مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (5) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (5) 2010

تنظيم عمل المبدلات الإلكترونية الموصولة على التفرع في شبكة محلية معزولة (شبكة لامركزية)

الدكتور كمال جوني*

(تاريخ الإيداع 26 / 4 / 2010. قُبِل للنشر في 28/ 12 / 2010)

□ ملخّص □

يمكن إنشاء نظام شبكة كهربائية لامركزية للإمداد بالطاقة الكهربائية من خلال وصل عدة مبدلات تيار Inverters إلكترونية على التفرع. لتحقيق ذلك يجب استخدام إلكترونيات القدرة الحديثة وإستراتجية تحكم وقيادة جيدتين، كي نتمكن من السيطرة على الوصل التفرعي للمبدلات. تعتبر حالة وصل حمولة كبيرة ذات استطاعة كبيرة مع الشبكات اللامركزية من أكثر الحالات الحرجة.

التحكم بالجهد (مطال) والتردد من خلال التيار الفعلي و التيار الردي – وذلك استناداً على منحني الحمولة الكلي– يضمن التوزيع المتساوي لاستطاعة الحمولة بين المبدلات الموصولة على التفرع.

في هذه الورقة سيتم وضع دارة مكافئة بسيطة لكامل النظام و ذلك نتيجة عملية تحويل (تدوير) كميات النظام من نظام إحداثيات الثابت إلى نظام الإحداثيات الدوارة.

الكلمات المفتاحية: شبكة معزولة، شبكة لامركزية، مبدلات إلكترونية موصولة على التفرع.

*مدرس– قسم الهندسة البحرية – كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (5) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (5) 2010

Regulation of Electronic Inverters in Parallel Connection in Local Isolated Network (Decentralized Network)

Dr. Kamal Jony*

(Received 26 / 4 / 2010. Accepted 28 / 12 / 2010)

□ ABSTRACT □

A decentralized power supply system can be realized on the basis of parallel connection of several current source inverter having equal ratings.

One of the main requirements of such a system is that it should be extendable when there is requirement for larger load power. Apart from using modern power electronics devices, and in order to achieve this aim we need better and flexible control strategy.

The output voltage and frequency of each inverter is regulated based on the active and reactive current and as well as based on the total load characteristic curve. This ensures an even load sharing among the inverters. The total system is analysed through simplified equivalent circuit based on Modal Transformation of the system variables.

Key words: Isolated Network, decentralized Network, electronic Inverter in parallel Connection

*Assistant Professor, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

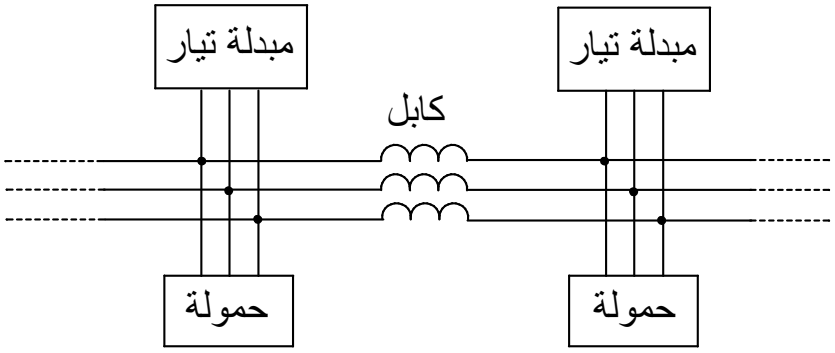
مقدمة:

في الوقت الحالي ينتشر استخدام أنظمة الإمداد بالطاقة الكهربائية اللامركزية وخاصة في المناطق البعيدة عن مراكز المدن، حيث تكون مصادر الطاقة هي الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية و طاقة الرياح. تطوير منشآت توليد الطاقة الكهربائية اللامركزية يكتسب في الوقت الحالي أهمية كبيرة متزايدة. هذا يؤدي إلى مساهمة في الإقلال من التلوث البيئي الناتج عن المحطات التقليدية الكبيرة [1]. الميزة في ذلك هي إنتاج الطاقة الكهربائية المطلوبة من المستهلك في مكان وجود المستهلك.

للاستفادة المثلى من منابع الطاقات البديلة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح فإنه من الضروري استخدام تقنيات هندسة التحكم الرقمية الذكية و كذلك إلكترونيات القدرة الحديثة [2].

في الشبكات الكهربائية المعزولة (اللامركزية) والتي تحوي على عدة مبدلات للتيار والموصولة على التفرع مع بعضها البعض والتي تعمل كعناصر تحويل الطاقات البديلة إلى طاقة كهربائية تكون عملية توزيع الحمولة بين هذه المبدلات بشكل متساوي أمراً ضرورياً للغاية بحيث لا تكون هناك مبدلة ما تعمل باستطاعتها الأعظمية بينما الأخرى باستطاعتها الأصغرية.

يظهر الشكل (1) دارة بسيطة لشبكة كهربائية مستقلة والتي تتألف من مبدلتين مع أنواع مختلفة من الحمولات. يمكن أن تكون الحمولة الموصولة مع هذه الشبكة حمولة أومية أو حمولة أومية – تحريضية و كذلك محركات تحريضية ثلاثية الطور.



الشكل(1) شبكة معزولة مع مبدلات على التفرع

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تطوير إستراتيجية تحكم مناسبة وفعالة بالمبدلات الموصولة على التفرع ، التي تضمن التوزيع المتساوي للحمولة بين المبدلات الموصولة مع الشبكة المعزولة.

توضع دارة التحكم بكل مبدلة على حدة و التي تجعل توزيع الحمولة بشكل متساوٍ بين المبدلتين بغض النظر عن المسافة التي تفصل نقطة وصل الحمولة عن المبدلتين أي أن القرب و البعد بين الحمولة و المبدلة لا يلعب أي دور في توزيع الحمولة بينهما و سيبرهن عن صلاحية دارة التحكم من خلال النتائج التي ستظهر في نهاية الورقة.

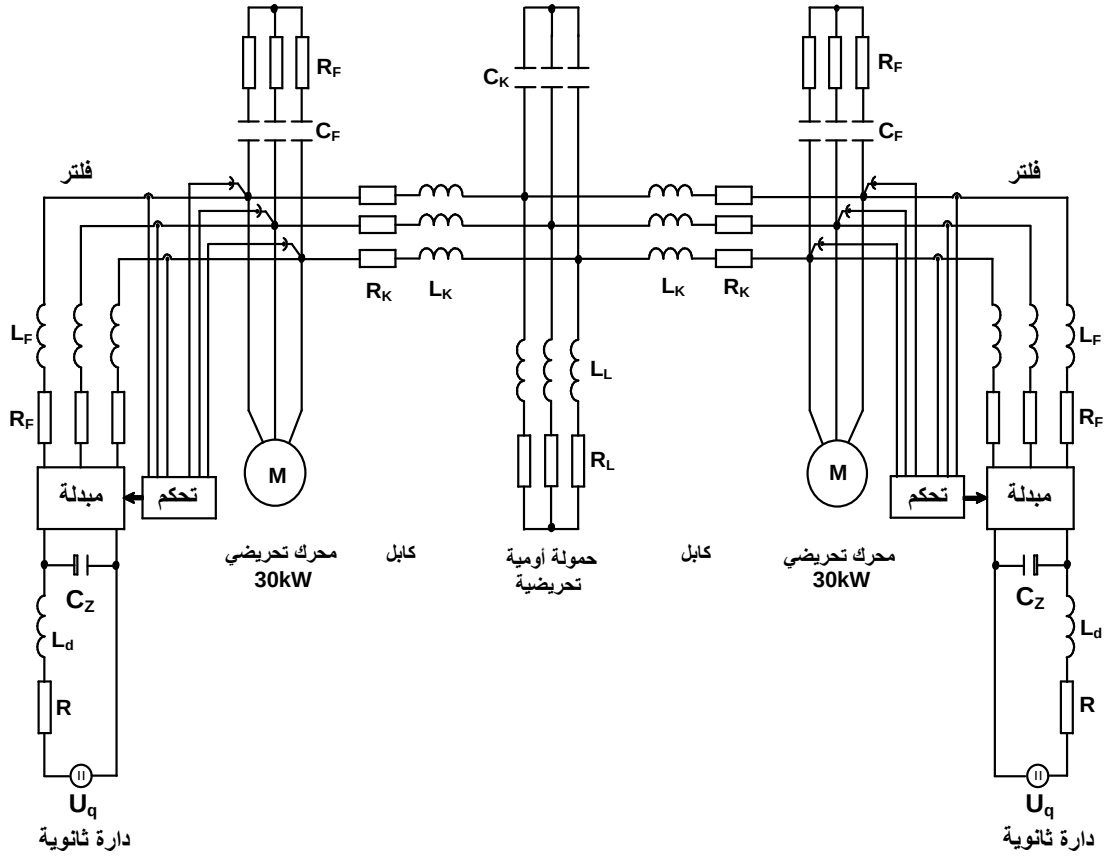
طرائق البحث ومواده:

بدايةً يوضع الموديل الرياضي لكافة عناصر النظام في نظام إحداثيات الثابت ثم يحسب هذا الموديل الرياضي في نظام الإحداثيات الدوارة ، الذي يدور بالتواقت مع تردد الشبكة ، بحيث تكون جميع الكميات الكهربائية في هذا النظام كميات ثابتة في الحالات المستقرة. بعد ذلك توضع دارة التحكم بجهد و تردد خرج كل مبدلة من خلال التحكم بالتيار الفعلي و الردي لخرج كل مبدلة . وقد تمت محاكة كامل النظام باستخدام برنامج DIGSIM من جامعة إلميناو التقنية في ألمانيا . في النهاية سنقدم النتائج التي تؤكد صلاحية إستراتجية التحكم للسيطرة على الوصل التفرعي للمبدلات في شبكة لامركزية.

ملاحظة: لقد اعتبرت الترانزستورات IGBT المستخدمة في المبدلتين مفاتيح مثالية، أي أن الجهود الأمامية للترانزستورات و أزمنة وصلها تساوي الصفر.

وصف النظام

يتألف النظام المدروس من مبدلتي تيار مع دارة ثانوية لكل مبدلة على حدة. يظهر الشكل (2) الدارة المكافئة الكاملة لشبكة مستقلة مع مبدلتي تيار و مع أنواع مختلفة للحمولات وكابل توصيل بالإضافة إلى فلتر C_F-L_F على مخرج كل مبدلة.



الشكل (2) دارة شبكة معزولة مع قالبتي تيار

الجدول التالي (1) يعطي القيم الاسمية للمبدلة.

الجدول (1) القيم الاسمية للمبدلة.

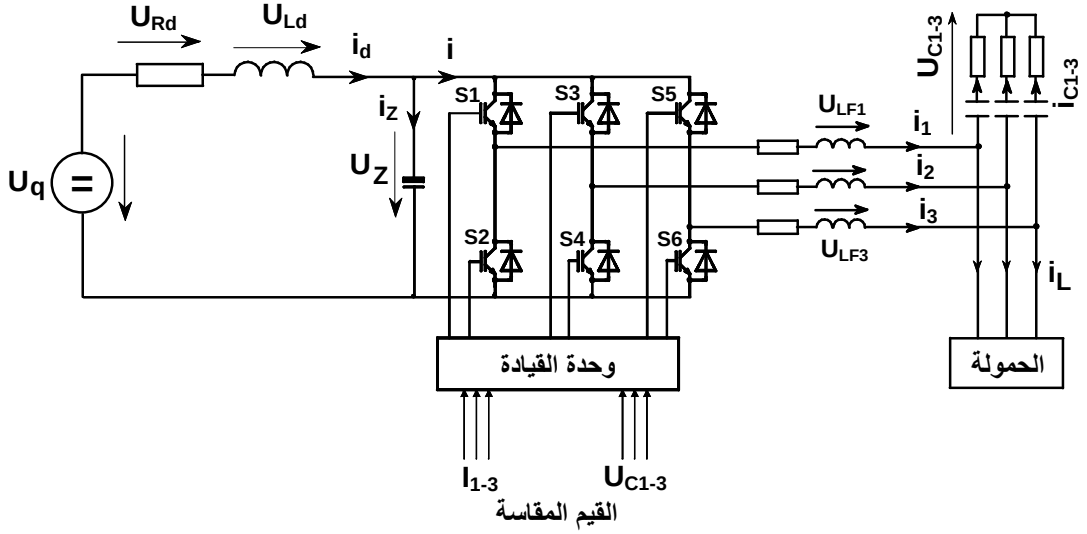
	قيم فعالة (القيم الاسمية للمبدلة)				
	S_n	$\cos\varphi$	I_{Sn}	I_{Wn}	I_{Bn}
القيم الاسمية	80 kVA	0,8-1	115 A	92 A	69 A
50%تحميل زائد(10sec.)	120 kVA	0,8-1	172 A	138 A	104 A

تملك الدارة الثانوية لكل مبدلة منبع جهد مستمر ثابت القيمة وملف تنعيم له مقاومة أومية و مكثف يعمل كمخزن ثانوي للطاقة. قيم عناصر الدارة الثانوية معطاة في الجدول التالي.

الجدول (2) قيم الدارة الثانوية

الدارة الثانوية		
U_q	L_d	C_Z
700 V	2,5 mH	14,8 mF

لأن كلتا المبدلتين متشابهتان وكذلك الأمر بالنسبة لدارتي التحكم فإننا سنعالج في هذه الفقرة فقط دارة مبدلة واحدة التي دارتها مبينة في الشكل (3).



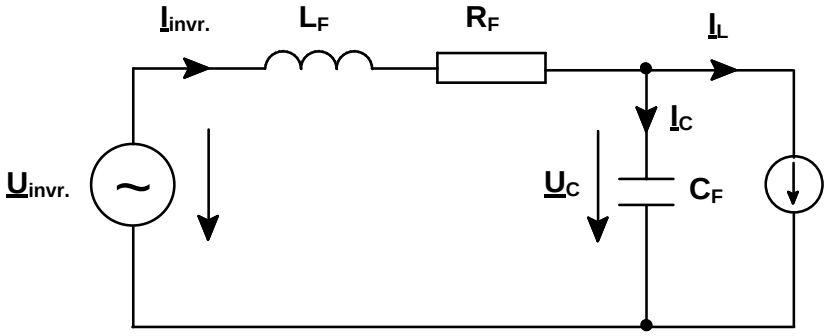
الشكل (3) دارة المبدلة التفصيلية

يظهر الشكل (4) الدارة المكافئة للنظام المؤلف من المبدلة و الفلتر LC و الحمولة. يمثل $U_{inver.}$ جهد خرج المبدلة و I_L تيار الحمولة.

بمساعدة الدارة المكافئة لنظام المبدلة المبينة على الشكل (4) يتم وضع المعادلات التفاضلية (الموديل الرياضي) لجميع جمل التحكم في نظام إحداثيات ثابتة، في هذه الحالة تكون جميع الكميات الكهربائية

(تيارات والجهود) جيبية الشكل في الحالات المستقرة. تقاد المبدلتان بطريقة معدل عرض النبضة PWM. حيث يتم توليد نبضات التحكم بترانزستورات المبدلة IGBT من خلال المقارنة بين جهد مرجعي جيبي الشكل مع جهد مساعد (سن المنشار)، حيث إن نقاط تقاطع المنحنين مع بعضهما البعض تحدد لحظات التبديل للترنزستورات (فصل أو وصل) [3].

في حالتنا هذه يقارن خرج دارة التحكم الثلاثية الأطوار(المبينة في الشكل 9) مع إشارة على شكل سن منشار (ثلاثية الأطوار أيضاً) والتي ترددها يساوي 10kHz(و هذا ما يسمى بالتردد النبضي للمبدلة)، حيث إن نقاط التقاطع تحدد لحظات وصل ولحظات فصل الترانزستورات الستة (التبديل).



الشكل (4) الدارة المكافئة الأحادية الطور للنظام المؤلف مبدلة و فلتر و حمولة

وظيفة دارة قيادة المبدلة هي توليد جهد كهربائي على مخرج المبدلة له مطال و تردد تابعين لنقطة العمل وذلك من خلال ترتيب محدد لوصل وفصل الترانزستورات و كذلك من خلال تحديد الفترة الزمنية التي يكون فيها الترانزستور في حالة وصل. و هذا ما يعرف بنبضات التحكم بالترانزستور. نبضات التحكم هذه تنتج من قبل دارة التحكم.

يظهرالشكل (2) نقاط قياس الكميات المراد التحكم بها لكلا النظامين (المبدلتين). تقدم هذه الكميات المقاسة على شكل قيم ثلاثية الطور لدارة التحكم بالمبدلة. تحسب دارة التحكم من خلال معالجة القيم المقاسة السابقة شعاع قيادة المبدلة (نبضات التحكم بالترانزستورات).

لتقليل من تشوه منحني الجهد ومنحني التيار لخرج المبدلة وكذلك لحجب التردد النبضي للمبدلة والتوافقيات العالية المرافقة لذلك عن الشبكة وعن الحمولات يستخدم فلتر على خرج المبدلة من جهة الشبكة. يظهر الجدول (3) قيم كل من ملف ومكثف الفلتر.

الجدول (3) قيم عناصر الفلتر

الفلتر		
R_F	L_F	C_F
5 mΩ	0,6 mH	80 µF

حددت عناصر الفلتر (فلتر التردد النبضي) كالآتي:

- التحريضية الذاتية من خلال الجهد الهابط المسموح به (5%) و حسب المعادلة التالية $\Delta U = \omega \cdot L_F \cdot I$

- سعة المكثف تحدد من تردد الطنين $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F.C_F}}$ و تردد الطنين بالعلاقة التالية: $f_0 = \frac{f_P}{10}$

f_P التردد النبضي للمبدلة و يساوي 10kHz. يجب الأخذ بعين الاعتبار المقاومة الأومية للفلتر، بالتالي قيمة أصغر للمكثف.

عنصر أخر مهم من عناصر المنشأة هو الكابل الذي يقوم بعملية الوصل بين نقاط وصل الحمولات و المبدلتين. يمثل هذا الكابل من خلال تحريضية ذاتية L_K و مقاومة أومية R_K و كذلك من خلال مكثف C_K و في الجدول (4) أعطيت قيم العناصر لكابل ثلاثي الطور $1\text{-kV-Plastkabel NYY } 3X10mm^2$ طوله 150 متر.

الجدول (4) قيم عناصر الكابل

عناصر الكابل		
L_K	R_K	C_K
0.32 mH/km	1,8 Ω/km	0.45μF/km

كما هو موضح في الشكل (2) يوجد ثلاث نقاط لوصل المستهلكين (الحمولات) و بالتالي يمكن تحميل النظام بحمولات مختلفة في آن واحد. تم وصل محرك كهربائي على خرج كل مبدلة هذا المحرك عبارة عن محرك تحريضي ثلاثي الطور ذو دائر مقصور واستطاعته تساوي 30 كيلوواط . على العقدة الوسطى وصلت حمولة أومية تحريضية متزنة.

يظهر الجدول (5) القيم الاسمية للمحرك التحريضي ثلاثي الطور.

الجدول (5) القيم الاسمية للمحرك التحريضي

المعطيات الفنية لمحرك تحريضي ثلاثي الطور								
U-Y	P_N	I_n	n_n	L_h	L_σ	R_1	$R_2`$	Z_p
400 V	30 kW	56 A	1465 min^{-1}	29,9 mH	2,23 mH	0,1 Ω	0,1 Ω	2

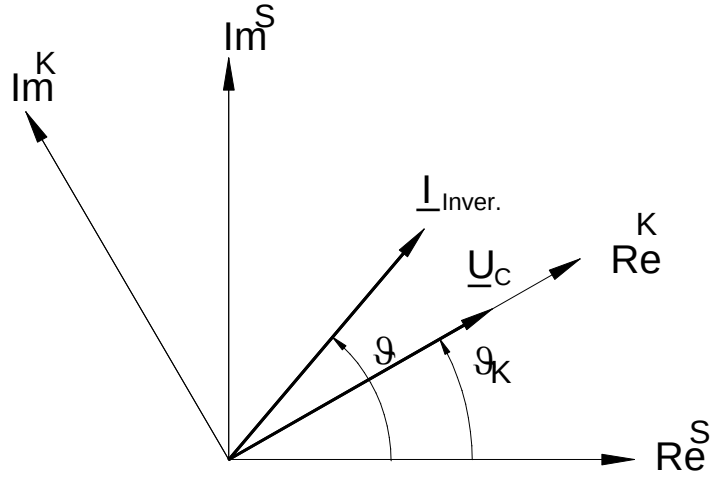
إستراتجية التحكم

وظيفة دارة التحكم هي توليد جهد كهربائي على خرج كل مبدلة بحيث يكون مطال وتردد هذا الجهد تابعاً للحمولة الموصولة مع المنشأة. والهدف من ذلك هو التوزيع المتساوي بين المبدلتين لكل من التيار الفعلي و التيار الردي (استطاعة فعلية و ردية) المستجرين من قبل المستهلكين المربوطين مع الشبكة.

حتى نتمكن من إنجاز دراسة تحليلية لجملة التحكم بالنظام وكذلك من أجل الحصول على فكرة واضحة عن السلوك الديناميكي للنظام المدروس حسب الشكل (3) فإنه من المفيد تحويل النظام إلى دارة مكافئة أحادية الطور كما هو واضح في الشكل (4). يؤثر تيار الحمولة (التيار الفعلي والردي) في دارة التحكم كإشارة تشويش.

كي تتم عملية التحكم بكل من مطال الجهد و تردده من خلال مركبة التيار الفعلي ومركبة التيار الردي للمبدلة بشكل منفصل دون أن يؤثر أحدهما على الأخر يجب تحويل الدارة المكافئة المذكورة سابقاً والمعادلات التفاضلية لجملة التحكم من نظام إحداثيات الثابت (S) إلى نظام الإحداثيات الدوارة K (0-X-Y) الذي يدور بالتواقت مع تردد

جهد خرج المبدلة وشعاع هذا الجهد ينطبق على المحور الأفقي لنظام الإحداثيات الدوارة ، أي إحداثيات موجهة بإتجاه شعاع هذا الجهد كما هو ظاهر في الشكل (5).



الشكل (5) التحويل بين أنظمة الإحداثيات

الهدف من عملية تحويل الكميات الكهربائية المراد التحكم بها من الإحداثيات المقاسة بها و التي تكون فيها هذه الكميات متغيرة مع الزمن إلى إحداثيات دوارة تدور بتردد هذه الكميات الكهربائية: هو الحصول على قيم ثابتة بالنسبة للزمن و لكل كمية مركبتين، بحيث يمكن التحكم من خلال كل مركبة بكمية كهربائية أو ميكانيكية معينة بشكل مستقل عن المركبة الأخرى. مثال في دارة التحكم المشروحة في المقالة: حيث يتم التحكم بمطال جهد الشبكة عن طريق المركبة الفعلية لتيار خرج المبدلة، بينما يتم التحكم بتردد الشبكة من خلال المركبة الردية لتيار خرج المبدلة.

المقصود بالتحكم المنفصل (مستقل) على سبيل المثال أن يتم التحكم بمطال الجهد (التيار الفعلي) بشكل قفزي أوغير قفزي دون أن يؤثر ذلك على دارة التحكم بالتردد (التيار الردي) أي تبقى معزولة عن هذا التغير والعكس صحيح.

تؤدي طريقة تحويل الكميات الكهربائية (تيارات و جهود) من نظام إحداثيات الثابت إلى نظام الإحداثيات الدوارة إلى جعل هذه الكميات المتناوبة كميات مستمرة، هذا الشيء يسهل عملية حساب جملة التحكم و كذلك عملية حساب و تصميم المنظمات [4].

الجهد (U_C) المبين في الشكل (4) يطابق جهد الشبكة عند نقطة الوصل.

طريقة التحكم التي ستذكر في الفقرة 1 تصف توزيع الحمولة بين المبدلتين بالتساوي عند الحمولة الاسمية أو أصغر. أما الطريقة في الفقرة 2 تعالج دارة التحكم في حالة الحمولة الزائدة التي يمكن أن تظهر عند وصل حمولة كبيرة مقارنةً مع استطاعة المبدلتين أو عند فصل هذه الحمولة، مثال على الحمولة الزائدة فترة إقلاع المحرك التحريضي ثلاثي الطور.

1 سلوك دارة التحكم عند الحمولة الاسمية (توزيع الحمولة)

من أجل ضمان التوزيع المتساوي للحمولة (الاستطاعة الفعلية والردية) بين كلتا المبدلتين الموصولتين على التفرع يجب الاستغناء عن فكرة المحافظة على جهد الشبكة ذي مطال وتردد ثابتين بل السماح لهاتين القيمتن بالتغيرضمن مجال سماحية محدد (نسبة مئوية محددة من القيم الاسمية) [5].

هذه السماحية تطابق مجال تغير كل من المطال و التردد بين القيم الاسمية عند العمل على فراغ والقيم الأصغرية عند العمل تحت الحمولة الاسمية.

حسب النورم الألماني **(DIN EN 50160: 2008-11)** يسمح بتغير مطال جهد الشبكة ضمن المجال ±5% و التردد ضمن المجال ±2% . في هذا البحث انطلاقاً من المحافظة على استقرار دارة التحكم و بالتالي النظام ككل تم تحديد مجال تغير كل من مطال الجهد و التردد تجريبياً كالآتي:

يبلغ مقدار انحراف مطال الجهد ΔU عند نقطة الوصل ±5% من القيمة الاسمية للجهد وذلك من خلال علاقة ذات تناسب طردية مع التيار الفعلي I_{AN}. عند العمل على فراغ يكون جهد الشبكة يساوي الجهد الاسمي زائد 5% وعند التيار الاسمي للمبدلة يساوي جهد القيمة الاسمية (U_n) أي تتحدد نقطة عمل المبدلة بحيث تكون قيمة الجهد تساوي القيمة الاسمية عندما يكون تيار الحمولة يساوي 50% من التيار الاسمي.

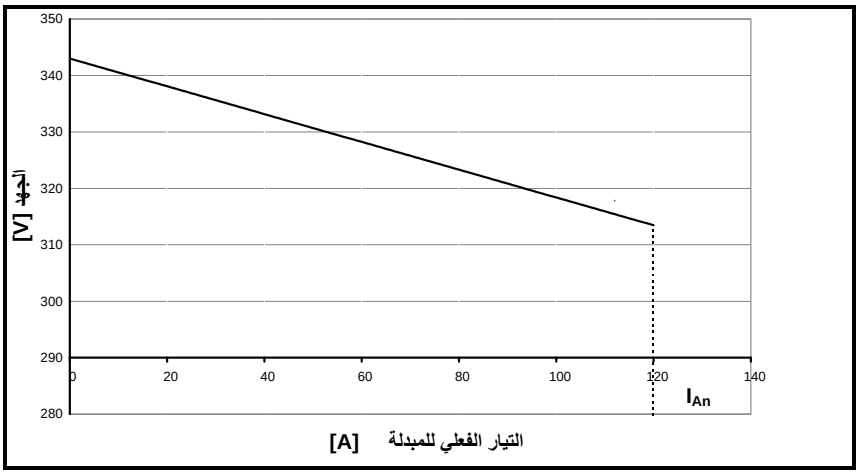
بالمقابل يسمح للتردد بالتغير ضمن مجال وكحد أعظمي 2%. أي التردد يساوي القيمة الاسمية عند الحمولة الاسمية للمبدلة (التيار الردي الاسمي I_{RN}) و عند العمل على فراغ يكون التردد أقل من القيمة الاسمية بمقدار 2%. عند التيار الاسمي يظهر التردد الاسمي.

المعادلتان التاليتان تعطيان القيم المرجعية لكل من المطال و التردد اللازمة لعمل دارة التحكم وذلك تبعاً لقيمة كل من التيار الفعلي والتيار الردي للحمولة.

$$U_{ref.} = U_0 + \Delta U - \frac{I_A}{I_{AN}} \cdot 2\Delta U\%$$

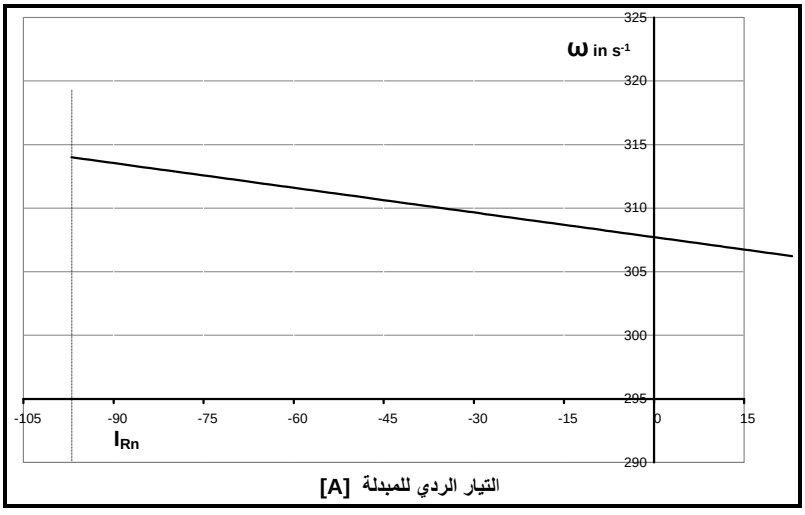
$$\omega_{ref.} = \omega_0 - \Delta\omega + \frac{I_R}{I_{RN}} \cdot \Delta\omega\%$$

يوضح الشكل (6) علاقة جهد نقطة الوصل لكل مبدلة الواجب ضبطه بتيار الحمولة الفعلي. بهذا الشكل يمكن توزيع تيار الحمولة بين المبدلتين بشكل متساوي. القيم المعطاة هي قيم أعظمية.



الشكل (6) منحني الجهد بدلالة التيار الفعلي للمبدلة

الشكل التالي (7) يوضح علاقة تردد جهد خرج المبدلة المطلوب ضبطه بتيار الحمولة الردي و ذلك بهدف توزيع هذا التيار الردي بتساوي بين المبدلتين.



الشكل (7) منحني التردد بدلالة التيار الردي للمبدلة

يظهر الشكل (9) دارة التحكم الكلية بالمبدلة مع دارة تحكم داخلية و خارجية (دارة شلالية). تقاس تيارات المبدلة ($\mathbf{I_{Inver.-1}}$...$\mathbf{I_{Inver.-3}}$) و جهود مكثفات الفلتر ($\mathbf{U_{C1}}$....$\mathbf{U_{C3}}$) ثلاثية الطور في نظام إحداثيات الثابت والتي تحول إلى نظام ثنائي الأطوار (نظام الشعاع الموجة α-β). نقوم بعملية التحويل القطبي للجهد و ذلك بهدف تقديمه لدارة التحكم على شكل مطال و زاوية. المطال هو القيمة الواقعية بالنسبة لمنظم الجهد. مطال الجهد يفلتر عن طريق عنصر تباطؤ درجة أولى **PT1** ومن ثم تقارن هذه القيمة بقيمة مرجعية (حسب المعادلة) وفرق الإشارتين عبارة عن دخل منظم الجهد التناسبي التكاملي، خرج هذا المنظم عبارة عن القيمة المرجعية للتيار الفعلي للمبدلة.

من الزاوية φ_U التي حصلنا عليها من التحويل القطبي للجهد يتم حساب زاوية النسب φ_K بين إحداثيات الثابت والإحداثيات الدوارة ويحسب التردد أيضاً، حيث تقارن الزاوية φ_U مع الزاوية φ_K الفرق يتم فلترته عن طريق

عنصر تباطؤ من الدرجة الأولى **PT1** بعد ذلك يقارن بقيمة مرجعية قيمتها الصفر، على خرج المنظم التناسبي التكاملي **PI** نحصل على التردد الزاوي الذي يقارن بالقيمة 314 **(50Hz)**، الفرق هو عبارة عن التردد الزاوي الحقيقي لخرج المبدلة ، بمكاملة هذا التردد نحصل على الزاوية φ_K. هذا ما يعرف بدارة **PLL** (Phase-Locked-Loop).

دارة **PLL** تحسب الزاوية θ_K اللازمة لعملية تحويل الكميات الكهربائية من نظام الإحداثيات الثابت إلى نظام الإحداثيات الدوارة. . التردد الزاوي يقارن مع القيمة المرجعية (حسب المعادلة) و فرق الإشارتين عبارة عن دخل منظم الجهد التناسبي التكاملي ، خرج هذا المنظم عبارة عن القيمة المرجعية للتيار الردي للمبدلة.

أيضاً تحول تيارات المبدلة ثلاثية الطور إلى نظام ثنائي (المركبات α-β)، بعد إلى نظام الإحداثيات الدوارة الموجة باتجاه شعاع جهد و التي تدور بتردد الشبكة. نتيجة عملية التحويل هذه للتيارات نحصل على مركبتين للتيار حيث أن المركبة $I_{Inver.-X}$ تمثل التيار الفعلي والمركبة $I_{Inver.-Y}$ تمثل التيار الردي الحالي. في هذا النظام جميع الكميات في الحالة المستقرة هي قيم مستمرة (التوافقية الأساسية) .

يحصل منظم الجهد على قيمته المرجعية، كما هو واضح في الشكل (9)، من بلوك محدد التيار (في مجال العمل الاسمي القيم السمية حسب الشكل (6)).خرج دارة التحكم بالجهد هي القيمة المرجعية لمنظم التيار الفعلي. تحسب القيمة الحدية لمطال التيار الفعلي و بالتالي القيمة العظمى للتيار المستجر من المبدلة للطور الواحد حسب المعادلة التالية:

$$I_{A-max(lim\ it)} = \sqrt{I^2_{S-max(\ Nenn)} - I^2_{R-max}}$$

تقاس القيمة اللحظية (الواقعية) للتردد بواسطة دارة الـ PLL ، كما ذكر سابقاً . تعطى القيمة المرجعية للتردد عن طريق محدد التيار، كما هو الحال بالنسبة للقيمة المرجعية للجهد. خرج دارة التحكم بالتردد هي القيمة المرجعية لمنظم التيار الردي.

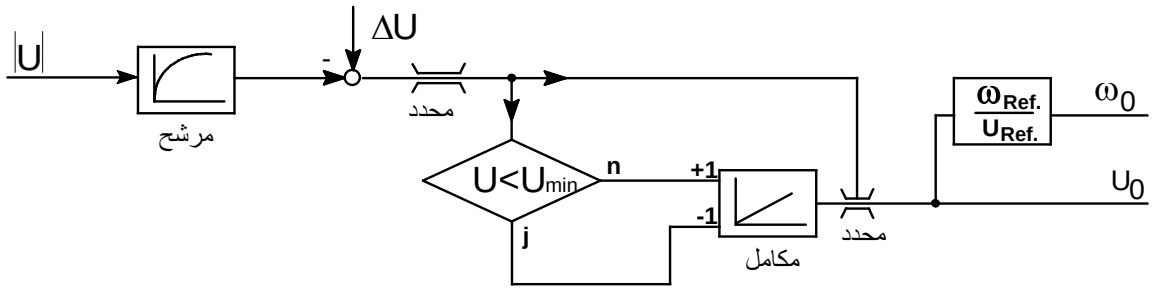
بهذه الطريقة يتم توليد مركبات شعاع جهد التحكم بالمبدلة على خرج منظمي التيارين التناسبيين التكامليين ونحصل على مركبتي (V_{St-X}, V_{St-Y}) في نظام الإحداثيات الدوارة و بعد ذلك يتم تحويلها إلى نظام ثنائي بعدها إلى نظام ثلاثي الطور في إحداثيات الثابت (V_{St1}, V_{St2}, V_{St3}) و التي تقدم لدارة قيادة المبدلة **PWM**. و بالتالي نحصل على جهد خرج المبدلة بحيث تكون قيمة مطاله وتردده متعلقة بالحمولة الموصولة مع الشبكة.

2 دارة التحكم من أجل الحمولة الزائدة

المهمة الأساسية لدارة التحكم في حالة الحمولة الزائدة هي حماية ترانزستورات المبدلة من التيارات العالية. الحالة الأكثر حرجاً بالنسبة للنظام هي إقلاع المحركين التحريضيين الموصولين مع الشبكة بنفس اللحظة. هنا يجب تحديد القيمة الأعظمية المسموحة لارتفاع التيار.

لتحقيق هذه الفكرة فإنه من الضروري خفض المنحنيين في الشكل (6) و (7)، أي إزاحتهما بإتجاه الأسفل. هذه الإزاحة تنفذ من خلال وحدة مركزية لتحديد التيار والتي تعطي القيم المرجعية للجهد وللتردد. هذه الوحدة تكون غير فعالة عند العمل بالقيم الاسمية. ينفذ هذا التحكم من خلال المكامل ومحدد للقيم العليا والدنيا كما هو واضح في الشكل (8). إذا تجاوز التيار قيمته الأعظمية المحددة (150%) و ذلك عندما ينخفض الجهد إلى قيمة أقل من القيمة

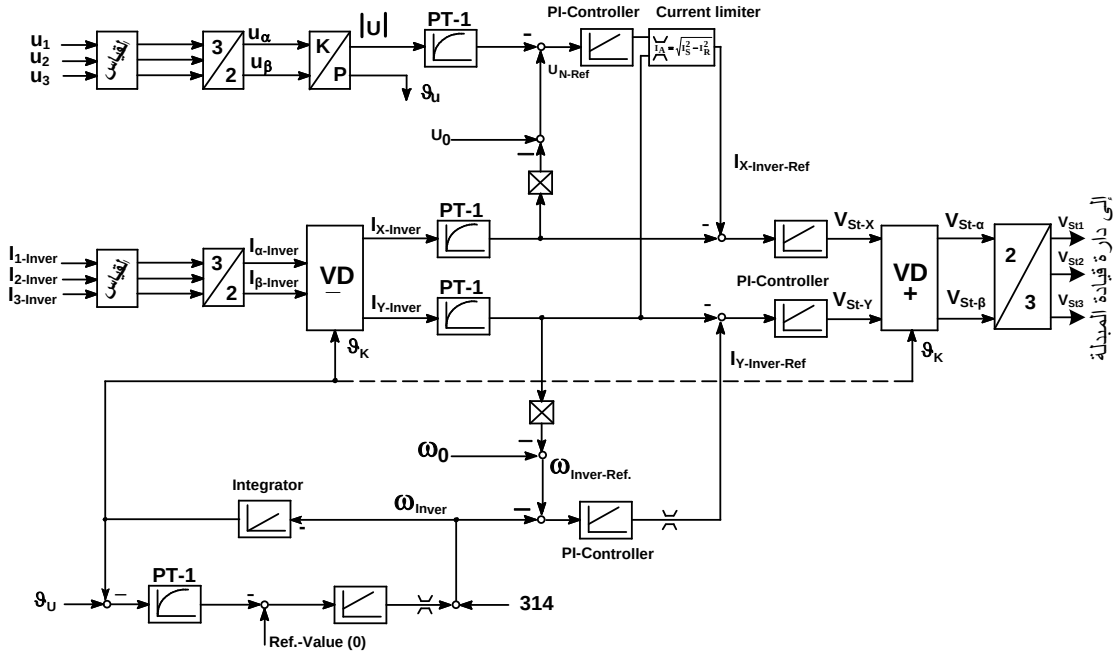
الأصغرية المحددة ، فإن القيمة المرجعية لكل من التردد والجهد تخفض عن طريق عنصر التكامل الذي ثابته الزمني قابل للتعديل (للضبط). نتيجة هذا الإنخفاض للقيم المرجعية يتم خفض قيمة تيار الإقلاع.



الشكل (8) المكامل و المحدد في حالة الحمولة الزائدة

إذا تجاوز التيار القيمة الحدية الأصغرية فإن المكامل يرفع القيم المرجعية إلى الوصول إلى مجال العمل الاسمي وبثابت زمني للتكامل متناسب مع الألة الكهربائية. على مخرج المكامل نحصل بشكل مباشر على القيم المرجعية لمنظم الجهد طبعاً في حالة الحمولة الزائدة. من هذة القيمة المرجعية للجهد ومن عامل نستنتج القيمة المرجعية للتردد. بالتالي نحصل على نسبة ثابتة لـ U/f.

لأنه في الحالات الحدية (إقلاع محركان تحريضيان) سيظهر إنخفاض شديد في منحني الجهد وكذلك الأمر يمكن أن يحدث إنخفاض شديد للتردد.

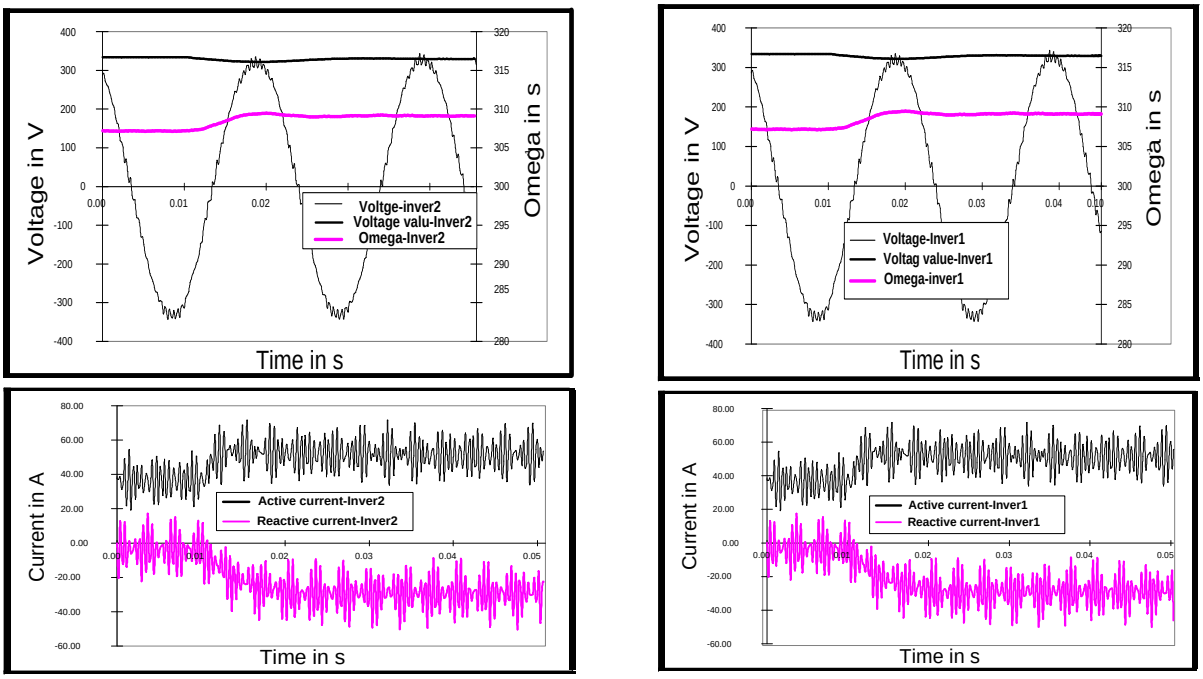


الشكل (9) دارة التحكم بالمبدلة

النتائج والمناقشة:

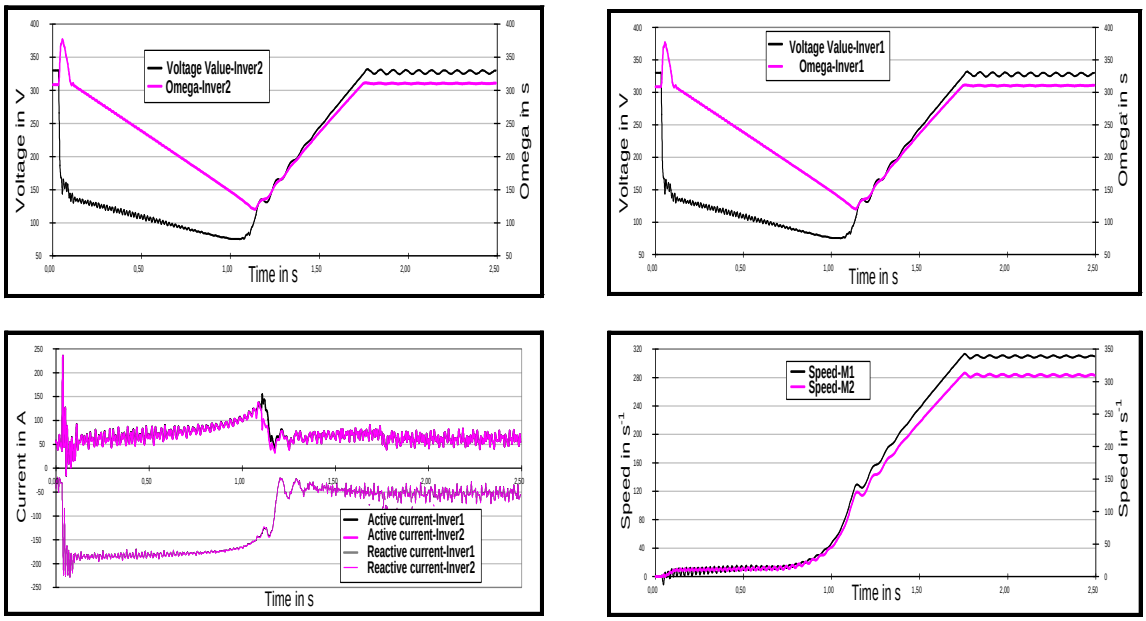
للبرهان على صلاحية مشروع التحكم المقترح فإنه من الضروري دراسة سلوك النظام و استقراره في حالة التغيرات الصغيرة للحمولة و التغيرات الكبيرة للحمولة. يعني المصطلح تغيرات صغيرة للحمولة على سبيل المثال التغير القفزي للحمولة الأومية التحريضية R-L أو تغير الحمولة الميكانيكية على محور المحرك الكهربائي. أما المصطلح تغير كبير للحمولة يعني على سبيل المثال إقلاع المحرك التحريضي الموصول مع الشبكة تحت الحمولة.

الشكل (10) يظهر سلوك كميات التحكم وكذلك التوزيع المتساوي للحمولة بين المبدلتين عند حدوث تغير قفزي للحمولة الأومية (تغير قفزي للتيار الفعلي من 40 أمبير إلى 55 أمبير). هذا يؤدي إلى انخفاض صغير في منحني الجهد و لفترة زمنية 20ms بعدها تستقر قيمة الجهد على قيمة تناسب تيار الحمولة الفعلي الجديد. كذلك الأمر بالنسبة للتردد.



الشكل (10) سلوك كميات التحكم و توزيع الحمولة عند تغير قفزي للحمولة الأومية

الشكل التالي (11) يوضح سلوك كامل النظام عندما يتم إقلاع المحركين التحريضين الموصولين مع الشبكة بآن واحد. حيث إنه يتم إقلاع المحركين تحت الحمولة (على كل محور محرك يوجد حمولة مقدارها 50 N.m). أثناء عملية الإقلاع ينخفض كل من جهد و تردد المبدلتين بشكل كبير و ذلك لتمكين المحركين القيام بعملية الإقلاع. كما هو واضح في الشكل تصل قيمة الجهد أثناء الإقلاع حتى القيمة 55 فولت (قيمة فعالة). التوزيع المتساوي لكل من التيار الفعلي و الردي بين المبدلتين فهو واضح.



الشكل (11) سلوك النظام الكلي في أثناء إقلاع المحركان التحريضيان

الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت النتائج التي عرضت في الفقرة السابقة بأن بناء نظم التغذية بالطاقة الكهربائية اللامركزية (الشبكات معزولة) ممكن من خلال عمل عدة مبدلات موصولة على التفرع والتي تخدم كعناصر مولدة للطاقة الكهربائية. هذا الشيء يتحقق باستخدام إلكترونيات القدرة الحديثة وكذلك باستخدام طرق تحكم و قيادة جيدة تستطيع السيطرةعلى الوصل التفرعي للمبدلات.

إن توزيع الحمولة بالتساوي بين المبدلات قابل للتحقق بتطبيق استراتجية التحكم المشرحة سابقاً بغض النظر عن المسافة التي تفصل بين الحمولة وكل مبدلة (لا يتعلق بمكان العقدة التي تؤخذ منها الاستطاعة).

إن تأمين التغذية الكهربائية للمستهلكين الموصولين مع الشبكة مضمون حتى في حالة التحمل الزائد. عند الحمولة العادية يمكن المحافظةعلى مجال السماحية المعطى لكل من جهد و تردد الشبكة (عدم تجاوز المجال). كذلك الأمر في حالة الحمولة الزائدة إمكانية التقيد بمجال السماحية المحدد لهذه الحالة مع إمكانية إقلاع محركات كبيرة.

يوصى بتطبيق إستراتيجية التحكم السابقة في الشبكات اللامركزية ، خاصة التي تكون فيها منابع الطاقة هي الطاقة الشمسية ، حيث أن النتائج دلت على صلاحيتها بالسيطرة على الوصل التفرعي للمبدلات وعلى إمكانية توزيع استطاعة الحمولة أكانت كبيرة أم صغيرة بالتساوي بين المبدلات.

المراجع:

1. LANGE, A. Dezentrale Enegieversorgungssysteme. VDM Verlag Dr. Mueller, Germany, 2008, 296
2. YE-Z; BORYREVICH, D.; CHOI, J-Y.; Lee, F.C.: *Control of Circulating Current in Tow parallel Three-Phase Boost Rectifiers.* IEEE Tans. On Power Electronics, Vol 17, No. 5, September 2002, pp. 609-614
3. SPECOVIUS, J. *Grundkurs Leistungselektronik*. Vieweg+ Teubner, Germany, 2009, 356
4. ELLINGER, T. Entwicklung eines hybriden Kompensatorkozeptes fuer einen Drehstromlichtbogen-ofen. Dissertation. Oktober 2003 TU Ilmenau.
5. HAUCK, M. *Bildung eines dreiphasigen Inselnetzes durch unabhaegige Wichselrichter in Parallel-betrieb*. Dissertation . November 2002, Elekrotechnisches Institut, Uni Kalrsruhe