

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 41 (1950)
Heft: 6

Artikel: Les condensateurs utilisés dans les télécommunications
Autor: Monney, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061241>

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: 14.05.2025

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

grösster Bedeutung. Ein richtiger Ingenieur ist sich stets seiner hohen Verantwortung, die er beim Bau eines Werkes seinen Mitmenschen gegenüber übernimmt, voll bewusst. Er stellt auch die Erfüllung der von ihm übernommenen Pflichten allem anderen voran, und es muss sein Stolz sein, durch

Fleiss und Zuverlässigkeit sich seines akademischen Standes würdig zu erweisen.

Möge es Elternhaus und Schule und besonders auch unserer Hochschule immer wieder gelingen, Ingenieure heranzubilden, die diesen Titel voll und ganz verdienen.

Les condensateurs utilisés dans les télécommunications

Conférence présentée à la 8^e Journée de la technique des télécommunications, le 24 juin 1949, à Berne,
par J. Monney, Fribourg

621.319.4:621.39

Parmi les exigences formulées à l'égard des condensateurs, celles qui concernent une réduction du volume sont les plus fréquentes. Nous trouvons ici un aperçu des améliorations qui ont permis de restreindre les dimensions des condensateurs: moulage, augmentation de la constante diélectrique et utilisation du papier métallisé. L'article se termine par quelques indications concernant les condensateurs de précision au mica et les condensateurs électriques.

Einige der häufigsten Forderungen im Kondensatorenbau ist die der Volumenverkleinerung. Verschiedene Verbesserungen, z. B. Einpressen in Preßstoffe, Erhöhung der Dielektrizitätskonstanten und Verwendung von metallisierten Papieren haben dazu beigetragen. Ausserdem enthält der Aufsatz einige Angaben über Präzisionsmicakondensatoren und Elektrolytkondensatoren.

Introduction

Les différents types de condensateurs étant fort nombreux, et le terme de télécommunication ayant lui-même un sens très général, il ne saurait être question de faire ici un exposé complet de l'utilisation des condensateurs dans la technique des télécommunications. Nous nous bornerons plutôt à examiner quelques progrès réalisés pendant ces dernières années dans la fabrication des condensateurs, ainsi que les tendances, qui actuellement influencent leur évolution, tendances souvent contradictoires parce qu'imposées en fin de compte par les multiples exigences du public.

Les tendances les plus générales qui se font sentir pour tous les types de condensateurs sont une réduction des dimensions et, cela va de soi, une réduction des prix. Ceci ne signifie pas que les autres qualités, telles que la stabilité, l'étanchéité, la sécurité de fonctionnement, etc., n'aient pas d'importance, mais simplement que les questions de prix et de dimensions provoquent généralement les discussions les plus serrées; remarquons en passant que ce n'est pas uniquement pour le matériel militaire ou les postes de radio portatifs que l'on demande cette réduction de volume des condensateurs, mais aussi pour des installations fixes, telles que les centrales de téléphones et spécialement les installations de téléphonie à canaux multiples.

Commençons donc par celles des améliorations introduites récemment, qui ont permis de restreindre les dimensions des condensateurs sans porter préjudice à leurs autres qualités. Ce sont principalement le moulage dans des résines synthétiques, l'utilisation de matériaux à constante diélectrique élevée, que ce soit dans les masses d'imprégnation ou les céramiques, et, enfin, l'emploi du papier métallisé.

Le moulage des condensateurs

On peut mouler les condensateurs soit avec des résines synthétiques se polymérisant pendant le moulage (bakélites, araldite) soit avec des résines thermoplastiques que l'on injecte à des tempéra-

tures plus ou moins élevées (polythène, polystyrène), soit avec des cires minérales ayant un point de fusion suffisamment élevé. La préférence va, pour le moment, aux résines non thermoplastiques car spécialement là où la place est mesurée, on aime pouvoir souder les fils de contacts tout près de la masse de moulage sans que celle-ci se mette à fondre et à couler. Les résines utilisées supportant des températures de 200 °C, les condensateurs ne risquent en aucun cas d'être détériorés par l'action, même prolongée, d'un fer à souder.

En plus du volume réduit, ce mode de fabrication a l'avantage de soustraire les condensateurs à l'action de l'humidité et de leur conserver ainsi une résistance d'isolement élevée. On mesurera le progrès réalisé en comparant les épreuves auxquelles sont soumis les condensateurs. Pour les exécutions en tubes de carton ou de dellite, les prescriptions d'essai pour locaux secs consistent à laisser l'objet 24 heures à 20 °C et à une humidité de 100 % dans un récipient où l'on a vaporisé de l'eau au début de l'essai. Or, il est prouvé que des condensateurs qui ont subi cette épreuve avec succès ne conservent pas forcément une résistance d'isolement élevée même dans les locaux qualifiés de secs. En effet, l'humidité de l'air dans des conditions atmosphériques normales finit par pénétrer à travers le carton et provoque souvent après une ou deux années une diminution notable de la résistance d'isolement. Pour les condensateurs moulés, l'essai consiste à subir pendant mille heures une humidité de 100 % à 40 °C; c'est là une épreuve très dure qui permet de contrôler si un condensateur est suffisamment protégé contre l'influence de l'humidité. Les résultats obtenus permettent de prévoir que, de plus en plus, la protection extérieure des condensateurs se fera au moyen de résines synthétiques.

Augmentation de la constante diélectrique

Une diminution considérable du volume des condensateurs peut être obtenue par l'emploi de produits à constante diélectrique élevée: cires et huiles utilisées pour l'imprégnation du papier ou céra-

mique spéciale pour les condensateurs miniatures. Parmi les premiers, les plus intéressants sont les composés chlorés Hallowax, Pyranol, Chlophen, Nibren, etc. Ces produits synthétiques ont une constante diélectrique deux à trois fois plus élevée que les huiles et cires minérales ordinaires et plusieurs d'entre eux ont, en outre, l'avantage d'être ininflammables. Cette dernière propriété est due à la présence du chlore qui, en cas de dégagement d'hydrogène, se combine avec ce dernier pour former de l'acide chlorhydrique et empêche ainsi la combustion de s'entretenir elle-même. Il faut signaler toutefois que les huiles chlorées ont un angle de perte plus élevé que les huiles naturelles, mais ce point n'a pas grande importance puisque l'angle de perte des condensateurs est essentiellement déterminé par l'angle de perte du papier. D'autre part, les condensateurs imprégnés de masses chlorées sont spécialement sensibles à l'humidité et perdent en quelques mois leur résistance d'isolation, à moins qu'ils ne soient montés de façon absolument étanche; enfin, plusieurs produits chlorés sont sujets à une brusque élévation de l'angle de perte qui peut atteindre 10 à 20 % à des températures voisines de 0 °C, mais variables avec la fréquence.

D'autres diélectriques plus intéressants pour les télécommunications ont été développés dans les céramiques et il faut citer dans ce domaine la Fabrique Suisse d'Isolants de Bretonbac qui a mis au point des masses céramiques ayant des constantes diélectriques de 7, 20, 50, 100, 2000 et 3000. Les qualités électriques des condensateurs céramiques sont évidemment très différentes suivant qu'ils sont faits de l'une ou de l'autre de ces masses.

Nous ne nous attarderons pas sur les stéatites dont la constante diélectrique est d'environ 6 et l'angle de perte de $3...20 \cdot 10^{-4}$ suivant la fréquence,

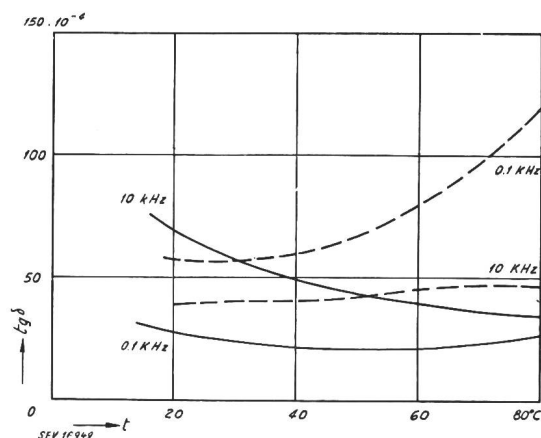


Fig. 1

Angles de pertes $\text{tg } \delta$ d'une céramique à haute constante diélectrique et angles de pertes du papier imprégné d'huile en fonction de la température t

— Papier huilé — — — Céramique ($\epsilon_r = 2000$)

les pertes les plus faibles correspondant aux fréquences de 1...10 MHz. Comparativement à d'autres masses, il est facile de les presser ou de les mouler par extrusion; leur rigidité diélectrique est élevée (30 kV/mm) et elles sont utilisées pour la fabrication de condensateurs à faible capacité ayant un

coefficient thermique de capacité positif et bien déterminé ($+100 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$). Pas plus que les stéatites, les masses au dioxyde de titane ne sont nouvelles et, en 1939, on trouvait déjà des céramiques ayant une constante diélectrique de 80, un coefficient thermique négatif de $-750 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ et un angle de perte de $3...20 \cdot 10^{-4}$ en haute fréquence. Ces masses continuent à être améliorées et leur constante diélectrique a pu être augmentée jusqu'à 100. Par contre, le développement des céramiques à constante diélectrique plus élevée que 1000 est assez récent mais permet déjà des réalisations intéressantes. On fabrique actuellement des masses céramiques dont la constante diélectrique atteint 2, 3 et même 10 000. Toutefois, ces valeurs dépendent très fortement de la température et ces variations de la constante diélectrique justifient tout à fait le nom de pouvoir inducteur spécifique qui lui est aussi appliqué et qui a l'avantage de ne pas faire supposer qu'il s'agit d'une grandeur plutôt constante. Entre 20 et 100 °C ces céramiques ont un coefficient thermique de capacité de l'ordre de -7% par °C ce qui fait qu'un condensateur chauffé à 60 °C aura perdu plus du quart de la capacité qu'il avait à

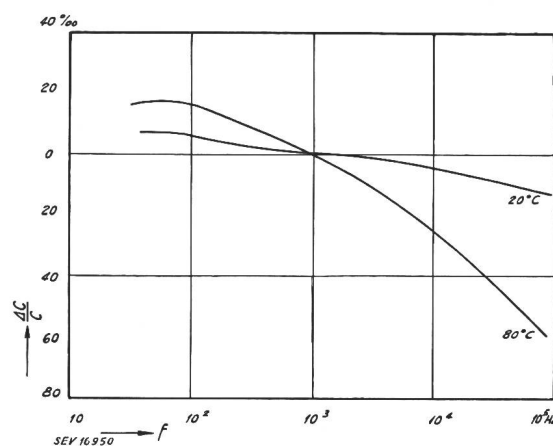


Fig. 2

Variations $\frac{\Delta C}{C}$, en fonction de la fréquence f , de la capacité d'un condensateur céramique miniature ($\epsilon_r = 3000$)

20 °C. L'angle de perte varie avec la température et la fréquence, mais ne descend pas en dessous de $40 \cdot 10^{-4}$. On peut fabriquer avec ces céramiques des condensateurs cylindriques de 3 mm de diamètre et d'une longueur de 10 mm ayant une capacité de plus de 1000 pF, utilisables à des tensions de 1000 V en courant continu et à des températures de 60...80 °C. Ces condensateurs seront employés, pour autant que la capacité ne devra pas être exacte, lorsque les petites dimensions d'un appareil provoqueront une température de service élevée. Comme il n'est pas encore possible de fabriquer des condensateurs au papier d'aussi petites dimensions, ces céramiques seront également utilisées lorsque l'espace disponible sera vraiment restreint. C'est seulement pour des capacités de 10 000 pF et plus que les condensateurs au papier peuvent concurrencer ces céramiques en ce qui concerne les dimensions. Il faut encore noter que ces condensateurs ne

sont pas mis sur le marché avec une tolérance de capacité dans les deux sens; les fabricants garantissent simplement qu'à 60 °C la capacité aura au moins sa valeur nominale.

Les condensateurs au papier métallisé

A propos des améliorations qui ont contribué à restreindre le volume des condensateurs, il nous reste à parler du *papier métallisé*. Cette «nouveau» est somme toute assez ancienne puisque les premiers condensateurs cylindriques enroulés avec des rubans de plusieurs mètres furent justement fabriqués avec du papier métallisé. En effet, en 1900, l'Anglais George Frederick Mansbridge déposait un brevet où il était dit que, pour diminuer le coût des condensateurs (cela aussi semble être une vieille histoire), il proposait de remplacer les empilages de feuilles d'étain et de feuilles de papier par un bobinage continu de papier et de conducteur. Et comme conducteur, Mansbridge propose justement d'utiliser du papier métallisé (comme celui dont on se sert pour envelopper le thé spécifie-t-il), car à cette époque on ne trouve pas de rubans métalliques assez longs et assez minces. Par la suite, le système fut abandonné et le ruban d'aluminium remplaça le papier métallisé. Avant la guerre, Robert Bosch mit au point une nouvelle fabrication de condensateurs au papier métallisé, mais le but, cette fois, était différent, puisqu'il s'agissait de fabriquer des condensateurs pouvant supporter des perforations sans être détruits. Ce procédé, du même genre que celui utilisé actuellement en Angleterre et en Amérique, consiste à utiliser comme armature un dépôt mé-

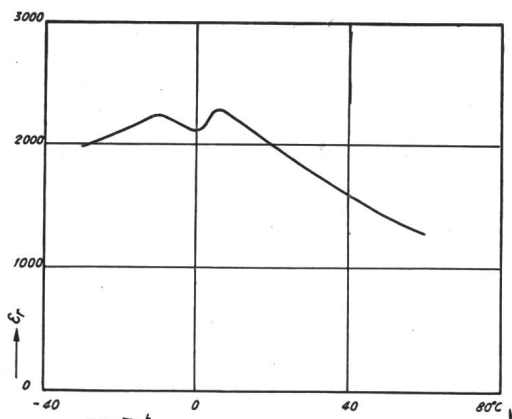


Fig. 3

Pouvoir inducteur spécifique ϵ_r en fonction de la température t d'une céramique de fabrication suisse ($f = 800$ Hz)

tallique extrêmement mince laissé sur le papier par la condensation d'une vapeur de métal. Le métal est évaporé dans le vide à une pression pouvant varier de $1/100$ à $1/1000$ de mm de mercure et à une température évidemment adaptée à cette pression. L'épaisseur de la couche métallique est de l'ordre du dixième de micromètre (μm) et c'est à cette extrême minceur de l'armature que le condensateur doit de ne pas être détruit en cas de perforation. En effet, le condensateur ordinaire une fois perforé est généralement inutilisable, car un court-circuit subsiste

à l'endroit de la perforation; avec le papier métallisé ce n'est pas le cas, parce que le courant de décharge évapore et disperse le dépôt métallique dans un rayon de 2...3 mm autour du trou, supprimant ainsi le court-circuit; il s'ensuit que le condensateur ne subit pratiquement aucun changement du fait de cette perforation. Il y a évidemment un

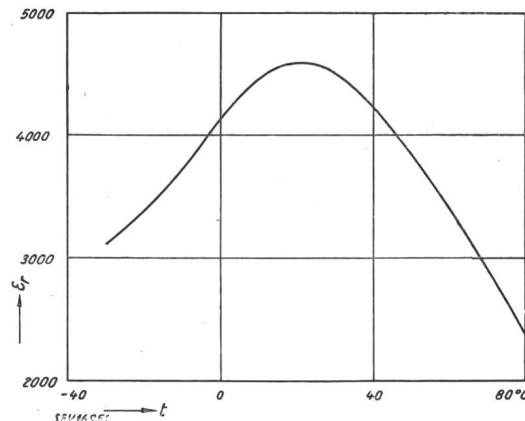


Fig. 4

Pouvoir inducteur spécifique ϵ_r en fonction de la température t d'une céramique américaine ($f = 800$ Hz)

certain nombre de précautions à prendre lors de la préparation du papier; il vaut mieux par exemple le traiter de façon à en obturer les pores; il faut aussi prendre les mesures nécessaires pour que les perforations ne laissent aucun dépôt conducteur. Une fois le condensateur fabriqué, on lui fait subir une «formation» en le soumettant à une tension croissante qui finit par dépasser la tension d'utilisation. Au cours de cette formation, il se produit un certain nombre de perforations qui suppriment les points faibles du condensateur, lequel est alors prêt à l'emploi. Si l'on augmente encore cette tension, on finit par atteindre la tension de destruction et les perforations se succèdent alors sans discontinuer

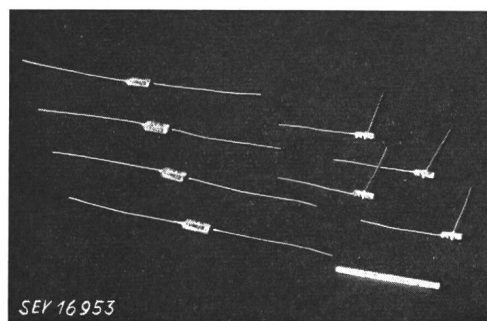


Fig. 5

Condensateurs au papier et céramiques

A gauche: condensateurs au papier 1000 pF, tension continu de service 350 V
A droite: condensateurs céramiques 1000 pF, tension continu de service 1000 V

jusqu'à destruction complète du condensateur. La diminution du volume, qui pour une tension continue de service de 150 V est de l'ordre de 3 à 1, est réalisée par la suppression de l'armature d'aluminium, généralement d'une épaisseur de 5 μm et par le fait que l'on peut économiser une couche de

papier. En effet, le papier n'étant jamais exempt de pores, les deux premières couches ne comptent que pour une, un papier ne servant, pour ainsi dire, qu'à boucher les trous de l'autre. Avec le papier métallisé c'est une de ces premières couches que l'on peut abandonner puisque les points faibles sont éliminés lors de la formation.

Après ces améliorations qui ont aidé, entre autres, à diminuer le volume des condensateurs, passons maintenant à deux points qui intéressent tout spécialement la technique des télécommunications: il s'agit, d'une part, de la stabilité des condensateurs de précision et, d'autre part, des condensateurs électrolytiques.

Les condensateurs de précision

Les condensateurs de précision, c'est-à-dire ceux dont la tolérance est de $1...2\text{‰}$, et qui sont utilisés par exemple dans les filtres de téléphonie, sont généralement faits au mica. Le mica est en effet, actuellement, le seul matériau qui permette de fabriquer des condensateurs précis, stables, ayant un angle de perte faible et une capacité suffisante sous un petit volume. Il est utilisé en feuilles de 30 à 50 μm ce qui, avec sa constante diélectrique de 7, permet d'obtenir un millier de pF par feuille de 6 cm^2 . On peut donc, sans difficultés, fabriquer de petits cubes de 200...300 000 pF. La stabilité des condensateurs au mica est due à la très grande résistance mécanique des cristaux de mica qui supportent des pressions de quelques centaines de kg/cm^2 sans se déformer de plus d'un millièrme, ainsi

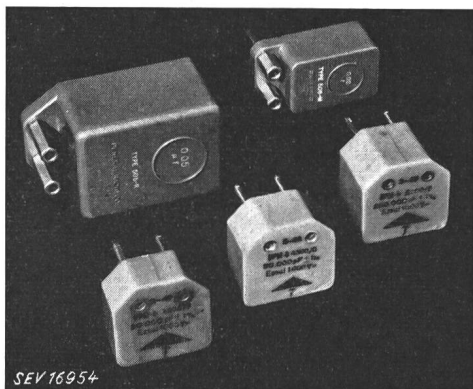


Fig. 6

Condensateurs étalons de précision au mica moulés et non moulés

qu'à leur bonne tenue à la chaleur; en effet, le mica supporte 350 °C sans se détériorer et son coefficient de dilatation n'est que de l'ordre de $3 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$.

Le montage de ces condensateurs se fait par empilage de feuilles de mica, les armatures étant constituées par des feuilles d'étain ou de cuivre, ou par un dépôt métallique fixé sur le mica. Les deux méthodes sont encore utilisées actuellement et donnent de bons résultats. La métallisation du mica peut se faire chimiquement par le dépôt d'une solution colloïdale d'argent, dont on évapore les constituants à une température de quelques centaines de degrés. Cette méthode est pratique et la couche

d'argent adhère bien au mica; elle a pourtant quelques défauts: c'est, d'une part, la haute température à laquelle il faut chauffer le mica et, d'autre part, le fait qu'entre la couche d'argent et le diélectrique, il reste de minuscules bulles d'air. On évite ces deux défauts par l'évaporation du métal dans le vide selon le principe appliqué à la métallisation du papier. L'angle de perte des condensateurs mon-

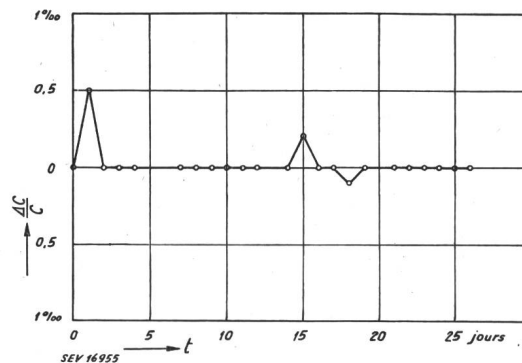


Fig. 7

Contrôle de la stabilité d'un condensateur de précision au mica. Variation de la capacité $\frac{\Delta C}{C}$ à $+20^\circ\text{C}$ en fonction du temps t

Condensateur de précision au mica à $\pm 2\text{‰}$ porté chaque jour de $+60^\circ\text{C}$ à -20°C ; condensateur déjà vieilli, non moulé ($C_N = 1028\text{ pF}$)

tés avec du bon mica métallisé dans le vide est de $1,5...3 \cdot 10^{-4}$ pour une gamme de fréquence allant de 50 Hz à 50 MHz, et la stabilité de ces condensateurs est tout à fait remarquable. Le mica est certainement, à l'heure actuelle, le matériau qui se prête le mieux à la fabrication des condensateurs de précision; on a bien cherché à le remplacer par des résines synthétiques beaucoup moins chères, du ruban de polystyrène par exemple, qui permet de bobiner des condensateurs ayant un angle de perte de $2 \cdot 10^{-4}$ jusqu'à 10 MHz. Les bobines de polystyrène chauffées à 80 °C durcissent car le diélectrique subit une transformation de son arrangement moléculaire, et tend alors à se rétrécir. En fondant ensuite légèrement l'enveloppe de polystyrène, on obtient un condensateur étanche, dont la résistance d'isolement est remarquablement élevée (de l'ordre de $10^8\text{ M}\Omega$ pour 0,1 μF). Mais ce mode de fabrication ne permet pas d'obtenir une tolérance plus petite que 5‰ et les condensateurs ne doivent, en aucun cas, être soumis à des températures dépassant 70 °C, sous peine de subir des variations de capacité de l'ordre du pour cent; c'est pourquoi ce genre de matériau n'a pas remplacé le mica dans la fabrication des condensateurs de précision.

Les condensateurs électrolytiques

Les condensateurs électrolytiques utilisés en si grandes quantités en téléphonie et en radio ont été, eux aussi, considérablement améliorés et transformés depuis une dizaine d'années. Nous ne nous attarderons pas sur les transformations extérieures que chacun a pu constater: diminution du volume d'environ 50%, adaptation des socles de lampes et

combinaison, en un seul, de plusieurs condensateurs à haute et basse tension.

Les améliorations les plus importantes concernent les caractéristiques électriques: capacité, angle de perte et courant de fuite. L'augmentation de la capacité s'est faite grâce à l'emploi d'anodes fortement agrandies. On utilise en effet, actuellement, des rubans d'aluminium dont le taux d'agrandissement est de 4...8. Rappelons que les condensateurs électrolytiques liquides encore utilisés il y a 10 ans, contenaient des anodes découpées, très massives en comparaison des rubans, et dont le taux d'agrandissement ne dépassait pourtant pas 5. Ces condensateurs électrolytiques liquides sont maintenant complètement remplacés par les condensateurs secs qui, grâce à différentes améliorations, ont actuellement les caractéristiques suivantes: angle de perte plus faible que 10 % et courant de fuite plus faible que 4 μ A par μ F pour les condensateurs à haute tension; angle de perte plus faible que 15 % et courant de fuite plus faible que 2 μ A par μ F pour les condensateurs à basse tension.

Les coefficients thermiques de capacité, courant de fuite et angle de perte ont été également l'objet de nombreuses recherches, grâce auxquelles on fabrique actuellement des condensateurs utilisables

jusqu'à -40°C , température à laquelle ils n'ont perdu que 20 % de leur capacité, alors que les types courants perdent la moitié de la leur à -20°C déjà.

Conclusion

Cet exposé des progrès réalisés au cours des dernières années dans la technique des condensateurs n'a aucunement la prétention d'épuiser le sujet. Il n'a, par exemple, été question ni des condensateurs à vide poussés dont la fabrication s'apparente, il est vrai, à celle des soupapes à haute tension, ni des condensateurs à grande puissance pour émetteurs, tels que les condensateurs à azote comprimé qui permettent d'obtenir de très grandes puissances apparentes sous un petit volume. Nous pensons toutefois avoir montré que le condensateur peut, à tous points de vue, rivaliser avec les autres éléments utilisés dans les télécommunications. Qu'il s'agisse de la durée, de la stabilité, du facteur de qualité ou de la précision de l'étalonnage, la technique actuelle permet de satisfaire aux exigences les plus diverses à condition, toutefois, qu'elles ne soient pas trop contradictoires.

Adresse de l'auteur:

J. Monney, Dr ès sc. techn., ingénieur aux Condensateurs Fribourg S. A., Fribourg.

Ein neues Wechselstromnetzmodell

621.316.313

[Nach F. Cahen: Une nouvelle table à calcul à courant alternatif. Rev. gén. Electr. Bd. 58 (1949), Nr. 2, S. 49...61]

I. Anwendungen des Wechselstromnetzmodells

Ein Wechselstromnetzmodell dient in erster Linie zum Studium des Betriebes elektrischer Netze. Die Erfüllung dieser Aufgabe erfordert die getreue Abbildung der das Netz aufbauenden Elemente; dann treten einfache elektrische Messungen an die Stelle von Rechnungen, welche infolge der Vermaschung und Kupplung der Netze einen immer grösseren Umfang annehmen oder gar unlösbar sind.

Mit einem Netzmodell können im wesentlichen die folgenden Probleme gelöst werden:

1. Verteilung der Wirk- und Blindlast in vermaschten Netzen, Spannungsregulierung, Kompensation der Blindlast, Wahl des festen oder unter Last einstellbaren Übersetzungsverhältnisses von Transformatoren, Bestimmung der Verluste, Auswirkung von Leitungsabschaltungen in vermaschten Netzen.

2. Bestimmung der Kurzschlußströme und der wiederkehrenden Spannung bei symmetrischen und nicht symmetrischen Kurzschlüssen zwecks Festlegung der Abschaltleistung von Schaltern, zum Studium der Erdung des Nullpunktes und zur Untersuchung der selektiven Schutzsysteme (Typenströme der Relais), Bestimmung der die Kurzschlußströme begrenzenden Reaktanzen.

3. Studium der Vorgänge in Netzen, die sich nicht im Gleichgewichtszustand befinden.

4. Studium der statischen und der dynamischen Stabilität bei Störungen mit Hilfe der Schritt-für-Schritt-Methode.

Darüber hinaus bietet das Wechselstromnetzmodell noch weitere Anwendungsmöglichkeiten: In der Elektrotechnik dient es zur Untersuchung der stationären Vorgänge in beliebigen linearen Stromkreisen mit konzentrierten oder verteilten (passiven) Elementen, sowie zum Studium elektrischer Maschinen, für welche ein Ersatzschema angegeben werden kann. Zwischen nicht elektrischen (wie etwa mechanischen) und elektrischen Vorgängen besteht vielfach eine weitgehende

Analogie, so dass das Wechselstromnetzmodell auch für die Abbildung nicht elektrischer Vorgänge anwendbar ist.

II. Allgemeine Gesichtspunkte zur Realisierung eines Wechselstromnetzmodells

Jedes Wechselstromnetzmodell enthält:

1. die passiven Elemente (ohmsche, induktive und kapazitive Widerstände) zur Abbildung des Leitungssystems in einem passenden Maßstab;

2. die «Generatoren» und «Empfänger» zur Einführung und Entnahme von Wirk- und Blindleistungen in die, bzw. von den Knotenpunkten des Modellnetzes, die den entsprechenden Leistungswerten im Originalnetz proportional sind;

3. Apparate zur Abbildung von Transformatoren zwischen Netzteilen verschiedenen Spannungsniveaus, soweit sich dieses als nötig erweist.

Ferner muss das Netzmodell besondere Organe enthalten zur Messung der Spannungen, Ströme, der Phasenlage, Wirk- und Blindleistung und der äquivalenten Impedanz in verschiedenen Netzteilen.

Symmetrisch belastete Mehrphasensysteme werden einphasig abgebildet unter Verwendung eines Nulleiters vernachlässigbarer Impedanz. Die Anwendung der Theorie der symmetrischen Komponenten ermöglicht, auch dann der einphasigen Abbildung (gegenüber der dreiphasigen) den Vorzug zu geben, wenn sich das Netz (etwa infolge eines unsymmetrischen Fehlers) nicht mehr im Gleichgewichtszustand befindet. Denn die Nachteile einer dreiphasigen Abbildung überwiegen, alles in allem, ihre Vorteile. Bei dieser Abbildung müssten für die Darstellung der Kapazitäten zwischen den Phasen und der gegenseitigen Induktivitäten besondere Elemente vorgesehen werden. Dass bei der dreiphasigen Darstellung die Phasenspannungen und Phasenströme direkt abgelesen werden können ist gewiss ein Vorteil; indessen ist bei den meisten Problemen die Kenntnis der symmetrischen