

# Sensorless Speed Control of BDFIG with MRAS-Based Flux Estimation

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة الكهربائية (تحكم)

إعداد الطلاب :

إبراهيم خالد أحمد محمد  
منذر جمال عوض عبدالله  
زبيدة علي أبشور محمد

إشراف :

د/ الأمين كمال عبدالحى إبراهيم

قسم الهندسة الكهربائية

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبدالله البدرى



مارس 2022م

# الآية

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى:

﴿ وَعِنْدَهُ مَفَاتِحُ الْغَيْبِ لَا يُعَلِّمُهَا إِلَّا هُوَ وَيَعْلَمُ مَا فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ وَمَا تَسْقُطُ مِنْ وَرَقَةٍ إِلَّا  
يَعْلَمُهَا وَلَا حَبَّةٌ فِي ظُلُمَاتِ الْأَرْضِ وَلَا رَطْبٌ وَلَا يَابِسٌ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ ﴾

صدق الله العظيم

سورة الأنعام الآية (59)

## الإهداء

إلى من فضلهن على أنفسنا ، من ضحن لأجلنا ولم يدخرن جهداً في سبيل إسعادنا علي  
الدوام

### أمهاتنا الحبيبات

إلى أصحاب القلوب الكبيرة من سعوا وشقوا لننعم بالراحة و الهناء ، الذين لم ييخلوا بشيء  
من اجل دفعنا في طريق النجاح

### والدينا الأعزاء

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة إلى رياحين حياتنا إلى سندنا و قوتنا و ملاذنا بعد الله

### إخوتنا

إلى من منحونا القدرة علي مواصلة الطريق لنشرق في صباح اليوم التالي من جديد

### الأصدقاء و رفقاء العلم

## الشكر و العرفان

الشكر و الثناء لله عز وجل اولاً علي نعمة الصبر و القدرة علي إنجاز العمل فله الحمد  
على هذه النعم.

خالص الشكر إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم و المعرفة إلى أساتذتنا الكرام الذين بذلوا  
جهوداً كبيرة في بناء جيل الغد و نخص بالشكر

د/ الأمين كمال عبدالحى إبراهيم

الذي تفضل بإشرافه على هذا البحث نشكره على كل ما قدمه لنا من دعم ، توجيه ، وإرشاد  
لإتمام هذا العمل على ما هو عليه.

الشكر موصول لكل الأساتذة الأجلاء بقسم الهندسة الكهربائية و كذلك موصول إلى  
الباشمهندس/ أحمد مسعود عطا.

## المستخلص

تجمع هذه الآلة بين الميزات الإيجابية للآلة الحثية والتزامنية معاً. بالإضافة إلى ميزات أخرى جديدة جعلت منها مناسبة للعمل مع العنفات الريحية التي تعمل عند سرعات رياح متغيرة.

لتطبيق مستشعرات السرعة المادية (الحساسات) تواجهنا الكثير من العيوب فيما يتعلق بالصلابة والتكلفة والإصلاح والكابلات لذلك يفضل التحكم في السرعة بدون أجهزة إستشعار.

تمت دراسة الآلة وجمع المعلومات عن النموذج الرياضي والحصول على المعادلات الرياضية التي تصف الآلة ثم تم تنفيذ النموذج بإستخدام برنامج المحاكاة.

للتحكم في سرعة مولد حثي ثنائي التغذية من غير فرش باستخدام نموذج التحكم التكميلي المرجعي وجد أن BDFIG الذي تم اختباره ذو سلوك عابر جيد في ظل السرعات المختلفة ، وتحت سيطرة طريقة التحكم المقترحة على أساس PW-flux MRAS.

توضح النتائج أيضاً التتبع الجيد بين استجابة السرعة المقدرّة والفعلية ، مما يدل على القدرة القوية للتحكم غير المستشعر المقترح بناءً على مراقب PW و CW-flux MRAS لـ BDFIGs المستقلة.

## **Abstract**

This machine combines the positive features of the induction and synchronous machine together, in addition to other new features that made it suitable for working with wind turbines that operate at variable wind speeds to apply physical speed sensors. The machine was studied and information about the mathematical model was collected to obtain the mathematical equations describing the machine, then the model was implemented using a simulation program to control the speed of a brushless dual-fed induction generator with MRAS. The tested BDFIG was found to have good transient behavior at different speeds, and is under the control of the proposed PW-flux MRAS control method.

The results also demonstrate good tracking between the estimated and actual speed response, demonstrating the strong ability to control the proposed non-sensor based on the PW and CW-flux MRAS monitor for independent BDFIGs.

## فهرس المحتويات

رقم الصفحة	المحتوى	الرقم
I	الآية	
II	الإهداء	
III	الشكر و العرفان	
VI	المستخلص	
V	Abstract	
VI	فهرس الموضوعات	
IX	فهرس الأشكال	
X	فهرس الجداول	

### الفصل الأول: المقدمة

1	المقدمة	1-1
2	مشكلة البحث	2-1
2	منهجية البحث	3-1
2	أهداف البحث	4-1
2	بنية البحث	5-1

### الفصل الثاني : الآلة التحريضية

4	مقدمة	1-2
4	مقدمة نظريه عن الآلة BDFIG	2-2
5	مكونات الآلة التحريضية التعاقيبية الذاتية	3-2
5	الجزء الثابت	1-3-2
8	الجزء الدوار	2-3-2
8	أنماط التشغيل	4-2
8	نمط التشغيل التحريضي البسيط	1-4-2

9	نمط التشغيل التحريضي التعاقبي	2-4-2
10	نمط التشغيل التزامني	3-4-2
12	التطبيقات العملية التي تستخدم فيها الآلة	5-2
12	مميزات و مساوئ الآلة BDFIG	6-2
12	المميزات	1-6-2
14	المساوئ	2-6-2
14	الماكينة ذات التغذية المزدوجة بدون فرش	7-2
14	نظام التحكم الغير مستشعر MRAS	8-2

### الفصل الثالث : النموذج الرياضي لآلة التحريضية و تصميم نظام التحكم

16	المقدمة	1-3
16	المعادلات الرياضية لآلة التحريضية	2-3
18	التحويل للمحورين d-q	3-3
19	التحكم الشعاعي بتوجيه الفيض	4-3
22	النموذج الرياضي للمولد التحريضي ذات التغذية المزدوجة بدون فرش	5-3
23	تصميم المراقب MRAS	6-3
25	تصميم نموذج مرجعي Reference	1-6-3
25	تصميم نموذج متكيف Adaptive	2-6-3
27	تصميم Theta 2	3-6-3

### الفصل الرابع : الإختبارات و النتائج

28	مقدمة	1-4
28	إشارة التردد	2-4
29	إشارة السرعة للمولد	3-4
29	إشارة سعه الجهد	4-4

30	إشارة مقارنة القدرة	5-4
30	الإختبار	6-4
30	الإختبار الأول	1-6-4
30	السرعة للمولد	1-1-6-4
31	الجهد والتيار لـ PW	2-1-6-4
31	الجهد والتيار لـ CW	3-1-6-4
32	الإختبار الثاني	2-6-4
32	السرعة للمولد	1-2-6-4
32	الجهد والتيار لـ PW	2-2-6-4
33	الجهد والتيار لـ CW	3-2-6-4
33	المناقشة	7-4

الفصل الخامس : الخلاصة و التوصيات

34	الخلاصة	1-5
34	التوصيات	2-5
35	المراجع	

## فهرس الأشكال

رقم الصفحة	المحتوى	رقم الشكل
4	الآلة التحريضية BDFM	1-2
6	شكل توضيحي لملفي الثابت و ملف الدائر	2-2
11	نمط التشغيل التزامني للآلة BDFM	3-2
15	مخطط صندوقي يوضح اجزاء MRAS	4-2
20	فيض الدائر و تيار الثابت في الاحداثيات d,q	1-3
20	فيض الدائر و تيار الثابت في الاحداثيات d,q بعد تثبيت قيمه الفيض	2-3
22	تركيب المولد التحريضي ذو التغذية المزدوجة بدون فرش (BDFIG)	3-3
23	هيكلية مراقب MRAS PW-flux	4-3
24	تصميم مراقب MRAS PW-flux d-q	5-3
25	النموذج المرجعي	6-3
26	النموذج التكيفي	7-3
27	theta2	8-3
28	إشارة خرج التردد	1-4
29	إشارة خرج السرعة للمولد	2-4
29	إشارة خرج الجهد	3-4
30	إشارة خرج مقارنة القوة	4-4
30	السرعة للمولد	5-4
31	الجهد و التيار PW	6-4
31	الجهد و التيار CW	7-4
32	السرعة للمولد	8-4
32	الجهد و التيار PW	9-4
33	الجهد و التيار CW	10-4

## فهرس الجداول

رقم الصفحة	المحتوى	رقم الجداول
8	القوي المحركة المغناطيسية في الثغرة الهوائية لآلة BDFM	1-2
27	قيم المعاملات	1-3

# الفصل الأول

## المقدمة

# الفصل الأول

## المقدمة

### 1-1 المقدمة:

يزداد الاهتمام في الآونة الأخيرة بمسألة الموارد المتجددة للطاقة الكهربائية، وذلك مع تزايد المشاكل المرتبطة باستخدام مصادر الطاقة التقليدية المحدودة كالتكلفة العالية والتلوث المتزايد للبيئة. ومن أكثر مصادر الطاقات المتجددة التي يعول عليها في المستقبل تأتي طاقة الرياح وتدل المؤشرات المناخية المتعلقة بسرعة الرياح وأماكن توزعها في السودان على أن هناك طاقة كهربائية كبيرة متاحة يمكن توليدها باستخدام العنفات الريحية يمكن أن تسد جزءاً كبيراً من حاجة البلاد للطاقة الكهربائية في المستقبل.

وبالنظر لكون الاستطاعة الكهربائية التي يمكن استخلاصها من العنفات الريحية تتأثر بسرعة الرياح بشكل حاد، فإن هناك صعوبة في استخلاص الحد الأقصى الممكن من طاقة الرياح وتحويلها إلى طاقة كهربائية في آلات التوليد الكهربائية التقليدية. على عكس المولدات الحثية ثنائية التغذية بدون فرش التي توفر إمكانية جيدة لبلوغ هذا الهدف كونها تسمح باستغلال طاقة الرياح وملاحقة منحنى نقاط الاستطاعة العظمى مع تغير منحنى الخصائص الميكانيكية للعنفة الريحية، حيث تجمع هذه الآلة بين الميزات الإيجابية للآلة الحثية والتزامنية معاً إضافة إلى ميزات أخرى جديدة جعلت منها مناسبة للعمل مع العنفات الريحية التي تعمل عند سرعات رياح متغيرة.

## 2-1 مشكلة البحث:

التخلص من استخدام الفرش وحلقات الانزلاق في الآلات التحريضية الكهربائية ذات التغذية المضاعفة التقليدية المستخدمة في تطبيقات طاقة الرياح التي تعمل على سرعات متغيرة الرياح والتخلص من مادة الكربون من الفرشاة وتقليل قوي الضغط.

لتطبيق مستشعرات السرعة المادية تواجهنا الكثير من العيوب فيما يتعلق بالصلابة والتكلفة والإصلاح والكابلات لذلك يفضل التحكم في السرعة المادية بدون أجهزة إستشعار.

## 3-1 منهجية البحث:

دراسة الآلة وجمع المعلومات عن النموذج الرياضي والحصول على المعادلات الرياضية التي تصف الآلة ثم تنفيذ النموذج باستخدام برنامج المحاكاة MATLAB SIMULINK .

## 4-1 أهداف البحث:

التحكم في سرعة مولد حثي ثنائي التغذية من غير فرش BDFIGs باستخدام MRAS. بالاعتماد على النمذجة و المحاكاة الرقمية الحاسوبية مع ضمان المحافظة علي نفس الميزات الهامة التي تقدمها تقنية التغذية المضاعفة التقليدية بالإضافة إلى الحصول على ميزات جديدة من التقنية المدروسة وتم دراسة MRAS استناداً علي الفيض المغنطيسي الدائر على المحاور.

## 5-1 بنيه البحث:

الفصل الاول : المقدمة

المقدمة ، مشكلة البحث ، أهداف البحث ، منهجية البحث

الفصل الثاني : الآلة التحريضية ذات التغذية المضاعفة بدون فرش

مقدمة ، مقدمة نظرية عن الالة BDFM ( مم تتألف - مبدأ العمل ) ، الجزء الثابت Stator ، الجزء الدائر Rotor ، الدائرة المكافئة للألة BDFM ، المولد ، الماكينة ذات التغذية المزدوجة بدون فرش، مراقب سرعة MRAS للالة ذات التغذية المضاعفة بدون فرش ، نظام التحكم الغير مستمر .

الفصل الثالث : معادلات النظام الالية التحريضية وتصميم مراقب MRAS PW Flux .

المقدمة ، المعادلات الرياضية الالية التحريضية ، التحكم الكهربائي في المولدات الريحية ، التحكم الشعاعي بتوجيه الفيض ، الفصل بين المحورين q,d ، النموذج الرياضي للمولد التحريضي ذات المزدوجة بدون فرش ، تصميم المراقب MRAS .

الفصل الرابع : النتائج والاختبارات

المقدمة ، النتائج ، المناقشة

الفصل الخامس :

الخلاصة ، التوصيات ، المراجع .

## الفصل الثاني

الآلة التحريضية ذات التغذية المضاعفة  
بدون فرش

## الفصل الثاني

### الآلة التحريضية ذات التغذية المضاعفة بدون فرش

#### 1-2 مقدمة:

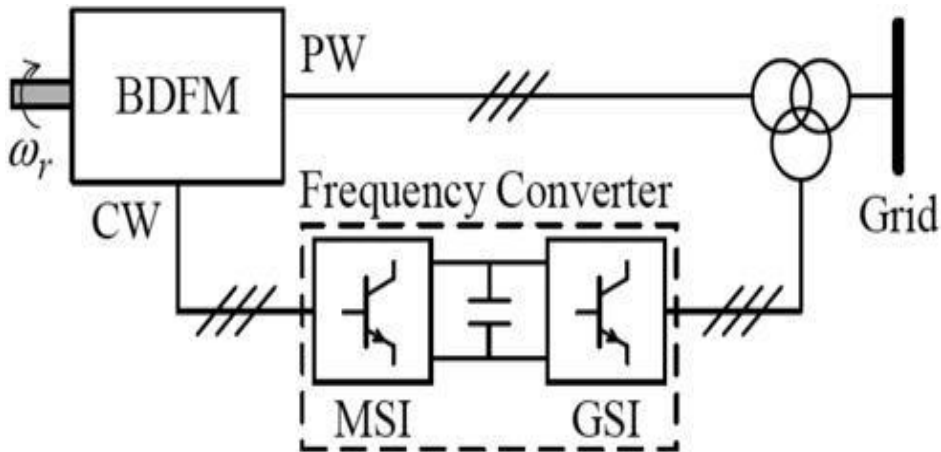
سيتم في هذا الفصل تقديم دراسة نظرية تفصيلية للآلة BDFM بدءاً من مخطط توضيحي لمكونات الآلة ثم مبدأ العمل، وشرح لأنماط تشغيل الآلة، والدائرة المكافئة، ثم دراسة توازن الاستطاعة لها و المعادلات الرياضية المبينة لسريانات هذه الاستطاعات، وفي النهاية توضيح أهم مميزاتا و سلبياتها.

#### 2-2 مقدمة نظرية عن الآلة BDFM (مما تتألف - مبدأ العمل):

الآلة التحريضية ذات التغذية المضاعفة بدون مسفرات Brushless Doubly-fed Motor واختصاراً تسمى BDFM عبارة عن محرك تيار متناوب.

إن المفهوم الأساسي للآلة BDFM هو دمج آلتين تحريضيتين، كل منهما تنتج حقل كهرومغناطيسي في الثغرة الهوائية، بحيث يكون كل من هذين الحقلين ناتج من عدد أقطاب مغناطيسية مختلف عن الآخر، يتم دمج الآلتين ضمن إطار واحد بحيث ينتج لدينا ما يسمى الآلة التحريضية التعاقبية الذاتية

Self-Cascaded Induction Machine كما يوضح الشكل (1-2)



الشكل (1-2) الآلة التحريضية BDFM

## 2-3 مكونات الآلة التحريضية التعاقبية الذاتية:

### 2-3-1 الجزء الثابت Stator:

- يتكون من ملفين ثلاثيي الأطوار (لذلك تدعي بالآلة ذات التغذية المضاعفة). هما :

ملف الاستطاعة ("P.W" Power Winding):

- معظم الاستطاعة تتدفق بين الآلة و الشبكة عبر الملف.
- يربط هذا الملف مباشرة الي الشبكة.

ملف التحكم ("C.W" Control Winding):

• يتدفق جزء صغير من الاستطاعة عبر ملف التحكم تعادل حوالي (30%) فقط من الاستطاعة الكلية للآلة.

• يربط هذا الملف الي الشبكة على مبدل استطاعة الكتروني ثنائي الاتجاه و كنتيجة لتدفق جزء صغير فقط من الاستطاعة الكلية للآلة عبر هذا المبدل بالتالي ستكون استطاعته الاسمية أقل بكثير من استطاعة المبدل المستخدم في الآلة ذات التغذية التقليدية.

• يعمل هذا الملف كمجموعة مكافئة لعمل ملفات الدائر في الآلة.

• يسمح ملف التحكم بإمكانية التحكم بالسرعة فوق وتحت السرعة التزامنية للآلة، حيث أنه قادر على تعديل قيمة تيار الدائر المتحرض من ملف الاستطاعة وذلك بفضل التصميم الخاص بالآلة.

• يستخدم ملف التحكم ايضاً للتحكم بكل من الاستطاعة الرجعية "Q[VARs] Reactive "

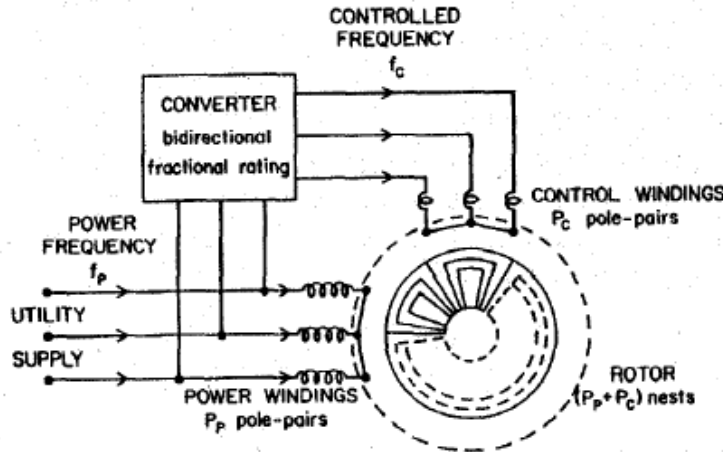
Power و الاستطاعة الفعلية "P [Watt] Active Power كل على حدى.

- هذان الملفان الموجودان في الثابت معزولان عن بعضهما كهربائياً.

- لكل منهما عدد أقطاب مختلف عن الآخر، و مزاحين عن بعضهما البعض بزوايا انزياح مكانية، لضمان عدم حدوث أي تداخل مباشر بين الحقول المغناطيسية المتولدة عنهما.
- يتم تغذية الملفين بترددين مختلفين.

## 2-3-2 الجزء الدائر Rotor:

يكون دائر الآلة BDFM من نوع القفص السنجابي لكن بتصميم خاص، يدعي Nested loop الدائر ذو الحلقات العشبية المتداخلة كم يوضح الشكل (2-2) .



الشكل (2-2) شكل توضيحي لملفي الثابت و ملف الدائر

بفضل التصميم الخاص للآلة يمكن لملفات التحكم أن تقوم بضبط و تعديل تيار الدائر الذي يتولد من ملف الاستطاعة. يمكن تحقيق عملية الضبط و التحكم هذه من خلال تأثير التداخل الكهرومغناطيسي غير المباشر Indirect Electromagnetic Cross-Coupling Effect بين ملفي الثابت عبر الدائر.

كما ذكرنا سابقاً فإن الآلة مؤلفة من ملفين ثلاثي الأطوار في الثابت. تم اختيار عدد الأقطاب لهما بحيث يكونا مختلفين من أجل تجنب التداخل الكهرومغناطيسي المباشر.

Pp: عدد أزواج الأقطاب المغناطيسية لملف الاستطاعة الثابت

Pc: عدد أزواج الأقطاب المغناطيسية لملف التحكم الثابت

بالإضافة لذلك، ومن أجل تخفيض القوة الكهرومغناطيسية الغير متناظرة في الدائر يجب أن يكون الفرق في عدد أزواج الاقطاب المغناطيسية أكبر من الواحد.

$$|Pp - Pc| > 1$$

ينتج ملف الاستطاعة في الثابت قوة محركه مغناطيسية (MMF) في الثغرة الهوائية تدور بسرعة لها تردد الشبكة نفسه. بينما ينتج ملف التحكم قوة محركه مغناطيسية (MMF) في الثغرة الهوائية تدور بسرعة لها تردد قابل من جهة الآلة (MSI).

من أجل تحقيق التداخل الكهرومغناطيسي الغير مباشر بين ملفي الثابت (الاستطاعة و التحكم)، فان ملف الدائر يجب أن ينتج قوى محركه مغناطيسية لكل من هذين الملفين الذين عدد أزواج أقطابهما Pp و Pc بالتجاوب مع كل من القوتين المحركتين المغناطيسيتين المنتجين من ملفي الاستطاعة و التحكم. من أجل تحقيق هذه العملية يجب أن يكون عدد مجموعات دارات الدائر Nr مساوياً لمجموع عدد ازواج الأقطاب لملفي الثابت، أي :

$$Nr = Pp + Pc$$

كل مجموعة من دارات الدائر يجب ان تتضمن حلقه أو اكثر من حلقات الدائر (الدائر ذي الحلقات العشية المتداخلة). في هذه الحالة فإن مكونات القوة المحركة المغناطيسية لملف الدائر الناتجة من ملفي الثابت (الإستطاعة Pp , P.W) و (التحكم Pc , C.W) في الثغرة الهوائية مع دارات الدائر Nr موضحة في الجدول (1-2).

الجدول (1-2) القوي المحركة المغناطيسية في الثغرة الهوائية لآلة BDFM

القوة المحركة المقاطيسية	منتجة من	عدد أزواج الأقطاب	السرعة الكهريائية المتعلقة بالدافر	السرعة الكهريائية المتعلقة بالثابت
MMF <sub>1</sub>	P.W.	$p_p$	$\omega_1 - p_p \cdot \omega_r$	$\omega_1$
MMF <sub>r1-1</sub>	R.W. بالتجاوب مع MMF <sub>1</sub>	$p_p$	$\omega_1 - p_p \cdot \omega_r$	$\omega_1$
MMF <sub>r1-2</sub>	R.W. بالتجاوب مع MMF <sub>1</sub>	$p_c$	$-(\omega_1 - p_p \cdot \omega_r)$	$-\omega_1 + p_p \cdot \omega_r$ $+ p_c \cdot \omega_r$ $= -\omega_1 + N_r \cdot \omega_r$
MMF <sub>2</sub>	C.W.	$p_c$	$\omega_2 - p_c \cdot \omega_r$	$\omega_2$
MMF <sub>r2-1</sub>	R.W. بالتجاوب مع MMF <sub>2</sub>	$p_p$	$-(\omega_2 - p_c \cdot \omega_r)$	$-\omega_2 + p_c \cdot \omega_r$ $+ p_p \cdot \omega_r$ $= -\omega_2 + N_r \cdot \omega_r$
MMF <sub>r2-1</sub>	R.W. بالتجاوب مع MMF <sub>2</sub>	$p_c$	$\omega_2 - p_c \cdot \omega_r$	$\omega_2$

#### 4-2 أنماط تشغيل الآلة BDFM :

يمكن التشغيل في ثلاثة أنماط مختلفة، ويعتد ذلك علي طريقه تغذية ملف التحكم، بينما يكون ملف

الاستطاعة في كافة الأنماط مربوط مع الشبكة. وهذه الأنماط هي :

#### 1-4-2 نمط التشغيل التحريضي البسيط Simple Induction Mode :

وفيه يكون احد ملفي الثابت وليكن ملف التحكم CW عباره عن دارة مفتوحة . بينما الملف الآخر و

ليكن ملف الاستطاعة PW موصول مع التغذية.

وبما أن التغذية هنا تكون في ملف واحد فقط في الثابت فإننا نسمي نمط التغذية في هذه الحالة ( نمط

التغذية الوحيد (Singly Fed Mode).

ينتج ملف الاستطاعة الذي عدد أزواج أقطابه  $P_p = P_1$  فيضاً مغناطيسياً يدور بسرعة  $\omega_1$  يمكن

الحصول على الإنزلاق في الدائر في هذه الحالة من المعادلة

$$= \frac{\omega_{r1}}{\omega_1} S_1 \triangleq \frac{\omega_1 - P_1 \cdot \omega_r}{\omega_1}$$

تبعاً للتصميم الخاص لملف الدائر في الألة يتم انتاج القوى المحركة المغناطيسية التالية:

1-  $MMFr_{1-1}$  الناتجة من ملف الدائر بتأثير القوة المحركة المغناطيسية ذات عدد أزواج الأقطاب  $P_1$

2-  $MMFr_{1-2}$  الناتجة من ملف الدائر بتأثير القوة المحركة المغناطيسية ذات عدد أزواج الأقطاب

$$P_c = P_2$$

كنتيجة لهذه القوة المحركة المغناطيسية ينتج الفيض المغناطيسي الدوار في الثغرة الهوائية.

كما هو مبين في الجدول السابق فإن القوة المحركة المغناطيسية  $MMFr_{1-2}$  تدور بالسرعة  $\omega'_2$  وتنتج

قوة محرك كهربائية في ملف التحكم.

الآن وفقاً لهذا الفيض المغناطيسي يمكن حساب انزلاق الدائر:

$$S'_2 = \frac{\omega_1 - P_1 \cdot \omega_r}{\omega_1 - Nr \cdot \omega_r}$$

## 2-4-2 نمط التشغيل التحريضي التعاقبي Cascade Induction Mode:

في هذا النمط يكون أحد ملفي الثابت مثلاً ملف التحكم CW عبارة عن دائرة مقصورة أي يتم قصر

طرفي ملف التحكم معاً. بينما يكون ملف الثابت الأخر، أي ملف الاستطاعة PW موصول مع التغذية

بالتالي ايضاً يكون نمط التغذية في هذه الحالة (نمط التغذية الوحيدة Singly Fed Mode).

ينتج ملف الاستطاعة القوة المحركة المغناطيسية  $MMFr_1$  ثم يقوم الفيض المغناطيسي الناتج عنها

بإنتاج قوة محرك كهربائية في الدائر بانزلاق  $S_1$  الدائر ينتج قوة محرك مغناطيسية تحتوي على

توافقيات من كلا عدد أزواج الأقطاب  $P_1$  و  $P_2$  بشكل مشابه لنمط التشغيل التحريضي البسيط.

في حالة نمط التشغيل التتابعي للآلة BDFM حيث يكون ملف التحكم عبارة عن دائرة مقصورة ينتج الدائر القوة المغناطيسية  $MMFr_{1-2}$  والتي تدور بالسرعة  $(P_1 - \omega_r - 1\omega)$  بالنسبة للدائر من جهة أخرى فإن ملف التحكم يدور بالنسبة للدائر بسرعة  $P_2 \cdot \omega_r$  بالتالي فإن السرعة التزامنية لهذه الآلة ستكون مساوية للسرعة الطبيعية  $(1\omega/P_1+P_2)$ .

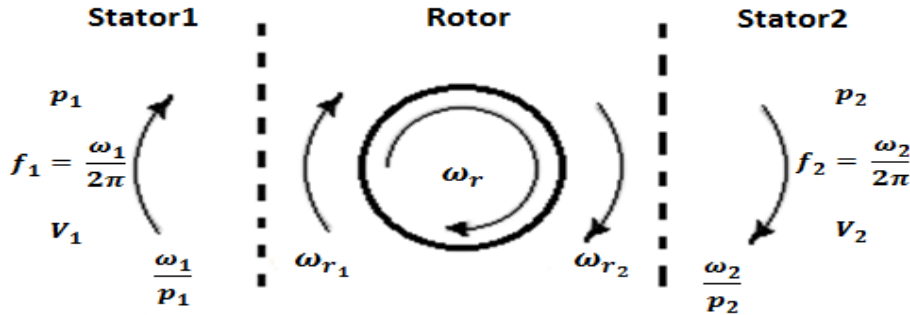
في نمط التشغيل التعاقبي تتغير السرعة مع تغير الحمولة.

### 2-4-3 نمط التشغيل التزامني Synchronous:

يمكن اعتبار نمط التشغيل التزامني هو النمط الذي يميز الآلة BDFM والذي تم تصميمها لتعمل عنده وفيه يتم تغذية ملفي الثابت في الآلة معاً حيث يربط ملف الاستطاعة مباشرة الي الشبكة (تردد ثابت و توتر ثابت) بينما يربط ملف التحكم الي الشبكة غير مبدلة الكترونية إستطاعية ثنائية الاتجاه Inverter- Converter ويقوم ملف التحكم في هذا النمط مقام ملف التهيج في الآلة التزامنية. ونمط التغذية في هذه الحالة هو (نمط التغذية المضاعفة Doubly Fed Mode).

في هذا النمط من تشغيل الآلة يكون هنالك تداخل كهرومغناطيسي غير مباشر بين القوي المحركة المغناطيسية  $MMFr_{1-2}$  و  $MMFr_2$  تمام كما موجود بين القوتين  $MMFr_{r2-1}$  و  $MMFr_1$  بسبب سرعتها الدورانية المتطابقة ضمن هذا النمط ايضاً تكون ترددات القوي المحركة الكهربائية المتحرضة في الدائر و الناتجة عن الارتباط بين الفيوض المغناطيسية ذات أزواج الأقطاب المغناطيسية لملي الثابت  $P_1$  و  $P_2$  متساوية لذلك فإن تردد القوي المحركة الكهربائية المتحرضة في ملف الاستطاعة بتأثير ملف التحكم يكون مساوياً لتردد منبع التغذية الذي ملف الاستطاعة و العكس صحيح. هذا الاتصال الكهرومغناطيسي يستوجب إنتاج فيضين مغناطيسين في ملفي الثابت . الفيض المغناطيسي في ملف الإستطاعة يدور في الثغرة الهوائية  $[rad/sec] (1\omega/P_1)$  والفيض المغناطيسي في ملف التحكم يدور

في الثغرة الهوائية بسرعة  $(2\omega/P_2)$  [rad/sec] يدوران بنفس السرعة الكهربائية لكن باتجاهين متعاكسين بالنسبة للدائر . كما يوضح الشكل التالي (3-2):



الشكل (3-2) نمط التشغيل التزامني للآلة BDFM

عندها تعطي علاقة السرعة الميكانيكية لمحور الآلة في النمط التزامني بالشكل التالي :

$$1\omega - P_1.\omega_r = \pm(\omega_2 - P_2.\omega_r) \rightarrow \omega_r = \frac{\omega_1 \pm \omega_2}{P_1 + P_2}$$

نلاحظ من العلاقة السابقة أن التردد الزاوي لملف التحكم  $2\omega$  يجب ان يتم تنظيمه و ضبطه بحيث تبقى المعادلة السابقة محققة . وكما تبدو من العلاقة فإن هذا التردد يأخذ إشارة موافقة أو معاكسة لإشارة التردد الزاوي لملف الاستطاعة و ذلك بحسب تتابع توصيل الأطوار في ملفي الثابت بالنسبة لبعضهما البعض (أي اتجاه السيالة المغناطيسية المتولدة في أحد الملفين بالنسبة للآخر). ونحصل علي الإشارة السالبة للتردد الزاوي لملف التحكم ( أي  $-2\omega$  في العلاقة السابقة ) عن طريق عكس تتابع توصيل ملفات التحكم من التتابع (abc) إلى التتابع (acb) بالنسبة لتتابع توصيل ملفات ملف الاستطاعة (ABC).

عادة يأخذ التردد الزاوي لملف الاستطاعة الموصول مباشرة الي الشبكة القيمة الموجبة. بينما يكون التردد الزاوي لملف التحكم بإحدى الحالتين:

$+\omega_2$ : يكون موجباً عند العمل علي سرعة أعلى من السرعة التزامنية Super\_Synchronous\_speed

$-\omega_2$ : يكون سالباً عند العمل علي سرعة أدنى من السرعة التزامنية Sub\_Synchronous\_speed

تعرف السرعة التزامنية الاسمية للآلة BDFM: بأنها السرعة التي نحصل عليها عند تغذية ملف التحكم من منبع توتر مستمر DC. ( $f_2=0$ ). مع المحافظة علي تغذية ملف الاستطاعة من منبع ذي تردد ثابت ( $1f$ ) ويطلق عليها اصطلاحياً بالسرعة الطبيعية. وتعطي بالعلاقة التالية:

$$\omega_n = \frac{\omega_1}{P_1 + P_2}$$

## 5-2 التطبيقات العملية التي تستخدم فيها الآلة BDFM:

تمتلك الآلة عدة ميزات هامة فهي تعمل بدون الحاجة إلي المسفرات أو حلقات الانزلاق. مما يؤمن تشغيلاً بعامل استطاعة مرتفع عن العمل علي سرعات متغيرة و مختلفة . كما تم التوضيح مسبقاً فإن العمل علي سرعات متغيره يعد من أهم ما يميز هذه الآلة. تعتبر نظم التوليد الكهربائية التي تعمل بطاقة الرياح من أهم التطبيقات التي تحتاج العمل علي سرعات متغيرة . وهي تعرف ايضاً بالنظم ذات السرعة المتغيرة و التردد الثابت VSCF و تعتبر أفضل من النظم ذات السرعة الثابتة و التردد الثابت CSCF. وأن ميزات استخدام المبدلة الالكترونية ذات الاستطاعة الاسمية الأقل وعامل الاستطاعة المترفع شجعت على إستخدام الآلة التحريضية ذات التغذية المضاعفة.

## 6-2 ميزات و مساوي الآلة BDFM:

### 1-6-2 الميزات:

يمكن تلخيص ميزات الآلة كما يلي:

1- التخلص من المسفرات و حلقات الانزلاق في دائر الآلة ذي التصميم الخاص Nests Loop Rotor،

وبالتالي:

▪ انخفاض الحاجة لعمليات الصيانة الدورية، بالتالي انخفاض تكاليف هذه الصيانة، و التي عادة ما تكون مرتفعة وخاصة في العنفات الريحية المركبة في البحر Off-Shore .

▪ الإستثمار الأفضل للعنفة الريحية، حيث تزداد مدة تشغيل العنفة بسبب انخفاض مدة العطل و الصيانة، أي بمعنى آخر زيادة الموثوقية.

2- انخفاض استطاعة المبدلة الالكترونية الاستطاعية ثنائية الاتجاه المستخدمة إلى حوالي 30% فقط

من الاستطاعة الكلية للآلة، وهي استطاعة الانزلاق فقط و بالتالي:

▪ انخفاض كلفة بناء النظام بسبب انخفاض كلفة المبدلة الالكترونية.

▪ انخفاض الضياعات في المبدلة الإلكترونية المستخدمة مقارنة مع الضياعات الناتجة عن المبدلة

الالكترونية التي تستخدم مع الآلة التحريضية ذات التغذية المضاعفة التقليدية و التي تكون

استطاعتها من رتبة الاستطاعة الكلية للآلة.

▪ انخفاض قيمة التوافقيات الناتجة عن المبدلة الالكترونية بسبب انخفاض استطاعته، وبالتالي

انخفاض استطاعة المرشح المستخدم للتخلص من هذه التوافقيات أي انخفاض كلفته أيضاً.

3- إمكانية التوليد عند مجال سرعات أعلى أو أدنى من السرعة التزامنية للآلة، وذلك من خلال التحكم

بملف التحكم للآلة.

4- إمكانية التحكم بمعامل استطاعة الآلة و التحكم بالاستطاعة الفعلية بشكل مستقل عن التحكم

بالاستطاعة الردية، وذلك أيضاً من خلال التحكم في الآلة.

5- إمكانية تشغيل الآلة كألة تحريضية تقليدية، ويتم ذلك باستخدام ملف الاستطاعة فقط في حالة فشل

عمل البدلة الالكترونية.

## 2-6-2 المساوي:

1- صعوبة و تعقيد تصميم الدائر ذو القفص السنجابي Nested Loop Rotor وبالتالي ارتفاع تكاليفه.

2- ازدياد حجم الآلة BDFM بالمقارنة مع آلة تحريضية تقليدية لها نفس الاستطاعة.

## 2-7 الماكينة ذات التغذية المزدوجة بدون فرش BDFIG:

لقد جذبت الماكينة ذات التغذية المزدوجة التي لا تحتوي علي فرش الكثير من الاهتمام نظراً لتكلفة صيانتها المنخفضة وهيكلها الموثوق بها، يمكن للألة ذات التغذية المزدوجة التي لا تحتوي علي فرش أن تتجنب جميع عيوب الماكينة ذات التغذية المزدوجة لأنها لا تتطلب أي فرش وتم استخدام الماكينة المستقلة ذات التغذية المزدوجة بدون فرش كمولد للطاقة علي نطاق واسع في أنظمة توليد التردد الثابت متغير السرعة، وعلى سبيل المثال تطبيقات توليد الطاقة للرمح السفينة (VSCF).

نجد أن الآلة ذات التغذية المزدوجة بدون فرش هي نوع جديد من آلات التيار المتردد مع مزايا كل من الآلة الغير المتزامنة و المتزامنة، تكوين الي التغذية المزدوجة بدون فرش متنوع من الآلات التيار المتردد التقليدية و توجد مجموعتان مختلفتان من الآلات الثلاثية الطور PW مع عدد أزواج القطب P1 و CW مع عدد أزواج القطب P2 وفي قلب ثابت واحد.

يرتبط ملف الطاقة الجزء ارتباطاً مباشراً بالشبكة أو الحمل و يرتبط ملفات التحكم في الجزء الثابت بمحول ثنائي الاتجاه ولا يوجد اقتران المجال المغناطيسي المباشر بين ملف التحكم وملف الطاقة ويتم التعرف على تحويل الطاقة الكهروميكانيكية من خلال تعديل المجال المغناطيسي الدوار.

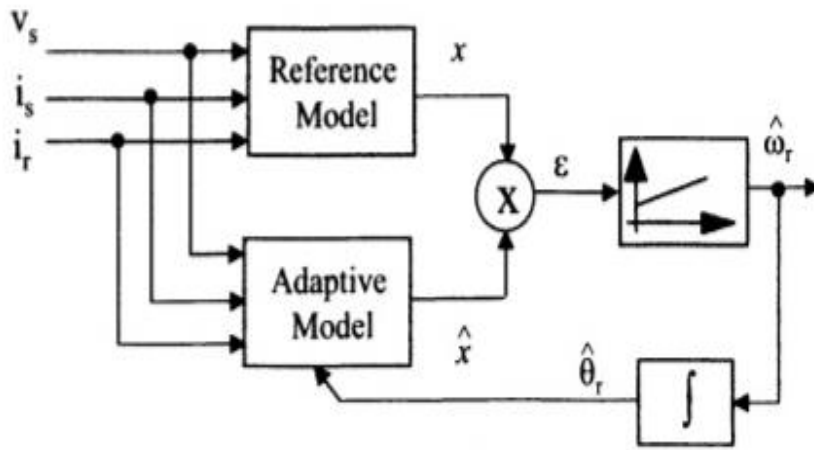
## 2-8 نظام التحكم الغير مستشعر MRAS:

عادة هناك نموذجان ضروريان لتصميم مراقب الـ MRAS:

النموذج المرجعي والنموذج التكيفي.

يستخدم هذا النظام النموذج المرجعي للأقارب للمتغيرات بينما يتم ضبط الأخير بواسطة الدوران المقدر للسرعة وموقف الدوران من أجل دفع الخطأ الموضعي الي الصفر.

لذلك لا غنى عن النموذج الرياضي المناسب، مما يؤثر علي دقة الملاحظة وبالتالي التأثير علي اداء التحكم في نظام BDFM كما يوضح الشكل التالي (4-2)



الشكل (4-2) مخطط صندوقي يوضح اجزاء MRAS

## الفصل الثالث

النموذج الرياضي للآلة التحريضية و

تصميم نظام التحكم

## الفصل الثالث

### النموذج الرياضي للآلة التحريضية و تصميم نظام التحكم

#### 1-3 مقدمة:

سنقدم في هذا النموذج الرياضي للآلة التحريضية و الذي سنستخدمه في وضع النموذج الرياضي للآلة BDFIM، كما سيتم في هذا الفصل تعريف التحكم الشعاعي بتوجيه الفيض ، ومن أجل ذلك سيتم أولاً التعريف بكيفية فصل النظام، ثم سيتم تحليل حلقات التحكم المستخدمة وهي : حلقة التيار، حلقة الفيض، حلقة العزم، وحلقة السرعة . سيتم الحديث عن كيفية تصميم المتحكمات باستخدام التحكم التقليدي

(PID)

#### 2-3 المعادلات الرياضية للآلة التحريضية:

- معادلات الجهود في الثابت على المحورين المتعامدين  $d, q$  :

$$U_{sd} = R_s \cdot i_{sd} + \frac{d}{dt} \phi_{sd} - \omega_s \cdot \phi_{sq}$$

$$U_{sq} = R_s \cdot i_{sq} + \frac{d}{dt} \phi_{sq} - \omega_s \cdot \phi_{sd}$$

- معادلات الجهود في الدائر على المحورين المتعامدين  $d, q$  :

$$U_{rd} = 0 = R_r \cdot i_{rd} + \frac{d}{dt} \phi_{rd} - (\omega_s - \omega_r) \cdot \phi_{rq}$$

$$U_{rq} = 0 = R_r \cdot i_{rq} + \frac{d}{dt} \phi_{rq} - (\omega_s - \omega_r) \cdot \phi_{rd}$$

- معادلات الفيوض في الثابت على المحورين المتعامدين  $d, q$  :

$$\phi_{sd} = L_s \cdot i_{sd} + L_m \cdot i_{rd}$$

$$\phi_{sq} = L_s \cdot i_{sq} + L_m \cdot i_{rq}$$

$$\phi_{rd} = L_s \cdot i_{rd} + L_m \cdot i_{sd}$$

$$\Phi_{rq} = L_s \cdot i_{rq} + L_m \cdot i_{sq}$$

- معادلة العزم الكهرومغناطيسي :

$$T_e = \frac{L_m}{L_r} \cdot P \cdot (\Phi_{rd} \cdot i_{sq} - \Phi_{rq} \cdot i_{sd})$$

- معادلة الاستطاعة الفعلية :

$$P_s = (U_{sd} \cdot i_{sd} - u_{sq} \cdot i_{sq})$$

- معادلة الحركة :

$$J \frac{d'\Omega r}{dt} = T_e - T_i$$

حيث:

$$U_{sd} \equiv \text{توتر الثابت علي المحور}$$

$$U_{sq} \equiv \text{توتر الثابت علي المحور}$$

$$U_{rd} \equiv \text{توتر الدائر علي المحو}$$

$$U_{rq} \equiv \text{توتر الدائر علي المحور}$$

$$i_{sd} \equiv \text{تيار الثابت علي المحور}$$

$$i_{sq} \equiv \text{تيار الثابت علي المحور}$$

$$i_{rd} \equiv \text{تيار الدائر علي المحور}$$

$$i_{rq} \equiv \text{تيار الدائر علي المحور}$$

$$\Phi_{sd} \equiv \text{الفيض المغناطيسي للثابت علي المحور}$$

$$\Phi_{sq} \equiv \text{الفيض المغناطيسي للثابت علي المحور}$$

$$\Phi_{rd} \equiv \text{الفيض المغناطيسي للدائر علي المحور}$$

$$\Phi_{rq} \equiv \text{الفيض المغناطيسي للدائر علي المحور}$$

مقاومة ملف الثابت  $\equiv R_s$

مقاومة ملف الدائر  $\equiv R_r$

المحارضة الذاتية لملف الثابت  $\equiv L_s$

المحارضة التبادلية  $\equiv L_m$

المحارضة الذاتية لملف الدائر  $\equiv L_r$

عدد ازواج أقطاب الآلة  $\equiv P$

سرعة دوران الساحة المغناطيسية للثابت في الآلة  $\equiv \omega_s$

سرعة الدوران الميكانيكية للآلة  $\equiv \omega_r$

عزم عطالة الآلة  $\equiv J$

العزم الكهرومغناطيسي في الآلة  $\equiv T_e$

عزم الحمولة  $\equiv T_i$

### 3-3 التحويل الي المحورين d-q :

لانتقال من جملة الاحداثيات الثلاثية الاطوار a-b-c الي جملة الاحداثيات الثنائية علي

المحورين d-q نستخدم تحويل بارك التالي :

$$V_d = \sqrt{\frac{2}{3}} * [V_a * \cos\theta + V_b * \cos\left(\theta - 2 \cdot \frac{\pi}{3}\right) + V_c * \cos\left(\theta + 2 \cdot \frac{\pi}{3}\right)]$$

$$V_q = \sqrt{\frac{2}{3}} * [-V_a * \cos\theta - V_b * \cos\left(\theta - 2 \cdot \frac{\pi}{3}\right) - V_c * \cos\left(\theta + 2 \cdot \frac{\pi}{3}\right)]$$

a-b-c: مركبات الجهد في الاحداثيات  $V_a, V_b, V_c$

q-d: مركبات الجهد في الاحداثيات  $V_q, V_d$

هي الزاوية بين الثابت و الدائر و التي نحصل عليها من سرعة الدائر  $\theta$ :

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_r$$

### 3-4 التحكم الشعاعي بتوجيه الفيض :

سنقوم في هذه الفقرة بشرح مبدأ التحكم الشعاعي بالعزم الكهربائي للآلة التحريضية. يعطي العزم

الكهربائي للآلة التحريضية بالعلاقة التالية:

$$C_{em} = P. (\Phi_{rd} \cdot i_{sq} - \Phi_{rq} \cdot i_{sd})$$

إن الفكرة الاساسية لتحكم الشعاعي بتوجيه الفيض هي توجيه محاور الاحداثيات بحيث ينطبق المحور

d علي شعاع الفيض للثابت أو للدائر. هكذا تتعدم احدي مركبتي الفيض، أي يصبح لدينا  $\Phi_{rq} = 0$  و

تبقى المركبه الاخرى  $\Phi_{rd} = \Phi_r$ . عندها تصبح معادلة العزم كما يلي :

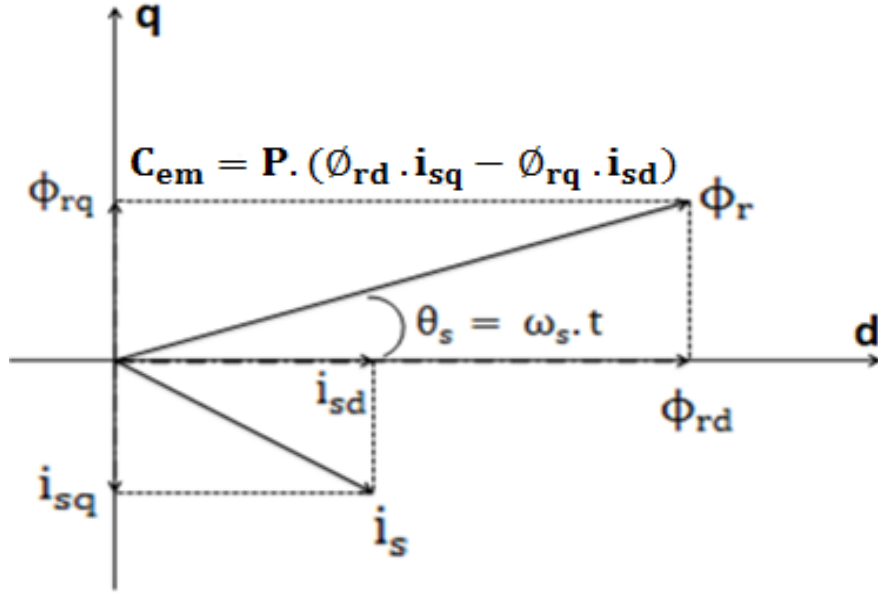
$$C_{em} = P. \Phi_r \cdot i_{sq}$$

يسمح تثبيت قيمة الفيض بالتحكم بالعزم الكهربائي باستخدام مركبه واحده للتيار و هي  $i_{sq}$  ويصبح

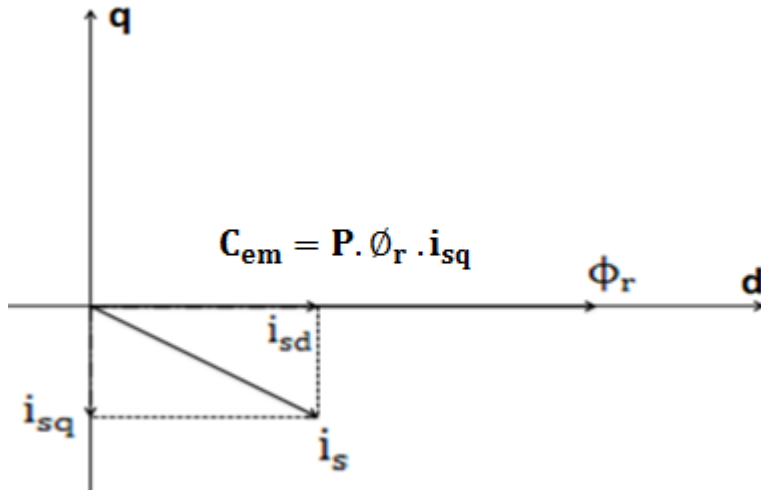
التحكم بالآلة التحريضية مشابهاً للتحكم بألة ذات التيار المستمر.

تدور الاحداثيات q و d التي نسقط عليها فيض الدائر و تيار الثابت بسرعة الحقل الدوار و لتكن هنا :

$\theta_s = \omega_s \cdot t$  يؤخذ مركز الاحداثيات  $d, q$  بشكل عشوائي، ويوجد عدد لا مهائي من الأوضاع للاحداثيات  $d, q$  بالنسبة للآلة التحريضية و التي تدور بسرعة  $\theta_s = \omega_s \cdot t$  والتي يسقط عليها تدفق الدائر و تيار الثابت . كما موضح بالشكل (1-3)



الشكل (1-3) فيض الدائر و تيار الثابت في الاحداثيات  $d, q$



الشكل (2-3) فيض الدائر و تيار الثابت في الاحداثيات  $d, q$  بعد تثبيت قيمه الفيض

للحصول علي هذا التوجيه يجب حسب التردد  $\omega_s$  الذي سنقوم بايجاده لحساب الزاويه  $\theta_s$  الضرورية في

تحويلات الاحداثيات من ثنائية الي ثلاثية و بالعكس

إن ما يهم الوصول اليه بالنسبة لنا هو نظام متعدد المتحولات ناتج عن معادلة الحالة. سنتناول خيارات

متعددة متاحة بالنسبة لتحويلات الحلة من بينها مركبات تيار الثابت و فيض الدائر:

$$\underline{x} = [I_{sd} \ I_{sq} \ \phi_{rd} \ \phi_{rq}]$$

اذا عدنا مركبة الفيض علي المحور q نحصل علي :

$$\phi_{rq} = 0 = \frac{L_m \cdot R_r}{L_r} \cdot I_{sq} - (\omega_s - \omega_r) \cdot \phi_r \rightarrow \omega_s = \omega_r + \frac{L_m \cdot R_r}{L_r \cdot \phi_r} \cdot I_{sq}$$

نعرف تيار المغنطة بالعلاقة :

$$I_{mr} = \frac{\phi_r}{L_m}$$

يعبر عن مشتق الفيض في الدائر علي المحور d انطلاقاً من معادلا نموذج فراغ الحالة السابقة كما يلي

:

$$\phi_{rq} = \phi_r = R_r \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot I_{sq} - \frac{R_r}{L_r} \cdot \phi_r \rightarrow i_{mr} \cdot \frac{L_r}{R_r} = I_{sd} - I_{mr}$$

يمكن ان نحصل علي تيار المغنطة عن طريق تابع نقل من الدرجة الاولي :

$$I_{mr} = \frac{i_{sd}}{1 + T_r \cdot S}$$

بالتالي تكون العلاقة بين الفيض و مركبة تيار الثابت  $I_{sd}$  كما يلي :

$$\phi_r = L_m \cdot L_{mr}$$

$$\phi_r = L_m \cdot \frac{I_{sd}}{1 + T_r \cdot S}$$

وبالتالي يمكن التحكم بالفيض عن طريق مركبة التيار  $I_{sd}$  كتابع من الدرجة الأولى .

أما بالنسبة للتردد فيمكن ضبطه انطلاقاً من العلاقة التالية :

$$\omega_s = \omega_r + \frac{1}{T_r} \cdot \frac{I_{sq}}{I_{mr}}$$

سنقوم الآن بتحديد المهام الضرورية لتشغيل التحكم الشعاعي :

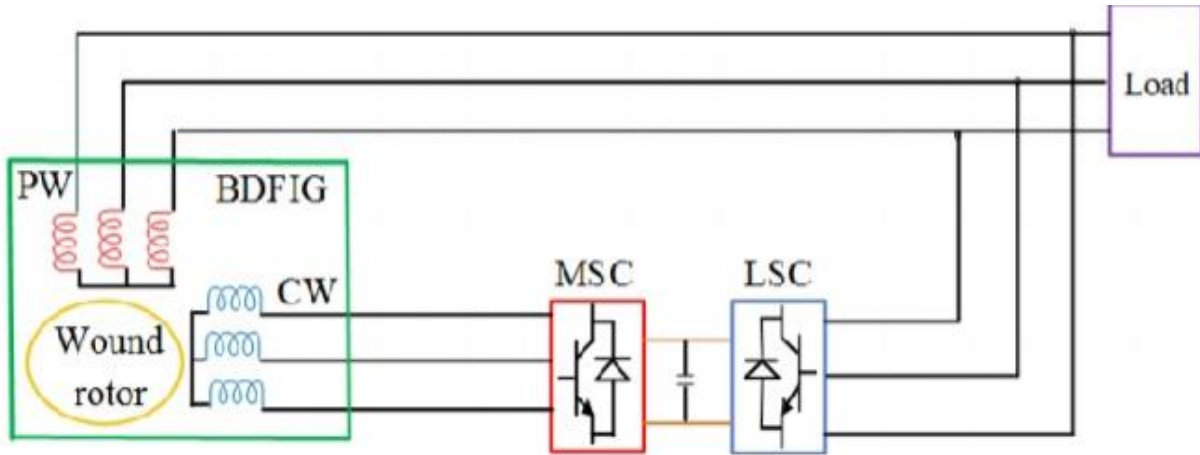
- تمثيل المقادير الكهربائية للآلة التزامنية في الاحداثيات d,q .
- فصل مركبتي التيارين  $i_{sd}$  ,  $i_{sq}$  .
- وضع حلقات تحكم متنوعة.

### 3-5 النموذج الرياضي للمولد التحريضي ذات التغذية المزدوجة بدون فرش :

في نظام المولد التحريضي ذات التغذية المزدوجة بدون فرش (BDFIG)، يتم توصيل الجزء الثالث PW

مباشرة بأطراف التحميل ، ويتم توصيل CW بجانب التحميل عبر محول من ظهر الي ظهر كما هو

موضح بالشكل (3-3) :



الشكل (3-3) تركيب المولد التحريضي ذو التغذية المزدوجة بدون فرش (BDFIG)

في الوضع المتزامن ، يمكن التعبير عن سرعة الدوار لـ BDFIG

$$\omega_r = \frac{\omega_1 + \omega_2}{P_1 + P_2}$$

يمكن اشتقاق الاطار المتزامن مثل نموذج المتجه الرياضي لـ BDFIG في dq :

$$U_1 = R_1 i_1 + \frac{d \Psi_1}{dt} + j\omega_1 \Psi_1$$

$$0 = R_r i_r + \frac{d \Psi_r}{dt} + j(\omega_1 - p_1 \omega_r)$$

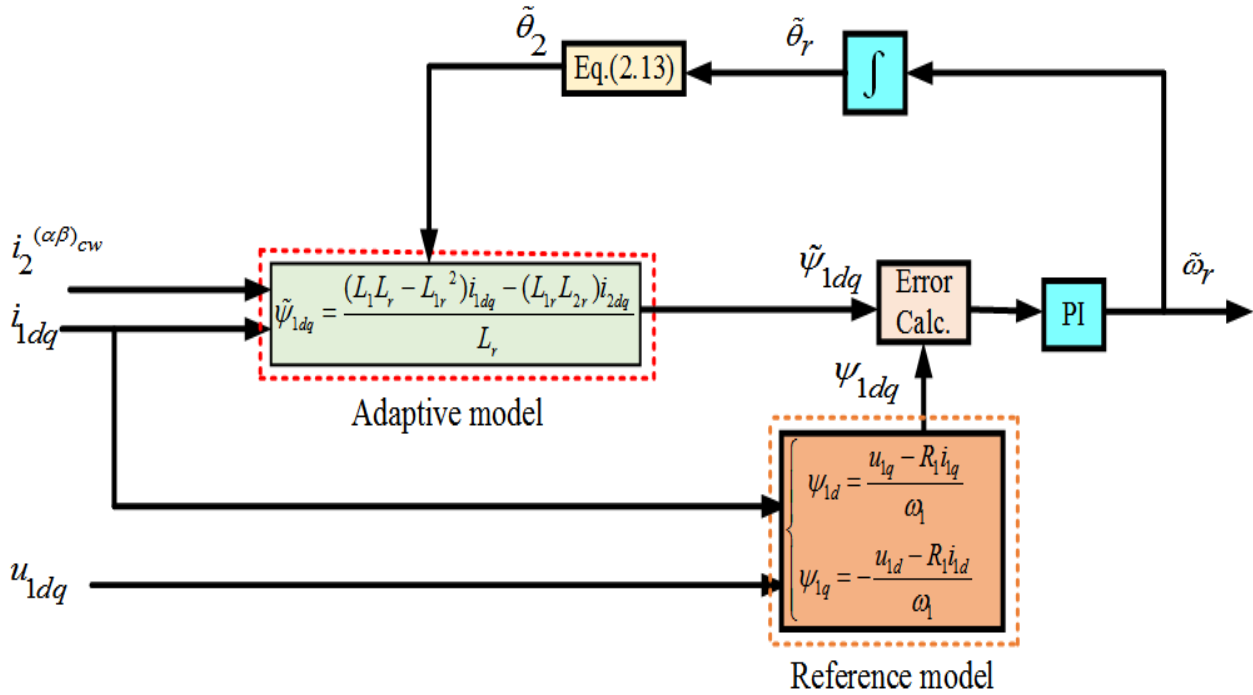
$$u_2 = R_2 i_2 + \frac{d \Psi_2}{dt} + j(\omega_1 - (p_1 + p_2) \omega_r)$$

$$\Psi_1 = L_1 i_1 + L_{1r} i_r$$

$$\Psi_r = L_r i_r + L_{2r} i_2 + L_{1r} i_1$$

$$\Psi_2 = L_2 i_2 + L_{2r} i_r$$

### 6-3 تصميم المراقب MRAS :



الشكل (4-3) هيكلية مراقب MRAS PW-flux

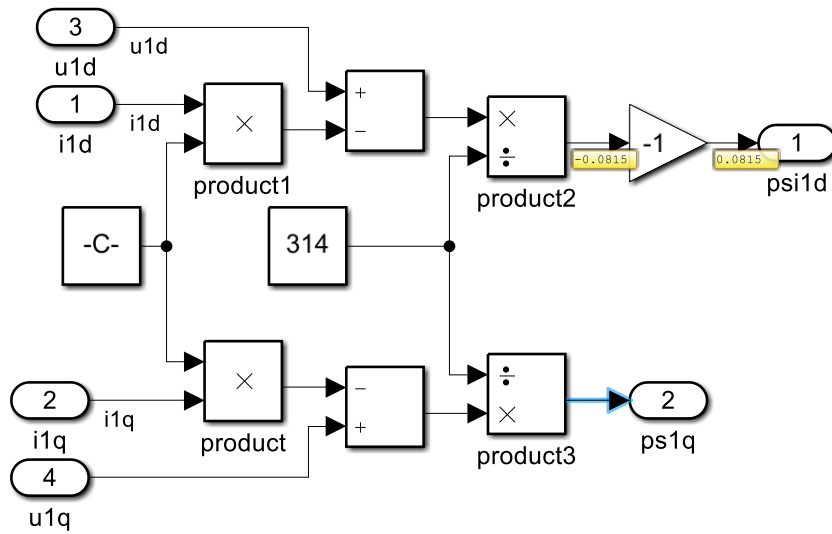


### 1-6-3 تصميم نموذج مرجعي: (Reference)

من معادلة dq PW في حالة الاستقرار ، يمكن الحصول على تصميم نموذج مرجعي كما موضح قي

الشكل (6-3):

$$\begin{cases} \psi_{1d} = \frac{u_{1q} - R_1 i_{1q}}{\omega_1} \\ \psi_{1q} = -\frac{u_{1d} - R_1 i_{1d}}{\omega_1} \end{cases}$$



الشكل (6-3) يوضح النموذج المرجعي

### 2-6-3 تصميم نموذج متكيف: (Adaptive)

يمكن اشتقاق النموذج التكيفي من خلال الإجراء على النحو التالي ، استبدال تدفق الجزء المتحرك dq

إلى إنتاجية معادلة الجهد الدوار dq

$$0 = R_r i_r + \frac{d}{dt} (L_r i_r + L_{2r} i_2 + L_{1r} i_1) + j(\omega_1 - p_1 \omega_r) (L_r i_r + L_{2r} i_2 + L_{1r} i_1)$$

$$0 = [R_r + sL_r + j(\omega_1 - p_1 \omega_r) L_r] i_r + [s + j(\omega_1 - p_1 \omega_r)] (L_{2r} i_2 + L_{1r} i_1)$$

$$i_r = \frac{-[s + j(\omega_1 - p_1\omega_r)](L_{2r}i_2 + L_{1r}i_1)}{R_r + [s + j(\omega_1 - p_1\omega_r)]L_r}$$

من معادله تدفق الفيض للـ PW

$$i_1 = \frac{1}{L_1}\psi_1 - \frac{L_{1r}}{L_1}i_r$$

استبدال معادلة تدفق PW dq إلى معادلة تيار الجزء المتحرك dq ، والمصطلح

$$R_r/[s + j(\omega_1 - p_1\omega_r)]$$

يمكن إهمالها ، يمكن اشتقاق تيار الدوار على النحو التالي:

$$i_r = \frac{(L_1L_{2r}i_2 + L_{1r}\psi_1)}{(L_{1r}^2 - L_1L_r)}$$

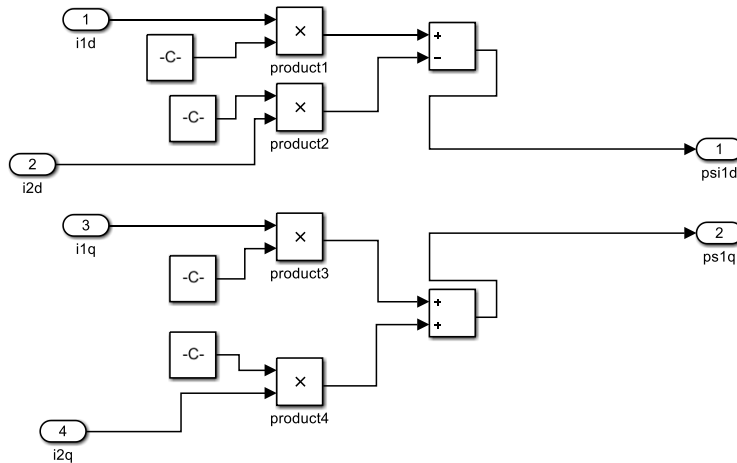
باستبدال المعادلة أعلاه بمعادلة تدفق dq PW ، يكون تدفق الجزء الثابت PW

$$\psi_1 = \frac{(L_1L_r - L_{1r}^2)i_1 - (L_{1r}L_{2r})i_2}{L_r}$$

النموذج التكيفي (Adaptive) لتقدير تدفق الجزء الثابت المتعرج للطاقة في الإطار المرجعي dq كما

موضح في الشكل (7-3) هو

$$\Psi_{1dq} = \frac{(L_1L_r - L_{1r}^2)i_1 - (L_{1r}L_{2r})i_2}{L_r}$$

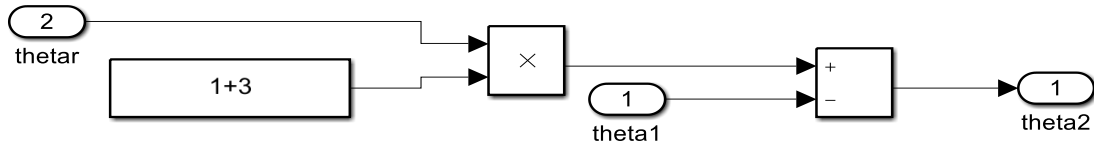


الشكل (7-3) يوضح النموذج التكيفي

3-6-3 تصميم theta2 :

$$\omega_r = \frac{\omega_1 + \omega_2}{P_1 + P_2}$$

$$\theta_2 = \theta_r(P_1 + P_2) - \theta_1$$



الشكل (8-3): يوضح theta2

الجدول (1-3) يوضح قيم المعاملات

المعاملات	القيمة
Capacity	30 kVA
Range of speed	600 ~1200 rpm
$P_1, P_2$	1, 3
PW voltage and current	380 V, 45 A
CW voltage range	0~350 V
CW current range	0~40 A
$R_1, R_2, R_r$	0.4034 $\Omega$ , 0.2680 $\Omega$ , 0.3339 $\Omega$
$L_1, L_2, L_r$	0.4749 H, 0.03216 H, 0.2252 H
$L_{1r}, L_{2r}$	0.3069 H, 0.02584 H

## الفصل الرابع

### النتائج و الإختبارات

## الفصل الرابع

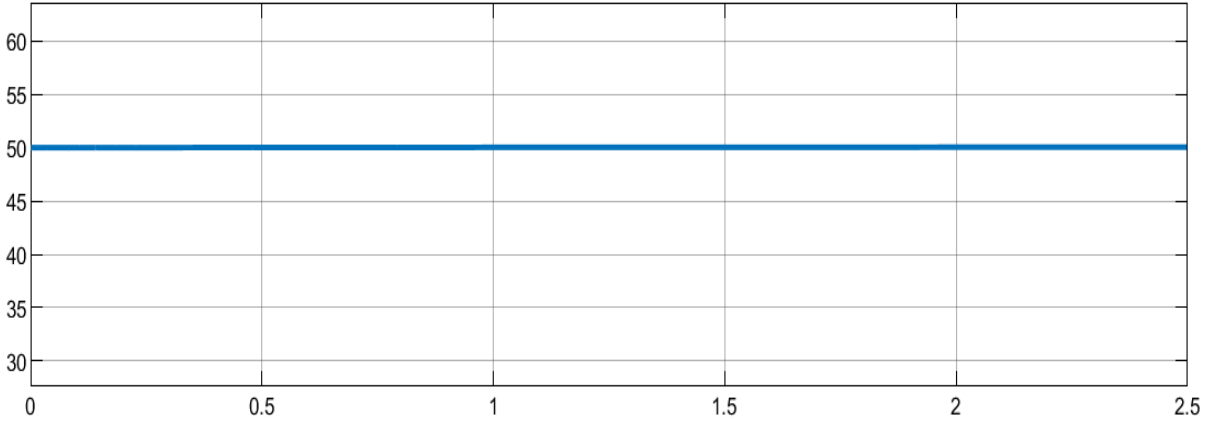
### النتائج و الإختبارات

#### 1-4 مقدمة:

في هذا الفصل سنقوم بعرض النتائج التي تحصلنها عليها من نظام المحاكاة . وسنقوم بإجراء بعض

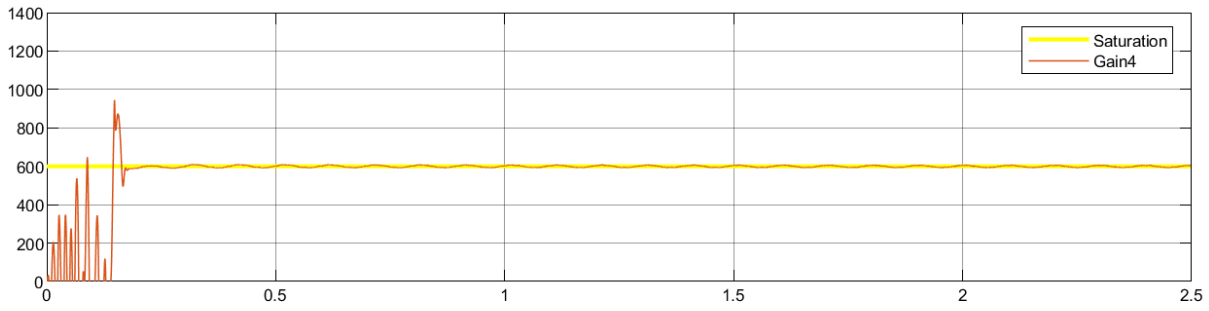
التجارب عليها و مناقشتها

#### 2-4 إشارة التردد:



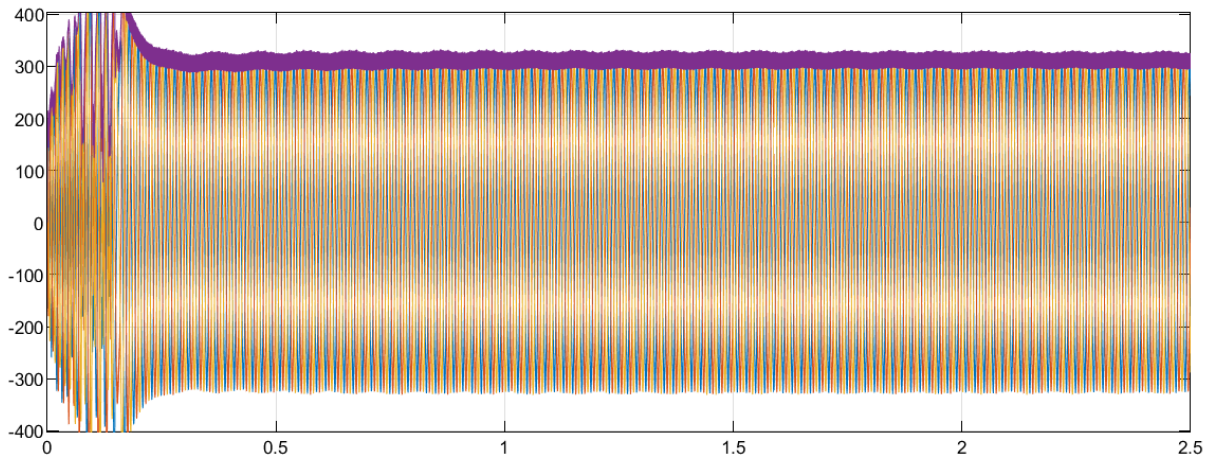
الشكل (1-4) يوضح إشارة خرج التردد

### 3-4 إشارة السرعة:



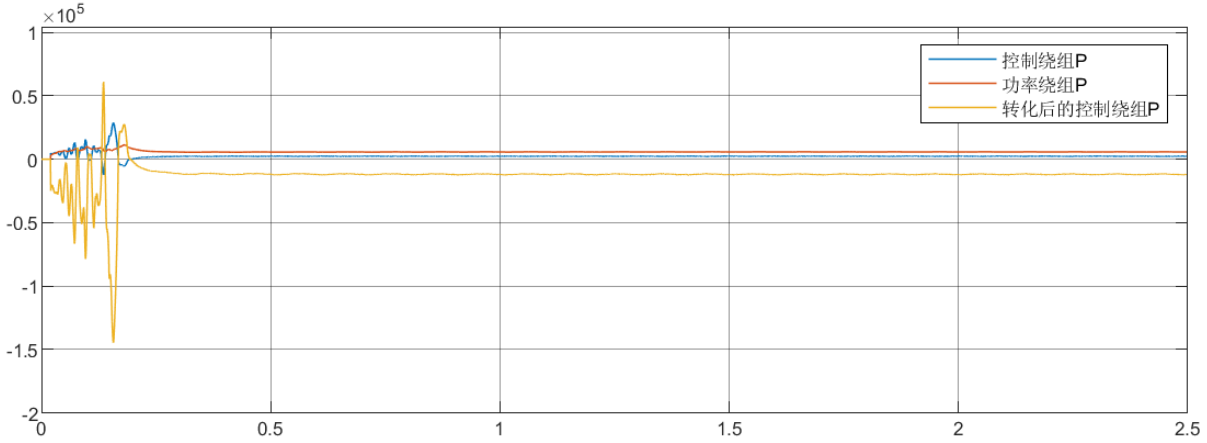
الشكل (2-4) يوضح إشارة خرج السرعة للمولد

### 4-4 سعة الجهد:



الشكل (3-4) يوضح إشارة خرج الجهد

#### 5-4 مقارنة القوة:



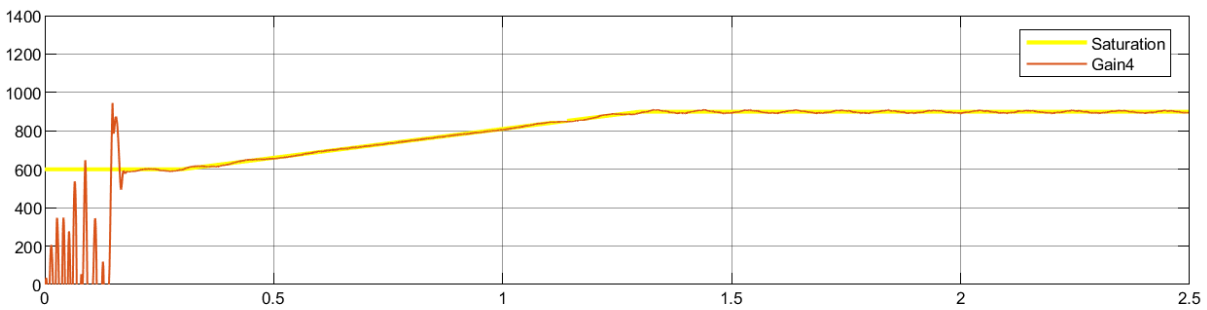
الشكل (4-4) يوضح إشارة خرج مقارنة القوة

#### 6-4 الاختبارات:

##### 1-6-4 الإختبار الأول:

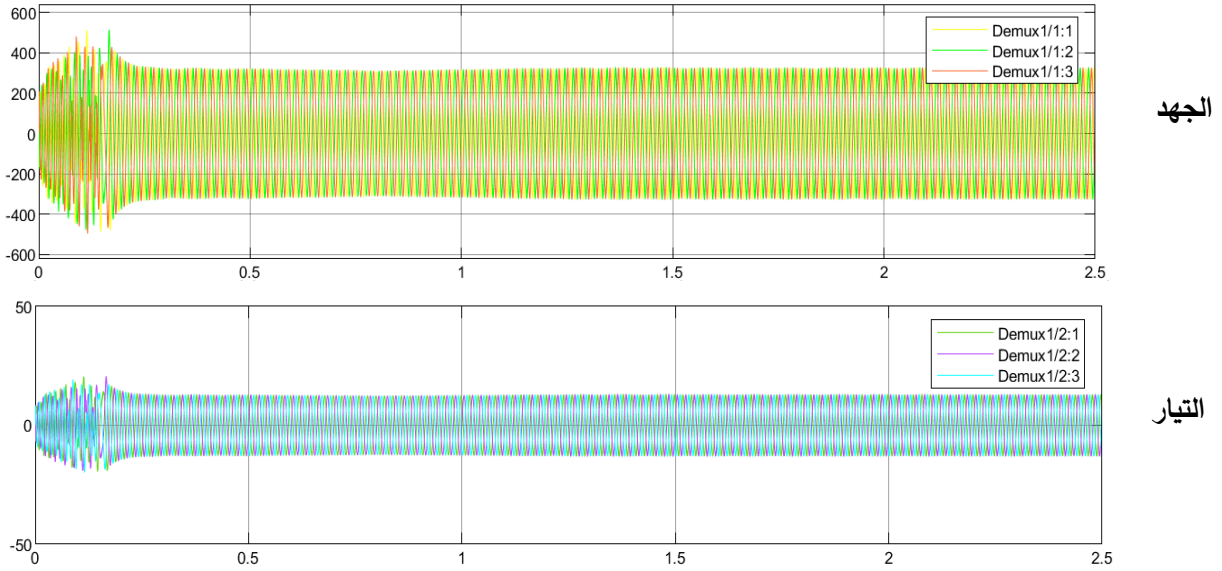
زياده السرعة من 600 لفة/دقيقة لـ 900 لفة/دقيقة مع حمل ثابت 25 أوم :

##### 1-1-6-4 السرعة:



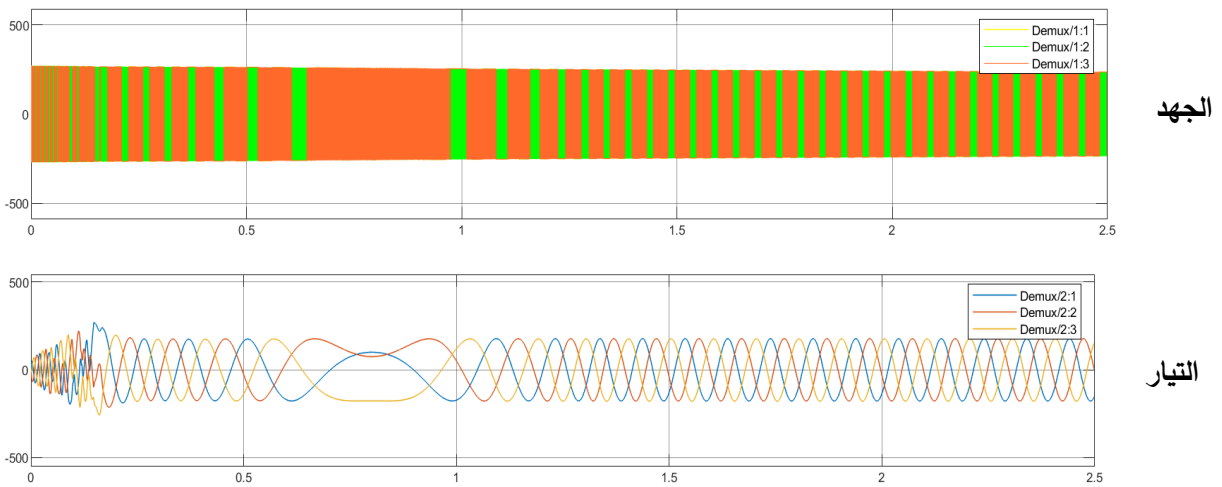
الشكل (5-4) يوضح السرعة للمولد

4-6-1-2 الجهد و التيار لـ PW :



الشكل (4-6) يوضح الجهد و التيار لـ PW

4-6-1-3 الجهد و التيار لـ CW :

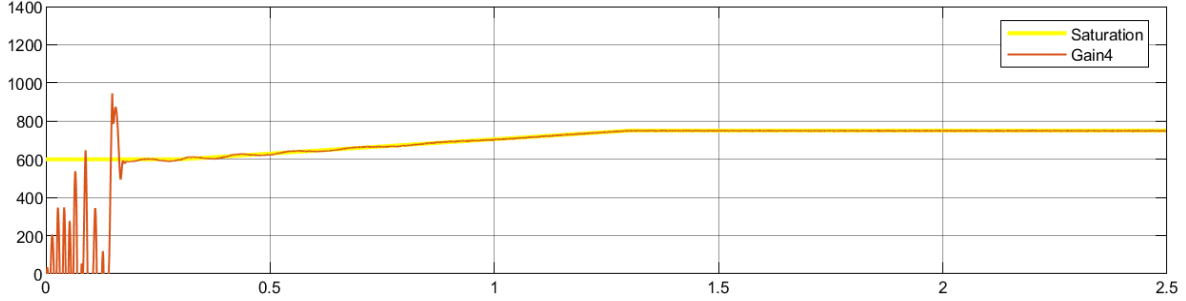


الشكل (4-7) يوضح الجهد و التيار لـ CW

#### 4-6-2 الإختبار الثاني:

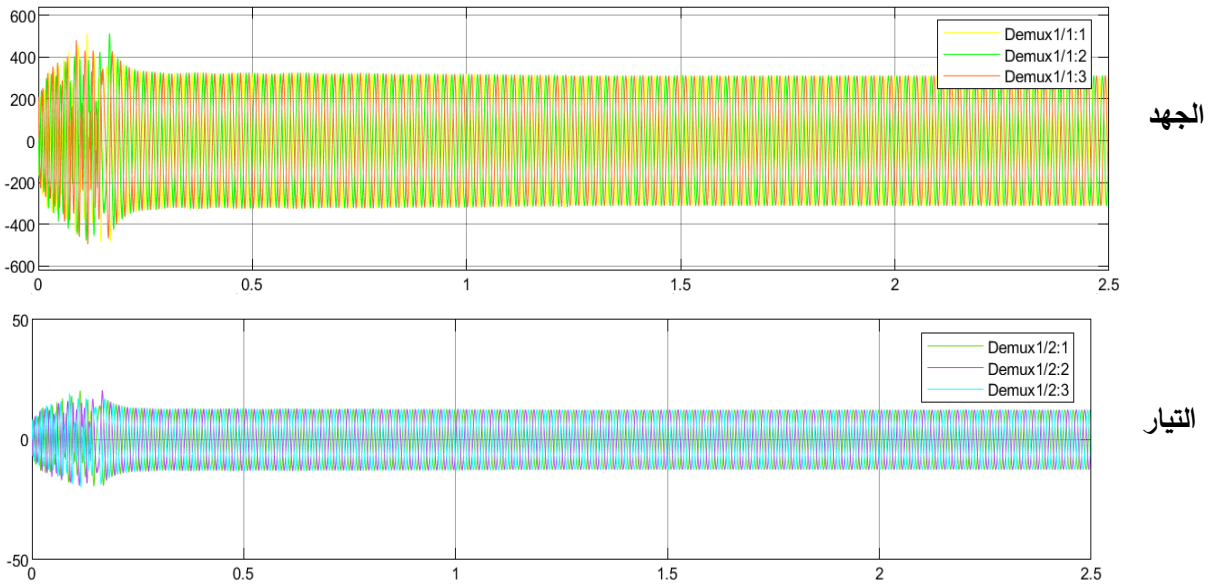
زياده السرعة من 600 لفة/دقيقة لـ 750 لفة/دقيقة مع حمل ثابت 25 أوم :

#### 4-6-2-1 السرعة:



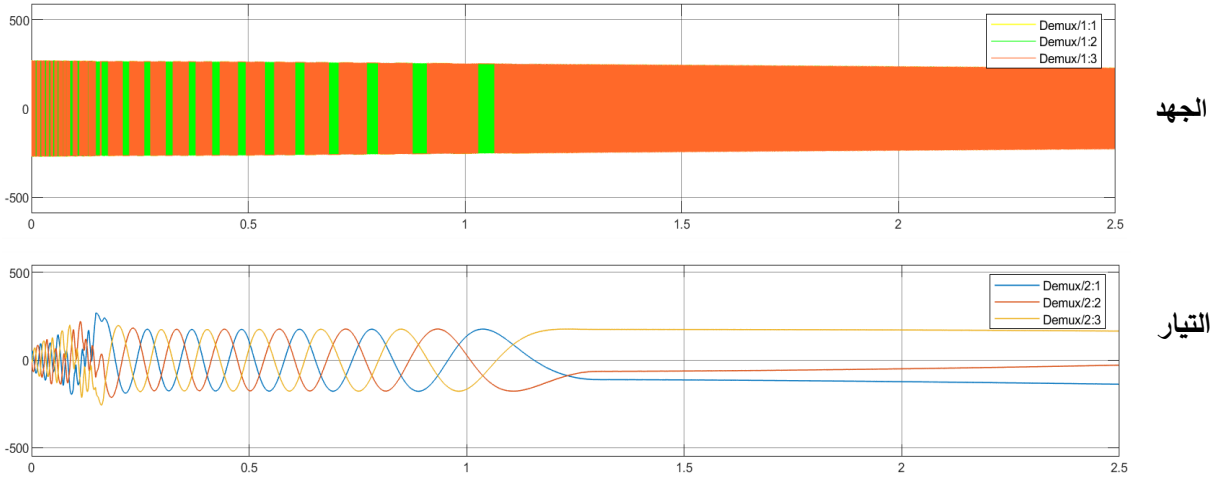
الشكل (4-8) يوضح السرعة للمولد

#### 4-6-2-2 الجهد و التيار لـ PW :



الشكل (4-9) يوضح الجهد و التيار PW

#### 3-2-6-4 الجهد و التيار ل CW :



الشكل (4-10) يوضح الجهد و التيار ل CW

#### 4-7 المناقشة:

توضح النتائج التي تم الحصول عليها أداء التتبع الجيد لسعة الجهد PW والتحكم في التردد تحت تغيرات منحدر السرعة من 600 لفة/دقيقة إلى 900 لفة/دقيقة. و منحدر السرعة من 600 لفة/دقيقة إلى 750 لفة/دقيقة

تتحقق النتائج من أن السرعة المقدره تتوافق جيداً مع السرعة المقاسة ، يمكن ملاحظة أن مكون المحور q لجهد PW يتتبع بنجاح القيمة المرجعية على النحو المحدد عند الصفر.

هذا يضمن فعالية طريقة MRAS المقترحة لنظام التحكم DVC غير المستشعر لنظام BDFIG المستقل.

## الفصل الخامس

### الخلاصة و التوصيات

## الفصل الخامس

### الخلاصة و التوصيات

#### 1-5 الخلاصة :

وجد أن BDFIG الذي تم اختباره ذو سلوك عابر جيد في ظل السرعات المختلفة ، وتحت سيطرة طريقة التحكم المقترحة على أساس PW-flux MRAS.

توضح النتائج أيضاً التتبع الجيد بين استجابة السرعة المقدره والفعليه ، مما يدل على القدرة القوية للتحكم غير المستشعر المقترح بناءً على مراقب PW و CW-flux MRAS لـ BDFIGs المستقلة.

#### 2-5 التوصيات :

يوصي بمراعاة الاعتبارات التالية :

- يمكن إستكمال البحث حول النظام بنماذجها المختلفة التي تعتبر عديدة و واعدة في مجال الطاقات المتجددة
- و نوصي الباحثين عند العمل علي هذا النظام يتم ضبط الخطأ للتقليل من التشويش في خصائص الإشارات

# المراجع

## المراجع :

- 1- Alameen Kamal Abdalhy Ebraheem MRAS Sensorless Control of Standalone Doubly-Fed Induction Generators[PPT] Supervisor: Prof. Wei Xu Huazhong University of Science and Technology Wuhan, China October 25, 2020
- 2- [https://www.researchgate.net/figure/BDFIG-configuration-for-wind-power-generation\\_fig1\\_262375426](https://www.researchgate.net/figure/BDFIG-configuration-for-wind-power-generation_fig1_262375426)  
march, 2014
- 3- R. A. McMahon, P. C. Roberts, X. Wang, and P. J. Tavner, "Performance of BDFM as generator and motor," *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, vol. 153, no. 2, pp. 289–299, 2006.