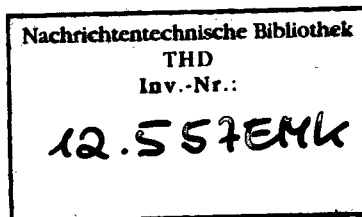


WILHELM GECK

Antrieb nach Maß

Auslegung und Optimierung
des
ELEKTROANTRIEBES
zum
FLUGMODELL

Flugmodell
Akku
Luftschraube
Elektromotor



Inhalt

I. Standortbestimmung

1.	Allgemeines	10
2.	Informationsbedürfnisse	12
2.1	Elektromotoren	12
2.2	Luftschrauben	12
2.3	Flugmodell	12
3.	Ziel dieses Buches	16
3.1	Auswirkungen einer Fehlanpassung	16
4.	Optimierungs- und Anpassungsziele	17

II. Energieverluste im Elektro-Flugmodell

1.	Allgemeines	18
2.	Wirkungsgrad der Modellkomponenten	18
	Abb. II. 2-1 (Modell-Energiebilanz)	20
3.	Spannung und Strom	21
	Formeln elektrische Leistung	21
a)	Verlustspannung	21
b)	Wirkleistung	21
c)	Verlustleistung	21

III. Der Akku, wie man ihn sieht und was er kann!

1.	Allgemeines	22
2.	Grenzen und Fähigkeiten	22
	Formeln zum NiCd-Akku	24
3.	Optimierung des NiCd-Akkus	24
3.1	Gewichtiges am Akku	24
3.2	Der Akku-Innenwiderstand ($R_{I \text{ AKKU}}$)	25
	Abb. III. 3.2-1 (7 A-Entladekurve)	25
	Abb. III. 3.2-2 (14 A-Entladekurve)	26
3.3	Entnehmbare Kapazität	26
	Abb. III. 3.3-1 (C verschiedener Zellengrößen)	27
3.4	Zellenspannung	27
3.5	Akkustrom (I_{AKKU})	27
	Abb. III. 3.5-1 (P theor. des Akkus)	28
3.6	Verbindung mit Tücken?	28
3.7	Der Draht nach draußen	31
3.8	Kontrolle des Akkuzustandes	31
4.	Zusammenfassung	31

IV. Das Flugmodell

1.	Modellauswahl und Konzeption	32
2.	Allgemeine Aerodynamik	38
2.1	Flächenbelastung/Re-Zahl	38
2.2	Fluggeschwindigkeit/Auftriebskraft	38
2.3	Widerstandskräfte am Flugmodell	39
2.3.1	Luftwiderstand	39
2.3.2	Sinkgeschwindigkeit und Gleitwinkel	39
2.3.3	Tabelle cw_s	39
2.4	Maßnahmen zum „Modelltuning“	40
3.	Leistungsbedarf des Flugmodells P_{MODELL}	40
3.1	Erforderlicher Zug	40

3.2	Leistungsbedarf	40
3.3	Arbeitsschema zur Festlegung vom P_{MODELL}	40
4.	Betriebsbereich des Elektro-Flugmodells	41
4.1	Modelltypen nach V_X und V_Y	41
5.	Die Fluggeschwindigkeit V_X	41
5.1	Geradliniger Horizontalflug $V_{X \text{ HOR}}$	42
5.2	Optimale Horizontalfluggeschwindigkeit $V_{X \text{ OPT}}$	42
5.3	Minimalgeschwindigkeit $V_{X \text{ MIN}}$	42
5.4	Der Start	43
5.5	Kontinuierlicher Steigflug	46
6.	Fallbeispiel: Das Modell zum künftigen Antriebskonzept	46
6.1	Das Modell	46
6.2	Errechnete Betriebsdaten des Flugmodells	47

V. Die Luftschraube

1.	Allgemeines	49
2.	Prinzip der Luftschraubenwirkung	49
3.	Luftschraubenparameter	51
3.1	Mechanische Vorgaben	51
3.2	Dynamisch bestimmte Größen	51
3.3	Zusammenwirken statischer und dynamischer Parameter	51
4.	Luftschraubentypen	52
5.	Einfache Verbesserungsmöglichkeiten	52
6.	Anpassung der Luftschrauben-Betriebsparameter	52
7.	Leistungsbedarf der Luftschraube	53
7.1	Leistungsbedarf im Flug	53
	Berechnung Motorlaufzeit und Flugstrom	54
8.	Fluggeschwindigkeit und Motorstromänderung	54
8.1	Drehzahländerung im Flug, ein Problem?	55
	Abb. V. 8.1–1 (KE 80/9)	56
	Abb. V. 8.1–2 (Speed 700 BB Turbo)	56
8.1.1	Drehzahländerung – die Konsequenzen	57
	Abb. V. 8.1–3 (Einflüsse auf Prop.-Blattwinkel)	58
9.	Fallbeispiel: Vom Modell zur Luftschraube	59
9.1	Festlegen der Grunddaten	59
9.2	Luftschraubenleistung und Drehzahl	59
9.3	Bemerkungen zur Luftschraubenwahl	60
9.4	Auswahlverfahren und Ergebnisse	60
9.5	Bemerkungen zu den gefundenen Luftschrauben	61
10.	Formeln zur Luftschraube	61
	Luftschraubenleistung	61
	Luftschraubendrehzahl	62

VI. Der Elektromotor

1.	Allgemeines	63
1.1	Ablesen der Motor-Diagramme	63
	Abb. VI. 1.1–1 (EF 76 II)	64
1.2	Verwendete Maßeinheiten und Abkürzungen	65
2.	Betriebsbereich des Elektromotors	66
	Abb. VI. 2–1/2 (theor. Betriebsbereich E-Motor)	67
3.	Motortypische Kennwerte	68
3.1	Die Betriebsspannung U_K	68
3.2	Der Motorstrom I_M	68

3.2.1	Der Leerlaufstrom I_0	69
3.3	Der Motor-Innenwiderstand R_i	69
	Abb. VI. 3.3–1 (R_i -Änderung d. Wärme EF 76)	70
	Abb. VI. 3.3–2 (R_i -Rechendiagramm)	70
	Abb. VI. 3.3–3 (R_i -Meßanordnung)	71
3.4	Die Generatorspannung U_{GEN}	72
3.5	Das Drehmoment M	72
3.5.1	Winkelgeschwindigkeit ω (Omega)	73
3.5.2	Die Drehmomentkonstante k_M	73
3.5.3	Die Errechnung von k_M aus Leerlaufdaten	73
3.5.4	Errechnung von k_M und R_i aus Meßdaten	74
	Abb. VI. 3.5.4–2 (k_M – R_i Meßdaten)	75
3.6	Der Wirkungsgrad η_A	76
3.7	Die Wellenleistung P_W	77
3.8	Die Motordrehzahl n	77
3.8.1	Die spezifische Drehzahl n_s	78
3.8.2	Spez. Lastdrehzahl n_{sL} – Korrekturfaktor K_{ns}	78
3.8.3	Der unersetzte Antrieb	79
	Abb. VI. 3.8.3–1 (Getriebe-Direktantrieb)	80
3.9	Einige Regeln zum Betrieb eines Elektromotors	82
4.	Typenvielfalt – Marktangebot	83
5.	Die Berechnung/Auswahl des geeigneten Elektromotors	83
5.1	Die Motorenliste	83
5.2	Erläuterungen zur Motorliste	84
6.	Fallbeispiel: Der geeignete Motor für Modell und Luftschraube	85
6.1	Vorgabe des Motorstroms	86
6.2	Drehzahl/Stromquotient $Q_{n/I}$	86
6.2.1	Spezifische Drehzahl $n_{sL} - n_s$	87
6.3	Auswahl von Motoren aus der Motorenliste	87
6.4	Berechnung der konkreten Betriebsarten	87
6.5	Was wir jetzt wissen	88
6.6	Beurteilung des Ergebnisses	89
6.7	Betriebsdaten der weiteren Motoren	89
	Abb. VI.6.7–1 Motordiagramm ASTRO 25	90
	Abb. VI.6.7–2 Motordiagramm ULTRA 1600	90
	Abb. VI.6.7–3 Motordiagramm ULTRA 1000	91
	Abb. VI.6.7–4 Motordiagramm KELLER 50/11SL 2R	91
	Abb. VI.6.7–5 Motordiagramm GEIST 70/30 3R	92
7.	Prüfung eines vorhandenen Motors auf Eignung	93
7.1	Zum Beispiel: ULTRA 1200	93
7.2	Ohne Rechnen – diesmal mit Motordiagramm	93

VII. Berechnungshilfen, Motorenliste, Motorendiagramme

1.	Berechnungsraster <i>Antrieb nach Maß</i>	95
2.	Hilfsdiagramme	95
	Abb. VII.2–1 Umrechnung von Maßeinheiten	99
	Abb. VII.2–2 Akkuspannung unter Last	100
3.	Berechnungsdiagramme für das Flugmodell	95
	Abb. VII.3–1 Flächenbelastung	101
	Abb. VII.3–2 Horizontalfloggeschwindigkeit V_x	101
	Abb. VII.3–3 Streckung und induz. Widerstand	102
	Abb. VII.3–4 Modell-Leistung bei V_y und Masse	102
4.	Berechnungsdiagramme zur Luftschraube	95

	Abb. VII.4.1–1/5 P_{zu} u. Drehzahl im Standbetrieb	103
	Abb. VII.4.2–1/6 Prop-Anpassung nach V_x und Drehzahl	106
5.	Motorenliste	95
	Abb. VII.5–1 a–d Motordaten geordnet nach spez. Drehzahl	109
	Abb. VII.5–2 a–d Motordaten geordnet nach Typbezeichnung	113
6.	Motorendiagramme	95
6.1	Geist-Motoren (Auszug)	117
	Abb. VII.6.1–1 GEIST 170/6	117
	Abb. VII.6.1–2 GEIST 90/6	117
	Abb. VII.6.1–3 GEIST 45/5	118
	Abb. VII.6.1–4 GEIST 35/10	118
6.2	Graupner-Vertriebsprogramm (Auszug)	119
	Abb. VII.6.2–1 ULTRA 2000	119
	Abb. VII.6.2–2 ULTRA 1600/8	119
	Abb. VII.6.2–3 ULTRA 1200	120
	Abb. VII.6.2–4 ULTRA 900/8	120
	Abb. VII.6.2–5 SPEED 360 PT Nr. 1796	121
	Abb. VII.6.2–6 SPEED 400 Nr. 1794	121
	Abb. VII.6.2–7 SPEED RX 540 BBVZ	122
	Abb. VII.6.3–8 SPEED 600 BBT Nr. 1787	122
	Abb. VII.6.2–9 SPEED 600 BB Nr. 3316	123
6.3	Marx-Motoren (Auszug)	124
	Abb. VII.6.3–1 MARX-GT 500/8	124
	Abb. VII.6.3–2 MARX-GT 300/10	124
6.4	Multiplex-Vertriebsprogramm (Auszug)	125
	Abb. VII.6.4–1 ASTRO 60 FAI 6	125
	Abb. VII.6.4–2 ASTRO 15	125
	Abb. VII.6.4–3 ASTRO 05	126
	Abb. VII.6.4–4 PERMAX 1000 BB Turbo	126
	Abb. VII.6.4–5 PERMAX 700 BB Turbo	127
	Abb. VII.6.4–6 PERMAX 600 BB 1 Ring	127
6.5	Robbe-Keller-Motoren (Auszug)	128
	Abb. VII.6.5–1 KELLER 240/ 6	128
	Abb. VII.6.5–2 KELLER 40/ 6	128
	Abb. VII.6.5–3 KELLER 40/ 8	129
	Abb. VII.6.5–4 KELLER 40/10	129
	Abb. VII.6.5–5 KELLER 40/14	130
	Abb. VII.6.5–6 KELLER 35/ 8	130
	Abb. VII.6.5–7 KELLER 22/12	131
6.6	Webra-Motoren (Auszug)	132
	Abb. VII.6.6–1 WEBRA 15– 7	132
	Abb. VII.6.6–2 WEBRA 20–10	132
6.7	Verschiedene	133
	Abb. VII.6.7–1 JOHNSON MC 693 LG	133
	Abb. VII.6.7–2 MABUCHI RS 550 S	133
	Abb. VII.6.7–3 SAGAMI S-3653 H	134

VIII. In eigener Sache

1.	Herkunft der Motor- und Luftschraubendaten	135
2.	Nachlese	135
3.	Computer-Software	136
4.	Ausblick	136

Anhang

Literatur	137
---------------------	-----