

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'Informatique
Département D'Electrotechnique

Mémoire de Fin d'Etudes De Master Professionnel

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par

Hamid BADJA

Moussa AISSAOUI

Thème

Evaluation des performances d'une boucle à verrouillage de phase triphasée

Mémoire soutenu publiquement le 27 septembre 2016 devant le jury composé de :

M. T. OTMANE CHERIF

MCA, UMMTO, Président

M. A. BECHOUCHE

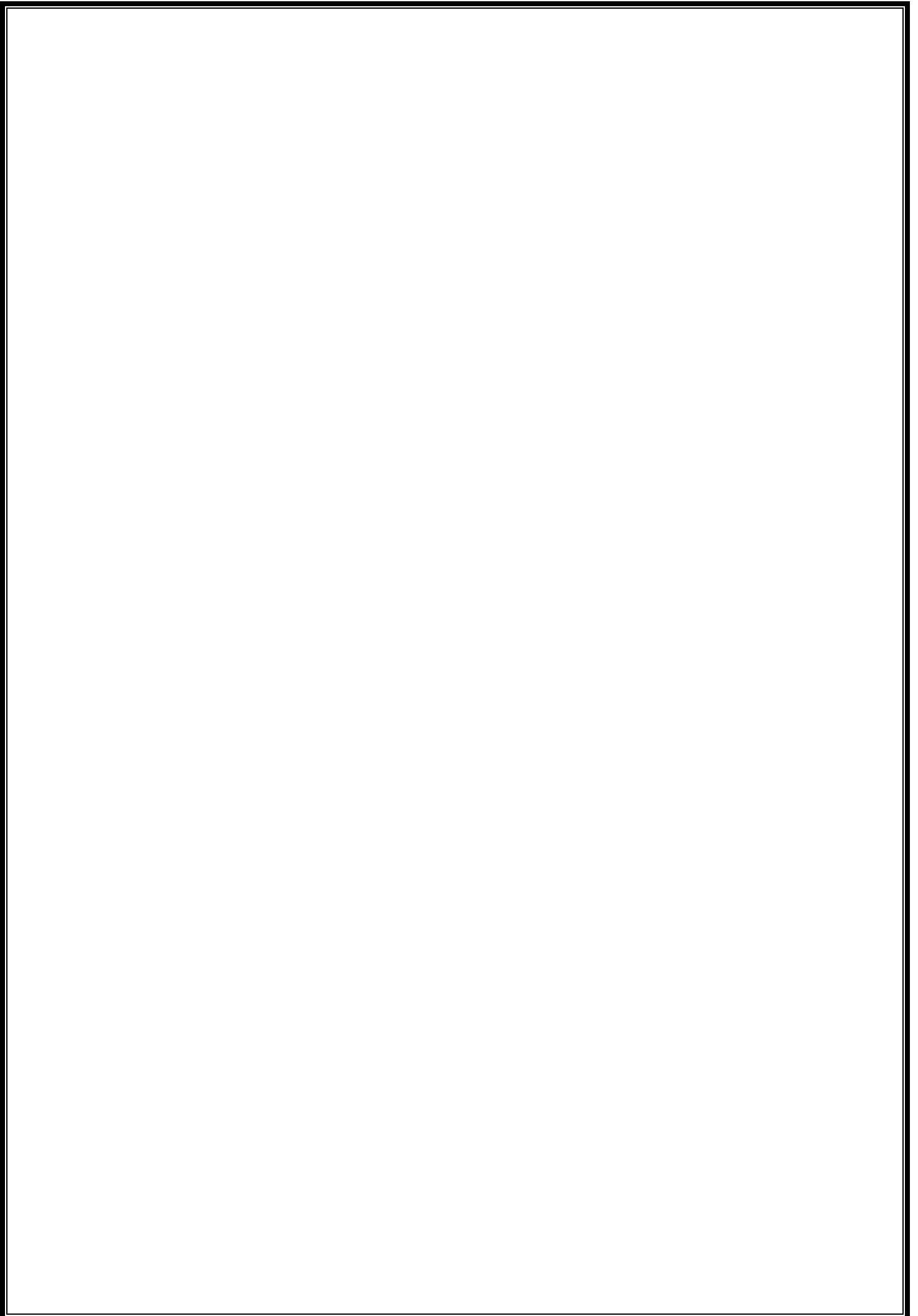
MCA, UMMTO, Rapporteur

M. H. SEDDIKI

MCA, UMMTO, Examineur

M. K. MESBAH

Docteur, UMMTO, Examineur



Remerciements

Au terme de ce travail, il nous est agréable d'adresser notre profonde reconnaissance et nos remerciements les plus sincères à :

Notre promoteur monsieur Ali BECHOUCHE, maître de conférence classe A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour nous avoir guidé tout au long de ce travail, nous lui sommes très reconnaissants pour sa disponibilité et pour son aide précieux et pour ces conseils judicieux qu'il nous a prodigué.

Nous tenons a remercié vivement les membres de jury :

Monsieur Tahar OTMAN CHERIF, maîtres de conférences classe A, à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour avoir accepté de présider le jury de ce travail.

Monsieur Hamid SEDDIKI, maître de conférences classe A, à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour avoir accordé cette aimable faveur d'accepter d'examiner ce travail.

Monsieur Koussaila MESBAH Docteur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Dédicaces

A mes parents, mes frères, mes sœurs, toute ma famille et mes amis.

Hamid

A mes parents, ma sœur, toute ma famille et mes amis.

Moussa

Sommaire

Sommaire	1
Introduction générale	4
Chapitre I : Généralités sur la PLL	
Introduction	6
I.1. Définition de la PLL	6
I.1.2. Structure générale de la PLL	7
I.2. Principe de fonctionnement	7
I.3. Stabilité	7
I.4. Fonctionnement de la PLL	8
I.5. Les éléments constitutifs de la PLL	8
I.5.1. Compérateur de phase	8
I.5.2. Filtre passe-bas	9
I.5.3. Oscillateur VCO	9
I.6. But du dispositif PLL	9
I.7. Application de la PLL	9
I.8. La PLL conventionnelle	10
I.8.1. Schéma de la PLL conventionnelle	10
I.9. Transformation de Park	12
I.10. PLL conventionnel biphasée	12
I.11. PLL conventionnelle triphasée	12
I.11.1. Le ‘zero crossing’ qui utilise une logique OU Exclusif	14
I.11.2. Méthode de filtrage de la tension comme le filtre $\alpha\beta$	14
I.11.3. Transformation de Clarke	14
I.11.4. La PLL triphasée synchrone (Phase Lock Loop)	14
Conclusion	15
Chapitre II. Modélisation de la PLL	
Introduction	16
II.2. Transformation de Clarke	17
II.2.1. Matrice de Clarke	17

II.2.2. Transformation de PARK	19
II.3. Synthèse des paramètres du régulateur	20
Conclusion	21

Chapitre III. Simulation de la PLL

Introduction	23
III.1. Schéma de simulation sur Matlab simulink	23
III.2. Simulation du comportement de la PLL pour un réseau fonctionnant dans des conditions idéales	25
III.2.1. Résultats de la simulation	25
III.2.2. Interprétation des résultats obtenus	29
III.3. Simulation du comportement de la PLL pour un réseau fonctionnant dans des conditions non idéales	29
III.3.1. Effet de variation d'amplitude d'une phase	30
III.3.1.1. Résultats de la simulation	30
III.3.1.2. Interprétation des résultats	32
III.3.2. Effet d'une variation d'amplitude de deux phases	33
III.3.2.1. Résultats de la simulation	33
III.3.2.2. Interprétation des résultats	36
III.3.3. Effet d'une variation d'amplitude de la tension	36
III.3.3.1. Résultats de la simulation	36
III.3.3.2. Interprétation des résultats	39
III.3.4. Saut de phase	39
III.3.4.1. Résultats de la simulation	39
III.3.4.2. Interprétation des résultats	42
III.3.5. Variation de fréquence	42
III.3.5.1. Résultats de la simulation	42
III.3.5.2. Interprétation des résultats	45
III.3.6. Présence d'harmonique	45
III.3.6.1. Résultats de la simulation	45
III.3.6.2. Interprétation des résultats	48

III.3.7. Perturbation bruit	48
III.3.7.1. Résultat de la simulation	49
III.3.7.2. Interprétation des résultats	51
Conclusion	51
Conclusion générale	53
Références bibliographiques	54

Introduction générale

Les paramètres caractérisant les réseaux de distribution d'énergie et dont nous considérons dans cette étude sont: la fréquence, l'amplitude, la phase, la forme d'onde et la symétrie du système triphasé.

Les sources d'énergie raccordées aux réseaux de distribution, disposent dans leur chaîne de conversion des convertisseurs statiques. En effet, ces convertisseurs sont des sources polluantes en matière d'absorption des courants non sinusoïdaux et particulièrement de la puissance réactive. Par conséquent, les harmoniques générées sont des perturbations permanentes affectant la forme d'onde de la tension du réseau. Les autres distorsions présentes dans la tension du réseau sont le déséquilibre dans le système triphasé, la variation de fréquence, les creux de tension et le saut de phase. Le saut et le déséquilibre des phases parviennent généralement lorsqu'une charge ou un générateur soit connecté ou déconnecté du réseau. Toutes ces distorsions ou perturbations ont donc pour conséquence de modifier les caractéristiques de l'onde de tension ou du courant, ce qui se traduit par une dégradation du facteur de puissance [1]. Pour assurer un bon raccordement du générateur à énergie renouvelable au réseau électrique, la tension de sortie du convertisseur doit avoir les mêmes paramètres caractéristiques pour chacune des trois phases. Ce résultat est obtenu si l'angle de phase de la tension du réseau est correctement asservi. Dans le système de commande du convertisseur, un signal modulé (MLI) est créé par la différence de phase. Ce qui est sélectionné comme le signal de commande pour le système de contrôle MLI. Ce système électronique, géré par un microprocesseur qui garantit que les caractéristiques du courant produit est conforme aux exigences imposées par les normes fixées par le gestionnaire du réseau. Ce qui est responsable de la stabilité du courant (tension, fréquence, émission d'harmoniques, etc.) et assure aussi la sécurité du système (protection de découplage). Il s'agit d'un processus fonctionnant en temps réel et en permanence pour assurer la synchronisation des sorties des inverseurs avec celles du réseau électrique. La technique la plus courante utilisée pour l'asservissement de phase consiste en l'utilisation d'une boucle à verrouillage de phase (PLL) [2, 3].

Ainsi, dans ce travail, dans une première étape, nous nous sommes intéressés à l'étude et à la conception d'une PLL capable d'évaluer d'une manière correcte l'angle de phase de la tension d'un réseau idéal. Cet angle de phase permet de synchroniser la source d'énergie par rapport à l'évolution de ce dernier. Dans une seconde étape, nous avons considéré un scénario dans lequel nous avons supposé que la tension du réseau ne présente pas une sinusoïde parfaite, ce qui nécessite d'envisager un système PLL ayant l'aptitude de gérer des distorsions et des

anomalies surgissant du système d'une manière satisfaisante. A cet effet, un circuit PLL est considéré pour être testé sous différentes conditions qui peuvent survenir dans des cas fonctionnels réels du réseau. Cette étude consiste en la simulation d'un tel système, utilisant l'environnement Matlab-Simulink.

Chapitre I

Généralités sur la PLL

Introduction

La boucle à verrouillage de phase, que l'on désignera par la suite par l'acronyme Anglais PLL (Phase Locked Loop), est un dispositif largement utilisé dans l'électronique, génération des signaux, télécommunication (modulation et démodulation des signaux, récupération de porteuse).

Initialement faites à l'aide de composants discrets et pour des applications purement Analogiques, les PLL sont de plus en plus réalisées en partie ou entièrement à l'aide de composants numériques (pour des applications numériques). Tout comme le filtrage, il existe de nombreux logiciels permettant de synthétiser des PLL ayant les caractéristiques voulues et de les implémenter directement in-situ.

Qu'elle soit numérique ou analogique, le principe de fonctionnement d'une PLL reste le même ; cependant, par soucis de simplicité, on s'attachera plus particulièrement aux PLL analogiques, qui permettent en outre un développement relativement rapide et nécessitant moins de matériel en laboratoire.

I.1. Définition de la PLL

La boucle à verrouillage de phase PLL (Phase Locked Loop) sont des circuits intégrés très utilisés en électronique. Qui est donc un asservissement de phase ou de fréquence qui asservit la fréquence d'un oscillateur commandé en tension ou VCO à un signal injecté à l'entrée :

- le cœur de la PLL est le VCO qui fournit en sortie un signal sinusoïdal ou carré dont la fréquence instantanée $f_s(t)$ dépend de $v(t)$.
- le comparateur de phase élabore une tension $u(t)$ dépendant du déphasage entre les signaux d'entrée et de sortie.
- le filtre passe-bas lisse cette tension $u(t)$ en gardant sa valeur moyenne et en supprimant les harmoniques.
- V_c : tension de commande.
- φ_e : phase d'entrée.
- φ_s : phase de sortie.

I.1.2. Structure générale de la PLL

Signal d'entrée

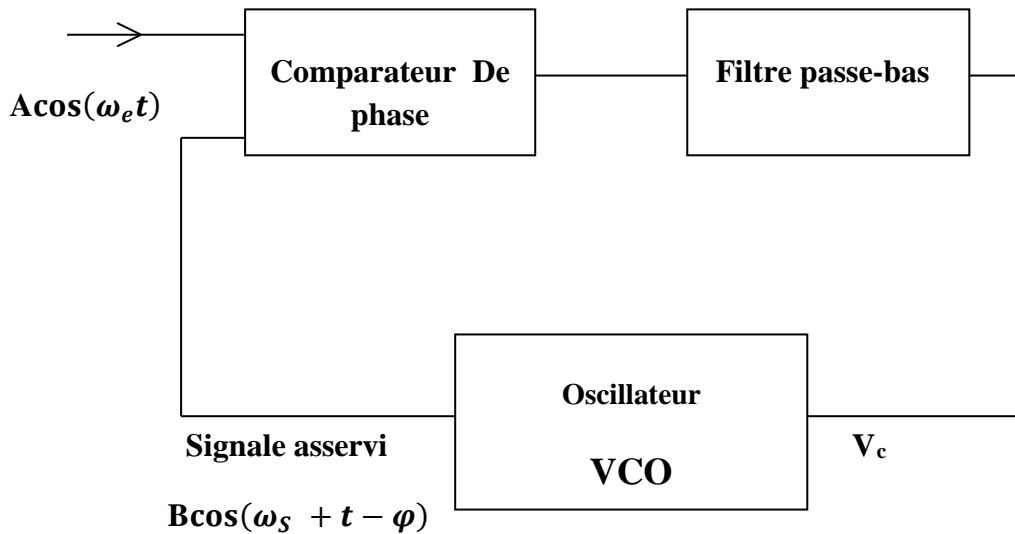


Figure I.1. Schéma de principe d'une boucle à verrouillage de phase VCO [14]

I.2. Principe de fonctionnement

Le principe de base de la PLL est de comparer la fréquence ou la phase d'un oscillateur commande en tension (VCO) à celle d'un oscillateur de référence (signal d'entrée).

Le cœur de la PLL est l'oscillateur VCO qui délivre une fréquence f_s dont la valeur dépend de la tension appliquée V_c sur son entrée de commande. Cette fréquence est comparée à celle de référence f_e en comparant les phases instantanées des signaux φ_e et φ_s . Le comparateur de phase donne en temps réel l'écart (ou l'erreur) \mathcal{B} de phase entre la source de référence et le VCO. Cette information est filtrée puis appliquée à l'entrée V_c de commande du VCO. Ainsi, la fréquence f_s est en permanence corrigée pour rester égale à celle de la source.

I.3. Stabilité

En générale, pour étudier la stabilité du point d'équilibre quelconque O on suppose le système libéré au voisinage de ce point. Le point sera stable si seulement si le système se rend alors spontanément en O .

Pour cela, un élément très important de la boucle à verrouillage de phase nomme filtre passe-bas, qui établit des conditions et qui permet d'assurer la stabilité de la PLL.

Il est responsable de l'introduction des constantes de temps qui permettent d'assurer ou non cette situation.

I.4. Fonctionnement de la PLL

En absence de signal injecté à l'intérieur de la boucle, ou si la fréquence de signal injecté est en dehors de la plage de fonctionnement du VCO, la boucle est dite non verrouillée et la fréquence en sortie de la boucle est égale à la fréquence centrale du VCO ($f_s = f_e$). Une boucle non verrouillée n'a aucun intérêt.

Une fois que la boucle est verrouillée et accrochée, la fréquence d'entrée peut varier dans une certaine plage sans que cette dernière décroche. C'est la plage normale de fonctionnement de la PLL ou la plage de verrouillage caractérisée par l'égalité des fréquences d'entrée f_e et de sortie f_s . On dit alors la boucle est verrouillée.

Ainsi le rôle de la boucle à verrouillage de phase est de faire en sorte que les fréquences des signaux appliqués sur les deux entrées du comparateur de phase soient identiques, les phases de ces deux signaux pouvant être différentes.

I.5. Eléments constitutifs de la PLL

La PLL comprend trois blocs :

- Comparateur de phase.
- Filtre passe-bas.
- Oscillateur VCO.

I.5.1. Comparateur de phase

Il s'agit d'un multiplicateur analogique. C'est un circuit à deux entrées qui donne une tension de sortie proportionnelle à la différence de phase des signaux se trouvant à son entrée sa sortie fournissant une tension :

$$V(t) = K (\varphi_e - \varphi_s) \quad (\text{I.1})$$

Sachant que :

K : Constante appelée dont la dimension s'exprime en volt/rad.

φ_e : Phase d'entrée du comparateur de phase.

Q_s : Phase de sortie du comparateur de phase.

I.5.2. Filtre passe-bas

Son existence est indispensable, car il permet par le choix de ses paramètres de réaliser un système asservi stable. Son rôle est de ne laisser passer que les signaux de basses fréquences inférieures à une certaine fréquence bien définie, appelée fréquence de coupure.

I.5.3. Oscillateur VCO

Son rôle est de délivrer un signal périodique, dont la fréquence dépend de la tension de commande appliquée à son entrée.

Avec :

$$f = f_0 + AV_c \quad (I.2)$$

f_0 : fréquence centrale.

V_c : tension de commande.

A : constante.

I.6. But du dispositif PLL

Le but d'une PLL est de réaliser un asservissement de la phase d'un signal. Étant un asservissement de phase, ce dispositif permet donc d'asservir la fréquence. On peut donc raisonner soit en phase, soit en fréquence, selon l'application concernée. L'intérêt de ces dispositifs est d'obtenir un signal (fréquence ou phase) stable, possédant une erreur statique de l'asservissement réalisée la plus faible possible.

On distingue trois grands types de PLL :

- Les PLL linéaires qui fonctionnent avec des composants analogiques.
- Les PLL numériques dont le comparateur de phase est réalisé à l'aide de circuits intégrés numériques, mais dont les autres composants sont analogiques et externes (oscillateur, filtre, correcteur).
- Les PLL "tout numérique", dont tous les composants sont numériques.

I.7. Application de la PLL

Les boucles à verrouillage de phase (Phase-Locked Loop or PLL) ou encore boucles à asservissement de phase, ont été inventées par De Bellescize en 1932 pour faire de la détection synchrone. La mise en œuvre de ce principe était délicate compte tenu des moyens de l'époque, ce qui explique que sa généralisation ait dû attendre les progrès de la technologie.

Après l'apparition des circuits intégrés, l'utilisation des boucles à verrouillage de phase s'est étendue de façon considérable dans tous les domaines des télécommunications, des mesures, etc ...

On peut distinguer deux types d'applications :

- L'utilisation de la boucle de phase comme filtre passe-bande très étroit. C'est le cas, par exemple, pour récupérer un signal porteur noyé dans du bruit.
- L'utilisation de la boucle de verrouillage de phase comme multiplicateur de fréquence. C'est le cas de certains synthétiseurs de fréquence.
- L'utilisation de la boucle à verrouillage de phase sur les réseaux électriques .c'est le cas par exemple, connecter les sources aux réseaux et comme électrotechnicien on va s'intéressé a ce type d'application sur la PLL.

I.8. PLL conventionnelle

La boucle à verrouillage de phase PLL est utilisée pour les liaisons électriques :

- Relier les sources d'énergies aux réseaux électriques.
- Assurer la liaison entre les convertisseurs et les réseaux.

Le principe présenté dans cette sous-section utilise une propriété fondamentale de la transformation de Park, à savoir la dérivée de l'angle instantané intervenant dans la transformation est égale à la pulsation du système de tension triphasée et équilibrée alors les composantes selon les axes dq seront constantes. Le système de tension triphasé subit dans un premier temps la transformation de Clarke. Les tensions ainsi obtenues s'exprime dans le repère de Park [13].

I.8.1. Schéma de la PLL conventionnelle

Le mécanisme de détection de phase utilisée dépend principalement de la forme et les caractéristiques du signal d'entrée disponible et de la sortie désirée de signal [4,5].

Pour un signal d'entrée sinusoïdal nominale $u(t) = A \cos(\omega t)$, corrompu par le bruit et la distorsion harmonique, une approche commune et simple mesurer un écart de phase entre le signal entrant et le VCO signal synthétisé, est de produire un Q fixe d'amplitude sinusoïde $Q(t) = \sin(\omega t - \varphi)$, nominale u retard (t) par $\varphi = 90^\circ$ plus un écart de (t) et de la multiplier par $u(t)$, tel que sur la figure (I.2).

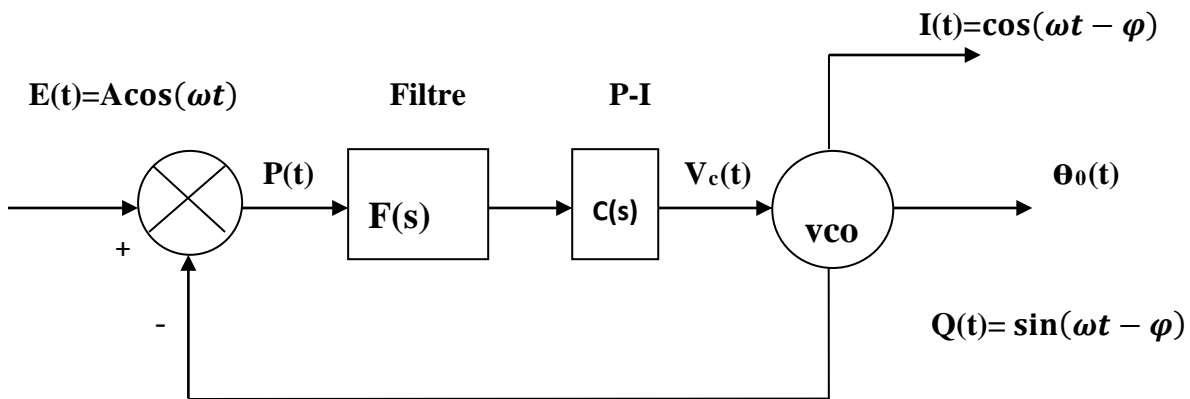


Figure I.2. Schéma de la PLL conventionnelle monophasée [15]

La PLL en boucle fermée Sur la base de la description qualitative précédente de l'opération PLL, une description mathématique plus exacte de son comportement dynamique est maintenant dérivée, qui servira de cadre de référence utile pour les variations et des améliorations ultérieures. Il convient de noter que la sortie du détecteur de phase, $\varepsilon(\varphi) = A/2 \sin(\varphi)$ est une fonction non linéaire de la différence de phase $\varphi = \theta_i - \theta_o$; Cependant, pour une première évaluation du comportement global, et comme cela est généralement justifiée par relativement faible φ , telles que $|\varphi| < 30^\circ$, l'approximation est faite que $\sin(\varphi) \approx \varphi$, ce qui simplifie considérablement l'analyse subséquente.

Ainsi, en se référant à la Figure (I.1 et I.2), les principaux signaux et les opérations peuvent être résumés comme suit :

- $U(t)$: signal d'entrée réel, théoriquement sinusoïdal.
- $\theta_i(t)$: phase du signal d'entrée.
- $\theta_o(t)$: signal de sortie de phase.
- $I(t)$: $\cos(\theta_o(t))$.
- $Q(t)$: $\sin(\theta_o(t))$.

$$\varepsilon(t) = A/2 \sin(\theta_i(t) - \theta_o(t)) = A/2 \sin(\varphi(t)) \quad A/2 \varphi(t) \quad (I.3)$$

Ainsi, le détecteur de phase peut être caractérisée par un gain de $A/2$.

$F(s)$ dans le cas le plus simple, il peut être réglé sur une constante, par exemple, $F(s) = 2$, pour simplifier les dérivations ultérieures.

$C(s) = K_p + K_i/s$: contrôleur PI.

I.9. Transformation de Park

L'ondulation double fréquence a motivé beaucoup de recherches pour éliminer, ou au moins atténuée, son impact sur la performance PLL, [6,7]. La transformation du Park est essentiellement une extension du détecteur de phase unique multiplicateur, et couramment utilisé pour des signaux sinusoïdaux à phases multiples ; par exemple, pour les deux et signaux triphasés, comme rencontrés dans les systèmes électriques. Pour des signaux à deux phases, données en deux dimensions (signaux vectoriels) $e_a(t)$ et $e_b(t)$, avec des angles de phase $\theta(t)$ et $\varphi(t)$, respectivement.

La transformation de Park consiste simplement en un produit de deux nombres complexes, (En référence à la variable temporelle t omise par souci de simplicité).

I.10. PLL conventionnelle biphasée

Synchronisation de phase Considérant que, la sortie q de la transformation du parc consiste en un simple prolongement du détecteur de phase unique multiplicateur, avec deuxième multiplicateur pour annuler l'ondulation de fréquence double de la première multiplicateur, ce qui conduit à la classique à deux phases PLL.

I.11. PLL conventionnelle triphasée

Afin de connecter des sources à énergies au réseau électrique, il faut synchroniser la tension du générateur de production d'énergie électrique avec celle du réseau en matière de phase et de fréquence tout en contrôlant celles relatives au réseau. La figure (I.1) montre le principe fonctionnel d'une PLL.

Dans la littérature, ils existent plusieurs configurations de la PLL (Phase Lock Loop) [8]. Cependant, dans cette étude, nous citons celles qui sont les plus classiques à savoir:

- Le zero crossing [10], qui utilise une logique OU exclusif.
- La méthode de filtrage de la tension comme filtre $\alpha\beta$ [9] ou filtre dq [8].

Ces méthodes ont le même inconvénient de sensibilité aux perturbations. La méthode la plus efficace est la PLL (Phase Lock Loop). La structure de la PLL est un système bouclé dont son comportement et ses performances sont étudiés et évalués moyennant la théorie des asservissements. Cette structure présente des configurations très diversifiées et comme présentées sur la figure (I.1), elle comprend principalement trois blocs :

- Le détecteur de phase, 'DP'.
- Le correcteur.
- L'oscillateur commandé en tension, 'OCT'.

Les techniques avancées utilisées dans la technologie de la PLL ont pour principal objectif d'utiliser une poursuite robuste de la phase du réseau qui permet de pallier à l'existence des perturbations. Ainsi, la configuration que nous avons retenue dans cette étude correspond au schéma synoptique de la PLL présenté dans [11, 12] est décrit par la figure (I.3)

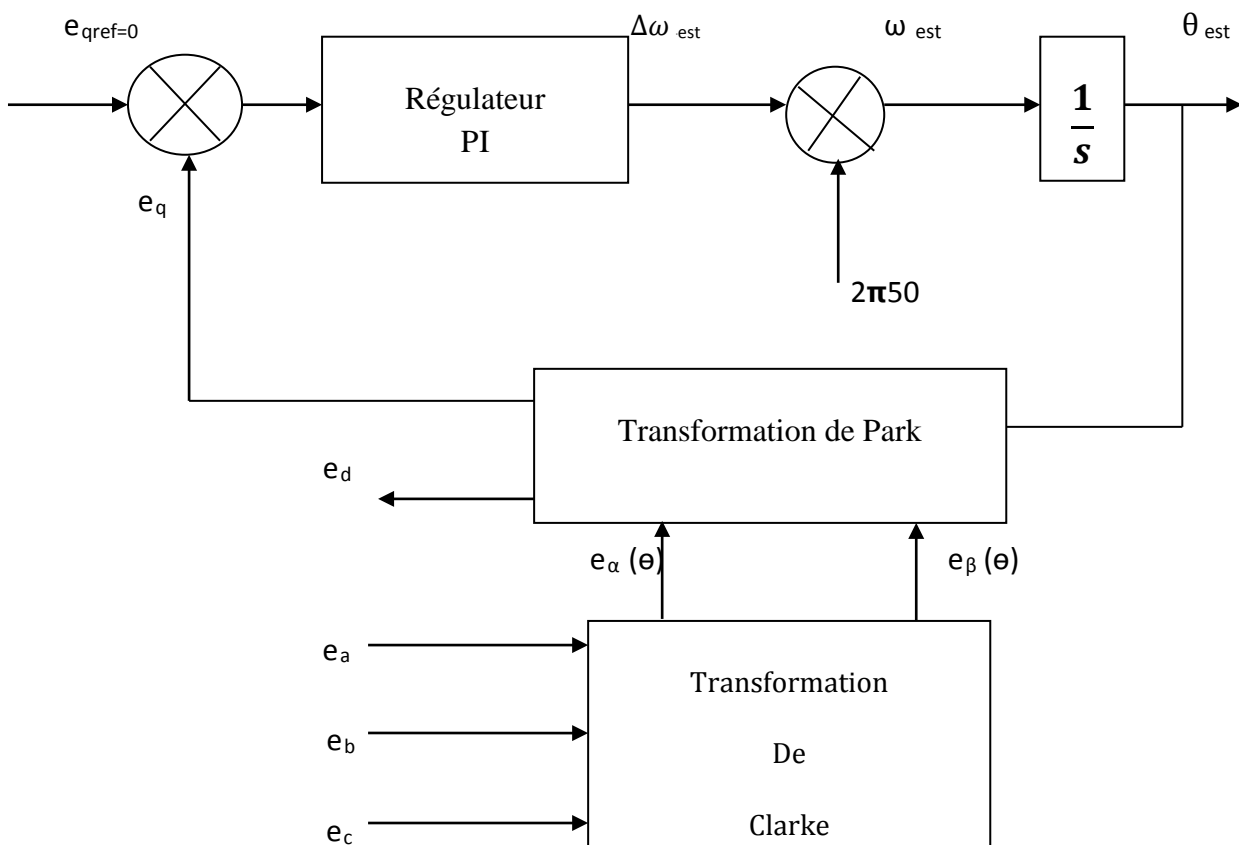


Figure I.3. Schéma de la PLL conventionnelle triphasée [13]

Dans ce type de configuration de la PLL, nous supposons que les tensions du réseau sont équilibrées, et utilisées comme entrées dans la PLL et une fois contrôlées, sa sortie

correspond à l'angle de phase de l'une des trois phases. Une fois ce dernier est détecté, nous faisons un décalage de 120° pour chacune des deux autres phases.

Parmi les méthodes de détection, les plus usuelles utilisent la technologie de la PLL, nous citons:

I.11.1. Le 'zero crossing' qui utilise une logique OU Exclusif

Cette structure, est utilisée principalement pour les systèmes monophasés, et peut être classée comme une structure dans laquelle la détection de phase et de fréquence est basée sur les points de passage par zéro du signal d'entrée. En outre, le bruit autour du point de passage à zéro de la tension rend l'angle de sortie oscillante [10]. Par conséquent, les points de passage par zéro ne sont pas détectés, à chaque demi-cycle de la fréquence de travail, ce qui fait que les performances dynamiques de cette solution sont limitées.

I.11.2. Principe de la transformation de Clarke

Cette transformation permet de passer du repère a b c vers le repère stationnaire $\alpha\beta$. Ce qui conduit à suivre l'angle de phase des signaux triphasés (e_a , e_b et e_c). Dans le cas d'un système équilibré, la tension du système triphasé de tension s'exprime de la manière suivante:

$$\left\{ \begin{array}{l} e_a = E_m \cos(\omega t) \\ e_b = E_m \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ e_c = E_m \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{array} \right. \quad (I.4)$$

I.11.3. Transformation de Clarke

Alors que le pouvoir est économiquement la plus livré sur un système à trois fils, par trois tensions sinusoïdales espacées de 120° à part, le traitement du signal impliqué dans de nombreux applications peuvent être réalisées d'une manière plus efficace après la première transformation.

Vecteur de signal, disant $e_{abc}(t)$, en utilisant une transformation Clarke, en deux phases.

Le vecteur $e_a(t)$ dans la dite alpha fixe (également appelée stationnaire), où les composants $e_a(t)$ et $e(t)$ sont orthogonales les unes aux autres.

I.11.4. PLL triphasée synchrone (Phase Lock Loop)

Le principe de base de la PLL triphasée consiste à appliquer une transformation inverse de Park sur les tensions triphasées du réseau. La composante d'axe générée par cette

transformation figure (I.4), est asservie à zéro par action sur l'angle du repère de Park (θ_{est}). En régime établi, l'angle estimé (θ_{est}) est égal à l'angle du réseau (θ). Ici, le vecteur spatial de tension est synchronisé avec l'axe des (q) comme représenté dans la figure (I.4) [11].

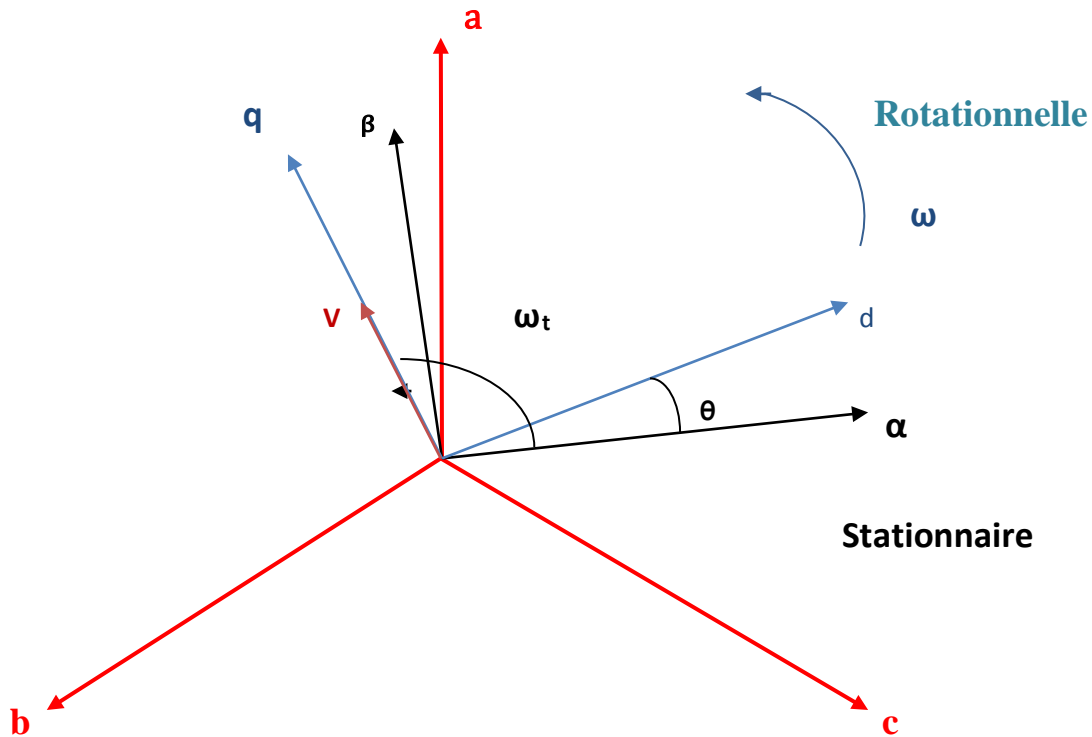


Figure I.4 Repère synchrone de référence

Conclusion

Ce chapitre présente les notions préliminaires et nécessaires pour la suite sur la structure et la commande de la PLL triphasée.

Nous avons montré l'utilité et les applications de la PLL dans les différents domaines notamment les réseaux électriques. En effet elle est intégrée dans de nombreuses applications dans les liaisons électriques comme l'accordement des sources d'énergies renouvelables ou réseaux électriques et assurer la liaison des convertisseurs statiques ou réseaux électriques, nous avons décrit le principe de fonctionnement d'une manière générale.

L'étude de la modélisation de la PLL triphasée sera présentée dans le chapitre suivant.

Chapitre II

Modélisation de la PLL

Introduction

Après avoir fait les généralités sur les PLL (phase locked loop) dans le chapitre précédent, ce chapitre on va le consacrer à la modélisation de la PLL conventionnel, on va étudier les différentes équations des différents blocs qui constituent la PLL et aussi on va calculer les paramètres de régulateur PI, qui va nous permettre la synchronisation de la PLL.

La modélisation des différents paramètres de la PLL va nous permettre de réaliser un bloc de simulation sur matlab simulink et ainsi faire la simulation de la PLL dans le chapitre suivant.

Dans ce type de configuration de la PLL, nous supposons que les tensions du réseau sont équilibrées, et utilisées comme entrées dans la PLL et une fois contrôlées, sa sortie correspond à l'angle de phase de l'une des trois phases. Une fois ce dernier est détecté, nous faisons un décalage de 120° pour chacune des deux autres phases.

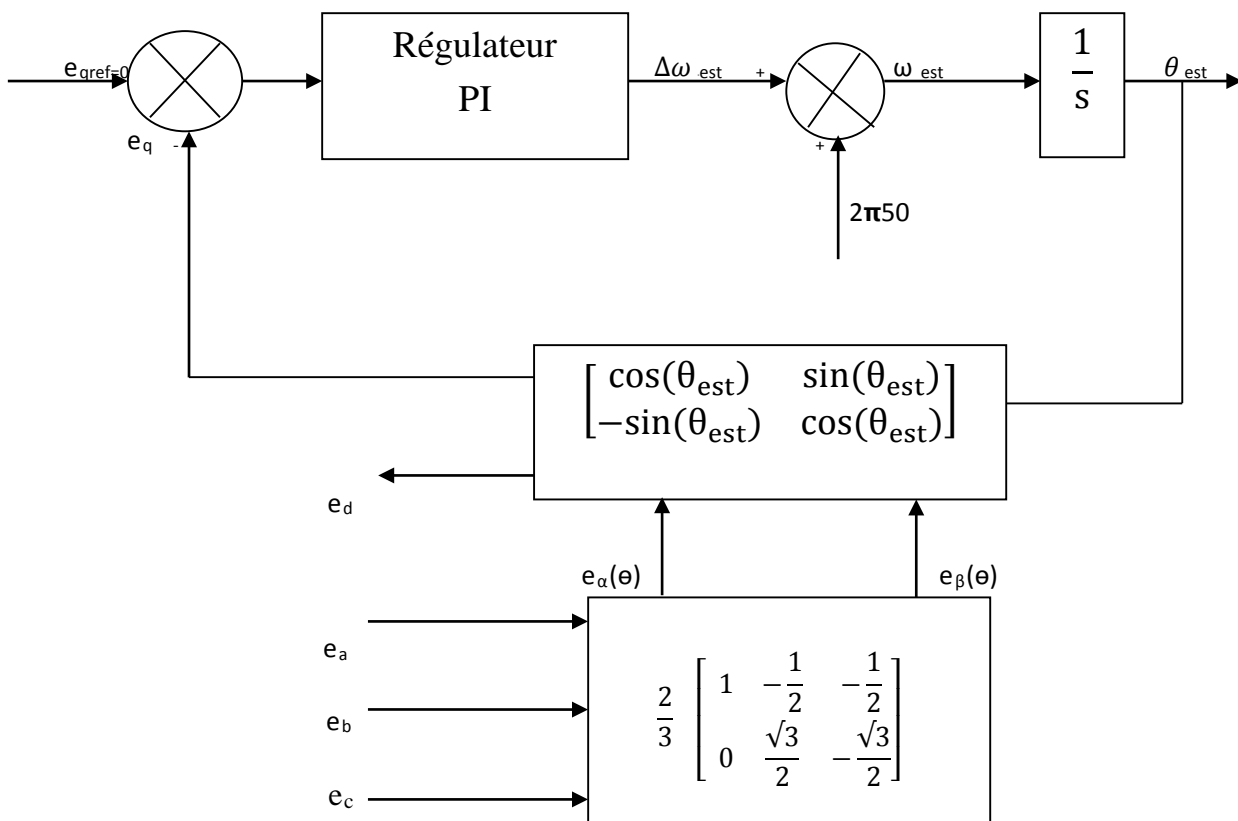


Figure II.1 : PLL conventionnelle pour l'estimation de l'amplitude, la fréquence et de l'angle de phase du vecteur de tension réseau. [13]

La condition nécessaire pour assurer le bon fonctionnement de cette PLL est que le système de tension, sur lequel on désire synchroniser soit sinusoïdal et équilibré. En cas de présence de déséquilibre ou de déformation sur les tensions du réseau à l'entrée de la PLL, des oscillations apparaissent sur ω_{est} et se traduisent par une variation de fréquence du réseau autour de 50Hz. Le schéma de principe du système à base de PLL est représenté sur la figure (II.1).

II.1. Transformation de Clarke

Cette transformation permet de passer du repère $(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c})$ vers le repère stationnaire (α, β) . Ce qui conduit à suivre l'angle de phase des signaux triphasés (e_a, e_b, e_c) .

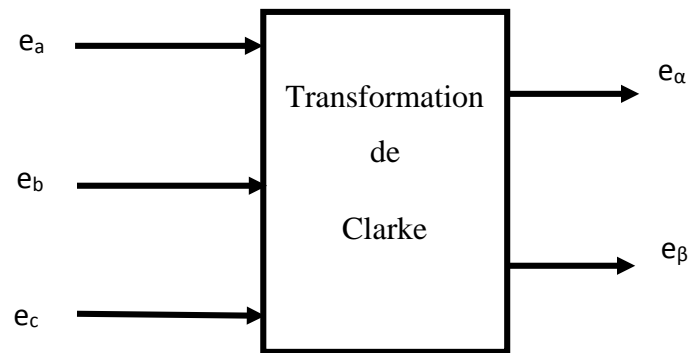


Figure II.2 : Bloc transformation de Clarke

Dans le cas d'un système équilibré, la tension du système triphasé s'exprime de la manière suivante:

$$e_a = E_m \cos(\omega t) \quad (\text{II.1})$$

$$e_b = E_m \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (\text{II.2})$$

$$e_c = E_m \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (\text{II.3})$$

Où ωt est l'angle de phase θ qui est égale à $(2\pi ft)$.

E_m : L'amplitude maximale de la tension simple.

II.1.1. Matrice de Clarke

La matrice de transformée de Clarke $\alpha\beta$ est donnée par l'équation suivante :

$$T_{\alpha\beta} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

$$\begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} = [T_{\alpha\beta}] \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

$$\begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

$$\begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_m \cos \theta \\ E_m \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \\ E_m \cos \left(\theta - \frac{4\pi}{3} \right) \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

$$\begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} E_m \begin{bmatrix} \cos \theta - \frac{1}{2} \left[\cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \\ 0 + \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) - \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right] \end{bmatrix} \quad (\text{II.8})$$

Comme on a un système équilibré et sinusoïdale, donc

$$e_a + e_b + e_c = 0 \quad \Rightarrow \quad e_b + e_c = -e_a \quad (\text{II.9})$$

$$e_\alpha = \frac{2}{3} \left[e_a - \frac{1}{2} (-e_a) \right] = \frac{2}{3} \left[e_a + \frac{1}{2} e_a \right] \quad (\text{II.10})$$

$$= \frac{2}{3} \left[\frac{3}{2} e_a \right] = e_a$$

$$\Rightarrow e_\alpha = e_a \quad (\text{II.11})$$

$$e_\beta = \frac{2}{3} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} (e_c - e_b) \right] \quad (\text{II.12})$$

$$\Rightarrow e_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} (e_c - e_b) \quad (\text{II.13})$$

Ce qui nous permet d'écrire :

$$e_{\alpha\beta} = T_{\alpha\beta} \times T_{abc} = \begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_m \cos \theta \\ E_m \sin \theta \end{bmatrix} \quad (\text{II.13})$$

Les deux signaux (e_α, e_β) transportent des informations uniquement sur l'angle de phase de l'une des trois phases (e_a, e_b, e_c).

II.1.2. Transformation de PARK

Les équations de Park permettent de synchroniser des systèmes équilibrés avec un système de référence dq.

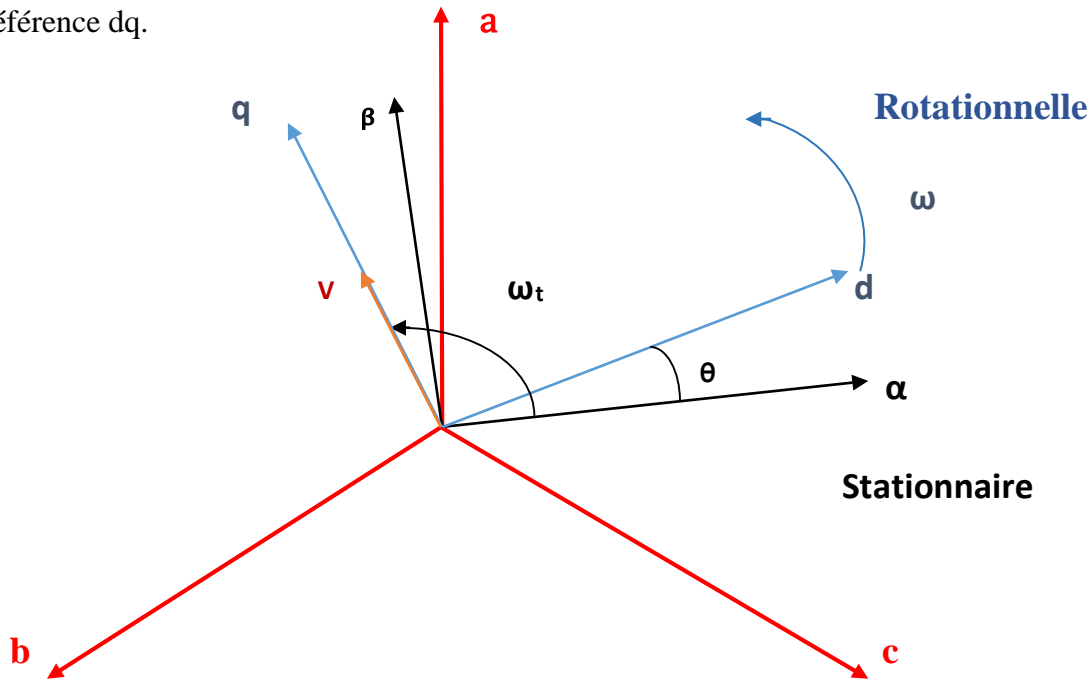


Figure II.3 : Repère synchrone de référence tournant

La transformation de Park renvoie des systèmes équilibrés de tensions.

$$\begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} = R(\theta) \begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (\text{II.15})$$

$$\begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

$$\begin{cases} e_d = e_\alpha \cos \theta + e_\beta \sin \theta \\ e_q = -e_\alpha \sin \theta + e_\beta \cos \theta \end{cases} \quad (\text{II.17})$$

Linéarisation:

L'approximation $\sin(\Delta\theta) \approx \Delta\theta$ si $\Delta\theta \rightarrow 0$.

$$e_d = E_m \left[\cos \theta * \cos \theta_{\text{est}} + \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \theta * \sin \frac{2\pi}{3} * \sin \theta_{\text{est}} \right] \quad (\text{II.18})$$

$$= E_m [\cos \theta * \cos \theta_{\text{est}} + \sin \theta * \sin \theta_{\text{est}}]$$

$$e_d = E_m \cos(\theta - \theta_{\text{est}})$$

$$\Rightarrow e_d = E_m \quad (\text{II.19})$$

$$e_q = -E_m \left[\cos \theta * \sin \theta_{\text{est}} + \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \theta * \sin \frac{2\pi}{3} * \cos \theta_{\text{est}} \right] \quad (\text{II.20})$$

$$e_q = -E_m [\cos \theta * \sin \theta_{\text{est}} + \sin \theta * \cos \theta_{\text{est}}]$$

$$e_q = -E_m [\sin(\theta - \theta_{\text{est}})]$$

$$\Rightarrow e_q = 0 \quad (\text{II.21})$$

L'angle de cette rotation θ_{est} est calculé par intégration de la pulsation estimée ω_{est} du réseau, obtenu par un régulateur PI. La pulsation ω_{est} du repère tournant doit être identique à la pulsation ω des tensions e_{abc} , l'amplitude de la grandeur asservie e_d détermine ainsi le déphasage entre la valeur efficace E et $\sin(\omega_{\text{est}})$. La différence de phase sera contrôlée en agissant sur $e_{d,\text{ref}}$. La PLL sera verrouillée lorsque l'angle estimé θ_{est} sera égale à l'angle réel θ , cette condition sera réalisée si $e_{q,\text{ref}}$ est nulle.

$$\Rightarrow \begin{cases} e_d = E_m \\ e_q = 0 \end{cases} \quad (\text{II.22})$$

Pour synthétiser le régulateur de la PLL, on se base sur un modèle linéaire pour des faibles variations d'angle (θ).

L'approximation $\sin(\Delta\theta) \approx \Delta\theta$ si $\Delta\theta \rightarrow 0$, conduit alors au modèle présenté sur la figure (II.4) qui permet une synthèse aisée du correcteur placé dans cette boucle.

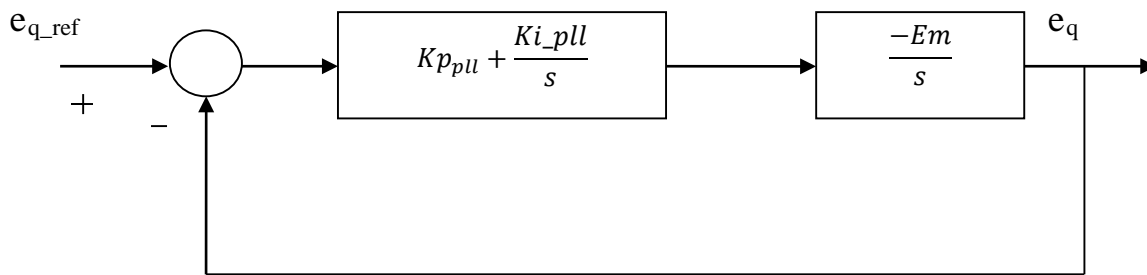


Figure II.4 : Modèle des paramètres du régulateur

II.2. Synthèse des paramètres du régulateur

La fonction de transfert en boucle ouverte :

$$H_{\text{bo_PLL}} = \frac{K_{i\text{PLL}} + K_{p\text{PLL}} * s}{s^2} (-E_m) \quad (\text{II.23})$$

La fonction de transfert en boucle fermée :

$$H_{bf_PLL} = \frac{-E_m K_{iPLL} - E_m K_{pPLL} * s}{s^2 - E_m K_{pPLL} * s - E_m K_{iPLL}} \quad (II.24)$$

La détermination des coefficients K_{iPLL} et K_{pPLL} du correcteur s'effectue par l'identification de la fonction de transfert en boucle fermée à un second ordre (placement de pôle)

Avec :

$$s^2 + 2z\omega_n * s + \omega_n^2 \quad (II.25)$$

$$K_{iPLL} = \frac{\omega_n^2}{E_m} \quad ; \quad K_{pPLL} = -\frac{2z\omega_n}{E_m}$$

Z	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$\omega_n \cdot t_{rv}$	14	10.1	7.7	5.3	5.2	3	3.4	4	4.8

Tableau II.1 : Calcul des coefficients en fonction de l'amortissement [16]

Nous fixons le coefficient d'amortissement à 1, à partir de tableau (II.1) on détermine la valeur de la pulsation naturelle ω_n et nous choisissons un temps de réponse en boucle fermée égale à 10ms. Nous obtenons donc les coefficients des paramètres du régulateur en fonction du temps de réponse :

$$K_{iPLL} = \frac{-4.8}{E_m * t_{rv}^2} \quad ; \quad K_{pPLL} = -\frac{2z\omega_n}{E_m}$$

$$K_{iPLL} = -2.96 * 10^3 \quad ; \quad K_{pPLL} = -12.34$$

Conclusion

L'utilisation de la PLL conventionnelle sert à connecter les convertisseurs au réseau électrique.

Le calcul des paramètres du régulateur nous permet de réaliser la boucle de synchronisation et cela dans le but d'obtenir la phase et l'amplitude de la tension instantanée.

Dans ce chapitre nous avons étudié la modélisation de la PLL conventionnelle dans les différents repères, en premier lieu nous avons passé du repère (a, b, c) au repère ($\alpha\beta$) avec la méthode de CLARKE, et en deuxième lieu nous avons passé du repère ($\alpha\beta$) au repère (dq) par la méthode de PARK qui nous a permis de réaliser le bloc de simulation de la PLL.

Les résultats de la simulation de la PLL conventionnelle et les interprétations seront proposés dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Simulation de la PLL

Introduction

Après avoir fait la modélisation et mise en équation tout les parametres de la PLL (boucle a verouillage de phase) et du régulateur PI (Proportionnel Intégral), on a implimenté et on a réalisé le schéma de la simulation sur Matlab Simulink.

Dans ce chapitre on va faire la simulation de la PLL avec et sans application des défauts au niveau de la tension d'entrée puis on discute les résultats de la simulation de la PLL obtenus.

En effet en premier lieu on va faire simuler la PLL sous des conditions normales de réseau, et en dexieme lieu on va appliquer des perturbations qui peuvent aparaitre dans les réseaux électriques et on va constater le comportement de la PLL sous ces perturbations on relevant les courbes des tensions, des angles de phase et les frequences dans les conditions de simulation.

❖ Paramètres de simulation

Période d'échantillonnage $T = 10^{-4}$ s.

Méthode de résolution numérique Runge-kutta d'ordre 4.

III.1. Schéma de simulation sur Matlab simulink

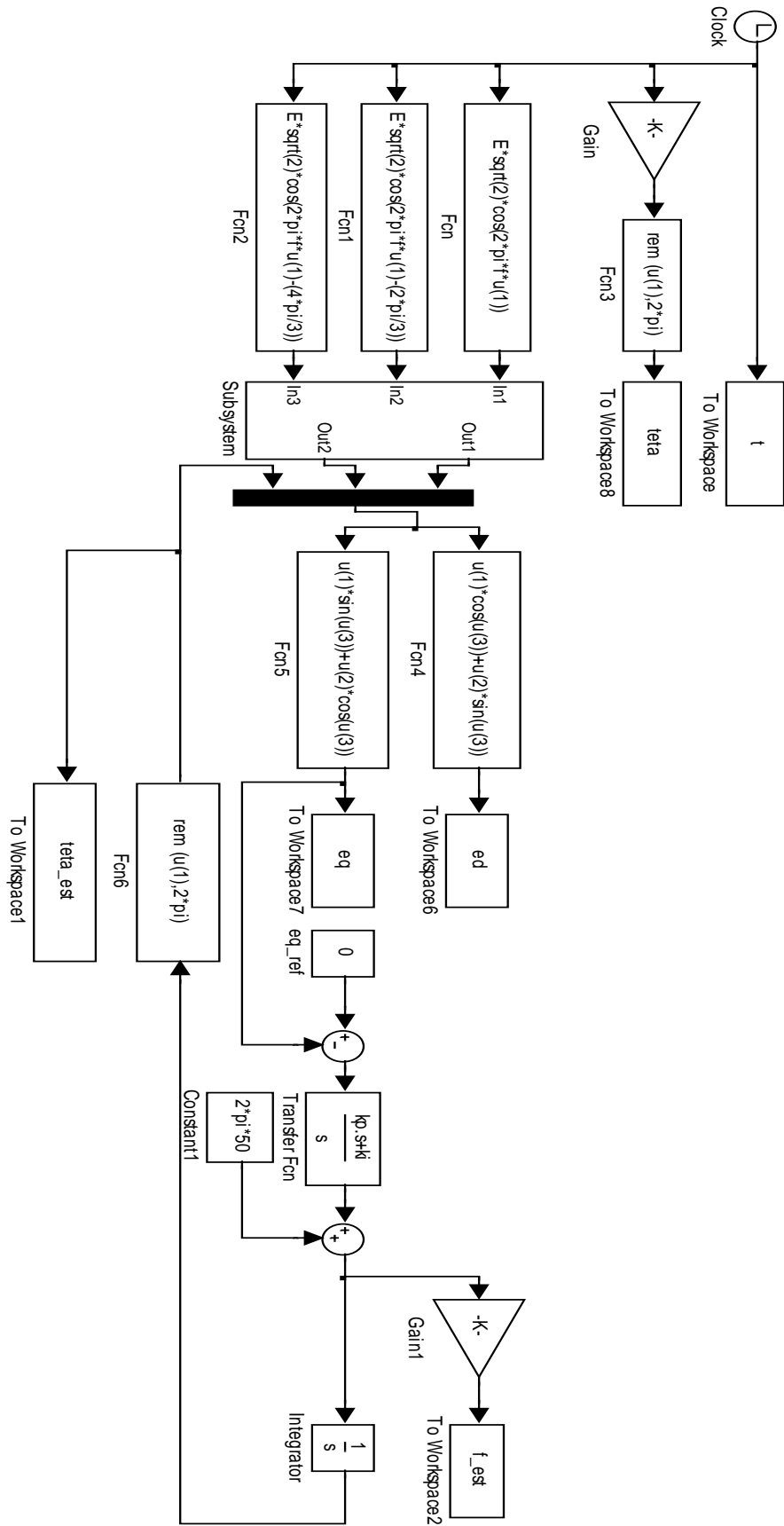


Figure III.1 : Bloc de simulation

III.2. Simulation du comportement de la PLL pour un réseau fonctionnant dans des conditions idéales

Pour tenir compte des conditions régissant un réseau idéal, trois signaux sinusoïdaux échantillonnés idéaux sont générés selon Matlab pour être utilisés comme sources d'entrées dans le programme Matlab-Simulink que nous avons développé.

Chacun de ces signaux a une fréquence fixe de 50 Hz et une tension ayant une amplitude fixée à 77.78V et un déphasage entre eux de 120° comme le montre la figure (III.2)

III.2.1. Résultats de la simulation

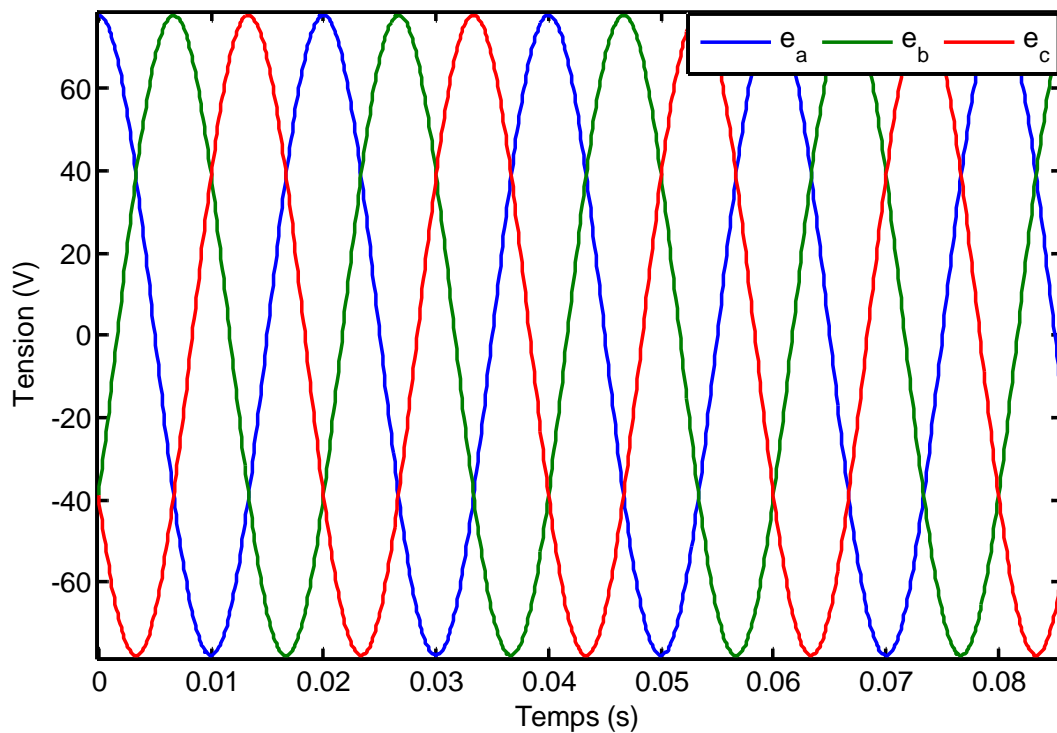


Figure III.2 : Tension réelle du réseau (e_a , e_b , e_c).

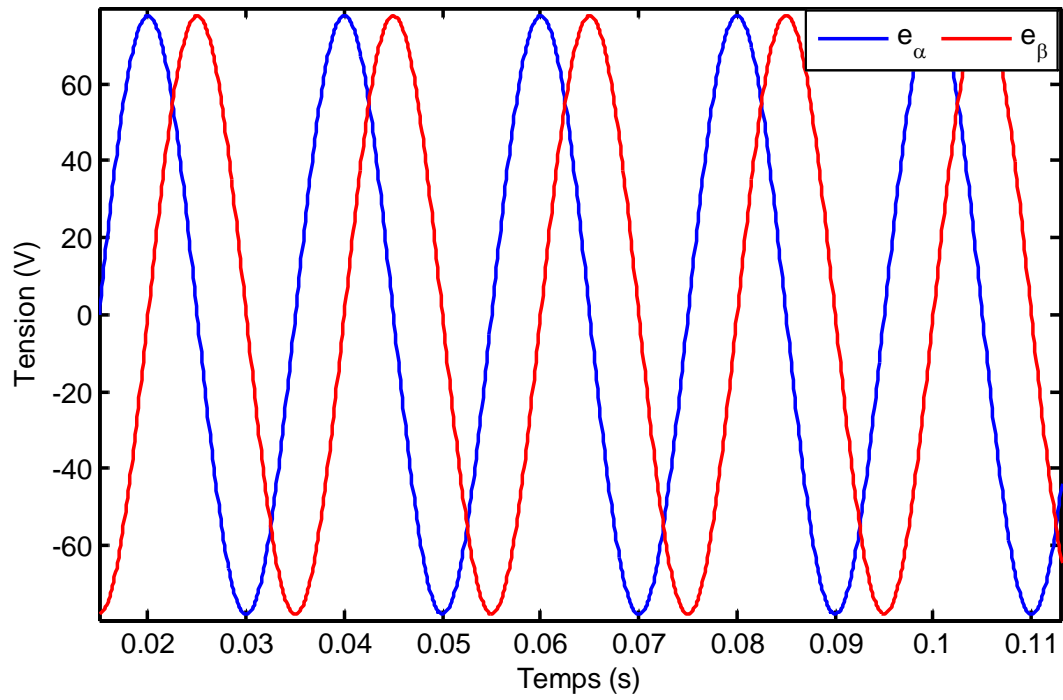


Figure III.3 : Tension réelle du réseau dans le repère $\alpha\beta$ (e_α, e_β).

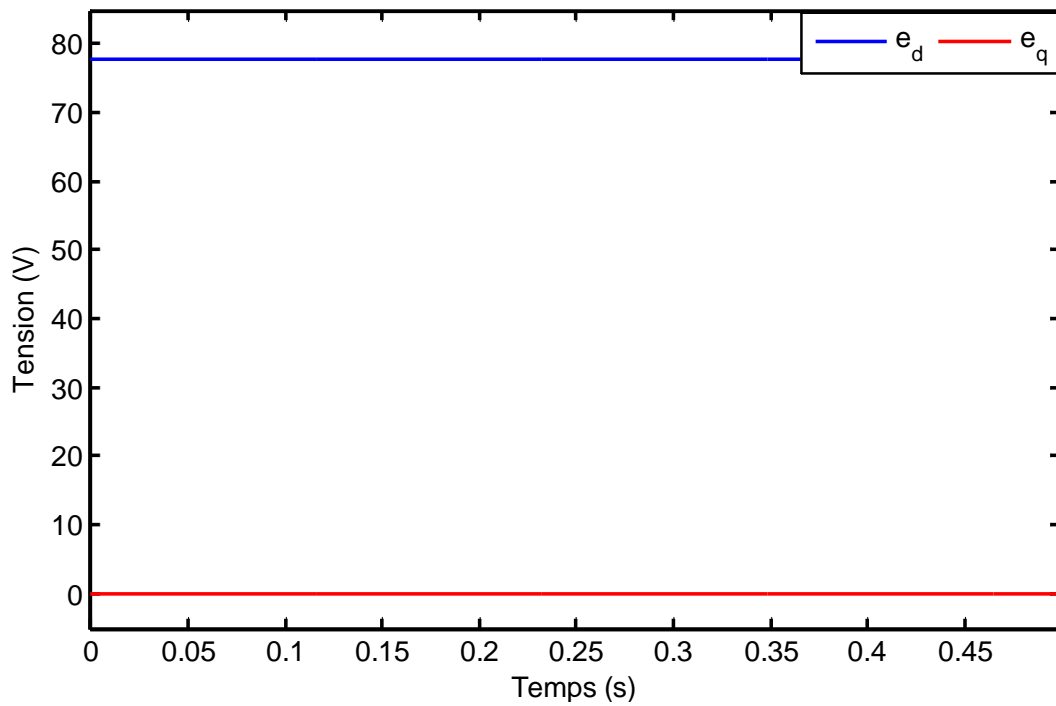


Figure III.4 : Tension réelle du réseau dans le repère dq (e_d, e_q)

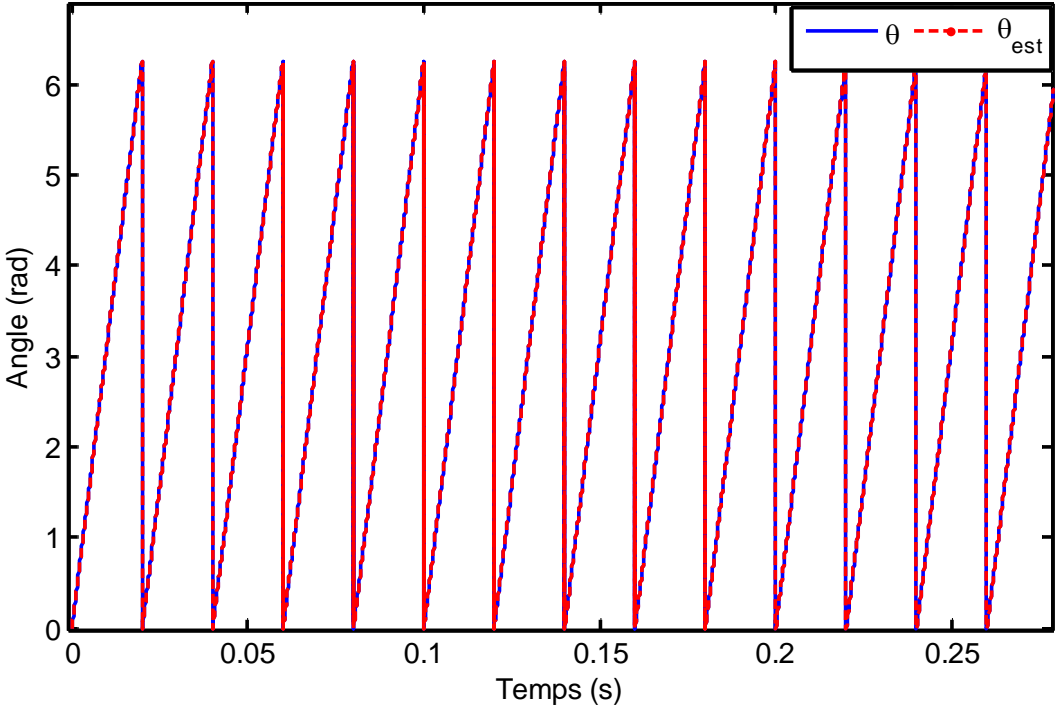


Figure III.5 : Angles de phase mesuré et estimé (θ, θ_{est})

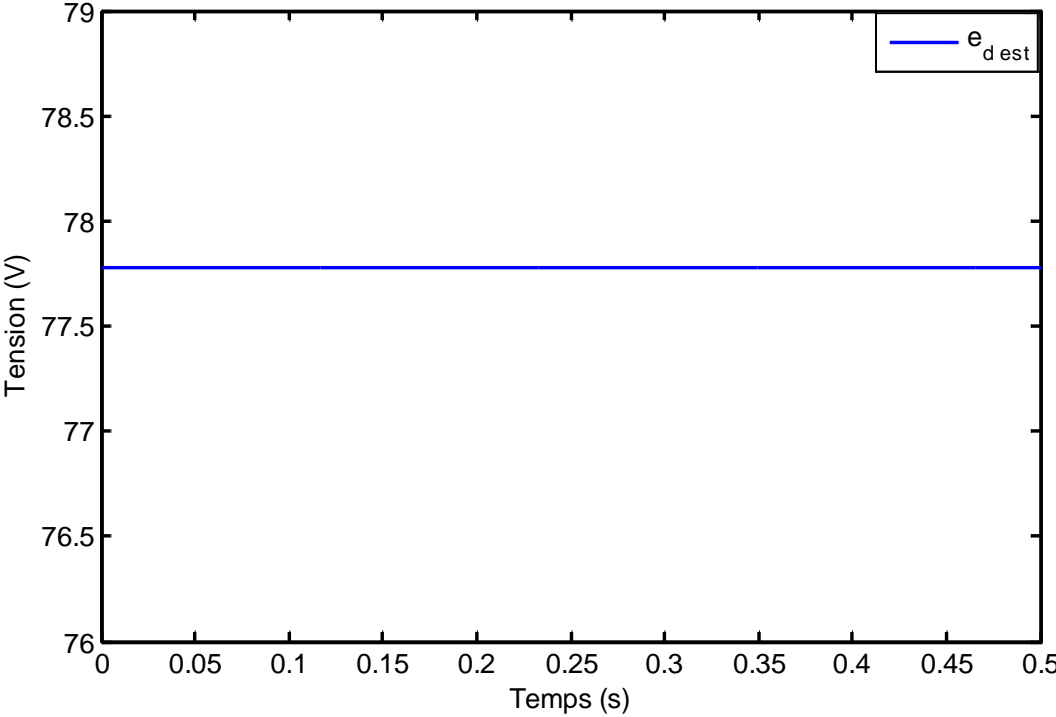


Figure III.6 : Tension du réseau d'axe directe estimé (e_{d_est})

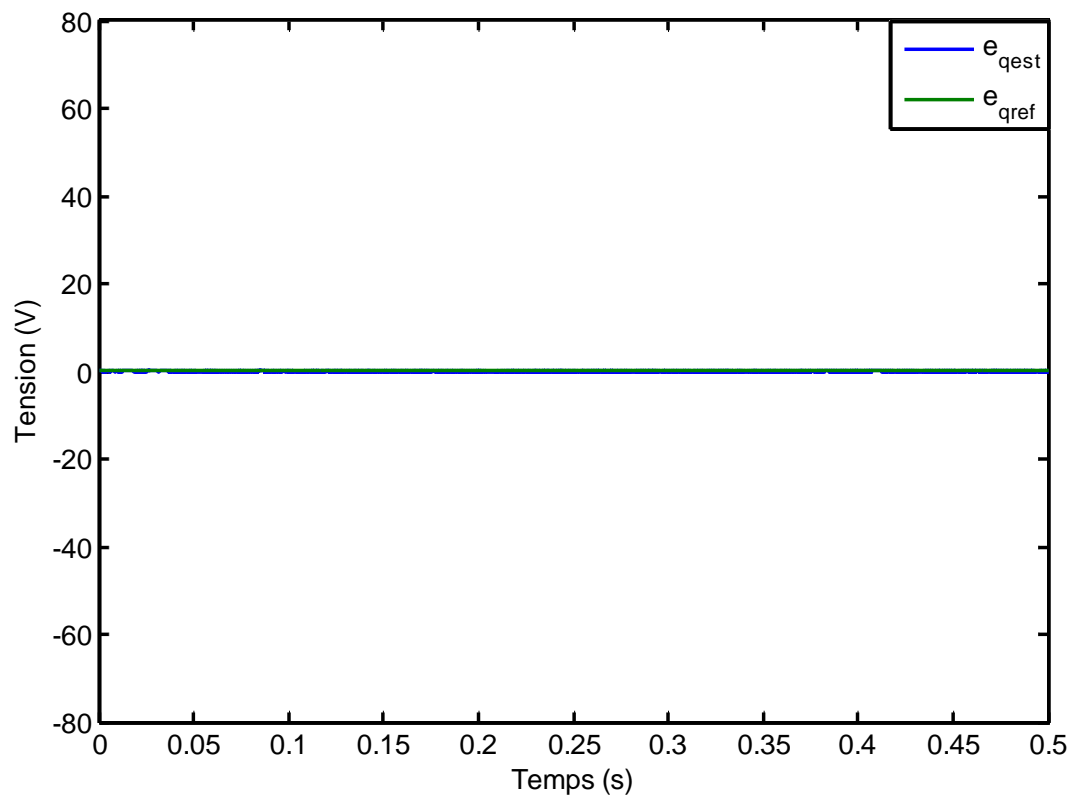


Figure III.7 : Tension du réseau d'axe quadruple(e_{q-est})

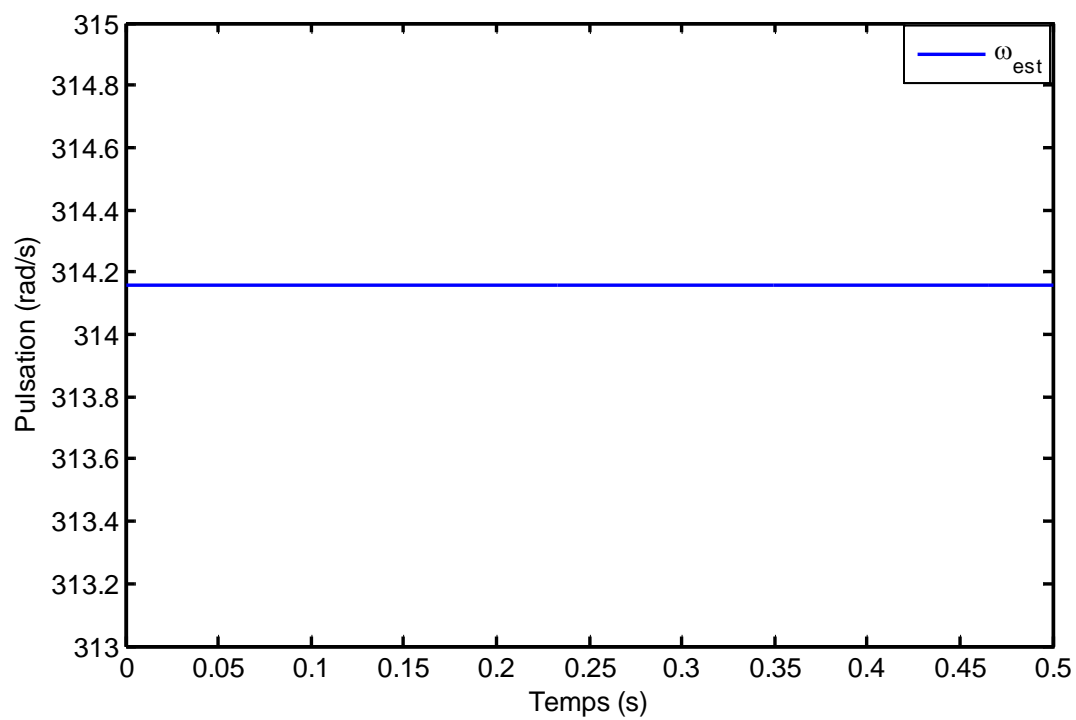


Figure III.8 : Pulsation de phase estimée (ω_{est})

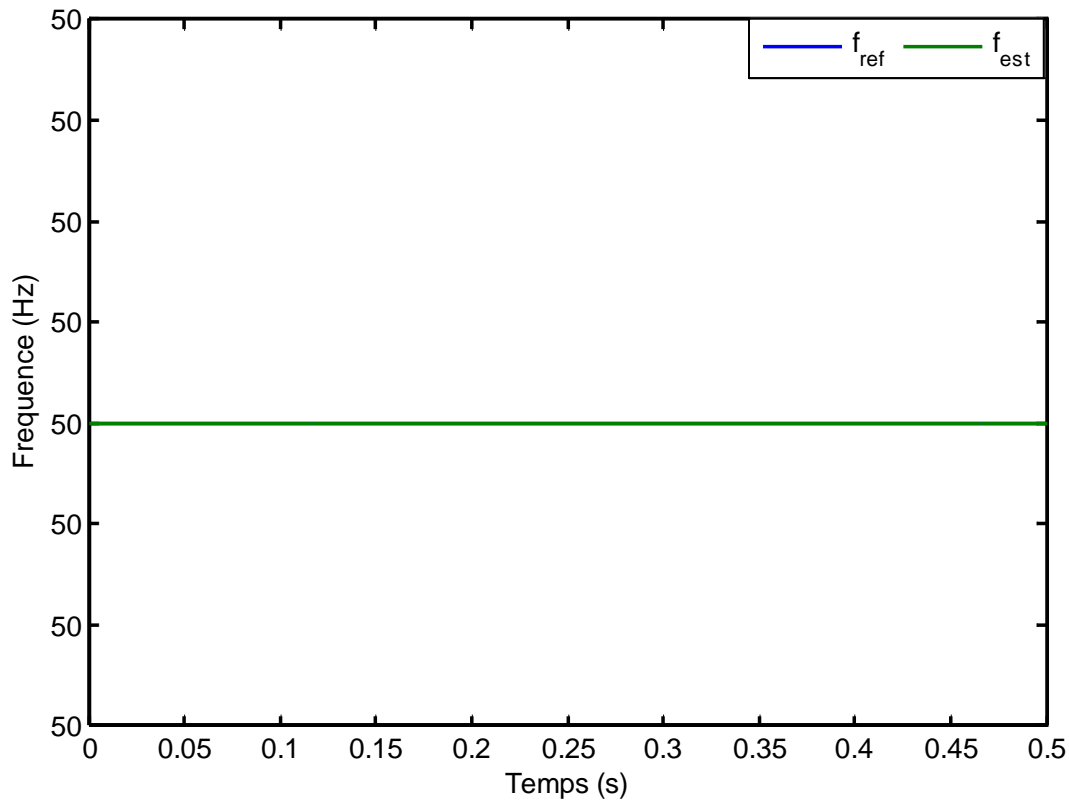


Figure III.9 : Fréquence estimée (Hz)

III.2.2. Interprétation des résultats obtenus

La figure (III.3) montre l'allure des tensions e_α , e_β , la figure (III.4) montre que la tension est orientée suivant l'axe (d) et son amplitude est fixée à 77.78 V, la figure (III.5) montre que la phase instantanée est bien estimée ce qui donne une bonne synchronisation des variables d'entrées système et la figure (III.9) montre que la fréquence est fixée à 50 Hz.

III.3. Simulation du comportement de la PLL pour un réseau fonctionnant dans des conditions non idéales

Dans cette partie, nous avons simulé le comportement de la PLL pour plusieurs conditions non idéales du réseau électrique, qui peuvent surgir dans les conditions réelles de son fonctionnement. Il s'agit des cas où elle subit:

- Variation d'amplitude de la tension d'une phase.
- Variation d'amplitude de la tension de deux phases.
- Variation d'amplitude de la tension aux bornes des trois phases.
- Saut de phase.
- Variation de fréquence.
- Présence d'harmoniques.

- Bruit de mesures.

Dans ce qui suit, on présente les résultats obtenus par simulation pour chacune des conditions retenues.

III.3.1. Effet de variation d'amplitude d'une phase

Dans cette étude on va appliquer une chute de tension de la première phase (e_a) de 25%, on va voir le comportement de la PLL sous cette perturbation.

III.3.1.1. Résultats de la simulation

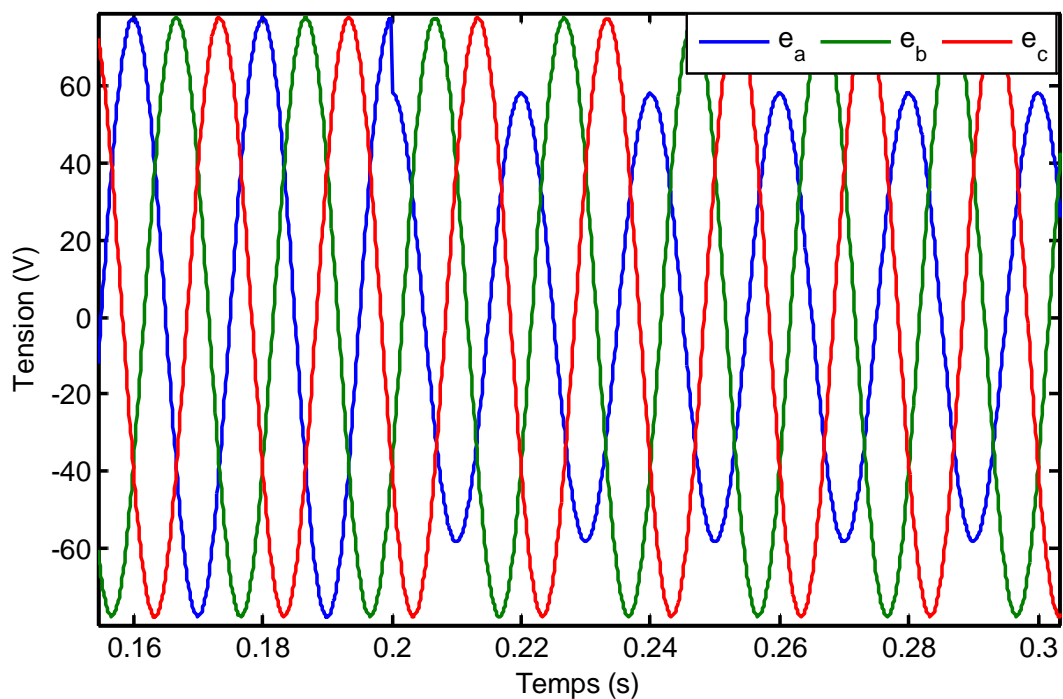


Figure III.10 : Tension du réseau sous une perturbation d'une phase

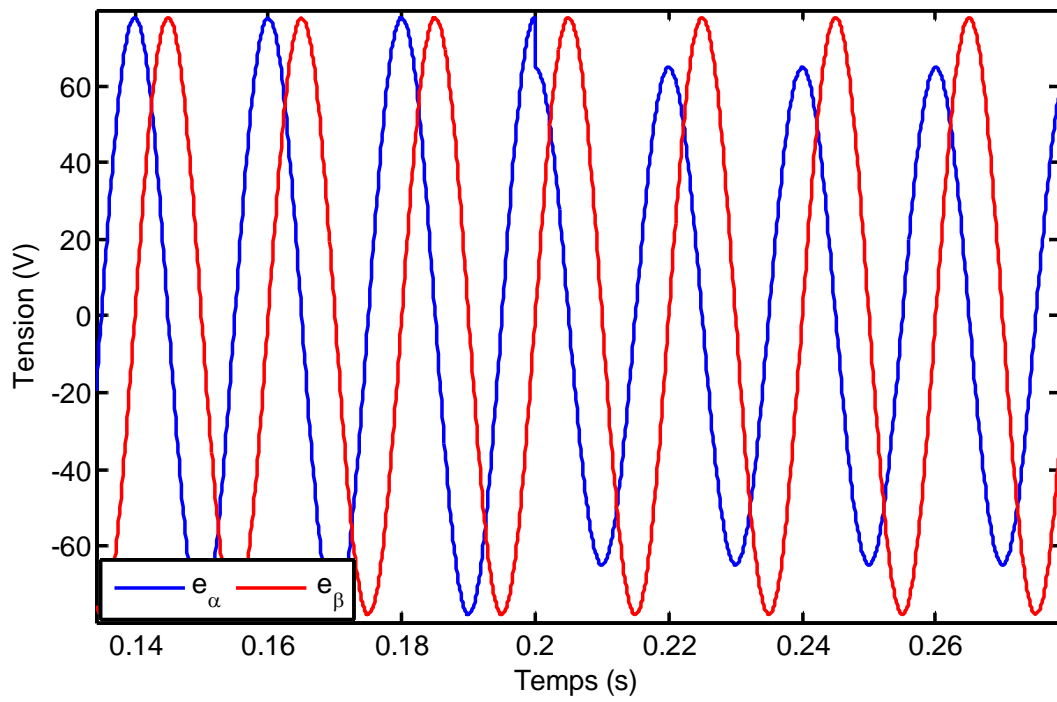


Figure III.11 : Tension de réseau sous perturbation d’une phase dans le repère $\alpha\beta$ (e_α, e_β)

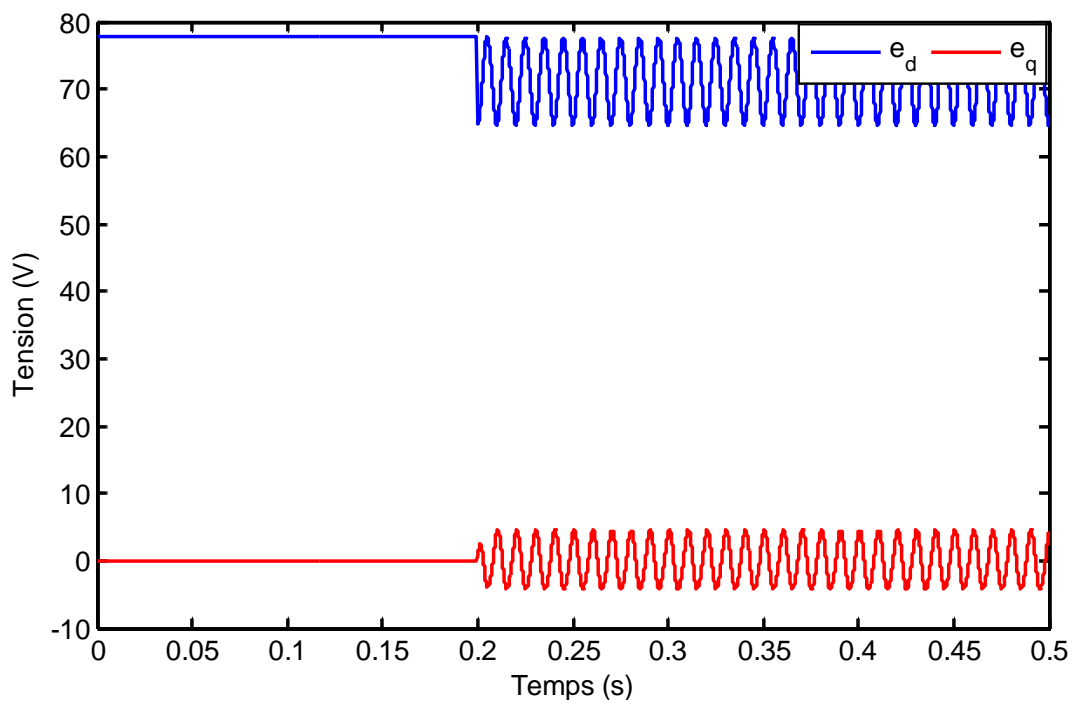


Figure III.12 : Tension du réseau sous une perturbation d’une phase dans le repère dq

(e_d, e_q)

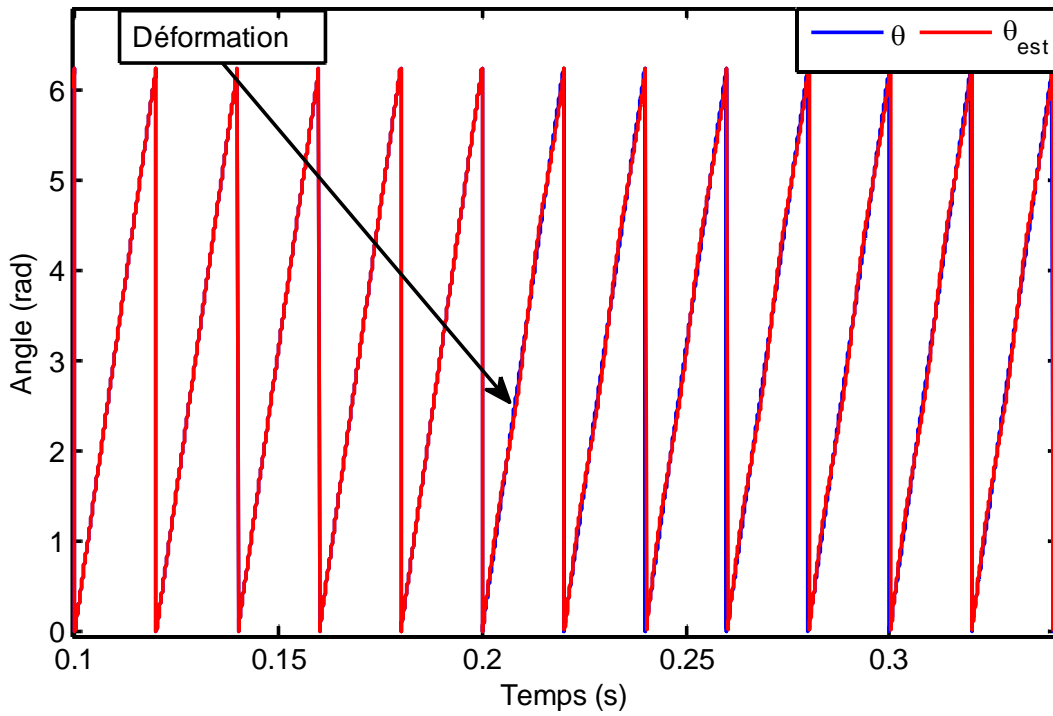


Figure III.13 : Angle de phase mesuré et estimé (θ, θ_{est})

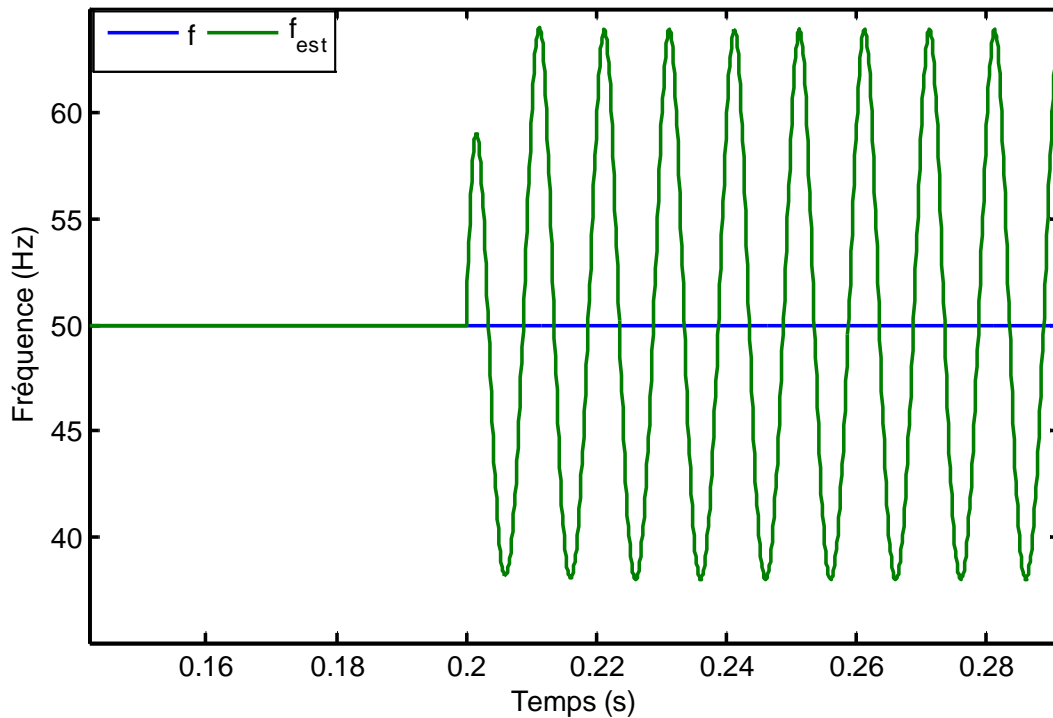


Figure III.14 : Fréquence estimé (Hz)

III.3.1.2. Interprétation des résultats

A l’instant ($t = 0.2$ s), on voit la chute de tension sur la premier phase e_a comme sur la figure (III.10) et on a la même chute de tension sur la figure (III.11) qui concerne la tension e_a .

On constate aussi des oscillations importantes sur les tensions (e_d , e_q) fournies par la PLL et la fréquence estimée comme sur les figures (III.12, 14) et on a aussi des déformations au niveau de l'angle de phase (θ_{est}) comme sur la figure (III.13).

III.3.2. Effet d'une variation d'amplitude de deux phases

Dans cette étude on va appliquer une chute de tension de deux phases (e_a , e_b) de 25%, on va voir le comportement de la PLL sous cette perturbation.

III.3.2.1. Résultats de la simulation

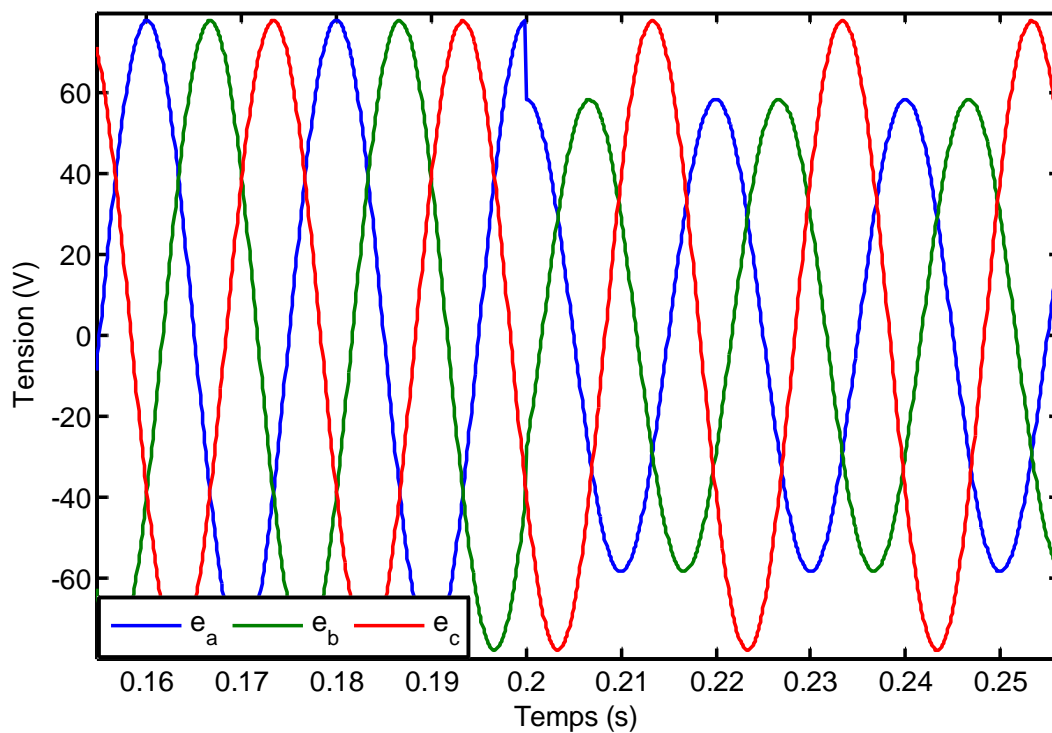


Figure III.15 : Tension du réseau sous une perturbation de deux phases (e_a , e_b)

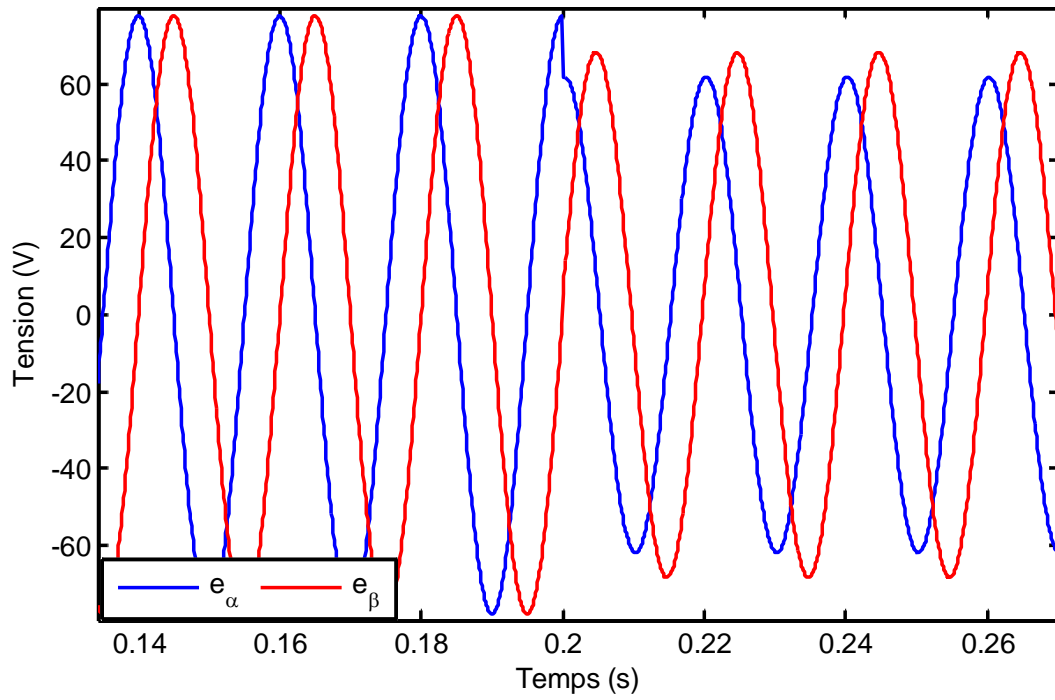


Figure III.16 : Tension de réseau sous une perturbation de deux phases dans le repère $\alpha\beta$
(e_α, e_β)

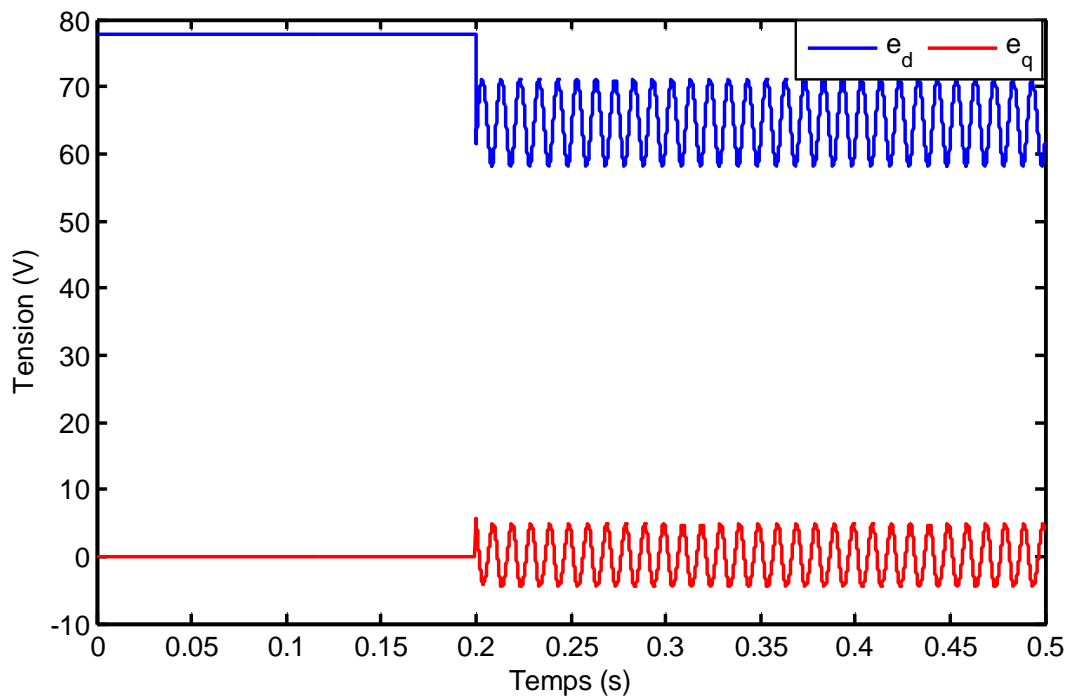


Figure III.17 : Tension du réseau sous une perturbation de deux phases dans le repère dq
(e_d, e_q)

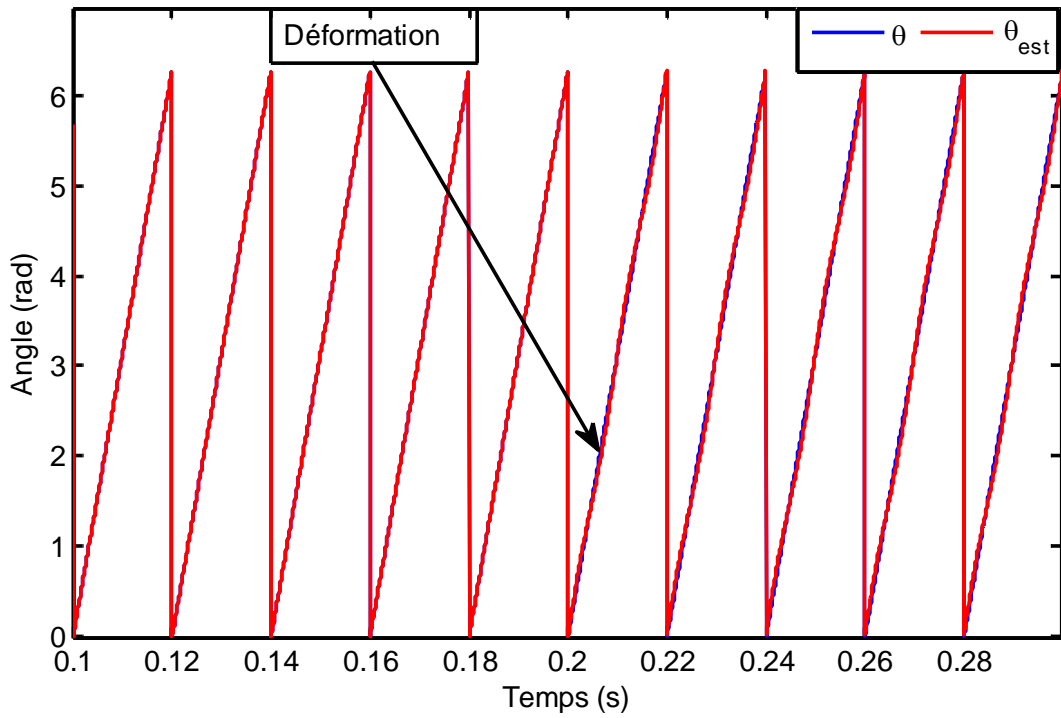


Figure III.18 : Angle de phase mesuré et estimé (θ , θ_{est})

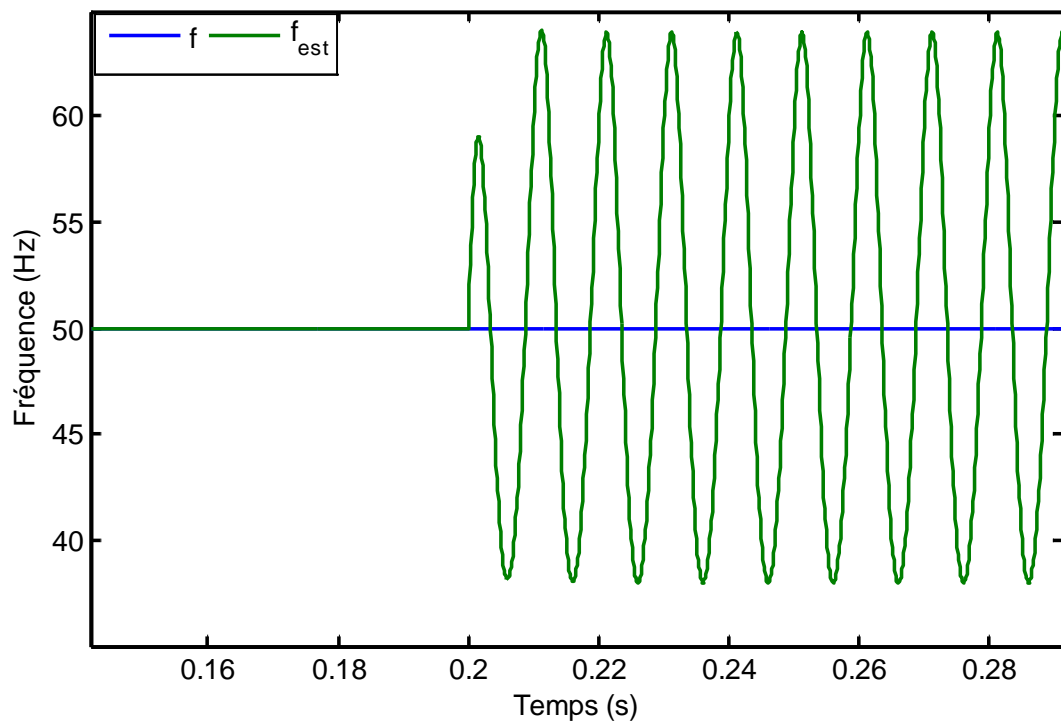


Figure III.19 : Fréquence estimée (f_{est})

III.3.2.2. Interprétation des résultats

A l'instant ($t = 0.2s$), on voit la chute de tension sur les deux phases (e_a, e_b) comme sur la figure (III.15) et on a aussi une chute de tension sur la figure (III.16) qui concerne les tensions (e_α, e_β). On constate des oscillations importantes sur les tensions (e_d, e_q) fournies par la PLL et la fréquence estimée comme sur les figures III (17,19) et on a aussi des déformations au niveau de l'angle de phase (θ_{est}) figure (III.18).

III.3.3 Effet d'une variation d'amplitude de la tension

Dans cette étude, la modification de l'amplitude des trois phases envisagée consiste, à ce qu'après $t = 0.2s$, elle subit une chute de tension de 25 % par rapport à la valeur initiale comme le montre la figure (III.20).

III.3.3.1 Résultats de la simulation

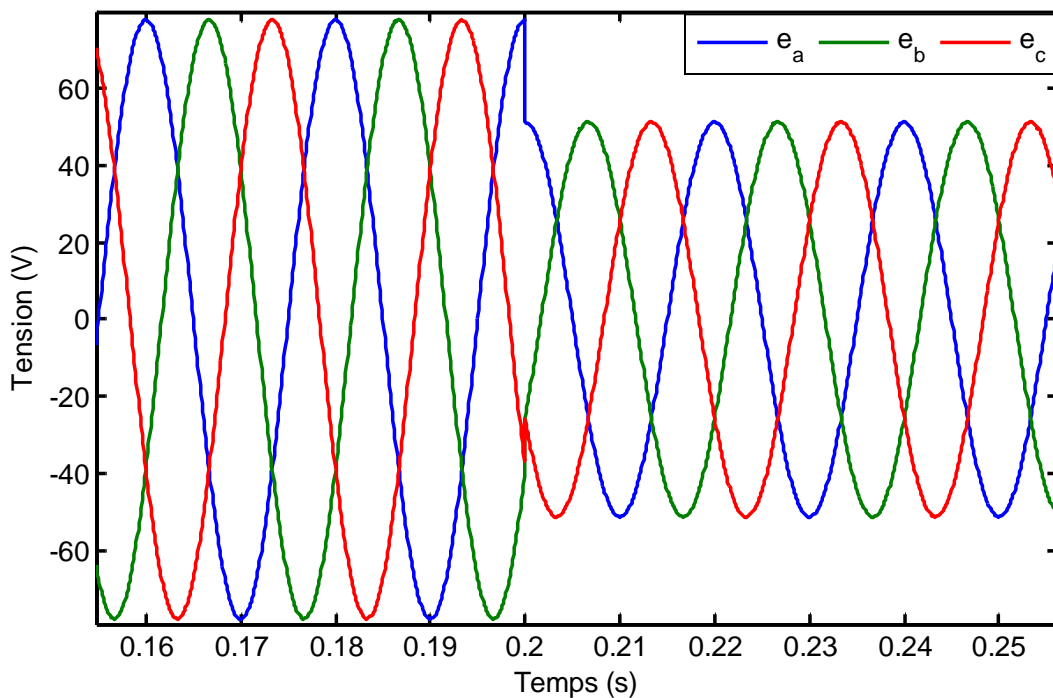


Figure III.20 : Tension du réseau sous une perturbation des trois phases

(e_a, e_b, e_c)

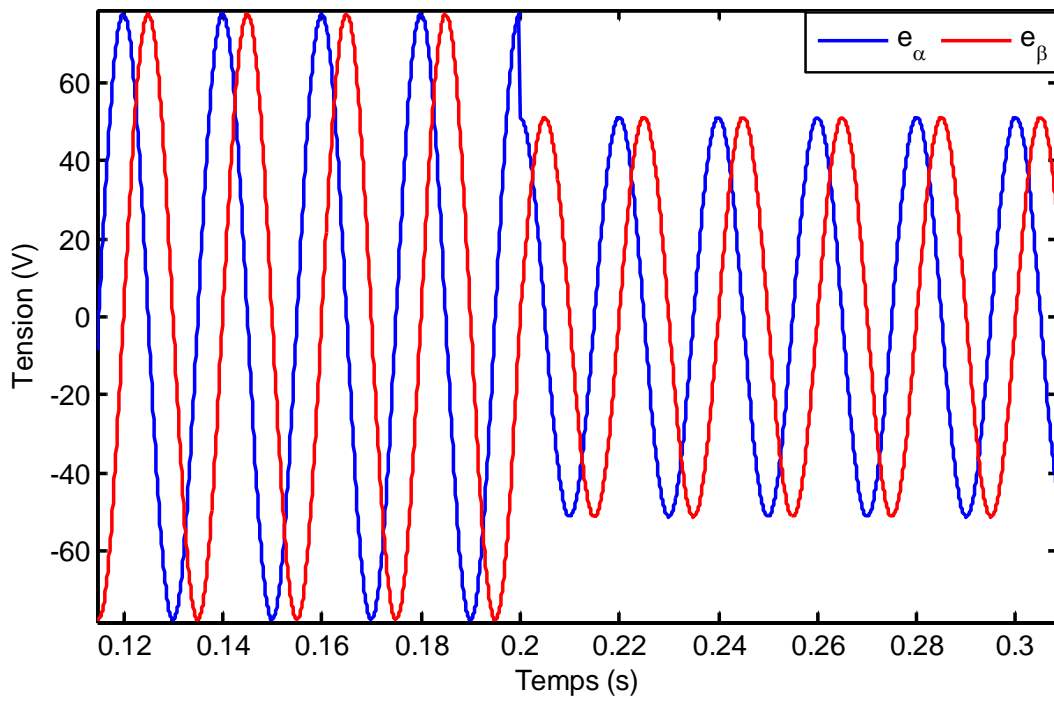


Figure III.21 : Tension de réseau sous une perturbation de trois phases dans le repère $\alpha\beta$

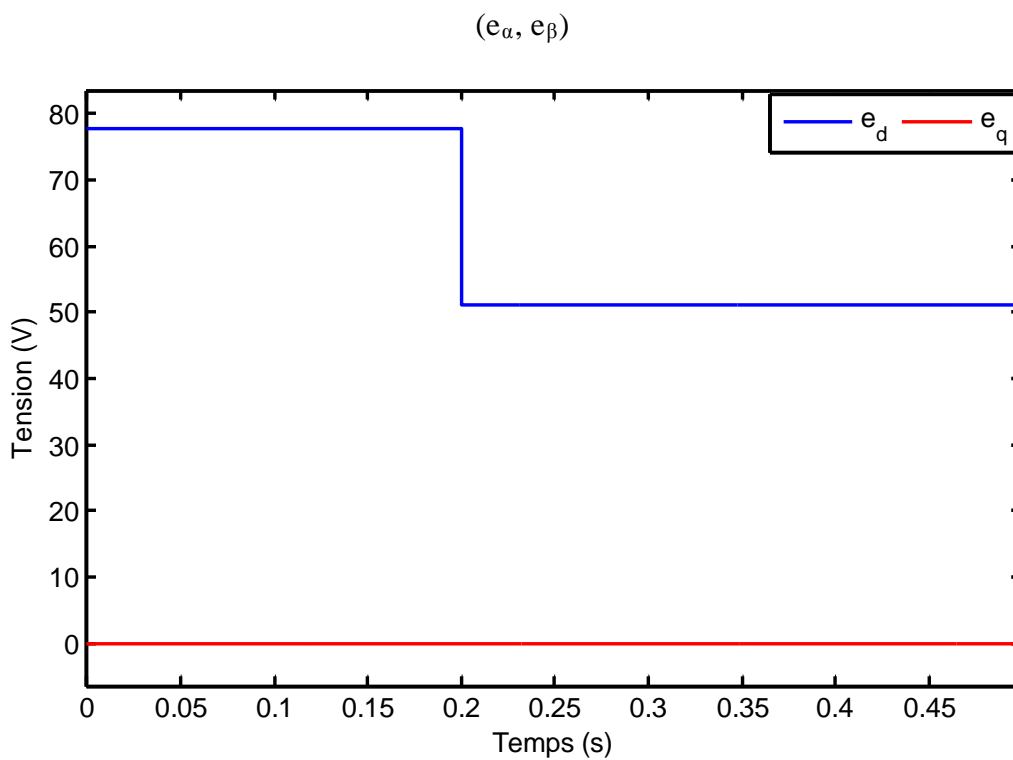


Figure III.22 : Tension du réseau sous une perturbation des trois phases dans le repère dq (e_d, e_q)

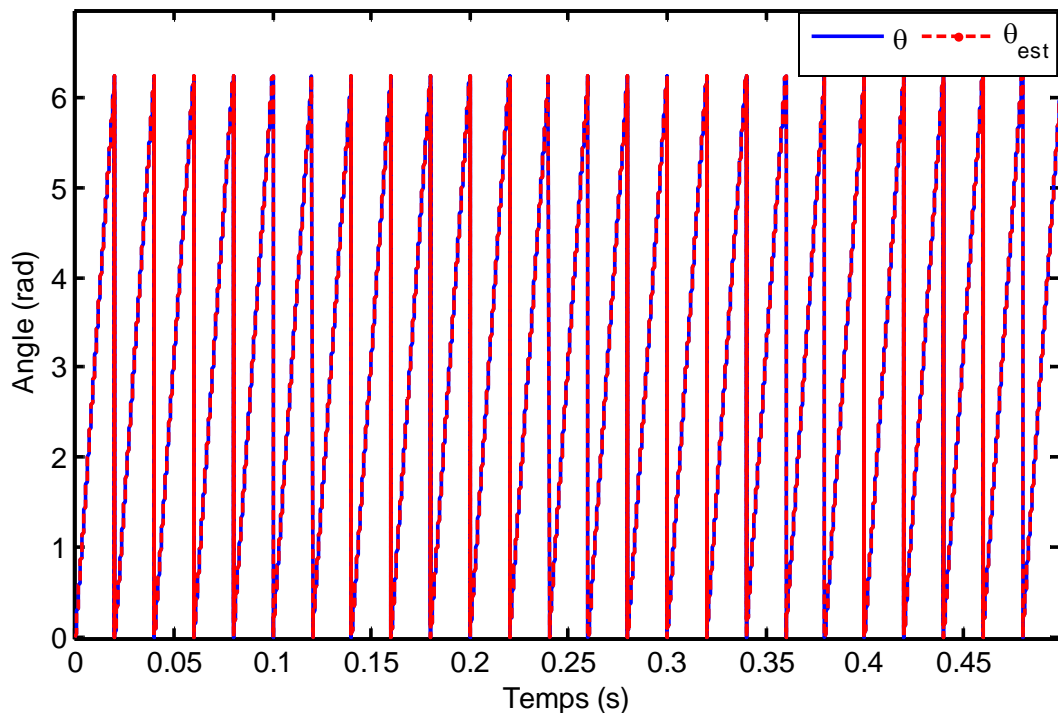


Figure III.23 : Angle de phase (θ , θ_{est})

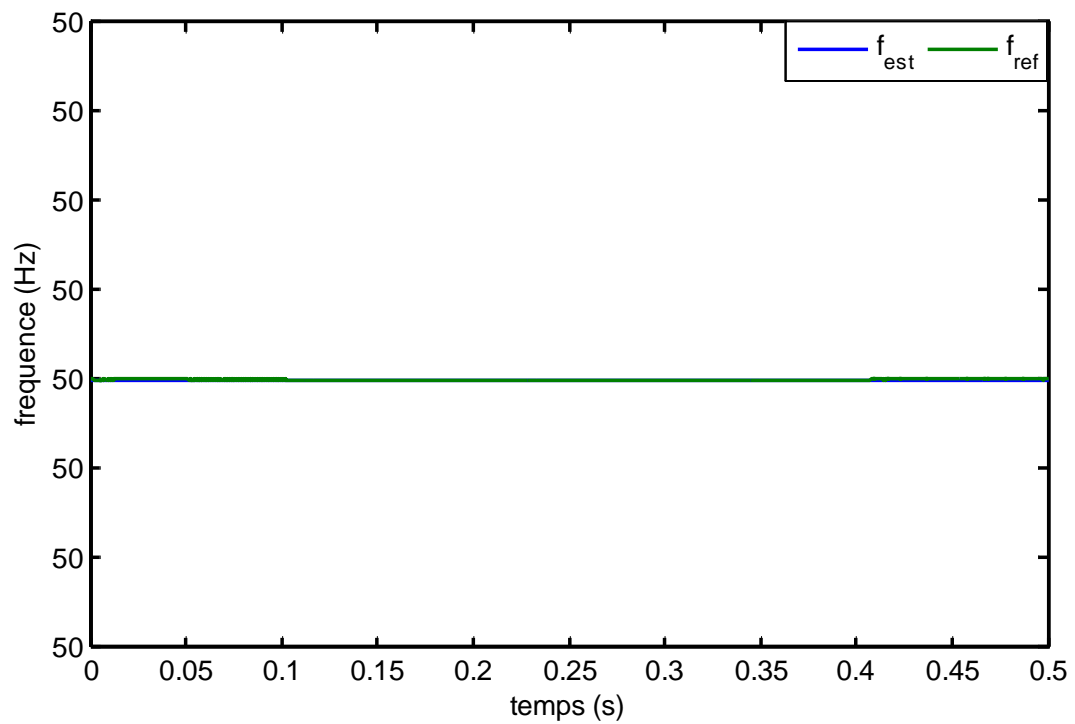


Figure III.24 : Fréquence estimée f_{est} (Hz)

III.3.3.2. Interprétation des résultats

Nous pouvons constater qu'après la variation d'amplitude de la tension d'entrée, la tension e_q , la fréquence estimée (f_{est}), et l'angle de phase estimé (θ_{est}) ne présentent aucun changement par rapport au cas d'un réseau idéal, contrairement à la tension (e_α , e_β) et la tension e_d fournie par la PLL présente une chute de tension de 25% comme le montre respectivement les figures (III.21, 22).

III.3.4. Saut de phase

On applique un saut de phase de $(\pi/4)$ à l'instant ($t = 0.2$ s), et on va constater le comportement de la PLL sous cette perturbation.

III.3.4.1. Résultats de la simulation

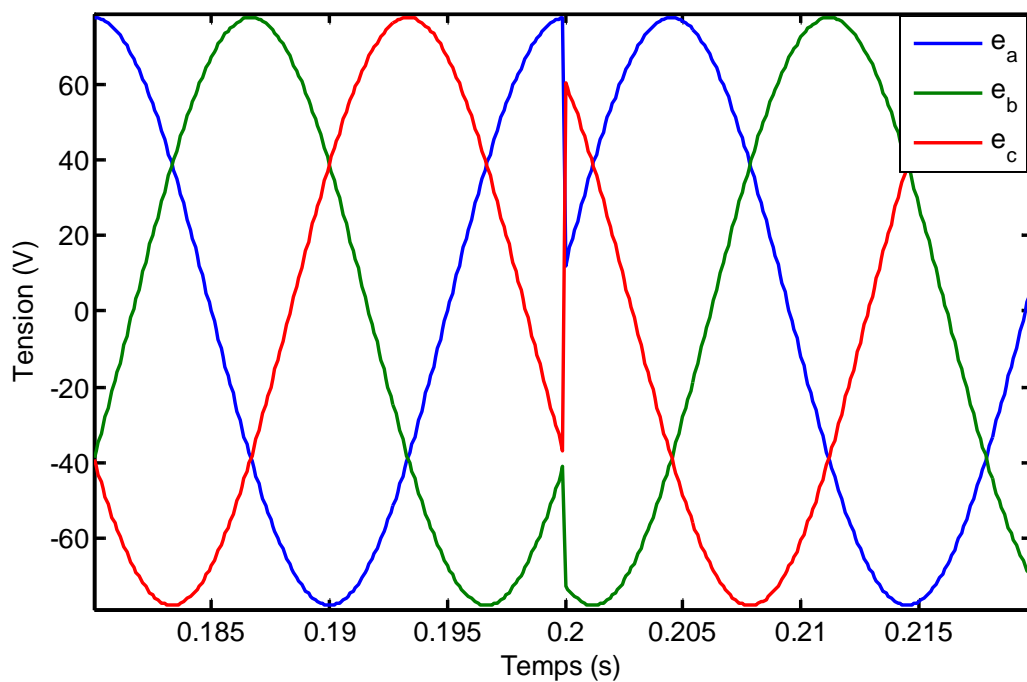


Figure III.25 : Tension du réseau sous un saut de phase (e_a , e_b , e_c)

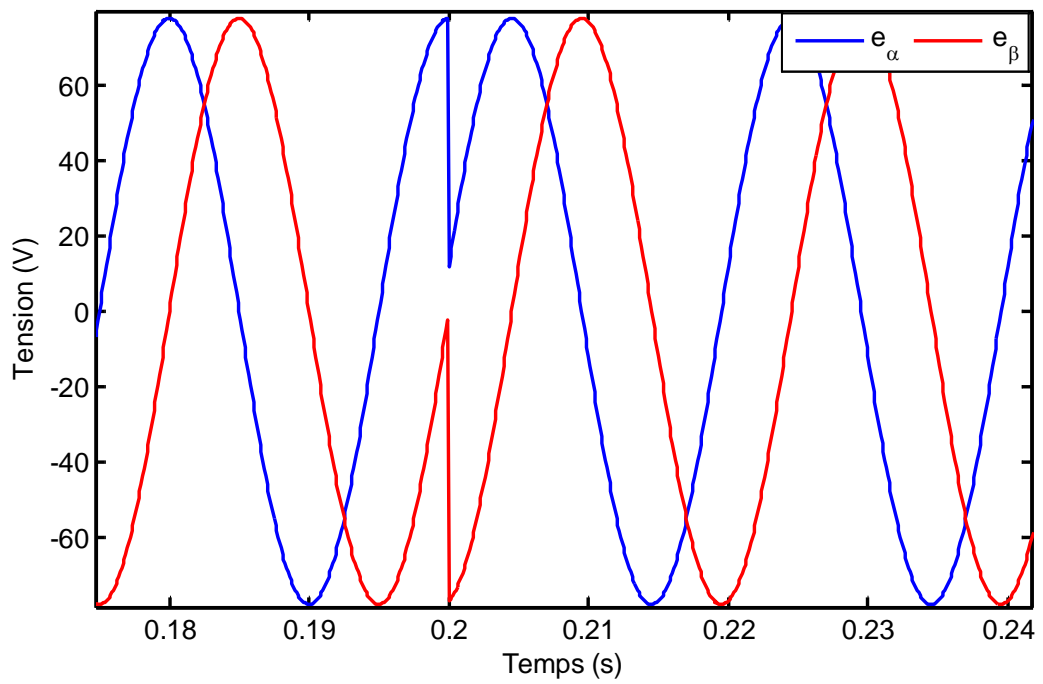


Figure III.26 : Tension de réseau sous un saut de phase dans le repère $\alpha\beta$
(e_α, e_β)

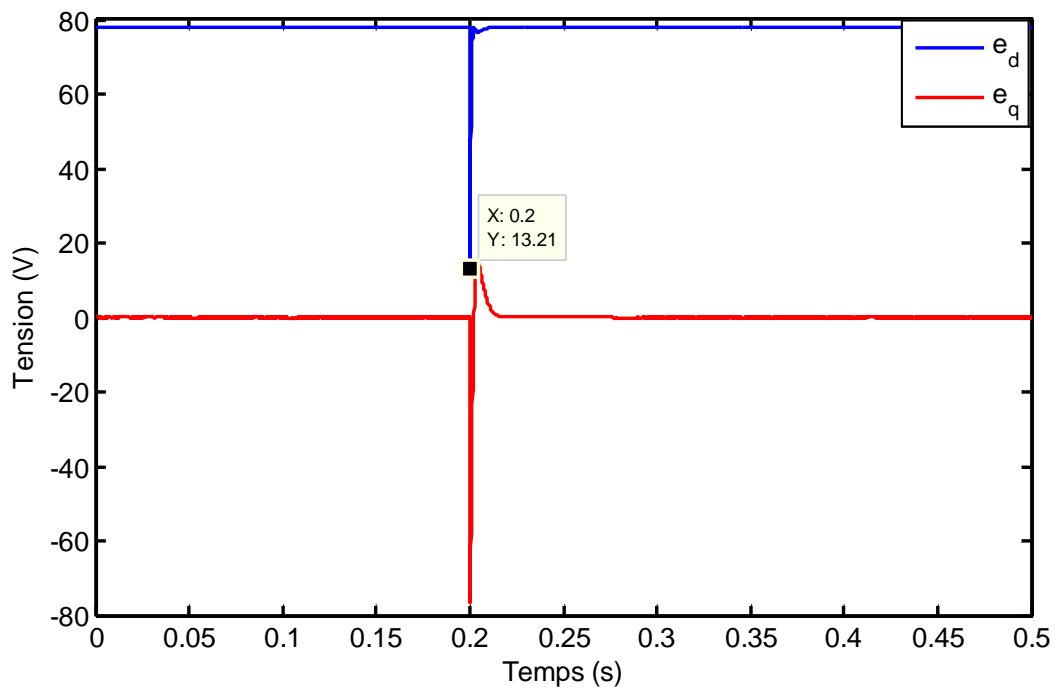


Figure III.27 : Tension du réseau sous un saut de phase dans le repère dq (e_d, e_q)

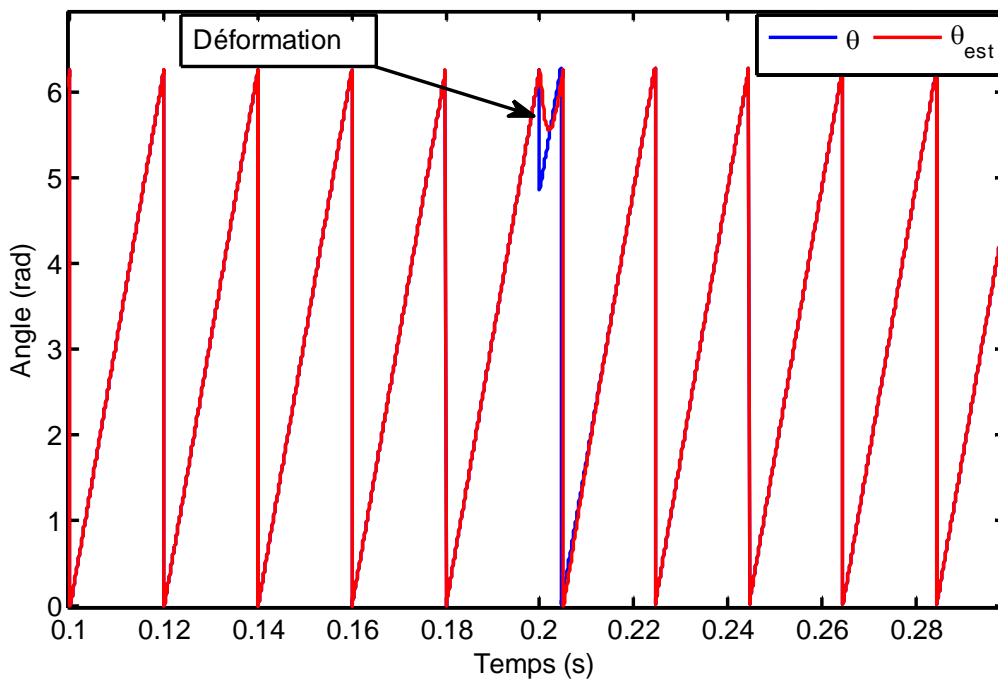


Figure III.28 : Angle de phase (θ , θ_{est})

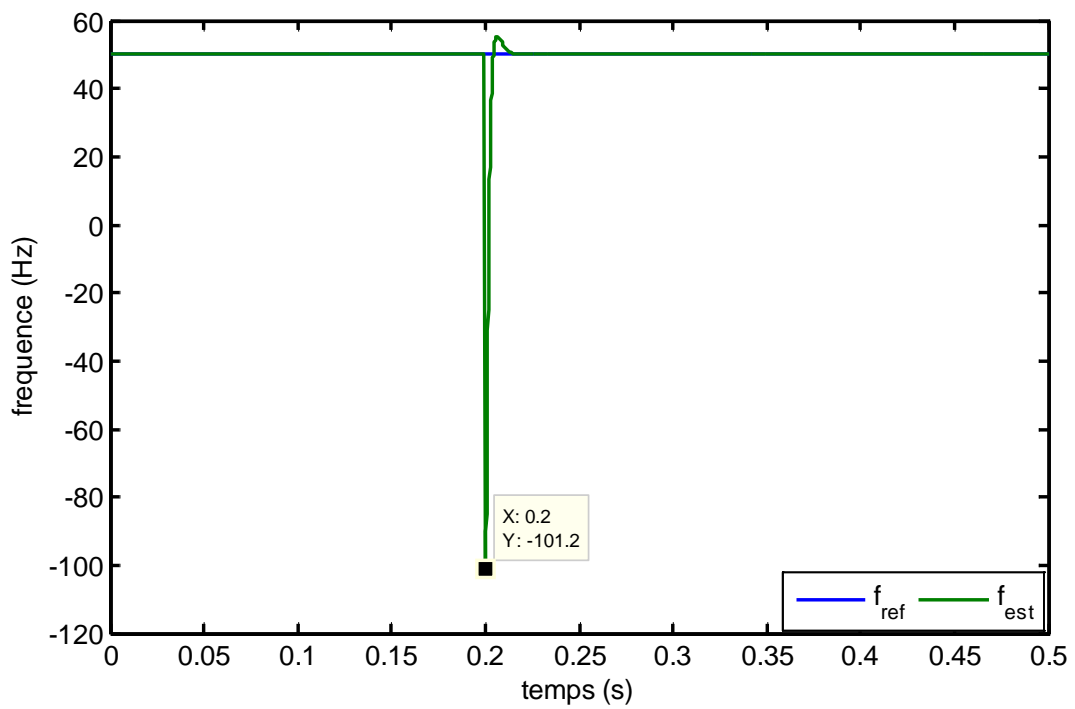


Figure III.29 : Fréquence estimée (Hz)

III.3.4.2. Interprétation des résultats

A l'instant où on a appliqué un saut de phase de $(\pi/4)$ les tensions e_d et e_q fournies par la PLL présentent des pics de chute de tension respectivement (64,57 V et 76,65 V) comme le montre la figure (III.27) ensuite elles reviennent à leurs états initiaux.

On constate des déformations au niveau de l'angle instantané et estimé comme le montre la figure (III.28), et aussi la fréquence estimée par la PLL présente un pic de (-101,2Hz) à l'instant de l'application de la perturbation comme le montre la figure (III.29).

III.3.5. Variation de fréquence

On applique une chute de fréquence de 50%, et on va constater le comportement de la PLL sous cette perturbation.

III.3.5.1. Résultats de la simulation

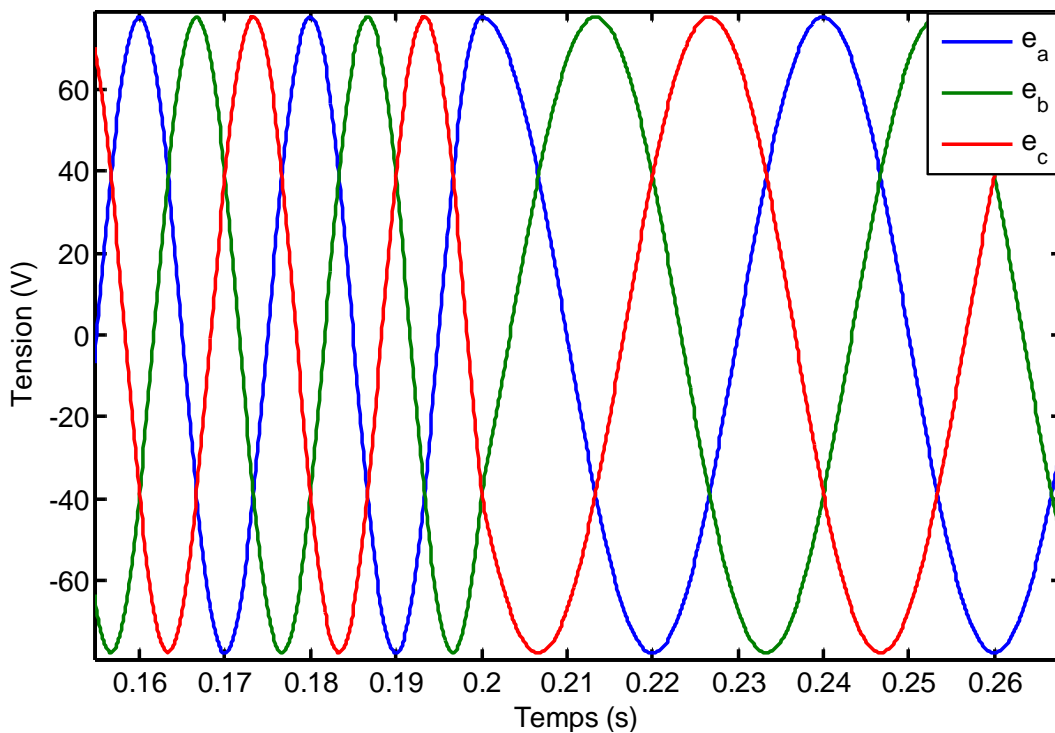


Figure III.30 : Tension de réseau sous une variation de fréquence (e_a , e_b , e_c)

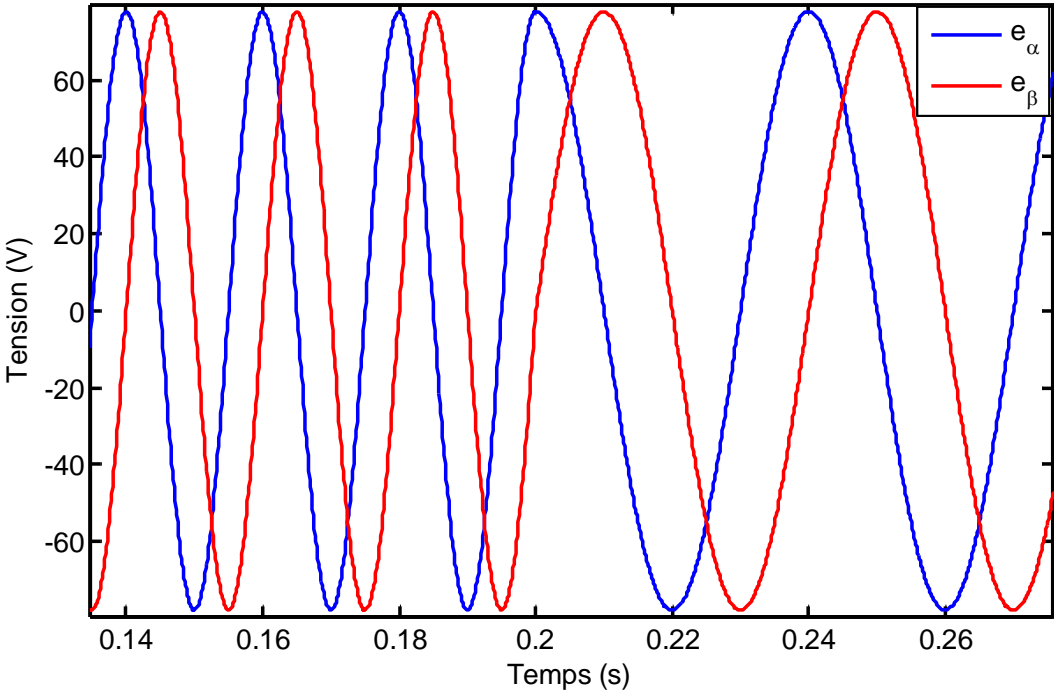


Figure III.31 : Tension de réseau sous une perturbation de fréquence dans le repère $\alpha\beta$

(e_α, e_β)

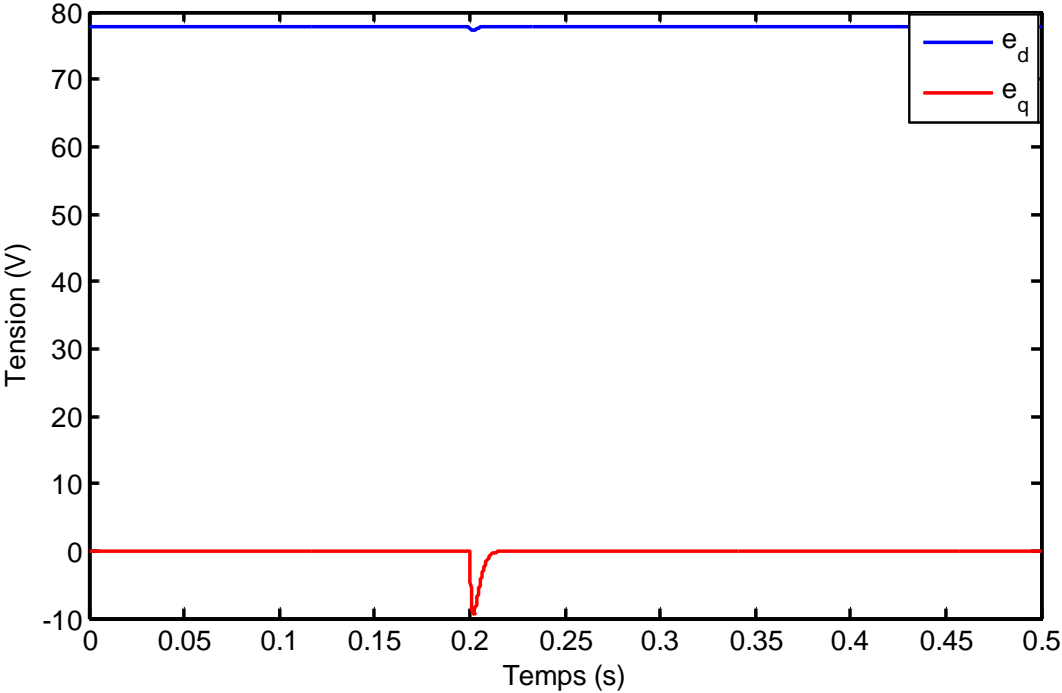


Figure III.32 : Tension de réseau sous une variation de fréquence dans le repère dq (e_d, e_q)

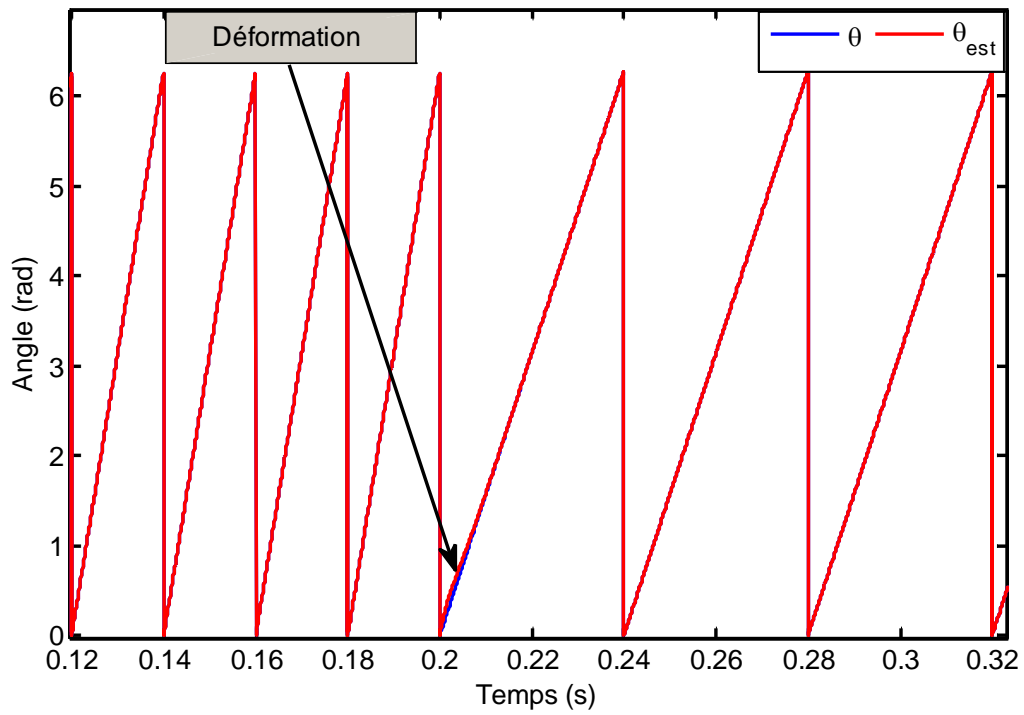


Figure III.33 : Angle de phase (θ , θ_{est})

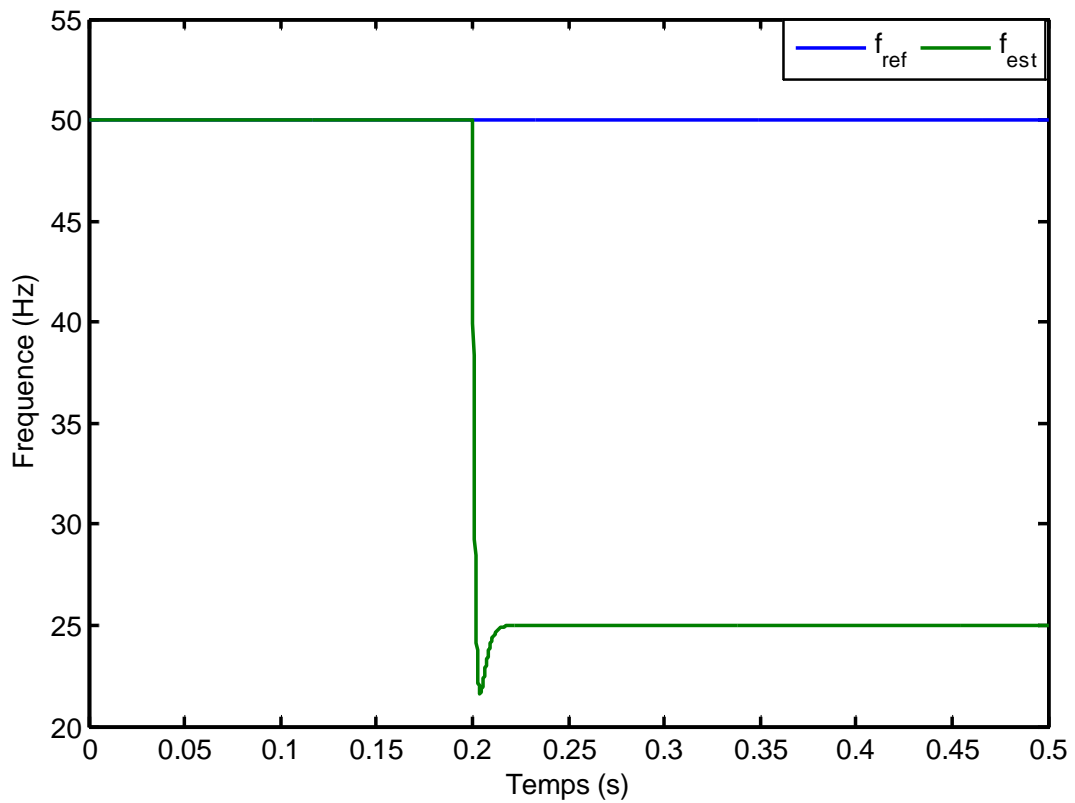


Figure III.34 : Fréquence estimée (Hz)

III.3.5.2. Interprétation des résultats

Après l'application de la perturbation on constate un changement au niveau de la période de pulsation comme le montre les figures (III.30, 31), contrairement aux tensions fournies par la PLL (e_d , e_q) qui garde leurs allures avec un petit pic sur l'allure de e_q ou moment où on a appliqué la perturbation comme sur la figure (III.32).

Aussi on constate une déformation de l'angle estimée comme la montre la figure (III.33), et une chute de fréquence estimée par la PLL de 50% comme le montre la figure (III.34).

III.3.6. Présence d'harmonique

On applique les harmoniques (5, 7, 11) sur la tension d'entrée avec une amplitude de 30% à l'instant ($t = 0.2$ s) et on va voir le comportement de la PLL sous cette perturbation.

III.3.6.1. Résultats de la simulation

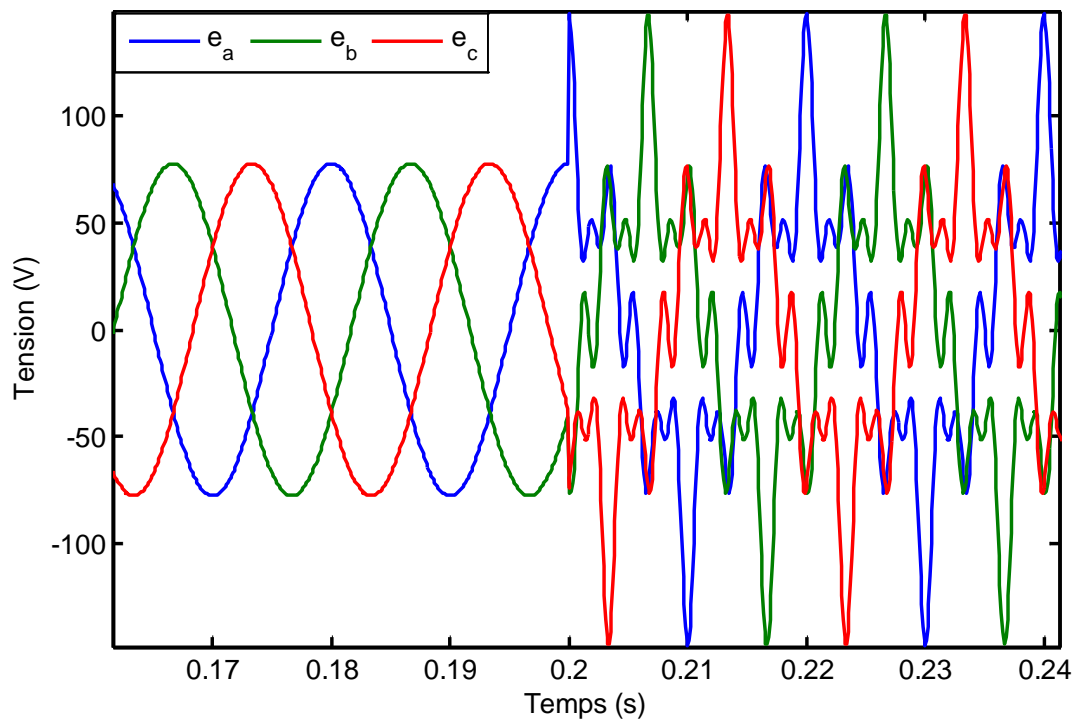


Figure III.35 : Tension de réseau sous présence d'harmoniques (e_a , e_b , e_c)

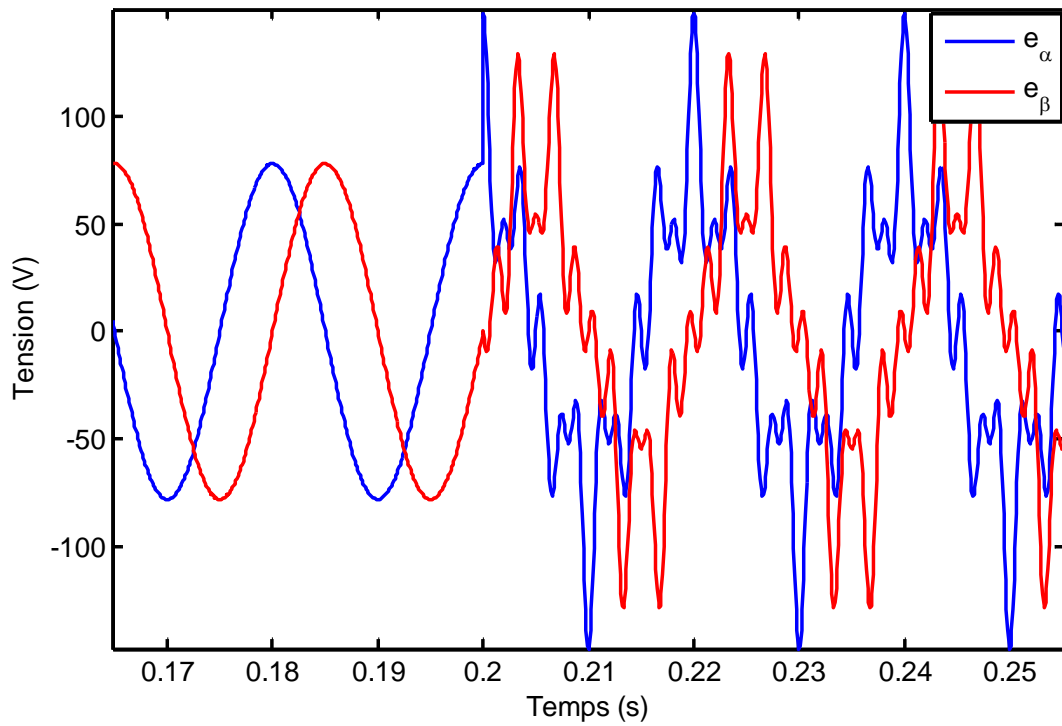


Figure III.36 : Tension de réseau sous une perturbation d’harmonique dans le repère $\alpha\beta$ (e_α, e_β)

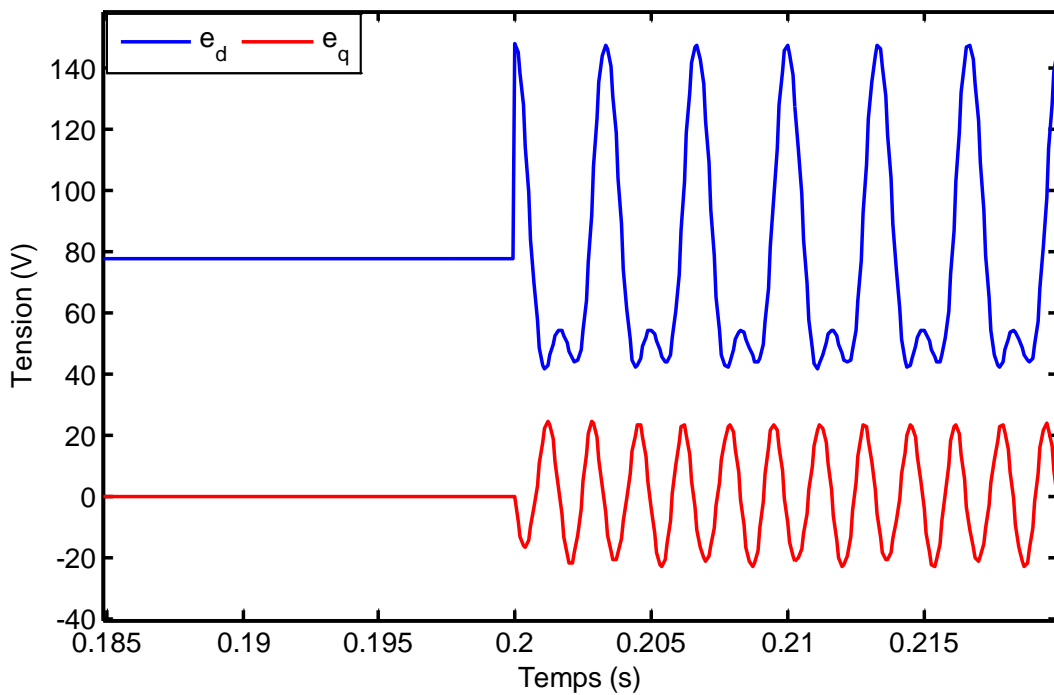


Figure III.37 : Tension de réseau sous perturbation d’harmonique dans le repère dq (e_d, e_q)

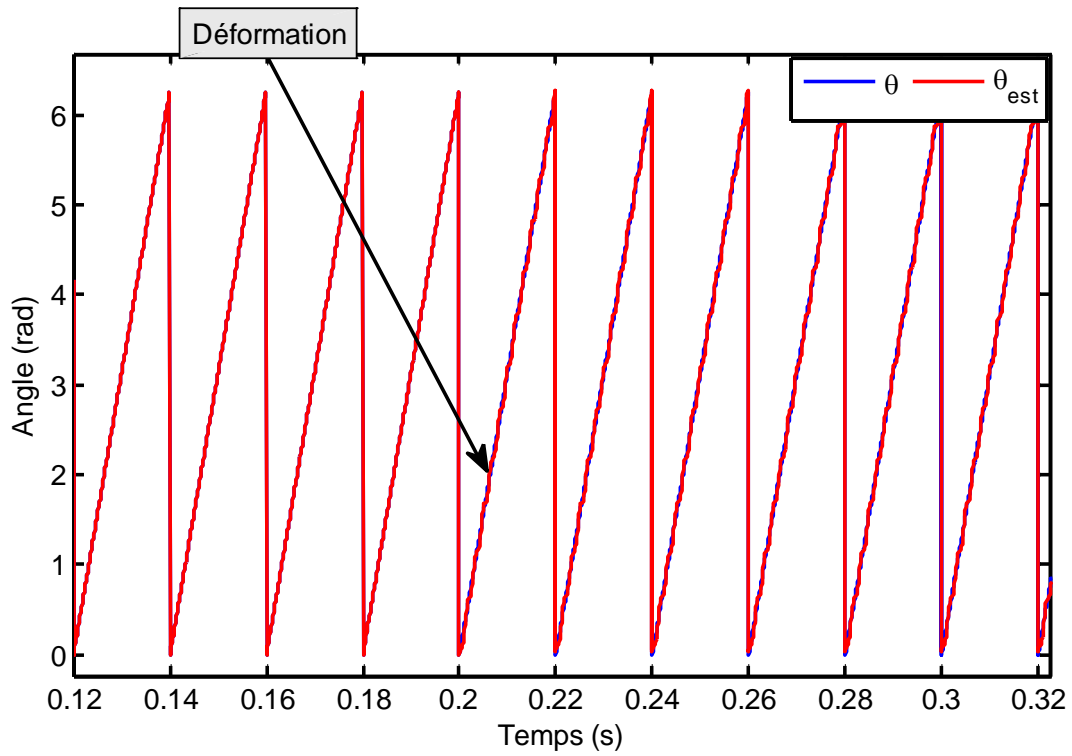


Figure III.38 : Allure de l'angle de phase (θ , θ_{est})

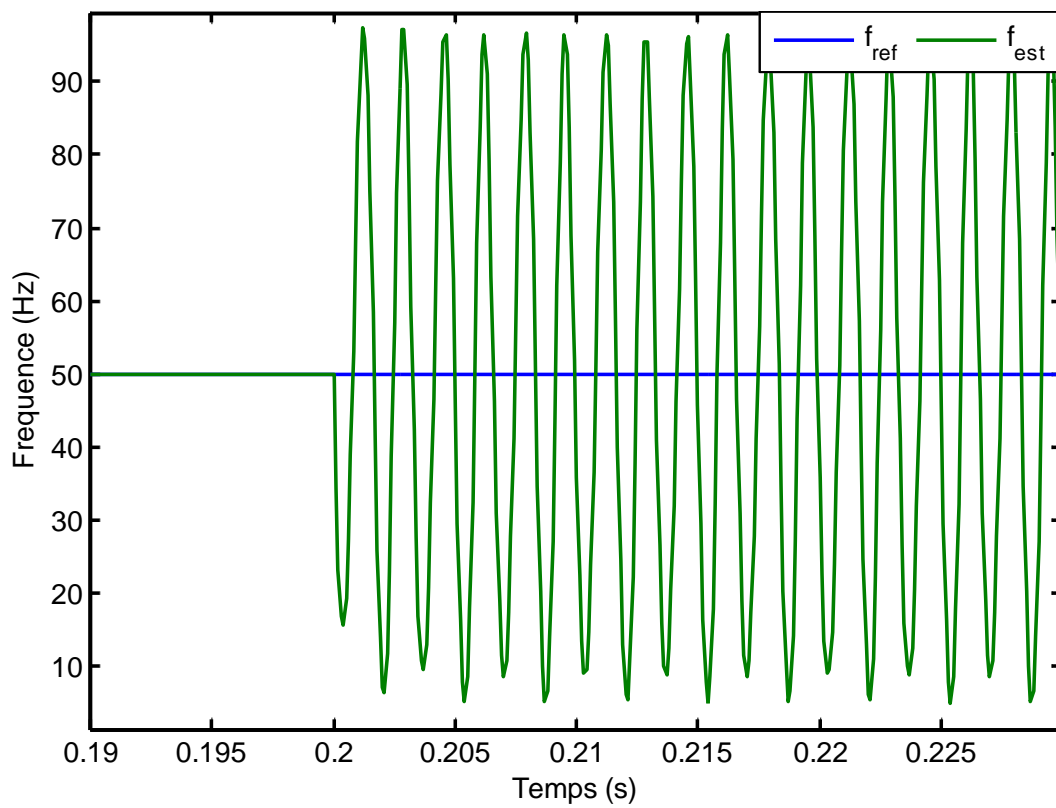


Figure III.39 : Allure de la fréquence estimée (Hz)

III.3.6.2. Interprétation des résultats

A l'instant d'application des harmoniques (5, 7, 11), ils apparaissent sur la tension d'entrée et on a des signaux non sinusoidaux comme le montre les figures (III.35,36), et on constate aussi un changement de la forme du signal de la tension délivré par la PLL comme le montre la figure (III.37), et on constate aussi des déformations sur l'angle de phase estimée par la PLL s'est montré sur la figure (III.38), et on a des ondulations de la fréquence estimée par la PLL comme le montre le figure (III.39)

III.3.7. Perturbation bruit

A l'instant ($t = 0.2$ s), on va appliquer un signal bruit d'amplitude de 10, comme c'est présenté sur la figure (III.40), et on va voir le comportement de la PLL sous cette perturbation.

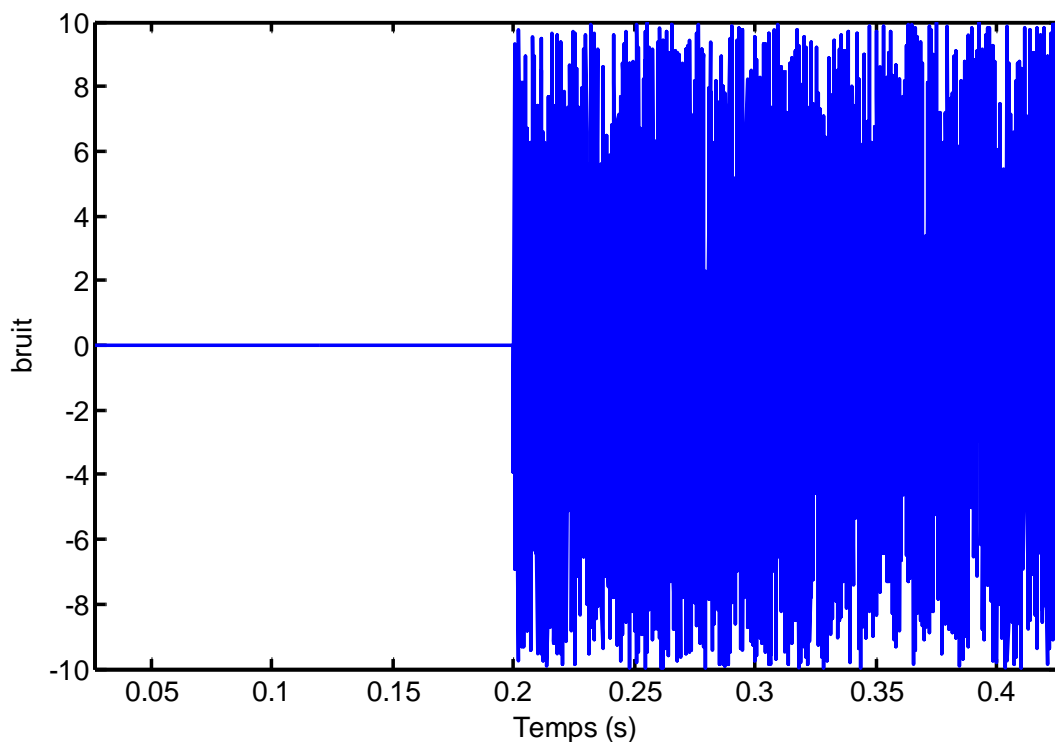
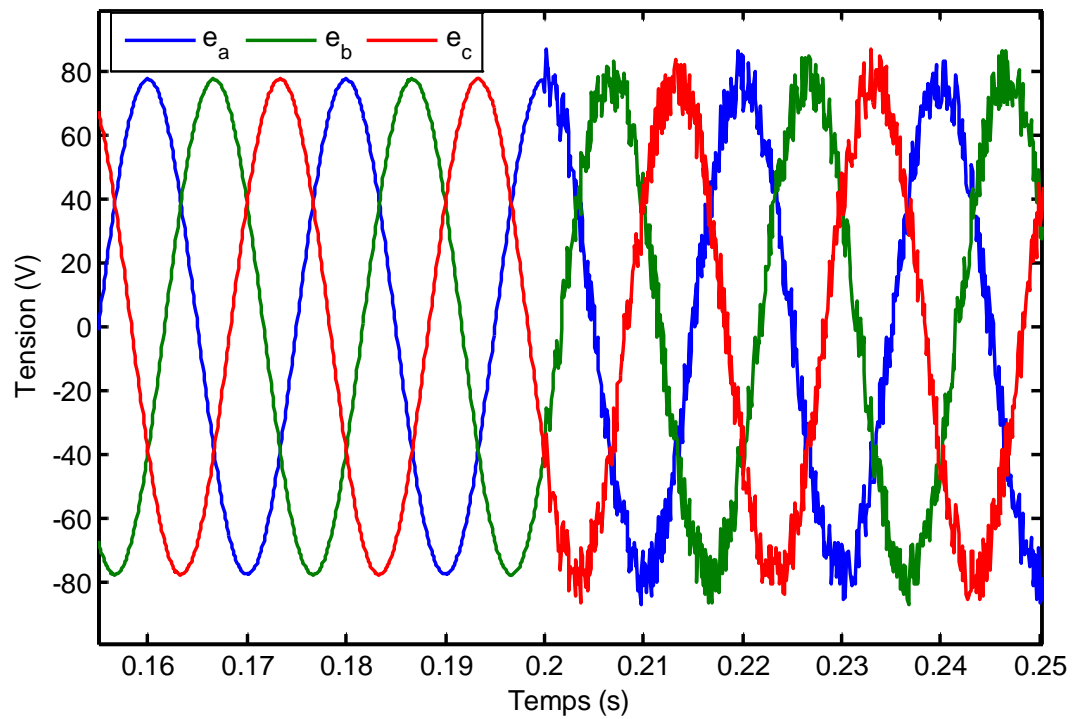
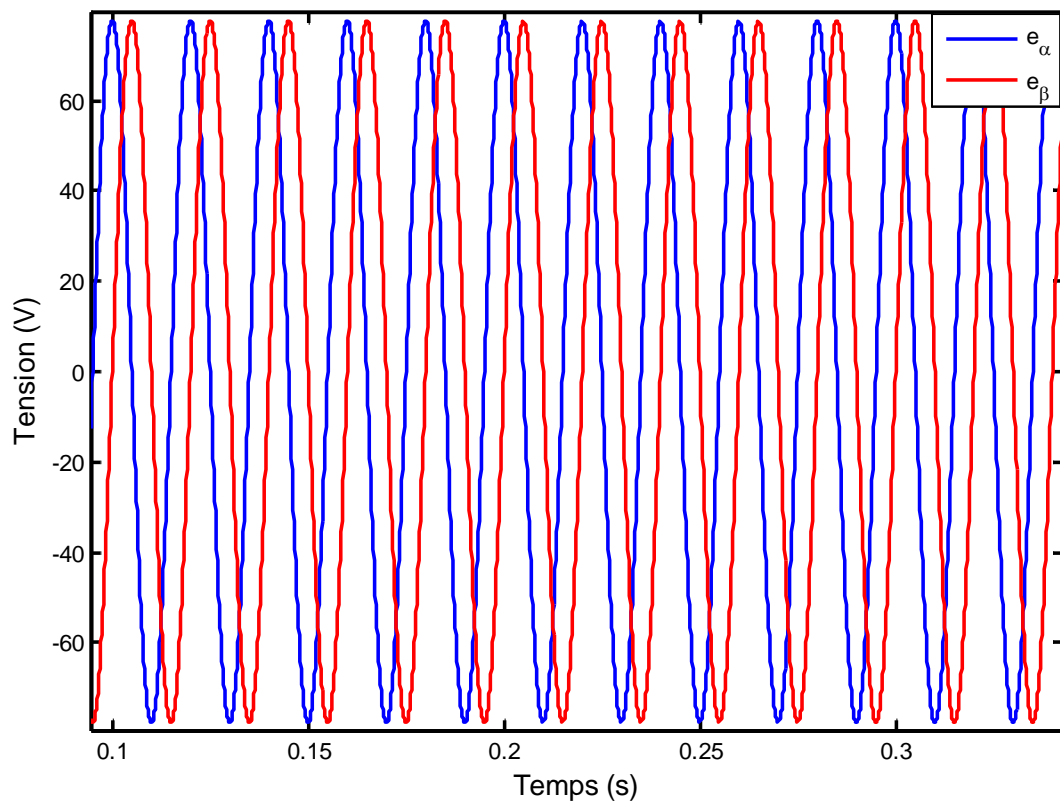


Figure III.40 : Allure du signal bruit

III.3.7.1. Résultat de la simulation

Figure III.41 : Tension de réseau sous perturbation bruit (e_a , e_b , e_c)Figure III.42 : Tension de réseau sous perturbation bruit dans le repère $\alpha\beta$ (e_α , e_β)

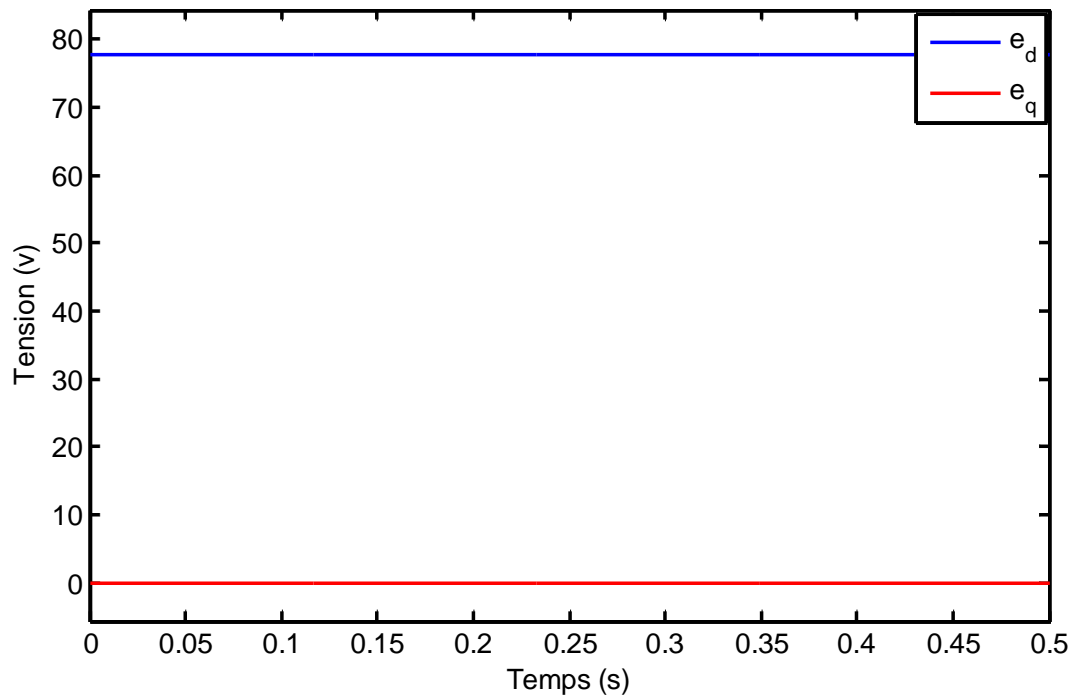


Figure III.43 : Tension de réseau sous perturbation bruit dans le repère dq (e_d , e_q)

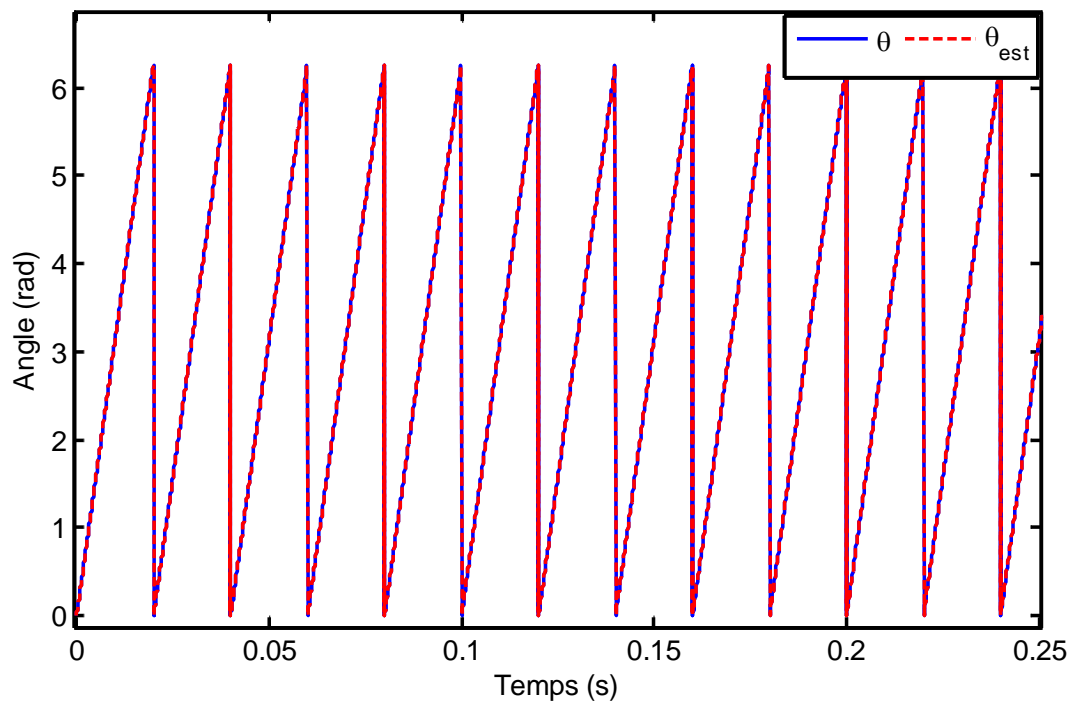


Figure III.44 : Angle de phase (θ , θ_{est})

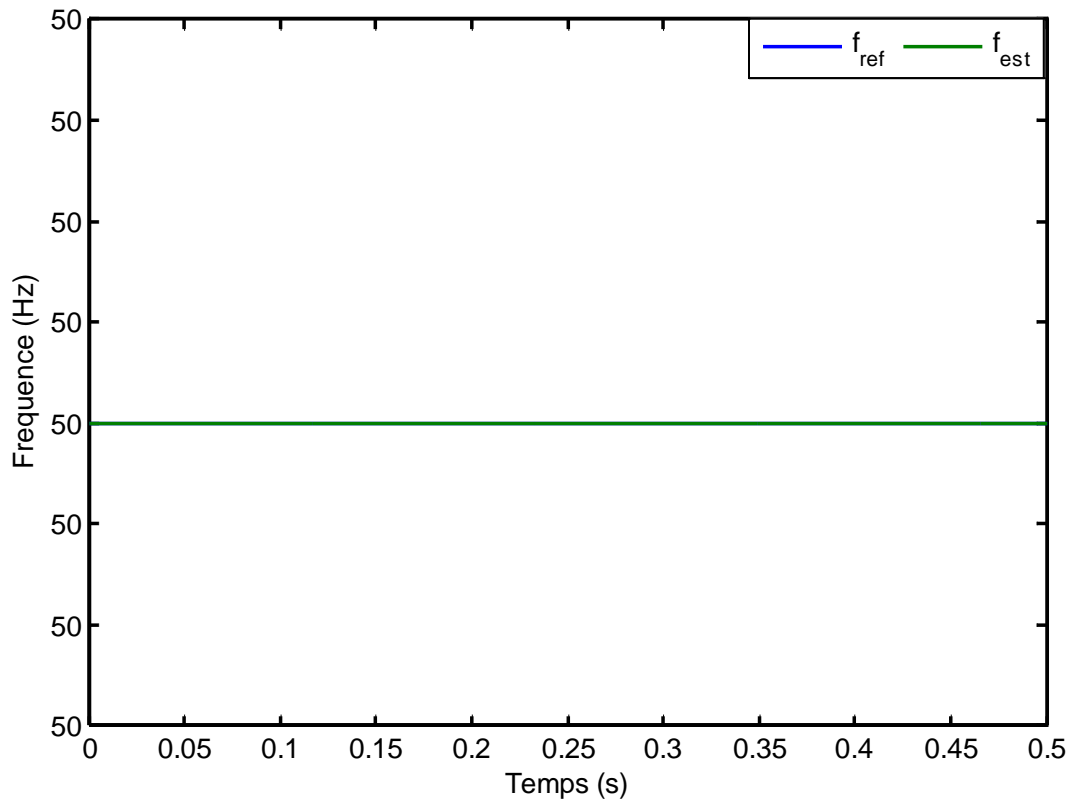


Figure III.45 : Allure de la fréquence estimée (Hz)

III.3.7.2. Interprétation des résultats

A ($t = 0.2s$) on voit l'apparition de la perturbation sur les signaux d'entrées comme c'est montré sur la figure (III.41), par ailleurs les tensions délivrés, l'angle estimée et la fréquence estimée par la PLL demeurent inchangés par rapport au cas du réseau idéal comme le montrent les figures (III.42,45).

Conclusion

Le système PLL conçu est testé en faisant des simulations dans l'environnement Matlab-Simulink.

Ainsi, nous avons utilisé les paramètres du régulateur **PI** suivants:

Un gain ($K_p = -12,3422$) et ($t_r = 0.01ms$).

Pour les conditions idéales du réseau, dont l'amplitude de la tension soit ($E_m = 77.78 V$) et une fréquence correspondante à $f = 50 Hz$, l'angle de phase a été simulé par le programme développé et les résultats ont montré que l'asservissement d'un tel cas est obtenu en un temps très court et avec précision.

Par ailleurs, des simulations du comportement du système sous diverses perturbations des signaux du réseau sont effectuées. Ainsi, les résultats obtenus ont montré que la configuration du système PLL utilisé présente des bonnes performances pour gérer de telles situations.

Le système retenu a permis aussi la gestion, le contrôle et l'asservissement dans le cas de présences de décalages de l'angle de phase relatif aux signaux d'entrées. Donc la configuration du système PLL retenue dans cette étude avec les paramètres du régulateur PI adoptés présente de bonnes performances pour pouvoir simuler de tels systèmes fonctionnant sous des conditions réelles que présente un réseau électrique .

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous avons étudié dans ce thème les performances d'une boucle à verrouillage de phase, et dans notre travail nous nous sommes intéressés à la modélisation et la simulation de la boucle à verrouillage de phase (PLL) dans l'environnement matlab.

Nous avons présenté dans le premier chapitre une généralité sur les PLL et leurs domaines d'utilisation.

Le deuxième chapitre, nous l'avons consacré à la modélisation de la PLL dans trois repères le système de coordonnées triphasé (abc), le système de coordonnées biphasé ($\alpha\beta$) repère de Clarke, et le système de coordonnées biphasé (dq) repère de Park. Nous avons aussi calculé les paramètres de régulateur PI.

En effet la médiation des différents blocs constituent la PLL et le calcul des paramètres de régulateur PI nous a permis de réaliser le bloc de simulation de système PLL.

Le chapitre trois nous l'avons consacré à la simulation de la PLL, le système PLL conçu est testé en faisant des simulations dans l'environnement Matlab-Simulink. Ainsi, nous avons utilisé les paramètres du régulateur PI suivants:

Un gain $K_i = -2.96 \cdot 10^3$ et $k_p = -12.34$ qui ont été calculés moyennant la méthode 'SO', et qui sont ajustés aussi par la simulation pour un objectif de déterminer leurs valeurs optimales.

Pour les conditions idéales du réseau, dont l'amplitude de la tension soit $E_m = 77.78V$ et une fréquence correspondante $f = 50 Hz$, l'angle de phase a été simulé par le programme développé et les résultats ont montré que l'asservissement d'un tel cas est obtenu avec précision et en un temps très court. Par ailleurs, des simulations du comportement du système sous diverses perturbations des signaux du réseau sont effectuées.

Ainsi, les résultats obtenus ont montré que la configuration du système PLL utilisé présente de bonnes performances pour gérer de telles situations. Le système retenu a permis aussi la gestion, le contrôle et l'asservissement dans le cas de présences de décalages de l'angle de phase relatif aux signaux d'entrées.

Donc la configuration du système PLL retenue dans cette étude avec les paramètres du régulateur PI adoptés présente de bonnes performances pour pouvoir simuler de tels systèmes fonctionnant sous des conditions réelles que présente un réseau électrique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] A. Lopez de Heredia, 'Contribution à l'Etude des Interactions entre les Nouveaux Systèmes de Génération et Compensation Distribués et le Réseau Electrique', Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 2006.
- [2] S.J. Lee, J.K. Kang and S.K. Sul, 'A New Phase Detecting Method for Power Conversion Systems Considering Distorted Conditions in Power System', In Proceedings of Industry Applications Conference, 34 Annual Meeting, Vol. 4, 1999.
- [3] S.M. Silva, L.N. Arruda, and B.J. Cardoso Filho, 'Wide Bandwidth Single and Three-Phase PLL Structures for Utility Connected Systems', In Proceedings of European Power Electronics, 2001.
- [4] P. Rodríguez, J. Pou, J. Bergas, J. I. Candela, R. P. Burgos, and D. Boroyevich. Decoupled Double Synchronous Reference Frame PLL for Power Converters Control. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 22, no. 2, p. 584, March 2007.
- [5] P. Rodriguez, R. Teodorescu, I. Candela, A. V. Timbus, M. Liserre, and F. Blabjerg. New Positive-Sequence Voltage Detector for Grid Synchronization of Power Converters under Faulty Grid Conditions. PESC 2006.
- [6] V. Kaura and V. Blasko, —Operation of a Phase Locked Loop System Under Distorted Utility Conditions, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 33, no. 1, January/February 1997.
- [7] F. Blabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. V. Timbus, —Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation 150 Systems, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 53, no. 5, p. 1398, October 2006.
- [8] G. Yalcinkaya, M. H. J. Bollen, and P. A. Crossley. Characterization of Voltage Sags in Industrial Distribution Systems. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, no. 4, p. 682, July/August 1998.
- [9] M.H.J. Bollen and E. Styvaktakis, —Characterization of Three-phase Unbalanced Dips (as easy as one-two-three ?), Proceedings of the Power Engineering Society Meeting, vol. 2, p. 899, July 2000.

- [10] J. Arrillaga, M. H. J. Bollen, and N. R. Watson. Power Quality Following Deregulation. Proceedings of the IEEE, vol. 88, no. 2, p. 246, February 2000.
- [11] H. H. J. Bollen. Algorithms for Characterizing Measured Three-Phase Unbalanced Voltage Dips. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18 no. 3, July 2003, p. 937.
- [12] J. Svensson. Synchronization Methods for Grid-Connected Voltage Source Converters. IEE Proceedings on General Transmission and Distribution, vol. 148, no. 3, p. 229, May 2001.
- [13] A. Bechouche, « Utilisation des techniques avancées pour l'observation et la commande de la machine asynchrone: application à une éolienne », Thèse Doctorat, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou 2013.
- [14]. <https://books.google.dz/books?id=94hVmIFcb8EC&pg=PA137&dq=connexion+au+r%C3%A9seau+electrique+PLL&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjK6duyraTLAhXJDCwKHe-fC6QQ6AEIJDA#v=onepage&q=connexion%20au%20r%C3%A9seau%20electrique%20PLL&f=false>.
- [15] Alexis Woinowsky-krieger, « Adaptive Phase Synchronization Techniques for Unbalanced and Distorted Three-Phase Voltage System », Thèse Doctorat, University of Alberta Edmonton 2010.
- [16] « Commande en tension et analyse de stabilité d'un redresseur triphasé a MLI », Mémoire de fin d'étude master académique, spécialité Machines électriques, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou 2015.

Résumé - La plupart des sources d'énergies qu'elles soient renouvelable, thermiques ou hydrauliques, dont le potentiel de l'une ou de l'autre soit plus ou moins important selon la zones considérées. Ainsi, des installations spécifiques à la conversion de chacune de ces ressources peuvent être envisagées. Ces dernières peuvent être utilisées pour alimenter une charge électrique spécifique tout en étant autonomes, hybridées avec une source conventionnelle ou reliées au réseau électrique. Pour ce dernier cas, parmi les problèmes dont il faut résoudre avec une grande précaution, c'est le problème de la synchronisation. En effet, la synchronisation consiste à mettre en œuvre une stratégie de commande et de contrôle électronique de l'interconnexion de ce type de sources d'énergie au réseau électrique. Son but est de soutenir le système d'alimentation en cas d'un éventuel défaut, doit tenir compte de diverses perturbations qui peuvent survenir sur le réseau électrique (variation d'amplitude, saut de phase, harmoniques, déséquilibre). Elle est généralement basée sur une détection rapide et précise de l'angle de phase de la tension de réseau électrique, qui peut être estimée à l'aide d'une boucle à verrouillage de phase (PLL). Dans cet article, nous nous sommes intéressés par l'étude de plusieurs types de PLL ensuite, faire une analyse détaillée sur un type en examinant son comportement dans des conditions normales et particulières du réseau électrique.

Mots clés :

- 1-Evaluation des performances d'une boucle à verrouillage de phase triphasée.
- 2-Phase Locked Loop.
- 3-PLLconventionnelle.
- 4-transformation de Park.
- 5-transformation de Clarke.
- 6-PLL