

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS
DA SHINKANSEN

INVERNO 1980

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

(JICA)

6851

⇒ 9538

JICA LIBRARY



1011311[6]

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA SHINKANSEN

POR

YOSHIMASA KOYAMA

SHINICHI TAKIZAWA

RIKUO MIURA

KOTARO IZUMI

ENGENHEIRO DA JICA

FEVEREIRO 1980

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

(JICA)

| |
|-------------|
| EXS |
| JR |
| 80—8 |

| | |
|----------------------|------|
| 国際協力事業団 | |
| 受入 月日 84. 5. 22 3 | 000 |
| 登録No. 06559 | 63J6 |
| | EXS |

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA SHINKANSEN

Fevereiro 1980

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

(JICA)

INDICE

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Instalações elétricas da Tohoku-Shinkansen | 1 |
| 2. | Sistema de alimentação elétrica | 16 |
| 3. | Problemas de desbalanceamento voltaico da fonte | 21 |
| 4. | Linha de transmissão | 27 |
| 5. | Definição de capacidade e local de Subestações | 33 |
| 6. | Dispositivos de Telecomando " TEKKEN B " | 39 |
| 7. | Dispositivos de Telecomando " TEKKEN H " | 50 |
| 8. | Normas para electrificação de ferrovias em 25 KV-CA | 61 |
| 9. | Teoria de captação da corrente elétrica na rede aérea para alta velocidade | 123 |
| 10. | Resumo das instalações de sinalização da SHINKANSEN | 167 |
| 11. | Resumo das instalações de telecomunicação da SHINKANSEN | 170 |
| 12. | Regeneração da energia elétrica e Centro de Comando Geral de Operação | 182 |

1. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA TOHOKU-SHINKANSEN

1.1 Prefácio

Será grande prazer para nós da Missão de Cooperação Técnica do Governo Japonês realizar esta palestra sobre a eletrificação pela solicitação do Sr. SR-3, Engº Antônio Geraldo Soares Berford e / com autorização do Sr. DES, Engº Carlos Aloysio Werber.

A REF tem um papel indispensável para desenvolvimento cultural e econômico do País. Há muita expectativa na REF em termo da solução dos problemas relacionados ao aumento de capacidade de transporte e política energética. Nesta ocasião, será oportuno para LEN-3, conhecer as instalações energéticas para as Linhas principais.

Nós que daremos palestras aos senhores, apresentando as instalações da TOHOKU-SHINKANSEN (Nova Linha de Tohoku) que representa a mais moderna tecnologia do Japão, procuraremos o melhor método de eletrificação em CA para o futuro do Brasil.

1.2 Realidade energética do Japão

No Japão, a energia elétrica é fornecida através de nove concessionárias para consumidores. A organização dessas empresas são iguais às privadas, mas o regulamento sobre o fornecimento de energia elétrica de cada uma dessas Concessionárias, que determina a tarifa, deverá necessariamente ser autorizado pelo Ministro de Indústria e Comércio. Por isso, são chamadas de "Empresas de Interesses Públicos." Por outro lado, a JNR é chamada de "Empresa Pública," sendo necessário a autorização do Congresso Nacional não só para determinação da tarifa de transporte mas também a sua verba anual da Empresa.

Por isso, o fornecimento de energia elétrica da JNR, estando sujeito ao regulamento da Concessionária, os detalhes deste são realizados pelo acordo entre as Concessionárias e JNR. Mas, para uma parte das Linhas de Subúrbios de Tokyo é fornecida a energia elétrica pelo gerador próprio da JNR.

A energia elétrica gerada pela própria JNR é da ordem de 2 bilhões KWH contra 10 bilhões KWH de total do consumo de energia elétrica em toda Linha de JNR. Em 1976, a energia elétrica gerada em todo País foi de 500 Bilhões KWH em 2.200 locais de geração de energia.

1.3 TOHOKU-SHINKANSEN

Foi iniciada a obra de construção desta linha em outubro de 1971 e está em andamento visando sua conclusão para 1980. Esta obra estende-se por 496km entre Tokyo e Morioka e no futuro os trens circularão com velocidade máxima prevista de 250km/h com bitola de 1,435mm e CA 25.000V, encurtando o tempo de viagem entre as duas cidades de 6 horas para 2,5 horas.

São as seguintes características de material rodante que está em Shinkansen:

- Tala ; 60t
- Unidade; uma unidade por dois carros
- Motores; 4 x 2
- Capacidade nominal contínua; 1.480KW
- Capacidade nominal contínua de transformador principal;
1.650KVA, 1.500KVA; 150KVA
- Capacidade nominal contínua de retificador principal;
1.627KW
- Capacidade nominal contínua de motor principal; 185KW

O trem na Tohoku-Shinkansen composto de 16 carros (Lotação, 1.500 pessoas), sua capacidade de transporte por hora é 12.000 pessoas, isso corresponde a 8 trens de outras Shinkansens (4 de "Kodama" e 4 de "Hikari"). Se, houver 200 frequências de trens por dia, a capacidade de transporte diária seria 300.000 pessoas.

1.4 Linha de Testes Gerais da Tohoku-Shinkansen

Foi inaugurada em 1978 uma parte da Linha como Linha de Testes Gerais. No momento, utilizando-se esta Linha, estão sendo realizados os testes e pesquisas gerais para conservação ambiental, aumento de segurança e desenvolvimento tecnológico para futuras Linhas de Shinkansen.

1.5 Instalações da Linha de Testes

- Local; de Tokyo 50,75 km - 93,55 km 42,8 km
- Material rodante; Série 961-6 carros- capacidade 6.600KW
Série 962-6 carros- capacidade 5.520KW
- Via; Dúpla, bitola- 1.435mm
- Sistema de alimentação; Monofásio CA 50Hz, 25KV, AT

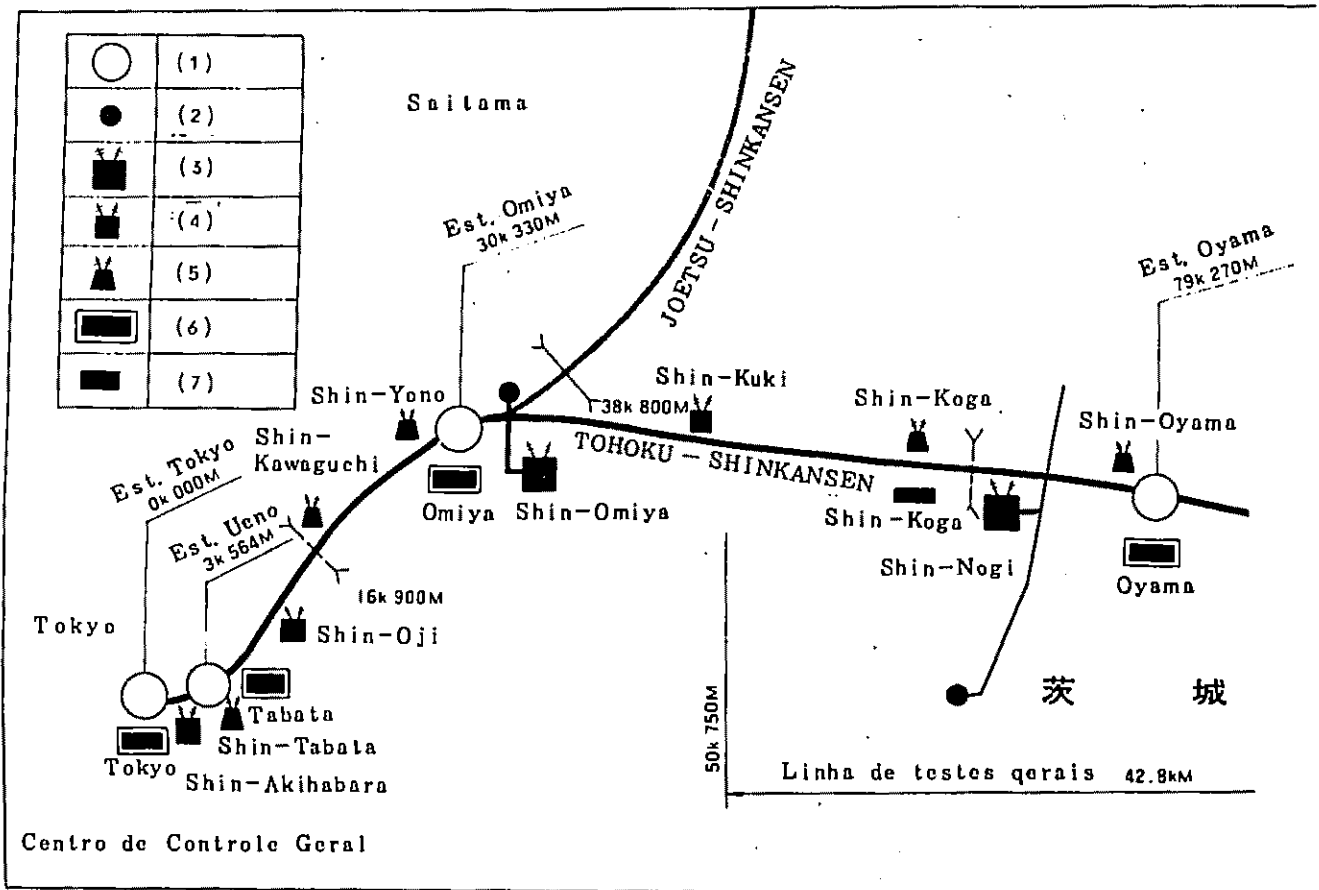
A Subestação de Shin-Noki recebe 154KV através de dois circuitos a partir da Subestação de Shin-Chikuba da Conces-

sionária de Tokyo.

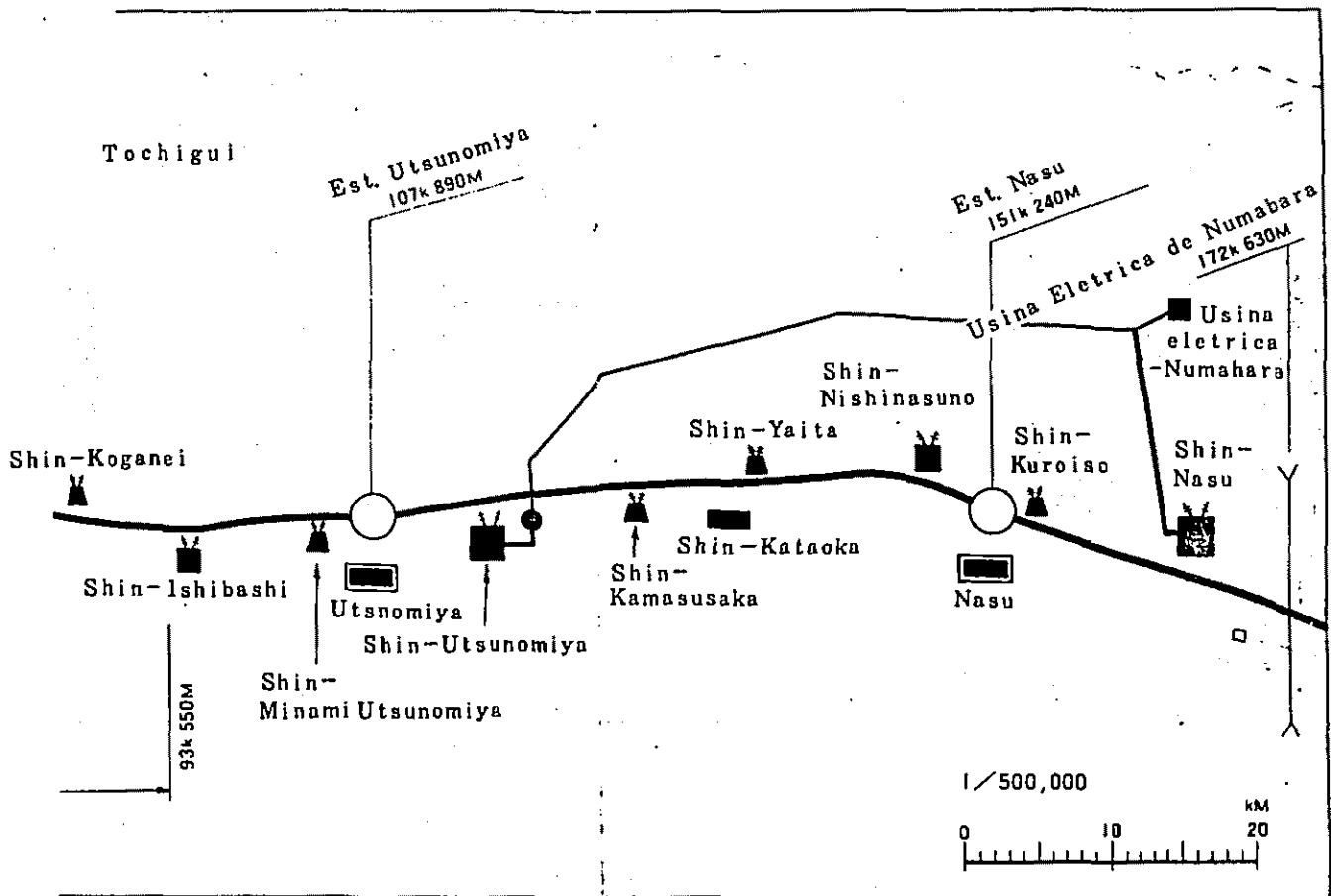
- Rede aérea; Catenária Composta Pesada
- Instalações para segurança; Sistema de alimentação AT pela combinação de 2 frequências SSB com fonte sincronizada de 50HZ.
- Instalações para comunicação: "Leakage Coaxial Cable (LXC) para rádio de term.
"Aluminum Sheathed Pencil Core Coaxial Cable" (SCX)
"Aluminum Sheathed Polyethylene Star Quad Cable" (SQEA)

ANEXO INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA TOHOKU-SHINKANSEN

TOHOKU-SHINKANSEN (Tokyo-Kurokawa) rota



- (1) Estação
- (2) Subestação da Empresa Energética
- (3) Subestação (SS)
- (4) Cabina de seccionamento (SP)
- (5) Cabina de seccionamento auxiliar (SSP)
- (6) Sala de equipamentos de comunicação (EST).
- (7) Sala de equipamentos de comunicação (TRECHO)

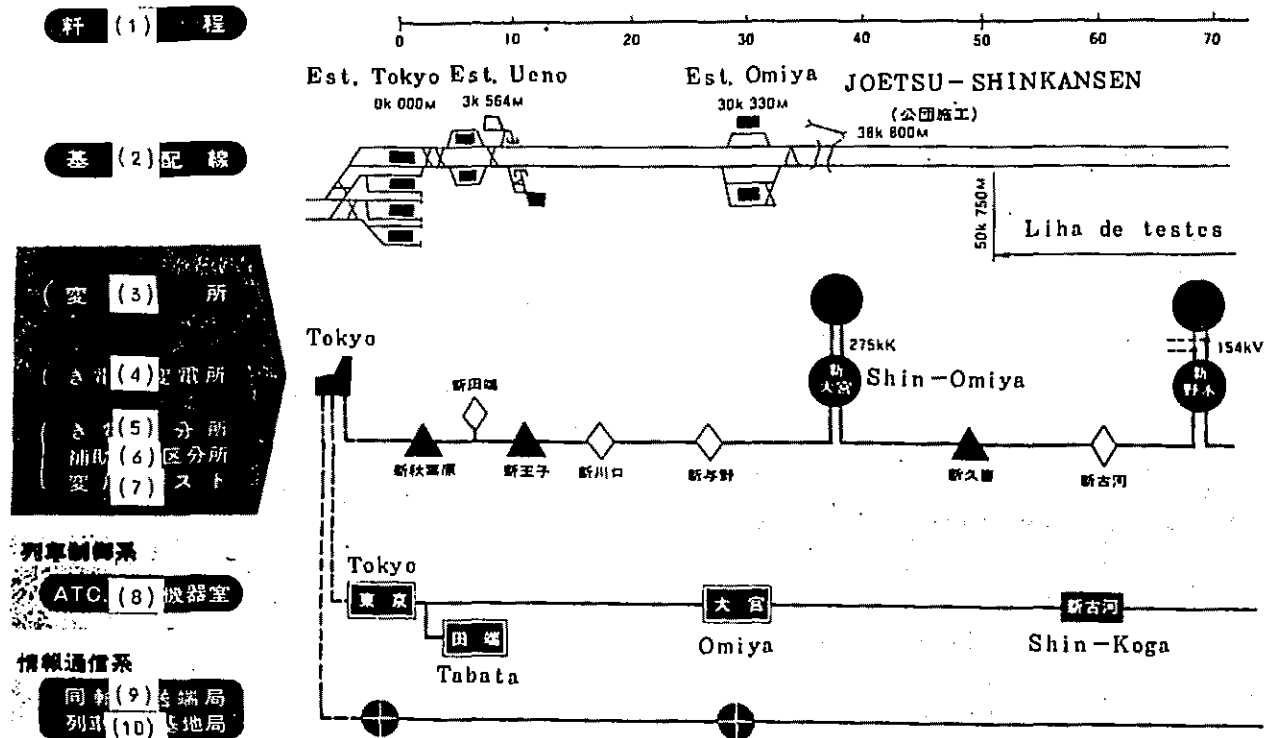


Comparação de instalações

| | Tohoku-Shinkansen | Tokaido-Shinkansen | Tohoku-Honsen (Linha tradicional) |
|--------------------------------------|--|---|---|
| Velocidade máxima prevista | 250km/h | 200km/h | 120km/h |
| Raio mínimo de curva | 4.000m | 2.500m | 400m |
| Rampa máxima | 15/1.000 | 20/1.000 | 25/1.000 |
| Bitola | 1.435mm | 1.435mm | 1.067mm |
| Peso de trilho | 60kg/m | 53,3kg/m | 50kg/m |
| Aprovisionamento de energia elétrica | CA 25.000v 50Hz Sistema de aliment. AT | CA 25.000v 60Hz Sistema de Alimentação BT | CC 1.500v CA 20.800v 50Hz Sist. Alim. BT |
| Sistema de segurança de trem | Controle automático de trem pela sinalização a bordo | | Bloqueamento automático pela instalação fixa de sinalização |
| Sistema de controle de operação | Controle centralizado pela CTC e *CONTRAC do Centro de Controle Geral de Tokyo | | |
| Sistema de rádio-comunicação de trem | "leakage coaxial cable" | Sistema de "space wave" | |

* CONTRAC - Computer Aided Traffic Control

TOHOKU-SHINKANSEN (TOKYO-KUROKAWA) INSTALAÇÕES ELÉTRICAS



杆 (1) 程

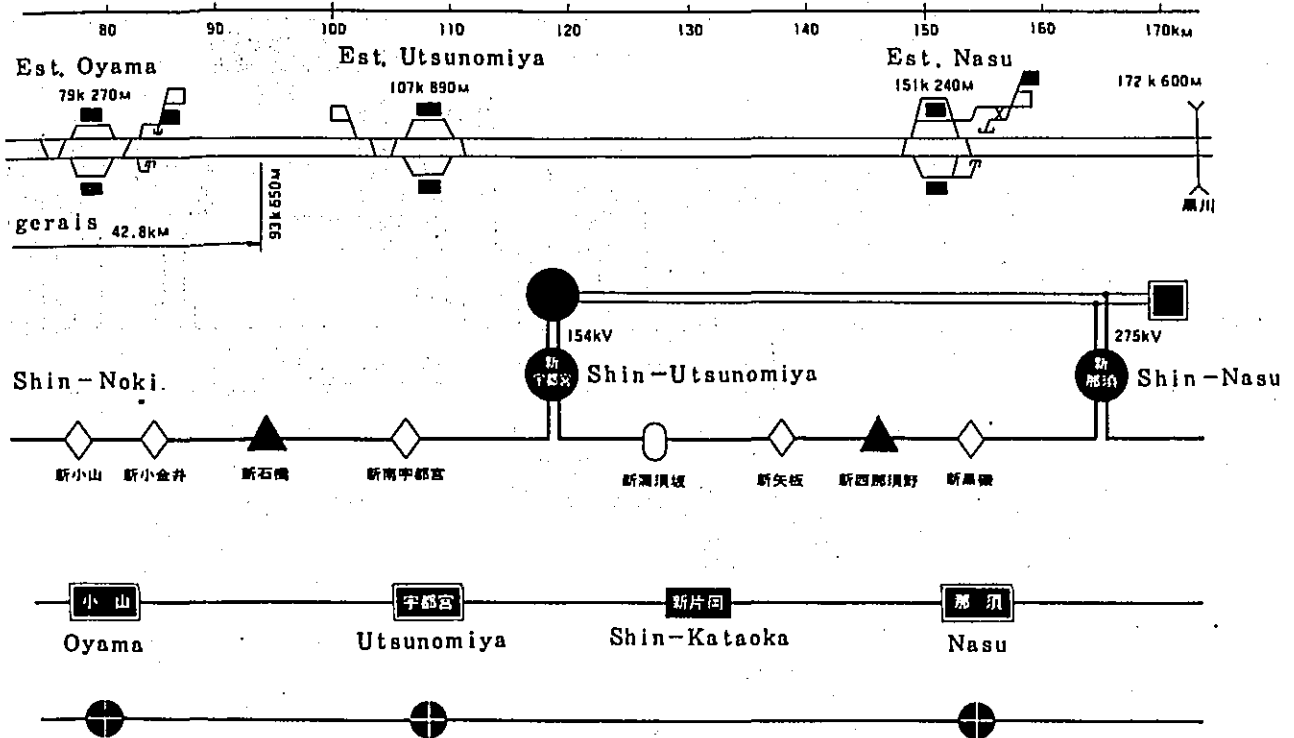
基 (2) 配線

(変 (3) 所
 (変 (4) 電所
 (変 (5) 分所
 補助 (6) 区分所
 変 (7) スト

列車制御系
ATC (8) 機器室

情報通信系
同軸 (9) 送端局
列車 (10) 基地局

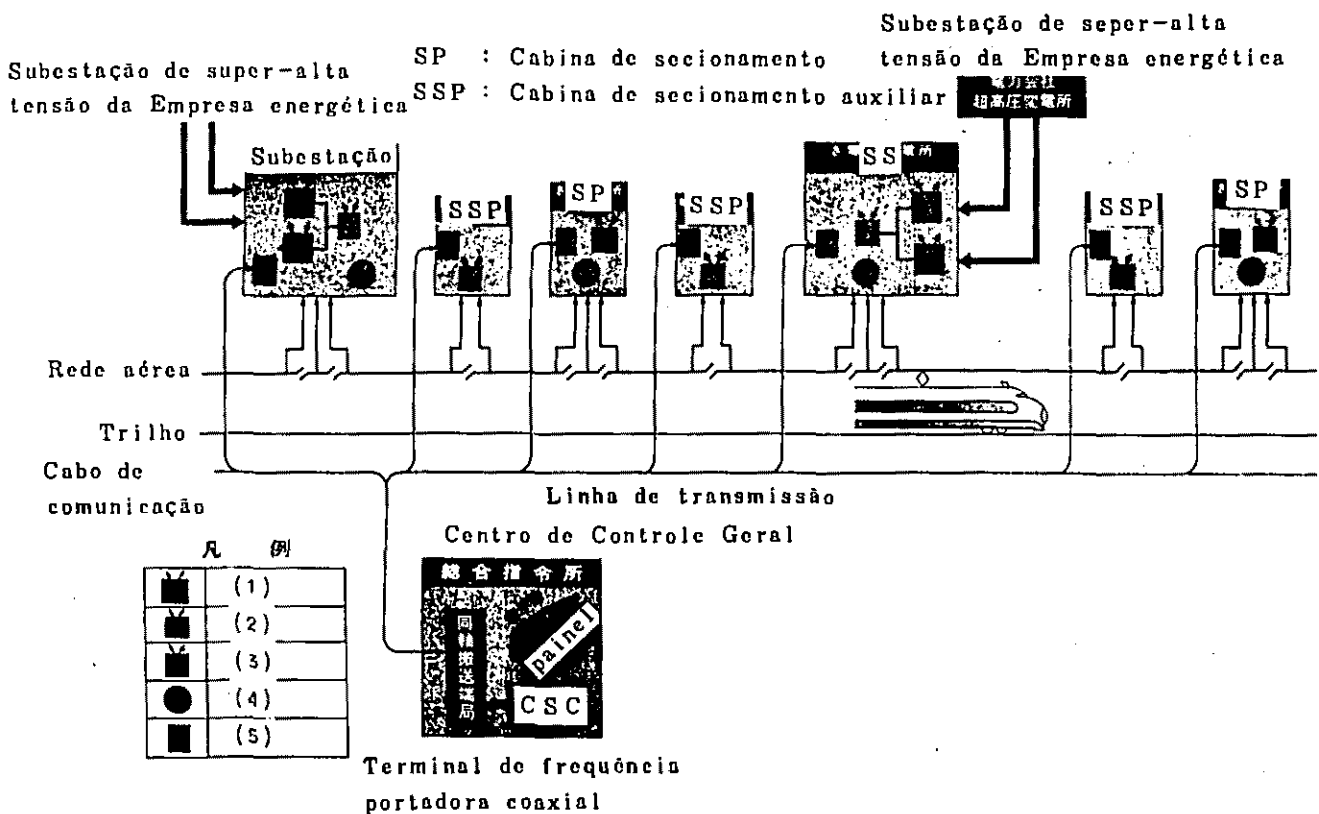
- (1) Km
- (2) Disposição básica de linhas
- (3) Subestação
- (4) Subestação para alimentação
- (5) Cabina de seccionamento
- (6) Cabina de seccionamento auxiliar
- (7) Posto de transformação
- (8) Sala de equipamentos de ATC. CTC
- (9) Terminal de frecuencia portadora coaxial
- (10) Base de rádio-comunicação de trens



- (1) Base de material rodante ou
Linha de estacionamento
- (2) Base de manutenção
- (3) Usina elétrica
- (4) Subestação da Empresa
Energética de Tokyo
- (5) Subestação p/alimentação
- (6) Cabina de seccionamento
- (7) Cabina de seccionamento
auxiliar
- (8) Posto de transformação
- (9) Estação
- (10) Trecho
- (11) Sala de equipamentos
de comunicação
- (12) Terminal de frequência
portador coaxial
Base de rádio-comunicação
de trens
- (13) Centro de Controle Geral

| | |
|--|------|
| | (1) |
| | (2) |
| | (3) |
| | (4) |
| | (5) |
| | (6) |
| | (7) |
| | (8) |
| | (9) |
| | (10) |
| | (11) |
| | (12) |
| | (13) |

SISTEMA ENERGÉTICO



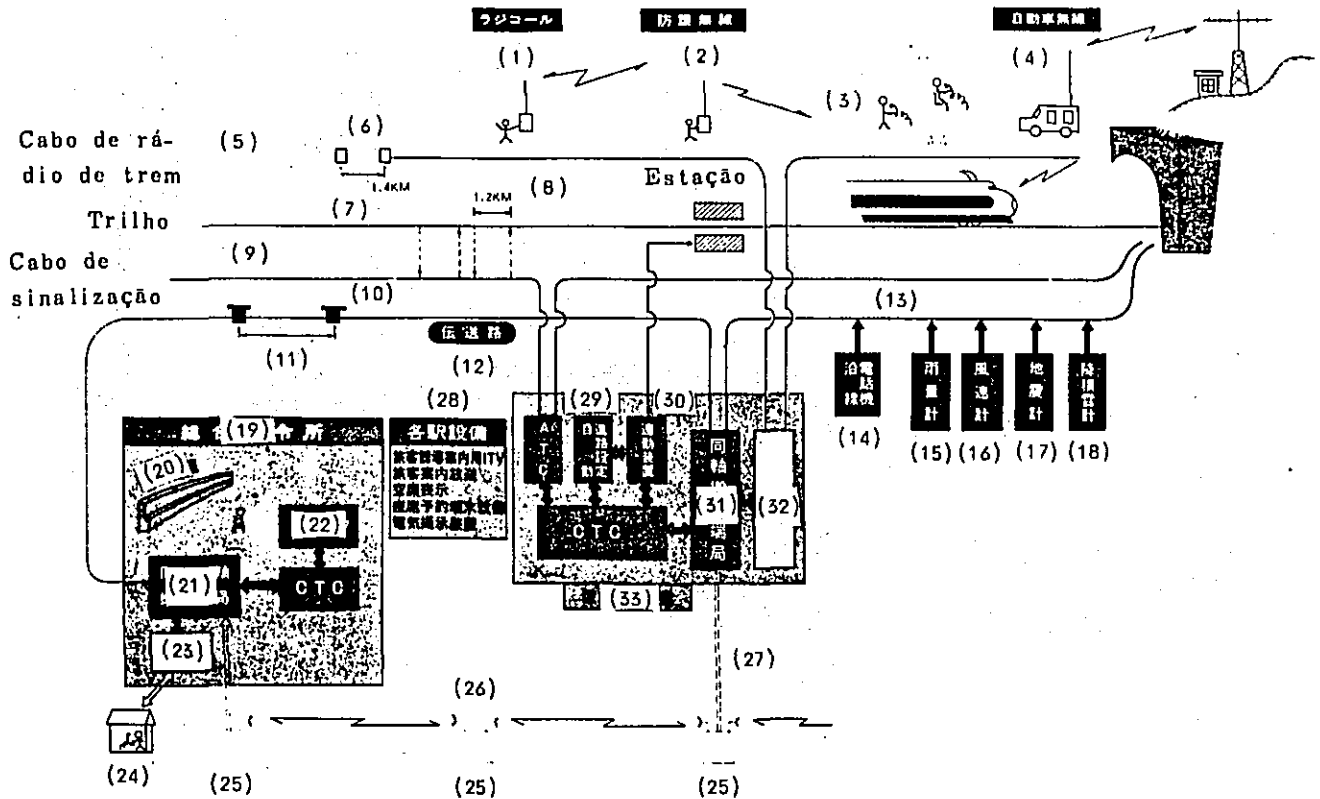
A energia elétrica para operação de trem transformado em 25.000 v em subestações da JNR, alimenta a rêde aérea.

As instalações de subestação e cabina das seccionamento são supervisionadas e comandadas.

As instalações de subestação e cabina de seccionamento são supervisionadas e tele-comandadas pelo dispositivo de comando centralizado de subestação (CSC).

- (1) Transformador p/ recepção de energia elétrica
- (2) Transformador p/ alimentação
- (3) Auto-transformador
- (4) Chave
- (5) Dispositivo de Tele-comando

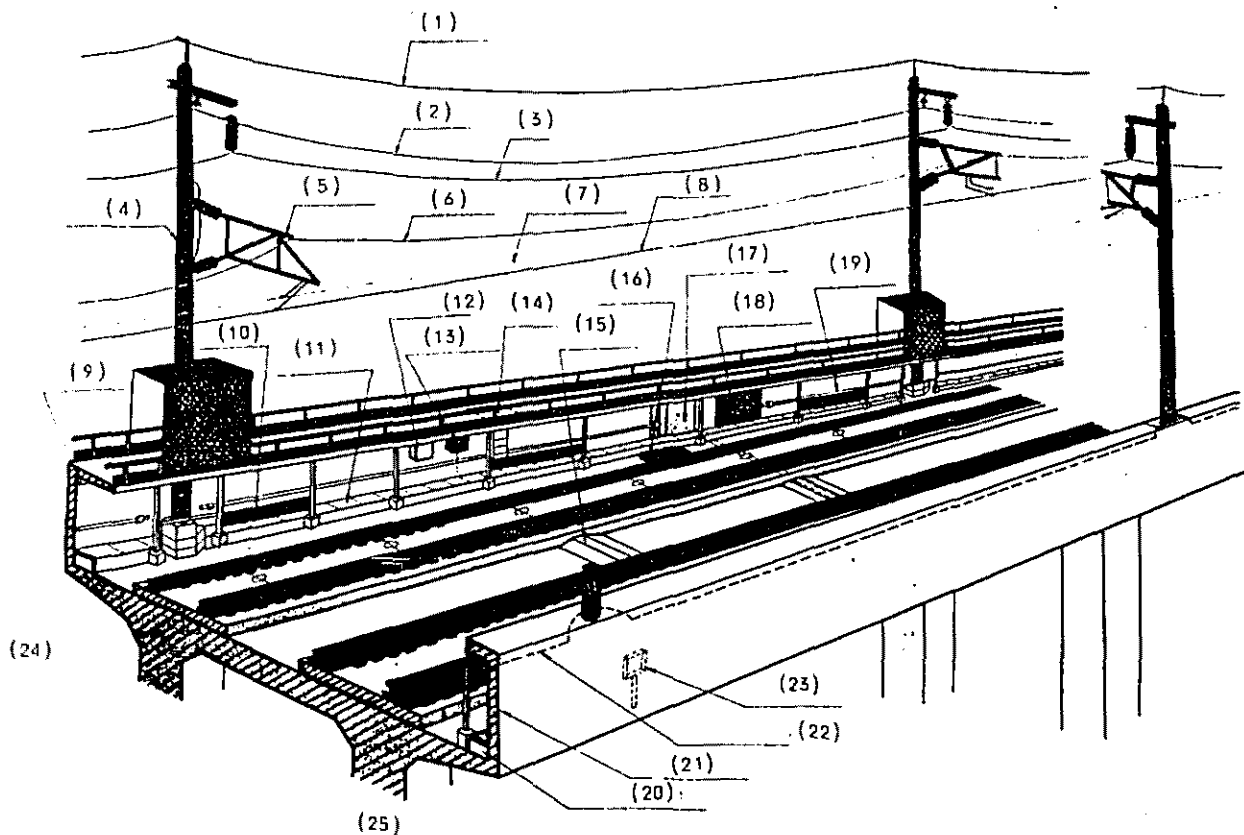
SISTEMA DE CONTROLE DE TREM E COMUNICAÇÃO



- (1) RADICALL (Equipamento de rádio p/ chamar o pessoal de manutenção).
- (2) Rádío protetor.
- (3) Telefone p/ passageiros e serviço.
- (4) Rádío-Automóvel.
- (5) "Leakage Coaxial Cable" (LCX).
- (6) Repetidor de rádio-comunicação de trem.
- (7) Distância padrão 1,4 km.
- (8) Seção de bloqueio padrão 1,2 km.
- (9) "Aluminum Sheathed Polyethylene Star Quad Cable" (SQEA)
- (10) Repetidor coaxial
- (11) Distância padrão 3,5 km.
- (12) Via de transmissão
- (13) Cabo de comunicação ("Aluminum Sheathed Pencil Core Coaxial Cable")
- (14) Telefone da linha
- (15) Pluviômetro
- (16) Anemômetro
- (17) Sismômetro
- (18) Medidor de nevada
- (19) Centro de Contrôles Geral
- (20) Painel
- (21) Terminal de frequência portadora coaxial
- (22) COMTRAC (Computer Aided Traffic Control)
- (23) Comutador de rádio-comunicação de trem
- (24) Telefone público (comunicação com trem)
- (25) Estação repetidora de rádio-comunicação
- (26) Circuito de micro-onda
- (27) Linha de alternância
- (28) Instalações de estações
 - ITV p/ guia de passageiros
 - Comunicação informativa p/ passageiros
 - Indicação de lugares disponíveis
 - Instalações p/ reserva de lugares
 - Dispositivo elétrico de aviso p/ passageiros
- (29) Selecionador automático de rotas de trem
- (30) Dispositivo de intertravamento
- (31) Terminal de frequência portadora coaxial
- (32) Base de rádio-comunicação de trem
- (33) Sala de equipamentos de Sinalização e Comunicação

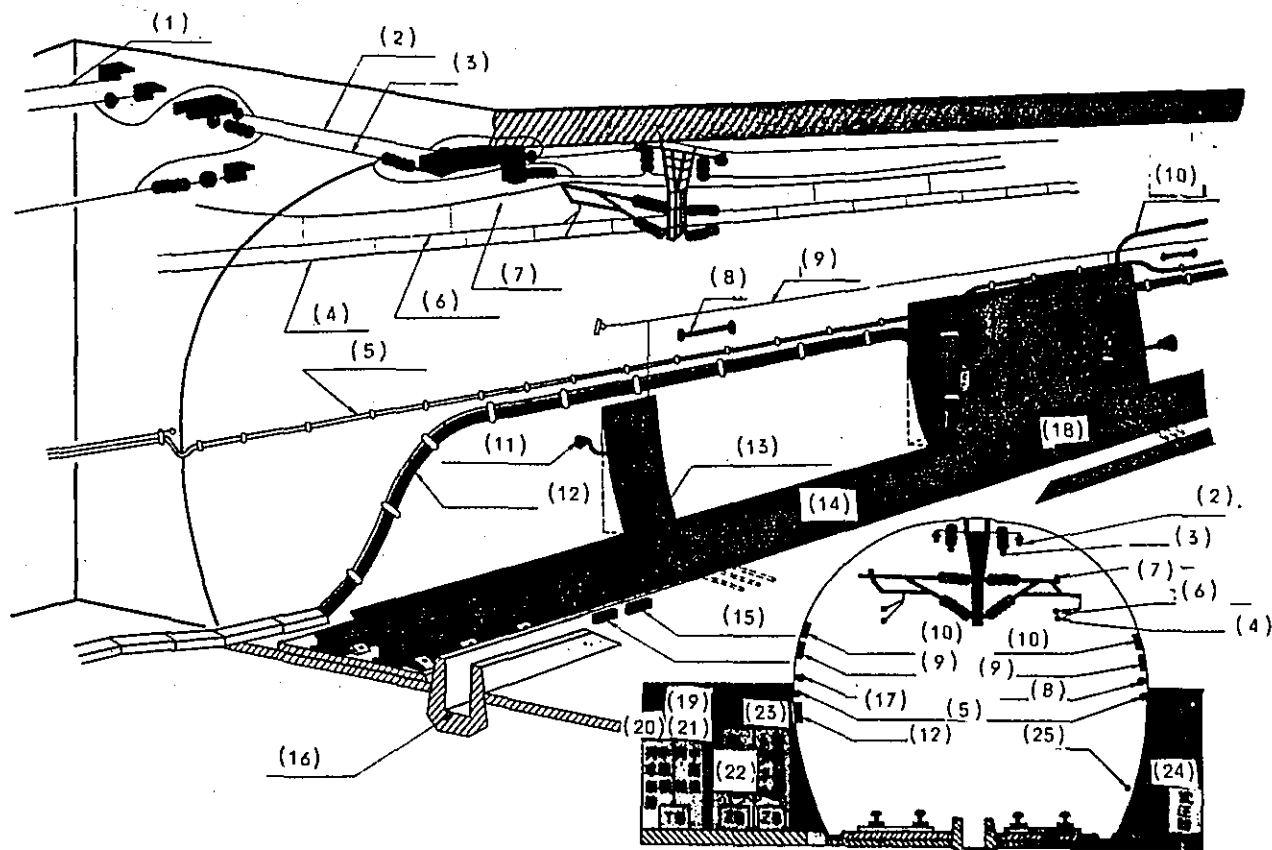
1. A velocidade de trem é controlada automaticamente pela ATC. O tráfego de trens faz-se controle centralizado pelo CTC e COMTRAC no Centro de Controle Geral.
2. Para comunicação com trens, usa-se o sistema de rádio-comunicação de trem com "Leakage coaxial cable (LCX)".
3. As informações meteorológicas ao longo da via são supervisionadas pelo Centro de Contrôles Geral.

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS NO TRENCHO DE TÚNEL



- (1) linha aérea
- (2) fio protetor
- (3) fio alimentador
- (4) fio de contato
- (5) "leakage coaxial cable"
- (6) mensageiro auxiliar
- (7) mensageiro
- (8) iluminação
- (9) fio condutor de baixa tensão
- (10) fio condutor de alta tensão
- (11) alarme de túnel
- (12) cabo de comunicação
- (13) bond de impedância
- (14) via transversal de tubo
- (15) chave p/ proteção de trem
- (16) passagem central
- (17) iluminação
- (18) guarda-material
- (19) iluminação
- (20) repetidor de rádio-comunicação de trem
- (21) repetidor coaxial
- (22) caixa de equipamentos p/ segurança
- (23) Dispsitivo de alarme de túnel
- (24) transformador
- (25) tomada
- (26) chave de iluminação

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS NO TRENCHO DE VIA ELEVADA



- (1) linha aérea
- (2) fio protetor
- (3) fio alimentador
- (4) poste de concreto
- (5) cantilever móvel
- (6) mensageiro
- (7) mensageiro auxiliar
- (8) fio de contato
- (9) "leakage coaxial cable"
- (10) rede protetora
- (11) conduto p/ cabo de comunicação
- (12) telefone da linha
- (13) chave p/ proteção de trem
- (14) escotilha
- (15) via transversal de tubo
- (16) Tala de impedância ("Impedance bond")
- (17) repetidor de rádio-comunicação de trem
- (18) caixa de ferramentas p/ sinalização
- (19) balaustrada
- (20) conduto p/ cabo de energia elétrica
- (21) muro de prova de ruído tipo L inverso
- (22) "leakage coaxial cable"
- (23) caixa de tomada p/ manutenção
- (24) lado de passagem p/ manutenção
- (25) lado de refúgio no caso de emergência

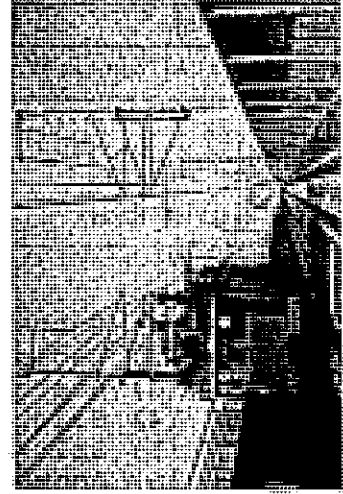
LINHA DE TESTES GERAIS

Foi inaugurada a Linha de testes gerais no "Trecho Oyama" da TOHOKU-SHINKANSEN. Nesta linha, executam-se as testes globais para desenvolver a tecnologia para futura SHINKANSEN, elaborar as medidas para conservação ambiental e aumentar a segurança.

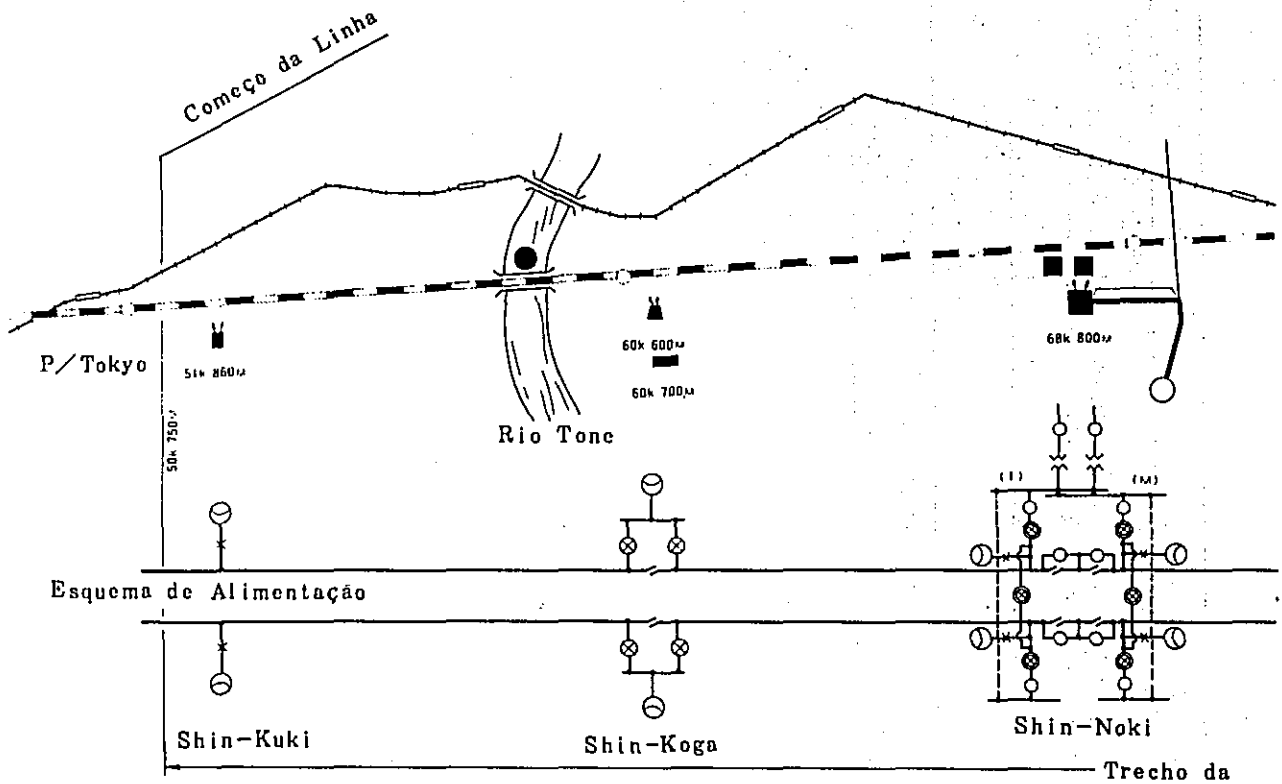
1. Trecho: Kuki (50,750km) - Ishibashi (93,550km) 42,800km
2. Material Rodante; Série 961 e 962 (6 carros)
3. Via; Via dupla, Viaduto, Est. Oyama, Base Oyama
4. Fonte de Energia p/ Operação, A subestação de Shin-Chikuba do Concessionário fornece 154kv à Subestação de Shin-Noki através de dois circuitos (CC 25kV, 50Hz, Sistema de alimentação AT)
5. Transmissão de Energia; Rrede transmissora de Shin-Noki da JNR (2km, 154kV, dois circuitos)
6. Transformação, Subestação: Shin-Noki (Transformador p/ alimentação, Ligação Scott, 150MVA, 2 pares). Seccionador auxiliar: Shin-Koga, Shin-Oyama, Shin-Koganai (AT 10MVA). Posto de Transformação provisório: Shin-Kuki, Shin-Ishibashi (AT 10MVA). Controle Remoto: Posto de Controle Energético de Shin-Oyama.
7. Rede Aérea, Catenária Composta Pesada, 5,5t, Mensageiro (St 180 mm², 2,5t), Mensageiro Auxiliar (PH 150mm², 1,5t), Fio de contato (GT 170mm², 1,5t).
8. Energia p/ iluminação, Instalações energéticas da Est. Oyama e Base Oyama. Circuito p/ manutenção (6kV de alta tensão, baixa tensão - 200V)
Tomada p/ instalações de iluminação (monofásio 200V, cada 50m)
Tomada p/ motoriz (trifásio 200V, cada 150m)
9. Sinalização; Dispositivo de ATC, Sistema de ATC pela combinação de 2 frequências SSB com fonte sincronizada 50Hz, Sala de equipamentos das Est. Shin-Furukawa e Oyama.
Instalações p/ operação de ATC (descida-bi-direcional, subida-uni-directional). Linha de Sinalização - "Aluminum Sheathed Polyethylene Star Quad Cable" (AQEA)
10. Telecomunicação; Equipamento rádio de trem: "Leakage Coaxial Cable" (LCX)
Linha de comunicação: Aluminum Sheathed Pencil Core Coaxial Cable" (SCX)
Telefones ao longo da linha

TESTES NA

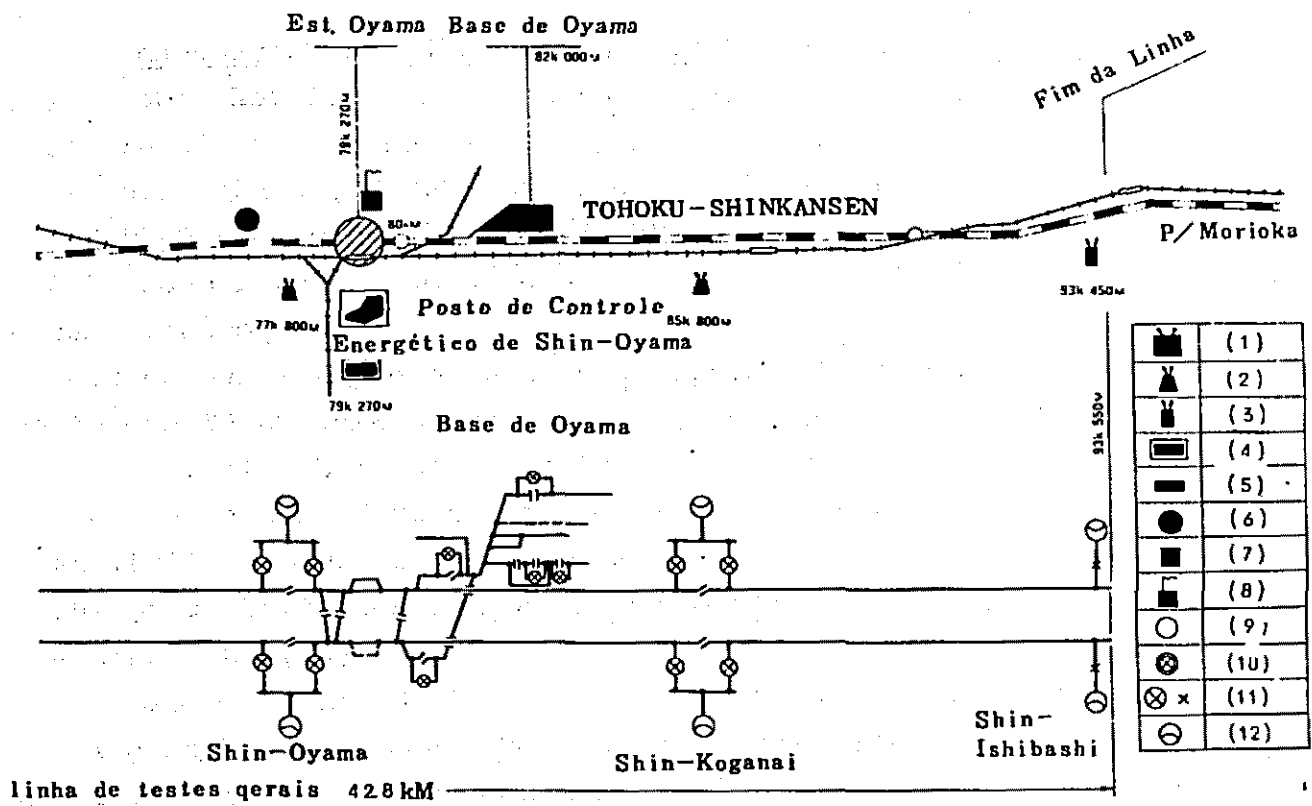
| Classificação | Itens de teste | Objetos de teste |
|---------------------------------------|--|--|
| Conservação Ambiental | Análise de fonte de ruídos, Isolamento de ruídos, Absorção de ruídos, Análise de fonte de vibração | Material rodante Via Permanente Estruturas Pantógrafo |
| | Via de propagação | Estruturas Fundamento |
| Elavação de grau de Segurança | Contra-medida para prevenir os acidentes relacionados a rede aérea e pantógrafo. | Rede aérea Pantógrafo |
| | Normalização de tráfego no caso de acidentes | Rede aérea Material rodante Via permanente |
| Desenvolvimento tecnológico p/ futuro | Teste de características de material rodante e de rede aérea. | Rede aérea, Material rodante Via Permanente |
| | Teste de características de seccionador e de dispositivo de intertravamento sem contato | Subestação |
| | Teste de dispositivo de ATC com 2 frequências | Sinalização |
| | Teste de característica de rádio de trem com "Leakage Coaxial Cable" | Telecomunicação |



ESQUEMA DE INSTALAÇÕES DA LINHA DE TESTES GERAIS



- (1) Subestação (SS)
- (2) Cabina de seccionamento (SSP)
- (3) Posto de transformação provisório (ATP)
- (4) Sala de equipamentos de comunicação (ESTAÇÃO)
- (5) Sala de equipamentos de comunicação (TRECHO)
- (6) Anemômetro
- (7) Sismômetro
- (8) Base de rádio-comunicação de trem
- (9) Interruptor (controle remoto)
- (10) Chave (controle remoto)
- (11) Chave
- (12) Auto-transformador



2. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA

2.1 História do sistema de alimentação da Tōkaidō-Shinkansen

Para construção da Tōkaidō-Shinkansen, foi definida em torno de 20 km a distância de subestações, prevendo-se a circulação de trens com a capacidade nominal de 7.200 kW, tendo intervalo de 15 km, e considerando-se 25 kV a tensão normal da Rede Aérea e sua variação de +20% a -10%. Foram adotados para capacidade tensional de subestações, mais de 77 kV, sendo a potência máxima por hora de 7.000 kW a 8.000 kW e capacidade de fonte de 500 MVA. Para sistema de alimentação, foi adotado o Sistema BT com diferentes fases entre os dois sentidos; subida e descida.

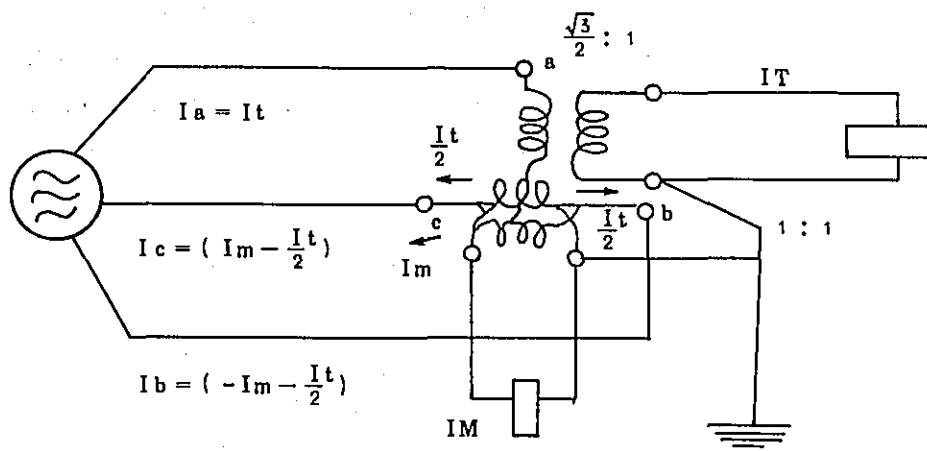
Quanto às medidas tomadas contra os problemas surgidos antes e depois da inauguração da Linha em outubro de 1964, na área onde chegou a variação de tensão até aproximadamente 10% para consumidores populares, foi adotada uma série de medidas tais como separação parcial do sistema de transmissão elétrica, exclusividade de transformadores, instalação de condensador em série, além de limitação de marcha (manete) "notch" de trens em alguns trechos. Foi encontrada também a anormalidade em desgaste na seção BT (de 0,080 a 0,043 mm/10 mil frequências de pantógrafo, ou seja de 4 a 6 vezes maior desgaste do que em outras seções). Como contra-medida deste problema, foi transformada para sistema de 3 seções.

Para construção de Sanyō-Shinkansen, foi adotado o sistema de alimentação AT. Em consequência disso, foram realizados o aumento da capacidade distancial de alimentação, adoção de alta capacidade tensional em subestações e solução dos problemas surgidos na seção BT. Ou seja, foram definidos a recepção de corrente de 5.000 MVA a 12.000 MVA, distância entre subestações de 50 km a 60 km. As fontes de energia de Tōhoku-Shinkansen e Jōetsu-Shinkansen são basicamente iguais ao de Sanyō-Shinkansen.

2.2 Variação de tensão no sistema de fonte energético

Em subestações da Shinkansen, faz-se alimentação utilizando o transformador de ligação Scott como mostrada na Fig. 2-1. Se PM (carga no lado M) e PT (carga no lado T) forem as cargas no lado secundário, há uma combinação de $PM > PT$ ou $PM < PT$.

Fig. 2-1. Corrente de carga de transformador de ligação "Scott"



Onde:

I_t - Corrente no lado primário contra I_T

I_m - Corrente no lado primário contra I_M

I_T - Corrente secundária no lado T

I_M - Corrente secundária no lado M

A queda de tensão provocada na tensão balanceada trifásica tem um diferente aspecto com a carga balanceada trifásica. O cálculo da queda de tensão entre linhas no lado da fonte é mostrada na Tabela 2-1.

Tab. 2-1. Fórmula da queda de tensão pela carga do transformador da ligação "Scott"

| | lado T (x100%) | lado M (x100%) | lado T e M (x100%) |
|--------------------------------|---|--|--|
| $\frac{\Delta V_{ab}}{V_{ab}}$ | $\frac{\sqrt{3} V_{I_T}}{P_S} \sin(\theta + \frac{\pi}{6})$ | $\frac{V_{I_M}}{P_S} \sin(\theta - \frac{\pi}{3})$ | $\frac{\sqrt{3} V_{I_T}}{P_S} \sin(\theta + \frac{\pi}{6}) + \frac{V_{I_M}}{P_S} \sin(\theta - \frac{\pi}{3})$ |
| $\frac{\Delta V_{bc}}{V_{bc}}$ | 0 | $\frac{2V_{I_M}}{P_S} \sin \theta$ | $\frac{2V_{I_M}}{P_{SS}} \sin \theta$ |
| $\frac{\Delta V_{ca}}{V_{ca}}$ | $\frac{\sqrt{3} V_{I_T}}{P_S} \sin(\theta - \frac{\pi}{6})$ | $\frac{V_{I_M}}{P_S} \sin(\theta + \frac{\pi}{3})$ | $\frac{\sqrt{3} V_{I_T}}{P_S} \sin(\theta - \frac{\pi}{6}) + \frac{V_{I_M}}{P_S} \sin(\theta + \frac{\pi}{3})$ |

Onde: ΔV_{ab} : queda de tensão entre linhas a e b

V_{ab} : Tensão entre linhas a e b antes de ter carga

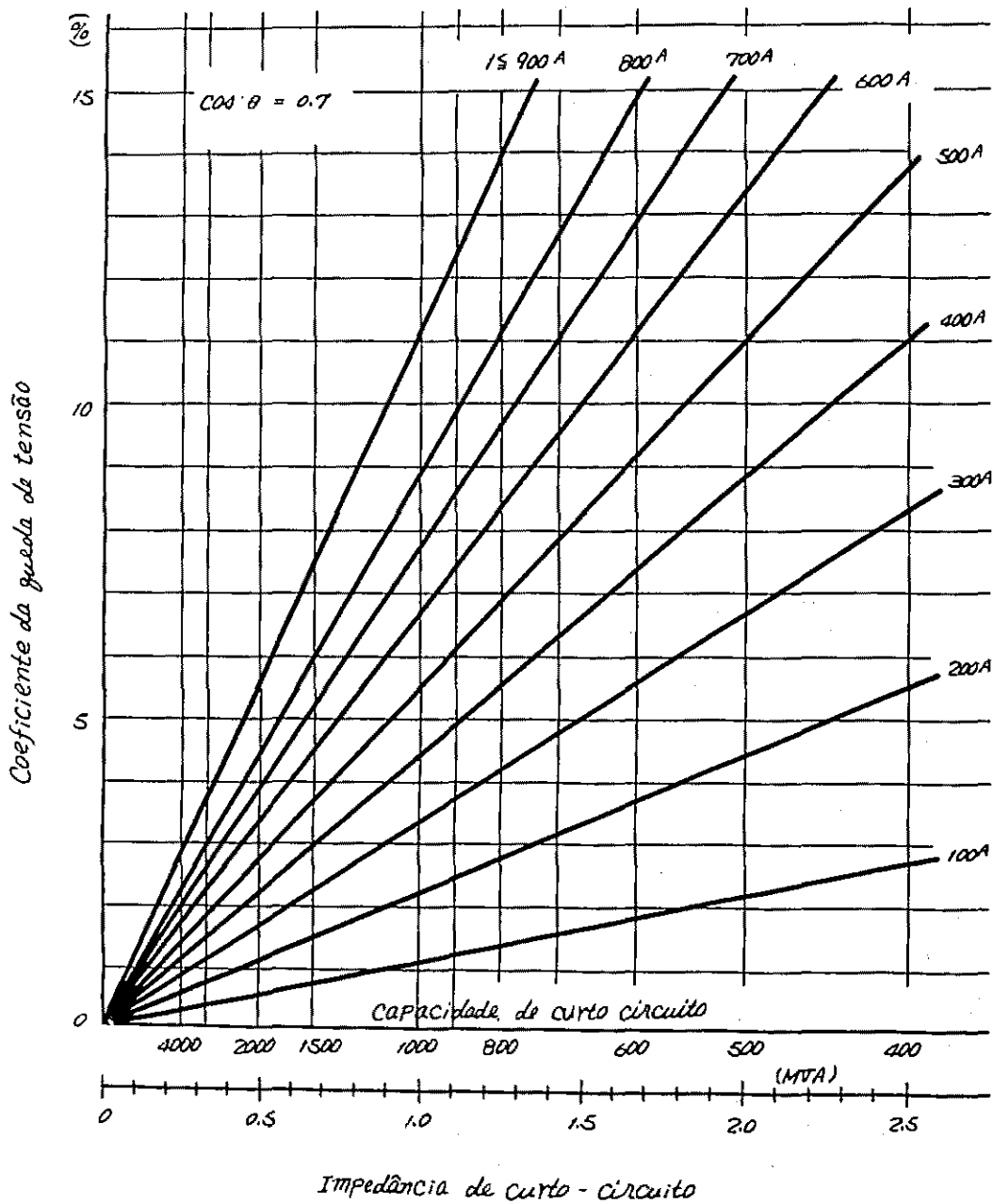
V : Tensão no lado secundário antes de ter carga

θ : Fator de potência

Como é evidente na fórmula, podemos saber que o coeficiente da queda de tensão está relacionada à força elétrica reativa e

capacidade de curto circuito neste ponto. Apresentamos na Fig. 2-2, como exemplo, o resultado do cálculo sobre $\Delta V_{ab}/V_{ab}$ no caso em que a carga exista somente no lado T, sendo 77kV a tensão no sistema, 70% a coeficiente de carga e a corrente I no lado primário (77kV) a corrente de carga.

Fig. 2-2 Queda de tensão pela carga da ligação "Scott" (no caso de somente carga no lado T)



Onde:

V - Tensão no sistema (KV)

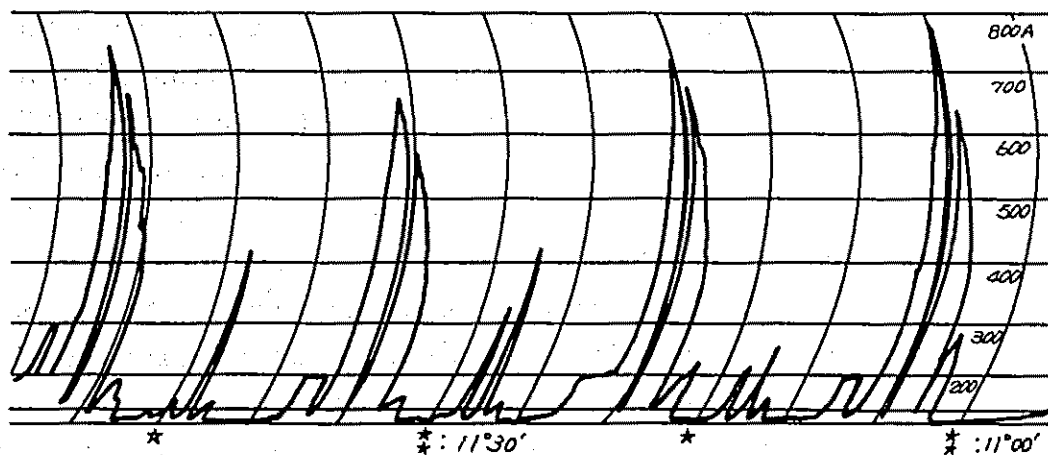
I - corrente no lado T do lado primário do transformador(A)

θ - Fator de potência

Ps- Capacidade de curto circuito ba barra coletora em
questão (KVA)

$$\frac{\Delta V_{ab}}{V_{ab}} = \frac{1.5VI \sin \left(\theta + \frac{\pi}{6} \right)}{P_s} \times 100(\%)$$

Fig. 2-3 Valor real da medicação da corrente de
alimentação

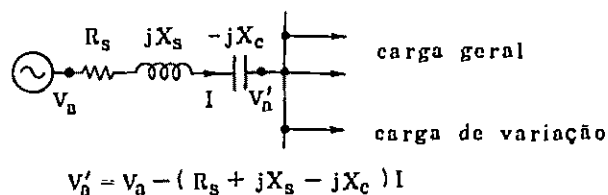


2.3. Medida para diminuir a variação de tensão

2.3.1. Método pelo condensador em série:

Compensando a restância pelo condensador, intercalando-se este condensador em série no lado da fonte a partir do ponto em questão da variação de tensão, poderá ser aumentada a capacidade aparente de curto circuito neste ponto. Neste método, entretanto, não poderá ser melhorada a variação de tensão no lado da fonte a partir do ponto intercalado o condensador em série, ao instalar-se o condensador em série, precisa ser estudado sobre existência de fenômenos anormais tais como excitação própria da máquina de indução, oscilação da máquina síncrona e vibração da harmônica fracionada quando fôr instalado transformador sem carga, etc. (Vide a Fig. 2-4).

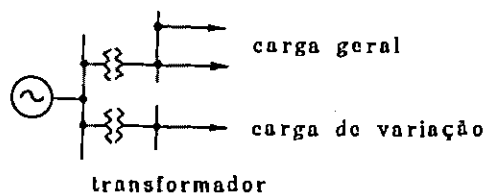
Fig. 2-4 Compensação pelo condensador em série



2.3.2 Método para separação do sistema de fornecimento em Sistema Geral

Utilizando-se a linha de transmissão ou a fileira de transformadores exclusivamente para carga de variação, separa-se o sistema de fornecimento com a carga geral. Sendo assim, pode ser fornecida energia elétrica a partir do ponto onde há maior capacidade de curto circuito. Como contra medida básica de variação de tensão, separando o sistema do ponto onde há capacidade de curto circuito tal que a variação de tensão fique dentro do limite permissível, recebe-se a energia elétrica em instalações exclusivas. Nesse meio, podemos obter alta confiabilidade, não havendo problemas técnicos. Neste caso, a determinação da capacidade necessária de curto circuito varia de acordo com a intensidade da carga e a dimensão de instalações para transmissão e transformação de energia da Concessionária, podendo ter o caso em que deve ser feita recepção da energia através da barra coletora pela fileira de transformadores exclusivos. O aumento de instalações energéticas de tal dimensão exige grande investimento, por isso, sempre deverá ser feito arranjo de instalações paralelamente com o projeto de aumento de capacidade de transmissão e transformação da Concessionária.

Fig. 2-5 Separação do sistema



3. PROBLEMAS DE DESBALANCEAMENTO VOLTAICO DA FONTE

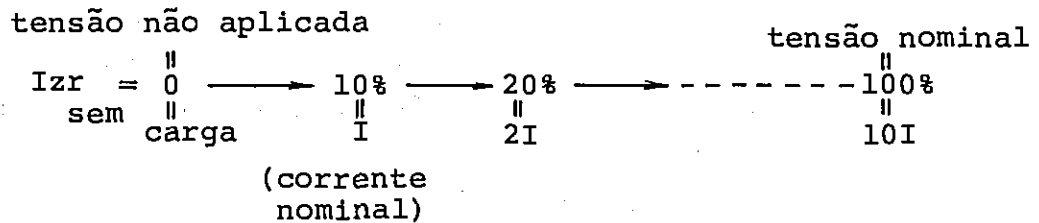
3.1 Porcentagem-Impedância (%Zr) e a capacidade de curto-circuito

IZr é a queda de tensão pela impedância de fuga (Zr) quando a corrente nominal (I) percorreu pelo transformador. A porcentagem-impedância é a razão entre IZr e a tensão nominal V₁ (ou V₂). A sua fórmula é a seguinte:

$$\%Zr = \frac{IZr}{V_2} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (3.1)$$

A porcentagem-impedância é a razão entre a tensão nominal V₁ (ou V₂) e a soma vetorial de resistência e a queda de tensão pela resistência. Mas, neste cálculo, podemos desprezar a resistência, porque seu valor é muito pequeno em comparação com a reatância. Portanto, aproveitamos somente reatância no cálculo. Então, %Zr = 10 significa "se cuasar curto circuito no terminal de um lado, e aplicar a 10% da tensão nominal entre outros terminais, percorre a corrente nominal."

Ou seja, no caso de %Zr = 10



Pela fórmula acima apresentada, podemos saber que existe a seguinte relação entre a corrente nominal(I), corrente de curto circuito(Is) e a porcentagem-impedância(%Zr):

$$\left. \begin{array}{l} Is = I \times \frac{100}{\%Zr} \\ \text{ou} \\ \frac{Is}{I} = \frac{100}{\%Zr} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.2)$$

Vejamos este no sistema energético. Se considerarmos V a voltagem fásica e Is a corrente de curto-circuito encontradas quando cuasamos curto-circuito no trafásico de certo ponto do sistema, a capacidade no fonte será Ps = √3 VIs. Chamamos esta Ps a capacidade de curto-circuito neste ponto. Neste caso,

consideramos que a tensão da fonte esteja constante quando causado curto-circuito. Por outro lado, a expressão da impedância do sistema utilizando %Z é baseada em certa capacidade. Esta capacidade que serve como base é chamada a capacidade referencial. E preciso estabelecer uma determinada capacidade como referência, porque mesmo que esteja mesma tensão, se a capacidade aumentar n vezes maior, a corrente também aumentará n vezes maior e a queda de tensão em mesma impedância também n vezes maior. Sendo P (KVA) a capacidade referencial, Ps a capacidade de curto-circuito e V (KV) a voltagem entre linhas, podemos estabelecer as seguintes relações:

$$P = \sqrt{3} VI \qquad P_s = \sqrt{3} V I_s$$

Substituindo-se a fórmula (3.2) por seguinte fórmula:

$$\frac{P_s}{P} = \frac{\sqrt{3} V I_s}{\sqrt{3} V I} = \frac{I_s}{I} = \frac{\%Z_o}{I} \times I$$

$$\%Z_o = \frac{P}{P_s} \times 100 \dots\dots\dots (3.3)$$

Onde, %Z_o é a porcentagem-impedância por fase do sistema. Substituindo-se %Z_r e Z_r da fórmula (3.1) por %Z_o e Z_o respectivamente, teremos uma fórmula de %Z_o = (IZ_o/V) x 100:

$$\%Z_o = \frac{\frac{P}{\sqrt{3} V} \times Z_o}{\frac{V}{\sqrt{3}} \times 1.000} \times 100 = \frac{P Z_o}{10 V^2} \dots (3.4)$$

Portanto, a impedância do sistema Z_o seria:

$$Z_o = \frac{10V^2 \times \%Z_o}{P} \text{ (} \Omega/\text{fase) } \dots\dots\dots (3.5)$$

Em geral, a corrente de fuga no sistema energético aumenta de acordo com a expansão do sistema. Especialmente, quando aumentarem excessivamente a corrente de curto-circuito trifásica, cujo valor é grande, e a corrente de ligação à terra de um fio no sistema de ligação direta à terra, surgem seguintes as problemas:

- i) Falta de capacidade de desarme de interruptor e de corrente

instantânea de máquinas.

- ii) Aumento de avaria no ponto de defeito.
- iii) Aumento de transtorno indutivo para circuito de comunicação.
- iv) Aumento de potência da terra.

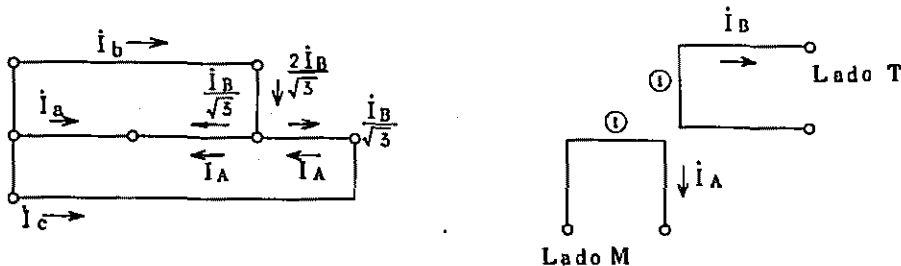
Por conseguinte, ao planejar o sistema energético, considerando-se também a parte operacional do sistema, além dos quatro problemas sobreditos, determina-se a capacidade permissível de curto-circuito e estabelece-se o sistema dentro do limite da capacidade permissível. São as seguintes capacidades permissíveis que estão sendo usadas no Japão:

| Voltagem (KV) | Capacidade máxima de curto-circuito (10mil KVA) |
|---------------|--|
| 500 | 4.300 |
| 275 | 2.500 |
| 154 | de 750 a 1.000 |
| de 77 a 66 | de 250 a 350 |
| de 33 a 22 | 100 |

No entanto, geralmente, não compatibilizam a medida para diminuir a capacidade de curto-circuito e a medida para elevar a estabilidade do sistema. Por isso, para o planejamento, precisa ser estudada suficientemente a harmonia dos fatores incompatíveis de duas medidas.

3.2 Transformador de ligação "Scott"

A capacidade de transformador de ligação "Scott" deverá ser a soma de capacidades do lado M (Principal) e a do T, e a capacidade do lado M é igual à no lado T.



$$\tilde{i}_a = -\tilde{i}_A - \frac{\tilde{i}_B}{\sqrt{3}}$$

$$\tilde{i}_b = \frac{2\tilde{i}_B}{\sqrt{3}}$$

$$\tilde{I}_c = \tilde{I}_A - \frac{\tilde{I}_B}{\sqrt{3}}$$

$$\tilde{I}_A = \tilde{I}_A, \tilde{I}_B = j \cdot I_B$$

i) Existe a carga somente no lado M:

$$\tilde{I}_a = -\tilde{I}_A \quad \tilde{I}_b = 0 \quad \tilde{I}_c = \tilde{I}_A$$

ii) Existe a carga somente no lado T:

$$\tilde{I}_a = \tilde{I}_B/\sqrt{3} \quad \tilde{I}_b = 2 \tilde{I}_B/\sqrt{3} \quad \tilde{I}_c = -\tilde{I}_B/\sqrt{3}$$

iii) Existe mesma carga dos lados M e T:

$$\tilde{I}_a = -\tilde{I}_A - \frac{\tilde{I}_B}{\sqrt{3}} = -I_A \left(1 + j \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

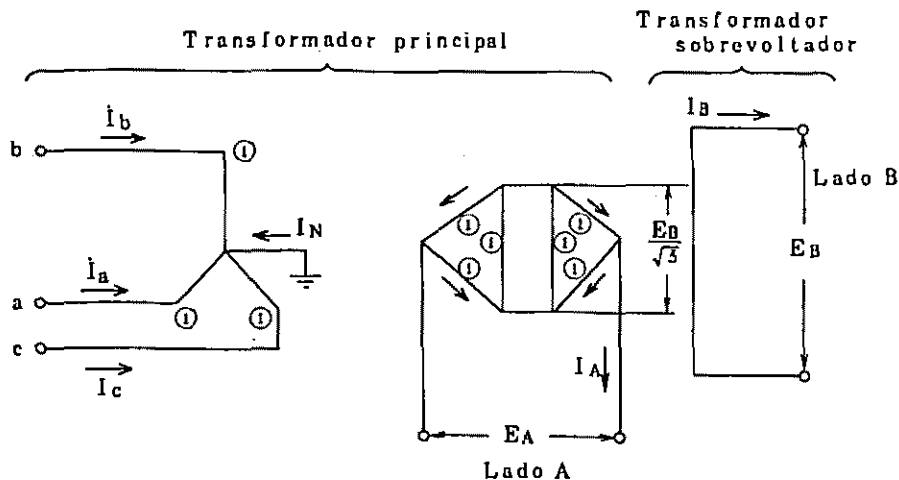
$$\tilde{I}_b = \frac{2\tilde{I}_B}{\sqrt{3}} = j \frac{2\tilde{I}_A}{\sqrt{3}}$$

$$\tilde{I}_c = \tilde{I}_A - \frac{\tilde{I}_B}{\sqrt{3}} = \tilde{I}_A \left(1 - j \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

Sendo assim, no lado primário, percorre a corrente balanceada trifásica. O transformador "Wood Bridge" alterado é usado principalmente para diminuir a corrente no ponto neutro.

(observação)

Adota-se para o sistema energético de extra-alta tensão, no ponto de vista econômica e segurança, o método de ligação ao ponto neutro elétrico à terra diretamente. Mas, no caso de transformador de ligação "Scott" para comutação de trifásico para bifásico, se fôr ligado à terra ao ponto neutro elétrico no estado de carga balanceada, devido a corrente do ponto neutro causada pelo desequilíbrio da carga, há possibilidade de surgir transtorno indutivo no circuito de comunicação. Portanto, para diminuir quanto puder a influência da carga monofásica ao sistema da fonte e também para impedir a corrente do ponto neutro mesmo no estado de carga desequilibrada, está sendo adotado a método de ligação "Wood Bridge" alternado.



3.3 Prevenção para transtorno causado pelo desbalanceamento voltaico

Encontra-se seguinte item na "Norma técnica para Instalações Elétricas no Japão".

Item 275-1) Na eletrificação ferroviária em corrente alternada, deverá ser feita instalação de modo que ela não cause transtornos no gerador, modificador de fases, transformador e outros aparelhos ou máquinas, ligados a transformadores de subestação.

2) O limite de taxa de desbalanceamento voltaico no caso do item anterior, determina-se por edital.

Edital Nº 47 - Obriga-se fixar menos de 3% a taxa de desbalanceamento voltaico no ponto receptor de subestação, determinando-se seguinte fórmula, de acordo com o método de ligação de transformador de subestação em eletrificação ferroviária em corrente alternada:

Taxa de desbalanceamento voltaico no caso de "Ligação T"

Voltagem da fase positiva $V_{a1} =$

$$\frac{z_1 z_2 + z_{a2} (z_1 + z_2)}{4z_{a1} z_{a2} + (z_{a1} + z_{a2}) (z_1 + z_2) + z_1 z_2} E_a$$

Voltagem da fase negativa $V_{a2} =$

$$\frac{z_{a2} (z_1 - z_2)}{4z_{a1} z_{a2} + (z_{a1} + z_{a2}) (z_1 + z_2) + z_1 z_2} E_a$$

$$\begin{aligned}
 |K| &= \left| \frac{V_{a2}}{V_{a1}} \times 100 \right| = \left| \frac{Z_{a2}(Z_1 - Z_2)}{Z_1 Z_2 + Z_{a2}(Z_1 + Z_2)} \times 100 \right| \\
 &= \left| \frac{P_A - P_B}{P_A + P_B + P_S} \times 100 \right| \approx \left| \frac{P_A - P_B}{P_S} \times 100 \right| \\
 &= \left| \frac{P_A - P_B}{\frac{100}{Z} \times 10000} \times 100 \right| = \left| Z(P_A - P_B) \times 10^{-4} \right|
 \end{aligned}$$

Onde: K - Taxa de desbalanceamento voltagem (%)

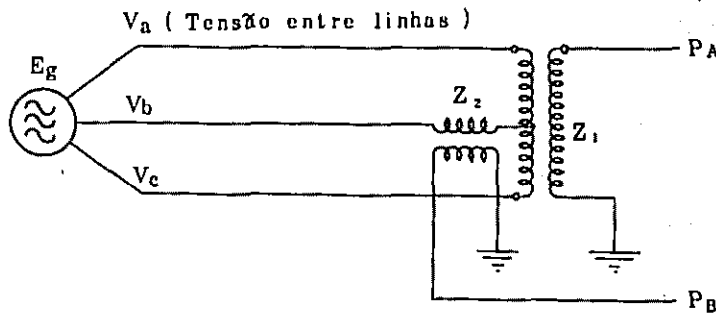
Z - Porcentagem-Impedância do sistema da fonte trifásica no ponto de recepção da subestação.

P_S - Capacidade de curto-circuito trifásico no ponto de recepção da subestação (KVA)

P_A, P_B - Carga média de duas horas contínuas em cada área de alimentação (KVA)

Z_{a1} : Impedância da fase positiva

Z_{a2} : Impedância da fase negativa



4. LINHA DE TRANSMISSÃO

4.1 Plano de fonte energético para Tōhoku-Shinkansen e Jōetsu-Shinkansen

Baseando-se a experiência em Tōkaidō Shinkansen e Sanyō-Shinkansen, foram determinados os pontos de recepção de energia de modo que a capacidade de curto-circuito da fonte seja maior que 3.000MVA no ponto onde juntam-se a carga de Shinkansen e a de consumidor geral, para que não surjam os problemas tais como variação e desbalanceamento da tensão do sistema da fonte. Porque, o material rodante da Shinkansen tem carga monofásica grande e sua variação é súbita.

Quanto à alimentação para a Subestação Shin-Noki, fonte energética da Linha de Testes Gerais da Tōhoku-Shinkansen, a Concessionária teve um plano de construir a Subestação Shin-Chikuba de 500/154KVA no meio do sistema de distribuição de extra-alta tensão de 500KV que liga a Usina Nuclear de Fukushima e a Subestação Shin-Koga, e instalar a Linha de Distribuição Yachiyo de 154KV a partir da Subestação Shin-Chikuba com direção a Sano. Mas, após negociações entre Concessionária e JNR, foram combinados os seguintes:

- 1) Faz-se ramificação "T" a partir da Linha Yachiyo, no Distrito Oyama.
- 2) Como instalação receptora, instalam-se dois circuitos da linha de distribuição da JNR com extensão de 2km.
- 3) Cabe à Concessionária a responsabilidade de execução da obra de instalação de linha de distribuição até transformadores da Subestação Shin-Chikuba da Concessionária e o ponto de ramificação Shin-Noki da JNR da Linha Yachiyo. Entretanto, a JNR se responsabiliza pela despesa de instalação da parte que utiliza (Vide Fig. 4-1 e 4-2).

4.2 Linha de Distribuição Elétrica de Shin-Noki

Nome : Linha Shin-Noki

Método de eletrificação : Método com 3 linhas de monofásica em

CA.

Voltagem : 154.000V

Número de circuitos : 2 (dois).

Extensão : 1.984m

Fio condutor : Cabo de Alumínio reforçado com aço resistente a calor 240mm² (T.A.C.S.R.)

Fio aéreo : Cabo revestido de alumínio 70mm²

Suporte : Torre de ferro - 11

4.3 Itens especialmente considerados para o Projeto

4.3.1 Altura da torre

Torre preiux de altura minima de 8 m para observar a intensidade de campo elétrico menor que 30V/cm em altura de 1 m a partir da superfície da terra, determinada pela "Normas Técnicas para Instalações Elétricas". Baseando-se este valor, foi determinada 28m para altura do torre, considerando-se que esta foi a minima desejada pela população local.

4.3.2 Fio condutor

Para operação normal, é suficiente o cabo de alumínio reforçado com aço (Aluminium Conductor Steel Reinforced - A.C.S.R.) de 240^m e capacidade padrão de 580A. Mas, futuramente, a Linha Yachiyo terá ligação com a Linha Inawashiro. Quando fôr realizada esta ligação, fará falta quanto a capacidade de curto-circuito em caso anormal com uso de A.C.S.R. de 240^m. Para resolver este problema, basta utilizar o A.C.S.R. de 330^m. Mas, em vez de utilizá-lo, foi determinada utilização do cabo de alumínio reforçado com aço resistente a calor (T.A.C.S.R.) de 240^m, sendo assim ficou o projeto mais econômico.

4.3.3 Definição de número de isoladores:

Foi determinada utilização de 16 isoladores de suspensão como número padrão, em quanto que 280mm x 14. é o da Concessionária, para ter equiparação de isolamento, pois a Linha Shin-Noki é uma ramificação direta da Linha Yachiyo da Concessionária. Este número de utilização de isoladores foi determinado pelas seguintes condições:

- 1) Área poluída (Área C)
- 2) Considerando-se a importância da Linha, determinou-se k=1,0
- 3) Voltagem destinada ao Projeto - 93KV

$$(154 \times \frac{1,15}{1,1} \times \frac{1}{\sqrt{3}})$$

- 4) Acrescenta-se um isolador, como reserva no caso de ter defeito em um dos 15 isoladores.

4.3.4 Cálculo experimental de número de isoladores:

Utiliza-se seguinte fórmula experimental para cálculo da voltagem de centelha elétrica pela sujeira:

$$V = \frac{28}{(w/0,1)^{1/5} [1,5(K^{1/3}+2) + (5/8)K]} \times k$$

Onde: V : Voltagem mínima de centelha elétrica por isolador (KV)

w : Densidade de aderência de sais equivalentes;
Sendo W (mg) a quantidade de aderência de sais equivalentes na parte inferior de isolador, podemos ter seguinte fórmula: $w = W/800$

K : Densidade de aderência do pó de sais equivalentes

k : Coeficiente de correção $k = 1,00$

A coeficiente de correção definida de acordo com a importância da linha e experiência pessoal.
(de 1,0 a 1,25)

Cálculo

- 1) Voltagem mínima de centelha elétrica por isolador

Se $w = 0,25$ (mg/cm²)

$K = 0,1$ (mg/cm²)

$k = 1,00$

$$V = \frac{28}{(0,25/0,1)^{1/5} [1,5(0,1^{1/3}+2) + (5/8) \times 0,1]} \times 100$$

$$= 6,22KV$$

- 2) Voltagem destinada ao Projeto:

$$154 \times \frac{1,15}{1,1} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 93KV$$

- 3) Número de isolador necessário:

$$N = \frac{\text{Voltagem objetivada para o Projeto}}{\text{Voltagem mínima da centela elétrica por isolador}}$$

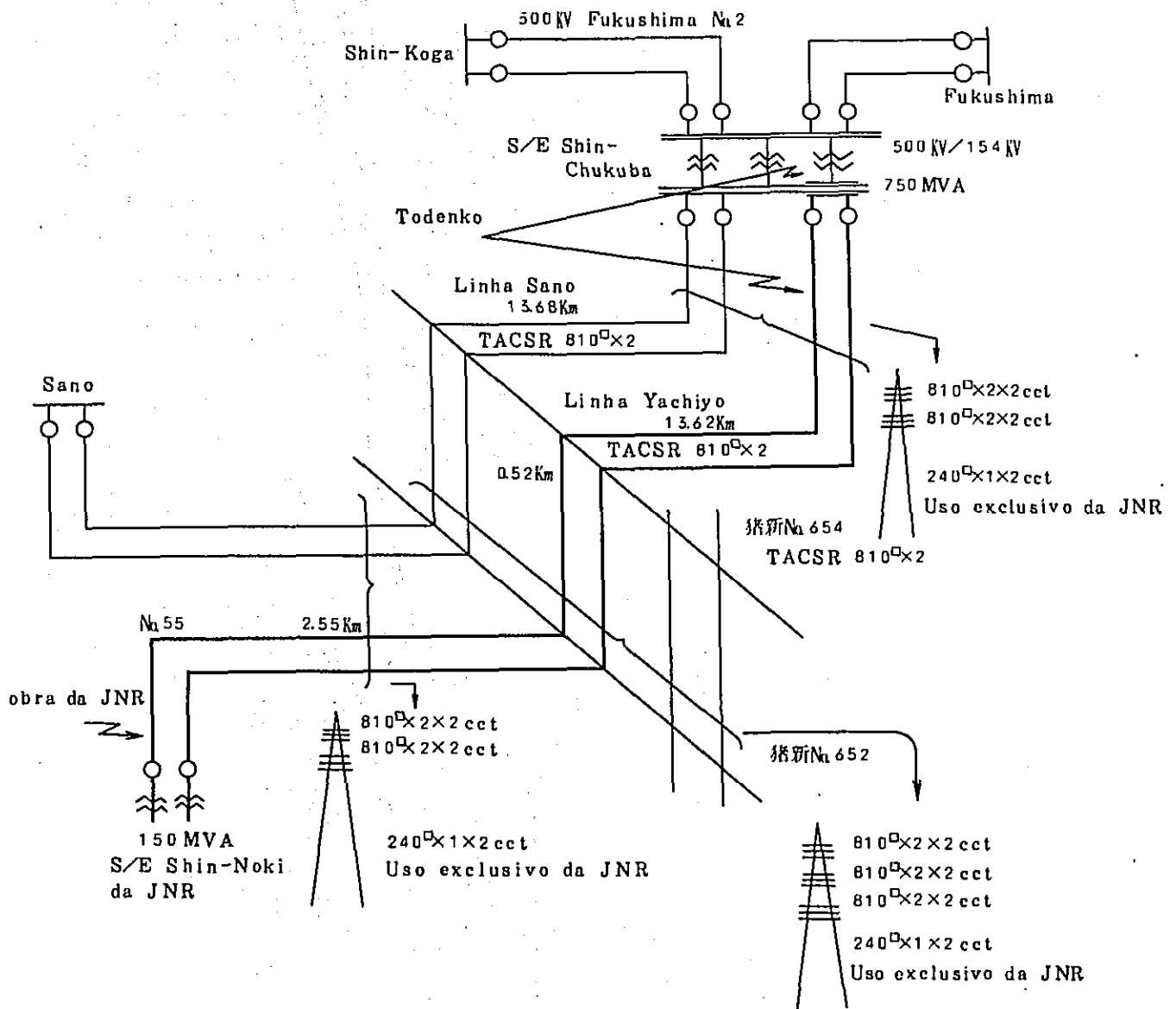
$$= \frac{93}{6,22} = 14,9 \approx 15$$

- 4) Acrescenta-se um isolador como reserva.
Sendo assim, o número total de isoladores são 16.

Nota:

- 1,15 - Para voltagem resistente do impulso em temperatura normal, acrescenta-se 15% da voltagem em 80 C.
- 1,1 - Razão entre voltagem nominal e voltagem padrão.

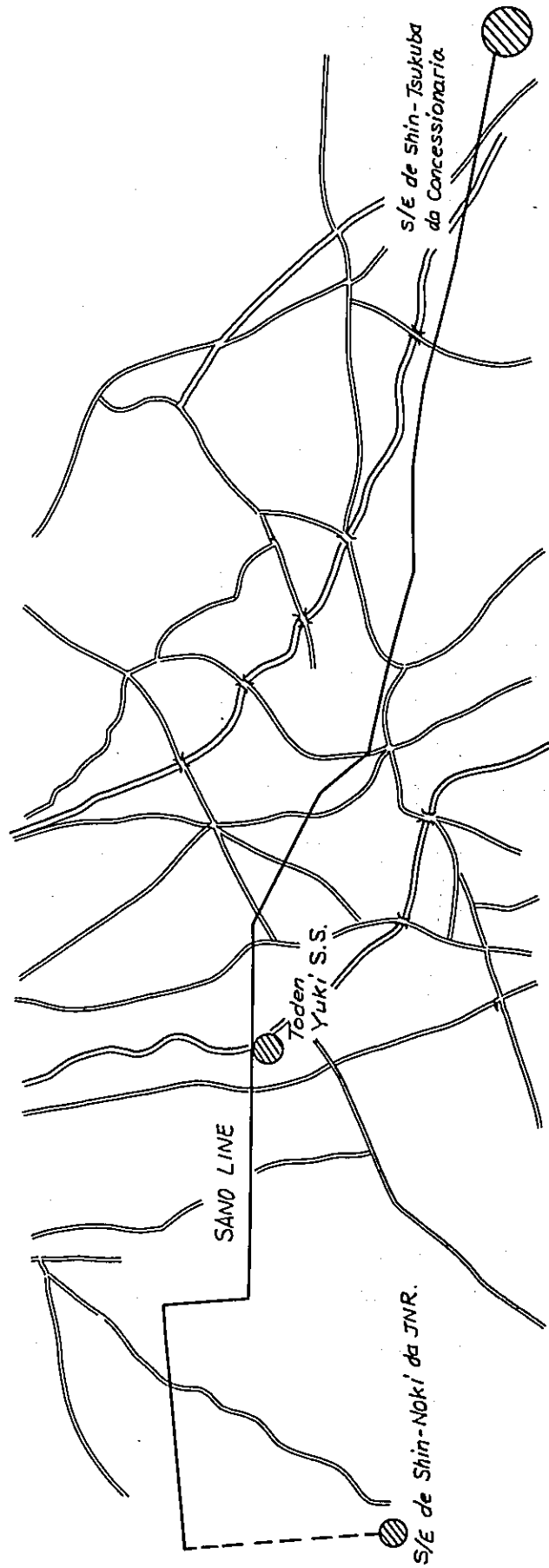
Fig. 4-1 Subestação Shin-Noki da JNR
Esquema do sistema de fornecimento



- Trecho onde a JNR se responsabiliza pela
pela despesa de instalação.
- - - Trecho onde a JNR executa a instalação.

Fig. 4-2

- Trecho onde a JNR se responsabiliza pela despesa de instalação.
- - - Trecho onde a JNR executa a instalação.



5. DEFINIÇÃO DE CAPACIDADE E LOCAL DE SUBESTAÇÕES

5.1 Capacidade de Subestações para eletrificação em C.A.

5.1.1 Definição da capacidade das Subestações

Para o transformador principal de alimentação, adota-se o sistema com duas unidades. A capacidade do transformador de uma unidade será definida pela Norma, considerando-se os seguintes itens:

- (1) A capacidade do transformador deverá atender o futuro plano operacional.
- (2) Para definição da capacidade do transformador, toma-se como base a potência máxima por hora em seção de alimentação de cada fase.
- (3) Considera-se a influência do transtorno em operação de trens.

5.1.2 Cálculo da capacidade de transformador principal de alimentação.

A capacidade do transformador principal de alimentação calcula-se pelos seguintes métodos:

(1) **Taxa de consumo médio da energia elétrica:**

(a) **Cálculo pelo trecho similar:**

Define-se a taxa de consumo médio da energia pelo valor obtido no trecho similar, corrigindo-se as diferenças em condições da via e plano operacional.

(b) **Cálculo pela Curva Gráfica Operacional:**

$$P_m = \frac{1.000 \times V \times I_m \times \cos \phi}{D \times W_t}$$

Onde: P_m - Taxa de consumo médio da energia elétrica (KWH/1.000t-km)

V - Voltagem de alimentação (KV)

I_m - Corrente média por hora (A)

W_t - Pêso de um trem (t)

$\cos \phi$ - Fator de carga

D - Distância de alimentação (km)

(2) **Potência máxima:**

$$P = \frac{P_m \times W_t \times D \times n}{1.000}$$

onde: P - Potência máxima por hora (KW)
 n - Número de trens por hora
 Pm - Taxa de consumo médio de energia elétrica
 (KWH/1.000t-km)
 Wt - Pêso de um trem (t)
 D - Distância de alimentação

(3) Potência instantânea

Define-se este valor pela corrente máxima na mesma hora através de gráfico de horário de trens.

(4) Capacidade de transformador

(a) Calcula-se pela potência máxima por hora.

$$P_T = \frac{P \times \alpha}{\cos \phi} \times (1 + \beta)$$

Onde: P_T - Capacidade de transformador (KVA)
 α - Proporção entre o valor de R,M,S e o valor médio da corrente de carga.
 β - Tolerância
 cos φ - Fator de carga.

(b) Cálculo pelo valor de R,M,S da corrente de carga.

Se soubermos este valor, utilizamos seguinte fórmula:

$$P_T = I_{RMS} \times V \times (1 + \beta)$$

Onde: P_T - Capacidade de transformador (KVA)
 I_{RMS} - O valor de R,M,S da corrente de carga (A)
 V - Voltagem de alimentação (KV)
 β - Tolerância

5.1.3 Definição da capacidade de auto-transformador

Define-se esta capacidade pela Norma, considerando-se os seguintes itens:

- (1) A capacidade deste deverá atender o futuro plano operacional.
- (2) Considerando-se que este transformador atua na metade da distância até próxima AT, basea-se o valor de R,M,S da corrente de carga durante uma hora.
- (3) Considera-se a influência do transtôrno em operação de trens.

5.1.4 Cálculo da capacidade de auto-transformador:

Adota-se seguinte fórmula,

$$P_{AT} = I_{RMS} \times V$$

Onde:

P_{AT} - Capacidade de auto-transformador (KVA)

I_{RMS} - Valor de R,M,S da corrente de carga (A)

V - Voltagem de alimentação (KV)

5.2 Capacidade de Subestações da Tôhoku-Shinkansen

5.2.1 Definição da capacidade de Subestações

- (1) Deverão ter capacidade tal que possa atender a operação de trens com velocidade de 260km/h e composição de 16 carros.
- (2) Basea-se a potência máxima por hora em seção de alimentação de cada fase.
- (3) Considera-se a influência do transtôrno em operação de trens.

5.2.2 Cálculo da capacidade de transformador para alimentação Calcula-se pela seguinte fórmula,

- (1) Potência máxima por hora:

$$P_X = \frac{P_m \times W_t \times D \times n}{1.000} \text{ (KW)}$$

Onde: P_X - Potência máxima por hora (KW)

n - Número de trens por hora

P_m - Taxa de consumo médio de energia elétrica (KWH/
1.000t-km)

W_t - Pêso de um trem (t)

D - Distância de alimentação (km)

- (2) Capacidade de transformador

$$P = \frac{P_X \times \alpha}{\text{Cos } \phi} \times (1 + \beta) \times V_B/V_P \text{ (VKA)}$$

Onde: P_X - Potência máxima por hora (KW)

α - Proporção entre o valor de R,M,S e o valor médio da corrente de carga (1,16)

β - Tolerância (0,1)

$\phi - 41,4^\circ$ ($\cos \phi = 0,75$)

V_B - Voltagem de alimentação de subestação (30KV)

V_P - Voltagem em pantógrafo (25KV)

(Taxa de consumo médio de energia elétrica)

| Trecho | descida | | subida | | Média |
|---------------|---------|--------|--------|--------|-------|
| | Hikari | Kodama | Hikari | Kodama | |
| SP Yono | 129,7 | 129,7 | 63,0 | 63,0 | 96,4 |
| SS Ômiya | 69,1 | 69,6 | 58,7 | 32,0 | 57,2 |
| ST Oyama | 61,4 | 98,0 | 40,5 | 72,0 | 68,1 |
| ST Utsunomiya | 64,8 | 89,3 | 38,3 | 64,4 | 64,2 |
| ST Shin-Nassu | 78,2 | 115,5 | 35,2 | 68,0 | 73,2 |
| ST Shirakawa | | | | | |

onde: SP - Cabina de seccionamento

SS - Subestação

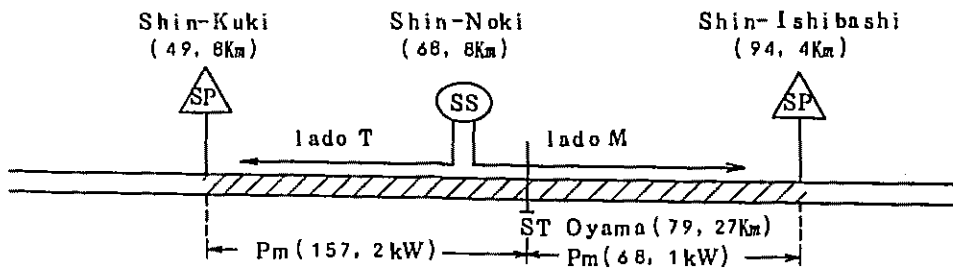
ST - Estação

Hikari - Trem-bala (direto)

Kodama - Trem-bala (semi-direto)

5.2.3 Cálculo da capacidade de Subestação de Shin-Noki

(1) Taxa de consumo de energia elétrica (P_m) e sua seção;



(2) Potência máxima por hora (Lado M - P_M , Lado T - P_T)

$$P_M = \frac{57,2 \times (79,27 - 68,8) + 68,1 \times (94,4 - 79,27)}{1.000} \times 1.88 \times 8 \times 2 = 28,362 \text{ KW}$$

$$P_T = \frac{57,2 \times (68,8 - 49,8)}{1.000} \times 1.088 \times 8 \times 2 = 18,919 \text{ KW}$$

(3) Capacidade de transformador (P)

Substitui-se o valor de P_M na fórmula:

$$P = \frac{28,362 \times 1,16}{0,75} \times (1 + 0,1) \times 30/25 \approx 58.000\text{KVA}$$

Portanto, considera-se 75KVA por um dos lados.

5.3 Definição do local para Subsetação de Shin-Noki da Tôhoku-Shinkansen

5.3.1 Princípio básico

A distância entre subestações em Tôhoku-Shinkansen foi definida em 50km, de acordo com o plano operacional.

5.3.2 Condições necessárias

- (1) A queda de tensão da rede aérea deverá ser dentro do limite; Assegura-se a tensão da rede aérea (25KV de normal, 30KV de máxima, 22,5KV de mínima, 20KV de mínima instantânea), pela condição de operação de trens (8 trens c/16 carros por hora, 250km/h).
- (2) Assegura-se a fonte energética necessária para Subestação; Considerando-se a condição básica do qual mesmo que seja anormal o sistema de alimentação, devido a acidente ou trabalho de manutenção, a taxa de desbalanceamento que a força elétrica monofásica afeta sobre a fonte deverá estar dentro do valor permissível, e deverá existir uma fonte de alta confiabilidade, acrescentado-se as outras condições tais como economia, etc.
- (3) Deverá ser o local onde satisfaçam "as condições para instalações em seção de diferentes fases (sinalização, circuito da via, etc.)"; Consideram-se as instalações seguras no ponto de vista de economia e trabalho na linha, sendo que a Subestação e a seção de diferentes fases encontram-se no mesmo local.
- (4) Deverá ser o local onde permite transporte de máquinas de grande porte; Considerando-se a passagem de máquinas de grande porte, foi escolhido o local onde possibilita transporte econômico das máquinas.

(5) Não deverá haver problemas relacionados a poluição ambiental.

5.3.3 Relação com o plano geral

Foi escolhido o local adequado econômica e tecnicamente com relação ao plano geral (condições da via e da fonte, etc.) da Tōhoku-Shinkansen e Jōetsu-Shinkansen.

(Subestação de Shin-Noki) - Devido ao Projeto de instalação da linha de transmissão a partir da Linha de Transmissão Yachiyo da Concessionária e uso comum da Subestação de Shin-Oyama para duas Linhas de Shinkansen, no ponto de vista de media contra queda de tensão, foi reduzida a distância entre subestações a metade.

* Observação:

1. (Subestação de Shin-Ōmiya) - Situa-se no ponto de ramificação das Linhas de Tōhoku-Shinkansen e de Jōetsu-Shinkansen, porque esta Subestação é de uso comum para estas duas Linhas.
2. (Subestação de Shin-Nasu) - Foi escolhido o ponto 164,4km para esta Subestação, considerando-se as instalações de seções diferentes no trecho de túnel a norte da Estação de Shirakawa e de 1º, 2º Túnel de Toyohara e transporte de máquinas de grande porte.
3. (Subestação de Shin-Utsunomiya) - Foi escolhido o local próximo a Subestação de Shin-Tochigi da Concessionária.

6. DISPOSITIVOS DE TELECOMANDO "TEKKEN B"

SISTEMA REMOTO DE CENTRALIZADA DE SUPERVISÃO E CONTRÔLE DA SUBESTAÇÃO "CSC"

6.1. Objeto de "CSC"

O "CSC" é muito útil para alcançar os seguintes objectivos:

- (1) redução dos operadores;
- (2) facilitação do conhecimento das condições do sistema de alimentação;
- (3) utilização efetiva das instalações de alimentação;
- (4) proteção contra as operações errôneas, mediante a utilização de poucos despachantes com experiência e treinamento;
- (5) tratamento adequado e rápido em casos de acidente, através da comunicação direta com o despachante de contrôle de trem.

6.2. Condições necessárias para funcionamento do "CSC"

O "CSC" tem que satisfazer as seguintes exigências:

- (1) ter alto nível de confiabilidade no seu funcionamento;
- (2) ser pequeno o número de linhas de ligação (linha de transmissão do sinal);
- (3) ser o pouco tempo necessário a transmissão de sinal;
- (4) ser de fácil operação com a posição simples do dispositivo;
- (5) ser de baixo custo:

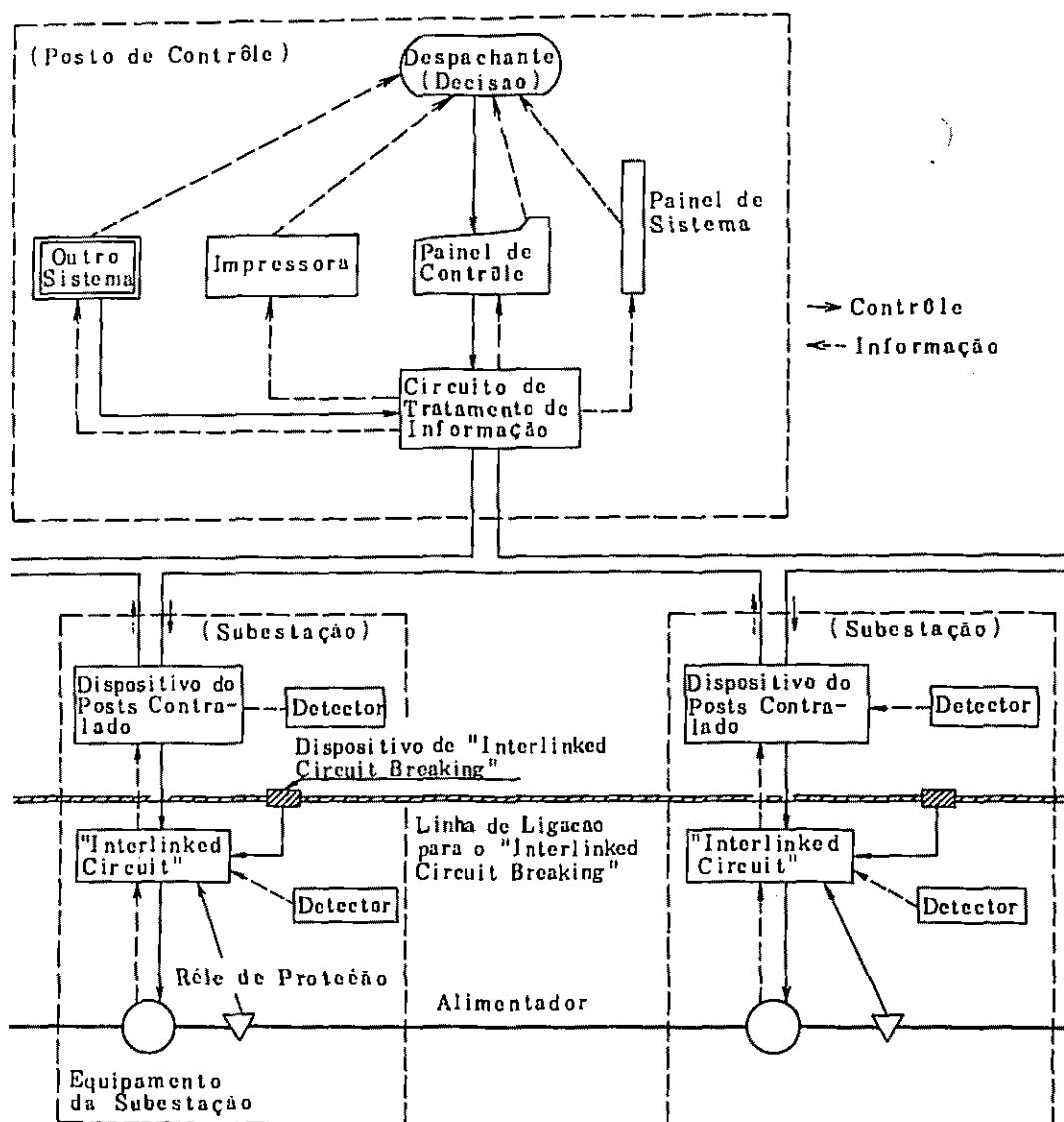
6.3. Composição do dispositivo de "CSC"

A figura 6-1 mostra a composição do dispositivo de "CSC".

O circuito inter-ligado encarrega-se do contrôle automatico e do intertravamento entre os instrumentos da subestação. O dispositivo de interrupção intermediária encarrega-se do intertravamento entre as subestações adjacentes, através da linha de ligação. Esse comando de contrôle é transmitido automaticamente sem necessidade da atuação do despachante.

O "CSC" é composto pelo dispositivo do posto de contrôle e pelo dispositivo do posto controlado. Há dois sistema: um é o que informa as condições anormals das subestações para o despachante, e o outro é o que transmite os comandos de contrôle para as subestações anormals.

Fig. 6-1 Composição do "CSC"



O "CSC" tem as funções de analisar as informações recebidos no posto de controle e de transmitir as informações de controle.

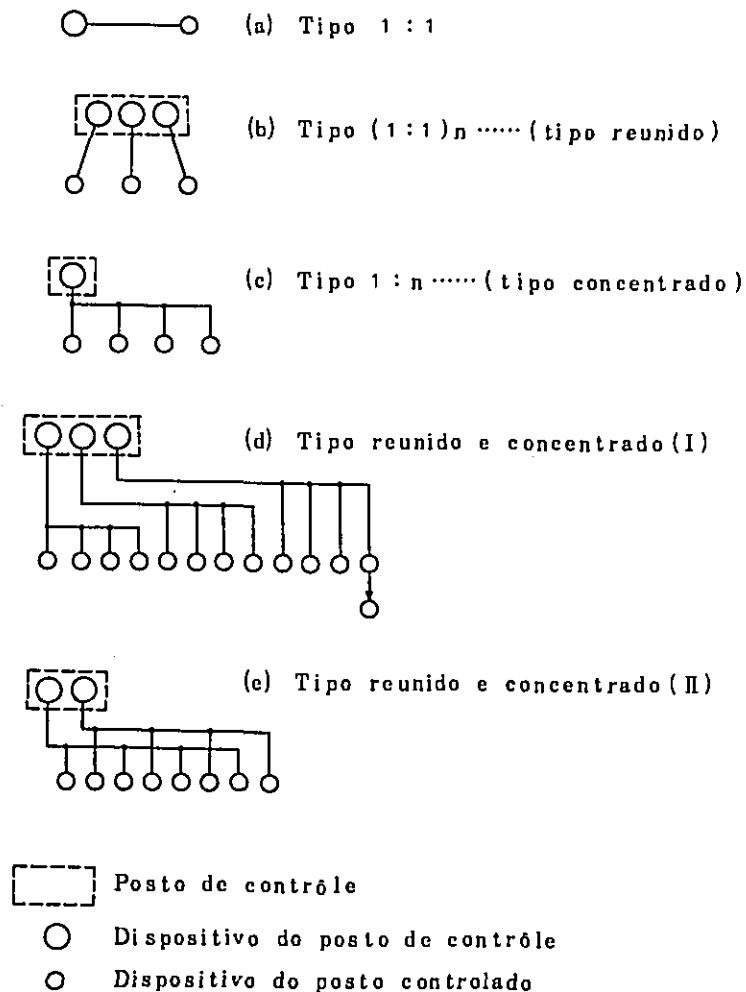
A separação gradual dessas duas funções está sendo desenvolvida de acordo com a ampliação da escola do "CSC".

Com a expansão do sistema de alimentação, para diminuir o trabalho do despachante e para atribuir a decisão ao dispositivo, recentemente está sendo intensificada a função de tratamento de informações no posto de controle, com a introdução do computador, da impressora e do painel do sistema de alimentação.

6.4 Sistema de supervisão e controle

Existem seguintes sistemas de supervisão e controle em subestações.

Fig. 6-2 Sistema de supervisão e controle



6.5 Sistema de seleção dos dispositivos sob controle

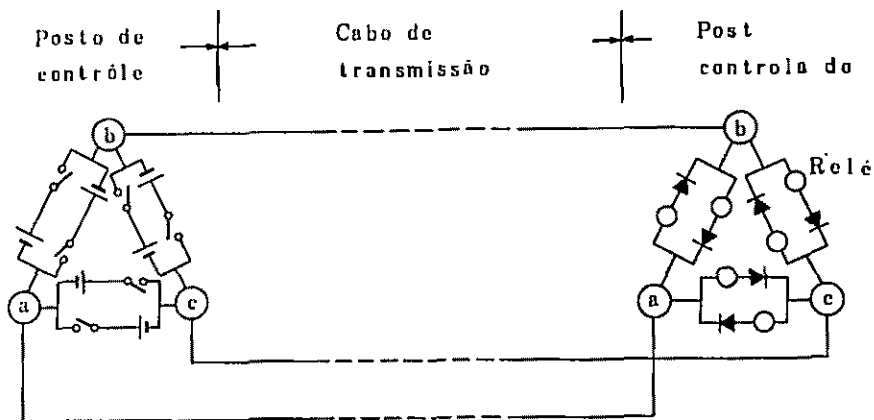
(1) Sistema direto pela C.C

É o sistema de disposição dos circuitos para cada item de controle e supervisão, e é a forma mais simples.

(2) Sistema de combinação pela C.C

É o sistema em que se faz a seleção compondo várias combinações dos circuitos, pela combinação de polaridade de sinal transmitida através das combinações dos cabos de transmissão.

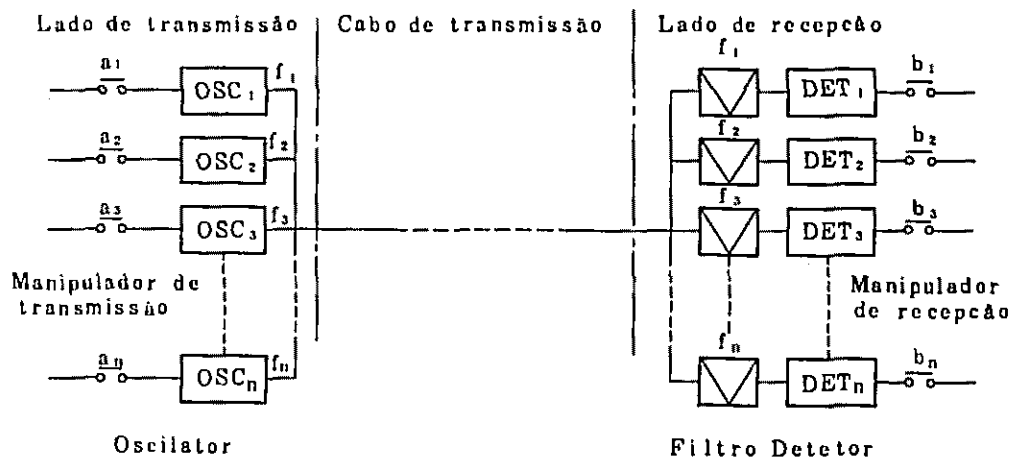
Fig. 6-3 Exemplo de sistema combinado pela C.C



(3) Sistema direto pela frequência

É o sistema em que utilizam as frequências em vez de várias cabos de transmissão.

Fig. 6-4 Exemplo de sistema direto pela frequência



A força de saída b_n reage, correspondendo à força de entrada a_n .

(4) Sistema de combinação pela frequência

É o sistema feito pela combinação das frequências. No caso de utilizarem todas as combinações das frequências, sendo N o total de combinações:

$$N = \sum_{r=1}^n nCr = 2^n - 1$$

Se $n = 5$, então será $N = 31$

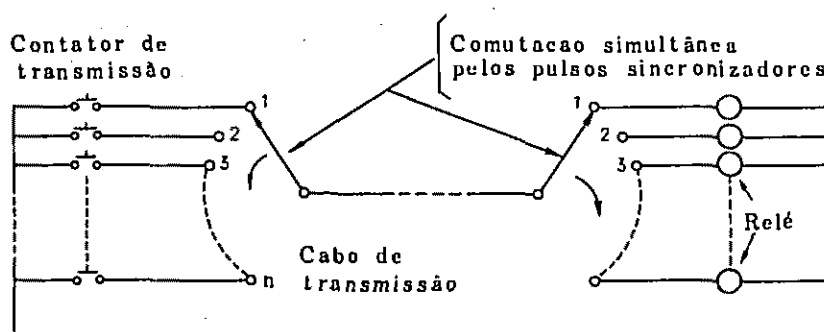
(5) Sistema pelo código de pulso

É o sistema que utiliza o código caracterizado (isto é chamado código de pulso) para cada ítem, a fim de selecionar o ítem desejado entre os demais itens.

(6) Sistema pelo pulso sincronizado

É o sistema que faz ligação de circuito na posição de seleção onde encontram os dois lados de transmissor e receptor, fazendo a comutação de circuitos ao mesmo tempo, transmitindo o pulso sincronizado de lado de transmissão para o lado de recepção.

Fig. 6-5 Exemplo de sistema pelos pulsos sincronizadores



(7) Sistema de combinação pelo código de pulso pela C.C

É o sistema que transmite código de pulso de combinação pela C.C. O "Tekken-tipo B" que será mencionado mais adiante, é um dos exemplos deste sistema.

(8) Sistema de combinação de frequência pelo código de pulso

É o sistema que se faz pela combinação de sinais diferente em frequências.

6.6 Apresentação do sistema de controle remoto utilizado na J.N.R.

(1) Apresentação "Tekken-tipo B"

O sistema de telecomando na "J.N.R.", foi denominado de "Tekken-tipo B" e foi desenvolvido pelos engenheiros da "J.N.R.". Atualmente este sistema é padrão do telecomando das subestações na "J.N.R.": dos 45 postos de controle, estão sendo telecomandados 435 subestações e 159 seccionadoras. Este sistema é simples a princípio e tem alto nível de confiabilidade.

Além disso este sistema tem funcionamento não só para telecomando como também pode registrar automaticamente os seguintes dados;

- (1) Nome do equipamento da subestação.
- (2) A hora de operação do equipamento.
- (3) O conteúdo de operação do equipamento.
- (4) As indicações de vários defeitos que ocorrem no sistema.
- (5) A quantidade de energia elétrica consumida.

(Resumo do funcionamento)

Como mostra na fig. 6-6, instalam-se os cabos de transmissão de 2 circuitos entre o posto de controle e as subestações fazendo transmissão e recepção em "código selecionado", que fazendo combinações repetidas em código de (+), (-), (0), como mostra Fig. 6-7, executam telecomando em instalações.

Veja figura 6-6 e 6-7 tabela 1 na página seguinte:

Fig. 6-6 Circuito de transmissão e recepção

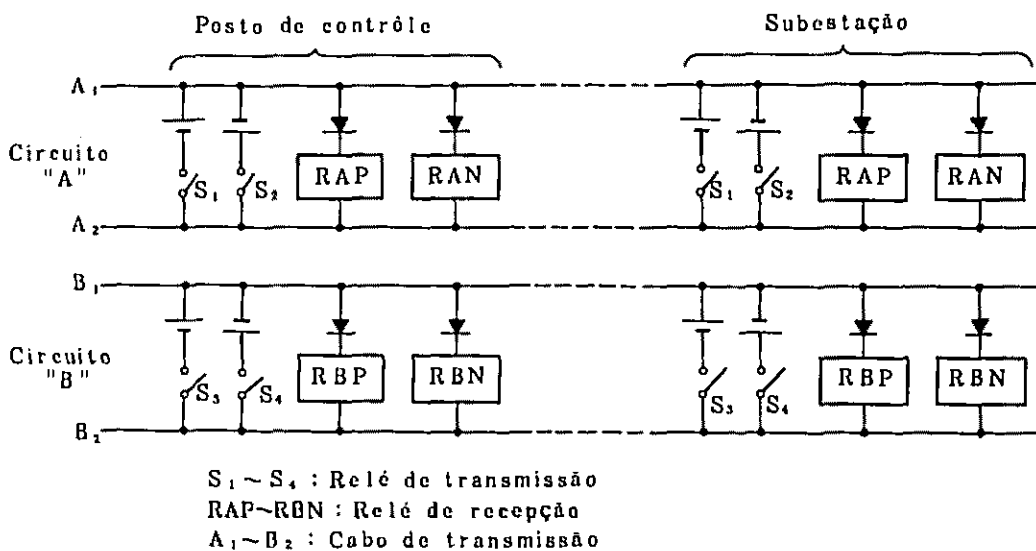


TABELA 6-1 Código de cabo de transmissão

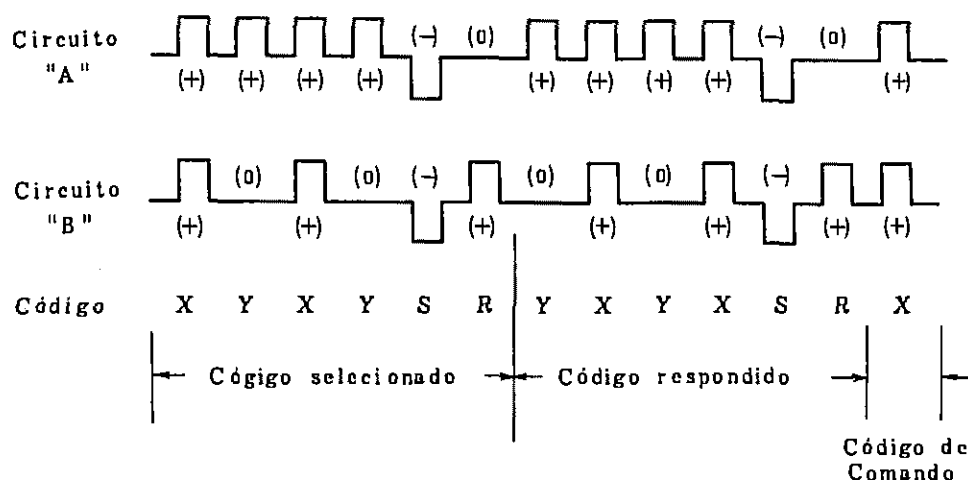
| Código | X | Y | R | S | T | U | V | W |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Circuito "A" | + | + | 0 | - | - | 0 | + | - |
| Circuito "B" | + | 0 | + | - | 0 | - | - | + |

(+) - Código positivo

(-) - Código negativo

(0) - Código em repouso

Fig. 6-7 Código selecionado (Exemplo)



"O código selecionado" é como o número de telefone que necessita de indicações de defeitos peculiares e em cada instalação também. Quando o cabo de transmissão de 2 circuitos, dos sinais são 8 espécies como mostra tabela, acima, e fazem as combinações de vários números por meio das combinações de alguma sinais.

Por exemplo, quando combina quarto dos sinais fazem combinações peculiares da seguinte maneira:

$$8 \times 8 \times 8 \times 8 = 4.096$$

E podem fazer várias indicações das operações conforme o número mencionado acima. Por conseguinte, quando fizerem a operação de chave em posto de controle será transmitido em código selecionado para equipamento de subestação em conexão.

São feitas transmissão dos códigos selecionados para todas as subestações e as mesmas recebem estes códigos selecionados uma vez e os memorizam.

Depois disso, o código selecionado de equipamento apropriado duma subestação é respondido para o posto de controle.

Outras subestações que não tem código selecionado apropriado, retornam automaticamente. O posto de controle que foi respondido pela subestação memoriza, identifica e finalmente confirma, se houve ou não erro na recepção dos códigos selecionados em subestação. Em seguida, faz transmissão em código de "comando controle" para equipamento de subestação selecionada. Subestação selecionada recebe este código e faz operação de

"liga e desliga" automaticamente.

Também quando a subestação faz indicações dos defeito em equipamento do posto de controle, o mecanismo de funcionamento é o mesmo do anteriormente mencionado.

Estes funcionamentos são feitos em fração de segundos: - (cerca de 2 a 3 segundos)

(2) Apresentação "Tekken-tipo C"

É o sistema em que está sendo utilizado a transmissão pelo rádio S.H.F., além do cabo de transmissão pelo "Tekken-tipo B".

Fig. 6-8 Composição de sistema do tipo "C-Tekken"

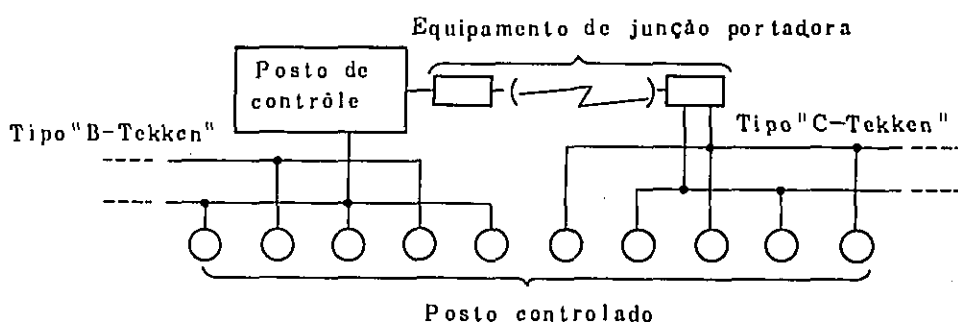


Tabela. 6-2 Exemplo de transformação de código da tipo "C-Tekken"

| Especie de código | | Frequência Básica f (Hz) | Sem sinal $f - \Delta f$ (Hz) | Com sinal $f + \Delta f$ (Hz) |
|-------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Linha " A " | Código positivo | 960 | 900 | 1.020 |
| | Código negativo | 1.200 | 1.140 | 1.260 |
| Linha " B " | Código positivo | 1.440 | 1.380 | 1.500 |
| | Código negativo | 1.680 | 1.620 | 1.740 |

$$\Delta f = 60 \text{ Hz}$$

(3) Outros

Além destes, existem "Tekken-tip F" pelo sistema de código de pulso com a combinação de frequências já mencionado anteriormente, "Tekken-tipo G" que pode ser definido como o sistema de controle direto para as instalações simples e "Tekken-tipo H" em que estão sendo usados transistor e IC em SHINKANSEN.

Mostraremos as capacidade de cada dispositivos de controle remote utilizados na J.N.R.

Exemplo de impressão de equipamento de registro automatica

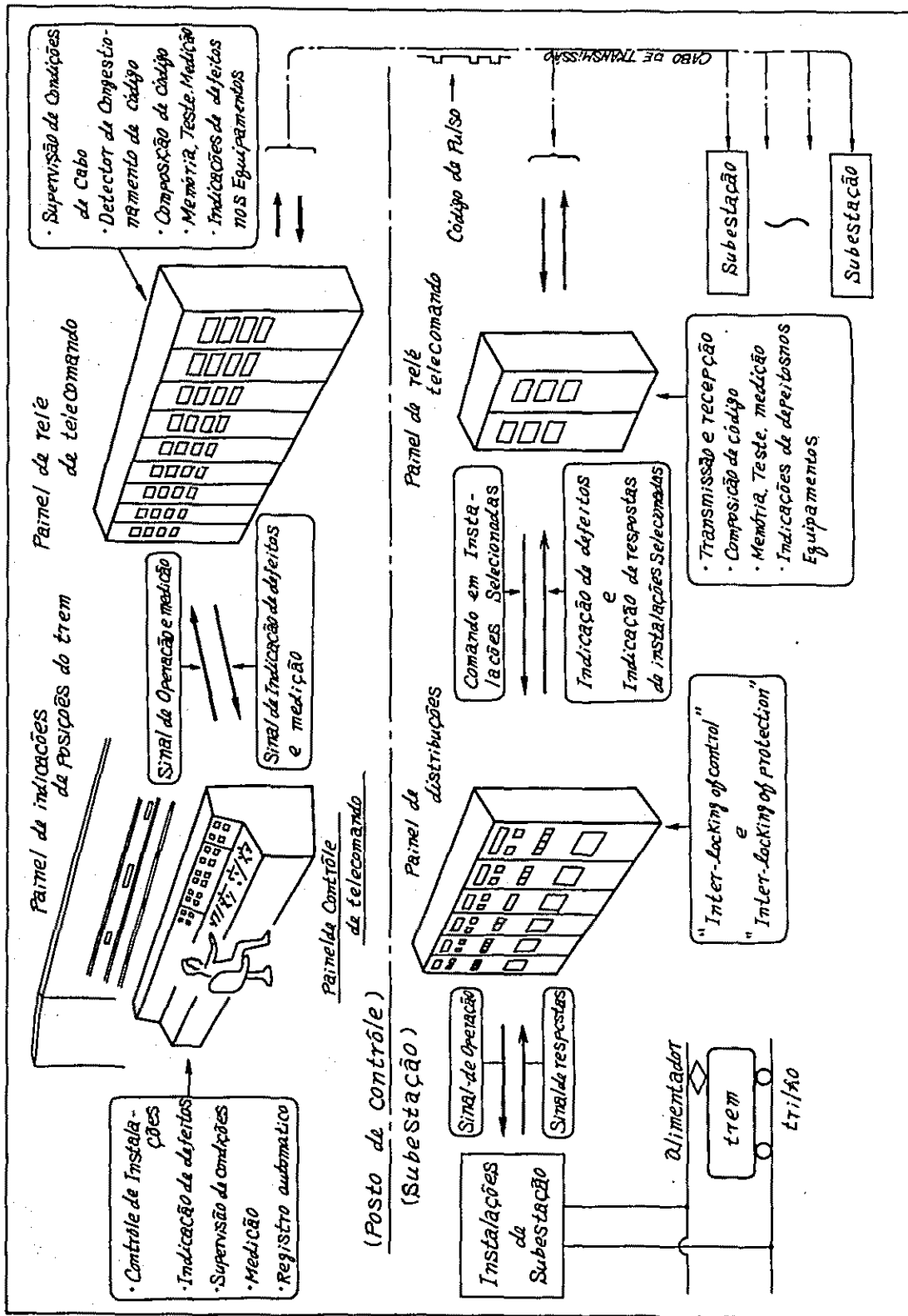
| Tempo | Nome de grupo e posto controlado | Nome de posição | Conteúdo de indicação de controle | Indicação de wattímetro totalizador |
|-------|----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1335 | TO | LA | R | |
| 1335 | SU | 12H | W | |
| 1336 | SU | 12H | 入 | |
| 1336 | SU | 12H | R | |
| 1400 | MI | 1W | | 235 |
| 1428 | KA | 1G | 切 | |
| 1428 | KA | 1G | G | |

TABELA. 6-3 CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE TELECOMANDO DA "J.N.R."

| Nome de sistema e controle | Sistema de supervisão e controle | Números de cabo de transmissão | Distância de controle (km) | Números de posto controlado por um grupo | Números das posições por um posto controlado por uma vez | Segundo necessário para transmissão | Tipo de relé usado principal |
|--|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--|--|-------------------------------------|---|
| Sistema sincronizado | 1 : 1 | 7 ~ 9 | (10 ~ 15) | 1 | Cerca de (50~100) | diretamente | Relé de tipo electromagnético |
| Sistema com- binado pela C.C. | 1 : 1 | (3,8,9) | (15 ~ 20) | 1 | Cerca de (50~100) | Cerca de 1 | Idem |
| Sistema de código de pulso | 1 : 1 | (3 ~ 4) | (15 ~ 20) | 1 | Cerca de (20 ~ 40) | Cerca de 2 | Idem |
| Tipo "B-Tekken" Sistema concentrado | | 4 | 100 | 5 | 64 | Cerca de 2, 5 | Idem |
| Tipo "C-Tekken" Idem | | 4 | (175) | 5 | 64 | Cerca de 3 | Idem |
| Tipo "E-Tekken" Idem | | 2 | 100 | (2 ~ 3) | (18) | Cerca de 5 | Idem |
| Tipo "F-Tekken" | 1 : 1 | 2 | 30 | 1 | 36 | Cerca de 1 | Idem |
| Tipo "G-Tekken" | 1 : 1 | (2~10) | (1 ~ 10) | 1 | (1 ~ 10) | diretamente | Idem |
| Tipo "H-Tekken" Sistema concentrado | | 4 | Cerca de (1000) | 6 | 64 | cerca de 0,1 | (H ₂): transistor (H ₃):circuito integulado |

* Os números entre () mostram os exemplos praticados principais.

Sistema de Telecomando



7. DISPOSITIVOS DE TELECOMANDO "TEKKEN H"

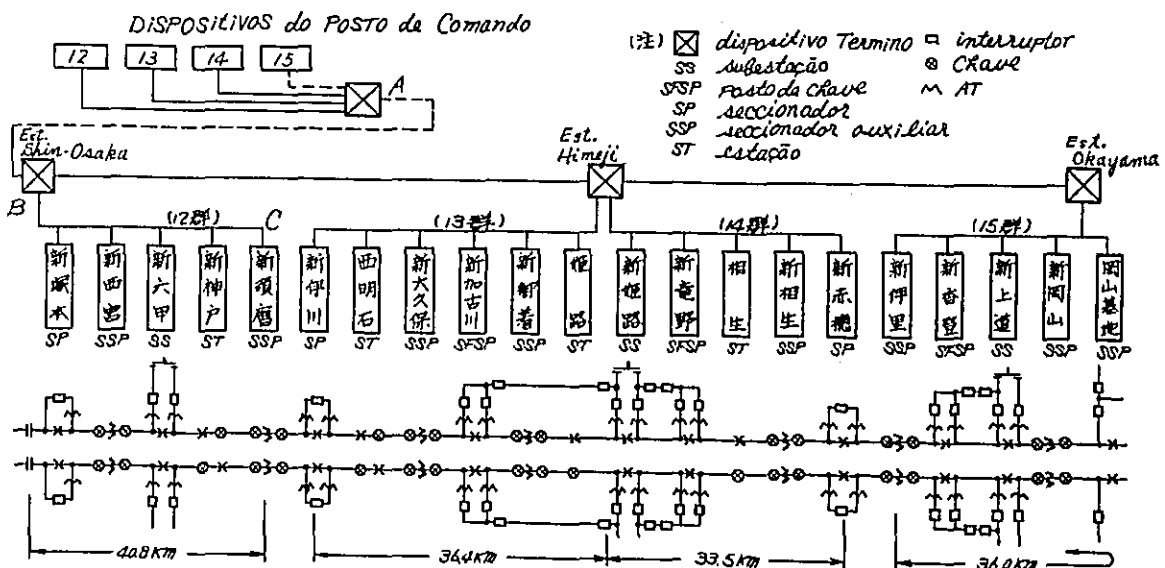
7.1 Sistema de Comando Centralizado Tipo "TEKKEN H"

O "TEKKEN H" é o tipo desenvolvido para as Linhas de SINKANSEN e faz comando extra-rápido pelo uso de elemento de semi-condutor. Quanto ao Tipo "TEKKEN B", devido ao uso de relé eletromagnético para elemento de circuito, há o limite para melhoramento de rapidez em comunicação. Se a finalidade de Telecomando de Subestações fôr apenas ligação ou interrupção de equipamentos energéticos ou indicação de comando, não terá problema em um pouco de demora para comunicação como no caso do Tipo "B". Atualmente, entretanto, o Telecomando de Subestações está sendo desenvolvido como um Sistema de comando automático de Subestações, progredindo do tipo de função de apenas indicações ou comandos simples. Para automatizar o comando como um Sistema, não deverá ser feito apenas coleção e resumo de todas as informações de uma Estação, mas também trocar informações resumidas entre várias Estações em curto espaço de tempo. Por isso, surgiu a necessidade de comunicação entre Estações com muita rapidez.

7.1.1 Sistema de transmissão de informações

Na Linha de SANYŌ-SHINKANSEN (Shin-Osaka - Okayama), existem os 21 Postos comandados, divididos em 4 grupos (Vide Fig. 7-1).

Fig. 7-1 Esquema da composição de SHINKANSEN (SHIN-OSAKA-OKAYAMA)

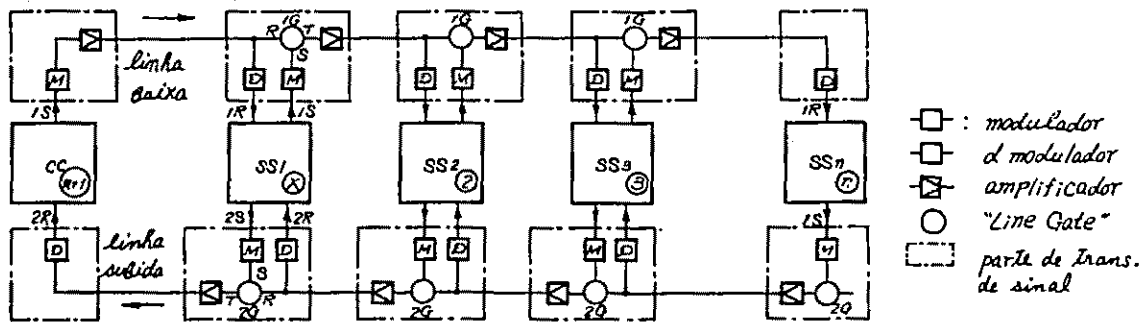


Cada grupo é independente, tendo sua linha de transmissão exclusiva. Quando houver a necessidade de funcionamento conjunto entre os grupos, é feito entre os dispositivos do Postos de Comando.

A linha de transmissão é composta de um circuito de telefone com 4 linhas. Os Postos comandados de cada um Grupo são ligados mutuamente pelo circuito físico de telefone de um qud. (2 pares, 4 linhas) - (Vide entre B e C da Fig. 7-1). Quando fôr curta a distância entre Posto de Comando e Posto comandado, sua ligação é feita pelo circuito físico, e quando fôr longa, a ligação é feita pelos outros circuitos tais como coaxial, SHF, etc. (Vide entre A e B da Fig. 7-1).

Nas Linhas de SHINKANSEN, somente para 1º Grupo (Tokyo é usado o circuito físico e para os outros Grupos é usado SCX ("Aluminum Sheathed Pencil Core Coaxial Cable" (circuito de SFH como reserva)). O sistema básico de transmissão de um Grupo é mostrado na Fig. 7-2.

Fig. 7-2 Sistema básica



A linha de transmissão é composta de "Circuito de Subida" e "circuito de descida". A cada um destes circuitos se usa um canal da faixa de frequência de voz. O Posto de Comando (CC) situa-se em extremidade da linha de transmissão. No "circuito de descida", a partir do Posto de Comando (CC) ou Posto comandado (SS) intermediano, transmitem-se os sinais no sentido de "descida", e no "circuito de subida" a partir de cada Posto comandado ao Posto de Comando. O Posto comandado intermêdiario repete os sinais de transmissão tal qual onda modulada. Quando não tiver transmissão de informações, no "circuito de descida" transmitem-se sinais de espaço do Posto de Comando e no "circuito de

subida", transmitem-se os sinais de espaço emitidos em Posto comandado extremo, o Posto Comandado intermediário repetindo-os.

Os códigos são de tipo FM modulado (marca - 2,6 kHz, espaço - 1,0 KHz) e a velocidade de transmissão é 1200 baud. A comunicação é o tipo "ativação disponível", ou seja a comunicação aciona-se cada vez que surgem informações necessárias. Por isso, o processamento de emissão simultânea deve ser feito em ordem determinada. Há dois tipos desta ordem; de acordo com dispositivos e com informações.

No tipo "TEKKEN H", esta ordem de prioridade é feita de acordo com dispositivos. A ordem de prioridade do Tipo "H" é prioridade máxima para SS e mínima para "CC". Quer dizer, no caso de emissão simultânea de comando e indicação, a indicação tem prioridade, e no caso de emissão simultânea de somente indicações, a indicação mais próxima ao CC na estrutura do circuito, tem prioridade.

Devido a uso comum de linha de transmissão entre CC e SS, quando surge a "emissão simultânea", os sinais emitidos destes dois Postos coincidem na linha de transmissão. A coincidência de sinais múltiplos de FM modulado de mesma frequência na mesma linha de transmissão, deverá ser evitada a menos que tenha um método de separação e detecção destes sinais compostos. A coincidência de sinais é evitada pela "Line Gate" mostrada na Fig. 7-2.

A característica principal do sistema de transmissão do Tipo "TEKKEN H" é a utilização da "Line Gate", com o qual resolve o problema de coincidência de sinais modulados na linha de transmissão, permitindo, ao mesmo tempo, a emissão simultânea e uso comum da linha de transmissão entre dispositivos. A "Line Gate" tem função de interromper a emissão quando cada dispositivo faz repetição, e interromper a repetição quando cada dispositivo faz emissão.

(Observação)

A "Line Gate" é um circuito de 2 "input" e 1 "output", como mostrado na Fig. 7-2. No caso de repetição, liga-se R-T e desliga-se T-S, e no caso de emissão, vice-versa. O primeiro caso chama-se "estado de recuperação" e o segundo "estado de alteração".

7.1.2 Composição de códigos

A comunicação é feita por códigos. A "comunicação de indicação" e "comunicação de comando" são de tipo "Comparação e verificação de respostas". Ou seja, para "comunicação de indicação" é feita três vezes a transmissão de sinais, passando por três etapas no processo de comunicação. A primeira etapa é "Etapa de Seleção"; emite-se o "código de seleção" a partir de SS para CC. A segunda é "Etapa de Resposta"; responde-se com mesmo código a partir de CC. Este código chama-se "código de resposta", embora utilizados mesmo código com o de seleção. A terceira é "Etapa de comando"; a SS, após receber o código de resposta, com os quais compara e verifica o código de seleção emitidos, emite o "código de comando" como o código verificado.

A "comunicação de comando" também passa por três etapas de Seleção-Resposta-Comando como no caso de "comunicação de indicação". A "comunicação para todos os Postos comandados" é a chamada simultânea de todos os SS sem "resposta". Nesta comunicação composta de uma etapa, emitem-se "códigos de todos os comandados" a partir de CC. A Fig. 7-3 mostra as figuras e classificação de códigos.

O "código de todos os comandados" são utilizado para "comunicação para todos os Postos comandados" como mostra a Figura.

O "código de seleção geral" é utilizado para seleção e resposta de comunicação de indicação ou de comando. O "código auxiliar" é utilizado para indicação detalhada de conteúdo de medição ou de indicação. Este código é emitido logo depois de emissão do "código de seleção geral".

O "código de ocupação" é emitido ao circuito de descida e transmitido para SS inferior, quando SS ocupa o circuito.

O "código de emergência" é emitido para transmitir a anormalidade ao CC, quando SS não pode acionar indicações através de circuito ordinário.

O "código comprido" é utilizado para comunicar anormalidade ao CC quando SS perdeu a capacidade de emissão de códigos devido a interrupção energética da fonte para o circuito lógico. Os VP, SP, PP, IP, D3P, D2P e D1P são "bit" de paridade e usados paridade ímpar.

Fig. 7-3 Tipo de Códigos






































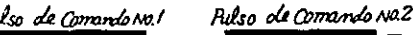
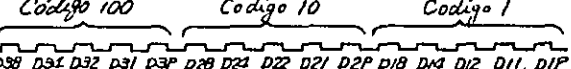
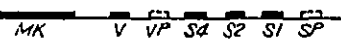






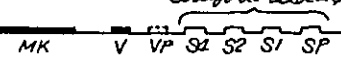







| Tipo de Códigos | |  marca  espaço  marca ou espaço | explicação |
|-------------------|---|---|---------------------------------|
| Código de Seleção | Código especial |  MK  V  VP  S4  S2  S1  SP  PX4  PX2  PX1  PY4  PY2  PY1  PP  I2  I1  IP | Combinação de Código de Posição |
| | Código comum |  MK  V  VP  S4  S2  S1  SP  PX4  PX2  PX1  PY4  PY2  PY1  PP  I2  I1  IP | Combinação das Códigos |
| Código de Comando |  Pulso de Comando No.1 Pulso de Comando No.2 | document 1 | |
| Código Auxiliar |  Código 100 Código 10 Código 1 D30 D31 D32 D31 D3P D30 D23 D22 D21 D2P D18 D14 D12 D11 D1P | Combinação das Códigos | |
| Ocupação |  MK  V  VP  S4  S2  S1  SP | documento 1 | |
| Emergência |  Código de Estação MK  V  VP  S4  S2  S1  SP | 1 documento cada 1 SE | |
| Comprido |  40ms | 1 documento | |

Tabela 7-1 mostra combinação de códigos de variedade, de Estação, de Posição e de Comando, etc. apresentados na Fig. 7-3.

Tabela 7-1 Combinação de códigos

| (1) Código de Variedade | | | (2) Estação | | | | (3) Posição | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----|----|-------------|-----|----|----|-------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----|----|---|
| | | V | VP | S4 | S2 | S1 | SP | ESS | PX4 | PX2 | PX1 | PY4 | PY2 | PY1 | PP | | |
| | | | | — | 0 | 0 | 0 | 1 | ESS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| contrôle | | 0 | 1 | SS1 | 0 | 0 | 1 | 0 | ST | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| indicato | | 1 | 0 | SS2 | 0 | 1 | 0 | 0 | IT | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| | | | | SS3 | 0 | 1 | 1 | 1 | SA | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | SS4 | 1 | 0 | 0 | 0 | RV | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| | | | | SS5 | 1 | 0 | 1 | 1 | HA | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | |
| | | | | SS6 | 1 | 1 | 0 | 1 | LA | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| | | | | SSC | 1 | 1 | 1 | 0 | ESR | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | | CA | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| (4) Código de Comando | | | | | | | | LK | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | | |
| Co | In | I2 | I1 | IP | Co | In | I2 | I1 | IP | ESW | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| O | G | 0 | 0 | 1 | T | W | 1 | 0 | 0 | W.LC | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C | R | 0 | 1 | 0 | F | D | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| (5) Código de todos comandados | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | V | VP | S4 | S2 | S1 | SP | PX4 | PX2 | PX1 | PY4 | PY2 | PY1 | PP | I2 | I1 | IP | |
| ESS | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| ESR | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| ESW | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |

7.1.3 Resumo da Comunicação

Na Fig. 7-2, explicamos o resumo do método de Comunicação utilizada nos códigos apresentados na Fig. 7-3.

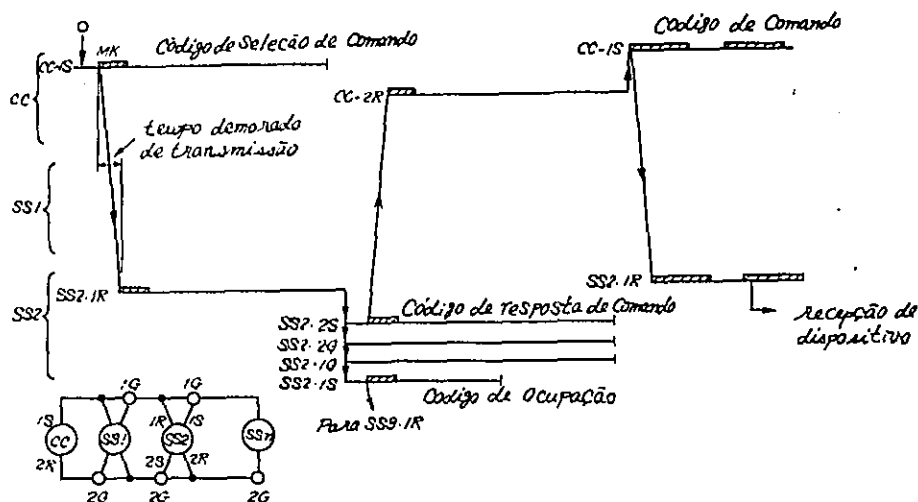
(1) Comunicação de Comando Singular

O processo de Comando Singular é mostrado na Fig. 7-4.

Se houverem as informações para comando, no circuito logico do CC compõe-se o "código de seleção de comando" de acordo com as informações e emite-se este código a partir de IS com condição de que o circuito está desocupado.

O "código de seleção" chega a todos os SS passando pelo "circuito de descida". A cada SS aciona o circuito de recepção pela recepção de marcador de "código de seleção" recebido e faz leitura deste código. A SS selecionado, após completar a recepção do "código de seleção, alternando "Line Gate" G-1. G-2 emite o "código de resposta" a partir de 2S do lado do "circuito de subida" e o "código de ocupação" a partir de 1S do lado do "circuito de descida". O "código de resposta" é "código igual"

Fig. 7-4 Contrôles unidade para SS2



com o de seleção recebido. O SS não escolhido, após leitura do código de SS, interrompe automaticamente a recepção e faz somente repetição de sinais.

Após emitir o "código de resposta", o SS recupera "Line Gate" G-1 e G-2 e aguarda para que possa acionar-se assim que receber o código da etapa final.

O CC, verificando o "código de resposta" do SS com o "código de seleção" já emitido e confirmando que todos "bit" coincidem-se, emite o "código de comando". O "código de comando" chega a todos os SS passando pelo "circuito de descida". O SS selecionado aciona-se de acordo com o "código de comando" recebido. O SS não selecionado, após comunicação recebendo o "código de comando", encontra o circuito desocupado.

Não explicaremos aqui sobre a "comunicação de indicação singular" e "comunicação de todos comandados".

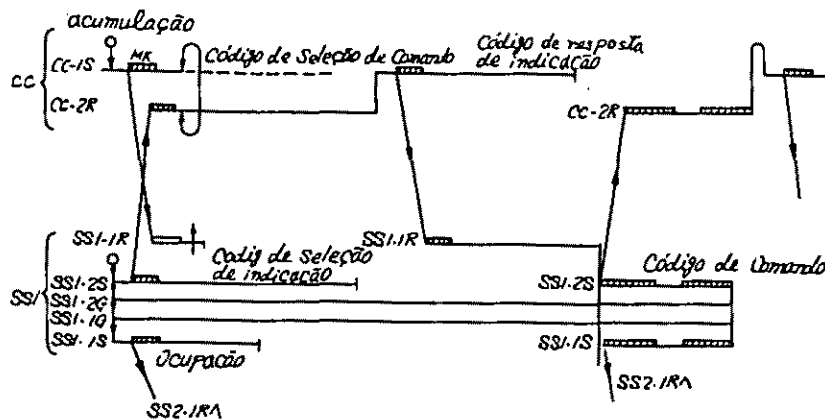
(2) Emissão simultânea de comunicação de comando e de indicação

O processamento da emissão simultânea de comunicação de comando e de indicação mostra a Fig. 7-5.

Se surgir a emissão simultânea, o "código de seleção e comando" passando pelo "circuito de descida" chega a SS, e o "código de seleção de indicação" passando pelo "circuito de subida" chega a CC.

O CC, na etapa onde fez leitura do código de variedade,

Fig. 7-5 Emissão simultânea de comunicação de comando e de indicação



decifra a emissão simultânea com SS (faz-se a leitura da emissão simultânea pela recepção do código de seleção de variedade-1 em comunicação de comando do CC) e imediatamente interrompe a emissão, recebendo o "código de seleção de indicação" e a seguir muda-se à posição para comunicação de indicação. O SS em comunicação de indicação, na etapa onde fez a leitura do código de variedade, decifra a emissão simultânea com o CC, (A leitura da emissão simultânea é feita pela recepção do código de variedade em comunicação de indicação de SS) e continuando a emissão, interrompe a leitura do "código de recepção" e a seguir muda-se à posição para receber o "código de resposta".

Como acima escrita, em comunicação simultânea de CC e de SS, os ambos detectam a emissão simultânea pela leitura do código de variedade e acionam-se de modo que interrompa-se a comunicação de comando e continua-se a comunicação de indicação, de acordo com a ordem prioritária determinada. A comunicação de comando interrompida actiona-se assim que o circuito ficar desocupado.

Aqui, não trataremos sobre a emissão simultânea de comunicações de indicação.

Até agora, explicamos sobre a função de transmissão de informação como o sistema básico. Além disso, "TEKKEN H" tem uma função de impedir transmissão errônea de informações, interrompendo a comunicação, quando detecta o erro pelo exame do funcionamento errôneo do circuito lógico devido a defeito de elementos e do erro de código.

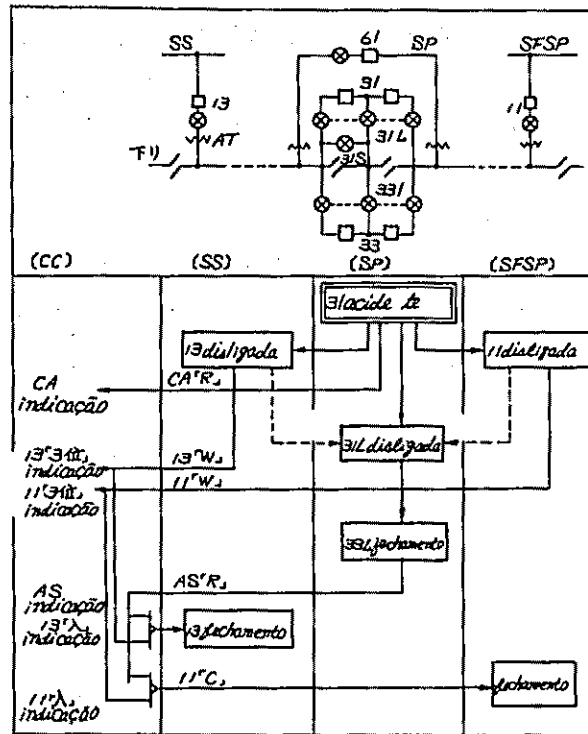
7.1.4 Função adicional

No tipo "H", o objetivo principal é a execução de comando e indicação. Além disso, ele tem várias funções como as mostradas a seguir:

- (1) Teste de condições de dispositivos.
- (2) Supervisão permanente da linha de comunicação.
- (3) Telecomando automático.
- (4) Medição digital.
- (5) Detecção e tratamento de congestionamento.
- (6) Painel de testes.

Entre os seis funções apresentadas, como um exemplo do Telecomando automático, explicamos "Telecomando Automático para substituição de interruptor de reserva". A fig. 7-6 mostra o exemplo do caso de acidente de mudança (CA) em cabina de seccionamento (SP). Quando acontece acidente de mudança em interruptor (31) de cabina de seccionamento, os interruptores (11, 13) das Subestações (SS, SFSP) abram-se pelo dispositivo de interrupção intertravada. Em consequência disso, a seção entre duas Subestações fica sem pressão e em cabina de seccionamento, o interruptor é substituído pela reserva, emitindo a indicação de posição remota automática (AS) ao Posto de Comando. O Posto de Comando, recebendo esta indicação, automaticamente faz a comunicação de comando de "input" aos interruptores de ambas as Subestações. Sendo assim, os interruptores (11, 13) vão ser acionados. Esta série de funcionamento intertravado é completada mais ou menos em tres segundos.

Fig. 7-6. Telecomando Automático para substituição de interruptor para o de reserva no caso de acidente de mudança



7.1.5 Parte do Norma para funcionamento intertravado

1) Limite de aplicação:

Esta Norma é aplicada aos dispositivos de comando centralizado de Subestações que fazem comando extra-rápido de instalações de Subestações na SHINKANSEN.

2) Manipulação:

2.1) - A manipulação deverá ser feita por uma alavanca.

3) Posição especial (detecção de anormalidade e destravamento de relês)

3.1) - A posição especial é uni-posição. Pela manipulação da chave ("sping return"), o comando é acumulado.

3.2) - Se o comando fôr acumulado, a Posto de Comando actiona-se com condição de que o circuito esteja desocupado, emitindo o código especial. Se tiver acúmulo de comando ordinário, quando foi terminada a emissão de código especial, o acúmulo deverá der liberado. O Posto comandado que recebeu este código especial aciona-se sem fazer resposta.

3.3) - No Posto de Comando, quando terminar-se a emissão de código especial, deverá ser liverado o acúmulo.

- 4) Posição de comando ordinário
- 5) Indicação de Posto comandado
- 6) Mudança, alarme, confirmação das lâmpadas indicadoras
- 7) Posição de medição digital e posição de prova do circuito lógico
- 8) Teste de condição de dispositivo
- 9) Tratamento do dispositivo no caso de seu defeito
- 10) Tratamento no caso de obstáculo exceto no circuito lógico
- 11) Telecomando Automático

8. NORMA PARA ELETRIFICAÇÃO DE FERROVIAS EM 25kV-CA

8.1 Tensão da rede aérea

É necessário manter o valor eficiente de tensão da rede aérea de sistema elétrico de estrada de ferro de auto-transformador com eletrificação 25 KV para operação de trem. A tensão máxima da rede aérea será 30.000 V e a mínima de 22.500 V e para o valor limite instantânea de 20.000 V.

8.2 Nível básico de isolamento

Nível básico de tensão de impulso em instalações de sub-estação e rede aérea será 200.000 V com forma ondulatório normal em condições atmosféricas seca. Deverá ser instalado pára-raios para ajustamento harmônico de isolamento em locais onde haja necessidades.

8.3 Espaço de isolamento na rede aérea

- (1) o espaço de isolamento entre rede aérea, cabo alimentador, assim como as peças pressionadores destas linhas da mesma tensão e a ligação à terra deverá ser sempre no mínimo, 300 mm.
- (2) O espaço de isolamento entre cabo de proteção para A.T., assim como as peça pressionadores do mesma tensão e a ligação à terra deverá ser maior que 150 mm, porém nos casos especiais como a obra, é possível fazer com mínimo de 70 mm.
- (3) O espaço de isolamento entre as peças pressionadores de fases diferentes deverá ser, no mínimo 400 mm.
- (4) O espaço de isolamento entre cabo alimentador e rede aérea deverá ser maior que 500 mm, porém, nos casos especiais, pode ser, no mínimo 450 mm.

8.4 Dispositivo de proteção de "flash-over"

(1) Deverá ser instalado um dos sistema a baixo mencionados, de equipamento de proteção para "flash-over".

1) Sistema de isolamento duplo

É o sistema de proteção para o isolador que possui isolamento mais de 6.000 V contra a ligação à terra, fazendo conexão a linha de proteção A.T. através de fio.

2) Sistema de cabo aérea de ligação à terra

É o sistema de proteção ligando poste de ferro, viga, cruz e ferragem do isolador através de fios, que faz ligação à terra com a resistência menor que $10(\Omega)$, com a linha de proteção A.T. ou trilho, deixando espaço de descarga.

(2) Conduto ligado a terra e cabo aérea de ligação à terra devem ser instalados em maneira que evitam desconexão causados por mudança de temperatura, pressão de vento e contatos com partes acessórios.

(3) A altura de cabo aérea de ligação à terra deverá ser maior que 3,5 m do nível da terra, e maior que 4,5 menos pontos de cruzamento.

8.5 Contrôle de elevação potencial de ligação à terra

É necessário instalar equipamento e circuito de controle contra elevação potencial de ligação à terra causado por defeitos em subestação, adotando sistema de ligação à terra múltiplo, a fim de proteger os mesmos.

(1) Deverá ser instalado equipamento de controle de elevação potencial de ligação à terra entre dispositivos e linha de proteção A.T. contra curto-circuito ou trilho.

(2) Eletrodo de ligação à terra do pára-raio externo ("gap-arrester", centelhador) para proteção de equipamento de telecomando deverá ser instalados com afastamento mínimo de 50 m do pátio de subestação.

(3) A proteção de linha de comunicação que vai ser fora do pátio deverá também ser feito.

8.6 Intensidade dielétrica de equipamento de telecomando

Intensidade de isolador de equipamento de telecomando em subestação deverá resistir contra ruptura da dielétrica com passagem de 1 minuto com potência de 2.500 V C.A. no circuito que está sendo ligado diretamente a linha de ligação do equipamento de telecomando.

8.7 Dispositivo de seccionamento

O dispositivo de seccionamento deverá ser instalado, considerando a posição de sinaleiro, no local em que não haverá

curto-circuito devido aos pantógrafos dos trens parados. Dispositivos de seccionamento durante C.C. e C. A. e o da fase diferente de C.A. deverão ser instalados nos locais adequados considerando operação manual de entalhe de trem, distância de pantógrafo, o tempo necessário, e o equipamento de comutação de fonte de força no material rodante.

8.8 Dispositivo elétrico para rede aérea

Deverão ser instalados os equipamentos elétricos e os acessórios na rede aérea em seguintes maneiras.

- (1) Altura da parte pressionador deverá ser mais que 5 m.
- (2) Altura de instalação deverá ser mais que 5 m do nível de terra.
- (3) Suporte metálico dos dispositivos para rede aérea deverá ter resistência de ligação à terra menor que $10(\Omega)$.

8.9 Precaução contra acidente de passagem superior

- (1) No caso de instalar cabo alimentador de C.A. ou linha de proteção A.T. em baixo de viaduto, passagem superior, alpendre da plataforma, é necessário colocar estacas ou rede para proteção dos homens e animais.
- (2) Neste caso, é necessário colocar indicação de perigo nas rede ou estacas. A ligação à terra da parte metálica destas estacas e redes deverá ser feita com resistência menor que $100(\Omega)$.

8.10 Instalação de placa de atenção nas passagem de nível

Nos lados da via, passagem de nível onde há movimento de veículos, deverão ser instalados placas de atenção em forma de viga transversal ou viga fixa em seguintes maneiras.

- (1) As faces inferiores das viga transversal e viga fixa deverão ser instalados em baixo de altura de fio de contato e sua altura da terra será mais que 4,5 m.
- (2) Altura de fio de contato em lugares onde instalado placa de atenção em forma de viga transversal será maior que 5 m.
- (3) A placa de atenção em forma de viga fixa deverá ser colocado somente nos casos de que a altura de fio de contato seja menor que 5 m.

- (4) A diferença de altura entre face inferior de viga fixa, viga transversal e fio de contato serão:
- Para viga transversal > 0,5 m
 - Para viga fixa > 0,3 m
- (5) Deverá ser instalado placa de atenção em forma de placa de sinalização onde não houver passagem de veículos.

8.11 A proteção contra voltagem indutiva

- (1) Partes metálicas das instalações que possam causar perigo de potência, contra homens e animais deverá ser feito a ligação à terra com resistência menor que $100(\Omega)$.
- (2) Nos lugares onde podem causar perigo com aumento potencial de trilho contra homens e animais dentro de pátio de estação, deverá ser instalados os equipamentos que controla a elevação de potência.

(ANEXO 8-1) Circuito de alimentação

Existem vários circuitos de alimentação para a eletrificação em corrente alternada com frequência comercial. O presente texto menciona as características e os problemas dos seguintes sistemas:

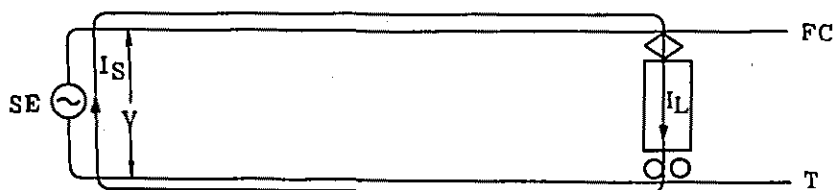
- circuito de alimentação simples;
- circuito de alimentação com transformador - "booster";
- circuito de alimentação com auto transformador.

1 - Circuito de alimentação simples

(1) Composição do circuito

Como mostra a figura 1, este circuito é o mais simples, constituindo-se de fio de contato e trilho.

Fig. 1 Circuito de alimentação simples



SE - Subestação

FC - Fio de contato

T - Trilho

V - Tensão de Alimentação na Subestação (25 kV)

I_L - Corrente de Carga

I_S - Corrente na Subestação = I_L .

2 - Circuito de alimentação com transformador - "booster"

(1) Composição do circuito

Como mostra a figura 3, este circuito é um pouco complexo, constituindo-se de fio de contato, alimentador negativo, transformador "booster" e trilho.

Fig. 2 Distribuições das correntes do cargas no circuito de alimentação simples

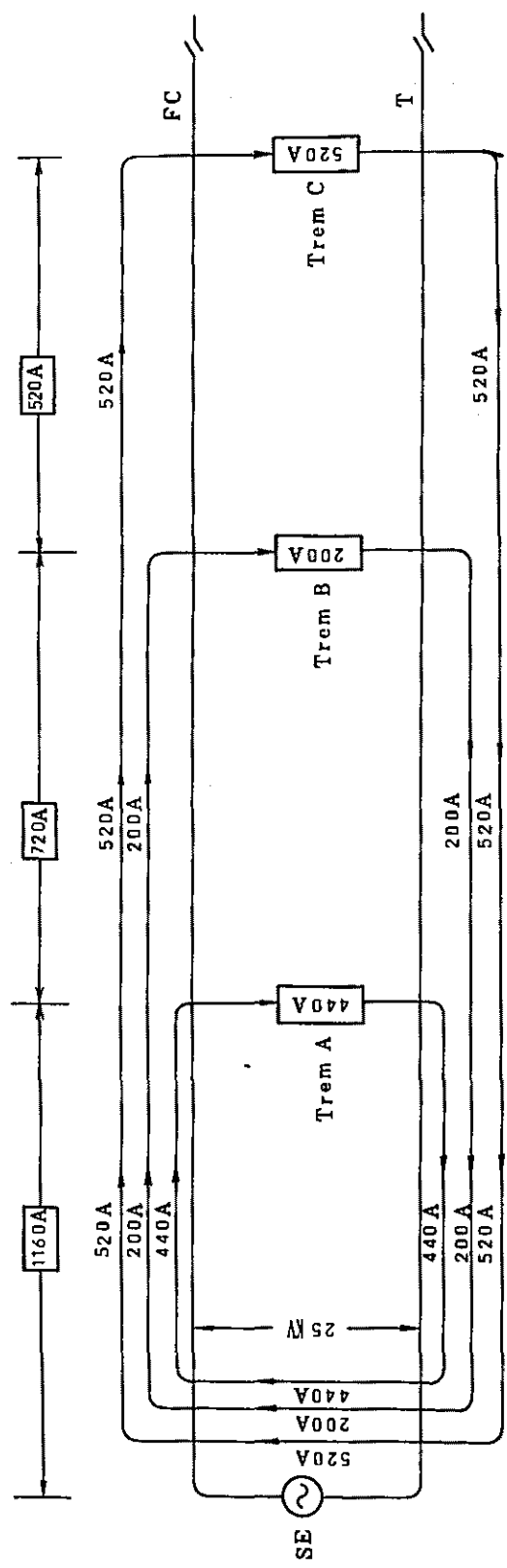
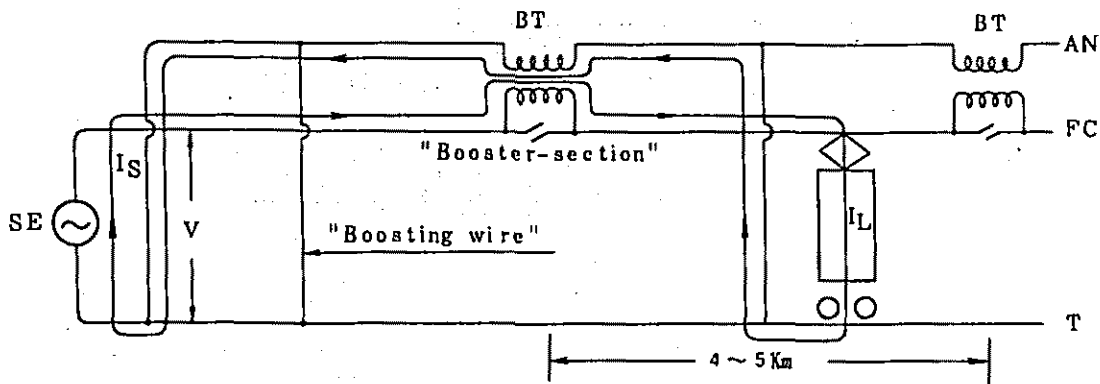


Fig. 3 Circuito de alimentação com transformador - "booster"



SE - Subestação

BT - Transformador - "Booster"

AN - Alimentador negativo

FC - Fio de contato

T - Trilho

V - Tensão de Alimentação na Subestação (25 kV)

I_L - Corrente de Carga

I_S - Corrente de Subestação = I_L

3 - Circuito de alimentação com auto-transformador

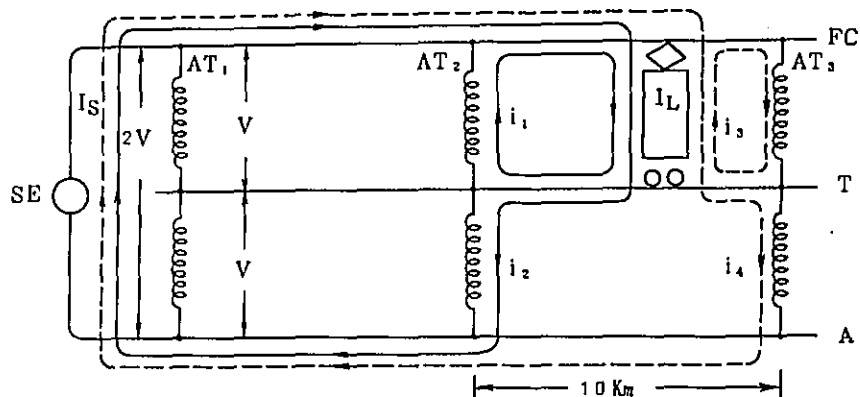
(1) Composição do circuito

Como mostra a figura 4, o circuito é o mais complexo, constituindo-se de fio de contato, alimentador "AT", auto-transformador e trilho.

Este circuito é o que eliminou o defeito de "booster section" no circuito de alimentação com transformador "booster". Além disso, a tensão de alimentação foi aumentada para 50 KV.

Este circuito foi aplicado a partir do ano de 1969 na "Japanese National Railways", como circuito padrão de alimentação para a eletrificação em corrente alternada.

Fig. 4 Circuito de alimentação com auto-transformador



SE - Subestação

AT - Auto-transformador (Relação de Enrolamento = 1:1)

FC - Fio de contato

T - Trilho

A - Alimentador "AT"

V - Tensão entre Fio de Contato e Trilho (25KV)

2V - Tensão de Alimentação na Subestação (50KV)

I_L - Corrente de Carga = $i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 2 (i_2 + i_4)$

I_S - Corrente na Subestação = $i_2 + i_4 = I_L/2$

(2) Tensão de alimentação

A tensão de alimentação deste circuito é de 60 Kv, fornecendo a energia elétrica entre o fio de contato e o alimentador "AT", porém a tensão entre o fio de contato e o trilho é de 25 Kv, dividida pelo auto-transformador com relação de enrolamento de um por um.

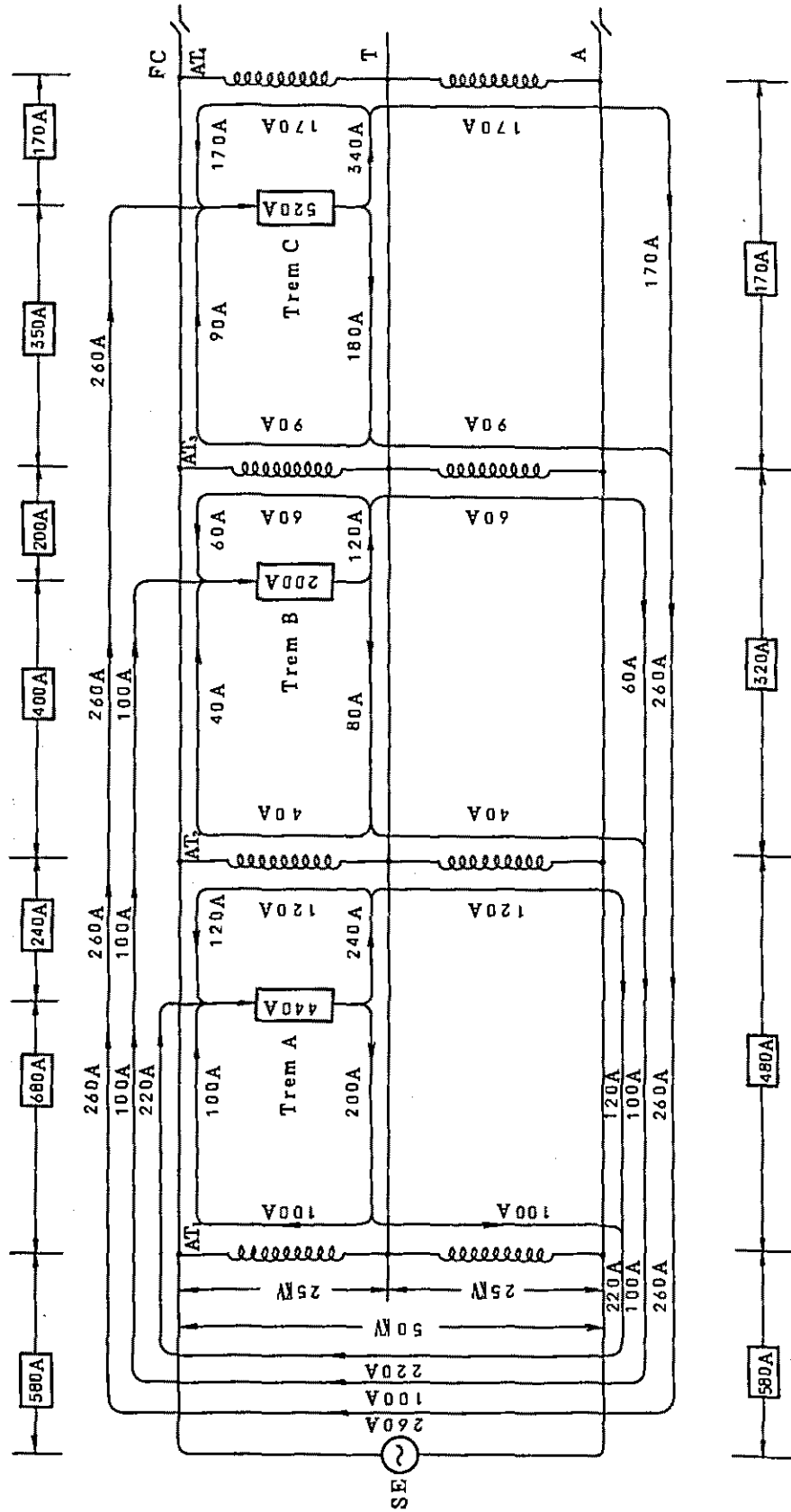
Portanto, a extensão de alimentação (distância entre as su-estações) poderá ser o dobro, aproximadamente.

(3) Interferência indutiva e influência no circuito de sinalização

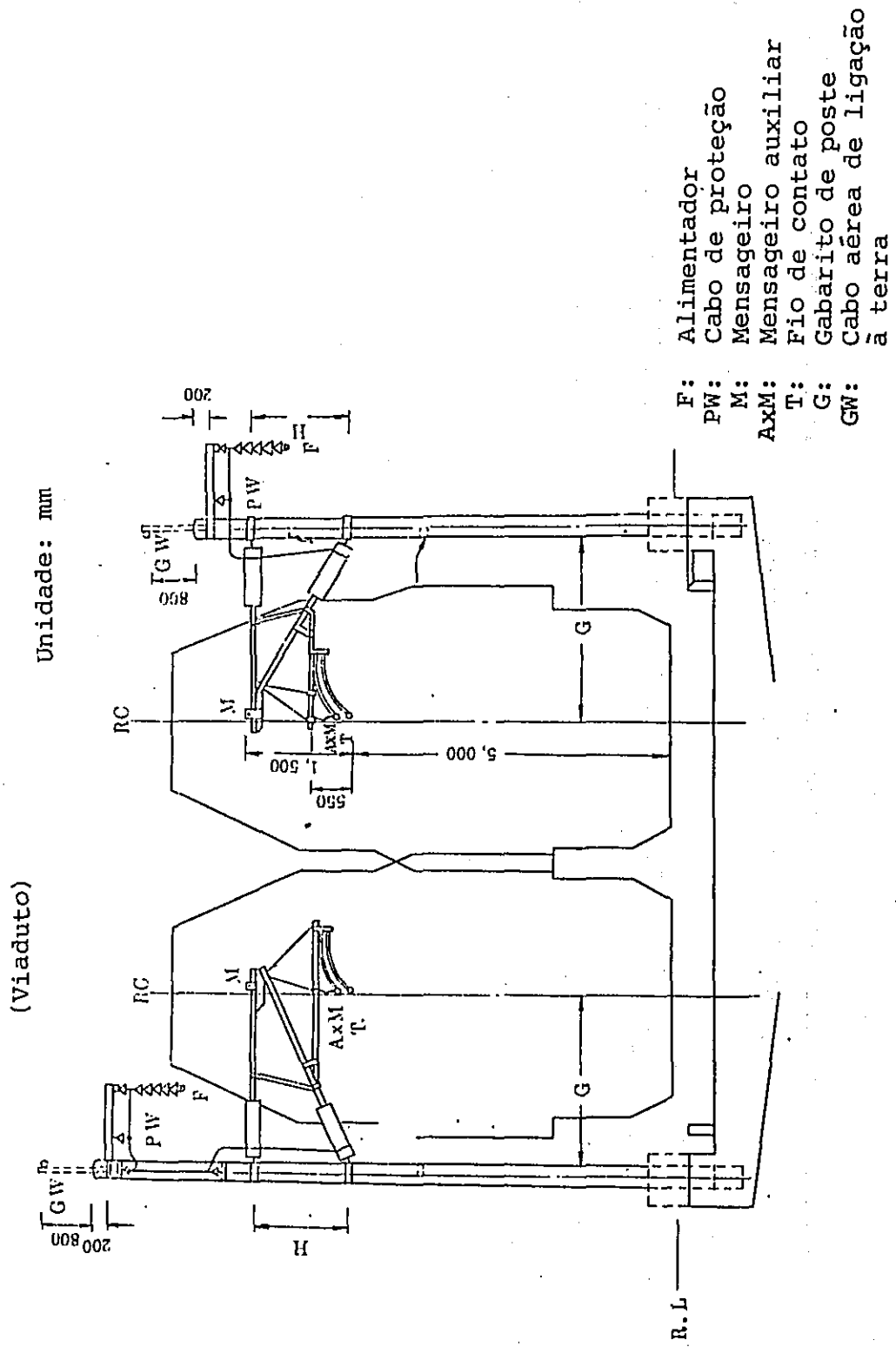
No caso deste circuito, a corrente de retorno no trilho é pequena e passa somente entre os auto transformadores.

Portanto, o efeito da diminuição da interferência indutiva e do potencial de trilho é equivalente a do circuito de alimentação com transformador "booster".

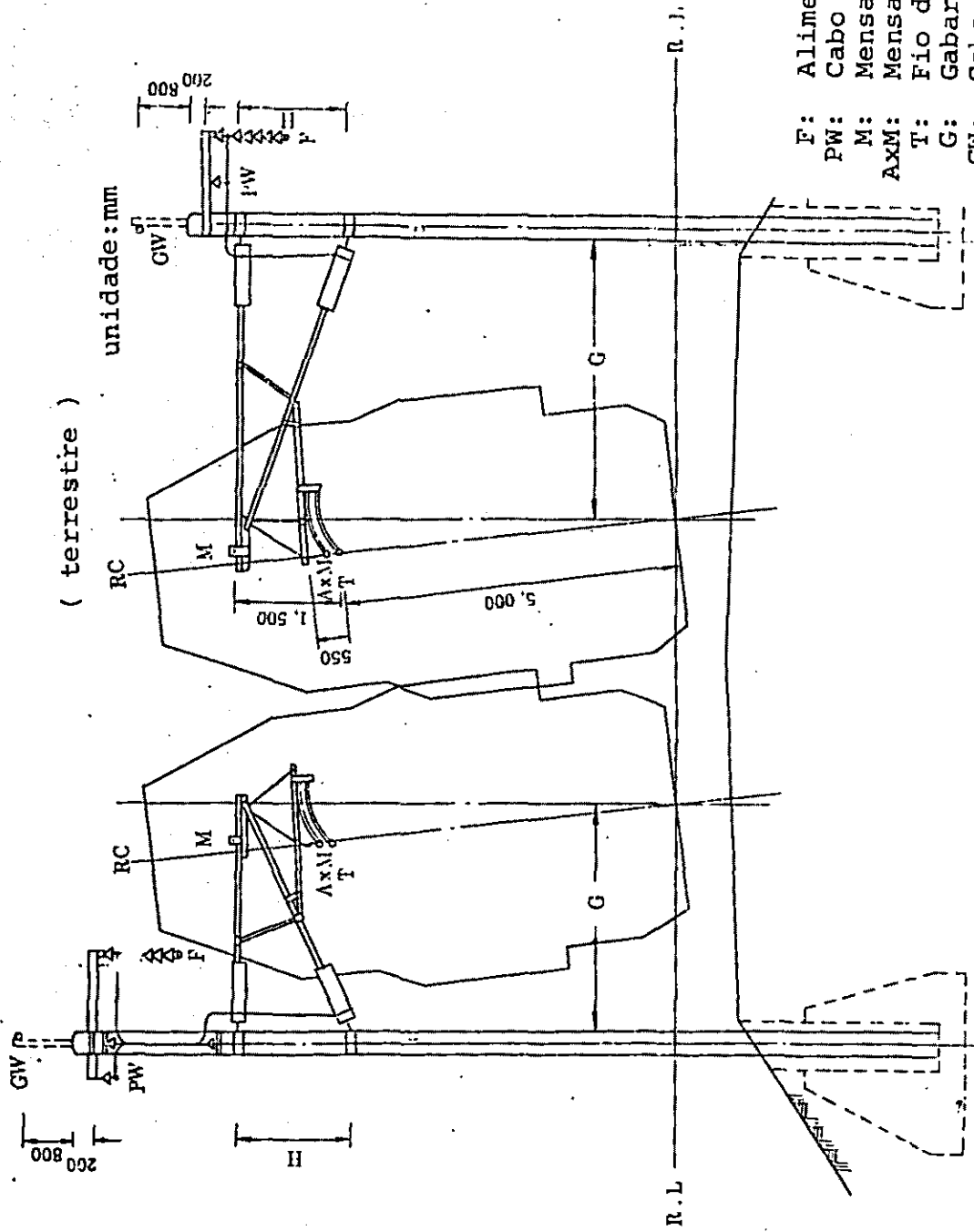
Fig. 5 Distribuições das correntes das cargas no circuito de alimentação com auto-transformador



(ANEXO 8-2) Esquema da padrão da rede aérea na SHINKANSEN

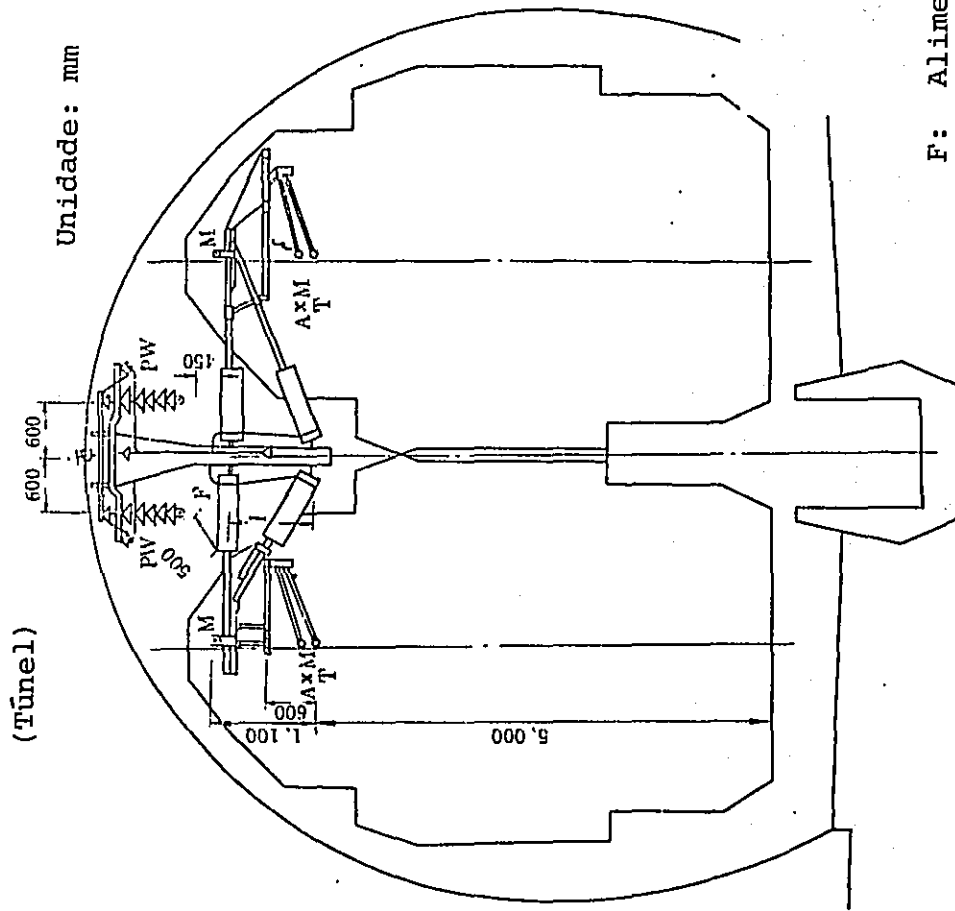


Eschema da padrão da rede aérea na Shinkansen

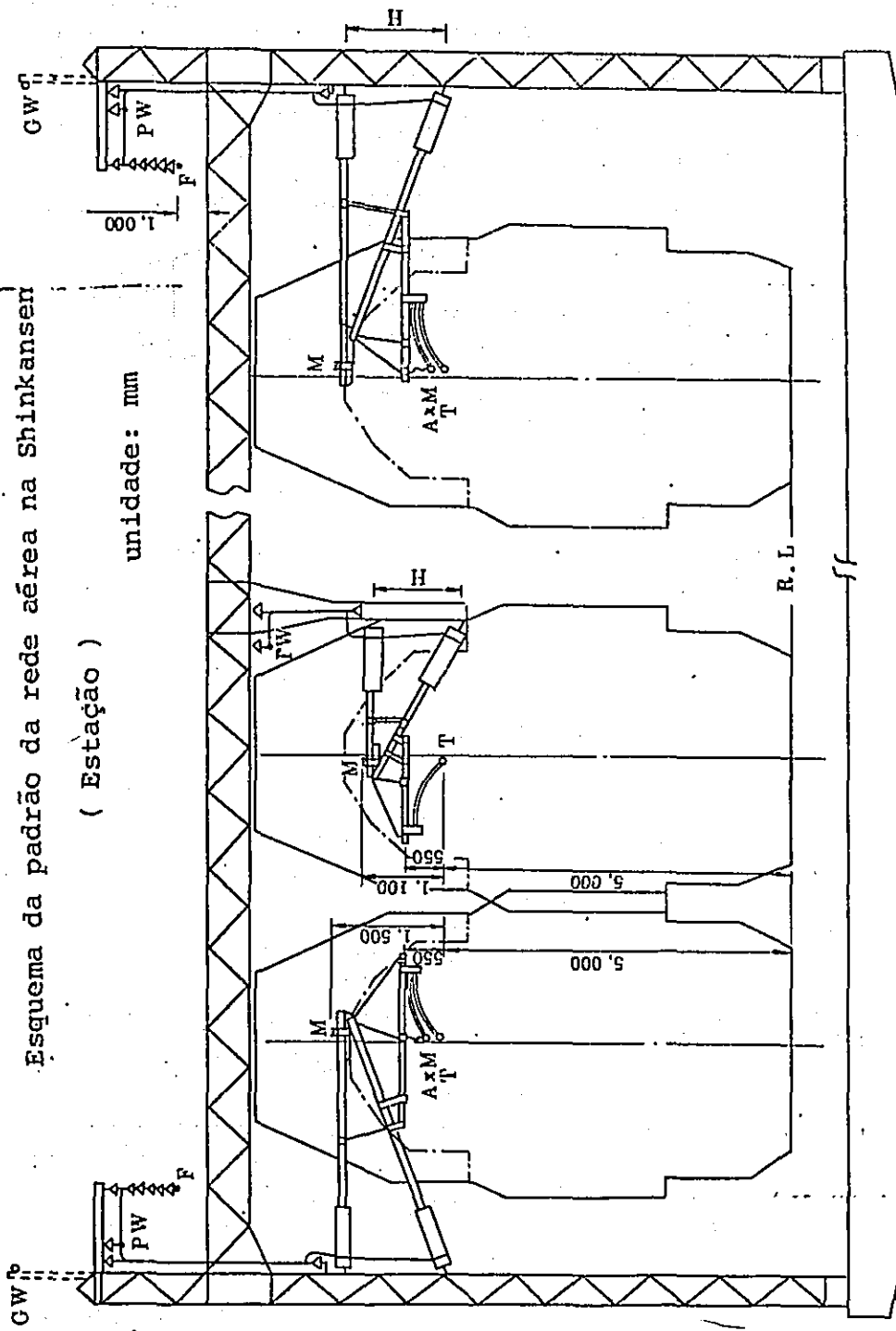


- F: Alimentador
- PW: Cabo de proteção
- M: Mensageiro
- AXM: Mensageiro auxiliar
- T: Fio de contato
- G: Gabarito de poste
- CW: Cabo aérea de ligação à terra

Esquema da padrão da rede aérea na Shinkansen



- F: Alimentador
- PW: Cabo de proteção
- M: Mensageiro
- AXM: Mensageiro auxiliar
- T: Fio de contato



Esquema da padrão da rede aérea na Shinkansen
(Estação)

unidade: mm

- F: Alimentador
- PW: Cabo de proteção
- M: Mensageiro
- AxM: Mensageiro auxiliar
- T: Fio de contato
- GW: Cabo aérea de ligação à terra

Fig. Tipo B.T.

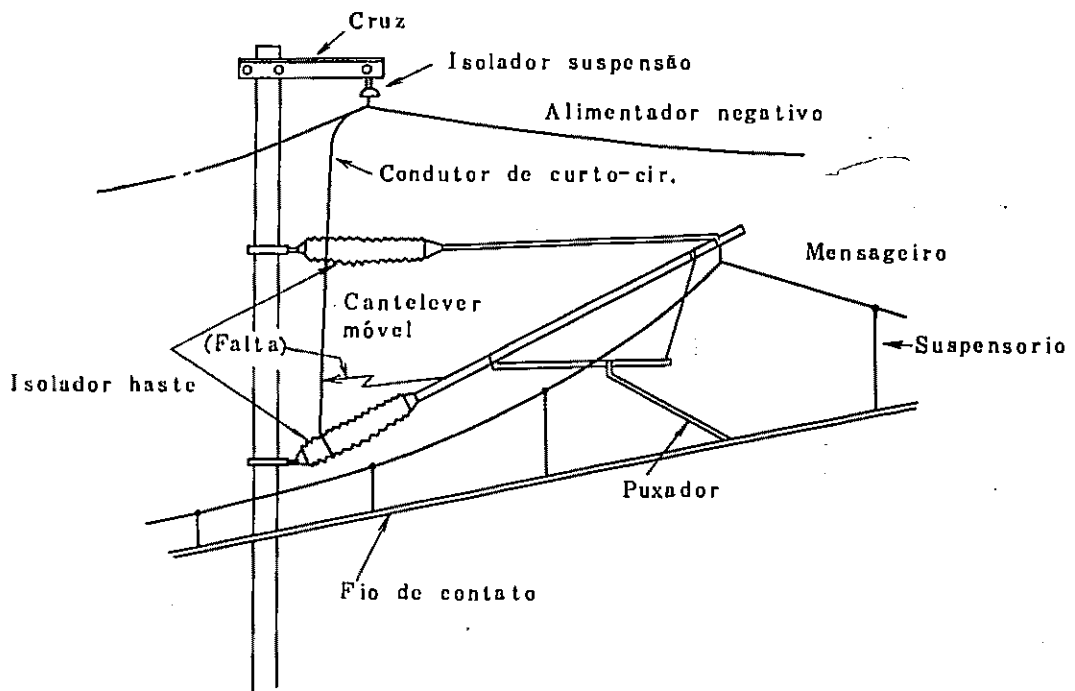
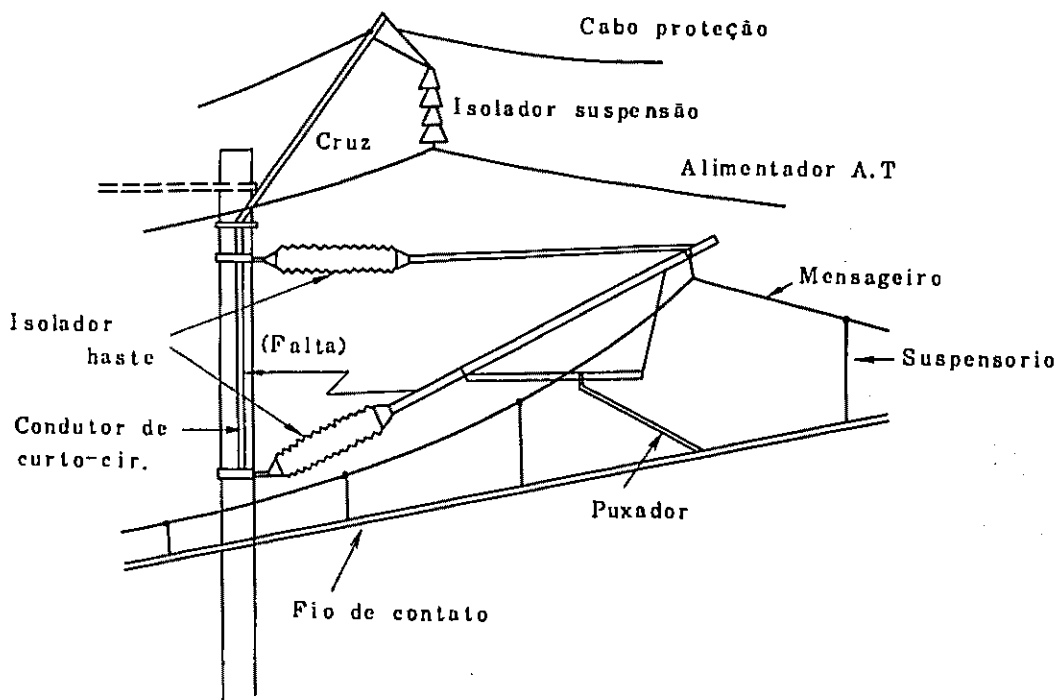


Fig. Tipo A.T.



(ANEXO 8-3) Espaço de isolamento

1 - Espaço normal de isolamento

A rede aérea de tração não deve permitir o acidente de "flash over" causado pela tensão anormal interna, que é provocada pelo abrir e fechar do disjuntor da subestação e do material rodante, e pela tensão anormal externa induzida pelos pára-raios.

No caso em que a tensão normal é de 25 Kv e a tensão máxima de serviço é de 30 Kv, será adequado um nível básico de isolamento (BIL) de 200 Kv.

A distância entre os eletrodos, correspondente a um nível básico de isolamento de 200 Kv, será de 30 cm, em consequência do ensaio da descarga de impulso entre os eletrodos, como mostrado na tabela 2. Portanto, o espaço de isolamento nas instalações da rede aérea de tração deve ser maior do que 30 cm.

Por outro lado, a tensão anormal interna que é provocada no circuito de alimentação em CA, é a obtida pela multiplicação da tensão normal à terra por 2,1, visando a consequência do ensaio. Desse modo, nas piores condições para a ocorrência de acidente, supõe-se que a tensão normal interna seja a seguinte:

$$27,5 \text{ Kv} \times 2,5 = 70 \text{ Kv}$$

Visando a consequência do ensaio de tensão de descarga com vários eletrodos sob uma fonte de energia com frequência comercial, como mostrado na figure 8, até no caso da pior condição com o eletrodo quadrado, sabe-se que não ocorre a descarga sob a tensão de 70 Kv no espaço de 30 cm. Portanto, o espaço de isolamento de 30 cm será adequado, também, contra a tensão anormal interna.

2 - Espaço instantâneo de isolamento

Haverá instantes em que não se poderá manter o espaço normal de isolamento em consequência da superelevação da contenária com o pantógrafo em movimento, mas esse instante é muito pequeno comparando com o tempo total de circulação do trem. Assim, poder-se-á considerar que a tensão anormal interna em um instante seja a tensão normal à terra multiplicada por 2, 1, visando a consequência de ensaio.

Assim, poder-se-á supor:

Tensão anormal interna em um instante = $27,5 \text{ Kv} \times 2,1$
 = 58 Kv

Visando a consequência do ensaio mencionado anteriormente, sabe-se que não ocorre a descarga sob a tensão de 58 Kv, na aberta de 20 cm. Portanto, poder-se-á aplicar 20 cm para o espaço instantâneo de isolamento.

TABELA 1

| Abertura entre os eletrodos (cm) | Tensão de "flash over" em 50% (Kv) | Abertura entre os eletrodos (cm) | Tensão de "flash over" em 50% (Kv) |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 3 | 30 | 50 | 323 |
| 4 | 49 | 55 | 352 |
| 5 | 57 | 60 | 380 |
| 6 | 65 | 65 | 409 |
| 7 | 73 | 70 | 437 |
| 8 | 80 | 75 | 459 |
| 9 | 87 | 80 | 495 |
| 10 | 94 | 85 | 523 |
| 12 | 106 | 90 | 552 |
| 14 | 118 | 95 | 580 |
| 16 | 130 | 100 | 610 |
| 18 | 142 | 110 | 665 |
| 20 | 153 | 120 | 720 |
| 22 | 161 | 130 | 780 |
| 24 | 175 | 140 | 835 |
| 26 | 186 | 150 | 890 |
| 28 | 198 | 160 | 950 |
| 30 | 210 | 170 | 1005 |
| 35 | 238 | 180 | 1065 |
| 40 | 268 | 190 | 1125 |
| 45 | 294 | 200 | 1180 |

Fig. 1 Tensão de descarga com vários elétrodos

| | |
|-------------------|-------------------|
| lado energizado | lado de terra |
| elétrodo quadrado | elétrodo quadrado |
| cano metálico | pantôgrafo |
| mulo de túnel | pantôgrafo |
| fio de contato | pantôgrafo |
| fio de contato | mulo de túnel |
| fio de contato | chaminé |
| fio de contato | chaminé |
| | (com neveeiro) |
| fio de contato | chaminé |
| | (com fumaça) |

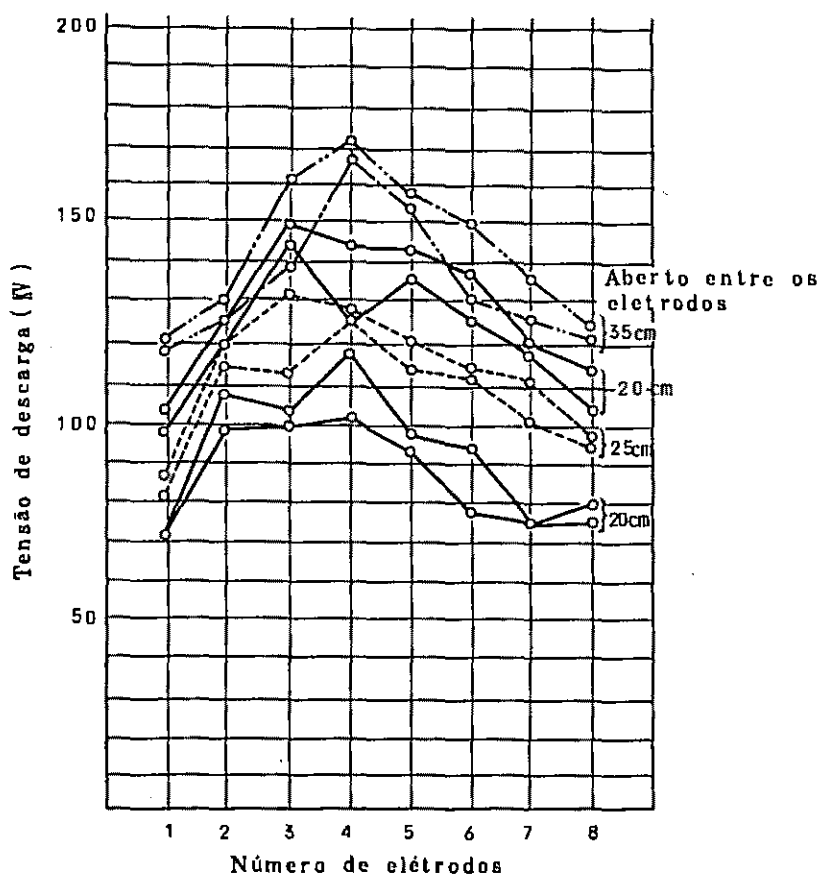


Fig. 2 Combinação dos elétrodos e suas disposições

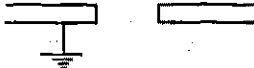




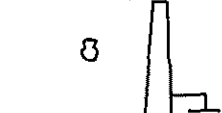
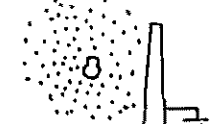

| No | lado energizado | lado de terra | disposição |
|----|----------------------------------|-------------------|--|
| 1 | elétrodo quadrado | elétrodo quadrado |  |
| 2 | cano metálico | pantógrafo |  |
| 3 | mulo de túnel | pantógrafo |  |
| 4 | fio de contato | pantógrafo |  |
| 5 | fio de contato | mulo de túnel |  |
| 6 | fio de contato | chaminé |  |
| 7 | fio de contato (com nevoeiro) | chaminé |  |
| 8 | fio de contato (com fumaça) | chaminé |  |

Tabela 2 Comparação para ajustamento harmônico de isolamento

| Nível de isolamento | nº | 3 | 6 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nível básico de tensão de impulso | (KV) | 45 | 60 | 90 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| Para-raios na subestação | Tensão começa de descarga (KV) | 15 | 30 | 45 | 90 | 140 | 180 | 230 | 270 | 320 |
| Para-raios na linha de distribuição | Idem | 16 | 31 | 52 | | | | | | |
| Isolador de suspensão (250mm) | Número | | | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| | Tensão de "flash over" 50% (KV) | | | 255 | 255 | 355 | 355 | 440 | 440 | 525 |
| Isolador de suspensão (180mm) | Número | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | |
| | Tensão de "flash over" 50% (KV) | 100 | 100 | 185 | 260 | 260 | 330 | 330 | 400 | |
| Chave | (KV) | 45 | 60 | 80 | 120 | 160 | | | | |
| Bucha | (KV) | 50 | 65 | 100 | 165 | 220 | 275 | 330 | 385 | 440 |
| Disjuntor tipo de isolador | (KV) | 50 | 65 | 100 | 165 | 220 | 275 | 330 | 385 | 440 |
| Disjuntor tipo com óleo | (KV) | 45 | 60 | 90 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| Transformador | (KV) | 55 | 70 | 105 | 170 | 230 | 290 | 340 | 400 | 460 |

(ANEXO 8-4) Localizador

Antigamente, quando ocorria um defeito de curto-circuito na rede aérea de tração, devido à contaminação do isolador ou dano causado por pássaro, por exemplo, tinha-se de percorrer a pé o trecho entre a subestação e o posto de seccionamento para descobrir o local do defeito, o que tomava muito tempo.

Atualmente, porém, com o desenvolvimento do localizador, pode-se reparar o defeito, em pouco tempo, pois descobre-se rapidamente o seu local.

(1) Localizador para o circuito de alimentação com BT

A impedância da linha do circuito de alimentação com BT é aproximadamente proporcional à distância. Portanto, com a medição da impedância, poderá ser conhecida a distância entre a subestação e o local de defeito.

Há vários métodos de medição, mas é aplicado normalmente o método do relé de distância.

O localizador é instalado na subestação. Quando ocorrer o defeito, poderá ser medida a impedância entre a subestação e o local de defeito dentro de 120 segundos, com indicação do valor no Centro de Contrôles.

(2) Localizador para o circuito de alimentação com AT

A impedância de linha do circuito de alimentação com AT tem o traçado como indica a figura 1, não sendo proporcional à distância, devido aos AT, localizados em intervalos de 10 Km, aproximadamente.

Na figura 1, tem-se:

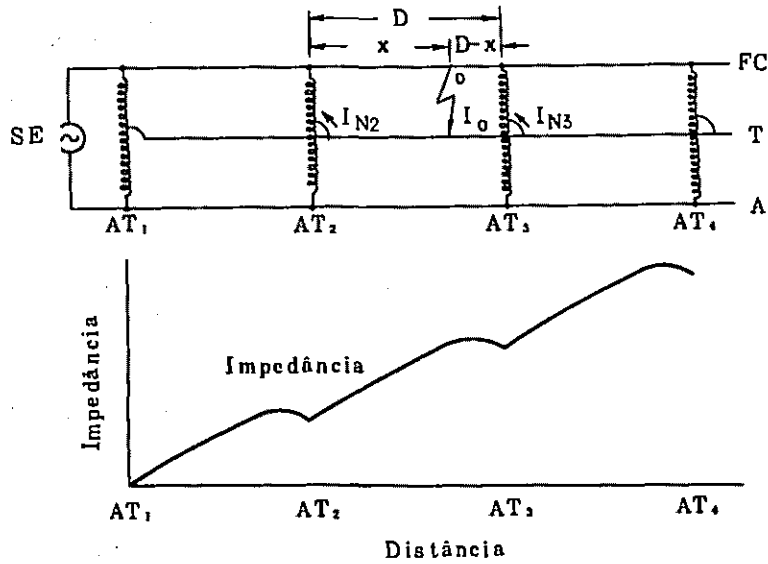
$$\frac{I_{N3}}{I_{N2}} = \frac{x}{D - x} \quad \text{ou} \quad \frac{I_O}{I_{N2}} = \frac{D}{D - x}$$

portanto,

$$x = D - \frac{I_{N2}}{I_O} D$$

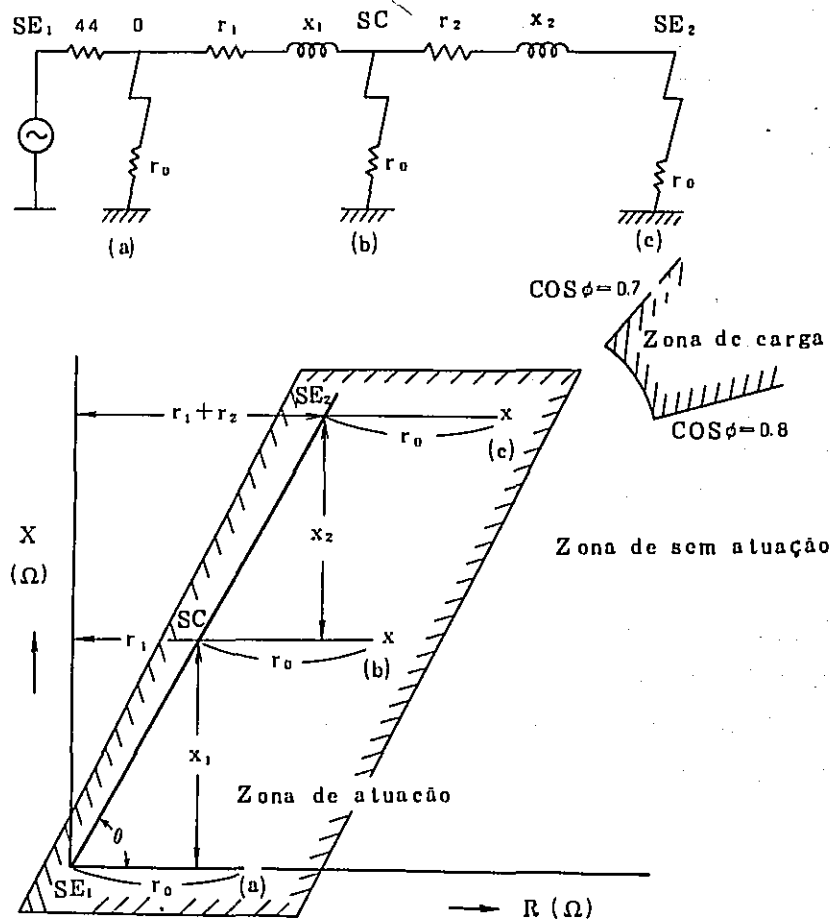
Assim, medindo-se as correntes no fio neutro dos AT anterior e posterior ao local de defeito, a distância entre o local de defeito e o AT₂ ou AT₃, poderá ser obtida pela proporção desses valores.

Fig. 1



Aplicando-se este princípio, foi desenvolvido o localizador que indica o local de defeito, através do computador, com base nos valores das correntes nos fios neutros dos AT, transmitindo automaticamente para o Centro de Controle.

Fig. 2 Princípio de relê da distância 44F



r_1, x_1 : r, x de SE_1 até SC
 r_2, x_2 : r, x de SC até SE_2
 r_0 : resistência de ponto de curto-circuito

(ANEXO 8-5) MÉTODO DE ELIMINAÇÃO DE ARCO-VOLTAICO EM "BOOSTER SECTION"

O sistema de alimentação do SHINKANSEN entre Tokyo-Shin-osaka é o sistema B.T. incluindo o alimentador negativo. Na adaptação do sistema B.T. devido à composição de circuito, deverá ser instalado o seccionamento de "Booster".

O arco-voltaico causado pela passagens de trem no seccionamento de "Booster" não será o problema em quanto a corrente de carga fôr menor que (200~300A) porém, como no caso de SHINKANSEN, cuja corrente decarga será 1000A aproximadamente para uma unidade de trem, e com a existência de trem antecedente numa mesma subestação com a mesma condição de carga, o total de corrente de carga ficará 2000A.

Pode-se imaginar que é difícil de desligar a grande corrente com a velocidade de interrupção, de acôrdo com a velocidade de trem entre canoas de pantôgrafo e fio de contato, considerando o mecanismo de disjuntor. Portanto alguma precaução deverá ser tomada. Senão causará a impossibilidade de operação devido ao arco-voltaico grande, danificando o fio de contato e canoas de pantôgrafo. A precaução para evitar este problema é o sistema de seccionamento de "Booster" com resistor.

A maior parte da corrente de carga de trem antecedente passará através de Booster sem entrar no ponto de curto circuito causado por pantôgrafo. Por outro lados ponto S_1 desliga a corrente de carga (cerca de 120A) do pantôgrafo, quer dizer, a chave que está na condição de ligação-cruzada será desligada pelo resistor. Portanto a ocorrência de arco-voltaico é muito pouco.

Mas deverão ser instalados da maneira que possa evitar o curto circuito de S_1 , S_2 ao mesmo tempo em qualquer circunstância e o pantôgrafo entre S_1 , S_2 não deve ser mais que um pela condição de uso. Por isso, foi protegido a estrutura especial de rêde aérea, como mostra na figura seguintes.

Fig. 1 Teoria de sistema de seccionamento de "Booster" com resistor

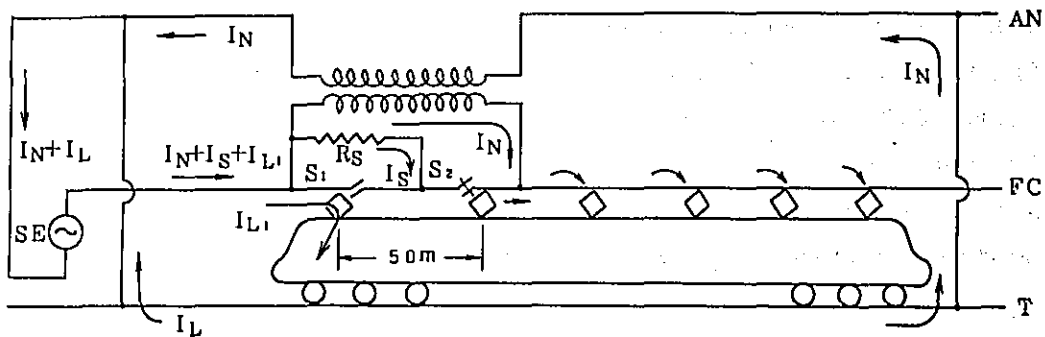
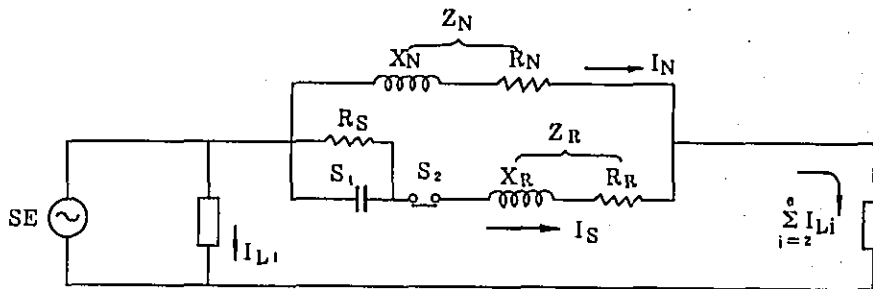


Fig. 2 Circuito equivalente de seccionamento de "Booster" com resistor



$$I_N = \frac{\dot{Z}_R + R_s}{R_s + \dot{Z}_R + \dot{Z}_N} \left(\sum_{i=2}^6 I_{Li} \right)$$

$$I_S = \frac{\dot{Z}_N}{R_s + \dot{Z}_R + \dot{Z}_N} \left(\sum_{i=2}^6 I_{Li} \right)$$

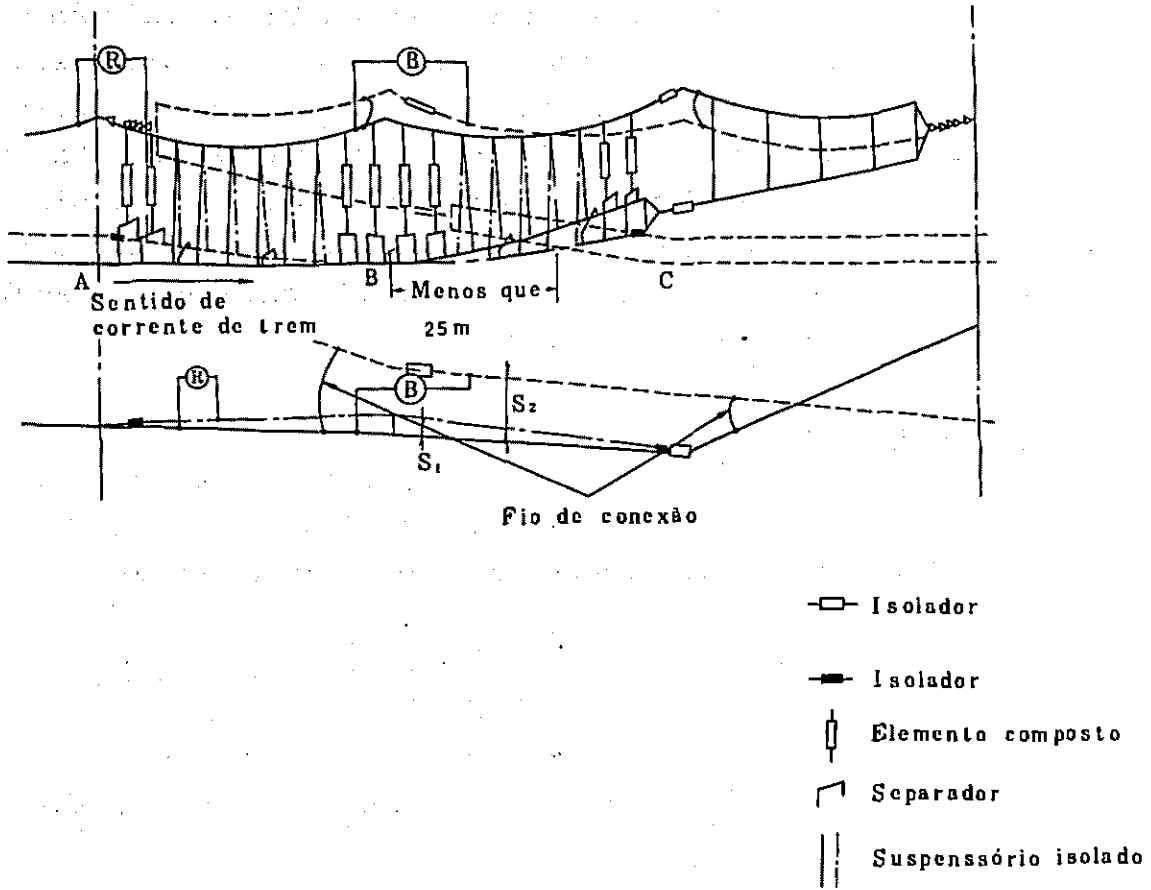
I_S : Corrente de interrupção

\dot{Z}_R : Impedância de circuito de trilho

\dot{Z}_N : Impedância de circuito de alimentador negativa

R_s : Corrente de carga

Fig. 3 Secionamento de "Booster" com resistor em SHINKANSEN



(ANEXO 8-6) FENÔMENO INDUTIVO DE CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO C.A.

Fenômenos indutivos podem ser classificados em indução eletrostática e indução eletromagnética. A indução eletrostática é causada por tensão de alimentação e, os fenômenos são relativamente simples e é relativamente fácil de tomar as precauções. Mas a indução eletromagnética é causada por condição de distribuição da corrente de circuito de alimentação e os fenômenos no circuito de alimentação de corrente alternada ficam complexos. As precauções nem sempre são fáceis de ser tomadas.

1. Indução eletrostática

A indução eletrostática V_s causada por tensão de alimentação na linha de comunicação paralelamente instalada ao circuito de alimentação C.A. será determinada pela seguinte fórmula:

$$V_s = \frac{K_s}{4,8} \log_{10} \frac{b^2 + (h_1 + h_2)}{b^2 + (h_1 - h_2)} \times V \quad (V)$$

É a corrente de indução eletrostática que passa na terra, quando executar a ligação à terra desta linha de comunicação será determinada pela seguinte fórmula:

$$I_s = \frac{w\ell}{41,4 \log_{10} \frac{4h_2}{d}} \times V_s \times 10^{-3} \quad (mA)$$

Onde:

K_s : Coeficiente de blindagem eletrostática que se altera dependendo de condições de cabo aérea de ligação à terra.

b : Distância média entre a linha de comunicação e o fio de contato (m)

h_1 : Altura de fio de contato (m)

h_2 : Altura de linha de comunicação (m)

V : Tensão de fio de contato (V)

w : $2\pi f$ (f: frequência)

d : Diâmetro da linha de comunicação (m)

ℓ : Comprimento da linha de comunicação (km)

A tensão de indução eletrostática aumenta proporcionalmente à tensão de alimentação, independente do sistema de alimentação

porém recebe a influência de distância. Por isso o distúrbio indutivo eletrostática não será o problema exceto no caso da linha de comunicação nua instalada perto de rede aérea de C.A.

2. Indução eletromagnética

Na linha de comunicação paralelamente instalada ao circuito de alimentação cujo circuito de volta é terra, surgirá a tensão de indução eletromagnética causada pela passagem de corrente no circuito de alimentação. E será determinada pela seguinte fórmula.

$$V_m = - j\omega M \ell I K \quad (V)$$

onde:

ω : $2\pi f$

M : Coeficiente de indutância mútua entre rede aérea e linha de comunicação (H/Km)

ℓ : Comprimento de trecho onde a rede aérea é paralelo à linha de comunicação (Km)

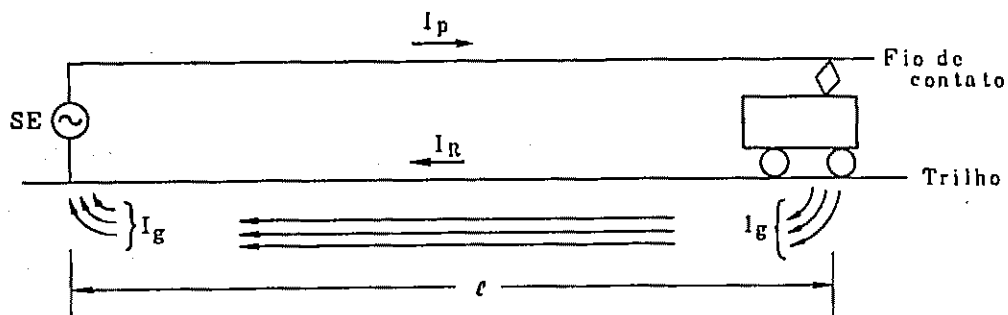
I : Corrente de fuga para terra (A)

K : Coeficiente de blindagem eletromagnética

(1) No caso de sistema de alimentação simples

A corrente de carga de trem chega para subestação através de trilho e de terra. Dependendo o grau de resistência de fuga e a proporção de condutibilidade de terra quanto maior a passagem de corrente pela terra, maior será a indução eletromagnética. É naturalmente quanto maior o, e maior será a indução eletromagnética.

Fig. 1 Distribuição da corrente no circuito simples

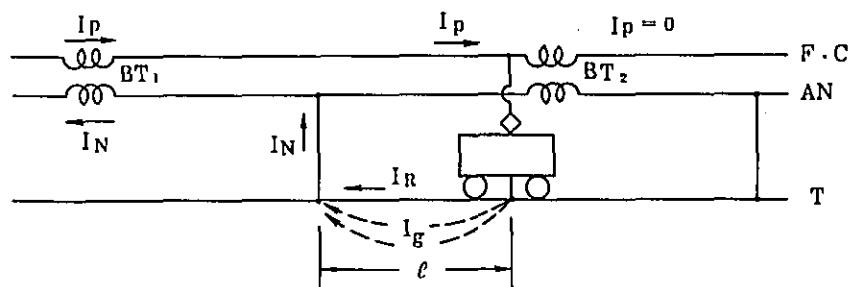


(2) No caso de sistema B.T.

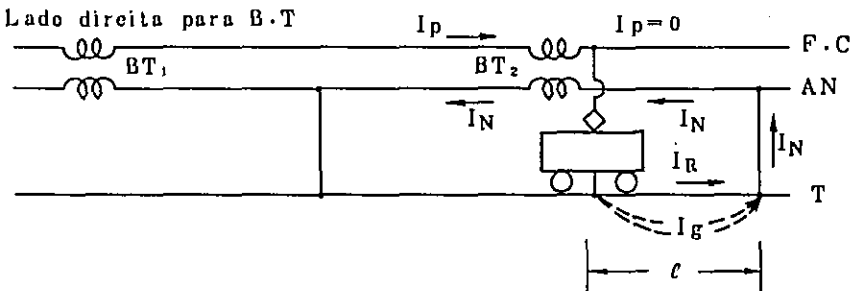
No caso de sistema B.T., a passagem da corrente de carga de trem em trilho ocorre entre certo trecho de B.T. onde existe trem e linha de "Booster", e a indução eletromagnética será possivelmente reduzida porque a passagem de corrente para a terra fica limitada neste trecho. Portanto a característica de indução eletromagnética do sistema B.T. facilita tomar a precaução contra indução, controlando a distância entre a linha de "Booster" e B.T. porque o grau de indução de circuito de alimentação será facilmente alterada.

Fig. 2 Distribuição da corrente pela posição de trem em B.T.

(a) Lado esquerda para B.T



(b) Lado direita para B.T



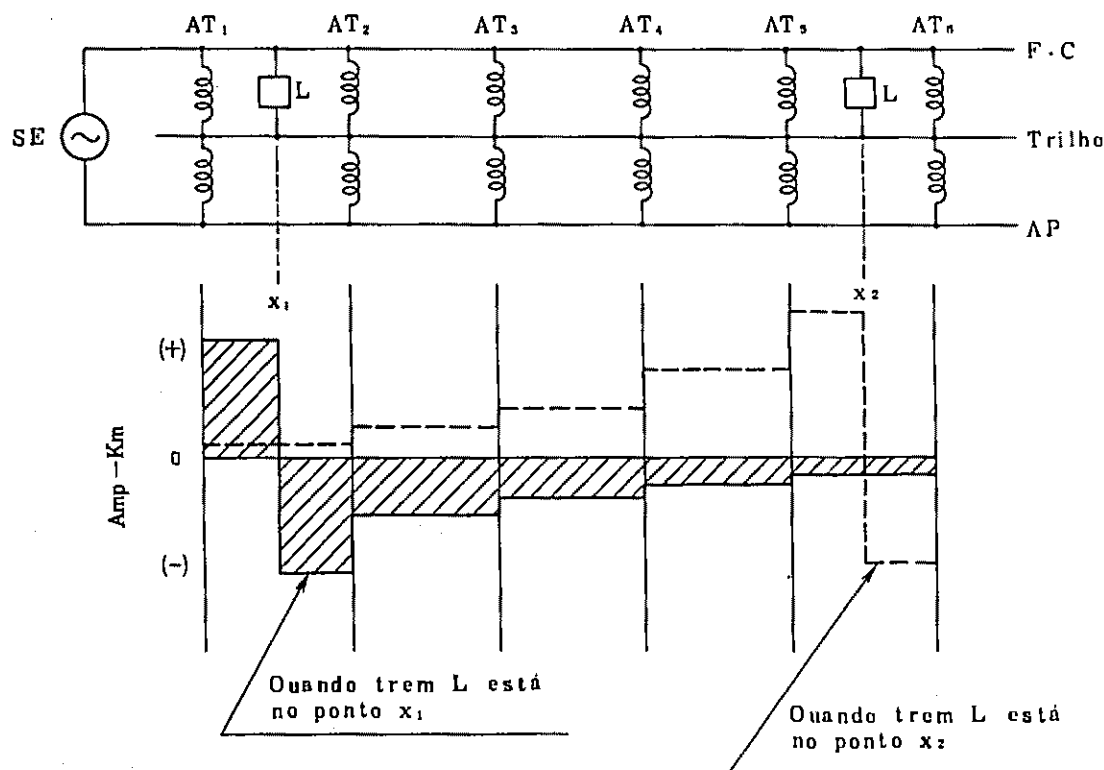
(3) No caso de sistema A.T.

No caso de sistema A.T., a passagem de corrente de carga será mais complexo e a condição de ocorrência de fenômeno de indução será também complexo. Existem seguintes tendências:

- (3.1) Quanto o circuito de alimentação é longo, a indução de todos os trechos será maior porém, a influência para indução de cada trecho de A.T. será menor.
- (3.2) Quando diminui o intervalo de A.T. a indução de cada trecho de A.T. será reduzida porém, a indução de todos os trechos não grande alteração.

- (3.3) Quando aumenta impedância de fuga de A.T. a indução de todos os trechos será maior.
- (3.4) Quando o valor de impedância de fio de contato e de cabo de alimentação for diferente, a indução do trecho total será grande.

Fig. 3 Característica de trecho Amp-km do circuito de alimentação em A.T.



- (4) A comparação de indução de eletromagnética de cada sistema O maior será do sistema de alimentação direto. O grau de indução eletromagnética dos sistemas B.T e A.T são aproximadamente iguais porém, é necessário prestar atenção porque no sistema A.T, dependendo do tipo de fio do circuito de alimentação terá grande diferença.

(ANEXO 8-7) Espécies dos cabos de dispositivos de proteção de "flash over"

Conduto ligado à terra Cabo de cobre nú 38mm²
 Cabo de proteção de A.T Cabo de alumínio com aço núcleo 40mm²
 Mas a área seção dos cabos de perto de subestação devem ter as capacidades que suportem a corrente de curto-circuito.
 nesse caso, calcule pela seguinte fórmula;

$$A = \frac{I \times \sqrt{t}}{K}$$

- A : área seção de cabo (mm²)
- I : corrente de curto-circuito (A)
- t : tempo de passagem da corrente (seg.)
- K : constante

Tabela, valor de K

| | fio de cobre nú | fio de alumínio nú | fio de aço galvanizado |
|---|-----------------|--------------------|------------------------|
| K | 152 | 93 | 49 |

tensão determinada 150kg
 Cabo aérea de ligação à terra Cabo de aço galvanizado 55mm²
 Corrente de descarga de "gap-arrester" B.T. 1000 ~ 2000 (A)
 A.T. 2000 ~ 3000 (A)

(ANEXO 8-8) Interferência indutiva

1 - Classificação das interferências indutivas

As interferências indutivas, decorrentes da eletrificação da ferrovia, podem ser assim classificadas:

Interferência indutiva eletrostática;

Interferência indutiva eletromagnética.

As tensões indutivas podem ser assim classificadas:
tensão perigosa que prejudica os instrumentos de telecomunicação e o ser humano;

tensão de ruído que interfere na comunicação telefônica.

A tensão perigosa e a tensão de ruído, por causa da indutiva eletrostática, são proporcionais à tensão de alimentação e a tensão de alta frequência, respectivamente.

A tensão perigosa e a tensão de ruído, por causa da indutiva eletromagnética, são proporcionais à corrente de carga e de alta frequência, respectivamente.

2 - Medida de proteção contra interferências pela indutiva eletrostática

As interferências indutivas eletrostáticas não são problemas, quando as linhas de telecomunicação forem construídas com afastamento de, no mínimo, 20m da ferrovia.

Geralmente, as interferências indutivas eletromagnéticas são maiores do que as das indutivas eletrostáticas. Por isso, a proteção contra a indutiva eletrostática poderá ser solucionada pela medida de proteção contra a indutiva eletromagnética.

Assim, é raro que se faça a medida de proteção só contra a indutiva eletrostática.

3 - Medida de proteção contra interferências indutivas eletromagnéticas

A maior parte das interferências indutivas é causada pela indutiva eletromagnética.

Existem duas medidas de proteção, que são as seguintes:

a) medida de proteção a ser feita no lado indutor;

b) medida de proteção a ser feita no lado induzido.

(1) Medida de proteção a ser feita no lado indutor
É útil diminuir a Amp-Km do circuito de alimentação, e são aplicados os dois métodos, a seguir:

- diminuição do trecho por que passa a corrente indutiva (sistema BT);
- equilíbrio das correntes no circuito de alimentação (sistema AT).

(2) Medida de proteção a ser feita no lado induzido

(A) Tensão indutiva perigosa

As tensões indutivas perigosas podem ser classificadas como normal e anormal.

Tensão indutiva perigosa normal

A tensão indutiva perigosa normal pode ser provocada em direção ao comprimento das linhas de telecomunicação, devido à corrente de escoamento à terra, com frequência básica, quando a operação do trem for normal.

Quando essa tensão ultrapassa o valor limite (normalmente 10-15v), causa operação errônea em equipamentos ligados diretamente entre as linhas de telecomunicação e a terra, como o equipamento de transferência telefônica e o transmissor, e, torna-se perigosa para o ser humano quando atinge valores maiores (superiores a 60V).

Tensão indutiva perigosa anormal

A tensão indutiva perigosa anormal, pode ser provocada em direção ao comprimento das linhas de telecomunicação, devido à corrente de curto que passa à terra, quando ocorre um defeito na catenária.

Valor limite

A tabela abaixo mostra os valores limites de tensão indutiva perigosa.

| Item condicional | CCITT | JNR | Observação |
|------------------|-------|------|-----------------------|
| Anormal | 430V | 300V | Linha de distribuição |
| Anormal | 650V | 430V | Linha de transmissão |
| Normal | 60V | 60V | |

Medidas de proteção

- a) Ligação segura dos equipamentos à terra.
- b) Separação entre as ligações à terra dos equipamentos de telecomunicação e de sinalização dos equipamentos de alta tensão, afastando-os em mais de 50m entre si.
- c) Instalação de pára-raios com alto desempenho.

(B) Tensão indutiva de ruído

A tensão indutiva de ruído pode ser provocada entre dois condutores de cabo que compõem um circuito de telecomunicação e influencia grandemente na qualidade da transmissão e da comunicação telefônica.

Essa tensão é provocada provavelmente pela corrente de alta frequência contida no lado indutor e pelo desbalanceamento das linhas de telecomunicação em relação à terra.

Valor limite

O valor limite da tensão indutiva de ruído é estabelecido pelo valor da tensão nos terminais das linhas de telecomunicação.

Os valores limites adotados na "JNR" são os seguintes:

cabo - 1,0 mV

fio nú - 2,5 mV

Medida de proteção

- a) Divisão dos circuitos de comunicação pelas bobinas de repetição.
- b) utilização de cabo shieldado.
- c) Mudança da rede do circuito de comunicação.
- d) adoção do sistema de "carrier".
- e) Troca dos fios nus da linha de telecomunicação, por cabos.

4 - Cálculo da tensão indutiva perigosa

(1) Tensão indutiva perigosa normal

$$V = \omega M l (1 - n) 1K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \times 10^{-6} \quad (V)$$

Onde,

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

- M - coeficiente de indução mútua entre a catenária e a linha de comunicação a 60 Hz ($\mu\text{A/Km}$)
 - comprimento da parte em que a catenária e a linha de comunicação correm em paralelo (Km)
- (1 - n) - coeficiente de blindagem do trilho
 I - corrente de carga (A)
 K_1 - coeficiente de blindagem do cabo
 K_2 - coeficiente de blindagem da linha de aterramento
 K_3 - coeficiente de blindagem de outros trilhos
 K_4 - coeficiente de redução de indução devido a túnel e viaduto
 K_5 - coeficiente de redução de indução devido à corrente shunt da corrente de trilho.

(2) Tensão indutiva perigosa anormal

$$V = \Sigma \omega M \ell (1 - m - n) I K_1 K_2 K_3 K_4 \times 10^{-6} \quad (\text{V})$$

Onde,

- I - corrente de acidente (A)
 m - relação entre a corrente de alimentador negativo e a corrente da catenária
 n - relação entre a corrente de trilho e a corrente da catenária
 Σ - soma das correntes na linha de comunicação calculadas pela divisão do comprimento da parte paralela por seções.

$K_1 K_2 K_3 K_4$ - iguais aos da fórmula anterior.

5 - Cáculo da tensão indutiva de ruído

$$V_m = \omega \left(\frac{1}{100}\right) \lambda J_p (1 - n) M \ell K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \times 10^{-3} \quad (\text{MV})$$

onde,

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = 800 \text{ Hz}$$

J_p = corrente equivalente de interferência (por 100A)

M - coeficiente de indução mútua entre a catenária e a linha de comunicação a 800 Hz ($\mu\text{H/Km}$)

- grau de balanceamento da linha de comunicação.

Os demais coeficientes são iguais aos da fórmula anterior, porém, o coeficiente K_1 deve ser multiplicado por $f/800$.

6 - Condutibilidade da terra e judição mútua

Para o projeto de proteção contra interferência indutiva, é necessário pesquisar o coeficiente de indução mútua entre a catenária e a linha de comunicação, o comprimento da parte em que a catenária e a linha de comunicação correm em paralelo (l), e a distância entre a catenária e a linha de comunicação.

O coeficiente de indução mútua M do circuito elétrico na ferrovia eletrificada varia de acordo com a condutibilidade da terra σ .

A tabela seguinte mostra os valores M calculados, fixando-se o valor de l e variando-se o valor de σ .

Tabela. Relação entre M e a distância de separação.

| Frequência (Hz) | Condutibilidade da terra σ ρ | | Distância A (m) | | | | | | | |
|-----------------|---|-----------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|---|
| | | | 10 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | |
| 800 | 10^{-14} CGSemu | $10^3 \Omega m$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 10^{-13} " | $10^2 \Omega m$ | 0,74 | 0,63 | 0,51 | 0,40 | 0,31 | 0,21 | 0,10 | |
| | 10^{-12} " | $10 \Omega m$ | 0,49 | 0,27 | 0,15 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | |
| 60 | 10^{-14} " | $10^3 \Omega m$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 10^{-13} " | $10^2 \Omega m$ | 0,78 | 0,72 | 0,68 | 0,60 | 0,54 | 0,46 | 0,33 | |
| | 10^{-12} " | $10 \Omega m$ | 0,51 | 0,45 | 0,36 | 0,25 | 0,18 | 0,10 | 0,04 | |

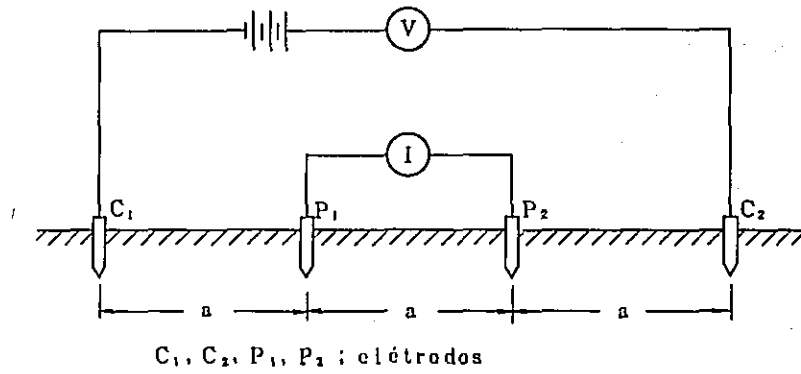
Conforme pode-se ver na tabela, a variação do M devido a σ é relativamente pequena, quando a distância A entre a catenária e a linha de comunicação é pequena, porém, a variação do M devido a σ aumenta à medida que a distância A aumenta.

Como o σ é um elemento importante para o projeto de proteção contra interferência indutiva, é necessário medir o valor do σ ao longo da ferrovia e, então, calcular o valor do coeficiente de indução mútua para planejar a eletrificação.

7 - Método de medição da condutibilidade da terra

A figura mostra o esquema do método de resistividade (Método de ρ).

Fig.



$$\rho = 2\pi a \left(\frac{V}{I} \right) = 2\pi a R \quad (\Omega\text{-m})$$

onde,

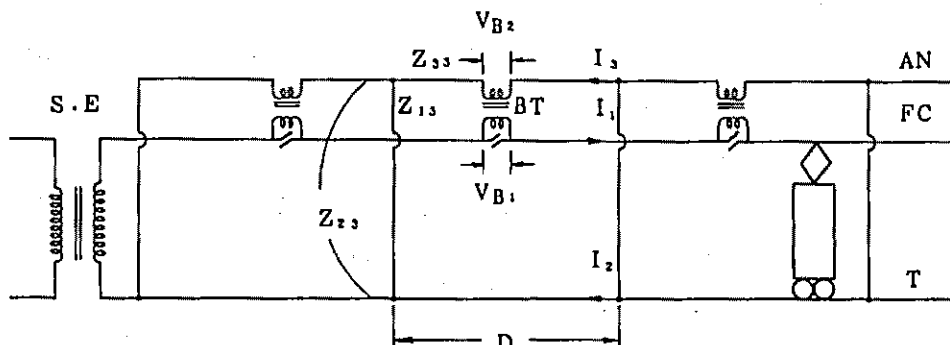
ρ - resistividade da terra ($\Omega\text{-m}$)

a - distância entre os eletrodos (m)

R - resistência aparente da terra (Ω)

1 - Potência do transformador - "booster"

Fig. 1



Na figura 1, a tensão V_{B2} entre os terminais secundários do transformador - "booster", é dada pela seguinte fórmula:

$$V_{B2} = (I_3 Z_{33} + I_1 Z_{13} + I_2 Z_{23}) D \quad (V)$$

onde,

- I_3 - corrente secundária do BT = corrente que passa pelo alimentador negativo (A)
- I_1 - corrente primária do BT = corrente de carga (A)
- I_2 - corrente que passa pelo trilho (A)
- Z_{33} - auto impedância do alimentador negativo (Ω/Km)
- Z_{13} - impedância mútua entre o alimentador negativo e o fio de contato (Ω/Km)
- Z_{23} - impedância mútua entre o trilho e o alimentador negativo (Ω/km)
- D - distância entre "boosting wires" (km)

Considerando que a impedância de dispersão do BT é pequena, e sua relação de espiras é de um por um, têm-se:

$$I_2 = 0, I_1 = I_3$$

Assim, a fórmula acima fica:

$$V_{B2} = V_{B1} = (I_3 Z_{33} + I_1 Z_{13}) D = I_1 (Z_{33} - Z_{13}) D \quad (V)$$

Portanto, a potência do BT, W_B é dada pela fórmula:

$$W_B = V_{B2} I_3 = V_{B1} I_1 = I_1^2 (Z_{33} - Z_{13}) D \times 10^{-3} \quad (KVA)$$

- Referência

As potências dos transformadores - "booster" atuais da "JNR" são as seguintes:

- Linha existente:

36 KVA - distância entre os BT, 2,0 km

64 KVA - distância entre os BT, 4,0 km

- TOKAIDO SHINKANSEN:

120 KVA - distância entre os BT, 1,5 km

240 KVA - distância entre os BT, 3,0 km

2 - Potência do auto transformador

(1) AT a ser colocado no ponto próximo à subestação

Para a corrente nominal do serviço contínuo do AT, poderá ser tomado o valor por mais 1/25 da corrente que passa pelo AT, quando a rede aérea de tração sofre um curto-circuito no ponto do AT;

Assim, a potência do AT é dada pela seguinte fórmula:

$$W = E_O \times \frac{I_S}{2} \times \frac{1}{25} = \frac{1}{50} E_O I_S \quad (KVA)$$

onde,

W - auto-potência do AT (KVA)

E_O - tensão nominal entre os terminais do AT (KV)

I_S - corrente no ponto de curto, convertida para a tensão da linha de contato (A)

$$I_S = \frac{E_O}{Z_S + Z_T + Z_L} \quad (A)$$

onde,

Z_S - impedância da fonte de energia convertida monofasicamente para a tensão do fio de contato (Ω)

Z_T - impedância do transformador de alimentação convertida para tensão do fio de contato (Ω)

Z_L - impedância da rede aérea de tração entre a subestação e o ponto de acidente, convertida para tensão do fio de contato (Ω)

$$Z_S = \frac{(E_O)^2 \times 10 \cdot \%Z_S}{10.000} \times 2 \quad (\text{Ohm})$$

$$Z_T = \frac{(E_O)^2 \times 10 \times \%Z_T}{P_T} \quad (\text{Ohm})$$

$\%Z_S$ - impedância em porcentagem da fonte de energia, em nível de 10 MVA por uma fase.

$\%Z_T$ - impedância em porcentagem do transformador de alimentação em nível de KVA do P_T .

P_T - potência de um componente do transformador de alimentação (KVA)

(2) AT a ser colocado em um lugar qualquer

Neste caso poderá ser obtida a potência do AT, considerando-se as seguintes condições:

- a) partida do trem no ponto próximo ao AT;
- b) a potência nominal de tempo limitado deve ser de 250%.

Assim, a potência do AT é dada pela seguinte fórmula:

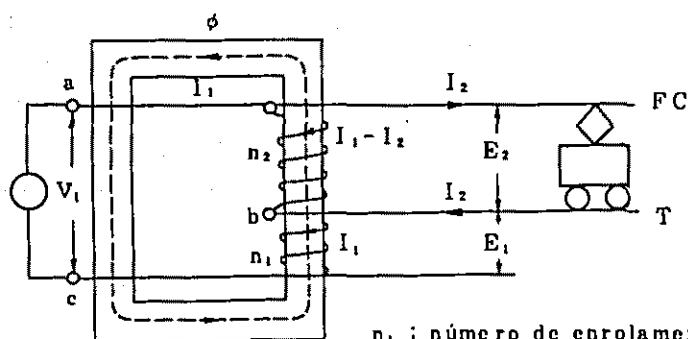
$$W = E_O \times \frac{I}{2} \times \frac{1}{2,5} = \frac{1}{5} E_O I \quad (\text{KVA})$$

onde,

I - corrente de partida do trem, cuja potência é máxima na linha de operação.

(3) Expressão da potência do AT

Fig. 2



n_1 ; número de enrolamento entre a e c
 n_2 ; número de enrolamento entre a e b

Podemos dar a expressão de duas maneiras:

a) como a potência da linha $V_1 I_1$

b) como a auto-potência $E_2 (I_2 - I_1)$

porém, pode ser indicada pela auto-potência.

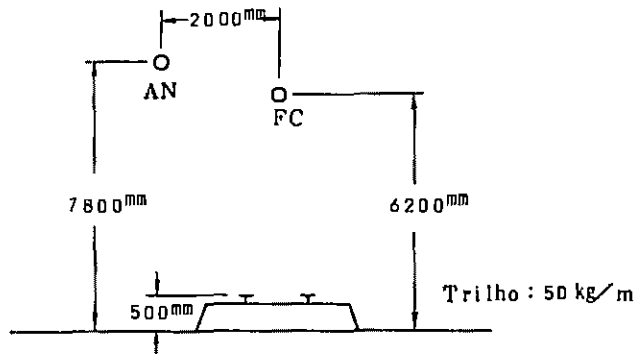


TABELA 1 VALOR DE Z_{33} E Z_{13}

| Impedância | Frequência (Hz) | Condutibilidade de terra (emu) | | |
|------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | $\lambda = 1 \times 10^{-14}$ | $\lambda = 1 \times 10^{-13}$ | $\lambda = 1 \times 10^{-12}$ |
| Z_{13} | 50 | 0,049+j0,451 | 0,049+j0,379 | 0,047+j0,308 |
| | 60 | 0,059+j0,534 | 0,058+j0,448 | 0,056+j0,363 |
| Z_{33} | 50 | 0,189+j0,812 | 0,188+j0,740 | 0,187+j0,670 |
| | 60 | 0,199+j0,968 | 0,198+j0,882 | 0,196+j0,797 |

TABELA 2 IMPEDÂNCIA DE REDE AÉREA

| Frequência | 50Hz | 60Hz |
|--------------------------|---|--|
| Composição de rede aérea | Mensageiro Alimentador Fio de contato | Cabo de aço 90mm ² Cabo de alumínio 95mm ² Cobre nú 110mm ² |
| Impedância | 0.1088 + jo,1782 | 0.1088 + jo,2130 |

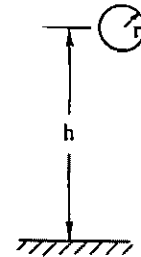
(ANEXO 8-10) Impedância do circuito de alimentação

1 - Impedância da linha aérea elétrica

(1) Auto-impedância de um condutor normal (Z_S)

Como na figura 1 a auto-impedância do condutor com raio r cm instalado numa altura h cm em relação à superfície, depende da impedância interna (Z_i) e da impedância externa (Z_e).

Fig. 1



- impedância interna (Z_i)

$$Z_i = R_i + j L_i = R_i + jX_i \quad (\Omega/\text{km})$$

onde,

R_i - resistência própria do condutor (Ω/km)

$$L_i = \frac{\mu}{2} \times 10^{-4} \quad (\text{H}/\text{km})$$

$$\omega = 2\pi f$$

μ - permeabilidade relativa do condutor,

no caso de cobre = 1

no caso de ferro = 120~140

f - frequência (Hz)

- impedância externa (Z_e)

É dada pela fórmula de "Carson Pollaczek":

$$\begin{aligned} Z_e &= \omega \left(\frac{\pi}{2} - \frac{4x}{3\sqrt{2}} \right) + j\omega \left(4,605 \log_{10} \frac{4h}{rx} + \frac{4x}{3\sqrt{2}} - 0,1544 \right) \\ &= R_e + jX_e \quad (\Omega/\text{Km}) \end{aligned}$$

onde,

$$x = 2h\pi 2\sigma f$$

σ - condutibilidade de terra (emu)

Assim, a auto-impedância de um condutor normal (Z_S)

é dada por:

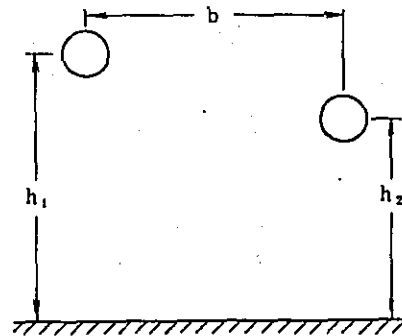
$$Z_S = Z_i + Z_e \quad (\Omega/\text{Km})$$

(2) Impedância mútua entre os condutores

Com a figura 2, a impedância mútua entre dois condutores instalados numa altura média em relação à superfície de h_1 , h_2 com e distancia dos horizontalmente de b cm é dada pela fórmula de "Carson Pollaczek":

$$Z_M = \left[\omega \left\{ \frac{\pi}{2} - \frac{4x'}{3\sqrt{2}} (h_1 + h_2) \right\} + j\omega \left\{ 4,605 \log_{10} \frac{2}{x' \sqrt{b^2 + (h_1 + h_2)^2}} - 0,1544 + \frac{4x'}{3\sqrt{2}} (h_1 + h_2) \right\} \right] \times 10^{-4} = R_M + jX_M \quad (\Omega/\text{Km})$$

Fig. 2



onde,

$$x' = 2\pi\sqrt{2\sigma f}$$

(3) Auto-impedância da catenária (Z_{SP})

$$Z_{SP} = \frac{Z_{ST}Z_{SM} - Z_{STM}^2}{Z_{ST} + Z_{SM} - 2Z_{STM}} \quad (\Omega/\text{Km})$$

onde,

Z_{ST} - auto-impedância do fio de contato (Ω/Km)

Z_{SM} - auto-impedância do mensageiro (Ω/Km)

Z_{STM} - impedância mútua entre o fio de contato e o mensageiro (Ω/Km)

(4) Impedância mútua entre a catenária e outros condutores

Pode ser obtida pela fórmula citada em (2), substituindo-se h_1 pelo seguinte valor:

$$h_1 = h_T + 0,15 + \frac{1}{3} (h_M - h_T). \quad (\text{m})$$

onde,

h_T - altura do fio de contato em relação a superfície (m)

h_M - altura média do mensageiro em relação à superfície (m).

TABELA 1 IMPEDÂNCIA DE REDE AÉREA

| Frequência (Hz) | Espécie de mensageiro | Resistência (Ω/km) | Reatância (Ω/km) | | | |
|-----------------|--|--------------------|--------------------------|-------|-------|-------|
| | | | $\frac{h_1-h_2}{b}$ (cm) | 0 | 50 | 100 |
| 50 | Cabo de liga de cobre e cádmio (CdCu) 60 mm ² | 0,261 | 220 | 0,613 | 0,622 | 0,632 |
| | | | 300 | 0,658 | 0,660 | 0,664 |
| | | | 340 | 0,674 | 0,674 | 0,676 |
| | | | 410 | 0,698 | 0,698 | 0,700 |
| | Cabo de aço (St) 90 mm ² | 0,286 | 220 | 0,711 | 0,715 | 0,725 |
| | | | 300 | 0,751 | 0,753 | 0,757 |
| | | | 340 | 0,767 | 0,767 | 0,769 |
| | | | 410 | 0,791 | 0,791 | 0,793 |
| 60 | CdCu 60 mm ² | 0,263 | 220 | 0,740 | 0,744 | 0,754 |
| | | | 300 | 0,786 | 0,788 | 0,794 |
| | | | 340 | 0,804 | 0,806 | 0,810 |
| | | | 410 | 0,834 | 0,834 | 0,838 |
| | St 90 mm ² | 0,286 | 220 | 0,853 | 0,857 | 0,867 |
| | | | 300 | 0,899 | 0,901 | 0,907 |
| | | | 340 | 0,917 | 0,919 | 0,923 |
| | | | 410 | 0,947 | 0,947 | 0,951 |

Nota; Fio de contato: Cu 110mm², Alimentador negativo: Al 200mm²

h : Altura de alimentador negativo

h : Altura de rede aérea

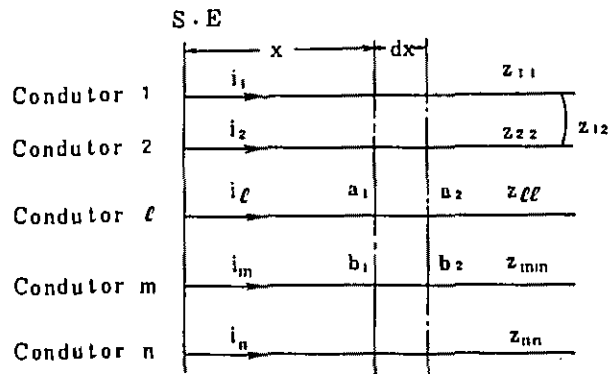
b : Distância horizontal entre fio de contato e alimentador negativo

Condutibilidade de terra: 1×10^{-13} emu

2 - Impedância do circuito de alimentação com BT

(1) Fórmula normal

Fig. 3



Na figura 3 supondo que:

- os condutores 1, 2, ℓ, m, n estão isolados em paralelo na superfície com uma certa distância entre eles;
- as correntes que passam por cada condutor sejam respectivamente $i_1, i_2, \dots, i_\ell, i_m, i_n$;
- as auto-impedâncias de cada condutor sejam respectivamente $Z_{11}, Z_{22}, \dots, Z_{\ell\ell}, Z_{mm}, Z_{nn}$;
- as impedâncias mútuas de cada condutor sejam respectivamente $Z_{12}, Z_{1n}, Z_{21}, Z_{2n}, Z_{31}, Z_{3n}$;

temos que a queda de tensão numa seção dx de um determinado condutor ℓ é dada por:

$$\begin{aligned} \frac{dv_\ell}{dx} &= i_1 Z_{\ell 1} + i_2 Z_{\ell 2} + \dots + i_\ell Z_{\ell \ell} + \dots + i_m Z_{\ell m} + \dots + i_n Z_{\ell n} \\ &= \sum_{j=1}^n i_j Z_{\ell j} \end{aligned}$$

portanto

$$dv = \left(\sum_{j=1}^n i_j Z_{\ell j} \right) dx$$

Assim, nos condutores ℓ e m , supondo que:

$V_{a_1 b_1}$ seja a diferença de potencial entre os condutores ℓ e m no ponto (a_1, b_1) , afastado de x da fonte de energia;

V_{a2b2} seja a diferença de potencial entre os condutores ℓ e m no ponto (a_2, b_2) , afastado de dx em direção ao lado de carga; temos que a diferença da queda de tensão entre os condutores ℓ e m numa seção dx é dada por:

$$dv_{\ell m} = (V_{a\ell b\ell} - V_{a2b2})dx = dv_{\ell} - dv_m = \left(\sum_{j=1}^n i_j z_{\ell j} - \sum_{j=1}^n i_j z_{mj} \right) dx$$

(2) Impedância de linha da via singela no circuito de "Feeding from one substation"

Com base na fórmula normal, e sendo

$n = 2$ (um fio de contato e um alimentador negativo)

$$i_1 = -i_2$$

$$i_3 = i_4 \dots = i_n = 0.$$

temos:

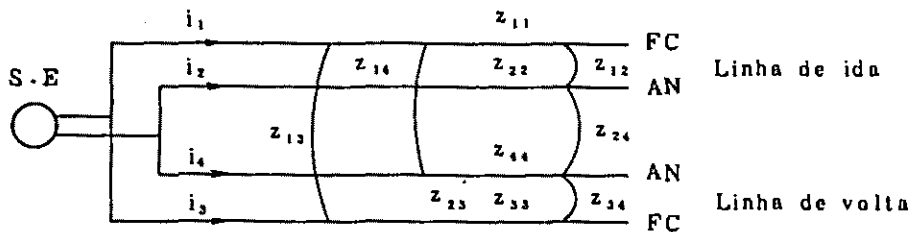
$$dv_{12} = i_1 (z_{11} + z_{22} - 2z_{12}) dx$$

portanto, a impedância da linha $z_{\ell s}$ por unidade de comprimento é dada por:

$$z_{\ell s} = \frac{V_{12}}{i_1} = z_{11} + z_{22} - 2z_{12}$$

(3) Impedância de linha da via dupla no circuito de "Feeding from one substation"

Fig. 4



Com base na fórmula normal, e sendo

$m = 4$ (dois fios de contato e dois alimentadores negativos)

$$i_1 = -i_2, i_4 = -i_3, i_5 = \dots = i_m = 0$$

No circuito de alimentação da via "ida", tem-se:

$$dv_{12} = (i_1 Z_{11} + i_2 Z_{12} + i_3 Z_{13} + i_4 Z_{14} - i_1 Z_{21} - i_2 Z_{22} - i_3 Z_{23} - i_4 Z_{24}) dx = \{i_1 (Z_{11} + Z_{22} - 2Z_{12}) + i_4 (Z_{14} + Z_{23} - Z_{13} - Z_{24})\} dx$$

Com a corrente unitária nas vias "ida" e "volta", a impedância de linha por unidade de comprimento será dada por:

$$i_1 = i_4$$

$$Z_{ld} = \frac{V_{12}}{i_1} = (Z_{11} + Z_{22} - 2Z_{12}) + (Z_{14} + Z_{23} - Z_{13} - Z_{24}) = Z_{LS} + Z_M$$

onde,

Z_{LS} - impedância na via singela.

Z_M - impedância mútua entre as vias "ida" e "volta".

TABELA 2 EXEMPLO DE IMPEDÂNCIA DE LINHA DA VIA SINGELA NO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO COM B.T DE C.A 20KV

| Frequência (Hz) | Composição de cabo | Impedância de rede aérea (Ω/km) |
|-----------------|--|---|
| 50 | (Mensajeiro) CdCu 60 mm ² (Fio de contato) Cu 110 mm ² | 0,286 + j (0,682 ~ 0,706) |
| 60 | Idem | 0,288 + j (0,816 ~ 0,844) |
| | (Mensajeiro) St 90 mm ² | 0,301 + j 0,925 |
| SHINKANSEN | (Mensajeiro) CdCu 80 mm ² (Mens. auxilio) CdCu 60 mm ² (F.C) Cu 110 mm ² | 0,210 + j 0,790 |

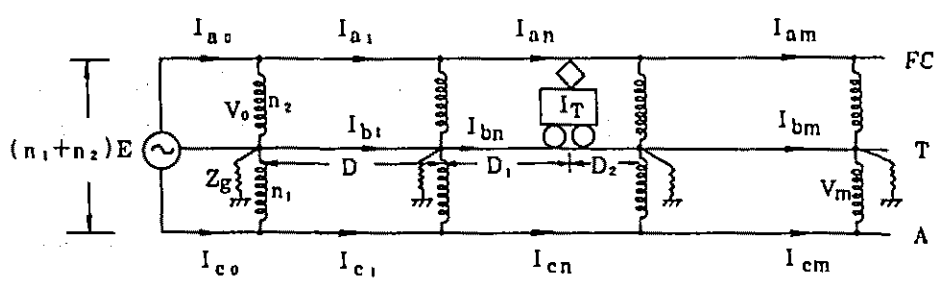
TABELA 3 EXEMPLO DE IMPEDÂNCIA DE LINHA DA VIA SINGELA NO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO COM A.T DE C.A 20KV

| | Composição de cabo | 60 Hz | 50 Hz |
|-------------|--|---|---|
| Linha geral | (Mensageiro) St 90 mm ² | cos ϕ = 0,8 (Ω /km) 0,1114 + j0,2116 | cos ϕ = 0,8 (Ω /km) 0,1114 + j0,1764 |
| | (F.C) Cu 110 mm ² | | |
| SHINKANSEN | (Mensageiro) St 180 mm ² | (Ω /km) | (Ω /km) |
| | (Mens. aux.) Cu 150 mm ² | 0,0401 + j0,2093 | 0,0401 + j0,1845 |
| | (F.C) | cos ϕ = 0,8 | cos ϕ = 0,8 |
| | Cu 170 mm ² | | |

3 - Impedância do circuito de alimentação com AT

(1) Circuito equivalente do circuito de alimentação com AT
 A distribuição da corrente no circuito de alimentação com AT é complexa, assim como é ilustrada na figura 5, e a compreensão de suas características não é fácil.

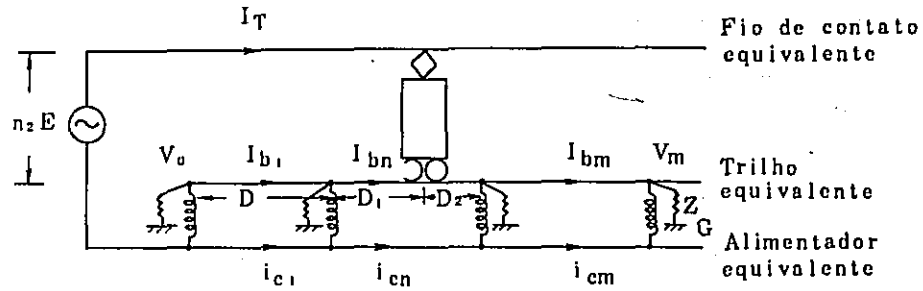
Fig. 5



Entretanto, se fizermos a transformação dos valores da figura 5 de acordo com as fórmulas a seguir, obteremos o circuito equivalente, como mostrado na figure 6.

Com este circuito equivalente, é possível entender mais facilmente as características do circuito de alimentação com AT.

Fig. 6



- Constante do circuito original e respectiva corrente

Z_{aa}, Z_{bb}, Z_{cc} - auto-impedância do fio de contato, trilho e alimentador por unidade de comprimento.

Z_{ab}, Z_{bc}, Z_{ca} - impedância mútua por unidade de comprimento entre o fio de contato e trilho, entre o trilho e alimentador, e entre alimentador e o fio de contato.

n_1 - número de enrolamento do AT entre o alimentador e o trilho.

n_2 - número de enrolamento do AT entre o fio de contato e o trilho.

z_g - impedância de dispersão do AT convertido para a tensão da linha de contato.

I_a, I_b, I_c - corrente que passa pelo fio de contato, pelo trilho, e pelo alimentador, respectivamente.

I_R - corrente do trem elétrico.

- Constantes do circuito equivalente e respectiva corrente

$Z_A = Z_{aa}$ - auto-impedância do fio de contato equivalente.

$Z_B = Z_{bb}$ - auto-impedância do trilho equivalente.

$Z_C = \frac{n_2^2 Z_{cc} + 2n_1 n_2 Z_{ca} + n_1^2 Z_{aa}}{(n_1 + n_2)^2}$; auto-impedância do alimentador equivalente.

$Z_{AB} = Z_{ab}$ - impedância mútua entre o fio de contato equivalente e o trilho equivalente.

$$Z_{BC} = \frac{n_2 Z_{ab} + n_1 Z_{bc}}{n_1 + n_2}$$

impedância mútua entre o alimentador equivalente e o trilho equivalente.

$$Z_{CA} = \frac{n_2 Z_{ac} + n_1 Z_{aa}}{n_1 + n_2}$$

impedância mútua entre o fio de contato equivalente e o alimentador equivalente.

$$i_C = \frac{n_1 + n_2}{n_2} I_C$$

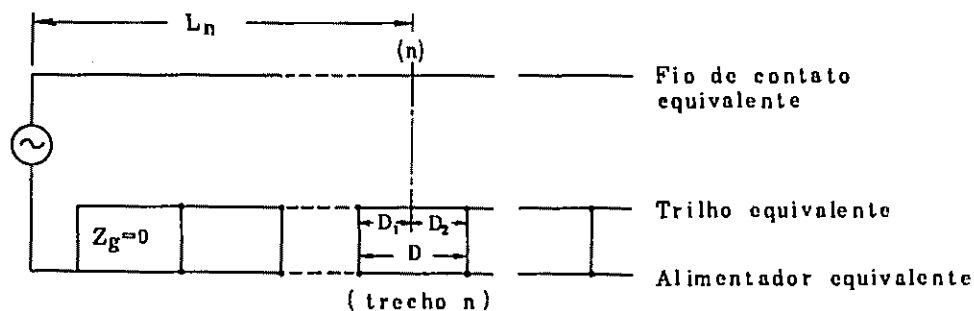
corrente que passa pelo alimentador.

Assim, pode-se concluir que o circuito equivalente de alimentação com AT iguala-se ao circuito sem BT introduzindo-se a impedância de dispersão Z_g do AT no circuito de alimentação BT.

(2) Característica da impedância de linha

Normalmente, Z_g é pequeno, podendo ser desprezado. No circuito equivalente da figure 6 se fizermos a transformação dos números invariáveis, pode-se obter um outro circuito equivalente, como na figure 7 onde foi eliminada a impedância mútua.

Fig. 7



$Z_1 = Z_A - Z_{AB} - Z_{CB} + Z_{AC}$ - auto-impedância do fio de contato equivalente com a eliminação da impedância mútua.

$Z_2 = Z_B - Z_{AB} - Z_{CB} + Z_{AC}$ - auto-impedância do trilho equivalente com eliminação da impedância mútua.

$Z_3 = Z_C + Z_{AB} - Z_{CB} - Z_{AC}$ - auto-impedância do alimentador equivalente com eliminação da impedância mútua.

$$Z_g = 0$$

Na figura 7, a impedância do circuito de alimentação entre a subestação de um determinado ponto (n) é dada pela seguinte fórmula:

$$Z_n = Z_L L_n + Z_L' \left(1 + \frac{x_n}{D_n}\right) x_n$$

onde,

$$Z_L = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

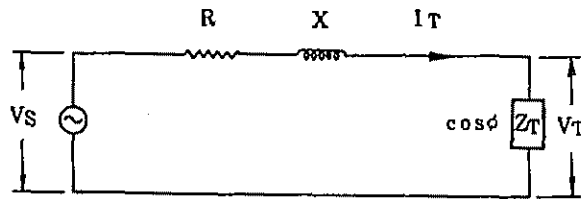
$$Z_L' = \frac{Z_2^2}{Z_2 + Z_3}$$

L_n - distância entre a subestação e o ponto (n)

(ANEXO 8-11) Queda de tensão no circuito de alimentação

1 - Queda de tensão no circuito normal em CA monofásica

Fig. 1



A queda de tensão na linha de transmissão, como mostra a figura 1 é dada por:

$$\begin{aligned} V_S &= V_T + (R + jX) (I_T \cos \phi - jI_T \sin \phi) \\ &= V_T + I_T (R \cos \phi + X \sin \phi) + jI_T (X \cos \phi - R \sin \phi) \\ &= V_T + I_T (R \cos \phi + X \sin \phi) \end{aligned}$$

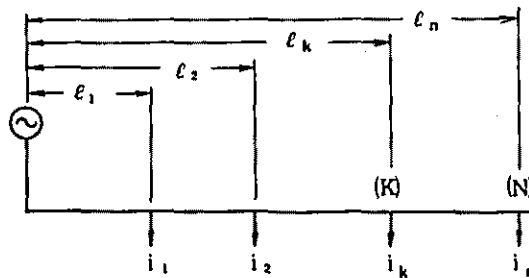
portanto, a queda de tensão será:

$$v = V_S - V_T = I_T (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

2 - Queda de tensão no circuito de alimentação com BT

(1) Na via singela e no circuito de "Feeding from one sub-station"

Fig. 2



A queda de tensão até o ponto K de carga de um determinado trem elétrico, no circuito de alimentação com vários trens, como mostrado na figura 2, é dada por:

$$e_k = Z(i_1 l_1 + i_2 l_2 + \dots + i_k l_k + (i_{k+1} + \dots + i_n) l_k)$$

$$= Z \left(\sum_{j=1}^k i_j \ell_j + \sum_{j=k+1}^n i_j \right)$$

onde,

$$Z_{\ell} = Z_{11} + Z_{22} - 2Z_{12} = R + jX$$

$$Z = R \cos \phi + X \sin \phi$$

$\cos \phi$ = fator de potência da carga de trem.

Assim, a tensão da linha de contato no ponto (K) é dada

por:

$$E_K = E_0 - e_k$$

A queda de tensão até o ponto (N) de carga de trem, o mais afastado da subestação, é dada por:

$$e_n = Z(i_1 \ell_1 + i_2 \ell_2 + \dots + i_k \ell_k + \dots + i_n \ell_n) = Z \sum_{j=1}^n i_j \ell_j$$

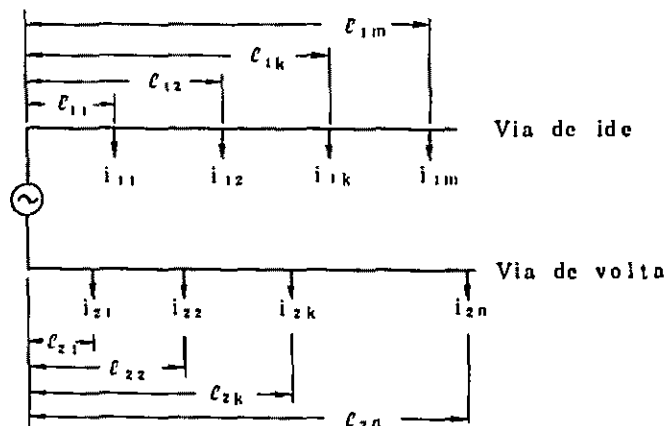
Assim, a tensão da linha de contato no ponto (N) é dada

por:

$$E_N = E_0 - e_n$$

(2) Na via dupla e no circuito de "Feeding from one substation"

Fig. 3



As quedas de tensão no circuito de alimentação até os pontos (M) e (N) das cargas de trens mais afastados da subestação, com vários trens na via de "ida" e de "volta", conforme mostrado na figura 3, são dadas por:

$$\text{via "ida" - } V_{um} = z_{u_{j+1}} \sum_{j=1}^m i_{1j} + Z_{M_{j=1}} \sum_{j=1}^m i_{2j} \ell_{2j}$$

$$\text{via "volta" - } V_{dn} = Z_{d_{j=1}} \sum_{j=1}^n i_{2j} + Z_{M_{j=1}} \sum_{j=1}^m i_{1j} \ell_{1j}$$

onde,

$$Z_u = Z_{11} + Z_{22} - 2Z_{12} = R_u + jX_u = R_u \cos\phi + X_u \text{sen}\phi$$

$$Z_d = Z_{33} + Z_{44} - 2Z_{34} = R_d + jX_d = R_d \cos\phi + X_d \text{sen}\phi$$

$$Z_M = Z_{14} + Z_{23} - Z_{13} - Z_{24} = R_M + jX_M = R_M \cos\phi + X_M \text{sen}\phi$$

$\cos\phi$ - fator de potência da carga de trem.

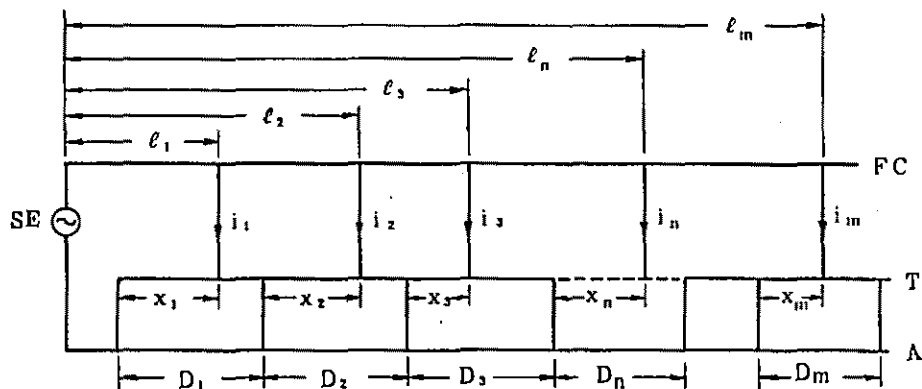
Assim, as tensões das linhas de contato nos pontos (M) e (N) são dadas por:

$$E_N = E_O - V_{um}$$

$$E_M = E_O - V_{dn}$$

3 - Queda de tensão no circuito de alimentação com AT

Fig. 4



A queda de tensão entre uma subestação e um trem que esteja o mais afastado dela, com vários trens no circuito de alimentação, como mostrado na figura 4, é dada por:

$$v_n = Z_{\ell} \left(\sum_{j=1}^n \ell_j i_j + \ell_{n_{j=n+1}} \sum_{j=n+1}^m i_j \right) + Z'_{\ell} \left(1 - \frac{x_n}{D_n} \right) x_n i_n$$

onde,

$$Z_L = R_L + jX_L = R_L \cos\phi + X_L \sin\phi$$

$$Z'_L = R'_L + jX'_L = R'_L \cos\phi + X'_L \sin\phi$$

$\cos\phi$ = fator de potência da carga de trem.

$$V_m = Z_L \sum_{j=1}^m I_j i_j + Z'_L \left(1 - \frac{X_m}{D_m}\right) X_m i_m$$

TABELA 1 QUEDA DE TENSÃO POR 1A-KM NA REDE AÉREA COM BT V/(A-km)

| Frequência Mensagemiro Fator de potência | 50 Hz | | 60 Hz | |
|---|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| | CdCu 60mm ² | St 90 mm ² | CdCu 60mm ² | St 90mm ² |
| 0,75 | 0,634 | 0,683 | 0,719 | 0,796 |
| 0,80 | 0,612 | 0,666 | 0,688 | 0,766 |
| 0,85 | 0,580 | 0,629 | 0,644 | 0,711 |

TABELA 2 QUEDA DE TENSÃO POR 1A-KM NA PEDE AÉREA COM AT V/(A-km)

| Frequência | 50Hz | 60Hz |
|-----------------------------|---|-------|
| Composição de rede aérea | Mensagemiro ---- St 90mm ² | |
| | Alimentador ---- Al 95 mm ² | |
| | Fio de contato -- Cu 110mm ² | |
| Fator de potência | | |
| 0,75 | 0,199 | 0,222 |
| 0,80 | 0,194 | 0,215 |
| 0,85 | 0,187 | 0,2-5 |

TABELA 3 VALOR DE Z_L' V/(A-km)

| Frequência | 50Hz | 60Hz |
|--------------------------|----------------|-----------------------|
| Composição de rede aérea | Mensageiro | At 90mm ² |
| | Alimentador | Al 95mm ² |
| | Fio de contato | Cu 110mm ² |
| Fator de potência | | |
| 0,75 | 0,388 | 0,452 |
| 0,80 | 0,365 | 0,424 |
| 0,85 | 0,337 | 0,390 |

TABELA 4 EXEMPLO DE IMPEDÂNCIA DE LINHA DA VIA SINGELA NO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO COM B.T de C.A. 20KV

| Frequência (Hz) | Composição de cabo | Impedância de rede aérea (Ω/km) |
|-----------------|---|---------------------------------|
| 50 | (Mensageiro) CdCu 60mm ² (Fio de contato) Cu 110mm ² | 0,286 + j(0,682~0,706) |
| 60 | Idem | 0,288 + j(0,816~0,844) |
| | (Mensageiro) St 90mm ² | 0,301 + j 0,925 |
| SHINKANSEN | (Mensageiro) CdCu 80mm ² (Mens. auxilio) CdCu 60mm ² (FCC) Cu 110mm ² | 0,210 + j 0,790 |

TABELA 5 EXEMPLO DE IMPEDÂNCIA DE LINHA DA VIA SINGELA
NO CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO COM A.T DE C.A 20KV

| | Composição de cabo | 60Hz | 50Hz |
|----------------|--|---|---|
| Linha geral | (Mensajeiro) St 90mm ² (F.C) Cu 110mm ² | cos ϕ = 0,8 (Ω /km) 0,1114 + j0,2116 | cos ϕ = 0,8 (Ω /km) 0,1114 + j0,1764 |
| SHINKANSEN | (Mensajeiro) St 180mm ² (Mens. aux.) Cu 150mm ² (F.C) Cu 170mm ² | (Ω /km) 0,0401 + j0,2093 cos ϕ = 0,8 | (Ω /km) 0,0401 + j0,1845 cos ϕ = 0,8 |

(ANEXO 8-12) EXEMPLO DE CÁLCULO

1. Calcule a capacidade de B.T pelos seguintes valores.

$$I_1 = 200 \text{ (A)}$$

$$D = 4 \text{ (km)}$$

$$Z_{33} = 0,199 + j0,881 \text{ (\Omega/km)} \left. \begin{array}{l} \text{Condutibilidade de terra} \\ \lambda = 0,01 \text{ (\Omega/km)} \end{array} \right\}$$

$$Z_{13} = 0,058 + j0,435 \text{ (\Omega/km)}$$

Frequência 60Hz

2. Calcule a capacidade de A.T pelos seguintes valores.

(1) A.T a ser colocado no ponto próxima à subestação.

(Supomos 2 km a distância de subestação)

$$E_0 = 27,5 \text{ (KV)}$$

$$\%z_s = 1,3 \text{ (\%)}$$

$$\%z_T = 10 \text{ (\%)}$$

$$P_T = 10.000 \text{ (KVA)}$$

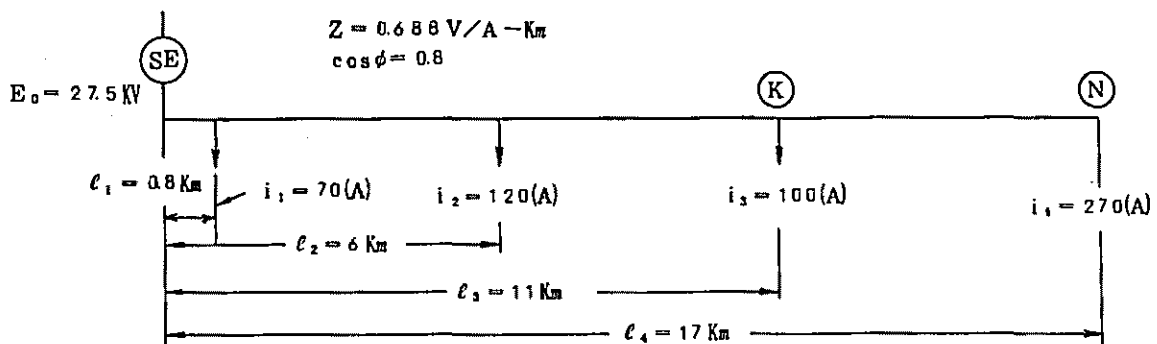
$$Z_L = 0,2176 + j0,426 \text{ (\Omega)}$$

(2) A.T a ser colocado em um lugar qualquer.

$$E_0 = 27,5 \text{ (KV)}$$

$$I = 300 \text{ (A)}$$

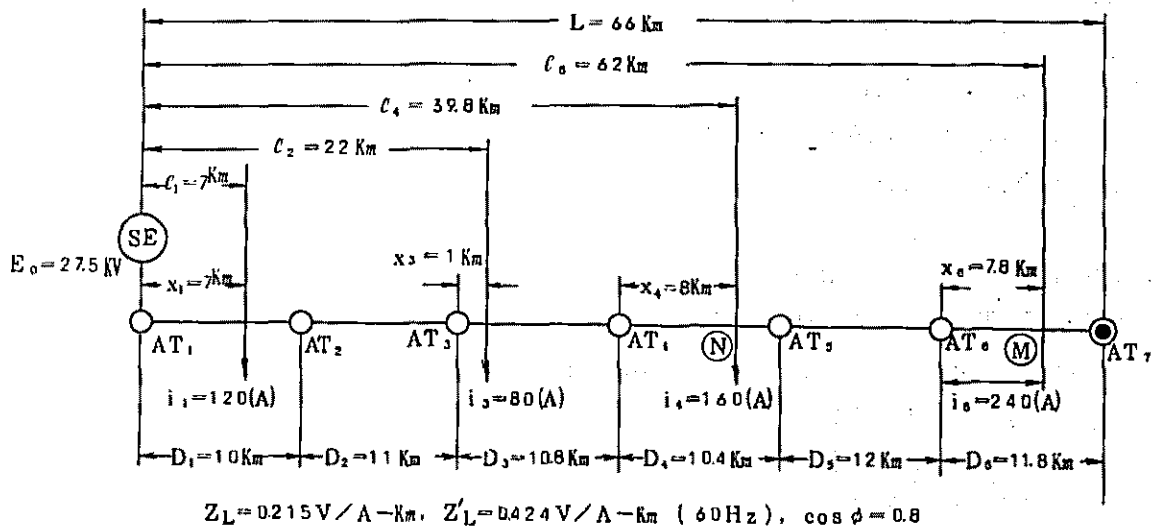
3. Exemplo de cálculo de queda de tensão no circuito de alimentação com BT



(1) A queda de tensão até o ponto (K)

(2) A queda de tensão até o ponto (N)

4. Exemplo de cálculo de queda de tensão no circuito de alimentação com AT



(1) A queda de tensão até o ponto (N)

(2) A queda de tensão até o ponto (M)

(ANEXO 8-13) CABO POLIETILENO DE ENERGIA ELÉTRICA COM LIGAÇÃO-CRUZADA

O cabo polietileno de energia elétrica é o cabo cujo isolador é de polietileno, utilizado vinil cloreto ou polietileno para revestimento de anti-corrosão.

O cabo polietileno possui pequeno peso específico, característica de resistência contra umidade, é estável na composição química e especialmente resistente ao isolamento. Mesmo no local onde exista grande diferença de altura, não terá problema de instalação. Além disso tem muitas vantagens como pequeno peso, facilidade de tratamento da extremidade. Assim cabo polietileno possui vantagens elétricas e físicas porém, sua desvantagem é que o ponto de amolecimento é de 105 a 110°C. Portanto é determinada a temperatura máxima de utilização de condutor como 75°C.

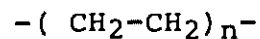
Para melhorar esta fragilidade ao calor, foi criado cabo polietileno de energia elétrica com ligação-cruzada através do processo químico da solidificação de molécula de polietileno. Na J.N.R. é determinado ter as características de força de tração e elasticidade mesmo depois de aquecimento com temperatura de 120°C durante 96 horas.

Indicamos em seguida as características elétricas do cabo polietileno de energia elétrica com ligação-cruzada.

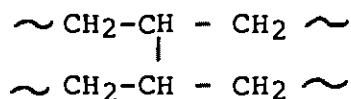
| | 30000 V (400mm ²) | 6000 V (800mm ²) |
|--------------------------------|--|---------------------------------|
| Resistência de condutor (20°C) | 0,0462 Ω/KV | 0,0231 Ω/KV |
| Intencidade dielétrica em C.A | 90 KV, 10 minutos | 17 KV, 10 minutos |
| Resistência de isolamento | 2.500 MΩ-Km | 1.000ΩM -Km |
| Capacidade eletrostática | 0,22 μF/Km | 0,6 μF/Km |
| Tag. δ dieletrico | Quando examinado com 38,1 KV menor que 0,3% com temperatura de ambiente. | — |
| Voltagem de impulso | 3 vezes seguida 550 KV | 3 vezes seguida 95 KV |
| Intencidade dieletrica | Uma hora 160 KV | Uma hora 35 KV |

Composição da molécula

Poliétileno de baixa densidade



Poliétileno ligação-cruzada



(1) Condutor

É o que conduz ou transmite energia elétrica, utilizando o cabo de cobre-mole.

(3) Isolador

É o que reveste o condutor para evitar a perda de energia, utilizando polietileno de ligação-cruzada.

(2 e 4) Camada de semi-condutor

A camada de semi-condutor em condutor não é necessário ser aplicado, mas é permitido criar a camada porque acontece o caimento de polietileno dentro de condutor no processo de ligação-cruzada. O material desta camada varia dependendo das fabricantes.

Também, a camada de semi-condutor do isolador tem função de servir como a intermediária entre as fitas de cobre de blindagem e será feita da maneira que não será causa da descarga no espaço entre fitas de cobre que surge em locais de dobra do cabo.

Os materiais serão fita de semi-condutor, material misto semi-condutor e pintura de semi-condutor ou combinação das mesmas.

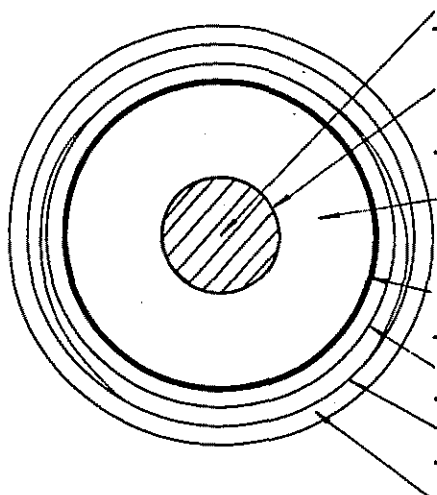
(5) Blindagem

É o revestimento de isolador, cujo material é fita de cobre-mole ou a mesma fita galvanizada que tem função de uniformizar o campo elétrico do isolador, evitando o choque contra os homens e animais e proteger o cabo contra indutância externa.

(6) Bainha

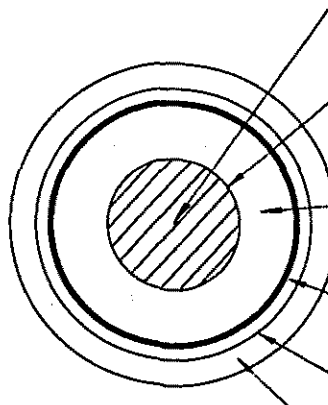
É a última camada colocada para proteger o isolador. No cabo de energia elétrica C.V, está sendo utilizado vinil. Vinil é a mistura de resina de vinil cloreto com outros materiais. É estável quimicamente, tem grande resistência contra ação química e gordura, facilidade de ser colorido, durável e não inflamável.

Fig. 1 Cabo de polietileno de ligação-cruzada em 30000V



| | | |
|---|-------------------------|---|
| 1 | Condutor elétrico | Cabo de cobre mole |
| 2 | Camada semi-condutora | Combinação de fita semi-condutora e material misto semi-condutora |
| 3 | Isolador | Polietileno de ligação-cruzada |
| 4 | Camada semi-condutora | Material misto semi-condutora |
| 5 | Blindagem | Fita de cobre mole |
| 6 | Bainha | Bainha de alumínio |
| 7 | Camada de anti-corrosão | Polivinil de prêto |

Fig. 2 Cabo de polietileno de ligação-cruzada em 6000V



| | | |
|---|-----------------------|---|
| 1 | Condutor elétrico | Cabo de cobre mole |
| 2 | Camada semi-condutora | Combinação de fita semi-condutora e material misto semi-condutora |
| 3 | Isolador | Polietileno de ligação-cruzada |
| 4 | Camada semi-condutora | Fita semi-condutora |
| 5 | Blindagem | Fita de cobre mole |
| 6 | Bainha | Bainha de alumínio |

| Tensão (V) | Número de fio núcleo | Área de seção de condutor (mm ²) | Bainha alumínio | Código |
|------------|----------------------|--|-----------------|--------|
| 6000 | Uni núcleo | 400, 600, 800, 1000, 1200 | sem | CV |
| 30000 | | 200, 250, 325, 400, 600 800, 1000, 1200 | com | CAZV |

(ANEXO 8-14) APLICAÇÃO NORMAL DE ISOLADOR SUSPENSO

(Alimentador)

| | | |
|-------------------|--------------------------|------|
| Ancoragem geral : | Isolador suspenso 250 mm | 4(1) |
| " túnel : | " | 5(1) |
| Suspensão geral : | Isolador suspenso 250 mm | 4(1) |
| " túnel : | " | 4(1) |

(Rede aérea)

| | | |
|-------------------|--------------------------|------|
| Ancoragem geral : | Isolador suspenso 250 mm | 4(1) |
| " túnel : | " | 5(1) |

(Cabo de proteção de "flash over")

| | | |
|-----------------------------|----------------------------|---|
| Ancoragem e Suspensão | : Isolador suspenso 180 mm | 1 |
|-----------------------------|----------------------------|---|

obs.:

- (1) Os números na tabela mostram as quantidades das ligações consecutivas de isolador.
- (2) Os números no interior dos parenteses são as quantidades de isolador que aumentam no sistema de isolamento duplo.

9. TEORIA DE CAPTAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA NA REDE AÉREA PARA ALTA VELOCIDADE

Í N D I C E

9.1 Análise teórica das características da Rede Aérea e sugestão para escolha do tipo de catenária.

9.1.1 Análise Básica do Prof. Fujii

9.1.2 Análise do Prof. Shibata

9.1.3 Fator de constante da mola (K) e seu fator de diversidade (ε)

- (1) Método de medição do fator de constante da mola
- (2) Cálculo do fator de constante da mola e de diversidade

9.1.4 Características da Rede Aérea em relação à velocidade

- (1) Características dos tipos de catenária em relação à velocidade
- (2) Tensão da Rede Aérea e sua característica em relação à velocidade
- (3) Fator de diversidade de constante da mola da Rede Aérea e sua característica em relação à velocidade
- (4) Vão de postes e sua característica em relação à velocidade
- (5) Massa da Rede Aérea e sua característica em relação à velocidade
- (6) Massa do Pantógrafo e sua característica em relação à velocidade

9.1.5 Característica de levantamento da Rede Aérea pela força do Pantógrafo

9.1.6 Característica de desgaste do fio de contato

9.1.7 Escolha do tipo de catenária para as Linhas de Subúrbios do Grande Rio

9.1.8 Variação de tensão da Rede Aérea e sua característica em relação à velocidade na elevação de temperatura da Rede Aérea (necessidade de auto-tensionamento da Rede Aérea)

- (1) Cálculo de elevação da temperatura do fio condutor
- (2) Exemplo do cálculo de elevação da temperatura do fio condutor
 - (A) Cálculo de elevação da temperatura do mensageiro (caso haja o vento)

- (B) Cálculo de elevação da temperatura do mensageiro
(caso não haja o vento)
 - (C) Cálculo de elevação da temperatura do fio de
contato (caso haja o vento)
 - (D) Cálculo de elevação da temperatura do fio de
contato (caso não haja o vento)
- (3) Variação de tensão da Rede Aérea e da capacidade desta
em relação à velocidade
- (A) Cálculo da tensão da Rede Aérea na variação da
temperatura
 - (B) Cálculo da capacidade da Rede Aérea em relação
à velocidade
 - (C) Exemplo do cálculo
 - (D) Observações

9.1 ANÁLISE TEÓRICA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA REDE AÉREA E PROPOSTA PARA ESCOLHA DO TIPO DA CATENÁRIA

É muito difícil analisar teoricamente com exatidão o fenômeno de captação de corrente que acontece entre a Rede Aérea e o pantógrafo. Para se entender este complexo fenômeno, entretanto, seria muito conveniente se pudermos sabê-lo qualitativamente, mesmo que não possamos sabê-lo quantitativamente. Do ponto de vista desta idéia, foi desenvolvido o estudo do assunto e, em 1955, na primeira vez, foi apresentada a análise teórica do Prof. Fujii da Universidade de Tokyo. Esta análise teórica é até hoje o método mais citado, nos livros de estudos do assunto não apenas no Japão, mas também nos outros países. Os resultados obtidos por este método, não pode ser aplicado diretamente ao trabalho prático, mas facilita compreensão geral de características da captação de corrente da Rede Aérea, ou seja, esta análise é uma teoria que possibilita esclarecer as seguintes dúvidas:

- a) quais são os fatores que determinam as características de captação de corrente em Rede Aérea?
 - b) Como atuam estes fatores?
 - c) Para ser boa catenária, que propriedades ela deverá possuir?
- Apresento, a seguir, esta análise básica.

9.1.1 Análise Básica do Prof. Fujii

O Prof. Fujii, para analisar o movimento mecânico entre a Rede Aérea e o pantógrafo, criou um modelo, considerando a Rede Aérea como uma corda onde o pantógrafo de massa M desloca com velocidade V , levantando a mesma a altura y , pela força de levantamento P_0 .

Esse modelo é baseado nas seguintes hipóteses:

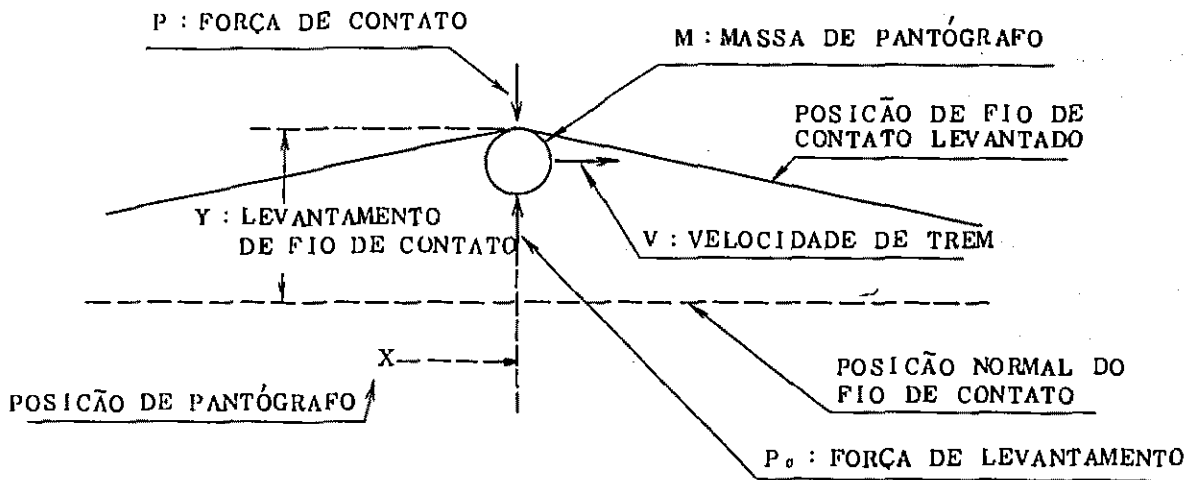
- 1a. - É desprezível a massa da Rede Aérea.
- 2a. - A Rede Aérea está completamente na horizontal.
Considera-se o pantógrafo um objeto composto de uma carga centralizada e uma força constante cuja direção é para cima. (Ignora-se o movimento provocada por pequena vibração do próprio pantógrafo)
- 3a. - A variação de K (constante de mola) em vão é considerada senoidal.

Com esta hipótese e os símbolos da Fig. 1 a altura de levantamento y da Rede Aérea a partir da linha de referência será:

$$y = P.f(x) \dots\dots (1)$$

$f(x)$ é a altura de levantamento da Rede Aérea pela unidade de força, ou seja, o fator de levantamento, é função da determinada distância interna de vão x . Ou seja, o fio se levanta tanto quanto o valor multiplicado a força por constante determinada pela distância interna do vão.

Fig. 9-1 MODELO PARA ANÁLISE DE CARACTERÍSTICA DE VELOCIDADE



No entanto, como existe uma massa M do pantógrafo, a força de aceleração que atua em M será:

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} = P_o - P$$

Utilizando-se V da velocidade do trem fica:

$$MV^2 \frac{d^2 y}{dx^2} = P_o - P$$

$$P = P_o - MV^2 \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots (2)$$

Quando há movimento conjunto de fio e pantógrafo, utiliza-se (1) e (2), ao mesmo tempo:

$$y = (P_o - MV^2 \frac{d^2 y}{dx^2}) f(x)$$

$$MV^2 \frac{d^2y}{dx^2} + \frac{1}{f(x)} y = P_0$$

De acordo com a terceira hipótese:

$$\frac{1}{f(x)} = K (1 - \epsilon \cos \frac{2\pi}{S} x)$$

Onde:

K = constante da mola

= fator de diversidade de constante da mola

S = vão

Portanto, substituindo isso e reescrevendo a equação, fica:

$$MV^2 \frac{d^2y}{dx^2} + K (1 - \epsilon \cos \frac{2\pi}{S} x) y = P_0 \dots (3)$$

Isto é a equação cinética produzida pela hipótese acima.

Sendo o resultado desta equação:

$$y = a_0 + a_1 \cos \frac{2\pi}{S} x \dots \dots \dots (4)$$

Determinamos a_0 e a_1

Substituímos (4) em (3). Inicialmente a (4)

Com isso:

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{2\pi}{S} a_1 \sin \frac{2\pi}{S} x$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = - \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 a_1 \cos \frac{2\pi}{S} x$$

Com isso:

$$-MV^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 a_1 \cos \frac{2\pi}{S} x$$

$$+K (1 - \epsilon \cos \frac{2\pi}{S} x) (a_0 + a_1 \cos \frac{2\pi}{S} x)$$

$$= -MV^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 a_1 \cos \frac{2\pi}{S} x + a_0 K + (a_1 - a_0 \epsilon) K \cos \frac{2\pi}{S} x$$

$$-a_1 \epsilon K \cos^2 \frac{2\pi}{S} x = P_0$$

Sendo com fórmula trigonométrica:

$$\cos^2 \frac{2\pi}{S} x = 1/2 (1 + \cos \frac{4\pi}{S} x)$$

Podemos reescrever:

$$-MV^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 a_1 \cos \frac{2\pi}{S} x + a_0 K + (a_1 - a_0 \epsilon) K \cos \frac{2\pi}{S} x$$

$$-1/2 a_1 \epsilon K - 1/2 a_1 \epsilon K \cos \frac{4\pi}{S} x = P_0$$

A seguir, para obter o resultado aproximado desprezamos $\cos \left(\frac{4\pi}{S}\right)x$, e separamos esta equação em duas equações de constante e de $\cos \left(\frac{2\pi}{S}\right)x$:

$$-MV^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 a_1 + (a_1 - a_0 \epsilon) K = 0 \dots\dots (5)$$

$$a_0 K - 1/2 a_1 \epsilon K = P_0 \dots\dots (6)$$

Das equações (5) e (6), determina-se a_0 e a_1 . Da equação (6) temos:

$$a_0 K = P_0 + 1/2 a_1 \epsilon K$$

E substituindo na equação (5), fica:

$$-MV^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 a_1 + a_1 K - 1/2 a_1 \epsilon^2 K = P_0 \epsilon$$

$$a_1 = \frac{P_0}{K} \frac{\epsilon}{1 - \frac{M}{K} V^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 - 1/2 \epsilon^2}$$

$$a_0 = \frac{P_0}{K} + \frac{P_0}{K} \frac{1/2 \epsilon^2}{1 - \frac{M}{K} V^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 - 1/2 \epsilon^2}$$

Substituindo a_0 , a_1 na equação (4), fica:

$$y = \frac{P_0}{K}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{P_0}{K} \frac{\frac{1}{2} \epsilon^2}{1 - \frac{MV^2}{K} \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 - \frac{1}{2} \epsilon^2} \\
& + \frac{P_0}{K} \frac{\epsilon}{1 - \frac{MV^2}{K} \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 - \frac{1}{2} \epsilon^2} \cos \frac{2\pi}{S} x \dots\dots (7)
\end{aligned}$$

Este é o resultado da equação (3). Este resultado consiste em três sub-itens.

1º Sub-item: Fator constante determinado pela força estática de levantamento e a constante da mola ou seja a altura média de levantamento estático da Rede Aérea.

2º Sub-item: Aumento da altura de levantamento pelo fator de diversidade. Este aumenta somente quando V se aproxima por volta de certa velocidade.

3º Sub-item: Vibração no vão. Por volta da mesma velocidade do sub-item anterior, o seu valor de vibração é maior do que o sub-item anterior. Nesta velocidade o denominador de equação (7) torna-se zero e na hipótese acima, a altura do levantamento torna-se infinita. Determinamos esta velocidade em ressonância V_c entre a Rede Aérea e o pantógrafo.

$$1 - \frac{MV_c^2}{K} \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 - \frac{1}{2} \epsilon^2 = 0.$$

$$V_c = \sqrt{1 - \frac{1}{2} \epsilon^2} \frac{S}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \dots\dots (8)$$

Reescrevemos a equação (2):

$$P = P_0 + MV^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 a_1 \cos \frac{2\pi}{S} x \dots\dots (9)$$

Portanto, quando há perda de contato com o pantógrafo, P é zero. Considerarmos V_r a velocidade neste momento. Sendo assim:

$$P_0 - MV_r^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 a_1 = 0$$

$$\frac{P_0}{K} - MV_r^2 \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 \frac{\epsilon}{1 - \frac{MV_r^2}{K} \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 - \frac{1}{2} \epsilon^2} = P_0$$

$$V_r = \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{2} \epsilon^2}{1 + \epsilon}} \frac{S}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon}} V_c \quad \dots\dots (10)$$

Das equações (7), (8), (9) e (10) podemos afirmar o seguinte:

- a) A altura de levantamento da Rede Aérea y é função do distância x no vão e do pantógrafo vibra-se em senoide.
- b) A origem da vibração é a diversidade de constante da mola. Se ϵ/K for menor, a vibração também fica menor. Se $\epsilon \rightarrow 0$, a vibração desaparece.
- c) Na Rede Aérea existe a velocidade de ressonância V_c . Se $K \rightarrow$ maior e $M \rightarrow$ menor, a V_c ficará maior.
- d) Em próximo a V_c , a vibração do pantógrafo fica bem maior.
- e) Em cima da V_c , a fase de vibração se inverte (O denominador do item 3 fica negativo).
- f) No sistema da Rede Aérea, pode existir a velocidade inicial da perda de contato com o pantógrafo: V_r , ou seja a velocidade inicial quando a fio começa a repetir grande perda de contato com o pantógrafo pela maior vibração na iminência da velocidade de ressonância.
- g) Quando maior for ϵ , V_c e V_r ficam menores.

A partir de acima mencionado, há duas maneiras para melhorar a propriedade relacionada à velocidade:

- Para aumentar a velocidade em ressonância V_c ; $K \rightarrow$ maior e $M \rightarrow$ menor.
- Para diminuir a vibração provocada pela ressonância $P_o \rightarrow$ menor e $\epsilon \rightarrow$ menor.

9.1.2 Análise do Prof. Shibata

O Prof. Shibata da Universidade de Tokyo apresentou uma teoria desenvolvida a partir de análise teórica do Prof. Fujii. Na sua análise, considera-se a massa da Rede Aérea m que está sendo desprezada na análise do Prof. Fujii.

Se supor que exista uma certa massa no ponto de contato do pantógrafo com o fio, a sua equação fica:

$$(M+m)V^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + K (1 - \epsilon \cos \frac{2\pi x}{S}) y = P_0$$

Resolvendo esta equação, o item a_1 do y fica:

$$a_1 = \frac{P_0}{K} \frac{\epsilon}{1 + \frac{M+m}{K} V^2 \frac{4\pi^2}{S^2} - \frac{\epsilon^2}{2}}$$

E também fica:

$$V_c = \frac{S}{2\pi} \sqrt{1 - \frac{1}{2} \epsilon^2} \sqrt{\frac{K}{M+m}} \quad \dots\dots (11)$$

$$V_r = \sqrt{\frac{1 + \frac{m}{M}}{1 + \frac{m}{M} + \epsilon}} V_c \quad \dots\dots (12)$$

Os valores de V_c e V_r são menores do que os da análise do Prof. Fujii em que a massa m está sendo desprezada.

O gráfico mostra a trajetória da passagem do pantógrafo:

a) Baixa velocidade: a baixa velocidade está dentro da

$$\frac{(m+M)V^2}{K} \left(\frac{2\pi}{S}\right)^2 = 0$$

e normalmente menor do que 15m/s (o valor de resultado acima = 0,1), sendo a propriedade estática da catenária.

b) Velocidade inicial da perda de contato entre pantógrafo e Rede Aérea: aumenta-se a amplitude e retarda-se a fase.

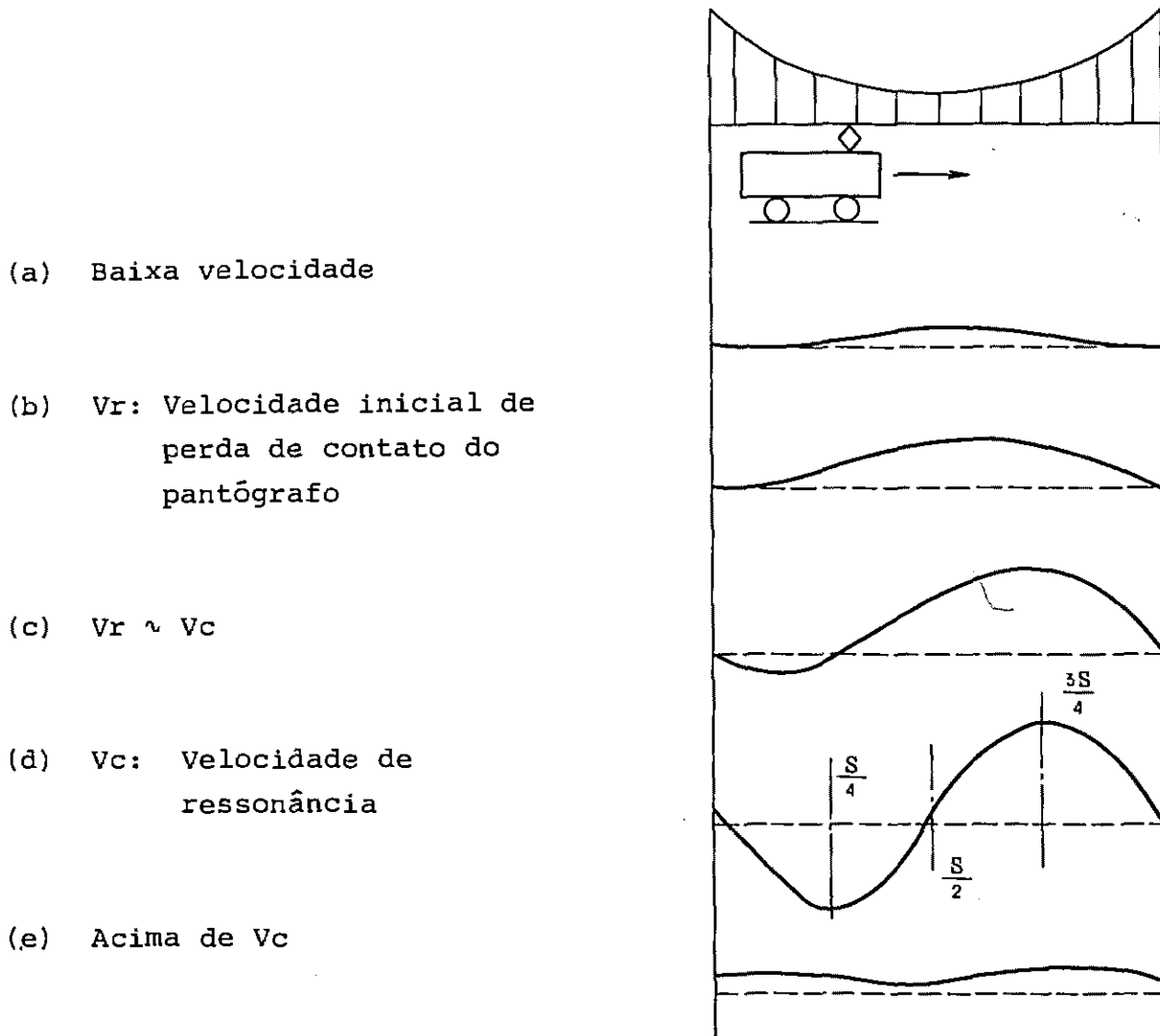
c) Aumenta-se a perda de contato com o pantógrafo.

d) Velocidade da ressonância e a amplitude ficam máximas e a fase retarda-se $S/4$.

No ponto $3S/4$ é o máximo.

e) Diminui-se a amplitude e o retardamento da fase desloca de $S/4$ para $S/2$, acompanhando o avanço de velocidade.

Fig. 2 Trajetória de passagem do pantógrafo



Como mostrado nas equações Vc (11) e Vr (12), há os fatores do sistema da Rede Aérea, vão (s) fator de constante da mola (K) fator de diversidade de constante da mola (ϵ) e massa da Rede Aérea (m). Os valores de K e ϵ são determinados pela tensão da Rede Aérea e tipo de catenária.

Como os fatores do pantógrafo, há a massa deste (M). Quer dizer os cinco fatores acima mencionados são os principais que determinam características da Rede Aérea em relação à velocidade. Por conseguinte, seria conceito básico necessário, para obter uma Rede Aérea de bom desempenho em relação à velocidade, a definição de um tipo de catenária em que estão combinados adequadamente os cinco fatores.

A seguir, trata-se da relação entre estes fatores e característica da Rede Aérea em relação à velocidade.

9.1.3 Fator de constante da mola (K) e seu fator de diversidade (ε)

Aplicando a força ao corpo, quando aparece a variação em proporção direta da força aplicada, esse corpo é chamado de corpo elástico. Esse fator de proporção chama-se fator de constante da mola. Mas, neste caso, não há relação nenhuma se a mola é do tipo espiral ou não. Por exemplo, na Rede Aérea não está sendo usada a mola tipo espiral, mesmo assim pendurando o peso na Rede Aérea, ela abaixa com esse peso, duplicando o peso, o abaixamento da Rede Aérea também duplica, pela teoria da mola. A dimensão do fator de constante da mola é representado em Kg/m. Naturalmente, quanto maior for a fator de constante da mola, menor será o deslocamento da Rede Aérea, e vice-versa. O valor do fator de diversidade (ε), que apresenta a grandeza do fator de constante da mola (K) e a diferença deste entre o ponto fixo da catenária em viga e o meio do vão, é um fator importante, como o mostrado nas equações dos Professores Fujii e Shibata, para saber dinamicamente a eficiência da Rede Aérea.

(1) Método para medição do fator de constante da mola

Para medir o fator de constante da mola em pontos da catenária, pende-se o determinado peso no ponto a ser medido e mede-se a flecha do fio condutor. Sendo assim, o peso metro do valor medido é o fator de constante da mola nesse ponto.

(2) Método de cálculo para o fator de constante da mola

O Prof. Shibata estabeleceu o seguinte método de cálculo para o fator de constante da mola:

O fator de constante da mola em certo ponto arbitrário da catenária será:

$$k = T \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{S - x} \right)$$

Onde,

T = tensão

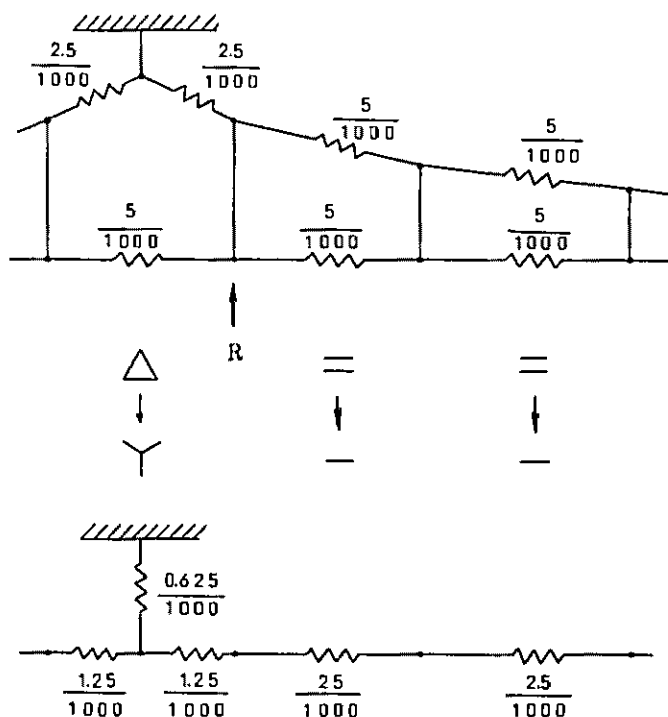
S = vão

x = distância entre este ponto arbitrário e o ponto fixo da catenária na viga.

A seguir, apresentaremos o cálculo no caso do tipo catenária simples mostrado na figura.

Instala-se a resistência do valor. L (comp)/ T (tensão) em cada ponto de ligação da catenária, tais como ponto fixo na viga, tirante, suspensório. Considerando-se o ponto fixo na viga (ponto imóvel) como ligação à terra, e medindo-se a resistência à terra de cada ponto, o inverso do valor da resistência, fica sendo a constante da mola. É possível fazer esta experiência, mas o mais simples é fazer cálculo utilizando conversão de $\Delta \rightarrow Y$. O exemplo do cálculo de catenária simples é mostrado na Figura 9-3.

Fig. 9-3 Simulação de coeficiente da mola



Escrevendo a resistência do circuito com (comprimento)/ (tensão), fica conforme figura acima. O intervalo de 10° suspensório ao 1º será transformado de $\Delta \rightarrow Y$, e calculado o intervalo de 1º suspensório ao 2º em paralela, fica, conforme a figura abaixo o circuito equivalente.

Divide-se a resistência à terra do ponto R em R_L (esquerda) e R_R (direita) ($1/1000$ em evidência):

$$R_L = 1,25 + 0,625 = 1,875$$

$$R_R = 2,5 \times 9 + 1,25 + 0,625 = 24,375$$

Se quiser aumentar a precisão, temos que calcular o vão externo vizinho. Ou seja, a resistência 25,625 ($1,25 + 2,5 \times 9 + 1,25 + 0,625 = 25,625$) está como tomada de terra em paralelo com o 0,625 do R;

$$1 / \left(\frac{1}{0,625} + \frac{1}{25,625} \right) = 0,610$$

Nesse caso R_L e R_R são:

$$R_L = 1,860$$

$$R_R = 24,360$$

Ou seja, a diferença do cálculo anterior é de 1%, portanto é compreensível a razão de que não há necessidade de calcular o vão externo vizinho. Utilizando estes R_L e R_R calculados (aqui multiplicamos por 1000 e retornamos ao anterior):

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1,86} + \frac{1}{24,36} = 0,579 \rightarrow 579$$

Este é constante da mola do ponto de 1ª suspensório. Idem será para o ponto de 2ª suspensório, sendo:

$$R_L = 1,86 + 2,50 = 4,36$$

$$R_R = 24,36 - 2,50 = 21,86$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{4,36} + \frac{1}{21,86} = 0,275 \rightarrow 275$$

Idem respectivamente:

3ª suspensório 197

4ª suspensório 166

5ª suspensório 154

Tirando a média fica:

$$K = 274$$

$$\epsilon = \frac{K_{\max} - K_{\min}}{K_{\max} + K_{\min}} = \frac{579 - 154}{579 + 154} = 0,58$$

Assim sendo, poderá obter o número anteriormente citado.

9.1.4 Característica da Rede Aérea em relação à velocidade

A tabela 9-1 mostra os valores resultantes do estudo baseado na análise teórica apresentada sobre as características captação de corrente, em cada catenária em relação ao tipo de cabo, tensão.

Tab. 9-1 Características de cada tipo de Catenária

| | Catenária c/ dois fio de contato | Catenária simples pesada | Catenária simples dúpla | Catenária composta |
|---|---|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Messageiro | Cu (mm ²) 152,1 | Cu (mm ²) 152,1 | Cu (mm ²) 152,1 x 2 | Cu (mm ²) 152,1 |
| Messageiro auxiliar | | | | Cu (mm ²) 107,2 |
| Fio de contato | Cu (mm ²) 107,2 x 2 | Cu (mm ²) 107,2 | Cu (mm ²) 107,2 x 2 | Cu (mm ²) 107,2 |
| Tensão de messageiro(kg) | 1.600 | 1.500 | 1.500 | 1.500 |
| Tensão de messageiro auxiliar (kg) | | | | 1.000 |
| Tensão de fio de contato (kg) | 800 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Vão (m) | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Constante da mola média (kg/m) | 365 | 319 | 638 | 279 |
| Fator de diversidade de constante da mola média | 0,58 | 0,66 | 0,66 | 0,25 |
| Massa da rede aérea (kgs ² /m) | 9,9 | 7,0 | 14,0 | 9,9 |
| Massa da pantógrafo (kgs ² /m) | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,6 |
| Força de levantamento do pantógrafo (kg) | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Levantamento estático médio da rede aérea (mm) | 22 | 25 | 12,5 | 29 |
| Levatamento dinâmico médio da rede aérea (mm) | 66 | 75 | 37,5 | 87 |
| Velocidade em ressonância (km/h) | 163 | 166 | 183 | 160 |
| Velocidade quando o pantógrafo começa perder contato com o fio (km/h) | 152 | 150 | 172 | 154 |

Quanto ao valor de tensão da Rede Aérea, há se seguintes condições. (Considera-se para massa da Rede Aérea somente o de fios, não sendo incluído o peso de ferragens)

(Mensageiro)

- a) Quanto à catenária com dois fios de contatos, aproveitamos o plano apresentado pela ENGEVIX S/A.
- b) Quanto aos outros três tipos de catenárias considera-se 1.500 kg o valor da tensão que assegurará o fator de segurança 4.

(Fio de Contato)

- a) Quanto à catenária com dois fios de contatos, aproveitamos o plano apresentado pela ENGEVIX S/A.
- b) Quanto aos outros três tipos de catenária, considera-se o valor que assegurará o fator de segurança 2,2, mesmo sendo 7,5 mm o diâmetro restante do fio de contato.

(Mensageiro Auxiliar)

- a) Considera-se o mesmo valor da tensão com a do fio de contato.

(1) Característica dos tipos de catenária em relação à velocidade

Se comparamos os fatores de cada tipo de catenária, podemos determinar ao seguinte:

- a) Fator de constante da mola (K)

O maior valor de K encontra-se em catenária dupla, seguindo-se a catenária com dois fios de contato e catenária simples-pesada. O menor valor encontra-se em catenária composta.

- b) Fator de diversidade de constante da mola (ϵ)

O menor valor de ϵ é da catenária composta, seguindo-se a catenária com dois fios de contato. O maior é de catenária simples-pesada e catenária simples dupla.

- c) Massa da Rede Aérea (m)

A maior massa é da catenária simples-dupla, seguindo-se a catenária composta e catenária com dois fios de contato. A menor é da catenária simples.

d) Velocidade em ressonância V_c e Velocidade inicial quando o pantógrafo começa a descolar do fio V_r .

A catenária simples dupla tem maiores valores de V_c e V_r cobrindo a desvantagem em sua característica em relação à velocidade, os valores de ϵ e m são maiores devido ao maior valor de K . Os outros três tipos de catenária têm mais ou menos mesma característica em relação à velocidade. A diferença menor entre os valores de V_c e V_r encontra-se na catenária composta, pois seu valor de ϵ é menor.

Ao contrário, a maior diferença em velocidade encontra-se na catenária simples-pesada, pois o valor de ϵ é maior de todos.

(2) Tensão da Rede Aérea e sua característica em relação à velocidade

Quanto maior for a tensão da Rede Aérea, melhor será o desempenho desta em relação à velocidade.

A tabela 9-2 mostra a variação de valores dos fatores na catenária simples dupla, quando for aumentada a tensão dos fios, sem alterar os tipos e dimensões dos fios. Nesse caso, o desempenho da Rede Aérea em relação à velocidade melhora, pois devido ao aumento da tensão, a constante da mola aumenta. Mas, o aumento da tensão é relacionado ao fator de segurança e exige reforço dos suportes. Por isso, deverá ser determinado o valor da tensão considerando-se estes problemas acima descrito.

(3) Fator de diversidade de constante da mola da Rede Aérea e sua característica em relação à velocidade

Quanto menor for o fator de diversidade de constante da mola ϵ , melhor será o desempenho da Rede Aérea em relação à velocidade. Através do valor de ϵ , podemos saber a frequência de perda de contato do pantógrafo devido à vibração entre este e a Rede Aérea. Este valor de ϵ varia consideravelmente dependendo do tipo de catenária. Em tipo de catenária comum, há uma tendência de que quando aumenta a tensão da Rede Aérea, ou seja, aumenta a constante da mola, aumenta um pouco o fator de diversidade (vide a tabela 9-2). Por isso, quando for discutida a característica da catenária em relação

ã velocidade deverá ser determinado o tipo de catenária, compreendendo-se de que a constante da mola K (tem relação inversa) com o fator de diversidade ϵ e considerando-se também as outras características (por exemplo, a característica em relação ao levantamento da Rede Aérea, pela força do pantógrafo e o desgaste, etc.)

A título de informação, o tipo de catenária desenvolvido para aumentar o valor de constante da mola K e diminuir o fator de diversidade ϵ é a catenária composta pesada que está sendo usada na linha de Shinkansen.

(4) Vão de postes de suspensão e característica da Rede Aérea em relação à velocidade

Entre a característica da Rede Aérea em relação à velocidade e o vão, há uma relação de proporção direta, ou seja, quanto maior for o vão, melhor será desempenho da Rede Aérea em relação à velocidade. A tabela 9-3 mostra as características da catenária composta, quando o vão for de 50 m e 60 m. Mas, se aumenta muito o vão, quando tiver o forte vento, aumenta-se o deslocamento da Rede Aérea e em consequência disso, a mesma afasta-se do pantógrafo, provocando acidentes do pantógrafo com a Rede Aérea. Também, se aumentar o vão, a altura de suportes deverá ser aumentada, pois a altura da Rede Aérea também aumenta. Considerando-se os fatores será adequado 60 m para o vão padrão da Rede Aérea da DES.

(5) Massa da Rede Aérea e sua característica em relação à velocidade

Sob mesma tensão da Rede Aérea, quanto menor a massa da mesma, melhor é seu desempenho em relação à velocidade.

A tabela 9-4 é da catenária com dois fios de contato, na qual mantendo-se a tensão do mensageiro com mesmo valor muda-se a seção do fio de 152,1 mm² para o cabo de cobre duro de 253,2 mm². Os valores da constante da mola e o fator de diversidade são mesmos, pois a tensão é constante. Mas, quando aumentar a massa de Rede Aérea, seu desempenho cai em relação à velocidade. Por isso, quando aumentarmos a seção de cobre, não devemos aumentar somente a dimensão, deixando de aumentar a tensão da Rede Aérea.

Tab. 9-2 Tensão da rede aérea e suas características em relação à velocidade

| Classificação | Valor característico | |
|---|---------------------------------|-------|
| Mensageiro | Cu 152,1 (mm ²) x 2 | |
| Fio de contato | Cu 107,2 (mm ²) x 2 | |
| Tensão do mensageiro (kg) | 1.000 | 1.500 |
| Tensão do fio de contato (kg) | 1.000 | 1.000 |
| Vão (m) | 60 | 60 |
| Constante da mola média (kg/m) | 482 | 638 |
| Fator de diversidade de constante da mola média | 0,63 | 0,66 |
| Massa da rede aérea (kgs ² /m) | 14,0 | 14,0 |
| Massa do pantógrafo (kgs ² /m) | 3,6 | 3,6 |
| Força de levantamento do pantógrafo (kg) | 8 | 8 |
| Levantamento estático médio da rede aérea (mm) | 16,6 | 12,5 |
| Levantamento dinâmico médio da rede aérea (mm) | 50 | 37,5 |
| Velocidade em ressonância (km/h) | 161 | 183 |
| Velocidade quando pantógrafo começa perder contato com o fio (km/h) | 152 | 172 |

(6) Massa do pantógrafo e sua característica em relação à velocidade.

A massa do pantógrafo que se trata aqui é da parte do mesmo que movimenta-se. Quanto menor for a massa do pantógrafo, melhor será seu desempenho em relação à velocidade.

Na JNR, as massas do pantógrafo são as seguintes:

| | |
|-------------------------------------|--|
| Pantógrafo para linha de Shinkansen | cerca de 1,2 (kgs ² /m) |
| Pantógrafo comum | cerca de 2,0 a 3,6 (kgs ² /m) |

Tab. 9-3 Vão de postes e características em relação à velocidade

| Classificação | Valor característico | |
|---|-----------------------------|-----------|
| Mensageiro | Cu 152,1 (mm ²) | |
| Mensageiro auxiliar | Cu 107,2 (mm ²) | |
| Fio de contato | Cu 107,2 (mm ²) | |
| Tensão do mensageiro (kg) | 1.500 | |
| Tensão do mensageiro auxiliar (kg) | 1.000 | |
| Tensão do fio de contato (kg) | 1.000 | |
| Vão (m) | 50 | 60 |
| Constante da mola média (kg/m) | 403 | 377 |
| Fator de diversidade de constante da mola média | 0,3 | 0,34 |
| Massa da rede aérea (kgs ² /m) | 10,65 | 10,65 |
| Massa do pantógrafo (kgs ² /m) | 3,6 | 3,6 |
| Força de levantamento do pantógrafo (kg) | 8 | 8 |
| Levantamento estático médio da rede aérea (mm) | 20 | 21 |
| Levantamento dinâmico médio da rede aérea (mm) | 60 | 62 |
| Velocidade em ressonância (km/h) | 149 | 160 |
| Velocidade quando o pantógrafo começa perder contato com o fio (km/h) | 144 | 154 |

Na linha de Shinkansen onde faz-se a operação de alta velocidade de trens está sendo desenvolvido o pantógrafo mais leve.

A chapa de cobre do pantógrafo de trens do DES é equipada de tal modo a cobrir toda a parte superior do pantógrafo, aumentando assim a sua massa.

Não será bom meio para equipar a chapa coletora mais do que necessária para captação eficiente da corrente, pois

isso aumenta a massa do pantógrafo. Por isso, mantendo-se o deslocamento da Rede Aérea dentro do valor estabelecido, a chapa coletora deverá ser equipada com mínimo de peso.

Tab. 9-4 Massa da rede aérea e sua característica em relação à velocidade

| Classificação | Valor característico | |
|---|-----------------------------|--------------------------------|
| | | |
| Mensageiro | Cu 152,1 (mm ²) | Cu 253 (mm ²) |
| Fio de contato | Cu 107,2 (mm ²) | Cu 107,2 (mm ²) x2 |
| Tensão do mensageiro (kg) | 1.600 | 1.600 |
| Tensão do fio de contato (kg) | 800 | 800 |
| Vão (m) | 60 | 60 |
| Constante da mola média (kg/m) | 365 | 365 |
| Fator de diversidade de constante da mola | 0,58 | 0,58 |
| Massa da rede aérea (kgs ² /m) | 9,9 | 12,64 |
| Massa do pantógrafo (kgs ² /m) | 3,6 | 3,6 |
| Força de levantamento do pantógrafo (kg) | 8 | 8 |
| Levantamento estático médio da rede aérea (mm) | 22 | 22 |
| Levantamento dinâmico médio da rede aérea (mm) | 66 | 66 |
| Velocidade em ressonância (km/h) | 163 | 149 |
| Velocidade quando o pantógrafo começa perder contato com o fio (km/h) | 152 | 140 |

9.1.5 Característica de levantamento da Rede Aérea pela força do pantógrafo.

O pantógrafo capta a corrente empurrando a Rede Aérea para cima. Podemos calcular a altura de levantamento estático da Rede Aérea na seguinte fórmula:

- (1) Altura média de levantamento da Rede Aérea y:

$$y = \frac{P_o}{K} \times 1.000 \text{ (mm)}$$

Onde: $P_o \rightarrow$ Força média de levantamento estático do pantógrafo (Kg)

$K \rightarrow$ Constante da mola de Rede Aérea a média (kg/m)

Quanto maior for P_o e menor K , y será maior.

- (2) Altura de levantamento estático do fio de contato no meio de vão y_c :

$$y_c = \frac{S P_o}{4 (T_m + T_t)} \times 1000 \text{ (mm)}$$

Onde: $S =$ vão (m)

$T_m =$ tensão do mensageiro (kg)

$T_t =$ tensão do fio de contato (kg)

$P_o =$ Força de levantamento estático do pantógrafo (kg)

- (3) Altura de levantamento estático do fio de contato na parte fixa y_s :

$$y_s = \frac{P_o^2}{8w} \left(\frac{1}{T_m} + \frac{1}{T_t} \right) \times 1000 \text{ (mm)}$$

$w \doteq$ Peso-unidade do fio de contato (Kg/m)

A altura de levantamento é maior no meio do vão do que no ponto fixo da Rede Aérea em viga porque a constante da mola no meio do vão é menor do que no ponto fixo.

Os valores acima apresentados são os estáticos. Sob condições dinâmicas, sem dúvida, a altura de levantamento aumenta. Pela minha experiência a altura de levantamento dinâmico seria triplo da altura da estática quando a velocidade de for menor de 100 km/h.

Mas, quando a velocidade for maior do que 100 km/h, deverá considerar-se o levantamento dinâmico, conforme a velocidade. Quanto maior for a altura de levantamento da Rede Aérea, maior será vibração desta que é um dos fatores de fadiga e avaria de ferragens da Rede Aérea. Por isso, para

Rede Aérea, quanto menor for a altura de levantamento, melhor será.

A força de levantamento do pantógrafo de atuais trens da DES é mostrada a baixo.

Estes valores da força são muito maiores do que os de JNR.

| | |
|--------------------|---------------------------|
| Série 200 - 7,0 kg | Trem da JNR (CC) - 5,5 kg |
| Série 400 - 8,5 kg | (CA) - 4,5 kg |
| Série 500 - 8,0 kg | |
| Série 600 - 9,0 kg | |

Há uma tendência, no mundo, de aumentar a força de levantamento do pantógrafo, porque aumentando a força do levantamento deste diminui a perda de contato, elevando assim, a eficiência da Rede Aérea.

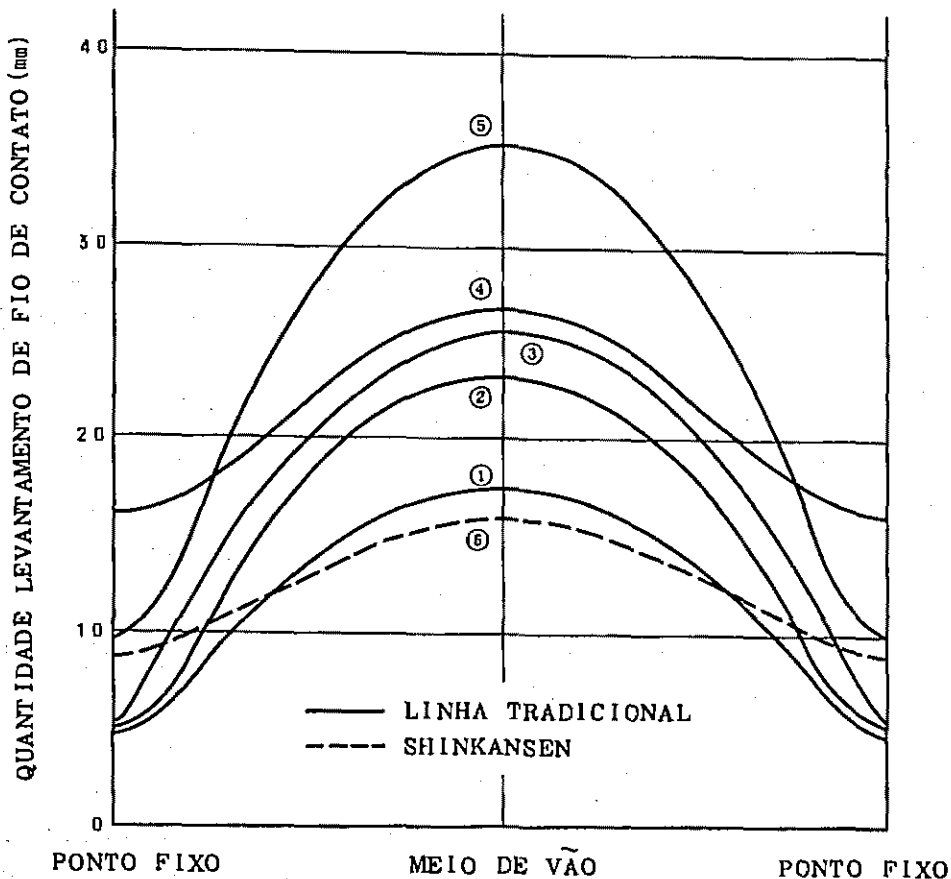
Entretanto se conseguir a captação da corrente, sem aumentar muito a força do levantamento, mas pelo melhoramento de eficiência do pantógrafo e da Rede Aérea, diminuirá a fadiga da Rede Aérea oriunda de vibração, e também, poderá diminuir o desgaste do fio de contato e da chapa coletora de cobre do pantógrafo. Portanto, precisará um reestudo sobre a força do levantamento do pantógrafo, junto com os problemas relacionados ao melhoramento de desempenho da Rede Aérea.

A figura 9-4 mostra a grandeza de levantamento estático da Rede Aérea em cada tipo de catenária. Como entendemos nesta figura, a altura de levantamento da Rede Aérea aumenta na seguinte ordem, de catenária simples dupla, simples pesada, dois fios de contato, composta e simples.

A catenária simples dupla possibilita diminuir o levantamento da Rede Aérea em meio do vão, o que possibilita minimizar a vibração da Rede Aérea, elevando a estabilidade da mesma.

Fig. 9-4 CURVA-CARACTERÍSTICA DE LEVANTAMENTO ESTÁTICO DA REDE AÉREA

- (1) Catenária simples dupla
- (2) Catenária simples pesada
- (3) Catenária simples com dois fio de contato
- (4) Catenária composta
- (5) Catenária simples
- (6) Catenária composta pesada



9.1.6 Característica de desgaste do fio de contato

É difícil de fazer uma consideração sobre características de desgaste do fio de contato, relacionando-se ao tipo de catenária, porque o desgaste do fio de contato é relacionado não só ao tipo de catenária mas aos vários fatores tais como método feito para lançar a Rede Aérea, manutenção (existência de dobramento, inclinação da Rede Aérea e adequação da tensão da mesma), existência do ponto duro onde existe a força contrária ao de levantamento,

material usado na chapa coletora do pantógrafo e força do contato deste com o fio. Podemos dizer, entretanto, como tendência geral, os seguintes, relacionando-se o tipo de catenária:

O desgaste do fio de contato é considerado de modo geral, em duas formas:

(1) Desgaste Elétrico

É o desgaste oriundo da causa elétrica, tais como arco-voltáico e faísca, provocada pelo contato incompleto ou perda de contato entre o pantógrafo e fio de contato. O desgaste elétrico aumenta de acordo com o aumento da corrente captada pelo pantógrafo.

(2) Desgaste Mecânico

É o desgaste oriundo pelo atrito mecânico entre a chapa coletora do pantógrafo e fio de contato. O desgaste mecânico está relacionado ao pantógrafo; quanto maior for a força de levantamento do pantógrafo a mais duro for a material da chapa coletora, maior será o desgaste mecânico do fio. Também, o desgaste mecânico tem relação de proporção direta com o fator de atrito e diminui segundo aumento da velocidade do trem.

Por isso, no local onde se faz a operação de alta velocidade do trem, o desgaste elétrico é maior do que o mecânico.

Para diminuir o desgaste elétrico, a catenária deverá possuir as seguintes características:

- a) Sua aérea coletora de corrente elétrica maior;
- b) A perda de contato seja mínima

O tipo de catenária que satisfaz a primeira condição são catenária simples dupla e a com dois fios de contato. O tipo que satisfaz a segunda condição é a catenária composta. Quanto à influência que duas condições dão ao desgaste, fora do trecho onde se faz alta velocidade de operação do trem, a primeira é maior do que a segunda.

Para diminuir o desgaste mecânico, a catenária deverá possuir as seguintes características:

Há poucas variações da pressão de contato do pantógrafo, ou seja, o fator de diversidade da constante da mola é uniforme.

O tipo de catenária que satisfaz esta condição é catenária composta.

Hã os seguintes meios, em geral, para diminuir o desgaste do fio de contato:

- a) Tomar cuidado para que não surja parte dobrada quando lançar-se o fio de contato.
- b) Minimizar a inclinação do fio de contato e a variação do mesmo.
- c) Para minimizar o ponto duro parcial do fio de contato, usar as ferragens leves ou diminuir o uso de ferragens.
- d) Instalar-se o dispositivo de auto-tensionamento para manter a tensão do fio constante. Se fizer-se auto-tensionamento do mensageiro, ter-se-ã um resultado com maior efeito.
- e) Não utilizar-se um material muito duro, para chapa coletora do pantôgrafo.

Deverã considerar, também o uso de material lubrificante na chapa coletora para evitar avaria e aumento de desgaste do fio de contato, pela chapa de cobre.

- f) Usar-se o fio de contato que tem prata em sua composição para aumentar anti-atrito do fio.

9.1.7 Escolha do tipo de catenãria para as Linhas dos Subúrbios do Grande Rio

A figura 9-5 ã o fluxograma da relação entre cada tipo de catenãria e as características da Rede Aérea apresentadas do capítulo 9.1.4 ao 9.1.6.

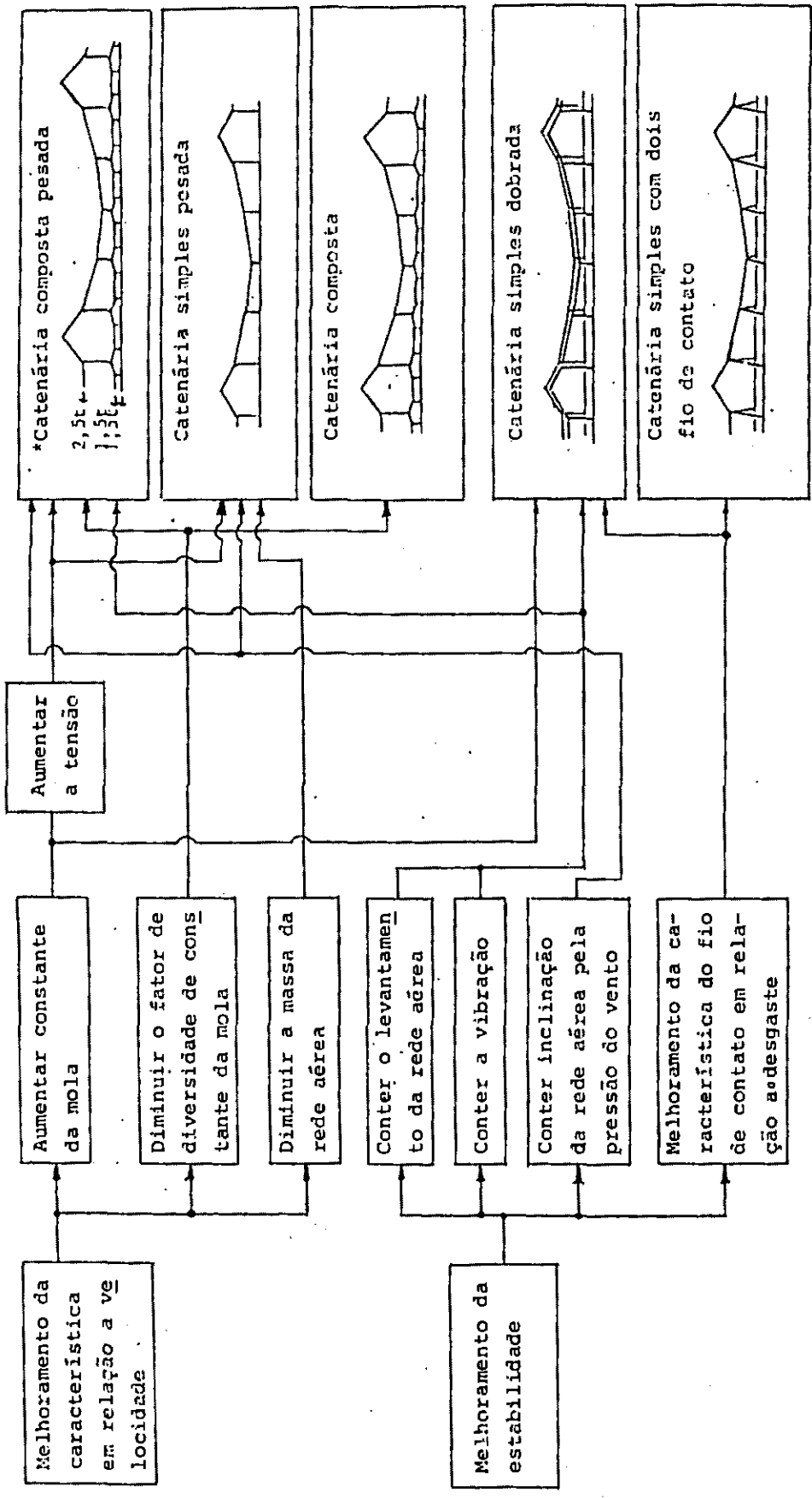
Como entendemos neste fluxograma, o tipo de catenãria que possui alta estabilidade e bom desempenho em relação ã velocidade ã catenãria simples dupla.

A catenãria simples dupla seria melhor para Linha dos Subúrbios do Grande Rio onde há necessidade de realizar o transporte de massa com estabilidade e alta velocidade.

Nesta catenãria, há os seguintes méritos em comparação com outros tipos de catenãria:

- (1) Melhora a característica em relação ã velocidade, pois aumenta-se o valor da constante da mola sem aumentar a tensão da Rede Aérea.
- (2) O levantamento da Rede Aérea, especialmente o levantamento dinâmico, ã menor.

Fig. 9-5 Características da rede aérea e tipo de catenária



* A catenária composta pesada é usada na SHINKANSEN da JNR.

Pela minimização da amplitude que provoca a vibração da Rede Aérea, possibilita diminuição de ocorrências anormais entre Rede Aérea e Pantógrafo, além de possibilitar alívio a fadiga do fio condutor e de ferragens.

(3) Como os fios de contato são dois, existe maior seção de área. Isso diminui o desgaste elétrico e prolonga a vida útil do fio de contato.

9.1.8 Variação de tensão da Rede Aérea e suas características em relação à velocidade na e elevação de temperatura da Rede Aérea. (Necessidade de auto-tensionamento da Rede Aérea)

Se a tensão da Rede Aérea não for mantida no determinado valor, quando a elevação da temperatura da mesma for consideravelmente alta, cairá a tensão da Rede Aérea, prejudicando consideravelmente o seu desempenho em relação à velocidade.

No fio de cobre duro, sua contra-tensão cai gradativamente de acordo com elevação de temperatura. Mas quando a temperatura atinge a centenas e dezenas de graus, a contra-tensão começa a cair bruscamente e apresenta um fenômeno de recozimento que a contra-tensão do fio não se recupera uma vez atingido a certa temperatura. Para evitar este fenômeno, devemos estabelecer a temperatura máxima permissível do fio condutor. Para o fio de contato, esta temperatura deverá ser 90°C e para outros fios, 100°C.

(1) Cálculo da elevação da temperatura do fio condutor
Tiramos como exemplo o trecho entre Engenheiro Pedreira e Austin para estudar o assunto.

- a) Distância entre subestações: entre Engenheiro Pedreira e Austin 10 km
- b) Composição do trem. três unidades por trem (uma unidade - 2M + 2T)
- c) "Head Way": 4 minutos
- d) Composição da Rede Aérea (Catenária com dois fios de contato)

Mensageiro - cabo de cobre duro 152, 1 mm²

Fio de contato - fio de cobre duro 107,2 mm² x 2
(consideramos 9 mm o diâmetro restante do fio de

contato a média, o que corresponde à seção de área de 85 mm²)

e) Seção de Área

$$152,1 + 85 \times 2 = 322,1 \text{ mm}^2$$

f) Corrente percorrida em cada fio condutor

A corrente de carga em uma composição do trem é seguinte (existem 8 motores de 105 (A) da corrente nominal por uma unidade):

$$105(\text{A}) \times 8 (\text{carros}) \times 3 (\text{unidade}) = 2.520 (\text{A})$$

Sendo circulação deste trem em quatro minutos de intervalo no trecho de 10 km de distância entre subestações, a corrente máxima de carga de ambas as subestações seria:

$$2.520(\text{A}) \times 15 (\text{frequência}) \times 10\text{km}/60\text{km}/\text{H} \times 1/2 \\ = 3.150 (\text{A})$$

Neste caso, as correntes percorridas em cada condutor são as seguintes:

(Corrente no Mensageiro)

$$I_m = \frac{152,1}{322,1} \times 3.150 = 1.487 (\text{A})$$

(Corrente no Fio de Contato)

$$I_t = \frac{85}{322,1} \times 3.150 = 831,5 (\text{A})$$

Na realidade, os trens não operam ao mesmo tempo com a corrente máxima de carga. Por isso, o valor real deverá ser menor. Como exemplo, vamos fazer o cálculo da elevação da temperatura na Rede Aérea, quando percorrer a corrente, intermitentemente, de carga de dois terços do valor acima apresentado.

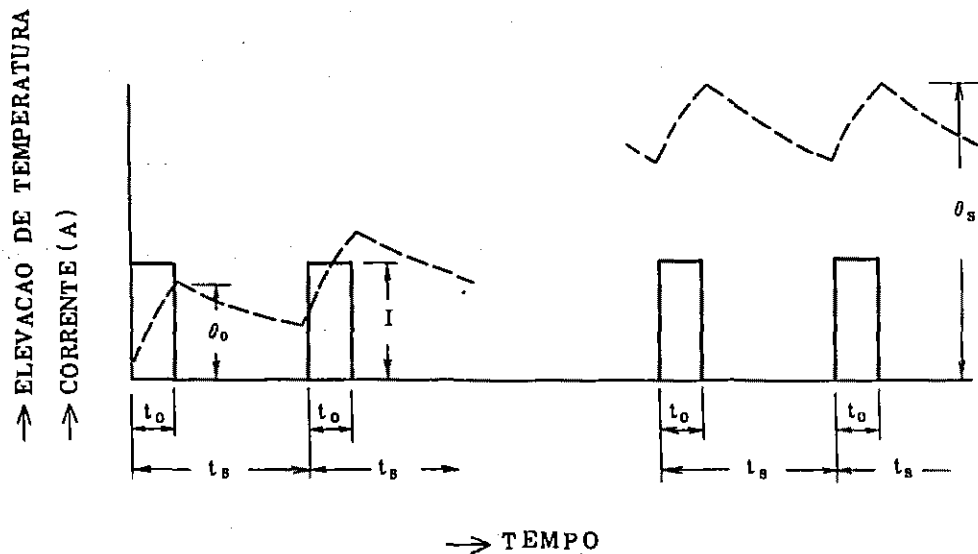
g) Cálculo da elevação da temperatura da Rede Aérea após a saturação devido à passagem intermitente da corrente de carga em forma de onda quadrada.

i) Na elevação da temperatura da Rede Aérea, considera-se a temperatura do ambiente, a energia solar e efeito Joule.

ii) A temperatura do ambiente considera-se 40°C.

iii) Seguinte é o cálculo da elevação da temperatura devido ao efeito Joule considerado a energia solar no caso da figura 6.

Fig. 9-6 ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA APÓS A SATURAÇÃO DEVIDO A PASSAGEM INTERMITENTE DA CORRENTE EM FORMA DE ONDA QUADRÁTICA (θ_s)



$$\theta_s = \theta_o \cdot \frac{1}{1 - e^{-\frac{A}{c} t_s}} = \frac{I^2 r}{A} (1 - e^{-\frac{A}{c} t_o}) \cdot \frac{1}{1 - e^{-\frac{A}{c} t_s}}$$

Onde:

- A: Coeficiente de dissipação de temperatura do cabo, por comprimento unitário (W/graus) = área da superfície por comprimento unitário coeficiente de dissipação de temperatura;
- c: Capacidade calorífica por comprimento unitário do cabo (W. seg./graus);
- r: Resistência por comprimento unitário do cabo (Ω);
- t_o: Tempo de passagem da corrente (seg.);
- t_s: Intervalo da circulação do trem (seg.);
- I: Corrente (A)

(2) Exemplo do cálculo da elevação da temperatura do fio condutor

(A) Cálculo de elevação da temperatura do mensageiro
(caso haja vento)

a) Cálculo de coeficiente de dissipação de
temperatura do mensageiro K (caso haja vento)

$$K = hw + \left(hr - \frac{ws}{\pi \theta} \right) \eta$$

Sendo:

Temperatura do ambiente $T = 40^{\circ}\text{C}$

Elevação de Temperatura Permissível $\theta = 60^{\circ}\text{C}$

Diâmetro do mensageiro $d = 1,596 \text{ cm}$

Velocidade do vento = $V = 0,5 \text{ m/s}$

Energia Solar $Ws = 0,1 \text{ w/cm}^2$

Coeficiente de dissipação de temperatura no
fio condutor $\eta = 0,9$

A convecção forçada hw é:

$$\begin{aligned} hw &= \frac{0,00572}{\left(273 + T + \frac{\theta}{2} \right)^{0,123}} \sqrt{\frac{V}{d}} \\ &= \frac{0,00572}{\left(273 + 40 + \frac{60}{2} \right)^{0,123}} \times \sqrt{\frac{0,5}{1,596}} \\ &= 15,6 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

A irradiação hr é:

$$\begin{aligned} hr &= 0,000576 \frac{\left(\frac{273 + T + \theta}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + T}{100} \right)^4}{\theta} \\ &= 0,000576 \frac{\left(\frac{273 + 40 + 60}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + 40}{100} \right)^4}{\theta} \\ &= 9,37 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Portanto, o coeficiente de dissipação de
temperatura K é:

$$\begin{aligned} K &= 15,6 \times 10^{-4} + \left(9,37 \times 10^{-4} - \frac{0,1}{\pi \times 60} \right) \times 0,9 \\ &= 19,263 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

- b) Coeficiente de dissipação de temperatura por comprimento unitário do mensageiro A
 $A = K.S$ S = área superficial por comprimento unitário

$$= 19,263 \times 10^{-4} \times \pi \times 1,596$$

$$= 96,6 \times 10^{-4}$$

- c) Capacidade calorífica por comprimento unitário do fio condutor $C = 5,15$ (Ws/deg)
 (Suponhamos a na tabela 9-5)

- d) Resistência R_{100} no caso de $t = 100^{\circ}\text{C}$

$$R_{100} = R_{20} (1 + \alpha(T - 20))$$

$$= 0,1203 (1 + 0,00381 (t - 20))$$

$$= 1,57 \times 10^{-6} (\Omega/\text{cm})$$

Onde:

α = coeficiente de temperatura de resistência
 (20°C) = 0,00381

Resistência quando $t = 20^{\circ}\text{C} = R_{20} = 0,1203$

- e) Elevação da temperatura do mensageiro θ_s :

$$\theta_s = \frac{I R_{100}}{A} \left(1 - e^{-\frac{A}{C} t_0} \right) \cdot \frac{1}{1 - e^{-\frac{A}{C} t_s}}$$

Tab. 9-5 Capacidade calorífica de cada tipo fio condutor por comprimento unitário de 1cm

| Tipo do fio | | Capacidade calorífica (W·S/deg) |
|--|---------------------|---------------------------------|
| Cabo de cobre duro | 325 mm ² | 11,2616 |
| " | 200 " | 6,8098 |
| " | 125 " | 4,3292 |
| " | 100 " | 3,4802 |
| " | 38 " | 1,2818 |
| Cabo de alumínio duro | 510 " | 12,6396 |
| " | 300 " | 7,1853 |
| " | 200 " | 5,0148 |
| " | 95 " | 2,3730 |
| Fio de contato | 170 " | 5,7937 |
| " | 110 " | 3,7871 |
| " | 85 " | 2,9687 |
| Cabo de gádmio com liga de cobre | 60 " | 2,0905 |
| Cabo de alumínio reforçado com aço (A.C.S.R) | 520 " | 15,3618 |
| " | 40 " | 1,2112 |

Se for $T_s = 240$ (seg) e $I = 1,487 \times 2/3 = 991$ (A)
 No caso de $t_o = 15$ seg.

$$\theta_s = \frac{991^2 \times 1,57 \times 10^{-6}}{96,6 \times 10^{-4}} \left(1 - e^{-\frac{96,6 \times 10^{-4}}{5,15} \times 15} \right)$$

$$\frac{1}{1 - e^{-\frac{96,6 \times 10^{-4}}{5,15} \times 240}} = 12,5^\circ\text{C}$$

$t_o = 30$ (seg.) $\theta_s = 24^\circ\text{C}$

$t_o = 45$ (seg.) $\theta_s = 35,6^\circ\text{C}$

$t_o = 60$ (seg.) $\theta_s = 47,2^\circ\text{C}$

B) Cálculo da elevação da temperatura do mensageiro (caso não haja vento)

- a) Coeficiente de dissipação de temperatura do mensageiro

$$K = h_{CM} + (h_{rM} - \frac{W_s}{\pi \theta}) \eta$$

Convecção natural de condução:

$$h_{CM} = 0,00035 \sqrt[4]{\frac{\theta}{d}}$$

$$h_{CM} = 0,00035 \sqrt[4]{\frac{60}{1,596}}$$

$$= 0,00035 \times 2,476 = 8,667 \times 10^{-4}$$

Irradiação h_{rM} :

$$h_{rM} = 0,00576 \frac{(\frac{273 + T + \theta}{100})^4 - (\frac{273 + T}{100})^4}{\theta}$$

$$= 0,00576 \frac{(\frac{273 + 40 + 60}{100})^4 - (\frac{273 + 40}{100})^4}{60}$$

$$= 0,000567 \frac{(193,6 - 96)}{60} = 9,37 \times 10^{-4}$$

Portanto, o coeficiente de dissipação de temperatura:

$$\begin{aligned} K &= 8,667 \times 10^{-4} + (9,37 \times 10^{-4} - \frac{1}{3,14 \times 60}) \times 0,9 \\ &= 8,667 \times 10^{-4} + (9,37 \times 10^{-4} - 5,3 \times 10^{-4}) \times 0,9 \\ &= 8,667 \times 10^{-4} + 3,663 \times 10^{-4} = 12,33 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Onde:

Temperatura ambiental = $T = 40^{\circ}\text{C}$

Temperatura máxima permissível = $\theta = 60^{\circ}\text{C}$

Diâmetro do mensageiro = $d = 1,596 \text{ (cm)}$

Energia Solar = $W_s = 0,1 \text{ (W/cm}^2\text{)}$

Coeficiente de dissipação de temperatura do fio de contato = $\eta = 0,9$

- b) Coeficiente de dissipação de temperatura por comprimento unitário do mensageiro

Área superficial por comprimento unitário X
coeficiente de dissipação unitária:

$$A = S, K = \pi \times d \times K = 3,14 \times 1,596 \times 12,33 \times 10^{-4}$$

$$= 61,8 \times 10^{-4}$$

c) Capacidade calorífica por comprimento unitário
do fio condutor $C = 5,15$ (W.S/deg.)
(Suponha-se na tabela 9-5)

d) Resistência quando $t = 100^{\circ}\text{C}$

$$R_{100} = R_{20} \{ 1 + \alpha(t - 20) \}$$

$$= 0,1203 \{ 1 + 0,00381(100 - 20) \}$$

$$= 0,157 \Omega/\text{km}$$

$$= 1,57 \times 10^{-6} (\Omega/\text{km})$$

e) Elevação de temperatura do mensageiro θ_s :

Se for $I = 991$ (A)

No saco $t_o = 15$ (seg.):

$$\theta_s = \frac{991^2 \times 1,57 \times 10^{-6}}{61,8 \times 10^{-4}} \left(1 - e^{-\frac{61,8 \times 10^{-4}}{5,15} \times 15} \right)$$

$$\times \frac{1}{1 - e^{-\frac{61,8 \times 10^{-4}}{5,15} \times 240}} = 18^{\circ}\text{C}$$

$$t_o = 30 \text{ (seg)} \quad \theta_s = 34,6^{\circ}\text{C}$$

$$t_o = 45 \text{ (seg)} \quad \theta_s = 53^{\circ}\text{C}$$

$$t_o = 60 \text{ (seg)} \quad \theta_s = 69,3^{\circ}\text{C}$$

c) Cálculo da elevação de temperatura do fio de
contato (caso haja vento):

a) Coeficiente de dissipação de temperatura,
no fio de contato K:

$$hw = \frac{0,00572}{(273 + 40 + \frac{60}{2}) 0,123} \sqrt{\frac{0,5}{1,168}}$$

$$= 18,25 \times 10^{-4}$$

$$h_r = 9,37 \times 10^{-4} \text{ (mesmo valor com mensageiro)}$$

$$k = 18,25 \times 10^{-4} + \left(9,37 \times 10^{-4} - \frac{0,1}{\pi \times 60}\right) \times 0,9$$

$$= 21,913 \times 10^{-4}$$

- b) Coeficiente de dissipação de temperatura por comprimento unitário do fio de contato A:

$$A = 21,913 \times 10^{-4} \times \pi \times 1,168$$

$$= 80,4 \times 10^{-4}$$

- c) Capacidade calorífica por comprimento unitário do fio de contato C:

$$C = 3,7871 \text{ (Suponha-se da tabela 9-5)}$$

- d) Se for 9 mm o diâmetro restante a média do fio de contato, 85 mm² é seção de área restante.

Portanto, a resistência elétrica R_{20} na temperatura 20°C = 0,2023 (Ω/km).

Então, a elevação de temperatura permissível do fio de contato 90°C, a resistência elétrica R_{90} é:

$$R_{90} = R_{20} \{1 + \alpha(t - t_{20})\}$$

$$= 0,2030 \{1 + 0,00383 (90 - 20)\}$$

$$= 0,257 \text{ (}\Omega/\text{km)} = 2,57 \times 10^{-6} \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

Onde: $\alpha = 0,00383$
 $t = 90^\circ\text{C}$
 $t_{20} = 20^\circ\text{C}$

- e) Elevação de temperatura do fio de contato Os:
 Se for $I = 831,5 \times 2/3 = 554 \text{ (A)}$, no caso de $t_0 = 15 \text{ (seg.)}$;

$$\theta_s = \frac{554^2 \times 2,57 \times 10^{-6}}{80,4 \times 10^{-4}} \left(1 - e^{-\frac{-80,4 \times 10^{-4}}{3,7871} \times 15}\right)$$

$$\frac{1}{1 - e^{-\frac{-80,4 \times 10^{-4}}{3,7871} \times 240}} = 7,7^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} t_o &= 30 \text{ (seg)} & \theta_s &= 15,2^\circ\text{C} \\ t_o &= 45 \text{ (seg)} & \theta_s &= 22,3^\circ\text{C} \\ t_o &= 60 \text{ (seg)} & \theta_s &= 29,4^\circ\text{C} \end{aligned}$$

D) Cálculo de elevação de temperatura do fio de contato (caso não haja vento)

a) Coeficiente de dissipação de temperatura fio de contato K:

$$\begin{aligned} h_{ct} &= 0,00035^4 \sqrt{\frac{\theta}{d}} \\ &= 0,00035^4 \sqrt{\frac{60}{1,168}} \\ &= 0,00035 \times 2,68 = 9,37 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$h_{rt} = 9,37 \times 10^{-4} \text{ (mesmo com mensageiro)}$$

$$K = 9,37 \times 10^{-4} + \left(9,37 \times 10^{-4} - \frac{0,1}{3,14 \times 60} \right) \times 0,9$$

b) Coeficiente dissipação de temperatura por comprimento unitário do fio de contato A:

$$A = 13 \times 10^{-4} \times 3,14 \times 1,168 = 47,7 \times 10^{-4}$$

c) Capacidade calorífica do fio de contato C:
C = 3,7871 (suponha-se da tabela 9-5)

d) Resistência elétrica do fio de contato R_{90}
(t = 90°C):

$$\begin{aligned} R_{90} &= 0,2030 \{ 1 + 0,00383 (90 - 20) \} \\ &= 2,57 \times 10^{-6} \text{ (}\Omega/\text{cm)} \end{aligned}$$

e) Elevação de temperatura do fio de contato θ_s :
Se for I = 554 (A), no caso $t_o = 15$ (seg):

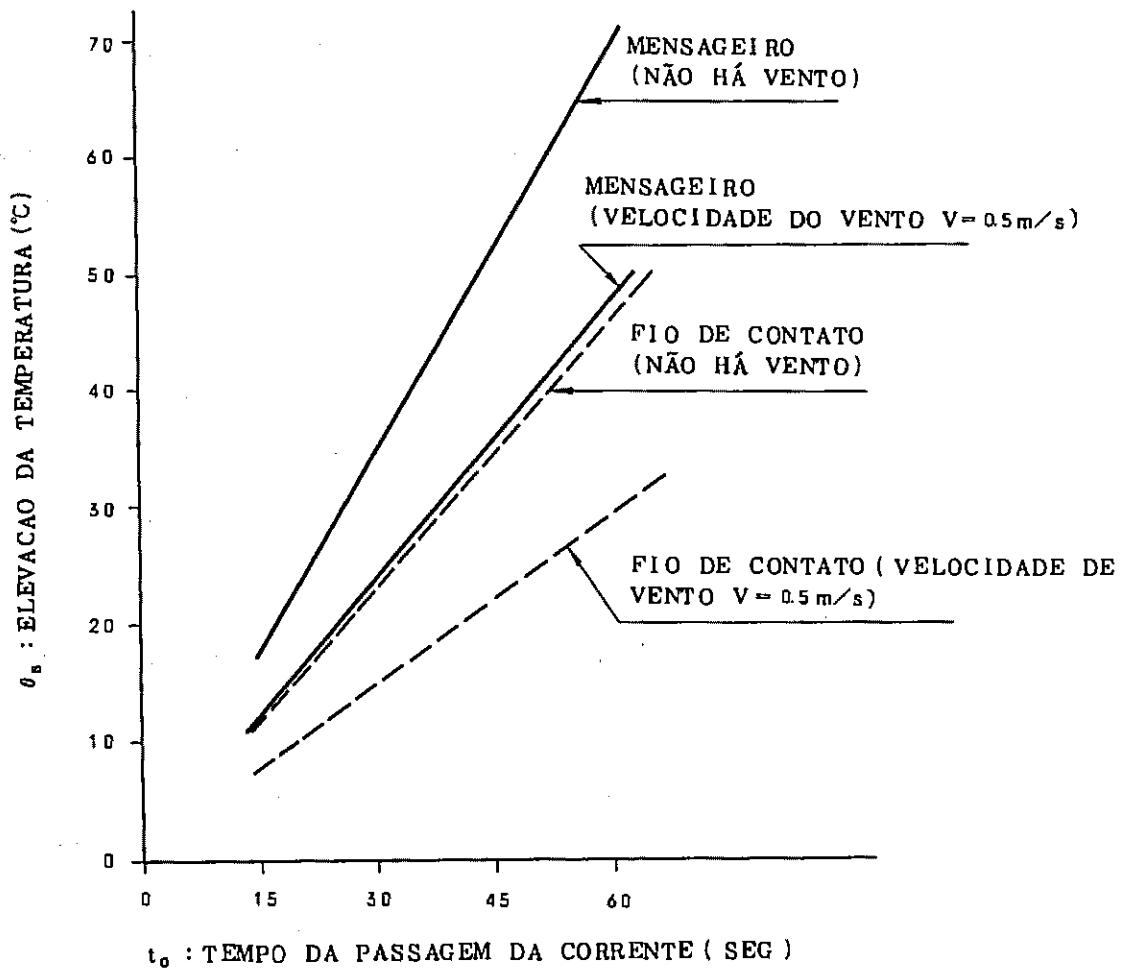
$$\theta_s = \frac{554^2 \times 2,57 \times 10^{-6}}{47,7 \times 10^{-4}} \left(1 - e^{-\frac{47,7 \times 10^{-4}}{3,7871} \times 15} \right)$$

$$\times \frac{1}{1 - e^{-\frac{47,7 \times 10^{-4}}{3,7871} \times 240}} = 12^\circ\text{C}$$

$t_o = 30$ (seg) $\theta_s = 23,3^{\circ}\text{C}$
 $t_o = 45$ (seg) $\theta_s = 34,8^{\circ}\text{C}$
 $t_o = 60$ (seg) $\theta_s = 46,2^{\circ}\text{C}$

Na figura 9-7, são apresentados graficamente os resultados dos cálculos acima mencionados.

Fig. 9-7 ELEVACÃO DA TEMPERATURA APÓS A SATURAÇÃO DEVIDO A PASSAGEM INTERMITENTE DA CORRENTE EM FORMA DE ONDA QUADRÁTICA (θ_s)



Pelo gráfico, podemos saber que a elevação de temperatura do fio nudo como Rede Aérea, varia muito depende da existência do vento, mas quando há alta potência de corrente elétrica, de aproximadamente 1.000 (A), surge a elevação de temperatura, pelo efeito joule. Além destes

fatores, se consideramos a temperatura de ambiente, a elevação de temperatura ficaria ainda maior. Por conseguinte, ao determinar a seção de cobre do fio condutor, deverá ser estudada não somente a queda de tensão, mas também, a elevação da temperatura. A seguir, vamos estudar a variação da tensão da Rede Aérea em elevação de temperatura do fio.

(3) Variação de tensão de Rede Aérea e da capacidade desta em relação à velocidade

(A) Cálculo de tensão da Rede Aérea na variação de temperatura.

Podemos calcular pela seguinte fórmula a tensão da Rede Aérea devido à variação de temperatura no mesmo:

(Mensageiro)

$$T^3 - \left\{ T_0 - \frac{8AED_0^2}{35^2} - AE \alpha' (t - t_0) \right\} T^2 - \frac{AEW^2 S^2}{24} = 0$$

Onde:

- T : Tensão do cabo na temperatura de t°C (kg)
- T₀ : Tensão do cabo na temperatura de t₀°C (kg)
- D : Flecha na tensão de T kg (m)
- D₀ : Flecha na tensão de T₀ kg (m)
- A : Área de seção do cabo (mm²)
- E : Módulo de elasticidade do cabo (kg/mm²)
- α' : Coeficiente de dilatação do cabo
- W : Peso do cabo por metro (kg/m)
- S : Vão (distância entre os postos de suspensão) (m)

(Fio de contato)

Calcula-se a tensão deste, sendo D₀ = 0 na fórmula do mensageiro:

$$T^3 - \{ T_0 - AE\alpha' (t - t_0) \} T^2 - \frac{AEW^2 S^2}{24} = 0$$

B) Cálculo da capacidade de Rede Aérea em relação à velocidade

a) Cálculo da velocidade em ressonância

$$V_c = \frac{S}{2\pi} \sqrt{1 - 1/2 \epsilon^2} \sqrt{\frac{K}{m + M}}$$

V_c = Velocidade em ressonância (m/s)

K = Média de constante da mola da catenária (kg/m)

ϵ = Fator de diversidade da constante da mola

M = Densidade equivalente do pantógrafo (kgs²/m)

m = Densidade equivalente da catenária (kgs²/m)

S = Vão (m)

b) Cálculo da velocidade quando o pantógrafo começa a perder contato com o fio

$$V_r = \sqrt{\left(1 + \frac{m}{M}\right) / \left(1 + \frac{m}{M} + \epsilon\right)} \cdot V_c$$

V_r = Velocidade quando o pantógrafo começa a perder contato com o fio (m/s)

c) Exemplo de cálculo:

a) Tensão do mensageiro T_m (kg) na elevação de temperatura de 20°C:

Sendo:

$$t - t_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$S = 60 \text{ (m)}$$

$$E = 1,2 \times 10^4 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$A = 152,1 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$\alpha' = 1,7 \times 10^{-5}$$

$$W = 1,38 + 0,954 \times 2 = 3,29 \text{ (kg/m)}$$

... Catenária c/ dois fio de contato

$$T_{m0} = 1.000 \text{ (kg)}$$

$$T_m^3 - \left\{ T_{m0} - \frac{8AE}{3S^2} D_0^2 - AE\alpha'(t - t_0) \right\} T_m^2 - \frac{AES^2}{24} W^2 = 0$$

\downarrow
Km 1
 \downarrow
Km 2
 \downarrow
Km 3

$$Km\ 1 = \frac{8 \times 152,1 \times 1,2 \times 10^4}{3 \times 60^2} = 1,35 \times 10^3$$

$$Km\ 2 = 152,1 \times 1,2 \times 10^4 \times 1,7 \times 10^{-5} = 31$$

$$Km\ 3 = \frac{152,1 \times 1,2 \times 10^4 \times 60^2}{24} = 2,7 \times 10^8$$

$$D_0 = \frac{W S^2}{8 T_0} = \frac{(1,38 + 0,954 \times 2) \times 60^2}{8 \times 1000} = 1,48 \text{ (m)}$$

$$T_m^3 - \{1000 - 1,35 \times 10^3 \times 1,48^2 - 31 \times 20\} T_m^2 - 2,7 \times 10^8 \times 3,29^2 = T_m^3 + 2577 T_m^2 - 29,2 \times 10^8 = 0$$

Substituindo-se o suposto valor da tensão da Rede Aérea nesta equação, procuramos um valor mais próximo ao zero. Por isso, se $T_m = 900$ (kg);

$$900^3 + 2577 \times 900^2 - 29,2 \times 10^8 = -1,04 \times 10^8$$

Se $T_m = 910$ (kg)

$$910^3 + 2577 \times 910^2 - 29,2 \times 10^8 = -0,325 \times 10^8$$

Se tivermos a resposta com valor decimal, transformamos no valor mais aproximado de zero. Portanto, quando a tensão do mensageiro for de 910 kg a equação aproxima-se de "zero"; Logo, quando a temperatura é de 20°C a tensão cai de 1000 kg para 910 kg.

Igualmente:

No caso de $t - t_0 = 10^\circ\text{C}$ $T_m = 950$ (kg)

$t - t_0 = 30^\circ\text{C}$ $T_m = 880$ (kg)

$t - t_0 = 40^\circ\text{C}$ $T_m = 850$ (kg)

$t - t_0 = 50^\circ\text{C}$ $T_m = 825$ (kg)

- b) Tensão do fio de contato T_t (kg) na elevação de temperatura de 20°C

Sendo:

$$\begin{aligned}t - t_0 &: 20^\circ\text{C} \\ S &: 60 \text{ (m)} \\ E &: 1,2 \times 10^4 \text{ (kg/mm}^2\text{)} \\ A &: 107,2 \text{ (mm}^2\text{)} \\ \alpha &: 1,7 \times 10^{-5} \\ W &: 0,954 \text{ (kg/m)} \\ T_{t_0} &: 1000 \text{ (kg)}\end{aligned}$$

$$Tt^3 - \left\{ T_{t_0} - \frac{AE\alpha(t - t_0)}{Kt_2} \right\} Tt^2 - \frac{AES}{24} W^2 = 0$$

$$Kt_2 = 107,2 \times 1,2 \times 10^4 \times 1,7 \times 10^{-5} = 21,9$$

$$Kt_3 = \frac{107,2 \times 1,2 \times 10^4 \times 60^4}{24} = 1,93 \times 10^8$$

$$\begin{aligned}Tt_3 - \{1000 - 21,9 \times 20\} Tt^2 - 1,93 \times 10^8 \times 0,954^2 \\ = Tt^3 - 562 Tt^2 - 1,757 \times 10^8 = 0\end{aligned}$$

$$Tt = 820 \text{ (kg)}$$

$$820^3 - 562 \times 820^2 - 1,757 \times 10^8 = -0,022$$

Igualmente:

No caso de

| | |
|------------------------------|-------------------------|
| $t - t_0 = 10^\circ\text{C}$ | $Tt = 900 \text{ (kg)}$ |
| $t - t_0 = 30^\circ\text{C}$ | $Tt = 700 \text{ (kg)}$ |
| $t - t_0 = 40^\circ\text{C}$ | $Tt = 600 \text{ (kg)}$ |
| $t - t_0 = 50^\circ\text{C}$ | $Tt = 530 \text{ (kg)}$ |

C) Capacidade da Rede Aérea em relação à velocidade
Calculando-se a constante da mola de acordo com o método já apresentado quando a elevação da temperatura é 20°C , a constante da mola média da Rede Aérea K_{20} é:
 $K_{20} = 281$

E, o fator de diversidade de constante da mola ϵ é:
 $\epsilon_{20} = 0,565$

$$\begin{aligned}\text{Massa da Rede Aérea } m &= (2,3 + 0,954 \times 2) \times 60 / 2 \times 0,1 \\ &= 12,64 \text{ (kgs}^2\text{/m)}\end{aligned}$$

$$\text{Massa do pantógrafo } M = 3,6 \text{ (kgs}^2\text{/m)}$$

$$\text{Força de levantamento do pantógrafo } P_0 = 8 \text{ (kg)}$$

Velocidade em ressonância V_c

$$V_{20C} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{1 - 1/2 \times 0,565^2} \sqrt{\frac{281}{12,64 + 3,6}}$$
$$= 9,55 \times 0,917 \times 4,16 = 36,4 \text{ (m/s)} = 131 \text{ (km/H)}$$

Velocidade quando o pantógrafo começa a perder contato com o fio V_r :

$$V_{20r} = \sqrt{\left(1 + \frac{12,64}{3,6}\right) / \left(1 + \frac{12,64}{3,6} + 0,565\right)} \times V_c$$
$$= 0,943 \times 131 = 123 \text{ (km/H)}$$

Levantamento estático da Rede Aérea y :

$$Y_{20} = 8/281 = 0,028 \text{ (m)} = 28 \text{ (mm)}$$

Levantamento dinâmico da Rede Aérea y :

$$Y'_{20} = 3y = 3 \times 28 = 85 \text{ (mm)}$$

A figura 9-8 mostra graficamente os resultados do cálculo da capacidade da Rede Aérea em relação à velocidade na elevação de temperatura.

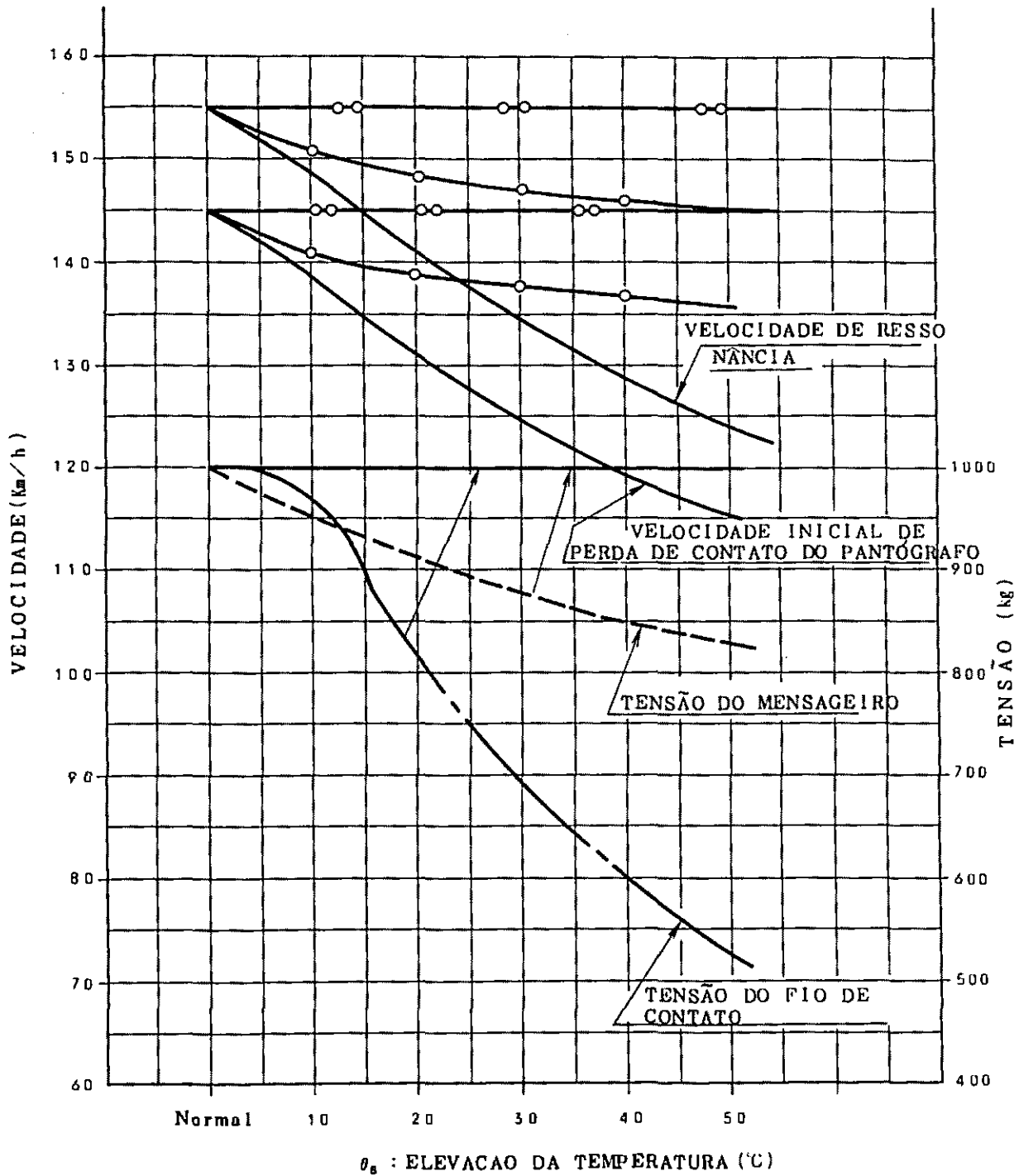
D) Observação:

Como mostra na figura 9-8, a queda de tensão da Rede Aérea pela elevação da temperatura é consideravelmente alta, especialmente a tensão do fio de contato cai bruscamente, em comparação com a do messageiro. Para o messageiro, mesmo surgido afrouxamento devido à elevação da temperatura, este afrouxamento torna-se o fator que limita a queda de tensão do messageiro. Para o fio de contato que está suspenso no messageiro, seu afrouxamento não serve como o fator que restringe a queda de tensão como no caso do messageiro. Portanto, o afrouxamento no fio de contato provoca a sua queda de tensão maior. Estas são causas de que na época de alta temperatura do verão, encontramos fio de contato com a queda de tensão maior e o messageiro com a menor. Nessa condição, as características da Rede Aérea piora pela queda considerável de constante da mola surgida pela queda de tensão da Rede Aérea.

Por este motivo, necessita-se auto-tensionamento da

Rede Aérea. O resultado do auto-tensionamento é mostrado graficamente na figura 9-8 com linha — .

FIG: 9-8 CURVA-CARACTERÍSTICA DA VELOCIDADE E TENSÃO DA REDE AÉREA NA ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA (CATENÁRIA SIMPLES COM DOIS FIO DE CONTATO)



Na Rede Aérea, o ideal é fazer auto-tensionamento em mensageiro e o fio de contato. Através de auto-tensionamento dos ambos, poderá obter-se a característica constante em relação à velocidade, melhorando-se a curva em relação à velocidade como mostrado no gráfico com linha —○—.

Por conseguinte, quando fôr planejar o desenho da Rede Aérea ou seu melhoramento, deverá ser feito o planejamento de modo que autotensionem-se o fio de contato e o mensageiro. Neste caso, seria ideal a adoção do tipo de suporte de cantilever móvel. No melhoramento da Rede Aérea, entretanto, precisa-se despesa considerável para reforma de suportes de auto-tensionamento do mensageiro. Além disso, há dificuldades em execução da própria obra. Mesmo assim, deverá ser feito auto-tensionamento do mensageiro que dá grande melhoramenta às características da Rede Aérea. Com auto-tensionamento do mensageiro, a curva em relação à velocidade melhora-se como mostra no gráfico com a linha —○—.

O auto-tensionamento da Rede Aérea melhora não somente características desta em relação à velocidade, mas também diminui o desgaste do fio de contato. Por isso, qualquer que seja a catenária a ser escolhida, será indispensável a instalação de dispositivo de auto-tensionamento da Rede Aérea para elevar a capacidade desta em relação à velocidade.

10 RESUMO DAS INSTALAÇÕES DE SINALIZAÇÃO DE SHINKANSEN

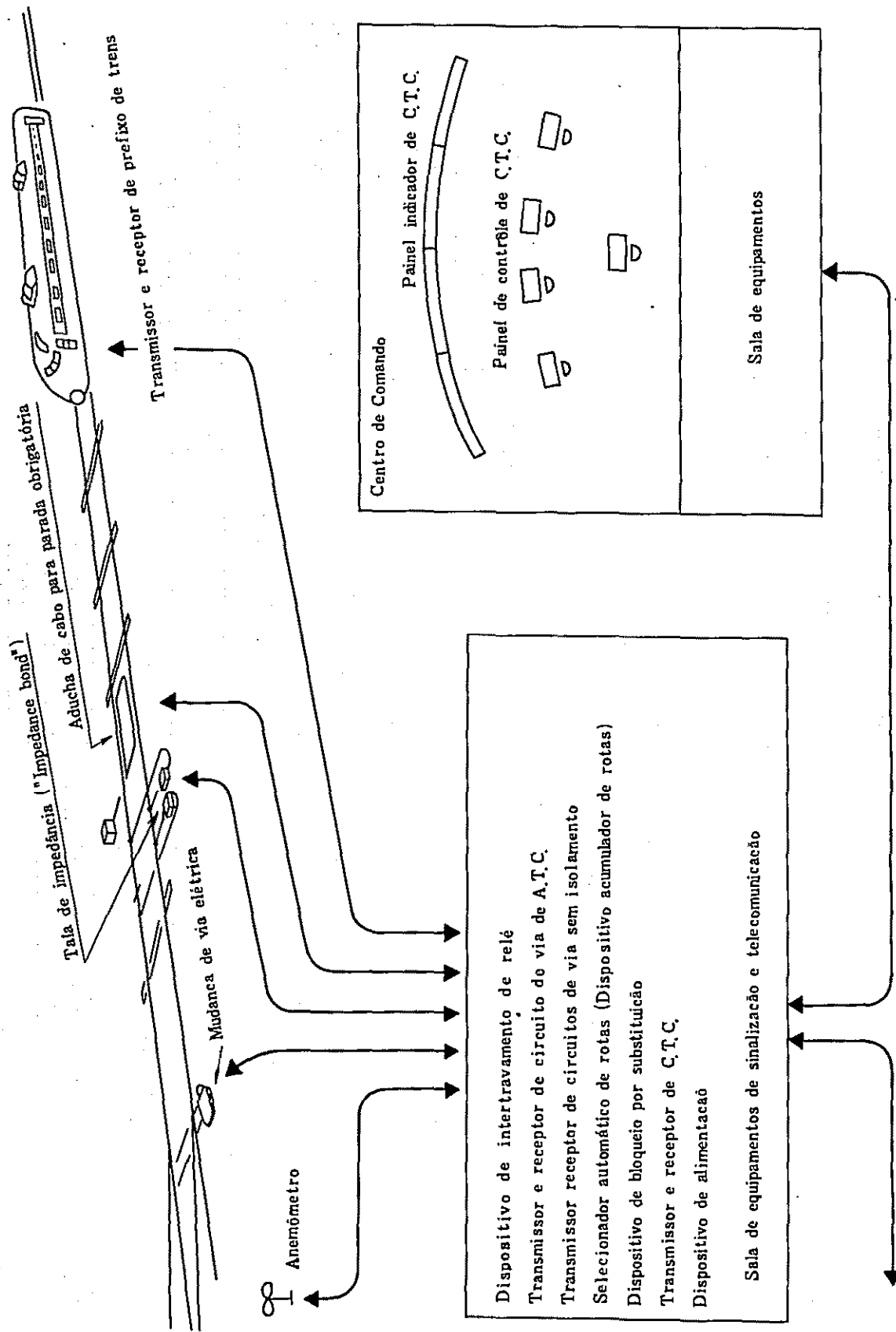


Fig. 10-1 Esquema de Instalações de Sinalização de SHINKANSEN

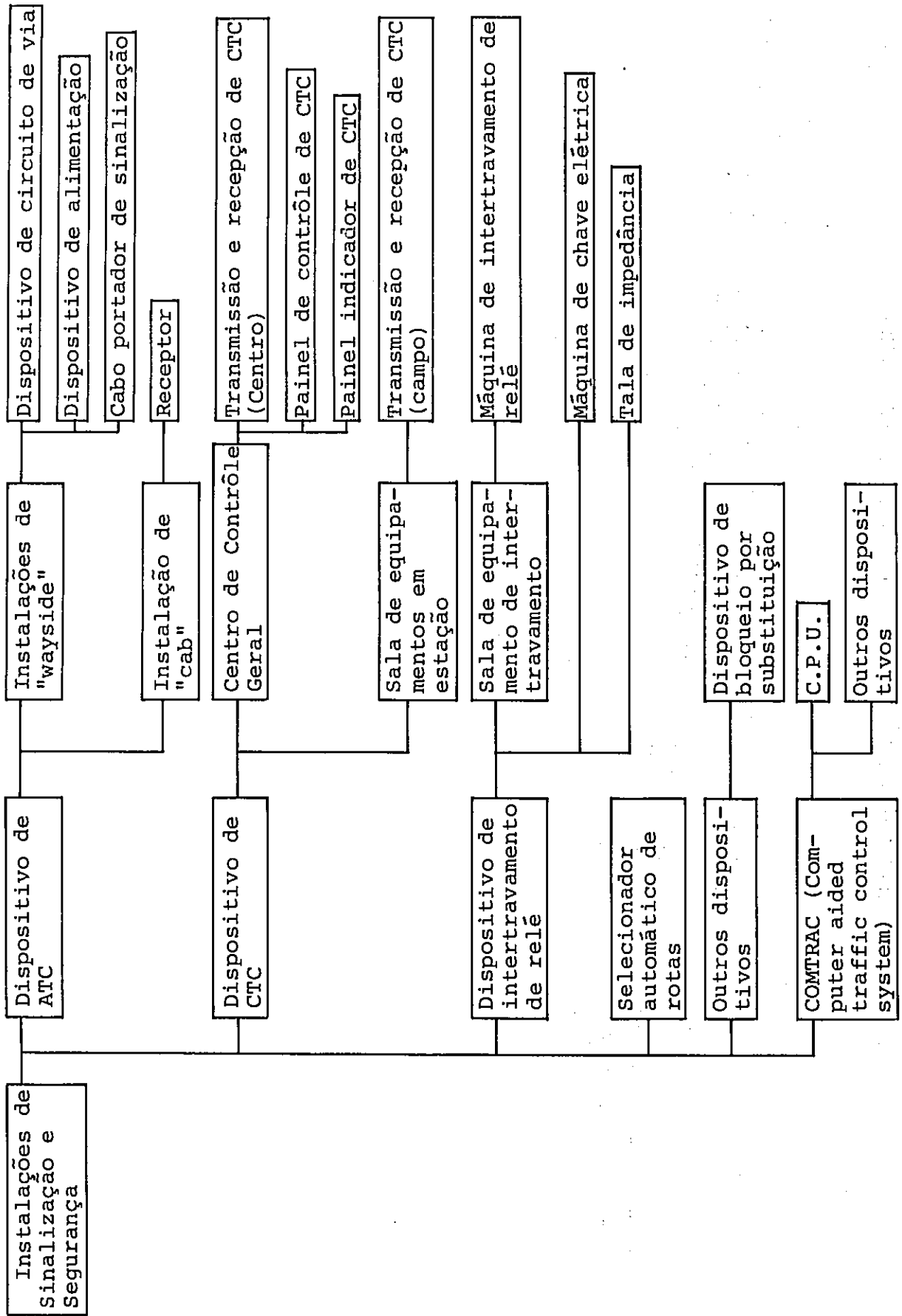
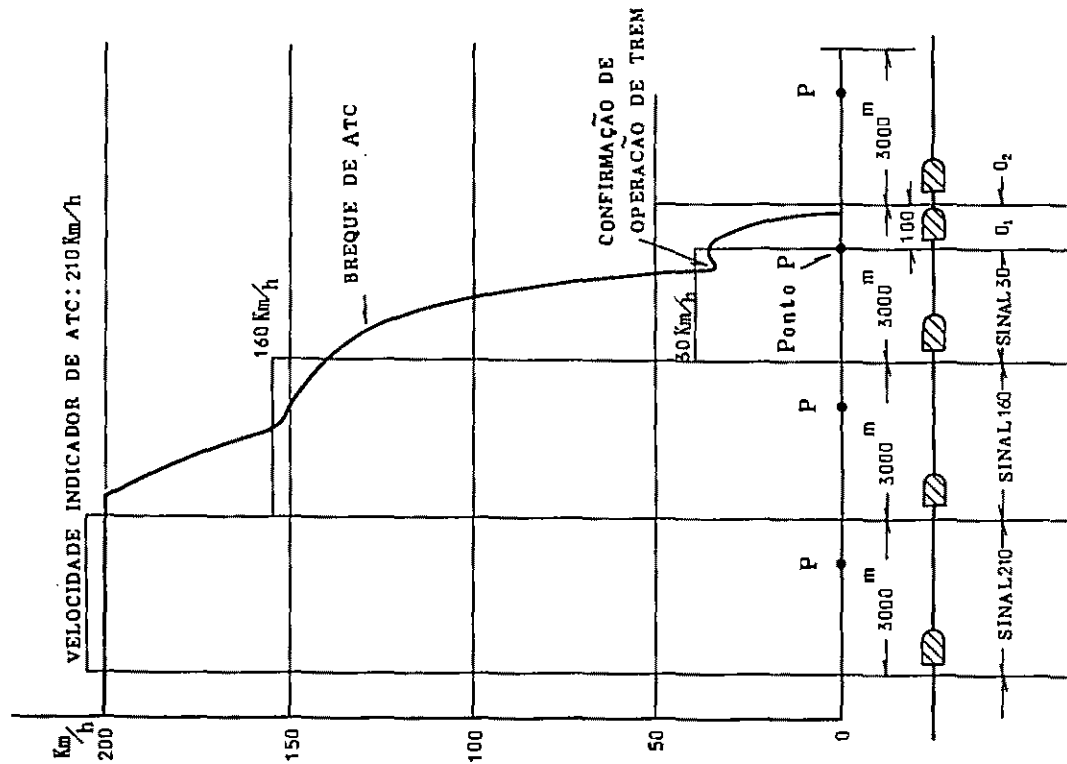
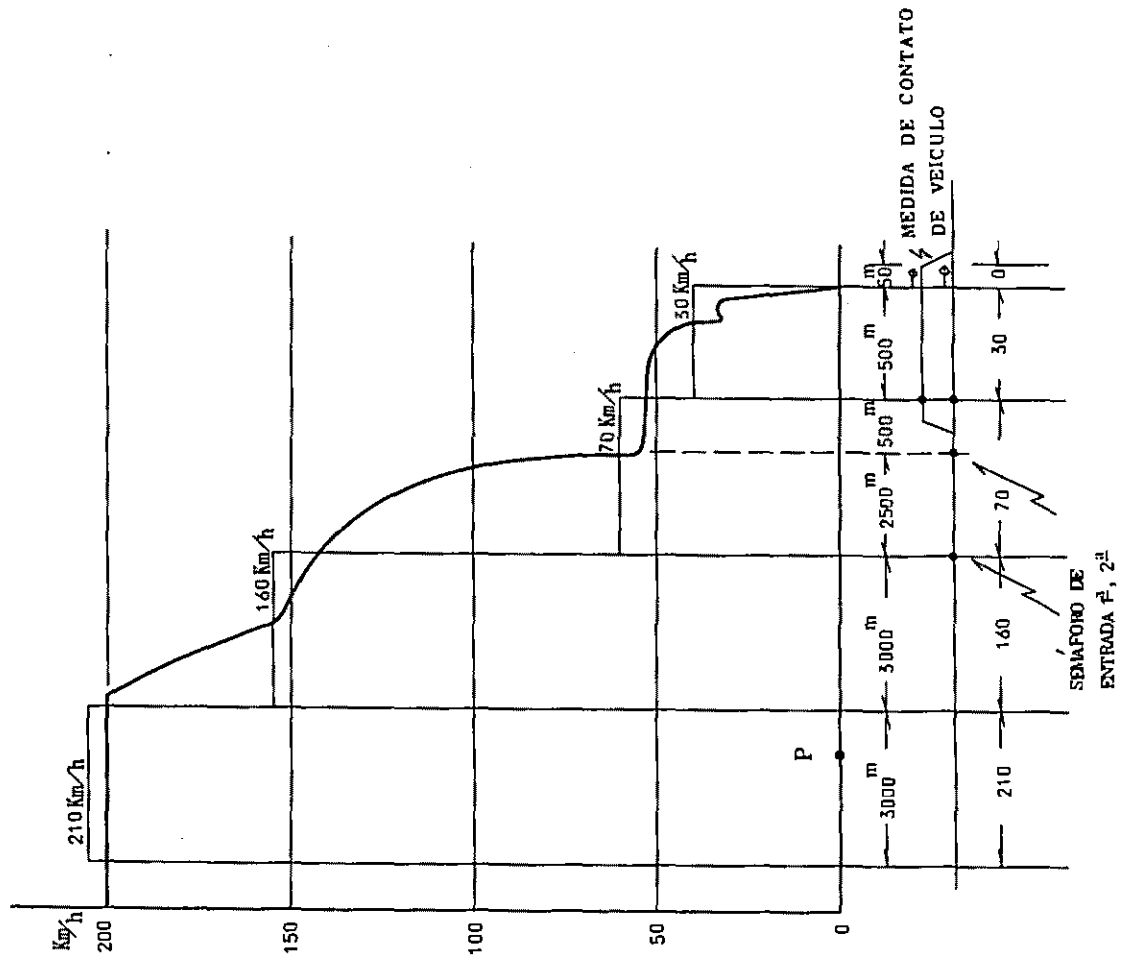


Fig. 10-2 CURVAS DAS OPERAÇÕES DOS TRENS DA SHINKANSEN

1-CASO DE TREM PARADO ENTRE AS ESTAÇÕES



2-CASO DE TREM PARADA NA ESTAÇÃO



11. RESUMO DAS INSTALAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÃO DA SHINKANSEN
DA JNR

CONTEÚDO

- 11.1 Sistema de telecomunicação necessário para administração de SHINKANSEN
 - 11.1.1 Circuito de telecomunicação para garantir a segurança e a aumentar a eficiência, na operação de trem
 - 11.1.2 Circuito de telecomunicação para serviço aos passageiros
 - 11.1.3 Circuito de telecomunicação para manutenção de instalações
- 11.2 Instalações de telecomunicação na SHINKANSEN
 - 11.2.1 Cabo coaxial
 - 11.2.2 Rádio de trem
 - 11.2.3 Telefône ao longo da via
 - 11.2.4 Equipamento de rádio usado para chamar os pessoais de manutenção
 - 11.2.5 Informação meteorológica

ANEXOS

- 11-1. Contorno do sistema de telecomunicação na SHINKANSEN da JNR
- 11-2. Contorno do sistema de rádio de trem por LCX
- 11-3. Aspecto do sistema de rádio móvel na JNR
- 11-4. Rede de SHF

11.1 Sistema de telecomunicação necessário para administração de SHINKANSEN

11.1.1 Circuito de telecomunicação para garantir a segurança e a aumentar a eficiência, na operação de trem

(1) Circuito para Contrôlo Automático de Trem (ATC)

Isto é composto de circuito de truque e o cabo para ATC.

(2) Circuito para Contrôlo Centralizado de Tráfego (CTC)

É necessário para esta finalidade a linha de transmissão de informação entre Centro de Contrôlo Geral e sala de equipamentos de sinalização locada ao longo da via.

(3) Telefone de despachador para operação de trem

Este sistema é composto de três tipos de telefone; o primeiro é o telefone rádio de trem para comunicação entre despachador de Centro de Contrôlo Geral e maquinista a bordo, o segundo é o telefone despachador entre despachador e chefe de estação, sede de maquinista ou base de material rodante, e o terceiro é o telefone despachador entre despachador de tráfego e sede de condutor.

A cada um dos três tipos de telefones é o direto e exclusivo cuja função tem chamada seletiva e chamada instantânea.

(4) Circuito para Contrôlo Centralizado de Subestação

Isto é usado para contrôlo remoto de equipamentos em subestações, seccionadores e estações de converção de frequência.

(5) Telefone exclusivo para operação de trem entre estações

Isto é o telefone direto usado quando o sistema de bloqueio por substituição se executa em caso de defeito de ATC.

(6) Sistema de vigilância de vento

O despachador de Centro de Contrôlo Geral é capaz de observar velocidade de vento ao longo da via pela informação transmitida de anemômetro instalado nos pontes de grandes rios e desfiladeiros.

(7) Telefone ao longo da via

Com este equipamento, pessoal de manutenção em patrulha ao longo da via pode comunicar com Centro de Contrôlo Geral ou setores interessados.

(8) Telefone rádio em estação e pátio

Isto é usado exclusivamente em estação e pátio para

contato entre tripulação de trem e chefe de estação, e entre tripulação de trem e cabina de sinalização em base de material rodante.

- (9) Fac-símile
- (10) Telefône de comutação

11.1.2 Circuito de telecomunicação para serviço aos passageiros

- (1) Circuito para o sistema de reserva de lugares

Isto é o circuito entre Unidade Central de Processo e equipamentos terminais instalados em guichê de bilheteria da estação.

- (2) Circuito para os equipamentos de informação aos passageiros em estação

É o circuito usado para os indicadores e sonorizações com objetivo de informar a hora de partida e chegada e o número de plataforma, etc.

- (3) Telefône rádio de trem para condutor

É o circuito pelo qual condutor a bordo pode comunicar com despachador de tráfego de Centro de Controle Geral e o pessoal de estação através de painel de comutação de JNR.

- (4) Telefône público de trem

É o circuito pelo qual o passageiro a bordo pode comunicar com um assinante na área de serviço de cidade principal.

- (5) Fac-símile
- (6) Telefône de comutação

11.1.3 Circuito de telecomunicação para manutenção de instalações

- (1) Telefône rádio móvel

O pessoal de manutenção pode comunicar com setores interessados através de painel de comutação de JNR, usando equipamento rádio montado no carro de manutenção.

- (2) Radicall

Com este equipamento, o despachador de Centro de Controle Geral ou Local pode chamar o pessoal de manutenção em patrulha ao longo da via, e dar-lhe uma ordem necessária.

- (3) Telefône exclusivo entre os setores relacionados a via permanente, energia elétrica, sinalização e telecomunicação etc.

- (4) Telefone ao longo da via
- (5) Fac-símile
- (6) Telefone de comutação

11.2 Instalações de telecomunicação na SHINKANSEN

A maioria das instalações de telecomunicação são o circuito de portador telefônico de canais múltiplos com alta qualidade usando o cabo coaxial e o rádio de trem.

11.2.1 Cabo coaxial

Com a finalidade de comunicação de longa distância entre Centro de Contrôles e estações ou estações entre si, é empregado o telefone de portador de cabo coaxial com a capacidade de 960 canais e em caso de possível falta, possibilita a ligação deste ao circuito de micro-onda existente como o canal auxiliar.

Para a comunicação do campo a estação, usa-se o cabo local de 86 pares. Como a linha de transmissão, usa-se o cabo composto coaxial tipo (1,18/4,4, a combinação do cabo coaxial e o cabo local), posto em calha.

Uma seção transversal deste cabo é mostrada na figura 11-1.

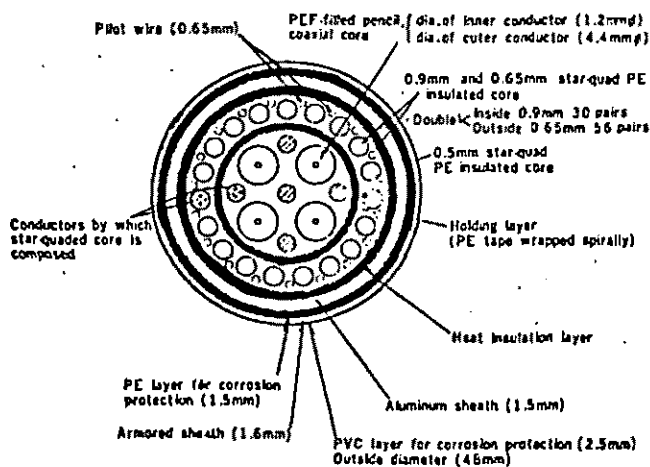


figura 11-1.

11.2.2 Rádio de trem

Há três maneiras para comunicar com trens em tráfego na SHINKANSEN. A primeira maneira é o telefone de rádio de trem composto

de três sistemas seguintes;

- (1) sistema de despachador de trem (entre despachador e maquinista)
- (2) sistema de serviço (entre despachador de tráfego e condutor)
- (3) sistema de comunicação pública (entre passageiro no trem e assinante).

A segunda maneira é o rádio de estação que se utiliza no pátio de estação para o contato entre a tripulação de trem e o pessoal de estação, e se utiliza na base de material rodante para o contato entre a tripulação de trem e o pessoal de cabina de sinalização em caso de operação de manobra; para esta finalidade usa-se o telefone de rádio de onda 150 MHz.

A terceira maneira é o rádio de emergência que serve para informar a tripulação de trem os perigos iminentes quando acontece um acidente; para esta finalidade usam-se os equipamentos de rádio de onda 160 MHz.

No caso da segunda e a terceira, o equipamento de rádio adotado na Nova Linha de Tohoku é basicamente quase que tal como está empregado na Nova Linha de Tokaido e Sanyo. Mas, no caso da primeira, adota-se o equipamento de rádio basicamente diferente da Nova Linha de Tokaido e Sanyo.

Quer dizer, o equipamento de rádio de onda 400 MHz (onda de espaço) está sendo usando na Nova Linha de Tokaido e Sanyo, mas na Nova Linha de Tohoku emprega-se o sistema de cabo coaxial de dispersão.

O cabo coaxial de dispersão (LCX) é o cabo coaxial revestido por polietileno com o condutor externo acanalado, que tem as características superiores, a respeito da perda de transmissão, grau de conjugação e flutuação de campo elétrico, etc.

As comunicações entre terra e trem em tráfego são feitas pela onda de rádio emitida através de pequeno furo retangular no LCX.

As razões principais para adotar o sistema de LCX são seguintes:

- (1) No sistema de onda de espaço, o número máximo de canais que podemos obter são 10 canais, devido à intermodulação. No sistema de LCX, podemos obter 24 canais.
- (2) O sistema de LCX é capaz de receber as necessidades de transmissão de dados no futuro na sua qualidade.

(3) No sistema de LCX há possibilidade de telefone instalado ao longo da via a cada 500 metros, ser substituído pelo equipamento de rádio.

Há possibilidade também, de equipamento de rádio emergência e telefone portátil, com as quais o pessoal de manutenção realiza patrulha, vir ser substituído pelo só um equipamento de rádio.

11.2.3 Telefone ao longo da via

Este está instalado ao longo da via a cada 500 metros e pode ser usado como o telefone para manutenção de instalações energéticas, de sinalização e de Via Permanente e para operação de trem.

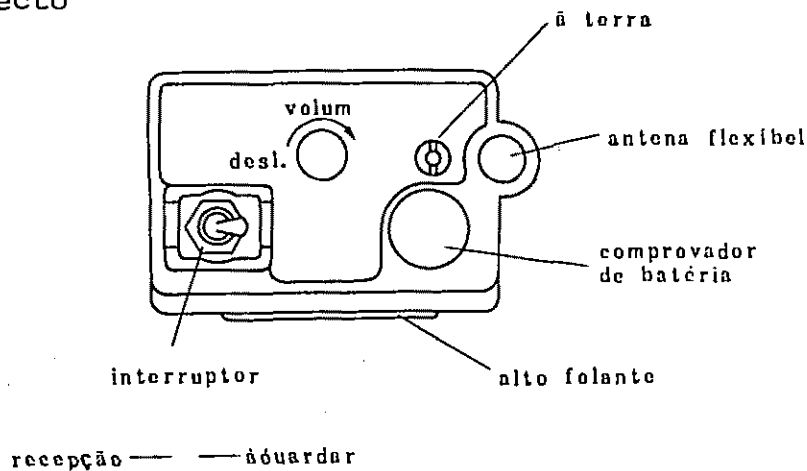
E também capaz de ser ligado com comutações.

No caso em que este for ligado ao circuito de telefone para a operação de trem, quem o usa pode falar com o despachador no Centro de Contrôlo.

11.2.4 Equipamento de rádio usado para chamar os pessoais de manutenção

(1) Este é usado para chamar os pessoais de manutenção em patrulha ao longo da via.

(2) Aspecto



(3) Operação

- A. Pela recepção do sinal de chamada do Centro de Contrôlo local, o tom de chamada é dado.
- B. Em caso de recepção do sinal de chamada, ligamos o interruptor ao lado de "recepção" a fim de que possamos saber a ordem do serviço.

C. A ordem do serviço se transmite depois de cinco minutos após de recepção do sinal de chamada. (O tom de chamada continua até que o interruptor se ponha ao lado de "recepção".)

D. Depois de acabamos de ouvir a ordem, pomos o interruptor ao lado de "aguardar".

(4) Frequência do sinal de chamada

O sinal de chamada se compõe de primeiro sinal e segundo sinal.

O primeiro sinal se usa para chamadas simultâneas (múltiplas) e a chamada seletiva.

O segundo sinal se usa para seleccionar a sede de manutenção.

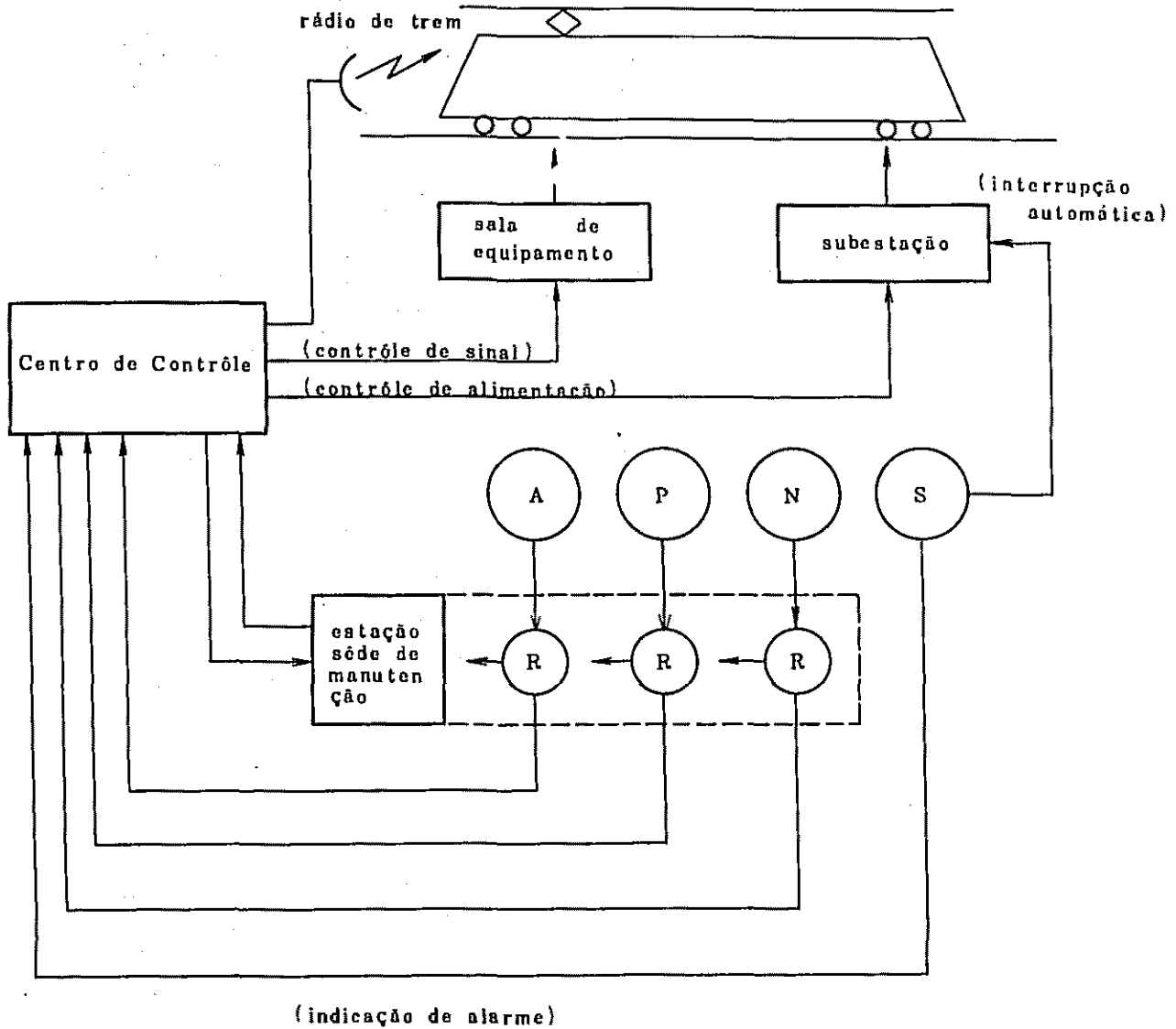
| Sêde de manutenção | | combinação de frequência |
|--------------------|--------------------|---|
| via permanente | chamada simultânea | $f_1 + f_2$ |
| | chamada seletiva | $f_1 + f_n$ (uma das frequências de f_5 e f_9 , fixado a cada sêde) |
| elétrico | chamada simultânea | $f_1 + f_3$ |
| | chamada seletiva | $f_1 + f_n$ (uma das frequências de f_5 e f_9 , fixado a cada sêde) |

11.2.5 Informação meteorológica

Além do sistema adotado que assegura, incluindo ATC e CTC, os equipamentos que facilitam a medição se instalam em pontos importantes da estrada de ferro onde faz-se a operação de trens em alta velocidade, para o recolhimento exato e rápido de informações meteorológicas sobre vento, chuva, terremoto, nevada, etc., com as quais controlamos as operações de trens, protegendo os trens de calamidades naturais.

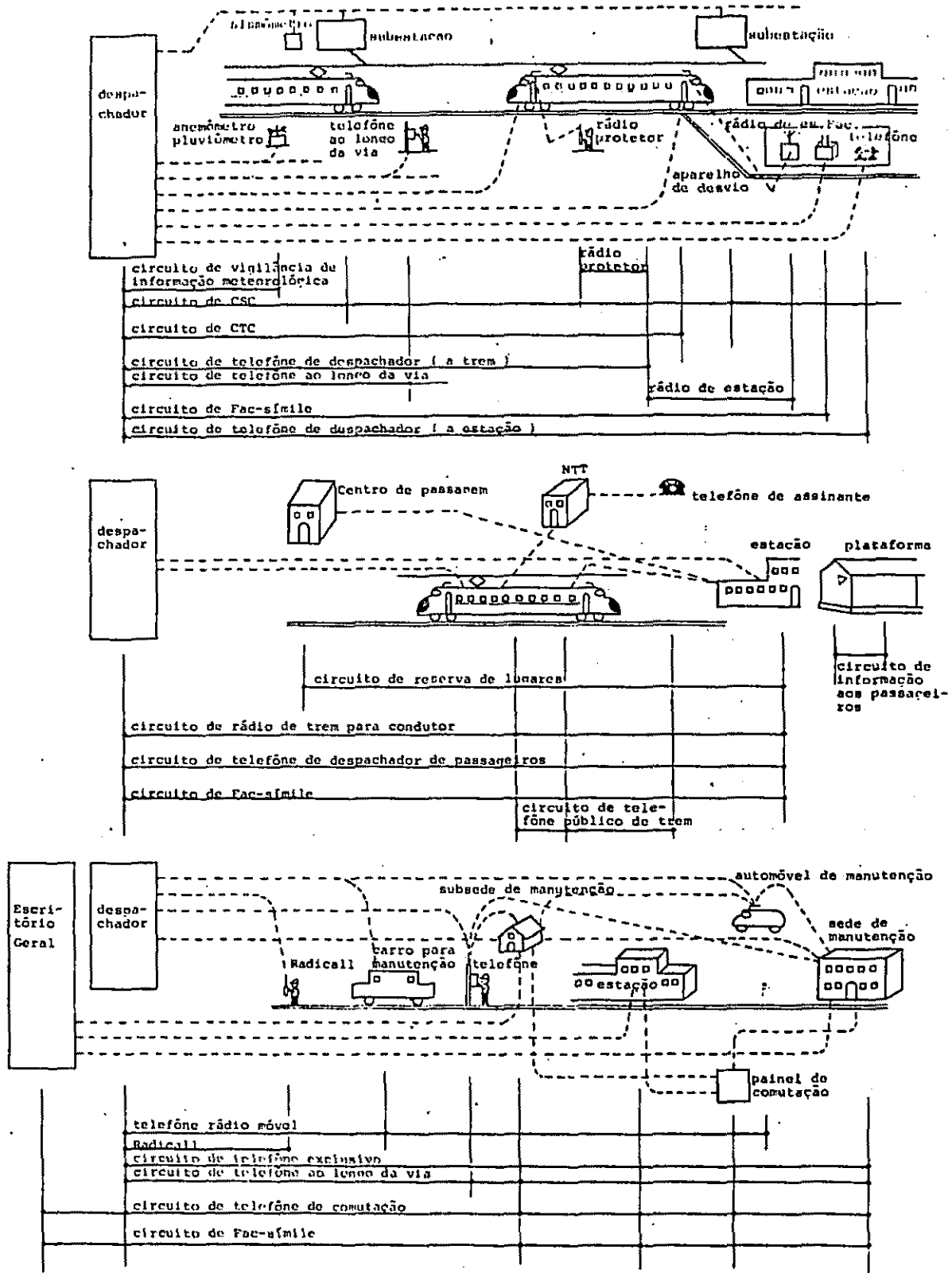
Além daqueles sobreditos, há os varios outros sistemas e aparelhos de telecomunicação, tais como fac-símile, o sistema de reserva de lugares e ITV etc.

Fig. 11-2 Diagrama de bloco do sistema de controle de informação meteorológica 178

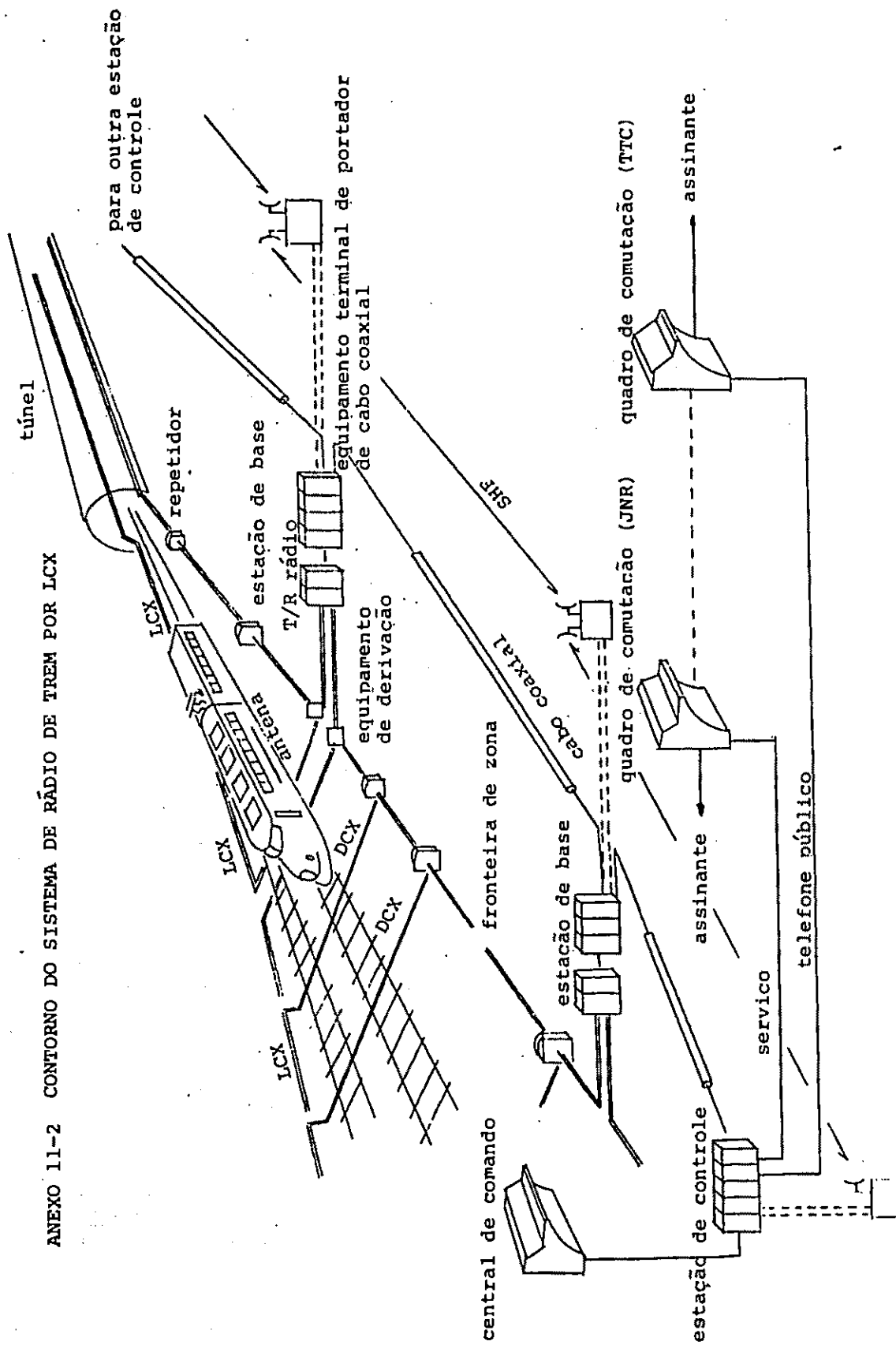


- A : anemômetro
- P : pluviômetro
- N : medidor de nevada
- S : sismômetro
- R : registrador

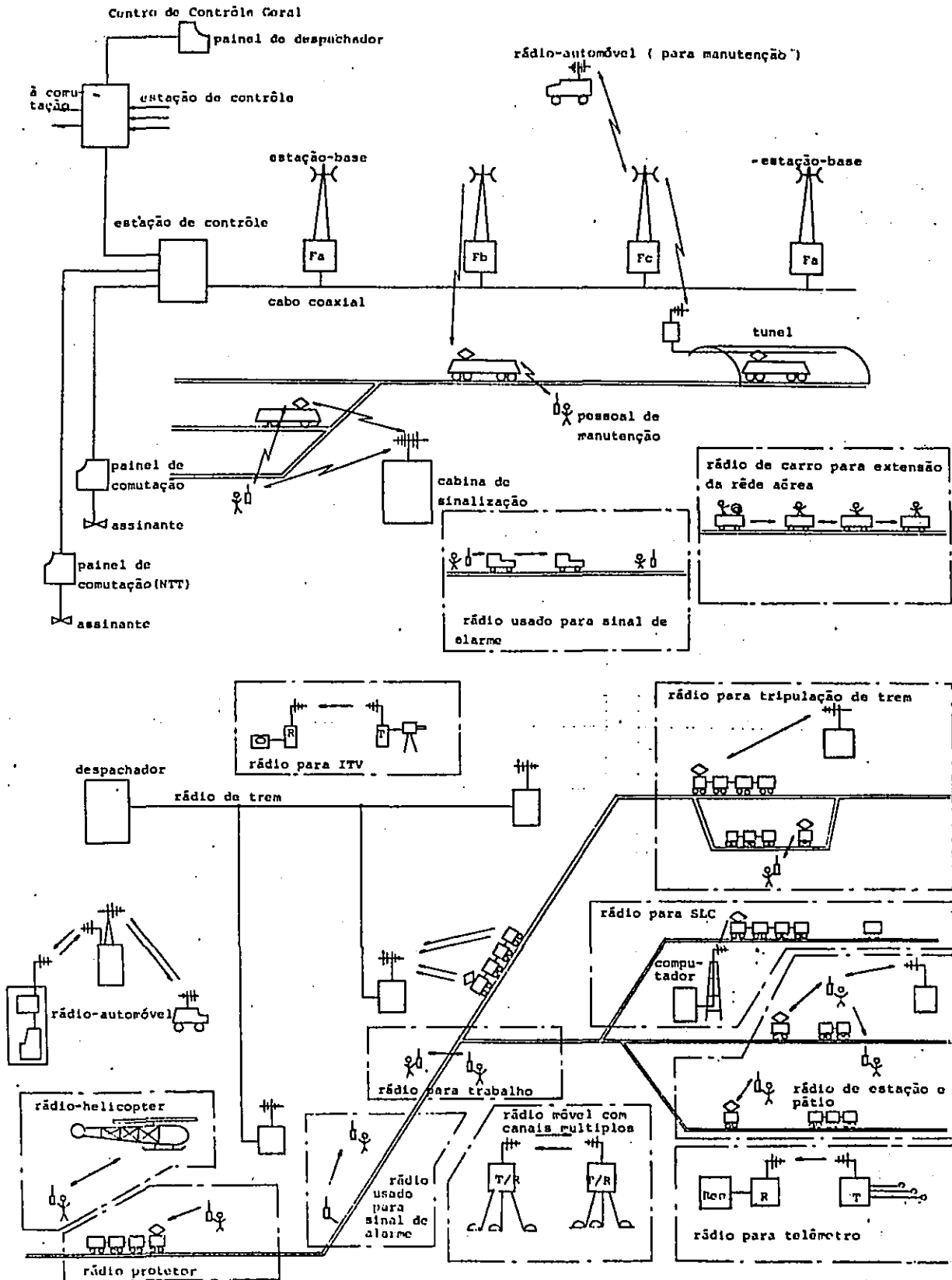
ANEXO 11-1 Contorno do sistema de telecomunicação na SHINKANSEN da JNR



ANEXO 11-2 CONTOURNO DO SISTEMA DE RÁDIO DE TREM POR LCX



ANEXO 11-3 ASPECTO DO SISTEMA DE RÁDIO MÓVEL NA JNR

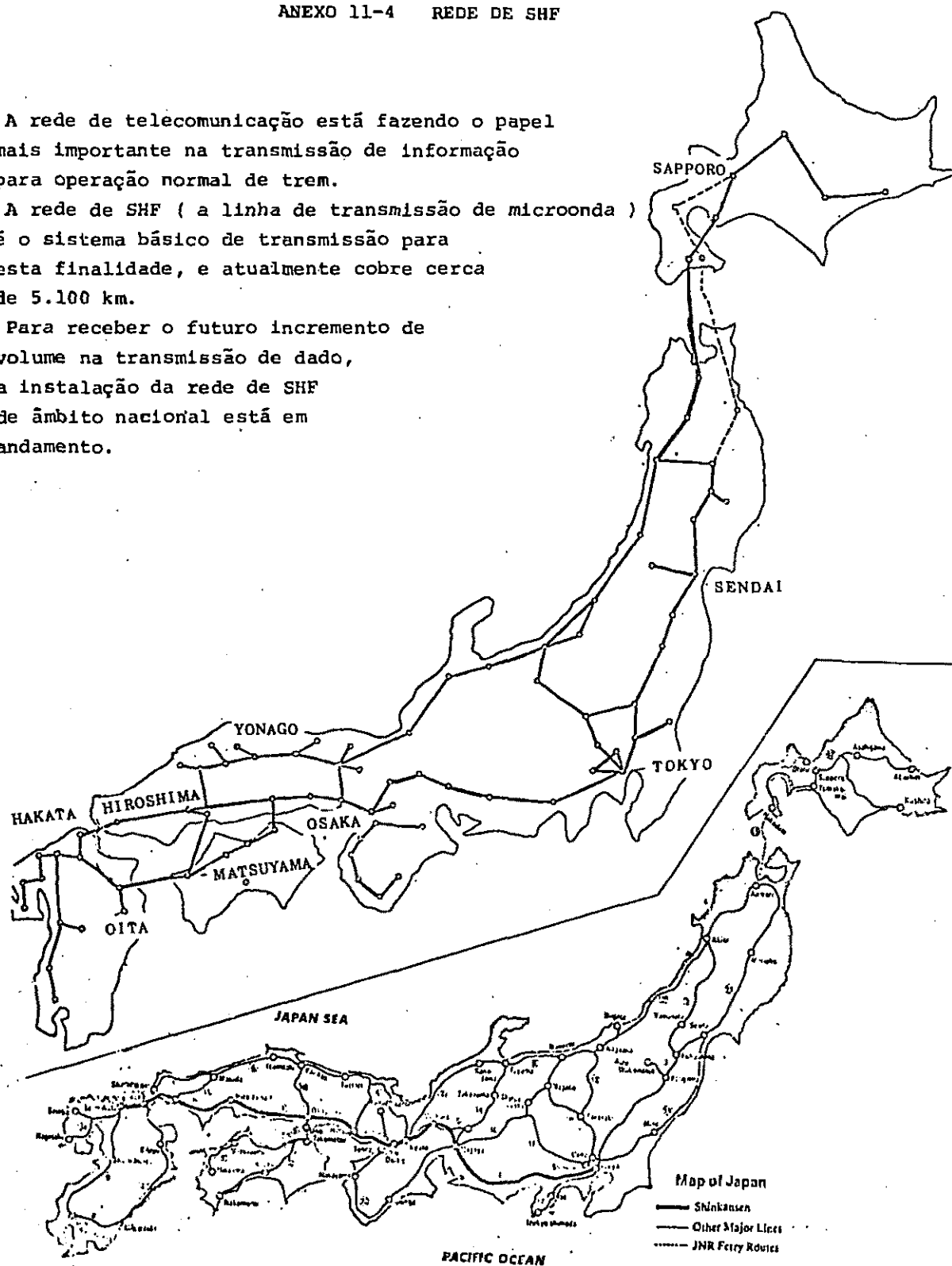


ANEXO 11-4 REDE DE SHF

A rede de telecomunicação está fazendo o papel mais importante na transmissão de informação para operação normal de trem.

A rede de SHF (a linha de transmissão de microonda) é o sistema básico de transmissão para esta finalidade, e atualmente cobre cerca de 5.100 km.

Para receber o futuro incremento de volume na transmissão de dado, a instalação da rede de SHF de âmbito nacional está em andamento.



12. REGENERAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA E CENTRO DE COMANDO GERAL DE OPERAÇÃO

12.1 GENERALIDADES SOBRE A REGENERAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA (FORÇA):

12.1.1 A resistência de corrida muito pequena da Ferrovia pode ser mencionada como um item que coloca este meio de transporte em uma posição de destaque, comparando-o com os demais. Neste ponto, pode se dizer que o navio de baixa velocidade é também vantajoso. Portanto, se se trata de corrida de algo pesado com uma baixa velocidade, têm-se a energia de consumo reduzida com um baixo custo de força. Porém, sabe-se que a história dos veículos de locomoção é uma história sintetizada pela busca de uma alta velocidade; logo, do ponto de vista social, a necessidade de correr-se rapidamente aumentou no decorrer do tempo e, os atuais navios de alta velocidade já atingiram o nível onde nem sempre ocupam um lugar preferencial quando se refere a energia. Dentre este prisma que posição ocuparia a Ferrovia? Com excessão da Shinkan-Sen com o atual nível de velocidade máxima, a resistência de corrida da Ferrovia continua pequena; no entanto, para acelerar o trem pesado necessita-se de uma grande quantidade de energia, a qual deve ser armazenada como energia de movimento do mesmo, para ser tratada novamente na ocasião em que se efetuar a parada com a aplicação do freio. Deve-se observar, que, aqui, a energia de movimento é proporcional ao quadrado da velocidade.

O trem com velocidade de 100Km/h possui uma energia de movimento correspondente ao dobro do mesmo que apresenta a velocidade de 70Km/h. Então para correr com alta velocidade, de qualquer forma, torna-se necessário aumentar o porte do dispositivo de força, o que acarreta desvantagem do ponto de vista energético. Entretanto, diferindo-se dos demais meios de locomoção, apenas a Ferrovia Elétrica consegue reduzir esta desvantagem. Isto se torna possível, porque pode-se recuperar a energia de movimento armazenada na ocasião da aplicação do freio. Os automóveis e os carros a vapor consomem o combustível mesmo na atuação do freio motor, porém o carro elétrico com freio de regeneração devolve

a força à fonte quando se efetua a aplicação do freio. Como desde o princípio a resistência de corrida é pequena, há o retorno de uma quantidade substancial de energia.

12.1.2 Porque há necessidade de regeneração da força?

Pode se imaginar facilmente que a regeneração de energia elétrica corresponde muito bem a sua economia, porém, a necessidade do emprego do freio de regeneração da energia elétrica é diversificada, a saber:

- (1) Economia de Energia
 - (2) Economia de Instalações
 - (3) Aperfeiçoamento da Característica de Freio
 - (4) Elevação da Seguridade e Conforto através do Impedimento da Ocorrência de Calor
 - (5) Redução do peso dos carros
 - (6) Elevação da Capacidade de Operação: por exemplo, a eficiência de Operação à velocidade constante
- (1) Cremos que não há necessidade de explicação;
 - (2) Nas regiões onde os trens são operados em alta densidade, como é o caso da Ferrovia Urbana, a potência de saída da subestação é reduzida, pois a energia elétrica que sai do carro regenerador é dirigida ao carro com motor acionado e com isso torna-se possível reduzir a instalação da terra destinada à operação elétrica.
 - (3) É o motivo principal pelo qual se emprega a locomotiva regeneradora entre os trechos compridos de inclinação. Se correr uma longa rampa de descida, mantendo-se o freio pneumático aplicado pode ocorrer acidente devido ao afrouxamento das rodas provocado pelo superaquecimento da pastilha de freio e rodas e ainda pode dificultar o controle de velocidade devido a variação do coeficiente de desgaste;
 - (4) É um item importante principalmente ao se tratar dos carros subterrâneos. Reduz a taxa de incidência dos incêndios nos carros e economiza a capacidade das instalações de ar condicionado no túnel, sendo grande a economia de energia devido a este último;
 - (5) Como se torna desnecessário o resistor para o controle do gerador (freio dinâmico) e o dispositivo para seu resfriamento, contribue para redução de peso e redução de ruídos:

(6) Ao se tratar de carro regenerador que emprega o motor de excitação composta é possível realizar-se com relativa facilidade a operação com velocidade constante através do controle do sistema de campo de excitação separada; por isso, atualmente o item 6 não é motivo principal que acarrete a adoção da regeneração, porém, se a ATO for difundido é provável que o carro, em que seja impossível a regeneração, torne-se difícil de ser utilizado tendo em vista a sua capacidade.

12.1.3 Estrutura de Regeneração da Corrente Alternada

Ao se tratar da regeneração do carro elétrico de corrente alternada, emprega-se o circuito de inversão de excitação separada através do circuito de ponto tiristor equilibrado como mostra a Figura 12.1, excluindo-se o carro de sistema direto que utiliza o comutador de corrente alternada.

O sentido de corrente elétrica que passa pelo lado da corrente contínua do circuito de ponte tiristor equilibrado limita-se ao sentido que será determinado pela polaridade do tiristor; no entanto, supondo-se que a corrente elétrica do lado da corrente contínua continue passando, o valor médio da tensão desta pode ser positivo ou negativo como mostra a Figura 12-2.

Fig.12-1 Circuito Básico de carro de regeneração de C.C.

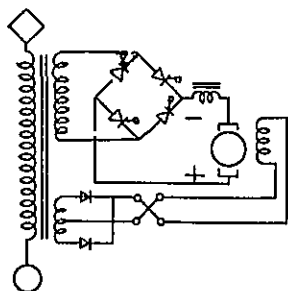
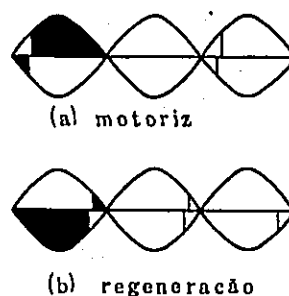


Fig. 12-2 Contrôles de tensão pelo controle de fase



Portanto, considerando que este circuito seja o retificador, conforme seja a tensão de saída negativa ou positiva a potência de saída também será negativa ou positiva.

A inversão de excitação separada pode ser considerada um retificador cuja potência de saída seja negativa.

Embora a tensão de saída seja negativa passa a corrente elétrica positiva pois o motor é um gerador.

Considerando de uma forma geral como retificador e observando a operação de regeneração pelo lado da corrente alternada o fator da potência seria uma operação feita em tensão negativa.

Efetuando-se uma operação mudando-se continuamente a excitação em negativa e positiva, a princípio, possibilita-se a transferência contínua como direção, marcha por inércia e regeneração semelhante à regeneração composta do carro elétrico de corrente contínua e obtem-se uma característica conveniente ao controle de velocidade constante e a supressão de velocidade. Neste caso, porém, em contrapartida ao motor composto que obtem esta característica de marcha por inércia fazendo com que a corrente elétrica seja zero, na regeneração por corrente alternada executa-se a operação passando a corrente com a tensão aproximadamente igual a zero, não sendo por isso prático. A corrida, com motor acionado e a regeneração são feitas de uma forma não contínua mudando o circuito.

12.1.4 Problemas Técnicos da Regeneração de Energia Elétrica

Vamos explicar os problemas usando o processo comparativo entre o freio de regeneração ideal e a condição atual. O ideal seria um freio com resistência suficiente (1), que pudesse ser aplicado em qualquer faixa de velocidade (3), a qualquer tempo (2), que não apresentasse problemas em relação aos obstáculos indutivos (4) e proteção (5) e que o encargo quanto a instalação e ao preço não fosse excessivo (6).

Porém, infelizmente a diferença entre o ideal e a realidade é bastante grande, havendo dentre estas aquelas que são fundamentais.

O item (1) que se refere ao freio com resistência suficiente é um item que se torna problemático principalmente na ocasião da alta velocidade. No freio dinâmico efetua-se o tratamento da energia de freio que gira em torno de 2-3 vezes a energia máxima da ocasião de corrida com motor acionado, utilizando-se a resistência de sobre-tensão. Para executar-se o tratamento aplicando o método que devolve a corrente elétrica a rede aérea com uma tensão aproximadamente constante necessita-

se de puxar a corrente de regeneração que seja superior ao dobro da corrente máxima de operação com motor acionado, tanto no lado do carro como no lado da rede aérea, o que, de modo geral, não é muito fácil.

O item (2) que se refere à aplicação do freio a qualquer tempo não apresenta grande problema tecnicamente pois na regeneração da corrente alternada a sub-estação é bilateral, porém, há a questão de entendimento com a companhia concessionária.

Em relação ao item (3) que se trata da faixa de velocidade, hoje ainda é indispensável um projeto de sistema de regeneração que selecione cuidadosamente a característica da velocidade de energia elétrica recuperada, adaptando-a às características dos trens e trechos.

O lado negativo dos itens (4) e (5) deve ser a questão dos obstáculos ondulares do carro de regeneração de corrente alternada.

12.2 CENTRO DE COMANDO GERAL DE OPERAÇÃO

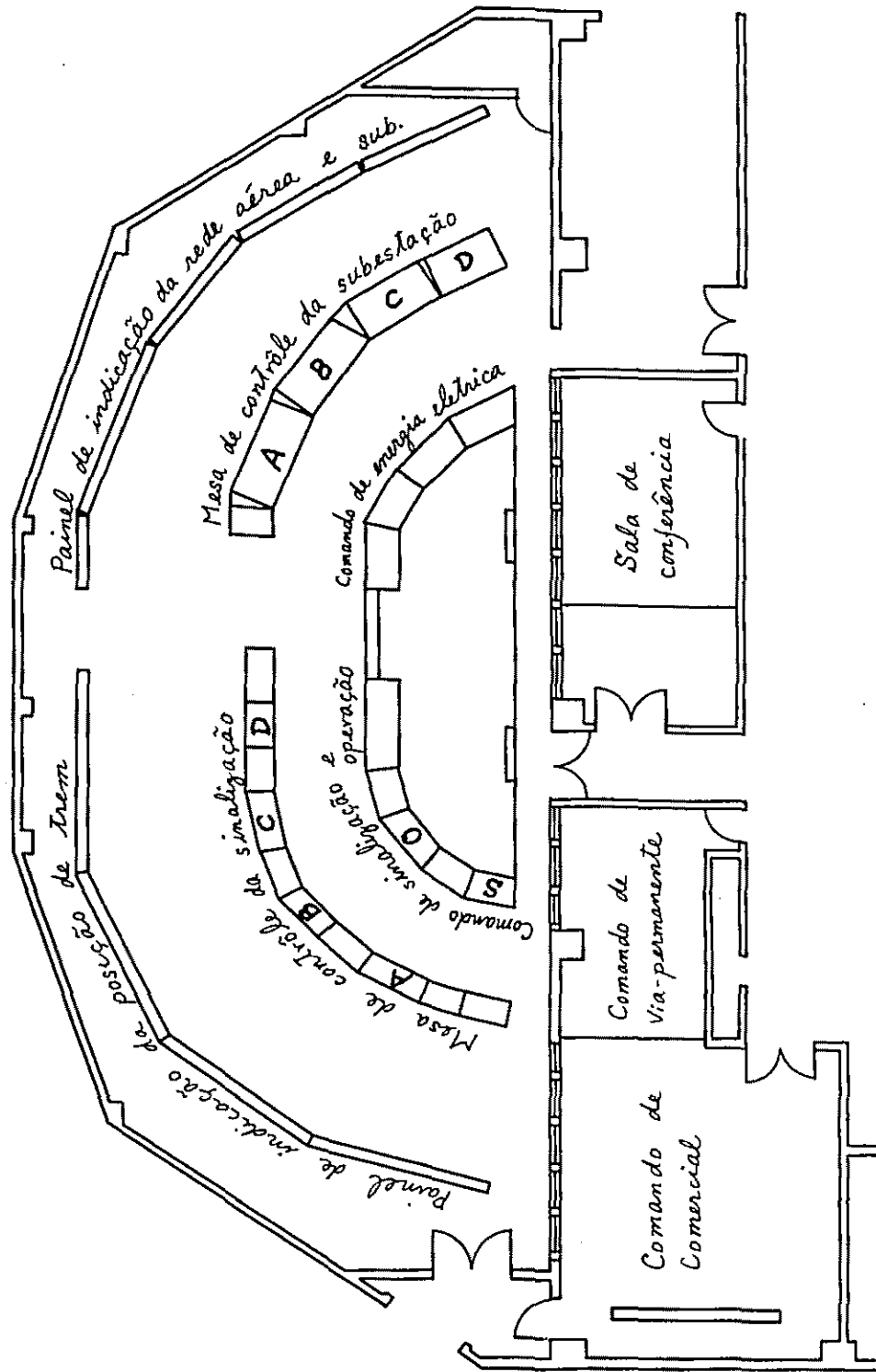
No caso da Shinkan-Sen executa-se um controle geral de instrução e controle de operação, administração, instalações, força e comunicação em toda linha com intuito de elevar a capacidade de serviço, através de um Centro instalado em Tokyo. Para isso o Centro de Comando geral de operação é munido de instalação que permite a realização de instruções e controle em toda linha.

Está instalado o dispositivo de Controle Central dos Trens (CTC) para o controle da operação dos trens onde se realiza a indicação da posição dos trens em toda a linha, número de trens que ficam entre as estações, a instalação de comunicação entre as estações e a inspeção da instalação de sinalização.

No sistema de energia está instalado o Dispositivo de Controle Remoto de Inspeção da Sub-estação (CSC) que efetua o controle e inspeção da condição de operação da seção alimentadora e da sub-estação automática.

Além disso, estão instalados a radiotelefonia e outros circuitos de telefone de instrução específica destinados à comunicação com cada Órgão de manutenção de trens e terra. Estes circuitos estão ligados com cada região através da instalação de corrente transportadora coaxial, incluindo o circuito destinado ao controle acima mencionado (Centro de Comando Geral).

Fig. 12-3 CENTRO DE COMANDO GERAL



CONCLUSÃO:

Por longos anos a Ferrovia realizava o transporte terrestre utilizando trilhos, carros e aforca de vapor e a instalação de proteção de telecomunicação e sinalização mecânica.

O desenvolvimento que vem sendo observado desde então é fantástico, especialmente o uso de relé no sistema de proteção, o ATS, ATC e acrescentando-se a estes o sistema de informação que se desenvolveu até CTC, ao mesmo tempo em que a potência também se modificou para operação elétrica.

Por outro lado o desenvolvimento da tecnologia da Ferrovia acarretou a subdivisão da técnica, e vem acelerando o crescimento da tecnologia de subdivisão científica até o ponto de fazer se esquecer, muitas vezes, o objetivo primordial da Ferrovia. Em virtude disso com o desenvolvimento da técnica de subdivisões surgem problemas entre os sistemas, o que nos faz sentir profundamente que este já atingira uma fase em que deverá ser reexaminado como uma técnica global de transporte.

Creemos que, os técnicos da Ferrovia deverão concentrar seus esforços na modernização da mesma para que possa este meio de transporte, em retrocesso, devido a tecnologia global, responder aos anseios da sociedade e do mundo, quanto a minimização dos recursos e energia, empenhando-se na solução dos problemas que existem entre os sistemas e ao mesmo tempo respeitando a especialidade de cada um para a futura eletrificação da corrente alternada do Brasil.

