مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية سلسلة العلوم الهندسية المجلد 15 (العدد 1) 1413-1993.

تقييم الضياعات في المحرك التحريضي الناتجة عن التوافقيات العليا عند تغذيته عن طريق مبدلات الجهد الثايرستورية

الدكتـــور المهندس علـــي محمـــود
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جـــــــامعة تشـــــرين

عند تنظيم سرعة المحركات الكهربائية عن طريق تغيير جهد التغذية أو تردد التغذية تستخدم المبدلات الثايرستورية التي تعمل على حجز جزء من موجة الجهد الجيبي المطبق على طور المحرك وهذا يعني أن الجهد المطبق سيشكل نظام جهد دوري لا جيبي يمكن تحليله حسب سلسلة فوربية الى مجموعة من المركبات الجيبية ذات الترددات المختلفة تسمى التوافقيات العليا للجهد المطبق وسيقابل ذلك عند عمل نظام القيادة على سرعة وسطية مستقرة، ظهور نبضات في اشارة العزم الكهرومغناطيسية واشارة السرعة، وذلك على طول اشارة جهد التغذية.

لتقييم عمل المحرك الكهربائي في الأنظمة الدورية اللاجيبية أجرينا دراسة على محرك تحريضي ذي دائر مقصور نوع(4A 100 2y3) استخدمنا فيها طريقة الاشعة العامة للآلة الكهربائية بافتراض أن هذه الآلة مغذاة بواسطة مبدلة ثايرستورية قالبة تؤمن جهد خرج على شكل نبضة عريضة متدرجة. وقد لوحظ أن ظهور التوافقيات يؤدي الى ارتفاع قيمة الضياعات في المحرك الناتجة عن التوافقيات العليا وقد استخدم الحاسب الشخصي في هذا البحث لتقديم طريقة لحساب الضياعات في حديد المحرك عند تغذيته بجهد لاجيبي. وقد وضع برنامج بلغة البيزك (BASIC) يعبر عن طريقة الحساب. وكانت الغاية من هذا البحث المساهمة في تقييم الآثار الناتجة عن التوافقيات العليا على عمل محركات القيادة الكهربائية وتقديم برنامج لحساب الضياعات الناتجة عن هذه التوافقيات يمكن أن يستخدم من أجل أي محرك آخر من نفس النوع، ويمكن الاستفادة منه في عمليات البحث العلمي التي تختص بتقييم مستوى أداء أنظمة القيادة الكهربائية وتؤكد النتائج التي حصلنا عليها أهمية هذا البحث للطلاب وللباحثين في هذا المجال.

دراسة الأنظمة الدورية للمحركات التحريضية بالطريقة الهرمونية الشعاعية:

عند تغذية المحرك التحريضي عن طريق مبدلات الجهد، التي يتم تنفيذها باستخدام دارات الابدال الطورية يتم اعادة وصل الثايرستورات 6 مرات خلال الدور الواحد. ونتيجة لذلك فانه عند عمل نظام القيادة على سرعة مستقرة وسطى ستظهر نبضات على اشارة العزم الكهرومغناطيسي واشارة السرعة وذلك على طول اشارة جهد التغذية.

لتقييم عمل المحرك الكهربائي في الأنظمة الدورية استخدمت في هذه الدراسة طريقة الأشعة العامة للآلة الكهربائية.

اذا كانت زاوية التحكم $\gamma = \pi$ فان أحد الجهود الطورية Vb, Va Vc, سيكون مساويا للصفر، أما الجهدان الباقيان فلهما نفس القيمة المطلقة ومساوية لـ Vd ولكن بجهة معاكسة (هذا عند كون الحمولة موصلة بشكل مثلثي). انطلاقا من ذلك فان شعاع الجهد لثابت المحرك يمكن كتابته بالصيغة العامة التالية:

$$U_S(N) = \frac{2}{\sqrt{3}} U_d e^{j\delta N} = U_S e^{j\frac{\pi}{6}(2N-1)}$$

حيث: N=1, 2, 3,....6 رقم مجال التوصيل للثايرستور.

δ: الزاوية بين المحور الحقيقي وشعاع الجهد.

من العلاقة السابقة نستنتج أن قيمة شعاع الجهد $V_s(N)$ عند تغذية المحرك من مبدلة ثايرستورية ذات زاوية فتح لاتتعلق بـ N وتدور بشكل نبضي بخطوة زاوية قدرها $\delta = \frac{\pi}{3}$ ست مرات خلال دور.

بحل جملة معادلات الأشعة العامة لجهد الثابت مع جملة معادلات المحرك التالية:

$$\begin{bmatrix} V_{S\alpha} \\ V_{S\beta} \\ V_{r\alpha} \\ V_{r\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} RS + DL & 0 & DL_m & 0 \\ 0 & R_S + DL_S & 0 & DL_m \\ DI_m & wrL_m & Rr + DL_r & wrL_r \\ -w_r L_m & DL_m & -wrL_m & Rr + DLr \end{bmatrix} \begin{bmatrix} is_\alpha \\ is_\beta \\ ir_\alpha \\ ir_\beta \end{bmatrix}$$

حيث: R_{SO} المقاومة الحقيقية لملفات الثابت.

R_r المقاومة الحقيقية لملفات الدائر.

Ls=Ls + Lm عامل المقاومة التحريضية الكلية لملفات الثابت

والمكونة من المقاومة الناتجة عن التحريض المتشتت(Ls) والتحريض الأساسي(Lm).

بالحل المشترك السابق يمكن أن نحصل على معادلات أشعة (متجهات) التيار في الثابت والدائر وبالتالي العزم الكهرومغناطيسي بواسطة العلاقة التالية:

$$M_3 = \frac{3}{2} L_m \left(i_{r\alpha} i_{s\alpha} - i_{s\alpha} i_{r\alpha} \right)$$

يجب التنويه بأن الحساب لن يكون بهذه السهولة عند كون زاوية الفتح أصغر من (π) مثلا. $\delta = \frac{2\pi}{3}$ في هذه الحالة تظهر صعوبة في وضع المعادلات المعممة للجهد بسبب تبعية زاوية فتح الثايرستورات لخواص الحمولة.

ان استخدام الطريقة الهرمونية تسمح بتحديد القيمة الوسطية للعزم الكهرومغناطيسي وكذلك القيمة الفعالة للتيار خلال دور وذلك عند كون جهد التغذية ذا شكل غير جيبي.

ان استخدام الطريقة الهرمونية الشعاعية تسمح بدراسة عمل المحرك في النظام الدوري وذلك بهدف ايجاد القيم اللحظية للعزم الكهرومغناطيسي وكذلك لتيار الثابت والدائر وسرعة دوران المحرك.

ان الجهد غير الجيبي لطور المحرك A يمكن كتابته على الشكل التالي

$$U_a = \sum_{\nu=1}^{\infty} U_{\nu m} \cos(\nu\omega t + \gamma_\nu) \quad (1)$$

حيث:

$U_{\nu m}$طويلة التوافقية ν.

γ_ν زاوية الطور الابتدائية

يمكن أيضا كتابة معادلات الجهد للطور C, B في حالة العمل المستقر للمحرك وذلك بشكل مشابه للطور A ومزاحين عنه بالزاويتين 1/3 و 2/3 من الدور.

$$\begin{aligned} U_b &= \sum_{\nu=1}^{\infty} U_{\nu m} \cos\left[\nu\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \gamma_\nu \right] \\ U_c &= \sum_{\nu=1}^{\infty} U_{\nu m} \cos\left[\nu\left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) + \gamma_\nu \right] \end{aligned} \quad (2)$$

عندئذ وانطلاقا من العلاقة: $U_S = \frac{2}{3}\left(U_a + aU_b + a^2 U_c^2 \right)$

يمكن كتابة العلاقة العامة لجهد الثابت كما يلي:

$$\begin{aligned} U_S = \frac{2}{3} \{ &\sum_{\nu=1}^{\infty} U_{\nu m} \cos(\nu\omega t + \gamma_\nu) + \\ a &\sum_{\nu=1}^{\infty} U_{\nu m} \cos[\left(\nu\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) + \gamma_\nu] + \\ a^2 [&\sum_{\nu=1}^{\infty} U_{\nu m} \cos\left(\nu\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) + \gamma_\nu]\} \end{aligned} \quad (3)$$

والمعادلة (3) السابقة يمكن اعادة كتابتها على الشكل التالي

$$U_S = \frac{2}{3}\sum_{\nu=1}^{\infty} U_{\nu m}[\cos(\nu\omega t + \gamma_\nu) +$$
$$a\left(\cos(\nu\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \gamma_\nu\right) + a^2(\nu\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + \gamma_\nu)] \quad ..(4.)$$

وبما أن تأخذ القيم $\nu = 6n+1$ و(n=0،1،2......)

فان (....13 ،1،7 = ν). وهكذا يمكن كتابة المقادير التي داخل الأقواس في العلاقة السابقة كما يلي:

$$\left.\begin{aligned} cos\left(\nu\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \gamma_\nu\right) &= cos\left(\nu\omega t - \frac{2\pi}{3} + \gamma_\nu\right) \\ cos\left(\nu\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + \gamma_\nu\right) &= cos\left(\nu\omega t - \frac{4\pi}{3} + \gamma_\nu\right) \end{aligned}\right] \quad (5)$$

أما عند التوافقيات$\nu = 6n-1$ حيث(...n=1،2، 3) أي (.....17 ،11 ،5 = ν) تصبح القيم التي في داخل الأقواس على الشكل التالي:

$$\left.\begin{aligned} cos\left(\nu\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \gamma_\nu\right) &= cos\left(\nu\omega t + \frac{2\pi}{3} + \gamma_\nu\right) \\ cos\left(\nu\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + \gamma_\nu\right) &= cos\left(\nu\omega t + \frac{4\pi}{3} + \gamma_\nu\right) \end{aligned}\right] \quad (6)$$

وهكذا فان كل مركبة توافقية من مركبات منحني الجهد تشكل شعاعا عاما خاصا بها له طويلة واتجاه وسرعة دوران وهذه السرعة تكون ثابتة من أجل درجة توافقية معينة. وبالتالي يمكن كتابة معادلة شعاع الجهد العام على الشكل التالي:

$$\overline{U_S} = \sum_{\nu=1}^{\infty} \overline{U}_\nu \quad (7)$$

حيث: U_ν الشعاع المعمم لتوافقية الجهد ذات الرقم ν.

لتسهيل انشاء شعاع الجهد Us لكل حد من حدود المجاميع من العلاقة (7) يمكن كتابته على الشكل:

$$\overline{U}_\nu = U_{\nu m} e^{\pm j(\nu\omega t + \gamma_\nu)} = Re(\overline{U}_\nu) \mp j\, Im(\overline{U}_\nu) \quad (8)$$

حيث:

$Re(U_\nu) = U_{\nu m}\, cos(\nu\omega t + \gamma_\nu)$ الـ مركبة الحقيقية للشعاع u.

$Im(U_\nu) = U_{\nu m}\, sin(\nu\omega t + \gamma_\nu)$ الـ مركبة التخيلية للشعاع u.

ان اشـارة (+) فـي العلاقــة(8) تعـود للتوافقيات ذات التعاقب الموجب والاشارة(ــ) تعود للتوافقيات ذات التعاقب العكسي.

كما أن شعاع الجهد المعمم للتوافقيات v يتفق مع علاقــة الجهـد الزمنيـة الطوريـة للمحرك.

ويمكن الانتقال من المعادلة التفاضليـة للمحرك والمكتوبة بالنسبة للمحاور الثابتة α-β الـى الشكل العقدي بعد الأخـذ بعيـن الاعتبار العلاقات التالية:

$$\left.\begin{aligned}
\overline{U}_s &= U_{sx} + jU_{sy} \;,\quad \overline{U}_r = U_{rx} + jU_{ry} \\
\bar{i}_s &= i_{sx} + ji_{sy} \;,\quad \bar{i}_r = i_{rx} + ji_{ry} \\
\overline{\phi}_{sx} &= \phi_{sx} + j\phi_{sy} \;,\quad \overline{\phi}_r = \phi_{rx} + j\phi_{ry}
\end{aligned}\right] \quad (**)$$

حيث x المحور الحقيقي، y المحور التخيلي.

يمكن أن نكتب:

$$\left.\begin{aligned}
\overline{U_a} &= \bar{i}_s R_s + L_s \frac{d\bar{i}_s}{dt} + L_m \frac{d\bar{i}_r}{dt} \\
\overline{U_r} &= \bar{i}_r R_r + L_m \frac{d\bar{i}_s}{dt} + L_r \frac{d\bar{i}_r}{dt} + j\omega\left(i_s L_m + i_r L_r\right)
\end{aligned}\right] \quad (9)$$

وبالانتقال الى الشكل العقدي نجد:

$$\left.\begin{aligned}
\dot{U}_s &= \dot{I}_s R_s + j\omega \dot{I}_s L_s + j\omega \dot{I}_r L_m \\
\dot{U}_r &= \dot{I}_r R_r + j\omega \dot{I}_s L_m + j\omega \dot{I}_r L_r - j\omega_r \dot{I}_s L_m - j\omega_r \dot{I}_r L_r
\end{aligned}\right] \quad (10)$$

من أجل المحرك ذي الدائر المقصور يمكن أن نكتب العلاقة(10) على الشكل التالي:

$$\left.\begin{aligned}
\dot{U}_s &= \dot{I}_s R_s + j\dot{I}_s X_s + j\dot{I}_r X_m \\
0 &= \dot{I}R + J\dot{I}X(1-\Omega) + j\dot{I}X(1-\Omega)
\end{aligned}\right] \quad (11)$$

حيث: $X_S = wL_S$, $X_m = wL_m$, $X_r = wL_r$ و $\Omega = \omega_r / \omega$ السرعة الزاوية النسـبية للدائر.

واذا أخذنا بعين الاعتبار أن($s = (1 - \Omega)$) نحصل على المعادلات المعروفة التالية من أجل المحرك التحريضي ذي الدائر المقصور:

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_s &= \dot{I}_s R_s + j\dot{I}_s X_{s\sigma} + j\dot{I}_s X_m + j\dot{I}_r X_m \\ 0 &= \dot{I}_r \frac{R_r}{s} + j\dot{I}_s X_m + j\dot{I}_r X_m + j\dot{I}_r X_{r\sigma} \end{aligned}\right] \quad (12)$$

ويمكن كتابة المعادلات(12) من أجل التوافقيات العليا على الشكل

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_{sv} &= \dot{I}_{sv} R_s + j\dot{I}_{sv} X_{s\sigma v} + j\dot{I}_{sv} X_{mv} + j\dot{I}_{rv} X_{mv} \\ 0 &= \dot{I}_{rv} \frac{R_r}{s_r} + j\dot{I}_{sr} X_{mv} + j\dot{I}_r X_m + j\dot{I}_{rv} X_{r\sigma v} \end{aligned}\right] \quad (13)$$

حيث: s_v انزلاق الدائر بالنسبة للحقل الناتج عن التوافقية ذات الدرجة v للجهد ويتم تحديده من العلاقة التالية:

$$S = \frac{\nu\omega \pm \omega r}{\nu\omega} = 1 \pm \frac{\Omega}{\nu} \quad (14)$$

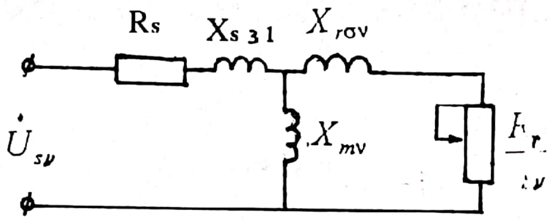
وتعود اشارة(-) في العلاقة(14) الى التوافقيات ذات التتابع الموجب، كما تعود اشارة(+) الى التوافقيات ذات التتابع العكسي.

ويتحدد الشعاع العام لتيار ثابت المحرك is من العلاقة التالية:

$$\bar{i}_s = \sum_{v=1}^{\infty} \bar{i}_{sv} \quad (15)$$

حيث is الشعاع المعمم لتيار التوافقية.

ويمكن حساب الممانعة المكافئة الطورية للمحرك التحريضي من أجل التوافقية الأولى بمساعدة الدارة المكافئة المبينة في الشكل



شكل(1)

الدارة المكافئة لأحد أطوار المحرك التحريضي من أجل التوافقيات العليا

$$Z_{31} = R_{31} + jX_{31} \quad (16)$$

$$R_{31} = R_s + \frac{(R_r / S)X_m^2}{(R_r / S)^2 + (X_{r\sigma} + X_m)^2} \quad (17)$$

$$X_{31} = X_{s\sigma} + X_m \frac{(R_r / S)^2 + X_{r\sigma}^2 + X_{r\sigma}X_m}{(R_r / S)^2 + (X_{r\sigma} + X_m)^2} \quad (18)$$

وبشكل مشابه يمكن أن نكتب العلاقات التالية من أجل التوافقية ν:

$$Z_{3\sigma} = R_{3\nu} + jX_{3\sigma} \quad (19)$$

حيث:

$$R_{3\nu} = R_s + \nu^2 \frac{(R_r / S_r)X_m}{(R_r / S_r)^2 + (\nu X_{r\sigma} + \nu X_m)^2} \quad (20)$$

$$X_{3\nu} = \nu\left[X_{s\sigma} + X_m \frac{(R_r / S_\nu)^2 + (\nu X_{\nu\sigma})^2 + \nu^2 X_{r\sigma}X_m}{(R_s / S_\nu)^2 + (\nu X_{r\nu} + \nu X_m)^2}\right] \quad (21)$$

أو:

$$Z_{3\nu} = Z_{3\nu}e^{j\varphi\nu} \quad (22)$$

$$\dot{Z}_{3\nu} = \sqrt{R_{3\nu}^2 + X_{3\nu}^2} \quad (23)$$

$$\varphi_\nu = arctan\frac{X_{3\nu}}{R_{3\nu}} \quad (24)$$

ممانعات دارة الثابت:

$$\dot{Z}_{s\nu} = R_s + j\nu X_{s\sigma} = Z_{s\nu} e^{j\varphi s\nu} \quad (25)$$

$$Z_{s\nu} = \sqrt{R_s^2 + \left(\nu X_{s\sigma}\right)^2} \quad (26)$$

$$\varphi_{s\nu} = arctan \frac{\nu X_{s\sigma}}{R_s} \quad (27)$$

ممانعات دارة الدائر:

$$\dot{Z}_{s\nu} = \frac{R_r}{S\nu} + j\nu X_{r\sigma} = Z_{r\nu} e^{j\varphi r\nu} \quad (28)$$

$$Z_{r\nu} = \sqrt{\left(R_r / S_\nu\right)^2 + \left(\nu X_{r\sigma}\right)^2} \quad (29)$$

$$\varphi_{r\nu} = arctan \frac{\nu X_{r\sigma} S_\nu}{R_r} \quad (30)$$

ويكتب تيار الثابت من أجل التوافقية على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} i_{s\nu} &= \frac{U_{s\nu m}}{Z_{3\nu}} e^{\pm j(\nu\omega t - \varphi\nu)} \\ &= \frac{U_{s\nu m}}{Z_{3\nu}}\left[cos(\nu\omega t - \varphi_\nu) \pm j\, sin(\nu\omega t - \varphi_\nu)\right] \quad (31) \\ &= Re(\bar{i}_{s\nu}) \pm jm(\bar{i}_{s\nu}) \end{aligned}$$

ولايجاد قيمة تيار الدائر نحدد قيمة القوة المحركة الكهربائية:

$$\begin{aligned} \overline{E}_\nu &= \overline{U}_{s\nu} - \bar{i}_{s\nu} Z_{s\nu} \\ &= U_{s\nu m}\left[e^{\pm j\nu\omega t} - \frac{Z_{s\nu}}{Z_{3\nu}} e^{\pm(\nu\omega t - \varphi_\nu + \varphi_{s\nu})}\right] \quad (32) \end{aligned}$$

وعندئذ يتم تحديد تيار الدائر من العلاقة:

$$
\begin{aligned}
i_{r\nu} &= \frac{\overline{E}_{\nu}}{Z_{r\nu}} = \frac{U_{s\nu m}}{Z_{r\nu}}\left[e^{\pm j(\nu\omega t-\varphi_{r\nu})} - \frac{Z_{s\nu}}{Z_{3\nu}} e^{\pm j(\nu\omega t-\varphi_{\nu}+\varphi_{s\nu}+\varphi_{r\nu})}\right] \\
&= \frac{U_{s\nu m}}{Z_{r\nu}}\left[\cos(\nu\omega t-\varphi_{r\nu}) - \frac{Z_{s\nu}}{Z_{3\nu}}\cos(\nu\omega t-\varphi_{\nu}+\varphi_{s\nu}+\varphi_{r\nu})\right] \pm \\
& j\frac{U_{s\nu m}}{Z_{r\nu}}\left[\sin(\nu\omega t-\varphi_{r\nu}) - \frac{Z_{s\nu}}{Z_{3\nu}}\sin(\nu\omega t-\varphi_{\nu}+\varphi_{s\nu}+\varphi_{r\nu})\right] \\
&= \mathrm{Re}(i_{r\nu}) \pm j\,\mathrm{Im}(i_{r\nu}) \qquad (33)
\end{aligned}
$$

وفي العلاقة السابقة اشارة(+) تعود التوافقيات ذات التعاقب الموجب، واشارة(–) تعود الى التوافقيات ذات التعاقب العكسي.

من العلاقة(15) والعلاقة(31) نجد:

$$
\begin{aligned}
\bar{i}_s &= i_{s\alpha} + j i_{s\beta} \\
&= \sum_{\nu=1}^{\infty} i_{s\alpha\nu} + j\sum_{\nu=1}^{\infty} i_{s\beta\nu} \qquad (34)
\end{aligned}
$$

حيث:

$$
\sum_{\nu=1}^{\infty} i_{s\alpha\nu} = \sum_{\nu=1}^{6n\pm1} \frac{U_{sm\nu}}{Z_{3\nu}} cos(\nu\omega t - \varphi_{\nu}) \qquad (35)
$$

حيث(n= 0، 1، 2...) و$\nu > 0$ دوماً

$$
\sum_{\nu=1}^{\infty} i_{s\alpha\nu} = \sum_{\nu=1}^{6n+1} \frac{U_{sm\nu}}{Z_{3\nu}} \sin(\nu\omega t - \varphi_{\nu}) - \sum_{\nu=5}^{6n-1} \frac{U_{sm\nu}}{Z_{3\nu}} \sin(\nu\omega t - \varphi_{\nu}) \qquad (36)
$$

وبشكل مشابه نجد تيار الدائر على الشكل:

$$
\bar{i}_r = i_{r\alpha} + j i_{r\beta} = \sum_{\nu=1}^{\infty} i_{r\alpha\nu} + j\sum_{\nu=1}^{\infty} i_{r\beta\nu} \qquad (37)
$$

حيث:

$$\sum_{\nu=1}^{\infty} i_{r\alpha\nu} = \sum_{\nu=1}^{6n+1} \frac{U_{sm\nu}}{Z_{r\nu}} \left[\cos(\nu\omega t - \varphi_{r\nu}) - \frac{Z_{s\nu}}{Z_{3\nu}} \cos(\nu\omega t - \varphi_{\nu} + \varphi_{s\nu} - \varphi_{r\nu}) \right] \quad (38)$$

$$\sum_{\nu=1}^{\infty} i_{r\beta\nu} = \sum_{\nu=1}^{6n+1} \frac{U_{sm}}{Z_{r\nu}} \left[\sin(\nu\omega t - \varphi_{r\nu}) - \frac{Z_{s\nu}}{Z_{3\nu}} \sin(\nu\omega t - \varphi_{\nu} + \varphi_{s\nu} - \beta_{r\nu}) \right]$$
$$- \sum_{\nu=1}^{6n-1} \frac{U_{sm}}{Z_{r\nu}} [\sin(\nu\omega t - \varphi_{r\nu}) - \frac{Z_{s\nu}}{Z_{3\nu}} \sin(\nu\omega t - \varphi_{r\nu}) \quad (39)$$
$$- \frac{Z_{s\nu}}{Z_{3\nu}} \sin(\nu\omega t - \varphi_{\nu} + \varphi_{s\nu-}\varphi_{r\nu})]$$

ولايجاد العزم الكهرومغناطيسي للمحرك نستخدم المعادلة التالية:

$$M_3 = \frac{3}{2} P.Lm.\bar{i}_r.\bar{i}_s = \frac{3}{2} P.Lm(i_{r\alpha} i_{s\beta} - i_{r\beta} i_{s\beta}) \quad (40)$$

حيث p عدد أزواج الأقطاب للمحرك.

باستبدال التيارات الواردة في العلاقة(40) بقيمها من العلاقات(34) و(37) نجد أن:

$$M_3 = P.Lm \left[\sum_{\nu=1}^{6n\mp1} i_{r\alpha\nu} \sum_{\nu=1}^{6n\mp1} i_{s\beta\nu} - \sum_{\nu=1}^{6n\mp1} i_{r\beta\nu} \sum_{\nu=1}^{6n\mp1} i_{s\alpha\nu} \right] \quad (41)$$

ان العلاقة(41) لحساب العزم الكهرومغناطيسي تتضمن مجاميع التأثير المتبادل للتوافقيات ذات الرقم الواحد بين الثابت والدائر وكذلك مجاميع التأثير المتبادل للتوافقيات ذات الأرقام المختلفة للثابت والدائر، وبذلك يمكن اعادة كتابة العلاقة(41) على الشكل التالي:

$$M_3 = M_0 + M^{*} \quad (42)$$

حيث:

$$M_0 = \frac{3}{2} P.Lm \sum_{\nu=1}^{6n\mp1} \left(i_{r\alpha\nu} i_{s\beta\nu} - i_{r\beta\nu} i_{s\alpha\nu} \right) \quad (43)$$

$$M_0 = M_1 + M_2 + M_3 + \ldots + M_{6n\mp1} = \sum_{\nu=1}^{6n\mp1} M_\nu \quad (44)$$

M_0 يـأخذ بعيــن الاعتبـــار التـــأثير المتبـادل للتوافقيات ذات الرقـم الواحد بيــن الثابت والدائر فقط.

وتبقى قيمة M_0 ثابتة على طول دور كـامل لجهـد التغذية، وتحـدد قيمــة الســرعة المستقرة للدائر.

M^* مركبة العزم الناتجة عـن التـأثير المتبادل بين التوافقيات ذات الرقـم المختلف بين الثابت والدائر ويمكن حسابها انطلاقا من العلاقة(42):

$$M^* = M_3 - M_0 \quad (45)$$

ســرعة الـدوران للدائــر Wr يمكــن ايجادها من العلاقة التالية:

$$M_3 - M_c = J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (46)$$

Mc: عـزم الحمولـة الستاتيكي علــى محور المحرك.

J: عــزم القصـور الذاتــي لجملـــة القيادة الكهربائية.

وعندمـــا يتـــم التعبــير عـــن العـــزم باستخدام العلاقـــة(45) مـــن أجـل الحـــالات $W_r > O$ يمكن استخدام مبـدأ التراكم والـذي يســمح بحســاب ســرعة الــدوران الزاويـــة للمحرك كمجموع حدين:

$$\omega_r = \omega_{cp} + \omega_D \quad (47)$$

حيث ω_{cp} القيمـــة الوسطية للسرعة والناتجة عن العزم Mo.

ω_D مركبــة الســرعة الناتجــة عــن العزم المتغير "النبضي" M^* ولتحديد هاتين المركبتين للسرعة نضع فـي معادلـة الحركـة (46) قيمة عزم المحـرك مـن العلاقـة (42) والسرعة الزاوية مـن العلاقـة(47)، وعندئـذ يمكــن تجزئــة معادلـــة الحركــــة الــــى معـــادلتين(مركبتيـــن)، مركبـــة مســـتمرة وتساوي:

$$M_0 - M_c = J \frac{d\omega_{cp}}{dt} \quad (48)$$

ومركبة نبضية تساوي:

$$M^* = J \frac{d\omega_D}{dt} \quad (49)$$

ولتقييم تزايدات السـرعة "نبضاتهـا"

نهمل تغير العزم خلال فترة زمنية محددة.t_n من العلاقة (49) نجد:

(50)

$$\int_0^{t_n} M^* dt = Jd\omega_D = J\Delta\omega_D = M^*_{cp}.t_n$$

ومنه نجد قيمة التزايدات خلال الفترة الزمنية Tn كما يلي:

(51)

$$\omega_D = \sum_1^N \Delta\omega_D = \frac{1}{J}\sum_1^N M_{cp}.t_n$$

حيث $N = T_n / t_n$: عدد الفترات الزمنية ذات الطول t_n.

مخطط وبرنامج حساب الضياعات في المحرك التحريضي عند تغذيته من مبدلة جهد قالبة:

تستخدم مبدلة الجهد القالبة لتغذية المحرك التحريضي ذي الدائر المقصور وتؤمن جهد خرج على شكل نبضة عريضة متدرجة. مثل هذه الموجة للجهد تحتوي بالاضافة الى التوافقية الأولى على كل التوافقيات العليا ذات الدرجة الفردية في الأنظمة ثلاثية الطور، وتختفي أيضا التوافقية الثالثة.

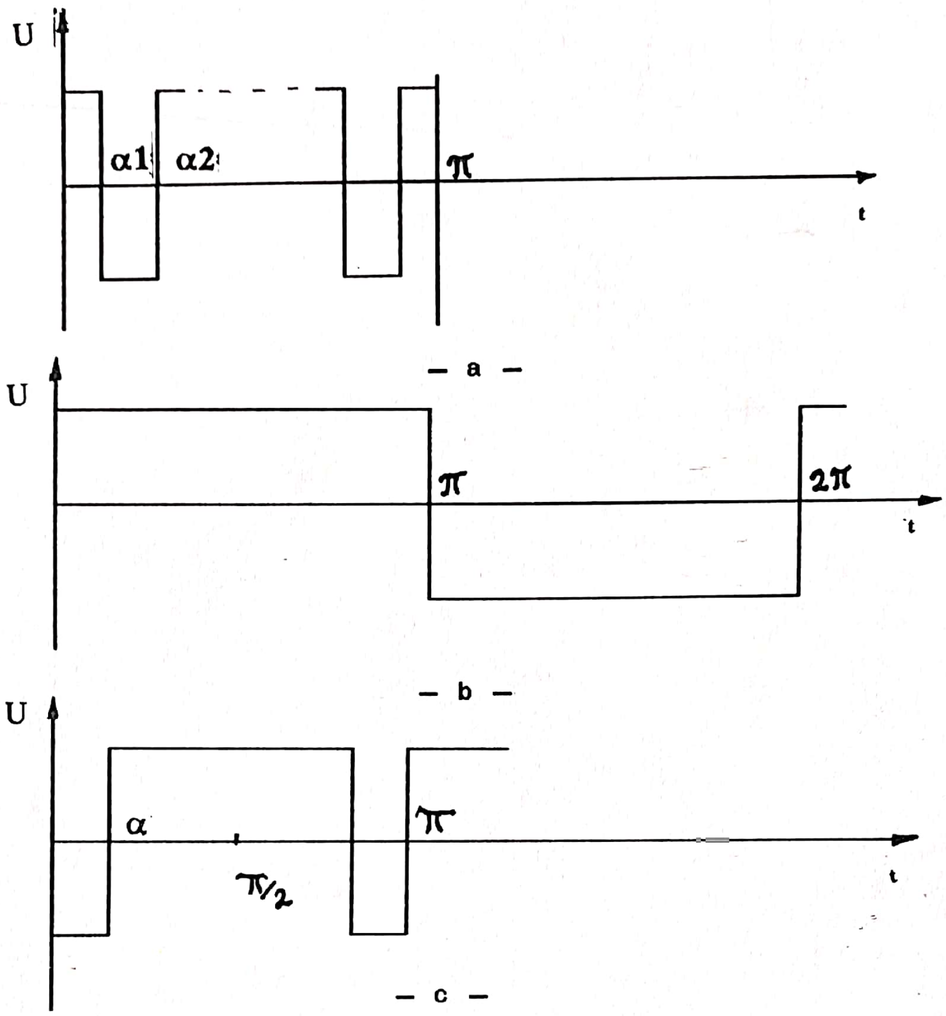
ويؤدي ظهور التوافقيات العليا الى ارتفاع قيمة الضياعات في ملفات الثابت والدائر وكذلك في حديد المحرك. ان ذلك يستدعي تقييم أنظمة القيادة الآلية التي تستخدم مثل هذه المبدلات انطلاقا من شكل موجة الجهد على خرج المبدلة القالبة. ان تشكيل جهد المبدلات القالبة مبني على أساس طرق تشكيل النبضات العريضة. لقد تم تقييم مثل هذه الطرق من قبل بعض الباحثين وتبين معهم على سبيل المثال أن حذف بعض التوافقيات يؤدي الى ازدياد طويلة التوافقيات الأخرى، ولكن لم يتم حساب ذلك كعامل من عوامل توافقيات الجهد.

والطريقة الأكثر جدوى لتقييم جودة الجهد هي تقييم مستوى الضياعات في المحرك والناتجة عن التوافقيات العليا. ومن المهم أيضا تقييم عامل التوافقيات للتيار.

وفيما يلي تقدم طريقة لحساب الضياعات في نحاس المحرك التحريضي عند تغذيته بجهد غير جيبي وذلك باستخدام الحاسب الشخصي.

المعطيات:

1. الدارة المكافئة للمحرك التحريضي ذي الدائر المقصور.
2. منحني جهد الخرج للمبدلة القالبة. شكل(2).



شكل(2)

التقريبات:

١ – عدم حساب الضياعات الحديدية.

٢ – المقاومة الحقيقية لملفات المحرك مستقلة عن التردد.

٣ – سرعة دوران المحرك التحريضي ثابتة.

التقريبات المذكورة أعلاه ستؤدي الى عدم الدقة في حساب الضياعات، ولكن ذلك لا يؤثر على مبدأ الحساب. ويمكن ادخال ذلك في البرامج ببساطة.

سيتم الحساب وفق التسلسل التالي:

تحسب طويلة جهد الخرج من أجل التوافقية الأولى من العلاقة التالية

$$U_{1m} = \frac{4U_d}{\pi}\left[1+2\sum_{i=1}^{m}(-1)^i \cos(\alpha_i)\right] \quad (52)$$

والحساب سيتم من أجل القيمة العظمى للتوافقية الأولى من جهد الخرج الأسمي $V_{1m}=2V_{ph}$ وكذلك من أجل القيمة الأسمية للانزلاق Sn.

وعندئذ يمكن حساب الجهد على دخل المبدلة V_d من العلاقة (52):

$$U_d = \frac{U_{1m}.\pi}{4\left[1+2\left(\sum_{i=1}^{\infty}(-1)^i \cos\alpha_i\right)\right]} \quad (53)$$

قيمة الطويلة لجهد الخرج من التوافقية ν تحسب من العلاقة التالية:

$$U_{\nu m} = \frac{4U_d}{\nu\pi}\left[1+2\sum_{i=1}^{m}(-1)^i \cos \nu\alpha_i\right] \quad (54)$$

حيث: ν= 6n + 1 n= 0،1،2،..... .

التوافقيات ذات الدرجة(ν = 6n + 1) تشكل تعاقباً مباشراً لنظام الجهد أما التوافقيات ذات الدرجة (ν = 6n - 1) فتشكل تعاقباً عكسياً.

وتحدد قيمة الممانعات لطور من المحرك التحريضي ومن أجل التوافقية الأولى من العلاقة:

$$R_{31} = R_s + \frac{(Rr/S).X_m^2}{(Rr/S)^2+(X_{r\sigma}+X_m)^2} \quad (55)$$

$$X_{31} = X_{s\sigma} + X_m \frac{(Rr/S)^2+X_{r\sigma}^2+X_{r\sigma}X_m}{(Rr/S)^2+(X_{r\sigma}+X_m)^2} \quad (56)$$

$$Z_{31} = R_{31} + jX_{31} \quad (57)$$

وبشكل مشابه من أجل التوافقية ν نجد:

$$R_{3\nu} = R_s + \nu^2 \frac{(Rr/S_r).X_m}{(Rr/S_r)^2+(\nu X_{r\sigma}+\nu X_m)^2} \quad (58)$$

$$X_{31} = X_{s\sigma} + X_m \frac{(Rr/S)^2 + X_{r\sigma}^2 + X_{r\sigma}X_m}{(Rr/S)^2 + (X_{r\sigma} + X_m)^2} \quad (59)$$

حيث: $S_\nu = \dfrac{\nu\omega_0 \mp \omega_r}{\nu\omega}$

وتعود الاشارة(-) الى التوافقيات ذات التعاقب الموجب والاشارة(+) الى التوافقيات ذات التعاقب العكسي.

ممانعة دارة الثابت للمحرك:

$$Z_{\text{э}\nu} = \sqrt{R_s^2 + (\nu X_{s\sigma})^2} \quad (60)$$

ممانعة دارة الدائر للمحرك:

$$Z_{r\nu} = \sqrt{(R_\nu / S)^2 + (\nu X_{r\sigma})^2} \quad (61)$$

تيار الثابت من أجل التوافقية يمكن تحديده من العلاقة:

$$I_{s\nu} = \frac{U_{\nu m}}{Z_{\text{э}\nu}} \quad (62)$$

ولايجاد تيار الدائر لابد من تحديد قيمة القوة المحركة الكهربائية:

$$E_\nu = U_{\nu m} - I_{s\nu} . Z_{s\nu} \quad (63)$$

وعندئذ يتم حساب تيار الدائر من العلاقة:

$$I_{r\nu} = \frac{E_\nu}{Z_{r\nu}} \quad (64)$$

وبذلك يمكن حساب ضياعات الثابت والدائر النحاسية كما يلي:

$$\Delta P_{r\nu} = 3I_{r\nu} . R_{r\nu} \quad (65)$$

$$\Delta P_{s\nu} = 3I_{s\nu} . R_{s\nu} \quad (66)$$

الضياعات الكلية من أجل التوافقية v تعطى بالعلاقة:

$$\Delta P_\nu = \Delta P_{r\nu} + \Delta P_{s\nu} \quad (67)$$

ويمكن تقييم الجهد من خلال عامل التوافقيات للجهد وعامل التوافقيات للتيار وذلك حسب ما يلي:

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} (U_{\nu m} / \nu)^2}{U_{1m}^2}} \quad (68)$$

$$K_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} I_{sv}^2}{I_1^2}} \quad (69)$$

ومن أجـل التوافقيـات العليـا وبتقريـب مقبول يمكن التعبير عن دارة القصر حيث:

$$I'_{si} = I'_r \quad (70)$$

ان ممانعـــة طـــور المحـــرك يمكـــن الحصول عليها بالعلاقات التالية:

$$R'_{эv} = R_s + R_S / Sv \quad (71)$$

$$X'_{эv} = v(X_{s\sigma} + X_{r\sigma}) \quad (72)$$

$$Z'_{эv} = \sqrt{(R'_{эv})^2 + (X_{эv})^2} \quad (73)$$

كما نجد التيار من العلاقة:

$$I'_{sv} = \frac{U_{vm}}{Z_{эv}} \quad (74)$$

ويتـم حسـاب عـامل التوافقيـات للتيـار من العلاقة التقريبية التالية:

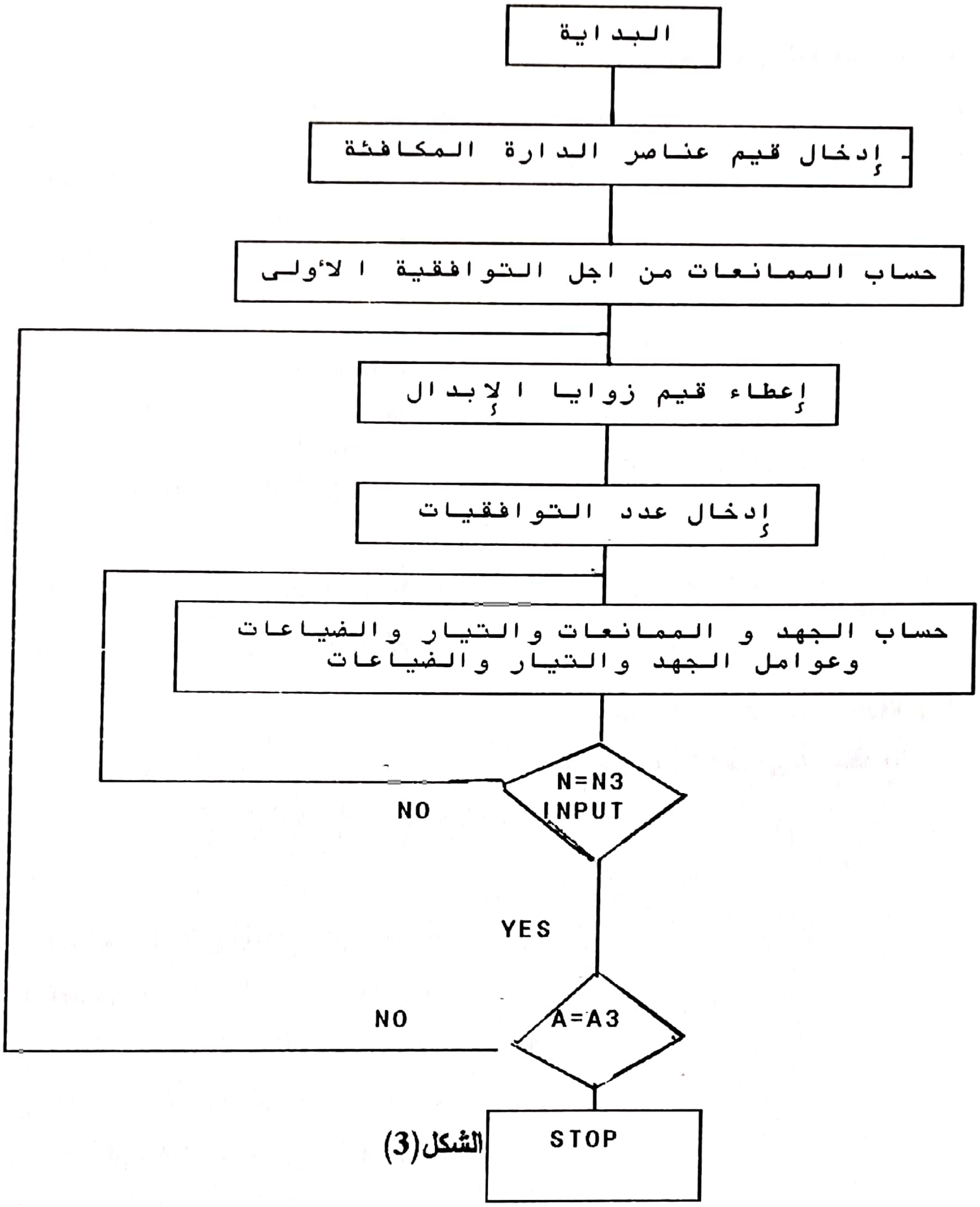
$$K_\iota = \sqrt{\frac{\sum I'_{sv}}{I_1^2}} \quad (76)$$

ويمكن حساب الخطـأ فـي قيمـة التيـار وعـامل التوافقيـات للتيـار بالاعتمـــاد علـــى القيمة الدقيقة التقريبية للحساب كما يلي:

$$\Delta I = \frac{I_{sv} - I'_{sv}}{I_{sv}}.100 \quad (77)$$

$$\Delta K = \frac{K_\iota - K'_\iota}{K_\iota} \quad (78)$$

ان مخطط حساب الضياعات مبين على الشكل(3).


البداية
إدخال قيم عناصر الدارة المكافئة
حساب الممانعات من اجل التوافقية الأولى
إعطاء قيم زوايا الإبدال
إدخال عدد التوافقيات
حساب الجهد و الممانعات والتيار والضياعات وعوامل الجهد والتيار والضياعات
N=N3
INPUT
NO
YES
A=A3
NO
STOP
الشكل(3)

ولقد تمت الدراسة من أجل عدد وصلات m=2 ومن أجل المنحنيات المبينة في الشكل(2):

1 - $\alpha1=0.4117$ $\alpha2=0.58$

2 - $\alpha1=0.2878$ $\alpha2=0.3855$

3 - $U_{\nu m}^{\cdot} = \frac{\nu_{1m}}{\nu}$

4 - $\alpha1=0.3319$ $\alpha2=0.4981$

5 - $\alpha1=0.2822$ $\alpha2=0.4509$

6 - $\alpha1=0.28$ $\alpha2=0.454$

7 - $\alpha1=0.1738$ $\alpha2=0.3344$

الرقم(3) رمز لحالة المبدلة عند قدح طوري بزاوية $\alpha 1$ شكل(1) في هذه الحالة فان:

$$U_{\nu m} = \frac{U_{1m}}{\nu} \quad (79)$$

وبالاعتماد على نتائج الحسابات تم انشاء المنحني $\Delta P_{\nu} / \Delta P_1 = f(\nu)$ شكل(4). ولمقارنة الضياعات الكلية في حالة الأخذ بعين الاعتبار أكثر التوافقيات العليا مع الضياعات الكلية الناتجة الأولى وكذلك عامل توافقيات التيار كتابع لقيمة الزاوية α_1 α_2 تم انشاء منحني النسب $\sum \Delta P_{\nu} = f(N)$ ، $\sum \Delta P_{\nu} / \Delta P_1 = f(N)$ ، $K_U = f(N)$ ، $K_1 = f(N)$ ،

شكل(6) حيث 1.....7 =N رقم الاحتمال.

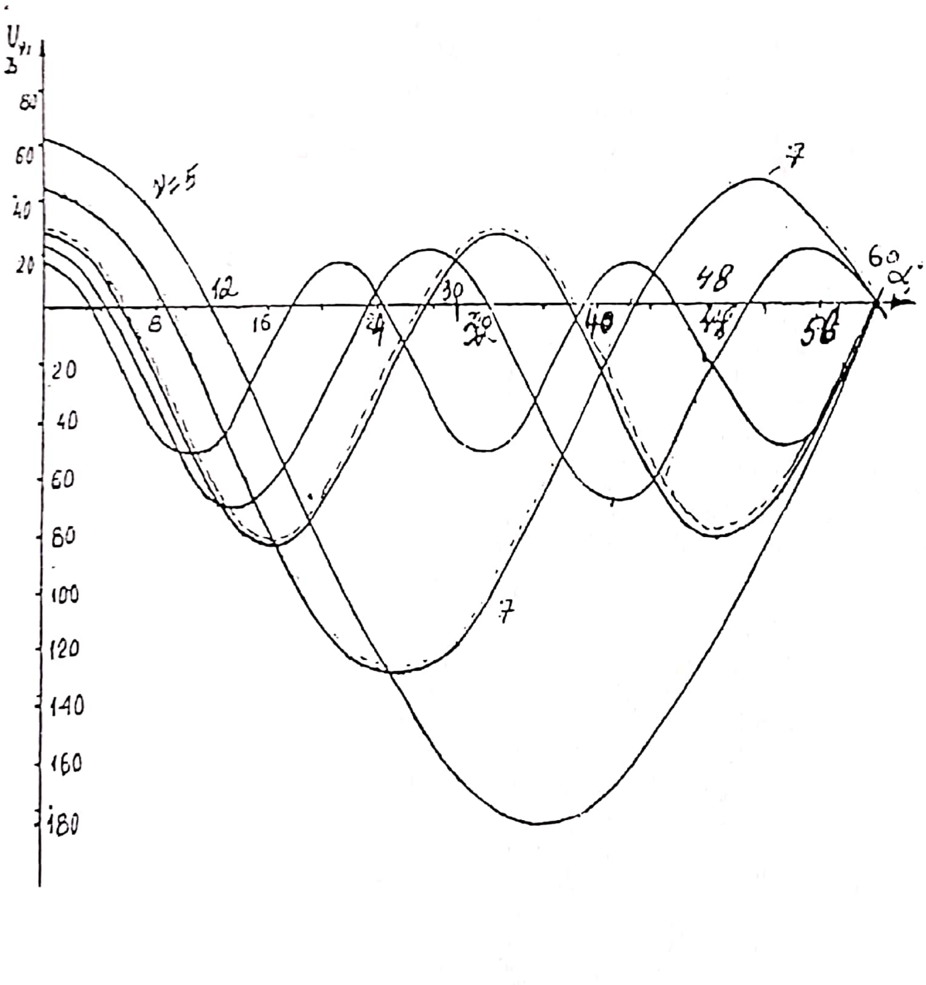
وسنهتم بشكل المنحني الموافق للشكل(1-B) وعند عدد وصلات قدح في المجال m=1 في الشكل(1-B). ويمكن اعادة صياغة العلاقة (52) بالشكل

$$U_1 = \frac{4U_d}{\pi}\left(-1+2\cos\alpha_1\right) \quad (80)$$

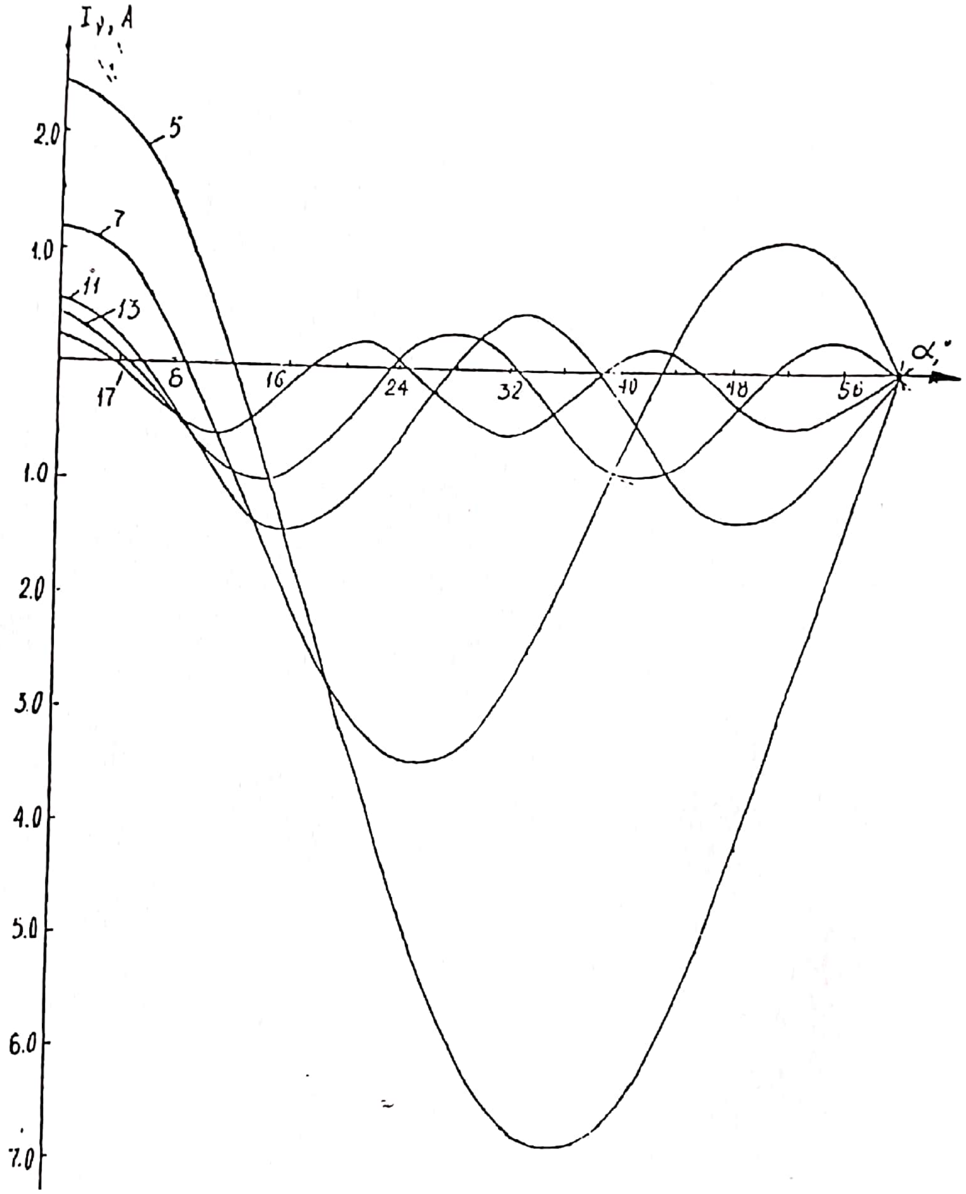
من أجل التوافقية ν_m :

$$U_{\nu m} = \frac{4U_d}{\nu\pi}\left(-1+2\cos\alpha_{1\nu}\right) \quad (81)$$

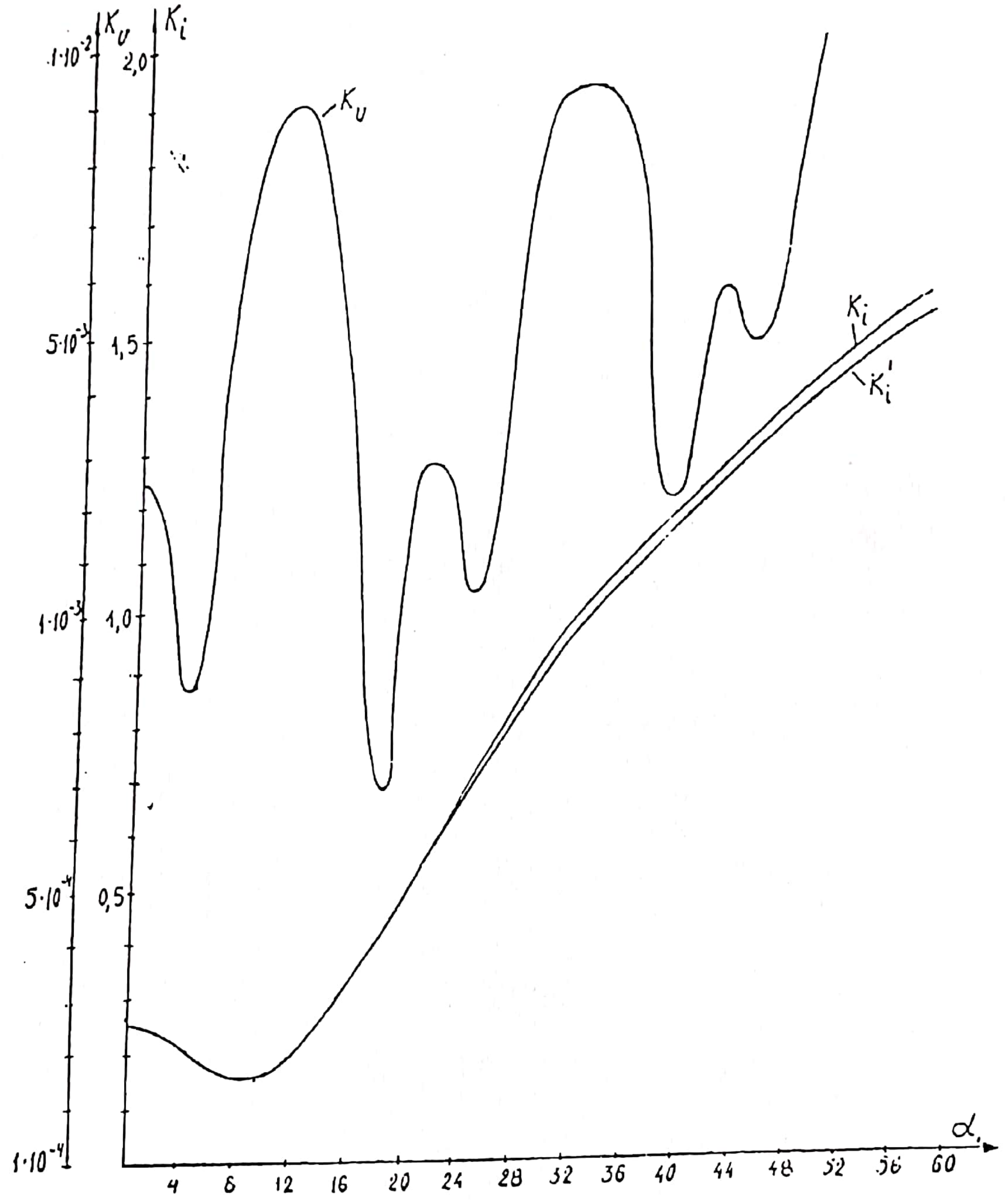
حيث α_1 تتغير من الصفرحتى $\pi / 3$ حتى وذلك بمقدار2^o في كل خطوة.



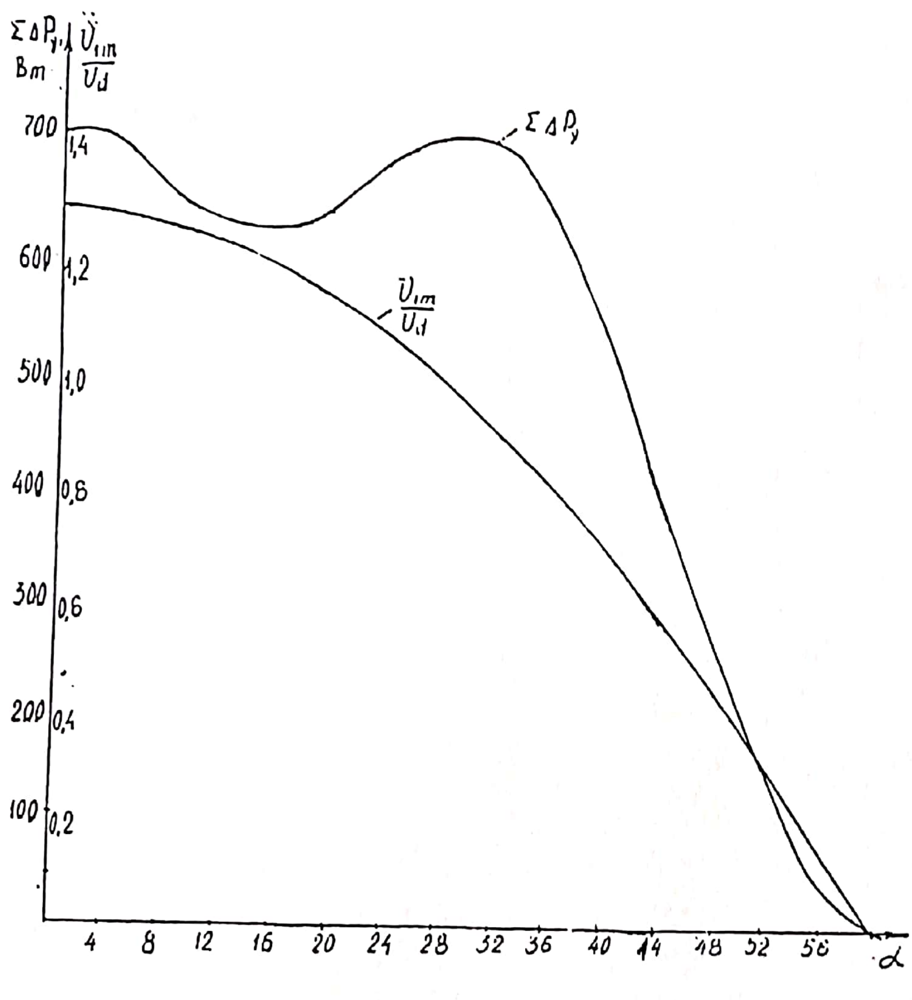
الشكل 4



الشكل 5


K_U
K_i
1·10^-2
2,0
K_U
5·10^-3
1,5
K_i
K_i'
1·10^-3
1,0
5·10^-4
0,5
1·10^-4
α
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
44
48
52
56
60

الشكل 6


ΣΔPy, Bm
U1m/Ud
700 1,4
600 1,2
500 1,0
400 0,8
300 0,6
200 0,4
100 0,2
4 8 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48 52 56
α
ΣΔPy
U1m/U1d

الشكل 7

ويمكـن ايجـاد الجهـد U_d مـن العلاقة(53). وعندما $\alpha_1=0$ فان:

$$U_{1m} = \sqrt{2}U_{PR} = \sqrt{2}.220 = 311V$$

نأخذ : U_d=const وهـذه الحالـة تستدعي الدراسة أيضا وخاصة عندما يتغير جهد التوافقية الأولى مع تغير زاوية القدح α للدارة الرئيسية في المبدلة.

واعتمادا على نتائج الحساب تم انشاء المنحنيات $U_v=F(\alpha)$ شكل (4).

والمنحني $I_v=F(\alpha)$ شكل (5) وكذلك المنحنيات$K_I=F(\alpha)$ $K_v=F(\alpha)$ $K'_I=F(\alpha)$ (شكل(6) ثم المنحنيات $\Delta P_v=F(\alpha)$ و $U_{1m}/U_d=F(\alpha)$ شكل (7).

وهذه الحسابات تمت من أجل المحرك 4A1002Y3 ذي المواصفات التالية:

$X_2=2,326\ \Omega$, $X_1=1,427\ \Omega$, $X_m=53,783\ \Omega$

$r_1=1,221\ \Omega$, $r_2=0,752\ \Omega$

- تـم احتسـاب التوافقيـات حتـى الرقم($v=49$)

النتائج:

1- تعتبر طريقة تشكيل الجهد عند الفتح مرتين خلال ربع دور وبزوايا قدح $\alpha_1 = 0,2878$ و $\alpha_2 = 0,3855$ الطريقة المثلى وذلك من وجهة نظر قيمة الضياعات الكلية.

2- ان أثر التوافقيات يمكن تقييمه بالاعتماد على عامل التيار للتوافقيات المحسوبة بالطريقة التقريبية.

3- ومن أجل اشارة الجهد ذات الشكل المستطيل شكل(2-b) القيمة المثلى لزاوية القدح هي$\alpha=14$ حيث تكون الضياعات عند ذلك ذات قيمة أصغرية

4- وقد تم وضع برنامج لحساب القيم المذكورة أعلاه على الحاسب الشخصي باستخدام لغة البيزك(BASIC) ويعبر البرنامج عن طريقة الحساب.

5- ويمكن استخدام هذا البرنامج للحساب من أجل أي محرك آخر من نفس النوع وذلك بتغيير قيمة المعطيات ويمكن استخامه في العملية التدريسية وعمليات البحث العلمي في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين.

ABSTRACT

When regulating the speed of electric engines through the change of the supply voltage or the supply frequency, the thyristoric converters are used as they work on withholding a part of the alternating voltage wave which is applied to the engine. This means that applied voltage will form a non_alternating regular voltage which can be analysed according to Fourier analysis into groups of alternating constructs of varying frequencies called the high harmonies of the applied voltage. This will be countered, during the operation of the control system at a fixed average speed, by the appearance of impulses in the sign of the electromagnetic supply and the speed sign along the supply voltage. For the evaluation of the electric engine operation in the non_alternating regular systems a study has been carried out on an induction motor with a shortened circulator "4A1002Y3".

The general radiation method of the electric machine is also used on the assumption that this machine is supplied by a reversing thyrostoric converter which secures a supply in the form of a gradual broad impulse. It is observed that appearance of the harmonies causes a rise in the loss in the engine. The most reliable method for estimating the quality of the supply voltage is the estimation of the losses in the engine which are caused by the high harmonies. The personal computer has been used for the evaluation of the loss in the engine iron when it is supplied by a non_alternating voltage. The BASIC programme has been also used. The objective of this research is to estimate the effects of the high harmonies on the operation of the electric control engines and to introduce a programe for calculating the losses resulting from these harmonies. The programe can be used for any engine of the same kind. It can also be useful for the scientific research in the performance of the electric control systems. The results confirm the importance of the research for students and scientists working in this field.

المراجع:

1- الكترونيات القدرة الكهربائية د.م.محمد سعيد عقيل جامعة حلب 1988

2- اطروحة الدكتوراه بعنوان:

موسكو 1986 د.علي محمود

3-

مينسك 1978

4-

موسكو 1980