

In der zweiten Ausgabe des Jahrbuchs (1981) hat Karl Haidinger mit seinem Beitrag zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen in elektrischen Maschinen aufgezeigt, wie auch sehr komplexe Aufgaben mit einem PTR lösbar sind. Im folgenden Aufsatz wird auf gleichem Niveau die Berechnung der Strangströme in einer Asynchronmaschine vorgestellt. Es werden die theoretischen Grundlagen entwickelt, das Programm vollständig beschrieben und Ergebnisse für Dreieck- und Sternschaltung angegeben. Wegen der hohen Spezialisierung wird in diesem wie auch in den drei nachfolgenden Beiträgen auf Glossars verzichtet.

Karl Haidinger

Berechnung der Strangströme einer umrichtergespeisten Asynchronmaschine durch Fouriersynthese

Asynchronmaschinen werden heute immer häufiger nicht mehr direkt am Drehstromnetz, sondern über einen Zwischenkreisumrichter betrieben. Der Umrichter hat dabei die Aufgabe, aus einem Drehstromnetz fester Frequenz (50 Hz) unter Verwendung eines Gleichspannungs- oder Gleichstromzwischenkreises ein Drehstromnetz variabler Frequenz zu erzeugen. Diese Kombination eines aus leistungselektronischen Bauelementen aufgebauten Umrichters mit der mechanisch sehr robusten Kurzschlußläufer-Asynchronmaschine stellt dann einen nahezu idealen drehzahlstellbaren Antrieb dar.

1 Asynchronmaschine bei sinusförmigen Spannungen

In Fig. 1 ist das bekannte T-Ersatzschaltbild für einen Strang der Asynchronmaschine dargestellt [1]. Die Rotorgrößen werden dabei auf die Primärseite umgerechnet. (Kennzeichnung durch „'“).

- R_1 Statorwiderstand
- $L_{1\sigma}$ Statorstreuinduktivität
- $L'_{2\sigma}$ Rotorstreuinduktivität
- R'_2 Rotorwiderstand
- L_{1H} Hauptfeldinduktivität

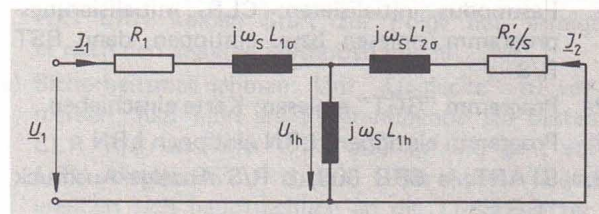


Fig. 1 T-Ersatzschaltbild für einen Strang

ω_s synchrone Drehfeldwinkelgeschwindigkeit (wegen der Annahme einer zweipoligen Maschine identisch mit der Kreisfrequenz der Statorspannung), $\omega_s = \omega_1$

ω_m mechanische Winkelgeschwindigkeit des Rotors

s Schlupf; $s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s}$

σ Koeffizient der totalen Streuung; $\sigma = 1 - \frac{L_{1H}^2}{L_1 L_2}$;

$$L_1 = L_{1H} + L_{1\sigma}; \quad L'_2 = L_{1H} + L'_{2\sigma}.$$

Alle auftretenden Widerstände und Induktivitäten sollen strom- und frequenzunabhängig sein. (Konstante Sättigung für das magnetische Hauptfeld, keine Stromverdrängung in der Rotorwicklung, keine Sättigung der Streuwege.)

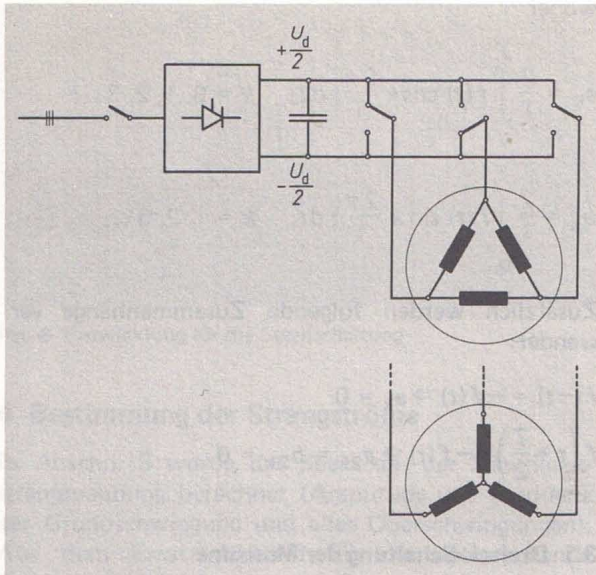


Fig. 2 Idealisierter Spannungswischenkreisumrichter

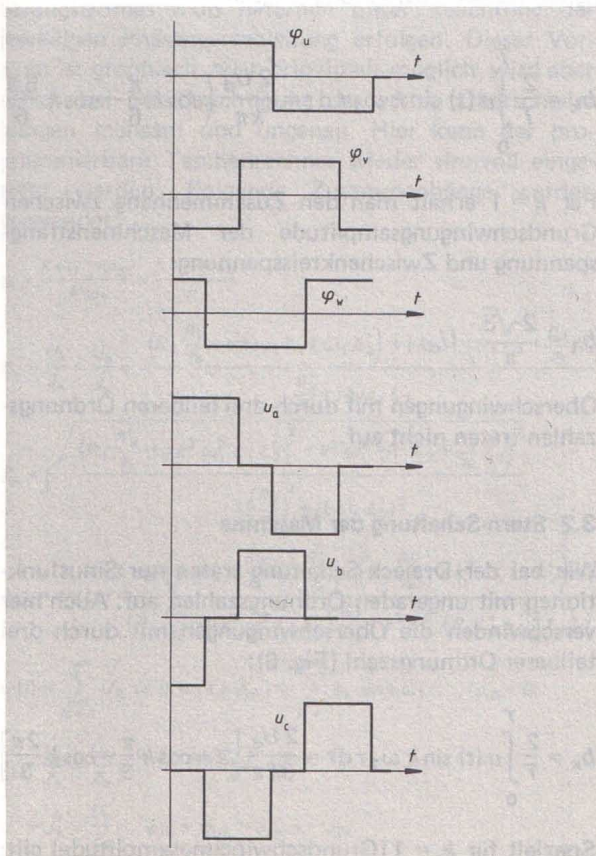


Fig. 3 Potentialverlauf an den Klemmen einer Maschine in Dreieckschaltung

Im Ersatzschaltbild werden die zeitlich sinusförmigen Größen $u_1(t) = \sqrt{2} U_1 \sin(\omega_s t + \varphi_u)$; $i_1(t) = \sqrt{2} J_1 \sin(\omega_s t + \varphi_j)$ durch komplexe Effektivwert-Zeitzeiger $\underline{U}_1 = U_1 e^{j\varphi_u}$, $\underline{J}_1 = J_1 e^{j\varphi_j}$ repräsentiert. Bei gegebenem Schlupf s kann der Statorstrom der Maschine bestimmt werden:

$$\underline{J}_1(s) = \underline{U}_1 \frac{1}{\underline{Z}(s)} = \underline{U}_1 \frac{\frac{R_2'}{s} + j\omega_s L_2'}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} - \sigma \omega_s L_1 \omega_s L_2'\right) + j\left(R_1 \omega_s L_2' + \frac{R_2'}{s} \omega_s L_1\right)} = J_1 e^{j\varphi_j}$$

Die Darstellung $\underline{J}_1(s)$ in der komplexen Ebene (mit s als Parameter) ist als Kreisdiagramm der Asynchronmaschine bekannt. Etwas schwieriger ist die Beantwortung der gleichen Frage bei der umrichter gespeisten Maschine.

2 Umrichter- und Maschinenschaltung

In Fig. 2 ist ein idealisierter Spannungswischenkreisumrichter dargestellt (U_d Spannung des Gleichspannungswischenkreises). Beim maschinenseitigen Stromrichter ist die Funktion der Leistungshalbleiter symbolisch durch mechanische Schalter dargestellt.

2.1 Dreieck-Schaltung der Maschine

Durch periodische Schaltvorgänge im maschinenseitigen Stromrichter wird der in Fig. 3 dargestellte Potentialverlauf an den Maschinenklemmen erzwungen. Die Klemmenspannungen der Maschine sind hier identisch mit den Spannungen an den drei Strängen der Drehstromwicklung.

$$\begin{aligned} u_a &= u_{uv} = \varphi_u - \varphi_v \\ u_b &= u_{vw} = \varphi_v - \varphi_w \\ u_c &= u_{wu} = \varphi_w - \varphi_u \end{aligned}$$

2.2 Stern-Schaltung der Maschine

Die Klemmenspannungen werden wie bei der Dreieck-Schaltung bestimmt. Damit ist aber nur die Differenz von zwei Strangspannungen festgelegt:

$$\begin{aligned} u_a - u_b &= u_{uv} \\ u_b - u_c &= u_{vw} \\ u_c - u_a &= u_{wu} \end{aligned}$$

Diese drei Gleichungen reichen zur Berechnung der Strangspannungen nicht aus, weil eine der drei Gleichungen wegen $u_{uv} + u_{vw} + u_{wu} = 0$ aus den beiden anderen folgt. Durch Anwendung des 1. Kirchhoffschen Gesetzes (Knotenregel) auf den isolierten Sternpunkt der Maschine kann eine weitere unabhängige Gleichung gewonnen werden:

$$i_a + i_b + i_c = 0 \rightarrow u_a + u_b + u_c = 0$$

(Spannungen und Ströme enthalten kein Null-System)

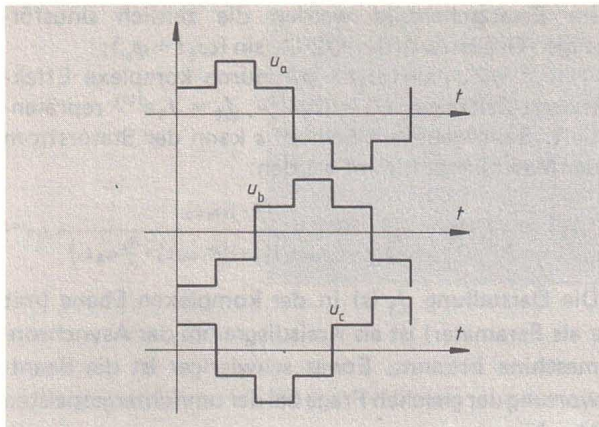


Fig. 4 Strangspannungen bei Sternschaltung

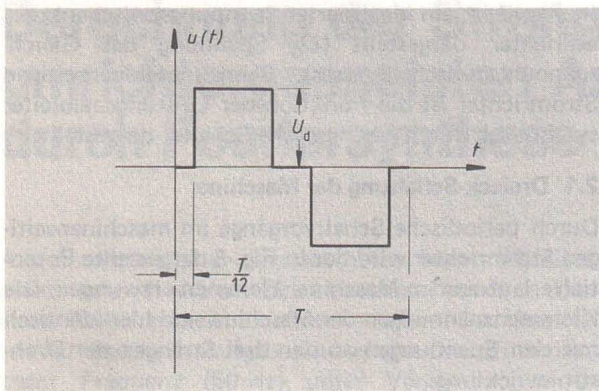


Fig. 5 Entwicklung für die Dreieckschaltung

Die Auflösung des Gleichungssystems liefert:

$$u_a = (2u_{UV} + u_{VW})/3$$

$$u_b = (2u_{VW} + u_{WU})/3$$

$$u_c = (2u_{WU} + u_{UV})/3$$

Die so ermittelten Strangspannungen sind in Fig. 4 dargestellt.

3 FOURIER-Zerlegung der Strangspannungen

Nach *J. Fourier* kann eine periodische Funktion $f(t)$ mit der Periode T (unter gewissen Voraussetzungen) als unendliche Reihe dargestellt werden:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos k \frac{2\pi}{T} t + b_k \sin k \frac{2\pi}{T} t \right)$$

wobei

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos k \frac{2\pi}{T} t dt; \quad k = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin k \frac{2\pi}{T} t dt; \quad k = 1, 2, 3 \dots$$

Zusätzlich werden folgende Zusammenhänge verwendet:

$$f(-t) = -f(t) \Rightarrow a_k = 0$$

$$f\left(t + \frac{T}{2}\right) = -f(t) \Rightarrow a_{2k} = b_{2k} = 0$$

3.1 Dreieck-Schaltung der Maschine

Die spezielle Wahl des Zeitnullpunktes liefert eine nur aus Sinusfunktionen ungerader Ordnungszahl bestehende Reihenentwicklung (Fig. 5):

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin k \omega_1 t dt = \frac{2U_d}{k\pi} \left(\cos k \frac{\pi}{6} - \cos k \frac{5\pi}{6} \right)$$

Für $k=1$ erhält man den Zusammenhang zwischen Grundschwingungsamplitude der Maschinenstrangspannung und Zwischenkreisspannung:

$$b_1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \cdot U_d$$

Oberschwingungen mit durch drei teilbaren Ordnungszahlen treten nicht auf.

3.2 Stern-Schaltung der Maschine

Wie bei der Dreieck-Schaltung treten nur Sinusfunktionen mit ungeraden Ordnungszahlen auf. Auch hier verschwinden die Oberschwingungen mit durch drei teilbarer Ordnungszahl (Fig. 6):

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin k \omega_1 t dt = \frac{2U_d}{3k\pi} \left[2 + \cos k \frac{\pi}{3} - \cos k \frac{2\pi}{3} \right]$$

Speziell für $k=1$ (Grundschwingungsamplitude) gilt:

$$b_1 = \frac{2U_d}{\pi}$$

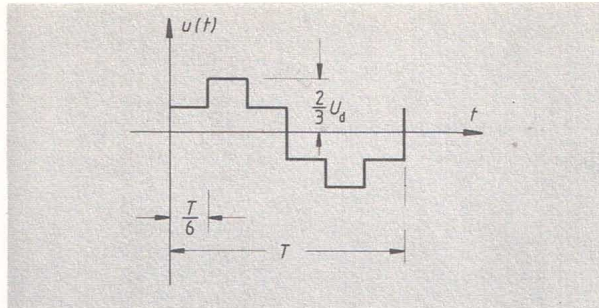


Fig. 6 Entwicklung für die Sternschaltung

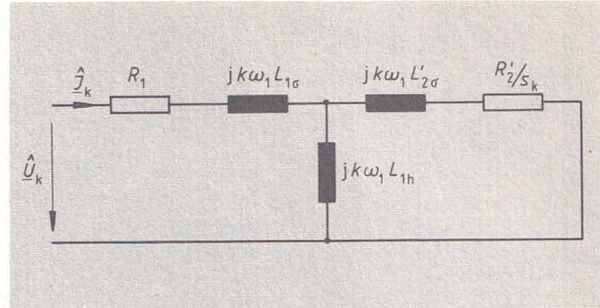


Fig. 7 Ersatzschaltbild zur Ermittlung der Ströme

4 Bestimmung der Strangströme

In Abschn. 3 wurde das Spektrum der Maschinenstrangspannung berechnet (Amplitude und Frequenz der Grundschwingung und aller Oberschwingungen). Aus dem Ersatzschaltbild für die entsprechende Ordnungszahl k können jetzt die zugehörigen Ströme ermittelt werden (Fig. 7). Die Überlagerung von Grundschwingung und aller Oberschwingungen des Strangstromes muß natürlich unter Beachtung der jeweiligen Phasenverschiebung erfolgen. Dieser Vorgang ist graphisch zwar prinzipiell möglich, wird aber schon bei Berücksichtigung der ersten Oberschwingungen mühsam und ungenau. Hier kann der programmierbare Taschenrechner wieder sinnvoll eingesetzt werden. Folgende Zusammenhänge werden verwendet:

$$s_k = \frac{k\omega_1 - \omega_m}{k\omega_1} = \frac{k-1+s_1}{k}$$

$$\underline{Z}_k = \frac{\underline{U}_k}{\underline{J}_k} = \frac{\left(R_1 \frac{R'_2}{s_k} - \sigma k \omega_1 L_1 k \omega_1 L'_2 \right) + j k \omega_1 \left(R_1 L'_2 + \frac{R'_2}{s_k} L_1 \right)}{\frac{R'_2}{s_k} + j k \omega_1 L'_2} = Z_k \cdot e^{j\varphi_{zk}}$$

$$Z_k = \sqrt{\frac{\left(R_1 \frac{R'_2}{s_k} - \sigma k^2 \omega_1^2 L_1 L'_2 \right)^2 + k^2 \omega_1^2 \left(R_1 L'_2 + \frac{R'_2}{s_k} L_1 \right)^2}{\left(\frac{R'_2}{s_k} \right)^2 + (k \omega_1 L'_2)^2}}$$

$$\varphi_{zk} = \arctan \frac{k \omega_1 \left(R_1 L'_2 + \frac{R'_2}{s_k} L_1 \right) \frac{R'_2}{s_k} - \left(R_1 \frac{R'_2}{s_k} - \sigma k^2 \omega_1^2 L_1 L'_2 \right) k \omega_1 L'_2}{\left(R_1 \frac{R'_2}{s_k} - \sigma k^2 \omega_1^2 L_1 L'_2 \right) \frac{R'_2}{s_k} + k^2 \omega_1^2 \left(R_1 L'_2 + \frac{R'_2}{s_k} L_1 \right) L'_2}$$

$$u(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \hat{U}_k \sin(k\omega_1 t + \varphi_{uk}) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin k\omega_1 t; \quad (\varphi_{uk} = 0).$$

$$\hat{J}_k = \frac{\hat{U}_k}{Z_k} = \frac{\hat{U}_k}{Z_k} e^{j(\varphi_{uk} - \varphi_{zk})} = \hat{J}_k e^{j\varphi_{jk}}$$

$$\Rightarrow \hat{J}_k = \frac{\hat{U}_k}{Z_k}; \quad \varphi_{jk} = \varphi_{uk} - \varphi_{zk} = -\varphi_{zk}$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \hat{J}_k \sin(k\omega_1 t + \varphi_{jk}) = \sum_{k=1}^{\infty} \hat{J}_k \sin(k\omega_1 t - \varphi_{zk})$$

5 Beschreibung des Programms HARM-2

Das Programm berechnet den Zeitverlauf des Strangstromes einer Asynchronmaschine bei Speisung durch einen Spannungswellenkreis-Umrichter. Die Maschine kann in Stern oder Dreieck geschaltet sein. Formuliert wurde das Programm für einen TI-59 mit angeschlossenem Drucker PC-100.

Speicherbereichsverteilung 559.49 (5 Op 17).

Der Programmstart erfolgt durch „D“, wobei zunächst die Inhalte der Datenregister DR 00 bis DR 49 aufgelistet werden (Fig. 8).

- DR 06 L_1 Statorinduktivität
- DR 07 L'_2 Rotorinduktivität (umgerechnet auf die Primärseite)

0.	00	0.	26
0.	01	0.	27
0.	02	0.	28
0.	03	0.	29
0.	04	0.	30
0.	05	0.	31
0.15	06	0.	32
0.15	07	0.	33
1.	08	0.	34
.0004166667	09	0.	35
0.	10	0.	36
0.5	11	0.	37
0.5	12	0.	38
0.03	13	0.	39
1.	14	0.	40
314.1592654	15	0.	41
0.0667	16	0.	42
250.	17	0.	43
0.	18	0.	44
0.	19	0.	45
0.	20	0.	46
0.	21	0.	47
0.	22	0.	48
0.	23	0.	49
0.	24		
0.	25		

Fig. 8 Datenregister-Inhalte bei Programmstart

1.		3.		5.		7.	
0.03		.6766666667		0.806		.8614285714	
29.28119952		82.81234772		86.07291266		87.28941237	
16.42409667		9.507810119		15.75433255		22.02774302	
159.1549431		0.		31.83098862		22.73642044	
9.69033161		0.		2.020459357		1.03217204	
-4.739505075	25	-4.739505075	25	-6.755220418	25	-7.786237615	25
-3.595724984	26	-3.595724984	26	-5.110662059	26	-5.699580015	26
-2.390421041	27	-2.390421041	27	-2.778466476	27	-2.464470352	27
-1.144216331	28	-1.144216331	28	-1.2449935406	28	.7262218742	28
0.121566237	29	0.121566237	29	1.936414482	29	2.804895325	29
1.385268773	30	1.385268773	30	3.365677817	30	3.45185768	30
2.625268977	31	2.625268977	31	3.952748992	31	3.189194102	31
3.8203501	32	3.8203501	32	3.946262465	32	2.93043707	32
4.950063974	33	4.950063974	33	3.822369949	33	3.3491342	33
5.995080881	34	5.995080881	34	4.079848873	34	4.519498927	34
6.937520292	35	6.937520292	35	5.026302896	35	6.034822634	35
7.761256807	36	7.761256807	36	6.643947404	36	7.432193185	36
8.452196067	37	8.452196067	37	8.590571169	37	8.541758686	37
8.998515908	38	8.998515908	38	10.33538601	38	9.487709916	38
9.390868648	39	9.390868648	39	11.37371427	39	10.39046173	39
9.622541021	40	9.622541021	40	11.43186531	40	11.08240896	40
9.689569049	41	9.689569049	41	10.57759037	41	11.13537182	41
9.590805865	42	9.590805865	42	9.190510933	42	10.21907894	42
9.327941333	43	9.327941333	43	7.804769372	43	8.499292986	43
8.905473139	44	8.905473139	44	6.888940945	44	6.70597131	44
8.33062983	45	8.33062983	45	6.654156687	45	5.736863361	45
7.613247135	46	7.613247135	46	6.969708193	46	6.035852236	46
6.765599671	47	6.765599671	47	7.420965276	47	7.201267627	47
5.802190921	48	5.802190921	48	7.485602846	48	8.151971895	48
4.739505075	49	4.739505075	49	6.755220418	49	7.786237616	49

Fig. 9 Berechnungs-Ergebnisse

- DR 08 a Auswahl: $a = 0$ Dreieck-Schaltung
 $a \neq 0$ z. B. $a = 1$ Stern-Schaltung
- DR 09 Δt zeitlicher Abstand der berechneten Funktionswerte des Strangstromes. Die Periodendauer T wird in 48 Intervalle unterteilt, d. h. bei $T = 20$ ms
($f = 50$ Hz) $\Rightarrow \Delta t = 0,02s/48 = 0,0004666s$
- DR 11 R_1 Statorwiderstand
- DR 12 R_2 Rotorwiderstand (umgerechnet auf die Primärseite)
- DR 13 s_1 Grundschwingungsschlupf
- DR 14 k Ordnungszahl der Oberschwingung ($k = 1$ Grundschwingung)
- DR 15 ω_1 Grundschwingungsfrequenz ($\omega_1 = 2\pi f_1$), für $f_1 = 50$ Hz $\Rightarrow \omega_1 = 314,159 \dots$
- DR 16 σ Koeffizient der totalen Streuung
- DR 17 U_d Zwischenkreisspannung

Stern- oder Dreieckschaltung wird durch die im Datenregister DR 08 gespeicherte Zahl ausgewählt. Maschinenkennwerte und Zwischenkreisspannung können eingegeben bzw. geändert werden. Anschließend erfolgt über „R/S“ die Berechnung der Grund-

schwingung und danach die Summation der Oberschwingungen des Strangstromes. Der Drucker liefert zu jeder ungeradzahigen Harmonischen die folgenden Werte (Fig. 9):

- Ordnungszahl k
- Schlupf s_k
- Phasenverschiebungswinkel $\varphi_{Zk} = -\varphi_{Jk}$
- Betrag der Impedanz Z_k
- Amplitude der Spannungsoberschwingung \hat{U}_k
- Amplitude der Stromüberschwingung \hat{I}_k

Anschließend werden die Datenregister DR 25 bis DR 49 aufgelistet. Sie enthalten die Strangstromsummenwerte für eine halbe Periodendauer der Grundfrequenz. Der Wert im DR 49 gehört bereits zur zweiten Hälfte der Grundschwingungsperiode, d. h. der Inhalt von DR 49 muß bis auf das Vorzeichen identisch mit dem Inhalt von DR 25 sein.

Fig. 10 und Fig. 11 zeigen Ergebnisse für die Dreieck- bzw. Sternschaltung der Maschine ($s_1 = 0,03$).

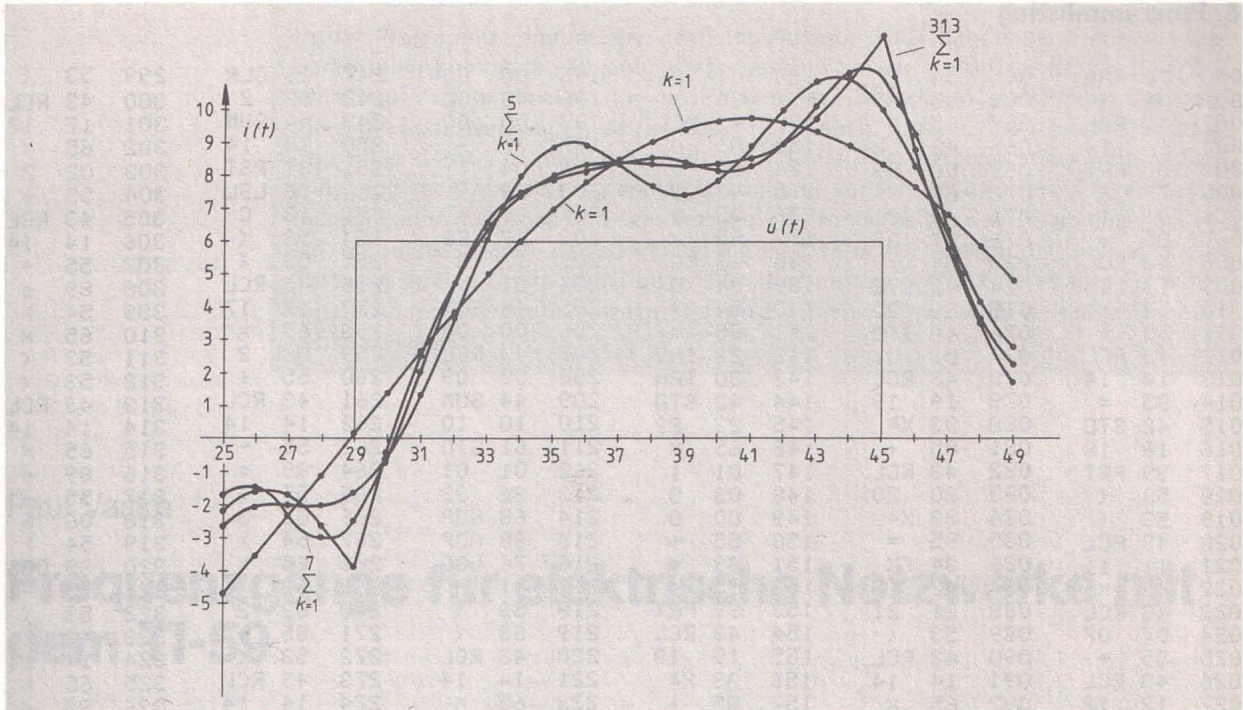


Fig. 10 Ergebnisse für die Dreieckschaltung

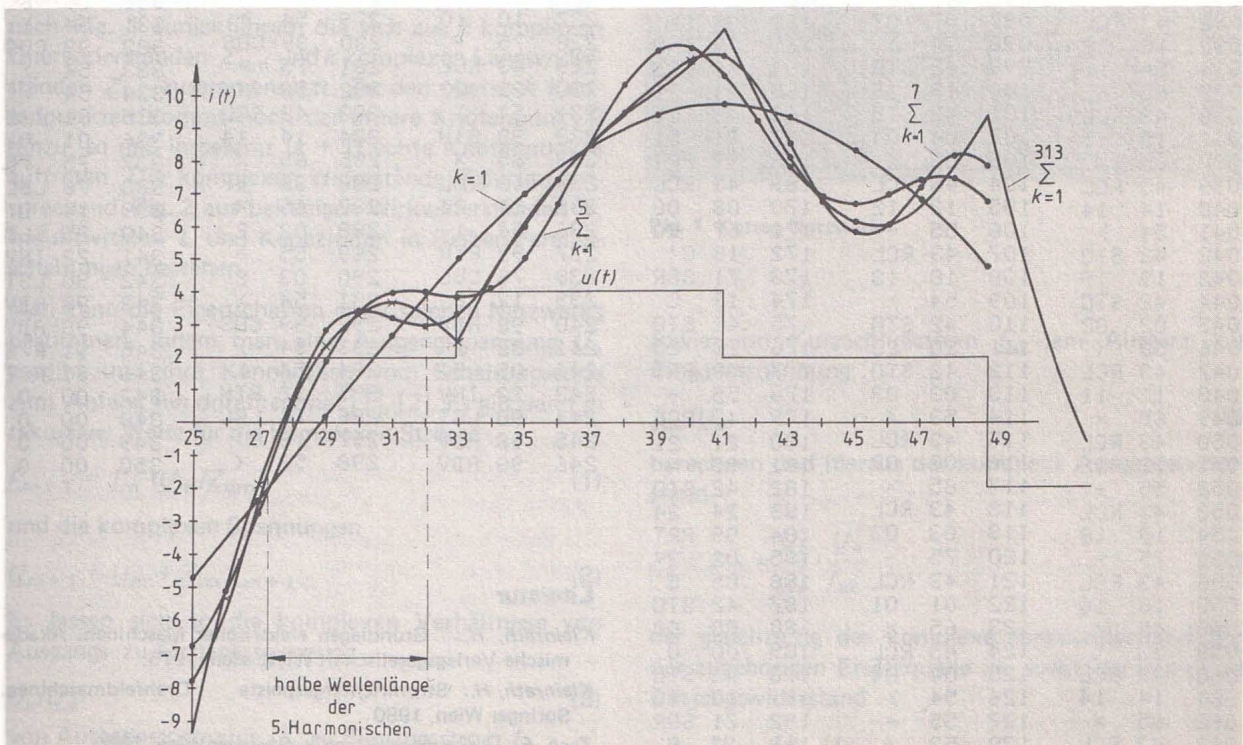


Fig. 11 Ergebnisse für die Sternschaltung

6 Programmlisting

000	70	RAD	065	54	)	130	01	01	195	00	00	247	25	CLR	299	53	(
001	53	(	066	33	X²	131	65	x	196	43	RCL	248	02	2	300	43	RCL
002	43	RCL	067	65	x	132	43	RCL	197	00	00	249	44	SUM	301	17	x
003	14	14	068	43	RCL	133	03	03	198	75	-	250	14	14	302	65	x
004	99	PRT	069	06	06	134	85	+	199	04	4	251	81	RST	303	02	2
005	75	-	070	65	x	135	43	RCL	200	09	9	252	76	LBL	304	55	÷
006	01	1	071	43	RCL	136	02	02	201	95	=	253	13	C	305	43	RCL
007	85	+	072	07	07	137	65	x	202	67	EQ	254	53	(	306	14	14
008	43	RCL	073	54	)	138	43	RCL	203	12	B	255	53	(	307	55	÷
009	13	13	074	42	STD	139	04	04	204	01	1	256	43	RCL	308	89	π
010	54	)	075	20	20	140	54	)	205	44	SUM	257	17	17	309	54)
011	55	÷	076	42	STD	141	95	=	206	00	00	258	65	x	310	65	x
012	43	RCL	077	01	01	142	22	INV	207	43	RCL	259	02	2	311	53	(
013	14	14	078	43	RCL	143	30	TAN	208	09	09	260	55	÷	312	53	(
014	95	=	079	19	19	144	42	STD	209	44	SUM	261	43	RCL	313	43	RCL
015	42	STD	080	33	X²	145	22	22	210	10	10	262	14	14	314	14	14
016	18	18	081	85	+	146	65	x	211	61	GTD	263	55	÷	315	65	x
017	99	PRT	082	43	RCL	147	01	1	212	01	01	264	89	π	316	89	π
018	53	(	083	20	20	148	08	8	213	92	92	265	55	÷	317	55	÷
019	53	(	084	33	X²	149	00	0	214	68	NOP	266	03	3	318	06	6
020	43	RCL	085	95	=	150	55	÷	215	68	NOP	267	54	)	319	54)
021	11	11	086	34	FX	151	89	π	216	76	LBL	268	65	x	320	39	CDS
022	65	x	087	42	STD	152	95	=	217	11	A	269	53	(	321	75	-
023	43	RCL	088	21	21	153	99	PRT	218	53	(	270	02	2	322	53	(
024	07	07	089	53	(	154	43	RCL	219	53	(	271	85	+	323	43	RCL
025	85	+	090	43	RCL	155	19	19	220	43	RCL	272	53	(	324	14	14
026	43	RCL	091	14	14	156	33	X²	221	14	14	273	43	RCL	325	65	x
027	12	12	092	65	x	157	85	+	222	65	x	274	14	14	326	89	π
028	65	x	093	43	RCL	158	43	RCL	223	43	RCL	275	65	x	327	65	x
029	43	RCL	094	15	15	159	20	20	224	15	15	276	89	π	328	05	5
030	06	06	095	65	x	160	33	X²	225	65	x	277	55	÷	329	55	÷
031	55	÷	096	43	RCL	161	95	=	226	43	RCL	278	03	3	330	06	6
032	43	RCL	097	07	07	162	34	FX	227	10	10	279	54	)	331	54)
033	18	18	098	54	)	163	22	INV	228	75	-	280	39	CDS	332	39	CDS
034	54	)	099	42	STD	164	49	PRD	229	43	RCL	281	75	-	333	54)
035	65	x	100	19	19	165	21	21	230	22	22	282	53	(	334	54)
036	43	RCL	101	42	STD	166	43	RCL	231	54	)	283	43	RCL	335	61	GTD
037	15	15	102	04	04	167	21	21	232	38	SIN	284	14	14	336	01	01
038	65	x	103	53	(	168	99	PRT	233	65	x	285	65	x	337	75	75
039	43	RCL	104	43	RCL	169	43	RCL	234	43	RCL	286	89	π	338	76	LBL
040	14	14	105	12	12	170	08	08	235	24	24	287	65	x	339	14	D
041	54	)	106	55	÷	171	67	EQ	236	54	)	288	02	2	340	25	CLR
042	42	STD	107	43	RCL	172	18	C'	237	92	RTN	289	55	÷	341	22	INV
043	19	19	108	18	18	173	71	SBR	238	76	LBL	290	03	3	342	90	LST
044	42	STD	109	54	)	174	13	C	239	12	B	291	54	)	343	98	ADV
045	02	02	110	42	STD	175	42	STD	240	98	ADV	292	39	CDS	344	98	ADV
046	53	(	111	20	20	176	23	23	241	02	2	293	54	)	345	91	R/S
047	43	RCL	112	42	STD	177	99	PRT	242	05	5	294	54	)	346	81	RST
048	11	11	113	03	03	178	55	÷	243	22	INV	295	92	RTN	347	00	0
049	65	x	114	53	(	179	43	RCL	244	90	LST	296	76	LBL	348	00	0
050	43	RCL	115	43	RCL	180	21	21	245	98	ADV	297	18	C'	349	00	0
051	12	12	116	02	02	181	95	=	246	98	ADV	298	53	(	350	00	0
052	55	÷	117	65	x	182	42	STD									
053	43	RCL	118	43	RCL	183	24	24									
054	18	18	119	03	03	184	99	PRT									
055	75	-	120	75	-	185	02	2									
056	43	RCL	121	43	RCL	186	05	5									
057	16	16	122	01	01	187	42	STD									
058	65	x	123	65	x	188	00	00									
059	53	(	124	43	RCL	189	00	0									
060	43	RCL	125	04	04	190	42	STD									
061	14	14	126	54	)	191	10	10									
062	65	x	127	55	÷	192	71	SBR									
063	43	RCL	128	53	(	193	11	A									
064	15	15	129	43	RCL	194	74	SM*									

Literatur

- Kleinrath, H.:* Grundlagen elektrischer Maschinen. Akademische Verlagsgesellschaft Wiesbaden, 1975.
- Kleinrath, H.:* Stromrichtergespeiste Drehfeldmaschinen. Springer Wien, 1980
- Zach, F.:* Leistungselektronik. Springer Wien, 1980