

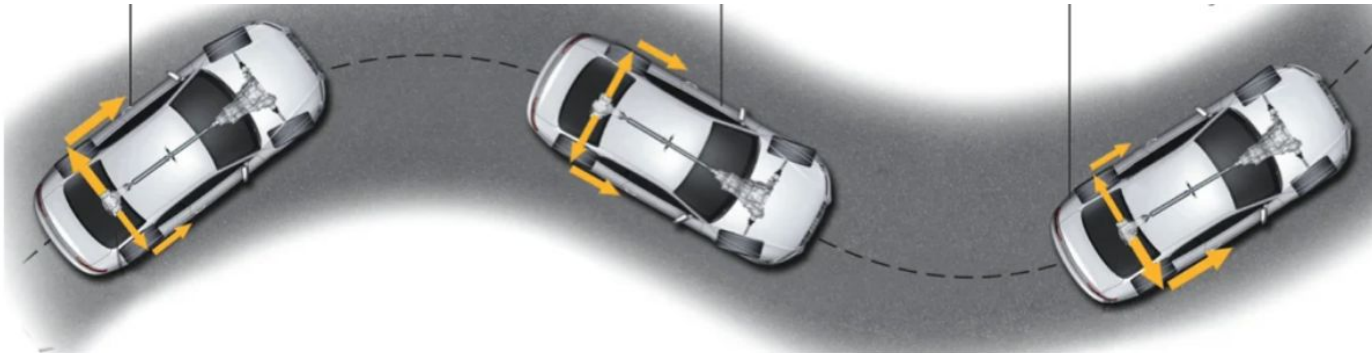
Diferencial de Vetorização de Torque (TVD)

Eduardo Paz Putti

Chapecó, Julho de 2025

Introdução

Diferenciais são mecanismos que permitem que as rodas girem independentemente em diferentes velocidades, permitindo que um veículo varie o torque aplicado a cada roda com base em quanta aderência e tração o sistema detecta [1].



Introdução

- Porém os diferenciais simples tem problemas quanto a seleção de torque, dado que quando o carro atola na terra, o diferencial envia mais torque para a roda com mais liberdade, o que mantém o carro atolado. Outro problema é nas arrancadas, muitas vezes gerando um torque desperdiçado em forma de deslizamento da roda.
- Para resolver isso, pode ser utilizada a diferencial de vetorização de torque, controlando o torque eletronicamente.[1]

Metodologia

A metodologia deste estudo consistiu em uma pesquisa técnico-científica com foco em fontes especializadas da engenharia automotiva, publicações de fabricantes como Audi, BMW e Mitsubishi, e artigos acadêmicos sobre sistemas diferenciais e dinâmica veicular.

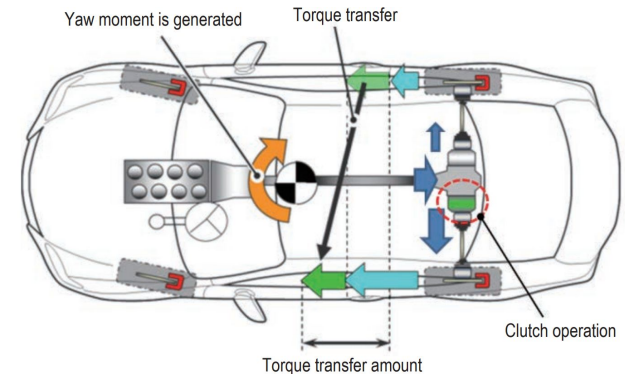
As informações foram organizadas de forma comparativa e aprofundada para destacar as variações construtivas, aplicações práticas e limitações técnicas da tecnologia.

Fundamentação Teórica

A forma mais comum da vetorização de torque é a vetorização de torque baseada em diferencial [1].

- 1 - Monitora os parâmetros, como velocidade da roda, ângulo de direção e taxa de guinada [2].
- 2 - Calcula o ajuste de torque para cada roda [2].
- 3 - Aplica torque diferencial através do eixo para atingir o comportamento desejado do veículo [2].

Transferência de Força de Tração
(Vetorização de Torque)



fonte: Fujitsu (2014)

Fundamentação Teórica

Os pacotes de embreagem funcionam para **aumentar ou reduzir o torque** direcionado para uma roda. Em situações como uma **curva em S**, isso ajuda o motorista a girar o carro, aumentando a quantidade de torque enviado para as rodas externas. O mesmo é verdade quando o veículo passa sobre uma superfície de baixa tração; o torque vai para as rodas com mais aderência.

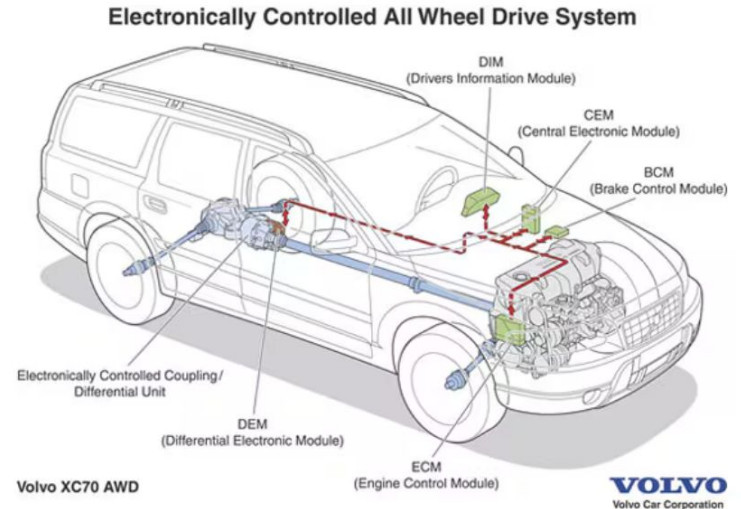
Quando um veículo viaja em **linha reta**, os pacotes de embreagem são desativados e o carro mantém as características de um diferencial aberto. Neste caso, o **torque é distribuído uniformemente** entre as rodas [2].

Fundamentação Teórica

TVD são frequentemente combinados com AWD (All-Wheel Drive), ou tração integral, é um sistema que distribui automaticamente a força do motor para todas as rodas do veículo.

A desvantagem mais significativa da vetorização de torque baseada em diferencial é o custo. Quanto mais sofisticado o sistema, mais caro ele é [1].

Volvo AWD Systems



fonte: Crest Volvo Cars (2020)

Fundamentação Teórica

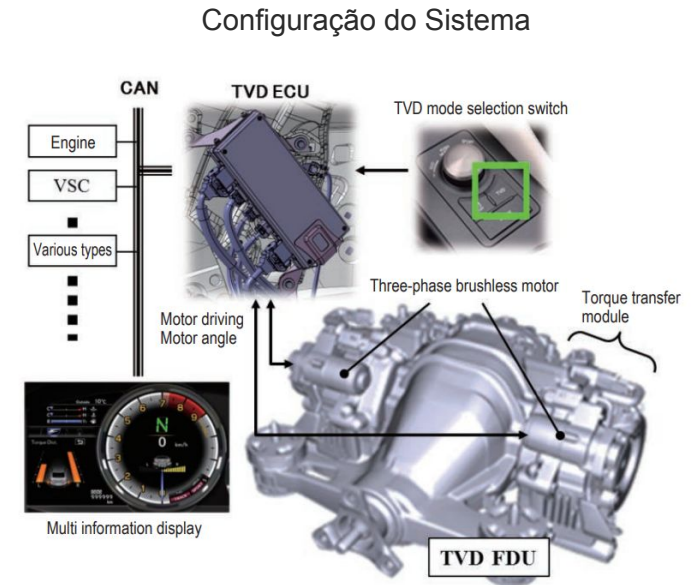
Em contrapartida da TVD temos a vetorização de torque baseada em freio, que utiliza sistemas de frenagem para permitir uma forma econômica de fornecimento de energia para rodas individuais [1].

Todavia, usar os freios para melhorar as curvas resulta em tempos de volta mais lentos do que um sistema baseado em diferencial. Há também um maior superaquecimento e maior desgaste nos freios. Mas se a melhoria da estabilidade for a prioridade, um sistema de vetorização de torque baseado em freio é um substituto adequado e mais acessível [1].

ECU

Unidade de Controle Eletrônico (ECU):

Calcula em tempo real a quantidade de torque a transferir com base na velocidade do veículo, no ângulo do volante e em outros sinais, e converte esses comandos em corrente elétrica para o motor atuador das embreagens [4] [5].



fonte: Fujitsu (2014)

Dimensionamento

$$T_w = \frac{T_{engine}}{n} - T_{diff}$$

$$T_{vector} = \frac{\text{desired change in yaw}}{\text{wheelbase}} \times \text{moment arm}$$

Onde $T\{w\}$ é o torque na roda, $T\{engine\}$ é o torque do motor, n representa o número de rodas motrizes e $T\{diff\}$ é a perda de torque no diferencial [2].

Dimensionamento

$$T = F \times r$$

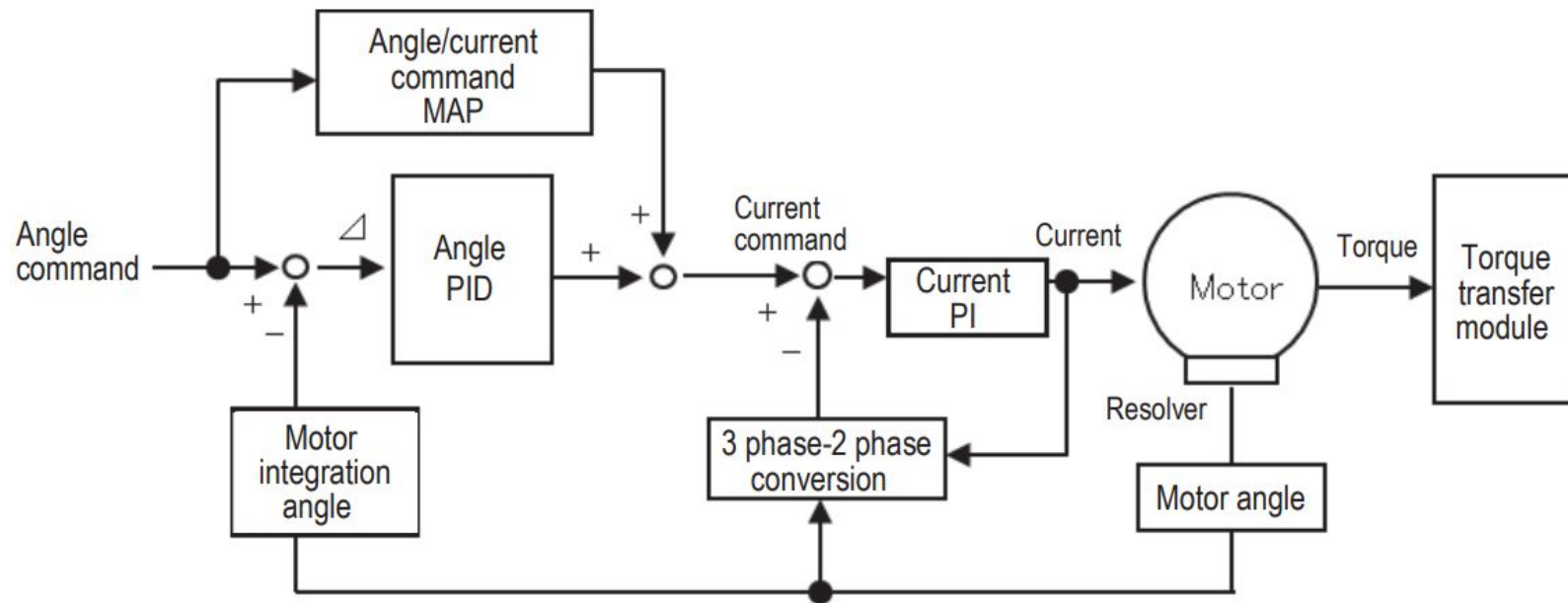
Onde T é o torque, F a força é aplicada e r é o raio da roda [2]. No ajuste para curvas:

$$\theta = \frac{v^2}{r}$$

Aqui theta é o deslocamento angular para controle de curvas, v é a velocidade do veículo e r é o raio da curva [2].

Diagrama de Bloco

Diagrama de Bloco de Controle

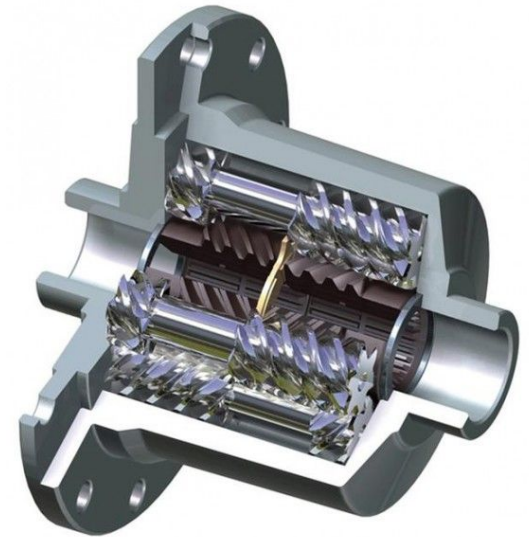


Aplicação

O Lexus RC F é o primeiro veículo com motor dianteiro e tração traseira a ser oferecido com sistema de transferência de torque, diferencial de vetorização de torque (TVD) [3].

O TVD da Lexus emprega meios mecânicos e eletrônicos para determinar a distribuição do torque [3].

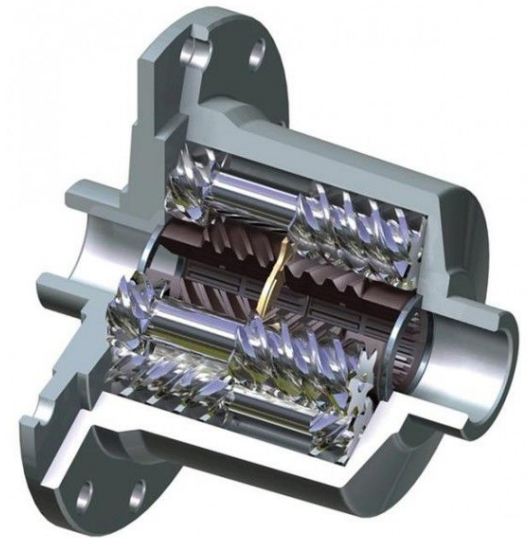
Lexus TVD



Aplicação

Possui um par de embreagens multiplacas; os motores elétricos controlam a quantidade de pressão aplicada às embreagens por meio de uma pequena válvula, chamada atuador de came esférico. O nível de pressão que os motores aplicam às embreagens determina o nível de torque que é distribuído para cada uma das rodas traseiras durante a aceleração e desaceleração [3].

Lexus TVD



Referências

- [1] CHOKSEY, Jessica Shea. What is torque vectoring in a car? J.D. Power, 14 jun. 2022. Disponível em: <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/what-is-torque-vectoring-in-a-car>. Acesso em: 7 jul. 2025.
- [2] STUDYSMARTER. Torque vectoring: definition & mechanism. StudySmarter, [2023?]. Disponível em: <https://www.studysmarter.co.uk/explanations/engineering/automotive-engineering/torque-vectoring>. Acesso em: 7 jul. 2025.
- [3] LEXUS UK. The Lexus torque vectoring differential explained. Lexus UK Magazine, 11 fev. 2015. Disponível em: <https://mag.lexus.co.uk/lexus-torque-vectoring-differential-explained>. Acesso em: 7 jul. 2025.
- [4] TSUCHIDA, Katsumi; NAGAMOTO, Makoto; TAKEMARU, Shinji; HISANAGA, Masato; KUROKAWA, Ryosuke; SHINOHARA, Takafumi. Development of Torque Vectoring Differential control ECU. Fujitsu Ten Technical Journal, n. 40, p. 28–33, 2014. Disponível em: <https://www.denso-ten.com/business/technicaljournal/pdf/40-6.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2025.

Referências

- [5] BRIDGER, Gabriel. The Active M Differential in Detail. BimmerFile, 28 set. 2011. Disponível em: <https://www.bimmerfile.com/2011/09/28/the-active-m-differential-in-detail>. Acesso em: 7 jul. 2025.
- [6] SILVEIRA, Flávio; BONI, Roberto. Quando o torque faz a curva. Motor Show, 8 jul. 2019. Disponível em: <https://motorshow.com.br/quando-o-torque-faz-a-curva>. Acesso em: 7 jul. 2025.
- [7] CREST VOLVO CARS. Volvo AWD systems explained. Crest Volvo Cars News & Info, 10 mar. 2020. Disponível em: <https://www.crestvolvocars.com/blog/2020/march/10/volvo-awd-systems-explained.htm>. Acesso em: 7 jul. 2025.