

veículos híbridos e eléctricos*

{ESTRUTURAS E CARACTERÍSTICAS - 2.ª PARTE}



(continuação da edição anterior)

2.2 Veículos Eléctricos

Na Figura 6 está representada a estrutura básica deste tipo de veículo [1]. Existem três componentes fundamentais:

- › Sistema de propulsão eléctrica;
- › Sistema de alimentação/armazenamento de energia;
- › Sistema auxiliar.

O sistema de propulsão eléctrica é composto pelos seguintes elementos: controlador do veículo, conversor estático de potência de tracção, motor eléctrico, transmissão mecânica e rodas de tracção.

O sistema de fornecimento/armazenamento de energia inclui os seguintes elementos: fonte de energia e/ou sistema de armazenamento de energia, sistema de gestão de energia e a unidade de reabastecimento. O sistema auxiliar inclui múltiplas unidades, tais como: direcção assistida, climatização, entre outros. Trata-se de um sistema comum a qualquer tipo de veículo, seja convencional, híbrido ou eléctrico.

Os sinais emitidos pelos pedais do acelerador e travão (accionados pelo condutor do

Nas últimas décadas tem-se assistido a um forte desenvolvimento dos veículos eléctricos, sobretudo das soluções híbridas, como resposta aos impactos ambientais e económicos dos combustíveis fósseis. 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 eléctricos, electrónica de potência, sistemas de controlo e sistemas de armazenamento de energia.

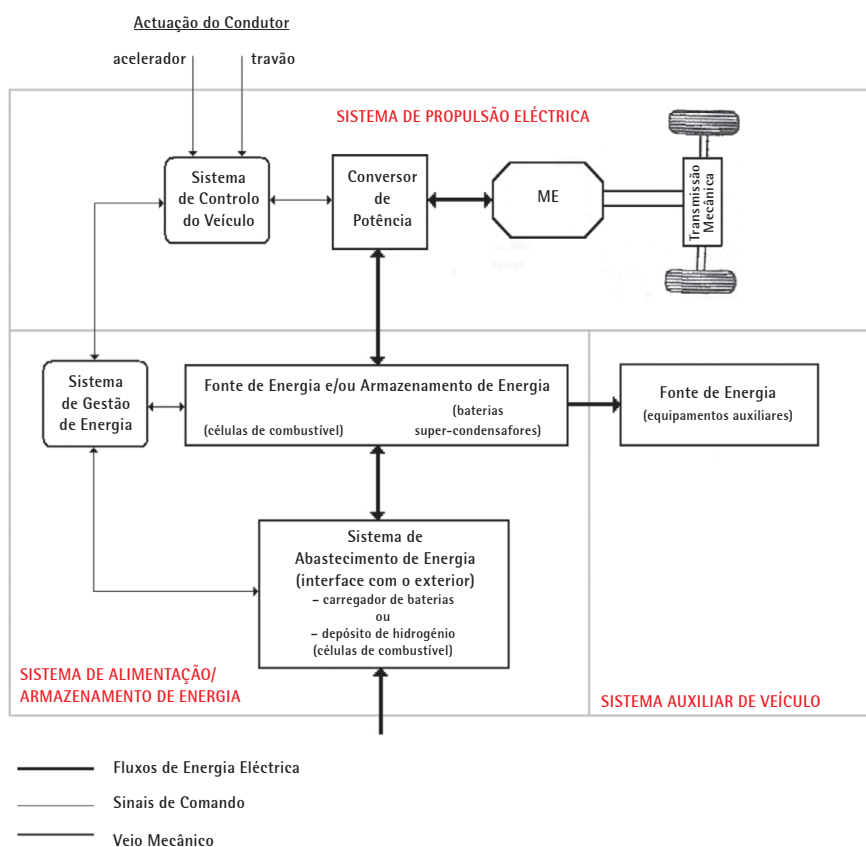


Figura 6 - Configuração Básica de um VE.

veículo) são recebidos pelo controlador do veículo, o qual actua no sistema de controlo do conversor de tracção de modo a regular os fluxos de energia entre o motor eléctrico e o sistema de armazenamento de energia. A actuação do controlador do veículo é também função dos sinais recebidos pelo sistema de gestão de energia. São várias as funções deste sistema, sendo de referir o controlo do modo de frenagem regenerativa e respectivo armazenamento de energia, a regulação das operações de reabastecimento e a monitorização dos estados do sistema de armazenamento de energia. Tal como nos VH, o sistema de gestão de energia é fundamental neste tipo de veículos.

O sistema auxiliar fornece a energia necessária às unidades já referidas (tipicamente com vários níveis de tensão).

Como referido, a estrutura apresentada na Figura 6 é elementar. Existem várias configurações possíveis para o sistema de propulsão dos VE, atendendo à grande flexibilidade de funcionamento dos motores eléctricos. Na Figura 7 são apresentados alguns exemplos, que se julgam representativos dessa variedade de configurações [1]. Actualmente, este é um assunto que continua a merecer a atenção de fabricantes e investigadores.

- a) Atendendo às zonas possíveis de funcionamento dos motores eléctricos – binário constante (baixas velocidades) ou potência constante (gama ampla de velocidades elevadas) – o sistema habitual de engrenagens com múltiplas relações (várias velocidades) pode ser substituído por um sistema com uma relação fixa. Deste modo, a embraiagem é eliminada, reduzindo o peso e tamanho do sistema de transmissão mecânica – o controlo do sistema de propulsão torna-se mais simples;
- b) Nesta configuração, o diferencial mecânico é substituído por dois motores eléctricos. Naturalmente, são os respectivos sistemas de controlo que garantem velocidades distintas em trajectos curvilíneos;
- c) Com vista a tornar mais simples o sistema de propulsão, os motores eléctricos

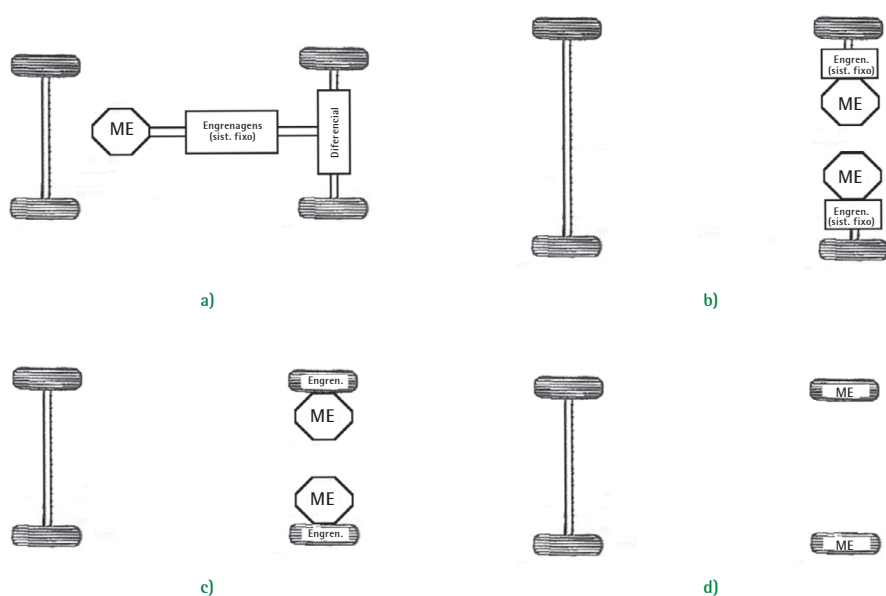


Figura 7 · Sistemas de Propulsão para VE.

são fixados à própria roda de tracção, através de engrenagens (sistema *in-wheel*). Esta concepção coloca desafios vários ao motor (dimensões, peso, robustez, fiabilidade, entre outros);

- d) Relativamente à concepção anterior, é eliminado o sistema de engrenagens: os rotores dos motores são montados directamente nas rodas de tracção, pelo que o controlo da velocidade do veículo corresponde ao controlo directo da velocidade dos motores. As exigências colocadas a estes motores são várias, nomeadamente, a capacidade de desenvolver elevados binários no arranque.

Neste tipo de veículos, as emissões locais associadas são nulas. Naturalmente, esta afirmação não considera as fontes de energia utilizadas no carregamento das baterias. Com efeito, as emissões globais podem ser consideráveis, dependendo da proveniência da energia armazenada nas baterias.

No momento actual, as principais desvantagens destes veículos residem no elevado peso e custo inicial das baterias, autonomias limitadas, tempos longos de carregamento e densidades de potência reduzidas. Não obstante, nos últimos anos têm sido empreendidos elevados esforços, no meio académico

e industrial, com vista ao desenvolvimento de novos tipos de baterias [6], bem como de estruturas híbridas de armazenamento de energia – baterias, super-condensadores e *flywheels* (esta última em menor grau).

Como foi referido, actualmente há a considerar duas variantes de VE, associadas ao tipo de alimentação do veículo. As principais características de ambas são apresentadas a seguir.

2.2.1 Tipos de Baterias

Actualmente, as baterias mais usadas nos VE (e também nos VH) são as de chumbo/ácido (PB) convencionais, de hidratos metálicos de níquel (NiMH) e de iões de lítio (Li-Ion). Particularmente nestas últimas, têm sido obtidos aumentos consideráveis nos valores da densidade de energia (de momento apresentam valores muito superiores aos restantes tipos de baterias). Há uma clara tendência para a sua integração com super-condensadores, aproveitando os elevados valores de densidade de potência destes últimos [3], [7]. Tais **sistemas híbridos de armazenamento de energia** são mais complexos, necessitando da inclusão de conversores estáticos de potência e de sistemas de gestão de energia específicos. De acordo com [8] há diversas vantagens a

considerar nestes sistemas, sendo de realçar o desacoplamento do controlo dos requisitos de energia e potência (esta última é essencial nas frenagens); também a eficiência na gestão de energia do sistema de armazenamento vem melhorada.

Existem diversos factores que condicionam os desempenhos das baterias, dos quais se enumeram alguns dos mais relevantes:

- › Nível de carga – *State of Charge* (SOC);
- › Capacidade de armazenamento;
- › Tensões e correntes;
- › Frequência das cargas e descargas;
- › Temperatura de funcionamento;
- › Idade da bateria.

As baterias usadas nos veículos de tracção estão sujeitas a ambientes e condições de funcionamento muito agressivos (amplas variações de temperatura, ciclos de carga exigentes, choques e vibrações mecânicas). Estes aspectos podem contribuir para um envelhecimento precoce, traduzido pela di-

minuição da sua capacidade de armazenamento e aumento da resistência interna [9].

O sistema de gestão das baterias (*Battery Management System*) é fundamental, não apenas na monitorização do estado das baterias e sua protecção, mas também para permitir as operações de carga e descarga, em coordenação com o sistema de gestão de energia. O modo de funcionamento em frenagem regenerativa é dos mais críticos a considerar, uma vez que as correntes envolvidas e respectivos gradientes podem destruir as baterias. Em particular, as baterias de lítio exigem condições de funcionamento muito bem controladas, sob pena de se danificarem. Com efeito, são muito sensíveis a sobretensões, sobrecorrentes e à temperatura de funcionamento.

2.2.2. Células de Combustível

São dispositivos geradores de energia eléctrica, resultante de reacções electroquímicas baseadas em hidrogénio (combustível

não poluente, com elevada densidade de energia). Sublinha-se o facto de se tratar de geradores de energia, enquanto as baterias são armazenadores de energia. Uma característica importante a referir é que o produto das reacções é apenas vapor de água. As principais vantagens residem na elevada eficiência energética das reacções electroquímicas, emissões locais nulas e tempos curtos de abastecimento (depósito de hidrogénio) [2], [3].

A energia eléctrica produzida nas células de combustível é usada na propulsão do veículo ou no carregamento das baterias e supercondensadores para uso futuro.

2.3. Alimentação Externa de Energia Eléctrica (*Plug-in*)

Estes veículos podem ser ligados a um sistema de carregamento exterior das baterias. Os veículos híbridos *Plug-in* têm sistemas de propulsão semelhantes aos híbridos

	VH	VE (baterias)	VE (células de combustível)
Sistema de Propulsão	› Motores eléctricos › MCI	› Motores eléctricos	› Motores eléctricos
Sistema de Armazenamento de Energia	› Baterias › Super-condensadores › Combustíveis fósseis ou alternativos	› Baterias › Super-condensadores	› Depósito de H ₂ › Baterias › Super-condensadores
Fontes de Energia e Infra-estruturas	› Estações de gasolina › Pontos de carregamento de energia (<i>"Plug-in"</i> híbrido)	› Pontos de carregamento de energia (<i>"Plug-in"</i> híbrido)	› H ₂ › Produção de H ₂ ; infra-estruturas de transporte
Características	› Emissões locais baixas › Elevada economia de combustível › Dependente de combustíveis fósseis › Autonomia longa › Disponível	› Emissões locais nulas › Rendimentos elevados › Não depende <u>directamente</u> de combustíveis fósseis › Autonomia limitada › Disponível	› Emissões locais nulas › Rendimentos elevados › Não depende directamente de combustíveis fósseis › Em desenvolvimento
Principais Desvantagens	› Desempenhos das baterias › Controlo e optimização de consumos; gestão de várias fontes de energia › Custo superior ao dos veículos convencionais (MCI)	› Desempenhos e tempos de vida útil das baterias › Disponibilidade de pontos de carregamento de energia › Elevado custo inicial	› Custo elevado das células de combustível, ciclos de vida curtos, fiabilidade › Produção de H ₂ ; criação de infra-estruturas de transporte › Custo elevado do veículo

Tabela 1 · Características de VH e VE [2].

convencionais. Para distâncias curtas, o veículo funciona em modo puramente eléctrico, com as baterias a fornecer a energia necessária à propulsão. Nas distâncias longas, quando a carga das baterias é inferior a um valor especificado, o veículo passa a funcionar no modo híbrido. Deste modo, conseguem-se funcionamentos que se aproximam mais dos veículos puramente eléctricos [10]. É de referir que as baterias usadas nos VH *Plug-in* têm de ter características semelhantes às exigidas para os VE. De modo geral, os VE são sempre do tipo *Plug-in*.

Os veículos *Plug-in* poderão também interagir com a rede pública de energia, podendo contribuir para uniformizar o diagrama de cargas: durante o período nocturno (menor procura de energia) efectua-se o carregamento; nas horas diurnas (maior procura de energia), no caso de haver excedente de energia armazenada nos veículos, este pode ser injectado na rede [10], [11].

A Tabela 1 apresenta uma síntese das características dos tipos de veículos considerados.

3. CONCLUSÕES

Os custos e limitações das reservas de combustíveis fósseis e os impactos ambientais decorrentes da sua utilização intensa, conduziram a um aumento no interesse e desenvolvimento dos veículos eléctricos e híbridos, não apenas por parte da comunidade científica mas também ao nível dos governos e opiniões públicas mundiais.

Até ao momento, os veículos híbridos têm conhecido um maior grau de desenvolvimento, que se reflecte na variedade de modelos comercialmente disponibilizados pelos principais fabricantes e automóveis. Os principais desafios que continuam a ser enfrentados estão no controlo e optimização das diferentes fontes de energia (o que implica desenvolver sistemas de gestão de energia eficazes, com capacidade de actuação em tempo real) e no custo final do veículo.

Nos últimos anos, os veículos eléctricos têm vindo a conhecer um maior desenvolvimento dos seus subsistemas, sendo de destacar: novas concepções de máquinas eléctricas e conversores de potência, estruturas híbridas nos sistemas de armazenamento de energia (baterias integradas com super-condensadores e respectivos conversores de potência). O grande obstáculo continua a residir nas características das baterias disponíveis (densidades de energia, ciclos de carga/descarga, custos). Também aqui o desenvolvimento de sistemas de gestão de energia em tempo real será um factor determinante no sucesso destes veículos.

A opção pelas células de combustível é ainda uma incógnita grande: não só a sua tecnologia se encontra numa fase muito inicial, como também esta via implicará a disseminação em larga escala de infra-estruturas para a produção, distribuição e armazenamento de hidrogénio.

A necessidade de integração de múltiplos domínios científicos e tecnológicos, tais como, indústria automóvel, máquinas eléctricas e respectivo controlo, electrónica de potência e sistemas de armazenamento de energia, com desempenhos semelhantes aos dos veículos convencionais (MCI), coloca elevados níveis de exigência à concepção dos VH e VE. Como tal, a modelização e simulação destes sistemas assume um papel determinante no seu desenvolvimento, uma vez que permite a concepção e teste de novas estruturas e sistemas de controlo, sem grandes exigências em termos materiais e de tempo. Também no campo do diagnóstico de avarias é de salientar a mais-valia conseguida com ferramentas de modelização e simulação.

Por último, o futuro dos VH e VE passará seguramente pela integração das opiniões públicas mundiais e respectivos governos com os interesses de múltiplos sectores, tais como, indústria automóvel, transportes, comunidade académica e empresas do ramo energético.

REFERÊNCIAS

- [1] Ehsani, Mehrdad, Gao, Yimin, E. Gay, Sebastien, Emadi, Ali (2005). "Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles – Fundamentals, Theory and Design", CRC Press;
- [2] Chan, C.C. (2007). "The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles", Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 4, pp. 704-718;
- [3] Chan, C.C. et al. (2010). "Electric, Hybrid and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 59, No. 2, pp. 589-598;
- [6] Affanni, Antonio et al. (2005). "Battery Choice and Management for New-Generation Electric Vehicles", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 52, No. 5, pp. 1343-1349;
- [7] Sun, Liqing et al. (2008). "State of Art of Energy System for New Energy Vehicles", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), September 3-5, China;
- [8] Miller, John M., Startorelli, Gianni (2010). "Battery and Ultracapacitor Combinations – Where Should the Converter Go?", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), September 1-3, France;
- [9] <http://www.mpoweruk.com>;
- [10] Amjad, Shaik et al. (2010). "Review of Design Considerations and Technological Challenges for Successful Development and Deployment of Plug-in Hybrid Electric Vehicles", Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 14, pp. 1104-1110, Elsevier;
- [11] Somayajula, Deepak et al. (2009). "Designing Efficient Hybrid Electric Vehicles", IEEE Vehicular Technology Magazine, Vol. 4, no. 2, pp. 65-72.