

Elektrische Antriebe in der Zellstoff- und Papierindustrie

Von

Dipl.-Ing. Ferdinand Schiller

Mit 255 Abbildungen



Springer-Verlag
Berlin/Göttingen/Heidelberg
1964

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,
dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege
(Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen
ISBN-13: 978-3-642-49022-4 e-ISBN-13: 978-3-642-92890-1
DOI: 10.1007/978-3-642-92890-1
© by Springer-Verlag OHG., Berlin/Göttingen/Heidelberg 1964
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1964
Library of Congress Catalog Card Number: 64—14614

Titel-Nummer 1211

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

Vorwort

Die Fortschritte in der Produktivität der Zellstoff- und Papierfabriken, wie sie besonders im letzten Jahrzehnt in Erscheinung traten, können auf neue technologische Erkenntnisse, die Entwicklung der Arbeitsmaschinen zu immer größeren, leistungsfähigeren Einheiten und auf die Weiterentwicklung der Antriebe, Steuerung und Regelung zurückgeführt werden. Gerade die letztere hat im Zuge der allgemeinen Fortschritte auf diesem Gebiet eine geradezu stürmische und befruchtende Anwendung in der Zellstoff- und Papierindustrie gefunden.

Wie in jedem industriellen Unternehmen sind auch in einer Zellstoff- und Papierfabrik eine Reihe von technischen Disziplinen wirksam, die sich hier mit den Kenntnissen von den verwendeten Stoffen in ihrem jeweiligen Fertigungszustand, mit den Fabrikationsverfahren und Arbeitsmaschinen, den elektrischen Antriebsmaschinen und mit den Steuerungen und Regelungen befassen. Diese Gebiete sind in vielen guten Büchern und Einzelarbeiten ausführlich behandelt. Aber erst das Zusammenwirken der einzelnen Disziplinen gibt die betriebsfähige Fabrik.

Der große und stetig wachsende Umfang der einzelnen Disziplinen macht es schwierig, außer auf dem einen oder anderen Spezialgebiet auch bei den sonstigen technischen Disziplinen in genügender Weise unterrichtet zu sein. Dies will das vorliegende Buch erleichtern, indem es dem Elektriker auch einen Überblick über die technologischen Grundlagen, Verfahren und Arbeitsmaschinen gibt, den Konstrukteur und den Betriebsmann in die Technik der elektrischen Antriebe, Steuerungen und Regelungen einführt. Der Verfasser hofft daher, mit diesem Buche eine Lücke in der vorhandenen Literatur auszufüllen.

Die Fülle des Stoffes zwang zur Beschränkung. Es wurde daher versucht, jeweils das Grundsätzliche aufzuzeigen und durch einzelne Beispiele zu belegen. Die Technologie und die Arbeitsmaschinen wurden der Arbeit vorangestellt. Bei den Arbeitsmaschinen wurde versucht, sie auf wenige Maschinenelemente zurückzuführen, die durch Variation und Kombination die Mannigfaltigkeit des Maschinenparkes ergeben. Beim Antrieb werden die mechanischen, besonders aber die elektrischen Ausführungen behandelt. Die grundsätzlichen Eigenschaften und die Anforderungen der Arbeitsmaschinen werden klargestellt, durch Aufgliederung

des Antriebs in Motor, Energiequelle, Drehzahlsteuerung und Regelung auch deren Eigenschaften aufgezeigt. Zum Antrieb einer Maschine durch mehrere Motoren wird über die zusätzlichen Bedingungen und die Abwandlungen der Antriebsglieder berichtet. Bei den unterschiedlichen anzutreibenden Maschinen war nur noch auf Besonderheiten und auf die Strenge hinzuweisen, mit der die Anforderungen jeweils einzuhalten sind. Beispiele erläutern jeweils die Anordnungen, mit denen Antrieb, Steuerung und Regelung ausgeführt wird. Schließlich wird noch in einem besonderen Abschnitt die Steuerung und Regelung der Arbeitsabläufe und der Stoffströme behandelt, die zusammen mit den Antrieben die Automation des Betriebes fördern.

So möge das Buch dem projektierenden Elektroingenieur, dem Maschinenkonstrukteur und dem Betriebsmann einen Überblick über die Einrichtungen, die elektrischen Antriebe, Steuerungen und Regelungen in der Zellstoff- und Papierindustrie geben und ihm im einzelnen bei der Ausübung seiner Tätigkeit behilflich sein.

Bei der Durcharbeitung des Buches hat der Verfasser große Unterstützung von seiten der Siemens-Schuckertwerke AG durch Anregungen und Zurverfügungstellung vieler Unterlagen gefunden, wofür an dieser Stelle herzlichst gedankt sei.

Erlangen, im März 1964

Ferdinand Schiller

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Grundzüge der Zellstoff- und Papierfabrikation	1
A. Stoffaufbereitung	2
1. Rohstoffe	2
2. Aufschließen der Rohstoffe	3
3. Aufbereiten der Fasern	6
4. Zusatzstoffe	9
5. Stoffmischung	9
B. Herstellung und Verarbeitung von Papier und ähnlichen Bahnen	<u>10</u>
1. Arbeitsverfahren der Papiermaschine und ähnlicher Maschinen	10
2. Fertigbearbeitung der Papierbahn	<u>14</u>
3. Veredelung der Bahn	17
4. Papiersorten	18
II. Die Arbeitsmaschinen	19
A. Aufbau der Maschinen für durchlaufende Bahnen	19
1. Bausteine der Maschinen	<u>20</u>
a) Die Walze als Baustein	20
b) Mitlaufende Bänder	22
c) Sonstige Bausteine	23
2. Baugruppen der Arbeitsmaschinen	23
a) Papiermaschine	<u>24</u>
b) Fertigbearbeitungs- und Veredelungsmaschinen	<u>25</u>
B. Arten der Papiermaschinen	26
C. Gemeinsame Antriebskennzeichen der Arbeitsmaschinen	27
1. Arbeitsmaschinen und Verfahren	<u>28</u>
2. Arbeitsgeschwindigkeit	<u>28</u>
3. Hilfgeschwindigkeit	<u>29</u>
4. Beschleunigen der Maschinen	29
5. Zugeinstellung	30
6. Zugaufrechterhaltung	30
D. Unterschiede der Antriebskennzeichen der Arbeitsmaschinen	31
1. Arbeitsbereich	32
2. Beschleunigung	32
3. Einstellung und Aufrechterhaltung der Züge	33
III. Verhalten der Bahn	33
A. Eigenschaften des Papiers	33
1. Zugfestigkeit	34
2. Dehnung	35
3. Zeitverhalten der Dehnung	38

	Seite
B. Verhalten der Bahn auf der Papiermaschine	40
1. Verhalten der Bahn auf den Walzen	41
2. Verhalten in der freien Bahn	44
a) Stationäre Dehnung	45
b) Sprunghafte Änderung der Geschwindigkeit	45
c) Dehnung bei endlicher Geschwindigkeit.	46
d) Bezugssysteme der Dehnung	50
3. Einfluß von Störungen	51
a) Einfluß von technologischen Abweichungen	51
b) Einfluß von Drehzahlabweichungen des Antriebes	52
 IV. Antrieb der Arbeitsmaschinen, mechanischer Antrieb	 52
A. Antrieb der Walzen	52
1. Mitnahme der Nebenwalzen	53
a) In der frei laufenden Bahn	53
b) Mitnahme durch Reibung an Bändern	53
c) Mitnahme durch Reibung am Umfang	54
2. Starre Antriebsverbindung mehrerer Walzen	54
a) Hochdruckpresse, Friktions- und Kunststoffkalander	54
b) Rotationsdruckmaschinen	55
c) Trockengruppen	55
B. Antrieb der Maschinengruppen	57
1. Anforderungen an die Antriebe hinsichtlich der Drehzahl.	58
a) Anforderungen an den Antrieb einer Teilmaschine	58
b) Anforderungen an den Antrieb der ganzen Maschine.	58
2. Schema des Antriebes der Maschinengruppen	59
3. Transmissionsantrieb	60
4. Paralleltransmission	62
5. Längstransmission	62
a) Mit Kegelscheiben	63
b) Mit Keilriemen.	63
c) Mit Differentialgetrieben	63
6. Steuerung der Antriebe	66
7. Mechanische Zugeinstellung	66
a) Auf Kegelscheiben	66
b) Verstellgetriebe mit keilförmigen Umlaufflächen	68
c) Zugeinstellung bei Antrieben mit Differentialgetrieben	69
8. Mechanische Wickler	70
a) Umfangs- und Achswickler	70
b) Achswickler mit Reibungskupplung	71
c) Achswickler mit Verstellgetriebe	72
d) Wickler mit Differentialgetriebe für Umfangs- und Achsantrieb	73
e) Mechanische Bremsung ablaufender Papierrollen	74
9. Hydrostatische Antriebe	75
a) Wirkungsweise und Antriebsformen	75
b) Hydrostatische Mehrmotorenantriebe	77
c) Hydraulische Kreisläufe	79
d) Störgrößen und Regelung	79

	Seite
e) Bauarten	80
f) Ausrüstung und Anwendung	80
10. Antrieb mit Dampfkraftmaschinen	81

V. Elektrischer Antrieb, Gleichstrom-Einmotorenantrieb. 83

A. Kennzeichen und Eigenschaften von Arbeitsmaschine und Antriebsmotor 84

- 1. Arbeitsmaschine und Motor 84
- 2. Aufbau und Wirkungsweise von Gleichstrom-Nebenschlußmaschinen 85
- 3. Drehzahlverhalten des Nebenschlußmotors 88

B. Gleichspannungsquellen. 89

- 1. Gleichstrom-Fabriknetz 89
- 2. Gleichstromquellen mit Maschinenumformern 90
 - a) Mehrleiternetz 90
 - b) Leonardgenerator 90
 - c) Generator veränderbarer Drehzahl 90
 - d) Generator in Zu- und Gegenschaltung 91
 - e) Der Einankerumformer 94
- 3. Stromrichter 94
 - a) Stromfluß und Spannungssteuerung 95
 - b) Entladungsgefäße 99
 - c) Transduktoren (Magnetverstärker) 102
 - d) Halbleiter 105

C. Drehzahlsteuerung 115

- 1. Drehzahlverstellung bei Gleichstrom-Nebenschlußmotoren . . . 116
- 2. Ankersteuerung 117
- 3. Anwendungsformen der Ankersteuerung 119
 - a) Direktes Einschalten 119
 - b) Anlassen mit Widerstand 120
 - c) Anlassen mit Generator 122
 - d) Verkleinerung der Geschwindigkeit, Bremsen 124
 - e) Ausschalten, Bremsen durch Auslauf 125
 - f) Mechanische Reibungsbremse 126
 - g) Ankerkurzschlußbremse 126
 - h) Schnellbremsen 127
 - i) Grenzen beim Anlassen und Bremsen von Gleichstrommotoren 131
- 4. Feldsteuerung 133
- 5. Anwendung der Feldsteuerung 134
- 6. Drehzahlsteuerung bei Siliziumgleichrichtern mit Zu- und Gegen-
spannung 136
 - a) Einmotorenantrieb mit Zu- und Absatzmaschine 136
 - b) Zweimotorenantrieb mit zwei Siliziumgleichrichtern und Zu-
und Absatzmaschine 137
- 7. Grenzen der Drehzahlsteuerung 138

D. Regelung 139

- 1. Grundbegriffe der Regelung 140
- 2. Die Regelstrecke 141

	Seite
3. Zeitkonstanten im Regelkreis	142
4. Regler, Hauptgruppen und Eigenschaften	144
a) Zeitverhalten des Reglers, Rückführung	145
b) Verstellart des Stellgliedes	149
c) Regelenergie	149
d) Arten der Regel- und Stellenergie	150
e) Bewegungsverhalten, ruhende Regler	151
f) Regelgrößen	151
g) Sollwertverhalten der Regelung	153
h) Unterteilte Regelung	154
5. Begrenzung der Regelung, Strombegrenzung	156
6. Darstellung von Regelkreisen	158
E. Regelung der Antriebe	160
1. Regelung des Vorschubes bei Holzschleifern	160
a) Schleifer und Antrieb	160
b) Regelung bei Pressenschleifern	162
c) Regelung bei Stetigschleifern	163
d) Regelung bei Mehrfachantrieb, Übergaberegelung, Doppelschleiferregelung	167
2. Mahldruckregelung bei Kegelmühlen und Refinern	168
3. Regelung der Drehzahl von Papiermaschinen	169
a) Toleranzen von Papiergewicht und Drehzahlabweichung	169
b) Regelung der Spannung	169
c) Regelung der Drehzahl	170
4. Drehzahlregelung von Stoffpumpen	172
5. Drehzahlregelung bei Kalandern	173
6. Antrieb von Umrollern	174
a) Umroller mit Tragwalzen	175
b) Umroller mit Achsantrieb	176
VI. Elektrischer Antrieb der Teilmaschinen, Mehrmotorenantrieb	177
A. Kennzeichen der Antriebe offener Maschinen	177
B. Gleichspannungsquellen	178
1. Gemeinsame Sammelschiene (Eingeneratorantrieb)	178
2. Antrieb mit Einzelgeneratoren	179
3. Antrieb mit mehreren Generatoren und gemeinsamer Sammelschiene	181
4. Mehrmotorenantrieb mit Gleichrichtern	182
5. Zusatzmaschinen	183
C. Drehzahlsteuerung	184
1. Anlassen	184
a) Arbeiten bei Kriechgeschwindigkeit	184
b) Anlassen eines Teilmotors	185
c) Netzbelastung durch Stromstöße beim Anlassen	186
d) Synchronisieren	187
2. Hochfahren	188
3. Geregelttes Hochfahren	190

	Seite
4. Verminderung der Geschwindigkeit, Bremsen	192
5. Umkehr der Drehrichtung	192
D. Regelung bei Mehrmotorenantrieb	193
1. Gemeinsame Regelung des Motorverbandes	193
2. Regelung der Motoren	194
a) Verhalten ohne Regelung	194
b) Geregelter Bahnlauf	196
c) Gleichlaufregelung in Motorfeld oder Ankerspannung	198
3. Gleichlauf durch Lastausgleich	200
4. Gleichlaufregelung mit Messung der Winkelabweichung	201
a) Wirkungsweise	201
b) Winkelmeßeinrichtungen	202
c) Übertragung der Geschwindigkeit	207
d) Zugeinsteller und ihre Schaltung	209
e) Steller und Regler	211
f) Schnelle elektronische Winkelregelung	213
g) Begrenzung des Stellbereiches	216
5. Gleichlaufregelung mit Drehzahlmessung	217
a) Wirkungsweise	217
b) Meßkreise, Zugeinstellung	218
c) Elektronische Regler	219
6. Digitale Regelung	220
7. Gleichlauf mit Regelung des Durchhangs	224
8. Gleichlauf mit Regelung der Bahnspannung	226
9. Kombinierte Regelungen	228
10. Lastabhängiger Gleichlauf	230
11. Vergleich der Gleichlaufregelungen	231
E. Steuerung und Regelung von Mehrmotorenantrieben an Arbeits-	
 maschinen	233
1. Entwässerungs- und Trockenmaschinen für Zellstoff- und Holz-	
schliff	233
2. Papiermaschinen	234
a) Größe und Geschwindigkeit	234
b) Regelung	235
c) Energieversorgung und Steuerung	236
d) Auswahl der elektrischen Maschinen	237
3. Elektrowickler	239
a) Grundlagen	239
b) Wickler mit Gleichstrom-Nebenschlußmaschinen	240
c) Wickler mit Gleichstrom-Reihenschlußmotoren	246
d) Rollenwechsel beim Wickeln	248
4. Umroller mit elektrischer Bremsung	254
a) Umroller mit Tragwalzen	254
b) Umroller mit Achsantrieb	260
5. Kalander	260
a) Ab- und Aufroller	260
b) Antrieb der Kalanderwalzen	262
6. Papierveredelungsmaschinen	263

	Seite
7. Zahnrad-Untersetzungsgetriebe	265
a) Getriebeuntersetzung und Stellbereich der Regelung	265
b) Bemessung der Getriebe	267
c) Bauformen	268
VII. Elektrischer Mehrfachantrieb geschlossener Maschinengruppen	272
A. Mechanischer Mehrfachantrieb	272
B. Elektrischer Zusatzantrieb	274
C. Elektrischer Mehrfachantrieb kraftschlüssiger Maschinen	276
a) Mehrfachantrieb von Walzenpaaren	276
b) Mehrfachantrieb von Siebpartien	278
c) Mehrfachantrieb der Pressenpartie	280
d) Selbstabnahme	281
D. Mehrfachantriebe formschlüssiger Maschinen	283
E. Elektrische Helferantriebe bei mechanischem Hauptantrieb	285
VIII. Drehstromantriebe mit Drehzahlsteuerung und Regelung	288
A. Drehstrom-Asynchronmotoren	288
1. Wirkungsweise	288
2. Antriebe mit verstellbarem Schlupfwiderstand	290
3. Antriebe mit festem Schlupfwiderstand	290
4. Antriebe mit Feldschwächung	291
5. Drehzahlverstellung durch Frequenzänderung, elektrische Welle	292
B. Drehstrom-Nebenschlußmotoren	294
1. Der läufergespeiste Drehstrom-Nebenschlußmotor	294
2. Der ständergespeiste Drehstrom-Nebenschlußmotor	295
3. Antriebe mit Drehstrom-Nebenschlußmotoren	297
4. Elektrowickler mit Wechselstrommotoren	301
C. Drehstromkaskaden	302
IX. Steuerung und Regelung des Arbeitsablaufes in Zellstoff- und Papierfabriken	304
A. Technologie der Arbeitswege	305
1. Der Lauf des Stoffes	305
2. Hilfsstoffe	309
3. Hilfsarbeitswege an Arbeitsmaschinen	313
4. Abfallstoffe	314
B. Steuerung und Regelung	315
1. Forderungen des Fabrikationsablaufes	315
2. Stoffstraßen	315
3. Handsteuerung	317
4. Beobachtung und Messung von Betriebsgrößen	318
5. Meßgeräte	319

Inhaltsverzeichnis

XI

Seite

6. Registrieren der Betriebsgrößen	327
7. Fernsteuerung	329
8. Meßwertumformer, Regler, Stellgeräte	330
9. Der Weg zur Automation	335
C. Beispiele von Stoffstraßen	337
1. Beschickung von Holzschleifern und Holzhackern	337
2. Aufschließen und Bleichen von Zellstoff.	339
3. Stofflöser (Pulper)	341
4. Stoffaufbereitung	343
5. Zyklieranlagen	344
6. Stoffzentrale	345
7. Stoffzentrale und Stoffauflauf	350
8. Papiermaschine	353
9. Fertigbearbeitung	359
D. Meß-, Steuer- und Regelzentralen	360
1. Zentraler Meß- und Steuerstand	360
2. Aufstellungsplatz	361
3. Fernübertragung der Signale	362
4. Geräteinhalt und Gliederung der Zentralen	362
Rückschau und Ausblick.	365
Literaturnachweis	367
Sachverzeichnis	370

Bezeichnungen und Formelzeichen

atro absolut trocken	<i>A</i> Arbeit	α Winkel
<i>b</i> Beschleunigung	<i>B</i> Breite	γ Flächengewicht
<i>d</i> Durchmesser	<i>C</i> Kapazität, Integrationskonstante	δ Dehnung
<i>e</i> Basis der natürlichen Logarithmen	<i>E</i> induzierte Spannung, Elastizitätsmodul	ε Winkelbeschleunigung
<i>f</i> Frequenz	<i>F</i> Federkonstante, Fläche	η Wirkungsgrad
<i>g</i> Erdbeschleunigung	<i>G</i> Gewicht	λ spezif. Verlängerung
<i>h</i> Hub	<i>J</i> Laststrom	μ Beiwert der Reibung = 3,14159
<i>i</i> elektr. Erreger-, Meß-, Steuerstrom	<i>L</i> Selbstinduktion, kinetische Energie	π spezif. Spannung
<i>k</i> Konstante	<i>M</i> Drehmoment	τ Zeitkonstante der laufenden Bahn
<i>l</i> Länge	<i>N</i> Leistung	φ Phasenwinkel
<i>m</i> Masse	<i>P</i> Kraft	ω Winkelgeschwindigkeit
<i>n</i> Drehzahl	<i>Q</i> Fördermenge	Δ kleine Abweichung einer Größe
<i>p</i> spezifischer Druck	<i>R</i> Widerstand	Φ magnetisches Feld
<i>q</i> Gewicht der Einheitslänge	<i>S</i> Längskraft	Θ Schwungmoment
<i>r</i> Halbmesser	<i>T</i> Zeitkonstante	
<i>s</i> Weg	<i>U</i> Klemmenspannung	
<i>t</i> Zeit	<i>V</i> (Hub-)Volumen	
<i>v</i> Geschwindigkeit		
<i>w</i> Windungszahl		