Ano 48 • Nº 464 • Set-Out 2012
Europa € 3,90
Brasil R$14,90

www.sabereletronica.com.br

SABER ELETRÔNICA

http://twitter.com/editora_saber

Industrial

PACs e LabVIEW

Conecte-os a qualquer dispositivo, rede industrial ou CLP



A Realimentação

e seus efeitos em fontes de alimentação, amplificadores, PLLs, servos, controle de velocidade de motores e outras aplicações

ISSN 0101-6717

Correção do Fator de Potência

Economize energia e torne sua indústria mais competitiva no mercado

Conversores de Dados

Conheça as principais arquiteturas e melhore o desempenho dos projetos

Bateria de Lítio-Íon

Conheça suas características e vantagens

Mais de 3 milhões de componentes eletrônicos oferecidos.
MOUSER ELECTRONICS
br.mouser.com

br.mouser.com
Distribuimos semicondutores e componentes eletrônicos para Engenheiros de Aplicação e Desenvolvimento e Projetistas

Distribuidor autorizado

Acesso instantâneo.

Mais de 3 milhões de componentes eletrônicos oferecidos por mais de 450 fornecedores líderes reconhecidos da indústria.



Mouser é sua fonte autorizada para os mais novos semicondutores e componentes eletrônicos para os seus projetos mais inovadores.



br.mouser.com skype Assistência em Português

Os mais novos produtos para os projetos mais inovadores®

MOUSER ELECTRONICS
a tti company

Editora Saber Ltda.
Diretor
Hélio Fittipaldi

ELETRÔNICA
www.sabereletronica.com.br
twitter.com/editora_saber

Editor e Diretor Responsável
Hélio Fittipaldi

Conselho Editorial
João Antonio Zuffo

Redação
Augusto Heiss,
Rafaela Turiani

Revisão Técnica
Eutíquio Lopez

Designers
Carlos C. Tartaglioni,
Diego M. Gomes

Publicidade
Caroline Ferreira,
Nikole Barros

Colaboradores
Afonso Celso Turcato,
Alexandre Capelli,
Glauco Ribeiro dos Santos,
Maria de Fátima N. C. Rosolem,
Newton C. Braga,
Raul Fernando Beck,
Roberto Remaili,
Vitor Torquato Arioli

PARA ANUNCIAR: (11) 2095-5339
publicidade@editorasaber.com.br

Capa
National - Divulgação

Impressão
Neograf Indústria Gráfica e Editora

Distribuição
Brasil: DINAP
Portugal: Logista Portugal tel.: 121-9267 800

ASSINATURAS

www.sabereletronica.com.br
fone: (11) 2095-5335 / fax: (11) 2098-3366
atendimento das 8:30 às 17:30h

Edições anteriores (mediante disponibilidade de estoque), solicite pelo site ou pelo tel. 2095-5330, ao preço da última edição em banca.

Saber Eletrônica é uma publicação bimestral da Editora Saber Ltda, ISSN 0101-6717. Redação, administração, publicidade e correspondência: Rua Jacinto José de Araújo, 315, Tatuapé, CEP 03087-020, São Paulo, SP, tel./fax (11) 2095-5333.

Associada da:

anatec
www.anatec.org.br
Associação Nacional das Editoras de Publicações Técnicas, Dirigidas e Especializadas

E o custo Brasil?


Hélio Fittipaldi

A indústria começa a reagir neste semestre e aponta para um 2013 mais promissor. O governo parece que começa a entender as dificuldades impostas à indústria devido à crise mundial e ao custo Brasil.

Com o paliativo da desoneração de alguns setores da economia por meio da diminuição de alíquotas de impostos, nosso país se arrasta tentando sobreviver ao tsunami que atinge os países desenvolvidos e que, em consequência, também nos atinge. Mas não se iluda, caro leitor, pois é apenas um paliativo. O governo federal e seus aliados encontram agora a hora da verdade e terão, não só de trabalhar, como também deter em seus quadros gente com verdadeiro conhecimento para encontrar os caminhos da bonança.

Claro que o caminho será dificílimo devido aos radicais corruptos e aos que defendem o seu próprio interesse em manter o "status quo". As leis terão de mudar para podermos enfrentar os problemas da atualidade, e não os de 50 anos atrás de um mundo antigo ultrapassado.

As leis trabalhistas precisarão ser revistas, assim como a da previdência social, do código civil, do penal, dos impostos e a burocracia que atualmente emperra o dia a dia das empresas e do cidadão.

Com tudo isto sendo ajustado, esperamos que venha a tempo de estancar a desindustrialização, como já está acontecendo no México, onde empresas que estavam na Ásia começam a se reinstalar no país aumentando a oferta de empregos.

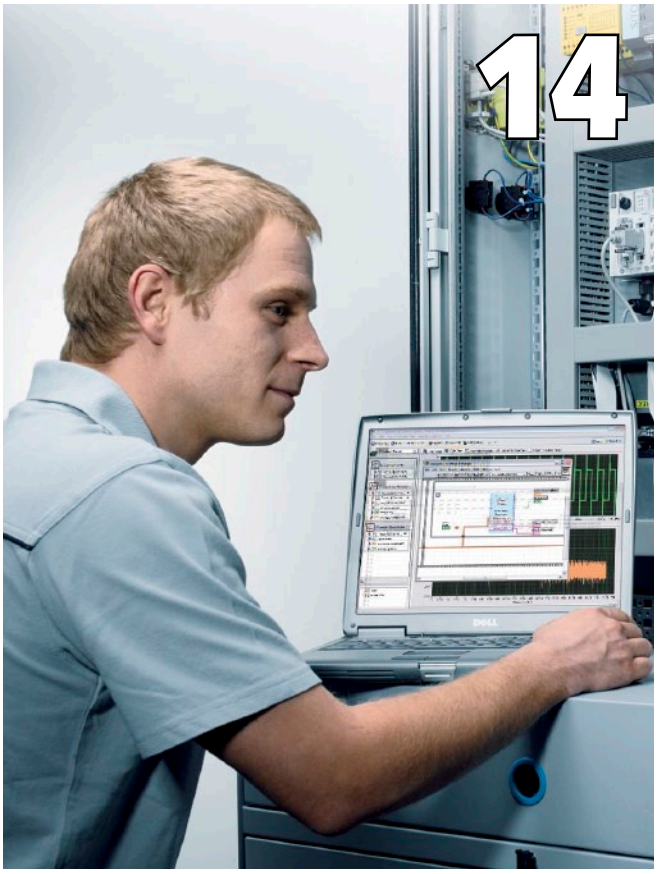
Você leitor, faça a sua parte. Continue estudando, pois a demanda do mercado irá requerer os novos conhecimentos da tecnologia.

Submissões de Artigos
Artigos de nossos leitores, parceiros e especialistas do setor serão bem-vindos em nossa revista. Vamos analisar cada apresentação e determinar a sua aptidão para a publicação na Revista Saber Eletrônica. Iremos trabalhar com afinco em cada etapa do processo de submissão para assegurar um fluxo de trabalho flexível e a melhor apresentação dos artigos aceitos em versão impressa e online.

Atendimento ao Leitor: atendimento@sabereletronica.com.br

Os artigos assinados são de exclusiva responsabilidade de seus autores. É vedada a reprodução total ou parcial dos textos e ilustrações desta Revista, bem como a industrialização e/ou comercialização dos aparelhos ou ideias oriundas dos textos mencionados, sob pena de sanções legais. As consultas técnicas referentes aos artigos da Revista deverão ser feitas exclusivamente por cartas, ou e-mail (A/C do Departamento Técnico). São tomados todos os cuidados razoáveis na preparação do conteúdo desta Revista, mas não assumimos a responsabilidade legal por eventuais erros, principalmente nas montagens, pois tratam-se de projetos experimentais. Tampouco assumimos a responsabilidade por danos resultantes de imperícia do montador. Caso haja enganos em texto ou desenho, será publicada errata na primeira oportunidade. Preços e dados publicados em anúncios são por nós aceitos de boa fé, como corretos na data do fechamento da edição. Não assumimos a responsabilidade por alterações nos preços e na disponibilidade dos produtos ocorridas após o fechamento.

índice



Instrumentação

14 Conecte o LabVIEW a qualquer rede industrial ou CLP

20 Por dentro do Analisador de Espectro

Eletrônica Aplicada

28 Como Funciona o Telefone Celular - Parte 1

34 Diagnóstico de redes PROFINET IO utilizando software Wireshark

41 Correção do Fator de Potência

Desenvolvimento

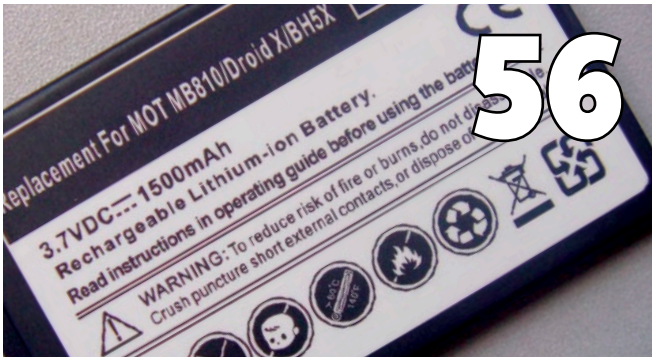
46 Realimentação: Teoria Geral - Parte 1

Componentes

50 Conversores de Dados: Conheça as principais arquiteturas, e saiba como obter um melhor desempenho do seu projeto - Parte 2

56 Bateria de Lítio-Íon: Conceitos Básicos e Suas Potencialidades





03 **Editorial**

06 **Acontece**

06 Light apresenta carro elétrico i-MiEV e lança o primeiro sistema de recarga inteligente do mundo

08 A "electronica 2012" apresentará produtos e soluções para a eletromobilidade do futuro

08 Fonte de Alimentação alimenta Aplicações de Dispositivos Médicos Portáteis

10 Novo testador da Fluke Networks soluciona os problemas mais comuns de rede em cerca de um minuto

11 B&K Precision apresenta um novo modelo de Fonte de Alimentação Dupla

12 Série de sensores de reflexão LR-Z, da Keyence

13 Novo Sistema de Controle de Estabilidade Automotiva, da TRW

Índice de anunciantes

National 05
Honeywell 07
SPS IPC Drives 2012 09
Metaltex 11
Globtek 13
Farnell 17
Electronica 2012 19
Cika 27
Tato 33
Patola 33
Nova Saber 55
Assinaturas 61
Mouser ..... 2ª Capa
Nova Saber ..... 3ª Capa
ARM ..... 4ª Capa

Saia do convencional
Torne seu sistema de teste automatizado mais flexível com o NI PXI



Engenheiros ao redor do mundo estão tornando a plataforma definida por software PXI a referência para arquiteturas de sistema de teste. Com mais de 1.500 instrumentos modulares vendidos por mais de 70 fabricantes, o PXI tem a flexibilidade e a funcionalidade que você precisa, além de reduzir o custo e a dimensão física do sistema



PLATAFORMA DE PRODUTOS

Instrumentação modular PXI

Software de programação gráfica LabVIEW

Software TestStand

>> Saiba como o PXI pode ajudá-lo em **ni.com/beyond**

(11) 3149-3149

National Instruments Portugal, Unipessoal Lda • Sociedade por Quotas • Sede: Taguspark - Parque de Ciência e Tecnologia n Núcleo Central, 483, 2740-122 Oeiras Portugal • Conservatória do Registo Comercial de Cascais • Nº de Matrícula (NIPC/NIF): 504597892 • Capital social: 5.000,00 Euros

©2011 National Instruments. Todos os direitos reservados. LabVIEW, National Instruments, NI, e ni.com são marcas registradas da National Instruments. Os outros nomes de produtos e das empresas mencionadas são marcas registradas e nomes comerciais das respectivas empresas. 02963

NATIONAL INSTRUMENTS

Light apresenta carro elétrico i-MiEV e lança o primeiro sistema de recarga inteligente do mundo, 100% interativo com o veículo e com o motorista

Tecnologia desenvolvida pelo Programa Smart Grid Light-Cemig contribui para a implementação de veículos elétricos no Brasil

O futuro já chegou para a Light e a sua premissa é a sustentabilidade. A companhia de energia apresentou em agosto, no Centro Cultural Light, um sistema pioneiro de recarga inteligente para carros elétricos. A tecnologia será testada no primeiro veículo totalmente elétrico produzido em série no mundo, o i-MiEV, desenvolvido pela Mitsubishi Motors. O evento contará com a participação dos presidentes da Light, Paulo Roberto Pinto, e da Cemig, Djalma Bastos de Morais, e do vice-presidente da Cemig, Arlindo Porto.

O sistema de recarga inteligente desenvolvido pelo Programa Smart Grid Light - Cemig foi pensado de forma totalmente integrada ao i-MiEV da Mitsubishi Motors. Novidade no Brasil, o carro já é vendido na Europa desde 2010, e nos Estados Unidos desde 2011. O veículo utiliza energia elétrica contida em um conjunto de baterias de lítio, que move o motor elétrico e inibe ruídos e contribui para o meio ambiente, pois não há emissão de gases poluentes.

A Light utilizará o i-MiEV para testar um inovador sistema de recarga inteligente para carros elétricos. Ao todo, dois veículos serão testados ao mesmo tempo, no Rio de Janeiro, pelos pesquisadores do Programa Smart Grid Light-Cemig, e em Curitiba, nos laboratórios do LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento).

Os terminais de recarga chegam com características específicas que apontam para soluções que facilitarão a implementação de veículos elétricos no Brasil. Estruturados de modo a possibilitar a recarga de até quatro veículos, simultaneamente, eles poderão ser instalados em pontos estratégicos, como estacionamentos públicos e privados (shoppings, prédios residenciais e empresas, entre outros).

A interatividade, tanto com o veículo quanto com o cliente, é outra marca deste sistema. Durante a recarga, os terminais são capazes de trocar informações em tempo real com o i-MiEV.

Estes dados poderão ser acessadas na tela do próprio painel do carro e em outros canais de interação do Programa Smart Grid Light-Cemig, tais como computador, telefone celular e tablet através de diversas ferramentas. Dentre elas, foi desenvolvido um sistema denominado Smart Driver, que conta com um "Econômetro".

Ele permite ao motorista identificar o quanto poderia economizar e beneficiar o meio ambiente se conduzisse, utilizasse e recarregasse seu veículo de forma eficiente. O motorista poderá identificar também o consumo de energia, o *status* da recarga e da bateria, as tarifas de energia e as condições da rede elétrica, em prol de um consumo seguro, consciente e sustentável.

Dentre outros benefícios, o cliente pode ainda estabelecer metas para melhor planejar e controlar seus gastos com energia, bem como programar a sua recarga a partir de diferentes parâmetros, tais como tarifa e horário.

Posto de energia elétrica

Os terminais de recargas inteligentes são como um posto de abastecimento destinado aos veículos elétricos.

O proprietário deste tipo de veículo deverá solicitar junto à Light um cartão inteligente, que funcionará como uma chave para abertura do compartimento de recarga. Uma vez conectado o carro, os medidores inteligentes do terminal irão medir e faturar a recarga dos clientes de forma individual. Por meio de uma barra de LEDs, o cliente poderá acompanhar o status da recarga e a tarifa em vigor naquele momento (na hipótese de tarifas diferenciadas em vigor, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel).

O terminal também enfoca a segurança, pois possui sistema de proteção diferenciado, efetua desligamento automático em casos de eventuais ocorrências no fornecimento de energia e garante o correto aterramento do veículo durante a recarga, dentre outras vantagens.

A integração do i-MiEV com os terminais não para por aí. A tecnologia do i-MiEV permite também a utilização de um dispositivo chamado "Power Box" que possibilita a exportação de até 1 kW de energia durante 5 horas; o sistema também permitirá gerenciar a exportação de energia em tempo real de forma isolada (*Vehicle to Appliance - V2A*) e futuramente para a rede elétrica (*Vehicle to Grid – V2G*).

Programa Smart Grid Light-Cemig

O Programa Smart Grid Light - Cemig foi iniciado em setembro de 2010 e já criou e lançou medidores inteligentes com certificação digital e tomadas inteligentes, e vem desenvolvendo diversos outros produtos e serviços aos clientes além de canais de interação com o consumidor. A revolução digital com o surgimento do conceito das redes elétricas inteligentes (ou Smart Grid) será uma realidade nas residências brasileiras, nos próximos anos.

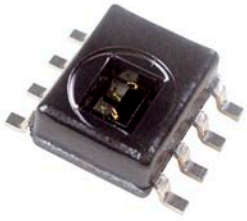
Preparar as distribuidoras para essa revolução é o objetivo da parceria firmada entre a Cemig e a Light, que, juntas, estimam investir R$ 65 milhões em Smart Grid, apenas em P&D até 2013.



Carro elétrico i-MiEV e carregador de veículo elétrico do Programa Smart Grid Light-Cemig.



BAIXO CUSTO



Sensores de Umidade & Temperatura com Saída Digital Honeywell HumidIcon™

- Tensão de alimentação: 2.3 a 5.5 Vcc
- Sinal de saída: Digital (I^2C ou SPI) 14 Bits de Resolução
- Precisão: ±4 %RH máx. (@ 10 %RH a 90 %RH)
- Erro total: ±5 %RH
- Tempo de resposta: 6 s (@ fluxo de ar de 20 l/mín)
- Consumo de corrente: 650 µA em modo de operação /1 µA em modo sleep mode
- Range de atuação: Umidade 0 % a 100% RH
- Temperatura de operação: 0 a 85ºC Encapsulamento miniatura SMD SOIC-8 ou SIP 4 pinos
- Opções com filtro hidrofóbico integrado

>> Duas opções de alarmes digitais totalmente configuráveis via I^2C

>> A melhor estabilidade a longo prazo da categoria - menos que 1.2%FSS* de desvio após 5 anos de uso



Nova Série de Sensores de Pressão NBP Ótimo Custo Benefício

- Tipos de Pressão: Absoluta e Gage
- Ranges de Pressão: Entre 15 psi e 150 psi (1 bar a 10 bar)
- Sinal de Saída: Analógico (mV)
- Precisão: 0.25 FSS*
- Tensão de Alimentação: 1.8 a 12 Vcc
- Temperatura de Operação: -40 °C a 125 °C
- Resolução infinita / totalmente analógico

*Full Scale Span

>> Versões miniatura em formato SMD, ocupando apenas 7mmx7mm na PCB

>> Permite a utilização em aplicações onde pode ocorrer condensação de gases/ar

Acesse nossos vídeos

Honeywell

Para mais informações sobre estes e outros produtos da Honeywell Sensing & Control, ligue
TELS:(11) 3475-1961 / 3475-1912
ou visite www.honeywell.com/sensing
Sensing.Control.Brasil@honeywell.com

A "electronica 2012" apresentará produtos e soluções para a eletromobilidade do futuro

Na feira "electronica" prevista para o mês de novembro próximo (dias 13 a 16) em Munique (Alemanha), as empresas internacionais líderes irão apresentar os seus produtos, as soluções mais recentes, e as mais importantes tendências pertinentes ao tema da "eletromobilidade". No fórum automotivo, os especialistas da indústria fornecerão ideias a respeito da tecnologia e dos mercados que são relevantes na prática. Os "experts" da indústria examinarão diversas estratégias para a mobilidade do futuro no congresso automotivo da feira (*ICM – International Congress Center München*) entre os dias 12 e 13 de novembro de 2012.

Neste ano, mais de 1.000 exibidores apresentarão tecnologias e produtos para o segmento automotivo. Um dos focos desse setor e tema principal da feira é a eletromobilidade. Além do setor de exposição, esse tópico está refletido na programação de eventos dos fóruns automotivos e no congresso de eletrônica automotiva, os quais, juntos completam o conceito dos "3 pilares" da feira.

Range de Produtos de PCIs para Veículos-conceito

Pela primeira vez, a Visiteon irá apresentar o seu "conceito e-Bee" na "electronica". Esse conceito automotivo explora novas proposições para o uso do veículo e da eletrônica do consumidor, com a utilização de interface gráfica do usuário para mostrar informação para perfis Cloud, o que torna possível personalizar um carro para uma grande parte dos motoristas e suas exigências. Um dos novos desenvolvimentos mais importantes é que o conceito é completamente compatível com todas as plataformas comuns de veículos para "electro-mobiles".

A Mektec Europe também está ocupando-se com os desafios mais recentes da indústria automotiva, desde as fontes de alimentação e a iluminação do veículo até as tecnologias de controle alternativas e os sensores. Em quase todas essas áreas, os carros modernos contam com circuitos impressos flexíveis que combinam funções eletrônicas e mecânicas. Neste evento, a Mektec mostrará o seu patenteado Flex - Circuito Impresso Flexível, com selagem integrada, que permite a transmissão simultânea dos sinais e das correntes de alimentação conforme são encontrados nos sistemas de controle híbridos.

O fórum automotivo no Hall A6 propiciará aos visitantes uma visão interna desse setor. Entre outras coisas, a programação de eventos inclui palestras sobre eletromobilidade, eletrônica de potência, baterias e tecnologias de controle. Por exemplo, em um painel de discussões na quarta-feira, veteranos profissionais das indústrias AEL, NXP, Osram Opto e outras irão discutir "Lighting concepts and LEDs". Uma folha atualizada do fórum automotivo é disponibilizada "online".

Desenvolvimentos, estratégias e konow-how inteligente no congresso automotivo da "electronica"

Um dos eventos previstos na feira é o congresso automotivo da "electronica", nos dias 12 e 13 de novembro. Em algumas das 30 palestras, especialistas internacionais explicarão as mais recentes tecnologias e desenvolvimen-

Fonte de Alimentação alimenta Aplicações de Dispositivos Médicos Portáteis

Fornecendo uma saída regulada de até 50 W com baixíssimo ripple, a família GTM21097 de fontes de alimentação chaveadas da GlobTek foi projetada para alimentar dispositivos médicos portáteis e carregar seus sistemas de bateria. Fornecidas em um gabinete de policarbonato resistente a impactos e sem furos de ventilação, as fontes de alimentação resfriadas por condução produzem uma tensão de saída desde 3,3 V até 48 V (em incrementos de 0,1V) em potências de 36 W até 50 W, com uma entrada de 100 VCA até 250 VCA.

"Muitos projetistas se esquecem de assegurar-se que a fonte de alimentação externa que estão usando para alimentar seus sistemas médicos também deve ser aprovada para aplicações médicas," diz Ed Seaman, VP de Vendas da GlobTek. "Usando o parceiro de fontes de alimentação certo, você pode obter a solução correta que não é apenas medicamente aprovada, mas é também a melhor solução para os requisitos do seu dispositivo."

A fonte inclui proteção contra sobrecorrente, curto-circuito, sobretensão, e falha térmica.

Atendem a exigências de agências de segurança, inclusive UL2601, CSA 22.2#601, e TUV EN60601, além de normas de EMI/RFI, diretrizes de EMC/CE, e FCC Class B para aplicações médicas aterradas, certificação CB, SIQ Mark e IEC 60601-1, 3ª edição.

Todos os modelos também carregam um selo UL, TUV e relatório da marca CE gerado por um laboratório certificador independente. Versões estão disponíveis com operação em corrente constante e outras características para carga de bateria, e projetos modificados ou sob medida também estão disponíveis. Uma opção "Made in USA" está disponível sob consulta.

Para mais informações, incluindo o datasheet do produto, visite: **www.globtek.com/product.php/portable-medical-power-supply**.

tos de mercado que abrangem, por exemplo, temas como "The Car in the Web"; "Energy - Efficient Mobility"; "Safe Driving" e "Design to Cost".

O primeiro dia do congresso destina-se principalmente aos executivos-líderes das montadoras de automóveis, das companhias de autopeças e das empresas eletrônicas. O programa de eventos inclui palestras com o Dr. Rupert Stützle, chefe de Desenvolvimento de Sistema para Veículos Elétricos, sobre o tema "Powertrain Electrification: Current Challenges and Solutions in Development of Power Electronics" e com Wolfgang Sczygiol, diretor-gerente do Browse – SEW, sobre "Strategies of Suppliers in the Market of Motor and Inductive Charging for Electric Mobility". Outras palestras do primeiro dia do congresso serão sobre a crescente relação automóvel-internet, o padrão wireless móvel LTE, e assuntos como eletrônica de potência, motores e unidades de carga para carros elétricos, etc.

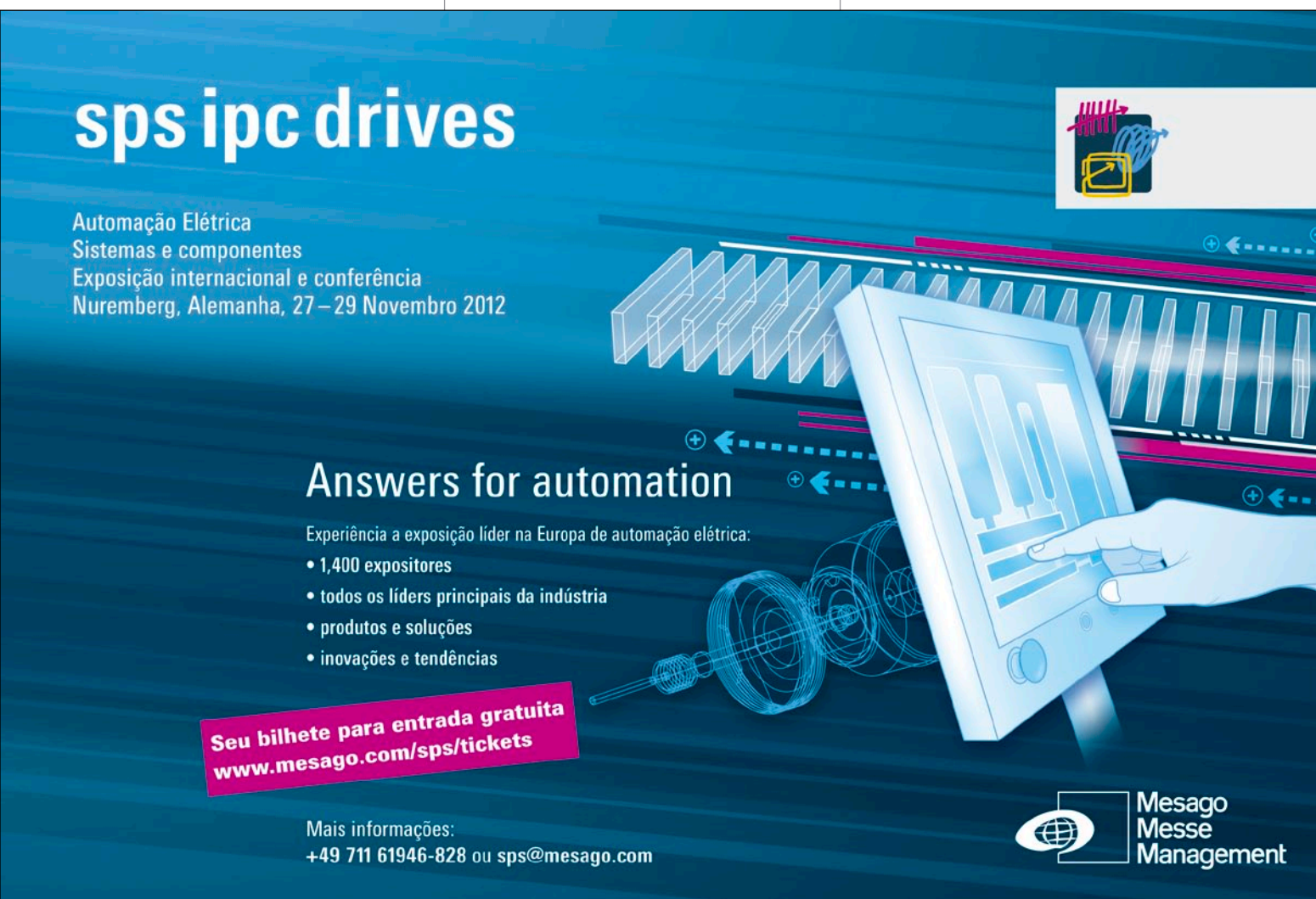
O segundo dia do congresso será dividido em duas abordagens, ambas girando em torno de tecnologias que endereçam o gerenciamento técnico no automóvel, *auto-supply* e empresas eletrônicas. O primeiro caminho enfoca a eletromobilidade (pela manhã) e a eletrônica de potência (à tarde). O segundo focaliza os temas da segurança e a Internet no automóvel. Esse segundo dia concluirá com uma discussão em mesa redonda sobre "Concepts of Mobility". A folha completa do congresso de eletrônica automotiva estará disponível *online*.

O **PCB Marketplace** caracteriza-se por ser um programa de palestras extremamente diversificado para o fórum e outras oportunidades de *networking*, sendo que ele convida os visitantes a participarem de uma intensa troca de informações a respeito das placas de circuito impresso (PCIs), de outros porta-circuitos e de EMS. Ele ficará localizado no Hall C1.

O Setor de Exibição ficará nos Halls B1 e C1, e apresentará empresas como FELA Leiterplattentechnik, Flextronics International Germany, Multek Europe, Italia, SANMINA – SCI Holding, Würth Elektronik e Zollner Elektronik.

Cristoph Stoppok, diretor-gerente de Componentes Eletrônicos e Sistemas e das "trade associations" de PCIs e Sistemas Eletrônicos da ZVEI, diz: "O conceito do PCB Marketplace como uma reunião central de comunicações provou ser extremamente eficaz, de forma que nós decidimos introduzir este modelo vitorioso também na "electronica".

Os temas principais do programa de palestras incluem Conectores, PCIs e EMS (*Electronic Manufacturing Services*), MCD (*Material Content Systems*). Os primeiros itens da agenda já estão anunciados: em 14 de novembro, a ZVEI hospedará um painel de discussão sobre *The World of Testing - Achieving the Desired Quality Safely*. Depois desse, representantes das companhias Robert Bosch, Lackwerke Peters e Varioprint discutirão o tema *PCB Reliability*. Uma lista de todas as leituras do PCB Marketplace está disponível no *event database* da "electronica".



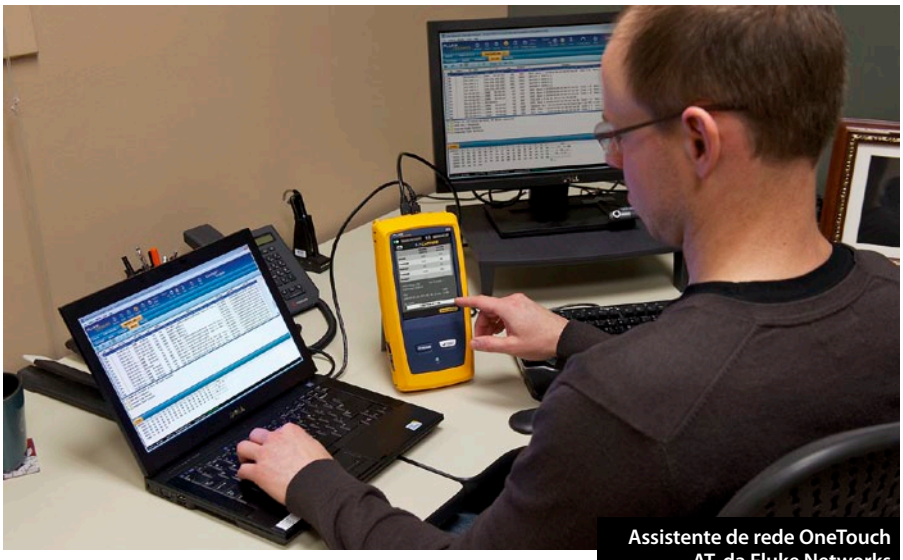
Novo testador da Fluke Networks soluciona os problemas mais comuns de rede em cerca de um minuto

O assistente de Rede OneTouch AT, otimizado para que os técnicos consigam ajudar a resolver os problemas de rede dos usuários finais mais rapidamente, testa redes com e sem fio, do cliente até a nuvem

A Fluke Networks anuncia hoje o lançamento do assistente de rede OneTouch™ AT, nova ferramenta especialmente concebida para que os técnicos de rede automatizem e realizem em cerca de um minuto o *troubleshooting* dos problemas mais comuns verificados pelos usuários finais, reduzindo em muito o tempo consumido na resolução de problemas de rede e garantindo a satisfação do usuário.

Tradicionalmente, os técnicos de rede consomem mais de uma hora e utilizam uma variedade de ferramentas como analisadores de protocolo, utilitários de PCs, testadores de cabo e redes, etc.,para resolver questões relacionadas a conectividade e performance. Solução e ferramentas que fornecem informação limitada e pouco consolidada. O testador OneTouch AT combina as suas inovadoras funcionalidades em uma ferramenta customizada, portátil, com um único botão de autoteste, que disponibiliza para o usuário final o modo mais veloz de troubleshooting do mercado, tarefa que normalmente consome até 25 % do trabalho diário de um técnico de rede.

"Com uma equipe pequena e sempre em movimento, nós não podemos ter tudo à mão para a resolução de problemas da rede," diz Tony Peffley, administrador de rede e sistemas da Elkhart County, empresa sediada em Indiana, EUA. "Pelo menos era isso o que eu pensava até testar o OneTouch AT. Tudo o que posso dizer é que é 'fantástico', ele realmente contempla tudo, desde o teste de cabos mais básico até o desempenho de rede em geral, com fio, sem fio e com fibra. Assim, estamos preparados para enfrentar qualquer situação."



Assistente de rede OneTouch AT, da Fluke Networks

De acordo com o vice-presidente da divisão de análise de redes corporativas da Fluke Networks, Gary Ger, "este é exatamente o tipo de resposta que a equipe de inovação da companhia tinha em mente quando desenhou o testador OneTouch AT. Problemas de conectividade e desempenho podem se esconder em uma variedade de lugares em toda a rede e o técnico de primeira linha de hoje não pode ser um especialista em todos eles. Quando uma comunicação de problema é enviada, a maioria das organizações aciona um técnico. Porém, muitos destes profissionais podem não ter processos de teste padronizados e as ferramentas que possuem podem ser muito complexas e demoradas," reforça Ger. "O OneTouch AT automatizado foi especificamente projetado para atender esses desafios, economizando em uma organização, em média, aproximadamente um homem-semana de resolução de problemas por mês."

Principais recursos do OneTouch AT:

- Um botão de autoteste para identificação mais rápida do problema;
- Habilidade para teste em redes WiFi 802,11 a/b/g/n Wi-Fi, gigabit Ethernet de cobre e fibra;
- Captura de pacote de fibra e cobre, *in-line*;
- Cabo de mapeamento de fio, Power-Over-Ethernet (PoE) e testes de *link*;
- Acesso remoto para colaboração melhorada com colegas para resolução de problemas de velocidade;
- Análise de desempenho de serviço e rede;
- *Scripts* de teste automatizados e padronizados para garantir que até o usuário mais novato possa resolver problemas;
- Novo formato com *smartphone touchscreen* e robustez reforçada para durabilidade em campo.

Para mais informações sobre o One Touch AT, acesse: **www.flukenetworks.com.br.**

B&K Precision apresenta um novo modelo de Fonte de Alimentação Dupla, oferecendo: Complementação do modelo atual (1737) com faixas de Corrente mais altas e Potência até 350 W

A B&K Precision acaba de anunciar o acréscimo do Modelo 1747 – sua última fonte de alimentação CC dupla. Entregando até 350 W de potência com modos de tensão constante (CV) e corrente constante (CC), o novo modelo pode fornecer tensões mais altas para uma faixa de corrente mais baixa (0 – 60 V, 5 A), ou correntes mais altas para uma faixa de tensão mais baixa (0 – 35 V, 10 A) do que o modelo 1737. Essa nova fonte CC é apropriada para uma ampla variedade de aplicações: em fabricação eletrônica, em *service* e reparação, e também em laboratório de eletrônica.

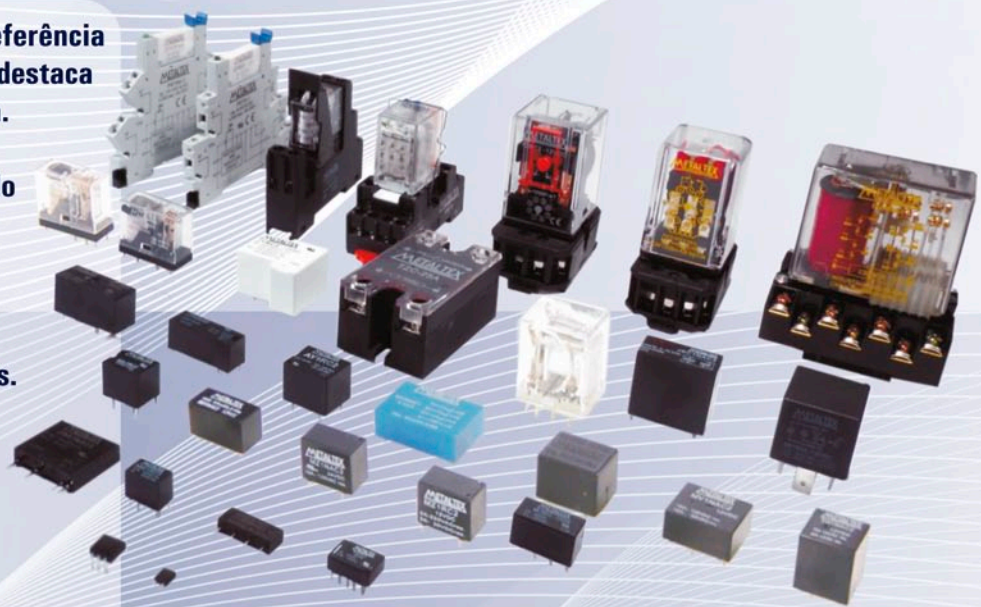
O projeto de fontes duplas propicia aos usuários mais flexibilidade operacional, com ranges de tensão e corrente de acordo com as suas necessidades para a aplicação específica. Ele ajuda tanto na economia de espaço em bancada quanto no custo, eliminando a necessidade de dispor de múltiplas fontes de alimentação na bancada ou de adquirir mais potência que o necessário.

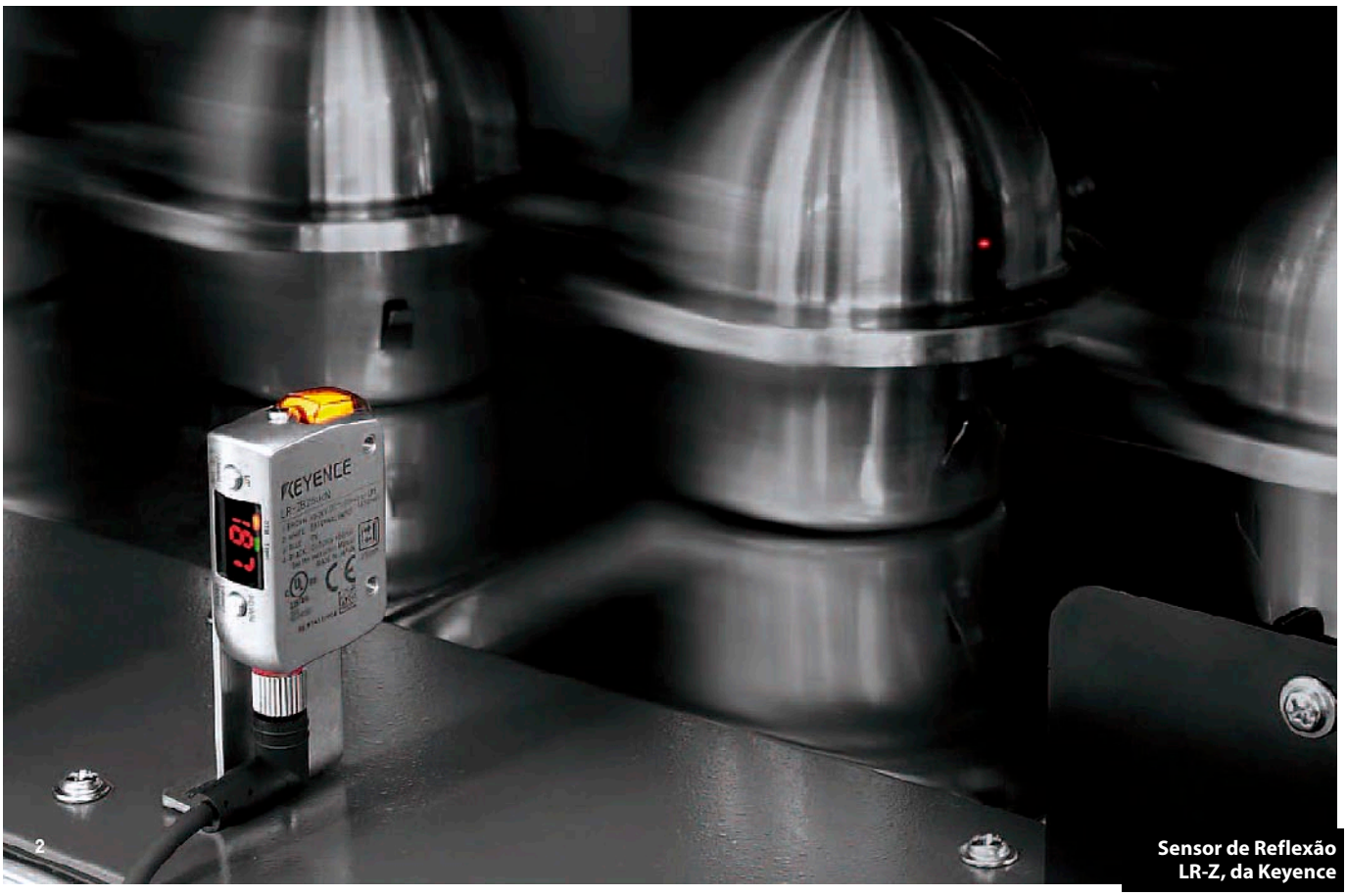
Fornecendo aproximadamente 3 vezes mais potência que o modelo anterior (1737), esta fonte dupla (1747) oferece um aumento suficiente na faixa de correntes, mantendo ao mesmo tempo as características de excelente regulação e baixo *ripple* disponíveis naquele. Ambas, tensão e corrente, são ajustáveis com botões de controle "grosso" e "fino", enquanto dois brilhantes *displays* de LEDs de 4 dígitos mostram os seus valores.

Outras características incluem "recall" automático dos últimos *settings* de alimentação ativa, sobrecarga, e proteção contra inversão de polaridade, acrescentando ainda um botão de On/Off de saída. Uma interface RS – 232 no painel traseiro habilita unidade remota controlada do instrumento via PC, usando software ou comandos remotos. O software de aplicação pode ser baixado do *website* da B&K Precision.

O modelo 1747 – *dual range DC power supply* – encontra-se disponível por US$ 879.

Para maiores informações sobre especificações técnicas, acessórios, fotografias, e documentos de suporte, visite: **www.bkprecision.com/search/1747**.

METALTEX
desde 1958
Relés
Desde 1958 a Metaltex tem sido a referência nacional na fabricação de relés e se destaca nos diversos segmentos em que atua. A empresa mantém o compromisso com a tecnologia e qualidade, fazendo dos clientes o seu foco principal!
Possuímos uma ampla variedade de relés que vão desde os de uso geral em eletrônica até os mais específicos. Oferecemos uma ampla linha de componentes eletrônicos e para automação industrial.
Contate-nos!!

SÃO PAULO: (11) 5683-5704
CAMPINAS: (19) 3741-3590
ESPIRITO SANTO: (27) 3533-1803
MINAS GERAIS: (31) 3384-9476
PARANÁ: (41) 3357-3370
PERNAMBUCO: (81) 3342-0235
RIO DE JANEIRO: (21) 3872-3227
RIO GRANDE DO SUL: (51) 3362-3652
SANTA CATARINA: (47) 3435-0439
www.metaltex.com.br



Sensor de Reflexão LR-Z, da Keyence

Série de sensores de reflexão LR-Z, da Keyence

A detecção com sensores de reflexão é muitas vezes dificultada, entre outros fatores, pela cor do alvo, pelo material e pela natureza da superfície, pelo ambiente e especialmente pelo fundo mais ou menos aproximado. A série de sensores LR-Z, da Keyence, dispõem de uma função de controle incorporada que monitoriza e regula automaticamente a sua sensibilidade até um fator máximo de 350.000x.

A regulação é o resultado da combinação de um elemento receptor CMOS com uma fonte de luz laser. Com a série LR-Z, é possível obter-se uma detecção estável, independentemente da cor, reflexão ou ângulo. Além disso, os sensores oferecem não só a função de supressão de fundo (BGS), como também a função de supressão de frente (FGS), reduzindo assim as perturbações resultantes do ambiente.

Por fim, a função Ponto de Referência determina as condições de detecção, permitindo que qualquer alvo, independentemente das variações de superfície ou de forma, mesmo quando o ângulo de incidência na peça é importante (80 Â°), seja detectado. Desta forma, a detecção em superfícies irregulares e alvos pretos (ou refletores) torna-se possível.

Com esta nova série, as definições de sensibilidade são configuradas de um modo mais simples (método de ensino de um único toque). As operações de sensibilidade e detecção são simplificadas por um visor digital de 7 segmentos. Além disso, com o visor digital, os problemas de detecção são mais facilmente identificados, uma vez que todos os sensores apresentam um valor de 0 quando não detectam nada ou 999 quando detectam alguma coisa.

Outra nova função é um novo indicador de grandes proporções que permite uma visibilidade notável, mesmo a grandes distâncias com um único olhar.

Durabilidade

O corpo em aço inoxidável SUS316L tem uma resistência ao impacto de 100 g. Os riscos de deterioração são reduzidos ao mínimo, mesmo quando está demasiado apertado ou quando sofre impactos de outras ferramentas ou equipamentos. É também altamente resistente ao óleo, ácido e detergentes alcalinos. Esta série é estanque, estando em conformidade com a classe de proteção IP68/69K e NEMA 4X, 6P, 13 (NEMA250). Pode ser utilizada em ambientes rigorosos, mais próxima do alvo para conseguir detectá-lo e sem necessidade de uma capa protetora adicional.

Devido às suas funções, em combinação com as aplicações de automação convencionais, a série LR-Z é um detector de presença/ausência eficaz em indústrias alimentares, micromecânicas ou metalúrgicas.

Novo Sistema de Controle de Estabilidade Automotiva, da TRW

A TRW Automotive Holdings Corp. lançou sua nova família de produtos EBC460, referente a sistemas eletrônicos de Controle de Estabilidade Automotiva nas quatro principais regiões produtoras de carros do planeta. A EBC460 oferece mais qualidade, desempenho e compatibilidade através de uma ampla faixa de configurações.

A família EBC460 da TRW disponibiliza um projeto de produto padronizado unido à capacidade de fabricação na Europa, América do Norte, América do Sul e Ásia, onde foram feitos investimentos significativos em equipamentos e engenharia de suporte. A família de produtos global possui sistemas "*standard*", "*high*" e "*premium*" - os quais podem oferecer freios *anti-lock*, controle de tração, e funcionalidade ESC com variantes que dão suporte tanto a veículos híbridos como totalmente elétricos.

"A tecnologia ESC é um exemplo excelente de um sistema de segurança inteligente. Desde a época em que a TRW lançou seu primeiro ESC (dez anos atrás), a companhia vem acrescentando continuamente mais especificações e funções e, ao mesmo tempo, tornando o sistema menor, mais leve e mais barato", diz Peter Lake – vice-presidente executivo de Vendas e Desenvolvimento de Negócios.

"A família EBC460 incorpora os três temas de Segurança Cognitiva - "advanced thinking", por sua capacidade de corrigir derrapagens e patinação; "smart thinking", por suas muitas muitas formas de barateamento do produto; e "green thinking", por sua compatibilidade com veículos híbridos e outros *powertrains* alternativos."

A EBC460 inclui numerosas atualizações (*upgrades*) para melhorar valor e desempenho, comparado aos sistemas anteriores. Ela utiliza bomba com motor de longa vida com um projeto de meia-junta opcional, dois sensores de pressão integrados para aumentar a capacidade de produzir e manter a pressão no freio; redução da aspereza e vibração ruidosa e aumento da vida do motor através do controle de sua velocidade em alta frequência.



Produto EBC460, da TRW Automotive Holding Cortp

A plataforma EBC 460 especifica também a integração de sensores de giro e aceleração com a sua unidade de controle EHCU, a qual é capaz de funcionar como controlador para o sistema elétrico de freio para estacionar, da TRW – um sistema integrado conhecido como EPBi.

"ESC é uma tecnologia-chave que tem sido mandatória nos principais mercados europeus e dos Estados Unidos e fornece um bloco construtivo sobre o qual se baseia uma variedade de sistemas integrados de segurança", afirma Josef Pickenhahn, vice-presidente de Engenharia para os sistemas de freios.

"A EBC460 consiste na mais avançada ESC que nós já produzimos até agora, e ela proporcionará todos os benefícios das gerações anteriores e, ao mesmo tempo, incluirá características como gerenciamento do *rollover* ativo para ajudar a evitar a probabilidade de balanço e controlar a estabilidade do reboque (*trailer*), o que auxilia na manutenção da estabilidade de ambos (veículo e *trailer*). Funções adicionais serão possíveis para prover um controle de viagem adaptativo através de freio emergencial automático, altamente sofisticado, e sistemas de alívio de choque de modo a criar oportunidades estimulantes para a segurança dos futuros veículos."

Necessita de Potência? Pense GlobTek!

- Fontes de Alimentação CA/CC
- Baterias e Carregadores
- Fontes para a Indústria e TI
- Fontes para Área Médica



Oferecendo soluções inovadoras de energia há mais de 28 anos.



Ligue para 11 3624-0900 e fale com um de nossos engenheiros sobre as suas necessidades, ou visite **www.globtek.com** para obter mais informações.

Registros: 10001891 ISO 9001:2008

GlobTek® Inc.
"your power partner"

www.globtek.com

Conecte o LabVIEW a qualquer rede industrial ou CLP

Os Controladores Programáveis para Automação (PACs) da National Instruments e o LabVIEW podem acrescentar uma ampla variedade de funcionalidades para os CLPs e os sistemas industriais existentes. Monitoramento de condição de máquina, medições analógicas de alta velocidade e aplicações personalizadas de visão de máquina são alguns dos exemplos de aplicações típicas de PAC. A comunicação entre os dois sistemas é extremamente importante e deve ser simples, eficaz e muitas vezes determinística.

Este artigo vai mostrar os diferentes métodos para conectar o LabVIEW e os PACs da National Instruments a qualquer rede industrial, dispositivo ou CLP.

E/S Digitais e Analógicas

Talvez a maneira mais simples de integrar PACs da National Instruments com CLPs existentes seja através de E/S Digitais e Analógicas. Todas essas plataformas PAC têm E/S digitais disponíveis. A quantidade mínima de E/S digitais em uma plataforma está no Sistema NI Compact Vision, que oferece 15 entradas digitais e 14 saídas digitais. Com E/S digitais, você pode comunicar dados através de uma variedade de métodos.

O método mais simples seria mudar uma única linha digital, permitindo-lhe enviar um bit de dados com algum status, ou aprovação/reprovação. Se precisar enviar mais informações, como códigos de erro, um valor, ou implementar handshaking, várias linhas de E/S digitais ou portas poderão ser usadas. Com linhas de E/S digitais, você pode ler e escrever até 256 valores distintos. Finalmente, você pode gerar pulsos em uma linha digital. A geração de pulsos pode ser usada para temporização precisa no acionamento de dispositivos de automação, tais como atuadores e CLPs.

E/S analógicas também constituem uma boa opção para a comunicação entre um PAC da NI e um CLP. Com E/S analógicas, você pode enviar uma quantidade muito maior de dados através de uma única linha. Com um DAC de 16 bits, por exemplo, você pode enviar milhares de valores distintos em uma única linha. E/S analógicas são boas para o envio de mudanças incrementais com um valor específico e utilizando o mínimo de fios.

Uma das desvantagens do uso de E/S analógicas para a comunicação é a possibilidade de ruído e falta de integridade do sinal. Se o seu sistema PAC ou CLP estiver sobre o chão de fábrica, poderá haver muitos ruídos que alterem o valor do sinal que você está tentando ler ou escrever. Usar produtos de aquisição de dados isolados pode ajudar a proteger seus dados de malhas de terra, picos de tensão e ambientes ruidosos. Veja a **figura 1.**



F1. Plataforma NI CompactRIO.

Modbus TCP e Modbus Serial

Modbus TCP e Modbus Serial são dois dos protocolos/redes industriais mais utilizados no mercado. O NI LabVIEW introduziu o suporte nativo a Modbus TCP e Modbus Serial em qualquer porta Ethernet ou serial com dois toolkits adicionais do LabVIEW: LabVIEW Real-Time e LabVIEW DSC. Qualquer um destes módulos permite que você crie um servidor de E/S Modbus TCP ou Modbus Serial através de um assistente de configuração gráfico. Com apenas alguns cliques no mouse, você pode criar um Modbus Mestre ou Escravo, e especificar os diferentes registradores para ler e escrever.

Se você estiver usando uma versão antiga do LabVIEW ou não tiver os toolkits LabVIEW Real-Time ou DSC, você poderá usar a Biblioteca LabVIEW Modbus, que fornece um conjunto de VIs de baixo nível para criar aplicações Modbus Mestre ou Escravo com qualquer porta Ethernet ou serial. Para baixar esta biblioteca gratuita, use o link a seguir.

Modbus TCP também é uma ferramenta útil para a utilização de gateways para uma grande variedade de opções de conectividade. Para obter mais informações sobre este assunto, consulte a seção gateways deste artigo.

Placas de Comunicação

Ao usar um computador desktop padrão ou um chassi PXI, você pode tirar vantagem dos slots PCI ou PXI disponíveis para encaixar placas de comunicação. Algumas das vantagens do uso de placas de encaixe incluem:

- Comunicação direta com as redes industriais existentes, fornecendo conectividade a todos os componentes conectados. Comunicação determinística com o processador;
- Funções de alto nível (API) para o desenvolvimento rápido de aplicação.

A National Instruments oferece placas de comunicação para PCI, PXI e PCMCIA para as seguintes redes industriais; PROFIBUS, DeviceNet, CANopen, CAN, Serial (RS232, RS422 e RS485) e FOUNDATION Fieldbus. As seções a seguir irão cobrir os diferentes tipos de placas de comunicação.

Interfaces PROFIBUS

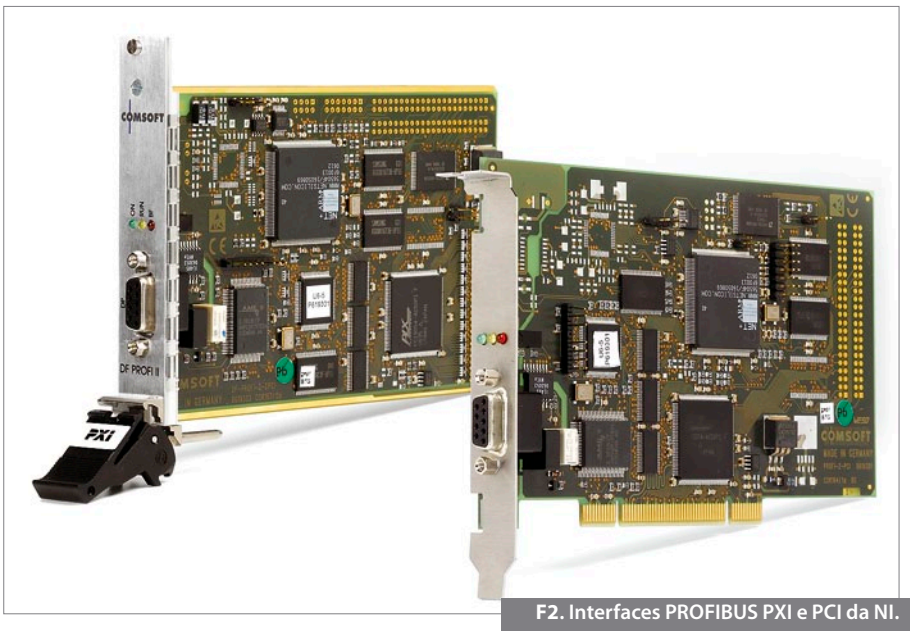
O PROFIBUS foi desenvolvido em 1989 e é um dos tipos de barramentos mais populares do mundo. Com mais de 20.000.000 de nós instalados, o PROFIBUS é o mais popular na Europa e é o padrão usado em CLPs da Siemens. Observe a **figura 2.**

A interface PROFIBUS PCI e PXI da NI conecta os controladores baseados em PC nas redes industriais PROFIBUS como poderosos mestres ou escravos. Esta interface inclui um driver do NI LabVIEW para interface homem-máquina (IHM) e aplicações SCADA. Você pode realizar o teste automatizado do dispositivo PROFIBUS usando estas interfaces. Elas acompanham um driver baseado em VISA que funciona em LabVIEW e LabVIEW Real-Time.

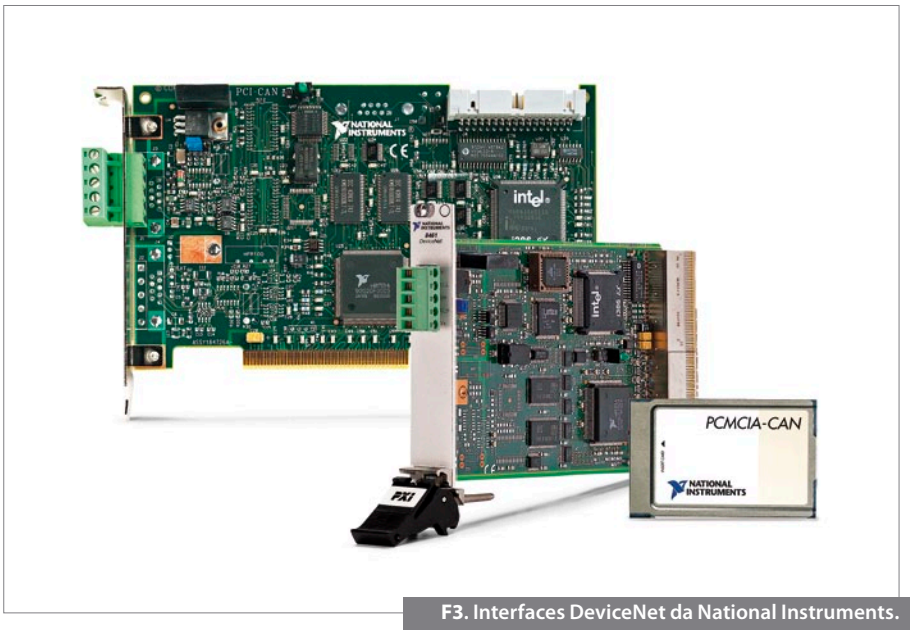
Se você estiver usando um PAC da NI que não tenha um slot de expansão PCI ou PXI, você poderá usar um gateway de outro fabricante para conectar o LabVIEW a redes e dispositivos PROFIBUS.

Interfaces DeviceNet

DeviceNet é comumente usado em aplicações industriais e é uma solução simples, de rede aberta, que permite até 64 dispositivos se comunicarem uns com os outros em um barramento único, reduzindo o custo e a complexidade da fiação e instalação de dispositivos de automação e fornecendo a interoperabilidade de componentes similares de diversos fornecedores. O DeviceNet é baseado na camada física Controller Area Network (CAN) e é uma solução de baixo custo para conectar dispositivos industriais, tais como sensores fotoelétricos, leitores de código de barras, E/S, PCs industriais, CLPs, displays e interfaces homem-máquina



F2. Interfaces PROFIBUS PXI e PCI da NI.



F3. Interfaces DeviceNet da National Instruments.

(IHM) a uma rede. A conectividade direta proporciona uma melhor comunicação entre dispositivos, bem como diagnósticos de dispositivos através de interfaces de E/S.

As interfaces DeviceNet da National Instruments podem funcionar tanto como um mestre (*scanner*) quanto como um escravo. Estas são oferecidas nas formas PCI, PXI, e PCMCIA e usam o conector industrial padrão combicon de 5 pinos para acessar dispositivos de redes DeviceNet. A placa PXI DeviceNet é compatível com o LabVIEW Real-Time para controle e comunicação determinística nas redes e dispositivos DeviceNet. Todas as placas DeviceNet acompanham o driver NI-DNET, o qual fornece funções de alto nível fáceis de usar para o desenvolvimento rápido de aplicativos. Além disso, o NI-DNET oferece dois utilitários para instalação e configuração de rede: Configurator e Analyzer.

Atente para a **figura 3.**

As interfaces DeviceNet da National Instruments são uma ótima solução para adicionar funcionalidade a uma rede DeviceNet existente. Por exemplo, se você quiser adicionar monitoramento de condição de máquina para proteger seu equipamento, poderá usar um PC ou chassi PXI com o NI LabVIEW e placas de Aquisição de Sinais Dinâmicos para realizar o monitoramento de máquinas e análises. Você poderia então passar as informações pertinentes ao DeviceNet mestre (geralmente um CLP) com uma placa DeviceNet da NI no modo escravo, integrando os dois sistemas em uma única rede.

NI DeviceNet Configurador

O *Configurator* é uma poderosa ferramenta de configuração com suporte a Electronic Data Sheet (EDS). Cada dispositivo DeviceNet tem seu próprio arquivo EDS, que é disponibilizado pelo fabricante do dispositivo. O configurator pode procurar uma rede DeviceNet para determinar informações sobre os dispositivos conectados, carregar os arquivos EDS relacionados automaticamente, escrever e ler os parâmetros do dispositivo e alterar o MAC ID de um dispositivo.

NI DeviceNet Analisador

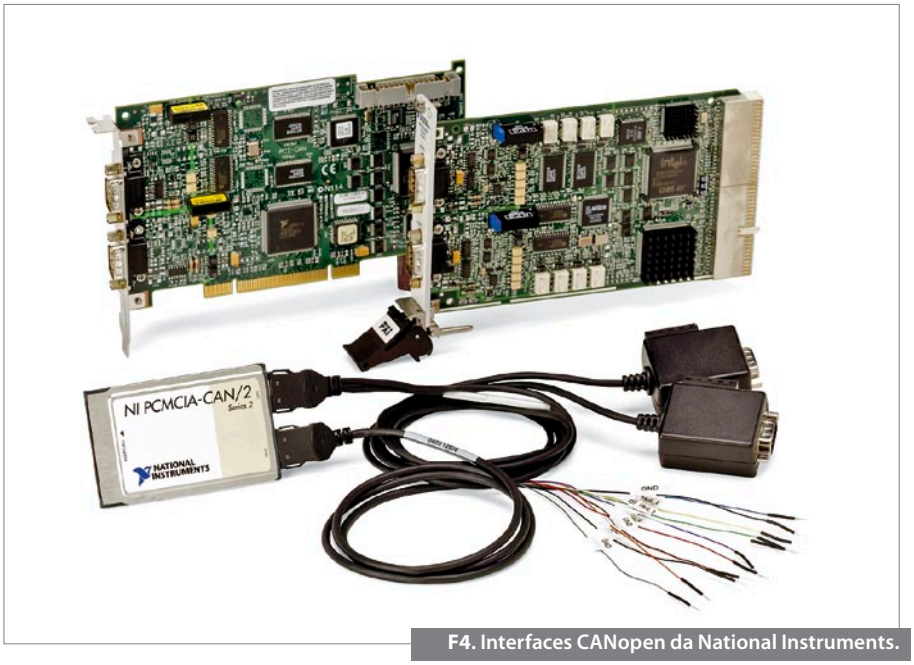
O *Analyzer* monitora a rede DeviceNet e interpreta as mensagens CAN capturadas de acordo com o protocolo DeviceNet. Ele exibe as mensagens juntamente com seus parâmetros. Você pode exibir certos tipos de mensagens usando filtros poderosos e opções de busca. Você também pode obter as estatísticas de mensagem no Analyzer, que é útil para solução de problemas e análises em redes e sistemas DeviceNet.

Se você estiver usando um PAC da NI que não tenha disponível uma placa DeviceNet, poderá usar um gateway de outro fabricante para conectar o LabVIEW a uma rede ou dispositivo DeviceNet. Consulte a seção Gateway de Outros Fabricantes, abaixo, para mais informações.

Interfaces CANopen

CANopen é um protocolo de nível superior com base na camada física CAN e foi desenvolvido como uma rede embarcada padronizada, com capacidade de configurações extremamente flexíveis. Originalmente concebido para aplicações de controle de movimento, o protocolo CANopen é comum em muitos segmentos da indústria, incluindo equipamentos médicos, veículos off-road, transportes públicos e automação predial.

Para funcionalidades CANopen mestre, a National Instruments oferece a CANopen LabVIEW Library, que fornece funções no NI LabVIEW de alto nível para criar aplicações CANopen mestre. Como as funções CANopen trabalham em cima do



F4. Interfaces CANopen da National Instruments.

driver NI-CAN, todos os dispositivos de alta velocidade CAN Série 2 da National Instruments para PCI, PXI e PCMCIA podem funcionar como interfaces CANopen mestre. Repare na **figura 4.**

A NI CANopen LabVIEW Library fornece a funcionalidade que cobre todo o espectro de aplicações CANopen mestre, incluindo transmissão e recepção de objetos de serviço de dados (service data objects – SDOs) e objetos de processo de dados (process data objects – PDOs), gerenciamento de rede, pulsação e nó de proteção, emergências e objetos de sincronização. Com estas funções, você pode criar aplicativos que aderem plenamente à norma CAN in Automation (CIA) DS310.

A LabVIEW CANopen Library também trabalha com as unidades de movimento NI SoftMotion Controller for CANopen, ajudando os engenheiros a facilmente adicionarem qualquer E/S CANopen em suas redes CANopen de movimento. O NI SoftMotion Controller é uma engine soft-motion que auxilia os engenheiros a fazer a interface entre o driver NI-Motion e unidades inteligentes distribuídas. Os engenheiros agora podem programar unidades Accelnet e Xenus da Copley baseadas em CANopen com a API NI-Motion de fácil utilização no LabVIEW.

Se você estiver usando um PAC da NI que não tenha disponível uma placa CANopen, podrá usar um gateway de outro fabricante para conectar o LabVIEW a redes e dispositivos CANopen. Consulte a seção Gateway de outros fabricantes, abaixo, para mais informações.

Interface Serial (RS232, RS422, e RS485)

Serial é um protocolo de comunicação padrão em quase todo PC. A maioria dos computadores desktop e laptop incluem uma ou mais portas seriais RS232. Serial é também um protocolo comum de comunicação para instrumentação em muitos dispositivos e numerosos dispositivos compatíveis com GPIB que vêm com uma porta RS232. Além disso, você pode usar comunicação serial para adquirir os dados em conjunto com um dispositivo de amostragem remota. Enquanto o RS232 é o protocolo serial mais comum, os RS422, RS485 também são protocolos seriais comumente encontrados.

Visão Geral sobre produtos Seriais da National Instruments

A empresa é líder de mercado para controle de instrumentos e oferece uma linha completa de produtos de interfaces Seriais para protocolos RS232, RS422 e RS485. A NI oferece interfaces Seriais com uma grande variedade de barramentos de computador, fornecendo interfaces para PCI, PXI, PCMCIA, ExpressCard/34, USB e Ethernet. Todas as suas interfaces Seriais são totalmente configuráveis por software. Além disso, os hardware Seriais da NI oferecem recursos tais como taxas de transmissão

Farnell Newark element14

theknode
element14

A Farnell Newark está evoluindo para element14

Nossa evolução para uma marca global incluindo uma nova onda de produtos de tecnologia para você, inovações como "The Knode".

Tudo que gosta na Farnell Newark continua em vigor, incluindo o nosso excelente serviço pessoal.

Pesquisa
theknode
Pesquisa Eletrônica
Soluções de Design

Desenvolvimento
Kits de Desenvolvimento
Software
Ferramentas de Desenvolvimento

Design
Esquemática & Software de Layout

Protótipo/ Montagem
Parceria com Centros de Montagem PCB e Fornecedores de Protótipos

Teste
Instrumentos de Teste e Medição

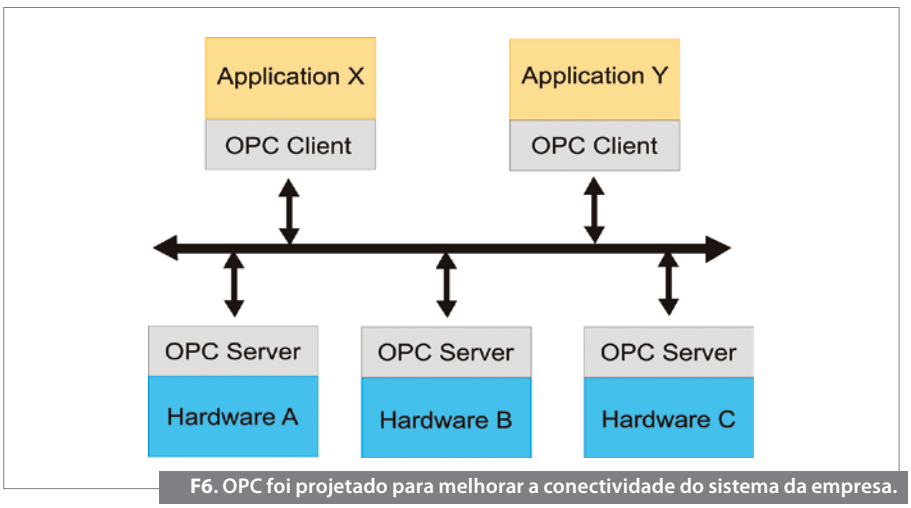
Produção
Atendimento à Pequenas Produções

Ligue para nós: 4066-9400 ou
e-mail: vendas@farnellnewark.com

www.farnellnewark.com.br
www.element14.com/knode



F5. Interfaces Seriais da National Instruments.



F6. OPC foi projetado para melhorar a conectividade do sistema da empresa.

flexíveis, controle de fluxo por hardware e as interfaces seriais PCI e PXI têm utilização mínima da CPU por meio de transferências DMA e estão disponíveis com isolamento opcional de 2000 V. Acompanhe na **figura 5.**

OPC

OLE para Controle Processo (OPC) é o nome original de um padrão desenvolvido em 1996 para automação industrial. O padrão foi especificado para comunicação de dados da planta em tempo real entre dispositivos de controle de diferentes fabricantes.

O padrão agora é mantido pela Fundação OPC e foi renomeado como padrão OPC Data Access. A versão atual da especificação OPC Data Access é OPC Data Access 3.0.

O OPC foi projetado para superar os aplicativos Windows e hardwares baseados em controle de processos e aplicações de software. É um padrão aberto que permite acessar dados de campo em dispositivos de chão de fábrica. O seu objetivo é definir uma interface comum que pode ser utilizada em aplicações SCADA, IHM, ou pacotes de software personalizados. Veja a **figura 6.**

LabVIEW como um servidor OPC Server

Com o LabVIEW você pode publicar qualquer dado que tenha de um servidor OPC nativo, usando a variável compartilhada. Com esse método, você pode publicar qualquer dado que tenha em LabVIEW para qualquer aplicação que possa atuar como um cliente OPC.

Adicionando OPC Client no LabVIEW

O LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) Module amplia o ambiente de desenvolvimento gráfico do LabVIEW com funcionalidades adicionais para o desenvolvimento de sistemas de medição, controle e aplicativos de monitoração com alto número de canais.Este módulo fornece ferramentas para o ambiente LabVIEW, facilitando a criação de gráficos de histórico ou gráfico de tendências em tempo real, melhora a segurança dos painéis frontais, log de dados, e adiciona alarme e segurança para variáveis compartilhadas. Além disso, um dos maiores recursos que ele oferece é a capacidade do LabVIEW funcionar como um cliente OPC, fornecendo conectividade para qualquer servidor OPC.

O Módulo DSC encontra todos os servidores OPC instalados no computador e lê todas as informações disponíveis sobre o servidor. Para obter mais informações sobre o mesmo, por favor, consulte os links abaixo.

Publicação de Dados do NI Data Acquisition (DAQ) como servidor OPC

Enquanto o Módulo LabVIEW DSC é necessário para adicionar as funcionalidades de cliente OPC para LabVIEW, o NI-DAQmx driver fornece a capacidade de publicar os dados de qualquer dispositivo DAQ National Instruments com um servidor OPC, simplificando a criação de aquisição de dados distribuída e aplicações de controle.

Publicação de dados da NI Fieldpoint e Compact FieldPoint como OPC Server

Similar ao NI-DAQmx, o driver FieldPoint também contém um OPC server que permite que você publique seus dados para qualquer OPC client. Portanto, se dois computadores estão ligados em rede, é possível que um OPC Client em um computador acesse o FieldPoint conectado como OPC Server.

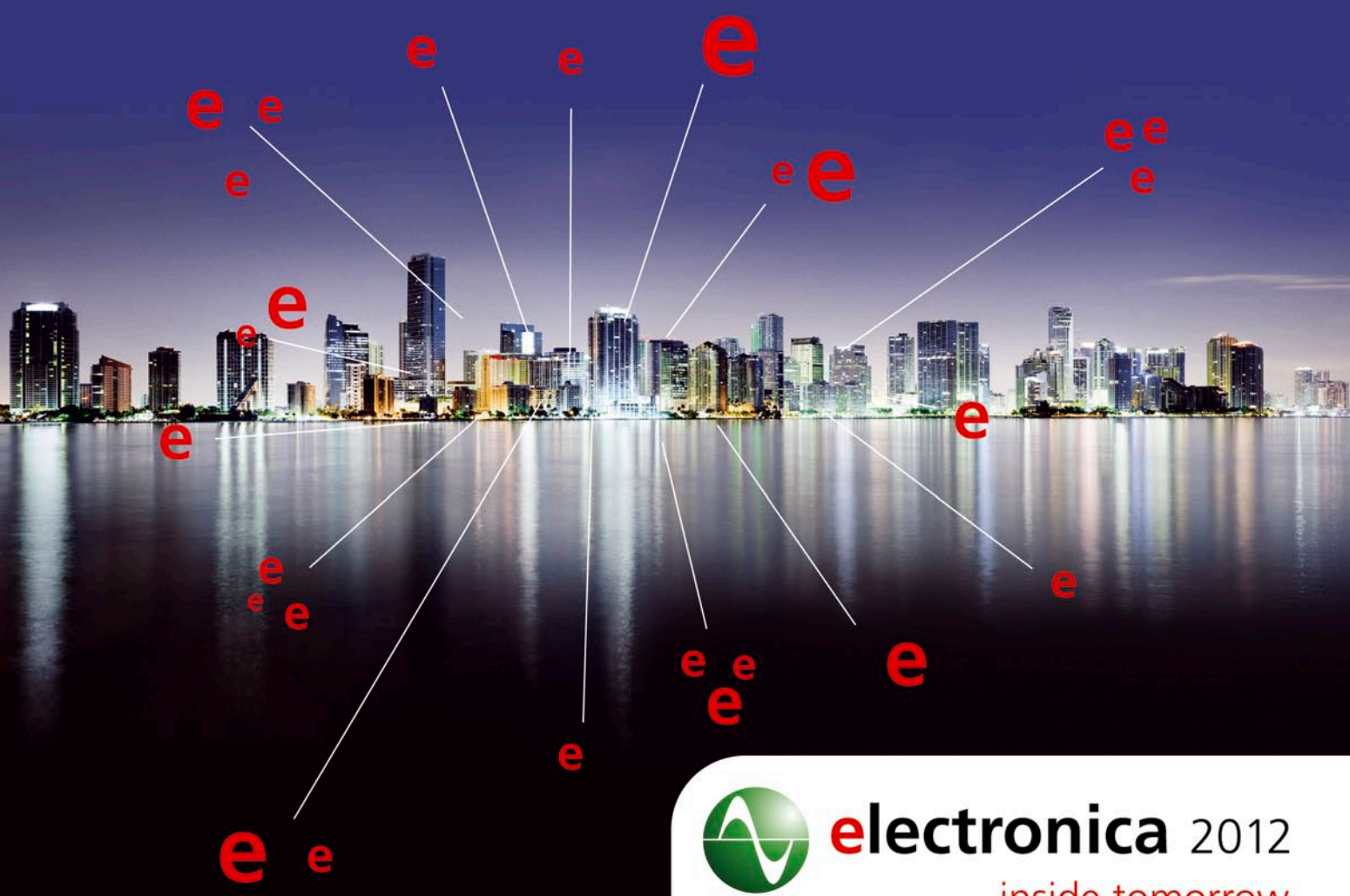
Gateways de terceiros

Qualquer computador ou controlador de automação programável NI (PAC) com uma porta Ethernet (ou serial) pode se comunicar com CLPs, sensores inteligentes, atuadores e uma grande variedade de redes industriais usando gateways de terceiros. Com o módulo DSC, módulos em tempo real ou com a biblioteca Modbus para LabVIEW da National Instruments, você pode usar qualquer porta Ethernet ou serial como Modbus TCP ou Modbus serial mestre ou escravo.

Tickets e www.electronica.de/en/2012

Messe München International

o mundo precisa de eletrônicos inovadores. encontre-os aqui.



electronica 2012

inside tomorrow

25ª Feira Internacional para Componentes Eletrônicos, Sistemas e Aplicativos
Messe München
13 a 16 de Novembro de 2012
www.electronica.de

Seu contato no Brasil:
NürnbergMesse Brasil Ltda.
Tel. +55 11 3205 5025
andrezza.perri@mmi-brasil.com

Por dentro do Analisador de Espectro

Roberto Remaili

A análise de sinais é utilizada na caracterização de sistemas e no diagnóstico de falhas. Há três maneiras de se analisar um sinal conforme mostra a **figura 1**, onde tem-se três eixos: amplitude, frequência e tempo. A primeira delas, e a mais conhecida, é a da perspectiva P_1, onde observa-se a tensão do sinal em função do tempo e utilizando como ferramenta um osciloscópio.

A segunda maneira, perspectiva P_2, é pela observação de suas componentes espectrais, medindo a amplitude e a frequência, utilizando um analisador de espectro.

Finalmente, pode-se examinar um sinal sob uma terceira perspectiva (P_3), que seria a frequência em função do tempo utilizando um analisador de intervalo de tempo.

Veremos agora detalhes sobre o funcionamento e aplicações de um analisador de espectro, instrumento empregado para análise de sinais segundo a perspectiva P_2.

O analisador de espectro surgiu nos anos 60, e era uma das poucas ferramentas para análise de sinais de RF, ao lado do medidor de potência e do contador de frequências, sendo porém muito mais poderosa e versátil. Pode-se usá-lo em diversas aplicações no laboratório: na caracterização de osciladores, medidas de espúrios e distorção em amplificadores, análise de sinais modulados, análise de conversores de frequência. Quando em campo, na medida de espectro irradiado, identificação de interferências, detecção de "rádios piratas", entre outras.

Como Funciona

A primeira ideia que se pode ter para implementar um analisador de espectro seria através de um filtro variável (**figura 2**) que varresse cada frequência do sinal de entrada e indicasse a sua amplitude na tela. O problema deste tipo de implementação é que filtros variáveis não apresentam a seletividade necessária, além do que seu range de frequência é limitado. Na prática, a melhora de um fator implica na piora do outro.

O Estágio de Entrada (RF)

Para solucionar esses problemas os analisadores de espectro são implementados como receptores heteródinos, conforme diagrama de blocos da **figura 3**. Um analisador de espectro de RF básico costuma ter um range de frequência de 9 kHz a 3 GHz, e amplitude de - 140 dBm a + 30 dBm.

Neste tipo de implementação, o filtro de FI é fixo e o "espectro do sinal passa por ele" conforme a frequência do oscilador local.

A frequência do 1º filtro de FI está acima da frequência máxima do sinal de entrada, e é escolhida de acordo com as características do filtro passabaixas de entrada para adequada rejeição da frequência imagem. Como exemplo numérico escolhemos a frequência de 3,6 GHz.

Assim, pela **figura 4**, quando o instrumento está medindo um sinal de entrada em 2,0 GHz, seu oscilador local encontra-se na frequência de 5,6 GHz. Para cobrir todo *range* de frequência de entrada o oscilador local varre a faixa de 3,069 GHz a 6,6 GHz.

O filtro de entrada possui duas funções: a primeira, como já foi dito, é eliminar os sinais de entrada na frequência-imagem; a segunda função é atenuar o "vazamento" do sinal do oscilador local para a entrada do analisador de espectro (**figura 5**).

O atenuador variável de entrada (de 0 a 60 dB, em passos de 10 dB) controla o nível do sinal na entrada do misturador (*mixer*). Mais adiante será mostrado como fazer o ajuste ótimo deste atenuador.

Como último comentário a respeito do estágio de entrada, deve-se salientar a não existência de um capacitor de desacoplamento DC. Isso porque simplesmente não há um capacitor que opere satisfatoriamente em todo o *range* da frequência de entrada. Os misturadores de frequência desses instrumentos não toleram componente DC, danificando-se facilmente. Cabe ao usuário garantir que o circuito sob teste apresente 0 VDC (ou possua um capacitor de desacoplamento adequado para a frequência do sinal a ser analisado).

O Estágio de FI

Na prática, também devido a problemas de implementação e seletividade, o módulo de FI representado na figura 3, possui três ou mais estágios conforme exemplo na **figura 6**.

A cada estágio o filtro é mais seletivo e no último deles é selecionado o filtro que define a banda de resolução de medida (RBW do analisador de espectro, normalmente de 1kHz a 10 MHz em passos de 1,3,10). Para este último filtro o formato escolhido é o do filtro Gaussiano, que possui um menor atraso e permite uma maior velocidade de varredura quando comparado com outros filtros, tais como Butterworth e Chebyshev.

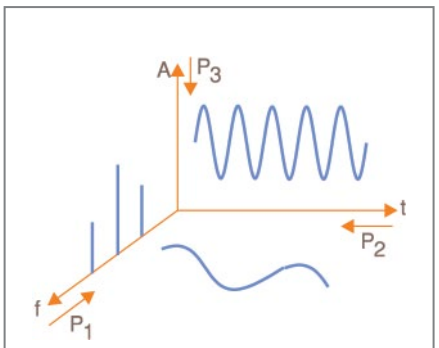
A melhor resolução (menor RBW) permite identificar sinais bem próximos em frequência. No caso da medida de dois sinais senoidais de mesma amplitude com separação de frequência igual à resolução do filtro RBW, tem-se como resultado na tela do analisador um "*gap*" de 3 dB (**figura 8**).

Um dos fatores de mérito de um analisador de espectro é o fator de forma de seu filtro RBW, que é definido como:

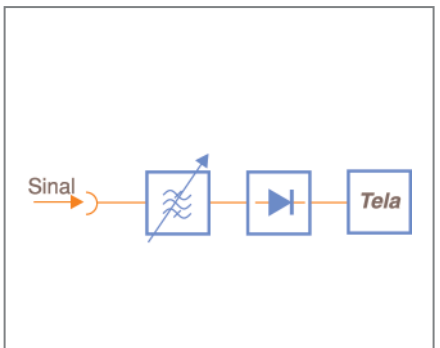
$$SF(60,3) = BW(60\ dB) / BW(3\ dB)$$

Quanto menor este fator, melhor é o filtro de RBW, aproximando-se do filtro ideal, que é o filtro "porta" (ver **figura 7**).

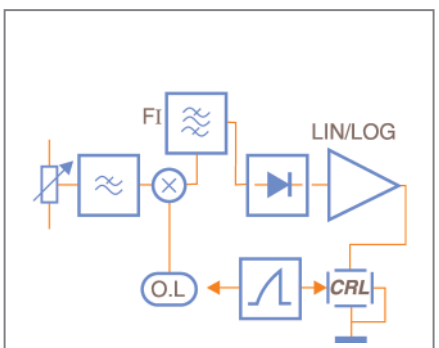
Normalmente, o fator de forma é dado pelo fabricante nas especificações



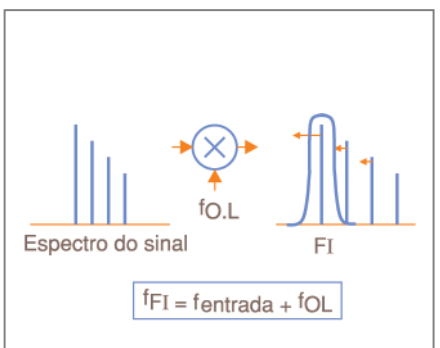
F1. Três maneiras de análise de um sinal: pela amplitude, frequência e tempo.



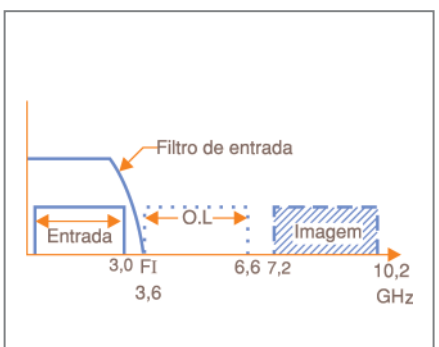
F2. Usando um filtro variável para implementação de um analisador de espectro.



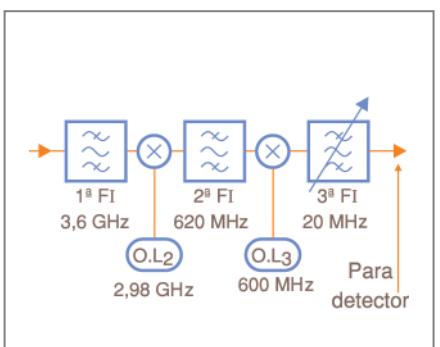
F3. Receptor heteródino, em um diagrama de blocos simplificado (D.B.).



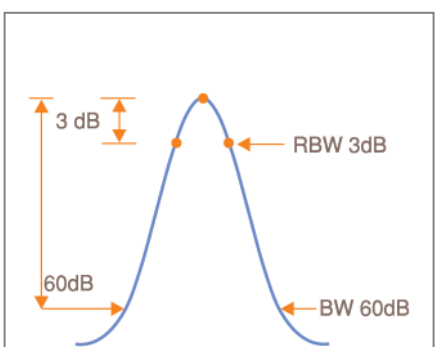
F4. A frequência de FI é a soma da frequência do sinal entrada com a do oscilador local.



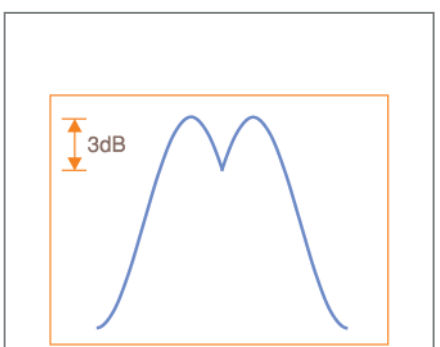
F5. Representação da ação do Filtro de Entrada no domínio das frequências.



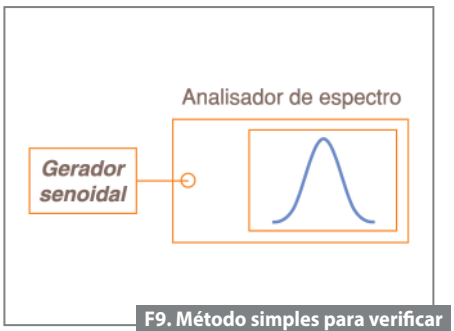
F6. Módulo de FI real com 3 ou mais estágios, em um D.B.



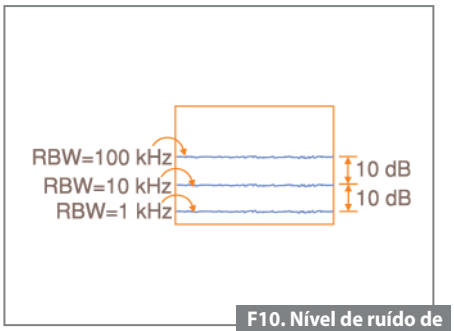
F7. Filtro "porta" (ideal) de um Analisador de Espectro.



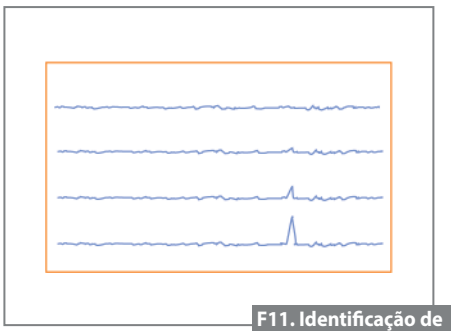
F8. Imagem de um "gap" de 3 dB na tela do Analisador de Espectro.



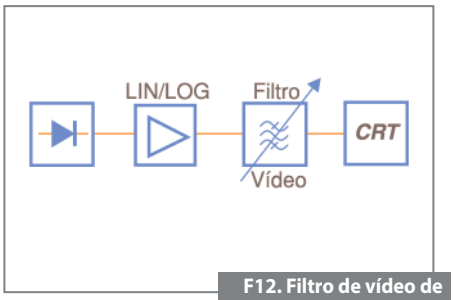
F9. Método simples para verificar a curva do filtro de RBW.



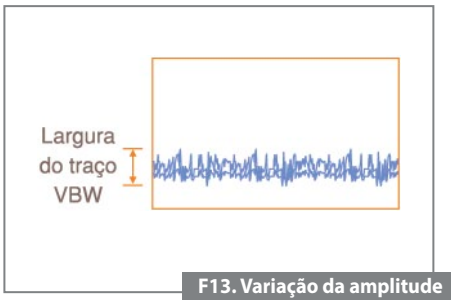
F10. Nível de ruído de fundo inicial.



F11. Identificação de sinais muito fracos.



F12. Filtro de vídeo de largura variável.



F13. Variação da amplitude do ruído (escala em dB).

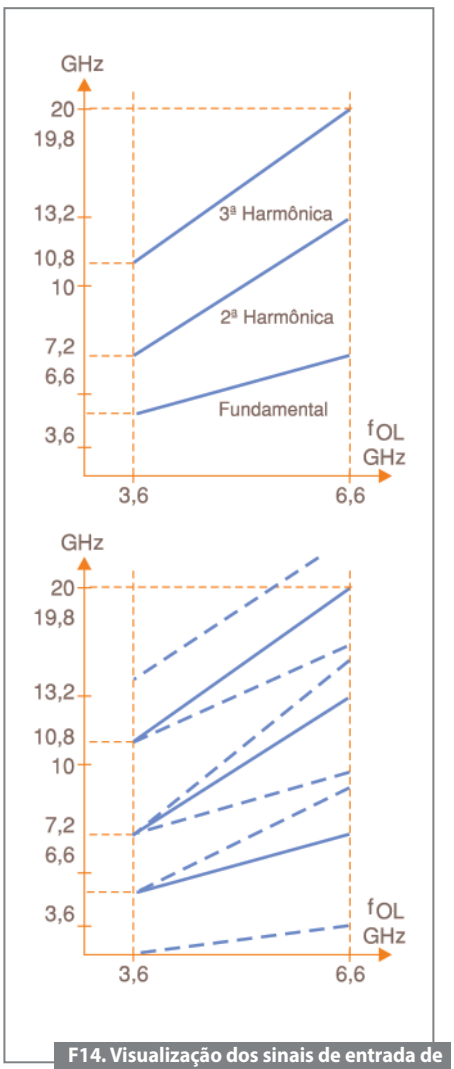
do produto, porém há também um método muito simples de se verificar a curva do filtro de RBW. Para isto, basta fazer a medida de um sinal senoidal (CW), que o traço da tela é a própria curva do filtro (**figura 9**).

Uma pergunta pertinente a essa altura, seria saber se é possível ter uma resolução melhor que 1 kHz?

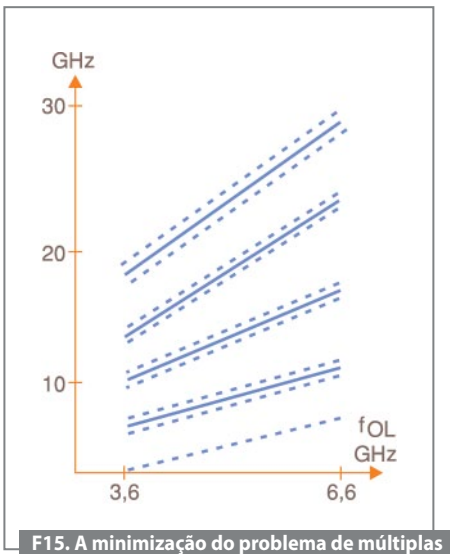
Sim, há analisadores de espectro com resolução de até 1 Hz! Esta resolução normalmente é conseguida através de filtros digitais ou análise FFT. Porém não basta apenas um método de filtragem melhor, o oscilador local também deve ter uma estabilidade maior de frequência para garantir que a energia do sinal de entrada mantenha-se dentro do filtro de FI / RBW.

O filtro de RBW também define a sensibilidade do analisador de espectro, ou seja, o nível do ruído de fundo em uma determinada medida.

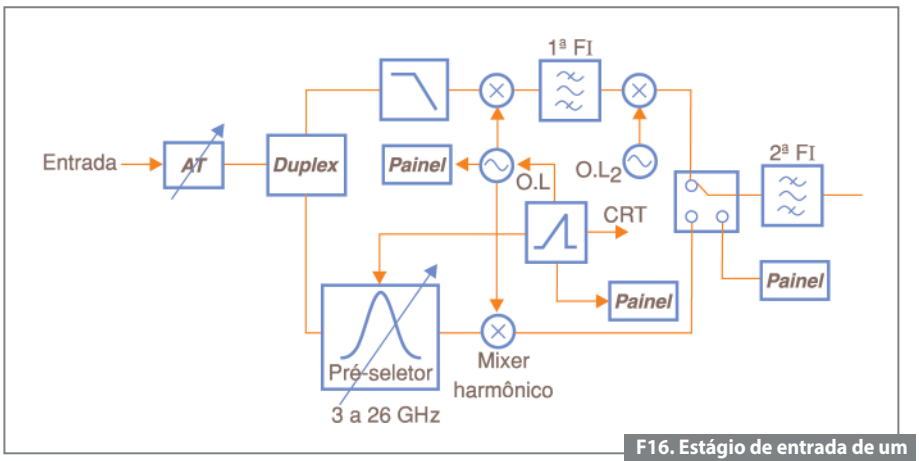
Considerando o ruído branco gaussiano (densidade espectral de potência uniforme dentro da faixa de frequência e amplitude com distribuição estatística gaussiana), a potência de ruído em uma determinada banda é definida por:



F14. Visualização dos sinais de entrada de acordo com o range de frequências e da FI.



F15. A minimização do problema de múltiplas respostas para cada frequência de entrada.



F16. Estágio de entrada de um misturador harmônico (D. B.).

$$P_{ruído}\,(W) = kTB$$

Onde:
k = 1,36 x 10^{-23} W/Hz (constante de Boltzman)
T = temperatura ambiente em Kelvin
B = banda do sinal em Hz
ou

$$P_{ruído}\,(dBm) = 10 \log (KTB) + 30$$

Para temperatura ambiente, próxima de 290 K tem-se $P_{ruído}$ = - 174 dBm/Hz.

Da expressão acima para cada fator de 10 que reduzimos a banda do ruído, a potência detectada se reduz de 10 dB. Isto pode ser verificado na prática na tela do analisador de espectro.

Para um RBW inicial de 100 kHz tem-se um nível de ruído de fundo inicial (ver **figura 10**). O valor absoluto deste depende de alguns fatores como a figura de ruído do analisador de espectro e a banda equivalente de ruído do filtro de FI, mas isto não vem ao caso agora. O importante é que, diminuindo o RBW para 10 kHz, pode-se observar o nível de ruído reduzir de 10 dB, e fazendo RBW = 1 kHz, o nível decresce de 20 dB do valor inicial.

Esta característica é importante na medida de espúrios de misturadores e amplificadores. Quando desejamos medir sinais que são muito fracos (baixíssima amplitude), a redução da largura de RBW permite identificá-los mesmo quando inicialmente mascarados no ruído (ver **figura 11**).

Um exemplo numérico: Deseja-se identificar sinais espúrios na saída de um amplificador com nível de – 115 dBm, usando um analisador de espectro que apresenta ruído de fundo de – 96 dBm para RBW = 1 MHz. Para este RBW fica impossível medir o espúrio. Reduzindo o RBW para 1 kHz, o nível de ruído cai para – 126 dBm e o espúrio fica 9 dB acima do traço de ruído de fundo.

O Detector

O detector utilizado é simplesmente um detector de envoltória. O sinal de saída do detector passa por um filtro de vídeo, de largura variável (**figura 12**). Este filtro também influencia no tempo de varredura do analisador de espectro. Sua largura modifica a amplitude do ruído em torno de seu traço médio na tela, principalmente quando se escolhe a escala logarítmica (dB) (**figura 13**). A escolha entre o amplificador logarítmico ou linear define a escala da tela, dBm ou miliwatts respectivamente.

Ampliando o Range de Frequência

Há duas maneiras de expandir a resposta em frequência dos analisadores:

- Mixagem fundamental
- Mixagem harmônica.

Na mixagem fundamental, somente a frequência fundamental do oscilador local é utilizada. Assim, para implementar um analisador até 26 GHz, o oscilador local deve ter um range de varredura também de 26 GHz. A perda de conversão dos misturadores neste caso é de apenas 8 dB. Estes analisadores possuem uma sensibilidade maior que os que utilizam *mixers* harmônicos, porém são bem mais caros, uma vez que o oscilador local tem um range de frequência bem maior.

Os analisadores de espectro com mixagem harmônica necessitam que o oscilador local tenha um range de varredura constante, de 3,6 GHz a 6,6 GHz segundo o exemplo numérico anterior. Os sinais de entrada de frequência superior são convertidos para FI pelos harmônicos superiores do oscilador local. Quando a fundamental do oscilador varre de 3,6 GHz a 6,6 GHz, a segunda harmônica varre de 7,2 GHz a 13,2 GHz, a terceira harmônica de 10,8 GHz a 19,8 GHz, e assim por diante (ver a **figura 14 A**).

Dependendo da frequência do sinal de entrada, escolhe-se a harmônica do oscilador local necessária para convertê-lo para a frequência de FI.

Se na mixagem harmônica fosse escolhida a 1ª FI para conversão do sinal, teríamos como sinais de entrada convertidos para o detector as linhas tracejadas da **figura 14 B**, ou seja, f_{OL} +/- 3,6 GHz e fica fácil ver que há múltiplas respostas para cada frequência de entrada.

Para minimizar este problema quando se utiliza a mixagem harmônica, o sinal é convertido diretamente para a 2ª FI, no caso 620 MHz (**figura 15**). Escolhendo convenientemente os batimentos, pode-se cobrir todo range do sinal de entrada. Por exemplo, escolhendo 2 – e 4-, pode-se cobrir frequências até 25,8 GHz.

O misturador harmônico pode ser interno ou externo. Para frequências até 40 GHz existem no mercado analisadores de espectro com o misturador harmônico interno. A **figura 16** ilustra o diagrama de blocos do estágio de entrada neste tipo de implementação.

O duplexador separa o sinal para os dois caminhos. O filtro pré-seletor é sintonizado na frequência da raia que se deseja medir, eliminado todos os outros componentes do sinal de entrada, evitando assim que batimentos indesejados com outras harmônicas do oscilador local resultem em falsas medidas. Esse filtro está sincronizado com o oscilador local.

Com misturadores externos pode-se estender ainda mais o range de frequência de medida. Os analisadores de espectro possuem em seu painel dois conectores: um sendo a saída do oscilador local e o outro a entrada direta para a segunda FI. Um terceiro é o sinal de controle de varredura para sincronizar o filtro pré-seletor externo. Com misturador externo é possível chegar à frequência de 75 GHz ou mais. Veja a **figura 17**.

Linearidade

A definição matemática de um sistema linear é:

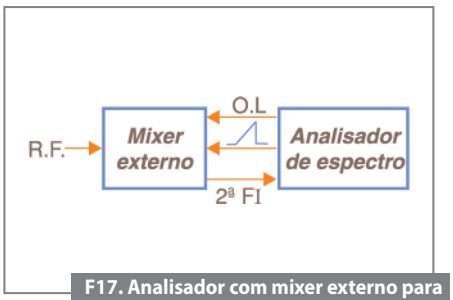
$$S_1 = \alpha \cdot E_1$$
$$S_2 = \alpha \cdot E_2$$
$$S_1 + S_2 = \alpha \cdot (E_1 + E_2)$$

E_1 e E_2 são os sinais aplicados na entrada do sistema e S_1e S_2 são os sinais resultantes na saída.

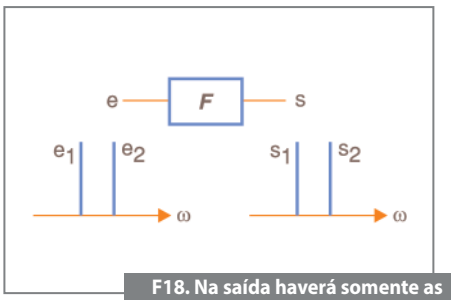
Traduzindo da matemática para o português, considerando o cálculo abaixo:

$$e_1(t) = A_1 \cdot \cos\, \omega_1 t$$
e
$$e_2(t) = A_2 \cdot \cos\, \omega_2 t$$

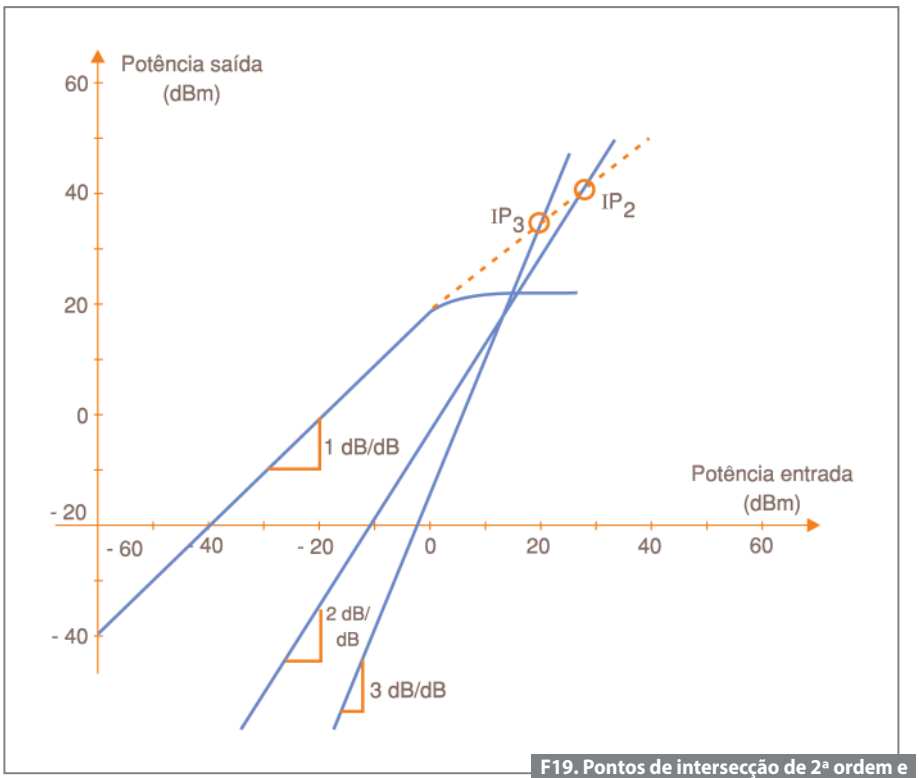
Vemos que colocando um sinal com frequência ω_1 na entrada de um sistema linear tem-se somente um sinal com frequência ω_1 na saída, provavelmente com outra amplitude e fase, mas somente ω_1. O mesmo vale para um sinal com frequência ω_2. A condição de linearidade é garantida se, quando colocado na entrada do sistema um sinal, que é a soma dos dois sinais individuais, tem-se na saída a soma dos dois sinais de saída também



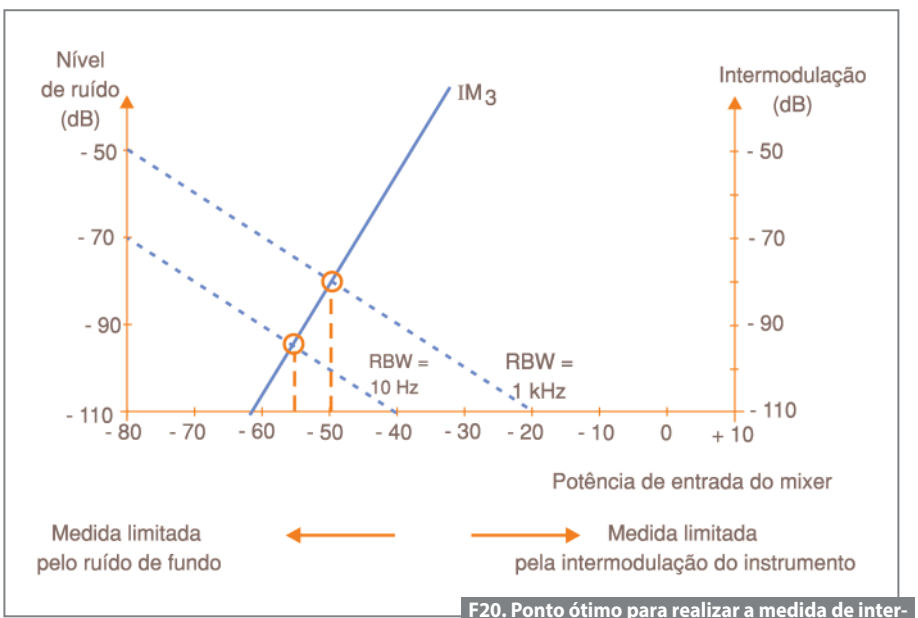
F17. Analisador com mixer externo para chegar a 75 GHz ou mais (D. B.).



F18. Na saída haverá somente as frequências dos sinais de entrada.



F19. Pontos de intersecção de 2ª ordem e de 3ª ordem no gráfico Ps x Pe.



F20. Ponto ótimo para realizar a medida de intermodulação no gráfico Ruído x Pe (mixer).

individuais, ou seja, na saída haverá somente as frequências dos sinais de entrada e mais nenhuma outra (ver **figura 18**).

Na prática, nenhum sistema é perfeitamente linear. O analisador de espectro é utilizado para medidas de não linearidade dos sistemas. O problema é que o próprio analisador também possui não linearidades, e para realizar medidas corretamente é preciso garantir que estas não linearidades sejam bem menores que a do sistema sob teste.

Os sistemas operam na região linear quando temos níveis pequenos dos sinais de entrada. A não linearidade se torna significativa quando temos grandes níveis do sinal de entrada.

A expressão do sinal de saída de um sistema não linear em função do sinal de entrada pode ser dada pelo polinômio.

$$S(t)=a_0+a_1\cdot e(t)+a_2\cdot e^2(t)+...a_n e^n(t)$$

Onde o termo a_1 representa o ganho linear do sistema, a_2 é o coeficiente de segunda ordem, a_3 o de terceira ordem e assim por diante.

Em telecomunicações, existem dois parâmetros importantes que definem o grau de linearidade de um sistema, o primeiro são os pontos de intersecção de segunda ordem, quando:

$$a_1\cdot e(t)=a_2\cdot e^2(t)$$

E o segundo parâmetro é o ponto de intersecção de terceira ordem, quando:

$$a_1\cdot e(t)=a_3\cdot e^3(t)$$

São representados pelo gráfico da **figura 19**.

Esses pontos de intersecção não são atingidos na prática, sendo obtidos por extrapolação linear de medidas feitas em níveis mais baixos de sinal de entrada. A reta pontilhada em azul seria essa extrapolação do ganho linear. A curva cheia azul representa o ganho real do sistema e sua compressão.

Quando se realizam medidas de intermodulação com o analisador de espectro, não se pode ignorar que o mesmo também é composto de circuitos reais e que inclusive

intermodulam, podendo apresentar resultados que não correspondam às características reais do sistema sob teste caso níveis elevados de sinal sejam aplicados ao misturador. Neste aspecto, quanto menor o sinal na entrada do misturador, menor a intermodulação do próprio analisador de espectro.

Todavia, se o nível do sinal for muito baixo, as raias de intermodulação que se deseja medir do sinal de entrada podem ficar abaixo do ruído de fundo do analisador de espectro, também impossibilitando a medida. Portanto, existe um ponto ótimo para realizar esta medida, ponto este que o analisador de espectro apresenta o seu maior range dinâmico. O mesmo costuma ser indicado por um gráfico parecido com o da **figura 20** no catálogo de especificações do instrumento.

Nessa figura temos duas retas, uma pontilhada representando o nível relativo de ruído em relação ao nível de sinal de entrada, com inclinação de – 1dB/dB, ou seja, a cada dB que aumentamos o sinal de entrada, a relação sinal/ruído cresce de 1 dB, e uma contínua com inclinação – 2 dB / dB, ou seja, a cada 10 dB que reduzimos a potência de entrada (como vimos anteriormente, o nível absoluto da intermodulação de 3ª ordem se reduz de 30 dB) o nível relativo de intermodulação decresce de 20 dB. A potência de entrada no misturador para obter o máximo range dinâmico corresponde à intersecção dessas duas retas.

O atenuador de entrada do analisador de espectro deve ser ajustado para esta condição.

Aplicações para o Analisador de Espectro

As principais aplicações dos analisadores de espectro são detalhadas a seguir:

Espectro Irradiado

Órgãos reguladores emitem normas limitando o espectro do sinal irradiado por transmissores de RF. Em geral são definidas máscaras que são comparadas com o espectro do sinal emitido pelo equipamento. Estas determinam a banda de guarda e a potência irradiada nos canais adjacentes. Nos analisadores de espectro modernos pode-se inserir os dados da largura do canal e da banda de guarda para que ele realize todas as medidas automaticamente, medindo a densidade espectral de potência e fazendo a integração por toda a banda. Em alguns casos basta escolher somente a norma reguladora com que se deseja caracterizar o sinal e o instrumento ajusta os valores acima automaticamente.

Ocorrência de "fading seletivo"

Na transmissão de dados de alta capacidade, 155 Mb/ s por exemplo, a banda de RF do canal é aproximadamente 40 MHz. Apesar do uso de antenas parabólicas de alta diretividade, certas rotas de rádio estão sujeitas a reflexões e interferências de múltiplos caminhos conforme **figura 21**. A combinação do sinal direto com o sinal refletido na antena receptora provoca o que se chama "*fading* seletivo" no espectro do sinal recebido (**figura 22**), assim:

$$S_A = S_D(t) + S_R(t)$$

Onde:
S_A = Sinal da antena
S_D = Sinal direto
S_R = Sinal refletido

$$S_R(t) = \alpha \cdot S_D(t - \tau)$$

t é a diferença de atraso entre percurso direto e o refletido e a a relação de amplitude entre os sinais. Tanto a quanto t, podem variar no tempo devido as condições de propagação.

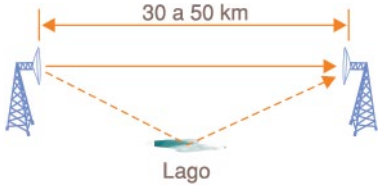
O analisador de espectro pode ser útil na determinação de ocorrências de *fading*. Com o recurso de "*minimum peak hold*" (detetor de mínimo), fica armazenada na tela a menor amplitude do sinal para cada frequência, deixando registrado um evento esporádico como é o *fading* seletivo.

Para realizar esta medida, conecta-se o instrumento à saída auxiliar de FI do receptor do rádio digital. Atente para a **figura 23**.

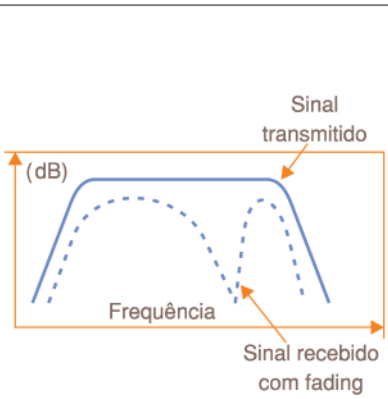
Medidas de interferência

Devido o envelhecimento dos componentes do filtro de saída dos transmissores, estes podem interferir em outros canais. O analisador de espectro é uma ferramenta muito útil na procura de sinais interferentes.

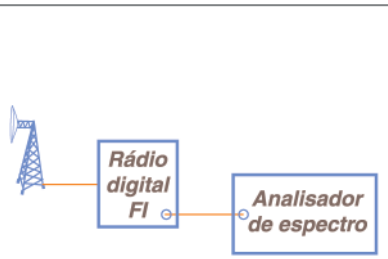
Uma vez identificado um sinal interferente, nos casos de modulação de sinais analógicos pode-se também saber qual a sua origem, demodulando-o e ouvindo a informação contida no mesmo.



F21. Reflexões e interferências que podem ocorrer nas transmissões de rádio (ex. um lago).



F22. Efeito do chamado "fading" seletivo na antena receptora.



F23. Uso do amplificador de espectro na medida do "fading".



F24. Exemplo de um sinal de FM demodulado na tela do Analisador de Espectro.

Alguns instrumentos possuem internamente demoduladores de AM e FM e alto-falantes para este tipo de aplicação. Caso o analisador de espectro não possua estes circuitos demoduladores, ainda assim é possível fazer a demodulação do sinal. Para utilizar o analisador de espectro como um demodulador AM basta sintonizar a frequência central na frequência desejada, o *span* em zero Hz e RBW/VBW com largura suficiente para passar o sinal modulado. Na tela do espectro tem-se o sinal demodulado em função do tempo, como em um osciloscópio.

Para demodular sinais FM, a única diferença é que a frequência central do analisador de espectro é sintonizada acima ou abaixo da frequência do sinal a ser demodulado de maneira que o filtro RBW mais o detector do analisador de espectro funcionem como um discriminador de frequência (**figura 24**). Novamente na tela tem-se o sinal demodulado como na tela de um osciloscópio.

Testes de estação Radiobase

Os analisadores de espectro possuem microprocessadores internamente. Uma grande variedade de *softwares* aplicativos em conjunto com *hardwares* dedicados permitem a esses instrumentos demodular e analisar sinais complexos como CDMA, GSM e outros. Assim, eles se tornam poderosas ferramentas para teste dos transmissores das estações Radiobase, fazendo análise de potência do canal, do canal adjacente, medindo a qualidade da modulação (t/4 DQPSK, por exemplo), nível de potência do canal no domínio do código (no caso do CDMA) relação portadora/ruído, entre outras.

Teste de resposta em frequência

Alguns instrumentos possuem um gerador de varredura interno (chamado "*traking generator*") cuja frequência do sinal de saída é exatamente igual à frequência que a entrada está "medindo" a cada instante, daí seu nome. Ou seja, se a varredura do analisador é ajustada entre 100 MHz e 500 MHz, a saída do gerador também varre o mesmo intervalo de frequência.

Desse modo, pode-se utilizar o analisador de espectro para medir a curva de resposta em frequência de dispositivos como filtros, amplificadores, acopladores etc..., como se o mesmo fosse um analisador de redes. A grande vantagem do analisador de espectro nesse tipo de aplicação é o seu grande range dinâmico. Medir a atenuação de filtros da ordem de 80 dB é perfeitamente possível. Observe a **figura 25**.

Medidas de Figura de Ruído

Um parâmetro importante na caracterização de receptores de RF ou pré-amplificadores é a figura de ruído, uma indicação do nível de ruído interno desses dispositivos.

Como o analisador de espectro é um medidor seletivo de grande sensibilidade (podendo medir níveis de até – 140 dBm), ele é ideal para essa tarefa.

Para facilitar o trabalho do operador, um software aplicativo específico para essa medida é utilizado. Esse software permite controlar a fonte de ruído calibrada (ligar e desligar), realizar a calibração do sistema para descontar o ruído interno do analisador de espectro e apresentar na tela do instrumento o resultado já calculado da figura de ruído em função da frequência (**figura 26**).

Medidas de interferência eletromagnética

As normas de compatibilidade eletromagnética exigem que os equipamentos irradiem sinais eletromagnéticos abaixo de determinados valores sob diferentes condições de medidas.

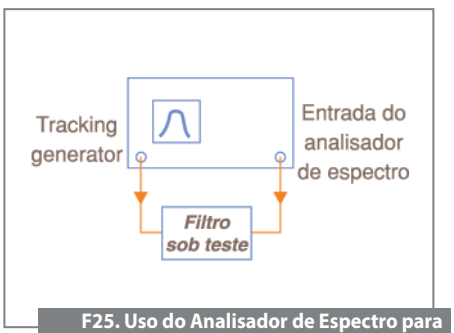
No software aplicativo já estão todas as máscaras com os limites de emissão, o analisador de espectro lê os dados de calibração das antenas através de um arquivo em disco, seleciona o detetor (quase-pico) e o filtro RBW corretos e indica automaticamente quando ocorre emissão acima da máscara e em que frequência, já considerando todos os fatores de correção, **figura 27**.

Testes de TV a cabo

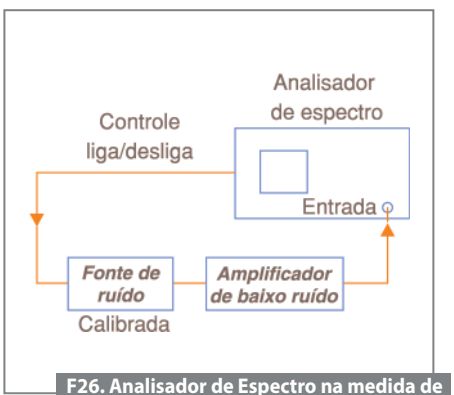
Com *hardware* específico para demodulação de sinais de vídeo pode-se fazer todas as medidas recomendadas pelo FCC, como planicidade, estabilidade de amplitude e frequência, frequência das portadoras, relação de amplitude entre portadoras de vídeo e áudio, distorção, atraso luminância-crominância ou ainda "assistir" a um canal de TV na tela do analisador de espectro!

Conclusão

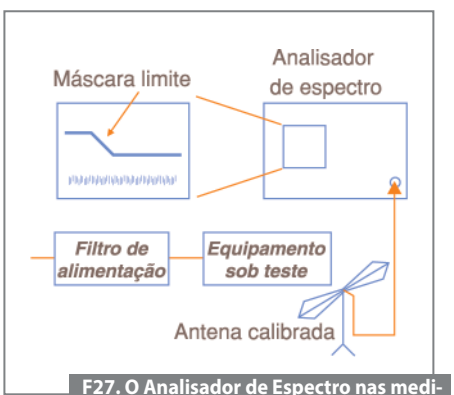
O analisador de espectro ainda é muito utilizado na caracterização de sinais, medindo distorção, espúrios, banda ocupada, frequência central, ruído de fase, entre outras. Contudo, com a incorporação de microprocessadores e de hardware e software dedicados, o instrumento extrapolou muito o limite convencional de aplicações, automatizando medidas e melhorando sua precisão, tendo seu lugar garantido na bancada de testes de qualquer laboratório ou linha de produção.



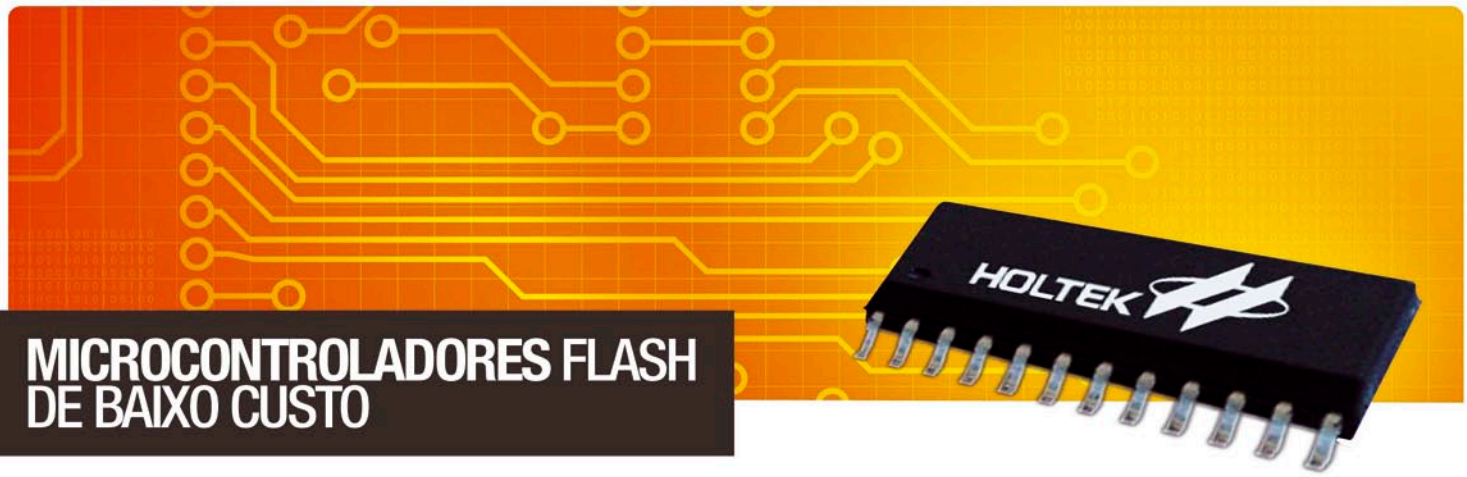
F25. Uso do Analisador de Espectro para medir a resposta em frequência de um filtro.



F26. Analisador de Espectro na medida de Figura de Ruído de um Amplificador RF.



F27. O Analisador de Espectro nas medidas de Interferência Eletromagnética.



MICROCONTROLADORES FLASH DE BAIXO CUSTO

HOLTEK LANÇA NOVA SÉRIE HT66Fxx - HT68Fxx

Microcontroladores Enhanced I/O e A/D Flash 8-Bit

CARACTERÍSTICAS:

- Arquitetura RISC – Ótimo Desempenho;
- Memória de Programa Flash de 1 Kbyte a 12 Kbytes;
- Memória de Dados RAM de 64 bytes a 576 bytes;
- EEPROM de 32 bytes a 256 bytes;
- Disponibilidade de 18 a 50 portas I/Os;
- Encapsulamentos disponíveis: 16DIP/NSOP/SSOP, 20DIP/SOP/SSOP, 24SKDIP/SOP/SSOP, 28SKDIP/SOP/SSOP, 44QFP, 40/48QFN;
- Interface SPI/I^2C, UART, USB
- A/D de 12 bit para HT66Fxx
- Excelente para aplicações em áreas de eletroeletrônicos, segurança, automação industrial, automotiva, produtos de consumo, etc.

HOLTEK

ANYTEK conectores

FORDATA FOR DATA DISPLAY

módulos RF WENSHING

GlobalSat Wired by Wireless

APLUS CI reprodutor de sons

FAGOR

SIMCom A company of SIM Tech

Visite o site da Holtek e conheça toda linha:

www.holtek.com

NOVOS FONE E FAX

Tel.: 55 11 2696-6428 / Fax: 55 11 2696-6422

Cika Eletrônica

Seu Distribuidor de Componentes Eletrônicos

vendas@cikaeletronica.com

www.cikaeletronica.com

Como Funciona o Telefone Celular

Parte 1

Neste artigo abordaremos o princípio de funcionamento do telefone celular (com os diversos blocos que formam esse aparelho), como cada um deles opera e que tipos de sinais percorrem cada etapa. Este conhecimento é fundamental não apenas para os profissionais das Telecomunicações, como também para qualquer praticante da Eletrônica que deseje conhecer a base das tecnologias atuais.

Newton C. Braga

Vamos analisar o princípio de funcionamento de um telefone celular baseados em documentação da Texas Instruments, que toma como modelo o padrão IS-54.

Diagrama Funcional

Começamos, então, por mostrar um diagrama funcional do telefone celular digital em d*ual-mode* na **figura 1**. O aparelho típico contém as seguintes funções básicas, exercidas por um ou mais blocos do diagrama que demos como exemplo:

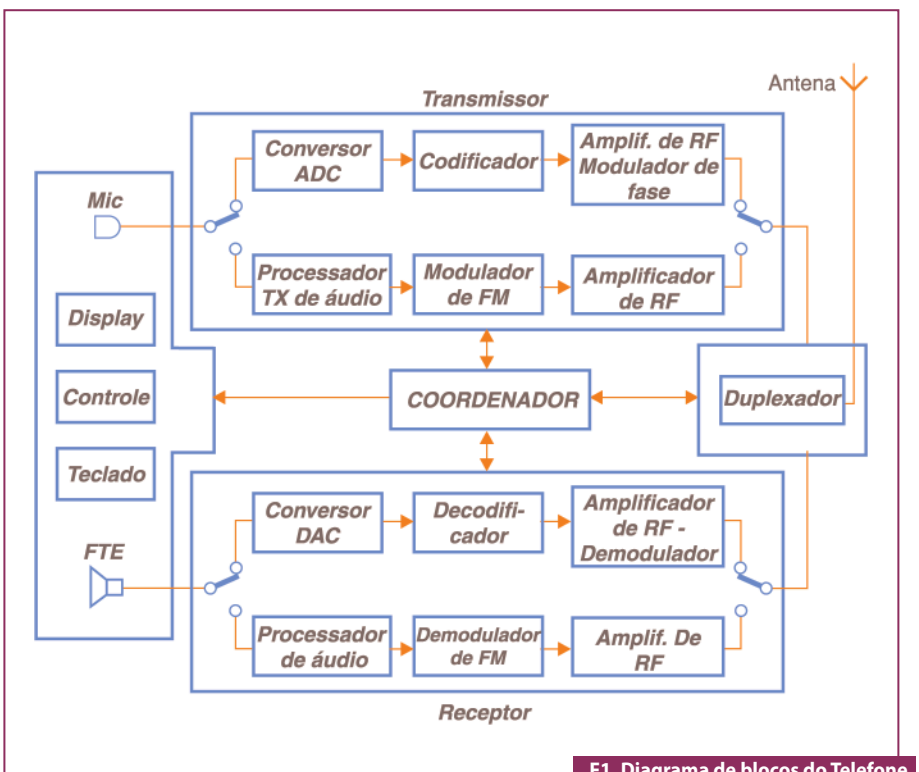
- Transmissor;
- Receptor;
- Coordenador;
- Conjunto de antena;
- Painel de controle.

O aparelho ideal deverá ser capaz de operar tanto numa célula apenas analógica como em uma célula *dual-mode*. Tanto o transmissor quanto o receptor devem suportar esquemas de FM analógico e digital TDMA (*Time Division Multiple Access*).

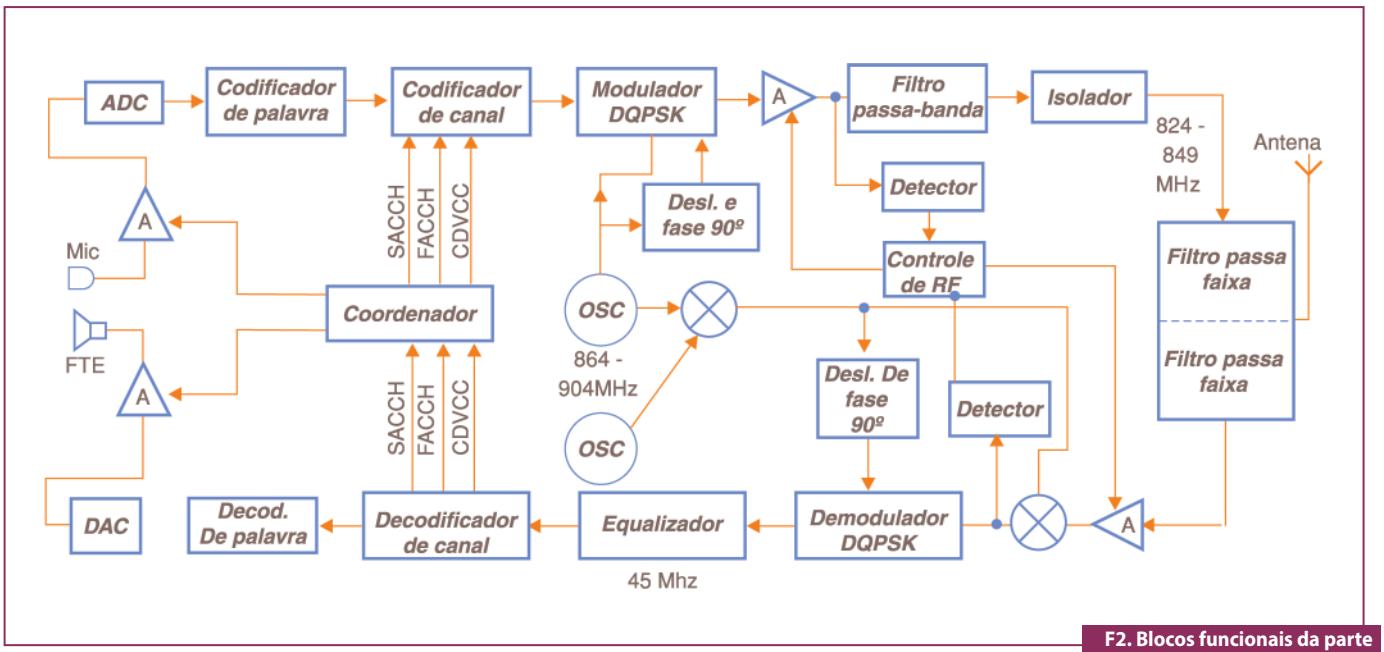
A transmissão digital sempre é preferida, de modo que quando este sistema está disponível, ele deve ser utilizado pelo aparelho como preferência, só passando para o analógico se ele não estiver disponível.

No circuito mostrado, o transmissor converte o sinal de áudio captado a partir do microfone num sinal de RF, enquanto que o receptor converte o sinal de RF num sinal de áudio reproduzido no fone.

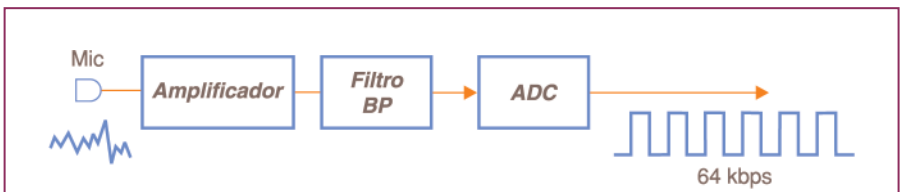
A antena tem por finalidade converter os sinais de RF em ondas eletromagnéticas para a transmissão, e também converter as ondas eletromagnéticas em sinais para o processo de recepção.



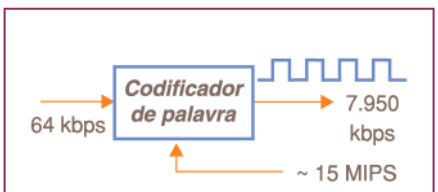
F1. Diagrama de blocos do Telefone Celular Digital em Dual-Mode.



F2. Blocos funcionais da parte digital do telefone celular.



F3. Diagrama de blocos da seção de entrada do telefone celular.



F4. Codificação final pelo codificador de palavra.

A finalidade do painel de controle é servir como um dispositivo de entrada e saída (I/O) para o usuário. Nele, temos um teclado, o *display*, o microfone e o fone de ouvido (alto-falante).

Coordenando as atividades de todos os blocos há um circuito "coordenador". Esse coordenador sincroniza as funções de transmissão e recepção do telefone celular.

Na **figura 2** apresentamos os blocos funcionais da parte digital do telefone celular d*ual-mode*.

A partir do que vimos, podemos fazer uma análise detalhada de como funciona cada um dos blocos que formam um telefone celular digital.

O Transmissor

A finalidade do transmissor é aplicar os sinais de baixo nível que o microfone recebe e transformá-los num sinal codificado de RF. Para isso, ele converte os dados codificados em "modulação de código de pulso" (ou PCM) numa taxa de amostragem de 64 bps em um sinal com menor velocidade de dados.

Depois, ele multiplexa a informação, controla essa informação, agrega bits que permitem proteger a integridade dos dados evitando erros e, então, a transfere para um sistema de modulação e amplificação.

O sinal, já na forma digital é amplificado, e serve então para modular o circuito transmissor. Neste ponto, o circuito coordenador insere no sinal informações que permitem o controle do processo de comunicações.

Analisemos separadamente os blocos que formam o transmissor.

Processamento de entrada

Os sinais que correspondem à voz, obtidos a partir do microfone, são inicialmente amplificados e depois aplicados num filtro antifalseamento (*anti-aliasing*), e posteriormente amostrados numa velocidade de 8 kHz de modo a gerar um sinal digitalizado de 64 kbps.

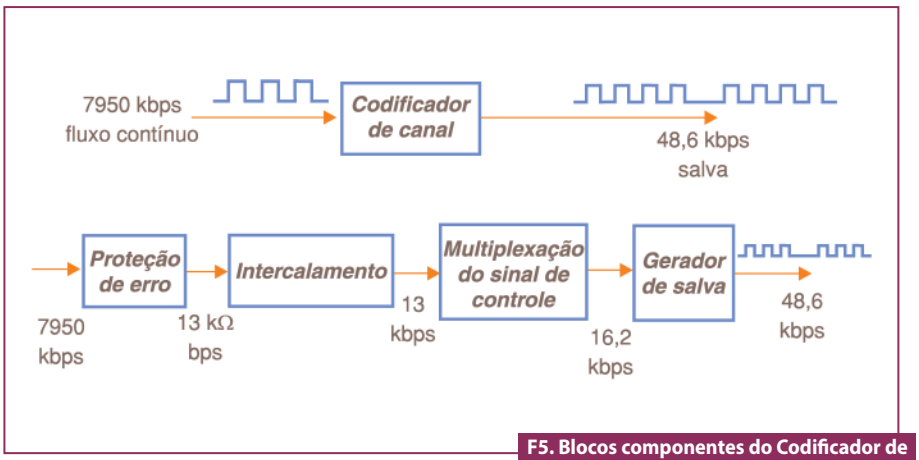
Normalmente, nenhuma pré-ênfase é aplicada. A **figura 3** ilustra o diagrama de blocos desta parte do aparelho de telefone celular.

No padrão de telefonia celular não se prevê a utilização de circuito cancelador de eco, mas é recomendada a sua implementação. Os circuitos que formam esta etapa são os seguintes:

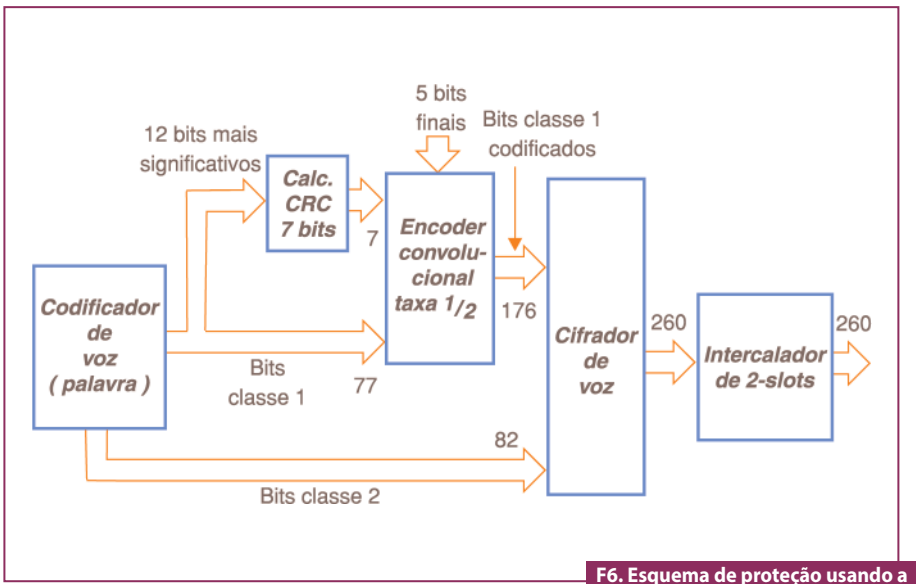
- Um amplificador com ganho especificado para produzir um sinal que seja 18 dB menor que o fim da escala;
- Um filtro passafaixa para evitar o falseamento;
- Um conversor analógico-digital. A resolução mínima recomendada para este conversor é de 13 bits para a conversão PCM uniforme ou 8 bits u-law.

Codificador de Palavra

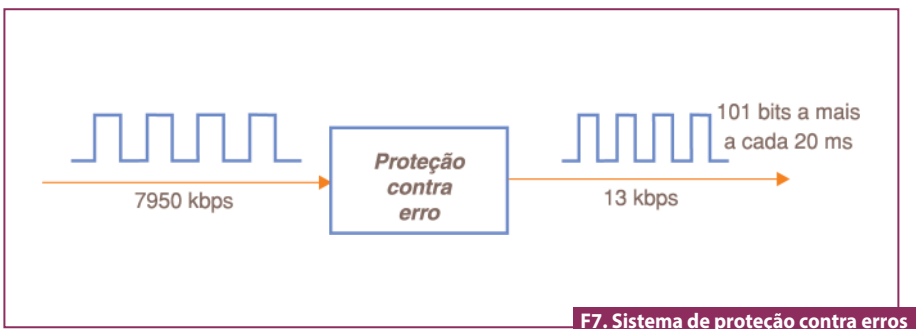
O codificador de palavra tem por finalidade reduzir a taxa de dados comprimindo o fluxo de dados de 64 kbps de modo a criar um fluxo de 7.950 kbps.



F5. Blocos componentes do Codificador de Canal do telefone celular.



F6. Esquema de proteção usando a codificação convolucional.



F7. Sistema de proteção contra erros usando redundância cíclica.

Parâmetro	Notação	Especificação
Taxa de amostragem	s	8 kHz
Comprimento do frame	Nf	150 amostras (20 ms)
Comprimento do subframe	N	10 amostras (5 ms)
Ordem do Preditor de curto termo Np	Np	10
Número de tomadas para o preditor de longo termo	NL	1
Número de bits no código 1 de palavras (n° de vetores de base)	M1	7 bits
Número de bits na palavra de código (n° de vetores de base)	M2	7 bits

T1. Parâmetros usados no codificador de palavra VSELP.

O padrão IS-54 aceita também uma codificação de palavra denominada "*Vector Sum Excited Linear Prediction*" (VSELP). Esse algoritmo pertence à classe dos codificadores conhecidos como *Code Excited Linear Prediective Coders* (CELP), que utiliza um livro de códigos para quantizar vetores de excitação do sinal. VSELP é uma variação do CELP.

O sinal que chega (de 64 kbps) é agrupado em blocos ou *frames* de modo a formar um fluxo de 50 frames por segundo. Isso significa que cada frame contém 160 amostras e representa uma duração de 20 ms. Cada frame é codificado em 159 bits.

Com isso obtemos a codificação final de 50 x 159 = 7 950 kbps, que é exibida na **figura 4**.

O decodificador de palavra usa dois livros separados de código. Cada código tem um ganho independente. As excitações dos livros de código são multiplicadas pelos seus ganhos correspondentes e somadas para criar uma excitação combinada. Os parâmetros empregados no codificador de palavra VSELP são dados na **tabela 1**.

Codificador de Canal

A função principal da codificação de canal é proteger o fluxo de dados contra o ruído e o desvanecimento, que são inerentes a um canal de rádio. O codificador faz isso adicionando bits extras ou redundantes.

Quanto maior for o número de bits redundantes, maior será a imunidade do sistema. O codificador de canal protege o fluxo de dados em quatro estágios:

- Codificação convolucional;
- Geração de verificação cíclica de redundância (CRC);
- *Interleaving;*
- Geração de *burst.*

Os dois primeiros modos são operações matemáticas, enquanto que os dois últimos são aproximações heurísticas. O receptor faz uma operação inversa para determinar quando erros ocorrem na transmissão.

Na propagação dos sinais de rádio descobriu-se que o *fading* (desvanecimento) surge em condições localizadas no tempo e espaço.

Como resultado, o interleaving espalha as informações do fluxo de dados em dois frames, porque não se deseja que um bit de erro ocorra em frames sucessivos.

Entre o interleaving e o gerador de burst, o codificador de canal multiplexa a informação de controle. Na **figura 5** vemos os componentes desta parte do circuito de um telefone celular.

Codificação Convolucional

Esta função tem por finalidade fornecer a capacidade de correção de erros pela adição de redundância à sequência transmitida. A codificação convolucional é implementada por *shift-registers* lineares.

Um codificador convolucional é descrito pela velocidade com que os dados entram no codificador e pela velocidade com que os dados o deixam. Por exemplo, um codificador convolucional *Rate*-1/2 é aquele em que a cada 1 bit de dados que entram no codificador, 2 bits deixam o codificador. Tanto menor a relação (*ratio*), maior será a redundância.

Para reduzir a taxa de bits, não são todos os 159 bits de um frame que são protegidos contra erros. Apenas 77 desses bits, chamados bits de classe 1, são protegidos contra erros. Os 82 bits restantes, denominados bits de classe 2, não são protegidos. A **figura 6** mostra o que ocorre neste esquema de proteção.

Verificação de Redundância Cíclica

Dos 77 bits que são protegidos contra erros, verifica-se que apenas 12 são significantes. Eles são então protegidos por um processo de computação de redundância cíclica, antes de serem aplicados ao codificador convolucional. Um CRC de 7 bits é computado dividindo os dados por uma constante específica, e o restante é transmitido como dados. O receptor detecta erros comparando o restante recebido com o que ele calculou previamente.

Na **figura 7** indicamos como o sistema de proteção contra erros adiciona 101 bits a cada 20 ms, com um total adicional de 5050 bps.

Interleaving (Intercalação)

Como explicamos, anteriormente, os dados de cada frame são divididos em dois blocos e espalhados antes de serem transmitidos, conforme ilustra a **figura 8**.

Isso é feito porque o desvanecimento pode destruir um frame, mas é muito difícil que ele destrua dois frames sucessivos. Como resultado, não são todos os bits de um frame de palavra que são perdidos se tivermos apenas uma fatia perdida.

Os 159 bits de um frame de palavra são classificados como bits classe 1 e bits classe 2. Os dados são colocados no *array* intercalado, nos quais os bits classe 1 são intermisturados com os bits classe 2. Esses bits seguem as seguintes locações numéricas:

- 0, 26, 52, 78;
- 93 até 129;
- 130, 156, 182, 208;
- 223 até 259

Multiplexação do Sinal de Controle

A informação do sinal de controle é inserida nos intervalos entre dados. A informação de controle inclui:

- Canal de controle associado lento (*Slow Associated Control Channel*, ou SACCH);
- Canal de controle associado rápido (*Fast Associated Control Channel*, ou FACCH);
- Código de cores de verificação digital (*Digital Verification Color Code*, ou DVCC);
- Palavra de sincronização (SYNC).

A **figura 9** exemplifica como funciona este controle.

O SACCH (Canal de Controle Associado Lento) é um canal de sinalização para o trajeto da palavra na transmissão, servindo para a troca de mensagens de supervisão na transmissão entre a estação-base e o telefone celular. Essas mensagens SACCH são continuamente mixadas com os dados do canal. São usados 12 bits para esta finalidade.

O FACCH (Canal de Controle Associado Rápido) é um canal de sinalização para o controle de transmissão e de mensagens de supervisão entre a estação-base e o telefone celular. Essas mensagens não são mixadas com os bits de informação. Elas substituem o bloco de informação do usuário, quando necessário.

DVCC (Código de Cores de Verificação Digital) – trata-se de um código de 8 bits que é enviado da base para o telefone e é usado para gerar uma verificação. O campo do DVCC tem 12 bits, sendo que 8 servem para verificar o volume de tráfego nos canais adjacentes.

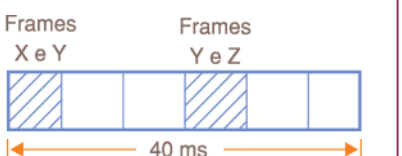
SYNC (Sincronismo) – trata-se de um campo de 14 símbolos usados para sincronização, temporização e identificação dos blocos de informação.

Mobile Assisted Handoff

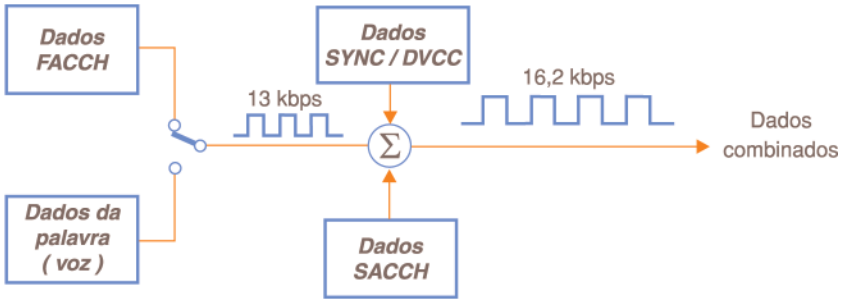
O *Mobile Assisted Handoff*, ou MAHO, é um novo destaque do padrão IS-54. A estação-base pode comandar o telefone celular para fornecer a medida da qualidade do sinal no canal em uso e em 12 outros canais. Desta forma, a unidade móvel (telefone celular) pode medir duas quantidades:

A intensidade do sinal recebido (RSSI), que é uma medida expressa em dB;

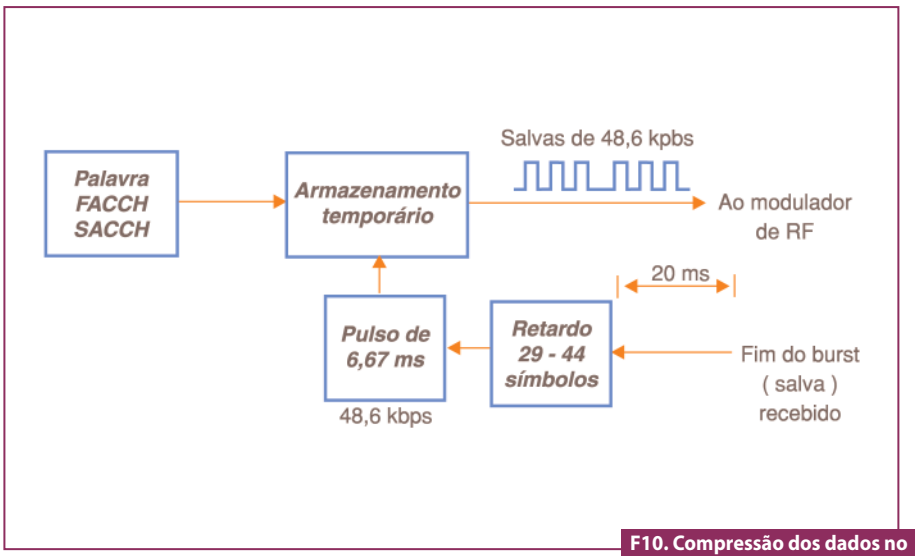
A taxa de erros de bit (BER), que é uma estimativa da informação sobre os erros pela medida do fluxo de dados de correção na entrada do decodificador.



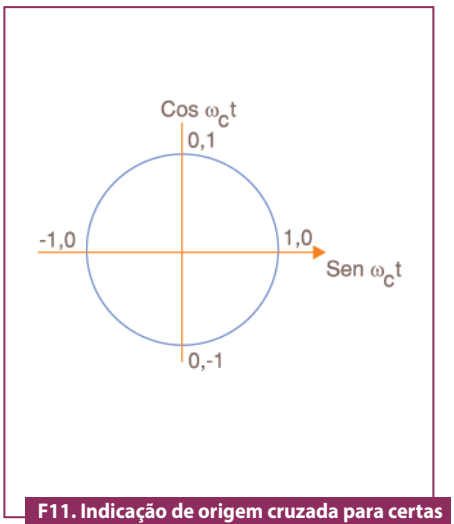
F8. Intercalação dos dados de cada frame.



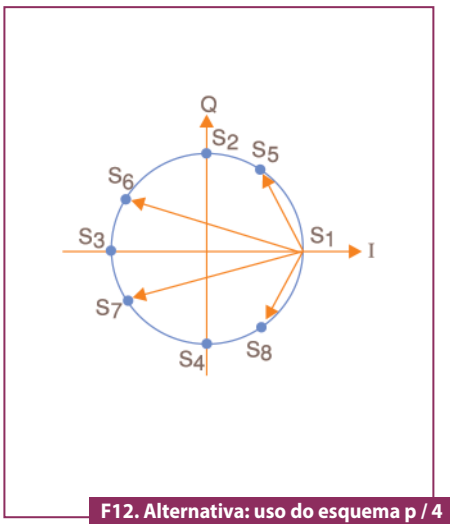
F9. Diagrama de funcionamento da Multiplexação do Sinal de Controle.



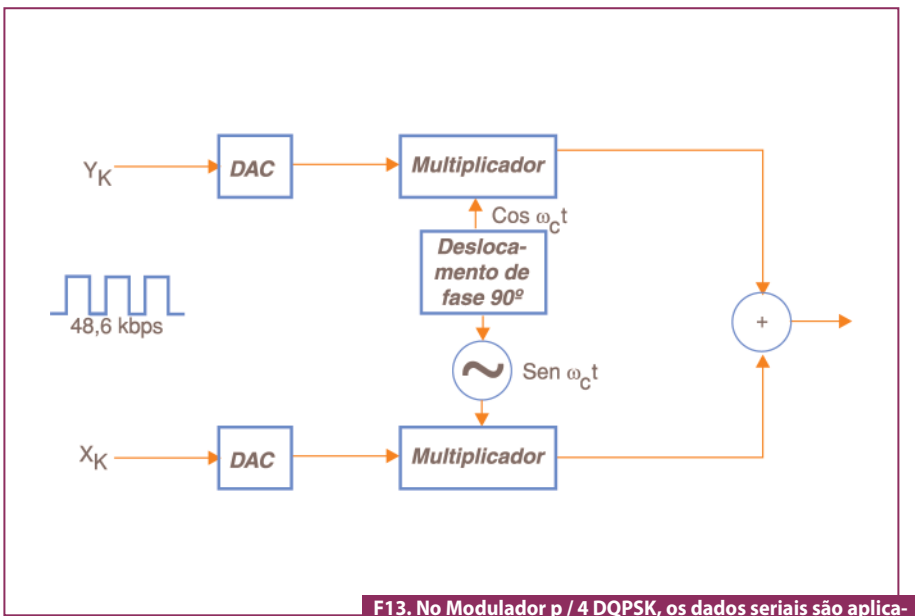
F10. Compressão dos dados no tempo pelo Gerador de Burst.



F11. Indicação de origem cruzada para certas transmissões, o que causa impacto nos filtros.



F12. Alternativa: uso do esquema p / 4 no qual a origem nunca é cruzada.



F13. No Modulador p / 4 DQPSK, os dados seriais são aplicados aos multiplicadores depois dos conversores DAC.

Essas medidas de qualidade do canal (RSSI e BER) são enviadas à estação-base para ajudar na sua capacidade de manuseio dos sinais. Isso reduz a sua sobrecarga. Os sinais RSSI e BER normalmente são enviados via SACCH, se bem que eles também possam ser enviados via FACCH durante a descontinuidade da transmissão (DTX). DTX é um modo de operação em que a unidade móvel transmite de modo autônomo entre dois níveis de potência, enquanto a unidade móvel está no estado de conversação.

Gerador de Burst (Salva)

Depois que os dados são comprimidos e protegidos contra erros, o fluxo de bits recebe uma nova compressão (agora no tempo), passando ao formato de *burst* (salva), conforme mostra a **figura 10**.

Essa figura mostra como os dados são comprimidos no tempo e usados no canal de 48,6 kbps.

Modulador π/4 DQPSK do Transmissor e Amplificador de RF

Os dados numa taxa de 48,6 kbps são agora aplicados a modulador do tipo "*Diferential Quaternary Phase-Shift Keying*" ou DQPSK. Este modulador agrupa dois bits ao mesmo tempo de modo a criar um símbolo. O termo diferencial é usado porque os símbolos são transmitidos como mudanças relativas de fase, em lugar de valores absolutos de fase.

Na **figura 11** indicamos que para certas transmissões a origem deve ser cruzada. Isso implica que a potência da envoltória no decodificador vai ser 0 quando a origem é cruzada, causando um impacto indesejável nos filtros.

Para aliviar isso, o esquema π/4 é usado, de acordo com a **figura 12**.

Nesse esquema, as transmissões são +/- 45 graus ou +/- 135 graus e, com isso, a origem nunca é cruzada na passagem de um estado para outro.

A **figura 13** mostra como os dados seriais são agora apresentados como dados paralelos de 2 bits e aplicados aos multiplicadores depois da conversão digital- analógica.

Como dois conversores digital-analógicos (DAC) são necessários, eles são referidos algumas vezes como Dual DACs. Os sinais binários variam os sinais deslocados em fase através de multiplicadores. Filtros limitam a resposta dos impulsos dos sinais binários de modo a assegurar que a portadora de RF ocupará apenas a faixa alocada. Os dois sinais são, então, somados para formar uma portadora final deslocada em fase.

A conversão da banda base para RF, ou seja, a translação de frequência da portadora modulada, é tipicamente feita em diversas etapas de modo a se alcançar a faixa de 800 MHz.

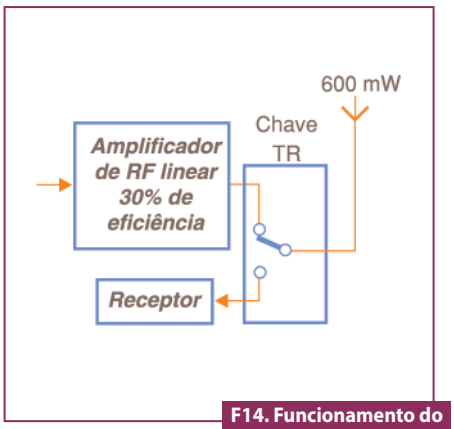
Amplificador de RF

O amplificador de RF tem por finalidade aumentar a intensidade do sinal modulado para que ele alcance os níveis necessários à transmissão. Apesar da transmissão analógica, que emprega FM, o amplificador de RF para DQPSK deve ser linear. Em FM, amplificadores *push-pull* não lineares classe C são usados para amplificação. Esses amplificadores têm uma eficiência de aproximadamente 50%.

Entretanto, amplificadores não lineares não podem ser utilizados em DQPSK porque eles podem causar distorções de fase. Os amplificadores lineares usados em DQPSK são menos eficientes, algo em torno de 30%. A **figura 14** ilustra como funciona esta etapa.

Enquanto um duplexador é requerido para a seção analógica do telefone *dual-mode*, ele não é necessário para a parte digital porque, neste caso, o receptor e o transmissor não operam simultaneamente.

Uma chave PN é o suficiente para isolar o transmissor do receptor. Com isso, o duplexador pode ser removido da parte digital. Removendo-o, obtemos alguns benefícios: quando os sinais DQPSK estão passando através de um duplexador, uma distorção de fase pode ocorrer e, além disso, existe alguma perda de potência que exige então um amplificador de maior potência. Assim, com a eliminação do duplexador, pode-se obter uma autonomia maior para bateria do telefone celular.



F14. Funcionamento do Amplificador de RF.

Conclusão

Terminamos, assim, esta análise do princípio de funcionamento do telefone celular e, no segundo artigo, desta série trataremos do funcionamento do circuito receptor do aparelho. Até lá!





Diagnóstico de redes PROFINET IO utilizando software Wireshark

O uso de soluções Ethernet em redes para aplicações industriais levanta a questão sobre o emprego de ferramentas para testes dessas redes. Ferramentas gratuitas, como o Wireshark, estão disponíveis e oferecem a decodificação dos frames capturados em tempo real, inclusive para frames PROFINET IO.

Este artigo dá uma visão geral sobre as possibilidades de capturas de frames nessas redes, e mostra alguns casos de utilização prática dos filtros de captura e de visualização do Wireshark para identificação rápida de diagnósticos na rede PROFINET IO.

Afonso Celso Turcato

Cada vez mais, *fieldbuses* baseados em Ethernet estão sendo utilizados em aplicações reais. Há a promessa de que soluções baseadas em Ethernet serão mais flexíveis e permitirão ao usuário final uma integração harmoniosa dos equipamentos de campo com o mundo da TI (Tecnologia da Informação). Além disso, há esperança de que a tecnologia Ethernet, teoricamente mais rápida, permitirá uma resposta ainda mais rápida e com tempos de ciclos menores nas aplicações de controle [1].

A maioria das aplicações com controle distribuído ou com entradas e saídas remotas usam *fieldbus*, como o conhecido Profibus DP. Para essas aplicações, ferramentas de diagnóstico de diferentes fabricantes existem com preços razoáveis. Elas permitem a verificação e validação do desempenho do barramento de campo. Mudar toda essa tecnologia para a uma rede baseada em Ethernet levanta dúvidas acerca da disponibilidade de ferramentas de diagnóstico que permitam essa mesma verificação e validação da solução Ethernet, como o PROFINET IO.

Muito bem conhecido e disseminado no mundo, principalmente pelo pessoal de TI, e gratuitamente distribuído, o *software* Wireshark é um analisador de rede que captura os *frames* Ethernet e os decodifica. Atualmente, o Wireshark também é capaz de decodificar os *frames* PROFINET IO através de um *dissector* especialmente desenvolvido para esse propósito pelos criadores do *software*.

Baseados nessa funcionalidade, descrevemos neste artigo como simples diagnósticos de rede PROFINET IO podem ser obtidos com a utilização do Wireshark.

PROFINET IO: Visão Geral

PROFINET é uma solução para rede Ethernet Industrial, que é usado para a expansão vertical de tecnologias *fieldbus* a fim de integrar automação industrial com a TI de negócios das empresas [3]. PROFINET IO é um protocolo padronizado para a interconexão descentralizada de dispositivos de campo. Baseia-se na Ethernet e utiliza os padrões Ethernet, como o TCP / IP, UDP e DCOM para troca de dados em

tempos não críticos, tais como diagnósticos e parametrização.

As diferentes áreas de aplicação em automação industrial exigem uma ampla faixa de performance para comunicação. Estas vão desde aplicação de *Non-Real-Time* (NRT), aplicações *Real-Time* (RT) até aplicações de tempo crítico com sincronismo de tempo, as *Isochronous Real-Time* (IRT). **Figura 1**.

Para aplicações NRT, o PROFINET utiliza o protocolo UDP/IP e, por esse motivo, todos os equipamentos de campo PROFINET devem suportar este protocolo.

A comunicação de dados sobre o TCP/IP ou UDP/ IP utiliza uma grande quantidade de informações administrativas e de controle (*overhead*) que retardam o tráfego de dados. Assim, para se ter a capacidade de comunicação *Real-Time* para a troca de dados cíclica, o PROFINET abandona parcialmente o protocolo IP (camada 3 do modelo OSI) e os protocolos TCP e UDP (camada 4 do modelo OSI) para comunicações RT.

As comunicações RT e IRT são usadas para a integração de I/O distribuídos [4]. Para IRT tem-se um canal de tempo real disponível para a transmissão de dados de temporização do processo que é utilizado para o sincronismo das aplicações [5]. Veja a **figura 2**.

Em PROFINET IO também pode ser utilizado o recurso de VLAN Tag conforme definido no padrão IEEE 802.1Q, com o qual sete níveis de prioridade podem ser configurados para cada *frame* transmitido (**figura 3 e 4**).

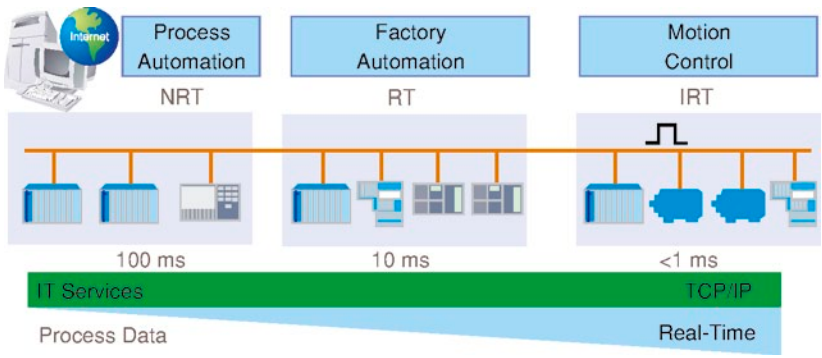
Outras redes *fieldbus* já existentes podem ser facilmente integradas ao PROFINET IO através de um dispositivo de *Proxy*. Assim, não há necessidade de se fazer alterações nos dispositivos existentes, facilitando a integração e protegendo os investimentos já realizados.

Em PROFINET IO são especificados três tipos de dispositivos: IO-Controller, IO-Supervisor e IO-Device como mostrado na **figura 5**.

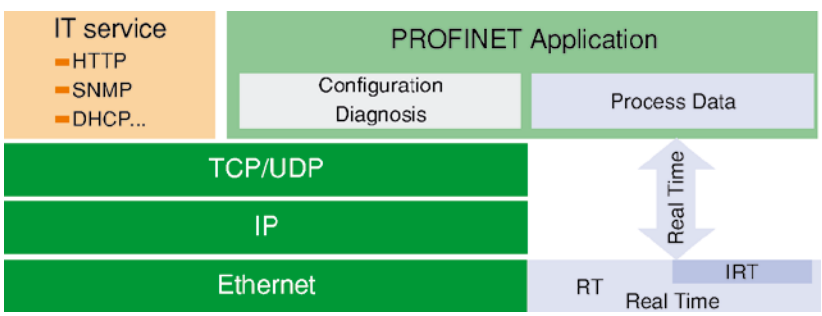
O IO-Controller é um dispositivo inteligente que tem controle sobre um processo distribuído ao longo de um ou mais IO--Device(s). Ele gerencia dados de processo e de alarmes, processando-os de acordo com o programa de usuário. Em automação, um IO-Controller normalmente é um Controlador Lógico Programável (CLP), ou um DCS ou um PC. É ele o responsável pelo estabelecimento dos canais de comunicação durante a inicialização do sistema [5].

O IO-Supervisor é um dispositivo de programação usado para tarefas como parametrização, configuração e coleta de dados de diagnóstico.

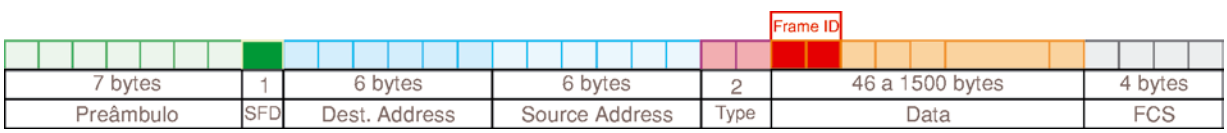
Um IO-Device age como um servidor de I/O distribuído [6] fornecendo dados de processo para o IO-Controller. É configu-



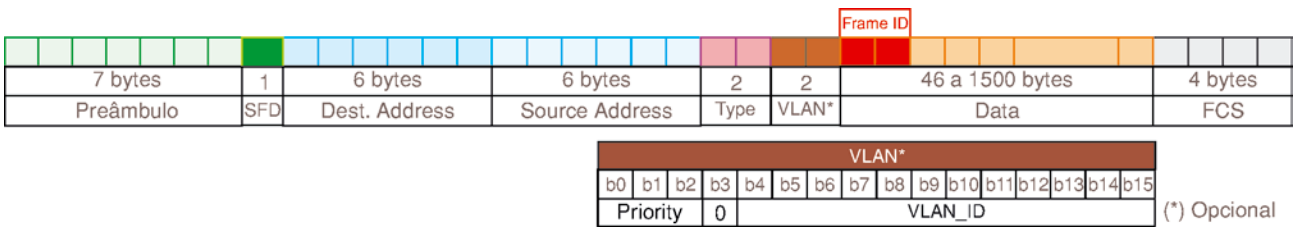
F1. Tempos de ciclos em redes PROFINET IO.



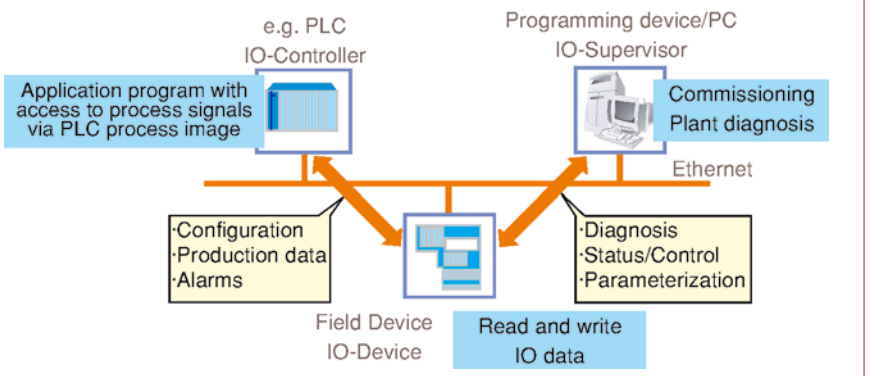
F2. *Layers* em redes PROFINET IO.



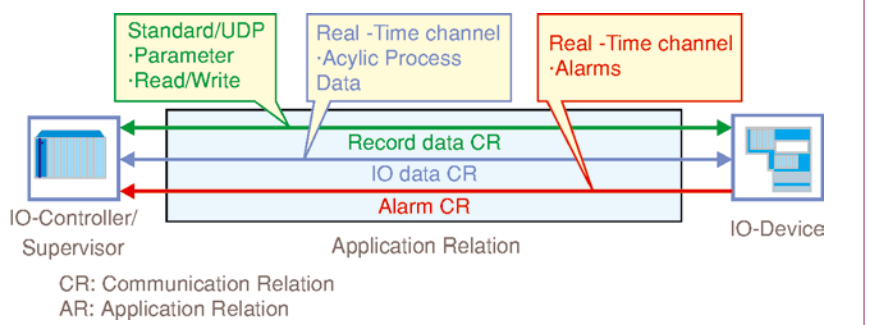
F3. *Frame* PROFINET IO.



F4. *Frame* PROFINET IO com VLAN.



F5. Tipos de equipamentos em redes Profinet IO.



F6. Tipos de CR.

rado pelo IO-Controller ou IO-Supervisor e pode manter conexão de troca de dados com vários IO-Controllers e IO-Supervisors simultaneamente.

Para que dois dispositivos sejam capazes de trocar dados entre si, é necessário estabelecer uma *Application Relationship* (AR) com uma ou mais *Communication Relationship* (CR). Estas devem ser estabelecidas pelo IO-Controller e se necessário, pelo IO-Supervisor. A comunicação acontece por meio de leitura/escrita de pedidos dentro de um modelo de comunicação Produtor/Consumidor.

Um IO-Supervisor tem funcionalidade semelhante a um PROFIBUS Mestre Classe 2 e é capaz de solicitar dados de diagnóstico diretamente do IO-Device ou do IO-Controller através do estabelecimento de uma Supervisor AR com esses equipamentos [2].

Para a configuração dos dispositivos de campo em PROFINET, os *Device Description Files* (arquivos GSD) são usados [7]. Ao contrário do PROFIBUS, esses arquivos são baseados na linguagem XML chamada de GSDML (*Generic Station Description Language Markup*).

Topologias de rede são muitas vezes definidas para atender os requisitos de instalações da rede. As mais comuns para as redes PROFINET IO são: Estrela, Barramento, Árvore e Anel (para redundância). Na prática, um sistema consiste de uma composição mista destas opções citadas e podem ser utilizados cabos STP (IEEE 802.3 100Base-TX) de cobre, ou fibra óptica (IEEE 802.3 100base-FX) monomodo ou multimodo.

Os IO-Devices coletam ou atuam nos sinais de processo em um sistema de automação. Para fazerem isso, eles precisam de certo grau de inteligência, integrado pelo fabricante quer numa forma fixa ou de uma forma configurável. Assim, os dispositivos de campo dividem-se em dois grupos:

- *Compact Devices* são dispositivos de campo com parâmetros fixos e capacidade imutável para o intercâmbio de dados do processo;
- *Modular Devices* são dispositivos de campo cujos recursos são adaptados para a aplicação durante a configuração.

A camada de aplicação PROFINET IO descreve os dispositivos de campo como sendo representados por *Slots*. Um Slot pode conter um ou mais *SubSlots*, e estes por sua vez podem ter um ou mais canais, sendo que o mapeamento das entradas e saídas para estes canais é definido pelo próprio fabricante do equipamento.

Os canais especificam os dados de determinado *SubSlot* que podem ser lidos ou escritos cíclica ou aciclicamente. O controle de acesso aos dados é determinado na definição do Slot e/ou SubSlot e podem ser distribuídos em diferentes IO-Controllers, porém o mapeamento para dados de escrita cíclica e alarmes pode ser feito apenas por um IO-Controller. Em contrapartida, o acesso de leitura cíclica pode ser feito por múltiplos IO-Controllers.

Estabelecimento da conexão

A fim de ser capaz de trocar dados cíclicos e acíclicos entre um IO-Controller/IO-Supervisor e um IO-Device, os canais de comunicação são estabelecidos pelo IO-Controller quando o sistema é inicializado.

Conforme mencionado anteriormente, o IO-Controller estabelece uma AR com uma ou mais CR. Essa AR inclui todos as informações necessárias para estabelecer a troca de dados com o IO-Device.

Existem 3 tipos de CRs que podem sem configuradas em uma AR [4] , são elas:

- *Acyclic* CRs: são sempre as primeiras a serem estabelecidas e estão relacionadas à transferência de parâmetros do equipamento, tais como parâmetros de *Startup* e Diagnósticos;
- I/O CRs: relacionadas a troca cíclica de dados de I/O;
- *Alarm* CR: relacionada a transferência acíclica de alarmes. Veja a **figura 6**.

Cada IO-Controller ou IO-Supervisor pode estabelecer uma AR com um ou mais IO-Devices.

Acessos de escrita concorrentes por mais de um IO-Controller em um mesmo IO-Device, são impedidos pelo próprio IO-Device.

Troca de dados Cíclica

Para a troca cíclica de dados e de alarmes, o PROFINET IO usa o canal RT (*Real-Time*).

A transmissão de dados no PROFINET IO pode ocorrer das seguintes formas:

- Comunicação RT dentro de uma mesma rede (LAN): para este caso onde há necessidade de alta performance na comunicação, somente o canal *Fast* RT com *frames EtherType* 0x8892 é utilizado, não sendo usada

comunicação com protocolo UDP/IP;
- Comunicação RT entre redes: para este caso tanto o canal Fast RT com *frames EtherType* 0x8892 e mecanismos do protocolo UDP/IP são utilizados;
- Comunicação IRT: com determinismo e dados de sincronismos requerem *hardware* específico;
- Tráfego de dados Multicast (*Multicast Communication Relation* – MCR): baseia-se na RT, bem como na comunicação IRT e consiste de um produtor que publica dados no barramento em um ou mais consumidores que processam os dados.

A troca de dados entre o IO-Device e o IO-Controller ocorre em um ciclo de *polling* configurado pelo IO-Controller. Esse ciclo é especificado durante a configuração com a ferramenta de engenharia. Isto resulta na monitoração mútua da troca de dados e possibilidade de utilização de mecanismos de *watchdog* tanto pelo IO-Controller quanto pelo IO-Device.

Todos os dados cíclicos são fornecidos com valores individuais de status que possibilita a validação dos dados recebidos.

Em contraste com PROFIBUS, os dados transmitidos em PROFINET IO podem ser otimizados em frequência isto é, eles podem ser enviados em diferentes fases/frequências individualizadas por tipo de dados e/ou dispositivo. Para alcançar este objetivo, o PROFINET IO define uma *Reduction Ratio* que determina a frequência de transmissão de dados de cada equipamento.

Troca de dados Acíclica

A leitura e a escrita de informações (serviços de leitura/escrita) podem ser realizadas aciclicamente. Os seguintes serviços rodam aciclicamente em PROFINET IO:
- A parametrização de Submódulos individuais durante inicialização do sistema;
- A leitura de informações de diagnóstico;
- A leitura de informações de identificação dos dispositivos de acordo com as funções de Identificação e Manutenção;
- A leitura de dados de I/O.

A especificação de quais dados podem ser lidos ou escritos aciclicamente, é determinada durante a configuração de cada canal.

Alarmes

PROFINET IO envia eventos dentro um processo de automação como alarmes que têm que ser reconhecidos pela aplicação que controla o processo. Estes alarmes incluem tanto eventos como a inserção ou remoção de módulos na rede, como alarmes definidos pelo usuário, tais como Falha de uma Entrada Analógica ou alarmes de processo, como, por exemplo, uma Temperatura Alta da Água.

Diferentes tipos de eventos são especificados, sendo:
- Alarmes de processo: Eventos que vêm do processo e são enviados para o sistema de controle;
- Alarmes de diagnóstico: Eventos indicando um mau funcionamento de um dispositivo de campo;
- Alarmes de manutenção: Eventos que transmitem informações a fim de impedir uma parada inesperada do dispositivo, ou seja, indicando a necessidade de manutenção preventiva;
- Alarmes específicos de diagnósticos configurados pelo fabricante.

O PROFINET define um conjunto padrão de causas de alarme, como por exemplo:
- Alarmes *Pull* e *Plug*: ocorrem quando um módulo é retirado ou conectado em um IO-Device do tipo modular;
- Alarmes *Return-of-SubModule*: ocorrem quando um IO-Device volta a fornecer dados de uma entrada em particular.

Para identificação única, alarmes são sempre referenciados com o número do *Slot* e do *Subslot*. Os alarmes de diagnóstico e de processo podem ser priorizados de formas distintas pelo usuário.

Atribuição de Nomes e Endereços

Em todas as comunicações baseadas no protocolo IP, todos os dispositivos devem ter endereços IPs únicos atribuídos. O PROFINET IO usa o *Discovery and Configuration Protocol* (DCP) para atribuição de endereços IP. Na configuração de fábrica cada dispositivo de campo tem, entre outras coisas, um endereço MAC e um nome simbólico armazenado. Sendo que estas informações são suficientes para atribuir para cada dispositivo de campo um nome único (apropriado para a aplicação).

Para isso, a atribuição de endereço é realizada em duas etapas:
- Atribuição de um único nome específico para o IO-Device;
- Atribuição do endereço IP pelo IO-Controller antes da inicialização do sistema baseado nesse nome específico do IO-Device.

Ambas as etapas ocorrem através do protocolo DCP integrado ao PROFINET.

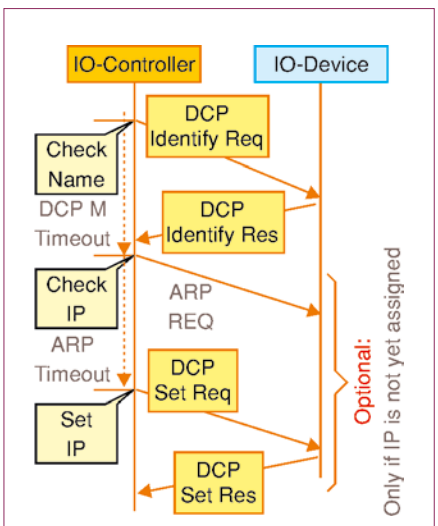
Durante o *startup* da rede, o IO-Controller configura uma AR para cada IO-Device que pretende controlar. Para isso, uma transmissão UDP/IP DCE-RPC (*Distributed Computing Environment / Remote Procedure Calls*) é usada. O endereço IP para cada dispositivo é definido pela ferramenta de engenharia durante a fase de planejamento da rede e cabe ao IO-Controller atribuir o endereço para os IO-Devices existentes [8]. Observe a **figura 7**.

Capturas em Redes PROFINET IO

A solução mais barata e mais simples atualmente é a utilização do *software freeware* Wireshark, que é a ferramenta recomendada pela PROFIBUS International (PI). O software armazena os frames em disco e os decodifica. A versão utilizada para o desenvolvimento deste artigo é a versão 1.6.8 que é capaz também de decodificar os frames PROFINET IO.

Topologias e formas de captura

Existem várias considerações a serem feitas sobre onde é o melhor ponto para se conectar a ferramenta de captura e como utilizá-las.



F7. Atribuição de endereço IP para IO-Device.

No PROFIBUS DP, por exemplo, há um cabo onde todos os *frames* estão passando. Para monitorar o barramento, basta apenas *plugar* a ferramenta em qualquer lugar do cabo e se torna possível ver todos os *frames* transferidos. Em uma rede Ethernet com *switch*, como a PROFINET, a situação é bem diferente. Normalmente, não há lugar na rede onde seja possível ver todo o tráfego passando. Em redes com *switch*, os *frames* passam apenas pelos segmentos necessários para chegar ao seu destino e não existe, por definição, um único ponto onde todo o tráfego passa.

Outra questão importante a ser levantada é como conectar o PC com Wireshark na rede. A primeira abordagem seria a de substituir o *switch* da rede (considerando que exista apenas um) por um *hub* (**figura 8**).

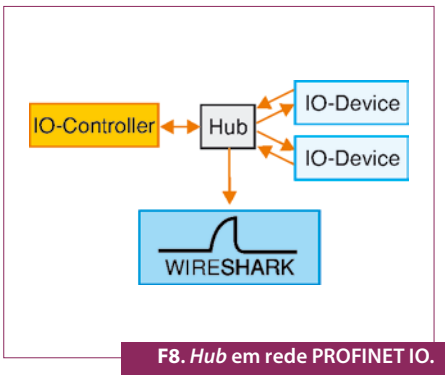
Um *hub* copia todos os *frames* de entrada de uma porta para todas as outras portas e, portanto, permitiria captura de todos os *frames*. Porém, a implementação do *stack* de comunicação do PROFINET IO não permite esse método. Ele verifica se a rede onde está conectado é *Full-Duplex* e 100 MBit/s. Se este não for o caso, o mesmo se recusa a ficar *online*. Um *hub* por definição permite apenas conexões half-duplex e por isso, esta configuração NÃO funciona. Veja abaixo um exemplo de interligação tipo estrela entre um IO-Controller e dois IO-Devices.

Outra forma é usar uma disposição tipo "sanduíche". Neste caso, dois *switches* com um *hub* entre eles são usados (**figura 9**).

Todos os IO-Devices utilizados na rede sentirão a configuração correta da linha, e o PC de monitoramento conectado ao *hub* será capaz de receber todos os *frames* trafegando de um *switch* para o outro. Essa configuração funciona bem se houver apenas tráfego baixo na rede, pois os *switches* para tentar evitar colisões no lado *half-duplex (hub)* irão armazenar os *frames* e com isso inserirão atrasos na rede. O maior problema para esse caso também é encontrar um *hub* que funcione a 100 MBit/s.

Outra solução muito mais robusta é a utilização de um *switch* gerenciável que possua a funcionalidade de espelhamento de porta, veja a **figura 10**.

Um *switch* gerenciável pode ser mais caro do que a solução "sanduíche" com dois *switches* não gerenciáveis e um *hub*, mas a maioria dos *switches* utilizados em redes industriais já são gerenciáveis, fazendo dessa solução uma das melhores.



F8. ***Hub*** **em rede PROFINET IO.**

Porém, uma ressalva deve ser feita. Um *switch* com uma porta espelhada pode armazenar os *frames* para evitar colisões na porta de espelhamento e este armazenamento pode inserir pequenos atrasos de tempo que podem ser indesejáveis na medição.

Uma solução semelhante a essa, é a adição de um "*Port Agregator*" (PA) entre o *switch* e o IO-Controller, atente para a **figura 11**.

Um PA encaminha todos os *frames* de ambas as direções para a porta de monitoração, armazena os *frames* se for necessário e, em caso de falha na alimentação, mantém o link fechado. Ele encaminha *frames* mesmo com erros (o *switch* não), porém, pode somente trabalhar com a carga da rede abaixo de 50%, ou seja também pode inserir atrasos na rede.

Existe outra possibilidade para este cenário que é a adição de um TAP na rede (**figura 12**).

O TAP copia todos os quadros do *link* analisado para dois *links* de monitoramento, um para cada direção. Existem os TAPs passivos e os ativos. Os passivos inserem carga na linha e podem causar perturbações indevidas na rede, e, portanto os ativos são mais recomendados. A desvantagem nessa solução, em combinação com a utilização do Wireshark, é que agora ambos os *links* têm que ser capturados separadamente através de duas interfaces de rede (*Network Interface Card* - NIC), em um PC com duas instâncias do Wireshark ativas. Assim, com duas capturas separadas, é necessário efetuar uma mescla delas (isto pode ser feito pelo próprio Wireshark).

Utilização do Wireshark

Uma das grandes funcionalidades do Wireshark é permitir a utilização de filtros na captura da rede. Podem ser definidos dois tipos de filtros: filtro de captura e filtro de visualização. Veja as **figuras 13 e 14**.

Type	Protocol	Meaning
0x0800	IP	IP Header
0x0806	ARP	Address Resolution
0x8100	VLAN	Virtual LAN Header
0x8892	PN-RT	PROFINET Real-Time

T1. ***Ethernet Frames: Types*** **mais comuns.**

Estes filtros devem ser configurados de tal forma que os *frames* capturados/mostrados sejam apenas os que tenham algum significado na análise da captura, diminuindo assim o arquivo gerado, focando a análise e eliminando informação extra desnecessária.

Veja nos próximos tópicos alguns exemplos práticos de utilização.

Capturar apenas frames PROFINET IO RT

Conforme visto na figura 3, o *frame ethernet* possui um campo *Type* que define o tipo de dado contido no *frame*, veja a **tabela 1**.

A fim de capturar apenas *frames* PROFINET RT, pode-se aplicar um filtro de captura no Wireshark onde apenas os *frames* com o campo tipo 0x8892 serão capturados.

Para isso, o filtro de captura deve ser configurado como: `ether proto 0x8892`.

Caso se queira aplicar um filtro de visualização do Wireshark com o mesmo propósito, fica: `eth.type == 0x8892` ou `pn_rt`.

Desta forma, apenas os *frames* do tipo 0x8892 serão visualizados. Repare que a sintaxe é diferente entre os filtros de captura e de visualização.

Visualizar todos os *frames* oriundos de certo IO-Device para o IO-Controller

Considerando-se que:

MAC *Address* do IO-Controller: **00:0E:8C:F7:53:B6**

MAC *Address* do IO-Device: **00:0E:8C:F6:96:96**

Configura-se o filtro de visualização do Wireshark como:

```
eth.dst == 00:0E:8C:F7:53:B6
&&
eth.src == 00:0E:8C:F6:96:96
```

Desta forma, apenas os *frames* oriundos do IO-Device para o IO-Controller serão visualizados.

Expandindo esse raciocínio, pode-se fazer com que o Wireshark apenas capture/visualize *frames* que indicam possíveis problemas na rede, como por exemplo, *frames* de alarmes.

Conforme em [9], tem-se as faixas de valores de *Frame* ID de acordo com a **tabela 2**.

Quando ocorre algum evento de alarme em um Submódulo (dentro de um dispositivo) ou quando existe um erro de ligação (por exemplo, um fio desconectado), um alerta é disparado indicando que dados de diagnóstico existem e precisam ser reconhecidos. Esses dados de alarmes são transmitidos em um canal RT para o IO-Controller (aciclicamente).

Portanto, pode-se configurar o filtro para que sejam capturados/visualizados apenas os *frames* relacionados a alarmes, ou seja, aqueles que estão na faixa *"Acyclic transmission HIGH priority"* e *"Acyclic transmission LOW priority"*.

O filtro de visualização do Wireshark para este caso fica:

```
(pn_rt.frame_id >= 0xFC00
&&
pn_rt.frame_id <= 0xFCFF)
||
(pn_rt.frame_id >= 0xFE00
&&
pn_rt.frame_id <= 0xFEFC)
```

Desta forma, apenas os *frames* relacionados a alarmes serão visualizados no Wireshark.

Seguindo com o mesmo princípio, é possível também obter estatística sobre um alarme específico que esteja ocorrendo em determinado IO-Device, para isso basta configurar o filtro do Wireshark para receber apenas os *frames* oriundos desse IO-Device e que sejam do tipo de alarme desejado.

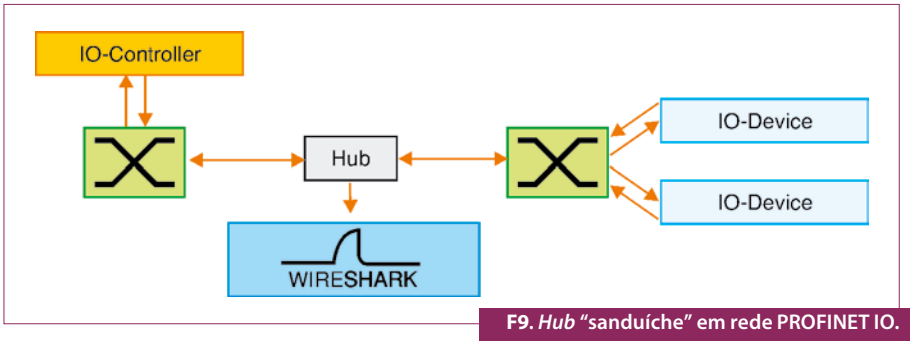
Mostrar apenas os *frames* de alarmes do tipo *Pull* (um tipo padrão de alarme) de um determinado IO-Device

Conforme a especificação PROFINET [9], alarmes do tipo *Pull* possuem o campo *Alarm_Type* igual a 3. Considerando que o MAC *Address* do IO-Device seja **00:0E:8C:F6:13:42** basta configurar o filtro do Wireshark como sendo:

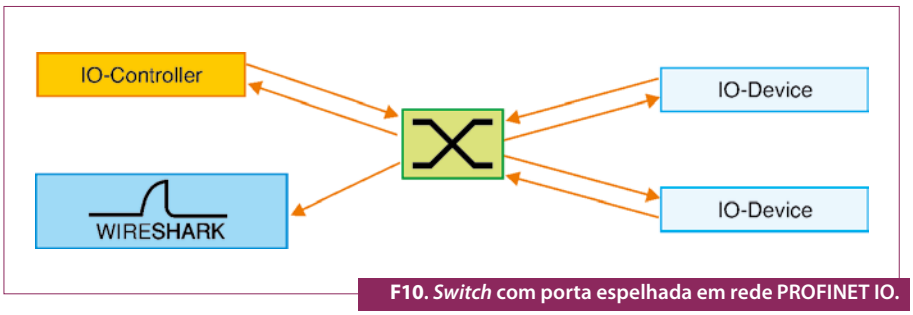
```
(eth.src == 00:0e:8c:f6:13:42)
&&
(pn_io.alarm_type == 0x0003)
```

Desta forma, todos os *frames* oriundos do IO-Device e que sejam do tipo de alarme escolhido serão visualizados no Wireshark.

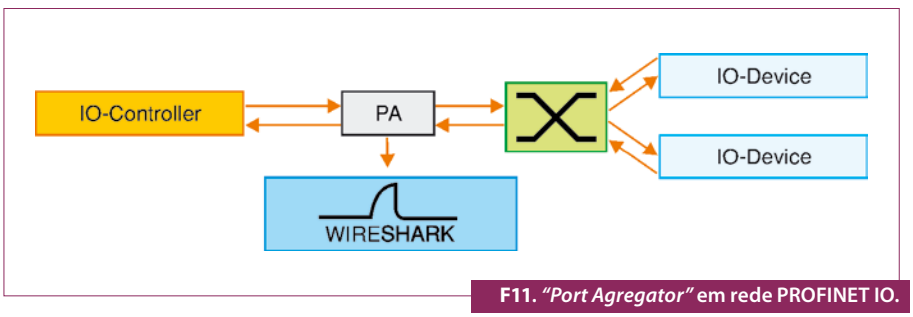
Uma forma de através do Wireshark descobrir se algum IO-Device previamente



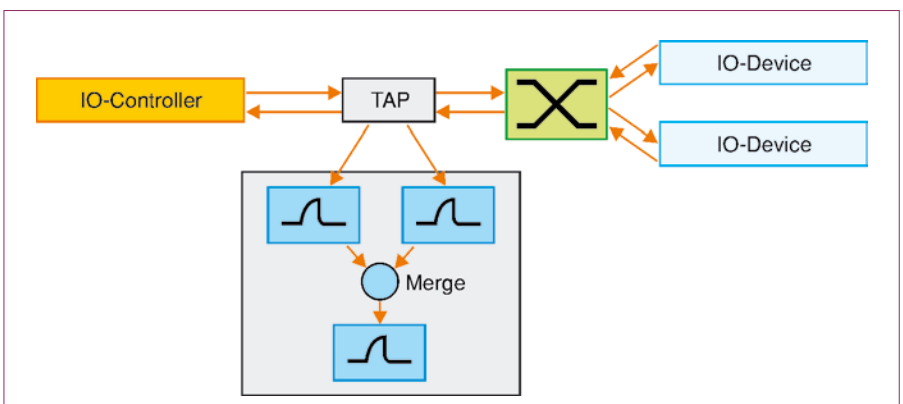
F9. *Hub* "sanduíche" em rede PROFINET IO.



F10. *Switch* com porta espelhada em rede PROFINET IO.



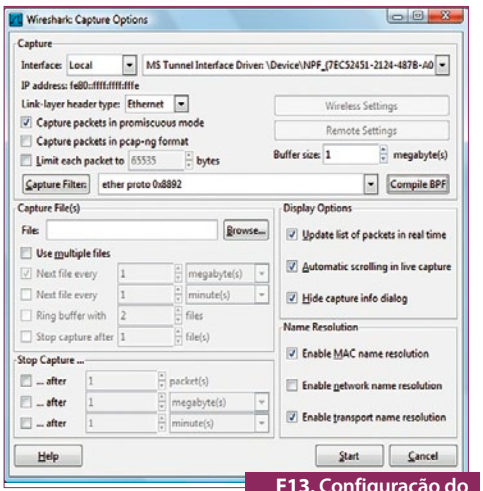
F11. *"Port Agregator"* em rede PROFINET IO.



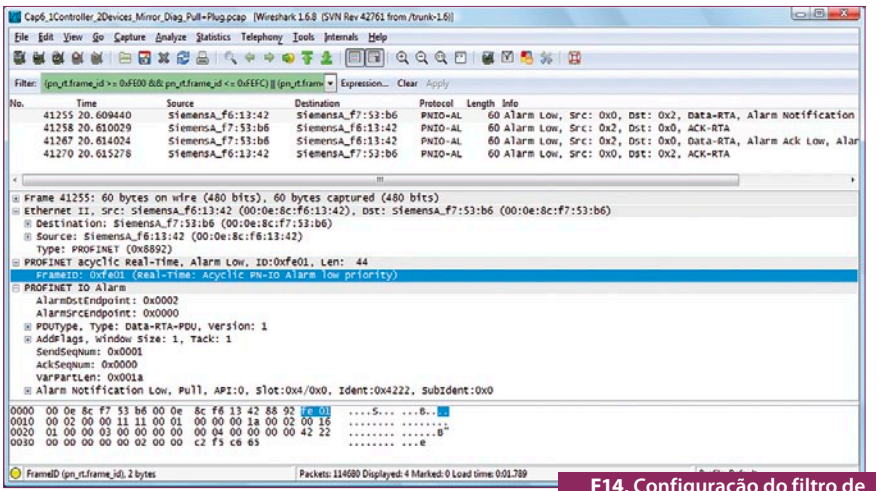
F12. TAP em rede PROFINET IO.

Frame ID	Descrição
0x0000 - 0x00FF	Time Synchronization
0x0100 - 0x7FFF	RT Class 3 Frames (IRT)
0x8000 - 0xBFFF	RT Class 2 Frames (RT)
0xC000 - 0xFBFF	RT Class 1 Frames (RT)
0xFC00 - 0xFCFF	Acyclic Transmission HIGH priority
0xFD00 - 0xFDFF	Reserved
0xFE00 - 0xFEFC	Acyclic Transmission LOW priority
0xFEFD a 0xFEFF	DCP – Discovery and Configuration Protocol
0xFF00 a 0xFFFF	Reserved

T2. Faixas de valores de *Frame* ID.



F13. Configuração do filtro de captura.



F14. Configuração do filtro de visualização no Wireshark.

configurado no IO-Controler está *offline*, é configurando o filtro para que mostre apenas os *frames* DCP com endereço de destino **01:0E:CF:00:00:00** (*PN-Multicast*), com *Service_ID* igual a 5 (*Identify*) e com *Service-Type* igual a 0 (*Request*), conforme a especificação PROFINET [9].

Ou seja, serão mostrados todos os *frames* que o IO-Controller envia solicitando que determinado IO-Device se identifique (no campo *NameOfStation* destes *frames* é possível obter o nome do IO-Device configurado no IO-Controller).

Esse tipo de solicitação é sempre enviada pelo IO-Controller quando este percebe que o IO-Device parou de transmitir seus dados.

Assim, para esse propósito, o filtro do Wireshark fica:

```
(eth.dst == 01:0E:CF:00:00:00)
&&
(pn_dcp.service_id == 5)
&&
(pn_dcp.service_type == 0)
```

Desta forma, todas as vezes que o IO-Controller enviar um *frame multicast* de requisição de identificação de determinado IO-Device (sem ser durante o *start-up*), sabe-se que este IO-Device parou de transmitir seus dados, ou seja, apresentou alguma falha.

Essas são apenas algumas entre tantas possibilidades de se utilizar o Wireshark em busca de *frames* que possam indicar alguma anomalia na rede PROFINET IO.

Conclusão

Medições em redes *Ethernet* de tempo real sem *hardware* especial não são tão simples. Para os casos onde são utilizados tempos de ciclo curtos, o risco de ocorrer sobrecarga no sistema de medição é grande e os resultados obtidos podem não refletir o que de fato ocorre na rede.

Assim, se a análise a ser feita na captura for independente do tempo de ciclo, como por exemplo, as mostradas neste artigo, os resultados passam a ser válidos e de grande valor.

Porém, para uma análise feita a fim de detectar valores extremos causados por determinado dispositivo, por exemplo, a análise através do Wireshark pode não ser eficaz [1].

Como foi demonstrado, a topologia de rede utilizada e a forma com que a ferramenta de captura (PC + Wireshark) é conectada na rede PROFINET têm grande influência na análise e devem ser criteriosamente analisadas.

O Wireshark, por já possuir um dissector capaz de decodificar os *frames* PROFINET, torna-se uma ferramenta muito poderosa para diagnóstico online/offline da rede PROFINET IO.

Uma sugestão para um trabalho futuro é a possibilidade da utilização do protocolo SNMP – *Simple Network Management Protocol* para obtenção também de diagnóstico de redes PROFINET, conforme proposto em [10].

*Afonso Celso Turcato - **acturcato@gmail.com** - Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos EESC-USP - São Carlos/SP*

Bibliografia

1. I. Schafer, M. Felser, **Precision of Ethernet Measurements based on Software Tools**

2. T. Keane, H. Kaghazchi, **Retrieval of Diagnostic Information from PROFINET Networks**

3. M. Popp, Dr. P. Wenzel, **PROFInet – Linking Worlds**

4. M. Popp, K. Webber, **The Rapid Way to PROFINET**

5. PI International, **PROFINET Open Solutions for the World of Automation**

6. PROFIBUS Working Group 14, **PROFINET IO Application Layer Service Definition, Application Layer Protocol Specification Version 1.95**

7. J. Jasperneite, J. Feld, **PROFINET: An Integration Platform for heterogeneous Industrial Communication Systems**

8. M. Baud, M. Felser, **Profinet IO-Device Emulator based on the Man-in-the-middle Attack**

9. PI International, **Application Layer protocol for decentralized periphery and distributed automation, Technical Specification for PROFINET IO**", v. 2.3Ed2, Maio/2012

10. O. Kleineberg, M. Felser, **Network Diagnostics for Industrial Ethernet**

Correção do Fator de Potência

Hoje, independentemente da legislação, corrigir o fator de potência tornou-se uma prática obrigatória para as empresas cujos processos fabris demandam grande consumo de energia elétrica. Nesses casos, como veremos, um baixo fator de potência reflete-se diretamente no preço do produto ou serviço, tornando-as menos competitivas no mercado.

A intenção deste artigo é mostrar uma visão geral do gerenciamento da energia elétrica, tendo como foco principal técnicas e soluções para melhorar o cos φ e, portanto, reduzir custos.

Alexandre Capelli

Visão Geral do Sistema de Potência

O sistema de distribuição de energia elétrica é dividido em duas redes: primária e secundária. A primária atinge tensões muito elevadas, e o valor depende muito das regiões, porém, tensões acima de 69 kV são normais nessa linha. A rede secundária também tem seu valor variável em função do trecho e outras condições, mas é bem mais baixo que a rede primária (13,8 kV, por exemplo). A **figura 1** mostra um diagrama simplificado do processo.

O fato é que, sob o ponto de vista da secundária, o consumidor pode ligar sua carga em uma rede mono, bi, ou trifásica (**figura 2**). Repare que até 12 kW de potência podemos optar por uma ligação monofásica (carga entre fase e neutro). Quando ultrapassamos este valor até o limite de 25 kW, entretanto, devemos fazer uma conexão bifásica (duas fase e neutro), por exemplo: vários chuveiros em uma residência; já para valores acima dos 25 kW temos de conectar as cargas em uma rede trifásica. Essa situação é mais comum nas indústrias, em tensões de 220 V, 380 V, 440 V, ou 690 VCA.

Conforme ilustra a **figura 3** as cargas podem ser ligadas em delta (triângulo - Δ) ou estrela, sejam elas indutivas (motores) ou resistivas.

Para a ligação em estrela temos que a tensão de linha é √3 vezes maior que a de fase ($V_L = V_f \cdot \sqrt{3}$).

A corrente entre ambas, contudo, é a mesma, ou seja: $I_f = I_L$.

Quando ligamos as cargas no esquema delta (também conhecido como triângulo), a tensão de fase é igual a de linha ($V_f = V_L$); enquanto a corrente de linha é √3 vezes maior que a de fase: $I_L = I_f \sqrt{3}$.

A potência dissipada em ambos os sistemas é a mesma, e pode ser calculada através da fórmula: $P = \sqrt{3}\ V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$. Onde cos φ é fator de potência.

Um sistema trifásico é representado matematicamente através da **figura 4**, onde podemos observar a defasagem de 120° elétricos entre as tensões das três fases.

Supondo a tensão "a" como referência teremos:

Va = Vp sen ωt

Vb = Vp sen (ωt – 2π/3)

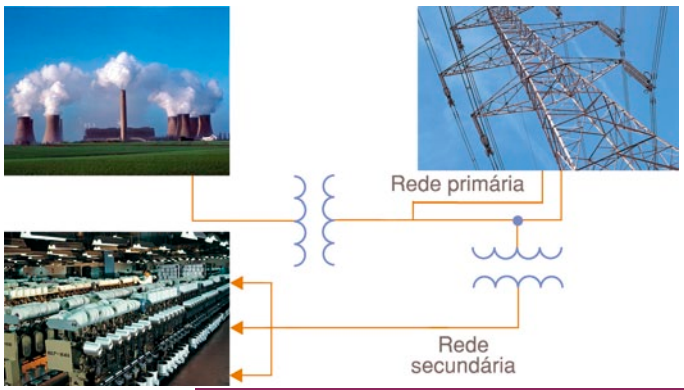
Vc = Vp sen (ωt – 4π/3)

Também podemos representar o sistema trifásico de modo fasorial (**figura 5**), onde:

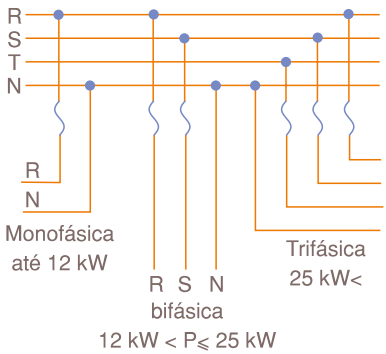
$$V_a = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad e \quad -J0 = Vef \angle 0^o$$

$$V_b = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad e \quad -J^{2\pi/3} = Vef \angle -120^\circ$$

$$V_c = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad e \quad -J^{4\pi/3} = Vef \angle -240^\circ$$



F1. Diagrama simplificado da distribuição de energia elétrica.



F2. Redes: Monofásica, bifásica e trifásica.

Fator de Potência

Bem, agora que já temos uma visão geral do sistema trifásico podemos explorar melhor o conceito de fator de potência, também conhecido como cos φ.

A maior parte das cargas em um ambiente industrial é de natureza indutiva (motores, transformadores, solenoides, etc.). Ora, para que qualquer dispositivo desse tipo funcione é necessário um campo eletromagnético. No motor, por exemplo, o rotor gira somente quando exposto a um campo eletromagnético. A tensão de um enrolamento primário de um transformador, por sua vez, somente chega ao secundário através desse mesmo campo.

Desse modo duas potências devem ser geradas:

- **Potência Reativa** – necessária para criar o campo eletromagnético, cuja unidade de medida é VAR (volt ampère reativo).
- **Potência Ativa** – aquela que, de fato, realiza trabalho, gerando movimento no motor, calor em um banco de resistores, etc.

O cos φ nada mais é do que uma relação matemática entre essas potências. Através do triângulo das potências, representado na **figura 6**, podemos entender melhor.

A potência aparente, medida em VA (volt ampère) é a soma vetorial das potências ativa e reativa. Como o fator de potência é uma função trigonométrica, seu valor é sempre um número entre 0 e 1. Algumas vezes ele também é representado entre 0 e 100%.

"Mas, qual o significado físico disto?"

Analisando o triângulo das potências, veremos que, quanto maior for a potência reativa, menor será o fator de potência, pois a ativa também será menor. É uma questão de geometria, ou melhor, trigonometria. Ora, mas é justamente a potência ativa, também conhecida como potência útil, que realiza trabalho. A reativa não.

Resumindo, se o cos φ for baixo, significa que temos um baixo "rendimento" do sistema. Grande parte da energia gasta não produz nada. Quanto maior for a energia reativa, mais se paga e menos se produz. Por outro lado, tendo um cos φ bom, a situação é inversa, visto que temos uma menor perda.

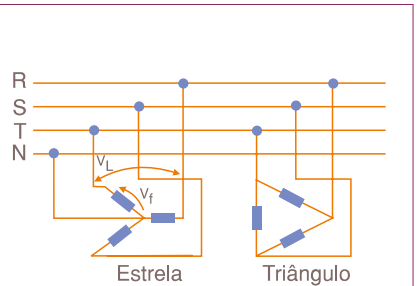
"Quanto é um cos φ bom?"

Em 1996, o DNAEE fez algumas alterações nas normas de fiscalização e tarifação. Dentre elas, temos:

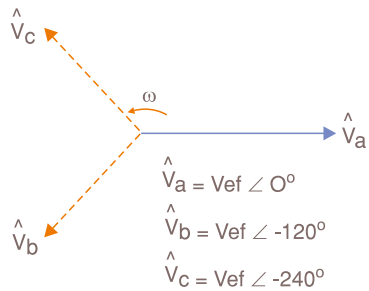
- Mudança do valor de cos φ mínimo de 0,85 para 0,92.
- Faturamento da energia reativa excedente.
- Período de avaliação de mensal para horário.

"Por que a concessionária de energia elétrica estabelece um valor mínimo pra o fator de potência, e até estabelece multas para quem não o atingir?"

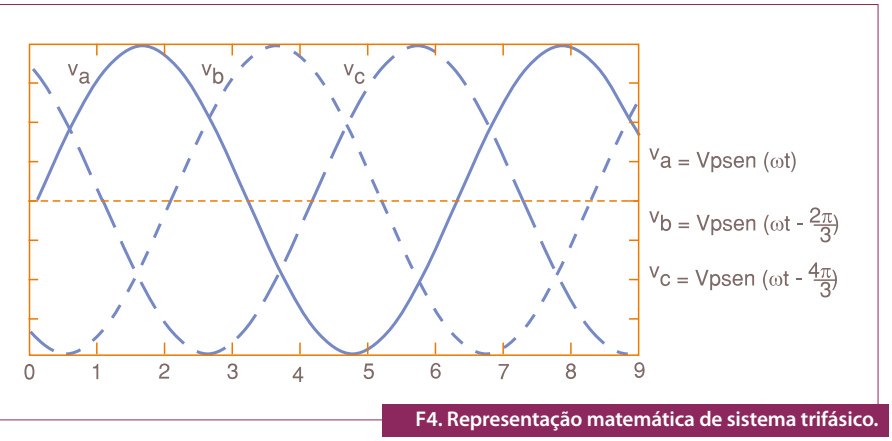
Porque um baixo cos φ não afeta apenas o consumidor que o gera, mas sim todos os demais que estiverem ligados no mesmo *link*. O baixo cos φ favorece o surgimento



F3. Ligações estrela e triângulo.



F5. Representação fasorial de sistema trifásico.



F4. Representação matemática de sistema trifásico.

de harmônicas, polui a rede elétrica, e diminui a qualidade da energia. Isto gera prejuízos para os consumidores (máquinas paradas, falhas, etc.), e para a concessionária (desperdício de energia gerada).

Tarifação da Energia Elétrica

Antes de tratarmos de tarifação, vamos a outro conceito importante quando tratamos do fator de potência: demanda.

"O que é demanda?"

Demanda é a razão entre o consumo de energia pelo tempo em que ele ocorreu. Por essa razão ela é medida em kWh.

Podemos dividir os consumidores, basicamente, em dois grandes grupos: A e B.

O grupo B representa os atendidos em baixas tensões. Neste grupo temos as residências, pequenas plantas comerciais, e rural. Esses consumidores pagam apenas o consumo medido no mês, não importando em qual hora do dia, ou em qual época do ano a energia tenha sido consumida.

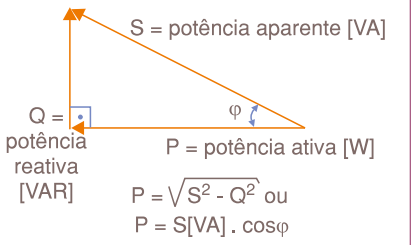
O grupo A é aquele atendido com tensão de fornecimento igual ou superior a 2,3 kV, ou em baixa tensão, porém, em sistemas que utilizam o mesmo tipo de faturamento da conta (subterrâneos, por exemplo). A maior parte das pequenas, médias, e grandes indústrias enquadram-se nesta categoria, cuja tarifação é horossazonal.

"Qual a diferença entre o consumidor horossazonal (grupo A) e o comum (grupo B)?"

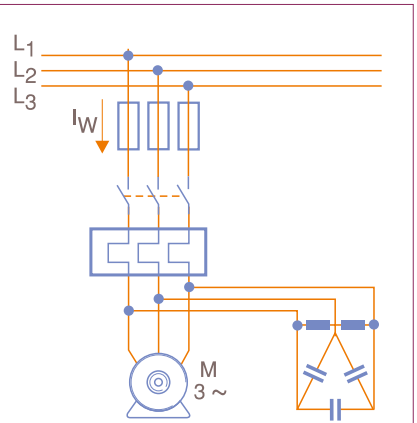
Enquanto o consumidor "B" tem sua conta baseada única e exclusivamente no consumo mensal, não importando a hora ou época de uso da energia elétrica, o grupo A paga por: consumo, demanda, e baixo fator de potência.

No Brasil, o período do dia onde há maior consumo de energia elétrica está compreendido entre 17 e 22 horas, tendo seu "pico" máximo às 19 horas. Podemos notar algumas discretas diferenças destes horários em função de algumas regiões.

Além disso, nossa "disponibilidade hídrica" não é homogênea durante todo o ano. Entre maio e novembro, temos a época denominada período seco e de dezembro a abril o período úmido. Não precisa dizer quando a energia é mais cara ou barata em função desses períodos.



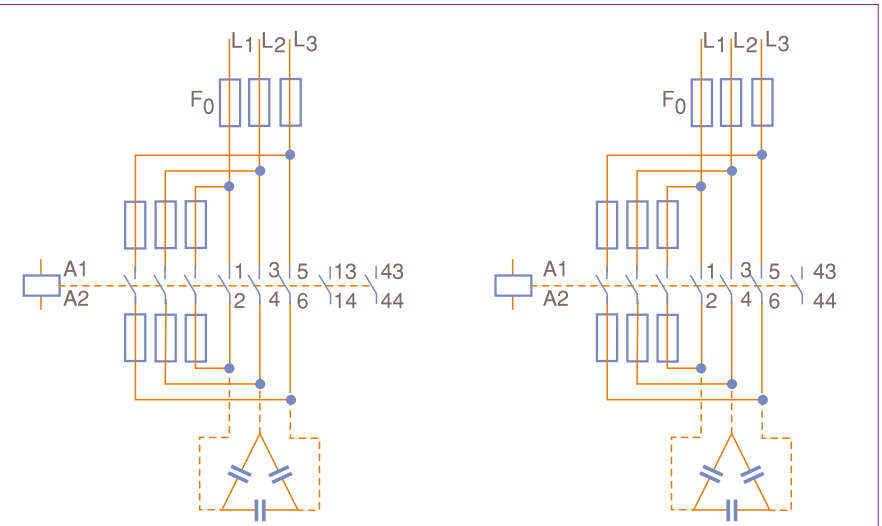
F6. Triângulo das potências.



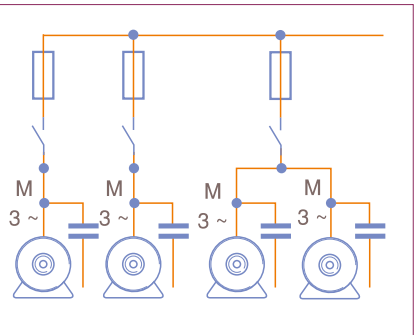
F7. Banco de capacitores ligado em paralelo com a carga.



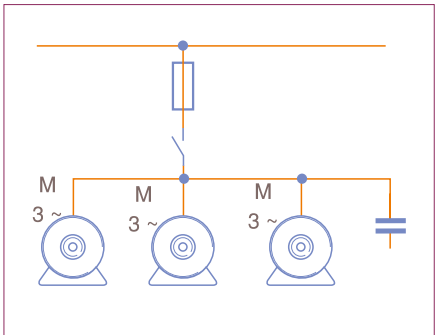
F8. Aspecto físico de um banco de capacitores.



F9. Banco de capacitores manobrados por contadores.



F10. Um banco de capacitores para cada carga - correção individual.



F11. Correção do fator de potência por grupo de cargas.

"E o que a demanda e o cos φ têm a ver com isso? "

O faturamento da energia elétrica que a concessionária exerce nos consumidores do grupo A é feito através de intervalos de tempo regulares de medição. Mais precisamente, em 15 minutos, denominados "intervalos de integração".

Em um mês ocorrem, aproximadamente, 3000 intervalos de quinze minutos. O fato de controlar cos φ é que a demanda estará sendo medida 3000 vezes por mês e, para fins de tarifação, a concessionária de energia irá considerar o valor mais alto, mesmo que este tenha sido medido uma única vez.

Ora, imagine que um determinado equipamento, por causa de uma falha qualquer, apresente um pico de demanda muito acima da normal por apenas quinze minutos e, logo após, volte a funcionar normalmente. Como o grupo A paga pelo consumo, baixo cos φ, e demanda, isto afetará diretamente a conta de energia no final do mês.

Correção do Fator de Potência

"Mas, corrigir o cos φ é a única coisa que posso fazer para reduzir minha conta?"

Não. Na verdade, para que haja uma diminuição significativa dos custos com energia elétrica em uma indústria é necessário "gerenciarmos" a rede. Para isso, além da correção do fator de potência, estratégias da engenharia de produção, dispositivos automáticos de monitoramento em tempo real, e cuidados com a instalação são fundamentais. Contudo, esse assunto não será tratado nesta matéria devido a sua extensão.

"Como fazer para corrigir um baixo cos φ?"

Fisicamente, ligando em paralelo com a carga um elemento de compensação. Este elemento básico é o banco de capacitores (**figura 7**). Embora sejam capacitores, o banco não é dimensionado em faradays ou seus submúltiplos. Sua unidade de medida é o VAR (volt ampère reativo), normalmente, multiplicado por mil [kVAR].

A **figura 8** exibe o exemplo de um banco de capacitores ligado em paralelo com um motor trifásico.

Esses capacitores podem (ou não) vir protegidos com fusíveis. Isso é uma opção de cada fabricante, porém, como regra prática, caso eles sejam colocados, eles devem ter uma corrente igual a 1,7 vezes a nominal do capacitor.

Essa técnica evita uma atuação indevida dos elementos de proteção em função dos transitórios da manobra.

A **figura 9** mostra outro exemplo com o esquema de ligação com contatores para manobra de bancos de capacitores protegidos por fusíveis.

Antes de entrarmos na análise matemática para o cálculo e dimensionamento dos bancos de capacitores para correção do cos φ, vamos explorar um pouco mais os modos como podemos alocar esses dispositivos.

Há duas formas de utilizar os bancos de capacitores: modo fixo, e sistemas automáticos centralizado de bancos.

Modo fixo

O modo fixo consiste em dimensionarmos o banco de capacitores segundo um fator de potência médio.

"O que isto quer dizer?"

Em uma fábrica, as cargas são ligadas e desligadas o tempo todo. Durante o dia, por exemplo, podemos ter vários motores e transformadores operando. Nessa situação, o banco age com eficiência e eleva o fator de potência. Suponha, porém, que a atividade vá se modificando à noite, ou até mesmo parando. Agora, apenas algumas lâmpadas estão ligadas. O banco de capacitores passa a ser uma carga, e não um corretor, desperdiçando energia.

Para compensar este efeito podemos fazer a correção individual (**figura 10**), tendo um banco para cada carga. À medida que cada carga é desligada, o seu respectivo banco também é desconectado da rede.

A desvantagem deste sistema é óbvia, visto que precisamos de um banco para cada carga.

Uma alternativa é fazer a correção por grupo de cargas (**figura 11**). A vantagem é que utilizamos um número menor de bancos, e a desvantagem é que ainda há certa capacitância indesejada na rede, à medida que o desligamento de uma única carga significa a desconexão dessa capacitância.

Correção centralizada automática

O melhor resultado é quando a correção do cos φ é feita dinamicamente, segundo o monitoramento da rede em tempo real.

A **figura 12** ilustra um diagrama genérico onde um "regulador" mede o cos φ todo o tempo, e liga ou desliga o banco de capacitores segundo a necessidade.

Podemos encontrar equipamentos no mercado capazes de "chavear" mais de doze bancos. A **figura 13** apresenta um desses modelos, da IMS.

Agora, sim, vamos aos cálculos. A **figura 14** exibe dois triângulos das potências. À esquerda um com fator de potência já definido, e o outro com cos φ a ser corrigido.

Por uma simples questão de geometria, temos:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Considerando

φ = ângulo de defasagem

S_1 = Potência aparente não compensada

S_2 = Potência aparente com compensação através de banco de capacitores.

Teremos $Qc = P.(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$, onde Qc é a potência reativa necessária do banco de capacitores, e P a potência útil.

Além da fórmula, necessitamos de uma tabela para determinar a potência do banco. Veja a **tabela 1**.

Fator de potência da instalação			Fator de potência desejado									
			Cos φ_2									
			1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
cos φ_1	sen φ	tan φ	Tan φ_1 – tan φ_2									
0,40	0,92	2,29	2,29	2,09	2,00	1,93	1,86	1,81	1,67	1,54	1,41	1,27
0,45	0,89	1,99	1,99	1,79	1,70	1,63	1,56	1,51	1,37	1,24	1,11	0,97
0,50	0,87	1,73	1,73	1,53	1,44	1,37	1,30	1,25	1,11	0,98	0,85	0,71
0,55	0,83	1,52	1,52	1,32	1,23	1,16	1,09	1,04	0,90	0,77	0,64	0,50
0,60	0,80	1,33	1,33	1,13	1,04	0,97	0,90	0,85	0,71	0,58	0,45	0,31
0,65	0,76	1,17	1,17	0,97	0,88	0,81	0,74	0,69	0,55	0,42	0,29	0,15
0,70	0,71	1,02	1,02	0,82	0,73	0,66	0,59	0,54	0,40	0,27	-	-
0,75	0,66	0,88	0,88	0,68	0,59	0,52	0,45	0,40	0,26	0,13	-	-
0,80	0,60	0,75	0,75	0,55	0,46	0,39	0,32	0,27	0,13	-	-	-
0,85	0,53	0,62	0,62	0,42	0,33	0,26	0,19	0,14	-	-	-	-
0,90	0,44	0,48	0,48	0,28	0,19	0,12	0,05	-	-	-	-	-

T1. Determinação da potência do banco de capacitores para correção de cos φ_1 e cos φ_2.

Exemplo prático

Em uma rede trifásica de 380 V, com corrente aparente igual a 1400 A, desejamos elevar o atual cos $\varphi_1 = 0,6$ para um novo fator de potência de 0,9 (cos $\varphi_2 = 0,9$). Qual a potência do banco de capacitores a ser utilizada?

Tensão U = 380 V

Corrente (aparente) I = 1400 A

cos φ_1 (fator de potência s/ correção) = 0,6

O produto da tensão pela corrente aparente será a potência aparente. Como o sistema é trifásico, teremos:

$$S = \frac{U \cdot I \sqrt{3}}{1000} = \frac{380 \cdot 1400 \cdot 1.73}{1000} \simeq 920\,kVA$$

Dividimos por 1000 para utilizarmos o fator multiplicador "k" e, consequentemente, reduzir o número de zeros.

Ora, a potência ativa (útil) é justamente o produto da aparente pelo fator de potência, então:

$$P = S \cdot \cos\varphi_1 = 920 \cdot 0,6 \simeq 550\ kW$$

Potência reativa:

$$Q_1 = S \cdot \text{sen}\,\varphi_1$$

Consultando a tabela, veremos que se cos $\varphi_1 = 0,6$, sen $\varphi_1 = 0,8$.

$$Q_1 = 920 \cdot 0,8 \simeq 736\ kVAR$$

Para um novo fator de potência igual a 0,9 (cos $\varphi_2 = 0,9$) a potência aparente será:

$$S_2 = \frac{P}{\cos\varphi_2} = \frac{550}{0,9} \simeq 610\ kVA$$

A potência necessária do banco de capacitores será igual a diferença entre e potência reativa na primeira situação (cos $\varphi_1 = 0,6$) e a segunda (cos $\varphi_2 = 0,9$)

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

Se voltarmos à tabela1: para um cos $\varphi = 0,9$, temos que sen $\varphi = 0,44$:

$$Q_2 = S_2 \cdot \text{sen}\,\varphi_2$$

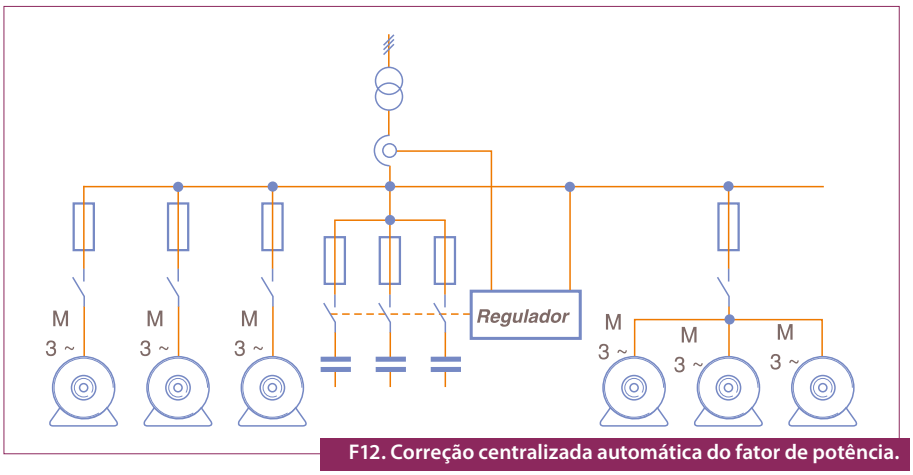
$$Q_2 = 610 \cdot 0,44 \simeq 268\ kVAR$$

Sendo assim, a potência do banco de capacitores, nesta situação, para elevar o fator de potência de 0,6 para 0,9 é:

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = 736 - 268$$

$$Q_c = 468\ kVAR$$



F12. Correção centralizada automática do fator de potência.

Reparem que, embora possa ser complicados em um primeiro momento, utilizamos apenas as propriedades do triângulo das potências e a tabela para determinar o valor do banco de capacitores.

Resumindo:

$$S = \frac{U \cdot I \sqrt{3}}{1000}$$

$$P = S \cdot \cos\varphi_1$$

$$Q_1 = S \cdot \text{sen}\,\varphi_1$$

Obs: Consultar o valor de sen φ_1, na tabela segundo cos φ_1.

$$S_2 = \frac{P}{\cos\varphi_2}$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \text{sen}\,\varphi_2$$

Obs: Consultar o valor de sen ϕ_1, na tabela 1, segundo o novo fator de potência desejado cos φ_2.

Por fim:

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

Conclusão

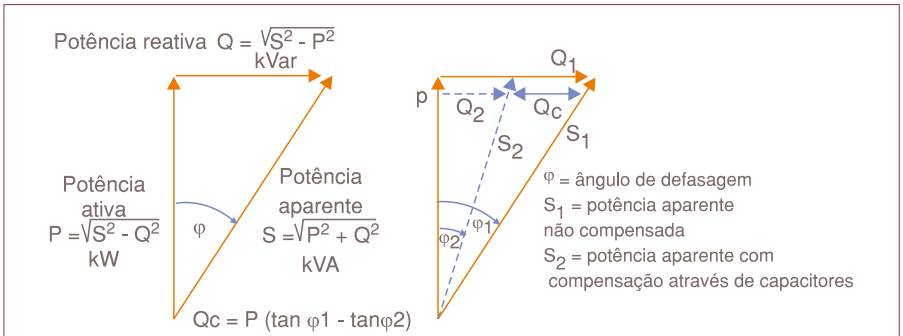
Como vimos, a correção do fator de potência é um fator relevante nos custos de produção, Adequá-lo traz benefícios diretamente, não apenas sob a forma de uma menor "conta de luz", mas também através da redução de máquinas paradas (falhas, baixa produtividade, manutenção, etc.) com a melhora da qualidade de energia elétrica.



F13. Equipamento IMS para chaveamento dos bancos de capaciotres.

Na minha opinião, acredito que os fabricantes de máquinas de grande consumo de energia elétrica (sopradoras, máquinas-ferramenta, injetoras para termoplásticos, etc.) deveriam considerar a relação custo/benefício de equiparem seus produtos com corretores automáticos de cos φ, já de fábrica. Com certeza, um dispositivo que consome menos é mais competitivo no mercado.

Quanto à instalação, optar por banco fixo de capacitores, correção pontual, ou por grupo de cargas, ou ainda uma correção centralizada automática dependerá de caso a caso. Lembre-se sempre, porém, em futuras expansões de pontos de energia e qual agregará maior valor ao produto final (em qualidade e custo).



F14. Triângulos de potência para o cálculo do banco de capacitores necessário.

Realimentação
Teoria Geral

Parte 1

Uma das descobertas mais úteis da Engenharia é a realimentação. Ela é descrita na Teoria de Controle e empregada nas mais diversas aplicações como fontes de alimentação, amplificadores, PLLs, servos, controle de velocidade de motores, etc.

A teoria geral da Realimentação na eletrônica é o tema central desta primeira parte do artigo.

Roberto Remaili

A realimentação existe em quase tudo que fazemos, mesmo que às vezes não percebamos. Por exemplo, o simples ato de enchermos um copo com água é um processo realimentado. Para executá-lo em "malha aberta" teríamos de fazê-lo de olhos fechados.

O conceito de realimentação é bem simples e o diagrama de um sistema genérico está representado na **figura 1**.

$$\text{Erro} = E - H \cdot S$$

$$S = \text{Erro} \cdot G \rightarrow \text{Erro} = \frac{S}{G}$$

Substituindo erro na primeira equação, temos:

$$F = \frac{S}{E} = \frac{G}{1 + GH}$$

Esta é a equação que exprime a função de transferência de um sistema realimentado.

Os subsistemas G e H podem ser circuitos eletrônicos, componentes mecânicos, hidráulicos, pneumáticos ou transdutores. A única exigência é que E e a saída de H tenham a mesma grandeza e possam ser comparadas.

Em geral, GH >> 1, então:

$$F = \frac{G}{1 + GH} \simeq \frac{G}{GH} = \frac{1}{H}$$

Vamos agora analisar alguns sistemas eletrônicos já conhecidos:

Amplificadores Operacionais

Este é o exemplo mais simples onde a teoria da realimentação se aplica diretamente, veja a **figura 2**.

Temos:

$$G = Av \ (\text{ganho de A.O.})$$

$$H = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Considerando GH >> 1, observe a equação a seguir:

$$F = \frac{1}{H} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

que é o resultado conhecido para o circuito apresentado.

Fontes Lineares

Acompanhe a **figura 3**. Temos:

$$G = g_m \cdot \beta_{Q2} \cdot R_1$$

$$H = \frac{R_p}{(R_p + R_2)}$$

Onde:

$$R_p = \frac{R_1}{g_{mQ1}} = \frac{R_1}{1 + g_{mQ1} \cdot R_1}$$

Para E = constante, a tensão de saída S será constante, independentemente de V_{DC}, pois H não depende de V_{DC}.

Na prática, cargas que demandam alta corrente (baixos valores de R_L) fazem com que a relação GH >> 1 não seja mais válida, causando variação na tensão de saída da fonte. Para garantir uma melhor regulação de carga, circuitos integrados de reguladores de tensão utilizam amplificadores de alto ganho. Em circuitos discretos pode-se substituir o transistor Q_1 por um amplificador operacional.

Fontes Chaveadas

Um circuito genérico de uma fonte chaveada com secundário isolado está representado na **figura 4**.

Apesar de ser um circuito não linear, podemos fazer uma aproximação, adotando $V_{AC} = V_{ACmáx}$:

$$G = A_{V1} \cdot A_{V2} \cdot K_{PWM} \cdot \frac{1}{N} \cdot F(s)$$

$$H = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Onde:

$\mathbf{A_{V1}}$ = 1 + Rx/Ry (ganho A.O.)

$A_{V2} \cong \beta R_C / (Rf + Rs)$

$\beta = I_C / I$ diodo

$\mathbf{K_{PWM}} = VAC_{max} / V_{triângulo}$

$\mathbf{V_{triângulo}}$ = amplitude da onda triangular dentro do controlador PWM

N = é a relação de espiras do transformador N_1/N_2.

F(s) = função de transferência do filtro LC. Para $A_{V1}.A_{V2}$. Kpwm/ N >>1 vale:

$$\frac{S}{E} \simeq \frac{1}{H} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Ou seja, a tensão de saída da fonte depende somente da relação dos resistores R_1

e R_2 e da estabilidade da tensão do diodo zener D_Z.

É por isso que a comparação de tensão é feita no lado secundário do transformador, usando uma referência ao CI controlador.

Se o circuito adotado fosse o da **figura 5,** utilizando a referência interna e o amplificador de erro do controlador, o acoplador óptico ficaria na malha de realimentação e, portanto:

$$G = A_{V1}\ Kpwm \cdot F(s) \cdot N$$

$$H = A_{V2} = \beta \frac{R_c}{(R_f + R_s)}$$

logo

$$\frac{S}{E} = \frac{1}{H} = 1 + \frac{R_f + R_s}{\beta \cdot R_c}$$

O problema é que β varia com a temperatura, e consequentemente a tensão de saída também. Não é isso o que desejamos de uma fonte de alimentação. Logo, é o esquema da figura 4 que é normalmente empregado. A referência de tensão interna do CI controlador de PWM é geralmente usada em fontes cujo estágio de saída não é isolado do de entrada.

Voltando ao circuito da figura 4, a relação de tensão é:

$$\frac{\Delta V_{AC}}{\Delta V_o} = \frac{F(s)/N}{1 + A_{V1}\ A_{V2}\ Kpwm \cdot F(s)/N \cdot H} \cong \frac{(R_1 + R_2)}{A_{V1}\ A_{V2}\ Kpwm \cdot R_1}$$

Amplificadores de Potência

Os amplificadores de potência de áudio possuem uma topologia ligeiramente diferente, sendo que alguns componentes são inseridos para auxiliar na polarização e estabilidade do estágio de ganho de corrente. Veja a **figura 6**. O ganho de tensão do estágio AI de saída é ≅ 1.

Portanto, referente ao diagrama da **figura 7**, podemos dizer que:

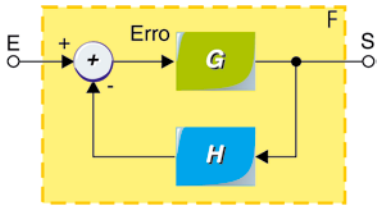
$$Q = A_{V1} \cdot A_{V2}$$

$$H = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

A realimentação ajuda a reduzir o efeito da distorção de *"crossover"* do estágio de saída.

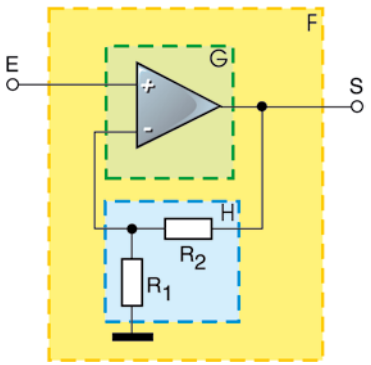
Calculando a função de transferência da entrada de AI para a saída, teríamos:

$$F_{AI} \rightarrow S = \frac{1}{A_{V1}\ A_{V2} \cdot H}$$

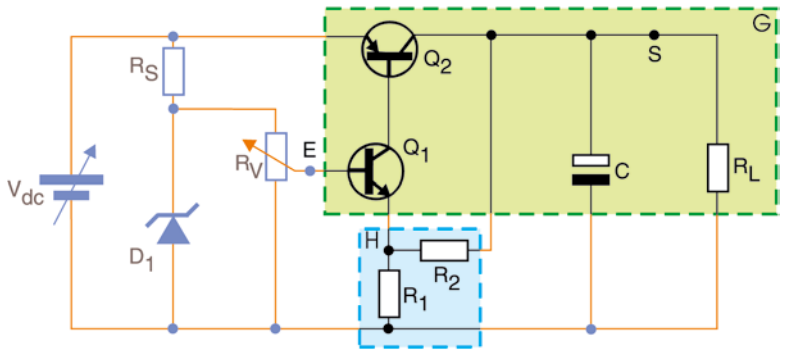


E = entrada
S = saída
F = função de transferência total
G = função de transferência da malha direta
H = função de transferência de malha de realimentação

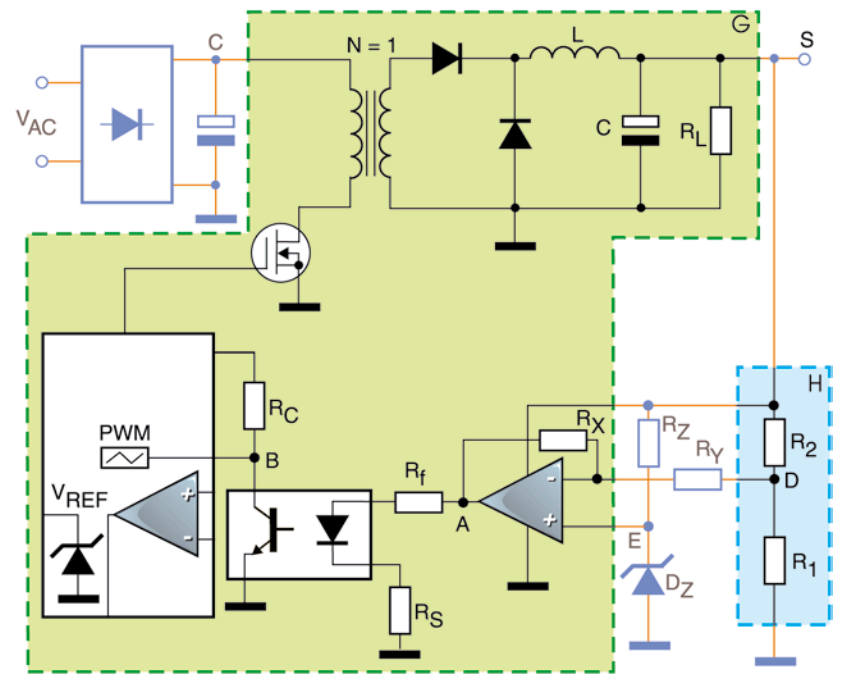
F1. Diagrama genérico da realimentação em um sistema.



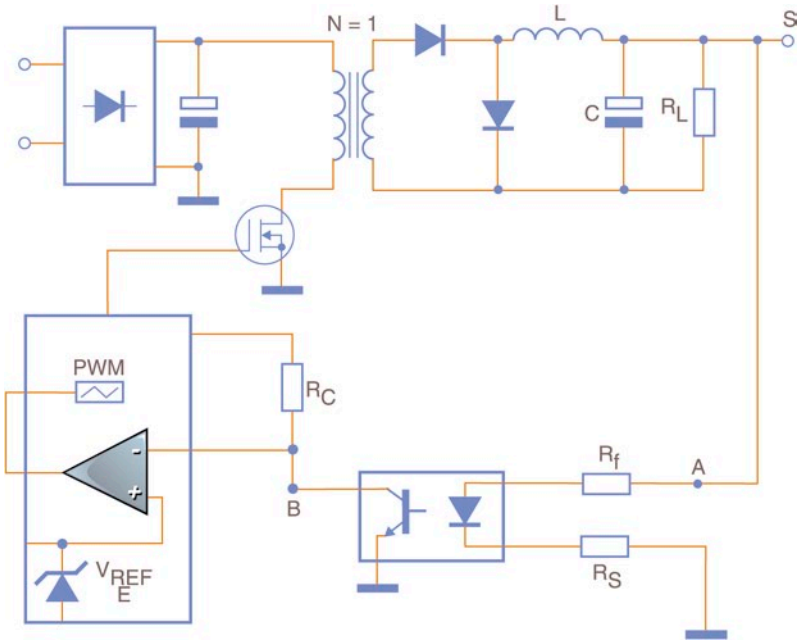
F2. Sistema com amplificador operacional realimentado.



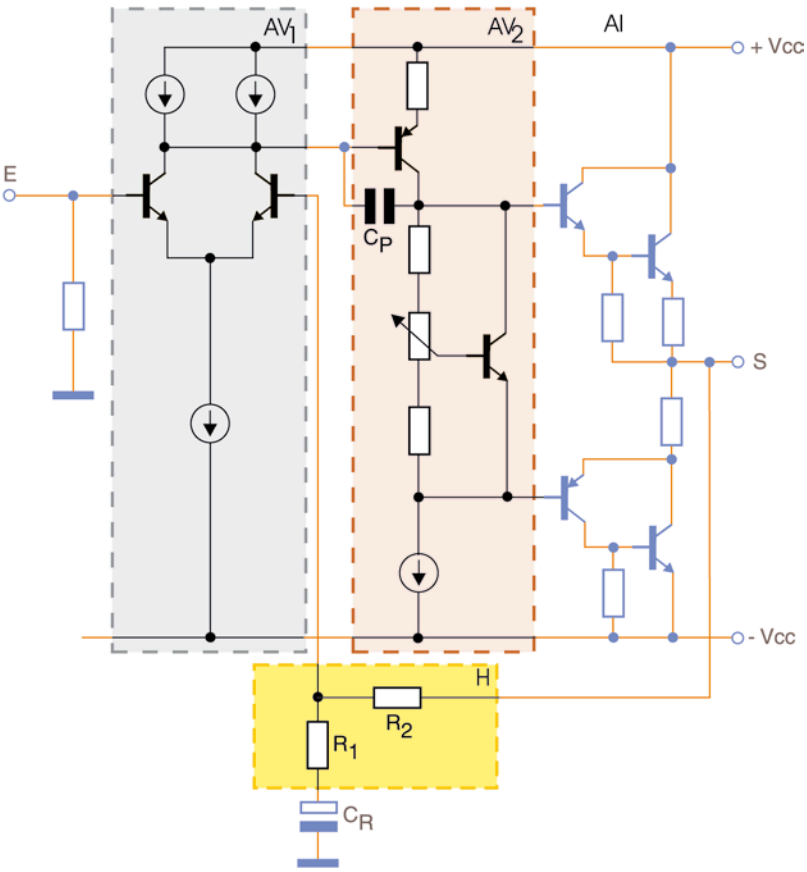
F3. Esquema elétrico de uma fonte linear com realimentação.



F4. Circuito genérico de uma fonte chaveada com secundário isolado.



F5. Circuito adotado para a fonte chaveada em estudo.



F6. Esquema de um amplificador de áudio (de potência).

Adotando alguns valores típicos como exemplo:

$A_{V1} = 100 \quad A_{V2} = 50 \quad R_1 = 1\ k\Omega \quad R_2 = 18\ k\Omega$

$$F_{At} \rightarrow S = \frac{1}{1 + \frac{(100 \cdot 50)}{19}} = \frac{1}{261}$$

Logo, a amplitude da distorção do *crossover* na saída será reduzida de 48 dB devido à realimentação!

O capacitor C_R faz com que H = 1 para DC, mantendo a tensão DC de saída bem próxima de 0 V.

Para as frequências de áudio $H = R_1/R_1 + R_2$, o ganho total do amplificador será $1 + R_2/R_1$.

Phase Locked Loop (PLL)

O modelo genérico de um oscilador controlado por PLL é mostrado na **figura 8**.

O sinal de erro agora é gerado pelo comparador de fase (misturador), onde somente a componente de baixa frequência é útil para o controle da malha.

$K_\varnothing$ é o ganho de conversão (V/rad) do comparador de fase

K_{VC0} é o ganho de conversão (rad/V.S) do VC0,

$$\frac{\theta_{VC0}(t)}{dt} = \omega_0 + K_{VC0}$$

Onde ω_0 é a freqüência de oscilação "livre" do VCO.

$$\frac{\theta_{VC0}}{\theta_{REF}} = \frac{Av \cdot F(s) \cdot K_{VC0} \cdot K_\varnothing}{S + Av \cdot F(s) \cdot K_{VC0} \cdot K_\varnothing}$$

Da malha do PLL podemos obter várias funções, dependendo do que consideramos entrada ou saída. Temos: moduladores de frequência (FM), moduladores de fase PM, demoduladores, demoduladores de fase, sintetizadores de frequência.

Como a utilização mais comum dos PLL é como sintetizador de frequência, esta será a aplicação que analisaremos com detalhe.

Na **figura 9** temos novamente a malha do PLL, agora com o sinal θ_{REF} representado por um oscilador a cristal.

Um oscilador LC possui um ruído de fase muito maior que um oscilador a cristal, para uma mesma distância relativa da portadora. Para análise do nosso módulo vamos considerar todo ruído do VCO representado por r (t) e o VCO como sendo um oscilador ideal.

A função de transferência da entrada para saída do VCO (com a malha fechada) fica:

$$G = kVCO$$

$$H = \frac{K_0}{S} \cdot F(s)$$

Av sendo $F(s) = 1$.

$$\frac{\omega_{VCO}}{R(s)} = \frac{G}{1 + GH} = \frac{K_{VCO}}{1 + K_0 K_{VCO} \cdot Av/s} =$$

$$\frac{S \cdot K_{VCO}}{S + K_0 K_{VCO} \cdot Av}$$

A **figura 10 a** mostra a densidade espectral de potência de ruído de fase de um oscilador LC genérico que será o VCO do sistema. A **figura 10 b** ilustra a função de transferência da equação anterior.

Escolhendo o ganho da malha adequadamente, teremos $\omega_P \cong \omega_T$ e a curva de ruído de fase resultante do oscilador com a malha fechada em vermelho (tracejado), resultando em um oscilador com ruído de fase bem menor.

O leitor poderá estar se perguntando: "Por que não pegar a saída diretamente do oscilador a cristal?" Realmente, a aplicação mais interessante para o PLL é quando colocamos CIs divisores de frequência na entrada do comparador de fase, observe a **figura 11**.

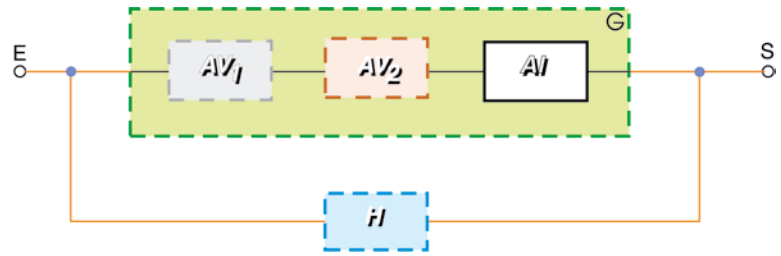
Como nas duas entradas do comparador de fase temos ω_{REF}, $\omega_{VCO} = N \times \omega_{REF}$.

Portanto, utilizando um divisor de frequência N = 16 e componentes apropriados, podemos ter um oscilador de 160 MHz tendo um cristal de 10 MHz.

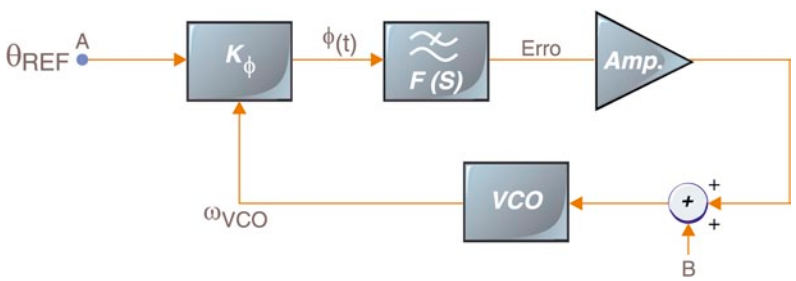
Conclusão

Existem várias aplicações para a realimentação em sistemas. Na maioria delas, queremos controlar uma saída de alta tensão ou alta potência (ou grandezas não elétricas) através de um sinal elétrico de baixa corrente e baixa tensão. A ideia principal é termos uma malha de alto ganho realimentada por uma rede linear (em geral um divisor resistivo).

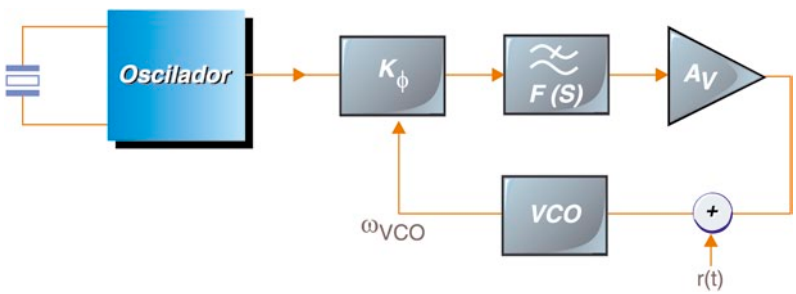
Na parte 2 deste artigo serão abordadas as questões de resposta em frequência e estabilidade.



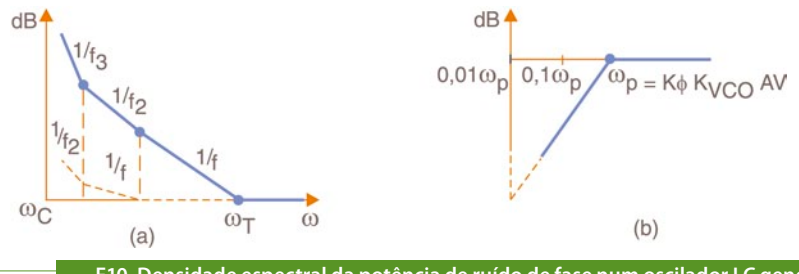
F7. Diagrama do sistema do Amplificador de Áudio (de potência) realimentado.



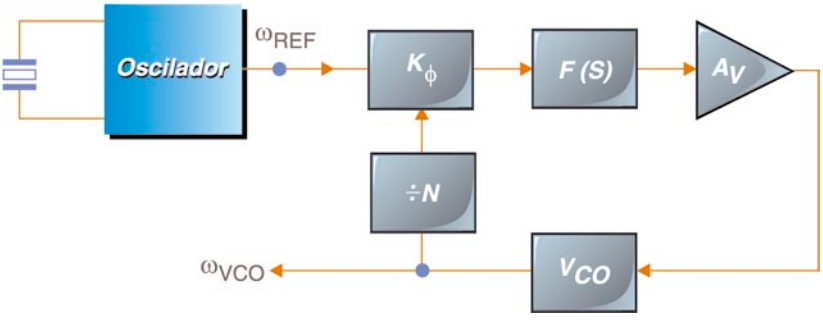
F8. Modelo genérico de um oscilador controlado por PLL.



F9. Malha do PLL excitada por um oscilador a cristal.



F10. Densidade espectral da potência de ruído de fase num oscilador LC genérico.



F11. Colocando CIs divisores de frequência na entrada do comparador de fase.

Conversores de Dados:

Conheça as principais arquiteturas, e saiba como obter um melhor desempenho do seu projeto

Parte 2

No primeiro artigo desta série de três, discorremos sobre a importância dos ADCs e DACs na Eletrônica moderna, ressaltando que a incorreta interpretação de suas características técnicas pode comprometer um projeto. Continuamos nossa série analisando as diversas arquiteturas desses circuitos, com especial ênfase àquelas que estão diretamente associadas ao bom desempenho de processadores, como nos DSPs.

Este artigo é baseado em informações obtidas principalmente no "Data Converter Selection Guide", da Texas Instruments.

Newton C. Braga

Os ADCs e DACs podem ter as mais diversas arquiteturas, as quais dependem de diversos fatores como o número de *bits*, velocidade, precisão, etc.

A variedade de arquiteturas é um dos obstáculos para os projetistas que nem sempre conhecem todas da forma como deveriam e, consequentemente, podem ser tentados a usar um tipo de conversor numa aplicação em que outro seria mais vantajoso.

E, quando dizemos mais vantajoso, não estamos considerando apenas velocidade e custo.

As aplicações modernas são muito mais sensíveis a características como tamanho, filtragem, sensibilidade a ruídos, erros, etc.

A seguir, daremos uma visão geral das diversas arquiteturas utilizadas nos conversores de dados, começando pelos ADCs (Conversores Analógico-Digitais).

Delta-Sigma

Em um ADC Delta-Sigma, o sinal de entrada é sobreamostrado por um modulador numa taxa de amostragem muito alta.

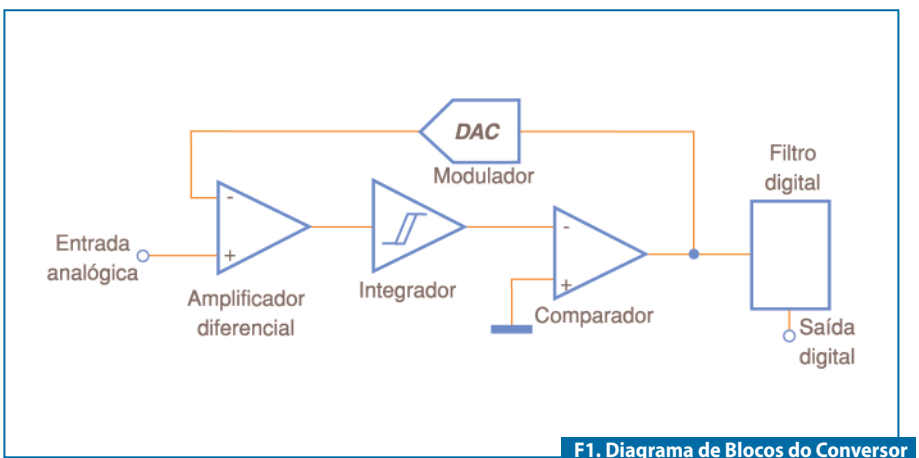
Depois, esse sinal é filtrado e decimado de modo a produzir um fluxo de dados de alta resolução através de um filtro digital que opera numa velocidade menor.

Na **figura 1** temos um diagrama de blocos que representa esse tipo de conversor de dados.

Os conversores Delta-Sigma podem apresentar uma precisão muito alta, sendo ideais para converter sinais analógicos que vão desde correntes contínuas até sinais de alguns mega-hertz.

A arquitetura Delta-Sigma permite que haja uma relação contínua entre velocidade, resolução e consumo de potência, o que a torna extremamente flexível.

Como esses conversores fazem uma sobreamostragem das entradas, eles também podem realizar as filtragens antifalseamento no domínio digital.



F1. Diagrama de Blocos do Conversor Analógico – Digital "Delta – Sigma".

Dentre as aplicações típicas para os ADCs Delta-Sigma, podemos citar as que envolvem o controle de processos industriais, instrumentação analítica e de teste, instrumentação médica e áudio digital.

Ao se utilizar um ADC Delta-Sigma, devem ser feitas algumas considerações de projeto que serão abordadas a seguir:

Taxa de Amostragem

O número de vezes por segundo em que o sinal de entrada é amostrado define a taxa de amostragem, ou "*sampling rate*".

Em boa parte dos conversores comuns, essa taxa também é aquela em que eles enviam os dados, ou taxa de dados ("*data rate*").

Nos conversores Delta-Sigma, a taxa de amostragem é muito maior do que a taxa de dados.

Taxa de Dados

O número de amostragens enviadas por segundo define a taxa de dados, ou "*data rate*".

Os conversores Delta-Sigma amostram a entrada numa velocidade muitas vezes maior do que aquela em que eles enviam os dados.

Em alguns casos, essa velocidade de envio de dados (*data rate*) pode ser programada.

Relação de decimação

A relação entre a taxa de amostragem e a taxa de dados dá a relação de decimação, ou "*decimation ratio*".

Em muitos conversores Delta-Sigma essa relação pode ser ajustada.

Uma relação de decimação maior resulta numa taxa de envio de dados menor. Ela também é chamada de relação de sobreamostragem, ou "*oversampling ratio*".

Tempo de Acomodação do Filtro

Normalmente, os conversores Delta-Sigma são utilizados para amostrar sinais numa faixa limitada de sinais.

Quando um conversor se vê diante de um sinal que varia de uma forma muito rápida como, por exemplo, um degrau ou um pulso, o seu filtro deve passar por um processo denominado "acomodação" ou "*setting*".

Esse processo ocorre porque a saída do filtro não pode mudar tão rapidamente como a sua entrada.

Durante sua decorrência, a saída do filtro faz uma aproximação do estado, eventualmente alcançando o nível do sinal de entrada.

O intervalo de tempo que demora para o filtro "acomodar-se" é normalmente expresso em termos de ciclos de conversão.

Um filtro que se acomoda depois de quatro ciclos produz pelo menos três saídas inválidas de dados.

Quando se projetam circuitos multiplexados, essa característica deve ser observada com cuidado.

ENOB

Trata-se do acrônimo para "*Effective Number of Bits*", ou Número Efetivo de *Bits*. É uma forma de se expressar a relação sinal/ruído inerente de um conversor de dados. Esse valor é expresso em termos RMS.

Bits Livres de Ruído

O termo inglês usado é *Noise-Free Bits* e consiste no número de *bits* mais significativos de um conversor que permanecem constantes para um sinal de entrada DC.

Frequência do Modulador

Trata-se da frequência segundo a qual, o modulador processa o sinal de entrada.

Normalmente, mas não sempre, essa frequência é igual à taxa de amostragem.

Formatação de Ruído

Esse termo, chamado "*Noise Shaping*" em inglês, define a característica especial de um modulador Delta-Sigma.

Esses moduladores fazem a quantização do sinal de entrada em um fluxo de alta velocidade, mas de baixa resolução com uma propriedade especial: diferentemente dos sistemas normais de amostragem, a maior parte do ruído de quantização aparece como ruído de alta frequência.

A formatação do ruído dá ao conversor Delta-Sigma a importante vantagem em relação a outros sistemas de sobreamostragem: com ela pode ser obtida uma resolução mais alta para uma determinada relação de sobreamostragem.

Ruído de Quantização

Trata-se da diferença entre o sinal real e o sinal convertido após sua quantização, não incluindo os erros DC e de linearidade.

Ordem do Modulador

O modulador mais simples de um conversor Delta-Sigma é o de "primeira ordem".

Moduladores de ordem mais alta cortam o ruído de quantização mais fortemente, produzindo menos ruído na faixa passante.

Todavia, os moduladores de ordem mais elevada são mais difíceis de projetar e consomem mais energia, além de ocuparem mais espaço no chip.

Conversores SAR

SAR significa *Sucessive-Approximation Register*, ou Registrador de Aproximações Sucessivas.

Os ADCs-SAR são os preferidos quando se procura uma arquitetura com média para alta resolução e velocidades médias de amostragem.

A faixa de resoluções um ADC-SAR é de 8 a 16 *bits* com velocidades típicas menores do que 10 MSPS (Milhões de Amostragens por Segundo).

O conversor SAR opera da mesma forma que uma balança de pesagem.

Em um dos lados é colocado um peso desconhecido, enquanto que no outro pesos conhecidos vão sendo colocados um a um até que ela encontre o ponto de equilíbrio.

O peso desconhecido pode, então, ser medido pela simples contagem dos pesos que foram colocados até se obter o equilíbrio.

Na **figura 2** temos um diagrama de blocos que representa esse tipo de arquitetura.

No conversor SAR, o sinal é o peso desconhecido que é amostrado e retido.

Essa tensão é comparada sucessivamente com tensões conhecidas até que se obtenha o resultado.

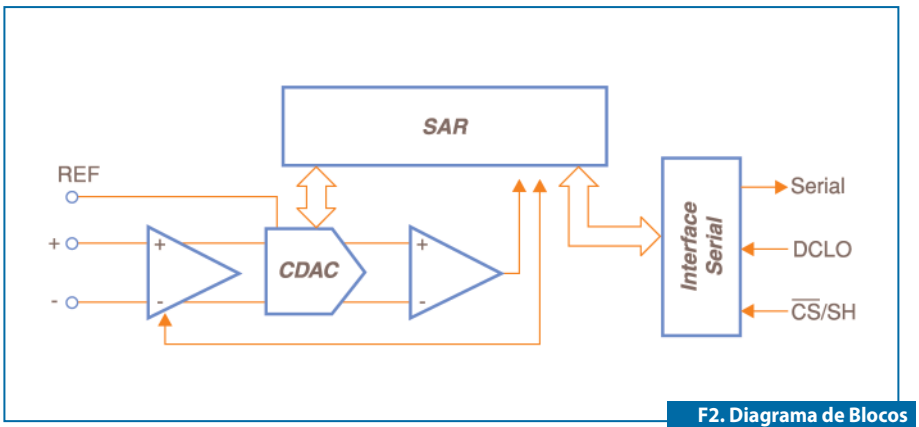
Ao se projetar um equipamento que utiliza esse tipo de conversor, devem ser feitas as considerações tratadas a seguir:

Tempo de Aquisição

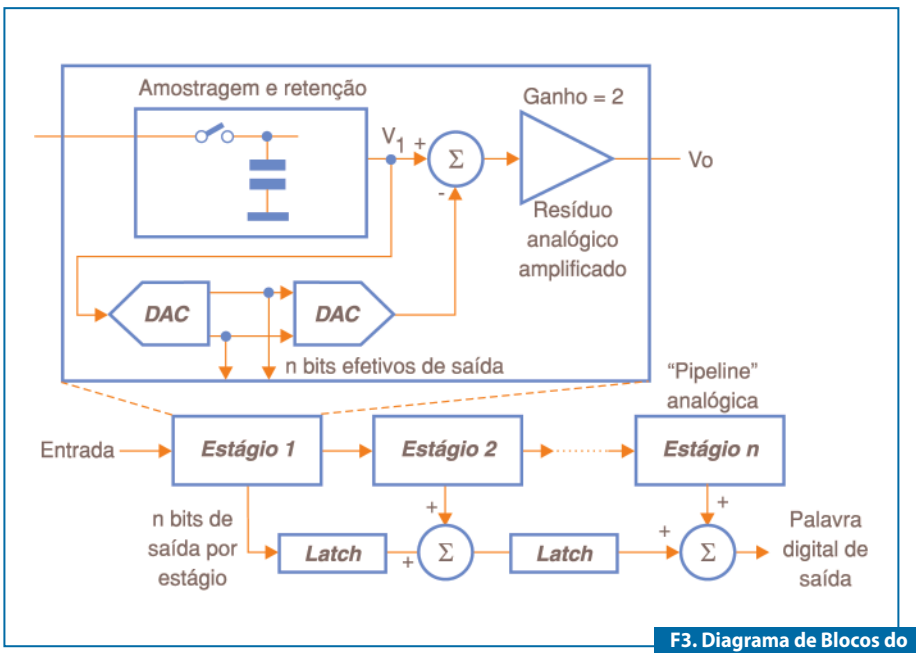
É o tempo que o circuito interno de amostragem e retenção demora para adquirir o sinal e fixá-lo com ½ LSB da resolução do conversor.

Tempo de Conversão

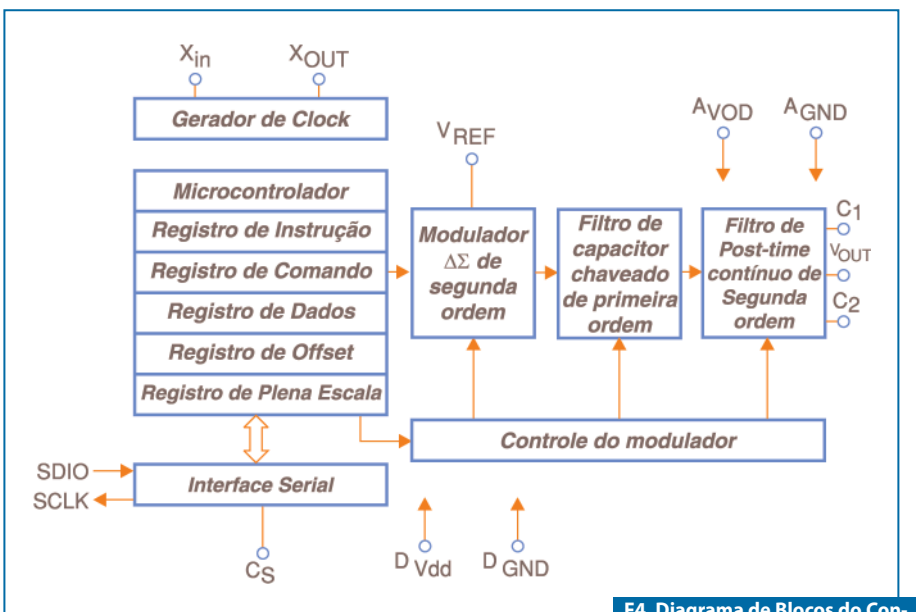
É o tempo que demora para o conversor SAR converter o sinal adquirido em um sinal digital.



F2. Diagrama de Blocos de um Conversor SAR.



F3. Diagrama de Blocos do Conversor ADC Pipeline.



F4. Diagrama de Blocos do Conversor DAC "Delta – Sigma".

Esse tempo normalmente é de N+1 ciclos de *clock* do conversor, onde N é o número de *bits* de resolução.

Nenhum código ausente

Um conversor com mais de 1 LSB de não linearidade diferencial em dois códigos adjacentes pode fazer com que dois valores diferentes de entrada apareçam na saída como um único valor (veja a parte 1 deste artigo).

Isso significa que existe um código faltando.

Um conversor SAR ideal com N *bits* de resolução tem N *bits* de nenhum código ausente.

Clock interno/externo

O *clock* que controla o processo de conversão pode estar embutido no conversor, ou pode ser externo (fornecido pelo usuário).

O uso de um clock externo permite que a velocidade seja diminuída durante o processo de aquisição.

Aumentando esse tempo, pode-se aumentar a precisão, uma vez que a entrada tem mais tempo para se acomodar.

Um *clock* externo também permite que as funções do sistema sejam sincronizadas com outros circuitos do mesmo equipamento.

Entradas Bipolares/ Pseudobipolares

Muitos conversores SAR modernos operam com fonte de alimentação simples e podem apenas aceitar sinais de entrada que oscilem entre 0 e o valor máximo da tensão de alimentação.

Em muitas aplicações, o sinal de entrada é bipolar oscilando entre valores positivo e negativos.

Conversores que podem trabalhar com esses sinais são denominados bipolares.

Em um conversor pseudobipolar, o que se faz é trabalhar com uma entrada que oscile entre o ponto médio da escala de tensões de entrada, sendo a metade superior para valores positivos e a inferior para valores negativos.

O projetista deverá tomar cuidado na escolha de um conversor que possa trabalhar com o tipo de sinal que ele vai ter na entrada.

Conversores Pipeline

ADCs que tenham taxas de conversão de dezenas de MSPS são preferivelmente baseados na arquitetura "*pipeline*".

O ADC *Pipeline* consiste em N etapas idênticas cascateadas, conforme ilustra o diagrama de blocos da **figura 3**.

A saída digital de cada etapa é combinada de modo a produzir os *bits* paralelos de saída.

Dessa forma, um valor digitalizado se torna disponível a cada ciclo do *clock*.

O processo de combinação dos dados internamente requer um intervalo digital ou "latência de dados", que é designado normalmente por "*pipeline delay*" ou latência de dados.

Na maioria das aplicações, esse valor não é uma limitação para o projeto, podendo ser expresso na forma de um número de clocks, e também é constante.

Uma característica importante dessa arquitetura que permite um alto desempenho em altas frequências é a entrada diferencial de sinais.

A configuração de entrada diferencial resulta numa faixa dinâmica ótima, uma vez que ela distingue menores amplitudes de sinais e tem uma redução de harmônicas de todas as ordens.

Além disso, esses ADCs utilizam alimentação simples de +5 V até – 1,8 V.

Os principais pontos a serem considerados em um projeto serão mencionados a seguir:

Taxa de Amostragem

É a velocidade máxima que o conversor pode adquirir e converter para a forma digital um sinal de entrada, mantendo uma determinada performance.

Essa taxa de amostragem também leva em conta que muitos ADCs do tipo *Pipeline* possuem um circuito de amostragem e retenção interno (*Sample-and-Hold* ou S/H).

A taxa de amostragem para conversores de alta velocidade é normalmente indicada em MSPS (Mega Amostragens por Segundo).

Retardo da Pipeline

É expresso pelo número de *clocks* a partir do instante em que a amostragem é adquirida até estar disponível na saída do ADC.

SFDR

SFDR é o acrônimo para *Spurius Free Dynamic Range*, ou Faixa Dinâmica Livre de Espúrios.

Essa especificação indica a distância (em dB) da amplitude fundamental ao pico do componente espúrio no espectro de frequências de saída.

O pico pode ter tanto de natureza harmônica como não harmônica.

SNR

A relação sinal-ruído ou *Sinal-to-Noise Ratio* (SNR) indica a relação em termos rms entre o sinal e outros componentes espectrais, excluindo as primeiras cinco harmônicas e a componente DC.

Essa relação é especificada em unidades dBc ou dBFS para uma determinada frequência e taxa de amostragem.

Jitter de Abertura

A modulação em fase do *clock* de modulação provoca uma variação de amostra para amostra no momento exato em que o amplificador S/H adquire uma delas.

O *jitter* de abertura caracteriza a capacidade do ADC de digitalizar rapidamente mudanças do sinal de entrada.

Em aplicações de subamostragem, essa característica é importante.

DACs

Os conversores Digital-Analógicos ou DACs, também podem ser encontrados com diversas arquiteturas e, da mesma forma, o projetista precisará estar atento às características de cada uma ao fazer seu projeto. Passamos agora a analisar as características do DAC Delta-Sigma:

DAC Delta-Sigma

Os DACs Delta-Sigma consistem no inverso dos ADCs Delta-Sigma.

É comum o uso do termo "*converse*" em lugar de "*inverse*" na literatura inglesa, mas a palavra "converso" não existe em nosso idioma com o significado atribuído.

Os DACs Delta-Sigma incluem uma interface serial, registradores de controle, modulador, capacitor comutado e um *clock* para o modulador e filtro.

Na **figura 4** apresentamos o diagrama de blocos de um conversor desse tipo. Esses conversores possuem uma alta resolução, além de exigirem pouca energia, o que os tornam ideais para o controle em laço fechado nas aplicações de controle industrial, equipamento de teste e medida de alta resolução, equipamentos alimentados por bateria e sistemas isolados.

A rede R-2R de resistores é o principal elemento dessa arquitetura.

Ao desenvolver um projeto que utilize um conversor desse tipo, o projetista deverá estar atento para aos pontos a seguir:

Erros Estáticos

São os erros que afetam a precisão dos sinais e podem ser descritos em quatro termos, conforme analisamos de forma mais detalhada na primeira parte deste artigo.

Erros de Offset

Definidos como a diferença entre os pontos nominais e reais de *offset*, esses erros também foram abordados na primeira parte deste artigo.

Erro de Ganho

O erro de ganho é definido como a diferença entre os pontos de ganho reais e nominais na função de transferência depois que o erro de *offset* tenha sido corrigido para zero. Mais informações podem ser obtidas na primeira parte deste artigo.

Erro de Não Linearidade Diferencial (DNL)

Definido como a diferença entre a largura real de degrau para um ADC, ou a altura de um degrau para um DAC e o valor ideal de 1 LSB, esse erro também foi abordado em detalhes na primeira parte desse artigo.

Erro de Não Linearidade Integral (INL)

Trata-se do desvio dos valores da função de transferência real da reta ideal, abordado igualmente em detalhes na primeira parte do interior.

Características dinâmicas

São as características de erros que afetam o comportamento de um DAC durante as transições dos sinais. Os itens seguintes descrevem os fatores que afetam esse comportamento.

Tempo de Acomodação

Já descrevemos o tempo de acomodação definindo como "o tempo necessário

para que a saída alcance um valor final dentro dos limites definidos pela banda de valores".

Para um DAC que tenham um erro de acomodação de +/- ½ LSB numa escala de 5 V, então, com 12 *bits* a banda de erros permitida será de +/- 0,601 mV, e para um DAC de 16 *bits* um erro de +/- 0,038 mV.

Observe que o dispositivo de 16 *bits* não é mais lento que o de 12, ele simplesmente precisa de mais tempo para atingir as especificações.

Glitch

Quando se fala no tempo de acomodação, o tempo total para que os transientes sejam fixados foi considerado, mas para a natureza desses transientes.

O "*glitch*" é definido como a quantidade de carga injetada na saída analógica a partir das entradas digitais, quando as entradas mudam de estado.

Essa medida é feita quando a mudança ocorre entre estados em que a maior quantidade de *bits* é alterada, por exemplo de 7FFF HEX para 8000 HEX.

Os efeitos do *glitch* podem ter consequências que dependem da aplicação.

Feedthrough Digital

Esse termo, que não traduzimos, indica quando um DAC não é selecionado e uma atividade lógica digital de alta frequência é aplicada na sua entrada, aparecendo na saída como ruído.

Distorção Harmônica Total + Ruído

É definida como a relação entre a raiz quadrada da soma dos quadrados dos valores das harmônicas e os ruídos em relação à frequência fundamental.

Essa característica é expressa em termos de porcentagem, ou dB da amplitude da frequência fundamental, numa determinada taxa de atualização.

Current Steering

A maioria dos conversores digital-analógicos modernos são fabricados em processos CMOS submícron, ou BiCMOS.

Esses conversores conseguem alcançar taxas de conversão de 500 MSPS, e resoluções de 14 ou mesmo 16 *bits*.

Para se conseguir tais velocidades e resoluções, esses DACs empregam uma arquitetura cujo nome em inglês é "*current steering*" ou direcionamento de corrente.

Na **figura 5** temos um diagrama de blocos desse tipo de conversor. Nesse circuito temos fontes segmentadas de corrente.

Existe no cerne do circuito um elemento com um "*array*" de fontes que, em conjunto, fornece a corrente total de saída, tipicamente de 20 mA.

Um decodificador interno endereça a cada chave quando ela deve ou não fornecer corrente, cada vez que o DAC é atualizado.

Direcionando as correntes de todas as fontes, ao se somarem sobre uma carga, elas formam o sinal analógico de saída.

Para que o desempenho seja o melhor, o ideal é que a tensão sobre a carga seja a menor possível, de modo a se obter maior linearidade do conversor. Ao utilizar esse tipo de conversor, o projetista deverá estar atento para os itens a seguir.

Taxa de Atualização

É a taxa na qual o conversor muda seu sinal de saída como consequência da atualização do *latch* interno. Essa taxa é dada pela frequência de *clock*.

Compliância da Tensão de Saída – Vco

Para um DAC que fornece sinais na forma de corrente, a tensão máxima que pode ser desenvolvida numa carga de saída determina sua performance. Excedendo esse limite de compliância, o resultado será uma performance não linear com um rápido aumento na distorção do sinal.

Impulso de Glitch

É uma especificação no domínio do tempo que descreve o transiente que ocorre no momento da comutação e aparece na saída durante uma mudança de código. O impulso de *glitch* especifica a integral do tempo (área) do valor analógico do transiente de *glitch*, e é normalmente expressa em pV-segundo.

ACPR

Trata-se do acrônimo para *Adjacent Channel Power Ratio* e significa a comparação da potência do sinal transmitida na faixa com as potências do sinal que caem em canais adjacentes (fora da faixa).

Distorção por Intermodulação (IMD)

O IMD de dois tons é a relação entre o tom fundamental com o pior produto de terceira ordem (ou maior) .

Tipicamente, os produtos harmônicos de terceira ordem são dominantes e por estarem perto do fundamental, são difíceis de serem eliminados por filtragem.

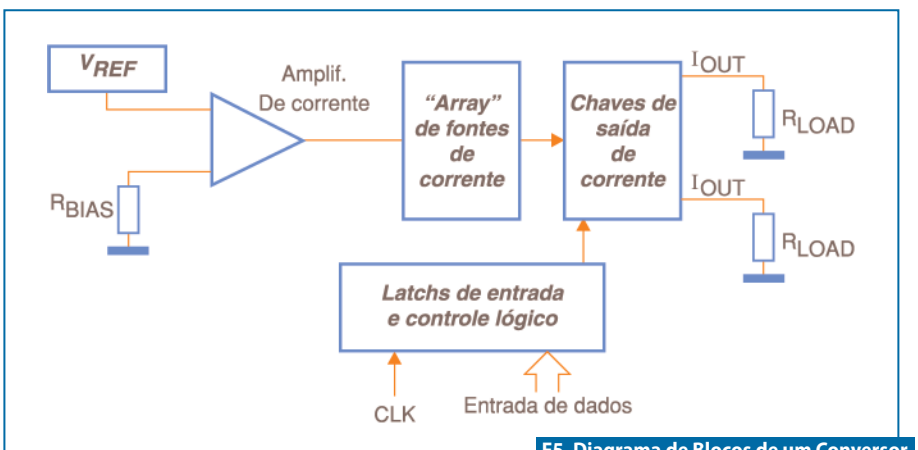
Sen x/ x Rool-Off

Como um conversor DAC é um sistema que faz amostragens, essa especificação descreve a atenuação do espectro de saída resultante da resposta de manutenção de ordem zero.

Conclusão

Conforme o leitor percebeu neste artigo, as características que devem ser observadas em um conversor de dados dependerão não apenas de sua aplicação, mas também de sua arquitetura.

Assim, para as diversas arquiteturas, o projetista deverá estar habilitado a escolher o tipo certo, e em função da escolha analisar as folhas de especificação com atenção especial aos dados relevantes, e então partir para o projeto.



F5. Diagrama de Blocos de um Conversor DAC "Current Steering".

novasaber
www.novasaber.com.br

Sua loja de livros técnicos na internet

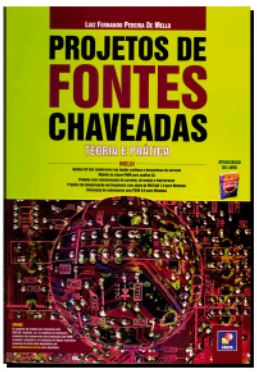
Promoções especiais e brindes



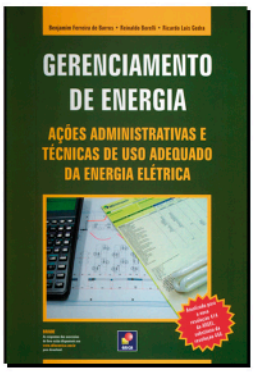


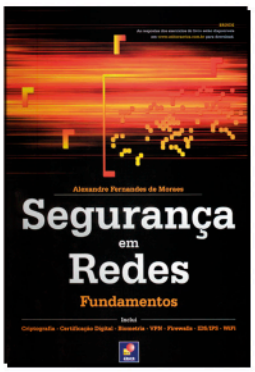


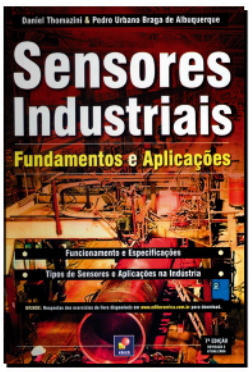






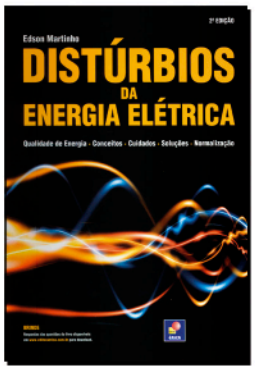


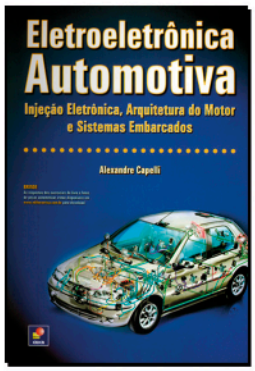












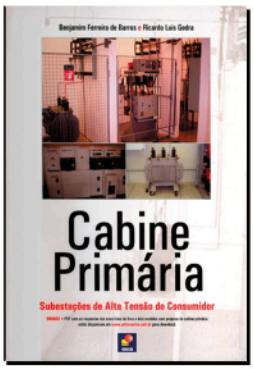














Bateria de Lítio-Íon
Conceitos Básicos e Suas Potencialidades

Conheça as características e vantagens da Bateria de Lítio-Íon e o impacto dela no meio ambiente.

Maria de Fátima N. C. Rosolem
Raul Fernando Beck
Glauco Ribeiro dos Santos
Vitor Torquato Arioli

O debate em torno do aquecimento global tem se intensificado no cenário internacional e, cada vez mais, os países estão realizando acordos de metas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera.

Na Conferência Desenvolvimento Sustentável Rio+20, ocorrida em junho de 2012 no Rio de Janeiro, foi divulgado pela Agência Internacional de Energia (AIE) que as emissões globais de dióxido de carbono (CO_2) pela queima de combustível fóssil atingiram um recorde de 31,6 bilhões de toneladas. Foi um aumento de 3,2% em relação ao ano de 2010, que detinha a maior marca da história até agora. Segundo o levantamento, a principal fonte do CO_2 emitido em 2011 foi a queima de carvão, que respondeu por 45% desse tipo de poluição. Em seguida, aparecem o petróleo, com 35%, e o gás natural, com 20%.

Reduzir as emissões de CO_2 é essencial para controlar o aquecimento global, já que o gás é um dos principais responsáveis pelo fenômeno. Segundo o estudo, o máximo que as emissões podem atingir por ano são 32,6 bilhões de toneladas, pico que deverá ocorrer em 2017, para que o aumento da média da temperatura global não ultrapasse 2 °C.

A China foi a principal responsável pela alta nas emissões globais. Ela sozinha aumentou suas emissões em 720 milhões de toneladas – o aumento absoluto global foi de 1 bilhão de toneladas. Percentualmente, o país, que é o principal emissor de CO_2 do mundo, teve aumento de 9,3%. No entanto, o relatório ressalta que a China tem adotado medidas para aumentar sua eficiência energética, e que as emissões estão crescendo menos que a economia, o que é positivo.

A Índia também teve um aumento significativo. O país emitiu 140 milhões de toneladas a mais que em 2010, um crescimento relativo de 8,7%.

Nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), grupo que inclui EUA, Canadá, Austrália, Japão e a maioria dos países europeus, houve redução de 0,6% das emissões.

Segundo a AIE, as emissões norte-americanas caíram 1,7% em 2011, principalmente pela substituição de usinas a carvão para gás natural e também por um inverno mais brando, que reduziu a demanda por aquecimento.

Apesar dos números, as emissões per capita dos dois países mais populosos do mundo, China e Índia, ainda está bem abaixo



Diversos tipos de baterias de Litio-íon.

dos países ricos. Cada chinês emitiu, em média, 63% do que emitiu um morador dos países da OCDE. Na mesma comparação, um indiano emitiu 15% da média da OCDE.

Nos grandes centros urbanos, um dos agentes que mais gera poluição do ar é o gás carbônico oriundo dos meios de transportes rodoviários - carros, ônibus, caminhões, etc. - que utilizam combustíveis fósseis.

No Brasil, o setor de transporte é o segundo maior consumidor de energia e um grande emissor de GEE, pois a matriz de transporte nacional é muito dependente do modal rodoviário, que participou em 2008 na movimentação de 58% das cargas transportadas no país, emitindo 70,5% a mais de CO_2 quando comparado a outros modais.

Há um consenso mundial na busca de soluções e produtos que contribuam para a diminuição do efeito estufa e que sejam ambientalmente amigáveis. Uma das soluções tecnológicas para reduzir esta poluição, principalmente nos centros urbanos, é a utilização de veículos elétricos e híbridos.

O principal gargalo tecnológico do desenvolvimento e disseminação dos veículos elétricos e híbridos é o sistema de armazenamento de energia, isto é, a bateria. Neste sentido há vários consórcios de pesquisas nos EUA, Europa e Ásia que buscam encontrar um sistema de armazenamento de energia que viabilize estas soluções, em termos técnicos e econômicos.

A bateria à base de lítio é um dos tipos de acumuladores de energia que tem recebido maior atenção e investimentos devido à sua elevada densidade de potência e de energia, características estas fundamentais para a viabilização das tecnologias dos veículos elétricos e híbridos.

Outra característica importante da bateria de lítio-íon é sua reduzida agressividade ao meio ambiente, quando comparada com as tradicionais baterias chumbo-ácida e níquel-cádmio.

Histórico

O lítio foi isolado em 1817 por Johan Arfvedson durante análise de uma rocha do tipo petalite ($LiAlSi_4O_{10}$), e foi batizado com a palavra grega "Lithos", que significa pedra.

Em 1855, dois cientistas - Robert Bunsen e Augustus Matthiessen - produziram simultaneamente o lítio metálico em grande quantidade através da eletrólise do sal de cloreto de lítio.

No entanto, sua potencialidade para sistema de armazenamento de energia só foi investigada um século e meio após sua descoberta.

O lítio é um metal leve com elevado potencial eletroquímico e é um dos metais com maior densidade energética, características estas muito atrativas para utilização em sistemas de armazenamento de energia, que necessitam de elevadas densidades de potência e energia.

A primeira publicação sobre a utilização de lítio em baterias saiu em 1958. As primeiras baterias primárias (não recarregáveis), utilizando lítio como ânodo, começaram a ser comercializadas no final da década de 1970.

A primeira bateria recarregável de lítio foi desenvolvida em 1980, empregando o ânodo de lítio metálico. No entanto, quando o lítio é utilizado como ânodo na forma metálica em uma bateria recarregável, existe um grande problema relacionado com a segurança devido à alta reatividade do lítio metálico, originado de reações violentas que pode ocasionar explosões e chamas.

Uma alternativa a este problema foi a utilização de lítio na forma iônica, através do emprego de ânodo à base de grafite, e compostos de lítio com características de inserção de íons de lítio como cátodo.

Em 1991 a Sony apresentou comercialmente a primeira bateria recarregável de lítio-íon, baseada no ânodo de grafite (C) e cátodo de cobaltato de lítio ($LiCoO_2$). Esta célula tem uma tensão nominal de 3,6 V.

Desde então, devido às características atraentes da bateria de lítio-íon como acumulador de energia para aplicações que demandam alta densidade de energia e potência, aliado à necessidade do mercado por equipamentos portáteis, como telefones celulares, computadores, etc., bem como o crescente interesse na viabilização do veículo elétrico, este tipo de tecnologia de armazenamento de energia tem sido exaustivamente estudada e desenvolvida por diversos países, através de consórcios mundiais entre empresas, universidades e centros de pesquisas.

Baterias - Conceitos Básicos

Uma bateria recarregável é um dispositivo que armazena energia elétrica na forma de compostos eletroquimicamente ativos (energia química) e, vice-versa, transforma energia química em elétrica. É, portanto, um dispositivo capaz de armazenar e gerar energia elétrica mediante reações eletroquímicas de oxidação (perda de elétrons) e redução (ganho de elétrons). Nestas reações a transferência dos elétrons ocorre no circuito elétrico externo, o que gera a corrente elétrica. Quando a bateria é utilizada, isto é, na descarga, a energia química armazenada nos eletrodos se transforma direta e espontaneamente em energia elétrica.

Fisicamente a unidade básica de uma bateria é uma célula, também denominada elemento. A associação de dois ou mais elementos, em série ou em paralelo, ou ambos, constitui uma bateria.

Cada célula eletroquímica é formada por dois eletrodos (placas positiva e negativa) isolados fisicamente por um material isolante elétrico, porém condutor iônico (separador) e mergulhados ou envolvidos por um eletrólito (meio condutor). O eletrodo positivo (cátodo) é constituído pelo material ativo que possui maior potencial de oxirredução (redox), por outro lado o eletrodo negativo (ânodo) é constituído pelo material ativo com menor potencial redox. O separador geralmente é um filme microporoso de fibra ou polímero, e o eletrólito pode ser líquido, sólido ou gasoso.

Durante o processo de descarga, a energia química armazenada nos eletrodos se transforma diretamente e espontaneamente em energia elétrica por meio das reações de oxidação / redução dos materiais ativos das placas.

Durante o processo de carga é necessário fornecer energia elétrica para transformar os materiais gerados na descarga nos produtos eletroquimicamente ativos originais.

O desempenho de uma bateria depende das características de fabricação de seus elementos. Os parâmetros eletroquímicos mais utilizados para caracterizar uma célula ou bateria são abordados a seguir.

Tensão – E:

- Representa o potencial, ou força eletromotriz, de uma célula eletroquímica, e é a diferença entre os potenciais de oxidação e redução dos materiais ativos dos cátodos e ânodos;
- A unidade de medida é o volt (V).

Corrente – I:

- Representa o movimento ordenado de partículas eletricamente carregadas (elétrons), ou corrente elétrica, que uma célula eletroquímica pode aplicar sobre um circuito externo, definida como a razão entre a quantidade de carga que atravessa o condutor por unidade de tempo. É relacionada com a velocidade das reações de oxidação e redução dos materiais ativos dos cátodos e ânodos, influenciada pelo separador e eletrólito, em regime permanente (contínuo) ou de pico (curta duração);
- A unidade de medida é o coulomb por segundo, chamado de ampère (A).

Capacidade específica – C:

- É a quantidade total de corrente por unidade de tempo que uma célula ou bateria é capaz de fornecer até atingir sua tensão final de descarga: **C = I x t**;
- A unidade de medida é o ampère-hora (Ah);
- Para comparar diferentes tecnologias de baterias utiliza-se o valor de capacidade normalizado em massa (Ah/kg) ou volume (Ah/l).

Energia específica – Wh:

- Indica a quantidade de energia elétrica que uma célula ou bateria pode armazenar: **Wh = E x C**;
- A unidade de medida é o watt-hora (Wh).

Energia específica mássica – Wm:

- É a quantidade de energia elétrica que uma célula ou bateria pode armazenar, normalizada em termos de massa: Wm = E x C / peso da bateria:
- A unidade de medida é watt-hora por quilo (Wh/kg).

Energia específica volumétrica – Wv

- É a quantidade de energia elétrica que uma célula ou bateria pode armazenar, normalizada em termos de volume: **Wv = E x C / volume da bateria**;
- A unidade de medida é watt-hora por litro (Wh/l).

Potência específica – P:

- Reflete a capacidade de uma bateria para fornecer altas taxas de corrente, em regime permanente (contínuo) ou de pico (curta duração): **P = E x I**;
- A unidade de medida é o watt (W);
- Para comparar diferentes tecnologias de baterias utiliza-se o valor de potência normalizado em massa (W/kg) ou volume (W/l).

Potência específica mássica – Pm:

- É a potência específica da bateria normalizada em termos de massa: **Pm = E x I / peso da bateria**;
- A unidade de medida é W/kg (mássica).

Potência específica volumétrica – Pv:

- É a potência específica da bateria normalizada em termos de volume: **Pv = E x I / volume da bateria**;
- A unidade de medida é W/l (Volumétrica).

Ciclos de vida:

- É o número de ciclos de carga / descarga que a bateria pode realizar até que sua capacidade se reduza ao valor percentual limite (especificado por tecnologia) em relação ao valor nominal;

- É altamente recomendado que a bateria consiga atingir, no mínimo, 500 ciclos para aplicação em produtos eletroeletrônicos (celulares, *notebooks*, *tablets*, ferramentas elétricas, etc.), e 1.000 ciclos para aplicação em Veículo Elétrico (VE).

O lítio metálico tem uma elevada densidade de energia, cerca de 12.000 Wh/kg, valor este próximo ao da gasolina e diesel. No entanto, na prática esta densidade energética é menor devido aos seguintes fatores:

- O elemento reativo tem que ser combinado com outro para formar a célula e apresentar a reversibilidade;
- Somente uma fração da massa da bateria é reativa, cerca de 25 a 40%, sendo o restante composto pelo eletrólito, coletores das placas (eletrodos), substratos dos eletrodos, etc;
- A presença de contaminantes físico-químicos (ainda que a níveis ínfimos).

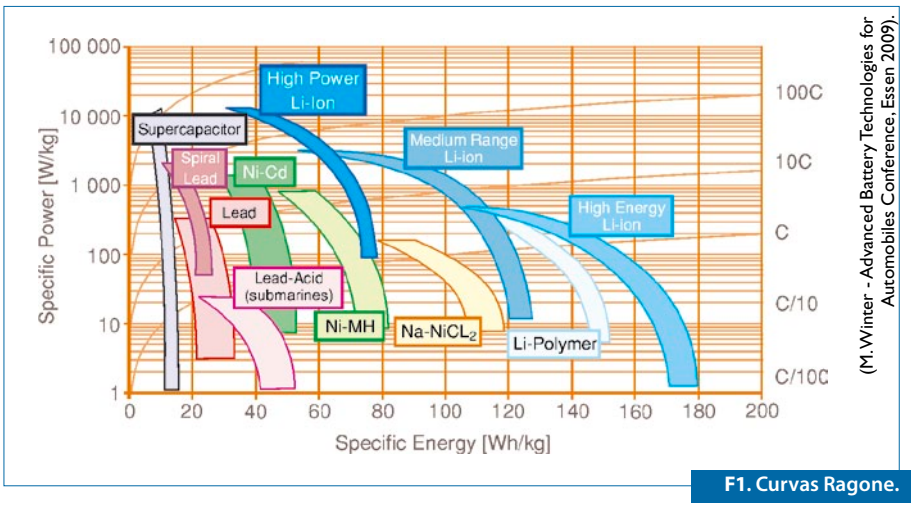
A densidade de energia de uma bateria pode ser aumentada pelos seguintes fatores:

- Utilizando compostos reagentes com elevada densidade de energia teórica, como por exemplo, lítio, alumínio, hidrogênio, etc.
- Otimizando o *design* da bateria visando minimizar as reações paralelas dos componentes da célula e reduzir a quantidade do eletrólito (isto é, espécies líquidas, e filmes sólidos finos).
- Utilizando compostos oxidantes, como por exemplo, as baterias de metal-ar.
- Utilizando compostos reagentes dos eletrodos armazenados externamente à célula, como por exemplo, as baterias de fluxo, células a combustível, etc.

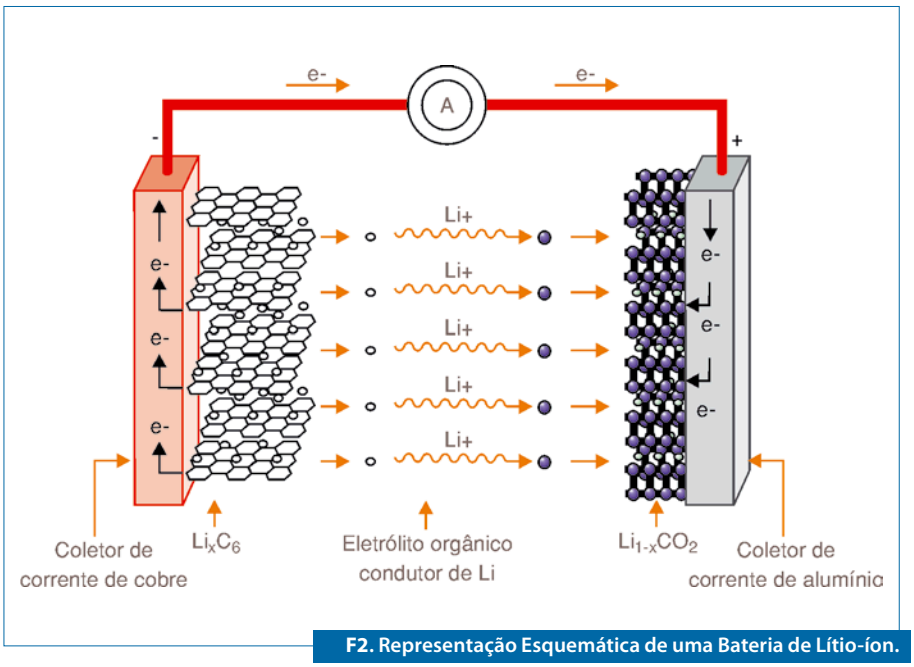
Principais Desafios

Os principais desafios tecnológicos a serem vencidos, em relação à bateria para aplicação em Veículo Elétrico, são:

- Alta confiabilidade;
- Alto desempenho (ciclos de vida e profundidade descarga);
- Alta densidade energética (Wh/kg e Wh/l);
- Ampla faixa de temperatura de operação;
- Tempo de recarga reduzido;
- Vida útil elevada;
- Peso e volume reduzidos;
- Custo razoável;
- Segurança;
- Não agressividade com o meio ambiente.



F1. Curvas Ragone.



F2. Representação Esquemática de uma Bateria de Lítio-íon.

A **figura 1** apresenta as faixas de Potência Específica Mássica (W/kg) e de Energia Específica Mássica (Wh/kg), ou simplificadamente, Densidade de Potência e Densidade Energética, para vários tipos e tecnologias de baterias.

Como pode ser observado na figura 1, as baterias a base de lítio apresentam maiores níveis de Potência e Energia por unidade de massa, devido ao fato do lítio ser um elemento pequeno, leve e que apresenta um alto potencial redox. Sua energia específica é duas vezes maior em comparação à bateria de níquel hidreto metálico, e quatro vezes maior em relação à bateria chumbo-ácida.

Esta característica constitui um dos principais atrativos para a utilização desta tecnologia como fonte de energia para veículos elétricos e híbridos, além do aspecto de baixo impacto ambiental de seus materiais constituintes.

Bateria de Lítio-íon

A **figura 2** apresenta o esquemático de operação de uma bateria de lítio-íon.

A **equação 1** mostra as reações químicas básicas durante a carga e descarga das baterias de lítio-íon:

$$6C + Li\,M_x\,O_4 \underset{\text{Descarga}}{\overset{\text{Carga}}{\rightleftarrows}} Li\,C_6 + 2M_x\,O_2 \quad [1]$$

A principal característica da bateria de lítio-íon é que os materiais ativos de ambos os eletrodos, ânodo e cátodo, possuem compostos com propriedades de intercalação, isto é, possibilitam inserir e extrair íons de lítio de modo reversível entre os dois eletrodos, com a concomitante remoção e adição de elétrons pelo circuito externo da bateria.

Neste tipo de bateria o íon de lítio não sofre processo de oxidação e redução, ele somente é inserido e extraído dos materiais dos eletrodos. A oxidação e a redução ocorrem nos outros componentes que compõem os materiais dos eletrodos positivos e negativos (grafite, cobalto, manganês, ferro-fosfato, etc.).

Para este processo ocorrer eficientemente é necessário que os materiais ativos possuam estruturas cristalinas abertas, onde existem espaços vazios, de modo que os íons possam ser inseridos ou extraídos. Estas estruturas podem ser do tipo laminares, ou em camadas, como o grafite e o $LiCoO_2$ (cobaltato de lítio), ou com canais estruturados (tipo espinel ou olivina), tais como no óxido de manganês ($LiMn_2O_4$ – espinel) e ferro-fosfato de lítio ($LiFePO_4$ – olivina). Estas estruturas permitem que os íons de lítio se movam de um eletrodo para o outro.

A bateria de lítio-íon é fabricada com os materiais ativos dos eletrodos no estado de descarga. Para preparar o verdadeiro material ativo é necessário inicialmente carregar a bateria. O ânodo (eletrodo negativo, ou placa negativa) é constituído inicialmente pelo grafite, e o cátodo (eletrodo positivo, ou placa positiva) pelo óxido metálico de lítio - nesta fase inicial um dos materiais do eletrodo tem que possuir íons de lítio que, neste caso, é o cátodo.

Durante o processo da carga da bateria os íons de lítio (Li+) são extraídos do eletrodo positivo, que se oxida e cede um elétron. Os íons de lítio e os elétrons são transportados até o eletrodo negativo, sendo que os íons se movem através do eletrólito e os elétrons pelo circuito elétrico externo (fonte / carregador). Quando os elétrons chegam ao eletrodo negativo, é produzida simultaneamente a inserção dos íons de lítio na estrutura do material anódico e a redução do estado de oxidação deste material, formando a fase litiada (por exemplo, carbeto de lítio). Ao final da etapa de carga é formado "*in-situ*" os materiais ativos em ambos os eletrodos, isto é, a fase litiada no ânodo e a fase deslitiada no cátodo.

Durante a descarga, quando a bateria gera energia, esta reação ocorre em sentido inverso, regenerando os materiais utilizados inicialmente. Neste tipo de bateria os íons de lítio são apenas transferidos entre os eletrodos (o íon de lítio não sofre reações de oxirredução) e são fundamentais para este tipo de tecnologia - por este motivo estes acumuladores são denominados de baterias de lítio-íon ou "*rocking-chair*" (tradução literal - "cadeira de balanço").

As principais características das baterias de lítio são a tensão na ordem de 4 V e a densidade energética entre 100 Wh/kg a 150 Wh/kg. O material mais utilizado no eletrodo negativo é o grafite, sendo o eletrodo positivo composto por materiais a base de óxidos metálicos de lítio, tais como $LiMO_2$, $LiCoO_2$, $LiNiO_2$ e $LiFePO_4$. O eletrólito normalmente é um sal de lítio ($LiPF_6$) diluído em solventes orgânicos (*ethylene carbonate-dimethyl carbonate*, EC-DMC), que é embebido num separador (material isolante elétrico polimérico, que possui porosidade suficiente para o transporte dos íons de lítio e inerte perante o eletrólito e materiais dos eletrodos).

As baterias de lítio possuem as seguintes vantagens:

- **Tensão elevada:** a bateria de lítio é o acumulador de energia que possui tensão mais elevada (3 a 4 V) em relação aos 1,2 V da bateria de níquel-hidreto metálico (NiMH) e aos 2,0 V da bateria de chumbo-ácido;
- **Elevada energia específica:** das tecnologias atualmente aplicáveis em VE, a bateria de lítio é a que apresenta maior energia específica, o dobro em relação à bateria de níquel-hidreto metálico e quatro vezes superior à bateria de chumbo-ácido;
- **Elevado número de ciclos de carga e descarga:** as baterias de lítio-íon apresentam excelente desempenho em ciclabilidade, sendo que várias tecnologias conseguem atingir capacidade igual ou superior a 80% em relação ao seu valor nominal quando submetidas a mais de 1000 ciclos de carga/descarga;
- Seu impacto no meio ambiente é de moderado a baixo, pois não possuem materiais tóxicos como chumbo, cádmio e mercúrio.

Estas vantagens técnicas em relação às demais tecnologias de armazenamento de energia fazem com que a bateria de lítio-íon se apresente como o "estado da arte" em baterias avançadas para aplicação em VE tendo, consequentemente, papel fundamental para a viabilização em grande escala dos VE.

Bateria de lítio-íon convencional de C/$LiCoO_2$

A primeira bateria recarregável de lítio foi comercializada pela Sony em 1991. Sua composição básica é o grafite (C) como material do ânodo, e um óxido laminar de cobaltato de lítio como cátodo ($LiCoO_2$). O potencial do eletrodo de grafite em relação a um eletrodo de referência de lítio é 0,05 V, e deste em relação ao cobaltato de lítio é 4 V, apresentando uma capacidade específica elevada, cerca de 137 Ah/kg.

Do ponto de vista superficial, a reação eletroquímica de extração e inserção de íons de lítio presentes na bateria de lítio-íon aparenta ser um simples processo entre dois eletrodos. Entretanto, na operação prática desta bateria, este processo é bem mais complicado. Ocorrerão reações do eletrólito, tanto no eletrodo negativo como no positivo.

Na formação da bateria, nos primeiros ciclos de carga / descarga ocorre uma decomposição do eletrólito resultando na formação de um filme protetor no eletrodo negativo (SEI - *Solid Electrolyte Interphase*). Este filme protege a ocorrência da decomposição deste eletrodo durante a vida útil da bateria, devido aos ciclos de carga / descarga.

No eletrodo positivo, em potenciais mais altos durante a carga, o eletrólito é reduzido gerando reações exotérmicas, portanto a bateria tem que operar em tensões inferiores à da tensão limite de oxidação do eletrólito - em caso de sobrecarga o eletrólito é oxidado, provocando a aceleração de falha da bateria devido à degradação dos materiais ativos de ambos os eletrodos.

De forma geral, a decomposição das placas positiva e negativa implica em consumo da massa ativa e do eletrólito, acompanhado de evolução de gases, o que provoca a diminuição da capacidade da bateria e riscos de segurança.

As principais barreiras para uso deste tipo de bateria de lítio na aplicação para VE são: baixa segurança intrínseca, reduzida vida cíclica, custo elevado, reduzida faixa operacional de temperatura e baixa dis-

ponibilidade de materiais (cobalto). Este tipo de bateria de lítio-íon é amplamente utilizada em aplicações portáteis, como telefones celulares, *laptops*, etc.

Bateria de C/ $LiNiO_2$

A bateria de lítio-íon à base de óxido de níquel - $LiNiO_2$ - também tem sido largamente estudada, pois este material apresenta uma estrutura cristalográfica laminar plana igual à da bateria de $LiCoO_2$.

O óxido de níquel é mais barato e possui uma densidade energética em torno de 20% (em peso) superior ao $LiCoO_2$, no entanto é menos estável, sua estrutura cristalina é menos ordenada do que o cobalto. O baixo grau de ordenação dos íons de níquel impede que as reações de carga e descarga da bateria ocorram de forma eficiente.

O $LiNiO_2$ apresenta uma capacidade irreversível no primeiro ciclo, bem como uma limitada estabilidade térmica e baixa retenção da capacidade durante a ciclagem, desta forma não é muito empregado como material catódico. Entretanto, pesquisas recentes apresentaram uma nova síntese estequiométrica do $LiNiO_2$, onde este material mostrou bom desempenho de retenção de capacidade na condição de ciclagem (1200 ciclos) sem apresentar modificações estruturais.

Porém a questão de segurança ainda não foi solucionada, pois durante a carga este material atinge um grande pico exotérmico, de aproximadamente 200 ^{0}C. No entanto, pesquisas têm demonstrado interesse prático em compostos com substituição parcial de Ni. Por remoção de 60 % do Li, formando $Li_{0,975}Ni_{1,025}O_2$, o volume diminui 1,4 %, enquanto com composto $Li_{0,992}Ni_{1,008}O_2$ a variação é somente 0,4 %.

Tomando como referência o $LiNiO_2$, diversos tipos de cátions têm sido utilizados para substituir Ni, tais como: Co, Mg, Al, Fe, Ti, Ga. Em alguns casos o oxigênio foi parcialmente substituído por F ou S.

O Co é o mais fácil para substituir Ni, formando $LiNi_{1-x}Co_xO_2$. A presença de Co reduz a irreversibilidade da capacidade, que é causada pela oxidação dos Ni_{+2} nas camadas de Li+ que removem preferencialmente os Li+ em torno dos íons de Ni, provocando um colapso da estrutura local.

O Co também aumenta a estabilidade térmica deste composto durante a carga, devido às ligações entre Co-O serem mais fortes do que as ligações de Ni-O. A ligação forte entre Co-O também contribui para estabilizar a estrutura de Li+ durante o processo de inserção / extração. Adicionalmente o Co também ajuda a diminuir a irreversibilidade da capacidade observada no primeiro ciclo, bem como aumenta o desempenho na aptidão à ciclagem deste material, e seu custo é menor.

Outro cátion investigado na inserção no composto $LiNi_{1-x}Co_xO_2$ é o magnésio, formando material do tipo $Li(Ni_{0,75}Co_{0,25}O_2)_{1-x}Mg_xO_2$. A inserção do Mg aumenta o desempenho do cátodo em relação a ciclagem e estabilidade da capacidade. A inserção dos íons Mn, Ti e Al também tem contribuído para aumentar o desempenho na aptidão à ciclagem. O composto $LiNi_{1-x}Co_xAl_yO_2$ também tem recebido especial atenção em níveis tecnológicos e acredita-se que este material será um candidato promissor para as novas gerações de baterias de lítio-íon.

Bateria de lítio-íon de C/$LiMnO_4$

Um dos materiais que tem despertado muito interesse para ser utilizado como eletrodo positivo é o manganês, em compostos com estrutura molecular tipo espinel - $LiMnO_4$. A principal diferença em relação à bateria de lítio a base de cobalto é a substituição do material do cátodo (eletrodo positivo - cobaltato) por outro óxido metálico da família do manganês.

A primeira vantagem desta substituição é a maior abundância do manganês em relação ao cobalto (950 e 25 ppm, respectivamente), portanto seus compostos têm preços inferiores aos compostos a base de cobalto. Outra vantagem importante é que o manganês produz um menor impacto ao meio ambiente - por exemplo, na água é permitido presença de manganês na concentração de até 200 ppm, enquanto que a presença de cobalto não pode superar a 0,7 ppm.

A capacidade teórica desta bateria é 148 Ah/kg, porém experimentalmente os valores nominais atingidos são da ordem de 120 Ah/kg. O perfil da curva de tensão de carga e descarga é bastante plano, apresentando uma tensão média em torno de 4,0 V, potencial este ligeiramente mais alto do que a bateria a base de cobalto.

Um das principais limitações da bateria de óxido de lítio-manganês é sua progressiva perda de capacidade durante a descarga. Esta perda de capacidade é ocasionada



devido à dissolução do manganês, especialmente em temperaturas próximas a 50 °C. Este fato limita a utilização deste cátodo em aplicações específicas.

Esta limitação atrasou a comercialização de bateria com este tipo de material. Uma estratégia que tem sido investigada para aumentar o desempenho deste tipo de bateria é a substituição parcial dos íons de manganês por outros íons metálicos, e a modificação da superfície do eletrodo através da cobertura com outros óxidos metálicos.

Um dos materiais que vem apresentando resultados interessantes são os espinéis de $LiNi_{0,5}Mn_{1,5}O_4$. Este material apresenta uma capacidade teórica de 146 Ah/kg (próxima da bateria a base de cobalto), tensão de 4,5 V e energia específica de 698 Wh/kg. A alta tensão operacional é uma potencialidade deste material para conseguir um aumento substancial na densidade energética, aproximadamente 30% superior em relação ao convencional óxido de lítio-manganês. Outra vertente de estudo é a substituição parcial do níquel por cobalto $Li[Mn_{1,42}Ni_{0,42}Co_{0,16}O_4]$ que reduz a formação parcial do $Li_xNi_{1-X}O_x$, produto este que reduz o desempenho da célula durante a ciclagem

Porém, paradoxalmente, a desvantagem deste material é o fato dos eletrólitos orgânicos atualmente em uso, à base de carbonato, se decomporem em tensões acima de 4,3 V. Projetos de pesquisas estão em andamento visando o desenvolvimento de outros eletrólitos que suportem tensões mais elevadas, a fim de viabilizar industrialmente a utilização deste material.

Bateria de lítio-íon de C/$LiFePO_4$

Os óxidos de lítio com estrutura morfológica da família das Olivinas, em particular o óxido de ferro-fosfato de lítio, é um dos novos materiais empregados como material do eletrodo positivo. Este material tem despertado o interesse devido a suas excelentes características eletroquímicas.

Dentre os materiais metálicos presentes nos eletrodos positivos da bateria de lítio, o ferro é o mais abundante na crosta terrestre (50.000 ppm da crosta terrestre) e seu preço é o mais baixo entre todos (0,23 US$/kg). Apresenta também menor impacto ambiental em relação aos outros materiais, pois a concentração de ferro admissível na água é de até 330 ppm.

Apresenta uma capacidade teórica de 170 Ah/kg e tensão de 3,4 V. A principal vantagem desta bateria é que, apesar de fornecer menor tensão entre os materiais dos eletrodos positivos de lítio, apresenta maior estabilidade frente ao eletrólito (ligação do P-O é forte, apresentando baixa probabilidade de evolução de O_2), atingindo assim mais de 1.000 ciclos de carga e descarga.

Seu custo também é menor em relação à bateria a base de cobalto, e seu perfil de tensão de descarga é muito plano, mantendo-se praticamente constante em toda a descarga.

Uma das desvantagens deste eletrodo é seu baixo desempenho nas aplicações que exigem altas taxas de corrente de descarga, causada pela alta resistência ôhmica deste material e a lenta difusão do íon de lítio na interface do eletrodo positivo.

A diminuição da resistência é alcançada através da aplicação de uma cobertura de carbono sobre este material, melhorando sensivelmente suas características eletroquímicas, principalmente na disponibilidade para drenar altas taxas de corrente de descarga. O aumento da difusão do íon de lítio na interface do eletrodo positivo tem sido alcançado através da preparação de ferrofosfato de lítio com partículas de pequeno tamanho (nanomateriais).

Outras olivinas, tais como $LiMnPO_4$ e $LiCoPO_4$, estão sendo estudadas a fim de verificar suas potencialidades na sua aplicação como material ativo do eletrodo positivo de bateria de lítio-íon, bem como as misturas destas olivinas com o $LiFePO_4$. Nestas misturas há um aumento da tensão operacional da célula devido ao aumento da quantidade de manganês.

Bateria de lítio-íon com eletrólito polimérico

Uma das alternativas para substituição do eletrólito líquido orgânico (e o separador microporoso de fibra ou polímero) é o eletrólito sólido polimérico, que é utilizado nas baterias denominadas lítio-polímero. Os eletrólitos poliméricos se dividem em duas categorias: o eletrólito seco (tipo *dry*) e o eletrólito gelificado (tipo *gel*).

Os eletrólitos do tipo seco são constituídos por uma matriz polimérica como, por exemplo, o polióxido de etileno, misturado com um sal de lítio, como o $LiPF_6$. No entanto, estas membranas só apresentam condutividade iônica em temperaturas superiores a 70 °C, o que prejudica sua aplicação prática. Para diminuir a temperatura de operação são preparados eletrólitos mais espessos, na ordem de 200 mícrons, o que reduz a densidade energética da bateria.

Os eletrólitos poliméricos gelificados são constituídos pelo sal de lítio na matriz polimérica, acrescido de um solvente orgânico que atua como um plastificante. Estes eletrólitos apresentam condutividade iônica na ordem dos eletrólitos líquidos orgânicos.

Estes eletrólitos são compatíveis com os três tipos de baterias apresentados. Sua principal vantagem é a estabilidade, inclusive frente ao ânodo de lítio. Esta característica melhora a segurança da bateria e diminui sua autodescarga. Em relação à densidade de energia, as baterias com estes eletrólitos apresentam desempenho semelhante às baterias com os eletrólitos líquidos.

Estes eletrólitos são processados na forma de lâminas (filmes) flexíveis com excelentes propriedades mecânicas. Esta característica permite redução no custo e maior automatização no processo de fabricação da bateria, e também possibilita a fabricação de baterias de diferentes formatos e leiautes.

Vários fabricantes japoneses estão fabricando baterias de lítio-polímero utilizando eletrólitos Gel (GPEs) com características retardantes a chama.

Cabe ressaltar que neste tipo de bateria, os materiais de ânodo e cátodo são os mesmos utilizados nas baterias com eletrólito orgânico líquido.

Tendências dos Materiais Catódicos

As pesquisas com materiais catódicos a serem utilizados em baterias recarregáveis de lítio-íon têm se intensificado de maneira substancial. Os critérios para seleção de um material catódico eficiente são baseados nas seguintes características cinéticas e termodinâmicas:

- O material deve possuir características de intercalação (para estrutura em camada plana), ou inserção (para estruturas mono e tridimensionais) dos íons de Li^+;
- Deve apresentar tensão elevada em circuito aberto (OCV);
- O potencial do eletrodo deverá ter variações limitadas em função da quantidade do Li^+;

- O número de "*sites*" (espaços, sítios, lacunas) para os íons de Li+ deve ser grande e as moléculas hospedeiras têm que apresentar baixo peso molecular e alta densidade (alta capacidade gravimétrica e volumétrica);
- O conjunto de difusão dos elétrons e dos íons de lítios nos "*sites*" das moléculas hospedeiras, em função do gradiente de concentração, deve ser rápido o suficiente para garantir uma boa taxa de capacidade (alta potência);
- A intercalação / inserção dos íons de Li tem que ser reversível, a fim de permitir ciclagem;
- O cátodo deve ser estável no eletrólito em toda a faixa operacional de tensão.

Estes critérios devem que ser adicionados aos seguintes pré-requisitos:

- Baixo custo;
- Baixa ou nula toxidez;
- Síntese fácil.

Entretanto, é evidente que as características e critérios citados anteriormente são necessários, porém não suficientes, desta forma é necessário adicionar as seguintes características:

- A interface do eletrólito e a superfície do cátodo devem ser estáveis (um cátodo pode ser estável em um determinado eletrólito, mas pode ser afetado pela alta resistência da interface);
- A síntese do material não necessariamente tem que ser simples, mas reprodutível e seguir uma produção de materiais com partículas de tamanhos definidos (um recurso de extrema importância);
- Deverá ser possível preparar um material encapsulado em outro, como forma de proteção em relação às reações indesejáveis com o eletrólito;
- O material tem que apresentar processamento fácil a fim de se obter um eletrodo com aplicação prática.

A seleção de um cátodo deve ser orientada para a sua aplicação. Em baterias para aplicação portátil (telefones, notebooks, tablets, etc.) pode ser tolerado um material com custo relativamente alto e com desempenho moderado em aplicações com altas correntes. Entretanto, para aplicações que exigem potências elevadas, tais como VE, o baixo custo e a capacidade são características mandatórias.

Tensão (V)	Material Típico
5,0	$LiMn_{2-x}M_xO_4$
4,0	$LiNiO_2$, $LiCoO_2$, $LiCo_{1-x-y}Ni_xM_yO_2$, $LiMn_2O_4$, $Li_{1+y}Mn_{2-x}M_xO_4$
4,0 - 3,0	$LiMnO_2$, $Li_yMn_{1-y}M_yO_2$, $Li(L_xMn_yM_{1-x-y})$
3,5	$LiFePO_4$
3,0	Mn espinel, Li_xMnO_2, $Li_xV_yO_z$
2,0	S e Polisulfidos
1,5	FeS_2

T1. Materiais de Cátodos e suas Faixas de Tensão.

A **tabela 1** apresenta os principais materiais que tem atraído a atenção para as pesquisas nos últimos 10 a 15 anos.

A seleção da técnica de síntese para produzir o material catódico das baterias de lítio-íon deve levar em conta o tipo de partícula obtida, o tamanho, sua distribuição, a morfologia e densidade, características estas que apresentam papéis fundamentais no desempenho da bateria. Os compostos a base de nanopartículas constituem uma nova classe de materiais catódicos e apresentam excelente características sob o ponto de vista de ciclagem, pois as nanopartículas diminuem o caminho de difusão dos íons de Li, provocando menor alteração dimensional da estrutura sobre condições cíclicas.

Tendências de materiais do ânodo

Conforme visto nos itens anteriores, a pesquisa e o desenvolvimento de novos materiais e compostos para o cátodo das baterias de lítio-íon tem sido determinante para elevar as características elétricas e de desempenho das diferentes tecnologias dessas baterias.

O desenvolvimento de materiais avançados que irão substituir o atual estado da arte de cátodos, e também de ânodos, baseia-se na melhoria da densidade de energia e de potência da bateria, além da sua vida cíclica e segurança.

O ânodo de grafite atual, assim como o cátodo de lítio-cobalto, utilizados tradicionalmente na química das baterias de lítio-íon, estão a um passo de serem extintos, pois estão se aproximando do limite de inovações tecnológicas que possam melhorar notavelmente seu desempenho.

As novas gerações de tecnologias de ânodo buscam elevar seu potencial em reter os íons de lítio e, de modo geral, tem sido bem menos pesquisadas que os materiais dos cátodos. Atualmente são desenvolvidas pesquisas de viabilidade de novos materiais para o ânodo baseado no silício, em nanoestruturas de carbono, em óxidos de titânio, vanádio, estanho, alumínio, etc.

O silício tem a maior capacidade teórica para íons de lítio, mas até recentemente tem tido problemas com durabilidade. No entanto, modificações estruturais no eletrodo de silício têm apresentado resultados que o colocam como uma tecnologia potencialmente disruptiva neste mercado.

O ânodo de silício é uma tecnologia que está sendo muito pesquisada em meios acadêmicos e empresas menores de alta tecnologia, com expectativas de forte impacto na indústria. Embora tenha um cronograma de desenvolvimento mais longo, tem potencial considerável para causar impacto neste mercado.

Muitas pesquisas têm sido direcionadas para ânodo a base de óxidos de titânio, tais como TiO_2 (TO) e $Li_4Ti_5O_{12}$ (LTO). Baterias de lítio com estes tipos de ânodo apresentam menor tensão e capacidade em relação as baterias convencionais com eletrodo a base de carbono, resultando em baterias com densidade energética inferior. No entanto, o interesse em se pesquisar este material é devido às suas seguintes atrativas características:

- Baixa alteração de volume da sua estrutura cristalina (⊚1%) durante a ciclagem, o que corresponde a níveis elevados de estabilidade da bateria durante aplicação cíclica;
- Não há decomposição do eletrólito, não apresentando a formação da camada de interface (SEI);
- Capacidade de operar em condições cíclicas que exigem elevada taxa de corrente e baixa temperatura;
- Elevada estabilidade térmica, tanto na carga como na descarga.

Vale a pena destacar que já existem baterias comerciais que estão utilizando eletrodos negativos a base de titânio.

Outra linha de pesquisa é a tecnologia de nanomateriais na estrutura física do material ativo do eletrodo. Esta tecnologia busca aumentar a área superficial para o armazenamento de carga e também resolver problemas com durabilidade, devido à significativa expansão e contração de alguns materiais quando eles capturam ou liberam íons de lítio, que provoca fissura no material ativo dos eletrodos.

As nanopartículas ou nanotubos, sob a forma de um pó, são o ponto de partida para o desenvolvimento de "*binders*" (material aglutinante da massa ativa dos eletrodos) que provê uma matriz condutora na qual as nanoestruturas podem ser incorporadas. Os "*binders*" são normalmente usados para dar consistência à massa ativa dos eletrodos à base de pó e melhorar sua condutividade, ao mesmo tempo em que aumentam sua área superficial para a absorção de íons de lítio, sendo aplicados em camada homogênea com espessura controlada sobre as lâminas de cobre e alumínio que vão formar os eletrodos da bateria (ânodo e cátodo, respectivamente).

Eletrólito

Nos últimos anos uma grande quantidade de solventes, sais e aditivos foram testados como eletrólito para bateria de lítio-íon. Estes estudos intensivos convergiram para o desenvolvimento de soluções padronizadas de eletrólitos que são comumente utilizados para a produção comercial de baterias de lítio-íon.

Estas soluções incluem $LiPF_6$ como um eletrólito e solventes de alquil-carbonatos. Os alquil-carbonatos são mais aplicáveis devido à sua alta estabilidade anódica em relação a outras famílias de solventes, tais como ésteres e éteres. Também em baixos potenciais ambos, Li e Li-C, formam uma boa camada de passivação numa variedade de soluções de alquil-carbonatos.

Os ésteres e éteres não são suficientemente reativos para formar uma camada passivadora com potencial elevado. As moléculas dos éteres podem facilmente cointercalar dentro do grafite com os íons de Li e, por esfoliação, destruir a estrutura do grafite. A redução dos produtos dos ésteres não é aderente o suficiente para formar a camada de filme superficial sobre o eletrodo de carbono.

O eletrólito $LiPF_6$ é o sal padrão mais empregado atualmente em baterias de lítio-íon, devido aos seguintes motivos:

- Este sal é menos tóxico do que o $LiAsF_6$, e adequado para ambos os ânodos, de Li (metálico) e Li-C;
- Uma camada passivadora mais eficiente no coletor de corrente de alumínio para o cátodo é alcançada com soluções de $LiPF_6$, provavelmente devido à formação de AlF_3 (reações de traços de HF, indesejadamente presente em todos as soluções de $LiPF_6$ com alumínio);
- A condutividade dos alquil-carbonatos / $LiPF_6$ é relativamente elevada;
- A estabilidade térmica da bateria baseada nas soluções de $LiPF_6$ é aceitável, comparada com sistemas contendo $LiClO_4$, que são explosivos;
- A produção em massa de $LiPF_6$ é relativamente simples e seu preço é aceitável.

Entretanto o $LiPF_6$ tem uma desvantagem, que é sua indesejável contaminação com HF. O $LiPF_6$ se decompõe formando LiF e PF_5 nas reações de equilíbrio. Estas espécies, na presença de apenas traços de umidade, se hidrolisam com as substâncias prótipas para formar $PO_xF_yP(OR)_xF_y$ e HF, o qual reage com ROLi ou $ROCO_2Li$ (moléculas da superfície formadas por redução dos alquil-carbonatos), que são substituídos pelo filme altamente resistivo de LiF. O HF também reage com os materiais do cátodo Li_xMo_y. O impacto das reações do HF sobre a passivação dos eletrodos é negativo, e a impedância dos eletrodos aumenta com o aumento da intensidade das reações de superfície do HF.

Em conclusão, as soluções padrões de eletrólito para baterias de Li-íon são $LiPF_6$ com misturas de alquil-carbonatos, que sempre contêm EC (carbonato de etileno) como um componente altamente polar e precursor para formação de uma boa camada passivante.

Misturas ternárias, tais como EC-DMC-DEC, proporcionam condutividade aceitável para soluções de $LiPF_6$, no entanto, também apresentam o problema de contaminação de HF, o qual interfere na camada de passivação de ambos os eletrodos. Em temperaturas elevadas há uma aceleração das reações de superfície em ambos os eletrodos, aumentando a impedância e provocando a aparente fadiga da capacidade. Há muitos projetos de P&D para aumentar o desempenho dos eletrólitos das baterias de lítio-íon.

Os principais focos de pesquisas em busca de novas soluções de eletrólitos para baterias de Li-Íon são:

- Aumento da estabilidade anódica;
- Aumento da temperatura em condutividade baixa;
- Busca de solventes não inflamáveis;
- Uso de ácidos com propriedades de aprisionamento (*scavengers*);
- Busca de sais mais estáveis e sem contaminantes;
- Aumento da passivação dos eletrodos, especialmente em temperaturas elevadas;
- Proteção a sobrecargas.

Deve ser enfatizado que é baixa a possibilidade de encontrar substitutos para os solventes hoje utilizados, alquil-carbonatos e $LiPF_6$.

Uma maneira mais rápida e fácil para aumentar a estabilidade da interface e a condutividade é utilizar aditivos. Como exemplo, recentemente, complexo de Li organoborato foi sugerido como aditivo promissor para aumentar o desempenho da bateria em temperaturas elevadas. Está havendo também um esforço para introduzir novas famílias de sais.

Outros tipos de eletrólitos têm sido alvo de várias pesquisas, tais como sais fundidos (iônicos), poliméricos, vítreos e cerâmicos.

Separador

O separador é um componente crítico em baterias de lítio-íon com eletrólito líquido, sendo posicionado entre os eletrodos positivo e negativo com a função de isolá-los eletricamente (bloquear a passagem de elétrons), mas deve ter condutividade suficiente para permitir o transporte dos íons entre os eletrodos.

É constituído por uma camada microporosa de membrana polimérica, ou uma manta de um material poroso. Deve apresentar estabilidade química e eletroquímica em relação ao eletrólito e aos materiais dos eletrodos, bem como apresentar estabilidade elétrica e mecânica para suportar tensões elevadas e esforços físicos durante a operação da bateria.

Estruturalmente os separadores deverão ter porosidade suficiente para absorver o eletrólito líquido, que possui condutividade iônica elevada. Entretanto a presença do

separador aumenta a resistência elétrica e limita o espaço dentro da bateria, afetando adversamente o desempenho da bateria.

No entanto, a seleção apropriada de um separador é um fator crítico para o desempenho da bateria, influenciando densidade de energia, potência, vida cíclica e segurança. Para densidades de potência elevadas é necessário um separador muito fino e altamente poroso, porém este não pode perder sua força mecânica.

Por questão da segurança, o separador deverá ser capaz de interromper o fluxo de íons da bateria e desligá-la, caso ocorra uma situação de superaquecimento, pois caso contrário poderá ocorrer curto-circuito e avalanche térmica.

A função de interromper a operação da bateria pode ser obtida através do *design* de multicamadas, no qual em caso de aquecimento, em temperaturas inferiores à da ocorrência da avalanche térmica, a última camada do separador se funde provocando o fechando dos poros e, consequentemente, interrompendo o transporte dos íons, sendo que as demais camadas continuam provendo força mecânica, o que previne o contato físico entre os eletrodos.

De acordo com a estrutura e composição,.. os separadores podem ser divididos em três tipos:

- Membrana polimérica microporosa;
- Manta porosa;
- Membrana de compósitos inorgânicos.

Estes três tipos de separadores são caracterizados por sua reduzida espessura, alta porosidade e excelente estabilidade térmica. Além deles, as membranas de poliolefinas têm sido muito utilizadas com eletrólitos líquidos devido a sua vantagem em relação ao desempenho, segurança e custo da bateria.

O requisito de segurança é a prioridade principal para baterias recarregáveis de lítio-ion, especialmente as utilizadas em veículos elétricos e aplicações que exigem elevada potência. Os separadores baseados em PE atuam como proteção para a bateria, promovendo a interrupção de sua operação quando esta atinge temperaturas na faixa de 90 a 130 ^{0}C, conforme suas propriedades, tais como peso molecular e a composição das misturas utilizadas.

Os separadores cerâmicos, que combinam as características de flexibilidade dos polímeros e hidrofílicas dos materiais cerâmicos, apresentam excepcional estabilidade e excelente permeação. O separador cerâmico exibe vantagens em termos de segurança e permeabilidade do eletrólito.

Desenvolvimentos futuros de separadores para baterias de lítio-íon devem ser balanceados para conseguir desempenho, segurança e baixo custo. Os custos elevados dos separadores muitas vezes são devidos aos seus custos dos processos de produção, assim sendo, o desenvolvimento de processos com menor custo efetivo é muito importante para a redução do seu custo final. Os separadores que combinam as características de interrupção térmica de operação e separadores cerâmicos são altamente desejáveis, tais como os separadores que combinam a matriz PET com poros de matriz PE com características de interrupção térmica.

BMS – Sistema de Controle e Monitoração da Bateria

Apesar de todo esforço e pesquisa para aperfeiçoar a tecnologia da bateria de lítio-íon, um dos seus desafios é a questão da segurança e a operação equilibrada quando as células são interligadas em série e/ou paralelo.

Conforme comentado anteriormente, o eletrólito da bateria de lítio é um material orgânico, que é reativo e opera numa faixa bem definida de tensão. Caso os limites de tensão sejam ultrapassados, podem ocorrer reações exotérmicas culminando com a explosão e queima da bateria.

Uma maneira de viabilizar a utilização da bateria de lítio-íon foi introduzir na célula, independentemente de sua aplicação, um circuito eletrônico de maneira a controlar sua operação, impedindo condições de risco tais como sobrecarga, subcarga, temperatura elevada, curto-circuito externo, etc. – ou seja, se um dos limites é ultrapassado, o circuito eletrônico desabilita a bateria, prevenindo a ocorrência destes fatores indesejáveis.

Geralmente a faixa de tensão de uma bateria para veículo elétrico varia entre 300 a 600 V, com capacidade que depende da potência e autonomia do sistema. Para se conseguir a tensão e potência definidas para o veículo será necessário utilizar células de lítio interligadas em série e/ou paralelo, e nesta configuração pode haver um desequilíbrio da tensão entre elas, acarretando numa diminuição da capacidade e vida útil da bateria.

Desta forma, para um desempenho adequado de baterias, além do circuito eletrônico em cada célula, deve haver também um sistema eletrônico para monitorar e controlar a tensão individual de cada célula e de suas configurações em série ou paralelo. Para melhor desempenho da bateria o ideal é que este sistema seja ativo, de maneira a realizar o balanceamento de carga de cada célula, na recarga e na descarga.

Bateria Lítio/Ar

Acumuladores de energia baseados na configuração ânodo metálico, eletrólito e oxigênio como material catódico apresentam elevada densidade energética, devido ao fato do material ativo do cátodo ser oxigênio e não haver necessidade de ser estocado na bateria, pois é obtido diretamente do ambiente.

Assim, vários sistemas de metal/ar em meio aquoso ou orgânico têm sido foco de pesquisas, tais como lítio/ar, zinco/ar, alumínio/ar, magnésio/ar, silício/ar, etc.

Lítio/Ar é um sistema eletroquímico com grande potencialidade para acumulação de energia, devido a sua alta densidade energética, que pode alcançar valores em torno de 3000 Wh/kg para baterias recarregáveis.

Uma diferença da bateria Li/Ar em relação a bateria Zn/Ar é que seu eletrólito é orgânico, pois em sistemas aquosos o ânodo de Li apresenta alta taxa de corrosão e o eletrólito é decomposto.

Em 1996 foi apresentado o primeiro sistema Li/Ar em eletrólito não aquoso. A bateria de Li/Ar consiste de um ânodo contendo lítio (usualmente é utilizado lítio metálico), um eletrólito não aquoso e um cátodo de ar, cuja tensão em circuito aberto é 3,1 V.

No ânodo o lítio metálico é oxidado a íons de lítio, e no cátodo os íons de lítio (Li+) são reduzidos, formando óxido de lítio (Li_2O) e peróxido de lítio (Li_2O_2). A utilização de eletrólitos não aquosos com este par eletroquímico resultou na maior supressão da corrosão do ânodo, no aumento substancial da tensão da célula Li/Ar e no aumento da energia específica da célula.

Atualmente a bateria Li/Ar está em estágio de desenvolvimento, e os resultados experimentais estão aquém dos valores teóricos previstos para este sistema. Em

Características	C/$LiCoO_2$	C/$LiMn_2O_4$	C/$LiFePO_4$
Energia específica teórica (Wh/kg)	600	425	385
Energia específica obtida (Wh/kg)	130 - 140	85 - 100	80 - 115
Densidade de energia (Wh/l)	300 - 375	125 - 432	110 - 170
Potência mássica (W/kg)	1.800	1700 - 2400	600 - 3.000
Potência volumétrica (W/l)	4.700	--	1.200 - 5.800
Número de ciclos (até atingir 80%)	400	> 1.000	1.000 - 3.000
Temperatura de operação (^{0}C)	-30 / +60	-25 / +75	-10 / +75

T2. Parâmetros Eletroquímicos Característicos de Baterias de Lítio-íon.

experimentos laboratoriais, a capacidade específica de energia máxima obtida para a bateria Li/Ar foi de 362 Wh/kg (a bateria de Li-íon comercial existente hoje no mercado apresenta densidade energética em torno de 200 Wh/kg).

As células de Li/Ar também apresentaram redução de capacidade de 50% após 50 ciclos (as baterias de Li-íon comerciais perdem em torno de 25% de capacidade após 300 ciclos). As pesquisas atuais indicam que a bateria Li/Ar tem vários desafios que terão que ser solucionados para esta tecnologia se tornar um produto viável comercialmente.

Dois principais fatores limitam a capacidade da célula de Li/Ar. O primeiro fator é o consumo do eletrólito durante a reação no cátodo (no caso dos eletrólitos que contém duas camadas, envolvendo um eletrólito aquoso) e o segundo fator é a precipitação dos óxidos de lítio dentro do cátodo, no caso do eletrólito não aquoso.

Uma das grandes dificuldades é obter uma configuração de eletrodos contendo lítio metálico e oxigênio, de forma a se conseguir uma bateria recarregável, eficiente e segura. O ânodo de Li causa sérios riscos de segurança na presença de pequenos traços da molécula de água. O cátodo de ar apresenta problemas de mecanismo de reações, onde na sua superfície ocorre o depósito de Li_2O_2.

Estes fatores podem ser minimizados com a utilização de catalisadores, porém estes apresentam custos elevados. Coberturas com material a base de cerâmica vítrea e o emprego de eletrólitos hidrofóbicos líquidos estão sendo propostos como alternativas para proteger o ânodo de lítio da presença de eventuais traços de água, aumentando assim a segurança da célula.

Para viabilizar esta tecnologia há necessidade de alcançar avanços tecnológicos, tanto do ponto de vista de engenharia como de materiais, buscando aperfeiçoamentos principalmente relacionados à questões de porosidade, estrutura e composição da estrutura do cátodo (para prevenir a deposição do óxido de lítio).

Conclusões

A **tabela 2** apresenta as características elétricas das diferentes tecnologias das baterias de lítio-íon.

No panorama atual estão sendo apresentadas ao mercado baterias de lítio-íon com diferentes materiais químicos. Para implementar uma destas tecnologias na aplicação de VE ou VEH, é necessário uma análise profunda de cada tecnologia.

Cada tipo de material tem seus pontos fortes e fracos - para a seleção adequada é necessário priorizar entre os diferentes parâmetros de análise. Devido à potencialidade que estas baterias vêm apresentando, bem como à necessidade de se viabilizar os veículos elétricos, há vários consórcios mundiais pesquisando variados materiais para ânodo, cátodo, separador e eletrólito. O objetivo principal é refinar a tecnologia de maneira que se consiga obter maior desempenho e segurança com menor custo.

Vale a pena destacar que a bateria de lítio-íon industrial já está sendo empregada como sistema de armazenamento de energia em projetos-piloto de Smart Grid, associados ou não a energias renováveis, tais como fotovoltaico e eólico, e também na aplicação em sistemas estacionários, como sistema de *backup* de energia em telecomunicações, subestação de energia elétrica, etc., pois nestas aplicações a questão de segurança e preço não é tão crítica como para os VE e VEH.

Os autores são da Fundação CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) - Área de Sistemas de Energia da Diretoria de Laboratórios e Infraestrutura de Redes Campinas - SP

Bibliografia

G.A. Nazri e G. Pistoia, **Lithium Batteries Science and Technology**, Springer, 1° Edition, 2009.

B. Scrosati e J. Garche, **Lithium batteries: Status, prospects and future** Journal of Power Sources 195 (2010), 2419–2430.

M. G. Kim e J. Cho, **Reversible and High-Capacity Nanostructured Electrode Materials for Li-Ion Batteries**, Advanced Funcional Materials, 2011.

Sheng Shui Zhang, **A review on the separators of liquid electrolyte Li-ion batteries**, Journal of Power Sources 164 (2007), 351–364.

Jeffrey W. Fergus, **Recent developments in cathode materials for lithium ion batteries**, Journal of Power Sources 195 (2010), 939–954.

Wei-Jun Zhang, **Lithium insertion/extraction mechanism in alloy anodes for lithium-ion batteries**, Journal of Power Sources 196 (2011), 877–885.

Next generation lithium ion batteries for electrical vehicles, Edited by Chong Rae Park, First published April 2010.

Claus Daniel, **Materials and Processing for Lithium-Ion Batteries**, Materials and Coatings, Vol. 60 No. 9, September 2008.

www.BatteryPowerOnline.com, 2009 Resource Guide Battery Power Products & Technology, Redefining Energy Storage in Transportation Markets.

The Lithium Revolution, Anu Elizabeth Cherian, Industry Analyst - Frost & Sullivan.

Improving battery safety, charging, and fuel gauging in portable media applications - by Jinrong Qian.

Battery Management Applications Manager, Texas Instruments Incorporated, Power Management.

Cost and performance of EV batteries Final report, 21/03/2012, Relatório da Axeon, Element Energy Limited, 20 Station Road, Cambridge CB1 2JD.

Alexander Kraytsberg, Yair Ein-Eli, **Review on Li-air batteries - Opportunities, limitations and perspective**, Journal of Power Sources 196 (2011), 886-893.

www.electrochem.org/dl/ma/201/pdfs/0259.pdf

www.ehow.com/about_6114119_history-lithium-ion-batteries.html

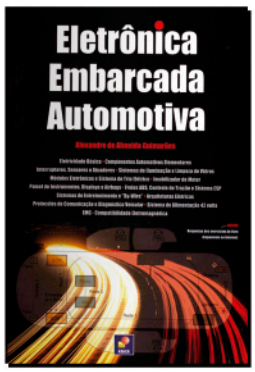
www.chemicool.com/elements/lithium.html

www.administradores.com.br/informe-se/administracao-e-negocios/federacoes-das-industrias-elaboram-documento-propondo-acoes-pro-desenvolvimento-sustentavel/5

www.farolcomunitario.com.br/meio_ambiente_000_0516-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-e-matriz-dos-transportes.php

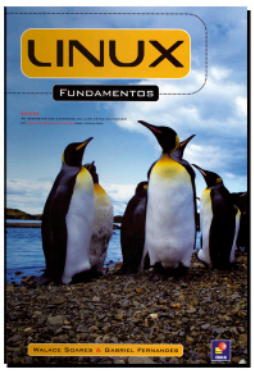
novasaber
www.novasaber.com.br

Sua loja de livros técnicos na internet
Promoções especiais e brindes













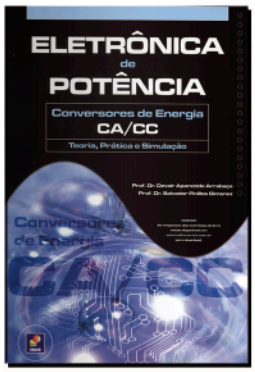


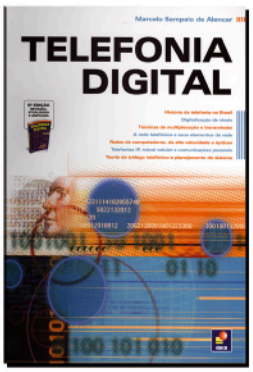






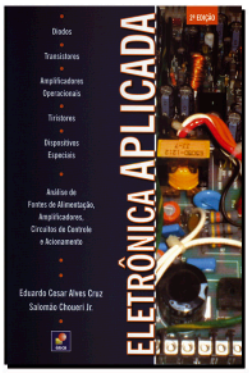








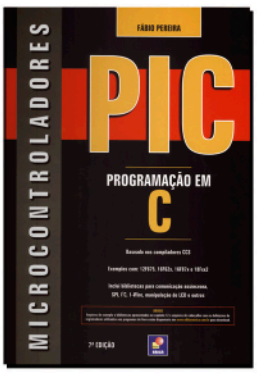












Líder em Ferramentas de Desenvolvimento para Sistemas Embarcados



Uma solução completa de desenvolvimento para todas as plataformas ARM-Powered®

O ambiente de desenvolvimento completo para projetos de microcontroladores baseados em processadores ARM®

KEIL™ Tools by ARM

1-800-348-8051
www.arm.com/tools

ARM®