

ESTUDO E APLICAÇÃO DO SENSOR DE EFEITO HALL EM UMA APLICAÇÃO AUTOMOBILÍSTICA¹

Paulo BRESSAN²

Bacharel em Engenharia Elétrica/USJT-SP
Discente do curso de Mestrado em Automação e Controle de Processos
IFSP/*Campus* São Paulo

RESUMO

A crescente demanda por novas soluções tecnológicas nos automóveis, muitas vezes para substituir aplicações mecânicas por soluções eletromecânicas, busca um melhor controle dos sistemas para melhorar principalmente a economia de combustível e a diminuição na emissão de poluentes, em paralelo melhorar o conforto e a segurança de quem utiliza esse veículo. Com o avanço da microeletrônica, muitos sensores ganharam espaço em aplicações onde não se pensava seu uso, esse foi o caso do Sensor de Efeito Hall, em que sua utilização em veículos só tende a crescer por conta de sua fácil aplicação. A aplicação do Sensor de Efeito Hall na válvula de controle de temperatura trouxe uma nova aplicabilidade ao produto, melhorando sua função primária.

Palavras-chave: Sensor de Efeito Hall. Medida de Posição. Válvula, Campo Magnético. Vazão.

Introdução

As novas tecnologias nos automóveis estão levando a um aumento significativo de sistemas eletrônicos cada vez mais sofisticados em veículos, também chamadas de sistemas embarcados. Analistas estimam que 90% das inovações nas indústrias automobilísticas estão relacionadas a sistemas eletrônicos (HODEL, 2008). Com o passar dos anos, novas pesquisas surgem para melhorar os veículos, pesquisas essas voltadas principalmente a quatro fatores: segurança, conforto, economia de consumo e redução de emissão gases. Essas pesquisas geram novos produtos, sendo muitos deles sensores.

¹ Trabalho orientado pelo Prof. Dr. Ricardo Naoki Mori, Doutor em Engenharia Elétrica/USP, Professor do IFSP/*Campus* Piracicaba.

² Endereço eletrônico: bressan_paulo@outlook.com

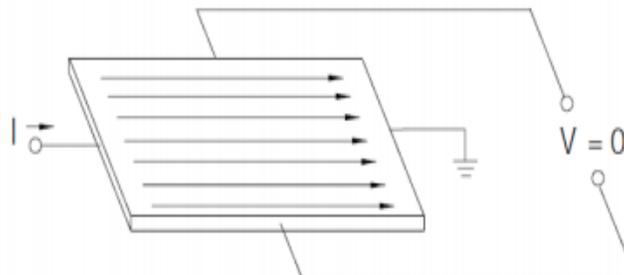
desligado (ON/OFF), sendo essa função realizada por uma solenoide elétrica e controlada através da unidade de controle do motor (UCM). Três anos depois, uma nova patente foi criada sobre essa válvula, agora para a tornar proporcional. A técnica usada para tornar essa válvula proporcional utiliza um Sensor de Efeito Hall.

Sensor de Efeito Hall

Segundo Xiao (2003), o Sensor de Efeito Hall é um sensor de campo magnético baseado no efeito descoberto por Edwin Hall em 1879. É um dispositivo isolado que pode ser aplicado para o sensoriamento de corrente contínua e alternada, normalmente até centenas de quilohertz. Devido a sua estrutura simples e sua compatibilidade com a microeletrônica, um dispositivo Hall pode ser integrado monoliticamente em um sensor magnético completamente integrado e ser fabricado usando a tecnologia CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) convencional.

Quando um condutor atravessado por uma corrente é colocado em um campo magnético, surgirá uma tensão perpendicular à corrente e ao campo. Este princípio, conhecido como efeito Hall, é mostrado na Figura 2. Ela mostra uma fina folha de material semiconductor (elemento Hall) atravessado por uma corrente. As conexões de saída são perpendiculares à direção da corrente. Quando não existir um campo magnético e a distribuição da corrente for uniforme, nenhuma diferença de potencial surge na saída.

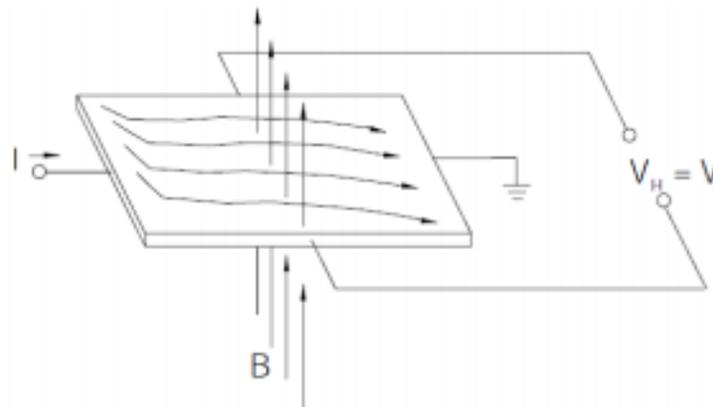
Figura 2- Princípio do Efeito Hall, sem campo magnético



Fonte: HONEYWELL (2017)

Quando um campo magnético perpendicular está presente, como mostrado na Figura 3, uma força de Lorentz é exercida sobre a corrente. Essa força causa um distúrbio na distribuição da corrente, resultando em uma diferença de potencial entre os terminais de saída. Essa tensão é conhecida como tensão Hall (V_H).

Figura 3- Princípio do Efeito Hall, na presença de campo magnético



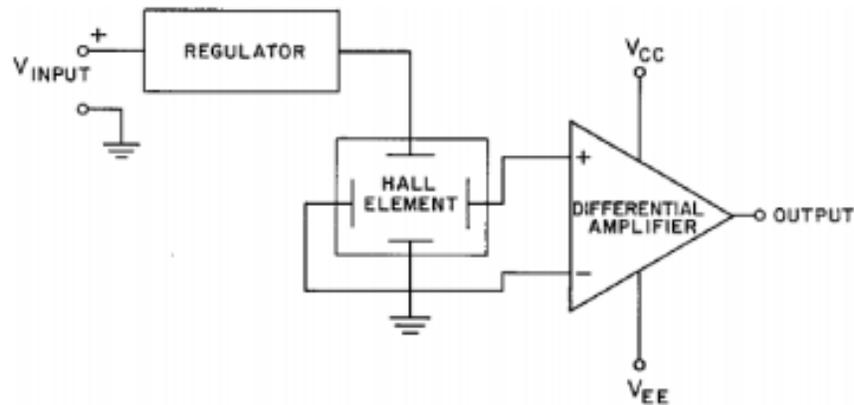
Fonte: HONEYWELL (2017)

A tensão Hall é, então, proporcional ao produto vetorial da corrente (I) pelo campo magnético (B) como mostrado na equação (1).

$$V_H \propto I \times B \quad (1)$$

Um dispositivo de efeito Hall é, basicamente, um sensor de efeito de campo. Exige um circuito adicional para condicionar o sinal, de modo a produzir uma tensão de saída utilizável para a maioria das aplicações, consistindo de um estágio amplificador e uma compensação de temperatura. Um sensor de efeito Hall básico é mostrado na Figura 4.

Figura 4- Sensor de Efeito Hall básico

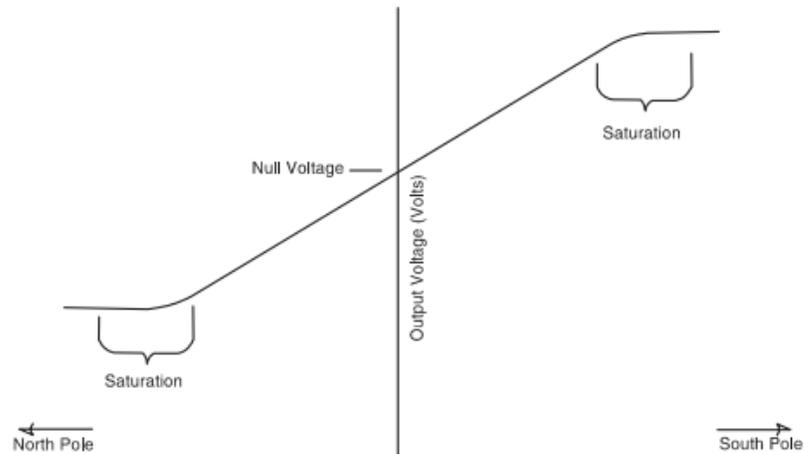


Fonte: HONEYWELL (2017)

Segundo informações fornecidas por Honeywell (2017), tensão Hall resultante no dispositivo possui um valor baixo, ou seja, cerca de 30 microvolts na presença de um campo magnético de um Gauss. Esse baixo valor de saída necessita de um amplificador com baixo ruído, alta impedância de entrada e um ganho moderado. Devido à sua estrutura simples, um dispositivo Hall pode ser integrado monoliticamente com um amplificador diferencial que agregue essas características, além de circuitos de compensação de temperatura, usando tecnologias de transistores bipolares padrão.

Um transdutor Hall tem normalmente um pico de corrente limitado, em razão da saturação do núcleo e tem largura de banda limitada (< 1 MHz), embora possa medir corrente contínua. Além disso, ele é muito sensível aos campos magnéticos externos. Os Sensores de Efeito Hall operam principalmente em modo de malha fechada para uma melhor precisão e uma maior gama dinâmica. É sensível à polaridade do campo magnético (Norte e Sul), com isso a saída amplificada também será e fornecerá uma tensão proporcional ao campo magnético ao qual está exposto conforme Figura 5. A saturação ocorre no amplificador e não no elemento Hall, assim grandes campos magnéticos não danificarão o sensor.

Figura 5- Curva de tensão de saída



Fonte: HONEYWELL (2017)

Aplicando o Sensor de Efeito Hall para controle de posição

Muitos avanços da tecnologia automotiva dependem do uso de sensores com alta confiabilidade e exatidão, sendo importante mostrar uma aplicação usada no sistema de arrefecimento dos veículos, como a seguir:

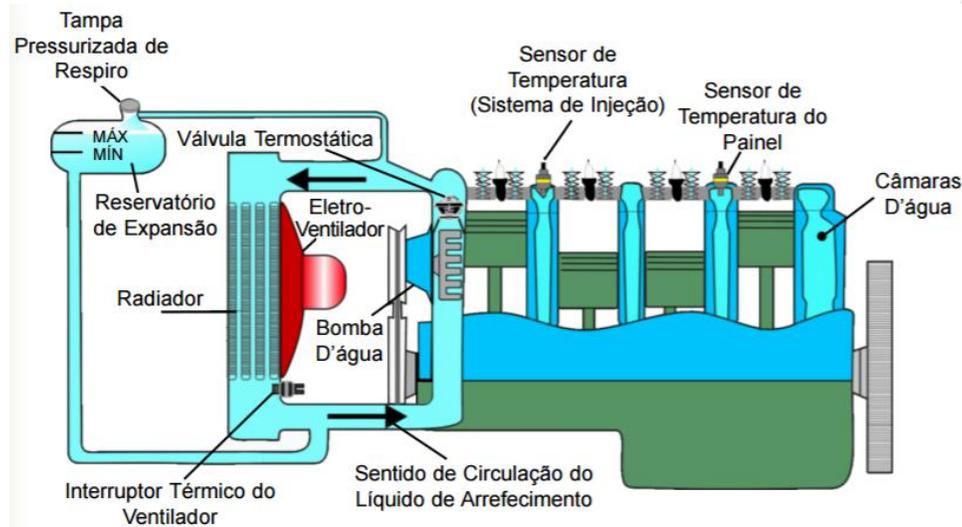
Sistema de Arrefecimento e seu funcionamento

Atualmente, o sistema de arrefecimento automotivo por líquido refrigerante pode ser formado pelos seguintes componentes principais:

1. Passagens de fluido no bloco de cilindros ou jaqueta do motor.
2. Radiador.
3. Bomba do líquido de arrefecimento.
4. Termostato.
5. Reservatório de expansão.

Além desses componentes, também fazem parte do mesmo o ventilador e as mangueiras de conexão. A Figura 6 mostra um esquema do circuito do sistema de arrefecimento automotivo com as partes mencionadas.

Figura 6- Sistema de Arrefecimento



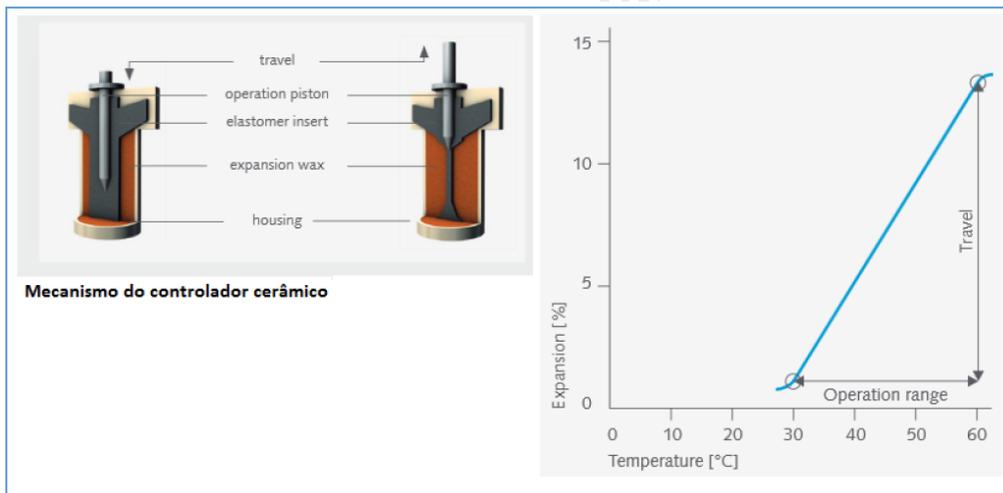
Fonte: MTE-THOMSON (2012)

Conforme informações do Manual de Sistema de Arrefecimento da MTE-THOMSON (2012), o líquido de arrefecimento é bombeado através das camisas do motor, carregando o calor do cabeçote, pistões, câmaras de combustão, paredes dos cilindros, válvulas *etc.* O líquido aquecido circula das camisas do motor, através de uma mangueira, para o radiador onde, auxiliado por um ventilador, esfria-se e retorna, através de outra mangueira, ao motor. O líquido de arrefecimento, portanto, circula sob pressão, por todo o sistema de arrefecimento. A bomba d'água é o componente encarregado de impulsionar essa circulação, acelerando a passagem do líquido através de um rotor. Enquanto o motor não atinge sua temperatura ideal de funcionamento, o líquido de arrefecimento circula apenas por um pequeno circuito, que percorre somente as galerias do motor. Este circuito é controlado pela válvula termostática. Quando a temperatura é alcançada (85°C a 95°C), esta

válvula abre-se e então o líquido de arrefecimento começa a circular pelo circuito completo. Nesse circuito, que passa pelo radiador o ar exterior e a corrente de ar gerada pelo ventilador, baixam a temperatura do líquido de arrefecimento.

Isso posto, é importante observar que o conceito mais simples de válvula termostática e amplamente difundido tem, como base, um elemento cerâmico. Seu comportamento, portanto, é proporcional à temperatura do fluido, funcionando de forma passiva, como demonstrado na Figura 7. A cerâmica expande (temperaturas acima de 30°C), movimentando o pistão, até que este alcance o máximo deslocamento (60°C). Neste instante, a válvula permite a máxima transferência de fluido para o radiador. À medida que a temperatura diminui, a cerâmica volta para o seu estado inicial, diminuindo a vazão para o radiador. (PARAMELT, 2012)

Figura 7- Funcionamento e curva característica (expansão *versus* temperatura)



Fonte: PARAMELT (2012)

A válvula termostática é uma peça importante no sistema de arrefecimento dos carros (Figura 8), porque ajuda a controlar a temperatura do motor. Quando o motor está frio, sua passagem fica fechada, fazendo com que o líquido de arrefecimento (água e aditivo) volte para o bloco do motor. A partir de uma determinada temperatura, cerca de 90 graus, dependendo do carro analisado, ela se abre, permitindo a passagem do líquido para o

radiador para que ele seja refrigerado e volte com uma temperatura mais baixa para o bloco do motor.

Figura 8- Válvula Termostática



Fonte: Site MTE-THOMSON³ (2012)

Duas são as desvantagens deste dispositivo, a primeira é que não há a possibilidade de controle, permitindo ajustes mais finos; a segunda é a grande dependência da temperatura no composto cerâmico. Essa dependência cria alguns atrasos no sistema. Assim, uma versão com uma bobina, que permita aquecer o material cerâmico, foi desenvolvida (Figura 9). A bobina fica submersa na cerâmica. Isso permite controlar a válvula dependendo da demanda imposta ao veículo, como por exemplo um trajeto montanhoso, cheio de subidas e descidas.

Figura 9- Válvula Termostática Eletrônica

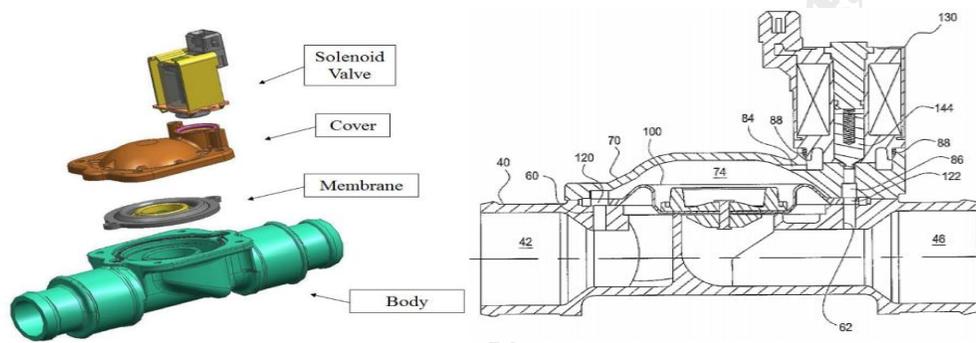


Fonte: Site MTE-THOMSON (2012)

³ Disponível em <http://www.mtethomson.com.br/site/wpcontent/uploads/2012/06/Manual%20de%20Arrefecimento%20MTE-Thomson.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2017.

Ao longo do tempo, outros modelos foram surgindo, com destaque para projetos com motores de passo (válvula corpo de borboleta) e por membrana. No caso da válvula de membrana ou também conhecida como válvula de diafragma, constata-se que é muito utilizada na indústria para restrição da vazão. No segmento automotivo, a empresa Melling do Brasil patenteou um conceito de válvula de controle de temperatura (US8474419 B2), que utiliza o conceito por membrana (Figura 10).

Figura 10- Válvula de Controle de Temperatura



Fonte: Melling do Brasil (2015)

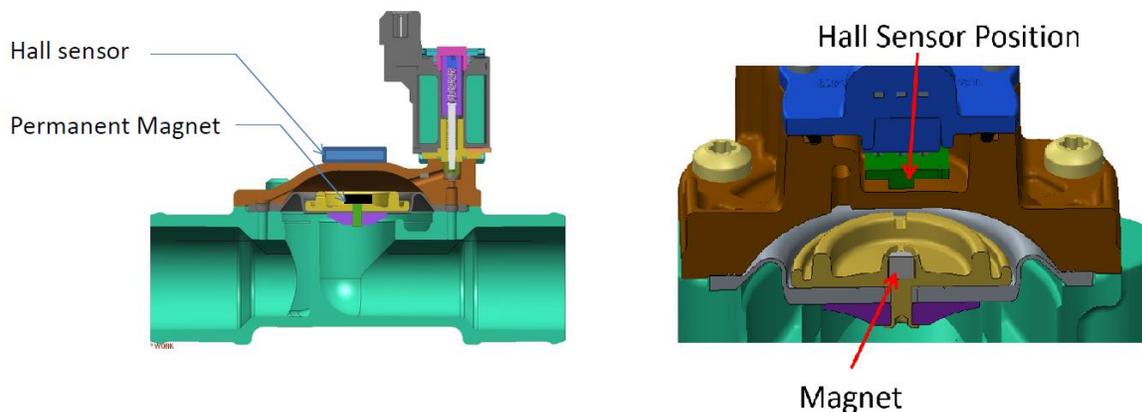
Seu funcionamento é baseado no controle de pressão na câmara superior da membrana. Assim como em outros modelos, a vazão de saída é proporcional à quantidade fornecida pela bomba d'água. Seu controle é feito por uma válvula solenoide localizada na parte superior. Existe uma pequena passagem ligando a entrada à câmara superior e outra passagem ligando a câmara à saída da válvula. Quando se pretende interromper a passagem do fluido, a solenoide é acionada fechando a pequena passagem alternativa da câmara superior à saída. Dessa forma, a pressão da câmara aumenta, empurrando a membrana para baixo. Quando se pretende abrir, a solenoide é então desligada, aliviando a pressão da câmara superior.

Esse modelo, cuja patente foi concedida em 2013, limita-se a abrir ou fechar a passagem do fluido refrigerante. Por esse motivo, recebeu o nome de modelo ON/OFF. Nesta configuração, não é possível controlar diferentes vazões, porém esta característica tornou-se uma necessidade para algumas aplicações.

Em se tratando de válvula por membrana com Sensor de Efeito Hall, tem-se que, com a limitação da válvula ON/OFF e a crescente necessidade de se ter vazões intermediárias constantes circulando no bloco do motor, fez surgir uma nova ideia para melhorar esse produto.

O monitoramento da posição real da membrana possibilitaria fechar uma malha de controle com a solenoide, a partir disso surge então para monitorar a posição o Sensor de Efeito Hall. Esse controle gerou uma nova patente em 2015 (US 20160208676 A1). Na figura 11, é possível entender melhor a aplicação do Sensor de Efeito Hall para o monitoramento da posição da membrana com o uso de imã.

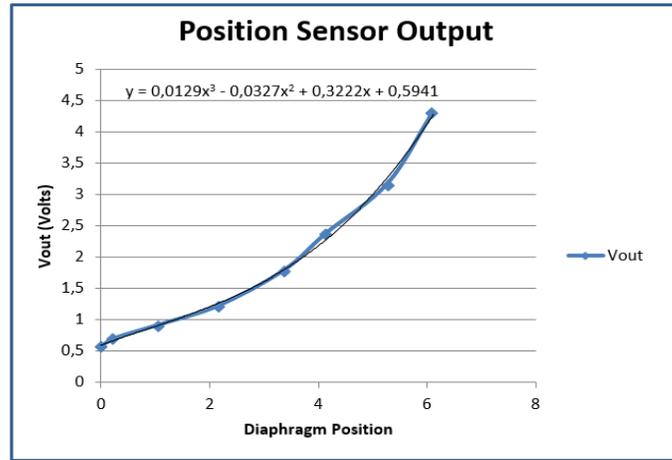
Figura 11- Válvula de controle de temperatura com *feedback* de posição



Fonte: Melling do Brasil (2015)

Nesse caso, o Sensor de Efeito Hall foi posicionado paralelo à membrana com o imã, possibilitando a medição do campo magnético do imã. Essa configuração possibilita que o sensor detecte a intensidade do campo magnético gerado pelo imã, através de uma curva de transferência para encontrar a posição real da membrana. Na figura 12, é possível verificar a curva que define o deslocamento da membrana pela tensão de saída do Sensor de Efeito Hall para essa válvula.

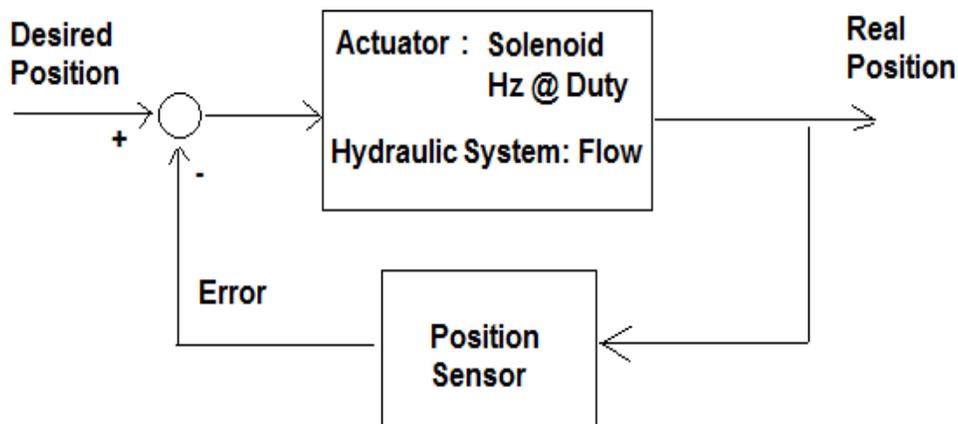
Figura 12- Curva de deslocamento da membrana



Fonte: Melling do Brasil (2015)

O sistema de controle mede a saída do Sensor de Efeito Hall e calcula a posição da membrana de acordo com a função. Com este valor, é possível calcular o erro, ajustando o melhor ciclo de trabalho para o solenoide (Figura 13). Esse solenoide trabalha com uma frequência fixa de 10Hz e o sistema de controle ajusta o ciclo de trabalho (*duty cycle*), com base no cálculo do erro. A velocidade para o ajuste pode ser um parâmetro de *software* que aumenta ou diminui o ciclo de trabalho (0 ↔ 100%) em função do tempo.

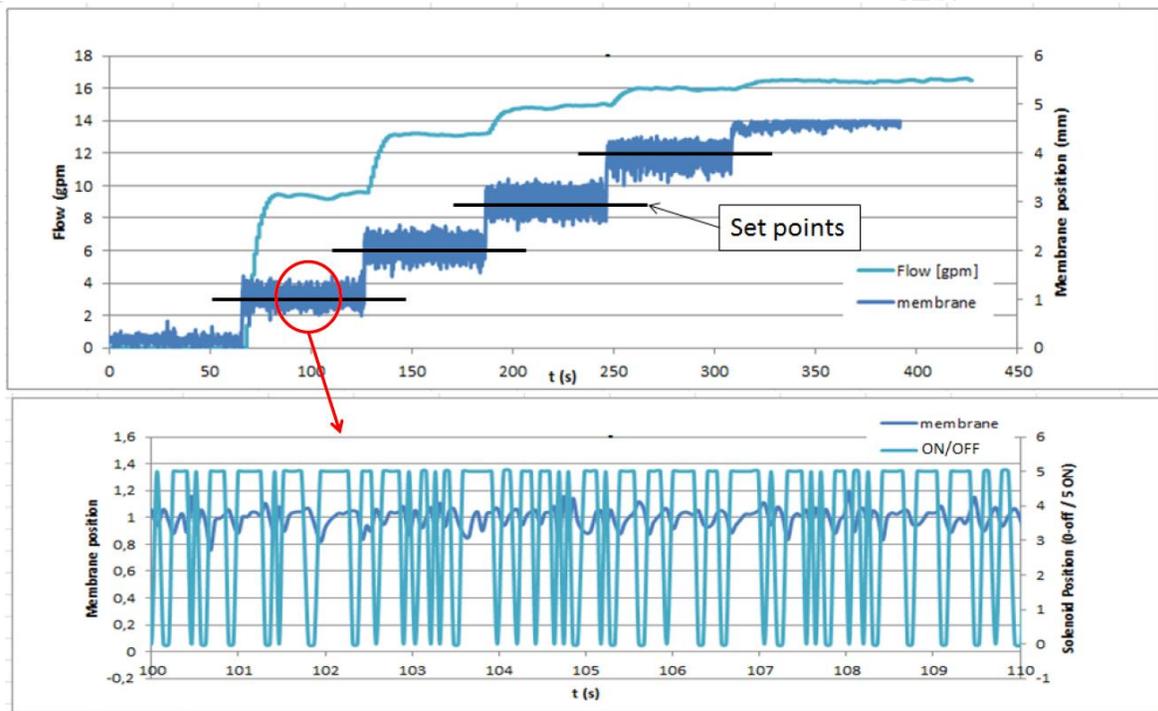
Figura 13- Sistema de posição em malha fechada



Fonte: Melling do Brasil (2015)

Como resultado prático, é possível ver na figura 14 o controle da membrana em determinadas posições, como consequência o controle da vazão, lembrando que nesse caso o motor está com uma velocidade fixa, ou seja, uma vazão constante, que podemos chamar de vazão máxima, o controle da posição da membrana vai restringir essa vazão em valores intermediários. Na mesma figura, é possível constatar o acionamento do solenoide para manter a membrana na posição informada.

Figura 14- Controle da vazão e posição da membrana



Fonte: Melling do Brasil (2015)

Com isso, é possível afirmar que o Sensor de Efeito Hall é uma ferramenta extremamente importante para soluções complexas de controle não só para indústria automotiva mas para quaisquer soluções do mercado.

Conclusão

A implementação do sensor de efeito Hall no produto permitiu adicionar uma nova funcionalidade à válvula de controle de temperatura, que antes só operava em dois estados (ON e OFF), desta forma foi possível contribuir com a precisão do controle de temperatura do motor a combustão, pois seu funcionamento ganhou uma infinidade de estágios intermediários entre a posição aberta e fechada devido à realimentação da posição da membrana no circuito de controle da válvula. O sensor de efeito Hall se mostrou muito eficiente para detectar o campo magnético do ímã fixo à membrana e seu comportamento estável aos meios externos aplicados.

Referências

HODEL, K. N. *Limites do Protocolo CAN (Controller Area Network) para Aplicações que Exigem Alto Grau de Confiabilidade Temporal*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

HONEYWELL. *Hall Effect Sensing and Application*. Disponível em: <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-sensors-magnetoresistive-hall-effect-applications-005715-2-en2.pdf> . Acesso em: 20 jun. 2017.

LOPES, P. F. A. *Sistema de Sensores para Carro de Competição Integrado na Fórmula Student*. Dissertação de mestrado. Universidade técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

MELLING DO BRASIL. Disponível em: <http://www.melling.com/>. 2015 Acesso em: 19 jun.2017.

MTE- THOMSON. *Manual de Arrefecimento*. 2012
Disponível em :
<http://www.mtethomson.com.br/site/wpcontent/uploads/2012/06/Manual%20de%20Arrefecimento%20MTE-Thomson.pdf> Acesso em: 19 jun.2017.

PARAMELT. *Thermostat waxes- Dilavest*. 2012
Disponível em :
https://www.paramelt.com/files/Pdf/dilavest/Dilavest%20product%20leaflet%202012_03.pdf Acesso em: 19 jun.2017.

XIAO, C. *et al.* An overview of integratable current sensor technologies. INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE, 2003, 38th Ias Annual Meeting. Conference Record of the, v. 2, 12-16 Oct. 2003.

STUDY AND APPLICATION OF HALL EFFECT SENSOR IN AUTOMOBILE APPLICATION

ABSTRACT

The growing demand for new technological solutions in automobiles, often to replace mechanical applications for electromechanical solutions, seeks a better control of the systems to improve mainly the fuel economy and the reduction in the emission of pollutants, in parallel to improve the comfort and safety of those who used this vehicle. With the advancement of microelectronics many sensors have won space in applications where you don't use your thought, this was the case with the Hall effect Sensor, where your use in vehicles only tends to grow your account easy application. The application of Hall effect Sensor in the temperature control valve brought a new applicability to the product, improving your primary function.

Keywords: *Hall effect Sensor. Measurement of Position. Valve, magnetic field. Flow.*

Envio: junho/2017
Aceito para publicação: julho/2017