



SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO  
E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

São Paulo, 10/15 de Abril de 1972

---

GRUPO DE ESTUDOS DE PROTEÇÕES, TELECONTROLE E TELECOMUNICAÇÕES

TELEPROTEÇÃO e TELEFONIA ATRAVÉS DE "CARRIER"

RELAÇÃO SINAL-RUÍDO x POTÊNCIA DO TRANSMISSOR

PARTE III - CÁLCULO DA POTÊNCIA DO TRANSMISSOR

Engº Geraldo Borba de Araujo

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SÃO PAULO S.A. - CESP

## 6.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O cálculo da potência mínima admissível será feito em 2 estágios, a saber:

- potência  $P$  por canal de teleproteção de linha e de reator e por canal de fonia à saída do transmissor
- potência  $P_T$  do equipamento "carrier" à saída do transmissor.

Para a teleproteção de linha suporemos que a ordem de disparo será transmitida através da linha curto-circuitada - ("carrier acceleration", "directional comparison", "permissive overreach transfer trip").

A largura de banda será de 480 Hz.

O ruído a considerar será o de nível mais elevado e a atenuação adicional (provocada por curtos na linha) a ser adicionada para os cálculos será de:

22 dB para acoplamento bifásico, circuito simples

12 dB para acoplamento inter-circuitos, circuito duplo.

O valor de 22 dB corresponde a um dos casos mais desfavoráveis, ou seja, curto trifásico há cerca de 800 m do transmissor.

O valor de 12 dB corresponde a um curto num dos condensadores de acoplamento diretamente associado ao transmissor.

Para demonstrar a confiabilidade de um sistema de teleproteção projetado com base nas atenuações acima mencionadas, apresentamos as tabelas 6-1 e 6-2 (9).

Dessas 2 tabelas se depreende que, do total de faltas que podem ocorrer num sistema de potência, apenas 2,1 % são faltas trifásicas nas linhas.

Admitindo-se que a probabilidade de ocorrência de faltas seja a mesma para todos os pontos de uma linha de 350 km, apenas 0,01% do total das faltas se constituirão de faltas trifásicas há menos de 800 m do transmissor.

Se assumirmos um valor médio de 10 faltas por ano teremos uma falta (trifásica há menos de 800 m do transmissor) por período de 1.000 anos.

Além disso, mesmo que a teleproteção falhasse, os relés de proteção abririam o disjuntor mais próximo à falta em algumas dezenas de ms. Os relés de proteção da outra extremidade da linha atuariam com um certo retardo (na 2a. zona do relé de distância, p.ex.).

Para a teleproteção de reator, será usada a proteção diferencial com teleproteção por disparo direto ("direct transfer trip").

A figura 6-3 nos deixa entrever que um curto no reator praticamente não afetará a atenuação do canal, e isso significa que a potência P para a proteção do reator poderá estar de 12 a 22 dB abaixo da potência P da proteção de linha.

A largura de banda será de 480 Hz.

Para a fonia suporemos uma banda de 2 kHz. Por outro lado não levaremos em conta as variações da atenuação do canal causadas por curto-circuitos na linha porque êsses curtos, além de serem extremamente raros (5 a 10 por ano), são eliminados em menos de 100 ms pelo sistema de proteção.

#### 6.1 - Circuito Simples de 460 kV, 350 km

##### 6.1.1 - Teleproteção de Linha

Atenuação da linha com tempo bom, frequência de 100 kHz.

350 km x 0,062 db/km x 0,54	12 dB
acréscimo de 25% com tempo úmido	4 dB
acréscimo para 3 transposições	8 dB
atenuação do acoplamento bifásico	8 dB
	32 dB
acréscimo para curto trifásico há 800 m do transmissor	22 dB
	54 dB

Ruído máximo no cabo coaxial com tempo úmido, frequência central de 100 kHz, - banda de 3 kHz -12 dBm

Ruído calculado para banda de 480 Hz, assumindo ruído branco gaussiano -20 dBm

Mínima relação sinal-ruído admissível no receptor 10. dB.

Nível mínimo admissível para o sinal à transmissão + 44 dBm = 25W=P\*

Nível mínimo admissível para o sinal à recepção - 10 dBm

Nível de ruído - 20 dBm

\* Se utilizarmos a frequência de 50 kHz, a atenuação cairá de 7 dB e o ruído aumentará de 2 dB. Isso levará a uma melhoria de 5 dB na relação sinal-ruído e a potência mínima admissível P será de + 39 dBm = 8 W = P.

#### 6.1.2 - Teleproteção de Reator

Atenuação do canal para 100 kHz 32 dB  
 Ruído na banda de 480 Hz -20 dBm

Mínima relação sinal-ruído no receptor 10 dB

+ 22 dBm ≈ 0,16 W = P

- 10 dBm

- 20 dBm

#### 6.1.3 - Fonia

Atenuação do canal para 100 kHz 32 dB  
 Ruído máx. na banda de 2 kHz -14 dBm

Mínima Relação sinal-ruído  
no receptor 25 dB

$$\underline{\quad} + 43 \text{ dBm} = 20 \text{ W} = P$$

$$\underline{\quad} + 11 \text{ dBm}$$

$$\underline{\quad} - 14 \text{ dBm}$$

## 6.2 - Círcuito duplo de 460 kV, 350 km

### 6.2.1 - Teleproteção de Linha

Atenuação total do canal com  
tempo bom, frequência de 100 kHz, incluin  
do perdas nas 6 transposições e nos aco  
plamentos, baseado no círcuito duplo  
Jupiá-Bauru 20 dB

Acréscimo de 25% sobre a atenuação da  
linha apenas, com tempo úmido 2 dB  
22 dB

Acréscimo para curto num dos condensado  
res de acoplamento 12 dB  
34 dB

Ruído na banda de 480 Hz -20 dBm

Mínima relação sinal-ruído admissível 10 dB

$$\underline{\quad} + 24 \text{ dBm} = 0,25 \text{ W} = P$$

$$\underline{\quad} - 10 \text{ dBm}$$

$$\underline{\quad} - 20 \text{ dBm}$$

### 6.2.2 - Teleproteção de Reator

Atenuação do canal para 100 kHz 22 dB

Ruído na banda de 480 Hz -20 dBm

Mínima relação sinal-ruído 10 dB

$$\text{_____} + 12 \text{ dBm} \approx 0,016 \text{ W} = P$$

$$\text{_____} - 10 \text{ dBm}$$

$$\text{_____} - 20 \text{ dBm}$$

#### 6.2.3 - Fonia

Atenuação do canal para 100 kHz 22 dB

Ruído na banda de 2 kHz -14 dBm

Mínima relação sinal-ruído 25 dB

$$\text{_____} + 33 \text{ dBm} = 2 \text{ W} = P$$

$$\text{_____} + 11 \text{ dBm}$$

$$\text{_____} - 14 \text{ dBm}$$

Raciocínio análogo foi adotado para os de  
mais circuitos chegando-se a Tabelas 6-4 e 6-5.

#### 6.2.4 - Níveis de ruído considerados para o cálculo da Potência do Transmissor

linhas de 460 kV } proteção(480Hz)-20 dBm  
                    } fonia(2000Hz)-14 dBm

linhas de 345 kV } proteção(480Hz)-26 dBm  
                    } fonia(2000Hz)-20 dBm

### 6.3 - Potência do Transmissor ( $P_T$ )

A partir da potência  $P$  definida pela tabela 6-5, nós calcularemos a potência admissível  $P_T$  do equipamento "carrier".

#### 6.3.1 - Teleproteção de linha

O "carrier" transmitirá o sinal de teleproteção e o sinal piloto, que coincide com a portadora auxiliar. Caso não haja essa coincidência, dever-se-á levar em conta também a portadora auxiliar.

Seja  $E_p$  .... tensão do sinal piloto

$E_{PL}$  .... tensão do sinal de proteção de linha

$P$  .... potência do canal de proteção de linha definida na Tabela 6-5

$P_T$  .... potência de saída do transmissor (vide tabela 6-6).

Admitiremos  $E_p = 0,1 E_{PL}$ , ou seja,  $E_p$  está 20 dB abaixo de  $E_{PL}$ .

$$E_{(total)} = E_p + E_{PL} = 1,1E_{PL}$$

$$\frac{E_{(total)}^2}{R} = \frac{(1,1E_{PL})^2}{R} = 1,21 \quad \frac{E_{PL}^2}{R} = 1,21 P = P_T$$

#### 6.3.2 - Teleproteção de reator

"carrier" transmitirá o sinal de teleproteção e o sinal piloto.

Seja  $E_{PR}$  .... tensão do sinal de proteção de reator

Admitiremos  $E_P = 0,25 E_{PR}$  ou seja,  $E_P$  está - 12 dB abaixo de  $E_{PR}$ .

$$E_{(total)} = E_P + E_{PR} = 1,25 E_{PR}$$

$$\frac{E_{(total)}^2}{R} = \frac{(1,25 E_{PR})^2}{R} = 1,56 P = P_T$$

### 6.3.3 - Fonia + teleação

"carrier" transmitirá fonia, sinais de discagem e um canal de telemoção.

Seja  $E_P$  ..... tensão do sinal piloto

$E_V$  ..... tensão eficaz max de fonia

$E_S$  ..... tensão do sinal de discagem

$E_T$  ..... tensão do sinal de telemoção

$P$  ..... potência da banda de fonia de 2 kHz

$P_T$  ..... potência de saída do transmisor

Admitiremos  $E_P = 0,1 E_V$ , ou seja,  $E_P$  está - 20 dB abaixo de  $E_V$ .

$$E_S = E_P = 0,1 E_V$$

$$E_T = 1,6 E_P = 0,16 E_V$$

$$E_{(total)} = E_V + E_S + E_T + E_P = E_V + 0,1 E_V + 0,16 E_V + 0,1 E_V$$

$$E_{(total)} = 1,36 E_V$$

$$\frac{E_{(total)}^2}{R} = \frac{(1,36E_V)^2}{R} = 1,85 \frac{E_V^2}{R} = 1,85 P = P_T$$

#### 6.3.4 - Considerações sobre a tabela 6-6

- (1) A tabela 6-6 considera 480 Hz de banda para a teleproteção de linha e de reator.
- (2) No caso de circuito duplo o acoplamento é inter-circuitos e a atenuação adicional devida a curtos é limitada a 12 dB.
- (3) As potências indicadas na última coluna são suficientes para a transmissão da fonia, sinal de discagem, sinal piloto e 1 canal de teleação para 1 trecho de linha. O ruído considerado foi o ruído de tempo úmido, que é 20dB superior ao ruído de tempo seco. No caso de haver 1 ou mais trânsitos o nível de ruído aumentará e a qualidade da ligação diminuirá a não ser que aumentemos a potência  $P_T$  e/ou utilizemos "compandors".
- (4) As potências indicadas para as teleproteções de linha e de reator são suficientes para transmissão de 1 sinal de proteção e 1 sinal piloto por carrier.
- (5) As teleproteções de linha transmitirão a ordem de disparo para todos os tipos de curto-circuito, desde que a atenuação adicional por elas provocada não ultrapasse 22dB para circuitos simples e 12dB para circuitos duplos quando as condições de ruído forem as piores possíveis (-20 dBm em 480Hz). Para ordens de bloqueio, haverá uma ampla margem de operação, situada entre 22 e 42 dB.
- (6) As teleproteções de reator atuarão mesmo para ruído de -20 dBm em 480 Hz.

## 7.0 CONCLUSÃO

- a) Ao passarmos da frequência de 100 kHz para 50 kHz, o nível de ruído aumenta de 2 dB e a atenuação máxima das linhas de 350 km sofre redução de 7 dB, ocasionando uma melhoria de 5 dB na relação sinal-ruído.
- b) Os circuitos simples de 460 kV e 350 km são os que apresentam maior atenuação (32 dB para 100 kHz; 25 dB para 50 kHz) e o plano de frequências deverá ser concebido - de tal forma a reservar as frequências mais baixas para esse tipo de circuito.
- c) Não há necessidade de se ter 4 kHz de banda para 1 equipamento "carrier" utilizado exclusivamente para a teleproteção. Deverá ser estudada a possibilidade de se reduzir ao máximo essa banda, que deverá ser compatível com o tempo de transmissão requerido. A redução da banda do "carrier" proporcionará um melhor aproveitamento da banda da bobina de bloqueio.
- d) A análise dos circuitos simples de 460 kV e 350 km leva-nos a concluir:
  - 1 - 8W por tom de teleproteção (transmissor de 10W, 50 kHz) são suficientes para vencer a atenuação de 25 dB mais o acréscimo de 22 dB provocado por curto trifásico de condutor metálico há 800 m do transmissor, mesmo no caso de ruído intenso de -18 dBm na banda de 480 Hz.
  - 2 - Com um transmissor de 40W, podemos reservar 32W para o sinal de teleproteção e 0,3W para o sinal piloto. (Supomos que o piloto e a portadora auxiliar coincidam ou que a portadora auxiliar não seja transmitida). Dessa forma, conseguiremos uma melhoria de 6 dB sobre o sinal de 8W.
  - 3 - Uma margem de operação adicional de 22 dB seria conseguida se o sistema de teleproteção utilizado fos-

se o "blocking" com a ordem de bloqueio sendo enviado através da linha sā.

- 4 - Um transmissor de 12W, 50 kHz, é suficiente para transmitir fonia, sinal de discagem, sinal piloto e um canal de teleação através da atenuação de 25 dB. Mesmo no caso de ruído intenso de -14 dBm na banda de 2 kHz, a relação sinal-ruído para a fonia seria de 25 dB.
- 5 - Com um transmissor de 40W, haveria uma melhoria de 5 dB na relação sinal-ruído do ítem 7.d.4. e essa relação poderia ser melhorada ainda mais pela utilização de "compandors" para a fonia.
- e) Os circuitos duplos de 460 kV e 350 km, quando comparados com os circuitos simples de 460 kV, de mesmo comprimento apresentam as seguintes vantagens:
- 1 - Redução de 10 dB na atenuação da linha em virtude do maior número de condutores, o que facilita a propagação dos sinais de alta frequência.
  - 2 - Redução de 10 dB na maior atenuação adicional provocada por curto trifásico em virtude da menor vulnerabilidade do acoplamento intercircuitos a esse tipo de falta. Essas duas vantagens compõem um total de 20 dB e, como consequência, a potência do transmissor de proteção pode ser reduzida de 100 vezes.
- f) Com exceção dos circuitos simples de 460 kV e 350 km, a potência mínima admissível para todos os demais transmissores de teleproteção varia entre 4 e 300 mW. A utilização de transmissores de 40W nos dará uma margem de operação de 21 a 40 dB mesmo nas piores condições de atenuação e ruído.
- g) Com transmissores de 40W (46 dBm) não há necessidade de se utilizar uma banda de 240 Hz para a teleproteção de

reator. A banda de 480 Hz reduziria o tempo de transmissão à metade e não acarretaria disparos intempestivos -  
pois a relação sinal-ruído seria de:

32 dB para circuito simples de 460 kV, 350 km

42 dB para circuito duplos de 460 kV, 350 km  
para ruído intenso de -20dBm.

Note-se que a relação sinal-ruído mínima admissível para a teleproteção é de 10 dB.

São Paulo, fevereiro de 1972

## 8.0 REFERÉNCIAS

- (1) - General Electric Co. - Telecommunication Products - Department.  
"SSB Power Line carrier application manual GET-3146A"
- (2) - Brown Boveri & Cie  
"Carrier Equipment used in EHV A.C. Systems and on D.C. Power Links" - Leaflet 3260 E - Junho de 1966
- (3) - Westinghouse Electric Corporation  
"Planning the Carrier Facilities for a Utility System" by J.C.G. Carter, Member AIEE - Paper 53-2 - Junho de 1954
- (4) - Tennessee Valley Authority's 500 kV System Communications - IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems - Vol. PAS-85, Nº 1 - Paper 31-TP65-14 - by T.M. Swingle, Senior Member, IEEE and H.I. Dolson, Member, IEEE - Janeiro de 1966
- (5) - Bonneville Power Administration  
"Carrier-Current Transfer-Trip-Relaying-Field Tests and Operation Experience - Paper 62-119 by D.G. Wohlgemuth, D.A. Gillies and R.E. Dietrich, Associate Member, AIEE - Agosto de 1962
- (6) - Hydro-Electric Power Commission of Ontario  
"Natural Modes of Power Line Carrier on Horizontal - Three Phase Lines" - Paper 63-936 - Julho de 1964  
"A Method of Analysis of Power line Carrier Problems on Three - Phase Lines" - Paper 63-937 - Julho de 1964  
Both Papers by M.C. Perz, Senior Member IEEE
- (7) - Public Service Company of Colorado System  
"SSB System for Power Line uses Intercircuit Coupling for Relaying, Voice Channels".
- (8) - Edison Electric Institute  
"EHV Transmission Line Reference Book -Julho de 1968
- (9) - CIGRE - Committees Nós. 34 & 35 (former 4&14) "TELE - PROTECTION - Report on the Joint Working Group on Teleprotection" - Março de 1969.

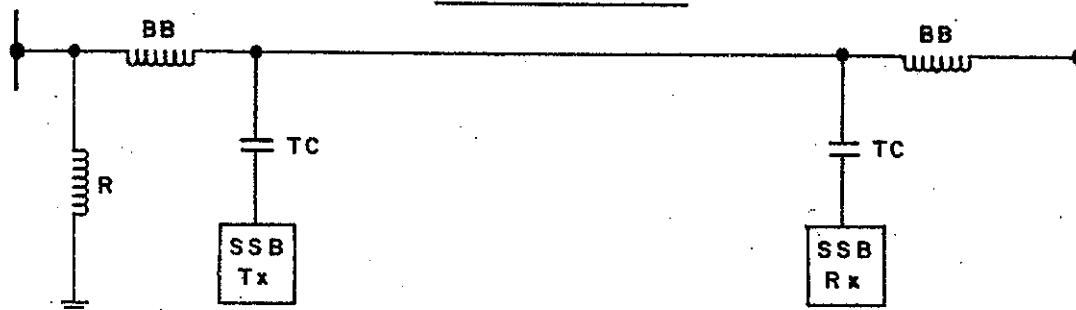
## ANÁLISE TÍPICA DE FALTAS NUM SISTEMA DE POTÊNCIA

TIPO DE FALTA	% DO TOTAL
FASE-TERRA	83
FASE-FASE SEM TERRA	9
FASE-FASE-TERRA	5
TRIFÁSICA SEM TERRA	1,5
TRIFÁSICA - TERRA	1,5

TABELA 6-1

EQUIPAMENTO	% DO TOTAL
LINHAS e CABOS	70
TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA	20
GERADOR/TRANSFORMADORES	6,5
SECCIONADORAS , DISJUNTORES, BARRAS	3,5

TABELA 6-2

FIGURA 6-3

- R . . . . . REATOR
- BB . . . . . BOBINA DE BLOQUEIO
- TC . . . . . TRANSFORMADOR CAPACITIVO
- SSB . . . . . "SINGLE SIDE BAND"
- Tx . . . . . TRANSMISSOR
- Rx . . . . . RECEPTOR

TABELA 6 - 4

TIPOS DE CIRCUITOS E RESPECTIVAS ATENUAÇÕES CONSIDERADAS PARA O CÁLCULO DA POTÊNCIA DO TRANSMISSOR

TIPO DE CIRCUITO	ATENUAÇÃO DE TEMPO UMIDO PARA 100 kHz	ATENUAÇÃO ADICIONAL PARA CURTOS	ATENUAÇÃO TOTAL CONSIDERADA		
			PROT. LINHA	PROT. REATOR	FONIA
SIMPLES, 460 kV, 350 km 3 TRANSPOSIÇÕES	32 dB *	22 dB	54 dB	32 dB	32 dB
DUPLO, 460 kV, 350 km 6 TRANSPOSIÇÕES	22 dB	12 dB	34 dB	22 dB	22 dB
SIMPLES, 460 kV, 100 km SEM TRANSPOSIÇÕES	12 dB	22 dB	34 dB	—	12 dB
SIMPLES, 460 kV, 60 km SEM TRANSPOSIÇÕES	10 dB	22 dB	32 dB	—	10 dB
SIMPLES, 460 kV, 10 km SEM TRANSPOSIÇÕES	9 dB	22 dB	31 dB	—	9 dB
SIMPLES, 345 kV, 20 km SEM TRANSPOSIÇÕES	9 dB	22 dB	31 dB	—	9 dB
DUPLO, 345 kV, 20 km SEM TRANSPOSIÇÕES	9 dB	12 dB	21 dB	—	9 dB

\* A ATENUAÇÃO DE 32 dB PODE SER REDUZIDA PARA 25dB, BASTANDO PARA ISSO REDUZIR -SE A FREQUÊNCIA DE 100 PARA 50kHz.

TABELA 6 - 5

POTÊNCIA MÍNIMA ADMISSÍVEL P POR CANAL DE TELEPROTEÇÃO DE 480 Hz E POR BANDA DE FONIA DE 2 kHz PARA ACOPLAMENTO BIFÁSICO E FREQUÊNCIA DE 100 kHz

TIPO DE CIRCUITO	POTÊNCIA MÍNIMA ADMISSÍVEL P					
	PROTEÇÃO DE LINHA		PROTEÇÃO DE REATOR		FONIA	
	W	dBm	W	dBm	W	dBm
SIMPLES, 460 kV, 350 km, 3 TRANSPOSIÇÕES	25,00 *	+ 44	0,16	+ 22	20	+ 43
DUPLO, 460 kV, 350 km, SEIS TRANSPOSIÇÕES	0,25	+ 24	0,016	+ 12	2	+ 33
SIMPLES, 460 kV, 100 km, SEM TRANSPOSIÇÕES	0,25	+ 24	—	—	0,20	+ 23
SIMPLES, 460 kV, 60 km, SEM TRANSPOSIÇÕES	0,16	+ 22	—	—	0,13	+ 21
SIMPLES, 460 kV, 10 km, SEM TRANSPOSIÇÕES	0,13	+ 21	—	—	0,10	+ 20
SIMPLES, 345 kV, 20 km, SEM TRANSPOSIÇÕES	0,032	+ 15	—	—	0,025	+ 14
DUPLO, 345 kV, 20 km, SEM TRANSPOSIÇÕES	0,003	+ 5	—	—	0,025	+ 14

\* PARA 50 kHz, P=8W

T A B E L A 6-6

POTÊNCIA MÍNIMA ADMISSÍVEL  $P_T$  À SAÍDA DO TRANSMISSOR PARA ACOPLAMENTO BIFÁSICO E FREQUÊNCIA DE 100 KHz.

TIPO DE CIRCUITO	TENSÃO DA LINHA	COMPRIMENTO	NÚMERO DE TRANSPOSIÇÕES	POTÊNCIA MÍNIMA DO TRANSMISSOR $P_T$					
				PROTEÇÃO DE LINHA		PROTEÇÃO DE REATOR		FONIA E TELEAÇÃO	
				W	DBM	W	DBM	W	DBM
SIMPLES	460 kV	350 Km	3	30 *	45	0,25	+ 24	37 **	46
DUPLO	460 kV	350 Km	6	0,3	25	0,025	+ 14	3,7	36
SIMPLES	460 kV	100 Km	0	0,3	25	—	—	0,37	26
SIMPLES	460 kV	60 Km	0	0,2	23	—	—	0,24	24
SIMPLES	460 kV	10 Km	0	0,16	22	—	—	0,18	23
SIMPLES	345 kV	20 Km	0	0,04	16	—	—	0,05	17
DUPLO	345 kV	20 Km	0	0,004	6	—	—	0,05	17

\* \* } VIDE ITEM 6.3.4