

Elektrische Spannung, Potential, Zweipolquelle, elektromotorische Kraft Begriffe

DIN
1323

Electric tension (voltage), potential, two-terminal source, electromotive force; definitions

1. Elektrische Spannung

1.1. Ein kleiner Körper, der die gleichbleibende Elektrizitätsmenge Q trägt, legt in einem elektrischen Feld (siehe DIN 1324) einen Weg s von einem Anfangspunkt 1 zu einem Endpunkt 2 zurück. Dabei verrichten die Feldkräfte an dem Körper eine Arbeit A_{12} , die proportional zur Elektrizitätsmenge Q ist. Der Quotient A_{12}/Q ist deshalb eine von Q unabhängige, dem Weg s von 1 nach 2 zugeordnete Größe. Diese wird elektrische Spannung U zwischen 1 und 2, kurz U_{12} genannt. Es ist also $U_{12} = A_{12}/Q$.

Die elektrische Spannung U_{12} von 1 nach 2 hat dasselbe Vorzeichen wie die Arbeit A_{12} , die die Feldkräfte verrichten, wenn sie den Träger einer positiven Elektrizitätsmenge auf dem Weg von 1 nach 2 bewegen. Die elektrische Spannung U_{21} von 2 nach 1 ist entgegengesetzt gleich U_{12} .

1.2. Fällt der Endpunkt des Weges mit dem Anfangspunkt zusammen, so nennt man den Weg in sich geschlossen oder Randlinie. Die elektrische Spannung entlang einem geschlossenen Weg wird elektrische Umlaufspannung oder elektrische Randspannung $\dot{U}$ genannt (siehe auch DIN 1324).

2. Elektrisches Feld ohne Wirbel; Potential

2.1. Man nennt das elektrische Feld in einem Raumgebiet wirbelfrei, wenn innerhalb dieses Raumgebietes die elektrische Umlaufspannung für jeden beliebigen geschlossenen Weg verschwindet, den man auf stetige Weise, ohne das Gebiet zu verlassen, in einen Punkt zusammenziehen kann.

2.2. In einem wirbelfreien Raumteil eines elektrischen Feldes ist die elektrische Spannung gleich für alle einen festen Anfangspunkt 1 mit einem festen Endpunkt 2 verbindenden Wege, die man auf stetige Weise ineinander überführen kann, ohne den wirbelfreien Raumteil zu verlassen. Man kann deshalb diese gemeinsame Spannung durch die Differenz zweier skalarer Größen darstellen, die den beiden Punkten zugeordnet sind. Sie werden die (skalaren) elektrischen Potentiale der beiden Punkte genannt; und zwar gilt das Potential φ_1 des Anfangspunktes als Minuend, das Potential φ_2 des Endpunktes als Subtrahend:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (1)$$

Die Spannung von 1 nach 2 ist also positiv, wenn das Potential in 1 größer ist als in 2.

2.3. Das Potential eines Feldpunktes kann beliebig festgesetzt werden; man nennt ihn den Bezugspunkt. Dann ist es für alle anderen Feldpunkte eindeutig bestimmt, wenn der Raum einfach zusammenhängend ist. Spricht man von einer Potentialdifferenz, so muß man angeben, ob man meint $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$ oder

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = U_{21} = -U_{12}. \quad (2)$$

Das Potential ist eine Funktion des Ortes im Feld, also eine Größe, die den einzelnen Punkten des Raumes zugeordnet ist. Eine Potentialdifferenz bezieht sich dagegen ebenso wie eine Spannung auf zwei Punkte.

3. Elektrisches Feld mit Wirbeln

3.1. Ist in einem elektrischen Feld die Spannung verschieden für benachbarte Wege, die zwischen denselben Anfangs- und Endpunkten liegen, so läßt sich die Spannung nicht mehr als Differenz von Potentialwerten beider Feldpunkte auffassen. Die Umlaufspannung, genommen auf dem aus den beiden Wegen gebildeten geschlossenen Weg, ist von Null verschieden. Man sagt: das elektrische Feld hat Wirbel, wenn die elektrische Umlaufspannung nicht für jeden beliebigen geschlossenen Weg verschwindet, den man, ohne dabei das Gebiet zu verlassen, auf stetige Weise in einen Punkt zusammenziehen kann.

3.2. In einem elektrischen Feld, das Wirbel enthält, ist die elektrische Umlaufspannung für einen beliebigen geschlossenen Weg in einem einfach zusammenhängenden Raum nicht Null, sondern gleich der Abnahmegeschwindigkeit des von dem Weg umfaßten magnetischen Induktionsflusses

$$\dot{U} = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad (3)$$

dabei ist vorausgesetzt, daß der Laufsinn von Φ und der Umlaufsinn von $\dot{U}$ einander so zugeordnet sind, wie die Fortschreitungsrichtung und die Drehung einer Rechtsschraube (rechtsschraubige Zuordnung). Die Größe $-d\Phi/dt$, also die Abnahmegeschwindigkeit des magnetischen Flusses, wird auch (im Sinn eines verabredeten Fachausdrucks) Schwund des magnetischen Flusses oder kurz Fluß-Schwund oder magnetischer Schwund genannt (hierzu vergleiche die Erläuterungen).

Fortsetzung Seite 2 und 3
Erläuterungen Seite 4

3.3. Ein aus einem fadenförmigen Leiter gebildeter, beliebig geformter geschlossener Stromkreis von unveränderlicher Gestalt habe zwischen einem Anfangspunkt und einem mit diesem zusammenfallenden Endpunkt des Leiters den elektrischen Widerstand $\hat{R}$. Dann ist

$$I\hat{R} = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad (4)$$

die Stromstärke I kann in diesem besonderen Falle so errechnet werden, wie wenn in dem geschlossenen Stromkreis vom Gesamtwiderstand $\hat{R}$ eine zusätzliche Quellenspannung vorhanden wäre, die der Abnahmegeschwindigkeit des magnetischen Flusses gleich ist. Diese (durch $-\frac{d\Phi}{dt}$ gegebene, also dem magnetischen Fluß rechtsschraubig zugeordnete) Spannung nennt man auch die induzierte elektrische Spannung (U_i). In vielen Fällen ist es sinnvoll, die zusätzliche Spannung im geschlossenen Stromkreis der Zunahmegeschwindigkeit des magnetischen Flusses, also der Größe $+\frac{d\Phi}{dt}$ zuzuordnen. Diese (dem magnetischen Fluß also linksschraubig zugeordnete) Spannung nennt man auch induktive Spannung (U_L). Die induzierte Spannung benutzt man zweckmäßig, wenn der geschlossene Stromkreis einen veränderlichen magnetischen Fluß umfaßt, der durch Vorgänge außerhalb des Stromkreises bestimmt wird (Fremdfluß), die induktive Spannung dann, wenn der umfaßte magnetische Fluß als Folge des veränderlichen Stromes in dem geschlossenen Stromkreis betrachtet wird (Eigenfluß). Es können auch beide Erscheinungen gleichzeitig in demselben Stromkreis auftreten.

3.4. Eine Änderung des magnetischen Flusses kann sowohl dadurch zu Stande kommen, daß bei ruhenden leitenden Körpern sich das magnetische Feld in der Zeit ändert, als auch dadurch, daß sich die leitenden Körper im zeitlich unveränderlichen oder unveränderlich gedachten magnetischen Feld bewegen. In diesem Fall muß der geschlossene Weg der Gleichung (3) eine Kurve sein, die fortwährend durch dieselben Körperteilchen geht, also die Bewegung der leitenden Materie mitmacht. Wenn sich die Körper in einem zeitlich schwankenden magnetischen Feld bewegen, so kann man sich stets die gesamte Änderung des magnetischen Flusses aus den beiden genannten Teilen additiv zusammengesetzt denken. Es ist allgemein

$$\frac{d\Phi}{dt} = \int_A \frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t} d\mathfrak{A} + \oint \mathfrak{B} \times \mathfrak{v} d\mathfrak{s}; \quad (5)$$

hierin bedeutet $d\mathfrak{s}$ den Vektor des Linienelementes ds der ganz in der leitenden Materie liegenden Randkurve s der Fläche A (mit dem Vektor $d\mathfrak{A}$ des Flächenelements), $\mathfrak{v}$ die Geschwindigkeit der Bewegung des Elementes $d\mathfrak{s}$, $\mathfrak{B}$ die magnetische Induktion; $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{v}$ sind auf dasselbe Koordinatensystem bezogen. Die beiden Summanden in Gleichung (5) hängen von der Wahl des Koordinatensystemes ab, ihre Summe $d\Phi/dt$ nicht.

3.5. Ist also z. B. der Induktionsfluß Φ , der von einer starren Leiterschleife umfaßt wird, von der Zeit t und einem (geeignet bestimmten) Lageparameter x der Leiterschleife abhängig, so ist

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{dx}{dt}. \quad (5a)$$

Vergleiche dazu die Erläuterungen.

4. Elektrischer Zweipol, elektrische Quelle, Quellenspannung, elektromotorische Kraft

4.1. Elektrischer Zweipol wird ein Gebilde (ein geschlossener Teilraum, ein abgeschlossenes System) genannt, das nur an zwei Punkten elektrisch (nicht magnetisch) zugänglich ist oder zugänglich gedacht ist, und das auf seine elektrischen Wirkungen und Eigenschaften hin betrachtet wird: Die beiden zugänglichen Punkte heißen die Pole oder die Klemmen. (Sie werden im folgenden mit 1 und 2 bezeichnet.)

4.2. Man nennt einen elektrischen Zweipol in einem bestimmten Zeitpunkt passiv wirkend, wenn er, verbunden mit einem anderen Zweipol, in diesem Zeitpunkt elektromagnetische Energie aufnimmt. Man nennt einen elektrischen Zweipol in einem bestimmten Zeitpunkt aktiv wirkend, wenn er, verbunden mit einem anderen Zweipol, in diesem Zeitpunkt elektromagnetische Energie abgibt.

4.3. Ein Energiespeicher (zum Beispiel ein Kondensator, eine Selbstinduktionsspule, ein Akkumulator) kann entweder aktiv oder passiv wirken. Bei zeitlich periodisch verlaufenden Spannungen und Stromstärken wechselt diese Wirkung eines elektrischen oder magnetischen Energiespeichers gleichfalls periodisch.

4.4. In vielen Fällen hat man es mit Zweipolen zu tun, bei denen die Spannungen und die Stromstärken (näherungsweise) nicht von der Zeit abhängen, oder mit Zweipolen, bei denen diese Größen als zeitlich periodisch verlaufende Größen angesehen und die Vorgänge im Zeitmittel über eine beliebige ganze Anzahl von Perioden betrachtet werden. Dann sind die folgenden (engeren) Definitionen möglich:

4.5. Die Leerlaufspannung ist die Spannung zwischen den offenen Klemmen des Zweipoles. Der Kurzschlußstrom ist der Strom, der durch die kurzgeschlossenen Klemmen außerhalb des Zweipoles fließt.

4.6. Ein Zweipol wird Zweipolquelle oder aktiver Zweipol genannt, wenn er eine Leerlaufspannung und einen Kurzschlußstrom aufweist.

4.7. Ein Zweipol, der keine Leerlaufspannung und keinen Kurzschlußstrom aufweist, heißt passiv oder quellenlos.

4.8. Verbraucher (Empfänger) ist ein Zweipol, der Wirkleistung aufnimmt; Erzeuger (Generator, Sender) ist ein Zweipol, der Wirkleistung abgibt (beides unter der in 4.4. genannten Voraussetzung).

4.9. Linear wirkend oder kurz: linear heißt ein Zweipol dann, wenn (innerhalb der zugelassenen Toleranz) der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung eine lineare Funktion ist. Ist der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung keine lineare Funktion, so heißt der Zweipol nichtlinear. Ein derartiger Zweipol kann in gewissen Bereichen der Strom-Spannungs-Kennlinie passiv wirken (steigende Kennlinie), in anderen aktiv (fallende Kennlinie). In aktiven Bereichen liegt ein „negativer Widerstand“ vor.