Análise comparativa de motores

Motor DC

A vantagem do uso do motor DC parte da sua simplicidade de implementação e controlo, uma vez que este permite uma ligação direta às baterias sem necessitar de nenhum sistema complexo de potência ou controlo. Por outro lado, para potências superiores a 20kW, estes motores necessitam de pólos de comutação e de enrolamentos de compensação, tornando-os maiores e mais caros. Como há falta de possibilidade de enfraquecimento do campo, a excitação dos ímanes permanentes, que possibilitaria um aumento da densidade de potência, não é possível. Desvantagens adicionais devem-se ao fato de estes motores necessitarem de escovas e comutadores mecânicos, provocando um impacto negativo nos custos de manutenção e na fiabilidade do motor.

De acordo com [1], o motor experimentado tem um volume de 19,2 dm3 e uma densidade de potência de 1,6 kW/dm3 (Tabela 1). Estes valores resultam de uma determinação do volume do motor dependendo do número de par de pólos. O volume diminui significativamente com o aumento do número de pólos do motor e a partir de 2p=6, as melhorias são mínimas. No entanto o aumento de par de pólos aumenta as perdas no ferro, reduzindo a eficiência global do motor. Sendo assim 2p=5 foi escolhido como um compromisso optimizado.

Em suma, podemos concluir que o motor DC tem uma densidade de potência razoável, baixo rendimento e fiabilidade, mas tem as vantagens de um custo baixo e controlabilidade simples, especialmente para potências baixas.

Motor de Indução

Os motores de indução, tal como os DC, são os motores tecnicamente mais “maduros”, mas oferecem uma densidade de potência e rendimentos superiores quando comparados aos DC. As perdas dominantes, são as perdas no cobre (por efeito Joule).

Devido às baixas correntes de magnetização existentes, no modo de campo enfraquecido, as perdas no cobre são reduzidas e consequentemente o motor permite uma boa combinação de gamas de velocidades com bons rendimentos a altas velocidades. Comparando este motor com o de ímanes permanentes, este não apresenta rendimentos tão elevados à velocidade nominal, devido às perdas no cobre geradas pelas correntes de magnetização. Outra desvantagem é o aquecimento do rotor devido a estas perdas que gera a necessidade de integração de um sistema de arrefecimento influenciando a limitação do regime de sobrecarga. Ainda mais, temos que a distância do entreferro deve ser minimizada, para reduzir as correntes de magnetização, processo este que exige processamentos minuciosos por parte do fabricante, o que aumenta o custo de produção do motor.

De acordo com [2] e [3] o volume do motor é de 12,1 dm3 e a densidade de potência de 2,5 kW/dm3. O número de par de polos é p=2, uma vez que este corresponde ao melhor desempenho.

Devido às vantagens, a cima mencionadas, este motor é um dos preferidos para aplicação em veículos eléctricos.

Motor de Ímanes Permanentes

A excitação deste motor é criada pela existência de ímanes permanentes no rotor e uma vez que a excitação destes ímanes não necessita de muito espaço, faz com que este motor tenha uma boa densidade de potência. Uma vez que não é necessária nenhuma corrente de excitação, o motor apresenta um rendimento global muito bom à velocidade nominal. As perdas dominantes neste motor, são as perdas no ferro, que ocorrem principalmente no estator, facilitando o arrefecimento da máquina, quando necessário. Estas características elegem o motor de ímanes permanentes como líder no que diz respeito à densidade de potência e rendimento.

As desvantagens deste tipo de motor residem no custo elevado de ímanes raros como o NdFeB (embora estes custos tenham vindo a decrescer) e na componente adicional de corrente necessária, no modo de campo enfraquecido, onde as perdas no estator aumentam e consequentemente o rendimento baixa, para velocidades elevadas. Outra desvantagem está relacionada com o regime de sobrecarga. Durante este regime (restrito pela característica dos ímanes) para prevenirmos uma possível desmagnetização irreversível dos ímanes, temos que evitar a combinação de altas temperaturas nos ímanes com correntes altas no estator (um sistema fiável de medição de temperatura é essencial).

De acordo com [4] e [5] o volume do motor é de 4,9 dm3 e a densidade de potência de 6,1 kW/dm3.

Em suma concluímos que tal como os motores de indução, os de ímanes permanentes, são uma das melhores escolhas para aplicação em veículos eléctricos.

Motor de Relutância Magnética

Este motor providencia uma densidade de potência e rendimento semelhantes ao de motor de indução. Num entanto, tem uma construção mais simples, sem enrolamentos no rotor e com enrolamentos concentrados no estator, o que leva este motor a obter melhores características térmicas. Tem ainda a vantagem do custo de fabrico e de manutenção. De forma a podermos obter uma boa densidade de potência com este motor, necessitamos de aumentar a distância no entreferro, o que consequentemente aumenta o ruído sonoro gerado pelo motor. Medidas para a redução deste ruído diminuem a densidade de potência deste motor, fazendo com que as características do motor de indução se sobressaiam em relação ao de relutância. Outra desvantagem deste motor é o *ripple* de binário a baixas rotações e a complexidade na implementação de controlo deste motor, devido à não-linearidade na determinação da corrente (ângulo de condução). Estas características fazem com que o motor de relutância seja actualmente utilizado apenas em protótipos, não querendo dizer num entanto, que não seja um motor com potencial suficiente para se afirmar no mercado mais tarde.

De acordo com [6] o volume do motor é de 11,8 dm3 e a densidade de potência de 2,6 kW/dm3. O número de “*slots*” no estator é de 12 no rotor de 8.

Tabela 1 – Comparação de características de motores

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Motor DC | Motor de Indução | Motor de Ímanes Permanentes | Motor de Relutância |
| Número de pólos | 5 | 2 | 6 | 12/8 |
| Rendimento máximo | 84% | 89% | 97% | 88% |
| Densidade de potência | 1,6 | 2,5 | 6,1 | 2,6 |

Escolha do Motor

Com base na informação recolhida, uma avaliação quantitativa foi elaborada tendo em conta as características mais relevantes, onde 5-Muito bom e 1- Muito mau (tabela 2).

Tabela 2 – Comparação quantitativa de características dos motores

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Motor de Ímanes Permanentes | Motor de Indução | Motor DC com escovas | Motor de Relutância Magnética |
| Densidade de Potência | 5 | 3 | 1 | 3 |
| Rendimento | 5 | 4 | 2 | 4 |
| Custo | 2 | 5 | 4 | 4 |
| Fiabilidade | 3 | 5 | 2 | 4 |
| Maturidade Técnica | 3 | 4 | 4 | 3 |
| Controlabilidade | 4 | 3 | 5 | 2 |
| Resultado(média) | 3,67 | 4 | 3 | 3,33 |

Conclusão

Com base na tabela 1, podemos concluir que o motor de ímans permanentes seria a escolha ideal. Este é assim o motor que apresenta a mais elevada eficiência, o que representa um importante requisito para a prova de “Endurance” pois é necessário que o veículo percorra 22km, conseguimos assim com este motor uma menor necessidade de energia, consequentemente uma menor carga de baterias, que se reflectiria no menor peso do veículo e custo. É de realçar que este tipo de motores é o que apresenta uma maior densidade de potência, sendo assim o motor que é capaz de produzir uma maior potência com menor peso, sendo o menor peso um dos principais requisitos, este é até agora a melhor escolha.

Analisando a tabela 2, o motor de ímans permanentes apresenta um grande problema ao nível da fiabilidade. Pode acontecer que este se desmagnetize se sobre-carregado, apresentando-se assim o motor de indução como o mais fiável. No entanto, não podemos deixar de parte as características referidas anteriormente relativas ao PMS, uma vez que estas são fundamentais para ganharmos vários pontos em diversas provas. Devemos assim estudar, e tomar medidas para evitar que a desmagnetização do motor em caso algum aconteça.

Este é também ao nível do controlo mais simples que o motor de indução.

Recaí assim a nosso escolha do tipo de motor, sobre o motor de ímans permanentes.

[1]- Comparison and design of different electrical machine; Thomas Finken, Matthias Felden and Kay Hameyer.