Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 40 (1949)
Heft: 15

Artikel: L'introduction du système d'unités Giorgi
Autor: König, H. / Krondl, M. / Landolt, M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056373

L'introduction du système d'unités Giorgi

Rapport du Comité Technique 24 du Comité Electronique Suisse (CES)
Elaboré par: *H. König*, *M. Krondl* et *M. Landolt*

621.317.081

En 1935, la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a adopté le système d'unités de mesure proposé par Giorgi et basé sur le mètre, le kilogramme-masse, la seconde et une unité électrique. Elle a décidé de l'appeler système Giorgi, en l'honneur de son promoteur.

Le Comité Technique 24 du CES a procédé à une étude détaillée de ce nouveau système. Le CES et le Comité de l'ASE préconisent l'introduction générale du système Giorgi et, en outre l'adoption de la forme rationalisée des équations, qui permet d'exprimer les lois fondamentales du champ électromagnétique d'une manière plus conforme à la conception de l'action de champ.

Le présent rapport est un exposé général du nouveau système d'unités de mesure, sans cependant entrer trop dans les subtilités des calculs de conversion.

Die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) hat im Jahr 1935 nach dem Vorschlag von Giorgi ein auf dem Meter, des Kilogramm-Masse, der Sekunde und auf einer elektrischen Einheit aufgebautes Maßsystem angenommen und es zu Ehren des Initianten als Giorgi-System bezeichnet.

Das Fachkollegium 24 des CES hat das neue Maßsystem eingehend studiert. Das CES, bzw. der Vorstand des SEV, befürwortet die allgemeine Einführung des Giorgi-Systems und überdies den Übergang auf die rationale Schreibweise, welche die Form der Grundgesetze des elektromagnetischen Feldes den Vorstellungen der Nahewirkungstheorie besser anpasst.

Der folgende Aufsatz stellt den ganzen Fragenkomplex zusammenfassend dar, ohne zu sehr auf die Feinheiten der Umrechnungstechnik einzugehen.

1. Préambule

Quiconque doit procéder à des calculs dans le domaine de l'électrotechnique se heurte constamment au fait qu'il existe actuellement plusieurs systèmes d'unités de mesure en usage, à savoir le système pratique d'unités électriques, le système technique ou des mécaniciens et, enfin, trois principaux systèmes C. G. S.

Le système pratique d'unités électriques englobe les unités bien connues: volt, ohm, ampère, coulomb, joule, watt, farad, henry et weber. Au système technique, qui est un système incomplet, appartiennent les unités fondamentales: mètre, kilogramme-force, seconde, ainsi que toutes les unités qui dérivent de leur combinaison. Quant aux trois principaux systèmes C. G. S., ils se chevauchent partiellement, car ils comportent en commun le centimètre, le gramme-masse, la seconde, la dyne et l'erg. Les unités électriques et les unités magnétiques sont différentes selon qu'il s'agit du système électrostatique C. G. S. ou du système électromagnétique C. G. S. Les unités du système de Gauss, qui est un système C. G. S. mixte, concordent dans la partie électrique avec les unités du système électrostatique C. G. S. et, dans la partie magnétique, avec celles du système électromagnétique C. G. S. Par contre, la constante universelle *c* figure dans de nombreuses équations. Les unités magnétiques: gauss, maxwell, oersted et gilbert, font partie aussi bien du système électromagnétique C. G. S. que du système mixte de Gauss. Les autres unités électriques et magnétiques des systèmes C. G. S. ne possèdent pas de nom, ce qui est parfois un inconvénient. En outre, lorsqu'il s'agit d'exprimer les unités électriques et magnétiques C. G. S. au moyen des unités fondamentales (centimètre, gramme et seconde), on obtient des expressions alourdies et compliquées, telles que $\mathrm{cm}^{\frac{1}{2}}\ \mathrm{g}^{\frac{1}{2}}\ \mathrm{s}^{-1}$ (unité de tension dans le système électrostatique C. G. S.), qui sont peu appréciées. Enfin, les grandeurs électriques et magnétiques possèdent chacune deux dimensions différentes dans les trois systèmes C. G. S., ce qui est une complication de plus.

Il existe heureusement une possibilité de sortir de cet embarras: En 1901 déjà, *Giorgi* [1]) démontra qu'en ajoutant le mètre comme unité de longueur, le groupe des unités électriques pratiques (volt, ampère, ohm, etc.) peut aisément devenir un système d'unités de mesure complet, utilisable également par les mécaniciens. Les unités électriques pratiques sont toutes cohérentes, c'est-à-dire qu'elles sont liées par des équations ayant la forme de

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ volt} \cdot 1 \text{ ampère},$$

$$1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ampère}},$$

relations que les Anglo-Saxons nomment «one-to-one relations» [2]). L'ampère et le coulomb comportent la seconde comme unité de temps cohérente. Avec l'adjonction du mètre comme unité de longueur, le kilogramme devient l'unité cohérente de masse. Toutes ces unités, qui sont en usage depuis fort longtemps, sont comprises dans le nouveau système d'unités de mesure proposé par Giorgi. De nouvelles unités n'interviennent que pour la force et la pression. Il est impossible de les éviter, car elles doivent remplacer la dyne et la dyne par centimètre carré du système C. G. S., ainsi que le kilogramme-force et le kilogramme-force par mètre carré du système technique. On supprime de cette manière la double signification du terme kilogramme, celui-ci désignant tantôt le multiple de l'unité de masse, le gramme, et tantôt l'unité de force.

A son assemblée plénière de 1935, qui se tint à Schéveningue et à Bruxelles, le Comité d'action de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) avait approuvé le système d'unités de mesure proposé par le professeur Giorgi et décidé de l'appeler système Giorgi [3]).

Le Comité Technique 24 du Comité Electrotechnique Suisse (CES) a étudié soigneusement ce nouveau système. Il a proposé au CES de recom-

[1]) Atti dell'Associazione Elettrotecnica Italiana, vol. 5 (1901), p. 402 (actuellement: L'Elettrotecnica). — Il Nuovo Cimento, vol. 48 (1902), p. 11.

[2]) Basées sur la multiplication, ces unités constituent un groupe, conformément à la théorie des groupes.

[3]) Commission Electrotechnique Internationale: Compte rendu des Réunions, tenues en juin 1935 à Schéveningue-Bruxelles, R. M. 138, p. 2.

mander le système Giorgi à l'ASE et, par conséquent, aux électriciens. Il propose en outre d'adopter, par la même occasion, la notation rationnelle des équations du champ électromagnétique. Le CES a approuvé ces propositions le 23 février 1949. Le Comité de l'ASE en a fait de même le 15 juillet 1949 et a décidé la publication du présent rapport.

Les unités du système Giorgi sont presque toutes déjà introduites d'une manière générale et quelques-unes d'entre elles, notamment l'ohm, l'ampère, le volt et le watt, de même que le mètre, le kilogramme-masse et la seconde, sont des unités légales d'après la loi fédérale sur les poids et mesures. Le système Giorgi présente de si nombreux avantages, qu'il paraît apte à remplacer les systèmes C. G. S. et le système technique, aussi bien dans le domaine de la science que dans celui de la technique. Cette substitution est d'ailleurs grandement facilitée par l'existence des nombreux voltmètres, ampèremètres et autres appareils de mesure en usage constant dans le monde entier. Les partisans du système Giorgi sont de plus en plus nombreux.

2. Exposé du système Giorgi

2-1. Les deux caractéristiques essentielles du système Giorgi

Le système Giorgi a les caractéristiques suivantes:

a) Le système Giorgi, qui comporte toutes les unités électriques pratiques, est un système de mesure dit absolu, car il est lié aux unités de longueur, de masse et de temps.

b) Le système Giorgi comporte *quatre* unités fondamentales, ce qui permet d'exprimer de la manière la plus simple les unités des grandeurs du champ électromagnétique par des produits de puissances des unités fondamentales, et uniquement avec des exposants entiers. De plus, il élimine la coexistence d'une unité électromagnétique et d'une unité électrostatique, dualité qui est due au fait que les systèmes C. G. S. ne comportaient, à l'origine, que trois grandeurs fondamentales.

En proposant son nouveau système d'unités de mesure, Giorgi recommandait également la «rationalisation» des équations du champ électromagnétique. Cette «rationalisation» consiste, d'une part, à éliminer le facteur irrationnel $4\,\pi$ (surface d'une sphère $= 4\,\pi\,r^2$) dans toutes les équations où l'angle solide n'entre pas en ligne de compte, et, d'autre part, à conserver ce facteur dans les équations où la symétrie sphérique intervient, selon la conception moderne de l'action de champ, entendue par opposition à celle de l'action à distance. Exemple: loi d'attraction de Coulomb.

Dans les trois paragraphes suivants, nous exposerons brièvement les deux caractéristiques essentielles du système Giorgi et la rationalisation.

2-2. Le rattachement des unités électriques pratiques aux unités de longueur, de masse et de temps

L'énergie est une grandeur qui appartient à la fois au domaine de l'électricité et à celui de la mécanique. Ses unités constituent donc un pont entre les unités électriques pratiques et les unités mécaniques. En électricité, l'unité pratique de l'énergie est le joule, tandis que l'erg est l'unité correspondante des systèmes C. G. S. On sait que ces deux unités sont liées par la relation

$$1\ \mathrm{J} = 10^7\ \mathrm{ergs}\ ^{4)}. \tag{1}$$

Pour l'erg, la définition est

$$1\ \mathrm{erg} = 1\,\frac{\mathrm{g}\cdot\mathrm{cm}^2}{\mathrm{s}^2}. \tag{2}$$

Pour les unités destinées à étendre dans le sens recherché le groupe des unités électriques pratiques, nous utilisons le symbole de la grandeur considérée, placé entre crochets. Ainsi nous écrivons $[m]$ et $[l]$ pour les unités cherchées de masse m et de longueur l. L'unité de temps est la seconde s, comme dans le système C. G. S. D'une manière analogue à la définition (2), on a l'équation aux unités

$$1\ \mathrm{J} = \frac{[m]\cdot[l]^2}{\mathrm{s}^2}. \tag{3}$$

En posant

$$[m] = 10^{\mu}\ \mathrm{g}\ \text{ et }\ [l] = 10^{\lambda}\ \mathrm{cm} \qquad (4), (5)$$

on peut exprimer ces unités de masse et de longueur en fonction des unités correspondantes du système C. G. S., le gramme et le centimètre. En introduisant les expressions (2) et (3) dans la relation (1) et en tenant compte de (4) et (5), on a

$$\frac{10^{\mu}\ \mathrm{g}\cdot(10^{\lambda}\ \mathrm{cm})^2}{\mathrm{s}^2} = 10^7\,\frac{\mathrm{g}\cdot\mathrm{cm}^2}{\mathrm{s}^2}, \tag{6}$$

et, en simplifiant,

$$10^{\mu}\cdot 10^{2\lambda} = 10^7. \tag{7}$$

Pour les exposants, on obtient l'équation

$$\mu + 2\,\lambda = 7 \tag{8}$$

comme *Ascoli* [5]) l'avait déjà indiqué en 1904. Il existe une infinité de valeurs jumelées μ et λ qui satisfont l'équation (8). En pratique, seuls entrent en ligne de compte des nombres entiers, qui donnent des valeurs ni trop grandes, ni trop petites pour les deux unités. Un choix de solutions est indiqué au tableau I.

Ce tableau permet de constater que le meilleur des systèmes d'unités de mesure basé sur le joule est manifestement le système Giorgi. Avec le mètre et le kilogramme, il présente une unité de longueur favorablement située, ce qui est également le cas pour l'unité de masse.

[4]) Nous calculons avec les valeurs absolues des unités électriques pratiques et non pas avec les valeurs internationales, qui, en Suisse, sont encore en vigueur jusqu'au 31 décembre 1949. Nous n'avons donc pas besoin du facteur de correction 1,00019.

[5]) Transactions of the International Electrical Congress, vol. 1, p. 134, Saint-Louis, 1904.

Unité de longueur [l] et unité de masse [m] dans différents systèmes d'unités de mesure

Tableau I

λ	μ	[l]	[m]	Système
−1	9	10^{-1} cm = 1 mm	10^9 g = 10^6 kg	—
0	7	10^0 cm = 1 cm	10^7 g = 10^4 kg	Mie [6])
1	5	10^1 cm = 1 dm	10^5 g = 100 kg	—
2	3	10^2 cm = 1 m	10^3 g = 1 kg	Giorgi [1])
3	1	10^3 cm = 10 m	10^1 g = 10 g	—
4	—1	10^4 cm = 100 m	10^{-1} g = 0,1 g	—
5	—3	10^5 cm = 1 km	10^{-3} g = 1 mg	—
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
9	—11	10^9 cm = 10^4 km (= quadrant terrestre)	10^{-11} g	Maxwell [7])

Comme unité cohérente de force [F] du système Giorgi, on a la force qui donne une accélération de 1 m/s² à une masse de 1 kg, soit

$$[F] = \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 1000\ \mathrm{g}\cdot\frac{100\ \mathrm{cm}}{\mathrm{s}^2} = 10^5\ \mathrm{dynes}. \qquad (9)$$

Le nom de newton et le symbole N ont été introduits pour la nouvelle unité de force. On a donc

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 10^5\ \mathrm{dynes}. \qquad (10)$$

Les relations entre le newton et l'unité de force kg* [8]) utilisée actuellement en pratique sont

$$1\ \mathrm{kg}^* = 9{,}81\ \mathrm{N} \qquad (11)$$

$$1\ \mathrm{N} = 0{,}102\ \mathrm{kg}^*. \qquad (12)$$

L'unité de force, le newton, et ses dérivées sont les seules unités vraiment nouvelles qu'apporte le système Giorgi.

L'unité de puissance du système Giorgi est évidemment le watt, qui est depuis fort longtemps en usage.

D'autres indications à propos des unités figurent au chapitre 3.

2-3. Quatre unités fondamentales

Le système Giorgi a quatre unités fondamentales à sa base, par exemple l'unité de longueur, le mètre, l'unité de masse, le kilogramme, l'unité de temps, la seconde, et une unité électrique ou magnétique. Le but proposé par l'adjonction d'une quatrième unité fondamentale est d'éliminer, pour les grandeurs utilisées en électricité, la présence simultanée d'une unité électromagnétique et d'une unité électrostatique et, de plus, de n'avoir affaire qu'à des exposants entiers dans les équations d'unités, au moins pour un choix approprié des quatre unités fondamentales. La perméabilité et la constante diélectrique du vide deviennent des grandeurs affectées d'une dimension et l'on ne peut plus les égaler arbitrairement à 1, comme le supposent les systèmes C. G. S. (voir sous 2-4).

Le système des unités Giorgi est relié par quatre points à la nature. Le mètre, le kilogramme, la seconde et le henry par mètre sont en effet fixés par les définitions ci-après:

1° Le mètre est la longueur définie à la température de 0 °C par le prototype international M, qui est conservé au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres.

2° Le kilogramme est défini par la masse du prototype international K, qui est conservé au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres.

3° La seconde est la 86 400e partie du jour solaire moyen.

4° L'unité de perméabilité, le henry par mètre, est égale à $10^7/4\,\pi$ fois la perméabilité du vide, en notation rationnelle, et à 10^7 fois cette perméabilité, en notation classique.

Pour deux des unités ci-dessus mentionnées, il existe donc des prototypes; pour les deux autres, le jour solaire moyen et le vide jouent respectivement le rôle de prototypes, selon les définitions 3° et 4°. Toutes les unités du système Giorgi peuvent être obtenues par multiplication ou division appropriées des quatre unités définies par les prototypes, de même que par élévation de puissances ou extraction de racines. C'est la raison pour laquelle ces quatre unités sont dites fondamentales. Il existe toutefois de nombreuses possibilités pour le choix de quatre unités fondamentales indépendantes, dont toutes les autres unités peuvent être dérivées. Un tel système comportant quatre unités fondamentales est ce que nous appelons un quadruplet [9]). Les quadruplets de ce genre les plus connus sont indiqués au tableau II.

Quadruplets d'unités fondamentales les plus connus

Tableau II

Quadruplet	Première unité fondamentale	Deuxième unité fondamentale	Troisième unité fondamentale	Quatrième unité fondamentale
a	m	kg	s	H/m
b	m	kg	s	Ω
c	m	kg	s	C
d	m	kg	s	A
e	m	V	s	A
f	m	Wb	s	C

Le quadruplet *a* est celui des prototypes; les unités qui en dérivent présentent des exposants fractionnaires. Tous les autres quadruplets indiqués dans le tableau conduisent uniquement à des exposants entiers. *Giorgi* [10]) recommandait en particulier le quadruplet *b*. Le quadruplet *d* est choisi dans la loi fédérale sur les poids et mesures. Le quadruplet *f* a été préconisé par *Kalantaroff* [11]). Dans le tableau VI, au chapitre 3, nous avons utilisé le quadruplet *e*, car il conduit à des expressions particulièrement simples pour les unités dérivées.

[6]) *Mie, G.*: Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, Stuttgart 1910.

[7]) *Maxwell, J. C.*: A treatise on electricity and magnetism, London 1873. Au paragraphe 629, Maxwell indique que le groupe des unités électriques pratiques est basé sur l'unité de longueur de 10^7 mètres et l'unité de masse de 10^{-11} gramme. Sa remarque repose sur la supposition que la perméabilité du vide est égale à 1 (dans le système de définitions non rationalisé).

[8]) Nous écrivons kg*, afin de distinguer l'unité de force du système technique d'unités de mesure, de l'unité de masse, qui s'écrit kg. Comme on le sait, 1 kg* = 9,81 kgm/s².

[9]) Conformément à la théorie des groupes, un quadruplet d'unités fondamentales est un système de quatre éléments indépendants, dont on peut tirer tous les autres éléments du groupe par multiplication ou division.

[10]) *Giorgi, G.*: Mémorandum sur le système M. K. S. d'unités pratiques, p. 16. Commission Electrotechnique Internationale, Londres 1934.

[11]) Revue Générale de l'Electricité, t. 25(1929), p. 235.

2-4. *La rationalisation*

Le but de la rationalisation [12]) est d'obtenir une notation des lois du champ électromagnétique, dans laquelle le facteur d'angle solide 4π n'apparaît que dans les formules où la symétrie sphérique intervient. L'ancienne notation classique ne répond pas à cette exigence, car le facteur 4π intervient souvent dans des formules où il n'est question ni de la surface d'une sphère, ni de la circonférence d'un cercle. En voici deux exemples:

Premier exemple. Un condensateur est constitué par deux plaques planes d'une surface A, séparées par une couche isolante d'épaisseur δ. ε est la constante diélectrique. En notation classique, la capacité du condensateur s'écrit

$$C = \frac{\varepsilon A}{4\pi\,\delta}\,. \tag{13}$$

Deuxième exemple. Si, en un point du champ, l'intensité du champ électrique est E, le déplacement électrique D, l'induction magnétique B et l'intensité du champ magnétique H, l'énergie rapportée au volume (densité d'énergie) s'écrit, en notation classique

$$w = \frac{E\,D}{2\cdot 4\pi} + \frac{B\,H}{2\cdot 4\pi}\,. \tag{14}$$

En revanche, le facteur 4π ne figure souvent pas, en notation classique, dans des formules où les considérations géométriques font intervenir la sphère. En voici deux exemples:

Troisième exemple. La capacité d'un condensateur constitué par une sphère de rayon r et un plan situé à une distance infinie s'exprime, en notation classique, par

$$C = \varepsilon\, r. \tag{15}$$

Quatrième exemple. Au centre d'une sphère de rayon r se trouve une charge Q. En notation classique, le déplacement à la surface de la sphère s'exprime par

$$D = \frac{Q}{r^2}\,. \tag{16}$$

La raison pour laquelle le facteur 4π apparaît à l'endroit incorrect provient de ce que, en notation classique, les formules du champ électromagnétique sont basées sur les deux lois de Coulomb

$$F = \frac{Q_1\,Q_2}{\varepsilon\, r^2} \quad \text{et} \quad F = \frac{m_1\,m_2}{\mu\, r^2}\,. \tag{17}$$

Ces deux lois expriment la conception de l'action à distance: la force exercée diminue avec le carré de la distance séparant les deux charges agissant directement l'une sur l'autre. Selon la conception actuelle, qui est basée sur la théorie de l'action de champ, la sphère joue un rôle prépondérant: l'une des charges engendre un flux de déplacement qui se propage d'une manière régulière dans toutes les directions. A une distance r de la charge, le déplacement est égal au flux divisé par la surface de la sphère. Ce déplacement provoque une intensité de champ électrique qui dépend de la constante diélectrique; cette intensité détermine la force agissant sur l'autre charge. La notation rationalisée tient compte de cette conception de l'action de champ.

Le but de la rationalisation est, en particulier, d'obtenir avec le moins de modifications possible une notation des équations qui soit adaptée à la conception moderne de l'action de champ. Un moyen d'atteindre ce but consiste à donner à plusieurs grandeurs une nouvelle définition [13]). Lorsque la définition rationnelle d'une grandeur diffère de la définition classique, nous écrivons un accent à la suite du symbole de la définition classique, par exemple H' pour l'intensité du champ magnétique en notation classique et H en notation rationalisée. Il serait évidemment préférable, comme le proposait Giorgi [1]), d'utiliser des symboles littéraux différents pour l'une et l'autre des notations, mais cette proposition n'a pas été adoptée.

Le tableau III indique les principales grandeurs qui diffèrent selon que la notation est classique ou rationalisée. De même, le tableau IV indique les formules les plus importantes qui diffèrent selon les deux notations.

Liste des grandeurs les plus importantes du champ électromagnétique, qui diffèrent selon que la notation est classique ou rationalisée

Les grandeurs rationalisées n'ont pas d'accent, p. ex. H
Les grandeurs classiques sont suivies d'un accent, p. ex. H'

Tableau III

Grandeurs électriques	Grandeurs magnétiques
Constant diélectrique au vide: $\varepsilon_0 = 8{,}85\,\frac{\text{pF}}{\text{m}}$; $\varepsilon_0' = 111{,}2\,\frac{\text{pF}}{\text{m}}$; $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi}\,\varepsilon_0'$	Perméabilité du vide: $\mu_0 = \frac{4\pi}{10}\,\frac{\mu\text{H}}{\text{m}} = 1{,}257\,\frac{\mu\text{H}}{\text{m}}$; $\mu_0' = 0{,}1\,\frac{\mu\text{H}}{\text{m}}$; $\mu_0 = 4\pi\,\mu_0'$
$\varepsilon_0\,\mu_0 = \varepsilon_0'\,\mu_0' = \frac{1}{c^2}$	
Déplacement électrique: $D = \frac{1}{4\pi}\,D'$	Intensité du champ magnétique: $H = \frac{1}{4\pi}\,H'$
Flux de déplacement électrique: $\Psi = \frac{1}{4\pi}\,\Psi'$	Quantité magnétique: $m = 4\pi\,m'$
	Intensité d'aimantation $J = 4\pi\,J'$
Susceptibilité électrique: $\varkappa_e = \frac{1}{4\pi}\,\varkappa_e'$	Susceptibilité magnétique: $\varkappa_m = \frac{1}{4\pi}\,\varkappa_m'$

[12]) Le mot «rationalisation» est dû à *O. Heaviside* (Electromagnetic Theory, vol. 1, p. 116, London 1893), qui proposa une nouvelle notation «rationnelle» des formules, en lieu et place de l'ancienne notation «irrationnelle».

[13]) La question de la rationalisation est une question de forme des équations, mais le passage de la notation classique à la notation rationalisée peut être interprété de diverses manières; par exemple comme transformation des grandeurs et des équations aux grandeurs, ou comme transformation des équations aux mesures et aux unités. Pour le présent exposé, qui est plus systématique qu'historique, nous avons adopté la première de ces interprétations.

Liste des formules les plus importantes du champ électromagnétique en notation rationalisée et en notation classique

Tableau IV

Nº	Notation rationalisée	Notation classique
1	$D = \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{Q}{A}$	$D' = \frac{Q}{r^2} = \frac{4\pi Q}{A}$
2	$\Psi = Q$	$\Psi' = 4\pi Q$
3	$\oint H\, ds = N I$	$\oint H'\, ds = 4\pi N I$
4	$D = \varepsilon_0 E + P$	$D' = \varepsilon_0' E + 4\pi P$
5	$B = \mu_0 H + J$	$B = \mu_0' H' + 4\pi J'$
6	$\varkappa_m = \mu_r - 1$	$\varkappa_m' = \frac{\mu_r - 1}{4\pi}$
7	$\varkappa_e = \varepsilon_r - 1$	$\varkappa_e' = \frac{\varepsilon_r - 1}{4\pi}$
8	$w = \frac{E D}{2} + \frac{H B}{2}$	$w = \frac{E D'}{8\pi} + \frac{H' B}{8\pi}$
9	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_0 \, 4\pi \, r^2}$	$F = \frac{Q_1 Q_2}{\varepsilon_0' \, r^2}$
10	$dH = I \frac{\sin\alpha}{4\pi r^2} ds$	$dH' = I \frac{\sin\alpha}{r^2} ds$
11	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0' \mu_0'}$

3. Tableaux des unités du système Giorgi

3-1. Les unités Giorgi de la mécanique

Toutes les unités Giorgi de la mécanique sont basées sur les trois unités fondamentales: m (mètre), kg (kilogramme-masse) et s (seconde). Le tableau V indique les unités Giorgi qui correspondent aux différentes grandeurs de la mécanique, ainsi que les unités C. G. S. et celles du système technique. Il indique également les facteurs de conversion k et k_t par lesquels il y a lieu de multiplier la mesure d'une grandeur indiquée en unités Giorgi, pour obtenir sa mesure en unités C. G. S. ou en unités du système technique. On a donc les relations suivantes:

$$\text{mesure en unités C. G. S.} = k \cdot \text{mesure Giorgi} \quad (18)$$

$$\text{mesure en unités techniques} = k_t \cdot \text{mesure Giorgi} \quad (19)$$

$$\text{mesure en unités techniques} = \frac{k_t}{k} \cdot \text{mesure en unités C.G.S.} \quad (20)$$

La relation (20) découle des relations (18) et (19). Les trois relations inverses ressortent immédiatement de ces trois relations.

Si l'on exprime une même grandeur par des unités différentes, les mesures se comportent à l'inverse des unités, ou réciproquement, les unités se comportent à l'inverse des mesures. Les équations aux mesures (18) à (20) correspondent donc aux équations aux unités suivantes:

$$\text{unité C.G.S.} = \frac{1}{k} \cdot \text{unité Giorgi} \quad (21)$$

$$\text{unité technique} = \frac{1}{k_t} \cdot \text{unité Giorgi} \quad (22)$$

$$\text{unité technique} = \frac{k}{k_t} \cdot \text{unité C.G.S.} \quad (23)$$

Les relations inverses entrent également en ligne de compte.

Exemple: Pour exprimer une pression de 1000 newtons par mètre carré en unités du système technique, on utilisera la relation (19). La mesure Giorgi est 1000. Dans le tableau V, on trouve pour k_t la valeur 0,102. En introduisant ces deux nombres dans la relation (19), il vient:

Mesure en unités techniques = 0,102 · 1000 = 102.

L'unité de pression du système technique étant 1 kg*/m², la pression cherchée est donc 102 kg*/m².

3-2. Les unités Giorgi du champ électromagnétique

Il y a lieu de distinguer soigneusement le système électromagnétique C. G. S. (E. M. C. G. S.) du système électrostatique C. G. S. (E. S. C. G. S.). Dans le système de Gauss, les unités des grandeurs magnétiques correspondent aux unités E. M. C. G. S., de même que les unités des grandeurs électriques correspondent aux unités E. S. C. G. S. Quant au système technique d'unités de mesure, il n'entre pas en ligne de compte, puisqu'il ne comporte pas d'unités pour les grandeurs du champ électromagnétique, étant donné que ce n'est pas un système complet.

Le tableau VI indique les unités Giorgi qui correspondent aux différentes grandeurs du champ électromagnétique, ainsi que les unités E. M. C. G. S. et les unités E. S. C. G. S. Il indique également les facteurs de conversion k_m et k_s qui servent aux conversions suivantes:

$$\text{mesure en unités E.M.C.G.S.} = k_m \cdot \text{mesure Giorgi} \quad (24)$$

$$\text{mesure en unités E.S.C.G.S.} = k_s \cdot \text{mesure Giorgi} \quad (25)$$

$$\text{mesure en unités E.S.C.G.S.} = \frac{k_s}{k_m} \cdot \text{mesure en unités E.M.C.G.S.} \quad (26)$$

Les relations inverses entrent également en ligne de compte.

Il n'existe pas de relations simples, pour les grandeurs du champ électromagnétique, entre les unités des divers systèmes d'unités de mesure. Il est donc recommandé de renoncer à une transformation d'unités [14]). Pour cette raison, nous n'indiquerons pas les relations d'unités qui correspondent aux relations (21) à (23) [15]).

[14]) Dans les colonnes des unités E. M. C. G. S. et E. S. C. G. S. du tableau VI, on constate que les unités de grandeurs ayant la même dénomination dans les deux systèmes ont des dimensions différentes. Les deux unités ne peuvent donc pas être reliées par un facteur constitué par un nombre pur. — Au début (Congrès Electrotechnique International, Paris 1881), les unités électriques pratiques qui étaient également les unités Giorgi furent considérées comme des multiples purs des unités E. M. C. G. S. De nos jours, elles ont pour base quatre unités fondamentales. Elles sont devenues des unités à quatre dimensions et ne peuvent plus être dérivées par des facteurs numériques purs en partant des unités E. M. C. G. S. tridimensionnelles.

[15]) Pour ce même motif, dans la Publication nº 192 de l'Association Suisse des Electriciens: «Règles et recommandations pour les symboles littéraux et signes», on a indiqué le signe $\triangleq$ (correspond à) et non pas le signe = (égale) entre les unités des différents systèmes d'unités de mesure qui se correspondent, mais qui n'ont pas les mêmes dimensions.

Unités mécaniques Giorgi [1])

Tableau V

N°	Grandeur		Unité Giorgi		Unité C. G. S.	Unité technique	Facteurs de conversion		Remarques
	Nom	Symbole	Nom	Symbole	Symbole	Symbole	k	k_t	
1	Länge *longueur*	l	Mètre	**m**	cm	m	10^2	1	
2	Fläche *surface*	A	—	$\mathbf{m^2}$	cm^2	m^2	10^4	1	
3	geometrisches Trägheitsmoment *moment d'inertie géométrique*	J	—	$\mathbf{m^4}$	cm^4	m^4	10^8	1	
4	Widerstandsmoment *moment résistant*	W	—	$\mathbf{m^3}$	cm^3	m^3	10^6	1	
5	Volumen *volume*	V	—	$\mathbf{m^3}$	cm^3	m^3	10^6	1	
6	Masse *masse*	m	Kilogramme	**kg**	g	$\frac{kg^*\,s^2}{m}$	10^3	$\frac{1}{9{,}81}$	
7	Dichte, spezif. Masse *masse spécifique*	ϱ	—	$\mathbf{\frac{kg}{m^3}}$	$cm^{-3}\,g$	$\frac{kg^*\,s^2}{m^4}$	10^{-3}	$\frac{1}{9{,}81}$	
8	Massenträgheitsmoment *moment d'inertie (dynamique)*	J	—	$\mathbf{m^2\,kg}$	$cm^2\,g$	$m\,kg^*\,s^2$	10^7	$\frac{1}{9{,}81}$	Moment de giration: mesure en unités techniques de $GD^2 = 4\cdot$mesure Giorgi de J
9	Zeit *temps*	t	Seconde	**s**	s	s	1	1	
10	Geschwindigkeit *vitesse*	v	—	$\mathbf{\frac{m}{s}}$	$cm\,s^{-1}$	$\frac{m}{s}$	10^2	1	
11	Drehzahl *fréquence de rotation*	n	—	$\mathbf{\frac{1}{s}}$	s^{-1}	$\frac{1}{s}$	1	1	$\frac{1}{s} = 1\,\frac{t.}{s} = 60\,\frac{t.}{m}$
12	Frequenz *fréquence*	f	Hertz	**Hz**	s^{-1}	$\frac{1}{s}$	1	1	1 Hz = 1/s
13	Kreisfrequenz *pulsation*	ω	—	$\mathbf{\frac{1}{s}}$	s^{-1}	$\frac{1}{s}$	1	1	
14	Kraft *force*	F	Newton	**N**	$cm\,g\,s^{-2}$ dyne	kg^*	10^5	$\frac{1}{9{,}81}$	$1\ N = 1\ \frac{mkg}{s^2}$
15	Gewicht *poids*	G	Newton	**N**	$cm\,g\,s^{-2}$ dyne	kg^*	10^5	$\frac{1}{9{,}81}$	$\frac{1}{9{,}81} \approx 0{,}102$
16	spezifisches Gewicht *poids spécifique*	γ	—	$\mathbf{\frac{N}{m^3}}$	$cm^{-2}\,g\,s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^3}$	1	$\frac{1}{9{,}81}$	
17	Druck *pression*	p	—	$\mathbf{\frac{N}{m^2}}$	$cm^{-1}\,g\,s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	$1\,\frac{N}{m^2} = 1{,}02\cdot10^{-5}\,\frac{kg^*}{cm^2}$
18	Zug- oder Druckspannung *tension (ou contrainte) de traction ou de compression*	σ	—	$\mathbf{\frac{N}{m^2}}$	$cm^{-1}\,g\,s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	
19	Schub- oder Torsionsspannung *tension (ou contrainte) de cisaillement ou de torsion*	τ	—	$\mathbf{\frac{N}{m^2}}$	$cm^{-1}\,g\,s^{-2}$	$\frac{kg^*}{m^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	

[1]) mesure en unités C. G. S. = k · mesure Giorgi

mesure en unités techniques = k_t · mesure Giorgi

mesure en unités techniques = $\frac{k_t}{k}$ · mesure en unités C. G. S.

unité C. G. S. = $\frac{1}{k}$ · unité Giorgi

unité technique = $\frac{1}{k_t}$ · unité Giorgi

unité technique = $\frac{k}{k_t}$ · unité C. G. S.

Unités mécaniques Giorgi [1]

Suite du tableau V

N°	Grandeur		Unité Giorgi		Unité C. G. S.	Unité technique	Facteurs de conversion		Remarques
	Nom	Symbole	Nom	Symbole	Symbole	Symbole	k	k_t	
20	Elastizitätsmodul *module d'élasticité*	E	—	$\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$	$\mathrm{cm}^{-1}\,\mathrm{g}\,\mathrm{s}^{-2}$	$\frac{\mathrm{kg}^*}{\mathrm{m}^2}$	10	9,81	
21	Dehnungskoeffizient *coefficient d'allongement*	α	—	$\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{N}}$	$\mathrm{cm}\,\mathrm{g}^{-1}\,\mathrm{s}^2$	$\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{kg}^*}$	10^{-1}	$\frac{1}{9{,}81}$	
22	Schubmodul *module de torsion (ou de cisaillement)*	G	—	$\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$	$\mathrm{cm}^{-1}\,\mathrm{g}\,\mathrm{s}^{-2}$	$\frac{\mathrm{kg}^*}{\mathrm{m}^2}$	10	$\frac{1}{9{,}81}$	
23	Drehmoment *moment (d'un couple)*	M	—	Nm	$\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{s}^{-2}$	m kg*	10^7	$\frac{1}{9{,}81}$	
24	Energie, Arbeit *énergie, travail*	W	Joule	J	$\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{s}^{-2}$ erg	m kg*	10^7	$\frac{1}{9{,}81}$	1 J = 1 Ws
25	Leistung *puissance*	P	Watt	W	$\mathrm{cm}^2\,\mathrm{g}\,\mathrm{s}^{-3}$	$\frac{\mathrm{m\,kg}^*}{\mathrm{s}}$	10^7	9,81	

Les nombres 3 et 9 (= 3^2) qui figurent dans la colonne des facteurs de transformation k_s sont en relation avec la vitesse de la lumière dans le vide et sont basés sur la valeur de $3 \cdot 10^8$ m/s. Pour les calculs de très haute précision, il faut toutefois se baser sur la valeur de $2{,}997\,96 \cdot 10^8$ m/s, et remplacer dans ce cas 3 par 2,997 96 et 9 par 8,987 8.

Premier exemple : Pour indiquer en unités Giorgi la force coercitive du Permalloy, qui est de 0,03 oersted, on doit tout d'abord rechercher dans le tableau VI le facteur de conversion correspondant. A la rubrique n° 23, on trouve $k_m = 4\,\pi \cdot 10^{-3}$. Selon la relation (24), on a

mesure en unités E.M.C.G.S. = $4\pi \cdot 10^{-3}$ · mesure Giorgi et

$$\text{mesure Giorgi} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-3}} \cdot \text{mesure en unités}$$

$$\text{E.M.C.G.S.} = \frac{1000}{4\,\pi} \cdot 0{,}03 \approx 80 \cdot 0{,}03 = 2{,}4.$$

Ainsi, dans le système Giorgi, la force coercitive du Permalloy est égale à 2,4 A/m.

Deuxième exemple : Comment peut-on transposer le théorème d'Ampère du système E.M.C.G.S. au système Giorgi. L'équation aux mesures de ce théorème s'écrit, dans le système E. M. C. G. S.:

$$\oint \{H_m\}\ \{\mathrm{d}s_m\} = 4\,\pi\ N\ \{I_m\}\ ^{16)}.$$

A l'aide des facteurs de conversion de l'intensité du champ, de l'élément de chemin et de l'intensité du courant, qui sont indiqués respectivement aux rubriques n° 23 du tableau VI, n° 1 du tableau V et n° 6 du tableau VI, les relations (21) et (24) conduisent aux trois équations suivantes:

$$\{H_m\} = 4\pi \cdot 10^{-3}\ \{H\}^{17)}$$
$$\{s_m\} = 10^2\ \{s\}$$
$$\{I_m\} = 10^{-1}\ \{I\}.$$

[16] H_m entre accolades est la mesure de H_m dans le système E. M. C. G. S., etc.

[17] H entre accolades est la mesure de H dans le système Giorgi, etc.

En introduisant ces expressions, on a

$$\int \{H\}\ \{\mathrm{d}s\}\ 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot 10^2 = 4\pi\ N\ \{I\}\ 10^{-1},$$

ou

$$\oint \{H\}\ \{\mathrm{d}s\} = N\ \{I\},$$

En substituant à cette équation aux mesures l'équation aux grandeurs, on a finalement

$$\oint H\mathrm{d}s = N I.$$

4. Application pratique du système Giorgi

4-1. Généralités

Le système Giorgi s'apprend facilement et s'avère en très peu de temps avantageux. Il faut surtout bien se rappeler que les neuf unités électriques pratiques (V, A, W, J, Ω, Wb, C, H, F) et les trois unités mécaniques (m, s, kg) sont des éléments du système Giorgi, que l'on peut utiliser d'une manière certaine dans tout le domaine de la mécanique, de l'électricité et de l'électrotechnique, à l'aide de lois fondamentales simples, sans coefficients parasites (pour les lois fondamentales du champ électromagnétique, voir Tableau IV, colonne de gauche). En outre, il faut songer à la nouvelle unité de force, le newton $\left(1\ \mathrm{N} = 1\ \frac{\mathrm{kgm}}{\mathrm{s}^2} = \frac{\text{kilogramme-force}}{9{,}81}\right)$, et aux valeurs de la perméabilité et de la constante diélectrique du vide:

$$\mu_0 = 1{,}257\ \frac{\mu\mathrm{H}}{\mathrm{m}}, \qquad \varepsilon_0 = 8{,}85\ \frac{\mathrm{pF}}{\mathrm{m}}.$$

Il est recommandable de se familiariser avec le système Giorgi au moyen de quelques exemples de calcul. Les exemples montrent que de nombreuses unités Giorgi possèdent des grandeurs adaptées aux besoins courants; toutefois, les multiples et sous-multiples des unités Giorgi apparaissent dans bien des cas. C'est ainsi que, comme par le passé, on

Unités électriques Giorgi [1]

Tableau VI

N°	Grandeur: Nom	Grandeur: Symbole	Unité Giorgi: Nom	Unité Giorgi: Symbole	Unité Giorgi: Symbole composé de m, s, V, A	Unité E. M. C. G. S.: Symbole	Unité E. S. C. G. S.: Symbole	Facteurs de conversion: k_m	Facteurs de conversion: k_s
1	Elektrizitätsmenge *quantité d'électricité*	Q	Coulomb	C	As	$cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	10^{-1}	$3\cdot10^{9}$
2	Verschiebungsfluss *flux de déplacement électrique*	Ψ	Coulomb	C	As	$cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	$4\pi\cdot10^{-1}$	$4\pi\cdot3\cdot10^{9}$
3	(elektrische) Verschiebung *déplacement électrique*	D	—	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	$4\pi\cdot10^{-5}$	$4\pi\cdot3\cdot10^{5}$
4	Flächendichte der (elektr.) Ladung *densité électrique superficielle*	σ	—	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	10^{-5}	$3\cdot10^{5}$
5	räumliche Dichte der elektr. Ladung *densité électrique volumique*	ϱ	—	$\frac{C}{m^3}$	$\frac{As}{m^3}$	$cm^{-\frac{5}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	10^{-7}	$3\cdot10^{3}$
6	Stromstärke, Strom *intensité de courant, intensité, courant*	I	Ampère	A	A	$cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	$cm^{\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-2}$	10^{-1}	$3\cdot10^{9}$
7	Stromdichte *densité de courant*	S	—	$\frac{A}{m^2}$	$\frac{A}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	$cm^{-\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-2}$	10^{-5}	$3\cdot10^{5}$
8	Spannung, Potentialdifferenz *tension, différence de potentiel*	U	Volt	V	V	$cm^{\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-2}$	$cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	10^{8}	$\frac{1}{3}\cdot10^{-2}$
9	elektromotorische Kraft *force électromotrice*	E	Volt	V	V	$cm^{\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-2}$	$cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	10^{8}	$\frac{1}{3}\cdot10^{-2}$
10	(elektrisches) Potential *potentiel (électrique)*	V	Volt	V	V	$cm^{\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-2}$	$cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	10^{8}	$\frac{1}{3}\cdot10^{-2}$
11	elektrische Feldstärke *intensité du champ électrique*	E	—	$\frac{V}{m}$	$\frac{V}{m}$	$cm^{\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-2}$	$cm^{-\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	10^{6}	$\frac{1}{3}\cdot10^{-4}$
12	(Ohmscher) Widerstand *résistance (non inductive)*	R	Ohm	Ω	$\frac{V}{A}$	$cm\,s^{-1}$	$cm^{-1}\,s$	10^{9}	$\frac{1}{3^2}\cdot10^{-11}$
13	spezifischer Widerstand *résistivité*	ϱ	—	Ωm	$\frac{Vm}{A}$	$cm^{2}\,s^{-1}$	s	10^{11}	$\frac{1}{3^2}\cdot10^{-9}$
14	Leitwert *conductance*	G	—	$\frac{1}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1}\,s$	$cm\,s^{-1}$	10^{-9}	$3^2\cdot10^{11}$
15	Leitfähigkeit *conductivité*	γ	—	$\frac{1}{\Omega m}$	$\frac{A}{Vm}$	$cm^{-2}\,s$	s^{-1}	10^{-11}	$3^2\cdot10^{9}$
16	Kapazität *capacité*	C	Farad	F	$\frac{As}{V}$	$cm^{-1}\,s^{2}$	cm	10^{-9}	$3^2\cdot10^{11}$
17	Dielektrizitätskonstante *constante diélectrique*	ε	—	$\frac{F}{m}$	$\frac{As}{Vm}$	$cm^{-2}\,s^{2}$	1	$4\pi\cdot10^{-11}$	$4\pi\cdot3^2\cdot10^{9}$
18	relative Dielektrizitätskonstante *constante diélectrique relative*	ε_r	1	1	1	1	1	1	1
19	dielektrische Polarisation *polarisation diélectrique*	P	—	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	10^{-5}	$3\cdot10^{5}$
20	piezoelektrischer Modul *module piézo-électrique*	d	—	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{As}{m^2}$	$cm^{-\frac{3}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}$	$cm^{-\frac{1}{2}}\,g^{\frac{1}{2}}\,s^{-1}$	$4\pi\cdot10^{-5}$	$4\pi\cdot3\cdot10^{5}$

[1] mesure en unités E. M. C. G. S. $= k_m \cdot$ mesure Giorgi
mesure en unités E. S. C. G. S. $= k_s \cdot$ mesure Giorgi
mesure en unités E. S. C. G. S. $= \frac{k_s}{k_m}\cdot$ mesure en unités E. M. C. G. S.

Unités électriques Giorgi [1])

Suite du tableau VI

Nº	Grandeur — Nom	Grandeur — Symbole	Unité Giorgi — Nom	Unité Giorgi — Symbole	Unité Giorgi — Symbole composé de m, s, V, A	Unité E. M. C. G. S. — Symbole	Unité E. S. C. G. S. — Symbole	Facteurs de conversion — k_m	Facteurs de conversion — k_s
21	Induktionsfluss *flux d'induction (magnétique)*	Φ	Weber	**Wb**	Vs	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Maxwell	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	10^8	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-2}$
22	Induktion (magnetische) *induction (magnétique)*	B	—	$\frac{\mathbf{Wb}}{\mathbf{m^2}}$	$\frac{Vs}{m^2}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Gauss	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	10^4	$\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$
23	magnetische Feldstärke *intensité du champ magnétique*	H	—	$\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{m}}$	$\frac{A}{m}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Oersted	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-3}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^7$
24	Permeabilität *perméabilité*	μ	—	$\frac{\mathbf{H}}{\mathbf{m}}$	$\frac{Vs}{Am}$	1	$cm^{-2} s^2$	$\frac{1}{4\pi} \cdot 10^7$	$\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{3^2} \cdot 10^{-13}$
25	relative Permeabilität *perméabilité relative*	μ_r	—	**1**	1	1	1	1	1
26	Magnetisierungsstärke *intensité d'aimantation*	J	—	$\frac{\mathbf{Wb}}{\mathbf{m^2}}$	$\frac{Vs}{m^2}$	$cm^{-\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$cm^{-\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}$	$\frac{1}{4\pi} \cdot 10^4$	$\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$
27	Suszeptibilität *susceptibilité (magnétique)*	$\varkappa$	—	**1**	1	1	1	$\frac{1}{4\pi}$	$\frac{1}{4\pi}$
28	Durchflutung *solénation, (excitation totale)*	Θ	Ampère	**A**	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	10^{-1}	$3 \cdot 10^9$
29	magnetomotorische Kraft *force magnétomotrice*	F	Ampère	**A**	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Gilbert	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-1}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^9$
30	magnetische Spannung *différence de potentiel magnétique*	U	Ampère	**A**	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Gilbert	$cm^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-1}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^9$
31	magnetisches Potential *potentiel magnétique*	V	Ampère	**A**	A	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-1}$ Gilbert	$cm^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} s^{-2}$	$4\pi \cdot 10^{-1}$	$4\pi \cdot 3 \cdot 10^9$
32	magnetischer Widerstand *réluctance*	R	—	$\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{H}}$	$\frac{A}{Vs}$	cm^{-1}	$cm\ s^{-2}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
33	magnetischer Leitwert *perméance*	Λ	Henry	**H**	$\frac{Vs}{A}$	cm	$cm^{-1} s^2$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
34	(Selbst-) Induktivität *inductance (propre), coefficient d'induction propre ou de self-induction*	L	Henry	**H**	$\frac{Vs}{A}$	cm	$cm^{-1} s^2$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
35	Gegeninduktivität *inductance mutuelle*	M	Henry	**H**	$\frac{Vs}{A}$	cm	$cm^{1} s^2$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
36	Reaktanz, Blindwiderstand *réactance*	X	Ohm	Ω	$\frac{V}{A}$	$cm\ s^{-1}$	$cm^{-1} s$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
37	Impedanz, Scheinwiderstand *impédance*	Z	Ohm	Ω	$\frac{V}{A}$	$cm\ s^{-1}$	$cm^{-1} s$	10^9	$\frac{1}{3^2} \cdot 10^{-11}$
38	Admittanz, Scheinleitwert *admittance*	Y	—	$\frac{\mathbf{1}}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1} s$	$cm\ s^{-1}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
39	Suszeptanz, Blindleitwert *susceptance*	B	—	$\frac{\mathbf{1}}{\Omega}$	$\frac{A}{V}$	$cm^{-1} s$	$cm\ s^{-1}$	10^{-9}	$3^2 \cdot 10^{11}$
40	Wirkleistung *puissance active*	P	Watt	**W**	VA	$cm^2\ g\ s^{-3}$	$cm^2\ g\ s^{-3}$	10^7	10^7
41	Blindleistung *puissance réactive*	Q	Var	**Var**	VA	$cm^2\ g\ s^{-3}$	$cm^2\ g\ s^{-3}$	10^7	10^7
42	Scheinleistung *puissance apparente*	S	—	**VA**	VA	$cm^2\ g\ s^{-3}$	$cm^2\ g\ s^{-3}$	10^7	10^7

Unités électriques Giorgi[1])

Suite du tableau VI

N°	Grandeur		Unité Giorgi			Unité E. M. C. G. S.	Unité E. S. C. G. S.	Facteurs de conversion	
	Nom	Symbole	Nom	Symbole	Symbole composé de m, s, V, A	Symbole	Symbole	k_m	k_s
43	Wirkenergie *énergie active*	W	Joule	J	VAs	$cm^2\ g\ s^{-2}$	$cm^2\ g\ s^{-2}$	10^7	10^7
44	Blindenergie *énergie réactive*	W_q	—	Var·s	VAs	$cm^2\ g\ s^{-2}$	$cm^2\ g\ s^{-2}$	10^7	10^7
45	Scheinenergie *énergie apparente*	W_s	—	VAs	VAs	$cm^2\ g\ s^{-2}$	$cm^2\ g\ s^{-2}$	10^7	10^7

rapportera au mm^2 et non au m^2 les sections, densités de courant, résistivités et conductances de fils. La conversion en unités décimales dérivées est indiquée au paragraphe *4-3.*

4-2. Exemples simples

a) Capacité. La formule de la capacité d'un condensateur plan est

$$C = \frac{A\ \varepsilon_r\ \varepsilon_0}{\delta}.$$

Pour un condensateur au papier, admettons que $A = 10\ m^2$, $\varepsilon_r = 4$, $\delta = 0{,}1\ mm = 10^{-4}\ m$. Comme on le sait, $\varepsilon_0 = 8{,}85\ \frac{pF}{m} = 8{,}85\ \frac{10^{-12}\ F}{m}$.

On a donc:

$$C = \frac{10 \cdot 4 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}}{10^{-4}}\ F = 3{,}54 \cdot 10^{-6}\ F = 3{,}54\ \mu F.$$

b) Force magnétique. La force magnétique entre deux conducteurs parallèles est

$$F = I\ l\ B = \frac{I^2\ l\ \mu_0}{2\ \pi\ r}.$$

Quelle est la grandeur de cette force entre deux barres omnibus écartées de $r = 0{,}2$ m, par mètre de longueur, lorsqu'elles sont parcourues par un courant de court-circuit $I = 20\ 000$ A?

$$F = \frac{4 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 1{,}257 \cdot 10^{-6}}{2\ \pi \cdot 0{,}2}\ N = 400\ N.$$

Les personnes qui ne sont pas encore familiarisées avec la nouvelle unité de force, peuvent convertir le newton en kilogramme-force:

N = 0,102 kg* (voir Tableau V, chiffre 14).

On a donc $F = 400$ N $= 40{,}8$ kg*.

c) Équation de la trajectoire d'un électron. Exemple où figurent la force électrique, la force magnétique et l'inertie. Après avoir traversé une tension électrique U dans le vide, l'énergie cinétique d'une particule de masse m et de charge e est:

$$W = \frac{1}{2}\ m\ v^2 = U e.$$

Si cette particule traverse un champ magnétique B perpendiculairement aux lignes de force, elle est déviée sur une trajectoire circulaire, où la force centripète est égale à la force magnétique:

$$\frac{m\ v^2}{r} = v\ e\ B.$$

De ces deux équations, on tire le rayon

$$r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2\ U\ m}{e}}.$$

Si la particule est un électron de masse $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg et de charge $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, la tension traversée $U = 1000$ V et l'induction $B = 0{,}01\ \frac{Wb}{m^2}$, on a

$$r = \frac{1}{0{,}01}\sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}}}\ m = 1{,}065 \cdot 10^{-2}\ m = 1{,}065\ cm.$$

4-3. Exemples comportant multiples et sous-multiples des unités

a) Règle générale. Pour convertir les mesures et établir des équations aux mesures pour les unités décimales dérivées des unités Giorgi, il existe des règles bien connues [18]), que nous allons résumer et que nous illustrerons par quelques exemples.

Pour passer d'une équation aux grandeurs à une équation adaptée à des unités déterminées, il suffit dans la plupart des cas de procéder aux opérations suivantes:

1° *multiplier* et *diviser* le second membre par les unités choisies;

2° *ordonner* le second membre de manière à faire apparaître sous la forme de quotients (grandeur/unité) les mesures des grandeurs connues, à faire intervenir un facteur composé et à écrire enfin l'unité au moyen de laquelle on désire mesurer la grandeur inconnue;

3° *calculer* le facteur composé qui est un nombre pur.

b) Différence de potentiel magnétique dans un entrefer. La formule de la différence de potentiel magnétique U_m dans un entrefer, qui est très souvent utilisée pour le calcul de circuits magné-

[18]) cf. *Landolt, M.:* Grandeur, mesure et unité. Bruxelles et Paris, 1947, p. 25.

tiques, doit être amenée sous une forme aussi commode que possible, où B soit exprimé en $\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$, δ en mm et U_m en A. L'équation aux grandeurs est

$$U_m = \frac{B}{\mu_0}\,\delta .$$

1° Multiplier et diviser:

$$U_m = \frac{B}{\mu_0}\,\delta \cdot \frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\cdot \text{mm}\cdot \text{A}}{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\cdot \text{mm}\cdot \text{A}} .$$

2° Ordonner:

$$U_m = \frac{B}{\text{Wb/m}^2}\cdot\frac{\delta}{\text{mm}}\cdot\frac{1}{\mu_0}\cdot\frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\,\text{mm}}{\text{A}}\cdot \text{A} .$$

3° Calculer: On introduit la valeur de μ_0, substitue aux unités Wb/m² et H/m les unités V, s, A et m (voir Tableau VI, chiffres 22 et 24, colonne 6) et applique la relation d'unités 1 mm = 10^{-3} m. On obtient ainsi pour le facteur composite

$$\frac{1}{\mu_0}\,\frac{\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\,\text{mm}}{\text{A}} = \frac{\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\cdot 10^{-3}\ \text{m}}{1{,}257\,\frac{\mu\text{H}}{\text{m}}\cdot \text{A}} = \frac{\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\cdot 10^{-3}\ \text{m}}{1{,}257\cdot 10^{-6}\,\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}\,\text{A}} .$$

Après réduction et calcul, on obtient finalement le nombre pur 796. Le résultat cherché est donc

$$U_m = \frac{B}{\text{Wb/m}^2}\cdot\frac{\delta}{\text{mm}}\cdot 796\ \text{A},$$

ou, écrit sous forme d'équation aux mesures,

$$U_m = 796\, B\, \delta \approx 800\, B\, \delta \qquad (27)$$

(B en Wb/m², δ en mm, U_m en A).

c) La *conductivité* du cuivre $\gamma = 56\ \frac{\text{m}}{\Omega\ \text{mm}^2}$ doit être exprimée en unité Giorgi $\frac{1}{\Omega\ \text{m}}$. En appliquant la relation aux unités 1 mm² = 10^{-6} m², on obtient immédiatement

$$\gamma = 56\,\frac{\text{m}}{\Omega\,\text{mm}^2} = 56\,\frac{\text{m}}{\Omega\,10^{-6}\ \text{m}^2} = 56\cdot 10^6\,\frac{1}{\Omega\text{m}} .$$

4-4. Exemples tirés de la construction des machines électriques

Pour le calcul des machines et transformateurs électriques, les unités Giorgi sont en fait utilisées d'une manière générale depuis fort longtemps déjà, car les unités pratiques V, A, W, Ω, J, etc., font partie du système Giorgi. De nos jours, d'autres unités sont utilisées pour le calcul de

1° couples et forces massiques: le kilogramme-force,

2° circuits magnétiques: le maxwell et le gauss. L'application exclusive du système Giorgi ne donne donc pas lieu, dans ce domaine, à de bien grandes difficultés et ne présente que des avantages.

a) Moment d'inertie dynamique. Une machine doit accélérer à n = 960 t./m en 10 s un *moment d'inertie* J = 200 kgm². Le *moment* du couple nécessaire est:

$$M = J\,\frac{\text{d}\,\omega}{\text{d}t},\ \text{dont}\ \omega = \frac{960}{60}\cdot 2\,\pi\,\frac{1}{\text{s}} = 100\,\frac{1}{\text{s}} .$$

On a donc

$$M = \frac{100}{10}\cdot 200\ \text{Nm} = 2000\ \text{Nm} .$$

La *puissance* maximum atteinte à pleine vitesse de rotation est

$$P_{max} = M\cdot\omega = 2000\cdot 100\ \text{W} = 200\ \text{kW} .$$

L'*énergie cinétique* est

$$W = \frac{J\,\omega^2}{2} = 200\cdot\frac{100^2}{2}\ \text{J} = 10^6\ \text{J} = 1000\ \text{kWs}.$$

Actuellement, on a l'habitude de désigner par moment de giration GD^2 (G = poids en kg*, D = diamètre d'inertie en m) l'inertie des machines tournantes. Selon le tableau V, n° 8, la mesure en unités techniques du GD^2 est égale à quatre fois la mesure Giorgi de J, de sorte que la conversion est très simple. Dans l'exemple considéré, on a

$$J = 200\ \text{kgm}^2 \quad\text{et}\quad GD^2 = 800\ \text{kg}^*\,\text{m}^2.$$

b) Calcul de circuits magnétiques. Pour le calcul des circuits magnétiques de machines et transformateurs électriques, l'application du système Giorgi conduit généralement à des mesures commodes. Les inductions usuelles sont

dans l'entrefer B = 0,5 ... 1 Wb/m²,
dans le fer B = 1 ... 3 Wb/m².

Sur les dessins et les schémas de bobinage de machines électriques, les mesures sont toujours indiquées en mm. La conversion en mètres et le calcul des sections, inductions magnétiques et flux, conduit, avec le système Giorgi, à des mesures plus commodes qu'avec les systèmes C. G. S. Pour le calcul très fréquent de la différence de potentiel magnétique U_m dans un entrefer, on appliquera avantageusement l'équation aux mesures indiquée au chapitre *4-3*:

$$U_m \approx 800\, B\, \delta$$

(B en Wb/m², δ en mm, U_m en A).

Les différences de potentiel magnétique dans le fer se calculent à l'aide de l'équation aux mesures

$$U_m = H\, l$$

(H en A/mm, l en mm, U_m en A).

La longueur l est tirée directement du dessin, en mm, et l'intensité H s'obtient d'après la courbe aimantation, en A/mm. Les courbes utilisées jusqu'ici n'ont pas besoin d'être modifiées, car il suffit de corriger les chiffres en déplaçant la virgule.

c) Un turboalternateur triphasé d'une puissance apparente de 40 000 kVA, d'une vitesse de 3000 t./m, d'une tension par groupe d'enroulement de $\frac{10\,500}{\sqrt{3}} = 6060$ V et d'une fréquence de 50 Hz [19]) sera recalculé d'une manière simple. Les dimensions de cette machine sont: diamètre intérieur du stator $d = 1000$ mm, largeur du fer $l = 3000$ mm, entrefer $\delta = 35$ mm. Si la répartition du champ est sinusoïdale et l'induction dans l'air $B = 0{,}7$ Wb/m², le flux magnétique est

$$\Phi = \frac{B\,l\,d}{p} = \frac{0{,}7 \cdot 3 \cdot 1}{1}\ \text{Wb} = 2{,}1\ \text{Wb}.$$

Pour un nombre de spire $N = 14$ par groupe d'énroulement et un facteur de bobinage $k_w = 0{,}92$, la tension induite est

$$U_i = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot \Phi \cdot N \cdot k_w = 222 \cdot 2{,}1 \cdot 14 \cdot 0{,}92\,\text{V} = 6060\text{V}.$$

La différence de potentiel magnétique dans l'entrefer est, selon l'équation (27):

$$U_m = 800\ B \cdot \delta'\text{A} = 800 \cdot 0{,}7 \cdot 38{,}5\ \text{A} = 21\,800\ \text{A},$$
$$\text{où } \delta' = \delta \cdot k_c, \quad k_c = \text{facteur de Carter} = 1{,}1.$$

d) Utilisation des unités maxwell et gauss. Malgré les avantages que présente le système Giorgi pour le calcul des circuits magnétiques, il est probable que les praticiens utiliseront longtemps encore les unités E. M. C. G. S. maxwell et gauss. (Le gilbert et l'oersted n'ont jamais été utilisés dans le domaine de la construction des machines électriques.) On peut les considérer comme des unités décimales dérivées des unités Giorgi [20]):

$$1\ \text{maxwell} = 10^{-8}\ \text{Wb};\ 1\ \text{gauss} = 10^{-4}\ \text{Wb/m}^2.$$

Pour le calcul de la différence de potentiel magnétique dans l'entrefer, l'équation aux mesures $U_m \approx 800\ B\ \delta$ (exemple *b* du chapitre *4-3*) sera, par exemple, remplacée par l'équation bien connue

$$U_m \approx 0{,}8\ B\ \delta$$
$$(B \text{ en gauss, } \delta \text{ en mm, } U_m \text{ en A}).$$

Pour le calcul d'inductances, de forces magnétiques, de forces massiques et du pompage de machines électriques, il est toujours plus avantageux d'appliquer le système Giorgi.

5. L'utilisation actuelle du système Giorgi

Il est probable que, conformément à la décision de la CEI de 1935, le système d'unités de mesure Giorgi sera admis et recommandé par les *associations électrotechniques* des différents pays, comme cela est le cas pour le «Comité Electrotechnique Suisse» et l'«Association Suisse des Electriciens». C'est ainsi que l'«Institute of Radio Engineers» aux Etats-Unis s'est prononcé en faveur du système Giorgi rationalisé [49] [21]).

L'«Union de Physique pure et appliquée» a décidé à l'unanimité, lors de son assemblée générale d'Amsterdam, en juillet 1948, de recommander au «Comité International des Poids et Mesures» d'appliquer le système Giorgi dans ses relations internationales. Il n'a toutefois pas été pris de décision quant à la rationalisation et les physiciens ont la faculté de continuer à utiliser les systèmes C. G. S.

Dans les *manuels d'enseignement* de ces dernières décennies, on distingue les catégories suivantes:

1° Ouvrages qui s'en tiennent aux systèmes C.G.S. classiques de l'électricité, par exemple [1] à [6] [21]).

La plupart des manuels d'électrotechnique et de physique allemands, par exemple [10] à [19], utilisent des équations aux grandeurs rationalisées et le système Mie [22]), mais également le maxwell, le gauss et le kilogramme-force. Cette catégorie de manuels a préparé le terrain pour le système Giorgi rationalisé. Le système Mie possède toutefois une unité de masse (10 000 kg) et une unité d'induction ($10\,000\ \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 10^8$ gauss) peu appropriées. Il faut donc espérer qu'il sera bientôt remplacé par le système Giorgi, internationalement adopté.

3° Certains manuels récents utilisent uniquement le système Giorgi, par exemple [20] à [23]. D'autres manuels, de ces dernières années, utilisent le système Giorgi à côté d'autres systèmes, ou l'expliquent d'une manière détaillée, [30] à [35].

Les rubriques [40] à [49] se rapportent à quelques-unes des publications relatives au système d'unités de mesure Giorgi; celles-ci renferment également d'autres indications bibliographiques.

Bibliographie [23])

Manuels d'enseignement, qui utilisent les systèmes C.G.S. classiques

[1] *W. Michael:* Theorie der Wechselstrommaschinen, Leipzig und Berlin, 1937.
[2] *J. Hak:* Eisenlose Drosselspulen, Leipzig, 1938.
[3] *F. Rutgers:* Vereinfachte theoretische Grundlagen der angewandten Elektrotechnik, Zürich, 1939.
[4] *F. Kohlrausch:* Praktische Physik, Bd. 1 und 2, Leipzig und Berlin, 1943.
[5] *G. Bruhat:* Electricité, Paris, 1947.
[6] *Ch. A. Coulson:* Electricity, Edinburgh, 1948.

Manuels d'enseignement et Normes, qui utilisent les équations de grandeurs rationalisées et le système Mie

[10] *DIN 1313:* Schreibweise physikalischer Gleichungen, Nov. 1931.
[11] *R. Richter:* Elektrische Maschinen, Bd. I—IV, Berlin, 1924—1936.
[12] *A. Thomälen:* Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik, Berlin, 1929.
[13] *A. Fraenckel:* Theorie der Wechselströme, Berlin, 1930.
[14] *M. Landolt:* Komplexe Zahlen und Zeiger in der Wechselstromlehre, Berlin, 1936.
[15] *R. Tomaschek:* Grimsehls Lehrbuch der Physik, Bd. II, Leipzig und Berlin, 1943.
[16] *J. Wallot:* Einführung in die Theorie der Schwachstromtechnik, Berlin, 1943.

[19]) *Liwschitz, M.:* Die elektrischen Maschinen, Leipzig und Berlin 1934, Bd. III, p. 270.

[20]) Les unités E. M. C. G. S. tridimensionnelles deviennent, de ce fait quadridimensionnelles, comme toutes les unités électriques pratiques (voir note 14).

[21]) Voir la bibliographie à la fin du présent rapport.

[22]) Voir chapitre 2-2 et note 6.

[23]) Cette bibliographie n'indique, à titre d'exemple, que quelques-uns des ouvrages publiés ces dernières décennies. Elle n'a pas la prétention d'être complète.

[17] *K. Küpfmüller:* Einführung in die theoretische Elektrotechnik, Berlin, 1941.
[18] *T. Bödefeld—H. Sequenz:* Elektrische Maschinen, Wien, 1945.
[19] *E. Dünner:* Einführung in die Elektrotechnik, Zürich, 1947.

Manuels d'enseignement, qui utilisent déjà exclusivement le système Giorgi

[20] *R. W. Pohl:* Einführung in die Elektrizitätslehre, Berlin, 1941.
[21] *J. A. Stratton:* Electromagnetic Theory, New York und London, 1941.
[22] *G. M. Pestarini:* Elettromecanica, Vol. 1, Roma, 1946.
[23] *C. Rimini:* Elementi di elettrotecnica generale, Bologna, 1948.

Manuels d'enseignement et Normes, qui utilisent également le système Giorgi à côté d'autres systèmes ou l'expliquent d'une manière détaillée

[30] G. *Joos:* Lehrbuch der theoretischen Physik, Leipzig, 1942.
[31] *G. Oberdorfer:* Lehrbuch der Elektrotechnik, Bd. I, München und Berlin, 1944.
[32] *Massachusets Institute of Technology:* Electric Circuits, New York and London, 1946.
[33] *T. F. Wall:* Principles of Electrical Engineering, London, 1947.
[34] *M. D. Papin, J. Vallot:* Métrologie générale, Paris, 1946.
[35] *DIN 1339:* Magnetische Einheiten, Juli 1946.

Publications concernant spécialement le système Giorgi (renferment généralement encore d'autres références bibliographiques)

[40] *G. Giorgi:* Mémorandum sur le système M.K.S. d'unités pratiques, Commission Electrotechnique Internationale, Londres, 1934.
[41] *A. K. Kennelly:* IEC Adopts MKS System of Units, Electr. Engng., 1935, p. 1373.
[42] *A. K. Kennelly* et *E. Brylinsky:* Adoption par la CEI du système Giorgi d'unités MKS, Bull. Soc. franç. Electr". 1936, p. 47.
[43] *A. K. Kennelly* et *M. Landolt:* Die Annahme des Giorgischen Maßsystems durch die CEI, Bull. ASE 1937, p. 17.
[44] *G. Giorgi:* La métrologie électrique nouvelle et la construction du système électrotechnique absolu M.K.S., Rev. gén. Electr. t. 42 (1937), p. 99.
[45] *E. Bodea:* Giorgis rationales MKS-Maßsystem mit Dimensionskohärenz für Mechanik, Elektromagnetik, Thermik und Atomistik, Basel, 1949.
[46] *M. P. Grivet:* Le système d'unités Giorgi dans ses rapports avec la tradition, la pratique et l'enseignement. Bull. Soc. franç. Electr". 1947, p. 594.
[47] *W. de Groot:* Le genèse du système d'unités électriques dit de Giorgi, Rev. techn. Philips 1948, p. 55.
[48] *E. Cornelius:* Le système rationalisé de Giorgi à volt et ampère absolus en électrotechnique. Rev. techn. Philips 1948, p. 79.
[49] *S. A. Shelkunoff:* «The End Is in Sight». (Recommandation du système Giorgi rationalisé par l'IRE, c'est-à-dire The Institute of Radio Engineers, U.S.A.) Proc. IRE 1948, p. 827.

Ergebnisse der Konferenzen von Kopenhagen und Mexiko

Vortrag, gehalten an der 8. Schweizerischen Tagung für elektrische Nachrichtentechnik am 24. Juni 1949 in Bern,

von *E. Metzler*, Bern

061.3 : 621.396 (489 + 72)

Damit die drahtlosen Dienste der Nationen unter sich und nebeneinander ungestört arbeiten können ist eine planvolle, internationale Regelung der Frequenzbenützung unerlässlich. Diesen Zwecken dient eine seit Kriegsende ununterbrochene Konferenztätigkeit im Rahmen der Union Internationale des Télécommunications. Im vorliegenden Referat orientiert der Chef der schweizerischen Delegationen an den internationalen Konferenzen von Kopenhagen (für die Neuordnung im europäischen Rundspruch) und Mexiko (für den internationalen Rundspruch auf kurzen Wellen) über die Ergebnisse dieser Tagungen. Die Bedeutung des an keine geographischen Grenzen gebundenen Radiorundspruchs als Hilfsmittel der nationalen und internationalen Politik hat die Lösung der gestellten Aufgaben bedeutend erschwert.

Seule une réglementation internationale de l'utilisation des fréquences, basée sur un plan systématique, peut permettre aux services radio des nations de remplir leur mission sans se gêner les uns les autres. Les conférences organisées par l'Union Internationale des Télécommunications et qui se succèdent sans interruption depuis la fin de la guerre poursuivent l'étude de cette question. Dans l'article ci-dessus, le chef des délégations suisses aux conférences internationales de Copenhague (pour la réorganisation de la radiodiffusion européenne) et de Mexico (pour la radiodiffusion internationale sur ondes courtes) commente les résultats de ces deux réunions. La portée de la radiodiffusion n'étant pas limitée par les frontières géographiques, l'importance de son rôle politique national et international a rendu très difficile la recherche d'une solution des problèmes posés.

Einleitung

Wenn die letzten Kriegsjahre einerseits den drahtlosen Diensten einen gewaltigen Auftrieb gaben und neue Anwendungsgebiete der Hertzschen Wellen entstehen liessen, so muss man sich anderseits nicht wundern, wenn gleichzeitig in der Benützung der Wellenbänder zum Teil chaotische Zustände überhand nahmen. Die straffe internationale Regelung und Zusammenarbeit ist aber gerade auf diesem Gebiet eine unbedingte Notwendigkeit.

So kam es, dass bereits 1947 in Atlantic City eine von fast allen Nationen der Erde beschickte Konferenz zusammentrat, um die Ordnung in den Wellenbändern durch eine neue Verteilung unter die 23 drahtlosen Dienste wieder herzustellen, bzw. vorzubereiten. Aus Zweckmässigkeitsgründen teilte man die Welt in drei Regionen ein (Fig. 1). Innerhalb der Region 1 bemerkt man besonders abgegrenzt die sogenannte «Zone européenne», die schon seit langem besteht und seinerzeit mit besonderer Rücksicht auf den wichtigen europäischen Rundspruch geschaffen wurde.

Das in Atlantic City bearbeitete Frequenzspektrum erstreckt sich von 10 kHz (30000 m) bis hinauf zu 30 000 MHz (0,01 m). Das ganze Frequenzband ist entsprechend den drei Weltregionen eingeteilt, und man unterscheidet zwischen regionaler und weltweiter Zuteilung, wobei einzelne regionale Bänder unter sich noch verschiedenen Diensten angehören können.

Zur rationelleren Ausnützung des Frequenzraumes wurde das bisherige System der Frequenznotifizierung beim Bureau der Union Internationale des Télécommunications (UIT) aufgegeben und der