT = FACTS + FRT-Fault Ride Through (capacité de maintien de l'alimentation en creux de tension par défaut)) et par conséquent, elle peut rester raccordée au réseau pendant un cas d'erreur.

Si la tension mesurée sur le point de référence dépasse une valeur limite définie, l'éolienne ENERCON passe du fonctionnement normal au mode défaut.

Une fois la panne résolue, l'éolienne se remet en mode de fonctionnement normal et fournit la puissance disponible au réseau. Si la tension ne revient pas dans un délai réglable (max. 5 s) dans la plage de fonctionnement admissible pour le mode de fonctionnement normal, l'éolienne est coupée du réseau.

Lors du passage de la panne réseau, il existe de différents modes de défaut avec de différentes stratégies de l'injection de courant réactif supplémentaire pendant la panne de réseau. Les stratégies de commande contiennent en revanche des possibilités de réglage différentes pour les types de pannes ou d'erreurs.

La stratégie de commande appropriée doit être choisie en s'appuyant sur les règles de projet et de raccordement au réseau spécifiques, qui doivent être confirmées par l'exploitant du réseau concerné.

Configuration FTS

FACTS Transmission (FRT) avec l'option STATCOM

Comme la configuration FT, l'option STATCOM (**Static Compensator**) permet à l'éolienne de délivrer et recevoir de la puissance réactive, indépendamment du fait qu'elle produit elle-même de la puissance active et l'injecte dans le réseau. Tout comme le fait une centrale électrique, elle peut ainsi soutenir à tout moment le réseau électrique de manière active. Il faut vérifier sur le projet concerné si la configuration peut être utilisée.

Configuration FTQ

FACTS transmission (FRT) avec option Q+

La configuration FTQ possède toutes les caractéristiques de la configuration FT. Elle possède en outre une plage de réglage de puissance réactive étendue.

Configuration FTQS

FACTS transmission (FRT) avec des options Q+ et STATCOM

La configuration FTQS possède toutes les caractéristiques des configurations FTQ et FTS.

Protection de fréquence

Les éoliennes ENERCON peuvent être utilisées sur des réseaux de fréquence nominale de 50Hz et 60Hz.

La plage opérationnelle de fonctionnement de l'E-138 EP3 est définie par une limite minimale et maximale de fréquence. Les événements de sur-fréquence et de sous-fréquence au point de référence de l'éolienne entraînent un déclenchement de la protection de fréquence et un arrêt de l'éolienne après le délai de temporisation maximum de 60 s.

Régulation puissance-fréquence

Si à cause d'une panne de réseau il y a une sur-fréquence de courte durée, les éoliennes ENERCON peuvent dynamiquement réduire leur injection de puissance afin de contribuer au rétablissement de l'équilibre entre le réseau de production et de transmission.

La puissance active injectée des éoliennes ENERCON peut dans un mode de fonctionnement normal être limitée de manière préventive. Dans le cas d'une sous-fréquence, la puissance fournie par cette limitation est mise à disposition pour stabiliser la fréquence. La caractéristique de cette régulation peut être adaptée de manière très flexible aux exigences les plus variées.

5 Système de sécurité

L'E-138 EP3 dispose d'une multitude d'installations relevant de la sécurité, qui servent à maintenir l'éolienne de façon permanente dans une plage de fonctionnement sécuritaire. À part les composants qui offrent un arrêt sécuritaire des éoliennes, il y a aussi un système de capteurs très complexe. Ce système enregistre en permanence tous les états de fonctionnement de l'éolienne et met à disposition les informations correspondantes par le biais du système de surveillance à distance ENERCON SCADA.

Si les paramètres de service relevant de la sécurité se situent à l'extérieur d'une plage autorisée, l'éolienne reste en service avec une puissance limitée ou elle est arrêtée.

5.1 Dispositifs de sécurité

Bouton d'arrêt d'urgence

Des boutons d'arrêt d'urgence se trouvent dans l'éolienne ENERCON, à l'entrée du mât, sur l'armoire de commande dans le pied du mât, sur l'armoire de commande de la nacelle et, si nécessaire, sur d'autres niveaux de l'E-module. Lors de l'actionnement d'un bouton d'arrêt d'urgence dans le pied du mât, les pales subissent un réglage d'urgence. Le rotor est ainsi freiné de manière aérodynamique. Lors de l'actionnement d'un bouton d'arrêt d'urgence dans la nacelle, en plus du réglage d'urgence, le frein du rotor est également activé. Le rotor est ainsi mis à l'arrêt au plus vite. Un bouton d'arrêt d'urgence ne met pas l'éolienne hors tension ou seulement partiellement.

Restent alimentés :

- le frein du rotor
- les feux de balisage lumineux
- l'éclairage
- les prises

Interrupteur principal

Des interrupteurs principaux sont installés dans l'éolienne ENERCON au niveau de sa distribution principale (au pied du mât) et sur l'interrupteur principal de l'armoire de commande de la nacelle. Lors de leur activation, ils mettent presque toute l'éolienne hors tension.

Restent alimentés :

- les feux de balisage lumineux
- l'ascenseur de service
- les prises
- l'éclairage
- les parties moyenne-tension

5.2 Le système de capteurs

De nombreux capteurs enregistrent continuellement l'état actuel de l'éolienne ainsi que les paramètres ambiants significatifs (p. ex. vitesse du rotor, température, vitesse du vent, charge de pale, etc.). Le système de contrôle analyse les signaux et commande l'éolienne en règle générale de sorte que l'énergie éolienne actuellement disponible soit utilisée de manière optimale tout en garantissant la sécurité de fonctionnement.

Capteurs redondants

Afin de garantir un contrôle de plausibilité par comparaison des valeurs signalées, des capteurs redondants sont montés pour certains états de fonctionnement. Cela s'applique p. ex. à la mesure de la température dans le générateur, la mesure de la vitesse du vent ou la mesure de l'angle actuel du pale du rotor. Tout capteur défectueux est détecté et peut être réparé ou remplacé par l'activation d'un capteur de réserve. En règle générale, l'éolienne peut ainsi continuer à fonctionner en toute sécurité sans que des grands composants soient remplacés.

Contrôle des capteurs

Le bon fonctionnement des capteurs est contrôlé régulièrement en cours de service par le système de contrôle ou, si cela n'est pas possible, dans le cadre de la maintenance.

Contrôle de la vitesse

Le système de contrôle de l'éolienne ENERCON règle la vitesse du rotor en modifiant l'angle de pale de manière à ce que la vitesse nominale ne soit pas trop fortement dépassée par grand vent. Le réglage des pales n'est cependant pas en mesure de réagir suffisamment vite en présence d'événements soudains, comme par exemple une forte rafale ou une diminution brutale de la charge du générateur. Si la vitesse nominale est dépassée de plus de 15 %, le système de contrôle de l'éolienne arrête le rotor. L'éolienne tente de redémarrer automatiquement au bout de 3 minutes. Si ce défaut se produit plus de cinq fois en 24 heures, la présence d'un dysfonctionnement est alors suspectée. Aucune autre tentative de démarrage n'a lieu.

Parallèlement à la surveillance électronique, la tête du rotor est équipée de 3 capteurs de survitesse électromécanique (capteurs de force centrifuge). Ils sont répartis de façon homogène tout autour du rotor. Chacun de ces capteurs peut arrêter l'éolienne grâce à un réglage d'urgence. Ils réagissent lorsque la vitesse nominale du rotor est dépassée de plus de 25 %. Les capteurs de survitesse doivent être réinitialisés manuellement après avoir recherché et éliminé la cause de la survitesse pour permettre le redémarrage de l'éolienne.

Système de surveillance de l'entrefer

La largeur de l'entrefer entre le rotor et le stator du générateur annulaire est surveillée à l'aide de micro-rupteurs répartis tout autour du rotor. En cas de déclenchement de l'un des micro-rupteurs dû au sous-dépassement de la distance minimale, l'éolienne est stoppée et redémarrée rapidement peu de temps après.

Si ce défaut se produit à nouveau en 24 heures, l'éolienne reste à l'arrêt jusqu'à ce que la cause ait été supprimée.

Surveillance des oscillations

La surveillance des oscillations détecte les oscillations ou les déflexions de forte ampleur de la pointe du mât de l'éolienne. Deux capteurs enregistrent les accélérations de la nacelle dans la direction de l'axe du moyeu (oscillations longitudinales) et dans la direction transversale (oscillations transversales). À partir de ces données, le système de contrôle calcule continuellement les mouvements du mât par rapport à sa position de repos. En plus, on détecte les fortes vibrations et secousses excessives qui peuvent par exemple se produire lors d'une panne du redresseur à l'aide d'une fonction intégrée dans la surveillance des oscillations. Si les oscillations ou déflexions dépassent la valeur autorisée, l'éolienne s'arrête. Elle redémarre automatiquement après quelques instants. Si des vibrations non autorisées sont décelées ou si le mât présente à plusieurs reprises des oscillations dépassant les limites admissibles, l'éolienne s'arrête et n'essaie pas de redémarrer.

Système de surveillance de la température

Certains composants de l'éolienne ENERCON sont refroidis. Des capteurs de température mesurent continuellement la température des composants de l'éolienne qui doivent être protégés des températures élevées.

Lorsque la température est trop élevée, le système de contrôle réduit la puissance de l'éolienne ou arrête cette dernière, si nécessaire. L'éolienne refroidit et redémarre en général automatiquement dès que la température retombe sous la valeur limite prescrite.

Certains points de mesure sont également équipés de capteurs de surchauffe. Ceux-ci provoquent également un arrêt de l'éolienne, dans certains cas, sans redémarrage automatique après refroidissement, lorsque la température dépasse une certaine valeur seuil.

Certains modules, tels que l'accumulateur d'énergie du balisage de danger et le générateur p. ex., sont réchauffés lorsque la température est trop basse afin de les maintenir dans un état opérationnel.

Système de surveillance du bruit interne à la nacelle

La tête du rotor contient des capteurs qui réagissent aux bruits de chocs élevés pouvant provenir de composants desserrés ou défectueux. L'éolienne est stoppée lorsqu'un des capteurs signale des bruits et en l'absence d'un message indiquant une autre cause.

Les messages de toutes les éoliennes d'un parc sont comparés les uns aux autres pour exclure toute cause extérieure de bruits (grêle lors d'un orage notamment). Les éoliennes individuelles sont en outre équipées d'un capteur de bruits placé dans la salle des machines. Lorsque les capteurs de plusieurs éoliennes ou le capteur de bruits de la salle des machines signalent des bruits simultanément, on peut alors supposer que les causes sont extérieures. Les capteurs de bruit sont désactivés pendant un court instant de sorte qu'aucune des éoliennes ne soit stoppée dans le parc éolien.

Surveillance anti-torsion des câbles

Si la nacelle de l'éolienne tourne jusqu'à trois fois sur son axe, vrillant ainsi les câbles descendus dans le mât, le système de contrôle de l'éolienne les dévrille automatiquement dès que possible.

La surveillance anti-torsion des câbles dispose de capteurs qui coupent l'alimentation électrique des moteurs d'orientation lorsque la plage de réglage autorisée est dépassée.

6 Système de contrôle

Le système de contrôle de l'E-138 EP3 repose sur un système de microprocesseurs développé en interne par la société ENERCON qui interroge tous les composants de l'éolienne au moyen de capteurs et recueille des données, telles que la direction et la vitesse du vent, et adapte ainsi en fonction le mode de fonctionnement de l'E-138 EP3. L'état actuel de l'éolienne et les éventuelles pannes sont affichés sur l'écran de l'éolienne de l'armoire de commande située dans le pied du mât.

6.1 Contrôle d'orientation

Le palier d'orientation muni d'une couronne extérieure se situe sur la connexion supérieure du mât. Il permet la rotation de la nacelle et ainsi le contrôle d'orientation (yaw control).

Si l'écart entre la direction du vent et la direction de l'axe du rotor est supérieur à la valeur maximale autorisée, les entraînements d'orientation sont activés et permettent alors à la nacelle de suivre le vent. La commande des moteurs d'orientation garantit un démarrage et un freinage en douceur. Le système de contrôle surveille le processus d'orientation. En cas de détection d'irrégularités, le processus d'orientation est désactivé et l'éolienne est stoppée.

6.2 Réglage des pales du rotor

Principe de fonctionnement

Le système de réglage des pales modifie l'angle d'attaque avec lequel l'air arrive sur le profil des pales. La modification de l'angle de pale induit également une modification de la force ascensionnelle de pale, et donc également de la force avec laquelle la pale fait tourner le rotor.

Lors du fonctionnement normal (mode automatique), l'angle de pale est réglé de sorte que, d'une part, l'énergie du vent soit utilisée de manière optimale et que, d'autre part, l'éolienne ne soit soumise à aucune surcharge ; pour ce faire les conditions cadre comme l'optimisation acoustique sont respectées. Le réglage de pales permet également le freinage aérodynamique du rotor.

Lorsque l'éolienne atteint sa puissance nominale et que la vitesse du vent continue d'accélérer, le système de réglage des pales tourne légèrement les pales du rotor hors du vent de manière à ce que la vitesse du rotor et la puissance absorbée du vent et transformée par le générateur n'excèdent pas ou seulement accessoirement les valeurs nominales.

Structure

Chaque pale est équipée de son propre système de réglage des pales. Le système de réglage des pales se compose d'une armoire de réglage des pales (pitch box), d'une boîte relais des pales, de deux moteurs de réglage des pales (pitch) et d'une unité condensateur. L'armoire de réglage des pales (pitch box) et la boîte relais des pales commandent les moteurs de réglage des pales (pitch). L'unité condensateur emmagasine l'énergie nécessaire pour un réglage d'urgence, est maintenue en état chargé pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en permanence.

Angle de pale

Positions particulières des pales du rotor (angle de pale) dans le cas de l'E-138 EP3 :

- A : 0°** Position normale en mode charge partielle : exploitation maximale du vent.
- B : $\geq 60^\circ$** Fonctionnement à vide (l'éolienne n'injecte aucune puissance dans le réseau en raison de la faible vitesse de vent) : En fonction de la vitesse du vent, le rotor tourne à une vitesse minimale ou s'arrête en cas d'absence complète de vent.
- C : 92°** Mise en drapeau (le rotor a été stoppé manuellement ou automatiquement) : Même lorsque le vent souffle, les pales du rotor ne créent aucune force ascensionnelle, le rotor est immobile ou tourne très lentement.

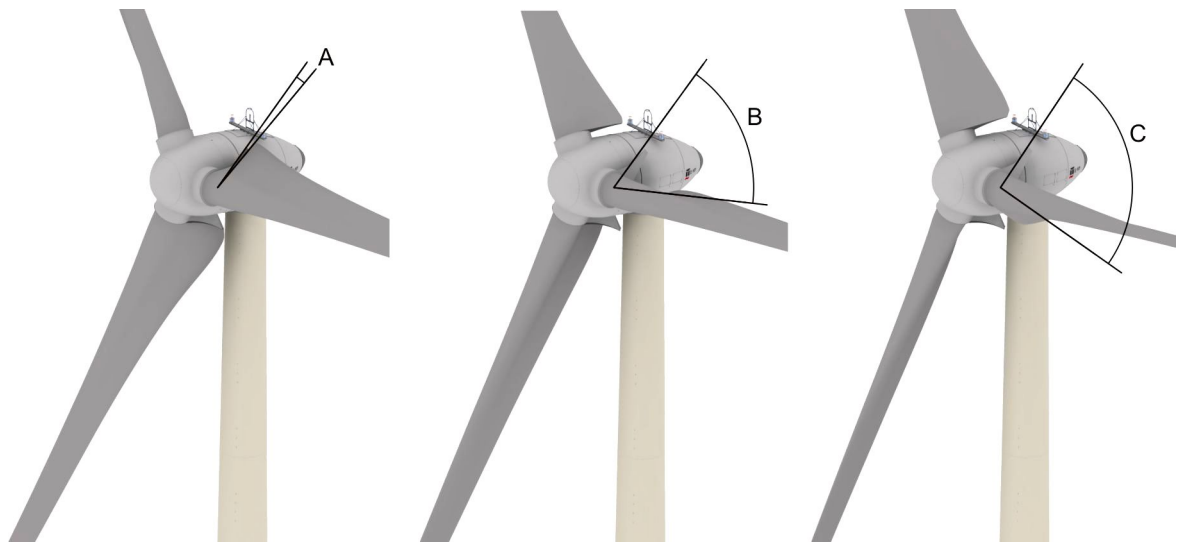


Fig. 4 : Positions particulières de la pale

6.3 Démarrer l'éolienne

6.3.1 Préparation du démarrage

L'éolienne est arrêtée aussi longtemps que l'état principal > 0 persiste. Dès que l'état principal est 0, l'éolienne est prête et le processus de démarrage est entamé. Si certaines conditions limites pour un démarrage ne sont pas encore complétées, comme par ex. la charge des unités condensateurs de réglage d'urgence de rotor, l'état 0:3 - Start lead-up (préparation de démarrage) est affiché.

Pendant la préparation de démarrage, débute une phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes de l'éolienne.

6.3.2 Mesure du vent et orientation de la nacelle

Une fois la préparation de démarrage terminée, l'état 0:2 - Turbine operational (éolienne prête) apparaît à l'écran.

Si le système de commande est en fonctionnement automatique, que la vitesse moyenne du vent est supérieure à 1,8 m/s et que la déviation de la direction du vent est suffisante pour un processus de contrôle d'orientation (yaw control), l'éolienne commence à s'orien-

ter vers le vent. 60 secondes après la fin de la préparation de démarrage, l'éolienne se met en fonctionnement à vide. Les pales du rotor avancent lentement, ceci pendant que les unités des condensateurs du système de réglage d'urgence de pale sont contrôlées.

Si l'éolienne est équipée de jauges de contrainte, les pales s'arrêtent à un angle de 70° et procèdent à la vérification des points de mesure de charge, qui peut prendre plusieurs minutes selon les circonstances. Pendant ce temps, l'état 0:5 - Calibration of load control (calibrage de la régulation de charge) est affiché.

Le processus de démarrage (état 0:1) débute lorsque la vitesse moyenne du vent est supérieure à la vitesse actuelle de démarrage (env. 2,0 m/s) pendant la phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes. Si ce n'est pas le cas, l'éolienne reste en mode de fonctionnement à vide (état 2:1 - Lack of wind:Wind speed too low (manque de vent : vitesse du vent trop faible)).

Besoins propres de l'éolienne

Étant donné que pendant ce temps l'éolienne ne fournit aucune puissance active, l'énergie électrique nécessaire pour les besoins propres de l'éolienne est prélevée du réseau.

6.3.3 Excitation du générateur

Dès que le rotor aura atteint une vitesse de rotation dépendante du type d'éolienne, l'excitation du générateur commencera. Le courant nécessaire est tiré du réseau pour une courte durée. Si le générateur atteint une vitesse de rotation suffisante, alors l'éolienne s'alimente elle-même en courant. Le courant pour l'excitation propre est prélevé de la liaison CC (DC link) du redresseur et l'énergie prélevée du réseau est réduite à zéro.

6.3.4 Injection de puissance

Le processus d'injection est initié dès qu'une tension de liaison CC suffisante est disponible et que le régulateur d'excitation n'est plus couplé au réseau. Après l'augmentation de la vitesse de rotation du fait de la présence suffisante de vent et d'une puissance nominale $P_{nom} > 0$, les contacteurs de ligne (côté basse tension) se ferment et l'E-138 EP3 commence à injecter la puissance dans le réseau à partir d'environ 5 tr/min.

Le contrôle de la puissance règle le courant d'excitation de sorte à ce que l'injection se déroule selon la courbe de puissance exigée.

Le gradient pour l'augmentation de la puissance (dP/dt) après une panne de réseau ou après un démarrage normal peut être déterminé dans le système de contrôle à l'intérieur d'une plage spécifique. Vous trouverez de plus amples informations à ce sujet dans la fiche de données *Caractéristiques techniques relatives au réseau* pour le type d'éolienne ENERCON concerné.

6.4 Modes de fonctionnement

Dès que la phase de démarrage de l'E-138 EP3 est terminée, l'éolienne est en fonctionnement automatique (fonctionnement normal). Lorsque l'éolienne fonctionne, les régimes de vent sont constamment déterminés ; la vitesse du rotor, l'excitation et la puissance du générateur sont optimisées, la position de la nacelle est adaptée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré.

Afin d'optimiser la génération de courant en présence de conditions de vent diverses, l'éolienne commute entre 3 modes de fonctionnement dans le cadre du fonctionnement automatique en fonction de la vitesse du vent. Sous certaines conditions, l'éolienne s'arrête aussi lorsque la configuration de l'éolienne le prévoit (p. ex. en raison d'arrêt pour cause de zone d'ombre). De plus, le distributeur d'électricité du réseau dans lequel l'énergie produite est injectée a la possibilité d'influencer directement le comportement de l'éolienne par commande à distance, p. ex. pour réduire temporairement l'alimentation réseau.

L'E-138 EP3 commute entre les modes de fonctionnement suivants :

- Mode pleine charge
- Mode charge partielle
- Fonctionnement à vide

6.4.1 Mode charge pleine

Vitesse du vent

$v \geq 13 \text{ m/s}$

Lorsque la vitesse de vent est égale ou supérieure à la vitesse de vent nominale, l'éolienne maintient la vitesse de rotation du rotor sur la valeur de consigne (env. 10,8 tr/min) grâce au système de réglage des pales et limite ainsi la puissance à sa valeur nominale de 3500 kW.

Système de mode tempête activé (cas normal)

Le système de mode tempête permet le fonctionnement de l'éolienne même à des vitesses de vent élevées, mais à une vitesse de rotor et une puissance réduites.

Au-dessus d'env. 22 m/s (sur une moyenne de 12 s) et lorsque la vitesse du vent continue d'augmenter, la vitesse de rotation est réduite linéairement de 10,8 tr/min jusqu'à la vitesse de rotation à vide pour une vitesse de vent de 28 m/s env., en positionnant les pales hors du vent. La puissance injectée diminue alors conformément à la courbe de puissance de la vitesse de rotation.

En présence de vitesses du vent supérieures à 28 m/s (sur une moyenne de 10 min.), les pales sont pratiquement mises en drapeau. L'éolienne continue de fonctionner en fonctionnement à vide sans fournir de puissance, mais reste connectée au réseau absorbant. Si la vitesse du vent chute en-dessous de 28 m/s, l'éolienne reprend alors automatiquement l'injection de courant.

Le système de mode tempête est activé par défaut et peut uniquement être désactivé via la maintenance à distance ou sur site par le ENERCON Service.

6.4.2 Mode charge partielle

Vitesse du vent

$$2,5 \text{ m/s} \leq v < 13 \text{ m/s}$$

Pendant le mode charge partielle (la vitesse du vent se situe entre la vitesse de démarrage et la vitesse nominale) la puissance maximale possible est soutirée du vent. La vitesse du rotor et la puissance fournie dépendent de la vitesse du vent actuelle. Pour cela le réglage des pales débute dès la plage limite du mode charge pleine afin de garantir une transition continue.

6.4.3 Fonctionnement à vide

Vitesse du vent

$$v < 2,5 \text{ m/s}$$

Lors de vitesses de vent en dessous de 2,5 m/s le courant ne peut être injecté dans le réseau. L'éolienne fonctionne en mode fonctionnement à vide, ce qui signifie que les pales du rotor sont en grande partie tournées hors du vent (angle de pale $\geq 60^\circ$) et le rotor tourne lentement ou reste immobile en l'absence totale de vent.

Grâce à ce déplacement lent (fonctionnement à vide), les paliers du rotor sont moins sollicités que lors d'une immobilisation prolongée, et une reprise de la production et de l'injection de courant est plus rapide lorsque le vent devient plus fort.

6.5 Arrêt sécuritaire de l'éolienne

L'éolienne ENERCON peut être arrêtée par une manipulation manuelle ou automatiquement par le système de commande.

Les raisons sont divisées en groupe selon le risques.

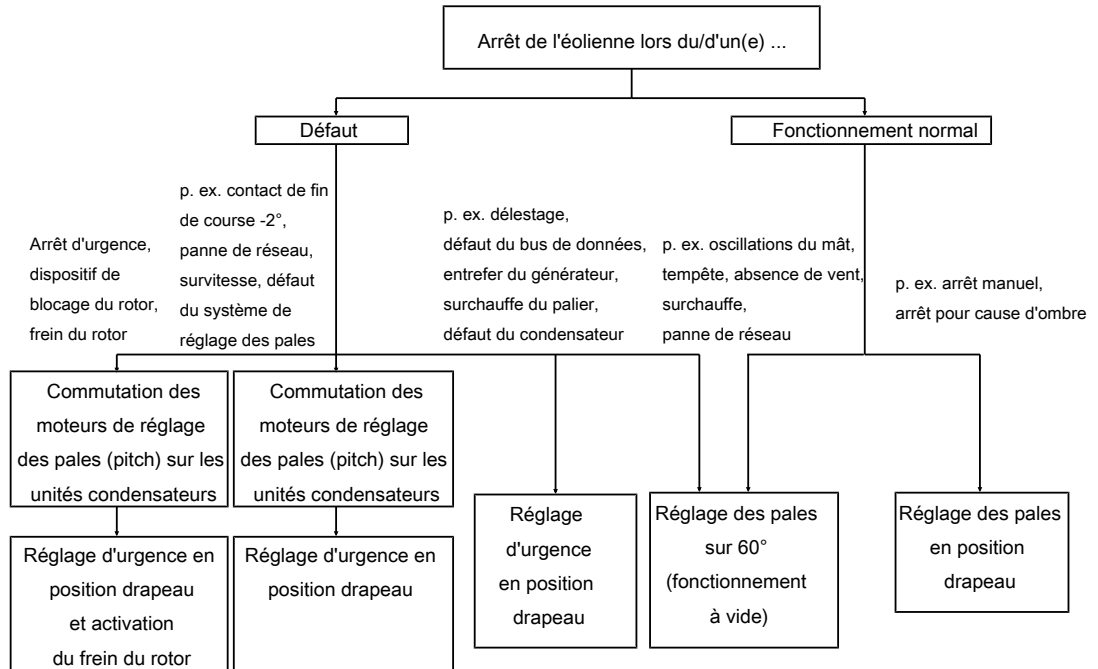


Fig. 5 : Aperçu des opérations d'arrêt

Arrêt de l'éolienne par le système de réglage des pales

Lors d'une panne ne relevant pas de la sécurité, la commande fait sortir du vent les pales du rotor et ainsi ces dernières ne produisent plus de force ascensionnelle et l'éolienne s'arrête.

Réglage d'urgence

L'accumulateur d'énergie des systèmes de réglage des pales emmagasine l'énergie nécessaire à un réglage d'urgence, reste en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en continu. Lors d'un réglage d'urgence, les systèmes d'entraînement de l'accumulateur d'énergie correspondant sont alimentés en énergie. Les pales du rotor se mettent dans une position dans laquelle elles ne produisent aucune force ascensionnelle (mise en drapeau) de manière incontrôlée et indépendamment les unes des autres.

Étant donné que les 3 systèmes de réglage des pales se contrôlent mutuellement, tout en fonctionnant individuellement, les systèmes de réglage des pales peuvent continuer à fonctionner et arrêter le rotor même si l'un d'eux est défaillant.

Freinage d'urgence

Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence est actionné dans la nacelle ou que le dispositif de blocage du rotor est activé pendant que le rotor tourne, le système de contrôle de l'éolienne déclenche un freinage d'urgence.

Outre le réglage d'urgence des pales, le frein du rotor est également activé. Le rotor est freiné depuis la vitesse nominale jusqu'à l'arrêt en 10 à 15 secondes.

7 Système de surveillance à distance

Toutes les éoliennes ENERCON sont raccordées en série à la succursale de Service régionale via le système ENERCON SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Celle-ci peut consulter à tout moment les données de fonctionnement de chaque éolienne et réagir immédiatement en cas de défauts ou de dysfonctionnements, si nécessaire. Tous les messages d'état sont transmis via le système ENERCON SCADA à la succursale de Service régionale où ils sont enregistrés de manière permanente. C'est là la seule manière de mettre à profit toutes les expériences acquises lors de l'exploitation à long terme dans la stratégie de développement future des éoliennes ENERCON.

Le raccordement des éoliennes passe par un ordinateur spécialement prévu à cet effet (ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)), qui est installé habituellement dans le poste de livraison ou dans le poste source du parc éolien. Chaque parc est équipé d'un ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Le système ENERCON SCADA, ses caractéristiques et son utilisation sont décrits dans des documents séparés.

Si l'exploitant le souhaite, la surveillance des éoliennes peut être assurée par un autre organisme.

8 Maintenance

Pour garantir le fonctionnement sûr et optimal de l'éolienne, il est nécessaire d'effectuer régulièrement des opérations de maintenance.

Selon les exigences, les éoliennes ENERCON sont régulièrement entretenues ; au moins une fois par an.

Lors de la maintenance, tous les composants et fonctions relatifs à la sécurité sont contrôlés comme par exemple le réglage des pales, le système de contrôle d'orientation (yaw), les systèmes de sécurité, le système de protection parafoudre, les points d'attache et l'échelle. Les raccords vissés des raccords portants (composants principaux) sont contrôlés. Tous les autres composants font l'objet d'une inspection visuelle pendant laquelle des anomalies et des dommages sont constatés. Les lubrifiants consommés sont remplis. Les fréquences de maintenance et les cadres de maintenance peuvent varier en fonction des directives et des normes régionales.

9 Caractéristiques techniques de l'E-138 EP3

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation du type	E-138 EP3
Puissance nominale	3500 kW
Hauteurs des moyeux	81 m, 111 m, 131 m, 160 m
Diamètre du rotor	138,6 m
Classe de vent CEI (éd. 3)	IIIA
Vitesse du vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	37,5 m/s Correspond à un équivalent de charge d'env. 52,5 m/s (rafale 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	7,5 m/s

Rotor avec système de réglage des pales	
Type	Rotor face au vent à système de réglage actif des pales
Sens de rotation	Sens horaire
Nombre de pales de rotor	3
Longueur des pales de rotor	66,89 m
Surface balayée	15085 m ²
Matériau de la pale du rotor	Plastique renforcé de verre/résine époxy/bois de balsa/mousse
Vitesse de rotation inférieure de l'injection de puissance jusqu'à la vitesse nominale	4,4 - 10,5 tr/min (81 m et 131 m de hauteur du moyeu (mât hybride)) ; 5 - 10,5 tr/min (111 m et 131 m (mât en acier) et 160 m de hauteur du moyeu)
Vitesse de rotation de consigne	10,8 tr/min
Vitesse en bout de pale dans le cas de la vitesse de rotation de consigne	Jusqu'à 78,38 m/s
Vitesse de vent de régulation	22 - 28 m/s (avec système de mode tempête ENERCON)
Angle de cône	2,5°
Angle d'axe du rotor	7°

Rotor avec système de réglage des pales	
Système de réglage des pales	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec système d'alimentation électrique de secours dédié

Arbre d'entraînement avec générateur	
Concept d'éolienne	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	2 paliers à rouleaux coniques
Générateur	Générateur annulaire ENERCON, à entraînement direct
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON à fréquence d'horloge élevée et courant de forme sinusoïdale
Degré de protection/classe d'isolation	Au moins IP 23/F

Système de freinage	
Frein aérodynamique	Trois systèmes de réglage des pales indépendants avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Hydraulique
Dispositif de blocage du rotor	Par crans de 10°

Système de contrôle d'orientation	
Type	Électrique avec moteurs d'orientation (yaw)
Système de contrôle	Active par transmissions d'orientation

Système de contrôle	
Type	Microprocesseur
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON
Système de surveillance à distance	ENERCON SCADA
Alimentation sans interruption (ASI)	Intégré

Types de mât			
Hauteur du moyeu	Hauteur totale	Modèle	Classe de vent
81 m	150 m	Mât tubulaire en acier	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
111 m	180 m	Mât tubulaire en acier	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
131 m	200 m	Mât tubulaire en acier	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
131 m	200 m	Mât hybride	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
160 m	230 m	Mât hybride	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²

¹Édition 3²Édition 2012

Description technique

Éolienne ENERCON

E-92 / 2000/2350 kW

Editeur	<p>ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne Téléphone : +49 4941 927-0 ▪ Fax : +49 4941 927-109 E-mail : info@enercon.de ▪ Internet : http://www.enercon.de Directeur général : Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben Tribunal compétent : Aurich ▪ Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411 N° TVA : DE 181 977 360</p>
Remarque sur les droits de propriété intellectuelle	<p>Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.</p> <p>ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.</p> <p>Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.</p> <p>Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.</p>
Marques déposées	<p>Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.</p>
Réserve de modification	<p>ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.</p>

Informations sur le document

ID du document	D0290349-4		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0279978-4/2016-08-29		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2017-02-10	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Aperçu ENERCON E-92 / 2 MW/2,35 MW	1
2	Le concept d'éoliennes ENERCON	2
3	Composants de l'E-92	3
3.1	Pales du rotor	4
3.2	Nacelle.....	4
3.2.1	Générateur annulaire	4
3.3	Mât.....	5
4	Système d'alimentation du réseau.....	6
5	Système de sécurité	9
5.1	Dispositifs de sécurité.....	9
5.2	Le système de capteurs.....	9
6	Système de contrôle	12
6.1	Contrôle d'orientation.....	12
6.2	Réglage des pales du rotor.....	12
6.3	Démarrer l'éolienne	13
6.3.1	Préparation du démarrage	13
6.3.2	Mesure du vent et orientation de la nacelle	13
6.3.3	Excitation de la génératrice	14
6.3.4	Injection de puissance.....	14
6.4	Modes de fonctionnement	15
6.4.1	Mode charge pleine.....	15
6.4.2	Mode charge partielle.....	16
6.4.3	Fonctionnement à vide	16
6.5	Arrêt sécuritaire de l'éolienne	17
7	Système de surveillance à distance	18
8	Maintenance	19
9	Données techniques E-92 / 2 MW/2,35 MW	20

1 Aperçu ENERCON E-92 / 2 MW/2,35 MW

L'éolienne ENERCON E-92 est une éolienne à entraînement direct d'une puissance nominale de 2000/2350 kW, dotée d'un rotor à trois pales, d'un système actif de réglage des pales et fonctionnant à vitesse variable. Elle possède un rotor d'un diamètre de 92 m et peut être livrée avec des hauteurs de moyeu de 78 m à 138 m.



Fig. 1: Vue d'ensemble de l'ENERCON E-92

2 Le concept d'éoliennes ENERCON

Sans boîte de vitesse

Le système d'entraînement de l'E-92 ne comporte que peu de pièces tournantes. Accouplés l'un à l'autre directement sans boîte de vitesse intercalée, le moyeu du rotor et le rotor du générateur annulaire forment une unité solidaire. Les sollicitations mécaniques sont ainsi réduites et la durée de vie technique accrue. Le nombre et l'étendue des opérations de maintenance et de service s'en trouvent réduits (entre autre moins de pièces d'usure, pas de vidange d'huile de la boîte de vitesse), ce qui se traduit par une baisse des coûts d'exploitation. Étant donné que l'éolienne ne possède pas de boîte de vitesse et de pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur et les émissions sonores sont considérablement réduites.

Réglage actif des pales

Chacune des 3 pales du rotor est équipée d'un système de réglage des pales. Chaque système de réglage des pales comporte un entraînement électrique, une commande et une alimentation de secours. Les systèmes de réglage des pales limitent la vitesse de rotation du rotor et par conséquent la puissance provenant du vent. La puissance maximale fournie par l'E-92 est ainsi limitée exactement à la puissance nominal même à court terme. Lorsque les pales du rotor sont mises en drapeau, le rotor s'arrête, sans que l'arbre d'entraînement soit soumis à une charge quelconque par l'utilisation d'un frein mécanique.

Raccordement indirect au réseau

L'énergie produite par le générateur annulaire est acheminée dans le réseau de distribution ou de transport par le système d'alimentation du réseau ENERCON. Le système d'alimentation du réseau ENERCON, qui se compose d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire et d'un système modulaire d'onduleurs, offre une production maximale d'énergie et une compatibilité élevée avec le réseau. Les caractéristiques électriques du générateur annulaire sont par conséquent insignifiantes pour la conduite de l'éolienne sur le réseau de distribution ou de transport. En fonction de la vitesse du vent, la vitesse de rotation, l'excitation, la tension de sortie et la fréquence de sortie du générateur annulaire peuvent varier. L'énergie du vent peut être ainsi également être utilisée de manière optimale dans la plage de charge partielle.

3 Composants de l'E-92

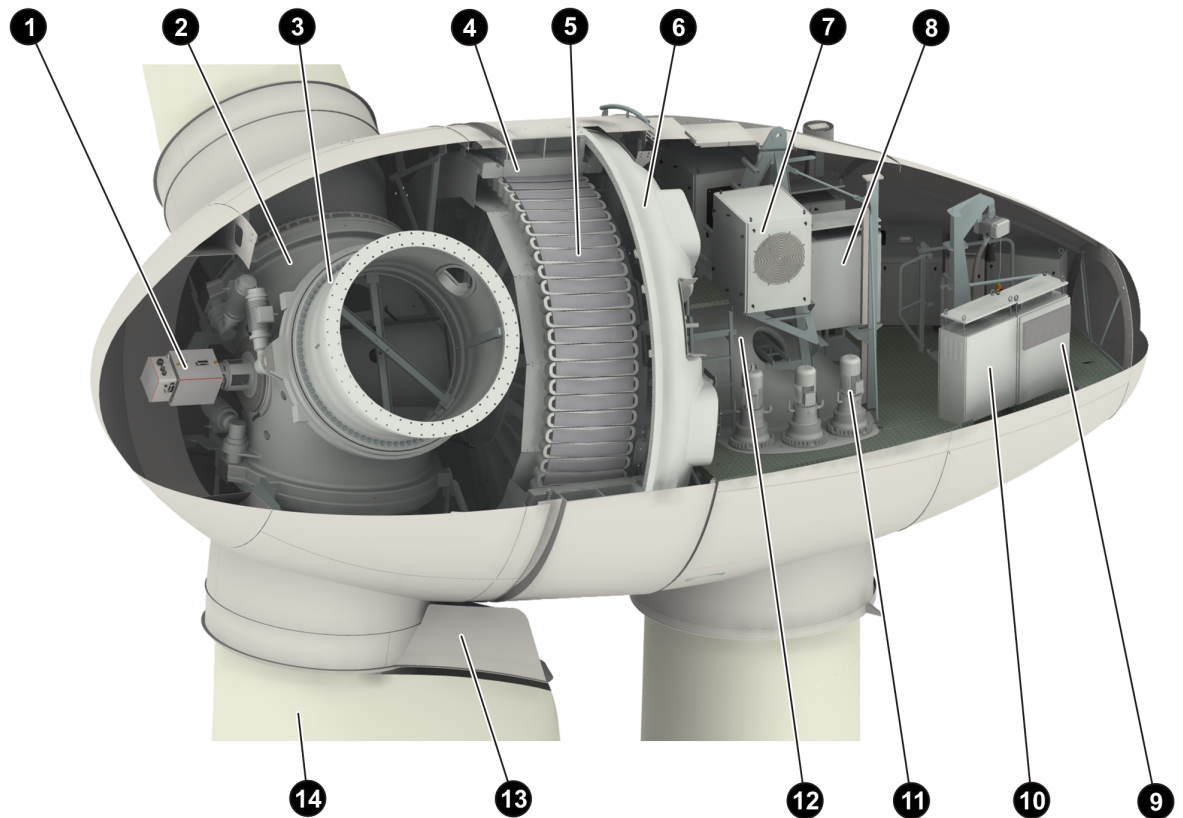


Fig. 2: Vue de la nacelle ENERCON E-92

1	Collecteur	2	Moyeu du rotor
3	Adaptateur de pale	4	Stator du générateur
5	Rotor du générateur	6	Recouvrement du générateur
7	Armoire du redresseur	8	Armoire de filtres du générateur
9	Armoire du régulateur d'excitation	10	Armoire du convertisseur de la nacelle
11	Entraînements d'orientation	12	Support principal (main carrier)
13	Élément d'extension de pale	14	Pale du rotor

3.1 Pales du rotor

Les pales du rotor en matière synthétique renforcée de fibres de verre (fibre de verre et résine époxy), bois de balsa et mousse jouent un rôle important dans le rendement de l'éolienne et dans son comportement par rapport à l'émission sonore. La pale du rotor est fabriquée en coques et par infusion sous vide. La forme et le profil des pales du rotor de l'E-92 ont été conçus en fonction des critères suivants :

- Coefficient de puissance élevé
- Longue durée de vie
- Faibles émissions sonores
- Faibles contraintes mécaniques
- Utilisation optimale de matériaux

Une des particularités est le profilage des pales de rotor qui s'étend jusqu'à la nacelle. Les pertes internes liées à l'écoulement de l'air sur les pales du rotor traditionnelles sont ainsi évitées. L'énergie du vent peut être exploitée de manière optimale grâce à la géométrie de la nacelle, favorisant l'écoulement de l'air.

Les pales de l'E-92 sont tout spécialement conçues pour un système de réglage des pales variable et pour une vitesse de rotation variable. Le revêtement de la surface sur la base de polyuréthane (PU) protège les pales des influences environnementales comme p. ex. les rayons UV et l'érosion. Le revêtement est très résistant à l'abrasion et robuste.

Le réglage d'angle des 3 pales du rotor est assuré par trois systèmes de réglage des pales indépendants commandés par microprocesseurs. L'angle de pale réglé est surveillé en permanence par une mesure d'angle des pales, et les trois angles de pale du rotor sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux régimes de vent dominants.

3.2 Nacelle

3.2.1 Générateur annulaire

Les éoliennes ENERCON utilisent un générateur synchrone multipolaire à excitation indépendante (générateur annulaire). L'éolienne fonctionne avec une vitesse de rotation variable pour permettre l'exploitation optimale du potentiel éolien, quelle que soit la vitesse du vent. Le générateur annulaire produit ainsi du courant alternatif avec une tension, une fréquence et une amplitude variables.

Les bobinages dans le stator du générateur annulaire forment 2 des systèmes à courant alternatif triphasé indépendants. Ces deux systèmes sont redressés séparément dans la nacelle, rassemblés dans le système de distribution de courant continu puis à nouveau convertis en courant triphasé avec une tension, une fréquence et une relation de phase conformes au réseau par les onduleurs situés dans le pied du mât.

Ainsi le générateur annulaire n'est pas raccordé directement au réseau absorbant du distributeur d'électricité mais il est découplé du réseau par le convertisseur intégral.

3.3 Mât

Le mât de l'éolienne E-92 est un mât acier ou un mât en béton préfabriqué fabriqué en sections préfabriquées en béton. Différentes hauteurs de mât sont disponibles.

La couche de peinture ou la protection contre les intempéries et la corrosion sont appliquées sur tous les mâts en usine, de sorte que, après le montage, les seuls travaux nécessaires dans ce domaine sont la correction des défauts et des éventuels dommages occasionnés lors du transport. La partie inférieure du mât est recouverte d'une peinture extérieure aux nuances de couleurs (ce dégradé de couleurs peut être supprimé en option).

Le mât acier est un tube en tôle d'acier qui s'affine de manière linéaire vers le haut. Il est préfabriqué en quelques grandes sections en usine. Les extrémités des sections sont munies de brides percées de trous pour le montage.

Les sections de mât sont simplement posées les unes sur les autres et vissées sur le lieu d'installation. Le mât est relié à la fondation au moyen d'une cage d'ancrage.

Le mât hybride se compose de sections préfabriquées en béton assemblées sur le lieu d'installation. Les sections sont généralement placées à sec les unes sur les autres, mais une couche de compensation de mortier peut aussi être appliquée. Les joints verticaux sont reliés entre eux au moyen de raccords vissés.

Le mât est précontraint dans le sens vertical par des câbles de précontrainte fabriqués en acier de précontrainte. Les câbles de précontrainte sont installés verticalement à travers des passages dans les éléments de béton ou sur la paroi intérieure du mât. Ils sont ancrés dans la chambre de précontrainte.

Pour des raisons techniques et économiques, la partie supérieure plus étroite du mât hybride de l'E-92 est composée d'acier. Il n'est p. ex. pas possible de monter le palier d'orientation directement sur les éléments en béton et l'épaisseur beaucoup plus fine de la partie en acier offre plus d'espace dans le mât.

4 Système d'alimentation du réseau

Le générateur annulaire est connecté au réseau par le système d'alimentation du réseau ENERCON. Ce système est essentiellement constitué d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire et de plusieurs onduleurs modulaires.

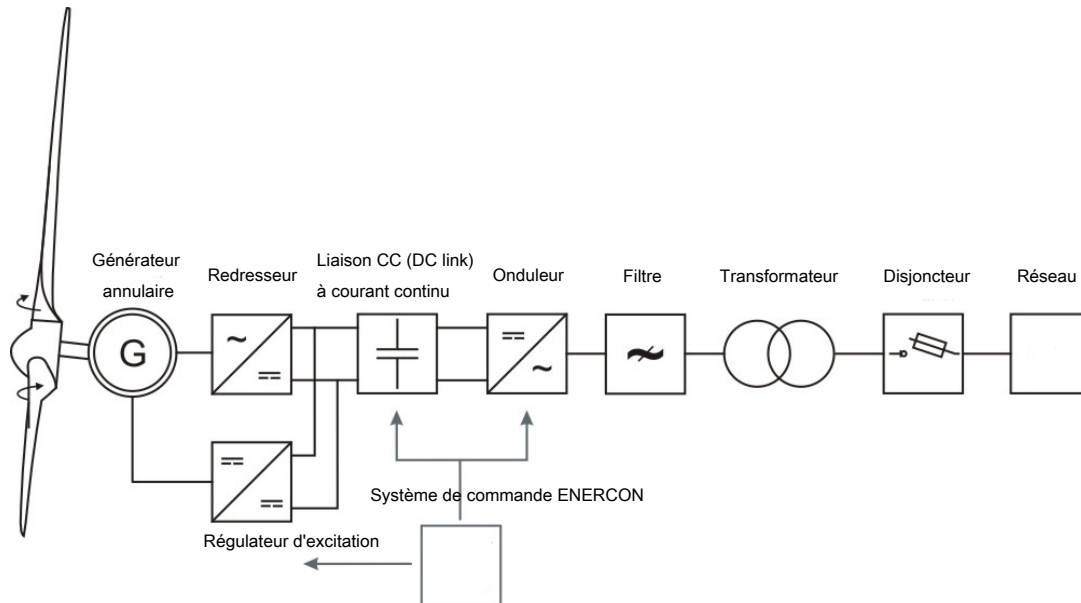


Fig. 3: Schéma électrique simplifié d'une éolienne ENERCON

Le système d'alimentation du réseau – tout comme l'excitation du générateur et le réglage des pales – est piloté par le système de commande, avec pour objectifs une production maximale d'énergie et une compatibilité élevée avec le réseau.

Le découplage du générateur annulaire et du réseau permet de transmettre de façon optimale la puissance produite. Les modifications soudaines de la vitesse du vent occasionnent une réponse contrôlée pour assurer la stabilité de l'alimentation du réseau. De la même façon, les éventuelles pannes du réseau électrique n'ont pratiquement aucune répercussion du côté mécanique de l'éolienne. La puissance électrique injectée sur le réseau par l'éolienne E-92 peut être réglée avec précision de 0 kW à 2000/2350 kW.

En général, les caractéristiques que doit indiquer une certaine éolienne ou un certain parc éolien en matière de raccordement au réseau absorbeur de courant, sont déterminées par l'exploitant du réseau électrique. Pour pouvoir satisfaire aux différentes exigences, les éoliennes ENERCON peuvent être fournies dans différentes configurations.

La structure du système d'onduleurs dans le pied du mât dépend de la configuration de l'éolienne. En règle générale, un transformateur convertit la basse tension directement dans ou à proximité de l'éolienne de 400 V à la moyenne tension (HTA) souhaitée.

Puissance réactive

L'éolienne E-92 peut au moyen de la commande FACTS standard (Flexible AC Transmission System) fournir au besoin de la puissance réactive et ainsi contribuer au bilan de la puissance réactive et au maintien de la tension dans le réseau. Déjà à partir de 10 % de la puissance active nominale, toute la plage de réglage de puissance réactive est disponible. La plage de réglage maximale pour la puissance réactive dépend de la configuration de l'éolienne.

Configuration FT

L'éolienne E-92 est équipée de manière standard de la technologie FACTS qui remplit les exigences élevées des codes de réseau spécifiques. Elle peut surmonter des états de système en panne dans le réseau (sous-tension, surtension, réenclenchements automatiques etc.) pendant une durée d'erreur allant jusqu'à 5 secondes (FT = FACTS + capacité de maintien de l'alimentation en creux de tension par défaut (= FRT= Fault Ride Through) et par conséquent, elle peut rester raccordée au réseau pendant un cas d'erreur.

Si la tension mesurée sur le point de référence dépasse une valeur limite définie, l'éolienne ENERCON passe du fonctionnement normal au mode défaut.

Une fois la panne résolue, l'éolienne se remet en mode de fonctionnement normal et fournit la puissance disponible au réseau. Si la tension ne revient pas dans un délai réglable (max. 5 s) dans la plage de fonctionnement admissible pour le mode de fonctionnement normal, l'éolienne est coupée du réseau.

Lors du passage de la panne réseau, il existe de différents modes de défaut avec de différentes stratégies de l'injection de courant réactif supplémentaire pendant la panne de réseau. Les stratégies de commande contiennent en revanche des possibilités de réglage différentes pour les types de pannes ou d'erreurs.

La stratégie de commande appropriée doit être choisie en s'appuyant sur les règles de projet et de raccordement au réseau spécifiques, qui doivent être confirmées par l'exploitant du réseau concerné.

Configuration FTS

FACTS Transmission (FRT) avec l'option STATCOM

Comme la configuration FT, l'option STATCOM (**Static Compensator**) permet à l'éolienne de fournir de la puissance réactive et de l'injecter, indépendamment du fait qu'elle produit elle-même de la puissance active et l'injecte dans le réseau. Tout comme le fait une centrale électrique, elle peut ainsi soutenir à tout moment le réseau électrique de manière active. STATCOM compte une armoire électrique spéciale qui est installée la plupart du temps à proximité du transformateur. Il faut vérifier sur le projet correspondant si la configuration peut être utilisée.

Configuration FTQ

FACTS transmission (FRT) avec option Q+

La configuration FTQ possède toutes les caractéristiques de la configuration FT. Elle possède en outre une plage de réglage de puissance réactive étendue.

Configuration FTQS

FACTS transmission (FRT) avec des options Q+ et STATCOM

La configuration FTQS possède toutes les caractéristiques des configurations FTQ et FTS.

Protection de fréquence

Les éoliennes ENERCON peuvent être utilisées sur des réseaux de fréquence nominale de 50 Hz et 60 Hz.

La plage opérationnelle de fonctionnement de l'E-92 est définie par une limite minimale et maximale de fréquence. Les événements de sur-fréquence et de sous-fréquence au point de référence de l'éolienne entraînent un déclenchement de la protection de fréquence et un arrêt de l'éolienne après le délai de temporisation maximum de 60 s.

Régulation puissance-fréquence

Si à cause d'une panne de réseau il y a une sur-fréquence de courte durée, les éoliennes ENERCON peuvent dynamiquement réduire leur injection de puissance afin de contribuer au rétablissement de l'équilibre entre le réseau de production et de transmission.

La puissance active injectée des éoliennes ENERCON peut dans un mode de fonctionnement normal être limitée de manière préventive. Dans le cas d'une sous-fréquence, la puissance fournie par cette limitation est mise à disposition pour stabiliser la fréquence. La caractéristique de cette régulation peut être adaptée de manière très flexible aux exigences les plus variées.

5 Système de sécurité

L'E-92 dispose d'une multitude d'installations relevant de la sécurité, qui servent à maintenir l'éolienne de façon permanente dans une plage de fonctionnement sécuritaire. À part les composants qui offrent un arrêt sécuritaire des éoliennes, il y a aussi un système de capteurs très complexe. Ce système enregistre en permanence tous les états de fonctionnement de l'éolienne et met à disposition les informations correspondantes par le biais du système de surveillance à distance ENERCON SCADA.

Si les paramètres de service relevant de la sécurité se situent à l'extérieur d'une plage autorisée, l'éolienne reste en service avec une puissance limitée ou elle est arrêtée.

5.1 Dispositifs de sécurité

Boutons d'arrêt d'urgence

Des boutons d'arrêt d'urgence se trouvent dans l'éolienne ENERCON, à côté de la porte du mât, sur l'armoire de commande dans le pied du mât, sur l'armoire de commande de la nacelle et, si nécessaire, sur d'autres niveaux de l'E-module. Lors de l'actionnement d'un bouton d'arrêt d'urgence, le frein du rotor est activé. Les pales du rotor subissent un réglage d'urgence.

Restent alimentés :

- le frein du rotor
- les feux de balisage lumineux
- l'éclairage
- les prises

Interrupteur principal

Des interrupteurs principaux sont installés dans l'éolienne ENERCON au niveau de l'armoire de commande et sur l'armoire de commande de la nacelle. Lors de leur activation, ils mettent presque toute l'éolienne hors tension.

Restent alimentés :

- les feux de balisage lumineux
- l'ascenseur de service
- les prises
- l'éclairage
- les parties moyenne-tension (HTA)

5.2 Le système de capteurs

De nombreux capteurs enregistrent continuellement l'état actuel de l'éolienne ainsi que les paramètres ambiants significatifs (p. ex. vitesse du rotor, température, vitesse du vent, charge de pale, etc.). Le système de contrôle analyse les signaux et commande l'éolienne en règle générale de sorte que l'énergie éolienne actuellement disponible soit utilisée de manière optimale tout en garantissant la sécurité de fonctionnement.

Capteurs redondants

Afin de garantir un contrôle de plausibilité par comparaison des valeurs signalées, le nombre de capteurs montés est supérieur au nombre effectivement nécessaire (p. ex. pour la mesure de la température dans le générateur), pour certains états de fonctionnement. Tout capteur défectueux est détecté et peut être remplacé par l'activation d'un capteur de réserve. En règle générale, l'éolienne peut ainsi continuer à fonctionner en toute sécurité sans que des grands composants soient remplacés.

Contrôle des capteurs

Le bon fonctionnement des capteurs est contrôlé régulièrement en cours de service par le système de contrôle ou, si cela n'est pas possible, dans le cadre de la maintenance.

Contrôle de la vitesse de rotation

Le système de contrôle de l'éolienne ENERCON règle la vitesse du rotor en modifiant l'angle de pale, de sorte que la vitesse nominale ne soit pas trop fortement dépassée par vent très fort. Le réglage des pales n'est cependant pas en mesure de réagir suffisamment vite en présence d'événements soudains, comme par exemple une forte rafale ou une diminution brutale de la charge du générateur. Si la vitesse nominale est dépassée de plus de 15 %, le système de contrôle de l'éolienne arrête le rotor. L'éolienne tente de redémarrer automatiquement au bout de 3 minutes. Si ce défaut se produit plus de cinq fois en 24 heures, la présence d'un dysfonctionnement est suspectée. Plus aucune tentative de démarrage n'a lieu.

Parallèlement à la surveillance électronique, un capteur de survitesse électromécanique (capteur de force centrifuge) est installé à l'intérieur ou à côté des 3 armoires de réglage des pales. Chacun de ces capteurs peut arrêter l'éolienne grâce à un réglage d'urgence. Ils réagissent lorsque la vitesse nominale du rotor est dépassée de plus de 25 %. Les capteurs de survitesse doivent être réinitialisés manuellement après avoir recherché et éliminé la cause de la survitesse pour permettre le redémarrage de l'éolienne.

Surveillance des vibrations

Le capteur de vibrations détecte les fortes vibrations et secousses excessives qui peuvent par exemple se produire lors d'une panne du redresseur. Il est monté sur le bord inférieur du support principal de l'éolienne et se compose d'un détecteur muni d'une tige à ressorts à l'extrémité de laquelle se trouve une boule retenue par une chaîne. La boule est posée sur l'extrémité d'un tube vertical court. En cas de fortes vibrations, la boule tombe de son support, actionne le capteur par l'intermédiaire de la chaîne, déclenchant ainsi un réglage d'urgence des pales du rotor qui arrête le rotor.

Système de surveillance de l'entrefer

La largeur de l'entrefer entre le rotor et le stator du générateur annulaire est surveillée à l'aide de micro-rupteurs répartis tout autour du rotor. En cas de déclenchement de l'un des micro-rupteurs dû au sous-dépassement de la distance minimale, l'éolienne est stoppée et redémarrée rapidement peu de temps après.

Si ce défaut se produit à nouveau en 24 heures, l'éolienne reste à l'arrêt jusqu'à ce que la cause ait été supprimée.

Surveillance des oscillations

La surveillance des oscillations détecte les oscillations ou les déflexions de forte ampleur de la pointe du mât de l'éolienne.

2 capteurs d'accélération enregistrent les accélérations de la nacelle dans la direction de l'axe du moyeu (oscillations longitudinales) et dans la direction transversale (oscillations transversales). À partir de ces données, le système de contrôle calcule continuellement les mouvements du mât par rapport à sa position de repos. Si les oscillations dépassent la valeur autorisée, l'éolienne s'arrête. Elle redémarre automatiquement après quelques instants. Les capteurs d'accélération sont montés sur le même dispositif de fixation que le capteur de vibrations. Si, pendant 24 heures, le mât présente à plusieurs reprises des oscillations dépassant les limites admissibles, l'éolienne ne tente plus de redémarrer.

Système de surveillance de la température

Certains composants de l'éolienne ENERCON sont refroidis. Des capteurs de température mesurent continuellement la température des composants de l'éolienne qui doivent être protégés des températures élevées.

Lorsque la température est trop élevée, le système de contrôle réduit la puissance de l'éolienne ou arrête cette dernière, si nécessaire. L'éolienne refroidit et redémarre en général automatiquement dès que la température retombe sous la valeur limite prescrite.

Certains points de mesure sont également équipés de capteurs de surchauffe. Ceux-ci provoquent également un arrêt de l'éolienne, dans certains cas, sans redémarrage automatique après refroidissement, lorsque la température dépasse une certaine valeur seuil.

Certains modules, tels que l'accumulateur d'énergie du balisage de danger et le générateur p. ex., sont réchauffés lorsque la température est trop basse afin de les maintenir dans un état opérationnel.

Système de surveillance du bruit interne à la nacelle

La tête du rotor contient des capteurs qui réagissent aux bruits de chocs élevés pouvant provenir de composants desserrés ou défectueux. L'éolienne est stoppée lorsqu'un des capteurs signale des bruits et en l'absence d'un message indiquant une autre cause.

Les messages de toutes les éoliennes d'un parc sont comparés les uns aux autres pour exclure toute cause extérieure de bruits (grêle lors d'un orage notamment). Les éoliennes individuelles sont en outre équipées d'un capteur de bruits placé dans la salle des machines. Lorsque les capteurs de plusieurs éoliennes ou le capteur de bruits de la salle des machines signalent des bruits simultanément, on peut alors supposer que les causes sont extérieures. Les capteurs de bruit sont désactivés pendant un court instant de sorte qu'aucune des éoliennes ne soit stoppée dans le parc éolien.

Surveillance anti-torsion des câbles

Si la nacelle de l'éolienne tourne jusqu'à trois fois sur son axe, vrillant ainsi les câbles descendus dans le mât, le système de contrôle de l'éolienne les dévrille automatiquement dès que possible.

La surveillance anti-torsion des câbles dispose de capteurs qui coupent l'alimentation en courant des moteurs d'orientation lorsque la plage de réglage autorisée est dépassée.

6 Système de contrôle

Le système de contrôle de l'E-92 repose sur un système de microprocesseurs développé en interne par la société ENERCON qui interroge tous les composants de l'éolienne au moyen de capteurs et recueille des données, telles que la direction et la vitesse du vent, et adapte ainsi en fonction le mode de fonctionnement de l'E-92. L'état actuel de l'éolienne et les éventuelles pannes sont affichés sur l'écran de l'éolienne de l'armoire de commande située dans le pied du mât.

6.1 Contrôle d'orientation

Le palier d'orientation muni d'une couronne extérieure se situe sur la connexion supérieure du mât. Il permet la rotation de la nacelle et ainsi le contrôle d'orientation (yaw control).

Si l'écart entre la direction du vent et la direction de l'axe du rotor est supérieur à la valeur maximale autorisée, les entraînements d'orientation sont activés et permettent alors à la nacelle de suivre le vent. La commande des moteurs d'orientation garantit un démarrage et un freinage en douceur. Le système de contrôle surveille le processus d'orientation. En cas de détection d'irrégularités, le processus d'orientation est désactivé et l'éolienne est stoppée.

6.2 Réglage des pales du rotor

Principe de fonctionnement

Le système de réglage des pales modifie l'angle d'attaque avec lequel l'air arrive sur le profil des pales. La modification de l'angle de pale induit également une modification de la force ascensionnelle de pale, et donc également de la force avec laquelle la pale fait tourner le rotor.

Lors du fonctionnement normal (mode automatique), l'angle de pale est réglé de sorte que, d'une part, l'énergie du vent soit utilisée de manière optimale et que, d'autre part, l'éolienne ne soit soumise à aucune surcharge ; pour ce faire les conditions cadre comme l'optimisation acoustique sont respectées. Le réglage de pales permet également le freinage aérodynamique du rotor.

Lorsque l'éolienne atteint sa puissance nominale et que la vitesse du vent continue d'accélérer, le système de réglage des pales tourne légèrement les pales du rotor hors du vent de manière à ce que la vitesse du rotor et la puissance absorbée du vent et transformée par le générateur n'excèdent pas ou seulement accessoirement les valeurs nominales.

Montage

Chaque pale est équipée de son propre système de réglage des pales. Le système de réglage des pales se compose d'une armoire de réglage des pales (pitch box), d'une boîte relais des pales, d'un moteur de réglage des pales (pitch) et d'une unité condensateur. L'armoire de réglage des pales (pitch box) et la boîte relais des pales, commandent le moteur de réglage des pales (pitch). L'unité condensateur emmagasine l'énergie nécessaire pour un réglage d'urgence, reste en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en permanence.

Angle de pale

Positions particulières des pales du rotor (angle de pale) dans le cas de l'E-92 :

- A : 2,5°** Position normale en mode charge partielle : exploitation maximale du vent.
- B : 60°** Fonctionnement à vide (l'éolienne n'injecte aucune puissance dans le réseau en raison de la faible vitesse de vent) : En fonction de la vitesse du vent, le rotor tourne à une vitesse minimale ou s'arrête en cas d'absence complète de vent.
- C : 92°** Mise en drapeau (le rotor a été stoppé manuellement ou automatiquement) : Même lorsque le vent souffle, les pales du rotor ne créent aucune force ascensionnelle, le rotor est immobile ou tourne très lentement.

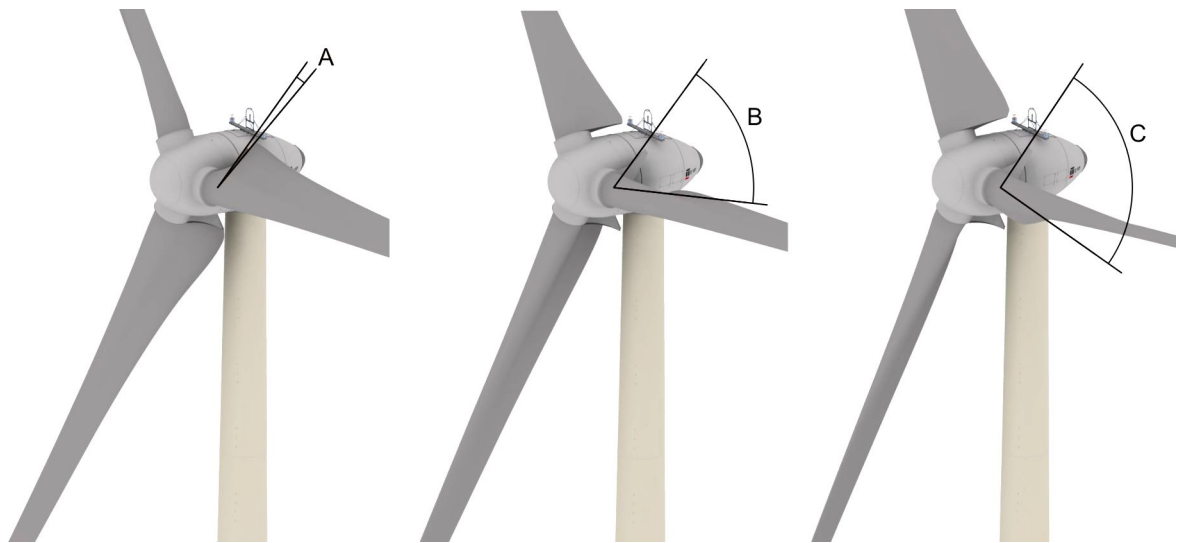


Fig. 4: Positions particulières de la pale

6.3 Démarrer l'éolienne

6.3.1 Préparation du démarrage

L'éolienne est arrêtée aussi longtemps que l'état principal > 0 persiste. Dès que l'état principal est 0, l'éolienne est prête et le processus de démarrage est entamé. Si certaines conditions limites pour un démarrage ne sont pas encore complétées, comme par ex. la charge des unités condensateurs de réglage d'urgence de rotor, l'état 0:3 - Start lead-up (préparation de démarrage) est affiché.

Pendant la préparation de démarrage, débute une phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes de l'éolienne.

6.3.2 Mesure du vent et orientation de la nacelle

Une fois la préparation de démarrage terminée, l'état 0:2 - Turbine operational (éolienne prête) apparaît à l'écran.

Si le système de commande est en fonctionnement automatique, que la vitesse moyenne du vent est supérieure à 1,8 m/s et que la déviation de la direction du vent est suffisante pour un processus de contrôle d'orientation (yaw control), l'éolienne commence à s'orien-

ter vers le vent. 60 secondes après la fin de la préparation de démarrage, l'éolienne se met en fonctionnement à vide. Les pales du rotor avancent lentement, ceci pendant que les unités des condensateurs du système de réglage d'urgence de pale sont contrôlées.

Si l'éolienne est équipée de jauges de contrainte, les pales s'arrêtent à un angle de 70° et procèdent à la vérification des points de mesure de charge, qui peut prendre plusieurs minutes selon les circonstances. Pendant ce temps, l'état 0:5 - Calibration of load control (calibrage de la régulation de charge) est affiché.

Le processus de démarrage (état 0:1) débute lorsque la vitesse moyenne du vent est supérieure à la vitesse actuelle de démarrage (env. 2,0 m/s) pendant la phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes. Si ce n'est pas le cas, l'éolienne reste en mode de fonctionnement à vide (état 2:1 - Lack of wind:Wind speed too low (manque de vent : vitesse du vent trop faible)).

Besoins propres de l'éolienne

Étant donné que pendant ce temps l'éolienne ne fournit aucune puissance active, l'énergie électrique nécessaire pour les besoins propres de l'éolienne est prélevée du réseau.

6.3.3 Excitation de la génératrice

L'excitation du générateur commence, dès que le rotor atteint une vitesse de rotation dépendante du type d'éolienne (par ex. pour l'E-82 env. 3 tr/min). Le courant nécessaire est tiré du réseau pour une courte durée. Si le générateur atteint une vitesse de rotation suffisante, alors l'éolienne s'alimente elle-même en courant. Le courant pour l'excitation propre est prélevé de la liaison CC (DC link) du redresseur et l'énergie prélevée du réseau est réduite à zéro.

6.3.4 Injection de puissance

Le processus d'injection est initié dès qu'une tension de liaison CC suffisante est disponible et que l'accouplement du régulateur d'excitation vers le réseau n'existe plus. Après l'augmentation de la vitesse de rotation par la présence suffisante de vent et d'une valeur de puissance nominale de $P_{\text{sol}} > 0$, les contacteurs de ligne (côté basse tension) sont fermés et l'E-92 commence l'injection de puissance dans le réseau à partir d'environ 5 tours par minute.

Pour cela, le nombre d'onduleurs est mis en circuit au fur et à mesure du besoin pour la conversion de la puissance générée par le générateur. Le contrôle de la puissance règle le courant d'excitation de sorte à ce que l'injection se déroule selon la courbe de puissance.

Le gradient pour l'augmentation de la puissance (dP/dt) après une panne de réseau ou après un démarrage normal, peut être déterminé dans le système de contrôle à l'intérieur d'une plage spécifique. Des précisions concernant ce sujet se trouvent dans la fiche de données *caractéristiques techniques relatives au réseau* pour le type d'éolienne ENERCON concerné.

6.4 Modes de fonctionnement

Dès que la phase de démarrage de l'E-92 est terminée, l'éolienne est en fonctionnement automatique (fonctionnement normal). Lorsque l'éolienne fonctionne, les régimes de vent sont constamment déterminés ; la vitesse du rotor, l'excitation et la puissance du générateur sont optimisées, la position de la nacelle est adaptée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré.

Afin d'optimiser la génération de courant en présence de conditions de vent diverses, l'éolienne commute entre 3 modes de fonctionnement dans le cadre du fonctionnement automatique en fonction de la vitesse du vent. Sous certaines conditions, l'éolienne s'arrête aussi lorsque la configuration de l'éolienne le prévoit (p. ex. en raison d'arrêt pour cause de zone d'ombre). De plus, le distributeur d'électricité du réseau dans lequel l'énergie produite est injectée a la possibilité d'influencer directement le comportement de l'éolienne par commande à distance, p. ex. pour réduire temporairement l'alimentation réseau.

L'E-92 commute entre les modes de fonctionnement suivants :

- Mode pleine charge
- Mode charge partielle
- Fonctionnement à vide

6.4.1 Mode charge pleine

Vitesse du vent

$v \geq 13/14$ (2000/2350 kW) m/s

Lorsque la vitesse de vent est égale ou supérieure à la vitesse de vent nominale, l'éolienne maintient la vitesse de rotation du rotor sur la valeur de consigne (env. 17 tr/min) grâce au réglage des pales et limite ainsi la puissance à sa valeur nominale de 2000/2350 kW.

Mode tempête activé (cas normal)

Le mode tempête permet le fonctionnement de l'éolienne même en cas de vitesses de vent élevées, mais à une vitesse de rotor et de puissance réduites.

Au-dessus d'env. 28 m/s (sur une moyenne de 12 s) et lorsque la vitesse du vent continue à augmenter, la vitesse de rotation est réduite linéairement de 17 tr/min jusqu'à la plage de la vitesse de rotation à vide pour une vitesse de vent de 34 m/s env., grâce au positionnement des pales de rotor hors du vent. La puissance injectée diminue pour ce faire, conformément à la courbe de puissance/de vitesse de rotation.

En présence de vitesses du vent supérieures à 34 m/s (sur une moyenne de 10 min.), les pales du rotor sont pratiquement mises en drapeau. L'éolienne continue de fonctionner en fonctionnement à vide sans fournir de puissance, mais reste connectée au réseau absorbant. Si la vitesse du vent chute en-dessous de 34 m/s, l'éolienne reprend automatiquement l'injection de courant.

Le mode tempête est activé normalement et peut être uniquement désactivé par maintenance à distance ou sur site par le Service ENERCON.

Système de mode tempête non actif

Si le mode tempête est exceptionnellement désactivé, l'éolienne est arrêtée pour des raisons de sécurité, lorsque la vitesse du vent dépasse 25 m/s (moyenne sur 3 minutes) ou 30 m/s (moyenne sur 15 s). L'éolienne démarre automatiquement si à l'intérieur de 10 minutes après l'arrêt, aucun des deux événements ne survient.

6.4.2 Mode charge partielle

Vitesse du vent

$2,5 \text{ m/s} \leq v < 13/14$ (2000/2350 kW) m/s

Pendant le mode charge partielle (la vitesse du vent se situe entre la vitesse de démarrage et la vitesse nominale) la puissance maximale possible est soutirée du vent. La vitesse du rotor et la puissance fournie dépendent de la vitesse du vent actuelle. Pour cela le réglage des pales débute dès la plage limite du mode charge pleine afin de garantir une transition continue.

6.4.3 Fonctionnement à vide

Vitesse du vent

$v < 2,5 \text{ m/s}$

Lors de vitesses de vent en dessous de 2,5 m/s le courant ne peut être injecté dans le réseau. L'éolienne fonctionne en mode de fonctionnement à vide, ce qui signifie que les pales du rotor sont largement tournées hors du vent (angle de pale 60°) et le rotor tourne lentement ou reste immobile en l'absence totale de vent.

Grâce à ce déplacement lent (fonctionnement à vide), les paliers du moyeu sont moins sollicités qu'en cas d'immobilisation prolongée et une reprise de la production et de l'injection de courant est plus rapide lorsque le vent se lève.

6.5 Arrêt sécuritaire de l'éolienne

L'éolienne ENERCON peut être arrêtée par une manipulation manuelle ou automatiquement par le système de commande.

Les raisons sont divisées en groupe selon le risques.

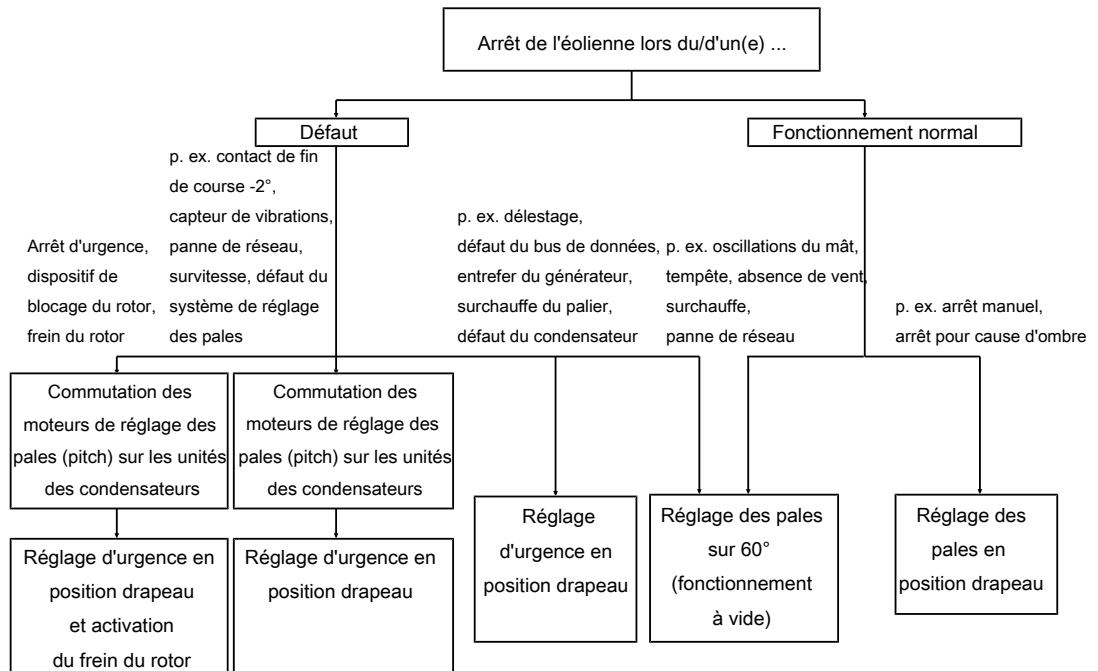


Fig. 5: Aperçu des opérations d'arrêt

Arrêt de l'éolienne par le système de réglage des pales

Lors d'une panne ne relevant pas de la sécurité, la commande fait sortir du vent les pales du rotor et ainsi ces dernières ne produisent plus de force ascensionnelle et l'éolienne s'arrête.

Réglage d'urgence

L'accumulateur d'énergie des systèmes de réglage des pales emmagasine l'énergie nécessaire à un réglage d'urgence, reste en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en continu. Lors d'un réglage d'urgence, les systèmes d'entraînement de l'accumulateur d'énergie correspondant sont alimentés en énergie. Les pales du rotor se mettent dans une position dans laquelle elles ne produisent aucune force ascensionnelle (mise en drapeau) de manière incontrôlée et indépendamment les unes des autres.

Étant donné que les 3 systèmes de réglage des pales se contrôlent mutuellement, tout en fonctionnant individuellement, les systèmes de réglage des pales peuvent continuer à fonctionner et arrêter le rotor même si l'un d'eux est défaillant.

Freinage d'urgence

Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence est actionné ou que le dispositif de blocage du rotor est activé pendant que le rotor tourne, la commande de l'éolienne déclenche un freinage d'urgence.

En outre au réglage d'urgence des pales du rotor le frein du rotor est activé. Le rotor est freiné pendant 10 à 15 secondes de la vitesse nominale jusqu'à l'arrêt.

7 Système de surveillance à distance

Toutes les éoliennes ENERCON sont raccordées en série à la succursale de Service régionale via le système ENERCON SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Celle-ci peut consulter à tout moment les données de fonctionnement de chaque éolienne et réagir immédiatement en cas de défauts ou de dysfonctionnements, si nécessaire. Tous les messages d'état sont transmis via le système ENERCON SCADA à la succursale de Service régionale où ils sont enregistrés de manière permanente. C'est là la seule manière de mettre à profit toutes les expériences acquises lors de l'exploitation à long terme dans la stratégie de développement future des éoliennes.

Le raccordement des éoliennes passe par un ordinateur spécialement prévu à cet effet (ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)), qui est installé habituellement dans le poste de livraison ou dans le poste source du parc éolien. Chaque parc est équipé d'un ENERCON SCADA Server.

Le système ENERCON SCADA, ses caractéristiques et son utilisation sont décrits dans des documents séparés.

Si l'exploitant le souhaite, la surveillance des éoliennes peut être assurée par un autre organisme.

8 Maintenance

Pour garantir le fonctionnement sûr et optimal de l'éolienne, il est nécessaire d'effectuer régulièrement des opérations de maintenance.

L' E-92 est régulièrement entretenue en fonction des exigences, au moins deux fois par an (maintenance principale et graissage d'entretien).

Lors de la maintenance principale, tous les composants et fonctions relatifs à la sécurité sont contrôlés comme par exemple le réglage des pales, le système de contrôle d'orientation (yaw), les systèmes de sécurité, le système de protection parafoudre, les points d'attache et l'échelle. Les raccords vissés des raccords portants (composants principaux) sont contrôlés. Tous les autres composants font l'objet d'une inspection visuelle pendant laquelle des anomalies et des dommages sont constatés. Les lubrifiants consommés sont remplis.

Lors du graissage d'entretien, le cadre de la maintenance se limite sur une inspection visuelle et un remplissage de lubrifiants consommés.

Les fréquences de maintenance et les cadres de maintenance peuvent varier en fonction des directives et des normes régionales.

9 Données techniques E-92 / 2 MW/2,35 MW

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation du type	E-92
Puissance nominale	2000/2350 kW
Hauteurs des moyeux	78,33 m, 84,0 m, 84,58 m, 98,38 m, 103,9 m, 108,38 m, 138,38 m
Diamètre du rotor	92 m
Classe de vent CEI (éd. 3)	IIA
Vitesse de vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	42,5 m/s Correspond à un équivalent de charge d'env. 59,5 m/s (rafale 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	8,5 m/s

Rotor avec réglage des pales	
Type	Rotor face au vent à réglage actif des pales
Sens de rotation	Dans le sens des aiguilles d'une montre (sous le vent)
Quantité de pales de rotor	3
Longueur de pales de rotor	43,8 m
Surface balayée	6648 m ²
Matériau de la pale du rotor	Plastique renforcé de verre/résine époxy/bois de balsa/mousse
Vitesse de rotation inférieure d'injection de puissance jusqu'à vitesse nominale	5 – 16,5 tr/min
Vitesse en bout de pale en cas de la vitesse de rotation de consigne	Jusqu'à 81,89 m/s
Vitesse de vent de régulation	28 – 34 m/s (avec système de mode tempête ENERCON en option)
Angle de cône	0°
Angle d'axe du rotor	5°
Réglage des pales du rotor	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec système d'alimentation électrique de secours dédié

Arbre d'entraînement avec générateur	
Concept d'éolienne	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	Palier à deux rangées de rouleaux coniques/palier à rouleaux cylindriques
Générateur	Générateur annulaire ENERCON, à entraînement direct
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON à fréquence d'horloge élevée et courant de forme sinusoïdale
Degré de protection/classe d'isolation	IP 23/F

Système de freinage	
Frein aérodynamique	Trois systèmes de réglage des pales indépendants avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Électromécanique
Dispositif de blocage du rotor	Par crans de 15°

Système de contrôle d'orientation	
Type	Électrique avec moteurs d'orientation (yaw)
Commande	Active par transmissions d'orientation

Système de contrôle	
Type	Micro-processeur
Alimentation réseau	Onduleur ENERCON
Système de surveillance à distance	ENERCON SCADA
Alimentation sans interruption (ASI)	Intégré

Types de mât			
Hauteur du moyeu	Hauteur totale	Modèle	Classe de vent
78,33 m	124,33 m	Mât acier avec cage d'ancrage	CEI IIA / S ¹ DIBt WZ4 GK I+II ²
84,0 m	130,0 m	Mât en béton préfabriqué (précontrainte externe)	CEI IIA ¹
84,58 m	130,58 m	Mât en béton préfabriqué	CEI IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ³
84,58 m	130,58 m	Mât acier avec cage d'ancrage	CEI IIA ¹ DIBt WZ4 GK I ²

Types de mât			
84,58 m	130,58 m	Mât acier avec cage d'ancrage	CEI IIA ¹ (uniquement au Japon)
98,38 m	144,38 m	Mât en béton préfabriqué	CEI IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ³
98,38 m	144,38 m	Mât en béton préfabriqué (précontrainte externe)	CEI IIA ¹
103,9 m	149,9 m	Mât en béton préfabriqué (précontrainte externe)	CEI IIA ¹
103,9 m	149,9 m	Mât en béton préfabriqué (précontrainte externe)	DIBt WZ4 GK I+II ²
108,38 m	154,38 m	Mât en béton préfabriqué	CEI IIA ¹ (uniquement au Brésil/ en Uruguay)
138,38 m	184,38 m	Mât en béton préfabriqué	CEI IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ³

¹édition 3²édition 2012³édition 2004

Données techniques E-92 / 2 MW/2,35 MW

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation du type	E-92
Puissance nominale	2000/2350 kW
Hauteurs des moyeux	78,33 m, 84,0 m, 84,58 m, 98,38 m, 103,9 m, 108,38 m, 138,38 m
Diamètre du rotor	92 m
Classe de vent CEI (éd. 3)	IIA
Vitesse de vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	42,5 m/s Correspond à un équivalent de charge d'env. 59,5 m/s (rafale 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	8,5 m/s
Rotor avec réglage des pales	
Type	Rotor face au vent à réglage actif des pales
Sens de rotation	Dans le sens des aiguilles d'une montre (sous le vent)
Quantité de pales de rotor	3
Longueur de pales de rotor	43,8 m
Surface balayée	6648 m ²
Matériau de la pale du rotor	Plastique renforcé de verre/résine époxy/bois de balsa/mousse
Vitesse de rotation inférieure d'injection de puissance jusqu'à vitesse nominale	5 – 16,5 tr/min
Vitesse en bout de pale en cas de la vitesse de rotation de consigne	Jusqu'à 81,89 m/s
Vitesse de vent de régulation	28 – 34 m/s (avec système de mode tempête ENERCON en option)
Angle de cône	0°
Angle d'axe du rotor	5°
Réglage des pales du rotor	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec système d'alimentation électrique de secours dédié

Arbre d'entraînement avec générateur

Concept d'éolienne	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	Palier à deux rangées de rouleaux coniques/palier à rouleaux cylindriques
Générateur	Générateur annulaire ENERCON, à entraînement direct
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON à fréquence d'horloge élevée et courant de forme sinusoïdale
Degré de protection/classe d'isolation	IP 23/F

Système de freinage

Frein aérodynamique	Trois systèmes de réglage des pales indépendants avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Électromécanique
Dispositif de blocage du rotor	Par crans de 15°

Système de contrôle d'orientation

Type	Électrique avec moteurs d'orientation (yaw)
Commande	Active par transmissions d'orientation

Système de contrôle

Type	Micro-processeur
Alimentation réseau	Onduleur ENERCON
Système de surveillance à distance	ENERCON SCADA
Alimentation sans interruption (ASI)	Intégré

Types de mât			
Hauteur du moyeu	Hauteur totale	Modèle	Classe de vent
78,33 m	124,33 m	Mât acier avec cage d'ancrage	CEI IIA / S ¹ DIBt WZ4 GK I+II ²
84,0 m	130,0 m	Mât en béton préfabriqué (précontrainte externe)	CEI IIA ¹
84,58 m	130,58 m	Mât en béton préfabriqué	CEI IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ³
84,58 m	130,58 m	Mât acier avec cage d'ancrage	CEI IIA ¹ DIBt WZ4 GK I ²
84,58 m	130,58 m	Mât acier avec cage d'ancrage	CEI IIA ¹ (uniquement au Japon)
98,38 m	144,38 m	Mât en béton préfabriqué	CEI IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ³
98,38 m	144,38 m	Mât en béton préfabriqué (précontrainte externe)	CEI IIA ¹
103,9 m	149,9 m	Mât en béton préfabriqué (précontrainte externe)	CEI IIA ¹
103,9 m	149,9 m	Mât en béton préfabriqué (précontrainte externe)	DIBt WZ4 GK I+II ²
108,38 m	154,38 m	Mât en béton préfabriqué	CEI IIA ¹ (uniquement au Brésil/en Uruguay)
138,38 m	184,38 m	Mât en béton préfabriqué	CEI IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ³

¹édition 3

²édition 2012

³édition 2004

Description technique

Éolienne ENERCON E-115 EP3 E3

Éditeur ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne
Téléphone : +49 4941 927-0 ▪ Fax : +49 4941 927-109
E-mail : info@enercon.de ▪ Internet : http://www.enercon.de
Directeurs généraux: Hans-Dieter Kettwig, Jost Backhaus, Dr. Thomas Cobet,
Momme Janssen, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Tribunal compétent : Aurich ▪ Numéro d'immatriculation au registre de commerce :
HRB 411
N° TVA : DE 181 977 360

Remarque sur les droits de propriété intellectuelle Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.

ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.

Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.

Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.

Marques déposées Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.

Réserve de modification ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.

Informations sur le document

ID du document	D0882980-4		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0724970-4/2020-01-27		
Date	Langue	DCC	Usine/Département
2020-04-01	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Présentation de l'éolienne ENERCON E-115 EP3 E3	5
2	Le concept d'éoliennes ENERCON	6
3	Composants de l'éolienne ENERCON E-115 EP3 E3	7
3.1	Pales du rotor	8
3.2	Nacelle	8
3.2.1	Générateur annulaire	9
3.3	Mât	9
4	Système d'alimentation du réseau	10
5	Système de sécurité	13
5.1	Dispositifs de sécurité	13
5.2	Le système de capteurs	13
6	Système de contrôle	16
6.1	Contrôle d'orientation	16
6.2	Réglage des pales du rotor	16
6.3	Démarrer l'éolienne	17
6.3.1	Préparation du démarrage	17
6.3.2	Mesure du vent et orientation de la nacelle	17
6.3.3	Excitation du générateur	18
6.3.4	Injection de puissance	18
6.4	Modes de fonctionnement	19
6.4.1	Mode charge pleine	19
6.4.2	Mode charge partielle	20
6.4.3	Fonctionnement à vide	20
6.5	Arrêt sécuritaire de l'éolienne	21
7	Système de surveillance à distance	22
8	Maintenance	23
9	Caractéristiques techniques de l'éolienne ENERCON E-115 EP3 E3	24

Index des abréviations

FACTS	Flexible Alternating Current Transmission System (Système de transmission flexible à courant alternatif)
FT	FACTS Transmission (Configuration électrique avec propriétés FACTS)
FTQ	FACTS Transmission avec option Q+ (Configuration électrique avec plage de réglage de la puissance réactive étendue)
FTQS	FACTS Transmission avec option Q+ et option STATCOM (Configuration électrique avec plage de réglage de la puissance réactive étendue et option STATCOM)
FTS	FACTS Transmission avec option STATCOM (Configuration électrique avec option STATCOM)
HM	Hauteur du moyeu
PRV	Matière plastique renforcée aux fibres de verre
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Système de contrôle et d'acquisition de données)
STATCOM	Static compensator (Compensateur statique)

1 Présentation de l'éolienne ENERCON E-115 EP3 E3

L'éolienne ENERCON E-115 EP3 E3 est une éolienne à entraînement direct d'une puissance nominale de 2990/4200 kW, dotée d'un rotor à trois pales, d'un système actif de réglage des pales et fonctionnant à vitesse variable. Elle présente un diamètre de rotor de 115,71 m et peut être livrée avec des hauteurs de moyeu comprises entre 67 m et 149 m.



Fig. 1 : Vue d'ensemble de l'éolienne ENERCON E-115 EP3 E3

2 Le concept d'éoliennes ENERCON

Sans boîte de vitesse

Le système d'entraînement de l'éolienne comporte peu de composants rotatifs. Le moyeu du rotor et le rotor du générateur annulaire sont directement reliés entre eux en tant qu'unités fixes, sans boîte de vitesse. Cela permet de réduire la charge mécanique et d'augmenter la durée de vie du système. Les besoins en maintenance et entretien et les coûts d'exploitation sont ainsi réduits (pièces d'usure moins nombreuses, aucun changement d'huile de boîte de vitesse requis). En l'absence de boîte de vitesse et autres pièces en rotation rapide, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur et les émissions sonores sont considérablement réduites.

Réglage actif des pales

Le système de réglage actif des pales du rotor est composé d'un système de distribution principal et de 3 armoires de réglage, chacune raccordée à un moteur de réglage asynchrone. Les systèmes de réglage des pales limitent la vitesse de rotation du rotor et la puissance prélevée au vent. La puissance maximale fournie par l'éolienne est ainsi limitée exactement à la puissance nominale, même à court terme. Lorsque les pales sont mises en drapeau, le rotor s'arrête sans que l'arbre d'entraînement soit soumis à une charge quelconque par l'utilisation d'un frein mécanique. L'approvisionnement en énergie pour le réglage d'urgence des pales du rotor se trouve dans les armoires de réglage.

Raccordement indirect au réseau

L'énergie produite par le générateur annulaire est acheminée dans le réseau de distribution ou de transport par le système d'alimentation du réseau. Le système d'alimentation du réseau, qui se compose de systèmes d'onduleurs et de redresseurs modulaires dotés d'une liaison CC (DC link) commune, garantit un rendement énergétique maximal et une compatibilité au réseau élevée. Les caractéristiques électriques du générateur annulaire sont par conséquent insignifiantes pour le comportement de l'éolienne sur le réseau de distribution ou de transport. En fonction de la vitesse du vent, la vitesse de rotation, l'excitation, la tension de sortie et la fréquence de sortie du générateur annulaire peuvent varier. L'énergie du vent peut ainsi toujours être utilisée de manière optimale également dans la plage de charge partielle.

3 Composants de l'éolienne ENERCON E-115 EP3 E3

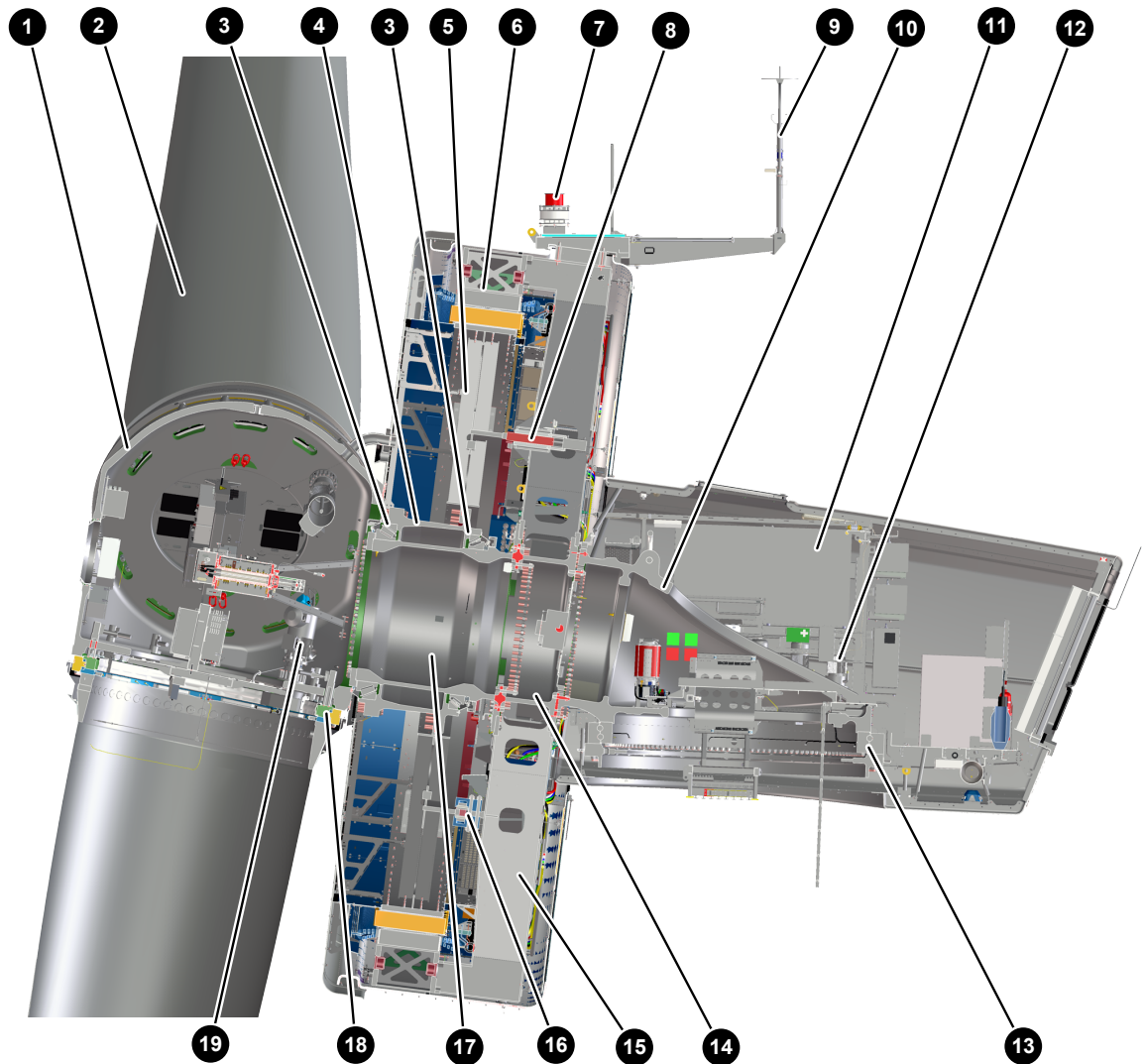


Fig. 2 : Coupe de la nacelle

1	Moyeu du rotor	2	Pale
3	Palier du rotor	4	Support du rotor
5	Rotor du générateur	6	Stator du générateur
7	Balisage lumineux d'obstacles (en option)	8	Dispositif de blocage du rotor
9	Dispositif de mesure du vent avec paratonnerres	10	Support principal
11	Armoire de commande de la nacelle	12	Entraînement d'orientation
13	Palier d'orientation	14	Étoile du stator
15	Bras de support	16	Frein du rotor
17	Arbre du moyeu	18	Palier de bride de pale
19	Entraînement de réglage des pales		

3.1 Pales du rotor

Les pales de rotor en PRV, bois de balsa et mousse ont un impact déterminant sur le rendement de l'éolienne et ses émissions sonores. La pale du rotor est fabriquée en demi-sections et par infusion sous vide. La forme et le profil des pales du rotor ont été conçus en fonction des critères suivants :

- coefficient de puissance élevé
- durée de vie élevée
- faibles émissions sonores
- faibles contraintes mécaniques
- utilisation optimale des matériaux

Les pales du rotor sont spécialement conçues pour fonctionner avec un système de réglage des pales variable et une vitesse de rotation variable. Le revêtement de surface à base de polyuréthane protège les pales du rotor des influences environnementales telles que les rayons UV et l'érosion. Le revêtement est particulièrement robuste et résistant à l'abrasion.

Les 3 pales du rotor sont réglées par des systèmes de réglage des pales indépendants, commandés par microprocesseur. L'angle de pale réglé est surveillé en permanence par 2 mesures d'angle des pales et les 3 angles de pale sont synchronisés entre eux. Cela permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle de pale en fonction des conditions du vent.

Les pales de rotor sont en option ou en série équipées d'un profilé dentelé dans une partie du bord de fuite. Ce peigne de bord de fuite (Trailing Edge Serration) réduit les turbulences au niveau du bord de fuite et limite ainsi l'émission sonore de l'éolienne.

Des vortex se trouvent à l'intérieur des pales sur l'extrados. Les vortex ralentissent le décrochage du courant de couche limite de la surface des pales. Par conséquent, les propriétés aérodynamiques de l'éolienne réagissent moins sensiblement aux modifications temporaires de la surface et aux conditions de vent. La puissance de l'éolienne augmente et les émissions sonores sont réduites.

3.2 Nacelle

Le moyeu du rotor tourne sur 2 paliers du rotor autour de l'arbre du moyeu fixe. Parmi les composants fixés sur le moyeu figurent les pales et le rotor du générateur. Le collecteur (slip ring unit) se trouve à la pointe de l'arbre du moyeu. Il transmet l'énergie électrique et les données par l'intermédiaire de contacts à frottement entre la partie fixe et la partie rotative de la nacelle.

L'élément porteur du stator du générateur fixe est un support du stator avec 6 bras de support. Le support du stator est fixé solidement au support principal via l'étoile du stator. Aux extrémités des bras de support se trouve l'anneau de support du stator avec les bobines en aluminium dans lesquels le courant est induit.

Le support principal est l'élément porteur central de la nacelle. Toutes les pièces du rotor et du générateur y sont directement ou indirectement attachées. Le support principal pivote sur le sommet du mât par l'intermédiaire du palier d'orientation. Toute la nacelle peut être tournée à l'aide des entraînements d'orientation pour que le rotor soit orienté en permanence de manière optimale au vent.

L'habillage de la nacelle est composé de plastique renforcé de fibres de verre. Constitué de plusieurs éléments, il est fixé au stator du générateur et à la plateforme de la nacelle par le biais de profilés en acier.

3.2.1 Générateur annulaire

Les éoliennes utilisent un générateur synchrone à polarité élevée et à excitation indépendante (générateur annulaire). L'éolienne fonctionne à une vitesse de rotation variable afin d'optimiser le potentiel de l'énergie éolienne indépendamment de la vitesse du vent. Le générateur annulaire produit ainsi du courant alternatif avec une tension, une fréquence et une amplitude variables.

Les bobinages présents dans le stator du générateur annulaire forment 12 systèmes de courant alternatif triphasé indépendants. Le raccordement en parallèle de ces systèmes permet de les regrouper en 2 systèmes distincts redressés par 2 convertisseurs dans le pied du mât avant qu'ils ne soient à nouveau convertis en courant triphasé affichant des valeurs de tension, fréquence et relation de phase conformes au réseau.

Ainsi le générateur annulaire n'est pas raccordé directement au réseau absorbé par le distributeur d'électricité mais il est découplé du réseau par le convertisseur intégral.

3.3 Mât

Le mât de l'éolienne est soit hybride, c'est-à-dire composé de sections en préfabriquées en béton et d'une section en acier, soit intégralement en acier.

Une couche de peinture ou un revêtement de protection contre les intempéries et la corrosion est appliqué sur tous les mâts en usine, de sorte que, après le montage, les seuls travaux nécessaires sont la correction des défauts et des éventuels dommages occasionnés lors du transport. La partie inférieure du mât est recouverte d'une peinture extérieure avec un dégradé de verts (qui peut être supprimé en option).

Le mât acier est un tube en tôle d'acier qui s'affine de manière linéaire vers le haut. Il est préfabriqué en quelques grandes sections en usine. Les extrémités des sections sont munies de brides percées de trous pour le montage.

Les sections de mât sont simplement posées les unes sur les autres et vissées sur le lieu d'installation. Le mât est relié à la fondation au moyen d'une cage d'ancrage.

Le mât hybride se compose de sections préfabriquées en béton assemblées sur le lieu d'installation. Les sections sont généralement placées à sec les unes sur les autres, mais une couche de compensation de mortier peut aussi être appliquée. Les joints verticaux sont reliés entre eux au moyen de raccords vissés. Ensuite, la section en acier supérieure est posée et vissée.

Le mât hybride est précontraint dans le sens vertical par des câbles de précontrainte fabriqués en acier de précontrainte. Les câbles de précontrainte sont installés verticalement à travers des passages dans les éléments en béton ou à l'extérieur sur la paroi intérieure du mât. Ils sont ancrés dans la fondation.

Pour des raisons techniques et économiques, la partie supérieure plus étroite du mât en béton préfabriqué est composée d'acier. Il n'est p. ex. pas possible de monter le palier d'orientation directement sur les éléments en béton et l'épaisseur beaucoup plus fine de la partie en acier offre plus d'espace dans le mât.

4 Système d'alimentation du réseau

Le générateur annulaire est couplé au réseau via le système d'alimentation du réseau. Ce système se compose principalement d'un système d'onduleur et de redresseur modulaires, chacun avec une liaison CC (DC link) commune.

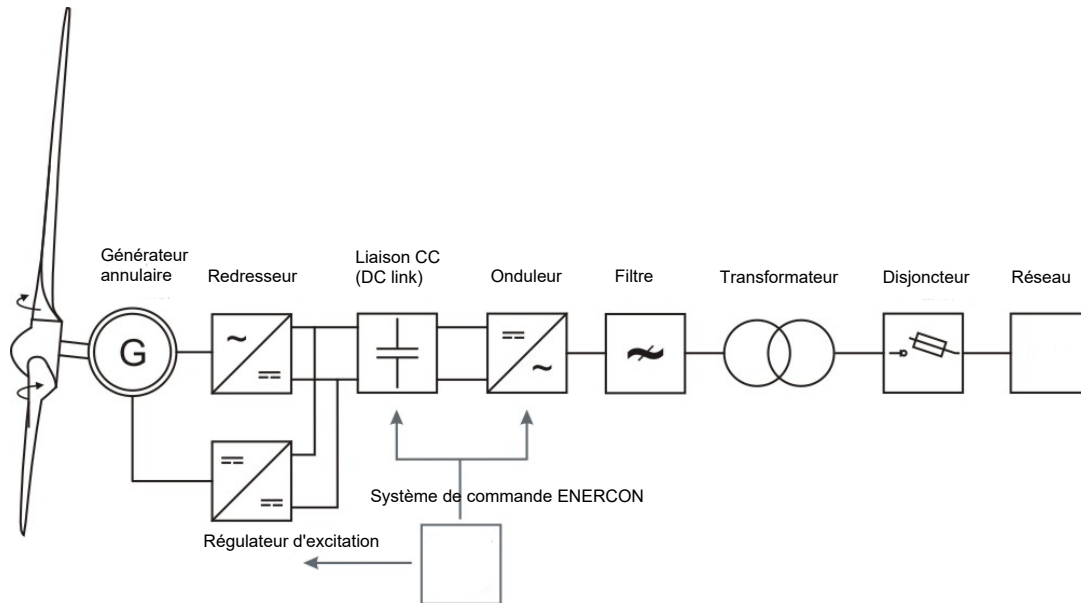


Fig. 3 : Schéma électrique simplifié d'une éolienne

Le système d'alimentation du réseau, tout comme l'excitation du générateur et le système de réglage des pales, est piloté par le système de commande en vue d'un rendement énergétique maximal et d'une compatibilité au réseau élevée.

Le découplage du générateur annulaire et du réseau permet de transmettre la puissance produite de façon optimale. Les modifications soudaines de la vitesse du vent induisent une modification contrôlée de la puissance injectée côté réseau. De la même façon, les éventuels défauts du réseau électrique n'ont pratiquement aucune répercussion sur les éléments mécaniques de l'éolienne. La puissance électrique injectée sur le réseau par l'éolienne peut être réglée avec précision de 0 kW à 2990/4200 kW.

En général, les caractéristiques que doit afficher une éolienne ou un parc éolien, en matière de raccordement au réseau absorbant de courant, sont déterminées par l'exploitant du réseau électrique. Pour pouvoir satisfaire aux différentes exigences, les éoliennes ENERCON peuvent être fournies dans différentes configurations.

Le système d'onduleurs situé dans le pied du mât est conçu en fonction de la configuration de l'éolienne. En règle générale, un transformateur convertit la basse tension directement dans ou sur l'éolienne de 630 V à la tension HTA souhaitée.

Puissance réactive

Grâce à la commande FACTS standard, l'éolienne est en mesure de produire une puissance réactive et ainsi apporter au réseau une compensation de la puissance réactive et un maintien de la tension disponible. Dès 10 % de la puissance active nominale, l'intégralité de la plage de puissance réactive est constatée. La plage de puissance réactive maximale dépend de la configuration de l'éolienne.

Configuration FT

De manière standard, l'éolienne est équipée de la technologie FACTS, laquelle répond aux strictes exigences des différents réseaux électriques. Elle est ainsi en mesure de supporter les états de panne sur le réseau (sous-tension, surtension, réenclenchement automatique, etc.) pendant 5 s et rester connectée au réseau pendant l'état de panne.

Si la tension mesurée au point de référence dépasse une valeur limite définie, l'éolienne passe du mode de fonctionnement normal à un mode spécial de fonctionnement en erreur.

Une fois l'erreur résolue, l'éolienne repasse en fonctionnement normal pour approvisionner le réseau de la puissance qu'elle produit. Si la tension ne revient pas dans un état conforme à la plage de fonctionnement normale de l'éolienne dans le délai défini (max. 5 s), l'éolienne est coupée du réseau.

Différents modes de fonctionnement en erreur correspondant à différentes stratégies pour l'alimentation réseau d'un courant réactif supplémentaire pour supporter les états de panne sur le réseau. Les stratégies de commande incluent quant à elles différents réglages en fonction du type de pannes rencontré.

Le choix de la stratégie de commande adaptée repose sur les conditions spécifiques du projet concerné et du raccordement au réseau, lesquelles doivent être confirmées avec l'exploitant du réseau.

Configuration FTS

Configuration FT avec option STATCOM

Similaire à la configuration FT, mais avec l'option STATCOM (STATCOM), qui permet à l'éolienne de délivrer et recevoir de la puissance réactive, indépendamment sa propre production de puissance active qu'elle injecte dans le réseau. Tout comme une centrale électrique, elle peut ainsi soutenir à tout moment le réseau électrique de manière active. Il est nécessaire de vérifier sur le projet concerné si la configuration peut être utilisée.

Configuration FTQ

Configuration FT avec option Q+

La configuration FTQ présente toutes les propriétés de la configuration FT, mais propose une plage de réglage plus importante pour la puissance réactive.

Configuration FTQS

Configuration FT avec option Q+ et STATCOM

La configuration FTQS présente toutes les propriétés des configurations FTQ et FTS.

Protection de la fréquence

Les éoliennes ENERCON peuvent être configurées pour une fréquence nominale de 50 Hz ou 60 Hz.

Leur plage de fonctionnement est définie par une valeur limite de fréquence inférieure et une limite supérieure. En cas d'évènement de surfréquence ou de sous-fréquence au niveau du point de référence de l'éolienne, le dispositif de protection de la fréquence est déclenché et, au bout d'un délai maximal de 60 s, l'éolienne est arrêtée.

Régulation de la fréquence et de la puissance

Si un bref état d'hyperfréquence survient en raison d'un dysfonctionnement sur le réseau, l'éolienne peut réduire la puissance injectée de manière dynamique afin de contribuer au rétablissement de l'équilibre entre le réseau producteur et le réseau interconnecté.

En fonctionnement normal, la puissance active alimentée peut être limitée de manière

préventive. En cas de sous-fréquence, la puissance retenue par cette limitation est ensuite alimentée afin de stabiliser la fréquence. L'ajustement de cette régulation est très flexible et s'adapte aux exigences les plus diverses.

5 Système de sécurité

L'éolienne dispose de multiples dispositifs de sécurité visant à la maintenir en permanence dans une plage de fonctionnement sûr. Outre les composants conçus pour assurer un arrêt sûr de l'éolienne, ces dispositifs incluent également un système de capteurs complexe. Ce système enregistre en permanence tous les états de fonctionnement de l'éolienne et met à disposition les informations correspondantes via le système de surveillance à distance ENERCON SCADA.

Si les paramètres de sécurité sortent de la plage acceptée, l'éolienne est mise en état de fonctionnement limité ou arrêtée.

5.1 Dispositifs de sécurité

Bouton d'arrêt d'urgence

Dans l'éolienne, des boutons d'arrêt d'urgence sont situés dans l'armoire de commande située dans le pied du mât, dans l'armoire de commande de la nacelle et, le cas échéant, à l'entrée du mât et en d'autres endroits. Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence situé dans le pied du mât est actionné, les pales sont réglées en position d'arrêt d'urgence. Le rotor est par conséquent freiné de manière aérodynamique. Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence situé dans la nacelle est actionné, outre le réglage d'urgence, le frein du rotor est également activé. Le rotor est ainsi rapidement mis à l'arrêt. Un arrêt d'urgence ne met l'éolienne que partiellement hors tension.

Restent alors sous tension :

- le frein du rotor
- le balisage lumineux d'obstacles
- l'éclairage
- les prises

Interrupteur principal

Dans les éoliennes ENERCON, un interrupteur principal est monté sur le système de distribution principal de la nacelle. À son activation, il met presque toute la nacelle hors tension.

Restent alors sous tension

- le balisage lumineux d'obstacles
- les prises
- l'éclairage
- la potence de nacelle
- tous les composants situés sous la nacelle

5.2 Le système de capteurs

De nombreux capteurs enregistrent continuellement l'état actuel de l'éolienne ainsi que les paramètres ambiants significatifs (vitesse du rotor, température, vitesse du vent, sollicitation de la pale, etc.). Le système de contrôle analyse les signaux et commande l'éolienne de sorte que l'énergie éolienne actuellement disponible soit utilisée de manière optimale tout en garantissant la sécurité de fonctionnement.

Capteurs redondants

Afin de garantir un contrôle de plausibilité par comparaison des valeurs signalées, des capteurs redondants sont montés pour certains états de fonctionnement. Cela s'applique p. ex. à la mesure de la température dans le générateur, la mesure de la vitesse du vent ou la mesure de l'angle actuel du pale du rotor. Tout capteur défectueux est détecté et peut être réparé ou remplacé par l'activation d'un capteur de réserve. En règle générale, l'éolienne peut ainsi continuer à fonctionner en toute sécurité sans que des grands composants soient remplacés.

Contrôle des capteurs

Le bon fonctionnement des capteurs est contrôlé régulièrement en cours de service par le système de contrôle ou, si cela n'est pas possible, dans le cadre de la maintenance.

Contrôle de la vitesse

Le système de contrôle de l'éolienne règle la vitesse du rotor en modifiant l'angle de pale de manière à ce que la vitesse nominale ne soit pas trop fortement dépassée par grand vent. Le système de réglage des pales n'est cependant pas en mesure de réagir suffisamment vite en présence d'événements soudains, comme une forte rafale ou une diminution brutale de la charge du générateur. Si la vitesse nominale est dépassée de plus de 15 %, le système de contrôle de l'éolienne arrête le rotor. L'éolienne tente de redémarrer automatiquement après 3 minutes. Si ce défaut se produit plus de 5 fois en 24 heures, la présence d'un dysfonctionnement est alors suspectée. Aucune autre tentative de démarrage n'a lieu.

Outre le système de surveillance électronique, la tête du rotor comporte 3 capteurs de survitesse électromécaniques (capteurs de force centrifuge). Ils sont répartis régulièrement autour du rotor. Chacun de ces capteurs peut arrêter l'éolienne grâce à un réglage d'urgence. Ils réagissent lorsque la vitesse nominale du rotor est dépassée de plus de 25 %. Les capteurs de survitesse doivent être réinitialisés manuellement après avoir recherché et éliminé la cause de la survitesse pour permettre le redémarrage de l'éolienne.

Système de surveillance de l'entrefer

La largeur de l'entrefer entre le rotor et le stator du générateur annulaire est surveillée à l'aide de micro-rupteurs répartis tout autour du rotor. En cas de déclenchement de l'un des micro-rupteurs dû au sous-dépassement de la distance minimale, l'éolienne est stoppée et redémarrée rapidement peu de temps après.

Si ce défaut se produit à nouveau en 24 heures, l'éolienne reste à l'arrêt jusqu'à ce que la cause ait été supprimée.

Surveillance des oscillations

La surveillance des oscillations détecte les oscillations ou les déflexions de forte ampleur de la pointe du mât de l'éolienne. Deux capteurs enregistrent les accélérations de la nacelle dans la direction de l'axe du moyeu (oscillations longitudinales) et dans la direction transversale (oscillations transversales). À partir de ces données, le système de contrôle calcule continuellement les mouvements du mât par rapport à sa position de repos. En plus, on détecte les fortes vibrations et secousses excessives qui peuvent par exemple se produire lors d'une panne du redresseur à l'aide d'une fonction intégrée dans la surveillance des oscillations. Si les oscillations ou déflexions dépassent la valeur autorisée, l'éolienne s'arrête. Elle redémarre automatiquement après quelques instants. Si des vibrations non autorisées sont décelées ou si le mât présente à plusieurs reprises des oscillations dépassant les limites admissibles, l'éolienne s'arrête et n'essaie pas de redémarrer.

Système de surveillance de la température

Certains composants de l'éolienne sont refroidis. En outre, des capteurs mesurent en permanence la température des composants de l'éolienne qui doivent être protégés des températures élevées.

Si les températures sont trop élevées, la puissance de l'éolienne est réduite et, si nécessaire, arrêtée. L'éolienne refroidit et redémarre automatiquement dès que la température descend en dessous de la température limite prescrite.

Certains points de mesure sont également équipés de capteurs de surchauffe. Ceux-ci entraînent également l'arrêt de l'éolienne, dans certains cas, sans redémarrage automatique après refroidissement, si la température dépasse une certaine valeur limite.

Certains modules, tels que l'accumulateur d'énergie concernant le balisage de danger et le générateur sont chauffés lorsque la température est trop basse, afin de les maintenir en état opérationnel.

Système de surveillance du bruit interne à la nacelle

La tête du rotor d'éoliennes équipées d'un système de surveillance du bruit interne à la nacelle contient des capteurs qui réagissent aux bruits d'impact élevés provenant notamment de composants desserrés ou défectueux. L'éolienne est immobilisée lorsqu'un des capteurs signale du bruit et en l'absence d'un message indiquant une autre cause.

Afin d'exclure toute cause de bruit extérieure notamment la grêle lors d'un orage, les messages de toutes les éoliennes d'un parc sont comparés entre eux. Les éoliennes individuelles sont en outre équipées d'un capteur de bruits placé dans la salle des machines. Lorsque les capteurs de plusieurs éoliennes ou le capteur de bruits de la salle des machines signalent simultanément des bruits, on peut alors supposer que les causes sont extérieures. Les capteurs de bruit sont désactivés pendant un court instant, afin qu'aucune éolienne dans le parc éolien ne soit arrêtée.

Surveillance anti-torsion des câbles

Si la nacelle de l'éolienne tourne jusqu'à trois fois sur son axe, vrillant ainsi les câbles descendus dans le mât, le système de contrôle de l'éolienne les dévrille automatiquement dès que possible.

La surveillance anti-torsion des câbles dispose de capteurs qui coupent l'alimentation électrique des moteurs d'orientation lorsque la plage de réglage autorisée est dépassée.

6 Système de contrôle

La commande de l'éolienne repose sur un système à microprocesseur développé par ENERCON, qui permet de collecter des informations sur les différents composants de l'éolienne ainsi que sur la direction et la vitesse du vent, et d'adapter le fonctionnement de l'éolienne en conséquence. Le statut de l'éolienne et les pannes éventuelles sont affichés sur l'écran situé sur l'armoire de commande au bas du mât.

6.1 Contrôle d'orientation

Le palier d'orientation muni d'une couronne extérieure se situe sur la connexion supérieure du mât. Il permet la rotation de la nacelle et ainsi le contrôle d'orientation (yaw control).

Si l'écart entre la direction du vent et la direction de l'axe du rotor est supérieur à la valeur maximale autorisée, les entraînements d'orientation sont activés et permettent alors à la nacelle de suivre le vent. La commande des moteurs d'orientation garantit un démarrage et un freinage en douceur. Le système de contrôle surveille le processus d'orientation. En cas de détection d'irrégularités, le processus d'orientation est désactivé et l'éolienne est stoppée.

6.2 Réglage des pales du rotor

Principe de fonctionnement

Le système de réglage des pales modifie l'angle d'attaque de l'air sur le profil des pales. La modification de l'angle de pale induit également une modification de la portance de la pale, et, par conséquent, de la force avec laquelle la pale fait tourner le rotor.

Lors du fonctionnement automatique (fonctionnement normal), l'angle de pale est réglé d'une part pour exploiter l'énergie du vent de manière optimale et, d'autre part, pour que l'éolienne ne soit soumise à aucune surcharge ; ce faisant, les conditions-cadres comme l'optimisation acoustique sont également respectées. Le réglage des pales permet également le freinage aérodynamique du rotor.

Lorsque l'éolienne atteint sa puissance nominale et que la vitesse du vent continue d'accélérer, le système de réglage des pales tourne légèrement les pales hors du vent de manière à ce que la vitesse du rotor et la puissance absorbée du vent ou qui doit être fournie par le générateur n'excèdent pas ou très peu les valeurs nominales.

Montage

Le système de réglage des pales du rotor est composé d'un système de distribution principal et de 3 armoires de réglage, chacune raccordée à un moteur de réglage asynchrone. Le système de distribution principal du rotor assure la distribution du courant du collecteur aux armoires de réglage des pales et au dispositif de protection contre les surtensions. Dans chaque armoire de réglage se trouve un convertisseur pour le moteur de réglage des pales, ainsi que plusieurs modules de condensateur. Les modules de condensateur emmagasinent l'énergie nécessaire à un éventuel réglage d'urgence, restent en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et sont testés en continu. Monté sur un engrenage à plusieurs niveaux, le moteur de réglage des pales est conçu pour fonctionner en tant que moteur de freinage.

Angle de pale

Réglages spéciaux des pales (angle de pale) :

- A : 0°** Position normale en mode charge partielle : exploitation maximale du vent.
- B : $\geq 60^\circ$** Fonctionnement à vide (l'éolienne n'injecte aucune puissance dans le réseau en raison de la faible vitesse de vent) : En fonction de la vitesse du vent, le rotor tourne à une vitesse minimale ou s'arrête en cas d'absence complète de vent.
- C : 96°** Mise en drapeau (le rotor a été stoppé manuellement ou automatiquement) : Même lorsque le vent souffle, les pales du rotor ne créent aucune force ascensionnelle, le rotor est immobile ou tourne très lentement.

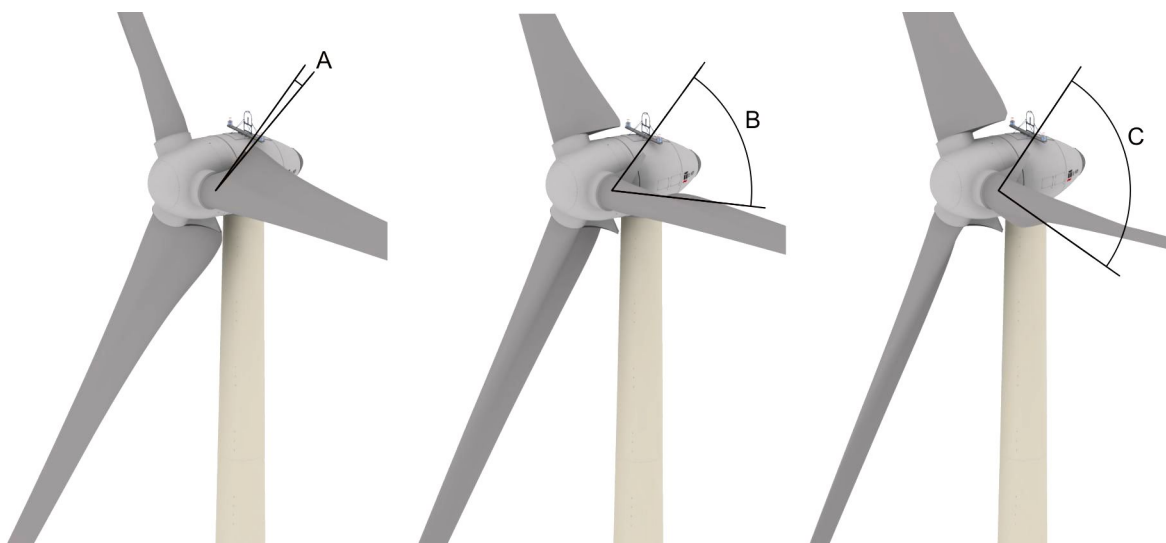


Fig. 4 : Réglages spéciaux des pales

6.3 Démarrer l'éolienne

6.3.1 Préparation du démarrage

L'éolienne est arrêtée aussi longtemps que l'état principal > 0 persiste. Dès que l'état principal est 0, l'éolienne est prête et le processus de démarrage est entamé. Si certaines conditions limites pour un démarrage ne sont pas encore atteintes, comme la charge des unités de condensateur du système de réglage d'urgence des pales, l'état 0:3 - Start lead-up (préparation au démarrage) est affiché.

Pendant la préparation du démarrage, une phase de mesure du vent et d'orientation de l'éolienne débute. Cette phase dure 150 secondes.

6.3.2 Mesure du vent et orientation de la nacelle

Une fois la préparation au démarrage terminée, l'état 0:2 - Turbine operational (éolienne prête) s'affiche à l'écran.

Si le système de commande est en fonctionnement automatique, que la vitesse moyenne du vent est supérieure à 1,8 m/s et que la différence de direction du vent est suffisante pour un processus d'orientation, l'éolienne commence à s'orienter face au vent. 60 se-

condes après la fin de la préparation du démarrage, l'éolienne se met en fonctionnement à vide. Les pales avancent lentement, ceci pendant que les unités de condensateur du système de réglage d'urgence des pales sont contrôlées.

Si l'éolienne est équipée de jauges de contrainte, les pales s'arrêtent à un angle de 70° et procèdent à l'ajustement des points de mesure de charge, ce qui peut prendre plusieurs minutes selon les circonstances. Pendant ce temps, l'état 0:5 - Calibration of load control (ajustement du contrôle de charge) est affiché.

Le processus de démarrage (état 0:1) débute lorsque la vitesse moyenne du vent est supérieure à la vitesse actuelle de démarrage (env. 2,0 m/s) pendant la phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes. Si ce n'est pas le cas, l'éolienne reste en mode de fonctionnement à vide (état 2:1 - Lack of wind: Wind speed too low (manque de vent : vitesse de vent trop faible)).

Besoins propres de l'éolienne

Étant donné que pendant ce temps l'éolienne ne fournit aucune puissance active, l'énergie électrique nécessaire pour les besoins propres de l'éolienne est prélevée du réseau.

6.3.3 Excitation du générateur

Dès que le rotor aura atteint une vitesse de rotation dépendante du type d'éolienne, l'excitation du générateur commencera. Le courant nécessaire est tiré du réseau pour une courte durée. Si le générateur atteint une vitesse de rotation suffisante, alors l'éolienne s'alimente elle-même en courant. Le courant pour l'excitation propre est prélevé de la liaison CC (DC link) du redresseur et l'énergie prélevée du réseau est réduite à zéro.

6.3.4 Injection de puissance

Le processus d'injection est initié dès qu'une tension de liaison CC suffisante est disponible et que le régulateur d'excitation n'est plus couplé au réseau. Après l'augmentation de la vitesse de rotation du fait de la présence suffisante de vent et d'une puissance nominale > 0 kW, les contacteurs de ligne (côté basse tension) sont fermés et l'éolienne commence l'alimentation réseau à partir d'environ 4,4 (hauteur du moyeu 67 m)/6,0 (hauteur du moyeu 87 m, 92 m, 135 m) tr/min.

Le contrôle de la puissance règle le courant d'excitation de sorte que l'injection se déroule selon la courbe de puissance exigée.

Le gradient d'augmentation de puissance (dP/dt) après une panne de réseau ou un démarrage normal peut être déterminé à l'intérieur d'une plage spécifique dans le système de contrôle. Vous trouverez de plus amples informations à ce sujet dans la fiche technique Caractéristiques techniques relatives au réseau pour le type d'éoliennes concerné.

6.4 Modes de fonctionnement

Dès que la phase de démarrage est terminée, l'éolienne est en fonctionnement automatique (fonctionnement normal). En fonctionnement automatique, les régimes de vent sont calculés en permanence ; la vitesse du rotor, l'excitation et la puissance du générateur sont optimisées, la position de la nacelle est adaptée à la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré.

Pour optimiser la génération de courant lorsque les conditions de vent varient considérablement, l'éolienne commute entre 3 modes selon la vitesse du vent durant le fonctionnement automatique. Dans certaines situations, l'éolienne s'arrête aussi lorsque la configuration de l'éolienne le prévoit (notamment en raison d'une zone d'ombre). De plus, le distributeur d'électricité du réseau dans lequel l'énergie produite est injectée a la possibilité d'influencer directement le comportement de l'éolienne par commande à distance, par exemple pour réduire temporairement l'alimentation réseau.

L'éolienne peut adopter les modes de fonctionnement suivants :

- Mode pleine charge
- Mode charge partielle
- Fonctionnement à vide

6.4.1 Mode charge pleine

Vitesse du vent

$v \geq 11,2$ (2990 kW)/13,2 (4200 kW) m/s

Lorsque la vitesse de vent est égale ou supérieure à la vitesse de vent nominale, l'éolienne maintient la vitesse de rotation du rotor sur la valeur de consigne (env. 12,7 (2990 kW)/13,2 (4200 kW) tr/min) grâce au système de réglage des pales et limite ainsi la puissance à sa valeur nominale de 2990/4200 kW.

Système de mode tempête activé (cas normal)

Le système de mode tempête permet le fonctionnement de l'éolienne même à des vitesses de vent très élevées, mais avec une vitesse de rotor et une puissance réduites.

Au-dessus de 25 m/s (valeur moyenne sur 12 s) et lorsque la vitesse du vent continue d'augmenter, la vitesse de rotation est réduite de façon linéaire de 12,7 (2990 kW)/13,2 (4200 kW) tr/min jusqu'à la vitesse de rotation à vide pour une vitesse de vent $v \approx 34$ m/s (valeur moyenne sur 10 min) en positionnant les pales hors du vent. La puissance injectée diminue alors conformément à la courbe de puissance de la vitesse de rotation.

En présence de vitesses de vent supérieures à 34 m/s (sur une moyenne de 10 min), les pales sont pratiquement mises en drapeau. L'éolienne continue de fonctionner à vide sans fournir de puissance, mais reste connectée au réseau absorbant. Si la vitesse du vent chute en dessous de 34 m/s, l'éolienne reprend automatiquement l'injection de courant.

Le système de mode tempête est activé par défaut et peut uniquement être désactivé via la maintenance à distance ou sur site par ENERCON Service.

6.4.2 Mode charge partielle

Vitesse du vent

$2,5 \text{ m/s} \leq v < 11,2 \text{ (2990 kW)}/13,2 \text{ (4200 kW) m/s}$

Pendant le mode charge partielle (la vitesse du vent se situe entre la vitesse de démarrage et la vitesse nominale) la puissance maximale possible est soutirée du vent. La vitesse du rotor et la puissance fournie dépendent de la vitesse du vent actuelle. Pour cela le réglage des pales débute dès la plage limite du mode charge pleine afin de garantir une transition continue.

6.4.3 Fonctionnement à vide

Vitesse du vent

$v < 2,5 \text{ m/s}$

Lors de vitesses de vent en dessous de 2,5 m/s le courant ne peut être injecté dans le réseau. L'éolienne fonctionne en mode fonctionnement à vide, ce qui signifie que les pales du rotor sont en grande partie tournées hors du vent (angle de pale $\geq 60^\circ$) et le rotor tourne lentement ou reste immobile en l'absence totale de vent.

Grâce à ce déplacement lent (fonctionnement à vide), les paliers du rotor sont moins sollicités que lors d'une immobilisation prolongée, et une reprise de la production et de l'injection de courant est plus rapide lorsque le vent devient plus fort.

6.5 Arrêt sécuritaire de l'éolienne

L'éolienne peut être arrêtée par une intervention manuelle ou automatiquement par le système de commande.

Les raisons sont divisées en groupe selon le risques.

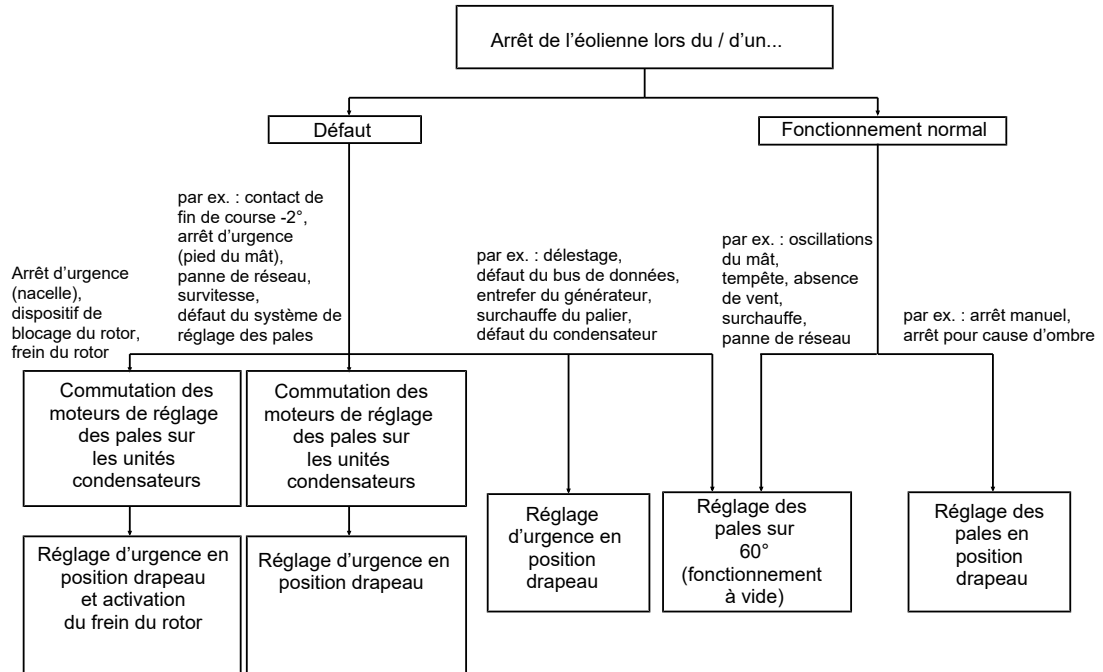


Fig. 5 : Vue d'ensemble des conditions d'arrêt de l'éolienne

Arrêt de l'éolienne par le système de réglage des pales

Lors d'une panne ne relevant pas de la sécurité, la commande fait sortir du vent les pales du rotor et ainsi ces dernières ne produisent plus de force ascensionnelle et l'éolienne s'arrête.

Réglage d'urgence

Les modules de condensateur des systèmes de réglage des pales emmagasinent l'énergie nécessaire à un éventuel réglage d'urgence, restent en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et sont testés en continu. Lors d'un réglage d'urgence, chacun des moteurs de réglage des pales est alimenté en énergie par les modules de condensateur correspondants. Les pales se positionnent de sorte à ne générer aucune force ascensionnelle (mise en drapeau).

Étant donné que les 3 systèmes de réglage des pales se contrôlent mutuellement tout en fonctionnant de manière autonome, les autres systèmes de réglage des pales peuvent continuer à fonctionner et arrêter le rotor même si l'un d'eux est défaillant.

Freinage d'urgence

Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence est actionné dans la nacelle ou que le dispositif de blocage du rotor est activé pendant que le rotor tourne, le système de contrôle de l'éolienne déclenche un freinage d'urgence.

Outre le réglage d'urgence des pales, le frein du rotor est également activé. Le rotor est freiné depuis la vitesse nominale jusqu'à l'arrêt en 10 à 15 secondes.

7 Système de surveillance à distance

Toutes les éoliennes ENERCON sont raccordées par défaut au bureau de service technique régional via le système ENERCON SCADA. Celle-ci peut consulter à tout moment les données de fonctionnement de chaque éolienne et, si nécessaire, réagir immédiatement en cas de défaut ou de dysfonctionnement.

Tous les messages d'état sont transmis via le système ENERCON SCADA au bureau de service technique où ils sont enregistrés de manière permanente. Cette démarche est la seule qui permette de réunir efficacement toutes les expériences acquises lors de l'exploitation sur le long terme afin de les mettre à profit dans la stratégie de développement future des éoliennes ENERCON.

La connexion des différentes éoliennes a lieu par l'intermédiaire d'un ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA), généralement installé dans le poste de livraison ou dans le poste source d'un parc éolien. Chaque parc est équipé d'un ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Le système ENERCON SCADA, ses caractéristiques et son utilisation sont décrits dans des documents séparés.

Si l'exploitant le souhaite, la surveillance des éoliennes peut être assurée par un autre organisme.

8 Maintenance

Pour garantir le fonctionnement sûr et optimal de l'éolienne, il faut effectuer les opérations de maintenance à intervalles réguliers.

Les éoliennes sont soumises à une maintenance régulière, au moins une fois par an, selon les exigences et conditions d'exploitation.

Les opérations de maintenance incluent le contrôle de tous les composants et fonctions de sécurité, comme le système de réglage des pales, le contrôle de l'orientation, les systèmes de sécurité, le système de protection parafoudre, les points d'ancrage et les échelles de sécurité. Les raccords vissés des assemblages porteurs (composants principaux) sont également contrôlés. Tous les autres composants sont soumis à une inspection visuelle visant à détecter les éventuels dommages et anomalies. Le remplissage des niveaux de produits lubrifiants est réalisé.

Les intervalles de maintenance et l'étendue des interventions peuvent varier selon les normes et directives locales applicables.

9 Caractéristiques techniques de l'éolienne ENERCON E-115 EP3 E3

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation du type	E-115 EP3 E3
Puissance nominale	2990/4200 kW
Durée de vie nominale	25 ans
Diamètre du rotor	115,71 m
Classe de vent CEI (éd. 3)	IA (hauteur du moyeu 87 m) IIA (hauteur du moyeu 135 m) SA (hauteur du moyeu 67 m, 92 m, 122 m et 149 m)
Vitesse de vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	50,00 m/s (hauteur du moyeu 67 m, 87 m et 92 m) 42,50 m/s (hauteur du moyeu 122 m, 135 m et 149 m) Correspond à un équivalent de charge d'environ 70,00 m/s (hauteur du moyeu 67 m, 87 m et 92 m) ou d'environ 59,50 m/s (hauteur du moyeu 122 m, 135 m et 149 m) (rafale 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	7,80 m/s (hauteur du moyeu 122 m) 7,90 m/s (hauteur du moyeu 149 m) 8,50 m/s (hauteur du moyeu 135 m) 8,80 m/s (hauteur du moyeu 67 m) 9,10 m/s (hauteur du moyeu 92 m) 10,00 m/s (hauteur du moyeu 87 m)

Rotor avec système de réglage des pales	
Type	Rotor face au vent avec système de réglage des pales actif
Sens de rotation	Sens des aiguilles d'une montre
Nombre de pales	3
Longueur des pales	56,51 m
Surface balayée	10516 m ²
Matériau des pales	Plastique Renforcé de Fibres de Verre (fibres de verre +résine époxy)/bois de balsa/mousse
Vitesse maximale de fonctionnement à vide	2,5 tr/min
Vitesse de rotation inférieure pour l'injection de puissance	4,4 (hauteur du moyeu 67 m)/6,0 (hauteur du moyeu 87 m, 92 m, 135 m) tr/min
Bitesse nominale	12,4 (2990 kW)/12,9 (4200 kW) tr/min

Rotor avec système de réglage des pales	
Vitesse de rotation de consigne	12,7 (2990 kW)/13,2 (4200 kW) tr/min
Vitesse en bout de pale à la vitesse de rotation de consigne	jusqu'à 76,76 (2990 kW)/79,78 (4200 kW) m/s
Vitesse de vent de régulation (avec système de mode tempête ENERCON)	25 – 34 m/s
Angle de cône	2,5°
Angle d'axe du rotor	7°
Système de réglage des pales	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec système d'alimentation électrique de secours dédié

Arbre d'entraînement avec générateur	
Concept d'éolienne	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	2 paliers à rouleaux coniques
Générateur	Générateur annulaire ENERCON à transmission directe
Alimentation réseau	Onduleur ENERCON à fréquence d'horloge élevée et courant de forme sinusoïdale
Degré de protection/classe d'isolation	Au moins IP 23/F

Système de freinage	
Frein aérodynamique	3 systèmes autonomes de réglage des pales avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Hydraulique
Dispositif de blocage du rotor	À verrouillage par crans de 10°

Contrôle d'orientation (yaw control)	
Système de contrôle d'orientation (yaw system)	système de réglage électromécanique

Système de contrôle	
Type	Microprocesseur
Alimentation réseau	Onduleur ENERCON
Système de surveillance à distance	Système ENERCON SCADA
Alimentation sans interruption (ASI)	Intégré

Types de mât		
Hauteur du moyeu	Modèle	Classe de vent
67 m	Mât en acier avec cage d'an-crage	IEC SA ¹
87 m	Mât en acier avec cage d'an-crage	IEC IA ¹
92 m	Mât en acier avec cage d'an-crage	IEC SA ¹ DIBt WZ4 GK I ²
122 m	Mât hybride en acier	IEC SA ¹ DIBt WZ3 GK I ²
135 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZ3 GK I ²
149 m	Mât hybride en acier	IEC SA ¹ DIBt WZ3 GK I ²

¹Version de la directive édition 3

²Directive version 2012