

Frank Taegen

Einführung in die Theorie der elektrischen Maschinen II

Synchron-
und Asynchronmaschine

Unter Mitarbeit von Edwin Hommes

Lehrbuch
für Elektrotechniker ab 4. Semester

Mit 125 Bildern



Friedr. Vieweg + Sohn · Braunschweig

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| A. | Allgemeines über Drehfeldmaschinen | 1 |
| 1. | Spannungs- und Drehmomentenerzeugung | 1 |
| 1.1. | Spannungserzeugung | 1 |
| 1.1.1. | Form und Lage der Wickelköpfe | 4 |
| 1.2. | Entstehung eines Drehfeldes | 5 |
| 1.2.1. | Das Drehfeld eines Polrades | 5 |
| 1.2.2. | Das Drehfeld einer mit Drehstrom gespeisten Wicklung | 7 |
| 1.3. | Strombelag | 11 |
| 1.3.1. | Wechselstrombelag eines Wicklungsstranges | 11 |
| 1.3.2. | Drehstrombelag | 13 |
| 1.4. | Berechnung des Drehfeldes | 16 |
| 1.4.1. | Drehfeld eines Drehstrombelages | 17 |
| 1.4.2. | Drehfeld eines Vollpolläufers | 19 |
| 1.5. | Elektromotorische Kraft (EMK) | 21 |
| 1.5.1. | EMK einer ungesehnten Windung | 22 |
| 1.5.2. | EMK eines Wicklungsstranges | 23 |
| 1.6. | Drehmomentenerzeugung | 27 |
| B. | Synchronmaschine | 30 |
| 2. | Stationärer Betrieb der Synchronmaschine mit Vollpolläufer | 31 |
| 2.1. | Spannungsgleichungen | 32 |
| 2.2. | Drehmoment | 37 |
| 2.3. | Die Gleichungen der Vollpol-Synchronmaschine im stationären Betrieb | 40 |
| 2.4. | Physikalische Bedeutung des Lastwinkels ϑ | 43 |
| 2.5. | Belastung der Synchronmaschine am starren Netz | 44 |
| 2.6. | Stromortskurve | 47 |
| 2.7. | Einfluß der Sättigung des Eisens | 50 |
| 2.7.1. | Leerlaufkennlinie | 50 |
| 2.7.2. | Zeigerbild | 51 |
| 2.7.3. | Ankerrückwirkung und Magnetisierungsstrom | 52 |
| 2.7.4. | Spannungsänderung bei Entlastung | 56 |
| 2.8. | Ersatzschaltbild | 57 |
| 2.9. | Kurzschluß | 57 |
| 2.9.1. | Der dreipolige Dauerkurzschlußstrom | 58 |
| 2.9.2. | Leerlauf-Kurzschlußverhältnis | 60 |
| 2.9.3. | Stoßkurzschluß | 62 |
| 2.10. | Blindlastkennlinie | 63 |
| 3. | Stationärer Betrieb der Schenkelpolmaschine | 64 |
| 3.1. | Zerlegung des Ständerstrombelages | 65 |
| 3.2. | Ermittlung der Induktivitäten | 67 |
| 3.3. | Spannungsgleichung | 70 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.4. | Zeigerbild | 72 |
| 3.5. | Synchrone Reaktanzen | 74 |
| 3.6. | Drehmoment für $R = 0$ | 76 |
| 4. | Pendelungen von Synchronmaschinen | 78 |
| 4.1. | Das statische synchronisierende Moment | 79 |
| 4.2. | Bewegungsgleichung | 81 |
| 4.3. | Freie Pendelungen | 84 |
| 4.4. | Erzwungene Pendelungen | 86 |
| 5. | Anlauf und Synchronisierung | 90 |
| 5.1. | Der asynchrone Anlauf | 90 |
| 5.2. | Anlauf mit einem Hilfsmotor | 90 |
| 5.3. | Frequenzanlauf | 91 |
| 5.4. | Synchronisierung | 91 |
| ● 6. | Einphasengenerator | 91 |
| 7. | Konstruktiver Aufbau der Synchronmaschine | 92 |
| 7.1. | Ständer | 93 |
| 7.2. | Läufer | 94 |
| 7.2.1. | Schenkelpolrad | 95 |
| 7.2.2. | Vollpolläufer | 96 |
| 7.3. | Kühlung | 98 |
| C. | Asynchronmaschine | 100 |
| 8. | Stationärer Betrieb der Asynchronmaschine mit Schleifringläufer | 102 |
| 8.1. | Spannungsgleichungen | 104 |
| 8.2. | Leistungsaufteilung und Drehmoment | 111 |
| 8.2.1. | Leistungsbilanz | 113 |
| 8.2.2. | Berechnung des Drehmomentes | 116 |
| 8.3. | Nähere Betrachtung der Spannungsgleichungen | 117 |
| 8.3.1. | Die Asynchronmaschine als Transformator | 117 |
| 8.3.2. | Ideeller Leerlauf- und Kurzschlußstrom | 120 |
| 8.3.3. | Ströme | 123 |
| 8.4. | Nähere Betrachtung der Drehmomentgleichung | 124 |
| 8.4.1. | Das Drehmoment für $r_1 = 0$ | 127 |
| 8.5. | Anlauf und Drehzahlstellung | 128 |
| ● 8.6. | Ersatzschaltbild und Zeigerbild | 132 |
| ● 8.7. | Stromortskurve | 135 |
| 8.7.1. | Ströme | 137 |
| 8.7.2. | Leistung, Drehmoment und Verluste | 140 |
| 8.7.3. | Schlupfgerade | 142 |
| 8.7.4. | Kreisdiagramm für $R_1 = 0$ | 142 |
| 8.7.5. | Das Betriebsverhalten im Kreisdiagramm | 143 |

| | | |
|--|--|------------|
| 9. | Stationärer Betrieb der Drehstrom – Asynchronmaschine mit Käfigläufer | 145 |
| 9.1. | Anschluß an die Theorie der Schleifringläufermaschine | 145 |
| 9.2. | Stromverdrängungsläufer | 150 |
| 9.3. | Wirkungen der Oberfelder | 151 |
| 9.4. | Anlassen und Drehzahlstellen | 152 |
| 9.5. | Verwendung des Käfigläufermotors | 154 |
| 10. | Konstruktiver Aufbau der Drehstrom- Asynchronmaschine | 155 |
| 10.1. | Ständer | 155 |
| 10.2. | Läufer | 157 |
| 11. | Dynamisches Verhalten des Schleifringläufermotors | 158 |
| 11.1. | Die Induktivitäten einer m-phasigen Wicklung | 159 |
| 11.1.1. | Die Induktivitäten der Zweiphasenmaschine | 161 |
| 11.1.2. | Die Induktivitäten der Dreiphasenmaschine | 163 |
| 11.2. | Die Zweiphasenmaschine | 166 |
| 11.2.1. | Spannungsgleichungen | 166 |
| 11.2.2. | Drehmomentgleichung | 168 |
| 11.2.3. | Das vollständige Gleichungssystem | 170 |
| 11.2.4. | Transformationen | 172 |
| 11.2.4.1. | Die $(\alpha, \beta - d, q)$ -Transformation des Läufers | 174 |
| 11.2.4.1.1. | Die Modellmaschine | 177 |
| 11.2.4.2. | Die $(\alpha, \beta - d, q)$ -Transformation des Ständers und Läufers | 182 |
| 11.3. | Die Dreiphasenmaschine | 187 |
| 11.3.1. | Spannungsgleichungen | 187 |
| 11.3.2. | Die $(a, b, c - 0, \alpha, \beta)$ -Transformation | 189 |
| 11.4. | Beispiele für die Ermittlung des Betriebsverhaltens der Dreiphasenmaschine | 197 |
| 11.4.1. | Stationärer Betrieb | 198 |
| 11.4.2. | Einführung bezogener Größen | 202 |
| 11.4.3. | Dynamisches Verhalten | 206 |
| 11.5. | Stabilität | 209 |
| D. | Anhang | 220 |
| 12. | Wicklungsanordnung und Wicklungsfaktor | 220 |
| 12.1. | Wicklungsanordnung | 220 |
| 12.2. | Wicklungsfaktor | 221 |
| 12.2.1. | Zonenfaktor der Ganzlochwicklung | 222 |
| 12.2.2. | Sehnungsfaktor | 223 |
| 12.3. | Der Wechselstrombelag einer Ganzlochwicklung | 224 |
| Literatur | | 227 |
| Sachwortverzeichnis | | 228 |
| Inhaltsverzeichnis des Bandes I | | 231 |