

SEL0401 – Eletrônica de Potência

26 de junho de 2018

1 Retificador monofásico de um caminho

Para as Tabelas 1, 2 e 3: $I_{BASE} = \frac{\sqrt{2}V}{|Z|}$

2 Controlador CA Trifásico em Estrela

Figuras 1 e 2.

3 Retificadores: Tensões médias na carga

Tensão média retificador bifásico de um caminho: $V_O = 0,9V \cos \alpha$

Tensão média retificador trifásico de um caminho: $V_O = 1,17V \cos \alpha$

Tensão média retificador hexafásico de um caminho: $V_O = 1,35V \cos \alpha$

4 Choppers

Chopper de um quadrante:

$$t_x = \tau \ln \left(1 + \frac{V - V_C}{V_C} (1 - e^{-t_{ON}/\tau}) \right) + t_{ON} \quad t_{ON}^x = \tau \ln (m(e^{T/\tau} - 1) + 1) \quad (1)$$

Correntes máximas e mínimas (1° e 2°):

$$I_{MAX} = \frac{V}{R} \frac{1 - e^{-t_{ON}/\tau}}{1 - e^{-T/\tau}} - \frac{V_C}{R} \quad I_{MIN} = \frac{V}{R} \frac{1 - e^{t_{ON}/\tau}}{1 - e^{T/\tau}} - \frac{V_C}{R} \quad (2)$$

Corrente média na fonte V :

$$I = \frac{\tau}{T} \left(I_{MIN} - \frac{V - V_C}{R} \right) (1 - e^{-t_{ON}/\tau}) + \frac{t_{ON}}{T} \frac{V - V_C}{R} \quad (3)$$

Série de Fourier, condução descontínua:

$$V_o = \delta V + \left(1 - \frac{t_x}{T} \right) V_c \quad a_n = \frac{V}{n\pi} (1 - \cos n\omega t_{on}) - \frac{V_c}{n\pi} (1 - \cos n\omega t_x) \quad b_n = \frac{V}{n\pi} \sin n\omega t_{on} - \frac{V_c}{n\pi} \sin n\omega t_x$$

Condução contínua: $c_n = \frac{\sqrt{2}V}{n\pi} \sqrt{1 - \cos n\omega t_{on}}$

5 Inversores

Séries de Fourier:

$$\text{Onda quadrada: } v_o(\omega t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4A}{n\pi} \sin n\omega t$$

$$\text{Modulação em largura de pulso simples: } v_o(\omega t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4A}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \cos n\omega t$$

Tabela 1: Ângulo de corte (β) como função do ângulo de disparo (α), com o ângulo da carga (ϕ_1) como parâmetro, para o retificador monofásico controlado de um caminho com carga RL.

α	ϕ				
	15°	30°	45°	60°	75°
0	195.0	210.1	225.8	244.2	270.8
2	195.0	210.1	225.8	244.2	270.8
4	195.0	210.1	225.8	244.2	270.8
6	195.0	210.1	225.8	244.2	270.7
8	195.0	210.0	225.8	244.2	270.6
10	195.0	210.0	225.8	244.2	270.5
12	195.0	210.0	225.8	244.1	270.4
14	195.0	210.0	225.7	244.1	270.3
16	195.0	210.0	225.7	244.0	270.1
18	195.0	210.0	225.7	243.9	270.0
20	195.0	210.0	225.7	243.9	269.8
22	195.0	210.0	225.6	243.8	269.5
24	195.0	210.0	225.6	243.7	269.3
26	195.0	210.0	225.6	243.6	269.0
28	195.0	210.0	225.5	243.5	268.7
30	195.0	210.0	225.5	243.3	268.4
32	195.0	210.0	225.4	243.2	268.1
34	195.0	210.0	225.4	243.1	267.7
36	195.0	210.0	225.3	242.9	267.3
38	195.0	210.0	225.3	242.7	266.9
40	195.0	209.9	225.2	242.6	266.5
42	195.0	209.9	225.1	242.4	266.0
44	195.0	209.9	225.0	242.1	265.5
46	195.0	209.9	225.0	241.9	265.0
48	195.0	209.9	224.9	241.7	264.5
50	195.0	209.8	224.8	241.4	263.9
52	195.0	209.8	224.7	241.2	263.4
54	195.0	209.8	224.5	240.9	262.8
56	195.0	209.8	224.4	240.6	262.1
58	195.0	209.7	224.3	240.3	261.5
60	195.0	209.7	224.2	240.0	260.8
62	195.0	209.7	224.0	239.7	260.1
64	195.0	209.6	223.9	239.3	259.4
66	195.0	209.6	223.7	239.0	258.6
68	195.0	209.5	223.5	238.6	257.9
70	195.0	209.5	223.3	238.2	257.1
72	195.0	209.4	223.1	237.8	256.3
74	195.0	209.3	222.9	237.3	255.4
76	195.0	209.3	222.7	236.9	254.6
78	195.0	209.2	222.5	236.4	253.7
80	195.0	209.1	222.3	235.9	252.8
82	195.0	209.0	222.0	235.4	251.8
84	195.0	208.9	221.7	234.9	250.9
86	195.0	208.8	221.5	234.4	249.9
88	195.0	208.7	221.2	233.8	248.9

α	ϕ				
	15°	30°	45°	60°	75°
90	194.9	208.6	220.9	233.2	247.9
92	194.9	208.5	220.6	232.6	246.9
94	194.9	208.4	220.2	232.0	245.8
96	194.9	208.2	219.9	231.4	244.7
98	194.9	208.1	219.5	230.7	243.6
100	194.9	207.9	219.1	230.0	242.5
102	194.9	207.8	218.7	229.3	241.3
104	194.8	207.6	218.3	228.6	240.1
106	194.8	207.4	217.9	227.8	238.9
108	194.8	207.2	217.4	227.1	237.7
110	194.8	207.0	216.9	226.3	236.5
112	194.7	206.8	216.5	225.5	235.2
114	194.7	206.5	215.9	224.6	234.0
116	194.7	206.3	215.4	223.7	232.7
118	194.6	206.0	214.8	222.9	231.3
120	194.6	205.7	214.3	221.9	230.0
122	194.5	205.4	213.7	221.0	228.6
124	194.5	205.1	213.0	220.0	227.2
126	194.4	204.7	212.4	219.0	225.8
128	194.3	204.4	211.7	218.0	224.4
130	194.2	204.0	211.0	217.0	223.0
132	194.1	203.5	210.2	215.9	221.5
134	194.0	203.1	209.5	214.8	220.0
136	193.9	202.6	208.7	213.7	218.5
138	193.7	202.1	207.8	212.5	217.0
140	193.6	201.6	207.0	211.3	215.4
142	193.4	201.1	206.1	210.1	213.9
144	193.2	200.5	205.1	208.8	212.3
146	193.0	199.8	204.2	207.6	210.7
148	192.7	199.2	203.2	206.2	209.0
150	192.5	198.5	202.1	204.9	207.4
152	192.1	197.7	201.0	203.5	205.7
154	191.8	196.9	199.9	202.1	204.0
156	191.4	196.1	198.7	200.6	202.3
158	191.0	195.2	197.5	199.1	200.6
160	190.5	194.2	196.2	197.6	198.8
162	189.9	193.2	194.9	196.1	197.0
164	189.3	192.1	193.5	194.4	195.2
166	188.6	190.9	192.0	192.8	193.4
168	187.8	189.7	190.5	191.1	191.6
170	186.9	188.3	189.0	189.4	189.7
172	185.9	186.9	187.3	187.6	187.8
174	184.8	185.4	185.6	185.8	185.9
176	183.4	183.7	183.8	183.9	184.0
178	181.8	181.9	182.0	182.0	182.0

Tabela 2: Corrente média normalizada como função do ângulo de disparo (α), com o ângulo da carga (ϕ_1) como parâmetro, para o retificador monofásico controlado de um caminho com carga RL.

α	ϕ						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0	0.318	0.324	0.343	0.382	0.457	0.606	1.000
2	0.318	0.324	0.343	0.382	0.456	0.606	0.999
4	0.318	0.324	0.342	0.381	0.456	0.605	0.998
6	0.317	0.323	0.342	0.381	0.455	0.604	0.995
8	0.317	0.322	0.341	0.380	0.454	0.602	0.991
10	0.316	0.321	0.340	0.379	0.452	0.600	0.985
12	0.315	0.320	0.339	0.377	0.450	0.597	0.979
14	0.314	0.319	0.337	0.375	0.448	0.593	0.972
16	0.312	0.318	0.336	0.374	0.445	0.590	0.964
18	0.311	0.316	0.334	0.371	0.443	0.585	0.954
20	0.309	0.314	0.332	0.369	0.439	0.580	0.944
22	0.307	0.312	0.330	0.366	0.436	0.575	0.933
24	0.305	0.310	0.327	0.363	0.432	0.569	0.921
26	0.302	0.307	0.324	0.360	0.428	0.563	0.909
28	0.300	0.305	0.321	0.356	0.423	0.557	0.895
30	0.297	0.302	0.318	0.353	0.418	0.550	0.881
32	0.294	0.299	0.315	0.349	0.413	0.542	0.866
34	0.291	0.296	0.312	0.345	0.408	0.534	0.850
36	0.288	0.292	0.308	0.340	0.403	0.526	0.834
38	0.285	0.289	0.304	0.336	0.397	0.518	0.818
40	0.281	0.285	0.300	0.331	0.391	0.509	0.800
42	0.277	0.282	0.296	0.326	0.384	0.500	0.783
44	0.274	0.278	0.291	0.321	0.378	0.490	0.765
46	0.270	0.274	0.287	0.316	0.371	0.480	0.746
48	0.266	0.269	0.282	0.310	0.364	0.470	0.727
50	0.261	0.265	0.278	0.304	0.357	0.460	0.708
52	0.257	0.261	0.273	0.299	0.349	0.450	0.689
54	0.253	0.256	0.268	0.293	0.342	0.439	0.669
56	0.248	0.251	0.262	0.287	0.334	0.428	0.649
58	0.243	0.246	0.257	0.280	0.326	0.417	0.629
60	0.239	0.242	0.252	0.274	0.318	0.406	0.609
62	0.234	0.237	0.246	0.268	0.310	0.394	0.589
64	0.229	0.231	0.240	0.261	0.302	0.383	0.569
66	0.224	0.226	0.235	0.254	0.294	0.371	0.548
68	0.219	0.221	0.229	0.248	0.285	0.360	0.528
70	0.214	0.216	0.223	0.241	0.277	0.348	0.508
72	0.208	0.210	0.217	0.234	0.268	0.336	0.488
74	0.203	0.205	0.211	0.227	0.260	0.324	0.468
76	0.198	0.199	0.205	0.220	0.251	0.312	0.449
78	0.192	0.193	0.199	0.213	0.242	0.301	0.429
80	0.187	0.188	0.192	0.206	0.234	0.289	0.410
82	0.181	0.182	0.186	0.199	0.225	0.277	0.391
84	0.176	0.176	0.180	0.191	0.216	0.266	0.372
86	0.170	0.171	0.174	0.184	0.208	0.254	0.354
88	0.165	0.165	0.168	0.177	0.199	0.243	0.336

α	ϕ						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
90	0.159	0.159	0.161	0.170	0.191	0.231	0.318
92	0.154	0.153	0.155	0.163	0.182	0.220	0.301
94	0.148	0.148	0.149	0.156	0.174	0.209	0.284
96	0.143	0.142	0.143	0.149	0.165	0.199	0.268
98	0.137	0.136	0.137	0.142	0.157	0.188	0.252
100	0.132	0.131	0.130	0.136	0.149	0.178	0.236
102	0.126	0.125	0.124	0.129	0.141	0.167	0.221
104	0.121	0.119	0.118	0.122	0.134	0.157	0.207
106	0.115	0.114	0.112	0.116	0.126	0.148	0.193
108	0.110	0.108	0.107	0.109	0.118	0.138	0.179
110	0.105	0.103	0.101	0.103	0.111	0.129	0.166
112	0.100	0.098	0.095	0.097	0.104	0.120	0.154
114	0.094	0.092	0.090	0.091	0.097	0.112	0.142
116	0.089	0.087	0.084	0.085	0.090	0.103	0.130
118	0.084	0.082	0.079	0.079	0.084	0.096	0.119
120	0.080	0.077	0.074	0.073	0.078	0.088	0.109
122	0.075	0.072	0.069	0.068	0.072	0.081	0.099
124	0.070	0.067	0.064	0.063	0.066	0.074	0.090
126	0.066	0.063	0.059	0.058	0.060	0.067	0.081
128	0.061	0.058	0.054	0.053	0.055	0.061	0.073
130	0.057	0.054	0.050	0.048	0.050	0.055	0.065
132	0.053	0.050	0.046	0.044	0.045	0.049	0.058
134	0.049	0.045	0.041	0.040	0.040	0.044	0.051
136	0.045	0.041	0.037	0.036	0.036	0.039	0.045
138	0.041	0.038	0.034	0.032	0.032	0.034	0.040
140	0.037	0.034	0.030	0.028	0.028	0.030	0.034
142	0.034	0.030	0.027	0.025	0.025	0.026	0.030
144	0.030	0.027	0.024	0.022	0.021	0.022	0.025
146	0.027	0.024	0.021	0.019	0.018	0.019	0.021
148	0.024	0.021	0.018	0.016	0.016	0.016	0.018
150	0.021	0.018	0.015	0.014	0.013	0.013	0.015
152	0.019	0.016	0.013	0.011	0.011	0.011	0.012
154	0.016	0.013	0.011	0.009	0.009	0.009	0.010
156	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.007	0.008
158	0.012	0.009	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006
160	0.010	0.007	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004
162	0.008	0.006	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
164	0.006	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
166	0.005	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
168	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
170	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
172	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
174	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
176	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
178	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabela 3: Corrente eficaz normalizada como função do ângulo de disparo (α), com o ângulo da carga (ϕ_1) como parâmetro, para o retificador monofásico controlado de um caminho com carga RL.

α	ϕ						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0	0.500	0.502	0.518	0.561	0.648	0.821	1.225
2	0.500	0.502	0.518	0.561	0.648	0.821	1.224
4	0.500	0.502	0.518	0.561	0.647	0.820	1.223
6	0.500	0.502	0.518	0.560	0.647	0.819	1.220
8	0.500	0.502	0.517	0.559	0.646	0.817	1.217
10	0.500	0.501	0.517	0.559	0.644	0.815	1.212
12	0.500	0.501	0.516	0.557	0.643	0.812	1.207
14	0.499	0.500	0.515	0.556	0.641	0.809	1.201
16	0.499	0.500	0.514	0.554	0.638	0.805	1.193
18	0.498	0.499	0.513	0.552	0.635	0.801	1.185
20	0.498	0.498	0.511	0.550	0.632	0.796	1.176
22	0.497	0.496	0.509	0.548	0.629	0.791	1.166
24	0.496	0.495	0.507	0.545	0.625	0.786	1.155
26	0.495	0.493	0.505	0.542	0.621	0.779	1.143
28	0.494	0.492	0.503	0.539	0.617	0.773	1.131
30	0.493	0.490	0.500	0.536	0.612	0.765	1.117
32	0.491	0.488	0.497	0.532	0.607	0.758	1.103
34	0.490	0.485	0.494	0.528	0.601	0.750	1.088
36	0.488	0.483	0.491	0.523	0.595	0.741	1.073
38	0.486	0.480	0.487	0.519	0.589	0.732	1.056
40	0.483	0.477	0.483	0.514	0.583	0.722	1.039
42	0.481	0.473	0.479	0.508	0.576	0.713	1.022
44	0.478	0.470	0.474	0.503	0.569	0.702	1.004
46	0.475	0.466	0.470	0.497	0.561	0.691	0.985
48	0.472	0.462	0.465	0.491	0.553	0.680	0.966
50	0.469	0.458	0.460	0.485	0.545	0.669	0.946
52	0.465	0.453	0.454	0.478	0.537	0.657	0.926
54	0.461	0.449	0.449	0.471	0.528	0.645	0.905
56	0.457	0.444	0.443	0.464	0.519	0.632	0.884
58	0.453	0.438	0.436	0.457	0.510	0.619	0.862
60	0.448	0.433	0.430	0.449	0.500	0.606	0.841
62	0.444	0.427	0.423	0.441	0.490	0.593	0.819
64	0.439	0.421	0.417	0.433	0.480	0.579	0.796
66	0.433	0.415	0.409	0.425	0.470	0.565	0.774
68	0.428	0.409	0.402	0.416	0.459	0.551	0.751
70	0.422	0.402	0.395	0.407	0.449	0.537	0.728
72	0.416	0.396	0.387	0.399	0.438	0.522	0.705
74	0.410	0.389	0.379	0.389	0.427	0.507	0.682
76	0.404	0.381	0.371	0.380	0.415	0.493	0.659
78	0.397	0.374	0.363	0.371	0.404	0.478	0.636
80	0.391	0.366	0.354	0.361	0.393	0.463	0.613
82	0.384	0.359	0.346	0.351	0.381	0.447	0.590
84	0.376	0.351	0.337	0.341	0.369	0.432	0.568
86	0.369	0.342	0.328	0.332	0.357	0.417	0.545
88	0.361	0.334	0.319	0.321	0.346	0.402	0.522

α	ϕ						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
90	0.354	0.326	0.310	0.311	0.334	0.387	0.500
92	0.346	0.317	0.300	0.301	0.322	0.371	0.478
94	0.338	0.308	0.291	0.291	0.310	0.356	0.456
96	0.329	0.299	0.282	0.280	0.298	0.341	0.435
98	0.321	0.290	0.272	0.270	0.286	0.326	0.413
100	0.312	0.281	0.262	0.260	0.274	0.312	0.392
102	0.304	0.272	0.253	0.249	0.262	0.297	0.372
104	0.295	0.263	0.243	0.239	0.250	0.282	0.352
106	0.286	0.254	0.233	0.228	0.239	0.268	0.332
108	0.277	0.244	0.224	0.218	0.227	0.254	0.313
110	0.268	0.235	0.214	0.208	0.215	0.240	0.294
112	0.258	0.225	0.204	0.198	0.204	0.227	0.276
114	0.249	0.216	0.195	0.188	0.193	0.213	0.258
116	0.240	0.206	0.185	0.178	0.182	0.200	0.241
118	0.230	0.197	0.176	0.168	0.171	0.187	0.224
120	0.221	0.187	0.166	0.158	0.160	0.175	0.208
122	0.212	0.178	0.157	0.148	0.150	0.163	0.192
124	0.202	0.169	0.148	0.139	0.140	0.151	0.177
126	0.193	0.159	0.139	0.130	0.130	0.140	0.163
128	0.183	0.150	0.130	0.121	0.120	0.129	0.149
130	0.174	0.141	0.121	0.112	0.111	0.118	0.136
132	0.165	0.132	0.112	0.103	0.102	0.108	0.124
134	0.155	0.123	0.104	0.095	0.093	0.098	0.112
136	0.146	0.114	0.096	0.087	0.085	0.089	0.101
138	0.137	0.106	0.088	0.079	0.077	0.080	0.090
140	0.128	0.097	0.080	0.072	0.069	0.072	0.080
142	0.119	0.089	0.072	0.065	0.062	0.064	0.071
144	0.110	0.081	0.065	0.058	0.055	0.056	0.062
146	0.102	0.073	0.058	0.051	0.049	0.049	0.054
148	0.093	0.066	0.052	0.045	0.042	0.043	0.047
150	0.085	0.058	0.045	0.039	0.037	0.037	0.040
152	0.077	0.051	0.039	0.034	0.031	0.031	0.034
154	0.069	0.045	0.034	0.029	0.027	0.026	0.028
156	0.061	0.039	0.029	0.024	0.022	0.022	0.023
158	0.054	0.033	0.024	0.020	0.018	0.018	0.019
160	0.047	0.027	0.020	0.016	0.014	0.014	0.015
162	0.040	0.022	0.016	0.013	0.011	0.011	0.011
164	0.034	0.017	0.012	0.010	0.009	0.008	0.008
166	0.028	0.013	0.009	0.007	0.006	0.006	0.006
168	0.022	0.010	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004
170	0.017	0.007	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
172	0.012	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
174	0.008	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
176	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
178	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

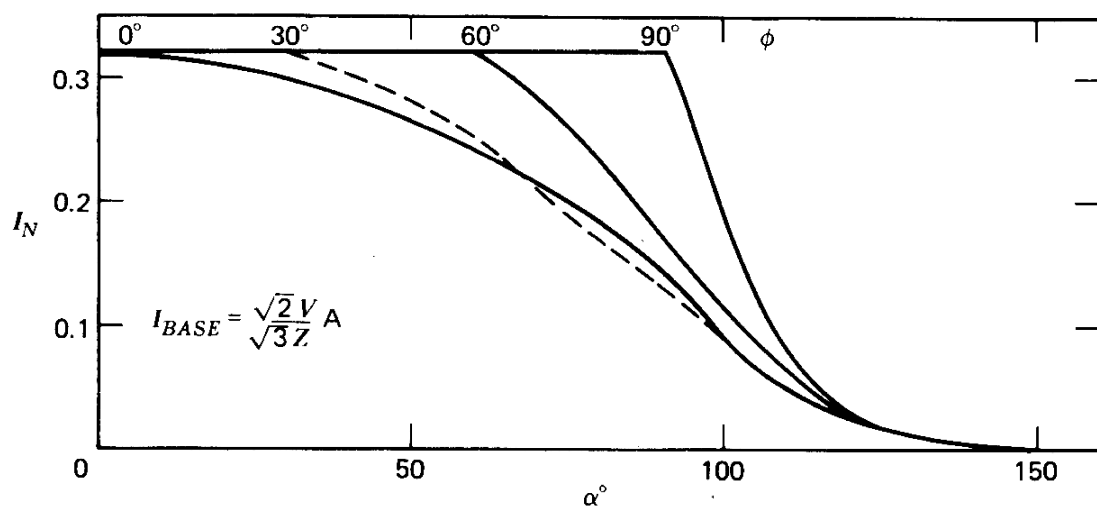


Figura 1: Corrente média normalizada por tiristor de um controlador CA trifásico em estrela.

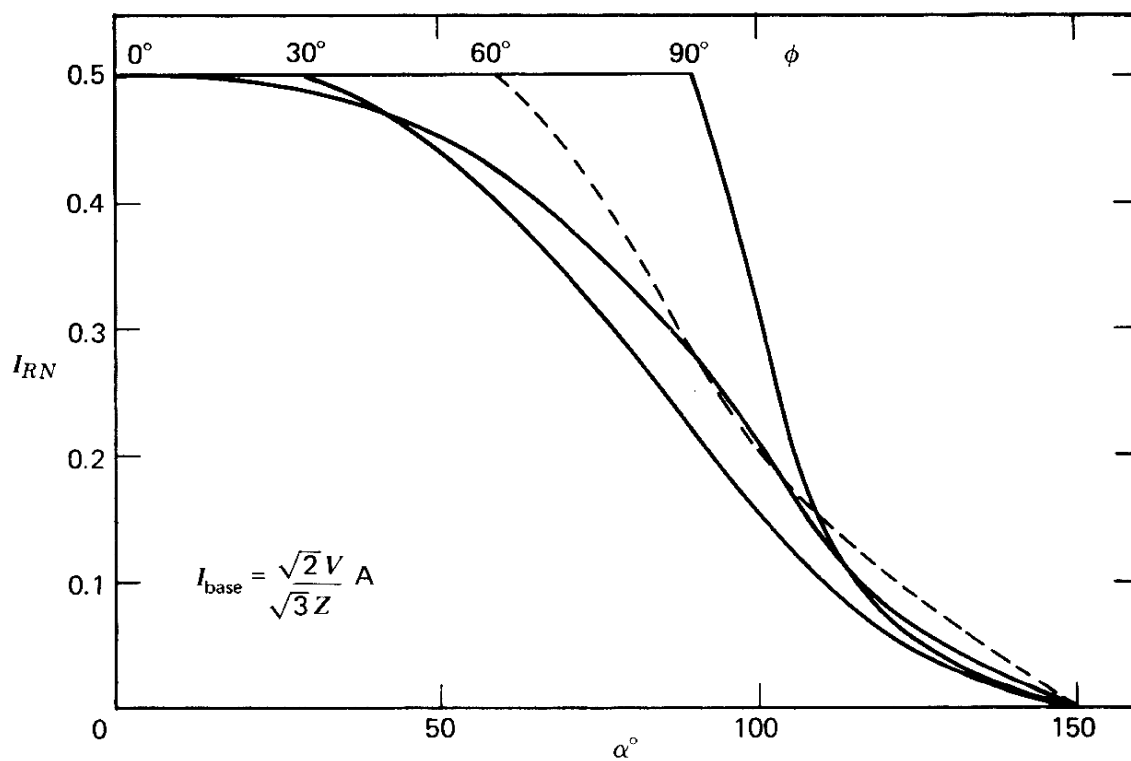


Figura 2: Corrente eficaz normalizada por tiristor de um controlador CA trifásico em estrela.