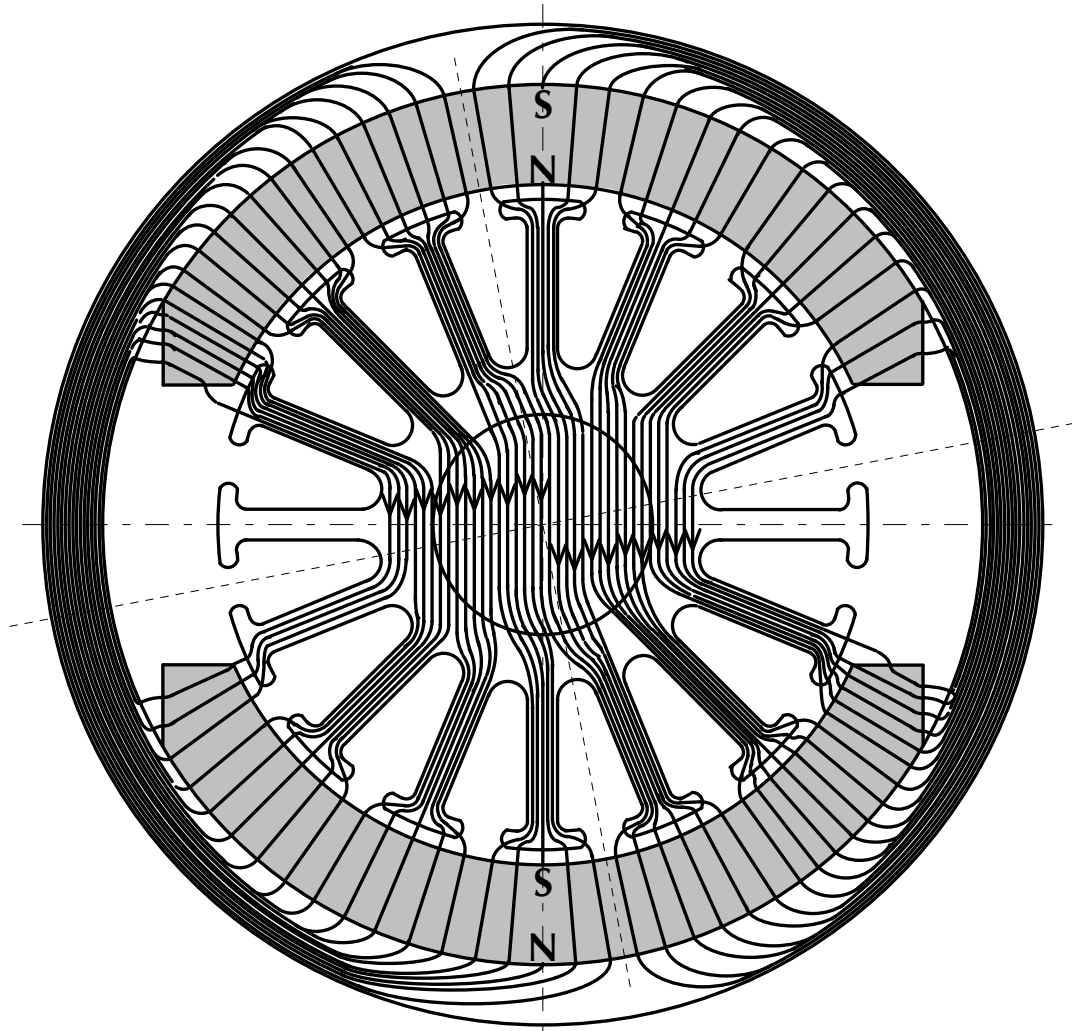


hans wm KÖRBER

PERMANENTMAGNETMOTORE



nicht nur für Kleinfahrzeuge

BAND 1

Anwender ermitteln elektrische und mechanische Kenn- und Betriebswerte,
bewerten die **Verwendbarkeit**

hans wm KÖRBER, Jahrgang 1941

Unternehmer, Erfinder, Berater und Fachbuchautor

Elektrotechnik/Elektronik-Studium in Stuttgart

Entwickler in mittelständischen Industrieunternehmen:

aktive und passive Sonartechnik militärischer Anwendungen,
Elektronik für Handels- und Militärschiffstechnik verschiedenster Aufgabengebiete,
Steuerungen und Audiogeräte für professionelle Kino- und Studioteknik,
Steuerungen und Regelungen für Elektro-Kleinfahrzeuge:

hierbei weltweite Ersteinführung von Techniken mit z T Patenterteilung,
sowie technische Unterstützung einer US-amerikanischen Muttergesellschaft,
Vortragender peripher relevanter Anwendungen wie z B Akkumulatoren,
zuletzt Leiter der Entwicklungsabteilung für Elektronik und Antriebstechnik
in einem mittelständischen Unternehmen für Elektro-Kleinfahrzeuge.

Kontakte hwm.k@kielnet.net

Exemplar _____ für _____

Dieses Werk, seine Teile daraus und die auf einer Diskette beigefügten Programme sind urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches, der Programme oder Teile daraus, sind vorbehalten.

Kein Teil des Werkes und der Programme darf ohne schriftliche Genehmigung des Verfassers in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Programme dürfen nur auf *einen* Rechner des Erwerbers geladen und nur auf diesem genutzt werden. Hiervon darf nur abgewichen werden, wenn der Verfasser eine weitergehende Lizenz schriftlich erteilt hat.

In diesem Werk erstveröffentlichte Berechnungsmethoden wie insbesondere in den Abschnitten

E7 Magnetische Einflüsse auf Motordaten	F4 Regelreserve
F6 Schaltgetriebe zur Energieersparnis bei Bergauffahrt	F7 Ermittlung der Reichweite je Akkuladung
F10 Drehzahl-Sollwerte bei Zwangslenkung	G7 Motor-Wirkungsgrad-Abhängigkeit von Betriebswerten

dürfen mit Quellangabe genutzt und propagiert werden.

Publikation der zugehörigen Berechnungsprogramme jedoch wie auf beigefügter Diskette, CD oder entsprechend behält sich der Verfasser vor.

Informationen in diesem Werk wurden mit größter Sorgfalt zusammengetragen. Dennoch sind Fehler nicht vollständig auszuschließen. Der Verfasser übernimmt für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler ist der Verfasser dankbar.

Copyright © 2004
by hans wm KÖRBER, D-24145 Kiel
printed in Germany

Herausgeber, Verfasser, Berechnungsprogramme, Bilder, Diagramme,
Kennlinien, Tabellen, Entwurf, Satz, Druck, Binden: hans wm KÖRBER

2., korrigierte Auflage 2013

erschienen im Eigenverlag des Verfassers

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		3
Einleitung		4
Anmerkungen 1...7		5
A Verwendete Formelzeichen mit Einheiten und Abkürzungen		6
B Grundsätzliches		17
B1 Das Elektromotor-Prinzip		17
B2 Das Elektrogenerator-Prinzip	Bild 1	18
B3 Betrachtung des gesamten Betriebsbereiches		19
C Permanentmagnet-Motor ohne Getriebe		20
C1 Motor-Betrieb	Bild 2	20
Kennlinien 1 und 2 - idealisierte typische Kennlinien eines PMM		26
Zusammenfassung		28
Beispiel ² 1 - Berechnung von Nenn- und Kennwerten eines Prüflings		29
C2 Generator-Betrieb an der Betriebsspannung	Bild 3	30
Zusammenfassung		33
Kennlinie 3 - idealisierte typische Kennlinien eines PMM (Bereiche Motor- und Generator-Betrieb)		33
Beispiel 2 - Berechnung von Werten für den Generator-Betrieb		34
Beispiel 3 - Kontrolle von Hersteller-Angaben und Berechnung weiterer Daten		35
C3 Generator-Betrieb an einem Lastwiderstand ³	Bild 4	36
Beispiel 4 - Berechnungen für Generator-Betrieb an einem Lastwiderstand		38
D Permanentmagnet-Motor mit Getriebe⁴		39
D1 Motor-Betrieb		39
Flußdiagramm 1 - Motorbetrieb		40
Zusammenfassung		46
Kennlinie 4 - idealisierte typische Kennlinien eines PM-Getriebemotors (wichtige Kenngrößen)		46
Beispiel 5 - Berechnung div Werte eines Getriebemotors im Motor-Betrieb		47
Beispiel 6 - Vergleich zweier Antriebe für eine Anwendung		48
D2 Generator-Betrieb an der Betriebsspannung U_M		49
Flußdiagramm 2 - Generator-Betrieb im (idealen) Leerlauf an der Betriebsspannung		49
Flußdiagramm 3 - Generator-Betrieb unter Nutzlast an der Betriebsspannung		50
Beispiel 7 - Generator-Betriebswerte des Antriebs von Beispiel 5		54
Beispiel 8 - Generator-Betriebswerte des Antriebs Typ 1 von Beispiel 6		55
D3 Generator-Betrieb an einem Lastwiderstand ³		56
Flußdiagramm 4 - Generator-Betrieb an einem Lastwiderstand		56
Beispiel 9 - Generator-Betriebswerte an einem Lastwiderstand		59
D4 4-Quadranten-Betrieb	Bild 5	60
Kennlinie 5 - idealisierte typische Kennlinien eines PMM im 4-Quadranten-Betrieb		60
E (Ersatz-)Meßverfahren und Abschätzungen zur Ermittlung von Antriebsdaten		61
E1 Drehzahl		61
Beispiel 10 - Drehzahlmessung mit induktivem Geber	Bild 6	62
E2 (Dreh-)Moment, abverlangtes		63
α Bremsband oder -seil	Bild 7	63
Beispiel 11 - Motorwerte-Ermittlung mit Bremsseil		64
β Pronyscher Zaun	Bild 8	65
Beispiel 12 - Getriebemotor-Werteermittlung mit Pronyschem Zaun		66
γ Losbrechmoment	Bild 9	67
Beispiel 13 - Ermittlung und Berechnung des Losbrechmoments		68
E3 (Dreh-)Moment, eingebrachtes		69
Motor/Generator-Satz	Bild 10	69
Beispiel 14 - Prüfling im Langzeittest		70
E4 Widerstandsermittlungen		71
α Kontaktwiderstand	Bild 11	71
β Wicklungswiderstand	Bilder 12 u 13	72
Beispiel 15 - 4-Leiter-Methode angewandt		74
γ Kohlebürsten-Widerstand	Bild 14	75
Beispiel 16 - mit Motor/Generator-Satz ermittelte Werte		76
δ Systemwiderstand	Bild 15	77
Beispiel 17 - mit Motor/Generator-Satz ermittelte Werte		78
E5 Getriebe-Wirkungsgrad ⁴ und -Übersetzung	Bild 16	79
Beispiel 18 - Ermittlung mit Motor/Generator-Satz	→ BEISP18-.XLS	80
Beispiel 19 - dito, bei umgekehrtem Kraftfluß	→ BEISP18-.XLS	81
E6 Spannungsstabilisierte, strombegrenzte Quelle und Senke	Bilder 17 u 18	82
E7 Magnetische Einflüsse auf Motordaten Grundbegriffe	Bilder 19 u 20	83
α Magnetkreis des stromlosen Motors	Bilder 21 ... 23	86
abschnittsweise Magnetfeld-Funktionen $H = f(B)$ und $B = f(H)$		90
Beispiel 20 - Magnetkreis-Verhältnisse bei $I_M = 0$	mit MAGNKRS.XLS	95
β Der bestromte Motor	Bilder 24 u 25	97
Beispiel 21 - Magnetkreis-Verhältnisse bei bestromtem Motor	mit MAGNKRS.XLS	105
γ Wirbelströme	Diagramm 1 Bild 26	107
Beispiel 22 - Anteil von Wirbelströmen am Leerlauf- und Nennstrom		111
δ Ummagnetisierung (Hysterese)	Diagramm 2 Bild 27	112
Beispiel 23 - Fehler bei ignorierten Hysterese-Verlusten		115
ε Sättigungserscheinungen	Diagramm 3	116
Beispiel 24 - (Dreh-)Moment-Korrektur in Abhängigkeit von U_M bei $I_M = \text{const}$		117
ϕ Ankerrückwirkung	Bild 28	118

F Anwendungsfagen		119
F1 Hindernisüberwindung		119
α Lenkräder am Hindernis	Bild 29	119
Beispiel 25 - Erfüllt ein geplantes Fahrzeug gestellte Forderungen?		120
β Antriebsräder am Hindernis	Bild 30	121
Beispiel 26 - Eignen sich Motor und Getriebe wie vorgesehen?		122
γ Achslastverteilung für gleiches Moment vorwärts wie rückwärts		123
Beispiel 27 - Welche Achslastverteilung ist anzustreben? Motorleistung ausreichend?		125
F2 Fahren		126
α Fahren in der Ebene	Bild 31	126
Ermittlung der Rollwiderstandszahl durch Versuch		127
Tabelle 1 - Rollwiderstandszahlen - Orientierungswerte für Pkw-Reifen		127
Beispiel 28 - Erreicht ein Fahrzeug die geforderte Geschwindigkeit?	→ BEISP18-.XLS	128
Beispiel 29 - Versuchsdurchführung zur Rollwiderstandszahl	→ BEISP18-.XLS	129
β Fahren bergauf	Bild 32	130
Beispiel 30 - Betriebswerte bei Maximalgeschwindigkeit bergauf		131
γ Fahren bergab	Bild 33	132
Beispiel 31 - Schußfahrt mit generierter Spannung oberhalb Betriebsspannung		133
Beispiel 32 - Fahren bergab mit Verzögerungswiderstand		134
F3 Strombegrenzung ⁵	Bild 34	135
Beispiel 33 - Schutzmaßnahmen gegen Magnetschwächung		136
F4 Regelreserve		137
Kennlinie 6 - Schaffung einer Regelreserve durch Wicklungsänderung		139
Beispiel 34 - Wicklungsänderung	Bild 35	140
Beispiel 35 - Getriebetausch		141
F5 Regenerativer Betrieb bei generierter Spannung unterhalb Betriebsspannung	Diagramm 4	Bild 36
F6 Schaltgetriebe zur Energie-Ersparnis bei Bergauffahrt		144
Kennlinie 7 - Energie-Ersparnis durch Schaltgetriebe-Einsatz am Hang		144
Flußdiagramm 5 - Motor-Betrieb mit Schaltgetriebe		144
Beispiel 36 - Berechnung einer Schaltgetriebe-Übersetzung	→ BEISP18-.XLS	147
Beispiel 37 - Ergebnisse bei vorgegebener Übersetzung	→ BEISP18-.XLS	148
F7 Ermittlung der Reichweite je Akkuladung	Bilder 37...40	149
Tabelle 2 - Akku-Kennwerte für die Ermittlung von Fahrzeug-Reichweiten		149
Beispiel 38 - Reichweite in der Ebene		154
Beispiel 39 - Reichweite auf kombinierten Streckenabschnitten		155
F8 Einmotor-Antrieb	Bild 41	156
Kennlinie 8 - Abschätzung von Betriebswerte-Proportionen zum Beispiel 40		156
Beispiel 40 - Berechnung erforderlicher Motordaten		157
F9 Zweimotore-Antrieb mit Schwenkrädern	Bild 42	158
Beispiel 41 - E-Rollstuhl mit Schwenkrädern dreht auf der Stelle		159
F10 Drehzahl-Sollwerte bei Zwangslenkung mit Lenktrapez	Diagr 5...7	Bilder 43...45
Beispiel 42 - Auftretende Werte bei engster Kurvenfahrt		166
F11 Lenkmotor	Diagramm 8	Bild 46
Beispiel 43 - Anforderungen an den Lenkmotor bei Reaktionszeitvorgaben		170
F12 Positionier-Motore als Beispiel Sitzhöhenverstellung	Bild 47	171
Beispiel 44 - Sitzhöhenverstellung mit Zeitvorgabe		172
G Tabellen und Diagramme		173
G1 Umrechnung von Einheiten	Tabellen 3...19	173
G2 Werkstoffe im Motor-Magnetkreis		176
Daten v Elektrolechen, Abhängigkeiten Erregg / Polarisaton μ_r	Diagramm 9	Tabellen 20 u 21
Ankerzweigspannungen, Wirbelstrom- und Hysterese-Verluste	Diagramm 10	Tabellen 22...24
Hysterese-Verluste, Eigenschaften oxidkeramischer Magnete	Diagramm 11	Tabelle 25
Werte von Kupferlackdrähten		Tabelle 26
G3 relatives Moment zur Hindernisüberwindung		180
α Lenkräder am Hindernis	Diagr 12...17	180
β Antriebsräder am Hindernis	Diagramm 18..	Tabelle 27
γ Achslastverteilung für gleiches Moment vorwärts wie rückwärts	Diagr 19...24	183
G4 Schaltgetriebe zur Energie-Ersparnis bei Bergauffahrt	Diagramm 25..	Tabellen 28 u 29
G5 Kohlebürsten-Kennwerte	Kennlinie 9	Tabellen 30 u 31
G6 Getriebe-Wirkungsgrade	Tab 32...34	Bilder 48 u 49
G7 Motor-Wirkungsgrad-Abhängigkeit von Betriebswerten	Diagr 26...31	Tabellen 35...40
G8 Lenkfehler mit dem Lenktrapez		Bilder 50...52
G9 Vorgehensweise zur Motor-Bewertung		196
H Berechnungsprogramme auf beigefügter Diskette		197
H1 Excel®-Datei MOTORKW.XLS - Berechnung von (Getriebe-)Motor-Kenn-, -Nenn- u -Betriebswerten		198
H2 Excel®-Datei MAGNKRS.XLS - Magnetische Einflüsse auf Motordaten	Programm-Teile 1...4	201
H3 Excel®-Datei HINDERNS.XLS - Hindernisüberwindung		207
H4 Excel®-Datei FAHREN.XLS - Fahren		210
H5 Excel®-Datei REGELRES.XLS - Regelreserve		212
H6 Excel®-Datei SCHATGETR.XLS - Schaltgetriebe zur Energie-Ersparnis bei Bergauffahrt		214
H7 Excel®-Datei REICHWT.XLS - Ermittlung der Reichweite je Akkuladung		216
H8 Excel®-Datei SOLLWERT.XLS - Drehzahl-Sollwerte bei Zwangslenkung		218
H9 Excel®-Datei CULDRAHT.XLS - Werte von Kupferlackdrähten, Wickelraum-Vorgabe		220
H10 Excel®-Datei MOTWIRKG.XLS - Motor-Wirkungsgrad-Abhängigkeit von Betriebswerten		222
H11 Excel®-Datei BEISP18-.XLS - Beispiele 18, 19, 28, 29, 36, 37		224
I Literaturhinweise		228
J Sachwörterverzeichnis		229
K Diskette		Rückeninnenseite