Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 29 (1938)

Heft: 12

Artikel: Die Mindestzahl der bei Untersuchung der elektrostatischen, magnetostatischen und elektromagnetischen Erscheinungen erforderlichen willkürlichen Einheiten

Autor: Andronescu, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058982

La flexion totale du sommet du poteau à l'état de 0° C et sous une charge de neige est

$$D = KP = Kp\Sigma f = 0{,}015 \cdot 863 \cdot 4 \cdot 0{,}5 \cong 26 \text{ cm.}$$

La flexion supplémentaire par rapport à la position initiale atteint 26 — 12 = 14 cm. La sollicitation augmente par conséquent de 4 à 8,63 kg/mm², au lieu de 14,3 dans le cas de supports rigides, pour la modification d'état indiquée pour la ligne en question.

Nous allons appliquer ce calcul à des supports spéciaux en béton armé, et nous examinerons dans ce but la manière dont se comportent, au point de

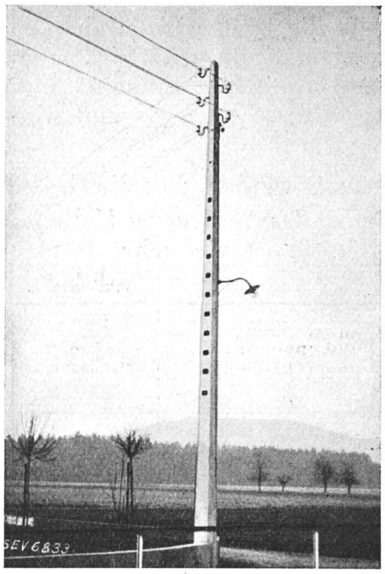

Fig. 2.

Angle d'une ligne équipé d'un support élastique.

vue de l'élasticité, les poteaux en béton armés fabriqués selon la méthode du système GRZ [2]). On a effectué sur un type donné un essai de flexion, dont on a pu tirer la relation entre l'effort de traction au sommet et la déformation $D = KP$, ainsi que la ligne élastique. L'équation différentielle de la ligne élastique pour une poutre encastrée est la suivante:

$$y'' = \frac{1}{\varrho} = \frac{M_x}{J_x \cdot E} = \frac{M_x \cdot \frac{J_0}{J_x}}{J_0 \cdot E}.$$

La seule inconnue est E. A l'aide de la méthode graphique de Mohr on détermine graphiquement une chaînette déduite de l'équation différentielle, qui doit coïncider avec la ligne élastique déterminée d'après l'essai de flexion. On a obtenu cette coïncidence entre la courbe expérimentale et la courbe déterminée graphiquement, en introduisant à titre d'essai différentes valeurs de E (variation de la distance polaire $J_0 \cdot E$). Le module d'élasticité E, que l'on obtient par ce procédé, indique la valeur efficace pour la combinaison fer-béton du poteau considéré. Lorsqu'on connaît la valeur pour le fer, on peut en tirer celle du béton.

Ces essais entrepris une seule fois sur un certain type de poteau fournissent les données qui per-

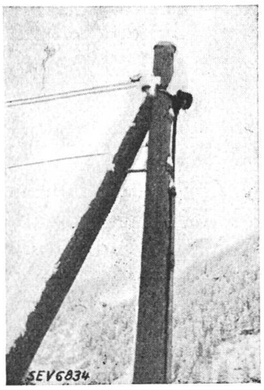

Fig. 3.

Une forte couche de neige sur la ligne a provoqué un fléchissement des supports d'isolateurs. La portée a été ainsi réduite de quelques centimètres, la longueur de fil restant la même, et la traction des conducteurs en a été réduite.

mettent de déterminer d'avance l'élasticité $d = K \cdot p$ pour d'autres types, lorsque l'on connaît les divers moments d'inertie, qui ne varient pas nécessairement d'une façon régulière le long du poteau.

Conclusions.

Ce mode de calcul n'offre pas un grand intérêt pour les lignes à longues portées, où les supports sont constitués par des pylônes en fer. Il a par contre une importance pratique dans le cas des réseaux à fort ou faible courant, où les poteaux d'arrêt, de bifurcation, de départ des câbles et les poteaux d'angle des lignes ordinaires ne sont ni ancrés, ni contrefichés. En utilisant des supports élastiques appropriés, on réduit l'effort de traction maximum des conducteurs aux états critiques, par rapport aux supports rigides. Par suite de cette réduction de l'effort de traction, il est nécessaire de prévoir un écartement suffisant entre les conducteurs, afin d'éviter que ceux-ci n'entrent en contact sous l'action du vent, et la flèche ne peut être augmentée que dans la mesure où la distance au sol est respectée.

[2]) E. Camenzind, Poteaux et pylônes en béton armé, Bull. ASE 1936, No. 5, p. 135.

Die Mindestzahl der bei Untersuchung der elektrostatischen, magnetostatischen und elektromagnetischen Erscheinungen erforderlichen willkürlichen Einheiten.[1])

Von *P. Andronescu*, Bukarest.

621.317.081

Es wird gezeigt, dass die neuzeitliche Behauptung «man hätte ein Maßsystem nur mit vier willkürlichen Einheiten» ein Irrtum ist, welcher darauf beruht, dass bedauerlicherweise die Universalkonstante «c» nicht Gemeingut der Ingenieure geworden ist.

On prétend aujourd'hui que «notre système d'unités repose sur quatre unités arbitraires». Or cela est faux et l'erreur provient de ce que les ingénieurs ne se sont malheureusement pas encore tous familiarisés avec la constante universelle «c».

[1]) Eingereicht am 23. 12. 36.

Die Zahl der Dimensionen kann fünf, vier oder drei werden, je nachdem man die Universalkonstante «c» aus den Maxwellschen Gleichungen eliminiert oder nicht und die Grössen ε_0 und μ_0 als mit Dimensionen behaftet oder als dimensionslos betrachtet.

Die Zahl der willkürlichen Einheiten bleibt aber unverändert, nämlich fünf.

Les dimensions peuvent être au nombre de cinq, quatre ou trois suivant que l'on élimine ou pas la constante «c» des équations de Maxwell ou que l'on attribue ou non des dimensions aux grandeurs ε_0 et μ_0.

Le nombre des unités arbitraires reste le même, soit cinq, indépendamment du choix des dimensions.

Man erkennt heute zwar, dass die Grösse c (Universalkonstante genannt) in den Maxwellschen Gleichungen als *ein nötiger Bestandteil* angesehen werden muss, wenn die elektrischen und magnetischen Einheiten unabhängig von einander festgesetzt sind. Jedoch wird behauptet, dass c eine Abkürzung des Ausdruckes $V_0 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ bedeutet und infolgedessen die Mindestzahl der willkürlichen Einheiten nicht grösser als vier sein kann.

Im folgenden soll der Nachweis erbracht werden, dass *die Mindestzahl der willkürlichen Einheiten nicht vier, sondern fünf ist.*

Aus Tabelle I folgt: *Erstens:* Zur Untersuchung des elektrostatischen Feldes und des magnetostatischen Feldes der permanenten Magnete sind *10 unabhängige Gleichungen mit 15 Grössen* vorhanden. Also müssen *fünf* Einheiten willkürlich festgelegt werden. Normalerweise werden folgende Grundeinheiten angenommen: cm, g, s, $\varepsilon_0 = 1$, $\mu_0 = 1$. *Zweitens:* Beim Uebergang zur Untersuchung des elektromagnetischen Feldes ersieht man, dass *vier* neue, unabhängige Gleichungen mit *vier* neuen Grössen auftreten. Daraus folgt, dass mit Hilfe der fünf bereits festgelegten Grundeinheiten die Einheiten der vier neuen Grössen: j, λ, i, c experimentell bestimmt werden können.

Tabelle I.

Die unabhängigen Gleichungen des elektrostatischen Feldes	Die Grössen	Die unabhängigen Gleichungen des magnetostatischen Feldes des permanenten Magnetes	Die Grössen	Die unabhängigen Gleichungen des elektromagnetischen Feldes	Die Grössen
$\mathfrak{D} = \varepsilon \mathfrak{E}$	$\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$, ε	$\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H} + \mathfrak{M}$	$\mathfrak{B}$, $\mathfrak{H}$, μ	$j = \lambda \mathfrak{E}$	j, λ
$\int(\mathfrak{E}\, d\mathfrak{l}) = V_1 - V_2$	$\mathfrak{l}$, V	$\int(\mathfrak{H}\, d\mathfrak{l}) = V_{H1} - V_{H2}$	$\mathfrak{l}$, V_H	$\int(j\, d\mathfrak{s}) = \frac{\vartheta Q}{\vartheta t} = i$ [1]	i
$\int(\mathfrak{D}\, d\mathfrak{s}) = 4\pi Q$	Q	$\int(\mathfrak{B}\, d\mathfrak{s}) = \Phi$	Φ	$c \oint(\mathfrak{H}\, d\mathfrak{l}) = 4\pi i$	c
$\frac{1}{8\pi}(\mathfrak{D}\mathfrak{E}) = F_{se}$ Dyn/cm²	$\mathfrak{F}$	$\frac{1}{8\pi}(\mathfrak{B}\mathfrak{H}) = F_{sm}$ Dyn/cm²	$\mathfrak{F}$	$c \oint(\mathfrak{E}\, d\mathfrak{l}) = -\frac{\vartheta \Phi}{\vartheta t}$	
$\mathfrak{F} = m\mathfrak{b}$	m	$\mathfrak{F} = m\mathfrak{b}$	m		
$\mathfrak{b} = \frac{d^2\mathfrak{l}}{dt}$	$\mathfrak{b}$, t	$\mathfrak{b} = \frac{d^2\mathfrak{l}}{dt}$	$\mathfrak{b}$, t		

[1]) Die obige Gleichung bildet das Ergebnis der folgenden Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\vartheta e}{\vartheta t} + (\nabla e v) = 0$$

wo: e die elektrische Raumdichte und $ev = j$ die Dichte der elektrischen Strömung darstellen.

Man kommt also zu dem wichtigen Schluss, dass die experimentelle Bestimmbarkeit der Grösse c dadurch begründet wird, dass im elektromagnetischen Felde vier neue unabhängige Gleichungen mit gerade so vielen neuen Unbekannten auftreten.

Für die Bestimmung der Einheiten jeder elektrischen und magnetischen Grösse ist es also unerlässlich, fünf Einheiten willkürlich anzunehmen (cm, g, s, $\varepsilon_0 = 1$, $\mu_0 = 1$).

Wenn man die Dielektrizitätskonstante in ε und die Permeabilität in μ dimensioniert, dann folgt, dass die Dimensionen sämtlicher elektrischen und magnetischen Grössen durch die Dimensionen der fünf oben festgelegten Einheiten ausgedrückt werden können. Doch ist zu beachten, dass die Dimension ε nicht in den Dimensionsausdrücken der magnetischen Grössen sowie die Dimension μ nicht in denjenigen der elektrischen Grössen auftritt. Man erhält somit ein Maßsystem mit fünf Einheiten und fünf Dimensionen, das CGS$\varepsilon\mu$-System genannt werden soll [2]).

Im folgenden soll gezeigt werden, dass die Grösse c nicht als eine Abkürzung des Ausdruckes $V_0 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ angesehen werden darf; sie ist vielmehr als eine Rechengrösse zu betrachten, welche von den Einheiten der Rechengrössen ε und μ abhängig ist und unabhängig von der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume (V_0) besteht.

Wir setzen:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{0z} \cdot 1; \quad \mu_0 = \mu_{0z} \cdot 1$$

wo «1» die Einheit und ε_{0z}, μ_{0z} die ganz beliebigen Zahlenwerte der Dielektrizitätskonstante (ε_0) und der Permeabilität (μ_0) des luftleeren Raumes bedeuten. Die Einheiten sind gleichzeitig die Träger der Dimensionen.

Es seien folgende zwei Fälle angenommen: $\varepsilon_{0z} = 1$, $\mu_{0z} = 1$ (der normale Fall) und $\varepsilon_{0z} = \varepsilon^*_{0z}$, $\mu_{0z} = \mu^*_{0z}$, wo $\varepsilon^*_{0z} > 1$, $\mu^*_{0z} > 1$ gesetzt sind.

Unter Zuhilfenahme der folgenden vier bekannten Gleichungen:

[2]) Pl. Andronescu. Das Problem der Dimensionen der Einheiten elektrischer und magnetischer Grössen. Arch. Elektrot. Bd. XXX (1936), Heft 1, und Bull. SEV 1936, Nr. 16, S. 452.

$$\left.\begin{array}{l} \frac{1}{8\pi}\frac{(V_1-V_2)^2}{l^2}\varepsilon_0 S = (F\cdot 981)_{Dyn} \\ 4\pi\frac{i^2}{c^2}\mu_0 S w = \{\overline{OA}\,(F_1-F_2)\cdot 981\}_{Dyn\,cm} \\ (V_1-V_2)\,C = Q; \qquad C = \frac{\varepsilon_0 S}{4\pi l} \end{array}\right\} \quad (1)$$

lassen sich die mit * bezeichneten Zahlenwerte der Grössen: (V_1-V_2), $\frac{i}{c}$ und Q, welche den ε_{0z}^*, μ_{0z}^* entsprechen, mit denjenigen, die für den Fall: $\varepsilon_{0z} = 1$, $\mu_{0z} = 1$ bestimmt waren, vergleichen.

Man erhält:

$$(V_1-V_2)_z^* = \frac{V_1-V_2}{\sqrt{\varepsilon_{0z}^*}}, \quad \frac{i_z^*}{c_z^*} = \frac{i_z}{c_z\sqrt{\mu_{0z}^*}}, \quad Q_z^* = Q_z\sqrt{\varepsilon_{0z}^*} \quad (2)$$

Für die experimentelle Bestimmung der Rechengrösse c beziehen wir uns auf die Weber-Kohlrausch-Methode. Für eine bestimmte elektrische Ladung setzt man: $Q_z = \int i_z\,dt_z$, wobei Q_z durch einen elektrostatischen Vorgang und $\int\frac{i_z}{c_z}dt_z$ durch einen elektromagnetischen Vorgang bestimmt werden.

Folglich erhält man aus der Bildung des Verhältnisses:

$$\frac{Q_z}{\int\frac{i_z}{c_z}dt_z} \quad \text{bzw.} \quad \frac{Q_z^*}{\int\frac{i_z^*}{c_z^*}dt_z}$$

den Zahlenwert c_z bzw. c_z^*.

Mit Rücksicht auf (2) ergibt sich:

$$c_z^* = \frac{Q_z\sqrt{\varepsilon_{0z}^*}}{\int\frac{i_z}{c_z}\frac{1}{\sqrt{\mu_{0z}^*}}dt_z} = c_z\sqrt{\varepsilon_{0z}^*\,\mu_{0z}^*} \quad (3)$$

Die Gleichung (3) zeigt deutlich, wie der Zahlenwert den Rechengrösse c aus den Zahlenwerten ε_{0z}, μ_{0z} ermittelt werden kann, ohne von der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume (V_0) Gebrauch zu machen.

Aus diesen Darlegungen kommt man also zu dem wichtigen Ergebnis, dass die Rechengrösse c tatsächlich keine *Abkürzung* des Ausdruckes $V_0\sqrt{\varepsilon_0\,\mu_0}$ darstellt.

Es ist nur ein Zufall, dass die auf das Gaußsche Maßsystem (cm, g, s, $\varepsilon_0 = 1$, $\mu_0 = 1$) bezogenen Rechengrössen c und die Lichtgeschwindigkeit V_0 im luftleeren Raum dieselben Dimensionen und zahlenmässigen Werte haben, was jedoch keinen Ausnahmefall darstellt; z. B. erhalten im luftleeren Raume, auf Gaußsche Einheiten bezogen, auch die Grössen $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$, wenn sie auch physikalisch verschieden sind, dieselben Dimensionen und zahlenmässigen Werte.

Man kann noch über die Einheit von c willkürlich verfügen. Ist z. B. die Einheit der Grösse c so gross gewählt, dass ihr Zahlenwert gerade 1 wird, so ist das mit dem Verschwinden der Grösse c aus den Maxwellschen Gleichungen gleichbedeutend. Man erhält in diesem Falle folgende zwei Gruppen von je fünf Grundeinheiten:

$$\left.\begin{array}{l} \text{a) cm, g, s, } \varepsilon_0 = 1,\ c = 1 = V_0\sqrt{\mu_0} \\ \text{b) cm, g, s, } \mu_0 = 1,\ c = 1 = V_0\sqrt{\varepsilon_0} \end{array}\right. \quad (4)$$

Es ist somit gleichgültig, ob man: ε_0, μ_0 oder c, ε_0 oder c, μ_0 als unabhängige Rechengrössen wählt, um ihre Einheiten willkürlich festzulegen.

Sobald man in (4) die Grösse $c = 1$ als eine reine Zahl betrachtet, erhalten μ_0 in (4a) und ε_0 in (4b) andere Einheiten und Dimensionen als im CGS$\varepsilon\mu$-System.

Bei nicht explizitem c in den Maxwellschen Gleichungen erhalten sich also ε und μ gegenseitig unhomogen.

Ferner lässt sich leicht ersehen, dass das CGS$\varepsilon\mu$-Maßsystem mit nicht explizitem c in den Maxwellschen Geichungen, fünf willkürliche Einheiten (4a oder 4b) besitzt und dabei nur 4 Grunddimensionen auftreten: LMTε oder LMTμ. Man erhält somit das elektrostatische, bezw. elektromagnetische Maßsystem [3]).

Wenn man an Stelle der Maxwellschen Gleichungen zwei solche Gleichungen hätte, *die ohne die Rechengrösse c bestehen könnten*, dann würde durch die Einführung der vier elektromagnetischen Gleichungen die Gesamtzahl der unabhängigen Grössen von 19 auf 18 heruntersinken, so dass bei den gleichbleibenden 14 Gleichungen die Zahl der willkürlichen Einheiten von fünf auf vier heruntergehen würde.

[3]) In meiner im Arch. Elektrotechn. [2]) veröffentlichten Arbeit habe ich gezeigt, dass es richtiger wäre, die Bezeichnungen «elektrostatisch» und «elektromagnetisch» durch die Bezeichnungen «elektrisch» und «magnetisch» zu ersetzen.

Kunststoffe.

Bericht über den Kunststoff-Kurs des Betriebswissenschaftlichen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich, vom 4. und 5. Februar 1938.

679.56

*Im folgenden wird in Form von Referaten das Wesentliche aus den am Kunststoff-Kurs an der ETH vom 4. und 5. Februar 1938 gehaltenen Vorträgen wiedergegeben. Diese Referate wurden von Prof. **A. Imhof**, Zürich-Altstetten, zusammengestellt.*

*Les conférences qui ont eu lieu durant le cours sur les matières isolantes à l'EPF, les 4 et 5 février 1938, sont résumées sous forme de rapports. Ceux-ci ont été collationnés par M. le prof. **A. Imhof**, Zurich-Altstetten.*

Allgemeine Einführung.

Von *H. Stäger*, Zürich.

Die Ueberführung der natürlichen Rohstoffe in künstliche durch mechanische oder chemische Massnahmen einerseits, die Synthese anderseits führt zur Gewinnung der Kunststoffe. Die chemische Zusammensetzung eines Kunststoffes muss nicht die gleiche sein wie bei nachgenannten natürlichen Werkstoffen. Kunststoffe sind heute keine minderwertigen