

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA A  
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

FLAVIO EIDI NAGATA

**APLICAÇÃO DE ALTERNADORES COM INTERFACE LIN PARA  
VEÍCULOS COMERCIAIS PESADOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2016

FLAVIO EIDI NAGATA

**APLICAÇÃO DE ALTERNADORES COM INTERFACE LIN PARA  
VEÍCULOS COMERCIAIS PESADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: MSc Prof. Juliano Pedroso

CURITIBA  
2016

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

FLAVIO EIDI NAGATA

### **APLICAÇÃO DE ALTERNADORES COM INTERFACE LIN PARA VEÍCULOS COMERCIAIS PESADOS**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 4 de fevereiro de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Automação Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Tit. Nome do Professor  
UTFPR

---

Prof. Tit. Nome do Professor  
UTFPR

---

Prof. Tit. Nome do Professor  
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

Dedico este trabalho em memória do meu pai Hiroyuki Nagata pela sua incansável dedicação na formação dos meus princípios e valores.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por ter me concedido a vida e a humildade para sempre buscar o conhecimento e para que, através do saber, eu pudesse expressar-me artisticamente em prol do próximo e da humanidade. Desejo expressar a minha gratidão aos meus familiares, amigos e em especial a minha querida esposa Karen que, com muito carinho e compreensão está sempre ao meu lado para me apoiar nesta jornada.

Aos professores da UTFPR que, direta e indiretamente, compartilharam o conhecimento durante a minha formação e, em especial ao prof. MSc Juliano Mello Pedroso pela orientação, paciência e companheirismo durante a elaboração deste trabalho.

## RESUMO

NAGATA, Flávio Eidi. **Aplicação de Alternadores com Interface LIN para Veículos Comerciais Pesados**, 2016 51f. Monografia (Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho aborda um caso de estudo dos alternadores equipados com a interface LIN para aplicação em veículos pesados. Entre as premissas abordadas, estão a análise e compreensão deste novo conceito de alternadores face a tecnologia atual, avaliar os impactos no que se refere a eficiência energética e redução de emissões de gases poluentes como também os possíveis benefícios no aumento da durabilidade dos principais elementos que compõem a rede de bordo e, finalmente, uma provável melhora da eficiência na detecção de falhas a eles relacionados.

O intuito deste estudo é também avaliar a viabilidade desta tecnologia face as demandas do mercado brasileiro e das legislações vigentes e suas eventuais consequências no que diz respeito a custo-benefício aos clientes.

**Palavras chave:** LIN. Alternador. Bateria. Controle. Ônibus.

## **ABSTRACT**

NAGATA, Flávio Eidi. **LIN Alternators for Application in Heavy Duty Vehicles**, 2016 51f. Monografia (Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This research broaches a case of study of alternators equipped with LIN interface driven to heavy duty vehicles application. Among the main topics covered here, the aim is to study and understand this new concept of alternators upon the actual technology, to evaluate the impacts referred to both energy saving and reduction of emission of gases, as well as the possible benefits related to a higher durability of main components, that are part of onboard system, and finally, a probable efficiency improvement of failure detection related to them.

The goal is also evaluate the feasibility of this technology in face of Brazilian market demands as well as the current environmental legislation and its eventual consequences on cost-benefit to the customers.

**Keywords:** LIN. Alternator. Battery. Control. Bus.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Rede de bordo de um veículo .....	17
Figura 2 – Tensão gerada nos terminais das escovas .....	20
Figura 3 – Representação esquemática do alternador e tensões de saída .....	22
Figura 4 – Representação esquemática do alternador genérico .....	23
Figura 5 – Representação das partes constituintes de um alternador .....	24
Figura 6 – Topologia de uma rede LIN.....	26
Figura 7 – Barramento LIN e o gerenciador de mensagens.....	27
Figura 8 – Estrutura das mensagens no protocolo LIN .....	28
Figura 9 – Estrutura do cabeçalho do quadro completo de mensagem LIN.....	29
Figura 10 – Estrutura do cabeçalho com identificador protegido.....	30
Figura 11 – Estrutura do quadro de resposta .....	31
Figura 12 – Sequencia de transmissão dos bytes no quadro de resposta .....	31
Figura 13 – Curva característica da corrente de excitação do alternador .....	32
Figura 14 – Diagrama esquemático de um regulador eletrônico .....	33
Figura 15 – Diagrama esquemático de um regulador eletrônico Multifuncional .....	36
Figura 16 – Diagrama esquemático de um regulador eletrônico com interface LIN ..	37
Figura 17 – Arquitetura elétrica com a topologia de rede de um veículo comercial pesado .....	42
Figura 18 – Indicação da variação da corrente elétrica na rede de bordo.....	45
Figura 20 – Indicação luminosa no painel referente a falha no alternador. ....	48



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Planilha de custos com preços convertidos em Reais.....	17
Tabela 2 – Códigos de falhas referente aos componentes da rede LIN.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS

AGM	<i>Absorbent Glass Material</i>
Ah	<i>Ampère Hora</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
FEM	<i>Força Eletro Motriz</i>
Kbps	<i>Kilo bits por Segundo</i>
LRD	<i>Load Response Driver</i>
LRS	<i>Load Response Start</i>
LED	<i>Light Emissor Diode</i>
LIN	<i>Local Interconnect Network</i>
OBD	<i>Onboard Diagnostic</i>
PID	<i>Protected Identificator</i>
SCI	<i>Serial Communication Interface</i>
SOC	<i>State of Charge</i>
SOH	<i>State of Health</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver / Transmitter</i>

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	TEMA .....	11
1.1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
1.2	PROBLEMA .....	12
1.3	OBJETIVOS .....	13
1.3.1	Objetivo Geral .....	13
1.3.2	Objetivos Específicos .....	13
1.4	JUSTIFICATIVA.....	14
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	14
1.6	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	15
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
2.1	REDES DE BORDO DE UM VEÍCULO COMERCIAL .....	17
2.2	BATERIAS .....	18
2.3	CONSUMIDORES ELÉTRICOS .....	18
2.4	ALTERNADORES .....	19
2.4.1	Princípio de funcionamento de um alternador .....	19
2.4.2	Composição do Alternador .....	23
2.5	REDES LIN .....	25
2.5.1	Princípio de funcionamento da rede LIN .....	26
2.5.1	Estrutura do quadro de mensagem.....	28
3	- DESENVOLVIMENTO.....	31
3.1	- REGULADORES ELETRÔNICOS DE TENSÃO (MODELO CLÁSSICO) .....	32
3.1.1	- Reguladores Monolíticos .....	35
3.1.2	- Reguladores Multifuncionais .....	35
3.2	- REGULADORES ELETRÔNICOS DE TENSÃO COM INTERFACE LIN .....	37
3.2.1	- Operação em modo de espera ( <i>Stand-by</i> ), estágio desligado, Pré-excitado e regulagem de tensão .....	38
3.2.2	- Ajuste da tensão do regulador via interface LIN .....	39
3.2.3	- Disponibilidade de códigos de falha do alternador .....	40
3.2.4	- Interação com a rede comunicação de dados do veículo .....	41
3.2.5	- Balanceamento Elétrico quando opera em modo paralelo .....	42
4	- ANÁLISE .....	43
4.1.1	-Teste de eficiência energética e redução de consumo de combustível .....	43
4.1.2	- Comparativo de Custos .....	45
4.1.3	- Perspectiva de maior durabilidade dos componentes.....	46
4.1.4	- Perspectiva de maior rapidez na detecção de falhas .....	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	50
	REFERÊNCIAS .....	51

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMA

De acordo com resolução de Nº 15 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), os veículos comerciais pesados são definidos como sendo veículo automotor para o transporte de passageiros e/ou carga, com massa total máxima autorizada maior que 3856 kg ou massa do veículo em ordem de marcha maior que 2720 kg. Dentro desta definição, são considerados veículos comerciais pesados os ônibus, micro-ônibus, caminhão, caminhão-trator, trator de rodas, trator misto, chassi-plataforma, motor-casa, reboque ou semirreboque e suas combinações conforme determina a resolução Nº 340 do CONTRAN (Conselho Regional de Trânsito).

Há muitos anos, os referidos veículos são frequentemente considerados poluentes devido à larga escala de utilização como meio de transporte, bem como a natureza do combustível utilizado como fonte de energia (combustíveis fósseis). A queima de combustíveis fósseis em todo mundo é a principal causa das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o principal gás de efeito estufa. O setor de transportes é, entre as fontes de emissão de gases de efeito estufa, a que cresce mais rapidamente, muitas vezes em uma taxa superior ao produto interno bruto dos países em desenvolvimento (SCHIPPER & MARIE-LILLIU, 1999 apud Wills, 2008). Sob esta perspectiva, é de fundamental importância que os veículos modernos sejam capazes de emitir menos poluentes e, ao mesmo tempo, sejam mais eficientes sob o ponto de vista energético. A eficiência energética é a capacidade de utilizar menos energia para produzir a mesma quantidade de iluminação, aquecimento, transporte e outros serviços baseados na energia (US National Policy Development Group, 2001 apud Menkes, 2004).

A demanda energética nos veículos de modo geral tem aumentado de forma substancial à medida que novas tecnologias e equipamentos passam a fazer parte do sistema automotivo. Nos últimos anos, a introdução de novas tecnologias como o gerenciamento eletrônico do motor, da caixa de transmissão, componentes OBD necessários ao atendimento de normas de emissões e de diversas outras funções

do veículo inerentes ao conforto, entretenimento e segurança dos passageiros tem exigido uma maior capacidade de oferta de energia elétrica por parte do veículo. A título de comparação, a potência elétrica demandada do alternador aumentou cerca de cinco vezes entre os anos de 1950 e 1980 e, desde então, este valor mais que dobrou novamente, sendo esperado um aumento ainda maior para os próximos anos, tanto para os veículos considerados leves quanto para os pesados (Bosch *Automotive Technology Manual – Alternators and Starter Motors*, 2003, p.3).

Dentro deste contexto, esta monografia propõe um caso de estudo de um estado da prática para alternadores equipados com a interface LIN. Estes alternadores foram desenvolvidos para aperfeiçoar a sua eficiência e durabilidade, como também a vida útil das baterias que são conectadas a eles. Através de uma interface digital, o regulador de tensão do alternador pode comunicar-se com a rede de dados do veículo e responder às suas demandas energéticas de forma dinâmica. Tal interação com o veículo permite que estes alternadores possam, a título de exemplo, ajustar a tensão fornecida ao sistema mediante a um determinado estado de carga das baterias, como também permanecer inativo na condição de partida do veículo.

### **1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA**

Este trabalho é estudar a tecnologia do alternador equipado com interface LIN desenvolvido pela Robert Bosch GmbH para aplicação em veículos comerciais pesados e que atendem a norma de emissões Euro 6 em vigor desde 2014 no continente europeu.

## **1.2 PROBLEMA**

Os alternadores são dispositivos acoplados mecanicamente ao motor do veículo e sua função é modificar a forma de energia mecânica em energia elétrica. O

alternador utiliza parte da energia disponível no motor para realizar esta conversão e leva a uma perda, ainda que pequena, de potência mecânica disponível para o veículo, além das perdas já inerentes a natureza construtiva do alternador. Esta característica faz o alternador ser considerado um “agregado” ao motor no qual acrescenta inércia ao seu funcionamento, principalmente na condição de partida e marcha lenta.

Normalmente em ônibus é comum a utilização de dois ou até três alternadores trabalhando em paralelo com o intuito de aumentar a oferta de energia para o veículo. No entanto, este procedimento leva a um maior carregamento do motor, além do desbalanceamento elétrico e mecânico que resulta quase sempre em desgaste e falha prematura de um alternador em relação ao outro.

Quando o motor trabalha mais carregado, a tendência é exigir uma potência maior para compensar as “perdas” por parte dos agregados e, conseqüentemente isso irá aumentar o consumo de combustível e emitir mais poluentes na atmosfera.

As normas de emissões estão cada vez mais restritivas e, sob esta perspectiva, um controle mais apurado se faz necessário o que representa um desafio para indústria automotiva nos próximos anos.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem por objetivo abordar a utilização de alternadores controlados através de protocolo LIN como uma alternativa viável na melhoria da eficiência energética, durabilidade dos alternadores e bateria, e como consequência uma possível redução de consumo de combustível e emissões de gases poluentes.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Pesquisar a tecnologia atual aplicada a alternadores e rede de bordo em veículos comerciais;

- Aprofundar os estudos na área de protocolos de rede LIN
- Pesquisar, compreender e descrever a aplicação do protocolo LIN nos alternadores.
- Avaliar os benefícios da aplicação desta tecnologia na eficiência energética do veículo e nos níveis de emissões.
- Comprovar o aumento da durabilidade dos elementos da rede de bordo;
- Avaliar a relação custo-benefício desta aplicação para o usuário final.

#### **1.4 JUSTIFICATIVA**

A utilização de tecnologias mais eficientes no controle de emissões, bem como a busca de uma maior eficiência energética, que é caracterizada por um melhor rendimento e menor consumo de combustível tem se mostrado cada vez mais evidente no desenvolvimento de novos produtos. Neste sentido, o emprego de alternadores que trabalham sob demanda elétrica tende a se tornar cada vez mais presente em aplicações automotivas.

Não menos importante, a utilização destes alternadores também se faz necessária para aperfeiçoar o processo de recarga das baterias aumentando a sua durabilidade e eficiência. Da mesma forma, aplicações em veículos comerciais, onde frequentemente são usados dois ou mais alternadores para fornecer energia a rede de bordo, a interface LIN busca suprir uma deficiência crônica que é garantir um melhor balanceamento elétrico entre eles.

#### **1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Visando o estudo de aplicação do protocolo de comunicação LIN em alternadores, esta pesquisa é caracterizada como aplicada para a solução de um problema específico. A pesquisa também é bibliográfica no que diz respeito à obtenção de informações técnicas, com referência a dados e relatórios de ensaios de campo, cujo intuito é corroborar ou não a teoria apresentada.

A pesquisa é detalhada conforme os tópicos a seguir:

- Pesquisa quanto a rede de bordo de um veículo
- Definições básicas quanto a baterias, consumidores elétricos e alternadores.
- Pesquisa sobre o funcionamento do alternador e suas características construtivas.
- Estudo sobre Protocolo LIN.
- Estudo dos reguladores de tensão modelos clássicos e com interface LIN.
- Coleta de informações de campo (concessionários e relatórios de testes)
- Análise das informações
- Apresentação dos resultados.

## **1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO**

Esta pesquisa busca o embasamento teórico nas revisões literárias de Capelli (2010) e nos manuais de engenharia automotiva da Bosch (2003) e da Johnson Controls (2010), cujo intuito é abordar os principais componentes da rede de bordo, bem como suas definições e aplicações.

O estudo referente ao protocolo LIN usa como referencial teórico os tutoriais da Vector (2010) e artigos científicos onde são descritas as definições, as características, a topologia e a estruturação dos quadros de mensagem.

Quanto à abordagem teórica dos alternadores equipados com a interface LIN, as informações foram obtidas a partir de publicações da fabricante Bosch devido a natureza específica deste tema.

## **1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta monografia está estruturada em cinco capítulos que abrange desde a fundamentação teórica necessária para abordar o tema até as considerações finais. O intuito é permitir a exploração do tema partindo de uma abordagem macro e



evoluindo para um detalhamento do assunto que é o objeto deste estudo. Os capítulos estão descritos a saber.

**Capítulo 1 - Introdução:** São apresentados o tema, as delimitações da pesquisa, o problema e a premissa, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico, e a estrutura geral do trabalho.

**Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** Apresenta uma introdução aos elementos que serão abordados no desenvolvimento do trabalho. Este capítulo tem caráter informativo e visa trazer os conceitos e definições referente a rede de bordo, alternadores e redes de comunicação LIN, cuja aplicação já se encontram amplamente difundidas na engenharia automotiva.

**Capítulo 3 – Desenvolvimento:** Descreve de forma mais detalhada os modelos atuais (clássicos) de reguladores de tensão, bem como o modelo de regulador equipado com interface LIN e a sua interação com a rede de comunicação de dados do veículo.

**Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados:** Neste capítulo são descritos os resultados obtidos a partir de relatórios de ensaios, levantamento e comparativo de custos referente aos componentes abordados, bem como perspectivas de durabilidade e melhora no tempo de realização de diagnósticos guiado.

**Capítulo 5 – Considerações finais:** São abordadas as ponderações a respeito da aplicação da nova tecnologia em face de suas vantagens e desvantagens. Este capítulo visa concluir também, com base nos resultados abordados, se a tecnologia proposta é de fato viável para aplicação em veículos pesados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 REDES DE BORDO DE UM VEÍCULO COMERCIAL

Conforme descrito no Bosch *Automotive Technology Manual – Alternators and Starter Motors*, (2003, p.4) a rede de bordo de um veículo é composta por acumulador de energia, um conversor de energia e consumidores elétricos. De forma geral, estes elementos que podem ser distribuídos da seguinte forma:

- Baterias
- Cargas ou Consumidores Elétricos
- Alternadores

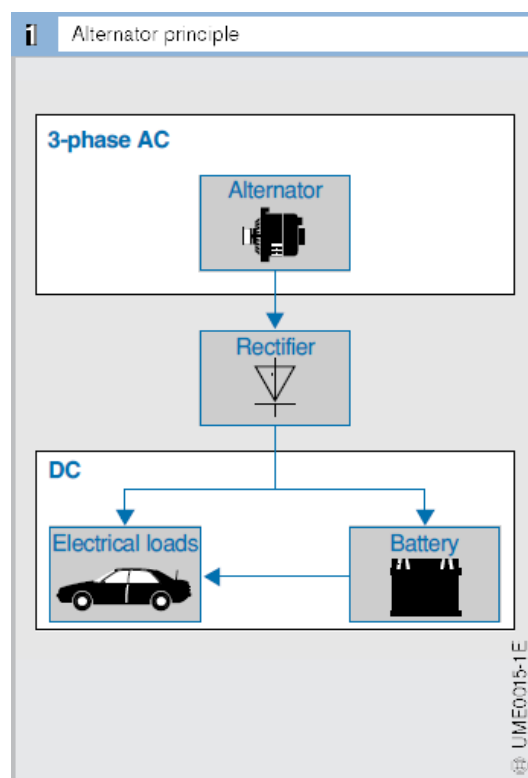


Figura 1 – Rede de bordo de um veículo

Fonte: Bosch

## 2.2 BATERIAS

Curiosamente, muitos acreditam de forma errônea que as baterias são a principal fonte de energia elétrica em um sistema automotivo. De acordo com o Manual de treinamento técnico da Johnson Controls (2010, p.4), a bateria automotiva é um acumulador elétrico que armazena energia sob a forma química, e posteriormente a converte em energia elétrica. Na prática, ela funciona como um elemento secundário de fornecimento de energia elétrica ao sistema. Nos veículos comerciais, a rede de bordo utiliza duas baterias de 12V dispostas em série, provendo um total de 24V. A capacidade da bateria em Amperes/hora (Ah) varia de acordo com o tipo do veículo em questão.

Na rede de bordo veicular, ainda descrito no Manual de treinamento técnico da Johnson Controls (2010, p. 4), a bateria possui as seguintes funções:

- Fornecer energia elétrica ao motor de partida e ao sistema de ignição do veículo.
- Alimentar todo o sistema elétrico do veículo quando o motor não estiver em movimento.
- Auxiliar o alternador, na alimentação de todo o sistema elétrico do veículo, por tempo determinado, se por algum motivo, o alternador não conseguir fornecer a totalidade de corrente elétrica, como por exemplo, em baixas rotações.
- Estabilizar a tensão do sistema elétrico como um todo.

## 2.3 CONSUMIDORES ELÉTRICOS

Os consumidores elétricos são todas as cargas elétricas conectadas ao veículo, sendo elas permanentes ou não. Os veículos comerciais pesados, especialmente os ônibus possuem uma grande quantidade de consumidores dos mais variados tipos com diferentes potências nominais. Normalmente, o grau de utilização dos consumidores é determinado durante o projeto da rede de bordo e

constitui um importante critério para dimensionamento da capacidade e posterior escolha do alternador para o veículo em questão.

## 2.4 ALTERNADORES

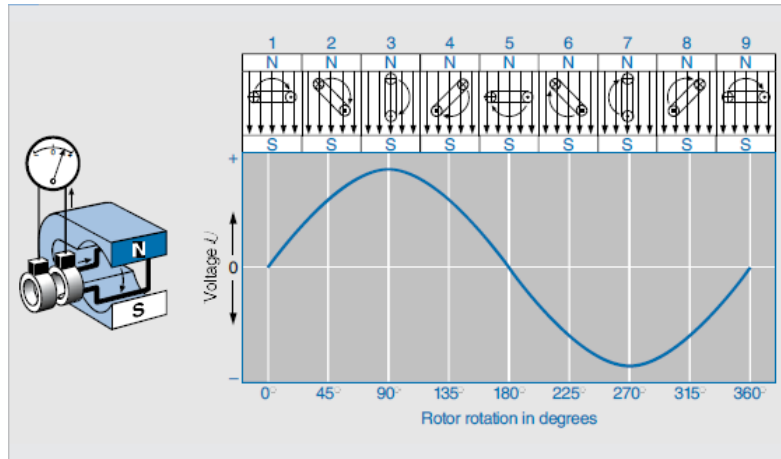
Conceitualmente, o alternador é definido como um gerador elétrico ou elemento conversor de energia. Trata-se de um elemento fundamental no funcionamento de qualquer sistema automotivo, no qual a sua principal função é converter uma fração da energia mecânica disponível no motor em energia elétrica a ser disponibilizada na rede de bordo. O seu funcionamento precisa ser confiável o suficiente para que, dentro de uma condição normal de operação e mesmo com motor funcionando em marcha lenta, o alternador seja capaz de fornecer energia elétrica de maneira estável e livre de falhas as unidades de controle eletrônico que gerenciam o motor, o sistema de injeção de combustível, sistemas de segurança crítica e conforto dos passageiros por exemplo. Ao mesmo tempo em que o alternador precisa atender tais exigências, o mesmo precisa fornecer energia o suficiente para manter as baterias carregadas para que estas possam garantir a partida do veículo sob quaisquer condições (*Bosch Automotive Technology Manual – Alternators and Starter Motors*, 2003, p.4).

### 2.4.1 Princípio de funcionamento de um alternador

O funcionamento de um alternador baseia-se no princípio da indução eletromagnética, enunciado por Michael Faraday, no qual um condutor elétrico que corta as linhas de força de um campo magnético e havendo movimento relativo entre eles, uma força eletromotriz (f.e.m) é induzida nos terminais deste condutor.

Este condutor elétrico pode ser construído em forma de uma bobina e tem os seus terminais conectados a anéis coletores ou anéis deslizantes na extremidade de um eixo rotor, nos quais por sua vez estão em contato com as escovas. Este

eixo rotor é então submetido a um campo magnético permanente conforme ilustrado a seguir.



**Figura 2 – Tensão gerada nos terminais das escovas**

Fonte: Bosch

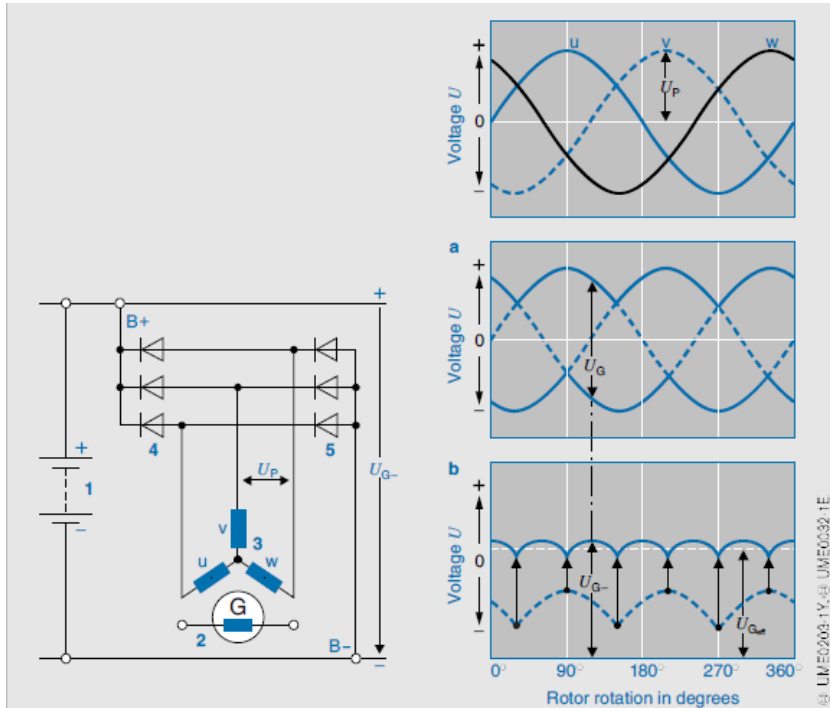
Na condição ilustrada na figura acima quando esta bobina gira sobre o seu próprio eixo, ela passa a cortar as linhas de campo magnético e, como consequência, a tensão induzida começa a variar proporcionalmente. A tensão induzida tem os seus respectivos valores de picos positivos e negativos a cada intervalo de 90°, formando assim um sinal alternado periódico como resposta a variação de movimento do eixo rotor.

Na prática, um alternador é constituído por um rotor composto por diversas bobinas concentradas sobre duas peças polares, normalmente em forma de garras que potencializam o efeito eletromagnético e possuem os seus terminais conectados a dois anéis coletores dispostos na extremidade do eixo. O campo magnético necessário é gerado na própria bobina através da corrente elétrica proveniente da bateria, ou em outras palavras, a própria bobina do rotor funciona como um eletroímã. A corrente elétrica que produz o campo magnético flui através de escovas que são posicionadas sobre os anéis coletores ou anéis deslizantes e o campo magnético produzido é diretamente proporcional a intensidade da corrente que passa pelas bobinas. Por esta razão, a bobina do rotor é também conhecida como bobina de excitação (Capelli, 2010, p.112).

Externamente ao rotor, o estator é o elemento estático do alternador e é composto por enrolamentos de fios de cobre alojados em ranhuras de um núcleo de aço silício construído em chapas sobrepostas. O estator possui três conjuntos de bobinas dispostas e defasadas  $120^\circ$  uma em relação à outra. Estas bobinas combinadas formam um circuito trifásico que podem ser interligadas na configuração estrela ou triângulo.

Assim que o rotor, que está mecanicamente acoplado ao motor do veículo através do conjunto correia / polia, bem como excitado com o campo magnético produzido através da corrente proveniente da bateria começar a girar, ele passará a induzir uma tensão nos terminais das bobinas do estator como resultado do princípio da indução eletromagnética já mencionada anteriormente e, pelo fato das bobinas do estator formarem um circuito trifásico, o resultado são tensões senoidais trifásicas induzidas em seus terminais. Estas tensões possuem a mesma amplitude e frequência, porém estão defasadas em  $120^\circ$  uma da outra, pela mesma razão que as bobinas estão mecanicamente dispostas  $120^\circ$  uma em relação à outra (Bosch *Automotive Technology Manual*, 2003, p.10)

Ocorre que esta tensão alternada não pode ser fornecida a rede de bordo devido à natureza dos consumidores elétricos e das baterias que requerem uma tensão contínua para o seu funcionamento. Sendo assim, a tensão trifásica necessita ser retificada e regulada para então ser fornecida ao sistema elétrico. A ponte retificadora, composta por diodos retificadores tem a função de converter esta tensão trifásica em uma tensão pulsante positiva conforme ilustrado na figura 3.



**Figura 3 – Representação esquemática do alternador e tensões de saída**

Fonte: Bosch

Após a tensão ser retificada, o regulador eletrônico de tensão precisa estabilizá-la de forma a não comprometer o funcionamento da rede de bordo. O valor da tensão fornecida pelo alternador é diretamente proporcional à intensidade do campo magnético indutor, bem como a velocidade angular do rotor. Com base neste princípio, fica evidente que a tensão fornecida pelo alternador é totalmente dependente da velocidade do rotor e, caso não seja conectada a uma bateria ou aos consumidores na rede de bordo, o seu valor tenderia a variar linearmente em função da velocidade do motor.

Neste estágio, é imprescindível que a tensão esteja estável o suficiente para garantir o perfeito processo de recarga das baterias e também o funcionamento dos consumidores. Para garantir a estabilidade da tensão sob diversas condições de velocidade e carga, o regulador eletrônico age diretamente sobre a corrente de excitação na bobina do rotor, ou em outras palavras, promove um fortalecimento ou enfraquecimento do campo magnético a ponto de produzir um aumento ou uma diminuição da tensão de saída do alternador dentro de uma faixa de tolerância operacional.

Estando o alternador operacional, a tensão elétrica disponível pode finalmente então ser fornecida ao veículo, como também pode ser utilizada para energizar a própria bobina do rotor definindo o sistema como auto excitável, no qual parte da energia produzida é usada para manter o campo magnético do rotor e não necessitar mais da energia da bateria do veículo. Para isso, o alternador possui diodos de excitação que aplicam a tensão diretamente sobre os terminais da bobina assim que o estator começa a induzir as tensões sobre seus terminais. A figura 4 ilustra o diagrama esquemático de um alternador genérico completo.

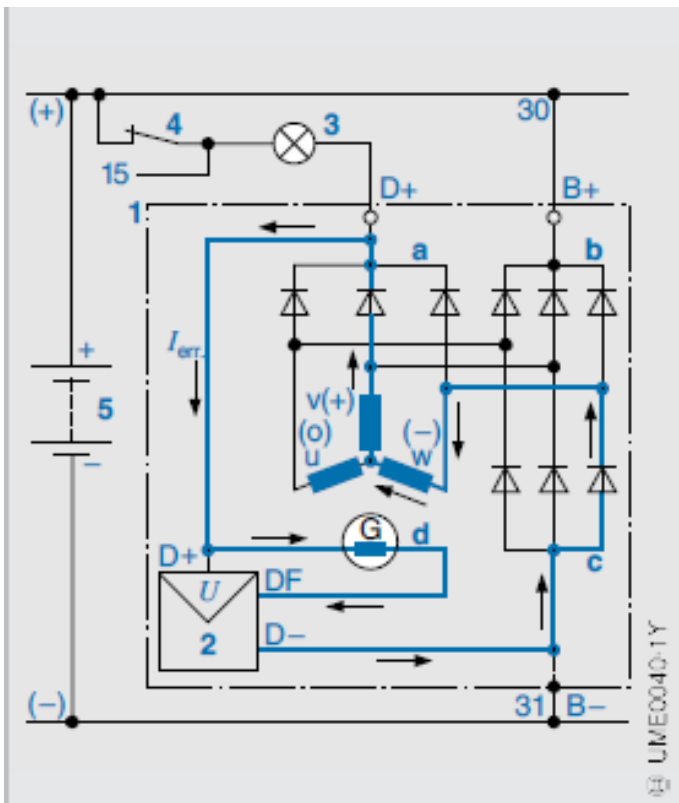


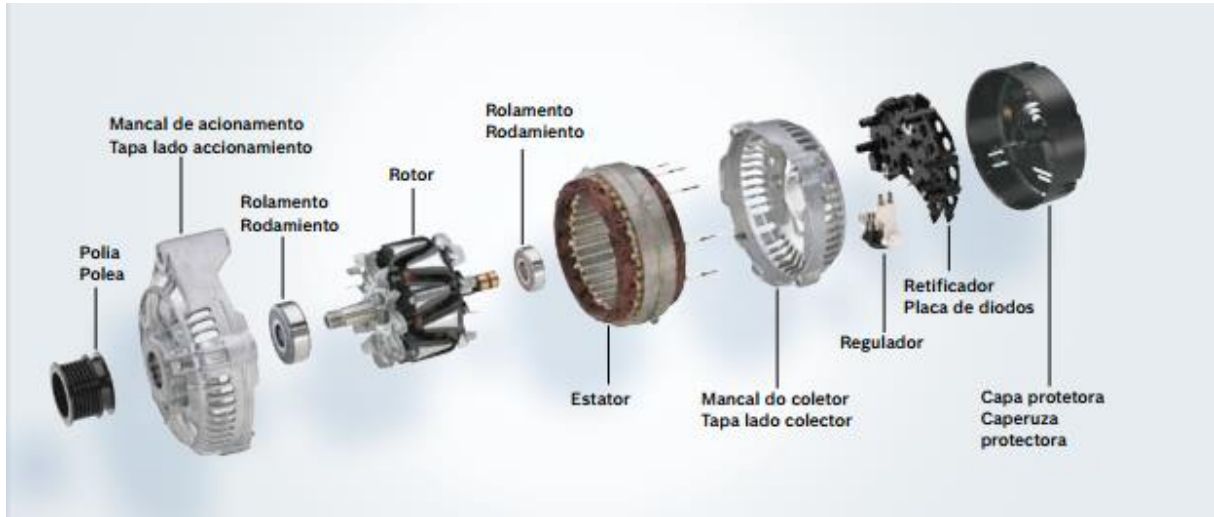
Figura 4 – Representação esquemática do alternador genérico

Fonte: Bosch

#### 2.4.2 Composição do Alternador



Sua característica construtiva é relativamente simples e pode ser descrita conforme a distribuição ilustrada na figura 5 a seguir:



**Figura 5 – Representação das partes constituintes de um alternador**

Fonte: Bosch

- Mancais de Acionamento e do Coletor: Trata-se do corpo do alternador, um corpo constituído de aço com aberturas ou aletas laterais que possibilita a troca térmica do ar quente proveniente do alternador com o meio externo. Sua principal função é proteger os elementos internos do alternador e permitir a fixação junto ao sistema do motor.
- Polia: A Polia é o elemento de interface entre o eixo do alternador com a correia sincronizadora que realiza a transmissão da energia cinética do motor ao alternador. É construída em aço e possui pequenas ranhuras também conhecidas como *Poly-V* responsáveis em acomodar a correia.
- Rolamentos: São elementos que permitem o movimento do eixo rotor sem fricção com o mancal.
- Rotor: Acoplado ao eixo do alternador, o rotor é o elemento móvel do alternador. Constituído em seu interior de uma bobina de cobre disposta em duas peças polares em forma de garras, onde os terminais desta bobina são conectados diretamente aos anéis deslizantes na extremidade do eixo.

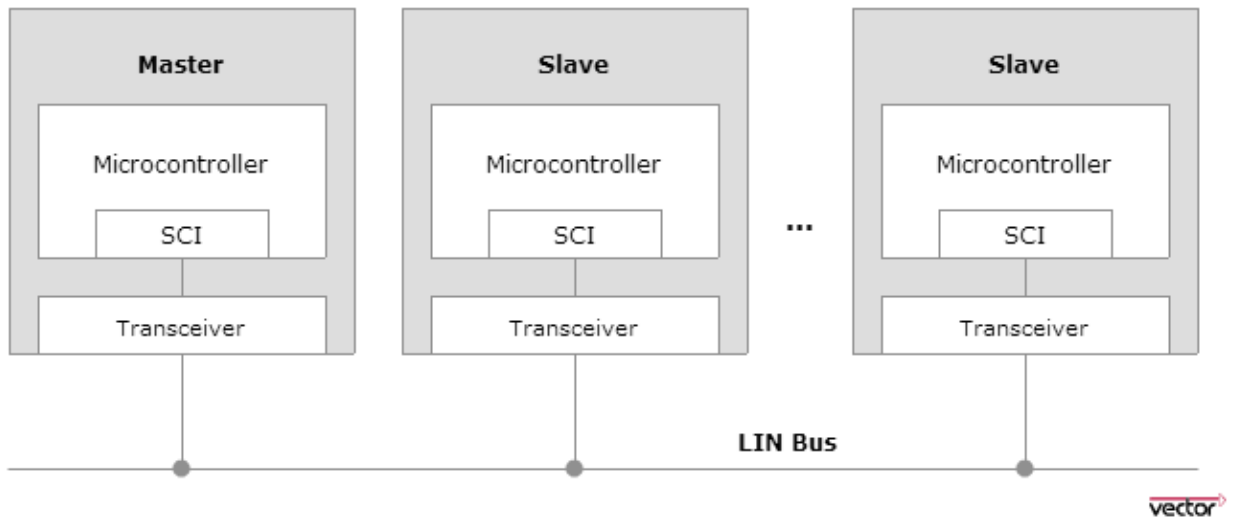
- Estator: O estator de um alternador é composto por três bobinas de cobre dispostas sobre um núcleo de aço laminado. Estas bobinas são conectadas entre si em configuração estrela ou triângulo.
- Ponte Retificadora: Composta por seis diodos, normalmente do tipo *Zenner* que estão conectados aos terminais das bobinas do estator. A ponte também prove proteção contra cargas de retorno e evita a descarga da bateria quando o alternador não está fornecendo energia ao sistema elétrico.
- Regulador de tensão: O regulador é basicamente formado por um circuito eletrônico que mantém a tensão de saída em níveis estáveis.
- Capa de proteção traseira: A capar traseira é o invólucro plástico que faz a proteção dos componentes internos do alternador contra os agentes externos como poeira e óleo, bem como a intrusão de pequenos objetos sólidos.

## 2.5 REDES LIN

O LIN é um protocolo de comunicação aberto e de baixa velocidade concebido em 1998 por um consórcio de empresas automobilísticas, tais como Audi, Volkswagen, BMW, Daimler e Volvo em conjunto com a VCT (atual Mentor Graphics) e Motorola (Atual Freescale) sendo padronizado inicialmente em 2003 pela SAE na sua versão 2.0. Atualmente encontra na sua versão 2.2. (Vaskova et al., 2013, p.13).

Este protocolo de comunicação funciona na camada física e tem como principais características:

- Comunicação serial.
- Baixa taxa de transmissão até 20 kbps.
- Arquitetura baseada na topologia mestre-escravo, com possibilidade de usar até 16 nós escravos para um nó mestre na rede.
- Utiliza apenas um fio como barramento com níveis dominantes e recessivos que atendem ao padrão ISO-9141-NRZ.



**Figura 6 – Topologia de uma rede LIN**

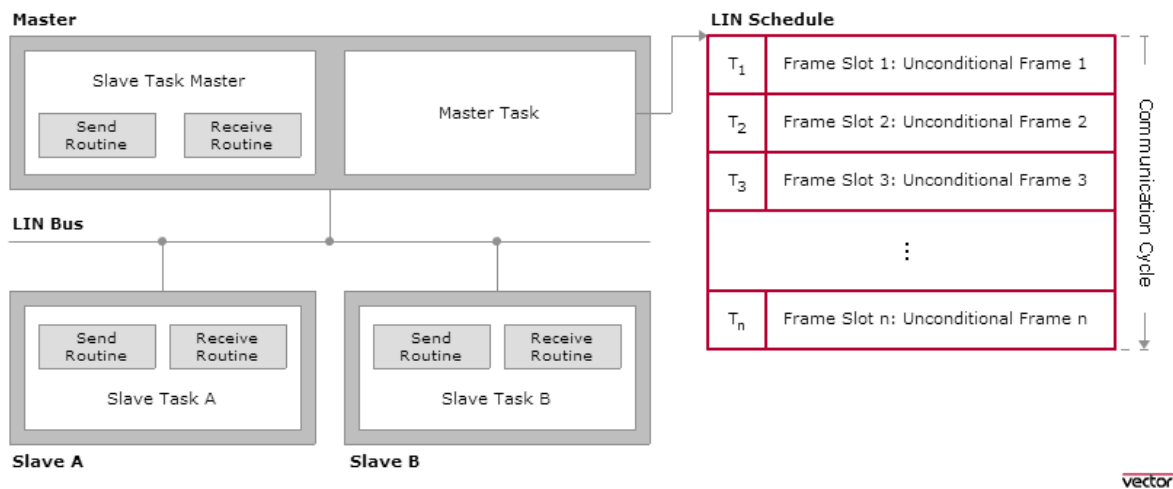
Fonte: Vector

O fato de o LIN utilizar apenas um fio para transmissão e recepção de dados, bem como a topologia mestre-escravo onde os nós escravos dispensam o uso de cristais osciladores para geração de *clock* (auto sincronização) e a utilização de uma interface UART/SCI fazem deste protocolo uma opção de baixo custo e bastante indicado para aplicações onde não sejam necessárias altas taxas de transmissão. Por outro lado, a sua simplicidade implica em menor robustez o que condiciona a sua aplicação a tarefas de baixa criticidade e de baixa taxa de transmissão. Por esta razão, o protocolo LIN é amplamente utilizado como uma sub rede em aplicações automotivas, tais como controle do vidro elétrico, ar condicionado, trava elétrica das portas, iluminação, controle dos assentos e quaisquer outras aplicações que requeiram baixa taxa de transmissão de dados e limitada capacidade de processamento

### 2.5.1 Princípio de funcionamento da rede LIN

A arquitetura de uma rede LIN, conforme a figura 7 é composta pelo nó mestre e o gerenciador de tarefas no qual é responsável em controlar o fluxo das mensagens e o acesso ao barramento.

A comunicação baseada na arquitetura mestre-escravo estabelece que os nós escravos somente transmitam informação (*frame response*) na rede sob a condição de receber uma requisição do nó mestre (*frame header*). Esta estratégia permite que a comunicação seja praticamente livre de colisão. Por outro lado, este tipo de comunicação não pode ser baseado em eventos (*event driven*) uma vez que os nós escravos não podem acessar o barramento de forma autônoma, ou seja, sem a requisição do nó mestre. (Vector Academy..., 2010, p.9).



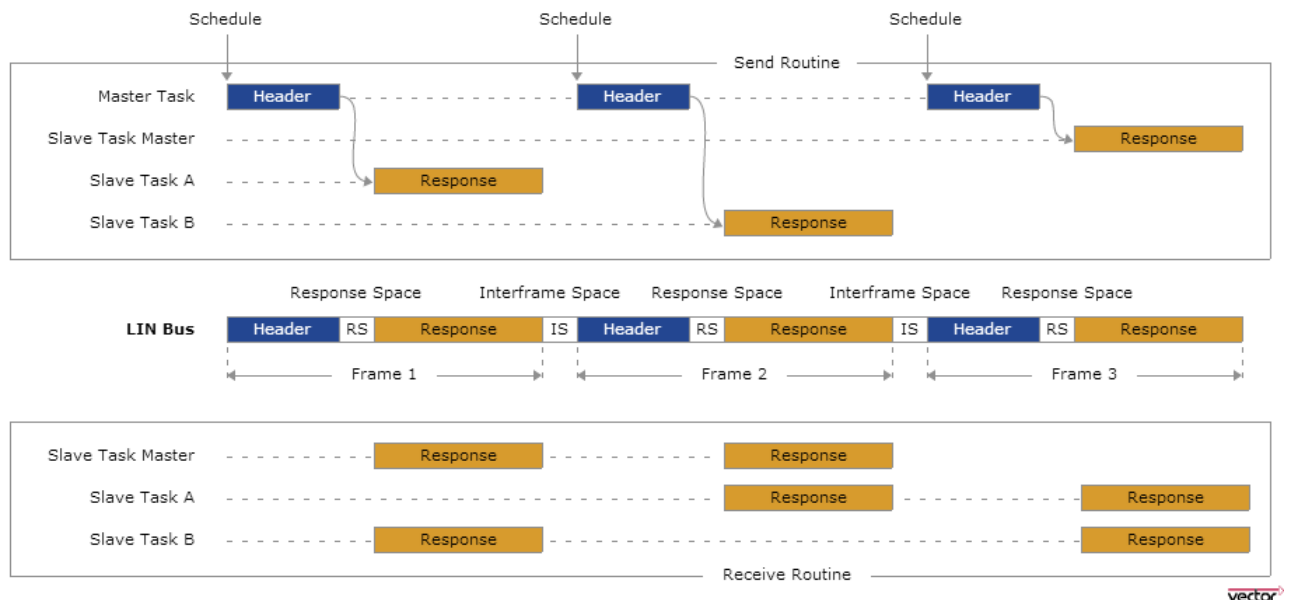
**Figura 7 – Barramento LIN e o gerenciador de mensagens**

Fonte: Vector

Quando a rede LIN inicia o seu funcionamento, o nó mestre dispara o gerenciador de mensagens, que por sua vez irá executar um cronograma de mensagens pré-definidas e escalonadas. O nó mestre envia as mensagens no barramento através do *frame header*, ou cabeçalho do quadro de mensagem para os demais nós cuja função será identificar a mensagem aceitando-a e enviando um *frame response* (quadro de resposta) ou ignorando-a, se assim for o caso.

A figura 8, mostra a estruturação das mensagens na rede, onde o gerenciador de mensagens (*Master Task*) envia, através do nó mestre, um cabeçalho (*frame header*) dentro da rede com um determinado identificador. Os demais nós da rede recebem este cabeçalho e avalia o identificador correspondente, onde o nó escravo que possuir este identificador irá enviar o quadro de resposta (*frame response*) na

rede LIN (*Slave Task A*). Esta resposta será endereçada ao nó correspondente mediante ao reconhecimento do identificador estabelecido no cabeçalho, enquanto que os demais nós irão desconsiderar a mensagem. Na sequência, outra mensagem de cabeçalho é novamente enviada pelo gerenciador (*Master Task*) com outro identificador para todos os demais nós, e conseqüentemente, os nós escravos irão analisar o cabeçalho com este novo identificador retornando o quadro de resposta para o seu respectivo nó de destino (*Slave Task B*). Os demais nós, a exemplo do caso anterior, desconsideraram a resposta.



**Figura 8 – Estrutura das mensagens no protocolo LIN**

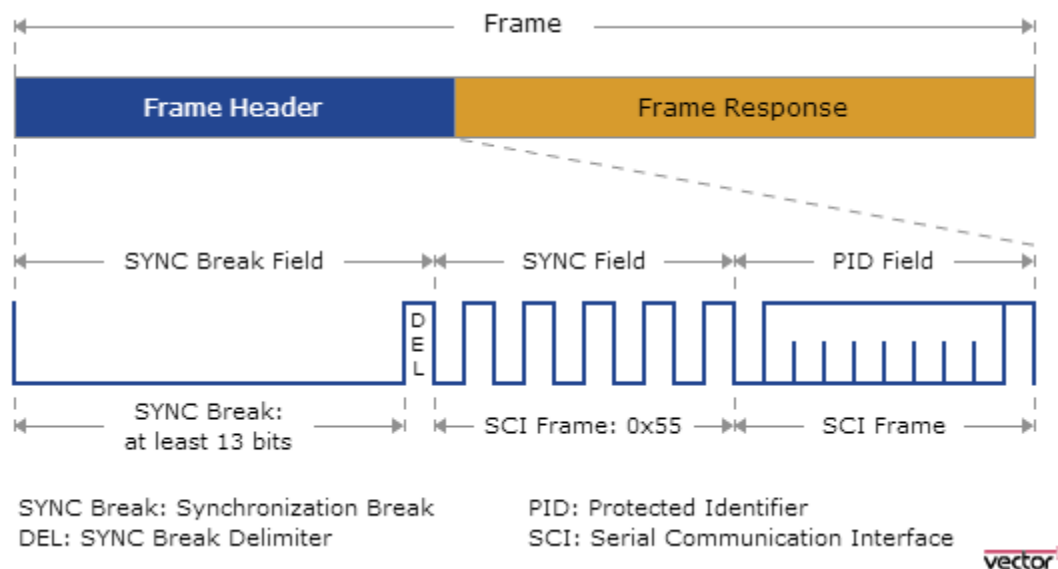
Fonte: Vector

### 2.5.1 Estrutura do quadro de mensagem

É importante observar que a estrutura de quadro na comunicação LIN é composta pela junção do cabeçalho (*frame header*) enviado pelo nó mestre e pelo quadro de resposta (*frame response*) enviado pelo nó escravo.

O cabeçalho (*frame header*) é composto por bits de inicialização e de sincronização denominados *Sync Break Field* e *Sync Field* respectivamente. O *Sync*

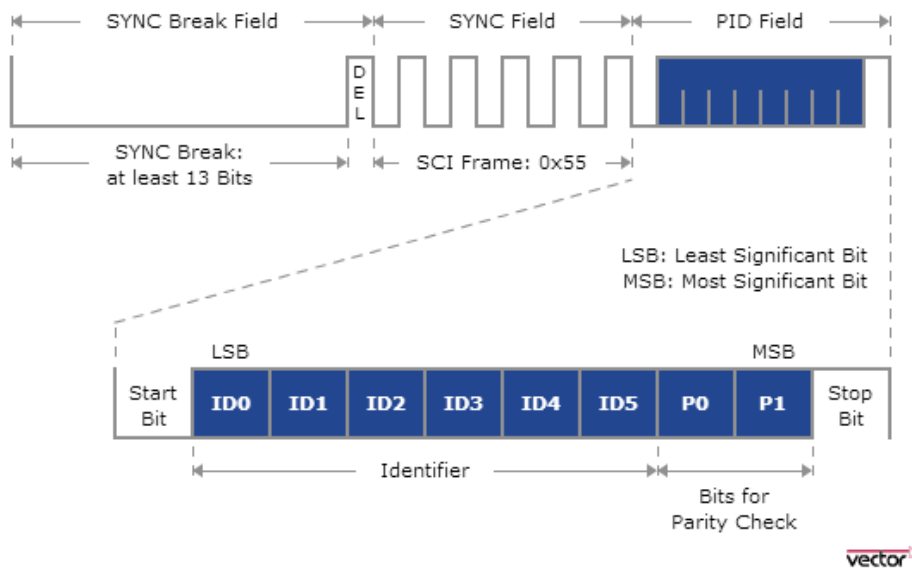
*Break Field* é composto por uma sequência de 13 bits que tem como função indicar aos nós escravos o início de um novo cabeçalho. A utilização de uma longa sequência de bits permite que todos os nós escravos possam reconhecer o início de uma nova transmissão. Já o *Sync Field* é outra sequência de bits transmitida logo após o Sync Break Field e é orientada a garantir a sincronização dos nós escravos com o nó mestre, lembrando que neste tipo de protocolo, somente o nó mestre possui o gerador de clock. Através desta sincronização, todas as mensagens podem ser enviadas e recebidas sob a mesma base de tempo.



**Figura 9 – Estrutura do cabeçalho do quadro completo de mensagem LIN**

Fonte: Vector

Para completar a formação do quadro do cabeçalho, após os *bits* de inicialização e da sincronização, existe uma sequência de *bits* que formam o identificador protegido (*Protected Identifier*) que irá carregar o código de identificação a ser reconhecido pelos nós escravos na rede. Este valor é formado por uma sequência de 6 *bits*, com mais 2 *bits* de paridade e por *bits* de início e fim de transmissão (*start / stop bits*). A função dos *bits* de paridade é garantir uma melhor integridade e proteção do código identificador.



**Figura 10 – Estrutura do cabeçalho com identificador protegido**

**Fonte: Vector**

O quadro de resposta (*Frame Response*) carrega as informações enviadas pelos nós escravos mediante a uma requisição do nó mestre. Este quadro é formado por uma sequência de 8 *bytes*, no máximo, e onde estes são transmitidos de forma ascendente a partir do *byte* menos significativo até o mais significativo. Ao fim da transmissão destes *bytes*, é realizado o *checksum* a fim de garantir a integridade da mensagem. A estrutura do quadro de resposta pode ser visualizada nas figuras 11 e 12 a seguir.

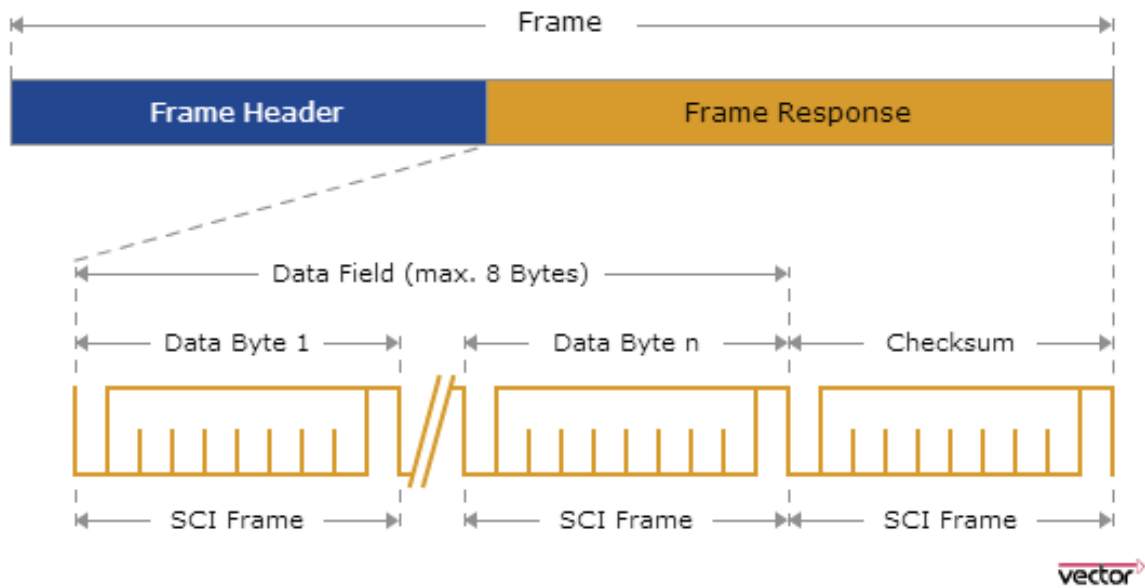


Figura 11 – Estrutura do quadro de resposta  
 Fonte: Vector

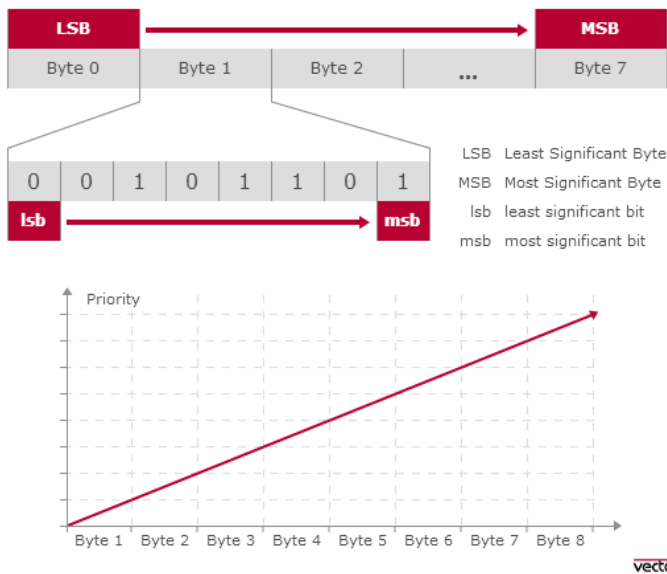


Figura 12 – Sequencia de transmissão dos bytes no quadro de resposta  
 Fonte: Vector

### 3- DESENVOLVIMENTO

Os reguladores eletrônicos que equipam os alternadores são o foco desta pesquisa porque estes elementos constituirão a eletrônica embarcada que, de fato irá controlar e monitorar a tensão fornecida a rede de bordo. Compreender e



correlacionar o novo conceito dos reguladores de interface LIN com os modelos atuais, bem como avaliar uma aplicação de carácter qualitativo para teste de eficiência energética são os principais objetivos deste capítulo.

### 3.1 – REGULADORES ELETRÔNICOS DE TENSÃO (MODELO CLÁSSICO)

Conforme descrito na fundamentação teórica, a regulagem de tensão é necessária para estabilizar a tensão de saída em função da variação de cargas elétricas (consumidores) acoplados a rede de bordo, como também as variações de velocidade de rotação no eixo do motor. Diante da necessidade de uma resposta dinâmica à estes fatores externos, a regulagem necessita ser imediata e precisa a fim de garantir um bom funcionamento de todos os equipamentos e uma recarga adequada das baterias.

Os reguladores atuais são integrados diretamente ao alternador devido ao seu tamanho compacto e baixo peso (Manual de Tecnologia Automotiva Bosch, 2005, p.285).

Os reguladores funcionam basicamente de forma a controlar a excitação da bobina do rotor, conforme ilustrado no gráfico da figura 13.

#### Função do regulador

$I_{err}$  corrente de excitação,  $I_m$  corrente de excitação média,  $T_E$  tempo de ligação,  $T_A$  tempo desligado,  $n_1$  rotação mais baixa,  $n_2$  rotação mais alta



Figura 13 – Curva característica da corrente de excitação do alternador

Fonte: Bosch

A figura acima ilustra a curva de variação da corrente de excitação do alternador em função do tempo e da velocidade no rotor. O valor médio da corrente de excitação é constituído através da variação constante (chaveamento) em que a bobina do rotor é energizada (*ON*) e desenergizada (*OFF*). Nos momentos em que o alternador está em condição de maior demanda elétrica, ou seja, mais “carregado”, o circuito regulador mantém a bobina energizada por um tempo maior no sentido de fortalecer o fluxo magnético no rotor e não permitir a diminuição da tensão de saída do alternador. Observe que a curva “a” representa um valor crescente da corrente de excitação até um limite definido por  $I_{max}$  indicado.

De forma análoga, a figura a curva “b” representa um valor decrescente da corrente de excitação quando o alternador funciona mais “folgado”. Aqui o circuito regulador tende a manter a bobina do rotor desenergizada por mais tempo e assim realizar um enfraquecimento do fluxo magnético do rotor e evitando que o alternador opere em condição de sobre tensão.

O diagrama a seguir demonstra o funcionamento do circuito típico de um regulador eletrônico de tensão:

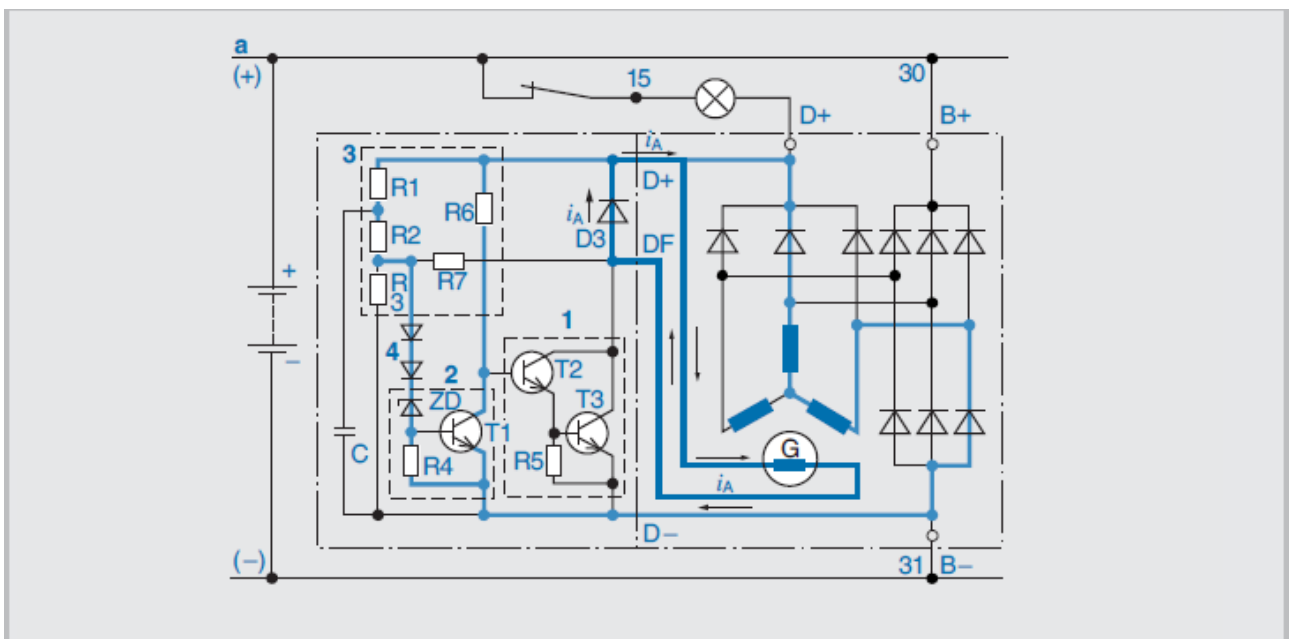


Figura 14 – Diagrama esquemático de um regulador eletrônico

Fonte: Bosch

Partindo de uma condição inicial, tem-se um valor de tensão disponível no terminal D+ do regulador, sendo esta tensão aplicada ao divisor resistivo composto pelos resistores R1, R2 e R3. Em paralelo com o resistor R3, existe um diodo *zener* inversamente polarizado de forma a garantir uma tensão constante sobre a base do transistor T1. Desta forma, enquanto o valor de tensão no resistor R3 for inferior ao valor da tensão do diodo *zener* mais a tensão da junção base-emissor de T1 não existirá corrente de base em T1 e logo ele estará cortado. Com o transistor T1 sob esta condição de corte, o resistor R6 polariza o transistor T2, cujo mesmo se encontra em uma configuração *Darlington* com T3 formando o estágio de potência do regulador e, com o transistor T2 saturado, o transistor T3 também satura e passa a fechar a malha do circuito de excitação, permitindo que a corrente flua e passe a energizar a bobina do rotor. Com a bobina energizada, a tensão de saída tende a aumentar se a velocidade do rotor aumentar proporcionalmente. O regulador precisa então “desligar” a energização do rotor para evitar que a tensão aumente descontroladamente e isto ocorre da seguinte forma.

Com o aumento da tensão em D+, a tensão resultante no divisor resistivo passa a ser maior fazendo com que a tensão em R3 seja maior que a tensão do diodo *zener* mais a tensão da junção base-emissor em T1, assim o diodo passa a conduzir uma corrente de base em T1 levando-o a saturação. Com T1 saturado, ele corta T2 e T3 resultando na abertura da malha do circuito de excitação e na interrupção da corrente de excitação no rotor. Sem a corrente de excitação no rotor, a tensão gerada pelo alternador passa a decair. Caso a tensão começar a diminuir abaixo do limite, o transistor T1 é levado novamente a condição de corte, habilitando T2 e T3 a conduzir e energizar o rotor novamente. Este chaveamento eletrônico ocorre a todo o momento em função da variação da velocidade do rotor e da variação da carga elétrica da rede de bordo.

É importante salientar que o diodo supressor de transiente (D3) é dimensionado de tal forma a permitir que o regulador não seja danificado pela corrente reversa produzida pela força contra eletromotriz induzida na bobina do rotor no instante em que os transistores T2 e T3 abrem a malha do circuito de excitação. A lâmpada indicadora de carga tem como função sinalizar ao motorista que o alternador se encontra com falha. Quando o alternador está fornecendo energia ao sistema, o nível da tensão no terminal D+ está em torno de 28.3V que é a mesma

tensão aplicada às baterias. Desta forma, a diferença de potencial em seus terminais é nula e ela permanece apagada. No entanto, caso o alternador deixe de funcionar, a tensão em D+ será diferente da nominal ou até mesmo nula de forma a permitir uma diferença de potencial com a tensão das baterias (B+) nos terminais da lâmpada indicadora. Esta diferença de potencial irá impor uma corrente que fará a lâmpada acender e indicar a falha no painel. Da mesma forma, a lâmpada permanece acesa quando o motorista aciona apenas o primeiro estágio da ignição alimentando o circuito de excitação, porém não liga o motor em si. Tão logo é dada a partida no motor, este transfere energia mecânica ao rotor e o alternador passa a produzir energia, elevando a tensão em D+ para os valores nominais e apagando a lâmpada indicadora.

### 3.1.1 – Reguladores Monolíticos

Apresenta uma construção compacta, com poucos elementos agregados. O circuito regulador, o estágio de potência e o diodo supressor de transiente estão contidos em um único encapsulamento (*Chip*) e é a base dos alternadores compactos. Estes reguladores ainda fazem o uso dos diodos de excitação para retificar parte da corrente alternada produzida pelo alternador para sua auto excitação assim que o mesmo começa a produzir energia.

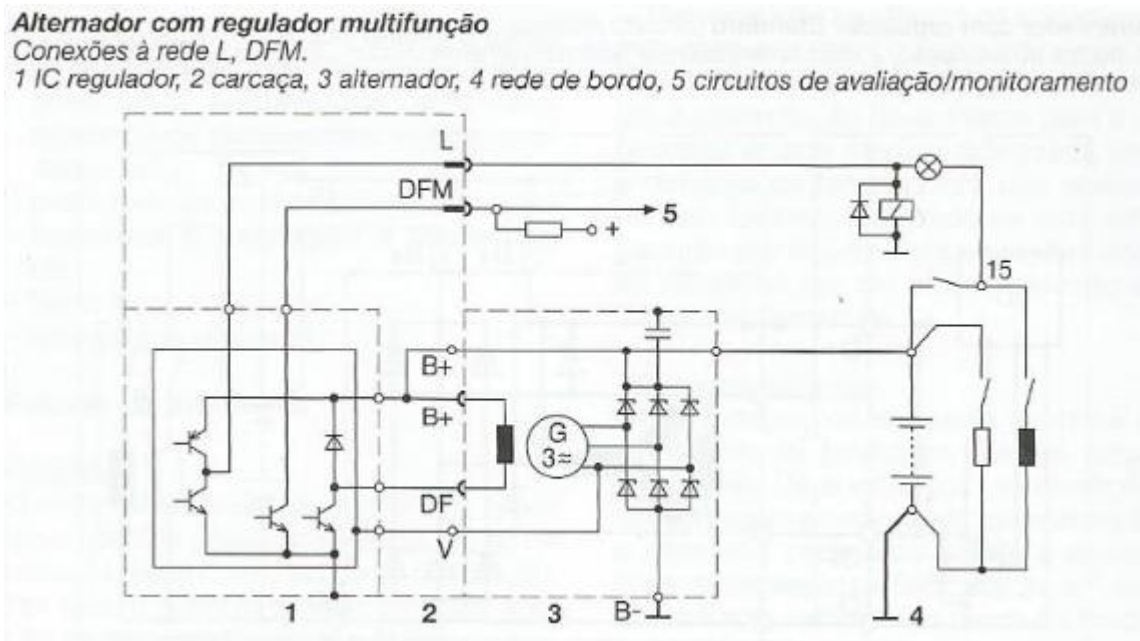
### 3.1.2 – Reguladores Multifuncionais

Estes reguladores são caracterizados por não utilizarem diodos de excitação, onde a corrente elétrica necessária para excitar o rotor é proveniente do próprio retificador principal e flui através do terminal B+. O regulador multifuncional é largamente utilizado nos alternadores compactos atuais devido a existência de funções adicionais a regulagem da tensão em si, daí a origem do seu nome, que aperfeiçoam o seu funcionamento.

Dentre estas funcionalidades podem-se destacar as funções LRD onde o regulador controla a corrente de excitação proporcionalmente a uma rampa evitando variações bruscas de torque na correia do alternador e conseqüentemente no sistema mecânico em resposta a um aumento de demanda elétrica na rede de bordo. A

função LRS faz com que o regulador forneça a corrente de excitação mediante ao reconhecimento da rotação do alternador para evitar uma possível descarga das baterias em virtude do rotor energizado sem que haja conversão de energia.

A figura 15 ilustra o diagrama esquemático do regulador multifuncional.



**Figura 15 – Diagrama esquemático de um regulador eletrônico Multifuncional**

Fonte: Bosch

Nos veículos comerciais atuais, o uso de eletrônica embarcada se faz cada vez mais presente e funciona através de um sistema multiplexado que permite que todos as ECUs se comuniquem entre si. Diante desta necessidade, surgiu a possibilidade de permitir que a rede de comunicação de dados possa então interagir com a eletrônica embarcada dos alternadores através de um protocolo aberto, de fácil aplicação e baixo custo conforme preconizado pela rede LIN descrita no capítulo 2 desta monografia.

Neste sentido, o alternador equipado com a interface LIN vem a se tornar mais um nó desta rede possibilitando uma maior e mais completa interação com o veículo. Os alternadores atuais, até mesmo os multifuncionais que já contam com certo grau de “inteligência” na sua eletrônica embarcada, possuem todos os seus parâmetros fixos e não permitem ajustes via sistema, uma vez que acoplados e energizados passam a fornecer a tensão constante no regulador independentemente da demanda de carga elétrica ou mesmo mecânica do motor.

### 3.2 – REGULADORES ELETRÔNICOS DE TENSÃO COM INTERFACE LIN

Os alternadores dotados de reguladores com interface LIN são uma resposta a demanda de maior interação entre os elementos da rede de bordo. Atualmente, são utilizados em veículos comerciais que atendem as mais exigentes normas de emissões do mundo, cujo objetivo é obter um melhor desempenho do motor com impacto significativo em redução de consumo de combustível bem como de emissões de poluentes na atmosfera. Através da interface LIN, é possível garantir uma maior interatividade com o sistema multiplex do veículo, onde é possível ajustar uma série de parâmetros do regulador conforme a necessidade de carga e aplicação.

Uma representação esquemática do alternador LIN pode ser visualizada conforme a figura abaixo.

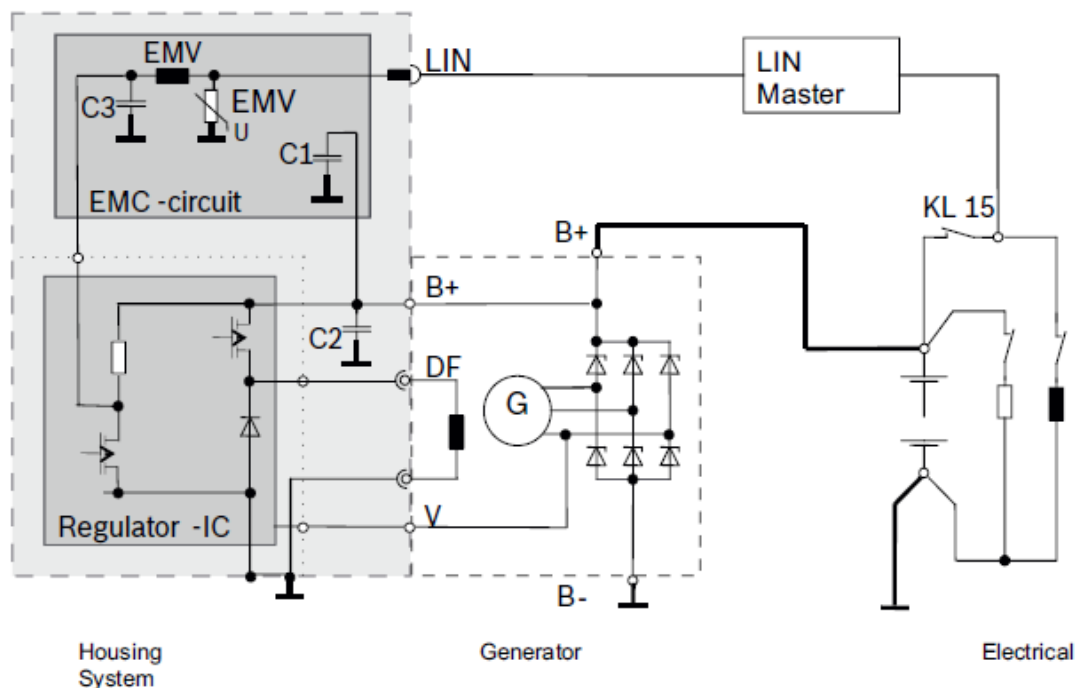


Figura 16 – Diagrama esquemático de um regulador eletrônico com interface LIN

Fonte: Bosch

Estes alternadores apresentam as principais características conforme descrito a seguir:

- Modo de operação: Espera, Desligado, Pré-excitação e Regulagem.
- Ajuste da tensão a ser fornecida pelo alternador a rede de bordo. Os valores de tensão podem variar de 22 a 31V.
- Ajuste da corrente de excitação através de uma rampa em função da resposta de carga dos consumidores.
- Disponibilidade de códigos de falhas do alternador via interface LIN.
- Permite interação com a rede multiplex do veículo.
- Balanceamento elétrico quando opera em modo paralelo com mais alternadores.

### 3.2.1 – Operação em modo de espera (*Stand-by*), estágio desligado, Pré-excitado e regulagem de tensão.

O modo de espera caracteriza-se pelo fato do alternador permanecer inativo ou desligado enquanto ele não receber nenhum dado válido pela interface LIN ou caso a velocidade rotacional do motor estiver em valores abaixo do valor de referência para detecção.

Quando o regulador recebe uma mensagem válida pela rede LIN ou detecte um aumento da velocidade do motor, porém ainda abaixo do limiar de funcionamento, ele irá operar sem corrente de excitação na bobina do rotor. Esta condição permite que a partida do motor seja feita sem a inércia do alternador, pois estando o alternador desenergizado, ele estará em “vazio” e irá oferecer uma resistência muito menor na partida. No estágio sem excitação, o regulador monitora a velocidade de rotação até que esta atinja um valor pré-determinado, porém com o rotor ainda desenergizado. A partir do instante que a velocidade de rotação do alternador ultrapassa o valor limite definido, ele passa a operar no modo de pré-excitação. A pré-excitação consiste em aplicar uma corrente de excitação na bobina do rotor, suficiente o bastante para permitir a indução eletromagnética do estator e energizar o alternador para que ele possa enfim funcionar como um gerador. Já o estágio de regulagem, como o próprio nome sugere, consiste em realizar o monitoramento da tensão de saída do alternador face a demanda de carga e, estando o alternador a funcionar dentro dos limites de velocidade rotacional.

### 3.2.2 – Ajuste da tensão do regulador via interface LIN

Esta característica é um ponto chave na análise do regulador dotado com esta interface. A possibilidade de se ajustar a tensão de saída ou de trabalho do alternador permite um controle muito mais apurado da rede de bordo, pois viabiliza uma melhor resposta de carga face as demandas do veículo. Isto reflete em uma condição em que o veículo possa vir a necessitar de uma maior potência mecânica do motor, seja em uma fase de aceleração ou em relevos íngremes onde a energia do motor precisa ser direcionada para propulsão propriamente dita. Em circunstâncias como esta, não é viável termos agregados ao motor, tal como o alternador, usando parte da energia disponível no propulsor para converter energia elétrica. Em casos assim, seria interessante o alternador estar mais “aliviado” ou trabalhar em uma condição em que necessite menos energia mecânica para conversão. Assim, o alternador pode de fato reduzir a tensão de trabalho, interrompendo a recarga das baterias e permitindo que, durante curtos intervalos de tempo, estas possam ofertar a energia necessária à rede de bordo. Como já dito no tópico 2.2, a bateria tem como uma de suas atribuições na rede de bordo funcionar como um elemento auxiliar de fornecimento de energia.

De forma análoga, uma condição de desaceleração ou ciclo de frenagem pode ser compreendida como uma oportunidade do alternador funcionar como um elemento de recuperação de energia. Tal qual descrito no ciclo de aceleração, o alternador poderia aumentar a tensão de saída oferecendo uma inércia maior ao motor de tal forma que possa recuperar parte da energia que seria usada na frenagem para a conversão em eletricidade. Esta carga seria então direcionada as baterias da rede de bordo.

Uma outra aplicação substancial do ajuste de tensão no alternador refere-se preservação das baterias quando submetidas a altas temperaturas. As baterias tendem a se desgastar mais rapidamente quando submetidas a temperaturas superiores a 50°C e nas condições de sobre tensão. Através de monitoramento da temperatura e de parâmetros estabelecidos, a unidade de controle mestre ajusta a



tensão apropriada a recarga das baterias a fim de evitar uma condição de sobre tensão e levar a bateria ao desgaste.

Percebe-se então que a possibilidade de se ajustar a tensão do alternador é possível graças a interface LIN dos reguladores. A comunicação neste caso é unidirecional, onde o nó mestre da rede LIN transmite o valor da tensão a ser fornecida pelo alternador mediante a interação com outros elementos da rede multiplex do veículo.

Nos alternadores com interface LIN, os valores de tensão são ajustados sob demanda dentro de uma faixa de trabalho e enviados através do primeiro byte do quadro de resposta.

### 3.2.3 – Disponibilidade de códigos de falha do alternador.

Mais uma característica determinante deste regulador com interface LIN é a possibilidade de se enviar diagnóstico de falhas ao sistema multiplex do veículo. O regulador LIN possibilita a transmissão de códigos de falhas que podem indicar falha de comunicação na rede LIN, falhas elétricas, falha mecânica e grandezas relacionadas ao funcionamento do alternador. Estas informações são de fato “empacotadas” e transmitidas de forma unidirecional na rede LIN, desta vez no sentido escravo-mestre. O nó mestre por sua vez pode disponibilizar estes dados na rede de comunicação de dados do veículo permitindo, por exemplo, que as informações inerentes ao funcionamento do alternador possam ficar disponíveis no painel de instrumentos e serem facilmente visualizadas, enquanto que nos modelos clássicos, os reguladores apenas enviam um nível de tensão que aciona um *LED* no painel de instrumentos, os alternadores equipados com interface LIN podem facilitar em muito a detecção de falhas uma vez que disponibilizam uma série de informações ao usuário.

### 3.2.4 – Interação com a rede comunicação de dados do veículo

Nos dias atuais, os veículos cada vez mais contam com a tecnologia embarcada através dos módulos de controle dedicados a determinadas funções específicas. Tais módulos se comunicam entre si através de uma rede de dados operando sob um determinado protocolo, que no caso dos veículos comerciais pesados se aplica o CAN J1939 e o J2284. A rede LIN neste caso funciona como uma sub-rede dedicada apenas aos alternadores e ao nó mestre que, por sua vez comunica-se com a rede CAN J1939 e J2284 desempenhando a função de elemento *gateway*. Os elementos *gateways* funcionam como uma interface de comunicação entre duas redes distintas onde a sua função é permitir que se estabeleça comunicação entre elas. Desta forma, o nó mestre realiza a função de elemento *gateway* na topologia eletrônica do veículo.

A sub-rede LIN por si só não é representativa e tampouco garante o correto funcionamento dos alternadores. Daí a importância da interação com a rede multiplex do veículo no sentido de se obter informações necessárias de outros sistemas a fim de se adequar os alternadores para uma dada aplicação e vice-versa. Através das redes CAN J1939 e J2284 são possíveis obter mensagens de dados referentes às demandas do veículo, como por exemplo, uma maior demanda de potência e torque do motor ou uma desaceleração através do módulo de controle dos freios. Com base nestes dados, os alternadores podem ser ajustados para reduzir ou aumentar a tensão da rede de bordo com o intuito de otimizar a carga mecânica demandada do propulsor. Da mesma forma, as baterias precisam estar constantemente monitoradas através de um sensor de bateria que forneça, além dos valores nominais de tensão, os valores de SoC, SoH e temperatura que representam informações relevantes para que o alternador possa se ajustar a necessidade de carga das baterias.

No sentido inverso, conforme descrito no item 3.2.3 o regulador LIN comunica-se com a rede de comunicação de dados do veículo informando os códigos de falha inerentes ao funcionamento do alternador permitindo um maior detalhamento no diagnóstico.

Observe através da figura 17 o modelo de topologia aplicado aos reguladores com interface LIN.

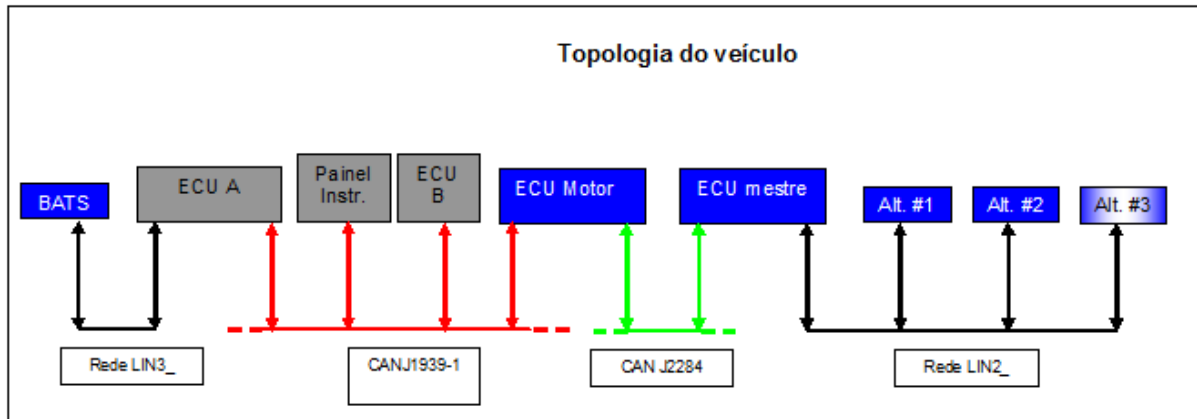


Figura 17 – Arquitetura elétrica com a topologia de rede de um veículo comercial pesado

Fonte: Autoria própria

### 3.2.5 – Balanceamento Elétrico quando opera em modo paralelo

Uma das características da rede de bordo de um veículo comercial pesado é a possibilidade de se utilizar mais de um alternador para atender a demanda elétrica do veículo. No caso dos ônibus, esta aplicação se faz presente com maior frequência devido a quantidade e potência dos consumidores instalados no veículo. Apenas um alternador não supre a necessidade de energia, principalmente em condições de marcha lenta, quando o alternador não está fornecendo a sua potência máxima em virtude de baixas rotações no motor. Como solução para este problema surgiu a necessidade de se instalar mais alternadores em paralelo de forma a garantir uma maior oferta de energia. Por outro lado, um aspecto negativo desta instalação é o fato dos alternadores apresentarem um desequilíbrio elétrico quando em paralelo em virtude de vários fatores, inclusive da sua própria característica de funcionamento. Fisicamente, os alternadores embora estejam em paralelo, eles não apresentam um funcionamento uniforme, pois podem ter diferentes forças atuando sobre o mancal, o estado de excitação pode variar em relação ao(s) outro(s) o que leva a um maior desgaste relativo de um alternador em relação aos demais.

Com o intuito de se minimizar este efeito negativo, os alternadores que possuem interface LIN atuam de forma a proporcionar um maior equilíbrio elétrico entre eles. Inicialmente os alternadores são ajustados para fornecer um valor de tensão, conforme descrito no item 3.2.2. Como o ajuste se faz via mestre-escravo, todos os alternadores recebem a mesma informação ao mesmo tempo, pois todos possuem o mesmo identificador PID. Através de um bit de *flag* presente no *Byte* 4, o nó mestre indica aos demais nós escravos que eles devem funcionar em paralelo e passa então a monitorar grau de utilização dos alternadores através do ciclo de operação (*dutycycle*) representado por uma sequência de 5 bits do *Byte* 1 do quadro de resposta enviado pelos alternadores a unidade de controle que realiza a função de mestre. Esta unidade utiliza ao sinal de ciclo de operação de cada alternador observando se o desvio no grau de utilização entre eles não supera um determinado valor porcentual previamente parametrizado, no caso algo em torno de 2% e, no caso de haver um desvio acima desta margem, a corrente de excitação do alternador que estiver mais “carregado” será ajustada de forma a “aliviar” a carga sobre ele e balancear com o outro(s) alternador(es).

## **4 – ANÁLISE**

### **4.1.1 – Teste de eficiência energética e redução de consumo de combustível**

A redução no consumo pode ser mensurada de forma indireta, onde é possível obter a redução de consumo através da energia recuperada durante as fases de desaceleração e frenagem conforme descrito no capítulo 3.2.2. Nesta condição, o alternador trabalha com uma tensão mais elevada o que permite uma recarga mais acentuada nas baterias, e neste caso, é possível afirmar que o veículo estaria recuperando parte da energia através de conversão em eletricidade nas baterias (acumuladores).

De acordo com o fabricante Bosch, a utilização de alternadores com interface LIN permite uma redução de até 2% no consumo dependendo, evidentemente da condição de uso do veículo e da topologia do relevo no qual ele irá operar.

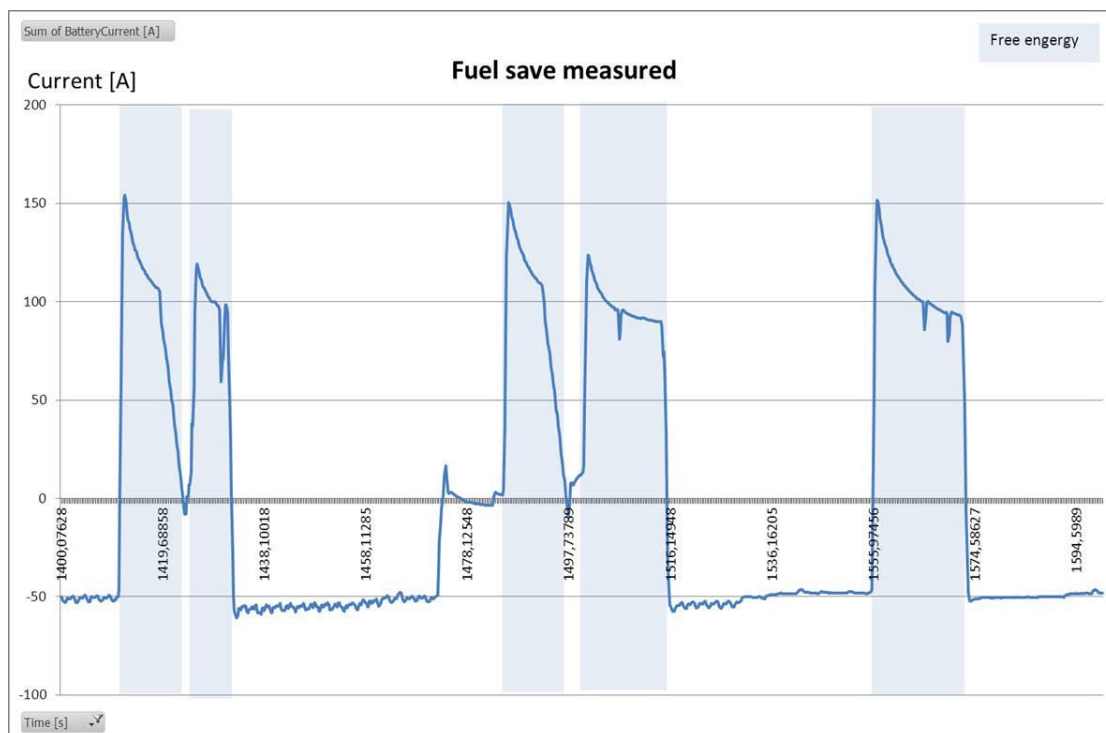
Através de testes conduzidos por uma montadora de veículos pesados na Europa, foi possível obter resultados práticos através de uma aplicação desta tecnologia em pista de teste.

Para realização do teste, foram utilizados os componentes conforme a descrição a seguir:

- 01 Alternador Compacto 28V / 150A com interface LIN.  
Modelo: 0124655140  
Fabricante: BOSCH
- 02 Baterias Chumbo-Ácido do tipo AGM (*Absorbent Glass Material*)  
12V / 95Ah  
Modelo: G14 595 901 085  
Fabricante: VARTA
- 01 Sensor de bateria  
Modelo: 6PK 010 842-001  
Fabricante: HELLA

Durante a fase de desaceleração ou frenagem, os alternadores são configurados de forma a aumentar o valor da tensão em 29V a ser disponibilizada à rede de bordo e oferecer uma resistência maior ao motor facilitando a sua desaceleração. A energia convertida é então utilizada para carregar as baterias e os consumidores elétricos.

Na fase de aceleração do veículo, as baterias passam a fornecer a eletricidade necessária à rede de bordo, e os alternadores então são configurados para oferecer uma tensão menor possível, algo em torno de 22V para reduzir a sua influência no motor. Esta fase é conhecida como fase de energia livre conforme ilustrado em azul no gráfico da figura 18 abaixo onde a energia elétrica utilizada pela rede de bordo é proveniente exclusivamente das baterias (acumuladores), sem a necessidade de o alternador demandar energia do motor para conversão de energia elétrica. Assim, o motor utiliza a energia necessária apenas para impulsionar o veículo.



**Figura 18 – Indicação da variação da corrente elétrica na rede de bordo.**

**Fonte: Autoria própria**

Durante todo o teste, a corrente elétrica média demandada pelos consumidores foi de 50A, considerando que o veículo não estava plenamente carregado com passageiros. A condição meteorológica era clima seco com temperatura entre 5 e 10°C. Com base em valores medidos da corrente elétrica fornecida pelas baterias aos consumidores foi possível mensurar que a potência elétrica ofertada foi algo em torno de 500W. Considerando uma eficiência de 75% na conversão de energia pelos alternadores e levando em conta as perdas na transmissão por correia, a potência que seria demandada do motor ficaria próximo a 670W. Com base nestes valores, foi possível comprovar uma redução de 0,8% no consumo de combustível.

#### 4.1.2 – Comparativo de Custos

Outra premissa importante a ser considerada é a análise de custo entre o modelo clássico e o modelo com LIN. O descritivo de custo envolvendo os dois conceitos aborda os componentes empregados na rede de bordo referente à sua

aplicação. O conceito clássico atual se baseia na utilização de duas baterias de 12V do tipo chumbo-ácido convencional interligadas em série fornecendo 24V como tensão nominal da rede de bordo com o veículo desligado mais dois alternadores de 28V compacto com regulador do tipo multifuncional. Já o conceito do alternador com interface LIN utiliza duas baterias chumbo-ácido do tipo AGM, que suportam um número maior de ciclos de carga e descarga e uma rápida absorção de energia e dois alternadores de 28V compacto com regulador LIN. Além destes elementos, é necessário considerar também o sensor da bateria responsável em monitorar a tensão, a corrente, o estado de carga (SoC) e a temperatura, bem como o módulo de controle que realiza a função de nó mestre na rede LIN e, ao mesmo tempo a função de *gateway* para o sistema de comunicação de dados do veículo.

A planilha abaixo apresenta a relação de custo de cada componente comercializado no mercado europeu referente aos conceitos descritos acima.

Custo dos componentes (Conceito Clássico)				
Item	Descritivo	Qtd	Preço Unit	Preço Total
1	Alternador Tipo Compacto Bosch Ref. 0124655102 28V / 150A Multifuncional Standard	2	R\$ 3.358,83	R\$ 6.717,66
2	Bateria Chumbo-Ácido livre de manutenção VARTA 12V / 225Ah / 1150 CCA	2	R\$ 1.424,93	R\$ 2.849,86
				R\$ 9.567,52
Custo dos componentes (Conceito com interface LIN)				
Item	Descritivo	Qtd	Preço Unit	Preço Total
1	Alternador Tipo Compacto Bosch Ref. 0124655140 28V / 150A com interface LIN	2	R\$ 4.337,12	R\$ 8.674,24
2	Bateria Chumbo-Ácido AGM livre de manutenção VARTA 12V / 105Ah / 950 CCA	2	R\$ 1.695,93	R\$ 3.391,86
3	Módulo de controle Master e <i>gateway</i>	1	R\$ 1.691,63	R\$ 1.691,63
4	Sensor de monitoramento da bateria	1	R\$ 702,29	R\$ 702,29
				R\$ 14.460,02

**Tabela 1 – Planilha de custos com preços convertidos em Reais**

Fonte: Autoria própria

O comparativo de custo aponta para um aumento de 34% no custo de peças referente à aplicação da tecnologia LIN na rede de bordo. Este aumento se deve em primeira análise, ao valor agregado da interface LIN nos alternadores, bem como o acréscimo de novas unidades de controle ao sistema embarcado do veículo. A consequência deste aumento deve sempre ser orientada a relação custo-benefício e a possibilidade de retorno de investimento ao longo da vida útil do veículo.

#### 4.1.3 – Perspectiva de maior durabilidade dos componentes

Em aplicações em caminhões, o fato de o veículo muitas vezes possuir apenas um alternador, desbalanceamento elétrico não seria um problema, mas em aplicações em ônibus, onde normalmente se utiliza dois ou três alternadores o desbalanceamento entre eles levam com certeza a uma falha prematura de um ou mais alternadores.

Os alternadores atuais são considerados robustos quanto a aplicação em veículos pesados, mas informações referentes a vida útil dos alternadores podem ser observados através de dados estatísticos provenientes da rede de serviços. Diante da variedade de modos de falha que são reportados, há de se considerar os que, de fato, dizem respeito a uma possível sobrecarga do alternador por desbalanceamento elétrico. Na prática, muitas vezes é difícil relacionar o desbalanceamento elétrico a um específico modo de falha, pois nem sempre ele está associado a uma causa raiz, mas um importante indicativo seria os relatos de falha prematura em um dos alternadores sem uma evidência concreta de mau uso por parte dos clientes ou da instalação em si.

No modelo clássico, existem relatos referentes ao desgaste prematuro dos alternadores, ainda que com uma relativa baixa frequência de falhas. Estes relatos são referentes à sobrecarga no estator (queima) devido a uma maior exigência elétrica ou mesmo falhas nos rolamentos e eixo como consequência do aumento do torque.

Referente a vida útil das baterias *standard*, com o modelo clássico de alternador, elas permanecem constantemente sendo recarregadas com a tensão de 28.3V e, em alguns casos a aplicação desta tensão constante representam falhas referente a sulfatação. De acordo com o histórico de campo, observa-se que as baterias *standard*, quando utilizadas de forma correta, tendem a durar em média 01 ano ou um pouco mais.

Dentro da aplicação dos alternadores LIN, existe a necessidade de se utilizar as baterias do tipo AGM que suportam maiores e mais profundos ciclos de carga e descarga. Tal necessidade se justifica devido a constante ciclo de carga e descarga que ocorre durante a utilização do veículo, diferentemente do que ocorre com as baterias *standard* que são utilizadas quando da partida do veículo ou quando ele se encontra com o motor desligado. As baterias AGM devem possuir a sua capacidade



em Ah compatível com a quantidade de consumidores instalados no veículo para que não apresente uma ciclagem muito grande, e que pode levar ao desgaste prematuro. Outra característica importante se diz respeito à temperatura das baterias, pois na aplicação LIN, o sensor de bateria informa a temperatura à unidade de controle e esta por sua vez ajusta a tensão a ser fornecida pelo alternador. Trata-se de uma importante estratégia de preservação das baterias, tendo em vista que a recarga constante e sob temperaturas maiores que 50°C aceleram o seu desgaste. No teste de campo descrito no item 4.1.1, as baterias AGM foram submetidas à condição de uso com os alternadores LIN e pode-se estimar que, dentro das condições de teste, a durabilidade seria em torno de 3,2 anos com um ciclo diário de 16 horas de operação.

#### 4.1.4 – Perspectiva de maior rapidez na detecção de falhas

Uma análise importante diz respeito ao tempo gasto em oficina no diagnóstico de falhas. O modelo clássico apenas informa, por meio de uma indicação luminosa no painel, conforme ilustrado na figura 20, de que existe uma falha no alternador. Através desta indicação, o técnico necessita realizar uma série de investigações que são orientadas através de um diagnóstico guiado, o que nem sempre leva a uma falha específica do alternador, mas que muitas vezes leva a um aumento relativamente grande de horas de manutenção para detecção de falhas.



**Figura 20 – Indicação luminosa no painel referente à falha no alternador.**

**Fonte: A autoria própria**

No modelo LIN, além do sinal luminoso indicado acima, o alternador pode informar a unidade mestre que algo está falhando no regulador e através de mensagem de falhas transmitidas via LIN e posteriormente via CAN J2284 e J1939,

as informações referentes às falhas podem estar disponíveis no painel através de códigos padronizados. Com base nestes códigos, o diagnóstico de falha fica mais orientado a busca da causa raiz do problema com considerável diminuição do tempo de manutenção em oficina. A tabela abaixo ilustra alguns dos exemplos de códigos referentes à falha na bateria e alternador.

<b>Código da Falha</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo da Falha</b>
C10FE96	Alternador: Indicador de falha mecânica	Falha interna no componente
C110196	Alternador: Indicador de falha elétrica	Falha interna no componente
C11038F	Alternador: Erro de mensagem na rede LIN	Resposta errada no barramento
C110687	Alternador: Falha por <i>Time out</i>	Falta de comunicação na rede LIN
C110913	Alternador: Condição do terminal S	Circuito aberto
C110C13	Alternador: Condição do terminal S1	Circuito aberto
C110F17	Alternador: Indicador de erro na leitura da tensão	Tensão acima do limite máximo
C111284	Alternador: Indicador de desenergização	Tensão abaixo do limite mínimo
C111500	Alternador: Indicador de falha no modo paralelo	Não disponível
U114349	Falha de comunicação na rede LIN	Falha interna
U114386	Falha de comunicação na rede LIN	Sinal Inválido
U300316	Bateria: Tensão baixa	Tensão nominal abaixo do limite mínimo
U300317	Bateria: Tensão alta	Tensão nominal acima do valor máximo

**Tabela 2 – Códigos de falhas referente aos componentes da rede LIN**

**Fonte: Autoria própria**

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa abordou os principais aspectos da aplicação de alternadores com interface LIN face a tecnologia atual em uso nos veículos pesados. O trabalho focou no estudo da aplicação e seus potenciais benefícios ao usuário final. Não obstante, a pesquisa encontrou algumas dificuldades na obtenção de dados estatísticos no que diz respeito à análise da durabilidade dos componentes envolvidos neste estudo em longo prazo. Isto se justifica pela sua recente introdução no mercado europeu (2014) e por uma limitada cobertura de garantia por parte da montadora, o que não cobre um período maior que um ano. Após este período, a manutenção e eventual troca dos componentes é de responsabilidade do cliente e que nem sempre reporta à concessionária.

Os resultados obtidos são considerados aceitáveis porque a contribuição na redução de consumo de combustível e consequente melhora da eficiência energética pode ser constatada em testes de pista, ainda que com um valor pouco expressivo face ao reportado pelo fabricante. É possível estimar que testes com diferentes condições de pista e de dirigibilidade possam conduzir a valores mais promissores. Do ponto de vista econômico, embora a nova tecnologia apresente um aumento no custo do produto em torno de 34%, os benefícios obtidos com uma redução de consumo de combustível aliado a uma melhora na vida útil dos alternadores e das baterias, componentes com elevado custo para o cliente, representam um investimento viável no médio e longo prazo. Vale ressaltar também como fator positivo o fato desta aplicação estar alinhada como desenvolvimento dos sistemas embarcados nos veículos, o que representa uma tendência cada vez maior na indústria automotiva. Cada vez mais os veículos estão utilizando módulos de controle eletrônico para as mais variadas funções capazes de se comunicarem em uma rede de dados ágil e confiável, cujo intuito é priorizar o conforto, economia, segurança e atendimento as mais exigentes normas de emissões de poluentes.

É notório que o alternador com interface LIN é um passo a frente no sentido de termos cada vez mais interação entre usuário e o veículo.

## REFERÊNCIAS

BOSCH. **Automotive Technology Manual – Alternators and Starter Motors**. Germany. Bosch. 68 p.

BOSCH. **Manual de Tecnologia Automotiva**. São Paulo. Bosch. 1232 p.

BOSCH, Bosch Motorsport - **Alternator B3 LIN**. Bosch, 2015. Disponível em: [http://www.boschmotorsport.de/media/catalog\\_resources/Alternator\\_B3\\_LIN\\_Datash\\_eet\\_51\\_en\\_13619552267pdf.pdf](http://www.boschmotorsport.de/media/catalog_resources/Alternator_B3_LIN_Datash_eet_51_en_13619552267pdf.pdf)

Acesso em 01/set/2015.

BOSCH, **Alternadores, motores de partida e principais componentes**. Bosch, 2012. Disponível em:

<http://www.bosch.com.ar/ar/autopecas/produtos/catalogos/arranques.pdf>

Acesso em 01/set/2015.

BOSCH, **Reguladores de Tensão para Geradores**. Disponível em:

[http://www.bosch-mobility-solutions.com.br/pt\\_br/br/technik\\_2/component\\_br/PT\\_PC\\_PFI\\_Generators\\_PT\\_PC\\_Port-Fuel-Injection\\_624.html?compId=290](http://www.bosch-mobility-solutions.com.br/pt_br/br/technik_2/component_br/PT_PC_PFI_Generators_PT_PC_Port-Fuel-Injection_624.html?compId=290)

Acesso em 24/jul/2015.

BOSCH, Starter motors and generators – Bosch Generators – **A reliable energy supply of high efficiency**. Disponível em:

[http://www.bosch-mobility-solutions.es/media/ubk\\_europe/db\\_application/downloads/pdf/antrieb/en\\_3/Bosch\\_generators\\_-\\_a\\_reliable\\_energy\\_supply\\_of\\_high\\_efficiency.pdf](http://www.bosch-mobility-solutions.es/media/ubk_europe/db_application/downloads/pdf/antrieb/en_3/Bosch_generators_-_a_reliable_energy_supply_of_high_efficiency.pdf)

Acesso em 09/nov/2015.

CAPELLI, Alexandre. **Eletroeletrônica Automotiva**. 1º Edição. Editora Érica, São Paulo, 2010.

Vaskova, A. et al. Hardening of Serial Communication Protocols for Potentially Critical System in Automotive Application: LIN Bus. In: IEEE 19th International On-Line Testing Symposium (IOLTS). 2013. Disponível em:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6604044&newsearch=true&queryText=hardening%20of%20serial%20communication%20protocols>

Acesso em 31/ago/2015.

Vector Academy Webinars. Disponível em:

[http://elearning.vector.com/index.php?wbt\\_ls\\_kapitel\\_id=1330149&root=378422&seite=vl\\_lin\\_introduction\\_en](http://elearning.vector.com/index.php?wbt_ls_kapitel_id=1330149&root=378422&seite=vl_lin_introduction_en)

Acesso em 28/ago/2015.