

Breves considerações sobre as limitações de dimensionamento do actuador de indução

António J. Matos

Sérgio S. Mestre

C. Pereira Cabrita

Secção de Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência
Centro de Automática da U.T.L., Laboratório de Mecatrónica

Abstract

In sequence of other papers published about the tubular linear actuator for standstill applications, the paper presents and discusses the limitations to design of this type of machine.

Resumo

Apresentam-se as limitações inerentes ao cálculo e à construção dos actuadores lineares tubulares trifásicos para aplicações de força, na sequência de outros trabalhos publicados sobre este tipo de máquina eléctrica.

1. Introdução

Em [1] descreve-se pormenorizadamente o princípio de funcionamento do actuador linear de indução com topologia tubular, apresentando-se igualmente as suas aplicações, actuais e futuras, na indústria, sendo de salientar as suas vantagens técnicas e económicas, nalguns tipos de accionamentos, em relação aos sistemas convencionais óleo-hidráulicos e de ar comprimido. Nesta mesma referência, propõe-se um modelo equivalente que permite estudar as suas características de funcionamento. Este mesmo modelo, com pequenas modificações, é apresentado em [2], bem como as expressões do cálculo optimizado. O cálculo e a construção optimizados deste tipo de actuador eléctrico consistem em dimensioná-lo com o mínimo volume de material para o máximo valor possível da razão "força desenvolvida / potência eléctrica consumida", isto é, a força específica, como deve ser designada esta razão.

Para testar experimentalmente a teoria desenvolvida, construíram-se e ensaiaram-se dois protótipos, cujas características construtivas e de funcionamento se encontram expostas em [2, 3, 4]. Por sua vez em [5] descreve-se um programa de computador que permite efectuar automaticamente o cálculo destes actuadores, impondo algumas limitações de ordem prática, como sejam o calibre do condutor da bobinagem, a densidade máxima de corrente e o número de pólos.

2. Limitações de dimensionamento

O trabalho que se apresenta baseia-se em [6], e consiste em determinar e analisar quais as limitações de dimensionamento, no que respeita à força, ao diâmetro do tubo rotórico e à tensão, que são impostas aos actuadores tubulares. Os resultados que se apresentam, e que são supostos serem originais, foram obtidos a partir de um programa de computador semelhante ao descrito em [5]. Tem-se assim [6]:

- 1) No Quadro I indicam-se os valores máximo admissíveis para a corrente nos enrolamentos, em função do diâmetro do condutor da bobinagem. Estes valores foram obtidos impondo para a densidade de corrente o valor de 5 A/mm^2 [5].
- 2) Nos Quadros II e III expõem-se os valores de força e os respectivos valores da tensão, em função do diâmetro do fio da bobinagem (0,7 a 1,5 mm) e do número de pólos (2 a 10), para um diâmetro médio do tubo rotórico de 20 mm. O programa de computador permite elaborar estes quadros para qualquer valor desse diâmetro, e sem que a tensão ultrapasse 400 V. Constata-se que a força é praticamente insensível ao calibre do fio de bobinagem, mas, no entanto, e como seria de esperar, aumenta com o número de pólos para cada calibre. Constata-se ainda que a força é praticamente igual para actuadores dimensionados com um número ímpar de pólos e com o número par de pólos imediatamente antes (por exemplo, para um calibre do fio de bobinagem de 1,3 mm, se a máquina for construída com 5 pólos tem-se uma força de 11,1 daN, mas, se fosse construída com 4 pólos, a força seria igual a 10,8 daN, ou seja, praticamente invariante). Esta situação deve-se à introdução de um factor de correcção, K , para actuadores com um número ímpar de pólos, factor esse que é apresentado em [2, 4, 5].

QUADRO I

Corrente máxima admissível nos enrolamentos, em função do diâmetro do condutor da bobinagem.

d [mm]	I [A]
0,7	1,9
0,8	2,5
0,9	3,2
1,0	3,9
1,1	4,8
1,2	5,7
1,3	6,6
1,4	7,7
1,5	8,8

QUADRO II

Valor da força (daN) em função do diâmetro do fio da bobinagem (0,7 a 1,5 mm) e do número de pólos (2 a 10), para um diâmetro médio do tubo rotórico de 20 mm.

	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
2	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
3			5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
4				10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
5					11,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6						16,3	16,3	16,3	16,3
7							16,5	16,5	16,5
8								21,7	21,7
9									21,9
10									27,1

QUADRO III

Valores de tensão (V) em função do diâmetro do fio da bobinagem (0,7 a 1,5 mm) e do número de pólos (2 a 10), para um diâmetro médio do tubo rotórico de 20 mm.

	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
2	363	278	220	178	147	124	105	91	79
3			329	267	221	185	158	136	119
4				356	294	247	211	182	158
5					368	309	263	227	198
6						371	316	272	237
7							368	318	277
8								363	316
9									356
10									395

QUADRO IV

Valores máximos do diâmetro médio do tubo rotórico (mm) em função do diâmetro do fio da bobinagem (0,7 a 1,5 mm) e do número de pólos (2 a 10).

	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
2	22	28	36	45	50	50	50	50	50
3			24	30	36	43	50	50	50
4				22	27	32	38	44	50
5					21	26	30	35	40
6						21	25	29	34
7							21	25	29
8								22	25
9									22
10									20

QUADRO V

Valores da força (daN) em função do diâmetro do fio da bobinagem (0,7 a 1,5 mm) e do número de pólos (2 a 10).

	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
2	6,0	7,6	9,8	12,2	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
3			6,8	8,5	10,2	12,2	14,2	14,2	14,2
4				11,9	14,6	17,3	20,6	23,8	27,1
5					11,7	14,4	16,7	19,4	22,2
6						17,1	20,3	23,6	27,6
7							17,3	20,7	24,0
8								23,8	27,1
9									24,1
10									27,1

Por conseguinte, tem termos práticos, conclui-se não haver interesse em construir actuadores tubulares com número ímpar de pólos.

No que respeita à tensão, constata-se que o seu andamento é praticamente linear em função do número de pólos, para cada calibre do fio de bobinagem. Por exemplo, um actuador dimensionado com 4 pólos e bobinado com condutor de 1 mm de diâmetro funcionaria com uma tensão de 356 V e desenvolveria uma força de 10,8 daN. No entanto, e para o mesmo calibre do condutor da bobinagem, se se pretendesse aumentar o número de pólos teria que se aumentar igualmente o calibre para que a tensão não ultrapassasse 400 V. Conclui-se ainda que não há interesse em construir actuadores tubulares bobinados com condutor de calibre inferior a 0,7 mm, uma vez que a tensão seria superior a 400 V, mesmo com 2 pólos apenas.



- 3) No Quadro IV expõem-se os valores máximos possíveis do diâmetro médio do tubo condutor rotórico, em função do calibre do condutor da bobinagem e do número de pólos, sem que a tensão ultrapasse 400 V. Por exemplo, um actuador tubular com 50 mm de diâmetro médio do tubo condutor rotórico deveria ser construído, no mínimo, com 2 pólos e bobinado com condutor de 1,1 mm de diâmetro.
- 4) O Quadro V apresenta os valores máximos da força, em função do diâmetro do condutor da bobinagem e do número de pólos. Esses valores correspondem aos máximos absolutos, na medida em que se referem ao valor máximo aconselhável para o diâmetro do tubo rotórico, ou seja, 50 mm. Conclui-se assim que a máxima força possível é obtida com um actuador com 6 pólos, bobinado com condutor de calibre 1,5 mm, e tem o valor de 27,6 daN.

3. Conclusões

Tendo imposto um conjunto de valores para alguns parâmetros de dimensionamento de actuadores tubulares, conforme se expõe detalhadamente em [2, 5], desenvolveu-se um programa de computador [5, 6], que permite analisar

exaustivamente quais as limitações construtivas deste tipo de actuador, bem como proceder ao seu cálculo completo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Pereira Cabrita, A. Leão Rodrigues, "Breve teoria cálculo e aplicações do motor linear de indução tubular", *Electricidade* 266, Abril, 1990, p. 139-145.
- [2] C. Pereira Cabrita, "Equivalent models for tubular induction actuators", 13th IMACS, World Congress on Computation and Applied Mathematics, Dublin, 22-26 Julho 1991.
- [3] C. Pereira Cabrita, "Construção e ensaio do protótipo de um motor linear de indução tubular trifásico", *Electricidade* 271, Outubro 1990, p. 337-341.
- [4] J. Castela Jacques, P. Gonçalves Baiona, C. Pereira Cabrita, "O motor linear de indução com número ímpar de pólos", *Electricidade* 277, Abril 1991, p. 137-143.
- [5] C. Freitas, H. Freitas, J. Dias, C. Cabrita, "Optimized design of the tubular induction actuator aided by computer", 7th Mediterranean Electrotechnical Conference MELECON'94, Antalya, Turquia, 12-14 Abril 1994.
- [6] António J. Matos, Sérgio S. Mestre, "Cálculo de actuadores tubulares assistido por computador", Relatório final da disciplina "Técnicas de Projecto II", I.S.T., 1992.

Electricidade e Automatismos

Reflexo do dinamismo e do espírito inovador dos profissionais da electricidade e do automatismo, o salão ELEC é o encontro internacional do conjunto dos intervenientes do mercado, que se irá realizar em Paris de 2 a 6 de Dezembro de 1996.

A escassos meses da abertura da exposição, estão já reservados 37913 m² de stands por 702 expositores directos ocupando uma superfície média superior a 57 m². Entre estes expositores, contam-se 479 empresas que participaram já no ELEC 94 e regista-se a presença de 193 novos participantes.

O salão ELEC cobre um sector industrial com um forte potencial, que vai desde a produção, do transporte e da distribuição de energia eléctrica à automação dos edifícios industriais, terciários e residenciais.

Os materiais, equipamentos, sistemas e serviços deste vasto domínio de actividade estão classificados numa nomenclatura com sete grandes secções, em torno das quais se articula a exposição: **Elec-Energie**: produção, transporte e distribuição de electricidade; **Elec-Industrie**: Electricidade e automatismo na indústria; **Bâti-Elec**: electricidade e automatismo no terciário e no residencial; **Elec-Chauffage**: engenharia climática, aquecimento, ventilação; **Elec-Eclairage**: material e técnicas de iluminação para a indústria, para o sector terciário e para as colectividades; **Elec-Environnement**: aplicações das técnicas eléctricas e dos automatismos ao serviço do ambiente; **Elec-Services**: fornecedores e serviços.

O volume de negócios francês correspondente a 1994 atingiu 6,5 biliões de contos, um aumento de

1,5 % em relação a 1993. O volume de negócios europeu representa cinco vezes o da França, ou seja, 32,5 biliões de contos e 30 a 35% da procura mundial. No que diz respeito a esta última, o crescimento registado em 1994 foi de cerca de 2% para um mercado de 105 biliões de contos.

No contexto actual de desaceleração económica, a progressão prevista para 1995 foi da ordem de 4%. A internacionalização crescente do sector permite prever para o ano 2000 um mercado de 20 biliões de contos à escala europeia e de 8 biliões de contos no que se refere à França.

Atento às expectativas do mercado, o salão Elec 96 apresenta uma nova secção, a **Elec-Chauffage**, onde poderá encontrar materiais de aquecimento, engenharia climática e ventilação, cobrindo assim o conjunto das aplicações industriais, terciárias e domésticas da electricidade. Reflectindo as grandes tendências do sector eléctrico, o salão Elec porá em destaque a automação sob todas as suas formas. Um espaço específico será consagrado às **redes de campo** e desempenhará um papel interactivo com os respectivos expositores. O objectivo deste espaço é definir de maneira simples e pedagógica o que são as redes, para que servem e como funcionam. Serão fornecidas aos visitantes, informações sobre as aplicações que são hoje em dia possíveis, graças às tecnologias da comunicação, nos domínios da energia, da indústria e dos edifícios terciários e domésticos. Em torno desta zona pedagógica, serão apresentadas as principais soluções existentes, a nível da Europa, por intermédio de demonstrações concretas.

Um segundo espaço, concebido por um arquitecto francês de renome, Dominique Perrault, será dedicado à **arquitectura e à luz**. O objectivo deste espaço é criar uma arquitectura sensível, penetrável, com percursos múltiplos. A luz será posta em destaque, a sua ligação privilegiada com o espaço será sublinhada, tendo sempre em conta o aspecto emotivo. Assim, a cobertura em rede metálica será iluminada de modo a produzir diversos efeitos: superfícies curvas luminosas, bandas luminosas, paredes verticais luminosas manchas luminosas, conjuntos de pontos luminosos... A iluminação das diferentes faces de monólitos em betão, vidro translúcido, metal e madeira será também tratada de modo específico, com o objectivo de valorizar os volumes, relevos e materiais.

Sob o patrocínio e organização da missão de Engenharia Eléctrica e da Delegação Geral para o Armamento, haverá um terceiro espaço ligado à **prospecção**. Este espaço terá como objectivo apresentar desenvolvimentos recentes de sistemas eléctricos cujas aplicações têm a particularidade de se destinarem tanto ao sector militar como civil.

Exposição de "avant-garde", o Salão Elec 96 demonstrará a evolução considerável dos produtos e sistemas nas suas funções de comando, controlo regulação e protecção.

Informações: Promosalons Portugal, Rua Bernardo Lima, 35-4.º A/B, 1150 Lisboa, Telef. 352 84 00, Fax 353 27 80. □