

Per dissenyar un SRM cal, a més de dimensionar el motor, comprovar que l'estructura electromagnètica associada al convertidor estàtic i a la estratègia de control triada, compleix les especificacions preestablertes.

El predimensionat usual, figura A3.1., com en tota màquina elèctrica, consisteix en la determinació del diàmetre interior del rotor (D) i la longitud de l'estator (L), a partir del parell demanat i de les limitacions imposades per la càrrega.

Alguns autors [ATH79], [FIN85], [WEL91], proposen, ja que el SRM deriva del motor pas a pas de reluctància variable, prendre com a base de partida el valor de:

$$\frac{B^2}{\mu_0} \quad (\text{A3.1.})$$

Altres prefereixen començar a partir de la força generada per unitat de superfície, σ [MIL90b]. En aquest estudi però, seguirem el camí clàssic proporcionat pel coeficient d'utilització, C [AND97a, AND97b i AND93].

A. Principis de càlcul.

El coeficient d'utilització de la màquina relaciona el parell aparent (Mb) i el volum prismàtic D^2L segons :

$$C = \frac{Mb}{D^2L} \quad (\text{A3.2.})$$

$$\text{essent } Mb = \frac{P}{\eta\Omega} \quad (\text{A3.3.})$$

on P és la potència útil, η el rendiment (pot suposar-se una mica superior al d'un motor d'inducció de la mateixa potència) i Ω la velocitat de rotació. En el cas d'un motor de reluctància autocommutat trifàsic i considerant l'evolució dels corrents com a ideal (fig. A3.2.), el valor de C es pot estimar com [KRI88]:

$$C = \frac{\pi}{4} \gamma (1-r) Bq \quad (\text{A3.4.})$$

$$\text{essent } \gamma \text{ el cicle d'operació, } \gamma = \frac{\theta_c Nr m}{2\pi} \quad (\text{A3.5.})$$

amb θ_c com a angle de conducció dels interruptors, Nr com a nombre de pols del rotor i m com a nombre de fases. r és la relació entre les inductàncies en la posició de no alineament (L_{na}) i de alineament (L_a):

$$r = \frac{L_{na}}{L_a} \quad (\text{A3.6.})$$

Podem considerar el valor de $(1-r)$ entre 0.65 i 0.85.

q és la càrrega lineal específica,
$$q = \frac{4Niv}{\pi D} \tag{A3.7.}$$

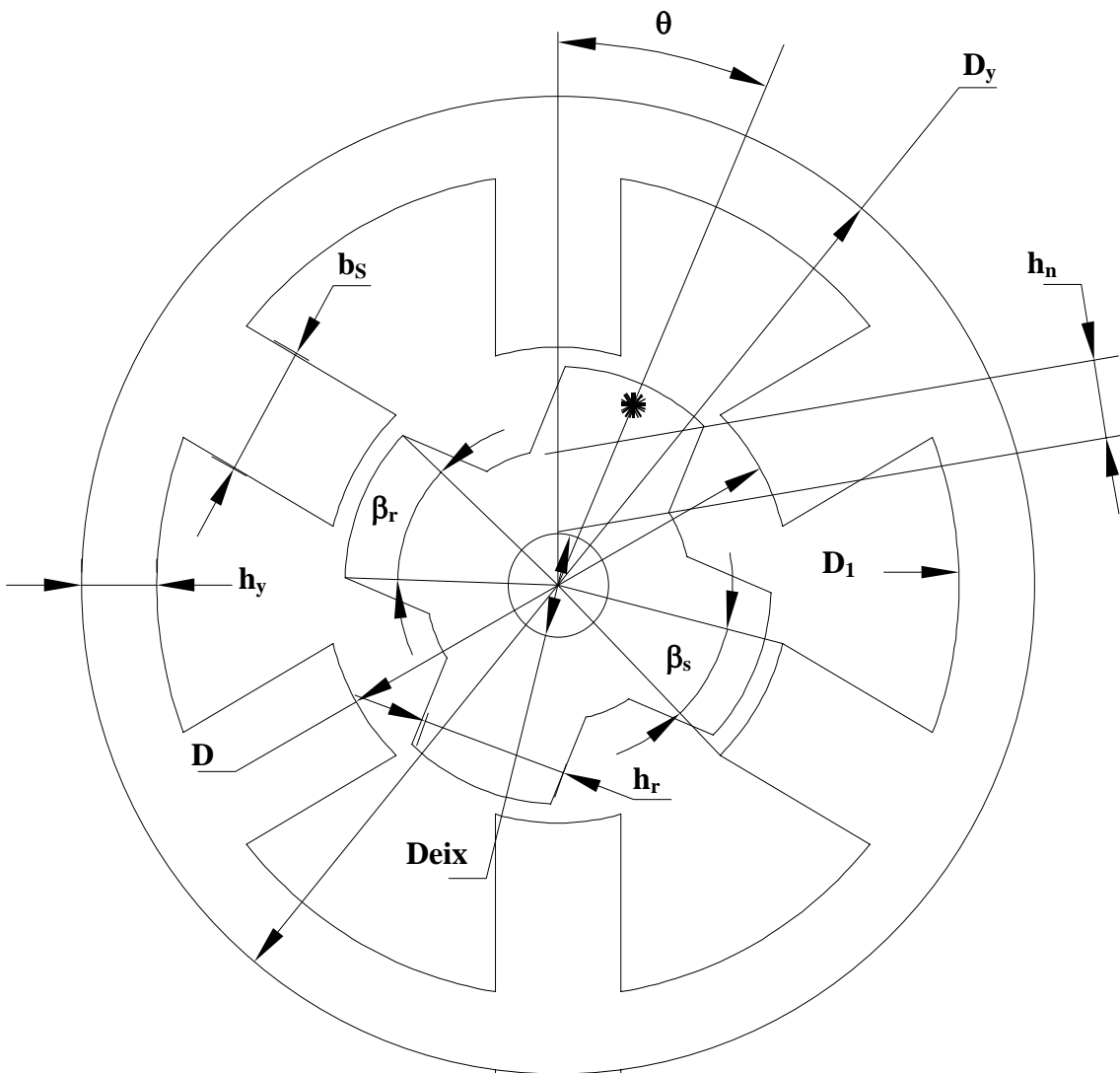


Figura A3.1. Geometria SRM 6/4.

Amb i com a valor màxim del corrent (capítol II fig. 2.6.), N com a nombre d'espises per pol i v com el nombre de fases que condueixen simultàniament. Usualment $\gamma=1$ i $v=1$). El valor de q pot ser el mateix que el d'un motor d'inducció de la mateixa potència.

B representa la inducció en el pol estatòric per a la posició d'alineament (valor en saturació que pot ser 1,7 T) . Per a la determinació de la longitud de l'estator prendrem $L=kD$ amb k compresa entre 0.25 i 3.

B. Dimensionament preliminar.

Conegut el diàmetre interior estatòric D i la longitud L determinarem la longitud de l'entreferro δ , els arcs polars estatòric β_s i rotòric β_r . També caldrà donar l'amplada dels pols de l'estator, b_s , i del rotor, b_r , a partir de [LAW80]:

$$\delta = \frac{L}{200} \quad (\text{A3.8.})$$

Prenem $\beta_s = \varepsilon$, amb ε com a angle de pas, $\varepsilon = \frac{2\pi}{mNr}$ (A3.9.)

$$b_s = D \sin\left(\frac{\beta_s}{2}\right) \quad (\text{A3.10.})$$

Es aconsellable que $(b_r - b_s) = 2 \cdot \delta$, (A3.11.)

llavors $b_r = (D - 2\delta) \sin\left(\frac{\beta_r}{2}\right)$ (A3.12.)

$$\text{i s'obté } \beta_r = 2 \arcsin\left(\frac{D \sin\left(\frac{\beta_s}{2} + 2\delta\right)}{D - 2\delta}\right) \quad (\text{A3.13.})$$

Per garantir l'arrancada i la reversibilitat cal comprovar que:

$$\beta_r > \beta_s \quad \text{i} \quad \beta_r \leq \frac{\tau}{m} \quad (\text{A3.14.})$$

on τ és el pas polar del rotor (Capítol II figura 2.3), $\tau = \frac{2\pi}{Nr}$ (A3.15.)

Pel càlcul d'altres dimensions fonamentals es recomana considerar :

$$\text{per l'estructura 6/4, } D_y = 2 D \quad (\text{A3.16.})$$

$$\text{per l'estructura 12/8, } D_y = 1.754 D \quad (\text{A3.17.})$$

$$h_y > \frac{b_s}{2}, h_n > \frac{b_r}{2} \quad (\text{A3.18.})$$

$$\text{o també } h_y = h_n = 0.125 D \quad (\text{A3.19.})$$

$$D_1 = D_y - 2 h_y \quad (\text{A3.20.})$$

El diàmetre de l'eix del motor el determinarem mitjançant l'expressió empírica:

$$D_{eix} = 16 \sqrt[3]{\frac{P}{\Omega}}, \text{ amb } P \text{ en W i } \Omega \text{ en } \text{min}^{-1} \quad (\text{A3.21.})$$

C. Determinació del nombre d'espises.

La determinació del nombre d'espises per pol, N, s'efectuarà en base a la densitat de corrent, partint de consideracions tèrmiques i geomètriques.

L'increment de temperatura del debanat estatòric es pot estimar en:

$$\Delta T = \frac{2}{3} \Delta T_{max}, \quad (\text{A3.22.})$$

(ΔT_{max} és l'increment màxim previst per a la classe d'aïllament triat)

$$\Delta T = \frac{P_{CU}}{K_\alpha S_\alpha} \quad (\text{A3.23.})$$

P_{CU} representa les pèrdues en el coure:

$$P_{CU} = \rho N \frac{Lem}{S_C} I^2 \quad (\text{A3.24.})$$

ρ i S_C és la resistivitat i secció del fil conductor respectivament, S_α i K_α son la secció de ventilació i el coeficient de ventilació, I és el valor eficaç del corrent (capítol II fig. 2.6.)

Les pèrdues Joule es poden calcular com:

$$P_{CU} = \rho N L_{em} \Delta^2 S_C \quad (A3.25.)$$

amb Δ , densitat de corrent eficaç. La longitud de la espira mitja es pot aproximar per:

$$L_{em} = 2L + 5b_s \quad (A3.26.)$$

La superfície disponible per posar el bobinat, àrea de finestra, A_v , es troba com:

$$A_v = \frac{(D_1 - D)}{4} = \left[\frac{(D_1 - D)}{2Ns} \pi - b_s \right] \quad (A3.27.)$$

La relació entre la secció del coure i l'àrea de finestra és el coeficient d'utilització de la finestra, K_v :

$$K_v = \frac{N S_C}{A_v} \quad (A3.28.)$$

De les expressions anteriors es fàcil concloure que la densitat de corrent Δ (en A/m²), per a un increment de temperatura ΔT és:

$$\Delta = \sqrt{\left(\frac{4 \Delta T K_\alpha 10^9}{\rho K_v \left[\frac{(D_1 - D)}{2Ns} \pi - b_s \right]} \right)} \quad (A3.29.)$$

La secció del conductor es dedueix a partir de:

$$S_C = \frac{I}{\Delta} \quad (A3.30.)$$

Caldrà seleccionar un conductor de fil de coure esmaltat normalitzat, de diàmetre nu, Φ_C , que s'acosti més per defecte, a la secció calculada.

A partir de la tensió V proporcionada per la font d'alimentació de corrent continu i de les expressions anteriors, es calcularà el nombre d'espires:

$$N = \frac{V \sqrt{m}}{\frac{P}{\eta}} K_v A_v \Delta \quad (A3.31.)$$

En primera aproximació el número d'espines per pol també es podria calcular a partir de l'expressió:

$$N = \frac{V}{\Omega B(1-r)DL} \quad (\text{A3.32.})$$

D. Consideracions per a un disseny definitiu.

A partir de les dimensions esbrinades i del número d'espines per pol es pot utilitzar un programa de dimensionament iteratiu que permeti a l'usuari variar les dades d'entrada, els coeficients de càlcul i les característiques dels materials emprats, per tal de aconseguir un predisseny satisfactori.

Amb les dades de dimensionament polides i el perfil rotòric escollit [MOA92], caldrà analitzar-les mitjançant un paquet d'anàlisi per elements finits [ARU85] que implementi el càlcul dels camps electromagnètics per tal de determinar els nivells de saturació. Aquest paquet ha de proporcionar les corbes de magnetització de la màquina [MIL90a]. Posteriorment es traçarà la trajectòria ψ -i [FER97], calculant el parell motor en funció de la posició.

Finalment i amb un procés de diàleg iteratiu s'optimitza l'estructura electromagnètica segons els resultats desitjats.

Referències

- [AND93] P. ANDRADA, M. TORRENT, E. MARTINEZ. "Bases para el dimensionamiento de los motores de reluctancia autoconmutados (switched reluctance). 3as Jornadas Hispano-Lusas de Ingenieria Electrica, Barcelona, julio1993.
- [AND97a] .P. ANDRADA, F. CASTELLANA, E. MARTINEZ, J.R. FERNANDEZ. "Diseño y análisis de accionamientos de reluctancia autoconmutados" Seminario anual de Automática y Electrónica Industrial. València (SAAEI-97) pp. 263-268, 17-19 Setembre 1997.
- [AND97b] P. ANDRADA, E. MARTÍNEZ, J.R. FERNÁNDEZ, "Motor de reluctancia autoconmutado con yugo hexagonal". 5as Jornadas Hispano-Lusas de Ingenieria Eléctrica, Salamanca, 3-5 Julio, 1997 pp. 7-14.
- [ARU85] R. ARUMUGAN, D.A. LOWTER, R. KRISHNAN i J.F. LINDSAY. "Magnetic field análisis of a Switched reluctance motor using a two dimensional finite elements model". IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-24, N° 5, September 1985, pp. 1883-1885.
- [ATH79] V.V. ATHANI. "Review of variable reluctance stepping motor design techniques". International copnference on stepping motors and systems. University of Leeds, July 1976 pp. 50-59.

- [FIN85]** J.W. FINCH, M.R. HARRIS, H.M.B. METWALLY i A. MUSOKE. "Switched reluctance motors with multipole teeth per pole: phylosophy and design". IEE conference 254, pp.134-138.
- [FER97]** J.R. FERNANDEZ. "Càlcul i anàlisi assistit per ordinador de motors de reluctancia autocommutats". TFC Departament d'Enginyeria Elèctrica, EUPVG-UPC, juliol 1997.
- [KRI88]** R. KRISHNAM, R. ARUMUGAN i J.F. LINDSAY. "Design procedure for switched reluctance motors". IEEE transactions on Industry Applications, Vol. 24, N° 3, May-June 1988, pp. 456-461.
- [MIL90a]** T.J.E. MILLER i M. McGLIP. "Non linear theory of the switched reluctance motor for a rapid computed-aided design". IEEE proc. 137, Pt. B, N° 6, November 1990, pp. 337-347.
- [MOA92]** M. MOALLEM, C.M. ONG i L.E. UNNEWHEHR. "Effect of rotor profiles on the torque of a SR motor". IEEE transactions on Industry Applications. Vol 28, N° 2, March-April 1992, pp. 364-369.
- [WEL91]** A. WELLER i P. TRAWINSKI. "Design an control of low power switched reluctance motors (<1kW)". EPE Firenze 1991, pp. 4-001 - 4-006.