

1

Übersicht über die elektrische Anlagentechnik

Die stark wachsende Elektrifizierung auf allen Gebieten des täglichen Lebens führte in den letzten Jahrzehnten zu einer Steigerung und Konzentration der installierten elektrischen Leistungen in Industrie, Gewerbe, öffentlichen Gebäuden und Hausinstallationen. Die technische Disziplin, die sich mit den Methoden der Gestaltung, Berechnung, Installation und Überwachung von Anlagen der elektrischen Energieversorgung und Energienutzung befasst, ist die elektrische Anlagentechnik.



Elektrische Anlagen sind Anlagen zur Erzeugung, Übertragung, Verteilung, Umwandlung, Speicherung und Nutzung der elektrischen Energie.

Gelegentlich wird für elektrische Anlagen noch der klassische Begriff „Starkstromanlagen“ verwendet. Die umfassende Aufgabenstellung der elektrischen Anlagentechnik erfordert eingehende Kenntnisse:

- der Bedingungen, unter denen die Energieversorgung bzw. -nutzung erfolgen,
- der elektrischen Betriebsmittel als Teil der elektrischen Anlage,
- des Aufbaus des gesamten Anlagensystems und dessen Verhalten bei den verschiedenen Betriebsbedingungen im ungestörten und gestörten Betrieb.

Durch die hohe Bedeutung, die die elektrische Energie hat, werden besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der elektrischen Anlagen gestellt. Deshalb muss die elektrische Anlagentechnik stets um technische Lösungen bemüht sein, die geringste Anlagen- und Betriebskosten bei größter Versorgungssicherheit und größtmöglicher Schonung der Energiereserven und der Umwelt garantieren. Die elektrische Anlagentechnik muss sicherstellen, dass:

- die Abnehmer in ausreichender Menge mit elektrischer Energie versorgt werden,
- die elektrische Energie jederzeit mit den vereinbarten Kennwerten zur Verfügung steht,
- im Störfall nur der gestörte Netzteil von der Energieversorgung abgetrennt wird,
- die Nutzung der elektrischen Energie bei sachgemäßer Handhabung ungefährlich ist,
- die elektrischen Anlagen mit dem bestmöglichen Wirkungsgrad geplant werden,
- die notwendigen Anlagen eine möglichst geringe Belastung der Umwelt hervorrufen.

Bild 1.1 zeigt die Anwendungsgebiete der elektrischen Anlagentechnik innerhalb der elektrischen Energietechnik.

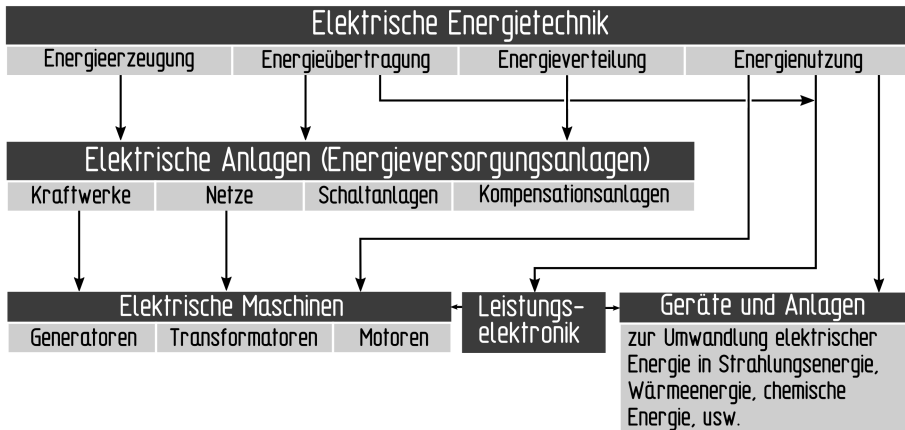


Bild 1.1 Übersicht über die elektrische Anlagentechnik

Den Schwerpunkt bilden die Anlagen zur elektrischen Energieversorgung. Anlagen zur elektrischen Energieversorgung sind:

- die elektrischen Einrichtungen der Kraftwerke,
- die Netze mit ihren Schutzeinrichtungen, Kabeln, Leitungen und Erdungsanlagen,
- die Schaltanlagen mit den verschiedenen Schaltgeräten.

Die Übertragung der elektrischen Energie erfolgt aus wirtschaftlichen Gründen auf verschiedenen Spannungsebenen. Dadurch sind die entsprechenden Anlagen sehr unterschiedlichen Beanspruchungen ausgesetzt. Mit den Problemen der Hoch- und Höchstspannungsanlagen und ihren technischen Lösungen beschäftigt sich die Hochspannungstechnik. Mit den Nieder- und Mittelspannungsanlagen setzt sich das vorliegende Buch auseinander. In diesem Rahmen werden auch Betriebsmittel und Anlagensysteme der Hochspannungstechnik vorgestellt, wenn Unterschiede oder Besonderheiten herausgestellt werden sollen.

Viele Aufgaben sind für die elektrische Anlagentechnik nur im Verbund mit anderen Fachgebieten zu lösen. So ergeben sich Schnittstellen:

- mit der Kraftwerkstechnik bei den Anlagen zur elektrischen Energieerzeugung,
- mit der Hochspannungstechnik bei den Hoch- und Höchstspannungsanlagen,
- mit der Elektrizitätswirtschaft bei der Überwachung und Führung des Energieflusses und der damit zusammenhängenden Ansteuerung der Schaltanlagen.

Die nahtlosen Übergänge an den Schnittstellen müssen durch sinnvolle Abgrenzung der Anlagen und eindeutige Abstimmung der technischen Daten erreicht werden. Zur elektrischen Anlagentechnik gehören deshalb auch entsprechende Grundkenntnisse aus den angrenzenden Fachgebieten.

2

Kraftwerke



Lernziele

Nach Durcharbeitung dieses Kapitels können Sie

- die verschiedenen Energieformen erläutern,
- den Energieumwandlungsprozess und das Wärmeschaltbild eines Wärmekraftwerks erklären,
- die Arbeitsweise der Anlagenteile eines Kohlekraftwerkes beschreiben,
- die Maßnahmen zur Minderung der Umweltbelastung bei Kohlekraftwerken erläutern,
- die bei Wärmekraftwerken erreichbaren Wirkungsgrade begründen,
- den Aufbau der elektrischen Anlage eines Kraftwerksblockes beschreiben,
- die Arbeitsweise und Sicherheitsmaßnahmen eines Kernkraftwerkes erläutern,
- die verschiedenen Ausbauformen von Wasserkraftwerken beschreiben,
- den Aufbau und die Einsatzmöglichkeiten von Wind- und photovoltaischen Kraftwerken erläutern,
- den Einsatz der verschiedenen Kraftwerke im Bereich der öffentlichen Elektrizitätsversorgung begründen.

■ 2.1 Energieformen

Die Natur stellt dem Menschen Energie in vielfältiger Form (z.B. Licht-, Wärme-, Kernenergie) zur Verfügung. Nur selten jedoch kann diese vom Menschen dort genutzt werden, wo sie von der Natur bereitgestellt wird. Es sind deshalb Systeme notwendig, die die verschiedenen Primärenergien in gut speicherbare und/oder transportierbare Sekundärenergien umwandeln, um diese dann an einem gewünschten Ort zu einer gewünschten Zeit in die gewünschte Nutzenergie umwandeln zu können.

Zu den wichtigsten Sekundärenergien zählt neben den Kraftstoffen, Heizölen und Erdgas mit ca. 20% (Sektor Haushalte in Deutschland) die elektrische Energie. Sie wird in Kraftwerken unterschiedlichster Art und Leistungsgröße aus fast allen Primärenergien gewonnen.



Energieformen, die unmittelbar der Natur entnommen werden, bezeichnet man als Primärenergien.

Energieformen, die zum Zwecke des besseren Transports oder der Speicherung aus Primärenergien gewonnen werden, bezeichnet man als Sekundärenergien.

Tabelle 2.1 Energieformen

Primärenergien	Sekundärenergien
feste, flüssige, gasförmige Brennstoffe	elektrische Energie
Kernbrennstoffe	Benzin, Heizöl
Wasserkraft	Fernwärme
Meeresenergie	
Windkraft	
Erdwärme	
Sonnenstrahlung	
Biomasse	

Unter allen Energieformen nimmt die elektrische Energie eine Schlüsselposition ein, da sie auf vielfältige Art wirtschaftlich erzeugt, transportiert und wieder in andere Energieformen umgewandelt werden kann.

■ 2.2 Wärmekraftwerke

2.2.1 Allgemeines

Der größte Teil der elektrischen Energie wird in den meisten Ländern noch immer in Wärmekraftwerken gewonnen. Dampfkraftwerke sind Anlagen, die in mehreren Stufen

- die Energie fossiler Brennstoffe (Kohle, Öl, Gas),
- die Energie von Kernbrennstoffen (Uran),
- die Strahlungsenergie der Sonne,
- die Wärmeenergie im Erdinneren

in elektrische Energie umwandeln. Prinzipiell arbeiten alle Dampfkraftwerke nach dem gleichen Verfahren entsprechend Bild 2.1.

Wärmeenergie wird in einem Verdampfer in Bewegungsenergie des Dampfes umgesetzt. Der Dampf durchströmt anschließend eine Turbine und gibt dabei einen Teil seiner Energie in Form von Rotationsenergie ab. Die Turbine treibt einen Generator an, der die Rotationsenergie in elektrische Energie umwandelt. Die Restenergie des Abdampfes wird über einen Kondensator mit nachgeschaltetem Kühlsystem an die Umwelt abgegeben. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten von Wärmekraftwerken liegen in der ersten Umwandlungsstufe, d.h. in der Umwandlung der Primärenergie in die Wärmeenergie des Arbeitsstoffes. Als Arbeitsstoff verwenden Dampfkraftwerke Wasser. Dieses

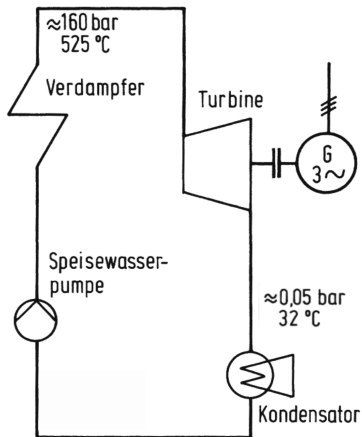


Bild 2.1
Prinzipschaltplan eines Dampfkraftwerkes

durchläuft bei den Energieumwandlungen einen Kreisprozess, in welchem es sowohl in flüssiger als auch in dampfförmiger Form vorkommt.

Je nach Kraftwerksart können die Zustandsgrößen des Wassers folgende Werte annehmen:

- Drücke: 0,05 bar ... 300 bar,
- Temperaturen: 290 K ... 850 K.

2.2.2 Arbeitsprozess der Dampfkraftanlage

Für den Arbeitsstoff Wasser gibt es keine exakten Gleichungen zur Bestimmung der Zustandsgrößen. Man arbeitet deshalb mit experimentell bestimmten Werten, die in Zustandsdiagrammen oder Zustandstabellen festgehalten sind. Der ideale Kreisprozess des Wassers (Clausius-Rankine-Prozess) wird nachfolgend anhand des T,s-Diagramms (Bild 2.2) erläutert.

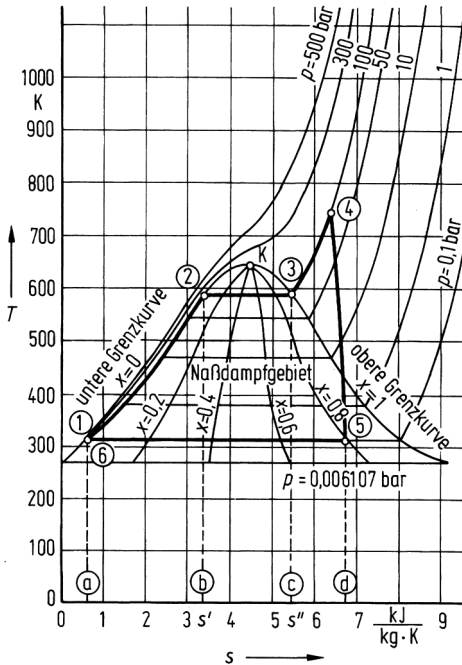
Als spezifische Entropie wird das Verhältnis der Wärmemenge Q zur Temperatur T je kg eines Arbeitsstoffes bezeichnet. So hat z.B. bei einem Druck von 1 bar und einer Temperatur von 373 K das Wasser ($x = 0$) eine spezifische Entropie von $1,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Durch Zuführung der Verdampfungswärme steigt die spezifische Entropie bis zur vollständigen Verdampfung ($x = 1$) auf $7,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ an, wobei die Temperatur konstant bleibt.



Es bedeuten:

- T ... Temperatur in K
- s ... spezifische Entropie in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
- x ... Dampfgehalt

Von den Grenzkurven für $x = 0$ und $x = 1$ wird das Nassdampfgebiet umschlossen. Links von der unteren Grenzkurve liegt das Flüssigkeitsgebiet, rechts von der oberen Grenzkurve

**Bild 2.2**

T,s-Diagramm des idealen Wasser-Dampf-Kreisprozesses bei einem Verdampfendruck von 100 bar

- Bei $x = 0$ liegt nur Flüssigkeit vor.
- Bei $x = 1$ liegt nur Dampf vor.
- Bei $0 < x < 1$ liegt Nassdampf vor, das heißt, ein Teil des Wassers ist flüssig, der restliche Teil ist dampfförmig.

das Gebiet des überhitzten Dampfes. Die Kurven für $0 < x < 1$ geben den Anteil des Dampfes im Nassdampfgebiet an.

Wie aus dem T,s-Diagramm hervorgeht, nimmt die Siedetemperatur des Wassers mit steigendem Druck zu. Die Wärmemenge, die notwendig ist, um das Wasser zu verdampfen, nimmt mit steigendem Druck ab (Abstand zwischen der unteren und oberen Grenzkurve bei konstantem Druck und konstanter Temperatur). Im kritischen Punkt K wird die Verdampfungswärme Null.



K ... Kritischer Punkt für Wasser

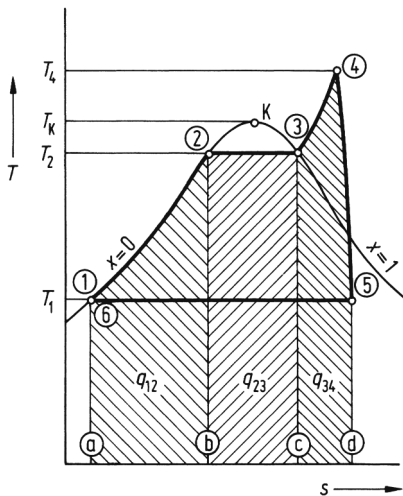
- Kritische Temperatur: $T_k = 647,3 \text{ K}$
- Kritischer Druck: $p_k = 221,2 \text{ bar}$

Zur Erklärung des T,s-Diagramms sollen folgende Verhältnisse im Verdampfer angenommen werden:

Druck im Verdampfer	$p = 100 \text{ bar}$
Temperatur des Speisewassers	$T_1 = 319 \text{ K}$
Endtemperatur des überhitzten Dampfes	$T_4 = 740 \text{ K}$

Damit lassen sich Temperatur, Druck und spezifische Entropie des Kreisprozesses aus dem T,s-Diagramm direkt ablesen:

(1)	Das Wasser liegt ausschließlich als Flüssigkeit vor ($T_1 = 319\text{K}$; $p_1 = 100\text{bar}$).
(1)-(2)	Das Wasser wird bis zum Siedepunkt erwärmt ($T_2 = 584\text{K}$; $p_2 = 100\text{bar}$).
(2)-(3)	Das Wasser wird verdampft ($T_3 = 584\text{K}$; $p_3 = 100\text{bar}$).
(3)-(4)	Der Dampf von 100bar wird auf $T_4 = 740\text{K}$ überhitzt.
(4)-(5)	Der Dampf wird auf $p_5 = 0,1\text{bar}$ bei annähernd gleichbleibender Entropie entspannt. Dabei sinkt die Dampftemperatur auf $T_5 = 319\text{K}$. Der Dampf liegt jetzt als Nassdampf vor ($x = 0,8$).
(5)-(6)	Der Dampf wird bei konstanter Temperatur von 319K und konstantem Druck von 0,1 bar verflüssigt (kondensiert).
(6)-(1)	Der Wasserdruck wird von $p_6 = 0,1\text{bar}$ auf den Verdampferdruck von $p_1 = 100\text{bar}$ erhöht. Hierbei erfolgt eine geringfügige Temperaturerhöhung ($\Delta T < 1\text{K}$), die vernachlässigt werden kann.

**Bild 2.3**

Umgesetzte Wärmemengen beim Clausius-Rankine-Kreisprozess

Die große technische Bedeutung des T,s-Diagramms liegt in der anschaulichen Darstellung der umgesetzten spezifischen Wärmemengen als Flächen unter der Kurve einer Zustandsänderung. Damit lassen sich die dem Prozess zugeführte Wärme, die abgeführte Wärme und die gewinnbare mechanische Arbeit (Wärmewert der geleisteten Arbeit) direkt als Flächen ablesen (Bild 2.3).

Fläche 1-2-b-a:	Zugeführte Wärme q_{12} bis zum Siedepunkt
Fläche 2-3-c-b:	Zugeführte Verdampfungswärme q_{23}
Fläche 3-4-d-c:	Zugeführte Überhitzungswärme q_{34}
Fläche 5-d-a-6:	Abgeführte Kondensationswärme q_{56}
Fläche 1-2-3-4-5:	Gewinnbare mechanische Arbeit w_{45}

Vergleicht man die Flächen miteinander, so erkennt man, dass wesentlich mehr Wärme zugeführt wird, als mechanische Arbeit gewonnen werden kann.



Übung 2.1

Es soll angenommen werden, dass alle Zustände des T,s-Diagramms technisch realisiert werden könnten. Wie müsste dann der vorgeschriebene Kreisprozess verändert werden, damit eine größere mechanische Arbeit gewonnen werden kann?

Übung 2.2

Begründen Sie, warum im Kreisprozess eine Kondensation des Dampfes (5)-(6) erfolgen muss und nicht eine denkbare Verdichtung mit Kompressoren auf den Ausgangsdruck von $p_1 = 100\text{bar}$ durchgeführt werden kann.

Im Kreisprozess nach Bild 2.2 beträgt der Dampfgehalt des Abdampfes (Punkt 5) nur noch 80% ($x = 0,8$). Zum Schutz der Turbinenschaufeln sollte der Dampf jedoch keine größere Nässe als 10% erreichen, da die sich bildenden Wassertröpfchen wegen ihrer hohen Aufprallgeschwindigkeit Beschädigungen an der Turbine hervorrufen würden. Eine geringere Nässe erreicht man, wenn der aus der Turbine austretende Dampf, kurz bevor der Dampfzustand das Nassdampfgebiet erreicht, nochmals in den Dampferzeuger zurückgeführt und auf die Überhitzungstemperatur T_4 wieder aufgeheizt wird. Diesen Vorgang nennt man Zwischenüberhitzung. Wie aus Bild 2.4a hervorgeht, kann die Zwischenüberhitzung nur bei einem niedrigeren Druck (5'-4) erfolgen. Nach der Zwischenüberhitzung wird der Dampf zum Mitteldruckteil der Turbine geleitet, deren Welle mit dem Hochdruckteil starr gekoppelt ist (Bild 2.4b). Zur besseren Ausnutzung wird der Abdampf des Mitteldruckteils meistens noch in einem nachgeschalteten Niederdruckteil weiter entspannt.

Übung 2.3

Wie verändert sich die gewinnbare mechanische Arbeit durch Zwischenüberhitzung des Dampfes?

Die einzelnen Teilprozesse des Wasser-Dampf-Kreisprozesses laufen in folgenden Anlagenteilen der Dampfkraftanlage ab (Bild 2.4a):

- Der Verdampfer führt die Flüssigkeitswärme q_{12} , die Verdampfungswärme q_{23} und die Überhitzungswärme q_{34} , zu (Fläche 1-2-3-4'-d'-a).
- Der Zwischenüberhitzer führt die Überhitzungswärme $q_{5'4}$ zu (Fläche 5'-4-d-d').
- Der Hochdruckteil der Turbine gibt die mechanische Arbeit $w_{4'5'}$ an den Generator ab (Fläche 1'-2-3-4'-5').
- Der Mitteldruckteil der Turbine gibt die mechanische Arbeit w_{45} an den Generator ab (Fläche 1-1'-5'-4-5).
- Der Kondensator führt die Kondensationswärme q_{56} an den Kühlkreislauf ab (Fläche a-6-5-d).
- Die Speisewasserpumpe bringt das Speisewasser auf den Verdampferdruck und führt ihm dabei eine vernachlässigbar kleine Wärmemenge w_{61} zu.

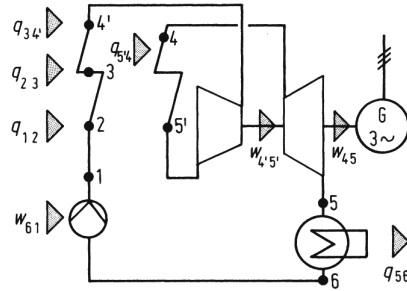
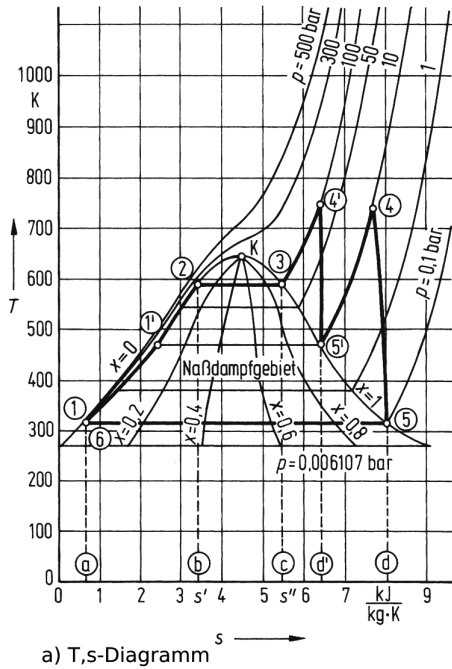


Bild 2.4 Dampfkraftwerksprozess mit Zwischenüberhitzung

Zur Bewertung eines Kreisprozesses wird folgende allgemeine Definition angewendet:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{zugeführte Energie}}$$

Für den Kreisprozess in Bild 2.2 errechnet sich somit der sogenannte thermische Wirkungsgrad wie folgt:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{w_{45}}{q_{12} + q_{23} + q_{34} + w_{61}}$$



Beispiel 2.1

Für den Kreisprozess aus Bild 2.2 soll der thermische Wirkungsgrad ermittelt werden.

Lösung:

Durch Auszählen (Planimetrieren) der Flächen unter den verschiedenen Kurvenabschnitten des T,s-Diagramms erhält man für:

$$q_{12} = 1220 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{34} = 820 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{61} = 0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{45} = q_{12} + q_{23} + q_{34} + w_{61} - q_{56} = 1330 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{23} = 1240 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{56} = 1950 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{w_{45}}{q_{12} + q_{23} + q_{34} + w_{61}} = \frac{1330 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3280 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0,405 = 40,5\%$$



Übung 2.4

Ermitteln Sie den thermischen Wirkungsgrad für den Kreisprozess in Bild 2.4.

Wie aus Übung 2.4 hervorgeht, wird der thermische Wirkungsgrad durch die Zwischenüberhitzung des Dampfes erhöht. Eine weitere Verbesserung erreicht man durch eine Vorwärmung des Speisewassers. Hierbei werden durch Anzapfen der Turbine Teile des Dampfes entnommen und Wärmetauschern im Speisewasserkreis zugeführt. Der thermische Wirkungsgrad hängt ab:

- vom Kondensationsdruck (Gegendruck),
- von Dampfdruck und -temperatur,
- von der Zwischenüberhitzung,
- von der Speisewasservorwärmung.

Übung 2.5

Begründen Sie mit Hilfe der Wasserdampf tabel, Tabelle 2.2, warum in Kraftwerken der Kondensationsdruck praktisch nicht unter 0,05 bar abgesenkt werden kann.

Tabelle 2.2 Auszug aus der Wasserdampf tabel (Sättigungszustand)

p in bar	t in °C
0,01	6,9828
0,02	17,513
0,03	24,1
0,04	28,983
0,05	32,898
0,06	36,183
0,07	39,025
0,08	41,534
0,09	43,787

Übung 2.6

Wodurch wird die Höhe des Dampfdruckes und der Dampftemperatur in der Praxis begrenzt?

Übung 2.7

Weisen Sie anhand des T,s-Diagramms nach, dass der thermische Wirkungsgrad durch eine Speisewasservorwärmung verbessert werden kann.

Stichwortverzeichnis

A

Abdampf 4, 8, 23
Ablaufkühlung 19
Ableitblech 205
Abschaltbedingung 81, 339, 345
Abschaltzeit 336, 340, 345
Abspannmast 63
Abstandhalter 63
Äquipotentiallinien 353
Aktive Teile 321, 328
Anpassung 125
Anschlussbedingung 96
Arbeit, gewinnbare mechanische 7
Ausbreitungswiderstand 352, 355
Ausgleichsspannung 251
Ausgleichstrom 136
Ausgleichsvorgang 132, 136
Auslösecharakteristik 221
Auslöser
– Arbeitsstrom- 229
– Bimetall- 221
– elektromagnetisch 221
– Kurzschluss- 221, 229
– thermisch 221, 229
– Überlast- 229
– Überstrom- 228
– Unterspannungs- 229
Auslösestrom 214
Auslösezeit 201, 221
Ausschaltwechselstrom 142
Aussetzbetrieb 276

B

Backup-Schutz 234
Banderder 355
Basisschutz 322
Baustromverteiler 239
Beanspruchung, thermische 79

Beiwert 282
Belastungsgrad 68
Bemessungs-
– Belastungsfaktor 241
– Betriebsstrom 225, 231
– Dauerstrom 225, 230
– Differenzstrom 340
– Kurzschluss-Ausschaltvermögen 226
– Kurzschluss-Einschaltvermögen 226
– Kurzschlussstrom, bedingt 233, 236
– Kurzzeitstrom 230, 236
– Kurzzeitstromdichte 282
– Stromregel 278
Bemessungswert 191, 225, 247
Berühren
– direkt 322
– indirekt 295, 322
Berührungsspannung 326, 330, 344
Betriebsart 267, 276
Betriebserder 59
Betriebserdung 348
Betriebsimpedanz 154
Betriebskapazität 89–94
Betriebsklasse 210, 218, 236
Betriebsmittel, Ersatzschaltbild 154
Betriebstemperatur 80
Bewegungsverzug 195
Bezugserde 332, 352
Blasspule 206
Blindleistungskompensation 359, 371
Blindwiderstand
– induktiver 99
– kapazitiver 93
Blitzschutzerdung 66
Brennspannung 198
Bündelleiter 63

D

Dämpfungswiderstand 194
 Dampferzeuger 8, 11, 15, 18, 24, 29
 Dampfgehalt 5, 8
 Dampfkraftanlage 5–11, 30
 Dauerbelastbarkeit 94
 Dauerkurzschlussstrom 135–142, 168
 Doppelerdkurzschluss 142
 Drehstromfreileitung 89
 Drehstromkabel 74, 84, 90, 106
 Druckluftschalter 203, 246
 Druckwasserreaktor 28–30
 Durchlassenergie 229
 Durchlassstrom 204, 210, 228
 – -Kennlinie 213
 Durchlaufkühlung 19

E

Eigenbedarfsfaktor 16, 38
 Eigenfrequenz 251
 Eigenzeit 201
 Einsatzsteuerung 45, 48
 Einschaltstrom 193, 222
 Einschaltvorgang 131, 192, 226
 Einschwingspannung 207, 251
 Einseilleiter 63
 Elektrische Anlagen 23, 25
 Elektrische Energie 3
 Elektrofilter 18
 Endmast 63
 Endtemperatur 272, 277
 – Kurzschluss- 281
 Endübertemperatur 274
 Energie
 – erneuerbare 32
 – kinetische 33, 40
 – potentielle 32, 33, 36
 – Primär 3, 32, 40, 45
 – Primär- 21
 – regenerative 32
 – Sekundär- 4
 – Wärme- 4, 14, 28, 29
 Energiebegrenzungsklasse 223
 Energieformen 3
 Entladewiderstand 193
 Entropie, spezifische 5
 Erder 348–356
 Erdkapazität 88, 328
 Erdkurzschluss 142, 176, 346
 Erdschluss 143, 329, 346
 Erdungsanlage 348–356
 Erdungsleitung 349, 355

Erdungsspannung 352
 Erdungsstrom 352
 Erdungswiderstand 332, 339, 350
 Erdwiderstand, spezifisch 350
 Ersatzmotor 159
 Ersatzradius 87
 Ersatzspannungsquelle 156, 172

F

Fallhöhe 34, 38
 Fehlerschutz 322
 Fehlerspannung 331–348
 Fehlerstromkreis 328, 331, 335
 Fehlerstromschutzeinrichtung 323, 337, 345
 Fernheizung 21
 Fernleitung 119
 Fernwärmeversorgung 22
 Festigkeit
 – mechanische 63, 79, 143
 – thermische 232
 Festkompensation 370
 Filterkreis 378
 Flüssigkeitsschalter 203
 Francis-Turbine 34
 Freiauslösung 221
 Freileitung 61–66, 89
 Freiluftschaltanlage 248, 257
 Fundamenterder 341, 349, 355
 Funktionsklasse 218

G

Gebrauchskategorie 227, 231
 Gegendruckbetrieb 23
 Gegenimpedanz 162
 Gegensystem 147–152
 Generatorkühlung 24
 Generatorspannung 23
 Gleichstromwiderstand 83, 93
 Gleichzeitigkeitsfaktor 118
 Grenzbelastungskurve 284, 288, 295
 Grenzkurve, T_s-Diagramm 5
 Grenzlänge 295
 Grenztemperatur 242
 Grundlast 35, 46
 Grundlastkraftwerk 46
 Gruppenkompensation 363, 369
 Gusseisenverteiler 239
 Gürtelkabel 73

H

Hängeisolator 62, 66
 Halbkugelder 351

Hartgasschalter 205
Hauptkondensatpumpe 11, 14
Hauptpotentialausgleich 341, 344, 347
Hauptverteiler 186
Heizkraftwerk 22
Heizwert 16
Herzkammerflimmern 324, 332
HH-Sicherung 300, 314
Hochdruckkraftwerk 34
Hochspannungsnetz 55
Höchstspannungsnetz 55
Hüllrohr 28

I

$I^2 \cdot t$ -Wert 215, 223, 233
Induktivität 86–88
Induktivitätsbelag 86, 93
Innenraumschaltanlage 186, 255
Installationsverteiler 239
Isolationsüberwachungseinrichtung 335
Isolator 61, 65
Isolierstoffverteiler 239
IT-Netzsystem 61, 332

J

Jahresbenutzungsdauer 37, 42, 46
Joule-Integral 215

K

Kabel 67–77
Kabelpritsche 270
Kabelwanne 271
Kapazität 88–95
Kapazitätsbelag 91
Kaplan-Turbine 34
Kaskadenschaltung 233
Kernnotkühlsystem 30
Kernreaktor, Leistungsregelung 29
Kettenreaktion 29
Körperimpedanz 326, 330
Körperschluss 331–345
Körperstrom 81, 324, 334
Körperwiderstand 326, 332
Kompaktstation 256
Kompensation 359–379
Kompensationsblindleistung 362, 366
Kompensatoren 361
Kondensationswärme 7, 14, 23
Kondensator 4, 14, 19
– elektrisch 361–379
– verdrosselt 377
Koppelkapazität 90

Korona 63
Kraft-Wärme-Kopplung 21
Kraftwerke 3–48
– Einsatz 45–48
– elektrische Anlage 23
– Grundlast- 35, 46
– Hochdruck- 34
– Kern- 23, 28–32
– Mitteldruck- 34
– Mittellast- 46
– Niederdruck- 34
– Photovoltaische 41–44
– Spitzenlast- 46
– Übersichtsschaltplan 25
– Wasser- 33–39
– Wind- 39–40
– Wärme- 4–32
Kraftwerksblock 15, 25
Kraftwerkswirkungsgrad 15, 21, 31
Kreisfrequenz 86
Kreislaufkühlung 19
Kreisprozess 5–11
Kritische Temperatur 6
Kritischer Druck 6
Kritischer Punkt 6
Kurzschluss 130–182, 343
– dreipolig 142, 168
– einpolig 142, 176
– Ersatzschaltbild 134, 154
– generatorfern 135, 142
– generatornah 140
– zweipolig 142, 175
Kurzschlussarten 142
Kurzschlussausschaltvermögen 226
Kurzschlussbelastbarkeit 282
Kurzschlussdauer 280–288
Kurzschlusseinschaltvermögen 226
Kurzschlussfestigkeit 143
Kurzschlussimpedanz 178
Kurzschlussleistung 154
Kurzschlussschutz 286–299
Kurzschlussspannung 158
Kurzschlussstrom, zu erwartender 130
Kurzschlussstromverlauf 134–145
Kurzschlussstemperatur 280, 287
Kurzschlussverluste 158
Kurzschlusswechselstrom, Anfangs- 140, 156
Kurzschlusswinkel 138
Kurzzeitbetrieb 276, 298
Kurzzeitstrom 230
Kurzzeitstromdichte 282, 285
Kühlturm 19–23

Kühlturmtasse 20
 Kühlwasserbedarf 14

L

Ladeleistung 92
 Ladestrom 91
 Ladestromdrossel 127
 Lastmoment 108
 Laufrad 13, 33
 Laufschaukeln 13
 Laufwasserkraftwerk 35, 46
 Lebensdauer, Schaltgeräte 231
 Leerlaufblindleistung 365–371
 Leistung
 – natürliche 96, 128
 Leistungsdichte 33, 42
 Leistungsfaktor 360, 366, 370
 Leistungsreserve 45
 Leistungsschalter
 – Auslösekennlinie 227
 – Auslöser 224
 – Kenngrößen 225
 – Selektivität 227
 Leitertemperatur 80
 Leiterwiderstand 83
 Leitfähigkeit 83
 Leitrad 13
 Leitschaukeln 13
 Leitung
 – Ersatzschaltbild 93
 Leitungsbemessung 79
 Leitungskonstanten 79, 93
 Leitungsschutzschalter 207, 219–223
 – Energiebegrenzungsklasse 223
 – Schaltvermögen 223
 Leitungsschutzsicherung 217
 Lichtbogen- 194–210, 220
 – Aufteilung 207
 – Dauer 201
 – Entwicklungszeit 201
 – Hysterese 202
 – Kammer 206, 220
 – Kennlinie 198
 – Löschung 197, 207, 246
 – Spannung 199–210, 220
 – Temperatur 199
 – Widerstand 204
 Lichtbogenschutzarmatur 66
 Löschblech 206, 220
 Löschmittel 203
 Löschespannung 201
 Loslaßgrenze 325, 330

M

Maschennetz 56
 Maschinentransformator 24
 Massekabel 69
 Mastbilder 62
 Maststation 256
 Maximum-Power-Point 43
 Mindestkurzschlussstrom 288, 293, 295
 Mitimpedanz 154, 163
 Mitsystem 147, 167, 178
 Mitteldruckkraftwerk 37
 Mittellast 46
 Mittellastkraftwerk 46
 Mittelspannungsanlage 2
 Mittelspannungsnetz 55, 97
 Moderator 28
 Motorimpedanz 159

N

Nachkühlsystem 30
 Nassdampf 5
 Nasskühlturm 19
 Nennwert 191, 223, 247
 Netz
 – -Verteilungssysteme 59
 – unvermascht 55
 – vermascht 56
 Netzimpedanz 154
 Netzurückwirkung 373, 376
 Netzschutz 261–316
 Netzspannungen 53
 Netzstruktur 54
 Netzsystem 59, 81
 Neutralleiter 59, 335, 341
 NH-Sicherung 210, 217
 Nichtauslösestrom 214, 221
 Niederdruckkraftwerk 34
 Niederspannungsanlage 2
 Niederspannungsnetz 55
 Normspannungen 55
 Nullimpedanz
 – Leitung 164
 – Transformator 166
 Nullpunktlöscher 202, 228
 Nullsystem 150, 165, 177
 Nutzungsgrad 279

O

Oberflächenerder 349
 Oberschwingung 371–379
 Oberwasser 34, 37
 Öffnungsverzug 201, 220, 233

Ölkabel 71, 76
Ortsnetz 54, 72, 117
Ortsnetzstation 256

P

Pelton-Turbine 34
PEN-Leiter 59, 342–348
Personenschutz 321–348
Phasenanschnittsteuerung 371
Photovoltaik 41
Polfaktor 254
Potentialausgleich 322, 336, 343
Potentialfeld 353
Potentialsteuerung 354
Prelldauer 195
Projektierung
– Leitungen 79
– NS-Schaltanlagen 239
Prüfdauer 214
Prüfstrom 221

R

Radialfeldkabel 74, 91
Rauchgasentschwefelung 17
Rauchgasentstickung 18
Rauchgasreinigung 17
Reaktorarten 28
Reaktorsicherheit 30
Reduktionsfaktor 270, 298
Reflexion 120, 126
Relativer Fehler 104
Resonanz 373–377
Resonanzfrequenz 375, 376, 378
Ringerder 349, 355
Ringleitung 113–116
– Tiefpunkt 115
Ringnetz 56
Rückzündung 250
Rundsteueranlage 378

S

Sammelschienenbemessungsstrom 241
Saugkreis 377, 378
Schaltanlage 185–257
– Freiluft- 186, 245, 257
– Innenraum- 186, 256
Schalter
– Lasttrenn- 236, 247
– Motor- 190, 232
– SF₆- 208, 246
– Trenn- 236, 247

Schaltgeräte, strombegrenzend 204, 210, 218,
232
Schaltgerätekombination 233
Schaltkammer 205
Schaltkombination 233
Schaltlichtbogen 196, 203
Schaltschloss 221
Schaltspiel 231, 237
Schaltstück 190–208
Schaltwagen 255
Schaltzelle 255
Schaltüberspannung 189, 247
Schlaganker 220
Schleifenimpedanz 295
Schließverzug 195
Schließzeit 196
Schmelzsicherung 209–219
Schmelzzeit 210
Schmelzzeitkennlinie 211
Schrittspannung 353
Schutzbereich 67
Schutzerdung 338, 348
Schutzerdungswiderstand 339
Schutzisolierung 322
Schutzleiter 59, 71
Schutztrennung 322
Schwachlastzeit 37
Selbsterregung 365, 369
Selbstschalter 219, 224
Selektivität 227, 299–317
Sicherung 209–219
– Betriebsklasse 218
– Funktionsklasse 218
– Teilbereich- 219
Siedepunkt 7
Skin-Effekt 83
Solargenerator 42
Spaltprodukt 29
Spannungsabfall 55, 96–119
– induktiver 93, 99
– Längs- 100
– Quer- 100
– relativer 101–104
– Wirk- 93, 99
– zulässiger 97
Spannungsänderung 96
Spannungsfaktor 157, 168, 179
Spannungstrichter 353, 356
Spannweite, Freileitung 61
Speisewasserbehälter 11, 14
Speisewasserpumpe 15
Speisewasservorwärmung 10

Spezifische Wärmemenge 7
 Spitzenlast 46
 Spitzenlastkraftwerk 46
 Staberder 349, 355
 Stahlblechverteiler 239
 Standortübergangswiderstand 328
 Starkstromkabel 67–70
 – Aufbau 69
 – Auswahlkriterien 67
 – Bauartbezeichnung 70
 – Durchschlag 73
 – Glimmentladung 73
 – Isolierung 72–77
 – Kurzzeichen 70
 – Leiterglättung 76
 – Leitschicht 74
 – Querschnittsformen 69
 – Schutzmantel 69
 – Typenbezeichnung 70
 Stationärer Zustand, Strom 132
 Steilheit, Einschwingspannung 253
 Steuerblindleistung 372
 Steuererder 354
 Steuerstab 29
 Stoßfaktor 138
 Stoßkurzschlussstrom 138, 141
 Strahlennetz 55
 Strahlungsdichte 42
 Strombelastbarkeit 349
 Stromrichter 371, 377
 Stromselektivität 307
 Stromüberhöhung 376
 Stummelnetz 58
 Stützenisolator 66
 Symmetrische Komponenten 146
 – Ersatzschaltbild 177

T

T,s-Diagramm 6–11
 Tageslastspiel 68
 Temperaturbeiwert 83
 Thermische Beanspruchung 80
 Thermischer Wirkungsgrad 16
 Tiefenerder 349
 Tiefpunkt 114
 TN-Netzsystem 59
 Tonfrequenz-Rundsteueranlage 378
 Torstrom 301
 Tragmast 63
 Transformatorimpedanz 158
 Trenner 190, 231, 245, 256
 Trockenkühlturm 21

TT-Netzsystem 60, 338
 Turbine
 – doppelflutig 14
 – einflutig 14
 – Hochdruckteil 8, 11
 – Mitteldruckteil 8, 14
 – Niederdruckteil 8, 14, 23

U

Übergangswiderstand 171, 343
 Überhitzer 11
 Überhitzungswärme 7
 Überkompensation 363, 369
 Überlastschutz 277, 290
 Überschwingsfaktor 253
 Übersichtsschaltplan 242
 Überspannung 194, 249
 Überstrom, prospektiv 210
 Übertragungswirkungsgrad 52
 Umspannanlage 186, 257
 Unterverteiler 186
 Unterwasser 34, 37
 Uran 28

V

Vakuumschalter 197, 203, 246
 Verdampfer 4, 8
 Verdampfungswärme 5, 7
 Verlegeart 267–271
 Verlustleistung 52, 79, 86, 105, 106
 – relative 105
 Vermaschung 55
 Verschiebungsblindleistung 372, 377
 Verzögerungszeit 309

W

Wärmeenergie 281
 Wärmefluss 264
 Wärmekapazität 273, 282
 Wärmemenge 5
 Wärmeschaltbild 11
 Wärmespannung 263
 Wärmewiderstand 263–267, 274
 Warmwiderstand 83
 Wasserturbine 33
 Watt peak 43
 Wechselstromdoppelleitung 86
 Wellenwiderstand 125, 127
 Widerstandsbelag 83, 93, 97
 Wiedereinschaltung, automatische 248
 Wiederkehrspannung 254
 Windgeschwindigkeit 40

Windkraftwerk 39
Wirbelströme 83
Wirklast 372
Wirkspannungsabfall 93, 99
Wirkungsgrad 52, 106
– Kraftwerks- 15
– thermischer 9–11
– Übertragungs- 52
Wirkwiderstand 83, 93
Wirkwiderstandsbelag 84, 93, 97, 162

Z

Zeitkonstante 134, 141
– thermisch 274, 277
Zeitselektivität 308
Zentralkompensation 363, 370
Zündspannung 197, 202, 208
Zusatztransformator 97
Zusatzwiderstand 83
Zwischenüberhitzer 8, 14
Zwischenüberhitzung 8