







Réunion GT S3 organisée par ENSMM et FEMTO de Besançon

Diagnostic des défauts capteurs Application sur un générateur photovoltaïque





Par:

Ousmane Wendpuiré COMPAORE

Pr. Ghaleb HOBLOS et Pr. Zacharie KOALAGA



France Besançon, le 8 Avril 2022

Plan

Motivations

Modélisation du GPV

Diagnostic par ARR sur le GPV

□Instrumentation d'acquisition en temps réel

Conclusion et perspectives

I-Introduction 1/2

Coût des énergies classiques en hausse

Limitation de leurs ressources primaires

□Nécessité de faire place aux ENR

Disponible, abondante, moins polluante

□Intérêt certain pour l'ES, tant en solution autonome, hybride que connectée au réseau



Fig.1. Production d'énergie

I- Introduction 2/2

Selon le rapport Global Market for Solar Power pour 2019-2023, on peut observer les attentes suivantes en terme d'énergie solaire



II- Motivations 1/3

Un générateur est toujours conçu d'une cellule vers un module au champ PV en terme de puissance attendue



Fig.3. De la Cellule au champ

II- Motivations 2/3

□Fiabilité technique: perte de puissance suite à des dégradations à plusieurs niveaux: convertisseur, panneaux, raccordement, disjoncteurs et autres

Nécessité de Surveiller grâce à une instrumentation adaptée, pour assurer le fonctionnement optimal de GPV

□Besoin d'une supervision pour accommoder la défaillance, a travers une maintenance corrective ou prédictive



Fig.4. Taux de pannes dans les SPV

II- Motivations 3/3

Avoir un modèle fiable de GPV, intégrant la dynamique complexe du phénomène d'avalanche

Evaluer l'impact des différents paramètres liés à des types de défauts du GPV

Établir une relation entre le défaut capteur et les symptômes présentés de la caractéristique I-V

Appliquer une méthode de diagnostic pour les défauts capteurs dans un GPV.

□ Apprécier la pertinence de la méthode proposée.

III- Modélisation de la cellule PV 1/3

- Zone A : Uniquement pour les modèles de cellules en fonctionnement normal
- □Zone B : Cellule PV fonctionnant en mode récepteur
- □Zone C : Cellule PV occultée et fonctionnant en régime inverse
- Zone D : Non représentée, est en effet interdite
- Le passage à travers ces trois Zones, est appelé effet d'avalanche de la cellule



III- Modélisation de la cellule PV 2/3

Wendpuiré Ousmane COMPAORE

Les différents modèles

 \Box Les paramètres $a, I_d, R_s, R_{sh}, k, n, V_b et I_{ph}$

Le modèle de Bishop 1998

- La complexité de la simulation, avec Newton Raphson
- La prise en compte de l'effet d'avalanche

$$I = I_{pv} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \left[1 + k \left(1 - \frac{V + R_s I}{V_b}\right)^{-n} \right]$$
(1)



Fig.6. Modèle électrique de la cellule

III- Modélisation du Générateur PV 3/3

1. Sortie du GPV

$$\begin{cases} I_G = N_p * I \\ V_G = N_s * N_{cell} * V \end{cases}$$
(2)

2. Autour du point de fonctionnement

$$I_{stgi} = a_i * V_{stgi} + b_i \qquad (3)$$

$$Avec \begin{cases} a_i = \frac{\partial f(I_{stgi}, V_{stgi})}{\partial V_{stgi}} \Big|_{\substack{I = I_{sc} \\ V = V_{oc}}} \\ b_i = I_{stgi} - a_i V_{stgi} \Big|_{\substack{I = I_{sc} \\ V = V_{oc}}} \end{cases}$$

3. Paramètres du modèle

$$R_s, R_{sh}, N_{cell}, T, G, et I_{ph}$$



Fig.7.a. Modèle du Générateur PV



8/04/2022

IV- Diagnostic : Classification des Méthodes 1/4

□Une classification non exhaustive des méthodes de diagnostic (**Zwingelstein, 1995**) est proposée ci contre, en tenant compte des deux axes :

✓ les approches sans modèles

✓ les approches à base de modèles

La classification est faite suivant des critères tels que :

 Ia nature de l'information disponible (quantitative ou qualitative),

- Ia dynamique du système (continu, discret ou hybride),
- ✓ la structure de prise de décision (centralisée, décentralisée ou distribuée)



Fig.8. Classification des méthodes de Diagnostic

IV- Diagnostic par ARR : Espace de Parité 2/4

La méthode de l'espace de parité a été une des premières méthodes employées à des fins de FDI (Chow et Wilsky, 1984).

Son principe repose sur :

- ✓ la vérification de la cohérence (parité) des modèles du procédé
- ✓les mesures issues de capteurs et des entrées connues



Fig.9. Synoptique de Diagnostic par EP sur le GPV

IV- Diagnostic par ARR : Espace de Parité 3/4

1. Les mesures

$$\begin{split} \widehat{I}_{G} &= I_{G} + \varepsilon_{I} \\ \widehat{I}_{stg1} &= I_{stg1} + \varepsilon_{I_{stg1}} \\ \widehat{I}_{stg2} &= I_{stg2} + \varepsilon_{I_{stg2}} \\ \widehat{I}_{stg3} &= I_{stg3} + \varepsilon_{I_{stg3}} \\ \widehat{I}_{stg4} &= I_{stg4} + \varepsilon_{I_{stg4}} \\ \widehat{V}_{G} &= V_{G} + \varepsilon_{V} \end{split}$$
(4)

2. Les résidus
$$\begin{cases} R_0 = \hat{I}_G - \hat{I}_{stg1} - \hat{I}_{stg2} - \hat{I}_{stg3} - \hat{I}_{stg4} \\ R_1 = \hat{I}_{stg1} - a_{i1}V - b_{i1} \\ R_2 = \hat{I}_{stg2} - a_{i2}V - b_{i2} \\ R_3 = \hat{I}_{stg3} - a_{i3}V - b_{i3} \\ R_4 = \hat{I}_{stg4} - a_{i4}V - b_{i4} \end{cases}$$
(5)

	Ι	V	Istg1	Istg2	Istg3	Istg4
R_0	1	0	1	1	1	1
R_1	0	1	1	0	0	0
R_2	0	1	0	1	0	0
R_3	0	1	0	0	1	0
R_4	0	1	0	0	0	1

3. La matrice d'occurrence

IV- Diagnostic par ARR : Test DCS 4/4

1. Le principe : sommes cumulées des rapports de vraisemblance calculés entre deux hypothèses

2. Défini par :
$$DCS(t) = \sum_{j=t_{p-1}}^{t} \log \frac{f_{\theta_a^j}(x_j)}{f_{\theta_b^j}(x_j)} = \sum_{j=t_{p-1}}^{t} s_j, t \ge t_{p-1}$$
 (6)

3. La fonction de détection $g(t) = \max_{t_{p-1} < j < t} [DCS(j) - DCS(t)]$ (7)

4. Les limites actuelles : La taille des fenêtres et le seuil de détection h



Fig.10. [W. El. Falou]. Processus de détection par la DCS: fenêtres d'estimation, fonctions DCS, et g(t)

IV- Diagnostic par ARR : Simulation GPV 1/8





8/04/2022

15

IV- Diagnostic par ARR : Simulation 2/8



16

IV- Diagnostic par ARR : Simulation Résidus 3/8



GT S3 organisé par ENSMM et FEMTO de Besançon

Wendpuiré Ousmane COMPAORE

8/04/2022

IV- Diagnostic par ARR : Simulation Résidus 4/8



Fig.14.a. Fonction DCS(t) et g(t) sur le Résidu R2

Fig.14.b. Fonction DCS(t) et g(t) sur le Résidu R3

GT S3 organisé par ENSMM et FEMTO de Besançon

IV- Diagnostic par ARR : Simulation Localisation 5/8

- Superposition des détections issues des différents résidus
- □Vérification sur la matrice de signature
- □Isolation du défaut sur le string 3

	Ι	V	Istg1	Istg2	I _{stg3}	Istg4
R_0	1	0	1	1	1	1
R_1	0	1	1	0	0	0
R_2	0	1	0	1	0	0
R_3	0	1	0	0	1	0
R_4	0	1	0	0	0	1



GT S3 organisé par ENSMM et FEMTO de Besançon

8/04/2022

19

IV- Diagnostic par ARR : Courbe ROC/AUC 6/8



Fig.16.a. Résidus structurés autour d'un défaut de 1A



Fig.16.b. Résidus structurés autour d'un défaut de 10A

8/04/2022

GT S3 organisé par ENSMM et FEMTO de Besançon

20

IV- Diagnostic par ARR : Courbe ROC/AUC 7/8



Fig.17.a. Fonction DCS(t) et g(t) du Résidu R0 de 1A.

GT S3 organisé par ENSMM et FEMTO de Besançon

Fig.17.b. Fonction DCS(t) et g(t) du Résidu R0 de 10A

IV- Diagnostic par ARR : Courbes ROC/AUC 8/8



GT S3 organisé par ENSMM et FEMTO de Besançon

Wendpuiré Ousmane COMPAORE

8/04/2022

VI- Prototype d'acquisition temps réel 1/3

Collecte des informations issues des capteurs

Traitement en temps réel par une carte Arduino

□Les données mesurées sont traitées en temps réels et stockées dans une carte SD.

Les données sauvegardées sont:

- 1. Température et ensoleillement du champ PV.
- 2. Courant de chaque string du champ PV
- 3. Courant général du générateur
- 4. Tension fournie par l'installation.



Fig.19. Synoptique d'acquisition

V- Prototype d'acquisition temps réel 2/3

- Legend
- 1. Arduino card
- 2. 5V PV panel
- 3. SD card
- 4. LCD display
- 5. Voltage sensor
- 6. Light sensor
- 7. RTC clock module
- 8. Current sensor



Fig.20. Assemblage électronique du prototype d'acquisition temps réel

V- Prototype d'acquisition temps réel 3/3

Horodatage	Time	Light	Voltage	Current	Temperture
01/01/2022 00:00	14:00:18	708.00	4.83	2.44	43.01
01/01/2022 00:00	14:00:23	703.00	4.88	2.44	42.03
01/01/2022 00:00	14:00:28	701.00	4.93	2.37	40.57
01/01/2022 00:00	14:00:33	701.00	4.93	2.44	38.12
01/01/2022 00:00	14:00:38	717.00	4.93	2.44	36.17
01/01/2022 00:00	14:00:43	702.00	4.96	2.37	36.17
01/01/2022 00:00	14:00:48	712.00	4.96	2.37	35.19
01/01/2022 00:00	14:00:53	710.00	4.98	2.59	42.03
01/01/2022 00:00	14:00:58	710.00	4.96	2.44	41.06
01/01/2022 00:01	14:01:03	714.00	4.96	2.52	39.10
01/01/2022 00:01	14:01:08	709.00	4.96	2.37	39.59
01/01/2022 00:01	14:01:13	733.00	4.98	2.37	37.63
01/01/2022 00:01	14:01:18	724.00	4.98	2.44	36.66
01/01/2022 00:01	14:01:23	720.00	4.96	2.44	44.97
01/01/2022 00:01	14:01:28	766.00	4.96	2.37	42.52

V- Conclusions

Comportement du générateur aussi proche de la réalité;

- Mise en évidence du comportement non linéaire du GPV à travers le phénomène d'avalanche;
- Diagnostic fortement localisant sur les défauts capteurs par la méthode de l'Espace de Parité
- L'analyse ROC pour la fixation du **bon seuil de détection** des défauts

L'ajustement du seuil des fenêtres glissantes

V- Perspectives

Commutation entre les points de fonctionnement, en fonction des sollicitations du GPV

Etendre l'approche de diagnostic dans le cas des défauts système

Finalisation du prototype d'acquisition temps réels pour faciliter la création des bases de données

Production Scientifique liée au diagnostic

Analysis of the impact of faults in a photovoltaic generator. [Compaoré et al. IEEE ICT-2021]

Artificial Neural Network based fault diagnosis in an isolated PVG [Compaoré et al. JRI-2021]

Instrumentation of real-time acquisition system for diagnosis in a PVG [Compaoré et al IEEE MNE3SD-2022]

Sensor Fault analysis of an isolated photovoltaic generator [Compaoré et al. In progress]

Sensor Fault diagnosis using parity space approach: Application on a photovoltaic generator [Compaoré al. Journal in progress]

Performance analysis by the ROC curve following the application of the FDI on a PVG [Compaoré et al. In progress]















THANKS FOR YOUR ATTENTION







GT S3 organisé par ENSMM et FEMTO de Besançon

Wendpuiré Ousmane COMPAORE