

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Departamento de Sistemas e Energia

Pré-reguladores de Fator de Potência

José Antenor Pomilio

Publicação FEE 03/95

Revisado e atualizado em Fevereiro de 2018

Apresentação

O texto que se segue foi originalmente elaborado em função da disciplina "Fontes de Alimentação com Correção de Fator de Potência". Atualmente é parte do conteúdo da disciplina "Fontes Chaveadas", ministrada nos cursos de pós-graduação em Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas.

Este é um material que deve sofrer freqüentes atualizações, em função da constante evolução tecnológica na área da Eletrônica de Potência, além do que, o próprio texto pode ainda conter eventuais erros, para os quais pedimos a colaboração dos estudantes e profissionais que eventualmente fizerem uso do mesmo, no sentido de enviarem ao autor uma comunicação sobre as falhas detectadas.

Os resultados experimentais incluídos no texto referem-se a trabalhos executados pelo autor, juntamente com estudantes e outros pesquisadores e foram motivo de publicações em congressos e revistas, conforme indicado nas referências bibliográficas.

Textos semelhantes foram produzidos referentes às disciplinas de "Fontes Chaveadas" e "Eletrônica de Potência".

Campinas, 16 de fevereiro de 2018

José Antenor Pomilio

José Antenor Pomilio é engenheiro eletricista, mestre e doutor em Eng. Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. De 1988 a 1991 foi chefe do grupo de eletrônica de potência do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. Realizou estágios de pós-doutoramento junto à Universidade de Pádua e à Terceira Universidade de Roma, ambas na Itália. Foi presidente e membro da diretoria em diversas gestões da Associação Brasileira de Eletrônica de Potência – SOBRAEP, foi membro do comitê administrativo da IEEE Power Electronics Society durante quatro anos e membro eleito do Conselho Superior da Sociedade Brasileira de Automática. É editor associado da Transactions on Power Electronics (IEEE), tendo sido editor da revista Eletrônica de Potência (SOBRAEP) e editor associado de Controle e Automação (SBA) e do International Journal of Power Electronics. É professor da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp desde 1984, onde foi coordenador do curso de Engenharia Elétrica e diretor da Faculdade. Orientou 22 dissertações de mestrado e 20 teses de doutorado, publicou dezenas artigos em periódicos nacionais e internacionais e centenas de artigos em congressos internacionais e nacionais. Participou como executor ou colaborador em diversos projetos conjuntos com empresas e coordenou mais de 20 projetos com financiamento público (FAPESP, CNPq, CAPES, FINEP). É assessor ad-hoc de diversos órgãos de financiamento públicos e revisor em mais de uma dezena de publicações científicas internacionais.

Conteúdo

1. NORMAS RELATIVAS À CORRENTE DE LINHA: HARMÔNICAS DE BAIXA FREQUÊNCIA E INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA CONDUZIDA

1.1 EFEITO DE HARMÔNICAS EM COMPONENTES DO SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA

1.2 FATOR DE POTÊNCIA

1.2.1 DEFINIÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

1.3 NORMA IEC 1000-3-2: LIMITES PARA EMISSÃO DE HARMÔNICAS DE CORRENTE (≤ 16 A POR FAS)

1.4 RECOMENDAÇÃO IEEE PARA PRÁTICAS E REQUISITOS PARA CONTROLE DE HARMÔNICAS NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA: IEEE-519

1.5 NORMAS RELATIVAS ÀS LIMITAÇÕES DE NÍVEIS DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA CONDUZIDA PELA REDE

1.5.1 IEM CONDUZIDA PELA REDE

1.6 A FAIXA INTERMEDIÁRIA (3 kHz A 148,5 kHz): TRANSMISSÃO DE SINAIS PELA REDE ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO

1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PRÉ-REGULADORES DE FATOR DE POTÊNCIA

2.1 DESVANTAGENS DO BAIXO FATOR DE POTÊNCIA (FP) E DA ALTA DISTORÇÃO DA CORRENTE

2.2 SOLUÇÕES PASSIVAS

2.3 SOLUÇÕES ATIVAS

2.3.1 ELEMENTOS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3. CONVERSOR ELEVADOR DE TENSÃO (BOOST) COMO PFP

3.1 O CONVERSOR ELEVADOR DE TENSÃO COM ENTRADA CC

3.1.1 CONDUÇÃO CONTÍNUA

3.1.2 CONDUÇÃO DESCONTÍNUA

3.2 CONVERSOR ELEVADOR DE TENSÃO OPERANDO COMO PFP EM CONDUÇÃO DESCONTÍNUA

3.2.1 CARACTERÍSTICA DE ENTRADA

3.2.2 CARACTERÍSTICA DE SAÍDA

3.2.3 INDUTÂNCIA DE ENTRADA

3.3 CONVERSOR ELEVADOR DE TENSÃO OPERANDO COMO PFP EM CONDUÇÃO CRÍTICA

3.4 CONVERSOR ELEVADOR DE TENSÃO OPERANDO COMO PFP EM CONDUÇÃO CONTÍNUA

3.4.1 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

3.5 CONVERSOR ELEVADOR DE TENSÃO OPERANDO EM CONDUÇÃO CONTÍNUA E CONTROLE POR HISTERESE

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4. CONVERSOR ABAIXADOR-ELEVADOR DE TENSÃO COMO PRÉ-REGULADOR DE FATOR DE POTÊNCIA

4.1 CONVERSOR ABAIXADOR-ELEVADOR COM ENTRADA CC

4.1.1 MODO CONTÍNUO

4.1.2 MODO DESCONTÍNUO

4.2 CONVERSOR ABAIXADOR-ELEVADOR DE TENSÃO COMO PFP

4.2.1 CÁLCULO DAS VARIÁVEIS MÉDIAS DE ENTRADA

- 4.2.2 CÁLCULO DAS VARIÁVEIS EFICAZES DE ENTRADA
- 4.3 CONVERSOR ABAIXADOR-ELEVADOR COM 2 INTERRUPTORES
- 4.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5. CONVERSOR ABAIXADOR DE TENSÃO COMO PFP

- 5.1 CONVERSOR ABAIXADOR DE TENSÃO COM ENTRADA CC
- 5.2 CONVERSOR ABAIXADOR DE TENSÃO COMO PFP
- 5.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. CONVERSORES CUK, SEPIC E ZETA COMO PFP

- 6.1 CONVERSOR CUK COM ENTRADA CC
- 6.2 CONVERSOR SEPIC COM ENTRADA CC
- 6.3 CONVERSOR ZETA COM ENTRADA CC
- 6.4 CONVERSORES CUK, SEPIC E ZETA ISOLADOS COM ENTRADA CC
- 6.5 CONVERSOR CUK COMO PFP
 - 6.5.1 OPERAÇÃO NO MODO DESCONTÍNUO
 - 6.5.2 LIMITE DE OPERAÇÃO NO MODO DESCONTÍNUO
 - 6.5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CAPACITORES C1 E C0
 - 6.5.4 O CONTROLE DO CONVERSOR
 - 6.5.5 CONVERSOR CUK COM TRANSFORMADOR
 - 6.5.6 NÃO-IDEALIDADES QUE CAUSAM DISTORÇÃO NA FORMA DE ONDA
 - 6.5.7 ACOPLAMENTO DAS INDUTÂNCIAS
 - 6.5.8 OPERAÇÃO NO MODO CONTÍNUO
- 6.6 CONVERSOR SEPIC COMO PFP
- 6.7 CONVERSOR ZETA COMO PFP
- 6.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. DETERMINAÇÃO DOS LIMITES PARA OPERAÇÃO NO MODO DESCONTÍNUO DE PFP

- 7.1 LIMITES PARA CONVERSORES CC-CC
- 7.2 LIMITES PARA CONVERSORES CA-CC OPERANDO COMO PFP
- 7.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. CONVERSORES TRIFÁSICOS COM RETIFICADOR A DIODOS COMO PFP

- 8.1 CONVERSOR CUK COM ENTRADA TRIFÁSICA INDUTIVA COMO PFP
 - 8.1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO CONVERSOR
 - 8.1.2 DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO
 - 8.1.3 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA
- 8.2 CONVERSORES TRIFÁSICOS COM ENTRADA CAPACITIVA COMO PFP
 - 8.2.1 DETERMINAÇÃO DA TENSÃO MÉDIA DE ENTRADA
- 8.3 MELHORIA NO FP DE RETIFICADOR TRIFÁSICO ALIMENTANDO CARGA CAPACITIVA
 - 8.3.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO
 - 8.3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A TOPOLOGIA
- 8.4 CONVERSOR A DIODOS COM FILTRO CAPACITIVO
- 8.5 CONVERSOR TIPO FLY-BACK
- 8.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9. PRÉ-REGULADORES DE FATOR DE POTÊNCIA COM RETIFICADORES CONTROLADOS

9.1 CONVERSOR TRIFÁSICO TIPO ELEVADOR DE TENSÃO COM RETIFICADOR CONTROLADO

9.1.1 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

9.2 CONVERSOR CA-CC TRIFÁSICO COM CONTROLE PWM

9.2.1 EQUAÇÕES BÁSICAS

9.2.2 ABSORÇÃO DE REATIVOS

9.2.3 OUTRAS SEQÜÊNCIAS DE COMUTAÇÃO

9.3 CONVERSOR TIPO FLYBACK

9.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

10. CIRCUITOS INTEGRADOS DEDICADOS AO ACIONAMENTO E CONTROLE DE FONTES CHAVEADAS COM CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

10.1 REALIMENTAÇÕES DE TENSÃO E DE CORRENTE

10.2 UC1524A (OU 2524 OU 3524)

10.3 LT1249

10.4 LT1248

10.5 MC34262

10.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

11. INTERAÇÃO CONVERSOR-FILTRO DE LINHA EM PRÉ-REGULADORES DE FATOR DE POTÊNCIA

11.1 INTRODUÇÃO

11.2 ANÁLISE DA INTERAÇÃO FILTRO-CONVERSOR

11.3 ADMITÂNCIA DE ENTRADA DE PFPs

11.3.1 ANÁLISE DO CONTROLADOR.

11.3.2 BOOST PFP

11.3.3 CONVERSORES CUK E SEPIC

11.4 PREDIÇÕES DO MODELO

11.5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

11.5.1 BOOST

11.5.2 SEPIC

11.6 MODIFICAÇÃO NA MALHA DE CORRENTE

11.7 REVISÃO DO CIRCUITO DE CONTROLE DE PFP COM CONTROLE POR CORRENTE MÉDIA

11.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS