مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (4) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (4) 2011

تطوير دارة تحكم بالتوافقيات العالية في شبكة معزولة بواسطة قالبة رباعية الأطوار

الدكتور كمال جوني*

(تاريخ الإيداع 4 / 4 / 2011. قُبِل للنشر في 19 / 7 / 2011)

□ ملخّص □

في الوقت الحالي ينتشر استخدام الشبكات الكهربائية المعزولة للإمداد بالطاقة الكهربائية وخاصة في المناطق البعيدة عن مراكز المدن، حيث تكون مصادر الطاقة هي الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح.

من أكبر المشكلات التي تواجه الشبكات الكهربائية المعزولة هي الحمولات غير المتزنة التي تسبب عدم تناظر في جهود أطوار هذه الشبكات. ونتيجة الاستخدام المتزايد لإلكترونيات القدرة في جميع المجالات الصناعية، والمنزلية تنشأ التوافقيات العالية في جهود هذه الشبكات.

من خلال استخدام قالبة رباعية الأطوار، وإستراتيجية تحكم بالتوافقيات العالية للنظام المباشر، والنظام المعاكس، وكذلك التحكم بالتيار المار في الخط الحيادي (النظام الصفري)– نتيجة الحمولة غير المتزنة– عن طريق الطور الرابع للقالبة؛ نحصل على جهد ثلاثي الطور، متناظر، يكون محتوى التوافقات فيه ضمن الحد المسموح به.

الكلمات المفتاحية: شبكة معزولة، جودة الطاقة، قالبة إلكترونية رباعية الأطوار، التوافقيات العالية، الطاقة المتجددة.

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (4) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (4) 2011

Implementation of Regulation of the Harmonic in With a 4-phase Inverter

Dr. Kamal Jony*

(Received 4 / 4 / 2011. Accepted 19 / 7 / 2011)

□ ABSTRACT □

Currently it become common to use isolated electrical networks, and especially for the areas which are far from urban centers.The renewable energies, like solar and wind energy are suitable there.

One of the biggest problems facing the isolated electrical networks is unbalanced loads, which cause unsymmetry in the three-phase voltage of the network. As a result of the increasing of use of power electronics in houses and all aspects of industry, then high harmonics arise in the voltage of these networks.

Through the use of a 4 phase inverter with a control strategy of harmonics in the positive- sequence system and the negative- sequence system and current control, which flows in the neutral line- by the fourth phase of inverter- we get a symmetrical three-phase voltage with harmonics content at the allowed limits.

Keywords: Isolated Network, Power Quality, electronic Inverter with 4 Phase, Harmonics, Renewable Energy.

* **Assistant Professor, Maritime Department, faculty of mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**

مقدمة:

تستخدم الشبكة المستقلة (المعزولة) في المناطق التي لا يمكن فيها إنشاء شبكة كهربائية، أو لأنها غير اقتصادية. في الوقت الحالي يوجد الكثير من البلدان المتقدمة التي تتجه لجعل أنظمة التغذية بالطاقة الكهربائية أنظمة لا مركزية (شبكات معزولة)، هذا يتطلب إنشاء شبكات معزولة. يجب أن تقوم هذه الشبكات بتأمين التغذية الكهربائية لحمولات ثلاثية الطور، وحمولات أحادية الطور، فتحمل هذه الشبكات بحمولات غير متزنة. إذاً يجب أن تملك هذه الشبكات نقطة نجمية قابلة للتحميل، وكذلك لها نفس خصائص الشبكات الكهربائية العامة [1].

من الإمكانات المتاحة لإنشاء شبكة كهربائية معزولة استخدام مبدلة إلكترونية Inverter (قالبة)، تملك أربعة أطوار. تستخدم مصادر الطاقات البديلة مثل طاقة الرياح، والطاقة الشمسية، بشكل متزايد؛ لإنتاج الطاقة الكهربائية التي تقدم إلى المستهلكين بالمبدلات الإلكترونية.

تسبب الحمولات، غير المتزنة (غير المتناظرة)، الموصولة بالشبكة، مرور تيار عدم التناظر في الخط الحيادي، أو ما يسمى بتيار النظام الصفري الذي يقود إلى عدم تناظر في جهود الحمولة. تنشأ التوافقيات العالية في الشبكات الكهربائية إمّا من خلال مستهلكين غير خطين مثل المحولات، والمصابيح الغازية، وإمّا بسبب الاستخدام المتزايد لإلكترونيات القدرة، وكذلك من خلال الأجهزة المنزلية [2].

النقطة الأساسية لهذا العمل هي دراسة التوافقيات العالية للجهد، ووضع إستراتيجية تحكم تقوم بعملية تخفيض مستوى هذه التوافقيات بشكل فعال بحيث تكون قيمتها ضمن المعايير المسموح بها.

أهمية البحث وأهدافه:

تقود الحمولات غير المتناظرة إلى نظام غير متناظر. في الأنظمة ثلاثية الأطوار (ثلاثية النواقل) يمكن التحكم فقط بالنظام المباشر، وبالنظام المعاكس. يستخدم الطور الرابع (الناقل الرابع) في مبدلة رباعية الأطوار؛ للتحكم بالنظام الصفري. يهدف البحث إلى:

- التحكم بالجهد في النظام الصفري
- خفض محتوى التوافقيات العالية في جهود الخرج u_R, u_S, u_T
- جعل جهود الشبكة متناظرة
- وضع إستراتجية تحكم ليس فقط للنظام الصفري، وكذلك للنظام المباشر، والمعاكس.

سيبرهن على صلاحية دارات التحكم من خلال النتائج التي ستظهر في نهاية البحث.

طرائق البحث، ومواده:

بدايةً يوضع النموذج الرياضي لعناصر النظام كلها في نظام إحداثيات ثابت، ثم يحسب هذا النموذج الرياضي في نظام الإحداثيات الدوارة، الذي يدور بالتزامن مع تردد الشبكة. بعد ذلك توضع دارات التحكم بالجهود بحسب الأهداف المذكورة سابقاً. حيث تتم في البداية محاكاة كامل النظام؛ باستخدام برنامج Matlab/Simulink، ومن ثم تطبيق إستراتيجية التحكم على منشأة مخبرية في جامعة إلميناو التقنية (ألمانية)، في قسم هندسة الطاقة الكهربائية. في النهاية نقوم بعرض النتائج التي حصلنا عليها من المنشأة المخبرية، وهذه النتائج ستؤكد صلاحية إستراتجية التحكم المقترحة.

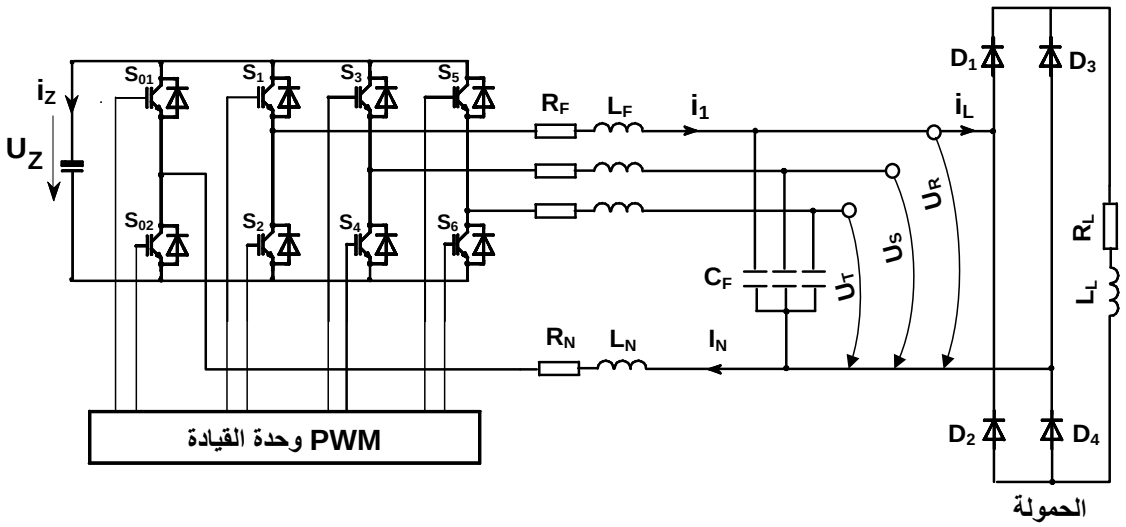
وصف النظام

يتألف النظام المدروس، كما هو واضح، في الشكل (1)، من مبدلة تيار ترانزستورية IGBT، رباعية الأطوار، وفلتر (L_F, R_F, C_F)، ومن تحريضية ذاتية للناقل الصفري L_N، مع مقاومة أومية R_N، ودارة ثانوية DC. الحمولة مقوم ديودي، جسري، أحادي الطور، موصول بين الطور R والخط الحيادي. يوصل على خرج المقوم حمولة أومية، تحريضية L_L-R_L. تقاس تيارات الفلتر ثلاثية الطور، وجهود خرج المبدلة، ثلاثية الطور، وتقدم لدارة التحكم التي تقوم بحساب إشارات التحكم بالمفاتيح الإلكترونية للمبدلة IGBT.

معطيات المنشأة المخبرية:

- مبدلة تيار IGBT، رباعية الأطوار، نوع Semikron SKM 300GB 125D, I_{max}= 210A.
- مكثف الدارة الثانوية، نوع Cornell Dubilier DCMC472 T 450 DE28 ,4,7μF, 450V، نصل مكثفين على التسلسل، فيكون جهد الدارة الثانوية U_{ZK}=900V.
- الفلتر $L_F = 0.5mH, R_F = 0.9\Omega, C_F = 30\mu F$.
- الناقل الحيادي $L_N= 0.5mH, R_N = 0.9\Omega$,.
- الحمولة مقوم ديودي، نوعSemikron Semipont SKD 82/16، I_D =54A.
- المقاومة الأومية للحمولة $R_L = 13.4\Omega$ التحريضية الذاتية للحمولة $L_L = 20mH$.

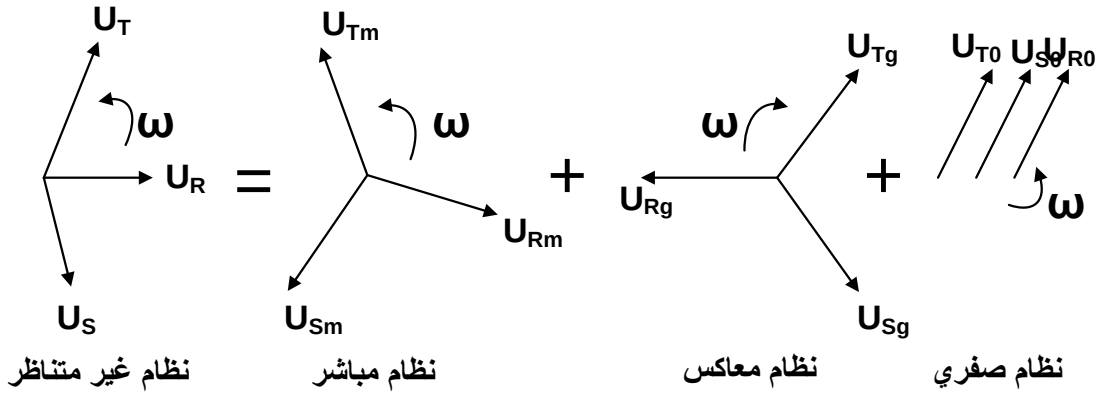
لتوليد جهد الدارة الثانوية المستمر؛ يستخدم منبع جهد مستمر، قابل للضبط، ضمن المجال 150V-710V.



الشكل (1) دارة شبكة معزولة مع قالبة تيار، وحمولة غير متناظرة

إستراتجية التحكم

تتألف دارة التحكم من دارتين، دارة للتحكم بالنظام المباشر والنظام المعاكس، ودارة منفصلة للتحكم بالنظام الصفري. يمكن استبدال ثلاثة أنظمة متناظرة، متزنة، بنظام ثلاثي الأطوار، غير متناظر، كما هو واضح في الشكل (2) [3]. النظام الذي يدور عكس عقارب الساعة يسمى النظام المباشر أما النظام الذي يدور مع عقارب الساعة فيسمّى نظاماً معاكساً.



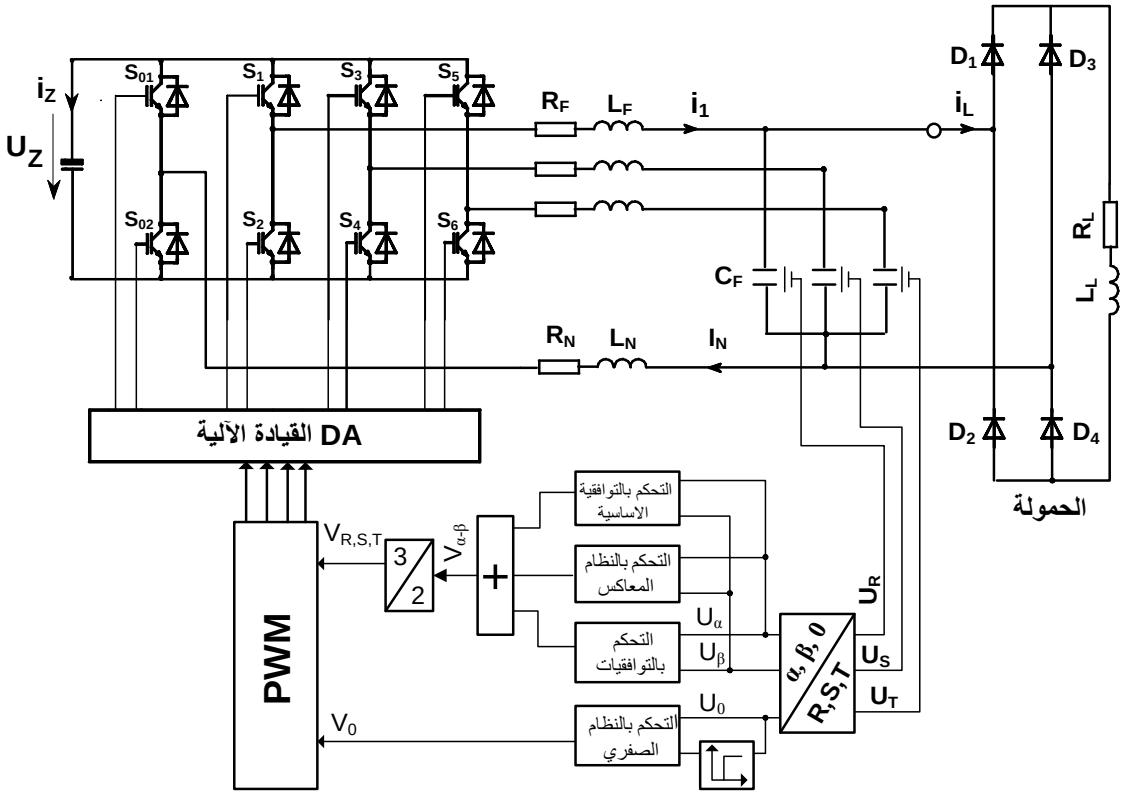
الشكل (2) تحليل النظام ثلاثي الطور غير المتناظر إلى ثلاثة أنظمة متناظرة

شعاع الكمية لا يتألف فقط من التوافقية الأساسية لشعاع النظام المباشر، بل يحوي أيضاً شعاع النظام المعاكس؛ لذلك يتم التحكم بالنظام المباشر، والنظام المعاكس، من خلال التوافقية الأساسية للشعاع. أيضاً يتم التحكم بالتوافقيات العالية في شعاع الكمية للنظام المباشر، والنظام المعاكس.

الشكل (3) يظهر مبدأ دارة التحكم البسيطة. بداية يتم تحويل جهود الشبكة من نظام ثلاثي الأطوار u_R, u_S, u_T إلى نظام ثنائي الأطوار (α-β-0)؛ أي نظام الشعاع الموجّه. بعد ذلك يتم تحويل الشعاع الموجّه (α-β-0) إلى نظام الإحداثيات الدوارة الذي يدور بتردد الشبكة f. الهدف من علبة التحويل هذه هو الحصول على مركبات (d, q)، لها قيم ثابتة بالنسبة إلى الزمن ضمن نظام الإحداثيات الدوارة. يقدم الكميات المحولة بعد ذلك إلى المنظم التناسبي التكاملي PI بوصفها قيماً فعلية (الكميات المراد التحكم بها). قبل إعطاء وحدة قيادة المبدلة القيم المرجعية المحسوبة على خرج المنظمات في نظام الإحداثيات الدوارة، يجب تحويلها إلى نظام الإحداثيات الطبيعية، في النهاية تحول من التطام الثنائي إلى التطام الثلاثي الأطوار:

$$\vec{V} = V_\alpha + j \cdot V_\beta \Rightarrow \ V_R, V_S, V_T \qquad (1)$$

هذه الكميات تقدم للمعدل Modulator، وذلك من أجل توليد جهود ثلاثية الأطوار على خرج القالبة، وذلك من خلال تحديد لحظة فصل، المفاتيح الإلكترونية للقالبة، ولحظة وصلها.



الشكل (3) إستراتيجية التحكم بقالبة رباعية الأطوار

طريقة التحكم بالنظام الصفري تشبه دارة التحكم بالنظام المباشر، والنظام المعاكس؛ أي يجب القيام بعملية تحويل الكميات إلى نظام الإحداثيات الدوارة. هنا نواجه مشكلة أنه في النظام الصفري لا يوجد سوى طور واحد، كي نتمكن من القيام بعملية التحويل إلى نظام الإحداثيات الدوارة؛ نحتاج إلى كميتين جيبيتين منزاحتين عن بعضهما بمقدار 90^o (α, β).

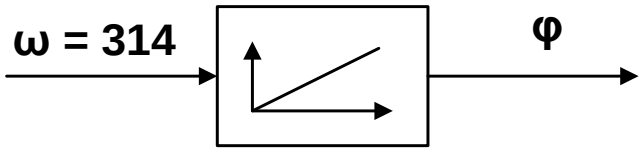
كما ذكرنا المركبة الصفرية مركبة متناوبة واحدة، لبناء المركبة الثانية الضرورية لعملية التحويل؛ يتم قياس المركبة الصفرية مرة ثانية، ولكن بتأخر زمني عن القياس الأول لنفس المركبة، مقداره $\frac{1}{4}\cdot\mathbf{T}$، فنحصل على (α, β) مركبتين منزاحتين عن بعضهما، بزاوية مقدارها 90^0. كما هي الحال في دارة التحكم السابقة يتم تدوير هاتين المركبتين في نظام الإحداثيات الدوارة، ومن ثم تقديمها إلى المنظم. على خرج المنظم تتم عملية التحويل العكسي للمركبتين (في الإحداثيات الطبيعية)، ولكن نحتاج إلى مركبة واحدة فقط تقدم إلى مدخل المعدل الذي يقوم من خلال هذه المركبة بقيادة الطور الرابع للمبدلة (عملية فصل المفتاحين الإلكترونيين ووصلهما IGBTs). الشرح التفصيلي سيأتي لاحقاً.

دارة التحكم بالنظام المباشر والمعاكس

جملة التحكم هي شبكة مستقلة، لذلك لا يمكن الحصول على الزاوية المرجعية φ من التوافقية الأساسية لجهد الشبكة من خلال دارة PLL (Phase-Locked-Loop)، كما هي الحال في الشبكات العامة. تعرف الزاوية φ بالمعادلة الآتية:

$$\varphi = \int \omega \cdot dt = \int 2 \cdot \pi \cdot f \cdot dt \qquad (2)$$
$$f = 50Hz$$

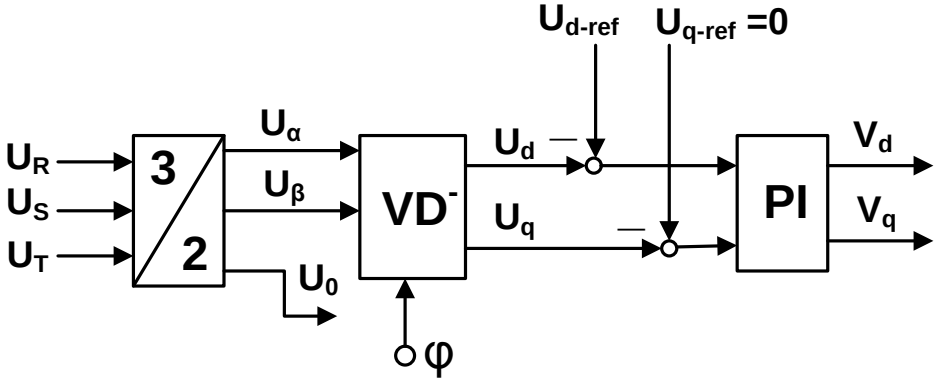
تستخدم الزاوية φ في دارة التحكم من أجل عملية تحويل الكميات الكهربائية من نظام الإحداثيات الثابتة إلى نظام الإحداثيات الدوارة، وبالعكس. يوضح الشكل (4) عملية حساب هذه الزاوية.



الشكل (4) توليد زاوية الطور φ

التوافقية الأساسية

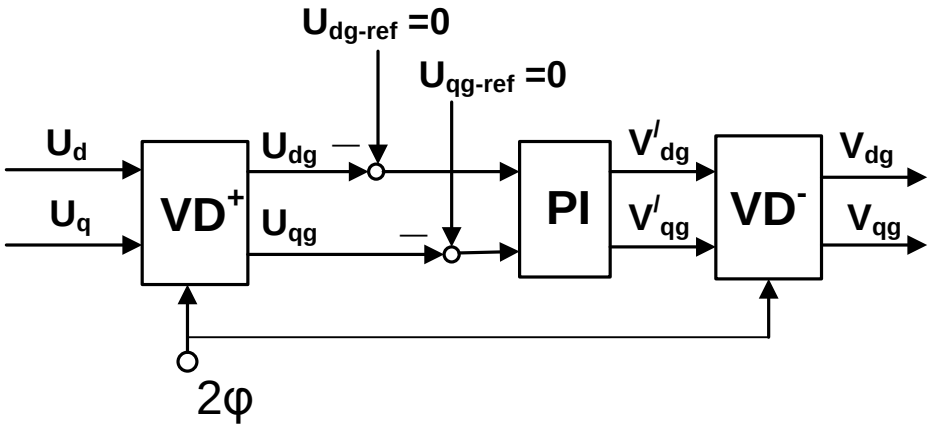
يظهر الشكل (5) دارة التحكم بالتوافقية الأساسية للنظام المباشر. تحول المركبتان α, β، لجهد الشبكة، باستخدام زاوية الطور φ إلى مركبتين q, d، التي هي كميات ثابتة في نظام الإحداثيات الدوارة. القيمة المرجعية $U_{d-ref.}$ هي القيمة الاسمية لجهد الشبكة التي نسعى إليها. في الشبكة العامة تكون قيمة جهد الخط (الجهد بين طورين) تساوي U_L=400V. يجب أن تملك الشبكة المستقلة خصائص الشبكة العامة نفسها تقريباً. لذلك اختيرت القيمة المرجعية لجهد الطور (الجهد بين الطور والأرض) $U_{d-ref.}$=230V، والقيمة المرجعية للمركبة العرضية قيمة الصفر $U_{d-ref.}$=0.



الشكل (5) دارة التحكم بالتوافقية الأساسية

النظام المعاكس

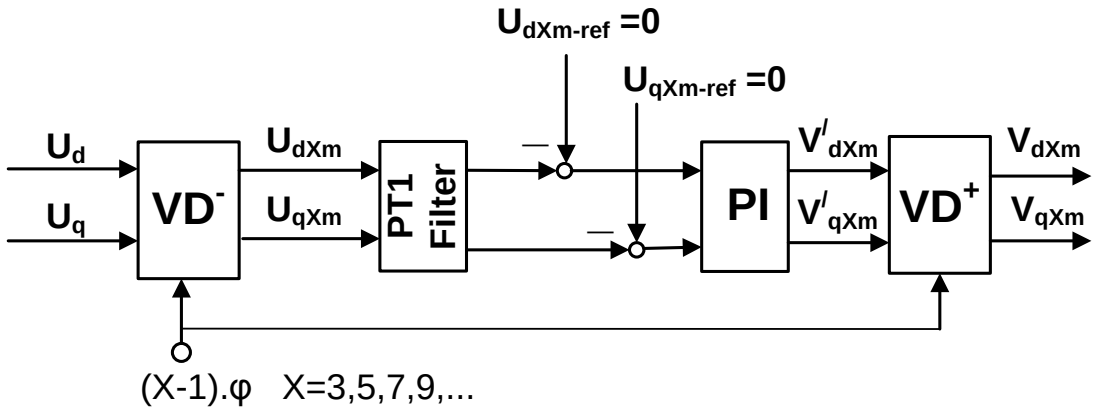
من أجل التحكم بالنظام المعاكس تعد مركبتا الجهد q, d في النظام المباشر كميات دخل في دارة التحكم بالنظم المعاكس. للحصول على كميات ثابتة القيمة مع الزمن في النظام المعاكس يجب تدوير كميات الدخل U_q, U_d، باتجاه دوران عقارب الساعة، بزاوية مقدارها 2φ، فنحصل على المركبتين U_{dg}, U_{qg} الثابتتين، اللتين هما القيمتان الحقيقيتان المقدمتان للمنظم التناسبي التكاملي IP. القيمتان المرجعيتان لمركبتي الجهد في النظام المعاكس تساويان الصفر. في النهاية يتم تحويل إشارتي خرج المنظمين من الإحداثيات الدوارة إلى الإحداثيات الثابتة، وبعدها تقدمان إلى وحدة قيادة المبدلة، كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (6) دارة التحكم بالنظام المعاكس

التوافقيات العالية

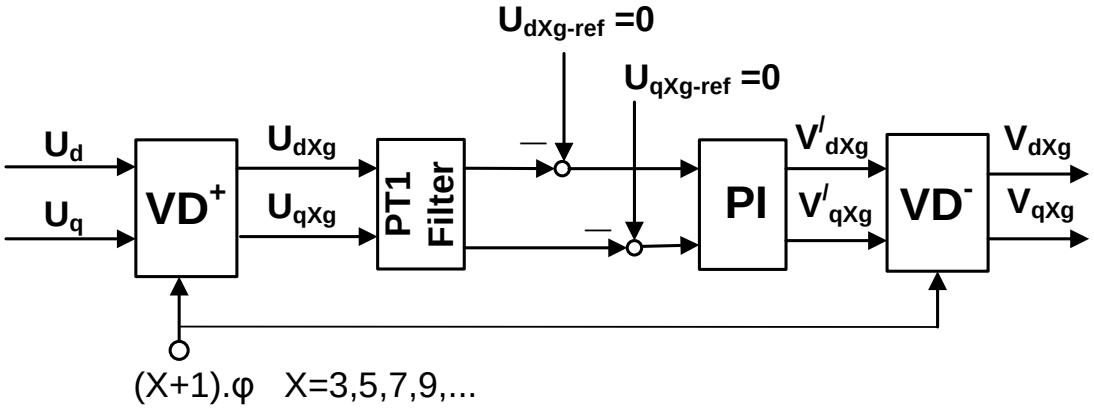
إضافة إلى التحكّم بالتوافقية الأساسية يتم التحكم بالتوافقيات العالية، وذلك لجعل قيمة هذه التوافقيات ضمن المجال المسموح به. طريقة عمل دارة التحكم بالتوافقيات سيشرح على التوافقية X في النظام المباشر، انظر الشكل (7). في الإحداثيات الدوارة q-d للنظام المباشر تظهر التوافقية كشعاع يدور بتردد يساوي (X-1) ضعف التردد الأساسي. يدور هذا الشعاع بمساعدة VD^- (Vector Rotator)، بزاوية مقدارها (X-1)ωt. تظهر مركبات التوافقية X بعد عملية تدوير الإحداثيات بوصفها كميات ثابتة بالنسبة إلى الزمن، على خرج VD^-، من خلال عنصر تباطؤ من الدرجة الأولى PT-1 (مرشح)، يتم فصل هذه المركبات المستمرة للتوافقية X عن باقي المركبات.هذه المركبات الكميات المراد تنظيمها التي تقارن مع القيم المرجعية (ref. value = 0). الفرق بين القيمتين يقدم إلى المنظم التكاملي التناسبي PI الذي يعمل على تنظيمه. من خلال VD^+ يتم إعادة تدوير قيم التحكم على خرج المنظم إلى الإحداثيات q-d للنظام المباشر. في النهاية تضاف كميات التحكم بالتوافقيات العالية في النظام المباشر إلى جهد قيادة القالبة.



الشكل (7) دارة التحكم بالتوافقيات العالية في النظام المباشر

في الإحداثيات الدوارة q-d للنظام المعاكس تظهر التوافقية X كشعاع يدور بتردد يساوي (X+1) ضعف التردد الأساسي. يدور هذا الشعاع بمساعدة VD^+ (Vector Rotator)، بزاوية مقدارها (X+1)ωt. الشكل (8)

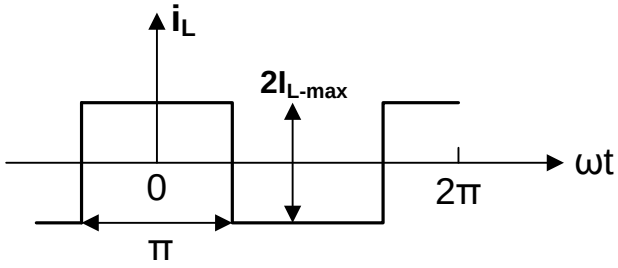
يوضح دارة التحكم بالتوافقيات العالية في النظام المعاكس. وكما هي الحال في دارة التحكم السابقة يتم إعادة تدوير قيم التحكم على خرج المنظم إلى الإحداثيات الدوارة للنظام المعاكس الذي يضاف إلى إشارة جهد قيادة القالبة.



الشكل (8) دارة التحكم بالتوافقيات العالية في النظام المعاكس

دارة التحكم بالنظام الصفري

في هذا البحث الحمولة مقوم جسري، ديودي، أحادي الطور، وعلى خرجه وصل مستهلك أومي، تحريضي R-L. بافتراض أن التحريضية الذاتية للملف L كبيرة جداً، ولهذا يمكن اعتبار الملف منبعاً للتيار. شكل منحني تيار الحمولة i_L على خرج القالبة يكون تياراً متناوباً على شكل نبضة مستطيلة، كما هو واضح في الشكل (9).



الشكل (9) منحنى تيار الحمولة

بإجراء تحليل فوري على تيار الحمولة السابق؛ نحصل على المعادلة الآتية:

$$\mathbf{i_L} = \frac{4}{\pi}\cdot \mathbf{i_{max-L}} \cdot \left\{ \mathbf{cos}(\omega t) - \frac{1}{3}\mathbf{cos}(3\omega t) + \frac{1}{5}\mathbf{cos}(5\omega t) - \frac{1}{7}\mathbf{cos}(7\omega t) + \frac{1}{9}\mathbf{cos}(9\omega t) \pm \ldots \right\} \quad (3)$$

تيار الحمولة هذا يمر في الخط الحيادي $i_L=i_0$، ويسبب هبوط جهد على ممانعة الخط الحيادي، هذا الهبوط يتعلق بقيمة التيار المار في الخط الحيادي، كما هو واضح في المعادلة (4).

$$u = Z \cdot i \quad (4)$$

فيسبب هذا التيار ذو النبضة المستطيلة توافقيات عالية في الجهد في النظام الصفري. كما تم شرحه سابقاً فإن المركبة β للنظام الصفري تولد من خلال إزاحة مقدارها π/2. علماً أن الدور يساوي 2π.

$$\mathbf{i}_{0\beta}=\frac{4}{\pi}\cdot\mathbf{i}_{\mathbf{max-L}}\cdot\left\{\begin{array}{l}\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)-\frac{1}{3}\cos\left(3\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)\right)+\frac{1}{5}\cos\left(5\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)\right)-\frac{1}{7}\cos\left(7\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)\right)\\+\frac{1}{9}\cos\left(9\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)\right)\pm\ldots\end{array}\right\}$$

(5)

من المعادلة (5) نستنتج المعادلتين الآتيتين:

$$\mathbf{i}_{0\beta}=\frac{4}{\pi}\cdot\mathbf{i}_{\mathbf{max-L}}\cdot\left\{\sin(\omega t)+\frac{1}{3}\sin(3\omega t)+\frac{1}{5}\sin(5\omega t)+\frac{1}{7}\sin(7\omega t)+\frac{1}{9}\sin(9\omega t)\pm\ldots\right\} \quad (6)$$

$$\mathbf{i}_{0\alpha}=\frac{4}{\pi}\cdot\mathbf{i}_{\mathbf{max-L}}\cdot\left\{\cos(\omega t)-\frac{1}{3}\cos(3\omega t)+\frac{1}{5}\cos(5\omega t)-\frac{1}{7}\cos(7\omega t)+\frac{1}{9}\cos(9\omega t)\pm\ldots\right\} \quad (7)$$

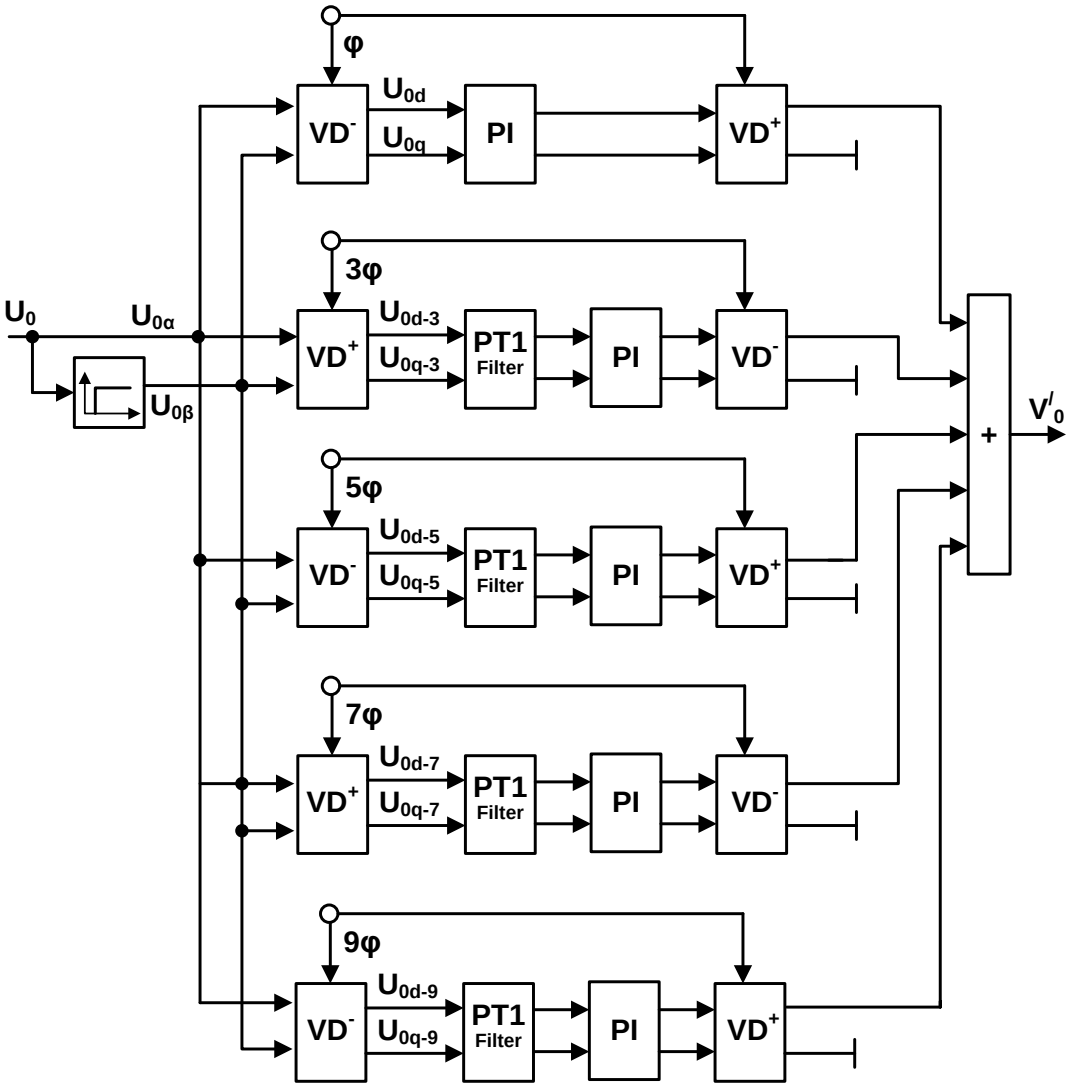
شعاع لتيار الصفري يتألف من مركبتين (β, α):

$$\underline{\mathbf{i}}_0=\mathbf{i}_{0\alpha}+\mathbf{j}\cdot\mathbf{i}_{0\beta} \quad (8)$$

بتعويض المعادلتين (5) و(6) في المعادلة (7) نحصل على المعادلة الآتية:

$$\underline{\mathbf{i}}_0=\frac{4}{\pi}\cdot\mathbf{i}_{\mathbf{max-L}}\cdot\left(\mathbf{e}^{\mathbf{j}\omega t}-\frac{1}{3}\mathbf{e}^{-\mathbf{j}3\omega t}+\frac{1}{5}\mathbf{e}^{\mathbf{j}5\omega t}-\frac{1}{7}\mathbf{e}^{-\mathbf{j}7\omega t}+\frac{1}{9}\mathbf{e}^{\mathbf{j}9\omega t}\pm\ldots\right) \quad (9)$$

تظهر المعادلة (9) أن التوافقية الثالثة والسابعة تشكلان نظاماً معاكساً، على حين التوافقية الخامسة والتاسعة تشكلان نظاماً مباشراً. الشكل (10) يصف دارة التحكم بالنظام الصفري. فقط المركبة d من خرج لمنظمات تقدم إلى جملة قيادة المبدلة (معدل عرض النبضة PWM).

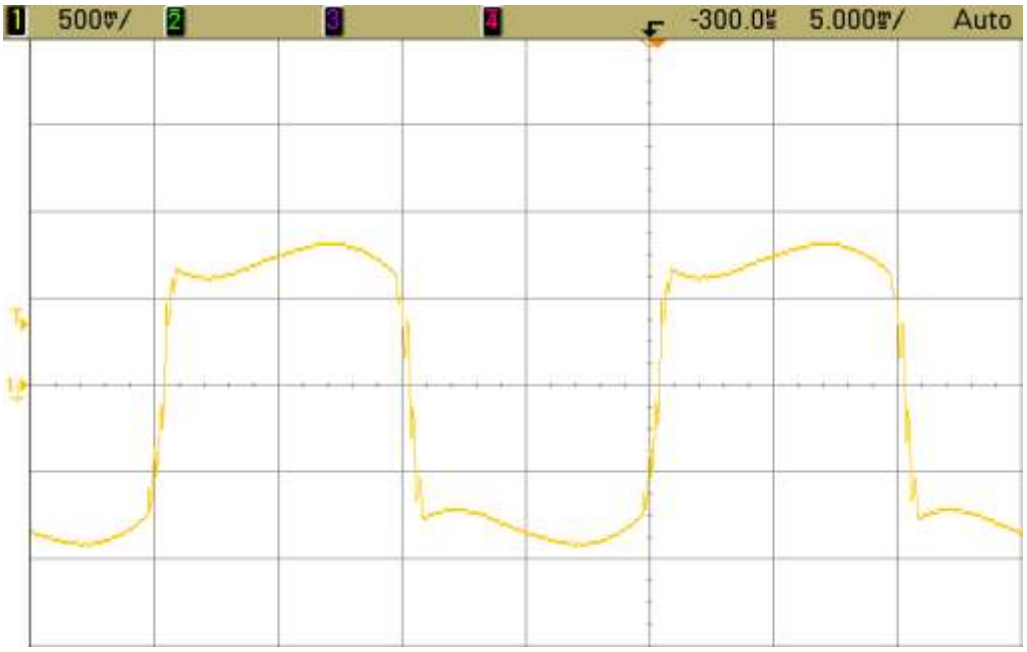


الشكل (10) دارة التحكم بالنظام الصفري

النتائج والمناقشة:

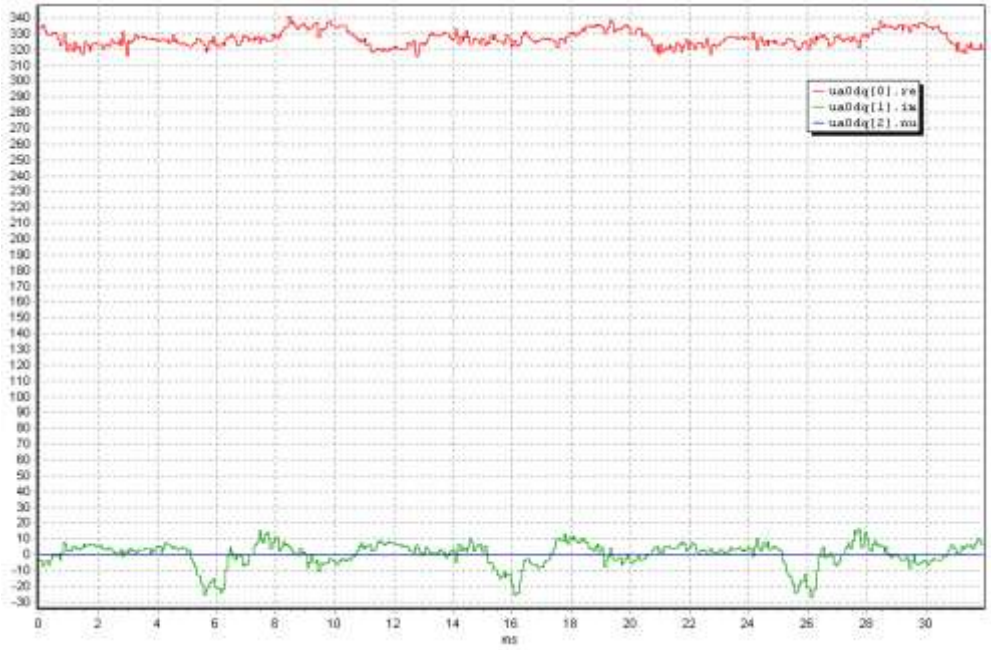
للبرهان على صلاحية دارات التحكم السابقة وفعاليتها، تم تطبيقها على المنشأة المخبرية الموصوفة سابقاً. تقدم الشبكة الكهربائية جهد خط–خط، مقداره U=400V، ولهذا يجب أن تكون القيمة العظمى لجهد خط–حيادي Umax = 327V. جهد الدارة الثانوية (جهد مستمر) يجب أن يكون ضعف قيمة جهد خرج القالبة. في المنشأة المخبرية اختير جهد الدارة الثانوية U_Z = 670V.

الشكل (11) يبين شكل تيار الحمولة على خرج القالبة. من الشكل يتضح أن التيار ليس على شكل نبضة مستطيلة 100%. ولأن قيمة التحريضية الذاتية للحمولة ليست كبيرة بشكل كاف.

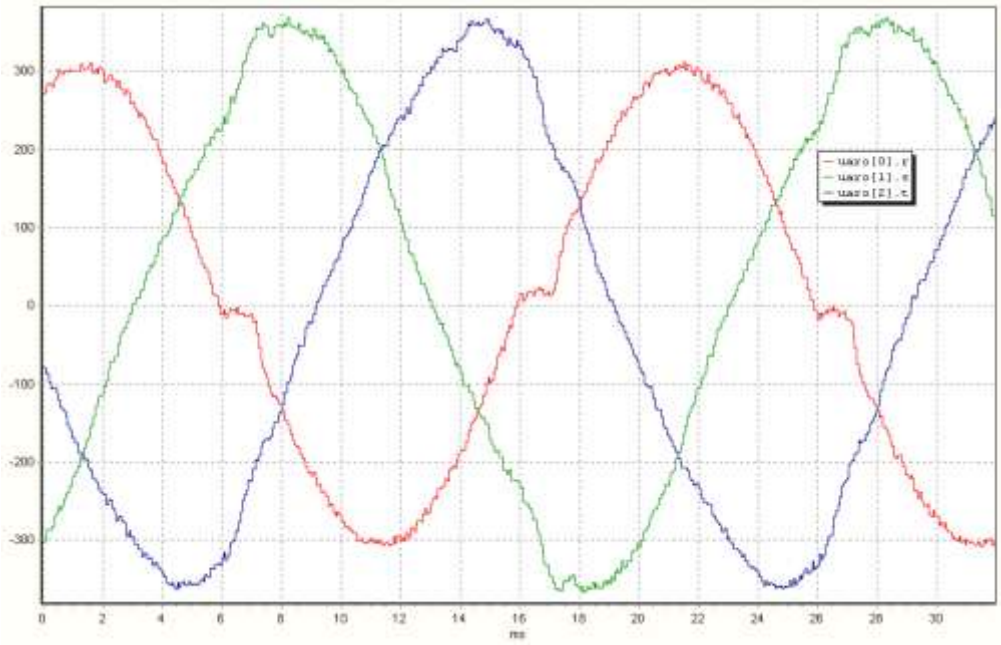


الشكل (11) منحني تيار الحمولة i_L

يظهر الشكل (12) مركبات جهد الخرج في الإحداثيات الدوارة q-d وعند التحكم فقط بالتوافقية الأساسية. لكن نتيجة التحميل غير المناظر للقالبة فإن جهود خرج القالبة تكون غير متناظرة، وتحوي توافقيات عالية، كما هو واضح في الشكل (13).

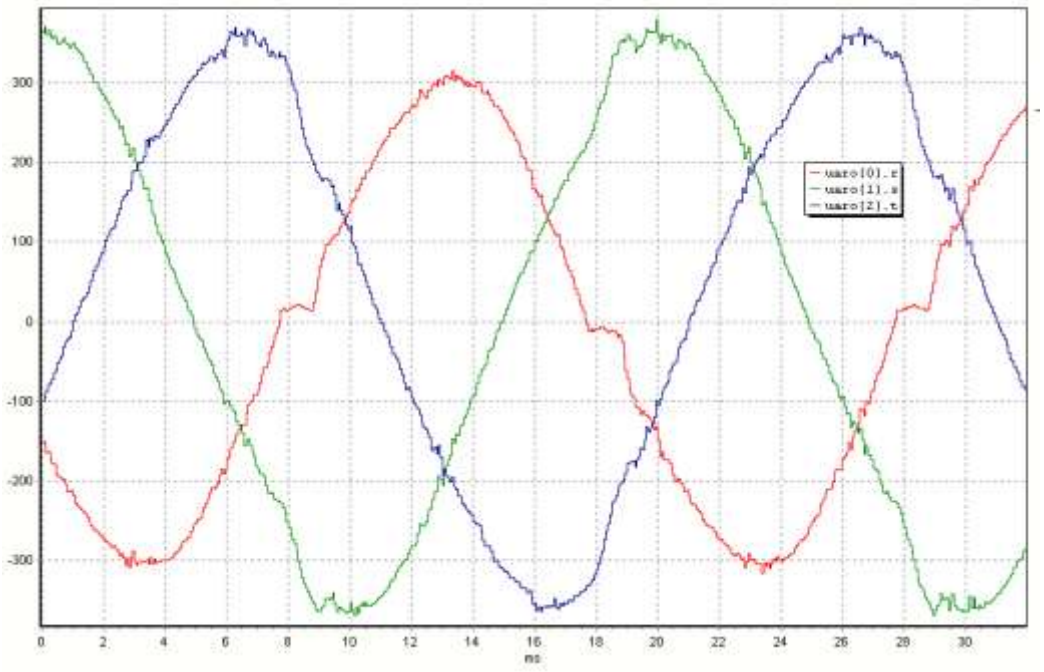


الشكل (12) مركبات جهد الشبكة في الإحداثيات الدوارة عند التحكم بالتوافقية الأساسية



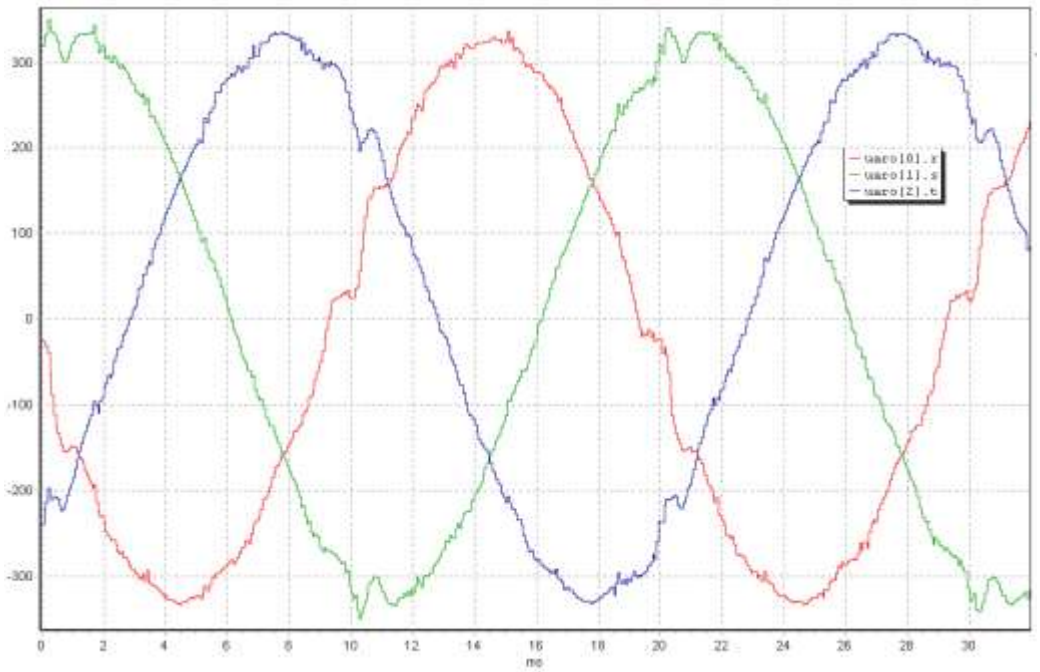
الشكل (13) منحنيات الجهد الزمنية في حالة التحكم بالتوافقية الأساسية

الشكل (14) يظهر المنحنيات الزمنية للأطوار الثلاثة للجهود في الإحداثيات الثابتة عند تطبيق دارة التحكم بالتوافقيات العالية في النظامين المباشر والمعاكس. نلاحظ بقاء جهد الشبكة ثلاثي الطور غير متناظر.



الشكل (14) منحنيات الجهد الزمنية في حالة التحكم بالتوافقية الأساسية والتوافقيات العالية

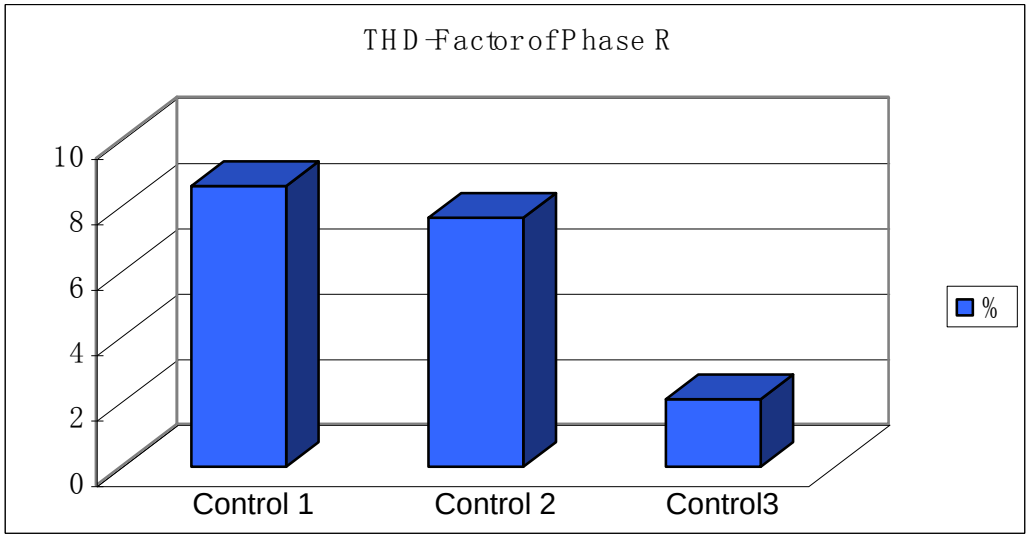
يبين الشكل (15) المنحنيات الزمنية لجهود الشبكة المعزولة، الثلاثية الطور، وذلك بعد تطبيق دارة التحكم بالنظام الصفري. نستنتج من هذا الشكل أن جهود الأطوار الثلاثة للشبكة متناظرة رغم الحمولة غير المتزنة.



الشكل (15) منحنيات الجهد الزمنية في حالة التحكم بالنظام الصفري

يظهر الشكل (16) محتوى التوافقيات العالية THD، في جهد الطور R، في حالات التحكم الثلاث السابقة. من الشكل يمكن أن نستنتج أن العامل THD في حالة التحكم بالنظام الصفري (الحالة 3) قد انخفض بشكل كبير.

في حالة التحكم الثانية ينخفض العامل THD بشكل بسيط. إذاً لخفض محتوى التوافقيات العالية في موجة الجهد؛ أي شبكة معزولة لابد من التحكم بالنظام الصفري لهذا الجهد.



الشكل (16) محتوى التوافقيات العالية في الطور R

الاستنتاجات والتوصيات:

أظهرت النتائج التي عرضت في الفقرة السابقة بأنه في نظم التغذية بالطاقة الكهربائية اللامركزية (الشبكات المعزولة)، وعندما تكون الحمولة غير متناظرة لا يكفي تطبيق فقط دارات تحكم بالنظام المباشر، والنظام المعاكس، والتحكم بالتوافقيات العالية، المرتبطة بهذين النظامين، لجعل جهد الشبكة الثلاثي الطور متناظراً. أي رغم أنه تم التحكم بالتوافقية الأساسية، والتوافقيات العالية فإن جهود خرج القالبة بقيت غير متناظرة.

من النتائج نستنتج أيضاً أن المركبة الصفرية لجهد الخرج هي التي تسبب عدم التناظر في جهود خرج القالبة (جهود الشبكة)، لذلك كي نحصل على جهود متناظرة على خرج القالبة، عندما تكون الحمولة غير متناظرة (حمولة أحادية الطور)، لا بد من التحكم بالمركبة الصفرية عن طريق قالبة رباعية الأطوار.

يوصى باستخدام مبدلة رباعية الأطوار، مع تطبيق إستراتيجية التحكم السابقة في الشبكات اللامركزية (المستقلة)، وخاصة التي تكون فيها منابع الطاقة هي الطاقة الشمسية، إذ أنَّ النتائج دلت على صلاحيتها بالسيطرة على التوافقيات العالية، وعلى عدم التناظر في موجات الجهد عندما تكون الحمولات غير متناظرة.

المراجع:

[1]. SCHWAB A.: *Elektromagnetische Vertäglichkeit (EMV*), Springer, Germany 2007, 530.

[2]. BLUME D.; SCHLABBACH J.; STEPHANBLOME T.: *Spannungsqualität in elektrischen Netzen*, VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, Germany, 1999, 296.

[3]. VECHIU I.; CUREA O.; CAMBLONG H.; CEBALLOS S.; VILLATE J.: *Digital Control of a Three-Phase Four-Leg Inverter under Unbalanced Voltage Conditions*, EPE 2007 Aalborg, Page:. 1-10.

[4]. PERALES M. A., PRATS M. M., PORTRILLO R., MORA J. L.: *three-dimensional space verctor modulation in ABC coordinates for four-leg voltage source converters*, IEEE power electronics Letters, December 2003, vol 1, no. 4, Page: 104-109.