N° d'ordre : .....
N° de série : .....

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Mémoire de Fin d'Étude

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique
En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Commande Electrique/Réseaux électriques

Présenté par

- NAOUI M.ELHADI – BENDWEYM SALEM – FERRAG ISSAM -

Thème

دراسة ونمذجة الMADA واستعمالها في تعويض الاستطاعة الرد فعلية وامكانية التخلص من التوافقيات الأكثر ضررا في الشبكة الكهربائية .

Soutenu le ../05/2016. Devant le jury composé de :

Mr.GASSEM Abd ELMALEK	Maitre de conférences	Président
Mr.BEKAKRA YOUCEF	Maitre de conférences	Rapporteur
Mr.GUEDIRI Abd ELKERIM	Maitre de conférences	Examinateur

Année Universitaire 2015/2016

شكر وعرفان

قال الله تعالى :

‹ ومن يشكر فانما يشكر لنفسه ... ›

وعملا بقول **النبي صلى الله عليه وسلم :**

‹ من لايشكر للناس لايشكر لله ›

نتقدم بجزيل الشكر والعرفان بالجميل الى كل من ساعدنا في انجاز هذا المشروع من قريب أو من بعيد ، ونخص بالذكر الأستاذ المؤطر : « بكاكرة يوسف »الذي لا تصفه أسمى الكلمات بقيمه و أخلاقياته .

دون أن ننسى أستاذنا المساعد « رحاب عبد الرزاق » على نصائحه وتوجيهاته....كما نشكر أيضا لكافة أساتذة قسم الهندسة الكهربائية .

كما نتمنى لكل طلبة العلم الجادين المخلصين التوفيق والسداد لهم في حياتهم العلمية والعملية .

وشكـــــرا .

اهـداء

الى من ترعانا بعينيها ،بيديها، بحنانها، وسهرت على راحاتنا لنبدو لها كنجمة مضيئة تسعد بها ولها نهديها جهدنا لتقر عينها .....أمهاتنا .

الى من نعتز بفخره دائما وأخذ بيدنا لنكون الأفضل وساعدنا لنجتاز العواقب والمحن وكابد عنا العناء نهديه جمال نجاحنا.....آبائنا .

الى أخوتنا نهديهم فخرنا بهم وجمال عملنا ونتمنى لهم التوفيق.

الى كل من علمنا حرفا أو كلمة وساعدنا على بلوغ هذه المنزلة...أساتذتنا .

الى أصدقائنا الأعزاء الذين نكن لهم الاحترام ونرسل لهم الشكر على الوفاء ونتمنى لهم التوفيق والصلاح ان شاء الله .

الى كل من وقف بجانبنا طيلة الفترة الدراسية . نهديهم سلامنا.

الفهرس

فـــهـرس العناوين

مقـــــــدمة عـــــــامة		01

الفصل الأول:عموميات حول أنظمة التوليد الكهربائية

مقدمة		03
1.I	أنواع المكائن الكهربائية	03
1.1.I	المكائن التزامنية	03
1.1.1.I	المكائن التزامنية ذات المغناطيس الدائم	03
2.1.1.I	الماكنة التزامنية ذات دوار ملفوف	04
2.1.I	الماكنة اللاتزامنية	05
1.2.1.I	الماكنة اللاتزامنية بقفص السنجاب	05
2.2.1.I	الماكنة اللاتزامنية ثنائية الساكن	06
3.2.1.I	ماكنة لاتزامنية موصولة بالشبكة بواسطة محول الكتروني (AC-DC-AC)	06
4.2.1.I	الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA .	07
1.4.2.1.I	الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية نموذج بروشلاس brushless	08
2.4.2.1.I	الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية باستطاعة دورانية مبددة	09
3.4.2.1.I	الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية بنية كرامر KRAMER	09
4.4.2.1.I	الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية – بنية شاربيوس مع محول دوري	10
5.4.2.1.I	المولدة اللاتزامنية ثنائية التغذية- بنية شاربيوس مع محول MLI	11
2.I	الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA	12
1.2.I	بنية الماكنة MADA	12
2.2.I	مبدأ عمل الماكنةMADA	13
3.2.I	خصائص الماكنة MADA	15
4.2.I	نظام عمل الماكنة MADA	15
5.2.I	مجالات تطبيق الماكنة MADA	17
	الخـــــــلاصة	17

الفصل الثاني : دراســـة ال MADA

مقدمة		18
1.II	الفرضيات المساعدة	18
2.II	النموذج الطبيعي للـMADA(نظام ثلاثي المحاور abc)	18
1.2.II	معادلات الجهود	18
2.2.II	معادلة التدفقات	20
3.2.II	المعادلة الميكانيكية	21
3.II	نموذج ثنائي المحاور	22
1.3.II	تحويل بارك	22
2.3.II	تطبيق تحويل بارك على الماكنة MADA	24
1. 2.3.II	معادلات الجهود	25
2. 2.3.II	معادلات التدفقات	25
3. 2.3.II	المعادلة الميكانيكية	27
3.3.II	معادلات الحالـــــة للماكنة	28
4.3.II	اختيار المرجع(نمذجة الماكنة اللاتزامنية)	30
1.4.3.II	مرجع منسوب الى الساكن	31
2.4.3.II	مرجع منسوب الى الدوار	32
3.4.3.II	مرجع منسوب الى الحقل الدوار	33
4.II	المحاكاة العددية باستعمال الـ MADA	34
1.4.II	تحليل النتائج	41
5.II	نمذجة و محاكاة مموج الجهد (العاكس)	43
1.5.II	البنية	43
2.5.II	نمذجة المموج	44
3.5.II	طريقة التحكم بتغيير عرض النبضة MLI	45
4.5.II	المحاكاة العددية للمموج	46
6.II	المحاكاة العددية باستعمال المجموعة (ممـوج- MADA)	49
1.6.II	تحليل النتائج	54
	الخلاصة	54

الفصل الثالـــث : التحكم في الاستطاعـــة الـرد فعلية

مقدمة		55
1.III	معامل الاستطاعة	55
2.III	اسباب انخفاض معامل الاستطاعة	56
3.III	التأثيرات الناتجة عن معامل الاستطاعة الرديء	56
4.III	تحسين معامل الاستطاعة	56
5.III	تعويض الاستطاعة الرد فعلية	57
1.5.III	ايجابيات التعويض	57
2.5.III	كيف نقوم بتعويض الاستطاعة في منشاة؟	57
3.5.III	الوسائل و الطرق المستعملة لتعويض الاستطاعة الردفعلية	58
6.III	تقنية التحكم الشعاعي F.O.C	59
1.6.III	مبدأ التحكم بتوجيه التدفق	59
2.6.III	عملية توجيه الحقل	60
3.6.III	توجيه التدفق في الساكن حسب المحور q	62
1.3.6.III	حساب التدفق	62
2.3.6.III	حساب الجهود في الدوار	63
3.3.6.III	قانون التحكم	64
4.3.6.III	حساب العزم الكهرومغناطيسي	64
5.3.6.III	تعريف مقادير التحكم	65
6.3.6.III	مخطط التحكم	65
4.6.III	توجيه تدفق في الساكن حسب المحور d	66
1.4.6.III	حساب التدفق	66
2.4.6.III	حساب الجهود في الدوار	67
3.4.6.III	قانون التحكم	68
4.4.6.III	حساب العزم الكهرومغناطيسي	68
5.4.6.III	تعريف مقادير التحكم	68
6.4.6.III	مخطط التحكم	69
5.6.III	توجيه التدفق في الدوار	70
6.6.III	طرق فك الارتباط	71

1.6.6.III	الطريقة المباشرة	**71**
2.6.6.III	الطريقة غير المباشرة	**71**
7.III	بنية تغذية الجهد بتوجيه التدفق	**71**
8.III	بنية مخطط فك الارتباط	**73**
9.III	المحاكاة و تحليل النتائج	**75**
1.9.III	الحالة الأولى	**77**
2.9.III	الحالة الثانية	**78**
3.9.III	الحالة الثالثة	**79**
4.9.III	تحليل النتائج	**80**
	الخلاصـــــة	**80**

الفصل الرابع : نـمذجة و محاكاة الـ MADA باعتبارتوافقيات الشبـكة

	مقدمة	81
1. IV	نمذجة الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية باعتبار التوافقيات	81
2. IV	المحاكاة و تحليل النتائج	87
3. IV	استعمال الماكنة MADA كمرشح فعال في ترشيح التوافقيات	91
1.3. IV	المحاكاة العددية	92
	الخلاصة	96

خلاصة عـــــــــامـــــة 97

فـــهـرس الأشكـــــال

الفصل الأول

الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
الشكل (1.I)	الماكنة التزامنية ذات المغناطيس الدائم.....	03
الشكل (2.I)	الماكنة التزامنية بدوار ملفوف.....	04
الشكل (3.I)	خصائص عزم الدوران بدلالة السرعة للماكنة اللاتزامنة.....	05
الشكل (4.I)	مـاكنة لاتـــــــــزامنية ثنائيـــة الساكن.....	06
الشكل (5.I)	مـــــاكنة لاتزامنية متصلة بالشبكة بواسطة محول إلكتروني.....	07
الشكل (6.I)	بنية الماكنة MADA.....	08
الشكل (7.I)	الماكنة MADA نموذج بـروشلاس.....	08
الشكل (8.I)	الماكنة MADAذات الاستطاعة الدورانية المبددة.....	09
الشكل (9.I)	الماكنة MADA بنيـــة كـــــــرامر.....	10
الشكل (10.I)	الماكنةMADA بنية شاربيوس مع محول دوري.....	10
الشكل (11.I)	الماكنة MADA بنية شاربيوس مع محول MLI.....	11
الشكل (12.I)	بنية الساكن و الدوار للـماكنة MADA.....	12
الشكل (13.I)	بنية الـماكنة MADA بدوار ملفوف	13
الشكل (14.I)	مجال عـــــمل الـماكنة (MADA العزم بدلالة السرعة).....	15
الشكل (15.I أ)	التشغيل التحت تزامني للماكنةMADA.....	16
الشكل(15.I.ب)	التشغيل فوق التزامني للـماكنة MADA	17

الفصل الثـــاني

الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
الشكل (1.II)	تحويـــــــــل اللفائـــــف الحقيقـــية الى اللفائف المكافئة.....	23
الشكل (2.II)	الدائرة المكافئة فـــي نظام ديناميـــكي للـ MADA لـــمرجع d-q	30
الشكل (3.II)	مرجـــــــع منسوب إلى الساكـــــن.....	31
الشكل (4.II)	مرجـــــــع منسوب إلى الـــــــــدوار.....	32
الشكل (5.II)	مرجـــــــــع منســـــــــوب إلىالحقل الدوار.....	33
الشكل (6.II)	تغيـــــر العـــزم في أزمنة مختلفـــــة.....	35
الشكل (7.II.أ)	نظام المحاكاة لتغييـــــر العزم.....	36
الشكل (7.II.ب)	خوارزمية التحكم.....	37
الشكل (8.II)	تيار الساكن و الدوار.....	38
الشكل (9.II)	جهد الساكن و الدوار للطور a.....	39
الشكل (10.II)	سرعة الدوران و العزم الكهرومغناطيسي.....	39
الشكل (11.II)	تيارات الساكن و الدوار في المحاور d-q.....	40
الشكل (12.II)	الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية.....	41
الشكل (13.II)	بنيـــــة الممـــــــــــوج.....	43
الشكل (14.II)	*مخطط نمذجة جهد الممو*ج.....	44
الشكل (15.II)	نظام المحاكاة لمبدأ عمل تقنية التحكم (MLI).....	46
الشكل (16.II)	أشكال إشارات التحكم في الممو*ج*.....	47
الشكل (17.II)	منحنى الإشارة المرجعية ثلاثية الطور مع إشارة مثلثية.....	48
الشكل (18.II)	منحنى الجهد البسيط للطور a للممو*ج* (جهد الخروج).....	48

الشكل (19.II)	منحنى الجهد المركب بين الطور a و b للممـوج.....	**48**
الشكل (20.II.أ)	نظام المحاكاة مموج-MADA.....	**49**
الشكل (20.II.ب)	خوارزمية التحكم و المموج.....	**50**
الشكل (21.II)	تيار الساكن و الدوار.....	**51**
الشكل (22.II)	توتر الساكن و استطاعة الدوار.....	**52**
الشكل (23.II)	سرعة الدوران و العزم الكهرومغناطيسي.....	**52**
الشكل (24.II)	تيارات الساكن و الدوار في المحاور d-q.....	**53**
الشكل (25.II)	الاستطاعة الفعلية و الردفعلية.....	**54**

الفصل الثـــالث

الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
الشكل (1.III)	مبدأ تعويض الاستطاعة الرد فعلية.....	58
الشكل (2.III)	مبدأ التحكم الشعاعي.....	60
الشكل (3.III)	توجيه التـــدفق في الســـاكن.....	61
الشكل (4.III)	توجيه التدفق في الدوار حسب المحور d.....	61
الشكل (5.III)	توجيه التدفق في الساكن حسب المحور q.....	65
الشكل (6.III)	توجيه التدفق في الساكن حسب المحور d.....	69
الشكل (7.III)	صندوق التحكم بالتدفق الموجه F.O.C.....	72
الشكل (8.III)	المخطط الصندوقي لفك الارتباط.....	73
الشكل (9.III)	المخطط الصندوقي لبنية التحكم بتوجيه تدفق الدوار للماكنة MADA.....	74
الشكل (10.III.أ)	المخطط الكلي لنظام المحاكاة.....	75
الشكل (10.III.ب)	خـــوارزمية التحـــكم في الاستطـــاعة.....	76
الشكل (11.III)	حالة الاستطاعة الفعلية معدومة مع تغيير الاستطاعة الرد فعلية...	77
الشكل (12.III)	حالة الاستطاعة الرد فعلية معدومة مع تغيير الاستطاعة الفعلية...	78
الشكل (13.III)	حالة الاستطاعة الفعلية ثابتة مع تغيير الاستطاعة الرد فعلية.....	79

الفصل الرابـــــع

الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
الشكل (1.IV)	المخطط العام لمحاكاة الماكنة MADA باعتبار توافقيات الشبكة...	88
الشكل (2.IV)	تيار الساكن وتيار الدوار مع وجود التوافقيات.....	89
الشكل (3.IV)	طيف توافقيات الساكن.....	90
الشكل (4.IV)	طيف توافقيات الدوار	90
الشكل (5.IV)	الطريقة المقترحة لترشيح التوافقيات من الشبكة الكهربائية باستعمال الماكنة MADA	91
الشكل (6.IV.أ)	نظام المحاكاة باستعمال MADA كمرشح فعال في الترشيح.....	92
الشكل (6.IV.ب)	خوارزمية التحكم.....	93
الشكل (7.IV)	الترشيح الفعال باستعمال الماكنة الMADA.....	94
الشكل (8.IV)	التحليل الطيفي للتيارات.....	95
الشكل (9.IV)	تكبير للتوافقية الخامسة والسابعة	95

فـــهـرس الجـــداول

الفصل الثـــــاني

الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
الجدول (1.II)	حـالات التشغيل للماكنة MADA بتغيير عزم الحمولة	35
الجدول (2.II)	مختلف التغيرات الطارئة للمقادير المدروسة	42

الفصل الثـــالـــث

الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
الجدول (1.III)	الحالات الثلاث لتغير الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية.....	76

الفصل الرابـــــع

الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
الجدول (1.VI)	العلاقة بين تواترات الدوار والساكن	87

الملـــخص

الملخص:

قمنا في هذه المذكرة بدراسة الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA و هذا بهدف استعمالها في تعويض كل من الاستطاعة الفعلية و الاستطاعة الرد فعلية في الشبكة ،إضافة إلى ذلك فقد درسنا إمكانية استعمال هذه الماكنة للتخلص من التلوث التوافقي ، وبالضبط التوافقيات الخامسة و السابعة الأكثر ضررًا في الشبكة . و من المعروف أنه للتمكن من الدراسة علينا بنمذجة الماكنة رياضيا . كانت النمذجة في نظام ثلاثي المحاور ثم انتقلنا إلى النظام ثنائي المحاور لتسهيل العمل .

بعد عملية النمذجة تأتي المحاكاة ببرنامج PSIM (هو برنامج محاكاة الدارات الإلكترونية وهو مصمم خصيصا لأجل دارات الإلكترونيات الصناعية والمبدلات الترددية لكنه يستطيع محاكاة أي دارة إلكترونية. تم تطوير البرنامج من قبل Powersim)، أثناء عملية المحاكاة تغذى الماكنة بمموج ثلاثي الطور متحكم فيه بتقنية عرض النبضة MLI للتمكن من تثبيت تواتر الماكنة ،النتائج النظرية كانت مقاربة لنتائج المحاكاة .

الكلمات المفتاحية :

ماكنة لاتزامنية ثنائية التغذية MADA ، مموج ، نظام ثلاثي المحاور وثنائي المحاور ، تقنية عرض النبضة MLI ،الاستطاعة الرد فعلية ، معامل الاستطاعة ، التوافقيات ، الترشيح الديناميكي .

مقدمة عامة

مقدمة عامة :

الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA أحد أهم المكائن المستعملة في مجال الرياح باعتبارها نتيجة آخر الدراسات. هذه الماكنة تعمل خلال مجال متغير لسرعة الرياح، امتلاكها لهذه الخاصية راجع إلى بنيتها ، فهي عبارة عن ماكنة لاتزامنية بدوار ملفوف لها القدرة على تزويد الشبكة بالاستطاعة من خلال الجزء الساكن و الجزء الدوار، كما أن بنيتها تمكننا من الحصول على مردود جيد في مجال واسع لتغيُر سرعة الرياح . محولات الاستطاعة المستعملة تكون إقتصادية مقارنةً بتلك المستعملة مع الماكنة التزامنية ذات مغناطيس دائم PMSG ، فمحولات الاستطاعة المستعملة في الماكنة PMSG تعبرها كل الاستطاعة المولدة من طرف الماكنة ، أما بالنسبة للماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية تصميمها و بنيتها جعلا المحول الإلكتروني الذي يغذي دوارها يستهلك استطاعة ± 30 % من الإستطاعة الإسمية للماكنة و بالتالي فالمحول الإلكتروني يكون أقل حجمًا و أقل تكلفة .

إكتشفت الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA من طرف العالم DOLIVO-DOBUOVOSLSKY سنة 1889 ،الماكنة MADA هي ماكنة لاتزامنية ثلاثية الطور ذات دوار ملفوف في البداية كانت تغذى فقط عبر الجزء الساكن ، بعدها بكثير وُجِدَت إمكانية تغذيتها عبر الدوار من خلال حلقات الانزلاق الموجودة على محور الدوران ، و هذا ما يمكننا من التحكم في استطاعة الانزلاق و بالتالي إمكانية عمل الماكنة في النظام تحت المتزامن و فوق المتزامن في حالة محرك و في حالة مولدة . قديما كانت آلات التيار المستمر الأبسط و الأكثر أمنا من حيث التحكم والأوسع إستعمالًا في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى سرعات ثابتة . عند ظهور تقنية التحكم الشعاعي سنة 1970 من طرف العالم F-blaske دخلت الماكنة اللاتزامنية حيز الاهتمام ، يمكن القول أن التحكم الشعاعي بتوجيه التدفق للماكنة التزامنية ذات قفص سنجاب تحتوي على نتائج ملفت للإنتباه في التطبيقات ذات السرعات المتغيرة ، كذلك بالنسبة للماكنة MADA عند العمل كمحرك أو كمولدة كما أن تقنية التحكم بتوجيه الحقل تمكننا من فك الإرتباط الموجود بين تدفق و عزم الماكنة . و بتالي التحكم في تدفق الإستطاعة .

بعض البحوث الحديثة ركزت على إستعمال الماكنة MADA من أجل مد الشبكة بالإستطاعة الفعلية و الإستطاعة الرد فعلية ، كذلك حقن تيارات عبر الدوار تمكننا من ترشيح توافقيات تيارات الشبكة عبر ساكن الماكنة و بالتالي تحسين نوعية الموجة في الشبكة الكهربائية .

خلال هذه المذكرة قمنا بالإلمام بما سبق ذكره ، و وزعت المذكرة على أربعة فصول :

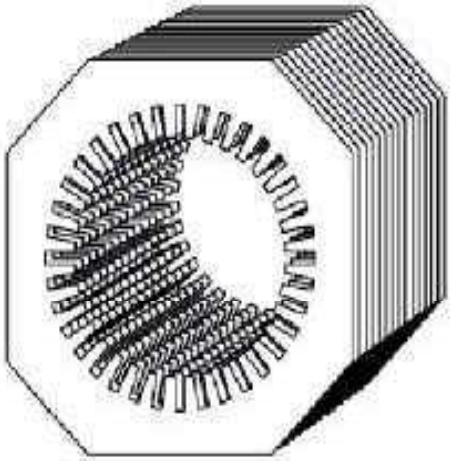
الفصل الأول قمنا فيه بالتطرق إلى مختلف أنظمة التوليد الكهربائية ، من مكائن تزامنية بنوعيها ذات المغناطيس الدائم و ذات الدوار الملفوف ، و المكائن اللاتزامنية بمختلف أنواعها من ماكنة ذات قفص سنجاب و الماكنة ذات الدوار الملفوف فقد تم وصف هته المكائن و ذكر خصائصها وكان التركيز على الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية .

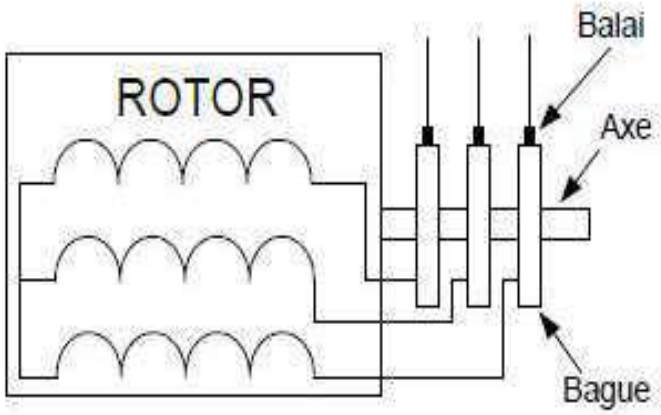
في الفصل الثاني قمنا بنمذجة الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية رياضيا في نظام ثلاثي المحاور ، ثم نقلنا النموذج إلى نظام ثنائي المحاور بواسطة تحويل بارك ، كما قمنا بوضع النموذج الرياضي للمموج و تحكمنا فيه بواسطة تقنية عرض النبضة MLI . بعدها تأتي محاكاة الماكنة أولا بربط كل من ساكن و دوار الماكنة مباشرة بالشبكة ، و ثانيا ربط الساكن مباشرة بالشبكة أما الدوار فيربط بالشبكة عن طريق المموج .

الفصل الثالث كان العمل فيه يتمحور حول مفهوم كل من الإستطاعة ، معامل الإستطاعة ، أسباب إنخفاضه ، و مختلف طرق تحسينه و بالضبط إستعمال الماكنة MADA في ضخ الإستطاعة نحو الشبكة بتطبيق مبدأ التحكم الشعاعي . قمنا بعدها بعملية المحاكاة .

تطرقنا في الفصل الرابع إلى التلوث التوافقي في الشبكة الكهربائية ، ومختلف طرق ترشيحه و بالضبط الترشيح الديناميكي الذي يقوم على إشراك الماكنة MADA في عملية الترشيح ذلك بحقن التيارات الناتجة عن الماكنة في الشبكة . قمنا بنمذجة الماكنة بإعتبار التوافقيات و وصلنا إلى أنه للحصول على الاشارة الأساسية إضافة إلى التوافقية الخامسة و السابعة يجب حقن الدوار بـ $(6-g).\omega_s$; $g\omega_s$ ، $(6+g).\omega_s$. لتكون بعدها عملية النمذجة التي أكدت النتائج النظرية .

الفصل الأول





عموميات حول أنظمة التوليد الكهربائية

مقدمة :

منذ عشرات السنين كان ولازال إنتاج الطاقة الكهربائية محل الاهتمام، فقد عرف إنتاج الطاقة الكهربائية تطورًا كبيرًا من حيث المكائن المستعملة و مصادر الطاقة المحولة، أهمها و أكثرها تميزًا الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية. سبب تميزها هو إمكانية استعمالها في التطبيقات ذات السرعات المتغيرة مع تثبيت التواتر الناتج.

خلال هذا الفصل سنقوم بالتطرق إلى مختلف أنواع المكائن المستعملة في هذا المجال من حيث البنية الخصائص و الاستعمال ، و بالضبط الماكنة MADA التي سنتوسع في وصفها، و تبيين خصائصها ، و ذكر محاسنها و مجالات استعمالها.

1.I أنواع المكائن الكهربائية :

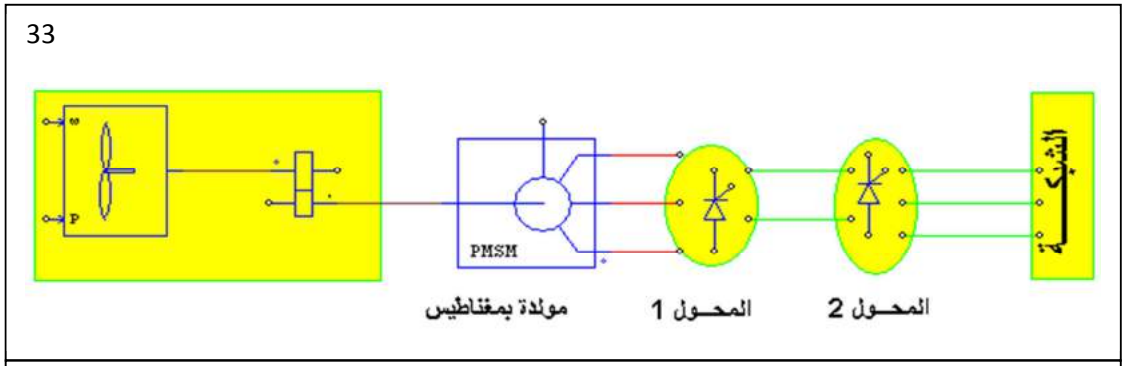
تستعمل المكائن أساسا لتحويل طاقة الميكانيكية الدوارة إلى طاقة كهربائية أو العكس. وهناك عدة أنواع للمكائن الكهربائية ، مكائن تيار مستمر و مكائن التيار المتناوب ، التزامنية منها واللاتزامنية في دراستنا نركز على مكائن التيار المتناوب.

1.1.I المكائن التزامنية :

نجد نوعين من المكائن التزامنية المستعملة في المجالات الصناعية ، الماكنة التزامنية ذات الدوار الملفوف و الماكنة التزامنية بمغناطيس دائم .

1.1.1.I الماكنة التزامنية ذات المغناطيس الدائم :

في هذه الماكنة الحقل المغناطيسي الذي يحيط بالدوار ينتج عن مغناطيس دائم. كما نعرف تردد التغذية للمولدة التزامنية f_1 ، نحصل على هذا التردد من خلال محول الكتروني كما هو موضح في الشكل (1.I) .



الشكل (1.I) : الماكنة التزامنية ذات المغناطيس الدائم

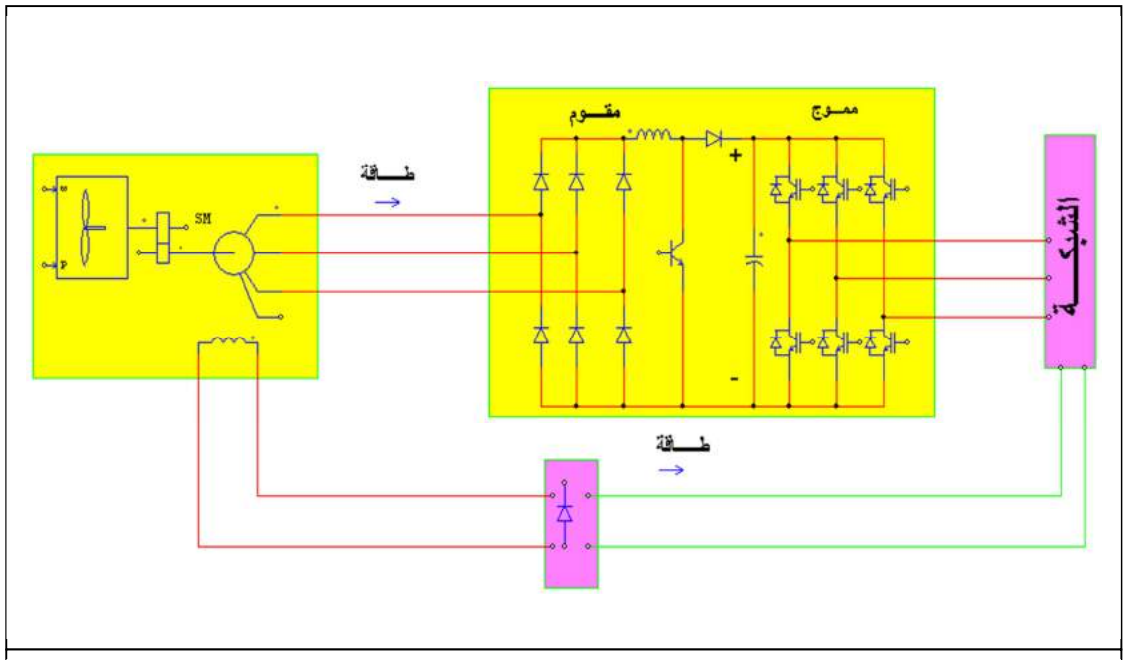
نلاحظ أن المحولين الالكترونيين يحولان كل الاستطاعة المنتجة من طرف التربينة و لذلك فان هذه المحولات تكون ذات استطاعة أكبر من تلك المستخدمة مع الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية.

من إيجابيات هذه الماكنة أن الدوار عبارة عن مغناطيس دائم و بالتالي لا يتطلب أي حلقات أو فرش، إذن الضياعات بمفعول جول تكون معدومة حتى و لو كانت الآلة كبيرة الحجم [9] .

2.1.1.I الماكنة التزامنية ذات دوار ملفوف :

في الماكنة التزامنية الحقل الناشئ عن الدوران يجب أن يدور بنفس سرعة الحقل في الساكن ، كذلك الماكنة تكون موصولة بالشبكة أي أن سرعة الدوران يجب أن يكون لها نفس تردد تيارات الساكن .لتكييف هذه الماكنة في نظام طاقة الرياح يجب إبقاء سرعة الدوران ثابتة ، وكذلك المحافظة على تزامن الماكنة مع الشبكة .

لهذا السبب وضع نظام إلكترونيك القدرة و المتمثل في المحول (AC/DC) الذي ينتج عنه التعديل لسرعة الماكنة ، يكون موضوع بين دوار الماكنة و الشبكة كما في الشكل (2.I) ، و الذي يسمح بالتشغيل بسرعة متغيرة في فترة تغير طويلة ، في كثير من الحالات الحقل الدوار ينشأ من اللفائف المغذاة بالتيار المستمر بواسطة المقوم الموصول بالشبكة ، وغالبا ما يتم استبدال هذا الملف بمغناطيس دائم.[4]



الشكل (2.I) : الماكنة التزامنية بدوار ملفوف .

2.1.I الماكنة اللاتزامنية :

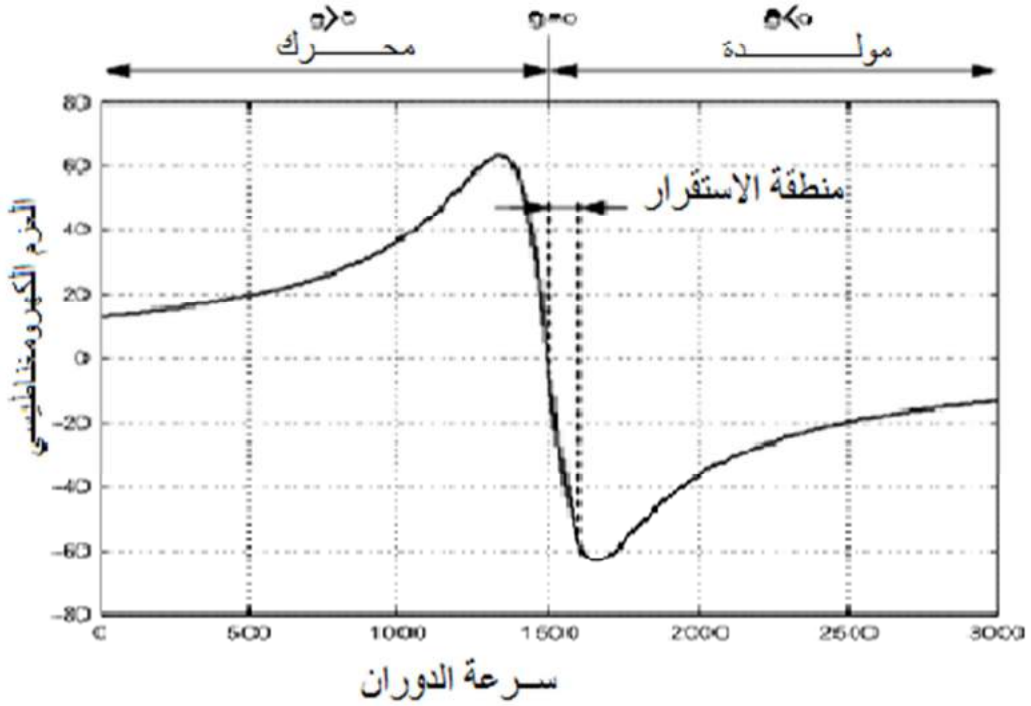
هناك عدة أنواع من المكائن اللاتزامنية : الماكنة اللاتزامنية بقفص السنجاب ، الماكنة اللاتزامنية ثنائية الساكن، الماكنة اللاتزامنية الموصولة بالشبكة بواسطة واجهة إلكترونيك القدرة ، الماكنة اللامتزامنة ثنائية التغذية MADA ، و الماكنة اللاتزامنية بدون مسفرات BDFE .

1.2.1.I الماكنة اللاتزامنية بقفص السنجاب :

على عكس باقي الوسائل التقليدية لإنتاج الطاقة الكهربائية ، الماكنة اللاتزامنية ذات قفص سنجاب تحتل حاليا مكانةً كبيرةً في الأنظمة الكهربائية.

تستخدم الماكنة اللاتزامنية بقفص سنجاب غالبا كمحرك ، مع العلم أن هذه الماكنة تتميز بقابلية العمل في الاتجاهين أي كمحرك أو كمولدة . وهي ذات صلابة و نوعية عالية وكذا ذات تكلفة ضئيلة، كما أن غياب مجمع الفرش أو حلقات الانزلاق تجعلها مناسبة جدًا للاستخدام أحيانا في الظروف القاسية التي تفرضها طاقة الرياح.

خصائص عزم الدوران بدلالة السرعة لآلة لامتزامنة بزوجي أقطاب موضحة في الشكل (3.I) [1].



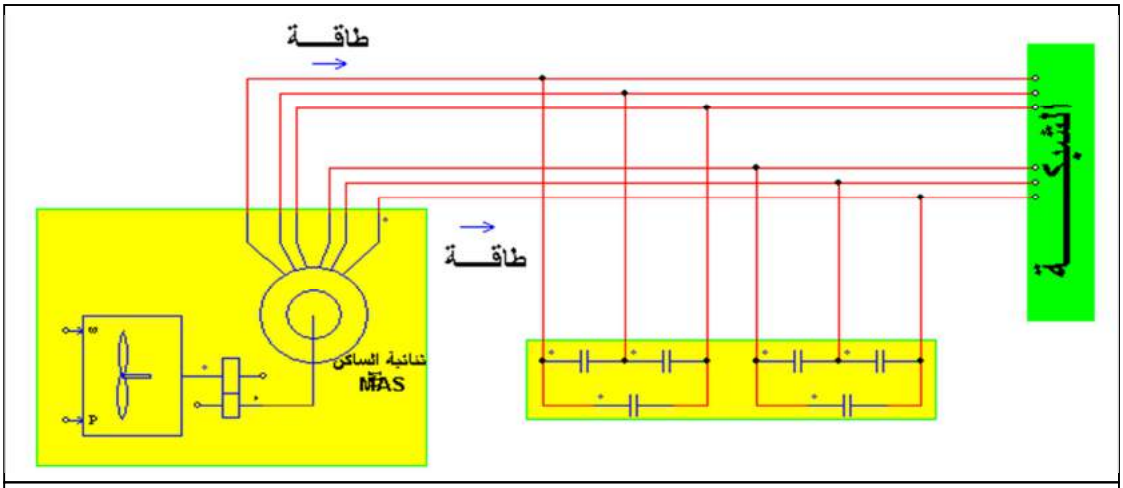
الشكل (3.I) : خصائص عزم الدوران بدلالة السرعة للماكنة اللاتزامنية .

2.2.1.I الماكنة اللاتزامنية ثنائية الساكن :

لتحسين مردود الآلة السابقة نستعمل بنية خاصة . ففي الماكنة اللاتزامنية ثنائية الساكن نقوم بوضع ساكنين ، كما في الشكل (4.I) :

- ساكن ذو استطاعة ضعيفة بأزواج أقطاب كثيرة و ذلك لسرعات الرياح الصغيرة .
- ساكن ذو استطاعة كبيرة بعدد صغير من أزواج الأقطاب لسرعات الرياح العالية .

لهذه الماكنة عدة مزايا منها قلة الضجيج المولد من طرف التربينة ،ارتفاع استطاعتها مقارنة بالماكنة ذات ساكن واحد ، كما يمكنها استئناف العمل في حالة حدوث خلل أو عطل في أحد الساكنين (يمكن استعمال ساكن واحد لتشغيل الآلة). و من مساوئ وجود الساكنين ، التكلفة العالية بسبب تصميمها الخاص ، و كذلك تعقيد عملية التحكم بسبب الارتباط الكهرومغناطيسي بين الساكنين[4].



الشكل (4.I) : مـاكنة لاتـــــــــزامنية ثنائيـــة الساكن

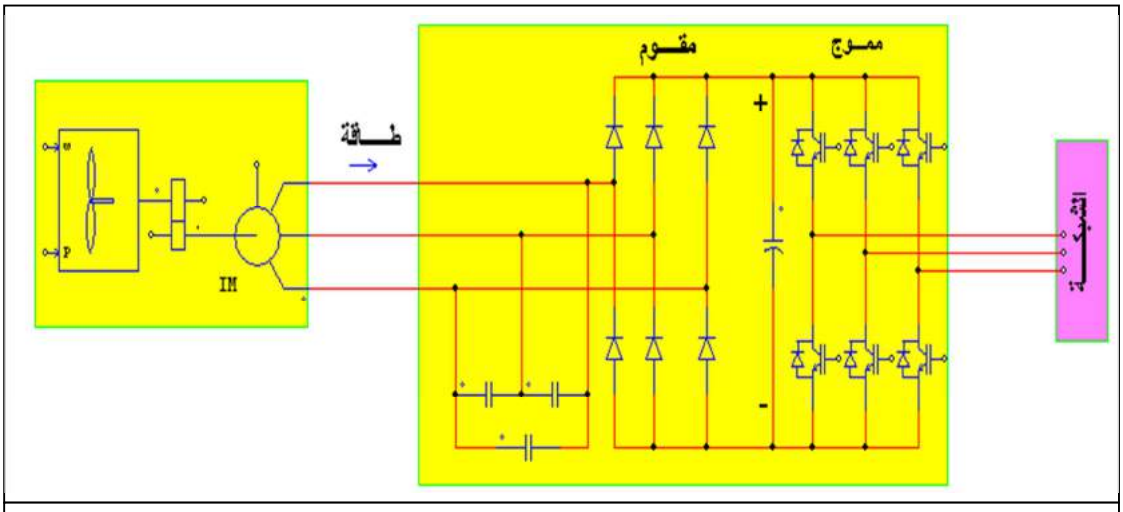
3.2.1. I ماكنة لاتزامنية موصولة بالشبكة بواسطة محول إلكتروني (AC-DC-AC) :

ربط المحول الالكتروني بالمكائن يكسبها العديد من الخصائص و الموضحة كما يلي :

- يسمح بالتشغيل في السرعة المتغيرة مهما كانت سرعة دوران الآلة.
- يسمح عمل المموج بإعطاء جهد متناوب للمنوبة بتردد ثابت يطابق تردد الشبكة الكهربائية و بمعامل استطاعة قريب من الواحد ($\cos \approx 1$) .
- الاستطاعة الاسمية للمحول الالكتروني ، تحدد حسب الاستطاعة القصوى التي يمكن أن توفرها الماكنة.

- صممت هذه المحولات من أجل الاستطاعات المتبادلة بين الماكنة والشبكة. وكما أنها ذات تكلفة كبيرة ، وتؤدي إلى خسائر كبيرة للطاقة تصل إلى 30 % من الاستطاعة الاسمية للآلة ، و كذا إلى اضطرابات تؤثر على أداء وجودة الطاقة المعطاة[1].
- وجود المكثفات ضروري للتزويد بالاستطاعة الرد فعلية اللازمة لمغنطة الآلة لأن هذه الاستطاعة لا يمكن أن تزود من طرف الشبكة بسبب أحادية الاتجاه للمقوم [4].

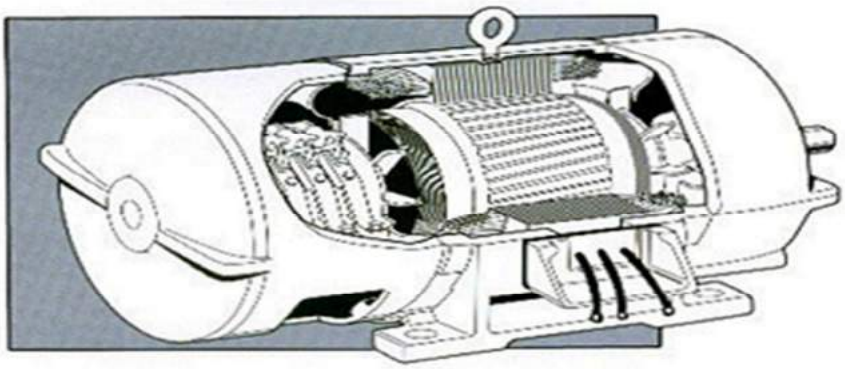
يمكن ملاحظة هذا النظام في الشكل (5.I) .



الشكل (5.I) : مـــــاكنة لاتزامنية متصلة بالشبكة بواسطة محول إلكتروني

4.2.1.I الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA :

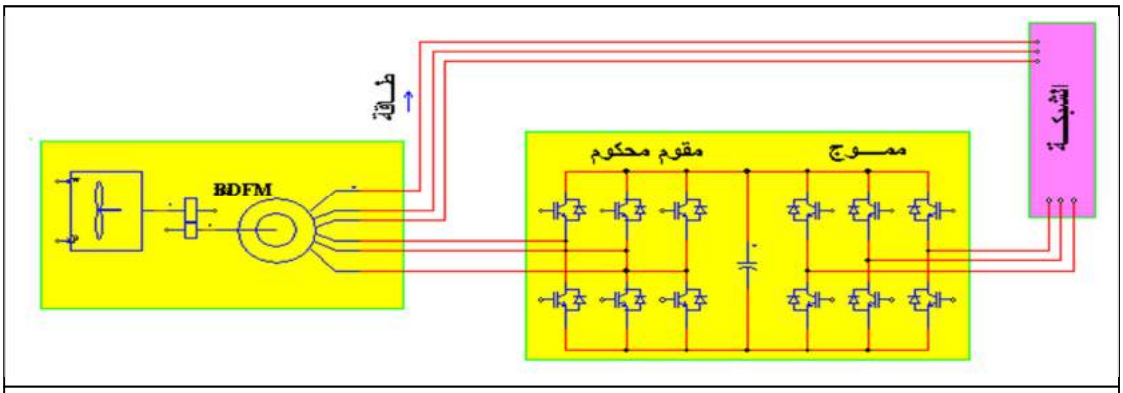
تتكون هذه الماكنة من جزء دوار و جزء ساكن ، الجزء الدوار ملفوف تلفيفا ثلاثي الطور غير مقصور، الجزء الساكن نفسه كما في حالة المكائن اللاتزامنية الكلاسيكية حيث يربط الساكن مباشرة بالشبكة . يمكننا المحول المربوط بالدوار من التحكم في سريان الاستطاعة بين الماكنة و الشبكة . إن تكلفة المحول الالكتروني المستعمل تكون أقل من تكلفة المحولات المستعملة في المكائن اللاتزامنية ذات قفص السنجاب ، كون الاستطاعة المستهلكة من طرف الماكنة MADA لا تتعدى 30% من الاستطاعة الكلية و بمردود جيد للماكنة ، هذه الخاصية تعتبر أهم مميزات الماكنة MADA .نجد عدة أنواع للماكنة الثنائية التغذية ، و هي نموذج بروشلاس باستطاعة دورانية مبددة ، بنية كرامر ، بنية شاربيوس مع محول دوري ، بنية شاربيوس مع محول MLI . الشكل (6.I) يوضح بنية الماكنة MADA .



الشكل (6.I) : بنية الماكنة MADA

1.4.2.1.I الماكنة اللامتزامنة ثنائية التغذية نموذج بروشلاس « brushless » :

هذه الماكنة تحتوي على جزء ثابت مزدوج (ذو ساكنين) الشكل (7.I) ، مع اختلاف عدد أقطاب كل ساكن ، أحد الساكنين ذو استطاعة عالية يتصل بالشبكة مباشرة ، معد لتحويل الاستطاعة. و الآخر ذو استطاعة ضعيفة يدعى ساكن التحكم ، يربط بمحول الكتروني بهدف التحكم في الجهد و التواتر المنتج ، و كذا للسيطرة على تدفق الإثارة ، دوار هذه الماكنة قفص سنجاب . أهم خاصية لهذه الماكنة هي إمكانية الاشتغال في سرعة متغيرة .



الشكل (7.I) : الماكنة MADA نموذج بروشلاس .

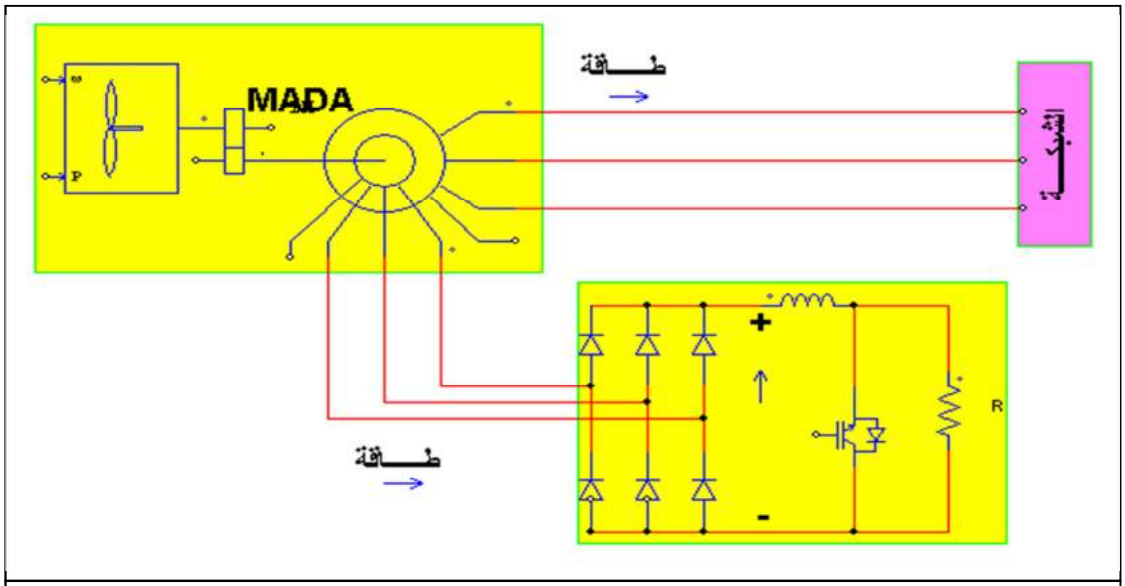
المحول الالكتروني في هذه الحالة معد لتمرير الاستطاعة المخصصة لمغنطة الماكنة و هي أقل من الاستطاعة المستهلكة في حالة الاتصال المباشر بالشبكة ، كما أن المحول يمكننا من التحكم في معامل الاستطاعة . بالإضافة إلى ذلك فإنه يمكن للماكنة تثبيت التواتر رغم سرعة الدوران المتغيرة هذا النموذج محدود الاستخدام صناعيًا [4] .

ملاحظة :

حجم المحول متناسب مع الانزلاق الأعظمي، إذا زاد معامل الاستطاعة عن 30% فإنه يتسبب في انخفاض للأداء وينجم عن هذا زيادة في التكلفة و بالتالي يصبح النظام غير اقتصادي .

3.4.2.1.I الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية باستطاعة دورانية مبددة :

في هذه البنية الجزء الساكن للماكنة يوصل مباشرة بالشبكة أما الجزء الدوار فيربط بمقوم ذو حمولة مقاومية ، تموضعها في المخرج يكون مسبوق بعاكس (قاطع الكتروني) من نوع IGBT أو GTO ، هذا القاطع يسمح لنا بتغيير قيمة الطاقة المبددة في لفائف الدوار و كذا تشغيل الماكنة في مجال متغير للسرعة ، الانزلاق يتغير بدلالة سرعة دوران الماكنة . عندما تكون الاستطاعة المنبعثة إلى الدوار كبيرة ، هذا يدل على أن معامل الاستطاعة كبير حيث أن هذه الاستطاعة تبدد في المقاومة مما يؤثر على مردود الماكنة . الشكل (8.I) يوضح آلية ربط الماكنة بالشبكة.

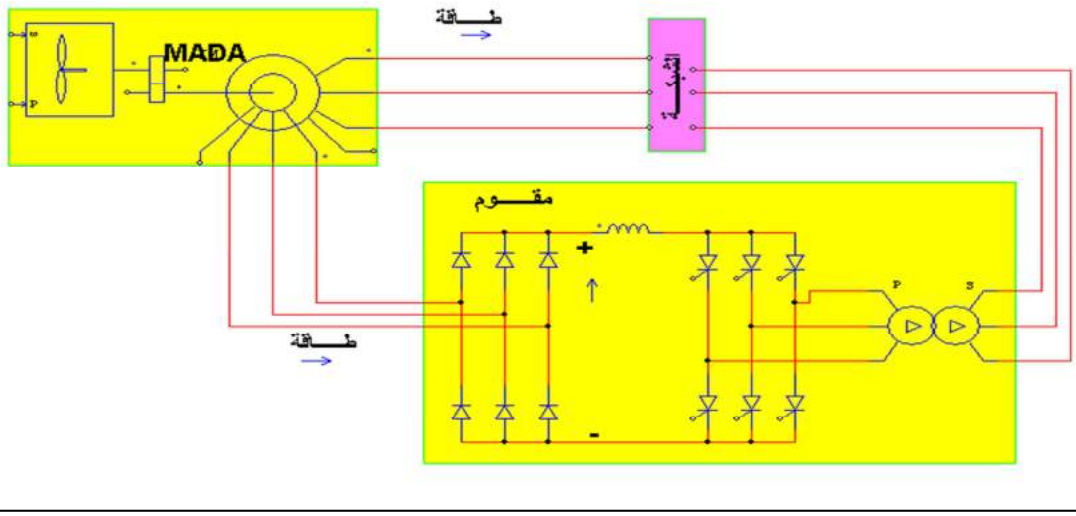


الشكل (8.I) : الماكنة MADA ذات الاستطاعة الدورانية المبددة .

3.4.2.1.I الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية بنية كرامر KRAMER :

بهدف الحد من ضياعات الطاقة الناتجة عن النظام السابق ، نغير العاكس و المقاومة بمموج يقوم بإعادة طاقة الانزلاق إلى الشبكة كما هو موضح في الشكل (9.I). المحول (مقوم- مجمع) وضع لتجزئة الاستطاعة الاسمية للماكنة.هذا النظام يسمح بالحد من الاستطاعة الضائعة مقارنة بالاستطاعة الاسمية لهذا يجب أن نحتفظ بقيمة الانزلاق أقل من 30% .

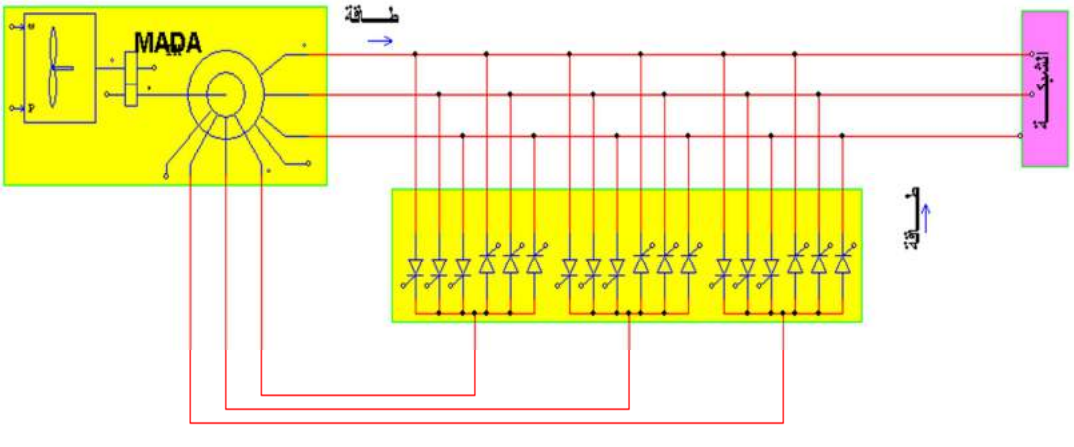
استخدام الثيرستور في بنية المموج يلحق ضررًا بمعامل الاستطاعة زيادة على ذلك فالمقوم أحادي الاتجاه (تحويل طاقة الدوار فقط نحو الشبكة) إذن النظام لا يمكنه إنتاج طاقة ذات سرعة دوران متغيرة.



الشكل (9.I) : الماكنة MADA بنيـــة كـــــــرامر

4.4.2.1.I الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية بنية شاربيوس مع محول دوري :

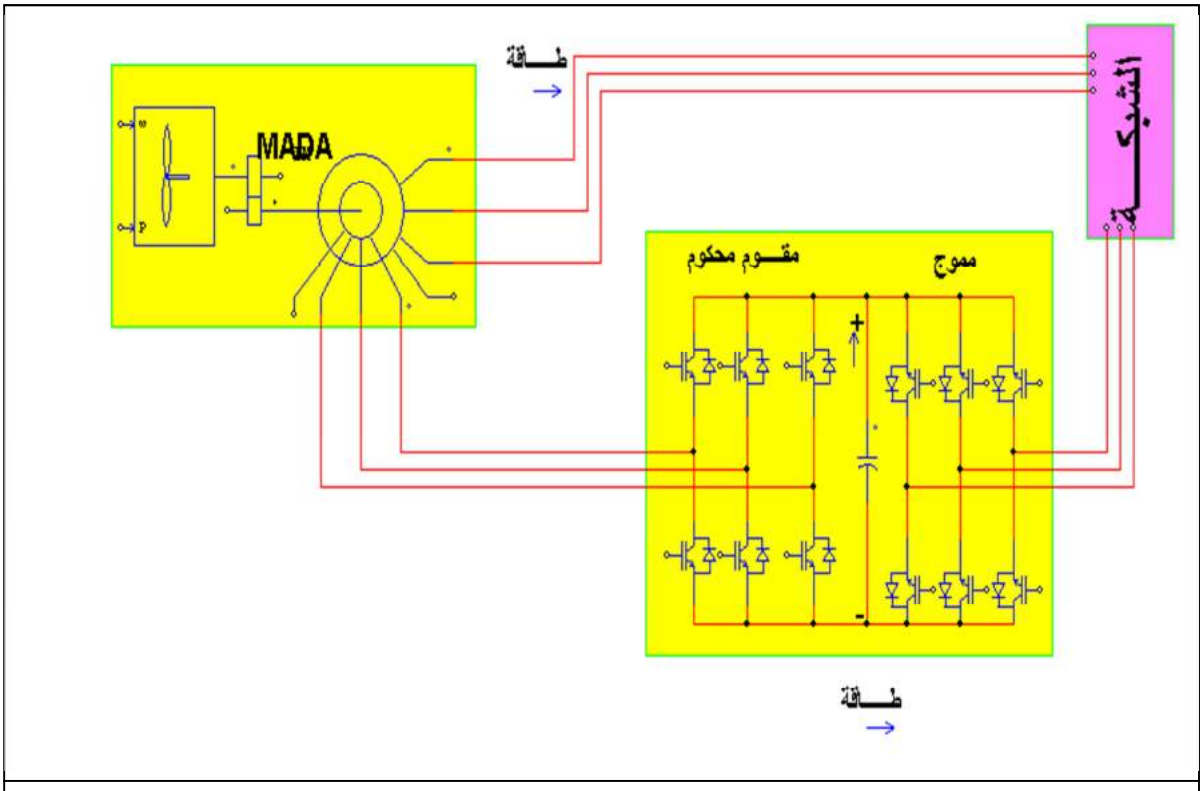
في هذه الحالة نستعمل محول دوري كما هو موضح في الشكل (10.I) ، من أجل السماح للطاقة بالسريان في الاتجاهين دوار – شبكة و شبكة – دوار.الترستورات المستخدمة في التركيبة تنتج توافقيات ذات مطالات عالية (سعة كبيرة) ، مما يؤثر على جودة معامل الاستطاعة [10] .



الشكل (10.I) : الماكنة MADA بنية شاربيوس مع محول دوري .

5.4.2.1.I الماكنة اللا تزامنية ثنائية التغذية بنية شاربيوس مع محول MLI :

هذه التركيبة مثل التركيبة السابقة غير أننا قمنا باستبدال المحول الدوري بمحول MLI . الترنزستورات IGBT تستعمل للتحكم بالفتح و الغلق للتركيبة ، حيث أن ترددها التبادلي أكثر ارتفاع من التردد التبادلي للترنزستور GTO ، استخدام هذا النوع من المحولات يسمح بالحصول على شكل لإشارات المخرج ذات نبضات كبيرة كما يسمح بتقليل الاضطرابات بتغير طيف الترددات للإشارة (طرح التوافقيات الأولى غير الصفرية باتجاه الترددات المرتفعة) و كذا تحسين معامل الاستطاعة. هذه التركيبة مماثلة لتركيبة بروشلاس إلا أن التلفيف يكون في كل من الدوار و الساكن مما يؤدي إلى تقليل تكلفة التصنيع . استطاعة المحول محصورة بين (30%- 30%+) من القيمة الاسمية ، أي إذا كان الانزلاق محصور في حدود 30% فالمحول يحدد ثلث الاستطاعة الاسمية للماكنة ، زيادة على ذلك التشغيل تحت التزامن يسمح بإنتاج طاقة من الساكن نحو الشبكة مماثلة للطاقة المنبعثة من الدوار ،و بالتالي الاستطاعة الكلية المنتجة من الممكن أن تتعدى الاستطاعة الاسمية للماكنة و معامل الاستطاعة للمجموعة يحافظ على القيمة واحد ، من سلبيات هذا النظام وجود تيارات عالية التردد وهي المسؤولة عن خلق ضياعات كبيرة في الحديد ، الشكل (11.I) يوضح البنية العامة لهذه الماكنة و طريقة ربطها بالشبكة.



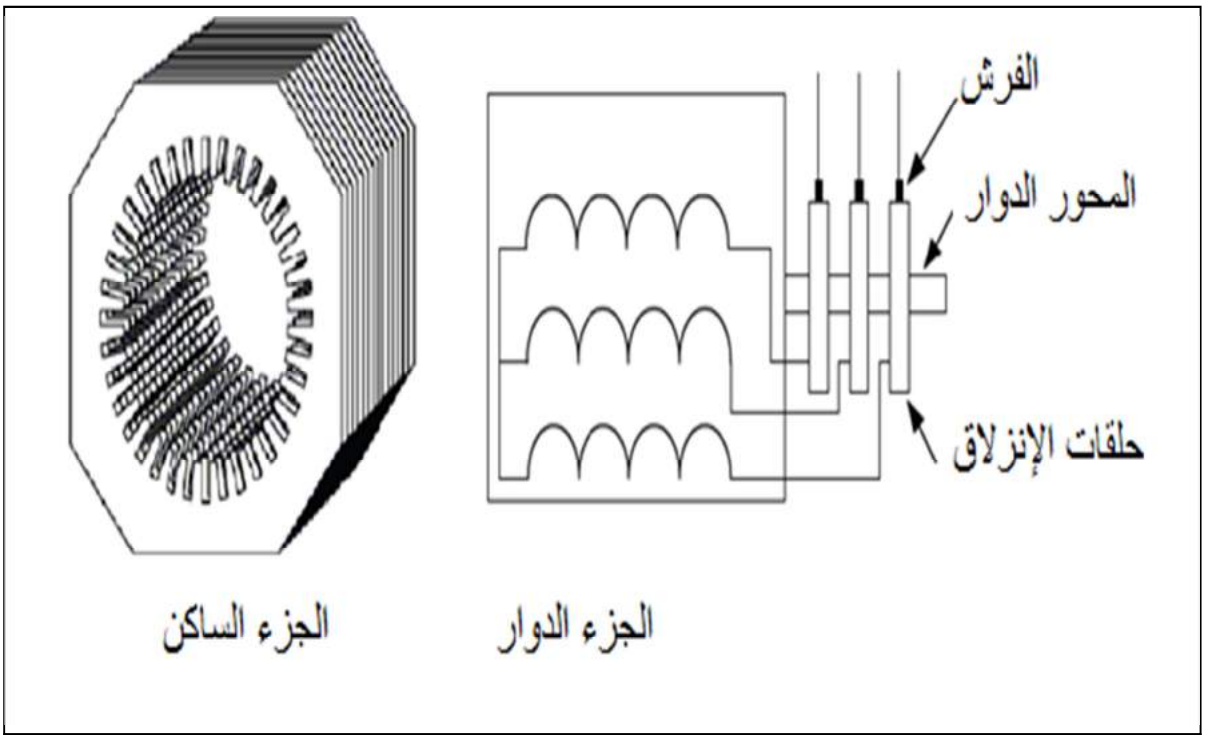
الشكل (11.I) : الماكنة MADA بنية شاربيوس مع محول MLI

2.I الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA :

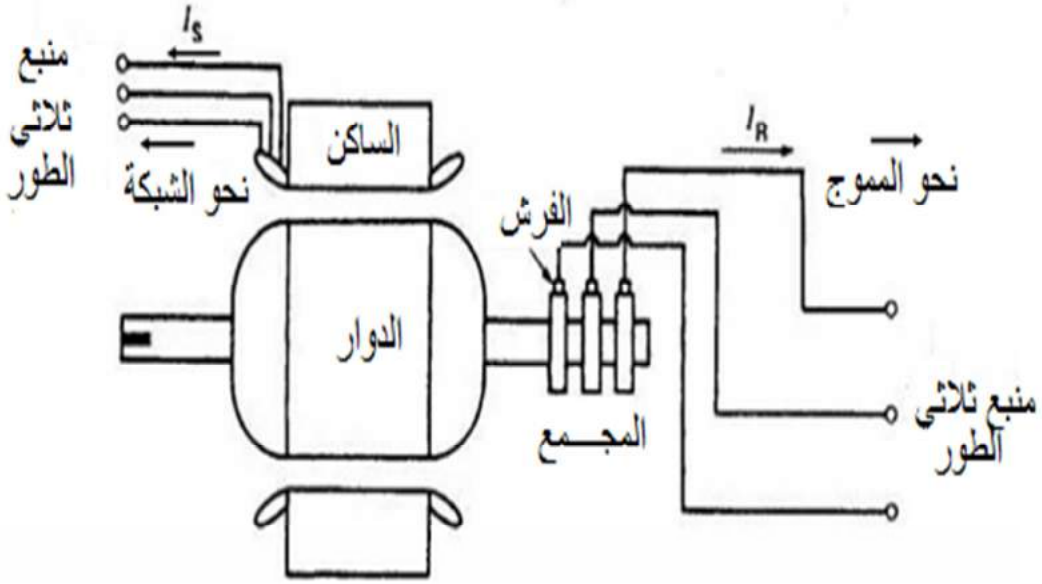
1.2.I بنية الماكنة MADA :

تتركب الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية من جزئين ، جزء ساكن و جزء دوار . الجزء الساكن يتكون من شرائح متراصة مصنوعة من الحديد المغناطيسي يتراوح سمكها من 0.3 mm إلى 0.6mm حسب حجم الماكنة معزولة عن بعضها البعض بعازل كهربائي ، بحيث تُكوِن مع بعضها جسم أسطواني محفور بداخله عدد من المجاري و ذلك لتركيب الملفات . الهدف من تصنيعه بهذه الطريقة هو تقليل حرارة الحديد الناتجة عن التيارات الدوامية أو الإعصارية التي تتكون بسبب التعرض للمجال المغناطيسي المتغير داخل الماكنة ،كما نجد في المكائن الكبيرة فتحات تهوية بين الشرائح .بعد اكتمال تصنيع هيكل الجزء الساكن يتم تقسيمه إلى العدد المطلوب من الأقطاب ، وتقسيم المجاري في كل قطب على الأطوار الثلاثة ، ليتم تركيب ملفات كل طور في المجاري الخاصة لها تحت كل قطب مع الفصل بين كل طور و الآخر بزاوية 120° كهربائية ، التلفيف ثلاثي الطور بربط نجمي Y أو مثلثي Δ .

أما الجزء الدوار للماكنة فيتكون من ثلاث لفائف مربوطة ربطًا نجمي Y بحلقات انزلاق ، الطاقة المنتجة تنقل إلى الشبكة بواسطة الفرش . أنظر الشكلين (12.I) و (13.I) .



الشكل (12.I) : بنية الساكن و الدوار للماكنة MADA



الشكل (13.I) : بنية الماكنة MADA بدوار ملفوف

2.2.I مبدأ عمل الماكنة MADA :

يتم تزويد لفائف الجزء الساكن للماكنة بتيار متناوب AC ثلاثي الطور فينشأ مجال مغناطيسي دوار B_s حيث تخترق خطوط هذا المجال كل من لفائف الجزء الساكن و الجزء الدوار و تحرض في كلاهما قوة دافعة كهربائية ، إذ تنشأ على مستوى لفائف الجزء الساكن قوة دافعة كهربائية تعطى بالعلاقة :

$$E_s = 4.44 \cdot N_{sph} \cdot \emptyset \cdot f_s \cdot K \cdot \omega_s \qquad (1.I)$$

كما تنشأ على مستوى الجزء الدوار أيضًا قوة دافعة كهربائية دون تغذية خارجية و تعطى حسب العلاقة :

$$E_r = 4.44 \cdot N_{rph} \cdot \emptyset \cdot f_r \cdot K \cdot \omega_r \qquad (2.I)$$

ونظرًا لكون لفائف الدوار في دارة مغلقة ، فإنه ينشأ عن القوة الدافعة الكهربائية E_r التيار I_r ، في لفائف الجزء الدوار و الذي يكون متأخر عن القوة E_r بزاوية φ . نتيجة هذا التيار ينشأ في الجزء الدوار مجال مغناطيسي دوار B_r . و نتيجة التأثير المتبادل بين مجال الساكن و الدوار ينشأ عزم مستحث يعطى بالعلاقة :

$$T_{em} = K \cdot \overrightarrow{B_r} \cdot \overrightarrow{B_s} = K \cdot B_r \cdot B_s \cdot \sin\delta \qquad (3.I)$$

حيث:

K : ثابت تركيب الماكنة .

δ : الزاوية بين الشعاعين $\overrightarrow{B_s}$ ، $\overrightarrow{B_r}$.

مع الانتباه أن ما نقوم به هو دراسة تحليلية ، و حقيقية الأمر أنه لا يوجد داخل الآلة إلا مجال مغناطيسي واحد هو المجال المغناطيسي الدوار B_{ret} . و يكون إتجاه العزم الكهرومغناطيسي T_{em} (أي إتجاه دوران الماكنة) نفسه إتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار .

ملاحظة :

إن مبدأ عمل الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية مشابه لمبدأ عمل المحولات لذلك تطلق على هذه الماكنة تسمية المحولات الدوارة .

في الماكنة اللاتزامنية الفرق بين سرعة الدوران n_r و سرعة دوران المجال المغناطيسي الدوار للجزء الساكن n_S تسمى سرعة الإنزلاق n . حيث تعطى العلاقة الرابطة بين مختلف السرعات كما يلي :

$$n = n_S - n_r \qquad (4.I)$$

و يعطى الإنزلاق g بالعلاقة التالية :

$$g = \frac{n_S - n_r}{n_S} \qquad (5.I)$$

حيث :

n_S : سرعة المجال المغناطيسي الدوار .

n_r : سرعة العضو الدوار .

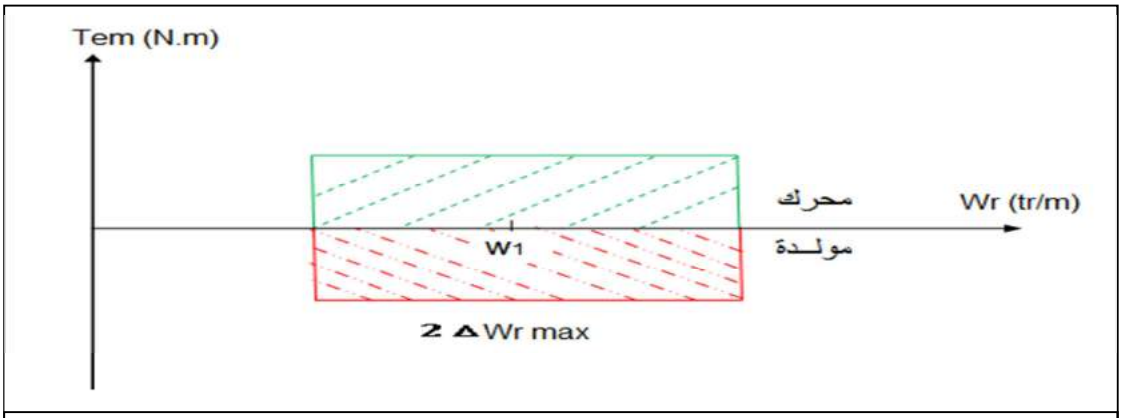
و ينتج الانزلاق نتيجة للأسباب التالية :

- ✓ وجود الاحتكاك بين أجزاء الماكنة .
- ✓ وزن الماكنة .

3.2.I خصائص الماكنة MADA :

تسمح الماكنة اللامتزامنة ثنائية التغذية بالضبط الديناميكي للانزلاق ، و هذا للتكيُف مع التغيرات في الطاقة المزودة من قبل التربينة ، و بالتالي الرفع في جودة آداء النظام . تستعمل هذه الماكنة بكثرة لامتلاكها الخصائص التالية :

- ✓ إمكانية الحفاظ على تردد ثابت بالنسبة للشبكة الكهربائية ، و بالتالي الحفاظ على استقرار الشبكة .
- ✓ إمكانية العمل في الاتجاهين (العمل كمحرك أو كمولدة). كما هو موضح في الشكل (14.I)، و هذا حسب قيمة العزم .
- ✓ إمكانية التحكم في الإشارة المرسلة نحو الشبكة (تردد و سعة) .
- ✓ التكلفة المناسبة مقارنةً بالوظائف التي تؤديها .



الشكل (14.I) : مجال عــمل الماكنة MADA (العزم بدلالة السرعة).

4.2.I نظام عمل الـماكنة MADA :

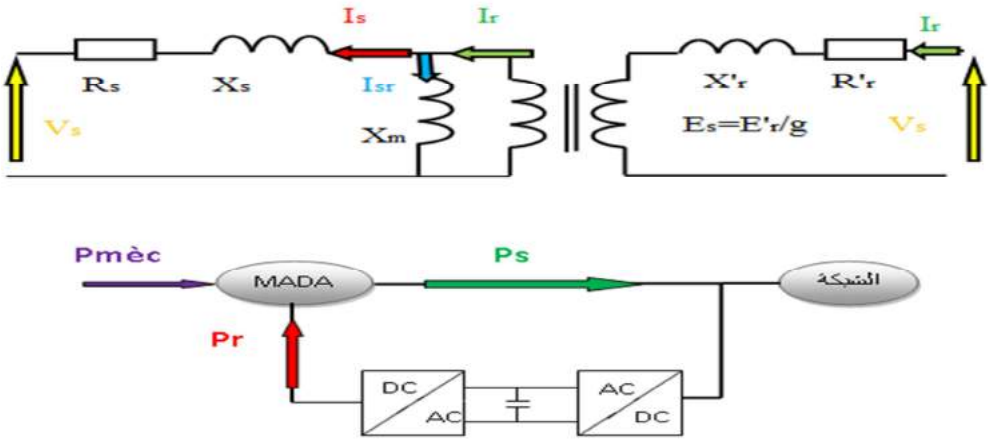
تتميز الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA ببنية خاصة تسمح لها بالعمل في الاتجاهين أي العمل كمحرك و كمولدة ، وهذا بالاعتماد على مبدأ التحكم في سيلان طاقة الانزلاق [10] . فيما يأتي نركز على حالة التشغيل كمولدة .

لتوضيح أدق قمنا بوضع الشكلين (15.I.أ) و (15.I.ب) ، من أجل شرح حالتي تشغيل الماكنة اللامتزامنة ثنائية التغذية كمولدة ، حيث الساكن موصول مباشرة بالشبكة و الدوار موصول بالشبكة عن طريق محول إلكتروني (AC-DC-AC) ذو تحكم (MLI) . نعرف أولاً المقادير التالية :

P_s : استطاعة الجزء الساكن . P_r : استطاعة الجزء الدوار. $P_{méc}$: الاستطاعة الميكانيكية.

أ) التشغيل التحت تزامني «$g > 0$» :

في حالة تشغيل الماكنة تحت التزامن تكون السرعة الميكانيكية ضعيفة ، تستقبل الشبكة استطاعة الجزء الساكن P_s وتعطي استطاعة P_r للجزء الدوار للماكنة .

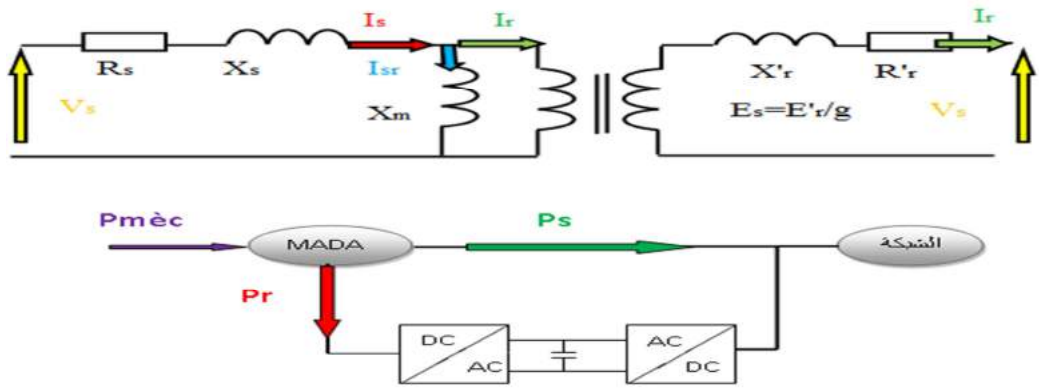


الشكل (I.15.أ) : التشغيل التحت تزامني للماكنةMADA

المعادلات التي تشرح هي الحالة تعطى كالآتي:

$$\begin{cases} g > 0 \\ P_{méc} < 0 \\ P_r = g.P_s \end{cases} \qquad (6.I)$$

ب) التشغيل الفوق تزامني«g >0» :في هذه الحالة تتزايد السرعة الميكانيكية حتى تتعدى السرعة التزامنية للماكنة ، الشبكة تستقبل الاستطاعة من الجهتين أي من ساكن و دوار الماكنة .



الشكل (I.15.ب) : التشغيل فوق التزامني للماكنة MADA

5.2.I مجالات تطبيق الماكنة MADA :

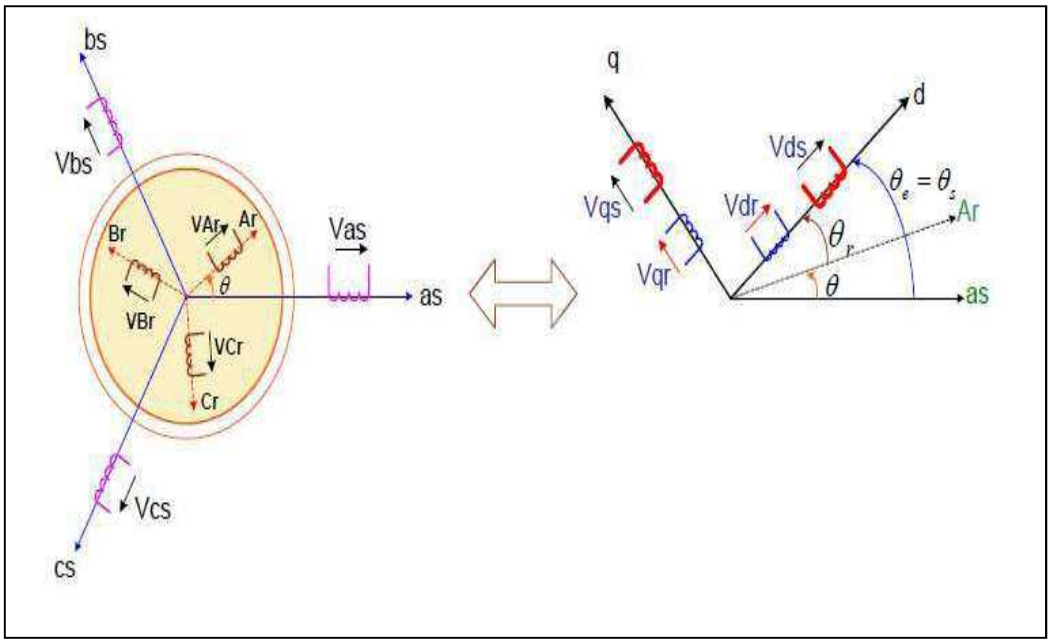
نظرًا للبنية الفعالة للماكنة الثنائية التغذية MADA و قدرتها على تقليص الاستطاعة المستهلكة إلى حوالي 70%من الاستطاعة الكلية ، فهي تستعمل في عدة مجالات صناعية نذكر منها :

- ✓ التربينات الريحية ذات مجال تغير واسع لسرعة الرياح .
- ✓ تربينات المد و الجزر بسرعة متغيرة .
- ✓ الري المحوري .
- ✓ ترشيح التوافقيات الضارة في الشبكة الكهربائية .
- ✓ تعويض الاستطاعة الرد فعلية الضائعة في الشبكة .

الخلاصة :

خلال هذا الفصل قمنا بعرض عام لمختلف المكائن المستعملة في إنتاج الطاقة الكهربائية ، و بالضبط الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية التي كان وصفها أكثر تعمقًا فقد قمنا بشرح تركيبها، مبدأ عملها، خصائصها ، و تبيان كيفية عمل هذه الماكنة كمحرك و كمولدة من خلال ملاحظة اتجاه سريان الطاقة (الاستطاعة)، و في الأخير بينا مجالات تطبيقاتها. و للتعمق في دراسة الماكنة أكثر نقوم بنمذجتها رياضيًا و من ثم محاكاتها لأجل التعرف على خصائصها أثناء العمل ، هذا ما سنراه في الفصل التالي .

الفصل الثاني



دراسة ال MADA

مقدمـــة :

للتمكن من دراسة الآلة و تحديد خصائصها يتوجب علينا نمذجتها رياضيا في نظام ثلاثي المحـــاور (a ,b ,c) ثم و لتسهيل العمل من الحسابات و معالجة للمعلومات برمجيا ننتقل من النظام الثلاثي المحاور إلى النظام الثنائي المحاور (q،d) و ذلك بواسطة تحويل بارك . وهذا ما سنتطرق له في هذا الفصل .

1.II الفرضيات المساعدة :

- ❖ نفرض أن الدائرة المغناطيسية غير مشبعة و منه فان كل معاملات الحثية الذاتية عبارة عن ثوابت و معاملات الحثية المتبادلة متعلقة بتموضع اللفائف أي (العلاقة بين التدفقات و التيارات علاقة خطية).
- ❖ نعتبر كثافة التيار منتظمة في مقطع النواقل العنصرية ، ظاهرة الهالة مهملة .
- ❖ إهمال الضياعات بالدارة التخلفية و تيارات فوكو(التيارات الإعصارية أو الدوامية) .
- ❖ لفائف الساكن و الدوار متماثلة والقوة الدافعة المغناطيسية f.m.m موزعة جيبيا على كل من الدوار و الساكن .
- ❖ نعتبر أن المقاومة ثابتة لكل من الساكن و الدوار .

2.II النموذج الطبيعي للـ MADA (نظام ثلاثي المحاور abc) :

تحتوي الآلة على 6 لفائف ، ثلاثة لفائف خاصة بالجزء الساكن مزاحة عن بعضها البعض بزاوية 120° و ثلاث لفائف خاصة بالجزء الدوار مـزاحة بدورها عن بعضها البعض بزاوية 120° [9].

نكتب المعادلة لكل لفة و حسب قانون العروات كالتالي :

$$V = RI + \frac{d\emptyset}{dt} \qquad (1.II)$$

1.2.II معادلات الجهود :

معادلات جهود الجزء الساكن تكون كما يلي :

$$\begin{cases} v_{sa} = R_s i_{sa} + \frac{d\emptyset_{sa}}{dt} \\ v_{sb} = R_s i_{sb} + \frac{d\emptyset_{sb}}{dt} \\ v_{sc} = R_s i_{sc} + \frac{d\emptyset_{sc}}{dt} \end{cases} \qquad (2.II)$$

و معادلات جهود الجزء الدوار :

$$\begin{cases} v_{ra} = R_r i_{ra} + \frac{d\emptyset_{ra}}{dt} \\ v_{rb} = R_r i_{rb} + \frac{d\emptyset_{rb}}{dt} \\ v_{rc} = R_r i_{rc} + \frac{d\emptyset_{rc}}{dt} \end{cases} \quad (3.II)$$

و منه يمكن استنتاج الشكل المصفوفي لكل من الساكن و الدوار :

الجزء الساكن :

$$\begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \emptyset_{sa} \\ \emptyset_{sb} \\ \emptyset_{sc} \end{bmatrix} \quad (4.II)$$

أو

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}[\emptyset_s] \quad (5.II)$$

الجزء الدوار:

$$\begin{bmatrix} v_{ra} \\ v_{rb} \\ v_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \emptyset_{ra} \\ \emptyset_{rb} \\ \emptyset_{rc} \end{bmatrix} \quad (6.II)$$

أو

$$[V_r] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}[\emptyset_r] \quad (7.II)$$

حيث نعرف $[I_s]$،$[I_r]$،$[V_s]$، $[V_r]$، $[\emptyset_s]$ ، $[\emptyset_r]$ ، $[R_s]$، $[R_r]$ كما يلي :

مصفوفة التيارات في الجزء الساكن و الجزء الدوار:

$$[I_s] = \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} \quad , \quad [I_r] = \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix}$$

مصفوفة التوترات في الجزء الساكن و الجزء الدوار :

$$[V_s] = \begin{bmatrix} v_{sa} \\ v_{sb} \\ v_{sc} \end{bmatrix}, \quad [V_r] = \begin{bmatrix} v_{ra} \\ v_{rb} \\ v_{rc} \end{bmatrix}$$

مصفوفة التدفقات في الجزء الساكن و الجزء الدوار :

$$[\emptyset_s] = \begin{bmatrix} \emptyset_{sa} \\ \emptyset_{sb} \\ \emptyset_{sc} \end{bmatrix}, [\emptyset_r] = \begin{bmatrix} \emptyset_{ra} \\ \emptyset_{rb} \\ \emptyset_{rc} \end{bmatrix}$$

2.2.II معادلات التدفقات :

قبـــــل التطرق للمعادلات نعـــــرف المقادير التاليـــــــــة :

l_s : معامل الحثية الذاتية للفائف جزء الساكن .

m_s : معامل الحثية المتبادلة للفائف جزء الساكن.

l_r : معامل الحثية الذاتية للفائف جزء الدوار.

m_r : معامل الحثية المتبادلة للفائف جزء الدوار.

m_{sr} : معامل الحثية المتبادلة بين لفائف الساكن و لفائف جزء الدوار.

معادلات تدفقات الساكن و الدوار اللحظية لكل طور تعطى كما يلي :

$$[\emptyset_s] = [L_s][I_s] + [M_{sr}][I_r] \qquad (8.II)$$

$$[\emptyset_r] = [L_r][I_r] + [M_{sr}]^t[I_s] \qquad (9.II)$$

حيث :

$$[L_s] = \begin{bmatrix} l_s & m_s & m_s \\ m_s & l_s & m_s \\ m_s & m_s & l_s \end{bmatrix} \qquad (10.II)$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} l_r & m_r & m_r \\ m_r & l_r & m_r \\ m_r & m_r & l_r \end{bmatrix} \qquad (11.II)$$

$$[M_{sr}] = \mathrm{m}_{sr}\begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta+\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta-\frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \qquad (12.II)$$

حيث :

$[L_s]$: مصفوفة الحثية للجزء الساكن

$[L_r]$: مصفوفة الحثية للجزء الدوار

$[M_{sr}]$: مصفوفة الحثية المتبادلة بين الجزء الساكن و الجزء الدوار

3.2.II المعادلة الميكانيكية :

حسب القانون الثاني لنيوتن فان مجموع العزوم المؤثرة على محور الدوار للماكنة يساوي عزم العطالة مضروب في تسارع الزاوي للماكنة و تكتب المعادلة كالأتي :

$$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{P}}.\frac{\mathrm{d}\Omega}{\mathrm{dt}} = \sum \mathrm{T} = \mathrm{T_e} - \mathrm{T_f} - \mathrm{T}_R \qquad (13.II)$$

حيث :

J : عزم العطالة لكل الكتلة الدوّارة مرجعة إلى دوّار الماكنة .

p : عـــــدد ازواج الاقطاب .

$\mathrm{T_e}$: العـــــزم الكهرومغناطيسي .

$\mathrm{T_f}$: عـــــزم الاحتكاك .

$\mathrm{T_R}$: العـــــزم الميكانيكي للحمولة (العزم المقاوم) [5].

ملاحظة: خلال دراستنا $\mathrm{T_f}$ عزم الاحتكاك مهمل .

3.II نموذج ثنائي المحاور:

إن عملية النمذجة تبدأ من دراسة المقادير الكهربائية لكل من الدوار و الثابت أي دراسة الجهد و التيار و الفيض للحصول على معادلة معبرة عن الماكنة اللاتزامنية و المقادير السابقة هي مقادير ثلاثية الطور و لذلك نلجأ قبل القيام بالدراسة إلى إسقاط جملة المحاور الثلاثية لهذه المقادير على محاور ثنائية وذلك للأسباب التالية:

1- إن عملية دراسة المقادير الكهربائية الثلاثية الطور بشكل شعاعي يتطلب التمثيل الكهربائي و الفراغي للملفات حيث ان التغذية في الساكن تكون بـ 120° ،و الملفات مزاحة عن بعضها بـ 120° لكن التمثيل في النموذج الثنائي لا يسمح بهذه الإزاحة الكهربائية و الفراغية .
2- في المحاور الثلاثية نحصل على ثوابت تحوي حدود مثلثية متغيرة مع الزمن حيث يصعب إيجاد الحل الرياضي لها أما في المحاور الثنائية المتعامدة الدوارة بسرعة عشوائية ω_a نحصل على ثوابت غير متغيرة مع الزمن حيث يتم إيجاد الحل الرياضي لها .
3- إمكانية الحصول على نماذج للآلة بالنسبة لمحاور جديدة و ذلك بتغيير السرعة ω_a على خلاف المحاور الثلاثية .

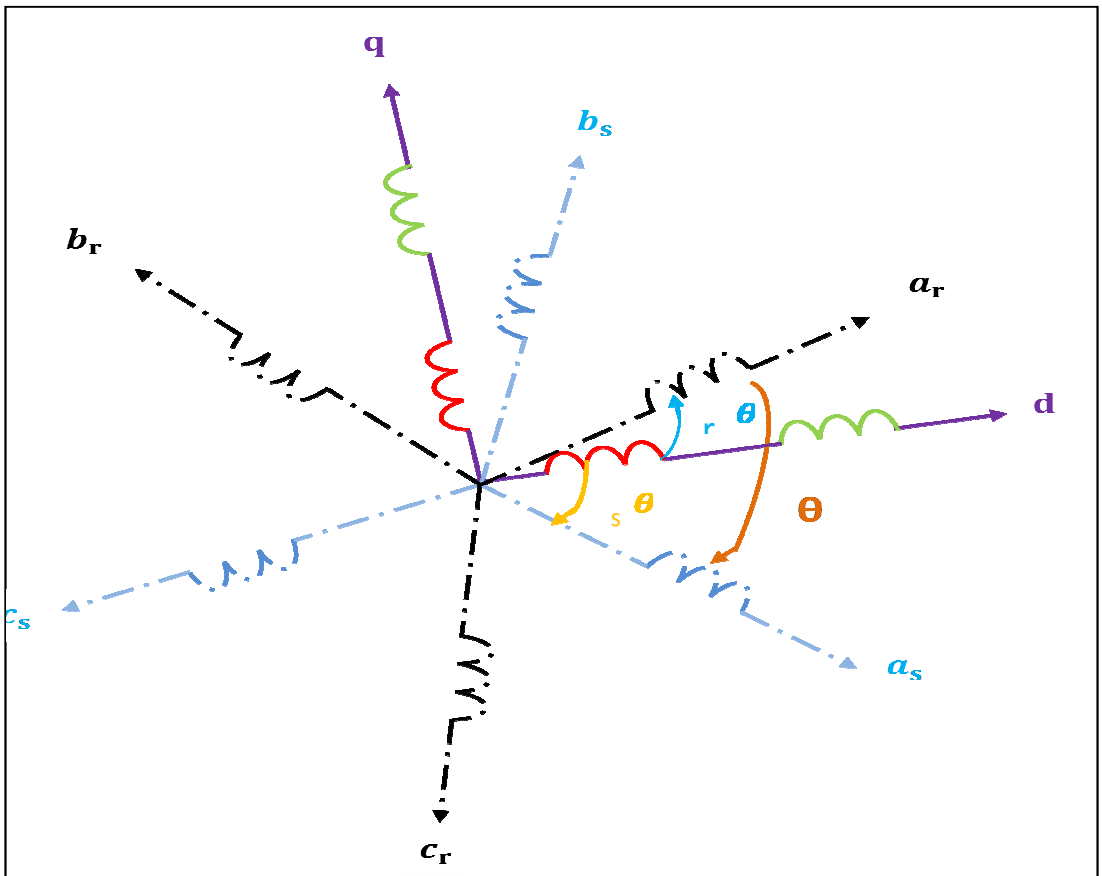
1.3.II تحويـــــــــل بارك :

بالنسبة للمكائن الدوارة التحويل الأكثر استعمالا هو تحويل بارك . فهو يسمح بتعويض المعادلات التفاضلية ذات معاملات متغيرة مع الزمن بمعادلات تفاضلية أكثر بساطة و بمعاملات ثابتة **[3]** .

هناك تحويلين لبارك : بارك و بارك المعدل (المغير):

أ- بارك : يحافظ على المطالات الثابتة (التيارات و الجهود) الخاصة بالماكنة .
ب- بارك المعدل : إضافة إلى الحفاظ على المقادير الخاصة بالماكنة فهو يحافظ كذلك على الاستطاعة ويبقيها ثابتة ، و هو التحويل المستعمل في دراستنا.

كما يمكن القول عن تحويل بارك أنه عملية رياضية تسمح بالانتقال من نظام ثلاثي الطور (a,b,c) ذو محاور مغناطيسية مزاحة عن بعضها البعض بزاوية كهربائية 120° إلى نظام ثنائي المحاور(d,q). مع اعتبار أنه لا يوجد تغيير لقاعدة المحاور المغناطيسية للنظام .الشكل «1.II» **[6]**



الشكل (1.II) : *تحويـــل اللفائـــــف الحقيقـــــية إلى اللفائف المكافئة*

يعرف التحويل المباشر لـPARK بالنسبة للجهود كما يلي :

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \qquad (14.II)$$

حيث تمثل $[P(\theta)]$ مصفوفة الانتقال من المحاور (abc) إلى (dq) و تعرف كما يلي :

$$[P(\theta)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \qquad (15.II)$$

التحويل العكسي لبارك يعرف بالمعادلات التالية :

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (16.II)$$

حيث مصفوفة الانتقال العكسي $[P(\theta)]^{-1}$ هي :

$$([P(\theta)]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (17.II)$$

ملاحظة :

في تحويل بارك المعدل مصفوفة التحويل $[P(\theta)]$ عبارة عن مصفوفة مربعة تحقق العلاقتين :

$$[P(\theta)]^{-1} = [P(\theta)]^T \quad (18.II)$$

$$[P(\theta)]^T . [P(\theta)] = [I] \quad (19.II)$$

و هذا ما يسهل علينا العمليات الحسابية ، و يحافظ على الاستطاعة الثابتة .

2.3.II تطبيق تحويل بارك على الماكنة MADA :

تحويل بارك لمقادير الساكن :

$$\left[V_{s_{dqo}}\right] = [P(\theta)] . \left[V_{s_{abc}}\right] \quad (20.II)$$

$$\left[I_{s_{dqo}}\right] = [P(\theta)] . \left[I_{s_{abc}}\right] \quad (21.II)$$

$$\left[\emptyset_{s_{dqo}}\right] = [P(\theta)] . \left[\emptyset_{s_{abc}}\right] \quad (22.II)$$

التحويل العكسي يكون كالتالي :

$$\left[V_{s_{abc}}\right] = [P(\theta)]^{-1} . \left[V_{s_{dqo}}\right] \quad (23.II)$$

$$\left[I_{s_{abc}}\right] = [P(\theta)]^{-1}.\left[I_{s_{dqo}}\right] \quad (24.II)$$

$$\left[\emptyset_{s_{abc}}\right] = [P(\theta)]^{-1}.\left[\emptyset_{s_{dqo}}\right] \quad (25.II)$$

التحويل لمقادير الدوار نحصل عليه بتعويض الرمز s بالرمز r في المعادلات (25.II), (20.II) (21.II), (22.II), (23.II), (24.II) **[7]** .

1. 2.3.II معادلات الجهـــود :

بعد الحساب و التبسيط للمعادلات السابقة نجد :

$$v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt}\emptyset_{ds} - \omega_s \emptyset_{qs} \quad (26.II)$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt}\emptyset_{qs} + \omega_s \emptyset_{ds} \quad (27.II)$$

$$v_{so} = R_s i_{so} + \frac{d}{dt}\emptyset_{so} \quad (28.II)$$

و بنفس الطريقة مع الجزء الدوار :

$$v_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt}\emptyset_{dr} - (\omega_s - \omega)\emptyset_{qr} \quad (29.II)$$

$$v_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt}\emptyset_{qr} + (\omega_s - \omega)\emptyset_{dr} \quad (30.II)$$

$$v_{ro} = R_r i_{r0} + \frac{d}{dt}\emptyset_{ro} \quad (31.II)$$

2. 2.3.II معادلات التدفقات :

تدفقات الساكن في المرجع (dqo) تعطى بالعلاقات التالية :

$$\emptyset_{ds} = L_s i_{ds} + M_{sr} i_{dr} \quad (32.II)$$

$$\emptyset_{qs} = L_s i_{qs} + M_{sr} i_{qr} \quad (33.II)$$

$$\emptyset_{so} = L_s i_{s0} \quad (34.II)$$

بنفس الطريقة نحصل على تدفقات الدوار:

$$\emptyset_{dr} = \mathrm{L_r i_{dr}} + \mathrm{M_{sr} i_{ds}} \quad (35.II)$$

$$\emptyset_{qr} = \mathrm{L_r i_{qr}} + \mathrm{M_{sr} i_{qs}} \quad (36.II)$$

$$\emptyset_{ro} = \mathrm{L_r i_{ro}} \quad (37.II)$$

حيـــــث :

L_s : الحثية الدورية للساكن.

L_r : الحثية الدورية للدوار.

M_{sr} : الحثية المتبادلة الأعظمية بين الساكن و الدوار.

تعرف المقادير أعلاه حسب العلاقات التالية :

$$\mathrm{M_{sr}} = \frac{3}{2} m_{sr} \quad (38.II)$$

$$\mathrm{L_s} = \mathrm{l_s} - m_s \quad (39.II)$$

$$\mathrm{L_r} = \mathrm{l_r} - m_r \quad (40.II)$$

بتعويض علاقات التدفقات في معادلات الجهود نتمكن من الحصول على العبارة المصفوفية للماكنة و التي تربط مباشرة بين الجهود و تيارات الماكنة في المرجع (dqo)

$$\begin{bmatrix} \mathrm{v}_{ds} \\ \mathrm{v}_{qs} \\ \mathrm{v}_{dr} \\ \mathrm{v}_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + \frac{d}{dt}(L_s) & -\mathrm{L_s}\omega_s & \frac{d}{dt}(M_{sr}) & -M_{sr}\omega_s \\ \mathrm{L_s}\omega_s & R_s + \frac{d}{dt}(L_s) & M_{sr}\omega_s & \frac{d}{dt}(M_{sr}) \\ \frac{d}{dt}(M_{sr}) & -M_{sr}(\omega_s - \omega) & R_r + \frac{d}{dt}(L_s) & -\mathrm{L_r}\omega_r \\ M_{sr}(\omega_s - \omega) & \frac{d}{dt}(M_{sr}) & \mathrm{L_r}(\omega_s - \omega) & R_r + \frac{d}{dt}(L_s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathrm{i_{ds}} \\ \mathrm{i_{qs}} \\ \mathrm{i_{dr}} \\ \mathrm{i_{qr}} \end{bmatrix} \quad (41.II)$$

3. 2.3.II المعادلة الميكانيكية :

الاستطاعة اللحظية في نظام ثلاثي المحاور (abc) تعطى كما يلي :

$$P_{\mathrm{i}} = (\mathrm{V_s})^{\mathrm{t}}(\mathrm{I_s})$$

$$= \mathrm{v_{sa}i_{sa}} + \mathrm{v_{sb}i_{sb}} + \mathrm{v_{sc}i_{sc}}$$

الاستطاعة اللحظية في نظام ثنائي المحاور (dq) تعطى كما يلي :

$$P_{\mathrm{i}} = \mathrm{v_{ds}i_{ds}} + \mathrm{v_{qs}i_{qs}}$$

$$P_{\mathrm{i}} = \left[R_{\mathrm{s}} i_{\mathrm{ds}} + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\emptyset_{\mathrm{ds}} - \omega_s \emptyset_{\mathrm{qs}}\right]\mathrm{i_{ds}} + \left[R_{\mathrm{s}} i_{\mathrm{qs}} + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\,\emptyset_{\mathrm{qs}} + \omega_s \emptyset_{\mathrm{ds}}\right]\mathrm{i_{qs}}$$

$$P_{\mathrm{i}} = R_{\mathrm{s}}\mathrm{i_{ds}^2} + \mathrm{i_{ds}}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\emptyset_{\mathrm{ds}} - \omega_s \mathrm{i_{ds}}\emptyset_{\mathrm{qs}} + R_{\mathrm{s}}\mathrm{i_{qs}^2} + \mathrm{i_{qs}}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\,\emptyset_{\mathrm{qs}} + \omega_s \mathrm{i_{qs}}\emptyset_{\mathrm{ds}}$$

و منه :

$$P_{\mathrm{i}} = \underbrace{\left\{R_{\mathrm{s}}\mathrm{i_{ds}^2} + R_{\mathrm{s}}\mathrm{i_{qs}^2}\right\}}_{\mathrm{I}} + \underbrace{\left\{\mathrm{i_{ds}}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\emptyset_{\mathrm{ds}} + \mathrm{i_{qs}}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\,\emptyset_{\mathrm{qs}}\right\}}_{\mathrm{II}} + \underbrace{\left\{\omega_s\left(\mathrm{i_{qs}}\emptyset_{\mathrm{ds}} - \mathrm{i_{ds}}\emptyset_{\mathrm{qs}}\right)\right\}}_{\mathrm{III}}$$

حيث :

I: الضياعات بفعل جول

II : الطاقة الكهرومغناطيسية المخزنة

III : الطاقة الكهربائية المحولة إلى طاقة ميكانيكية

بما أننا أهملنا الضياعات حسب الفرضيات المساعدة فانه يتبقى لدينا العبارة (III) أي :

$$P_E = \omega_s\left(\mathrm{i_{qs}}\emptyset_{\mathrm{ds}} - \mathrm{i_{ds}}\emptyset_{\mathrm{qs}}\right) \qquad (42.\mathrm{II})$$

$$T_e = \frac{P_E}{\Omega_{\mathrm{s}}} = \frac{\omega_s}{\Omega_{\mathrm{s}}}\left(\mathrm{i_{qs}}\emptyset_{\mathrm{ds}} - \mathrm{i_{ds}}\emptyset_{\mathrm{qs}}\right)$$

بتعويض عبارات $\emptyset_{ds}$و $\emptyset_{\mathrm{qs}}$ بما يساويها نجد [14]:

$$T_e = \mathrm{P}\frac{\mathrm{M_{sr}}}{\mathrm{L_r}}\left(\emptyset_{\mathrm{dr}}.\,\mathrm{i_{qs}} - \emptyset_{\mathrm{qr}}.\,\mathrm{i_{ds}}\right)$$

$$T_e = \mathrm{PM_{sr}}\left(i_{\mathrm{dr}}.\,\mathrm{i_{qs}} - \mathrm{i_{qr}}.\,\mathrm{i_{ds}}\right) \qquad (43.\mathrm{II})$$

3.3.II معادلات الحالـــــة للماكنة MADA :

هناك عدة أشكال لمعادلات الحالة للماكنة MADA ، و هذه الأشكال تتعلق باختيار متغيرات الحالة في مذكرتنا نختار تدفقات الدوار $\emptyset_{dr}, \emptyset_{qr}$ وتيارات الساكن i_{ds}،i_{qs} كمتغيرات للحالة. التوترات $V_{ds}, V_{qs}, V_{dr}, V_{qr}$ تعتبر متغيرات التحكم . الشكل العام لمعادلة الحالة يكون كالما يلي :

$$\frac{dX}{dt} = \dot{X} = AX + BU \qquad (44.II)$$

نعرف متغيرات الحالة ، و متغيرات التحكم بالشكل المصفوفي التالي :

$$X = \left[i_{qs}, i_{ds}, \emptyset_{dr}, \emptyset_{qr}\right] \qquad (45.II)$$

$$U = \left[V_{ds}, V_{qs}, V_{dr}, V_{qr}\right] \qquad (46.II)$$

المعادلة التي تربط التدفقات بالتيارات تعرف بـ :

$$\begin{bmatrix} \emptyset_{ds} \\ \emptyset_{qs} \\ \emptyset_{dr} \\ \emptyset_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s - m_s & 0 & \frac{3}{2}m_{sr} & 0 \\ 0 & l_s - m_s & 0 & \frac{3}{2}m_{sr} \\ \frac{3}{2}m_{sr} & 0 & l_r - m_r & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}m_{sr} & 0 & l_r - m_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} \qquad (47.II)$$

حيث أنه تم إهمال المركبات الصفرية i_{0r} ، i_{0s} ، $\emptyset_{0r}$ ، $\emptyset_{0s}$ و ذلك لأن النظام مستقر .

من المعادلتين (35.II) و (36.II) نجد:

$$\begin{cases} i_{dr} = \frac{1}{L_r}\emptyset_{dr} - \frac{M_{sr}}{L_r} i_{ds} \\ i_{qr} = \frac{1}{L_r}\emptyset_{qr} - \frac{M_{sr}}{L_r} i_{qs} \end{cases} \qquad (48.II)$$

و منه يمكن كتابة المعادلة (47.II) كما يلي :

$$\begin{bmatrix} \emptyset_{ds} \\ \emptyset_{qs} \\ \emptyset_{dr} \\ \emptyset_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M_{sr} & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M_{sr} \\ M_{sr} & 0 & L_r & 0 \\ 0 & M_{sr} & 0 & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} \qquad (49.II)$$

$$[V_{dqo}] = [R][i_{dqo}] + \frac{d}{dt}[\emptyset_{dqo}] + [P]\left[\frac{d}{dt}[P]^{-1}[\emptyset_{dqo}]\right] \qquad (50.II)$$

نعوض المعادلتين (47. II) و (49.II) في المعادلة (50.II) ، بعد التبسيط و الحساب نحصل على نظام المعادلات الآتي :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \left(L_s - \frac{M_{sr}^2}{L_r}\right)\frac{d}{dt} i_{ds} - \omega_s \left(L_s - \frac{M_{sr}^2}{L_r}\right) i_{qs} - \omega_s \frac{M_{sr}}{L_r}\emptyset_{qr} + \frac{M_{sr}}{L_r}\frac{d}{dt}\emptyset_{dr} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \left(L_s - \frac{M_{sr}^2}{L_r}\right) i_{qs} - \omega_s \left(L_s - \frac{M_{sr}^2}{L_r}\right) i_{ds} - \omega_s \frac{M_{sr}}{L_r}\emptyset_{dr} + \frac{M_{sr}}{L_r}\frac{d}{dt}\emptyset_{qr} \\ V_{dr} = -R_r \frac{M_{sr}}{L_r}\emptyset_{dr} + \frac{R_r}{L_r}\emptyset_{dr} + \frac{d}{dt}\emptyset_{dr} - (\omega_s - \omega)\emptyset_{qr} \\ V_{qr} = -R_r \frac{M_{sr}}{L_r}\emptyset_{qs} + \frac{R_r}{L_r}\emptyset_{qr} + \frac{d}{dt}\emptyset_{qr} - (\omega_s - \omega)\emptyset_{dr} \end{cases}$$

(51.II)

حيث نعرف المقادير التالية:

σ : معامل بلوندال او معامل التسرب المغناطيسي $\quad \sigma L_s = L_s\left(1 - \frac{M_{sr}^2}{L_r}\right)$

T_r : ثابت الزمن بالنسبة للدوار. $\quad T_r = \frac{L_r}{R_r}$

و بعد ترتيب نظام المعادلات و استخراج متغيرات الحالة نتحصل على :

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}(i_{ds}) = -\left[\frac{R_s}{L_s\sigma} + \frac{M_{sr}^2}{L_r L_s T_r \sigma}\right] i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \left[\frac{M_{sr}}{L_r L_s T_r \sigma}\right]\emptyset_{dr} + \left[\frac{M_{sr}}{L_r L_s \sigma}\right]\omega\emptyset_{qr} + \frac{1}{L_s\sigma}V_{ds} - \left[\frac{M_{sr}}{L_r L_s \sigma}\right]V_{dr} \\ \frac{d}{dt}(i_{qs}) = -\omega_s i_{ds} - \left[\frac{R_s}{L_s\sigma} + \frac{M_{sr}^2}{L_r L_s T_r \sigma}\right] i_{qs} + \left[\frac{M_{sr}}{L_r L_s \sigma}\right]\omega\emptyset_{qr} + \left[\frac{M_{sr}}{L_r T_r L_s \sigma}\right]\omega\emptyset_{qr} + \frac{1}{\sigma}V_{ds} - \left[\frac{M_{sr}}{L_r L_s \sigma}\right]V_{qr} \\ \frac{d}{dt}(\emptyset_{dr}) = \frac{M_{sr}}{T_r} i_{ds} - \frac{1}{T_r}\emptyset_{dr} + (\omega_s - \omega)\emptyset_{qr} + V_{dr} \\ \frac{d}{dt}(\emptyset_{qr}) = \frac{M_{sr}}{T_r} i_{qs} - \frac{1}{T_r}\emptyset_{qr} + (\omega_s - \omega)\emptyset_{dr} + V_{qr} \end{cases}$$

(52.II)

معادلة العزم الكهرومغناطيسي تصبح [3] :

$$\frac{d}{dt}\Omega_m = \frac{1}{J}[T_e - T]$$

$$T_e = p\frac{M_{sr}}{T_r}\left(\emptyset_{dr} i_{qs} - \emptyset_{qr} i_{ds}\right) \qquad (53.II)$$

الشكل النهائي لمعادلة الحالة هو :

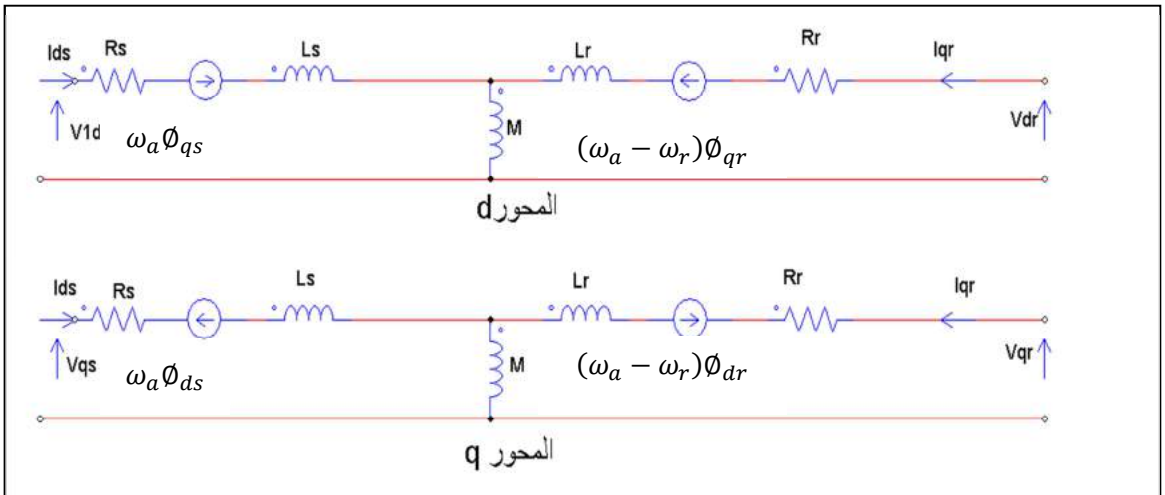
$$\begin{bmatrix} \frac{di_{ds}}{dt} \\ \frac{di_{qs}}{dt} \\ \frac{d\emptyset_{dr}}{dt} \\ \frac{d\emptyset_{qr}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\left(\frac{R_s}{L_s\sigma} + \frac{M_{sr}^2}{L_r L_s T_r \sigma}\right) & \omega_s & \frac{M_{sr}}{L_s L_r T_r \sigma} & \left(\omega \frac{M_{sr}}{L_r L_s \sigma}\right) \\ -\omega_s & -\left(\frac{R_s}{L_s\sigma} + \frac{M_{sr}^2}{L_r T_r L_s \sigma}\right) & -\left(\omega \frac{M_{sr}}{L_s L_r \sigma}\right) & \frac{M_{sr}}{L_s L_r T_r \sigma} \\ \left(\frac{M_{sr}}{T_r}\right) & 0 & -\left(\frac{1}{T_r}\right) & (\omega_s - \omega) \\ 0 & \left(\frac{M_{sr}}{T_r}\right) & -(\omega_s - \omega) & -\left(\frac{1}{T_r}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \emptyset_{dr} \\ \emptyset_{qr} \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s\sigma} & 0 & -\left(\frac{M_{sr}}{L_r L_s \sigma}\right) & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_s\sigma} & 0 & -\left(\frac{M_{sr}}{L_s L_r \sigma}\right) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ v_{dr} \\ v_{qr} \end{bmatrix} \qquad (54.II)$$

4.3.II اختيار المرجع (نمذجة الماكنة اللاتزامنية) :

من المهم كتابة المعادلات في مرجع منسوب إلى الدوار أو الساكن أو إلى الحقل الدوار من اجل تحليل سلوك الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية في كلا الحالتين العابرة و الدائمة ، الدارة المكافئة التالية هي دارة مكافئة للمحورين في مرجع ما و بسرعة ω_a . [8]

الشكل (2.II) يبين الدائرة المكافئة في نظام ديناميكي للـ MADA لمرجع d-q



الشكل (2.II) : *الدائرة المكافئة في نظام ديناميكي للـ MADA لمرجع d-q*

وبما أننا نتعامل مع تحويل بارك الذي يشتمل على تحويل اللفائف الثلاثية للساكن و الدوار إلى اللفائف التخيلية المتعامدة والمتكافئة ، فإن أطوار الساكن a_s ,b_s, c_s تعوض باللفائف التخيلية d_s, q_s و أطوار الدوار a_r ,b_r, c_r تعوض باللفائف التخيلية d_r, q_r .

تحويل المقـادير الحقيقيــة إلى مقادير تخيلية ممكنـة نتيجة لاختيـار مــرجع لنظـام المحـاور .

اختيار المرجع متعلق بطبيعة المشكل المدروس ، لذا نميز ثلاث مراجع أساسية وهي :

- ❖ مرجع منسوب إلى الساكن
- ❖ مرجع منسوب إلى الدوار
- ❖ مرجع منسوب إلى الحقل الدوار

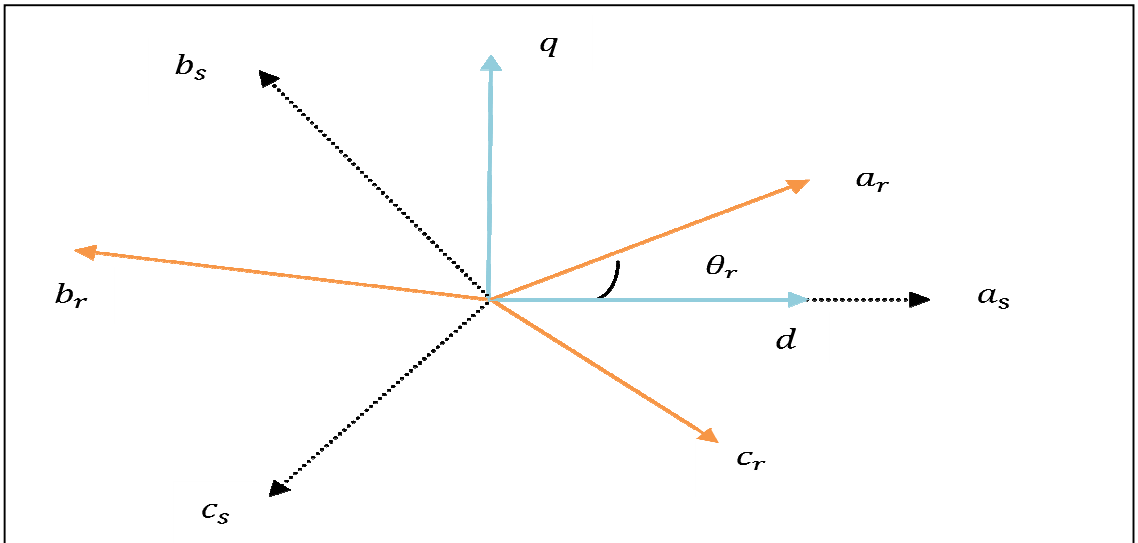
1.4.3.II مرجع منسوب إلى الساكن :

وهنا تكون جملة المحاور ثابتة أي $\omega_a = 0$ و بارامترات (المقادير المميزة) المحرك في هذه الحالة تكون حقيقية و تعطى معادلات الجزء الساكن و الدوار كما يلي :

$$V_s = R_s + \frac{d\emptyset_s}{dt} \qquad (56.II)$$

$$V_r = R_r + \frac{d\emptyset_r}{dt} + j.\omega_r.\emptyset \qquad (57.II)$$

الشكل (3.II) يبين هذا النوع من المراجع :



الشكل (3.II) : *مرجـــــــع منسوب إلى الساكـــــن*

إن الفائدة من النمذجة في هذه الجملة هو محاكاة أداء المحرك عندما تكون جهود الساكن غير متوازنة و مشوهة كما في المحركات المغذاة بعاكس ذو تحكم MLI.

لدينا :

$$\theta_s = \widehat{doa_s} = 0 \quad , \quad \theta_r = \widehat{doa_r}$$

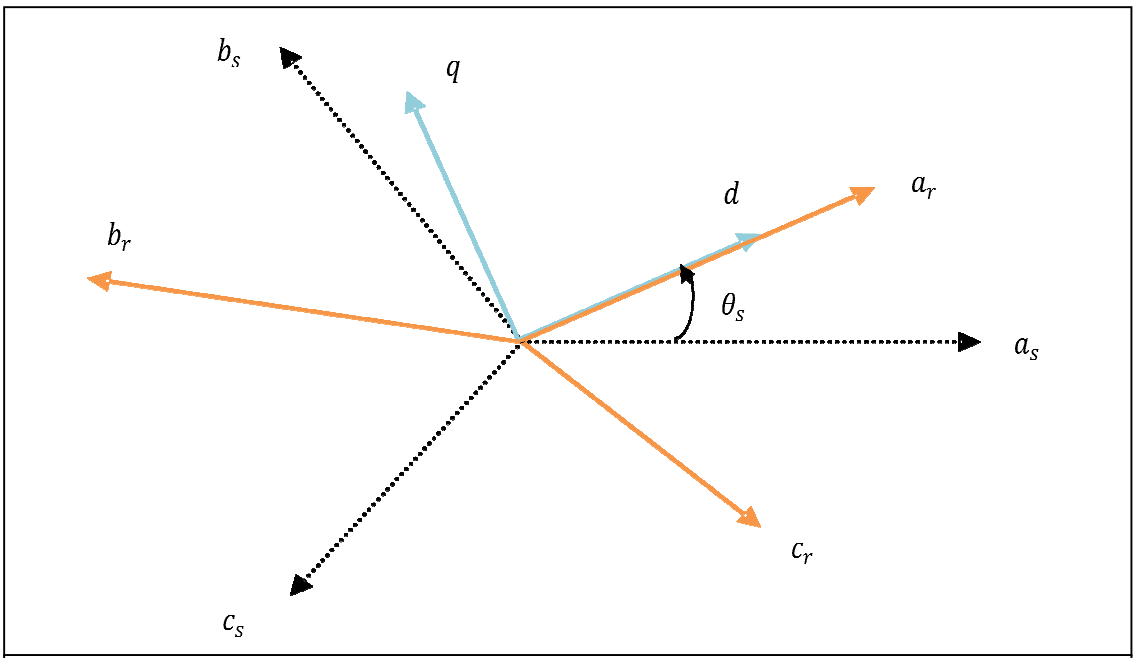
$$\theta_s = \theta_r + \theta \quad => \quad \theta_r = -\theta$$

$$\frac{d\theta_s}{dt} = 0 \quad => \quad \frac{d\theta_r}{dt} = -\frac{d\theta_m}{dt} = -\omega$$

2.4.3.II مـــرجع منسوب إلى الـــدوار :

في هذه الحالة تكون المحاور التي يتم التعامل معها تدور بسرعة زاوية ω_r و هي سرعة الدوران ، تستخدم هذه الطريقة عندما تكون جهود الساكن متوازنة ، أي يستعمل لدراسة مقادير الساكن ، و في حالة دراسة الأنظمة العابرة . الشكل(4.II)

المحاور التي يتم التعامل معها تدور بسرعة زاوية ω_r وهي سرعة الدوران .



الشكل (4.II) : *مرجـــــــع منسوب إلى الدوار*

لدينا :

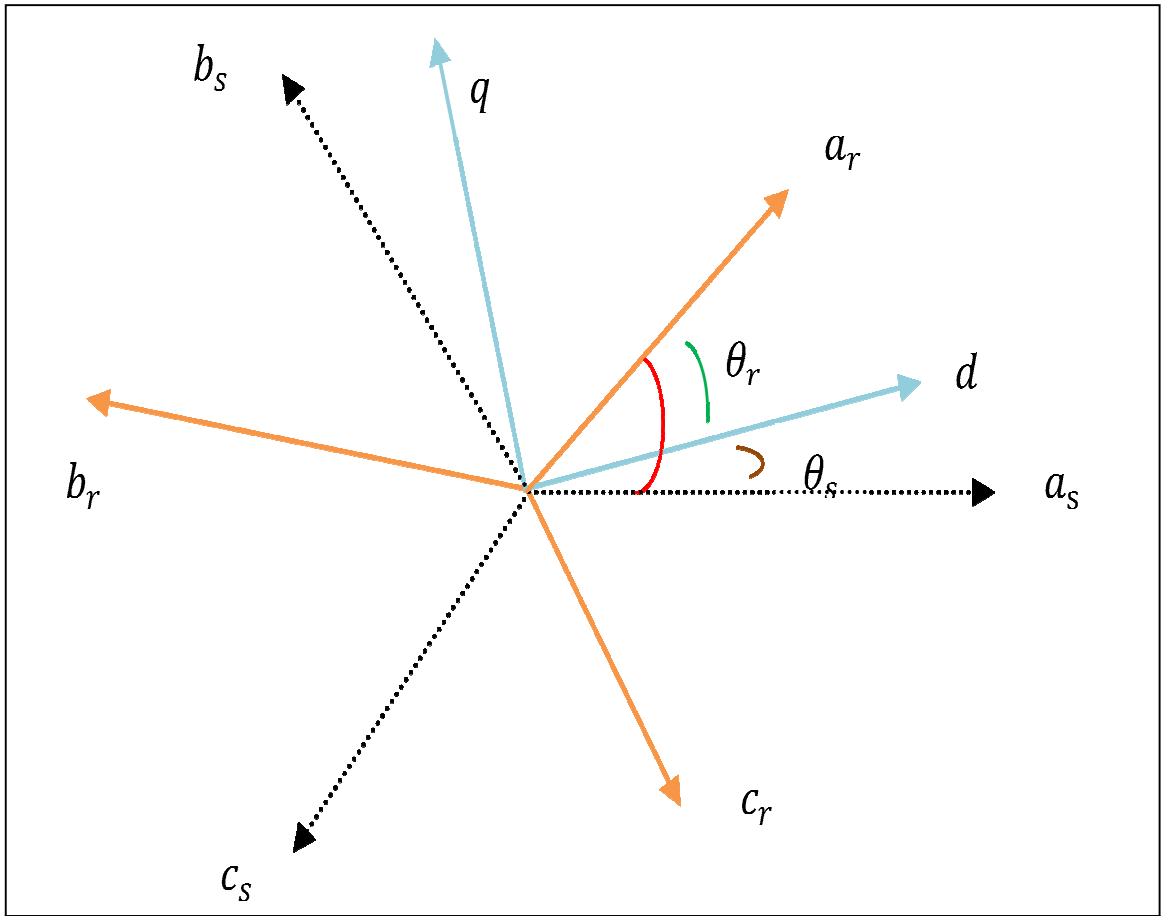
$\theta_r = \widehat{d0a_r} = 0$ ، $\theta_s = \theta_r + \theta \Rightarrow \theta_s = \theta$

$\omega_r = \frac{d\theta_r}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d\theta_s}{dt} = \frac{d\theta}{dt} = \omega$

$\omega_s = \omega + \omega_r$ حيث :

3.4.3.II مرجـــع منسوب إلى الحقل الدوار :

بالنسبة إلى هذه الحالة تدور المحاور التي تعين المستوي بسرعة زاوية ω_s و التي تمثل سرعة التزامن و تستخدم هذه الطريقة عندما تكون جهود الجزء الثابت جيبية و متزنة و ذات تردد f_s و بالتالي تصبح جميع المقادير كميات مستمرة في الحالة المستقرة أي النظام الدائم . الشكل (5.II).



الشكل (5.II) : *مرجـــــــع منسوب إلى الحقل الدوار*

النموذج في هذه الحالة مفيد من اجل تحليل و محاكاة أداء المحرك في التطبيقات ذات التردد المتغير،

حيث يستعمل في دراسة التحكم في سرعة الماكنات .

$$\theta_s = \theta_r + \theta$$

$$\theta_s = \widehat{doa_s} \quad , \theta_r = \widehat{doa_r}$$

حيث :

a_s ,b_s, c_s أطوار الساكن

a_r ,b_r, c_r أطوار الـــدوار

المرجع (d,q) تحويل بـــــارك

θ_r : الزاوية بين المحور a_r و المحور d

θ_s: الزاوية بين المحور a_s و المحور d

θ: الزاوية بين المحور a_s و المحور a_r

ω_s : السرعة الزاوية الكهربائية لأنظمة المحاور d,q,o

ملاحظة :

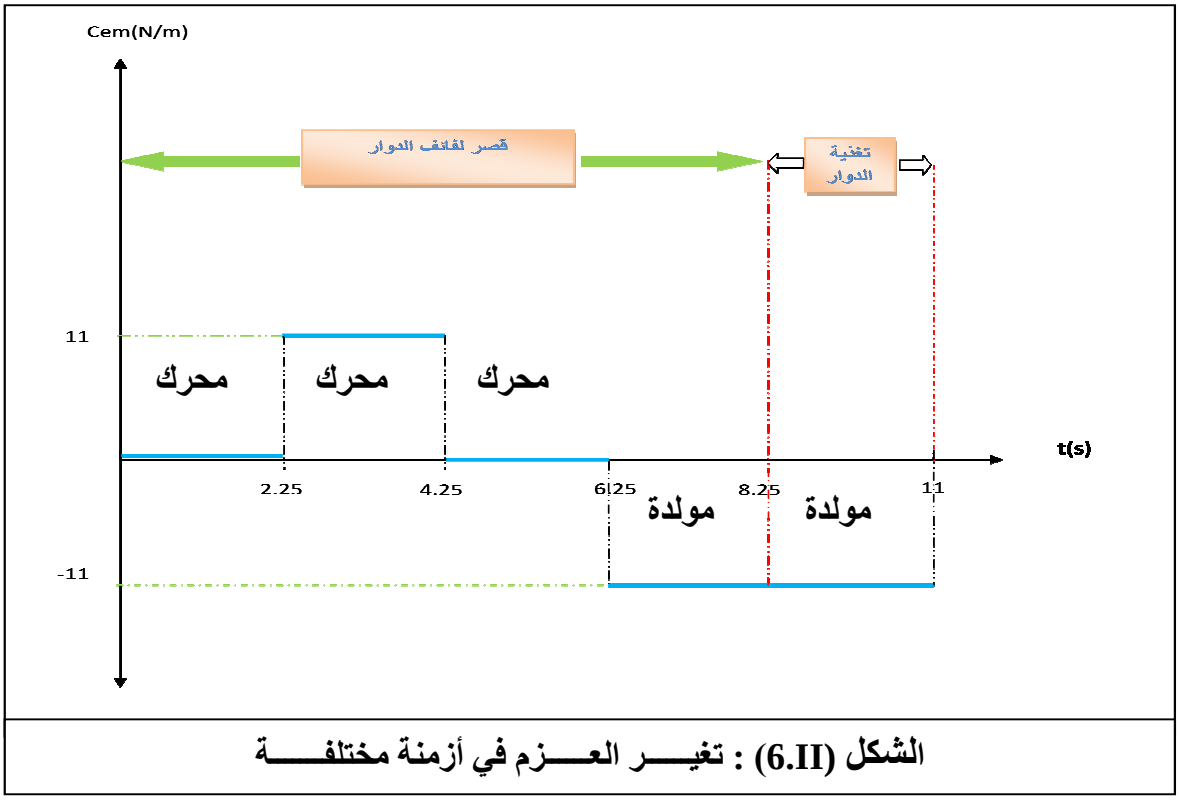
في مذكرتنا هذه استعملنا الاختيار الأخير أي المرجع المنسوب إلى الحقل الدوار. **[7]**

4.II المحاكاة العددية باستعمال الـ MADA :

في وقتنا الحالي المحاكاة العددية معروفة كثيرا في مجال دراسة الآلات الكهربائية . فهي تمكننا من نمذجة و تحليل و محاكاة الأنظمة مع كثير من الدقة .

في أيامنا هذه توجد كثير من البرامج الخاصة بالآلات الكهربائية و لأجل محاكاة الماكنة MADA اخترنا البرنامج PSIM ، و معطيات الماكنة المستعملة في المحاكاة معطاة في الملحقA و B .

❖ نقوم بتغيير عزم الماكنة خلال فترات زمنية معينة كما هو موضح في الشكل (6.II) :



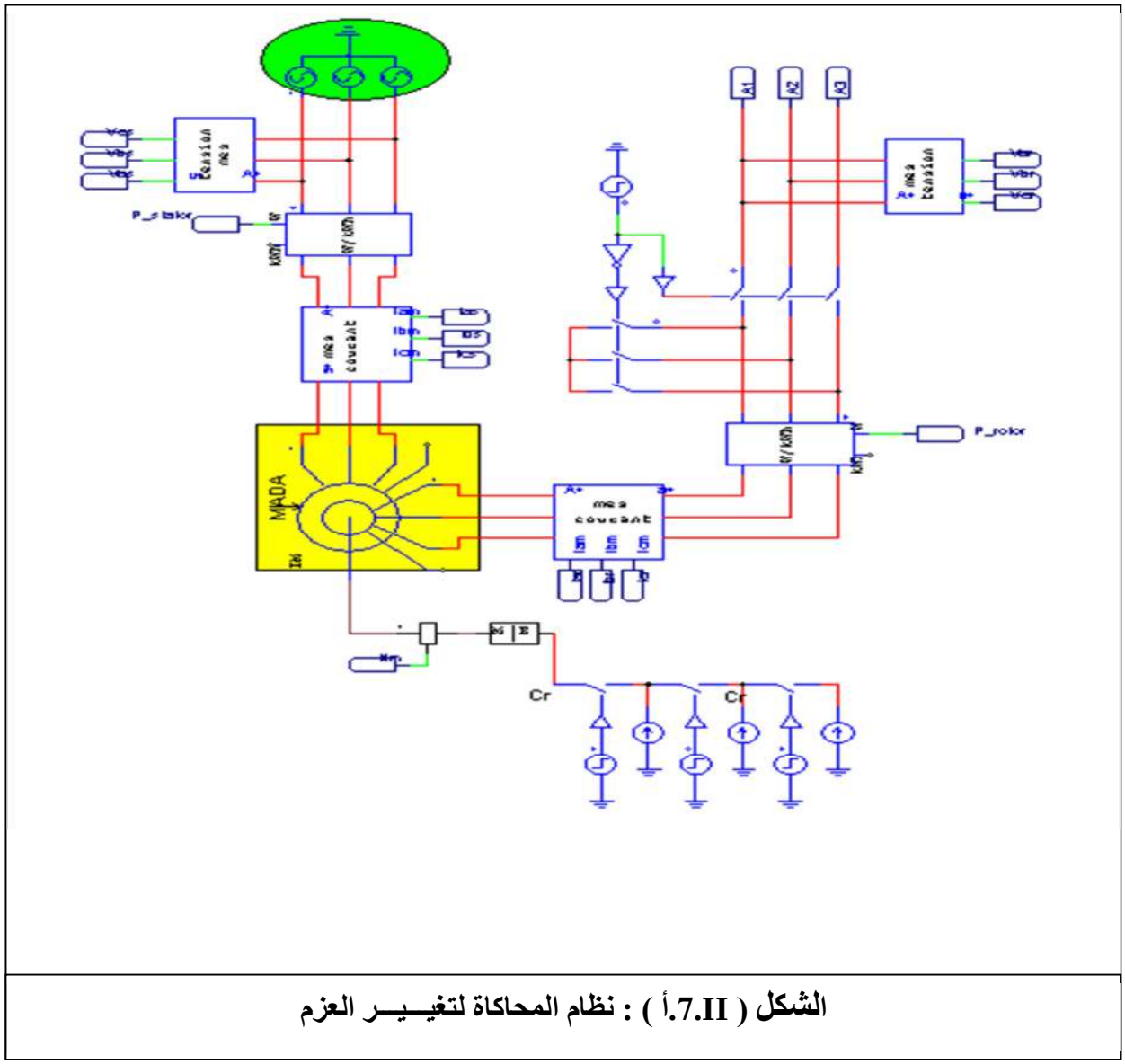
الشكل (6.II) : تغيـــــر العـــــزم في أزمنة مختلفـــــة

الجدول (1.II) يلخص مختلف حالات التشغيل للماكنة MADA

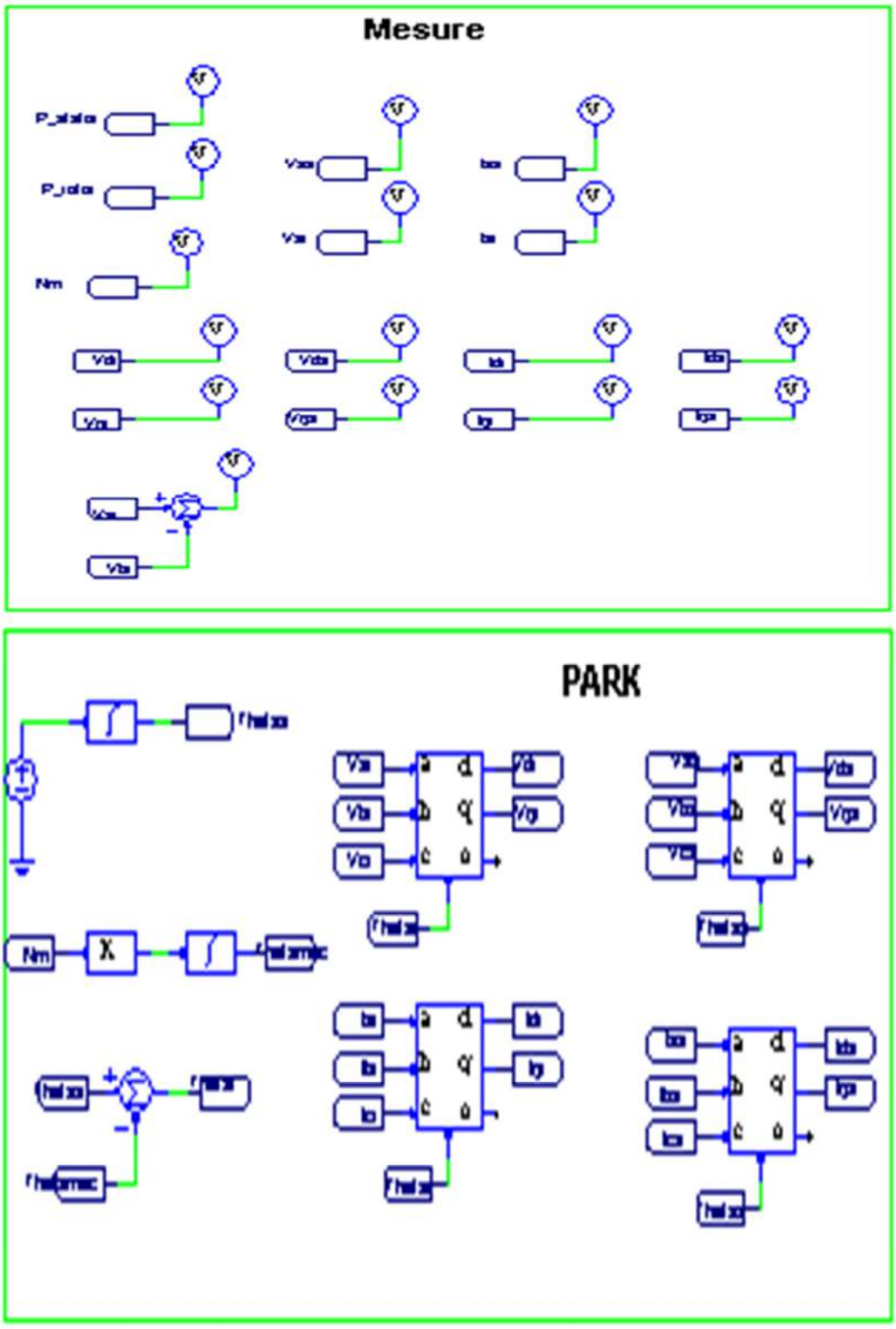
الجدول (1.II) : حـــــــــالات التشغيل للماكنة MADA بتغيير عزم الحمولة

الحالة	نوع التشغيـــــل	عزم الحمولة (N.m)	المجـال الزمـني (s)
1	محرك مع قصر لفائف الدوار	Tr = 0	[0.00 ; 2..25]
		Tr =11	[2..25 ; 4.25]
		Tr = 0	[4.25 ; 6..25]
3	مولدة مع قصر لفائف الدوار	Tr = -11	[6.25 ; 8.25]
4	مولدة مع تغذية لفائف الدوار		[8.25 ; 11]

نقوم بمحاكاة النظام المبين بـ الشكل«6.II»في برنامج PSIM و هذا ما يوضحه الشكل (7.II)



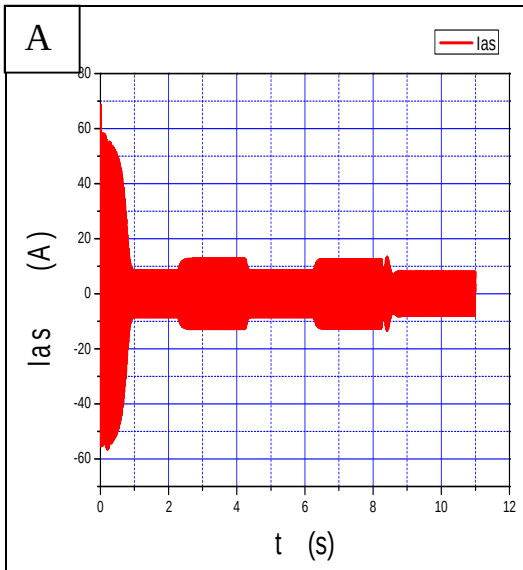
الشكل (7.II.أ) : نظام المحاكاة لتغيـــيـــر العزم



الشكل (II.7.ب) : خوارزمية التحكم

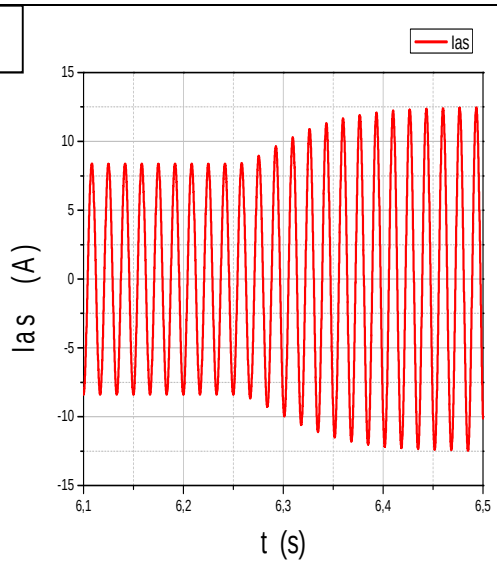
بعد المحاكاة العددية نتحصل على النتائج التالية :

A



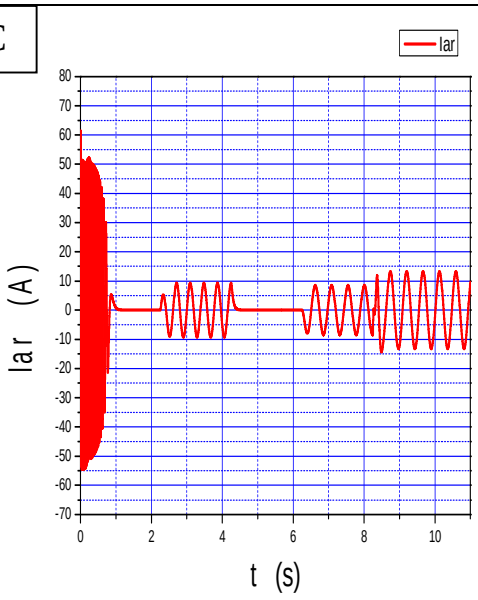
A) تيار الساكن للطور a في مختلف الأزمنة لتغييرات العزم

B



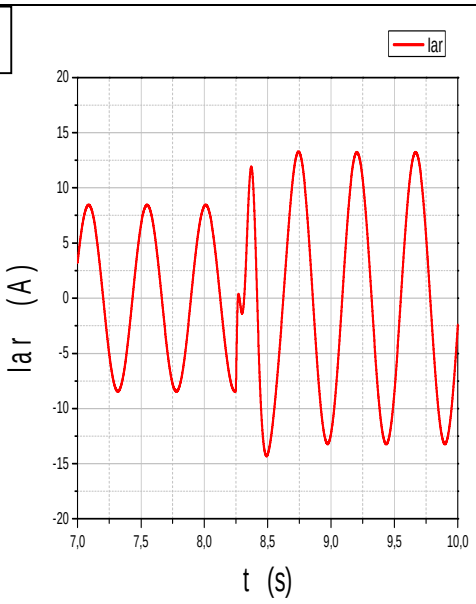
B) اخذ جزء (فترة زمنية)من منحنى تيار الساكن و القيام بتكبيره

C



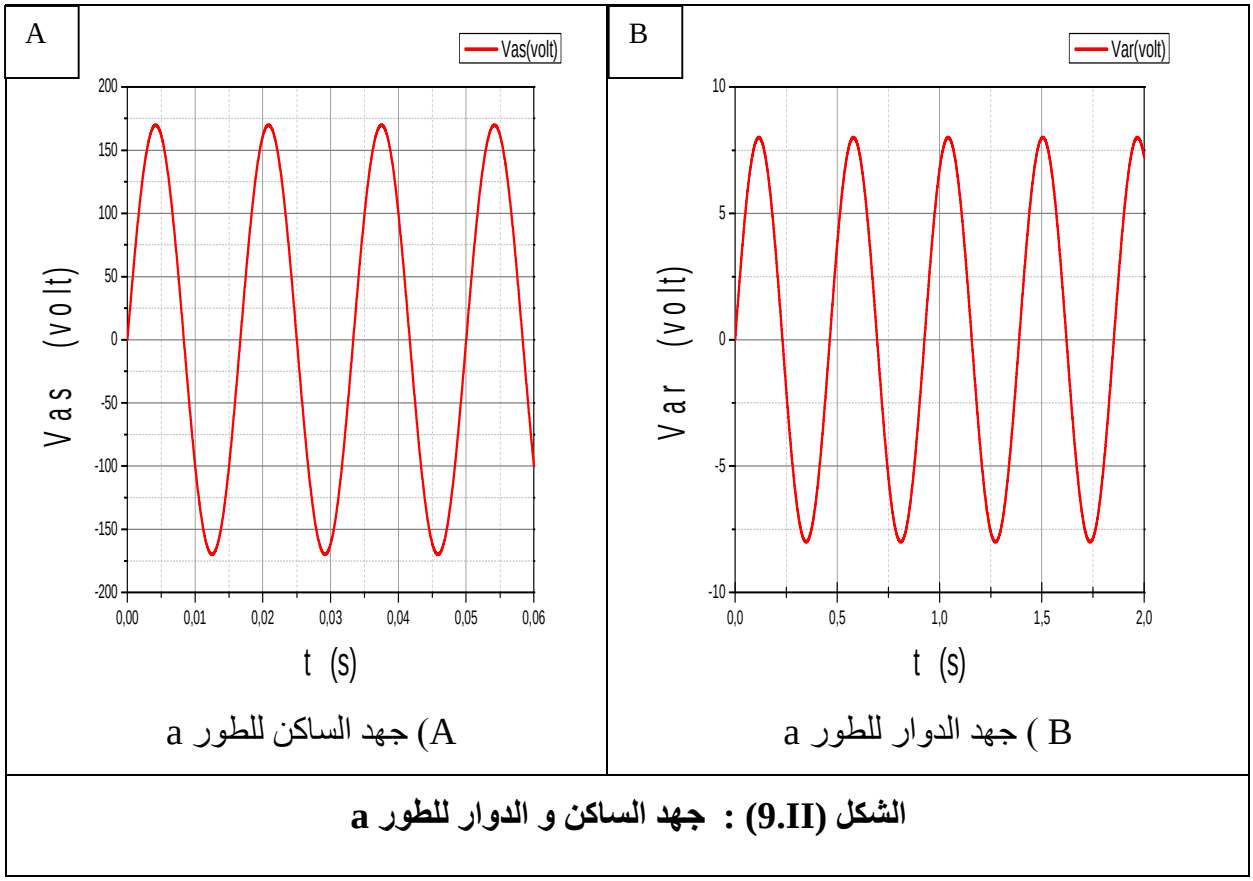
C) تيار الدوار للطور a في مختلف الأزمنة لتغييرات العزم

D



D) اخذ جزء (فترة زمنية)من منحنى تيار الدوار و القيام بتكبيره

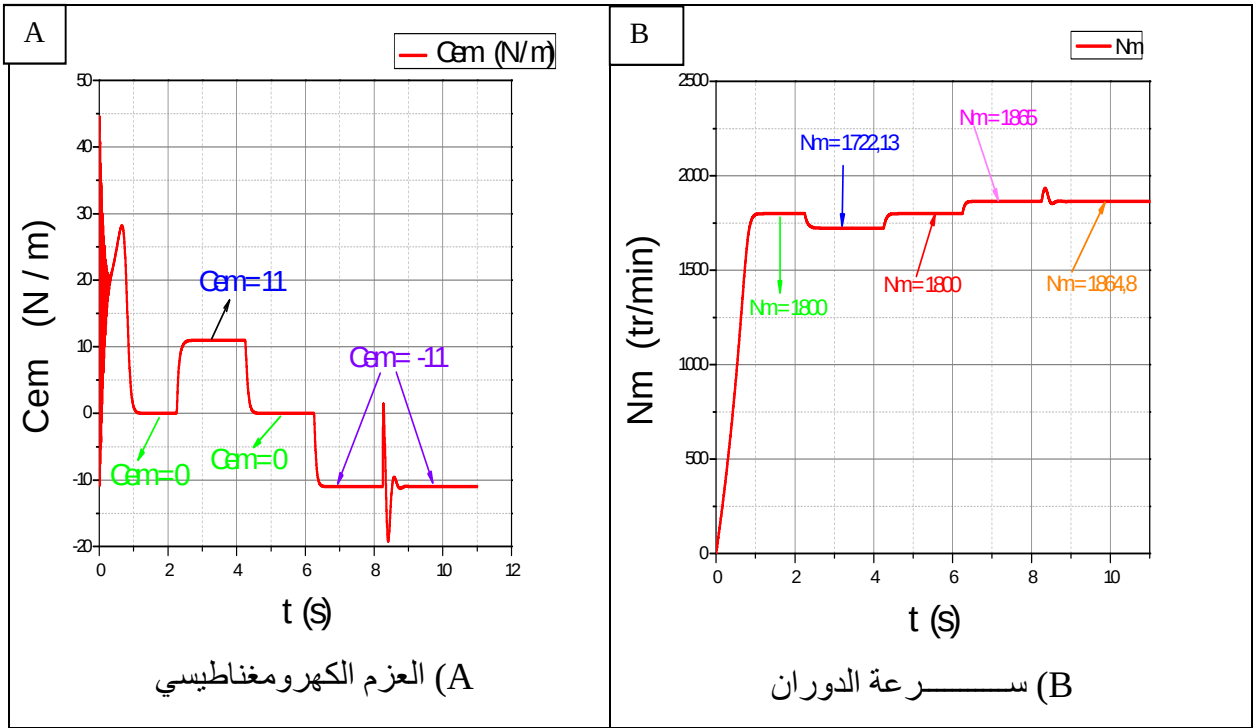
الشكل (8.II) : تيار الساكن و الدوار



A) جهد الساكن للطور a

B) جهد الدوار للطور a

الشكل (9.II) : جهد الساكن و الدوار للطور a

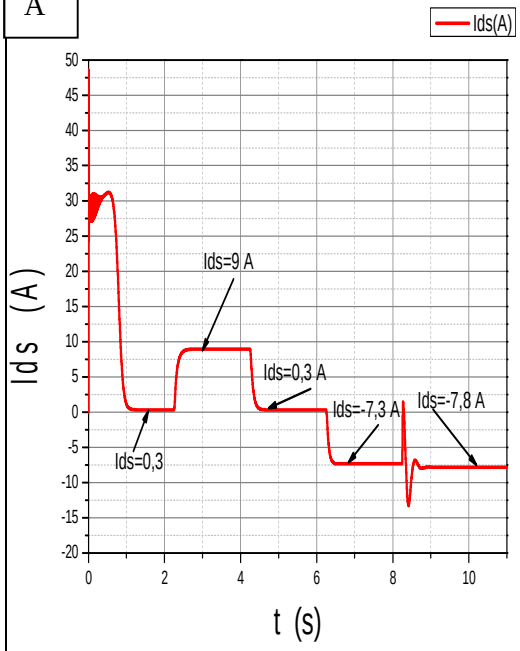


A) العزم الكهرومغناطيسي

B) ســــــــرعة الدوران

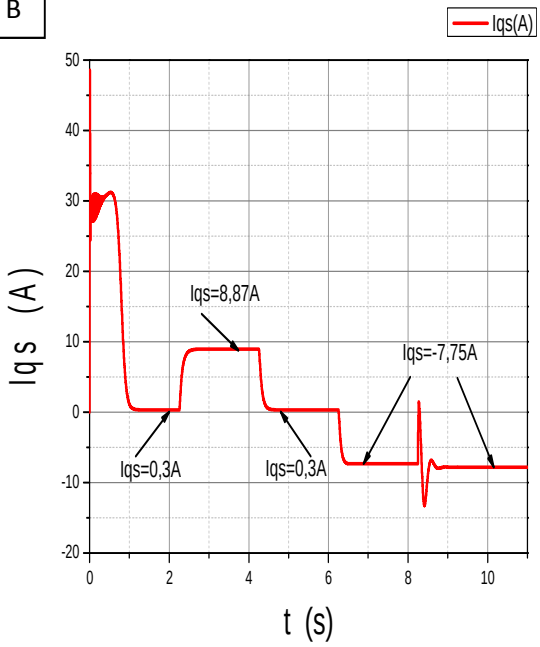
الشكل (10.II) : سرعة الدوران و العزم الكهرومغناطيسي

A



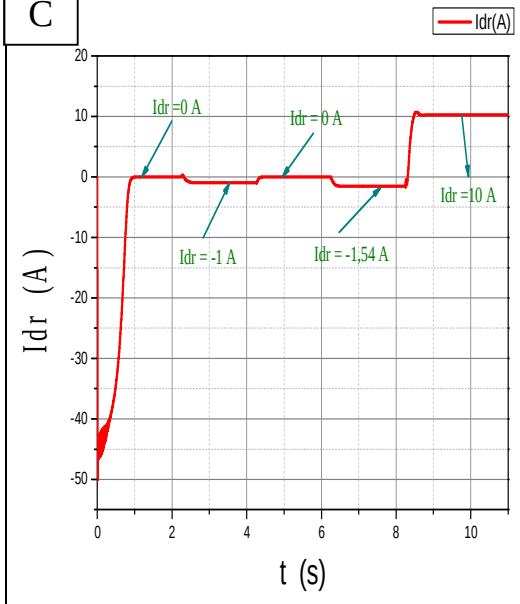
A) تيار الساكن في المحور d

B



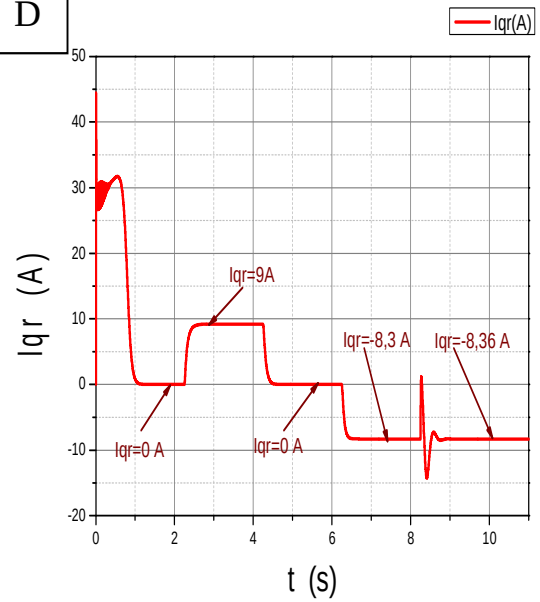
B) تيار الساكن في المحور q

C



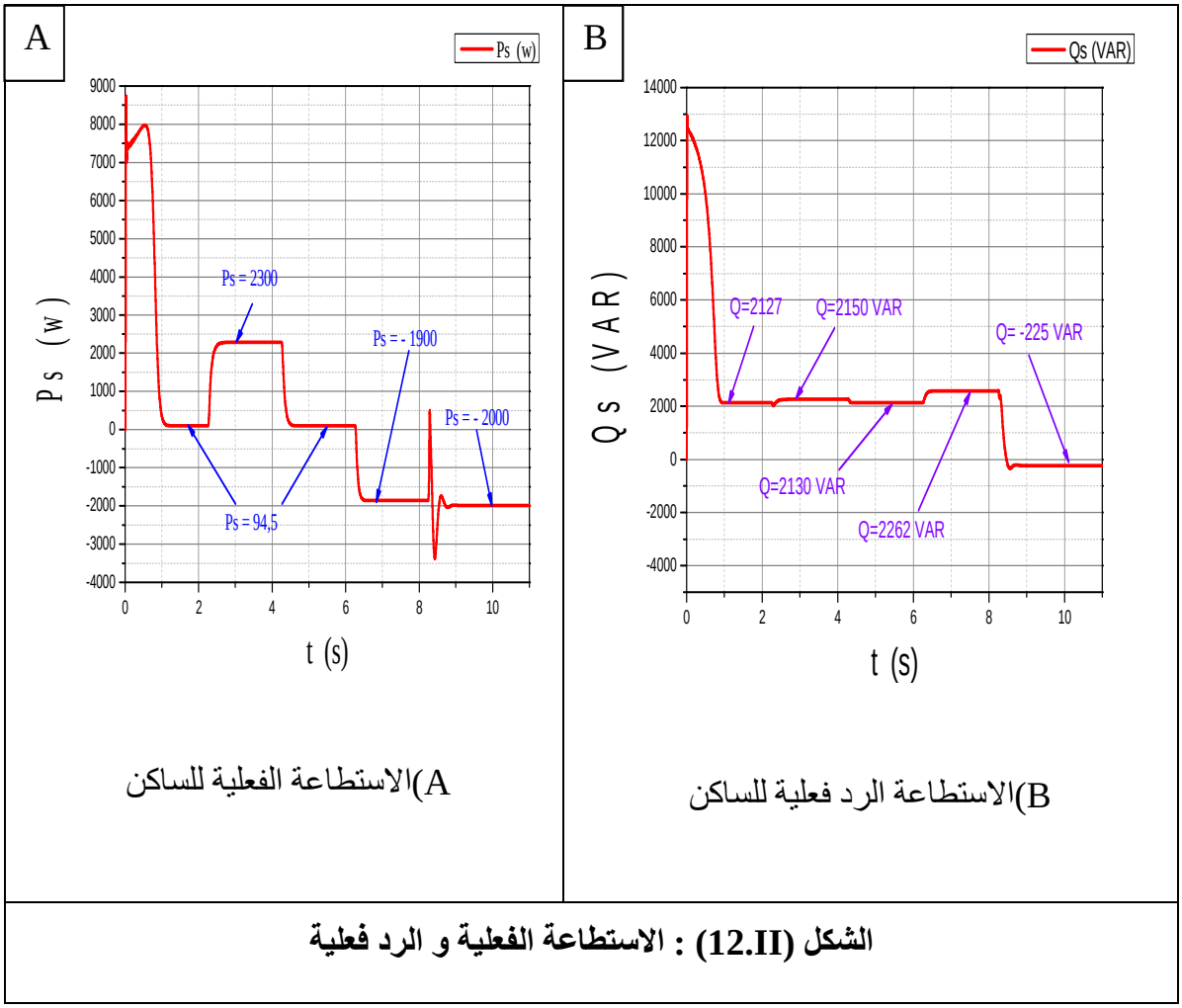
C) تيار الدوار في المحور d

D



D) تيار الدوار في المحور q

الشكل (11.II) : تيارات الساكن و الدوار في المحاور d-q



A)الاستطاعة الفعلية للساكن

B)الاستطاعة الرد فعلية للساكن

الشكل (12.II) : الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية

1.4.II تحليل النتائج

- عند القيام بالمحاكاة العددية لماكنة الـ MADA و ذلك بتغيير العزم المقاوم وجدنا أن العزم المقاوم تطبيقيا يأخذ نفس القيم المرجعية .
- نلاحظ انه عند كل انتقال و آخر يتم ظهور الأنظمة العابرة (و هذا شيء منطقي للغاية) إلى أن يحدث الاستقرار .
- الجدول (2.II) يبين مختلف التغيرات الطارئة للمقادير المراد معرفتها و ملاحظتها .

الجدول (2.II) : مختلف التغيرات الطارئة للمقادير المدروسة	
الحالة (N.m)	**تحليـــــــــــــل النتائج**
Tr=0 [0; 2.25s] [4.25 ; 6..25s]	• نلاحظ استقرار الاستطاعة الفعلية عند القيمة 94.5w • نلاحظ أن السرعة الميكانيكية قريبة جدا من السرعة التزامنية 1800 tr/m • العزم الكهرومغناطيسي يوافق العزم المقاوم في القيم و يساوي الصفر
Tr =11 [2..25 ; 4.25s]	• نلاحظ ثبوت الاستطاعة الفعلية في 2300 W • انخفاض السرعة الميكانيكية إلى 1722 tr/m مقارنة بالحالة الأولى • نلاحظ مطابقة بين العزم الكهرومغناطيسي مع العزم المقاوم Tem =11**N.m**
Tr = -11 [6.25 ; 8.25s]	• نلاحظ أن الاستطاعة سالبة القيمة و تساوي (1900W-) و هذا ما يدل على أن الماكنة تعمل كمولدة حيث تقدم استطاعة إلى الشبكة . • الزيادة في السرعة الميكانيكية بنسبة قليلة 1865 tr/m • هناك توافق بين العزم المقاوم و الكهرومغناطيسي
Tr = -11 [8.25 ; 11s]	• نلاحظ استقرار في الاستطاعة نسبيا تصل الى (2000 W-) وثبوتها. • ثبوت السرعة الميكانيكية عند 1865 tr/m تقريبا. • نلاحظ أن العزم الكهرومغناطيسي يستقر عند القيمة (11N.m-) .

5.II نمذجة و محاكاة مموج الجهد (العاكس) :

تستخدم المموجات بشكل واسع في التطبيقات الصناعية المختلفة مثل التحكم بسرعة المحركات و في مصادر القدرة الاحتياطية ، كما تستعمل في التحكم في تواتر جهد المخرج و بالتالي تثبيته عند قيمة محددة و هو هدف استعمالنا في هذه المذكرة .

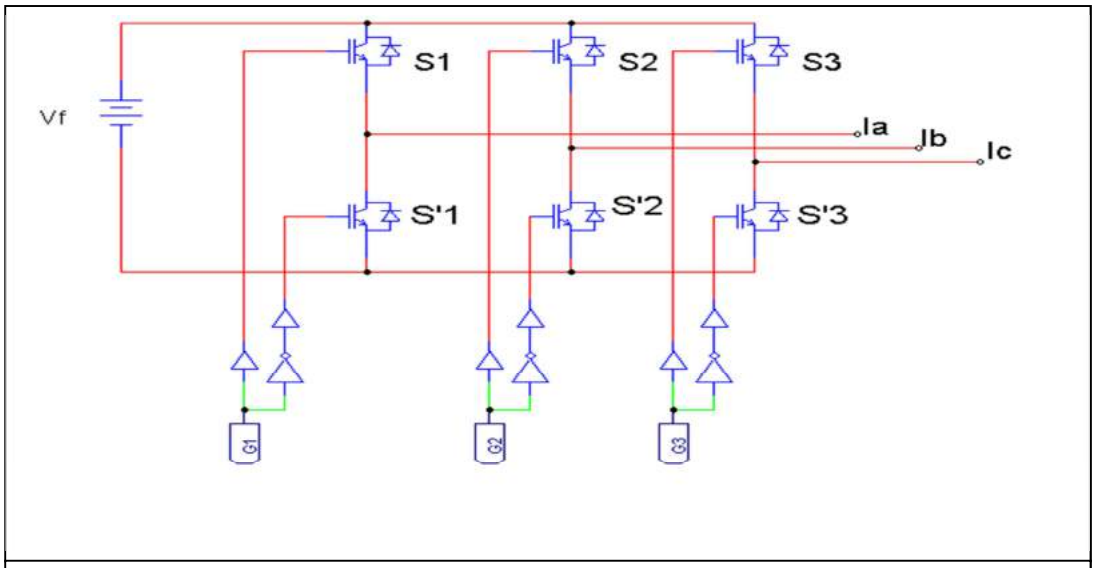
1.5.II البنية :

الشكل (13.II) يمثل مموج ثلاثي الطور موضوع بين منبع توتر مستمر فرضا يكون مثالي أي أن

v ثابت و منبع التيار المتناوب ثلاثي الطور متزن .

المموج ثلاثي الطور هو مجموع ثلاث مموجات أحادية الطور نصف جسرية في كل مموج يوضع على التسلسل عنصران الكترونيان من عناصر إلكترونيك القدرة نوع (IGBT) كل عنصر فيه يمثل بقاطعة متحكم فيما تموضعها كما يلي : (S_1', S_1)في العمود الأول، (S_2', S_2) في العمود الثاني، (S_3', S_3) في العمود الثالث. و هناك عدة شروط للعمل الجيد لهذا المموج :

- القاطعتان المتوضعتان على نفس العمود يجب أن تكونا متكاملتان أي متعاكستان من ناحية العمل و هذا لتجنب قصر دارة منبع التيار المستمر (V_f)، و أيضا حتى لا تكون منابع التيارالمتناوب مفتوحة .
- القواطع المشكلة لكل عمود ثنائية الاتجاه كل واحدة تتكون من ترانزستور و ديود على
- التوازي ، الفتح و الغلق لهذه القاطعة متحكم فيها بواسطة نبضة تحكم .



الشكل (13.II) : بنيـــــة المـمـــــــــــوج

2.5.II نمذجة المموج :

إن العنصر الالكتروني (IGBT) يجمع بين الترونزستور و الديود ، هذا الجمع يشكل لنا عنصر ثنائي الاتجاه يسمح لنا بتعويض كل عمود بقاطعة ذات موضعين كما يلي :

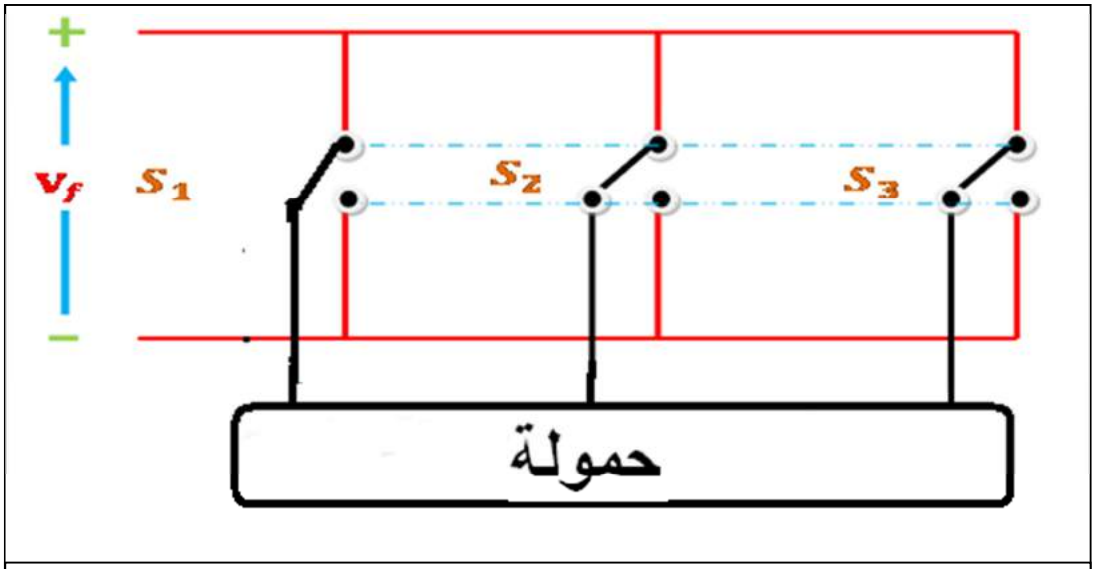
لكل قاطعة S_i احتمالين لـ : F_i كما يلي :

$F_i = 1$ لما S_i متصلة بالقطب الموجب للمصدر.

$F_i = 0$ لما S_i متصلة بالقطب السالب للمصدر.

حيث F_i هي الحالة المنطقية للقاطعة S_i ، i : تتغير بين (1،2،3) .

و الشكل «14.II» يبين مخطط نمذجة المموج .



الشكل (14.II) : *مخطط نمذجة جهد المموج*

و منه :

$$V_{ab} = \frac{1}{2} V_f (F_1 - F_2)) \quad (58.II)$$

$$V_{bc} = \frac{1}{2} V_f (F_2 - F_3) \quad (59.II)$$

$$V_{ca} = \frac{1}{2} V_f (F_3 - F_1) \quad (60.II)$$

من هذه المعادلات يمكن استنتاج المعادلة المعبرة عن F_i بدلالة الجهود البسيطة V_a , V_b , V_c

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \frac{V_f}{6}\begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{pmatrix} \quad (61.II)$$

3.5.II طريقة التحكم بتغيير عرض النبضة MLI :

تقنية التحكم في عرض النبضة MLI التي نطبقها على هذا العاكس ترتكز على المقارنة بين إشارة مرجعية ثلاثية الطور مع إشارة حاملة مثلثية، الهدف من هذا هو تحديد حالات القواطع التي تُكَوِن لنا المموج .

و منه حالات القواطع المكونة للمموج تكون كما يلي :

- $(V_{ref\,i} > V_{port}) \quad \Rightarrow \quad S_i = 1$
- $(V_{ref\,i} < V_{port}) \quad \Rightarrow \quad S_i = 0$

حيث: $i = 1, 2, 3$

نشير إلى أن القاطعتان الموجودتان في نفس العمود للمموج تكونان متكاملتان (لا تعملان في نفس الوقت). هذه التقنية ترتكز على معاملين أساسيين الذين من خلالهما نستطيع التحكم في توتر و تواتر الخروج للعاكس:

- معامل التعديل r : و يمثل النسبة بين المطال الأعظمي لإشارة الموجة الحاملة (المثلثية) والإشارة المرجعية ، ومن خلاله نستطيع أن نغير التوتر الأساسي لمخرج العاكس V_s حيث:

$$V_S = r.V_{dc} \quad (62.II)$$

$$r = \frac{V_{ref}}{V_{port}} \quad (63.II)$$

- معامل التعديل في التواتر M ، و هو النسبة بين تواتر الإشارة الحاملة (المثلثية) و تواتر الإشارة المرجعية .

$$M = \frac{f_{tri}}{f_{ref}} \quad (64.II)$$

- الجهد الفعال المتحصل عليه في مخرج المموج يعطى بالعبارة التالية :

$$V_{a_{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.r.\frac{V_{dc}}{2} \quad (65.II)$$

بعض الملاحظات حول هذه التقنية :

- في هذه التقنية لوحظ أنه كلما زاد تواتر عرض النبضة كلما تم رفع التوافقيات إلى رتبة أعلى .
- من الملاحظ أيضًا ظهور توافقيات قريبة من التوافقية الأساسية و لكن بمطالات منخفضة .

إذن نستطيع أن نقول أنه للحصول على إشارة جيدة (موجة جيدة) للتوتر في مخرج المموج يجب أن نختار جيدًا المعاملات التي تميز هذه التقنية (r و M).

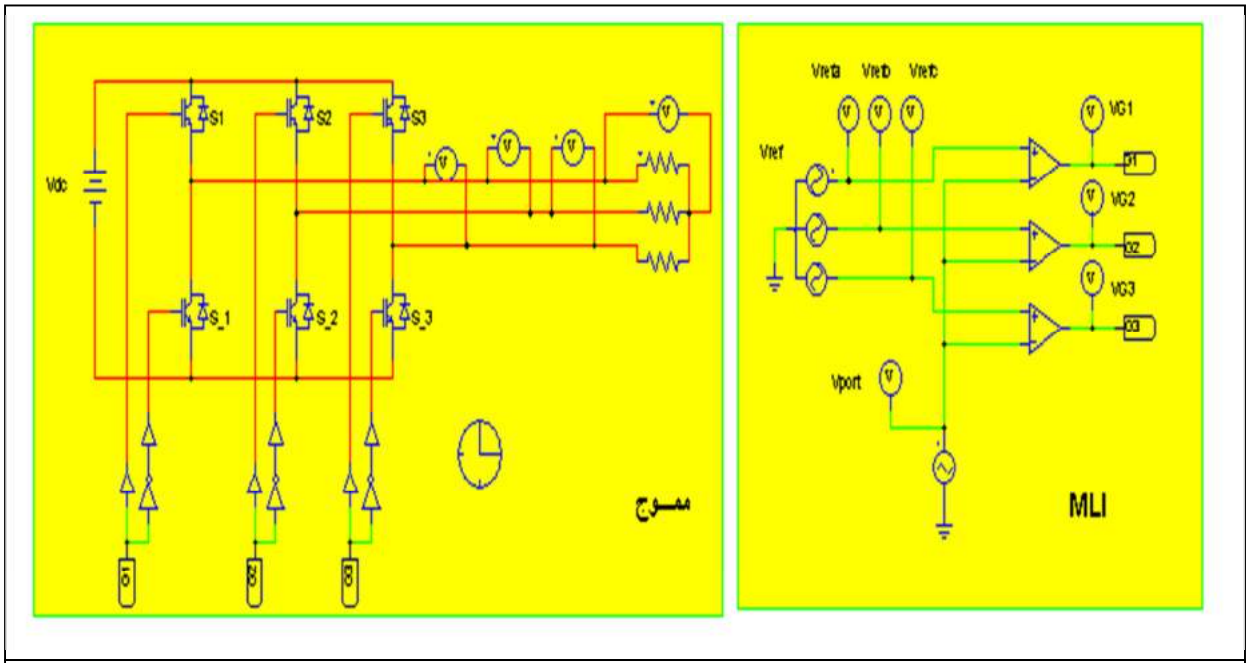
4.5.II المحاكاة العددية للمموج :

الشكل (15.II) يوضح مبدأ عمل تقنية التحكم (MLI) المطبقة على العاكس ثلاثي الطور من أجل :

$M = 30$ و $r = 0.8$

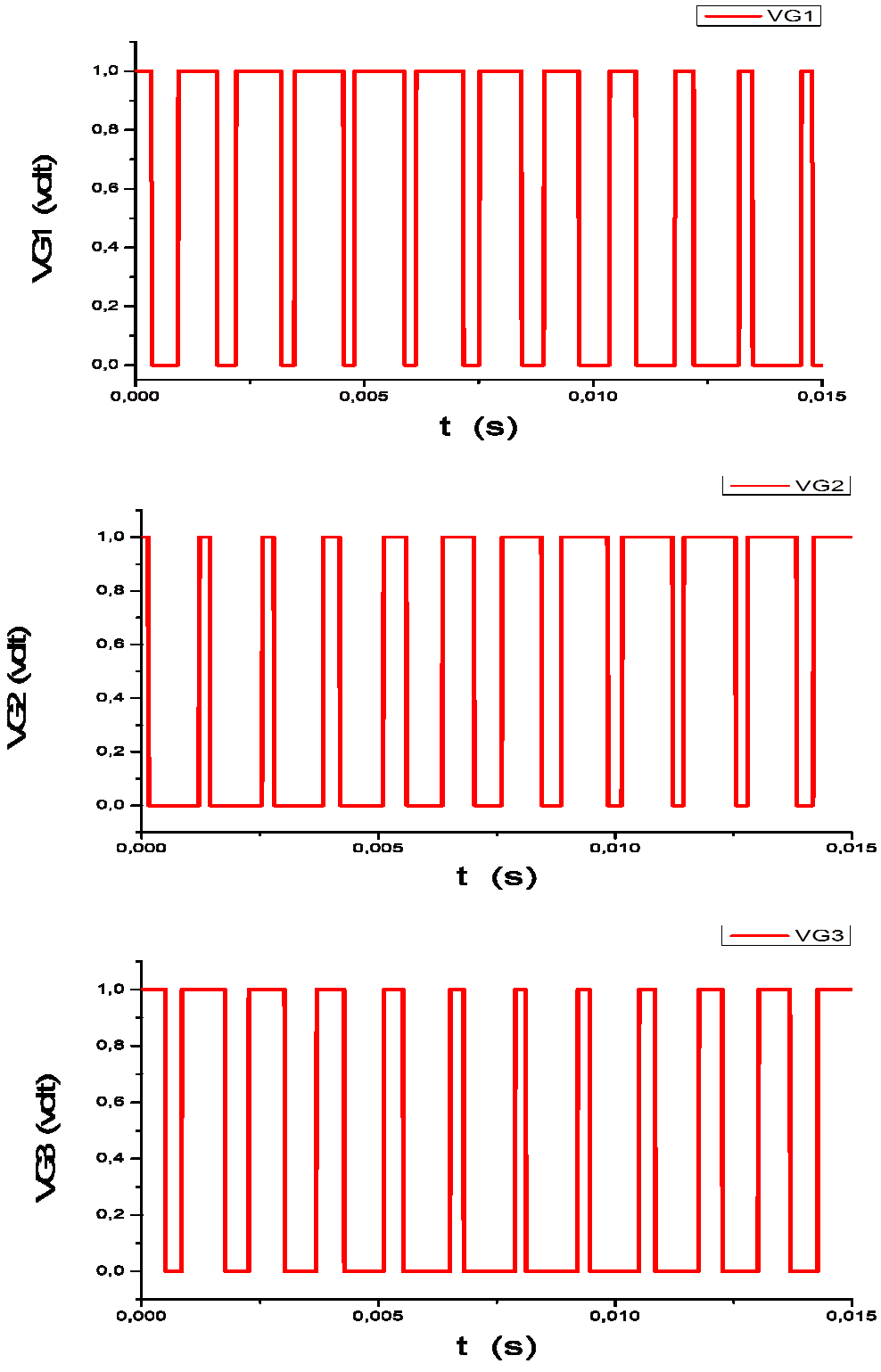
الأشكال «17.II) ، «18.II»و «19.II» تبين تركيبة المحاكاة ، للتوترات المركبة و البسيطة

لمخرج المموج . الشكل (16.II) يبين أشكال إشارات التحكم في المموج .

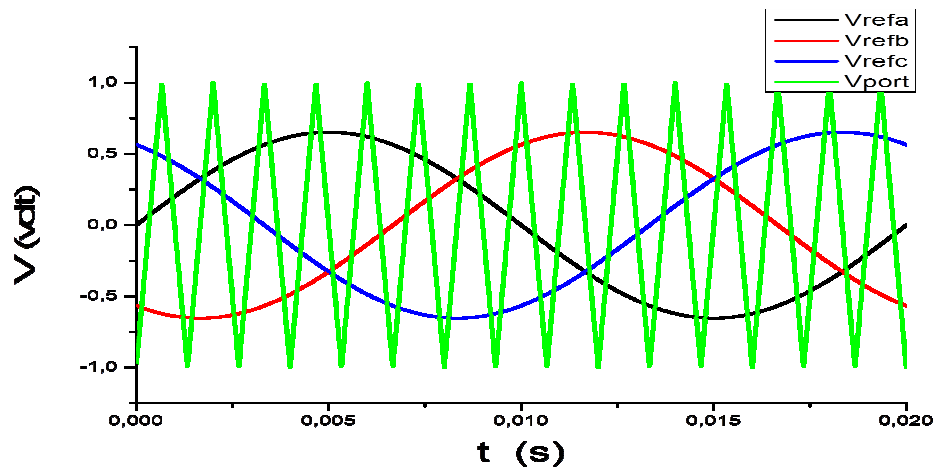


الشكل (15.II) : نظام المحاكاة لمبدأ عمل تقنية التحكم (MLI)

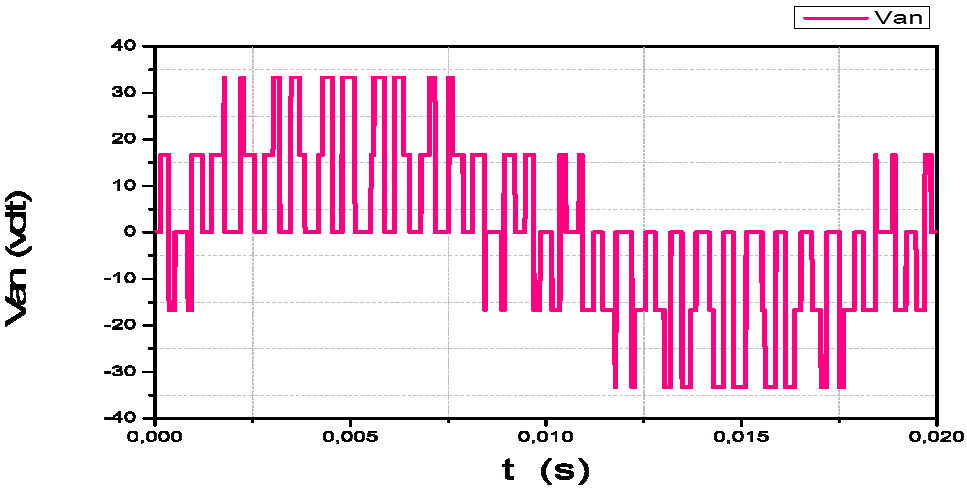
من خلال هذا النظام تحصلنا على النتائج التالية :



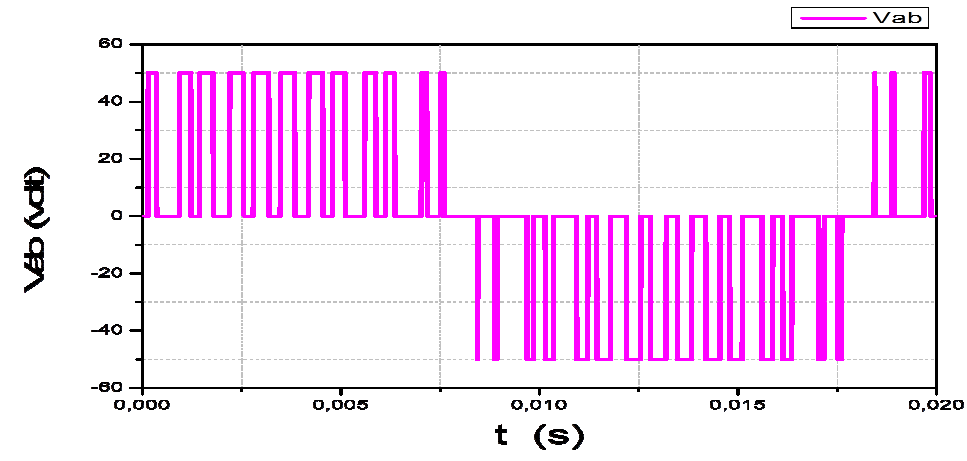
الشكل (16.II) : أشكال إشارات التحكم في المموج



الشكل (17.II) : منحنى الإشارة المرجعية ثلاثية الطور مع إشارة مثلثية



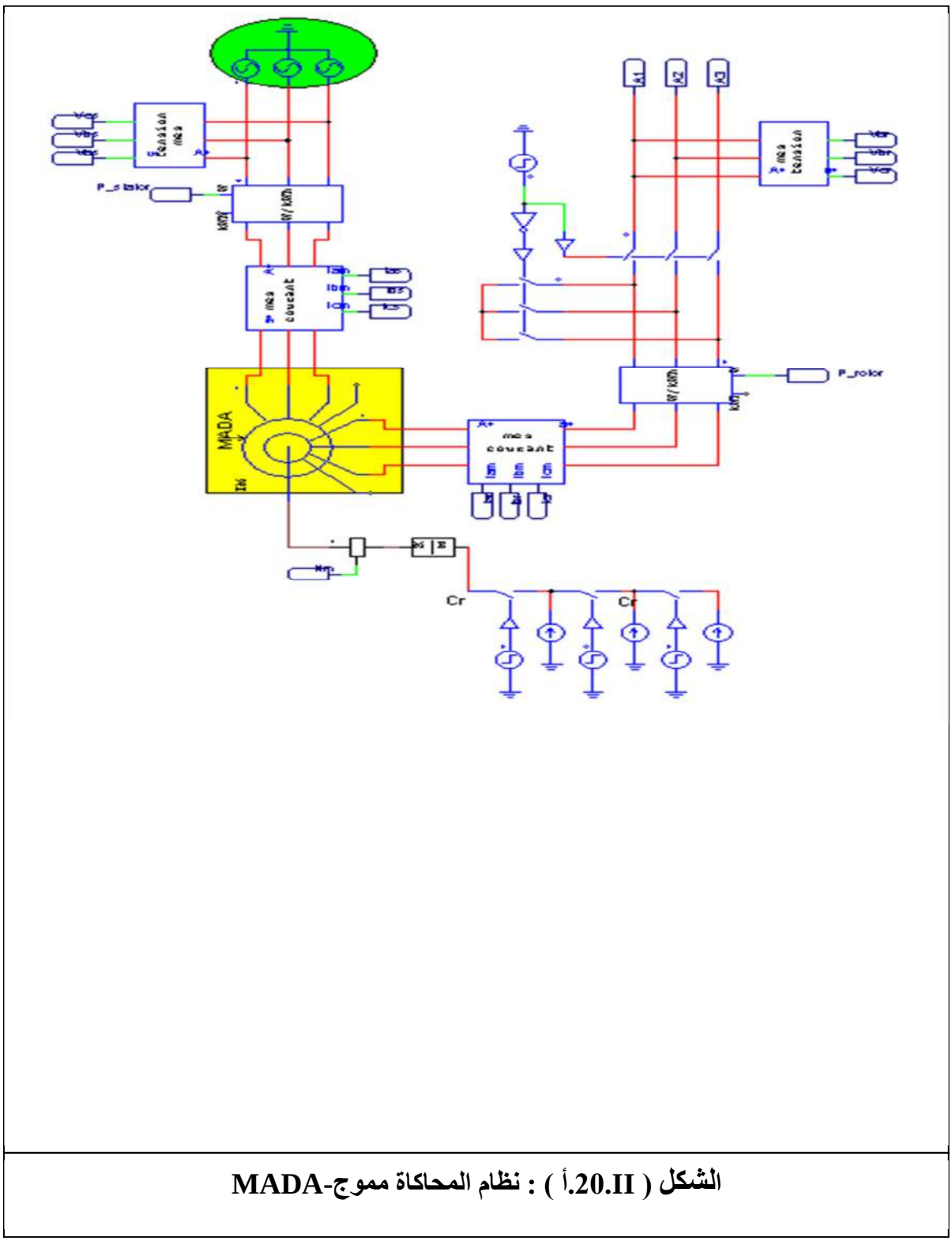
الشكل (18.II) : منحنى الجهد البسيط للطور a للمموج (جهد الخروج)



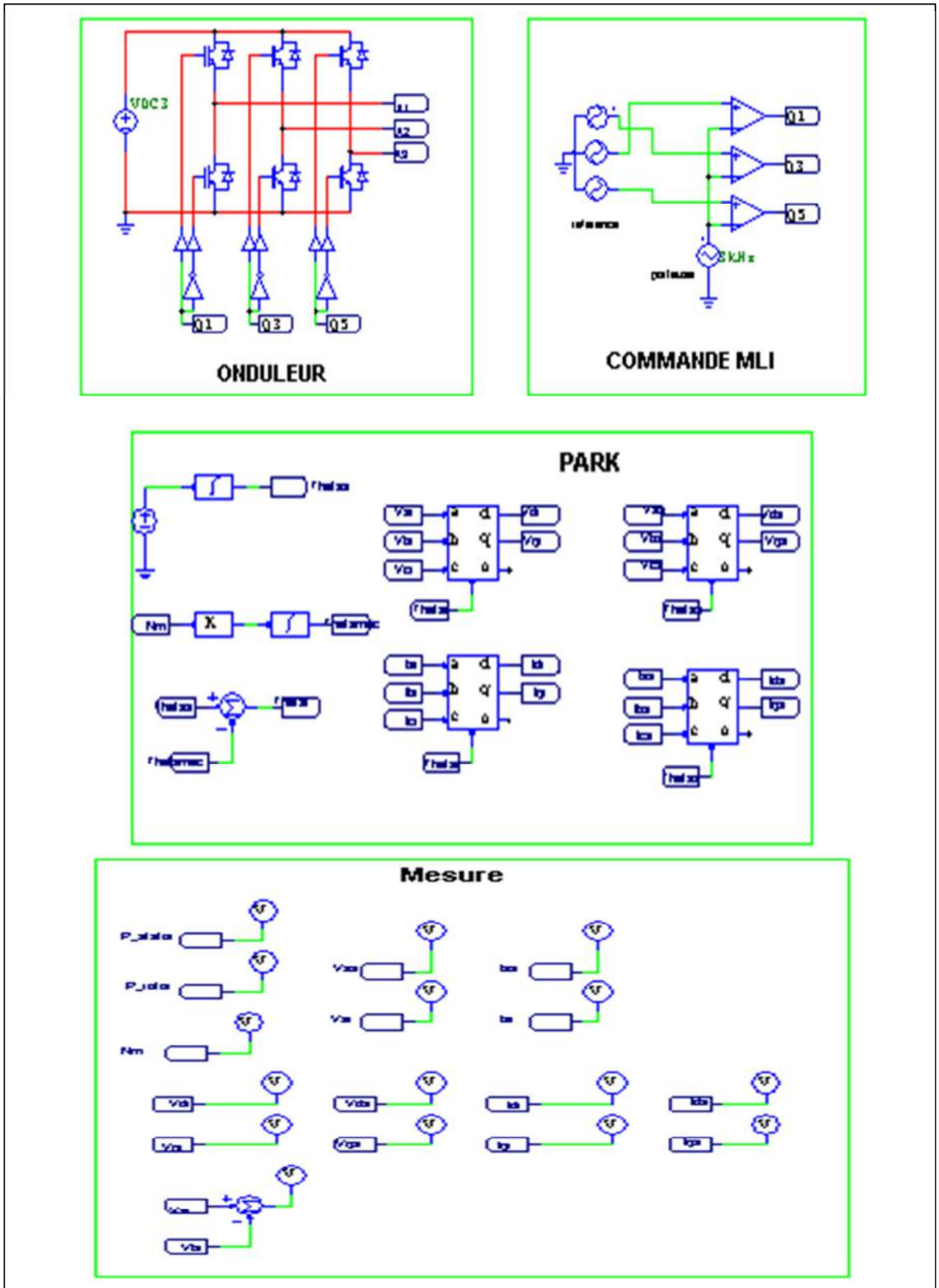
الشكل (19.II) : منحنى الجهد المركب بين الطور a و b للمموج

6.II المحاكاة العددية باستعمال المجموعة (ممـوج- MADA) :

في هذه المحاكاة نستعمل نفس المقادير للمحاكاة السابقة ، الفرق الوحيد هو نزع المنبع الجيبي الذي يغذي دوار الماكنة و تعويضه بمموج ثلاثي الطور ذو تحكم MLI كما هو مبين في الشكل(20.II)

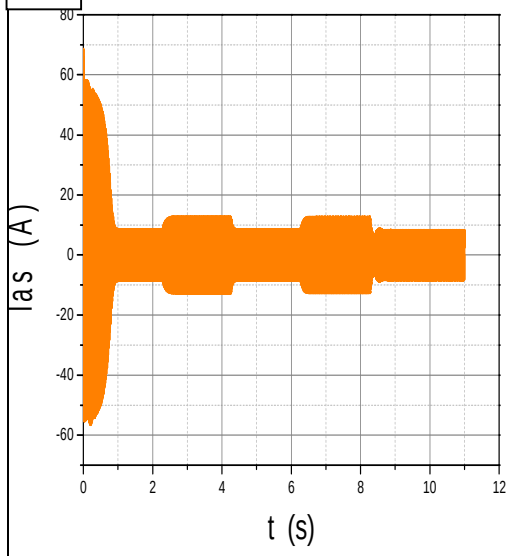


الشكل (20.II.أ) : نظام المحاكاة مموج-MADA



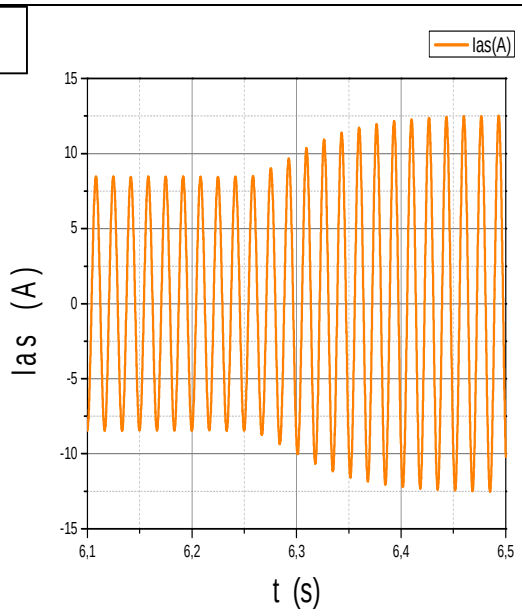
الشكل (II.20.ب) : خوارزمية التحكم و المموج

A



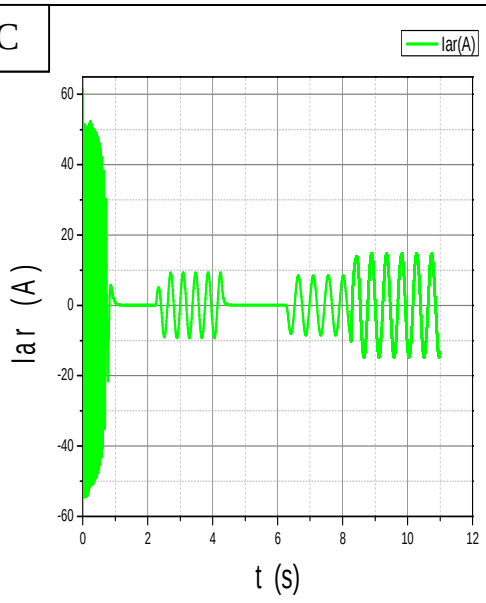
A) تيار الساكن للطور a في مختلف الأزمنة لتغييرات العزم

B



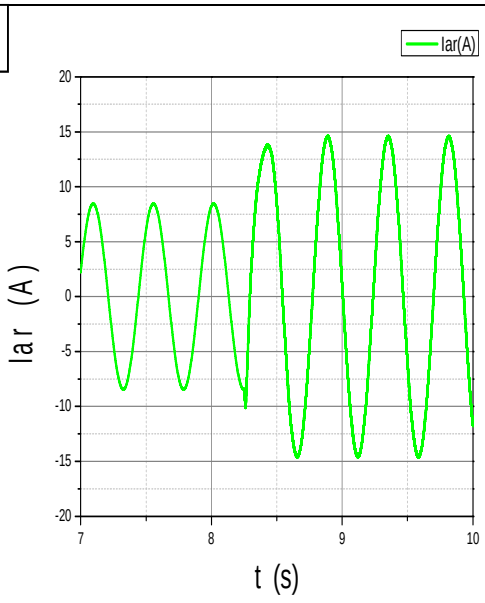
B) أخذ جزء (فترة زمنية)من منحنى تيار الساكن و القيام بتكبيره

C



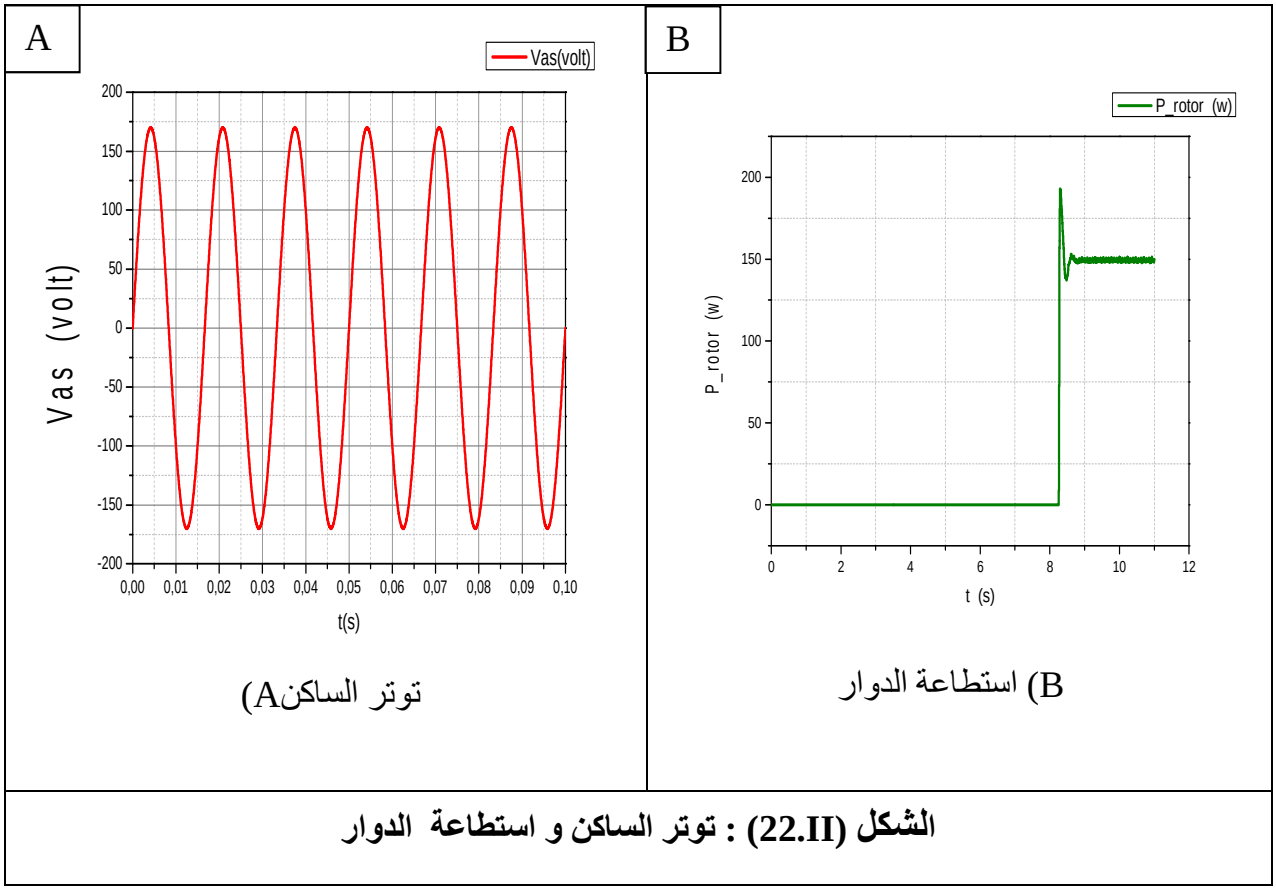
C) تيار الدوار للطور a في مختلف الأزمنة لتغييرات العزم

D



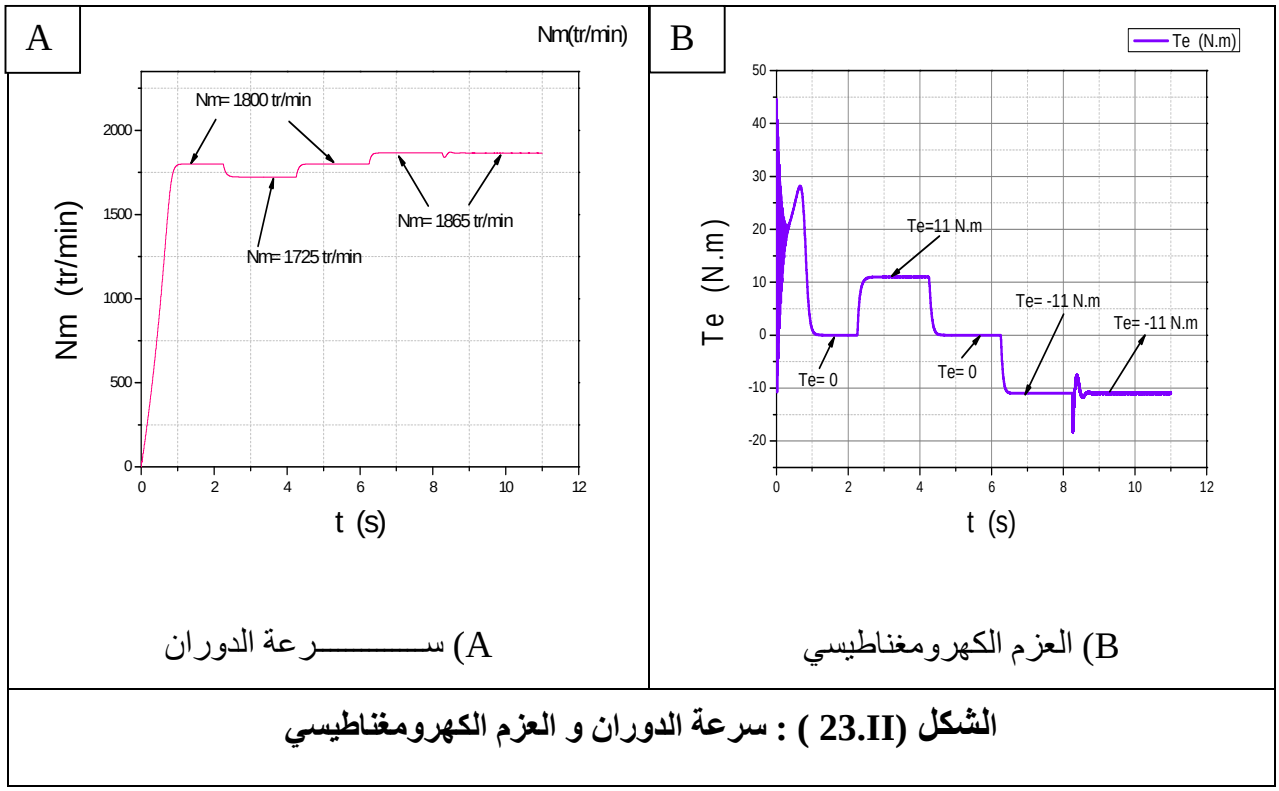
D)جزء (فترة زمنية معينة) من منحنى تيار الدوار و القيام بتكبيره .

الشكل (21.II) : تيار الساكن و الدوار



توتر الساكنA) B) استطاعة الدوار

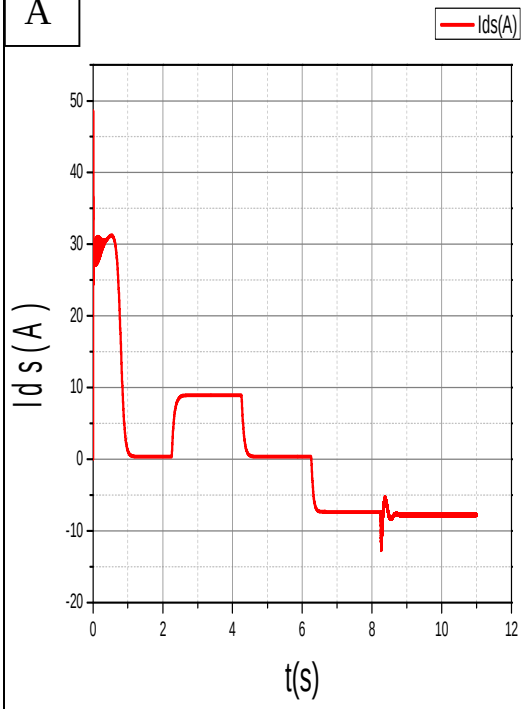
الشكل (22.II) : توتر الساكن و استطاعة الدوار



A) ســــــــــرعة الدوران B) العزم الكهرومغناطيسي

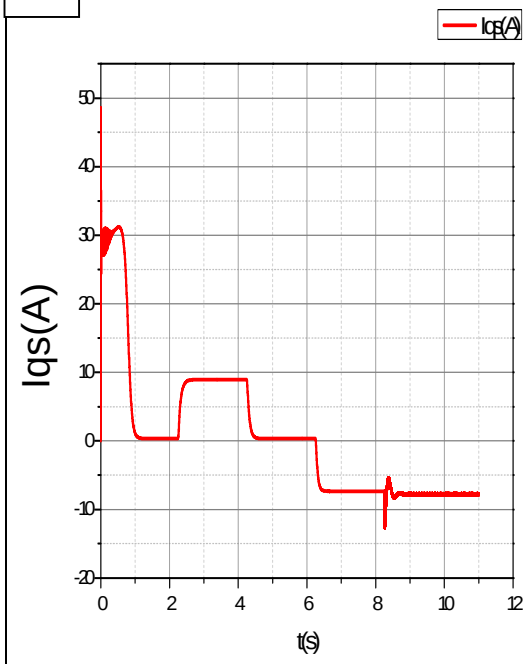
الشكل (23.II) : سرعة الدوران و العزم الكهرومغناطيسي

A



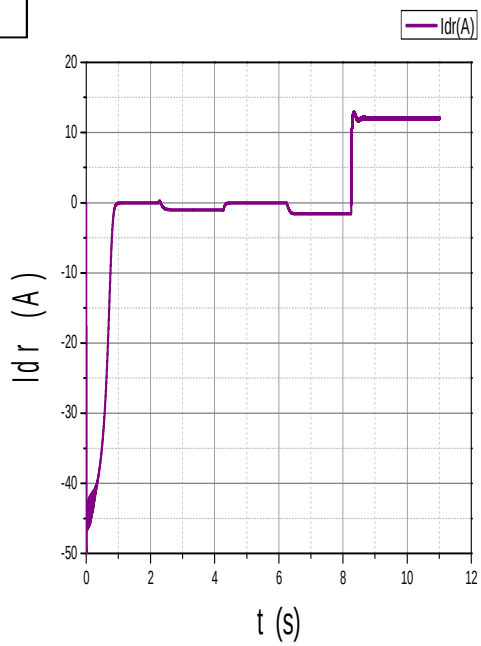
A) تيار الساكن في المحور d

B



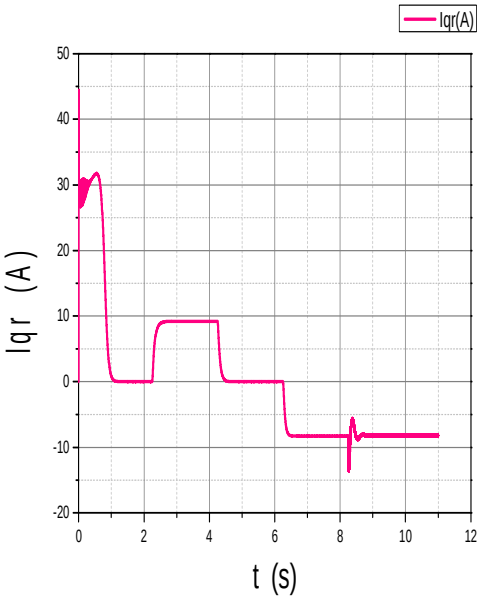
B) تيار الساكن في المحورq

C



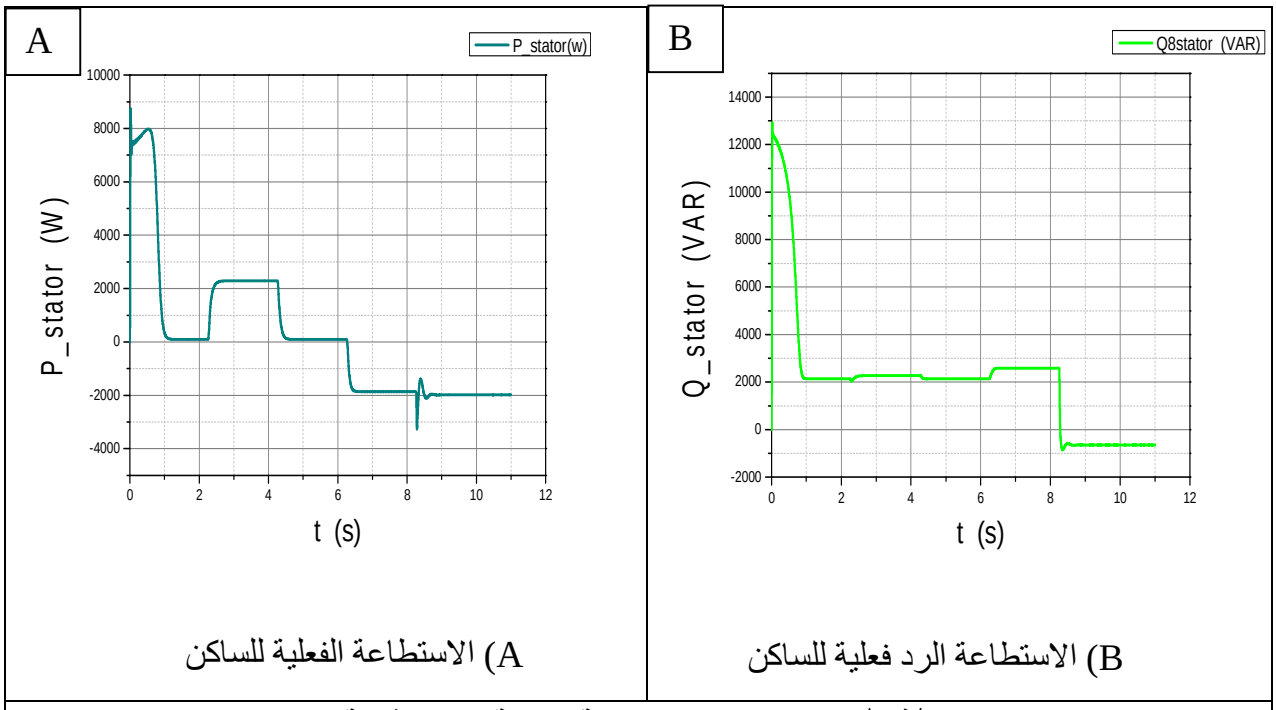
C) تيار الدوار في المحور d

D



D) تيار الدوار في المحور q

الشكل (24.II) : تيارات الساكن و الدوار في المحاور d-q



A) الاستطاعة الفعلية للساكن

B) الاستطاعة الرد فعلية للساكن

الشكل (25.II) : الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية

1.6.II تحليل النتائج :

تحصلنا على نفس النتائج السابقة الاختلاف الوحيد هو وجود تشوهات في إشارات التوتر والتيارات و النتيجة كانت ظهور إشارة غير جيبية وهذا راجع لوجود المموج الذي يعطي إشارة جيبية مع وجود التوافقيات .

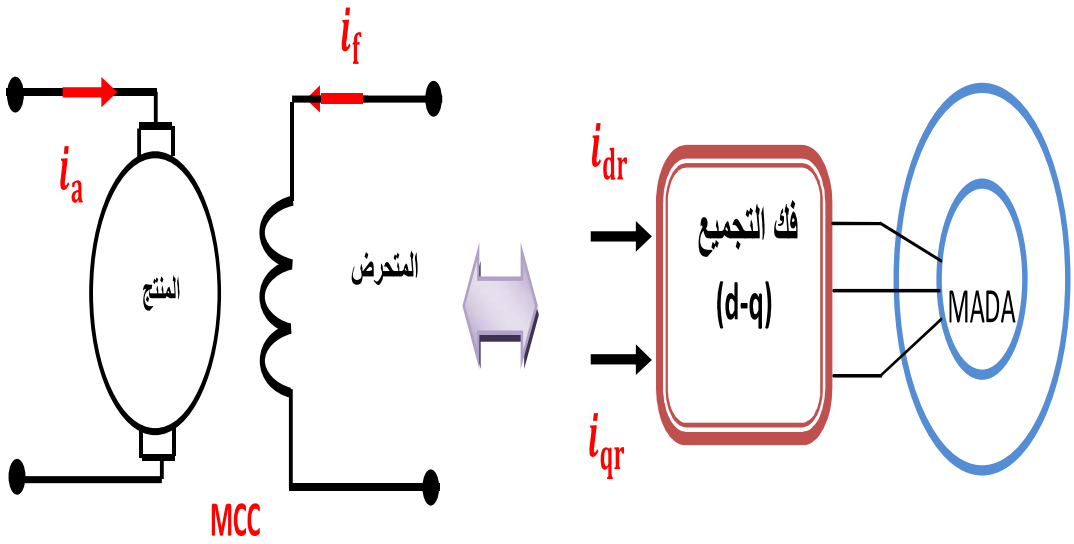
الخلاصة :

خلال الفصل الثاني قمنا بنمذجة الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية رياضيًا ، وهذا بعد وضع بعض الفرضيات المساعدة في العمل ، كانت النمذجة في نظام ثلاثي المحاور و لجعل النموذج أقل تعقيدًا انتقلنا إلى نظام ثنائي المحاور بواسطة تحويل بارك و بالضبط تحويل بارك المعدل بهدف تثبيت الاستطاعة ، بعدها تمت محاكاة الماكنة ببرنامج PSIM مع تغذية كل من الساكن و الدوار مباشرةً من الشبكة .

للتمكن من الحصول على تواتر ثابت في الساكن قمنا بتغذية الدوار بواسطة مموج متحكم فيه من خلال تقنية عرض النبضة MLI ،أعدنا بعدها عملية المحاكاة للماكنة (تغذية الدوار كانت بواسطة المموج ، بينما يربط الساكن مباشرةً بالشبكة) ،نتائج المحاكاة كانت مطابقة للنتائج المتوقعة.

و بما أن هناك ارتباط بين التدفق و العزم في الماكنة MADA فوجب علينا فك الارتباط بينهما و هذا ما سنتطرق إليه في الفصل التالي .

الفصل الثالث



التحكم في الاستطاعة الرد فعلية

مقـدمة :

إن استهلاك الاستطاعة الفعالة يكون دائما مصحوبا باستهلاك لاستطاعة رد فعلية ذلك بسبب وجود الأجهزة الكهربائية التي تعتمد على المحاثة الكهرومغناطيسية مثل المحركات، المحولات، المصابيح وغيرها. الزيادة في استهلاك الاستطاعة الرد الفعلية يسبب نقصًا في قيمة مقدار معامل الاستطاعة وبالتالي زيادة قيمة القدرة الفعالة المفقودة. كما أنها تسبب الانخفاض أو الهبوط في الجهد وبالتالي تقلل من كفاءة المحطة، وتسبب خسارةً مالية كبيرة للمنتج، لتعويض هذه الاستطاعة الرد فعلية الضائعة هناك عدة طرق من بينها استعمال الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية MADA . و هذا هو الهدف من عملنا خلال هذا الفصل. فقد قمنا بدراسة نظرية و اعتمادا على طريقة التحكم الشعاعي تحصلنا على معادلة رياضية تمكننا من التحكم في الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية التي تخرجها الماكنة MADA و تم التأكد من هذا في الاخير عن طريق المحاكاة العددية .

1.III معامل الاستطاعة :

هو قسمة الاستطاعة الفعلية المستهلكة من طرف منشأة على الاستطاعة الظاهرية المزودة للمنشأة، تعطى علاقة معامل الاستطاعة كما يلي:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \qquad (1.III)$$

حيث تعرف المقادير كالآتي:

$\cos\varphi$: معامل الاستطاعة.

P : الاستطاعة الفعلية ب W.

S : الاستطاعة الظاهرية ب VA.

Q: الاستطاعة الرد فعلية ب VAR .

φ: الزاوية بين شعاع الاستطاعة الفعلية و الاستطاعة الظاهرية و هي نفس الزاوية بين التيار و التوتر.

تكون قيمة $\cos\varphi$ محصورة بين 0 و 1. إذا كانت قيمة $\cos\varphi$ قريبة من 1 فهذا يدل على أن هناك استهلاك ضعيف للاستطاعة الرد فعلية مما يؤدي إلى حسن التشغيل في هذه المنشأة.

2.III أسباب انخفاض معامل الاستطاعة :

في منشأة ذات تركيب جيد تكون قيمة $\cos\varphi$ جيدة عندما تمتص الماكنة استطاعة فعلية قريبة من الاستطاعة الاسمية، أما إذا كانت الاستطاعة الفعلية منخفضة و بالتالي ارتفاع قيمة الاستطاعة الرد فعلية فإن معامل الاستطاعة ينخفض، و من أسباب انخفاض معامل الاستطاعة :

- المكائن اللاتزامنية في حالة الاشتغال كمحرك في الفراغ.
- مكائن تزامنية تحت التحريض.
- أنظمة الإضاءة للحمولة (أنبوب مشع ، مصابيح الصوديوم ، الزئبق ، وغاز النيون).
- محولات الحمولات الكبيرة.
- كل الأنظمة التي تنشأ حقل مغناطيسي دوار .
- المقومات المنظمة بالتيرستورات [11].

3.III التأثيرات الناتجة عن معامل الاستطاعة الرديء :

إن الاستهلاك الزائد للاستطاعة الرد فعلية يوجب انخفاض قيمة معامل الاستطاعة ما يسبب العديد من المشاكل في الشبكة، و يؤثر تأثيرًا سلبيًا على المنشأة ، و أهم هذه التأثيرات هي :

- ارتفاع الضياعات بفعل جول.
- ارتفاع قيمة الهبوط في الجهد.
- فرض عقوبة مالية على المستقبل.

و للتخلص من هذه التأثيرات يجب تحسين معامل الاستطاعة.

4.III تحسين معامل الاستطاعة :

مع الطلب المتزايد للاستطاعة و نوعيتها. اكتسب معامل الاستطاعة اهتماما كبيرا من طرف شركات إنتاج الكهرباء حيث سعت هذه الشركات إلى تحسينه (تقريبه من الواحد) بهدف التقليل من الضياعات، زيادة المردود، و بالتالي توازن الشبكة الكهربائية و المحافظة على المركبات الالكترونية. كان الحل في طريقتين متمايزتين لتحسين معامل الاستطاعة :

طريقة مباشرة و ذلك بالمراجعة المعمقة لجميع المركبات الكهربائية. و طريقة غير المباشرة بإنتاج طاقة رجعية كافية في محل الاستهلاك بواسطة المحركات المتزامنة أو بطارية المكثفات .

مثلا في الجزائر الشركة الوطنية للكهرباء والغاز تفرض عقوبة و المتمثلة في غرامة مالية على المشترك إذا كانت قيمة معامل الاستطاعة أقل من 0.8944 أما إذا كانت أكبر فإنه يستفيد من التحسين [11].

5.III تعويض الاستطاعة الرد فعلية :

تعتبر الاستطاعة الرد فعلية المولدة من محطات التوليد أو المنقولة عبر خطوط نقل القدرة عبئاً غير مرغوب فيه بالنسبة لمؤسسات توليد ونقل الطاقة الكهربائية وذلك للأسباب التالية:

- تقليل مردود الاستطاعة الفعلية للمولدات والمحولات.
- زيادة تحميل خطوط النقل وبالتالي زيادة الضياعات وهبوط الجهد في خطوط الشبكة نتيجة نقل هذه الاستطاعة الرد فعلية.
- عدم حساب هذه الاستطاعة الرد فعلية في عدادات القدرة الفعلية المستخدمة عند المستهلكين العاديين.[16].

لذلك يتم تعويض الاستطاعة الرد فعلية من أجل تحسين معامل الاستطاعة و من أجل ضمان التشغيل الجيد للمنشأة .

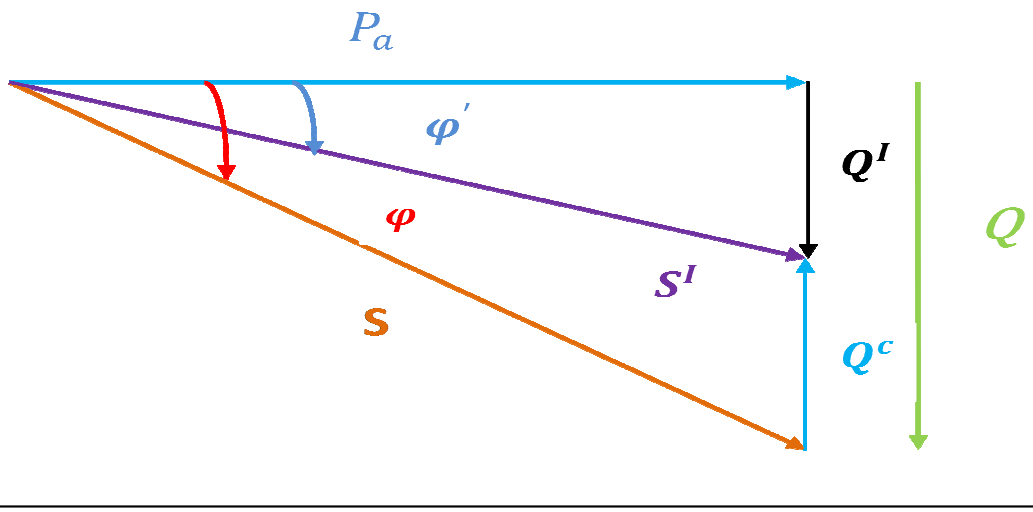
1.5. III إيجابيات التعويض :

لتعويض الاستطاعة الرد فعلية عدة إيجابيات من بينها:

- إلغاء الغرامة المالية .
- الاقتصاد في الطاقة .
- رفع الاستطاعة الرد فعلية الموجودة في ثانوي المحول .
- زيادة مدة صلاحية التجهيزات.
- التقليص من الهبوط في الجهد.

2.5. III كيف نقوم بتعويض الاستطاعة في منشأة ؟

إن تعويض الاستطاعة الرد فعلية يكون في العموم بتحسين معامل الاستطاعة، أي الرفع في قيمته بزيادة قيمة المفاعلة للمنشأة. والشكل (1.III) يوضح مبدأ التعويض للاستطاعة الرد فعلية للمنشأة .



الشكل (1.III): مبدأ تعويض الاستطاعة الرد فعلية

مع العلم أن :

$$Q_c = P_a.(tan\varphi - tan\varphi') \qquad (2.III)$$

حيث:

Q_c : استطاعة بطارية المكثفات بـ VAR.

P_a : الاستطاعة الفعلية للحمولة ب W.

$tan\varphi$: ظل الزاوية لفرق الطور قبل التعويض.

$tan\varphi'$: ظل الزاوية لفرق الطور بعد تثبيت بطارية مكثف [11]

3.5.III الوسائل و الطرق المستعملة لتعويض الاستطاعة الرد فعلية :

هناك العديد من الطرق المستعملة لتعويض الاستطاعة الرد فعلية الضائعة وأبسط هذه الطرق هو ربط عناصر سعوية (مكثفات) على التفرع مع هذه الأحمال، والأمر يبدو وكأن هذه المكثفات قامت بتوليد الاستطاعة الرد فعلية الـلازمة، وأعفت محطات التوليد وخطـــوط النقـــل من عبء توليـــدها ونقلها.

تستعمل المكثفات بكثرة لأن لها ايجابيات كثيرة من بينها :

- إمكانية التجميع.
- التوزيع الجيد في تعويض الاستطاعة الرد فعلية.
- تشغيل طويل المدى و بساطة التثبيت.
- غير مكلفة.
- سهولة الصيانة.

مكثفات الاستطاعة مجمعة على شكل بطاريات ثلاثية الأطوار مرتبطة مع إقلاع الماكنة ، و من الوسائل المستعملة أيضا المكائن التزامنية فوق التحريض، و الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية وهذا ما نحن في صدد دراسته.

6.III تقنية التحكم الشعاعي F.O.C :

ماكنة التيار المستمر ذات التحريض المنفصل لها عدة ايجابيات ، فهي سهلة التحكم لوجود فك الارتباط الموجود بين التدفق و العزم :

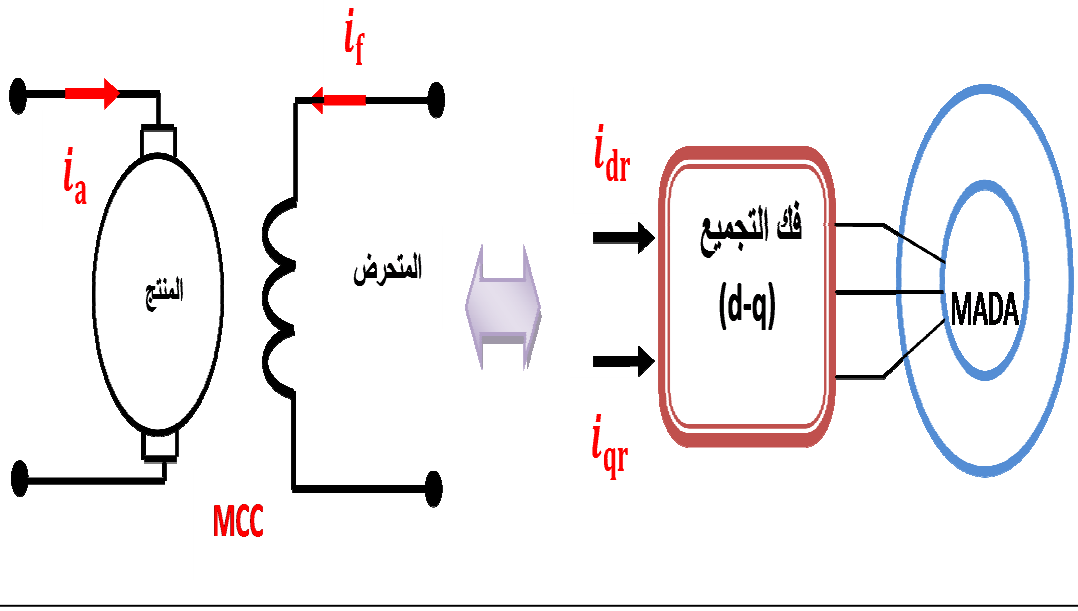
- التدفق نستطيع التحكم به عن طريق تيار الإثارة induction.

- العزم نتحكم به عن طريق تيار المنتج induit.

في السنوات الأخيرة وجدت طرق تمكننا من ضمان فك الارتباط الموجود بين التحكم في التدفق و العزم في المكائن اللاتزامنية . هذه الأخيرة تمكننا من التحصل على ايجابيات مكائن التيار المستمرذات التحريض المنفصل مع ايجابية عدم وجود المجمع ، لتحقيق قيادة (تحكم) مشابهة لقيادة مكائن التيار المستمر ذو إثارة منفصلة ، من الواجب توجيه التدفق و هذه الطريقة تسمى التحكم الشعاعي آو التحكم بتوجيه التدفق F.O.C .

1.6.III مبدأ التحكم بتوجيه التدفق :

في المكائن اللاتزامنية مبدأ توجيه الحقل يتمثل في توجيه شعاع التيار و شعاع التدفق لهدف جعل تصرف هذه الماكنة مشابه لماكنة التيار المستمر ذات إثارة منفصلة الشكل (2.III) ، أين يوجد هناك فك ارتباط طبيعي بين المقادير التي تتحكم في التدفق (تيار الإثارة) و المقادير المربوطة بالعزم (تيار المنتج) ، هذا الأخير يعطينا استجابة سريعة للعزم [13].



الشكل (2.III) : مبدأ التحكم الشعاعي

2.6.III عملية توجيه الحقل :

معادلات التوترات و التدفقات للماكنة اللاتزامنية في المعلم dqo بعد تحويل PARK (الفصل السابق) تبين لنا انه يمكن تبسيط هذه المعادلات إذا غيرنا المعلم .

نقوم بإرفاق التدفق (في الساكن مثلا) مع محور من المعلم و نعدم المركبة على المحور الآخر بهذا تصبح المعادلات مبسطة .

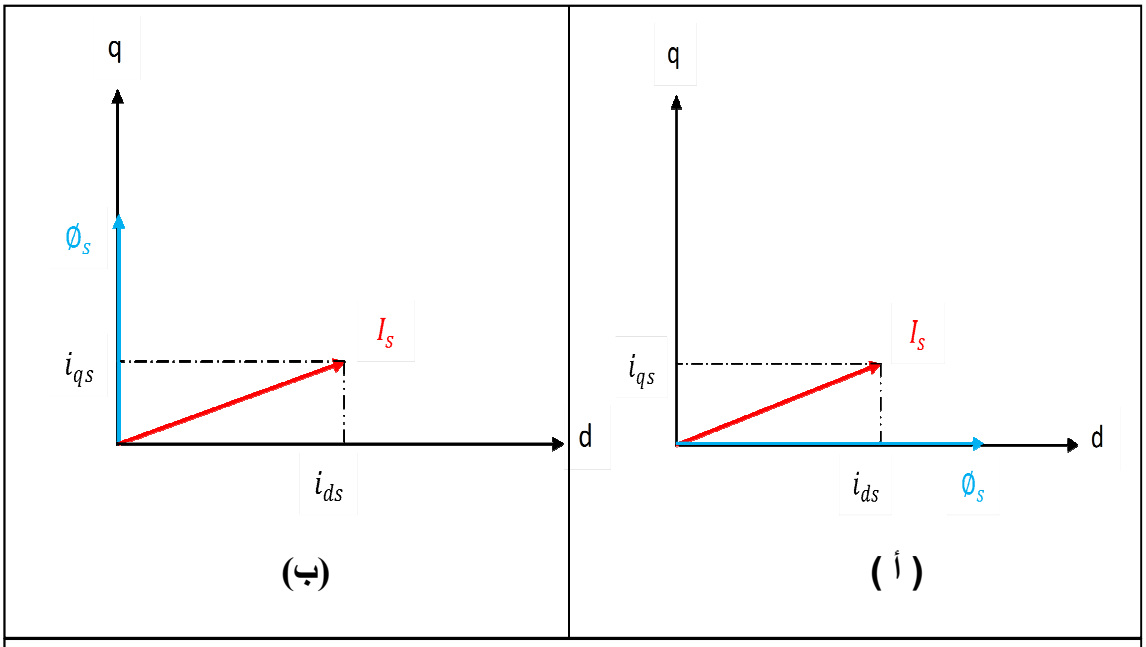
اغلب الطرق المستخدمة لتوجيه التدفق هي :

- توجيه التدفق في الساكن حسب المحور q الشكل (III. 3.ب) بـ :

$$\begin{cases} \emptyset_{qs} = \emptyset_s \\ \emptyset_{ds} = 0 \end{cases}$$

- توجيه التدفق في الساكن حسب المحور d الشكل (III. 3.أ) بـ :

$$\begin{cases} \emptyset_{ds} = \emptyset_s \\ \emptyset_{qs} = 0 \end{cases}$$

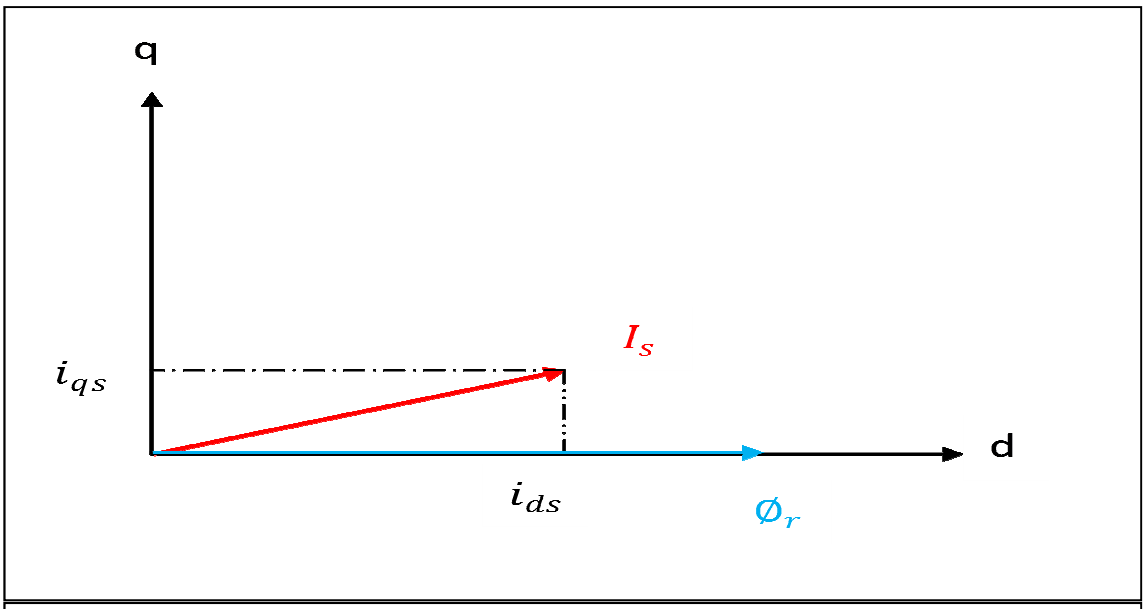


الشكل (3.III) : توجيه التـــدفق في الســـاكن

- توجيه التدفق في الدوار حسب المحور d :

$$\begin{cases} \emptyset_{dr} = \emptyset_r \\ \emptyset_{qr} = 0 \end{cases}$$

الشكل (4.III) يبين هذا النوع من التوجيه [13] :



الشكل (4.III) : توجيه التدفق في الدوار حسب المحور d

3.6.III توجيه التدفق في الساكن حسب المحور q :

1.3.6.III حساب التدفق :

معادلات التدفقات في الساكن و الدوار في المعلم (dqo) حسب المعادلة (47.II) [12] :

$$\begin{cases} \emptyset_{ds} = L_s i_{ds} + M_{sr} i_{dr} \\ \emptyset_{qs} = L_s i_{qs} + M_{sr} i_{qr} \\ \emptyset_{dr} = L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds} \\ \emptyset_{qr} = L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs} \end{cases} \quad (11.III)$$

نقوم بتوجيه التدفق في الساكن حسب المحور q نستطيع إذا كتابة :

$$\emptyset_{ds} = 0$$

من خلال معادلات التدفق في الساكن في المعلم (dqo) نتحصل على :

$$\emptyset_{ds} = 0 = L_s i_{ds} + M_{sr} i_{dr} \Rightarrow$$

$$i_{ds} = -\frac{M_{sr}}{L_s} i_{dr} \quad (12.III)$$

$$\emptyset_s = \emptyset_{qs} = L_s i_{qs} + M_{sr} i_{qr} \approx M_{sr} i_{sr} \Rightarrow$$

$$i_{qs} = \frac{M_{sr}}{L_s} i_{sr} - \frac{M_{sr}}{L_s} i_{qr} \quad (13.III)$$

نعوض i_{ds} بـ $-\frac{M_{sr}}{L_s} i_{dr}$ في المعادلة (11.III) نجد :

$$\emptyset_{dr} = L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds} = L_r i_{dr} + M_{sr}\left(-\frac{M_{sr}}{L_s}\right) i_{dr}$$

$$\emptyset_{dr} = L_r i_{dr}\left(1 - \frac{M^2{}_{sr}}{L_s L_r}\right)$$

و منـــه :

$$\emptyset_{dr} = L_r i_{dr} \sigma \quad (14.III)$$

نعوض i_{qs} بـ $\frac{M_{sr}}{L_s}\ i_{sr} - \frac{M_{sr}}{L_s}\ i_{qr}$ في $\emptyset_{qr}$ (11.III) نتحصل على :

$$\emptyset_{qr} = L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qr} = L_r i_{qr} + M_{sr}\left(\frac{M_{sr}}{L_s}\ i_{sr} - \frac{M_{sr}}{L_s}\ i_{qr}\right)$$

$$\emptyset_{qr} = \frac{M^2{}_{sr}}{L_s}\ i_{sr} + i_{qr}\left(L_r - \frac{M^2{}_{sr}}{L_s}\right)$$

$$\emptyset_{qr} = \frac{M^2{}_{sr}}{L_s}\ i_{sr} + i_{qr} L_r\left(1 - \frac{M^2{}_{sr}}{L_s L_r}\right)$$

و منـــــه :

$$\emptyset_{qr} = \frac{M^2{}_{sr}}{L_s}\ i_{sr} + i_{qr} L_r \sigma \qquad (15.III)$$

كذلك نتحصل على معادلات التدفق في المعلم (dqo) التالية :

$$\begin{cases} \emptyset_{ds} = 0 \\ \emptyset_{qs} = M_{sr} i_{sr} = L_s i_{qs} + M_{sr} i_{qr} \\ \emptyset_{dr} = L_r i_{dr}\sigma \\ \emptyset_{qr} = \frac{M^2{}_{sr}}{L_s}\ i_{sr} + i_{qr} L_r \sigma \end{cases} \qquad (16.III)$$

2.3.6.III حساب الجهود في الدوار :

حسب المعادلتين (29.II) و (30.II) لدينا :

$$\begin{cases} \mathrm{v}_{dr} = R_\mathrm{r} \mathrm{i}_\mathrm{dr} + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} \emptyset_\mathrm{dr} - (\omega_\mathrm{s} - \omega)\emptyset_\mathrm{qr} \\ \mathrm{v}_{qr} = R_\mathrm{r} i_\mathrm{qr} + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} \emptyset_\mathrm{qr} + (\omega_\mathrm{s} - \omega)\emptyset_\mathrm{dr} \end{cases} \qquad (17.III)$$

نعوض عبارات التدفق التي تحصلنا عليها في المعادلات (16.III)في عبارة الجهد في الدوار (17.III) فنتحصل على :

$$\begin{cases} \mathrm{v}_{dr} = R_\mathrm{r} \mathrm{i}_\mathrm{dr} + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}(L_r i_{dr}\sigma) - (\omega_\mathrm{s} - \omega)\left(L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs}\right) \\ \mathrm{v}_{qr} = R_\mathrm{r} i_\mathrm{qr} + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\left(\frac{M^2{}_{sr}}{L_s}\ i_{sr} + i_{qr} L_r \sigma\right) + (\omega_\mathrm{s} - \omega)(L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds}) \end{cases} \qquad (18.III)$$

بما أن الساكن مربوط مباشرة بالشبكة فان تأثير مقاومة الساكن ضعيف . تيار المغنطة للساكن I_{sr} يمكن اعتباره ثابت فنستطيع كتابة اذن :

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}} I_{sr} = 0 \qquad (19.III)$$

لهذا نبسط عبارات الجهد في الدوار و نتحصل على معـادلات الجهد في الدوار للنظام الديناميكي التالية :

$$\begin{cases} \mathrm{v}_{dr} = R_{\mathrm{r}}\mathrm{i}_{\mathrm{dr}} + L_r\sigma \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}(i_{dr}) - (\omega_{\mathrm{s}} - \omega)\left(L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs}\right) \\ \mathrm{v}_{qr} = R_{\mathrm{r}} i_{\mathrm{qr}} + L_r\sigma \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\left(i_{\mathrm{qr}}\right) + (\omega_{\mathrm{s}} - \omega)(L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds}) \end{cases} \qquad (20.III)$$

نضع :

$$u_{qr} = L_r\sigma \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\left(i_{qr}\right) \qquad \text{و} \qquad u_{dr} = L_r\sigma \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\left(i_{dr}\right)$$

3.3.6.III قانون التحكم :

نضع قانون التحكم التالي للمحول الالكتروني :

$$\begin{aligned} \mathrm{v}_{dr} &= R_{\mathrm{r}}\mathrm{i}_{\mathrm{dr}} + u_{dr} - (\omega_{\mathrm{s}} - \omega)\left(L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs}\right) \\ \mathrm{v}_{qr} &= R_{\mathrm{r}} i_{\mathrm{qr}} + u_{qr} + (\omega_{\mathrm{s}} - \omega)(L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds}) \end{aligned} \qquad (21.III)$$

4.3.6.III حساب العزم الكهرومغناطيسي :

عبارة العزم الكهرومغناطيسي معطاة بالمعادلة (43.II)

$$T_{\mathrm{e}} = \mathrm{P}\frac{\mathrm{M_{sr}}}{\mathrm{L_s}}\left(\emptyset_{\mathrm{ds}}.\,\mathrm{i}_{\mathrm{qr}} - \emptyset_{\mathrm{qs}}.\,\mathrm{i}_{\mathrm{dr}}\right) \qquad (22.III)$$

لدينا

$$\emptyset_{\mathrm{qs}} = 0$$

نتحصل إذا على :

$$T_{\mathrm{e}} = -\mathrm{P}\frac{\mathrm{M_{sr}}}{\mathrm{L_s}}\left(\emptyset_{\mathrm{qs}}.\,\mathrm{i}_{\mathrm{dr}}\right) \qquad (23.III)$$

5.3.6.III تعريف مقادير التحكم :

نعرف القيم المرجعية للمقادير المراد التحكم بها ، نستخدم المعادلة (22.III) نتحصل على التيار المرجعي i^*_{qr} التالي :

$$i^*_{qr} = -\frac{L_s T^*_e}{PM_{sr}\emptyset_{qs}} = \frac{L_s T^*_e}{K\emptyset_{qs}} \qquad (24.III)$$

حيث :

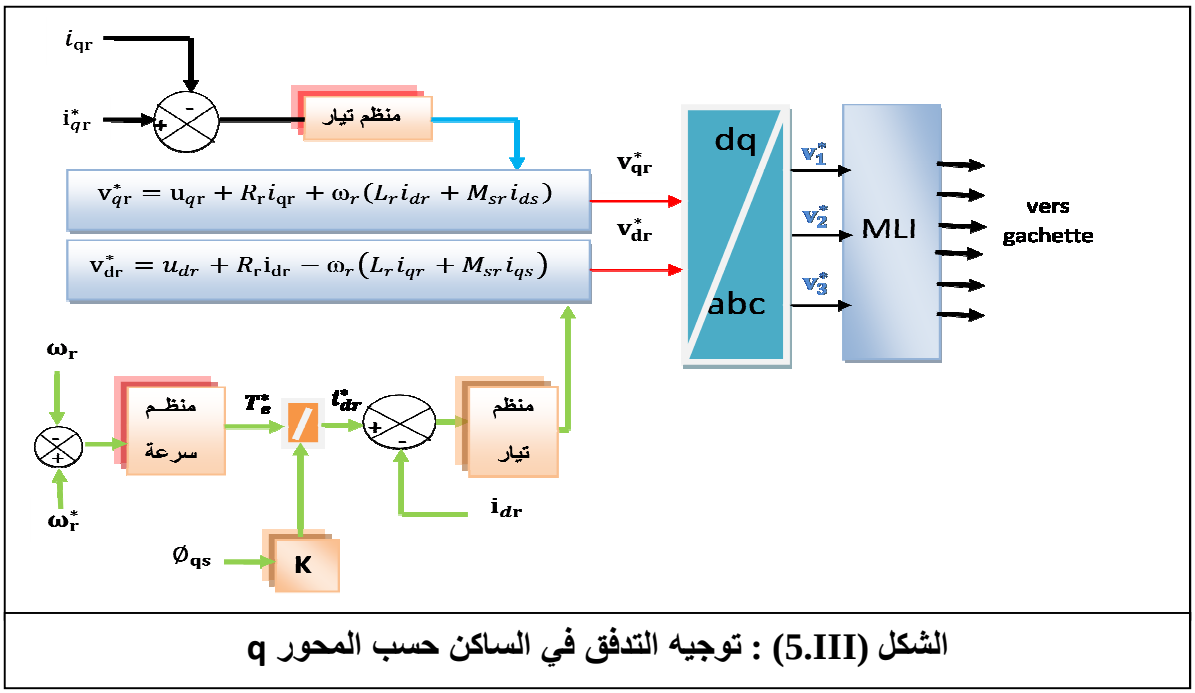
$$K = -\frac{PM_{sr}}{L_s}$$

لكي نتحصل على العزم الكهرومغناطيسي المرجعي (T^*_e) نقوم بتعديل سرعة الدوار ω_r بالنسبة للسرعة المرجعية ω^*_r مخرج المعدل (PI) يعطي لنا تقدير T^*_e .

لأجل فرض تيار الدوار حسب المحور q مساوي 0 نثّبت (i^*_{qr}) على $(i^*_{qr} = 0)$ [12].

6.3.6.III مخطط التحكم :

ننمذج التحكم بـ الشكل (5.III) :



الشكل (5.III) : توجيه التدفق في الساكن حسب المحور q

4.6.III توجيه التدفق في الساكن حسب المحور d :

1.4.6.III حساب التدفق :

نقوم بتوجيه التدفق حسب المحور d ، أي يمكننا كتابة :

$$\begin{cases} \emptyset_{ds} = \emptyset_s \\ \emptyset_{qs} = 0 \end{cases}$$

حسب المعادلة(11.III) للتدفق في الساكن نتحصل على :

$$\emptyset_{qs} = L_s i_{qs} + M_{sr} i_{qr} = 0 \qquad =>$$

$$i_{qs} = -\frac{M_{sr}}{L_s}\, i_{qr} \qquad (25.III)$$

$$\emptyset_{ds} = \emptyset_s = L_s i_{ds} + M_{sr} i_{dr} = M_{sr} i_{sr} \quad =>$$

$$i_{ds} = -\frac{M_{sr}}{L_s} i_{dr} + \frac{M_{sr}}{L_s} i_{sr} \qquad (26.III)$$

نعوض المعادلة (25.III) في $\emptyset_{qr}$ حسب المعادلة (11.III) للتدفق في الدوار نتحصل على :

$$\emptyset_{qr} = L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs} = L_r i_{qr} + M_{sr}\left(-\frac{M_{sr}}{L_s} i_{qr}\right)$$

$$\emptyset_{qr} = L_r i_{qr}\left(1 - \frac{M^2{}_{sr}}{L_s L_r}\right)$$

و منه :

$$\emptyset_{qr} = L_r i_{qr} \sigma \qquad (27.III)$$

نعوض المعادلة (26.III) في $\emptyset_{dr}$ حسب المعادلة (11.III) للتدفق في الدوار نتحصل على :

$$\emptyset_{dr} = L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds} = L_r i_{dr} + M_{sr}\left(-\frac{M_{sr}}{L_s} i_{dr} + \frac{M_{sr}}{L_s} i_{sr}\right)$$

$$= L_r i_{dr}\left(1 - \frac{M^2{}_{sr}}{L_s L_r}\right) + \frac{M^2{}_{sr}}{L_s} i_{sr}$$

$$\emptyset_{dr} = L_r i_{dr} \sigma + \frac{M^2{}_{sr}}{L_s} i_{sr} \qquad (28.III)$$

2.4.6.III حساب الجهود في الدوار:

$$\begin{cases} \emptyset_{qs} = 0 \\ \emptyset_{ds} = M_{sr} i_{sr} \\ \emptyset_{qr} = L_r i_{qr} \sigma = L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs} \\ \emptyset_{qr} = L_r i_{dr} \sigma + \frac{M^2{}_{sr}}{L_s} i_{sr} = L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds} \end{cases} \quad (29.III)$$

نعود إلى معادلات الجهود للدوار في المعلم (dqo) حسب المعادلة (29.II) و (30.II)

$$v_{dr} = R_r i_{dr} - (\omega_s - \omega)\emptyset_{qr} + \frac{d}{dt}\emptyset_{dr}$$

$$v_{qr} = R_r i_{qr} + (\omega_s - \omega)\emptyset_{dr} + \frac{d}{dt}\emptyset_{qr}$$

نعوض معادلات التـدفقات التي تحصلنا عليهـا في المعادلة (III. 29) في عبارة الجهـود للدوار نتحصل :

$$\begin{aligned} v_{dr} &= R_r i_{dr} + \frac{d}{dt}\left(L_r \sigma\, i_{dr} + \frac{M_{sr}^2}{L_s} i_{sr}\right) - \omega_r\left(L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs}\right) \\ v_{qr} &= R_r i_{qr} + \frac{d}{dt}\left(L_r \sigma i_{qr}\right) + \omega_r (L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds}) \end{aligned} \quad (30.III)$$

حسب المعادلة (19.III)

$$\frac{dI_{sr}}{dt} = 0$$

نتحصل على معادلة الجهود في الدوار في النظام الديناميكي التالية :

$$\begin{cases} v_{dr} = R_r i_{dr} + \sigma L_r \frac{d}{dt}(i_{dr}) - \omega_r\left(L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs}\right) \\ v_{qr} = R_r i_{qr} + \sigma L_r \frac{d}{dt}\left(i_{qr}\right) + \omega_r (L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds}) \end{cases} \quad (31.III)$$

نضـــع :

$$u_{dr} = \sigma L_r \frac{d}{dt}(i_{dr})$$

$$u_{qr} = \sigma L_r \frac{d}{dt}\left(i_{qr}\right)$$

3.4.6.III قانون التحكم :

نتحصل على قانون التحكم التالي :

$$\begin{aligned} v_{dr}^{*} &= u_{dr} + R_r i_{dr} - \omega_r\left(L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs}\right) \\ v_{qr}^{*} &= u_{qr} + R_r i_{qr} + \omega_r\left(L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds}\right) \end{aligned} \qquad (32.III)$$

4.4.6.III حساب العزم الكهرومغناطيسي :

عبارة العزم الكهرومغناطيسي تعطى بالمعادلة (43.II) :

$$T_e = P\frac{M_{sr}}{L_s}\left(\emptyset_{ds}.\, i_{qr} - \emptyset_{qs}.\, i_{dr}\right) \qquad (33.III)$$

أين : $\emptyset_{qs} = 0$ فنتحصل على :

$$T_e = P\frac{M_{sr}}{L_s}\left(\emptyset_{ds}.\, i_{qr}\right) \qquad (34.III)$$

5.4.6.III تعريف مقادير التحكم :

نعرف قيم المراجع للمقادير المراد التحكم فيها بالاستعانة بالمعادلة (34.III) نتحصل على التيار المرجعي i_{qr}^{*} التالي :

$$i_{qr}^{*} = \frac{L_s T_e^{*}}{P M_{sr} \emptyset_{ds}} = \frac{T_e^{*}}{K \emptyset_{ds}} \qquad (35.III)$$

مع

$$K = \frac{P M_{sr}}{L_s}$$

لإيجاد العزم الكهرومغناطيسي المرجعي (T_e^{*}) نصحح سرعة الدوار ω_r بالنسبة إلى السرعة المرجعية ω_{r*} بالاستعانة بالمصحح PI.

لدينا: $\emptyset_{ds} = \emptyset_s = L_s i_{ds} + M_{sr} i_{dr} \quad =>$

$$i_{dr} = -\frac{L_s}{M_{sr}} i_{ds} + \frac{\emptyset_s}{M_{sr}} \qquad (36.III)$$

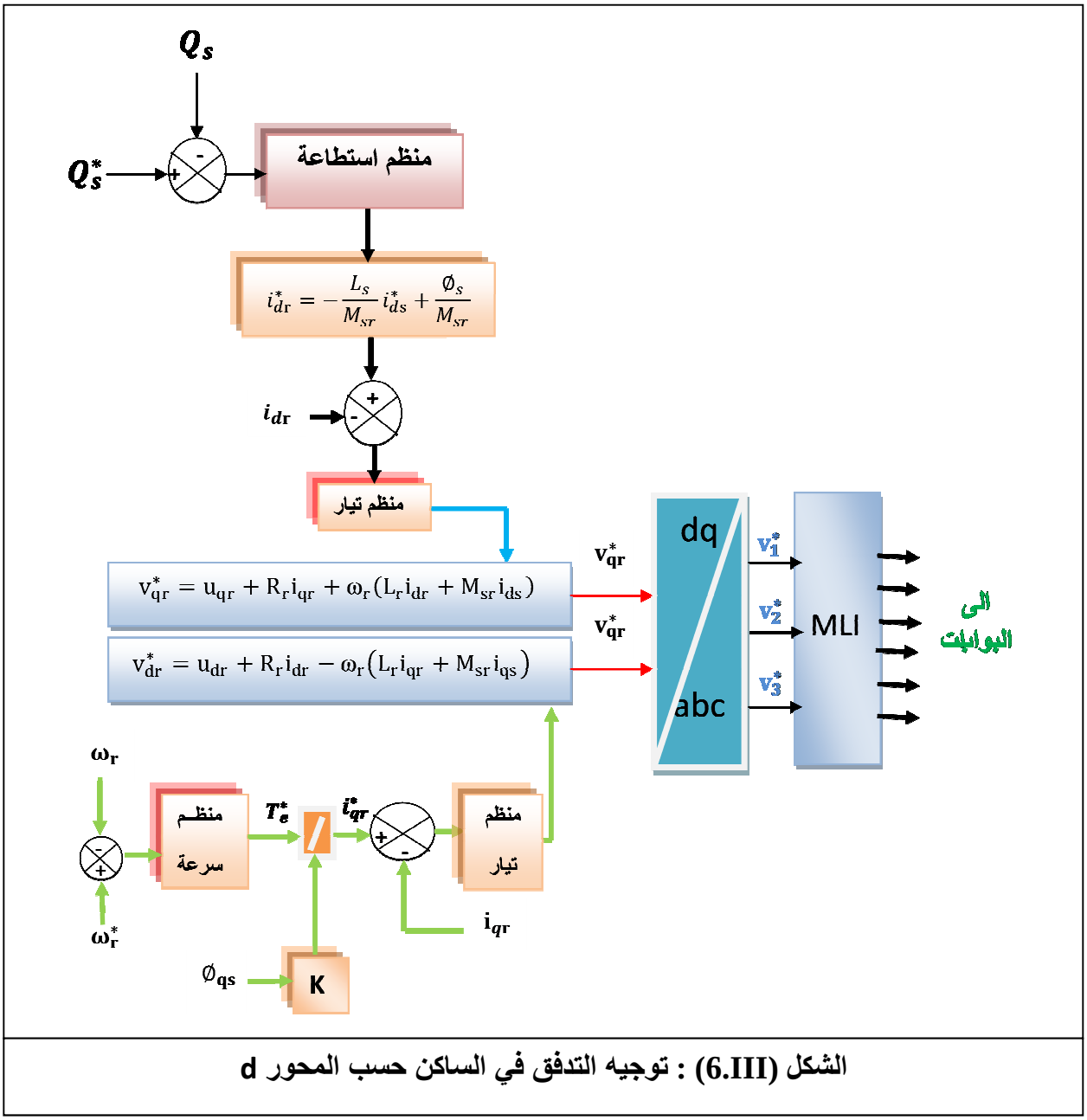
نتحصل إذا :

$$i_{dr}^{*} = -\frac{L_s}{M_{sr}} i_{ds}^{*} + \frac{\emptyset_s}{M_{sr}} \qquad (37.III)$$

لإيجاد التيار المرجعي i_{ds}^{*} نصحح الاستطاعة الرد فعلية للساكن Q_s بالنسبة للمرجع Q_s^{*} .

6.4.6.III مخطط التحكم :

نقوم بنمذجة التحكم حسب الشكل (6.III) [12] .



الشكل (6.III) : توجيه التدفق في الساكن حسب المحور d

4.6.III توجيه التـدفق في الدوار :

نموذج الـ MADA يكتب في مرجع PARK المرتبط بالحقل الدوار كالتالي :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt}\emptyset_{ds} - \omega_s \emptyset_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt}\emptyset_{qs} + \omega_s \emptyset_{ds} \\ V_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt}\emptyset_{dr} - (\omega_s - \omega)\emptyset_{qr} \\ V_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt}\emptyset_{qr} + (\omega_s - \omega)\emptyset_{dr} \\ \emptyset_{dr} = L_r i_{dr} + M_{sr} i_{ds} \\ \emptyset_{qr} = L_r i_{qr} + M_{sr} i_{qs} \end{cases} \quad (38.III)$$

بفرض $(\emptyset_{qr} = 0، \emptyset_{dr} = \emptyset_r)$، نستطيع كتابة المعادلات الرابطة لتيارات الساكن بتيارات الدوار كالتالي :

$$\begin{cases} i_{ds} = \frac{1}{M_{sr}}(\emptyset_r - L_r i_{dr}) \\ i_{qs} = -\frac{L_r}{M_{sr}} i_{qr} \end{cases} \quad (39.III)$$

نعوض قيم المعادلات (39.III) في المعادلة (38.III) ، و بعد التجميع نحصـل على المعـادلة التالـــــــية :

$$\begin{cases} V_{ds} = -\alpha . i_{dr} - \frac{L_s L_r}{M} . \sigma \frac{d}{dt} i_{dr} - \omega_s . \frac{L_s L_r}{M} \sigma . i_{qr} + \beta . \emptyset_r + \frac{L_s}{M} . V_{dr} \\ V_{qs} = -\beta . L_r . i_{qr} - \frac{L_s L_r}{M} . \sigma \frac{d}{dt} i_{qr} + \omega_s . \frac{L_s L_r}{M} \sigma . i_{dr} + \omega_s . \frac{L_s}{M} \emptyset_r \\ V_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt}\emptyset_r \\ V_{qr} = R_r i_{qr} + (\omega_s - \omega)\emptyset_r \end{cases} \quad (40.III)$$

حيث:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{R_s L_r + R_s L_s}{M} \\ \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_r L_s} \\ \beta = \frac{R_s}{M} \end{cases} \quad (41.III)$$

الاستطـــاعة الفعليـــة و الرد فعليـــة للدوار يعبر عنـــها بدلالة مـــركبـــات Park للتيارات و الجهـــود بـ :

$$\begin{cases} P_{\mathrm{r}} = V_{\mathrm{dr}}.\,\mathrm{i}_{\mathrm{dr}} - V_{\mathrm{qr}}.\,\mathrm{i}_{\mathrm{qr}} \\ \mathrm{Q}_{\mathrm{r}} = V_{\mathrm{qr}}.\,\mathrm{i}_{\mathrm{dr}} - V_{\mathrm{dr}}.\,\mathrm{i}_{\mathrm{qr}} \end{cases} \qquad (42.\mathrm{III})$$

4.6.III طرق فك الارتباط :

هناك طريقتين لفك الارتباط بين العزم و التدفق

1.4.6.III الطريقة المباشرة :

موضع التدفق الموجه نستطيع قياسه كهربائيًا [13].

2.4.6.III الطريقة غير المباشرة :

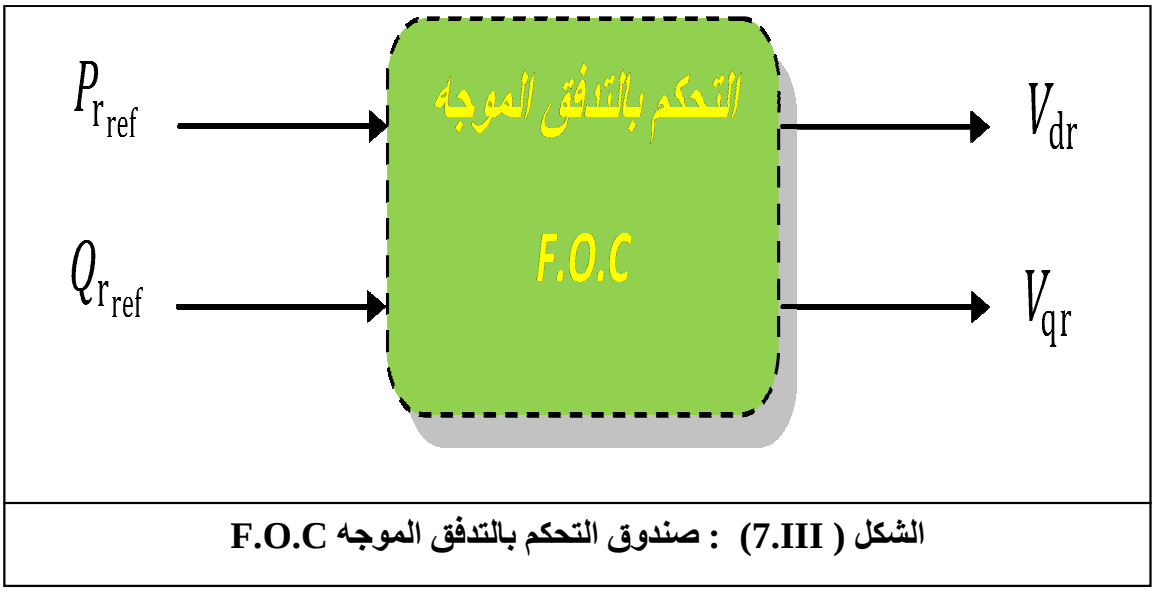
هذه الطريقة تعتمد على استعمال طويلة الفيض المغناطيسي و ليس على موضع شعاع الفيض ، إذا هذه الطريقة تلغي لنا استعمال ملتقط (حساس) الفيض لكن تجعلنا نحتاج إلى حساس الموضع أو حساس السرعة للدوار إذا الفيض يحسب باستعمال نموذج رياضي الذي يدمج في بنية نظام التحكم حيث عنصر التدفق و عنصر العزم يمثلان عنصرا التحكم [1].

في دراستنا نستعمل التحكم الغير مباشر، ميزة هذه الطريقة تكمن في عدم استخدام سعة التدفق للدوار بل وضعيته فقط .

7.III بنية تغذية الجهد بتوجيه التدفق :

بعد معرفة أن التحكـم بتوجيه تدفق الدوار يسمح بمعرفة الانفصال الفعلـي (عزم و سرعة) للماكنة MADA ، نعتبـر جهود الدوار V_{dr} و V_{qr} كمتغيرات التحكم المرتبطة بصنـدوق التحكم للتدفق الموجه ، و تيارات الدوار i_{qr} و i_{dr} كمتغيرات الحالة ، هذه المقاديـــر تكون بدلالة $P_{\mathrm{r}_{\mathrm{ref}}}$ و$Q_{\mathrm{r}_{\mathrm{ref}}}$.

كما هو موضح في الشكل (7.III)



الشكل (7.III) : صندوق التحكم بالتدفق الموجه F.O.C

التحكم الشعاعي للـ MADA يعتمد على التحكم بالاستطاعة الفعلية و الرد فعلية للدوار. مع العلم أن هذه الطريقة غير مناسبة في حالة التشغيل كمولدة في النظام الاعتيادي ، كون الشبكة تتأثر بالأخطاء و بالتالي قياس الاستطاعة في الدوار غير فعال[13].

نضع فرضيات، و من خلال المعادلة (40.III) توترات الدوار تصبح في النظام الدائم كالتالي :

$$\begin{cases} V_{dr} = R_r i_{dr} \\ V_{qr} = R_r i_{qr} + g.\omega_s \emptyset_r \end{cases} \quad (43.III)$$

من المعادلة (38.III) تصبح جهود الساكن كما يلي:

$$\begin{cases} V_{ds} = -\alpha_{r1} i_{dr} - \tau \frac{d}{dt} i_{dr} - \omega_s.\tau.i_{qr} + \frac{\beta}{g}.V_{qr} + \frac{L_s}{M_{sr}}.V_{dr} \\ V_{qs} = -\alpha_{r2} i_{qr} - \tau \frac{d}{dt} i_{qr} - \omega_s.\tau.i_{dr} + \frac{V_{qr}}{g}\frac{L_s}{M_{sr}} \end{cases} \quad (44.III)$$

حيث:

$$\begin{cases} \alpha_{r1} = \frac{R_r L_s + R_s L_r}{M_{sr}} \\ \alpha_{r2} = \frac{R_s L_r + \frac{R_r L_s}{g}}{M_{sr}} \\ \tau = \frac{L_s L_r}{M_{sr}}.\sigma \end{cases} \quad (45.III)$$

باعتبار أن التدفق ثابت (شبكة مستقرة و مربوطة مباشرة بالساكن) ،فان اختيار هذا المرجع يجعل العزم الكهرومغناطيسي الناتج الذي تنتجه الماكنة أو بعبارة أخرى الاستطاعة الفعلية تتغير إلا بدلالة التيار i_{qr} ، بتعويض القيم من المعادلة (43.III) في المعادلة (42.III). و بعد التبسيط نجد :

$$\begin{cases} P_r = R_r . i_{dr}^2 - g . \omega_s . \emptyset_r . i_{qr} \\ Q_r = g . \omega_s . \emptyset_r . i_{dr} \end{cases} \quad (46.III)$$

من خلال المعادلة (46.III) نلاحظ أن الاستطاعة لها علاقة طرديه مباشرة مع i_{qr} (اذا كان التدفق ثابت) .من اجل نقطة تشغيل معطاة أي من اجل سرعة دوران $\omega = cst$ نستطيع كتابة المعادلة:

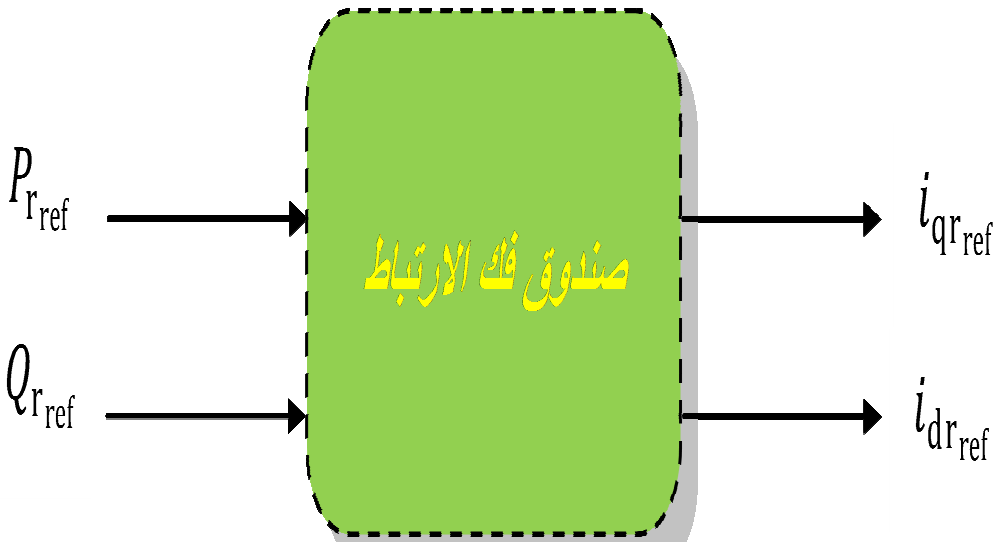
$$\begin{cases} P_r - P_{Jr} = -k . i_{qr} \\ Q_r = k . i_{dr} \end{cases} \quad (47.III)$$

حيث :

$$k = f(\Omega, \omega_s) = g . \omega_s . \varphi_r \quad (48.III)$$

8.III بنية مخطط فك الارتباط:

الشكل (8.III) يمثل المخطط الصندوقي لفك الارتباط .



الشكل (8.III) : المخطط الصندوقي لفك الارتباط .

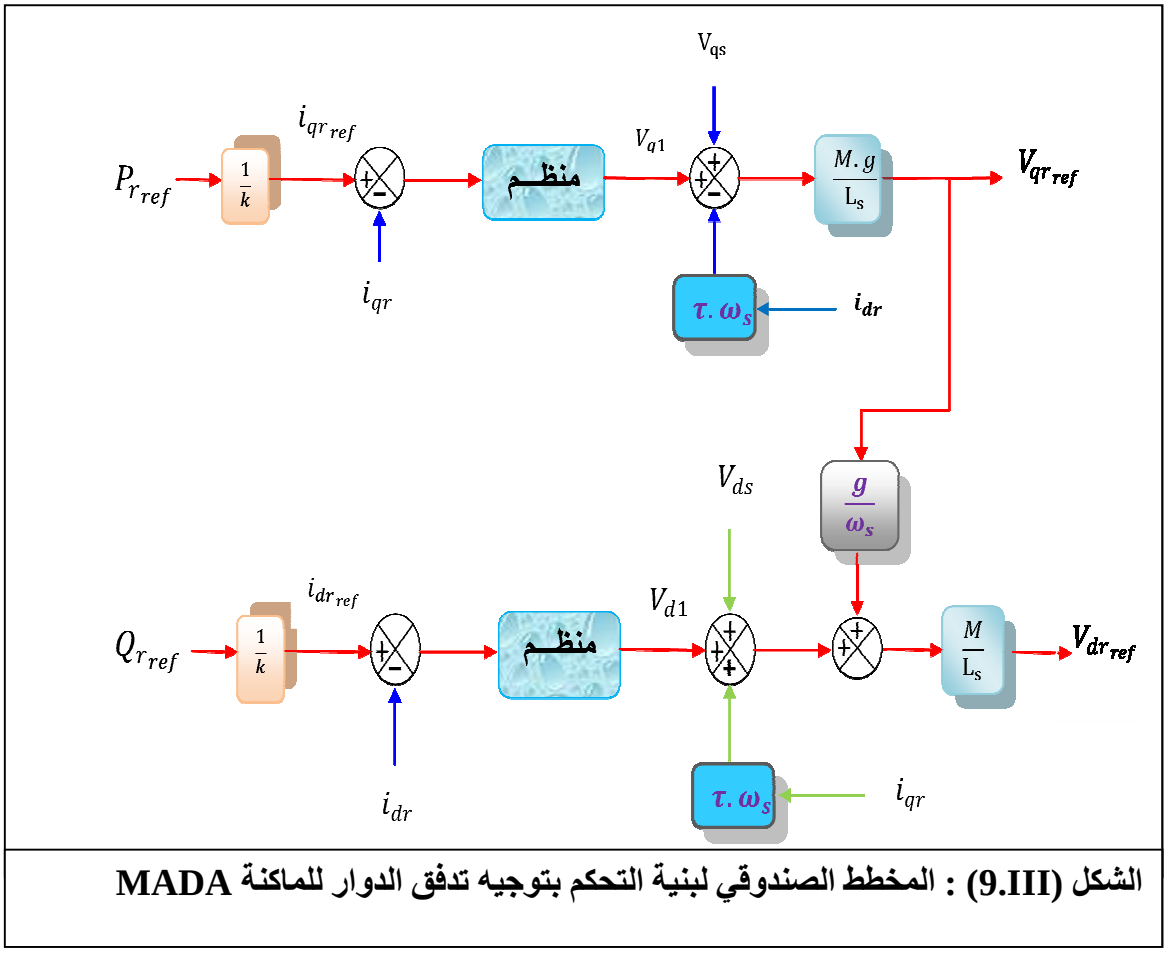
بنية فك الارتباط لبلوك تعطى بالمعادلة التالية:

$$\begin{cases} i_{dr_{ref}} = \frac{P_{r_{ref}}}{k} \\ i_{qr_{ref}} = \frac{Q_{r_{ref}}}{k} \end{cases} \quad (49.III)$$

يتيح لنا فك الارتباط كتابة المعادلة التالية :

$$\begin{cases} V_{d1} = \alpha_{r1}.i_{dr} + \tau.\frac{di_{dr}}{dt} \\ V_{q1} = \alpha_{r2}.i_{qr} + \tau.\frac{di_{qr}}{dt} \end{cases} \quad (50.III)$$

الشكل (9.III) يمثل المخطط التوضيحي للتحكم المفروض وفقا لإستراتيجية توجيه تدفق الدوار. في نفس الشكل نجد منظمات (مصححات) كسب مرتفعة تستعمل للتحكم بتياري الدوار i_{dr} ، i_{qr} (تياري المرجع) يمكن من خلالها التحكم بالاستطاعة الفعلية و الرد فعلية [13] .

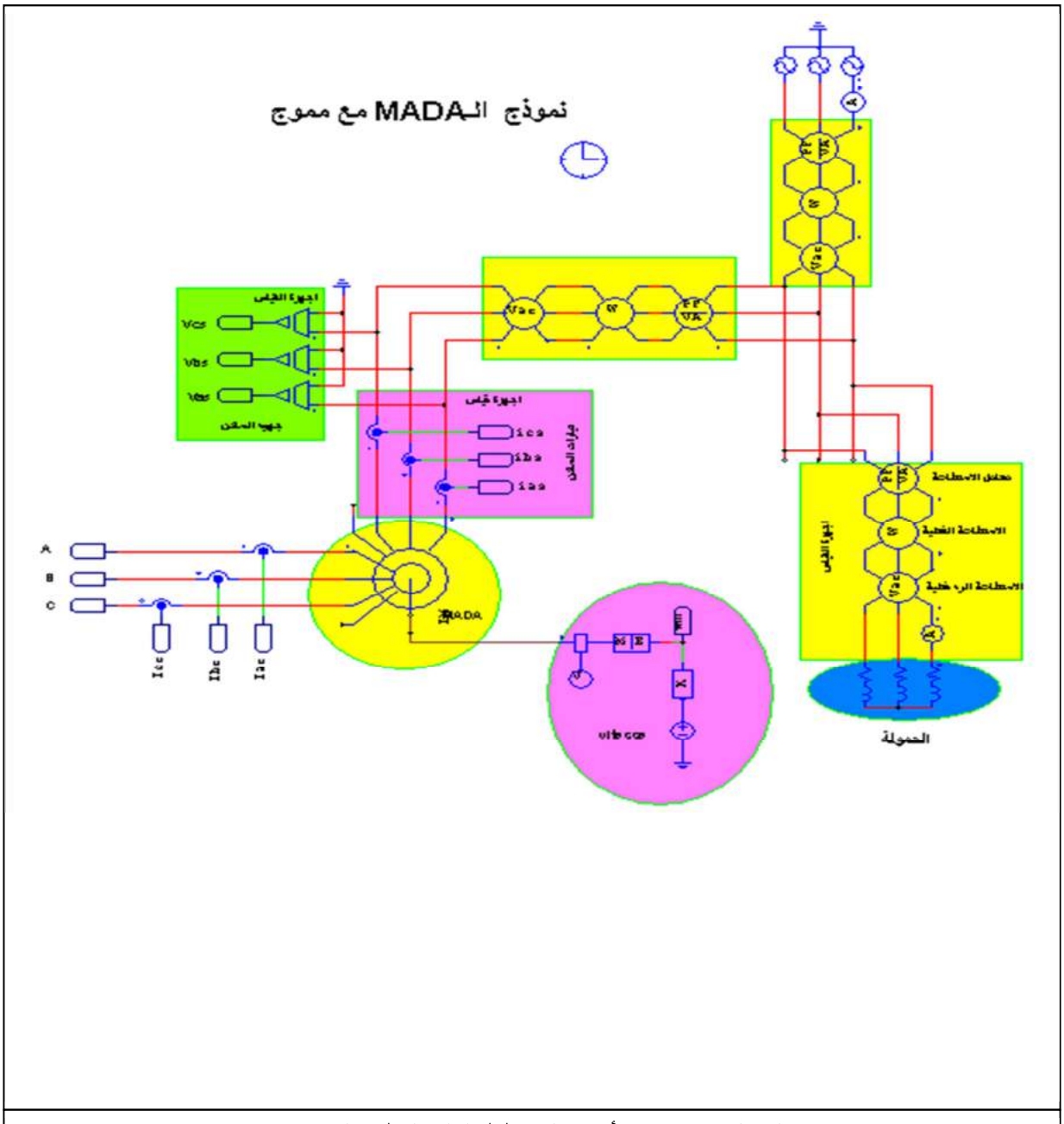


الشكل (9.III) : المخطط الصندوقي لبنية التحكم بتوجيه تدفق الدوار للماكنة MADA

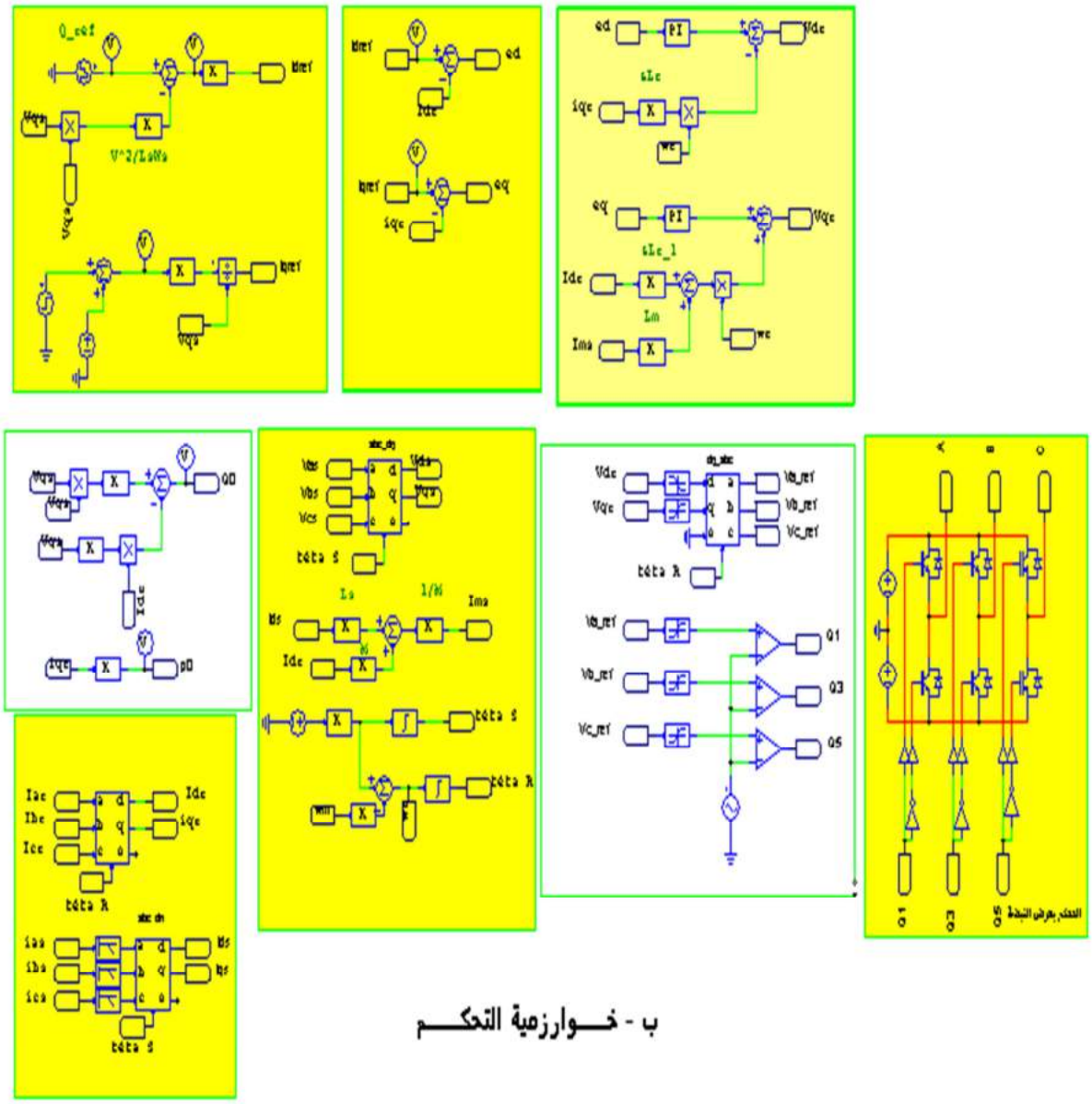
9.III المحاكاة و تحليل النتائج :

نقوم بالمحاكاة العددية ببرنامج الـ PSIM للماكنة MADA و ذلك من اجل دراسة مصداقية التحكم في الاستطاعة الفعلية و الردفعلية و ذلك من خلال القيام بثلاث تجارب .

الشكل (10.III) يبين نظام التحكم في الاستطاعة .



الشكل (10.III.أ) : المخطط الكلي لنظام المحاكاة

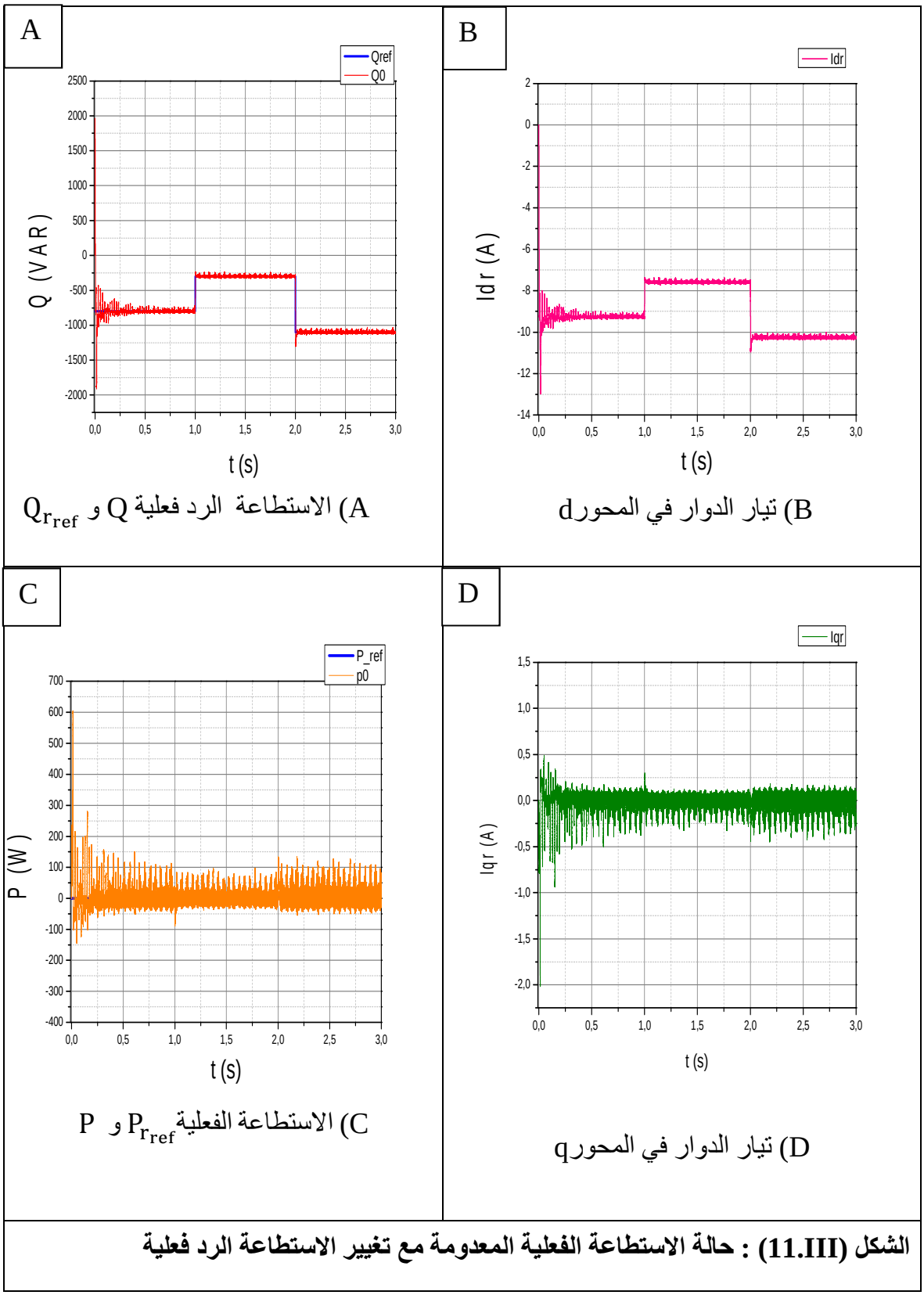


الشكل (III.10.ب) : خـــوارزمية التحـــكم في الاستطـــاعة

الجدول (III.1) يبين مختلف الحالات لتغير الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية .

الجدول (III.1) : الحالات الثلاث لتغير الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية	
الحالة الأولى	الاستطاعة الرد فعلية المعدومة مع تغيير الاستطاعة الفعلية
الحالة الثانية	الاستطاعة الفعلية المعدومة ، و تغيير في قيمة الاستطاعة الرد فعلية
الحالة الثالثة	حالة الاستطاعة الفعلية الثابتة مع تغيير الاستطاعة الرد فعلية

1.9.III الحالة الأولى : الاستطاعة الفعلية المعدومة مع تغيير الاستطاعة الرد فعلية .



A) الاستطاعة الرد فعلية Q و $Q_{r_{ref}}$

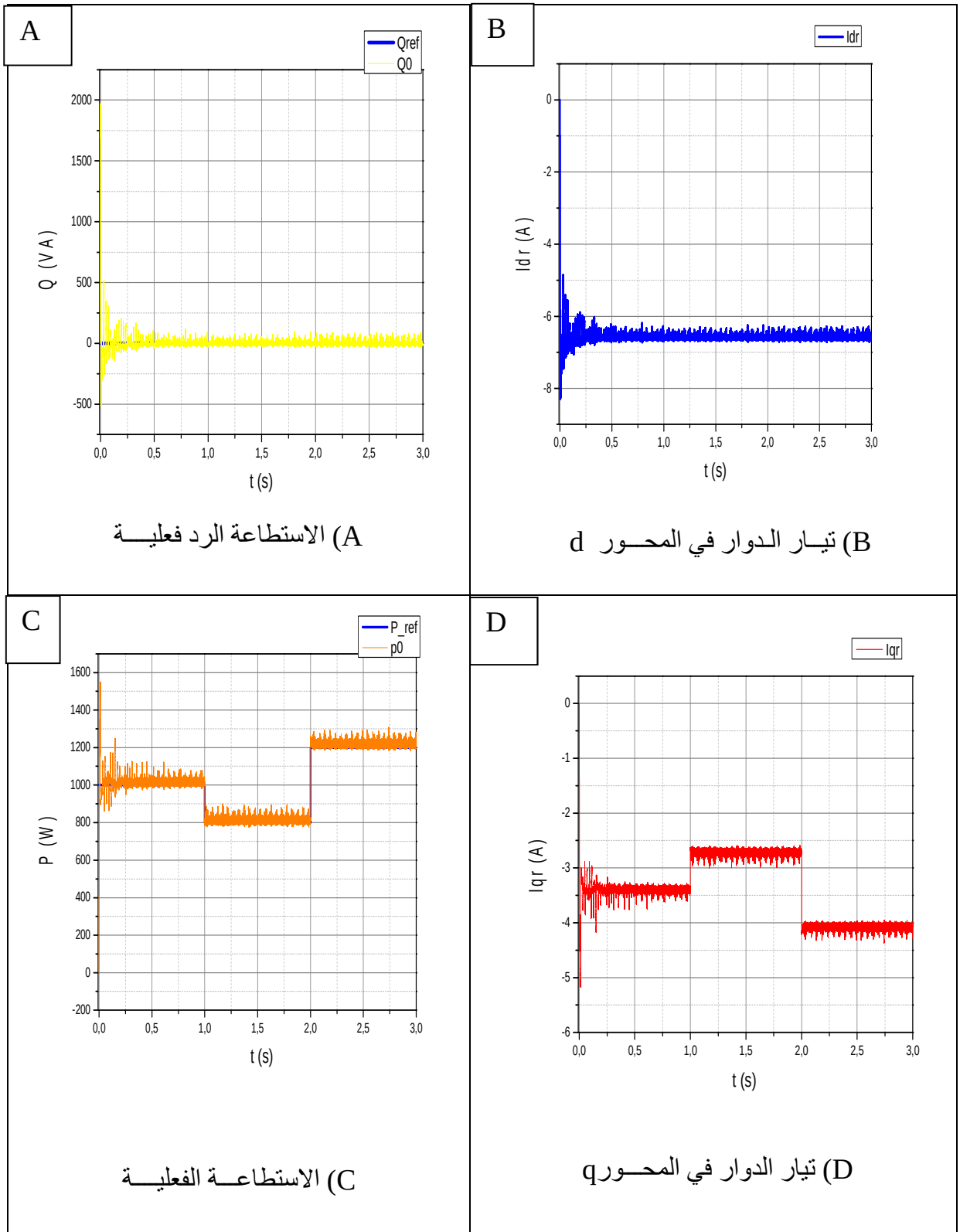
B) تيار الدوار في المحورd

C) الاستطاعة الفعلية $P_{r_{ref}}$ و P

D) تيار الدوار في المحورq

الشكل (11.III) : حالة الاستطاعة الفعلية المعدومة مع تغيير الاستطاعة الرد فعلية

2.9.III الحالة الثانية : حالة الاستطاعة الرد فعلية المعدومة مع تغيير الاستطاعة الفعلية .



A) الاستطاعة الرد فعليـــة

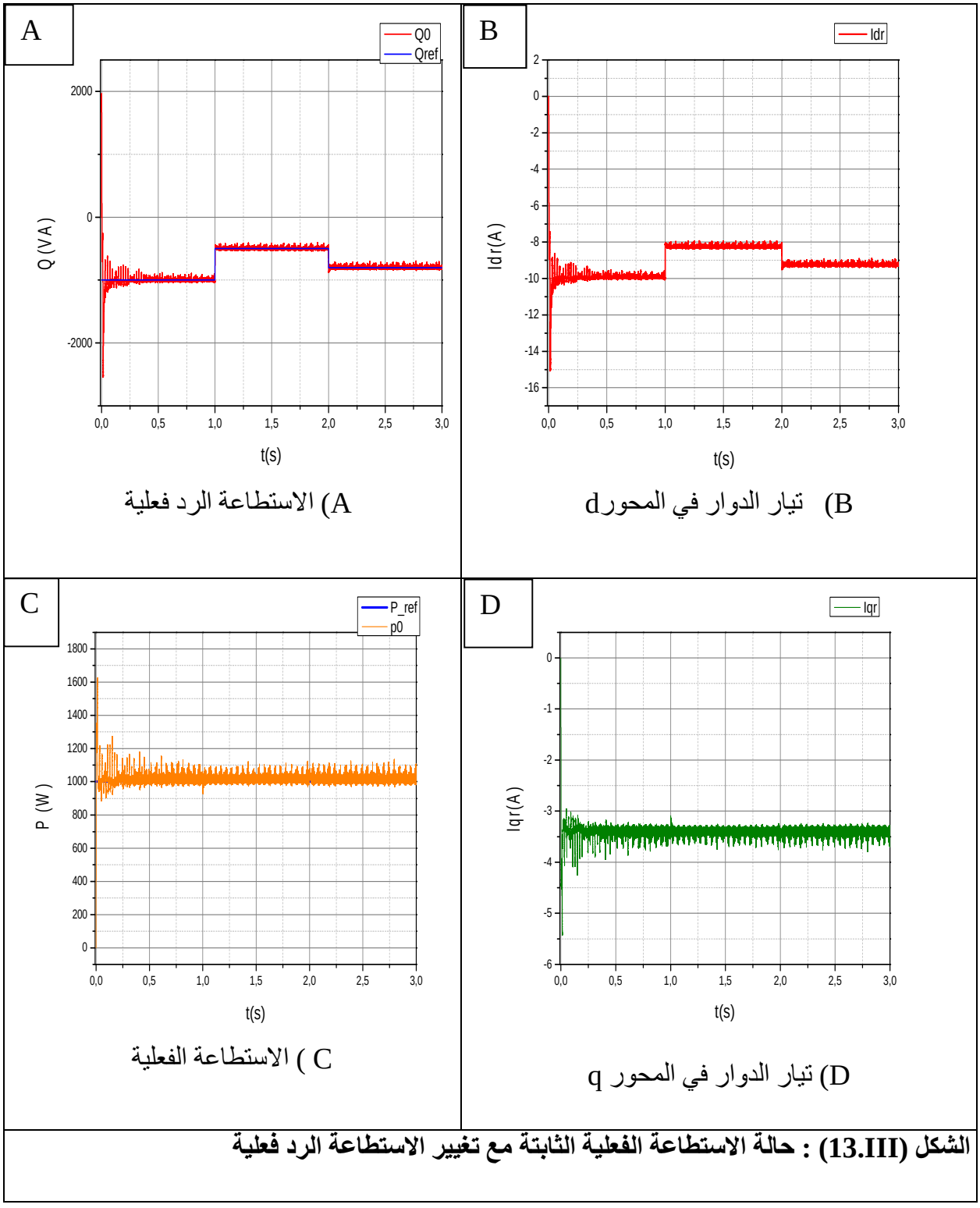
B) تيــار الـدوار في المحـــور d

C) الاستطاعـــة الفعليـــة

D) تيار الدوار في المحـــورq

الشكل (12.III) : حالة الاستطاعة الرد فعلية المعدومة مع تغيير الاستطاعة الفعلية

3.9.III الحالة الثالثة : حالة الاستطاعة الفعلية الثابتة و تغيير في قيمة الاستطاعة الرد فعلية .



A) الاستطاعة الرد فعلية

B) تيار الدوار في المحورd

C) الاستطاعة الفعلية

D) تيار الدوار في المحور q

الشكل (13.III) : حالة الاستطاعة الفعلية الثابتة مع تغيير الاستطاعة الرد فعلية

4.9.III تحليل النتائج :

نتائج المحاكاة تبين مختلف إشارات التيارات المحصل عليها عن طريق التحكم في الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية على مستوى الساكن . طريقة التحكم هذه مكنتنا من فك الارتباط بين الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية للساكن أو بصفة أخرى بين العزم و التدفق .

المركبة العمودية للتيار (i_{qr}) تتحكم في العزم الكهرومغناطيسي أي الاستطاعة الفعلية .

المركبة المباشرة (i_{dr}) تتحكم في التدفق اي الاستطاعة الرد فعلية العابرة بين الماكنة و الشبكة .

تم استنتاج هذا من خلال التغيرات التي طرأت على المركبة المباشرة (i_{dr}) و العمودية (i_{qr}) لتيارات الدوار و التي هي على التوالي لهما نفس صورة الاستطاعة الرد فعلية و الفعلية و هذا ما نلاحظه في الحالات الثلاث الشكل (11.III) ، الشكل (12.III) و الشكل (13.III) .

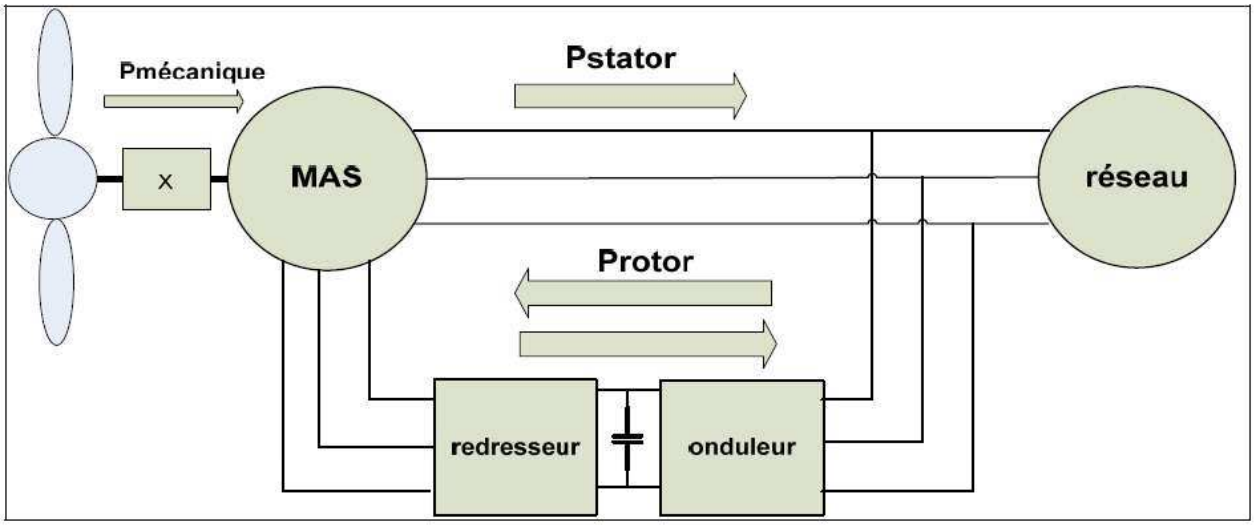
الخلاصة :

الهدف من عملنا في هذا الفصل هو الوصول للتحكم لكل من الاستطاعة الفعلية و الاستطاعة الرد فعلية للماكنة MADA من خلال تيارات الدوار i_{qr} و i_{dr} (مرجع بارك) . في البداية قمنا بدراسة عامة لمفهوم معامل الاستطاعة ، أسباب انخفاضه ، طرق تحسينه ، و قد ركزنا على استعمال الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية في عملية التحسين .

التحكم في الاستطاعة للـ MADA كان عن طريق استعمال تقنية التحكم الشعاعي الموجه ، و بالضبط توجيه التدفق في الدوار(تيارات الدوار)، وصلنا في النهاية إلى أن التحكم في الاستطاعة الفعلية يكون بواسطة التيار i_{qr} ، و التحكم في الاستطاعة الرد فعلية يكون بواسطة التيار i_{dr} . ربط الماكنة بالشبكة يؤدي إلى تعويض الاستطاعة الضائعة. بعد ذلك تم تأكيد النتائج النظرية بواسطة المحاكاة العددية باستعمال برنامج PSIM .

من مزايا ماكنة الـ MADA أيضا هو وجود نسبة التضخيم بين الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية، التي تتمثل في معامل الانزلاق g . و هذا ما جعلنا نفكر في إمكانية استخدام هذه الماكنة في عملية الترشيح الديناميكي و هذا ما سنتطرق إليه في الفصل الموالي .

الفصل الرابع



نمذجة و محاكاة الـ MADA باعتبار توافقيات الشبكة

مقدمة :

نظرًا للاستعمال المتزايد للحمولات الغير خطية بصفة عامة و المحولات الساكنة بصفة خاصة ،في التطبيقات الصناعية ،نوعية التيار الكهربائي في الشبكة تتشوه أكثر فأكثر. ولهذا فقد تم وضع معدلات للتيار الموجه نحو المنشآت بمجموعة من القواعد المفروضة من طرف المنتج و المستقبل، مع المراقبة الدقيقة للتلوث التوافقي كحل لهذا المشكل. و الهدف الرئيسي هو جعل كل من شبكة النقل والتوزيع أكثر استقرارًا.

هذه المعدلات تطورت بمرور الزمن، فأول حل وضع منذ مدة طويلة و يتمثل في استعمال المرشحات الخاملة، هذا الحل هو الأكثر إيجابية، و تطبيقيًا الأكثر بساطة و الأقل تكلفة و لكن له سلبيتان رئيسيتان، الأولى لها علاقة بظاهرة التجاوب في الشبكة و الثانية هي تأثير المرشح الخامل في حد ذاته على خصائص الشبكة. لحل هذه المشاكل توجه الباحثون إلى طريقة أخرى. فنظرًا للتطور الكبير في تكنولوجيا أشباه النواقل ذات القدرة المحكومة (IGBT-GTO-MOSFET) . وضعت محولات [AC/DC] (مقوم MLI) يسمح بالخفض من التوافقيات المولدة و محولات DC/AC (مموج الجهد) يسمح بالتخلص من التلوث التوافقي على التوازي مع الشبكة. هذه المحولات تسمى بالمعدلات الفعالة للتوافقيات، و أيضًا المرشحات النشطة دورها إضافة إلى ترشيح التوافقيات، التخلص من المشاكل الناتجة عن الترشيح الخامل. رغم نجاعة هذه الطريقة لكنها ذات استطاعة محدودة (لا تتجاوز2MW) كما أنها ذات تكلفة عالية.

الهدف من هذا العمل هو الوصول إلى بنية للمرشحات النشطة تتحمل استطاعة كبيرة و ذات تكلفة معقولة. الفكرة تتمحور حول استعمال مرشح ديناميكي نشط، ذلك بإشراك المكائن الكهربائية عملية الترشيح .

الطريقة المستعملة في إطار هذه المذكرة تتطلب استعمال البنية القاعدية للماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية، مغذاة من جهة الدوار بواسطة مموج جهد ، هذه البنية تسمح بإنتاج الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية الرئيسية إضافة إلى الاستطاعة التوافقية المطلوبة. و منه فإن الترشيح الديناميكي هو استعمال المكائن الكهربائية كحل لترشيح التوافقيات في الشبكة الكهربائية، والهدف المرجو هو الاستفادة من فعل التضخيم للماكنة في حالة التحكم فيها من خلال الدوار .

IV .1 نمذجة الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية باعتبار التوافقيات :

الهدف من هذه النمذجة هو الوصول إلى العلاقة بين توترات الدوار و توترات الساكن، لكي نتمكن من حساب التوترات في الدوار التي تسمح بخلق إضافة إلى التوترات الأساسية، التوافقيات رقم خمسة ورقم سبعة في الساكن .

$$[V_{abc}] = [R].\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt}\begin{bmatrix} \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \end{bmatrix} \quad (1.IV)$$

- بالنسبة للجزء الساكن :

$$V_{sa} = V_s \sin \omega_s . t + \frac{V_s}{5}\sin 5\, \omega_s . t + \frac{V_s}{7}\sin 7\, \omega_s . t \quad (2.IV)$$

$$V_{sb} = V_s \sin(\omega_s . t - \frac{2.\pi}{3}) + \frac{V_s}{5}\sin 5(\omega_s . t - \frac{2.\pi}{3}) + \frac{V_s}{7}\sin 7(\omega_s . t - \frac{2.\pi}{3}) \quad (3.IV)$$

$$V_{sc} = V_s \sin(\omega_s . t + \frac{2.\pi}{3}) + \frac{V_s}{5}\sin 5(\omega_s . t + \frac{2.\pi}{3}) + \frac{V_s}{7}\sin 7(\omega_s . t + \frac{2.\pi}{3}) \quad (4.IV)$$

- بالنسبة للجزء الدوار :

$$V_{ra} = V_r \sin \omega_r . t + \frac{V_r}{5}\sin 5\, \omega_{r5} . t + \frac{V_s}{7}\sin 7\, \omega_{r7} . t \quad (5.IV)$$

$$V_{rb} = V_r \sin(\omega_r . t - \frac{2.\pi}{3}) + \frac{V_r}{5}\sin 5(\omega_{r5} . t - \frac{2.\pi}{3}) + \frac{V_s}{7}\sin 7(\omega_{r7} . t - \frac{2.\pi}{3}) \quad (6.IV)$$

$$V_{rc} = V_r \sin(\omega_r . t + \frac{2.\pi}{3}) + \frac{V_r}{5}\sin 5(\omega_{r5} . t + \frac{2.\pi}{3}) + \frac{V_r}{7}\sin 7(\omega_{r7} . t + \frac{2.\pi}{3}) \quad (7.IV)$$

بتطبيق تحويل بارك نجد :

$$\begin{bmatrix} V_{s0} \\ V_{ds} \\ V_{qs} \end{bmatrix} = [P(\theta_s)].\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}}.\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\theta_s & \cos(\theta_s - \frac{2.\pi}{3}) & \cos(\theta_s + \frac{2.\pi}{3}) \\ -\sin\theta_s & -\sin(\theta_s - \frac{2.\pi}{3}) & -\sin(\theta_s + \frac{2.\pi}{3}) \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix}$$

(8.IV)

نحسب V_{ds} نجد:

$$V_{ds}=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{pmatrix}\cos\theta_s.V_s\sin\omega_s.t+\cos\theta_s.\frac{V_s}{5}\sin5\,\omega_s.t+\cos\theta_s\frac{V_s}{7}\sin7\,\omega_s.t+\\ \cos(\theta_s-\frac{2.\pi}{3}).V_s\sin(\omega_s.t-\frac{2.\pi}{3})+\cos(\theta_s-\frac{2.\pi}{3}).\frac{V_s}{5}\sin5(\omega_s.t-\frac{2.\pi}{3})\\ +\cos(\theta_s-\frac{2.\pi}{3}).\frac{V_s}{7}\sin7(\omega_s.t-\frac{2.\pi}{3})+\\ \cos(\theta_s+\frac{2.\pi}{3}).V_s\sin(\omega_s.t+\frac{2.\pi}{3})+\cos(\theta_s+\frac{2.\pi}{3}).\frac{V_s}{5}\sin5(\omega_s.t+\frac{2.\pi}{3})\\ +\cos(\theta_s+\frac{2.\pi}{3}).\frac{V_s}{7}\sin7(\omega_s.t+\frac{2.\pi}{3})\end{pmatrix}$$

(9.IV)

نضع $\alpha=\theta_s$ و $\beta=\omega_s t$. تصبح المعادلة (9.VI) من الشكل :

$$V_{ds}=\sqrt{\frac{2}{3}}V_s\begin{pmatrix}\overbrace{\left\{\cos\alpha\sin\beta+\cos\left(\alpha-\frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(\beta-\frac{2\pi}{3}\right)+\cos\left(\alpha+\frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(\beta+\frac{2\pi}{3}\right)\right\}}^{I}\\ +\frac{1}{5}\overbrace{\left\{\cos\alpha\sin5\beta+\cos\left(\alpha-\frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(5\beta-\frac{2\pi}{3}\right)+\cos\left(\alpha+\frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(5\beta+\frac{2\pi}{3}\right)\right\}}^{II}\\ +\frac{1}{7}\overbrace{\left\{\cos\alpha\sin7\beta+\cos\left(\alpha-\frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(7\beta-\frac{2\pi}{3}\right)+\cos\left(\alpha+\frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(7\beta+\frac{2\pi}{3}\right)\right\}}^{III}\end{pmatrix}$$

(10.IV)

بعد التبسيط نحصل على:

$$I=\frac{3}{2}V_s\sin(\alpha-\beta)=\frac{3}{2}V_s\sin(\theta_s-\omega_s t)=-\frac{3}{2}V_s\sin(\omega_s t-\theta_s) \qquad (11.IV)$$

$$II=\frac{3}{2}\frac{V_s}{5}\sin(\alpha+5\beta)=\frac{3}{2}\frac{V_s}{5}\sin(5\omega_s t+\theta_s) \qquad (12.IV)$$

$$III=\frac{3}{2}\frac{V_s}{7}\sin(\alpha-7\beta)=-\frac{3}{2}\frac{V_s}{7}\sin(7\omega_s t-\theta_s) \qquad (13.IV)$$

نعوض المعادلات (11.VI) ، (12.VI) و (13.VI) في المعادلة (10.VI) نحصل على :

$$V_{ds}=\sqrt{\frac{2}{3}}V_s\left[-\frac{3}{2}\sin(\omega_s t-\theta_s)+\frac{3}{2}\frac{1}{5}\sin(5\omega_s t+\theta_s)-\frac{3}{2}\frac{1}{7}\sin(7\omega_s t-\theta_s)\right] \qquad (14.IV)$$

$\Rightarrow$

$$V_{ds} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_s\left[\sin(\omega_s t - \theta_s) - \frac{1}{5}\sin(5\omega_s t + \theta_s) + \frac{1}{7}\sin(7\omega_s t - \theta_s)\right] \qquad (15.IV)$$

من أجل V_{qs} و بنفس الطريقة :

$$V_{qs} = -\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{pmatrix} \sin\theta_s . V_s \sin\omega_s . t + \sin\theta_s . \frac{V_s}{5}\sin5\,\omega_s . t + \sin\theta_s \frac{V_s}{7}\sin7\,\omega_s . t + \\ \sin(\theta_s - \frac{2.\pi}{3}). V_s \sin(\omega_s . t - \frac{2.\pi}{3}) + \sin(\theta_s - \frac{2.\pi}{3}). \frac{V_s}{5}\sin5(\omega_s . t - \frac{2.\pi}{3}) \\ + \sin(\theta_s - \frac{2.\pi}{3}). \frac{V_s}{7}\sin7(\omega_s . t - \frac{2.\pi}{3}) + \\ \sin(\theta_s + \frac{2.\pi}{3}). V_s \sin(\omega_s . t + \frac{2.\pi}{3}) + \sin(\theta_s + \frac{2.\pi}{3}). \frac{V_s}{5}\sin5(\omega_s . t + \frac{2.\pi}{3}) \\ + \sin(\theta_s + \frac{2.\pi}{3}). \frac{V_s}{7}\sin7(\omega_s . t + \frac{2.\pi}{3}) \end{pmatrix}$$

(16.IV)

بوضع $\alpha = \theta_s$ و $\beta = \omega_s t$. تصبح المعادلة (16.VI) كما يلي :

$$V_{qs} = -\sqrt{\frac{2}{3}}V_s\begin{pmatrix} \overbrace{\left\{\sin\alpha\sin\beta + \sin\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(\beta - \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(\beta + \frac{2\pi}{3}\right)\right\}}^{I'} \\ +\frac{1}{5}\overbrace{\left\{\sin\alpha\sin5\beta + \sin\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(5\beta - \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(5\beta + \frac{2\pi}{3}\right)\right\}}^{II'} \\ +\frac{1}{7}\overbrace{\left\{\sin\alpha\sin7\beta + \sin\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(7\beta - \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right)\sin\left(7\beta + \frac{2\pi}{3}\right)\right\}}^{III'} \end{pmatrix}$$

(17.IV)

حيث:

$$I' = \frac{3}{2}V_s\cos(\alpha - \beta) = \frac{3}{2}V_s\cos(\beta - \alpha) = \frac{3}{2}V_s\cos(\omega_s t - \theta_s) \qquad (18.IV)$$

$$II' = -\frac{3}{2}\frac{V_s}{5}\cos(\alpha + 5\beta) = -\frac{3}{2}\frac{V_s}{5}\sin(5\omega_s t + \theta_s) \qquad (19.IV)$$

$$III' = \frac{3}{2}\frac{V_s}{7}\cos(\alpha - 7\beta) = \frac{3}{2}\frac{V_s}{7}\cos(7\beta - \alpha) = \frac{3}{2}\frac{V_s}{7}\cos(7\omega_s t - \theta_s) \qquad (20.IV)$$

لنحصل على:

$$V_{qs} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_s\left[\cos(\omega_s t - \theta_s) - \frac{1}{5}\cos(5\omega_s t + \theta_s) + \frac{1}{7}\cos(7\omega_s t - \theta_s)\right] \qquad (21.IV)$$

$\Rightarrow$

$$V_{ds} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_s\left[\sin(\omega_s t - \theta_s) - \frac{1}{5}\sin(5\omega_s t + \theta_s) + \frac{1}{7}\sin(7\omega_s t - \theta_s)\right] \qquad (22.IV)$$

$$V_{qs} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_s\left[\cos(\omega_s t - \theta_s) - \frac{1}{5}\cos(5\omega_s t + \theta_s) + \frac{1}{7}\cos(7\omega_s t - \theta_s)\right] \qquad (23.IV)$$

بما أن المرجع منسوب إلى الحقل الدوار فإن :

$$\theta_s = \omega_s t + \theta_{s0} \qquad (24.VI)$$

المعادلتان (22.VI) ،(23.VI) تصبحان على الشكل :

$$V_{sd} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_s\left[\sin(-\theta_{s0}) - \frac{1}{5}\sin(6\omega_s t + \theta_{s0}) + \frac{1}{7}\sin(6\omega_s t - \theta_{s0})\right] \qquad (25.IV)$$

$$V_{sq} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_s\left[\cos(-\theta_{s0}) - \frac{1}{5}\cos(6\omega_s t + \theta_{s0}) + \frac{1}{7}\cos(6\omega_s t - \theta_{s0})\right] \qquad (26.IV)$$

و بنفس الطريقة بالنسبة للجزء الدوار:

$$V_{rd} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_r\left[\sin(\omega_r t - \theta_r) - \frac{1}{5}\sin(5\omega_{r5} t + \theta_r) + \frac{1}{7}\sin(7\omega_{r7} t - \theta_r)\right] \qquad (27.IV)$$

$$V_{rq} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_r\left[\cos(\omega_r t - \theta_r) - \frac{1}{5}\cos(5\omega_{r5} t + \theta_r) + \frac{1}{7}\cos(7\omega_{r7} t - \theta_r)\right] \qquad (28.IV)$$

لأجل حساب كل من النبض ω_r ، ω_{r5} و ω_{r7} الخاصة بالدوار ، لدينا :

$$\omega_s = \omega + \omega_r \qquad (29.IV)$$

- من أجل النبض الأساسي:

$$\omega_r = \omega_s - \omega \quad \Rightarrow \quad \omega_r = \mathrm{g}.\,\omega_s \qquad (30.IV)$$

حيث :

g : الانــزلاق .

ω_s : نبض الساكن .

ω_r : نبض الدوار.

ω : سرعة الدوران .

- من أجل التوافقية الخامسة :

$$5.\omega_s = \omega_{r5} + (-\omega) \Rightarrow \omega_{r5} = 5.\omega_s - (-\omega) \Rightarrow \omega_{r5} = (6 - \mathrm{g}).\omega_s \qquad (31.IV)$$

الإشارة – تعني أن التوافقية الخامسة في الاتجاه المعاكس.

- من أجل التوافقية السابعة :

$$7\omega_s = \omega_{r7} + \omega \Rightarrow \omega_{r7} = 7\omega_s - \omega \Rightarrow \omega_{r7} = (6 + \mathrm{g}).\omega_s \qquad (32.IV)$$

من أجل الحصول على النبض الأساسي ،التوافقية الخامسة و السابعة في الساكن ، نكتب :

$$\omega_r = \mathrm{g}.\,\omega_s \qquad (33.IV)$$

$$\omega_{r5} = (6 - \mathrm{g}).\omega_s \qquad (34.IV)$$

$$\omega_{r7} = (6 + \mathrm{g}).\omega_s \qquad (35.IV)$$

نعوض ω_r ، ω_{r5} و ω_{r7} في المعادلتين (27.VI) ، (28.VI) :

$$V_{rd} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_r\left[\sin(\mathrm{g}\,\omega_s t - \theta_r) - \frac{1}{5}\sin\big((6-\mathrm{g})\omega_s t + \theta_r\big) + \frac{1}{7}\sin\big((6+\mathrm{g})\omega_s t - \theta_r\big)\right] \qquad (36.IV)$$

$$V_{rq} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_r\left[\cos(\mathrm{g}\,\omega_s t - \theta_r) - \frac{1}{5}\cos\big((6-\mathrm{g})\omega_s t + \theta_r\big) + \frac{1}{7}\cos\big((6+\mathrm{g})\omega_s t - \theta_r\big)\right] \quad (37.IV)$$

في المرجع المنسوب إلى الحقل الدوار لدينا:

$$\theta_r = \omega_r . t + \theta_{r0} \quad \Rightarrow \quad (38.IV)$$

$$V_{rd} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_r\left[\sin(-\theta_{r0}) - \frac{1}{5}\sin(6\omega_s t + \theta_{r0}) + \frac{1}{7}\sin(6\omega_s t - \theta_{r0})\right] \quad (39.IV)$$

$$V_{rq} = -\sqrt{\frac{3}{2}}V_r\left[\cos(-\theta_{r0}) - \frac{1}{5}\cos(6\omega_s t + \theta_{r0}) + \frac{1}{7}\cos(6\omega_s t - \theta_{r0})\right] \quad (40.IV)$$

الجدول التالي يلخص العلاقة بين تواترات الساكن و الدوار :

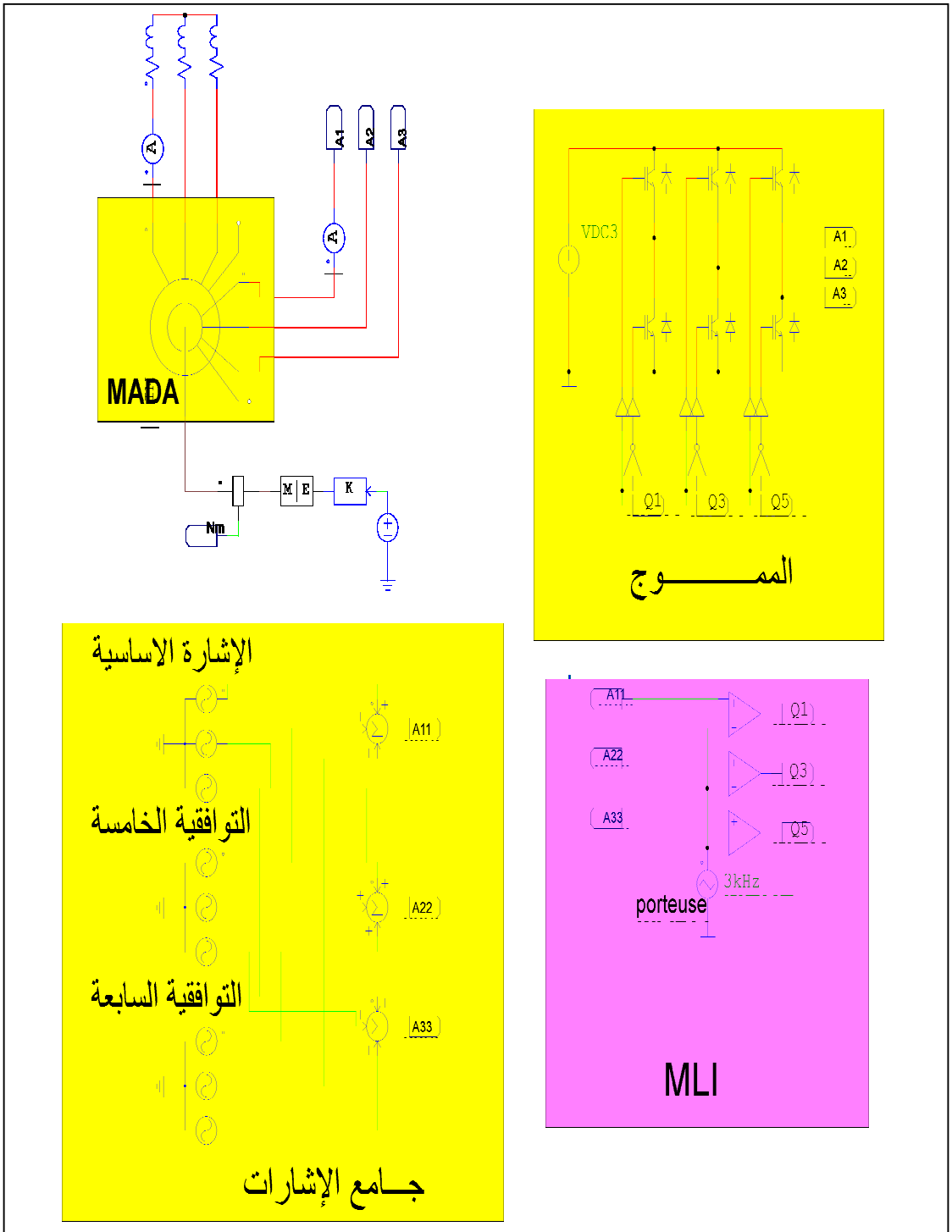
الجدول (1.VI) : العلاقة بين تواترات الدوار و الساكن

التواتر	الدوار rad/s	الساكن rad/s
الأساسي	$\mathrm{g}.\omega_s$	ω_s
التوافقية الخامسة	$(6-\mathrm{g}).\omega_s$	$5.\omega_s$
التوافقية السابعة	$(6+\mathrm{g}).\omega_s$	$7.\omega_s$

2. IV المحاكاة و تحليل النتائج

بهدف التحقق من النتائج النظرية المتحصل عليها سابقا قمنا بمحاكاة النظام الممثل في الشكل (1.IV)

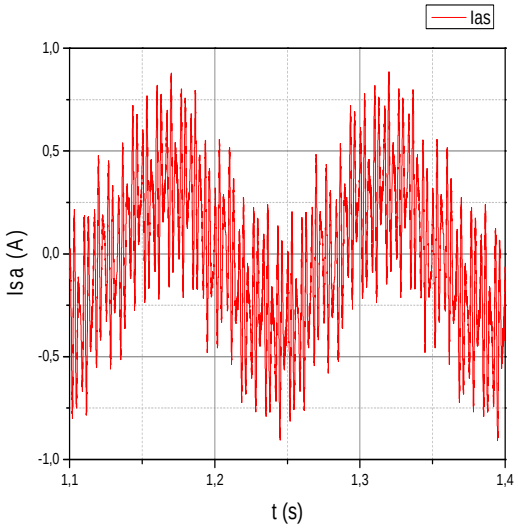
- ✓ الماكنة تغذى بحمولة R
- ✓ الدوار مغذاة بمموج ذو تحكم MLI
- ✓ التوترات المرجعية لتقنية التحكم MLI تكون لها تواترات $\mathrm{g}.f_s$ و $(6-\mathrm{g}).f_s$ و $(6+\mathrm{g}).f_s$



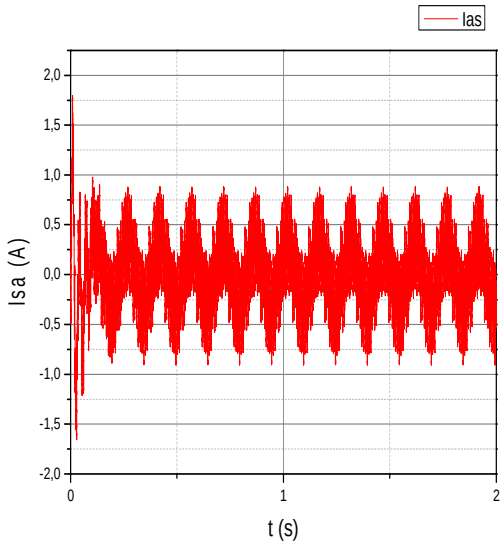
الشكل (1.IV) : المخطط العام لمحاكاة الماكنة MADA باعتبار توافقيات الشبكة .

نتائج المحاكاة موضحة في الشكلين (2.IV) ، (3.IV) .

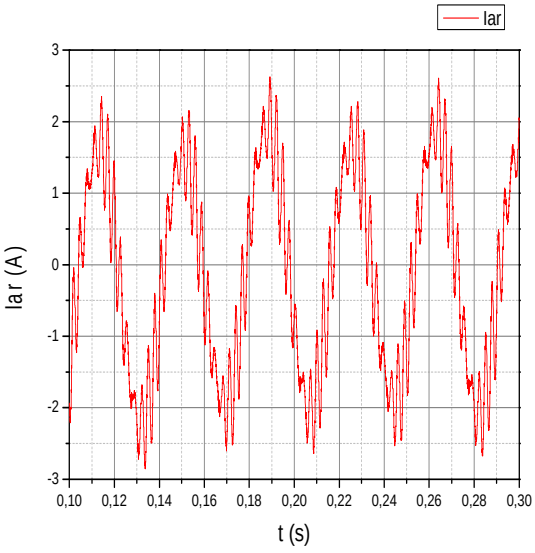
أ) تقريب تيار الساكن .



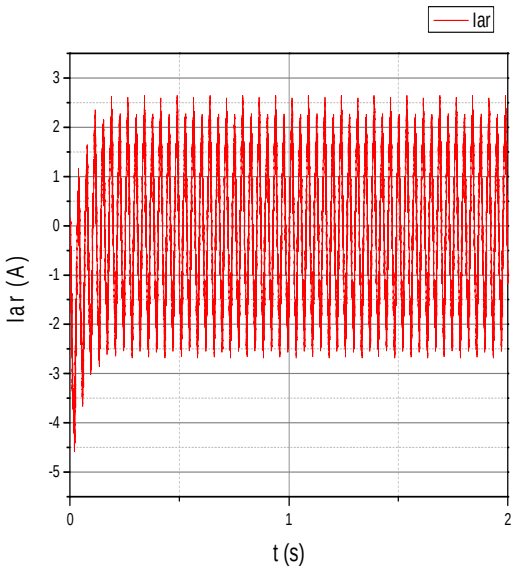
ب) تيار الساكن .



ج) تقريب تيار الدوار .

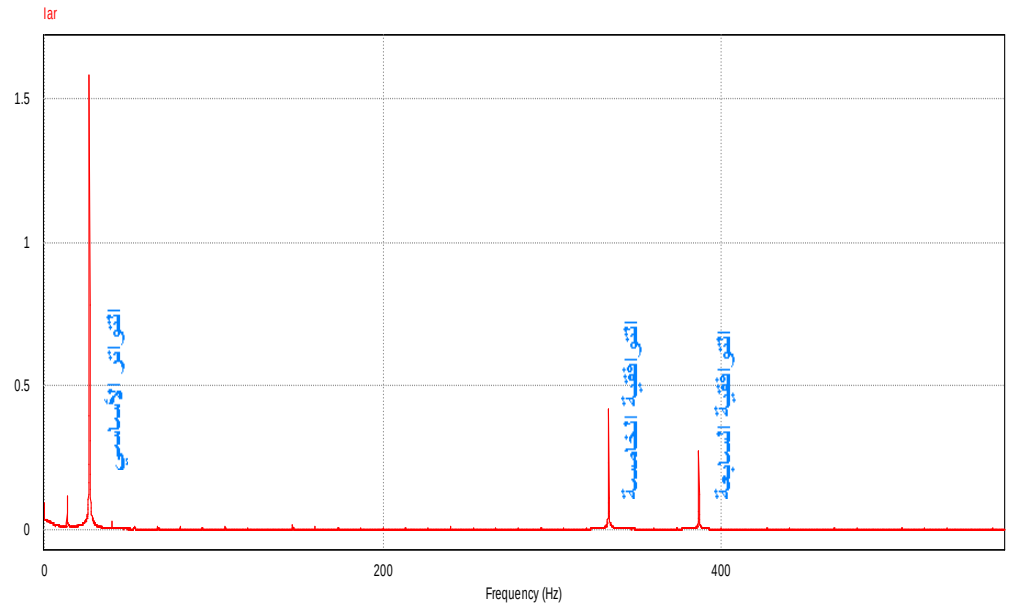


د) تيار الدوار.



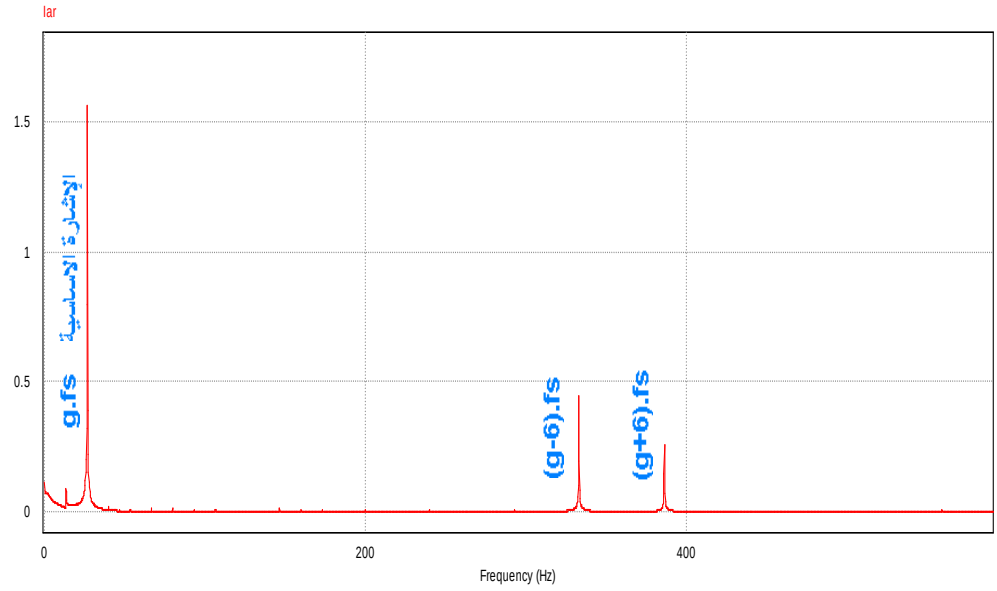
الشكل (2.IV) : تيار الساكن و تيار الدوار مع وجود التوافقيات

الشكل (3.IV) يبين طيف توافقيات الساكن :



الشكل (3.IV) : طيف توافقيات الساكن

الشكل (4.IV) يبين طيف توافقيات الدوار:



الشكل (4.IV) : طيف توافقيات الدوار

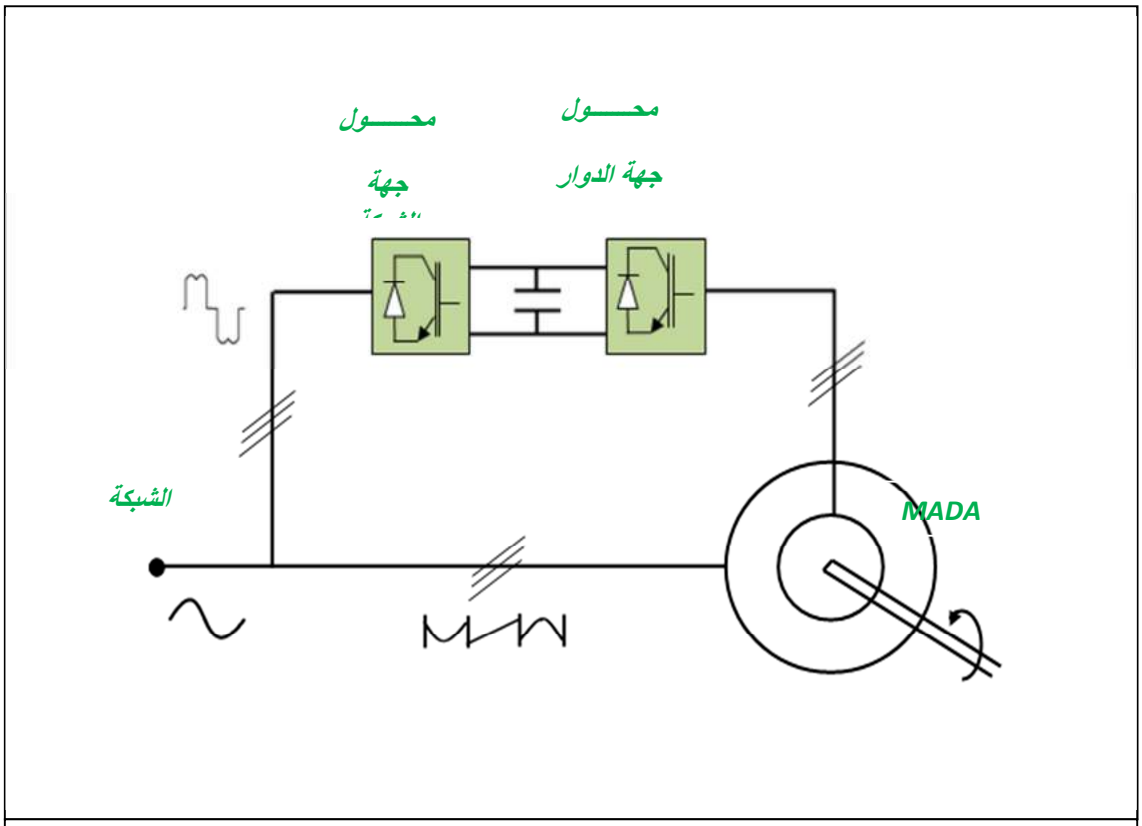
تحليل النتائج :

نتائج المحاكاة تبين صحة النمذجة التي قمنا بها و بالتالي يمكن استعمال الـ MADA لتخفيض من التوافقية الخامسة و السابعة للشبكة الكهربائية عن طريق حقن التواترات $(6-g).f_s$ و $(6+g).f_s$ في الدوار

IV .3 استعمال الماكنة MADA كمرشح فعال في ترشيح التوافقيات :

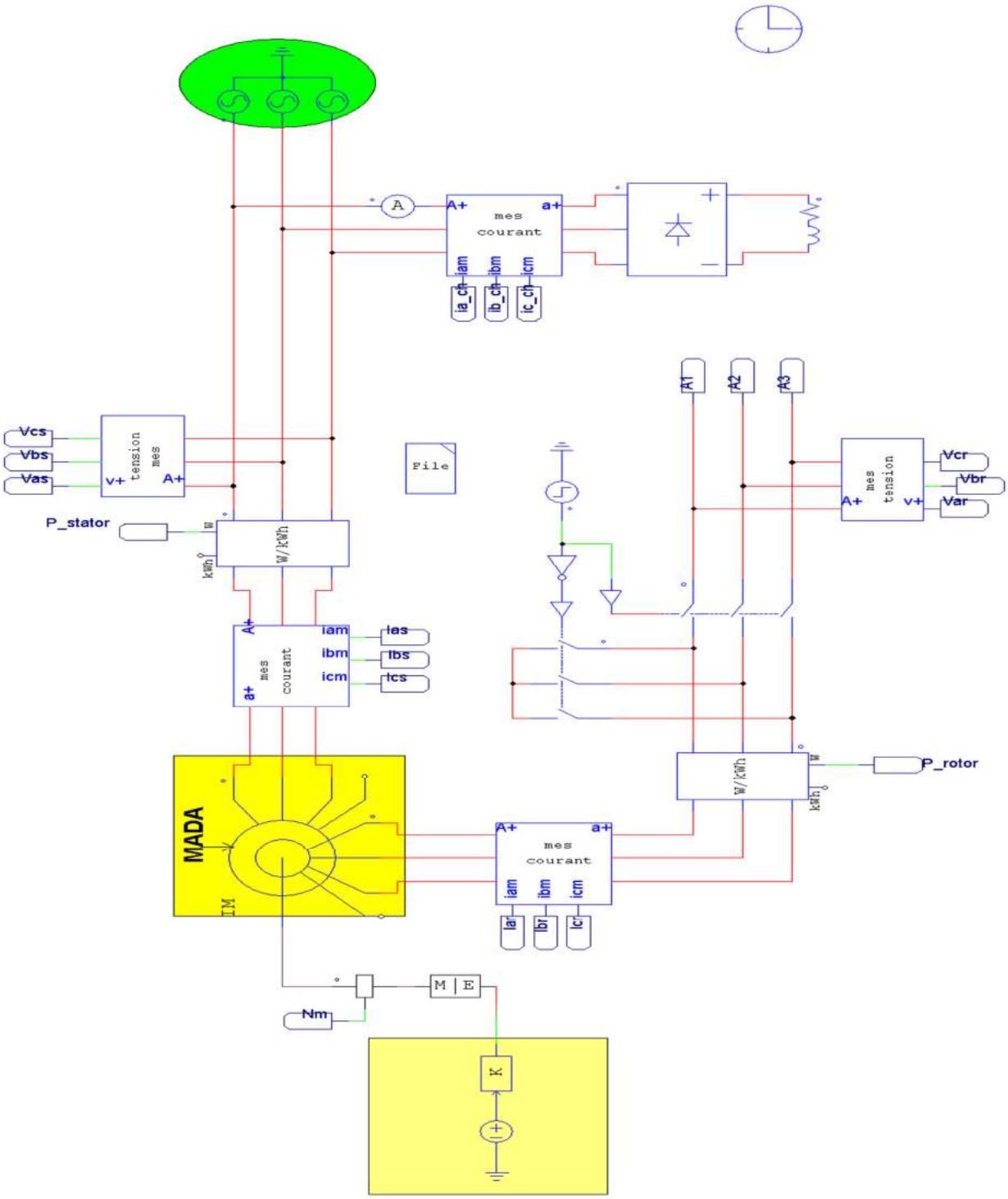
الهدف الأساسي من هذه الطريقة هو تضخيم طاقة أو استطاعة التوافقيات المولدة من طرف المحول الالكتروني ،هذه الطريقة تتمثل في استعمال البنية الأساسية للماكنة MADA المغذاة عبر الدوار بمموج توتر ذو ترنزستور IGBT .

هذه البنية تمكننا من توليد الاستطاعة الفعلية ، الرد فعلية الأساسية و استطاعة التوافقيات الضرورية للشبكة في نفس الوقت . كما هو مبين في الشكل (5.IV):

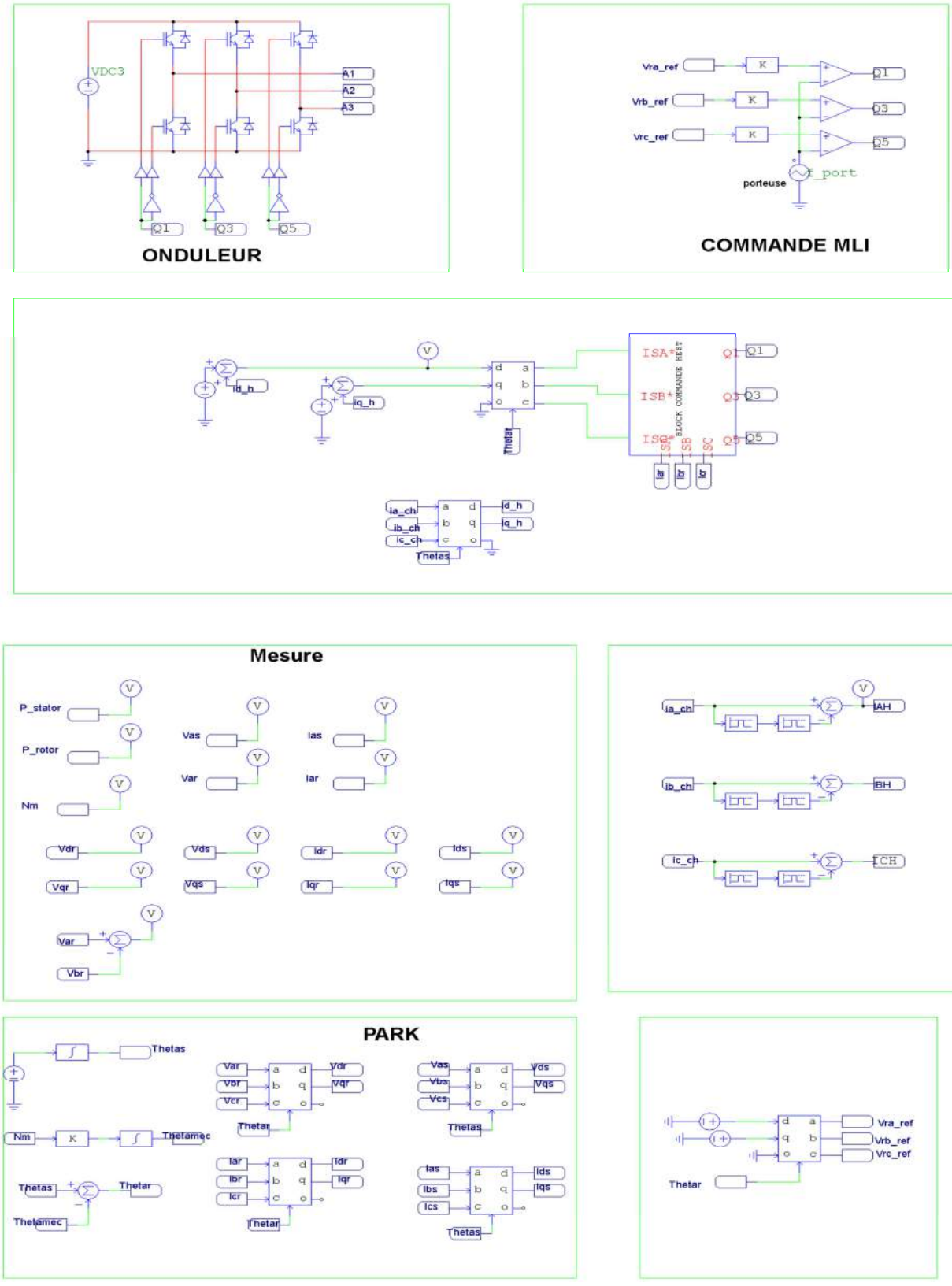


الشكل (5.IV) : الطريقة المقترحة لترشيح التوافقيات من الشبكة الكهربائية باستعمال الماكنة MADA

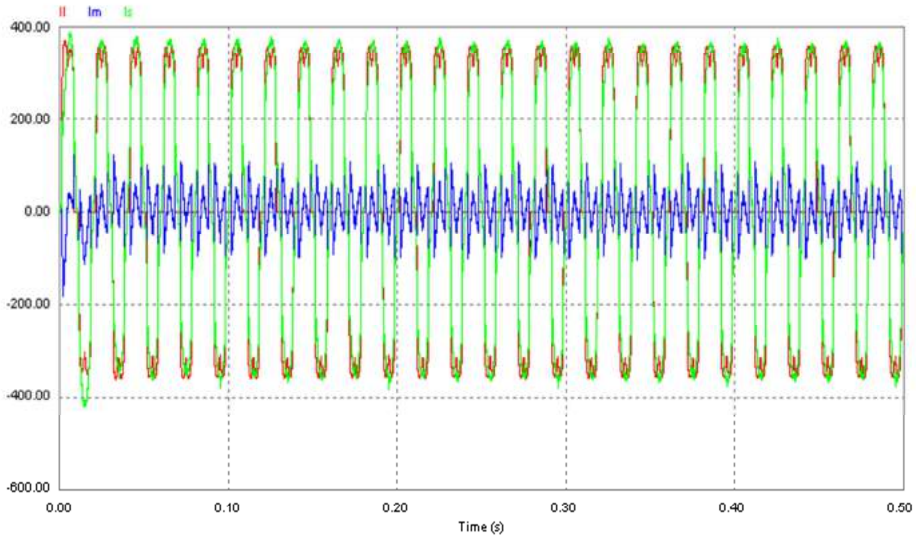
1.3. IV المحاكاة العددية : نقوم بالمحاكاة العددية للـ MADA و التعرف على مدى إمكانيتها في الترشيح .

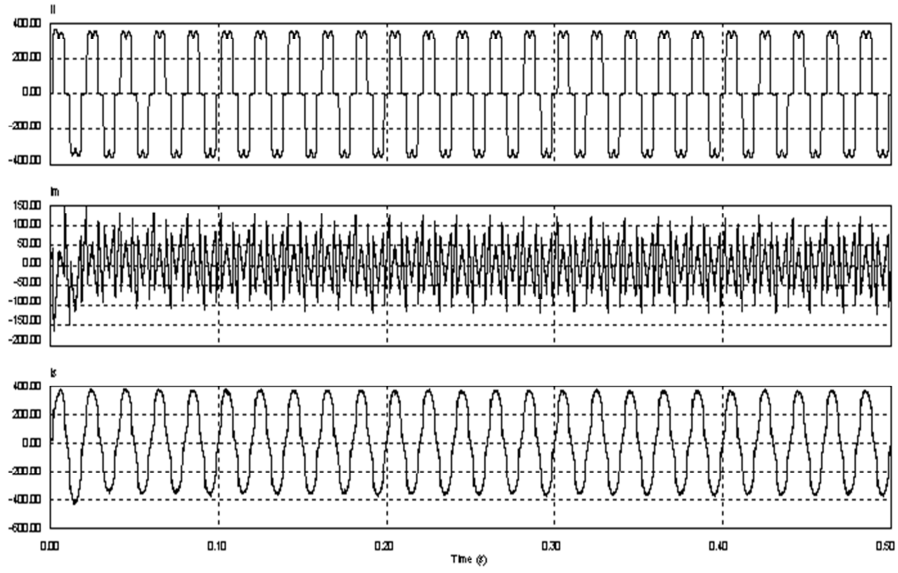


الشكل (IV.6.أ) : نظام المحاكاة باستعمال MADA كمرشح فعال في الترشيح



الشكل (IV.6.ب) : خوارزمية التحكم





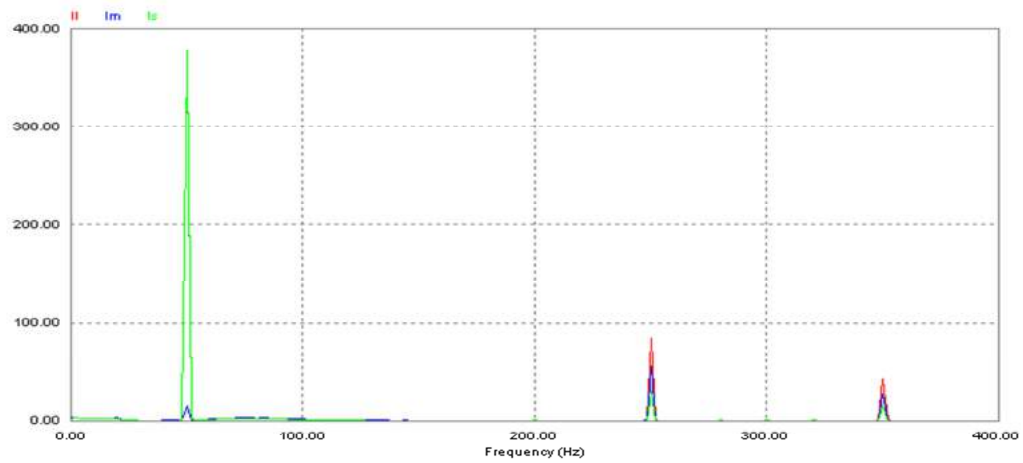
I_L: تيار الحمولة المشوهة للشبكة

I_{MADA}: تيار الساكن للماكنة الـMADA.

I_S : تيار الشبكة

الشكل (7.IV) : الترشيح الفعال باستعمال الماكنة MADA

(I_S، I_{MADA} ، I_L على الترتيب)



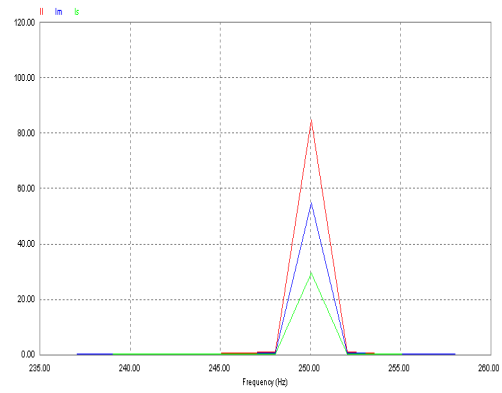
I_L: تيار الحمولة المشوهة للشبكة.

I_{MADA}: تيار الساكن للماكنة الـMADA.

I_S : تيار الشبكة

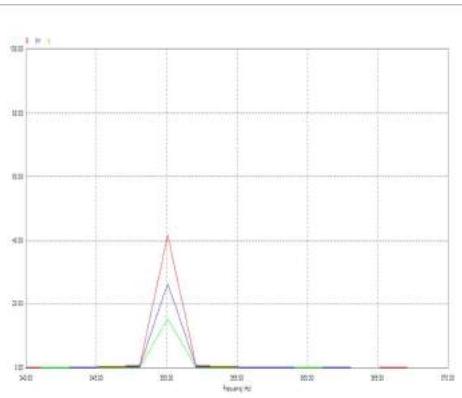
الشكل (8.IV) : التحليل الطيفي للتيارات

A



A- تكبير للتوافقية الخامسة

B



B- تكبير للتوافقية السابعة

الشكل (9.IV) : تكبير للتوافقية الخامسة و السابعة

(I_L: تيار الحمولة المشوهة للشبكة /I_{MADA}: تيار الساكن للماكنة الـMADA/ I_S : تيار الشبكة)

الخلاصة :

تم خلال هذا الفصل التطرق إلى التلوث التوافقي ، و طرق التخلص منه . فقد ذكرنا و بإيجاز سبب ظهور التوافقيات في الشبكة و طرق ترشيحها من ترشيح خامل ، ترشيح نشط ،و ترشيح نشط ديناميكي الذي تم فيه إشراك الماكنة MADA في عملية الترشيح . بعدها أنجزنا النموذج الرياضي للماكنة في وجود التوافقيات فتوصلنا من خلاله إلى أنه للحصول على التواتر الأساسي بالإضافة إلى التوافقية الخامسة و السابعة في الجزء الساكن للماكنة ، علينا تغذية الدوار على الترتيب بـ : $g.\omega_s$, $(6-g).\omega_s$ ، $(6+g).\omega_s$. كما استخلصنا انه باستعمال الماكنة MADA يمكن التقليل من التوافقيات الأكثر ضررا في الشبكة الكهربائية (التوافقية الخامسة و السابعة) و هذا من خلال المحاكاة العددية .

خلاصة عامة

خلاصة عامة :

قمنا في هذه المذكرة بدراسة حول طرق التحكم في الماكنة اللاتزامنية ثنائية التغذية الـ MADA و امكانية ترشيح توافقيات الشبكة الكهربائية .

تغذية العضو الدوار كانت عن طريق المموج المتحكم فيه في طريقة عرض النبضة ، و الذي قمنا بنمذجته بمحاكاة المجموعة (MADA- مموج) .

و بهدف توليد اكبر قدر ممكن من الطاقة للتحكم في الاستطاعة المولدة ، قمنا باستعمال تقنية التحكم الشعاعي التي تسمح بدورها في التحكم في الطاقة الفعلية و الرد فعلية ، لتحقيق هذا التحكم قمنا بالدراسة النظرية لثلاث طرق بعدها اخترنا طريقة التحكم الشعاعي بتوجيه حقل الدوار .النتائج المتحصل عليها بينت فعالية هذه الطريقة ، ويمكن ان نلخص ما احتوته المذكرة في النقاط التالية :

- ✓ تعرفنا على مختلف المكائن المستخدمة في الطاقة الكهربائية و قد كان التركيز على الماكنة MADA من حيث خصائصها ، مجال تطبيقها و مبدأ عملها .
- ✓ النمذجة الرياضية للماكنة في نظام المحاور (dq) مكننا من التحصل على نموذج مبسط للماكنة MADA باقل متغيرات و التحصل على مصفوفة المحاثة المتبادلة بين الساكن و الدوار (غير متعلقة بالزمن)، كما نلاحظ السهولة و المرونة الممكن الوصول اليها في معرفة مختلف العوامل المؤثرة على أداء الماكنة MADA ،حيث يمكننا و بسهولة معرفة قيم التيارات المارة في المحاور و ايضا قيم التوترات .
- ✓ المحاكاة العددية للنموذج المتحصل عليه مكنتنا من معرفة اهم العوامل المؤثرة في تشغيل الماكنة MADA .
- ✓ تقنية التحكم في توجيه الحقل غير المباشرة مكنتنا من التحكم في فك الارتباط بين العزم و التدفق او بصورة اخرى التحكم في الاستطاعة الفعلية باستعمال التيار i_{qr} ، و الاستطاعة الرد فعلية عن طريق i_{dr}.
- ✓ بفضل التحكم في الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية للـMADA اضافة إلى امكانية ترشيح التوافقيات الاكثر ضررا في الشبكة الكهربائية تعتبر الماكنة MADA وسيلة جيدة في توليد الطاقة الكهربائية عن طريق طاقة الرياح .
- ✓ للحصول على التواتر الأساسي بالإضافة إلى التوافقية الخامسة و السابعة في الجزء الساكن للماكنة ، علينا تغذية الدوار على الترتيب بـ: $g.\omega_s$, $(6-g).\omega_s$ ، $(6+g).\omega_s$.

- ✓ الهدف من الترشيح الديناميكي هو استغلال خاصية التضخيم الموجودة بين استطاعة الدوار و استطاعة الساكن عندما تتحكم في الماكنة MADA عن طريق الدوار ، كما ان الايجابية الاساسية لهذا النوع من الترشيح هو تأقلمها مع التغير في التواتر للشبكة . كذلك الترشيح باستعمال الـ MADA يسمح بإنتاج التوافقيات الضرورية لإخماد توافقية الشبكة .
- ✓ ما يميز طريقة الترشيح الديناميكي عن الترشيح الفعال هو اننا لا نحتاج الى اضافة عناصر اخرى للنظام الكلي المستعمل في توليد طاقة الرياح ، التغير الوحيد هو اضافة او تغيير برنامج التحكم .

الملحق

الملحـــق A

خصائص الماكنةMADA (الفصل الثاني- الفصل الثالث)

اسم العنصر	رمز العنصر	الوحدة	القيمة
الاستطاعة الاسمية	Pn	[kw]	4
جهد الدوار المركب	V	[V]	208
مقاومة ملفات الساكن	Rs	[Ω]	0.9
ذاتية ملفات الساكن	Ls	[H]	0.0035
مقاومة ملفات الدوار	Rr	[Ω]	0.7
ذاتية ملفات الدوار	Lr	[H]	0.0035
ذاتية المتبادلة بين الساكن و الدوار	Lm	[H]	0.0503
عدد لفات الساكن على عدد لفات الدوار	Ns/Nr	-	1
عدد الاقطاب	No.of poles P	-	4
عزم العطالة	Moment of inertia	[N.m]	0.1
تواتر الساكن	fs	[Hz]	60
السرعة التزامنية	ns	[tr/min]	1785

خصائص الماكنةMADA (الفصل الرابع)

اسم العنصر	رمز العنصر	الوحدة	القيمة
الاستطاعة الاسمية	Pn	[kw]	4
جهد الدوار	V	[V]	220-380
مقاومة ملفات الساكن	Rs	[Ω]	1.2
ذاتية ملفات الساكن	Ls	[H]	0.1554
مقاومة ملفات الدوار	Rr	[Ω]	1.8
ذاتية ملفات الدوار	Lr	[H]	0.1568
ذاتية المتبادلة بين الساكن و الدوار	Lm	[H]	0.15
عدد لفات الساكن على عدد لفات الدوار	Ns/Nr	-	1
عدد الاقطاب	No.of poles P	-	4
عزم العطالة	Moment of inertia	[N.m]	0.2
التيار الاسمي لاحادي الطور	In	[A]	15
التيار الاسمي لثلاثي الطور	In	[A]	8
السرعة التزامنية	ns	[tr/min]	1440

الملحـــق C

حساب قيم منظمات التيار

في الماكنة MADA إستخضاع المقادير الكهربائية(بالضبط التيار) يلعب دور مهم في التحكم ، نلاحظ أنه كلما كان الاستخضاع أكثر فعالية فإن استطاعة الدوار (الفعلية و الرد فعلية) تكون كبيرة، كذلك فإن الاستطاعة الفعلية و الرد فعلية للدوار المنتجة بواسطة الماكنة تكون قريبة من المطلوب .

لهذا و للمحافظة على توجيه التدفق المطلوب بواسطة التحكم الشعاعي ، يجب علينا دراسة حلقة تنظيم التيار . نفرض طريقة مفصلة لحساب خصائص مختلف المنظمات أو المصححات من نوع (PI) التي تسمح بالتحديد الجيد لاستقرار النظام وسرعة الوصول للاستقرار. دالة التحويل للمنظم تعطى بالعلاقة :

$$R(s) = \frac{1+T_1 S}{T_2} \qquad (1.1)$$

أو:

$$R(S) = K_p + \frac{K_i}{S} \qquad (2.1)$$

حيث:

$$\begin{cases} K_{\mathrm{p}} = \frac{\mathrm{T_1}}{\mathrm{T_2}} \\ \mathrm{K_i} = \frac{1}{\mathrm{T_2}} \end{cases} \qquad (3.1)$$

تحسب المقادير T_1 و T_2 للمنظم بطرق كلاسيكية للحصول على منظمات تضمن الاستقرار. هذه الإستراتيجية تسمح بتطبيق مجموعة من الأدوات الآلية .

المنظمات أو المصححات المستخدمة في عملنا من النوع (التكاملي – التناسبي)، (PI).

عبارة المصحح الأول :

$$R_{\mathrm{c1}}(\mathrm{s}) = \frac{\mathrm{i_{dr}(S)}}{\mathrm{V_{d1}(S)}} = \frac{1}{\alpha_{\mathrm{r1}}+\tau.\mathrm{S}} \qquad (4.1)$$

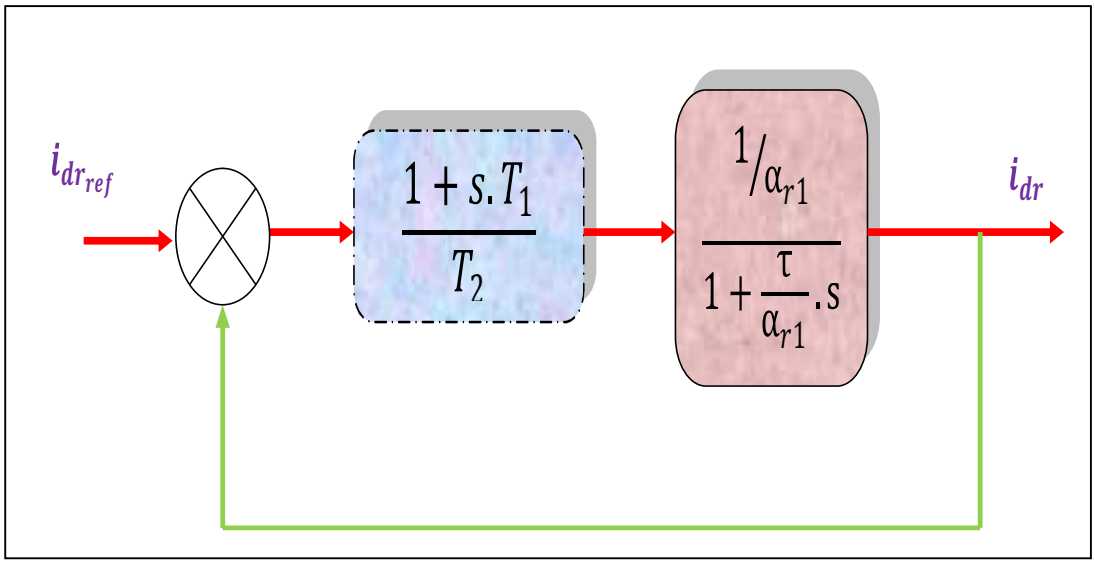
عبارة المصحح الثاني :

$$R_{c2}(S) = \frac{i_{qr}(S)}{V_{q1}(S)} = \frac{1}{\alpha_{r2}+\tau.S} \qquad (5.1)$$

المخطط الصندوقي لتنظيم تيارات الدوار يقدم بالشكل«10.III». وهذا بعد تقليص النظام في الحلقة المغلقة (النظام من درجة الأولى)، يعطى ثابت الزمن للنظام في الحلقة المفتوحة كالآتي:

$$\begin{cases} T_1 = \frac{\tau}{\alpha_{r1}} = \frac{L_s.\sigma}{R_r} \\ T_2.\alpha_{r1} = \tau_d \end{cases} \qquad (6.1)$$

حيث: τ_d : زمن الاستجابة .



الشكل (1.1) : مخطط لتنظيم تيارات الدوار

المراجع

المراجع العربية

رقم المرجع	المرجع	المؤلف
[1]	(من بحث سنة الرابعة جامعي)	
[2]	مذكرة ماجيستر من جامعة حلب	محمد حسان العثمان ابراهيم عجم
[3]	دراسة و محاكاة مولدة لا تزامنية ثنائية التغذية GADA و استعمالها في إنتاج طاقة الرياح .مذكرة تخرج لنيل شهادة أستاذ ثانوي	رضا محروق عصام فراق محمد الهادي ناوي

المراجع الأجنبية

المؤلف	المرجع	رقم المرجع
Frédéric POITIERS	ETUDE ET COMMANDE DE GENERATRICES ASYNCHRONES POUR L'UTILISATION DE L'ENERGIE EOLIENN -Machine asynchrone à cage autonome -Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau. Thèse de Doctorat2003	**[4]**
Y.A.Bencherif	Modélisation et commande d'une Machine Asynchrone à Double Alimentation pour la production de l'énergie éolienne.Mémoire d'ingéniorat, à L'ENP,2008	**[5]**
HAKIM BENNANI	MACHINE ASYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTATION Les lois de commande en régime permanent. Mémoire de l'obtention du grade de Maître ès sciences. 2011	**[6]**
Benzine abderrazak	Amélioration du comportement réactif d'une machine asynchrone à rotor bobiné sana aucun apport externe d'énergie . diplôme de maitrisées sciences appliquées.2005	**[7]**
SAKI ALI BELAIDI MOURAD	Etude d'un Générateur Asynchrone dans La Production d'Energie Electrique par Eolienne. Mémoire d'ingéniorat, à L'ENP,2006	**[8]**
GUILLAUME DUMUR	Caractérisation du comportement réactif de la machine asynchrone à rotor bobinée par variation de sa tension rotorique. diplôme de maitrisées sciences appliquées, à L'ENP,2006	**[9]**
Armand BOYETTE	Contrôle-commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne, thèse de doctorat2006	**[10]**
	Compensation de l'Energie Réactive(Word)	**[11]**

Rémi DEFONTAINES	ÉTUDE ET SIMULATION DE LA MADA ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE،2012 UNIVERSITÉ DU QUÉBEC	**[12]**
ABBAS Mourad MECHENTEL Mohamed	Modélisation et Commande d'une MADA Alimentée Par une Cascade à Trois Nivaux Application à l'Energie Eolienne. ENP2006	**[13]**
A.razzak RAHHAB	Commande de vitesse d'un moteur asynchrone par variation de fréquence basé sur la technique de flux orienté .mémoire d'ingéniorat skikda2005	**[14]**
SENANI FOUZI	ADAPTABILITE DE LA MACHINE SYNCHRONE A DOUBLE ALIMENTATION AU FILTRAGE ACTIFE DES HARMONIQUES DANS LES RESEAUX ELECTRIQUES Mémoire d'ingéniorat, à skikda2011	**[15]**
-	http://forum.arabsbook.com/threads/8534/#ixzz2TNU4hYDP	**[16]**
-	http://www.univ-biskra.dz/fac/fst/biblio/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=1214	**[17]**
-	http://taqiadeen.arabblogs.com/archive/2010/8/1168611.html	**[18]**
-	http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B9%D8%A7%D9%85%D9%84_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D9%85%D9%84	**[19]**