Grade Curricular — Pós-Graduação em Eletrônica de Potência e Eletrônica Industrial (Eletrônica Avançada)

Escola Instructiva · Nov 20, 2026 · @Celso

Visão geral

A grade tem 12 disciplinas de 40h, organizadas em 4 eixos, mais um Projeto Integrador de 40h: 520h no total. O curso é um só: quem tem graduação recebe o certificado de pós-graduação lato sensu; quem não tem recebe certificado de extensão.

Item	Definição
Público	Técnicos em eletrônica/eletrotécnica, engenheiros e reparadores que já dominam a eletrônica básica e querem projetar, analisar e reparar fontes, inversores e conversores de potência
Pré-requisito	Eletrônica analógica e digital básica, leitura de esquemas, uso de multímetro e osciloscópio
Carga horária	520h (12 disciplinas × 40h + Projeto Integrador 40h)
Formato	Videoaulas gravadas + aulas ao vivo de dúvidas + práticas em bancada e simulação (LTspice)
Avaliação	Quiz por disciplina + estudo de caso prático por eixo + Projeto Integrador

Perfil do egresso. Ao final, o aluno será capaz de:

- Ler um datasheet de MOSFET, IGBT, SiC, GaN, driver ou controlador e tirar dele os limites reais de projeto
- Dimensionar e analisar conversores CC-CC, ressonantes, PFC e inversores CC-CA
- Projetar e diagnosticar circuitos de gate drive, isolação e medição
- Entender e aplicar as técnicas de modulação PWM, SVPWM e PFM
- Diagnosticar falhas em equipamentos industriais de potência (inversores de frequência, servodrives, fontes chaveadas, inversores solares)

Matriz curricular

A ordem vai do componente ao sistema: primeiro o aluno domina os fundamentos e a leitura de componentes, depois o chaveamento e o acionamento, depois os conversores e, por fim, a retificação e as aplicações industriais completas.

#	Eixo	Disciplina	CH
1	Eixo 1 — Fundamentos avançados	Eletrônica Analógica Avançada	40h
2	Eixo 1 — Fundamentos avançados	Análise de Datasheet Avançada	40h
3	Eixo 1 — Fundamentos avançados	Instrumentação Aplicada	40h
4	Eixo 2 — Comutação e acionamento	Eletrônica de Potência Avançada	40h
5	Eixo 2 — Comutação e acionamento	Gate Drivers e Optoacopladores	40h
6	Eixo 2 — Comutação e acionamento	Modulação PWM, SVPWM e PFM	40h
7	Eixo 3 — Conversores	Conversores CC-CC Avançados	40h
8	Eixo 3 — Conversores	Conversores Ressonantes	40h
9	Eixo 3 — Conversores	Conversores CC-CA (Inversores)	40h
10	Eixo 4 — Retificação e aplicações	Retificadores PFC	40h
11	Eixo 4 — Retificação e aplicações	Retificadores Síncronos	40h
12	Eixo 4 — Retificação e aplicações	Eletrônica Industrial Avançada	40h
13	Encerramento	Projeto Integrador (bancada)	40h
		Total	**520h**

Eixo 1 — Fundamentos avançados (120h)

O eixo nivela a turma no que todo circuito de potência usa por trás: amplificadores, referências, malhas de realimentação, leitura crítica de componentes e medição confiável.

1. Eletrônica Analógica Avançada — 40h

Objetivo: dominar os blocos analógicos que controlam, protegem e medem os conversores de potência.

- Amplificadores operacionais reais: offset, bias, slew rate, GBW, estabilidade

- Comparadores, histerese e circuitos de proteção (sobrecorrente, sobretensão, subtensão)
- Referências de tensão (TL431, bandgap) e seu uso na malha de fontes chaveadas
- Realimentação e estabilidade: diagrama de Bode, margem de fase e de ganho
- Compensadores tipo I, II e III aplicados a fontes
- Filtros ativos e passivos, amplificadores de instrumentação e diferenciais
- Ruído, layout analógico e aterramento em placas de potência

Práticas: simulação de malha de controle com TL431 + optoacoplador; medição de resposta ao degrau de carga.

2. Análise de Datasheet Avançada — 40h

Objetivo: transformar o datasheet em limites de projeto e em critério de substituição no reparo.

- Estrutura de um datasheet: valores máximos absolutos x condições recomendadas x características típicas
- MOSFET: Rds(on) x temperatura, Qg, Qgd, Ciss/Coss/Crss, curva SOA, energia de avalanche
- IGBT e módulos: Vce(sat), Eon/Eoff, curto-circuito, curvas de chaveamento
- Diodos: recuperação reversa (trr, Qrr), Schottky e SiC
- Semicondutores de banda larga: SiC e GaN — o que muda na leitura
- CIs controladores, drivers e optoacopladores: pinagem funcional e circuito de aplicação
- Dados térmicos: Rth(j-c), Rth(c-a), impedância térmica transitória e cálculo de dissipador
- Equivalência e substituição segura de componentes no reparo

Práticas: estudo de caso de troca de MOSFET/IGBT em inversor; cálculo de perdas e temperatura de junção a partir do datasheet.

3. Instrumentação Aplicada — 40h

Objetivo: medir tensão, corrente e sinais de chaveamento em circuitos de potência com segurança e precisão.

- Osciloscópio em potência: aterramento, pontas diferenciais, isolação, categorias de segurança (CAT)
- Medição de corrente: shunt, sensor Hall, transformador de corrente, bobina de Rogowski
- Medição de Vgs, Vds e laço de chaveamento sem induzir ruído

- Sensores industriais: temperatura (NTC, PT100, termopar), tensão do barramento CC, encoder e resolver
- Condicionamento de sinal e interfaces 4–20 mA e 0–10 V
- Analisador de potência, medição de rendimento, fator de potência e THD
- Câmera térmica e diagnóstico por temperatura

Práticas: medição de forma de onda de gate e de corrente em fonte chaveada; levantamento de curva de rendimento.

Eixo 2 — Comutação e acionamento (120h)

O eixo trata do coração de qualquer equipamento de potência: como a chave semicondutora liga e desliga, como ela é comandada e como o padrão de chaveamento é gerado.

4. Eletrônica de Potência Avançada — 40h

Objetivo: entender o chaveamento real e suas perdas, proteções e efeitos térmicos e de EMI.

- Chaves de potência: MOSFET, IGBT, SiC e GaN — comparação e campo de aplicação
- Transitórios de chaveamento: dv/dt, di/dt, efeito Miller, indutâncias parasitas
- Perdas de condução e de chaveamento: cálculo e medição
- Snubbers RC, RCD e grampeadores ativos
- Magnéticos de potência: indutores e transformadores de alta frequência, núcleos, saturação
- Gerenciamento térmico e dimensionamento de dissipadores
- EMI/EMC: origem do ruído conduzido e irradiado, filtros de linha e boas práticas de layout

Práticas: medição de perdas de chaveamento em braço de ponte; efeito do snubber no pico de tensão.

5. Gate Drivers e Optoacopladores — 40h

Objetivo: projetar, analisar e reparar o circuito que comanda as chaves de potência.

- Requisitos de gate drive: carga de gate, corrente de pico, resistor de gate de liga/desliga
- Drivers low-side, high-side e meia ponte (bootstrap, charge pump)
- Isolação: optoacopladores, drivers com isolação capacitiva e magnética, transformador de pulso

- Optoacopladores de gate (HCPL-3120, HCPL-316J e equivalentes): leitura e falhas típicas
- Optoacopladores de sinal e de realimentação (PC817 e afins): CTR, envelhecimento, impacto na malha
- Proteções no driver: dessaturação (DESAT), UVLO, Miller clamp, soft turn-off
- Tensão negativa de bloqueio e fontes isoladas para drivers
- Diagnóstico de falhas em drivers de inversores e servodrives

Práticas: teste de gate drive com osciloscópio; simulação de falha DESAT; teste de optoacoplador fora e dentro do circuito.

6. Modulação PWM, SVPWM e PFM — 40h

Objetivo: dominar as técnicas que geram o padrão de chaveamento dos conversores e inversores.

- PWM: portadora, razão cíclica, frequência de chaveamento e resolução
- PWM senoidal (SPWM) unipolar e bipolar; injeção de terceiro harmônico
- Tempo morto (dead time): necessidade, cálculo e efeito na forma de onda
- SVPWM: vetores espaciais, transformadas de Clarke e Park, setores e tempos de aplicação
- Comparação SPWM x SVPWM: aproveitamento do barramento CC e conteúdo harmônico
- PFM (modulação por frequência de pulso): uso em conversores ressonantes e em carga leve (burst mode)
- Geração de PWM por microcontrolador e DSP

Práticas: simulação comparativa SPWM x SVPWM; visualização de PWM e tempo morto em inversor real.

Eixo 3 — Conversores (120h)

O eixo cobre as topologias que convertem energia entre CC e CC e de CC para CA, do conceito ao dimensionamento e ao diagnóstico.

7. Conversores CC-CC Avançados — 40h

Objetivo: analisar, dimensionar e reparar as principais topologias CC-CC, isoladas e não isoladas.

- Não isolados: buck, boost, buck-boost, SEPIC, Ćuk; modos CCM, DCM e BCM
- Isolados: flyback, forward, push-pull, meia ponte e ponte completa

- Conversores multifásicos e interleaved
- Controle por modo tensão e por modo corrente (pico e média); compensação de rampa
- Modelagem de pequenos sinais e projeto da malha de controle
- Dimensionamento de indutor, transformador e capacitores (ESR, ripple, vida útil)
- Conversores bidirecionais para baterias e armazenamento
- Falhas típicas em fontes chaveadas e roteiro de diagnóstico

Práticas: projeto e simulação de flyback com malha fechada; diagnóstico em fonte chaveada com defeito.

8. Conversores Ressonantes — 40h

Objetivo: entender o chaveamento suave (ZVS/ZCS) e as topologias ressonantes usadas em fontes de alta eficiência.

- Fundamentos de ressonância: circuitos LC série e paralelo, fator de qualidade
- Comutação suave: ZVS e ZCS e por que elas reduzem perdas e EMI
- Conversor LLC: ganho x frequência, regiões de operação, projeto do tanque ressonante
- Conversores ressonantes série (SRC) e paralelo (PRC)
- Ponte completa com deslocamento de fase (phase-shift full bridge)
- Controle por frequência (PFM), partida suave e proteção contra operação capacitiva
- Aplicações: fontes de servidores e TVs, carregadores, aquecimento por indução

Práticas: simulação de LLC em várias cargas; medição de ZVS em placa real.

9. Conversores CC-CA (Inversores) — 40h

Objetivo: dominar inversores monofásicos e trifásicos usados em acionamentos, energia solar e no-breaks.

- Inversores monofásicos em meia ponte e ponte completa
- Inversores trifásicos de dois níveis: braços, estados de chaveamento, tensões de linha e de fase
- Inversores multiníveis: NPC, T-type e células em cascata
- Filtros de saída L, LC e LCL; distorção harmônica (THD)
- Controle em malha fechada de tensão e corrente; sincronismo com a rede (PLL)
- Inversores conectados à rede: inversores solares, MPPT, anti-ilhamento
- No-breaks (UPS) e inversores de frequência para motores
- Falhas típicas em estágios de potência e testes sem carga e com carga

Práticas: simulação de inversor trifásico com SVPWM e filtro LC; ensaio de estágio de saída com fonte limitada.

Eixo 4 — Retificação e aplicações industriais (120h)

O eixo fecha o ciclo: a entrada de energia vinda da rede (PFC), a saída de alta eficiência (retificação síncrona) e o equipamento industrial completo, onde tudo o que foi visto aparece junto.

10. Retificadores PFC — 40h

Objetivo: entender, dimensionar e reparar estágios de correção do fator de potência.

- Fator de potência, distorção harmônica e normas (IEC 61000-3-2)
- PFC passivo x PFC ativo
- PFC boost em CCM, CRM/BCM e DCM
- Controladores PFC (série UCC28xxx, L6562 e equivalentes): malhas de tensão e de corrente
- PFC interleaved, bridgeless e totem-pole (com SiC/GaN)
- PFC trifásico e retificador Vienna
- Inrush, proteções e falhas típicas no estágio PFC

Práticas: medição de FP e THD com e sem PFC; diagnóstico de estágio PFC em fonte de TV ou inversor.

11. Retificadores Síncronos — 40h

Objetivo: substituir diodos por MOSFETs para reduzir perdas, com controle correto do acionamento.

- Por que retificar com MOSFET: perdas em diodo x Rds(on)
- Retificação síncrona em buck e em conversores isolados (flyback, forward, LLC)
- Acionamento autoexcitado (self-driven) x acionamento por controlador dedicado
- Controladores de SR: detecção de tensão Vds, tempos mínimos, prevenção de condução reversa
- Diodo ideal (OR-ing) e proteção contra inversão de polaridade
- Escolha de MOSFET para SR: Qrr do diodo de corpo, Coss, Rds(on)
- Falhas típicas e medições de diagnóstico

Práticas: comparação de rendimento entre retificação com diodo e síncrona; análise de formas de onda de SR em LLC.

12. Eletrônica Industrial Avançada — 40h

Objetivo: aplicar todo o conteúdo aos equipamentos de potência encontrados na indústria.

- Arquitetura de um inversor de frequência: retificador, barramento CC, frenagem, inversor, controle
- Soft starters e conversores com tiristores (SCR, TRIAC): disparo e controle de fase
- Servodrives: malhas de corrente, velocidade e posição; encoder e resolver
- Controle escalar (V/f) e controle vetorial (FOC)
- Fontes industriais, no-breaks e carregadores
- Comunicação industrial básica: Modbus, entradas e saídas, integração com CLP
- Normas e segurança: NR-10, isolação, descarga do barramento CC
- Metodologia de diagnóstico: falhas de potência, de driver, de controle e de realimentação

Práticas: roteiro completo de diagnóstico em inversor de frequência e servodrive.

13. Projeto Integrador (bancada) — 40h

Objetivo: consolidar a formação em um trabalho prático avaliado.

O aluno escolhe uma das três trilhas: projetar e simular um conversor completo (ex.: PFC + LLC + SR), recuperar um equipamento industrial com relatório técnico de diagnóstico, ou desenvolver um estudo de caso de falha documentado com medições. A entrega é um relatório técnico e um vídeo curto de apresentação.

Certificação

Todos os alunos fazem o mesmo curso, com o mesmo conteúdo e a mesma avaliação. O documento final depende da escolaridade do aluno.

Item	Aluno com graduação	Aluno sem graduação
Documento final	Certificado de pós-graduação lato sensu (especialização), emitido por instituição credenciada no MEC	Certificado de curso de extensão
Exigência	Diploma de graduação (bacharelado, licenciatura ou tecnólogo)	Base em eletrônica (técnicos e reparadores)
Carga horária	520h	520h

Item	Aluno com graduação	Aluno sem graduação
Avaliação	Quiz por disciplina + estudo de caso por eixo + Projeto Integrador	Igual

Decisões

Decisões tomadas em 20/11/2026:

- **Nome:** Pós em Eletrônica de Potência e Eletrônica Industrial — Eletrônica Avançada
- **Disciplina 6:** Modulação PWM, SVPWM e PFM
- **Carga horária:** 520h, com Projeto Integrador
- **Professores:** todos os professores da Escola Instructiva participam, distribuídos pelos eixos
- **Simulador das práticas:** LTspice
- **Certificação:** com graduação recebe pós-graduação lato sensu; sem graduação recebe certificado de extensão