

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

Band: 5 (1927)

Heft: 1

Artikel: Die theoretischen Grundlagen der Radiotechnik [Fortsetzung] = Les bases théoriques de la radiotechnique [suite]

Autor: Felix, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-873817>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die theoretischen Grundlagen der Radiotechnik.

Von W. Felix, Bern.
(Fortsetzung.)

Bevor die Membran auf den Stromwechsel Ia im Strombild 9a ansprechen kann, ist bereits der Stromwechsel Ib erfolgt, welcher die entgegengesetzte Wirkung ausübt, die Wirkung von Ia somit aufhebt. Dasselbe ist auch bei den nachfolgenden Phasenpaaren IIa/IIb usw. der Fall. Die Gesamtwirkung der Wellengruppe nach Fig. 9a bleibt demnach Null.

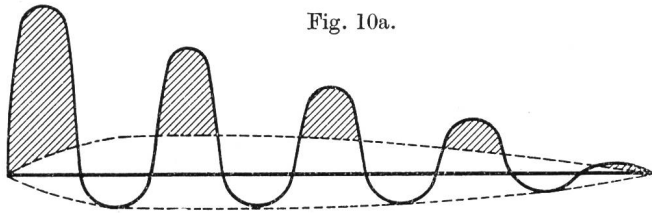


Fig. 10a.

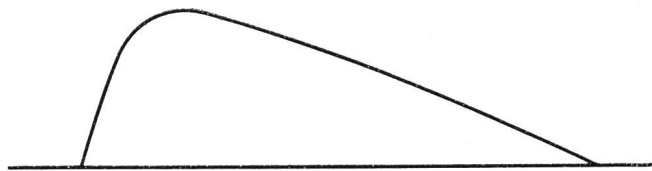


Fig. 10b.

Nicht so bei der Welle, die den Detektor verlässt. Der negative Stromwechsel Ib der Fig. 9b vermag die Wirkung der positiven Phase Ia nur zum kleinen Teil aufzuheben. Dasselbe gilt auch von den nachfolgenden Schwingungen. Als Gesamtwirkung bleibt der Ueberschuss der positiven Schwingungsseite (es kommt praktisch auf dasselbe heraus, ob die positive oder die negative Schwingungsseite unterdrückt wird; denn es entsteht derselbe Ton, ob die Membran 600 mal in der Sekunde angezogen oder abgestossen wird). Dieser in Fig. 10a schraffiert dargestellte Ueberschuss wird von der Membran als ein einmaliges Anschwellen und Abnehmen des Stromes empfunden, also wie ein einmaliger Stromstoss, wie er in Fig. 10b dargestellt ist.

Jede Schwingungsgruppe erzeugt also einen einzigen Stromstoss, der die Membran einmal anzieht und wieder loslässt. Erfolgen, wie in unserem Beispiel, auf der Senderseite 600 Entladungen in der Sekunde, welche 600 Schwingungsgruppen auslösen, so wird die Membran im Empfänger 600 mal angezogen und losgelassen (oder 600 mal abgestossen); es entsteht ein dieser Schwingungszahl entsprechender Ton.

Der Kristalldetektor wird stets mit dem Telephonhörer in Serie an die beiden Enden der Induktionsspule des Empfangs-Schwingungskreises gelegt, an welchen die wirksame Spannung auftritt. Die Schaltung ist aus Fig. 11 ersichtlich.

Die den Detektor passierenden hochfrequenten Schwingungen finden ihren Ausgleich über den

Les bases théoriques de la radiotechnique.

Par W. Felix, Berne.
(Suite.)

Avant que la membrane ait pu réagir au changement de phase Ia du schéma 9a, s'est déjà produit le changement Ib, dont l'action est contraire et annihile l'effet Ia. C'est aussi le cas pour les paires de phases IIa/IIb, etc., qui suivent, de sorte que l'effet final des groupes d'ondes selon figure 9a est nul.

Ce n'est plus le cas pour l'onde qui quitte le détecteur. La phase négative Ib de la figure 9b n'arrive à annuler que dans une faible mesure l'effet de la phase positive Ia. Il en est de même pour les oscillations subséquentes. Comme effet final, il reste l'excédent des oscillations positives (que ce soient les oscillations positives ou les négatives qui sont annulées, pratiquement le résultat est identique; en effet, c'est le même son qui se produit, que la membrane soit attirée ou repoussée 600 fois par seconde. Cet excédent, indiqué par des hachures sur la figure 10a, se manifeste sur la membrane par un flux et un reflux unique de courant, c'est-à-dire de la même façon qu'une impulsion unique de courant, comme le montre la figure 10b.

Chaque groupe d'oscillations produit donc une seule impulsion, qui attire une fois la membrane, puis la relâche. Si, comme dans notre exemple, on a, du côté de l'émetteur, 600 décharges par seconde, déclenchant 600 groupes d'oscillations, la membrane du récepteur est attirée et relâchée (ou repoussée) 600 fois, et il se produit le ton correspondant à cette fréquence.

Le détecteur à cristal est toujours intercalé en série avec le récepteur téléphonique et aux deux extrémités de la self du circuit oscillant de réception,

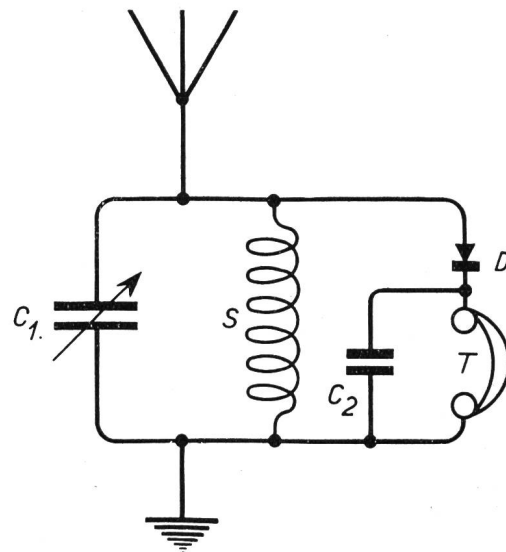


Fig. 11.

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| C_1 = Abstimm- (Dreh-) kondensator. | C_1 = Condensateur variable. |
| S = Selbstinduktionsspule. | S = Bobine de self. |
| D = Kristalldetektor. | D = Détecteur à galène. |
| C_2 = Blockkondensator. | C_2 = Condensateur fixe. |
| T = Kopfhörer. | T = Casque. |

Blockkondensator C_2 , der ungefähr 1800 cm Kapazität aufweisen soll. (Man braucht in der Grösse dieser Kapazität nicht besonders ängstlich zu sein.) Der in Fig. 10 dargestellte Spannungs-Ueberschuss in der einen Schwingungsrichtung erzeugt Gleichstromstösse, die sich im Blockkondensator ansammeln und in nützlicher Geschwindigkeit, gewissermassen zu einer einheitlichen Gesamterscheinung vereinigt, über das Telephon ausgleichen, wobei sie die Membran betätigen. (Der Blockkondensator versperrt dem Gleichstrom den Weg; andererseits stellt der Telephonhörer mit seinen auf Eisenkernen gewickelten Spulen eine Drossel für die hochfrequenten Schwingungen dar.)

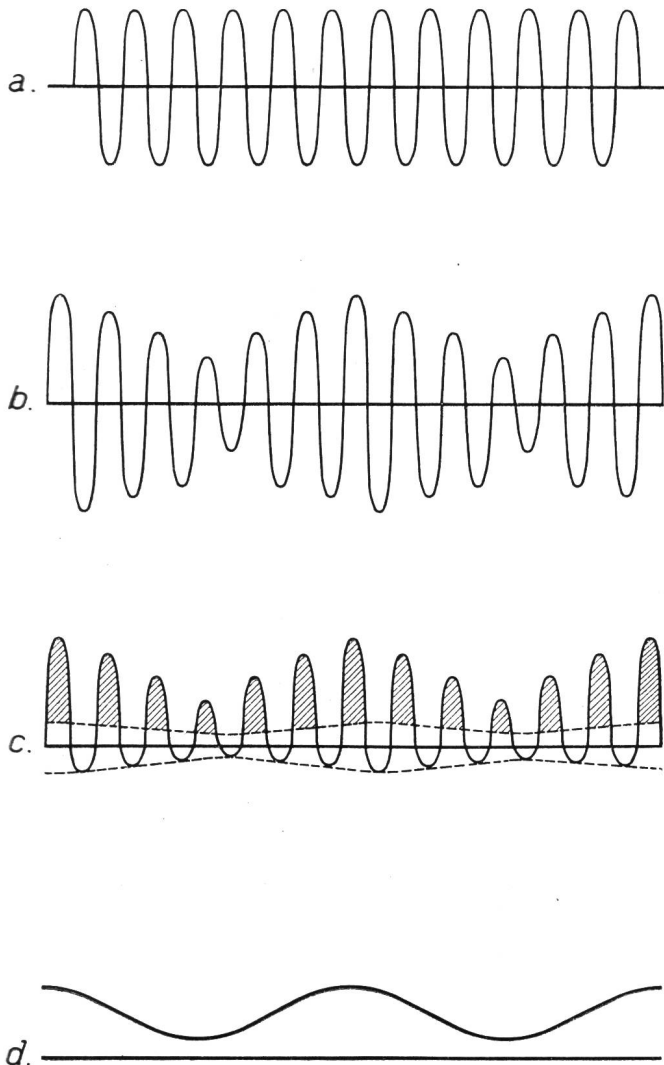


Fig. 12.

Mit Hilfe des Detektor-Apparates kann nicht nur Telegraphie mittels gedämpfter Wellen, sondern auch, was die meisten Amateure mehr interessieren wird, Telephonie empfangen werden. Telephonie ist nur möglich mittelst ungedämpfter Wellen, wie sie beispielsweise durch die Hochfrequenz-Dynamomaschine erzeugt werden. In neuester Zeit werden für Telephonie fast ausschliesslich Röhrensender verwendet, welche ebenfalls ungedämpfte Wellen abstrahlen. Ich werde in den weiteren Ausführungen kurz auf das Prinzip dieses Senders eintreten. Für

où se produit la tension utile. La figure 11 représente le mode d'intercalation.

Les oscillations de haute fréquence qui traversent le détecteur passent également par le condensateur fixe C_2 , dont la capacité sera de l'ordre d'environ 1800 cm. (Point n'est besoin de s'en tenir rigoureusement à cette grandeur.) L'excédent de tension que représente la figure 10 et qui se manifeste dans l'un des sens des oscillations, donne naissance à des impulsions de courant continu, qui s'assemblent dans le condensateur fixe et qui, plus ou moins uniformément réunies, se dispersent à la vitesse voulue sur les écouteurs, dont elles actionnent la membrane. (D'une part, le condensateur fixe empêche le courant continu de passer et, d'autre part, le téléphone, avec ses bobines enroulées sur des noyaux de fer, arrête les oscillations à haute fréquence.)

L'appareil à galène permet de recevoir non seulement les signaux télégraphiques à l'aide d'ondes amorties, mais aussi les transmissions téléphoniques, ce qui présente un intérêt plus grand pour la plupart des amateurs. La transmission téléphonique n'est réalisable qu'au moyen d'ondes entretenues telles que celles que produisent les dynamos haute fréquence; ces derniers temps, on utilise, pour la téléphonie, presque exclusivement des lampes qui rayonnent aussi des ondes entretenues. Nous reparlerons plus tard du principe de ce genre d'émetteur. Pour comprendre la réception, il suffira d'étudier le détail des ondes émises par l'émetteur téléphonique.

La figure 12a représente l'onde entretenue et non transformée de l'émetteur téléphonique, soit l'onde dite „porteuse“. Elle oscille sans cesse et avec une amplitude toujours égale. En parlant dans l'émetteur, on „module“ l'onde porteuse, c'est-à-dire qu'on imprime aux amplitudes une cadence audible (par exemple du fait que les courants microphoniques modifient les résistances dans les circuits oscillants et leur donnent la cadence propre aux ondes sonores, ou influencent l'énergie primaire amenée). L'onde, alors, prend la forme que montre la figure 12b, puis le détecteur la modifie en supprimant les oscillations dans l'un des deux sens, ce qui donne la forme d'onde représentée à la figure 12c. Les oscillations supprimées dans un sens n'arrivent à compenser qu'une petite partie des oscillations opposées, ce que la figure 12c exprime par une ligne pointillée. La partie hachée de l'onde représente l'excédent des oscillations dans l'un des sens; elle agit comme une onde de la forme indiquée à la figure 12d. Les oscillations de courant ne revêtent plus le caractère d'oscillations haute fréquence, mais accusent la cadence des ondes sonores. Ce courant présente tout à fait les mêmes phénomènes électriques que ceux qui se manifestent lors de la transmission téléphonique par fil. Les tons hauts produisent une alternance d'amplitude plus rapide que les tons bas; pourtant, cette alternance n'est pas telle que la membrane du récepteur ne puisse vibrer à la même cadence. La réception radiophonique ressemble fort à la réception des ondes amorties de l'émetteur à étincelles. Toutefois, en téléphonie, nous n'avons pas affaire à une alternance déterminée et sans cesse égale et, par conséquence, à un ton toujours le même, mais

die Erklärung des Empfanges genügt es, die vom Telephonie-Sender emittierten Wellen einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Fig. 12a veranschaulicht die unveränderte, ungedämpfte Welle des Telephonie-Senders, die sog. Trägerwelle. Sie schwingt mit stets gleich bleibender Amplitude ununterbrochen fort. Bei der Besprechung des Senders wird die Trägerwelle „moduliert“, d. h. die Amplituden werden in tonfrequentem Tempo verändert (z. B. dadurch, dass die Mikrofon-Ströme im Tempo der Schallwellen Widerstände in den Schwingungskreisen verändern oder die zugeführte Primär-Energie beeinflussen). Die Welle bekommt dann die in Fig. 12b dargestellte Gestalt. Der Detektor verändert diese Welle, indem er die eine Schwingungsrichtung unterdrückt, wodurch die in Fig. 12c wiedergegebene Wellenform verbleibt. Die unterdrückte Schwingungsrichtung vermag nur einen kleinen Teil der andern Schwingungsrichtung zu kompensieren, was in Fig. 12c durch punktierte Linien angedeutet ist. Der schraffiert gezeichnete Teil der Welle bleibt als Uebererschuss der einen Schwingungsrichtung und wirkt wie eine Welle von der Gestalt, wie sie in Fig. 12d dargestellt ist. Die Stromschwankungen sind nicht mehr hochfrequenter Natur, sondern es sind Schwankungen im Tempo der Schallwellen (also tonfrequente Amplituden-Änderungen). Dieser Strom stimmt vollkommen überein mit den elektrischen Vorgängen bei der telephonischen Uebertragung auf dem Draht. Hohe Töne erzeugen raschere Wechsel als tiefe Töne, doch ist die Schnelligkeit nicht so gross, dass die Membran des Hörers nicht folgen könnte. Der Empfang gleicht in hohem Grade dem Empfang der gedämpften Wellen des Funksenders; während aber bei diesem die Gleichstromstösse entsprechend dem immer gleich bleibenden Tempo der Funkenbildung in unveränderter Folge vor sich gehen und damit einen immer gleich bleibenden Ton erzeugen, ändern die Amplitudenschwankungen bei der Telephonie beständig ihre Frequenz und damit die Tonhöhe im Telephonhörer, und diese Tonänderungen stellen die Elemente von Sprache und Musik dar. Die Frequenz der hochfrequenten Schwingungen bleibt aber in beiden Fällen unverändert.

VI. Die Elektronenröhre.

Der Detektorapparat gestattet den Empfang radioelektrischer Emissionen nur innerhalb eines verhältnismässig beschränkten Umkreises um die Sendestation. Bei grösserer Entfernung vom Sender sind die Wellen zu schwach, um hörbare Schwingungen der Membran zu erzeugen oder überhaupt den verhältnismässig grossen Widerstand des Detektors zu überwinden, mit andern Worten: die Reizschwelle des Detektors zu überschreiten. Auf grössere Entfernungen können radioelektrische Zeichen normaler Stärke nur mit Hilfe von Lampenapparaten empfangen werden.

Um die Funktion der Lampe zu erklären, müssen wir zunächst einige Betrachtungen über das tiefere Wesen der Elektrizität selbst anstellen. Zwar sind wir auch heute, trotz ihrer mannigfaltigen Anwendung in der Technik, noch nicht in der Lage, eine wissen-

à une grande variation d'alternances et à de multiples changements de tons, lesquels constituent les éléments du langage et de la musique. Mais, dans les deux cas, la fréquence des oscillations de haute fréquence reste la même.

VI. La lampe à trois électrodes.

L'appareil à galène ne permet de recevoir les émissions radioélectriques que dans un rayon relativement peu étendu. Au-delà de ce rayon, les ondes qui parviennent au récepteur sont trop faibles pour faire osciller assez fortement la membrane et pour vaincre la résistance relativement grande du détecteur, autrement dit pour franchir le grand d'excitation de ce dernier. Sur de grandes distances, les signaux radioélectriques d'intensité normale ne peuvent être reçus qu'au moyen d'appareils à lampes.

Pour pouvoir expliquer la fonction de la lampe, nous devons tout d'abord émettre quelques considérations sur le caractère même de l'électricité. Il est vrai que, en dépit de ses multiples applications techniques, nous ne sommes pas encore en mesure de donner à la question „Qu'est-ce que le courant électrique?“ une réponse basée sur des arguments scientifiques; toutefois, les découvertes faites ces derniers temps ont jeté quelque lumière sur la façon dont se manifestent les phénomènes électriques. Ces découvertes établissent d'une manière concordante que l'électricité est intimement liée à la matière, que la matière elle-même participe aux phénomènes électriques et que l'essence même de la matière est de nature électrique. Alors que les atomes de tous les corps étaient, jusqu'à il y a peu de temps, considérés comme la plus petite et indivisible parcelle constitutive de la matière, aujourd'hui on sait que chaque atome représente en quelque sorte tout un système planétaire, dans lequel une ou plusieurs parcelles négativement électrisées se meuvent autour d'un noyau chargé positivement. Les parcelles négatives, qui sont à peu près 2000 fois plus petites que des atomes, sont appelées électrons; les noyaux qui sont sensiblement plus grands et par conséquent bien moins mobiles, se nomment aussi protons. A l'état neutre, la charge du noyau est inversement égale à celle de la somme des électrons. Si l'on enlève ou ajoute des électrons à l'atome neutre, l'équilibre électrique est rompu; nous avons alors affaire à des atomes positifs et négatifs, que l'on appelle aussi ions; le phénomène décrit s'appelle ionisation.

Dans les métaux, l'on rencontre, en dehors des associations d'atomes, des électrons libres, qui circulent sans entrave entre les atomes. Si le conducteur est soumis à une tension électrique, les électrons libres se meuvent uniformément du pôle négatif au pôle positif; ils constituent en quelque sorte les véhicules de l'électricité, soit de petites barques qui transportent les charges négatives d'un pôle à l'autre et qui, de ce fait assurent l'écoulement du courant. Le courant électrique ne circule pas, comme on le supposait auparavant, du pôle positif au pôle négatif, mais se manifeste par un écoulement de l'électricité négative dans le sens inverse.

Les électrons ne sont pas mis en mouvement par des tensions électriques seulement, mais aussi par

schaftlich begründete Erklärung auf die einfache Frage: „Was ist der elektrische Strom?“ zu geben, aber die Untersuchungen der jüngsten Zeit haben doch manches Licht auf die tieferen Erscheinungen geworfen, die sich bei elektrischen Vorgängen abspielen. Diese Forschungen stellen übereinstimmend fest, dass die Elektrizität stets eng an die Materie gebunden ist, ja, dass die Materie selbst an den elektrischen Vorgängen teilnimmt, und dass die Urbausteine der Materie elektrischer Natur sind. Während die Atome aller Körper bis vor kurzem als deren letzte, unteilbare Bestandteile betrachtet wurden, weiss man heute, dass jedes Atom gewissermassen ein Planetensystem darstellt, in dem ein oder mehrere elektrisch negative Teilchen um einen positiv geladenen Kern kreisen. Die negativen Teilchen, welche etwa 2000 mal kleiner sind als das Atom, werden Elektronen genannt; die wesentlich grösseren und entsprechend schwerer beweglichen Kerne heissen auch Protonen. Im elektrisch neutralen Zustand ist die Ladung des Kerns umgekehrt gleich derjenigen der Summe der Elektronen. Werden dem neutralen Atom Elektronen entrissen oder zugeführt, so wird das elektrische Gleichgewicht gestört; wir haben es mit elektrisch positiven oder negativen Atomen zu tun, die man auch Ionen nennt; der Vorgang heisst Ionisation.

In Metallen finden wir ausser den beschriebenen Atomverbänden noch freie Elektronen, die sich ungehindert zwischen den Atomen bewegen. Legen wir eine elektrische Spannung an den Leiter, so bewegen sich die freien Elektronen einheitlich in der Richtung vom negativen zum positiven Pol; sie stellen gewissermassen den Träger der Elektrizität dar, die Schiffchen, welche die negativen Ladungen von einem Pol zum andern tragen und damit den Stromfluss aufrecht erhalten. Der elektrische Strom fliesst also nicht, wie man bisher annahm, vom positiven zum negativen Pol, sondern es ist ein Fliessen der negativen Elektronen in umgekehrter Richtung.

Die Elektronen werden aber nicht nur durch elektrische Spannungen zur Bewegung angetrieben, sondern auch durch die Wärme. Erhitzen wir ein Metall bis zur Weissglut, so wird die Bewegung der Elektronen so rasch, dass ein Teil derselben über den körperlichen Verband der Atome hinauschiessst und als eine Art Wolke den Raum um den Leiter negativ auflädt. Diese elektrische Raumladung spielt in der Elektronenröhre eine ganz wesentliche Rolle, wie wir nachher sehen werden.

Ist ein Stromkreis durch einen Luftspalt unterbrochen, so hört der Stromfluss auf; denn die Elektronen finden keinen Leitweg mehr. Die Luft selbst enthält nur wenige freie Elektronen, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen keinen messbaren Strom unterhalten können. Wird aber die Spannung sehr stark erhöht, so tritt folgende Erscheinung ein: die wenigen freien Elektronen der Luft erhalten durch die hohe Spannung eine so grosse Geschwindigkeit, dass sie beim Aufprallen auf die Atome der Luft, die ihrer Bewegung hindernd im Wege stehen, Elektronen aus deren Verband loslösen, die dann ebenfalls an der Bewegung teilnehmen. Der Elektronenstrom nimmt dadurch an Stärke rasch zu, was schliesslich

la chaleur. Si l'on chauffe à blanc un métal, les électrons se meuvent à une vitesse telle qu'une partie d'entre eux se détache du corps du conducteur et forme une sorte de nuage qui s'en va charger négativement l'espace entourant ledit conducteur. Ce phénomène de charge électrique joue, ainsi que nous allons le voir, un très grand rôle dans le fonctionnement des lampes à trois électrodes.

Lorsqu'un circuit est interrompu par un espace d'air, le courant ne passe plus, la route étant barrée aux électrons. L'air lui-même ne contient que quelques électrons libres, qui, dans les conditions ordinaires, ne peuvent entretenir un courant mesurable; mais si la tension est très fortement augmentée, il se produit le phénomène suivant: les quelques électrons libres que renferme l'air acquièrent sous l'effet de cette haute tension une telle vitesse, que, en rebondissant sur les atomes de l'air, qui entravent leur course, ils en détachent des électrons, lesquels, à leur tour, prennent part au mouvement. Le flux d'électrons croît rapidement en intensité et détermine finalement une violente décharge, caractérisée par une étincelle électrique. Le détachement d'électrons du corps des atomes de l'air équivaut, comme nous venons de le voir, à une ionisation de l'air; dans ce cas, le phénomène s'appelle ionisation par choc.

Disposant de ces connaissances, nous pouvons maintenant aborder les phénomènes qui se manifestent dans la lampe à trois électrodes. Cette lampe est constituée par un globe de verre, où l'on a fait un vide pratiquement complet. Ce globe est monté sur une douille à 4 broches, dont deux sont en relation avec un filament. Autour et à quelque distance de celui-ci, se trouve un fil enroulé en spirale appelé grille, entouré lui-même, à une certaine distance également, d'un cylindre en tôle nommé plaque. La grille et la plaque sont connectées par un pôle à chacune des deux autres broches. Le filament est généralement rendu incandescent, c'est-à-dire chauffé à blanc au moyen d'une pile de 1,5 à 4 volts (suivant le type de lampe). Entre la plaque et le filament est intercalée, d'ordinaire, une pile dite de tension de 40 à 100 volts, dont le pôle positif est relié à la plaque, comme le montre la figure 14. Nous nous

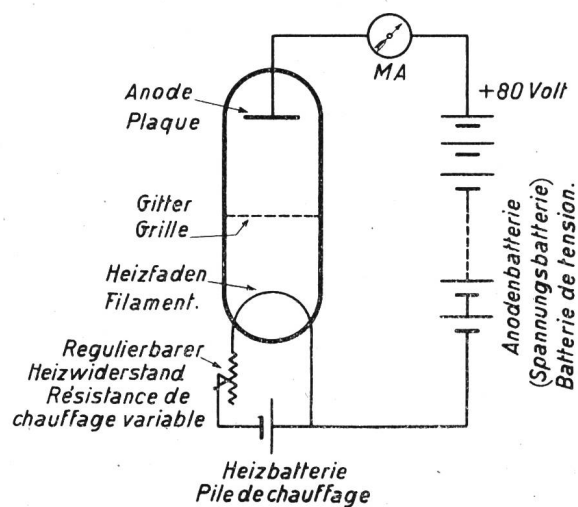


Fig. 14.

zur ungestümen Entladung in Form eines elektrischen Funkens führt. Das Loslösen von Elektronen aus den Atomverbänden der Luft ist, wie wir gesehen haben, gleichbedeutend mit einer Ionisation der Luft; der Vorgang wird in diesem Fall Stossionisation genannt.

Mit diesen Kenntnissen ausgerüstet, können wir an die Besprechung der Vorgänge in der Elektronenröhre, wie die Radio-Lampe auch genannt wird, herantreten. Eine solche Lampe besteht aus einem praktisch vollständig luftleeren Glasballon, der auf eine Steckerfassung montiert ist. Von den vier Stiften des Steckers führen zwei zu einem Heizfaden. Um diesen ist, in einiger Entfernung, eine Drahtspirale, das sog. Gitter, gelegt und um dieses, ebenfalls in einer gewissen Distanz, ein Blechzylinder, die Anode. Gitter und Anode sind einpolig mit je einem der übrigen Steckerstiften verbunden. Der Heizfaden wird gewöhnlich mittels einer Batterie von 1,5 bis 4 Volt (je nach der Art der Lampe) zum Leuchten gebracht, also zur Weissglut erhitzt. Zwischen Anode und Heizfaden wird eine sog. Spannungsbatterie von 40 bis 100 Volt gebracht, und zwar kommt der positive Pol an die Anode, wie aus Figur 14 ersichtlich ist. Von der Funktion des Gitters sehen wir vorläufig noch ab.

Bei nicht glühendem Heizfaden ist die Spannungsbatterie nicht imstande, einen messbaren Strom durch die Lampe zu erzeugen. Bringen wir aber den Heizfaden zur Weissglut, so bewirkt die positive Anodenspannung ein Abfließen der dadurch frei werdenden negativen Elektronen, und so entsteht in gewöhnlichen Lampen ein Stromfluss von 2 bis 6 Milliamp. Ohne die Anodenspannung würden sich, wie wir gesehen haben, die Elektronen als Wolke um den Heizfaden herum ansammeln und dank ihrer negativen Ladung den Austritt weiterer Elektronen hindern, die als ebenfalls negativ geladene Teilchen abgestossen würden; die Erscheinung käme also rasch zum Stillstand. Durch das Abfließen von Elektronen zur positiv geladenen Anode wird der Raum für den Austritt weiterer Elektronen frei; es findet also ein kontinuierlicher Stromfluss statt, und zwar ist derselbe um so stärker, je grösser die Anodenspannung ist; denn je grösser diese Spannung, desto rascher reisst die Anode die Elektronen an sich und desto rascher wird der Raum für den Nachschub frei. Dies hat jedoch eine praktische Grenze, bedingt durch die Emissionsfähigkeit des Heizfadens. Gibt der Heizfaden die seinem Glühzustand entsprechende maximale Zahl von Elektronen ab, so kann eine weitere Erhöhung der Anodenspannung keine Erhöhung der Stromstärke mehr bewirken. Eine solche ist nur noch möglich, wenn der Glühfaden stärker geheizt wird, was natürlich auch bald eine praktische Grenze findet; unter zu hohe Spannung gesetzt, schmilzt der Heizfaden durch. Die Fig. 15 veranschaulicht den Anodenstrom als Funktion der Anodenspannung bei unveränderter Heizstärke in einer Lampe, die bei 90 Volt den maximalen Anodenstrom liefert.

Würden wir in der in Fig. 14 dargestellten Anordnung eine Aenderung in dem Sinne treffen, dass wir die Spannungsbatterie umgekehrt an die Lampe an-

abstündern, pour l'instant, d'exposer le fonctionnement de la grille.

Lorsque le filament n'est pas incandescent, la pile de tension n'est pas en mesure de produire au travers de la lampe un courant mesurable. Si l'on chauffe à blanc le filament, le potentiel positif de la plaque provoque un écoulement des électrons négatifs, qui deviennent libres de ce fait; il se produit alors, dans les lampes ordinaires, un courant de 2 à 6 milliamp. A défaut de potentiel de plaque, les électrons, ainsi que nous l'avons vu, se rassembleraient en un nuage autour du fil incandescent et, grâce à leur charge négative, s'opposeraient à la sortie de nouveaux électrons qui, négativement chargés, seraient repoussés; l'action cesserait donc rapidement. Le déplacement d'électrons vers la plaque chargée positivement a pour effet de rendre l'espace libre pour la sortie de nouveaux électrons; il se produit donc un écoulement continu du courant, lequel est d'autant plus intense que le potentiel de plaque est plus grand. En effet, plus ce potentiel est élevé, plus la plaque absorbe rapidement les électrons et plus vite aussi l'espace devient libre pour le passage de nouveaux contingents d'électrons. Il y a cependant, dans ce domaine, une limite pratique, tracée par le pouvoir d'émission du filament. Si le filament abandonne le nombre maximum d'électrons correspondant à son degré d'incandescence, un nouvel accroissement du potentiel de plaque n'arrive plus à augmenter l'intensité du courant. Une telle augmentation ne pourrait encore se produire que si le filament était chauffé plus fortement; mais là aussi, il y a une limite que l'on atteint rapidement; soumis à une tension trop élevée, le filament se fond. La figure 15 représente le courant de plaque en fonction du potentiel de plaque dans une lampe qui fournit son courant de plaque maximum sous 90 volts, l'intensité de chaleur étant invariable.

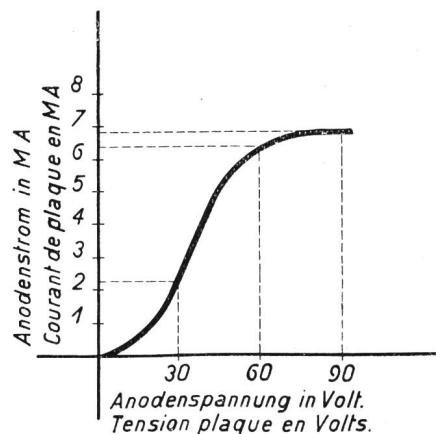


Fig. 15.

Si, modifiant la disposition de la figure 14, on connectait la pile de tension d'une manière inverse, c'est-à-dire le pôle négatif à la plaque et le positif au filament, il ne passerait plus de courant par la lampe, car la plaque n'attirerait pas à elle les électrons chargés négativement, mais les repousserait. Or, la plaque froide est incapable de dégager des électrons. La lampe à trois électrodes ne laisse donc traverser

schliessen würden, also den negativen Pol an die Platte und den positiven an den Heizfaden, so würde kein Strom durch die Lampe fliessen; denn die Anode würde die negativ geladenen Elektronen nicht an sich reissen, sondern sie abstossen. Die kalte Anode aber kann ihrerseits keine Elektronen abgeben. Die Elektronenröhre lässt also den Strom nur in der einen Richtung passieren; sie ist demnach ein idealer Gleichrichter und findet auch als solcher praktisch Verwendung bei den sogenannten Lampengleichrichtern. Sie ergibt in dieser Form auch einen vorzüglichen Detektor, in dem die eine Schwingungsrichtung nicht nur teilweise, sondern vollständig unterdrückt wird.

Die Elektronenröhre hat ihre Bedeutung jedoch erst mit der Einführung der dritten Elektrode, dem Gitter, erhalten. Die Drahtspirale, welche zumeist das Gitter darstellt, lässt nur einen Teil der Elektronen zwischen ihren Windungen durchschlüpfen; der andere Teil wird vom Gitterkörper aufgefangen. Das Gitter bildet also zunächst ein mechanisches Hindernis für den Elektronenfluss. Es wirkt aber auch als elektrisches Steuer. Geben wir dem Gitter eine negative Ladung, so wirkt diese als abstossende Kraft dem Elektronenfluss entgegen; die Stromstärke nimmt also ab. Andererseits begünstigt eine positive Ladung des Gitters den Stromfluss, indem damit die Wirkung der Anode unterstützt wird; die Stromstärke nimmt zu. Spannungsschwankungen am Gitter äussern sich also als Stromschwankungen des Anodenstroms, und zwar genügt eine ganz kleine Spannungsschwankung, um eine verhältnismässig starke Aenderung der Stromstärke hervorzurufen. Die Gitterspannung spielt im elektrischen Stromfluss eine ganz ähnliche Rolle wie der Wasserhahn in einer Wasserleitung. Wie dieser Hahn die Menge des durchfliessenden Wassers bestimmt, so reguliert die Gitterspannung den Stromfluss der Elektronen, und wie eine ganz schwache Kraft in der Lage ist, durch Drehung des Hahnes seine Oeffnung zu verändern und damit eine gewaltige Aenderung in der Stromstärke des Wasserlaufes herbeizuführen, so vermag die leiseste Schwankung der Gitterspannung kräftige Schwankungen im Anodenstrom zu erzeugen. Die Dreielektroden-Röhre lässt sich auch treffend mit einem Relais vergleichen, das auf die geringsten Stromschwankungen anspricht und dabei mit seinem Anker eine neue Kraftquelle öffnet und schliesst, die dem elektrischen Kreis neue, frische Kräfte zuführt. Auch die feinste Konstruktion eines solchen Relais könnte aber den riesig raschen Spannungsschwankungen bei der drahtlosen Uebertragung nicht folgen. Hier kann nur ein masseloses Relais in Anwendung kommen, und als solches wirkt in idealer Weise die Elektronenröhre, die neben dem Vorteil einer erstaunlichen Empfindlichkeit den Vorzug besitzt, auch die raschesten hochfrequenten Spannungsschwankungen getreulich, jedoch verstärkt, weiterzugeben. Diese Eigenschaften neben andern Vorzügen, die wir im Verlauf der weiteren Ausführungen werden kennen lernen, haben die Elektronenröhre zum Universalinstrument der drahtlosen Nachrichtenübertragung gemacht; ihr gehört das erste Verdienst an der riesigen Entwicklung der Radiotechnik in den letzten Jahren.

Sollen die Schwankungen des Anodenstromes genau

le courant que dans un sens; en cela, elle est un redresseur idéal et trouve un emploi pratique dans les redresseurs à lampes. Sous cette forme, elle constitue aussi un excellent détecteur, dans lequel les oscillations ne sont pas seulement en partie, mais totalement supprimées dans un sens.

Mais ce n'est qu'avec l'introduction d'une troisième électrode, la grille, que la lampe a pris l'importance qu'elle revêt. Le fil en spirale, qui constitue le plus souvent la grille, ne laisse passer au travers de ses spires qu'une partie seulement des électrons; l'autre partie est captée par le corps même de la grille. La grille forme donc en premier lieu un obstacle mécanique pour l'écoulement des électrons mais elle fait aussi office de soupape ou régulateur électrique. Si nous lui donnons une charge négative, celle-ci, en tant que force répulsive, s'oppose à l'écoulement des électrons, et le courant diminue d'intensité. D'autre part, une charge positive de la grille favorise cet écoulement, du fait qu'elle seconde l'action de la plaque; dans ce cas, le courant croît en intensité. Les variations de potentiel à la grille se manifestent, en conséquence, par des variations du courant de plaque, et il suffit d'une toute petite variation de potentiel pour modifier d'une façon relativement considérable l'intensité du courant. Le potentiel de grille joue dans l'écoulement du courant électrique un rôle tout à fait analogue à celui que remplit un robinet dans une conduite d'eau. De même que ce robinet détermine la quantité d'eau qui doit couler, de même le potentiel de grille règle l'écoulement des électrons; de même, également, qu'une force très minime parvient, en tournant le robinet, à en modifier l'ouverture et à susciter une forte variation dans le débit de l'eau, de même la plus légère variation du potentiel de grille est capable de provoquer, dans le courant de plaque, des fluctuations considérables. La lampe à trois électrodes peut très bien être comparée aussi à un relais qui, réagissant sous l'influence des plus petites variations de courant, ouvre et ferme, à l'aide de son armature, une nouvelle source d'énergie qui apporte dans le circuit électrique des forces toutes fraîches. Mais même le relais le plus finement construit n'arriverait pas à suivre des variations de potentiel aussi rapides que celles qui se produisent dans la transmission radio-électrique. Seul un relais immatériel peut être employé en l'espèce. Or, c'est à cette condition que satisfait d'une façon idéale la lampe à trois électrodes, laquelle offre l'avantage non seulement d'être d'une sensibilité extraordinaire, mais encore de retransmettre tels quels, même en les amplifiant, les courants de hautes fréquences soumis aux variations les plus rapides. Toutes ces qualités, jointes à d'autres avantages encore que nous énumérerons dans la suite, ont fait de la lampe à trois électrodes un instrument universel dans le domaine de la transmission des nouvelles par T. S. F.; c'est à elle, avant tout, que l'on doit le développement grandiose que la radiotechnique a pris ces dernières années.

Si les variations du courant de plaque doivent suivre exactement les variations du potentiel de grille, condition primordiale pour obtenir une transmission fidèle, il ne doit pas se produire d'autres

den Spannungsschwankungen am Gitter folgen, was eine erste Voraussetzung für eine naturgetreue Uebertragung darstellt, so dürfen keine anderweitigen Erscheinungen auftreten, die irgend einen Einfluss auf die Stromstärke ausüben könnten. Derartige störende Einflüsse würden aber auftreten, wenn der Raum zwischen Anode und Heizfaden von Luft erfüllt wäre; denn die Luft bleibt am Stromfluss nicht unbeteiligt. Die vom Heizfaden ausgestrahlten Elektronen prallen, wie wir gesehen haben, an die Atome der Luft und spalten dieselben in elektrisch nicht mehr neutrale Teilchen, welche als Träger von elektrischen Ladungen in den Stromfluss hineingezogen werden. Diese Vermehrung der stromführenden Teilchen ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Leitfähigkeit. Da aber die Ionisation der Luft keine gesetzmässige ist, sondern von vielen Zufälligkeiten, wie Temperaturschwankungen usw. abhängt, so ist auch die Aenderung der Leitfähigkeit eine rein zufällige und damit die Uebertragung den Einflüssen eines unerwünschten, störenden Faktors ausgesetzt. Es muss deshalb darnach getrachtet werden, die Lampen möglichst luftleer zu machen. Hierin lag im Anfang die Hauptschwierigkeit der Röhrentechnik und der ungenügende Erfolg der ersten Fabrikate. Erst als es gelang, die Lampen auf Bruchteile einer milliardstel Atmosphäre Druck auszupumpen, also praktisch vollkommen luftleer zu machen, erlangten dieselben die heutige gewaltige Bedeutung.

Bevor ich zur Besprechung der praktischen Verwendung der Lampe in verschiedenen Schaltungen übergehe, will ich auf die Verschiedenartigkeit der im Handel vorkommenden Lampen aufmerksam machen. Dass wir auf dem Markt nicht bloss einen einheitlichen Lampentyp antreffen, hat seinen Grund darin, dass diese Lampen sehr verschiedene Zwecke zu erfüllen haben. Wohl lassen sich die meisten üblichen Lampen auf allen Stufen einer Mehrlampensstation verwenden; eine maximale Leistung ist aber nur dann herauszuholen, wenn für jede Stufe diejenige Lampe gewählt wird, die die für die entsprechende Funktion notwendigen Eigenschaften in besonders ausgeprägtem Masse besitzt; die Lampenfabrikation hat sich in dieser Beziehung den mannigfaltigsten Bedürfnissen des Apparatebaues angepasst. Damit der Amateur in der Lage ist, die seinen Zwecken dienende Lampe auszuwählen, gibt die Lieferfirma eine Reihe von Angaben, die ich an Hand eines praktischen Beispiels kurz besprechen will. Als Beispiel möge die Philips-Lampe A 410 dienen. Für diese liefert die Firma folgende Angaben:

1. *Heizspannung = 3,4 bis 4 Volt.* Diese Lampe wird mit einem Akkumulator von 4 Volt oder einer Trockenbatterie von $4\frac{1}{2}$ Volt geheizt, unter Anwendung eines regulierbaren Widerstandes. Der Widerstand wird so eingestellt, dass bei einer weiteren Drehung im Sinne der Widerstandsverringerung keine Zunahme der Lautstärke mehr stattfindet, resp. dass bei einer Drehung im umgekehrten Sinne sofort eine Abnahme der Lautstärke eintritt. Es gibt auch Lampen, die mit 1 oder 2 Volt Spannung geheizt werden können; ihre Leistung ist aber entsprechend dem geringeren Wattverbrauch meist auch

phénomènes susceptibles d'exercer une influence sur l'intensité du courant. Or, des influences de ce genre se manifesteraient si l'espace compris entre la plaque et le filament était rempli d'air, attendu que l'air n'est pas sans influencer le courant. Les électrons rayonnés par le filament viennent, comme nous l'avons vu, se heurter contre les atomes de l'air. Ils divisent ces atomes en particules, qui ne sont électriquement plus neutres et qui, comme véhicules de charges électriques, sont englouties par le courant. Cette augmentation du nombre des particules susceptibles de véhiculer le courant équivaut à un accroissement de la conductibilité. Mais, comme la ionisation de l'air n'est pas régie par des lois, mais dépend de toutes espèces d'incidents fortuits, tels que variations de température, etc., il s'ensuit que la modification que subit la conductibilité est due au pur hasard et que la transmission est sujette aux influences d'un élément perturbateur et inopportun. C'est pourquoi il faut s'efforcer de pousser le plus loin possible le vide dans les lampes à trois électrodes. Or, c'est là qu'a résidé, au début, la principale difficulté dans la fabrication des lampes et la cause du peu de succès des premiers produits. Ce n'est que lorsque l'on eut réussi à vider les lampes à tel point que la pression d'air fut réduite à un milliardième d'atmosphère, c'est-à-dire que le vide fut pratiquement parfait, que les lampes acquièrent l'importance considérable qu'elles revêtent aujourd'hui.

Avant de parler des multiples emplois de la lampe dans la pratique, il convient de signaler la diversité des lampes qui se trouvent dans le commerce. Si le marché ne se contente pas d'un seul et unique type de lampe, c'est que ces lampes doivent servir à des buts très divers. Il est vrai que la plupart des lampes usuelles peuvent être employées pour tous les étages d'une station à plusieurs lampes; mais, un rendement maximum ne peut être atteint que si chaque étage est pourvu de la lampe qui possède à un haut degré les qualités requises par la fonction voulue. Sous ce rapport, la fabrication des lampes s'est adaptée aux multiples exigences réclamées par les constructeurs d'appareils. Pour que les amateurs soient en mesure de choisir la lampe qui leur convient le mieux, les fabriques donnent de nombreuses indications, que nous analyserons ci-après à l'aide d'un exemple pratique. Nous citerons comme exemple la lampe Philips A 410, sur laquelle la fabrique fournit les données suivantes:

1. *Potentiel de chauffage = 3,4 à 4 volts.*

Cette lampe est chauffée au moyen d'un accumulateur de 4 volts ou d'une pile sèche de $4\frac{1}{2}$ volts, avec emploi d'une résistance réglable. Cette résistance est réglée de façon que, lorsqu'on en diminue la valeur par un tour de manette, l'audition n'augmente plus, mais que, par contre, elle diminue immédiatement lorsqu'on tourne en sens inverse. On trouve aussi des lampes qui peuvent se chauffer sous une tension de 1 à 2 volts; toutefois, leur rendement est inférieur à celui des lampes fonctionnant sous une tension de 4 volts, en raison de leur faible consommation de watts.

etwas geringer als die der Lampen, die mit 4 Volt betrieben werden.

2. *Heizstrom* = zirka 0,06 Amp. Lampen von so geringem Stromverbrauch werden Miniwattlampen genannt. Die gewöhnlichen, hell brennenden Lampen, die 0,5 bis 0,7 Amp. konsumieren, werden nur noch selten gebraucht.

3. *Anodenspannung* = 20 bis 100 Volt. Die Anwendung einer höheren Spannung ist zwecklos, da bei 100 Volt der Sättigungsgrad erreicht ist. Unter 100 Volt nimmt die Leistung der Lampe mit sinkender Anodenspannung ab. Wer die Kosten der Anodenbatterie scheut, wende Doppelgitterlampen an, die sich aber abgesehen von Spezialfällen nur für Ein- und Zweilampenstationen empfehlen lassen. Bei der Doppelgitterlampe wird zwischen dem ordentlichen Gitter und dem Heizfaden ein weiteres Gitter eingeführt, dem eine positive Vorspannung von 6 bis 9 Volt gegeben wird. Dieses Gitter unterstützt die Anode in ihrer Wirkung, indem es mit seiner positiven Ladung bei grosser Nähe zum Heizfaden mithilft, demselben die Elektronen zu entreissen, resp. die Raumladung zu neutralisieren. Es genügt dann, wenn der Anode eine Spannung von 6 bis 15 Volt gegeben wird (Anwendung von Taschenlampenbatterien).

4. *Sättigungsstrom* = 10 MA = maximaler Elektronenstrom, den der Heizfaden abgeben kann (Anodenstrom plus event. Gitterstrom, die zusammen den Emissionsstrom ergeben).

5. *Durchgriff* = 10%. Zur Erklärung dieser Grösse nehmen wir das Kurvenbild zur Hand, das der Lampe beigegeben ist und das wir in Fig. 16 wiedergeben. Die in dieser Figur dargestellten Kurven, Kennlinien genannt, stellen den Emissionsstrom als Funktion der Gitterspannung für verschiedene Anodenspannungen dar. Auf der Senkrechten ist der Emissions-

2. *Courant de chauffage* = env. 0,06 amp.

Des lampes à si faible consommation de courant sont appelées lampes miniwatt. Les lampes ordinaires, qui donnent une lumière blanche et consomment de 0,5 à 0,7 amp., ne sont plus utilisées que rarement.

3. *Potentiel de plaque* = de 20 à 100 volts.

L'application d'un potentiel plus élevé n'est d'aucune utilité, la saturation étant obtenue avec une tension de 100 volts. Au-dessous de 100 volts, le rendement de la lampe diminue au fur et à mesure que baisse le potentiel de plaque.

Ceux qui craignent la dépense qu'occasionne la pile de plaque utilisent des lampes à double grille, lesquelles, sauf dans quelques cas spéciaux, ne se recommandent cependant que pour les postes à une et deux lampes. Dans la lampe à double grille est insérée, entre la grille ordinaire et le filament, une nouvelle grille à laquelle on donne une tension positive préalable de 6 à 9 volts. Cette grille seconde la plaque dans ses fonctions en ce sens que, chargée positivement et située à proximité immédiate du filament, elle aide à arracher de ce dernier les électrons, c'est-à-dire à neutraliser l'influence de la charge ambiante. Il suffit donc de donner à la plaque une tension de 6 à 15 volts (emploi de piles de lampes de poche).

4. *Courant de saturation* = 10 milliamp.

courant d'électrons maximum pouvant être fourni par le filament. (Courant de plaque + courant de grille éventuel, lesquels donnent ensemble le courant d'émission).

5. *Coefficient d'amplification* = 10.

Pour expliquer cette valeur, nous prenons en mains le graphique qui est joint à la lampe et que nous reproduisons à la figure 16. Les courbes tracées sur cette figure représentent le courant d'émission en fonction du potentiel de grille pour plusieurs potentiels de plaque. Sur la verticale est indiqué le courant d'émission en M. A. et, sur l'horizontale, le potentiel de grille en volts. Pour un potentiel de plaque de 40 volts et un potentiel de grille de 2 volts, le courant d'émission est, par exemple, de 1 milliamp. Si l'on abaisse à 0 volt le potentiel de grille, le courant d'émission descend à 1/2 milliamp.; il remonte, toutefois, à l'ancienne valeur de 1 milliamp. dès qu'on porte de 40 à 60 volts le potentiel de plaque. Pour neutraliser la diminution de potentiel de 2 volts à la grille, il est nécessaire d'augmenter de 20 volts le potentiel de plaque, c'est-à-dire d'une valeur dix fois plus élevée. Ce rapport entre le potentiel de plaque et le potentiel de grille s'appelle coefficient d'amplification. En réalité, l'amplification est d'autant plus grande que se fait moins fortement sentir le potentiel de plaque par rapport au potentiel de grille, car il en résulte une augmentation du pouvoir que possède la grille de régulariser le flux des électrons.

6. L'Allemand opère fréquemment avec la valeur réciproque du coefficient d'amplification, laquelle est nommée „Durchgriff“. Comme cette notion n'est pas usuelle dans la littérature française, nous renonçons à traduire le passage correspondant. En re-

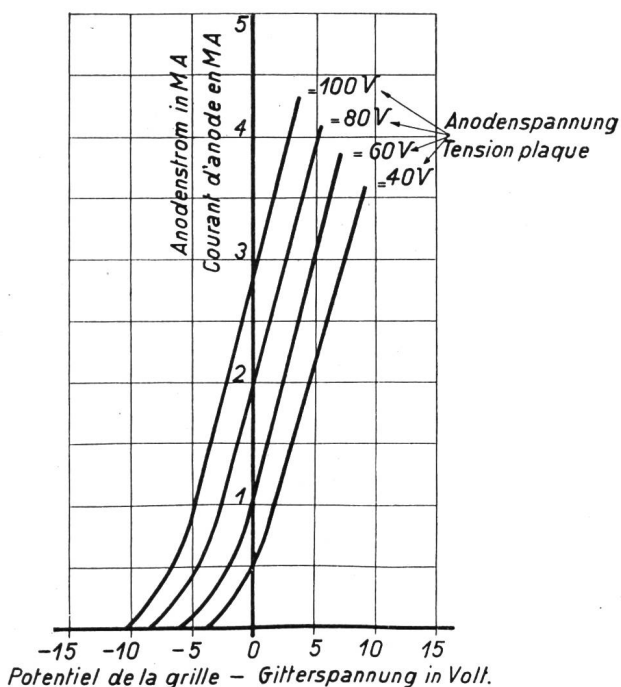


Fig.16.

(Kennlinien der Philips A 410.)
(Caractéristiques de la lampe Philips A 410)

strom in MA, auf der Wagrechten die Gitterspannung in Volt angegeben. Bei Null Volt Gitterspannung und 60 Volt Anodenspannung beträgt beispielsweise der Emissionsstrom 1 MA. Erniedrigen wir die Anodenspannung auf 40 Volt, so sinkt der Emissionsstrom auf $\frac{1}{2}$ MA.; er steigt aber wieder auf 1 MA, wenn wir die Gitterspannung auf 2 Volt erhöhen. 2 Volt der Gitterspannung üben also auf den Elektronenfluss die gleiche Wirkung aus wie 20 Volt der Anode, mit andern Worten: Wird die Anodenspannung um einen bestimmten Betrag herabgesetzt, so genügt eine Erhöhung der Gitterspannung um den zehnten Teil = 10% dieser Spannungsverminderung, um den Emissionsstrom wieder auf den ursprünglichen Wert zu erhöhen. Diese Zahl, die in Prozenten angibt, den wievielten Teil die Aenderung der Gitterspannung von der Aenderung der Anodenspannung ausmacht, wird Durchgriff genannt. Dass die am Gitter notwendige Spannungsänderung immer kleiner ist als die Aenderung der Anodenspannung, rührt davon her, dass ein Teil der Wirkung der Anode durch das Gitter abgeschirmt wird.

6. *Verstärkungsfaktor = 10.* Der Verstärkungsfaktor ist immer der reziproke Wert des Durchgriffes. Beträgt der Durchgriff, wie im vorliegenden Fall = 10%, so ist der Verstärkungsfaktor = $\frac{10}{1}$

10; beträgt der Durchgriff 20% = $\frac{1}{5}$, so ist der Verstärkungsfaktor = 5 usw. Daraus geht hervor, dass, je kleiner der Durchgriff, um so grösser die Verstärkung ist. In der Tat haben die Spannungsschwankungen am Gitter einen um so grösseren Einfluss auf den Anodenstrom, je schwächer die Wirkung der Anode auf den Heizfaden ist und je langsamer sich die Elektronen infolgedessen bewegen.

7. *Maximale Steilheit = 0,45 MA/V.* Nehmen wir wieder Figur 16 zur Hand. Bei 100 V. Plattenspannung und -1,9 V. Gitterspannung beträgt der Emissionsstrom 2 MA. Um den Emissionsstrom bei gleicher Anodenspannung auf 3 MA zu erhöhen, ist eine Erhöhung der Gitterspannung auf + 0,3 V. nötig, also um 2,2 V. Das Verhältnis der Stromzunahme in MA zur Erhöhung der Gitterspannung in Volt, im vorliegenden Fall also das Verhältnis 1 MA/2,2 V. = 0,45 MA/V., wird „Steilheit“ genannt. Je stärker die Stromzunahme bei gleicher Spannungsänderung am Gitter, um so grösser die Steilheit.

8. *Minimaler innerer Widerstand = 22,000 Ohm.* Er ist das Verhältnis der Aenderung der Anodenspannung in Volt zu der damit bewirkten Aenderung des Anodenstromes in Amp.

Soll eine Lampe ohne Verzerrung, also naturgetreu verstärken, so müssen die Schwankungen des Anodenstromes genau proportional den Spannungsschwankungen am Gitter sein, d. h. bei Erhöhung der Gitterspannung um beispielsweise $\frac{1}{10}$ Volt muss der Anodenstrom um den genau gleichen Betrag zunehmen, um den er bei der Verminderung der Gitterspannung um $\frac{1}{10}$ Volt abnimmt, und die Aenderungen der Stromstärke müssen bei 2-, 3-, 4facher Spannungsänderung den ebenso vielfachen Betrag ausmachen, wenigstens soweit diese Schwankungen praktisch vorkommen. Diese Bedingung ist nur dann erfüllt,

vanche, nous avons donné à l'expression „Coefficient d'amplification“ une définition plus étendue.

7. *Inclinaison (Steilheit) maximum = 0,45 M. A./V.*

Reportons-nous de nouveau à la figure 16. Pour un potentiel de plaque de 100 volts et un potentiel de grille de -1,9 volt, le courant d'émission est de 2 milliamp. Pour pouvoir, avec le même potentiel de plaque, porter le courant d'émission à 3 milliamp., il faut porter à + 0,3 volt, donc relever de 2,2 volts, le potentiel de grille. Le rapport entre l'augmentation de courant en milliamp. et l'augmentation en volt du potentiel de grille, soit, en l'espèce, le rapport 1 M. A./2,2 v. = 0,45 M. A./V. s'appelle „inclinaison“. Plus l'augmentation de courant est forte pour la même variation de potentiel de grille, plus l'inclinaison est grande.

8. *Résistance intérieure minimum = 22,000 ohms.*

La résistance intérieure est le rapport qui existe entre la variation du potentiel de plaque en volts et la variation du courant de plaque, en amp., qui en résulte.

Si une lampe doit renforcer sans distorsion, c'est-à-dire fidèlement, les variations du courant de plaque doivent être exactement proportionnelles aux variations du potentiel de grille, c'est-à-dire que si le potentiel de grille augmente par exemple de $\frac{1}{10}$ volt, le courant de plaque doit s'accroître d'une valeur en tous points égale à celle dont il diminue lorsque le potentiel de grille baisse de $\frac{1}{10}$ volt, et les variations de l'intensité de courant doivent suivre exactement les variations de potentiel, pour autant du moins que ces variations se présentent dans la pratique. Cette condition ne se trouve être réalisée que lorsque la courbe de la lampe forme une ligne droite sur tout le parcours des potentiels de grille qui se produisent.

Aussitôt que la grille possède par rapport au filament une tension positive, elle attire à elle une partie des électrons lesquels retournent au filament, par l'intermédiaire du circuit de grille. Ce courant de grille signifie une perte pour le courant de plaque, lequel se trouve être diminué de la valeur du courant de grille, de telle manière que plus le potentiel de grille est élevé, plus cette diminution est grande. Le courant de plaque ne sera donc plus proportionnel à l'augmentation du potentiel de grille, nécessité que nous avons signalée plus haut. C'est pourquoi le courant de grille constitue un élément perturbateur dans l'amplification et provoque une distorsion, qui, il est vrai, ne se fait sentir dans la pratique que lorsque les variations ont atteint un certain degré, notamment aux derniers étages, les étages à basse fréquence des stations à plusieurs lampes. — Le courant de grille occasionne de la distorsion pour cette raison également qu'il provoque une variation du potentiel de grille. — Pour l'éviter on donne à la grille, aux étages à basse fréquence, un potentiel négatif par rapport au filament, en intercalant dans le circuit de grille une petite pile de 1 à 6 volts. La condition formulée plus haut, à savoir que la courbe doit être rectiligne sur tout le parcours des potentiels de grille possibles — parcours qui est très considérable lorsqu'il s'agit d'am-

wenn die Kennlinie der Lampe auf der ganzen Strecke der vorkommenden Gitterpotentiale gerade verläuft.

Sobald das Gitter gegenüber dem Heizfaden eine positive Spannung besitzt, wird ein Teil der Elektronen von demselben an sich gerissen und fliesst durch den sog. Gitterkreis zum Heizfaden zurück. Dieser Gitterstrom bedeutet einen Verlust für den Anodenstrom, der um den Betrag des Gitterstromes vermindert wird, und zwar ist diese Verminderung um so grösser, je grösser die Gitterspannung ist. Der Anodenstrom wird also nicht mehr, wie wir im Vorstehenden als notwendig ersehen haben, proportional der Spannungsvermehrung am Gitter zunehmen. Der Gitterstrom bedeutet deshalb eine Störung der Verstärkung und hat Verzerrung zur Folge, die sich allerdings erst bei einem gewissen Grade der Schwankungen, namentlich auf den letzten Stufen, den Niederfrequenzstufen von Mehrlampenstationen, praktisch bemerkbar macht. Der Gitterstrom verursacht auch deshalb Verzerrung, weil gleichzeitig mit seinem Fliessen das Gitterpotential verändert wird. Zu seiner Vermeidung wird dem Gitter auf den Niederfrequenzstufen eine negative Vorspannung gegenüber dem Heizfaden gegeben, indem man in den Gitterkreis eine kleine Batterie von 1 bis 6 Volt einschaltet. Die im Vorstehenden aufgestellte Bedingung, dass die Kennlinie auf der ganzen Strecke der vorkommenden Gitterpotentiale — und diese ist bei Niederfrequenzverstärkern ausserordentlich gross — gerade verlaufen müsse, bleibt ebenfalls bestehen; die Kennlinie dieser Lampen muss also bei negativem Gitterpotential einen geraden Verlauf haben.

Viele Amateure machen den Fehler, bei der Wahl der Lampen nur auf möglichst grosse Steilheit der Kennlinie zu sehen, um damit eine möglichst grosse Verstärkung zu erreichen. Die vorstehenden Betrachtungen lassen bereits erkennen, dass bei der Wahl der Lampen auch noch andere Faktoren zu berücksichtigen sind.

VII. Die Hochfrequenzverstärkung.

Aus dem im Abschnitt VI Gesagten geht ohne weiteres die Verwendbarkeit der Elektronenröhre zur Hochfrequenzverstärkung hervor. Zur Erklärung dieser Funktion wollen wir uns einer ganz einfachen Schaltung bedienen, wie sie in Fig. 17 schematisch dargestellt ist.

Mit Hilfe des Drehkondensators C_1 und der Spule S_1 wird die Antenne auf die ankommende Welle abgestimmt. Die an den Enden der Spule S_1 auftretenden Spannungsdifferenzen werden nicht mehr, wie in Fig. 11, direkt auf Detektor/Telephon angewendet, sondern man lässt sie auf Gitter und Heizfaden einer Lampe einwirken. Die Spannungsdifferenzen des Gitters gegen den Heizfaden bewirken Stromschwankungen im Anodenkreis, und zwar erfolgen diese im gleichen hochfrequenten Tempo wie die Schwingungen in der Antenne (daher die Bezeichnung „Hochfrequenzverstärkung“ im Gegensatz zu der später zu besprechenden „Niederfrequenzverstärkung“); der Hörer kann also nicht direkt in den Anodenkreis eingeschaltet werden. Im vorliegenden Fall wird dieser vielmehr durch die Kapazität C_2 und die Selbstinduktion S_2 auf die gleiche Frequenz wie die Antenne ab-

plificateurs à basse fréquence —, s'applique également à ce cas; la courbe de ces lampes doit donc être rectiligne pour un potentiel de grille négatif.

Bon nombre d'amateurs, lorsqu'ils veulent faire l'acquisition de lampes, portent leur choix sur celles dont la courbe présente la plus forte inclinaison, afin d'obtenir une amplification maximum. Or, les considérations qui précèdent font ressortir que le choix des lampes dépend d'autres facteurs encore.

VII. Amplification à haute fréquence (HF).

De ce qui a été dit au chapitre VI, il ressort clairement qu'il est possible d'utiliser la lampe à trois électrodes pour l'amplification à haute fréquence. Pour expliquer ce fait, nous nous servons d'un schéma très simple, celui représenté en principe à la figure 17.

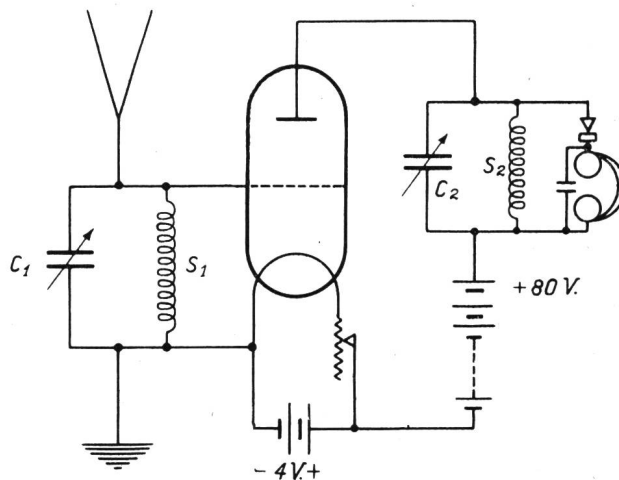


Fig. 17.

A l'aide du condensateur variable C_1 et de la bobine S_1 , on accorde l'antenne sur l'onde incidente. Les différences de potentiel qui se produisent aux extrémités de la bobine S_1 ne sont plus appliquées, comme c'est le cas sur la figure 11, directement sur le détecteur et le téléphone, mais on les laisse agir sur la grille et le filament d'une lampe. Les différences de potentiel de la grille par rapport au filament déterminent des variations de courant dans le circuit plaque, variations qui ont la même fréquence que les oscillations qui se manifestent dans l'antenne (c'est pourquoi on parle ici d'„amplification HF“ au contraire de l'„amplification BF“, qui sera exposée ultérieurement); l'écouteur ne peut donc pas être inséré directement dans le circuit plaque. Dans le cas particulier, ce circuit est plutôt accordé sur la fréquence de l'antenne au moyen de la capacité C_2 et de la self S_2 . L'écouteur, avec le détecteur, est disposé en série aux extrémités de la bobine S_2 , où se produisent de nouveau les variations de tension. Ces variations sont de même nature que celles de la bobine S_1 , mais considérablement plus fortes, attendu qu'il s'agit de variations d'un circuit local, alimenté par une batterie de 80 volts environ et régularisé seulement par les variations de tension à la grille G.

Au lieu de les laisser agir sur le circuit détecteur-téléphone, les variations de tension à la bobine S_2 peuvent aussi exercer leur effet sur le circuit grille-

gestimmt. Das Telephon wird dann in Serie mit dem Detektor an die Enden der Spule S_2 angeschlossen, wo wieder die Spannungsschwankungen auftreten. Diese Schwankungen sind gleicher Art wie an der Spule S_1 , jedoch bedeutend kräftiger; denn es handelt sich um die Schwankungen eines Lokalstromkreises, der selbsttätig durch eine Batterie von zirka 80 Volt gespeist und durch die Spannungsschwankungen am Gitter G lediglich gesteuert wird.

Anstatt auf Detektor/Telephon kann man die Spannungsschwankungen an der Spule S_2 auch wieder auf Gitter/Heizfaden einer weiteren Lampe einwirken lassen (siehe Fig. 18). Der fixe Kondensator C_3 von 130 bis 180 cm Kapazität dient dazu, die Spannung von 80 Volt vom Gitter der zweiten Lampe abzuhalten. In dieser Lampe findet eine weitere Verstärkung statt, die auch noch auf eine dritte Verstärkerstufe übertragen werden könnte. Die Zahl dieser Hochfrequenzstufen kann aber wegen der gegenseitigen kapazitiven und induktiven Beeinflussung der verschiedenen Schwingungskreise nicht ohne weiteres beliebig gesteigert werden.

Der Anodenkreis C_2S_2 wird, wie erwähnt, auf die ankommende Welle abgestimmt. Befindet er sich mit derselben in Resonanz, so schwingt er am kräftigsten, und die Spannungen an den Enden der Spule S_2 erreichen ein Maximum. Wir besitzen also nicht bloss in dem Abstimmungskreis C_1S_1 ein Mittel, die gewünschte Welle auszuwählen, sondern auch in den Abstimmorganen C_2S_2 und allfälligen weiteren Schwingungskreisen der folgenden Hochfrequenzstufen. In jedem Schwingungskreis findet ein Ausgeben der Wellen statt, wodurch die Selektivität der ganzen Anordnung bedeutend erhöht wird.

Es sei noch beigefügt, dass die Schaltungsart nach Fig. 18 Resonanzschaltung genannt wird und dass diese Art Hochfrequenzverstärkung weitaus die gebräuchlichste geworden ist. Am Sitze einer Sendestation ist jedoch die Selektivität dieser Schaltung für Fernempfang nicht ganz genügend.

An Stelle der Abstimmorgane C_2S_2 kann auch ein induktionsloser Ohmscher Widerstand treten, an dessen Enden die Spannungsschwankungen auftreten, entsprechend der einfachen Ohmschen Formel $E = J \times W$. Da die Anodenkreise hier nicht abstimmbare sind, findet auch keine Wellenaussiebung auf den verschiedenen Stufen statt.

Anstatt die Spannungsschwankungen für die folgende Stufe direkt von der Spule oder dem Widerstand im Anodenkreis der Vorlampe abzunehmen, kann auch eine induktive Uebertragung angewendet werden, wie wir sie bereits beim Sender in Fig. 6 angetroffen haben. Das Spulenpaar SS' spielt bei der

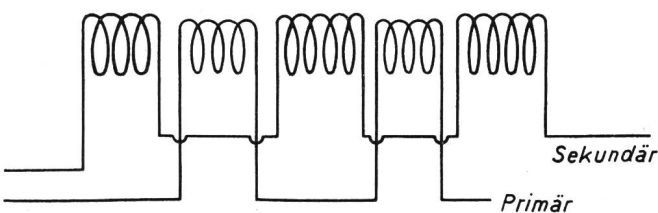


Fig. 19.

filament d'une lampe supplémentaire (voir figure 18). Le condensateur fixe C_3 , d'une capacité de 130 à 180 cm, sert à écarter de la grille de la deuxième lampe la tension de 80 volts. Dans cette lampe s'opère une nouvelle amplification, qui pourrait être transmise à un troisième étage d'amplification. Le nombre de ces étages HF ne pourrait toutefois pas être augmenté sans autre et indéfiniment, à cause de l'influence capacitive et inductive mutuelle des divers circuits oscillants.

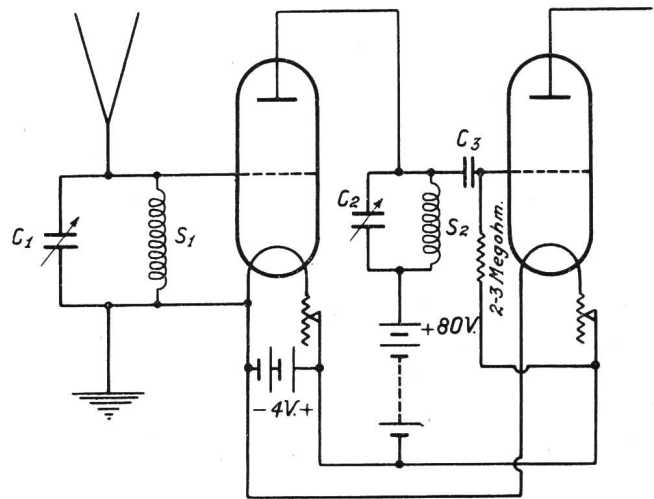


Fig. 18.

Le circuit de plaque C_2S_2 est, comme nous l'avons déjà relevé, accordé sur l'onde incidente; c'est lorsqu'il est en résonance avec cette onde que ses oscillations sont les plus fortes et que les tensions aux extrémités de la bobine S_2 atteignent leur maximum. Ce n'est donc pas le circuit de syntonisation C_1S_1 qui constitue le seul moyen pour choisir l'onde voulue; les organes de syntonisation C_2S_2 et, éventuellement, d'autres circuits oscillants des étages HF subséquents servent au même but. Dans chaque circuit oscillant, les ondes sont tamisées, ce qui accroît considérablement la sélectivité de tout le dispositif. Ajoutons que le schéma représenté par la figure 18 est appelé schéma de résonance, et que ce mode d'amplification HF est de beaucoup le plus usité. Toutefois, la sélectivité de cette disposition ne suffit pas dans des endroits où il existe une station d'émission.

L'organe de syntonisation C_2S_2 peut être remplacé par une résistance ohmique exempte d'induction, aux extrémités de laquelle se produisent les variations de tension répondant à la formule bien connue $E = J \times W$. Les circuits de plaques ne pouvant, dans ce cas, être syntonisés, il ne se produit aucune sélection d'ondes dans ces étages.

Au lieu d'intercepter les variations de tension pour l'étage suivant directement sur la bobine ou la résistance du circuit plaque de la lampe précédente, on peut aussi faire emploi d'une transmission par induction, comme nous l'avons déjà constaté pour le transmetteur de la figure 6. La paire de bobines SS' tient, dans la disposition signalée, le rôle d'un

dort besprochenen Anordnung die Rolle eines Transformators, in welchem S die Primär-, S' die Sekundärwicklung darstellt. Praktisch wird man derartige Transformatoren nicht als zwei Einzelspulen herstellen, sondern meistens zusammenbauen. Die in Hochfrequenzverstärkern angewendeten Transformatoren besitzen meistens eine in mehrere Teilwicklungen unterteilte Primärwicklung, zwischen welche die Teile der ebenfalls unterteilten Sekundärwicklung geschoben sind, wie die Fig. 19 veranschaulicht.

(Fortsetzung folgt).

transformateur, S représentant l'enroulement primaire et S' le secondaire. Dans la pratique, on ne se servira guère, pour des transformateurs de ce genre, de deux bobines séparées, mais plutôt de bobines accouplées. Les transformateurs employés dans les amplificateurs HF ont, dans la plupart des cas, un enroulement primaire comportant plusieurs subdivisions, entre lesquelles sont interposées les différentes parties de l'enroulement secondaire, subdivisé à son tour, tel que nous le montre la figure 19.

(A suivre).

Verschiedenes — Divers.

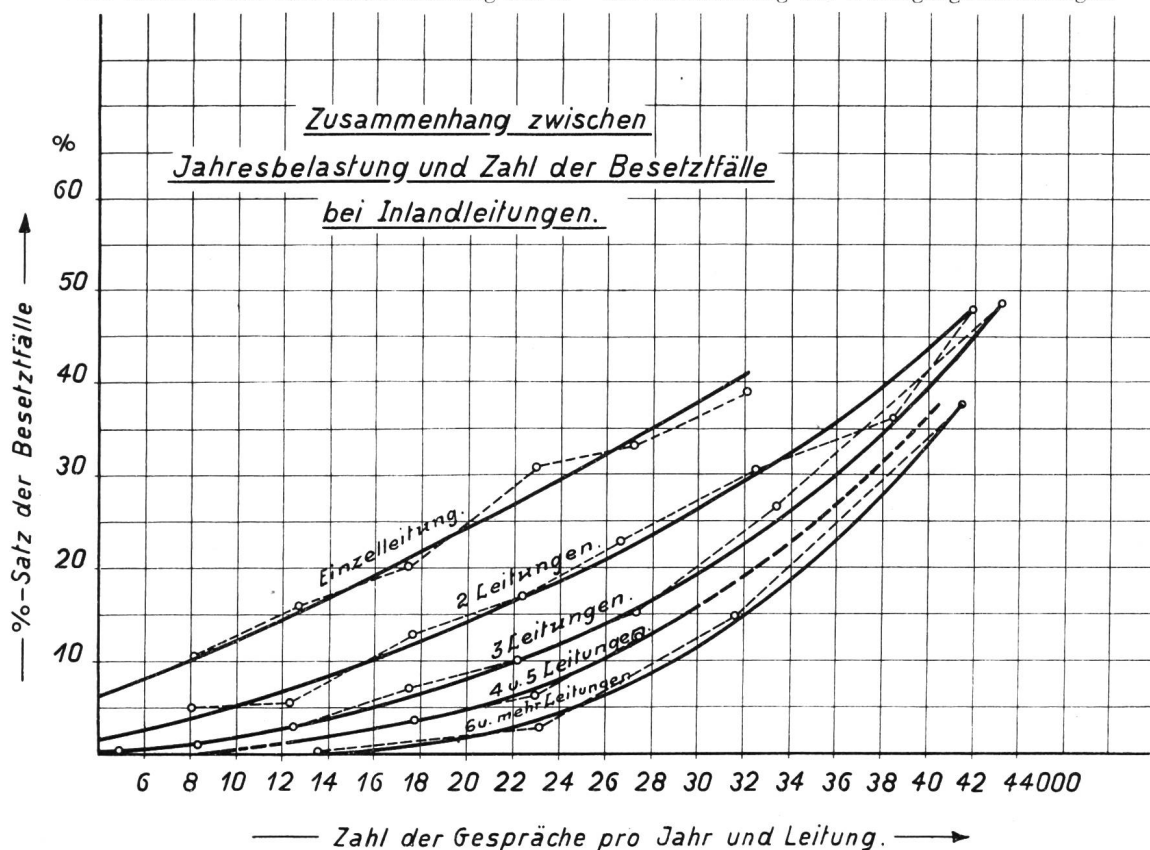
Zusammenhang zwischen Belastung und Zahl der Besetztfälle bei Inlandleitungen.

Seit Sommer 1925 wurden vom Amt St. Gallen periodische Zählungen vorgenommen, um festzustellen, wie sich die Zahl der Besetztfälle bei Fernleitungen mit ihrer Belastung ändert und welchen Einfluss die Zahl der Leitungen eines Leitweges auf die Zahl der Besetztfälle hat. Da sich zwischen den einzelnen Beobachtungen namhafte Unterschiede ergaben, wurden sämtliche Leitwege einbezogen, um einen brauchbaren Durchschnittswert zu erhalten.

Die Ergebnisse sind aus der beigegebenen Kurventafel ersichtlich. Bei einer durchschnittlichen Jahresbelastung mit z.

B. 20 000 Gesprächen pro Leitung wird der Leitweg etwa 25% Besetztfälle aufweisen bei Einzelleitung, etwa 15% bei 2 Leitungen, etwa 8% bei 3 Leitungen usw.; umgekehrt darf die durchschnittliche Jahresbelastung, wenn wir beispielsweise 15% Besetztfälle zulassen, ungefähr 12 500 Gespräche betragen bei Einzelleitung, etwa 20 000 bei 2 Leitungen usw.

Wie bereits erwähnt, können im Einzelfalle mehr oder weniger grosse Abweichungen von diesen Durchschnittswerten vorkommen. Die Kurven bieten immerhin für gewisse Zwecke nützliche Anhaltspunkte; sie gestatten u. a. Schlüsse auf die Wartezeiten bei Einzelleitungen und Leitungsbündeln und können Fingerzeige geben für den Ausbau des Leitungsnetzes und die Intradierung von Durchgangsverbindungen. J. H.



Nouvelles relations téléphoniques internationales.

La mise en service de deux nouveaux circuits internationaux reliant Zurich et Bâle à Amsterdam a permis d'admettre, depuis le 5 novembre 1926, tous les réseaux suisses à la correspondance téléphonique entre la Suisse et les principaux centres des Pays-Bas.

Le 1^{er} janvier 1927 ont été inaugurées également de nouvelles relations entre quelques centrales téléphoniques suisses et Oslo, capitale de la Norvège, complétant ainsi les relations que la Suisse entretient depuis un certain temps déjà avec les pays scandinaves.

Mise en service du câble téléphonique Paris-Nancy-Bâle.

A l'occasion de la 43^e réunion du Conseil de la Société des Nations à Genève ont été mis en service, les 6 et 7 décembre 1926, trois nouveaux circuits téléphoniques Genève-Paris par Bâle-Nancy, inaugurant ainsi la grande artère souterraine française de Paris à Bâle.

L'audition constatée au cours des communications échangées sur ces nouveaux circuits, d'une longueur de 801 km entièrement souterrains, a été reconnue de beaucoup supérieure à celle obtenue sur les circuits aériens passant par le col de la Faucille et par Dijon.