

# Entwicklung und Einsatz der Gabelendverstärker = Développement et introduction des répéteurs terminaux

Autor(en): **Bienz, Walter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und  
Telegraphenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes,  
téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda  
delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **45 (1967)**

Heft 10

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874906>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Entwicklung und Einsatz der Gabelndverstärker

## Développement et introduction des répéteurs terminaux

Walter BIENZ, Bern

621.395.376 : 621.395.64  
621.395.64 : 621.375

*Zusammenfassung. Ausgehend vom Prinzip der Vierdraht-Durchschaltung, werden Entwicklung und Eigenschaften der neuen Gabelndverstärker beschrieben. Zum Schluss folgen noch einige betriebliche Hinweise und Bemerkungen zum Bauprogramm.*

*Résumé. En partant du principe de la commutation à 4 fils, on décrit le développement et les caractéristiques des nouveaux répéteurs terminaux. Enfin, on fait quelques remarques concernant le programme de réalisation à long terme.*

### **Sviluppo e impiego degli amplificatori terminali**

*Riassunto. Partendo dal principio della commutazione a 4 fili, sono descritti lo sviluppo e le caratteristiche dei nuovi amplificatori terminali. Seguono alcuni cenni concernenti l'esercizio e il programma di lavoro.*

## 1. Einleitung

Die Verwirklichung der Vierdraht-Durchschaltung in der Netzgruppenebene erfordert für die ganze Schweiz eine grosse Zahl sogenannter Gabelndverstärker. Ihre Entwicklung begann 1959 und fiel zusammen mit der Einführung der «Bauweise 62» für Linienausrüstungen [1]. Einzelne Aspekte des weitschichtigen Problems der Gabelndverstärker wurden bereits in früheren Publikationen behandelt [2] [3].

Nachdem die Entwicklung der Endverstärker zumindest für die Fern- und Bezirksleitungen abgeschlossen ist und die ersten Lieferungen 1966 erfolgten, soll ein zusammenfassender Überblick über dieses spezielle Gebiet der NF-Verstärkertechnik gegeben werden.

## 2. Grundsätzliches zur Zweidraht- und Vierdraht-Schaltung

Für die telephonische Verbindung zweier Sprechstellen gibt es, abgesehen von Spezialschaltungen, grundsätzlich zwei Methoden:

- die Zweidraht-Schaltung, bei der auf einem gemeinsamen Aderpaar gesendet und empfangen wird,
- die Vierdraht-Schaltung, bei der jeder Übertragungsrichtung ein separater Verbindungspfad zugeordnet ist.

Früher, vor der Einführung der Trägerfrequenztechnik, verliefen die Telephonleitungen fast ausschliesslich auf der ganzen Länge zweidrahtig. Die Verstärkung derartiger Zweidraht-Leitungen bot gewisse Schwierigkeiten: Bekanntlich besteht ein konventioneller Zweidraht-Verstärker aus zwei richtungsgetrenten Verstärkerhälften, die durch Differential(Gabel)schaltungen zusammengeschaltet werden.

Jede Gabelschaltung ist aber mit gewissen Nachbild- und Anpassungsfehlern, das heisst mit Rückkopplungen und Reflexionen, behaftet. Beim Hintereinanderschalten mehrerer Zweidraht-Verstärker können sich diese störenden Signale im ungünstigen Fall in Betrag und Phase addieren, was zu Instabilitäten (Pfeifen der Leitung) führt. Diese Stabilitätsprobleme werden in [2] ausführlich behandelt.

Es konnten nicht mehr als drei bis vier Zweidraht-Verstärker in Serie geschaltet werden, Restdämpfung und Länge der Tandemleitungen waren also begrenzt.

## 1. Introduction

La réalisation de la commutation à 4 fils dans les groupes de réseaux nécessite un grand nombre de répéteurs terminaux pour l'ensemble de la Suisse. Leur développement commença en 1959 et coïncida avec l'introduction de la nouvelle construction des équipements de lignes «modèle 62» [1]. Certains aspects du vaste problème que représentent les répéteurs terminaux furent déjà traités dans de précédents articles parus dans le Bulletin technique des PTT [2], [3].

Le développement des répéteurs terminaux pour les circuits interurbains et ruraux étant achevé et les premières livraisons ayant eu lieu en 1966, il est bon de donner une vue d'ensemble sur ce domaine particulier de la technique des amplificateurs BF.

## 2. Principe de la commutation à 2 et 4 fils

La liaison entre deux postes téléphoniques peut être réalisée selon deux méthodes, si l'on fait abstraction des montages spéciaux:

- a) connexion à 2 fils, avec une paire de conducteurs communs pour l'émission et la réception,
- b) connexion à 4 fils disposant pour chaque sens de transmission d'un chemin séparé.

Jadis, avant l'introduction des systèmes à courants porteurs, les lignes téléphoniques étaient exploitées sur presque tout leur trajet à 2 fils. L'amplification de telles lignes présentait certaines difficultés: on sait qu'un répéteur 2 fils se compose de deux moitiés amplifiant chacune un sens de transmission différent, ces deux moitiés étant connectées à la ligne au moyen d'un translateur différentiel. Chaque circuit différentiel présente des défauts d'adaptation se traduisant par des couplages et des réflexions. En montant plusieurs répéteurs 2 fils en série sur une ligne, il se peut que dans le cas le plus défavorable, ces signaux perturbateurs s'additionnent en grandeur et en phase, donnant lieu à des instabilités et provoquant des sifflements. Ces problèmes de stabilité ont été décrits plus en détail dans [2]. Ainsi il n'était guère possible d'intercaler plus de trois ou quatre répéteurs 2 fils, ce qui limitait l'équivalent et la longueur des lignes tandems.

Demgegenüber bietet die Vierdraht-Leitung grosse übertragungstechnische Vorteile, indem hier beliebig viele Teilstücke dämpfungsfrei hintereinandergeschaltet werden können.

Dank der Mehrkanaltechnik hat sich denn auch die Vierdraht-Übertragung und -Durchschaltung im automatischen Fernverkehr und ganz besonders im internationalen Weitverkehr längst durchgesetzt und die niederfrequenten Zweidraht-Leitungen weitgehend verdrängt.

Mit der zunehmenden Ausbreitung der Trägerfrequenztechnik für Netzgruppenleitungen erhob sich die Frage, ob man sich nicht auch auf dieser Ebene die Vorteile der direkten Vierdraht-Durchschaltung zunutze machen wollte. Dabei galt es vor allem zu entscheiden, wie weit man netzhierarchisch betrachtet die Vierdraht-Schaltung durchführen, das heisst, wo man den Übergang von Zwei- auf Vierdraht festlegen wollte. Neben den übertragungstechnischen Gesichtspunkten war hier natürlich auch die Wirtschaftlichkeit zu beachten.

Auf Grund eingehender Untersuchungen beschloss die Generaldirektion PTT die Vierdraht-Durchschaltung bis und mit Fernend- und Netzgruppenhauptamt. Vierdrähtig durchgeschaltet werden die im Fernknotenamt oder Fernendamt transitierenden Verbindungen

Fernnetz ↔ Netzgruppe  
Netzgruppe ↔ Netzgruppe

Ferner sollen in Zukunft auch die Verbindungsleitungen nach den Quartierzentralen im Netzgruppenhauptamt vierdrähtig angeschlossen werden. Der neue Dämpfungsplan wurde in der letzten Nummer eingehend erläutert [4].

### 3. Der Gabelendverstärker

#### 3.1 Aufgabe

Gabelendverstärker werden dort verwendet, wo Zweidraht-Leitungen an ein vierdrähtiges Amt angeschlossen und entdämpft werden, also im Fernend- und Netzgruppenhauptamt Seite Bezirksnetz (zweidrähtige Netzgruppenleitungen und Verbindungsleitungen nach den Quartierzentralen) und Seite Fernnetz für die Anschaltung zweidrähtiger NF-Fernleitungen. Der Endverstärker Seite Bezirksnetz entdämpft das zweidrähtige Teilstück vom Fernendamt zum Knotenamt beziehungsweise zum direkt angeschlossenen Endamt oder zur Quartierzentrale. Der Endverstärker Seite Fernnetz kompensiert die Hälfte der angeschlossenen Zweidraht-Fernleitung.

Daneben muss der Endverstärker die Leitungssignale in die Signalkriterien des Automaten umsetzen.

#### 3.2 Prinzipieller Aufbau

Der Endverstärker enthält im wesentlichen eine Gabelschaltung, zwei Verstärker und einen Signalsatz in der Anordnung, wie sie *Figur 1* zeigt.

La ligne exploitée à 4 fils présente, par contre, de nombreux avantages tels que celui de pouvoir être constituée par un grand nombre de tronçons à affaiblissement compensé.

C'est également grâce aux techniques de multiplexage que se sont imposées depuis longtemps l'exploitation et la commutation à 4 fils dans les réseaux automatiques interurbains et internationaux à grandes distances, remplaçant dans ce domaine les lignes basse fréquence à 2 fils.

Le développement croissant de la technique des courants porteurs pour les lignes des groupes de réseaux, fit envisager l'introduction, à ce niveau, de la commutation à 4 fils et des avantages qu'elle comporte. Il s'agissait avant tout de décider jusqu'à quel échelon devait être réalisée cette commutation et où s'effectuerait le passage 2 fils-4 fils. En plus des considérations techniques, il convenait d'examiner également l'aspect économique du problème.

Sur la base d'études approfondies, la direction générale des PTT décida d'introduire la commutation à 4 fils jusqu'au central terminus interurbain et au central principal de groupe de réseaux. Dans le central de concentration interurbain ou dans le central terminus interurbain le trafic de transit suivant sera commuté à 4 fils:

Réseau interurbain ↔ Groupe de réseaux  
Groupe de réseaux ↔ Groupe de réseaux

A l'avenir, les lignes de jonction du central principal de groupe de réseaux vers les centraux de quartier seront également commutées à 4 fils.

Le nouveau plan de transmission a été décrit d'une manière détaillée dans le dernier numéro [4].

### 3. Le répéteur terminal (ou dédoubleur)

#### 3.1 Fonctions

Les répéteurs terminaux sont utilisés au point de transition entre la ligne à 2 fils et les organes de commutation à 4 fils du central où l'on doit compenser l'affaiblissement, c'est-à-dire au central de concentration interurbain ou au central principal de groupe de réseaux du côté réseau rural (circuits de groupe de réseaux et de jonction vers les centraux de quartier à 2 fils). Ils sont utilisés du côté réseau interurbain pour la connexion des lignes interurbaines 2 fils. Le répéteur terminal intercalé du côté réseau rural compense l'affaiblissement du tronçon 2 fils depuis le central terminus interurbain jusqu'au central de concentration ou, le cas échéant, jusqu'au central terminus auquel il est directement relié, ou encore jusqu'au central de quartier. Le répéteur intercalé du côté réseau interurbain compense la moitié de l'affaiblissement de la ligne interurbaine 2 fils connectée.

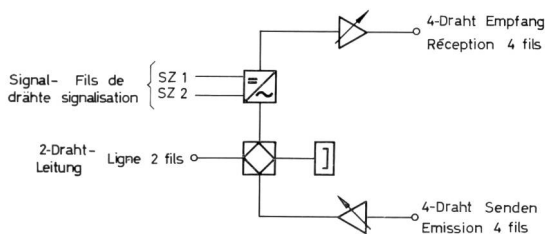


Fig. 1  
Prinzip des Endverstärkers  
Principe du répéteur terminal

### 3.3 Pegelplan, Definition des Verstärkungsgrades (Fig. 2)

Die Restdämpfung  $a_r$  der Zweidraht-Leitung einschliesslich Endverstärker ist  $0,35 N$ , das heisst der relative Sendepiegel am fernen Ende der Zweidraht-Leitung beträgt  $0 N_r$  und der nominelle Vierdraht-Empfangsteil  $-0,35 N_r$ . Mit der Gabeldämpfung  $a_G = 0,4 N$  ergibt sich daraus für eine Leitungsdämpfung  $a$  der erforderliche Verstärkungsgrad  $g$ :

$$\begin{aligned} -a - a_G + g &= a_r \text{ oder} \\ -a - 0,4 + g &= -0,35 \\ g &= a + 0,05 \end{aligned}$$

### 3.4 Die verschiedenen Gabelendverstärker-Typen und ihre Pflichtwerte

Bezüglich Konstruktion, elektrischer Eigenschaften und Verwendungszweck lassen sich zwei Hauptgruppen unterscheiden:

- Verstärker für Fern- und Bezirksleitungen
- Verstärker für interzentrale Verbindungsleitungen

Nachfolgend die wichtigsten Pflichtwerte dieser Endverstärker.

#### 3.4.1 Endverstärker für Fern- und Bezirksleitungen

Hier ist zu unterscheiden zwischen Typ A und Typ B mit verschiedenem Verstärkungsgrad und verschiedener Fehlerdämpfung (Tabelle I). Typ A ist ausschliesslich für pupinierte Leitungen bestimmt, während es beim Typ B eine Ausführung für pupinierte und eine für unpupinierte (H-O) Leitungen gibt.

Tabelle I: Übertragungstechnische Daten

	Typ A	Typ B
		un- pupini- sierte Leitungen
- Verstärkungsgrad $g$ bei 800 Hz (gemäss Fig. 2)	1,4 N	0,9 N    1,2 N bei $f_g^*$
- maximale Ausgangsleistung Zweidraht	+ 1,4 Nm	+ 0,9 Nm
- maximale Ausgangsleistung Vierdraht	+ 0,3 Nm	+ 0,3 Nm
- Klirrfaktor bei maximaler Ausgangsleistung	≤ 3%	≤ 3%

De plus, il doit convertir les signaux transmis sur la ligne en critères de sélection propres aux organes du central automatique.

### 3.2 Constitution

Le répéteur terminal se compose principalement d'un translateur différentiel, de deux amplificateurs et d'une unité de signalisation. Ce montage est représenté par la figure 1.

### 3.3 Répartition de l'équivalent et définition du gain (fig. 2)

L'équivalent  $a_r$  de la ligne 2 fils, y compris le répéteur terminal, est de  $0,35 N$ , c'est-à-dire que lorsque le niveau relatif à l'émission au point éloigné est égal à  $0 N_r$ , le niveau nominal à la réception au point 4 fils est égal à  $0,35 N_r$ . En tenant compte de l'affaiblissement du différentiel  $a_G = -0,4 N$ , il s'ensuit que pour un affaiblissement de la ligne égal à «a» le gain «g» de l'amplificateur doit être:

$$\begin{aligned} -a - a_G + g &= -a_r \text{ ou} \\ -a - 0,4 + g &= -0,35 \\ g &= a + 0,05 \end{aligned}$$

### 3.4 Les différents types de répéteurs et leurs caractéristiques

Selon leur constitution, leurs caractéristiques électriques et leur utilisation, on distingue deux groupes principaux:

- Répéteurs pour lignes interurbaines et rurales
- Répéteurs pour lignes de jonction intercentrales.

Les caractéristiques les plus importantes de ces répéteurs sont indiquées ci-dessous.

#### 3.4.1 Répéteurs terminaux pour lignes interurbaines et rurales

On distingue le type A et le type B ayant un gain et un affaiblissement d'équilibrage différents (tableau I). Le type A est utilisé uniquement pour les lignes pupinisées, tandis que l'on dispose de deux exécutions pour le type B; une pour les lignes pupinisées et l'autre pour les lignes sans pupinisation (H-O)

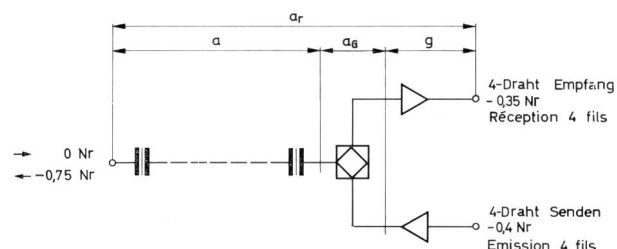


Fig. 2  
Pegelplan - Répartition de l'équivalent

- Reflexionsdämpfung Zweidraht (gegen Leitungsnachbildung)
 

300 Hz...0,85 · f <sub>g</sub>	≥ 1,61 N	≥ 1,21 N
500 Hz...0,6 · f <sub>g</sub>	≥ 1,9 N	≥ 1,61 N
- Fehlerdämpfung ≥ 3,2 N ≥ 2,8 N 2... 3 N
- Vierdraht-Impedanz nominell 600 Ω 600 Ω
- Entzerrungstoleranzen:
 

300...400 Hz:	+0,05...-0,1 N
400...0,85 · f <sub>g</sub> :	+0,05...-0,05 N
0,85 ...1,0 · f <sub>g</sub> :	+0,05...-0,25 N
- 50 Hz-Wahlumsetzer:  
Empfangsscheinleistung auf der Zweidraht-Seite 50...100 mVA  
Sendescheinleistung auf der Zweidraht-Seite maximal 1 VA  
zulässige Sendeimpulsverzerrung ± 1 ms

\* f<sub>g</sub> = Grenzfrequenz des Tiefpassfilters

#### Konstruktion

Die Verstärker sind in einem Normalgestell der Bauweise 62 [1] eingebaut. Um eine genügende Flexibilität in der Schaltung der verschiedenen Betriebsfälle zu gewährleisten, wurde folgende Aufteilung der Einschübe gewählt:

#### - Leitungseinschub

Er enthält alle der Leitung fest zugeordneten Elemente: Gabelschaltung (Verstärkertyp A ohne Nachbildung, Typ B mit eingebauter Nachbildung), Tiefpassfilter, Entzerrer für die verschiedenen Pupinisierungen und Verstärkungsgradregulierung.

#### - Signalsatz

Wahlumsetzer 50 Hz/SZ 1, SZ 2

#### - Verstärkereinschub

Je ein transistorisierter Sende- und Empfangsverstärker.

Tableau I: Caractéristiques techniques

	Type A	Type B						
		Ligne						
		non pupinisée						
		pupinisée						
- Gain g à 800 Hz (voir fig. 2)	1,4 N	0,9 N 1,2 N pour f <sub>g</sub> *						
- Puissance maximale de sortie	<table border="0"> <tr> <td>2 fils:</td> <td>+1,4 Nm</td> </tr> <tr> <td>4 fils:</td> <td>+0,3 Nm</td> </tr> </table>	2 fils:	+1,4 Nm	4 fils:	+0,3 Nm	+0,9 Nm +0,3 Nm		
2 fils:	+1,4 Nm							
4 fils:	+0,3 Nm							
- Facteur de distorsion à la puissance de sortie maximale	≤ 3%	≤ 3%						
- Affaiblissement de réflexion côté 2 fils (mesuré contre équilibreur)								
<table border="0"> <tr> <td>300 Hz...0,85 · f<sub>g</sub></td> <td>≥ 1,61 N</td> <td>≥ 1,21 N</td> </tr> <tr> <td>500 Hz...0,6 · f<sub>g</sub></td> <td>≥ 1,9 N</td> <td>≥ 1,61 N</td> </tr> </table>	300 Hz...0,85 · f <sub>g</sub>	≥ 1,61 N	≥ 1,21 N	500 Hz...0,6 · f <sub>g</sub>	≥ 1,9 N	≥ 1,61 N		
300 Hz...0,85 · f <sub>g</sub>	≥ 1,61 N	≥ 1,21 N						
500 Hz...0,6 · f <sub>g</sub>	≥ 1,9 N	≥ 1,61 N						
- Affaiblissement d'équilibrage	≥ 3,2 N	≥ 2,8 N 2...3 N						
- Impédance côté 4 fils	600 Ω	600 Ω						
- Tolérances d'égalisation:								
<table border="0"> <tr> <td>300...400 Hz</td> <td>+0,05...-0,1 N</td> </tr> <tr> <td>400...0,85 · f<sub>g</sub></td> <td>+0,05...-0,05 N</td> </tr> <tr> <td>0,85 fg...1,0 · f<sub>g</sub></td> <td>+0,05...-0,25 N</td> </tr> </table>	300...400 Hz	+0,05...-0,1 N	400...0,85 · f <sub>g</sub>	+0,05...-0,05 N	0,85 fg...1,0 · f <sub>g</sub>	+0,05...-0,25 N		
300...400 Hz	+0,05...-0,1 N							
400...0,85 · f <sub>g</sub>	+0,05...-0,05 N							
0,85 fg...1,0 · f <sub>g</sub>	+0,05...-0,25 N							
- Signaleur 50 Hz:								
Puissance apparente en réception 2 fils:		50...100 mVA maximum						
Puissance apparente à l'émission 2 fils:		1 VA						
Distorsion des impulsions tolérées:		± 1 ms						

\* f<sub>g</sub> = fréquence limite du filtre passe-bas

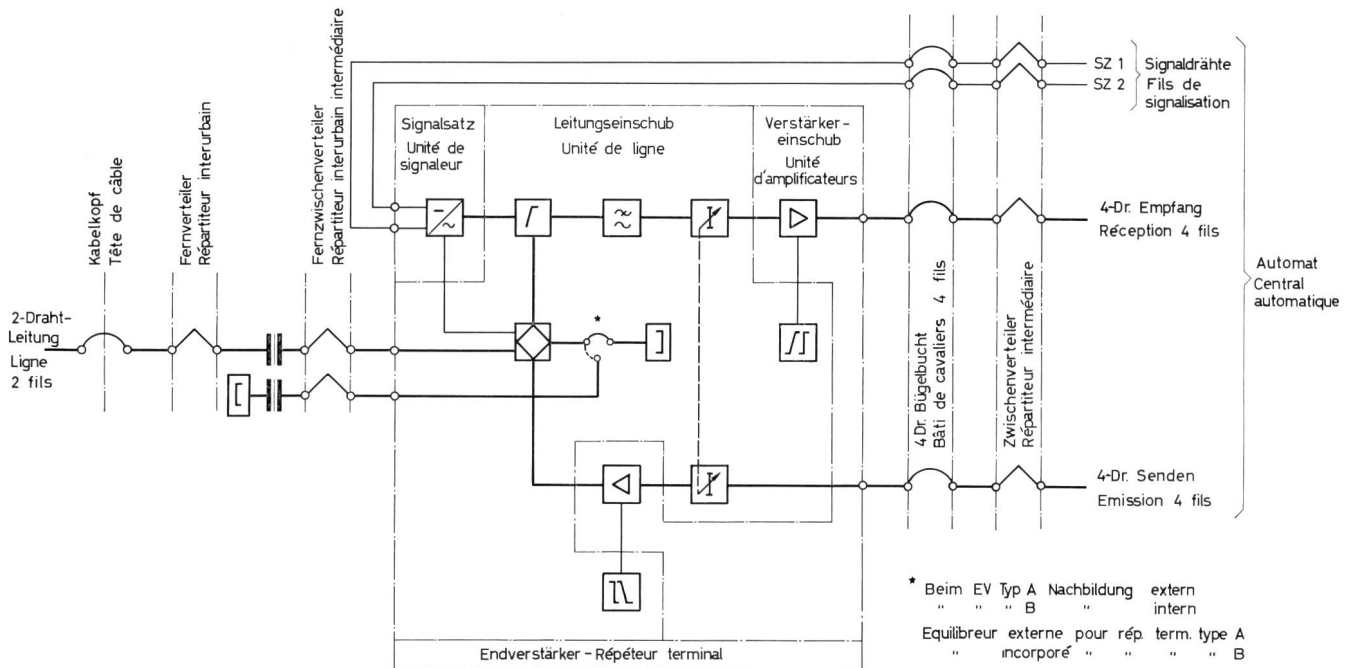


Fig. 3  
Endverstärkereinschübe und deren Zusammenschaltung  
Répéteur terminal: groupement des organes et principe de câblage

Figur 3 zeigt schematisch die drei Einschübe mit der Kabelführung Seite Zweidraht-Leitung und Seite Vierdraht-Bügelbuchst.

Die Endverstärker für Fern- und Bezirksleitungen sind entwickelt, und die ersten Serien wurden im Laufe des Jahres 1966 ausgeliefert. (Ihre besondern Entwicklungsprobleme und die praktische Ausführung werden im Kapitel 4 behandelt.)

### 3.4.2 Endverstärker für interzentrale Verbindungsleitungen

Im Gegensatz zur vorgenannten Gruppe sind diese Verstärker zur Zeit noch in Entwicklung begriffen.

Allgemein handelt es sich hier um einen vereinfachten Gabelendverstärker mit beschränkter Reichweite, vorwiegend für unpupinisierte Verbindungsleitungen vom Fernendamt zu den Quartierzentralen.

Seine wichtigsten Pflichtwerte lauten:

#### Übertragungstechnische Daten

- Entdämpfung von unpupinisierten und leichtpupinisierten Leitungen von 0,8...0,6 mm  $\varnothing$  und Distanzen bis zu 10 km. (Gemäss Dämpfungsplan sind alle interzentralen Verbindungsleitungen mit einer Dämpfung von mehr als 0,1 N zu verstärken.)
- Relativpegel analog Figur 2
- Maximale Ausgangsleistung in einen 600  $\Omega$ -Widerstand am fernen Zweidraht-Leitungsende: -0,1 Nm  
am Vierdraht-Ausgang: +0,3 Nm
- Klirrfaktor:  $\leq 3\%$
- Reflexionsdämpfung Zweidraht {
  - 800 Hz:  $\geq 1,2$  N
  - 300...3400 Hz:  $\geq 0,9$  N
- Reflexionsdämpfung Vierdraht {
  - 800 Hz:  $\geq 2,3$  N
  - 300...3400 Hz:  $\geq 1,6$  N
- Fehlerdämpfung {
  - 300 Hz:  $\geq 2$  N
  - 3400 Hz:  $\geq 3$  N
- Entzerrungstoleranzen {
  - 300... 400 Hz: +0,07...-0,07 N
  - 400...2900 Hz: +0,05...-0,07 N
  - 2900...3400 Hz: +0,05...-0,15 N
- Signalauskopplung am Zweidraht-Eingang für Wechselstromimpuls- und Gleichstromzustands-Signalisierung. Der Signalsatz selber befindet sich im Leitungsstromkreis des Automaten.

#### Konstruktion

Der ganze Gabelendverstärker ist in einem Becher der Bauweise 62 untergebracht. Dieser wird in einem normalisierten Rahmen direkt im Automatengestell montiert. Da die interzentralen Verbindungsleitungen ohnehin am Hauptverteiler der Zentrale endigen, erreicht man auf diese Weise eine einfache Kablierung. Die Speisung des Verstärkers erfolgt direkt ab Zentralenbatterie 48 V.

## 4. Entwicklung der Gabelendverstärker

Für die Verwirklichung der Vierdraht-Durchschaltung werden in der ganzen Schweiz mehrere zehntausend Endverstärker für Fern- und Bezirksleitungen sowie für interzentrale Verbindungsleitungen benötigt. Ihre Entwicklung bedurfte deshalb ganz besonderer Sorgfalt. Ausser den

#### Construction

Les répéteurs sont montés dans un bâti normalisé en construction «62» [1]. Afin d'assurer une flexibilité suffisante permettant différents modes d'exploitation, il fut décidé d'équiper les unités enfichables de la façon suivante:

##### - Unité de ligne

Elle contient tous les éléments propres à la ligne connectée: translateur différentiel (pour le répéteur type A: sans équilibreur, pour le type B: avec équilibreur incorporé), filtre passe-bas, égaliseur pour les différents types de pupinisation et dispositif de réglage du gain.

##### - Unité de signaleur

Elle contient le convertisseur de signaux de sélection 50 Hz/SZ 1, SZ 2.

##### - Unité d'amplificateurs

Elle contient un amplificateur d'émission et un amplificateur de réception.

La figure 3 indique schématiquement le groupement des trois organes ainsi que le câblage des accès 2 et 4 fils, respectivement côté ligne et côté bâti de cavaliers BF.

Les répéteurs terminaux pour circuits interurbains et ruraux sont développés et les premières séries ont été livrées dans le courant de l'année 1966. (Les problèmes concernant leur développement ainsi que la réalisation pratique sont décrits au chapitre 4).

### 3.4.2 Répéteurs terminaux pour lignes de jonction intercentrales

A l'encontre du groupe précédent, ces répéteurs sont à l'heure actuelle encore en cours de développement.

D'une manière générale, il s'agit d'un répéteur terminal simplifié pour courtes distances, prévu avant tout pour la connexion des lignes non pupinisées reliant le central terminus interurbain aux centraux de quartier.

Les caractéristiques les plus importantes sont les suivantes:

#### Caractéristiques techniques

- Compensation de l'affaiblissement des lignes non pupinisées ou à faible pupinisation de diamètres allant de 0,8 mm à 0,6 mm et pour des distances de 10 km au maximum. (Selon le plan de transmission toute ligne de jonction intercentrale dont l'affaiblissement dépasse 0,1 N doit être amplifiée).
- Niveau relatif comme à la figure 2
- Puissance de sortie maximale développée sur une résistance de 600  $\Omega$  au point éloigné de la ligne 2 fils -0,1 Nm  
à la sortie 4 fils +0,3 Nm
- Facteur de distorsion  $\leq 3\%$
- Affaiblissement de réflexion 2 fils {
  - 800 Hz:  $\geq 1,2$  N
  - 300...3400 Hz:  $\geq 0,9$  N
- Affaiblissement de réflexion 4 fils {
  - 800 Hz:  $\geq 2,3$  N
  - 300...3400 Hz:  $\geq 1,6$  N
- Affaiblissement d'équilibrage 300 Hz: 2 N  
. 3400 Hz: 3 N

übertragungstechnischen, betrieblichen und konstruktiven Eigenschaften war auch die Wirtschaftlichkeit zu beachten, denn mit der Vierdraht-Technik werden keine zusätzlichen Leitungen gewonnen. Diese Technik stellt vor allem eine Massnahme zur Verbesserung der Qualität dar. Ein gewisser Ausgleich lässt sich aufwandmässig dadurch erzielen, dass die Endverstärker gestatten, zum Teil dünnere Kabeladern zu verwenden, in einem erweiterten Bereich auf die Pupinisierung zu verzichten, und dass in den Tandemämtern keine Dämpfungsreguliersätze mehr nötig sind.

Die Entwicklung wurde auf breitester Basis durchgeführt. Nach umfangreichen Studien und zahlreichen Besprechungen mit allen beteiligten Stellen wurde in Zusammenarbeit der Linienabteilung und der Abteilung Forschung und Versuche PTT ein Pflichtenheft aufgestellt. Dann wurden mehrere Firmen mit der Herstellung eines Prototyps beauftragt. Nach gründlicher Prüfung wurden die geeignetsten zur Fabrikation ausgewählt.

Um zu zeigen, dass die Entwicklung eines guten Gabelendverstärkers keineswegs so einfach ist, wie dies vielleicht bei oberflächlicher Betrachtung scheinen mag, seien im folgenden einige besondere Probleme hervorgehoben:

#### – Leitungsanpassung

Die Stabilitätsbedingungen [2] erfordern eine optimale Anpassung der Gabelschaltung an den Wellenwiderstand der Leitung. Da nicht in jedem Betriebszustand ein Abschluss des fernen Zweidraht-Leitungsendes vorausgesetzt werden kann, muss die Schaltung leerlauf- und kurzschlussstabil sein. Die Phasendrehung der mehr oder weniger starken Reflexionen bewirkt zudem eine Welligkeit des Eingangsscheinwiderstandes der Leitung. Ferner ist die Impedanzübersetzung durch die vorhandenen, normalisierten Linienübertrager (1:1, 1:1,6 und 1:2,5) nicht ideal, so dass auch hier mit Streuungen zu rechnen ist. Ganz besonders kritisch ist die Anpassung der unpupinisierten Leitungen, deren Dämpfung und Wellenwiderstand sehr stark frequenzabhängig sind (siehe Fig. 4).

#### – Leitungsentzerrung

Der Ausgleich der Dämpfungsverzerrungen (Fig. 4) stellt ebenfalls erhebliche Anforderungen, wobei auch hier wieder die unpupinisierten Leitungen den Extremfall darstellen. Ihre Dämpfung wächst ungefähr mit  $\sqrt{f}$  an, so dass bei den hohen Frequenzen eine viel grössere Verstärkung nötig ist, was wiederum eine entsprechend höhere Fehlerdämpfung verlangt, um die Stabilität zu gewährleisten. Ferner ergibt sich bei den H-O-Leitungen wegen der stark frequenzabhängigen Wellenimpedanz und der unbestimmten Abschlussimpedanz am fernen Leitungsende eine unterschiedliche Dämpfungsverzerrung für die beiden Übertragungsrichtungen.

– Tolérances d'égalisation	$\left\{ \begin{array}{l} 300... 400 \text{ Hz: } +0,07...-0,07 \text{ N} \\ 400...2900 \text{ Hz: } +0,05...-0,07 \text{ N} \\ 2900...3400 \text{ Hz: } +0,05...-0,15 \text{ N} \end{array} \right.$

– Accès découplé à l'entrée 2 fils pour la signalisation à courant alternatif ou à courant continu.

Le signaleur lui-même se trouve dans le circuit de ligne du central automatique.

#### Construction

Le répéteur terminal est contenu entièrement dans un boîtier de construction «modèle 62». Ce boîtier prend place dans un châssis monté directement dans un bâti du central automatique. Les lignes de jonction intercentrales aboutissant de toute façon au répartiteur principal du central, on simplifie ainsi le câblage. L'alimentation du répéteur est assurée directement par la batterie 48 V du central.

#### 4. Développement des répéteurs terminaux

La réalisation de la commutation à quatre fils exige pour l'ensemble de la Suisse plusieurs dizaines de milliers de répéteurs terminaux pour les lignes interurbaines et rurales ainsi que pour les lignes de jonction intercentrales. C'est pour cette raison que l'on porta beaucoup de soins à leur développement. En plus des caractéristiques techniques, d'exploitation et de construction, il fallait tenir compte de l'aspect économique du problème, étant donné que l'exploitation des circuits à quatre fils ne permet pas de gagner des lignes supplémentaires, mais représente avant tout un moyen d'augmenter la qualité de transmission. On obtient une certaine compensation des frais par la possibilité qu'offrent les répéteurs terminaux d'utiliser, dans une certaine mesure, des paires de conducteurs de diamètre réduit et de renoncer dans des limites plus étendues à la pupinisation. De plus, ils permettent d'éviter l'introduction des pertes variables dans les centraux tandems.

Le développement fut mené sur la base la plus large. Après des études approfondies et à la suite de nombreuses discussions entre les représentants des sections intéressées, la division des lignes en collaboration avec la division des recherches et des essais des PTT élaborera un cahier des charges. Plusieurs fournisseurs furent ensuite chargés de construire un prototype. Ces prototypes ayant été examinés d'une manière détaillée, les plus qualifiés furent sélectionnés pour la fabrication. Afin de démontrer que la réalisation d'un bon répéteur terminal n'est pas aussi simple que l'on pourrait se l'imaginer au premier abord, considérons certains problèmes particuliers:

#### – Adaptation de la ligne

Les conditions de stabilité [2] exigent une adaptation optimum du différentiel à l'impédance caractéristique de la ligne. Le fait que la terminaison de la ligne 2 fils à l'extré-

## 5. Beschreibung der Endverstärker-Fabrikate (für Fern- und Bezirksleitungen)

Die drei gewählten Fabrikate der Firmen *Albiswerk Zürich AG*, *Philips AG* (Zürich) und *Standard Telephon und Radio AG*

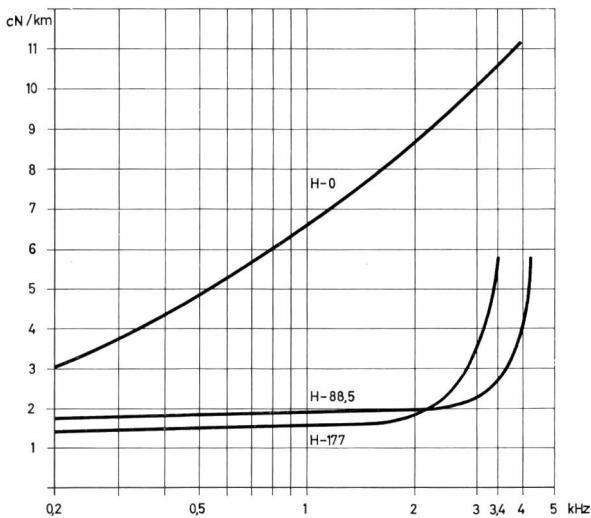


Fig. 4 a  
Wellendämpfungsbelag von Leitungen  $\varnothing$  1 mm bei verschiedenen Pupinisierungen  
Constante d'affaiblissement de lignes  $\varnothing$  1 mm pour différentes charges

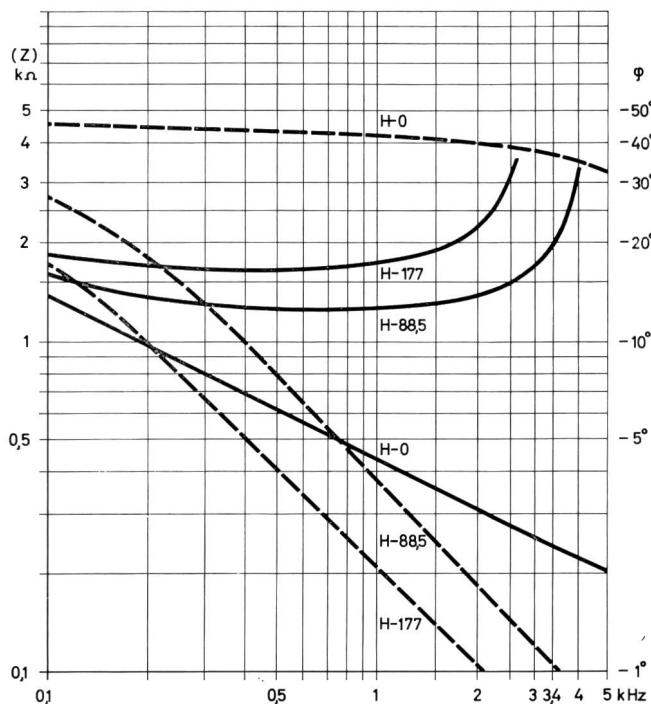


Fig. 4 b  
Wellenwiderstand — und Winkel - - - von Leitungen  $\varnothing$  1 mm bei verschiedenen Pupinisierungen  
Impédance caractéristique — et angle - - - des lignes de 1 mm de diamètre pour différentes charges

mité éloignée ne peut être fixée pour chaque condition d'exploitation, oblige à réaliser le circuit de telle manière que la stabilité soit assurée aussi bien pour la ligne ouverte que court-circuitée. La rotation de phase des réflexions plus ou moins élevées provoque en outre une ondulation de la caractéristique de résistance d'entrée apparente de la ligne. La transformation de l'impédance au moyen des translateurs normalisés (1:1, 1:1,6 et 1:2,5) n'étant pas idéale, il faut compter également avec certaines dispersions. L'adaptation des lignes non pupinisées est rendue particulièrement critique par le fait que leur affaiblissement et leur impédance caractéristique sont fortement dépendants de la fréquence (voir fig. 4).

### - Egalisation de la ligne

La compensation de la distorsion d'affaiblissement (fig. 4) pose également un problème important et là aussi les lignes non pupinisées représentent le cas extrême. Leur affaiblissement croît environ avec la racine carrée de la fréquence, ce qui demande un gain bien plus élevé aux fréquences supérieures, mais nécessite d'autre part un affaiblissement d'équilibrage d'autant plus élevé pour assurer la stabilité. De plus, les lignes H-0 présentant une impédance caractéristique fortement dépendante de la fréquence et le fait que l'impédance terminant la ligne à l'extrémité éloignée est indéterminée ont pour effet d'introduire une distorsion d'affaiblissement différente pour chaque sens de transmission.

## 5. Description des différentes exécutions de répéteurs terminaux (pour lignes interurbaines et rurales)

Les trois versions sélectionnées sont conçues de même manière, qu'il s'agisse d'une exécution de la maison *Albiswerk Zürich SA*, *Philips SA* (Zürich) ou *Standard Téléphone Radio SA* (Zürich). Il suffit donc de décrire un seul produit représentatif, celui de la maison *Albiswerk Zürich SA* par exemple.

### 5.1 Description mécanique

Les bâtis de répéteurs terminaux sont réalisés comme on l'a déjà mentionné plus haut, en construction normalisée pour les équipements de lignes «modèle 62». Le bâti entièrement équipé contient 60 répéteurs terminaux et mesure 2736 mm de hauteur, 540 mm de largeur et 225 mm de profondeur.

La figure 5 montre la disposition des unités dans le bâti.

Les deux convertisseurs se trouvant directement au-dessus du socle du bâti délivrent la tension d'alimentation des transistors. Cette tension de  $24 \text{ V} \pm 5\%$  est obtenue à partir de la double alimentation amenée au bâti soit  $2 \times 48 \text{ V} =$  ou



(Zürich) haben ähnlichen Aufbau; es soll hier stellvertretend für alle drei Fabrikate die Ausführung der Firma Albiswerk Zürich AG beschrieben werden.

### 5.1 Gestellaufbau

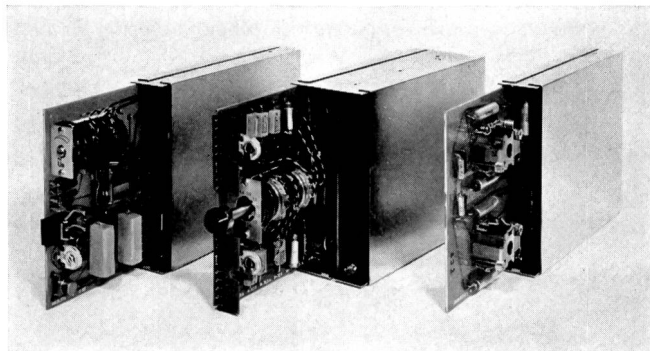
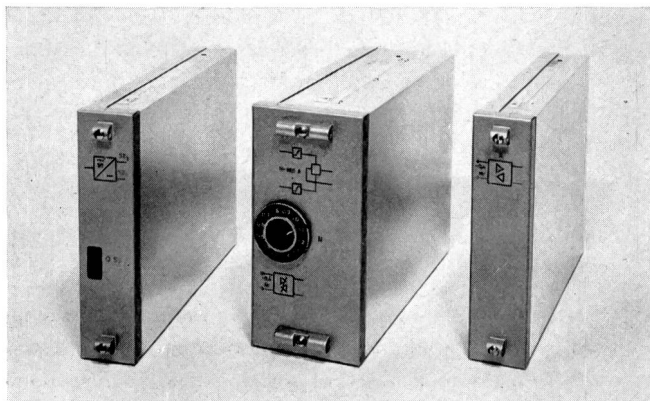
Der Aufbau der Endverstärkergestelle entspricht der Normal-Bauweise 62 für Linienausrüstungen [1]. Das voll bestückte Gestell (mit den äusseren Abmessungen  $h = 2736 \text{ mm}$ ,  $b = 540 \text{ mm}$ ,  $t = 225 \text{ mm}$ ) enthält 60 vollständige Gabelendverstärker. *Figur 5* zeigt die Aufteilung des Gestelles.

Die zwei Umformer am Fusse des Gestells erzeugen die erforderliche Transistor-Speisespannung von  $24 \text{ V} \pm 5\%$ , abgeleitet von den beiden unabhängigen, zugeführten Buchtspannungen  $2 \cdot 48 \text{ V} =$ , oder  $220 \text{ V} \sim$  und  $48 \text{ V} =$ . Ein Transformator im Gestellfuss liefert die  $50 \text{ Hz}$  Rufspannung für die Wechselstrom-Signalsätze.

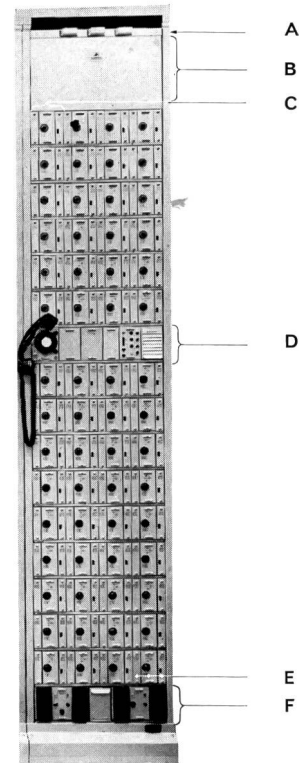
### 5.2 Endverstärker-Einschübe

Wie in 3.4.1 erwähnt, ist der Endverstärkerstromkreis aus Flexibilitätsgründen in drei Einschübe unterteilt (*Fig. 6*).

Die Gabelschaltung im *Leitungseinschub* ist als Hochpassgabel ausgelegt, womit eine Beeinflussung des Emp-



**Fig. 6**  
Endverstärkereinschübe, geschlossen und offen von links nach rechts: Signalsatz, Leitungseinschub, Verstärkereinschub  
Unités de répéteurs terminaux fermées et ouvertes, de gauche à droite: unité de signaleurs, unité de lignes, unité de termineurs



**Fig. 5**  
Endverstärkergestell  
Bâti de répéteurs terminaux

- A: Alarmlampen – Lampes d'alarme
- B: Anschlussfeld – Panneau de raccordement
- C: Endverstärker Nr. 1 bestehend aus: Verstärkereinschub  
Leitungseinschub  
Signalsatz  
Répéteur terminal No 1 comprenant: unité de termineurs  
unité de lignes  
unité de signaleurs
- D: Divers-Etage mit Telephoneinschub, Überwachungseinschub und Kartothek  
Etage divers avec unité téléphonique, unité de surveillance et fichier
- E: Endverstärker Nr. 60 – Répéteur terminal No 60
- F: Umformereinschübe für Buchtspannung Unités de convertisseurs pour alimentation de la baie

$220 \text{ V} \sim$  et  $48 \text{ V} =$ . La tension de signalisation à  $50 \text{ Hz}$  est fournie par un transformateur monté dans le socle du bâti.

### 5.2 Unités de répéteurs terminaux

Comme relevé sous 3.4.1, les composants d'un répéteur terminal sont répartis sur trois blocs enfichables afin d'obtenir la souplesse d'exploitation désirée (*fig. 6*).

En utilisant l'effet passe-haut du translateur différentiel de l'unité de ligne, on évite l'influence du courant de signalisation sur l'amplificateur de réception, de plus un circuit comportant des diodes destiné à bloquer les impulsions de signalisation est disposé du côté réception 4 fils, empêchant

fangsverstärkers durch die Rufspannung vermieden wird; eine Diodenschaltung auf der Vierdraht-Empfangsseite wirkt als zusätzliche Wahlsperre und unterdrückt die Schwingneigung des Verstärkers beim Rufen auf der Zweidraht-Leitung. Die 50-Hz-Wahlauskopplung und die Einspeisung der 50-Hz-Signalspannung erfolgen in der Mitte der Zweidraht-Seite des Gabelübertragers.

Ein Tiefpassfilter mit der jeweiligen Grenzfrequenz  $f_g$  der betreffenden Pupinisierung verhindert ein Schwingen des Verstärkers bei Frequenzen oberhalb  $f_g$ , wo die Nachbildgüte rasch abnimmt. Im Leitungseinschub befinden sich ferner die Entzerrernetzwerke und die Verstärkungsgradregelung für die beiden Übertragungseinrichtungen, die schaltungsmässig in der Gegenkopplung der Verstärker liegen sowie beim Typ B die Kabelnachbildung. Die eingebaute Nachbildung, die gegenüber der externen (Verstärkertyp A) einer kleineren Fehlerdämpfung genügen muss, besteht aus einer vereinfachten Hoyt-Schaltung.

Die Entzerrung ist individuell für jede Übertragungsrichtung mittels Lötstraps grob und mit einem Potentiometer fein einstellbar. Die Verstärkungsgradeinstellung geschieht für beide Richtungen gemeinsam mit einem Schalter in Stufen von 0,1 N, der Nachbildungsabgleich mit Lötverbindungen.

Der *Signaleinschub* enthält den Umsetzer für die Umwandlung der 50-Hz-Wahlimpulse in die Gleichstromkriterien SZ1 und SZ2: Die 50-Hz-Impulse werden gleichgerichtet und gelangen auf eine transistorisierte Schaltstufe, die ein Herkon-Relais steuert, das über den SZ1-Draht Erdpotential an den Automaten gibt. Umgekehrt werden durch Gleichstromsignale auf dem SZ2-Draht Wechselstromimpulse an die Zweidraht-Leitung gelegt. Mit Potentiometern lassen sich die Empfangsimpulsverzerrungen und die Sendespannung regulieren. Während des Sendens des Impulses bleibt der Wahlempfänger gesperrt. Durch eine Verzögerung der Empfangsschaltung um 35 ms nach Sendeschluss werden Falschimpulse durch allfällige Entladungen der Leitung vermieden. Zwei Messbuchsen dienen dem Anschluss eines Normalinstrumentes zur Messung der 50-Hz-Empfangsleistung.

Im *Verstärkereinschub* sind die zweistufigen Transistorverstärker für die beiden Übertragungsrichtungen untergebracht. Am Ausgang des Empfangsverstärkers und am Eingang des Sendeverstärkers befindet sich je ein NF-Übertrager zur Anpassung an  $600 \Omega$  reell.

## 6. Montage und Einmessung der Endverstärker

Die Endverstärker für Fern- und Bezirksleitungen werden grundsätzlich im Verstärkeramt aufgestellt. Dies geschieht mit Vorteil in der Nähe des Fernverteilers und der Linienübertrager. Die Zusammenschaltung zeigt Figur 3.

ainsi l'amplificateur d'osciller lors d'un appel côté 2 fils. Les accès du signaleur à 50 périodes sont pris au milieu de l'enroulement du translateur différentiel côté 2 fils.

Un filtre passe-bas dont la fréquence supérieure  $f_g$  est fonction du type de pupinisation utilisé empêche l'amplificateur d'osciller aux fréquences plus élevées que  $f_g$  pour lesquelles la qualité d'équilibrage diminue rapidement. Dans l'unité de ligne se trouvent également les réseaux de contre-distorsion, les organes de réglage du gain par contre-réaction variable pour chaque sens de transmission ainsi que l'équilibreur dans le cas du type B. L'équilibreur incorporé ayant un affaiblissement d'équilibrage inférieur à celui d'un équilibreur externe du type A, il est constitué par un montage Hoyt simplifié.

L'égalisation est réalisée pour chaque sens de transmission au moyen de ponts soudés pour le réglage grossier, des potentiomètres permettant ensuite un réglage précis. Le réglage du gain se fait pour les deux sens à l'aide d'un commutateur commun par pas de 0,1 N. L'ajustage de l'équilibreur s'effectue par connexions soudées.

L'unité de signaleur contient les organes nécessaires à la transformation des signaux à 50 Hz en signaux continus sur les fils SZ1 et SZ2: les impulsions à 50 Hz sont redressées et amplifiées par un étage transistorisé commandant un relais reed qui transmet un potentiel de terre au central automatique sur le fil SZ1. Inversement, l'application d'un potentiel de terre sur le fil SZ2 a pour effet d'émettre un signal de 50 Hz sur la ligne 2 fils. Des potentiomètres permettent de régler le rapport des impulsions à la réception ainsi que la tension à l'émission. Le récepteur de signaux reste bloqué durant l'émission d'impulsions et se maintient dans cet état pendant 35 ms après la dernière impulsion, afin d'éviter de fausses impulsions dues à d'éventuelles décharges de la ligne. Des fiches de mesure permettent de connecter un instrument normalisé pour la mesure de la puissance apparente des 50 Hz à la réception.

L'unité d'amplificateurs comprend les amplificateurs à deux étages pour les deux sens de transmission. La sortie de l'ampli de réception et l'entrée de l'ampli d'émission sont adaptées sur une impédance réelle de  $600 \Omega$  au moyen de translateurs BF.

## 6. Montage et mesures de mise en service des répéteurs terminaux

Les répéteurs terminaux pour lignes interurbaines et rurales sont placés, en principe, dans la station des répéteurs, de préférence près du répartiteur interurbain et des translateurs. Le principe de câblage est indiqué à la figure 3.

Die Gabelendverstärker werden von der Bügelbucht aus eingemessen, was grundsätzlich folgende Arbeitsgänge erfordert:

- Abgleichen der Nachbildung
- Einpegeln und Entzerren der beiden Übertragungsrichtungen
- Einstellen der Signalströme

Das Abgleichen der Nachbildung geschieht entweder nach der klassischen Pfeifpunkt-Methode, bei der auf maximale Stabilität eingestellt wird, oder es kommt eine interessante Methode zur Anwendung, die in [3] beschrieben worden ist. Diese Methode benützt die am fernen Zweidraht-Leitungsende bei offenem Zustand reflektierte Energie, deren Grösse und Welligkeit ein Mass für die Dämpfungsverzerrung und Nachbildung darstellt. Der besondere Vorteil liegt darin, dass am anderen Leitungsende weder gesendet noch gemessen werden muss.

## 7. Bauprogramm

Die Einführung der Vierdraht-Technik in der Netzgruppe, und damit die Verwirklichung des neuen Dämpfungsplanes, ist eine Massnahme auf lange Sicht und wird sich über Jahrzehnte erstrecken. Es ist nicht vorgesehen, bestehende Ämter nur der Vierdraht-Technik wegen umzubauen.

Hingegen sollen normale Erweiterungen und Erneuerungen dazu benützt werden, um die neue Technik vorzubereiten und schrittweise anzuwenden. Während einer Übergangszeit wird alte und neue Technik nebeneinander bestehen.

Die Generaldirektion PTT hat ein Programm für den Umbau der 52 Netzgruppenhauptämter aufgestellt, wozu jährlich mehrere tausend Endverstärker benötigt werden.

Mit der Ausdehnung der Vierdraht-Technik auf die Netzgruppe wird ein wesentlicher Beitrag an die Qualitätsverbesserung unseres Telephonnetzes geleistet.

### Bibliographie

- [1] *Jacot J.* Transistorisierte Linienrüstungen Bauweise 62. Techn. Mitt. PTT, 1965, Nr. 6, S. 171...173
- [2] *Nüsseler F.* Stabilität bei Verwendung von Gabelendverstärkern. Techn. Mitt. PTT 1965, Nr. 2, S. 41...54.
- [3] *Nüsseler F.* Einmessung von Gabelendverstärkern. Techn. Mitt. PTT 1966, Nr. 5, S. 139...145.
- [4] *Valloton J. und Nüsseler F.* Der Dämpfungsplan 1966. Techn. Mitt. PTT 1967, Nr. 9, S. 486...498.

Les mesures de mise en service sont effectuées au bâti de cavaliers BF et comprennent les opérations suivantes:

- ajustage de l'équilibreur
- alignement et égalisation des deux sens de transmission
- ajustage des courants de signalisation.

L'ajustage de l'équilibreur s'effectue soit par la méthode classique du point de sifflement, c'est-à-dire par recherche de la plus haute stabilité; soit par une méthode très intéressante, décrite dans [3]. Cette méthode se base sur l'énergie d'une onde réfléchie par l'extrémité ouverte (ou court-circuitée) d'une ligne 2 fils; ce signal renseigne sur la compensation de l'affaiblissement, la correction de la distorsion et permet d'apprécier l'équilibrage du circuit. Son principal avantage est de ne nécessiter ni émission, ni mesure à l'extrémité éloignée de la ligne.

## 7. Programme

L'introduction de la technique 4 fils dans les groupes de réseaux pour la réalisation du nouveau plan de transmission représente une mesure à long terme et se poursuivra pendant des décennies. Il n'est pas prévu de modifier les centraux existants à seule fin d'introduire la commutation à 4 fils.

Les extensions normales et le remplacement d'anciens équipements justifieront, par contre, l'introduction pas à pas de la nouvelle technique. Ainsi, l'ancienne et la nouvelle technique se côtoieront-elles pendant une certaine période de transition.

La direction générale des PTT a établi un programme pour la transformation des 52 centraux principaux de groupes de réseaux, ce qui demandera chaque année plusieurs milliers de répéteurs terminaux.

L'extension de la commutation à 4 fils à l'échelon du groupe de réseaux représente une contribution importante à l'amélioration de la qualité de notre réseau téléphonique.

### Bibliographie

- [1] *Jacot J.* Equipements de ligne transistorisés, modèle 62. Bulletin technique PTT 1965, n° 6, p. 171...173
- [2] *Nüsseler F.* Stabilité en cas d'emploi d'amplificateurs terminaux. Bulletin technique PTT 1965, n° 2, p. 41...54
- [3] *Nüsseler F.* Réglage d'amplificateurs terminaux. Bulletin technique PTT 1966, n° 5, p. 139...145
- [4] *Valloton J. et Nüsseler F.* Le plan de transmission 1966. Bulletin technique PTT 1967, n° 9, p. 486...498