

Voltámos à vossa presença com a décima sétima edição da nossa revista. Nesta edição, destacam-se assuntos de carácter mais científico e da maior importância, com um número de artigos publicados em língua inglesa, que esperamos que possam também contribuir para satisfazer as expectativas do elevado número de leitores que temos em países estrangeiros, e reforçar o espaço de divulgação da nossa revista por um maior número de países. Nesta edição merecem particular destaque os assuntos relacionados com as máquinas elétricas, os veículos híbridos e a mobilidade elétrica.

José Beleza Carvalho, Professor Doutor

						
Máquinas e Veículos Eléctricos	Produção, Transporte e Distribuição Energia	Instalações Eléctricas	Telecomunicações	Segurança	Gestão de Energia e Eficiência Energética	Automação, Gestão Técnica e Domótica

Índice

- 03| Editorial
- 05| PMMotorsforHighEfficiencyApplications
CarlosEduardoG.Martins,SebastiãoLauroNau
WEGEquipamentosElétricosS.A.
- 11| CableLayingandPulling
ManuelBolotinha
EngenheiroEletrótécnico-Consultor
- 15| GroundFaultProtectionMethodsforDistributionSystems
HugoTavares ¹,TeresaNogueira ²
InstituteofEngineering,PolytechnicInstituteofPorto(ISEP)(¹Student)
CenterforInnovationinEngineeringandIndustrialTechnology(CIETI) ²
- 21| ITED3–TILT.Oqueéecomoseensaia!
HélderNelsonMoreiraMartins
TelevésElectrónicaPortuguesa,S.A.
- 27| Fundamentosdadeteçãoautomáticadeincêndiosemedifícios.Parte1.
AntónioAugustoAraújoGomes
InstitutoSuperiordeEngenhariadoPorto
- 33| Avaliaçãoodesistemasdeterras
FernandoJorgePita
Engenheiroeletrotécnico-Formador
- 41| Mobilidadeelétrica
AntónioCarvalhodeAndrade
InstitutoSuperiordeEngenhariadoPorto
- 57| Classificaçãoodeveículoshíbridos–Evoluçãoocrescentedograudeeletrificação.
PedroMelo
InstitutoSuperiordeEngenhariadoPorto
- 65| StudyofLedLampsTechnologiesImpactontheUtility
EwelinaSzwal ¹;JuditeFerreira,JoséTeixeiraPuga,AntónioGomes
InstituteofEngineering,PolytechnicInstituteofPorto(ISEP)(¹Student)
- 76| Autores

FICHA TÉCNICA

DIRETOR:	JoséAntónioBelezaCarvalho,Doutor
SUBDIRETORES:	AntónioAugustoAraújoGomes,Eng.º RoqueFilipeMesquitaBrandão,Doutor SérgioFilipeCarvalhoRamos,Doutor
PROPRIEDADE:	ÁreadeMáquinaeInstalaçõesElétricas DepartamentodeEngenhariaElectrotécnica InstitutoSuperiordeEngenhariadoPorto
CONTATOS:	jbc@isep.ipp.pt ;aag@isep.ipp.pt
PUBLICAÇÃO SEMESTRAL:	ISSN: 1647-5496

Estimados leitores

Voltamos à vossa presença com a décima sétima edição da nossa revista e continua a verificar-se um interesse crescente pelas nossas publicações. Nesta edição, destacamos assuntos de carácter mais científico e dá o maior número de artigos publicados em língua inglesa, que esperamos que possam também contribuir para satisfazer as expectativas do elevado número de leitores que temos em países estrangeiros, e reforçar o espaço de divulgação da nossa revista por um maior número de países. Nesta edição merecem particular destaque os assuntos relacionados com as máquinas eléctricas, os veículos híbridos e a mobilidade eléctrica. São também publicados importantes artigos sobre sistemas de terras e métodos de protecção de defeitos à terra em redes de distribuição de energia. Outro assunto importante e relacionado com a eficiência energética, tem a ver com um artigo sobre tecnologias de iluminação baseadas em lâmpadas LED.

Os motores de ímã permanente (PM), ou de ímanes permanentes, são motores adequados para quase todas as aplicações, como bombas, elevadores, compressores, ventiladores, extrusores, geradores, veículos eléctricos, servoconversores, torres de arrefecimento, eletrodomésticos, etc. O artigo que se apresenta nesta edição da revista Neutro-à-Terra, da autoria de um investigador da WEG, de carácter mais científico, apresenta algumas aplicações em que a utilização de motores PM permitiram melhorias na eficiência energética na qualidade do processo em que são utilizados.

Outro importante artigo que é apresentado na revista, correspondente a um trabalho de investigação realizado no ISEP, tem a ver com a protecção de defeitos à terra em redes de distribuição. A opção pelo método de terra adotado no sistema tem uma influência directa sobre o desempenho global da totalidade da medição da rede, bem como sobre a magnitude da corrente de defeito à terra. Para qualquer tipo de sistemas de terra: sistemas não ligados directamente à terra, sistemas com ligação à terra de baixa impedância e sistemas de terra ressonantes, pode-se encontrar vantagens e desvantagens. O artigo apresenta um estudo detalhado sobre o assunto.

Nas últimas décadas assistiu-se a um acentuado desenvolvimento dos veículos híbridos eléctricos convencionais. A sua proliferação encontra-se hoje bem disseminada, em praticamente todas as gamas, refletindo a confiança dos consumidores. Com vista a atenuar ainda mais o uso dos combustíveis fósseis, a tendência de aumentar o nível de electrificação nas versões híbridas mais recentes, bem como a oferta de versões puramente eléctricas. No entanto, a evolução dos últimos anos, quer ao nível da aposta por parte dos fabricantes, quer ao nível do volume de vendas, parece indicar uma nova fase de proliferação destes veículos, a qual se encontra ainda nos primeiros passos. Nesta edição da revista apresenta-se dois importantes artigos técnicos que abordam a mobilidade eléctrica, ao nível da classificação dos veículos híbridos, em função do nível de electrificação do sistema de propulsão, assim como uma abordagem aos veículos puramente eléctricos, fazendo-se considerações acerca do impacto mundial dos veículos híbridos Plug-in puramente eléctricos, nos últimos 5 anos.

Nesta edição da nossa revista, ainda se apresenta outra publicação que também é muito interessante, como um artigo que aborda os vários métodos de instalação de cabos subterrâneos, um artigo sobre o IED3, um artigo que aborda os principais fundamentos da detecção automática de incêndio em edifício e um muito interessante artigo sobre o estudo das várias tecnologias de lâmpadas LED e o seu impacto na utilização.

Fazendo votos que esta edição da revista “Neutro à Terra” vá novamente ao encontro das expectativas dos nossos leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, julho de 2016

José António Beleza Carvalho

Visualização de páginas por país

Entrada	Visualizações de páginas
Portugal	17651
Estados Unidos	2471
Brasil	1229
Alemanha	362
Angola	169
Reino Unido	156
Rússia	133
França	100
Espanha	82
Andorra	80



PMM OTORSFOR HIGH EFFICIENCY APPLICATIONS

Abstract

PMmotors are suitable for nearly all applications, like pumps, elevators, compressors, blowers, extruders, generators, electric vehicles, servodrives, cooling towers, household appliances, etc. This paper will present some applications where the use of PMmotors allowed for enhancements in energy efficiency and process quality.

1. Introduction

According to recent studies [1], electric motor-driven systems (EMDS) account for between 43% and 46% of all global electricity consumption.

Induction motors have been the most used drives in industry, due to its robustness, reliability and simple operation (direct connection to the mains, without electronic control). However, in many applications variable-speed drives offer significant energy saving potential [2]. In this scenario, permanent magnet motors are competing technologies for the induction motors, because they present higher efficiency and do not need forced ventilation neither oversizing.

2. Permanent Magnet Motors

PM motors offer the highest efficiency of all motors, due to the absence of joule losses in the rotor, and high power factor due to the excitation flux of the permanent magnets (resulting in smaller currents). Since PM motors have no Joule losses in the rotor, bearing temperature is lower, and lifetime is increased.

They have a significant higher efficiency at low speed than the induction motors and do not need forced ventilation, neither oversizing for constant torque operation (rated torque in all speeds).

Figure 1 shows a comparison among an IPM motor (IE4+) and two induction motors (IE2 and IE3), all rated 30 kW at 1800 rpm, operating over a 4:1 speed range with constant rated torque.

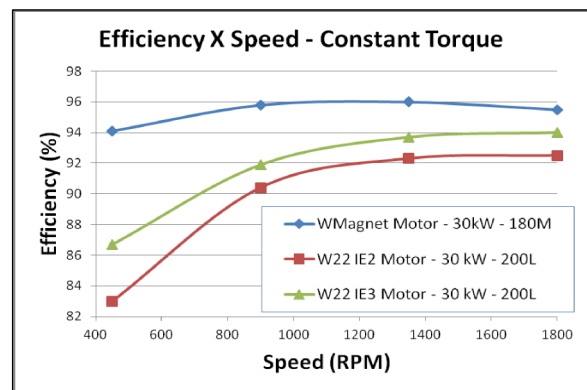


Figure 1. Efficiency over a 4:1 speed range with constant torque for three motors: a PM synchronous motor (Wmagnet), and two induction motors (W22 IE2 and W22 IE3), all rated 30 kW at 1800 rpm

3. Construction Characteristics

PM motors can have different construction characteristics.

The permanent magnets can be placed on the surface or inside the rotor (IPM - Interior Permanent Magnet), the rotor can be external or internal, the windings can be distributed (as for conventional induction motors) or tooth-wound (as in universal motors). They can use low-cost, low-energy ferrite magnets (usually for low-power, low-cost applications) or high-cost, high-energy rare-earth magnets (usually for high performance motors in industrial applications), resulting in more compact designs with high torque/volume ratios.

Furthermore, they can be classified as BLAC (Brushless Alternating Current) or BLDC (Brushless Direct Current) motors. The first is used as a sine wave current drive (their back-EMF is sinusoidal) and the latter is used as a square wave current

drive(theirback-EMFistrapezoidal).Typically,BLDCmotors have tooth-wound windings, and BLAC motors have distributedwindings. But BLACmotor canhave tooth-woundwindingsaswell,mainlyforlow-powerapplications.

Thereareseveral topologies,andtheapplicabilityof each onedependsontheapplicationrequirements, asshownin thetable1.

4. ApplicationsforPMMotors

4.1. IndustrialPMMotors

4.1.1IPMMotor

IPMsynchronous motors havesimilar stator windings as inductionmotors, buthavehigh-energyrare-earthmagnets insidetherotor.

Figure 2 shows a detail of a one-pole finite element simulationofa6-poleIPMmotoronload. Therotorhasa special designedlaminationtomimizefluxleakagewhile keepingthenecessarymechanical strengththat thehigher speedallowed.

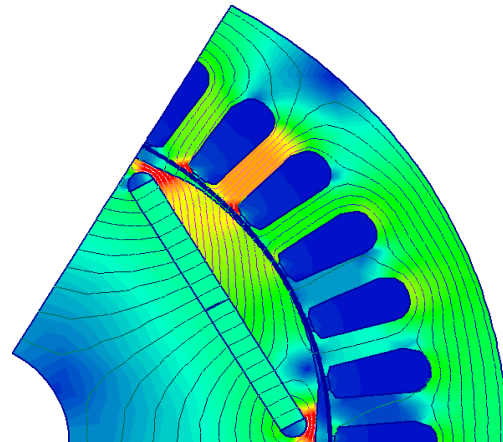


Figure 2. Detail of one pole flux pattern and flux density of a 6-pole IPM motor

Table1. Characteristics of different topologies

Topology	Characteristics	Example
External rotor	high-torque, low-speed applications (i.e. washing machine, elevators), ventilation, wheel motors for traction applications.	
Surface magnets	low-speed applications (i.e. ventilation, exhaust, residential pumps, elevators).	
Interior magnets	low and high-speed applications (i.e. blowers, compressors, pumps, elevators, electric vehicles).	
Line-start	low-speed, low-inertia applications, direct-on-line connection (i.e. small fans, pumps)	

These motors can be in frame sizes smaller than induction motors (upto 43% reduction in volume and 35% in weight), while offering super premium efficiencies (Figure 3) [3].

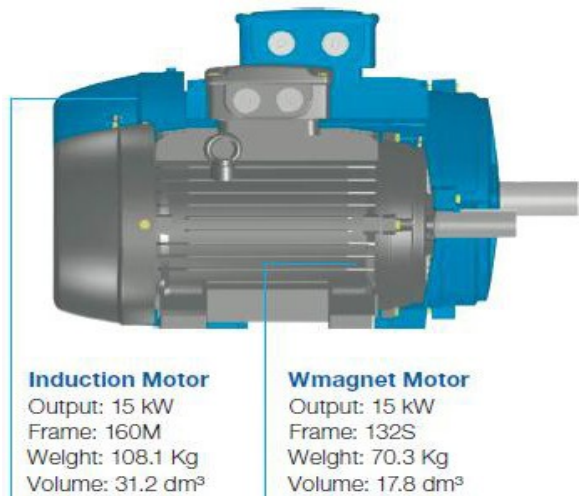


Figure 3. Interior permanent magnet motor with rare-earth magnets and reduced frame size

Efficiency for 400 V - Europe - 3000 rpm

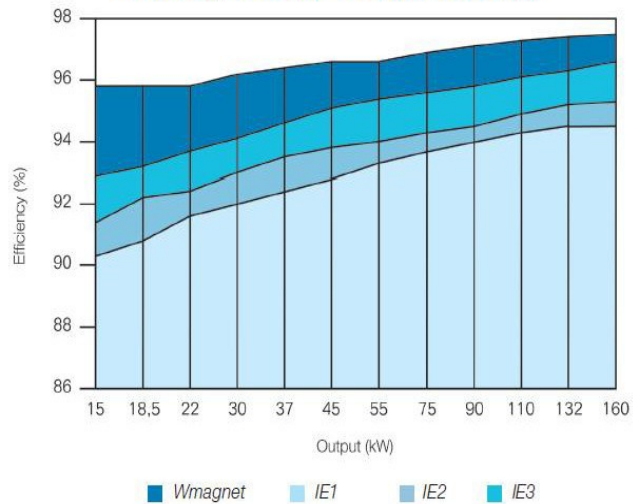


Figure 3a. Efficiency comparison between IPM synchronous motors and IEC efficiency levels

Since they are in a reduced size frame, they have lower noise level than an induction motor of the same output power.

The main applications are pumps, ventilation systems, compressors, wire drawing machines, extruders and conveyor belts.

4.2.2 Line-start PM Motor

These motors are hybrid motors because they have rare-earth magnets below the squirrel-cage [4]. They have similar windings as induction motors and have the ability to start direct online, without the need for an electronic controller. They start and accelerate like an induction motor, until synchronism is achieved, keeping constant speed with varying load, with super premium efficiency.

Figure 4 shows an example of a 6-pole line-starting motor lamination. The stator has the same lamination as the induction motor counterpart. The rotor lamination has especially designed aluminum bars and slots for permanent magnets to allow good starting capabilities (starting torque and synchronization) and good synchronous operation (high pull-out torque and high efficiency).

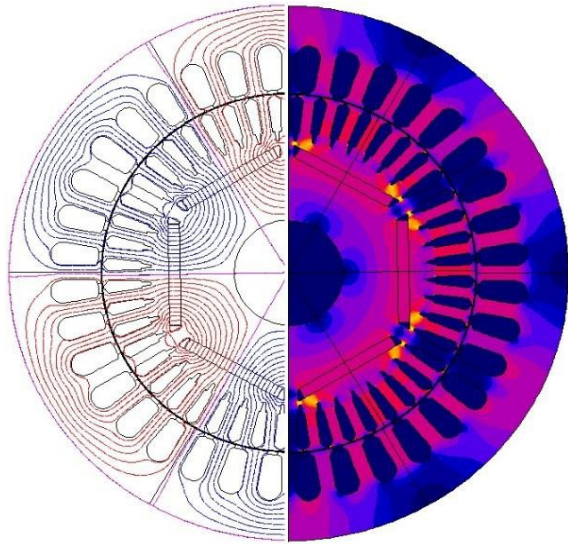


Figure 4. Example of a 6-pole line-start motor showing flux pattern and flux density

If variable speed is needed, they can be driven by a conventional frequency inverter, in scalar mode. This allows several motors to be driven by the same inverter, running at the same speed.

Figure 5 shows the efficiency levels compared to IEC levels.

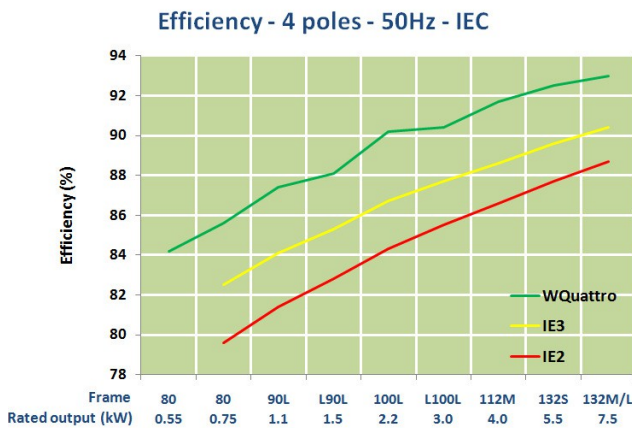


Figure 5. Efficiency comparison between Line-start PM motors and IEC efficiency levels

The main applications are low-inertial loads (up to 30 times derotor inertia), and multi-motor variable-speed with one single inverter. The inertia of the load is an important issue, because if it is greater than the limit value, the motor shall fail to synchronize, and will operate at a speed below synchronous speed, having high currents, noise and vibration, and the motor must not operate in this condition.

Multi-motor variable-speed applications with one inverter can be an economic solution for those applications that need that several motors work in the very same speed.

4.3. Application in compressor

APM motor was used in substitution of an induction motor in a 200HP screw compressor (Figure 6).



Figure 6. Compressor with PM motor

Figure 7 shows the efficiency comparison of the compressor over its speed range when using an induction motor and when using a PM motor.

The induction motor was rated 150kW, 2 poles, IEC frame 280S/M. The PM motor was rated 150kW, 3600rpm, IEC frame 250S/M PM motor. There has been a significant increase in efficiency by the use of the PM motor. Also, the PM motor is one frame size smaller, with 52% of the weight of the induction motor.

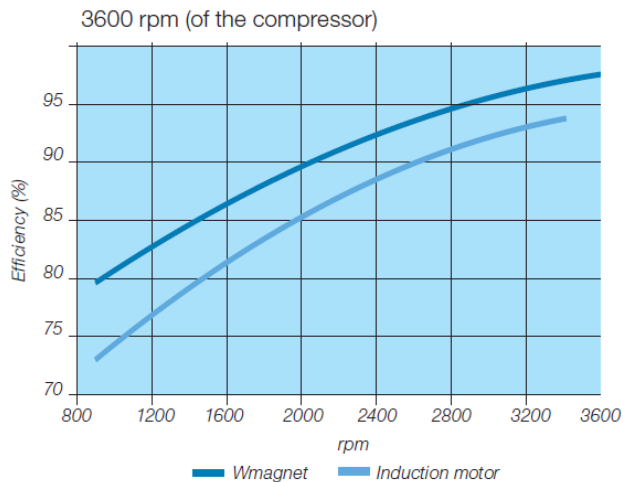


Figure 7. Efficiency of the compressor with IPM motor and induction motor

4.4. Application in wire drawing machine

A 100HP, 4 poles, IEC frame 250S/M Induction motor was substituted by a 100HP, 1500rpm, IEC frame 225S/MPM motor in a wire drawing machine (Figure 8).



Figure 8. Wire drawing machine with PM motor

This change allowed average energy savings of 3.9% in the operation cycle of the machine, corresponding to a monthly saving of 720 kWh considering continuous operation; an increase in the wire production range (lower speed with increased load torque), because the PM motor works cooler than the original induction motor; and the temperature of the bearings was greatly reduced, allowing a longer useful life of the bearings, longer lubrication intervals, and less maintenance.

4.5. Application in textile industry

The original motor of the yarn starching machine (Figure 9) was an induction motor, which had brushes that needed to be replaced regularly and demanded constant maintenance. When this motor burnt and needed to be repaired, the decision to seek a more efficient alternative led to the choice of a PM motor. The cost to fix the old motor would be 115% of the amount to acquire a new and more efficient motor. So, the new motor chosen was a 15 kW PM motor. The replacement reduced the maintenance costs (practically zero) and shutdown hours of the machine, and enhanced the process with speed variation with constant torque (which means saving energy) and more power in the operation. It also brought more versatility to speed control which is essential for the quality of the starching, a process prior to the production of fabric. The PM motor is 50% smaller than the original motor. This calls for less space and makes eventual maintenance easier.



Figure 9. Textile machine

4.6. Application in cooling tower

PM motors for cooling towers use rare-earth magnets and have a high number of poles, producing high torque at low speeds, for direct-drive coupling (Figure 10). This eliminates gear-boxes, leading to less maintenance and less mechanical losses, that together with the lower electrical losses of the PM motor, increases the overall efficiency of the system.



Figure 10. Cooling tower with PM motor

4.7. Application in extrusion machine

The volume of plastic material that is extruded depends on the rotational speed of the helical thread. Extrusion machines demand constant speed of the helical thread to assure the quality of the process. Also, different materials require different speeds. DC and induction motors with magnetic clutch are commonly used in these machines, but the maintenance of these motors is costly and frequent. Also induction motors with frequency inverters are used.

A PM motor was applied in an extrusion machine (Figure 11), which used a DC motor. Annual energy savings of 21% were obtained. Besides the higher efficiency, the PM motor offers other advantages like low maintenance (less shutdown time machine), no necessity for forced ventilation and constant torque at low speeds.



Figure 11. Extrusion machine with PM motor

5. Conclusion

PM motors can have different construction characteristics, to meet different application requirements. Due to their higher efficiency compared to induction motors, PM motors present a significant reduction in energy consumption in all the applications shown in this paper.

Moreover, in variable speed applications, PM motors are even more advantageous, because they do not need forced ventilation nor over sizing for constant torque operation, and as the speed decreases, the efficiency decreases less than it does for induction motors.

It should also be emphasized that for industrial applications rare-earth PM motors are usually one frame size smaller than the induction motor counterparts. This leads to a reduced volume and weight, and lower noise and vibration level. Since the motor operates cooler because there are no Joule losses in the rotor, bearing temperature is lower, and lifetime is increased.

References

- [1] P. Waide, C. U. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems", International Energy Agency (IEA), 2011.
- [2] A. T. de Almeida, F. J. T. E. Ferreira, D. Both, "Technical and Economical Considerations in the Application of Variable-Speed Drives With Electric Motor Systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No. 1, Jan/Feb 2005.
- [3] W magnet Drive System Catalogue, <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-wmagnet-drive-system-50020762-brochure-english.pdf>
- [4] W Quattro Catalogue, <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-wquattro-european-market-50025713-brochure-english.pdf>

COLABORARAM NESTA EDIÇÃO :



António Augusto Araújo Gomes aag@isep.ipp.pt
Mestre (pré-bolonha) em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
Professor do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999. Coordenador de Obras na CERBERUS-Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações elétricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultoria técnica.



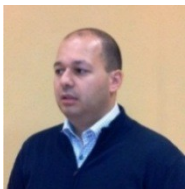
António Carvalho de Andrade ata@isep.ipp.pt
Licenciatura. Mestrado e Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
Colaborador da EDP-Energias de Portugal (22 anos)
Professor junto do departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Carlos Eduardo G. Martins
WEG Equipamentos Elétricos S.A.

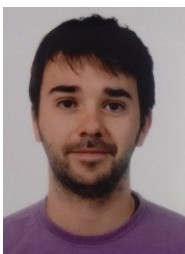
Ewelina Szwal ee.szwal@gmail.com
Aluna ERASMUS do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica-Sistemas Elétricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto.



Fernando Jorge Pita fjafp2014@gmail.com
Formado pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto em Engenharia Eletrotécnica. Engenharia de Manutenção da Indústria Electrónica-Texas Instruments (8 anos). Supervisão de Serviços Técnicos de Manutenção (18 anos). Supervisor de assistência técnica da M. Simões Jr. Supervisor de assistência técnica da Superex-Maquinase Sistemas, Lda.. Diretor Técnico da MCI-Maquinase Costural Industriais S.A. 30 anos na Formação, desenvolvendo, coordenando e apoiando tecnicamente diversos projetos de formação, em Centros de Formação e Empresas de Formação Profissional.



Hélder Nelson Moreira Martins helmar@televes.com
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 realizado 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 Televisão Electrónica Portuguesa, S.A. desde 2003 e colabora com diversas entidades na área da Formação I.T.E. de I.T.U. exercendo esta atividade desde 2006.



Hugo Ricardo dos Santos Tavares hugtavares13@hotmail.com
Aluno do curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica-Sistemas Elétricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto.
2012 a 2016-Sisint: Engenheiro de controlo e comando/proteções e subestações.
Desde 2016-Kathrein Automotive: Departamento de qualidade

COLABORARAM NESTA EDIÇÃO :



José Ricardo Teixeira Puga

jtp@isep.ipp.pt

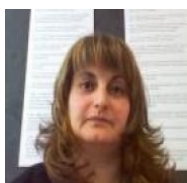
Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.
Professor da unidade curricular de Eletromagnetismo, no Instituto Superior de Engenharia do Porto. Detém ainda responsabilidades de vice-diretor da Licenciatura de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia e de Vice-Diretor do Centro de Prestação de Serviços – TID.



Manuel Bolotinha

manuelbolotinha@gmail.com

Licenciou-se em 1974 em Engenharia Eletrotécnica no Instituto Superior Técnico, onde foi Professor Assistente. Tem desenvolvido a sua atividade profissional nas áreas do projeto, fiscalização de obras, gestão de contratos de empreitadas de instalações elétricas, não só em Portugal, mas também em África, na Ásia e na América do Sul. Membro Sênior da Ordem dos Engenheiros e Membro da Cigré, é também Formador Profissional, credenciado pelo IIEFP, conduzindo cursos de formação, de cujos manuais é autor, em Portugal, África e Médio Oriente.



Maria Judite Madureira Da Silva Ferreira

mju@isep.ipp.pt

Diretora do curso de licenciatura de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (LEE-SEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP).
Assuas áreas de investigação são relacionadas com Redes Elétricas.



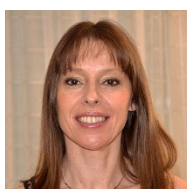
Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo

pma@isep.ipp.pt

Mestre em Automação, Instrumentação e Controlo pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Aluno do Programa Doutoral em Engenharia Eletrotécnica 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 elétricas de BT na DHV-TECNOPOR.

Sebastião Lauro Naw

WEG Equipamentos Elétricos S.A.



Teresa Alexandra Ferreira Mourão Pinto Nogueira

tan@isep.ipp.pt

Teresa Nogueira tem doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e uma experiência de 20 anos de docência no ISEP. Desde 2010 é diretora do curso de mestrado em Eng.ª Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia.
Áreas de trabalho: mercados de eletricidade, energias renováveis, eficiência energética e qualidade de serviço elétrico.
Trabalhou 5 anos como projetista de máquinas elétricas: transformadores e aparelhos elétricos.

