

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos
PSI 2618 - Circuitos Eletrônicos Automotivos

Caderno Técnico Colaborativo



Toyota Prius - Tecnologia Híbrida

São Paulo
1º Semestre de 2017

Autores:

Introdução - Visão Geral do Toyota

Prius:

Carlos Eduardo Grivol Júnior

Motor Combustão:

Eduardo Poleze

Flávio Henrique Barbosa Lima

Liane Bezerra Gomes

Motores Elétricos:

Douglas Navarro

Keran Hanniel Ramassamy

Renan Yuri Lino

Sistema Híbrido e Gerenciamento dos

Motores:

Carlos Eduardo Grivol Júnior

Christopher Pereira Costa

Sebastian Mroginski Kapelius

Baterias, Freios e Sistemas de

Resfriamento:

Adriano Goetz Zenzen

João Francisco Takayanagi

Lucas Nyari

Sensores:

Felipe Barcellos e Silva

Lucas Pimenta Pereira Ludewigs

Raphael de Brito Tamaki

Atuadores:

Eduardo Luiz Kose

Mathieu Brandy

Pedro Dias Longhitano

ADAS, Conforto Veicular e

Dirigibilidade:

Carlos Eduardo Laschi Oliveira

Fernando Zaine

Filipe Gabriel Santos

ECUs e Comunicação Elétrica:

Felipe Yukio Asano

Mateus Bernardes Duarte

Lucas Mingroni Netto

Conclusão - Veículos Elétricos e a Renovação da Indústria Automotiva:

Carlos Eduardo Grivol Júnior

Organização Geral:

Felipe Barcellos e Silva

Coordenação:

Prof. Dr. Armando Antônio Maria Laganá

Prof. Dr. Leopoldo Rideki Yoshioka

Colaboração Técnica:

Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini

Agradecimentos: Toyota do Brasil

Sumário:

1. Introdução - Visão Geral do Toyota Prius:	3
2. Motor Combustão:	5
3. Motores Elétricos:	13
4. Sistema Híbrido e Gerenciamento dos Motores	19
5. Baterias, Freios e Sistemas de Resfriamento:	36
6. Sensores:	48
7. Atuadores	70
8. ADAS, Conforto Veicular e Dirigibilidade:	84
9. ECUs e Comunicação Elétrica:	96
10. Conclusão - Veículos Elétricos e a Renovação da Indústria Automotiva:	119
11. Referências:	120

1. Introdução - Visão Geral do Toyota Prius:



Figura 1.1

Tendo como missão fornecer produtos limpos e seguros, a Toyota posicionou o meio ambiente como uma das suas questões mais importantes. Com este objetivo em mente, a Toyota desenvolveu ativamente várias novas tecnologias da perspectiva de segurança energética e diversificação de fontes de energia, o que é exigido pela diminuição do abastecimento de recursos petrolíferos.

Por exemplo, em fontes de energia motriz para automóveis, a Toyota tem melhorado continuamente os motores convencionais e desenvolveu injeção direta para motores a gasolina, motores a diesel de injeção direta common rail, etc.

Também foram modificados motores para que possam usar combustíveis alternativos, como gás natural comprimido (GNV), em vez de gasolina ou óleo leve, e estão instalando esses motores em veículos comercialmente vendidos. A Toyota também desenvolveu e comercializou veículos híbridos de pilhas de combustível (FCHV) que utilizam células de combustível (FC) para gerar eletricidade com base em uma reação química entre o hidrogênio e o oxigênio no ar o que fornece eletricidade para os motores elétricos.

Em janeiro de 1997, a Toyota declarou o início do Projeto Toyota Eco. Como parte desse esforço, a Toyota decidiu enfrentar o desafio internacional de reduzir as emissões de CO2 para evitar o aquecimento global. Para isso, acelerou o desenvolvimento de um veículo híbrido com o objetivo de conseguir o dobro da eficiência de combustível dos veículos convencionais. Então, em março do mesmo ano, a Toyota anunciou a conclusão de uma nova tecnologia chamado Toyota Hybrid System (THS) para uso em veículos de passageiros. Essa tecnologia combina um motor a gasolina e um motor elétrico. O sistema conseguiu atingir uma eficiência de combustível próxima do objetivo estipulado.

O primeiro veículo de passageiros híbrido produzido em massa no mundo foi o Prius, lançado em dezembro de 1997 no mercado japonês. Esse veículo fazia parte da primeira geração de THS.

Com base na primeira geração, a Toyota desenvolveu o conceito de Hybrid Synergy Drive (HSD), que é um refinamento do primeiro sistema. Geralmente, o termo HSD é utilizado como sinônimo de THS. Atualmente é o nome dado a tecnologia da Toyota utilizada nos seus carros híbridos, e até, sobre licença, em alguns carros de outra marcas, como o Lexus. Com base nesse conceito, a Toyota desenvolveu novos sistemas melhorados, dando origem a novas gerações da tecnologia. A quarta é a geração mais moderna vendida atualmente.

Os sistemas híbridos automotivos combinam duas fontes de energia motriz, como um motor de combustão interna e um motor elétrico. Esses sistemas utilizam o melhor dos dois mundos, tirando proveito da alta densidade de energia disponível na gasolina e da alta eficiência energética dos motores elétricos resultando em excelente desempenho de condução e alta economia de energia.

2. Motor Combustão:

O motor a combustão do Toyota Prius é relativamente menor do que os de outros carros do mesmo porte. Usualmente esses veículos necessitam de um motor grande a fim de possibilitar ações que demandam maior potência, como subidas e grandes acelerações, mas que são energeticamente ineficientes nestes modos de operação.

O fato de possuir um sistema híbrido que permite a atuação do motor elétrico em conjunto com a máquina térmica possibilitou ao Prius que o seu motor a combustão tivesse um tamanho menor, operando próximo à região de máximo aproveitamento na conversão de energia térmica em mecânica. Além disso, o sistema conta com a implementação do ciclo Atkinson adaptado ao ciclo Otto, que consiste em empregar duração variável para os tempos de compressão e expansão, obtendo um aumento no rendimento térmico dessas máquinas.

Analisando essas diferenças em relação a veículos similares, é possível perceber a intenção do Prius em ser referência no aproveitamento energético. Nas seções a seguir são apresentadas algumas características encontradas no motor a combustão do Prius.

2.1 Ciclo Atkinson

O ciclo Atkinson baseia-se no trabalho de James Atkinson, que propunha em seu trabalho original um dispositivo que permitia que o pistão se movesse mais durante a expansão/explosão do motor do que na etapa de compressão. Porém, como este mecanismo era complicado de ser aplicado, o ciclo Atkinson é aplicado como uma variação do ciclo Otto nos motores de carros híbridos, como é o caso do Prius. Esta variação propõe volumes de mistura ar+combustível diferentes daquelas encontradas no ciclo Otto.

O ciclo Atkinson é outro modo de implementar o usual motor de quatro tempos, isto é, seu ciclo também é composto pelas etapas de Admissão, Compressão, Expansão/Explosão e Exaustão. Porém, diferentemente do ciclo Otto, durante a etapa de Compressão, a válvula utilizada na admissão de combustível continua aberta, o que reduz a quantidade de combustível e ar na etapa da explosão. As figuras abaixo procuram ilustrar a diferença esta diferença dos dois ciclos.

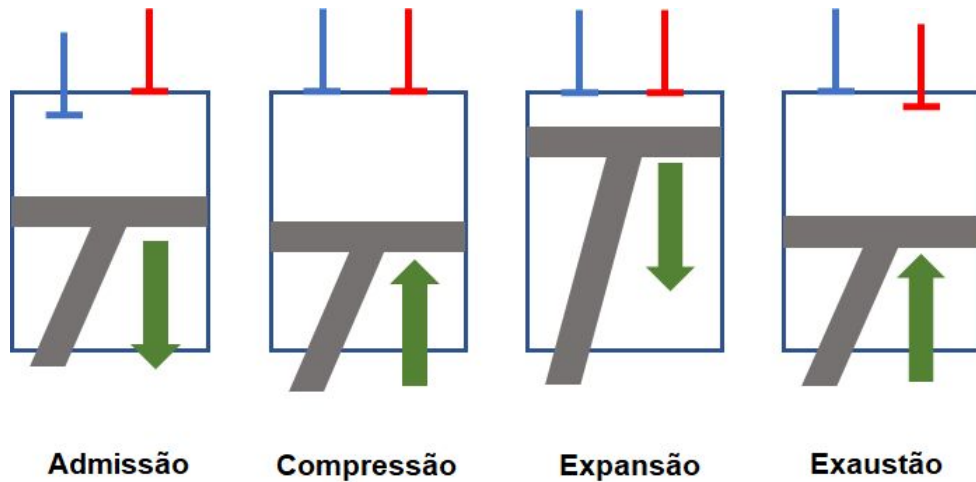


Figura 2.1 - Ciclo Otto no motor de 4 tempos.

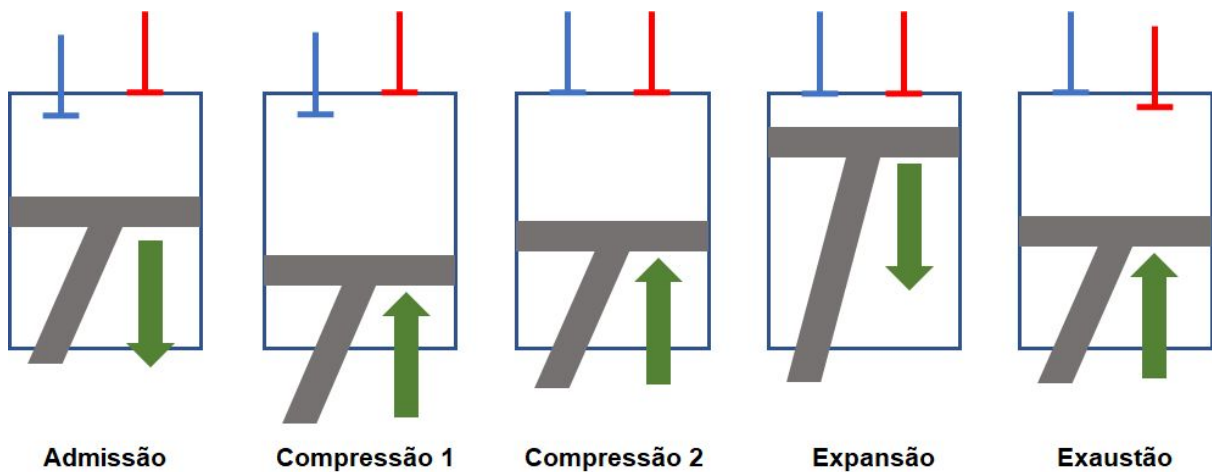


Figura 2.2 - Adaptação do ciclo Atkinson no motor de 4 tempos.

As consequências dessa estratégia de engenharia em comparação com o ciclo Otto são: a redução de torque do motor para marchas lentas; aumento de eficiência; redução de perdas de bombeamento durante a compressão e durante a admissão.

É possível observar que nem todas as consequências da utilização do ciclo Atkinson são boas. A perda de torque do motor é um problema para as marchas mais lentas. É por isso que este ciclo é comumente utilizado em carros híbridos, pois o automóvel conta com o torque alto dos motores elétricos para compensar esta deficiência. A combinação do motor de combustão interna com ciclo Atkinson com os motores elétricos oferece uma solução eficiente, em matéria de uso de combustível e perdas de energia, e competitiva se comparada com os automóveis de uso civil.

2.2 Características do Motor

As quatro versões do Prius não possuem a mesma versão do motor à combustão. As características do motor 2ZR-FXE do Prius de terceira geração (automóvel disponível na Escola Politécnica da USP) seguem descritas nos itens abaixo.

2.2.1 Cilindradas

O pistão do motor alterna entre as duas extremidades do cilindro, o ponto morto superior, PMS e ponto morto inferior PMI. O volume coberto durante essa viagem é chamado de “volume varrido”. Todos os cilindros do motor fazem esse trabalho simultaneamente, portanto o volume varrido é multiplicado pela quantidade de cilindros presentes no motor, resultando no “volume de deslocamento”. É esse volume que chamamos de “cilindrada”.

Um carro 1.0, por exemplo, tem 1000 cilindradas, ou seja, 1000 centímetros cúbicos de volume de deslocamento.

O Toyota Prius é 1.8 L, distribuídos em quatro cilindros de alumínio.

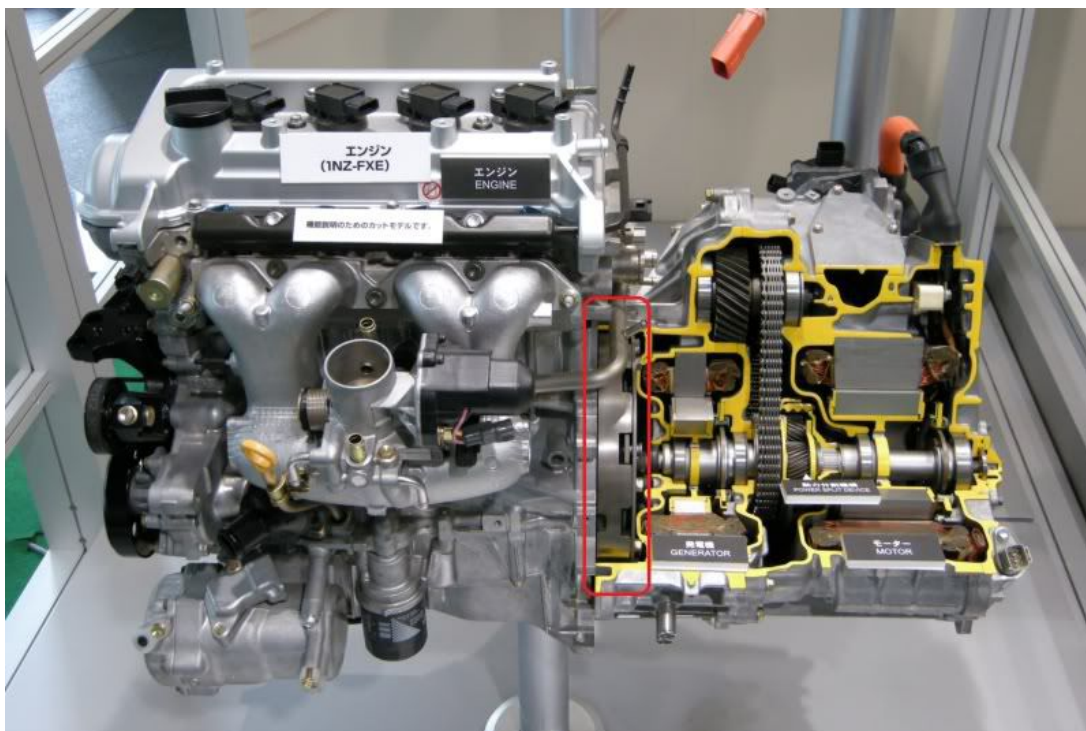


Figura 2.3 Motor à combustão acoplado ao motor elétrico

2.2.2 Potência do Motor

A potência do motor a combustão interna, dada em horsepower ou kW, é a medida da taxa de conversão de energia térmica em energia mecânica por unidade de tempo. É função do torque sobre o virabrequim e a sua velocidade angular.

O Prius tem uma potência de 95 hp quando seu motor está girando a 5200 rpm, ou, convertendo para Watts, 71 kW nos mesmos 5200 rpm. Uma taxa mediana, quando comparamos com os carros populares, onde temos 70 cavalos ou com uma S-10, por exemplo, da Chevrolet, que possui 190–200 hp (142–149 kW) @ 5400 RPM.

2.2.3 Torque do Motor

O torque do motor é dado pela força aplicada aos pistões na fase de expansão multiplicada pela distância da manivela do virabrequim.

No prius, essa medida é de 105 lb.-ft. numa rotação do motor de 3600 rpm, equivalente a 142 N•m. Um torque modesto comparado à S-10, que possui 260 lb-ft, ou ainda, 353 N•m numa rotação de 2800 RPM.

2.2.4 Taxa de Compressão

A taxa de compressão é a relação entre o volume de mistura aspirada pelo pistão que está dentro do cilindro somado ao pequeno volume da câmara de combustão que será posteriormente comprimido no pequeno espaço da câmara de combustão no segundo tempo do motor. Representado numericamente pela relação entre o volume do câmara e o volume do cilindro, ou seja:

$$\text{Taxa de Compressão} = \frac{\text{Volume da Câmara} + \text{Volume do Cilindro}}{\text{Volume do Cilindro}}$$

Onde os volumes do cilindro e da câmara podem ser vistos na ilustração abaixo:

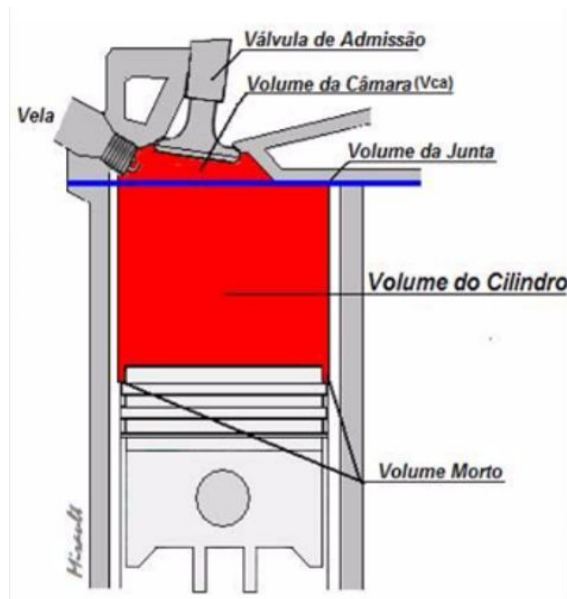


Figura 2.4 Taxa de compressão de um motor à combustão

Normalmente as taxas de compressão giram em torno de 9:0 a 11:0, o motor à combustão do Toyota Prius trabalha em 13.04:1, uma taxa elevada em relação ao mercado. Isso significa que a temperatura de combustão atingida na câmara de combustão é maior do que a média dos carros, resultando em maior aproveitamento da combustão, ou seja, a explosão é mais eficiente, gera mais energia cinética para o carro.

2.2.5 Sistema de Indução de Ar

Existem duas maneiras de um motor receber o ar necessário para a queima do combustível: aspiração natural ou forçada. A grande maioria dos automóveis de rua tem motores normalmente aspirados, ou seja, o ar é admitido no coletor pela sucção feita pelo próprio pistão. Para obtermos um ganho de potência extra no motor, precisamos alimentá-lo melhor.

O sistema de indução de ar do Toyota Prius é inteligente e conectado eletronicamente ao sistema de aceleração do carro, ou, em inglês, sequential multi-point EFI with Electronic Throttle Control System with intelligence (ETCS-i).

2.2.6 Comando de Válvulas

A válvula é o componente do motor que controla a entrada e saída de gases do cilindro do motor. O comando de válvula é o elemento responsável pela abertura e fechamento das válvulas, ou seja, pelo momento que o motor “respira”. Esse controle, momento de abertura e fechamento, o curso e o tempo determinam toda a característica de funcionamento do motor.

Por isso, começaram a ser criados os controles eletrônicos de válvula, desde o fim dos anos 80, com o sistema pioneiro da Honda.

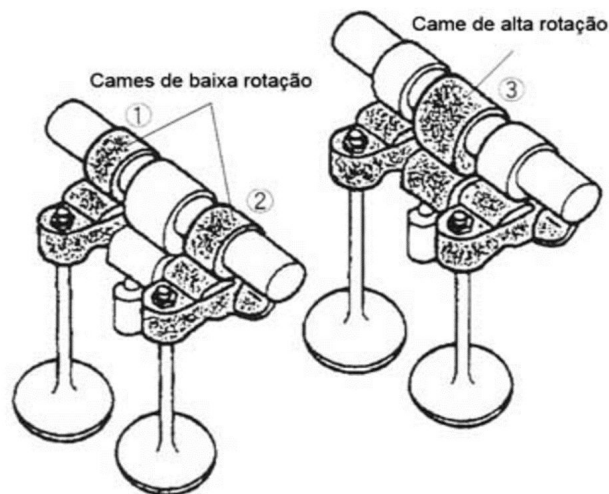


Figura 2.5 Controle eletrônico de válvula da Honda

A Toyota também foi pioneira em inovação nesta área, criando, em 1991, a VVT (Variable Valve Timing) é uma tecnologia de temporização de válvula variável de motores a combustão interna. O sistema VVT é um sistema de 2 estágios controlado hidraulicamente.

Em 1996 foi introduzido o sistema VVT-i (Variable Valve Timing with Intelligence), em substituição ao VVT. O VVT-i varia a temporização das válvulas de admissão. A pressão do óleo do motor é aplicada a um atuador para ajustar a posição da árvore de cames. Os ajustes no tempo de sobreposição entre o fecho da válvula de escape e a abertura da válvula de admissão resultam numa melhoria da eficiência do motor

O Toyota Prius conta com o sistema duplo comando de válvulas no cabeçote, equipado com a tecnologia VVT-i.

2.2.6 EV/ECO/NORMAL/POWER Modes

O Prius três modos de operação principais que dão ao usuário a possibilidade de adequar o carro a sua forma de direção.

No modo ECO (Economy), a resposta do pedal de aceleração do veículo é atenuada e os sistemas de ar condicionado e aquecimento são otimizados para redução do consumo de combustível. Nesse modo, o motorista precisará pressionar com mais intensidade o acelerador para obter a mesma resposta do que no modo NORMAL, por exemplo, o que permite um controle maior da demanda de potência e facilita a diminuição do consumo de combustível. Para o trânsito das cidades, o modo ECO pode ser mais adequado, especialmente para motoristas com um perfil mais agressivo.

O modo POWER, por sua vez, torna o pedal de aceleração bastante sensível ao comando do usuário e pode ser a opção mais adequada para a direção em rodovias devido à necessidade de ultrapassagens.

No modo NORMAL, que está em vigor quando nenhum dos modos anteriores está ativo, a resposta do pedal de aceleração é aproximadamente linear à pressão exercida pelo motorista.

A opção EV (Electric Vehicle) não se configura exatamente como um modo de operação, mas sim como um adicional que pode ser usado em conjunto com os anteriores. Com o EV ativo, sempre que possível, o Prius funcionará exclusivamente com o motor elétrico. Assim para ambientes urbanos com tráfego lento e com velocidades abaixo dos 50 km/h, é possível operar somente no modo elétrico.

É importante ressaltar que, exceto pelo modo ECO, que otimiza os sistemas de ar condicionado e aquecimento, as alterações na resposta do pedal de aceleração sozinhas não garantem por si só a economia, uma vez que a disponibilidade de potência não é alterada. Cabe ao motorista usar essa possibilidade para ter um controle mais fino da demanda do acelerador, obtendo uma otimização no consumo através da forma de dirigir.

2.3 Características do Sistema de Exaustão

O Prius é um carro projetado para atender os mais diversos requisitos ecológicos, e é denominado como um carro zero emissão, uma das grandes propagandas da marca. Isso graças ao sistema Super Ultra Low Emission Vehicle (SULEV) com Advanced Technology Partial Zero Emission Vehicle (AT-PZEV), que controla a emissão de poluentes.

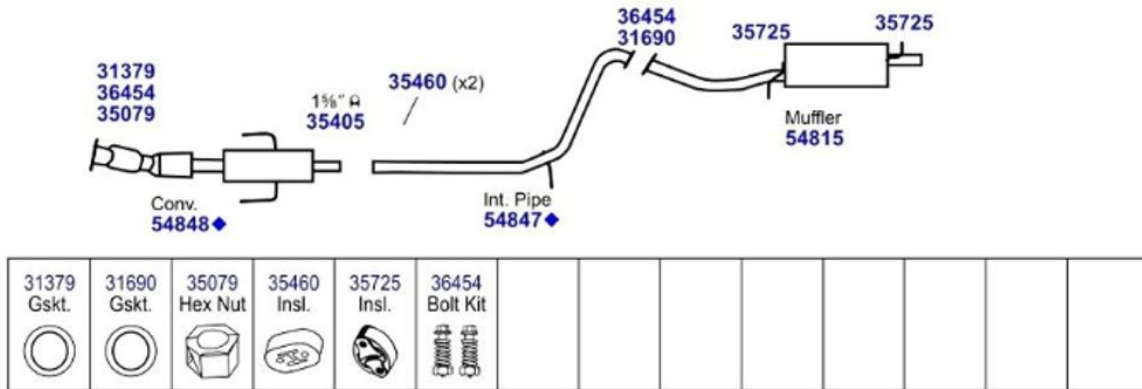


Figura 2.6 Sistema de exaustão

3. Motores Elétricos:

Os dois motores/geradores elétricos do Prius são comumente identificados como MG1 e MG2.



Figura 3.1: Motores-geradores do Prius conectados ao transeixo

O motor elétrico é um motor de ímã permanente síncrono, de tensão máxima 500V e entrega 50kW (67 hp) em rotação entre 1200 e 1540 RPM. Há também especificação de 80 bhp (brake horsepower, unidade de potência que desconsidera perdas com transmissão, diferencial, etc.). O torque máximo especificado é de 207kNm.

Este motor é projetado para movimentar o veículo em baixas e médias velocidades (até aproximadamente 60km/h), sendo desligado e substituído pelo motor a combustão interna em altas velocidades, por este apresentar bom rendimento em velocidade de cruzeiro e baixas rotações.

Os motores AC / PMAC / Brushless AC (*Permanent Magnet AC Synchronous motor, segundo site da Toyota*) presentes no Toyota Prius são denominados MG1 e MG2, pois em determinados momentos operam como motor ou gerador dependendo das condições do veículo. O arranjo de conexão eletromecânica entre os dois equipamentos é o grande trunfo dos veículos híbridos, permitindo o aproveitamento inteligente de todas as fontes de energia disponíveis, reduzindo ao máximo as conversões desnecessárias e as perdas mecânicas.

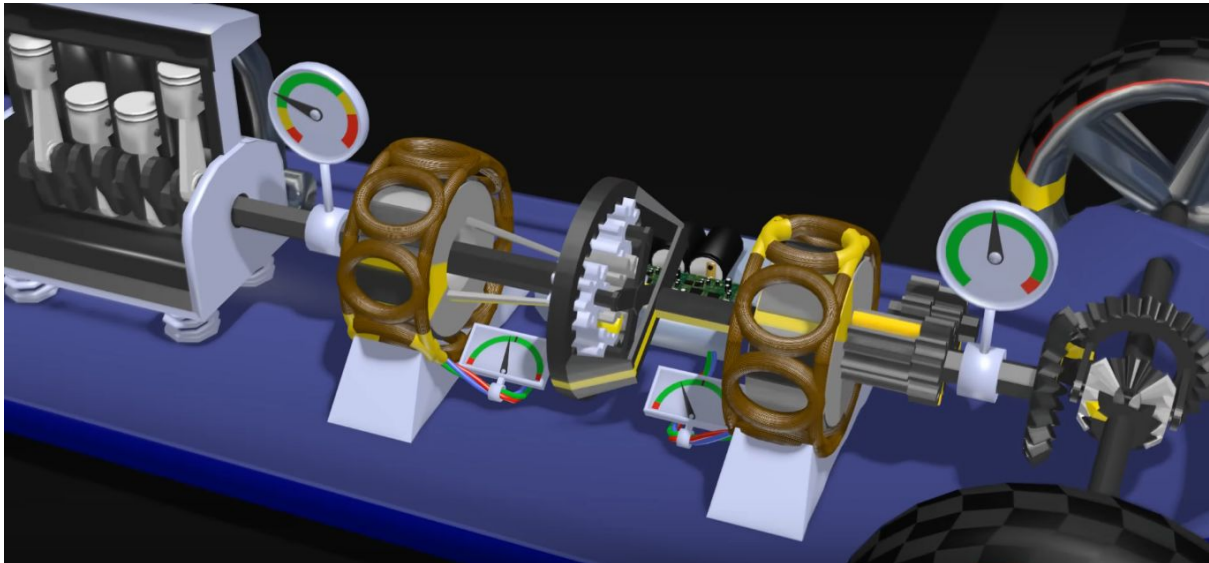


Figura 3.2: Esquema simplificado do arranjo entre os motores MG1, MG2 e de combustão no Toyota Prius.

3.1. Funcionamento dos motores elétricos

O motor síncrono AC de ímã permanente (*PMAC*) é muito semelhante ao motor de indução síncrono, mas com melhor desempenho em aplicações que exigem bom controle de torque e velocidade, além de maior eficiência.

Permanent Magnet

Induction

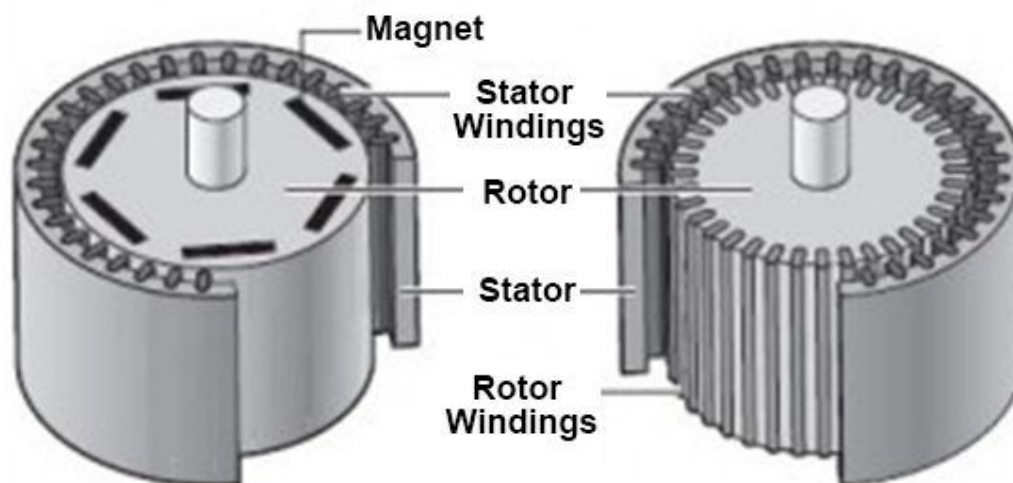


Figura 3.3: Ilustração comparativa do motor AC de ímã permanente e motor de indução AC. Note que não há bobinas no rotor do PMAC.

Este motor apresenta estator semelhante ao do motor de indução AC, mas com ímãs montados ao rotor, sendo que a potência elétrica é distribuída apenas para o as bobinas do estator.

Seu funcionamento pode ser comparado ao motor de indução, que ocorre devido à presença de um campo magnético girante produzido pelo estator através de três sinais senoidais defasados de 120 graus, que por sua vez move o rotor.

Não é necessário utilizar uma tensão DC para alimentar as bobinas do rotor e produzir o campo magnético constante, evitando problemas nas conexões destas bobinas com o eixo do rotor, além de que o uso de ímãs acaba sendo uma solução mais robusta de forma geral, tendo problemas apenas no caso de sobreaquecimento extremo destes ímãs.

Há uma grande vantagem de eficiência porque não há mais as perdas que ocorrem nas bobinas e eixo do rotor, já que estas foram substituídas pelo ímã. Sem estas perdas também o motor opera mais frio, aumentando sua vida útil.

Como são utilizados ímãs bastante fortes, a maior densidade de fluxo permite extrair mais torque com um motor de menores dimensões físicas.

3.2. O Motor MG1

O motor MG1 do Toyota Prius está conectado ao eixo do motor de combustão, atuando como gerador de energia elétrica ao converter a energia mecânica do eixo girante em corrente. Desta forma, o motor MG1 sempre gira com a mesma velocidade do motor de combustão.

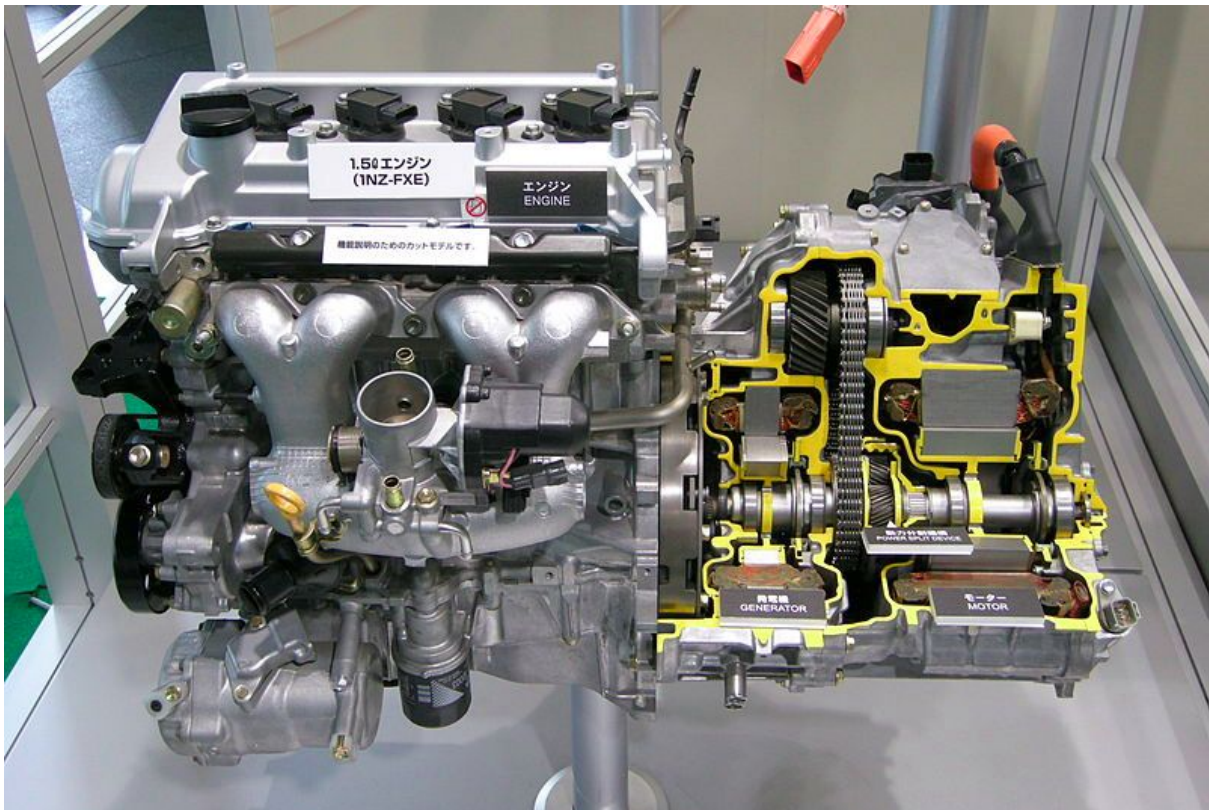


Figura 3.4: Os motores MG1, MG2 e de combustão

A função principal de MG1 é gerar energia elétrica para recarga das baterias e para acionamento do motor MG2. MG1 também é usado como motor de partida para o motor de combustão.

Um dos fatores que maximiza a economia de combustível em veículos híbridos é a manutenção do motor de combustão em seu ponto ótimo de operação. O motor só é acionado para operar em máximo rendimento, independente das condições de dirigibilidade do veículo. Isso só é possível graças a possibilidade de transmitir a energia necessária diretamente para MG2 e armazenar o excedente nas baterias do veículo.

Vale notar que qualquer conversão de energia apresenta perdas significativas que reduzem a eficiência global do veículo. Portanto, nem sempre é interessante utilizar MG1 como carregador das baterias. Preferencialmente, opta-se pela transmissão direta à MG2, evitando perdas na conversão, quando, por exemplo, o veículo está em sua velocidade de cruzeiro.

A denominação “MG” dos motores do Toyota Prius indica que os equipamentos atuam em determinado momento como motor ou como gerador. De fato, MG1 pode assumir o papel de consumidor de energia elétrica quando, por exemplo, a velocidade do eixo de tração conectado à MG2 supera a velocidade de rotação de MG1.

3.3. O motor MG2

O motor MG2 é responsável por entregar o torque de fato às rodas do veículo, estando seu rotor conectado diretamente ao sistema de transmissão de rotação do diferencial. Também é responsável pela frenagem regenerativa que gera energia para as baterias.

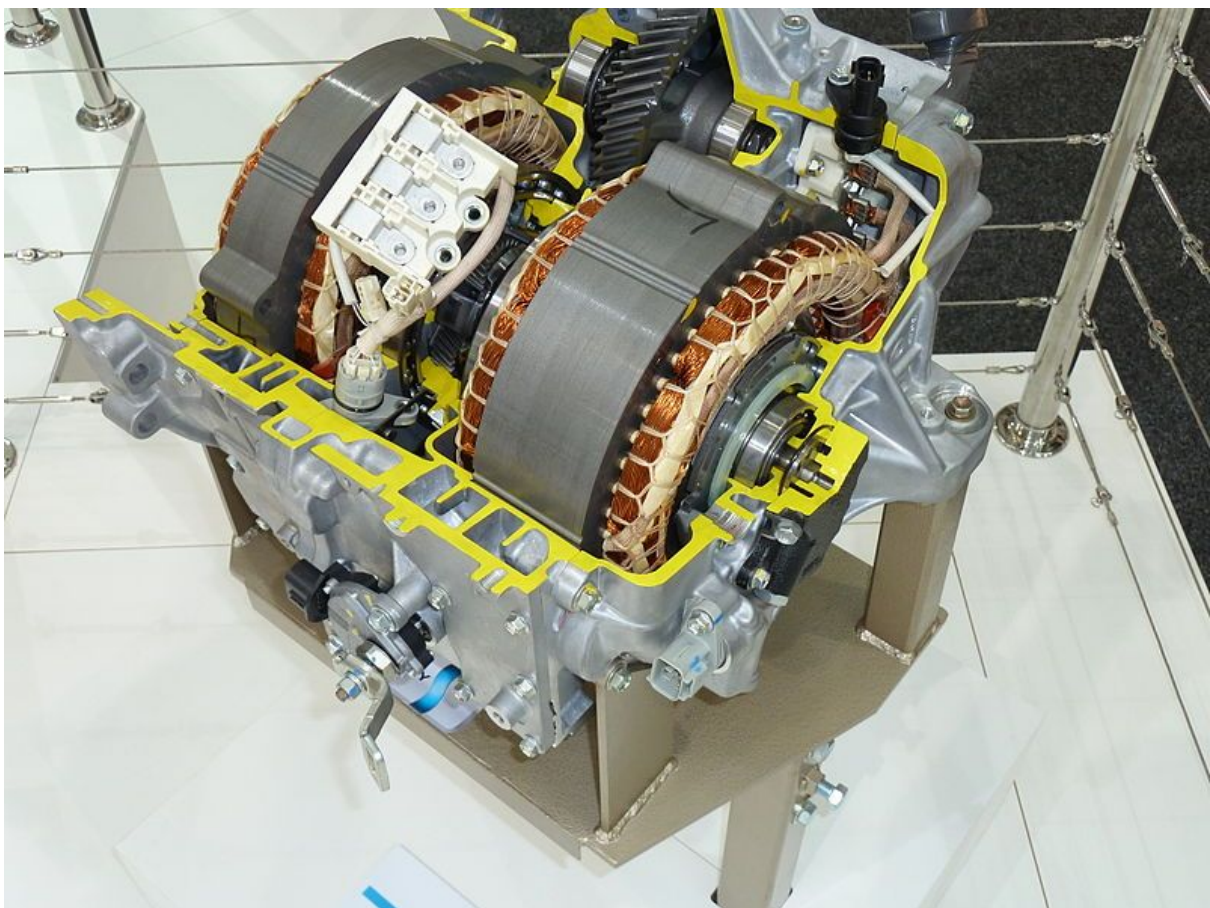


Figura 3.5: Os motores MG1 e MG2.

Para buscar maior eficiência, o motor MG2 pode consumir energia elétrica das baterias ou diretamente de MG1, dependendo das condições de operação do veículo. Isso permite que o motor de combustão opere somente na condição de máxima eficiência, evitando o consumo desnecessário de combustível.

O arranjo eletromecânico entre MG1 e MG2 substitui o câmbio e a embreagem dos veículos convencionais, estabelecendo a relação velocidade/torque desejada para condução do automóvel. Quando, por exemplo, o carro desce uma ladeira, MG2 funciona como gerador e passa a alimentar MG1, permitindo que o motor trabalhe em uma velocidade menor como quando utilizamos o “freio motor” nos veículos convencionais.

4. Sistema Híbrido e Gerenciamento dos Motores

4.1 Tipos de Híbrido

Os três principais tipos de sistemas híbridos que estão sendo usados atualmente nos veículos são: série, paralelo e série-paralelo.

Série

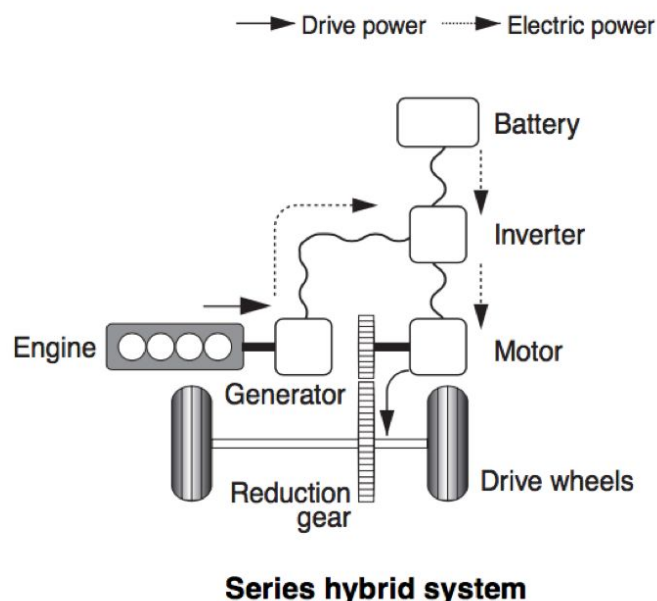


Figura 4.1

Nesse sistema, o motor a combustão conduz um gerador e um motor elétrico usa essa eletricidade gerada para dirigir as rodas. Isso é chamado de sistema híbrido em série porque a energia flui para as rodas em série, ou seja, a potência do motor e a potência do motor elétrico estão em série. Um sistema híbrido em série pode gerar e fornecer eletricidade ao motor elétrico e carregar eficientemente a bateria. Desse modo, o sistema possui de fato dois motores elétricos: um gerador (que tem a mesma estrutura que um motor elétrico) e um motor de propulsão. Este sistema está sendo usado no Coaster Hybrid. Esse sistema é menos eficiente pois há perdas na transferência de energia, do motor a combustão para o gerador e deste para a bateria ou para o motor elétrico.

Paralelo

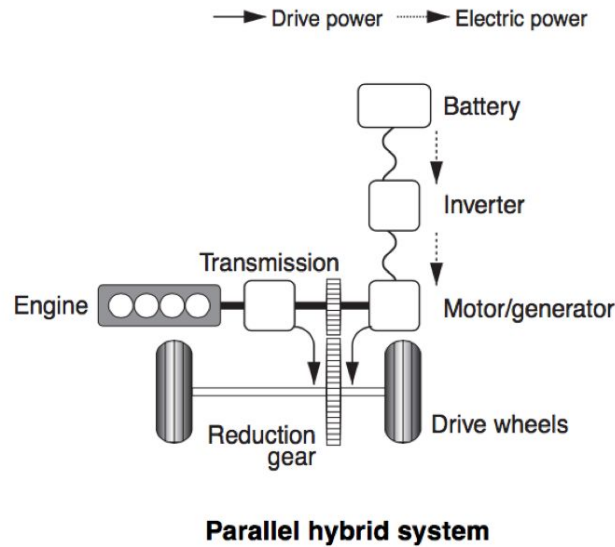


Figura 4.2

Em um sistema híbrido paralelo, tanto o motor a combustão como o motor elétrico propulsionam as rodas, e a potência de transmissão dessas duas fontes podem ser utilizadas de acordo com as condições prevaletentes. É chamado de paralelo porque a energia flui para as rodas em paralelo. Nesse sistema, a bateria é carregada trocando o motor elétrico para atuar como gerador, e a eletricidade da bateria é usada para impulsionar as rodas. Embora tenha uma estrutura simples, o sistema híbrido paralelo não consegue propulsionar as rodas enquanto carrega simultaneamente a bateria, já que o sistema possui apenas um motor elétrico e, portanto, nenhum gerador.

Série-Paralelo

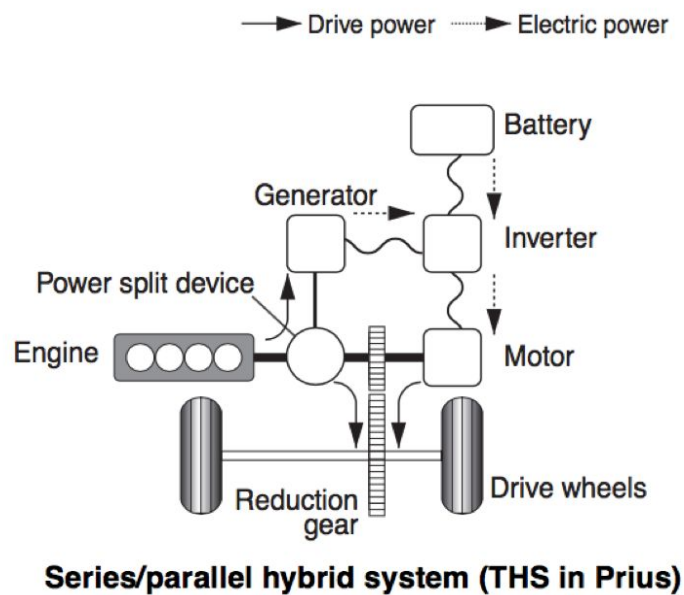


Figura 4.3

Já este tipo combina o sistema híbrido série com o paralelo, a fim de maximizar os benefícios de ambos os sistemas. Possui dois motores elétricos e, dependendo das condições de solicitação do veículo, usa apenas o motor elétrico ou a força motriz de ambos, o elétrico e o a combustão, para atingir o nível de eficiência mais alto. Além disso, quando necessário, o sistema impulsiona as rodas enquanto simultaneamente gera eletricidade usando um gerador. Este é o sistema utilizado no Prius e no Estima Hybrid.

O gráfico abaixo, Figura 4.4, mostra como a proporção de uso entre os dois tipos de propulsão diferem dependendo do sistema híbrido. Na imagem, Engine refere-se a motor de propulsão e Motor, a motor elétrico.

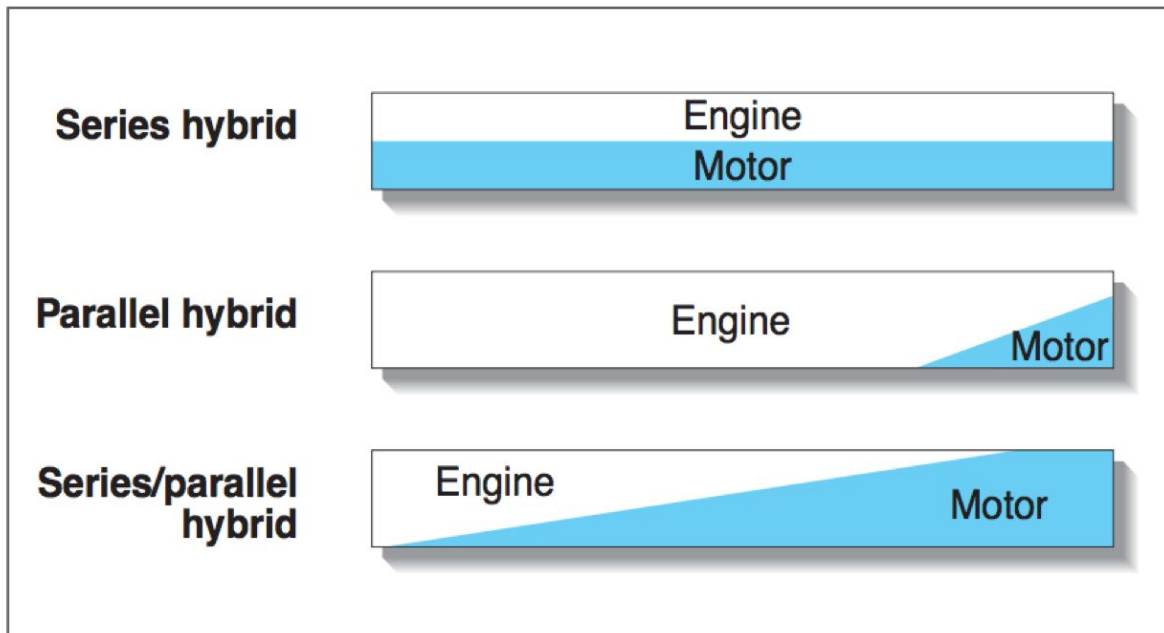


Figura 4.4

Uma vez que um híbrido série usa seu mecanismo para gerar a eletricidade a ser consumida na propulsão, o motor elétrico e o motor a combustão fazem aproximadamente a mesma quantidade de trabalho.

Um híbrido paralelo usa a eletricidade como fonte de energia principal, com a combustão sendo usada apenas para fornecer assistência durante a aceleração. Portanto, o motor elétrico é muito mais usado do que o outro.

Em um híbrido série-paralelo (HSD no Prius), um dispositivo de divisão de energia segmenta a energia do motor, de modo que a relação de energia diretamente para as rodas e para o gerador é continuamente variável. Assim, nesse caso, o motor a combustão é usado mais do que em um sistema paralelo, pois também gera energia elétrica.

O sistema híbrido série-paralelo pode se beneficiar das vantagens dos outros dois sem sofrer de suas desvantagens. Portanto, fornece eficiência de combustível superior e melhor desempenho de condução. A tabela abaixo fornece uma comparação das características de operação dos sistemas série, paralelo e série-paralelo.

Hybrid system comparison

	Fuel economy improvement				Driving performance	
	Idling stop	Energy recovery	High-efficiency operation control	Total efficiency	Acceleration	Continuous high output
Series	●	⊙	●	●	○	○
Parallel	●	●	○	●	●	○
Series/parallel	⊙	⊙	⊙	⊙	●	●

⊙ Excellent ● Superior ○ Somewhat unfavorable

Figura 4.5

4.2 Hybrid Synergy Drive

O sistema Hybrid Synergy Drive (HSD) é a marca da tecnologia híbrida dos carros da Toyota. O sistema é composto por seis componentes principais: um motor a combustão à gasolina, um motor elétrico, um gerador elétrico, a unidade de controle de potência e um dispositivo de divisão de energia que usa um tipo especial de caixa de velocidades para distribuir suavemente a energia do motor e gerador. O HSD é um sistema híbrido do tipo série-paralelo.

Como um sistema completo, o Hybrid Synergy Drive é uma tecnologia inteligente e econômica que pode alternar de forma contínua e automática entre energia elétrica e potência convencional do motor à combustão. Capaz de se adaptar a diferentes condições de condução, o Hybrid Synergy Drive controla de forma inteligente o poder proveniente de ambas as fontes e diz ao carro como combiná-los para a maior eficiência e desempenho.

Nas versões vendidas no ocidente, a bateria é carregada exclusivamente pelo gerador elétrico impulsionado pelo motor à combustão ou pelo freio regenerativo, e não há como carregar o carro a partir da rede elétrica residencial. No entanto, a Toyota também produz o Prius Plug-in para pessoas que fazem trajetos curtos em modo EV elétrico, e assim não necessitam gastar nada de combustível. Esse tipo de veículo é um veículo elétrico híbrido plug-in (PHEV) que pode usar a energia elétrica da rede para complementar o sistema de carregamento a bordo, mas ainda não é um veículo elétrico puro por ainda manter um motor a combustão para o aumento da autonomia.

4.3 Características de funcionamento do HSD

O ganho de eficiência energética de um carro híbrido frente a um carro a combustão convencional está no fato de o motor a combustão possuir eficiência energética apenas numa pequena faixa de velocidade de rotação. Além disso, o motor a combustão deve se manter ligado mesmo quando o veículo se mantém parado, não resistindo a constantes ligamentos e desligamentos (Esse sistema foi melhorado com a tecnologia Start-Stop). O que o HSD faz é, nas baixas velocidades, quando o motor a combustão possui baixa eficiência energética, utilizar apenas o motor elétrico, que possui alta eficiência em praticamente qualquer velocidade de rotação, para impulsionar o veículo até uma velocidade compatível com a utilização do motor a combustão. O motor elétrico utiliza energia elétrica proveniente da bateria. Outra forma de aumentar a eficiência energética, é se utilizar do freio regenerativo, que recarrega a bateria nas desacelerações ao invés de desperdiçar toda a energia em forma de calor nas pastilhas de freio. O sistema faz o gerenciamento de energia inteligente entre motor elétrico, motor a combustão e freio regenerativo para não deixar a bateria descarregar, sempre mantendo o motor a combustão ora desligado, ora carregando a bateria quando necessário ou ora impulsionando o veículo diretamente pela transmissão às rodas, sempre mantendo a velocidade de rotação na melhor faixa de eficiência energética.

Transmissão:

A transmissão de velocidades de rotação entre o motor e as rodas nos veículos convencionais normalmente possuem um número discreto de relações, normalmente entre 4 e 6. Mas, como a velocidade das rodas precisa passar por uma faixa contínua de velocidades, o motor é obrigado em alguns momentos a produzir potência em velocidades em que ele não é eficiente. A transmissão em um sistema HSD utiliza um sistema eletromecânico, com engrenagens planetárias conectando o motor a combustão paralelamente aos motores-geradores elétricos. Uma transmissão HSD ajusta continuamente a relação de redução entre o motor a combustão e as rodas de forma a sempre manter a mesma velocidade de rotação do motor enquanto as rodas aceleram. Essa relação de transmissão contínua não é mecanicamente ajustada como nas transmissões CVT, mas ela é eletronicamente feita através do Power Split Device (PSD), um computador que divide a potência do motor a combustão entre energia que vai diretamente para as rodas e energia que vai para o gerador, que por sua vez transfere essa energia para a bateria ou motor elétrico. Por isso a Toyota chama essa transmissão genericamente de e-CVT. Isso é possível graças a uma complexa caixa de redução planetária que conecta paralelamente o motor a combustão a um motor-gerador elétrico grande e a um gerador menor. O motor-gerador alterna entre receber energia ou fornecer energia, e o motor a combustão alterna entre fornecer energia ao gerador ou às rodas ou parte em um e parte em outro.

Para que esse sistema funcione, é necessário que a parte da potência excedente do motor a combustão, que não vai para as rodas, recarregue as baterias, ou gere energia elétrica através do gerador para o motor elétrico principal. Se a bateria já estiver carregada, o sistema perde um modo de guardar essa energia excedente. Por isso, quando as baterias estão cheias, para manter a eficiência, o sistema utiliza apenas o motor elétrico para impulsionar o veículo, utilizando energia proveniente da bateria, mantendo o motor a combustão desligado, até que a carga da bateria caia até certo limite. Portanto, em operação normal, o sistema mantém a bateria em certo nível de carga, nunca completamente carregada.

Há alguns modos de direção que o motorista pode escolher. No modo mais econômico, o sistema tenta utilizar o máximo possível os motores elétricos tentando sempre manter a máxima eficiência possível nas acelerações. Mas é claro que isso diminui o desempenho e o tempo de aceleração se torna maior. Por isso, o motorista pode também escolher modos com desempenho superior, que utilizam mais potência do motor à combustão em conjunto com os motores elétricos, mas com uma eficiência energética pior. Dentro de cada modo de direção, o modo como o PSD vai distribuir energia e a eficiência é altamente dependente do estilo de direção.

4.4 Modos de Operação

4.4.1 Aceleração econômica, com carga da bateria cheia.

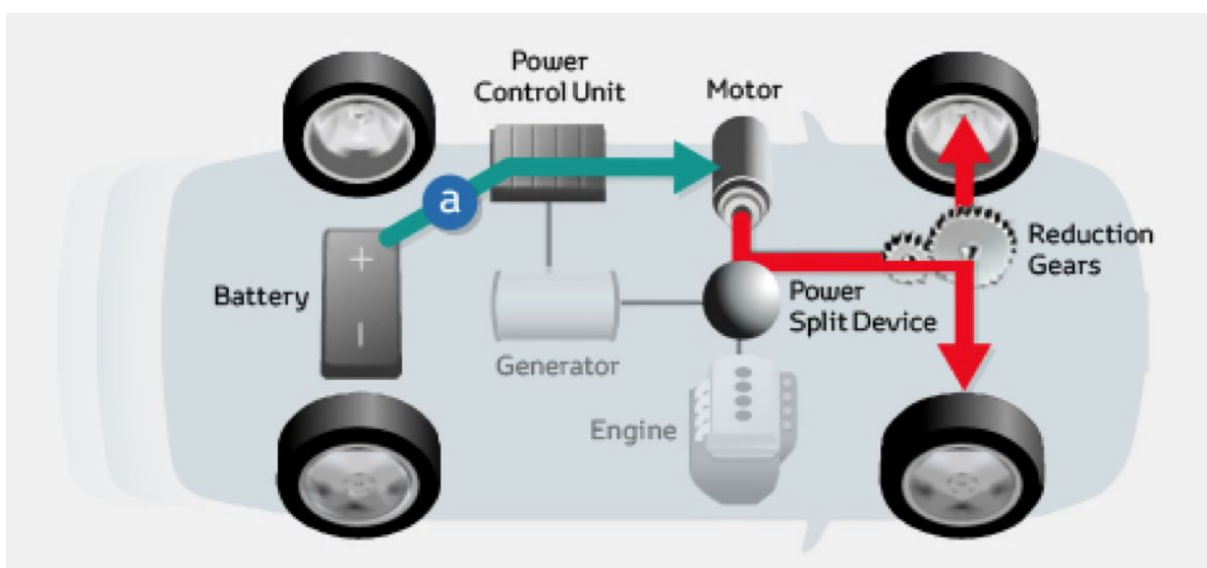


Figura 4.6

Nessa condição, apenas os motores elétricos fornecem potência cinética ao veículo. Enquanto a bateria não alcançar um limiar inferior de carga, o sistema continua funcionando dessa maneira, a não ser que o motorista deseje desempenho em detrimento da eficiência energética.

4.4.2 Aceleração econômica, sem gasto de energia da bateria.

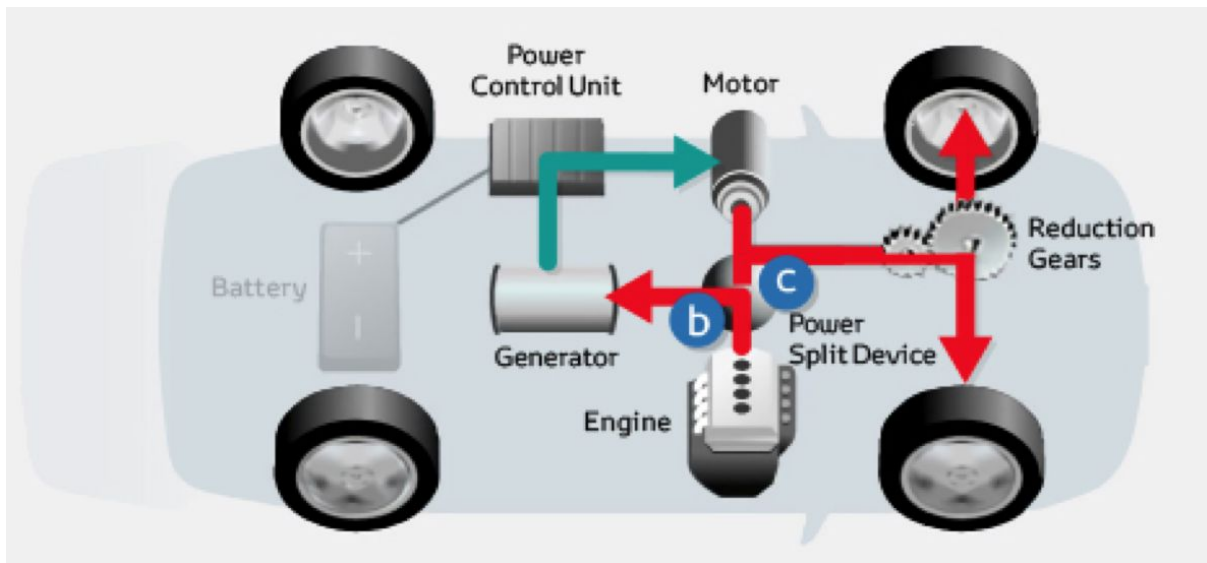


Figura 4.7

Durante a saída, quando as rodas estão paradas, e durante o tempo que o veículo se mantém em velocidade baixa, a velocidade de rotação das rodas é inferior à velocidade de rotação ideal do motor a combustão. Por isso o Power Split Device (PSD) mantém o motor na sua faixa ideal de rotação, mas encaminha o excedente de potência gerado para o gerador, que fornece energia elétrica para o motor elétrico, que é o responsável por impulsionar o veículo. Enquanto isso, conforme o veículo ganha velocidade, o PSD gradualmente vai transferindo a potência do motor a combustão do gerador para as rodas. Esse é o modo mais eficiente de funcionamento do veículo, uma vez que utilizar a energia proveniente do gerador para recarregar a bateria ocasiona perdas maiores do que utilizar essa energia diretamente para alimentar o motor elétrico. Por isso, o carro se mantém nesse modo durante a velocidade de cruzeiro.

4.4.3 Rápida aceleração

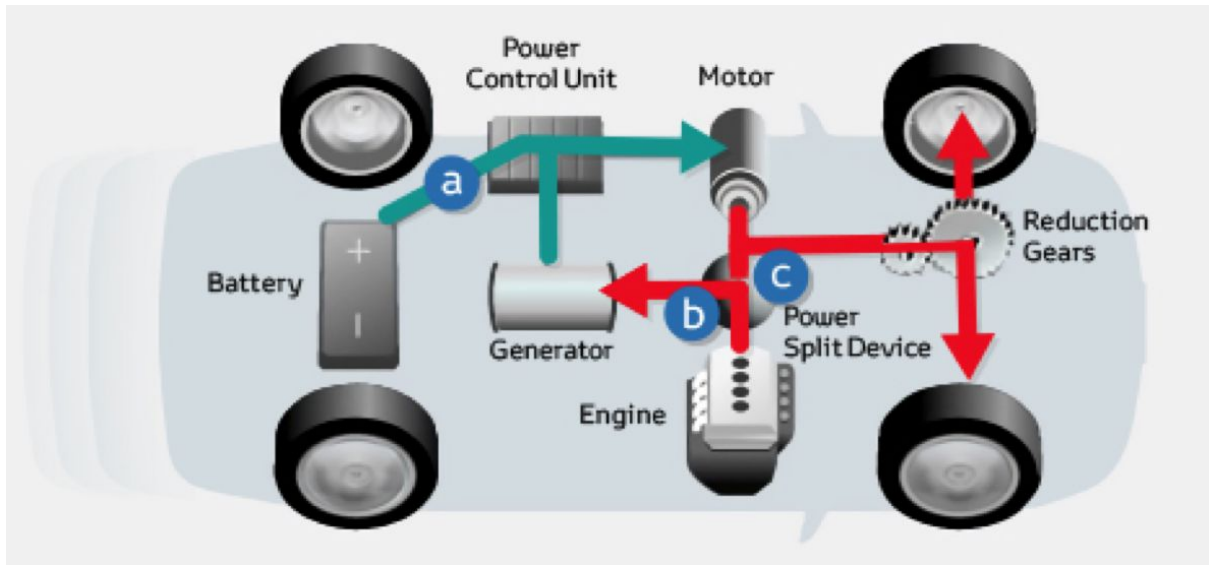


Figura 4.8

Nesse caso, o motorista quer uma aceleração mais rápida. Então para impulsionar o veículo com o motor elétrico não basta apenas potência advinda do gerador. Potência da bateria também ajuda a impulsionar o veículo, enquanto o motor a combustão envia parte de sua potência para o gerador e parte para as rodas. Nesse caso não há milagre: Quando toda a potência do veículo é necessária, a eficiência irá cair.

4.4.4 Desaceleração e frenagem

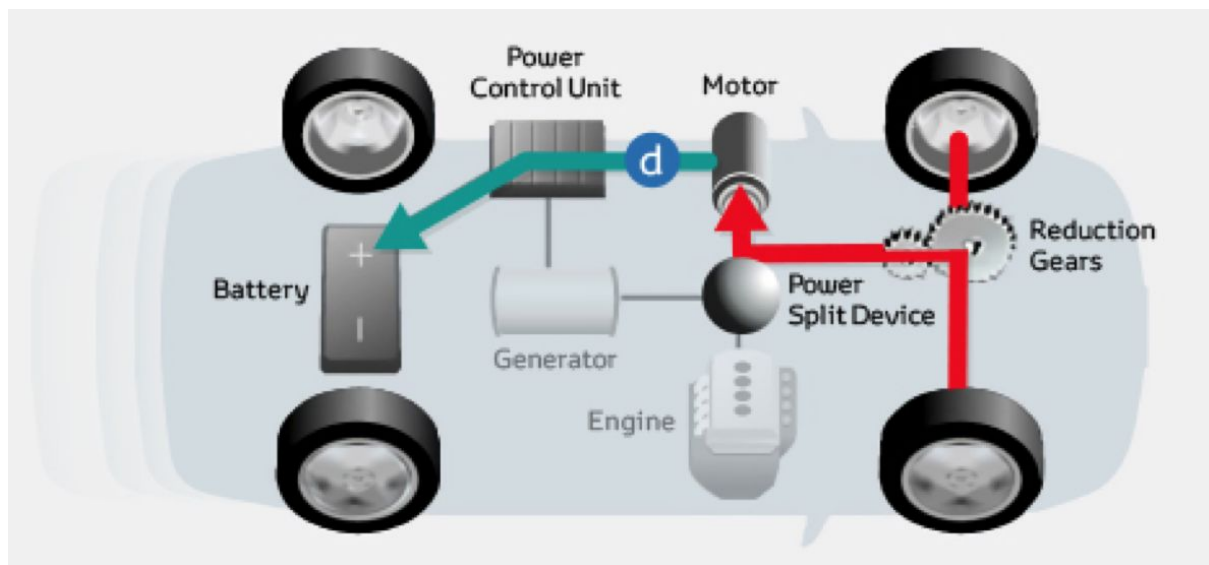


Figura 4.9

Já nessa etapa, a energia de movimento é recuperada pela bateria, pois durante a desaceleração e a travagem, as rodas conduzem o motor elétrico. Isso significa que o motor funciona como um gerador para converter a energia da travagem do veículo em uma fonte adicional de energia elétrica. Esse processo é eficiente e conhecido como frenagem regenerativa (d).

4.4.5 Recarga de bateria a partir do gerador

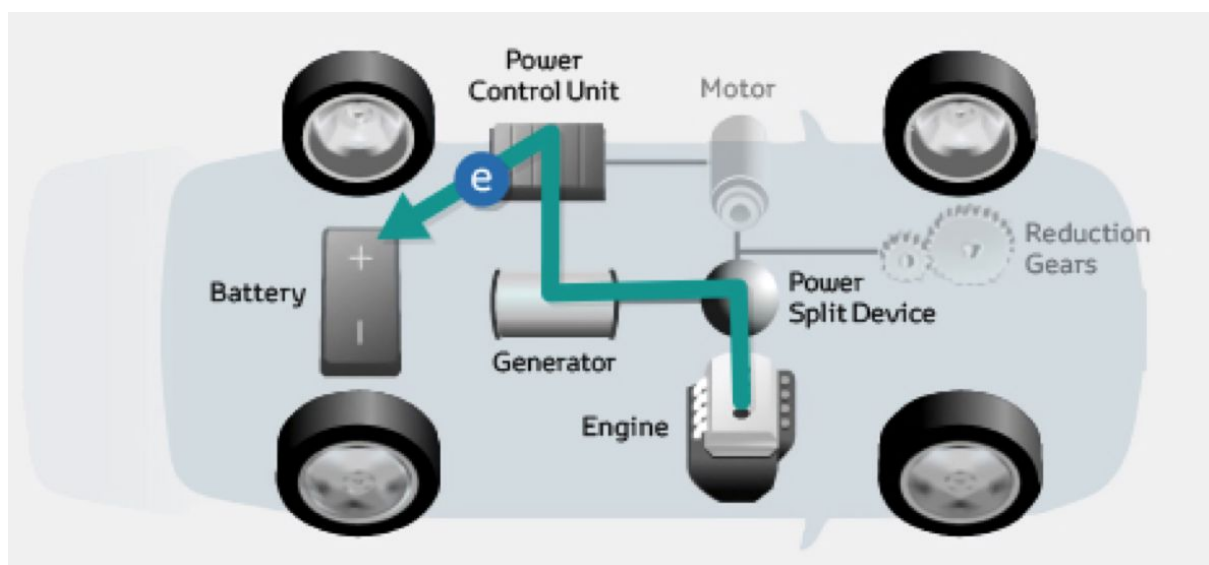


Figura 4.10

Quando o nível de carga da bateria é baixo, o motor a combustão liga o gerador e a recarga começa. Esse sistema opera para manter um nível de carga constante (e).

4.4.6 Veículo estacionário

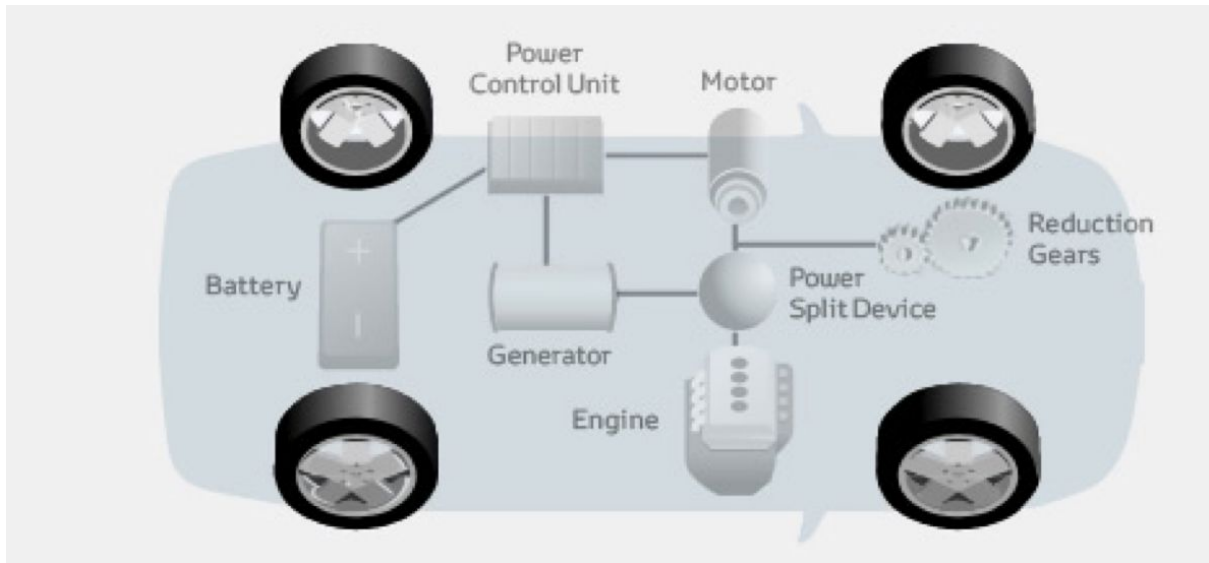


Figura 4.11

Todos os sistemas de energia estão desligados. O motor desliga-se automaticamente.

4.6.6 Power Split Device

O dispositivo de separação de energia distribui a energia produzida pelo motor de combustível para o trem de transmissão e para o gerador. Para dividir o poder de forma eficiente, ele usa uma engrenagem planetária que consiste em uma engrenagem de anel, engrenagens de pinhão, uma engrenagem solar e um transportador planetário.

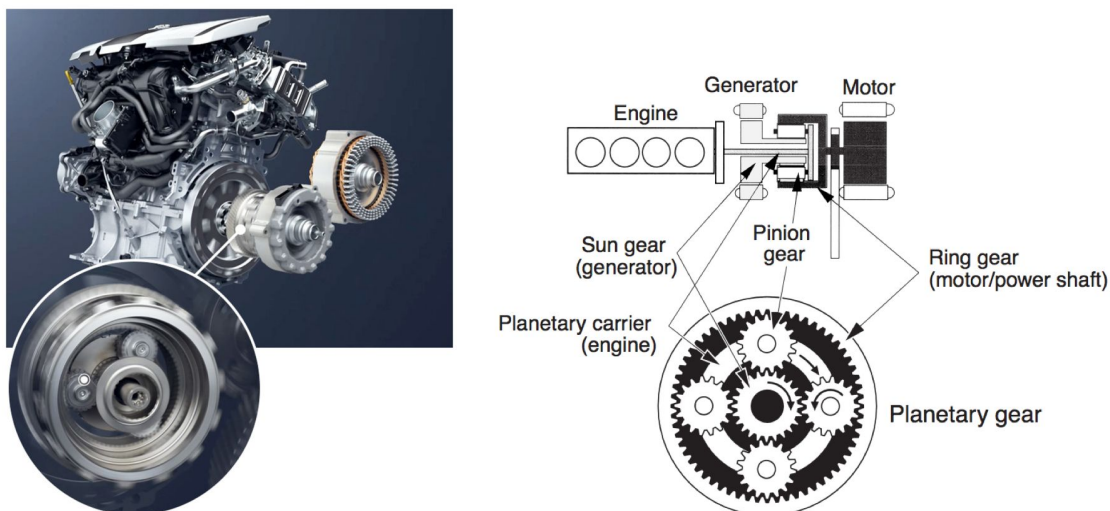


Figura 4.13

O eixo de rotação do transportador planetário (planetary carrier) está diretamente conectado ao motor a gasolina. Ela gira a engrenagem do anel perimetral (Ring gear) e a engrenagem solar (Sun gear) através das engrenagens pinhão (pinion gears). O eixo giratório da engrenagem anelar está diretamente conectado aos motores elétricos que transferem a potência diretamente para as rodas. O eixo da engrenagem solar está diretamente conectado ao gerador e converte a energia produzida pelo motor a gasolina em energia elétrica. Esses arranjos são otimizados e as relações de número de dentes de engrenagens reduzem as perdas totais.

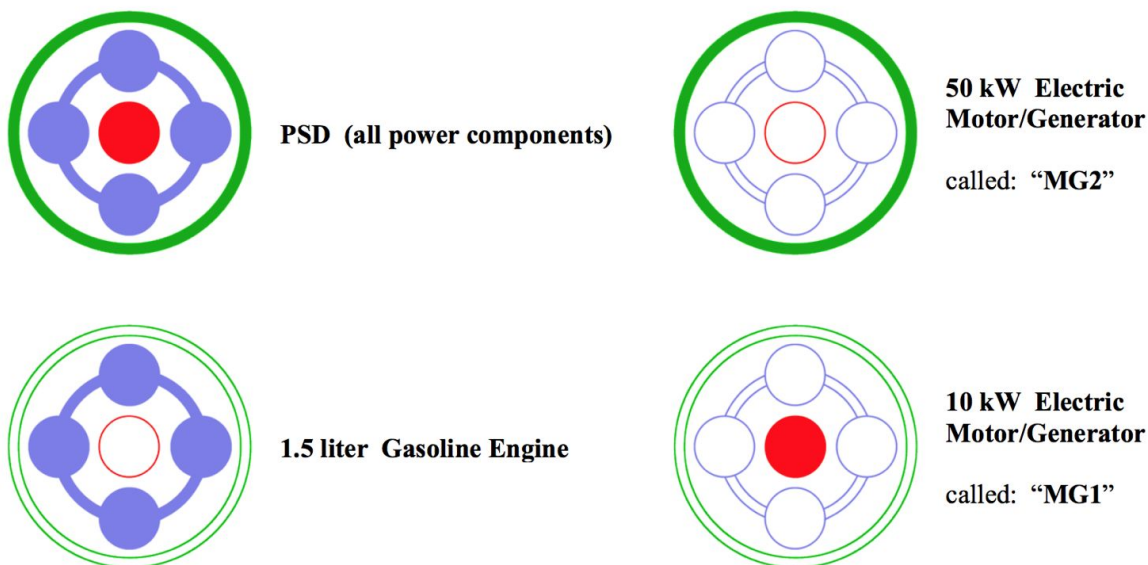


Figura 4.14

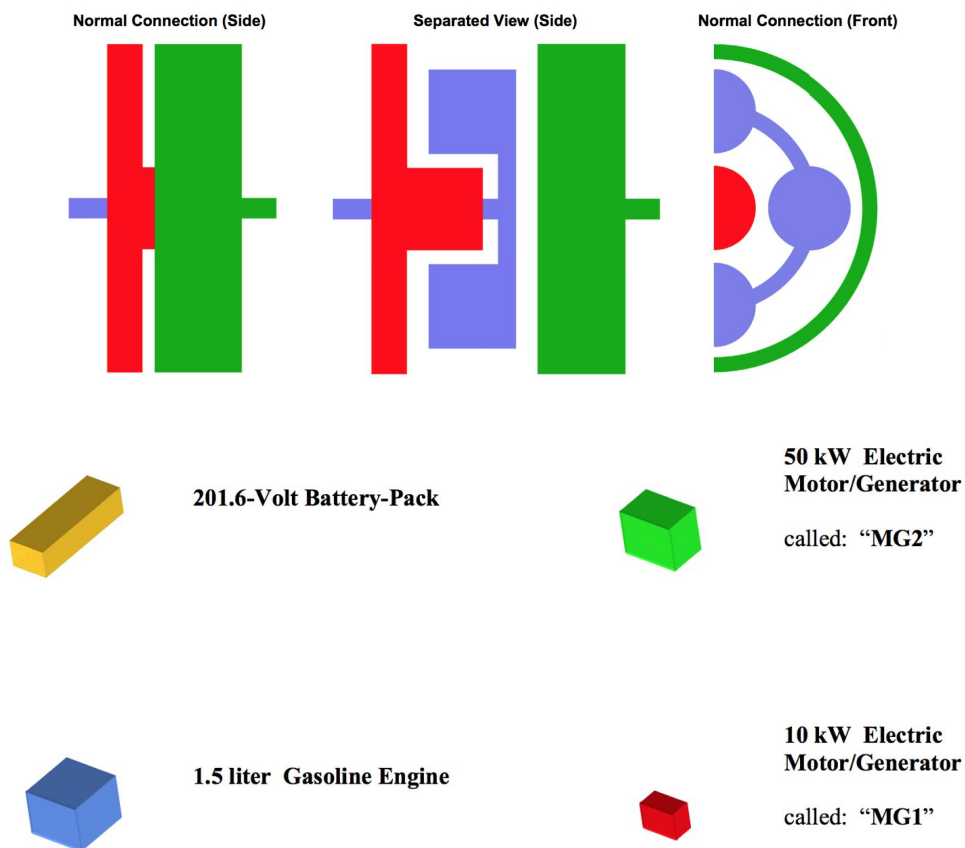


Figura 4.15

As figuras 4.14 e 4.15 ilustram como funciona o sistema de engrenagens planetárias do PSD. Cada um desses três conjuntos podem ser travados ou liberados, gerando diferentes configurações de rotação, permitindo diferentes funções, como o impulso do veículo pelo motor a combustão, apenas pelos motores elétricos, freio regenerativo, etc.

Modos de Operação do PSD

- **Parado**

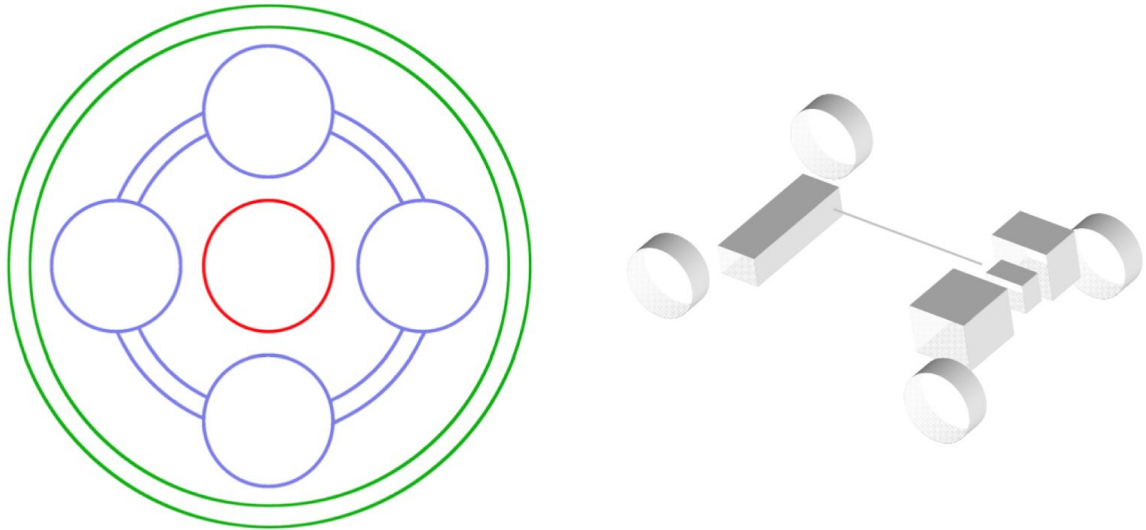


Figura 4.16

- **Arranque**

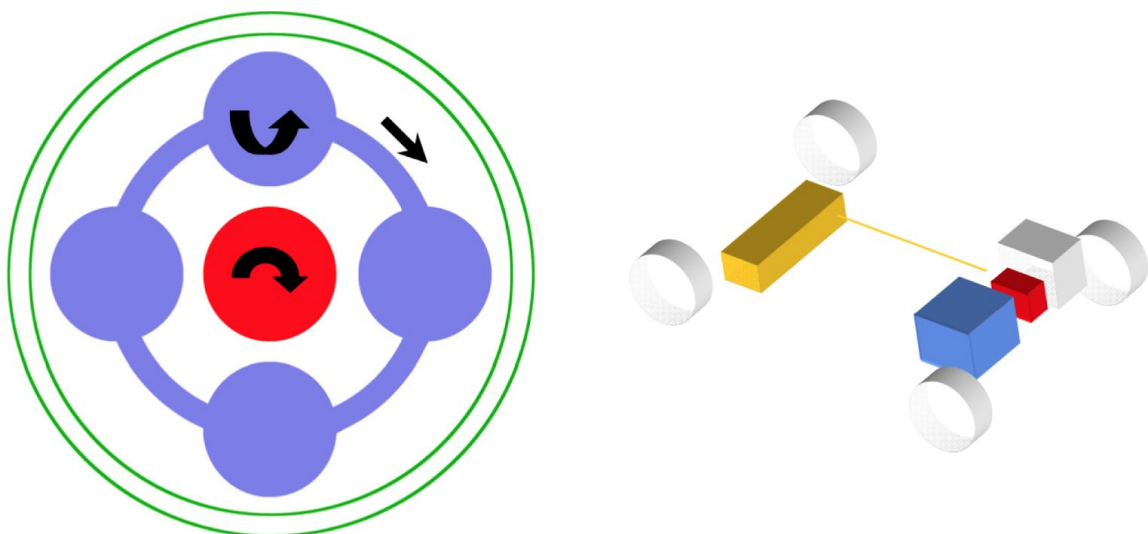


Figura 4.17

Como mostra a figura 4.17, o círculo vermelho, na engrenagem solar, começa a girar. Esse é o motor de arranque. Isso impulsiona também as quatro engrenagens da cor violeta, o que dá impulso para o motor a combustão.

- **Aceleração apenas com o motor elétrico**

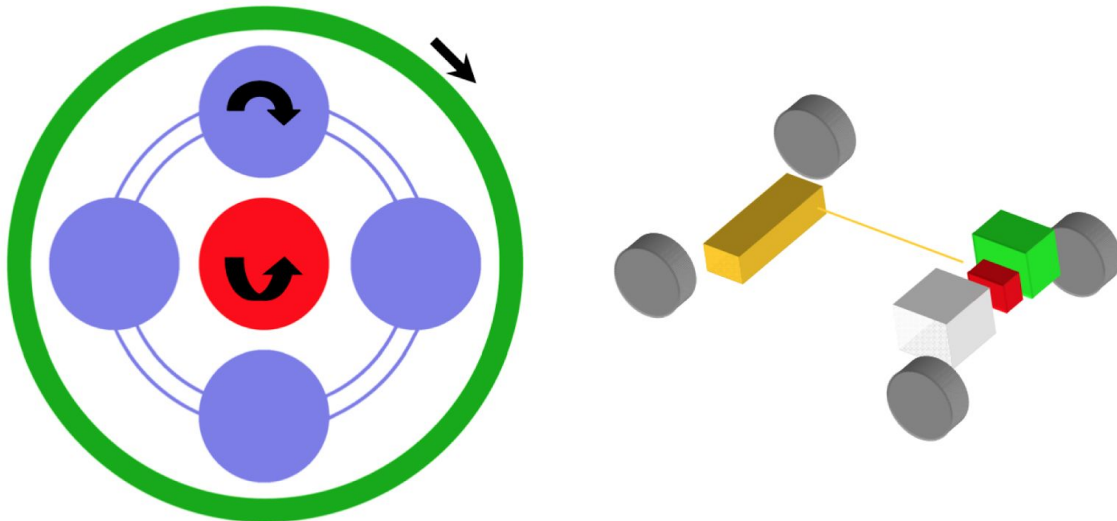


Figura 4.18

Neste modo, apenas o motor elétrico, acoplado à engrenagem anelar verde, fornece impulso ao veículo. O motor a combustão está parado e a engrenagem solar vermelha, acoplada ao gerador, gira livremente.

- **Em aceleração com os dois motores**

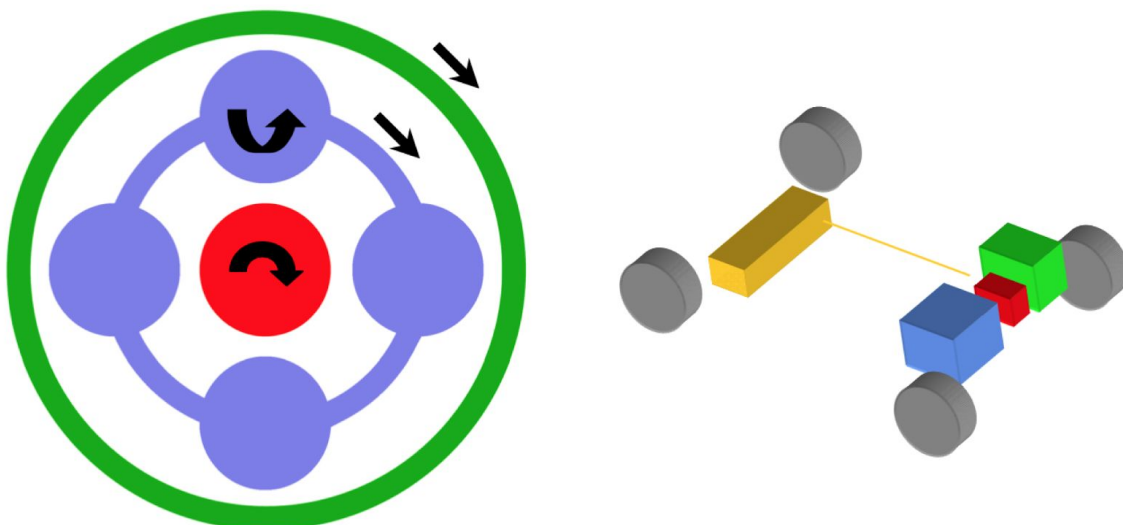


Figura 4.19

Aqui todos os três conjuntos estão girando. Motor a combustão e motor elétrico impulsionam as rodas, ao mesmo tempo que o gerador está gerando energia elétrica.

Sistema de Controle

O controle do sistema do THS mantém o veículo em sua máxima eficiência operacional, gerenciando a energia utilizada pelo veículo inteiro, que inclui a energia para mover o veículo, bem como a energia utilizada para dispositivos auxiliares, como o ar-condicionado, aquecedores, faróis e sistema de navegação.

O controle do sistema monitora os requisitos e os estados operacionais dos componentes do sistema híbrido, como o motor, que é a fonte de energia para todo o veículo híbrido; O gerador, que atua como motor de partida para o motor e converte a energia do motor em eletricidade; O motor, que gera a potência do acionamento para o funcionamento do veículo usando a energia elétrica da bateria; E a bateria, que armazena a energia elétrica gerada através da geração de energia pelo motor durante a desaceleração.

System control (conceptual diagram)

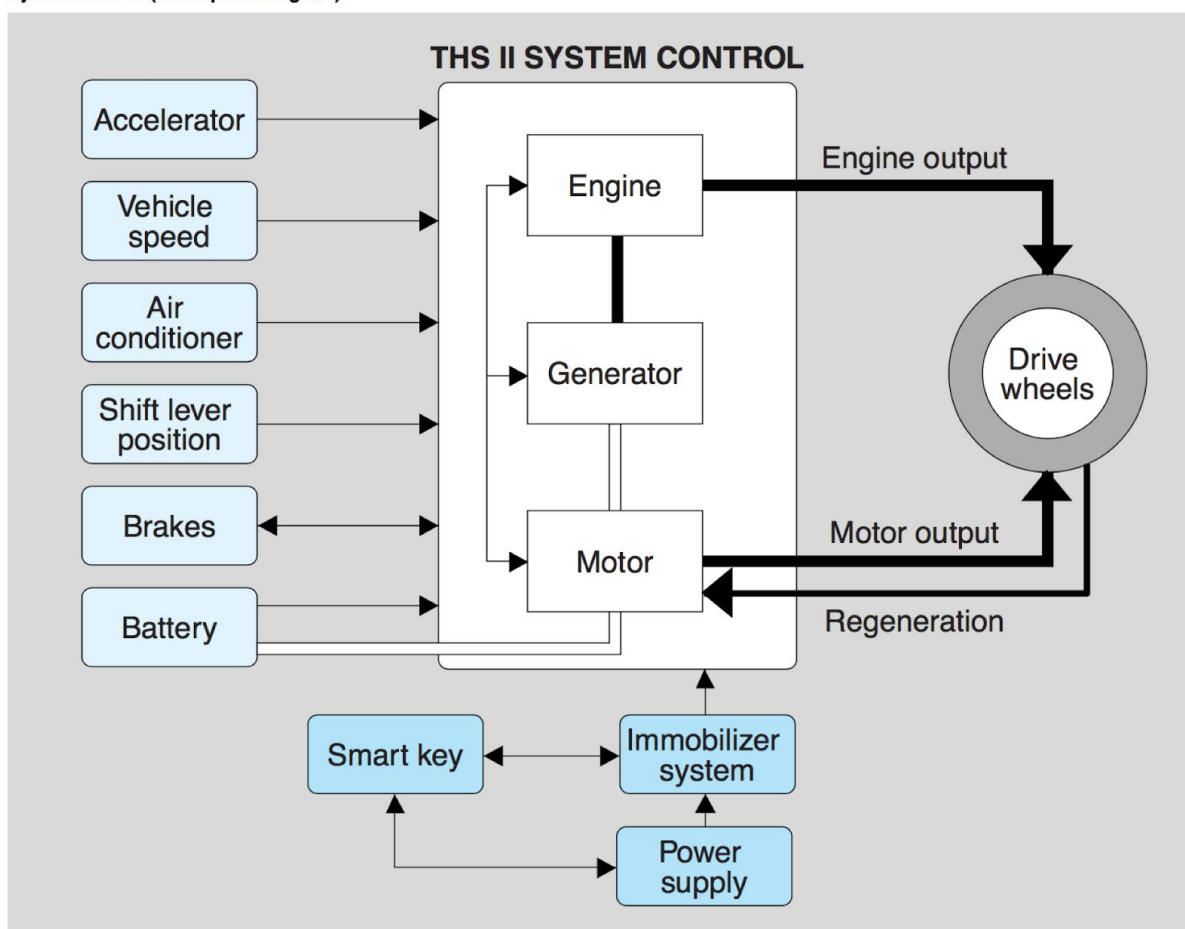


Figura 4.20

Ele também recebe informações de frenagem enviadas através da rede de controle do veículo, bem como instruções do driver, como a abertura do acelerador e a posição da alavanca de mudanças. Em outras palavras, o controle do sistema do THS monitora esses vários estados de consumo de energia do veículo em tempo real e fornece um controle preciso e rápido para que o veículo possa ser operado de forma segura e confortável com a maior eficiência possível.

5. Baterias, Freios e Sistemas de Resfriamento:

5.1 Baterias

A terceira geração do toyota prius contém duas baterias para alimentar os componentes eletrônicos de seus sistemas, o Hybrid Vehicle (HV) Battery Pack e a Auxiliary Battery. Ambas são encontradas no porta malas do carro, sendo o HV Battery Pack localizado embaixo dos bancos traseiros e a Auxiliary Battery do lado direito, conforme pode-se ver na imagem a seguir.

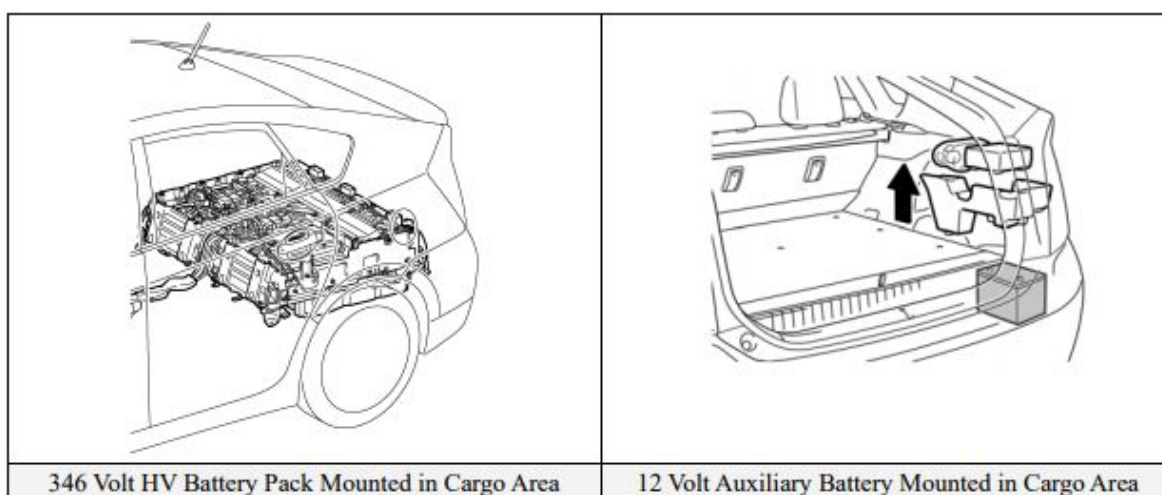


Figura 5.1.1 - Localização das baterias

O HV Battery Pack é composto de 28 células de bateria de níquel metal hidreto e cujo eletrólito é uma mistura alcalina de potássio e hidróxido de sódio. Opera em uma tensão máxima de 650 V e nominal de 201.6 V. O conjunto de células é protegido por uma casca de metal rígida, e mesmo em casos de colisão, o eletrólito deve se manter dentro das células e não vazar.

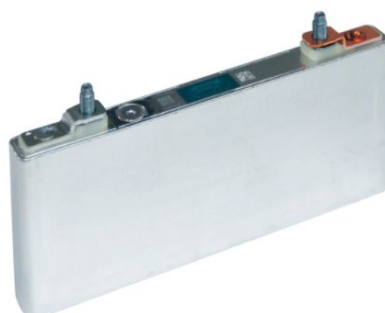


Figura 5.1.2 - Célula de bateria

O HV Battery Pack é responsável por alimentar os seguintes módulos:

- Front Electric Motor
- Power Cables
- Inverter/Converter
- A/C Compressor
- Electric Generator

HV Battery Pack	
Battery pack voltage	201.6 V
Number of NiMH battery modules in the pack	28
NiMH battery module voltage	7.2 V
NiMH battery module dimensions	11.2 x 0.8 x 4.6 in (285 x 19.6 x 117.8 mm)
NiMH module weight	2.3 lbs (1.04 kg)
NiMH battery pack dimensions	11.7 x 23.2 x 0.42 in (297 x 590 x 10.7 mm)
NiMH battery pack weight	90 lbs (41 kg)

Figura 5.1.3 - Especificações do HV Battery Pack

O HV Battery Pack é reciclável, e possui um pino de segurança que isola a tensão da bateria dos outros sistemas do carro, para evitar risco de acidentes com alta tensão em emergências. Este pino pode ser identificado do lado direito da bateria, em cor laranja.



Figura 5.1.4 - HV Battery Pack montado no Toyota Prius 3rd Generation

A bateria auxiliar é feita de chumbo-ácido e opera em 27 V de tensão máxima, e 12V nominais. Ela tem a mesma função das baterias usadas em carros convencionais, alimentando os os circuitos eletrônicos de baixa tensão, mantendo o carro ligado quando ele está estacionado e ligar os sistemas do carro antes do HV Battery Pack ser ativado, alimentando os acessórios, os faróis, o sistema de áudio e os computadores de controle.

Esta divisão de baterias é feita para poder isolar o HV Battery Pack quando o carro está estacionado e para evitar seu desgaste e conseqüentemente diminuição da vida do Battery Pack devido a drenagem de energia constante. Em casos que o carro é esquecido ligado e a bateria descarrega, também torna mais fácil e barata a troca de uma bateria pequena de 12 V do que do Battery Pack completo.



Figura 5.1.5 - Bateria auxiliar montada no Toyota Prius

5.2 Freios

O Toyota Prius possui um sistema de freios anti-skid brake system (ABS) em que tanto freio regenerativo quanto freio hidráulico são utilizados.

O sistema de freios regenerativo funciona absorvendo a energia cinética do veículo, transformando-a novamente em energia elétrica e armazenando na bateria. Desse modo, ao frear o carro a bateria é recarregada com uma parte da energia cinética. Esse sistema é utilizado tanto para freio pelo pedal quanto para o freio motor.

Esse tipo de sistema de freio permite um consumo menor de combustível comparado a veículos que não possuem esse tipo de frenagem em situações em que o freio é muito ativado, como engarrafamentos em cidades.

No entanto a frenagem regenerativa não é suficiente para operar sozinha, sendo particularmente insuficiente em baixas velocidades ou para manter o veículo parado assim como em frenagens muito bruscas. Para isso o Prius conta também com frenagem hidráulica.

O sistema interno do Prius consegue também detectar falhas na frenagem regenerativa e passar o controle para a frenagem hidráulica se necessário.

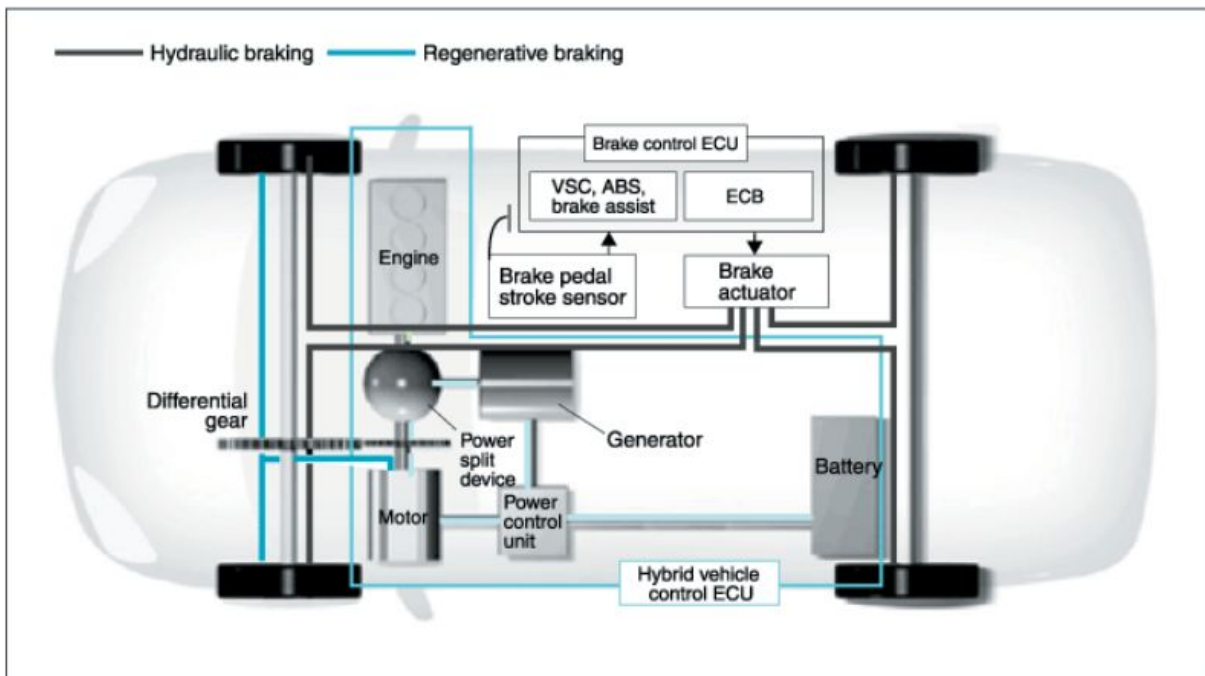


Figura 5.2.1 - Sistema de freios do Toyota Prius

Como pode ser visto, o freio regenerativo só está presente no eixo frontal do veículo. Desse modo, a recuperação de energia pelo freio regenerativo é limitada ao eixo frontal.

Para compensar a menor eficiência devido ao freio regenerativo apenas no eixo frontal, o freio regenerativo é utilizado preferencialmente pelo veículo, mesmo em baixas velocidades, sendo o freio hidráulico utilizado apenas se necessário.

Para controle do sistema de frenagem ABS, o Toyota Prius possui um dispositivo chamado Skid Control ECU, que se encontra ao lado esquerdo do volante, dentro do painel frontal do carro.

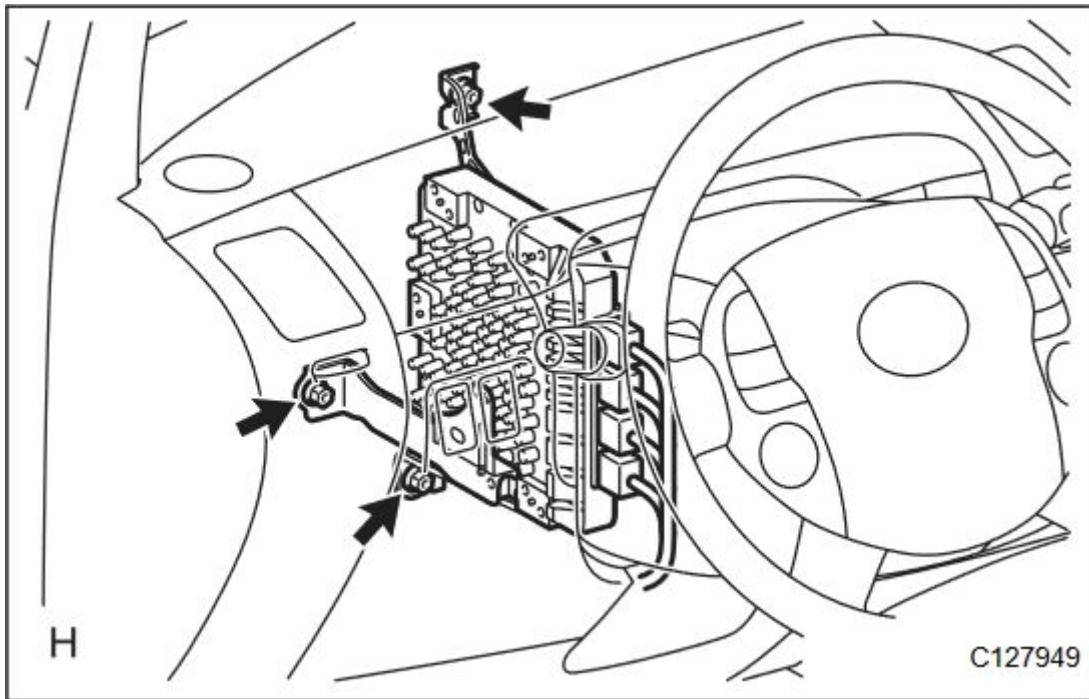


Figura 5.2.2 - Localização do Skid Control ECU

O Skid Control ECU utiliza sensores de velocidade, acoplados em cada roda do veículo, sensor de desaceleração, sensor de ângulo de direção e informações obtidas a partir da ECU para controlar o freio e evitar que aconteça um travamento de algum dos eixos.

O sistema de controle de freios também possui uma fonte de alimentação própria que se encontra próxima à bateria de baixa tensão. Seu local pode ser melhor observado na figura 5.2.3.

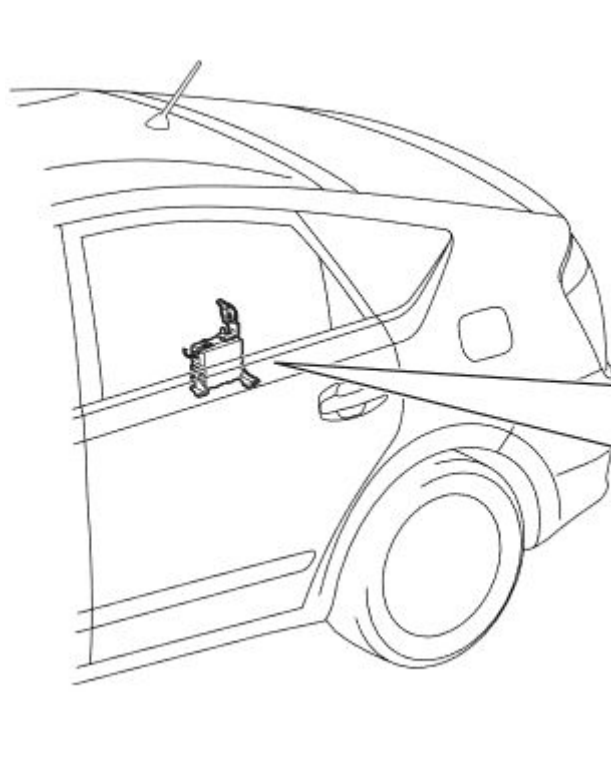


Figura 5.2.3 - Localização da fonte de alimentação do sistema de controle de freios

O freio de estacionamento do Toyota prius é localizado à esquerda do pedal de freio, e é ativado quando é pressionado pelo usuário. O carro já possui o modo Parking, em que é feito um travamento mecânico do eixo motriz do carro, impedindo que as rodas girem, porém é importante o uso do freio de estacionamento para garantir o travamento do carro em declives e como forma de redundância

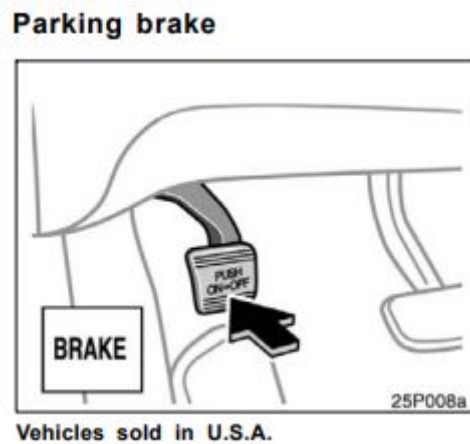
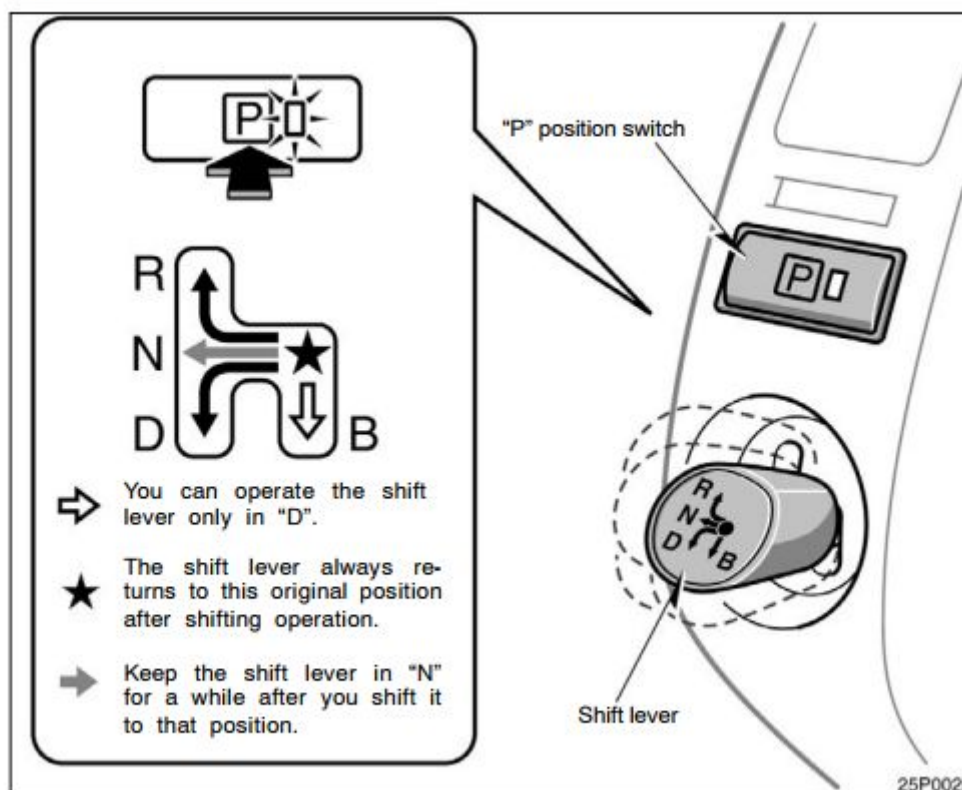


Figura 5.2.4 - Localização do freio de estacionamento

Finalmente, temos o B Mode no câmbio automático, conhecido como Engine Braking. Este modo é usado especialmente em longas descidas, fazendo com que o motor a combustão, que normalmente estaria desativado, comece a girar, fazendo com que haja um fluxo de ar que ajuda a dispersar o calor gerado pelos freios hidráulicos, além de aumentar o arrasto ajudando a frear o carro.

Hybrid transaxle



Este modo é mais energeticamente ineficiente que o Drive mode, não sendo recomendado seu uso além do caso particular da descida prolongada. Porém seu uso é importante para preservar os freios hidráulicos do Prius, que são menores e mais frágeis do que o de carros convencionais, já que em situações normais servem apenas de complemento ao regenerative braking.

5.3 Sistema de Resfriamento

O resfriamento das baterias é feito pela passagem de ar vindo da cabine dos passageiros, por uma entrada ao lado dos bancos traseiros. Um ventilador cria o fluxo de ar para as baterias e garante a temperatura de aproximadamente 70°F (21°C) para o funcionamento adequado de ambas as baterias.

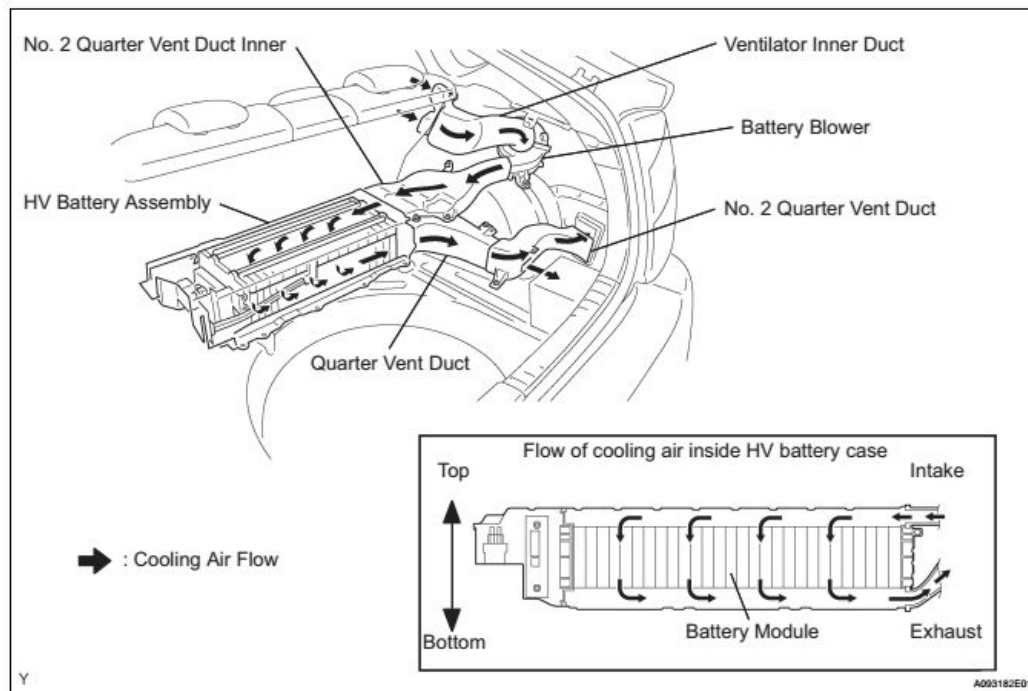


Figura 5.1.6 - Fluxo de ar refrigerante

O eixo e transmissão dividem o sistema de resfriamento com o conjunto inversor do Toyota Prius. Ele possui uma bomba elétrica de 12V que impulsiona o líquido de refrigeração do radiador para as entradas do inversor para regular a temperatura dos seus componentes eletrônicos, e que depois volta para o radiador para dissipar este calor para o ar.

O líquido de refrigeração usado é o Toyota's Long Life Coolant (LLC), que flui a aproximadamente 15 PSI no Toyota Prius 2010.

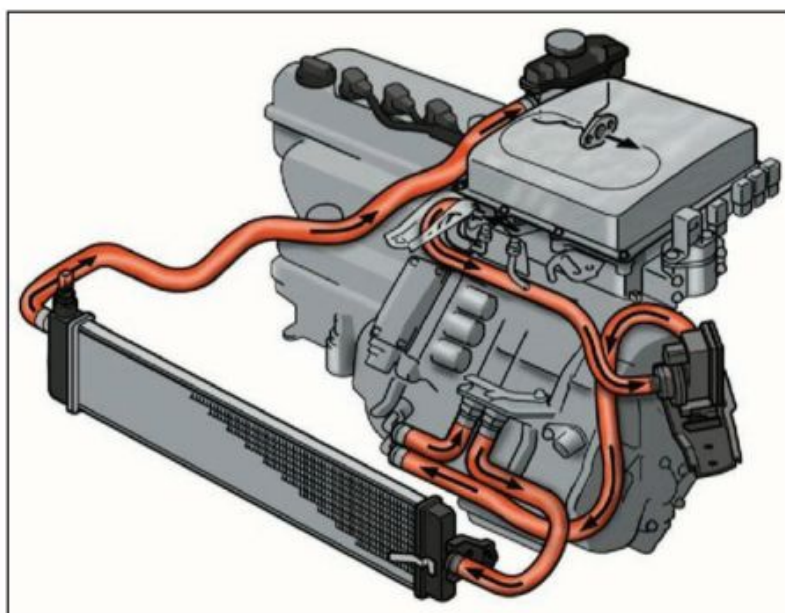


Figura 5.3.1 - Localização do sistema de resfriamento

O sistema de refrigeração do motor opera de forma muito similar ao do conjunto inversor, mas os dois se encontram separados para melhorar seu desempenho. Na imagem a seguir, é possível localizar os dois reservatórios de líquido de arrefecimento.

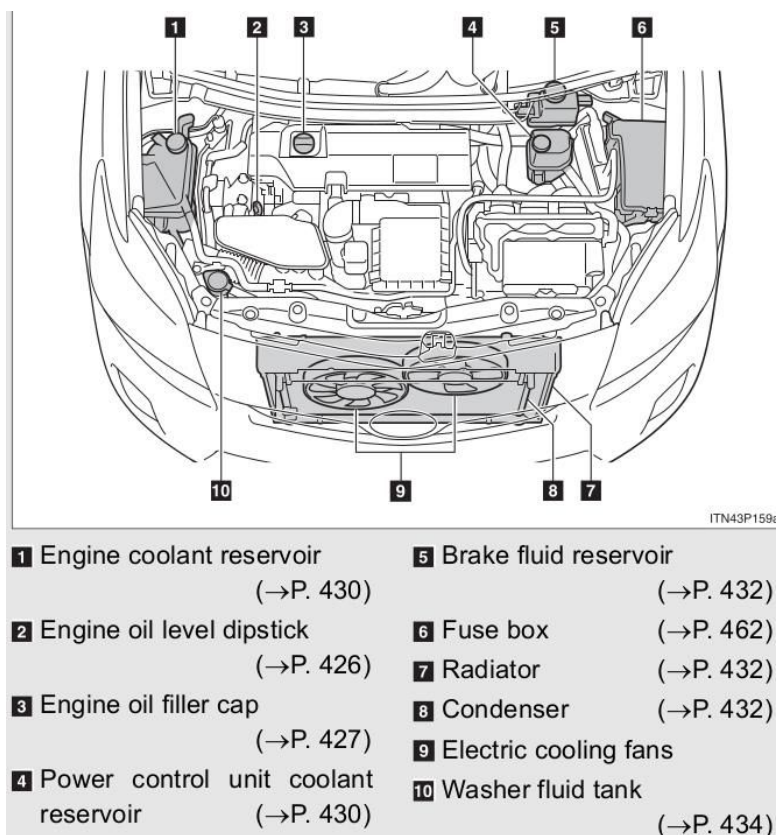


Figura 5.3.2 Principais componentes dos sistemas de refrigeração do motor e dos inversores

É importante também ressaltar a presença dos ventiladores junto dos radiadores, os responsáveis por dissipar o calor do líquido que chegam dos inversores e do motor em altas temperaturas. O Toyota Prius possui dois ventiladores elétricos, controlados por relés do Engine Room Relay Block, como mostra a imagem a seguir.

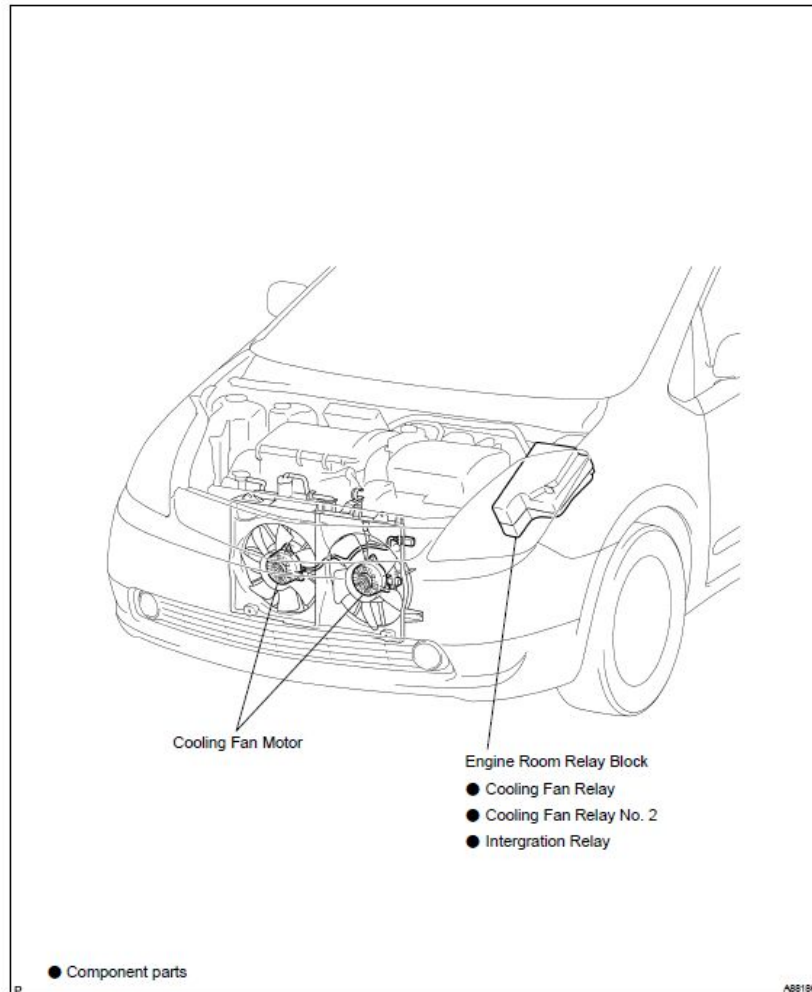


Figura 5.3.3 - Sistema de resfriamento com ventoinha

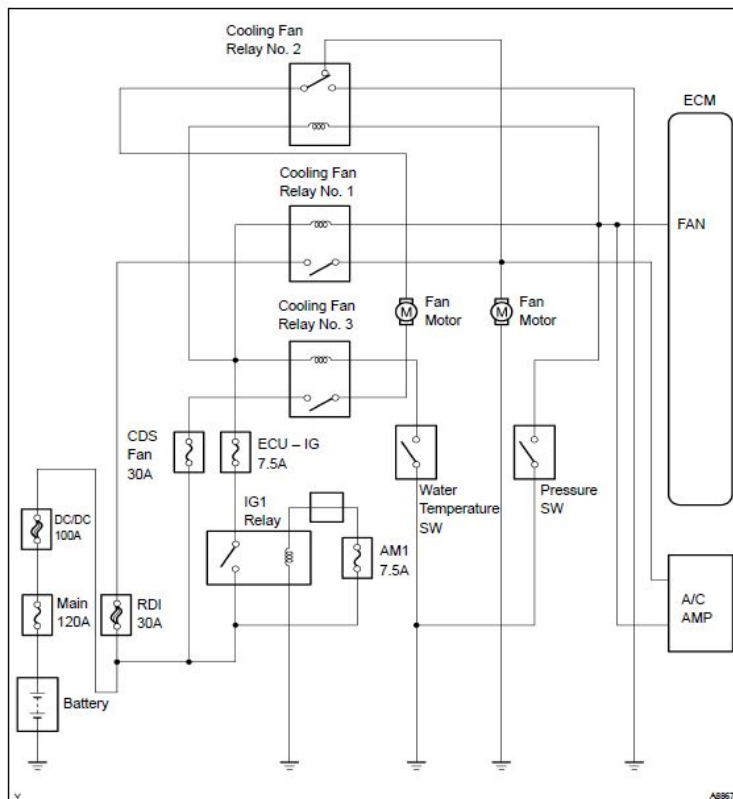


Figura 5.3.4 - Diagrama do controle das ventoinhas

Além de sua utilidade no sistema de resfriamento do motor, o líquido de arrefecimento também é usado num processo chamado Exhaust Heat Recovery. Trata-se de um sistema que reaproveita o calor dos gases de exaustão para aquecer o líquido de arrefecimento, que por sua vez repassa este calor para o motor quando este se encontra a uma temperatura baixa.

Este mecanismo é ativado por uma válvula que obstrui o fluxo do gás de exaustão o desviando para um caminho que entra em contato com os tubos por onde o líquido de arrefecimento circula, como mostra a imagem abaixo.

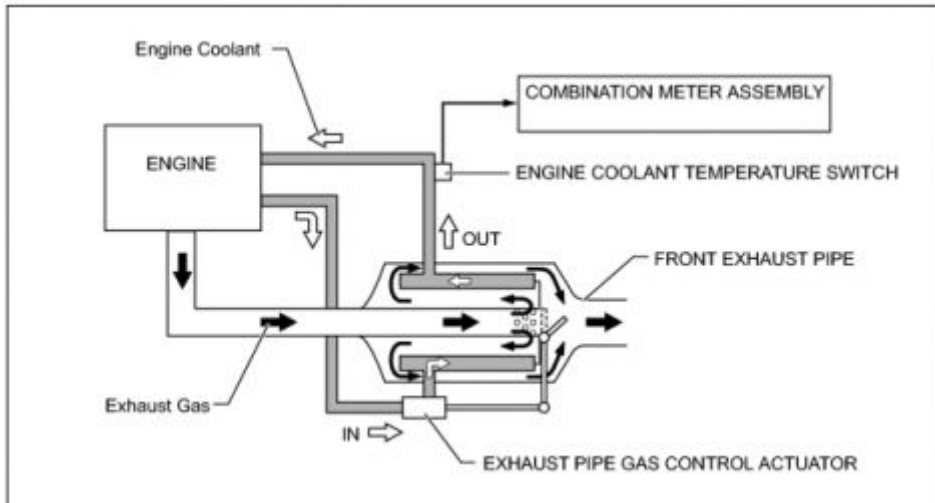


Figura 5.3.5 Mecanismo do Exhaust Heat Recovery

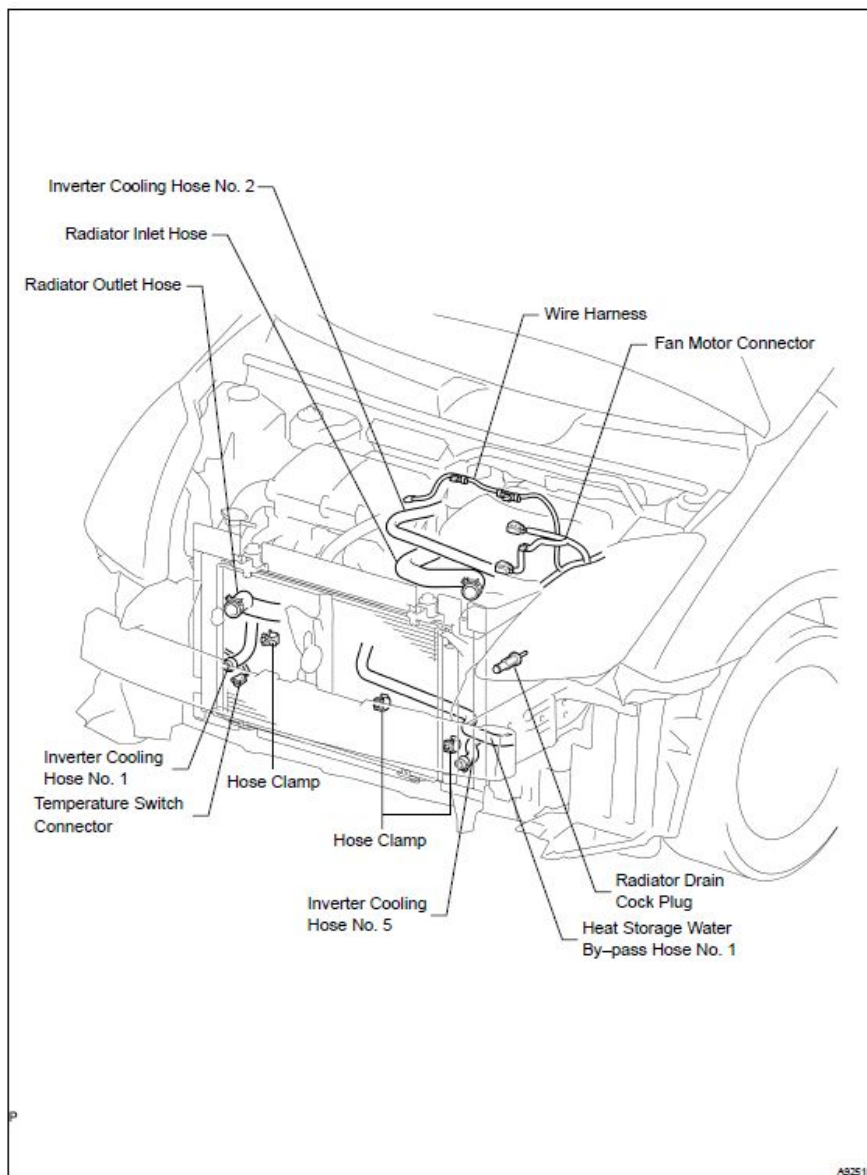


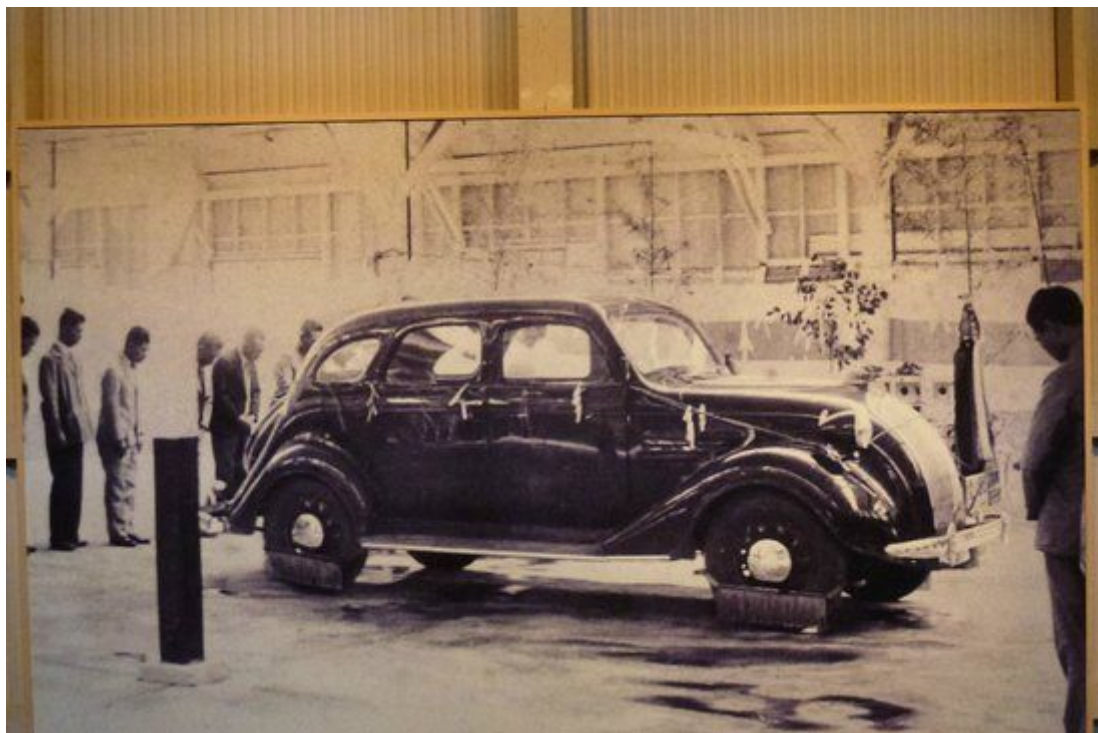
Figura 5.3.6 - Tubulações do sistema de resfriamento

6. Sensores:

Sensores e a revolução do setor automotivo

No início da indústria automotiva, a eletrônica ainda era pouco desenvolvida e os veículos produzidos utilizavam sistemas praticamente totalmente mecânicos para as mais diversas tarefas, desde girar o eixo de direção, até a regulagem da quantidade de combustível a ser injetada no motor. A eletrônica usada até então era analógica.

Essa característica causava alguns problemas como a falta de precisão de algumas tarefas e o maior desgaste de peças e componentes destes tipos de sistemas. Além disso, o conforto do motorista também era prejudicado, uma vez que os carros eram mais difíceis de serem guiados. As direções antigas, por exemplo, eram muito mais rígidas do que as suaves direções elétricas de hoje em dia.



6.0 Início da indústria automotiva: Toyota AA, primeiro carro produzido pela Toyota, em 1935

A partir da consolidação da eletrônica e, principalmente, da eletrônica digital, muitas funções anteriormente desempenhadas de maneira mecânica passaram a ser assistidas ou mesmo substituídas por sistemas eletrônicos compostos de sensores e atuadores. Tal fato tem potencializado o desempenho de diferentes funções de um automóvel. Por meio de sensores, por exemplo, é possível monitorar o correto funcionamento do motor a combustão ou o nível de emissão de poluentes.

Os sensores eletrônicos também tem possibilitado que novas tecnologias, até então inimagináveis para um carro, sejam integradas aos veículos, tornando cada vez mais real o conceito de mobilidade inteligente, e não muito distante o sonho do veículo autônomo. Atualmente, por exemplo, a navegação por GPS já é uma realidade no dia a dia das pessoas, assim como sistemas de assistência ao motorista, como sensores de ré e radares de proximidade com o veículo a frente.

O Toyota Prius segue esse conceito de mobilidade inteligente e está na vanguarda da tecnologia eletrônica e aplicação de sensores. A seguir, alguns desses sensores serão apresentados, com alguma ênfase para os mais inovadores, relacionados a sistemas ADAS.

É importante mencionar que um único carro possui dezenas de sensores, executando as mais diversas funções. Neste documento, listamos apenas os exemplos que julgamos mais interessantes.

Sensores de Monitoramento da Pressão dos Pneus - Tire Pressure Monitoring Sensor (TPMS)

[Esse sistema de monitoramento de pressão pneumática existe porque a National Highway Traffic Safety Administration \(HTSA\) começou a exigir que todos os carros fabricados a partir de 2003 possuíssem esse sensor.](#)

O órgão americano tomou esta decisão com o objetivo de reduzir as colisões causadas por pneus pouco inflados, o que faz aumentar a distância de frenagem. No ano de 2001, foi estimado que 23000 batidas e 535 batidas letais foram causadas por pneus com pressão abaixo da recomendada.

Dessa forma, a HTSA exigiu que os carros possuam sensores de pressão. Uma das alternativas estabelecida, que é a utilizada no Prius, é a implementação de sensores de pressão em cada um dos pneus e o alerta no painel do carro para quando pelo menos um dos pneus atingir uma pressão pneumática inferior a 80% ou superior a 120% da recomendada.

O TPMS utilizado no Prius possui 4 componentes principais:

1. Sensor de pressão acoplado à válvula do pneu
2. Uma luz de alerta
3. Uma ECU para monitoramento da pressão
4. Antena



6.1 - TPMS

Sensor de Posição do Virabrequim



6.2 - Sensor de Posição do Virabrequim

O sensor de posição do virabrequim utiliza efeito Hall (resistividade magnética) para transmissão de dados com baixo nível de ruído para a ECM (Electronic Control Module). O produto final apresenta maior flexibilidade de design para atender a aplicações que requerem operação em alta temperatura.

Tem aplicações para:

- Ignição, como verificação da posição e velocidade da árvore de comando de válvulas e do virabrequim;
- Transmissão, verificando a velocidade do veículo ou do motor;
- Velocidade da roda, supervisionando o sistema de freio anti-travamento.

Está disponível em modelo de precisão de ponto de comutação baixo, médio e alto. O produto mantém a performance em drásticas mudanças de temperatura devido a uma proteção do sensor robusta e duradoura devido também a um design de peça única.

Parâmetros técnicos especificados abaixo:

Relative timing accuracy	$\pm 1^\circ$
High stability—360° repeatability	$\pm 0.1^\circ$
Operating temperature range	-40°C to 150°C
Air gap with appropriate target wheel	0.1 mm to 2.5 mm
Environment	Designed to withstand salt spray, humidity, thermal changes, automotive fluids, and general automotive environments
Operating voltage	4.5 V to 16 V
Output voltage (high state)	V pull-up (3-wire), or 14 mA (2-wire)
Output voltage (low state)	< 0.5 V (3-wire) or 7 mA (2-wire)
Current draw	≤ 16 mA
Rise time	< 5 μ ($R_{pw} = 500 \Omega/C$, out = 10 pF)
Fall time	< 2 μ
Output current limit	< 50 mA
Output leakage current	< 10 μ A

Tabela 6.1 - parâmetros técnicos do sensor do virabrequim

Sensor de Fluxo de Ar para o Motor



6.3 - Sensores de Fluxo de Ar

Tais sensores são componentes de precisão que medem a quantidade de fluxo de ar que entra no coletor de admissão e se comunica com o Engine Control Module (ECM). Sensores de massa de ar remanufaturados podem trazer problemas de dirigibilidade, pois podem conter detritos de uso prévio que dificultam tal comunicação.

[Esse vídeo ensina como trocar corretamente o sensor de fluxo de ar e detalhes que devem ser analisados.](#)

O sensor não requer correções por variação da densidade do ar, que ocorre por causa do aumento da altitude ou da temperatura. Ele apresenta uma simplicidade mecânica, pois não possui partes móveis.

Princípio de funcionamento

O sensor transmite ao ECM um sinal de tensão ou frequência variável proporcional à massa de ar que o atravessa. Está instalado na corrente de ar, entre o filtro de ar e o corpo da borboleta.

Existe uma diversidade de sensores de massa de ar, entre eles o sensor de fio quente (hot wire) e o de película aquecida (hot film). Abaixo, podemos ter uma ideia do princípio de funcionamento, imagem tirada a partir [dessa animação](#):

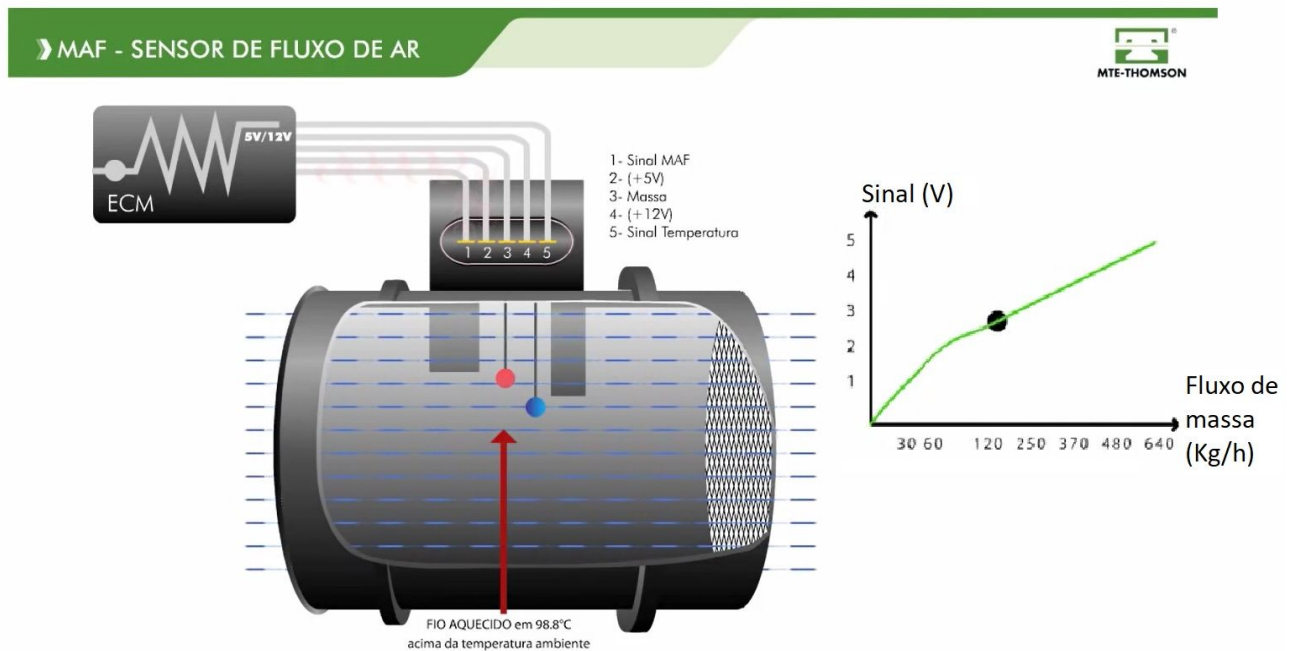


Figura 6.4 - Princípio de funcionamento do sensor MAF

O ECM se conecta com o sensor MAF através de 5 fios: a tensão MAF, que é o sinal do sensor propriamente dito, uma alimentação de 5V, a massa ou o terra, uma alimentação de 12V e um sinal de temperatura do ar.

- Sensor de fio quente

É constituído de um venturi com dois fios de platina: um fio quente e um outro de compensação, que mede a temperatura do ar admitido. O venturi está suspenso dentro do duto principal do sensor. Um circuito eletrônico incorporado ao sensor mantém o fio quente a uma temperatura constante de 100°C acima da temperatura do ar admitido. O ar que atravessa o sensor provoca o esfriamento do fio quente. O circuito eletrônico compensa esta queda de temperatura, aumentando a corrente que circula pelo fio quente com o objetivo de manter o diferencial de 100°C. A variação de corrente elétrica de aquecimento do fio, para manter sua temperatura sempre num valor constante acima da do ar admitido, é então uma medida da massa de ar que está sendo admitida.

Considerando que partículas depositadas a alta temperatura sobre o fio quente podem alterar a calibração do medidor, tal sensor deve ser trocado após uma certa quilometragem.

- Sensor de película aquecida

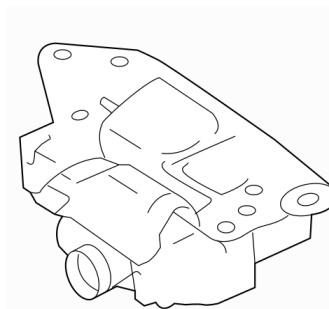
Recentemente, foi desenvolvido pela Bosch o sensor de película aquecida que apresenta o mesmo princípio de funcionamento do sensor de fio quente. A única diferença é que o fio de platina é substituído por um resistor térmico (película semicondutora depositada sobre uma placa cerâmica) encapsulado em plástico. O sensor trabalha a uma temperatura de 180°C acima da temperatura ambiente.

Câmara para Sistema de Saída de Faixa (Lane Departure System Camera)

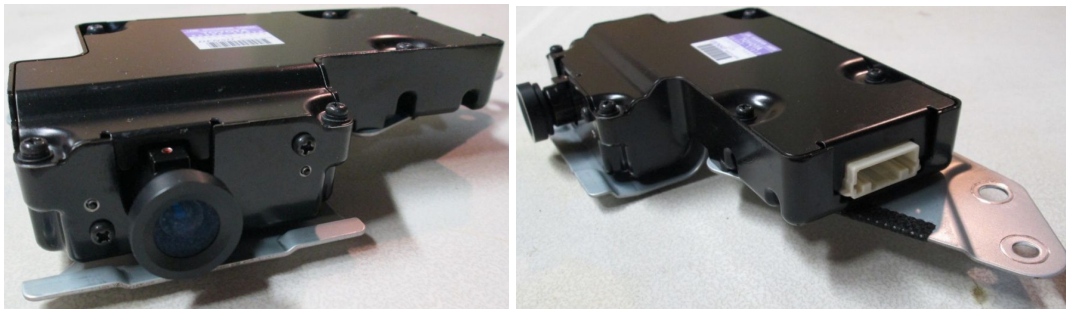
Tal sensor (ou câmera) é responsável por detectar a saída de faixa do veículo, para prevenção de motoristas sonolentos ou apresentando falhas psicológicas diversas (alcoolismo ou desatenção, por exemplo), o que é responsável por grande parte dos acidentes atuais. O sistema emite um alerta audível e um visual no visor do carro, pode emitir um alerta vibratório no banco do motorista ou no volante; quando o veículo sai da faixa em estradas e vias arteriais (a não ser que o pisca indicando mudança de faixa esteja aceso, ou que o motorista esteja brechando). O sistema funciona a partir de 50-65 Km/h. Caso o sistema interprete que o motorista não está tomando as ações necessárias, a função de assistente de direção irá iniciar e providenciar uma suave direção corretiva, [para ajudar a manter o veículo na faixa](#), seja ela uma suave curva para a esquerda ou a redução da velocidade.

Tudo isso é possível graças ao sensor de **número 8646047011**, fornecido pela **Denso**. [A câmera é instalada logo à frente do espelho retrovisor e captura imagens da frente do carro a uma alta resolução.](#)

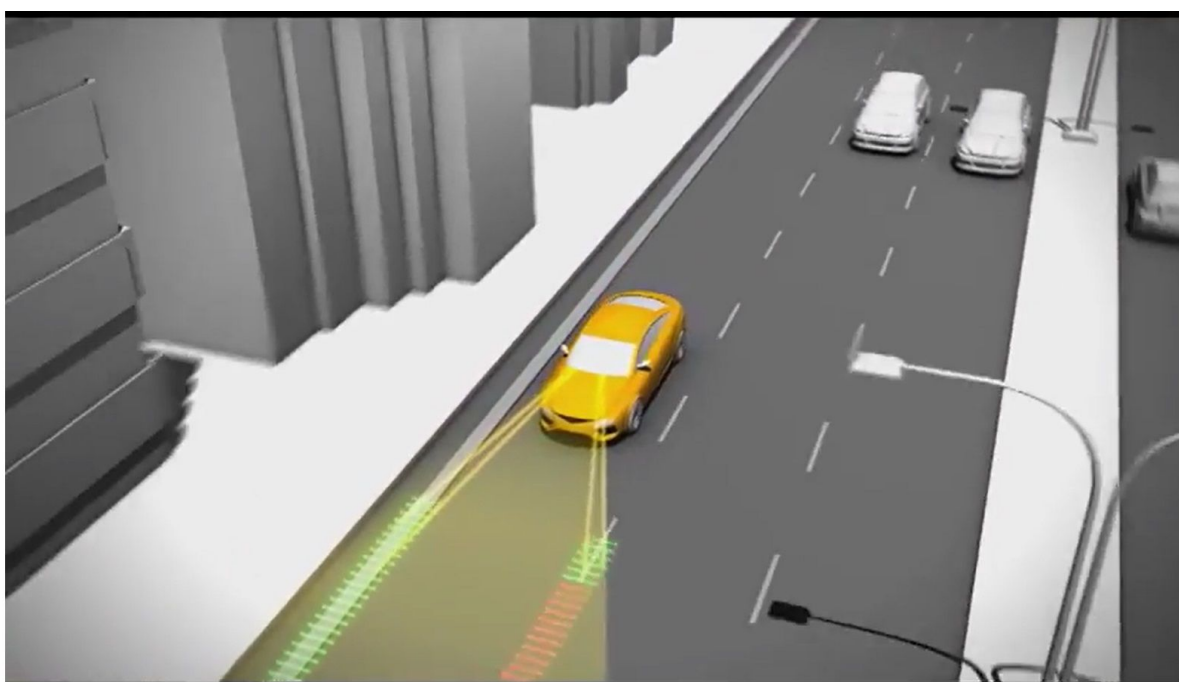
[Esse vídeo explica como o sistema de detecção de saída de faixa deve se comportar.](#) A câmera filma a frente do veículo e é responsável por identificar as faixas da via arterial ou estrada.



6.5 - Esquemático da Câmara para Sistema de Saída de Faixa



6.6 - Fotos da Câmera para Sistema de Saída de Faixa



6.7 - Princípio de funcionamento da câmera de detecção de saída de faixa

Tais câmeras são testadas conectando suas saídas a sistemas simuladores do ambiente do automóvel, e colocando a câmera na frente de um simulador (como se fosse um jogo de videogame, com faixas bem sinalizadas), e assim a câmera é calibrada e seu funcionamento monitorado.

Existem 3 formas de alerta de saída de faixa:

- A primeira, tradicional, apenas emite um alerta sonoro, visual ou vibratório ao motorista. É apenas um alerta. O motorista é responsável por tomar as ações necessárias, conduzindo o carro de volta ao meio da pista. Muitos fatores podem atrapalhar o funcionamento, como faixas mal-pintadas, chuva ou neve.

- A segunda, é uma assistência para manter na faixa. Ela entra em ação quando o veículo está muito além da faixa sinalizadora. O veículo se auto-conduz para longe da linha, e cabe ao motorista realinhar o carro para o centro da faixa.
- A terceira, assistente de centralização de faixa, é o melhor e mais novo sistema, completamente proativo. Tal sistema sempre tenta manter o carro na faixa atual, ele funciona enquanto o sistema percebe que suas mãos estão apoiadas no volante ou que as curvas realizadas não são muito acentuadas. Caso o motorista tenha esse nível de controle de detecção de faixa e o famoso controle adaptativo de velocidade de cruzeiro, o motorista está diante do que se costuma dizer “sistema de auto-condução”.

Sensor da razão Ar/Combustível (Air Fuel Ratio Sensor)

O sensor da razão ar/combustível do Toyota Prius é a famosa sonda lambda. Ela mede tal razão para garantir a taxa ideal para a necessidade instantânea do veículo. É montada antes do catalisador. Esse sensor ajuda a diminuir o nível de emissão de gases prejudiciais à saúde e reduzir o consumo de gasolina. O sistema monitora essa relação e envia os dados ao computador do motor.



6.8 - Sensor da Razão Ar/Combustível

Isso é possível graças ao produto de **número 234-9112//234-9130, fornecido pela Denso**. Tal sensor analisa os gases liberados pelo motor. O motor necessita de uma mistura ideal entre oxigênio e combustível para que possa funcionar de maneira otimizada. O componente responsável por levar essa informação ao módulo de injeção eletrônica é a sonda lambda. Tais dados são utilizados pelo módulo de injeção eletrônica para definir o ponto estequiométrico da queima, a mistura ideal. Ela fica no coletor de escape do motor, logo antes do catalisador. Tal região é bem quente, e é um dos motivos para o sensor ser localizado em tal posição do carro, visto que ele precisa de temperaturas entre 300 e 600°C para funcionar. Tal temperatura transforma o dióxido de zircônio ou o óxido de titânio que são utilizados no sensor em íons de oxigênio. Existem alguns tipos de sensores que não dependem da temperatura do ar de escape, pois são aquecidos eletricamente.

Na figura abaixo, podemos ver um esquema de montagem da sonda lambda. Nesse caso, existe uma sonda adicional para verificar o funcionamento do catalisador.

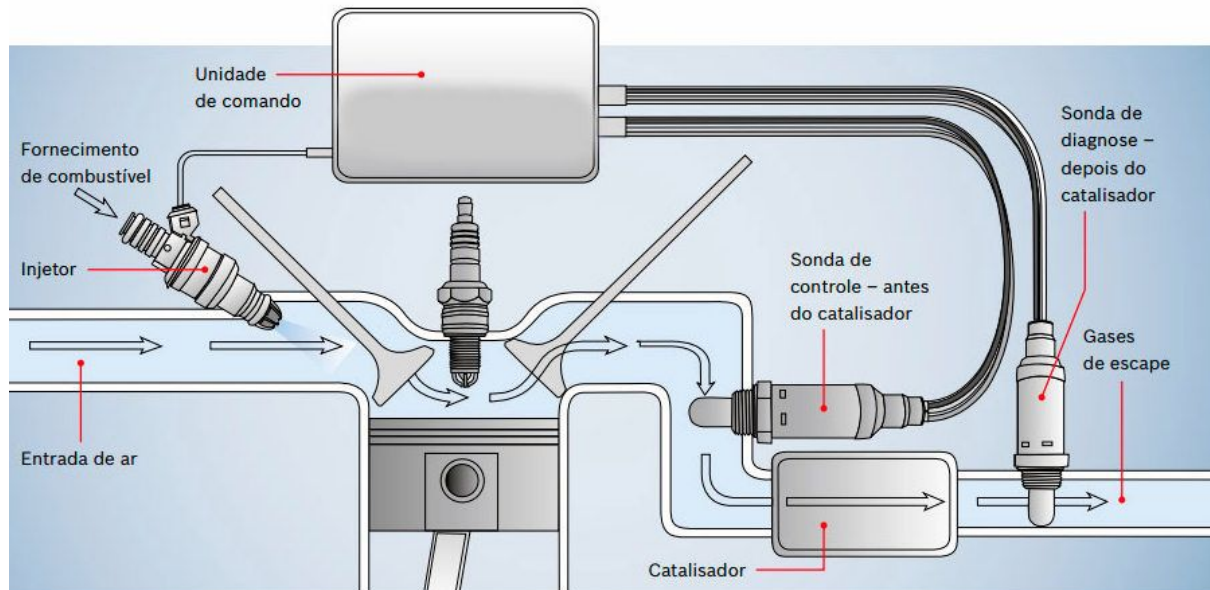


Figura 6.9 - esquema de montagem da sonda lambda

A mínima variação na quantidade de oxigênio é verificada na tensão de saída do sensor. A razão ótima de ar-combustível muda, dependendo do combustível utilizado, da umidade, da pressão e da temperatura, além de características do motor, como rotação e temperatura de funcionamento. A queima é equilibrada assim que a informação de quantidade de oxigênio queimada chega à unidade de comando eletrônico (ECU).

Em carros flex, a sonda lambda tem uma função crucial, pois tem a tarefa de corrigir a injeção para o novo combustível ou mistura usada. Ela apenas emite um sinal elétrico usado para corrigir a relação ar-combustível na queima. Por isso, carros flex podem rodar com qualquer proporção de álcool e gasolina no tanque.

Funcionamento:

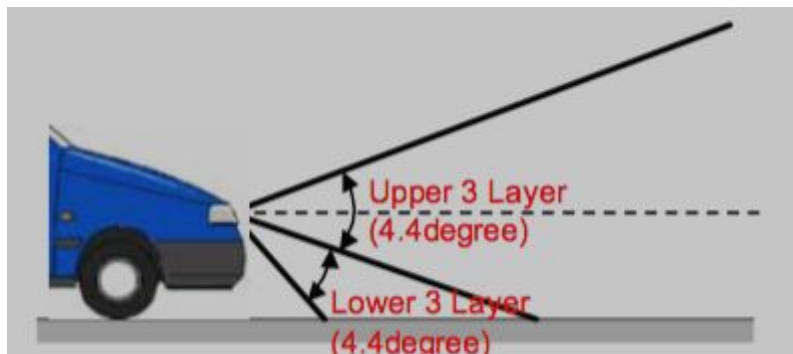
Esse sensor é composto por um material cerâmico revestido por uma camada porosa de platina, protegido por um invólucro metálico. Altas temperaturas causam a alteração de propriedades da cerâmica, o que permite a difusão do oxigênio do ar. Tal sonda tem como princípio a diferença de concentração de oxigênio entre o gás de escape e o ar externo (o revestimento da sonda apresenta buracos, o que possibilita tal interação). Além disso, o ar externo entra através de espaços nos cabos de conexão). O ar externo que entrou é então aquecido e assim os íons geram uma tensão. Os íons têm uma concentração maior ou menor dependendo da quantidade de oxigênio no escape. Devido ao movimento de íons de oxigênio de uma platina à outra, é gerado uma diferença de potencial.

Como a sonda precisa estar em altas temperaturas para funcionar, ela é conectada a uma resistência de aquecimento, tornando-se independente da inércia de aquecimento pelos gases de escape. [Esse vídeo exemplifica muito bem o princípio de funcionamento de uma sonda lambda.](#)

LASER Radar Sensor (Radar a Laser):



6.10 - Radar a Laser



6.11 - Região de Detecção

Fornecedor: Denso

Descrição: Utilizando as informações do artigo "[Lane Recognition Using On-Vehicle Lidar](#)" pelo engenheiro Takashi Ogawa da Denso, o sensor tem uma região de detecção de 8.7 graus em elevação e 36 graus em azimuth. Ele consegue detectar objetos até 120 metros de distância e tem uma taxa de amostragem de 100 amostras por segundo. A detecção da faixa utiliza, na verdade, somente as camadas inferiores indicado na figura 6.9 por "Lower 3 Layer". As camadas superiores, indicadas por "Upper 3 Layer"

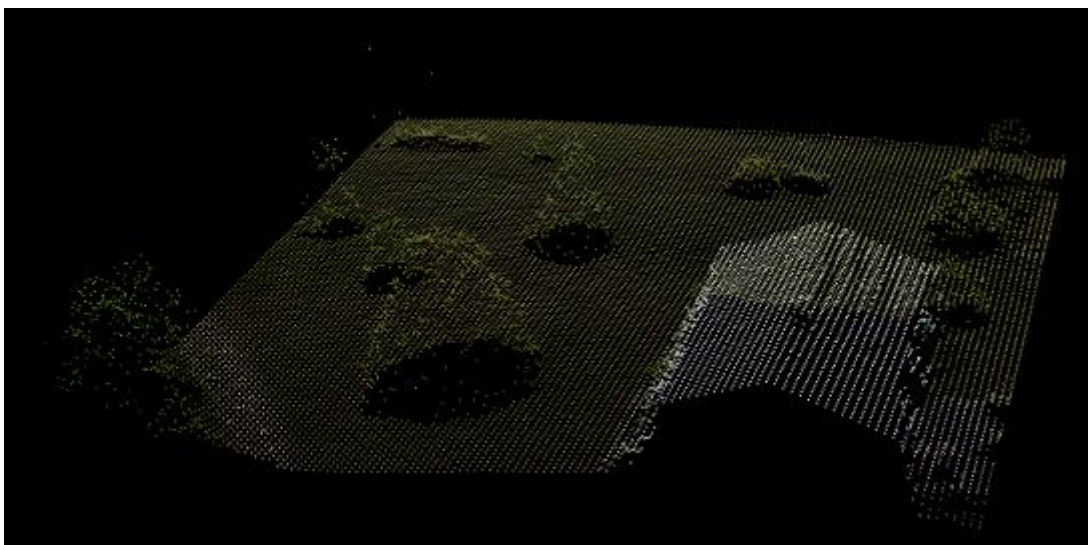
Para detectar os objetos, o sensor a LASER cria uma nuvem de pontos do ambiente a frente. Nuvem de pontos são pontos flutuantes em um espaço 3D, sendo que cada um desses pontos podem conter conjunto diferentes de informações. Tomando como base a biblioteca PCL (Point Cloud Library) como referência, podemos citar:

- Point XYZ: contém as coordenadas do ponto.
- Point XYZ RGB: contém além das coordenadas do ponto também informação sobre a cor dele.
- Point XYZ Normal: contém as coordenadas do ponto e também o valor do vetor normal à superfície

Existem 2 desafios quando se trabalha com nuvem de pontos: reconstrução precisa do ambiente e processamento de uma quantidade massiva de informações.

Para reconstruir o ambiente, uma câmera comum não consegue solucionar o problema, uma vez que não é possível extrair informação sobre a distância de objetos até a câmera. Com uma dupla de câmera digitais já é possível, tanto que o ser humano já faz parecido com os olhos. Entretanto, os algoritmos atuais possuem precisão inferior ao ser humano, são computacionalmente taxantes e lentos. Dessa forma, um radar a laser consegue contornar esse obstáculo, pois ele mesmo já obtém informações sobre a distância.

Ainda assim, há a questão da quantidade massiva de dados. Tomemos por exemplo a seguinte [nuvem de pontos, extraída com um LIDAR](#):



6.12 - Exemplo de Nuvem de Pontos

Esta nuvem de pontos está bem reconstruída e é possível distinguir facilmente alguns objetos da cena. Entretanto, observe que esta nuvem de pontos possui 987653 pontos. Como cada ponto possui as coordenadas x, y e z além de canais de cores RGB podemos estimar que cada ponto possui:

$$3 * 4Bytes + 3Bytes = 15Bytes$$

Ou seja, esta cena possui ao todo:

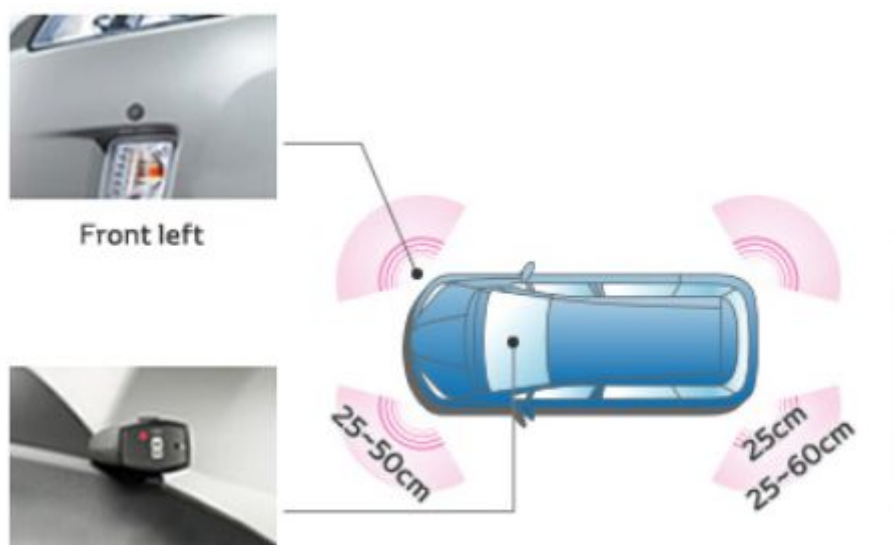
$$987653 * 15Bytes \approx 15MB$$

Isso é mais que 15 vezes o tamanho de imagem JPEG . Podemos então perceber que é uma grande quantidade de dados que precisam ser processados. Mesmo que considerássemos somente 10% do ambiente e captura de imagem somente a cada segundo, ainda teríamos 1.5MB de fluxo de dados. Ou seja, para o barramento CAN inicial que tinha um limite de 1Mbps para 40 metros já não seríamos capazes de transmitir esses dados, nem mesmo com um barramento dedicado para isso. Com isso sabemos que os sistemas ADAS só são possíveis graças `a nova versão 2.0 do CAN.

Sonar



6.13 - Sonar (Sonar Sensor)



6.14 - Localização dos Sonares

Fornecedor: Denso

Descrição: Os sonares para auxílio para o estacionamento do Prius estão acoplados nos cantos dos para-choques. Esses sonares são utilizados para auxiliar o motorista sobre a existência de obstáculos em pontos cegos, o que diminui a probabilidade de colisão laterais.

Adicionalmente, ele também é utilizado para o Intelligent Parking Assist System(IPAS). Ele permite descobrir, junto com uma câmera traseira e 2 sensores dianteiros, se o espaço da vaga é suficiente para estacionar o Prius. Se for, a ECU alerta o motorista através do monitor do carro, enquadrando a vaga com uma caixa verde. Caso contrário, a vaga é mostrada por uma vaga em vermelho.

Driver Status Monitor



6.15 - Driver Status Monitor

Fabricante: Denso

Descrição: Este sensor é composto basicamente por uma câmera infravermelha e uma ECU própria. Utilizando algoritmos de reconhecimento de imagens, torna-se possível estimar o campo visual do motorista. Se for detectado que o motorista permaneceu por mais de determinado tempo sem focar na direção, este sensor libera um alerta e recomenda uma direção mais defensiva e atenta por parte do condutor.

[Para realizar tal procedimento, o sistema de monitoramento utiliza 2 conjuntos de LEDs infravermelhos para iluminar o rosto do indivíduo.](#) Com isso, pode-se observar o rosto do usuário sem interferir com o conforto luminoso e reconstruir uma imagem 3D dele.

Agora, a ECU precisa reconhecer o rosto do ser humano para saber qual a direção para a qual ele focado. Isso é feito através da extração de “feature points”: são pontos característicos de uma imagem que contêm informações sobre os pontos ao redor, de tal forma que o conjunto de características (features) deles permitam identificar a qual parte do rosto cada um pertence. Isso pode ser feito por inúmeros algoritmos diferentes. Somente na biblioteca do PCL(Point Cloud Library), já há diversos algoritmos, cada um com vantagens e desvantagens. Exemplo: FPFH(Fast Point Feature Histogram), VFH(Viewpoint Feature Histogram) e GRSD(Global Radius-based Surface Descriptor).

Após encontrar os pontos característicos do rosto, podemos encontrar correspondências com uma nuvem de pontos padrão(ou uma nuvem de pontos do motorista obtida previamente).

Millimeter-Wave Radar Sensor



6.16 - Millimeter-Wave Radar Sensor

Fabricante: Denso

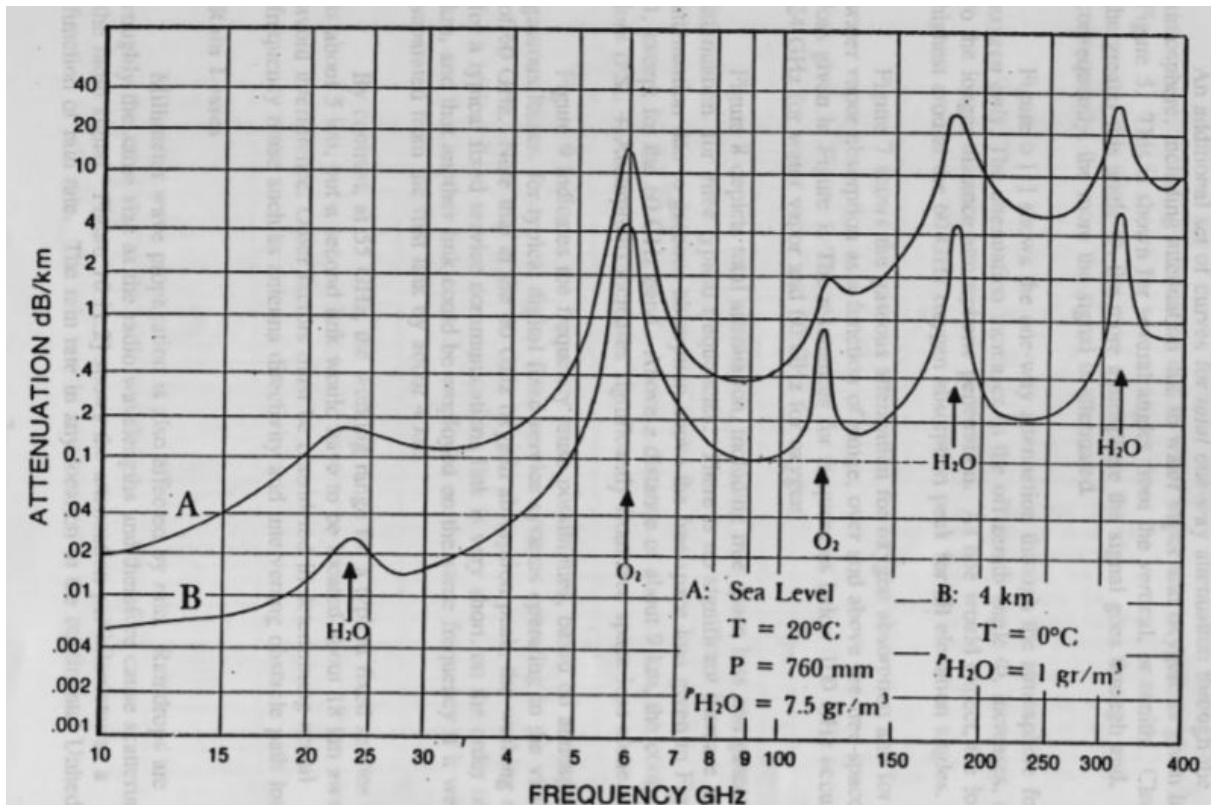
Descrição: Este sensor é utilizado tanto no sistema de segurança do Prius como também para o Advanced Cruise Control. Este sensor utiliza ondas eletromagnéticas na faixa de “extremely high frequency”, que engloba a faixa de frequência entre 30GHz e 300GHz. Esta faixa de frequência permite a detecção de variações milimétricas nos objetos detectados. Tomemos por exemplo o limite superior, o comprimento de onda para uma onda eletromagnética de 300GHz no ar será de aproximadamente

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{10}} = 0.001m$$

O que explica de onde provêm o nome desta banda.

[Uma pesquisa pela Universidade Técnica de Karlsruhe\(Technische Universität Karlsruhe\)](#) realizada em 2012 utiliza um sensor de 77GHz para funções automotivas. A escolha da frequência de 77GHz não é de nenhuma forma arbitrária, pois na banda de “extremely high frequency” as ondas eletromagnéticas começam a entrar em ressonância com os gases atmosféricos.

Tomando como referência o sensor desenvolvido pela [Panasonic](#), podemos inferir a precisão deste tipo de radar. Ele consegue identificar objetos com uma resolução de 20cm a 40m de distância. Além disso, através do efeito Doppler, consegue-se observar variação da velocidade do automóvel em até 1km/h.



6.17 - Gráfico da atenuação de ondas eletromagnéticas na faixa de GHz

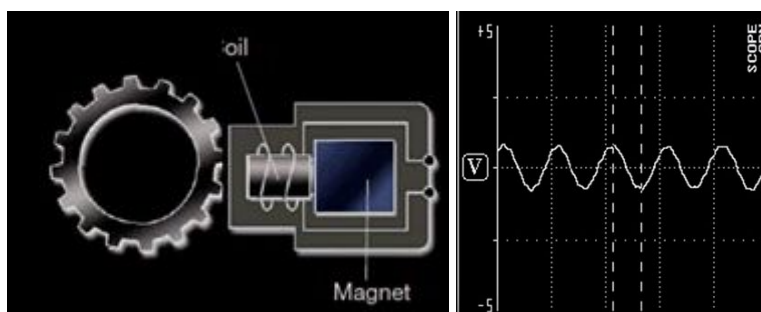
Pode-se observar que a faixa de frequência de 77GHz se encontra entre dois vales. Com isso, a onda é menos atenuada e é possível detectar objetos mais distantes assim como objetos menores também, uma vez que a onda retornada tem maior intensidade.

Sensor Velocidade



6.18 - Sensor de Rotação

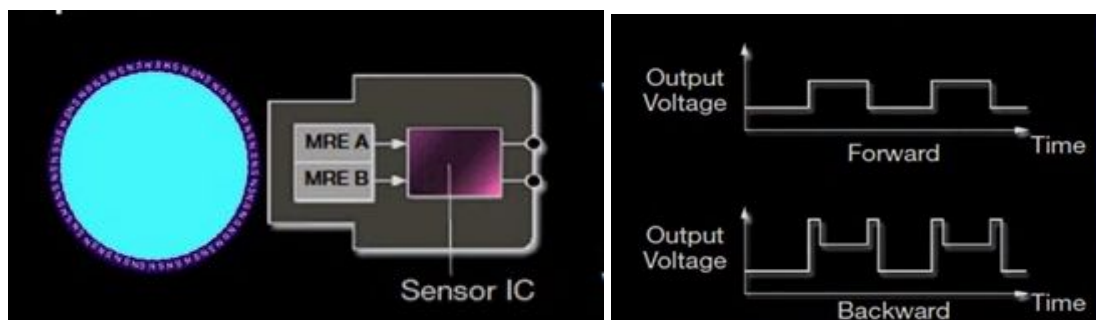
O sensor de velocidade do Prius utiliza um circuito magnético para estimar a velocidade de rotação da roda. O circuito magnético é constituído por basicamente 3 componentes: o ímã permanente, a bobina e a roda dentada.



6.19 - Imagem dos Componentes do Sensor de Velocidade Genérico

Conforme a roda dentada gira, a resistência magnética do circuito oscila, variando o fluxo magnético pela bobina. Essa variação pode ser medida pela diferença de potencial entre as extremidades da bobina e inferir diretamente a velocidade de rotação da roda.

Partindo desse mesmo princípio, o Prius aprimora o sensor de rotação. Utilizando dois materiais com permeabilidade magnética distintas (RME - Resistive Magnetic Element) no interior do sensor e uma entrada adicional, é obtidos sinais distintos para cada sentido da rotação.



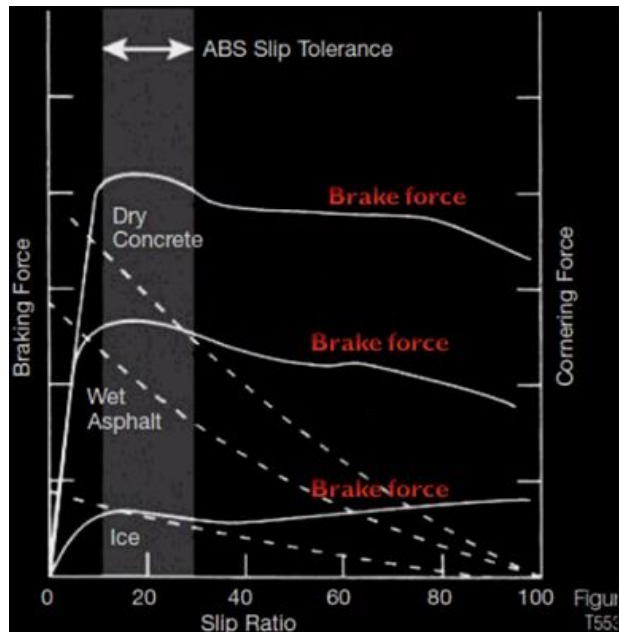
6.20 - Imagem dos Componentes do Sensor de Velocidade do Prius e os dois Sinais

O sensor de rotação das rodas é, entre outros, utilizado no sistema de ABS para calcular o deslizamento (do Inglês, "slip") do automóvel. A definição do deslizamento é:

$$slip = \frac{wheel\ speed}{vehicle\ speed}$$

Quando se verifica que uma das rodas possui um deslizamento distintamente superior a outras, podemos considerar isso como sendo um sintoma de defeito do sistema de breagem.

O deslizamento também é utilizado para o controle do "braking force" do sistema ABS. O sistema ABS permite que o deslizamento esteja somente entre 5% e 18% para que o automóvel consiga atingir a frenagem máxima.



6.21 - Gráfico da Frenagem(Braking Force) e da Cornering Force em Função do Deslizamento

Adicionalmente, podemos ver que na região de tolerância do deslizamento, obtemos também maior controle devido à maior “cornering force”.

Sensor de Posição do Pedal de Aceleração



6.22 - Pedal de Aceleração

Conceito

O chamado acelerador eletrônico trata-se de um sistema composto pelo sensor de posição do pedal do acelerador, pelo corpo de borboleta motorizado e pela ECU que controla os motores. Esse sistema possibilita que o automóvel seja acelerado sem a necessidade do cabo do acelerador, item que costumava ser bastante problemático em carros mais antigos. A aceleração eletrônica garante maior conforto ao condutor, pois não produz solavancos, além de proporcionar economia de combustível e menor emissão de poluentes.

Princípio de funcionamento

O Sensor de Posição do Pedal do Acelerador é constituído por dois potenciômetros, um principal e um de segurança, integrados no mesmo alojamento. Ambos recebem alimentação de 5V de forma independente. A tensão de saída do primeiro potenciômetro varia de 0 a 5V, dependendo da posição do pedal do acelerador. Já o valor de tensão de saída do segundo potenciômetro tem o valor instantâneo igual à metade do valor da tensão de saída do primeiro. Essa redundância aumenta o nível de confiabilidade da informação enviada pelo sensor. Quando o pedal é pressionado, o sinal elétrico do sensor é enviado à ECU que, por sua vez, identifica a posição do pedal correspondente ao sinal recebido. Com a ajuda de dados enviados por outros sensores (sensor de temperatura da água do motor, sensor de entrada de ar, etc.) a ECU faz algumas correções e gerencia a demanda de torque através da borboleta, regulando sua abertura de forma equivalente ao solicitado pelo motorista por meio do pedal. Vale lembrar que a válvula borboleta é controlada por um motor elétrico que garante a precisão na regulação da abertura da borboleta.

Localização

O sensor poderá estar fixado a um dispositivo que faz a ligação do cabo do acelerador ao chicote elétrico ou no próprio pedal, conforme imagens abaixo.



6.23 - Sensor de Posição do Pedal do Acelerador

Sensor de Detonação



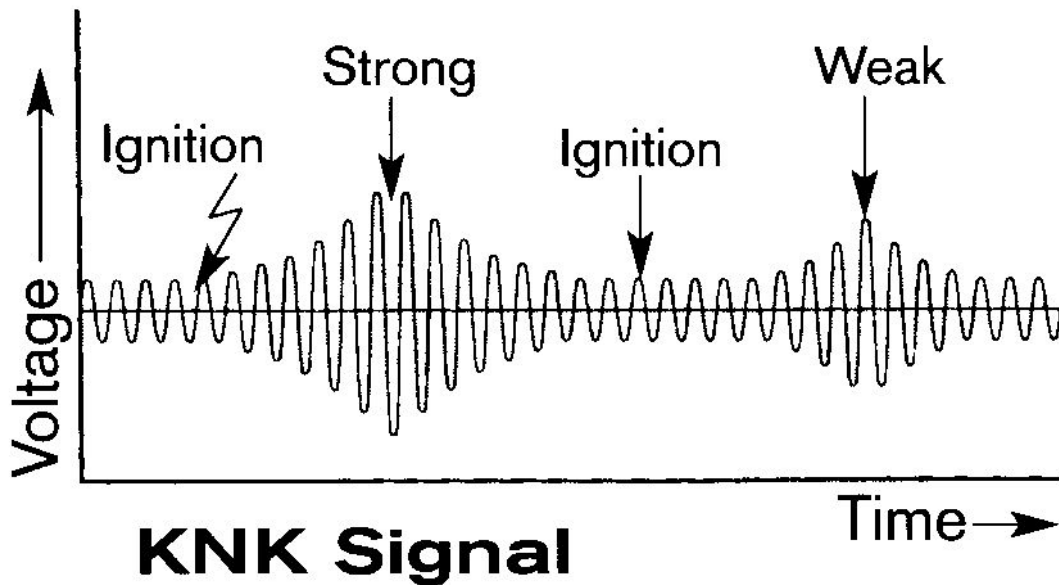
6.24 Sensor de Detonação

Detonação

O fenômeno da detonação acontece dentro do cilindro, provocado principalmente por combustível adulterado de baixa octanagem, fazendo a mistura explodir antes do tempo. Mistura pobre, não homogeneidade e ignição adiantada também provocam o fenômeno da detonação. Um fator que provoca a detonação espontânea dentro do cilindro é a alta taxa de compressão nos motores modernos. Para extrair maior potência dos motores, a câmara de combustão está cada vez menor, elevando a taxa de compressão a altos níveis e contribuindo, junto com os outros fatores citados anteriormente, para o efeito da detonação. As consequências deste fenômeno termodinâmico, podem variar de ruins a catastróficas. Por isso, engenheiros desenvolveram muitas tecnologias para identificar e evitar detonações e, atualmente, quase todos os motores novos têm sistemas de combate ao fenômeno, utilizando sensores de detonação.

O Sensor de Detonação

O **Sensor de Detonação** ou *Knock Sensor*, como é chamado em inglês, é um sensor do tipo *piezo-elétrico*, sensível a vibrações. Quando o motor está detonando, as vibrações provenientes das reflexões de onda dentro da câmara de combustão fazem vibrar o elemento piezo-elétrico do sensor gerando uma tensão elétrica no sensor que é enviada para ECU. O sensor é calibrado para trabalhar em um faixa determinada de frequência (entre 5 e 20 kHz, justamente a faixa dos ruídos de detonação).



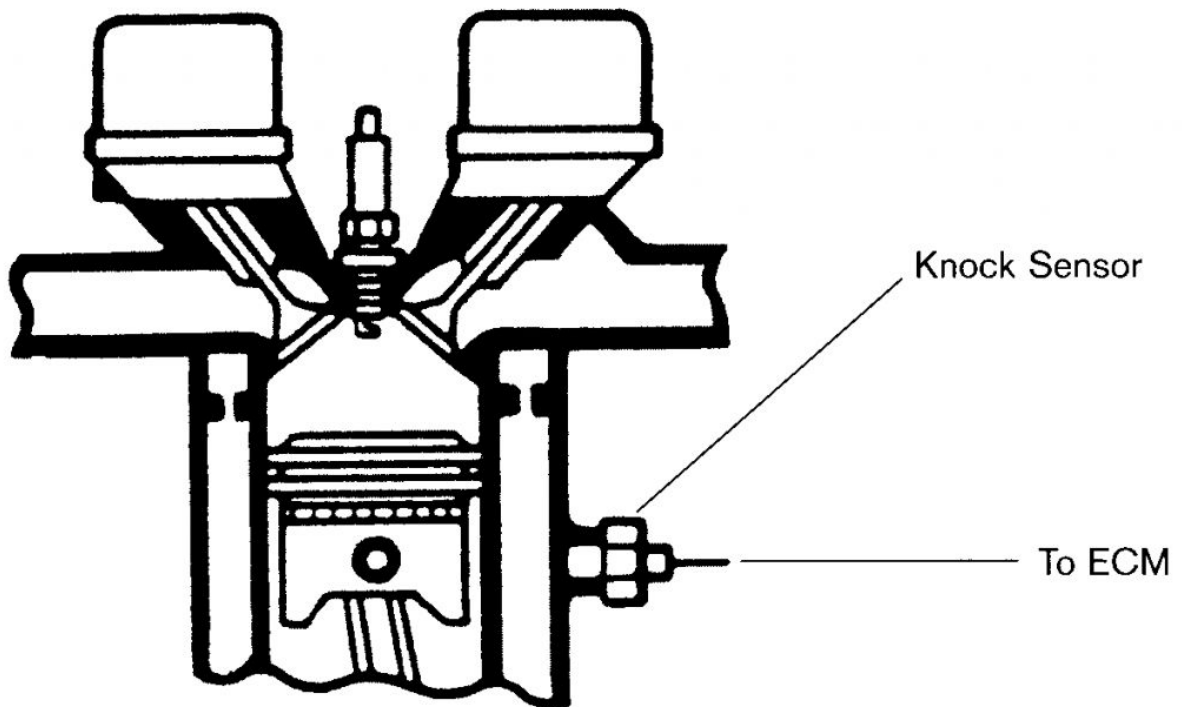
6.25 Sinal Lido Pelo Sensor de Detonação (KNK): Tensão x Tempo

Complexo e sensível, todo o circuito deste sensor possui uma blindagem especial contra interferências externas e do próprio sistema elétrico e eletrônico do motor. Na maioria dos casos, o sensor está parafusado no bloco do motor. Por ser sensível, possui um torque específico para tal, geralmente 2 mkgf.

Controle de detonação:

Para bom funcionamento do motor a combustão, bem como para o aumento de sua vida útil, é necessário evitar a ocorrência de detonação. Para isso, a ECU realiza um controle em *malha-fechada* da detonação chamado *Regulagem de Detonação*.

Objetivando manter o motor funcionando no *limite de detonação*, a ECU toma como base informações provenientes dos principais sensores do sistema: rotação, pms, fase e temperatura. A ECU recebe o sinal proveniente do sensor de detonação e o compara a um parâmetro de combustão sem detonação. Com isso, é feito o reconhecimento do sinal como sendo ou não detonação. Por fim, se necessário, a ECU regula o ponto de detonação no respectivo cilindro até que não ocorra mais o fenômeno.



6.26 - Localização do Sensor de Detonação no Cilindro

O sensor de detonação está sempre captando vibrações de dentro da câmara, pois o motor está funcionando e há constantes combustões através da centelha da vela de ignição. Assim, o sensor informa não apenas se há ou não detonação dentro do câmara, mas também a curva de pressão dentro dela.

Todo esse controle feito sobre o funcionamento do motor é realizado em cada cilindro. A ECU dispõe de todos os mapas e parâmetros para cada operação do motor gravadas em sua memória permanente. Controlar a detonação também torna possível a utilização de diferentes tipos de combustíveis com ótima performance em qualquer regime de funcionamento.

É interessante citar que a memória de avaria registra as informações sobre o funcionamento incorreto do motor, bem como em qual cilindro ocorreu detonação e quantas vezes.

Sensor de Posição e Esforço de Esterçamento do Volante



Figura 6.27 - Sistema de Direção Elétrica

Este sensor é um dispositivo óptico de funcionamento bastante simples. Trata-se, basicamente, de um LED que emite um sinal de luz que será captado por um receptor entre os dois discos de referência com uma série de orifícios padronizados.

O primeiro disco gira solidário ao eixo de entrada, derivado do volante de direção, e o segundo gira solidário ao eixo de saída.

O movimento dos discos cria uma série de pulsos pela suspensão ou não da luz expedida ao detector. Estes pulsos de luz são alterados pelo detector em uma série de pulsos elétricos. A quantidade de pulsos é diretamente proporcional ao ângulo de giro, e a frequência dos pulsos à velocidade angular do eixo.

Um segundo conjunto emissor-receptor é inserido no sistema com o objetivo de identificar o sentido de giro do volante e checar a plausibilidade do sinal do sensor anterior - ângulo e velocidade.

O esforço de esterçamento e a intenção do condutor em fazer uma manobra são criados da deflexão angular da barra de torção que conecta o eixo de entrada (volante) ao eixo de saída (coluna de direção). A referência de “zero” é definida em programação via equipamento de diagnóstico específico (scanner). A partir desse sistema, o eixo dianteiro é devidamente posicionado.

Vale lembrar que tal sistema é utilizado em carros com direção elétrica.

7. Atuadores

Os atuadores são os elementos, da parte operativa de um sistema, que transformam a energia recebida em um fenômeno físico que fornece um trabalho, muda o comportamento ou o estado.

Os atuadores podem ser classificados conforme 3 critérios: a energia utilizada, o fenômeno físico e o princípio físico. A energia pode ser hidráulica, pneumática, elétrica, mecânica ou combustíveis fósseis.

Os atuadores são dispositivos como as válvulas, os injetores, compressores ou ainda motores.

O funcionamento de um atuador pode ser representado pelo esquema seguinte:

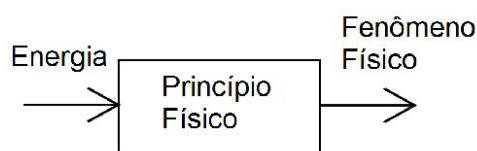


Figura 7.0 - Esquema de funcionamento

7.1 Válvula Borboleta

Número: 67-8009

Fabricante: Cardone

Descrição: A válvula borboleta tem a função de controlar a entrada de fluxo de massa de ar controlados pela ECU para dentro dos cilindros. O funcionamento da válvula se deve ao sistema eletro-mecânica que constitui o mecanismo.

A válvula borboleta possui uma abertura constante inicial, provocada por uma mola, para a entrada de fluxo em marcha lenta e sua abertura se dará pelo PWM que controla o motor elétrico.

Peso: 1,35 Kg

Material: Alumínio



Figura 7.1a - Válvula Borboleta

7.2 Bico Injetor

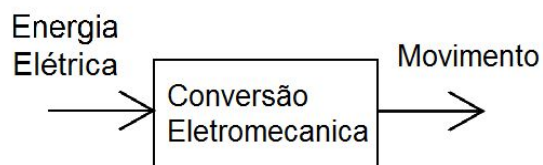


Figura 7.2a - Esquema de funcionamento do bico injetor

Número: 800-2091N

Fabricante: Bosch

Descrição: O Bico injetor têm como função pulverizar o combustível antes da válvula de admissão do motor, a fim de garantir a perfeita formação da mistura ar/combustível necessária para que ocorra a combustão. O bico injetor é acionado eletricamente diretamente pela ECU, sendo controlado para admitir a melhor mistura do combustível com o ar.

Peso: 27 g



Figura 7.2b - Bico Injetor

7.3 Bomba de combustível

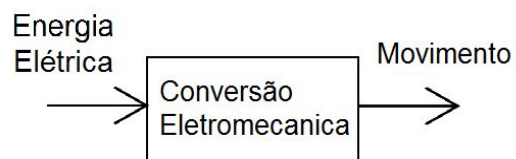


Figura 7.3a - Esquema de funcionamento da bomba de combustível

Número: DFG1173

Fabricante: Delphi

Descrição: Atuador responsável por bombear o combustível para o bico injetor que posteriormente irá pulverizar o combustível no cilindro. A bomba de combustível é composto por uma turbina que somente bombeia gasolina e é acionado eletricamente.

Peso: 1,57 Kg

Corrente Máxima: 6 A

Tensão: 12 V

Máxima vazão: 10 ml/s

Pressão de operação: 44 psi



Figura 7.3b - Bomba de Combustível

7.4 Vela

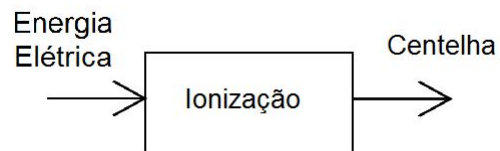


Figura 7.4a - Esquema de funcionamento da vela

Número: 9600

Fabricante: Bosch

Descrição: A função da vela é promover a centelha no cilindro para iniciar o processo de combustão da mistura ar-combustível em instante adequado para que o veículo obtenha a melhor performance de potência ou rendimento (dependendo do regime do carro) e ainda de emissões.

Peso: 54 g

Material do eletrodo principal: Níquel-Ítrio, Cobre e Iridio

Material do eletrodo da ponta: Iridio

Material do insulador: Cerâmica



Figura 7.4b - Vela

7.5 Purge Valve

Número: PV718

Fabricante: Duralast

Descrição: Válvula que previne vapor de combustível do tanque de combustível de escapar para a atmosfera. Ele está localizado entre o tanque de combustível e o motor como esquematizado pela Figura 7.6.

A válvula é controlado eletronicamente pela ECU e abre, conforme necessário, para a liberação de combustível para o motor. Vale ressaltar que existe um reservatório intermediário para o combustível (Charcoal Canister) que possui a função de armazenar o vapor de combustível.

Peso: 121 g

Material: Plástico e Metal

Conectores: Fêmea / 2 Machos



Figura 7.5b - Purge Valve

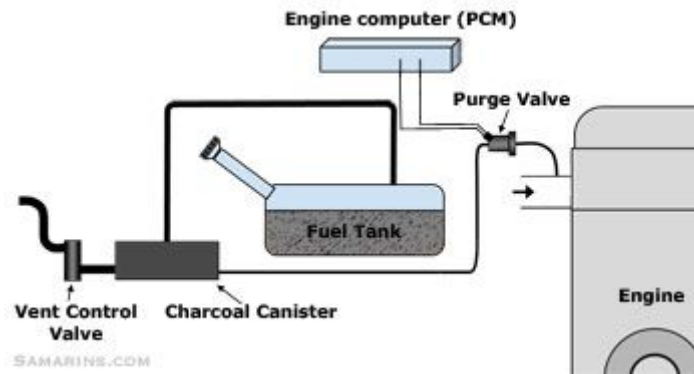


Figura 7.5c - Localização da Purge Valve

7.6 Exhaust Gas Recirculation Valve

Número: EGR4525

Fabricante: Duralast

Descrição: A válvula EGR é responsável pelo controle da readmissão do ar da exaustão para o motor. Esse mecanismo previne a combustão precoce do combustível e por consequência, aumenta a compressão do combustível.

Peso: 643 g

Conector: Fêmea / 6 Machos



Figura 7.6b - EGR valve

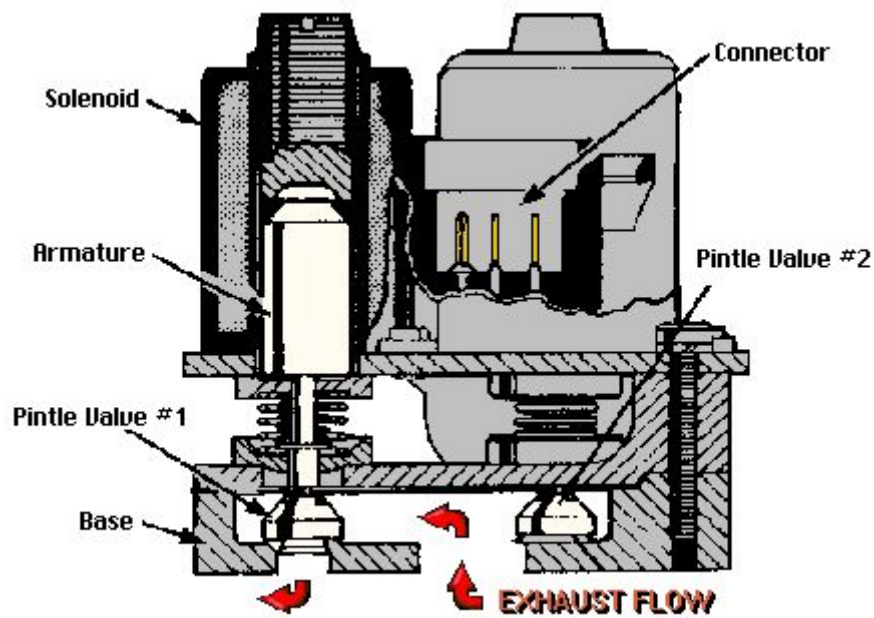


Figura 7.6c - Esquemático da Válvula EGR

7.7 A/C Compressor

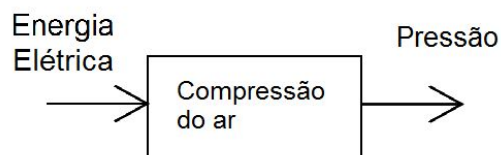


Figura 7.7a - Esquema de funcionamento do compressor do AC

Número: B0921

Fabricante: Four Seasons

Descrição: O compressor de ar condicionado no automóvel tem o objetivo de aumentar a pressão do ar e por consequência aumentar a temperatura para condensar e posteriormente trocar calor com o ambiente.



Figura 7.7b - Compressor do A/C

7.8 A/C Heater Blower Motor

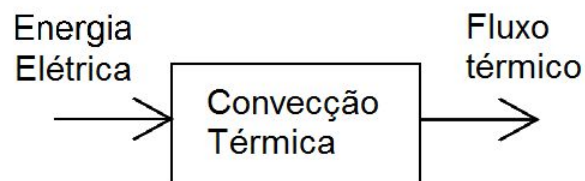


Figura 7.8a - Esquema de funcionamento do Heater Blower Motor

Número: PM4031

Fabricante: VDO

Descrição: Motor responsável por levar o ar resfriado para o ambiente interno do automóvel.



Figura 7.8b - A/C Heater Blower Motor

7.9 Door Lock Actuator

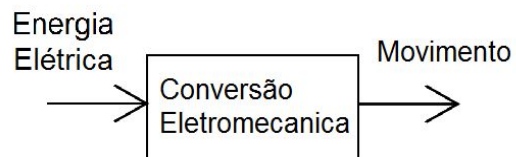


Figura 7.9a - Esquema de funcionamento do atuador de trava de porta

Número: 931-445

Fabricante: Dorman

Descrição:: Trata-se de um motor elétrico que permite o travamento remoto das portas. Esse atuador permite acionamento a distância, permitindo que o motorista tranque e destranque a porta remotamente. Destaca-se, a grande durabilidade desse atuador.

Peso: 597 g

Material: Plástico, Metal

Conector: 5 Fêmeas



Figura 7.9b - Trava das Portas

7.10 Battery Cooling Fan

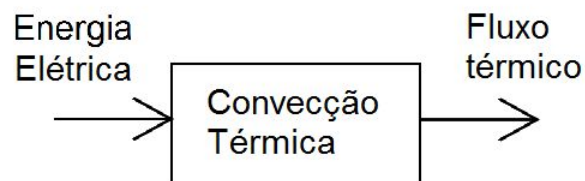


Figura 7.10a - Esquema de funcionamento do ventilador da bateria

Número: 601-029

Fabricante: Dorman

Descrição: Trata-se de um atuador que visa a redução da temperatura da bateria do carro. Isso é de extrema importância uma vez que isso aumenta a vida útil do carro e garante a segurança durante a direção (um aumento na temperatura implica em dificuldades na condução do carro)

Peso: 1,69 Kg

Tipo do terminal: Blade



Figura 7.10b - Refrigeração para a bateria

7.11 Headlight Adjusting Motor

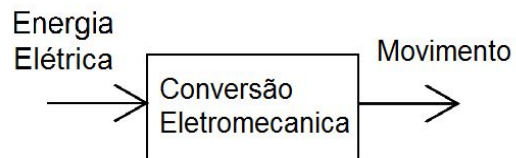


Figura 7.11a - Esquema de funcionamento do motor de ajuste dos faróis

Número: G91005

Fabricante: TechSmart

Descrição: Trata-se de um motor que permite a rotação do eixo da lanterna do carro, promovendo a adaptação da iluminação da via.

Conector: 1 Macho

Terminal: 6 Blade



Figura 7.11b - Motor de ajuste dos faróis

7.12 Window Lift Motor

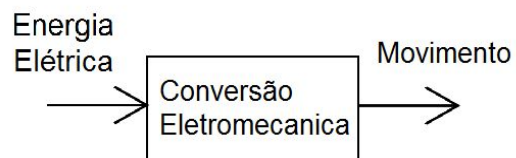


Figura 7.12a - Esquema de funcionamento do motor de acionamento das janelas

Número: 748-939

Fabricante: Dorman

Descrição: Trata-se do motor responsável por levantar os vidros do carro. Ele está acoplado a um mecanismo do tipo trapézio articulado de mobilidade 1.

Peso: 1,54 Kg



Figura 7.12b - Motor de acionamento das janelas

7.13 Windshield Wiper Motor

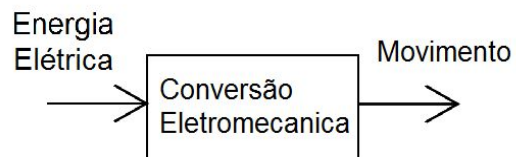


Figura 7.13a - Esquema de funcionamento do motor de acionamento dos limpadores de para-brisa

Número: 43-20040

Fabricante: Cardone

Descrição: Trata-se do motor responsável por acionar os limpadores do para-brisa..



Figura 7.13b - Motor de acionamento dos limpadores de para-brisa

8. ADAS, Conforto Veicular e Dirigibilidade:

Advanced Driver-Assistance (ADAS), ou Assistência ao Motorista Avançada (AMA), são sistemas desenvolvidos para automatizar, adaptar, melhorar os sistemas veiculares para maior segurança e melhor dirigibilidade. Recursos de segurança são projetados para evitar colisões e acidentes, oferecendo tecnologias que alertam o motorista de problemas potenciais e/ou evitam colisões através da implementação de algoritmos “salva-vidas” (safeguards) que tomam o controle do carro quando necessário.

Recursos adaptativos podem oferecer iluminação automática, controle de cruzeiro (cruise control), frenagem automática, GPS/avisos de trânsito incorporados ao painel, conexão com smartphones, aviso ao motorista de outros carros e perigos, estabilização do carro na pista correta, ou mostrar o que há nos pontos cegos.

São muitas as técnicas de AMA disponíveis hoje, mas ainda é foco de muito estudo, sendo criadas novas técnicas diariamente, tornando difícil a atualização deste caderno. Alguns desses recursos são incorporados a fabricação do carro, outros dependem do proprietário adicioná-los conforme bel-prazer. O AMA requer informações de variadas fontes de entrada, tais como processamento de imagem, visão computacional, intranet do veículo, radares e lidars. Fontes adicionais, aparte ao veículo, também são possíveis, tais como outros veículos (referidos como veículo-a-veículo (VAV), ou vehicle-2-vehicle (V2V)) ou o ambiente em questão, rede de telefonia ou internet (sendo referidos como veículo-infraestrutura (VI), ou Vehicle-to-Infrastructure (V2X)).

No setor de eletrônica automotiva é um dos ramos que mais cresce, com rápida adoção de padrões de qualidade/segurança pela indústria. Na segurança veicular, ISO 26262, desenvolvem-se padrões tecnológicos específicos, como o IEEE 2020 para a qualidade do sensoriamento de imagens e protocolos de comunicação.

Dando continuidade a motivação do caderno, no Toyota Prius são encontradas várias facilidades relacionadas a conforto e dirigibilidade. Tais como (nem todas estão disponíveis no Prius que a EP possui em 2017):

1. Painel modernizado com projeção de velocidade no vidro parabrisa
2. Abertura do porta-mala com os pés
3. Escurecimento do retrovisor frontal
4. Sistema de áudio de oito falantes
5. Display de 6.1 polegadas
6. Conexão por bluetooth e transmissão de áudio
7. Ignição por botão
8. Sistema de proximidade de chave
9. Câmera de ré
10. Aplicativos integrativos ao veículo

11. Ar condicionado controlado remotamente
12. Assistência de Estabilização de Faixa
13. Controle de Cruzeiro
14. Assistência de Estacionamento
15. Localizador de veículo roubado, botão de emergência e assistência de acostamento.

De todas as apresentadas, as que são resultado de pesquisa em AMA recentes são as quatro últimas. Assim sendo, faremos uma vista mais detalhada de cada uma delas.

8.1 Assistência de Estabilização de Faixa (AEF)



Figura 8.1 - Visão geral do sistema

São quatro operadores da Assistência de Estabilização de Faixa (AEF), sendo indicados na figura 8.1. Sendo:

1. Câmera para detecção de faixas
 - É por onde a entrada da informação ocorre, permitindo a ECU fazer os cálculos necessários.
-
2. Volante e atuadores
 - É como a ECU pode controlar o carro, com rápidas ações no eixo de direção.
3. Painel de informações com apito.
 - É onde as informações são mostradas de maneira clara ao motorista, e indica se o sistema está ligado ou não.
4. Botão LKA (Lane Keep Assist)
 - Liga o sistema.

Ao ligar o sistema, a ECU verifica a posição do carro na pista, relativa às faixas e ao veículo em frente. Ao detectar uma leve inclinação na rota, o atuador é rapidamente acionado e o apito é ativado. Caso o motorista deseje mudar de faixa, o sistema percebe o quanto o volante foi esterçado (ou o acionamento da seta) e desliga a atuação momentaneamente. Caso o motorista freie, o sistema também desliga, mas é necessário apertar o botão LKA para reiniciá-lo. O processo pode ser visualizado na figura 8.2.

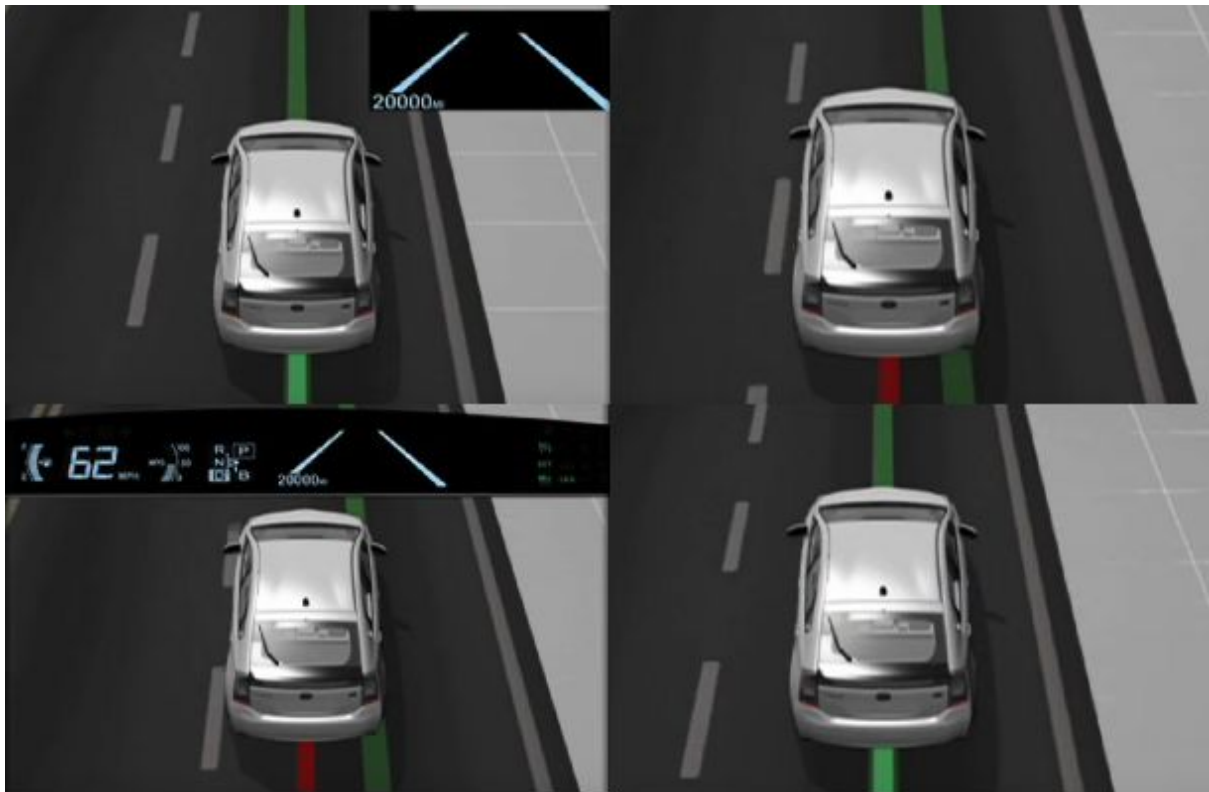


Figura 8.2 - Simulação de funcionamento

Para maior controle do veículo, o sistema tem dois níveis de atuação que dependem da velocidade:

1. De 50 km/h até 80 km/h
O sistema atua apenas com a detecção de faixa, não acionando o atuador para forçar a permanência.
2. De 80 km/h até 180 km/h
O sistema opera em seu modo completo, forçando a permanência no centro da faixa.

8.2 Controle de Cruzeiro (CC)

Similar ao AEF, o CC usa a câmera vista na figura 8.1, juntamente com um sensor de proximidade para calcular a posição do carro a frente. Ao acionar o botão localizado acima do botão LKA no volante (fig 8.1) o sistema é acionado, tomando controle sobre o acelerador e mantendo a distância entre o carro da frente constante para um intervalo pequeno da velocidade original. Ao esterçar o volante o suficiente para mudar de faixa ou freiar, o sistema desativa, com reiniciação e sem reiniciação, respectivamente.

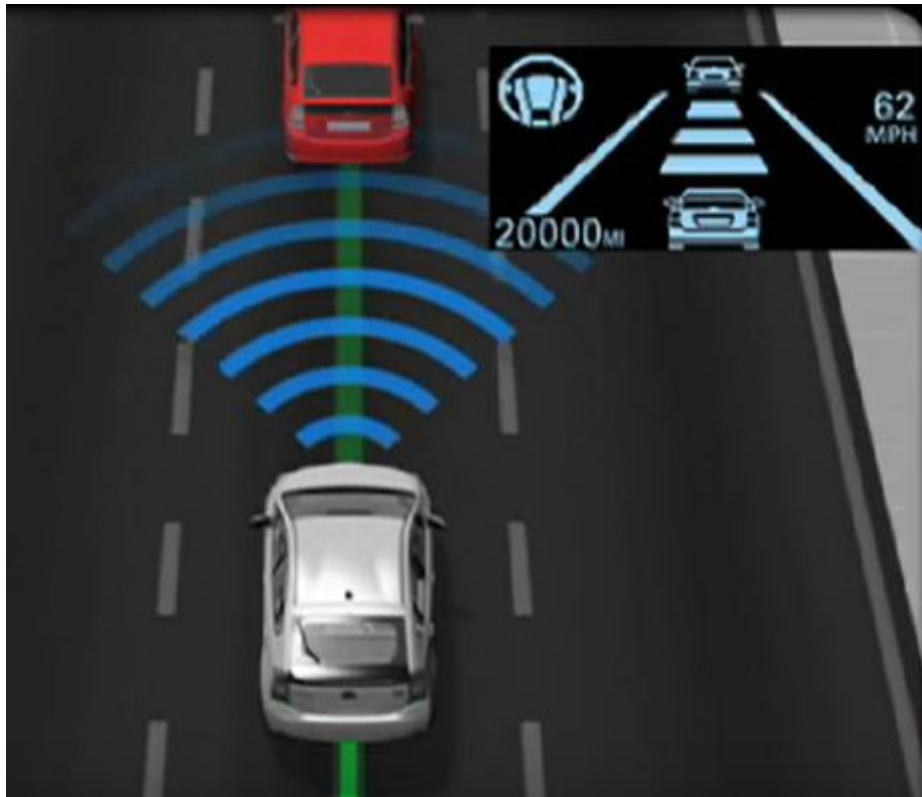
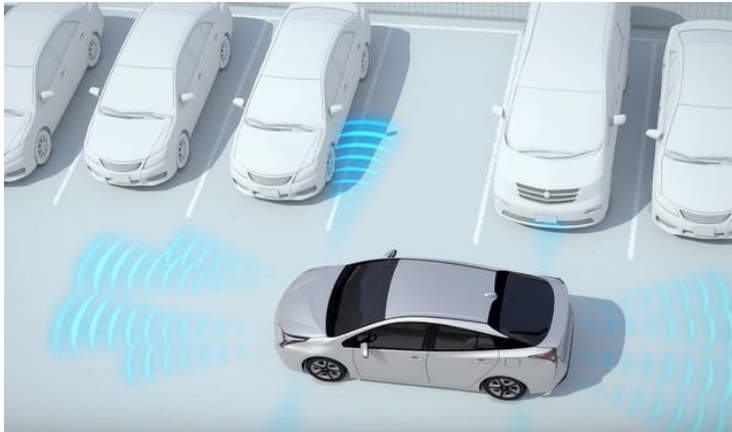


Figura 8.3 - Ilustração do CC

8.3 Assistência de Estacionamento (AE)

O sistema de Assistência de Estacionamento foi projetado para ajudar o motorista a estacionar na decorrência de certas condições. O sistema mede potenciais vagas de estacionamento e esterça o volante automaticamente com avisos ao motorista para acelerar, freiar e trocar a marcha. Usando do sistema de Sonar (ICS) para detectar a distância entre os outros carros e possíveis colisões, o veículo pode freiar/diminuir a aceleração automaticamente durante o processo.

Ao dirigir em menos de 30 km/h, o veículo pode começar a procurar por vagas (fig 8.4), basta acionar o botão (fig 8.6).



Contudo, o motorista é sempre o responsável por controlar a velocidade, apenas a direção é automaticamente ajustada. Seguindo uma série de instruções que aparecem no painel (fig 8.5), o sistema avisa quando se deve trocar de marcha, acelerar, freiar, a distância entre os obstáculos e quando o processo termina.

Figura 8.4 - Ilustração do ICS



Figura 8.5 - Painel Veicular



Figura 8.6 - Botão que aciona o sistema

O sistema atua baseado na distância entre obstáculos. Se não há obstáculo, não há como medir, portanto, não é possível usar a AE em um estacionamento livre.

Em certos caso de estacionamento (balizas - por exemplo), além de ajudá-lo a estacionar, o AE pode ajudá-lo a sair da vaga. Basta apertar o botão acionador (fig 8.6) e indicar, com a seta, para qual lado deseja-se sair, seguindo um processo parecido com o de estacionamento (fig 8.7). A Toyota adverte que o motorista é responsável por observar o tráfego de veículos na região e garantir sua própria segurança.



Figura 8.7 - Saindo de baliza com AE

8.4 Localizador de veículo roubado, botão de emergência e assistência de acostamento

Preocupados com a segurança dos usuários, a Toyota vem incrementando as medidas de segurança contra ataques no Prius. Em 2007, a única medida disponível era um botão na chave, que ao pressionado fazia o alarme do carro ser acionado. Em 2015 foi incrementado um botão de emergência no próprio veículo, localizado atrás do retrovisor central. Pela conectividade dos aplicativos para celulares e GPS, o Prius manda um alerta com a localização do carro para um número seguro e pode ser rastreado pela internet. Contudo, a equipe não sabe se este botão aciona o alarme, pois não o acionamos.



Através do centro de atendimento 24/7 da Toyota, o Safety Connect® oferece recursos úteis, tais como assistência de emergência, localizador de veículos roubados, assistência de acostamento e notificação de colisão automática. A Safety Connect® também oferece a confiabilidade da tecnologia GPS incorporada.

Figura 8.8 - Botão de pânico em vermelho.



Figura 8.9 - Botão de SOS.



Figura 8.10 - Painel do Prius

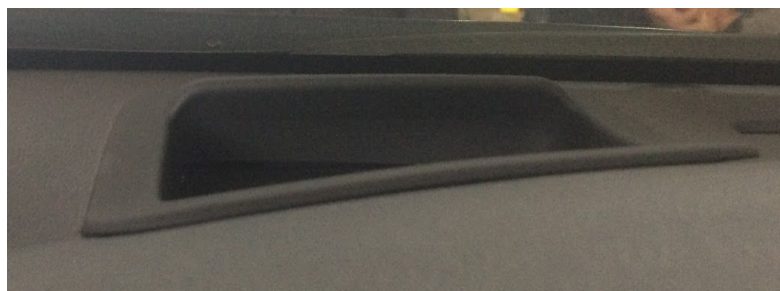


Figura 8.11 - Projetor da velocidade no vidro parabrisa



Figura 8.12 - Volante eletricamente controlado

8.5 Teto solar com painéis fotovoltaicos e ar condicionado remoto

O recurso do painel solar Toyota Prius é uma característica interessante do veículo. Painéis solares localizados no teto do Toyota Prius absorvem os raios do sol e usam essa energia solar absorvida para alimentar o sistema de ventilação do veículo. Assim, enquanto o Prius está estacionado no sol, ele armazena energia e alimenta o sistema de ventilação e ventilador, mantendo uma temperatura mais fria no interior do veículo. Esse recurso permite que o usuário não precise entrar no veículo muito quente.

Existem duas formas principais de ativar o recurso do painel solar e manter o Prius confortável nos dias de calor. Primeiro, é possível habilitar o sistema de ventilação com energia solar antes de sair do veículo com um botão localizado no painel de instrumentos do Toyota Prius. O segundo método permite controlar o ar condicionado remotamente. Basta pressionar o botão de ar condicionado na chave e usar a energia solar armazenada para alimentar o sistema de ar condicionado eletrônico antes de dirigir o veículo. O sistema opera durante três minutos ou até o usuário entrar no carro.

O sistema não funcionará nos seguintes casos:

- A temperatura do ar condicionado está muito alta;
- A temperatura externa está menor que a temperatura de controle;
- O veículo está parado a muitos dias;
- A bateria híbrida tem pouca carga.

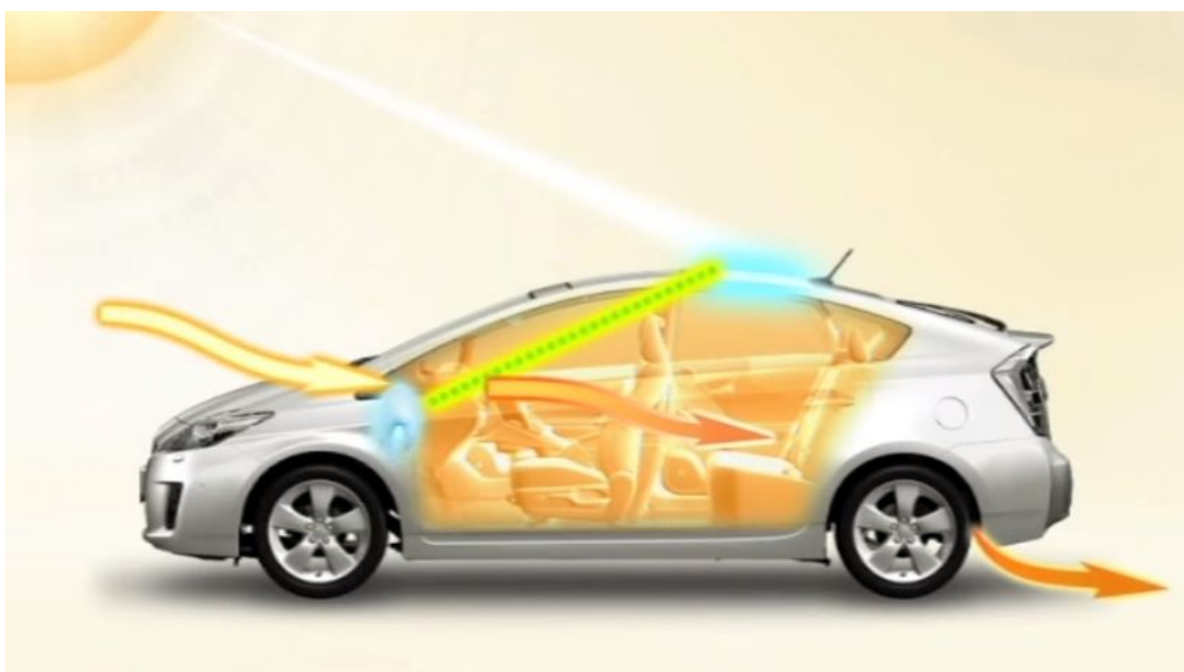


Figura 8.13 - Sistema de ventilação do veículo



Figura 8.14 Botão para acionar o sistema de ventilação

8.6 Botão power e sistema de proximidade da chave

O sistema de proximidade da chave faz com que o carro seja destrancado se a chave está próxima do carro e o tranca automaticamente se a chave se afasta do mesmo. O carro apitará se a chave se afastar do carro e uma ou mais portas estiverem abertas, ou o capô ou porta malas. Com o botão de power, é possível dar partida com a chave no bolso, um conforto a mais.



Figura 8.15 Power botão

8.7 Airbags



Figura 8.16 Airbags

O Prius vem com sete airbags padrão, incluindo airbags do condutor e do passageiro da frente, bem como um airbag do joelho do motorista.

8.8 Bancos e Porta-malas

Os bancos do Toyota Prius apresentam um material de assento denominado SofTex, que pesa cerca de metade do couro genuíno. A forma como esse material é fabricado gera cerca de 85% menos emissões de CO₂ e compostos orgânicos voláteis (COV) do que o de couro sintético convencional.

Os assentos dianteiros podem ser aquecidos, o assento do motorista é ajustável com apoio lombar e assentos SofTex em couro estão disponíveis. O Prius tem assentos frontais confortáveis e de suporte e o banco de trás oferece amplo espaço para as pernas e uma boa quantidade de espaço livre, possibilitando um bom conforto para os passageiros.



Figura 8.17 Bancos do Toyota Prius

O Toyota Prius apresenta um bom espaço para o porta malas com os bancos traseiros na posição normal: 610L. Com os bancos traseiros deitados, o porta-malas tem 1120L. Por isso, o veículo se destaca no seu espaçamento entre os híbridos.



Figura 8.18 Porta Malas Toyota Prius

8.9 Tela de 6.1 polegadas do Prius

O display de 6.1 polegadas do Toyota Prius apresenta diversas opções de uso para o conforto como: opção para escolha de músicas, bluetooth e câmera traseira. Além disso, é a interface para o uso do aplicativo Entune.

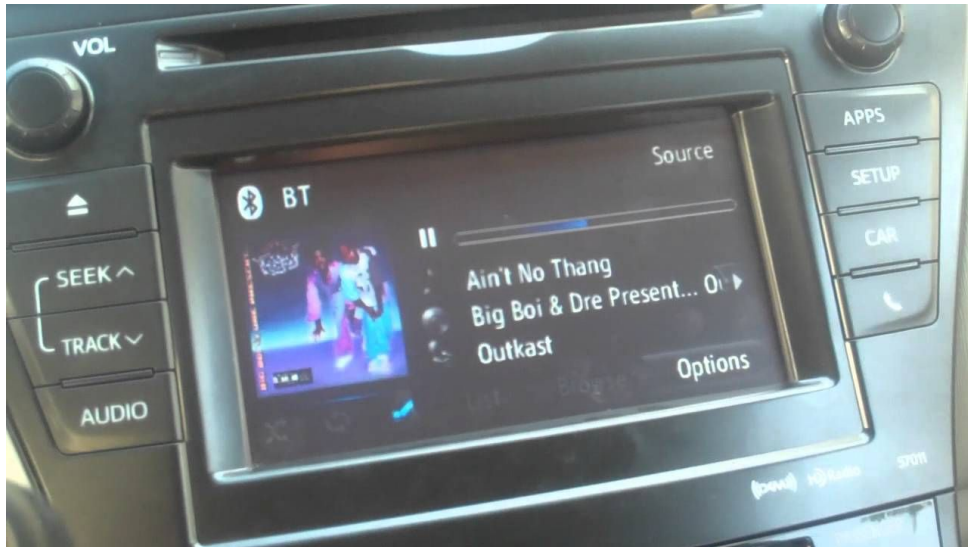


Figura 8.19 Porta Malas Toyota Prius

9. ECUs e Comunicação Elétrica:

9.1. ECU principal:

Ela lida com: solicitação de torque para o motor de combustão interna, o torque dos motores de tração elétrica e gerencia a relação de frenagem entre a ECU do freio eletrônico e o torque negativo do motor de tração para frenagem regenerativa.

Alguns pinos de entrada são conectados diretamente à ECU e outros são conectados ao barramento de comunicação CAN. Na Imagem abaixo temos um diagrama que mostra a ECU principal e outras que são conectadas diretamente a ela via hardware.

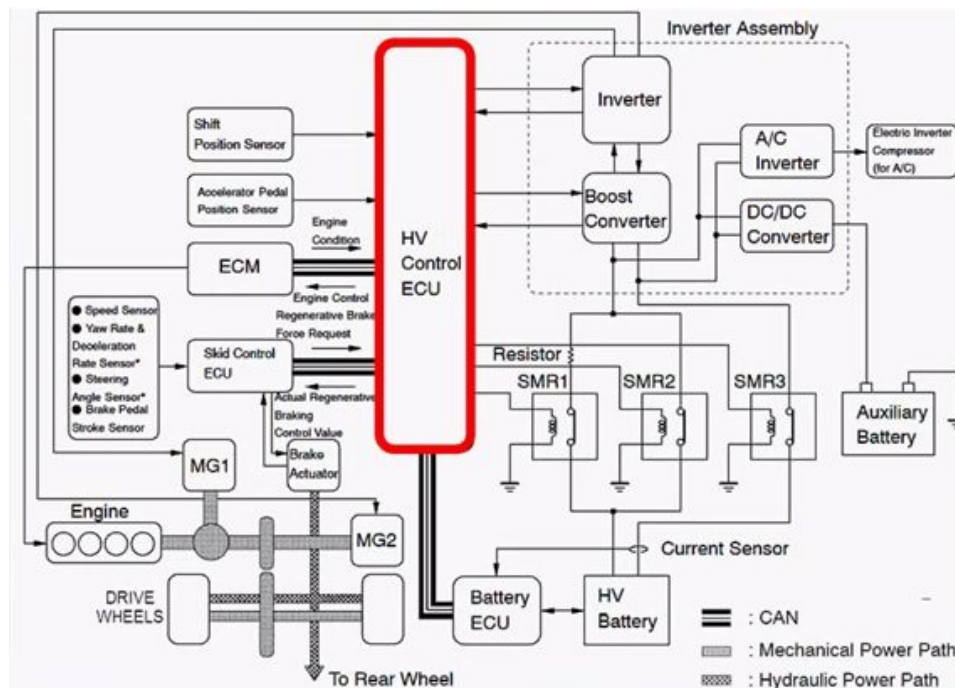


Figura 9.1 – ECU de Controle de Veículo Híbrido – ECU Principal.

Essa ECU principal controla o módulo conversor inversor de forma direta, possuindo este, então, módulos de capacitores, transistores IGBTs (que serão detalhados no item Chicote Elétrico de Potência). Ela controla também os contatos de alta tensão que as vezes são chamados como relés principais do sistema (System Main Relays – SMR) e o conversor DC-DC que carrega a bateria de 12V atuando como um alternador de carro comum.

A ECU possui dados de escaneamento que podem ser adquiridos quando conectado alguma ferramenta de scan no carro. Pode-se utilizar códigos de problemas de diagnóstico para obter uma direção de diagnóstico.

9.2. ECU de Gateway:

Controlar e misturar o sistema híbrido com o motor de combustão interna é complexo e requer módulos de controle diferentes que devem se comunicar entre si. Os dados devem ser compartilhados entre módulos e são transmitidos por um barramento de comunicação multiplex.

Os dados de alta velocidade são transmitidos por um par torcido (eliminar ruído) chamado barramento CAN, já as comunicações de velocidade lenta, são realizadas por: BEAN, LIN e AVC-LAN.

	CAN	BEAN	AVC-LAN
Speed	500k bps	10k bps max	17.8 k bps max
Type	Twisted pair	Single wire	Twisted pair
Drive Type	Differential	Single	Differential
Symbol			

Figura 9.2 – Características dos 3 tipos de redes de dados do carro.

O módulo Gateway conecta as redes conectando diferentes módulos com diferentes protocolos. Essa ECU de gateway possui circuitos de comunicação que correspondem à diferentes tipos de protocolos de comunicação.

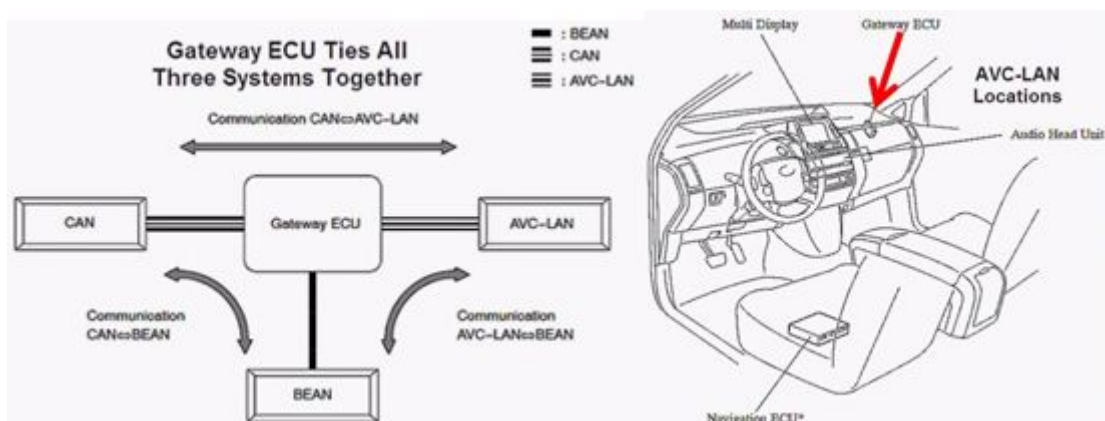


Figura 9.3 – ECU de Gateway.

A rede BEAN é usada para comunicações em baixa velocidade onde os dados em tempo real são muito importantes. É um padrão específico da Toyota (na verdade são sinais UART – muito mais reconhecido).

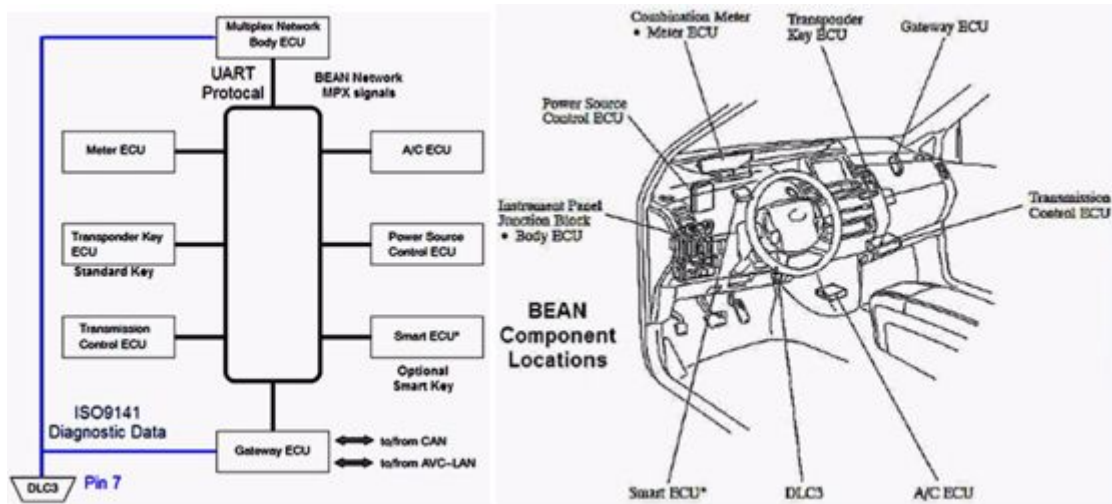


Figura 9.4 – Comunicação BEAN e localização dos componentes no carro.

Exemplo de sinal BEAN que pode ser observado em uma medição:

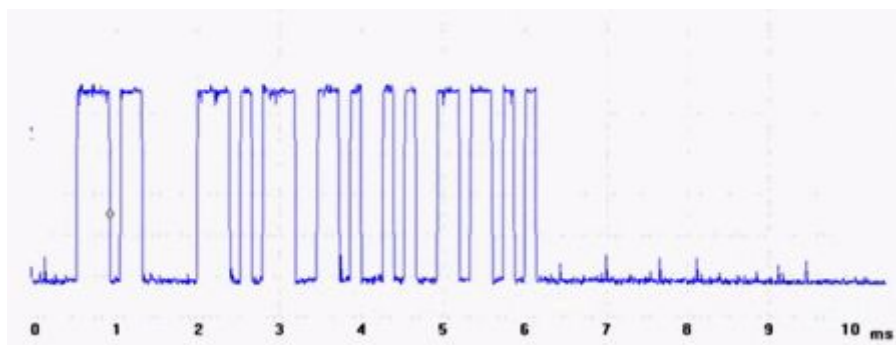


Figura 9.5 – Sinal BEAN comum no carro.

Abaixo temos um esquemático do barramento CAN do carro e a localização de alguns componentes que usam tal comunicação.

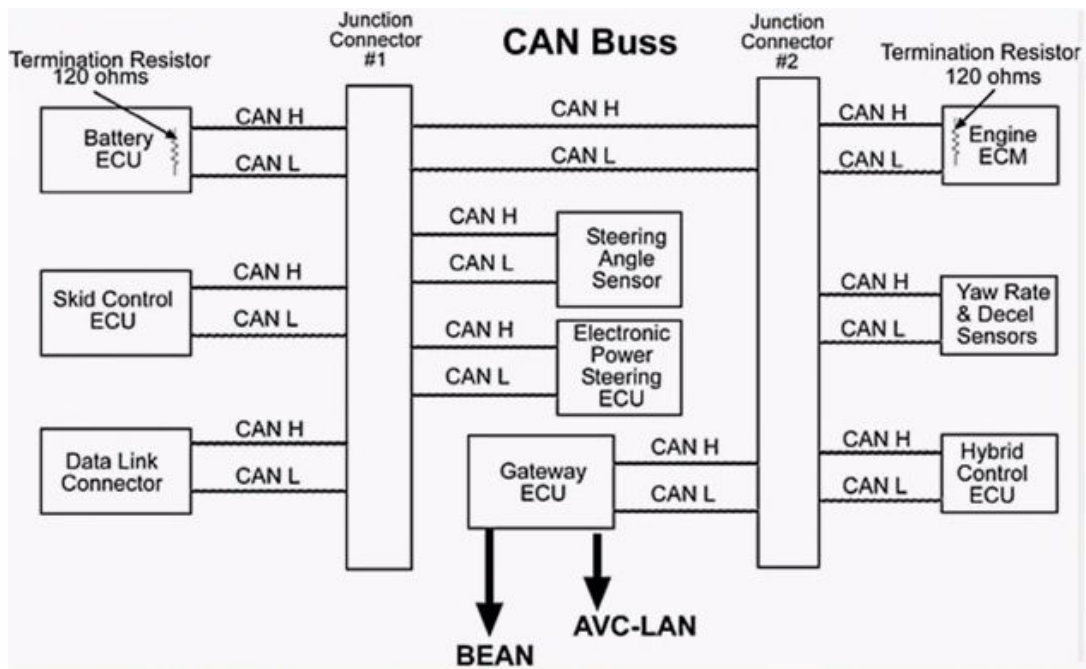


Figura 9.6 – Comunicações CAN no carro híbrido.

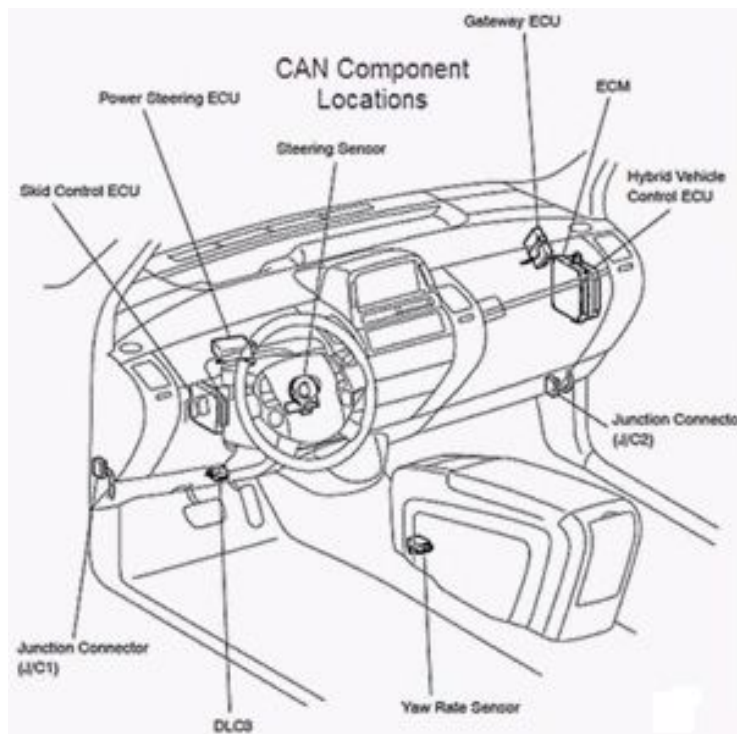


Figura 9.7 – Localizações no carro de componentes que usam a rede CAN.

Exemplo de sinal CAN que pode ser observado em uma medição:

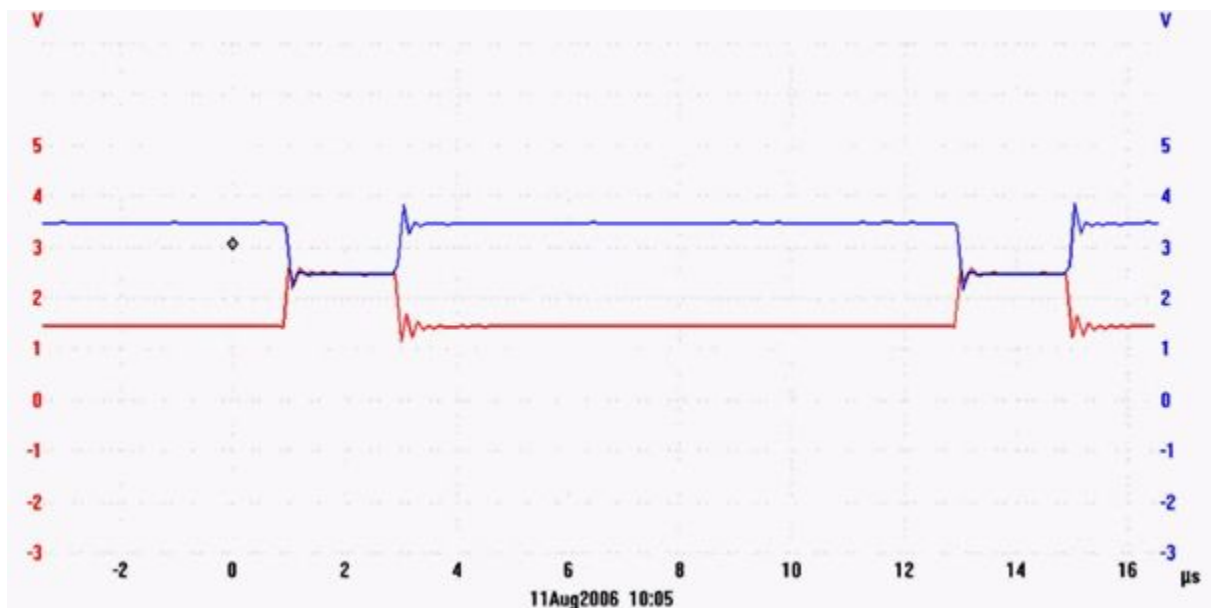


Figura 9.8 – Sinal CAN comum no carro.

AVC-LAN é a comunicação audiovisual que possui um par diferencial de fios trançados que conecta junto os dispositivos audiovisuais. Ela não está envolvida com o início ou controle do veículo híbrido.

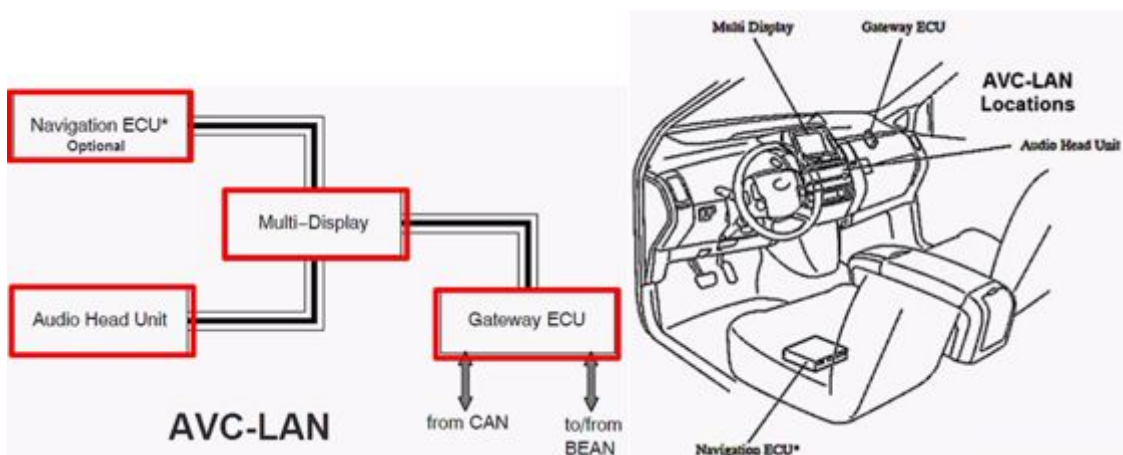


Figura 9.9 – Rede AVC-LAN e Localizações no carro de componentes que usam a rede.

Temos ainda os códigos de diagnóstico de problemas que oferecem informações mais específicas sobre um problema. Por exemplo: o código 152 indica um problema entre a comunicação CAN do motor de combustão interna e a ECU principal de controle.

9.3. ECU de Bateria:

A principal função da ECU de Bateria é monitorar e reportar a condição do pacote de bateria de alta tensão à ECU principal do veículo. Uma segunda função é monitorar e controlar o motor do ventilador da bateria para ajudar a manter a correta temperatura do pacote.

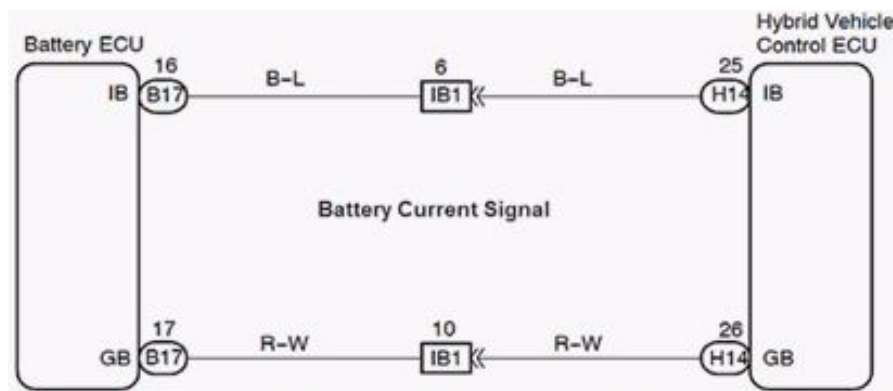


Figura 9.10 – Comunicação entre as ECUs.

Também envia mensagens através do módulo de gateway para o amplificador A/C para refrigerar o ar da cabine. O ar da cabine é puxado para dentro da bateria para o resfriamento da bateria e, o sistema A / C irá rodar, se o ar da cabine estiver muito quente para os requisitos de refrigeração da bateria.

Ela faz os cálculos usando: estado da carga (SOC – leva em conta a taxa de carregamento, temperatura e tensão), fluxo de corrente (entrando e saindo da bateria), sensores de temperatura e então reporta à ECU principal. O estado da carga deve ser controlado para maximizar a vida útil da bateria.

Uma operação fora da faixa de 20% a 80% do nível de carga da bateria resulta em aumento de temperatura e pressão dentro da bateria. Sobrecarregamento causa uma condição de superaquecimento que pode fazer com que a pressão interna da bateria aumente rapidamente. Por isso, a ECU de Bateria faz o controle para parar de carregar a bateria em 68% de SOC, com 60% sendo o ideal e entre 52% a 68% normal.

Sendo assim, essa ECU faz o controle, ainda, dos ventiladores de refrigeração da bateria que são controlados por velocidade (quanto maior a velocidade do veículo, maior a velocidade dos ventiladores). Liga esses ventiladores quando os sensores de temperatura apresentam um valor de 77 °F e, quando eles apresentam um valor acima de 140 °F, a ECU de Bateria desligará o pacote de bateria de alta tensão.

A posição da ECU de Bateria e uma imagem dela estão na figura abaixo.

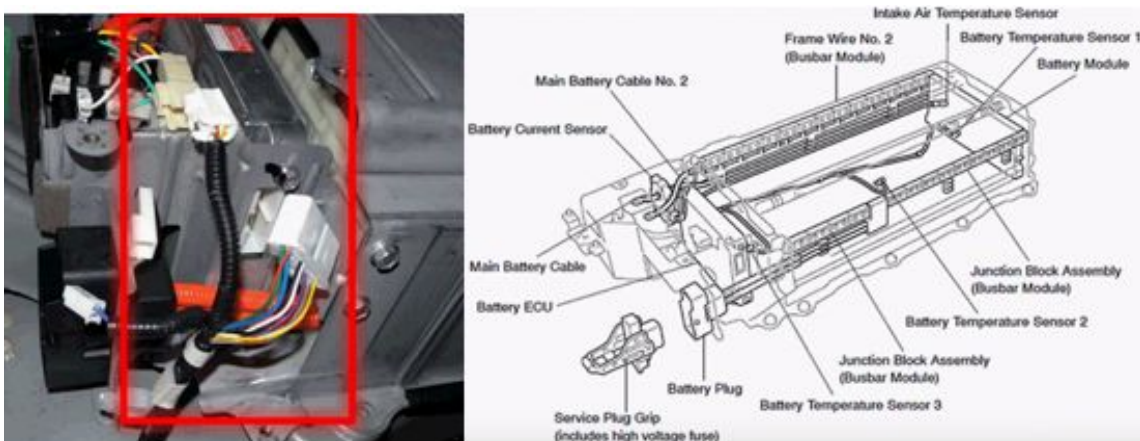


Figura 9.11 – Posição da ECU de Bateria e componentes do pacote de basteira.

Ela se comunica com: ECU principal (Hybrid Control ECU), Motor de Combustão Interna ECM (ICE ICM) e ao módulo Gateway, tudo utilizando a rede CAN, como pode ser visto na imagem abaixo.

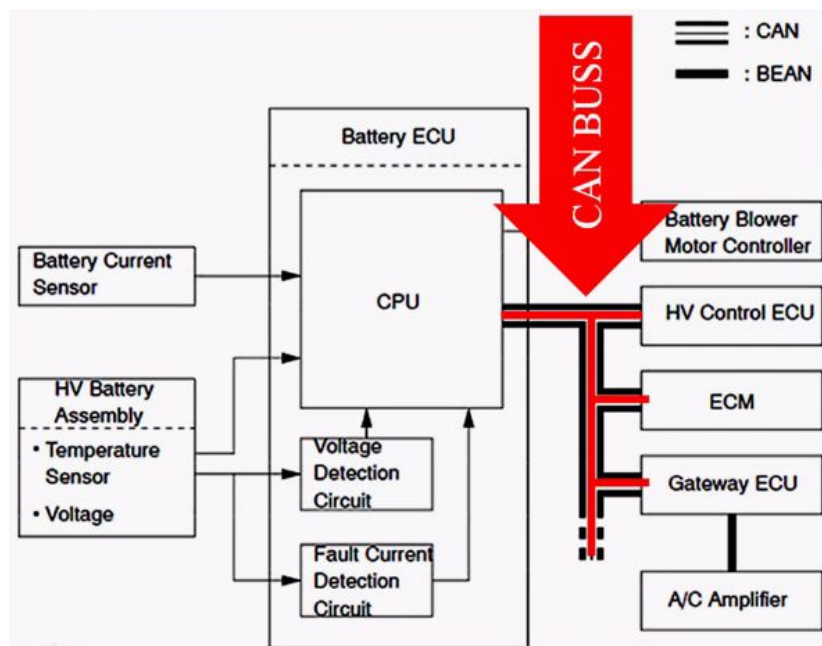


Figura 9.12 – Comunicação através da rede CAN.

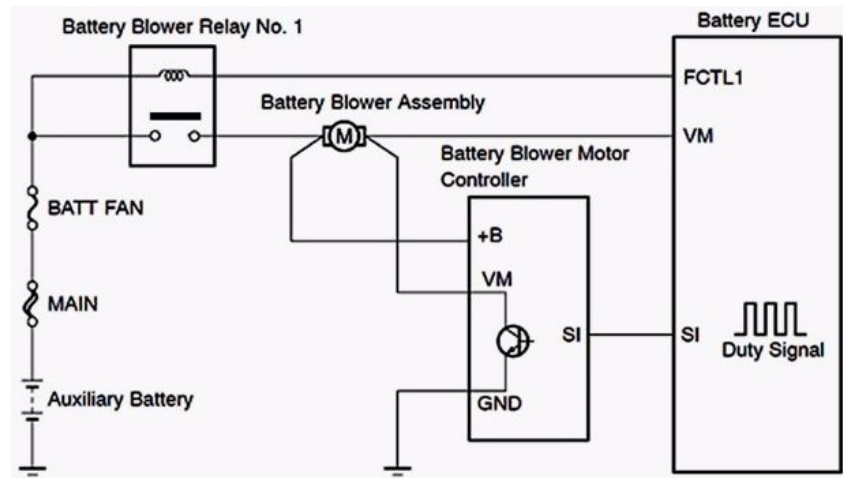


Figura 9.13 – Comunicação com o Motor de Combustão Interna

Se ocorre uma falha que possa danificar a bateria, essa ECU de Bateria entra em um modo de segurança de falha e envia um alerta à ECU principal se a operação do veículo precisa ser modificada.

Ações de controle:

- > SOC 6%: todas operações do veículo são desligadas;
- > SOC 35%: motores elétricos de tração são desligados;
- > SOC 40%: motores elétricos de tração em operação reduzida;
- > SOC 50%: motor de combustão interna começa a carregar as baterias de alta tensão;
- > SOC 52% a 68%: operação ideal;
- > SOC 80%: frenagem regenerativa desligada; e
- > SOC 94%: todas operações do veículo são desligadas.

9.4. ECU de Controle de Deslizamento:

Frenagem regenerativa é a fricção magnética no motor/gerador que reduz lentamente a energia cinética do veículo para diminuir a velocidade dele. Se trata da mudança dos motores elétricos para funcionarem como geradores.

Frenagem convencional ou por fricção é o acionamento pelo pé do disco rígido.

Frenagem híbrida é a combinação desses dois outros tipos citados acima.

A ECU de Breque do Prius é, na verdade, o Módulo de Controle Eletrônico do Breque (EBCM) + módulo ABS + módulo de estabilidade do veículo + módulo de controle de tração + atuação da válvula de dosagem que tudo junto forma a ECU de Controle de Deslizamento (Skid Control ECU).

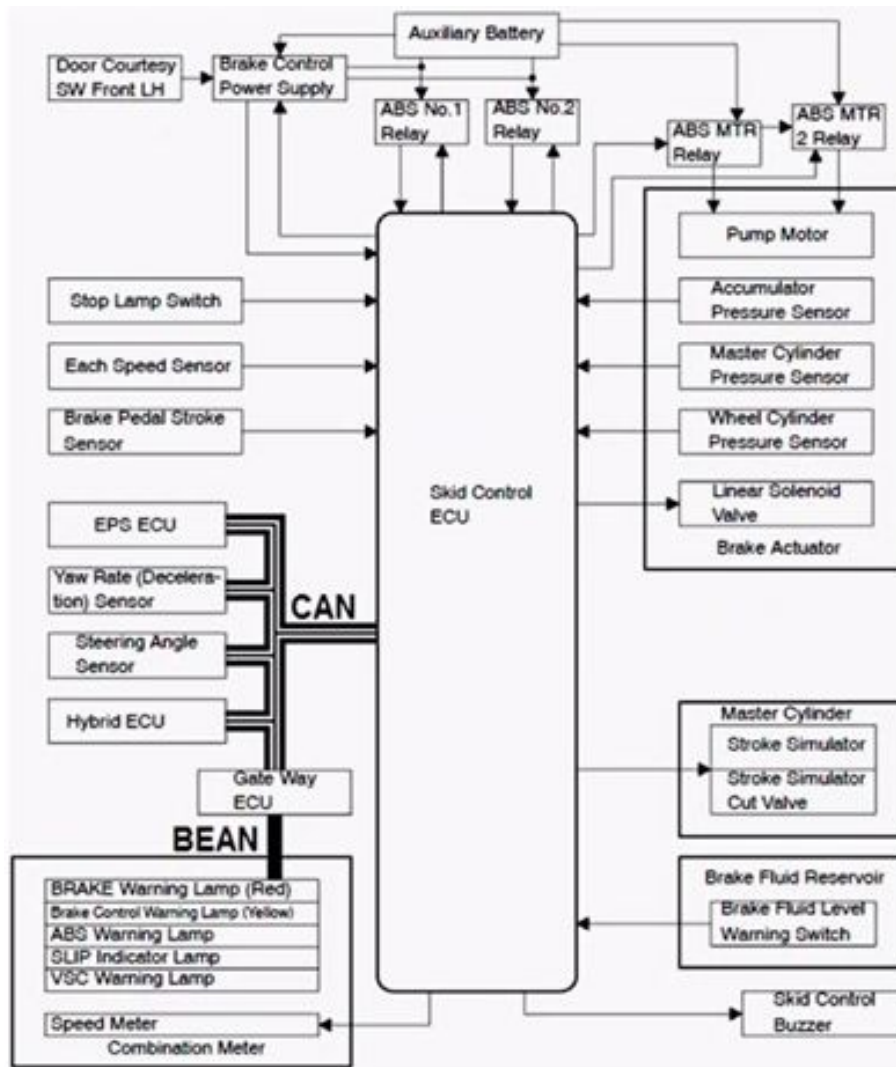


Figura 9.14 – Comunicações da ECU de Controle de Deslizamento

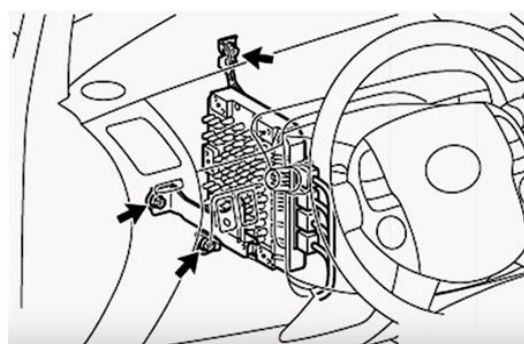


Figura 9.15 – Localização da ECU de Controle de Deslizamento no carro.

A força de freio é o torque de freio que é calculado pela ECU de controle de deslizamento e exibido em dados de varredura como torque.

Existem dois sistemas de breque: um é o convencional e o outro é o sistema de frenagem regenerativa que depende das resistências dos motores elétricos. Esse segundo sistema freia o veículo mas não o para, o convencional que faz isso e, enquanto freia, carrega a bateria de alta tensão. Abaixo, temos uma imagem em que aparecem os dois tipos (em amarelo, o sistema hidráulico e, em azul, o sistema eletrônico).

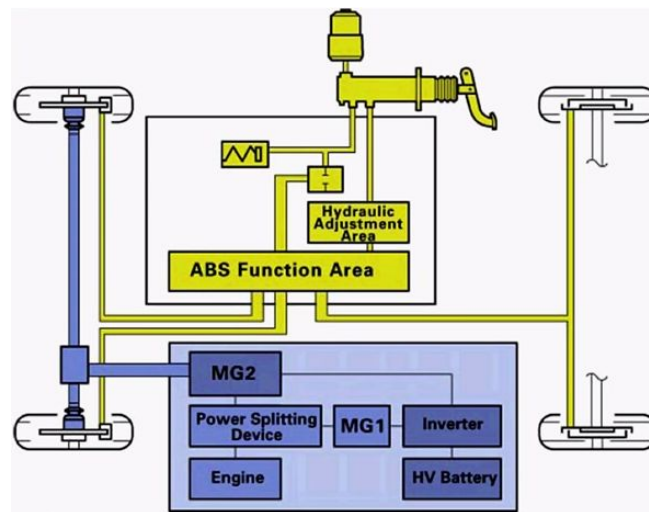


Figura 9.16 – Dois sistemas de breque do carro.

Existe uma sequência que ocorre quando o breque é acionado em veículos híbridos: a ECU de Controle de Deslizamento calcula a força total de freio requerida baseada nos sinais de entrada (fios diretamente ligados – luz de frenagem, sensores de velocidade, sensor de curso do pedal de freio e dados do barramento CAN – sensor de taxa de desaceleração (yaw sensor) e sensor de ângulo de direção – podem ser observados na imagem esquemática acima) e envia para a ECU principal o torque de freio total requerido que determinará a quantidade de frenagem regenerativa que será requerida através do barramento CAN. Essa ECU enviará para a ECU de Controle de Deslizamento os requisitos do freio de fricção que então aplicará a pressão hidráulica ideal nos breques para a fricção. Essa sequência é constantemente atualizada a medida que o veículo diminui a velocidade, sendo possível fazer as trocas entre frenagem por fricção ou frenagem regenerativa.

Essa ECU de Controle de Deslizamento controla e monitora uma porção de coisas. Deve realizar as seguintes funções: receber entradas de sensores de pressão para o acumulador, cilindro mestre e os cilindros de roda, controlar o simulador de traçado que dá ao motorista a "sensação" de freios convencionais durante a travagem híbrida, monitorar a velocidade da roda para funcionar como controlador de ABS, receber informações de sensores do pedal do breque do motorista que são usadas para calcular o torque de frenagem requerido, comunicar com a ECU principal para determinação da quantidade de frenagem regenerativa dos motores geradores elétricos, atuar como a ECU para controle de estabilidade do veículo recebendo dados do sensor de taxa de desaceleração e sensor de ângulo de direção pelo barramento CAN e forneça a velocidade do veículo ao medidor de combinação para o velocímetro e outros sistemas que recebem dados de velocidade do medidor de combinação.

Essa ECU controla tudo isso sendo energizada pelo sistema de 12V do carro. Essa fonte de energia possui uma boa quantia de capacitores que armazenam energia para a função de backup. Na imagem abaixo fica claro esse sistema de 12V com a bateria auxiliar (células de capacitores que armazenam e descarregam energia quando é necessário – imagem da direita).

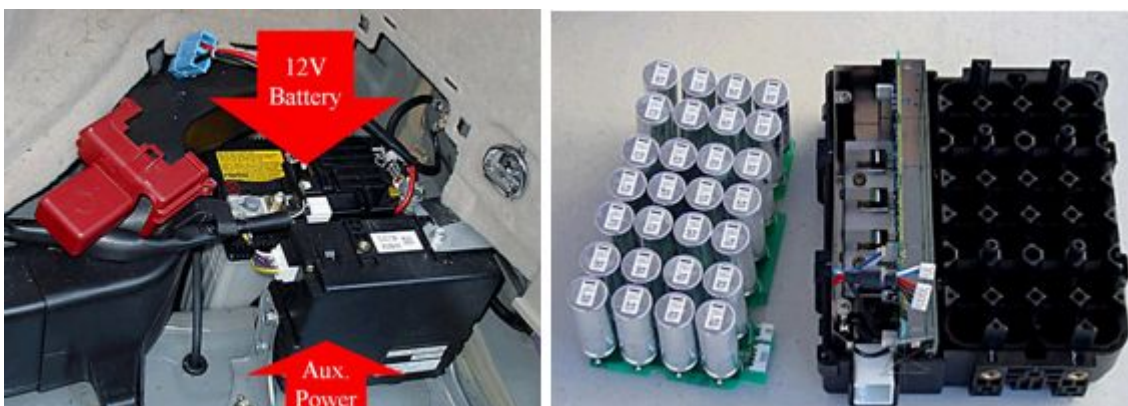


Figura 9.17 – Bateria de 12V e Bateria Auxiliar.

Temos também, um sistema de assistência de breque que, em emergências, puxa o pedal do freio rapidamente. O sistema do Prius interpreta isso como uma emergência e a ECU de Controle de Deslizamento ajuda o motorista aumentando a pressão hidráulica.

Os relés ABS 1 e 2 fornece energia aos solenóides controlados pela ECU de Controle de Deslizamento, fornece energia a essa ECU e mantém a condição de funcionamento do sistema de freio quando o interruptor de energia está desligado. O relé número 1 é usado para frenagem híbrida e o 2 usado para a função ABS.

9.5. Chicote Elétrico de Potência:

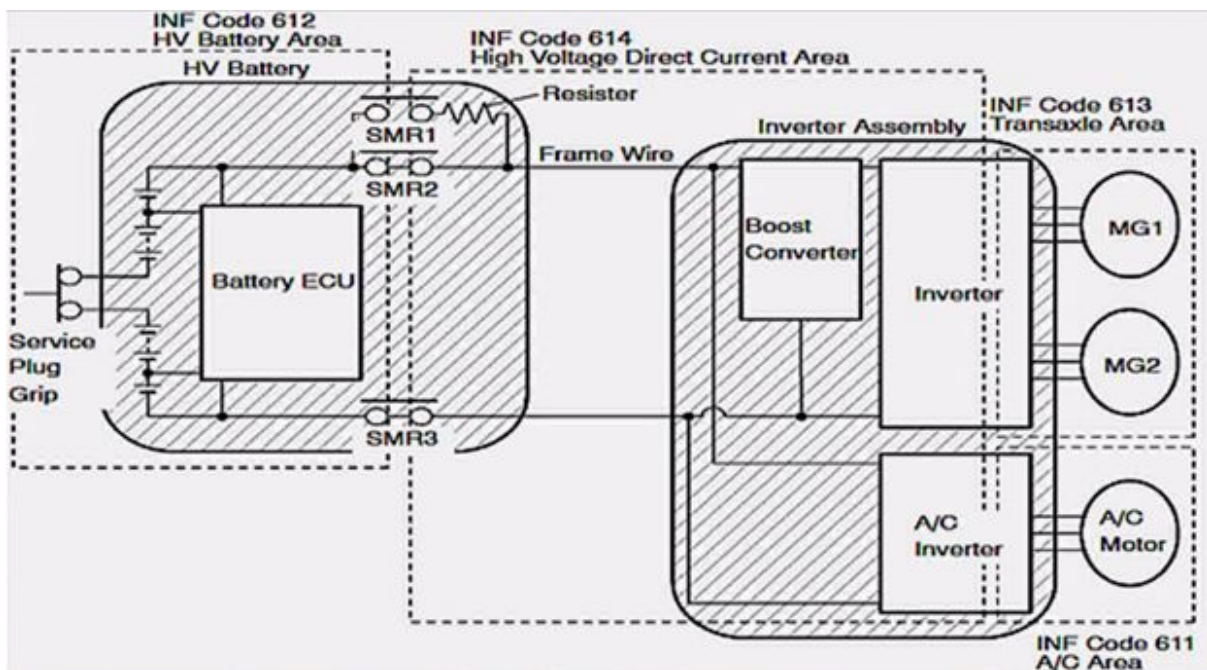


Figura 9.18 – Esquema Geral do Sistema Elétrico de Potência.

O Sistema elétrico de potência tem início com a bateria DC de 201.6V bastante pesada e localizada atrás do acento de trás. Possui também uma bateria de 12V auxiliar mas que serve para outras funções. Essa de 201.6V serve para o acionamento dos motores de alta tensão ligados ao transaxle.



Figura 9.19 – Bateria de Alta Tensão visualização externa.

Dentro da bateria é possível observamos as várias células (168) de bateria de 1.2V cada conectadas em série: $168 * 1,2 = 201,6V$.

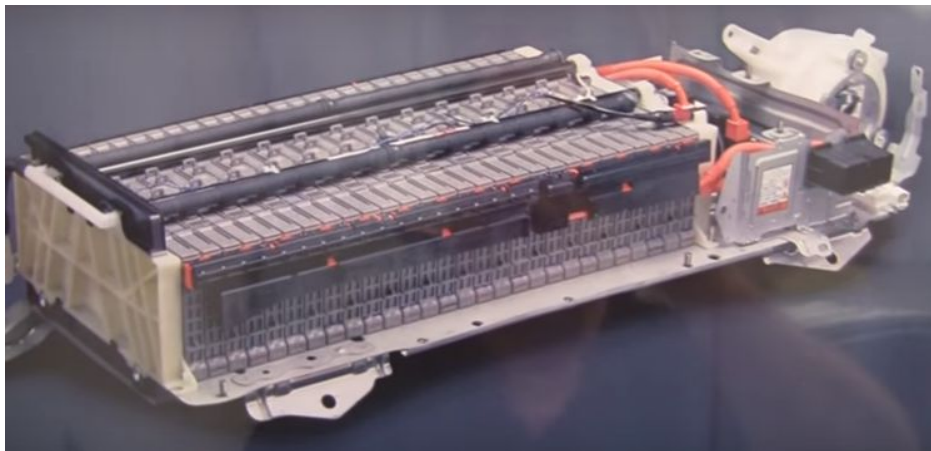


Figura 9.20 – Bateria de Alta Tensão visualização interna.

Logo antes de fecharmos o contato dos fios negativos ligamos esse contato que iguala as tensões entre os contatos o que aumenta a vida útil dos contatos.

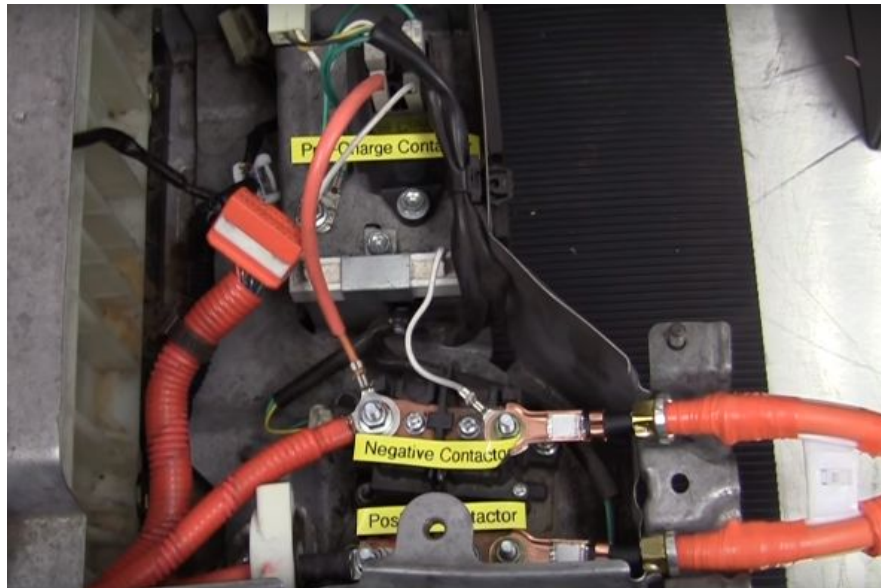


Figura 9.21 – Conectores da Bateria de Alta Tensão.

Temos ainda, um plug ao lado da bateria que faz o contato com os cabos de isolamento da bateria que “deixa” com que o computador descarregue o sistema de alta voltagem. O fusível de 125A fica dentro desse plug.



Figura 9.22 – Plug de Serviço e Fusível de Proteção.

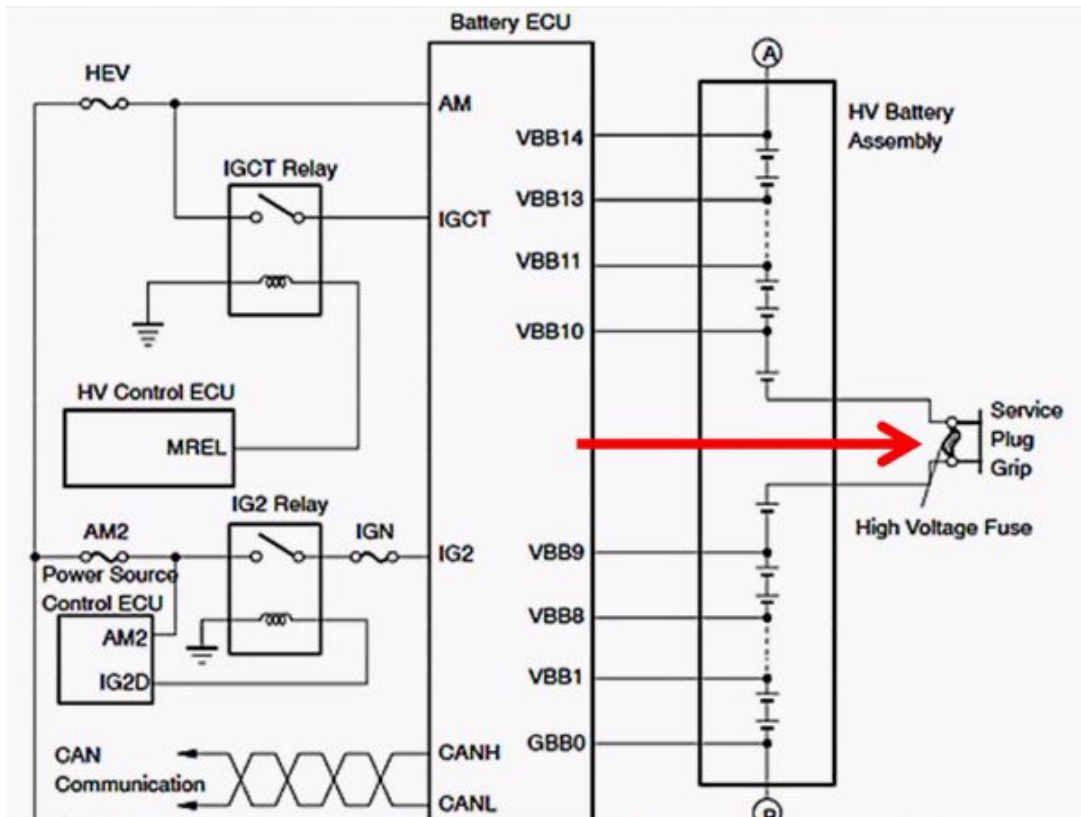


Figura 9.23 – Esquema elétrico do Plug de Serviço.

Seguindo o chicote laranja, de potência, temos o cabo que vai para a bateria de 12V:

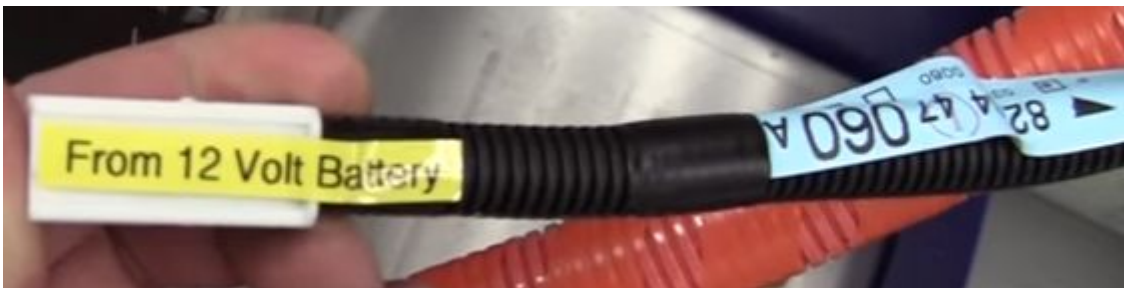


Figura 9.24 – Cabo da alimentação de 12V.

Esse cabo preto, junto com os dois cabos laranjas, vai para a parte frontal do veículo, do lado do motorista, embaixo do capô, onde ele é ligado ao bloco de fusíveis “underhood” (é o que gera energia ao bloco) no conjunto conversor inversor (imagem abaixo).

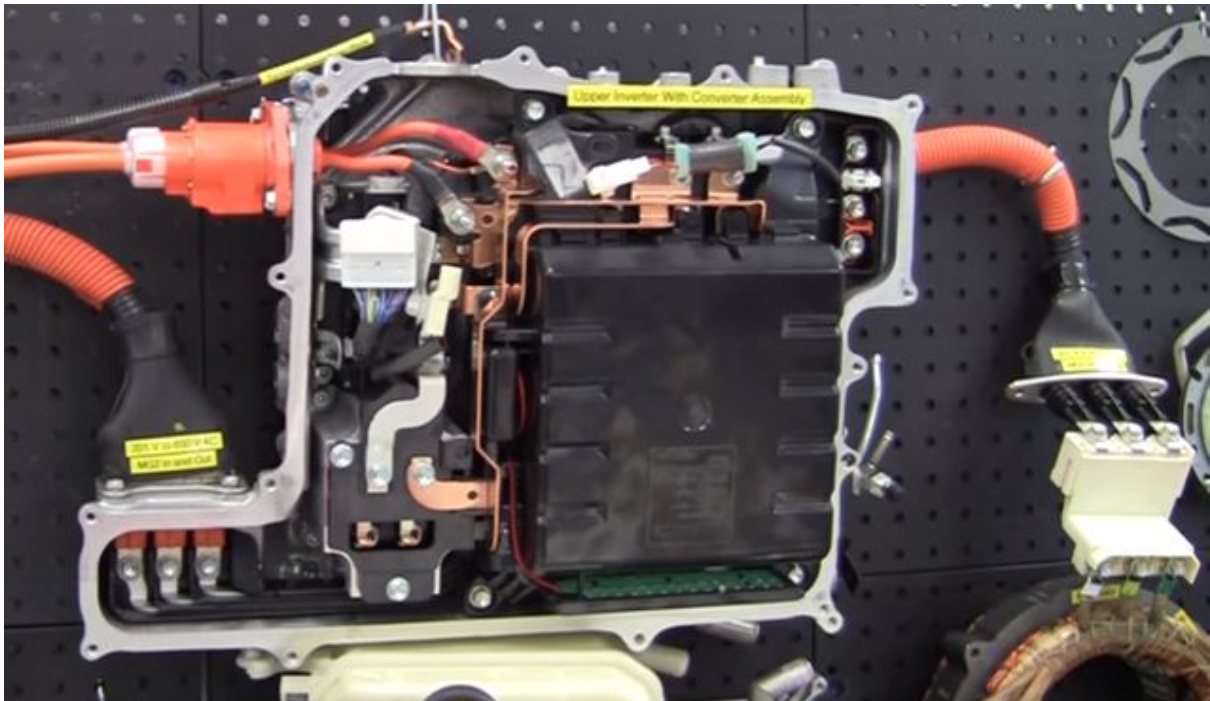


Figura 9.25 – Conjunto Conversor Inversor.

Esse conjunto conversor inversor é o que gera energia para o Motor Gerador número 2 através dos 3 cabos trifásicos que aparecem à esquerda da imagem acima e para o Motor Gerador número 1 através dos 3 cabos trifásicos que aparecem à direita da imagem acima. Ele também recebe corrente durante a desaceleração de freios degenerativos.

Na imagem abaixo podemos ver uma imagem mais ampla dessa peça tão importante no carro.

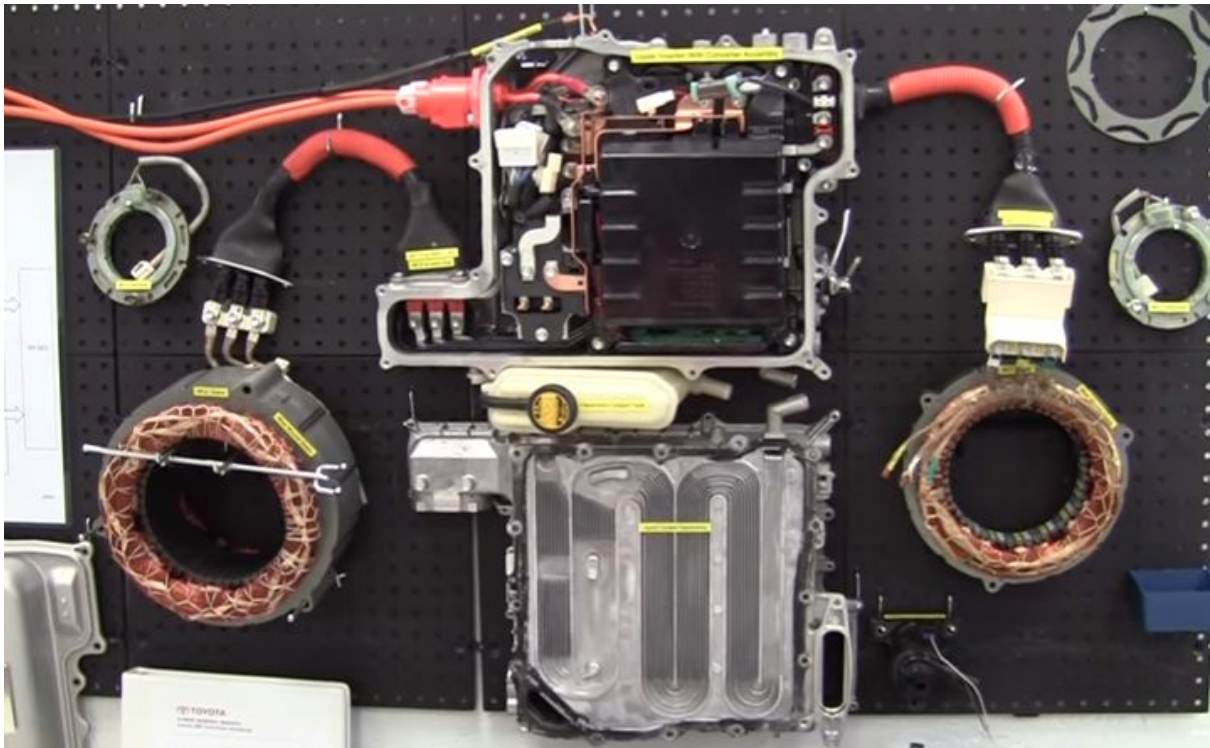


Figura 9.26 – Conjunto Conversor Inversor e suas conexões.

Essa grande caixa preta esconde um grande pacote de capacitores (tipos especificados na imagem abaixo – capacitores de 1130uF, 282uF e 0.1uF) que fazem parte do circuito geral de condução do motor (imagem abaixo, abaixo).



Figura 9.27 – Especificação do Pacote de Capacitores.

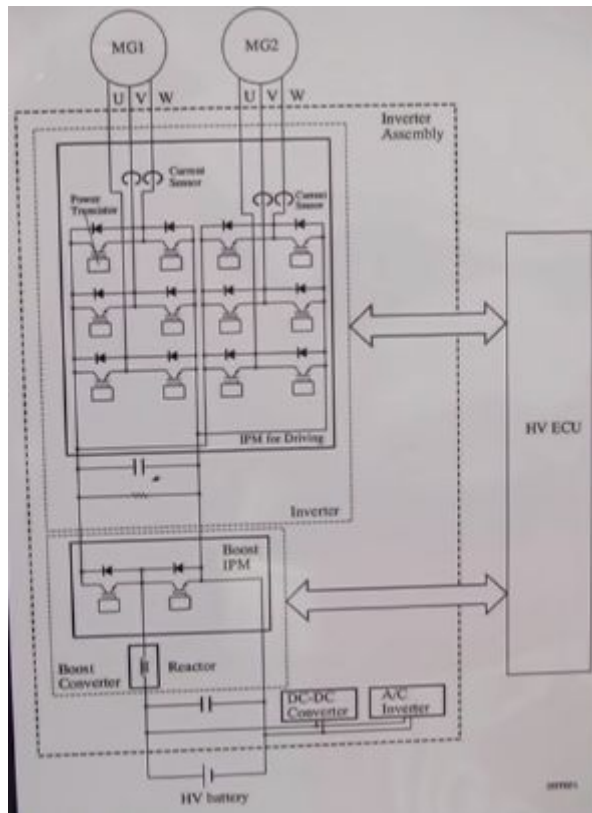


Figura 9.28 – Esquema elétrico geral do sistema de alta tensão.

Abaixo desse módulo de capacitores temos o Módulo de Energia Inteligente (“Intelligent Power Module” - IPM) que possui 6 transistores bipolares isolados (IGBT). Atrás desses 6 conectores mostrados na imagem abaixo, eles estão conectados à um grande dissipador de calor que está conectado ao sistema de refrigeração que será comentado adiante. Os transistores são condutores de três fases de cabeamento, então, os 3 cabos, que aparecem a direita da imagem, são conectados ao módulo inversor e acionam o motor gerador 1. Temos também 3 conectores inferiores do lado esquerdo (não aparecem na imagem) que são conectados ao módulo inversor e acionam o motor gerador 2. Temos sensores de corrente e uma eletrônica embarcada que faz a tradução da corrente DC, que entra no módulo, para AC que torna possível o controle dos motores. Durante a desaceleração temos o inverso ocorrendo graças a 6 diodos que atuam como ponte retificadora.

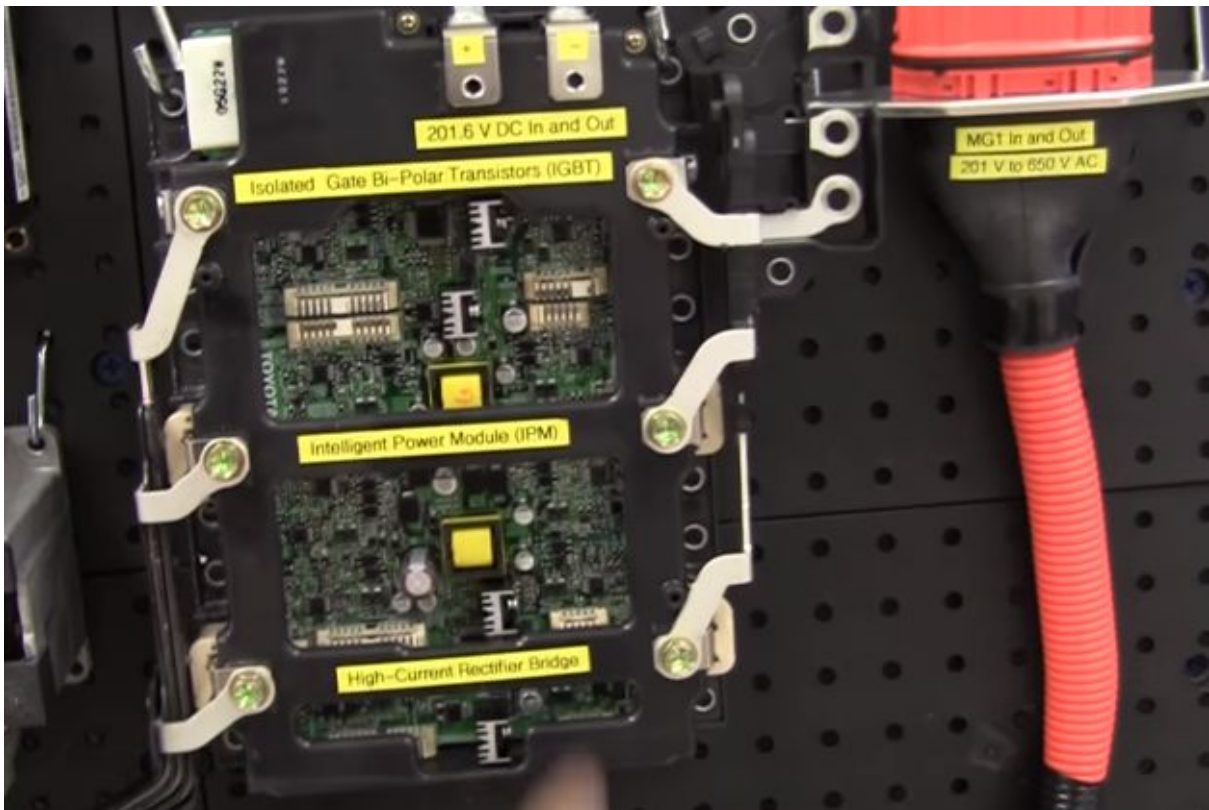


Figura 9.29 – Módulo de Energia Inteligente (IPM).

Entre o IPM e o conjunto conversor inversor, temos também o que é chamado como Reator (imagem abaixo) que é basicamente um fio de bobina grande (indutor). E temos outro módulo IGBT que é o módulo de conversão reforçada (“Boost Converter Module”) com dois transistores e dois diodos que são usados para ativar o indutor colocando um lado em GND e energia no outro.

Quando fechamos o circuito com o transistor da direita, criamos o grande campo magnético no reator. Quando abrimos esse transistor e fechamos o circuito com o transistor da esquerda, a energia vai para o acionamento dos motores no módulo conversor inversor. Isso possibilita o incremento de tensão que pode fazer ela chegar até 500V. Ambos os módulos são fabricados pela Mitsubishi.

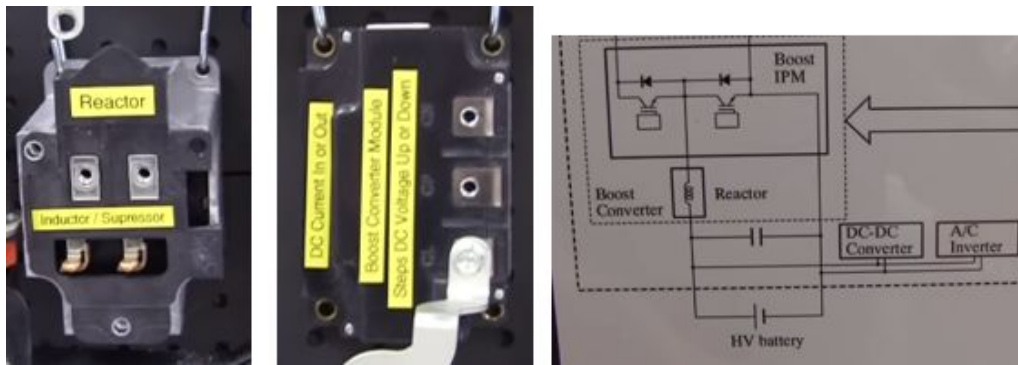


Figura 9.30 – Reator e Módulo de Conversão Reforçada e Esquema Elétrico.

Pode-se imaginar que essa tensão para esses motores deve gerar um aquecimento elevado do módulo conversor inversor. Para contornar isso, temos o que aparece em cinza na imagem acima que é o sistema de refrigeração e aparece em destaque na imagem abaixo.

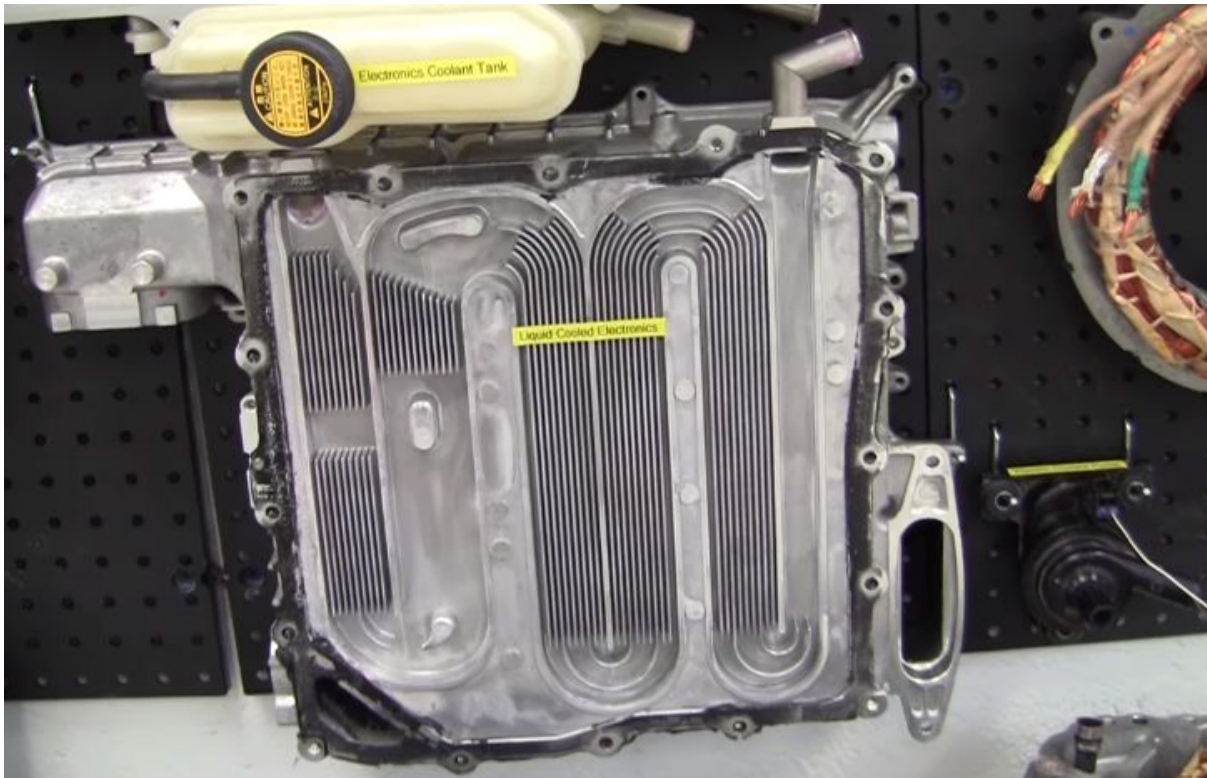


Figura 9.31 – Sistema de Refrigeração.

Na imagem acima, o componente preto que aparece é uma bomba de água eletrônica. Na parte de cima, em amarelo temos o tanque que serve para refrigerar a parte de eletrônica de potência do radiador.

Já na imagem abaixo, vemos um outro módulo que está localizado abaixo do módulo conversor inversor e se trata de um conversor DC-DC e um Inversor para o sistema de ar-condicionado.

Conversor DC-DC: passa a tensão de 201.6V por um circuito com transformador, uma série de diodos, outro reator para transformá-la em uma tensão de 12V e recarregar a bateria auxiliar.

Inversor: Ele tem como entrada os mesmos 201.6V DC que vêm da bateria (dois fios na parte inferior esquerda da imagem abaixo – preto e laranja dentro do módulo) e tem a saída os 3 cabos trifásicos que vão para o ar-condicionado.

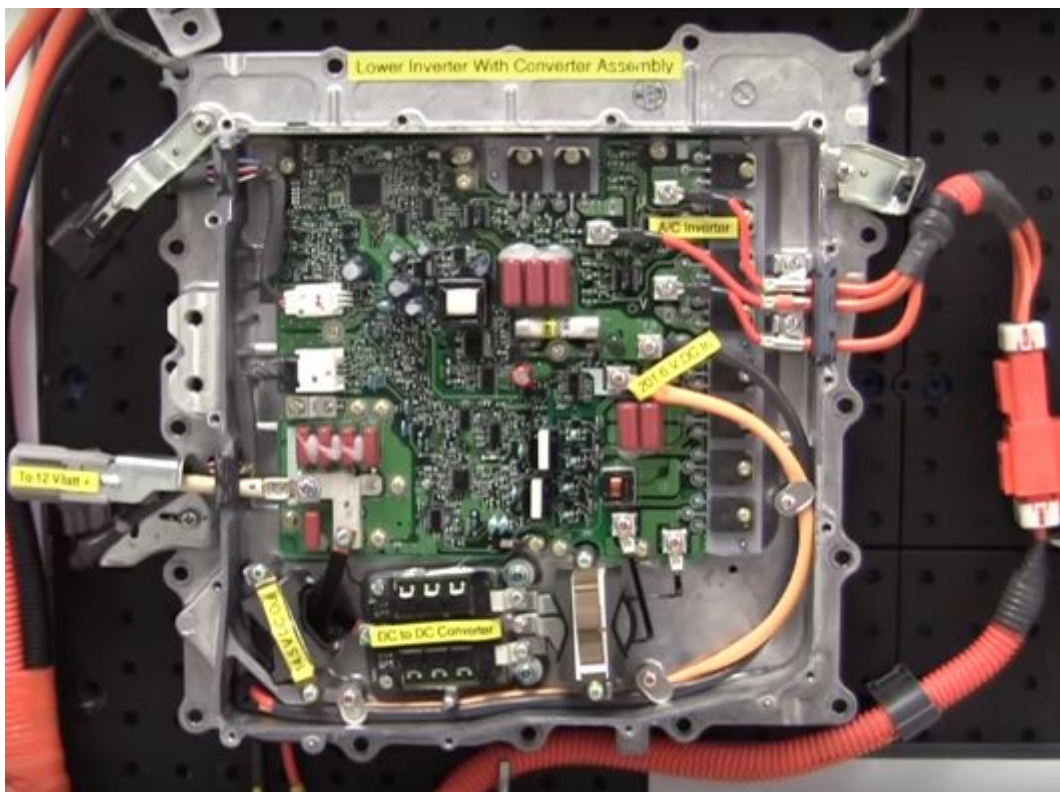


Figura 9.32 – Conversor DC-DC e um Inversor para o sistema de ar-condicionado.

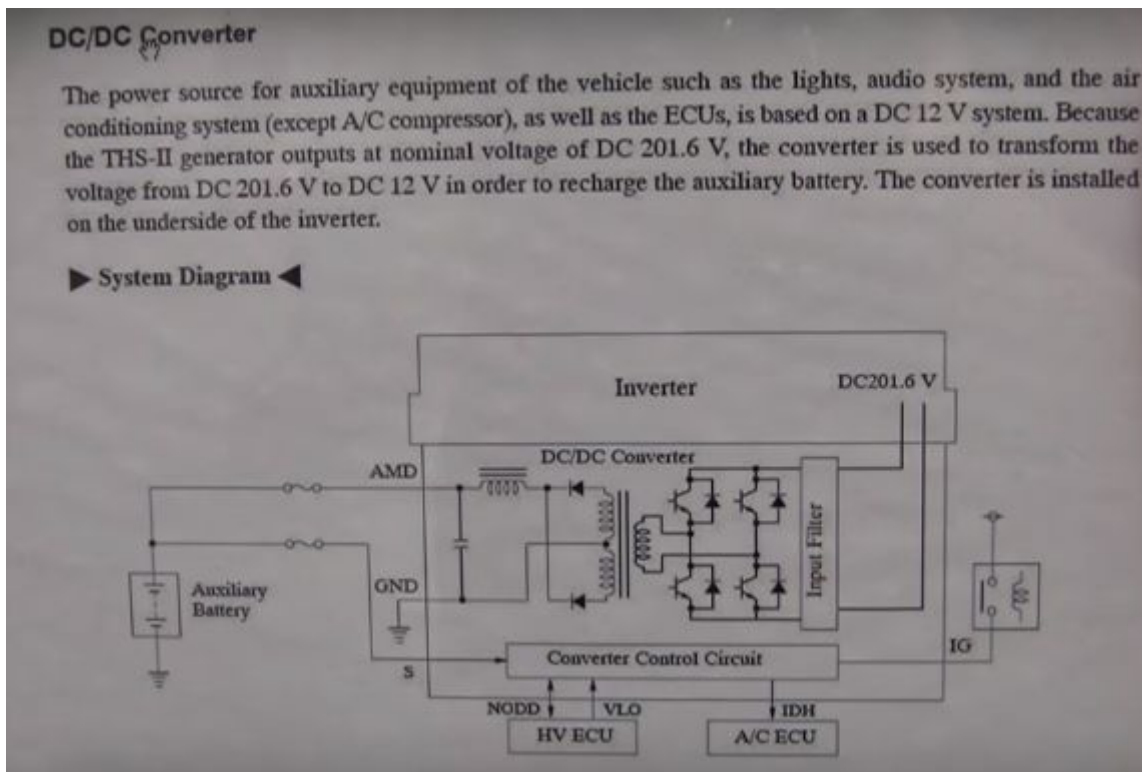


Figura 9.33 – Esquema elétrico do ar-condicionado.



Figura 9.34 – Compressor para o sistema de ar-condicionado

Esse ar-condicionado possui um ajuste de velocidade de acordo com a necessidade de refrigeração, por exemplo. Abaixo vemos um esquemático do sistema de ar-condicionado como um todo.

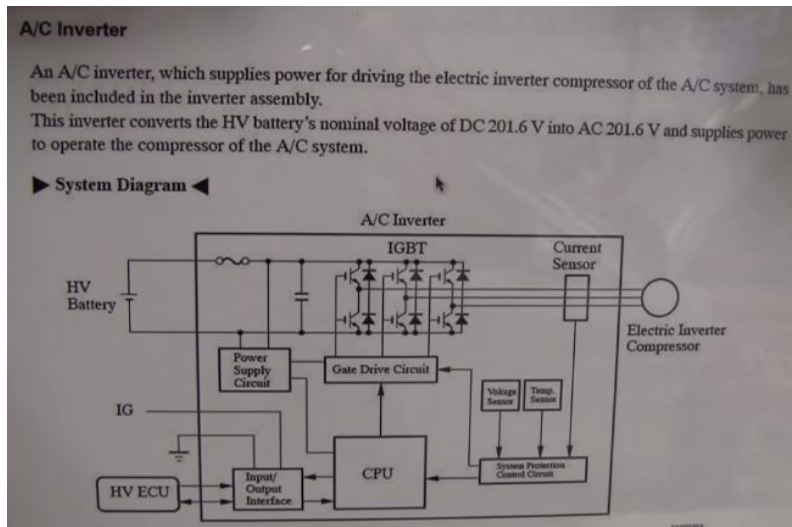


Figura 9.35 – Esquema elétrico do ar-condicionado 2.

Uma imagem que mostra a disposição desses módulos é a seguinte:

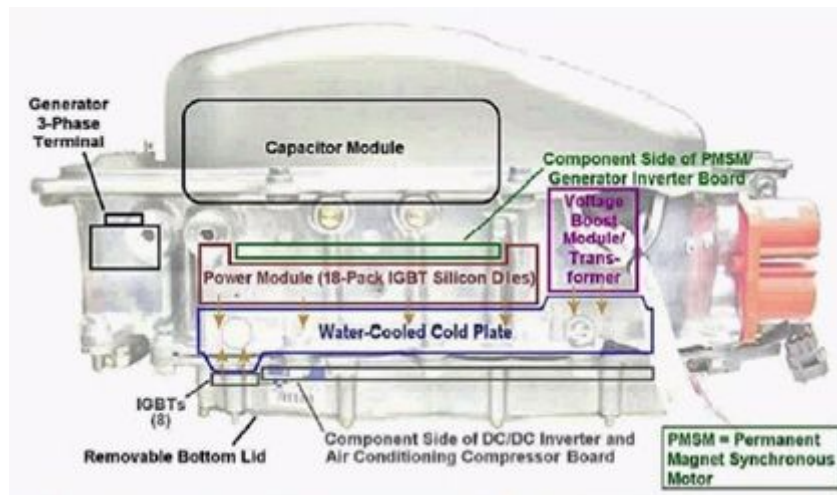


Figura 9.36 – Disposição dos Componentes do Sistema de Alta Tensão.

10. Conclusão - Veículos Elétricos e a Renovação da Indústria Automotiva:

O futuro da indústria automobilística é claramente elétrico, e o desenvolvimento da tecnologia da bateria será vital. No momento, os carros totalmente elétricos ainda são uma pequena minoria daqueles na estrada, mas seu número está crescendo muito rápido à medida que eles se tornam mais acessíveis e mais práticos.

Suas vantagens para a sociedade são óbvias: elas poluem muito menos do que os motores de combustão interna e também usam menos energia. Uma cidade de carros elétricos será mais limpa e silenciosa do que nossas ruas atuais. E em algum momento da próxima década, suas vantagens para os motoristas privados se tornarão avassaladoras. Neste sentido, pode-se dizer que o veículo híbrido é um passo intermediário para a adoção efetiva dos veículos elétricos.

O carro elétrico se tornará um símbolo de status geral e são os compradores de veículos de combustão interna que se sentirão como estranhos de fora. O parlamento holandês considerou uma medida que tornaria todos os carros vendidos lá elétricos até 2025. Um relatório recente do thinktank sugere que 10 anos depois que um terço de todos os veículos vendidos no mundo será elétrico.

Os carros elétricos novos devem viajar mais e precisam de menos tempo para se recuperar de suas jornadas do que aqueles que podem ser comprados hoje, quando longas jornadas ainda estão repletas de ansiedade. Isso significa baterias mais leves que possuem mais carga e podem ser cobradas mais rapidamente. Eles já estão aparecendo e as enormes quantidades de investimentos globais tornam provável que o progresso continue e a tecnologia irá fornecer o que o mercado precisa.

Retrocedendo por um momento, o aumento de carros elétricos e em grande parte automatizados pode mudar o mundo à nossa volta quase tão profundamente quanto o motor de combustão interna. Parte disso é o seu papel óbvio no transporte. Todo o tráfego elétrico será mais rápido, reverterão a tendência do século passado. Os carros mais leves aceleram e freiam mais rapidamente, enquanto o aumento da automação significará que o tráfego se move mais livremente. Se essas tendências continuarem, o carro privado pode desaparecer completamente, substituído por uma rede de veículos autônomos contratados, pelo menos dentro das cidades. O começo desse desenvolvimento já é visível na relutância dos jovens em aprender a dirigir.

Menos óbvios, mas tão importantes, são todos os valores simbólicos dos carros, pois eles encarnam liberdade, autonomia e poder. O carro que você possui diz quase tanto sobre sua posição social e suas aspirações quanto as roupas que você usa. A propriedade do carro era para grande parte do mundo uma marca de status da maneira como possuir um cavalo fez de você um cavaleiro. A revolução que vem ameaça muito mais do que a indústria de fabricação de veículos. Se os carros forem valorizados por sua utilidade, não como meio de ostentação, o automóvel se tornaria apenas um símbolo de status para os ricos.

11. Referências:

https://www.ioactive.com/pdfs/IOActive_Adventures_in_Automotive_Networks_and_Control_Units.pdf

Parte 2

<http://www.infomotor.com.br/site/2009/03/taxa-de-compressao-do-motor/>

<http://www.infomotor.com.br/site/2009/03/torque-do-motor-ciclo-otto/>

<https://www.quora.com/What-is-the-meaning-of-1-2L-1-4L-1-6L-etc-engine-in-a-car>

https://www.toyota.com/prius/features/mechanical_performance/1221/1223/1225/1227

<https://www.carid.com/2013-toyota-prius-engine-components/?filter=1&sorter=price-high-to-low>

<http://forum.autohoje.com/forum-geral/102477-motor-1-4-tsi-da-volkswagen-mais-eficiente-4.html>

<http://bestcars.uol.com.br/tecprep/comando-variavel-1.htm>

[http://prius.wikia.com/wiki/Operating_modes_\(ECO,_Normal,_PWR_and_EV\)](http://prius.wikia.com/wiki/Operating_modes_(ECO,_Normal,_PWR_and_EV))

<https://www.youtube.com/watch?v=z45fM2N-4C4>

<http://auto.howstuffworks.com/atkinson-cycle-engine1.htm>

<http://brandonyangcad.weebly.com/atkinson-cycle-thermodynamics-design-project.html>

http://media.toyota.co.uk/wp-content/files_mf/1486386831TECHNICALSPECIFICATIONS.pdf

Parte 3

http://media.toyota.co.uk/wp-content/files_mf/1329489972120216MTOYOTAPRIUSTECHNICALSPECIFICATIONS.pdf

<http://www.searchautoparts.com/motorage/maintenance-repair/prius-synergy>

<https://www.youtube.com/watch?v=HvzKD5xPbY>

<https://www.youtube.com/watch?v=jNuixuVhc5E>

https://en.wikipedia.org/wiki/Brushed_DC_electric_motor

<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a>

<http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/hybrid-technology/toyota-prius3.htm>

https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_Synergy_Drive

https://www.toyota.com/prius/features/mechanical_performance/1221/1223/1224/1225

<http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2012/08/motor-ca-de-imas-permanentes-vs-motor.html>

Parte 4

Hybrid Electric Vehicles: Architecture and Motor Drives. By Mehrdad Ehsani, Fellow IEEE, Yimin Gao, and John M. Miller, Fellow IEEE

Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling

C. C. Chan, Fellow, IEEE, Alain Bouscayrol, Member, IEEE, and Keyu Chen, Member, IEEE

http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/hybrid/

<http://blog.toyota.co.uk/how-does-toyota-hybrid-synergy-drive-work>

http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/technology_file/hybrid.html

http://www.ae.pwr.wroc.pl/filez/20110606092430_HEV_Toyota.pdf

https://www.team-bhp.com/forum/attachments/technical-stuff/1096844d1371183069-toyota-hybrid-technology-drive-experience-japan-prius_power-split-device_details.pdf

<http://www.sze.hu/~szenasy/SZINKRONMOTKUTFEJL/THS-II.pdf>

Parte 5

https://www.autocodes.com/p0a93_toyota.html

<https://techinfo.toyota.com/techInfoPortal/staticcontent/en/techinfo/html/prelogin/docs/3rdprius.pdf>

<http://www.autoblog.com/2010/09/30/from-nickel-metal-hydride-to-lithium-ion-understanding-batterie/>

<http://www.elearnaid.com/whyis12voban.html>

<http://www.elearnaid.com/baobof20pran.html>

<https://priuschat.com/threads/does-anyone-know-how-exhaust-heat-recovery-and-recirculation-works.142628/>

<http://www.yuasa.co.uk/info/technical/auxiliary-back-batteries-explained/>

Parte 6

Autozone. Duralast Accelerator Pedal Sensor. Autozone. Disponível em:

<http://www.autozone.com/engine-management/accelerator-pedal-sensor/duralast-accelerator-pedal-sensor/466726_0_0>. Acesso em: 03 jul. 2017.

DS. Sensor de Posição do Pedal do Acelerador. Disponível em:

<http://www.ds.ind.br/media/linhas/08/04/1_04bddcda39f44fa562ba82bb751e8c5b.pdf

<http://economizar-combustivel.com/index.php/fenomeno-da-detonacao>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

Carros Infoco. Injeção Eletrônica. Disponível em:

<<http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2012/07/injecao-eletronica-como-funciona-o-sensor-de-detonacao/>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

Parte 9

HYBRID CONTROL ECU. Disponível em

<<https://www.youtube.com/watch?v=DmVXUI4Vc2I>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

COMMUNICATIONS. Disponível em

<<https://www.youtube.com/watch?v=pQS0a79Ka5k>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

BATTERY ECU. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=4bappppr0uw>>.

Acesso em: 29 jun. 2017.

BRAKE SYSTEM ECU. Disponível em

<<https://www.youtube.com/watch?v=KMfmEBVvVxM>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

TOYOTA PRIUS (2ND GEN) HIGH VOLTAGE SYSTEM OPERATION. Disponível

em <<https://www.youtube.com/watch?v=UxuqHcUbSQ0>>. Acesso em: 01 jul. 2017.