مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (3) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (3) 2005

تأثير انحراف الجهد على عمل المحركات الكهربائية التحريضية

الدكتور جورج اسبر*
الدكتور غسان الحايك**
أحمد آيت عدي***

(قبل للنشر في 2005/8/3)

□ الملخّص □

يتزايد استخدام المعدات والأجهزة الكهربائية ذات المميزات غير الخطية، ومع تعدد واختلاف أنواع المستهلكين التي تتغذى من شبكات توزيع كهربائية معقدة تحوي على كابلات وخطوط هوائية ومحولات – كل ذلك يتسبب في حدوث انحراف في الجهد والتردد وعدم اتزان الجهد والتيار وهذا بدوره يؤدي إلى اضطرابات في نظام التغذية الكهربائية.

لقد تم في بحثنا هذا دراسة تأثير أحد عوامل جودة الطاقة الكهربائية وهو انحراف الجهد على عمل المحركات التحريضية، وكيفية تبدل استهلاك الاستطاعة الردية مع انحراف الجهد سلباً أم إيجاباً. كذلك تم توضيح كيفية تغيير الضياع الفعلي بانحراف الجهد وتأثيره على فترة خدمة هذه المحركات، ذات الانتشار الواسع في كل مجالات الحياة. وإن عدم الأخذ بجدية هذه المشكلة سيكلف الاقتصاد الوطني خسائر كبيرة، وهذا ما تم الإشارة إليه وتوضيحه في البحث.

* أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية سوريا.
** أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية سوريا.
*** طالب دراسات عليا– قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27) العدد (3) 2005
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol. (27) No (3) 2005

Effect of Voltage Deflection on the Work of Inductive Motors

Dr. George Isber[★]
Dr. Ghassan Al-Hayek[★★]
Ahmad Ait Addi[★★★]

(Accepted 3/8/2005)

□ ABSTRACT □

The use of electrical devices and equipment with nonlinear characteristics is increasing along with the variety and difference of investors.

The equipment is fed by complicated electrical distribution networks containing cables, aerial lines, converters (or transformers) and electric devices. All this causes disturbance in the electrical feeding system resulting from the deflection of voltage frequency and non-stability of both voltage and current.

In this research, we have studied one of the factors of the electrical power quality, which results from the effect of voltage deflection on the inductive motors work and the manner of the reactive capacity consumption change with the deflection of voltage negatively and positively. In addition, the mode of actual loss change has also been explained by the voltage deflection and its effect on the period of the service of inductive motors, which have a wide diffusion in all the fields of life.

If this problem is not taken into account seriously, the national economy will suffer heavy losses. This is the point that has been the subject of discussion.

[★] **Professor, Department Of Electrical Power, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering - Tishreen, University, Lattakia – Syria.**
[★★] **Associate Professor, Department Of Electrical Power, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering - Tishreen, University, Lattakia – Syria.**
[★★★] **Postgraduate Student, Department Of Electrical Power, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering - Tishreen, University, Lattakia – Syria.**

مقدمة:

إن الحاجة إلى طاقة كهربائية جيدة تقضيه الحاجة إلى منتجات جيدة. يمكن اعتبار أن الطاقة الكهربائية كمنتج تختلف عن المنتجات الأخرى، من وجهة نظر أنه لا يمكن تخزينها، ومن وجهة نظر أخرى فإن جودة التغذية الكهربائية تؤثر بشكل مباشر على ظروف وشروط عمل مستهلكيها. لذا فإن تأمين التغذية الكهربائية التي تتميز بدرجة الجودة المطلوبة يعتبر أحد المتطلبات الهامة في الاقتصاد الوطني.

من المعروف أن الشبكات الصناعية الكهربائية ذات التغذية ثلاثية الطور يجب أن تكون متزنة وجيبية الموجة، ولكن نتيجة لدخول الكثير من الأحمال ذات المميزات غير الخطية مثل (المنظمات الإلكترونية وأجهزة اللحام والمبدلات التايرستورية) حيث مميزات الفولت أمبير لهذه الأحمال غير خطية، كل هذا أدى إلى انخفاض كبير في جودة التغذية الكهربائية نتيجة التشوه الكبير في موجة الجهد والتيار. إن المواصفات القياسية العالمية تضع حدوداً لمثل هذه التغيرات في أنظمة التغذية الكهربائية.

مفهوم انحراف الجهد:

إن جهد التغذية على مرابط مستهلكات الطاقة لا يمكن أن يبقى ثابتاً وذلك بسبب نظام الحمل في المنشآت الصناعية ويمكن أن ينحرف عن القيم الاسمية. إن انحراف الجهد ΔU وهو الفرق بين القيمة الحقيقية U والقيمة الاسمية لجهد الشبكة U_n والتي تحدث عند تغير بطيء نسبياً في نظام العمل (عندما تكون سرعة تغير الجهد أقل من 1% بالثانية) $\Delta U = U - U_n$

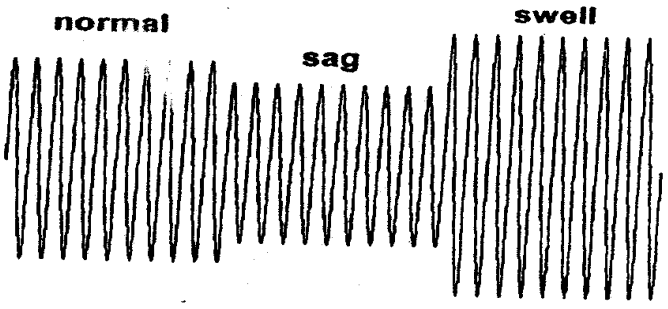
أو بشكل نسبة مئوية $\Delta U\% = \frac{U - U_n}{U_n} \cdot 100$

إن المواصفات القياسية العالمية تضع حدوداً لهذا التغير، فمثلاً انحراف التوتر على مرابط المحركات التحريضية −5 ÷ +10% من الجهد الاسمي.

تقسم تغيرات الجهد إلى عدة فئات:

أ- تغيرات طويلة الأمد تزيد عن دقيقة واحدة – وتدعى هذه بانخفاض الجهد إذ قل عن 90% من الجهد الاسمي.

ب- تغيرات قصيرة الأمد لفترات زمنية أقل من دقيقة واحدة تدعى بارتخاء الجهد أو تدلي الجهد (Sag) وحدوده بين 10 و90% من الجهد الاسمي أو انتفاخ الجهد (Swell) ويكون الجهد أكبر من 110% من الجهد الاسمي شكل (1).



شكل (1)- يبين حالة تدلي وانتفاخ الجهد

تأثير انحراف الجهد على عمل المحركات التحريضية:

عند انحراف التوتر على مآخذ المحركات التحريضية، تتغير سرعة دوران الدائر (الروتر)، كذلك تتغير قيمة الضياعات الفعلية، وكمية الاستطاعة الردية المستهلكة، وهذا يؤدي إلى تغير المؤشرات الاقتصادية التي تحدد عمل المحرك الكهربائي وبالمقارنة مع نظام العمل عند التوتر الاسمي فإنه يجب الأخذ بالاعتبار المصاريف حيث تتغير حسب العلاقة الآتية:

$$\Delta Z_a = K\delta(\Delta Q_n) + \beta[\delta(\Delta P_n) + \delta P_{\Delta P}] + Y_{\Delta P} + Y_i \qquad (1)$$

حيث:

$\delta(\Delta Q_n)$ – تغير قيمة الاستطاعة الردية المستهلكة بالمقارنة مع القيمة عندما يكون التوتر اسمياً،

$\delta(\Delta P_n)$ – تغير قيمة الاستطاعة الفعلية المستهلكة بالمقارنة مع القيمة عندما يكون التوتر اسمياً،

$\delta P_{\Delta P}$ – تحول (تغير) قيمة الاستطاعة الفعلية المستهلكة،

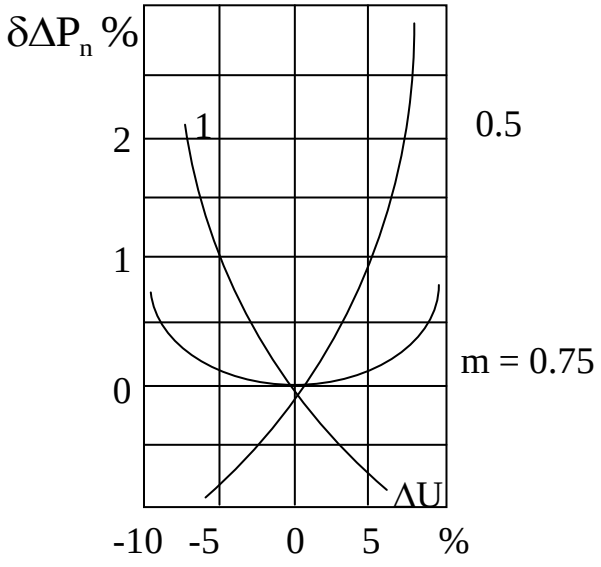
$Y_{\Delta P}$ – الخسارة الناتجة عن تغير تردد (سرعة) الدوران،

β – سعر /1/ كيلوات ساعي من الطاقة الكهربائية،

Y_i – نفقات إضافية ناتجة عن تغير في زمن عمر عازلية الآلة،

K– السعر النوعي للطاقة الردية لمصدر التغذية.

من الواضح أن كل عناصر العلاقة (1) هي قيم جبرية. ندرس بشكل مفصل حالة التابع ΔZ_a. إن ضياع الاستطاعة الفعلية في المحركات المحملة بحمولتها الاسمية، والتي تعمل بعزم مقاومة ثابت. حيث يزداد عند انخفاض التوتر نتيجة زيادة التيار المستجر في الشبكة. عند زيادة التوتر مع بقاء التردد ثابتاً، يؤدي إلى تزايد الفيض ϕ وتزايد تيار المغنطة وتيار اللاحمل وتزداد الضياعات الحديدية وهذا يؤدي إلى تسخين المحرك والإشباع المغناطيسي الزائد للدارة المغناطيسية، وكنتيجة لذلك ينخفض المردود ومعامل الاستطاعة للمحرك أيضاً. إذا كانت المحركات محملة بشكل قليل فإن شكل التغير سيكون كما في الشكل (1).

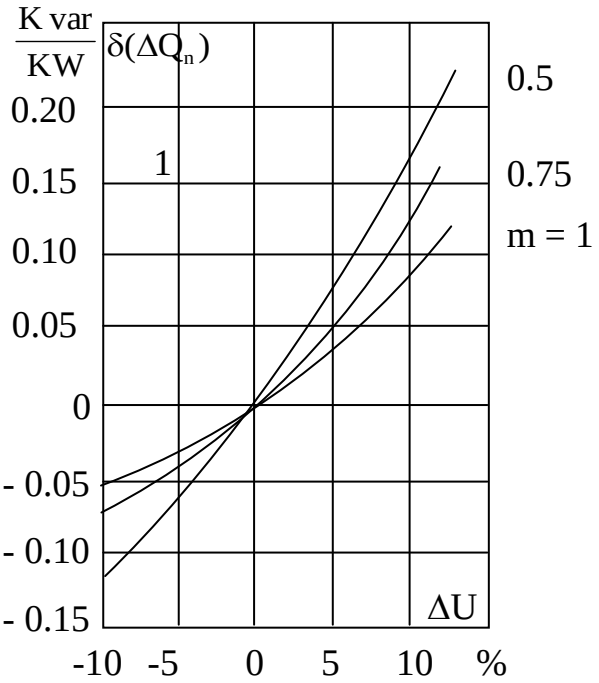


شكل (2)– علاقة تغير قيمة الاستطاعة الفعلية المستهلكة في المحركات التحريضية بانحراف التوتر عند عوامل تحميل مختلفة

إن تغير الضياع الفعلي في المحركات التحريضية عند انحراف التوتر في مجال من −5÷10% من التوتر الاسمي غير كبير، مع أنه يمكن أن تصل هذه الضياعات إلى قيمة الضياعات نفسها في الشبكة المغذية. إن علاقة $\delta(\Delta P_n)$ بانحراف التوتر في أغلب الحالات يمكن أن تقرب إلى علاقة متعددة الحدود فيها حد مرفوع للتكعيب.

$$\delta(\Delta P_n) = \Delta P_n \left[a^{(m)}(\Delta U)^3 + \left[b^{(m)}(\Delta U)^2 + C^{(m)}\Delta U\right]\right. \qquad (2)$$

العوامل: $C^{(m)}, b^m, a^m$ تتعلق بنوع المحرك وبنسبة تحميله ويمكن أن تكون هذه العوامل موجبة أو سالبة.



شكل (3)– علاقة تغير الاستطاعة الردية المستهلكة في المحركات التحريضية عند انحراف التوتر وعوامل تحميل مختلفة

إن طبيعة تغير منحنيات استهلاك الاستطاعة الردية $\delta(\Delta Q_n)$ موضحة على الشكل (3).

يرافق تغير انحراف التوتر تبدل بالاستطاعة الردبة المستهلكة حسب العلاقة الآتية:

$$\delta(\Delta Q_n) = \left[d(m)(\Delta U)^2 + e(m)\Delta U\right]\Delta Q_n \qquad (3)$$

حيث:

ΔQ_n – الاستطاعة الردية المستهلكة عند التوتر الاسمي

$e(m), d(m)$ – عوامل ثابتة تتعلق بنوعية المحرك ونسبة تحميله

وبنتيجة التجارب التي أجريت على محركات تحريضية استطاعتها من 20–100 كيلوات عند نسبة انحراف توتر تعادل 1% من التوتر الاسمي، تبين أنه حصل تبدل باستهلاك الاستطاعة الردية بمعدل 3% وهذه النسبة عند الحمولة الاسمية للمحرك، ونشير إلى أن زيادة استهلاك الاستطاعة الردية عند زيادة التوتر ناتج عن ارتفاع صرف الطاقة الردية على مغنطة فولاذ الآلة. أي (ناتج عن زيادة تيار اللاحمل وبشكل أساسي المركبة الردية لهذا التيار).

إن طبيعة المنحنيات البيانية لتغير سرعة دوران المحركات حسب نسبة انحراف التوتر مشابهة للمنحنيات الموضحة في الشكل (2).

يعلل هذا التشابه بأنه عند انحراف ايجابي أو سلبي للتوتر – يزيد أو تقل الترابط الكهرومغناطيسي بين حقول الجزء الثابت من المحرك (Stator) والجزء المتحرك (Rotor)، وهذا سيؤدي إلى انخفاض أو زيادة الانزلاق وزيادة أو نقصان سرعة دوران الدائر.

ونظراً لأن انحراف التوتر يؤثر على قيمة الضياعات في المحركات الكهربائية، لذا فإن علاقة اهتراء العازلية ناتج عن انحراف التوتر وزيادة تحميل المحرك. فعند الانحراف الإيجابي للتوتر فإن فترة خدمة العازلية T_c بالمقارنة مع T_n عند قيمة اسمية للتوتر للحمل تتغير عكسياً مع مربع عامل التحميل m.

$$T_c = \frac{T_n}{m^2}$$

واضح، أنه إذا كانت $m < 1$ فإن الاهتراء الحراري للعازلية يقل. وعند انحراف سلبي للتوتر فإن فترة خدمة العازلية سينخفض ويحسب من العلاقة:

$$T_c = \frac{T_n}{\left[47(\Delta U)^2 - 7.55\Delta U + 1\right]m^2}$$

إذا كان انحراف التوتر يقع ضمن المجال المسموح به فإن $T_n \approx T_c$.

مما تقدم: يتضح أن محددات المحركات التحريضية تتأثر بشكل واضح بانحراف الجهد عن القيمة الاسمية زيادة أو نقصان، ويمكن تلخيص آثار انحراف الجهد على مميزات ومحددات عمل المحرك التحريضي وفق الجدول[2]

عند تغير جهد الشبكة عن القيمة الاسمية فإن الاستطاعة الاسمية على محور المحرك التحريضي ستبقى عملياً ثابتة بينما تتغير ضياعات الاستطاعة الفعلية. وإن انحراف الجهد بمقدار 1% في المحركات التحريضية ذات الاستطاعات من 20–100 ك.وات يؤدي إلى ازدياد استهلاك الاستطاعة الردية بمقدار 3% كما ذكرنا سابقاً.

أما بالنسبة للاستطاعات الأصغر فإن الاستطاعة الردية ستتغير بمقدار 5÷7%.[3]

من هنا واضح حجم الخسارة الكبيرة التي تتكبدها المؤسسات الصناعية نتيجة لنقص عمر المحركات التحريضية التي تعمل بأحمال قريبة من الحمل الاسمي وبجهود أقل من الجهد الاسمي وذلك بسبب الزيادة الواضحة في سخونة الملفات.

النتيجة:

1- إن التغذية الكهربائية يجب أن تتمتع بدلائل جودة تتوافق مع المواصفات القياسية العالية.
2- يجب المحافظة على قيمة للتوتر ضمن المجالات المسموح بها عن طريق استخدام التنظيم المتكامل للتوتر في كامل نظام القدرة الكهربائي.
3- يجب السعي من قبل الجهات المعنية لاستخدام المواصفات القياسية التي تخص جودة الطاقة.
4- المراقبة المستمرة للجودة الكهربائية عند المستهلك.

جدول (1)

المميزة	مجال التأثير	
	+ 10%	**- 10%**
عزم الإقلاع والعزم الأعظمي	+ 21%	- 19%
السرعة التوافقية	5	5
سرعة الدوران عند الحمل الاسمي	+ 1%	- 1.5%
المردود عند حمل 75%	+ 1%	- 2%
50%	+ 2%	- 2%
عامل الاستطاعة عند حمل 100%	- 3%	1%
75%	- 4%	2.5%
50%	- 5.5%	4.5%
تيار الروتر عند الحمل الاسمي	- 11%	+ 14%
تيار الستاتر عند الحمل الاسمي	- 7%	+ 10%
تيار الإقلاع	+ 11%	- 11%
زيادة درجة الحرارة	تتغير قليلاً	6 درجات

المراجع:

[1]- الأستاذ الدكتور أ.أ. فيودروف – تغذية المنشآت الصناعية بالطاقة الكهربائية – موسكو 1981.

[2]- الأستاذ الدكتور إ.ف. جيجيلنيكا مؤشرات جودة الطاقة الكهربائية في المنشآت الصناعية. موسكو؛ "إنيرجيا"، 1995. 128 صفحة.

[3]- د. كاميليا يوسف محمد جودة الطاقة الكهربائية – شركة كهرباء الاسكندرية 2001.

[4]- مجموعة من مشاريع الدبلوم جامعة تشرين وجامعة حلب.

[5]- محاضرات ندوة جودة التغذية الكهربائية وأثرها على تحسين كفاءة استخدام الطاقة – وزارة الكهرباء – دمشق 2003/4/15.