الصفات الستاتيكية للأحمال الردّية

LES CARACTERISTIQUES STATIQUES DE LA CHORGE REACTIVE

د. جورج اسبر
مدرس في
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة تشرين

من المعروف أن أكثر الأجهزة الكهربائية استهلاكا للاستطاعة الردية هي المحركات التحريضية ،حيث يتأرجح عامل الاستطاعة لتلك المحركات ضمن مجال كبير ،حسب استطاعة وسرعة المحرك وكذلك حسب عامل التحميل وتوتر الشبكة .

يوضح هذا البحث كيفية الاختيار الأمثل للمحركات التحريضية المستخدمة في جميع مجالات الصناعة، وفي الحياة المنزلية، لقد تبين من خلال التجارب التي اجريت على بعض المحركات التحريضية أنه ليس دائما ينخفض ضياع الطاقة الكهربائية بازدياد التوتر وأن عدم الأخذ بالصفات الستاتيكية للأحمال الردية سيؤدي الى خطأ كبير .

دلت نتيجة البحث على أن انخفاض التوتر في الشبكة بمقدار 5% عن التوتر الاسمي سيؤدي الى انخفاض استهلاك الاستطاعة الردية بمقدار 11% وبالعكس يؤدي ازدياد توتر الشبكة بمقدار 5% الى رفع استهلاك الاستطاعة الردية بمقدار 17,5 % .

ان عمل كثير من المعدات الكهربائية يرافقه استهلاك استطاعة ردية بالاضافة الى استهلاك استطاعة فعلية . مثال هذه المعدات ،المحركات الكهربائية التحريضية (غير التزامية) التي تعمل بشكل واسع في المنشآت الصناعية والزراعية ،كذلك المعدات الكهربائية المنزلية مثل البراد ،المكنسة الكهربائية ،الغسالة وأجهزة تقويم التيار المتناوب ،كل هذه الأجهزة تستهلك الاستطاعة الردية من الشبكة الكهربائية .

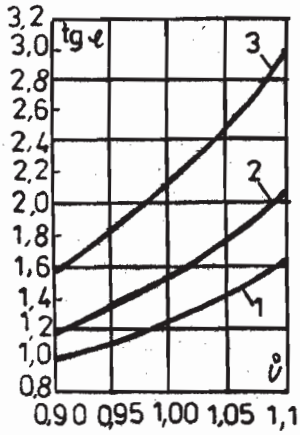
ـ الصفات الستاتيكية للاحمال الردية :

من المعروف أن أكثر الأجهزة الكهربائية استهلاكا للاستطاعة الردية هي المحركات التحريضية ،حيث عامل الاستطاعة لتلك المحركات يتأرجح في مجال كبير حسب استطاعة وسرعة المحرك وكذلك حسب عامل التحميل وتوتر الشبكة .

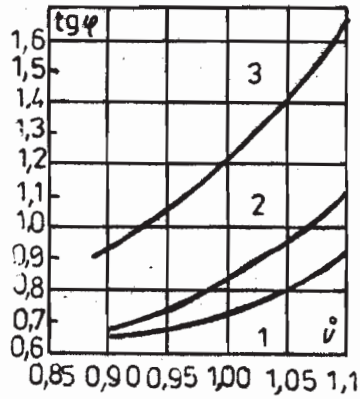
يرينا الشكل (1) علاقة عامل الاستطاعة بالتوتر النسبي لمحرك تحريض استطاعة واحد كيلو واط وسرعة دورانه 1500 دورة بالدقيقة ،توتر الشبكة 380 فولت ، المنحنيات 1 ، 2 ، 3 تطابق عوامل التحميل (1 ، 0,75 ، 0,5) . وفي الشكل (2) تتوضح العلاقة بين $tg\alpha$ والتوتر النسبي لمحرك تحريضي استطاعته 20 كيلو واط ،سرعة دورانه 1500 دورة في الدقيقة توتره 380 فولت .

ويبين لنا الشكل (3) العلاقة بين $tg\alpha$ والتوتر النسبي لمحرك تحريضي استطاعته 2000كيلو واط والتوتر 6 كيلو فولت ،وبنتيجة تحليل تلك المنحنيات نستنتج مايلي :

تزداد كمية الاستطاعة الردية التي يستهلكها المحرك كلما قلت استطاعته



شكل (1) علاقة tgφ بالتوتر النسبي لمحرك تحريضي استطاعته واحد كيلوات



شكل (2) علاقة tgφ بالتوتر النسبي لمحرك تحريضي استطاعته ٢٠ كيلوات

وكلما قل عامل تحميله ،وتزداد كذلك $tg\alpha$ بشدة عند ارتفاع التوتر على مرابط محرك تحريضي قليل التحميل .

مثال : عند ازدياد التوتر بمقدار 10% عن التوتر الاسمي على مرابط محرك استطاعته واحد كيلواط وعامل تحميله $\beta=0,5$ فان قيمة $tg\alpha$ سترتفع بمقدار 43% ويصل فيه استهلاك الاستطاعة الردية الى 3 كيلوفار لكل كيلواط من الاستطاعة الفعلية المستهلكة .

ان زيادة تحميل ذلك المحرك من 50 الى 75 % عند توتر اسمي على مرابطه ينخفض استهلاك الاستطاعة الردية بمقدار 28% وعند زيادة استطاعة هذا المحرك ينخفض $tg\alpha$ مثال على المحركات التحريضية المدروسة ذات الاستطاعات 1 ، 20 كيلواط وعند توتر نسبي $\mathring{U} = 1$ وعامل تحميل $B = 0,75$ فان قيمة $tg\alpha$ للمحركين تصبح كنسبة 55:100 .

ان علاقة الاستطاعة الفعلية والردية بالتوتر تسمى الصفات الستاتيكية للأحمال

$$\mathring{P} = f(\mathring{U}) \qquad (1)$$

$$\mathring{Q} = f(\mathring{U}) \qquad (2)$$

حيث :

$\mathring{P}$ ـ القيمة النسبية للاستطاعة الفعلية وتساوي الى نسبة الاستطاعة الفعلية الحقيقية الى الاستطاعة الفعلية الاسمية ،

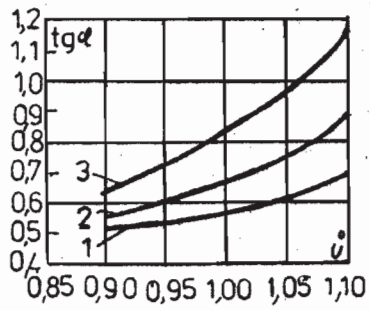
$\mathring{Q}$ ـ القيمة النسبية للاستطاعة الردية وتساوي الى نسبة الاستطاعة الردية الحقيقية الى الاستطاعة الردية الاسمية ،

$\mathring{U}$ ـ القيمة النسبية للتوتر وتساوي الى نسبة التوتر الحقيقي الى التوتر الاسمي .

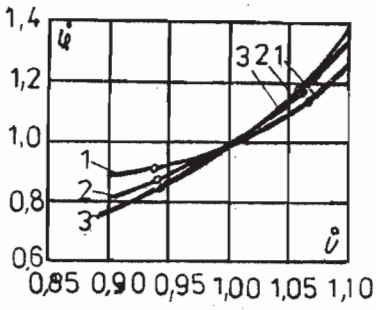
ان علاقة الاستطاعة الفعلية التي يستهلكها المحرك التحريضي بالتوتر تتغير بشكل قليل ،لذلك يمكن إهمالها في كثير من الأحيان .

أما علاقة الاستطاعة الردية التي يستهلكها المحرك التحريضي بالتوتر فهي وثيقة ،وقد مكنت الدراسات المخبرية باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية على محركات تحريضية استطاعتها من 1 وحتى 2000 كيلواط وعند سرعات دوران من 1000 الى 3000 دورة بالدقيقة وتوترات اسمية 380 الى 6000 فولت ،من الحصول على

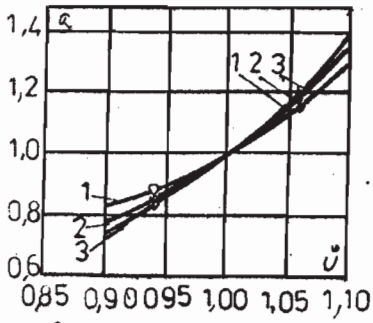
المعلومات الواردة في الجدول (1)والموضحة على الأشكال 4 و 5 و 6 .



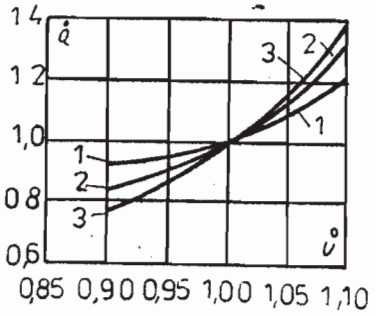
شكل (٣) علاقة tgφ بالتوتر النسبي لمحرك تحريضي استطاعته ٢٠٠٠ كيلوات



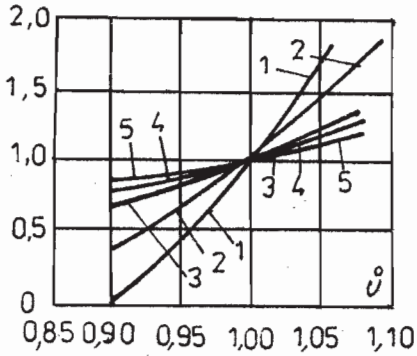
شكل (٤) الصفات الستاتيكية الوسطية للاستطاعة الردية المستهلكة من قبل محرك تحريضي استطاعته حتى ٨٠٠ كيلوات



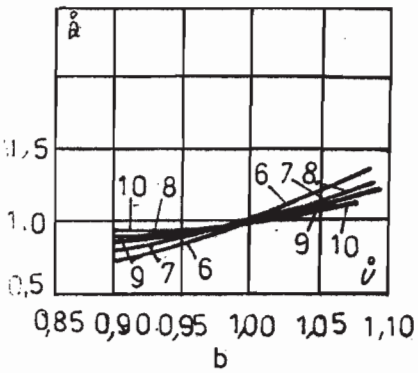
شكل (٥) الصفات الستاتيكية الوسطية للاستطاعة الردية المستهلكة من قبل محرك تحريضي استطاعته من ٨٠٠ وحتى ٢٠٠٠ كيلوات



شكل (٦) : الصفات الستاتيكية الوسطية للاستطاعة الردية المستهلكة من قبل محرك تحريضي استطاعته اكثر من ٢٠٠٠ كيلوات



a



b

شكل (٧) الصفات الستاتيكية للأحمال الردية .

نعبر عن الصفات الستاتيكية للاستطاعة الردية التي يستهلكها المحرك (ميغافار) بالعلاقة التالية :

$$\mathring{Q} = A_0 + A_1 \mathring{U} + A_2 \cdot \mathring{U}^2 \qquad (3)$$

حيث A_0 ، A_1 ، A_2 ، عوامل ثابتة تؤخذ من الجدول رقم 2 .

جدول (1) علاقة الاستطاعة الردية بالثوثر على مرابط محركات تحريضية سرعة دورانها 1000 ـ 3000 دورة / دقيقة ، توترها 380 و 6000 فولت .

استطاعة المحرك	عامل التحميل	القيمة النسبية للاستطاعة الردية عند قيم نسبية للثوثر				
KW	β	0,9	0,94	1	1,56	1,1
حتى 2,8 (شكل 4)	1	0,82	0,88	1	1,17	1,3
	0,75	0,77	0,85	1	1,2	1,4
	0,5	0,44	0,83	1	1,22	1,44
4,5 - 20 (شكل 5)	1	0,88	0,92	1	1,14	1,28
	0,75	0,85	0,865	1	1,185	1,36
	0,5	0,76	0,84	1	1,20	1,41
اكبر من 20 (شكل 6)	1	0,91	0,93	1	1,11	1,24
	0,75	0,83	0,88	1	1,16	1,33
	0,5	0,77	0,85	1	1,2	1,4

جدول(2) قيمة العوامل ، A_0 ، A_1 ، A_2 حسب العلاقة (3) لمحركات تحريضية سرعة دورانها تتراوح بين 1000 ـ 3000 دورة / بالدقيقة .

الاستطاعة KW	عامل التحميل β	A_0	A_1	A_2
حتى 2,8	1	6,4	-13,40	8
	0,75	6,35	-13,85	8,5
	0,5	6,5	-14,50	9
4,5 - 20	1	6	-14	8
	0,75	6,47	-13,725	8,25
	0,5	6,25	-13,75	8,5
اكبر من 20	1	7,95	-15,45	8,5
	0,75	9,25	-18,75	10,5
	0,5	10,75	-22,25	12,5

مثال (١): تقدر الأحمال الحسابية لمنشأة صناعية P=400 KW ، Q=600KVAr، المحركات المستعملة في هذه المنشأة من النوع التحريضي القليل الاستطاعة حتى 2,8كيلو واط وعامل التحميل الوسطي β=0,5.

والمطلوب : ايجاد كيف يتغير ضياع الاستطاعة الفعلية في المنشأة عند تغير التوتر النسبي من $\mathring{U}$= 0,95 حتى $\mathring{U}$=1,05. من الجدول رقم (2) توجد قيمة العوامل الثابتة وذلك حسب العلاقة

$$A_0 = 6,5 \quad , \quad A_1 = -14,5 \quad , \quad A_2 = 9 \qquad (3)$$

نوجد كمية الاستطاعة الردية التي تستهلكها المنشأة الصناعية عند التوتر النسبي $\mathring{U}$= 0,95

$$Q_{o,95} = [6,5 - 14,5.0,95 + 9.(0,95)^2]0,6 = 0,51 \text{MVAr}$$

وعند توتر نسبي $\mathring{U}$=1,05

$$Q_{1,05} = [6,5 - 14,5.1,05 + 9.(1,05)^2]o,6 = 0,72 \text{ MVAr}$$

نحسب ضياع الاستطاعة الفعلية في الشبكة المغذية للمنشأة الصناعية.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{\mathring{U}^2} \cdot \frac{R}{U_n^2}$$

حيث R ـ المقاومة الفعلية للشبكة بالأوم، U_n ـ التوتر الاسمي للشبكة.

$$\Delta P_{0,95} = \frac{0,4^2 + 0,51^2}{0,95^2} \cdot \frac{R}{U_n^2} = 0,465 \frac{R}{U_n^2}$$

$$\Delta P_{1,05} = \frac{0,4^2 + 0,72^2}{1,05^2} \cdot \frac{R}{U_n^2} = 0,615 \frac{R}{U_n^2}$$

وهذا يعني أنه عند ازدياد قيمة التوتر بمقدار 10% فان ضياع الاستطاعة الفعلية يزداد بمقدار 32%.

يوضح لنا هذا المثال أنه ليس دائما بارتفاع التوتر ينخفض الضياع في الشبكة، وأن عدم الأخذ بالصفات الستاتيكية للأحمال الردية سيؤدي الى خطأ كبير.

وقد تبين من نتائج البحث أن انخفاض التوتر في الشبكة بمقدار 5% بالنسبة للتوتر الاسمي سيؤدي الى انخفاض استهلاك الاستطاعة الردية بمقدار 11%، وبالعكس ازدياد توتر الشبكة بمقدار 5% يرفع استهلاك الاستطاعة الردية بمقدار 17,5%.

المؤشر التنظيمي للأحمال الردية.

نسمي $\frac{\partial Q}{\partial \mathring{U}}$ المؤشر التنظيمي للأحمال الرديه بدلالة التوتر (EFFECTIVE - CONTROL)، وهو يحدد سرعة تغير تلك الأحمال عند تغير التوتر في الشبكة.

ان قيمة المؤشر التنظيمي ستكون على شكل علاقة خطية تابعة للتوتر.

$$q = \frac{\partial Q}{\partial \mathring{U}} = A_1 + 2A_2\mathring{U} \qquad (4)$$

عند ازدياد توتر الشبكة فان المؤشر التنظيمي للحمل الردي يرتفع.

مثال : محرك تحريضي استطاعته أكثر من 20 كيلو واط وعند عامل تحميل0,75فان المؤشر التنظيمي q يساوي الى.

$$q = -18,75 + 2.10,5.o,9 = 0,15 \; ;$$

عند توتر نسبي $\mathring{U}$ =0,9

وعند $\mathring{U}$ = 1,1 الى q= 2,25

وعند $\mathring{U}$ = 1,1 الى q = 4,35

بالنسبة للأحمال المختلطة فان الصفات الستاتيكية للأحمال الردية ستكون على شكل خط مستقيم كما في الشكل(B,a 7) حيث الكثير من المنحنيات تقترب من بعضها البعض لتشكل خط شبه مستقيم.

لقد تم الحصول على قيم المؤشر التنظيمي لمختلف الأحمال وقد دلت النتيجة على أن جميع تلك القيم تقع ما بين 2 ÷ 3 حيث القيم الصغيرة هي للمحركات الكبيرة وذات عامل التحميل الكبير، والقيمة الكبرى تخص المحركات الصغيرة وذات عامل التحميل الصغير .

يمكن حساب تغير الاستطاعة الردية عند تغير التوترفي الشبكة من العلاقة تقريبية التالية :

$$\Delta Q = 0,01\ q\ V_p Q \quad , \qquad (5)$$

حيث : ΔQ ـ تغير الاستطاعة الردية عند تغير التوتر في الشبكة واحدتها ميغافار ،

V_p ـ قيمة تغير التوتر في الشبكة ،

Q ـ قيمة الاستطاعة الردية عند التوتر الاسمي ميغافار. أما عندما يتغير التوتر بشكل كبير فان العلاقة (5) تصبح غير دقيقة ،لذلك فان العامل الذي يحسب تغير الاستطاعة الردية عند تغير التوتر في الشبكة هو كمايلي :

$$Ku = 1 + 0,01\ qV_p \quad . \qquad (6)$$

حيث : Ku ـ عامل لحساب تغير الاستطاعة الردية عند التغير الكبير للتوتر .

عند تصميم واختيار المحركات الكهربائية التحريضية يجب الاستفادة الكاملة من استطاعتها ،وعند الاستثمار يجب تبديل المحركات غير المحملة تحميلا كافيا بمحركات أقل استطاعة وقد دلت التجارب والابحاث في هذا المجال أن المحرك الذي يُحمل أقل من 45% من حمله الاسمي يجب تبديله دون القيام بمقارنة اقتصادية أما اذا كان محملا مابين 45% و 75% فيجب اجراء مقارنة اقتصادية لمعرفة فيما اذا كان هناك حاجة للتبديل .

اذا كانت الفترة الزمنية عند تبديل الأعمال على المحرك التحريضي أكثر من عشر ثوانٍ فيجب عندها تزويد المحرك بجهاز ايقاف حتى يحد من استهلاك الاستطاعة الردية .

المراجع

١- Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. М. энергия, 1985 СССР .

٢ـ د.عبد الله سعيد : نظم القدرة الكهربائية /٢٠١/ جامعة تشرين ١٩٨٥ ـ ١٩٨٦ .

٣ـ د. عبدالله سعيد : اقتصاديات الطاقة الكهربائية جامعة تشرين ١٩٨٨ .

٤ـ د. جورج اسبر التأثير المتبادل بين الأحمال الردية ،مجلة الكهرباء العدد ٣٢ لعام ١٩٨٥ .

٥ـ د. جورج اسبر الأهمية الاقتصادية التقنية لتنظيم الاستطاعة الردية مجلة الكهرباء العدد ٣١ لعام ١٩٨٥ الجمهورية العربية السورية .

RÉSUMÉ

LES CARACTENISTIQUES STATIQUES
DE LA CHARGE RÉACTIVE

Il est bien connue que la majorité des appareils électriques conpemant la puissance réactive sont les moteurs induits , dont le facteur de la puissance varie largement en fonction de la puissance et la vitesse du moteur d'une part , le facteur de chargement et la tension applicable d'autre part .

Nous mettrons en evidance les principes les meilleurs pour choisir les moteurs électriques à effet induite , largement utilisable dans les différantes domaines , l'industrie , Appareils électrodomestiques , cet .....

Les essais qui sont faits ont montré que :

1- en augmontant la tension , la perte de la charge ne soit pas diminue nécessairement , donc, l'abondonement des caractenistiques statiques de la charge réactive conduira à des résultats incorrects .

2- La chute de la tension pour 5% inferieur de la tension nominale conduira à diminuer la consommation de la puissance réactive pour 11% , au contraire , L'augmentation de la tension pour 5% conduira à augmenter la puissance réactive consommée pour 17,5 % , pour cela , il est bien nécessaire de choisire des moteur pour travailler à leur puissances maximales , et de changer les moteurs des machines qui n'ont pas la même éstimation .