

Couplage de Microturbines Hydrauliques au Réseau Public

Daho Taghezout (Noria Systems Sàrl), André Rotzetta (HEIA-FR Fribourg)

Noria Systems et l'école d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg (HeFr) ont développé le dispositif électronique *FriWatt* pour le couplage de microcentrales hydroélectriques (puissance 1 à 64 kVA) au réseau public 400 V - 50 Hz. Les fonctions de *FriWatt* incluent le démarrage de la turbine et la synchronisation douce au réseau du générateur après l'ouverture des vannes, le contrôle et stabilisation de la vitesse de la turbine en régime perturbé ainsi que le calcul en temps réel des tensions et courants du générateur et de la puissance transmise au réseau. *FriWatt* est utilisé en particulier dans les turbines commercialisées par la société Turbiwatt (F-Caudan).

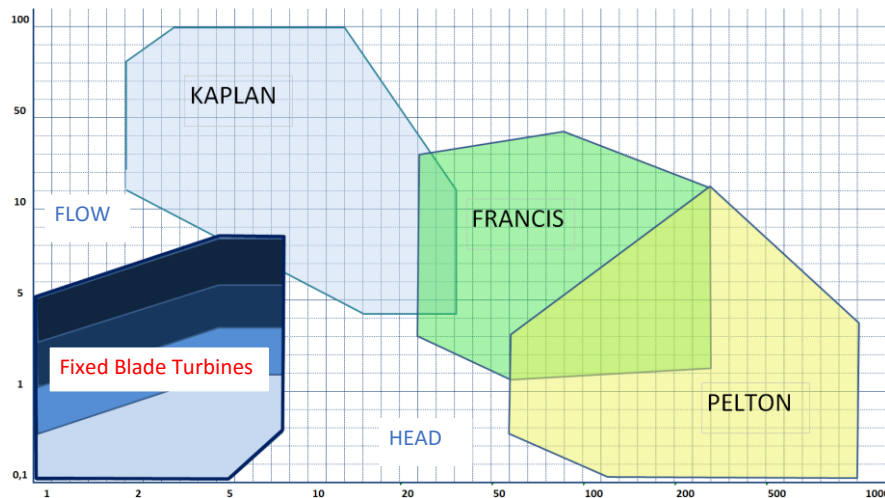


Figure 1: Type de turbine en fonction de la hauteur de chute (axe Oy) et du débit (axe Ox)

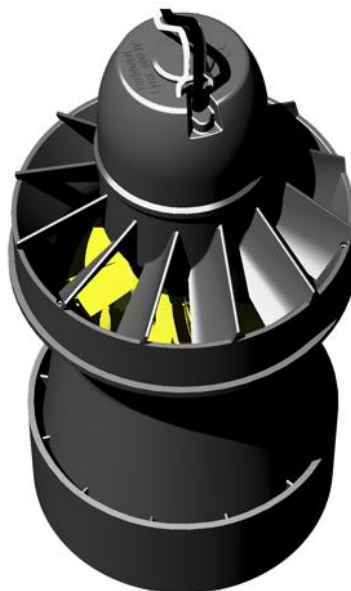


Figure 2: Turbine et générateur (Turbiwatt SAS, F-Caudan)

La conversion d'énergie dans les petites installations hydroélectrique est souvent assurée par un générateur synchrone à aimants permanents. Celui-ci ne nécessite quasiment pas d'entretien et s'adapte à toutes les

vitesse et niveau de puissance. La turbine à ailes fixes est quant à elle bien adaptée aux basses chutes (figures 1 et 2). Pour ce type de turbine, la vitesse du générateur doit être stabilisée indépendamment de la hauteur de chute et du débit d'eau. Un mode de couplage bien connu consiste à intercaler un convertisseur de fréquence à tension intermédiaire constante entre la génératrice et le réseau. Cette stratégie souffre cependant de divers inconvénients (coût et rendement en particulier). Le dispositif développé par Noria Systems et la HeFr se base sur la synchronisation au réseau et la stabilisation de la vitesse de la turbine par connexion intermittente au générateur d'un ballast placé en parallèle avec le réseau, dès lors que la vitesse de la génératrice excède sa valeur nominale. Le ballast joue également un rôle-clé dans le démarrage doux et la synchronisation du générateur (modèle en figure 2) sur le réseau. La conception du dispositif se base sur une simulation exhaustive du système avec les logiciels FLUX© (conception du générateur) et Portunus© (comportement en régime dynamique de la turbine). L'armoire électronique *FriWatt* permet également une mesure en temps réel de la puissance active, des tensions aux bornes du générateur et du courant injecté dans le réseau. Par ailleurs *FriWatt* est équipé pour la transmission en temps réel de données de fonctionnement à travers le réseau GSM. Les deux solutions de couplage sont illustrées schématiquement en figure 3.

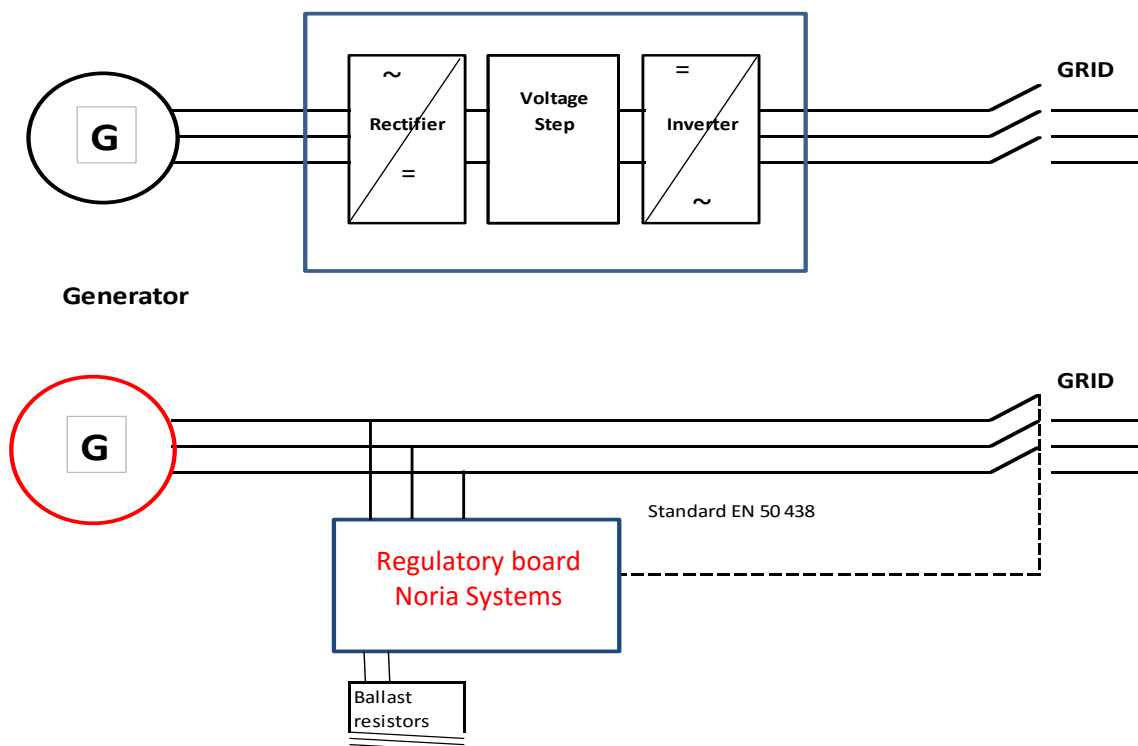


Figure 3: Couplage du générateur à un réseau public avec l'

Le générateur de type synchrone à aimants permanents ne possède pas d'enroulement amortisseur. Cet enroulement permet une stabilisation de la vitesse du générateur en cas de variation de la charge du réseau, du débit ou de la hauteur de chute. Il renchérit cependant le coût du générateur. Sans amortisseur, les variations de charge peuvent également désynchroniser la machine du réseau et générer des pulsations de couple et de courant excessives. Le ballast du dispositif *FriWatt* est automatiquement activé dès lors que la vitesse de la génératrice dépasse un certain seuil en régime synchronisé.

Une vue schématique du fonctionnement de l'armoire de couplage *FriWatt* est présentée en figure 4. Le cerveau du dispositif *FriWatt* est constitué par la carte électronique SYNCRO. Celle-ci est reliée au générateur synchrone, à un réseau triphasé et au ballast résistif. Elle comporte un programme de gestion du ballast (enclenchement, déclenchement), la commande du relais de couplage au réseau, la surveillance de la

production de la machine ainsi que le pilotage de l'interface Homme-Machine. Au démarrage de la turbine, le relais de couplage est enclenché une fois les conditions de synchronisation remplies. Le relais est déclenché quand la puissance fournie par la machine est inférieure à une valeur minimale prescrite à 25%.

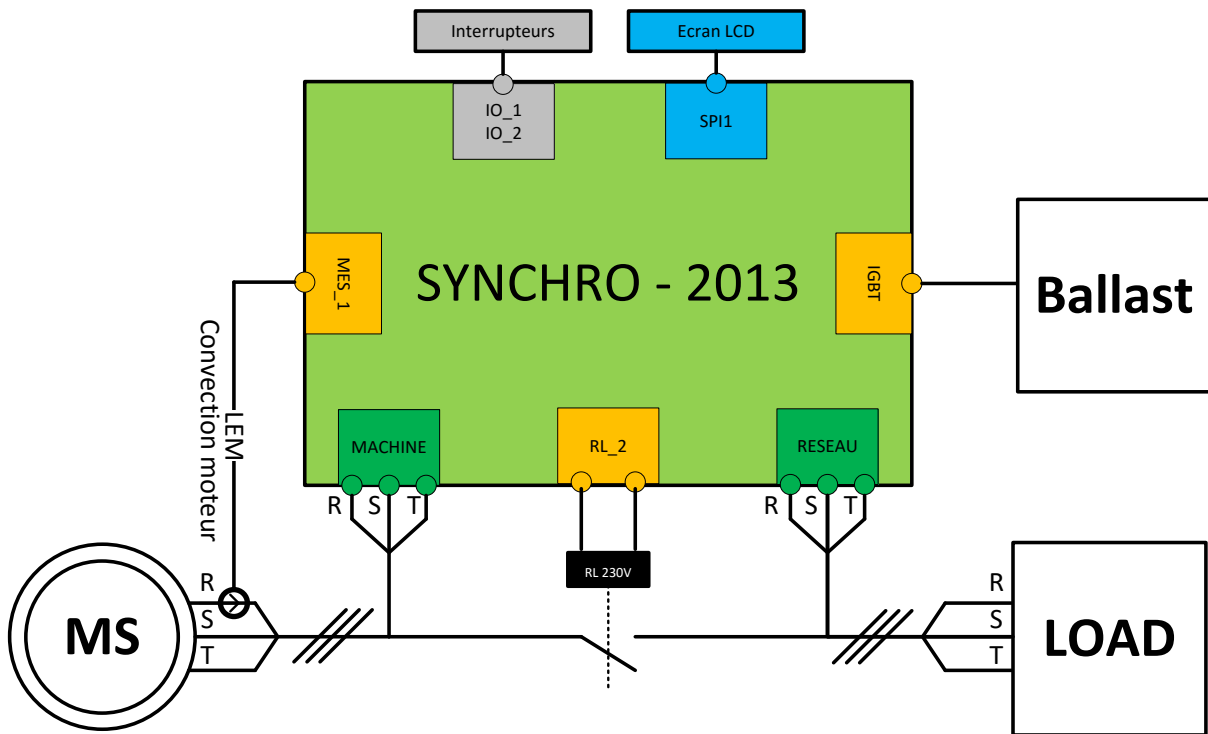


Figure 4 : Fonctionnement de l'armoire FriWatt

Une fonction essentielle de l'armoire *FriWatt* est d'assurer la synchronisation au réseau grâce à un pilotage intelligent du ballast. Après ouverture de la vanne d'eau, la turbine monte en vitesse. Dès que la tension aux bornes de la carte SYNCHRO est supérieure à une tension minimale, le processus de synchronisation est enclenché. Eu égard à un éventuel départ en survitesse de la turbine, la tension supportée par la carte est de deux fois la tension nominale du générateur. La vitesse du générateur est réglée à la vitesse synchrone grâce à la régulation de la puissance électrique dissipée dans le ballast. Dès que les conditions de synchronisation (amplitude, fréquence, phase) sur un certain nombre de périodes sont réunies, le couplage au réseau est activé.

Simulation du système

A ce jour, une série d'armoires *FriWatt* a été conçue pour un domaine de puissance électrique variant de 3 kVA à 36 kVA. Une étude théorique du comportement du système incluant la turbine, le générateur et l'armoire *FriWatt* est nécessaire pour évaluer les régimes transitoires (démarrage, variation de charge). Un modèle linéaire du générateur est d'abord dérivé d'une analyse par éléments finis avec le logiciel FLUX©. Ce modèle est ensuite intégré dans le logiciel de simulation du comportement dynamique du système.

Le modèle de simulation complet dans Portunus est présenté en figure 5. De gauche à droite, les blocs colorés représentent successivement un modèle de turbine, le générateur synchrone, le modèle fonctionnel de l'armoire *FriWatt* avec le ballast, une charge résistive triphasée simulant un éventuel court-circuit et enfin le réseau public.

La turbine est modélisée comme une source de couple à l'arbre. Ce dernier est inversement proportionnel à la vitesse de la turbine, ce qui implique un fonctionnement à puissance hydraulique constante. Cette hypothèse peut être justifiée pour une hauteur de chute et un débit constants, considérant un rendement

donné. Le modèle du générateur est extrait de la bibliothèque de macrocomposants du logiciel Portunus. Il s'agit d'un modèle linéaire basé sur la transformation de Park. Les inductances synchrones dans les axes direct et transverse ainsi que le flux mutuel aimant-enroulements statoriques sont calculés avec le logiciel de modélisation à éléments finis FLUX. Un modèle bidimensionnel du générateur est en général suffisant mais il est nécessaire de passer à un modèle tridimensionnel si la songueur axiale est faible par rapport au diamètre d'alésage de la machine. Un modèle de générateur incluant la saturation du circuit magnétique peut également être utilisé dans Portunus sous la forme d'un tableau à plusieurs entrées et sorties. Finalement, si on s'intéresse aux pertes Joules dans les aimants et les pertes par hystérèse et courants de Foucault dans les parties massives, une analyse en régime transitoire par éléments finis sera conduite.

La puissance dissipée dans le ballast est contrôlée par enclenchement-déclenchement d'un IGBT de commande du courant dans le ballast via un signal PWM à taux variable. Celui-ci est piloté par la vitesse moyenne de la génératrice calculée en mode 'glissant' sur quelques périodes. Ce type de contrôle assure ainsi une synchronisation douce au réseau et une stabilisation de vitesse fiable en cas de variation de la puissance hydraulique ou de la charge du réseau.

La puissance hydraulique de la turbine est pilotée en temps réel en simulation, ce qui permet de vérifier la robustesse du système dans différentes situations (court-circuit sur les phases, charge asymétrique, démarrage).

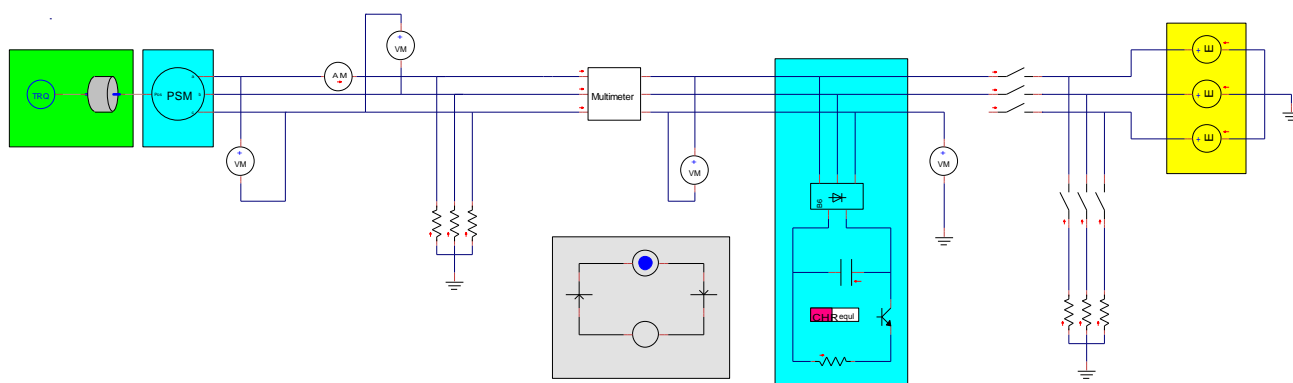


Figure 5: Modèle d'étude d'une microcentrale dans Portunus

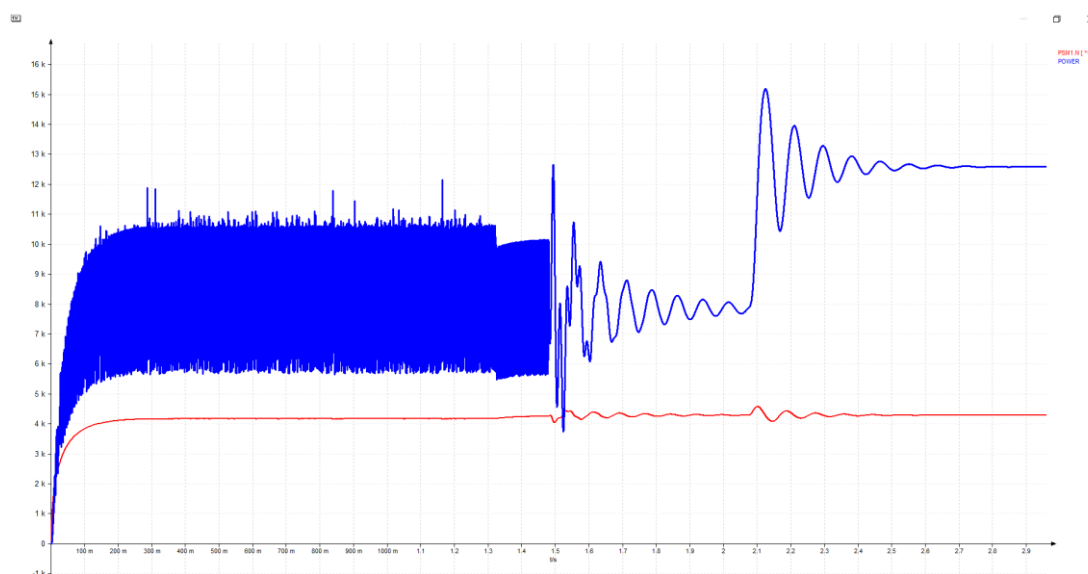


Figure 6: Comportement dynamique au démarrage et après modification de la puissance hydraulique

La figure 6 montre la vitesse de la génératrice et la puissance délivrée par le générateur après ouverture de la vanne d'arrivée d'eau (puissance hydraulique 8.5 kW). La vitesse est représentée par la courbe du bas en fonction du temps. La stabilisation de la vitesse à 428 tour/min (machine à 7 paires de pôles) a lieu après 300 ms. La synchronisation au réseau s'effectue à 1.45 sec. La puissance délivrée par le générateur est représentée dans la courbe du haut. Elle est très variable avant synchronisation (dissipation de l'énergie dans le ballast) puis se stabilise à 8 kW après synchronisation. Le ballast est désactivé en ce moment et ne sera réactivé que lorsque la vitesse de la turbine dépasse un certain seuil. A 2.1 ms, on ouvre la vanne d'eau pour augmenter la puissance hydraulique à 13 kW. On remarque que la puissance fournie et la vitesse se stabilisent très rapidement lors d'une variation de puissance hydraulique ou de la charge du réseau.

Conclusion

L'armoire *FriWatt* développée par Noria Systems et l'école d'ingénieurs de Fribourg est particulièrement adaptée aux microturbines hydrauliques fonctionnant à vitesse constante dans une gamme de puissance nominale n'excédant pas 100 kVA. Elle permet de coupler le générateur synchrone à aimants permanents au réseau public en respectant les règles de synchronisation douce. La dissipation de l'énergie excédentaire délivrée par la turbine dans un ballast permet par ailleurs de stabiliser la vitesse lors de variations brutales de la puissance hydraulique ou de la charge du réseau. L'adaptation de l'armoire à la puissance électrique de la microcentrale s'effectue aisément par une conception adéquate des composants de puissance. La méthode de couplage proposée par l'armoire *FriWatt* est économique, fiable et peu encombrante.

L'association de l'armoire *FriWatt* à un réseau autonome est actuellement testée à l'école d'ingénieurs de Fribourg. La vitesse de la génératrice n'étant plus imposée par le réseau, sa stabilisation ne peut être effectuée que par le ballast. Cette méthode est à opposer à celle basée sur le réglage du débit d'eau, plus coûteuse et complexe à mettre en œuvre. L'utilisation du ballast déplace les contraintes sur le circuit électronique. En effet, suivant le mode de commande du ballast, des harmoniques de courant pourront être injectés dans le générateur et induire des pertes supplémentaires dans les aimants, dans le bobinage statorique et dans le circuit magnétique. De même la qualité de l'onde électrique fournie aux utilisateurs doit être dûment contrôlée. Différentes stratégies de réduction du taux d'harmoniques générés par le ballast sont en cours d'expérimentation.

25 avril 2016

Daho Taghezout & André Rotzetta