

Aplicação de Motores de Corrente Contínua (CC) no Automóvel

António Luís Costa Oliveira

Curso de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores

Ramo de Automação e Sistemas

Disciplina de Sistemas Automóveis (SIAUT)

1900166@isep.ipp.pt

Resumo (“Abstract”)

Este documento descreve aplicações com motores de corrente contínua (CC) para o automóvel. As aplicações usuais e as tecnologicamente mais avançadas e vanguardistas, utilizando este tipo de motor, serão focadas. Será também apresentada a motivação dos fabricantes de automóveis para a integração deste tipo de motor nas plataformas desenvolvidas, associada às vantagens e desvantagens inerentes.

1. Introdução (“Introduction”)

A electrificação do automóvel tem sido um desafio desde o início do século XX. Em 1912 Charles Kettering introduziu o primeiro sistema eléctrico num carro (com cerca de 200W), tornando possível o arranque eléctrico, iluminação e ignição, mudando para sempre a utilidade do automóvel. À medida que entramos no século XXI surgem novos desafios à luz de outros objectivos, nomeadamente a redução na emissão de gases e a diminuição da dependência do petróleo. Podemos afirmar que nestes primeiros anos, após a viragem do século, o número de aplicações com motores de corrente contínua (CC) tem crescido de uma forma bastante acentuada e até em certa medida explosiva. Para além das aplicações tradicionais, tais como, os sistemas de limpa-vidros, os sistemas de ventilação e aquecimento, o comando eléctrico de janelas e do tecto panorâmico, as bombas de combustível, os sistemas para o ajuste posicional dos retrovisores e faróis, ..., que visam principalmente o conforto de quem utiliza o automóvel, também este crescimento rápido na utilização de motores CC está sendo dirigida para novas aplicações, tais como, os sistemas de direcção electricamente assistidos, o ABS, as transmissões, o sistema de travagem para “parking”, a suspensão activa, os sistemas de travagem e, em termos gerais, tudo que seja um sistema “x-by-Wire”, em que o actuador é um motor.

2. Tecnologias em Motores Eléctricos

Apesar de o motor objecto de estudo deste documento ser o de corrente contínua (CC), é importante ficar-se com

uma noção da variedade disponível para estas máquinas, com características similares, isto é, quando a energia eléctrica é transformada num movimento rotativo.

Assim, nesta secção, as duas tecnologias mais comuns em motores, com aplicações nos veículos, serão analisadas. Os dois tipos de motores são os de íman permanente com ou sem escova (motor CC brushed ou brushless) e o motor de relutância variável comutado (switched reluctance motor ou SR motor). Destes tipos, o motor de íman permanente é o mais aplicado devido aos seus méritos, surgindo também algumas variantes de motores em que o estator com íman permanente é substituído por uma bobina, isto é, um estator bobinado.

Um motor eléctrico é um dispositivo bem conhecido, que converte energia eléctrica em energia mecânica, usando um campo magnético. Um motor eléctrico consiste basicamente em dois importantes elementos: (1) um estator fixo, com bobinas que transportam corrente ou de íman permanente, (2) um rotor móvel e rotativo que origina um campo magnético, produzido pelo transporte de uma corrente na sua bobinagem ou através da iteração entre um íman permanente e o campo magnético do estator.

Considerando que este tipo de máquina já é conhecida há muito tempo, os avanços tecnológicos nos modernos motores eléctricos resultam fundamentalmente do refinamento nos materiais magnéticos utilizados, na aplicação e desenvolvimento de circuitos integrados, circuitos electrónicos de potência comutados, modelação por computador e simulação, sem esquecer os avanços na tecnologia de fabricação actualmente empregue. As grandes alterações nos princípios de funcionamento, tanto ao nível da operação como de controlo, são pouco significativas. Os grandes desenvolvimentos, do inglês, “dramatic improvements”, em materiais para ímãs permanentes e circuitos electrónicos de potência, durante as últimas duas décadas, levaram ao desenvolvimento do “brushless permanent magnet”, isto é, o motor de íman permanente sem escovas. Este motor oferece, relativamente a anteriores, significativos melhoramentos na densidade de potência obtida, eficiência e uma redução no ruído/vibração produzido. Também temos menos ruído irradiado, isto é, interferências electromagnéticas, pois, não existe o característico arco eléctrico entre as escovas e o colector do rotor, muito próprio dos motores CC “brushed”.

A. Motores CC de Ímã Permanente

O motor de ímã permanente é altamente cobiçado devido à sua elevada densidade de potência e grande eficiência. Isto é principalmente obtido da elevada densidade em energia resultante dos ímãs permanentes concebidos em matérias tais como o NdFeB e o SmCo, que estão comercialmente disponíveis actualmente. Assim, os avanços em materiais de elevada energia para ímãs permanentes e as tecnologias de manufactura destes ímãs fomentaram a concepção de motores de ímã permanente, com elevada densidade de potência e alta eficiência, a um custo muito razoável. Também, a disponibilidade de rápidos dispositivos semicondutores para comutação de potências elevadas, com “low on-state voltage drop”, tais como os MOSFETs e IGBTs, associada ao incremento na oferta de microprocessadores e DSPs de elevada velocidade de processamento, contribuíram para a ascensão e mais-valia na utilização dos motores de ímã permanente.

Enquanto o custo actual destes novos semicondutores e ímãs permanentes ainda é relativamente elevado, a tendência para uma redução de custos irá continuar e será encorajada...

A.1. Tipo CC com escovas (“Brush”)

Existem dois tipos de motores com ímã permanente: com escovas e sem escovas (“brush and brushless”). Actualmente, as aplicações nos veículos utilizam quase exclusivamente o tipo de motor com escovas.

O motor de ímã permanente com escovas possui quatro características gerais que lhe confere elevada utilidade para aplicações no automóvel: 1) desejável torque versus velocidade, 2) controlo simples do torque e velocidade, 3) elevada densidade de potência electromagnética, e 4) inversores não são necessários.

No entanto, existem pelo menos seis características, que dificultam a sua utilização em mais aplicações pela indústria automóvel: 1) a fricção entre as escovas e o comutador, 2) escovas e comutadores necessitam de manutenção, 3) a corrente é fornecida para a armadura através das escovas e colectores, 4) as escovas e colectores estão num espaço aberto e produzem arco eléctrico, 5) o arrefecimento deste tipo de motor é difícil, e 6) a comutação de elevadas correntes é necessária para o controlo deste tipo de motor.

Assim, o motor de ímã permanente mas sem escovas (“brushless”), está-se a tornar num forte candidato a substituir o tradicional com escovas, principalmente devido às seguintes razões: elevada eficiência, elevada densidade de potência, melhor dissipação térmica e um aumento na sua vida útil. Adicionalmente, o motor do tipo “brushless” não tem perdas resultantes da fricção das escovas com o colectores e fornecem um torque mais

elevado comparativamente ao motor do tipo “brush”, considerando motores com o mesmo tamanho e peso.

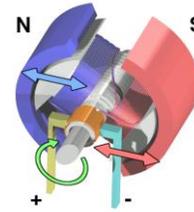


Figura 1: Esquema ilustrativo de um motor com escovas (“brush”) de dois pólos.

A.2. Tipo CC sem escovas (“Brushless”)

Electronicamente comutados, os motores de ímã permanente sem escovas, tornaram-se nos principais movimentadores na propulsão de veículos, em “drives” industriais e nos actuadores, como resultado do desenvolvimento de materiais magnéticos do tipo ímã permanente, avanços nos dispositivos electrónicos de potência e nos circuitos integrados para potência, e tudo isto nas últimas duas décadas. Não tem havido apenas melhoramentos em compostos tradicionais para ímãs, tais como, o Alnico e a Ferrite (carácter cerâmico), mas o rápido desenvolvimento de raros ímãs, como o (Sm –Co) e o (Nd B Fe), por volta dos anos 80, proporcionaram aos designers de motores um significativo aumento da força dos campos magnéticos disponíveis. Esta nova elevada densidade, ausência de escovas, permitiu ao sistema de motor com ímã permanente “brushless” um muito elevado torque à razão da inércia.

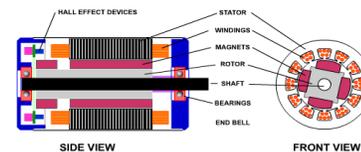


Figura 2: Esquema ilustrativo com a vista lateral e frontal, de um motor CC “brushless” convencional.

B. Motores de Relutância Variável Comutado (MRVC)

Os motores CC de ímã permanente e os motores de indução são os normalmente utilizados em “drive motors” para aplicações HEV (“hybrid electric vehicle”) e EV (“electric vehicle”), além de outras aplicações que envolvam motores eléctricos. Recentemente tem havido um aumento na utilização de outro tipo de tecnologia, o “switched reluctance motor”, devido principalmente à sua elevada performance, operação com uma baixa incidência de falhas, simplicidade de construção e uma melhor relação custo/eficácia, relativamente aos motores com ímãs concebidos com material magnético relativamente raro na terra.

Existem três razões principais que suportam os motores de relutância variável como outra tecnologia largamente a utilizar no desenvolvimento de motores:

1. Económicos, ainda que seja necessário utilizarem potentes processadores e software;
2. Dispositivos electrónicos de potência e frequência de operação elevada, tais como, MOSFETs e IGBTs, com um custo acessível;
3. Um melhor entendimento da tecnologia envolvida e o desenho integrado do motor e electrónica associada.

Os motores de relutância variável têm demonstrado uma performance comparável aos motores de indução ou aos de íman permanente, relativamente ao torque específico, potência, velocidade de operação e em geral a eficiência do sistema. Adicionalmente, este tipo de motor também tem uma elevada capacidade para trabalhar em ambientes com condições extremas, é simples de manufacturar e tem uma excelente tolerância à falha como característica.

Os motores do tipo com relutância variável fazem parte do grupo de motores designado de passo-a-passo, onde também encontramos outro tipo, os motores passo-a-passo de íman permanente. A sua construção é mostrada de uma forma esquemática na figura 5.

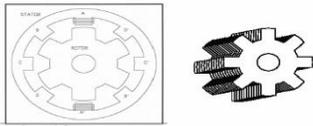


Figura 5: Motor de relutância variável com 8 pólos no estator e 6 pólos no rotor.

O MRVC tem um estator e um rotor de pólos salientes, sendo o número de pólos do estator (N_s) sempre diferente e geralmente superior ao número de pólos do rotor (N_r). Os enrolamentos são colocados apenas no estator e cada um dos seus pólos alberga uma única fase. Põe essa razão, desprezam-se, normalmente, os efeitos entre fases e considera-se que cada uma delas funciona independentemente das restantes. Nos MRVCs mais comuns, cada uma das fases é colocada em dois pólos diametralmente opostos, sendo a ligação entre os seus dois enrolamentos geralmente feita em série.

Dada a constituição por pólos salientes, a distância entre os pólos estatóricos e rotóricos vai variando à medida que o rotor se move. Existe então uma variação da relutância do caminho do fluxo magnético e consequentemente uma variação da indutância própria. Daí o nome, motor de relutância variável.

3. Aplicações com Motores de Corrente Contínua (CC)

A seguinte lista é um sumário parcial de aplicações usuais com motores eléctricos e também futuros produtos e sistemas ainda em desenvolvimento.

Motor e Transmissão (“Powertrain”):

Motor de arranque, alternador, ISA (integrated starter-alternator), motor eléctrico de arrefecimento, compressor do ar condicionado, sistema de controlo do ralenti, sistema de acelerador by-wire, “intake manifold valve actuator”, selector de transmissão, transmissão variável electricamente, bomba de arrefecimento do motor, válvulas eléctricas, “exhaust gas recirculation” (EGR) actuador, etc.

Chassi (“Chassis”):

Sistema de direcção assistida eléctrica, Bomba do ABS, direcção assistida electro-hidráulica, direcção “by-wire”, travão “by-wire”, suspensão activa, direcção frontal activa, 2-4 “wheel drive” actuador, etc.

Carroçaria (“Body”):

Sistema de limpa vidros e bomba de água para lavagem, os vidros eléctricos laterais e por vezes traseiro, sistema de posicionamento dos bancos, vibração para maior conforto nos bancos/assentos, o tecto de abrir panorâmico, o fecho central das portas, o sistema de ajuste dos faróis e retrovisores, o ajuste da coluna de direcção, o HVAC “blower”, o “cruise control”, o sistema de limpa faróis, a antena retráctil electricamente, o sistema de “auto-leveling”, etc.

Nesta secção vamos abordar o motor de arranque, que foi das primeiras máquinas de corrente contínua que surgiu aplicada ao automóvel.

O alternador, apesar de estar deslocado do âmbito associado às aplicações em corrente contínua (CC), visto ser uma máquina de corrente alterna (CA), está aqui como sucessor do dínamo, que era um gerador do corrente contínua, e para melhor compreensão da abordagem à máquina designada por ISA (“integrated starter-alternator”).

A. Os primeiros sistemas:

A.1. O Motor de Arranque

O motor de arranque para automóvel, do inglês simplesmente “starter”, por vezes também designado por “cranking motor”, é datado do início do século XX. Em 1912 a “Cadillac Motor Car Company” introduziu o motor eléctrico de arranque (“electric self-start”) para substituir o arranque manual (“hand crank”). Também Frank and Perry Remy da “Remy Electric Company”, onde a inovação tem tido um lugar de destaque na indústria automóvel, desenvolveram e introduziram o motor de arranque no mesmo período. Esta inovação em essência alargou a acessibilidade do automóvel de apenas

os que tinham a força suficiente para utilizar o “hand crack” para virtualmente qualquer pessoa.



Figura 6: Delco Self-start-generator unit – 1912

Houve muitos desenvolvimentos e refinamentos no motor de arranque desde a sua introdução em 1912 (veja a figura 6). As primeiras inovações foram orientadas para o método de engrenagem no motor térmico, a mudança de 6 para 12 volts e a caixa de redução. Desde os anos 80 até agora, a indústria tem-se concentrado principalmente na redução do seu tamanho e peso, além de melhoramentos ao nível da fiabilidade e durabilidade.

Podemos ver a seguir uma representação pormenorizada dos elementos constituintes de um motor de arranque moderno, onde elementos rotativos como o rotor (“armature”), o veio do rotor (“armature shaft”), o colector (“commutator”), o pinhão de ataque (“drive pinion”), bem como a embraiagem (“overrunning clutch”), uma escova a sua mola (“brush, brush spring”) estão a sombreado:

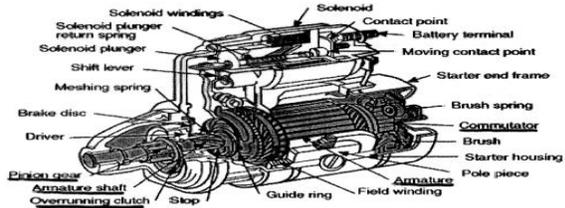


Figura 7: Esquema 1 de um motor de arranque moderno com os elementos rotativos a sombreado.

Na figura seguinte, apresenta-se a sombreado a parte do relé de arranque (“solenoid”) e a alavanca (“shift lever”), que ao rodar sobre o eixo central (“pivot pin”), leva o pinhão de ataque (“drive pinion”) a engrenar no volante do motor:

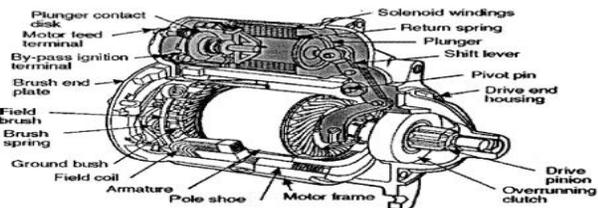


Figura 8: Esquema 2 de um motor de arranque moderno com os elementos para engrenagem a sombreado.

O princípio de funcionamento do motor de arranque é o de um motor de corrente contínua, onde dois campos magnéticos, um criado pelos enrolamentos do estator e outro criado pelos enrolamentos do rotor, fazem aparecer uma força induzida que faz girar o rotor.

O estator contém o enrolamento indutor, sendo este normalmente constituído por quatro pólos (motor eléctrico tetrapolar):

Cada um dos pólos é produzido à custa de um electroímã, também chamado bobina de campo, cujo núcleo ferromagnético é denominado de massa polar.

De modo a aumentar o binário do motor de arranque, o enrolamento do rotor é constituído não por uma espira, mas por vários enrolamentos (“windings”), dispostos à volta de todo o perímetro do rotor

O núcleo do rotor (“armature core”) é feito à custa de muitas lâminas de ferro (“armature lamination”) sobrepostas e isoladas electricamente entre si, através de papel especial ou verniz. Deste modo evita-se o aparecimento de Correntes de Foucault no núcleo, ao mesmo tempo que se mantém as suas características ferromagnéticas.

O rotor poderá ter dois padrões de enrolamento distintos:

- Enrolamento Imbricado (“Lap Winding”)
- Enrolamento Ondulado (“Wave Winding”)

O número de escovas utilizadas para transmitir a energia aos enrolamentos rotóricos é normalmente de duas ou de quatro. As duas escovas de polaridade contrária deverão estar desfasadas de 90°, de modo a permitir a alimentação adequada dos enrolamentos.

Na figura 9 podemos observar as ligações eléctricas num motor tetrapolar com quatro escovas e excitação série.

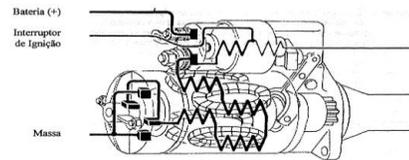


Figura 9: Motor de arranque tetrapolar.

A existência de quatro escovas permite aumentar o binário de arranque, factor muito importante para sua função de arranque do motor térmico.

O tipo de excitação deve ser série pois, o seu binário máximo é desenvolvido no arranque, posteriormente com o aumento da velocidade o binário vai diminuir.

Também existem motores de arranque de ímã permanente, que têm algumas vantagens:

- Menor peso
- Construção mais simples (menores custos)
- Menor aquecimento (menores perdas)

Por fim, mas não menos importante, temos o relé do sistema de arranque que tem duas funções: abrir/fechar o circuito entre a bateria e o motor de arranque e engrenar/desengrenar o pinhão de ataque na cremalheira do volante do motor de combustão. A figura seguinte fornece uma representação esquemática destas duas funcionalidades:

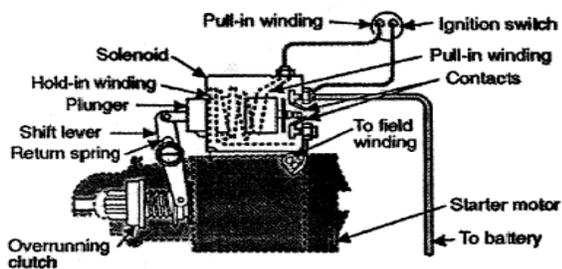


Figura 10: Representação esquemática do relé de arranque.

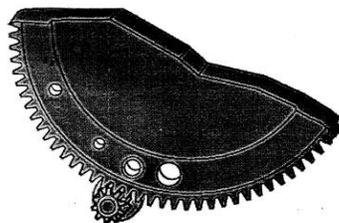


Figura 11: Engate entre pinhão e cremalheira do volante. Também existe uma desmultiplicação do movimento, o que permite, ao mesmo tempo, reduzir a velocidade de rotação do motor de arranque e aumentar o seu binário.

A.2. O Alternador vs O Dínamo vs O ISA

O sistema de carga de um automóvel tem que satisfazer alguns requisitos para ser minimamente satisfatório a cumprir a função a que se destina. Tem que satisfazer o pedido de corrente de todas as cargas presentes no veículo, funcionar devidamente ao “ralenti” (1-2kW), fornecer uma tensão constante sob quaisquer condições, ter uma boa relação peso/potência, fornecer uma indicação de funcionamento correcto e apresentar uma elevada fiabilidade com baixo ruído de trabalho pois, assim exige pouca manutenção. A máquina eléctrica com a função de gerar a energia eléctrica fornecida por um sistema de carga é o gerador. Nas primeiras aplicações este era do tipo de corrente contínua e designava-se por dínamo. Num dínamo o indutor é o estator e o induzido é o rotor. Como a sua concepção só poderia ser desta forma, a f.e.m induzida no rotor tem que ser enviada para o exterior através de um sistema de escovas em contacto com os segmentos do colectores.

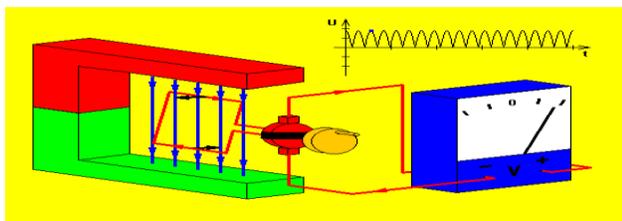


Figura 12: O esquema exemplifica um gerador de corrente contínua muito simples, onde podemos identificar o colectores com as escovas (o comutador) e o aspecto da tensão eléctrica obtida.

É este sistema de comutação, as escovas em contacto com os segmentos do colectores, que permite se obter um tipo energia eléctrica contínua (CC), se não, a energia seria do tipo alternado (CA).

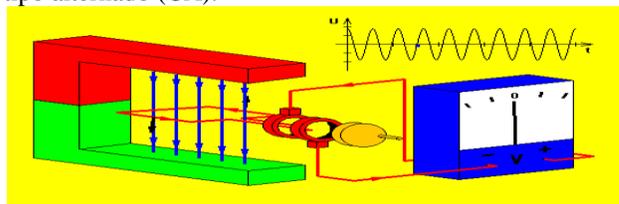


Figura 13: O esquema exemplifica um gerador de corrente alternada muito simples, onde podemos identificar os anéis com as escovas (sem comutador) e o aspecto da tensão eléctrica obtida.

Apesar dos primeiros sistemas de carga usarem dínamos, este estava longe de ser o ideal para satisfazer as necessidades energéticas de um automóvel.

Assim, posteriormente surgiram aplicações com geradores de corrente alternada (CA), designados por alternadores. Este tipo de gerador pode ser construído de duas maneiras: 1) O indutor é o estator e o induzido o rotor, logo com um modo de funcionamento similar ao dínamo, diferindo apenas em que no lugar de se obter a corrente induzida através de segmentos de colectores, utiliza-se os chamados anéis colectores, 2) O indutor é o rotor e o induzido é o estator, em que é a bobina (ou íman) indutora que roda provocando a indução de f.e.m. no induzido, neste caso o estator.

A produção de energia eléctrica utilizando o alternador, particularmente do segundo tipo, ao invés do dínamo, trás diversas vantagens:

- O alternador tem menor manutenção, porque no dínamo a passagem de corrente elevada dos segmentos para as escovas provoca o aparecimento de arcos eléctricos, logo, provocando um rápido desgaste do colectores e das escovas.

- O alternador tem melhor arrefecimento que o dínamo, pois quanto maior a corrente numa bobina, maior o seu aquecimento. Se a bobina induzida for no estator (exterior), é mais fácil de refrigerar do que se for no rotor (interior). Assim, quanto menores perdas, melhor o rendimento do gerador.

- Para a mesma potência eléctrica gerada, o dínamo tem que ser mais volumoso e pesado. Enquanto um alternador para automóvel pesa cerca de 4 kg, um dínamo para a mesma potência pesa de 8 a 10 kg.

- O alternador tem melhor rendimento que o dínamo e é de construção mais simples.

No caso particular do sistema de carga dos automóveis com motores de combustão, as vantagens do alternador face ao dínamo são ainda maiores:

- O dínamo atinge a sua tensão nominal a um número de rotações superior ao do alternador. Assim,

enquanto o alternador atinge a sua tensão nominal a partir das 400/600 rpm, o dínamo dificilmente atingirá abaixo das 1300 rpm. Deste facto resulta que quando o motor está a rodar ao ralenti, o alternador consegue alimentar todos os circuitos eléctricos do automóvel, o que não acontece com a utilização de um dínamo.

- Num alternador, o rotor pode rodar a velocidades mais elevadas, isto é, da ordem das 15000 rpm, valor que é praticamente o dobro do possível de atingir com um dínamo.

É devido a este conjunto de factores que, o alternador não teve qualquer dificuldade em se impor face ao dínamo. No entanto, só na década de 60 é que começou definitivamente a substituí-lo, pois só nessa altura é que começaram a aparecer os primeiros dispositivos electrónicos rectificadores, os díodos. Actualmente o sistema de carga de um automóvel constituído por alternador no lugar do dínamo.

Mais recentemente, surgiu a idealização de um novo conceito que associa de uma forma integrativa, o sistema de arranque, com o motor de arranque, ao sistema de carga, com o gerador. A tal máquina deu-se o nome de “Integrated starter-alternator”, ou simplesmente, ISA. A integração do motor de arranque com o gerador (alternador), numa só máquina eléctrica, iria tornar mais eficiente a utilização de equipamentos eléctricos, além de eliminar os problemas associados ao peso e à necessidade de espaço, melhorando ao mesmo tempo a performance e a obtenção de redução no ruído produzido. Outra grande vantagem desta máquina aplicada aos sistemas de arranque e carga, é ao nível da eliminação de partes mecânicas, tais como, correias de transmissão, polias, etc.

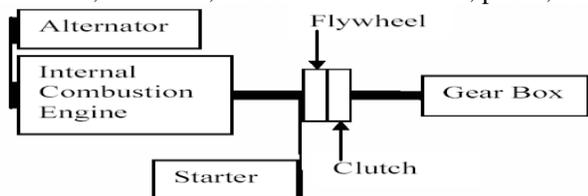


Figura 14: Esquema de uma aplicação clássica do motor de arranque e do alternador a um automóvel.

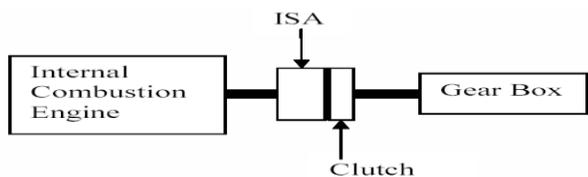


Figura 15: Esquema de uma aplicação utilizando o “integrated starter-alternator” – ISA

O ISA irá, no arranque do motor de combustão, operar como motor de arranque “starter” – “motor regime”, posteriormente, ele trabalhará como alternador – “generator regime”, fornecendo energia eléctrica. Em

“motor regime”, o sistema ISA alcançará as 500 rpm em 3-5s, superando um torque sobre uma carga (“load torque”) de 80 – 150 Nm. Em “generator regime”, o sistema ISA transformará a energia mecânica em energia eléctrica AC, que após rectificação irá recarregar a bateria do automóvel.

O sistema ISA será num futuro não muito distante, o sistema de eleição para executar as tarefas hoje em dia atribuídas a dois sistemas, os sistemas de arranque e de carga de um automóvel.

B. Os sistemas aplicados na carroçaria (“Body”):

B.1. O Sistema de Faróis Retrácteis

Um sistema de faróis retrácteis, com movimentos para cima e para baixo, é desenvolvido por questões estéticas e para melhorar a aerodinâmica do automóvel. Este tipo de farol é dirigido por motores individuais, isto é, unicamente com esta função, mas, se houver uma avaria ao nível eléctrico do sistema, os faróis podem ser operados manualmente.

Os componentes principais deste sistema são:

- O interruptor de controlo da iluminação
- O regulador para a iluminação
- O relé de controlo do sistema retráctil
- O motor eléctrico do sistema

Na figura seguinte temos uma das disposições possíveis para instalação destes componentes num automóvel:

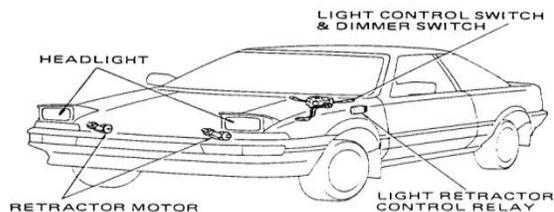


Figura 16: Disposição dos componentes principais do sistema de faróis retráctil.

O motor do sistema retráctil é constituído por um disco came (“cam plate”) e interruptores de limite da posição a assumir pelo próprio sistema, que desligam a corrente para o motor na posição superior e em outras posições pré-definidas por contactos eléctricos na “cam plate”.

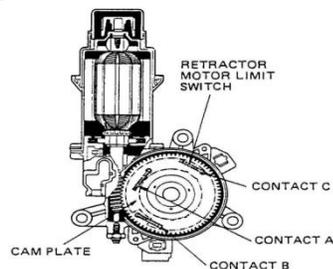


Figura 17: A constituição do motor de um sistema retráctil.

A continuidade entre os três contactos (A, B e C) dos interruptores de limite, para cada posição dos faróis (em cima, em baixo e na posição intermédia), pode ser observada na tabela seguinte:

Posição dos Faróis	Contactos "switches" limite retráctil	
	A – B	A – C
	X	O
Middle	O	O
Up	O	X

Figura 18: A simbologia O = existe continuidade e X = não existe continuidade.

A posição "Middle" não é uma posição onde os faróis parem mas, apenas é indicativo de qualquer posição por onde os faróis passam durante o seu movimento entre as posições "up" e "down".

O levantamento e retracção dos faróis é executado por uma espécie de haste e um excêntrico ("rod and crank arm") que ligam os faróis ao motor eléctrico. Os pontos de paragem, em cima e em baixo, são automaticamente controlados pela "cam plate" que está directamente acoplada ao motor do retráctil. Um "stopper" mantém o farol na posição correcta.

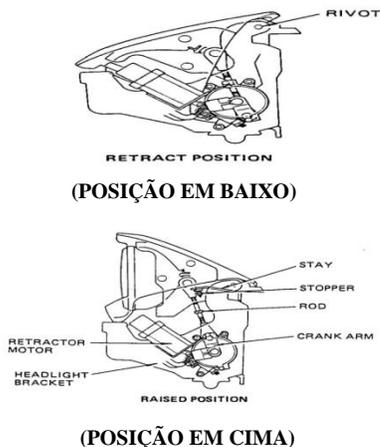


Figura 19: Esquema com as posições, "retract and raised" do farol.

B.2. O Sistema de Limpa e Lava Pára-brisas

Do inglês "Wiper and Washer Windshield System", este sistema é muitíssimo importante no capítulo da segurança, garantindo que o condutor do automóvel mantém uma boa visibilidade perante qualquer situação adversa no exterior da viatura, isto é, com chuva, neve, insectos, lama, etc.

O primeiro "windshield wipers" era operado manualmente, através do movimento de uma alavanca que se encontrava no interior do carro. Hoje em dia os limpa pára-brisas são eléctricos e possuem várias regulações

para a velocidade, inclusive, já existem sistemas com sensores que detectam de uma forma automática a presença de água no pára-brisas, accionando o sistema com a velocidade mais recomendada para a situação.

Ao sistema de limpeza dos pára-brisas está normalmente associado um sistema de lavagem, pois assim, mais facilmente podemos eliminar certas sujidades, principalmente quando estas são de difícil remoção. Estes sistemas têm aplicabilidade não só à frente, no pára-brisas, mas também no vidro traseiro para facilitar qualquer manobra de marcha-lhas que seja executada.

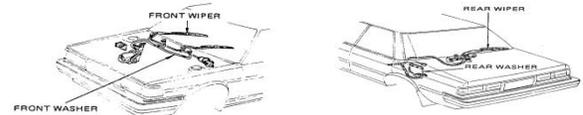


Figura 20: Disposição dos componentes principais do sistema de limpa e lava pára-brisas e vidro traseiro.

O sistema de limpa pára-brisas consiste num motor ("wiper motor"), uma haste de conexão ("wiper link") que transmite o movimento ao braço de limpeza ("wiper arm"), que por sua vez possui na extremidade a escova adequada ao contacto com o pára-brisas ("wiper blades"). O seu funcionamento eléctrico resulta do fornecimento e corte de corrente eléctrica a um sistema de contactos que percorrem um disco com trilhos condutores impressos. Isto forma uma espécie de came eléctrica, que concebida de uma forma adequada permite obter várias funcionalidades no movimento do sistema de limpeza: 1) Impossibilidade do movimento ser executado de uma forma incompleta, 2) Possibilidade de fazer um movimento completo com um pequeno toque na alavanca de comando, 3) etc.

Dois esquemas do "wiper" motor podem ser observado nas figuras 21 e 22. Este motor é do tipo magnético com uma caixa de redução. O estator pode ser de dois tipos, bobinado ou de íman permanente.

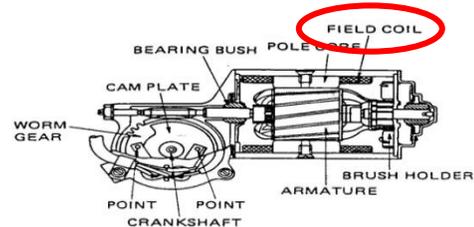


Figura 21: Um "wiper" motor do tipo com estator bobinado ("field coil").

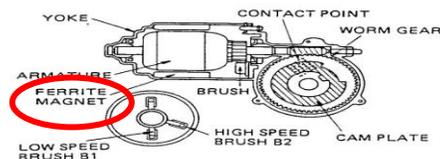


Figura 22: Um "wiper" motor do tipo com estator de íman permanente ("ferrite magnet").

Para se poder controlar a velocidade do movimento, tem-se que desenvolver um tipo de montagem diferente em função do tipo de motor utilizado: 1) Com um “Compound-Wound Wiper Motor”, isto é, o representado na figura 23, temos a combinação de bobina série com bobina shunt. Quando queremos uma operação em alta velocidade, a corrente eléctrica é conduzida unicamente para a bobina série. Se queremos operam em baixa velocidade, a corrente eléctrica é conduzida para ambas as bobinas, série e shunt.

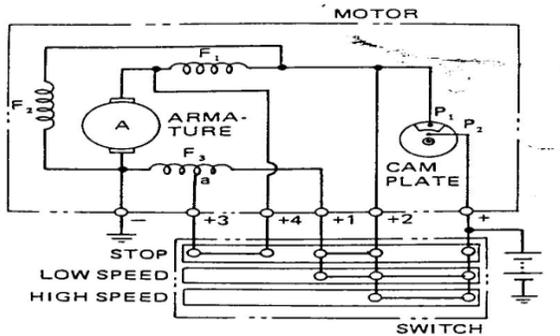


Figura 23: Operação com um “Compound-Wound Wiper Motor”.

2) Com um “Ferrite Magnet Type Wiper Motor”, isto é, o representado na figura 24, não é possível alterar a velocidade de operação através das bobinas pois, como é de ímã permanente, estas não existem como no motor com estator bobinado. Assim, neste tipo de motor existem três escovas, das quais duas são utilizadas para seleccionar a alta e a baixa velocidade. A velocidade muda através do aumento ou da diminuição do número de bobinas no rotor, através das quais fazemos passar a corrente eléctrica.

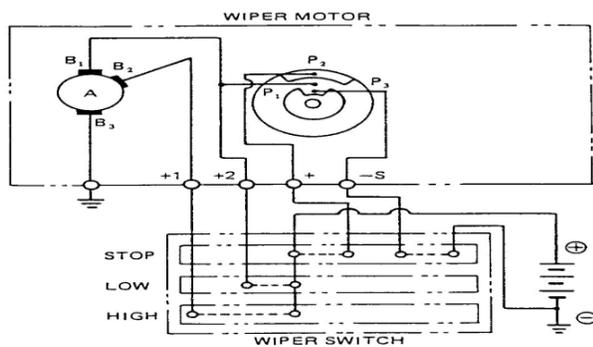


Figura 24: Operação com um “Ferrite Magnet Type Wiper Motor”.

Para se converter o movimento do motor no movimento característico das escovas, usa-se uma haste de conexão e um braço (“wiper link and arm”). Assim podemos ter dois tipos de transmissão, o tipo “wire” (figura 25), mais compacto, e o tipo “link” (figura 26), mais eficiente e de construção mais simples.

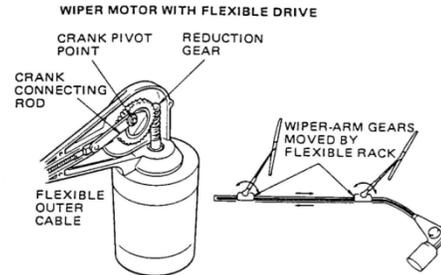


Figura 25: Montagem do tipo “wire”.

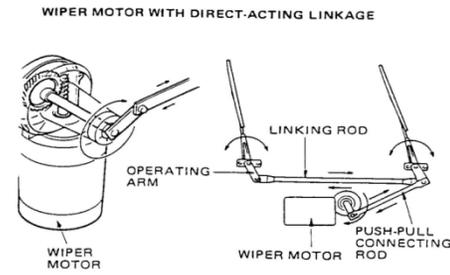


Figura 26: Montagem do tipo “link”.

O sistema de lavagem de pára-brisas, que também pode ser aplicado ao vidro traseiro e faróis, é constituído pelos seguintes componentes:

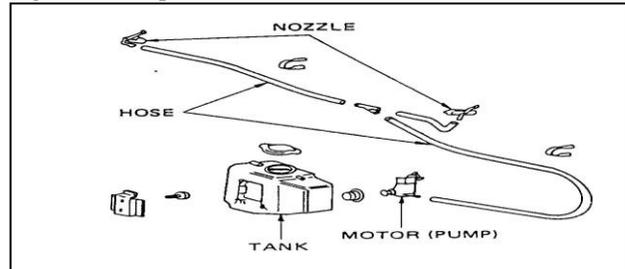


Figura 27: Os componentes básicos de um sistema de lavagem (“washer system”)

Podemos observar esquematicamente a implementação do sistema num automóvel, através da figura 28:

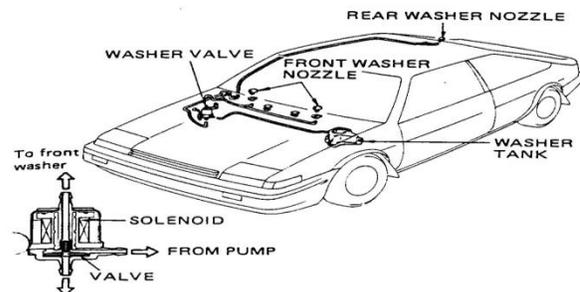


Figura 28: Sistema de lavagem frontal e traseiro.

O “washer motor” é acoplado a uma bomba, que aspira o líquido do depósito e o envia aos “nozzles” colocados junto aos vidros... A bomba pode ser de vários tipos, “gear type”, “squeeze type”, “centrifugal type”, etc., mas a função é sempre a mesma.

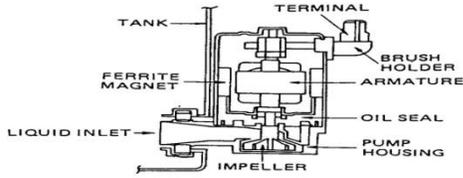


Figura 29: Estrutura esquemática do conjunto motor acoplado à bomba.

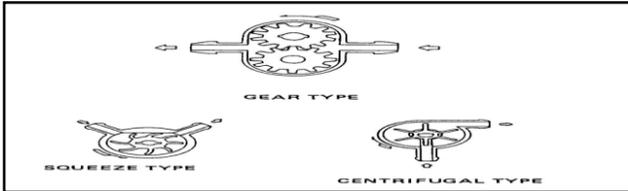


Figura 30: Os vários tipos de bombas.

B.3. O Sistema de Ventilação e Aquecimento

O propósito de um sistema de ventilação e aquecimento, ou equipamento de ar condicionado, é proporcionar confortáveis condições de condução, independentemente das condições exteriores à viatura.

Na figura seguinte podemos ver os tipos de equipamento para esta finalidade e respectiva especificidade associada à função num automóvel:

Equipment	Function	Types
Ventilator	Ventilation	Natural ventilation type and forced ventilation type
Heater	Heating and ventilation	Hot water type, exhaust type and combustion type
Cooler	Cooling and dehumidification	Dashboard type, luggage compartment type, integrated type and separate type
Air conditioner	Heating, ventilation, cooling, and dehumidification	Manual type and automatic type

Figura 31: Equipamento para controlo das condições ambientais, temperatura e humidade, no interior de um automóvel.

A estes sistemas estão geralmente associados motores de corrente contínua, com a finalidade de transmitir rotação a ventiladores, sopradores, compressores, por exemplo, quando temos um ar condicionado, etc.

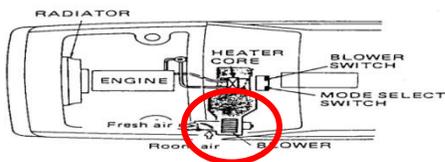


Figura 32: "Layout" de um sistema de aquecimento. Podemos observar um "blower", que será movimentado por um motor.

Em alguns modelos de automóveis, é possível termos um controlo através de um botão com accionamento eléctrico, que além do servomotor para circulação de ar, ainda vai controlar um sistema de servomotor que permite seleccionar entre a entrada de ar do exterior ou a

recirculação, sem renovação, do ar que existe no interior da viatura e um servomotor que controla uma mistura entre ar frio e ar quente, nomeadamente quando temos instalado um ar condicionado.

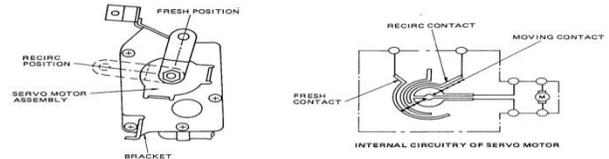


Figura 33: Esquema da operação com servomotor que permite a renovação ou a recirculação do ar.

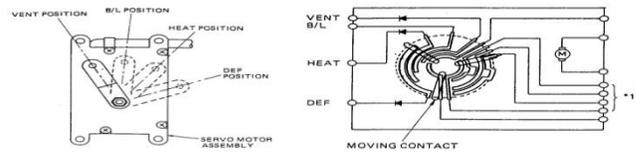


Figura 34: Esquema da operação com servomotor que permite a entrada do ar.

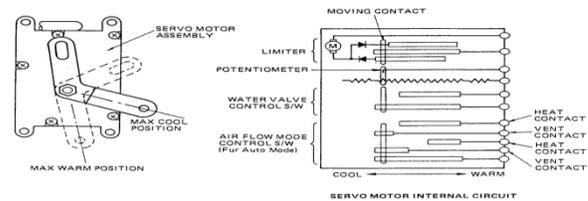


Figura 35: Esquema da operação com servomotor que permite o controlo da mistura de ar quente com ar frio.

Também existem automóveis, principalmente quando equipados com ar condicionado, em que é possível um sistema automático de controlo. Neste sistema apenas é necessário definir uma temperatura de operação e, de uma forma automática, temos o interior do automóvel nas condições previamente programadas.

Alguns pormenores, como a recirculação, são deixados ao critério de operação no momento, isto é, manual.

B.4. O Sistema de controlo dos vidros eléctricos

Este sistema permite abrir ou fechar as janelas com uma simples operação manual sobre um interruptor eléctrico, instalado, por exemplo, **nas portas**.

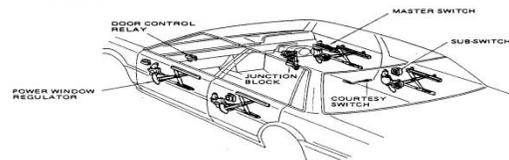


Figura 36: Esquema da disposição dos componentes principais.

Além das operações básicas de manual para cima e manual para baixo, também é possível termos operações em automático, isto é, automático para cima e automático para baixo, em que é suficiente dar um pequeno toque no interruptor eléctrico, para o vidro da janela fazer todo o percurso de subida ou de descida. A função de parar o vidro no ponto de subida máxima ou descida mínima está a cargo de um sistema de comparação, que detecta quando há um aumento no consumo de corrente por parte do motor associado, pormenor indicativo que o motor entrou em esforço porque o vidro esbarrou com um obstáculo, neste caso, o fim do curso disponível. Também são utilizados sensores, normalmente montados na estrutura de suporte do bloco com o motor, que têm a mesma finalidade, isto é, detectar o ponto de subida máxima ou descida mínima. Por vezes aparece associado um sistema de anti-entalamento, o qual usa o princípio do comparador descrito anteriormente.

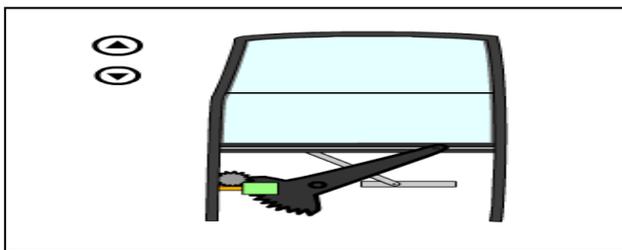


Figura 37: Esquema simplificado do mecanismo de controlo da posição do vidro/janela.

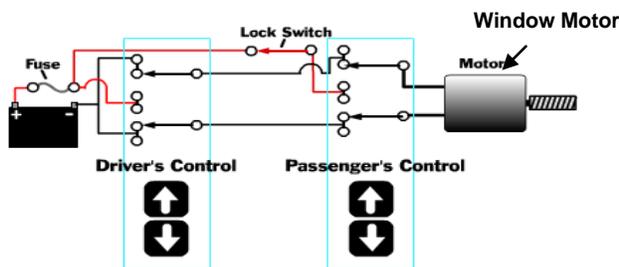


Figura 38: Circuito básico para controlo eléctrico da posição dos vidros das portas laterais, condutor e passageiro.

Em sistemas mais avançados e complexos, relativamente ao sistema básico ilustrado na figura 38, são módulos electrónicos que controlam toda a dinâmica associada à posição pretendida para os vidros eléctricos.

Com a inclusão destes módulos electrónicos, é possível associar muitas outras funcionalidades ao sistema.

B.5. O Sistema de controlo do tecto de abrir eléctrico

Este sistema permite o tecto abrir ou fechar através do deslizamento numa guia ou subir num dos lados, posteriormente voltar à posição original, e tudo isto com um simples toque no interruptor eléctrico adequado.

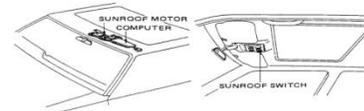


Figura 39: Componentes do sistema de tecto eléctrico.

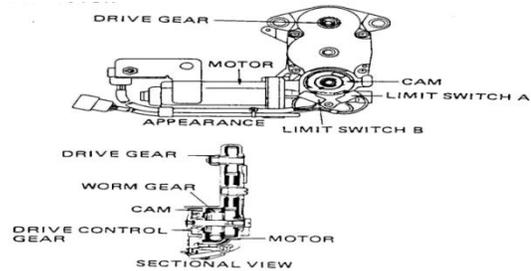


Figura 40: Motor do tecto eléctrico.

É através de uma “cam” instalada na caixa redutora, que por sua vez está acoplada ao motor, que é determinada, com o auxílio de detectores do tipo fim-de-curso, a posição do tecto. A figura seguinte ilustra o comportamento dinâmico do conjunto:

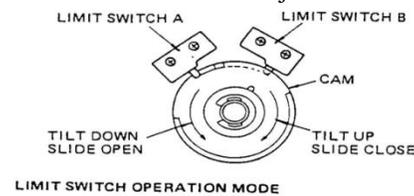


Figura 41: Modo de operação com os detectores fim-de-curso A e B.

B.6. O Sistema de controlo dos espelhos retrovisores laterais eléctricos

Este sistema permite o ajuste do ângulo dos retrovisores, em função das características do condutor do automóvel. Em alguns modelos também é possível recolher os retrovisores com um simples toque num interruptor aplicado no interior da viatura, ou em automático, isto é, após a imobilização do automóvel.

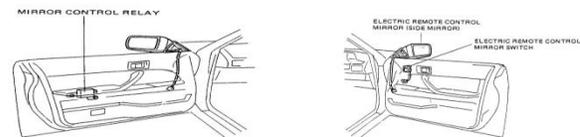


Figura 42: Disposição dos componentes.

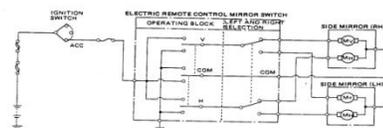


Figura 43: Um diagrama eléctrico com os motores eléctricos de cada espelho retrovisor (dois, MV e MH, por retrovisor).

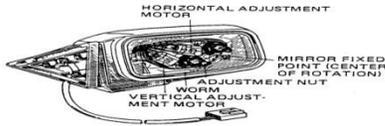


Figura 44: O espelho retrovisor com a posição física dos dois motores eléctricos, um para o movimento horizontal e o outro para o vertical.

Quando está associado ao retrovisor um sistema eléctrico de recolha, o esquema do conjunto é o seguinte:

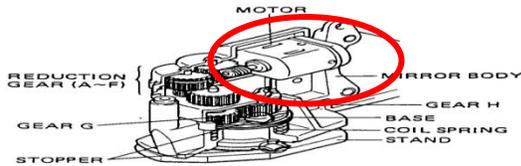


Figura 45: O motor eléctrico de recolha do retrovisor inserido no conjunto mecânico.

B.7. O Sistema de controlo das várias posições de um banco de automóvel

Um banco de um automóvel como deverá ser concebido para minimizar a fadiga e cada indivíduo é tem as suas particularidades na forma como se senta e conduz, é um dos sistemas com necessidade de mais elementos de ajuste. Assim, desde os mais simples, por exemplo com quatro motores, até aos mais complexos, com mais de sete motores (banco da Faurecia), é um sistema completamente dependente dos motores eléctricos de corrente contínua para ser simples e versátil.

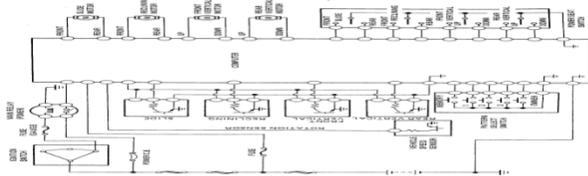


Figura 46: Diagrama eléctrico com quatro motores eléctricos.

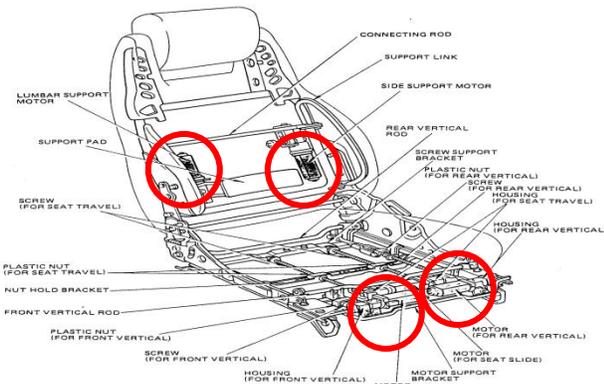


Figura 47: Exemplo de um banco de automóvel com a identificação de quatro motores para o seu ajuste.

Com esta aplicação, dou por finalizada a descrição de vários sistemas integrando motores de corrente contínua, ao nível da carroçaria (“Body”). Fica-se no entanto com a ideia, que as potencialidades são tantas, que muitos outros sistemas serão possíveis.

C. Os sistemas aplicados no Motor e Transmissão (“Powertrain”) e Chassi (“Chassis”):

Nos últimos anos têm surgido, com os avanços tecnológicos a vários níveis, enumeras aplicações, envolvendo motores eléctricos, de elevada importância e destaque.

Posso referir algumas das mais importantes pois, estão de alguma maneira associadas ao aumento de dispositivos ao nível da segurança no automóvel:

- “Electric Power Steering”
- “Active Front Steering”
- “Rear Axle Steering”
- “Electric Brake Systems”
- “Adaptive Suspension”
- “GearBox Actuator”
- “Steer-by-wire Systems”
- etc.

É no campo dos sistemas X-by-Wire que têm surgido as maiores inovações e futuras apostas.

O termo X-by-Wire, em linhas gerais, é utilizado quando um sistema electromecânico, formado por um módulo de controlo, sensores e actuadores, substitui um sistema puramente mecânico. A parcela “X” deste termo dá lugar a qualquer sistema de segurança existente em um veículo, como por exemplo: “Brake” (Travão), “Steering” (Direcção), “Powertrain” (Motor e Transmissão) e “Suspension” (suspensão).

Mais especificamente, os sistemas by-wire devem ser capazes de sentir e tratar apropriadamente uma solicitação do condutor e tomar as acções necessárias., considerando as circunstâncias presentes de dirigibilidade e ambiente.

Algumas empresas ainda demonstram hesitação na implementação dos sistemas X-by-Wire, especialmente quando ponderam sobre a segurança e confiabilidade do sistema. Além disso, os sistemas mecânicos têm provado, ao longo do tempo, serem extremamente confiáveis. Por outro lado, ano após ano tem-se notado o aumento do número de sistemas de segurança utilizados nos veículos. Esta evolução, por si só, demanda o aprimoramento das tecnologias utilizadas, buscando facilitar a montagem e a manutenção dos sistemas e a optimização da performance esperada pelos clientes.

Em adição, quando analisamos os requisitos específicos de cada sistema ou aplicação nos deparamos com uma série de condições que devem ser atendidas pelo sistema em questão. Tomemos como exemplo o sistema de travões by-wire (brake-by-wire):

1. Sensores. Redundância tripla no pedal do travão é exigida.
2. Actuadores: Os actuadores do travão devem ser livres de torque ou pressão em eventos de perda de energização do sistema (rompimento do cabo da bateria, por exemplo).
3. Sistema de Alimentação: Dois circuitos distintos de alimentação são exigidos (aplicação de linhas redundantes de alimentação).
4. Protocolo de Comunicação: Deve ser um protocolo Classe C (protocolos de alta velocidade, conforme norma Europeia), com rotinas de detecção e protecção contra falhas.



Figura 48: Desenho com a aplicação de vários sistemas no automóvel. Em evidência temos o sistema electrónico de travagem.

4. Conclusões (“Conclusions”):

Actualmente, plataformas automóveis com capacidade para 2kW terão que ser substituídas por plataformas de 20kW ou mesmo 50kW, na qual um conjunto de funcionalidades geradas electricamente será activado, algumas das quais ainda nem sequer foram concebidas. Numa visão mais vanguardista, podemos dizer que o sistema mecânico “powertrain” (Motor e Transmissão) será auxiliado por máquinas eléctricas rotativas que serão alimentadas por sofisticados controladores electrónicos de potência que proporcionaram energia eléctrica para sistemas mais eficientes, tais como, direcção eléctrica, aquecimento eléctrico do habitáculo, bombas eléctricas para arrefecimento, suspensão activa eléctrica, travões eléctricos e muito mais...

Existem duas razões que explicam a necessidade da indústria automóvel em altas densidades energéticas, elevada eficiência e disponibilização de dispositivos electromagnéticos que satisfaçam as exigências dos clientes em particular e da sociedade em geral. Primeiro, porque as reservas em petróleo são limitadas e segundo, porque é necessário limpar o ar. Aliás, podemos afirmar que a eficiência energética é mais importante, relativamente à poluição do ar ou ao fornecimento de combustíveis fósseis, nomeadamente nos próximos 10 a 20 anos.

A tendência do mundo actual, relativamente à indústria automóvel, é aumentar a utilização da energia eléctrica,

enquanto, ao mesmo tempo, os requisitos para reduzir o consumo de combustível e consequentemente a emissão de gases são cada vez mais restritivos. As exigências do consumidor nas áreas da segurança, conforto e qualidade de condução é outra razão para um crescimento quase explosivo dos equipamentos munidos de motores eléctricos.

O investigador Matthew Beecham afirma que “Our insatiable demand for safety, comfort, economy, clean environment and quality of driving are driving this explosive growth in electric motors. As the customer demands more of the vehicle, the industry is moving quickly to meet that demand and electric motors play a vital role in many areas.” Isto significa que é o mercado, ou seja, o consumidor e futuro utilizador do automóvel, que força, com a sua exigência de veículos cada vez com mais equipamento, o fabricante e a indústria associada a corresponder às necessidades e tendências do mercado, assim, é aqui que o motor assume um papel vital e preponderante em muitas áreas. Actualmente, os motores eléctricos são encontrados em qualquer sistema que tenha um movimento eléctrico ou uma função de solenóide associado/a. Um exemplo de uma aplicação de motores eléctricos que está a crescer de uma forma muito rápida é o EPB (Electric Parking Brake). No entanto, à medida que o número de motores eléctricos em veículos automóveis aumenta, o peso global destes motores vai diminuindo. Isto resulta do facto de os construtores pressionarem os fabricantes de componentes, por exemplo de motores, a reduzirem o seu peso, para haver uma poupança no custo e no peso final da viatura, com consequências a vários níveis que aparecem por arrasto. Como exemplo, o fabricante Denso, conseguiu lançar um novo motor para os assentos/bancos sobre o qual reclama ser o mais pequeno e leve de todos para a mesma finalidade e segundo uma perspectiva mundial. Comparado com os modelos anteriores, houve uma redução de 51% no volume ocupado e de 37% no peso.

Segundo o executivo do grupo económico Brose, Klaus Deller, "The essential tendencies are towards reduction of weight and designed space, reduction of power input and the necessary improvement of efficiency accommodating thus mainly for the environmental protection."

5. Referências (“References”):

- www.dspace.de
- www.etechno-group.com
- www.bosch-electricmotors.com
- www.just-auto.com
- www.indiacar.com

**General Service Training Toyota
Documentação de SIAUT**