

Einheiten elektrischer Größen

DIN
1357

Units of electrical quantities

1. Geltungsbereich

Behandelt werden hier kohärente Einheiten der in DIN 1324 festgelegten elektrischen Größen rationaler Definition. Die Zahlenwertgleichungen bei Gebrauch dieser Einheiten haben deshalb die gleiche Form, wie die entsprechenden (rationalen) Größengleichungen. Verwendet werden im folgenden die in DIN 1301 angegebenen international empfohlenen Kurzzeichen der Einheiten, zum Beispiel A für Ampere, V für Volt.

2. Namensgebungen

International gelten die Einheiten Meter, Sekunde, Kilogramm, Ampere, Kelvin, Candela und die aus diesen kohärent abgeleiteten Einheiten. Die genannten sechs Einheiten sind als von einander unabhängige Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (Système International d'Unités mit der im Jahr 1960 international angenommenen Abkürzung SI) im Jahr 1954 von der Generalkonferenz für Maß und Gewicht angenommen worden. Man kann deshalb kurz und unmißverständlich von SI-Einheiten sprechen. Im Bereich der elektrischen (und der magnetischen) Größen treten nur die vier zuerst genannten Basiseinheiten auf, deswegen spricht man in diesem Bereich in gleicher Bedeutung auch von MKSA-Einheiten.

3. Joule, Newton, Watt und Volt

Die SI-Einheiten Joule, Newton und Watt sind miteinander und mit den Basiseinheiten durch die Gleichungen

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} \quad (1)$$

verknüpft, in denen die Zahlen 1 exakt sind. J bedeutet die Energieeinheit Joule, N die Krafteinheit Newton, W die Leistungseinheit Watt, kg die Masseneinheit Kilogramm, m die Längeneinheit Meter, s die Zeiteinheit Sekunde.

Die SI-Einheit Volt (V) der elektrischen Spannung wird aus den Basiseinheiten definiert durch die Gleichung

$$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{A s}^3} \quad (2)$$

Es ist demnach

$$1 \text{ V A s} = 1 \text{ J} \quad (2a)$$

Zu Ampere und Volt siehe auch Anmerkungen zu Abschnitt 3.

Die Einheiten der weiteren elektrischen Größen pflegt man allgemein als Potenzprodukte der Einheiten m, s, A und V (also nicht als Potenzprodukte der Einheiten m, s, A und kg) auszudrücken, siehe Abschnitt 5.

4. Feldkonstanten

Für die magnetische Feldkonstante μ_0 gilt in bezug auf die SI-Einheiten exakt

$$\begin{aligned} \mu_0 &= \frac{4\pi \text{ Vs}}{10^7 \text{ Am}} = \frac{4\pi \text{ N}}{10^7 \text{ A}^2} = \\ &= \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{Wb}}{\text{Am}} = 1,256\,637 \dots \cdot 10^{-6} \frac{\text{Wb}}{\text{Am}} = \\ &= \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{H}}{\text{m}} = 1,256\,637 \dots \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Wb = Vs ist die Einheit Weber des magnetischen Induktionsflusses, H die Einheit Henry der Induktivität.

Durch μ_0 nach Gl. (3) und durch den aus Messungen ermittelten Wert der Wellengeschwindigkeit im Vakuum

$$c_0 \approx 2,997\,925 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (4)$$

ist die elektrische Feldkonstante (Verschiebungskonstante, Influenzkonstante) ϵ_0 bestimmt zu

$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c_0^2} \approx 0,885\,419 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}; \quad (5)$$

F ist die Einheit Farad der Kapazität. Der Wellenwiderstand des leeren Raumes ist

$$\Gamma_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \mu_0 c_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c_0} \approx 376,7304 \, \Omega. \quad (6)$$

(Zu Gl. (4) siehe auch Anmerkungen zu Abschnitt 4).

Fortsetzung Seite 2 und 3

5. Weitere abgeleitete Einheiten

Es werden gemessen (Einheit Coulomb der elektrischen Ladung $1\text{ C} = 1\text{ A s}$):

5.1. die elektrische Feldstärke E in V/m . Es ist

$$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 10^{-9} \frac{\text{V}}{\text{cm}},$$

5.2. die elektrische Spannung U in V ,

5.3. die elektrische Feldkonstante (Verschiebungskonstante, Influenzkonstante) ϵ_0 in F/m . Es ist

$$1 \frac{\text{F}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{Farad}}{\text{Meter}} = 1 \frac{\text{C}}{\text{Vm}} = 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{Vcm}},$$

ihr Wert ist in Gl. (5) angegeben,

5.4. die elektrische Verschiebung D in C/m^2 . Es ist

$$1 \frac{\text{C}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{cm}^2},$$

5.5. der elektrische Fluß Ψ in C ,

5.6. die (absolute) Dielektrizitätskonstante ϵ in derselben Einheit wie ϵ_0 ,

5.7. die Dielektrizitätszahl $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ als Zahl,

5.8. die elektrische Polarisierung P in derselben Einheit wie D ,

5.9. die elektrische Suszeptibilität $\chi = 4\pi\chi'$ als Zahl,

5.10. das elektrische Moment (Dipolmoment) in C m . Es ist $1\text{ C m} = 10^9\text{ C cm}$,

5.11. die eingeprägte elektrische Feldstärke in derselben Einheit wie E ,

5.12. die (eingeprägte) elektromotorische Kraft in derselben Einheit wie U ,

5.13. die elektrische Stromstärke I in A ,

5.14. die elektrische Stromdichte S in A/m^2 . Es ist

$$1 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{cm}^2},$$

5.15. die elektrische Leitfähigkeit $\sigma = 1/\rho$ in S/m . Es ist

$$1 \frac{\text{S}}{\text{m}} = 10^{-9} \frac{\text{S}}{\text{cm}} = 1 \frac{\text{A}}{\text{Vm}} = 10^{-9} \frac{\text{A}}{\text{Vcm}},$$

5.16. der spezifische elektrische Widerstand $\rho = 1/\sigma$ in $\Omega\text{ m}$. Es ist

$$1\Omega\text{ m} = 10^9\Omega\text{ cm} = 1 \frac{\text{Vm}}{\text{A}} = 10^9 \frac{\text{Vcm}}{\text{A}},$$

5.17. der elektrische Leitwert $G = 1/R$ in S : Es ist

$$1\text{ S} = 1\text{ Siemens} = \frac{1}{\Omega} = 1 \frac{\text{A}}{\text{V}},$$

5.18. der elektrische Widerstand R in Ω . Es ist

$$1\Omega = 1\text{ Ohm} = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}}.$$

Bemerkungen

Die Einheit der Leistung ist $1\text{ VA} = 1\text{ Watt} = 1\text{ W} = 1\text{ J/s}$, die der Kraft ist

$$1 \frac{\text{J}}{\text{m}} = 1\text{ Newton} = 1\text{ N} = 1 \frac{\text{VA s}}{\text{m}} = 10^{-9} \frac{\text{VA s}}{\text{cm}}, \quad (7)$$

die des Drehmomentes ist $1\text{ Nm} = 1\text{ VA s}$.

Folgende Einheiten sind gleichfalls gebräuchlich:

für die elektrische Leitfähigkeit $\sigma = 1/\rho$

$$1 \frac{\text{S m}}{\text{mm}^2} = 10^6 \frac{\text{S}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{MS}}{\text{m}} = 10^4 \frac{\text{S}}{\text{cm}},$$

für den spezifischen elektrischen Widerstand $\rho = 1/\sigma$

$$\text{a) } 1 \frac{\Omega\text{ mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6}\Omega\text{ m} = 1\mu\Omega\text{ m} = 10^{-4}\Omega\text{ cm},$$

$$\text{b) } 1\mu\Omega\text{ cm} = 10^{-6}\Omega\text{ cm} = 10^{-8}\Omega\text{ m}.$$

Anmerkungen

Zu den Abschnitten 3 und 4

Nach Gl. (2a) ist das Produkt VA s durch die Energieeinheit Joule, somit durch m, kg, s festgelegt und kann durch eine Energievergleichsmessung oder auch durch eine Kraftvergleichsmessung bestimmt werden. Nach Gl. (3) ist der Quotient V/A durch die Festlegung gegeben, daß die universelle Konstante μ_0 einen vorgeschriebenen Wert haben soll. (An einer Selbstinduktionsspule kann der Quotient V/A aus Abmessungen und rein elektrischen Messungen bestimmt werden.) Es ist also

$$1\text{ A} = \frac{1}{\text{s}} \sqrt{\frac{4\pi\text{ kg m}}{10^7 \mu_0}} = \sqrt{\frac{4\pi\text{ N}}{10^7 \mu_0}}, \quad (8)$$

$$1\text{ V} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \sqrt{\frac{10^7 \mu_0 \text{ kg m}}{4\pi}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{10^7 \mu_0 \text{ N}}{4\pi}}. \quad (9)$$

Die 9. Generalkonferenz für Maß und Gewicht (1948) hat eine „Definition des Ampere“ angenommen; sie lautet (in sinngemäßer Übertragung der angenommenen Formulierung ins Deutsche):

Zwei unendlich lange, parallele, gerade Leiter von vernachlässigbar kleinem Querschnitt sind im Vakuum im Abstand von 1 m voneinander angeordnet; sie werden von einem Gleichstrom durchflossen. Dieser hat die

Stromstärke 1 Ampere , wenn die elektrodynamisch verursachte Kraft zwischen beiden Leitern $2 \cdot 10^{-7}\text{ Newton}$ für jeden Abschnitt der Anordnung beträgt, der aus einander gegenüberstehenden Leiterteilen von 1 Meter Länge besteht.

Diese in Worten gegebene Definition wird eindeutig, indem man ihr eine bestimmte Größengleichung unterlegt. Ist diese

$$F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi s} \quad (10)$$

(F elektrodynamisch verursachte Kraft, I Stromstärke in den beiden parallelen Leitern, s ihr Abstand, l die betrachtete Länge), so erhält man durch Einsetzen der vorgeschriebenen Werte $2 \cdot 10^{-7}\text{ N} = \mu_0 \text{ A}^2 / 2\pi$ und hieraus A , wie in Gl. (8) angegeben. (Mit einer anderen Größengleichung, als Gl. (10), würde man eine andere Stromstärkeeinheit erhalten, zum Beispiel mit $F = 2I^2 l/s$ die nicht unabhängige Stromstärkeeinheit $\sqrt{\text{N}/10^7}$.)

Zu den Abschnitten 3 und 5

Der heute allgemeine Brauch, die abgeleiteten Einheiten elektrischer Größen darzustellen als Potenzprodukte von Einheiten für die Länge, die Zeit, die Stromstärke und die elektrische Spannung, geht auf G. Mie zurück (1910).