



COBENGE
2021

XLIX Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e IV Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

28 a 30 de SETEMBRO

Evento Online

"Formação em Engenharia:
Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade"

Kit Didático de Transmissão de Veículos Híbridos

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2021.3405

Rodrigo Rezende Simões da Silva Vieira - rodrsvieira@gmail.com

Intechno

Rua Pinho 92

29167-142 - Serra - ES

Flávio Garcia Pereira - flavio.garcia@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo

Rodovia ES 010 km 6,5

29173-087 - Serra - ES

Resumo: *O projeto é baseado no Toyota Prius, o veículo híbrido mais comercializado em todo o mundo, e nasceu como uma demanda do mercado em capacitar profissionais a atuarem com esta nova tecnologia. O Kit didático de transmissão em veículos híbridos, desenvolvido pela empresa Intechno, foi projetado sobre uma base fixa contendo uma engrenagem do tipo planetária, saídas para motores elétricos totalmente controlados por uma central eletrônica programável e alimentação por baterias. Com essa configuração é possível o entendimento da interação entre os vários motores presentes, do desempenho, da gestão energética e da resposta do veículo em diversos modos (aceleração, ladeira, decidas íngremes, ré, frenagem etc), permitindo inclusive a utilização de frenagem regenerativa como elemento chave de economia energética.*

Palavras-chave: *Veículos híbridos. Engrenagem planetária. Kit de capacitação.*

Promoção:



Realização:



1 INTRODUÇÃO

Veículos híbridos são aqueles que utilizam dois ou mais tipos de fontes energéticas sendo os mais comuns aqueles que utilizam motores a combustão em conjunto com motores elétricos. Embora atualmente venha se discutido bastante a respeito desta tecnologia, o modelo de transmissão híbrido não é tão novo assim, sendo o mesmo estudado desde a década de 70 (G. H. Gelb *et al.*, 1971).

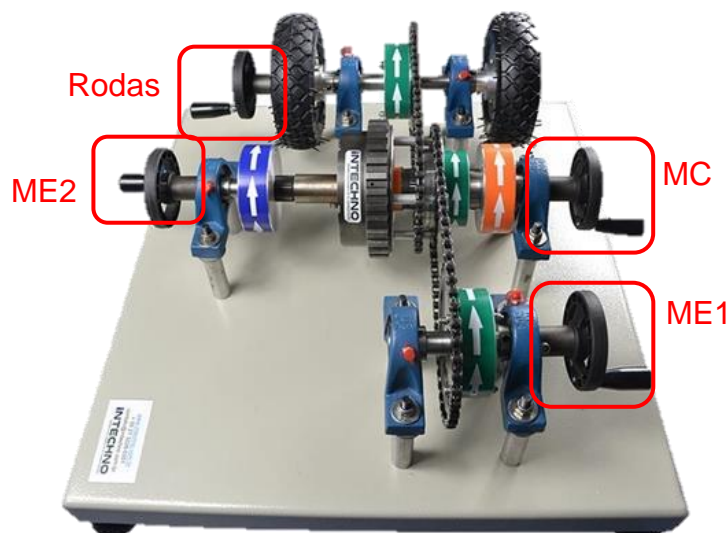
Os veículos híbridos são considerados por muitos especialistas como uma tecnologia de transição, sendo mais eficientes do que os veículos a combustão, porém ainda mais poluentes do que os elétricos. Essa maior adesão dos híbridos em relação aos elétricos no cenário brasileiro se deve principalmente pela baixa infraestrutura de postos de recarga, realidade que tende a mudar nos próximos anos.

Idealizado para suprir a demanda do mercado em capacitar profissionais a atuarem com esta inovadora e crescente tecnologia veicular, a Intechno, empresa capixaba que desenvolve kits didáticos exclusivos, criou o Kit de Capacitação em Veículos Híbridos, produto da linha Mobilidade Inteligente iniciado no final de 2018 com o apoio de instituições como o IFES e o Senai Campus da Industria.

Na primeira etapa do projeto foi desenvolvido o protótipo de um sistema de transmissão para veículos híbridos, completamente manual, em que se fez possível realizar a prova de conceito e o entendimento da dinâmica veicular envolvida no sistema (Figura 1). Neste primeiro equipamento existiam manivelas para realizar a simulação manual dos motores presentes em um veículo híbrido.

Na oportunidade do Edital Fapes 01/2020, foi proposto pela Intechno um kit de transmissão de veículos híbridos completamente automático, em que seria possível a elaboração de sistemas complexos de controle envolvendo todos os componentes mecânicos e elétricos de um veículo híbrido comercial.

Figura 1 – Kit de capacitação em veículos híbridos manual.



Fonte: Próprio Autor.

O projeto foi desenvolvido sobre uma base fixa contendo uma engrenagem do tipo planetária, saídas para motores elétricos totalmente controlados por uma central eletrônica programável e alimentação por baterias. Com essa configuração é possível o entendimento

da interação entre os vários motores presentes, do desempenho, da gestão energética e da resposta do veículo em diversos modos (aceleração, ladeira, decidas íngremes, ré, frenagem etc), permitindo inclusive a utilização de frenagem regenerativa como elemento chave de economia energética.

2 VEÍCULOS HÍBRIDOS

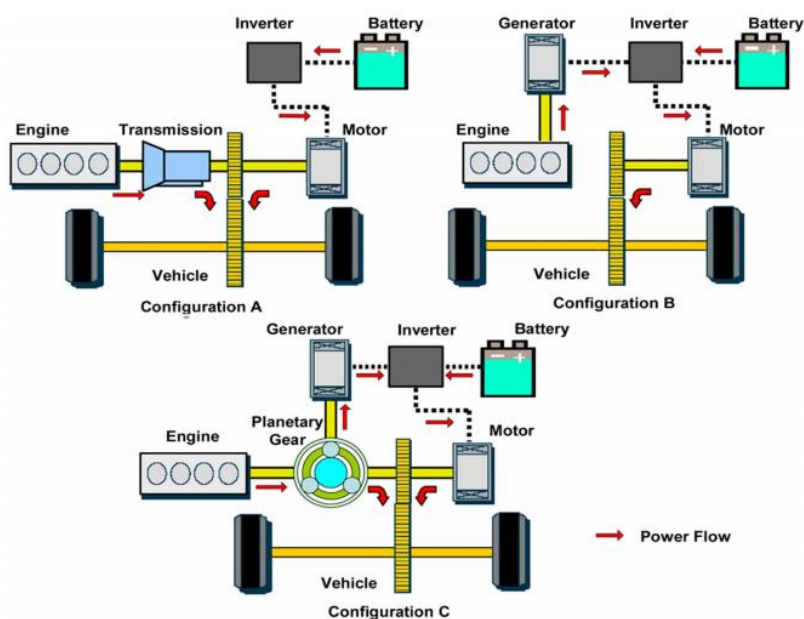
Veículos híbridos são aqueles que utilizam dois ou mais tipos de fontes energéticas para fornecerem trabalho. Atualmente, os híbridos mais comuns no mercado veicular são os que, para gerar movimento, utilizam combustíveis fósseis (gasolina, etanol, diesel etc) a partir de motores a combustão interna e energia elétrica a partir de motores elétricos.

2.1 Veículos Híbridos

O sistema de geração de potência dos carros híbridos possui três classificações: série, paralelo e misto. A diferença se dá pela forma de interação entre os motores elétricos e a combustão presentes. O tipo série é movido exclusivamente pelo motor elétrico, utilizando o motor à combustão apenas para gerar energia. Já o sistema paralelo utiliza os dois motores para tração, utilizando em sua maior parte o motor a combustão, responsável pelo maior trabalho. Já o sistema misto utiliza um mix das duas tecnologias, buscando sempre o ponto de maior eficiência energética (Jinming Liu *et al.*, 2005). O Toyota Prius é um exemplo de veículo híbrido com tecnologia mista e a partir dele que foi desenvolvido o Kit didático de transmissão em veículos Híbridos da Intechno.

A Fig. 2 apresenta as três configurações de veículos híbridos. A Fig. 2(a) paralelo, a Fig. 2(b) série e a Fig. 2(c) série-paralelo (misto).

Figura 2 – Configurações de veículo híbrido: (A) Paralelo; (B) Série; (C) Misto.



Fonte: "Modeling and Control of a Power-Split Hybrid Vehicle", Jinming Liu *et al.*, 2005

Outra classificação dos veículos híbridos é com relação a carga da bateria, estando presente em dois modelos, Convencional e Plug-in. No modelo Convencional a carga é realizada apenas pelo motor a combustão interna e pelo aproveitamento da energia cinética nas frenagens regenerativas. Já o modelo Plug-in necessita de um carregamento prévio da bateria na tomada, possuindo um conversor DC/DC interno que retifica a tensão e realiza a carga.

As vendas de automóveis eletrificados (elétricos e híbridos) pulou de 11.858 unidades em 2019 para 19.745 em 2020, um aumento de 66,5%. Somente em dezembro 1.949 veículos foram vendidos segundo dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE). Com esse resultado a frota total de automóveis híbridos e elétricos no Brasil atingiu as 42.269 unidades, chegando representar 1% do mercado total de veículos no Brasil. Esse fato foi na contramão dos veículos à combustão que teve uma queda de 26,6% no número de emplacamentos comparado com o ano de 2019 segundo a Fenabrave (Federação Nacional dos Distribuidores de Veículos Automotores).

Dos veículos eletrificados, a maior parte são veículos híbridos convencionais, visto que são mais acessíveis e não necessitam de carregadores para realizar a carga da bateria. Atualmente veículos puramente elétricos e os híbridos modelos plug-in ainda sofrem rejeição por parte dos brasileiros devido aos preços elevados e a baixa infraestrutura de eletropostos de carregamento, realidade que tem mudando ao longo dos anos.

O Toyota Prius foi o primeiro veículo híbrido comercial a ser lançado (S. Sasaki *et al.*, 1998) e o mais comercializado no mundo até hoje, sendo base para o desenvolvimento do kit de didático da Intechno. O Prius possui uma autonomia de 18,9 km/l na cidade e 17 km/l em rodovias segundo dados da própria fabricante, um valor elevado tendo em vista que o mesmo não possui um sistema de carregamento externo de suas baterias. Essa alta eficiência se dá pela utilização da tecnologia híbrida mista, em que são utilizados dois motores elétricos e um motor a combustão para obter o melhor rendimento do motor e menos gasto de combustível.

É interessante observar que, diferente dos modelos à combustão tradicionais, o Prius possui uma autonomia maior na cidade, momento em que os motores elétricos são mais requisitados devido a menor demanda de torque, além também do aproveitamento das energias das frenagens para recarga das baterias, as chamadas frenagens regenerativas.

A gestão da energia e acionamento dos motores é controlada por uma central eletrônica inteligente, já a interação entre os motores se faz possível graças a um conjunto de engrenagem do tipo planetária, tecnologia que permite a interação entre três eixos do veículo, garantindo certa independência entre os motores no momento de transmitir energia ao eixo das rodas.

2.2 Engrenagem Planetária

A planetária é um conjunto de três engrenagens que trabalham em sincronismo de modo a transmitir potência entre os eixos. A engrenagem mais externa é chamada de anelar, a mais central é a solar e as intermediárias são as planetárias. Na figura 3 está apresentada um conjunto de engrenagens do tipo planetária.

Figura 3 – Conjunto de engrenagens do tipo planetária



Fonte: Site da Ravi Indústria de Peças.

O veículo híbrido misto Toyota Prius possui dois motores elétricos e um motor a combustão interna que participam da dinâmica em levar tração ao eixo das rodas (A. Kimura *et al.*, 1999). O motor elétrico 1 (ME1) é de maior potência e é ligado diretamente ao eixo final das rodas e a engrenagem anelar, possuindo uma grande participação na transmissão de energia para tração do veículo e recarga da bateria via frenagem regenerativa. Já o motor elétrico 2 (ME2) é um motor de menor potência ligado a engrenagem solar, trabalhando principalmente na partida do motor a combustão e na geração de energia para as baterias, principalmente em momentos em que o veículo está parado. Já o motor a combustão (MC) está ligado à engrenagem planetária e, em conjunto com o ME1, é responsável por fornecer a energia para tração do veículo e recarga das baterias.

O conjunto de engrenagens do tipo planetárias possui uma característica essencial ao funcionamento do veículo híbrido que é a possibilidade de interação entre dois eixos e a independência do terceiro. Esse fator permite que o veículo, por exemplo, carregue a bateria enquanto estiver parado a partir do funcionamento do MC e do ME2 como gerador, e também que o veículo tracione somente via motor elétrico, mantendo o MC parado enquanto o ME1 e ME2 estiverem em funcionamento.

A gestão dos modos de operação ocorre via módulo eletrônico que interpreta as entradas do motorista e do veículo como: pedal de aceleração e frenagem, comandos de câmbio (R, N, D e B) e também necessidade de potência e torque, buscando sempre a melhor eficiência energética sem comprometer a resposta.

Figura 4 – Câmbio do Toyota Prius



Fonte: Site da Revista Quatro Rodas – Grupo Abril.

2.3 Modos de Operação de um Veículo Híbrido Misto

Os modos de operação possíveis em um veículo híbrido misto, como o Toyota Prius, são diversos e todas as possibilidades são implementadas a partir de mapas de desempenho no módulo eletrônico de gestão de potência. Abaixo serão descritos alguns modos possíveis que ocorrem ao longo da operação:

Câmbio N, carro parado

Com o câmbio na posição N, o carro está parado, assim como o ME1. Neste modo o sistema eletrônico irá verificar o nível da bateria, caso a mesma esteja carregada, todos os motores estarão desligados. Caso o nível da bateria esteja baixo, o MC é ligado de modo à rotacionar o ME2 que funcionará como um gerador de energia para carregar a bateria do veículo;

Câmbio D, baixa potência

Neste modo o veículo não necessita de alto torque ou grandes velocidades, não sendo necessária então a utilização do MC que permanecerá parado (somente sendo utilizado caso o nível de bateria esteja baixo). O ME1 então que estará fornecendo torque ao veículo;

Câmbio D, alta potência

Neste modo o veículo necessita de alta potência que não consegue ser suprida apenas pelo ME1, sendo acionado também o MC, responsável por suprir a potência complementar para o eixo final do veículo. O motor ME2 é colocado em funcionamento apenas para dar partida no MC e depois é utilizado somente na geração de energia, caso necessário;

Câmbio D, frenagem

Neste modo, quando o pedal do freio é pressionado, o ME1 acoplado diretamente ao eixo final das rodas, funciona como gerador de energia para as baterias e a força contra eletromotriz é responsável pela frenagem do veículo. Os veículos híbridos também possuem o sistema de frenagem tradicional utilizando pastilha e disco de freio, porém esse tipo de frenagem não aproveita a energia, que se perde em forma e calor, e só é utilizado quando são necessárias frenagens bruscas no veículo;

Câmbio R

Neste modo o veículo irá funcionar em marcha ré. O MC1 é então utilizado rotacionando no sentido inverso, já o MC não é utilizado para tração, apenas para rotacionar o ME2 e gerar energia em caso de bateria baixa. Neste modo não é possível uma grande capacidade de tração devido à impossibilidade de rotacionar o motor a combustão no sentido inverso. Em alguns veículos híbridos esse "problema" já foi solucionado a partir da utilização de um novo tipo de engrenagem conhecida como dupla planetária;

Câmbio B, descida de ladeira

Este modo simula o que em veículos a combustão é conhecido como freio motor. O ME1 acoplado diretamente ao eixo final das rodas funciona como gerador de energia para a bateria e freando o veículo a partir da força contra eletromotriz;

3 Resultados e Discussões

Com os testes realizados foi possível verificar uma completa aproximação com os veículos híbridos comerciais modelo Toyota Prius, podendo-se alcançar todos os modos de operação presentes.

3.1 Analogia com Veículos Híbridos

O kit da Intechno de Capacitação em Veículos Híbridos possui um conjunto de engrenagens do tipo planetária, três motores elétricos CC simulando o ME1, ME2 e MC, além do eixo final das rodas e um módulo eletrônico com drivers para controle de velocidade dos motores e gestão dos modos de operação.

Todos os eixos são identificados com as cores laranja (MC), verde (ME1) e azul (ME2) para facilitar a visualização do funcionamento. Os controles de velocidade e sentido são realizados utilizando potenciômetros que controlam as tensões nos motores CC a partir de drivers ponte H. O sistema é alimentado por uma bateria automotiva 12V 60AH.

Para tornar o equipamento mais didático os eixos foram conectados por transmissão do tipo coroa-corrente, porém em um veículo híbrido comercial isso não ocorre. O eixo final das rodas possui uma manivela de modo a proporcionar carga e simular uma subida ou descida em ladeira, por exemplo.

As medições de potência dos motores são realizadas por meio de voltímetros e amperímetros, já a rotação é obtida por um tacômetro a laser. A proposta futura é que todos esses dados sejam coletados por meio de sensores embarcados no equipamento e exibidos em um display em tempo real. Outras modificações propostas serão descritas nas Considerações Finais.

Figura 5 – Kit didático de Transmissão de Veículo Híbridos com motores CC.



Fonte: Próprio Autor.

3.2 Modos de Operação Alcançados

Com o kit foi possível à simulação de todos os modos de operação possíveis em um veículo híbrido misto, funcionando os motores elétricos também como geradores e visualizando na prática toda a dinâmica energética envolvida.

Na Tabela I estão mostrados os modos, sendo indicado o funcionamento como motor (M), gerador (G) e desligado (X). Estão indicadas também as intensidades das correntes elétricas que fluíram dos motores e o sentido do fluxo, podendo a bateria estar descarregada (D) ou carregando (C). O estado do eixo final das rodas também é indicado, podendo o veículo estar parado, se movendo, acelerando ou freando.

Na tabela foram numerados os modos de operação para explicar de maneira mais detalhada quando cada um dos modos ocorre:

Tabela 1 – Modos de Operação do Kit Didático.

Modo de Operação	MC	ME1	ME2	Bateria	Corrente Elétrica	Estado do Veículo
Partindo o MC (1)	M	X	M	D	Média	Acelerando
Somente MC (2)	M	X	G	C	Média	Parado
Somente MC (3)	M	X	X/G	C	Média	Movendo
Partindo ME1 (4)	X	M	X	D	Muito Grande	Acelerando
Somente ME1 (5)	X	M	X	D	Grande	Movendo
ME1 e MC (6)	M	M	M/G	D	Grande	Movendo
ME1 Frenagem (7)	X	G	X	C	Muito Grande	Freando

Fonte: Próprio Autor.

Partindo o MC (1)

No processo de partida do MC, o ME2 é ligado de modo a rotacionar o eixo do MC e colocar o mesmo funcionamento, similar ao que ocorre em um motor de arranque de veículos convencionais.

Somente MC, parado (2)

Em alguns momentos quando o carro se encontra parado e a bateria está descarregada, o MC é ligado de modo a rotacionar ME2 que funciona como um gerador de energia para carregar a bateria;

Somente MC, movendo (3)

Quando a bateria está descarregada e o veículo demanda muita potência, o mesmo pode funcionar somente utilizando MC, porém o módulo eletrônico monitora a demanda de potência de modo a ir carregando a bateria, seja utilizando ME2 ou por meio de ME1 com a frenagem regenerativa (7);

Partindo ME1 (4)

Em baixas velocidade ou com baixa demanda de potência, o veículo pode funcionar somente utilizando o ME1 e é na partida deste motor que as correntes elétricas são elevadíssimas de modo a tirar o mesmo da inércia;

Somente ME1 (5)

Na mesma situação anterior, em que baixas velocidade e potência são demandadas, o veículo pode funcionar utilizando somente ME1, porém como o mesmo já saiu da inércia a corrente elétrica é menor do que da partida;

ME1 e MC (6)

Quando há uma elevada demanda de potência e o veículo está em movimento, é possível utilizar os dois motores ME1 e MC para somar energia para o deslocamento do

veículo, sempre prezando pelo menor consumo energético de MC, impactando diretamente na economia de combustível;

ME1, Frenagem (7)

O modo frenagem regenerativa é obtido quando o veículo já está em movimento e utiliza ME1 como gerador. A força contra eletromotriz criada é utilizada para frear o veículo enquanto a bateria é carregada.

4 Considerações Finais

O kit de capacitação desenvolvido já atende à demanda no requisito de verificação do funcionamento da interação entre os motores e o eixo final das rodas em um veículo híbrido e a essencialidade de um conjunto do tipo planetário para que essa dinâmica ocorra.

O equipamento ainda está em fase de desenvolvimento. Na oportunidade do Edital Fapes 01/2020, ainda no ano de 2021, serão implementadas diversas funcionalidades além da dinâmica já presente entre os motores. Será adicionado um câmbio semelhante ao veículo híbrido convencional, além de dois pedais de aceleração e frenagem. Deste modo o usuário conseguirá interagir melhor com o equipamento, sendo possível verificar o funcionamento como se o usuário tivesse realmente dirigindo o veículo e não somente alterando as velocidades dos motores via potenciômetro.

Como projeto futuro será também adicionado a possibilidade de programar o módulo eletrônico de gestão de energia, para que o aluno consiga realizar na prática a leitura dos sinais e geração do mapa de gestão energética de um veículo híbrido.

Um sistema bidirecional de energia também será adicionado de modo que os motores elétricos possam ser utilizados também no modo gerador, fornecendo tensão para a bateria no modo frenagem regenerativa.

O monitoramento completo de sistema se dará por sensores de rotação, tensão e corrente, para verificação dos rendimentos durante o funcionamento do equipamento e gestão de energia. Já os dados serão apresentados em um display em tempo real.

Com todas as funcionalidades esperasse que o equipamento, em breve, seja uma ferramenta importante para ser utilizado do nível profissionalizante para formação de mecânicos nesta nova tecnologia, até cursos de pós-graduação no âmbito de pesquisa, desenvolvimento e extensão.

Agradecimentos

Agradeço a Intecho Equipamentos Didáticos pelo fornecimento do Kit de Transmissão Manual e dos materiais necessários para desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

A. Kimura; T. Abe; S. Sasaki, "Drive force control of a parallel-series hybrid system," J. SAE Rev., vol. 20, pp. 337–341, 1999.

G. H. Gelb; N. A. Richardson; T. C. Wang et al. "An electro-mechanical transmission for hybrid vehicle power trains—design and dynamometer testing," SAE, Warrendale, PA, Tech. Rep. 710235, Jan.11–15, 1971.



COBENGE

2021

XLIX Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e IV Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

28 a 30 de SETEMBRO

Evento Online

"Formação em Engenharia:
Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade"

Jinming Liu; Hwei Peng; Zoran Filipi, "**Modeling and Analysis of the Toyota Hybrid System**", Proceedings of the 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Monterey, California, USA, 24-28 July, 2005.

S. Sasaki, "**Toyota's newly developed hybrid powertrain.**" presented at the IEEE 10th Int. Symp. Power Semicond. Devices ICs, Kyoto, Japan, Jun. 1998.

Promoção:



Realização:

