FICHE I18: Grid forming

Simulation

APPLICABLE AUX UNITES DE TYPE C, D – UNITES DE STOCKAGE NON SYNCHRONE

Objectifs

Pour différents points de fonctionnement (dans les limites d'énergie et de courant) et différentes conditions d'exploitation du réseau, **l'unité de stockage** doit démontrer sa capacité à se comporter comme une unité Grid Forming. Ce comportement sera évalué à l'aide de différents événements et critères de conformité associés.

Cette fiche fournit les détails techniques nécessaires pour réaliser la simulation visant à valider les performances Grid Forming.

Description

1. Modélisation

Le modèle à utiliser pour exécuter les simulations des essais présentés dans ce document est le suivant : le parc est raccordé à un réseau infini pilotable, via une impédance x_{grid}.
*Le convertisseur individuel (**Power Generating Unit-PGU**) doit être représenté conformément aux données fournies dans la fiche E1 relative à la description technique du **PGU**. (Les modèles peuvent être au format EMT ou Phaseur. L'exploitant du **PGU** doit préciser, pour chaque simulation, le type de modèle utilisé, car des filtres — par exemple le filtre de séquence positive dans une simulation EMT — introduisent un retard dans les réponses mesurées.) Si l'état de charge de l'unité de stockage a un impact sur les performances de l'onduleur vues côté AC, cela doit donc être inclus dans le modèle.*

Le comportement en source de tension doit être évalué au niveau du **PGU** en comparant sa réponse à celle d'une source de tension derrière une impédance, comme défini plus loin dans ce document. Le modèle du PGU comprend un convertisseur, un filtre série et un transformateur, assurant le raccordement au point de connexion HTA de l'unité, comme illustré à la Figure 1.

Les PGU présentant des caractéristiques identiques (paramètres de réglage, impédances du filtre et impédances du transformateur) ne seront testées qu'une seule fois. Les PGU ayant des caractéristiques différentes devront, elles, être testées séparément.

consultation

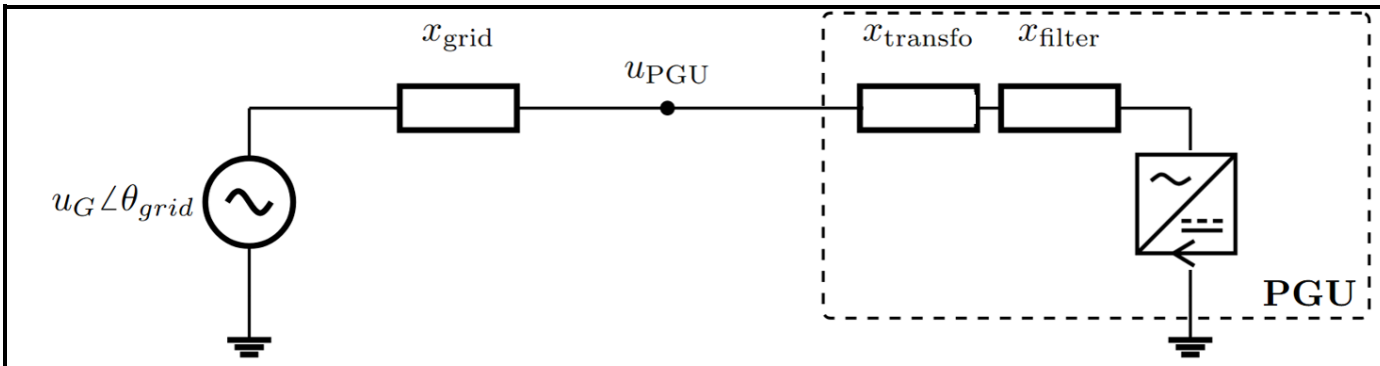


Figure 1 Power Generating Unit (PGU) representation

Dans ce document, le comportement idéal d'un convertisseur grid-forming est modélisé comme une source de tension idéale avec une impédance série. L'impédance effective x_{eff} doit représenter la combinaison de l'impédance interne du convertisseur ainsi que les impédances du filtre et du transformateur jusqu'aux bornes de l'unité de stockage. Ainsi, x_{eff} représente l'impédance de la source idéale et sert de référence de comportement (voir Figure 2).

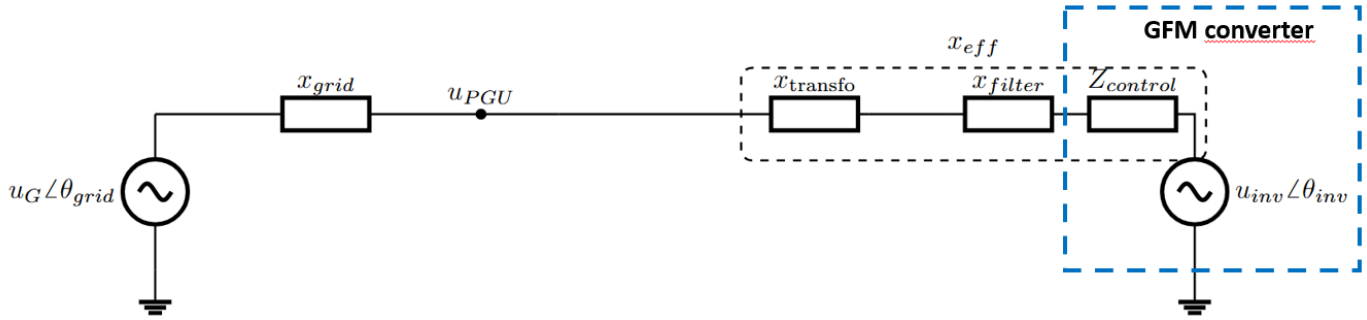


Figure 2 Représentation de l'impédance effective au sein d'une unité (PGU)

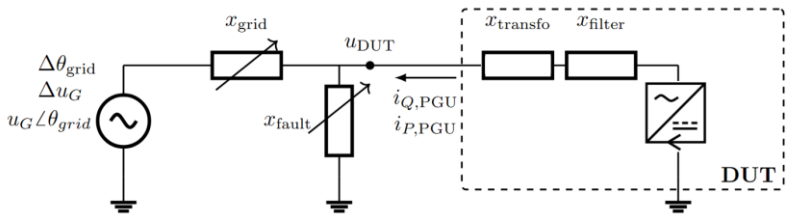
==========

Même si cela n'est pas explicitement mentionné dans l'exigence, tous les comportements de l'onduleur sont limités par le courant maximal de l'onduleur et par la capacité d'énergie disponible dans l'unité de stockage. Le courant maximal de courte durée devra être défini par le fabricant et utilisé pour les critères de conformité. Toutes les enveloppes utilisées pour les essais de conformité seront bornées par le courant maximal de courte durée.

Les différentes enveloppes sont disponibles ici :
dyn-grid-compliance-verification/docs/GFM_envelopes_curves/Envelopes at GFM-changes · dynawo/dyn-grid-compliance-verification · GitHub

==========

2. Systèmes de test

Système 1	Grid model connecté au PGU (DUT)	 • DUT (Device Under Test), représente l'unité testée • x_{grid}, doit être ajustable afin d'émuler des réseaux faibles et forts. • u_G, désigne la tension côté réseau (source de tension) et doit être modulée en amplitude pour les besoins des essais. • θ_{grid}, désigne l'angle de phase du réseau et doit être modifié conformément à la procédure d'essai. • x_{fault}, doit être paramétrable pour représenter différents types de défauts.

Le système 1 doit être utilisé par le propriétaire de l'unité de stockage pour l'ensemble des tests requis dans cette fiche.

3. Critères de conformité

	Description	**Critère de conformité**
Réponse de puissance active suite à un saut de phase de la tension	Saut de phase de la tension au bus infini	Enveloppe du courant actif Amortissement des courants actif/réactif et de la tension
Réponse de puissance réactive suite à un saut d'amplitude de la tension	Saut d'amplitude de la tension au bus infini	Enveloppe du courant réactif Amortissement des courants actif/réactif et de la tension
Réponse de puissance active suite à une variation de fréquence (essai RoCoF)	Changement de fréquence à infinie	Enveloppe du courant actif Amortissement des courants actif/réactif et de la tension
Réponse de puissance active suite à une modification de topologie (SCR)	Variation de la topologie du réseau (saut de Short Circuit Ratio)	Enveloppe du courant actif Amortissement des courants actif/réactif et de la tension
Comportement sur défaut.	Comportement sur défaut dans différentes conditions	Pour information.

4. Unité réduite

Les tests définis dans les fiches suivantes sont décrits en utilisant des valeurs en per unit (p.u.), en considérant la puissance apparente du convertisseur individuel comme base pour les paramètres suivants :

concertation

S_{base}: puissance apparente du convertisseur individuel

U_{base}: tension RMS phase à phase du convertisseur individuel

$x_{base} = \frac{U_{base}^2}{S_{base}}$: impédance de base

5. Points de fonctionnement

Dans ce document, tous les tests seront réalisés aux bornes du convertisseur individuel

SCR_{min}=2

SCR_{max}=10

x_{eff} = 0.27 pu

$T_{R,PPM}$ =10 s (correspondant à une Valeur de H = 5 s)

Rappel : $x_{grid} = \frac{1}{SCR}$

Point de fonctionnement	Puissance Active	Puissance Réactive	Energie Disponible (State of Charge)	Tension
OC1	0	0	50%	1
OC2	0.5 Pn	0	50%	1
OC3	-0.5 Pn	0	50%	1
OC4	0.95 Pn	0	50%	1
OC5	-0.95 Pn	0	50%	1
OC6	0	-Qmax = -0.3 Pn	50%	1
OC7	0	Qmax = 0.3 Pn	50%	1

6. Désactivation des services systèmes

Tous les services systèmes doivent être désactivés pendant l'évaluation des performances Grid Forming de l'unité, étant donné que l'objectif est de valider le comportement source de tension de l'unité sur les premiers instants après les variations qui surviennent, et pour éviter toute interactions avec les autres boucles de régulation.

Pour rappel, les contrôles qui doivent être désactivés sont :

Description	Activation
Contrôle de tension	Non
Réglage de fréquence	Non
Limited frequency sensitivity mode (under)	Non
Limited frequency sensitivity mode (over)	Non

TEST 1 : Saut d'angle de tension :

Système de test: Système 1

concertation

Simulation:

Un saut d'angle de la tension au niveau du bus infini (équivalent de Thèvenin) de $\Delta\theta_{grid}$ doit être réalisé. Pour chacun, la simulation doit durer jusqu'à l'atteinte du régime permanent.

Conditions particulières:

Les tests seront faits avec deux valeurs différentes de x_{grid} correspondant à un $SCR_{min}(x_{grid,min})$ et un $SCR_{max}(x_{grid,max})$ et pour les quatre sauts de phase correspondant à +/- $0.3 \cdot (x_{eff} + x_{grid})$ and $0.6 \cdot (x_{eff} + x_{grid})$.

Scénario	Saut de phase $\Delta\theta_{grid}$	SCR
S_VolAngStep1	6.36°	SCR_{max}
S_VolAngStep2	-6.36°	SCR_{max}
S_VolAngStep3	13.24°	SCR_{min}
S_VolAngStep4	-13.24°	SCR_{min}
S_VolAngStep5	12.72°	SCR_{max}
S_VolAngStep6	-12.72°	SCR_{max}
S_VolAngStep7	26.47°	SCR_{min}
S_VolAngStep8	-26.47°	SCR_{min}

Matrice de tests:

Les tests doivent être réalisés pour les scénarios et les points de fonctionnement suivants.

Test	Scénario	Point de fonctionnement
S_VolAngStep1OC2	S_VolAngStep1	OC2
S_VolAngStep1OC3	S_VolAngStep1	OC3
S_VolAngStep2OC2	S_VolAngStep2	OC2
S_VolAngStep2OC3	S_VolAngStep2	OC3
S_VolAngStep3OC2	S_VolAngStep3	OC2
S_VolAngStep3OC3	S_VolAngStep3	OC3
S_VolAngStep4OC2	S_VolAngStep4	OC2
S_VolAngStep4OC3	S_VolAngStep4	OC3
S_VolAngStep1OC4	S_VolAngStep1	OC4
S_VolAngStep1OC5	S_VolAngStep1	OC5
S_VolAngStep2OC4	S_VolAngStep2	OC4
S_VolAngStep2OC5	S_VolAngStep2	OC5
S_VolAngStep3OC4	S_VolAngStep3	OC4
S_VolAngStep3OC5	S_VolAngStep3	OC5
S_VolAngStep4OC4	S_VolAngStep4	OC4
S_VolAngStep4OC5	S_VolAngStep4	OC5

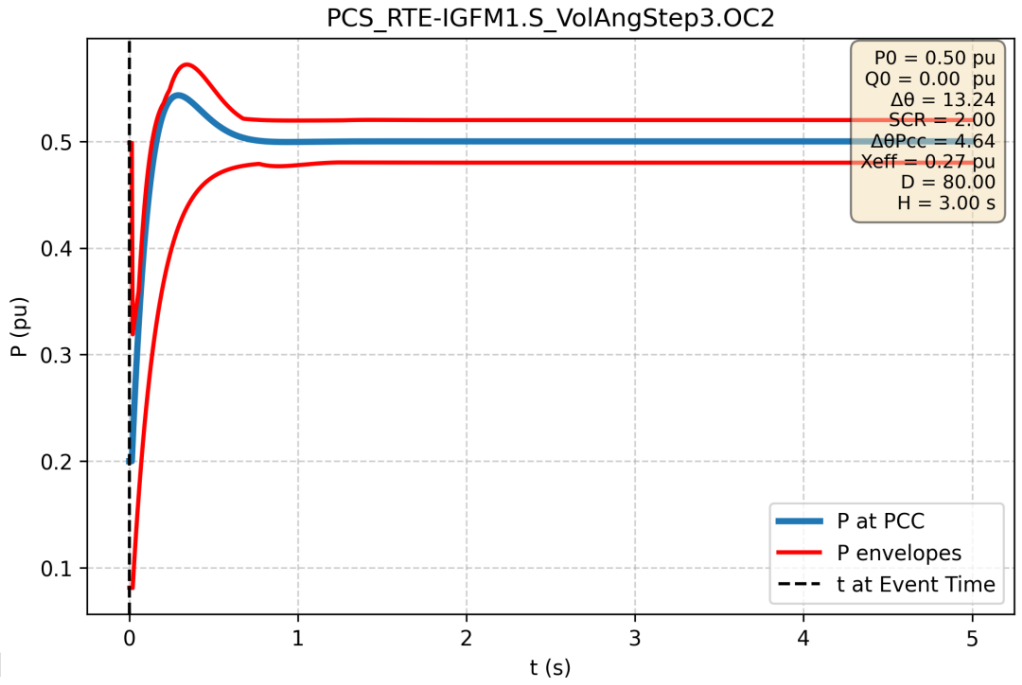
Test	Scénario	Point de fonctionnement
S_VolAngStep5OC2	S_VolAngStep5	OC2

Concertation

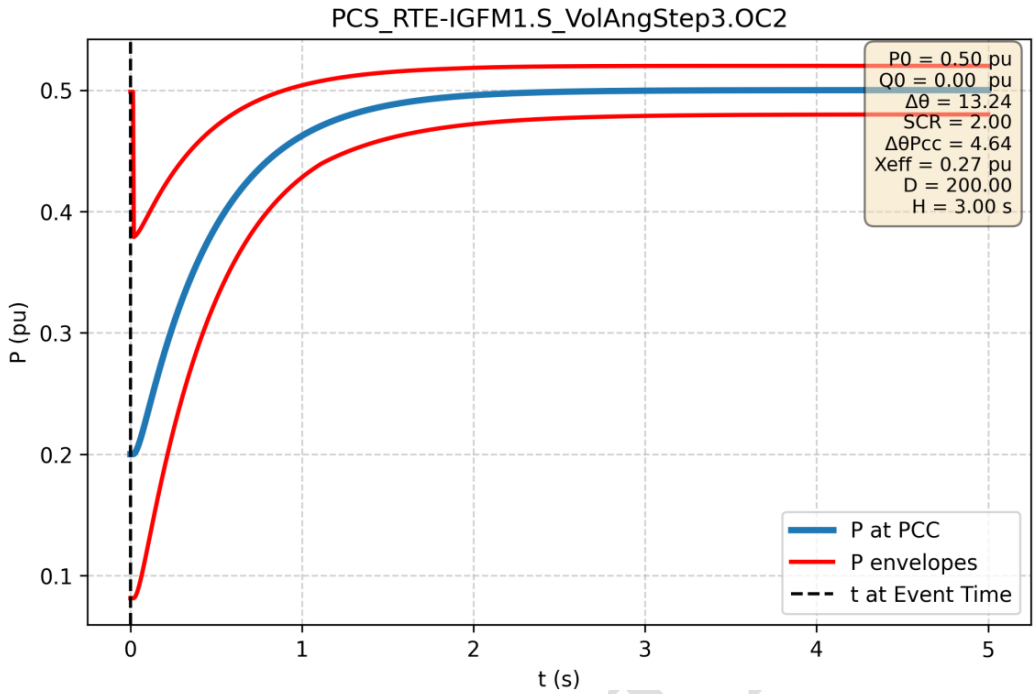
S_VolAngStep5OC3	S_VolAngStep5	OC3
S_VolAngStep6OC2	S_VolAngStep6	OC2
S_VolAngStep6OC3	S_VolAngStep6	OC3
S_VolAngStep7OC2	S_VolAngStep7	OC2
S_VolAngStep7OC3	S_VolAngStep7	OC3
S_VolAngStep8OC2	S_VolAngStep8	OC2
S_VolAngStep8OC3	S_VolAngStep8	OC3
S_VolAngStep5OC4	S_VolAngStep5	OC4
S_VolAngStep5OC5	S_VolAngStep5	OC5
S_VolAngStep6OC4	S_VolAngStep6	OC4
S_VolAngStep6OC5	S_VolAngStep6	OC5
S_VolAngStep7OC4	S_VolAngStep7	OC4
S_VolAngStep7OC5	S_VolAngStep7	OC5
S_VolAngStep8OC4	S_VolAngStep8	OC4
S_VolAngStep8OC5	S_VolAngStep8	OC5

La conformité sera validée à l'aide d'enveloppes.
Par exemple pour le test **S_VolAngStep3OC2** :

- Dans le cas sur-amorti:



- Dans le cas sous-amorti:



TEST 2: <u>Saut d'amplitude de la tension:</u>

Système de test: Système 1

Simulation:

Un saut d'amplitude Δu_G est appliqué sur le noeud infini. La simulation doit durer jusqu'à l'atteinte du régime permanent.

Conditions particulières :

Les tests doivent être réalisés avec deux valeurs différentes de x_{grid}correspondant à $x_{grid,\ \min}$ (SCR_{min})et x$x_{grid,\ \max}$ (SCR_{max}) et pour quatre amplitudes différentes +/- 0.15 $\left(x_{eff} + x_{grid}\right)$

Scénario	Saut d'amplitude (Δu_G)	SCR
S_VolAmpStep1	0.116 pu	SCR_{min}
S_VolAmpStep2	-0.116 pu	SCR_{min}
S_VolAmpStep3	0.056 pu	SCR_{max}
S_VolAmpStep4	-0.056 pu	SCR_{max}

Matrice de tests :

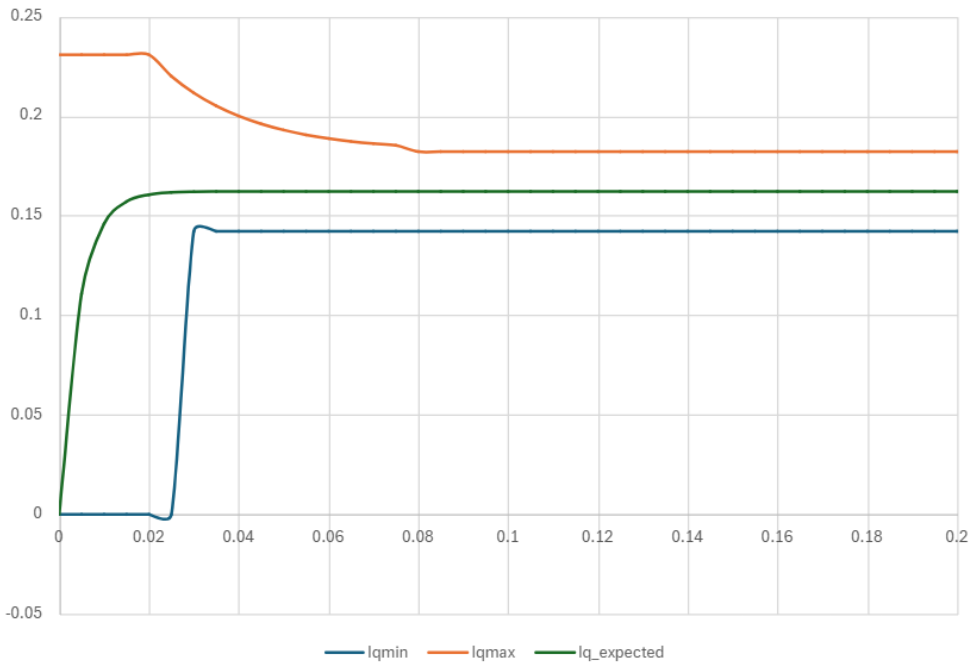
Les tests doivent être réalisés pour les scénarios et les points de fonctionnement suivants.

Test	Scénario	Point de fonctionnement
S_VolAmpStep1_OC1	S_VolAmpStep1	OC1
S_VolAmpStep1_OC2	S_VolAmpStep1	OC2
S_VolAmpStep1_OC3	S_VolAmpStep1	OC3

concertation

S_VolAmpStep1_OC4	S_VolAmpStep1	OC4
S_VolAmpStep1_OC5	S_VolAmpStep1	OC5
S_VolAmpStep1_OC6	S_VolAmpStep1	OC6
S_VolAmpStep1_OC7	S_VolAmpStep1	OC7
S_VolAmpStep2_OC1	S_VolAmpStep2	OC1
S_VolAmpStep2_OC2	S_VolAmpStep2	OC2
S_VolAmpStep2_OC3	S_VolAmpStep2	OC3
S_VolAmpStep2_OC4	S_VolAmpStep2	OC4
S_VolAmpStep2_OC5	S_VolAmpStep2	OC5
S_VolAmpStep2_OC6	S_VolAmpStep2	OC6
S_VolAmpStep2_OC7	S_VolAmpStep2	OC7
S_VolAmpStep3_OC1	S_VolAmpStep3	OC1
S_VolAmpStep3_OC2	S_VolAmpStep3	OC2
S_VolAmpStep3_OC3	S_VolAmpStep3	OC3
S_VolAmpStep3_OC4	S_VolAmpStep3	OC4
S_VolAmpStep3_OC5	S_VolAmpStep3	OC5
S_VolAmpStep3_OC6	S_VolAmpStep3	OC6
S_VolAmpStep3_OC7	S_VolAmpStep3	OC7
S_VolAmpStep4_OC1	S_VolAmpStep4	OC1
S_VolAmpStep4_OC2	S_VolAmpStep4	OC2
S_VolAmpStep4_OC3	S_VolAmpStep4	OC3
S_VolAmpStep4_OC4	S_VolAmpStep4	OC4
S_VolAmpStep4_OC5	S_VolAmpStep4	OC5
S_VolAmpStep4_OC6	S_VolAmpStep4	OC6
S_VolAmpStep4_OC7	S_VolAmpStep4	OC7

La conformité sera validée à l'aide d'enveloppes.
Par exemple pour le test **S_VolAmpStep1_OC2** :



Création

TEST 3 : <u>Saut de Short Circuit Ratio</u>

Système de test : Système 1

Simulation :

Un saut de Short Circuit Ratio est appliqué dans le réseau par le biais d'une variation d'impédance de x_{grid} entre les valeurs $x_{grid,\,initial} = \frac{1}{SCR_{initial}}$ et $x_{grid,\,final} = \frac{1}{SCR_{final}}$. Les simulations doivent durer jusqu'à l'atteinte du régime permanent.

Conditions spécifiques

Deux scénarios différents doivent être considérés :

Scénario	$SCR_{initial}$	SCR_{final}
S_SCRup1	2	10
S_SCRdown1	10	2

Matrice de tests:

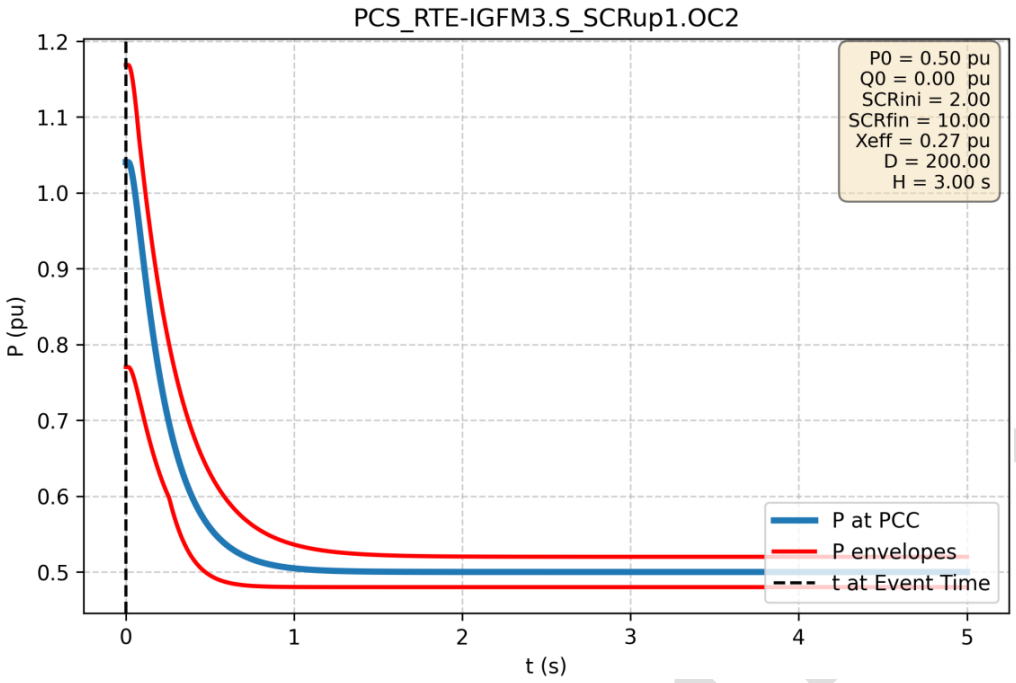
Les tests doivent être réalisés pour les scénarios et les points de fonctionnement suivants.

Test	**Scénario**	**Point de fonctionnement**
S_SCRup1_OC1	S_SCRup1	OC1
S_SCRup1_OC2		OC2
S_SCRup1_OC3		OC3
S_SCRup1_OC4		OC4
S_SCRup1_OC5		OC5
S_SCRdown1_OC1	S_SCRdown1	OC1
S_SCRdown1_OC2		OC2
S_SCRdown1_OC3		OC3
S_SCRdown1_OC4		OC4
S_SCRdown1_OC5		OC5

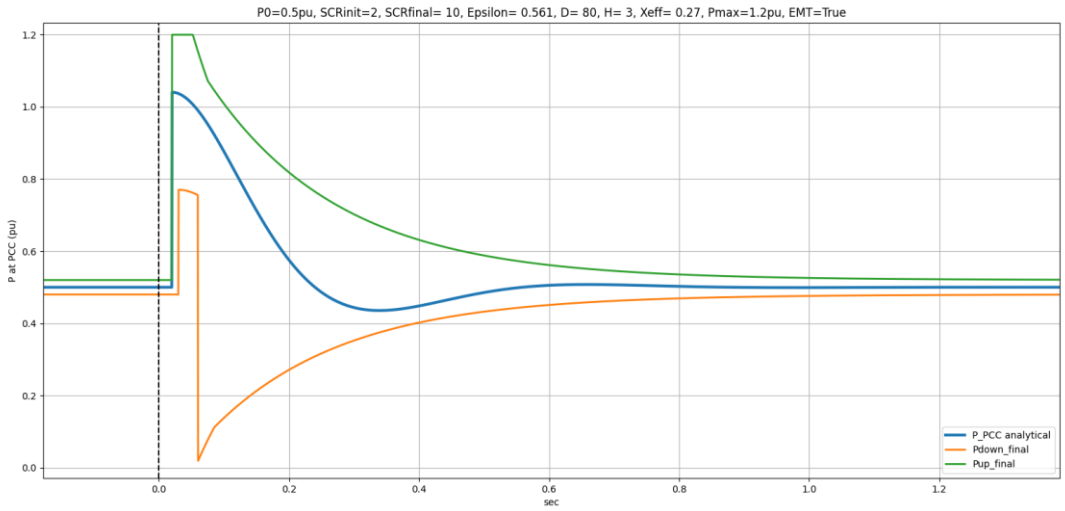
La conformité sera validée à l'aide d'enveloppes.
Par exemple pour le test S_SCRup1_OC2 :

- Dans le cas sur-amorti:

Concertation



- Dans le cas sous-amorti:



TEST 4: <u>Variation de fréquence:</u>

Système de test: Système 1

Simulation:

La fréquence du bus infini est modifiée, et la simulation doit durer jusqu'à l'atteinte du régime permanent.

Conditions particulières:

Les tests doivent être réalisés pour deux valeurs différentes de x_{grid} correspond à $SCR_{max}(x_{grid,max})$ et $SCR_{min}(x_{grid,min})$ et pour les quatre profils de variations de fréquence suivants:

1. Profil 1 - Valeur initiale 49.5 Hz / Variation: +0.5Hz/sec pendant 3 s (Rate of Change of Frequency)
2. Profil 2 - Valeur initiale 50.5 Hz / Variation: - 0.5Hz/sec pendant 3 s (Rate of Change of Frequency)
3. Profil 3 – Valeur initiale 49.5 Hz / Variation: + 2 Hz/sec pendant 500 ms (Rate of Change of Frequency)
4. Profil 4 – Valeur initiale 50.5 Hz / Variation: - 2 Hz/sec pendant 500 ms (Rate of Change of Frequency)

Zone d'exclusion: dans le cas d'un état de charge supérieur à 95 % (ou inférieur à 5%), la fourniture d'inertie à la hausse (respectivement à la baisse) n'est pas exigée.

Scenario	Profil de fréquence	SCR
S_Rocof1	Profil 1	SCR_{min}
S_Rocof2	Profil 2	SCR_{min}
S_Rocof3	Profil 3	SCR_{min}
S_Rocof4	Profil 4	SCR_{min}
S_Rocof5	Profil 1	SCR_{max}
S_Rocof6	Profil 2	SCR_{max}
S_Rocof7	Profil 3	SCR_{max}
S_Rocof8	Profil 4	SCR_{max}

Matrice de tests:

Les tests doivent être réalisés pour les scénarios et les points de fonctionnement suivants.

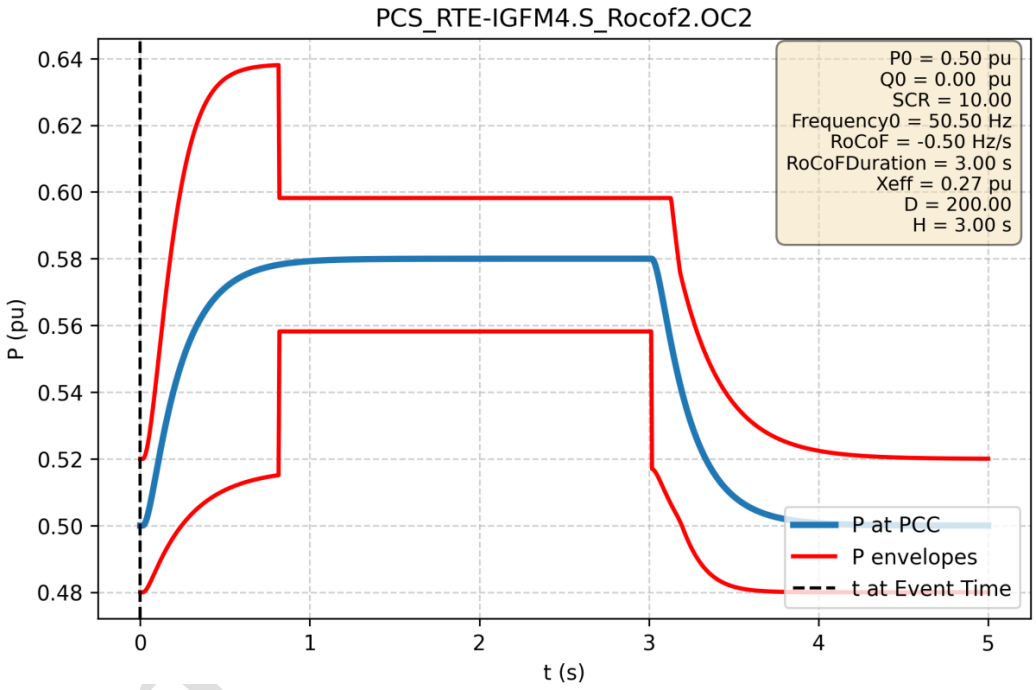
Test	Scénario	Point de fonctionnement
S_Rocof1_OC1	S_Rocof1	OC1
S_Rocof1_OC2	S_Rocof1	OC2
S_Rocof1_OC3	S_Rocof1	OC3
S_Rocof2_OC1	S_Rocof2	OC1
S_Rocof2_OC2	S_Rocof2	OC2
S_Rocof2_OC3	S_Rocof2	OC3
S_Rocof3_OC1	S_Rocof3	OC1
S_Rocof3_OC2	S_Rocof3	OC2
S_Rocof3_OC3	S_Rocof3	OC3
S_Rocof4_OC1	S_Rocof4	OC1
S_Rocof4_OC2	S_Rocof4	OC2
S_Rocof4_OC3	S_Rocof4	OC3
S_Rocof5_OC1	S_Rocof5	OC1
S_Rocof5_OC2	S_Rocof5	OC2
S_Rocof5_OC3	S_Rocof5	OC3
S_Rocof6_OC1	S_Rocof3	OC1
S_Rocof6_OC2	S_Rocof3	OC2

Concertation

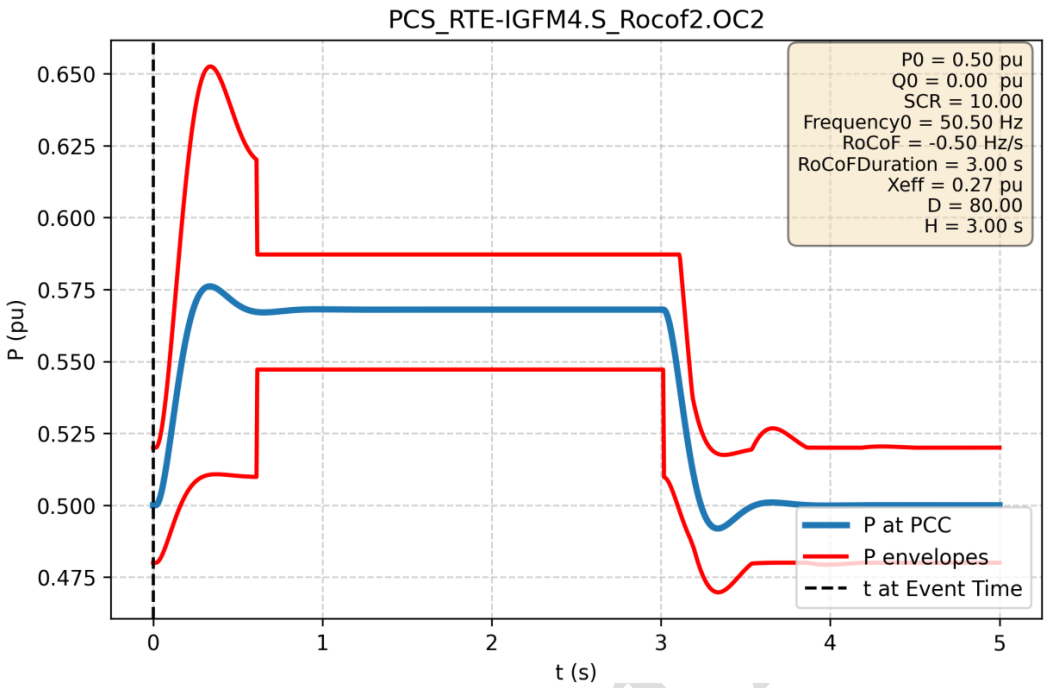
S_Rocof6_OC3	S_Rocof6	OC3
S_Rocof7_OC1	S_Rocof7	OC1
S_Rocof7_OC2	S_Rocof7	OC2
S_Rocof7_OC3	S_Rocof7	OC3
S_Rocof8_OC1	S_Rocof8	OC1
S_Rocof8_OC2	S_Rocof8	OC2
S_Rocof8_OC3	S_Rocof8	OC3

La conformité sera validée à l'aide d'enveloppes.
Par exemple pour le test S_Rocof2_OC2 :

- Dans le cas sur-amorti:



- Dans le cas sous-amorti:



TEST 5: Défauts

Système de test : Système 1

Simulation :

Différents défauts seront simulés. Pour chacun, la simulation doit durer jusqu'à l'atteinte du régime permanent.

Conditions particulières :

Les tests seront faits avec deux valeurs différentes de x_{grid} correspondant à un $SCR_{min}(x_{grid,min})$ et un $SCR_{max}(x_{grid,max})$ et pour les différents défauts décrits ci-dessous :

Défaut phase-terre 0Ω	Défaut 1
Défaut phase-terre Ω	Défaut 2
Défaut phase-phase 0Ω	Défaut 3
Défaut phase-phase-terre 0Ω	Défaut 4
Défaut phase-phase-terre Ω	Défaut 5
Défaut triphasé 0Ω	Défaut 6
Défaut triphasé 10Ω	Défaut 7

La durée des défauts est fixée à 150 ms.

concertation

Matrice de tests :

Les tests doivent être réalisés pour les scénarios et les points de fonctionnement suivants.
[i] allant de 1 à 7.

Test	Scénario	Point de fonctionnement
S1_Fault[i]_OC1	S1_Fault[i]	OC1
S1_Fault[i]_OC2	S1_Fault[i]	OC2
S1_Fault[i]_OC3	S1_Fault[i]	OC3
S1_Fault[i]_OC4	S1_Fault[i]	OC4
S1_Fault[i]_OC5	S1_Fault[i]	OC5
S2_Fault[i]_OC1	S2_Fault[i]	OC1
S2_Fault[i]_OC2	S2_Fault[i]	OC2
S2_Fault[i]_OC3	S2_Fault[i]	OC3
S2_Fault[i]_OC4	S2_Fault[i]	OC4
S2_Fault[i]_OC5	S2_Fault[i]	OC5

Données : RTE → stockeur

Enveloppes pour le courant actif pour les gammes de tests 1, 3 et 4, et pour chaque sous-test correspondant à un scénario et un point de fonctionnement.
Enveloppes pour le courant réactif pour la gamme de test 2, et pour chaque sous-test correspondant à un scénario et un point de fonctionnement.

Elles seront transmises sous la forme d'un fichier CSV.

Résultats : stockeur → RTE

Les courbes des valeurs RMS des courant actif et réactif ainsi que de la tension au point de connexion avec le réseau (U_{DUT}) doivent être fournies pour l'ensemble des simulations et pour les différents points de fonctionnement.
Elles doivent être exportées au format CSV ou COMTRADE, en utilisant un intervalle maximal de 1 ms entre deux points pour l'ensemble de la simulation, et contenir a minima la période entre l'évènement et l'atteinte du régime permanent.

Ces courbes doivent également être incluses dans un graphique avec les enveloppes lorsque cela est nécessaire à la vérification de la conformité.

Critères de conformité

Les critères de conformité suivants sont applicables à l'ensemble des tests, à l'exception du Test 5 sur les défauts.
Les courants actif et réactif doivent être compris à l'intérieur des enveloppes pour l'ensemble des tests.
Les courants actifs et réactifs doivent présenter un amortissement supérieur à 50 %. Cet amortissement sera déterminé en utilisant la méthode classique dit "matrix pencil". Une implémentation de cette méthode est disponible ici[1], elle sera utilisée pour vérifier la conformité de l'installation.
Le convertisseur doit rester connecté et stable pour l'ensemble des cas tests.

Concertation

[1] *Test_damping_python_app_RTE - Colab*