

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 57 (1966)
Heft: 2

Artikel: Fertigung von Klein-Koaxialpaaren mit Scheibenisolation
Autor: Hahne, K.H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916559>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Fertigung von Klein-Koaxialpaaren mit Scheibenisolation

Von K. H. Hahne, Köln-Mülheim

621.372.824

Ein steigender Bedarf an Nachrichtenverbindungen führte zur trägerfrequenten Nachrichtenübertragung über breite Frequenzbänder, für die Koaxialpaare eingesetzt wurden. Wirtschaftlichkeitsüberlegungen führten zur Verminderung der Abmessungen der Koaxialpaare bis zur Entstehung des Klein-Koaxialpaares 1,2/4,4 mm. Aus der Theorie der Nachrichtenübertragung über Koaxialpaare werden die mechanischen Anforderungen an Klein-Koaxialpaare hergeleitet, die ausserordentlich hohe Präzision in der Fertigungstechnik verlangen. Diese Anforderungen werden erfüllt bei Klein-Koaxialpaaren mit im Spritzguss direkt auf den Innenleiter aufgetragenen Isolierscheiben. Die Fertigungseinrichtungen für solche Klein-Koaxialpaare werden im einzelnen beschrieben. Es wird gezeigt, wie die Fertigungsgeschwindigkeit gesteigert werden konnte. Die elektrischen Eigenschaften der so hergestellten Klein-Koaxialpaare erlauben einen Einsatz bei höheren Frequenzen als ursprünglich zu erwarten war. Auf weitere Entwicklungsmöglichkeiten wird hingewiesen.

Une demande croissante de canaux de télécommunication a conduit à la transmission par fréquence porteuse aux bandes de fréquence larges, pour laquelle on se sert de paires coaxiales. Des considérations économiques ont causé une diminution des dimensions de paires coaxiales qui résultait dans le développement des paires coaxiales à petit diamètre de 1,2/4,4 mm. De la théorie de transmission électrique de signaux sont déduites les réquisitions mécaniques à être demandées des paires coaxiales à petit diamètre qui exigent une grande précision dans la technique de fabrication. Ces réquisitions sont remplies dans les paires coaxiales à petit diamètre à disques isolants appliqués directement au conducteur central par moulage à injection. Les équipements de production sont décrits en détail. On y démontre de quelle manière on est arrivé à accélérer la vitesse de production. Les caractéristiques électriques des paires coaxiales à petit diamètre, ainsi obtenues, permettent l'usage à des fréquences plus élevées qu'on n'a pensé possible primitivement. Des possibilités de développement ultérieures sont indiquées.

1. Entstehung des Klein-Koaxialpaares

Zur elektrischen Nachrichten-Übertragung wurden ursprünglich symmetrische Leitungen benützt. Hinleiter und Rückleiter bestehen dabei aus je einem Metalldraht. Die beiden Drähte werden durch isolierende Konstruktionsteile im gleichen Abstand zueinander gehalten. Bei Kabeln bestand der Isolations-Werkstoff aus getrocknetem Papier.

Mit dem Steigen des Nachrichtenverkehrs wuchs die Nachfrage nach Verbindungswegen in einem solchen Masse, dass es wirtschaftlich unmöglich wurde, für jede Verbindung ein solches symmetrisches Aderpaar zur Verfügung zu stellen. Mit der Entwicklung der Verstärker- und Filtertechnik ergab sich jedoch die Möglichkeit, die einzelnen Verbindungswege mehrfach auszunützen. Die so entstehende Trägerfrequenz-Technik verlangte eine Übertragung der Nachrichten-Signale bei immer höheren Frequenzen. Hier ergab sich eine Grenze für die Verwendbarkeit der papierisolierten symmetrischen Fernsprechpaare von Kabeln. Die Dämpfung der übertragenen Leistung nimmt nämlich bei Erhöhung der übertragenen Frequenz schon bei immer kürzeren Kabellängen so hohe Werte an, dass sie das empfangene Signal in das Niveau der unvermeidlichen Störsignale herabdrückt. Diese Störsignale entstehen einmal durch äussere Einflüsse, vor allem aber durch das physikalisch bedingte thermische Rauschen eines stromdurchflossenen metallischen Leiters.

Zunächst wurden die symmetrischen Leitungspaare durch Kunstgriffe entdämpft. Die Leistungsdämpfung einer Übertragungsleitung wird gekennzeichnet durch das Dämpfungs-

mass A [1]¹⁾. Ist R' der Ohmsche Widerstand des Hin- und Rückleiters pro Längeneinheit (Widerstandsbelag) und G' die durch die endliche Isolationsfähigkeit des Isolationsmaterials bewirkte Ohmsche Ableitung (Ableitungsbelag) zwischen Hin- und Rückleiter, so ist bei Übertragungsleitungen mit guter Annäherung:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{R'}{Z} + \frac{1}{2} G' Z \quad (1)$$

In dieser Gleichung ist der Wellenwiderstand Z eine Kenngrösse der Übertragungsleitung, die sich, wiederum mit guter Annäherung, aus der Induktivität der Leiterschleife (Induktivitätsbelag) L' und der Kapazität (Kapazitätsbelag) C' von Hinleiter zu Rückleiter, beides wiederum auf die Längeneinheit bezogen, ergibt:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad (2)$$

Bei gut isolierten Übertragungsleitungen besteht insofern ein Missverhältnis in der Gl. (1), als das erste Glied, das durch den Ohmschen Widerstand bestimmt wird, wesentlich grösser ist als das zweite Glied. Durch Erhöhung der Induktivität L' der Leitung wird die Grösse des zweiten Gliedes weniger erhöht als der Verringerung der Grösse des ersten Gliedes entspricht, so dass die Gesamtdämpfung bei richtiger Bemessung kleiner wird (Pupinisierung). Bei einer bestimmten Frequenz tritt jedoch Resonanz zwischen Kapazität und Induktivität ein, die ein steiles Ansteigen der Dämpfung zur Folge hat. Die Leitung wird zum Tiefpass, der die Signalleistung bis zu dieser Grenze zwar verhältnismässig dämpfungsarm überträgt, oberhalb dieser jedoch eine Übertragung praktisch unmöglich macht.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Weiterhin wurde versucht, durch Verwendung verbesserten Isolationsmaterials die symmetrische Leitung noch mehr zu entdämpfen. Ein solches Material entstand in den dreissiger Jahren, vornehmlich durch die Entwicklungsarbeiten von H. Horn [2], im Polyvinylbenzol oder Polystyrol, das durch Verstrecken zu biegefähigen Folien und Fäden verarbeitet wurde.

Nunmehr war die Grenze der Anwendbarkeit der symmetrischen Leitung zur Nachrichten-Übertragung bei möglichst hohen Frequenzen erreicht: Der Widerstandsbelag R' konnte nur durch Verwendung stärkerer Metalladern vermindert werden. Diese sind aber der kostenintensivste Bestandteil der Leitung, so dass dieser Weg ausschied. Der Ableitungsbelag G' konnte nicht mehr weiter vermindert werden, da das gereckte Polystyrol in seinen dielektrischen Eigenschaften nicht mehr übertroffen werden konnte. Die künstliche Erhöhung des Induktivitätsbelages L' erbrachte eine unerwünschte Begrenzung des zu übertragenden Frequenzbereiches.

Die Entwicklung war daher zunächst zu immer schwerer induktivitätsbelasteten Leitungen gegangen. Mit der Verbesserung der Verstärkertechnik erwies es sich als zweckmässig, eine geringere Entdämpfung im Übertragungsbereich in Kauf zu nehmen, dafür aber die Grenzfrequenz höher zu schieben. Die Entwicklung ging also zu leichter belasteten Leitungen zurück.

Die entscheidende Wendung brachte die Einführung des Fernsehbetriebes [3]. Damit nämlich entstand die Notwendigkeit, die Fernsehsignale, die ein breites Frequenzband erfordern, auch über Kabel zu übertragen. Versuche, diese Aufgabe mit Hilfe von symmetrischen Übertragungselementen zu lösen, scheiterten [4]. Die Lösung wurde in der Verwendung der koaxialen Anordnung von Hin- und Rücklei-

$$g = \frac{1}{\sqrt{\pi \kappa \mu f}}$$

Der galvanische Strom im Koaxialleiter fliesst also gewissermassen in zwei Röhren von der Dicke g , deren eine durch die Aussenschicht des Innenleiters und deren andere durch die Innenschicht des Aussenleiters gebildet wird. Pro Längeneinheit ergibt sich annähernd der Widerstand:

$$R' = \frac{1}{\pi \kappa g} \left(\frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_e} \right) \quad (3)$$

Die Ohmsche Ableitung wird bestimmt durch den dielektrischen Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ des Isolationsmaterials, durch die Kapazität C' von Innenleiter zu Aussenleiter und durch die Frequenz f . Sie beträgt:

$$G' = \text{tg } \delta \cdot 2 \pi f C' \quad (4)$$

Der Kapazitätsbelag C' wird wiederum durch eine Stoffkonstante des Isoliermaterials, nämlich die relative Dielektrizitätskonstante ϵ bestimmt. ϵ_0 ist die Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes. Es ist:

$$C' = \frac{2 \pi \epsilon \epsilon_0}{\ln \frac{d_i}{d_e}} \quad (5)$$

Schliesslich ergibt sich die Induktivität pro Längeneinheit (Induktivitätsbelag) L' , wenn μ_0 die Permeabilität der Luft oder eines Nichteisenmetalles ist:

$$L' = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \frac{d_i}{d_e} \quad (6)$$

Damit wird nach Einsetzen der Konstanten μ_0 und ϵ_0 der Wellenwiderstand:

$$Z = 60 \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \ln \frac{d_i}{d_e} \quad (7)$$

Bei gleichem Leitermaterial für Innen- und Aussenleiter ergibt sich [5] für das Koaxialkabel eine optimale Dämpfung, wenn:

$$\frac{d_i}{d_e} = 3,6$$

Das ergibt für ein Dielektrikum, das nur aus Luft besteht, einen Wellenwiderstand:

$$Z = 76,8 \Omega$$

Luft hat nämlich die kleinstmögliche relative Dielektrizitätskonstante $\epsilon = 1$. Bei koaxialen Hochfrequenzkabeln wird angestrebt, dass das Dielektrikum eine niedrige Dielektrizitätskonstante ϵ zwischen Innen- und Aussenleiter hat und daher möglichst viel Luft enthält. Dann ist aber das wirksame ϵ nur wenig verschieden von 1. Aus diesen Gründen wurde der Wellenwiderstand für koaxiale Leitungen genormt [6] mit:

$$Z = 75 \Omega$$

Liegt somit das Durchmesser Verhältnis d_i/d_e fest, so kann aus Gl. (1) abgelesen werden, welche Forderungen an eine koaxiale Leitung gestellt werden müssen, damit sie ein möglichst breites Frequenzband überträgt.

Zunächst ist R' möglichst klein zu halten. Aus Gl. (3) geht hervor, dass diese Forderung um so besser erfüllt wird, je grösser der Gesamtdurchmesser der koaxialen Leitung ist, da die Eindringtiefe g mit der Frequenz abnimmt und damit das R' erhöht. Die ersten Koaxialleitungen, damals Breitbandleitungen genannt, wurden daher 1935 aus einem Innenleiter von 5 mm Durchmesser und einem Aussenleiter von 18 mm Durchmesser hergestellt.

34'555
34'461-479

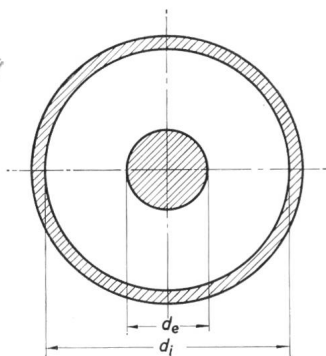


Fig. 1
Koaxialpaar

d_e Aussendurchmesser des Innenleiters; d_i Innendurchmesser des Aussenleiters

ter gefunden. Fig. 1 zeigt schematisch einen solchen Koaxialleiter. d_i ist der Innendurchmesser des Aussenleiters, d_e der Aussendurchmesser des Innenleiters. Innen- und Aussenleiter werden durch eine Konstruktion aus dielektrischem Material konzentrisch in konstantem Abstand zueinander gehalten. Der Strom fliesst infolge des Stromverdrängungseffektes nur in einer Oberflächenschicht der beiden Leiter. Die Tiefe dieser Schicht kann als das Mass angenommen werden, bei dem die dielektrische Feldstärke auf den e-ten Teil ihres Wertes an der Leiteroberfläche gesunken ist. Sie beträgt, wenn κ die Gleichstromleitfähigkeit des Materials, μ seine magnetische Permeabilität und f die Frequenz ist:

Das zweite Glied der Gl. (1) ist direkt proportional dem Verlustfaktor der Isolation $\text{tg } \delta$. Für Luft ist $\text{tg } \delta = 0$. Daher besteht auch hier die Forderung, dass die Isolation möglichst viel Luft enthält. Das Isoliermaterial muss aber an sich einen kleinen Verlustfaktor haben.

Entsprechend diesen Forderungen, die sich aus der Theorie des Koaxialleiters ergeben, vollzog sich die Entwicklung des Koaxialpaares. Für das genannte erste Breitbandkabel wurden im wesentlichen zwei Arten von Isolationskonstruktionen verwendet. Die erste bestand aus in verhältnismässig grossem Abstand zwischen Innen- und Aussenleiter angeordneten Scheiben aus verlustarmem keramischem Material [7]. Sie wurden auf den Innenleiter aufgesetzt und durch Sicken im Aussenleiter gehalten. Diese Sicken verliehen dem Aussenleiter gleichzeitig die bei der Verwendung des Kabels erforderliche und bei einem glatten Rohr nicht ohne weiteres gegebene Biegefähigkeit.

Bei der zweiten Ausführung wurde als Isoliermaterial zwischen Innen- und Aussenleiter verstrecktes Polystyrol verwendet. Ein Polystyrolfaden wurde mit einem oder mehreren weiteren Polystyrolfäden wendelförmig umwickelt. Die so entstehende Kombinationskordel wurde wendelförmig als Abstandshalter zwischen Innen- und Aussenleiter angeordnet. Der Aussenleiter wurde zur Erzielung ausreichender Biegefähigkeit ebenfalls gesickt.

Ein grundsätzlicher Vergleich der beiden Isolationskonstruktionen zeigt, dass die wendelförmige Konstruktion längshomogen ist und daher dem Aussenleiter gegenüber dem Innenleiter auf die ganze Länge der Leitung eine mechanisch feste Stützung verleiht. Auch ist sie in herkömmlicher Kabeltechnik kontinuierlich herzustellen. Die Scheibenkonstruktion ist dagegen im Grunde eine Brückenkonstruktion, bei der die Abstützung des Innenleiters gegenüber dem Aussenleiter nur in bestimmten Abständen erfolgt. Die Praxis zeigt jedoch, dass bei einer Scheibenkonstruktion weniger Isoliermaterial notwendig ist, um ausreichende mechanische Eigenschaften zu erzielen, als bei der Wendelkonstruktion. Die Scheibenkonstruktion ist daher elektrisch überlegen, da mit ihr eine kleinere wirksame Dielektrizitätskonstante und ein kleinerer wirksamer Verlustfaktor zu erreichen ist.

Während des zweiten Weltkrieges wurde das Polyäthylen als neuer Isolierstoff entwickelt. Polyäthylen hat etwa die gleichen elektrischen Eigenschaften wie Polystyrol, ist aber von Natur aus flexibel, während das Polystyrol ohne Verstreckung glashart ist. Auch ist Polyäthylen einfacher und sicherer zu verarbeiten als Polystyrol.

Die weitere Entwicklung des Koaxialpaares, die im wesentlichen in England und Amerika durchgeführt wurde [8], endete daher in einer Isolationskonstruktion aus Polyäthylen. Geschlitzte Scheiben aus Isoliermaterial (Polyäthylen, in einigen Sonderfällen Polystyrol) mit einer zentrischen Bohrung wurden auf den Innenleiter aufgesteckt. Der Aussenleiter war dagegen aus einem längslaufenden Band gebildet, das um den isolierten Innenleiter gefaltet wurde. Das so gebildete Rohr wurde durch eine Bewicklung aus Metallbändern zusammengehalten.

Der Durchmesser des ursprünglichen Breitbandkabels erwies sich als zu unhandlich. Die entstehenden Kabelgebilde bekamen eine unwirtschaftliche Grösse. Daher wurde der Durchmesser des Koaxialpaares schrittweise vermindert,

bis sich schliesslich als vorläufiges Optimum die Abmessungen 2,6 mm Durchmesser für den Innenleiter und 9,5 mm Durchmesser für den Aussenleiter herausbildeten. Das Koaxialpaar 2,6/9,5 mm wurde genormt [6]. Die Herstellungstechnik derartiger Koaxialpaare wurde im Laufe der Jahre verfeinert. Ein besonderer Fortschritt wurde erzielt, als es gelang, die Polyäthylen-Isolierscheiben im Spritzgussverfahren direkt auf den Innenleiter aufzubringen. Gegenüber den aufgesteckten Scheiben sind aufgespritzte Scheiben masshaltiger und haben einen festeren Sitz auf dem Innenleiter.

Für die Bewicklung des Aussenleiters wurde am Anfang Kupferband verwendet. Die entstehenden Koaxialpaare waren aber so biegsam, dass ohne Schwierigkeiten mehrere von ihnen zu vielpaarigen Kabeln verseilt werden konnten. Dabei war es notwendig, die gegenseitige Beeinflussung der über die einzelnen Paare übertragenen Nachrichtensignale auszuschalten. Dadurch, dass für die Bewicklung Bänder aus magnetisch weichem Eisen verwendet wurden, konnte



Fig. 2
Fernkabel Sydney-Melbourne mit 6 Koaxialpaaren 2,6/9,5 mm

diese Forderung erfüllt werden. Fig. 2 zeigt als Beispiel ein Fernkabel, das aus sechs Koaxialpaaren 2,6/9,5 mm aufgebaut ist. Die sich bei der Verseilung ergebenden Zwischenräume zwischen den Koaxialpaaren sind durch Verseilelemente ausgefüllt, die in herkömmlicher Technik aus papierisolierten symmetrischen Leitungen aufgebaut sind. Diese dienen als Dienst- und Überwachungsleitungen für die Kabelstrecke [9; 10].

Es lag nahe, zu versuchen, die Abmessungen des Koaxialpaares weiter zu vermindern, um Kabel aufbauen zu können, die noch kleinere und wirtschaftlichere Abmessungen bekämen oder aber, um noch mehr Koaxialpaare gleichzeitig verwenden zu können.

Die Gl. (1) und (2) zeigen, dass dabei der durch den Ohmschen Widerstand bewirkte Dämpfungsanteil steigen muss. Die Verstärkerabstände müssen also verkleinert werden. Doch ergibt eine Wirtschaftlichkeitsberechnung in vielen Fällen, dass die Einsparungen an Kabelkosten den höheren Aufwand an Verstärkern aufwiegen.

Ab 1955 wurde von verschiedenen Herstellern in aller Welt mit der Entwicklung eines kleinen Koaxialpaares begonnen. Da die Vereinheitlichung und Normung des Ko-

axialpaares 2,6/9,5 mm sehr gute Ergebnisse gezeigt hat, wurde auch für diesen Typ verhältnismässig schnell Einigung über die Abmessungen erzielt. Der Innenleiter bekam 1,2 mm Durchmesser, der Aussenleiter 4,4 mm Durchmesser. Weitgehend gingen dagegen die Ansichten über die zweckmässigste Isolation auseinander.

Es erschien zunächst ausser Frage, dass eine Scheibenisolation wie bei dem grossen Koaxialpaar nicht anwendbar sei. Dies ist erklärlich, da die meisten Hersteller der grossen Koaxialpaare noch immer das Verfahren anwandten, bei dem geschlitzte Scheiben auf den Innenleiter aufgesteckt werden, was bei den kleinen Koaxialpaaren sehr problematisch gewesen wäre. Doch war inzwischen eine neue technologische Möglichkeit dadurch entstanden, dass es gelang, Polyäthylen-Isolationen schaumförmig, also von Natur aus stark lufthaltig und dabei in einem kontinuierlichen Herstellungsverfahren auf einen Innenleiter aufzubringen. In dieser Technik wurden brauchbare Klein-Koaxialpaare hergestellt und eingesetzt [11]. Weiterhin war es möglich, die Isolation in bekannter Form mittels einer Wendel aus verstrecktem Polystyrol oder Polyäthylen herzustellen [12].

Den wohl originellsten Weg fand eine französische Firma in Gestalt der Ballon-Isolation [13]. Ein Polyäthylen-Schlauch, dessen Aussendurchmesser etwa dem Innendurchmesser des Aussenleiters entspricht, wird in einer Schneckenpresse kontinuierlich über dem Innenleiter extrudiert. Eine Vorrichtung quetscht diesen noch warmen Schlauch aber in regelmässigen Abständen kurz so zusammen, dass er den Innenleiter fest umhüllt. Durch Einblasen einer richtig dosierten Luftmenge durch den Spritzkopf in das Innere des Schlauches wird dafür gesorgt, dass er bis zum Erkalten ballonartig zwischen diesen Quetschstellen stehen bleibt, in welcher Form er schliesslich erstarrt. Eine dem Extrusionsprinzip nah verwandte Konstruktion wurde in England entwickelt.

Die besten elektrischen Ergebnisse erbrachte schliesslich doch wieder die Scheibenkonstruktion. Diejenigen Hersteller, die bereits Erfahrungen besaßen mit dem direkten Aufbringen der Isolierscheiben von grossen Koaxialpaaren im Spritzgussverfahren, versuchten, dieses Verfahren auch für die Klein-Koaxialpaare anzuwenden. Es erscheint heute selbstverständlich, dass das gelang. Trotzdem war dies zunächst erstaunlich, wenn die mechanischen Anforderungen berücksichtigt werden, die an die Klein-Koaxialpaare gestellt werden mussten.

2. Anforderungen an Klein-Koaxialpaare

Die Probleme der Fertigung von Klein-Koaxialpaaren liegen ganz allgemein darin begründet, dass die heute üblichen Forderungen an die Konstanz des Wellenwiderstandes mit erreichbaren mechanischen Fertigungstoleranzen nur schwer zu erfüllen sind. Ändert sich an irgendeiner Stelle einer Verbindung der Wellenwiderstand Z , so entsteht an dieser Stelle eine Reflexion der in Form einer Welle durch die Verbindung transportierten Energie. Eine reflektierte Welle läuft zum Ausgangspunkt zurück und überlagert sich mit der vorlaufenden Welle. Einerseits geht auf diese Weise ein Teil der vorwärts zu transportierenden Energie verloren, andererseits ergeben sich Phasenverschiebungen und Verzerrungen des zu übertragenden Signals, die zu Übertragungsstörungen führen. Der Energieverlust durch Reflexion wirkt

sich praktisch wie eine Erhöhung der Dämpfung aus. Alle Änderungen des Wellenwiderstandes Z , insbesondere sprunghafte Änderungen, sind daher im Zuge einer Nachrichtenverbindung möglichst zu vermeiden.

Beim Koaxialpaar kommt es zunächst darauf an, dass der Wellenwiderstand am Anfang und am Ende dem Sollwert entspricht, damit beim Anschalten an die Geräte der Sende- und Empfangsseite und an die Zwischenverstärker, die ebenfalls mit dem Sollwert von Z abgeschlossen sind, keine Wellenwiderstandssprünge entstehen. Weiterhin aber sollen auch innerhalb der einzelnen Fertigungslängen der Koaxialpaare möglichst keine Änderungen oder Schwankungen von Z auftreten.

Das Mass für den Einfluss einer Reflexionsstelle ist der Reflexionsfaktor r . Hat eine koaxiale Leitung beispielsweise bis zu einem bestimmten Punkte den Wellenwiderstand Z_1 und springt dieser Wellenwiderstand hier plötzlich auf Z_2 , so beträgt der Reflexionsfaktor:

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Nach Gl. (7) ist Z aber abhängig von der Dielektrizitätskonstante ϵ und von den geometrischen Massen des Koaxialpaares d_i und d_e . Dabei kann praktisch unterstellt werden, dass die Konzentrität des Querschnittes überall gewahrt bleibt. ϵ hängt von der Homogenität des Isoliermaterials, von der Breite, dem Durchmesser und dem Abstand der Isolierscheiben ab.

Beim Verfahren des direkten Aufspritzen der Isolierscheiben auf den Innenleiter hängen die Abmessungen der Isolierscheiben von der Präzision der Spritzgussform ab. Wegen des starken Luftanteiles der Isolation gewährleistet dieses Verfahren daher am besten deren Homogenität und Abmessungen.

Am stärksten wirkt sich die Gleichmässigkeit des Innenleiters auf das Reflexionsverhalten des Koaxialpaares aus. Angenommen, der Innenleiter habe zunächst über eine gewisse Länge den Aussendurchmesser d_e und springe sodann auf den Aussendurchmesser $d_e + \Delta d_e$ so ist, wenn K eine Konstante ist, vor der Sprungstelle:

$$Z_1 = K \ln \frac{d_i}{d_e}$$

und hinter der Sprungstelle:

$$Z_2 = K \ln \frac{d_i}{d_e + \Delta d_e}$$

Dann beträgt der Wellenwiderstandssprung mit ausreichender Genauigkeit

$$Z_1 - Z_2 = \Delta Z = \frac{Z_1}{\ln \frac{d_i}{d_e}} \cdot \frac{\Delta d_e}{d_e}$$

Für $Z_1 = 75 \Omega$, $d_i = 4,4$ mm und $d_e = 1,2$ mm ergibt dies einen Wellenwiderstandssprung von:

$$\Delta Z = 48,1 \Delta d_e \left[\frac{\Omega}{\text{mm}} \right]$$

Das bedeutet einen Reflexionsfaktor von:

$$r = \frac{\Delta Z}{2 Z_1} = \frac{1}{2 d_e \ln \frac{d_i}{d_e}} \cdot \Delta d_e \quad [\text{mm}^{-1}]$$

und mit den Abmessungen $d_e = 1,2$ mm und $d_i = 4,4$ mm:

$$r = 0,32 \Delta d_e \quad [\text{mm}^{-1}]$$

Beträgt der Durchmessersprung des Innenleiters also beispielsweise nur 0,002 mm, so beträgt der Wellenwiderstandssprung 0,1 Ω und der daraus resultierende Reflexionsfaktor 0,6 ‰.

Der Aussenleiter wird aus einem Band geformt. Hat dieses Band eine Breite b und ändert sich diese Breite an einer Stelle um den Betrag Δb , so ergibt eine ähnliche Rechnung eine Änderung des Wellenwiderstandes von:

$$\Delta Z = \frac{Z_1}{\ln \frac{d_i}{d_e}} \cdot \frac{\Delta b}{\pi d_i} = 4,2 \Delta b \quad \left[\frac{\Omega}{\text{mm}} \right]$$

und einen Reflexionsfaktor von:

$$r = \frac{\Delta b}{2L \ln \frac{d_i}{d_e} \pi d_i} = 0,028 \Delta b \quad [\text{mm}^{-1}]$$

Eine Änderung in der Breite des Bandes von 0,02 mm bewirkt also eine Änderung des Wellenwiderstandes von 0,1 Ω und einen Reflexionsfaktor von 0,6 ‰.

Ändert sich die Dicke des Aussenleiterbandes an einer Stelle um den Betrag Δg , so ergibt sich, wenn die Aussenleiterdurchmesser von Aussenleiter und Innenleiter konstant bleiben, ein Wellenwiderstandssprung von:

$$\Delta Z = \frac{Z_1}{\ln \frac{d_i}{d_e}} \cdot \frac{2 \Delta g}{d_i} = 26,2 \Delta g \quad \left[\frac{\Omega}{\text{mm}} \right]$$

und ein Reflexionsfaktor von:

$$r = \frac{\Delta g}{d_i \ln \frac{d_i}{d_e}} = 0,17 \Delta g \quad [\text{mm}^{-1}]$$

Eine Dickenänderung des Aussenleiterbandes von 0,004 mm bewirkt einen Wellenwiderstandssprung von 0,1 Ω und einen Reflexionsfaktor von 0,6 ‰. Eine Änderung im Durchmesser der Isolierscheiben von 0,008 mm hat die gleiche Folge.

Eine systematische Entwicklung ergab ein Koaxialpaar mit folgendem Aufbau (Fig. 3):

Innenleiter: Kupferdraht 1,2 mm Durchmesser,
Isolation: Aufgespritzte Polyäthylenscheiben 4,36 mm Durchmesser, 1 mm stark, Abstand voneinander 18 mm,
Bewicklung: Längsgefaltete Polyesterfolie 0,02 mm stark,

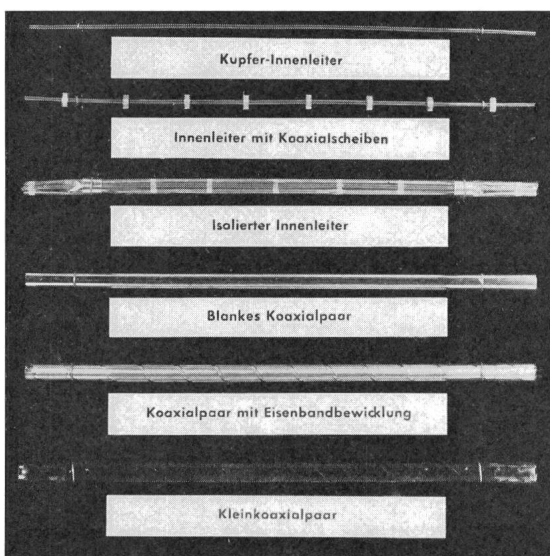


Fig. 3
Klein-Koaxialpaar

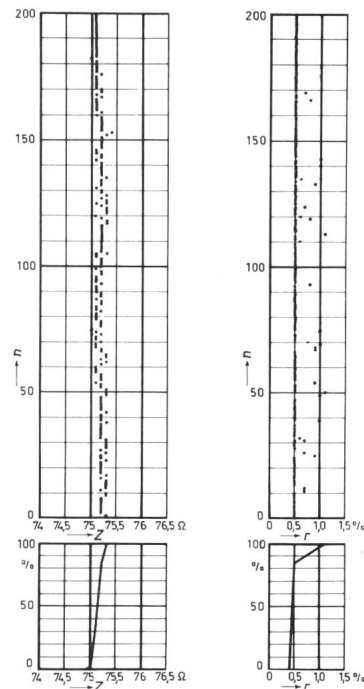


Fig. 4

Ausschnitt aus der Produktionsstatistik von Koaxialpaaren 2,6/9,5 mm
 n Zahl der Koaxialpaare; Z Wellenwiderstand; r Reflexionsfaktor

Aussenleiter: Kupferband 0,18 mm stark,
Bewicklung: Zwei Weicheisenbänder $8 \times 0,13$ mm im Gegenschlag,
Darüber äussere Bewicklung aus Papier oder Folie.

Die Abmessungen von Innen- und Aussenleiter und Isolierscheiben ergeben sich aus der Forderung, dass der Wellenwiderstand 75 Ω betragen musste. Die Folienbewicklung unterhalb des Aussenleiters dient zur Erhöhung der Spannungsfestigkeit. Diese wäre ohne solche zusätzliche Isolierschicht wegen des kleinen Radius des Innenleiters nicht gross genug für die Erfordernisse der Praxis.

Eingehende Versuche zeigten, dass die magnetische Schirmwirkung der Eisenbänder grösser ist, wenn sie kreuzweise geschlagen, als wenn sie gleichsinnig aufgebracht werden.

Für die Art der Aussenbewicklung ist die Art des Einsatzes des Koaxialpaares massgebend.

Sollen also innerhalb des Koaxialpaares keine Reflexionen auftreten, die grösser sind als 0,6 ‰, so muss der Innenleiter auf $1,20 \pm 0,001$ mm gezogen werden. Das Aussenleiterband muss auf seine ganze Länge die Abmessungen $0,180 \pm 0,002$ mm haben und es muss in einer Breite von $14,39 \pm 0,01$ mm geschnitten sein. Die Isolierscheiben müssen den Durchmesser $4,360 \pm 0,004$ mm haben.

Es ist aus diesen Betrachtungen der Anforderungen an die mechanischen Toleranzen erklärlich, dass die Kleinkoaxialpaare, die mit einer Isolation aus Schaum-Polyäthylen versehen waren, Reflexionsfaktoren aufwiesen, die bis zu Werten zwischen 5 und 10 ‰ hatten, da es nicht möglich ist, im Extrusionsverfahren genauer zu arbeiten. Nicht wesentlich besser verhielten sich die mit Polystyrol-Fäden isolierten Kleinkoaxialpaare. Günstiger dagegen lagen die Werte der Koaxialpaare mit Ballon-Isolation, bei denen Reflexionswerte zwischen 1 und 2 ‰ erzielt wurden.

Eine weitere Verbesserung musste erreicht werden, wenn es gelang, das Spritzgussverfahren für Kleinkoaxialpaare anzuwenden. Dieses Verfahren liefert nämlich die beste Ge-

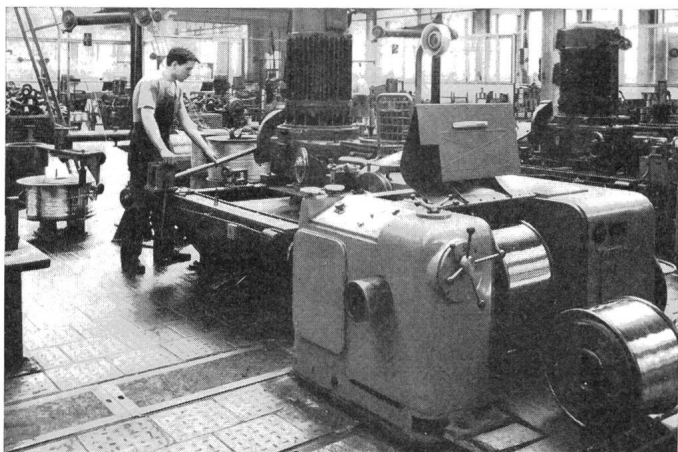


Fig. 5
Ziehmaschine

währ für Homogenität der Isolierung und für enge Durchmesser-toleranzen derselben.

3. Klein-Koaxialpaare mit Scheibenisolation im Spritzgussverfahren

Fig. 4 zeigt einen Ausschnitt aus der Produktions-Statistik von grossen Koaxialpaaren 2,6/9,5 mm. In der oberen Darstellung sind die Werte des Wellenwiderstandes Z und des Reflexionsfaktors r dargestellt, gemessen an einer wahllos herausgegriffenen Fertigungsserie von 200 Koaxialpaaren. Darunter ist die jeweils aus diesen Werten sich ergebende Summenkurve angegeben. Die sehr geringe Streuung der Reflexionswerte und der Wellenwiderstandswerte ist zu erkennen. Beim Spritzgussverfahren werden jedoch jeweils eine Anzahl Scheiben auf eine Anzahl Drähte gleichzeitig aufgebracht. Dabei werden die Innenleiterdrähte in der Spritzgussform eingeklemmt. Es musste auch beim Klein-koaxialpaar sichergestellt werden, dass bei diesem Einklemmen keine Verformung des kleineren Innenleiterdrahtes auftrat, die ausserhalb des Toleranzmasses lag.

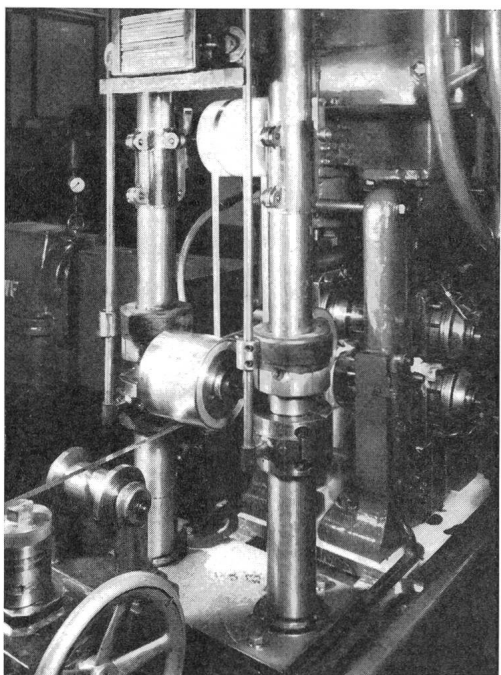


Fig. 6
Walzwerk

Die Scheiben werden in Förmchen gespritzt, die nach Beendigung des Spritzvorganges geöffnet werden müssen, um den isolierten Draht freizugeben. Es musste sichergestellt werden, dass diese Förmchen, die daher zweiteilig sein mussten, sicher und nahtlos schlossen, um stets gleiche Scheibendurchmesser und sauberen Spritzguss zu gewährleisten. Der Abstand der Scheiben, die während eines Spritzgussvorganges aufgebracht wurden, war durch die Form gegeben. Die Vorschubeinrichtung musste aber auch so präzise arbeiten, dass zwischen der letzten Scheibe eines Spritzgussvorganges und der ersten Scheibe des nächsten Spritzgussvorganges genau der gleiche Abstand blieb, wie von Scheibe zu Scheibe innerhalb der Spritzgussform.

Durch ein ruckfreies Abfließen des Drahtes von der Vorrattrommel und durch ein ebenso ruckfreies Aufwickeln des isolierten Leiters nach dem Spritzgussvorgang musste dafür gesorgt werden, dass weder der Draht gereckt wurde,

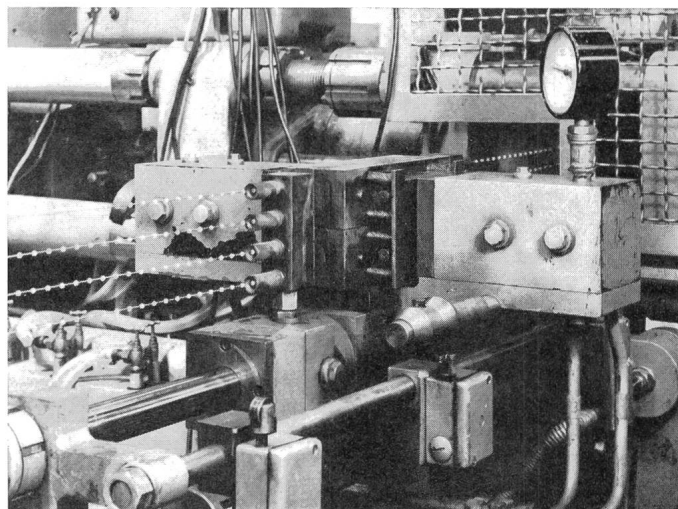


Fig. 7
Spritzgusswerkzeug für Klein-Koaxialpaare

noch ein Ausziehen aus der Spritzgussform oder aus der Vorschubeinrichtung eintrat, durch das die Gleichmässigkeit des Scheibenabstandes gestört werden würde.

Diese Forderungen wurden in den Fertigungseinrichtungen für Klein-Koaxialpaare verwirklicht.

4. Fertigungseinrichtungen für die Herstellung von scheibenisolierten Klein-Koaxialpaaren im Spritzgussverfahren

Fig. 5 zeigt die Ziehmaschine, in welcher der Innenleiterdraht auf seinen Enddurchmesser gezogen wird. In Fig. 6 ist das Walzwerk dargestellt, auf dem das Aussenleiterband auf Breite geschnitten und kalibriert wird.

Einen Einblick in das Spritzgusswerkzeug und auf den Vorschubapparat einer Spritzgussanlage gewährt Fig. 7. Die Spritzgussanlage arbeitet ölydraulisch und vollautomatisch nach dem folgenden Schema:

1. Das Spritzgusswerkzeug schliesst sich. Es klemmt die Drähte fest und schliesst die Förmchen.

2. Der Spritzkolben geht vor und presst eine vordosierte, aufgeschmolzene Menge Polyäthylen in die Förmchen. Das Material fliesst dabei zunächst aus der Spritzdüse durch die Form hindurch, verteilt sich hier in einer Verteilerspinne, deren Abguss Fig. 8 zeigt, und wird sodann durch feine Öffnungen, die sich an der Flanke der Scheibchen, nahe am Aussenrand, befinden, in die Scheibenförmchen befördert. Gleichzeitig öffnen sich die Klemmbacken des Vorschubapparates.

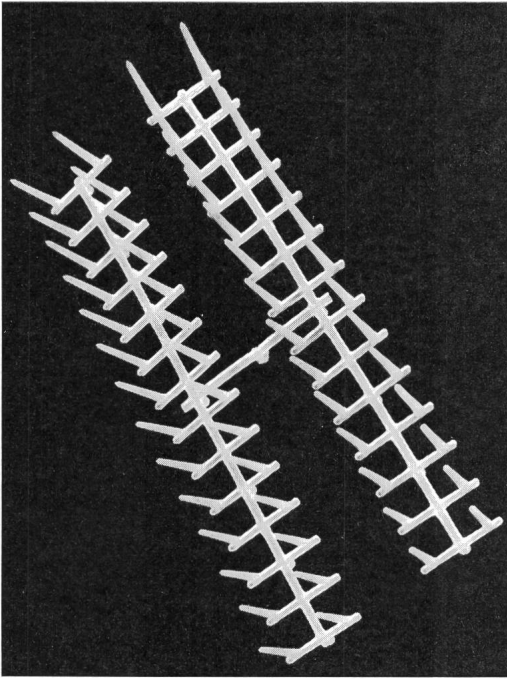


Fig. 8

Außspinne des Spritzgusswerkzeuges für Klein-Koaxialpaare

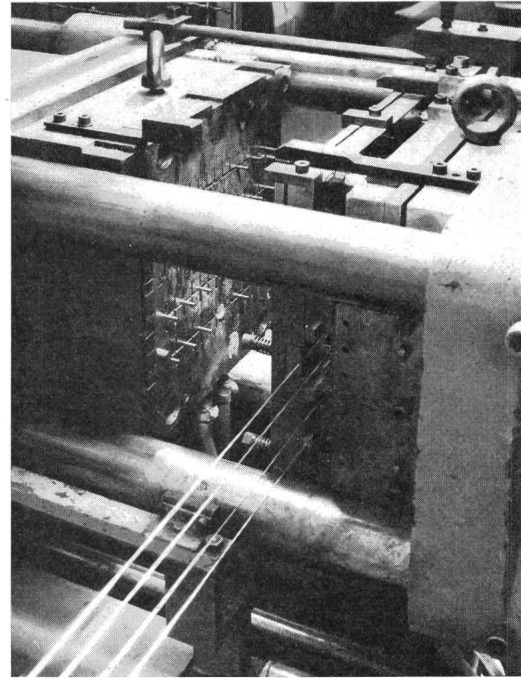


Fig. 10

Spritzgussform für 8 Klein-Koaxialpaare

3. Das Spritzgusswerkzeug bleibt zunächst geschlossen. Der Spritzkolben übt einen Nachdruck aus, damit die Förmchen sicher ausgefüllt sind. Gleichzeitig läuft der Vorschubapparat zurück.

4. Das Spritzgusswerkzeug bleibt weiter geschlossen, die Klemmböcken des Vorschubapparates schliessen sich wieder.

5. Der Spritzkolben geht zurück. In der wassergekühlten Spritzgussform kühlen die Scheibchen und die Angußspinne schnell ab.

6. Das Spritzgusswerkzeug öffnet sich, die Scheibchen werden aus der Form ausgestossen und werden dadurch mitsamt den Drähten frei. Die Angußspinne wird dabei abgerissen und ausgeworfen.

7. Der Vorschubapparat transportiert die umspritzten Drähte durch das Spritzgusswerkzeug hindurch, bis eine weitere Länge Drähte zum neuen Spritzgussvorgang bereit ist.

8. Die Spritzgussform schliesst sich. Sie klemmt die Drähte für den neuen Spritzgussvorgang ein, der sich hierauf wiederholt.

Diese Anlage leistet etwa 5 Schuss pro Minute. Der Abstand der 10 Scheiben untereinander beträgt 18 mm. Insgesamt umspritzt diese Anlage also 4 Drähte \times 180 mm pro Draht und Schuss \times 5 Schuss pro Minute. Das entspricht einer Leistung von 3,6 m/min.

Um diese Leistung zu erhöhen, wurde in einer weiterentwickelten Anlage die Anzahl der Scheibchen, die pro Schuss auf den Einzeldraht aufgebracht werden, auf 14 erhöht. Auch die Drahtzahl wurde verdoppelt. Das ergibt eine Leistung von 8 Drähten \times 252 mm pro Draht und Schuss \times 5 Schuss pro Minute. Die mit dieser Anlage erzielte Leistung beträgt also 10,1 m/min.

Fig. 9 stellt diese Anlage schematisch dar. 8 Ablauftrommeln für die Innenleiterdrähte sind hintereinander aufgestellt. Der einzelne Draht läuft über eine an einem Schwenkarm angeordnete Rolle. Beim Anlaufen des Vorschubapparates hebt der Draht zunächst diese Rolle, die mit einer Federkraft belastet ist. Das Anlaufmoment der verhältnismässig schweren Trommeln wird auf diese Weise abgefedert, so dass der Draht nicht ruckweise beansprucht wird. Hat sich die Trommel in Bewegung gesetzt, so läuft sie solange, bis der Schwenkarm in seine Ausgangsstellung zurückgekehrt ist. Zu diesem Zeitpunkt ist der Vorschubapparat der Spritzgussmaschine bereits wieder zum Stillstand gekommen und der Draht in der Spritzgussform fest eingeklemmt. Auf diese Weise ist für einen weichen, stossfreien Ablauf des Drahtes gesorgt. Eine Führungsrolle für den ersten Draht betätigt das Längenzählwerk. Die Drähte werden sodann in einem Richtapparat gerichtet und laufen in die Spritzgussform ein.

In Fig. 10 ist die geöffnete Spritzgussform gezeigt. Die 112 Einzel-Förmchen, die Elemente zum Justieren und Einklemmen des Drahtes sowie zum Ausheben des umspritzten Drahtes nach dem Spritzgussvorgang sind zu erkennen.

Der Vorschubapparat entspricht Fig. 7 mit dem Unterschied, dass er die Klemmböcken für 8 Drähte aufweist. Beim Vorschub nimmt der Vorschubapparat ein Kurvenlineal mit,

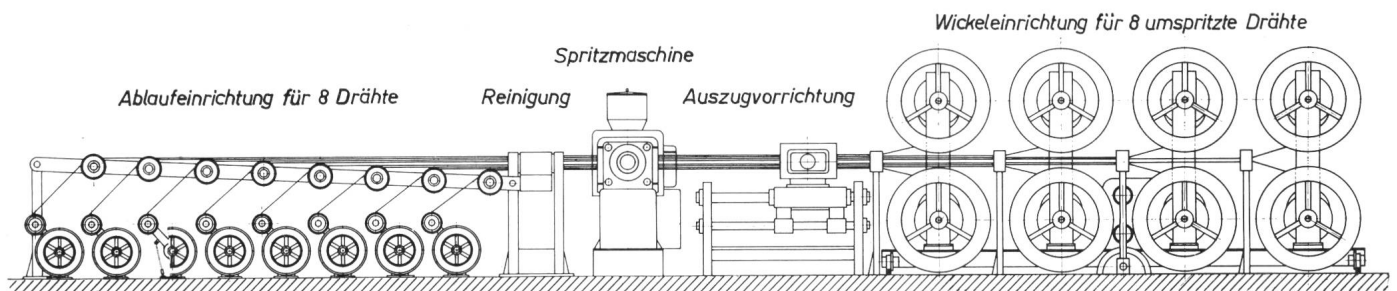


Fig. 9

Spritzgussanlage für 8 Klein-Koaxialpaare

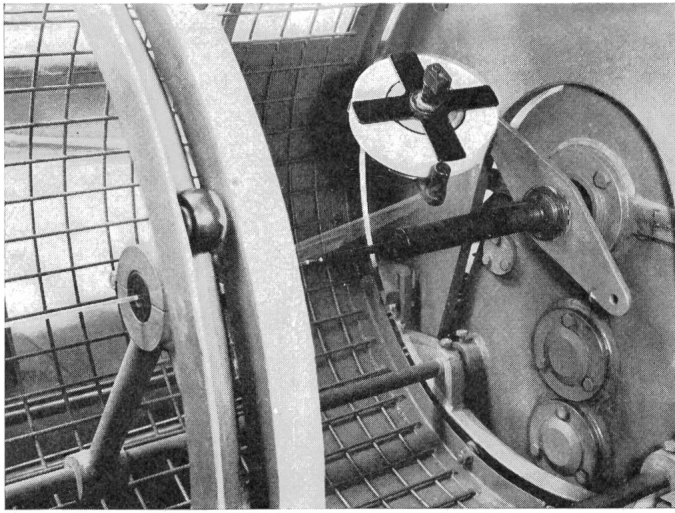


Fig. 11
Folienwickler

auf dem der Betätigungsstößel eines Steuerdrosselventils gleitet. Dieses Ventil steuert den Ölzufluss zu den Betätigungszyklindern des Vorschubes so, dass er gemäss einer Sinus-Kurve anläuft, das Geschwindigkeitsmaximum erreicht und wieder zum Stillstand kommt. Jeder Ruck im Draht wird dadurch wiederum vermieden.

Die 8 Wickeltrommeln für den fertig umspritzten Innenleiter sind in 2 Reihen zu je 4 übereinander angeordnet. Auf jede einzelne von ihnen wird von einem Antriebsmotor über eine Induktions-Kupplung ein einstellbares Drehmoment ausgeübt. Dieses Moment ist so gross, dass es beim Anlaufen des Vorschubapparates das zur Überwindung der Trägheit der Trommel benötigte Anfahrmoment soweit übersteigt, dass der Draht nicht locker wird. Desgleichen wird der Draht beim Beschleunigen des Vorschubapparates, dessen Geschwindigkeit, wie geschildert, sinusförmig verläuft, straffgehalten. Auf dem absteigenden Teil der sinusförmigen Geschwindigkeitskurve des Vorschubapparates wirkt sich die Trägheit der Wickeltrommeln so aus, dass ein zusätzlicher Zug auf den Draht ausgeübt wird. Das Antriebsmoment der Trommeln ist daher andererseits so eingestellt, dass dabei keine unzulässige Zugspannung im Draht auftritt.

Alle 8 Wickeltrommeln mit ihren Antrieben sind auf einem gemeinsamen Gestell angeordnet, das mit 4 Rollen

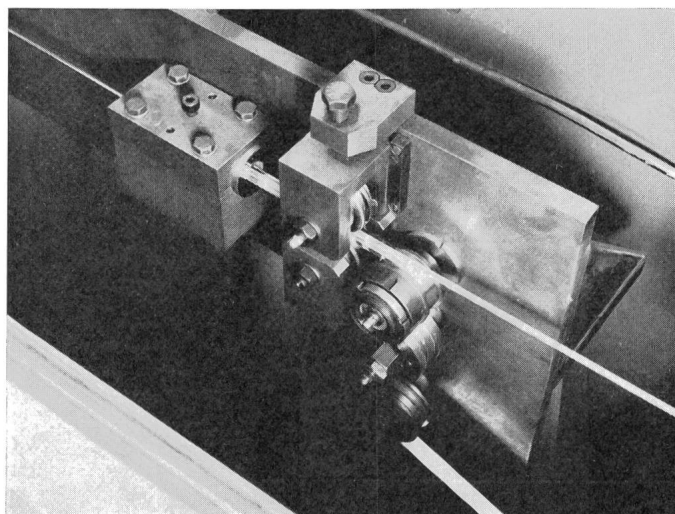


Fig. 12
Faltvorrichtung

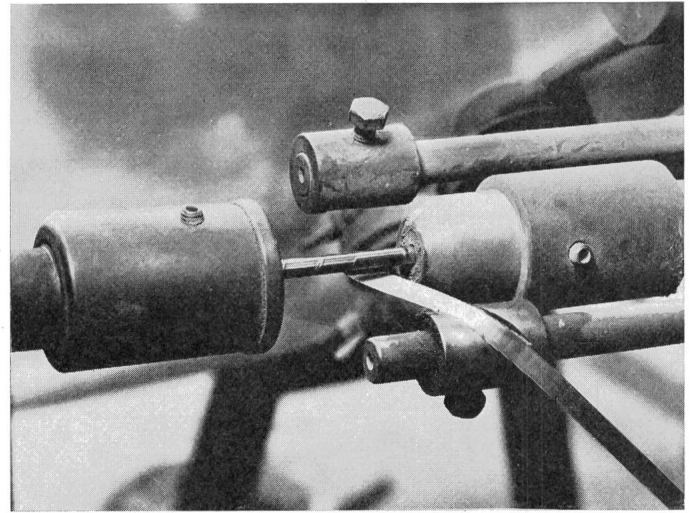


Fig. 13
Erster Eisenbandspinner

auf Schienen quer zur Drahtachse fahrbar ist. Diese Querbewegung verursacht eine Schraubenspindel, die von einer Stossklinkenanordnung gedreht wird. Die Stossklinkenanordnung wird bei jedem Hub des Vorschubapparates der Spritzgussmaschine durch einen elektrischen Kontakt in Bewegung gesetzt.

Der auf diese Weise isolierte Innenleiter läuft in die Ausenleitermaschinen ein. Er durchläuft dabei eine Einrichtung, die sicherstellt, dass alle Scheiben vorhanden sind und den richtigen Abstand voneinander haben. Ist dies nicht erfüllt, so bleibt die Maschine stehen. Sodann passiert der Innenleiter mit den Isolierscheiben einen Folienwickler (Fig. 11), wo er mit der rohrförmig im Längsschlag angeordneten Deckfolie umgeben wird. Gleichzeitig läuft das Kupferband für den Aussenleiter durch eine Waschvorrichtung, in der es nochmals gesäubert und entfettet wird.

Kupferband und Innenleiter werden in der Faltvorrichtung (Fig. 12) vereinigt. Das Kupferband wird dabei über den Isolierscheiben und der Folienwicklung zum Rohr geformt. Die Bandkanten stossen stumpf aneinander.

Das vorgeformte Koaxialpaar bekommt im ersten Eisenbandspinner (Fig. 13) die Bewicklung mit dem ersten Eisenband. Im zweiten Spinner (Fig. 14) wird das zweite Eisenband im Gegenschlag aufgebracht. Gleichzeitig werden als

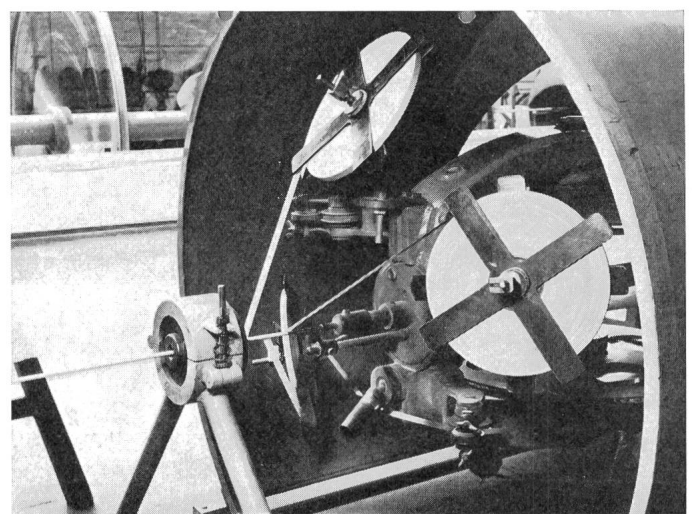


Fig. 14
Zweiter Eisenbandspinner mit Papierwickler

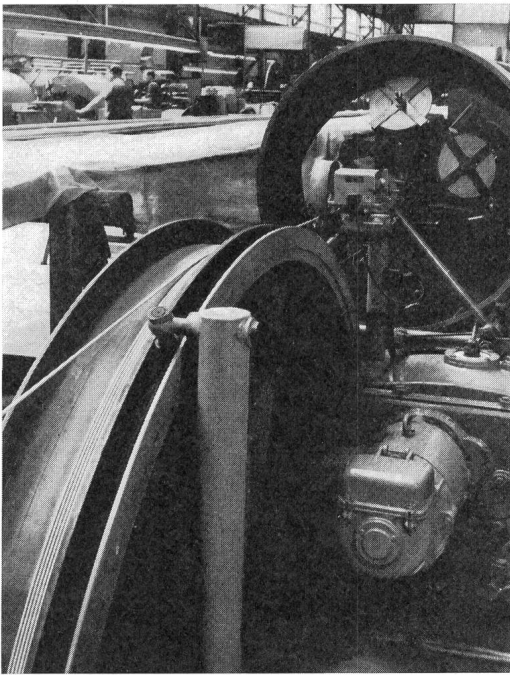


Fig. 15
Auszug

Aussenbewicklung drei Lagen Papierband aufgetragen. Wahlweise kann anstelle dieser Bewicklung auch eine solche mit selbstklebender Folien treten, die das Koaxialpaar gleichzeitig weitgehend wasserdicht macht.

Über den Auszug (Fig. 15) gelangt das fertige Koaxialpaar auf den Wickler (Fig. 16). Dieser ist wiederum mittels Induktions-Kupplung so mit dem Antrieb gekuppelt, dass der Wickelzug stufenlos einstellbar ist.

Die Verlegeeinrichtung wird durch eine elektrisch betätigte Stosklinkeneinrichtung bewegt. Sie wird von einem Schalter geschaltet, den eine auf der Wicklerachse befindliche Nockenscheibe betätigt. Auf diese Weise vermeidet man auch hier jede ungleichmässige Beanspruchung des Koaxialpaares.

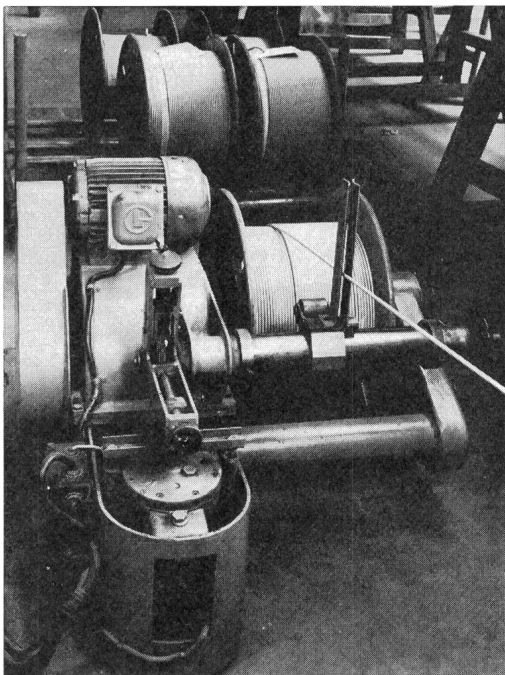


Fig. 16
Aufwickler

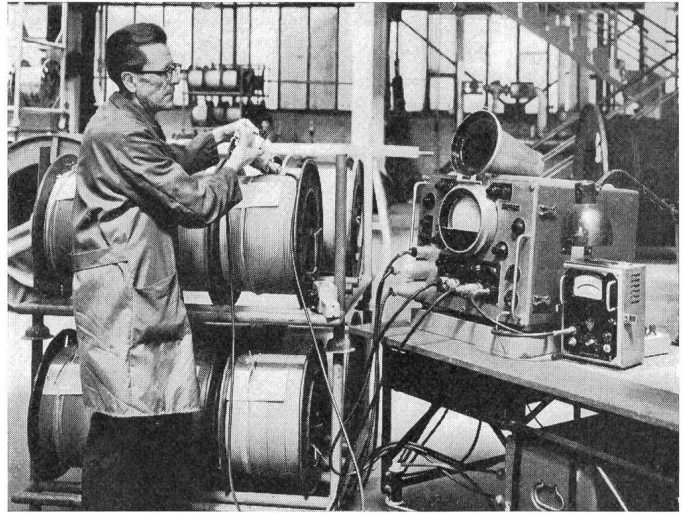


Fig. 17
Messung von Klein-Koaxialpaaren

Am Abschluss der Fertigung eines jeden Koaxialpaares steht eine Messung auf Reflexionsverhalten und Grösse des Wellenwiderstandes mittels eines Impulsgerätes (Fig. 17). Jedes Koaxialpaar erhält eine Laufkarte, auf der die gemessenen Werte von r und Z vermerkt sind, um die spätere Gruppierung zum Kabel zu ermöglichen.

Die Fertigungsstatistik von Klein-Koaxialpaaren (Fig. 18) zeigt, dass nach der Natur der Herstellung der Isolierscheiben im Spritzgussverfahren praktisch die gleichen Toleranzen für den Wellenwiderstand Z und für den Reflexionsfaktor r gehalten werden, wie das beim grossen Koaxialpaar (s. Fig. 4) der Fall ist. Dabei ist zu bedenken, dass die Weiterverarbeitung des Koaxialpaares zum Kabel in der Verseilmaschine, bei der Kabelummantelung und bei der Armierung unvermeidlich zu einer gewissen Verschlechterung der Eigenschaften führt. Die Praxis erweist, dass bei den im Spritzgussverfahren hergestellten Klein-Koaxialpaarkabeln mit Scheibenisolation von den Eigenschaften der Koaxialpaare her ein

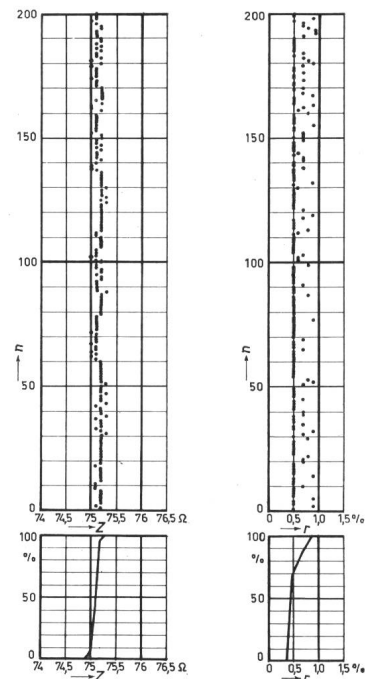


Fig. 18
Ausschnitt aus der Fertigungsstatistik von Klein-Koaxialpaaren 1,2/4,4 mm
Bezeichnungen siehe Fig. 4

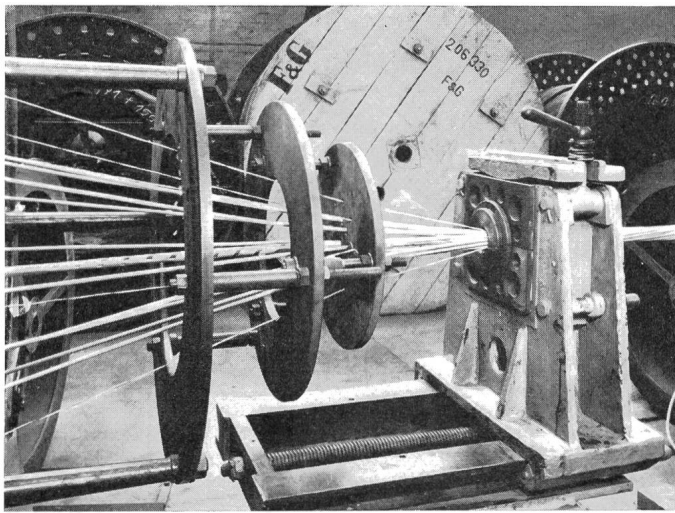


Fig. 19
Verseilung eines Kabels mit 12 Klein-Koaxialpaaren



Fig. 20
Fernkabel mit 12 Klein-Koaxialpaaren

Einsatz in Träger-Frequenzsystemen möglich ist, für die bisher nur das grosse Koaxialpaar verwendbar erschien. So wird bei der Deutschen Bundespost beispielsweise das Klein-Koaxialpaar zur Zeit zur Übertragung ein Träger-Frequenzsystem mit 120 Sprechkanälen und einer Ausnutzung bis 600 kHz eingesetzt. Mit der Verbesserung der Übertragungseigenschaften der Klein-Koaxialpaare ist aber die Verwendung zur Übertragung mit 960 Sprechkanälen und Ausnutzung bis 4 MHz in den Bereich des Möglichen gerückt.

Fig. 19 zeigt die Verseilung eines Fernkabels mit 12 Klein-Koaxialpaaren. Zwei der Koaxialpaare befinden sich in der inneren, 10 in der äusseren Verseillage. Ein Muster dieses Kabels ist in Fig. 20 abgebildet.

5. Schlussbemerkungen

Wenn davon ausgegangen wird, dass das Klein-Koaxialpaar in seinen Eigenschaften weitergezüchtet werden soll, um das grosse Koaxialpaar in dessen bisherigem Aufgabengebiet möglichst zu ersetzen, so kann der nächste Entwicklungsschritt nur darin bestehen, die Aussenleiterkonstruktion noch stabiler und formhaltiger zu machen.

Die Entwicklung der Nachrichten-Technik mit ihren immer höheren Anforderungen an die Übertragungsmittel hat die Entstehung des Klein-Koaxialkabels erbracht. Steigende Anforderungen an die Qualität haben zur Entwicklung des Klein-Koaxialpaares mit im Spritzguss aufgebrachter Scheibenisolation geführt. Auch in ihrer weiteren Entwicklung wird die Nachrichten-Technik die Kabelindustrie bereitleisten, für neue Aufgaben neue Lösungen zu finden.

Grundlegende Eigenschaften der Pulsmodulation

Vortrag, gehalten an der 24. Schweiz. Tagung für elektrische Nachrichtentechnik vom 30. September 1965 in Bern,
von H. Weber, Zürich

1. Einleitung

Wenn man heute über Pulsmodulation spricht, so meint man damit ein neues Modulationssystem, mittelst welchem Sprache, Musik, Bild usw. übertragen wird. In der Messtechnik ist die Pulsmodulation als Übertragungsmittel schon länger bekannt. So wurden z.B. Wasserstands-

Literatur

- [1] K. Küpfmüller: Einführung in die Theoretische Elektrotechnik. 6. Auflage, Springer Berlin 1959.
- [2] H. Horn: Herstellung und Anwendung des elektrischen Isolierstoffes Styroflex. Kunststoffe 30(1940)3, S. 53...57.
- [3] F. Banneitz: Die Technik der Fernsehübertragung unter Berücksichtigung der Kabelfrage. Europäischer Fernsprehdienst -(1935)40, S. 149...150.
- [4] E. Fischer: Über den Aufbau von Breitbandkabeln. Europäischer Fernsprehdienst -(1937)45, S. 15...25.
- [5] H. Kaden: Die Dämpfung und Laufzeit von Breitbandkabeln. Arch. Elektrotechn. 30(1936)11, S. 691...712.
- [6] Comité Consultatif International Téléphonique (CCITT): Livre rouge. II^e Assemblée plénière, New Delhi 1960. Tome III: Transmission sur les lignes et protection. Genève s. d.
- [7] G. Wuckel: Die Breitbandkabeltechnik. AEG Mitt. -(1938)4, S. 195...221.
- [8] E. Baguley: Modern Coaxial Cable Technique in Great Britain. Electr. Commun. 30(1953)3, S. 186...216.
- [9] W. Stroh und R. Capeller: Technische Planung einer Trägerfrequenz-Kabelverbindung in Australien. Felten & Guillaume Rdsch. -(1960)45, S. 205...217.
- [10] S. Schaub und K. H. Hahne: Die Fertigung des Koaxialkabels Sydney-Melbourne. -(1961)46, S. 289...308.
- [11] R. Monelli: Cavi coassiali di piccoli dimensioni con isolamento in polietileno espanso. Rendiconti della Riun. Assoc. Elettrotecnica Ital. Ancona 1960, Fasc. 3, Nr. 205.
- [12] W. Leitenberger und W. Salzmann: Kabel mit Zwerbtuben im Fernmeldenetz der Deutschen Bundesbahn. Signal und Draht 53(1961)1, S. 6...13.
- [13] G. Fuchs und P. Vergès: Isolation tubulaire ballon de polyéthylène pour câbles téléphoniques. Câbles et Transmission 14(1960)2, S. 113...131.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. K. H. Hahne, Felten & Guillaume Carlswerk AG, D-5 Köln-Mülheim (Deutschland).

621.376.56

meldungen in den dreissiger Jahren mittelst Impulsen, d.h. digital über Telephonleitungen übermittelt. Vor 25 Jahren wurde dann vorgeschlagen, dieses digitale Übertragungssystem auch für Sprache und andere zeitliche Vorgänge zu verwenden. Da das Verfahren etwas aufwendig ist, so lohnt es sich nur, wenn mit demselben Verfahren mehrere Nach-