

NEUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica | Nº10 | Dezembro de 2012

<http://www.neutroaterra.blogspot.com>

Mantendo o compromisso que temos convosco, voltamos à vossa presença com mais uma publicação. Esta já é a décima publicação da revista “Neutro à Terra”, mas os incentivos que recebemos não deixam esmorecer a nossa motivação para continuar a intervir nesta área da Engenharia Eletrotécnica. Nesta edição da revista merecem particular destaque os temas relacionados com as instalações elétricas, as máquinas elétricas, a eficiência energética e as energias renováveis.

Professor Doutor José Bezeza Carvalho



Instalações Eléctricas
Pág.7



Máquinas Eléctricas
Pág. 25



Telecomunicações
Pág. 33



Segurança
Pág. 39



Energias Renováveis
Pág. 45



Eficiência Energética
Pág.51



Domótica
Pág. 61

Índice

03| Editorial

07| Instalações Elétricas

Campos Elétrico e Magnético em Linhas de Transmissão de Energia
Rui Manuel de Morais Sarmento

Unidades Ininterruptas de Alimentação (UPS). O que escolher?
José Caçote
Paulo Diniz

25| Máquinas Elétricas

Aplicação de Motores Síncronos de Ímanes Permanentes e Motores de Indução em Veículos Elétricos: Comparação e Perspetivas de Evolução
Pedro Miguel Azevedo Sousa Melo

33| Infraestruturas de Telecomunicações. Grandes Projetos.

Sérgio Filipe Carvalho Ramos
Hélder Nelson Moreira Martins

39| Segurança

A Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE) e o Projeto de Instalações Elétricas
João Emílio Almeida

45| Energias Renováveis

Estruturas de Fixação de Aerogeradores. Instalações Offshore.
Roque Filipe Mesquita Brandão

51| Eficiência Energética

Mercados de Energia Elétrica. Estratégias de Comercialização de Potência em Mercado Liberalizado.
José António Beleza Carvalho
Jorge Manuel Botelho Moreira

61| Domótica

Como abordar uma instalação de domótica KNX para uma moradia?
Sérgio Cunha de Freitas Queirós

65| Autores

FICHA TÉCNICA

DIRETOR:	Doutor José António Beleza Carvalho
SUBDIRETORES:	Eng.º António Augusto Araújo Gomes Doutor Roque Filipe Mesquita Brandão Eng.º Sérgio Filipe Carvalho Ramos
PROPRIEDADE:	Área de Máquinas e Instalações Elétricas Departamento de Engenharia Electrotécnica Instituto Superior de Engenharia do Porto
CONTACTOS:	jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt
PUBLICAÇÃO SEMESTRAL:	ISSN: 1647-5496

Estimados leitores

Mantendo o compromisso que temos convosco, voltamos à vossa presença com mais uma publicação. Esta já é a décima publicação da revista “Neutro à Terra”, mas os incentivos que recebemos não deixam esmorecer a nossa motivação para continuar a intervir nesta área da Engenharia Eletrotécnica. Nesta edição da revista merecem particular destaque os temas relacionados com as instalações elétricas, as máquinas elétricas, a eficiência energética e as energias renováveis.

As linhas aéreas de transmissão de energia criam campos elétricos e magnéticos cujos valores podem por em causa a segurança e a saúde do público geral ou da população sujeita a exposições frequentes ou permanentes. O conhecimento dos valores dos campos a alturas próximas do solo na faixa de segurança é fundamental para definir restrições e níveis de exposição da população a campos eletromagnéticos. Nesta edição, apresenta-se um artigo de elevado nível científico, que apresenta um programa desenvolvido pelo autor para cálculo dos campos elétrico e magnético criados pelas linhas de transmissão. Os resultados obtidos permitem a obtenção de conclusões muito interessantes sobre a questão da segurança e saúde das pessoas sujeitas a exposições destes campos.

Os veículos elétricos têm-se apresentado como uma resposta da nossa sociedade aos impactos ambientais e económicos dos combustíveis fósseis. Nas últimas décadas tem-se assistido a um forte desenvolvimento dos veículos elétricos, sobretudo das soluções híbridas. Os desafios que se colocam no campo da engenharia são múltiplos e exigentes, motivados pela necessidade de integrar diversas áreas, tais como, novos materiais e concepções de motores elétricos, eletrónica de potência, sistemas de controlo e sistemas de armazenamento de energia. Nesta revista apresenta-se um artigo que faz uma análise comparativa na utilização de motores síncronos de ímanes permanentes ou motores de indução, num espectro alargado de velocidades de funcionamento, dando especial destaque aos respetivos desempenhos energéticos.

Os projetistas de instalações elétricas foram os primeiros técnicos a assumirem a problemática das medidas de segurança contra incêndios em edifícios. Na realidade, foi no projeto de instalações elétricas que recaíram muitas vezes as preocupações de segurança contra incêndio. Nesta edição da revista apresentam-se alguns aspetos a considerar no projeto de instalações elétricas relacionados com a Segurança Contra Incêndios em Edifícios e a legislação atualmente em vigor. São abordados, entre outros, alguns cuidados a ter em relação alimentação elétrica, fontes locais e centrais de energia de emergência, quadros elétricos, ascensores, iluminação de segurança, deteção de incêndio, deteção de gases tóxicos e matriz de segurança.

Os consumidores de energia elétrica possuem atualmente uma limitação no que toca a contratação do valor máximo de potência pretendida para uma instalação de utilização. Depois do cliente escolher um dos escalões de potência contratada, deverá pagar o seu respetivo preço mensalmente, mesmo que raramente utilize um valor de potência próximo do escalão que contratou. Este custo representa, em média, 20% do valor total da fatura elétrica. Neste âmbito, as empresas comercializadoras podem fazer-se distinguir entre si, permitindo aos seus clientes alterar o valor de potência contratada de acordo com as suas necessidades. Nesta edição da revista, apresenta-se um artigo que propõe uma nova metodologia de comercialização de potência e de energia, com base na inserção de tarifas de dinâmicas que, para cada hora de consumo, são atualizadas de acordo com o preço de mercado. Este método, já utilizado em alguns países pelos comercializadores de energia, assenta fundamentalmente na existência de contadores de energia inteligentes, que informam o cliente do custo da energia que está consumir.

Nesta edição da revista “Neutro à Terra” pode-se ainda encontrar outros assuntos reconhecidamente importantes e atuais, como um artigo sobre grandes projetos de infraestruturas de telecomunicações, um artigo sobre estruturas de fixação de aerogeradores em instalações *offshore*, e um artigo sobre uma instalação de domótica numa moradia utilizando a tecnologia KNX.

No âmbito do tema “Divulgação”, que pretende divulgar os laboratórios do Departamento de Engenharia Eletrotécnica, onde são realizados alguns dos trabalhos correspondentes a artigos publicados nesta revista, apresenta-se os Laboratórios de Informática Aplicada aos Sistemas Elétricos de Energia.

Nesta publicação dá-se também destaque à quarta edição das Jornadas Eletrotécnicas de Máquinas e Instalações Elétricas, que decorreram nos dias 5 e 6 de Dezembro de 2012 no Centro de Congressos do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Este evento, que contou com um muito elevado número de participantes, teve a colaboração de diversas entidades, instituições e empresas ligadas ao sector eletrotécnico. O evento foi organizado por docentes do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do ISEP ligados às áreas das Máquinas e Instalações Elétricas, contribuindo uma vez mais para transmitir para o exterior da escola uma imagem muito forte sobre a qualidade do trabalho que é desenvolvido no Departamento nesta área da Engenharia Eletrotécnica.

Desejando novamente que esta edição da revista “Neutro à Terra” satisfaça as expectativas dos nossos leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, Dezembro de 2012

José António Beleza Carvalho



JORNADAS ELETROTÉCNICAS

MÁQUINAS E INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

05/06 DEZEMBRO 2012 - CENTRO DE CONGRESSOS DO ISEP



O Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto tem uma forte tradição e um grande prestígio, na formação de engenheiros eletrotécnicos que se destinam, essencialmente, às empresas que atuam nos setores de produção, transporte e distribuição da energia elétrica, aos fabricantes de máquinas e material elétrico, bem como às pequenas e médias empresas industriais e de serviços. Os seus diplomados exercem normalmente, cargos de responsabilidade ao nível da manutenção em unidades industriais, de projeto, execução e exploração de instalações elétricas, no desempenho de funções técnicos-comerciais, no ensino, etc.



Estando cientes da importância da atualização de conhecimentos e sabendo que na área da engenharia eletrotécnica, assim como em outras áreas da engenharia, se assiste a uma rápida e enorme evolução científico-tecnológica, a realização das Jornadas Eletrotécnicas tem como principal objetivo a promoção, divulgação e discussão de temas relevantes relacionados com as Máquinas e Instalações Elétricas, devidamente enquadrados com a problemática atual das energias renováveis, a gestão e eficiência energética e os veículos elétricos, passando pelos sistemas de segurança, domótica, sistemas de iluminação e infraestruturas de telecomunicações. Esta divulgação e partilha envolveu as comunidade ligadas ao ensino, investigação, profissionais e empresários do setor eletrotécnico, através da apresentação de comunicações e exposição de equipamentos.



A sessão de abertura das Jornadas esteve a cargo do Professor José Carlos Barros Oliveira, Vice-Presidente do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Professor Doutor José António Belezinha Carvalho, Diretor do Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, Eng.º José Manuel Freitas, Ordem dos Engenheiros e Eng.º Técnico António Augusto Sequeira Correia, Ordem dos Engenheiros Técnicos.

O evento contou com a apresentação de comunicações das empresas REpower Portugal, EDP Inovação, Wegeuro, Sew – Eurodrive, EMEF, Televés, EDP Comercial, Iberdrola Generación Portugal, Siemens, Microprocessador, TEV2, Efacec, EDF, Energia, Layout, Vianas, Exporlux, Infocontrol, OHM-E e Schneider Electric Portugal. Decorreram ainda apresentações do ISEP, ANACOM, ERSE, Autoridade Nacional da Proteção Civil – CDOS de Leiria, Centro Português de Iluminação e do Centro de Investigação INESC TEC. Destaca-se o elevado nível das comunicações apresentadas o que permitiu momentos de questões e respostas muito interessantes e esclarecedoras.

Além disso, os participantes e convidados tiveram oportunidade, durante os dois dias nos intervalos para os *coffee-breaks*, de visitar a exposição que contou com a representação de várias empresas, com exposição e apresentação de diversificados materiais, equipamentos e sistemas.

Por conseguinte, as Jornadas, atingiram na plenitude o seu principal objetivo, de intercâmbio de ideias e soluções tecnológicas avançadas e inovadoras entre os vários intervenientes, empresas, entidades e instituições de ensino/investigação.

Toda a informação relacionada com o evento está disponível no endereço:

www.dee.isep.ipp/jornadas2012



Aplicação de Motores Síncronos de Ímanes Permanentes e Motores de Indução em Veículos Elétricos: Comparação e Perspetivas de Evolução.

Resumo

Os sistemas de propulsão baseados em motores síncronos de ímanes permanentes (MSIP) têm sido considerados como a opção mais promissora para os veículos híbridos (VH) e elétricos (VE). A situação atual relativa às reservas e custos dos elementos de terras-raras poderá trazer algumas alterações nesta tendência; a opção por motores que prescindem destes elementos poderá trazer um novo estímulo à aplicação dos motores de indução neste domínio.

Este artigo procura apresentar uma análise comparativa entre MSIP e motores de indução (MI) num espectro alargado de velocidades de funcionamento, com especial destaque para os seus desempenhos energéticos. Começa-se por abordar as características gerais de comportamento exigidas aos VE, que definem os múltiplos cenários de funcionamento que poderão ser impostos aos motores. Em seguida, são focadas as principais características de ambas as máquinas, procurando realçar as vantagens e desvantagens mais relevantes, no contexto dos VE. Com base nos regimes de funcionamento a que serão submetidos, analisam-se as diferenças dos rendimentos naturais de ambos os motores. Para os MI é também abordado o importante tema dos algoritmos de minimização de perdas, com vista ao aumento dos rendimentos em regimes de carga onde o desempenho destas máquinas é inferior.

1. Introdução

A dependência dos meios de transporte sobre os combustíveis fósseis, aliada à limitação dos impactos ambientais, tem promovido, nos últimos anos, um crescente investimento no desenvolvimento de alternativas mais eficientes e ecológicas. Os VH (sistema de propulsão composto por um motor de combustão interna (MCI), auxiliado por motor elétrico) e os VE (sistema de propulsão composto por motor(es) elétrico(s)) têm surgido como uma alternativa aos veículos convencionais, baseados em MCI –

sobretudo os primeiros. Atualmente, a sua expressão é já bastante significativa: nos últimos anos, os principais fabricantes de automóveis têm vindo a desenvolver e comercializar vários modelos híbridos [1], [2].

Uma questão essencial é a escolha do tipo de motor elétrico, o qual deverá responder a exigentes requisitos impostos por diferentes ciclos de condução. São de destacar: bons desempenhos dinâmicos com elevados níveis de eficiência energética (numa ampla gama de variação de binário-velocidade, incluindo as frenagens), elevadas capacidades de sobrecarga, bem como densidades de potência e fiabilidade, naturalmente com custos que tornem viável a sua implementação [3]. Tais exigências colocam múltiplos desafios ao desenvolvimento e aplicação dos motores elétricos.

Num artigo anterior [4], foram focados os principais tipos de motores atualmente mais promissores:

- MI;
- MSIP;
- Motores de relutância comutada (MRC).

A tecnologia associada aos MI apresenta um nível de maturidade muito elevado, não significando que esteja esgotado o espaço para novos desenvolvimentos. Fundamentalmente, a aplicação de novos materiais e alterações de projeto [5], [6], bem como a implementação de métodos de limitação de perdas [7], apresentam um potencial considerável de desenvolvimento. Por seu lado, os MSIP e os MRC são conceções mais recentes, cujas aplicações para VH e VE têm merecido um enorme interesse da parte da comunidade científica e dos fabricantes: a vasta quantidade de trabalhos publicados nos últimos anos confirma este facto, de que são exemplos as referências [8], [9].

Até ao momento, as opções têm vindo a incidir, fundamentalmente, nos MSIP e MI. Por este motivo, optou-se por analisar principalmente estas máquinas. Em termos comparativos, os primeiros apresentam maior rendimento nominal e densidade de binário, juntamente com excelentes comportamentos dinâmicos.

Como tal, os MSIPs têm sido encarados como a escolha mais promissora para os VH e VE pela generalidade dos fabricantes. São, no entanto, de referir as exceções da General Motors e da Tesla, que optaram pelo MI [2].

As recentes pressões impostas pela China sobre os elementos de terras-raras (*atualmente, este país suporta cerca de 97% da procura mundial destes materiais*), tanto ao nível dos preços, como das quantidades exportadas, começam a colocar em causa a preponderância dos sistemas de propulsão baseados nos MSIP [10].

Com efeito, os ímanes permanentes que apresentam atualmente as maiores densidades de energia são compostos por estes materiais.

Ainda recentemente, a Toyota anunciou que o novo RAV4 EV virá equipado com MI [2].

O presente artigo procura efetuar uma caracterização dos MSIP e MI, realçando as principais vantagens e desvantagens, sobretudo ao nível dos rendimentos.

À luz do contexto atual da exploração e comercialização dos materiais de terras-raras, procura-se referir as tendências que parecem indiciar algumas mudanças no papel que estas máquinas poderão vir a desempenhar no contexto da mobilidade elétrica (VH e VE). Na secção 2 são abordados os desempenhos espectáveis de um VE, focando as exigências impostas aos respetivos motores elétricos.

A secção 3 apresenta alguns aspetos construtivos dos MI e MSIP, bem como vantagens e desvantagens relativas na aplicação em VE. As características dos seus rendimentos são o principal destaque.

Neste sentido, a secção 4 refere uma ferramenta gráfica muito disseminada, com vista à caracterização do rendimento de um motor em toda a sua gama de funcionamento: os mapas de eficiência. Pela sua relevância neste domínio, a secção 5 faz uma breve referência aos algoritmos de minimização de perdas para MI. Por último, na secção 6 são apresentadas algumas conclusões.

2 Características de desempenho dos e VE

Em termos gerais, os requisitos comportamentais dos VE caracterizam-se por elevados binários na zona das baixas velocidades, estando a gama das altas velocidades associada a funcionamentos com potência constante (Figura 1).

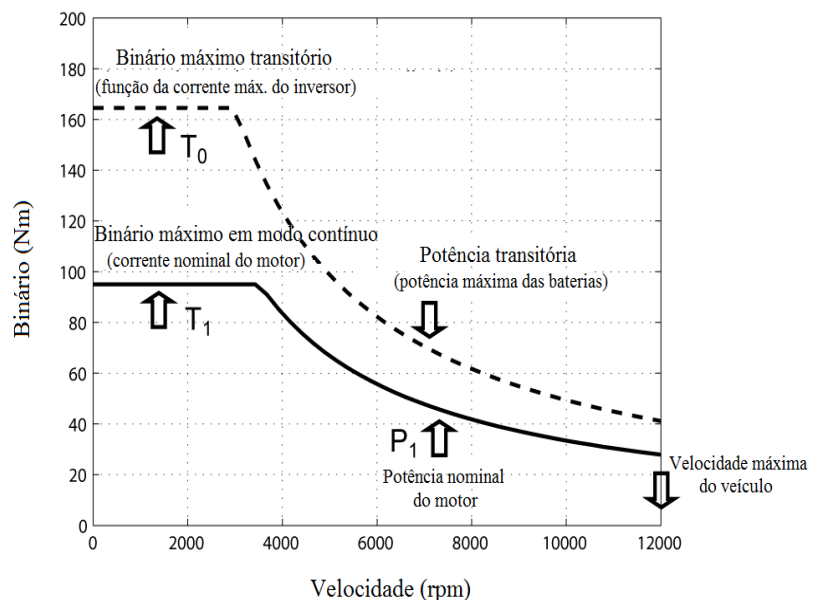


Figura 1 – Requisitos de um Veículo Elétrico [11]

Naturalmente, as características dos percursos previstos (ciclos de condução) são fundamentais na fixação daquelas grandezas: do binário máximo disponível (modo contínuo) dependerá o desempenho do veículo em subidas; em trajetos planos, a velocidade máxima atingida (modo contínuo) é determinada pela potência fixada para a gama de altas velocidades.

A capacidade de funcionamento em sobrecarga dos motores elétricos (por períodos limitados, tanto menores quanto maior o valor da sobrecarga) é uma mais-valia muito relevante sobre os MCI [11]. Com efeito, há a considerar um acréscimo do binário máximo e potência máxima desenvolvidos: o funcionamento em sobrecarga está representado pela característica a tracejado da Figura 1.

Surtem vantagens tanto em modo motor (*possibilidade de desenvolver elevados binários em toda a gama de velocidades \Rightarrow maiores acelerações, bem como picos de velocidade*), como em modo frenagem (*aumento da capacidade de frenagem eletromagnética do veículo*). É, no entanto, de realçar a extrema importância das características do inversor do motor, bem como das baterias do sistema. Em termos práticos, o acréscimo do binário máximo será limitado pela corrente nominal do inversor; por outro lado, no aumento da potência máxima devem estar presentes as limitações das baterias [11]; embora tenham elevadas densidades de energia (Wh/Kg), apresentam baixas densidades de potência (W/Kg).

3 MI e MSIP em VE: Análise Comparativa

3.1 Motores de Indução

Os MI com rotor em gaiola apresentam elevada robustez e simplicidade, aliadas a custos comparativamente mais baixos. Em termos de controlo dinâmico, os sistemas baseados no controlo vetorial por orientação de campo – principalmente, do campo rotórico – encontram-se, atualmente, muito disseminados e com custos bastante atrativos [8].

Os tipos de perdas mais relevantes nestas máquinas são as perdas por efeito de Joule e as magnéticas. Na zona de enfraquecimento de campo (velocidades elevadas), as perdas magnéticas são naturalmente menores. Este é o principal motivo para os valores mais elevados do rendimento se encontrarem em regimes de funcionamento associados a velocidades superiores à nominal; pelo contrário, o rendimento é menor na gama das baixas

velocidades (entre o repouso e a velocidade nominal), em particular com cargas baixas. Nesta gama de velocidades sobressaem as vantagens do MSIP. Atendendo à maior dificuldade em dissipar as elevadas perdas no ferro e por efeito de Joule que podem ocorrer no MI (poderá justificar a inclusão de sistemas de ventilação forçada), a capacidade de sobrecarga do MI aparece limitada, em comparação com o MSIP [3].

No contexto dos VH e VE, este é um aspeto de grande relevância em ambos os modos de funcionamento (motor e frenagem). Estas distribuições de perdas decorrem da regulação convencional do campo magnético, implícita na Figura 1.

É de realçar o facto de, na zona de binário máximo constante, o campo magnético ser mantido no seu valor nominal; voltar-se-á a este aspeto na secção 5.

No caso de ocorrer uma falha na alimentação do motor (problema no inversor), a tensão aos seus terminais é nula (após a extinção dos transitórios eletromagnéticos), uma vez que a máquina fica desmagnetizada. Tal não acontece com os MSIP. Tratando-se de um aspeto diretamente relacionado com a segurança do veículo e seus utilizadores, é, pois, uma vantagem importante dos MI face a estes últimos [8].

3.2 Motores Síncronos de Ímanes Permanentes

Estas máquinas são dotadas de ímanes permanentes no rotor, baseados em terras-raras (*ligas compostas por neodímio (Nd), ferro (Fe) e boro (B)*). Sendo ímanes com elevadas densidades de energia, obtêm-se máquinas mais compactas em relação aos MI e com melhores fatores de potência.

A ausência de enrolamentos rotóricos permite a eliminação das perdas por efeito de Joule no rotor (em regime permanente), sendo possível alcançar elevados rendimentos nominais, superiores aos do MI. Para estes regimes de funcionamento são de realçar os valores consideráveis das perdas no ferro do estator, atendendo às características dos ímanes utilizados [3].

O rendimento é fundamentalmente elevado na vizinhança da velocidade nominal. Com efeito, o enfraquecimento do campo magnético está associado à regulação da componente i_d da corrente estatórica, responsável pela criação de um campo magnético de reação do induzido que se opõe ao campo indutor desenvolvido pelos ímanes permanentes. Como consequência, a gama de velocidades elevadas (zona de enfraquecimento do campo) é caracterizada por elevados valores de i_d (*componente longitudinal da corrente do estator*), tanto maiores quanto a velocidade: embora as perdas no ferro do estator diminuam, as perdas por efeito de Joule são agora preponderantes, levando a diminuições do rendimento.

Importa ter presente que elevados valores de i_d poderão conduzir à desmagnetização dos ímanes; por outro lado, sendo estes muito sensíveis à temperatura, a sua monitorização no interior da máquina é fundamental [3]. Deste modo, as sobrecargas que lhe são impostas deverão ter sempre estes dois aspetos em consideração, sobretudo na gama das altas velocidades.

Contrariamente aos MI, no caso de haver uma falha no inversor, poderá surgir uma sobretensão nos terminais estatóricos da máquina. O valor desta sobretensão depende da velocidade, pelo que na gama das altas velocidades a possibilidade de ocorrência destas falhas representa um sério risco para os ocupantes do veículo, bem como para os respetivos equipamentos. Existem duas configurações distintas, tal como indicado na Figura 2:

- ímanes montados na superfície do rotor (SR);
- ímanes colocados no interior do rotor (IR).

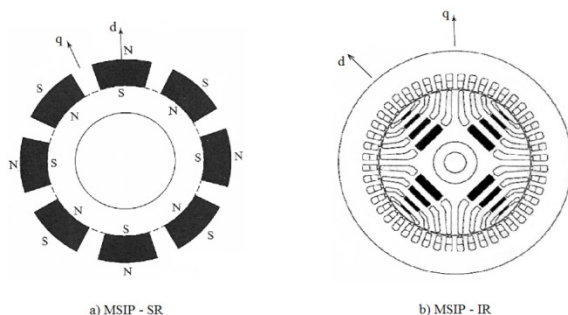


Figura 2 – Variantes Construtivas de MSIP: a) [12], b) [8]

Em termos construtivos, há a salientar a maior vulnerabilidade às forças centrífugas dos ímanes na variante SR (particularmente crítico nas altas velocidades). No caso IR, é necessária a inclusão de barreiras de fluxo (Figura 2-b)), o que introduz uma complexidade superior na sua manufatura [11].

As consequências mais importantes das diferenças construtivas das variantes anteriores são as seguintes [4]:

- O circuito magnético IR apresenta características anisotrópicas ($L_d \neq L_q$) [L_d -coeficiente de autoindução longitudinal do enrolamento induzido; L_q -coeficiente de autoindução transversal do enrolamento induzido], mais concretamente, **anisotropia inversa** ($L_d < L_q$), uma vez que a permeabilidade magnética (μ) dos ímanes é aproximadamente igual à do ar (μ_0);
- Como tal, o binário desenvolvido tem duas componentes: uma resultante da interação do campo magnético fixo e do campo de reação do induzido; uma segunda componente resultante do binário de anisotropia \Rightarrow maior capacidade de sobrecarga mecânica em toda a gama de velocidades, bem como menor influência do aumento de temperatura, uma vez que este ocorre essencialmente no estator [8], [11].

Torna-se claro o maior potencial de aplicação da configuração IR. É também de salientar que as sobretensões associadas a falhas no inversor são menores, comparativamente à configuração SR. Com efeito, o valor do fluxo magnético dos ímanes é menor no caso IR, atendendo à anisotropia da máquina [11].

Tabela 1 – Comparação entre MI e MSIP [3]

	MI	MSIP
Densidade de Potência	Média	Muito Boa
Rendimento Nominal	Bom	Muito Bom
Custos	Muito Bom	Mau
Fiabilidade	Muito Bom	Média
Maturidade Tecnológica	Bom	Média

4 Mapas de Eficiência

Com vista à caracterização do desempenho energético de uma determinada máquina (não necessariamente elétrica), é frequente a utilização de mapas de eficiência. Trata-se de representações bidimensionais (curvas de nível) do rendimento da máquina no plano (binário, velocidade). É importante referir que são representações estáticas, isto é, os valores do rendimento estão associados apenas a regimes permanentes de funcionamento. A título de exemplo, a Figura 3 apresenta um mapa de eficiência de um MI.

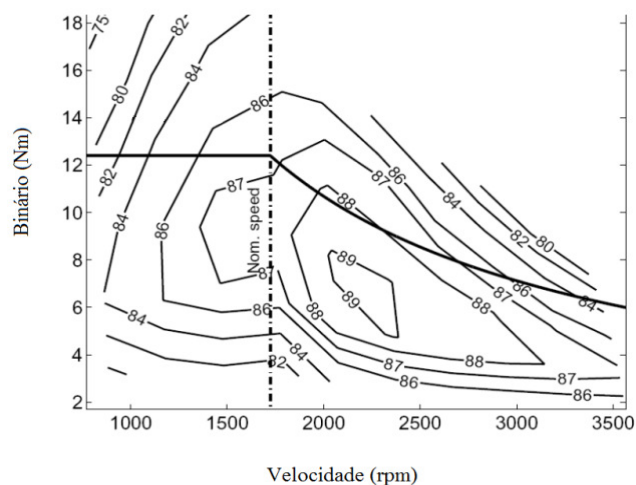


Figura 3 – Mapa de eficiência do motor de Indução com regulação de fluxo convencional [13]

Na Figura 4 estão representadas as zonas de rendimentos elevados (>85%), tipicamente associadas aos MSIP, MI e MRC.

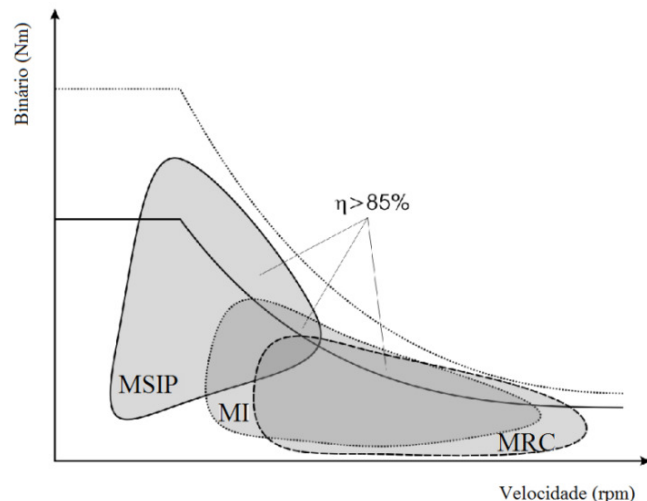


Figura 4 – MSIP, MI e MRC: Zonas de funcionamento com elevados rendimentos [3]

Naturalmente, serão as características do ciclo de condução que delimitam a zona de funcionamento no plano (*binário, velocidade*). No caso do MSIP, é visível que na vizinhança da velocidade nominal e na parte inicial da zona de enfraquecimento de campo estão concentrados os valores de rendimento mais elevados; no caso do MI, os maiores rendimentos situam-se entre as áreas correspondentes ao MSIP e ao MRC (mais próxima deste último), na zona de enfraquecimento de campo. Daqui ressalta que o tipo de percurso em causa (citadino, estrada ou misto) tornará mais favorável a opção por um determinado tipo de motor.

Poder-se-ão considerar algumas formas de contornar as limitações anteriores. Uma hipótese evidente será a de incluir um sistema de engrenagens, possibilitando o funcionamento do motor em regimes de carga com elevados rendimentos, na gama de velocidades pretendida [13]. No caso dos MSIP, há também a vantagem de poder ser eliminada a implementação de algoritmos de enfraquecimento de campo (regulação da componente i_d da corrente estatórica), os quais implicam uma maior complexidade em termos de controlo, bem como o perigo de desmagnetização. No entanto, é bem conhecida a influência da massa dos VH e VE sobre as suas características (dinâmicas, autonomia, maior complexidade,...). Como tal, compreendem-se os esforços que têm vindo a ser desenvolvidos na procura de soluções que possam simplificar a estrutura mecânica, sobretudo nos VE [13].

De facto, na literatura especializada há inúmeros exemplos de trabalhos sobre esta temática, desenvolvidos nos últimos anos. A conceção/ novos materiais aplicados nos motores [6] e o desenvolvimento de algoritmos de minimização de perdas [14] enquadram-se nos esforços referidos.

5 Algoritmos de Minimização de Perdas para MI

Embora exista uma grande quantidade de algoritmos de minimização de perdas (AMP) que têm sido desenvolvidos para os MI, MSIP e MRC, este é um assunto que continua a merecer a atenção de vários investigadores – veja-se o elevado número de exemplos referidos em [7] e [14], apenas para MI.

Atendendo ao reforço do interesse dos MI em VE, apresenta-se uma breve referência aos AMP para estas máquinas.

Em termos gerais, os AMP assentam na resolução de problemas de otimização, pelo que, dependendo da formulação matemática, há diversas metodologias que podem ser aplicadas na sua resolução (determinísticas, heurísticas, lógica difusa, “machine learning”, ...). A velocidade de convergência (determinante em aplicações em tempo-real) e precisão da solução, bem como a sensibilidade à variação dos parâmetros do motor são fatores críticos a considerar no desenvolvimento dos AMP [14].

A Figura 5 apresenta uma estrutura relativa à classificação de AMP: são de destacar os métodos “Offline” e “Online”.

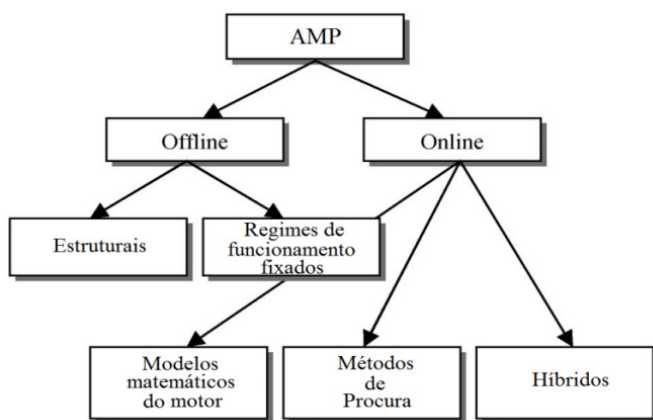


Figura 5 – Categorias de AMP para MI [14]

Os métodos “Offline” assentam na otimização das características da máquina (melhorias no projeto, utilização de materiais de melhor qualidade) ou no conhecimento prévio de regimes de funcionamento previstos para o motor.

Estando a máquina em funcionamento, não é possível qualquer regulação do valor das perdas. Como tal, a eficácia da sua aplicação está dependente da verificação das condições inicialmente previstas, pelo que não são as metodologias convenientes para aplicações em VH e VE.

As metodologias “Online” baseiam-se no conhecimento dos valores instantâneos – *por medição direta ou através de*

estimadores de estado – das grandezas físicas que caracterizam o funcionamento do motor (tensões, correntes, fluxos magnéticos, velocidade, ...).

Podem ser agrupadas do seguinte modo [7], [14]:

- Algoritmos baseados em modelos matemáticos do motor (estáticos ou dinâmicos), a partir dos quais se extraem expressões analíticas para as perdas – *funções de custo a minimizar*. A influência das variações dos seus parâmetros é determinante na eficácia destes algoritmos. A monitorização de tais variações representa um desafio complexo (em geral, não sendo possível a sua medição, procura-se obter estimações dessas variações). Como tal, o desenvolvimento de AMP com menor sensibilidade às alterações dos parâmetros reveste-se de grande importância.
- Métodos de procura (*search controllers of minimum losses*). Não dependem de qualquer modelo do motor, pelo que são imunes às variações dos seus parâmetros. Para um determinado valor de carga (definida pelo binário e velocidade), a potência absorvida é reduzida para o valor mínimo que garanta os requisitos impostos pela carga. Em geral, o tempo de convergência da solução é superior ao dos algoritmos anteriores.
- Métodos híbridos (combinações dos anteriores, com vista a reunir as vantagens de ambos).

A zona de baixas velocidades, onde tipicamente o fluxo é mantido no valor nominal, é a que apresenta maior potencial para aumentos do rendimento, tal como é perceptível na figura 4. Em particular, para cargas reduzidas, aquele valor de fluxo é normalmente excessivo, pelo que se torna possível reduções apreciáveis nas perdas no ferro, sem comprometer as condições impostas pela carga.

Com efeito, uma boa parte dos AMP desenvolvidos para MI assenta na otimização do fluxo magnético nas velocidades mais baixas. Deste modo, torna-se possível o funcionamento com elevados níveis de rendimento, numa extensa gama de velocidades.

6 Conclusões

As aplicações associadas à tração impõem cenários de funcionamento muito díspares entre si. Independentemente do tipo de motor elétrico selecionado, haverá a considerar necessidades de funcionamento sob múltiplos regimes de carga, incluindo sobrecargas, nos modos motor e frenagem, com rendimentos necessariamente distintos. As condições impostas aos motores nestas aplicações são muito exigentes, a vários níveis (elétricas, térmicas, mecânicas, ambientais, ...).

Até agora, os MSIP têm sido a escolha preferencial para os sistemas de propulsão dos VH e VE, principalmente dos primeiros. As elevadas densidades de potência e binário, bem como os altos rendimentos nominais, estão na base desta opção.

Entre outras opções, os MI possuem uma sólida tecnologia de fabrico, aliada a várias características (simplicidade, robustez e custo) que os tornam sérios candidatos para a propulsão dos VH e VE.

A atual situação relativa ao comércio dos elementos de terras-raras (preços elevados e dificuldade em aceder a estas matérias primas), poderá mudar o posicionamento dos MSIP como primeira escolha para os sistemas de propulsão elétrica. É de prever, a curto e médio prazo, um aumento do interesse por motores que prescindem de terras raras, de que são exemplos os MRC e os MI. Entre vários aspetos, a melhoria dos rendimentos e densidades de potência dos MI (*conjugação da fase de projeto com a utilização de novos materiais*) e a procura de novos AMP (*permitindo aumentar o espectro das velocidades associadas a elevados rendimentos*) poderão ser ainda mais estimulados, com vista a fortalecer a opção pelos MI na propulsão elétrica.

Bibliografia

- [1] Bucherl, Dominik et al. "Comparison of Electrical Machine Types in Hybrid Drive Trains: Induction Machine vs. Permanent Magnet Synchronous Machine", Proceedings of the 18th International Conference on Electrical Machines, 2008.
- [2] Miller, Peter "xEV market trend and prospect", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2012.
- [3] Finken, Thomas et al. "Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles.", Proceedings of the 18th International Conference on Electrical Machines, 2008.
- [4] Melo, Pedro "Características e Tipos de Motores em Veículos Eléctricos", Revista Neutro à Terra, Nº 4, Outubro de 2009.
- [5] Bazzi, Ali M., Krein, Philip T. "Comparative Evaluation of Machines for Electric and Hybrid Vehicles Based on Dynamic Operation and Loss Minimization", IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010.
- [6] Morimoto, Masayuki "Rare Earth Free, Traction Motor for Electric Vehicle", IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012.
- [7] Lim, S. and K. Nam "Loss-minimising control scheme for induction motors. IEE Proceedings - Electric Power Applications", Vol.151, No.4, pp. 385-397. 2004.
- [8] Pellegrino, Gianmario et al. "Comparison of Induction and PM Synchronous motor drives for EV application including design examples", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.23, No99, pp. 107-115, 2012.
- [9] Chin, Y.K., Soulard, J. "A Permanent Magnet Synchronous Motor for Traction Applications of Electric Vehicles", IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), 2003.
- [10] Poole, R., "Rare earth metals in short supply?", IET E&T, Vol. 7 issue 4, 23rd April 2012, <http://eandt.theiet.org/magazine/2012/04/releasingthe-rare-earths.cfm>
- [11] Vagati, A. et al. "Comparison between SPM and IPM motor drives for EV application", XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010.
- [12] Krishnan, R., "Electric Motor Drives – Modeling, Analysis and Control", Prentice Hall, 2001.
- [13] Amrhein, Marco et al. "Evaluation of a Re-Rated Induction Machine", IEEE International Conference on Electric Machines and Drives, 2005.
- [14] Bazzi, Ali M., Krein, Philip T. "Review of Methods for Real-Time Loss Minimization in Induction Machines", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.46, No.6, pp. 2319-2328, 2010.

LABORATÓRIO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE ENERGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Os Laboratórios de Informática de Sistemas Elétricos de Energia tiveram a sua origem no início dos anos 2000 e localizam-se no segundo piso do edifício I. Foram criados 4 laboratórios com as seguintes designações:

- Laboratório de Aplicações Computacionais e Sistemas de Energia
- Laboratório de Análises de Sistemas Elétricos
- Laboratório de Projeto e Cálculo de Sistemas de Energia
- Laboratório de Informática para Sistemas Elétricos de Energia

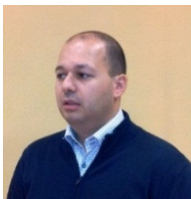
Cada um dos Laboratórios está equipado com dez bancadas de trabalho compostas por computadores com um vasto conjunto de software que dá suporte a diferentes atividades letivas dos Cursos de Licenciatura e Mestrado em Sistemas Elétricos de Energia e Mestrado em Energias Sustentáveis.

As unidades curriculares que funcionam nestes laboratórios pertencem a um vasto leque de áreas científicas que se estendem desde o projeto e cálculo de instalações elétricas, projeto de iluminação, análise, simulação da operação e planeamento de sistemas elétricos de energia, energias renováveis e distribuição de energia elétrica.

Destaca-se a possibilidade de implementação de projetos de instalações elétricas através de software dedicado, simulação com possibilidade de análise do funcionamento de redes elétricas de transporte de energia elétrica com o software *PowerWorld Simulator*.



COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



Hélder Nelson Moreira Martins

helmar@televes.com

Síntese Curricular: Licenciatura em Engenharia Electrónica e Telecomunicações na Universidade de Aveiro, participou num projeto sobre Televisão Digital Interativa no Instituto de Telecomunicações em Aveiro e possui uma Pós-Graduação em Infraestruturas de Telecomunicações, Segurança e Domótica realizada no Instituto Superior de Engenharia do Porto. Curso Avançado de Marketing Relacional e Fidelização de Clientes na Escola de Negócios Caixa Nova em Vigo. Desempenha funções no Departamento Técnico da Televés Electrónica Portuguesa, S.A. desde 2003 e colabora com diversas entidades na área da Formação ITED e ITUR exercendo esta atividade desde 2006.



João Emilio Almeida

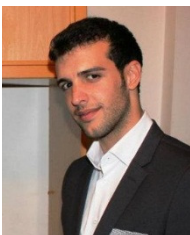
jesca.msc@gmail.com

Engenheiro Informático Industrial pelo ISEP, Mestre em Segurança Contra Incêndios Urbanos pela Universidade de Coimbra e Doutorando na FEUP em Informática. Membro da Ordem dos Engenheiros e da NFPA. Membro efetivo da Ordem dos Engenheiros e da NFPA. Consultor e projetista de Segurança Contra Incêndio; responsável por projetos de grande dimensão em Portugal e no estrangeiro, centros comerciais e hospitais. Formador em cursos para Projetistas da 3ª e 4ª categoria de risco em SCI. Presentemente é doutorando em Engenharia Informática na FEUP e investigador no LIACC (Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência dos Computadores) da Universidade do Porto sendo a sua área de investigação a Modelação e Simulação do Comportamento Humano em Situações de Emergência utilizando Jogos Sérios.

José Caçote

jose.cacote@qenergia.pt

Licenciado em Engenharia Física pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Membro da Ordem dos Engenheiros. Colaborador da QEnergia desde a sua fundação (Outubro de 2001), especializando-se na Medida Elétrica. Mestre na área da Segurança. Especialista Certificado em Termografia pelo SGS. Desempenha funções de coordenação na área das auditorias a instalações elétricas e na implementação de sistemas de gestão e qualidade da energia. Realizou vários seminários com a temática da qualidade da energia, termografia e segurança nas instalações elétricas. Atualmente é o Diretor-Geral da QEnergia.



Jorge Manuel Botelho Moreira

jorgemoreira6870@hotmail.com

Frequência do mestrado em Engenharia Electrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto.



José António Beleza Carvalho

jbc@isep.ipp.pt

Nasceu no Porto em 1959. Obteve o grau de B.Sc em engenharia eletrotécnica no Instituto Superior de Engenharia do Porto, em 1986, e o grau de M.Sc e Ph.D. em engenharia eletrotécnica na especialidade de sistemas de energia na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em 1993 e 1999, respetivamente. Atualmente, é Professor Coordenador no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, desempenhando as funções de Diretor do Departamento.



Paulo Dinis

paulo.diniz@infocontrol.pt

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Especialista em Sistemas de Gestão Técnica Centralizada, Gestão de Energia e Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas. Chefe de Vendas da Infocontrol – Delegação Norte.

COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo

pma@isep.ipp.pt

Mestre em Automação, Instrumentação e Controlo pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Aluno do Programa Doutoral em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2001.

Desenvolveu atividade de projetista de instalações eléctricas de BT na DHV-TECNOPOR.



Roque Filipe Mesquita Brandão

rfb@isep.ipp.pt

Doutor em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Área Científica de Sistemas Eléctricos de Energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Professor Adjunto no Instituto Superior de Engenharia do Porto, departamento de Engenharia Eletrotécnica.

Consultor técnico de alguns organismos públicos na área da eletrotecnia.



Rui Manuel de Morais Sarmento

rms@isep.ipp.pt

Nasceu na cidade do Porto, Portugal, em 14 de julho de 1953. Licenciou-se em Engenharia Electrotécnica, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal, em 1975. Tirou o Mestrado de pós-graduação em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, na área de Sistemas de Energia, na FEUP, em 1990. Foi professor, no Departamento de Física, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), em 1974-75. Foi professor, no Departamento de Física, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), sendo responsável em várias áreas, como Física Mecânica, Electromagnetismo e Laboratórios de Física, entre 1976 e 1990. Atualmente é professor adjunto e membro do Conselho Científico, no Departamento de Engenharia Electrotécnica, do ISEP, tendo sido responsável por várias disciplinas da área de Sistemas Eléctricos de Energia.



Sérgio Cunha de Freitas Queirós

engenharia.schumal@gmail.com

Engenheiro Electrotécnico – Sistemas Eléctricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto. Formador do curso de Técnico Responsáveis de Equipamentos de SCIE – Formação Específica | SADI, na Schumal – Engenharia e Serviços. Formador do curso de Técnico Responsáveis de Equipamentos de SCIE – Formação Geral, na Schumal – Engenharia e Serviços. No ano de 2011, exerceu funções como formador de ITED/ITUR, na Schumal – Engenharia e Serviços, num total de 199h, sendo Responsável Técnico pela formação ITED / ITUR desta entidade formadora. Projetista de Eletricidade, ITED, Gás e Segurança Contra Incêndios.



Sérgio Filipe Carvalho Ramos

scr@isep.ipp.pt

Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Área Científica de Sistemas Eléctricos de Energia, pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Aluno de doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no Instituto Superior Técnico de Lisboa.

Docente do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do curso de Sistemas Eléctricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2001.

Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações eléctricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultadoria técnica.

Investigador do GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão), do ISEP, desde 2002.

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO PÓS-GRADUADA EM

Projeto de Instalações Elétricas

OBJETIVOS

Promover competências aos pós-graduados no âmbito do projeto, execução, exploração e utilização de instalações elétricas de serviço público e serviço particular e, de uma forma integrada, abordar todos os assuntos relacionados com a conceção de instalações elétricas de média e baixa tensão.

DESTINATÁRIOS

O curso destina-se a bacharéis, licenciados e mestres recém formados na área da Engenharia Eletrotécnica e/ou Engenharia Eletrónica, assim como quadros no activo que pretendam atualizar conhecimentos ou adquirir competências no âmbito da conceção e utilização de instalações elétricas.

PLANO CURRICULAR

- Equipamentos e Sistemas de Proteção
- Instalações Elétricas
- Técnicas e Tecnologias de Eficiência Energética
- Projeto Integrador

LOCAL

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto
Tel. 228 340 500 – Fax: 228 321 159

Info: jbc@isep.ipp.pt

