**GPL/027**

**21  a  26  de  Outubro  de  2001**

**GRUPO  VII**

**PLANEJAMENTO  DE  SISTEMAS  ELÉTRICOS**

**ESTABILIDADE  DE  TENSÃO  –  IMPACTOS  TÉCNICOS  E  ECONÔMICOS  DECORRENTES  DAS**

**METODOLOGIAS  UTILIZADAS  NA  DETERMINAÇÃO  DA  MARGEM  DE  SEGURANÇA**

Anderson  Neves  Cortez  (\*) Maria  Helena  Murta  Vale

CEMIG UFMG

Companhia  Energética  de  Minas  Gerais Universidade  Federal  de  Minas  Gerais

LRC  –  Núcleo  de  Desenvolvimento  Científico  e  Tecnológico  em  Descargas  Atmosféricas

RESUMO

Este  trabalho  apresenta  resultados  das  investigações

realizadas  pela  CEMIG  e  UFMG  sobre  o  tema

estabilidade  de  tensão,  abordando,  especificamente,  a

questão dos impactos técnicos e econômicos

decorrente  da  aplicação  das  metodologias  para

determinação das margens de segurança dos

sistemas. Discute-se os principais pontos das

metodologias  Estática,  Dinâmica  e  Quase-Dinâmica,

destacando-se  suas  particularidades.  São  destacados

os  critérios  mais  utilizados  internacionalmente  para  a

avaliação  das  margens  de  estabilidade  de  tensão,

apontando-se suas vantagens e desvantagens.

Utilizando-se  um  sistema  real,  avalia-se  os  referidos

impactos  técnicos  e  econômicos  e  apresenta-se  uma

metodologia alternativa que busca minimizar a

aplicação indevida de recursos financeiros na

expansão  do  sistema.

PALAVRAS-CHAVE:  Estabilidade  de  Tensão,  Margens

de  segurança,  Impactos  técnicos  e  econômicos  na

expansão  dos  sistemas  elétricos.

1.0  -  INTRODUÇÃO

O  limite  de  estabilidade  de  tensão,  assim  como  os

demais,  angular  e  térmico,  restringe  a  capacidade  de

transmissão dos sistemas. Desta forma, a

determinação  correta  desta  restrição  pode  evitar

grandes desligamentos, além de permitir um

direcionamento adequado dos investimentos

destinados  à  expansão  dos  sistemas.

A  partir  do  início  da  década  de  90,  em  decorrência  das

restrições econômicas e ambientais, e da

desregulamentação  do  setor  elétrico,  nacional  e

internacional,  tornou-se  mais  complexa  a  tarefa  de

ampliar  os  sistemas  elétricos  de  potência  (SEP).

Assim,  elevaram-se  os  carregamentos  desses

sistemas,  aumentando-se  os  riscos  de  ocorrência  de

colapsos  de  tensão.  Preocupados  com  a  segurança  de

seus  sistemas,  países  como  os  Estados  Unidos  (1),

Japão  (2),  Reino  Unido  (2),  Brasil  (3)  etc.,  iniciaram  o

desenvolvimento  de  procedimentos  e  critérios  para

avaliação  das  margens  de  estabilidade  de  tensão.

A  pesquisa  sobre  tais  metodologias  de  análise  do

fenômeno  tem  mostrado  uma  tendência  de  aumento  no

nível  de  investimento  para  expansão  dos  sistemas,  de

forma  que  se  possa  manter  um  mínimo  de  segurança

em  relação  ao  colapso  de  tensão.  Além  disso,  na  forma

em     que     foram     concebidas,     tais     metodologias

apresentam  alguns  pontos  questionáveis  que,  face  à

sua  importância,  podem  implicar  obras  e  investimentos

indevidos      para      manutenção      da      margem      de

estabilidade.  Este  artigo  discute  esses  pontos  e  aponta

para  uma  direção  alternativa,  aumentando  a  qualidade

das  análises  e  buscando  mitigar  a  aplicação  indevida

dos  escassos  recursos  disponíveis  no  setor.

2.0  -  METODOLOGIAS  PARA  AVALIAÇÃO  DA

MARGEM  DE  ESTABILIDADE  DE  TENSÃO

Basicamente,  as  metodologias  para  avaliação  do

fenômeno  são  classificadas  em  estáticas,  quase-

dinâmicas  e  dinâmicas.  Embora  tenham  o  mesmo

objetivo,  essas  metodologias  representam  formas  bem

distintas     de     se     abordar     o     assunto,     conforme

apresentado  a  seguir.

Estática

É  a  mais  conhecida  e  utilizada  internacionalmente

(Estados  Unidos,  Canadá,  Japão,  Reino  Unido,  Brasil

etc.),  principalmente  pela  simplicidade  e  rapidez  nas

simulações.  Baseia-se  na  utilização  do  fluxo  de

potência  convencional  ou  modificado,  onde  se  altera  a

construção  da  matriz  jacobiano  do  sistema,  para

permitir  que  o  ponto  de  colapso  seja  alcançado,  sem

que  haja  divergência  por  singularidade.  Avalia-se  a

margem  de**potência  ativa  ou  reativa  através  de**

(\*)  CEMIG  -  Companhia  Energética  de  Minas  Gerais

Avenida  Barbacena  1200,  80  andar,  Ala  B1,  Depto:  ST/PL  -  Santo  Agostinho

30123-970  -  Belo  Horizonte  -  MG  -  Brasil

2

processamentos  sucessivos  de  fluxos  de  potência,  ou

calculando-se  diretamente  o  ponto  de  colapso.

Neste  tipo  de  metodologia  não  se  analisa  os  casos  de

colapso de tensão transitórios, decorrentes de

instabilidade  angular,  assumindo-se  que  as  simulações

dinâmicas  tenham  mostrado  que  o  sistema  é  estável,

para todas as perturbações (contingências)

consideradas.  As  margens  de  potência  ativa  e  reativa

são  avaliadas,  geralmente,  através  das  curvas  PxV  e

VxQ,  após  o  amortecimento  das  oscilações  transitórias,

e  antes  das  tomadas  de  ações  manuais  dos

operadores.

Quase-Dinâmica - Análise Modal

A  terminologia  quase-dinâmica  é  derivada  do  termo

inglês*Quasi-dynamic*,  como  se  observa  em  (1),  e  tem

sido  utilizada  para  avaliar  pequenas  perturbações  no

sistema.  Em  (5)  classifica-se  a  análise  modal  como

estática,  embora  outros  autores  prefiram  enquadrá-la

como  quase-dinâmica.  Na  análise  modal  busca-se

avaliar  a  estabilidade  de  tensão  para  as  pequenas

variações  no  ponto  de  operação,  que  são  efetuadas

através  de  alterações  nas  demandas  ativas  e/ou

reativas  das  cargas.  Desta  forma,  tem-se,  através  das

matrizes  de  sensibilidade  (jacobiano  reduzido)  P-V  ou

Q-V,  a  relação  entre  a  variação  incremental  das

demandas (ativas e/ou reativas) e a variação

incremental  do  módulo  das  tensões  nodais.

Tais  matrizes  se  tornam  singulares,  juntamente  com  a

matriz  jacobiano  do  fluxo  de  potência,  ao  se  atingir  o

ponto  de  máximo  carregamento  do  sistema,  tornando-

as  importantes  para  a  avaliação  da  estabilidade  de

tensão.  Em  (4)  o  autor  descreve  a  aplicação  da  análise

modal  através  da  decomposição  da  matriz  jacobiano

do  fluxo  de  potência  em  autovalores  e  autovetores.

Destaca-se  o  papel  dos  autovalores  na  identificação

dos  diferentes  modos  com  que  o  sistema  pode  atingir  o

colapso  de  tensão.  Em  relação  aos  autovetores,  à

direita  e  à  esquerda,  associados  aos  autovalores

críticos,  menciona-se  a  sua  aplicação  para  avaliar  a

observabilidade  e  controlabilidade  de  cada  modo  sob

análise, ou seja, os mesmos podem conter

informações  relevantes  sobre  os  pontos  do  sistema

onde  as  medidas  corretivas  são  mais  efetivas.

Din âmica

Face  aos  elevados  tempos  envolvidos  nas  simulações,

não  se  tem  utilizado  a  análise  dinâmica  convencional

para  análises  do  fenômeno.  Para  reduzir  esses  tempos

pode-se  empregar  a  decomposição  na  escala  do

tempo,  que  é  uma  nova  abordagem  (dinâmica),  para  se

avaliar  a  estabilidade  de  tensão.  Neste  novo  enfoque,

tem-se  um  modelo  de  escala  variável  no  tempo,  a  partir

do  qual  é  possível  derivar  os  modelos  de  dimensão

reduzida  para  qualquer  período,  do  mais  rápido  (*short*

*term*)  ao  mais  longo  (*long  term*).  A  aproximação  QSS

(*Quasi-Steady-State*)  utilizada  para  análise  de  longo

termo  é  um  tipo  de  técnica  de  decomposição  na  escala

do  tempo,  onde  se  busca  analisar  as  dinâmicas  lentas

envolvidas  no  processo  de  instabilidade  de  tensão.

A  utilização  de  ferramentas  com  representação  dos

reguladores  de  velocidade  dos  geradores  (*Governor*

*Power  Flow*)  já  representa  um  avanço  nos  estudos,

pois  concilia  a  importante  participação  da  dinâmica  da

geração  no  longo  termo  com  as  facilidades  do  fluxo  de

potência.

3.0     -     CRITÉRIOS     E     PROCEDIMENTOS  PARA

AVALIAÇÃO  DA  ESTABILIDADE  DE  TENSÃO

A  margem  de  estabilidade  é  a  forma  mais  apropriada

para  se  avaliar  a  condição  de  um  sistema  em  relação

ao  colapso,  especialmente  no  âmbito  do  planejamento

da  expansão.  Tal  margem  indica  o  quão  distante  um

ponto  de  operação  se  encontra  do  ponto  de  colapso,

podendo  ser  medida  em  termos  de  potência  ativa

(MW),  reativa  (Mvar)  ou  aparente  (MVA).

Existe  uma  tendência  mundial  pela  utilização  das

margens  de  potência  ativa  e  reativa  na  avaliação  do

colapso  de  tensão.  Os  conhecidos  índices  para

colapso  de  tensão  (*Indices  for  Voltage  Collapse*)  tais

como,  reserva  de  potência  reativa  da  geração,  quedas

de  tensão  (*Voltage  Drops*),  perdas  ativas  e  reativas,

variação  da  tensão  com  a  potência  reativa  (∆V/∆Q),

variação  da  potência  reativa  com  a  potência  ativa

(∆Q/∆P)  etc.,  têm  sido  recomendados  apenas  como

indicadores  complementares,  e  não  como  metodologia

principal.

Os  critérios  e  procedimentos  desenvolvidos  até  o

presente  momento,  em  sua  maioria,  se  baseiam  na

determinação  da  margem  de  estabilidade  utilizando-se

metodologia      estática.      Resumidamente,      pode-se

sintetizá-los  nos  seguintes  passos:

1.  Seleção  do  Caso  a  ser  Analisado

2.  Representação  do  Sistema

*Cargas*

*Fator  de  Potência  das  Cargas*

*Geradores*

*Motores  Síncronos  e  Compensadores  Estáticos*

*Transformadores  e  Reguladores  de  Tensão*

3.  Seleção  das  Contingências  Críticas

4.  Avaliação  das  Margens  de  Estabilidade

A  aplicação  destes  critérios  e  procedimentos,  em

sistemas  elétricos  reais  de  grande  porte,  tem  mostrado

resultados  que  apontam  para  a  necessidade  de  se

investigar  com  maior  rigor  alguns  de  seus  aspectos  (1).

Com  relação  à  metodologia  V-Q,  faz-se  necessário

avaliar  a  sua  aplicação,  pois  nem  sempre  seus

resultados     são     compatíveis     com     aqueles      da

metodologia  P-V,  especialmente  em  sistemas  mais

malhados.  A  principal  razão  que  vem  sendo  apontada

para  justificar  tal  fato  é  que,  nesta  metodologia,

concentra-se  toda  a  geração  de  potência  reativa  em

uma  única  barra  do  sistema.

A  utilização  generalizada  do  modelo  estático  de

potência  constante  para  representar  a  carga  e  os

dispositivos  de  controle  do  sistema,  pode  levar  a

resultados  inconsistentes.  Para  uma  representação

mais  adequada  da  carga,  tão  importante  quanto  definir

o  modelo  a  ser  adotado,  é  a  determinação  da

composição     da     mesma,     bem     como     dos     seus

dispositivos  de  controle.  Por  exemplo,  pode-se  citar  os

**Thank you for using Wondershare PDFelement.**

**You can only convert up to 5 pages in the trial version.**

**To get the full version， please purchase the program here:**

[*http://cbs.wondershare.com/go.php?pid=973&m=db*](http://cbs.wondershare.com/go.php?pid=973&m=db)