

Richtungssinn und Vorzeichen in der Elektrotechnik

Regeln für elektrische und magnetische Kreise, Ersatzschaltbilder

DIN
5489

Directions and signs in electrical engineering; rules for electric and magnetic circuits, equivalent circuit diagrams

Ersatz für Ausgabe 11.68
und mit DIN 1324 Teil 1/05.88
Ersatz für DIN 1323/02.66

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	1	6 Zweipolquellen	3
2 Einleitung	1	6.1 Spannungsquelle	3
3 Vorzeichenregeln für Stromstärke und Spannung	2	6.2 Stromquelle	3
3.1 Richtungssinn für die Stromstärke	2	7 Lineare Zweipole in Wechselstromnetzen	4
3.2 Richtungssinn für die Spannung	2	7.1 Komplexe Schreibweise; Impedanz, Admittanz; Reaktanz, Suszeptanz	4
3.3 Bezugssinn und Bezugspfeile für Stromstärke und Spannung	2	7.2 Zweipolquellen	4
3.4 Die Kirchhoff-Gesetze	2	8 Zweitore	4
4 Elektrische Zweipole, Eintore	2	8.1 Bezugssinn für Stromstärke und Spannung an einem Zweitor	4
4.1 Definition eines Zweipols, Einteilung der Zweipole	2	8.2 Kennzeichnung des Wicklungssinns beim Übertrager	5
4.2 Bepfeilung an einem Zweipol	3	8.3 Bezugssinn beim idealen Gyrator	5
5 Ideale homogene Zweipole	3	9 Magnetische Kreise und Netze	5
5.1 Idealer ohmscher Zweipol	3	9.1 Die Größen des magnetischen Kreises	5
5.2 Idealer induktiver Zweipol	3	9.2 Richtungssinn und Bepfeilung in magnetischen Kreisen und Netzen	6
5.3 Idealer kapazitiver Zweipol	3		

1 Anwendungsbereich und Zweck

Zweck dieser Norm ist es, Vorzeichen- und Richtungsregeln festzulegen, die zur Berechnung der Stromstärken und Spannungen in elektrischen Stromkreisen und Netzen sowie zur Berechnung der entsprechenden Größen in magnetischen Kreisen dienen. Die Festlegung von Bezugssinnen durch Bezugspfeile bildet dabei eine Übereinkunft, die bei der Aufstellung der Netzgleichungen besondere Überlegungen über das Setzen von Vorzeichen entbehrlich macht.

Mit dieser Norm, die auch Ersatzschaltbilder für die häufig vorkommenden linearen Zweipole enthält, werden die bisherigen Normen DIN 1323 und DIN 5489 zusammengefaßt.

2 Einleitung

Ein Netz besteht aus einem System von Zweigen, die an Knoten miteinander verbunden sind. Die Zweige des Netzes sind Zweipole (Eintore). Sie haben zwei Pole (Klemmen). An den Knoten sind die Pole mehrerer Zweipole miteinander verbunden. Ein Netz besteht aus mindestens zwei Zweipolen. Einer oder mehrere davon wirken im allgemeinen als Quellen, die übrigen wirken als Verbraucher.

Als elektrisches Netz mit konzentrierten Elementen bezeichnet man Anordnungen, in denen für die Zustandsgröße Stromstärke I (Augenblickswert i) das erste Kirchhoff-Gesetz (Knotensatz siehe Abschnitt 3.4) und für die Zustandsgröße Spannung U (Augenblickswert u) das zweite Kirchhoff-Gesetz (Maschensatz siehe Abschnitt 3.4) gilt. Bei Verbraucher-Bepfeilung (siehe Abschnitt 4.2) und im Einklang mit den Maxwell-Feldgleichungen existieren zwischen den Zustandsgrößen eines jeden nicht resonanzfähigen, linearen und zeitinvarianten Zweipols (Definition eines Zweipols siehe Abschnitt 4.1) im allgemeinen als gewöhnliche Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten nur die Verknüpfungen

$$u = R i + L \frac{di}{dt} + u_s \quad (1)$$

oder

$$i = G u + C \frac{du}{dt} + i_s \quad (2)$$

Zweipole, die im allgemeinen resonanzfähig sind, entstehen durch Parallel- oder Serienkombination von Zweipolen nach Art der Gleichungen (1) und (2). Diese Gleichungen enthalten als Absolutglieder die Leerlauf-

Fortsetzung Seite 2 bis 8

Normenausschuß Einheiten und Formelgrößen (AEF) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Deutsche Elektrotechnische Kommission (DKE) im DIN und VDE

AVA Documents
Document Sharing Hub

spannung u_s und den Kurzschlußstrom i_s , sowie den Widerstand R , den Leitwert G , die Induktivität L und die Kapazität C der entsprechenden Bauelemente.

Als magnetischer Kreis wird eine Einrichtung zur Führung des magnetischen Flusses auf vorgegebenen Wegen bezeichnet. In ihm ist der Zusammenhang zwischen dem magnetischen Fluß und der magnetischen Spannung oft nichtlinear.

3 Vorzeichenregeln für Stromstärke und Spannung

3.1 Richtungssinn für die Stromstärke

Als elektrischen Strom der Stromstärke i bezeichnet man die geordnete Bewegung elektrischer Ladungen durch eine Fläche. Als Richtungssinn der Stromstärke i ist diejenige Richtung definiert, in der sich die positiven Ladungen bewegen. Tritt dabei in der Zeitspanne dt die Ladung dQ durch die vorgegebene Fläche, z.B. den Querschnitt eines Leiters, so ist der Augenblickswert i der elektrischen Stromstärke definiert durch $i = dQ/dt$.

3.2 Richtungssinn für die Spannung

Wenn ein Ladungsträger der Ladung Q in einem elektrischen Feld von einem Anfangspunkt 1 zu einem Endpunkt 2 bewegt wird, so verrichten die Feldkräfte an dem Körper eine Arbeit W_{12} , die proportional zu Q ist. Den Quotienten W_{12}/Q , der im wirbelfreien Feld unabhängig vom Weg ist, nennt man die Spannung u zwischen den Punkten 1 und 2. Als Richtungssinn der Spannung u ist die Richtung von 1 nach 2 definiert, wenn das Feld an einer positiven Ladung positive Arbeit verrichtet, dem Feld also Energie entzogen wird.

3.3 Bezugssinn und Bezugspfeile für Stromstärke und Spannung

In einem Netz sind Richtungssinn von Stromstärke und Spannung in den einzelnen Zweigen zunächst unbekannt. Für die Netzwerkanalyse muß daher beiden Größen in jedem Netzweig ein Bezugssinn zugeordnet werden. Dabei sind die Festlegungen des Bezugssinns für die Stromstärken und des Bezugssinns für die Spannungen in jedem Zweig willkürlich und jeweils voneinander unabhängig.

3.3.1 Bezugspfeile für die Stromstärke

In Schaltplänen und Netzgraphen wird der Bezugssinn des Stromes durch einen Bezugspfeil angegeben, der bevorzugt nach Bild 1 a) in die Linie gezeichnet wird, die den Stromleiter, bzw. den betreffenden Netzweig darstellt. Ist dies unzumutbar, so darf der Pfeil nach Bild 1 b) neben die Linie gesetzt werden. Wird ausnahmsweise kein Bezugspfeil verwendet, dann sind Anfangs- und Endpunkt des Stromzweiges durch einen Doppelindex nach Bild 1 c) oder d), z.B. i_{12} zu markieren.

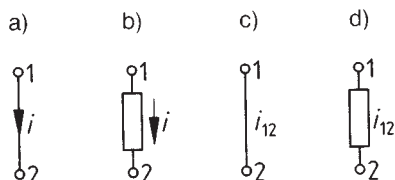


Bild 1.

3.3.2 Bezugspfeile für die Spannung

Bei Spannungen wird der Bezugssinn durch einen Bezugspfeil nach Bild 2 a) oder b) oder durch einen Doppelindex nach Bild 2 c) oder d), z.B. u_{12} dargestellt.

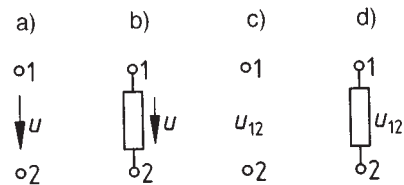


Bild 2.

3.4 Die Kirchhoff-Gesetze

Für die mit ihren Bezugspfeilen definierten Ströme und Spannungen werden die beiden Kirchhoff-Gesetze wie folgt angewendet:

Nach dem ersten Kirchhoff-Gesetz (Knotensatz) ist für jeden Knoten die Summe aller Stromstärken stets null. Die Stromstärken, deren Bezugspfeile zum Knoten hinweisen, sind mit dem einen Vorzeichen, diejenigen, deren Bezugspfeile vom Knoten wegweisen, mit dem anderen Vorzeichen in die Summe einzusetzen (siehe Bild 3 a)).

Nach dem zweiten Kirchhoff-Gesetz (Maschensatz) ist die Summe aller Teilspannungen entlang eines geschlossenen Weges, dessen Umlaufsinn willkürlich gewählt werden kann, stets null. Dabei sind alle Spannungen, deren Bezugssinn mit dem gewählten Umlaufsinn übereinstimmt, mit dem einen Vorzeichen, alle Spannungen, deren Bezugssinn gegen den Umlaufsinn gerichtet ist, mit dem anderen Vorzeichen in die Summe einzusetzen (siehe Bild 3 b)).

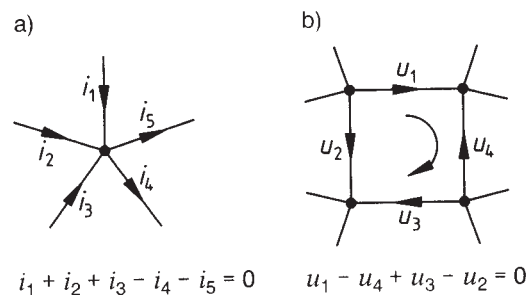


Bild 3.

4 Elektrische Zweipole, Eintore

4.1 Definition eines Zweipols, Einteilung der Zweipole

Ein elektrischer Zweipol ist ein Teil eines Stromkreises oder eines Netzes, der nur an zwei Punkten elektrisch zugänglich ist oder als zugänglich betrachtet wird. Die beiden zugänglichen Punkte heißen Pole (Klemmen). Die Eigenschaften des Zweipols werden definiert durch den Zusammenhang zwischen der Stärke des Stromes durch den Zweipol und der zugehörigen Spannung zwischen seinen Polen (siehe z.B. Gleichungen (1) und (2)).

4.1.1 Linearität und Zeitinvarianz eines Zweipols

Ein Zweipol, bei dem die Beziehung zwischen Stromstärke und Spannung durch eine lineare Gleichung oder eine lineare Differentialgleichung beschrieben wird, heißt linearer Zweipol, andernfalls nichtlinearer Zweipol. Sind die Koeffizienten in diesen Gleichungen zeitunabhängig, so bezeichnet man den Zweipol als zeitinvariant, andernfalls als zeitvariant. Nachfolgend wird stets Linearität und Zeitinvarianz vorausgesetzt.

4.1.2 Homogene Zweipole

Fehlt in den Gleichungen (1) und (2) das Absolutglied (u_s bzw. i_s), so nennt man den betreffenden Zweipol homogen. Homogene Zweipole werden zweckmäßig nach dem Wert der Koeffizienten R oder G in den Gleichungen (1) oder (2) klassifiziert.

Für $R > 0$ oder $G > 0$ ist der Zweipol dissipativ,
für $R = 0$ oder $G = 0$ ist der Zweipol reaktiv,
für $R < 0$ oder $G < 0$ ist der Zweipol generativ.

4.2 Bepfeilung an einem Zweipol

Bei Bezugspfeilen für Spannung und Stromstärke nach Bild 4a) spricht man von einer Verbraucher-Bepfeilung. Hier beschreibt ein positives Produkt von Spannung und Stromstärke eine in den Zweipol einfließende Energie. Wenn man dem Energiestrom, d.h. der Leistung P einen Bezugspfeil zuordnet, so zeigt dieser wie in Bild 4a) auf den Zweipol hin. Eine Bepfeilung von Spannung und Stromstärke nach Bild 4b) bezeichnet man als Erzeuger-Bepfeilung. Hier beschreibt ein positives Produkt von Spannung und Stromstärke eine vom Zweipol abgegebene Energie. Der Bezugspfeil für die Leistung P zeigt wie in Bild 4b) vom Zweipol weg. Bild 4c) zeigt eine vereinfachte Darstellung eines Zweipols, die für Netzgraphen zweckmäßig ist. In diesem Fall liegt eine Verbraucher-Bepfeilung vor.

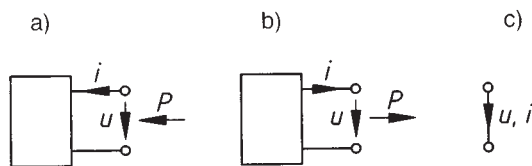


Bild 4.

5 Ideale homogene Zweipole

5.1 Idealer ohmscher Zweipol

Ein Zweipol, an dessen Polen die Spannung u in jedem Augenblick proportional der Stromstärke i ist, wird bei $R > 0$ idealer ohmscher Zweipol genannt. In Schaltplänen wird er durch das Schaltzeichen von Bild 5a) dargestellt und durch seinen Widerstand R gekennzeichnet. Bei Verbraucher-Bepfeilung gilt $u = R \cdot i$. Der Quotient $u/i = R$ wird als Widerstand (auch Resistanz) bezeichnet, sein Kehrwert $G = 1/R$ als Leitwert (auch Konduktanz).

In Schaltplänen wird der Leitwert durch dasselbe Schaltzeichen wie der entsprechende Widerstand dargestellt, jedoch mit der geänderten Beschriftung G statt R .

5.2 Idealer induktiver Zweipol

Ein Zweipol, bei dem Spannung und Stromstärke bei Verbraucher-Bepfeilung durch die Differentialgleichung $u = L \cdot di/dt$ miteinander verknüpft sind, wird idealer induktiver Zweipol genannt. In Schaltplänen wird er durch eines der Schaltzeichen von Bild 5b) dargestellt und durch seine Induktivität L gekennzeichnet.

Anmerkung: Induktivität ist eine physikalische Größe, die eine Spule charakterisiert. Diese Benennung darf nicht zur Bezeichnung des Elementes selbst benutzt werden.

5.3 Idealer kapazitiver Zweipol

Ein Zweipol, bei dem Stromstärke und Spannung bei Verbraucher-Bepfeilung durch die Differentialgleichung $i = C \cdot du/dt$ miteinander verknüpft sind, wird idealer kapazitiver Zweipol genannt. In Schaltplänen wird er durch das Schaltzeichen von Bild 5c) dargestellt und durch seine Kapazität C gekennzeichnet.

Anmerkung: Kapazität ist eine physikalische Größe, die einen Kondensator charakterisiert. Diese Benennung darf nicht zur Bezeichnung des Elementes selbst benutzt werden.

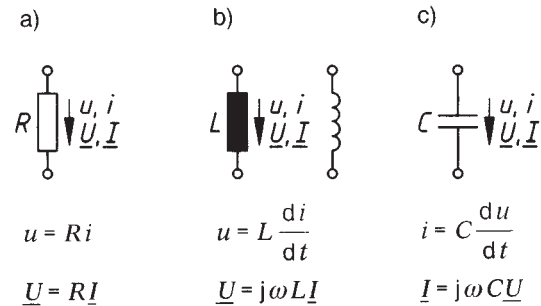


Bild 5.

6 Zweipolquellen

Ein Zweipol, der in der Lage ist, über ganze Perioden gemittelt elektrische Energie abzugeben, wird als Zweipolquelle, kurz als Quelle bezeichnet.

6.1 Spannungsquelle

Ist für eine Zweipolquelle, beschrieben durch Kombinationen von Gleichung (1) und (2), bei $i_s = 0$ mindestens einer der Koeffizienten R , L , G oder C ungleich null, so liegt eine Spannungsquelle mit Innenwiderstand und der Leerlaufspannung u_s vor.

6.1.1 Unabhängige Spannungsquelle

Wird bei einer Spannungsquelle die Leerlaufspannung u_s nicht von einer anderen Zustandsgröße beeinflusst, so bezeichnet man sie als unabhängig. Verschwinden in den Gleichungen (1) und (2) bei $i_s = 0$ die Koeffizienten R , L , G und C , so spricht man von einer idealen unabhängigen Spannungsquelle. In Schaltplänen wird sie durch das Schaltzeichen von Bild 6a) dargestellt.

6.1.2 Gesteuerte Spannungsquelle

Die Leerlaufspannung u_s einer Spannungsquelle kann der Spannung oder Stromstärke an anderer Stelle des Netzes proportional sein. Im ersten Fall spricht man von einer spannungsgesteuerten, im zweiten von einer stromgesteuerten Spannungsquelle. In Schaltplänen wird sie für den Idealfall entsprechend Bild 6b) bzw. c) dargestellt.

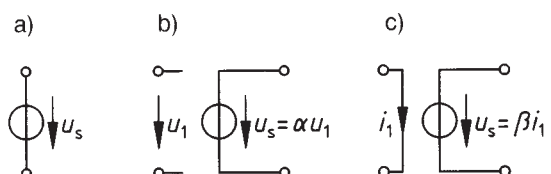


Bild 6.1)

6.2 Stromquelle

Ist in Kombinationen von Gleichung (1) und (2) bei $u_s = 0$ mindestens einer der Koeffizienten R , L , G oder C ungleich null, so wird eine Stromquelle mit Innenleitwert und der Kurzschlußstromstärke i_s beschrieben.

6.2.1 Unabhängige Stromquelle

Wird bei einer Stromquelle die Kurzschlußstromstärke i_s nicht von einer anderen Zustandsgröße beeinflusst, so bezeichnet man sie als unabhängig. Verschwinden in

¹⁾ α , β , γ und δ sind zunächst nicht näher benannte Steuerungsparameter der Dimension 1 (α , δ), der Dimension eines Widerstandes (β) bzw. der Dimension eines Leitwertes (γ).