

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Estado da arte: Tração

Índice

Introdução	3
Motor CC com escovas.....	3
Motor com excitação independente.....	4
Motor CC em derivação (shunt)	4
Motor CC série.....	4
Motor CC composto	4
Motor de indução.....	5
Motor de relutância variável.....	6
Motor CC com íman permanente sem escovas	6
Motor síncrono trifásico com ímanes permanentes	7
Comparação entre os diferentes tipos de motores elétricos	8
Solução	9
Conclusão	12
Referências	13

Lista de tabelas

Tabela 1 - Comparação entre os motores para VEH	8
Tabela 2 - Comparação das diversas características dos motores	10

Introdução

O motor elétrico é um componente fundamental no sistema de tração. Este é responsável por fazer a conversão da energia elétrica em mecânica, que através da ligação a um eixo, movimenta o veículo.

À partida, qualquer motor elétrico pode ser utilizado para esta conversão, desde que se faça um controle do torque e velocidade do eixo.

Os requisitos que um motor deve cumprir para ser possível instalar num veículo elétrico são:

- Alta densidade de torque e de potência;
- Elevado torque de arranque, em baixas velocidades e em subidas, com elevadas potências nas altas velocidades do veículo;
- Faixa de aceleração, operando com potência constante, até 3 a 4 vezes a velocidade nominal;
- Maior eficiência ao longo do movimento do torque e da velocidade, incluindo operação com torque baixo;
- Capacidade de sobrecarga intermitente, tipicamente o dobro do torque nominal, com curta duração;
- Alta robustez e fiabilidade, apropriadas ao ambiente do veículo;
- Custo aceitável.

Vamos agora apresentar as características dos diversos tipos de motores usados em veículos elétricos, apontando as suas vantagens e desvantagens.

Motor CC com escovas

Estes motores são mais utilizados quando desejamos um controlo da velocidade, fazendo variar a tensão fornecida aos terminais. Para tal, basta uma eletrónica muito simples.

Os motores de corrente contínua podem apresentar-se em quatro configurações diferentes:

- Motor com excitação independente;
- Motor CC em derivação (shunt);
- Motor CC série;

- Motor CC composto.
- Motor de indução

Motor com excitação independente

Esta configuração exige que se disponha de duas fontes de corrente contínua, uma para o campo e outra para a armadura.

Permite um controlo eficaz da velocidade do motor, uma vez que esta depende da tensão induzida na armadura (força contra electromotriz) e do fluxo no enrolamento do campo. Com esta configuração, é possível controlar esses dois parâmetros separadamente.

Motor CC em derivação (shunt)

Apresenta os enrolamentos do campo e da armadura com ligação em paralelo. Tem curva de velocidade parecida com o motor CC com excitação independente.

É utilizado em aplicações que exijam um bom controlo da velocidade e necessita apenas de uma fonte CC.

Motor CC série

Os enrolamentos da armadura e do campo são ligados em serie, o que faz com que ambos compartilhem a mesma corrente elétrica.

O torque é proporcional ao quadrado da corrente e a sua velocidade tem uma curva inversamente proporcional a corrente.

Motor CC composto

Neste motor o enrolamento de campo é dividido e uma parte é ligada em serie e a outra em paralelo com a armadura.

Este motor combina características dos motores série e em derivação, podendo ter duas configurações, quanto ao fluxo do enrolamento do campo:

- Cumulativo;
- Diferencial.

Dos motores de corrente contínua com escovas, este é o mais apropriado para aplicação em veículos elétricos, devido ao torque elevado do motor série e o controlo da velocidade do motor shunt.

Motor de indução

De todos os tipos, o motor de indução, particularmente o que tem rotor em gaiola de esquilo, este é o mais usado na indústria.

Estas máquinas são bastante económicas, robustas, fiáveis e disponíveis no mercado numa vasta faixa de potências, desde frações de HP até alguns MW. As máquinas de baixa potência, frações de HP, são monofásicas, mas para aplicações de velocidade variável, as trifásicas são mais usuais.

A máquina de indução assíncrona é constituída por um estator, que contém o enrolamento da armadura, que são bobinas distribuídas uniformemente de acordo com o número de polos e de fases, e de um rotor que pode ser de dois tipos:

- Gaiola de esquilo;
- Rotor bobinado.

O bom desempenho dinâmico pode ser conseguido se forem aplicados o controlo vetorial ou controle de torque direto. Para os motores de indução convencionais, a faixa de potência constante estende-se tipicamente até 2 a 3 vezes a velocidade nominal. Entretanto, para máquinas da tração, isto pode ser estendido até 4 a 5 vezes a velocidade nominal.

Com um inversor a alimentar a máquina, pode conseguir-se um elevado torque e baixa corrente de arranque, desde que a tensão e a frequência da fonte sejam variadas.

Assim, comparado com as máquinas projetadas para alimentação com frequência constante, determinadas limitações de operação são removidas, tais como a necessidade de uma forma específica de ranhura do rotor conseguir o torque de partida requerido.

Pela escolha apropriada da tensão e frequência da fonte, o torque de partida pode ser quase tão elevado quanto o torque máximo, enquanto uma elevada eficiência pode ser conseguida pelo controle do escorregamento.

Motor de relutância variável

Os motores de relutância variável (MRV) são talvez o mais simples dos motores. Embora sua construção seja simples, este tipo de motor não pode ser simplesmente alimentado com a tensão da rede.

É necessário o controlo dos pulsos aplicados, em função da posição do rotor, pois só há produção de torque na região onde há variação de relutância. Assim, as indutâncias variam com a posição do rotor.

Os MRV funcionam com um controlador eletrónico que através de sensores de posição determina em que instante deverá ser aplicado o pulso de corrente de modo que produza o torque necessário a movimentação do rotor.

Sistemas de acionamentos dos MRVs são projetados para atender a critérios tais como:

- Baixo custo;
- Torque constante;
- Faixa de velocidade desejada;
- Alto rendimento;
- Alta densidade de torque.

Motor CC com íman permanente sem escovas

Os motores CC com íman permanente sem escovas, são os mais adequados para competir com os motores de indução para a propulsão de veículos elétricos híbridos.

Estes motores têm algumas vantagens:

- O peso e o volume totais são reduzidos significativamente para uma dada potência de saída (densidade de potência elevada);
- Tem uma eficiência mais elevada;
- O calor é dissipado eficientemente para o exterior.

Entretanto, estes motores têm uma região curta de potência constante devido à sua característica limitada de enfraquecimento do campo, resultando do facto de o campo magnético ser produzido por um íman permanente (o valor fixo do fluxo magnético limita o prolongamento da faixa de velocidade).

Para aumentar a faixa da velocidade e melhorar a eficiência destes motores, o ângulo de condução do conversor de potência deve ser controlado acima da velocidade nominal.

Nestes motores, um enrolamento de campo adicional pode ser usado de tal maneira que o campo do entre ferro pode ser enfraquecido durante a operação a altas velocidades com potência constante controlando o sentido e valor da corrente do campo CC, estes são chamados de híbridos.

No entanto, numa faixa de velocidades muito altas, a eficiência pode cair por causa do risco de desmagnetização dos ímanes. Dependendo do arranjo do íman, basicamente, eles podem ser classificados como:

- Íman na superfície do rotor;
- Íman embutido no rotor (mais robusto).

Os projetos com ímanes na superfície podem usar poucos ímanes, enquanto os projetos com ímanes embutidos podem conseguir uma densidade mais elevada do fluxo do entre ferro.

Uma outra configuração é o motor híbrido de íman permanente, onde o campo magnético do entre ferro é obtido com a combinação do íman permanente com o enrolamento de campo.

Motor síncrono trifásico com ímanes permanentes

Motores CA (corrente alternada) com ímanes permanentes no rotor, são máquinas elétricas síncronas polifásicas, muito semelhantes às máquinas síncronas convencionais.

Neste tipo de motores não há enrolamentos de campo, que são substituídos por ímanes permanentes com produção energética elevada. Não possuem escovas ou fontes de tensão contínua, reduzindo com isto as manutenções, aumentando o rendimento e com melhor relação torque/volume.

A utilização do uso de ímanes permanentes do tipo ferritas, em detrimento dos usados nas máquinas elétricas convencionais, tem aumentado consideravelmente. No entanto, houve um desenvolvimento mais importante, que se deu a partir da utilização de novos materiais magnéticos, como os ímanes de terras raras, ou mais conhecidos por "super ímanes".

Estes possuem uma elevada produção energética superior as ferritas. A utilização deste tipo de ímanes em novas configurações, resultou num alto rendimento

das máquinas elétricas bem como em outras características difíceis de comparar com as máquinas ditas convencionais.

Estes ímanes possuem determinadas características:

- Diminuem sensivelmente os riscos de desmagnetização, além de possibilitar o desenvolvimento de máquinas com elevada relação torque/volume. Esta relação é obtida em máquinas síncronas com ímanes permanentes;
- Têm um melhor rendimento, que as máquinas com enrolamento de campo, porque elas não têm nenhuma perda de excitação, uma vez que não possuem enrolamentos no motor. Exceção feita as máquinas que, além dos ímanes, possuem uma gaiola;
- Ocupam menos espaço que o campo com enrolamentos. Para tamanhos de armadura pequenos esta vantagem é significativa e o custo reduzido. Quando os ímanes cerâmicos (ferritas) são usados, o custo destes motores tende a ser bastante competitivo.

Comparação entre os diferentes tipos de motores elétricos

O motor de indução é o motor mais adaptado para propulsão elétrica de veículos elétricos urbanos. Esta solução é consensual, como ilustrado pela Tabela 1, e baseado nas características principais da propulsão elétrica de veículos elétricos, numa escala de 0 a 5.

Tabela 1 - Comparação entre os motores para VEH

Característica\ Propulsão	Motor CC	Motor de Indução	Motor CC com íman permanente	Motor síncrono trifásico com íman permanente	Motor de Relutância Variável
Densidade de Potência	2,5	3,5	5	5	3,5
Eficiência	2,5	3,5	5	5	3,5
Controlabilidade	5	5	4	5	3
Confiabilidade	3	5	4	4	5
Maturidade tecnológica	5	5	4	4	4
Custo	4	5	3	5	4
Total	22	27	25	28	23

No entanto, e após uma pesquisa mais aprofundada, verificou-se que o motor síncrono trifásico com ímanes permanentes seria a melhor escolha, face ao motor de indução, por apresentar melhores características e por ser melhor que o anterior concorrente, o motor CC com íman permanente.

Solução

Foram selecionados dois fabricantes de motores, tendo em conta as características dos seus produtos. São essas:

- Compact Power Motors;
- Perm Motor;
-

Compact Power Motors

CPM desenvolve e fabrica as mais eficientes e compactas soluções de acionamento – tudo “Made in Germany”. As nossas unidades de acionamento compactas e de alta performance, incorporam um motor síncrono com uma unidade de controlo completa, providenciando potências que variam desde os 500W até aos 100kW e são particularmente adequados para todos os tipos de veículos, bem como para todas as tarefas de recuperação de energia.

Perm Motor

Os motores síncronos do tipo Perm Motor Synchronous (PMS), são projetados para uma gama de potência entre 0.5 e 30kW e uma gama de tensão de 24 a 96V DC com bateria, ou 110 a 400V AC através de fonte elétrica. São equipados com refrigeradores a ar ou água. Unidades completas de transmissão e travagem adicionada, bem como soluções de adaptação compactas, são fornecidas a pedido.

Características dos motores

Tabela 2 - Comparação das diversas características dos motores

	PMS 120	PMS 150	CPM90-Twin-8000-L	PMS 150
Nominal Power	7 kW	6,5 kW	8 (12) kW	15 kW
Max. Torque	40 Nm	41,4 Nm	40 Nm	80 Nm
Max Revolutions	6000 rpm	1500 rpm	5500 rpm	6000 rpm
Weight	12,3 kg	22,3 kg	8 kg	22,3 kg
Voltage	320 V DC	320 V DC	72 V	72 V
Cooling	Air	Air	Air/Heat	Air
Protection Rating	IP 54	IP 54	IP 67	IP 54
Price	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Não especificado

Para obter os preços destes motores é necessário contactar os fornecedores.

Controlador do motor

O controlador de motor é um dispositivo que tem como finalidade controlar, de uma maneira pré-definida, o desempenho de um motor elétrico. Este tipo de dispositivo pode incluir um modo manual ou automático com as seguintes funcionalidades: colocar o motor em funcionamento ou fazê-lo parar; aceleração ou desaceleração de rotação; selecionar e regular a velocidade; regular ou limitar o torque; proteção contra sobrecargas e falhas.

Para os motores selecionadas anteriormente e analisando as suas características escolhemos os controladores com as características que se encontram na seguinte tabela:

Tabela 3 - Comparação das diversas características dos controladores

	Sevcon G8018	Sevcon G8035	Sevcon G8055
Nominal Battery Voltage	72 to 80 V DC	72 to 80 V DC	72 to 80 V DC
Max Operating Voltage	116 V DC	116 V DC	116 V DC
Min Operating Voltage	39,1 V DC	39,1 V DC	39,1 V DC
Peak Current (2min)	180 A	350 A	550 A
Boost Current (10sec)	215 A	420 A	660 A
Cont. Current (60min)	75 A	140 A	220 A
Protection Rating	IP 66	IP 66	IP 66
Price	Não especificado	Não especificado	Não especificado

Para obter os preços destes motores é necessário contactar os fornecedores.

Conclusão

Através da análise das diversas características dos motores aqui em estudo, facilmente diríamos que o motor escolhido seria o **PMS 120**, pois funciona numa gama de tensão mais elevada permitindo assim que a corrente seja menor diminuindo também as perdas. O seu tamanho e peso são reduzidos face a sua eficiência. Caso a opção recaia sobre este motor é necessário que o controlador a usar seja o Sevcon G8055.

Quanto ao preço individual de cada motor, nada pode ser especificado, pois essa informação só poderia ser obtida através de consulta direta com o fabricante.

Referências

- <http://www.apve.pt/content01.asp?treeID=07&categoriaID=6&newsID=94>
consultado em **03-10-2011**;
- <http://fe.up.pt/tre>
- <http://cripplerooster.blogspot.com/2011/08/uma-reflexao-sobre-os-sistemas-de.html>
- <http://br.librosintinta.in/biblioteca/ver-pdf/www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/05%252004.pdf.htx>
- <http://www.cpmotors.eu/index.php?id=7&L=1>
- <http://www.perm-motor.de/en/products/synchronous-motors>
- <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Motores-Eletricos/Industriais/Wmagnet-Drive-System#>
- <http://www.perm-motor.de/en/products/synchronous-motor-controllers>
- <http://www.sevcon.com/products.aspx>