

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

Pré-reguladores de Fator de Potência

José Antenor Pomilio

Publicação FEE 03/95

Revisado e atualizado em Janeiro de 2004

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, 2 de fevereiro de 2004

José Antenor Pomilio

José Antenor Pomilio é Engenheiro Eletricista, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (1983, 1986 e 1991, respectivamente). É professor titular junto à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP, onde trabalha desde 1984. Participou do Grupo de Eletrônica de Potência do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (CNPq) entre 1988 e 1993, sendo chefe do Grupo entre 1988 e 1991. Realizou estágios de pós-doutoramento junto ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Pádua, em 1993/94 e junto ao Depto de Eng. Mecânica e Industrial da Terceira Universidade de Roma, ambas na Itália. Foi membro do Comitê de Administração da IEEE Power Electronics Society de 1998 a 2002, editor da revista Eletrônica de Potência (SOBRAEP), de 1999 a 2000, presidente da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência em 2000-2002. Atualmente é Editor Associado da IEEE Trans. on Power Electronics e de Controle & Automação (SBA).

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 FASE)**
- 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 C_1 E C_o
 - 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**