

# Wandel in der Pupinisierung = Evolution de la pupinisation

Autor(en): **Nüsseler, Franz**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **35 (1957)**

Heft 5

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875077>

## **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.

## Wandel in der Pupinisierung

Von Franz Nüsseler, Bern

621.395.642.22

## Evolution de la pupinisation

Par Franz Nüsseler, Berne

**Zusammenfassung.** Einleitend skizziert der Verfasser kurz die Entwicklung der Pupinisierung. Hierauf wird die Übertragung auf Kabeln behandelt, die durch künstliche Belastung mit Induktivität bedeutend verbessert werden konnte. Die Probleme, die zu lösen waren, um befriedigend wirkende Spulen herzustellen, werden angedeutet. In der chronologischen Folge der Entwicklung wird die Erweiterung des Frequenzbandes für Telephonie und Musikübertragung dargestellt. Abschliessend wird die Einschaltung von einzelnen Pupinispulen behandelt.

Die kommerzielle Verwertung des im Jahre 1876 von *Alexander Graham Bell* erfundenen Telephons setzte voraus, dass die Apparate über grössere Entfernungen miteinander verbunden werden konnten. Bereits im Jahre 1877 wurden auch in der Schweiz durch die Telegraphenverwaltung erste Versuche vorgenommen, um grössere Entfernungen mit dem Telephon zu überbrücken. Diese Versuche erbrachten den Beweis, dass sogar mit dem gewöhnlichen Induktions-telephon von Bell auf Telegraphenleitungen wie Bellinzona–Luzern, Bern–Thun u. a. eine, wenn auch nicht vollkommene, Verständigung möglich war. Bei der Anlage des ersten schweizerischen Telephonnetzes in Zürich – im Jahre 1880 – gewährte man auf den eindrähtig gebauten und auf ein- und demselben Gestänge geführten längeren Abonnementleitungen die störende Wirkung der Induktion. Dieser zufolge wurde ein zuverlässiger Sprechverkehr auf langen Leitungen erschwert oder gar verunmöglicht, und auch das Gesprächsgeheimnis wurde in Frage gestellt. Die Verlegung von langen Leitungen auf verschiedenen Trassen, zum Beispiel beidseitig längs der Strassen, führte – abgesehen von den daraus erwachsenden Mehrkosten – sehr bald zu Verkehrsschwierigkeiten. Im Jahre 1886 ging die schweizerische Telegraphenverwaltung dazu über, die Fernleitungen doppeldrähtig anzulegen, was die gleichzeitige Führung von mehreren Leitungen auf dem gleichen Gestänge ermöglichte. Mit der verbesserten Bauweise und unter Beobachtung gewisser inzwischen ermittelte Kreuzungsregeln konnte das lästige Übersprechen verhindert oder doch in einem erträglichen Mass gehalten werden. Anfang der Neunzigerjahre erwuchsen dem Telephon in den aufkommenden Starkstromanlagen neue Schwierigkeiten. Ausser notwendig werdenden Schutzmassnahmen griffen sukzessive auch im Linienbau neue Bauweisen Platz, so u. a. die vermehrte Verwendung von Kabeln.

Die beiden Übertragungsmittel, Freileitungen und Kabel, sind nicht nur äusserlich, sondern auch nach ihren elektrischen Eigenschaften beurteilt, vollkommen verschieden. Wenn heute in der elektrischen Nachrichtentechnik grösstenteils Kabel verwendet werden, so liegt der Grund nicht etwa in ihren elektrischen Charakteristiken, sondern in der Möglichkeit, eine sehr grosse Zahl von Verbindungen in

**Résumé.** L'auteur montre succinctement le développement de la pupinisation. Il traite ensuite de la transmission sur les câbles, que la charge artificielle au moyen d'inductances a permis de grandement améliorer. Les problèmes qu'il fallut résoudre pour obtenir des bobines donnant satisfaction sont brièvement évoqués. Sont encore touchées, dans l'ordre chronologique, les questions relatives à l'extension de la bande de fréquences pour la téléphonie et la transmission de la musique. L'article se termine par la description du montage de quelques types de bobines Pupin.

Pour pouvoir exploiter de manière commerciale le téléphone inventé en 1876 par *Alexander Graham Bell*, il fallait que des appareils pussent être reliés entre eux à de grandes distances. En 1877 déjà, l'administration des télégraphes suisses entreprenait des essais en vue de déterminer la possibilité d'employer le téléphone sur de longs trajets. Ces essais démontrèrent que, même au moyen du simple téléphone à induction de Bell, une transmission compréhensible était possible sur des lignes télégraphiques, par exemple Bellinzona–Lucerne, Berne–Thoune, etc. Lorsque, en 1880, on établit le réseau téléphonique de Zurich, on constata sur les longues lignes d'abonnés à un fil montées sur poteaux communs les effets perturbateurs de l'induction, qui gênaient ou même empêchaient la correspondance et mettaient en question le secret des conversations. La pose de longues lignes sur différents tracés, par exemple des deux côtés d'une route, ne tarda pas à être ressentie comme une entrave à la circulation, sans parler des frais supplémentaires qu'elle nécessitait. En 1886, l'administration des télégraphes suisses commença à construire des lignes interurbaines à double fil, ce qui permit de faire passer plusieurs circuits sur les mêmes poteaux. En améliorant la construction et en observant certaines règles de croisement des fils déterminées entre temps, on parvint à éliminer ou tout au moins à ramener à une mesure supportable les effets gênants de la diaphonie. Après 1890, l'apparition des premières installations à courant fort fut la cause de nouvelles difficultés. Il fallut recourir à des mesures de protection et, d'autre part, adopter de nouvelles méthodes de construction des lignes (par exemple pose plus étendue de câbles).

Les deux moyens de transmission, lignes aériennes et câbles, diffèrent de manière fondamentale non seulement quant à leur aspect extérieur, mais aussi quant à leurs caractéristiques électriques. L'emploi toujours plus grand de câbles dans la technique des télécommunications se justifie non par les propriétés électriques des câbles, mais par la possibilité qu'il offre de placer un grand nombre de communications dans un espace restreint. La distance entre conducteurs se réduisant également, le circuit est affecté d'une forte capacité qui nuit à la qualité de la transmission. L'affaiblissement des courants alternatifs de fréquence

knappstem Raume sicherzustellen. Der daraus resultierende geringe Aderabstand hat jedoch eine so grosse Leitungskapazität zur Folge, dass die Qualität der Übertragung ungünstig beeinflusst wird. Die mit zunehmender Tonhöhe und Länge des Kabels ansteigende Dämpfung der tonfrequenten Wechselströme ist der grosse Nachteil dieser Leitungsart. Dies ist der Grund, weshalb für Fernverbindungen, solange es die Verhältnisse gestatten, immer wieder Freileitungen gebaut werden. Zur Vermeidung von Drahtverwicklungen war man gezwungen, verhältnismässig grosse Drahtabstände zu wählen, welcher Umstand sich sehr günstig auf die Leitungskapazität auswirkt. Die Kapazität zwischen den Drähten einer Schlaufe ist etwa 7mal geringer im Vergleich zu einem neueren Papierkabel. Bei den Ende des vorigen Jahrhunderts verwendeten, mit Guttapercha und Faserstoffen isolierten Kabeln war dieses Verhältnis noch ungünstiger. Den guten Übertragungseigenschaften der Freileitungen ist es zuzuschreiben, dass diese in vielen Ländern heute noch für die Überbrückung grosser Entfernungen verwendet werden. In der Schweiz mussten die grossen Freileitungsstränge entlang den Bahnen der Elektrifikation weichen. In diesem Zeitpunkt begann die Verkabelung des schweizerischen Telephonnetzes.

### 1. Die Erfindung Pupins

Dem Engländer *Oliver Heaviside* (1850...1925)<sup>1</sup> fällt das Verdienst zu, als erster theoretische Untersuchungen über die Ausbreitung von Wechselströmen auf Telegraphen- und Telephonleitungen angestellt zu haben. Er wies darauf hin, dass Kabelleitungen allgemein elektrisch zu «leicht» sind. Darunter verstand er die Leitungsinduktivität, die im Verhältnis zur Kapazität viel zu niedrig sei. Als günstigstes Verhältnis zwischen den Grundeigenschaften Widerstand (R), Ableitung (G), Induktivität (L) und Kapazität (C) einer Leitung legte Heaviside die auch heute noch gültige Beziehung fest:

$$R \cdot C = G \cdot L$$

Setzt man in diese Gleichung die Werte eines Kabels ein, so wird das Produkt  $R \cdot C$  immer vielmal grösser als  $G \cdot L$ . Einer Verbesserung dieses Verhältnisses sind enge Grenzen gezogen. Eine Reduktion des Widerstandes kann nur durch die Vergrösserung des Aderdurchmessers erreicht werden, was aber, bei gleichbleibendem Aderabstand, eine Erhöhung der Kapazität nach sich zieht. Die Aderabstände können aus verseiltechnischen und räumlichen Gründen nicht beliebig gross gewählt werden. Andererseits würde eine künstliche Vergrösserung der Ableitung  $G$  nur die Ableitungsverluste vergrössern. Heaviside erkannte richtig, dass eine Verbesserung der Übertragung über Kabel nur durch eine Vergrösserung der Induktivität erreicht werden könne. Seinen schwer-

audible, qui s'accroît à mesure qu'augmentent la hauteur des sons et la longueur de la ligne, est le plus grand inconvénient de ce genre de transmission. C'est pour cette raison qu'on a construit des lignes interurbaines aériennes aussi longtemps que les conditions l'ont permis. Pour parer au mélange des fils, on était obligé de monter ceux-ci à des distances assez grandes les uns des autres, ce qui agissait dans un sens favorable sur la capacité de la ligne. La capacité d'un lacet aérien est sept fois plus faible que celle d'un lacet du nouveau câble à isolation de papier. Dans les câbles fabriqués à la fin du siècle passé, isolés au moyen de gutta-percha et de substances fibreuses, ce rapport était encore plus défavorable. C'est grâce à leurs bonnes qualités de transmission qu'en beaucoup de pays les lignes aériennes servent encore à assurer des relations à longue distance. En Suisse, les grandes artères aériennes empruntant le tracé des lignes de chemin de fer en ont été chassées par l'électrification. La mise sous câbles du réseau téléphonique suisse a commencé à ce moment-là.

### 1. L'invention de Michael Pupin

C'est à l'Anglais *Oliver Heaviside* (1850...1925)<sup>1</sup> que revient le mérite d'avoir entrepris des expériences théoriques sur la propagation des courants alternatifs sur les lignes télégraphiques et téléphoniques. Il montra que les circuits en câble sont généralement trop «légers». Il voulait dire par là que l'inductance du circuit est beaucoup trop faible par rapport à sa capacité. Comme rapport le plus favorable entre les caractéristiques fondamentales d'un circuit: résistance (R), perditance (G), inductance (L) et capacité (C), Heaviside indiqua la relation suivante encore admise aujourd'hui:

$$R \cdot C = G \cdot L$$

Lorsqu'on insère dans cette équation les valeurs propres à un circuit en câble, le produit  $R \cdot C$  est toujours beaucoup plus grand que  $G \cdot L$ . Ce rapport ne peut être amélioré que dans d'étroites limites. En augmentant le diamètre des conducteurs, on diminue la résistance, mais, si la distance entre conducteurs reste la même, on accroît la capacité. Le toronnage et le manque de place empêchent d'augmenter à volonté la distance entre conducteurs. D'autre part, l'élévation artificielle de la perditance  $G$  aurait pour effet d'accroître les pertes par dérivation. Heaviside reconnut qu'on ne pouvait améliorer la transmission sur les câbles qu'en élevant la valeur de l'inductance. On n'accorda pas, à l'époque, toute l'attention qu'elles méritaient à ses explications théoriques et quelque peu obscures; les grandes compagnies américaines de téléphone n'étaient probablement dirigées alors que par des hommes d'affaire. Même des experts écrivirent à Heaviside qu'ils admiraient ses travaux, mais regrettaient de n'y rien comprendre.

<sup>1</sup> *Appleyard, Rollo*. Bahnbrecher der elektrischen Nachrichtentechnik. Oliver Heaviside. Electrical Communication 7 (1928), 73 ff.

<sup>1</sup> *Appleyard, Rollo*. Bahnbrecher der elektrischen Nachrichtentechnik. Oliver Heaviside. Electrical Communication 7 (1928), 73 ss.

verständlichen theoretischen Abhandlungen über dieses Problem wurde damals nicht die nötige Aufmerksamkeit geschenkt; sehr wahrscheinlich waren die amerikanischen privaten Telephongesellschaften damals ausschliesslich von Geschäftsleuten betreut. Ja, selbst Fachleute schrieben Heaviside, sie bewunderten seine Arbeiten, bedauerten jedoch, nicht mehr davon zu verstehen. Heaviside ging zur Tagesordnung über und befasste sich bereits mit der Erforschung der drahtlosen Ausbreitung der elektrischen Energie.

Eine brauchbare Lösung für die Vergrößerung der Induktivität in Kabeln zu finden blieb dem Amerikaner serbischer Abstammung, *Michael Pupin*, vorbehalten.<sup>2</sup>

Pupin hatte sich mit den Theorien von Heaviside vertraut gemacht und sann des öfteren über die Probleme nach, so auch 1894 während einer Ferienreise in der Schweiz. Damals wurden die Alpenpässe noch mehr zu Fuss begangen als heute. Beim Aufstieg zum Furkapass kam der inzwischen zum Hochschulprofessor avancierte Pupin auf eine Idee, deren Verwirklichung ihn später weltberühmt machen sollte. Er erblickte die Lösung des Problems darin, auf der Leitung in regelmässigen Abständen Induktivitäten in Form von Spulen einzuschalten. Nachdem er die Dimensionierung der Spulen und deren Abstände in der Leitung berechnet hatte, unterbreitete er seinen Vorschlag einem Telephonfachmann. Die Demonstrationen mit einer Versuchsleitung waren sehr überzeugend. Gleichwohl wurde das Patent Pupin erst nach langwierigen Prozessen mit amerikanischen Telephongesellschaften, die die Bedeutung der Erfindung bereits erkannt hatten, im Jahre 1900 erteilt.

Die Spulen für die Vergrößerung der Induktivität bestehen im Prinzip aus einem Eisenkern und einer darüber befindlichen Kupferdrahtwicklung, durch die der Leitungsstrom fliesst. Die Spulen erhielten den Namen des Erfinders und das Bausystem wurde Pupinisierung genannt.

Die Stärke der Pupinisierung und die Abstände der Spulen, bzw. die Kapazität des Kabels bestimmen seine sämtlichen Übertragungseigenschaften. Grundbedingung für das richtige Funktionieren der Pupinisierung ist die Forderung, dass sich die Spulen im Leitungszug in Abständen folgen, die klein sind im Verhältnis zur Wellenlänge, oder, anders ausgedrückt: die Phasendrehung einer sogenannten Pupinsektion muss sehr klein sein.

Durch die künstliche Belastung der Leitung mit Induktionsspulen wird in erster Linie die Dämpfung beträchtlich reduziert. Charakteristisch ist dabei, dass die pupinisierte Leitung, verglichen mit einem Filter, einen Tiefpass bildet. Im Durchlassbereich, der den Sprachfrequenzen entsprechen soll, wird die Dämpfung durch den Widerstand und die Ableitung

Dès lors, Heaviside ne s'occupa plus que de recherches sur la propagation de l'énergie sans fil.

Il était réservé à l'Américain d'origine serbe *Michael Pupin*<sup>2</sup> de trouver une solution pratique au problème de l'augmentation de l'inductance dans les câbles. Pupin avait étudié les théories de Heaviside et réfléchissait souvent à ces questions, par exemple au cours d'un voyage qu'il fit en Suisse en 1894. Plus encore qu'aujourd'hui, on passait alors à pied les cols des Alpes. En montant la Furka, Pupin, devenu entre temps professeur d'université, émit une idée dont la réalisation devait le rendre célèbre. Il envisageait de résoudre le problème en insérant sur le circuit, à des distances égales, des inductances se présentant sous la forme de bobines. Après avoir calculé les valeurs à donner aux bobines et les distances auxquelles elles devaient être placées, il fit part de ses travaux à un expert en téléphonie. Les démonstrations faites sur un circuit d'essai furent couronnées de succès. Cependant, Pupin n'obtint son brevet qu'en 1900, après avoir soutenu de longs procès avec les compagnies téléphoniques américaines, qui avaient reconnu la valeur de l'invention.

Les bobines destinées à augmenter l'inductance se composent en principe d'un noyau de fer et d'un enroulement de fil de cuivre dans lequel circule le courant. Elles portent le nom de leur inventeur et tout le système est appelé «pupinisation».

Toutes les caractéristiques de transmission du câble sont déterminées par la valeur de la pupinisation et les distances entre les bobines, de même que par sa capacité. Pour que la pupinisation ait exactement l'effet désiré, il faut que les bobines se suivent à des distances relativement faibles par rapport à la longueur d'onde, autrement dit que le déphasage d'une section de pupinisation soit très faible.

La charge artificielle du circuit par des bobines d'inductance a pour premier effet de réduire l'affaiblissement de manière appréciable. Comparé à un filtre, le circuit pupinisé se comporte comme un filtre passe-bas. Dans la bande passante, qui doit correspondre aux fréquences vocales, l'affaiblissement est dû à la résistance et à la perditance. Dans la bande éliminée, en revanche, l'affaiblissement est si fort qu'aucune transmission n'est possible. Entre les deux bandes se trouve la fréquence de coupure, déterminée par l'inductance et la capacité de champ des bobines (cf. fig. 1...3).

Il était naturel au début de charger fortement les circuits afin de profiter au maximum de la réduction de l'affaiblissement. On ne connaissait pas encore les répéteurs et la fidélité de reproduction du microphone et du récepteur était bien moindre qu'aujourd'hui. On admettait sans autre l'absence des sons aigus, la transmission de la voix sur de grandes distances étant déjà considérée en elle-même comme une merveille.

<sup>2</sup> *Pupin, Michael*. Vom Hirten zum Erfinder. Leipzig 1929.

<sup>2</sup> *Pupin, Michael*. Vom Hirten zum Erfinder. Leipzig 1929.

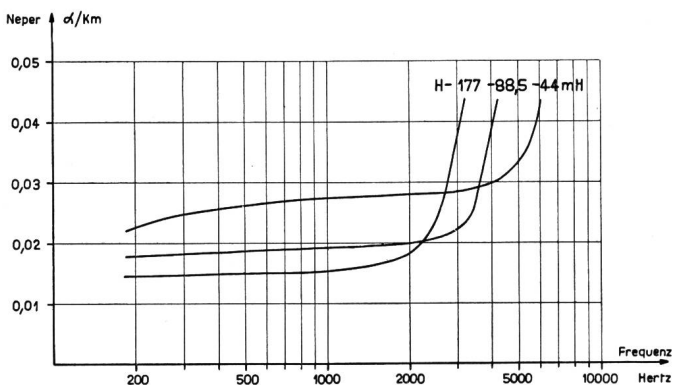


Fig. 1. Dämpfungskurven von Stammleitungen 1,0 mm für verschiedene Belastungen  
 Courbes d'affaiblissement de circuits de bases 1,0 mm pour diverses charges

verursacht. Im Sperrbereich wird dagegen die Dämpfung so stark, dass nichts mehr übertragen wird. Zwischen Durchlass- und Sperrbereich liegt die Grenzfrequenz, die durch die Induktivität und die Feldkapazität der Spulen bestimmt wird (vgl. Fig. 1...3).

Es war naheliegend, dass man zu Beginn dieses Jahrhunderts die Leitungen sehr stark belastete, um von der Dämpfungsreduktion möglichst zu profitieren. Verstärker kannte man damals noch nicht, und die Wiedergabebetreue von Mikrophon und Hörer waren nach den heutigen Begriffen gemessen noch sehr bescheiden. Das Fehlen der höheren Töne wurde schweigend hingenommen, denn die Übertragung der Sprache auf grössere Distanzen galt ohnehin schon als ein Wunder.

Dass zur Pupinisierung nicht beliebige Drosselspulen verwendet werden können, das zeigten bald einmal die praktischen Versuche. Besonders der verlangte Induktivitätswert muss möglichst konstant sein, was bei einer gegebenen Wicklung von der Konstanz der Permeabilität abhängt. Diese Anforderung ist um so bemerkenswerter, wenn man weiss,

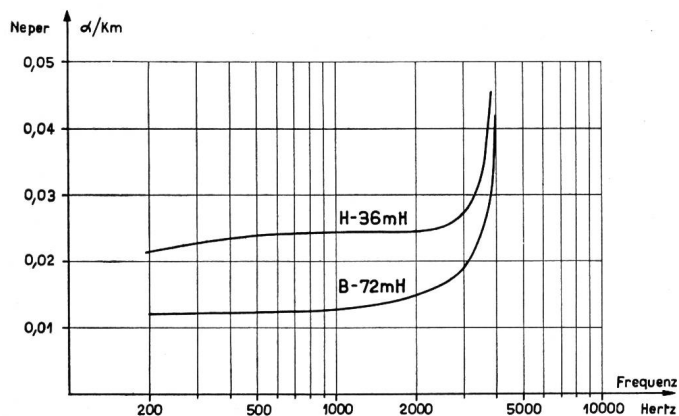


Fig. 3. Dämpfungskurven von Stern-Phantomstromkreisen 1,0 mm für verschiedene Pupinisierungen  
 Courbes d'affaiblissement de circuits fantômes Etoile 1,0 mm pour diverses pupinisations

Les essais pratiques aussitôt entrepris démontrèrent qu'on ne pouvait employer n'importe quelles bobines. La valeur de l'inductance en particulier doit être aussi constante que possible et, pour un enroulement donné, dépend de la constance de la perméabilité. Cette exigence est d'autant plus difficile à satisfaire que l'induction magnétique des tôles de transformateur, par exemple, n'a pas une valeur constante. La perméabilité  $\mu$  d'une matière est exprimée par le rapport entre l'intensité de champ magnétique (H) et l'induction (B):

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Pour obtenir des bobines donnant satisfaction, il fallut rechercher des alliages de fer spéciaux (fer/nickel) (fig. 4). Une perméabilité pratiquement constante ne doit varier qu'entre d'étroites limites sous l'influence de la magnétisation par courant continu

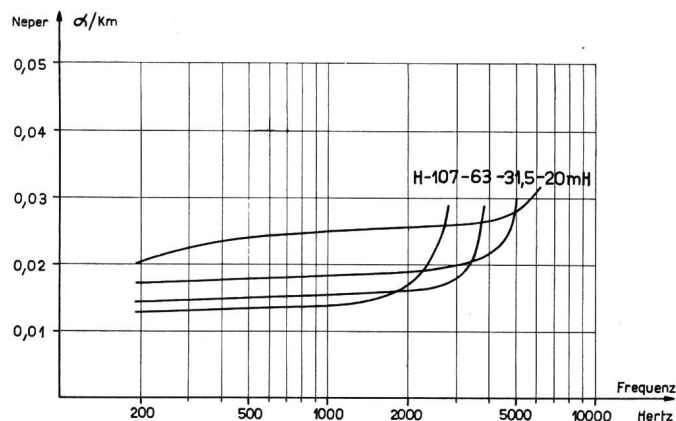


Fig. 2. Dämpfungskurven von DM-Phantomstromkreisen 1,0 mm für verschiedene Pupinisierungen  
 Courbes d'affaiblissement de circuits fantômes DM 1,0 mm pour diverses pupinisations

ou alternatif. Il s'agit là d'une caractéristique importante pour les installations établies au voisinage de chemins de fer électriques ou de réseaux à courant fort.

En outre, la résistance ohmique et l'impédance des bobines doivent être aussi faibles que possible. La résistance ohmique ne peut descendre au-dessous d'une certaine valeur, car le fil doit être isolé et l'espace disponible est entièrement utilisé. En choisissant des perméabilités élevées, on put obtenir une inductance donnée avec un nombre de spires réduit. Les pertes par hystérésis et courants de Foucault sont cependant d'autant plus élevées et la stabilité d'autant plus faible que la perméabilité est plus grande. L'impédance supplémentaire se compose des pertes par hystérésis, courants de Foucault et viscosité. Ces pertes varient d'après la fréquence et le courant, il n'est pas possible de les déterminer exactement par des mesures. Des recherches intensives ont été nécessaires pour trouver la matière la plus appropriée pour les noyaux et la meilleure cons-

dass zum Beispiel die magnetische Induktion von Transformatorblech keine konstante Grösse ist. Die Permeabilität  $\mu$  eines Materials wird ausgedrückt durch das Verhältnis zwischen magnetischer Feldstärke (H) und Induktion (B):

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Es mussten besondere Eisenlegierungen (Eisen-Nickel) gesucht werden, um befriedigende Pupinspulen zu erhalten (Fig. 4). Die praktisch konstante Permeabilität soll unter dem Einfluss einer Gleich- oder Wechselstrommagnetisierung nur in geringen Grenzen ändern. Dieses Erfordernis ist besonders wichtig für Anlagen im Bereiche von elektrischen Bahnen oder Starkstromnetzen.

Im weiteren sollte sowohl der Gleichstrom- als auch der Wechselstromwiderstand der Spulen möglichst niedrig sein. Dem Gleichstromwiderstand sind Grenzen gesetzt, denn der Draht muss isoliert sein und der zur Verfügung stehende Raum wird ganz ausgenutzt. Durch die Wahl einer höheren Permeabilität könnten zur Erreichung der gleichen Induktivität Windungen eingespart werden. Je höher die Perme-

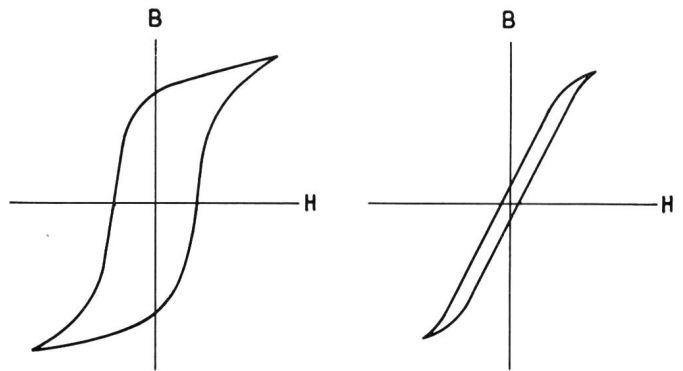


Fig. 4. Hysteresisschleifen von Transformatoren (links) und Pupinkernmaterial (rechts)

Courbes d'hystérésis de transformateurs (gauche) et de matériel pour noyau de bobine Pupin (droite)

truktion des bobines. La bobine la plus favorable est la bobine à noyau toroidal. Le circuit magnétique fermé n'est que peu influencé par les bobines voisines. Les bobines sont renfermées dans des caissons. Il faut veiller à ce qu'il n'y ait aucune diaphonie entre bobines quelconques. Les bobines sont reliées par un câble de raccordement au câble à pupiniser.

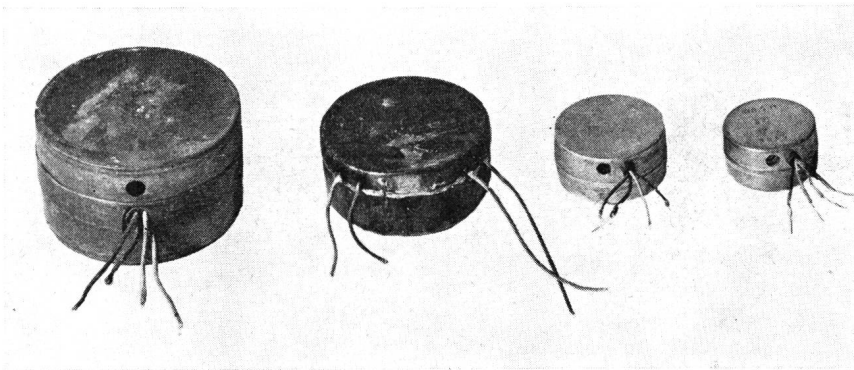


Fig. 5a.

Verschiedene Typen von Stampfpupinspulen. Die grosse Spule links wiegt bei einer Induktivität von 177 mH 2,95 kg, die kleine Spule rechts wiegt für 88,5 mH nur noch 400 g

Types divers de bobines pour circuits de bases. La bobine de gauche pèse, pour une inductivité de 177 mH, 2,95 kg, la petite bobine à droite pèse pour 88,5 mH seulement 400 g

abilität, um so höher sind jedoch die Hysteresis- und Wirbelstromverluste und um so geringer die Stabilität. Der zusätzliche Wechselstromwiderstand ergibt sich aus Hysteresis-, Wirbelstrom- und Nachwirkverlusten. Da sich diese Verluste, je nach Frequenz und Stromstärke, verschieden verhalten, können sie durch Messungen genau bestimmt werden. Es bedurfte intensiver Forschung, bis das geeignete Kernmaterial und der Spulenaufbau gefunden waren. Als günstigste Spulenform hat sich die Ringkernspule durchgesetzt. Der geschlossene magnetische Kreis lässt nur eine geringe Beeinflussung von benachbarten Spulen zu. Die Pupinspulen werden in Kästen eingebaut. Dabei soll kein Nebensprechen zwischen beliebigen anderen Spulen auftreten. Die Spulen werden über ein sogenanntes Pupin-Anschlusskabel mit dem zu pupinisierenden Kabel verbunden.

Eine andere Lösung besteht darin, dass das Fernkabel direkt in eine Kammer des Pupinkastens eingeführt und dort mit den Anschlussdrähten verbun-

On peut aussi introduire directement le câble interurbain dans une des chambres du caisson Pupin et l'y relier avec les fils de raccordement. Etant données les hautes exigences imposées aux bobines, particulièrement en ce qui touche la stabilité, les premières qui furent mises en service étaient de grandes dimensions (fig. 5). Les caissons devaient par conséquent être également de dimensions respectables, aussi leur poids était-il assez élevé (fig. 6).

Les bobines Pupin ont rendu possible la correspondance interurbaine par câble. Le développement ne s'arrêta cependant pas là. De nombreux physiciens s'occupèrent de rechercher des matières meilleures pour la composition des noyaux; la littérature spécialisée de l'époque (1920...1930) comprend de nombreux travaux sur cet objet.

Les améliorations apportées aux cours des ans permirent de réduire le volume des bobines (cf. fig. 5a et 5b). On put en placer un plus grand nombre dans un seul et même caisson et ainsi faire face à

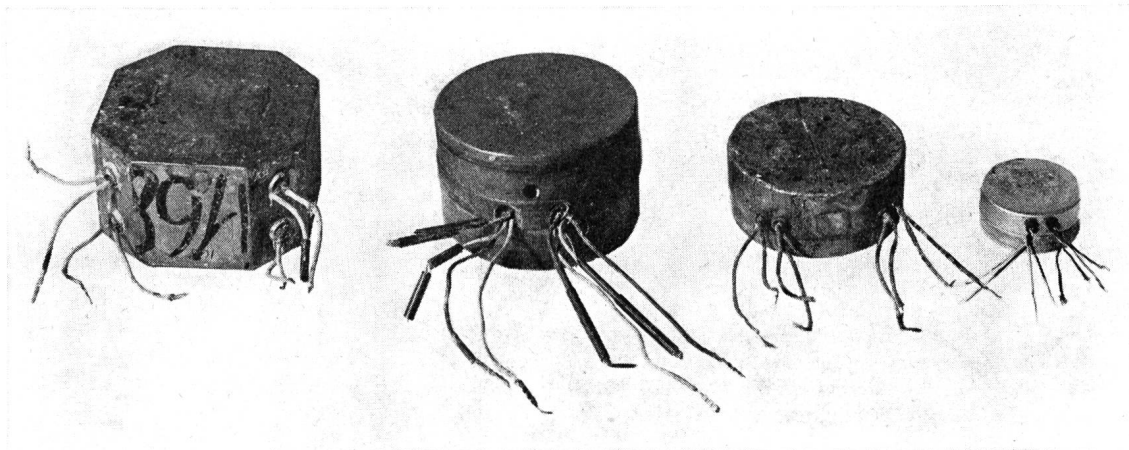


Fig. 5b. Verschiedene Typen von Phantompupinspulen. Das Gewicht der grossen Spule links beträgt bei einer Induktivität von 107 mH 6,46 kg, dasjenige der kleinen Spule rechts bei 31,5 mH noch 410 g

Types divers de bobines pour circuits fantômes. Le poids de la grosse bobine à gauche s'élève, pour une inductivité de 170 mH à 6,46 kg, par contre la petite bobine à droite de 31,5 mH pèse seulement 410 g

den wird. Infolge der grossen Anforderungen, die an die Spulen gestellt werden müssen, besonders was die Stabilität betrifft, nahmen die ersten Konstruktionen ziemlich grosse Ausmasse an (Fig. 5). Entsprechende Abmessungen erhielten in der Folge auch die Pupinkasten, die zudem ein beträchtliches Gewicht aufwiesen (Fig. 6).

Dank der Pupinspulen war der Fernverkehr über Kabel möglich geworden. Die Entwicklung stand jedoch beim Erreichten nicht still. An der Suche und der Erforschung besserer Kernmaterialien beteiligten sich namhafte Physiker, und in der Fachliteratur jener Zeit (1920...1930) nahm dieses Fachgebiet einen breiten Raum ein.

Die Verbesserungen, die im Laufe der Jahre erreicht wurden, spiegeln sich in der Reduktion der äusseren Abmessungen der Spulen wieder (vgl. Fig. 5a und 5b). Dies erlaubte, eine grössere Zahl von Spulen in den Kasten unterzubringen und mit den Bedürfnissen des Fernkabelbaus, der immer grössere Kabel verlangte, Schritt zu halten.

## 2. Die Erweiterung des Frequenzbandes

Während man im Anfang der Fernkabeltechnik dem schmalen Frequenzband zugunsten der Dämpfungsreduktion den Vorzug gab, änderten sich im Laufe der Jahre die Ansprüche an die Qualität der Übertragung. Das schmale Frequenzband war so lange tragbar, als Mikrophon und Hörer nur ein bescheidenes Frequenzband aufnehmen und wiedergeben konnten. Den Ansprüchen auf eine bessere Übertragungsqualität Rechnung tragend, wurde im Jahre 1946 eine leichtere Pupinisierung beschlossen. Der Ausdruck «leichter» bezieht sich auf den Wert der Induktivität der Pupinspulen in Millihenry (mH). Anstatt mit 177 mH, wurden die Stammleitungen fortan mit 88,5 mH-Spulen belastet. Dementsprechend wurde die Phantom-Pupinisierung von 107 und 63 mH durch eine einheitliche Belastung von 31,5 mH ersetzt.

l'accroissement du réseau interurbain, qui exigeait des câbles de plus en plus gros.

## 2. L'élargissement de la bande de fréquences

Lorsqu'on posa les premiers câbles interurbains, on se contenta d'une bande de fréquences étroite pour pouvoir réduire l'affaiblissement. Au cours des ans cependant, on exigea une meilleure qualité de transmission. La bande de fréquences étroite était admissible aussi longtemps que le microphone et le récepteur n'étaient eux-mêmes pas construits pour une

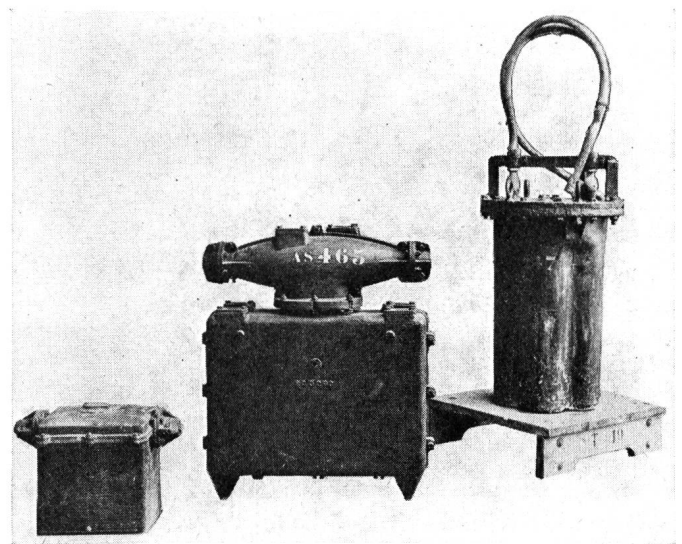


Fig. 6. Verschiedene Ausführungen von Pupinkasten. Bei den zwei ersten Modellen wird das zu pupinisierende Kabel im oberen Teil des Kastens mit den Anschlussdrähten der Pupinspulen verbunden. Beim Kasten rechts bilden zwei Anschlusskabel die Verbindung zwischen Pupinspule und Fernkabel

Diverses exécutions de caissons Pupin. Aux deux premiers modèles, le câble pupinisé est directement raccordé par la partie supérieure du caisson, aux fils des bobines Pupin. Sur le caisson de droite deux câbles de raccordement sont montés pour la connexion entre les bobines Pupin et le câble interurbain

Die neue Pupinisierung besitzt gegenüber der alten andere Übertragungseigenschaften. Der wesentliche Unterschied besteht im Frequenzverlauf der Dämpfung. Die theoretische Grenzfrequenz liegt, je nach der Kapazität der Leitung, im Mittel bei 4050 Hertz und ermöglicht praktisch die verzerrungsfreie Übertragung eines Frequenzbandes von 300...3400 Hertz, wie es in den Empfehlungen des CCIF vorgeschlagen wurde. Ein weiterer Unterschied liegt im Dämpfungsbetrag, der bei leichterer Pupinisierung etwas grösser ausfällt. Die Erweiterung des Frequenzbandes erfolgte somit auf Kosten der Dämpfung, hat jedoch wesentlich zur Verbesserung der Verständlichkeit, besonders im Verkehr zwischen verschiedensprachigen Teilnehmern, beigetragen. In verstärkten Leitungen wird die Dämpfung bis auf einen kleinen Rest korrigiert, wogegen im Bezirkskabelnetz dies nicht möglich ist. Leitungen mit verschiedener Pupinisierung haben auch andere Impedanzen. So entspricht der 88,5-mH-Pupinisierung eine mittlere Impedanz von 1200 Ohm. Da die mit 177 mH belastete Leitung eine Impedanz von 1600...1700 Ohm aufweist, dürfen die beiden Leitungstypen nicht direkt zusammengeschaltet werden. Sollen aus Gründen der Nichtanpassung entstehende Reflexionen und Verluste vermieden werden, so muss eine Anpassung mit Übertragerspulen erfolgen. Dabei wird die Bandbreite der Verbindung durch die Leitung mit niedriger Grenzfrequenz bestimmt. Ein weiteres Merkmal der neuen Pupinisierung liegt in der grösseren Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die bekanntlich mit zunehmender Belastung abnimmt. Wenn auch für schweizerische Verhältnisse Geschwindigkeiten von 16 000 km/s und neu sogar 24 000 km/s vollauf genügen, so mussten doch für internationale Verbindungen Leitungen mit grösserer Übertragungsgeschwindigkeit geschaffen werden.

Die Umstellung auf die neue Pupinisierung, die auch ihre finanzielle Auswirkung hat, wird bei Neuanlagen strikte durchgeführt, bei bestehenden je nach Bedürfnis und im Zusammenhang mit der Neugestaltung des Netzes.

Die leichtere Pupinisierung ermöglichte die Konstruktion von Spulen mit günstigeren Abmessungen, denn zur Erlangung einer Induktivität von 88,5 mH braucht es auf dem Spulenkern nur 71 % der Windungen einer 177-mH-Spule. Die 88,5-mH-Spulen haben deshalb, anstatt 3,5 Ohm, im Durchschnitt nur 2 Ohm Gleichstromwiderstand pro Draht. Dadurch reduziert sich der Anteil der Widerstandsdämpfung, die beim Pupinkabel nach der Formel

$$\alpha_R = \frac{R}{2Z} \quad \begin{array}{l} R = \text{Schlaufenwiderstand} \\ Z = \text{Leitungsimpedanz} \end{array}$$

berechnet wird. Die Pupinspule soll die Dämpfung reduzieren und möglichst geringe zusätzliche Verluste erzeugen.

Obwohl durch die Einführung der Trägerstrom-telephonie der Bau von grossen und langen pupini-

bande plus large. Tenant compte des vœux exprimés quant à une meilleure qualité de la transmission, on adopta en 1946 une pupinisation plus légère. L'expression «plus légère» se rapporte à la valeur de l'inductance des bobines en millihenrys (mH). Au lieu d'être chargés à 177 mH, les circuits réels ne le furent plus qu'à 88,5 mH. La pupinisation des circuits fantômes fut ramenée de 107 et 63 mH à la valeur uniforme de 31,5 mH.

La nouvelle pupinisation présente des caractéristiques de transmission différentes de l'ancienne. La différence la plus importante porte sur la caractéristique de fréquence de l'affaiblissement. Suivant la capacité du circuit, la fréquence de coupure est en moyenne de 4050 Hz et permet pratiquement de transmettre sans distorsion une bande de fréquences de 300...3400 Hz, telle qu'elle est proposée dans les recommandations du CCIF. Une autre différence se rapporte à la valeur de l'affaiblissement, qui est un peu plus grande avec la pupinisation plus légère. L'extension de la bande de fréquences s'est faite aux dépens de l'affaiblissement, mais elle a contribué cependant à améliorer la netteté de la transmission; c'est un grand avantage dans la correspondance entre abonnés de langues différentes. Sur les circuits amplifiés, l'affaiblissement est presque entièrement compensé, ce qui n'est pas possible sur le réseau de câbles ruraux. Les circuits de pupinisation différente ont aussi d'autres impédances. La pupinisation de 88,5 mH correspond par exemple à une impédance moyenne de 1200 ohms. Le circuit chargé à 177 mH ayant une impédance de 1600...1700 ohms, ces deux types de circuits ne peuvent être couplés directement. Pour éviter les réflexions et les pertes dues à la non-adaptation des circuits, il faut adapter ceux-ci au moyen de translateurs. La largeur de bande de la communication est alors déterminée par le circuit ayant la fréquence de coupure la plus basse. La nouvelle pupinisation permet encore une plus grande vitesse de propagation (on sait que cette vitesse diminue lorsque la charge augmente). Si, pour le trafic interne suisse, des vitesses de propagation de 16 000 km/s ou même de 24 000 km/s sont pleinement suffisantes, il faut, pour la correspondance internationale, arriver à des vitesses encore plus grandes.

Toutes les nouvelles installations sont à pupinisation légère; pour les installations existantes, le changement, qui a aussi ses répercussions financières, se fait suivant les besoins et en relation avec la transformation du réseau.

On peut, pour la pupinisation légère, construire des bobines de dimensions plus faibles, car pour une inductance de 88,5 mH le noyau de la bobine ne doit recevoir que 71 % des spires d'une bobine de 177 mH. Les bobines de 88,5 mH n'ont qu'une résistance ohmique moyenne de 2 ohms par fil au lieu de 3,5 ohms. L'affaiblissement provoqué par la résistance, qui se calcule d'après la formule



sierten Fernkabeln praktisch zum Stillstand gekommen ist, hat die Pupinisierung ihre Bedeutung nicht verloren. Der Ausbau der Bezirkskabelnetze und die Verkabelung von oberirdischen Fernleitungen erfolgt immer noch mit Hilfe der Pupinkabel. Im Vergleich zu anderen metallischen Leitungen ist die Trägerstromtelephonie im heutigen Zeitpunkt erst für Entfernungen von über 25 und mehr Kilometer wirtschaftlich.<sup>3</sup>

Die Übertragung eines verbreiterten Frequenzbandes muss selbstverständlich durch sämtliche an einer Verbindung beteiligten Glieder gewährleistet werden. Um die durch die leichtere Pupinisierung gewonnene Verbesserung der Übertragungsqualität allen Teilnehmern dienstbar zu machen, werden seit einigen Jahren auch längere Teilnehmerleitungen pupinisiert. Versuche zeigten, dass hierfür eine Pupinisierung mit 15,5 mH am geeignetsten ist. Diese leichte Belastung der Leitungen gestattet eine reflexionsfreie Zusammenschaltung gegen Zentrale und Teilnehmerstation, denn die Leitungsimpedanz beträgt ungefähr 600 Ohm. Im übrigen besitzen die so pupinisierten Leitungen ähnliche Eigenschaften wie die Musikleitungen. Sie eignen sich sehr gut für die Übertragung des niederfrequenten Telephonrundspruchs. Die verwendeten Pupinspulen haben mit den gebräuchlichen Musikspulen nur den Induktivitätswert gemeinsam. Um die Kosten der Pupinisierung der Teilnehmerleitungen möglichst niedrig zu halten und eine grosse Zahl Spulen in den Pupinmuffen unterbringen zu können, wurde ein kleiner Kern gewählt. Der für die Wicklung zur Verfügung stehende Raum bedingte einen dünneren Draht, was einen höheren Drahtwiderstand ergab.

Die kurz nach dem Zweiten Weltkrieg einsetzenden Bestrebungen zur Verbesserung der Verständlichkeit in der Telephonie durch den Übergang zu einer mittelstarken Pupinisierung, wiederholten sich zehn Jahre später im Telephon-Rundsprachnetz. Die Radioübertragung mit Hilfe der Amplitudenmodulation gestattet die Ausstrahlung eines Sprach- und Musikbandes von bis zu 4500 Hertz. Diese Beschränkung steht im Zusammenhang mit der Zahl der Sender und deren gegenseitigem Abstand im Frequenzband. Verglichen mit der drahtlosen Übertragung dürfen unsere mit 15,5 mH pupinisierten Musikleitungen als gut angesprochen werden. Mit einer Grenzfrequenz von 10 000 Hertz weisen diese Leitungen bis zu 7000 Hertz praktisch keinen Dämpfungsanstieg auf.

Die in den letzten Jahren eingeführte Frequenzmodulation ermöglichte es dann, auf drahtlosem Wege dem Radiohörer ein theoretisch unbegrenztes Tonfrequenzband zu übermitteln. Diese Möglichkeit rief dann auch jene Musikfreunde auf den Plan, die sich mit dem bisher künstlich beschnittenen Musikband nicht zufriedengeben konnten. Anlässlich der Studien

$$\alpha_R = \frac{R}{2Z} \quad \begin{array}{l} R = \text{résistance du lacet} \\ Z = \text{impédance du circuit} \end{array}$$

est réduit d'autant. La bobine Pupin doit réduire l'affaiblissement et ne provoquer que le moins possible de pertes supplémentaires.

Bien que l'apparition de la téléphonie sur circuits à courants porteurs ait pratiquement mis un terme à la pose de longs câbles pupinisés à grand nombre de conducteurs, la pupinisation n'a rien perdu de son importance. L'extension des réseaux de câbles ruraux et la mise sous câble de lignes interurbaines aériennes exigent toujours l'emploi de câbles pupinisés. Actuellement, les circuits à courants porteurs ne présentent un avantage économique par rapport aux autres circuits métalliques que sur les distances supérieures à 25 km.<sup>3</sup>

Il est évident que tous les organes intéressés à une communication doivent pouvoir transmettre la bande de fréquences élargie. Pour que l'amélioration de la qualité de transmission procurée par la pupinisation plus légère puisse profiter à tous les abonnés, on a commencé il y a quelques années à pupiniser également les longues lignes d'abonnés. Des essais ont démontré que la charge à 15,5 mH est la plus favorable dans ce cas. Cette charge légère permet un couplage sans réflexion vers le central et le poste d'abonné, l'impédance du circuit étant d'environ 600 ohms. De plus; ces circuits ont des caractéristiques semblables à celles des circuits musicaux. Ils se prêtent très bien à la transmission de la télédiffusion à basse fréquence. Les bobines utilisées n'ont rien de commun avec celles des circuits musicaux, excepté la valeur de l'inductance. Pour réduire autant que possible les frais de la pupinisation des circuits et pouvoir placer un grand nombre de bobines dans les manchons, on utilise des bobines à petit noyau. Le faible espace disponible pour l'enroulement nécessite l'emploi d'un fil très fin, qui présente une grande résistance.

Les efforts faits après la deuxième guerre mondiale en vue d'améliorer la qualité de l'audition en téléphonie par l'adoption d'une pupinisation mi-légère durent être répétés dix ans plus tard en faveur du réseau de télédiffusion. La transmission radio en modulation d'amplitude permet d'utiliser, pour la parole et la musique, une bande maximum de 4500 Hz. Cette limitation est due au nombre des émetteurs et à leur faible espacement dans le spectre des fréquences. Par comparaison à la transmission sans fil, nous pouvons considérer nos circuits musicaux pupinisés à 15,5 mH comme étant de bonne qualité. Avec une fréquence de coupure de 10 000 Hz, ces circuits n'accusent pratiquement aucune progression de l'affaiblissement jusqu'à 7000 Hz.

La modulation de fréquence, appliquée depuis quelques années, a permis de transmettre à l'auditeur

<sup>3</sup> Vgl. F. Locher, J. Valloton und W. Herrensberger. Ein neues Trägerfrequenzsystem für kurze Distanzen. Techn. Mitt. PTT 1952, Nr. 5, S. 161...167.

<sup>3</sup> Cf. F. Locher, J. Valloton et W. Herrensberger. Un nouveau système à courants porteurs pour courtes distances. Bulletin technique PTT 1952, n° 11, p. 356...362.

für die Errichtung eines UKW- und Television-(TV-) Netzes mit Frequenzmodulation wurde auch die Qualitätsfrage ernsthaft geprüft. Nach dem Abwägen aller Vor- und Nachteile wurde dann beschlossen, es sei künftig die Übertragung eines Frequenzbandes bis zu 10 000 Hertz zu ermöglichen. Dies bedingte im Musiknetz eine leichtere Pupinisierung, sofern eine solche vorhanden oder nötig war. Die Wahl fiel auf eine H-6-Pupinisierung, das heisst auf Pupinspulen zu 6 mH, die alle 1830 m einzuschalten waren. Die Grenzfrequenz dieser Leitungen liegt bei 15 000 Hertz. Während bis zu 10 000 Hertz die Dämpfungsverzerrung gering ist, wirkt sich die Dämpfungsreduktion mit dieser Belastung erst bei den höheren Frequenzen aus (vgl. Fig. 7). Aus diesem Grunde ist die

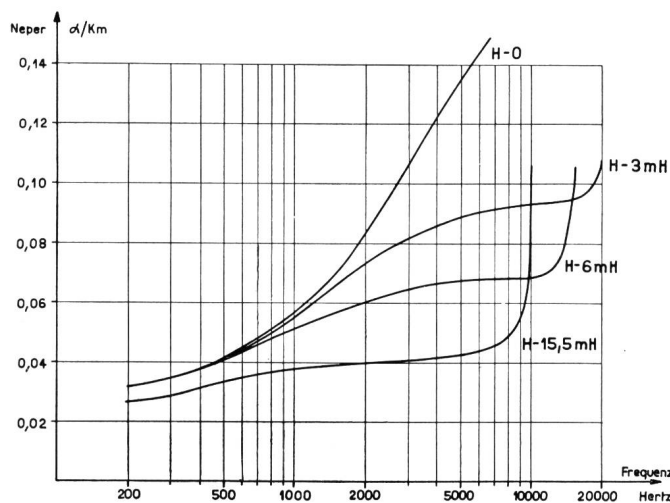


Fig. 7. Dämpfungskurven von verschiedenen pupinisierten Rundspruchleitungen 1,0 mm  
Courbes d'affaiblissement de diverses lignes pupinisées pour la télédiffusion, lignes 1,0 mm

Verwendung von unpupinisierten Leitungen für kurze Distanzen naheliegend. In diesem Falle kann, je nach Aderdurchmesser und Verstärkerart, auf eine Pupinisierung ganz verzichtet werden. Der Verstärker kompensiert die Leitungsverluste, wobei im Entzerrer die tiefen Frequenzen nachträglich gedämpft werden.

Der Umbau des Musiknetzes wird schrittweise, den Bedürfnissen entsprechend, vorgenommen. In den meisten Fällen wird die Umpupinisierung gleichzeitig mit anderen Arbeiten durchgeführt. Wo Aderpaare für den Trägerstrombetrieb entpupinisiert werden, wird die gleichzeitige Umpupinisierung der Musikleitungen geprüft.

### 3. Der Einbau von Pupinspulen

Um die Leitung symmetrisch zu belasten, bestehen die Pupinspulen im Prinzip aus zwei Wicklungen von gleicher Windungszahl. Die Einschaltung der beiden auf dem gleichen Kern angeordneten Wicklungen in die Leitung darf jedoch nicht beliebig erfolgen. Durchfließt der Leitungsstrom beide Wicklungen in gleichen Sinne, so ist die Spule aktiv eingeschaltet;

radio, par voie sans fil, une bande de fréquences audibles théoriquement illimitée. Cette possibilité était de nature à satisfaire l'amateur de musique qui ne pouvait se contenter de la bande de fréquences artificiellement coupée. Lors des études faites en vue d'établir un réseau d'ondes ultra-courtes et de télévision, on examina très sérieusement la question de la qualité de la transmission. Après avoir pesé tous les avantages et les inconvénients, on se décida pour la transmission d'une bande de fréquences de 10 000 Hz. Il fallait à cet effet adopter pour le réseau musical une pupinisation légère, dans la mesure où la pupinisation existait ou se révélait nécessaire. On choisit la pupinisation H-6, c'est-à-dire des bobines de 6 mH à insérer tous les 1830 m. La fréquence de coupure des circuits préparés de cette manière est de près de 15 000 Hz. Alors que la distorsion d'affaiblissement est minime jusqu'à 10 000 Hz environ, la réduction de l'affaiblissement n'est effective, avec cette charge, qu'aux fréquences plus élevées (voir fig. 7). C'est pourquoi on peut, sur de courtes distances, employer des circuits non pupinisés. L'amplificateur compense les pertes du circuit, et les basses fréquences sont affaiblies dans le correcteur.

Le réseau musical fut transformé progressivement, au fur et à mesure des besoins. Dans la plupart des cas, la pupinisation est modifiée à l'occasion d'autres travaux. Lorsque des paires de conducteurs doivent être dépupinisées pour l'exploitation par courants porteurs, on examine s'il faut en même temps modifier la pupinisation des circuits musicaux.

### 3. Le montage des bobines Pupin

Pour que le circuit soit chargé symétriquement, les bobines Pupin sont composées de deux enroulements d'un même nombre de spires. L'insertion dans le circuit des deux enroulements disposés sur le même noyau ne peut cependant avoir lieu de manière quelconque. Si le courant du circuit parcourt les enroulements dans le même sens, la bobine est active; s'il circule en sens opposé, les flux magnétiques s'annulent dans le noyau et la bobine est inerte (fig. 8). L'effet des bobines dépend ainsi de l'exactitude de la connexion.

L'entrée et la sortie des bobines placées dans des manchons ou des caissons sont, dans le câble de raccordement, séparées par quarts ou par paires, aussi

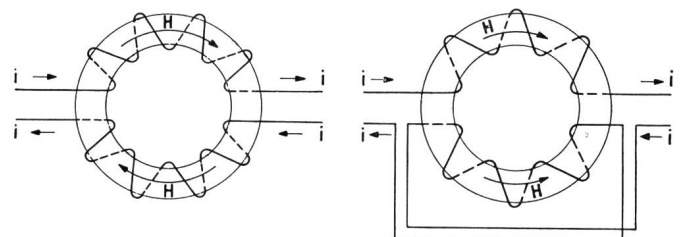


Fig. 8. Links aktive und rechts inaktive Beschaltung von Pupinspulen  
Connexion de bobines Pupin, à gauche active, à droite inactive

fliessen er in entgegengesetztem Sinne, so heben sich die Magnetflüsse im Kern auf und die Spule ist unwirksam (Fig. 8). Die Wirkung der Spulen hängt also von der richtigen Schaltung der Anschlüsse ab.

Bei den in Muffen oder Kästen eingebauten Pupinspulen sind Ein- und Ausgang der Spulen entweder vierer- oder paarweise im Anschlusskabel getrennt, so dass praktisch keine Fehlschaltungen geschehen können. Schwieriger ist es für den Monteur, die zusammengehörenden Drähte an einer einzelnen Stammspule festzustellen. Mit dem Ohmmeter lassen sich von jeder Wicklung die einander entsprechenden Enden ausmitteln. Bei Spulen, die nicht in eine Blechkapsel eingebaut sind, lässt sich der Sinn der Wicklung unter Umständen bei den Anschlussdrähten ermitteln. Zum gleichen Ein- oder Ausgang gehören nämlich die Drähte, die beim Zusammenschliessen der beiden Enden den gleichen Wicklungssinn ergeben. Zudem sind Ein- und Ausgang meistens versetzt voneinander angeordnet. Sind aber die Spulen in Blechdosen montiert und die Bedeutung der verschiedenen farbigen Anschlussdrähte unbekannt, so führt folgende einfache Methode zur Auffindung der richtigen Anschlüsse:

1. Mit dem Ohmmeter werden die zusammengehörenden Wicklungsenden festgestellt. Der Widerstand einer Wicklungshälfte liegt, je nach Spulentyp, zwischen 0,5 und 5 Ohm. Zwischen den beiden Wicklungen soll die Isolation so gross sein, dass das Ohmmeter keinen Ausschlag zeigt.
2. Zwei der voneinander unabhängigen Wicklungsenden werden nun miteinander kurzgeschlossen. An den freien Enden wird ein Magnet- oder Röhrensummer (Fig. 9) angeschlossen. Ist die Spule induktiv geschaltet, so setzt diese dem Wechselstrom einen Widerstand entgegen und es entsteht an den Klemmen die Spannung

$$U = \frac{E}{R_i + R_a} \cdot R_a$$

- $U$  = Klemmenspannung  
 $E$  = Leerlaufspannung des Summers  
 $R_i$  = Eigenwiderstand des Summers  
 $R_a$  = Spulenwiderstand

Die Spannung hängt in erster Linie vom Spulenwiderstand ab. Der Wechselstromwiderstand der Spule ist aber völlig verschieden, je nachdem, ob diese aktiv oder inaktiv geschaltet ist. Für die richtig geschaltete Spule ist der Wechselstromwiderstand rund 100mal grösser als bei falscher Schaltung. Ein ähnliches Verhältnis besteht für die Klemmenspannung. Ist diese bekannt, so kann die Richtigkeit der Schaltung beurteilt werden. Wie aber kann der Praktiker die Spannung messen? Ein Voltmeter ist in den wenigsten Fällen zur Hand. Dagegen kann mit Hilfe eines Kopfhörers oder dem Monophon die Stärke des Summtones beurteilt werden. Dieser Behelf wird parallel zur fraglichen Pupinspule an die Klem-

de fausses connexions sont-elles pratiquement exclues. Il est plus difficile pour le monteur de reconnaître, à une bobine de circuit réel, les fils qui vont ensemble. Au moyen de l'ohmmètre, on peut déterminer les extrémités de chaque enroulement. Lorsque les bobines ne sont pas renfermées dans des boîtiers de tôle, on peut dans certains cas trouver le sens de l'enroulement d'après les fils de raccordement. Les fils qui, reliés entre eux par leurs extrémités, donnent le même sens d'enroulement, appartiennent à la même entrée ou sortie. En outre, l'entrée et la sortie sont généralement disposées séparément. Si les bobines sont renfermées dans des boîtiers et qu'on ignore la signification des différentes couleurs des fils, la méthode simple suivante permet de faire des connexions correctes:

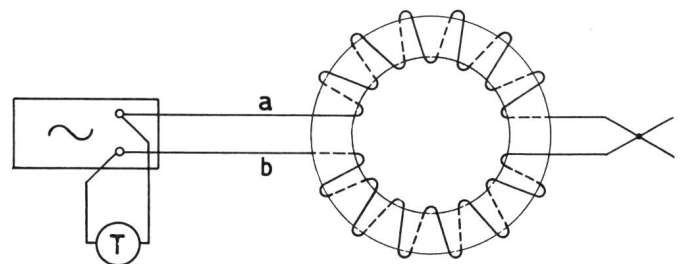


Fig. 9. Prüfen der richtigen Anschlüsse einer Stammspule  
Détermination exacte des fils de raccordement d'une bobine Pupin pour un circuit de base

1. On cherche au moyen de l'ohmmètre les extrémités des enroulements appariées. La résistance d'un enroulement varie, suivant le type de bobine, entre 0,5 et 5 ohms. Entre les deux enroulements, l'isolement doit être tel que l'aiguille de l'ohmmètre ne marque pas de déviation.
2. Deux extrémités d'enroulements indépendantes sont court-circuitées entre elles. Un oscillateur magnétique ou à tube (fig. 9) est connecté aux extrémités libres. Si la bobine est connectée inductivement, elle offre une résistance au passage du courant alternatif et, aux bornes, se développe une tension

$$U = \frac{E}{R_i + R_a} \cdot R_a$$

- $U$  = tension aux bornes  
 $E$  = tension de marche à vide de l'oscillateur  
 $R_i$  = résistance propre de l'oscillateur  
 $R_a$  = résistance de la bobine

La tension dépend en premier lieu de la résistance de la bobine. L'impédance de la bobine est toute différente suivant que celle-ci est active ou inerte. Si la connexion est correcte, l'impédance est près de 100 fois plus forte que dans le cas contraire. La proportion est la même pour la tension aux bornes. Si l'on connaît cette dernière, on peut savoir si la bobine est connectée exactement ou non. Pour mesurer la tension, il est rare qu'on ait un voltmètre sous la main. Mais on peut mesurer l'intensité du courant

men des Summers gelegt. Sind Ein- und Ausgang der Spule richtig geschaltet, so ertönt im Hörer ein lauter Ton, denn über der Spule herrscht eine Spannung. Ist die Schaltung falsch, so setzt die Spule dem Durchgang des Wechselstromes nur geringen Widerstand entgegen, das heisst, es liegt praktisch ein Kurzschluss vor. Im Hörer ist in diesem Falle nur ein mässiger Summton hörbar. Der Unterschied in der Lautstärke ist sehr gross und die Richtigkeit der Schaltung ohne Schwierigkeit festzustellen. Diese Methode hat sich in der Praxis sehr gut bewährt.

## Energie aus Sand und Sonne

Von Frank Stucki, Newark, N. J.

Im Jahre 1955 traten die Bell Telephone Laboratorien in New York mit einem Energietransformer an die Öffentlichkeit, der Sonnenenergie in elektrische Energie umwandelt. Eine ihrer Forschungsgruppen, bestehend aus den Physikern *G. L. Pearson* und *D. M. Chapin* sowie dem Chemiker *C. S. Fuller*, hatte die Sonnenbatterie erfunden. Der wichtigste Bestandteil der Sonnenbatterie ist Silizium, ein Element, das sich im Quarzsand findet.

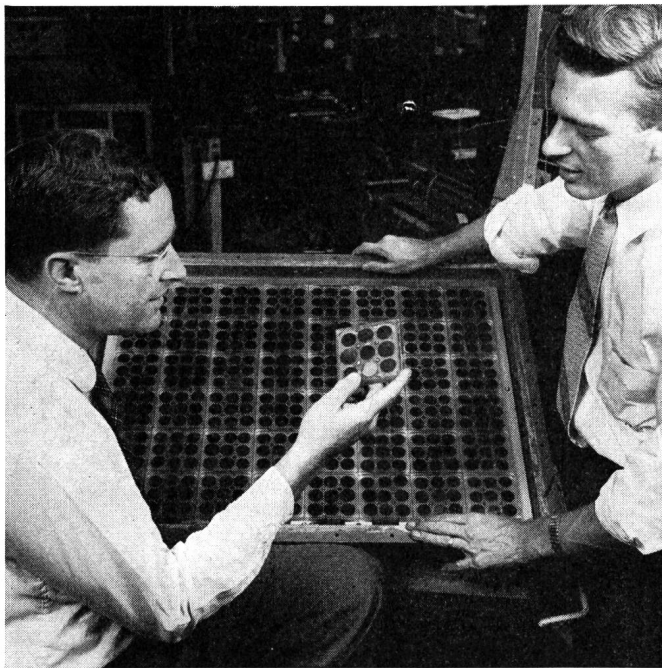


Fig. 1. Die in Neunergruppen zusammengefassten Siliziumzellen werden je nach Bedarf zu einer Sonnenbatterie zusammengebaut. 432 solcher Zellen bauen die Sonnenbatterie auf, die ein Telephonieträgersystem mit der nötigen Energie versieht

Les cellules au silicium sont réunies en groupes de neuf, qui sont couplés de manière à constituer une batterie solaire. 432 cellules de ce genre forment une batterie capable d'alimenter en énergie un système de téléphonie à courants porteurs

de l'oscillateur au moyen d'un récepteur serre-tête ou d'un monophone. Cet appareil est relié aux bornes de l'oscillateur, en parallèle avec la bobine. Si l'entrée et la sortie de la bobine sont connectées exactement, on entend dans l'écouteur un son relativement fort, car une tension existe dans la bobine. Si la connexion est fautive, la bobine n'offre qu'une faible résistance au passage du courant alternatif, il y a en fait court-circuit. Dans ce cas, on n'entend dans l'écouteur qu'un son affaibli. La différence d'intensité des deux sons est très grande et permet de constater sans difficulté si la connexion est correcte ou non. Cette méthode a fait ses preuves dans la pratique.

## Le sable et le soleil producteurs d'énergie

Par Frank Stucki, Newark, N. J.

En 1955, les laboratoires de la Bell Telephone à New York firent connaître un nouveau transformateur capable de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. L'un de leurs groupes de recherche, composé des physiciens *G. L. Pearson* et *D. M. Chapin*, ainsi que du chimiste *C. S. Fuller*, avait découvert la batterie solaire. L'élément le plus important de cette batterie est le silicium, qu'on trouve dans le sable quartzueux.

Le silicium très pur est tout d'abord mêlé à une faible quantité d'un corps qui en fait une matière n ou négativement conductrice. On tire ensuite du silicium devenu légèrement impur un cristal qu'on coupe en minces rondelles de la grandeur d'une pièce de 1 franc. Ces rondelles sont exposées à une atmosphère gazeuse et chauffées de manière que le gaz commence à se diffuser à leur surface. Ce processus de diffusion libère des particules de gaz p ou positives, qui se déposent en couches minces à la surface du silicium n; il en résulte un couplage p-n (p-n junction) très sensible à la lumière. La lumière solaire qui atteint les rondelles de cristal p-n est transformée en énergie électrique avec un rendement de 11%. Des connexions en série ou en parallèle des cellules constituant la batterie solaire permettent les combinaisons courant-tension les plus variées. Chaque groupe de neuf cellules au silicium constitue une unité énergétique. Ces groupes sont couplés de manière à fournir l'énergie nécessaire aux appareils à alimenter.

C'est en téléphonie que la batterie solaire des laboratoires de la Bell Telephone a trouvé sa première application. Elle a été employée, à titre d'essai, comme source d'énergie d'un système de téléphonie à courants porteurs. On sait qu'un tel système permet l'échange simultané de plusieurs conversations. Si le transmetteur et le récepteur sont à grande distance l'un de l'autre, il est nécessaire d'amplifier les courants vocaux. Dans le nouveau système à courants porteurs des services de la Bell Telephone, les courants vocaux ne sont pas amplifiés au moyen du tube électronique