**STL/006**

**21  a  26  de  Outubro  de  2001**

**Campinas  -  São  Paulo  -  Brasil**

**GRUPO  STE  IV**

**SESSÃO  TÉCNICA  ESPECIAL  DE  TELECOMUNICAÇÕES  EM  SISTEMAS  DE  POTÊNCIA  -  STL**

**CONSIDERAÇÕES  SOBRE  O  USO  DE  REDES  DE  DISTRIBUIÇÃO  DE  ENERGIA  ELÉTRICA  COMO  MEIO  DE**

**PROPAGAÇÃO  DE  SINAIS  DE  COMUNICAÇÃO**

Landulfo  M.  Alvarenga \*

CEPEL

Ary  Vaz  Pinto  Junior

CEPEL

Fabio  Cavaliere  de  Souza

CEPEL

Cesar  Jorge  Bandim

CEPEL

RESUMO

O  objetivo  deste  trabalho  é  a  discussão  dos  desafios

técnicos  relacionados  à  propagação  de  sinais  de  alta

freqüência  em  redes  de  distribuição  de  energia  elétrica

considerando, particularmente, as características

destas redes no Brasil. São apresentadas as

características  desejáveis  de  uma  linha  de  transmissão

para  propagar  sinais  de  alta  freqüência  com  alta

confiabilidade  e  é  feita  uma  comparação  com  as

características  das  redes  de  distribuição  de  energia

elétrica,  aéreas  e  subterrâneas.  São  apresentados

ainda  os  resultados  de  experiências  realizadas  pelo

CEPEL  na  transmissão  de  sinais  utilizando  a  rede  de

baixa  tensão  como  meio  de  propagação.

PALAVRAS-CHAVE:  Propagação  de  Sinais,  Redes  de

Distribuição,  Sistemas  de  Comunicação

1.0**-**  INTRODUÇÃO

O  uso  da  rede  de  distribuição  de  energia  elétrica  (tanto

a  primária  quanto  a  secundária)  como  meio  de

propagação  de  sinais  de  comunicação  é  conhecido  há

mais  de  50  anos.  Até  recentemente,  estes  sinais  de

comunicação  transportavam  somente  informações  de

interesse  da  própria  empresa  concessionária  de

energia  elétrica.  É  bastante  difundido  o  uso  da  rede

para  o  envio  de  sinais  de  acionamento  de  dispositivos,

para  a  recepção  de  sinais  que  indiquem  o  estado  de

dispositivos  ou  dados  de  medição.

Dado  o  pequeno  volume  de  informações  requeridas  em

períodos  de  tempo  relativamente  longos  para  a

realização  destas  funções,  tem  sido  possível,  até

agora,  o  uso  de  sinais  com  baixas  taxas  de

transmissão,  utilizando  portadoras  com  freqüências

relativamente  baixas  ou  moderadas.  Recentemente,

com a crescente demanda por serviços de

telecomunicações  (Internet,  por  exemplo),  vem  sendo

investigado  o  uso  da  rede  de  distribuição  de  energia

elétrica  como  meio  alternativo  de  transmissão  rápida

de  maiores  blocos  de  informação,  o  que  implica,

obrigatoriamente,  a  utilização  de  canais  de  transmissão

utilizando  portadoras  de  freqüências  elevadas.

Este  trabalho  discute  os  desafios  técnicos  para  a

utilização  das  linhas  de  distribuição  de  energia  elétrica

como  canais  de  telecomunicações.

2.0  -  CARACTERÍSTICAS  DAS  LINHAS  DE  TRANS-

MISSÃO  UTILIZADAS  EM  TELECOMUNICAÇÕES

Linhas  de  transmissão  para  telecomunicações  são

caracterizadas     por     possuir     grande     uniformidade

construtiva     ao     longo     de     toda     sua     extensão,

apresentando  desta  forma  valores  de  indutância,

capacitância  e  resistência,  série  e  paralelo,  que  se

repetem  em  qualquer  trecho  que  seja  considerado  (1).

As  linhas  de  transmissão  apresentam  as  seguintes

características  principais:

*Impedância  característica  uniforme  -*  Esta  condição

garante  que,  uma  vez  realizado  o  casamento  ou

adaptação     de     impedância     da     linha     com     os

equipamentos     de     comunicação     nos     seus     dois

extremos,      não      ocorrerão      reflexões      e      ondas

estacionárias  prejudiciais  à  qualidade  da  informação  a

ser     recebida.     Reflexões     são     ocasionadas     por

descontinuidades      nos      valores      da      impedância

característica  ao  longo  da  linha  como,  por  exemplo,

variação  em  seus  parâmetros  dimensionais  (distância

entre  os  condutores)  ou  uma  carga  não  adaptada

(interposição  de  linhas  com  impedância  diferente  da

impedância  característica).  Quanto  mais  precisa,

estável  e  uniforme  se  apresentar  uma  linha  em  relação

às     suas     propriedades     dimensionais,     elétricas     e

construtivas,  melhor  será  seu  desempenho.

*Baixa  atenuação  para  a  gama de  freqüências  dos*

*sinais  a serem  transmitidos  para  uma  dada  distância*  -

Esta  característica,  válida  para  linhas  casadas  em

ambos  os  extremos,  propicia  a  recepção  dos  sinais

transmitidos  com  amplitude  suficiente  para  que  possam

Landulfo  Mosqueira  Alvarenga

e-mail:  landulfo@cepel.br

o

Av.  Hum  s/n  ,  Cidade  Universitária  –  Ilha  do  Fundão

CEP  21941-590  –  Rio  de  Janeiro  –  RJ  -Brasil

Tel:  55  21  5986322  –  Fax:  55  21  260-6211

2

ser  detectados  na  presença  de  ruído  sem  que  seja

necessária  a  transmissão  de  sinais  com  amplitudes

exageradas  ou  técnica  e  economicamente  inviáveis.

Baixa  irradiação  e  captação  de  sinais  -  Esta

característica  se  refere  à  menor  tendência,  de  uma

linha  de  transmissão,  de  irradiar  sinais  que  possam

causar  interferência  em  outros  serviços  bem  como  à

menor  tendência  de  sofrer  interferência  de  sinais

externos.  A  condição  de  baixa  irradiação  e  baixa

sensibilidade  à  interferência  de  sinais  externos  é

normalmente  alcançada  através  da  utilização  de  linhas

inerentemente  blindadas  tais  como  linhas  coaxiais,

guias  de  onda,  etc.

3.0  –  CARACTERÍSTICAS  DE  LINHAS  DE  DISTRIBUI-

ÇÃO  DE  ENERGIA  ELÉTRICA  BRASILEIRAS

3.1  –  Linhas  aéreas de distribuição  em  média tensão

Estas  linhas  são  encontradas  em  3  tipos  de  realização

construtivas.

*Linha  convencional  de  média  tensão*  -  Utiliza  cabos

condutores  nus  ou  isolados  de  cobre  ou  alumínio

suportados  por  isoladores  em  travessas  montadas  na

parte  superior  dos  postes.  Os  cabos  podem  se  situar

num  mesmo  plano  ou  em  planos  diferentes,  com

distanciamento  entre  os  cabos  variando  entre  30  e

100cm.

*Linha compacta de média tensão (spacer-cable)*  -  A

construção  desta  linha  é  possibilitada  pela  utilização  de

dispositivos  afastadores  (quatro)  capazes  de  manter

distanciamento  constante  (de  10  a  20  cm)  entre  cabos

de  média  tensão  isolados  não  blindados.

*Linhas  multiplexadas  para  média  tensão*  -  Estas  linhas

são  formadas  por  3  cabos  para  média  tensão  isolados

e  blindados  que  são  torcidos  junto  a  um  cabo  de  aço

nu  e  suportadas  por  este  em  fixadores  montados  na

parte  superior  dos  postes.

3.2  -  Linhas  aéreas  de  distribuição  em  baixa  tensão

*Linha  convencional  de  baixa  tensão*  -  Estas  linhas  são

construídas  utilizando-se  quatro  cabos  condutores,

sendo  isolados  os  das  fases  e  nu  o  do  neutro.  Estes

condutores são de cobre ou alumínio, sendo

suportados  por  isoladores  montados  em  travessas  ao

longo  dos  postes.  Os  cabos  são  montados  no  plano

vertical  mantendo  afastamento  de  15  a  30  cm.

*Linhas* *multiplexadas* *em* *baixa* *tensão* – As

características  construtivas  destas  linhas  são  idênticas

àquelas  empregadas  para  a  média  tensão  utilizando-se

entretanto  cabos  de  baixa  tensão  sem  fita  de

blindagem.

*Redes  subterrâneas  brasileiras  em  baixa  tensão*  -  A

rede  secundária  constituída  de  cabos  subterrâneos

isolados pode  ser  do  tipo  radial  ou  interligada

(malhada  ou  reticulada)  sendo  neste  último  caso

alimentada em diversos pontos por diferentes

transformadores.  Estes,  por  sua  vez,  são  normalmente

alimentados  por  diversos  circuitos  primários  em  anel  ou

reticulados.  As  redes  subterrâneas  utilizam  cabos

isolados  singelos  não  blindados  para  as  fases  e  nus

para  o  neutro  e  quando  reticuladas  se  estendem  por

vários  quarteirões,  sendo  sempre  alimentadas  por

grande  número  de  transformadores.

4.0  -  ESTUDO  DO  COMPORTAMENTO  DE  LINHAS

DE  DISTRIBUIÇÃO  DE  ENERGIA  ELÉTRICA  COMO

MEIO     DE     PROPAGAÇÃO     PARA     SINAIS     DE

TELECOMUNICAÇÕES

4.1  –  Linhas  de  distribuição  em  média  tensão

4.1.1  -  Linhas  aéreas  convencionais

Estas  linhas  são  semelhantes,  do  ponto  de  vista

construtivo,      às      linhas      de      transmissão      para

telecomunicações  abertas  ao  ar  com  condutores

paralelos.  Suas  características  construtivas,  porém,

permitem  a  variação  do  afastamento  no  meio  do  vão

devido     à     liberdade     de     movimento     lateral     dos

condutores.  Conseqüentemente,  o  valor  da  impedância

característica  equivalente  sofre  variações  em  seus

diferentes  trechos.

Por  outro  lado,  nas  linhas  de  comunicações  a  presença

de  eventuais  cargas  no  meio  do  trajeto  é  compensada,

por  casamento  da  impedância,  de  forma  a  mantê-la

constante  em  todos  os  seus  pontos.  Ao  longo  das

linhas  de  média  tensão  existem  cargas  não  casadas

que  são  os  circuitos  primários  dos  transformadores

MT/BT.  Entretanto  este  carregamento  apresenta,

quase  sempre,  uma  impedância  relativamente  elevada

para  as  altas  freqüências.

Apesar  das  variações  de  impedância,  espera-se  uma

transmissão  aceitável  do  sinal  por  quilômetros.

Os  obstáculos  para  a  transmissão  dos  sinais  seriam:

•  O  ruído  gerado  por  isoladores  defeituosos  (em

torno  de  600  kHz).

•  A  interconexão  com  trechos  de  outras  redes  de

impedância  característica  mais  baixa,  formando-se

pontos  de  descontinuidade,  que  podem  ocasionar

reflexões  dos  sinais.

•  O  fato  de  que  estas  linhas  agem  como  antenas

para  os  sinais  das  emissoras  de  rádio  comerciais

de  ondas  médias  (540  a  1600  kHz).

•  Eventual  presença  de  capacitores  para  correção

de  fator  de  potência  instalados  ao  longo  da  linha.

4.2.2  –  Linhas  aéreas  compactas

Para  estas  linhas,  espera-se  condições  de  transmissão

de  sinais  de  alta  freqüência  mais  favoráveis,  tendo  em

vista  que  utilizam  o  ar  como  dielétrico  e  apresentam

afastamentos  menores  e  mais  constantes  entre  os

condutores,  o  que  reduz  a  variação  da  impedância

característica  da  linha  minimizando  as  distorções

causadas  por  reflexões.  O  menor  afastamento  entre  os

condutores  permite  a  transmissão  de  sinais  de

freqüências  maiores  sem  irradiação.  A  não  existência

3

de  isoladores  convencionais  reduz  o  nível  total  de  ruído

das  linhas  compactas  mas  não  o  elimina,  uma  vez  que

estas  se  conectam  a  linhas  convencionais  onde  o  ruído

pode  estar  presente.

4.2.3  Linhas  aéreas  multiplexadas

Estas  linhas  utilizam  cabos  blindados,  de  construção

geométrica  semelhante  à  utilizada  em  cabos  coaxiais

para  telecomunicações.  Desta  forma  apresentam

comportamento  similar  aos  cabos  coaxiais  para

comunicação:  imunidade  à  irradiação  e  captação  de

sinais  interferentes  e  impedância  característica  de  valor

uniforme.  Estas  similaridades  sugerem  que  para

transmissão  de  sinais  de  freqüências  elevadas,  estas

linhas terão o melhor desempenho, quando

comparadas  às  demais  linhas.

Suas  limitações  são  devidas  às  perdas  do  material

dielétrico  (inadequado  nestes  cabos  para  as  altas

freqüências)  e  às  junções  e  derivações.  Espera-se

atenuações  mais  elevadas  do  que  as  apresentadas  por

linhas  aéreas  com  condutores  paralelos.

Apesar  das  limitações  espera-se  que  seja  possível  a

propagação  de  sinais  de  freqüências  próximas  a

100MHz  por  algumas  centenas  de  metros.  Este

comentário  se  aplica  aos  casos  em  que  forem

utilizados  cabos  concêntricos  e  blindados,  inclusive  em

instalações  subterrâneas  .

4.3  –  Linhas  de  distribuição  em  baixa  tensão

4.3.1  -  Linhas  de  distribuição  aéreas

A  utilização  deste  tipo  de  linha  encontra  uma

dificuldade  prática  que  é  o  fato  de  que  grande  parte  da

rede  brasileira  de  iluminação  pública  utiliza  capacitores

para  fins  de  correção  do  fator  de  potência  dos

conjuntos  lâmpadas-reatores.  Como  em  muitos  casos

a  iluminação  é  alimentada  diretamente  a  partir  da  rede

aérea  de  distribuição,.  estes  capacitores  atenuariam  ou

bloqueariam  a  propagação  de  sinais  de  freqüências

elevadas.

As  linhas  aéreas  de  baixa  tensão  são,  como  as  linhas

aéreas  de  média  tensão,  semelhantes  a  linhas  para

comunicações  a  condutores  paralelos  ao  ar.  Devido  ao

menor  afastamento  entre  seus  condutores  permitiriam,

em  princípio,  a  utilização  de  sinais  de  freqüências

maiores  sem  o  risco  de  ocorrência  de  irradiações

questionáveis.

As  linhas  aéreas  de  baixa  tensão  diferem  das  de  média

tensão  principalmente  pelo  fato  de  que  as  cargas

dispostas  ao  longo  de  sua  extensão  se  repetem  a

intervalos  mais  curtos  e  são  representadas  por  cargas

que  apresentam  baixa  impedância  para  os  sinais  em

propagação  (lâmpadas  incandescentes,  ferros  de

passar  ,  chuveiros  e*boilers*  elétricos).  Além  do  efeito

de  descasamento,  estas  cargas  representam  perdas

elevadas,  contribuindo  para  a  atenuação  total.

Ao  contrário  das  linhas  de  média  tensão,  os  isoladores

nas  linhas  de  baixa  tensão  não  costumam  gerar  ruído..

Porém  estão  presentes  ruídos  adversos  produzidos

pelo  homem,  tais  como,  a  interferência  devida  à

utilização  de  aparelhos  elétricos  dotados  de  motores

de  escovas.  Além  disso  estão  presentes  os  sinais  das

emissoras     comerciais     de  *broadcast*  em     níveis

comparáveis  aos  presentes  nas  linhas  MT.

Os  ramais  de  serviço  que  conectam  cada  consumidor  à

linha  constituem-se  em  dezenas  de  pontos  de

descasamento  geradores  de  reflexões.

A  combinação  dos  ruídos  presentes  nestas  linhas  de

baixa  tensão,  dos  freqüentes  descasamentos,  e  dos

elevados  valores  de  atenuação  total  fazem  desta

linhas,  um  ambiente  bastante  hostil  para  a  propagação

de  sinais  de  telecomunicações.

4.3.2  –  Linhas  de  distribuição  multiplexadas

Estas  linhas  diferem  em  comportamento  em  relação  as

linhas  secundárias  de  BT  abertas  convencionais  pelo

fato  de  serem  utilizados  condutores  torcidos  em

estreita  proximidade.  Isto  confere  a  estas  linhas  uma

maior  uniformidade  em  sua  impedância  característica  e

menor     possibilidade     de     captação     e     irradiação

permitindo  sua  melhor  utilização  como  meio  de

transmissão  de  sinais  de  comunicações.

4.3.3  -  Redes  de  distribuição  subterrâneas  BT

Estas  redes  são  formadas  por  grande  extensão  de

cabos  de  baixa  tensão,  isolados  e  não  blindados,

montados  junto  ao  solo  em  calhas  ou  dutos  e  podendo

apresentar  como  no  caso  dos  sistemas  reticulados

grande  número  de  interconexões.  A  ausência  de

blindagem  nos  cabos  e  a  proximidade  ou  contato  físico

de  seu  isolamento  com  o  solo  faz  com  que  cada  cabo

singelo  se  comporte  como  uma  linha  de  transmissão

de  um  condutor  próximo  à  terra  com  o  valor  de  sua

impedância        característica        dependente        desta

proximidade  e  apresentando  elevados  valores  de

capacitância  e  condutância  para  a  terra.  Pelo  fato  das

interconexões     serem     freqüentes     e     repetidas,     a

impedância     característica     equivalente     de     alguns

trechos  pode  ser  ainda  mais  reduzida.  A  combinação

de  valores  muito  baixos  de  impedância  característica  e

de  elevados  valores  de  capacitância  e  condutância

para  a  terra  é  quase  sempre  associada  a  elevados

valores  de  atenuação.

Para  uma  determinada  concentração  de  grandes

consumidores  alimentados  por  estas  linhas,  diversos

transformadores  poderão  ser  agregados  de  forma  que

a  circulação  de  corrente  se  dê  sempre  em  trechos

curtos.  Estes  trechos  de  grande  concentração  de  carga

devem  ser,  portanto,  os  mais  críticos  para  propagação

de       sinais       de       comunicações.       Todas       estas

características  fazem  com  que  o  comportamento  das

redes     subterrâneas     reticuladas     como     meio     de

propagação  de  sinais  de  telecomunicações  tenda  a  se

assemelhar  àquele  que  seria  apresentado  por  uma

superfície     metálica     com     razoáveis     valores     de

condutância  e  capacitância  para  a  terra.  Este  modelo

**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)