حساب عزم المحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة في حالة الكبح

الدكتور المهندس عباس صندوق *

الملخص

أُجريتْ دراسة تحليلية لبيان كيفية حساب عزم المحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة في حالة الكبح (SRM) إذْ إنَّ هذا النوع من المحركات يعدُّ بالتصنيف من الحالات الخاصة لمحركات التيار المستمر، ولذلك استُخدِمَتْ معادلات محرك التيار المستمر لدراسة الحالة عند الكبح و مقارنة هذه الحالة بالمحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة. والطريقة التي اعتمدت جديدة ومناسبة للحصول على تابع العزم في المحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة والذي من خلاله يمكن أن يتحقق العزم المطلوب في حالة السكون للمحرك (الكبح). مع الأخذ بالحسبان أن العزم في هذا النوع من المحركات ذو قيمة متغيرة من محرك إلى آخر نظراً إلى اعتماده على عدد أقطاب الثابت وأسنان الدائر.

الكلمة المفتاحية: المحرك ذو الممانعة المغناطيسية المتغيرة.

* كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق

1- حساب عزم المحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة في حالة الكبح

- مقدمة :

أعطت البحوث والدراسات التي عالجت العزم في المحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة علاقة العزم بالعلاقة (1). **[3,5,6,8]**

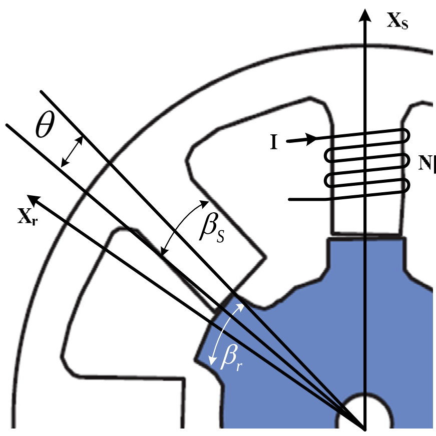
$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \qquad (1)$$

إذْ : T: العزم .

L :الحثية (التحريض الذاتي).

θ: زاوية التداخل بين سن الدائر ومحور قطب الثابت كما هو مبين في الشكل (1).

i : تيار الثابت.



الشكل (1): يبيّن زاوية التطابق بين سن الدائر وقطب الثابت

ونظراً إلى أن الحثية L تعطى عادة بالعلاقة: $L = N^2 / R_m$، إذْ N هوعدد لفات الملف الواحد لأحد أقطاب الثابت، وR_m هي المقاومة المغناطيسية للدارة وتتكون من جزأين

هما مقاومة الثغرات الهوائية R_{mg} وهي مقاومة متغيرة حسب تغير السطح بين الثابت والدائر أو مايسمى بسطح التطابق، ومقاومة المعدن المغناطيسي للدارة $R_{m\ iron}$ وهي ثابتة تقريباً عند تيار ثابت ، ويمكننا التعبير عنها بالعلاقة الآتية :

$$R_m = R_{mg} + R_{m\,iron} \qquad (2)$$

ولمّا كان عدد أقطاب الثابت يختلف عن عدد أسنان الدائر في هذا النوع من المحركات لذلك فإن العزم يختلف حسب عدد أقطاب الثابت وأسنان الدائر وعلى سبيل المثال في المحرك ذي عدد الأقطاب 4/6 تكون علاقة العزم من الشكل الآتي: **[3]**:

$$T = T_o \frac{1}{(\theta_r \frac{R_{miron}}{R_{mg\,\min}} + 1)^2} \qquad (3)$$

إذْ:

$$T_0 = \frac{1}{2} \frac{i^2\ N}{\theta_{\max} R_{mg\,\min}} \qquad (4)$$

$$\theta_r = \frac{\theta}{\theta_{\max}} = \frac{\theta}{\beta} \qquad (5)$$

أمّا اذا كان المحرك من النموذج 3/4 نجد أن هذه المعادلة تصبح كما في العلاقة(6):

$$T = T_0 \frac{4(1-\theta_r)}{[\frac{R_{miron}}{R_{mg\,\min}}(2\theta_r - \theta_r{}^2) + 2]^2} \qquad (6)$$

ومن ثمَّ نجد أن العزم لا يتأثربالحثية L (نماذج هذا النوع من المحركات هي من مضاعفات النموذجين المذكورين أعلاه) . يمكن حساب العزم الوسطي لهذا النوع من المحركات بالعلاقة الآتية:

$$T_{ave} = \frac{1}{\theta_N} \int_0^{\theta_N} T\, d\theta \qquad (7)$$

إذْ: $\theta_N = \frac{2\pi}{n\,m}$ وتمثل (n) عدد أسنان الدائر في حين (m) هي عدد أقطاب الدائر، وبالحل يمكننا كتابة المعادلة على الشكل الآتي:

$$T_{ave} = T_0\left[\frac{1}{\dfrac{\theta_N\, R_{miron}}{\theta_{\max}\, R_{mg1}} + \dfrac{2\theta_{\max}\,\theta_N}{\theta_N(2\theta_{\max}-\theta_N)}}\right] \quad (8)$$

ويمكننا أن نعبر عن العلاقة (8) بالعلاقة الآتية:

$$T_{ave} = c\,T_0 \quad (9)$$

إن هذه المعادلات لاتعطينا قيمة العزم في حالة الكبح أي عند انعدام السيالة بالنسبة إلى الزمن، وتنعدم القوة المحركة الناتجة من تغير التيار وكذلك الاستطاعة المتحولة أو تحولات القدرة، لذلك لابد لنا من معرفة من أين ينشأ العزم وكيف تتغير قيمته كتابع لزاوية التداخل بين الثابت والدائر .

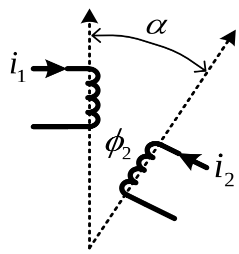
2 -حساب العزم بين الثابت والدائر عندما يكون الدائر ثابتاً (حالة الكبح)

(عزم الكبح تابع لزاوية التداخل بين أقطاب الثابت وأسنان الدائر).

يمكن حساب هذا العزم وعلاقته بزاوية التداخل بالاعتماد على المبادئ الأساسية في تشكل العزوم بين السيالات أو بالاعتماد على العزوم الناشئة في الآلات وفي مقدمتها آلات التيار المستمر، إذْ نعلم:

آ - إن العزم الناشئ بين ملفين يولد كل منهما سيالة قيمتها ϕ_1 بالنسبة إلى الملف الأول و ϕ_2 بالنسبة إلى الملف الثاني ولمّا كانت هناك زاوية α بين محوري هذين الملفين كما في الشكل(2) فإن العزم يعطى عندئذٍ بالعلاقة(10). **[1]**

$$T = C\cdot\phi_1\cdot\phi_2\cdot Sina \quad (10)$$



الشكل(2): يبيّن الزاوية بين محوري الملفين

C: ثابت ويمكن تعرّف واحدة هذا الثابت من تجانس الواحدات بالجانبين إذْ واحدة ϕ بالوحدات الأساسية هي $\frac{N.m}{A}$، وحدة العزم N.m، ومن ثمَّ فإن واحدة الثابت C هي $\frac{1}{H}$ أي مقلوب عامل التحريض المتبادل أو المقاومة المغناطيسية المتبادلة. إذْ إنَّه وبالتبديل نحصل على:

$$Nm = \frac{Nm}{A}\frac{Nm}{A}C \quad \Rightarrow$$
$$C = \frac{A^2}{Nm} = \frac{A}{Wb} = C'\frac{1}{H} \quad (11)$$

$$T = C'\cdot\frac{1}{L}\cdot\phi_1\cdot\phi_2\cdot Sin\alpha$$
$$= C''\cdot R_m\cdot\phi_1\cdot\phi_2\cdot Sin\alpha \quad (12)$$

ويمكننا أن نكتب:

$$T = k\cdot\phi_1\cdot i_2\cdot Sin\alpha$$
$$= k\cdot\phi_2\cdot i_1\cdot Sin\alpha \quad (13)$$

الزاوية α هي الزاوية بين محوري الملفين لان كلا السيالتين ثابتتان أو ناتجتان عن تيار مستمر و الزاوية α لا تتغير بتغير الزمن.

ب - في آلات التيار المستمر **[2,1]** عندما نحسب العزم الناتج بين الثابت والدائر نبدأ باشتقاق علاقة القوة الكهرطيسية المؤثرة في كل ناقل من نواقل المتحرض في لحظة ما (F_{ci}) والتي تساوي:

$$F_{ci} = B_{Li} I_c\, l_a \quad (14)$$

إذْ: I_c التيار المار في الناقل.

l_a طول الناقل ضمن المجرى.

B_{Li} كثافة السيالة في حالة التحميل عند الناقل i .

ويكون العزم الناتج من الناقل الواحد:

$$T_{ci} = \frac{D_a}{2} B_{li}\, I_c\, l_a \quad (15)$$

إذْ $\frac{D_a}{2}$ نصف قطر المتحرض ونعدّه ذراع العزم.

جميع نواقل المتحرض ذات العدد z عندما تكون المسفرات في مواضعها الطبيعية تشكل عزماً ذا اتجاه واحد حول محور الدوران وقيمة هذا العزم هي:

$$T = (T_{c1} + T_{c2} + T_{c3} + ...T_{cz})$$
$$= \sum_1^z T_{ci} = \sum_1^z \frac{D_a}{2} B_{li} \cdot I_c \cdot l_a \qquad (16)$$
$$T = \frac{D_a}{2} I_c \cdot l_a \sum_1^z B_{li}$$

باستبدال المقدار $\sum_1^z B_{Li}$ بالقيمة الوسطية B_{lave} مضروبة بعدد الحدود نحصل على المعادلة الآتية:

$$T = Z \frac{D_a}{2} B_{lave} \cdot I_c \cdot l_a$$
$$= Z \frac{D_a}{2} F_{cave} = Z \cdot T_{cave} \qquad (17)$$

وهكذا نجد أن العزم بين الثابت والدائر هو مجموع العزوم الوسطية لـــ Z ناقل، وإذا استبدلنا كثافة السيالة الوسطية بالعلاقة:

$$B_{lave} = \frac{\phi_l}{\frac{\pi}{p} \frac{D_a}{2} l_a} \qquad (18)$$

إذْ: ϕ_L السيالة تحت القطب الواحد في حالة التحميل نحصل على:

$$T = 2P\, Z\, \phi_L \frac{I_C}{2\pi} \qquad (19)$$

وبدلالة التيار الكلي للمتحرض $\Leftarrow I_c = \frac{I_a}{2_a}$

$$T = \frac{P}{a} Z \phi_L \frac{I_a}{2\pi} \qquad (20)$$

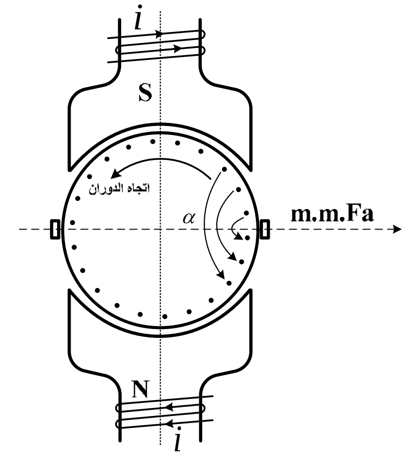
وهي علاقة معروفة ومشهورة في آلات التيار المستمر.

من العلاقة (20) نجد أن العزم الناتج من النواقل الموجودة تحت زوج من أقطاب الآلة هو:

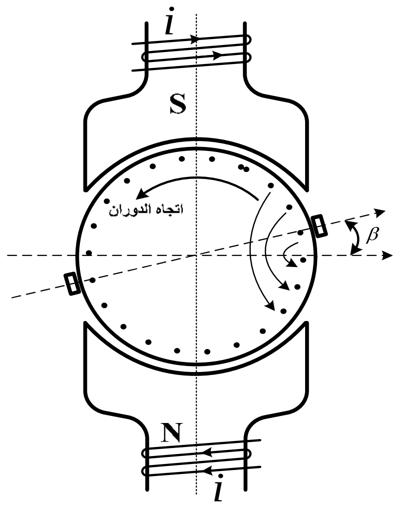
$$\frac{T}{P} = Z\, \phi_l \frac{I_c}{\pi} = \frac{2}{\pi} \phi_l \frac{Z}{2} I_c \qquad (21)$$

وهو العزم الناشئ بين الثابت والدائر في حالة الآلة ذات القطبين، إن هذا العزم يمثل عزماً لنصفين، الأول هو السيالة ϕ_l والثاني قوته المحركة المغناطيسية $\frac{Z}{2} I_c$، إذا كانت الآلة ذات قطبين و $\frac{Z}{2P} I_c$ إذا كانت متعددة الأقطاب ونظراً على توزع هذه النواقل خلال زاوية ميكانيكية قيمتها π إذا كانت الآلة ذات قطبين وهي $\frac{\pi}{P}$ إذا كانت متعددة الأقطاب، ويمثل المقدار $\frac{2}{\pi}$ عامل توزع الملف خلال الخطوة القطبية ومن جهة ثانية إن المقدار $\frac{2}{\pi} \phi_l \frac{Z}{2} I_c$ يمثل القيمة الوسطية للتابع الجيبي للعزم الذي قيمته العظمى $\phi_l \frac{Z}{2} I_c$ وهذا يتحقق عندما يكون هذا الملف غير موزع على الدائر (نواقله منطبقة فوق بعضها بعضاً).

إن الزاوية α الواقعة بين محور كل من ملف الأقطاب والملف الذي تشكله نواقل المتحرض هي $\frac{\pi}{2}$ في حالة الآلة ذات قطبين كماهو موضح في الشكل (3-a).



الشكل(3-a): يبيّن الزاوية بين محور ملف الأقطاب ومحور ملفات المتحرض



الشكل(3-b): يبيّن الزاوية بين محور ملف الأقطاب ومحور ملفات المتحرض

وهي زاوية ميكانيكية تبقى مساوية لـــ $\frac{\pi}{2}$ كزاوية كهربائية أو مغناطيسية مهما تعددت الأقطاب ومن ثمَّ يمكننا أن نكتب علاقة العزم ثانية وتحت قطبين من أقطاب الآلة بأنها جداء السيالة في الثغرة الهوائية الناتجة بشكل أساسي من ملفات الأقطاب بالقيمة الوسطية للقوة المحركة المغناطيسية للجزء الدائر بجيب الزاوية المحصورة بين محوري هذين الملفين :

$$T = \phi_l \frac{Z}{2} I_c \sin\alpha \qquad (22)$$

$\alpha = \frac{\pi}{2}$عندما تكون المسفرات في وضعها المطبق أمَّا عند إزاحة المسفرات بزاوية ميكانيكية β عن وضعها الطبيعي كما هو موضح بالشكل (3-b) فإننا نستطيع حساب العزم بالعلاقة الآتية:

$$\begin{aligned} T &= \phi_l' \frac{Z}{2} I_c \sin(\frac{\pi}{2} - \beta) \\ &= \phi_l' \frac{Z}{2} I_c \cos(\beta) \end{aligned} \qquad (23)$$

إذْ ϕ_l' السيالة الجديدة بعد الإزاحة، وهنا تدخل فيها السيالة الناتجة عن ملفات المتحرض ووفق المحور المباشر ونجد سواءً عَدَدْنا ϕ_l ثابتة أو متغيرة فإن العزم ينعدم عندما تصبح الزاوية $\beta = \frac{\pi}{2}$ أي إنَّ محور ملف المتحرض منطبق على محور ملف الثابت إذْ عندها $\alpha = o$.

ويختلف تأثير هذه الإزاحة حسب نقطة العمل للآلة في منحنى الخصائص المغناطيسية. فإذا كانت نقطة العمل تقع في المنطقة الخطية نستطيع أن نكتب:

$$\phi_l' = \phi_l + \phi_{ad} = \phi_M + \phi_{ad} \qquad (24)$$

إذْ: ϕ_M هي قيمة ϕ_L في حالة اللاحمل.

ϕ_{ad} السيالة الناتجة من رد الفعل المباشر والذي تشكله النواقل الموجودة بين الخطين المنقطين على الشكل السابق، ومن ثمَّ نكتب عندها:

$$\phi_1' = \phi(1 + \frac{F_p}{F_{ad}}) \qquad (25)$$

إذْ: F_p القوة المحركة المغناطيسية لقطبين من الأقطاب الرئيسية.

F_{ad} القوة المحركة المغناطيسية لهذا الملف وهي : $\frac{Z}{2} I_c Sin\beta$ إذا عُدَّ أن توزع القوة المحركة لمغناطيسية لهذه النواقل جيبي.

وتعطى بالشكل $\frac{Z}{2} I_c \frac{\beta}{\pi}$ إذا عُدَّ التوزع مثلثياً. ويكون العزم الناشيء من هذه النواقل مساوياً الصفر لأن محور هذا الملف منطبق مع محور السيالة، أو العزم الناشيء من النواقل خارج الخطين المنقطين فهو العزم الناتج بين الثابت والدائر وتكون القوة المحركة المغناطيسة الناتجة عنه $\frac{2}{\pi} \frac{Z}{2} I_c \cos\beta$ في حالة آلة ذات قطبين ويكون العزم الناتج:

$$T=\phi_l\cdot Z\cdot I_c\cdot\cos\beta=$$

$$=\frac{2}{\pi}Z\cdot I_c\cdot\cos\beta(1\mp\frac{\frac{Z}{2}I_c\cdot\sin\beta}{2N_p\cdot I_{fp}}) \qquad (26)$$

N_p عدد لفات كل قطب و I_{fp} التيار المار في كل قطب عند تيار تحميل ثابت يمكن أن نكتب هذا العزم عند الإزاحة بزاوية β والخصائص خطية بدلالة العزم عندما $\beta=o \Leftarrow$

$$T\beta=T\cos\beta(1\mp C\sin\beta) \qquad (27)$$

$\pm$: عندما تكون سيالة رد الفعل باتجاه السيالة الرئيسية(+) و(-) عندما تكون سيالة رد الفعل باتجاه معاكس للسيالة الرئيسية.

أما إذا أخذنا بالتوزيع المثلثي للقوة المحركة المغناطيسية الناتجة في نواقل المتحرض فإنَّ العزم عند زاوية β هو:

$$T\beta=\frac{k_{w\beta}}{k_w}\frac{2}{\pi}\frac{Z_c}{2}I_c\times(1-\frac{2\beta}{\pi})(1\mp C'\frac{2\beta}{\pi}) \qquad (28)$$

أمَّا اذا كانت نقطة العمل للآلة تقع في المنطقة المشبعة فإننا لانستطيع صياغة علاقة العزم الجديد بدلالة الزاوية β إنما كل ما يمكن قوله إن تأثير هذه الزاوية أقل وخاصة في قيمة السيالة ويبقى تأثيرها في علاقة العزم ضعيفاً ومهملاً. وعندما نهمل هذا التأثير في علاقة السيالة يمكن أن نكتب العزم عندها بدلالة زاوية الإزاحة و هي :

بحالة التوزيع الجيبي:

$$T_\beta=T_{at.\beta=o}\cos\beta=T\ \cos\alpha$$

في حالة التوزيع المثلثي $T_\beta=T(1-\frac{2\beta}{\pi})$

أمَّا عندما تكون الآلة متعددة الأقطاب فيأخذ العزم الصيغة: $T_\beta=T(1-\frac{2p\beta}{\pi})$

إن حسابات العزوم التي ذكرناها تبقى نفسها سواء كانت الآلة تدور أو كانت ساكنة أي سواء كانت هناك تحولات للقدرة أم لم تكن.

انطلاقاً من هذه المعلومات والتوضيحات الواردة في حالة حساب العزم بين ملفين أو في حالة آلة التيار المستمر عندما تكون هناك إزاحة أو زاوية غير $\frac{\pi}{2}$ بين المحورين يمكننا أن نحسب العزم الناتج بين الثابت والدائر أو قطب واحد من الثابت مع سن واحد من الدائر في المحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة سواء كانت الآلة دائرة أو ساكنة، أي يمكننا أن نحدد قيمة عزم الإقلاع الساكن أو العزم الذي سيظهر على محور الدائر عند تثبيته أو في حالة الكبح كتابع لزاوية التطابق بين قطب الثابت وسن الدائر. ويتم ذلك وفق ما يأتي:

السيالة المارة في أسنان الدائر مصدرها هو السيالة الناتجة من أقطاب الثابت ومن ثمَّ تؤول علاقة العزم في هذه الآلة إلى الشكل:

$$T=C_1''\cdot\phi_s{}^2\cdot\sin\alpha \qquad (29)$$

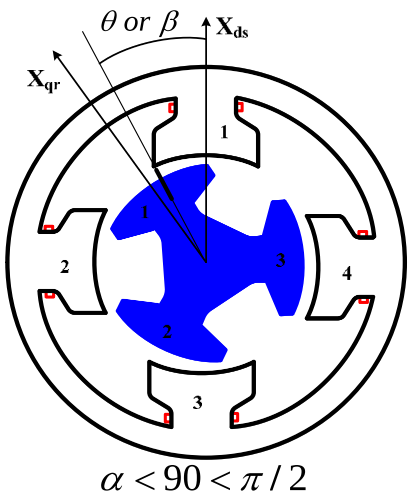
ϕ_s سيالة قطب الثابت. ويمكننا أن نكتبها بدلالة المقاومة المغناطيسية كما يأتي:

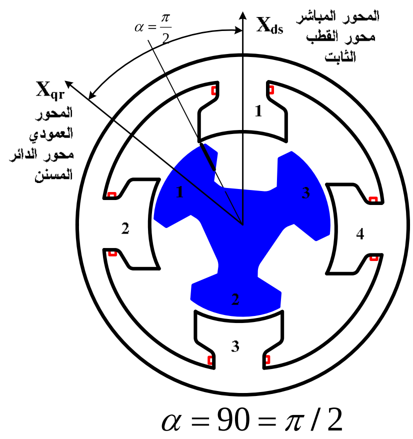
$$T=C''\cdot R_m\cdot\phi_s{}^2\cdot\sin\alpha \qquad (30)$$

بالمقارنة بقيمة العزم في آلة التيار المستمر يكون C' هو عامل التوزيع للملف وعندما يكون الملف متمركزاً وغير موزع فإنه يساوي C''.

إذْ: R_m هي المقاومة المغناطيسية لدارة القطب الثابت وسن الدائر في وضع ما. والزاوية α هي الزاوية بين محور القطب الثابت ومحور سن الدائر الذي يطلب حساب العزم المؤثر فيه (المدروس) $L=\frac{N^2}{R_m}$.

هنا N عدد لفات ملف الجزء الثابت **[6,3]**.





الشكل(4): يبيّن وضع أقطاب الدائر بالنسبة إلى أقطاب الثابت عند حالتين في المحرك SRM 3/4.

من الشكل (4) نجد أنه عندما ينطبق محور سن الـدائر على المحور العمودي للثابت تكون الزاوية بينـه وبـين المحور المباشر للقطب الثابـت هـي $\alpha=\pi$ (زاويـة التطابق)، في حين $\theta=o$ وهو وضع يماثل الوضع بين الثابت والدائر في آلة تيار مستمر عندما تكون المسفرات في مواضعها الطبيعية أي زاوية الإزاحة = الصفر. أمَّـا عندما يحدث تداخل بين قطب الثابت والدائر بزاوية قيمتها θ فإن الزاوية بين محوري كل من قطب الثابت وسـن الدائر α تقل عن $\frac{\pi}{2}$ وزاوية التطابق هذه تماثل زاوية الازاحة β إذْ عندما يصبح التطابق تامـاً تـصبح هـذه الزاوية مساوية إلى $\frac{\pi}{2}$ فتؤول الزاوية α بدورها إلـى $\frac{\pi}{2}$ وينعدم عندها العزم.

يمكن حساب هذا العزم عند الزاوية α أو ما يوافقها من الزاوية θ بالعلاقة الآتية:

$$T = C''R_m\phi_l^2 \sin\alpha = C''R_m\phi_l^2 \cos\theta \qquad (31)$$

السيالة ϕ كما رأينا هي:

$$\phi = \frac{N\,I}{\sum R_m} \qquad (32)$$

إذْ: I التيار المار في ملف الثابت ذي عدد اللفات N والمقاومة $\sum R_m$

$$\sum R_m = R_{mg} + R_{miron} \qquad (33)$$

هنا R_{mg} تابع لزاوية التطابق أو التداخل θ بين قطب الثابت والدائر ويمكن كتابتها بشكل $\frac{\beta}{\theta} R_{mg\min}$ إذْ β زاوية التطابق العظمى أو زاوية انتشار كل من قطب الثابت وسن الدائر.

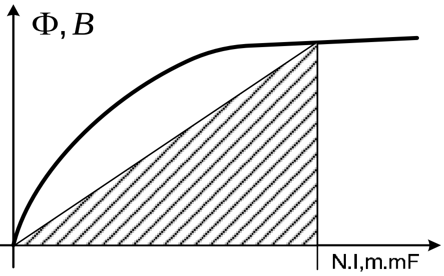
R_{miron} هي مقاومة باقي الأجزاء الحديدية للدارة، ونكتب علاقة العزم العلاقة الآتية:

$$T = C'\cdot\phi\cdot\phi\cdot R_m\cdot\cos\beta \qquad (34)$$

من علاقة العزم السابقة يمكننا أن نعيّن قيمة العزم كدالة مع زاوية التطابق θ في الحالات الآتية:

1- الحالة الأولى: كل مـن الـسيالة ϕ والمقاومـة المغناطيسية R_m ثابتة بعد قيمة معينة للزاويـة θ ويتحقق ذلك عندما تكون الدارة المغناطيسية مـشبعة (جداً) أي إنَّ قيمة N.I داخلة ضمن منطقة الإشباع

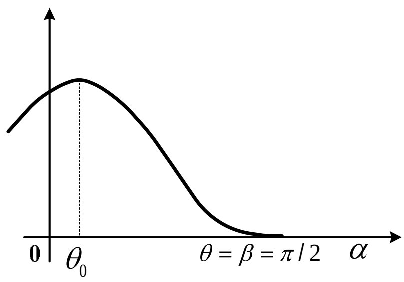
كما في الشكل (5).إن الثغرة الهوائيـــة ذات طـــول صغير ℓ_g ومقاومة هذه الثغرة R_{mg} بعد أن تحدث زاوية تداخل صغيرة $\theta_\circ$ تصبح أقل مـــن R_{miron} ومن ثمَّ تغيّر الزاوية بالزيـــادة إلـــى تـــصغير تلـــك المقاومة أكثر والمقدار R_m ϕ ليس له علاقة بـــ R_m وإنما هو N.I أي بالقوة المحركة المغناطيسية لملف الأقطاب ويكون العزم في هذه الحالة:



2 -

الشكل(5): يبيّن العلاقة $\Phi=f(N.I)$

وعند قيمة صغيرة لـــ θ على النحو $\theta_\circ = C'\,\phi_{\theta 0}\,N\,I$ يكون العزم عند أي قيمة أخرى $T = T\,\theta_\circ = C'\phi\,N\,I$ من الجدير بالذكر أن قيمة العزم تتناسب مع مساحة المثلث المهشر المبيّن في الشكل(5).



الشكل(6): يبيّن العلاقة $T=f(\theta)$

2 - الحالة الثانية قيمة السيالة R_m, ϕ_l ليستا ثابتتين وهذا يحدث عندما تكون نقطة العمل في المنطقة الخطية وطول الثغرة الهوائية ℓ_g ليس صغيراً نسبياً أي إن قيمة المقاومة المغنطيسية للثغرة الهوائية يمكن عَدُّها المقاومة الرئيسة للدارة:

$$R_m = R_{mg} \pm R_{miron} \cong \qquad (35)$$
$$R_{mg} = R_{mg\,\min} \frac{\beta}{\theta}$$

وعندها تصبح السيالة ϕ:

$$\phi = \frac{N \cdot I}{R_{mg} + R_{miron}} \cong \frac{N \cdot I}{R_{mg}} \qquad (36)$$
$$\phi = \frac{N \cdot I}{R_{miron} \frac{\beta}{\theta}} \cong \phi_{\max} \frac{\theta}{\beta}$$

$$T = C' \cdot \phi_{\max} \frac{\theta}{\beta} N \cdot I \frac{\theta}{\beta} \cos\theta \qquad (37)$$
$$T = T_{\max} \frac{\theta}{\beta} \cos\theta$$

هنا $T_{\max}$ قيمة العزم عندما يكون $\phi_{\max} = \phi$ والموافقة لزاوية تطابق تساوي β ولكن عندها تكون $\theta = \frac{\pi}{2}$

ونجد من هذه العلاقة أن تابع العزم هو من الشكل :

$$T = f(\theta) \qquad (38)$$
$$T = f(\theta \cos\theta)$$

يبلغ هذا العزم قيمة أعظمية عندما $\frac{dT}{d\theta} = 0$, $\cos\theta = \theta \cdot \sin\theta$ أوعندما $\theta = C_o T_{ag} \theta$.

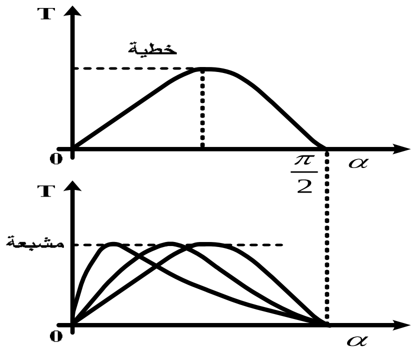
إذا نشرنا $\cos\theta$ في علاقة العزم وقربناه إلى الحد الثاني فإن :

$\cos\theta \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}$، وإذا اشتقينا العلاقة ثانية بعد تبـــديل $\cos\theta$ بهذه القيمة يصبح العزم:

$$T = \frac{T_{\max}}{\beta} \theta (1 - \frac{\theta^2}{2})$$
$$1 - \frac{\theta^2}{2} - \theta^2 = 0 \qquad (39)$$
$$1 - \frac{3}{2}\theta^2 = 0$$
$$\theta = \sqrt{\frac{2}{3}} = 0.816 = 46^\circ$$

وهكذا يمكن أن نجد أن القيمة العظمى للعزم تنحصر بين

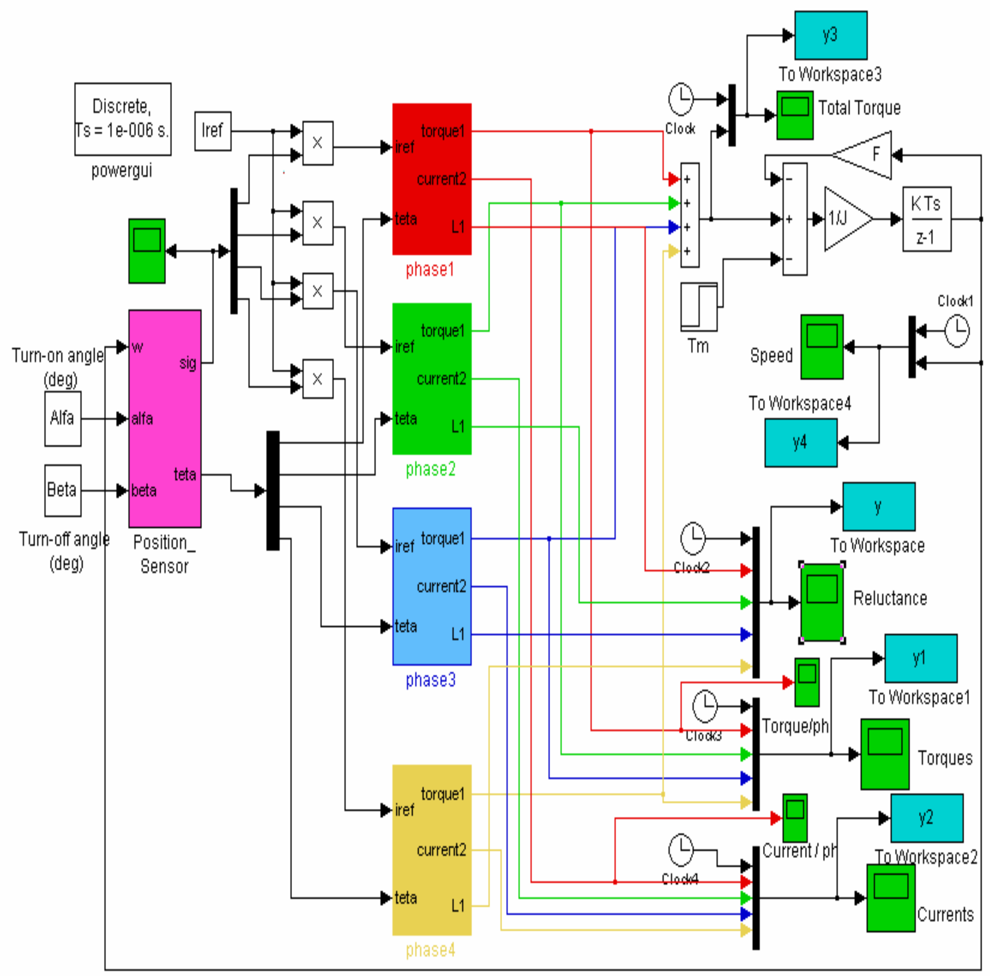
الزاوية θ_o وبين الزاوية 46^o أو تقريباً $\approx \frac{\beta}{2}$ كما هو موضح في الشكل(7) .



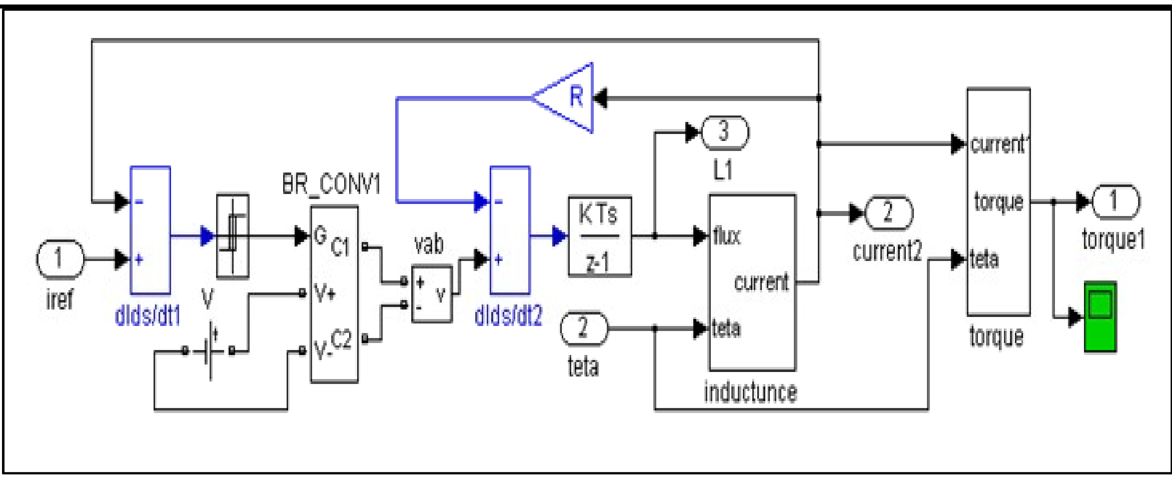
الشكل(7):يبيّن العلاقة بين العزم والزاوية α $T=f(\alpha)$

- بناء مخطط لمحاكاة أداء المحرك باستخدام البيئة البرمجية Matlab/Simolink

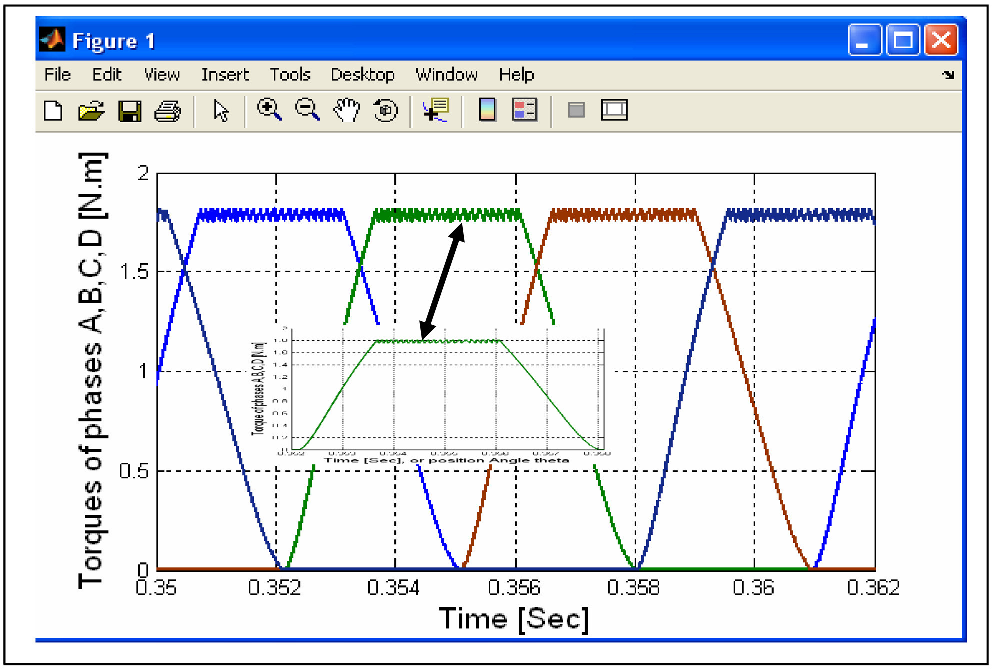
لإظهار منحنى العزم الناتج من الأقطاب كتابع للزمن أوكتابع للزاوية θ وكذلك العزم الكلي الناتج من المحرك والتيارات والتوترات لأقطاب المحرك فقد بُنِيَ مخطط لمحاكاة المحرك وقد ركزنا هنا على إظهار تغيرا العزم مع تغيرات الزاوية θ . إذْ تبيّن الأشكال (8) و (9) و (10) المخطط الصندوقي ونتائج المحاكاة.



الشكل(8): المخطط الصندوقي للمحاكاة



الشكل(9): المخطط الصندوقي للمحاكاة (الجزء الخاص بالعزم)



الشكل(10): منحنيات العزوم

- الخاتمة:

من خلال الدراسة وجدنا أن معادلة العزم للمحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة هي من الشكل :

$$T = T_{\max}\frac{\theta}{\beta}\cos\theta$$

إذْ إنَّ $T_{\max}$ مرتبطة بمحددات المحرك (السيالة،عدد اللفات، التيار،زاوية التطابق الأعظمية بين الثابت والدائر، المقاومة المغناطيسيةالأصغرية، حسب ماهو موضح في البحث).

بمقارنتها بالعزم في آلات التيار المستمر عند التوزيع الجيبي تعطى بالشكل $T_\beta = T\cos\alpha$، إذْ إنَّ T مرتبطة بمحددات المحرك (السيالة، عدد النواقل، التيار، حسب ماهو موضح في البحث)، وبحالة التوزيع المثلثي من

الشكل $T_{\beta} = T(1 - \frac{2\beta}{\pi})$.

أيضاً إن T مرتبطة بمحددات المحرك وهذه العلاقات الموصفة للعزم تشترك بالعديد من المحددات مثل:[السيالة، عدد اللفات (النواقل)، التيار....] مما يؤكد التشابه بين خواص العزم في محركات التيار المستمر والمحرك المدروس ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة، وقد أكدت العلاقات (37) و(28) أن حساب العزم الأعظمي لكلا المحركين يعطى بدلالة محددات الآلة الثابتة، وهذا يفيدنا بإمكانية استخدام المحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة عوضاً عن محركات التيار المستمر خاصة(التسلسلية منها) للتطابق في مواصفاتهما مع التأكيد أن العزم في المحرك ذي المقاومة المغناطيسية المتغيرة يتأثر بوضع الدائر بالنسبة إلى الثابت (زاوية التداخل) وهذا موضح بعلاقة العزم من خلال التابع $\cos\theta$.

المراجع

المراجع العربية

[1] أ.د محي الدين الدسوقي والدكتور هاغوب بوغوص، آلات التيار المستمر، منشورات جامعة دمشق 1981 -1982.

[2] أ.د محي الدين الدسوقي، محاضرات ألقيت في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق، من عام 2001 وحتى 2005م على طلاب الدراسات العليا.

[3] عباس صندوق، محي الدين الدسوقي، هابيل هارولد، "تصميم وتنفيذ محرك ذو ممانعة مغناطيسية متغيرة لاستخدامه في السيارات الكهربائية"، أطروحة، جامعة دمشق، 2005 .

المراجع الأجنبية:

[4] M.D. Cundev, L.B. Petkovska, "Control Analysis of a Switched Reluctance Motor", Trondheim, EPE, Volume 1,pp 619-624, Norway, September 1997.

[5] Bausch, H., Kanelis, Feedforward Torque control Of aSwitched Reluctance Motor Based On Static Measurements, EuropeanTransactions on Electrical Power, Band 7 (997), Heft 6,s.373-380 .

[6] Dr .Mahmoud Ahmad Abdulatif,Design considerations and performance of switched reluctance motors,Minufiya University,Egypt April,2001.

[7] Hessian Moghbelli,Gayle.E.Adams.Rechard G.Hoft" performance of a 10-HP switched reluctance motors and comparison with induction motor,IEEE,T-O-I-A,Vol.27,No,3, pp 531-538,May/June 1991.

[8] J.Corda,S.Masic,stephenson, "Computation and Expermental Determination of Running Torque Waveforms in Switched- Reluctance motors",I EE proceedings,part.B, Vol.140, No.6, November 1993, pp 387.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2010/10/3.