Elektrische Feldstärke: (Kraft auf Ladungsträger durch elektr. Ladung des Ladungsträgers)

🡪 elektrisches Feld leistet Arbeit: (Kraft mal Weg)

🡪

🡪 Definition Volt: Zwischen 2 Punkten liegt eine Spannung von 1V vor, wenn eine Ladung von 1C zwischen diesen 2 Punkten eine Energieänderung von 1 Nm erfährt.

Beweglichkeit: 🡪 und 🡪

🡪 Leitfähigkeit:

**Formelsammlung GET 1**

**Grundlagen**

Elektrische Ladung: Q = I ∙ t [C], [As] 🡪 Stromstärke: I =

Elementarladung:

Elektronen:

Protonen:

Stromdichte: J = (Strom pro Querschnitt) , üblicherweise

🡪 🡪

🡪 🡪

🡪

**Kugel-Geometrie**

**Netzwerkberechnung**

Knotenregel 🡪

Maschenregel 🡪

Spannungsteiler:

belasteter Spannungsteiler: (R2 und RLast parallel)

Stromteiler: od. od. (bei 2 Widerst.)

Abgeglichene Brückenschaltung: und

Elektrische Energie:   
(Herleitung über mech. Energie )

Elektrische Leistung: 🡪 🡪

Verbraucher: nimmt immer Leistung auf  
Quelle: Gibt Leistung ab, wenn P bei unterschiedl. Zählpfeilen von U u. I positiv ist.

Leistungsanpassung: max. Leistung an Rv durch Rv = Ri 🡪

Wirkungsgrad η: Wenn Rv < Ri ist η < 0,5 und wenn Rv > Ri ist η > 0,5

**Ohmscher Widerstand**

🡪 je größer spez. Widerstand u. Länge u.je kleiner Fläche des Materials, desto höher R

🡪 (Einheit: Ωm)

Kehrwert zu spez. Widerstand ρ ist die spez. Leitfähigkeit κ (wie bei Widerstand R und Leitwert G)

🡪 🡪 und

Temperaturabhängigkeit

Temperaturabhängigkeit des Widerstands von metallischen Leitern ist nahezu linear.

Steigung 🡪 = Ausgangstemperatur

🡪 Temperaturkoeffizient

🡪 🡪 um Widerstand Rϑ bei Temperatur ϑ zu bestimmen

🡪 🡪 linearer T.koeffizient für große T.bereiche

🡪 Temperaturkennwert [K] 🡪

🡪 🡪 Bestimmung einer unbekannten Temperatur:

**Sonstiges**Sonstige Kraft-Gleichungen:   
Arbeit:   
Energie:

|  |  |
| --- | --- |
| Netzumwandlung |  |
| Stern 🡪 Dreieck | Dreieck 🡪 Stern |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Netzwerkberechnung**

Anwendung der Kirchhoffschen Gesetze  
1. Anzahl Zweige n und Anzahl Knoten p feststellen  
2. Zählpfeile für unbekannte Größen eintragen  
3. Knotenpunktsatz für p-1 Knoten aufstellen  
4. Unabhängige Maschen wählen m = n – (p-1), Umlaufsinn eintragen und Maschengleichungen aufstellen  
5. Gleichungssystem sinnvoll (!) lösen

Überlagerungsmethode  
1. Erste Spannungs-/Stromquelle aktivieren, andere Quellen deaktivieren (Spannungsq. kurzgeschlossen, Stromq. unterbrochen)  
2. Erste Teilströme im Netzwerk berechnen In´, …  
3. Zweite Spannungs-/Stromquelle aktivieren, andere Quellen deaktivieren  
4. Zweite Teilströme im Netzwerk berechnen In´´, …  
5. Für alle Spannungs-/Stromquellen durchführen  
6. Teilströme addieren: In = In´ + In´´ + …

Ersatzzweipolquellen/Schnittmethode  
🡪 Teil des Netzwerkes wird durch eine ideale Spannungs-/Stromquelle und einem Innenwiderstand Ri ersetzt  
Netzwerk an betrachteten Klemmen a-b öffnen und 2 der 3 folgenden Größen betrachten:  
1. Leerlaufspannung a-b: U0 = Uq 🡪 Maschenregel!  
2. Kurzschlussstrom a-b: Ik = Iq  
3. Innenwiderstand Ri berechnen: Deaktivieren der Quellen und Berechnung des Gesamtwiderstands   
bei Leerlauf = Ri

🡪 Berechnung der 3. Größe durch Ohmsches Gesetz

Knotenpotentialverfahren  
Optional: 1. Alle Spannungsquellen in Stromquellen umwandeln, 2. Alle R in G umwandeln  
1. Netzwerk betrachten und Pseudo-Zweige mit Stromquellen eliminieren (egal was sonst noch im Zweig ist!)  
2. Bezugsknoten wählen mit Potential φ0 = 0 (Hinweis: Bezugsknoten wählen, bei dem Belastungsstrom zu- oder abfließt, damit schon mal eine Größe in der Matrix rausfällt)  
3. Übrige Knoten durchnummerieren  
4. Berechnungen für alle Eigen- und Koppelleitwerte aufstellen  
5. Matrix ODER Knotenpunktgleichungen nach folgendem Prinzip aufstellen:  
Ein Bild, das Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung  
6. Werte einsetzen und Gleichungssysteme lösen

7. Zweigströme mit Ohmschen Gesetz berechnen, Spannungsquellen berücksichtigen!

🡪 mit wenn gegen Richtung von und umgekehrt

**Vektorrechnung / Geometrie**

Betrag = Länge (immer positiv):

Multiplikation mit Skalar: Skalarprodukt zweier Vektoren: Ein Bild, das Text enthält.

Automatisch generierte BeschreibungEin Bild, das Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Kreuzprodukt zweier Vektoren: Ein Bild, das Text, Whiteboard enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

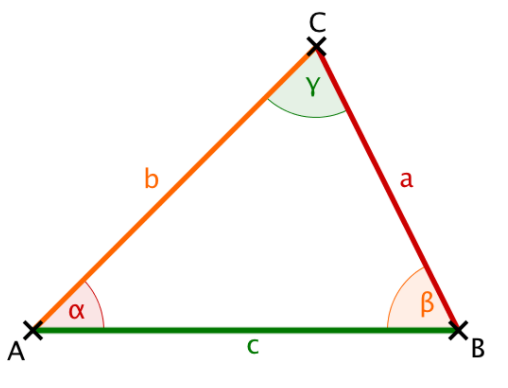
( ist Flächennormalenvektor (senkrecht) zu Fläche die von und aufgespannt wird)

Ein Bild, das Text, Uhr, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Einheitsvektor: (hat Richtung von und Betrag 1)

Ein Bild, das Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Stromdichte J | Feldstäke E | Spannung U | Widerstand R |
| Grund-formeln |  |  |  |  |
| Ebene | a = Kantenlänge Startfläche ()  m = |  |  |  |
| Kugel |  |  |  |  |
| Zylinder |  |  |  |  |

**Elektrisches Strömungsfeld**

Grundprinzip:

Für alle quellenfreien Felder gilt:

(ähnlich Knotenpunktsatz Kirchhoff)

(Linienintegral über geschl. Weg ist Null 🡪 Potential am Anfangs- u. Endpunkt gleich)

Strom durch Fläche im inhomogenen Strömungsfeld:

Elektrische Feldstärke: 🡪

(Ohmsches Gesetz des Strömungsfeldes)

Stromdichtefeld: ( = Driftgeschwindigkeit)

**Elektrostatisches Feld**

Grundprinzip:

elektrostatisches Feld existiert nur in Nichtleitern, Vakuum oder Luft

homogenes Feld: Feldlinien gerade und parallel in gleichem Abstand

Verschiebungsfluss ψ = Q

🡪 Entsteht in positiven Ladungen und „fließt“ (bildhaft) zu den negativen Ladungen. „Unterwegs“ werden Ladungen verschoben.

wenn A geschlossene Hüllfläche:

Dielektrizitätskonstante (Permittivität):

Kapazität Kondensator:

Parallelschaltung:   
 Ladungsverhältnisse: 🡪 🡪

Reihenschaltung:

(Ladungen können nur über Uq zu oder abfließen)  
 🡪

Kräfte im elektrostatischen Feld

Kraft auf eine Ladung: (bei negativen Ladungen entgegen Feldstärke)

Kraft zwischen zwei Punktladungen:

Energie im elektrostatischen Feld

Energie [J]

Aufladen eines Kondensators:

Der Spannungsquelle zugeführte Energie bei Vergrößern des Plattenabstandes:

(Q = Ladung, die der Spannungsquelle beim Vergrößern des Plattenabstandes zugeführt wird; Berechnung: )  
Der Spannungsquelle entnommenen Energie bei Einbringen von Dielektrikum:

(Q = Ladung, die von der Spannungsquelle beim Einbringen des Dielektrikums geliefert wird; Berechnung: )

Energiedichte: [ ]

Potential nimmt in Richtung des Feldstärkevektors () ab

Potential mehrerer Ladungen: algebraische Addition,

z.B.: (selber Bezugspunkt!)

Überlagerung elektrischer Felder:

E bzw. D vektoriell addieren; U skalar addieren nach Überlagerungsprinzip bei selbem Bezugspunkt

Schichtdielektrikum

Reihenschaltung: , ,   
🡪 Zylinder: E am größten, wo am kleinsten

Parallelschaltung: , , Q verteilt sich ungleichmäßig !

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Verschiebungsflussdichte D | Feldstärke E | Potential φ / Spannung U | Kapazität C |
| Grundformeln |  |  |  |  |
| Platten (homogenes Feld) | da homogenes Feld: |  | d = Plattenabstand  bei Reihen-Schichtung: |  |
| Kugel  (in der Ladung: E gleich 0 und φ konst.) | auf gesamter Kugeloberfläche gleich und parallel zum Flächennormalenvektor  🡪  🡪gilt auch für Umgebung außerhalb einer geladenen Kugel  generell inhomogenes Feld: | 🡪gilt auch für Umgebung außerhalb einer geladenen Kugel | 🡪mit als Bezug: | 🡪Grenzfall: ra unendlich: |
| Zylinder  hier:  (in der Ladung: E gleich 0 und φ konst.) |  | (bei Reihenschaltung für jedes U einzeln!)  Parallel: (jeweils)  🡪 |  | und:  Parallel: (je C) |
| Doppelleitung ( und ) |  | und erzeugen jeweils eigenes , beide sind gleichgerichtet. | a = Abstand  l = Länge  r = Leiterradius | a = Abstand  l = Länge  r = Leiterradius |
| Einzelleitung über Erde |  |  | (φ am Erdboden, deswegen halb so groß wie bei Doppelleitung) | h = Höhe, r = Leiterradius |

|  |  |
| --- | --- |
| Magnetischer Fluss | homogenes Feld: (Winkel zw. Flächennormalenvektor u. B) |
| verketteter Fluss |  |
| Flussdichte |  |
| Feldstärke |  |
| Durchflutung |  |
| Magn. Widerstand |  |
| Magn. Leitwert |  |

**Magnetisches Feld**

Grundprinzip: ϕ 🡪 B 🡪 H 🡪 I 🡪 ϕ 🡪 ….

oder: I 🡪 H 🡪 B 🡪 ϕ

Magnetkraft innerhalb von S nach N, außerhalb von N nach S

Permeabilität

bei ferromagnetischen Stoffen nicht linear (Hystereseschleife)

|  |  |
| --- | --- |
| Magn. Spannung | Weg s parallel zu H:  Weg s senkrecht zu H: (Äquipotentiallinie) |

**Situation 2:** Gerade Leiter innerhalb und außerhalb, Koaxialkabel  
Gerader Leiter innerhalb: (R = kompletter Radius Leiter) (r-unabhängig)  
Gerader Leiter außerhalb: (vektoriell: )  
Gerader Leiter mit Loch in der Mitte:   
Koaxial, Ii = -Ia:  
(1) innerhalb Innenleiter: (R = kompletter Radius Leiter)  
(2) im Dielektrikum:   
(3) innerhalb Außenleiter: ( = Außenradius Außenl., = Innenradius Außenl.)  
(4) außerhalb Außenleiter: :

Konzentrischer Ring um Leiter (Klapp-Ferrit):

**Situation 1:** Magnetischer Kreis mit Eisenkern, Eisenkern mit Luftspalt, ohne Kern, …  
Durchflutung: 🡪   
Ohmsches Gesetz des magn. Kreises: bzw.

Maschenregel:

🡪 bei Reihenschaltung einzeln betrachten!

Induktivität:

lange dünne Zylinderspule:  
 (meist homogen) (im Inneren)

Ein Bild, das Text, Uhr enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Grenzflächen**Tangentialkomponenten der Feldstärke H parallel zu Grenze:

Normalkomponenten der Flussdichte B senkrecht zu Grenze:

🡪 🡪 analog: elektrisches Feld:

**Situation 3:** Zwei parallele Leiter  
unterschiedliche Stromrichtung:   
 (a = Abstand zw. Leitern, r = Leiterradius)  
 ( = zwischen den Leitern, = im Leiterinneren)  
gleiche Stromrichtung:

**Energie**Ausgangsformel immer:  
 oder

mit Induktivität L:  
   
(Energiegehalt stromdurchflossener Spule)  
  
mit B und H:  
   
🡪:🡪   
(wenn u. Energie in V homogen !)  
🡪   
(wenn u. Energie in V inhomogen !)  
  
Energiedichte:  
wenn :   
wenn :

**Kräfte**  
Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im homogenen Magnetfeld: ( = Leiterlänge, = Winkel zw. und )  
Vektoriell:

Kraft auf bewegte Ladung im Magnetfeld (Lorentzkraft): ( = Geschwindigkeit)  
Vektoriell: (Bahnradius bei Ablenkung, Herleitung durch Fliehkraft: )  
Kraft zwischen 2 parallelen stromdurchflossenen Leitern: (Kraft auf einen einzelnen Leiter)  
(bei gleicher Stromr. Anziehung, bei unterschiedl. Stromr. Abstoßung)

Kraft zwischen stromdurchflossenen Leiter und Eisenteil: Spiegelprinzip: (r = einfacher Abstand Leiter zu Eisenteil)

Kraft Elektromagnet: : 🡪 mechanische Zugspannung:

Rechte-Hand-Regel: Daumen zeigt in die Richtung, in die physikalisch die positiven Ladungsträger fließen, also in die technische Stromrichtung.

**Induktive Kopplung**gleichgerichtete Flüsse ϕ werden addiert, entgegengerichtete Flüsse ϕ werden subtrahiert  
(Wenn Punkt in Schaltbild auf gleicher Seite, sind Flüsse gleichgerichtet)  
  
verkettete Gesamtflüsse:  
Spule 1:   
Spule 2:   
(selbst erzeugter Fluss + fremd erzeugter Fluss)

Ein Bild, das Text, Uhr enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Induktion**   
Bewegungsinduktion (ruhendes Magnetfeld, Bewegung eines stromlosen Leiters):  
Trennung frei beweglicher Ladungsträger durch Lorentzkraft: Induktionsspannung, wenn Leiter geschlossen: Induktionsstrom  
wenn homogen u. und Leiter senkrecht: oder (induzierte Spannung)  
wenn homogen u. und nicht senkrecht: (induzierte Sp., = Winkel zw. v und B)  
🡪 Messung mit Voltmeter zeigt positiven Wert: (induktive Spannung oder )  
 (mechanische Kraft um Leiterschleife zu bewegen ist gleich der magnetischen Kraft)

**Vorzeichen:** Rechte-Hand-Regel andersherum ausführen, Daumen zeigt in Bewegungsrichtung der Elektronen; Anschließend Spannungspfeil von ⊕ nach ⊝ einzeichnen und Maschenregel ausführen

Ruheinduktion (zeitlich veränderliches Magnetfeld, ruhende Leiterschleife):  
Leiterschleife wirkt Flussänderung entgegen, indem es Spannung induziert  
 oder   
mit L:   
**Vorzeichen:** Lenzsche Regel: induzierter Strom generiert Fluss , der seiner Ursache () entgegenwirkt. Dann Rechte-Hand-Regel ausführen. Oder gleich ursprünglichen Fluss und **Linke**-Hand-Regel nehmen.

Zusammen:

**Induktivität**Selbstinduktivität L:  
 (bei unveränderter Anordnung nur geometrieabhängig)  
🡪   
Gegeninduktivität M:  
 analog:

wenn :

wenn keine Streuung und beide Spulen führen Strom: (Herleitung: )

wenn Streuung und beide Spulen führen Strom:

Kopplungsfaktor

Streufaktor (Anteil des Flusses, der NICHT in zweiter Spule landet)

Gesamtstreuung: ( ist Streufaktor der zweiten Spule)

Widerstand der magnetischen Kopplung: