

Víctor Insa Pascual

Estudi de l'efecte de les pertorbacions generades pels contactors en maniobres de motors d'inducció trifàsics

TREBALL DE FÍ DE GRAU

Dirigit Luis Guasch Pesquer

Grau en Enginyeria Elèctrica



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2015



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

Estudi de l'efecte de les pertorbacions generades pels contactors en maniobres de motors d'inducció trifàsics

1 Índex General

TITULACIÓ: Graduat en Enginyeria Elèctrica

AUTOR: Víctor Insa Pascual

DIRECTOR: Luis Guasch Pesquer

DATA: Abril - 2015

1	Índex General	2
1.1	Índex de figures.....	6
1.2	Índex de taules.....	12
2	Memòria	17
2.1	Objecte	18
2.2	Abast	18
2.3	Antecedents.....	18
2.3.1	Contactor	18
2.3.1.1	Retards en l'actuació	19
2.3.2	Circuits de maniobra i potència.....	20
2.3.3	Motor d'inducció trifàsic.....	21
2.3.3.1	Connexió estrella i connexió triangle.....	22
2.3.4	Pertorbacions.....	23
2.3.4.1	Desequilibris.....	24
2.3.4.2	Interrupcions.....	24
2.3.4.3	Sots de tensió.....	25
2.3.4.4	Distorsió en la forma d'ona	25
2.3.4.5	Variacions de freqüència	27
2.4	Normes i referències	28
2.4.1	Disposicions legals i normes aplicades	28
2.4.2	Bibliografia.....	28
2.4.3	Programes de càlcul	28
2.4.4	Pla de gestió de la qualitat aplicat durant la redacció del projecte	28
2.4.5	Altres referències.....	29
2.4.5.1	Webgrafia.....	29
2.4.5.2	Altres programes utilitzats.....	29
2.5	Definicions i abreviatures	29
2.6	Requisits de disseny	29
2.6.1	Anàlisi mitjançant PSIM	30
2.6.2	Anàlisi inicial de les possibles pertorbacions que genera un contactor.....	30
2.6.3	Anàlisi comparatiu de l'engegada estrella-triangle, amb l'engegada mitjançant resistències estatòriques	30
2.6.4	Utilització d'un motor de 75 kW, amb unes característiques conegudes per fer tots els assaigs simulats.....	30
2.7	Anàlisi de solucions	31

2.8	Resultats finals	32
2.8.1	Introducció	32
2.8.2	Maniobra d'engegada estrella-triangle	33
2.8.2.1	La maniobra.....	34
2.8.2.2	Estudi del cas ideal	36
2.8.2.3	Estudi amb els diferents retards.....	37
2.8.2.4	Estudi del cas més desfavorable	39
2.8.2.5	Maniobra d'engegada estrella-triangle amb diversos retards de l'autòmat	41
2.8.3	Maniobra d'engegada mitjançant resistències estatòriques.....	42
2.8.3.1	La maniobra.....	43
2.8.3.2	Estudi del cas ideal	45
2.8.3.3	Estudi amb els diferents retards.....	46
2.8.3.4	Estudi del cas més desfavorable	47
2.8.4	Comparativa de l'engegada estrella-triangle amb resistències estatòriques.....	50
2.8.4.1	Estudi del cas ideal	50
2.8.4.2	Estudi del cas més desfavorable	53
2.8.5	Maniobra d'inversió de gir	55
2.8.5.1	La maniobra.....	56
2.8.5.2	Estudi del cas ideal	57
2.8.5.3	Estudi amb els diferents retards.....	59
2.8.5.4	Estudi del cas més desfavorable	60
2.8.6	Conclusions	63
2.9	Planificació.....	63
2.10	Ordre de prioritat entre els documents bàsics	64
3	Annexes.....	65
3.1	Documentació de partida.....	66
3.1.1	Estimació dels paràmetres d'una màquina d'inducció	66
3.1.1.1	Metodologia en l'estimació dels paràmetres	66
3.1.1.2	Mesures experimentals	69
3.1.1.3	Paràmetres de la màquina obtinguts de l'algoritme iteratiu matemàtic.....	70
3.1.2	Temps de resposta d'un contactor	71
3.1.2.1	Mesura dels temps de resposta	71
3.2	Càlculs.....	73
3.2.1	Càlcul dels temps de resposta del contactor	73
3.2.1.1	Temps d'obertura	73
3.2.1.2	Temps de tancament.....	74

3.3	Annexes d'aplicació en l'àmbit del projecte	74
3.4	Altres documents.....	74
3.4.1	Resultats de les simulacions	74
3.4.1.1	Temps d'actuació	75
3.4.1.2	Simulació 1.....	77
3.4.1.3	Simulació 2.....	79
3.4.1.4	Simulació 3.....	81
3.4.1.5	Simulació 4.....	83
3.4.1.6	Simulació 5.....	85
3.4.1.7	Simulació 6.....	87
3.4.1.8	Simulació 7.....	89
3.4.1.9	Simulació 8.....	91
3.4.1.10	Simulació 9.....	93
3.4.1.11	Simulació 10.....	95
3.4.1.12	Simulació 11.....	97
3.4.1.13	Simulació 12.....	99
3.4.1.14	Simulació 13.....	101
3.4.1.15	Simulació 14.....	103
3.4.1.16	Simulació 15.....	105
3.4.1.17	Simulació 16.....	107
3.4.1.18	Simulació 17.....	109
3.4.1.19	Simulació 18.....	111
3.4.1.20	Simulació 19 (cas ideal)	113
3.4.1.21	Simulació 20.....	115
3.4.1.22	Simulació 21.....	117
3.4.1.23	Simulació 22.....	119
3.4.1.24	Simulació 23.....	121
3.4.1.25	Simulació 24.....	123
3.4.1.26	Simulació 25.....	125
3.4.1.27	Simulació 26.....	127
3.4.1.28	Simulació 27.....	129
3.4.1.29	Simulació 28.....	131
3.4.1.30	Simulació 29.....	133
3.4.1.31	Simulació 30.....	135
3.4.1.32	Simulació 31.....	137
3.4.1.33	Simulació 32.....	139

3.4.1.34	Simulació 33.....	141
3.4.1.35	Simulació 34.....	143
3.4.1.36	Simulació 35.....	145
3.4.1.37	Simulació 36.....	147
3.4.1.38	Simulació 37.....	149
3.4.1.39	Simulació 38.....	151
3.4.1.40	Simulació 39.....	153
3.4.1.41	Simulació 40.....	155
3.4.1.42	Simulació 41.....	157
3.4.1.43	Simulació 42 (cas ideal)	159
3.4.1.44	Simulació 43.....	161
3.4.1.45	Simulació 44.....	163
3.4.1.46	Simulació 45.....	165
3.4.1.47	Simulació 46.....	167
3.4.1.48	Simulació 47.....	169
3.4.1.49	Simulació 48.....	171
3.4.1.50	Simulació 49.....	173
3.4.1.51	Simulació 50.....	175
3.4.1.52	Simulació 51.....	177
3.4.1.53	Simulació 52.....	179
3.4.1.54	Simulació 53.....	181
3.4.1.55	Simulació 54.....	183
3.4.1.56	Simulació 55.....	185
3.4.1.57	Simulació 56.....	187
3.4.1.58	Simulació 57.....	189
3.4.1.59	Simulació 58.....	191
3.4.1.60	Simulació 59.....	193
3.4.1.61	Simulació 60.....	195
3.4.1.62	Simulació 61 (cas ideal)	197

1.1 Índex de figures

Figura 1. Diagrama dels contactes principals i auxiliars d'un contactor	19
Figura 2. Esquema de potència i esquema de maniobra	21
Figura 3. Parts d'un motor d'inducció de gàbia d'esquirol	22
Figura 4. Connexió triangle i connexió estrella.....	23
Figura 5. Fasors dels diferents desequilibris de tensió	24
Figura 6. Interrupció momentània	24

Figura 7. Subtensió	25
Figura 8. Sobretensió	25
Figura 9. Desplaçament per CC	26
Figura 10. Distorsió harmònica típica de la forma d'ona	26
Figura 11. Distorsió interharmònica de la forma d'ona.....	26
Figura 12. Impuls	27
Figura 13. Soroll	27
Figura 14. Variacions de la freqüència.....	27
Figura 15. Esquema elèctric de la maniobra d'engegada estrella-triangle.....	33
Figura 16. Diagrama de corrents i tensions en l'engegada estrella-triangle	34
Figura 17. Diagrama parell-velocitat del mètode d'engegada E.T.	35
Figura 18. Diagrama corrent-velocitat del mètode d'engegada E.T.	35
Figura 19. Tensió de línia en la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19).....	36
Figura 20. Corrent de línia en la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19).....	36
Figura 21. Velocitat en la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19).....	37
Figura 22. Parell en la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19).....	37
Figura 23. Corrent de línia en la maniobra d'engegada estrella-triangle en la simulació n°7.....	39
Figura 24. Comparativa del corrent de línia entre la simulació n°7 i n°19	40
Figura 25. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°7 i n°19	40
Figura 26. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°7 i n°19	41
Figura 27. Comparativa del parell entre la simulació n° 7 i n°19	41
Figura 28. Esquema elèctric de la maniobra d'engegada mitjançant resistències estatòriques.....	42
Figura 29. Diagrama parell-velocitat del mètode d'engegada R.E.	44
Figura 30. Diagrama corrent-velocitat del mètode d'engegada R.E.....	44
Figura 31. Tensió de línia en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació n°42).....	45
Figura 32. Corrent de línia en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació n°42)	45
Figura 33. Velocitat en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació n°42).....	45
Figura 34. Parell en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació n°42).....	46
Figura 35. Corrent de línia en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en la simulació n°33.....	48
Figura 36. Comparativa del corrent de línia entre la simulació n°33 i n°42.....	49
Figura 37. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°7 i la n°19	49
Figura 38. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°33 i n°42	50
Figura 39. Comparativa del parell entre la simulació n°33 i n°42	50
Figura 40. Comparativa de la tensió entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal.....	51
Figura 41. Comparativa del corrent entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal	51
Figura 42. Comparativa del corrent en la commutació entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal	52
Figura 43. Comparativa de la velocitat entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal	52
Figura 44. Comparativa del parell entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal.....	52
Figura 45. Comparativa del corrent entre l'engegada E.T. (sim. n°7) i R.E. (sim. n°33).....	54
Figura 46. Comparativa del corrent en la commutació entre l'engegada E.T. (sim. n°7) i R.E. (sim. n°33).....	54
Figura 47. Comparativa del parell entre l'engegada E.T. (sim. n°7) i R.E. (sim. n°33).....	55
Figura 48. Esquema elèctric de la maniobra d'inversió de gir	55
Figura 49: Diagrama de les inversions de les fases	57
Figura 50. Tensió de línia en la maniobra d'inversió de gir en el cas ideal (simulació n°61).....	57
Figura 51. Corrent de línia en la maniobra d'inversió de gir en el cas ideal (simulació n°61)	58
Figura 52. Velocitat en la maniobra d'inversió de gir (simulació n°61).....	58
Figura 53. Parell en la maniobra d'inversió de gir (simulació n°61)	58
Figura 54. Corrent de línia en la maniobra d'inversió de gir en la simulació n°47.....	61
Figura 55. Comparativa del corrent de línia entre la simulació n°47 i n°61.....	61
Figura 56. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°47 i n°61	62
Figura 57. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°47 i n°61	62
Figura 58. Comparativa del parell entre la simulació n°47 i n° 61	62
Figura 59. Circuit equivalent per fase d'una màquina d'inducció.....	66
Figura 60. Diagrama vectorial.....	68
Figura 61. Temps de resposta per a la tensió nominal.....	72
Figura 62. Temps de resposta en el tancament per a diferents tensions de maniobra.....	72
Figura 63. Tensió en la simulació 1	77

Figura 64. Corrent en la simulació 1	78
Figura 65. Velocitat en la simulació 1	78
Figura 66. Parell en la simulació 1	78
Figura 67. Tensió en la simulació 2	79
Figura 68. Corrent en la simulació 2	80
Figura 69. Velocitat en la simulació 2.....	80
Figura 70. Parell en la simulació 2.....	80
Figura 71. Tensió en la simulació 3	81
Figura 72. Corrent en la simulació 3	82
Figura 73. Velocitat en la simulació 3.....	82
Figura 74. Parell en la simulació 3.....	82
Figura 75. Tensió en la simulació 4	83
Figura 76. Corrent en la simulació 4.....	84
Figura 77. Velocitat en la simulació 4.....	84
Figura 78. Parell en la simulació 4.....	84
Figura 79. Tensió en la simulació 5	85
Figura 80. Corrent en la simulació 5	86
Figura 81. Velocitat en la simulació 5.....	86
Figura 82. Parell en la simulació 5.....	86
Figura 83. Tensió en la simulació 6	87
Figura 84. Corrent en la simulació 6.....	88
Figura 85. Velocitat en la simulació 6.....	88
Figura 86. Parell en la simulació 6.....	88
Figura 87. Tensió en la simulació 7	89
Figura 88. Corrent en la simulació 7.....	90
Figura 89. Velocitat en la simulació 7.....	90
Figura 90. Parell en la simulació 7.....	90
Figura 91. Tensió en la simulació 8	91
Figura 92. Corrent en la simulació 8.....	92
Figura 93. Velocitat en la simulació 8.....	92
Figura 94. Parell en la simulació 8.....	92
Figura 95. Tensió en la simulació 9	93
Figura 96. Corrent en la simulació 9.....	94
Figura 97. Velocitat en la simulació 9.....	94
Figura 98. Parell en la simulació 9.....	94
Figura 99. Tensió en la simulació 10	95
Figura 100. Corrent en la simulació 10.....	96
Figura 101. Velocitat en la simulació 10.....	96
Figura 102. Parell en la simulació 10.....	96
Figura 103. Tensió en la simulació 11	97
Figura 104. Corrent en la simulació 11.....	98
Figura 105. Velocitat en la simulació 11.....	98
Figura 106. Parell en la simulació 11.....	98
Figura 107. Tensió en la simulació 12	99
Figura 108. Corrent en la simulació 12.....	100
Figura 109. Velocitat en la simulació 12.....	100
Figura 110. Parell en la simulació 12.....	100
Figura 111. Tensió en la simulació 13	101
Figura 112. Corrent en la simulació 13.....	102
Figura 113. Velocitat en la simulació 13.....	102
Figura 114. Parell en la simulació 13.....	102
Figura 115. Tensió en la simulació 14	103
Figura 116. Corrent en la simulació 14.....	104
Figura 117. Velocitat en la simulació 14.....	104
Figura 118. Parell en la simulació 14.....	104
Figura 119. Tensió en la simulació 15	105
Figura 120. Corrent en la simulació 15.....	106
Figura 121. Velocitat en la simulació 15.....	106

Figura 122. Parell en la simulació 15	106
Figura 123. Tensió en la simulació 16	107
Figura 124. Corrent en la simulació 16	108
Figura 125. Velocitat en la simulació 16.....	108
Figura 126. Parell en la simulació 16.....	108
Figura 127. Tensió en la simulació 17	109
Figura 128. Corrent en la simulació 17	110
Figura 129. Velocitat en la simulació 17.....	110
Figura 130. Parell en la simulació 17.....	110
Figura 131. Tensió en la simulació 18	111
Figura 132. Corrent en la simulació 18	112
Figura 133. Velocitat en la simulació 18.....	112
Figura 134. Parell en la simulació 18.....	112
Figura 135. Tensió en la simulació 19 (cas ideal)	113
Figura 136. Corrent en la simulació 19 (cas ideal).....	114
Figura 137. Velocitat en la simulació 19 (cas ideal)	114
Figura 138. Parell en la simulació 19 (cas ideal).....	114
Figura 139. Tensió en la simulació 20	115
Figura 140. Corrent en la simulació 20	116
Figura 141. Velocitat en la simulació 20.....	116
Figura 142. Parell en la simulació 20.....	116
Figura 143. Tensió en la simulació 21	117
Figura 144. Corrent en la simulació 21	118
Figura 145. Velocitat en la simulació 21.....	118
Figura 146. Parell en la simulació 21	118
Figura 147. Tensió en la simulació 22	119
Figura 148. Corrent en la simulació 22	120
Figura 149. Velocitat en la simulació 22.....	120
Figura 150. Parell en la simulació 22.....	120
Figura 151. Tensió en la simulació 23	121
Figura 152. Corrent en la simulació 23	122
Figura 153. Velocitat en la simulació 23.....	122
Figura 154. Parell en la simulació 23.....	122
Figura 155. Tensió en la simulació 24	123
Figura 156. Corrent en la simulació 24	124
Figura 157. Velocitat en la simulació 24.....	124
Figura 158. Parell en la simulació 24.....	124
Figura 159. Tensió en la simulació 25	125
Figura 160. Corrent en la simulació 25	126
Figura 161. Velocitat en la simulació 25.....	126
Figura 162. Parell en la simulació 25.....	126
Figura 163. Tensió en la simulació 26	127
Figura 164. Corrent en la simulació 26	128
Figura 165. Velocitat en la simulació 26.....	128
Figura 166. Parell en la simulació 26.....	128
Figura 167. Tensió en la simulació 27	129
Figura 168. Corrent en la simulació 27	130
Figura 169. Velocitat en la simulació 27.....	130
Figura 170. Parell en la simulació 27.....	130
Figura 171. Tensió en la simulació 28	131
Figura 172. Corrent en la simulació 28	132
Figura 173. Velocitat en la simulació 28.....	132
Figura 174. Parell en la simulació 28.....	132
Figura 175. Tensió en la simulació 29	133
Figura 176. Corrent en la simulació 29	134
Figura 177. Velocitat en la simulació 29.....	134
Figura 178. Parell en la simulació 29.....	134
Figura 179. Tensió en la simulació 30	135

Figura 180. Corrent en la simulació 30	136
Figura 181. Velocitat en la simulació 30.....	136
Figura 182. Parell en la simulació 30.....	136
Figura 183. Tensió en la simulació 31	137
Figura 184. Corrent en la simulació 31	138
Figura 185. Velocitat en la simulació 31.....	138
Figura 186. Parell en la simulació 31.....	138
Figura 187. Tensió en la simulació 32	139
Figura 188. Corrent en la simulació 32	140
Figura 189. Velocitat en la simulació 32.....	140
Figura 190. Parell en la simulació 32.....	140
Figura 191. Tensió en la simulació 33	141
Figura 192. Corrent en la simulació 33.....	142
Figura 193. Velocitat en la simulació 33.....	142
Figura 194. Parell en la simulació 33.....	142
Figura 195. Tensió en la simulació 34	143
Figura 196. Corrent en la simulació 34.....	144
Figura 197. Velocitat en la simulació 34.....	144
Figura 198. Parell en la simulació 34.....	144
Figura 199. Tensió en la simulació 35	145
Figura 200. Corrent en la simulació 35.....	146
Figura 201. Velocitat en la simulació 35.....	146
Figura 202. Parell en la simulació 35.....	146
Figura 203. Tensió en la simulació 36	147
Figura 204. Corrent en la simulació 36.....	148
Figura 205. Velocitat en la simulació 36.....	148
Figura 206. Parell en la simulació 36.....	148
Figura 207. Tensió en la simulació 37	149
Figura 208. Corrent en la simulació 37.....	150
Figura 209. Velocitat en la simulació 37.....	150
Figura 210. Parell en la simulació 37.....	150
Figura 211. Tensió en la simulació 38	151
Figura 212. Corrent en la simulació 38.....	152
Figura 213. Velocitat en la simulació 38.....	152
Figura 214. Parell en la simulació 38.....	152
Figura 215. Tensió en la simulació 39	153
Figura 216. Corrent en la simulació 39.....	154
Figura 217. Velocitat en la simulació 39.....	154
Figura 218. Parell en la simulació 39.....	154
Figura 219. Tensió en la simulació 40	155
Figura 220. Corrent en la simulació 40.....	156
Figura 221. Velocitat en la simulació 40.....	156
Figura 222. Parell en la simulació 40.....	156
Figura 223. Tensió en la simulació 41	157
Figura 224. Corrent en la simulació 41	158
Figura 225. Velocitat en la simulació 41.....	158
Figura 226. Parell en la simulació 41	158
Figura 227. Tensió en la simulació 42 (cas ideal)	159
Figura 228. Corrent en la simulació 42 (cas ideal).....	160
Figura 229. Velocitat en la simulació 42 (cas ideal)	160
Figura 230. Parell en la simulació 42 (cas ideal).....	160
Figura 231. Tensió en la simulació 43	161
Figura 232. Corrent en la simulació 43	162
Figura 233. Velocitat en la simulació 43.....	162
Figura 234. Parell en la simulació 43.....	162
Figura 235. Tensió en la simulació 44	163
Figura 236. Corrent en la simulació 44	164
Figura 237. Velocitat en la simulació 44.....	164

Figura 238. Parell en la simulació 44	164
Figura 239. Tensió en la simulació 45	165
Figura 240. Corrent en la simulació 45	166
Figura 241. Velocitat en la simulació 45.....	166
Figura 242. Parell en la simulació 45.....	166
Figura 243. Tensió en la simulació 46	167
Figura 244. Corrent en la simulació 46	168
Figura 245. Velocitat en la simulació 46.....	168
Figura 246. Parell en la simulació 46.....	168
Figura 247. Tensió en la simulació 47	169
Figura 248. Corrent en la simulació 47	170
Figura 249. Velocitat en la simulació 47.....	170
Figura 250. Parell en la simulació 47	170
Figura 251. Tensió en la simulació 48	171
Figura 252. Corrent en la simulació 48	172
Figura 253. Velocitat en la simulació 48.....	172
Figura 254. Parell en la simulació 48.....	172
Figura 255. Tensió en la simulació 49	173
Figura 256. Corrent en la simulació 49	174
Figura 257. Velocitat en la simulació 49.....	174
Figura 258. Parell en la simulació 49.....	174
Figura 259. Tensió en la simulació 50	175
Figura 260. Corrent en la simulació 50	176
Figura 261. Velocitat en la simulació 50.....	176
Figura 262. Parell en la simulació 50.....	176
Figura 263. Tensió en la simulació 51	177
Figura 264. Corrent en la simulació 51	178
Figura 265. Velocitat en la simulació 51.....	178
Figura 266. Parell en la simulació 51	178
Figura 267. Tensió en la simulació 52	179
Figura 268. Corrent en la simulació 52	180
Figura 269. Velocitat en la simulació 52.....	180
Figura 270. Parell en la simulació 52.....	180
Figura 271. Tensió en la simulació 53	181
Figura 272. Corrent en la simulació 53	182
Figura 273. Velocitat en la simulació 53.....	182
Figura 274. Parell en la simulació 53.....	182
Figura 275. Tensió en la simulació 54	183
Figura 276. Corrent en la simulació 54	184
Figura 277. Velocitat en la simulació 54.....	184
Figura 278. Parell en la simulació 54.....	184
Figura 279. Tensió en la simulació 55	185
Figura 280. Corrent en la simulació 55	186
Figura 281. Velocitat en la simulació 55.....	186
Figura 282. Parell en la simulació 55.....	186
Figura 283. Tensió en la simulació 56	187
Figura 284. Corrent en la simulació 56	188
Figura 285. Velocitat en la simulació 56.....	188
Figura 286. Parell en la simulació 56.....	188
Figura 287. Tensió en la simulació 57	189
Figura 288. Corrent en la simulació 57	190
Figura 289. Velocitat en la simulació 57.....	190
Figura 290. Parell en la simulació 57.....	190
Figura 291. Tensió en la simulació 58	191
Figura 292. Corrent en la simulació 58	192
Figura 293. Velocitat en la simulació 58.....	192
Figura 294. Parell en la simulació 58.....	192
Figura 295. Tensió en la simulació 59	193

Figura 296. Corrent en la simulació 59	194
Figura 297. Velocitat en la simulació 59.....	194
Figura 298. Parell en la simulació 59.....	194
Figura 299. Tensió en la simulació 60	195
Figura 300. Corrent en la simulació 60	196
Figura 301. Velocitat en la simulació 60.....	196
Figura 302. Parell en la simulació 60.....	196
Figura 303. Tensió en la simulació 61 (cas ideal)	197
Figura 304. Corrent en la simulació 61 (cas ideal).....	198
Figura 305. Velocitat en la simulació 61 (cas ideal)	198
Figura 306. Parell en la simulació 61 (cas ideal).....	198

1.2 Índex de taules

Taula 1. Placa de característiques del motor donat.....	31
Taula 2. Paràmetres del motor introduïts al PSIM	31
Taula 3. Resultats de la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19)	37
Taula 4. Resultats de la maniobra d'engegada estrella-triangle (simulació n°1-18).....	38
Taula 5. Temps d'actuació dels contactors en la simulació n° 7.....	39
Taula 6. Resultats de la maniobra d'engegada estrella-triangle en el pitjor cas (simulació n°7)	39
Taula 7. Resultats de la maniobra d'engegada estrella-triangle amb diversos retards del autòmat (simulació n°20-29)....	42
Taula 8. Resultats de la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació n°42)	46
Taula 9. Resultats de la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques (simulació n°30-41)	47
Taula 10. Temps d'actuació del contactor en la simulació n°33.....	48
Taula 11. Resultats de la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques (simulació n°33)	48
Taula 12. Resultats comparatius de les maniobres E.T. i R.E. en el cas ideal (simulació n°19 i n°42).....	51
Taula 13. Temps d'actuació dels contactors en les simulacions n°7 i n°33	53
Taula 14. Resultats de la maniobra d'inversió de gir en el cas ideal (simulació n°61)	59
Taula 15. Resultats de la maniobra d'inversió de gir (simulació n°43-60).....	59
Taula 16. Temps d'actuació dels contactors en la simulació n° 47.....	60
Taula 17. Resultats de la maniobra d'inversió de gir en el pitjor cas (simulació n°47)	60
Taula 18. Mesures per a la determinació dels paràmetres d'una màquina d'inducció.....	70
Taula 19. Temps d'actuació dels contactors en la maniobra d'engegada estrella-triangle	75
Taula 20. Temps d'actuació del contactor en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques	76
Taula 21. Temps d'actuació dels contactors en la maniobra d'inversió de gir	76
Taula 22. Temps d'actuació en la simulació 1	77
Taula 23. Estudi del corrent en la simulació 1	77
Taula 24. Estudi de la velocitat en la simulació 1	77
Taula 25. Estudi del parell en la simulació 1.....	77
Taula 26. Temps d'actuació en la simulació 2	79
Taula 27. Estudi del corrent en la simulació 2	79
Taula 28. Estudi de la velocitat en la simulació 2	79
Taula 29. Estudi del parell en la simulació 2.....	79
Taula 30. Temps d'actuació en la simulació 3	81
Taula 31. Estudi del corrent en la simulació 3	81
Taula 32. Estudi de la velocitat en la simulació 3	81
Taula 33. Estudi del parell en la simulació 3.....	81
Taula 34. Temps d'actuació en la simulació 4	83
Taula 35. Estudi del corrent en la simulació 4	83
Taula 36. Estudi de la velocitat en la simulació 4	83
Taula 37. Estudi del parell en la simulació 4.....	83
Taula 38. Temps d'actuació en la simulació 5	85
Taula 39. Estudi del corrent en la simulació 5	85
Taula 40. Estudi de la velocitat en la simulació 5	85
Taula 41. Estudi del parell en la simulació 5.....	85
Taula 42. Temps d'actuació en la simulació 6	87
Taula 43. Estudi del corrent en la simulació 6	87

Taula 44. Estudi de la velocitat en la simulació 6	87
Taula 45. Estudi del parell en la simulació 6.....	87
Taula 46. Temps d'actuació en la simulació 7	89
Taula 47. Estudi del corrent en la simulació 7	89
Taula 48. Estudi de la velocitat en la simulació 7	89
Taula 49. Estudi del parell en la simulació 7.....	89
Taula 50. Temps d'actuació en la simulació 8	91
Taula 51. Estudi del corrent en la simulació 8	91
Taula 52. Estudi de la velocitat en la simulació 8	91
Taula 53. Estudi del parell en la simulació 8.....	91
Taula 54. Temps d'actuació en la simulació 9	93
Taula 55. Estudi del corrent en la simulació 9	93
Taula 56. Estudi de la velocitat en la simulació 9	93
Taula 57. Estudi del parell en la simulació 9.....	93
Taula 58. Temps d'actuació en la simulació 10	95
Taula 59. Estudi del corrent en la simulació 10	95
Taula 60. Estudi de la velocitat en la simulació 10	95
Taula 61. Estudi del parell en la simulació 10.....	95
Taula 62. Temps d'actuació en la simulació 11	97
Taula 63. Estudi del corrent en la simulació 11	97
Taula 64. Estudi de la velocitat en la simulació 11	97
Taula 65. Estudi del parell en la simulació 11.....	97
Taula 66. Temps d'actuació en la simulació 12	99
Taula 67. Estudi del corrent en la simulació 12	99
Taula 68. Estudi de la velocitat en la simulació 12	99
Taula 69. Estudi del parell en la simulació 12.....	99
Taula 70. Temps d'actuació en la simulació 13	101
Taula 71. Estudi del corrent en la simulació 13	101
Taula 72. Estudi de la velocitat en la simulació 13	101
Taula 73. Estudi del parell en la simulació 13.....	101
Taula 74. Temps d'actuació en la simulació 14	103
Taula 75. Estudi del corrent en la simulació 14	103
Taula 76. Estudi de la velocitat en la simulació 14	103
Taula 77. Estudi del parell en la simulació 14.....	103
Taula 78. Temps d'actuació en la simulació 15	105
Taula 79. Estudi del corrent en la simulació 15	105
Taula 80. Estudi de la velocitat en la simulació 15	105
Taula 81. Estudi del parell en la simulació 15.....	105
Taula 82. Temps d'actuació en la simulació 16	107
Taula 83. Estudi del corrent en la simulació 16	107
Taula 84. Estudi de la velocitat en la simulació 16	107
Taula 85. Estudi del parell en la simulació 16.....	107
Taula 86. Temps d'actuació en la simulació 17	109
Taula 87. Estudi del corrent en la simulació 17	109
Taula 88. Estudi de la velocitat en la simulació 17	109
Taula 89. Estudi del parell en la simulació 17.....	109
Taula 90. Temps d'actuació en la simulació 18	111
Taula 91. Estudi del corrent en la simulació 18	111
Taula 92. Estudi de la velocitat en la simulació 18	111
Taula 93. Estudi del parell en la simulació 18.....	111
Taula 94. Temps d'actuació en la simulació 19 (cas ideal)	113
Taula 95. Estudi del corrent en la simulació 19 (cas ideal)	113
Taula 96. Estudi de la velocitat en la simulació 19 (cas ideal)	113
Taula 97. Estudi del parell en la simulació 19 (cas ideal)	113
Taula 98. Temps d'actuació en la simulació 20	115
Taula 99. Estudi del corrent en la simulació 20	115
Taula 100. Estudi de la velocitat en la simulació 20	115
Taula 101. Estudi del parell en la simulació 20.....	115

Taula 102. Temps d'actuació en la simulació 21	117
Taula 103. Estudi del corrent en la simulació 21	117
Taula 104. Estudi de la velocitat en la simulació 21	117
Taula 105. Estudi del parell en la simulació 21.....	117
Taula 106. Temps d'actuació en la simulació 22	119
Taula 107. Estudi del corrent en la simulació 22	119
Taula 108. Estudi de la velocitat en la simulació 22	119
Taula 109. Estudi del parell en la simulació 22.....	119
Taula 110. Temps d'actuació en la simulació 23	121
Taula 111. Estudi del corrent en la simulació 23	121
Taula 112. Estudi de la velocitat en la simulació 23	121
Taula 113. Estudi del parell en la simulació 23.....	121
Taula 114. Temps d'actuació en la simulació 24	123
Taula 115. Estudi del corrent en la simulació 24	123
Taula 116. Estudi de la velocitat en la simulació 24	123
Taula 117. Estudi del parell en la simulació 24.....	123
Taula 118. Temps d'actuació en la simulació 25	125
Taula 119. Estudi del corrent en la simulació 25	125
Taula 120. Estudi de la velocitat en la simulació 25	125
Taula 121. Estudi del parell en la simulació 25.....	125
Taula 122. Temps d'actuació en la simulació 26	127
Taula 123. Estudi del corrent en la simulació 26	127
Taula 124. Estudi de la velocitat en la simulació 26	127
Taula 125. Estudi del parell en la simulació 26.....	127
Taula 126. Temps d'actuació en la simulació 27	129
Taula 127. Estudi del corrent en la simulació 27	129
Taula 128. Estudi de la velocitat en la simulació 27	129
Taula 129. Estudi del parell en la simulació 27.....	129
Taula 130. Temps d'actuació en la simulació 28	131
Taula 131. Estudi del corrent en la simulació 28	131
Taula 132. Estudi de la velocitat en la simulació 28	131
Taula 133. Estudi del parell en la simulació 28.....	131
Taula 134. Temps d'actuació en la simulació 29	133
Taula 135. Estudi del corrent en la simulació 29	133
Taula 136. Estudi de la velocitat en la simulació 29	133
Taula 137. Estudi del parell en la simulació 29.....	133
Taula 138. Temps d'actuació en la simulació 30	135
Taula 139. Estudi del corrent en la simulació 30	135
Taula 140. Estudi de la velocitat en la simulació 30	135
Taula 141. Estudi del parell en la simulació 30.....	135
Taula 142. Temps d'actuació en la simulació 31	137
Taula 143. Estudi del corrent en la simulació 31	137
Taula 144. Estudi de la velocitat en la simulació 31	137
Taula 145. Estudi del parell en la simulació 31.....	137
Taula 146. Temps d'actuació en la simulació 32	139
Taula 147. Estudi del corrent en la simulació 32	139
Taula 148. Estudi de la velocitat en la simulació 32	139
Taula 149. Estudi del parell en la simulació 32.....	139
Taula 150. Temps d'actuació en la simulació 33	141
Taula 151. Estudi del corrent en la simulació 33	141
Taula 152. Estudi de la velocitat en la simulació 33	141
Taula 153. Estudi del parell en la simulació 33.....	141
Taula 154. Temps d'actuació en la simulació 34	143
Taula 155. Estudi del corrent en la simulació 34	143
Taula 156. Estudi de la velocitat en la simulació 34	143
Taula 157. Estudi del parell en la simulació 34.....	143
Taula 158. Temps d'actuació en la simulació 35	145
Taula 159. Estudi del corrent en la simulació 35	145

Taula 160. Estudi de la velocitat en la simulació 35	145
Taula 161. Estudi del parell en la simulació 35.....	145
Taula 162. Temps d'actuació en la simulació 36	147
Taula 163. Estudi del corrent en la simulació 36	147
Taula 164. Estudi de la velocitat en la simulació 36	147
Taula 165. Estudi del parell en la simulació 36.....	147
Taula 166. Temps d'actuació en la simulació 37	149
Taula 167. Estudi del corrent en la simulació 37	149
Taula 168. Estudi de la velocitat en la simulació 37	149
Taula 169. Estudi del parell en la simulació 37.....	149
Taula 170. Temps d'actuació en la simulació 38	151
Taula 171. Estudi del corrent en la simulació 38	151
Taula 172. Estudi de la velocitat en la simulació 38	151
Taula 173. Estudi del parell en la simulació 38.....	151
Taula 174. Temps d'actuació en la simulació 39	153
Taula 175. Estudi del corrent en la simulació 39	153
Taula 176. Estudi de la velocitat en la simulació 39	153
Taula 177. Estudi del parell en la simulació 39.....	153
Taula 178. Temps d'actuació en la simulació 40	155
Taula 179. Estudi del corrent en la simulació 40	155
Taula 180. Estudi de la velocitat en la simulació 40	155
Taula 181. Estudi del parell en la simulació 40.....	155
Taula 182. Temps d'actuació en la simulació 41	157
Taula 183. Estudi del corrent en la simulació 41	157
Taula 184. Estudi de la velocitat en la simulació 41	157
Taula 185. Estudi del parell en la simulació 41.....	157
Taula 186. Temps d'actuació en la simulació 42 (cas ideal).....	159
Taula 187. Estudi del corrent en la simulació 42 (cas ideal).....	159
Taula 188. Estudi de la velocitat en la simulació 42 (cas ideal).....	159
Taula 189. Estudi del parell en la simulació 42 (cas ideal)	159
Taula 190. Temps d'actuació en la simulació 43	161
Taula 191. Estudi del corrent en la simulació 43	161
Taula 192. Estudi de la velocitat en la simulació 43	161
Taula 193. Estudi del parell en la simulació 43.....	161
Taula 194. Temps d'actuació en la simulació 44	163
Taula 195. Estudi del corrent en la simulació 44	163
Taula 196. Estudi de la velocitat en la simulació 44	163
Taula 197. Estudi del parell en la simulació 44.....	163
Taula 198. Temps d'actuació en la simulació 45	165
Taula 199. Estudi del corrent en la simulació 45	165
Taula 200. Estudi de la velocitat en la simulació 45	165
Taula 201. Estudi del parell en la simulació 45.....	165
Taula 202. Temps d'actuació en la simulació 46	167
Taula 203. Estudi del corrent en la simulació 46	167
Taula 204. Estudi de la velocitat en la simulació 46	167
Taula 205. Estudi del parell en la simulació 46.....	167
Taula 206. Temps d'actuació en la simulació 47	169
Taula 207. Estudi del corrent en la simulació 47	169
Taula 208. Estudi de la velocitat en la simulació 47	169
Taula 209. Estudi del parell en la simulació 47.....	169
Taula 210. Temps d'actuació en la simulació 48	171
Taula 211. Estudi del corrent en la simulació 48	171
Taula 212. Estudi de la velocitat en la simulació 48	171
Taula 213. Estudi del parell en la simulació 48.....	171
Taula 214. Temps d'actuació en la simulació 49	173
Taula 215. Estudi del corrent en la simulació 49	173
Taula 216. Estudi de la velocitat en la simulació 49	173
Taula 217. Estudi del parell en la simulació 49.....	173

Taula 218. Temps d'actuació en la simulació 50	175
Taula 219. Estudi del corrent en la simulació 50	175
Taula 220. Estudi de la velocitat en la simulació 50	175
Taula 221. Estudi del parell en la simulació 50.....	175
Taula 222. Temps d'actuació en la simulació 51	177
Taula 223. Estudi del corrent en la simulació 51	177
Taula 224. Estudi de la velocitat en la simulació 51	177
Taula 225. Estudi del parell en la simulació 51.....	177
Taula 226. Temps d'actuació en la simulació 52	179
Taula 227. Estudi del corrent en la simulació 52	179
Taula 228. Estudi de la velocitat en la simulació 52.....	179
Taula 229. Estudi del parell en la simulació 52.....	179
Taula 230. Temps d'actuació en la simulació 53	181
Taula 231. Estudi del corrent en la simulació 53	181
Taula 232. Estudi de la velocitat en la simulació 53	181
Taula 233. Estudi del parell en la simulació 53.....	181
Taula 234. Temps d'actuació en la simulació 54	183
Taula 235. Estudi del corrent en la simulació 54	183
Taula 236. Estudi de la velocitat en la simulació 54.....	183
Taula 237. Estudi del parell en la simulació 54.....	183
Taula 238. Temps d'actuació en la simulació 55	185
Taula 239. Estudi del corrent en la simulació 55	185
Taula 240. Estudi de la velocitat en la simulació 55	185
Taula 241. Estudi del parell en la simulació 55.....	185
Taula 242. Temps d'actuació en la simulació 56	187
Taula 243. Estudi del corrent en la simulació 56	187
Taula 244. Estudi de la velocitat en la simulació 56.....	187
Taula 245. Estudi del parell en la simulació 56.....	187
Taula 246. Temps d'actuació en la simulació 57	189
Taula 247. Estudi del corrent en la simulació 57	189
Taula 248. Estudi de la velocitat en la simulació 57	189
Taula 249. Estudi del parell en la simulació 57.....	189
Taula 250. Temps d'actuació en la simulació 58	191
Taula 251. Estudi del corrent en la simulació 58	191
Taula 252. Estudi de la velocitat en la simulació 58	191
Taula 253. Estudi del parell en la simulació 58.....	191
Taula 254. Temps d'actuació en la simulació 59	193
Taula 255. Estudi del corrent en la simulació 59	193
Taula 256. Estudi de la velocitat en la simulació 59	193
Taula 257. Estudi del parell en la simulació 59.....	193
Taula 258. Temps d'actuació en la simulació 60	195
Taula 259. Estudi del corrent en la simulació 60	195
Taula 260. Estudi de la velocitat en la simulació 60	195
Taula 261. Estudi del parell en la simulació 60.....	195
Taula 262. Temps d'actuació en la simulació 61 (cas ideal).....	197
Taula 263. Estudi del corrent en la simulació 61 (cas ideal)	197
Taula 264. Estudi de la velocitat en la simulació 61 (cas ideal).....	197
Taula 265. Estudi del parell en la simulació 61 (cas ideal)	197



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

Estudi de l'efecte de les pertorbacions generades pels contactors en maniobres de motors d'inducció trifàsics

2 Memòria

TITULACIÓ: Graduat en Enginyeria Elèctrica

AUTOR: Víctor Insa Pascual

DIRECTOR: Luis Guasch Pesquer

DATA: Abril - 2015

2.1 Objecte

El objecte d'aquest treball de fi de grau és realitzar l'estudi dels efectes de les pertorbacions generades pels contactors durant la realització de diverses maniobres en motors d'inducció trifàsics.

2.2 Abast

El present estudi està centrat en l'anàlisi dels efectes de les pertorbacions generades pels contactors en el corrent i el parell d'un motor d'inducció trifàsic en les següent maniobres:

- Engegada estrella-triangle.
- Engegada mitjançant resistències estatòriques.
- Inversió de gir.

Les tasques realitzades han estat:

- Anàlisi dels temps de maniobra dels contactors comercials.
- Disseny de les maniobres mitjançant PSIM, modelitzant els contactors mitjançant interruptors temporitzats.
- Simulació dels diferents assaigs en funció de:
 - Tipus de maniobra: engegada estrella-triangle; engegada amb resistències estatòriques; inversió de gir.
 - S'han realitzat diferents assaigs considerant diferents temps d'activació dels contactors, entre uns valors mínims i màxims.
- Obtenció dels resultats numèrics per cada assaig.
- Anàlisi comparatiu entre els diferents assaigs.

2.3 Antecedents

2.3.1 Contactor

Un contactor és un component electromecànic que té per objectiu establir o interrompre el pas de corrent, ja sigui en el circuit de potència i/o en el de maniobra, en funció del nivell de tensió a la bobina. Un contactor és un dispositiu amb capacitat de tallar el corrent elèctric d'un receptor; com podria ser un motor d'inducció trifàsic, o una instal·lació; amb la possibilitat de ser accionat a distància. Disposa de dues posicions de funcionament: en repòs o estable, quan el circuit de maniobra no alimenta la bobina; i una altre quan la bobina del contactor s'alimenta a la seva tensió nominal. La seva simbologia s'estableix amb les lletres KM seguides d'un número d'ordre.

Un contactor està constituït per les següents parts:

- Bobina: Element que produeix una força d'atracció, sobre els contactes principals i auxiliars, al ser alimentat amb un corrent elèctric. La seva tensió d'alimentació acostuma a ser de 12 V_{DC}, 24 V_{DC} o 230 V_{AC}; sent 230 V la més habitual.

- Contactes principals: Són els destinats a obrir i tancar el circuit de potència. Es troben oberts en l'estat de repòs.
- Contactes auxiliars: Són els encarregats d'obrir i tancar el circuit de maniobra. Estan acoblats mecànicament als contactes principals; poden ser oberts o tancats en l'estat de repòs.
- Armadura: Part mòbil del contactor. Desplaça els contactes principals i auxiliars per la força d'atracció de la bobina.
- Nucli: Part fixa amb la qual es tanca el flux magnètic produït per la bobina.
- Ressort: Molla encarregada de tornar els contactes a la seva posició de repòs un cop es deix d'alimentar la bobina.

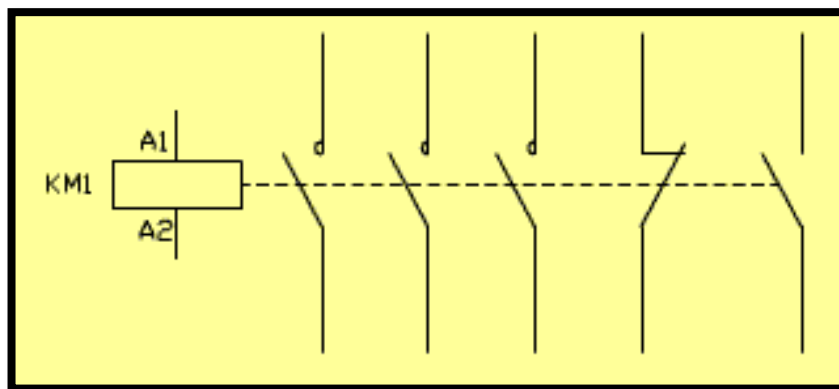


Figura 1. Diagrama dels contactes principals i auxiliars d'un contactor

Quan la bobina del contactor queda excitada per la circulació del corrent; desplaça, mitjançant el camp magnètic creat, els contactes principals i auxiliars, establint la connexió entre la xarxa i el receptor. Un cop la bobina deixa d'estar excitada pel mateix corrent; els contactes principals i auxiliars tornen al seu estat de repòs, mitjançant l'actuació d'un ressort.

2.3.1.1 Retards en l'actuació

Les accions d'obertura i de tancament pretenen ser instantànies i amb simultaneïtat en les tres fases; però veritablement no ho són; sinó que hi ha diversos retards en l'actuació del contactor i no es realitza amb simultaneïtat en les tres fases.

Els fabricants de contactors, proporcionen en els seus catàlegs una important informació tècnica sobre la tensió de treball, corrents nominals, potència absorbida per la bobina, grau de protecció... L'actuació dels contactes es realitza amb instantaneïtat; no obstant, si ens fixem en valors de temps de milisegons, l'actuació dels contactes no es realitza amb simultaneïtat. I és precisament la informació sobre aquests intervals de temps la que és omesa pels fabricants, entre altres raons perquè és d'escassa utilitat per a la majoria de les aplicacions pràctiques.

De la següent forma un grup d'enginyers van realitzar una sèrie de mesures sobre un contactor comercial amb diverses tensions d'alimentació, obtenint els següents temps de retard d'actuació:

- Alimentació amb $0.8 \cdot V_N$:
 - Temps d'obertura dels contactes: 4.4-7.2 ms
 - Temps de tancament dels contactes: 13.8-20.3 ms
- Alimentació amb V_N :
 - Temps d'obertura dels contactes: 2.9-7.1 ms
 - Temps de tancament dels contactes: 9.9-15.7 ms
- Alimentació amb $1.1 \cdot V_N$:
 - Temps d'obertura dels contactes: 1-5.7 ms
 - Temps de tancament dels contactes: 8.7-14.6 ms

Quan es tracta de realitzar la maniobra d'obertura dels contactes, aquesta acció no es realitza amb simultaneïtat en les tres fases; ja que l'obertura de cada un dels contactes es produeix un cop s'ha exhaurit l'arc elèctric, en el pas per zero del corrent en cada una de les fases. Aquests retards en l'actuació del contactor, oscil·len entre 2.9 ms i 7.1 ms en una fase; per a la resta de fases, al retard en l'actuació s'ha d'afegir el desfasament entre les ones del corrent de les diferents fases.

En referència a la maniobra de tancament dels contactes, aquesta acció es realitza amb simultaneïtat en les tres fases degut a que es produeix degut a l'acció d'una bobina magnetitzada (sempre que l'estructura mecànica sigui exactament igual per les tres fases). Aquests retards en l'actuació del contactor, oscil·len entre 9.9 ms i 15.7 ms per a les tres fases.

2.3.2 Circuits de maniobra i potència

Quan es pretén alimentar un actuador o sistema elèctric (un motor) permetent un cert grau de maniobra (no limitada únicament a l'obertura i el tancament), és obligatori separar l'esquema elèctric en dos; un de principal o de potència i un altre secundari o de maniobra (i senyalització).

El circuit principal serà l'encarregat de transmetre la potència a l'element accionat. Constarà de tres o quatre fils conductors, en el cas d'alimentació alterna trifàsica o de dos fils conductors en el cas d'alimentació monofàsica o de corrent continu. Aquests conductors hauran de suportar els nivells adequats de tensió i corrent en els quals la màquina ha estat dissenyada.

El circuit de maniobra serà l'encarregat de realitzar les funcions de: engegada, aturada, temporització, autoretenió, enclavament, etc. que permetrà un major control del procés o del dispositiu. Consta de dos fils conductors, perquè normalment aquest circuit és alimentat amb tensió alterna monofàsica de 230 V. Els elements que formen part del circuit de maniobra no treballen amb potències elevades i per tant no són exigits amb les mateixes condicions que els elements del circuit de potència. L'operari únicament acciona el circuit de maniobra.

D'aquesta forma, al separar el circuit en dos, obtenim:

- Una simplificació en els esquemes elèctrics, ja que es treballa amb dos esquemes diferents més senzills.

- Un estalvi en el cablejat, ja que el circuit de maniobra es treballa amb alimentació monofàsica i no trifàsica.
- Un estalvi en els elements, ja que als elements del circuit de maniobra no se'ls exigeixen les mateixes característiques que als de potència.

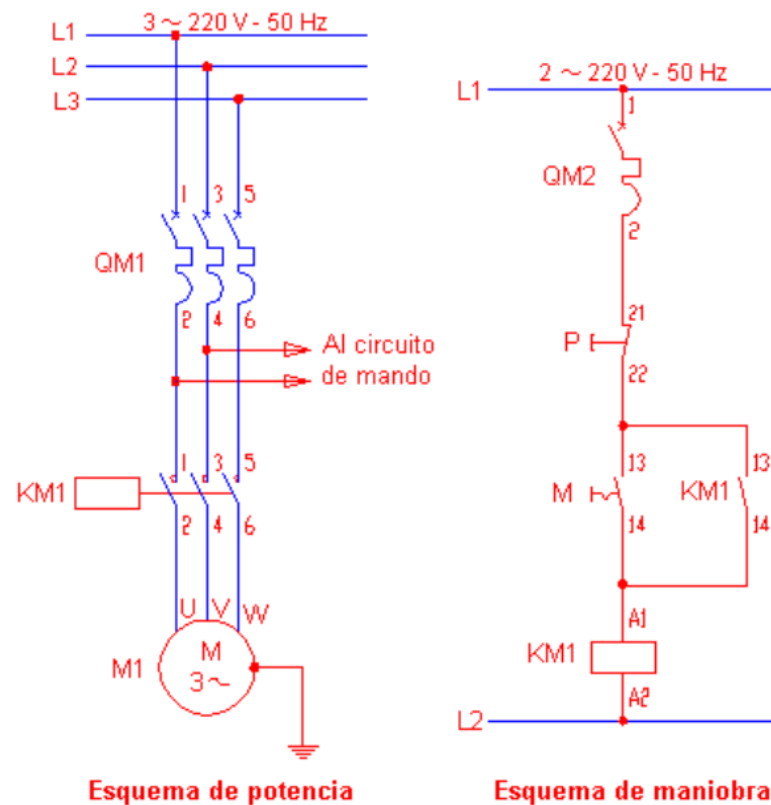


Figura 2. Esquema de potència i esquema de maniobra

En la Figura 2 es mostra un circuit de potència corresponent a l'activació d'un motor trifàsic de gàbia d'esquirol i un circuit de maniobra o control, amb la funció de parada/marxa de l'activació del motor.

2.3.3 Motor d'inducció trifàsic

La màquina d'inducció, o asíncrona, està formada per una part fixe (estator) i una mòbil (rotor). En l'estator es col·loca l'inductor, alimentat per una xarxa trifàsica. El rotor és l'induït, i els corrents que circulen per ell apareixen com a conseqüència de la interacció amb el flux de l'estator. Segons del tipus de rotor, les màquines d'inducció es classifiquen en:

- Rotor de gàbia d'esquirol
- Rotor de banat

L'estator està format per un apilament de xapes d'acer al silici que disposen d'unes ranures en la seva perifèria interior, en les que se situa un banat trifàsic distribuït amb un desfasament de 120° , alimentat per un corrent del mateix tipus, de tal forma que s'obté un flux giratori d'amplitud constant distribuït de forma sinusoidal per l'entreferro.

El rotor està constituït per un conjunt de xapes apilades, formant un cilindre, que tenen unes ranures en la circumferència exterior, on es col·loca el debanat. En les màquines de gàbia d'esquirol, es disposen d'una sèrie de conductors de coure o alumini col·locats en curtcircuit per dos anells laterals.

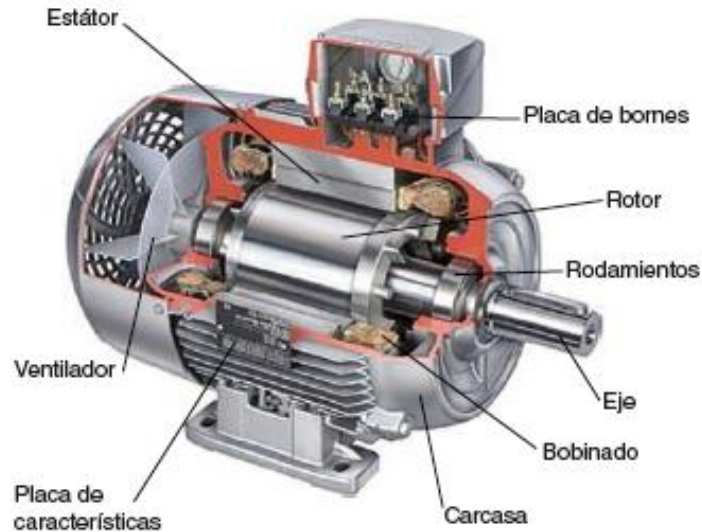


Figura 3. Parts d'un motor d'inducció de gàbia d'esquirol

A l'alimentar el debanat trifàsic de l'estátor, es produeix un flux magnètic giratori; la seva velocitat, anomenada velocitat de sincronisme, ve definida per la següent equació:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1)$$

On:

- n_s : velocitat del camp magnètic giratori; velocitat de sincronisme (min^{-1})
- f : freqüència del corrent de la xarxa elèctrica (Hz)
- p : nombre de parell de pols de la màquina

Aquest flux giratori induirà una força electromotriu en els conductors del rotor, que produirà uns corrents sobre els que neix una força en el sentit del camp magnètic. El moment total d'aquestes forces origina un par de rotació de la màquina, que obliga al rotor a girar.

2.3.3.1 Connexió estrella i connexió triangle.

Una màquina elèctrica, disposa d'un conjunt de tres debanats que es poden connectar en estrella o en triangle. La tensió i el corrent en les bobines es mantenen constants per a qualsevol de les dues connexions, ja que són característiques pròpies de la màquina i independents de la connexió que es realitzi; d'aquesta forma la potència total serà la mateixa independentment de la connexió. Ara bé, per cada connexió el motor s'alimenta d'una xarxa amb un valor de voltatge diferent.

Les variables que sí que pateixen variacions són la tensió i el corrent de línia que depenen de la connexió realitzada.

- Estrella
 - $V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$ (2)
 - $I_L = I_F$ (3)
- Triangle
 - $V_L = V_F$ (4)
 - $I_L = \sqrt{3} \cdot I_F$ (5)

Sent la potència activa:

$$P_{III} = 3 \cdot V_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

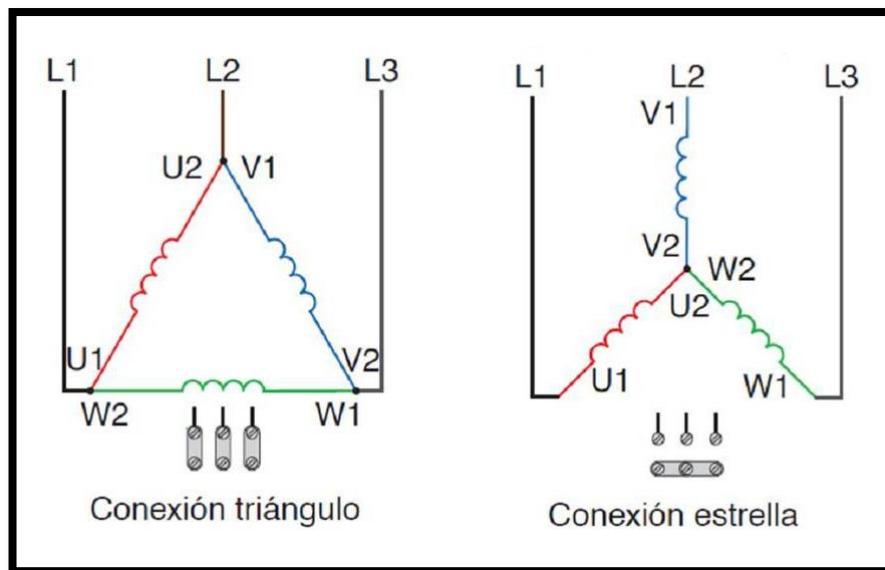


Figura 4. Connexió triangle i connexió estrella

2.3.4 Pertorbacions

S'entén com a pertorbació elèctrica qualsevol sistema trifàsic de tensions que no sigui ideal. Sent un sistema ideal el que compleix les següents característiques:

- Mateixa forma d'ona
- Mateixa amplitud
- Mateixa freqüència
- Simetria de les tensions trifàsiques (desfasament de 120° entre cada fase)

Es poden produir diverses pertorbacions en la qualitat del subministrament elèctric segons la forma d'ona de la tensió i/o del corrent d'alimentació. Aquestes pertorbacions, depenent de la seva durada, es poden classificar en transitòries i permanents.

Les pertorbacions més importants són les següents:

- 1) Desequilibris
- 2) Interrupcions
- 3) Sots de tensió
- 4) Distorsió de la forma d'ona
- 5) Variacions de freqüència

2.3.4.1 Desequilibris

S'entén com a tensió d'alimentació trifàsica ideal aquella que compleix les següents característiques:

- Mateixa forma d'ona
- Mateixa amplitud
- Mateixa freqüència
- Simetria de les tensions trifàsiques (desfasament de 120° entre fases)

Si qualsevol de les condicions anteriors no s'arriba a complir en un règim permanent, es disposa d'un sistema desequilibrat. Els desequilibris es classifiquen en amplitud (subtensió i sobretensió), i en desfasament d'angle.

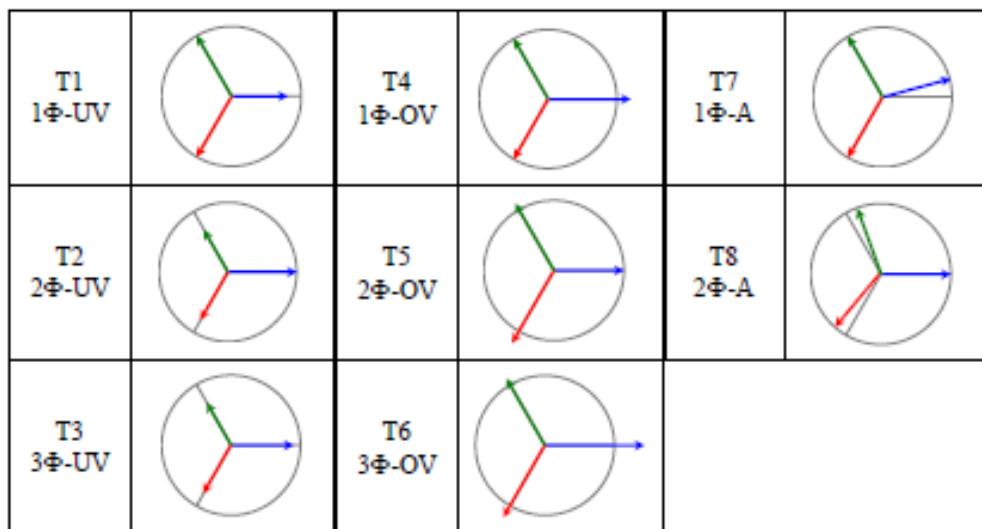


Figura 5. Fasors dels diferents desequilibris de tensió

2.3.4.2 Interrupcions

Una interrupció es defineix com la pèrdua total de tensió o corrent. Segons la seva duració, una interrupció es classifica en instantània, momentània, temporal o sostinguda. El rang de duració pels diferents tipus d'interrupcions és el següent:

- Instantània: 10 ms - 600 ms
- Momentània: 600 ms - 2 s
- Temporal: 2 s - 2 minuts
- Sostinguda: major de 2 minuts

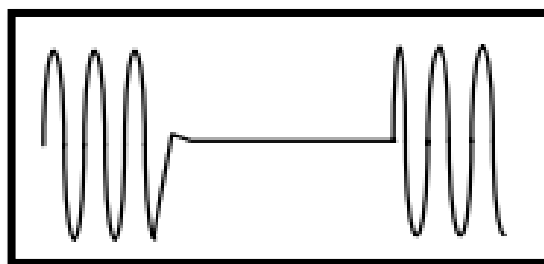


Figura 6. Interrupció momentània

Les causes de les interrupcions poden variar, però generalment són degudes a algun tipus de dany a la xarxa de subministrament elèctric, com caigudes de llamps, animals, arbres, accidents de vehicles, condicions atmosfèriques destructives, falla dels equips...

2.3.4.3 Sots de tensió

A diferència dels desequilibris, els sots de tensió són de règim transitori; és a dir, disposen d'un inici i d'un final.

2.3.4.3.1 Subtensió

És una reducció de la tensió de CA a una freqüència donada amb una duració de 10 ms a 1 minut.

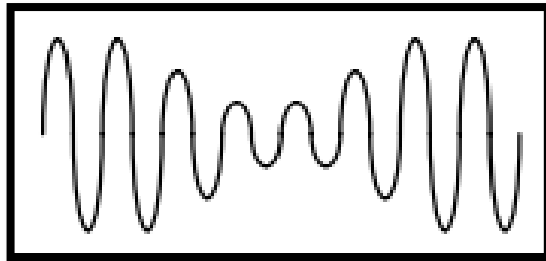


Figura 7. Subtensió

La subtensió acostuma a ser provocada per falles en el sistema, i freqüentment també són el resultat d'engegar càrregues amb altes demandes de corrent d'engegada.

2.3.4.3.2 Sobretensió

Un sobretensió és la forma inversa d'una subtensió, i disposa d'un augment en la tensió de CA amb una duració de 10 ms a 1 minut.

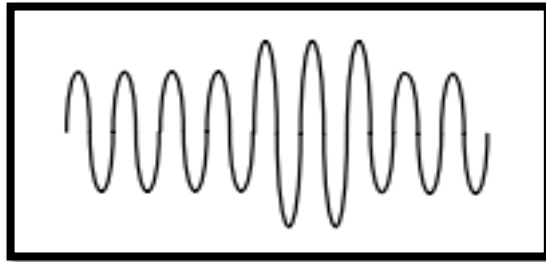


Figura 8. Sobretensió

En les sobretensions, són causes comunes les connexions neutres d'alta impedància, les reduccions sobtades de càrrega (especialment de càrregues elevades) i d'una falla monofàsica sobre un sistema trifàsic.

2.3.4.4 Distorsió en la forma d'ona

Existeixen cinc tipus principals de distorsió d'ona:

- 1) Desplaçament per CC
- 2) Harmòniques
- 3) Interharmònica
- 4) Impuls
- 5) Soroll

2.3.4.4.1 Desplaçament per CC

El corrent continu (CC) pot induir-se a un sistema de distribució de CA, normalment a conseqüència de falles de rectificadors dins de les diverses tecnologies de conversió CA a CC que han proliferat en els equips moderns. El CC pot transposar el sistema de subministrament de CA i afegir corrent no desitjat a dispositius que ja estiguin funcionant al seu nivell nominal.

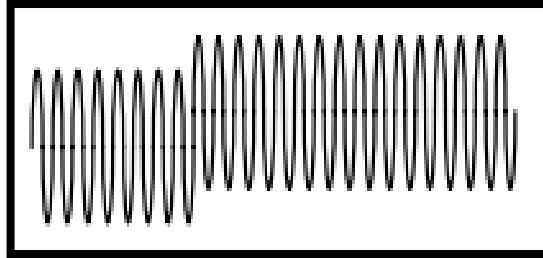


Figura 9. Desplaçament per CC

2.3.4.4.2 Harmòniques

La distorsió harmònica és la corrupció de l'ona sinusoidal fonamental a freqüències que són múltiples de la fonamental.

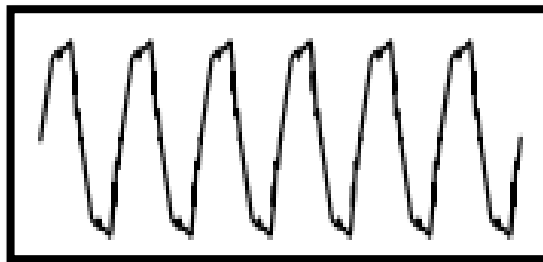


Figura 10. Distorsió harmònica típica de la forma d'ona

2.3.4.4.3 Interharmònica

La distorsió interharmònica és un tipus de distorsió d'ona que acostuma a ser resultat d'una senyal sobreposada en la senyal de tensió per equips elèctrics com convertidors de freqüència estàtics, motors d'inducció i dispositius de generació d'arc. Aquests dispositius transformen la tensió de potència en una tensió de CA d'una freqüència menor o major que la de la freqüència de subministrament.

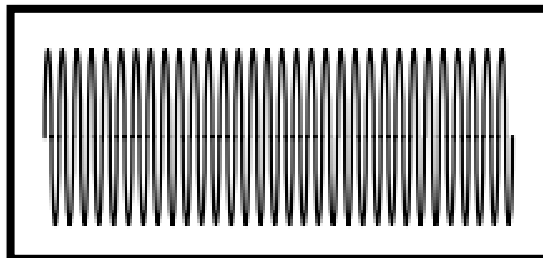


Figura 11. Distorsió interharmònica de la forma d'ona

2.3.4.4.4 Impuls

L'impuls és una pertorbació periòdica de la tensió causada per dispositius electrònics, com controladors de velocitat variable, atenuadors de llum i soldadors per arc

durant el funcionament normal. Aquest problema podria descriure's com un problema d'impuls transitori, però donat que els talls intermitents són periòdics en cada mig cicle, el tall intermitent es considera un problema de distorsió de la forma d'ona.

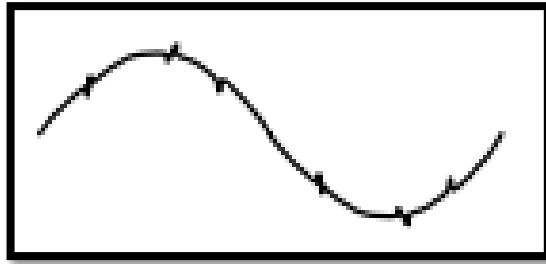


Figura 12. Impuls

2.3.4.4.5 Soroll

El soroll és una tensió no desitjada o corrent sobreposat a la tensió del sistema d'energia elèctrica o forma d'ona del corrent. El soroll pot ser generat per dispositius electrònics alimentats elèctricament, circuits de control, soldadors per arc, fonts d'alimentació per connexions, transmissions radials...

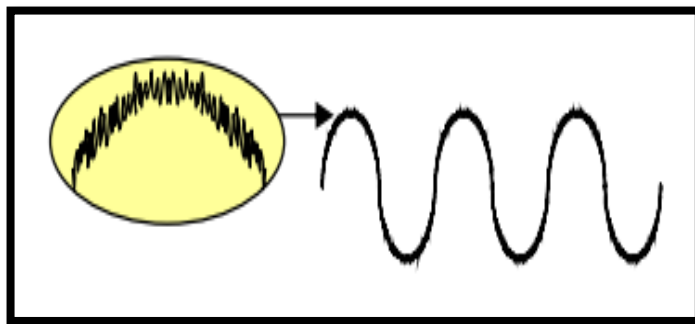


Figura 13. Soroll

2.3.4.5 Variacions de freqüència

La variació de freqüència és molt poc comú en sistemes estables de la xarxa elèctrica, però quan es disposen de generadors de reserva, la variació de freqüència és més comú, especialment si el generador es troba molt carregat.

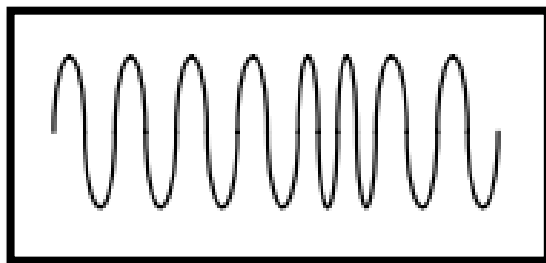


Figura 14. Variacions de la freqüència

2.4 Normes i referències

2.4.1 Disposicions legals i normes aplicades

Per a la realització del següent estudi, s'ha tingut en compte la normativa específica que es presenta a continuació:

- Norma UNE-60947: Aparamenta de baja tensión
 - UNE-60947-1: Reglas generales
 - UNE-60947-4: Contactores y arrancadores de motor
 - ✓ UNE-60947-4-1: Contactores y arrancadores electromecánicos
 - UNE-60947-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando
 - ✓ UNE-60947-5-1: Aparatos electromecánicos para circuitos de mando
- Norma UNE-50160: Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución

2.4.2 Bibliografia

- Aparatos de conmutación, el contactor. F. Martín Sarmiento
- Improved estimation of induction machine parameters. M. Akbaba, M. Taleb, A. Rumeli
- Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico. J. Seymour, T. Horsley
- Máquinas asíncronas. M. Á. Rodríguez
- Máquinas eléctricas. J. Fraile Mora
- REBT: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias
- Tiempo de respuesta de un contactor. R. G. Borrás, R. Ferreiro, M. Luaces, A. Fortúñez

2.4.3 Programes de càlcul

- PSIM 9.0

2.4.4 Pla de gestió de la qualitat aplicat durant la redacció del projecte

Un cop finalitzada la realització del estudi, s'han revisat totes les dades que apareixen en aquest document. S'ha dut a terme una autocorrecció amb la finalitat de garantir que tot el projecte sigui coherent en totes les seves parts, per tal d'evitar errors o mal entesos en la realització del mateix.

De la mateixa forma, s'han realitzat inspeccions visuals per a la correcció de qualsevol error de tipus ortogràfic, gramatical, de disseny del document, de definicions de cadascun dels elements esmentats i de les mesures que apareixen en el present document.

2.4.5 Altres referències

2.4.5.1 Webgrafia

- http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=15&id_sec=1
- <http://electroautomatizaciones.blogspot.com.es/>

2.4.5.2 Altres programes utilitzats

- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010

2.5 Definicions i abreviatures

- t_O KM2: Temps teòric d'obertura del contactor KM2
- t_R KM2: Temps de retard en l'obertura del contactor KM2
- t_1 KM2: Temps d'obertura final de la fase L1 del contactor KM2
- t_2 KM2: Temps d'obertura final de la fase L2 del contactor KM2
- t_3 KM2: Temps d'obertura final de la fase L3 del contactor KM2
- t_T KM3: Temps teòric de tancament del contactor KM3
- t_R KM3: Temps de retard en el tancament del contactor KM3
- t_{123} KM3: Temps de tancament final de les fases L1, L2, L3 del contactor KM3
- I_{P1} : Pic de corrent de línia de la fase L1 produït degut a la commutació
- I_{P2} : Pic de corrent de línia de la fase L2 produït degut a la commutació
- I_{P3} : Pic de corrent de línia de la fase L3 produït degut a la commutació
- I_P : Pic de corrent de línia total produït degut a la commutació
- $N_{A.C.}$: Velocitat abans de la commutació
- $N_{D.C.}$: Velocitat després de la commutació
- ΔN : Pèrdua de velocitat durant a la commutació
- T_P : Parell de pic produït degut a la commutació
- E.T.: Estrella-triangle
- R.E.: Resistències estatòriques
- I.G.: Inversió de gir

2.6 Requisits de disseny

Per a dur a terme la realització d'aquest estudi, s'han proposat una sèrie de premisses i requisits a seguir per part del director del TFG, Luis Guasch Pesquer. Aquest requisits són:

- Anàlisi mitjançant PSIM.
- Anàlisi inicial de les possibles pertorbacions que genera un contactor.
- Anàlisi comparatiu de l'engegada estrella-triangle, amb l'engegada mitjançant resistències estatòriques.
- Utilització d'un motor de 75 kW, amb unes característiques conegudes per fer tots els assaigs simulats.

2.6.1 Anàlisi mitjançant PSIM

El programa utilitzat per a la realització del present estudi, és el PSIM. És un programa que s'utilitza en diferents assignatures del Grau d'Enginyeria Elèctrica de la Universitat Rovira i Virgili, i per tant, es disposen d'uns coneixements previs per par de l'autor d'aquest estudi com del director del mateix.

D'altra banda, el PSIM és una eina de treball que ens permet analitzar el comportament dinàmic d'un sistema electromecànic, per exemple: engegada, frenat, inversió de gir... Finalment, ens permet exportar fàcilment els resultats en format de matriu en un fitxer format "txt", aquest fitxer es pot importar fàcilment a un full de càlcul o alguna aplicació matemàtica pel seu posterior tractament i anàlisi.

2.6.2 Anàlisi inicial de les possibles pertorbacions que genera un contactor

S'ha analitzat quines pertorbacions pot arribar a provocar un contactor en les accions d'obertura i tancament, per a poder modelitzar-les posteriorment mitjançant el programa PSIM.

Bàsicament els contactors provoquen interrupcions en l'alimentació del motor, però aquestes no sempre es produeixen de forma instantània a totes les fases, si no que poden produir-se de forma seqüencial, vinculades amb el pas per zero dels corrents a cada una de les fases.

2.6.3 Anàlisi comparatiu de l'engegada estrella-triangle, amb l'engegada mitjançant resistències estatòriques

Un cop observades les diferents pertorbacions produïdes pel contactor en les maniobres d'engegada estrella-triangle i en l'engegada mitjançant resistències estatòriques, s'ha fet un anàlisi comparatiu entre els dos mètodes d'engegada. D'aquesta forma, s'observarà quin mètode pateix majors pertorbacions i quin seria el millor mètode per dur a terme l'engegada d'un motor d'inducció.

2.6.4 Utilització d'un motor de 75 kW, amb unes característiques conegudes per fer tots els assaigs simulats

Per tal de realitzar el següent estudi, s'han proporcionat les característiques d'un motor d'inducció trifàsic de 75 kW. La placa de característiques es mostra a la Taula 1.

Placa de característiques		
Potència nominal	7500	W
Tensió nominal	1905 / 3300	V
Intensitat nominal	26.54 / 15.32	A
Factor de potència	0.856	
Freqüència	50	Hz
Velocitat nominal	1455	min ⁻¹
Parell nominal	492.2	N·m

Taula 1. Placa de característiques del motor donat

A part de les diferents característiques proporcionades per la mateixa placa de característiques, s'han proporcionant diversos paràmetres tant del motor com de la càrrega per introduir en el programa de càlcul PSIM. Aquests paràmetres es mostren a la Taula 2.

Dades PSIM		
Motor (Squirrel-cage Ind. Machine [linear])		
Rs	4.734	Ω
Ls	0.038404	H
Rr	3.447	Ω
Lr	0.038404	H
Lm	1.664315	H
Nº Poles	4	
Moment Inertia	2.6	
Càrrega (Mechanical Load [general])		
Tc	0	
K1	0	
K2	0.02108	
K3	0	
Moment Inertia	2.6	

Taula 2. Paràmetres del motor introduïts al PSIM

2.7 Anàlisi de solucions

No és d'aplicació en aquest treball.

2.8 Resultats finals

2.8.1 Introducció

Un cop s'ha obtingut tota la informació prèvia necessària per a la realització d'aquest estudi, s'han tractat diversos casos; diverses maniobres per a poder observar les pertorbacions produïdes pel contactor en diferents situacions. Les maniobres analitzades són les següents:

- Engegada estrella-triangle.
- Engegada mitjançant resistències estatòriques.
- Inversió de gir.

Per a poder observar cadascuna d'aquestes maniobres adequadament, s'han realitzat 61 simulacions amb el programa PSIM. En cada una de les diferents simulacions que s'han realitzat, s'han donat diferents valors d'instant de temps per a l'actuació del contactor; sempre tenint en compte l'obertura sense simultaneïtat i el tancament amb simultaneïtat. D'aquesta forma, s'han donat tres valors de temps diferents al contactor que hagués de realitzar una obertura i un sol valor de temps al contactor que hagués de realitzar un tancament de contactes.

Per a l'obtenció dels diferents temps d'actuació del contactor, s'ha pres com a referència l'ona sinusoidal de la tensió. Segons la maniobra que s'estigui duent a terme, es realitzarà la commutació en un instant o en un altre (3.5 segons en les maniobres d'engegada i 2 segons en la maniobra d'inversió de gir). Degut a que l'obertura dels contactes ve en funció de l'ona sinusoidal del corrent i no de la tensió, en l'instant de temps en que s'hauria de realitzar l'obertura del primer contacte, s'ha d'afegir el desfasament entre la tensió i el corrent. Seguidament, per a l'obtenció dels temps dels altres dos contactes de les dues fases restants, s'ha de sumar el desfasament entre les diferents fases. En aquests temps obtinguts, s'ha d'afegir el propi temps de retard d'actuació del propi contactor. D'altra banda per a l'obtenció dels diferents temps de tancament dels contactes, es pren com a referència l'últim temps d'obertura (sempre que hi hagués una obertura prèvia de contactes d'un altre contactor). En aquets temps de referència, simplement s'ha d'afegir el temps d'actuació del contactor. Per a més informació, consultar l'apartat d'annexes.

De totes les dades que ens podria facilitar el PSIM, ens hem centrat sobretot en els pics de corrents, els pics de parell i la pèrdua de velocitat; produïts durant la commutació de contactes per a la realització de cadascuna de les maniobres comentades anteriorment.

En referència als pics de corrent, ens hem centrat en els pics de corrent de cada una de les fases; destacant el pic de corrent amb un valor absolut més elevat. Pel que fa a la velocitat, s'ha observat la velocitat del motor en l'instant just abans de començar la commutació i l'instant just després que aquesta hagi finalitzat. Per a l'obtenció del valor de la pèrdua de velocitat durant la commutació, simplement s'han restat els dos valors. Sobre els pics de parell, ens hem centrat en el pic de parell amb un valor absolut més elevat.

2.8.2 Maniobra d'engegada estrella-triangle

Per a realitzar l'estudi dels efectes de les pertorbacions provocades pel contactor en aquesta maniobra; s'han realitzat un total de 29 simulacions, cada una d'elles amb diferents temps d'actuació del contactor. Seguidament, ens hem centrat majoritàriament en el cas ideal (suposant uns contactors que actuessin sense retards i amb simultaneïtat) i en el cas més desfavorable (simulació en la qual s'ha produït el pic de corrent amb un valor absolut més elevat). D'aquesta forma, es pot realitzar una comparació entre el cas en el que no hi ha cap pertorbació provocada pel contactor i el cas on les pertorbacions són màximes.

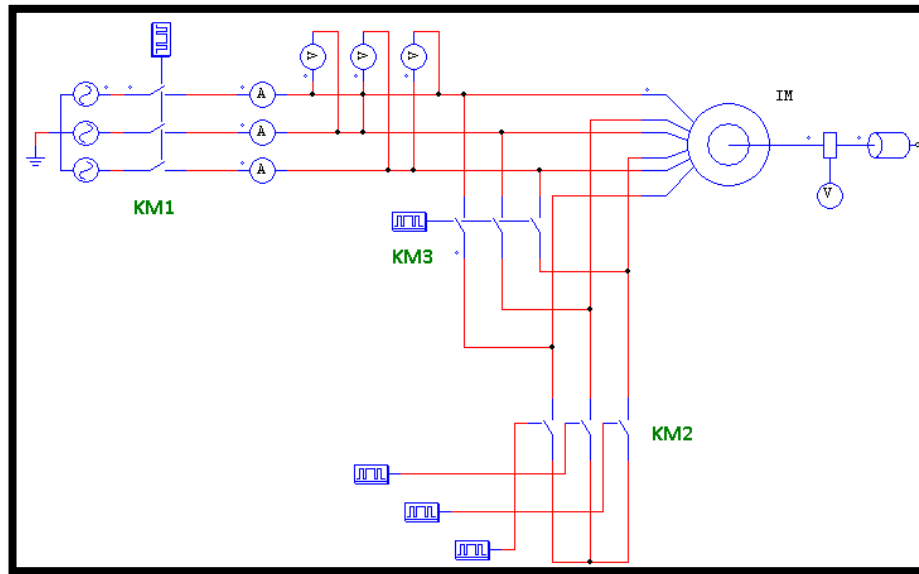


Figura 15. Esquema elèctric de la maniobra d'engegada estrella-triangle

Per a la correcta realització de la maniobra, s'ha alimentat el motor amb una tensió de línia trifàsica sinusoidal de 1905 V. Al tractar-se d'un motor que necessita una tensió d'alimentació de $1905_{\Delta}/3300_Y$ V, és necessari alimentar el motor amb la tensió de triangle; ja que és aquesta la connexió amb la quedarà connectat el motor en règim estacionari o permanent.

Seguidament, s'han col·locat 3 amperímetres en sèrie al motor per controlar els valors del corrent de línia que rep el mateix motor, de la mateixa forma s'han col·locat tres voltímetres en paral·lel per a controlar els valors de les tensions de línia. A continuació, s'ha col·locat un sensor de velocitat ("speed sensor") entre la sortida mecànica del rotor i la càrrega mecànica. Per a poder realitzar el control del parell, el mateix programa ens ofereix la possibilitat d'introduir un sensor de parell ("torque flag") dins del mateix motor.

S'ha pretès realitzar la commutació de connexions als 3.5 segons a partir de l'alimentació del motor. D'aquesta forma, el motor disposa d'aproximadament de la meitat de la seva velocitat nominal (1455 min^{-1}).

Per a poder realitzar el control de la mateixa maniobra i poder realitzar correctament la commutació de connexions, s'han col·locat tres contactors. Aquests realitzen les següents funcions:

- El contactor KM1 permetrà l'alimentació del motor. Permetrà donar tensió al motor i treure-li quan es cregui convenient. Per a la realització d'aquest estudi no es tindrà en compte els seus retards d'actuació i es considerarà com un contactor ideal, que només permet l'alimentació del motor.
- El contactor KM2 permetrà realitzar la connexió estrella. Al tancar els seus contactes (sempre i quan els contactes de KM3 estiguin oberts) es realitzarà la connexió en estrella. Com es pot observar en la figura anterior, aquest contactor està format per tres "Gatings Blocks" (element que permet controlar l'obertura i el tancament del contactes); d'aquesta forma, com que en el primer instant de l'engegada es considera que aquests contactes han d'estar tancats, i per a realitzar la commutació de connexions s'ha de realitzar l'obertura d'aquests contactes, i aquesta obertura no es realitza amb simultaneïtat en les tres fases, són necessaris tres elements diferents per a poder controlar aquest contactor.
- El contactor KM3 permetrà realitzar la connexió en triangle. Al tancar els seus contactes (sempre i quan els contactes de KM2 estiguin oberts) es realitzarà la connexió en triangle. Com es pot observar en la figura anterior, aquest contactor, a diferència del contactor KM2, està format per un "Gating Block"; d'aquesta forma, com que en el primer instant de l'engegada els contactes han d'estar oberts, i per a realitzar la commutació de connexions s'ha de realitzar el tancament d'aquests contactes, i aquest tancament es realitza amb simultaneïtat en les tres fases, només és necessari un "Gating Block" per a controlar aquest contactor.

2.8.2.1 La maniobra

Aquest mètode d'engegada es basa en connectar el motor en estrella en una xarxa on s'hauria de connectar en triangle. D'aquesta forma, durant l'engegada els debanats estan a una tensió $\sqrt{3}$ cops inferior a la nominal.

L'objectiu principal d'aquest mètode d'engegada és disminuir el pic de corrent produït durant l'engegada. En el cas estudiat, disposem d'un motor 1905/3300 V i una xarxa de 1905 V. D'aquesta forma, el motor hauria de connectar-se en triangle i els seus debanats suportarien 1905 V.

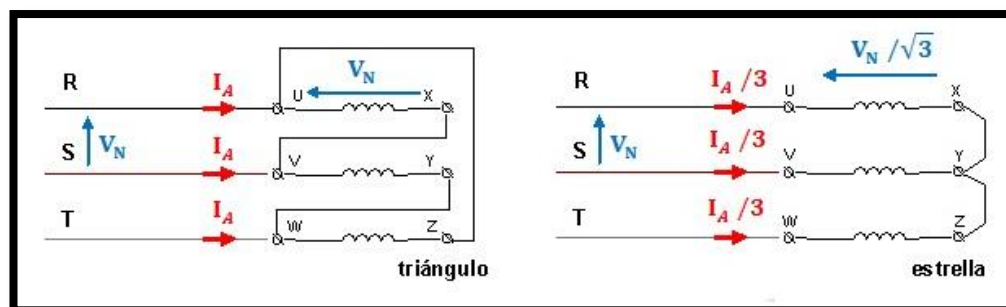


Figura 16. Diagrama de corrents i tensions en l'engegada estrella-triangle

Al realitzar la connexió estrella sobre una xarxa de 1905 V cada debanat suporta una tensió de 1100 V, per tant l'estator genera un camp giratori de menor flux magnètic i la seva corba del parell presenta valors més baixos a la mateixa velocitat; el parell

d'engegada es redueix 1/3. Respecte el corrent de línia en l'engegada, aquest també es redueix 1/3.

$$I_{eng}(Y - \Delta) = \frac{I_{eng}(\Delta)}{3} \quad (7) \quad T_{eng}(Y - \Delta) = \frac{T_{eng}(\Delta)}{3} \quad (8)$$

La seqüència de funcionament és la següent:

Es tanca el contactor KM1 i KM2, connectant el motor en estrella i arrencant amb els valors de parell i corrent reduïts. Seguidament, la velocitat va augmentant. Quan el motor disposa de la meitat de la seva velocitat nominal (en el nostre cas, transcorreguts 3.5 segons), s'obre KM2 i es tanca KM3; com a conseqüència el motor deixa d'estar connectat en estrella per estar-ho en triangle. Finalment, el motor s'estabilitza a la seva velocitat nominal amb els seus valors de corrent i parell nominal.

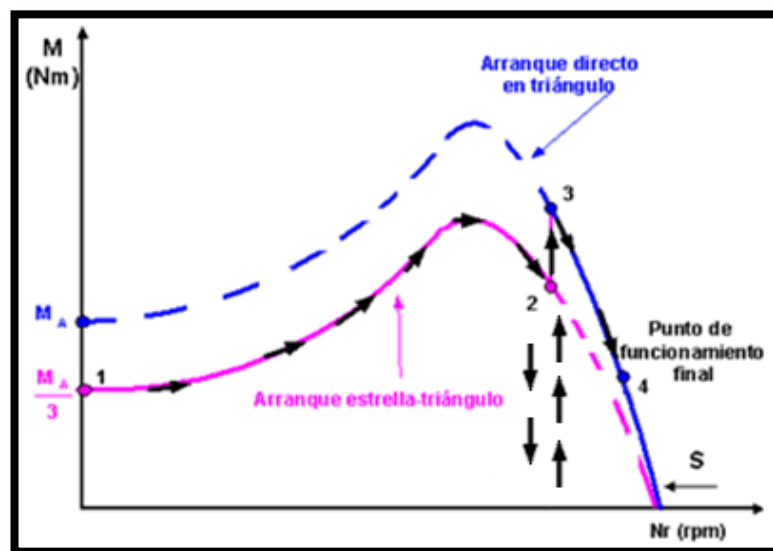


Figura 17. Diagrama parell-velocitat del mètode d'engegada E.T.

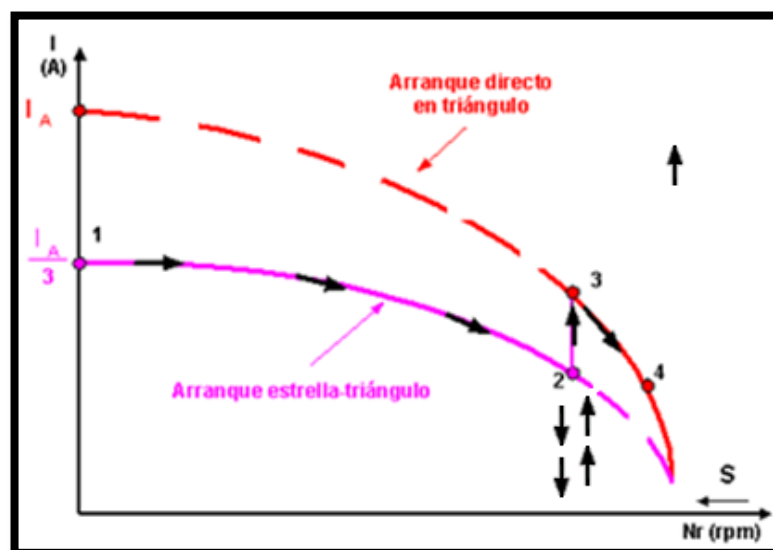


Figura 18. Diagrama corrent-velocitat del mètode d'engegada E.T.

Sent els punts:

- 1) Connexió en estrella amb la xarxa.
- 2) Desconnexió en estrella.
- 3) Connexió en triangle.
- 4) Condicions nominals.

2.8.2.2 Estudi del cas ideal

Seguidament, per a poder començar l'estudi, s'ha simulat el comportament del motor en el cas ideal (simulació n°19), suposant que els contactes del contactor tanquen i obren amb simultaneïtat. D'aquesta forma, obtindrem els valors dels pics de corrent i parell que es produeixen amb la pròpia maniobra del motor, sense tenir en compte les pertorbacions que produeix el contactor.

Els resultats obtinguts són els següents:

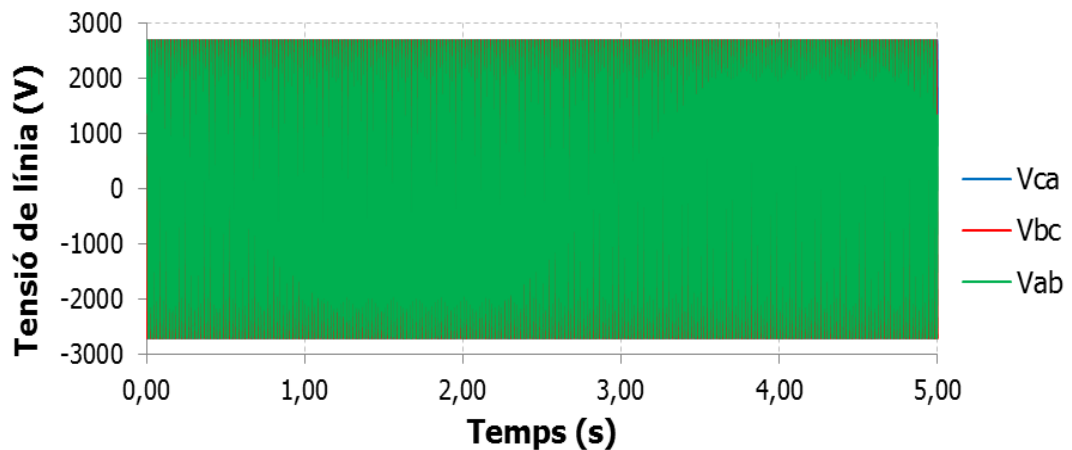


Figura 19. Tensió de línia en la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19)

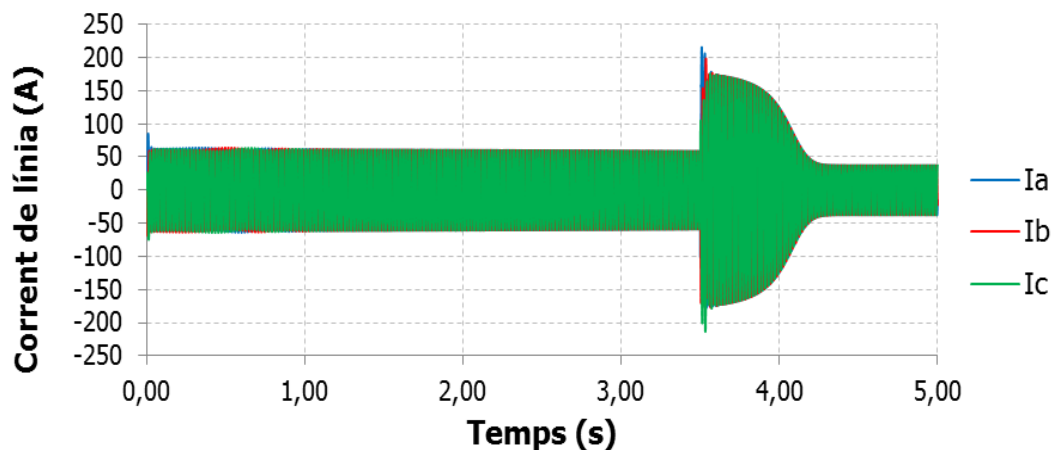


Figura 20. Corrent de línia en la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19)

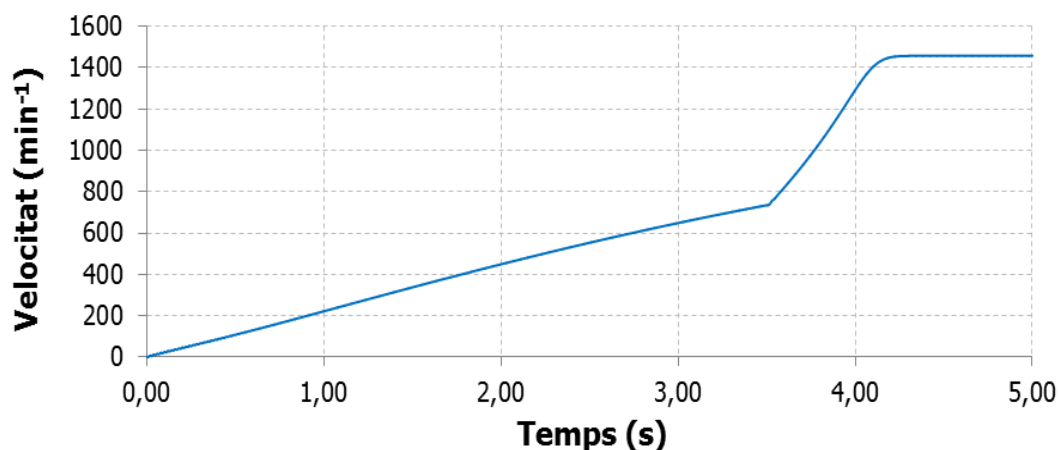


Figura 21. Velocitat en la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19)

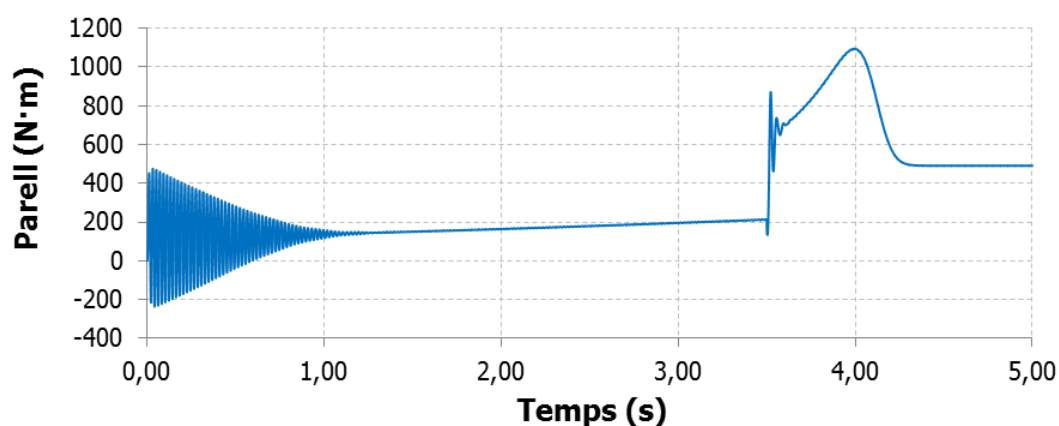


Figura 22. Parell en la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19)

Seguidament, per a poder observar amb més claredat els valors obtinguts, i poder observar els valors dels pics de corrent i parell que es produeixen per la pròpia maniobra del motor, s'ha realitzat una taula amb les dades obtingudes més significatives.

Aquests resultats són els següents:

t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
3.50000	3.50000	3.50000	3.50000	215.5	5.74	0.00	0.0000	1095	2.22

Taula 3. Resultats de la maniobra d'engegada estrella-triangle en el cas ideal (simulació n°19)

Un cop obtingudes les lectures dels aparells de mesura de la maniobra del motor en el cas ideal, es podrà analitzar els veritables efectes en les pertorbacions produïdes pel contactor.

2.8.2.3 Estudi amb els diferents retards

Un cop obtinguts els resultats pel cas ideal; s'han realitzat diverses simulacions pels diferents temps possibles d'actuació del contactor. Aquestes simulacions han estat realitzades tenint en compte el tancament amb simultaneïtat i l'obertura amb desfasaments entre les tres fases.

Els resultats obtinguts són els següents:

t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
3.50463	3.50796	3.51129	3.52119	265.2	7.07	10.59	0.0073	1107	2.25
3.50463	3.50796	3.51129	3.52699	260.2	6.93	5.00	0.0034	1107	2.25
3.50523	3.50856	3.51189	3.52179	263.5	7.02	10.39	0.0071	1110	2.26
3.50523	3.50856	3.51189	3.52759	258.6	6.89	5.09	0.0035	1110	2.26
3.50573	3.50906	3.51239	3.52229	266.1	7.09	10.23	0.0070	1115	2.27
3.50573	3.50906	3.51239	3.52809	255.8	6.82	5.20	0.0036	1115	2.26
3.50623	3.50956	3.51289	3.52279	267.4	7.13	10.06	0.0069	1120	2.28
3.50623	3.50956	3.51289	3.52859	251.7	6.71	5.30	0.0036	1120	2.27
3.50673	3.51006	3.51339	3.52329	267.4	7.12	9.89	0.0068	1125	2.29
3.50673	3.51006	3.51339	3.52909	253.4	6.75	5.38	0.0037	1124	2.28
3.50723	3.51056	3.51389	3.52379	265.9	7.09	9.74	0.0067	1129	2.29
3.50723	3.51056	3.51389	3.52959	255.4	6.81	5.41	0.0037	1129	2.29
3.50773	3.51106	3.51439	3.52429	263.0	7.01	9.61	0.0066	1133	2.30
3.50773	3.51106	3.51439	3.53009	256.3	6.83	5.40	0.0037	1132	2.30
3.50823	3.51156	3.51489	3.52479	258.6	6.89	9.51	0.0065	1136	2.31
3.50823	3.51156	3.51489	3.53059	256.2	6.83	5.34	0.0037	1135	2.31
3.50883	3.51216	3.51549	3.52539	261.5	6.97	9.45	0.0065	1138	2.31
3.50883	3.51216	3.51549	3.53119	254.4	6.78	5.23	0.0036	1138	2.31

Taula 4. Resultats de la maniobra d'engegada estrella-triangle (simulació n°1-18)

Es pot observar clarament que depenent de l'instant de temps exacte en el qual es realitzi el tancament/obertura dels contactes del contactor, es poden arribar a produir uns pics de corrent d'un 25% aproximadament per sobre el pic de corrent en el cas ideal. Aquest fenomen no és degut a la quantitat de temps en el que el motor no rep corrent durant l'obertura i el tancament dels contactors KM2 i KM3; sinó que és degut a l'instant exacte de temps en que es dur a terme la commutació. En dos maniobres realitzades amb el mateix temps d'obertura del KM2 i diferents temps de tancament de KM3, disposem d'un pic major de corrent en la maniobra amb menor retard de tancament.

Depenent si la obertura o el tancament es realitza en un moment o en un altre, podem arribar a obtenir diferents resultats. Aquest fenomen depèn de l'instant exacte on es troba la ona sinusoidal del corrent en l'instant en que es produeix la maniobra d'obertura o tancament. Depenent d'aquest temps, com es pot veure anteriorment es poden arribar a obtenir diferents valors de pics de corrent en instants de temps molt pròxims.

En referència al decrement de velocitat durant la commutació, es pot observar clarament que durant els instants de temps en els quals es produeix la commutació hi ha una petita pèrdua de velocitat. Aquesta pèrdua de velocitat, hauria de ser a priori en funció de la quantitat de temps que el motor no rep alimentació; però no ho és.

El pic de parell produït és degut a que en el primer tram de l'engegada, en la connexió estrella, el parell queda reduït en 1/3 (segons el model matemàtic de règim permanent); d'aquesta forma al produir-se l'intercanvi de connexions, la màquina tendeix a recuperar el parell que hauria de disposar, provocant un pic de parell. En referència a

aquest pic de parell, no s'observen uns valors tant diferents amb el cas ideal; només un 5%. Aquesta petita variació ve deguda a l'augment del pic de corrent produït.

2.8.2.4 Estudi del cas més desfavorable

Seguidament, observarem amb més deteniment el cas més desfavorable; la simulació en la qual s'ha produït el pic de corrent més elevat. D'aquesta forma, podem observar les pitjors pertorbacions que pot provocar el contactor.

Aquest cas consisteix a la simulació realitzada número 7, en la qual s'ha produït un retard de 4.5 ms (sense simultaneïtat) en l'obertura del KM2 i un retard de 9.9 ms (amb simultaneïtat) en el tancament del contactor KM3. D'aquesta forma, els instants de temps en els quals s'ha realitzat la commutació són els següents:

t_0 KM2 [s]	t_R KM2 [ms]	t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_T KM3 [s]	t_R KM3 [ms]	t_{123} KM3 [s]
3.50	4.5	3.50623	3.50956	3.51289	3.51289	9.9	3.52279

Taula 5. Temps d'actuació dels contactors en la simulació n° 7

Seguidament, per a poder observar amb més claredat els valors obtinguts, i poder observar els valors de les pitjors pertorbacions que es produeixen pel propi contactor, s'ha realitzat una taula amb les dades obtingudes més significatives.

Aquests resultats són els següents:

t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
3.50623	3.50956	3.51289	3.52279	267.4	7.13	10.06	0.0069	1120	2.28

Taula 6. Resultats de la maniobra d'engegada estrella-triangle en el pitjor cas (simulació n°7)

Seguidament, s'observaran els diversos valors del corrent, comparant-los amb el cas ideal per a observar amb claredat les pertorbacions provocades pel contactor.

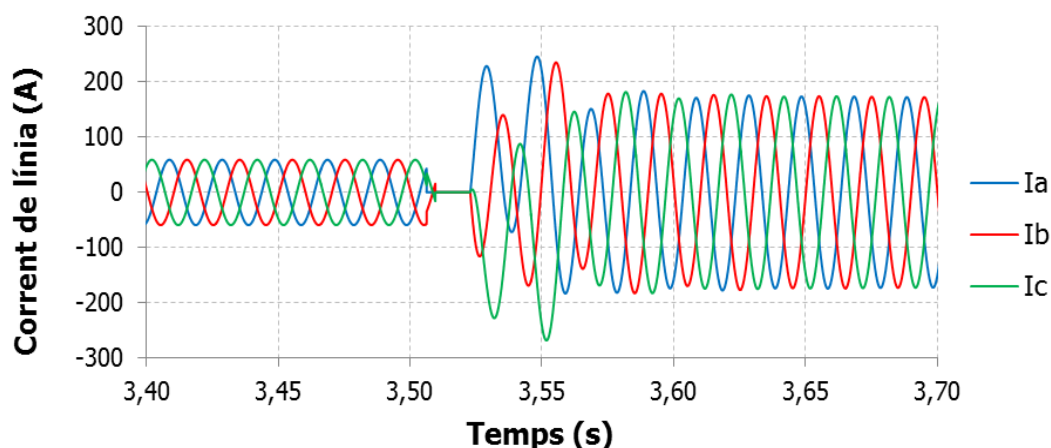


Figura 23. Corrent de línia en la maniobra d'engegada estrella-triangle en la simulació n°7

Es pot veure en la figura anterior com es van obrir els diferents contactes del contactor KM2, provocant que el motor es quedi sense alimentació durant uns instants de

temps. Seguidament, passats uns milisegons, corresponents al retard en el tancament dels contactes del contactor KM3, es produeix el tancament del circuit amb simultaneïtat en les tres fases; provocant diversos pics de corrent; destacant el pic del corrent de la fase L3 amb un valor de -267.4 A (7.13 pu).

Comparant aquest cas amb el cas ideal, podem observar veritablement les màximes pertorbacions que pot arribar a provocar el contactor.

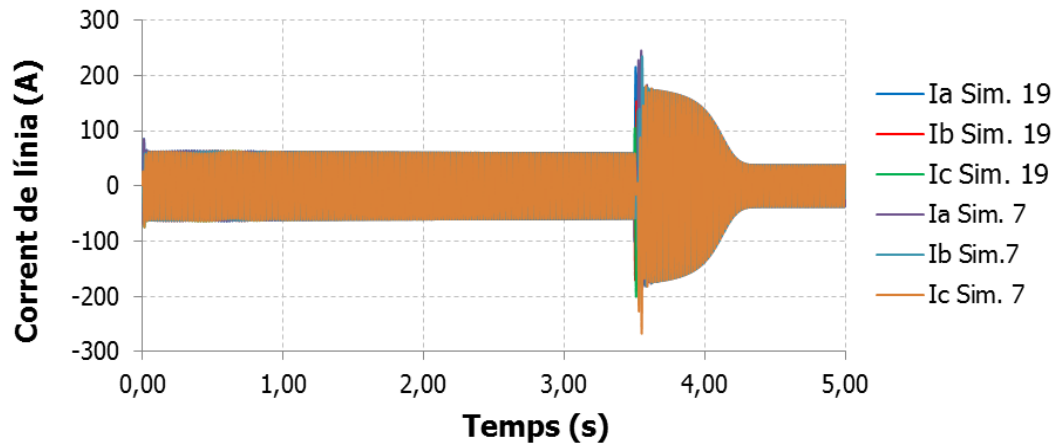


Figura 24. Comparativa del corrent de línia entre la simulació n°7 i n°19

A simple vista, es pot observar que en règim permanent no es noten les pertorbacions del contactor; ja que tant el corrent en el cas ideal, simulació n°19, com en el cas més desfavorable, simulació n°7, estan en fase i disposen del mateix valor eficaç de corrent. Però és durant la commutació quan s'observen amb claredat aquestes pertorbacions.

Durant el règim transitori, es pot observar com el corrent que circula pel motor en el cas on es produeixen els retards d'actuació del contactor és de valor més elevat que en el cas ideal.

Seguidament, observarem la commutació amb més deteniment:

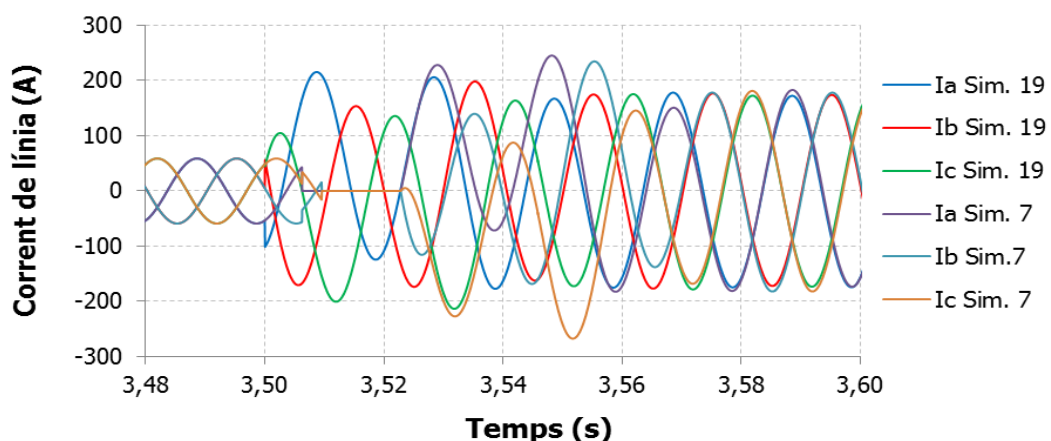


Figura 25. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°7 i n°19

Seguidament, observarem amb més claredat la fase L3, fase en la qual s'ha produït el major pic de corrent.

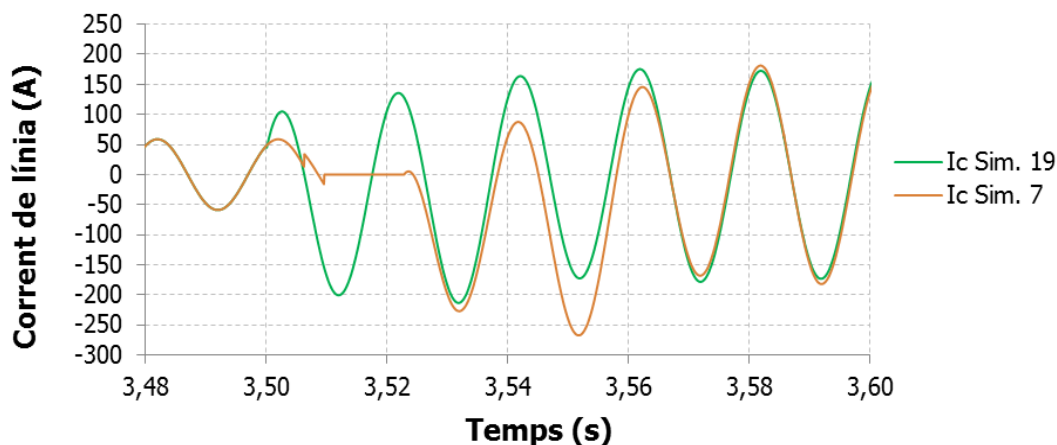


Figura 26. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°7 i n°19

En referència al parell, es pot observar que les diferències són mínimes. En el cas ideal, el pic de parell és mínimament inferior que en la simulació realitzada n°7. Aquest fenomen és degut a la variació del pic de corrent comentat anteriorment.

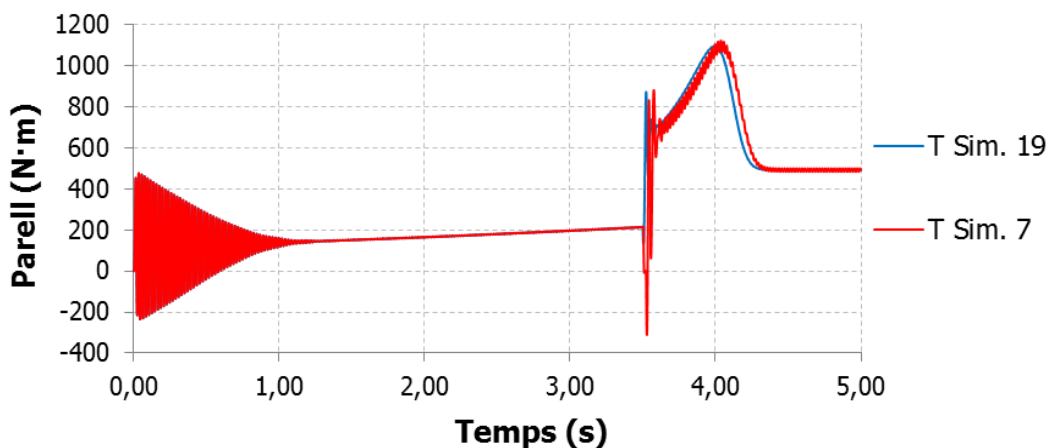


Figura 27. Comparativa del parell entre la simulació n° 7 i n°19

2.8.2.5 Maniobra d'engegada estrella-triangle amb diversos retards de l'autòmat

Seguidament, per seguir amb l'estudi, s'han realitzat diverses simulacions considerant a part del retard del contactor, el retard en l'actuació d'un possible autòmat. S'ha considerat un retard màxim del autòmat de 20 milisegons, que coincideix amb el valor del període de l'ona sinusoidal del corrent. D'aquesta forma, tots els retards majors de 20 milisegons, només comportarà una repetició dels resultats (sempre i quan es tingui en compte el retard de l'autòmat en l'obertura i en el tancament dels contactes); ja que l'instant exacte on s'haurà produït l'obertura/tancament, ja haurà estat estudiat amb anterioritat.

El objectiu principal d'aquest cas, és observar els efectes de les pertorbacions amb uns retards d'actuació impropis en el contactor, retards molt superiors als habituals. D'aquesta forma, es pretén observar tots els rangs de les pertorbacions que es produeixen degut al contactor. De la mateixa forma, es pretén demostrar que les pertorbacions no són funció de la quantitat de temps que el motor no rep alimentació, sinó que són funció de l'instant exacte en que es produeix la commutació.

Per a la simplificació dels càlculs, s'ha considerat que els contactes realitzaven l'obertura i el tancament amb simultaneïtat en les tres fases i només s'ha considerat el retard d'actuació de l'autòmat en tancament dels contactes.

Els resultats obtinguts són els següents:

t_{123} KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
3.50000	3.50200	252.1	6.72	6.38	0.0044	1127	2.29
3.50000	3.50400	269.2	7.17	9.90	0.0068	1126	2.29
3.50000	3.50600	258.6	6.89	12.74	0.0088	1126	2.29
3.50000	3.50800	264.6	7.05	14.41	0.0099	1127	2.29
3.50000	3.51000	264.4	7.05	14.69	0.0101	1126	2.29
3.50000	3.51200	265.3	7.07	13.63	0.0094	1126	2.29
3.50000	3.51400	266.3	7.10	11.53	0.0079	1126	2.29
3.50000	3.51600	266.1	7.09	8.95	0.0062	1126	2.29
3.50000	3.51800	261.2	6.96	6.60	0.0045	1126	2.29
3.50000	3.52000	260.7	6.95	5.26	0.0036	1126	2.29

Taula 7. Resultats de la maniobra d'engegada estrella-triangle amb diversos retards del autòmat (simulació n°20-29)

Es pot observar perfectament; tal com s'havia comentat anteriorment, que la magnitud del pic de corrent, no depèn de la quantitat de temps en que el motor no rep corrent, sinó de l'instant exacte en es troba la ona sinusoidal del corrent en l'instant en que es produeix la maniobra d'obertura o tancament.

2.8.3 Maniobra d'engegada mitjançant resistències estatòriques

Per a realitzar l'estudi dels efectes de les pertorbacions provocades pel contactor en aquesta maniobra; s'han realitzat un total de 13 simulacions, cada una d'elles amb diferents temps d'actuació del contactor. Seguidament, ens hem centrat majoritàriament en el cas ideal (suposant un contactor que actués sense retards i amb simultaneïtat) i en el cas més desfavorable (cas en el qual s'ha produït el pic de corrent amb un valor absolut més elevat). D'aquesta forma, es pot realitzar una comparació entre el cas en el que no hi ha cap pertorbació provocada pel contactor i el cas on les pertorbacions són màximes.

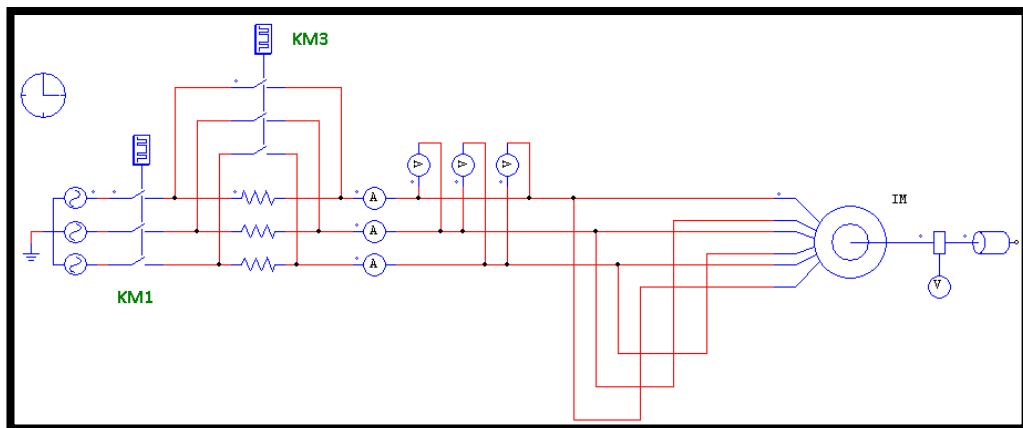


Figura 28. Esquema elèctric de la maniobra d'engegada mitjançant resistències estatòriques

Per a la correcta realització de la maniobra, s'ha alimentat el motor amb una tensió de línia trifàsica sinusoidal de 1905 V per a que el motor quedi connectat en connexió triangle. D'aquesta forma, mantindrem la mateixa connexió que en el cas estudiat anteriorment, permetent-nos comparar els dos mètodes d'engegada amb igualtat de condicions.

S'ha connectat en sèrie al motor, en els debanats del estator, unes resistències trifàsiques de valor 9.4242Ω . Aquest valor de la resistència ens permet realitzar la commutació en el mateix instant de temps (3.5 segons) a la vegada que el motor disposa de la mateixa velocitat (734.8 min^{-1}) que en el cas estudiat amb anterioritat.

Seguidament, s'han col·locat 3 amperímetres en sèrie al motor per controlar els valors del corrent de línia que rep el mateix motor, de la mateixa forma s'han col·locat tres voltímetres en paral·lel per a controlar els valors de les tensions de línia. A continuació, s'ha col·locat un sensor de velocitat ("speed sensor") entre la sortida mecànica del rotor i la càrrega mecànica. Per a poder realitzar el control del parell, el mateix programa ens ofereix la possibilitat d'introduir un sensor de parell ("torque flag") dins del mateix motor.

S'ha pretès realitzar la commutació per curtcircuitar les resistències als 3.5 segons a partir de l'alimentació del motor. D'aquesta forma, es disposen de les mateixes condicions que la maniobra anterior, permetent-nos comparar les dues maniobres posteriorment.

Per a poder realitzar el control de la mateixa maniobra i poder realitzar correctament la commutació de connexions, s'han col·locat dos contactors. Aquests realitzen les següents funcions:

- El contactor KM1 permetrà l'alimentació del motor. Permetrà donar tensió al motor i treure-li quan es cregui convenient. Per a la realització d'aquest estudi no es tindrà en compte els seus retards d'actuació i es considerarà com un contactor ideal, que només permet l'alimentació del motor.
- El contactor KM3 permetrà curtcircuitar les resistències estatòriques. Al tancar els seus contactes es realitzarà el curtcircuit de les resistències, deixant el motor treballant amb llibertat, sense càrrega externa. Com es pot observar en la figura anterior, aquest contactor està format per un "Gating Block"; d'aquesta forma, com que en el primer instant de l'engegada els contactes han d'estar oberts, i per a realitzar el curtcircuit de les resistències s'ha de realitzar el tancament d'aquests contactes, i aquest tancament es realitza amb simultaneïtat en les tres fases, només és necessari un "Gating Block" per a controlar aquest contactor.

2.8.3.1 La maniobra

Aquest mètode d'engegada es basa en connectar en sèrie a l'estator unes resistències trifàsiques; d'aquesta forma l'engegada del motor es realitza amb una tensió inferior a la de la xarxa (tensió nominal).

Durant la fase d'acceleració, amb les resistències, la tensió que s'aplica a les bornes del motor no és constant; sinó que equival a la tensió de la xarxa menys la caiguda de tensió produïda en les resistències. La caiguda de tensió és proporcional al corrent absorbit

pel motor. A mesura que el corrent disminueix a causa de l'acceleració del motor, també disminueix la caiguda de tensió a les resistències. Per tant, la tensió que s'aplica a les bornes del motor és mínima en el primer moment de l'engegada, i augmenta progressivament.

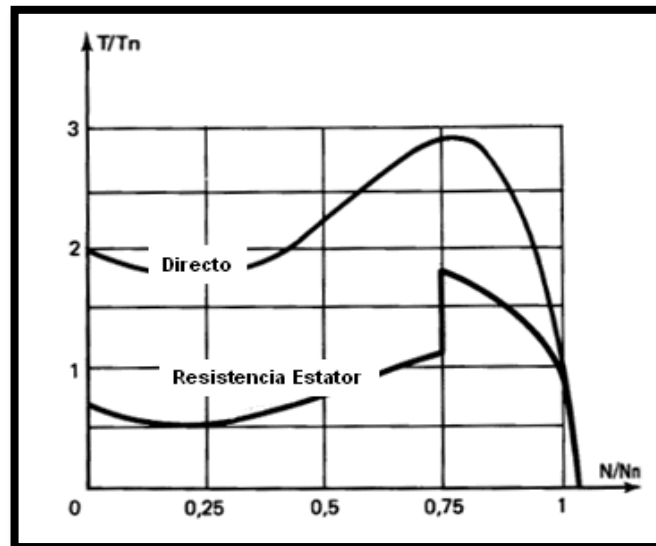


Figura 29. Diagrama parell-velocitat del mètode d'engegada R.E.

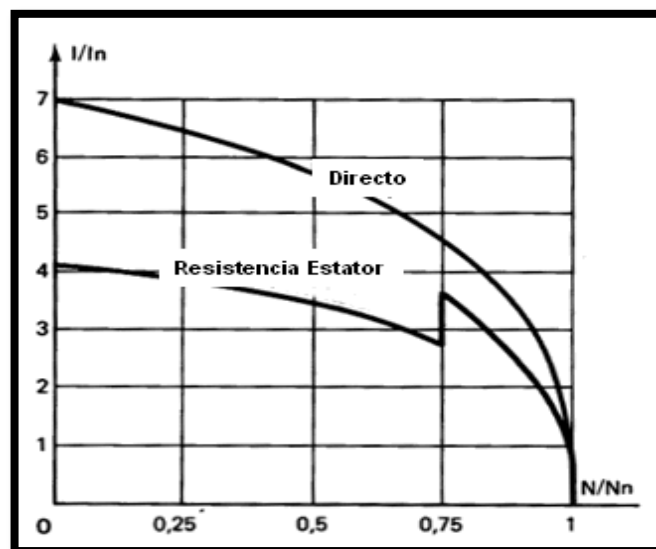


Figura 30. Diagrama corrent-velocitat del mètode d'engegada R.E.

La seqüència de funcionament és la següent:

Es tanca el contactor KM1, permetent alimentar el motor amb una tensió reduïda. Passat un temps prefixat (en el nostre cas, transcorreguts 3.5 segons), es curtcircuiten les resistències tancant el contactor KM3. Finalment el motor s'estabilitza a la seva velocitat nominal amb els seus valors de corrent i parell nominal.

2.8.3.2 Estudi del cas ideal

Seguidament, per a poder seguir amb l'estudi, s'ha simulat el comportament del motor en aquesta maniobra en el cas ideal (simulació nº 42), suposant que els contactes del contactor tanquen amb simultaneïtat. D'aquesta forma, obtindrem els valors dels pics de corrent i parell que es produeixen amb la pròpia maniobra del motor, sense tenir en compte les pertorbacions que produeix el contactor.

Els resultats obtinguts són els següents:

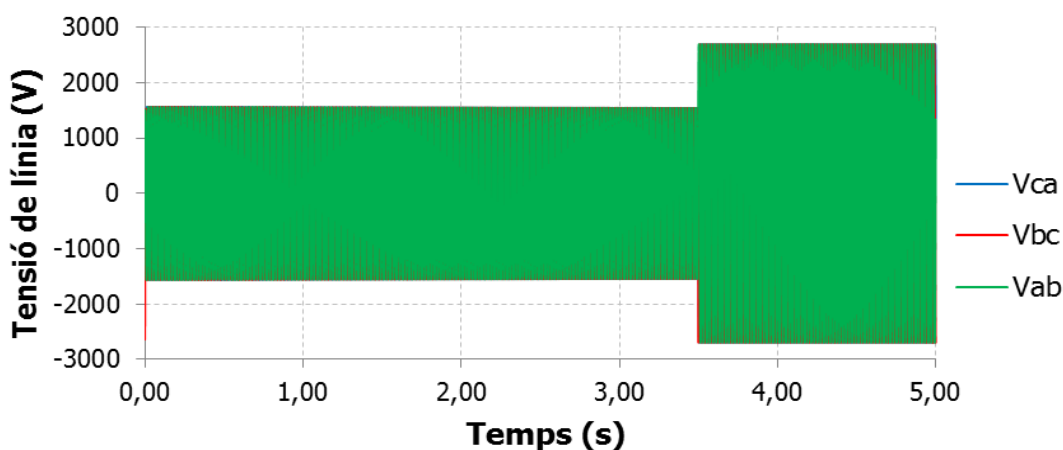


Figura 31. Tensió de línia en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació nº42)

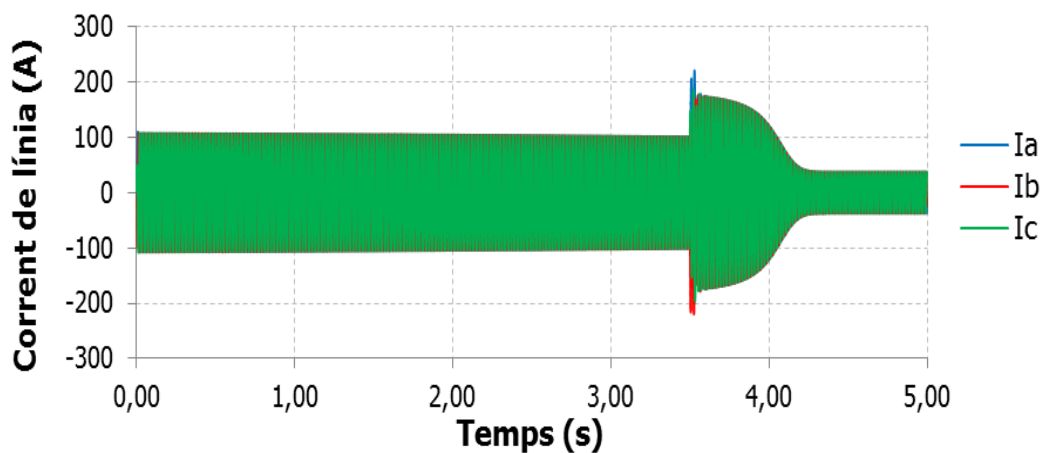


Figura 32. Corrent de línia en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació nº42)

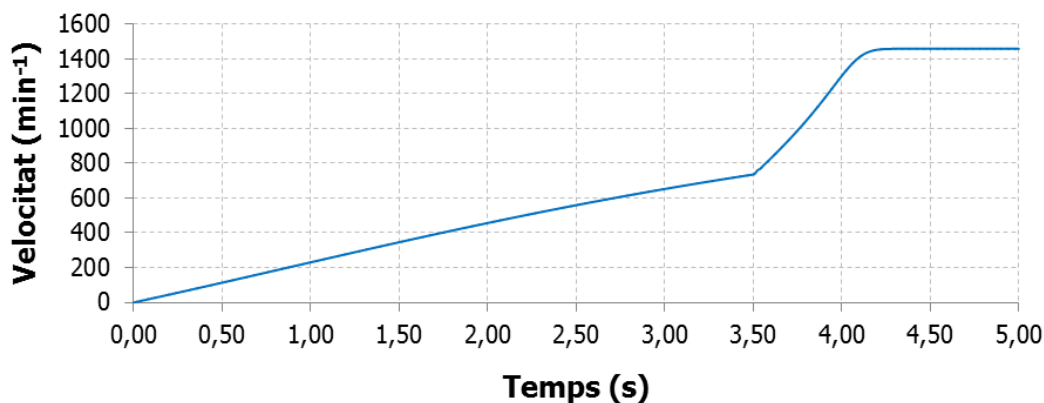


Figura 33. Velocitat en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació nº42)

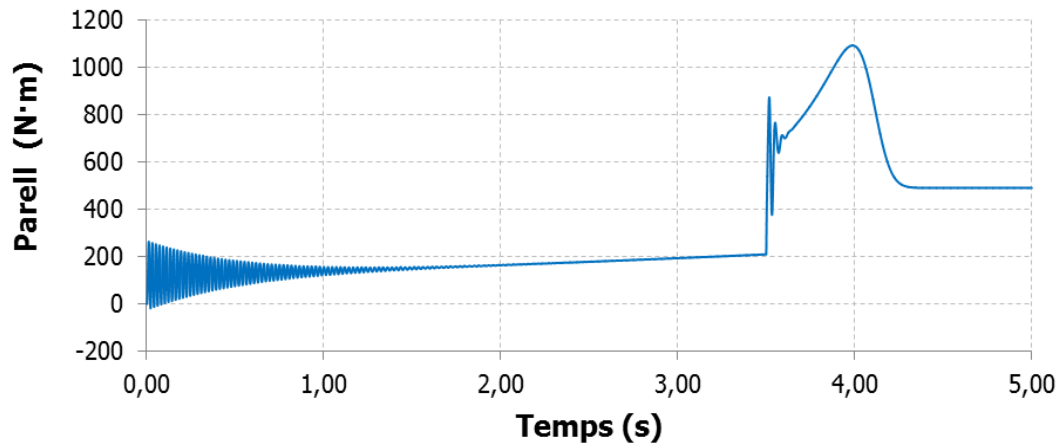


Figura 34. Parell en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació n°42)

Seguidament, per a poder observar amb més claredat els valors obtinguts, i poder observar els valors dels pics de corrent i parell que es produeixen per la pròpia maniobra del motor, s'ha realitzat una taula amb les dades obtingudes més significatives.

Aquests resultats són els següents:

t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
3.50000	220.6	5.88	0.00	0.0000	1094	2.22

Taula 8. Resultats de la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en el cas ideal (simulació n°42)

Un cop obtingudes les lectures dels aparells de mesura de la maniobra del motor, es podrà analitzar els veritables efectes de les pertorbacions produïdes pel contactor.

2.8.3.3 Estudi amb els diferents retards

Un cop obtinguts els resultats pel cas ideal; s'han realitzat diverses simulacions pels diferents temps possibles d'actuació del contactor. Aquestes han estat realitzades tenint en compte el tancament amb simultaneïtat.

Els resultats obtinguts són els següents:

t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
3.50990	220.1	5.87	0.00	0.00	1095	2.22
3.51050	222.5	5.93	0.00	0.00	1095	2.22
3.51100	223.7	5.96	0.00	0.00	1095	2.22
3.51150	224.2	5.97	0.00	0.00	1094	2.22
3.51200	223.9	5.97	0.00	0.00	1095	2.22
3.51250	222.9	5.94	0.00	0.00	1095	2.22
3.51300	221.0	5.89	0.00	0.00	1094	2.22
3.51350	221.3	5.90	0.00	0.00	1094	2.22
3.51400	222.9	5.94	0.00	0.00	1094	2.22
3.51450	223.9	5.97	0.00	0.00	1094	2.22
3.51500	224.2	5.97	0.00	0.00	1094	2.22
3.51570	223.2	5.95	0.00	0.00	1094	2.22

Taula 9. Resultats de la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques (simulació n°30-41)

Es pot observar clarament que depenent de l'instant de temps exacte en el qual es realitzi el tancament dels contactes del contactor, es poden arribar a produir uns pics de corrent d'un 1.5% aproximadament per sobre el pic de corrent en el cas ideal. Aquest fenomen és degut a l'instant exacte en el que es dur a terme la commutació. Depenent si el tancament dels contactes es produeix en un instant o un altre es poden arribar a produir petites variacions en els resultats. Aquestes variacions es deuen a l'instant exacte on es troba l'ona sinusoidal del corrent en l'instant exacte en que es realitza el tancament dels contactes.

Degut a que durant aquest mètode d'engegada, només és necessari la realització del tancament dels contactes del contactor KM3, i que aquest tancament es realitza amb simultaneïtat en les tres fases, no es produeixen uns pics de corrent gaire elevat comparats amb el pic de corrent en el cas ideal.

Pel que fa a la velocitat, al no realitzar-se cap obertura i seguidament un tancament de contactes, és a dir, no hi ha cap instant en el que el motor deixa de rebre corrent; no s'experimenta cap pèrdua de velocitat.

En referència als pics de parell; al ser aquests en funció dels pics de corrent; ja al ser aquests pics no gaire més elevats que els del cas ideal, les variacions produïdes en el parell són mínimes.

2.8.3.4 Estudi del cas més desfavorable

Seguidament, observarem amb més deteniment el cas més desfavorable; la simulació en la qual s'ha produït el pic de corrent més elevat. D'aquesta forma, podrem observar les pitjors pertorbacions que pot provocar el contactor.

Aquest cas consisteix en la simulació realitzada n°33, en la qual s'ha produït un retard de 11.5 ms amb simultaneïtat en el tancament del contactor KM3. D'aquesta forma, els instants de temps en el qual s'ha realitzat la commutació és:

t_T KM3 [s]	t_R KM3 [ms]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	11.5	3.51150

Taula 10. Temps d'actuació del contactor en la simulació n°33

Seguidament, per a poder observar amb més claredat els valors obtinguts, i poder observar els valors de les pitjors pertorbacions que es produeixen pel propi contactor, s'ha realitzat una taula amb les dades obtingudes més significatives.

Aquests resultats són els següents:

t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
3.540	224.2	5.97	0.00	0.0000	1094	2.22

Taula 11. Resultats de la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques (simulació n°33)

Seguidament, s'observaran els diversos valors del corrent, comparant-los amb el cas ideal per a observar amb claredat les pertorbacions provocades pel contactor.

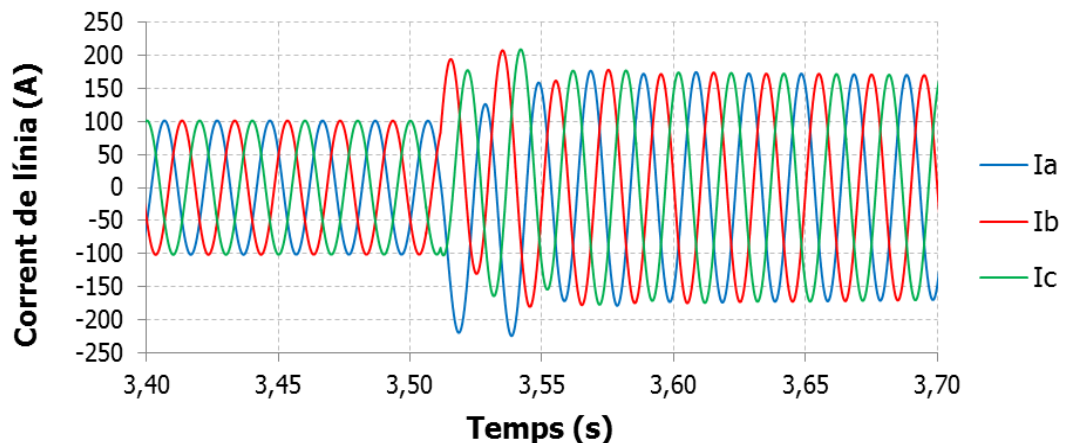


Figura 35. Corrent de línia en la maniobra d'engegada amb resistències estatòriques en la simulació n°33

Es pot veure en la figura anterior que al realitzar-se el tancament dels contactes del contactor KM3 es produeixen diferents pics de corrent; destacant el pic de corrent de la fase L1 amb un valor de -224.2 A (5.97 pu).

Comparant aquest cas amb el cas ideal podem observar veritablement les pertorbacions que es poden arribar a produir degut al contactor.

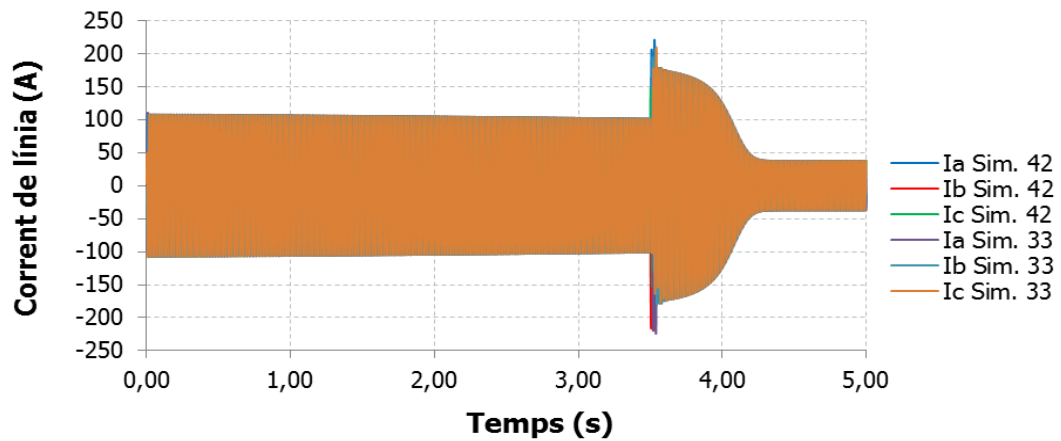


Figura 36. Comparativa del corrent de línia entre la simulació n°33 i n°42

A simple vista, es pot observar que en règim permanent no es noten les pertorbacions del contactor, ja que tant el corrent en el cas ideal, simulació n°42, com en el cas més desfavorable, simulació n°33, estan en fase i disposen del mateix valor eficaç de corrent. Però és durant la commutació quan s'observen amb claredat aquestes pertorbacions.

Durant el règim transitori, es pot observar com el corrent que circula pel motor en el cas on es produeix el retard en l'actuació del contactor és lleugerament de valor més elevat que en el cas ideal.

Seguidament, observarem la commutació amb més deteniment:

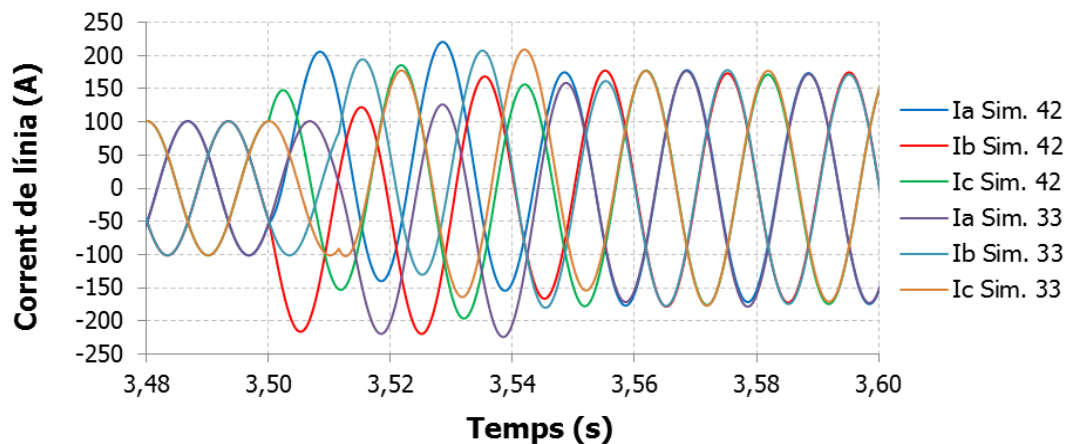


Figura 37. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°7 i la n°19

Seguidament, observarem amb més claredat la fase L1, fase en la qual s'ha produït el major pic de corrent.

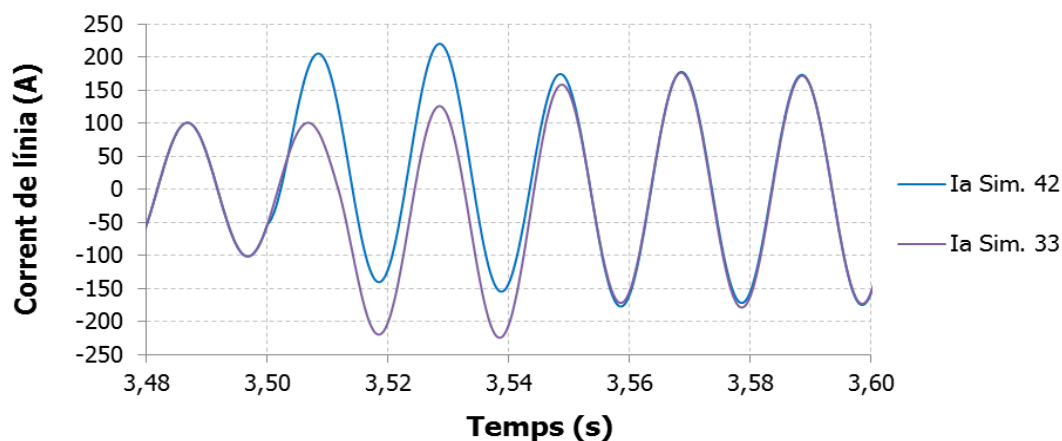


Figura 38. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°33 i n°42

En referència al parell, es pot observar que les diferències són mínimes. En el cas ideal, el pic de parell és mínimament inferior que en la simulació realitzada n°33. Aquest fenomen és degut a la variació del pic de corrent comentat anteriorment.

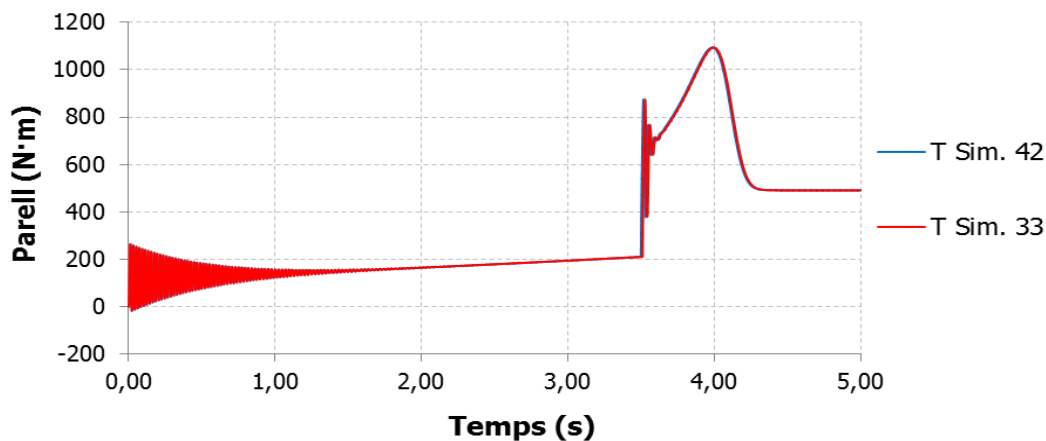


Figura 39. Comparativa del parell entre la simulació n°33 i n°42

2.8.4 Comparativa de l'engegada estrella-triangle amb resistències estatòriques

Per a seguir amb l'estudi, es compararan els dos mètodes d'engegada comentats anteriorment. I s'observaran les diferències en les pertorbacions provocades pel contactor.

Ens hem centrat principalment en el cas ideal i en el cas més desfavorable. D'aquesta forma, en primer lloc analitzarem les diferències entre les maniobres i seguidament observarem l'abast en les pertorbacions produïdes pel contactor.

2.8.4.1 Estudi del cas ideal

En primer lloc, ens centrarem en els casos ideals i observarem les diferències entre els diferents models d'engegada. Sent la simulació n°19 el cas ideal de la maniobra d'engegada estrella-triangle, i la simulació 42 el cas ideal de l'engegada amb resistències estatòriques; obtenim:

Sim.	I_{P1} [A]	I_{P2} [A]	I_{P3} [A]	I_P [A]	I_P [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_P [N·m]	T_P [pu]
19	215.5	198.4	-213.4	215.5	5.74	0.00	0.0000	1095	2.22
42	220.6	-219.5	-196.2	220.6	5.88	0.00	0.0000	1094	2.22

Taula 12. Resultats comparatius de les maniobres E.T. i R.E. en el cas ideal (simulació n°19 i n°42)

Seguidament, observarem els diversos paràmetres analitzats, posteriorment comentarem aquests resultats obtinguts.

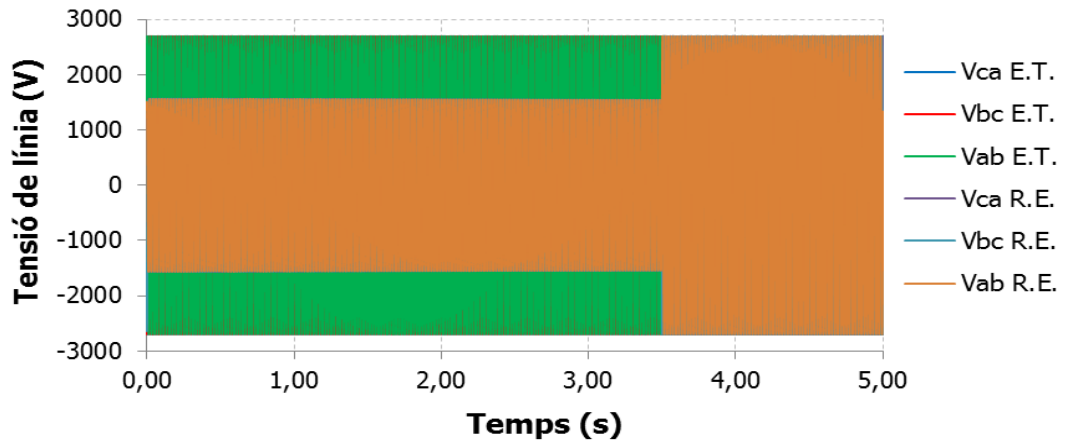


Figura 40. Comparativa de la tensió entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal

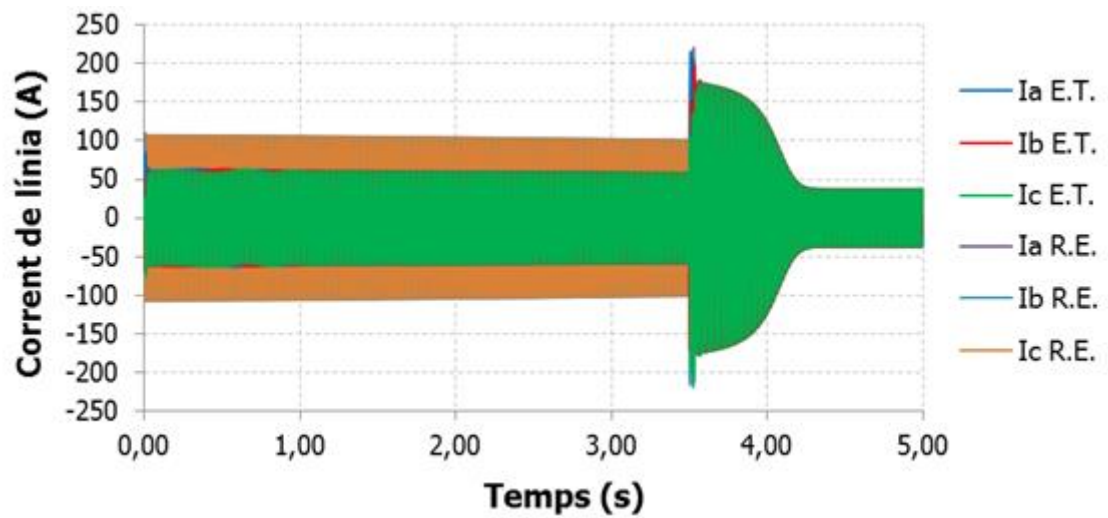


Figura 41. Comparativa del corrent entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal

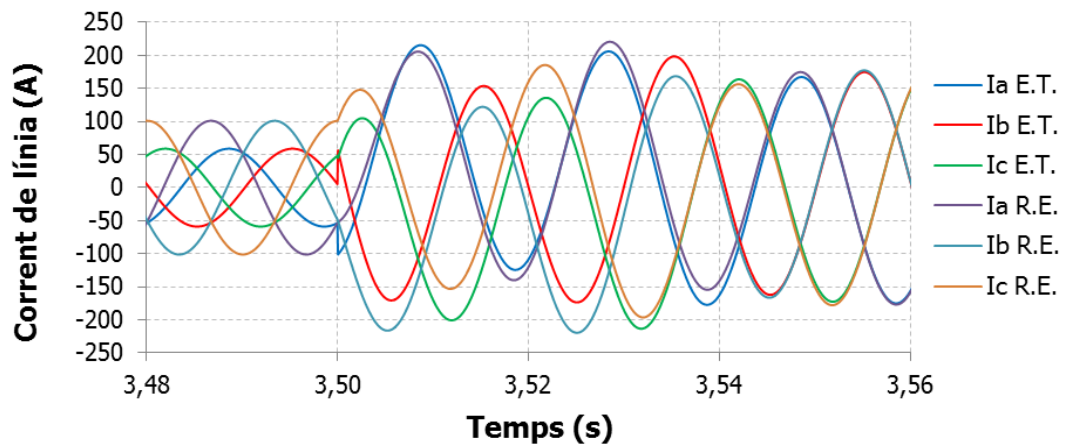


Figura 42 Comparativa del corrent en la commutació entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal

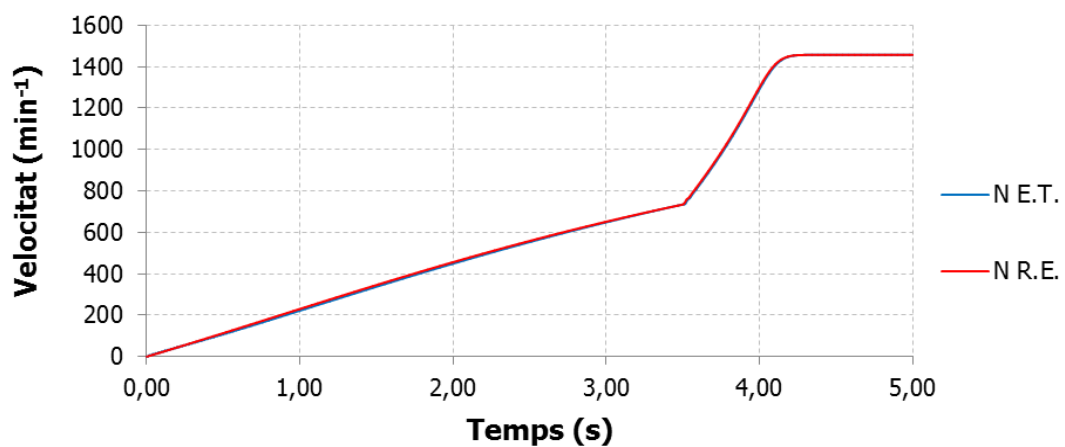


Figura 43. Comparativa de la velocitat entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal

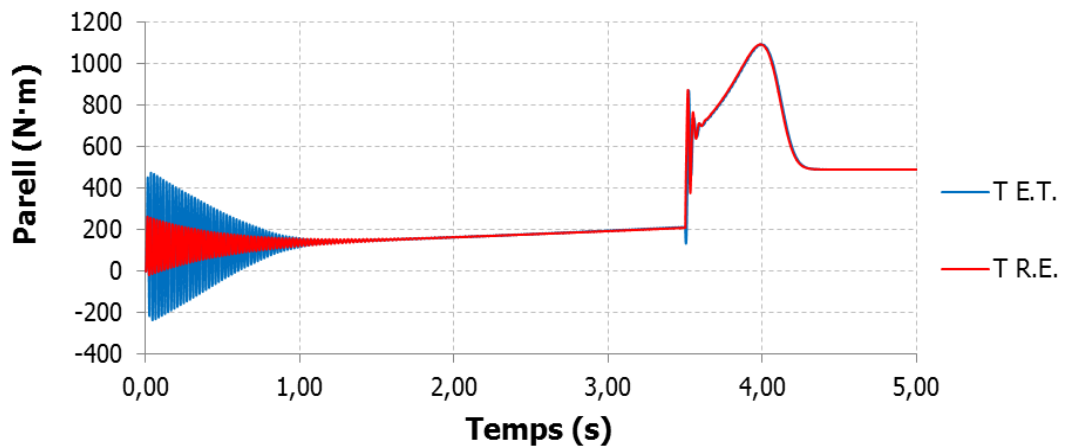


Figura 44. Comparativa del parell entre l'engegada E.T. (sim. n°19) i R.E. (sim. n°42) en el cas ideal

A simple vista, s'observa que hi ha una diferència considerable entre els valors de les tensions entre l'engegada estrella-triangle i l'engegada mitjançant resistències estatòriques. Aquest fenomen és degut que en l'engegada amb resistències al l'estator, aquestes resistències provoquen una certa caiguda de tensió, fent que el motor disposi de menys tensió en bornes. En canvi en l'engegada estrella-triangle, no es produeix aquest fenomen; sinó que la tensió es manté constant.

Es pot observar clarament, que pel que respecta al corrent, en el primer tram, abans de la commutació, hi ha una diferència notable. Això és degut, a que el motor en estar connectat en estrella, amb una tensió $\sqrt{3}$ vegades inferior a la que hauria de rebre amb aquesta connexió, el valor del corrent es veu afectat. El valor eficaç del corrent durant el primer instant de l'engegada, en el mètode d'engegada estrella-triangle és de 42.45 A; mentre que en l'engegada mitjançant resistències estatòriques és de 73.13 A. Pel que fa a les pertorbacions provocades per la commutació, es pot observar clarament que es produeixen diferents pics de corrent amb valors diferents i no s'observa quin mètode produeix pics de corrent més elevat respecte l'altre mètode d'engegada.

En referència a la velocitat, com era d'esperar, els dos mètodes d'engegada disposen d'un comportament similar. Això és degut a que s'ha pretès que en l'instant 3.5 segons, els dos motors disposessin de la mateixa velocitat; per tant es tracta de dues rectes amb el mateix punt inicial (velocitat nul·la) i el mateix punt final (una velocitat de 734.8 min^{-1}). Després de la commutació, en els dos casos es tracta d'un motor en connexió triangle sense cap càrrega externa; d'aquesta forma disposen del mateix comportament.

Sobre el parell, s'observa clarament com el parell en el mètode d'engegada amb resistències estatòriques en els primers instants de l'engegada (0-1 segon) és menor que l'engegada estrella-triangle. Això és degut que a l'afegir resistències al estator es redueix el parell d'engegada de la màquina de forma significativa; un 1/9 respecte el parell d'engegada directe. En canvi amb el mètode d'engegada estrella-triangle es redueix el parell d'engegada 1/3 respecte el parell d'engegada directe. Per tant, el parell d'engegada amb resistències estatòriques es redueix 1/2 respecte el parell d'engegada estrella-triangle.

2.8.4.2 Estudi del cas més desfavorable

Seguidament, observarem amb més deteniment una comparativa entre els casos més desfavorables de cada mètode d'engegada estudiat anteriorment. Aquestes simulacions corresponen a les simulacions realitzades amb el pic de corrent més elevat.

Aquestes consisteixen en les simulacions realitzades n°7 i n°33. La simulació n°7 consisteix en el mètode d'engegada estrella-triangle amb un retard de 4.5 ms (sense simultaneïtat) en l'obertura del KM2 i un retard de 9.9 ms (amb simultaneïtat) en el tancament del contactor KM3. En canvi, la simulació 33 consisteix en el mètode d'engegada amb resistències estatòriques amb un retard de 11.5 ms (amb simultaneïtat) en el tancament del contactor KM3.

D'aquesta forma, els instants de temps en els quals s'han realitzat les commutacions són els següents:

Sim.	t_0 KM2 [s]	t_R KM2 [ms]	t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_T KM3 [s]	t_R KM3 [ms]	t_{123} KM3 [s]
7	3.50	4.5	3.50623	3.50956	3.51289	3.51289	9.9	3.52279
33	***	***	***	***	***	3.50000	11.5	3.51150

Taula 13. Temps d'actuació dels contactors en les simulacions n°7 i n°33

Seguidament, observarem els diversos paràmetres analitzats, posteriorment comentarem aquests resultats obtinguts.

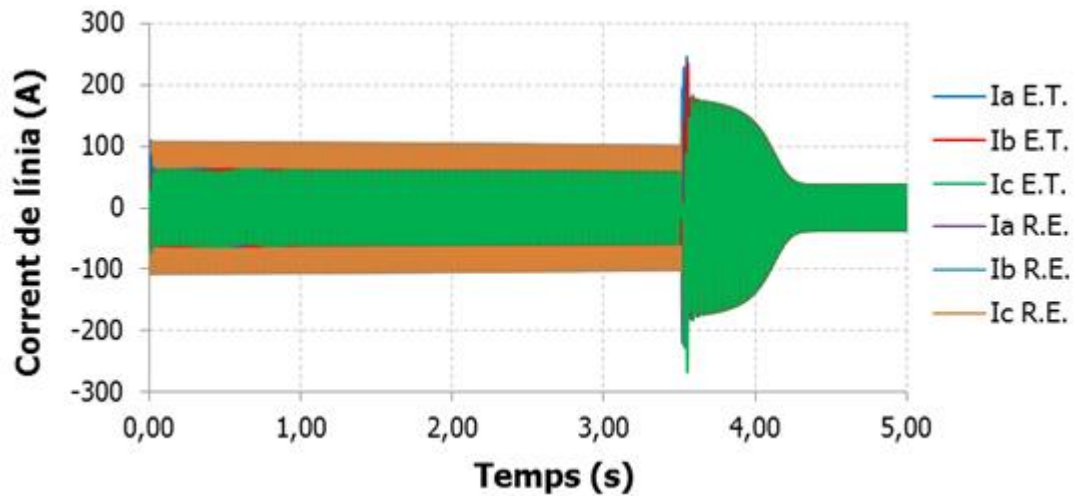


Figura 45. Comparativa del corrent entre l'engegada E.T. (sim. n°7) i R.E. (sim. n°33)

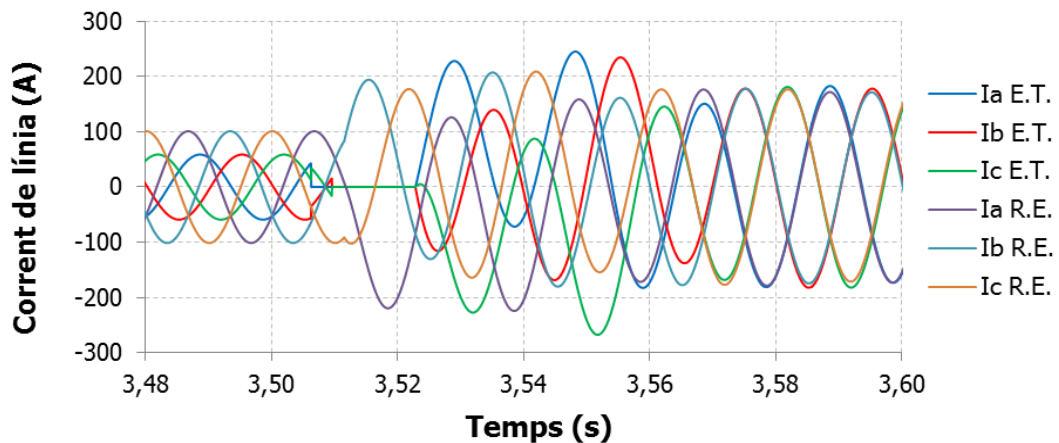


Figura 46. Comparativa del corrent en la commutació entre l'engegada E.T. (sim. n°7) i R.E. (sim. n°33)

En el cas ideal, no podíem arribar a observar amb claredat quin mètode d'engegada oferiria majors pics de corrent en la commutació; ara sí. Es pot apreciar perfectament com el mètode d'engegada estrella-triangle proporciona pics de corrent més elevats.

Aquestes diferències en els valors del corrent són degudes a que en el mètode d'engegada estrella-triangle, són necessaris dos contactors, un d'obertura sense simultaneïtat i un de tancament amb simultaneïtat; en canvi en l'engegada amb resistències estatòriques només se'n necessita un de tancament amb simultaneïtat.

En referència al parell, s'observa que es produeixen pics de parell més elevats en el cas del mètode d'engegada estrella-triangle. Aquest fenomen és degut a la variació del pic de corrent comentat anteriorment.

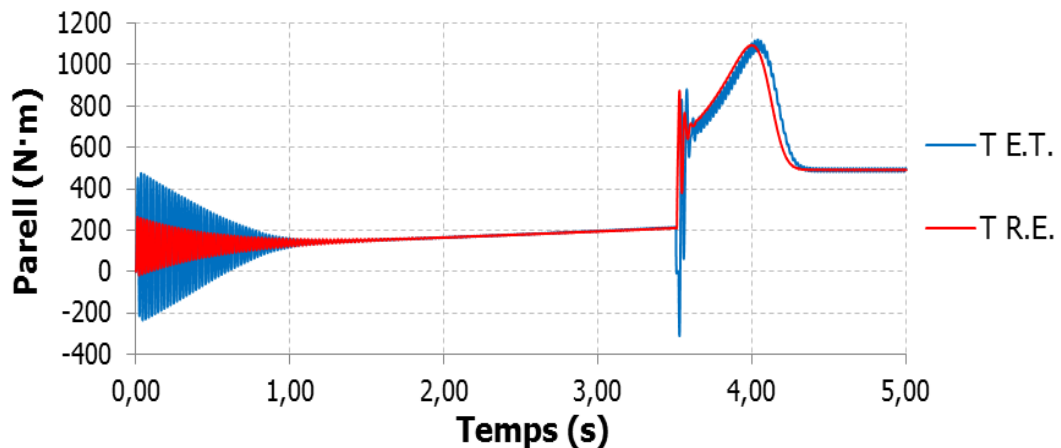


Figura 47. Comparativa del parell entre l'engegada E.T. (sim. n°7) i R.E. (sim. n°33)

2.8.5 Maniobra d'inversió de gir

Per a realitzar l'estudi dels efectes de les pertorbacions provocades pel contactor en aquesta maniobra; s'han realitzat un total de 19 simulacions, cada una d'elles amb diferents temps d'actuació del contactor. Seguidament, ens hem centrat majoritàriament en el cas ideal (suposant uns contactors que actuessin sense retards i amb simultaneïtat) i en el cas més desfavorable (cas en el qual s'ha produït el pic de corrent amb un valor absolut més elevat). D'aquesta forma, es pot realitzar una comparació entre el cas en el que no hi ha cap pertorbació provocada pel contactor i el cas on les pertorbacions són màximes.

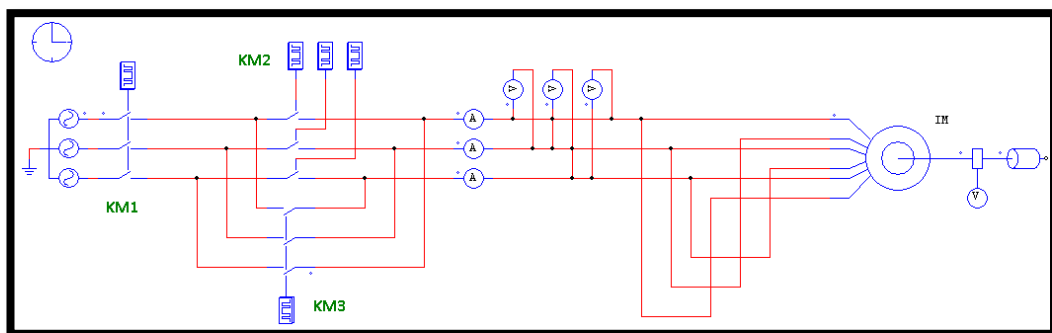


Figura 48. Esquema elèctric de la maniobra d'inversió de gir

Per a la correcta realització de la maniobra, s'ha alimentat el motor amb una tensió de línia trifàsica de 1905 V per a que el motor quedi connectat en connexió triangle. D'aquesta forma, mantindrem la mateixa connexió que en els casos estudiats anteriorment, permetent-nos comparar els funcionaments dels motors amb igualtat de condicions.

S'han col·locat 3 amperímetres en sèrie al motor per controlar els valors del corrent de línia que rep el mateix motor, de la mateixa forma s'han col·locat tres voltímetres en paral·lel per a controlar els valors de les tensions de línia. A continuació s'ha col·locat un sensor de velocitat ("speed sensor") entre la sortida mecànica del rotor i la càrrega mecànica. Per a poder realitzar el control del parell, el mateix programa ens ofereix la possibilitat d'introduir un sensor de parell ("torque flag") dins del mateix motor.

S'ha pretès realitzar la commutació de connexions als 2.0 segons a partir de l'alimentació del motor. D'aquesta forma, el motor disposa de les seves condicions nominals.

Per a poder realitzar el control de la mateixa maniobra i poder realitzar correctament la commutació de connexions, s'han col·locat tres contactors. Aquests realitzen les següents funcions:

- El contactor KM1 permetrà l'alimentació del motor. Permetrà donar tensió al motor i treure-li quan es cregui convenient. Per a la realització d'aquest estudi no es tindrà en compte els seus retards d'actuació i es considerarà com un contactor ideal, que només permet l'alimentació del motor.
- El contactor KM2 permetrà l'alimentació del motor amb la seqüència de fases L1-L2-L3, fent que el rotor giri en un sentit prefixat (velocitat positiva). Al tancar els seus contactes (sempre i quan els contactes de KM3 estiguin oberts) es disposarà de velocitat positiva. Com es pot observar en la figura anterior, aquest contactor està format per tres "Gatings Blocks"; d'aquesta forma, com que en el primer instant de l'engegada es considera que aquests contactes han d'estar tancats, i per a realitzar la commutació de connexions s'ha de realitzar l'obertura d'aquests contactes, i aquesta obertura no es realitza amb simultaneïtat en les tres fases, són necessaris tres elements diferents per a poder controlar aquest contactor.
- El contactor KM3 permetrà l'alimentació del motor amb la seqüència de fases L3-L2-L1, fent que el rotor giri en sentit contrari (velocitat negativa). Al tancar els seus contactes (sempre i quan els contactes de KM2 estiguin oberts) es disposarà de velocitat negativa. Com es pot observar en la figura anterior, aquest contactor, a diferència del contactor KM2, està format per un "Gating Block"; d'aquesta forma, com que en el primer instant de l'engegada els contactes han d'estar oberts, i per a realitzar la commutació de connexions s'ha de realitzar el tancament d'aquests contactes, i aquest tancament es realitza amb simultaneïtat en les tres fases. Conseqüentment, només és necessari un Gating Block per a controlar aquest contactor.

2.8.5.1 La maniobra

Per a invertir el sentit de rotació d'un motor d'inducció, s'ha d'invertir el sentit del camp magnètic giratori generat pels seus bobinats. D'aquesta forma s'han d'invertir dos fases qualsevols de les tres fases d'alimentació del motor. Així doncs, el que veritablement s'està realitzant és invertint la seqüència de fases de la línia trifàsica del motor. Si realitzéssim la inversió de les tres fases, mantindríem la mateixa seqüència de fases, i per tant el motor no canviaria de sentit de gir.

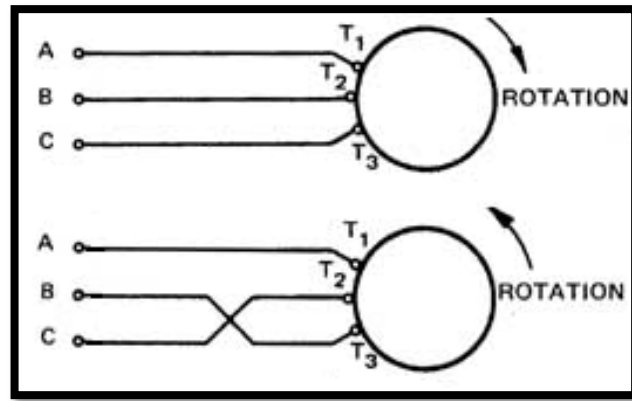


Figura 49: Diagrama de les inversions de les fases

En l'alimentació d'un motor trifàsic, es poden donar les següents combinacions en l'ordre de les fases d'alimentació.

- La seqüència positiva de fases implica una rotació en el sentit horari
 - a) L1-L2-L3
 - b) L2-L3-L1
 - c) L3-L1-L2
- La seqüència negativa de fases implica una rotació en el sentit antihorari
 - d) L3-L2-L1
 - e) L2-L1-L3
 - f) L1-L3-L2

2.8.5.2 Estudi del cas ideal

Seguidament, s'ha simulat el comportament del motor en el cas ideal (simulació n°61), suposant que els contactes del contactor tanquen i obren amb simultaneïtat. D'aquesta forma, obtindrem els valors de pics de corrent i parell que es produeixen amb la pròpia maniobra del motor, sense tenir en compte les pertorbacions que produeix el contactor.

Els resultats obtinguts són els següents:

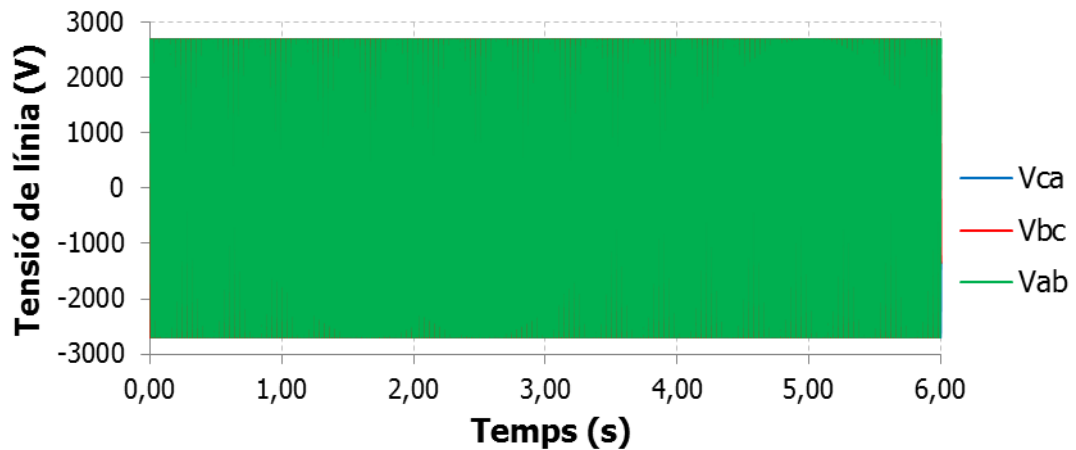


Figura 50. Tensió de línia en la maniobra d'inversió de gir en el cas ideal (simulació n°61)

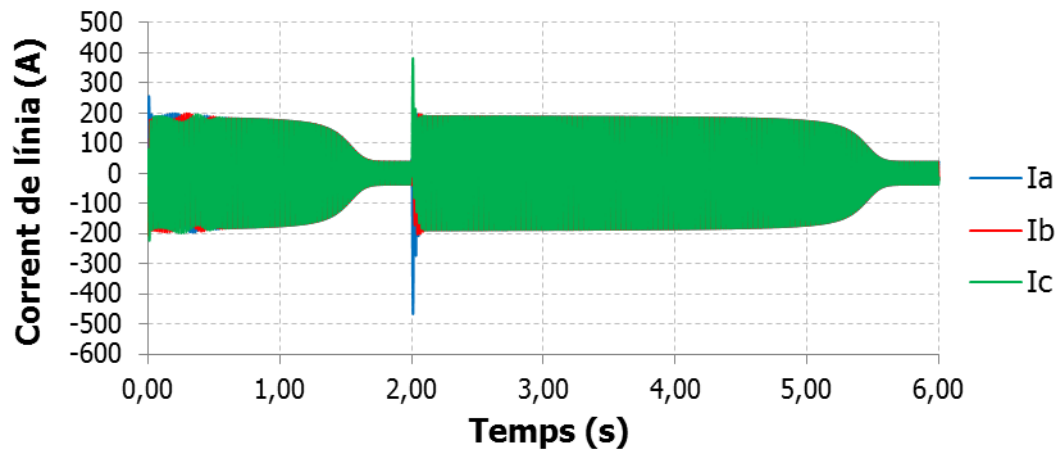


Figura 51. Corrent de línia en la maniobra d'inversió de gir en el cas ideal (simulació n°61)

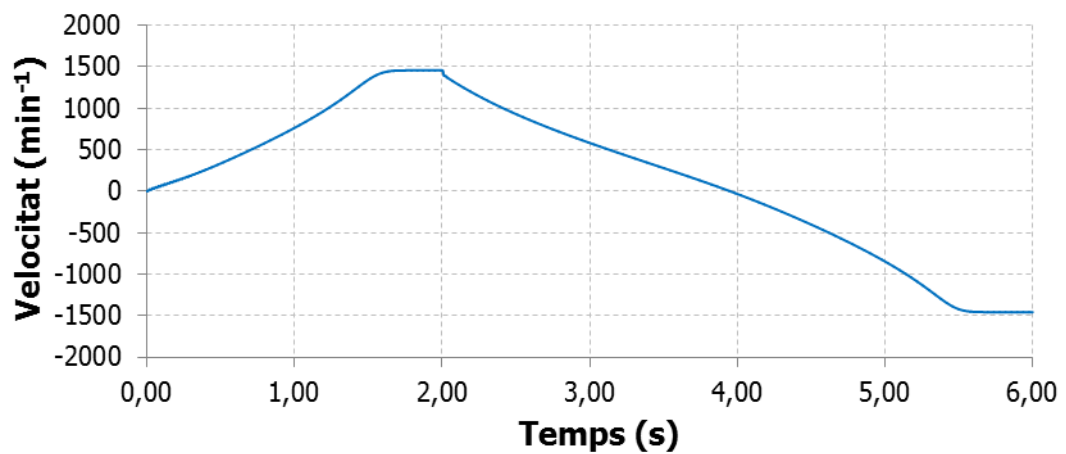


Figura 52. Velocitat en la maniobra d'inversió de gir (simulació n°61)

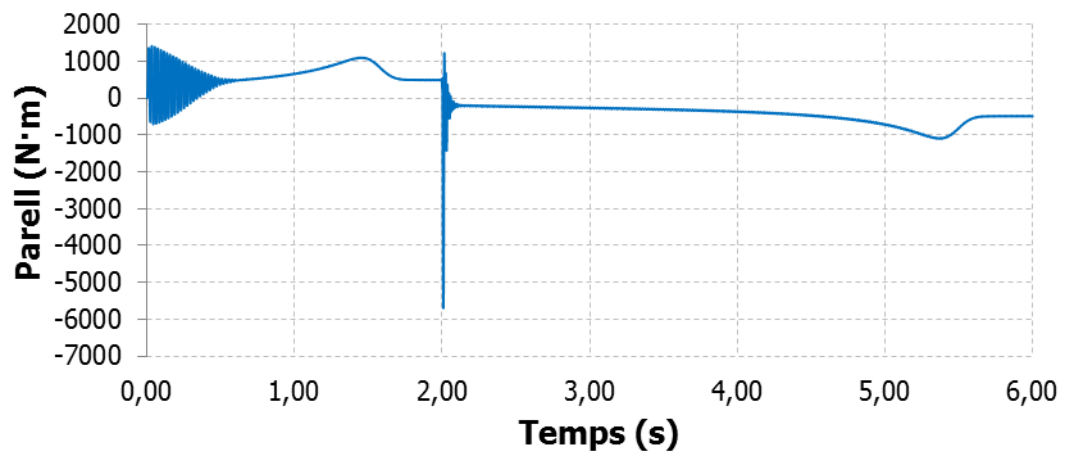


Figura 53. Parell en la maniobra d'inversió de gir (simulació n°61)

Seguidament, per a poder observar amb més claredat els valors obtinguts, i poder observar els valors dels pics de corrent i parell que es produeixen per la pròpia maniobra del motor, s'ha realitzat una taula amb les dades obtingudes més significatives.

Aquests resultats són els següents:

t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	466.8	12.44	0.00	0.0000	-5699	11.58

Taula 14. Resultats de la maniobra d'inversió de gir en el cas ideal (simulació n°61)

Un cop obtingudes les lectures dels aparells de mesura de la maniobra del motor en el cas ideal, es podrà analitzar els veritables efectes en les pertorbacions produïdes pel contactor.

2.8.5.3 Estudi amb els diferents retards

Un cop obtinguts els resultats pel cas ideal; s'han realitzat diverses simulacions pels diferents temps possibles d'actuació del contactor. Aquestes han estat realitzades tenint en compte el tancament amb simultaneïtat i l'obertura amb desfasaments entre les tres fases.

Els resultats obtinguts són els següents:

t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
2.00463	2.00796	2.01129	2.02119	489.5	13.04	17.47	0.0120	-5651	11.48
2.00463	2.00796	2.01129	2.02699	300.9	8.02	19.31	0.0133	-2347	4.77
2.00523	2.00856	2.01189	2.02179	498.4	13.28	17.33	0.0119	-5813	11.81
2.00523	2.00856	2.01189	2.02759	322.4	8.59	20.36	0.0140	-2530	5.14
2.00573	2.00906	2.01239	2.02229	500.2	13.33	16.30	0.0112	-5821	11.83
2.00573	2.00906	2.01239	2.02809	350.4	9.34	19.16	0.0132	-3002	6.10
2.00623	2.00956	2.01289	2.02279	496.7	13.24	15.11	0.0104	-5714	11.61
2.00623	2.00956	2.01289	2.02859	378.4	10.08	19.38	0.0133	-3504	7.12
2.00673	2.01006	2.01339	2.02329	488.0	13.00	14.84	0.0102	-5501	11.18
2.00673	2.01006	2.01339	2.02909	405.3	10.80	19.41	0.0133	-4017	8.16
2.00723	2.01056	2.01389	2.02379	474.1	12.63	14.07	0.0097	-5199	10.56
2.00723	2.01056	2.01389	2.02959	430.2	11.46	18.86	0.0130	-4515	9.17
2.00773	2.01106	2.01439	2.02429	455.4	12.14	14.17	0.0097	-4826	9.80
2.00773	2.01106	2.01439	2.03009	452.4	12.05	19.69	0.0135	-4973	10.10
2.00823	2.01156	2.01489	2.02479	432.2	11.52	12.74	0.0088	-4401	8.94
2.00823	2.01156	2.01489	2.03059	471.0	12.55	18.96	0.0130	-5363	10.90
2.00883	2.01216	2.01549	2.02539	399.1	10.64	12.60	0.0087	-3846	7.81
2.00883	2.01216	2.01549	2.03119	487.8	13.00	18.71	0.0129	-5710	11.60

Taula 15. Resultats de la maniobra d'inversió de gir (simulació n°43-60)

Es pot observar clarament que depenent de l'instant de temps exacte en el qual es realitzi el tancament/obertura dels contactes del contactor, es poden arribar a produir uns pics de corrent d'un 7.5% aproximadament per sobre el pic de corrent en el cas ideal. Aquest fenomen no és degut a la quantitat de temps en el que el motor no rep corrent durant l'obertura i el tancament dels contactors KM2 i KM3; sinó que és degut a l'instant exacte de temps en que es dur a terme la commutació. En dos maniobres realitzades amb el

mateix temps d'obertura del KM2 i diferents temps de tancament de KM3, disposem d'un pic major de corrent en la maniobra amb menor retard de tancament; excepte en les simulacions realitzades amb un temps d'obertura dels contactes 2.00823 - 2.01156 - 2.01489 segons, que és major el pic de corrent amb major retard en el tancament dels contactes del contactor KM3.

Depenent si la obertura o el tancament és realitza en un moment o en un altre, podem arribar a obtenir diferents resultats. Aquest fenomen depèn de l'instant exacte on es troba la ona sinusoidal del corrent en l'instant en que es produeix la maniobra d'obertura o tancament. Depenent d'aquest temps, com es pot veure anteriorment es poden arribar a obtenir diferents valors de pics de corrent en instant de temps molt pròxims.

En referència al decrement de velocitat durant la commutació, es pot observar clarament que durant els instants de temps en els quals es produeix la commutació hi ha una petita pèrdua de velocitat. Aquesta pèrdua de velocitat, hauria de ser a priori en funció de la quantitat de temps que el motor no rep alimentació; però no ho és.

En referència al pic de parell produït durant la commutació, no s'observen uns valors tant diferents amb el cas ideal; només un 2%. Aquesta petita variació ve deguda a l'augment del pic de corrent produït.

2.8.5.4 Estudi del cas més desfavorable

Seguidament, observarem amb més deteniment el cas més desfavorable; la simulació en la qual s'ha produït el pic de corrent més elevat. D'aquesta forma, podrem observar les pitjors pertorbacions que pot provocar el contactor.

Aquest cas consisteix a la simulació realitzada número 47, en la qual s'ha produït un retard de 4.0 ms (sense simultaneïtat) en l'obertura del KM2 i un retard de 9.9 ms (amb simultaneïtat) en el tancament del contactor KM3. D'aquesta forma, els instants de temps en els quals s'ha realitzat la commutació són els següents:

t_0 KM2 [s]	t_R KM2 [ms]	t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_T KM3 [s]	t_R KM3 [ms]	t_{123} KM3 [s]
2.00	4.0	2.00573	2.00906	2.01239	2.01239	9.9	2.02229

Taula 16. Temps d'actuació dels contactors en la simulació n° 47

Seguidament, per a poder observar amb més claredat els valors obtinguts, i poder observar els valors de les pitjors pertorbacions que es produeixen pel propi contactor, s'ha realitzat una taula amb les dades obtingudes més significatives.

Aquests resultats són els següents:

t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]	I_p [A]	I_p [pu]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]	T_p [N·m]	T_p [pu]
2.00573	2.00906	2.01239	2.02229	500.2	13.33	16.30	0.0112	-5821	11.83

Taula 17. Resultats de la maniobra d'inversió de gir en el pitjor cas (simulació n°47)

Seguidament, s'observaran els diversos valors del corrent, comparant-los amb el cas ideal per a observar amb claredat les pertorbacions provocades pel contactor.

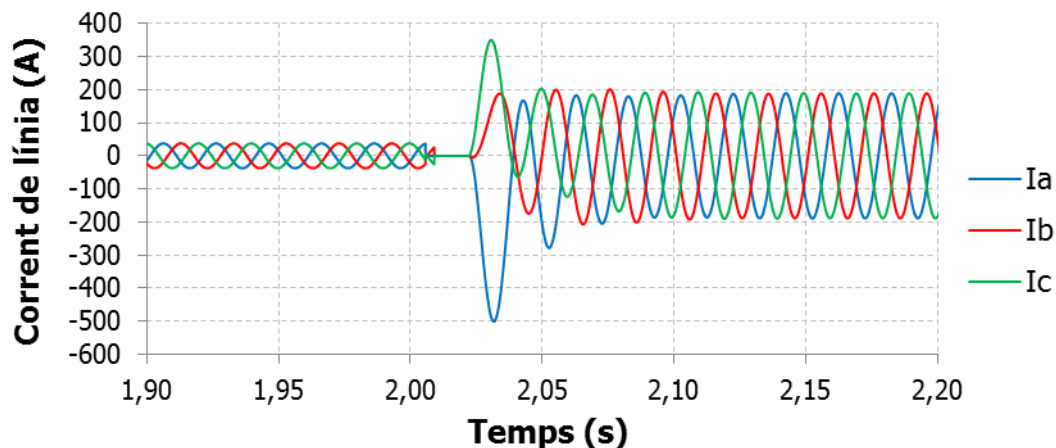


Figura 54. Corrent de línia en la maniobra d'inversió de gir en la simulació n°47

Es pot veure en la figura anterior com es van obrir els diferents contactes del contactor KM2; Provocant que el motor es quedi sense alimentació durant uns instants de temps. Seguidament, passats uns milisegons, corresponents al retard en el tancament dels contactes del contactor KM3, es produeix el tancament del circuit amb simultaneïtat en les tres fases; provocant diversos pics de corrent; destacant el pic del corrent de la fase L1 amb un valor de 500.2 A (13.33 pu).

Comparant aquest cas amb el cas ideal, podem observar veritablement les màximes pertorbacions que pot arribar a provocar el contactor.

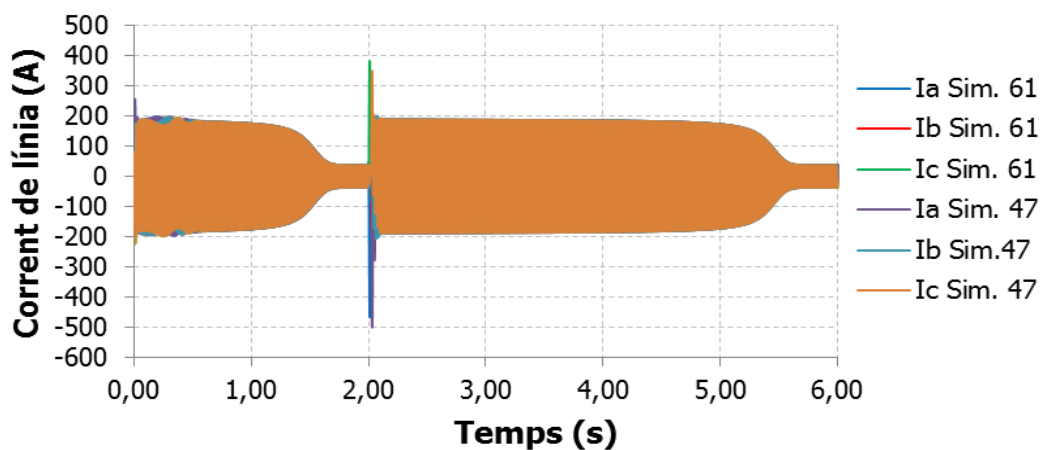


Figura 55. Comparativa del corrent de línia entre la simulació n°47 i n°61

A simple vista, es pot observar que en règim permanent no es noten les pertorbacions del contactor; ja que tant el corrent en el cas ideal, simulació n°61, com en el cas més desfavorable, simulació n°47, estan en fase i disposen del mateix valor eficaç de corrent. Però és durant la commutació quan s'observen amb claredat aquestes pertorbacions.

Durant el règim transitori, es pot observar com el corrent que circula pel motor en el cas on es produeixen els retards d'actuació del contactor és de valor més elevat que en el cas ideal.

Seguidament, observarem la commutació amb més deteniment:

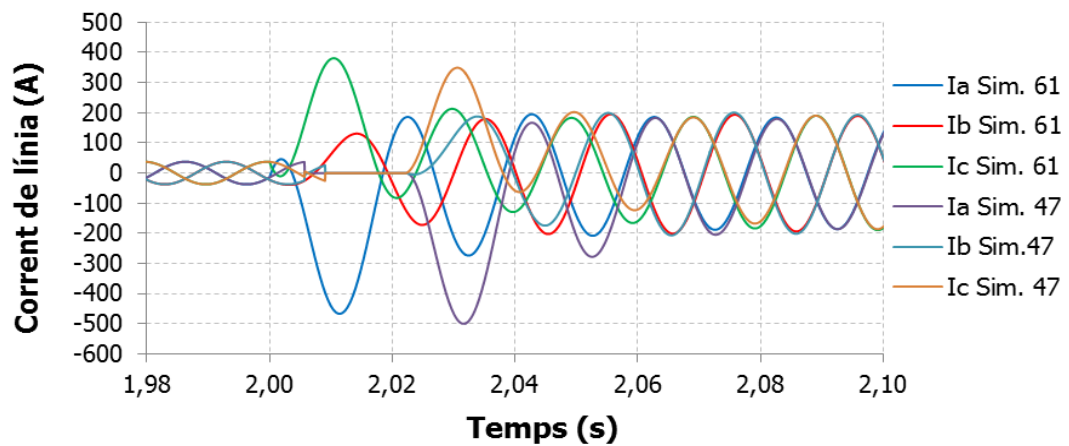


Figura 56. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°47 i n°61

Seguidament, observarem amb més claredat la fase L1, fase en la qual s'ha produït el major pic de corrent.

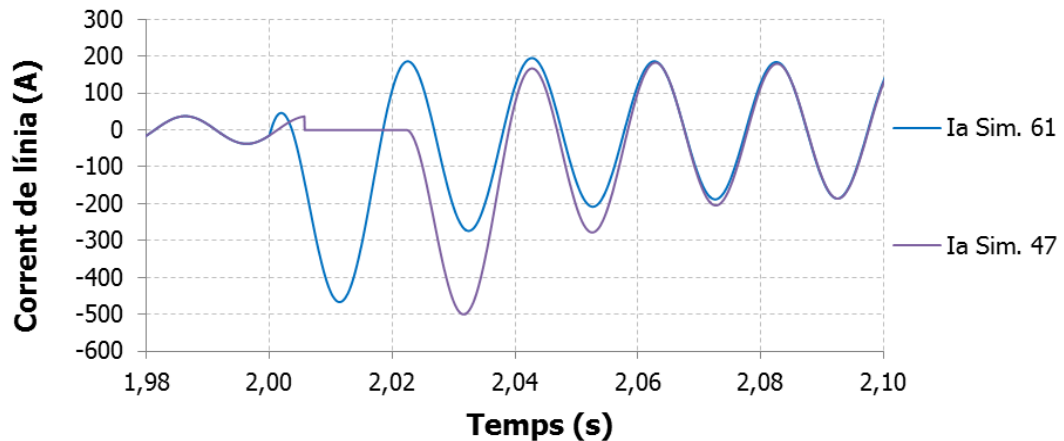


Figura 57. Comparativa del corrent de línia durant la commutació entre la simulació n°47 i n°61

En referència al parell, es pot observar que les diferències són mínimes. En el cas ideal, el pic de parell és mínimament inferior que en la simulació realitzada n°47. Aquest fenomen és degut a la variació del pic de corrent comentat anteriorment.

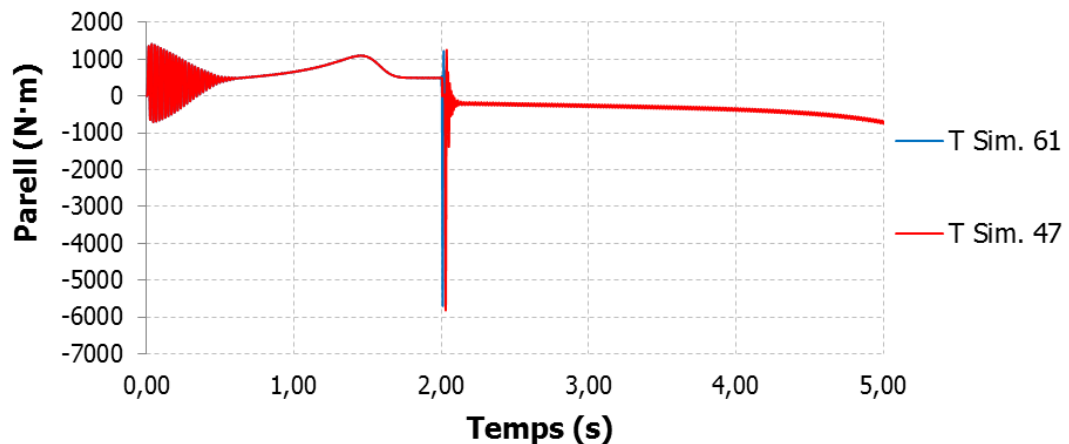


Figura 58. Comparativa del parell entre la simulació n°47 i n°61

2.8.6 Conclusions

Com a conclusió, es pot afirmar que l'anàlisi dels resultats obtinguts als 61 assaigs simulats mitjançant PSIM, indica que les pertorbacions originades al considerar que el contactor no és ideal no són significatives en cap de les variables analitzades: corrent, parell i velocitat. Malgrat que les pertorbacions no són significatives, aquestes pertorbacions són reals; provocant una "interrupció instantània" del corrent. Aquesta interrupció del corrent està més vinculada a l'instant en que s'inicia la maniobra que amb el temps de retard dels contactors; provocant un augment dels pics de corrent i de parell sobre els pics de la pròpia maniobra.

Aquest tipus de pertorbacions poden arribar a produir diversos desordres en el funcionament de la màquina com:

- Sobreescalfament en els receptors, reduint la seva vida útil.
- Augment de les vibracions i esforços mecànics; augmentant la fatiga dels elements mecànics.
- Sobreescalfament en els conductors que podria provocar l'activació intempestiva de les proteccions.
- Circulació de corrent pel conductor del neutre (si es disposés d'ell)

A més a més del comentat, la realització del present estudi ens ha permès esbrinar els següents fenòmens:

- Depenent si la obertura o el tancament dels contactes és realitza en un moment o en un altre, es poden arribar a obtenir diferents resultats. Aquest fenomen depèn de l'instant exacte en es troba la ona sinusoidal del corrent en l'instant en que es produeix la maniobra d'obertura o tancament. Depenent d'aquest temps, es poden arribar a obtenir diferents valors de pics de corrent en instants de temps molt pròxims.
- El mètode d'engegada estrella-triangle, malgrat ser un dels mètodes més utilitzats (fins i tot més utilitzat que l'engegada amb resistències estatòriques), no ofereix tan bones prestacions com l'engegada mitjançant resistències estatòriques. Tal com s'ha comentat durant la redacció de l'estudi, l'engegada estrella-triangle, al disposar de dos contactors, durant la commutació es produeixen pics de corrent bastant més elevats que en el cas de la utilització de resistències al estator. A més a més, l'ús de resistències al estator provoca una reducció 1/2 en el parell respecte l'engegada estrella-triangle. També s'ha de dir, que en el cas estudiat, es va disposar d'un corrent, durant el primer tram de l'engegada, superior en el cas de l'engegada amb resistències estatòriques; això és degut a que el valor de les resistències es van configurar per disposar el mateix valor de velocitat en els dos mètodes en el mateix instant de temps; en una engegada convencional, el valor d'aquestes resistències s'haurien variat per a reduir el corrent en el valor desitjat.

2.9 Planificació

No és d'aplicació en la realització d'aquest estudi.

2.10 Ordre de prioritats entre els documents bàsics

En cas d'algun error, contradicció o discrepància entre els diferents documents del projecte, s'estableix el següent criteri de major a menor prioritats:

- 1) Memòria
- 2) Annexes



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

Estudi de l'efecte de les pertorbacions generades pels contactors en maniobres de motors d'inducció trifàsics

3 Annexes

TITULACIÓ: Graduat en Enginyeria Elèctrica

AUTOR: Víctor Insa Pascual

DIRECTOR: Luis Guasch Pesquer

DATA: Abril - 2015

3.1 Documentació de partida

3.1.1 Estimació dels paràmetres d'una màquina d'inducció

En moltes investigacions, els paràmetres d'una màquina d'inducció es mantenen constants en diferents punts de funcionament. Els valors d'aquests paràmetres són sovint avaluats en tres proves convencionals:

- Prova DC per a obtenir la resistència del debanat del estator.
- Prova sense càrrega per a obtenir la resistència del nucli i la reactància magnetitzant.
- Prova amb el rotor bloquejat per a estimar el valor de les reactàncies de fuga i la resistència del rotor.

A diferents punts de càrrega, es pot observar la no-linealitat. A més a més d'aquest fenomen, s'ha de tenir en compte la influència de l'efecte skin, la saturació i la temperatura. Tots aquests fenòmens, tenen una influència en les magnituds dels paràmetres. Els tres mètodes comentats anteriorment, no cobreixen tots els rangs de possibles punts de funcionament de la màquina. D'aquesta forma, es necessita un mètode més precís. Es requereixen dades de funcionament en càrrega en tot el rang de lliscament de la màquina; és a dir, des de sense càrrega fins a rotor bloquejat. Seguidament, es proposa una tècnica per a la determinació dels paràmetres del circuit equivalent. La tècnica es basa en les mesures realitzades en càrrega com entrades en la determinació dels paràmetres de cada punt d'operació. Les entrades mesurades inclouen el corrent de l'estator, el parell, la potència d'entrada, la tensió en bornes des de la velocitat de sincronisme fins a velocitat nul·la.

3.1.1.1 Metodologia en l'estimació dels paràmetres

Una màquina d'inducció trifàsica de gàbia d'esquirol és normalment representada per un model per fase en estat estacionari.

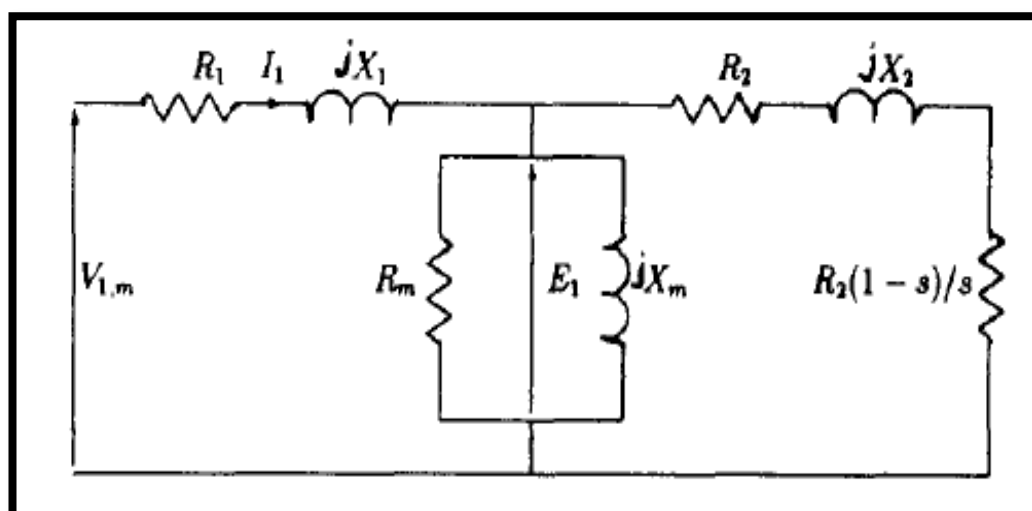


Figura 59. Circuit equivalent per fase d'una màquina d'inducció

Sent:

- R_1 : resistència de l'estator
- X_1 : reactància de fuga de l'estator
- R_2 : resistència del rotor
- X_2 : reactància de fuga del rotor
- R_m : pèrdues en el nucli
- X_m : reactància magnetitzant
- s : lliscament

Per a diferents condicions de funcionament, la velocitat de la màquina varia, d'aquesta forma, també ho experimenta la freqüència del corrent del rotor. Al variar la freqüència, l'efecte skin arriba a ser més dominant i provoca una variació de la resistència del rotor (R_2). A més a més d'aquest fenomen, la saturació de les reactàncies de fuga també disposaran de variacions des d'un punt de funcionament a un altre. Així, la reactància X_2 també serà afectada.

La reactància de fuga del debanat de l'estator X_1 es pot assumir com a constant. Aquesta suposició és deguda a que les ranures de l'estator estan plenes de multiconductors; degut a la mida relativament petita dels conductors, l'efecte skin no és important. La freqüència del corrent de l'estator es manté constant.

Pel que fa en referència a la reactància magnetitzant X_m , la saturació del flux principal i els canvis desiguals tant en el flux principal com en el corrent de magnetització en diferents punts de funcionament de la màquina provoquen variacions en el valor d'aquest paràmetre.

Com a conclusió del comentat anteriorment, els paràmetres R_1 , R_m i X_1 del circuit equivalent, es poden considerar constants en qualsevol punt de funcionament. Els seus valors es poden obtenir en les proves convencionals comentades anteriorment (prova sense càrrega, amb el rotor bloquejat i prova DC). En canvi els paràmetres R_2 , X_2 i X_m no es poden considerar constants; conseqüentment, els seus valors s'han d'estimar de la següent forma:

$$R_{eq} = R_1 + \frac{A(R_2, X_2, X_m)}{B(R_2, X_2, X_m)} \quad (9)$$

$$X_{eq} = X_1 + \frac{C(R_2, X_2, X_m)}{B(R_2, X_2, X_m)} \quad (10)$$

On:

$$A(R_2, X_2, X_m) = R_m X_m^2 [(R_2/s)R_m + (R_2/s)^2 + X_2^2] \quad (11)$$

$$B(R_2, X_2, X_m) = (R_m^2 + X_m^2)[X_2^2 + (R_2/s)^2] + R_m X_m [R_m X_m + 2R_m X_2 + 2X_m (R_2/s)] \quad (12)$$

$$C(R_2, X_2, X_m) = R_m^2 X_m [X_2 X_m + (R_2/s)^2 + X_2^2] \quad (13)$$

I:

$$X_{eq} = X_{eq. m} = \frac{V_{1. m}}{I_{1. m}} \cdot \sin \Phi_{1. m} \quad (14)$$

El subíndex “m” representa la mesura. El parell electromecànic de la màquina pot ser representat com:

$$T_e = \frac{3R_2}{s\omega_s} \frac{E_1^2}{(R_2/s)^2 + X_2^2} \quad (15)$$

Aquest parell s'ajusta a partir del parell estimat de la mesura on ω_s és la velocitat angular de sincronisme.

$$T_e = T_{e. m} \quad (16)$$

La tensió induïda de l'estator; E_1 , és avaluat mitjançant els valors de les mesures de la tensió de l'estator, el corrent de l'estator i l'angle de la fase.

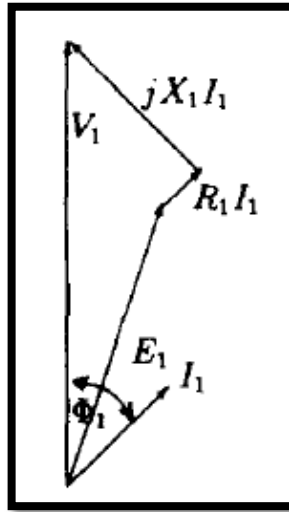


Figura 60. Diagrama vectorial

$$E_1 = [(V_{1. m} \cos \Phi_{1. m} - R_1 I_{1. m})^2 + (V_{1. m} \sin \Phi_{1. m} - X_1 I_{1. m})^2]^{1/2} \quad (17)$$

En conclusió, s'han obtingut les 3 següents equacions no-lineals. La solució d'aquestes equacions; estimaran els valors dels paràmetres R_2 , X_2 i X_m .

$$F_1(R_2, X_2, X_m) = R_1 + \frac{A(R_2, X_2, X_m)}{B(R_2, X_2, X_m)} - \frac{V_{1. m}}{I_{1. m}} \cdot \cos \Phi_{1. m} = 0 \quad (18)$$

$$F_2(R_2, X_2, X_m) = X_1 + \frac{C(R_2, X_2, X_m)}{B(R_2, X_2, X_m)} - \frac{V_{1. m}}{I_{1. m}} \cdot \sin \Phi_{1. m} = 0 \quad (19)$$

$$F_3(R_2, X_2, X_m) = \frac{3R_2}{s\omega_s} \frac{E_1^2}{(R_2/s)^2 + X_2^2} - T_{e. m} = 0 \quad (20)$$

3.1.1.2 Mesures experimentals

La màquina utilitzada en aquesta investigació, és una màquina d'inducció trifàsica de gàbia d'esquirol que disposa de les següents característiques:

- Potència: 75 kW
- Freqüència: 50 Hz
- N° de pols: 4 (2 parells)
- Tensió d'alimentació: 3300 V
- Velocitat nominal: 1455 rpm

Des de lliscament zero fins al lliscament nominal, es realitzen mesures de forma directe. Però a partir del lliscament nominal, les mesures realitzades necessiten una atenció especial; sobretot en la regió inestable. S'utilitza un procediment diferent:

- a) Carga del motor: El motor es carrega amb una altre motor alimentat amb tensió variable, amb una velocitat de rotació invertida
- b) Mesura del parell: Mitjançant un mesurador sense cap dispositiu en especial es mesura el parell de la màquina.
- c) Mesures de tensió i corrent: El corrent i la tensió de línia es mesuren mitjançant un potenciòmetre per a la tensió i petites resistències pel corrent.
- d) Mesura del factor de potència: Les senyals de corrent i tensió no rectificades, obtingudes a partir de la resistències i del potenciòmetre s'introdueixen en dos detectors; seguidament es registren els passos per zero de les dues ones.
- e) Mesura de la potència d'entrada: Mitjançant la tensió, el corrent i el factor de potència mesurats, obtenim la potència subministrada.

$$P_{in. m} = \sqrt{3} \cdot V_{1. m} \cdot I_{1. m} \cdot \cos \Phi_{1. m} \quad (21)$$

- f) Mesura de la velocitat: La velocitat es mesura mitjançant un tacòmetre.
- g) Mesura del parell electromecànic: A priori hauríem de saber les pèrdues rotacionals, la realització d'aquestes mesures en tant poc temps és impossible. Aquestes pèrdues s'aproximen a un 0.5% del parell de sortida.

$$T_{e. m} = 1.005 \cdot T_{out} \quad (22)$$

T_{out} es mesura mitjançant un extensòmetre

- h) Protecció del motor en nivells elevats de corrent: S'utilitzen tres cables curts connectats entre el motor i l'alimentació; amb un corrent admissible lleugerament inferior a la intensitat nominal de l'estator. D'aquesta forma, un elevat corrent fondria els cables, deixant el motor sense alimentació.

S'han realitzat 24 mesures utilitzant el procediment anterior:

Velocitat (rpm)	Corrent $I_{l.m}$ (A)	Tensió $V_{L.m}$ (V)	Potència Subministrada $P_{in.m}$ (W)	Parell Electromecànic $P_{e.m}$ (N·m)
1488.0	6.25	3300	30004.8	146.1
1480.5	8.68	3300	44494.7	235.2
1476.0	9.95	3300	51841.8	280.4
1464.0	13.62	3300	71991.2	401.5
1438.5	21.16	3300	110502.7	623.9
1426.0	24.40	3300	125687.5	707.5
1414.0	27.26	3300	138317.6	774.6
1402.0	29.89	3300	149160.8	830.1
1387.0	32.88	3300	160435.0	884.8
1373.0	35.37	3300	168941.9	923.4
1359.0	37.62	3300	175776.4	951.9
1341.5	40.11	3300	182350.4	975.9
1328.0	41.81	3300	186185.0	987.4
1297.0	45.14	3300	191893.2	996.9
1233.0	50.07	3300	195343.1	974.9
1202.0	51.81	3300	194903.3	955.4
1173.0	53.17	3300	193896.2	935.6
1121.0	55.12	3300	191395.6	899.7
964.0	58.85	3300	183542.4	809.3
755.0	61.73	3300	177008.6	734.5
623.0	63.19	3300	175046.2	704.5
419.0	65.53	3300	174616.9	672.8
207.0	68.71	3300	177902.4	652.5
Prova sense càrrega				
1500.0	3.23	3300	2303.0	0
Prova amb rotor bloquejat				
0.0	73.72	3300	188237.7	649.2

Taula 18. Mesures per a la determinació dels paràmetres d'una màquina d'inducció

3.1.1.3 Paràmetres de la màquina obtinguts de l'algoritme iteratiu matemàtic

Per a cada punt de càrrega en el qual s'han realitzat les anteriors mesures; es poden solucionar simultàniament les tres equacions no lineals per esbrinar els paràmetres R_2 , X_2 i X_m . D'aquesta forma, els valors obtinguts ja tindran en compte l'efecte skin i la saturació.

Per a solucionar les tres equacions no-lineals, es pot utilitzar qualsevol mètode matemàtic. Un dels més utilitzats és el mètode Newton-Raphson; malgrat que a vegades els resultats obtinguts poden arribar a ser erronis, d'aquesta forma s'ha utilitzat el mètode Levenberg-Marquardt.

Finalment, els resultats obtinguts dels paràmetres són els següents:

- R_1 : 4.734 Ω
- X_1 : 12.065 Ω
- R_2 : 3.447 Ω
- X_2 : 12.065 Ω
- R_m : 1576.2 Ω
- X_m : 522.86 Ω

3.1.2 Temps de resposta d'un contactor

Els contactors són els elements més utilitzats per a la maniobra de tot tipus de màquines elèctriques. En la automatització, amb aquests elements és habitual l'ús dels contactes auxiliars en el anomenat circuit de maniobra de tal forma que es doni alimentació o que se la tregui a altres elements amb una determinada seqüència. El més normal és utilitzar corrent alterna per alimentar la bobina del electroimant que rep corrent mitjançant un polsador o un altre actuator com un detector de nivell, pressòstat, termòstat, etc. Els contactes, tant els principals com els auxiliars, excepte els temporitzats, un cop s'alimenta la bobina commuten instantàniament. No obstant, si se parla de milisegons es veu que les actuacions, com és lògic, no són instantànies. Es pot observar que en la connexió dels contactors s'obren en primer lloc els contactes d'obertura i uns milisegons més tard tanquen els de tancament. La informació sobre aquests intervals és omesa per molts fabricants, entre altres raons perquè és d'escassa utilitat per la majoria de les aplicacions pràctiques.

Seguidament, es presentaran els resultats obtinguts en les mesures realitzades en un estudi sobre un contactor comercial, veient-se la influència de la tensió d'alimentació del electroimant i els diferents retards en funció del punt del cicle de la tensió d'alimentació que coincideix quan se actua sobre el polsador (o altre actuator).

3.1.2.1 Mesura dels temps de resposta

Es parteix d'un contactor comercial tripolar tipus B9-30-10 amb un contacte auxiliar de autoalimentació, se li addiciona un contacte auxiliar NT. S'alimenta la bobina a través d'un polsador. Per ajustar la tensió de maniobra es disposa d'un autotransformador variable i amb la ajuda d'una targeta d'adquisició de dades treballant a 40 kHz en cada canal. Es realitzen 3 assajos amb el contactor, dels quals prestarem especial atenció al segon assaig realitzat amb la tensió nominal de la bobina.

Per al primer assaig, s'ajusta l'autotransformador per a proporcionar 176 V; 0.8 vegades la tensió nominal de la bobina. Es mesura el temps que va des de que es tanca el polsador que alimenta fins a que obre el contacte auxiliar de obertura i fins que tanquen els contactes normalment oberts. D'aquest primer tram es registren 40 resultats. Els retards mesurats van des de els 13.8 ms, fins els 20.3 ms i els intervals de temps en que tots els contactes estan oberts van des de els 4.4 fins els 7.2 ms.

El segon conjunt d'assajos es realitza alimentant el circuit de maniobra a la tensió nominal (220 V). Es registren un total de 33 assajos. Els retards de tancament dels

contactes de tancament, mesurats, van des de els 9.9 ms fins els 15.7 ms. Els temps de obertura simultània van des de els 2.9 fins els 7.1 ms. Els dos resultats mostren que són inferiors als obtinguts al primer conjunt de assajos.

Per a poder observar millor la tendència, i observar els resultats de forma continua, amb una fulla de càlcul es va realitzar una regressió polinòmica d'ordre 6.

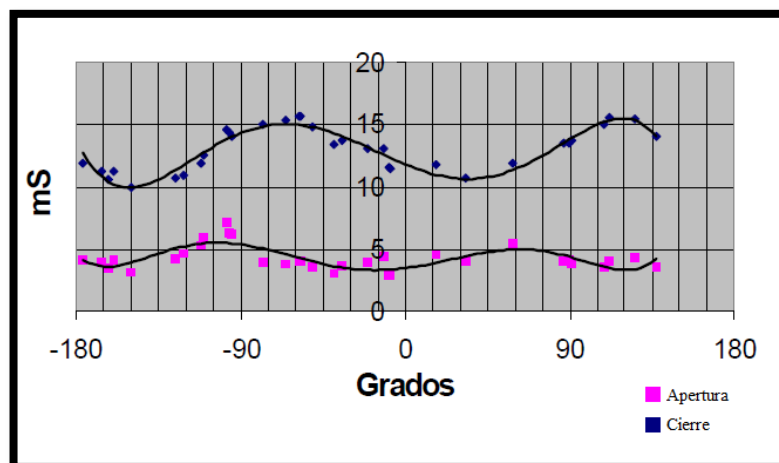


Figura 61. Temps de resposta per a la tensió nominal

El tercer conjunt d'assajos es realitza a una tensió de 242 V (110% de la tensió nominal). Es van registrar 48 assajos. Els temps de resposta dels contactes principals van oscil·lar entre els 8.7 i 14.6 ms, i els temps de obertura simultània van resultar entre 1 i 5.7 ms.

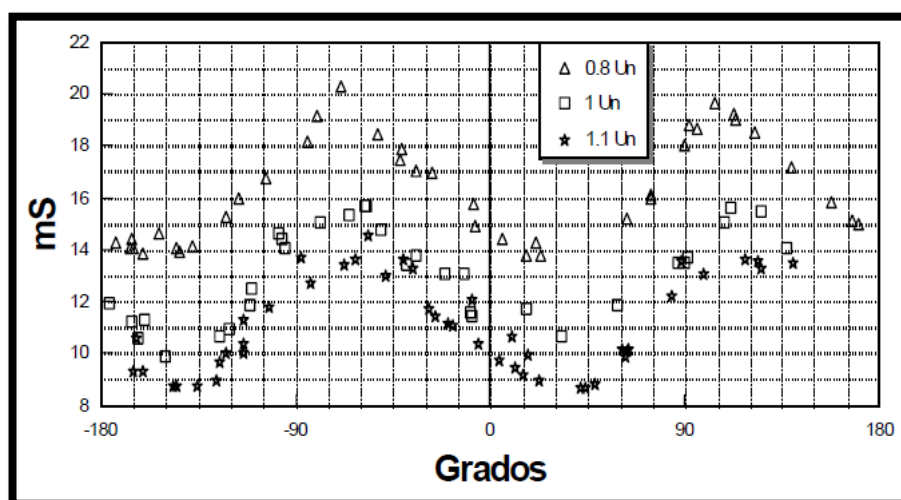


Figura 62. Temps de resposta en el tancament per a diferents tensions de maniobra

Com és lògic, els temps de resposta es redueixen a mesura que augmenta la tensió degut a que amb aquesta augmenta la corrent i en conseqüència la força de tracció de l'armadura cap el nucli.

3.2 Càlculs

3.2.1 Càlcul dels temps de resposta del contactor

A l'hora de realitzar diverses maniobres en un contactor, aquest no actua instantàniament; sinó que disposa d'un temps de retard en realització de les seves maniobres.

Quan es tracta de tancar el circuit elèctric, el temps de resposta és el mateix en totes les fases, degut a que no es desenvolupa cap arc elèctric durant la maniobra. En canvi quan es tracta de realitzar una obertura, el temps de resposta és diferent per a cada fase; això és degut a que quan s'intenta separar les fases per a deixar el circuit obert, és produeix un arc elèctric. Llavors la obertura del circuit és realitzarà quan el corrent de cada fase passi per 0; on l'arc serà nul.

3.2.1.1 Temps d'obertura

D'aquesta forma, per a obtenir els diferents temps d'obertura de cada una de les fases, en primer lloc hem d'obtenir el desfasament entre el corrent i la tensió.

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad (23)$$

$$75 \cdot 10^3 = \sqrt{3} \cdot 3300 \cdot 15.32 \cdot \cos \varphi$$

*Hipòtesis: El motor treballa en condicions nominals abans d'obrir.

$$\cos \varphi = 0.856 \rightarrow \varphi = 31.074^\circ$$

Un cop conegut el desfasament angular entre la tensió i el corrent; ens disposem a obtenir el desfasament en segons:

$$31.074^\circ \cdot \frac{1/50 \text{ seg}}{360^\circ} = 1.726 \cdot 10^{-3} \text{ seg} = 1.726 \text{ ms}$$

Seguidament, hem de obtenir els diferents desfasaments entre les fases del mateix circuit trifàsic. Sabent que dins d'una mateixa fase hi ha dos passos per 0 en cada període, obtenim:

$$\frac{1}{50} \frac{\text{segons}}{\text{període}} \cdot \frac{1 \text{ període}}{2 \frac{\text{pasos per } \emptyset}{\text{fase}}} \cdot 3 \text{ fases} = 3.333 \cdot 10^{-3} \text{ seg} = 10/3 \text{ ms}$$

Finalment, hi afegim el temps propi de retard del contactor, i obtenim:

$$\text{Temps fase L1} = t_{\text{resposta obertura}} + 1.726 \text{ [ms]}$$

$$\text{Temps fase L2} = t_{\text{resposta obertura}} + 1.726 \text{ ms} + 10/3 \text{ [ms]}$$

$$\text{Temps fase L3} = t_{\text{resposta obertura}} + 1.726 \text{ ms} + 2 \cdot 10/3 \text{ [ms]}$$

3.2.1.2 Temps de tancament

En canvi a l'hora de obtenir el temps de tancament de cada una de les fases no haurem de realitzar cap càlcul matemàtic, ja que aquets temps serà el propi temps de retard de resposta del contactor.

Temps fase L1

Temps fase L2 = $t_{resposta\ tancament}$ [ms]

Temps fase L3

3.3 Annexes d'aplicació en l'àmbit del projecte

No és d'aplicació.

3.4 Altres documents

3.4.1 Resultats de les simulacions

Seguidament, es mostraran tots els resultats obtinguts durant la realització de les 61 simulacions.

3.4.1.1 Temps d'actuació

En primer lloc es mostren els diferents temps d'actuació dels contactors per a cada simulació realitzada.

Enggada estrella-triangle								
Simulació	t ₀ KM2 [s]	t _R KM2 [ms]	t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t _T KM3 [s]	t _R KM3 [ms]	t ₁₂₃ KM3 [s]
1	3.50	2.9	3.50463	3.50796	3.51129	3.51129	9.9	3.52119
2	3.50	2.9	3.50463	3.50796	3.51129	3.51129	15.7	3.52699
1	3.50	2.9	3.50463	3.50796	3.51129	3.51129	9.9	3.52119
2	3.50	2.9	3.50463	3.50796	3.51129	3.51129	15.7	3.52699
3	3.50	3.5	3.50523	3.50856	3.51189	3.51189	9.9	3.52179
4	3.50	3.5	3.50523	3.50856	3.51189	3.51189	15.7	3.52759
5	3.50	4.0	3.50573	3.50906	3.51239	3.51239	9.9	3.52229
6	3.50	4.0	3.50573	3.50906	3.51239	3.51239	15.7	3.52809
7	3.50	4.5	3.50623	3.50956	3.51289	3.51289	9.9	3.52279
8	3.50	4.5	3.50623	3.50956	3.51289	3.51289	15.7	3.52859
9	3.50	5.0	3.50673	3.51006	3.51339	3.51339	9.9	3.52329
10	3.50	5.0	3.50673	3.51006	3.51339	3.51339	15.7	3.52909
11	3.50	5.5	3.50723	3.51056	3.51389	3.51389	9.9	3.52379
12	3.50	5.5	3.50723	3.51056	3.51389	3.51389	15.7	3.52959
13	3.50	6.0	3.50773	3.51106	3.51439	3.51439	9.9	3.52429
14	3.50	6.0	3.50773	3.51106	3.51439	3.51439	15.7	3.53009
15	3.50	6.5	3.50823	3.51156	3.51489	3.51489	9.9	3.52479
16	3.50	6.5	3.50823	3.51156	3.51489	3.51489	15.7	3.53059
17	3.50	7.1	3.50883	3.51216	3.51549	3.51549	9.9	3.52539
18	3.50	7.1	3.50883	3.51216	3.51549	3.51549	15.7	3.53119
19 (cas ideal)	3.50	0.0	3.50000	3.50000	3.50000	3.50000	0.0	3.50000
20	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	2.0	3.50200
21	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	4.0	3.50400
22	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	6.0	3.50600
23	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	8.0	3.50800
24	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	10.0	3.51000
25	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	12.0	3.51200
26	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	14.0	3.51400
27	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	16.0	3.51600
28	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	18.0	3.51800
29	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	20.0	3.52000

Taula 19. Temps d'actuació dels contactors en la maniobra d'enggada estrella-triangle

Enggada amb resistències estatòriques								
Simulació	t ₀ KM2 [s]	t _R KM2 [ms]	t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t _T KM3 [s]	t _R KM3 [ms]	t ₁₂₃ KM3 [s]
30	***	***	***	***	***	3.50000	9.9	3.50990
31	***	***	***	***	***	3.50000	10.5	3.51050
32	***	***	***	***	***	3.50000	11.0	3.51100
33	***	***	***	***	***	3.50000	11.5	3.51150
34	***	***	***	***	***	3.50000	12.0	3.51200
35	***	***	***	***	***	3.50000	12.5	3.51250
36	***	***	***	***	***	3.50000	13.0	3.51300
37	***	***	***	***	***	3.50000	13.5	3.51350
38	***	***	***	***	***	3.50000	14.0	3.51400
39	***	***	***	***	***	3.50000	14.5	3.51450
40	***	***	***	***	***	3.50000	15.0	3.51500
41	***	***	***	***	***	3.50000	15.7	3.51570
42 (cas ideal)	***	***	***	***	***	3.50000	0.0	3.50000

Taula 20. Temps d'actuació del contactor en la maniobra d'enggada amb resistències estatòriques

Inversió de gir								
Simulació	t ₀ KM2 [s]	t _R KM2 [ms]	t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t _T KM3 [s]	t _R KM3 [ms]	t ₁₂₃ KM3 [s]
43	2.00	2.9	2.00463	2.00796	2.01129	2.01129	9.9	2.02119
44	2.00	2.9	2.00463	2.00796	2.01129	2.01129	15.7	2.02699
45	2.00	3.5	2.00523	2.00856	2.01189	2.01189	9.9	2.02179
46	2.00	3.5	2.00523	2.00856	2.01189	2.01189	15.7	2.02759
47	2.00	4.0	2.00573	2.00906	2.01239	2.01239	9.9	2.02229
48	2.00	4.0	2.00573	2.00906	2.01239	2.01239	15.7	2.02809
49	2.00	4.5	2.00623	2.00956	2.01289	2.01289	9.9	2.02279
50	2.00	4.5	2.00623	2.00956	2.01289	2.01289	15.7	2.02859
51	2.00	5.0	2.00673	2.01006	2.01339	2.01339	9.9	2.02329
52	2.00	5.0	2.00673	2.01006	2.01339	2.01339	15.7	2.02909
53	2.00	5.5	2.00723	2.01056	2.01389	2.01389	9.9	2.02379
54	2.00	5.5	2.00723	2.01056	2.01389	2.01389	15.7	2.02959
55	2.00	6.0	2.00773	2.01106	2.01439	2.01439	9.9	2.02429
56	2.00	6.0	2.00773	2.01106	2.01439	2.01439	15.7	2.03009
57	2.00	6.5	2.00823	2.01156	2.01489	2.01489	9.9	2.02479
58	2.00	6.5	2.00823	2.01156	2.01489	2.01489	15.7	2.03059
59	2.00	7.1	2.00883	2.01216	2.01549	2.01549	9.9	2.02539
60	2.00	7.1	2.00883	2.01216	2.01549	2.01549	15.7	2.03119
61 (cas ideal)	2.00	0.0	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	0.0	2.00000

Taula 21. Temps d'actuació dels contactors en la maniobra d'inversió de gir

3.4.1.2 Simulació 1

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50463	3.50796	3.51129	3.52119

Taula 22. Temps d'actuació en la simulació 1

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
265.2	211.2	-258.8	265.2	7.07

Taula 23. Estudi del corrent en la simulació 1

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
735.6	725.1	10.59	0.0073

Taula 24. Estudi de la velocitat en la simulació 1

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1107	2.25

Taula 25. Estudi del parell en la simulació 1

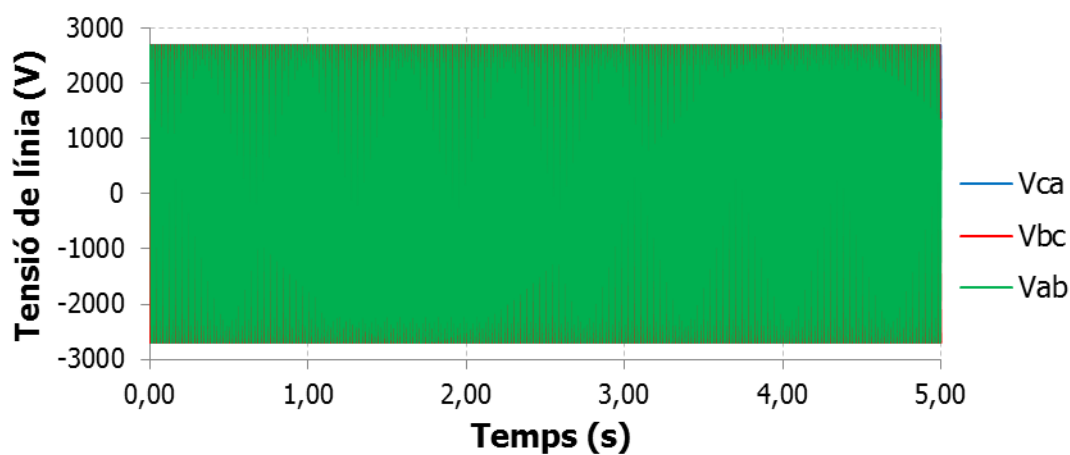


Figura 63. Tensió en la simulació 1

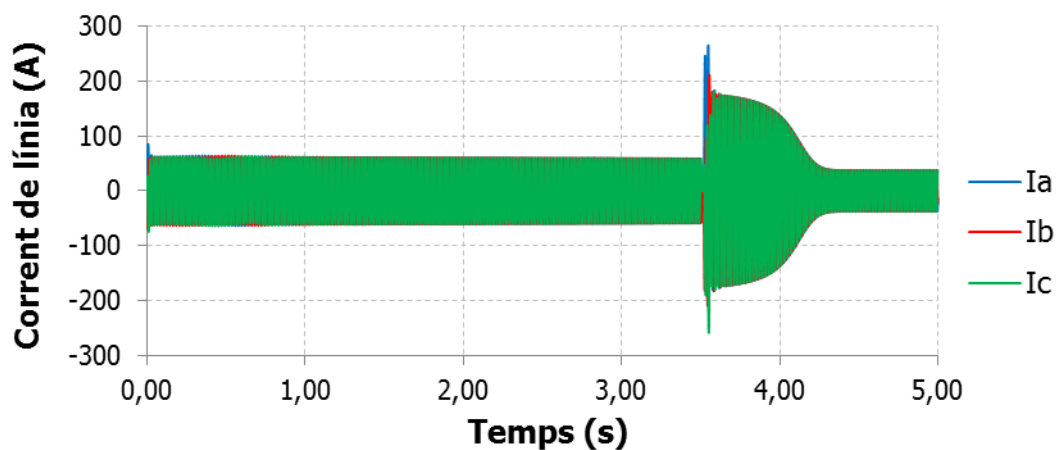


Figura 64. Corrent en la simulació 1

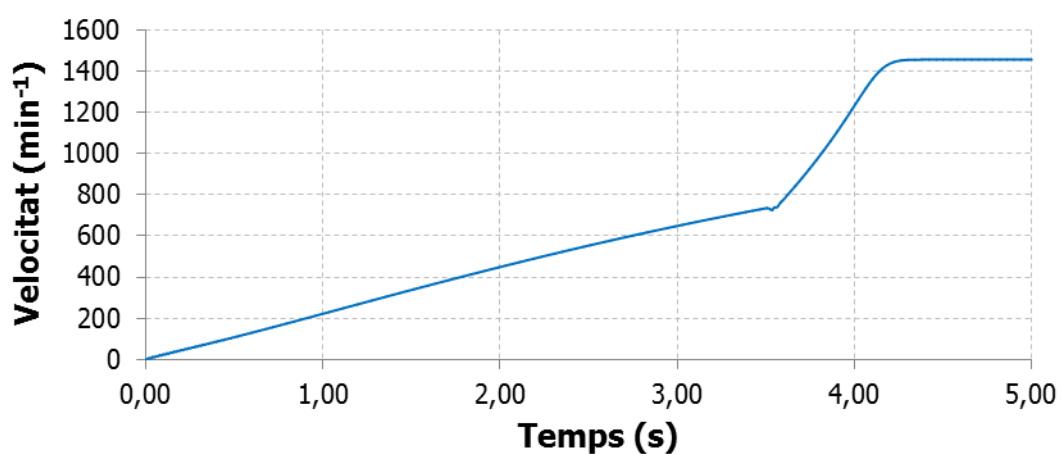


Figura 65. Velocitat en la simulació 1

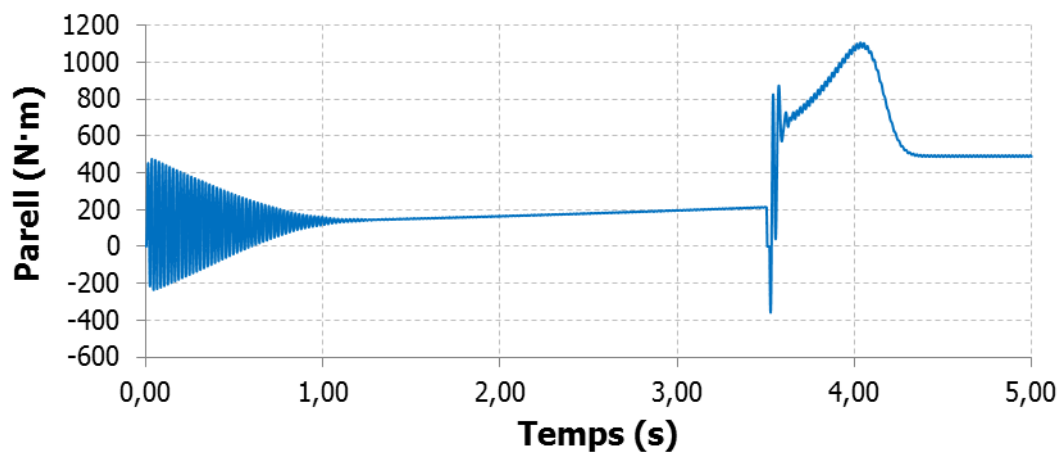


Figura 66. Parell en la simulació 1

3.4.1.3 Simulació 2

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.0463	3.50796	3.51129	3.52699

Taula 26. Temps d'actuació en la simulació 2

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-235.4	260.2	-232.7	260.2	6.93

Taula 27. Estudi del corrent en la simulació 2

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
735.6	730.6	5	0.0034

Taula 28. Estudi de la velocitat en la simulació 2

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1107	2.25

Taula 29. Estudi del parell en la simulació 2

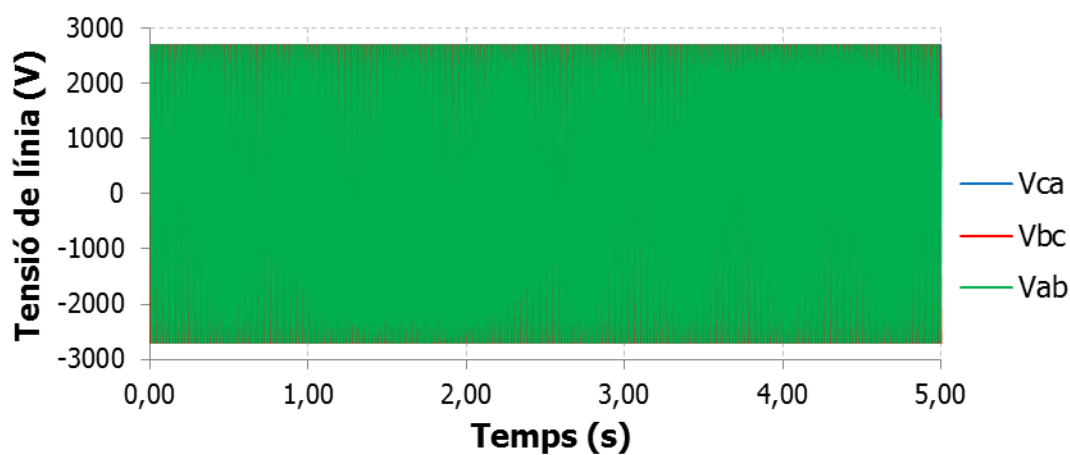


Figura 67. Tensió en la simulació 2

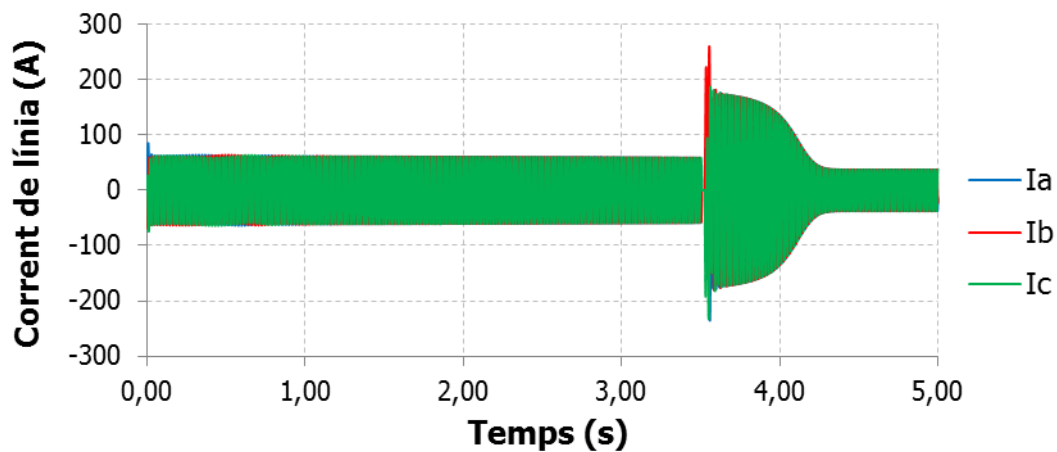


Figura 68. Corrent en la simulació 2

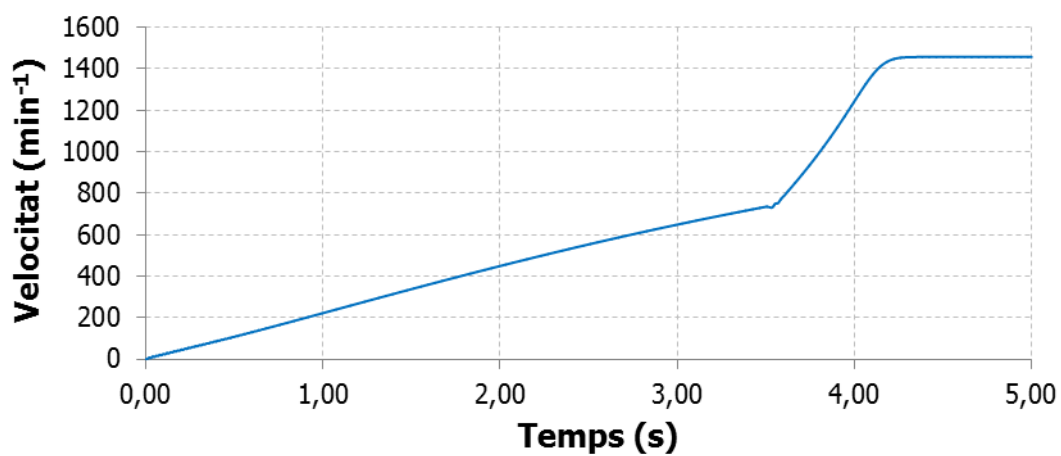


Figura 69. Velocitat en la simulació 2

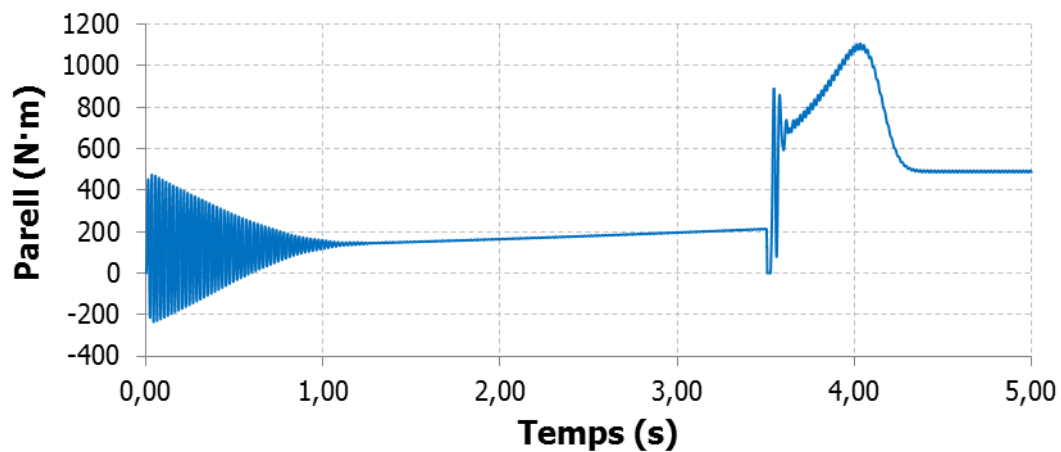


Figura 70. Parell en la simulació 2

3.4.1.4 Simulació 3

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50523	3.50856	3.51189	3.52179

Taula 30. Temps d'actuació en la simulació 3

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
259.7	220.3	-263.5	263.5	7.02

Taula 31. Estudi del corrent en la simulació 3

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
735.7	725.3	10.39	0.0071

Taula 32. Estudi de la velocitat en la simulació 3

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1110	2.26

Taula 33. Estudi del parell en la simulació 3

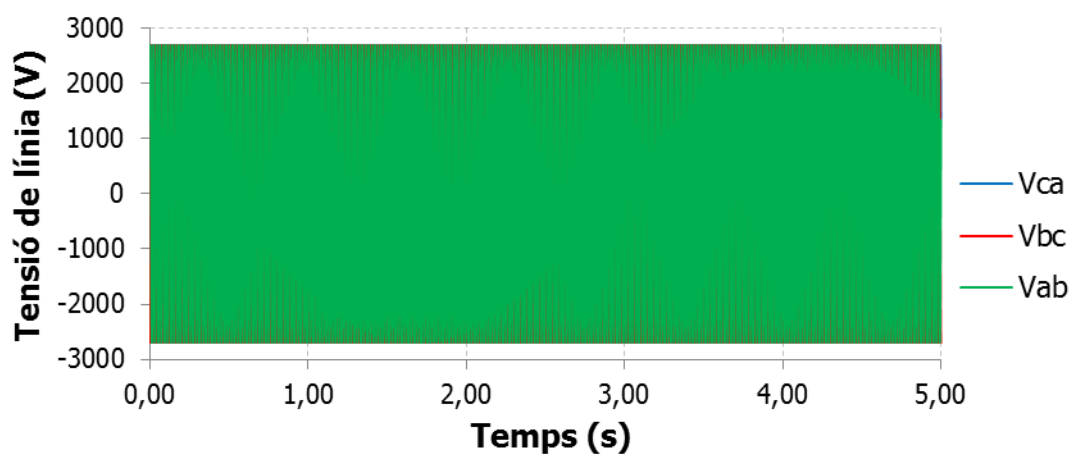


Figura 71. Tensió en la simulació 3

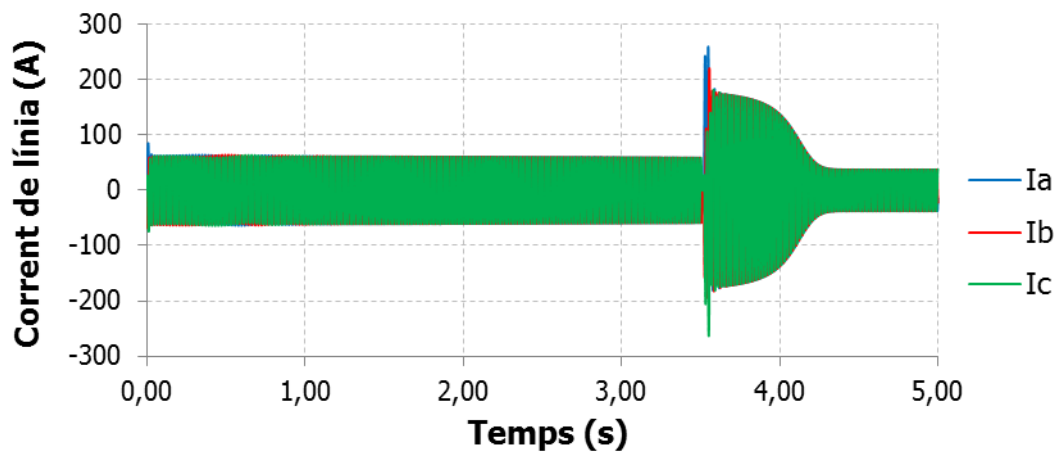


Figura 72. Corrent en la simulació 3

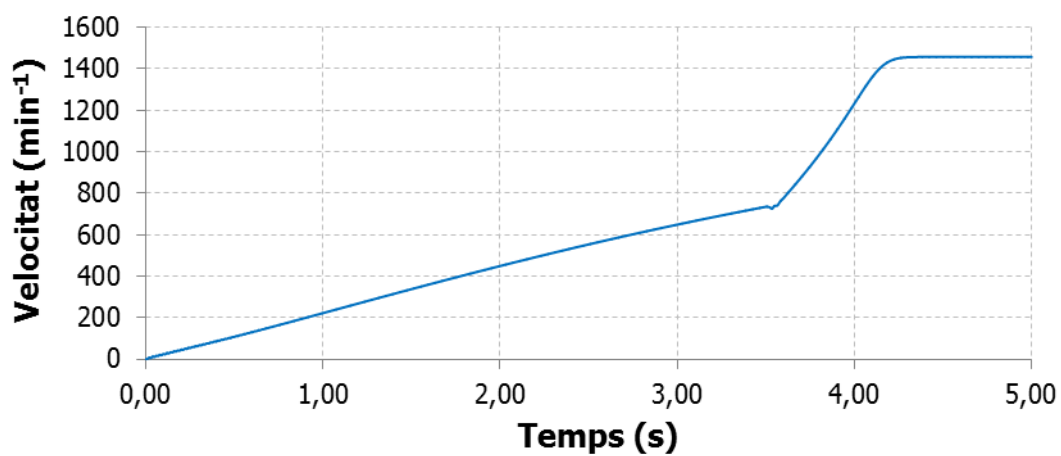


Figura 73. Velocitat en la simulació 3

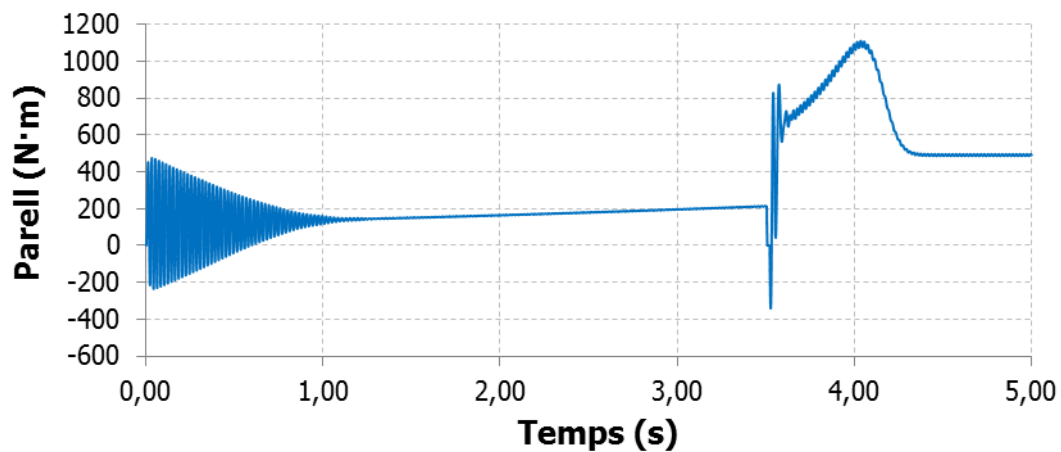


Figura 74. Parell en la simulació 3

3.4.1.5 Simulació 4

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50523	3.50856	3.51189	3.52759

Taula 34. Temps d'actuació en la simulació 4

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-241.9	258.6	-221.6	258.6	6.89

Taula 35. Estudi del corrent en la simulació 4

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
735.7	730.6	5.09	0.0035

Taula 36. Estudi de la velocitat en la simulació 4

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1110	2.26

Taula 37. Estudi del parell en la simulació 4

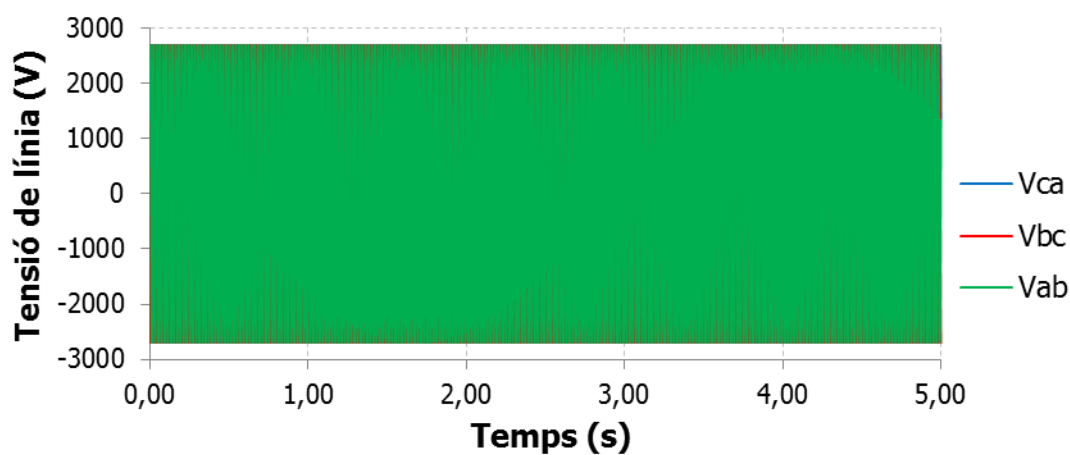


Figura 75. Tensió en la simulació 4

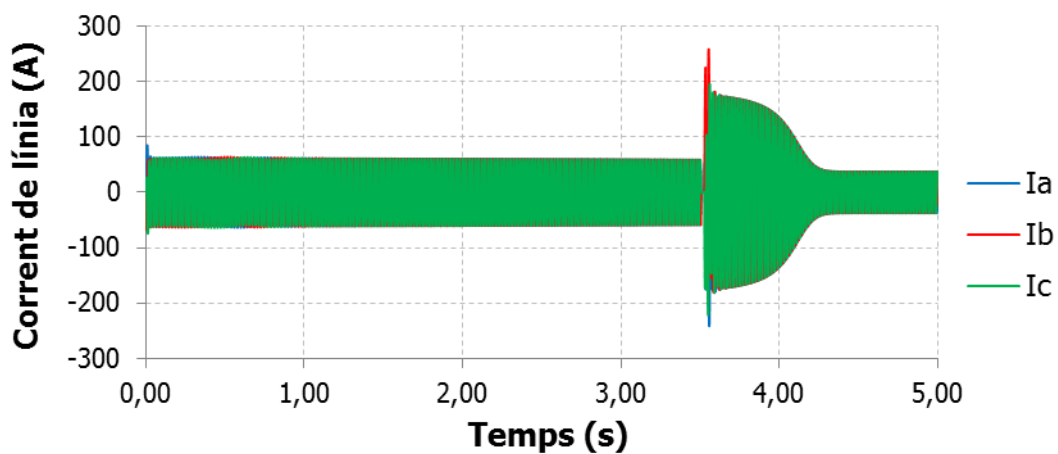


Figura 76. Corrent en la simulació 4

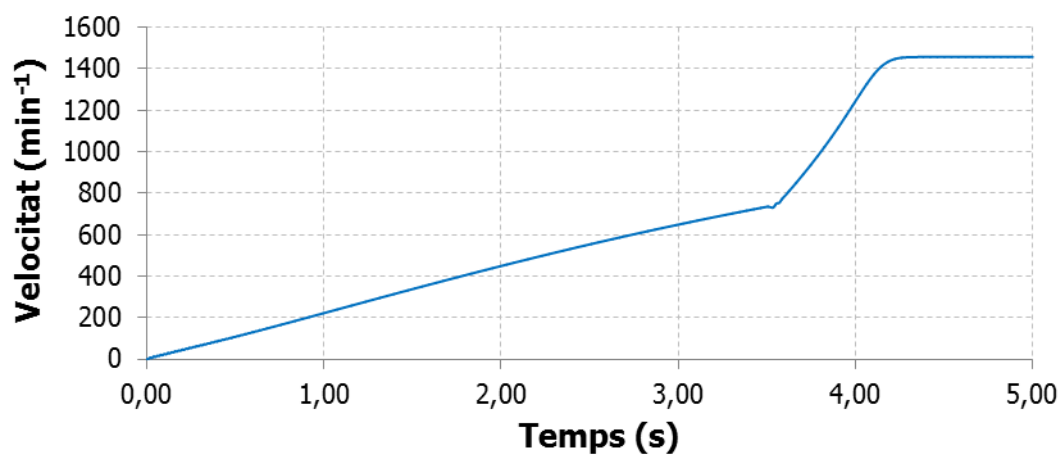


Figura 77. Velocitat en la simulació 4

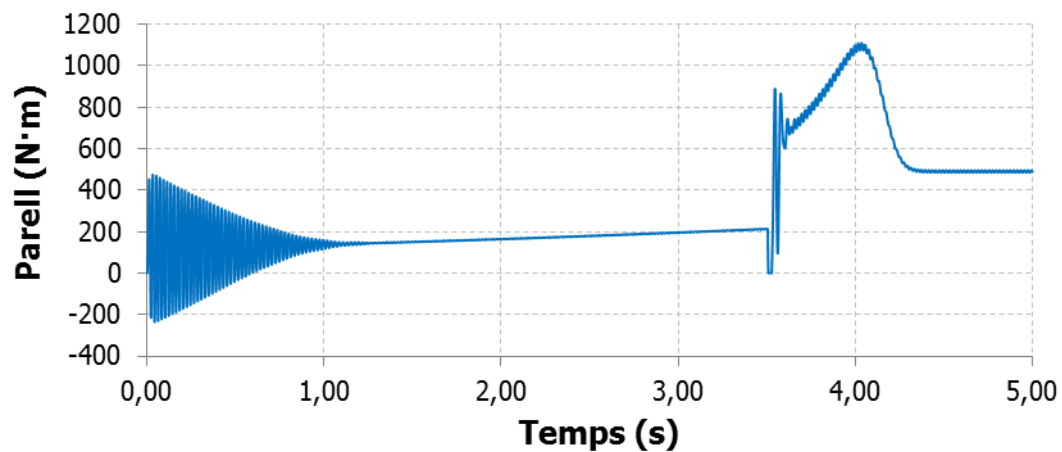


Figura 78. Parell en la simulació 4

3.4.1.6 Simulació 5

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50573	3.50906	3.51239	3.52229

Taula 38. Temps d'actuació en la simulació 5

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
253.3	227.7	-266.1	266.1	7.09

Taula 39. Estudi del corrent en la simulació 5

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
735.7	725.5	10.23	0.0070

Taula 40. Estudi de la velocitat en la simulació 5

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1115	2.27

Taula 41. Estudi del parell en la simulació 5

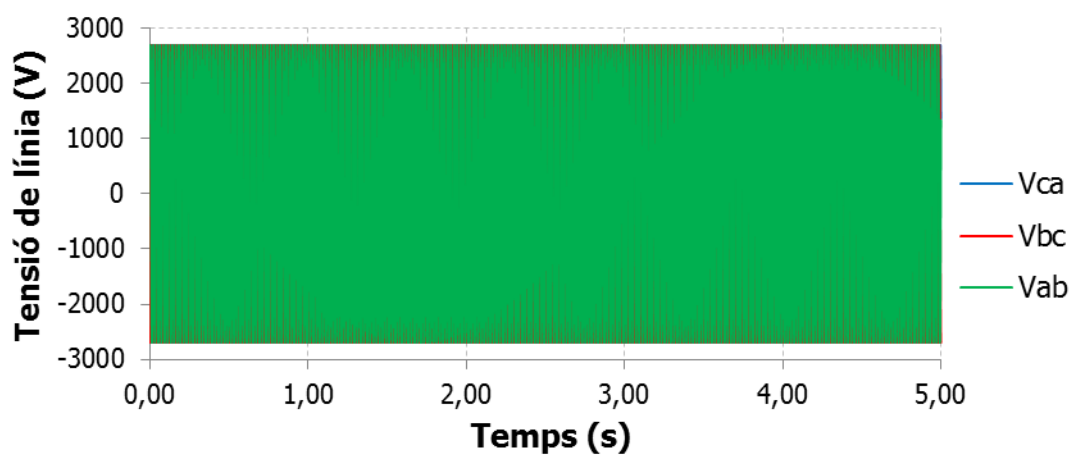


Figura 79. Tensió en la simulació 5

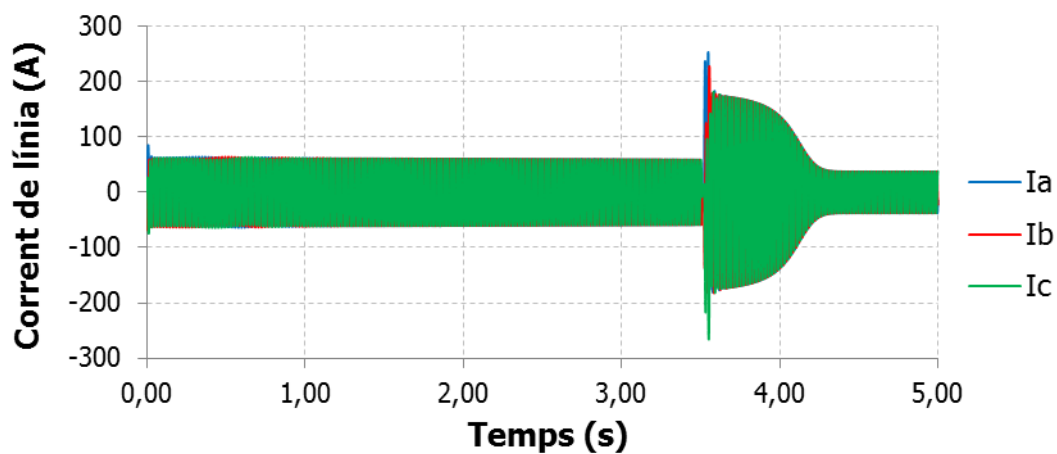


Figura 80. Corrent en la simulació 5

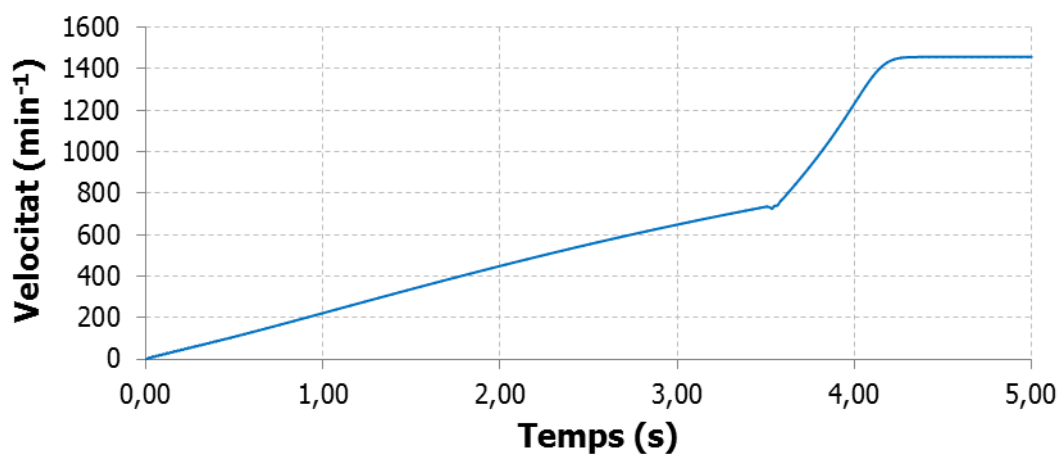


Figura 81. Velocitat en la simulació 5

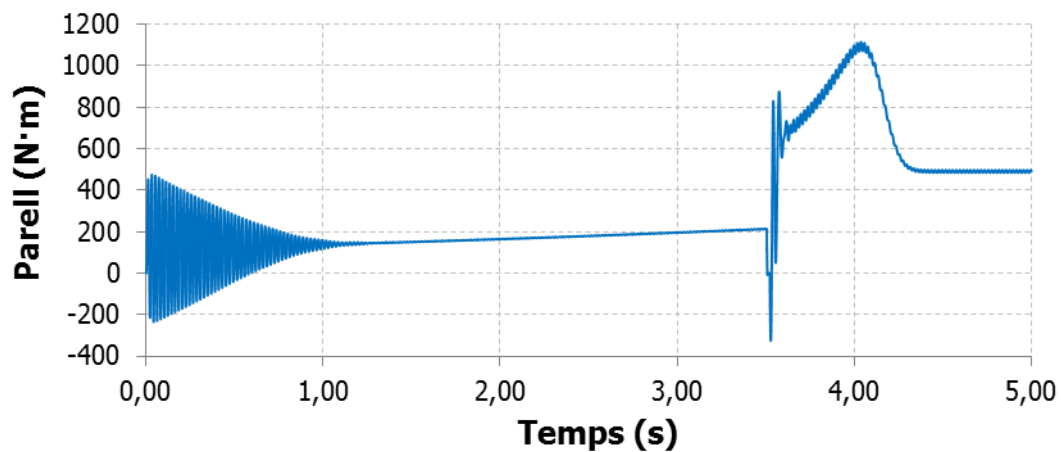


Figura 82. Parell en la simulació 5

3.4.1.7 Simulació 6

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
3.50573	3.50906	3.51239	3.52809

Taula 42. Temps d'actuació en la simulació 6

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
-246.6	255.8	-211.1	255.8	6.82

Taula 43. Estudi del corrent en la simulació 6

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
735.7	730.7	5.20	0.0036

Taula 44. Estudi de la velocitat en la simulació 6

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1115	2.26

Taula 45. Estudi del parell en la simulació 6

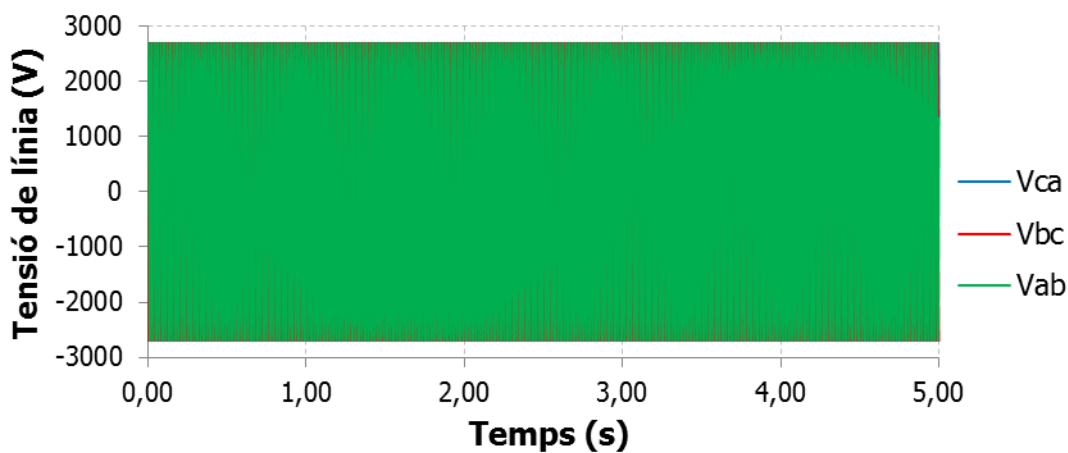


Figura 83. Tensió en la simulació 6

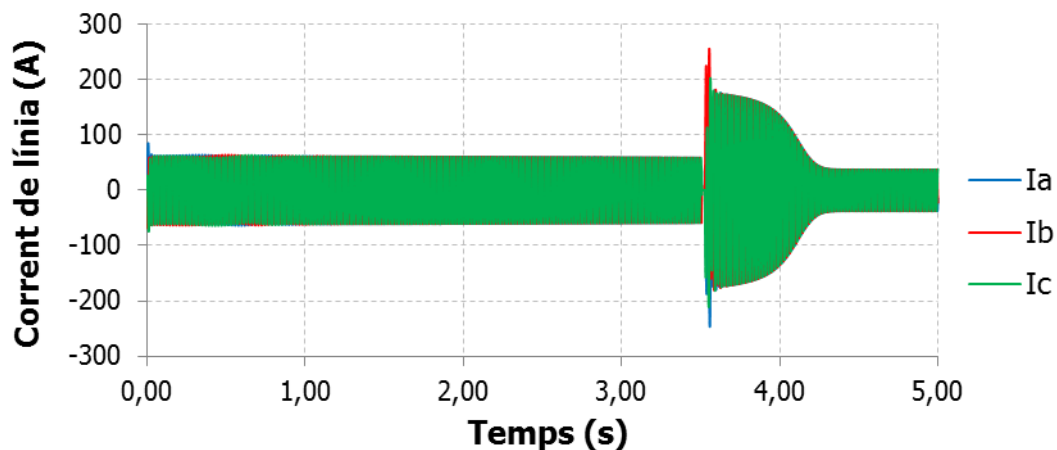


Figura 84. Corrent en la simulació 6

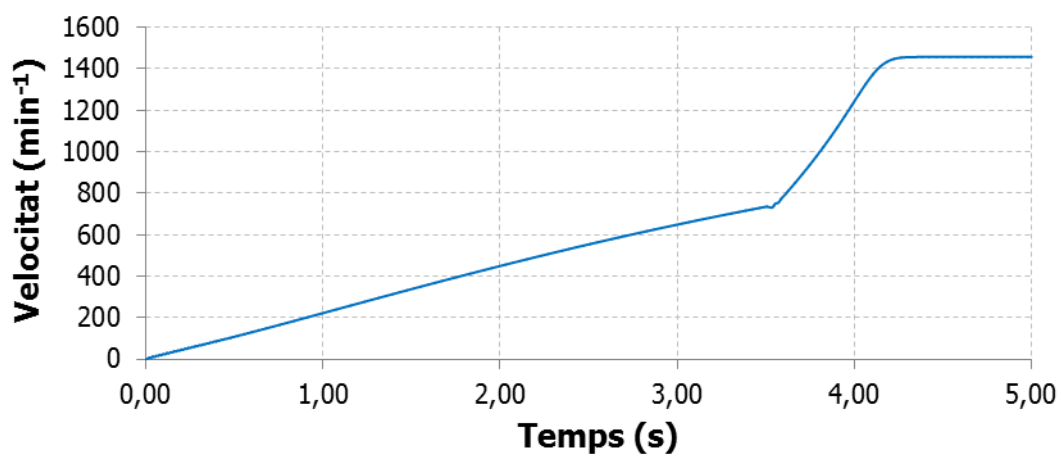


Figura 85. Velocitat en la simulació 6

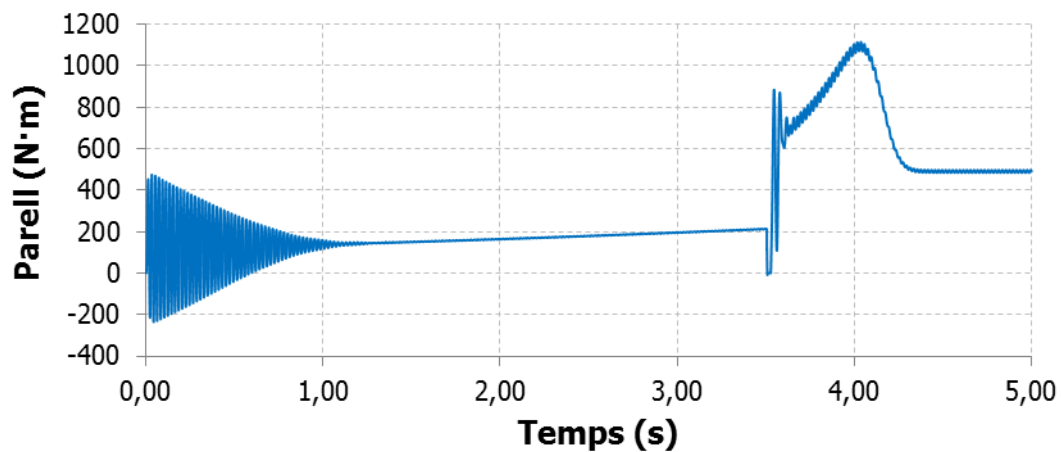


Figura 86. Parell en la simulació 6

3.4.1.8 Simulació 7

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50623	3.50956	3.51289	3.52279

Taula 46. Temps d'actuació en la simulació 7

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
245.3	234.8	-267.4	267.4	7.13

Taula 47. Estudi del corrent en la simulació 7

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
735.8	725.8	10.06	0.0069

Taula 48. Estudi de la velocitat en la simulació 7

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1120	2.28

Taula 49. Estudi del parell en la simulació 7

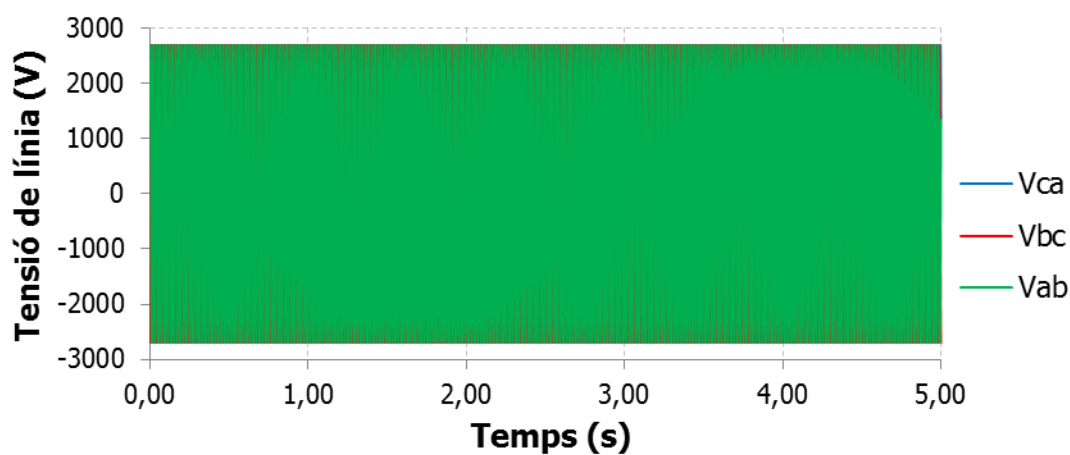


Figura 87. Tensió en la simulació 7

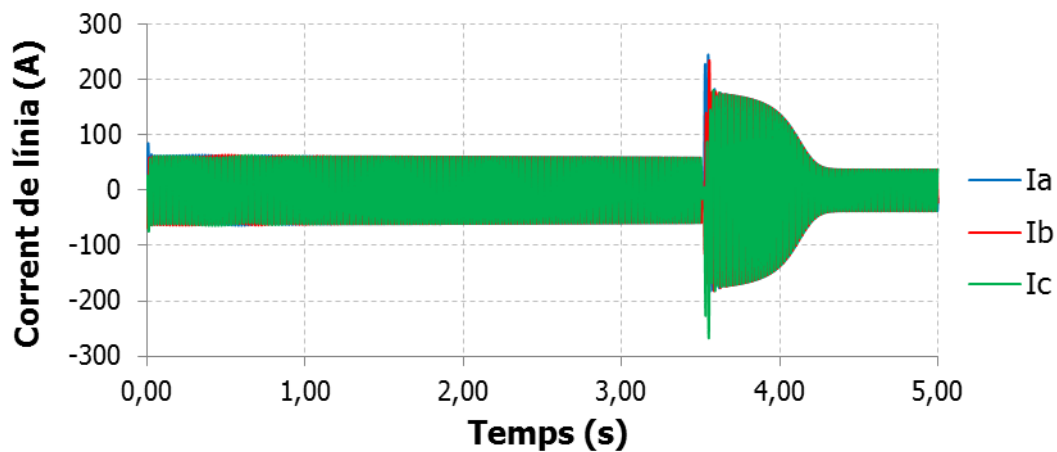


Figura 88. Corrent en la simulació 7

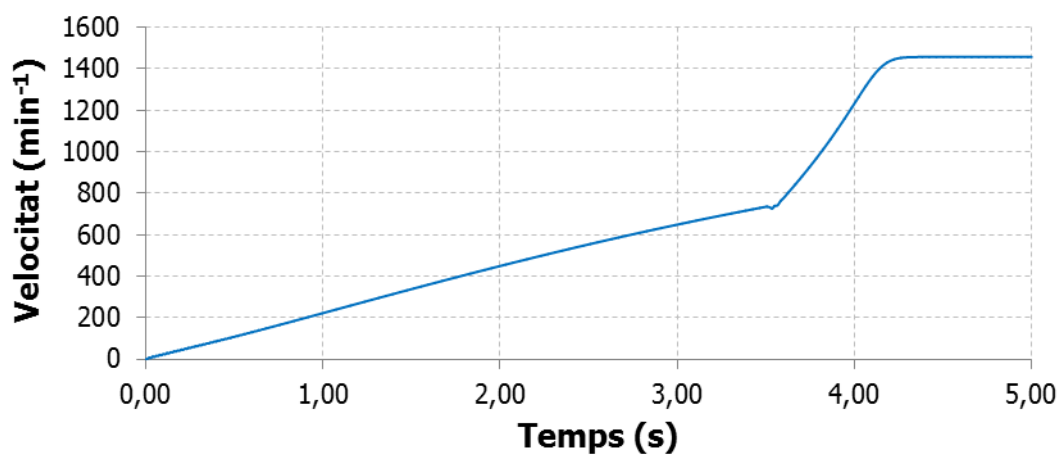


Figura 89. Velocitat en la simulació 7

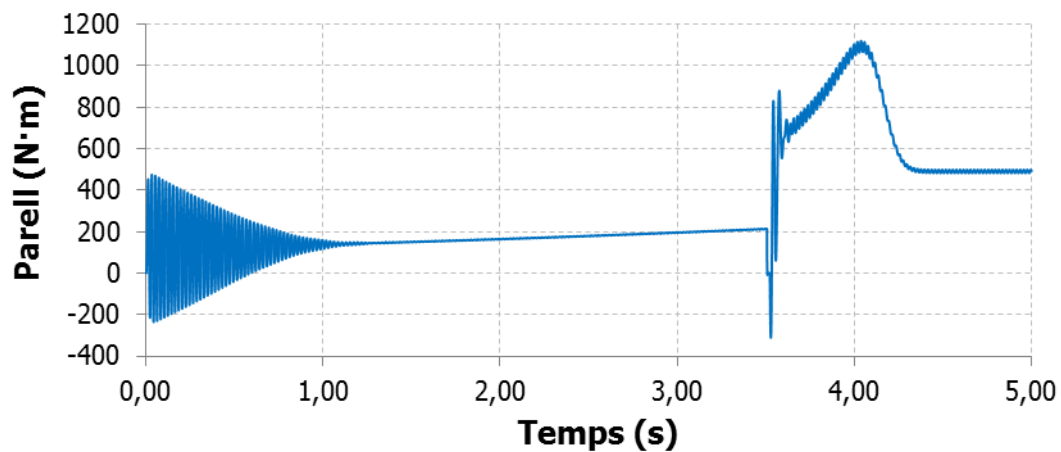


Figura 90. Parell en la simulació 7

3.4.1.9 Simulació 8

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
3.50623	3.50956	3.51289	3.52859

Taula 50. Temps d'actuació en la simulació 8

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
-250.4	251.7	210.1	251.7	6.71

Taula 51. Estudi del corrent en la simulació 8

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
735.8	730.5	5.30	0.0036

Taula 52. Estudi de la velocitat en la simulació 8

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1120	2.27

Taula 53. Estudi del parell en la simulació 8

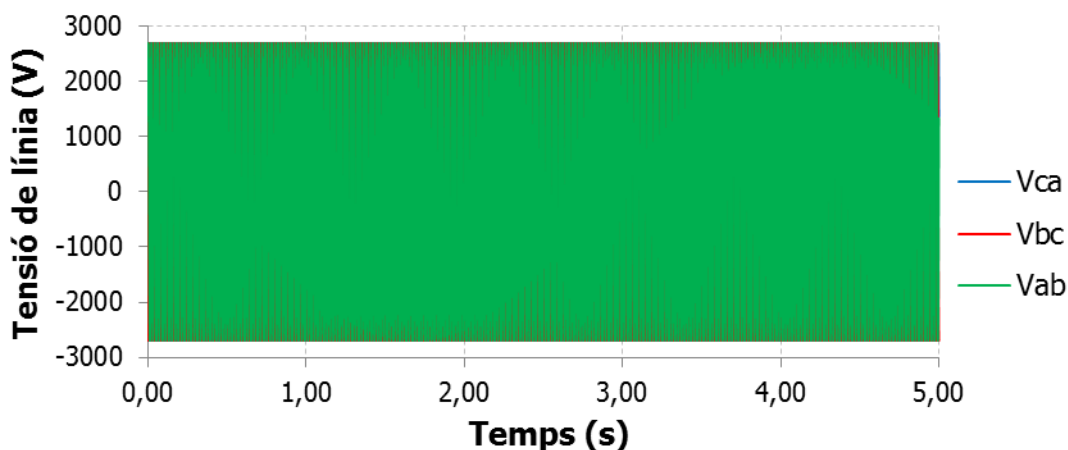


Figura 91. Tensió en la simulació 8

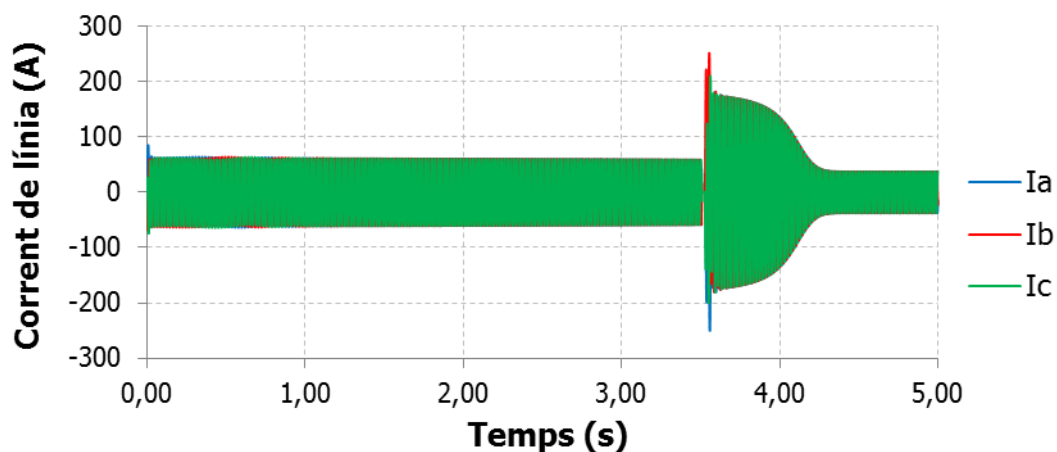


Figura 92. Corrent en la simulació 8

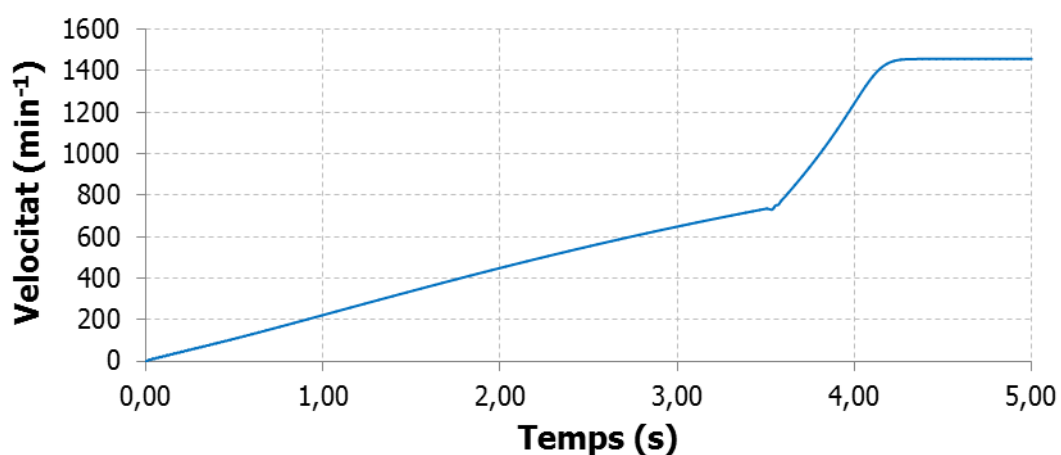


Figura 93. Velocitat en la simulació 8

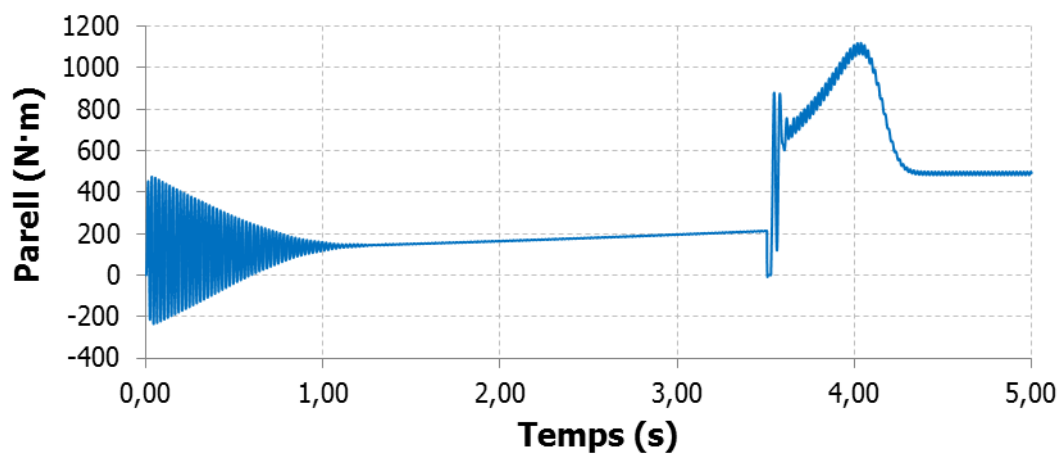


Figura 94. Parell en la simulació 8

3.4.1.10 **Simulació 9**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50673	3.51006	3.51339	3.52329

Taula 54. Temps d'actuació en la simulació 9

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
236.0	241.4	-267.4	267.4	7.12

Taula 55. Estudi del corrent en la simulació 9

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
735.9	726.0	9.89	0.0068

Taula 56. Estudi de la velocitat en la simulació 9

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1125	2.29

Taula 57. Estudi del parell en la simulació 9

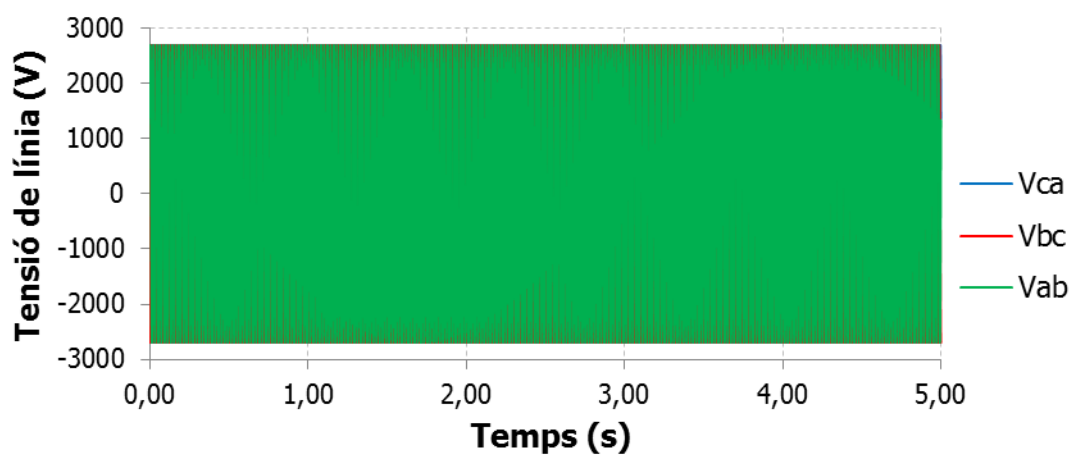


Figura 95. Tensió en la simulació 9

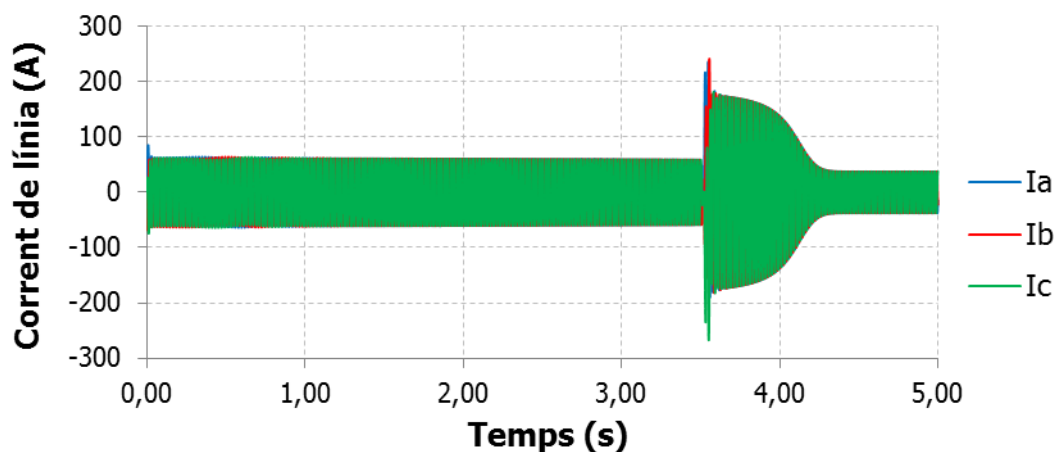


Figura 96. Corrent en la simulació 9

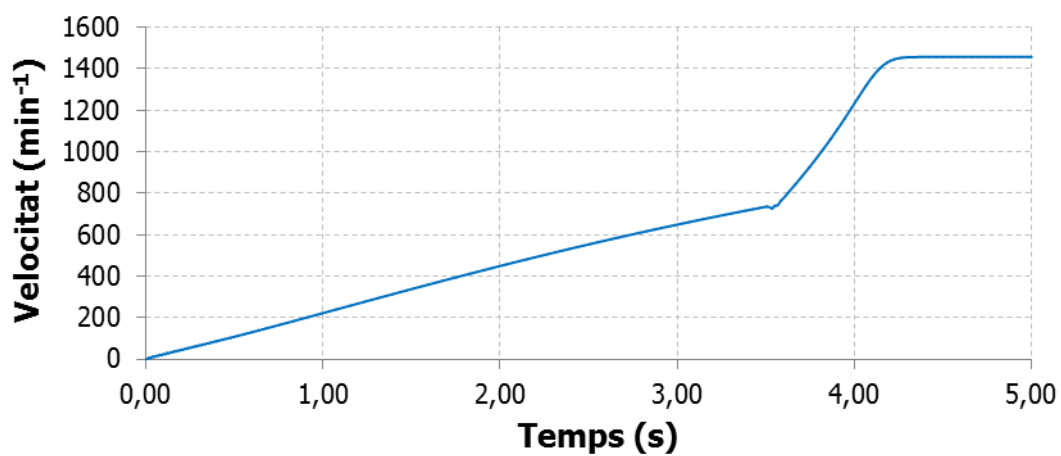


Figura 97. Velocitat en la simulació 9

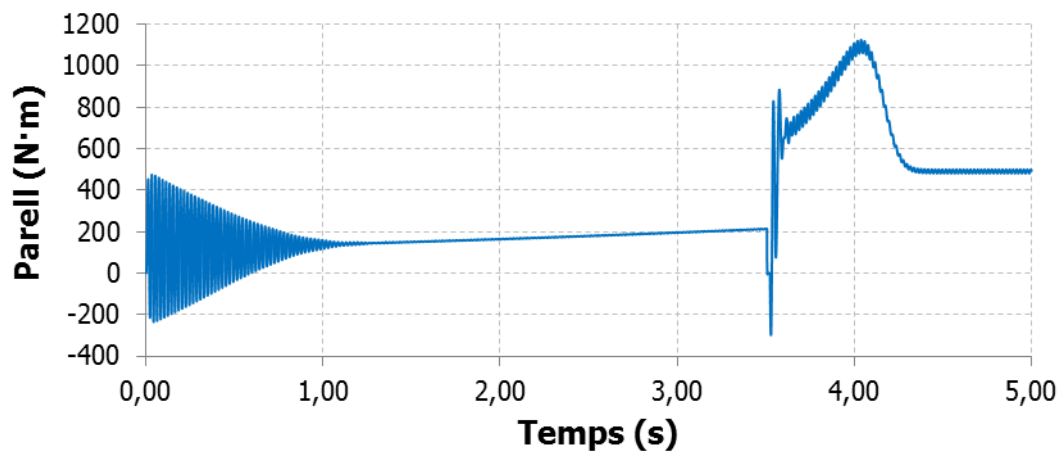


Figura 98. Parell en la simulació 9

3.4.1.11 *Simulació 10*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50673	3.51006	3.51339	3.52909

Taula 58. Temps d'actuació en la simulació 10

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-253.4	246.2	217.3	253.4	6.75

Taula 59. Estudi del corrent en la simulació 10

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
735.9	730.5	5.38	0.0037

Taula 60. Estudi de la velocitat en la simulació 10

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1124	2.28

Taula 61. Estudi del parell en la simulació 10

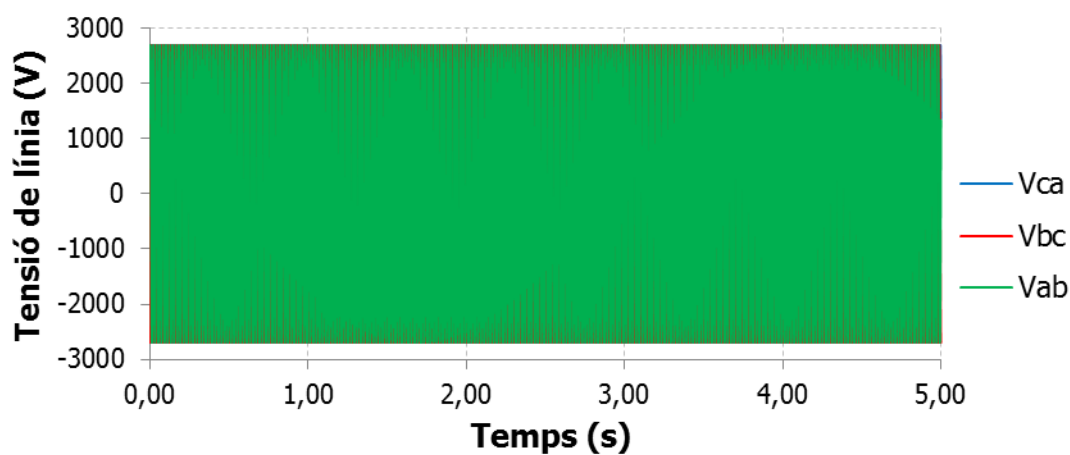


Figura 99. Tensió en la simulació 10

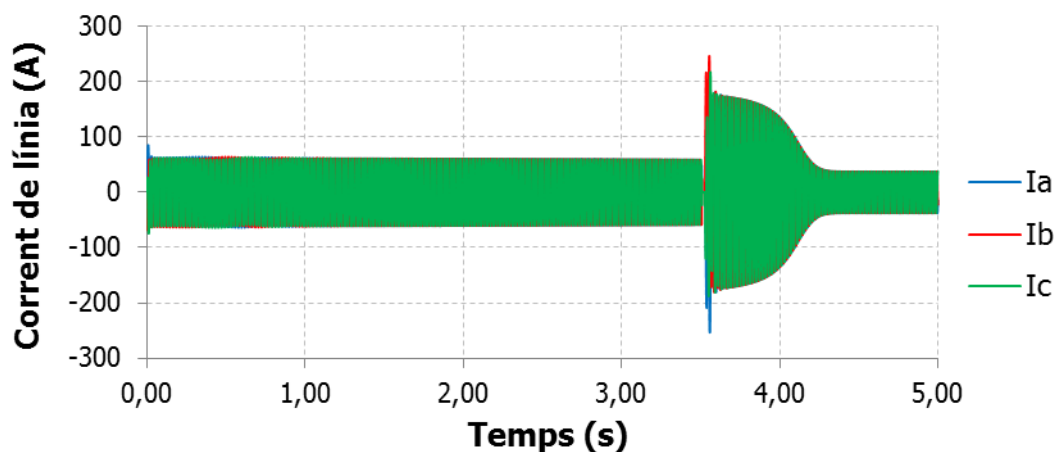


Figura 100. Corrent en la simulació 10

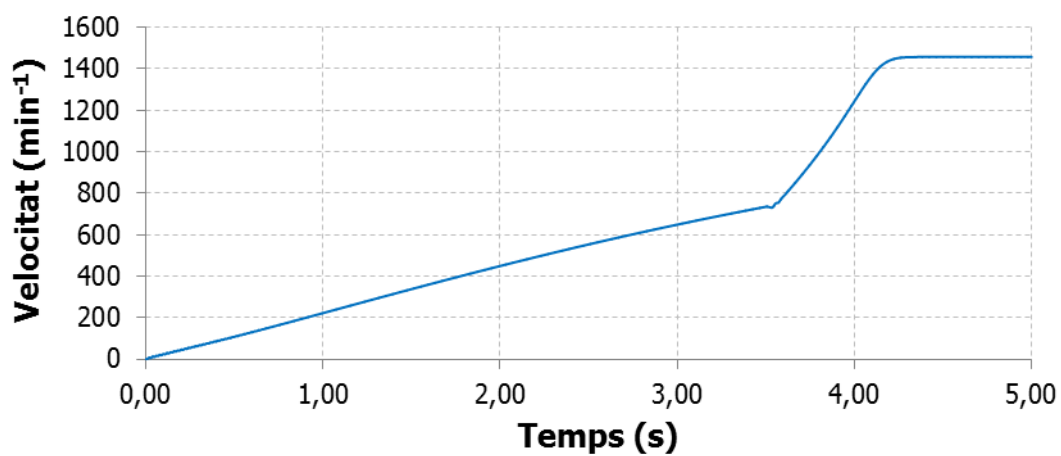


Figura 101. Velocitat en la simulació 10

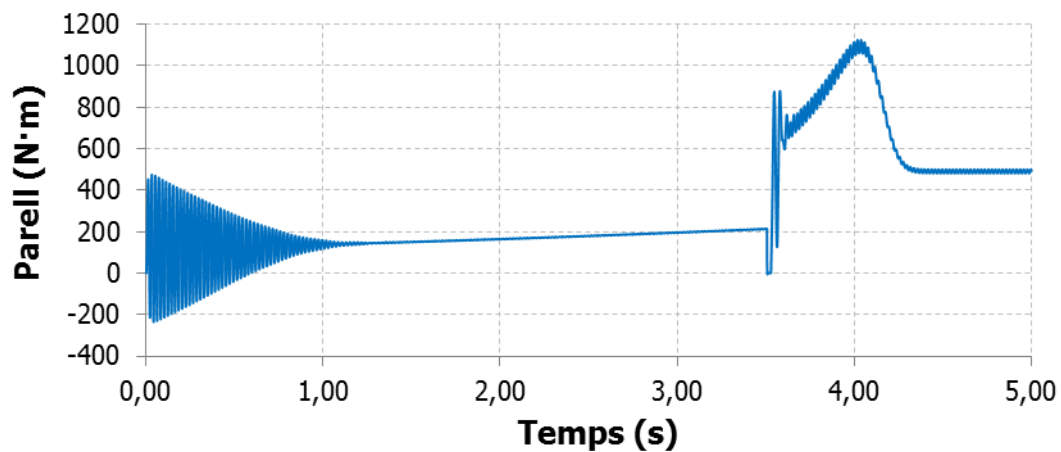


Figura 102. Parell en la simulació 10

3.4.1.12 *Simulació 11*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50723	3.51056	3.51389	3.52379

Taula 62. Temps d'actuació en la simulació 11

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
225.3	247.4	-265.9	265.9	7.09

Taula 63. Estudi del corrent en la simulació 11

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.0	726.2	9.74	0.0067

Taula 64. Estudi de la velocitat en la simulació 11

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1129	2.29

Taula 65. Estudi del parell en la simulació 11

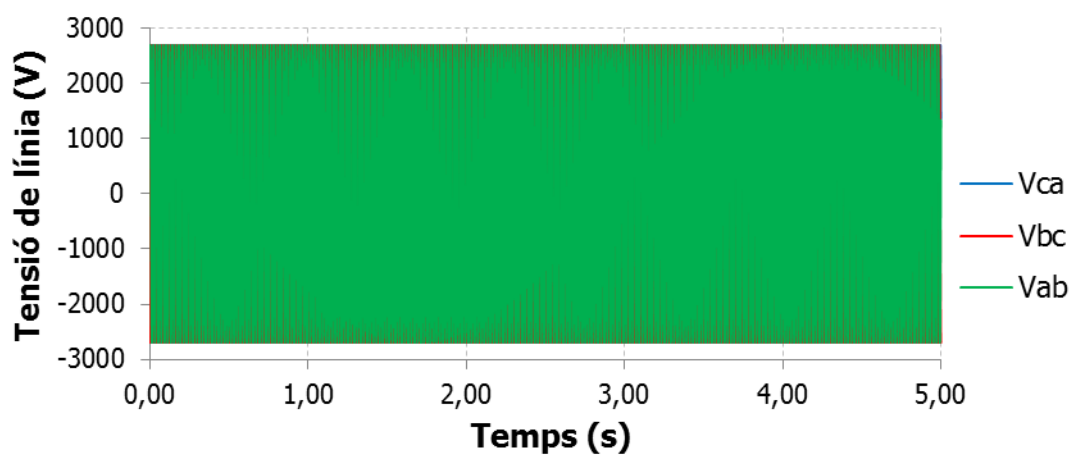


Figura 103. Tensió en la simulació 11

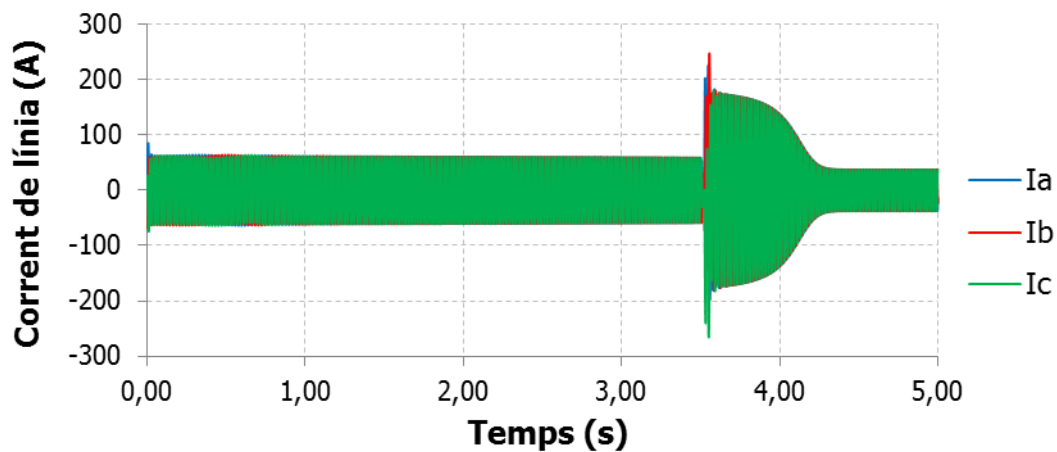


Figura 104. Corrent en la simulació 11

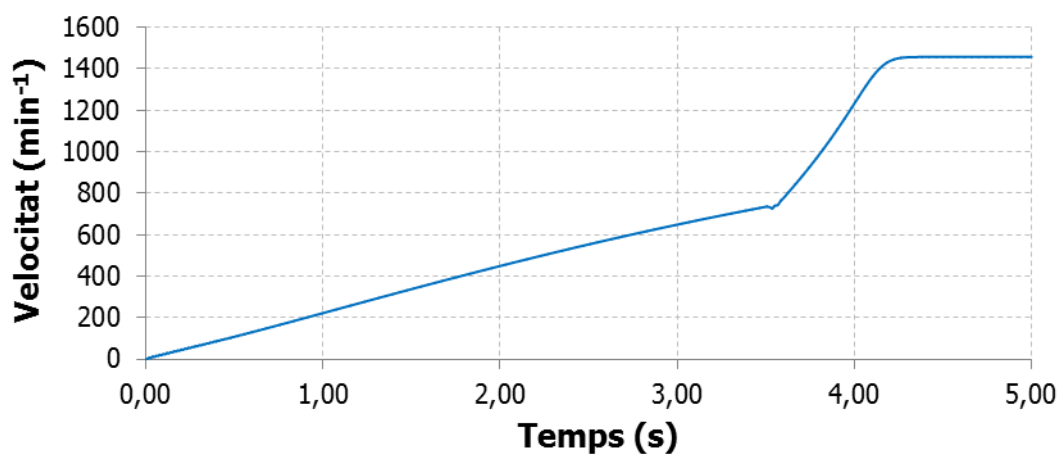


Figura 105. Velocitat en la simulació 11

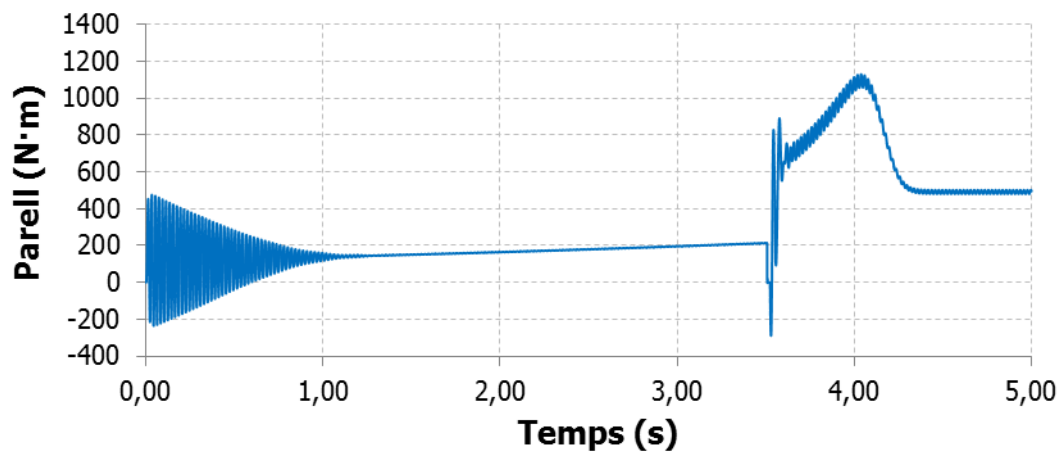


Figura 106. Parell en la simulació 11

3.4.1.13 *Simulació 12*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50723	3.51056	3.51389	3.52959

Taula 66. Temps d'actuació en la simulació 12

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-255.4	239.5	224.4	255.4	6.81

Taula 67. Estudi del corrent en la simulació 12

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.0	730.6	5.41	0.0037

Taula 68. Estudi de la velocitat en la simulació 12

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1129	2.29

Taula 69. Estudi del parell en la simulació 12

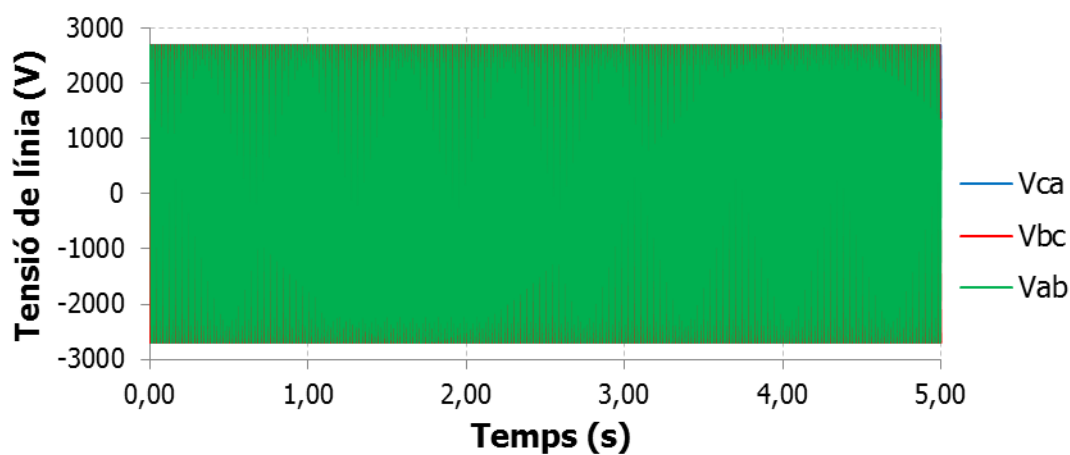


Figura 107. Tensió en la simulació 12

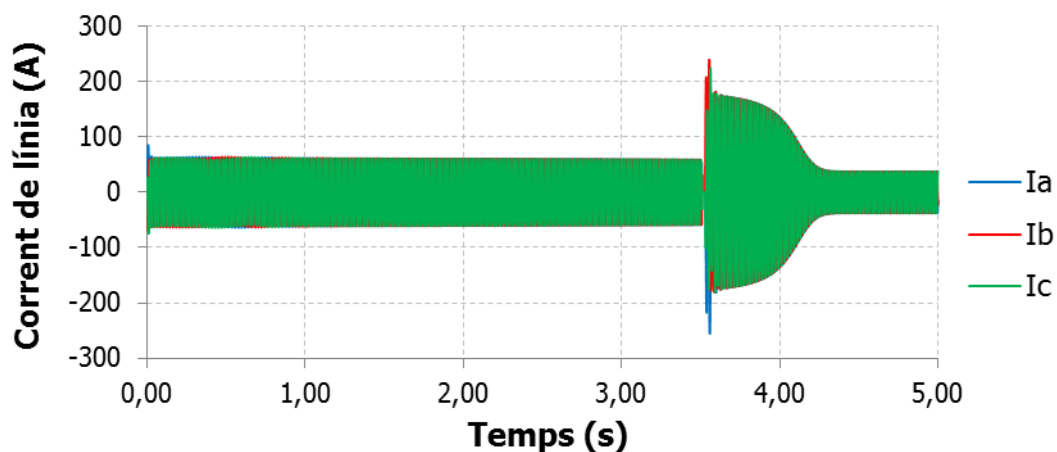


Figura 108. Corrent en la simulació 12

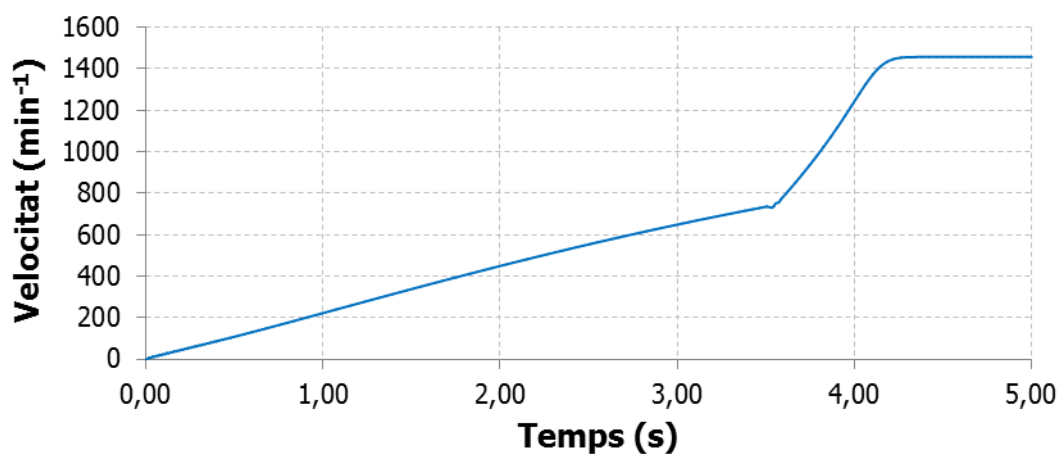


Figura 109. Velocitat en la simulació 12

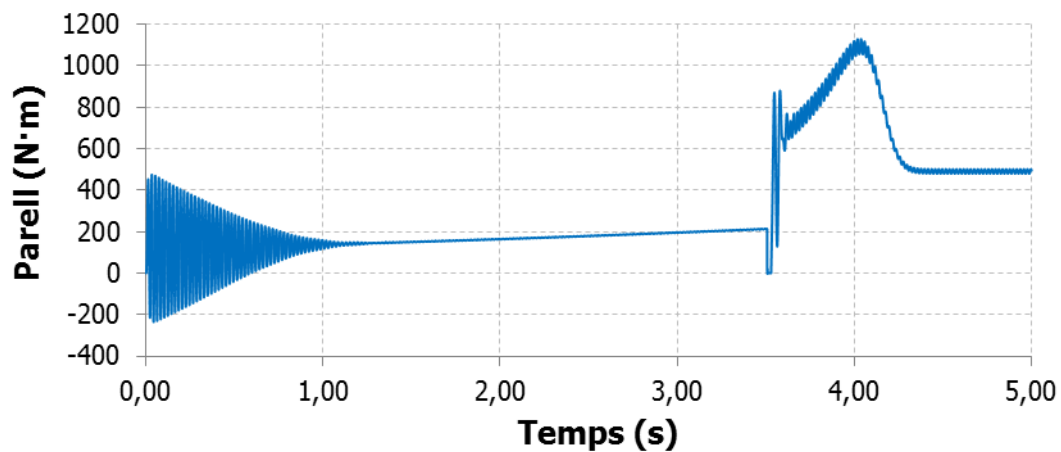


Figura 110. Parell en la simulació 12

3.4.1.14 **Simulació 13**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
3.50773	3.51106	3.51439	3.52429

Taula 70. Temps d'actuació en la simulació 13

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
213.4	252.8	-263.0	263.0	7.01

Taula 71. Estudi del corrent en la simulació 13

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
736.1	726.4	9.61	0.0066

Taula 72. Estudi de la velocitat en la simulació 13

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1133	2.30

Taula 73. Estudi del parell en la simulació 13

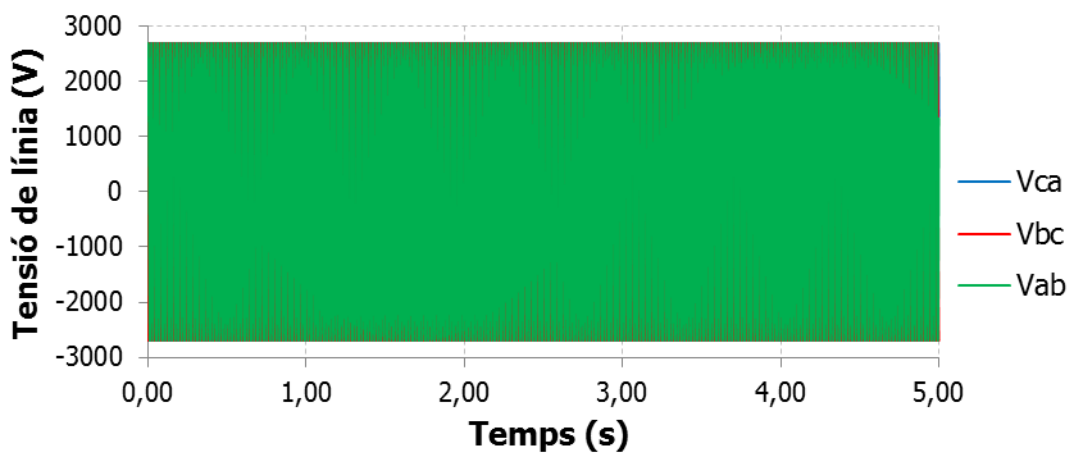


Figura 111. Tensió en la simulació 13

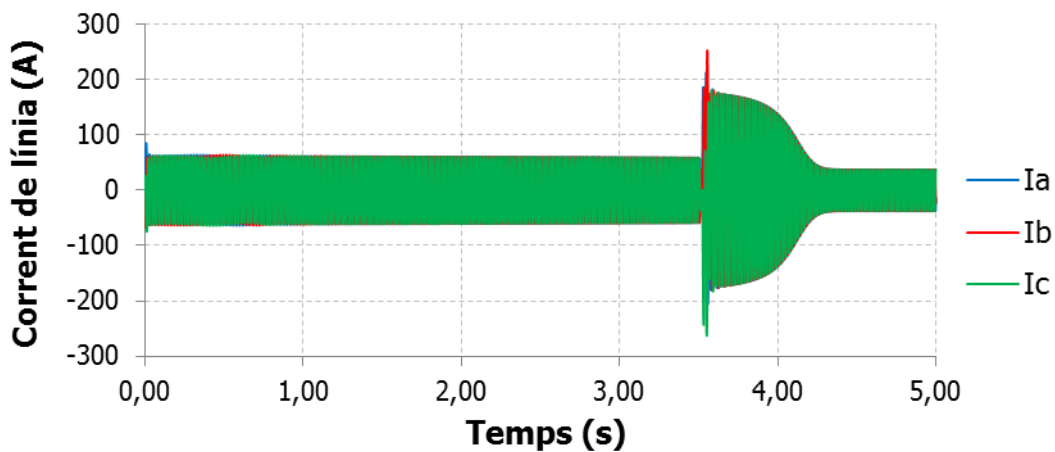


Figura 112. Corrent en la simulació 13

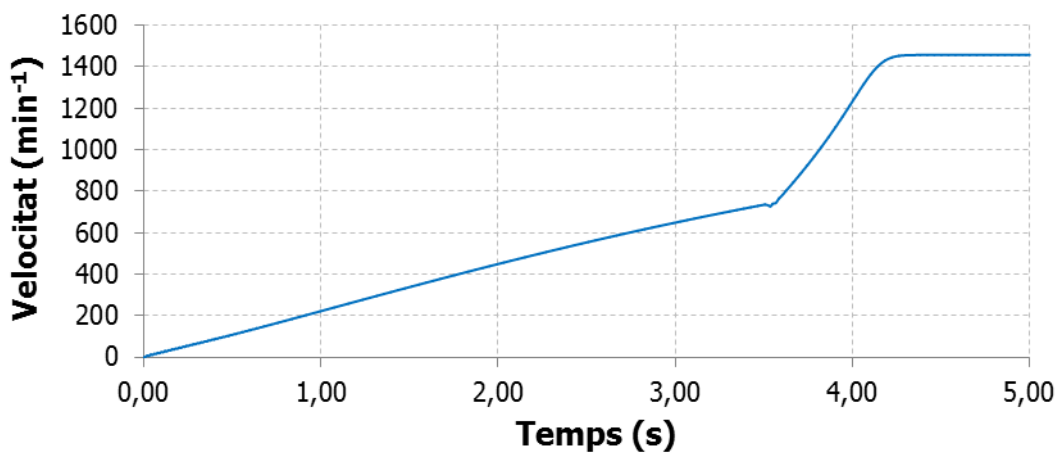


Figura 113. Velocitat en la simulació 13

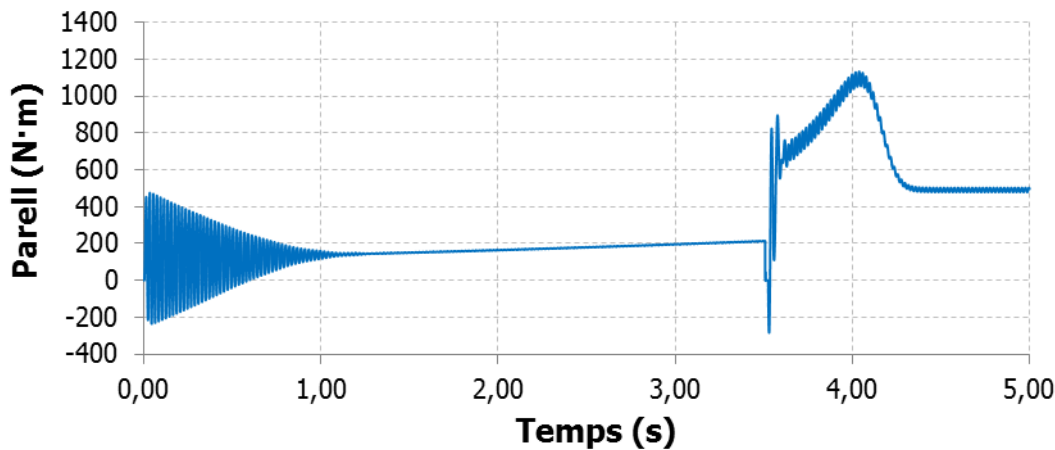


Figura 114. Parell en la simulació 13

3.4.1.15 **Simulació 14**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
3.50773	3.51106	3.51439	3.53009

Taula 74. Temps d'actuació en la simulació 14

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
-256.3	231.7	231.2	256.3	6.83

Taula 75. Estudi del corrent en la simulació 14

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
736.1	730.7	5.40	0.0037

Taula 76. Estudi de la velocitat en la simulació 14

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1132	2.30

Taula 77. Estudi del parell en la simulació 14

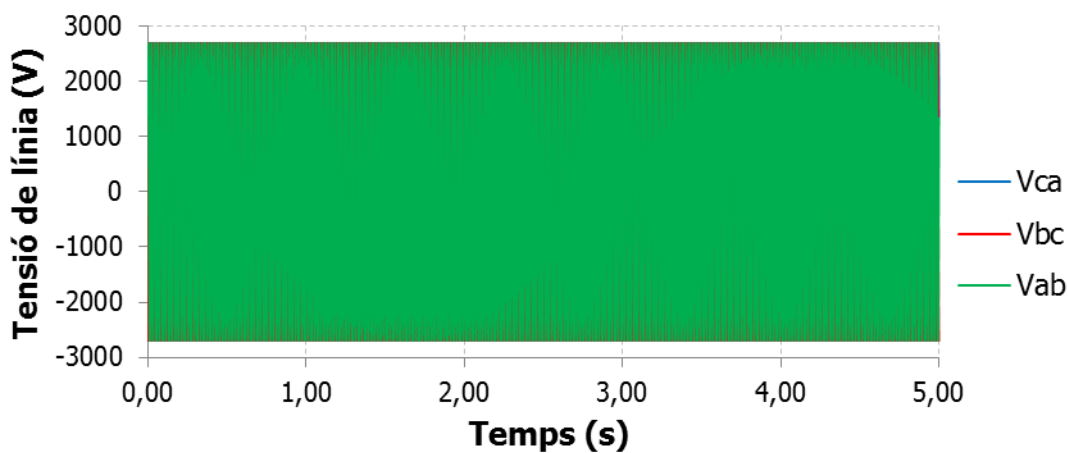


Figura 115. Tensió en la simulació 14

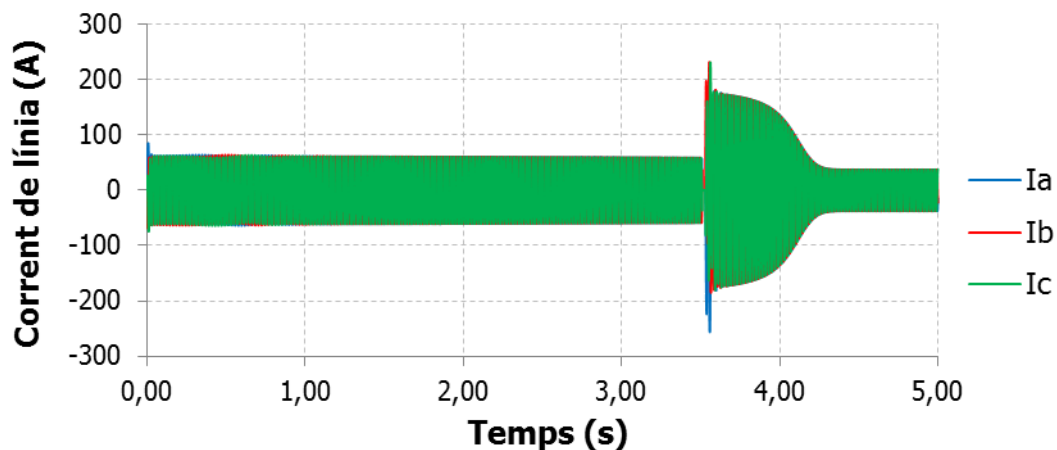


Figura 116. Corrent en la simulació 14

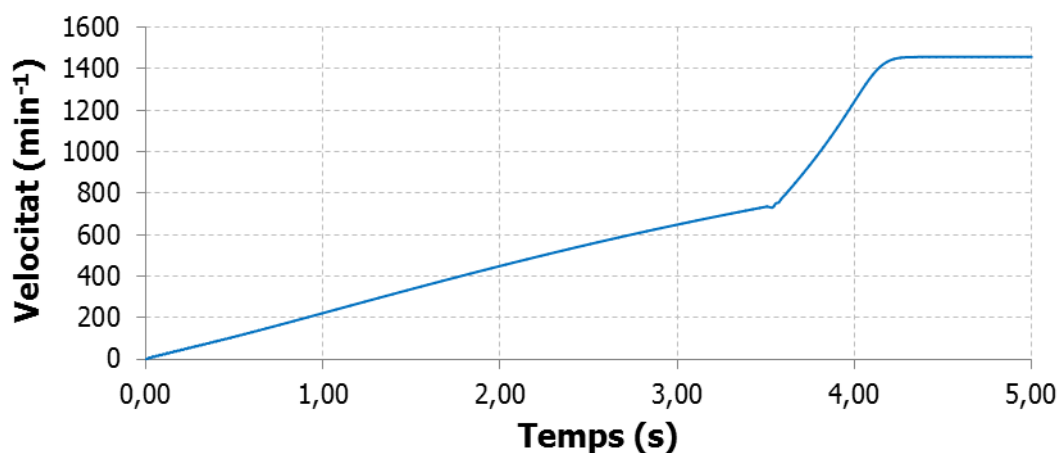


Figura 117. Velocitat en la simulació 14

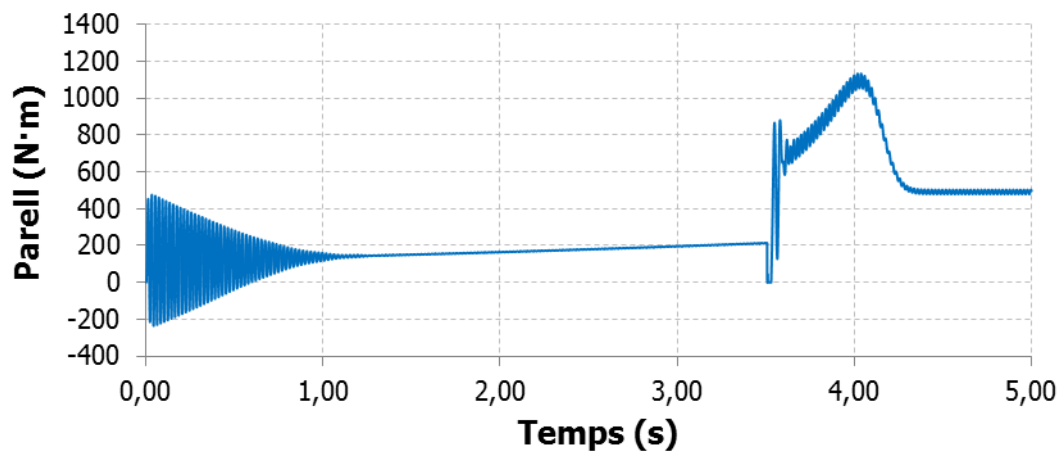


Figura 118. Parell en la simulació 14

3.4.1.16 *Simulació 15*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50823	3.51156	3.51489	3.52479

Taula 78. Temps d'actuació en la simulació 15

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-213.6	257.3	-258.6	258.6	6.89

Taula 79. Estudi del corrent en la simulació 15

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.1	726.6	9.51	0.0065

Taula 80. Estudi de la velocitat en la simulació 15

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1136	2.31

Taula 81. Estudi del parell en la simulació 15

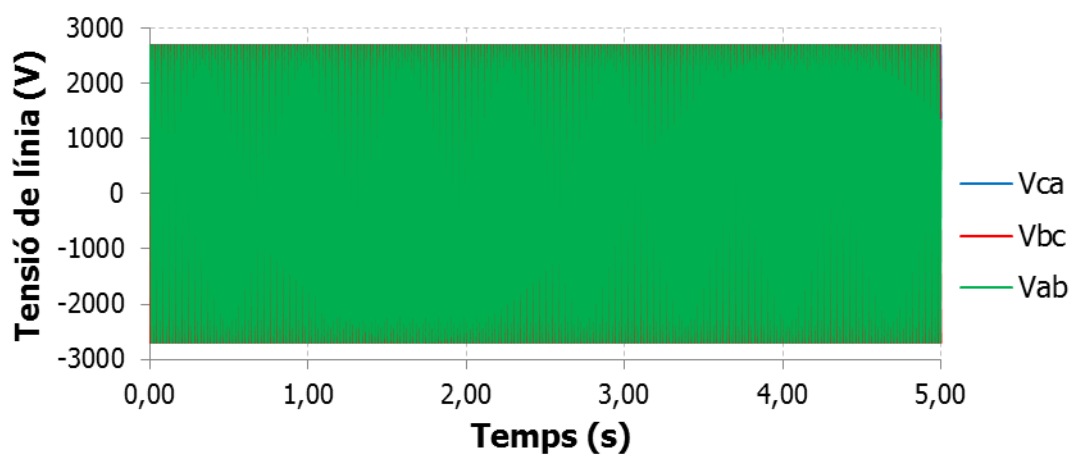


Figura 119. Tensió en la simulació 15

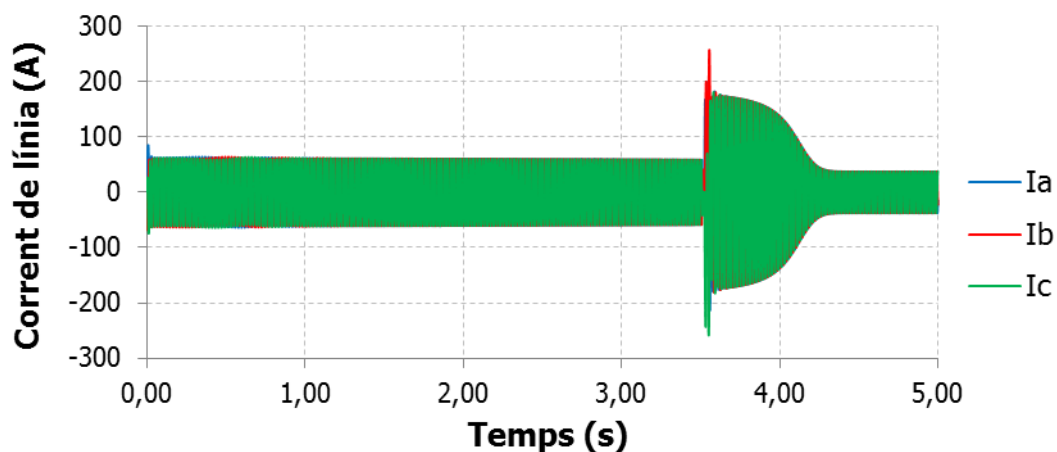


Figura 120. Corrent en la simulació 15

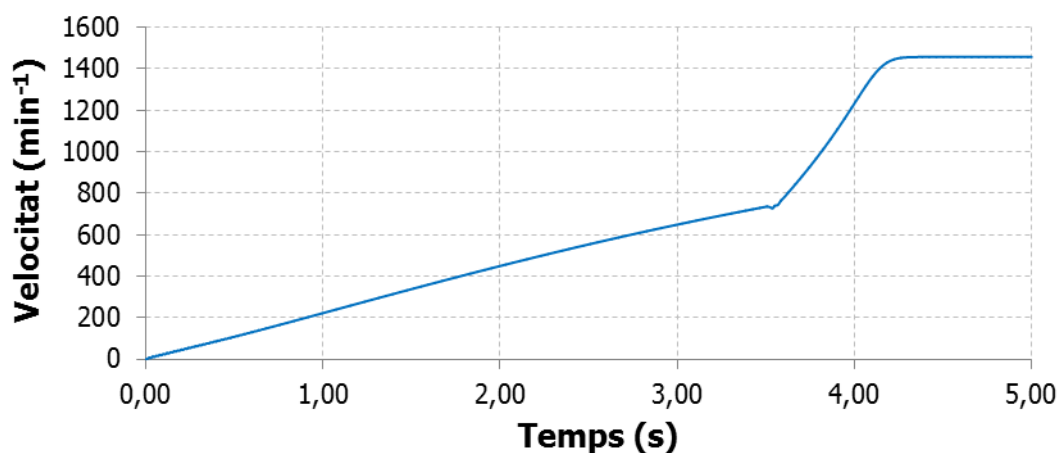


Figura 121. Velocitat en la simulació 15

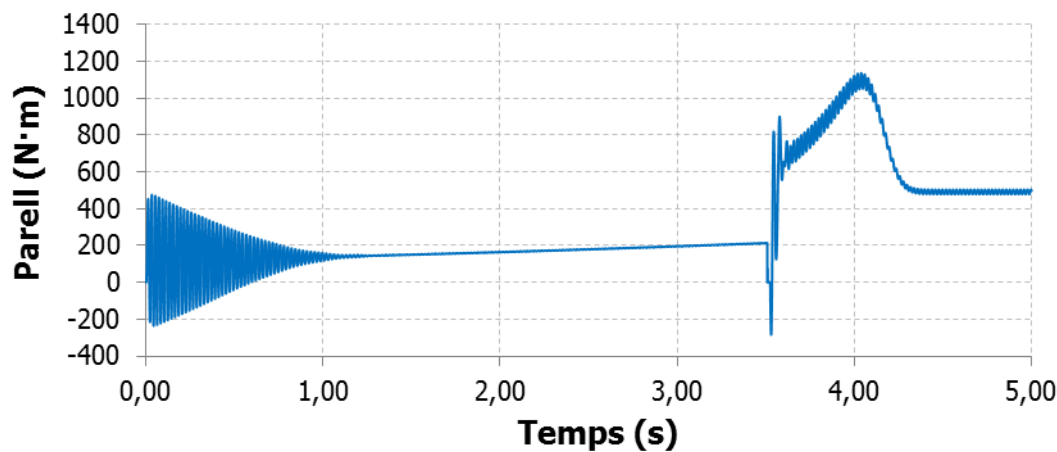


Figura 122. Parell en la simulació 15

3.4.1.17 **Simulació 16**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
3.50823	3.51156	3.51489	3.53059

Taula 82. Temps d'actuació en la simulació 16

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
-256.2	222.8	237.6	256.2	6383

Taula 83. Estudi del corrent en la simulació 16

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
736.1	730.8	5.34	0.0037

Taula 84. Estudi de la velocitat en la simulació 16

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1135	2.31

Taula 85. Estudi del parell en la simulació 16

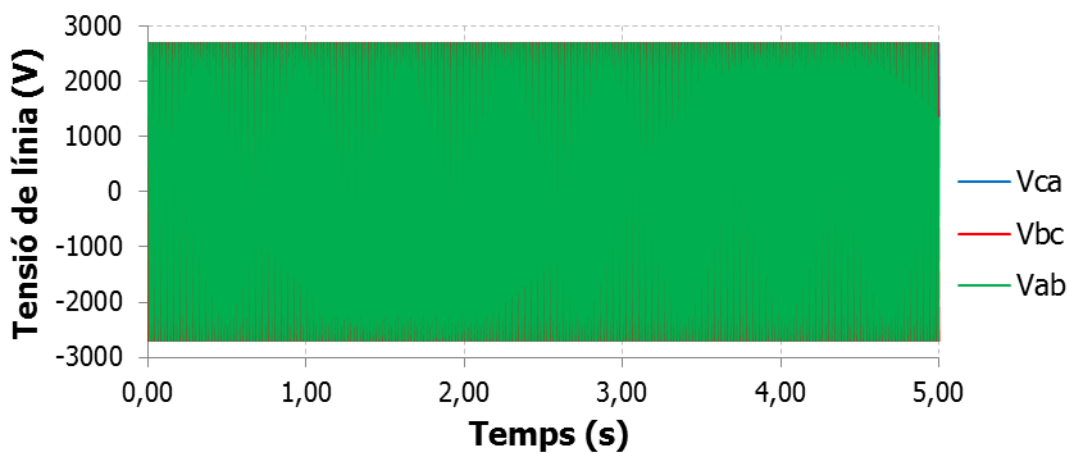


Figura 123. Tensió en la simulació 16

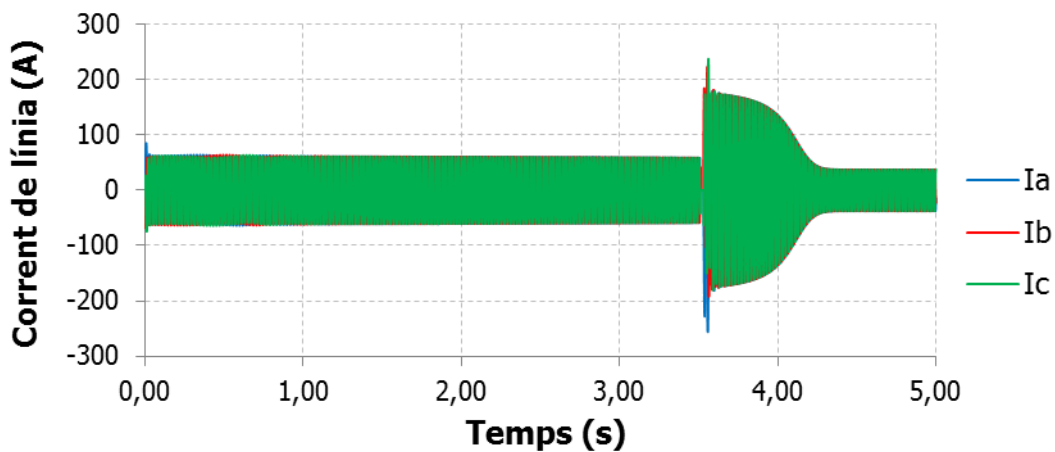


Figura 124. Corrent en la simulació 16

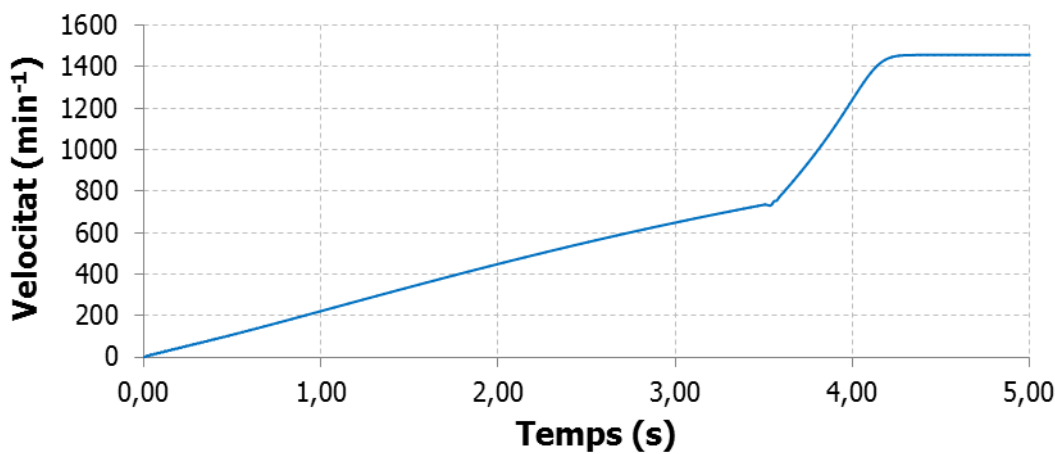


Figura 125. Velocitat en la simulació 16

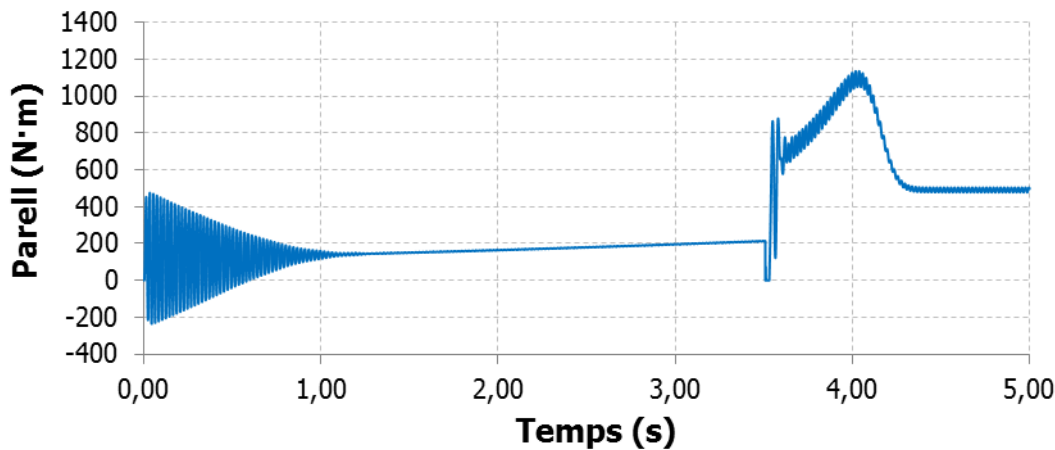


Figura 126. Parell en la simulació 16

3.4.1.18 *Simulació 17*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50883	3.51216	3.51549	3.52539

Taula 86. Temps d'actuació en la simulació 17

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-223.2	261.5	-251.5	261.5	6.97

Taula 87. Estudi del corrent en la simulació 17

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.2	726.8	9.45	0.0065

Taula 88. Estudi de la velocitat en la simulació 17

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1138	2.31

Taula 89. Estudi del parell en la simulació 17

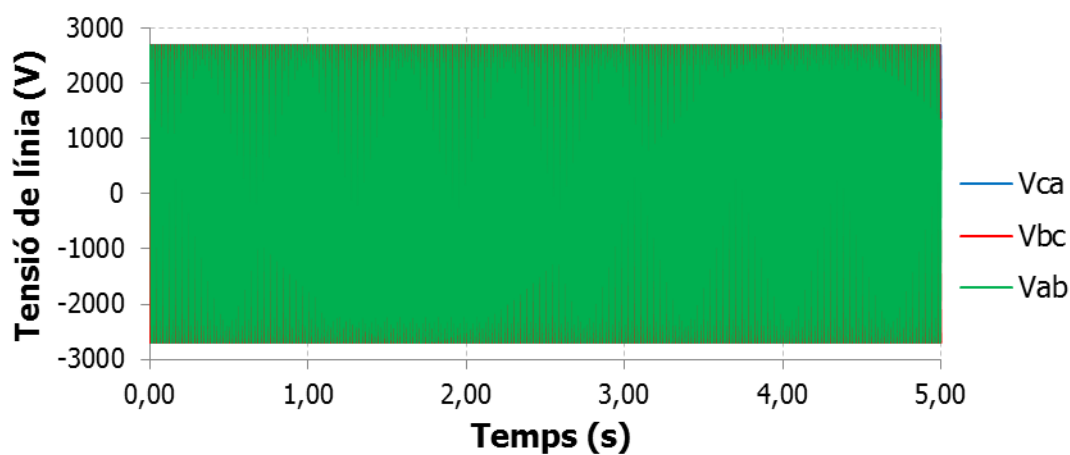


Figura 127. Tensió en la simulació 17

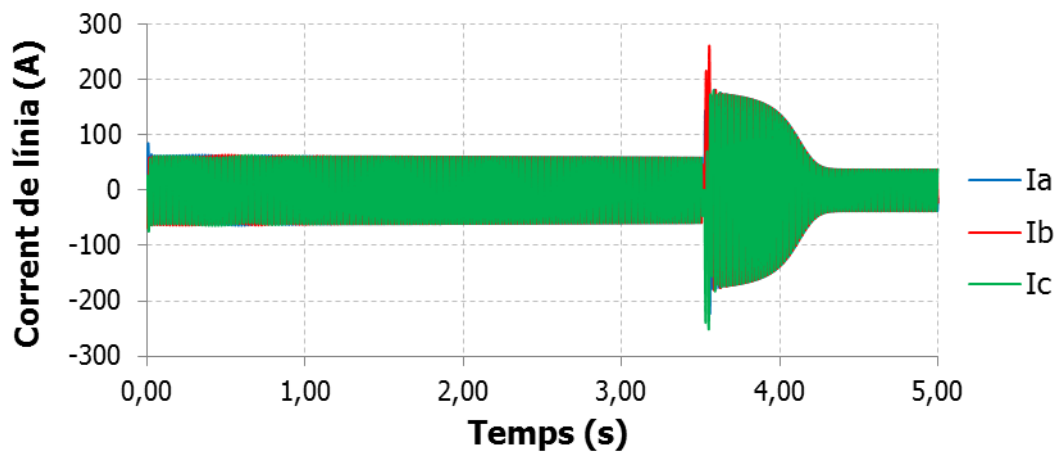


Figura 128. Corrent en la simulació 17

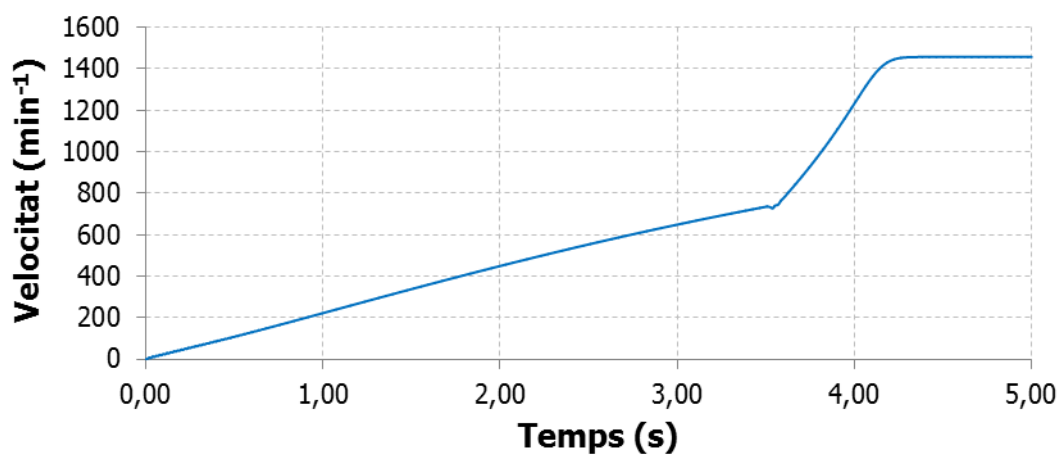


Figura 129. Velocitat en la simulació 17

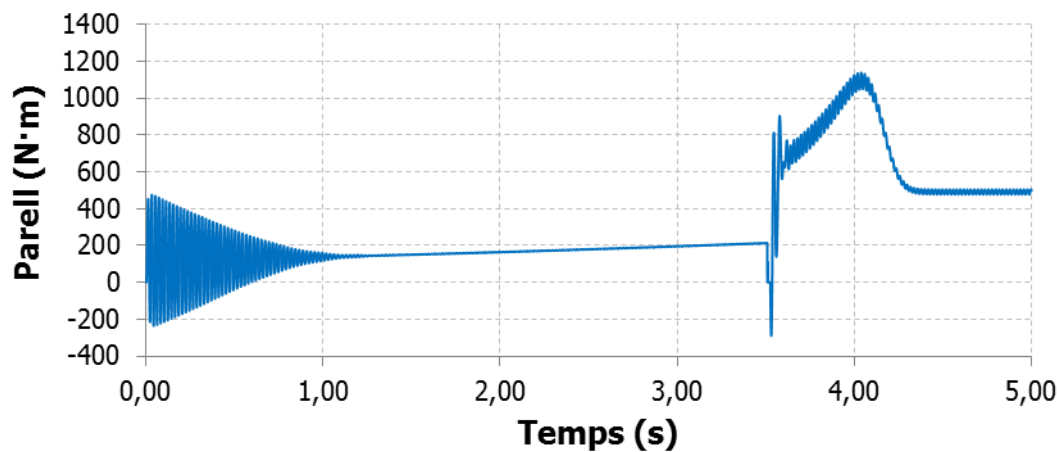


Figura 130. Parell en la simulació 17

3.4.1.19 *Simulació 18*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50883	3.51216	3.51549	3.53119

Taula 90. Temps d'actuació en la simulació 18

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-254.4	210.9	244.6	254.4	6.78

Taula 91. Estudi del corrent en la simulació 18

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.2	731.0	5.23	0.0036

Taula 92. Estudi de la velocitat en la simulació 18

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1138	2.31

Taula 93. Estudi del parell en la simulació 18

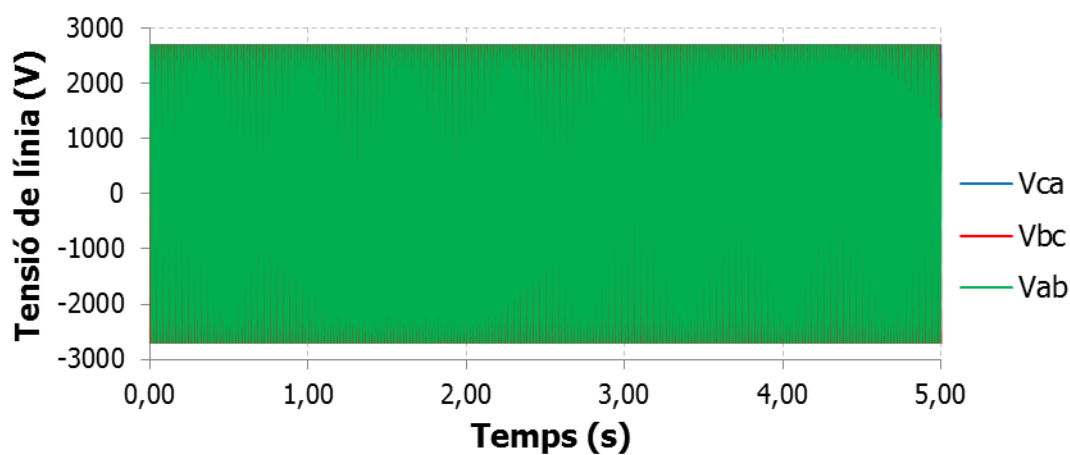


Figura 131. Tensió en la simulació 18

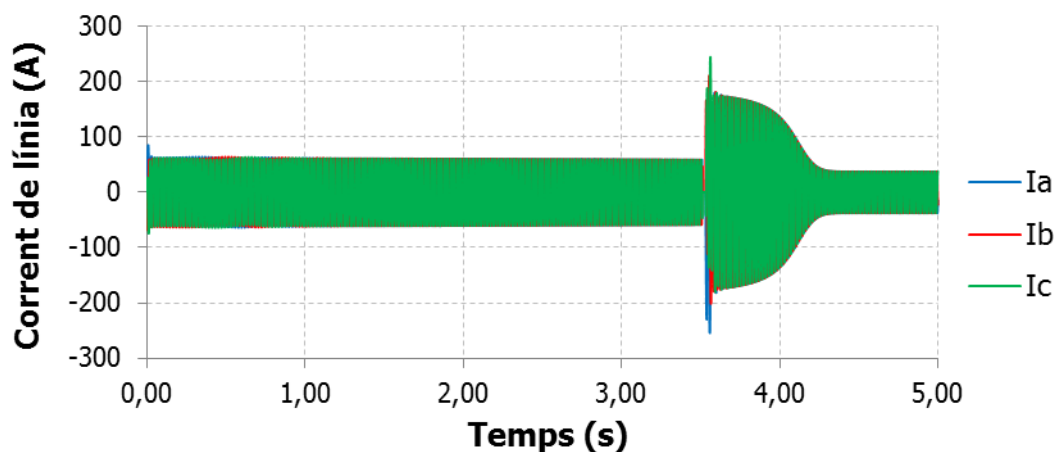


Figura 132. Corrent en la simulació 18

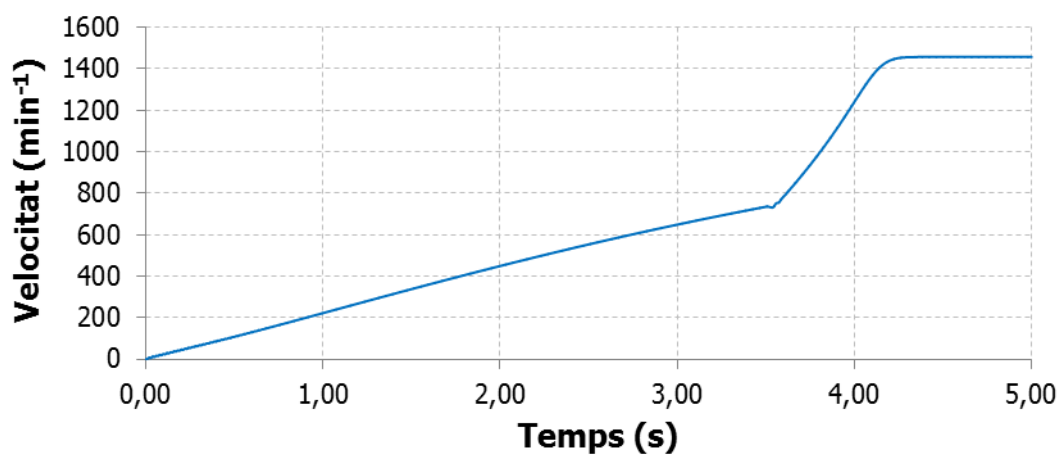


Figura 133. Velocitat en la simulació 18

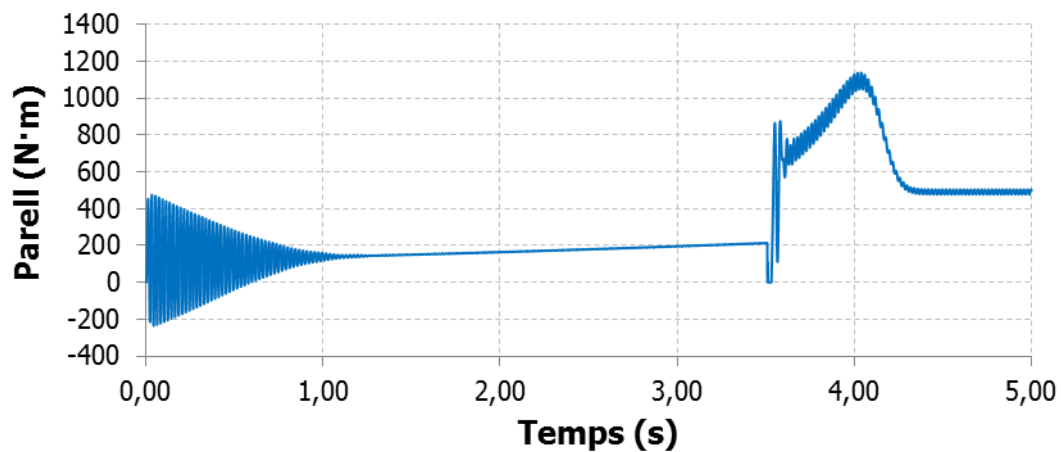


Figura 134. Parell en la simulació 18

3.4.1.20 *Simulació 19 (cas ideal)*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.50000

Taula 94. Temps d'actuació en la simulació 19 (cas ideal)

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
215.5	198.4	-213.4	215.5	5.74

Taula 95. Estudi del corrent en la simulació 19 (cas ideal)

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	734.8	0.00	0.0000

Taula 96. Estudi de la velocitat en la simulació 19 (cas ideal)

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1095	2.22

Taula 97. Estudi del parell en la simulació 19 (cas ideal)

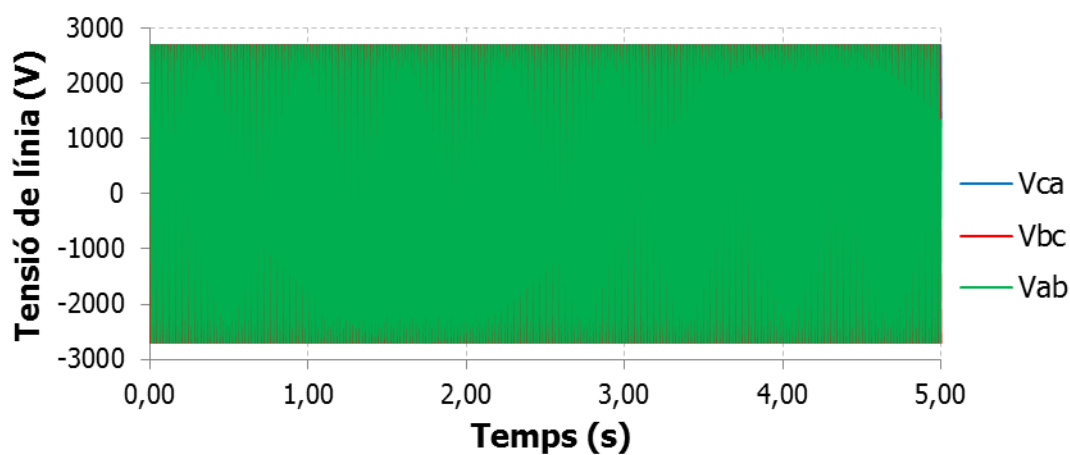


Figura 135. Tensió en la simulació 19 (cas ideal)

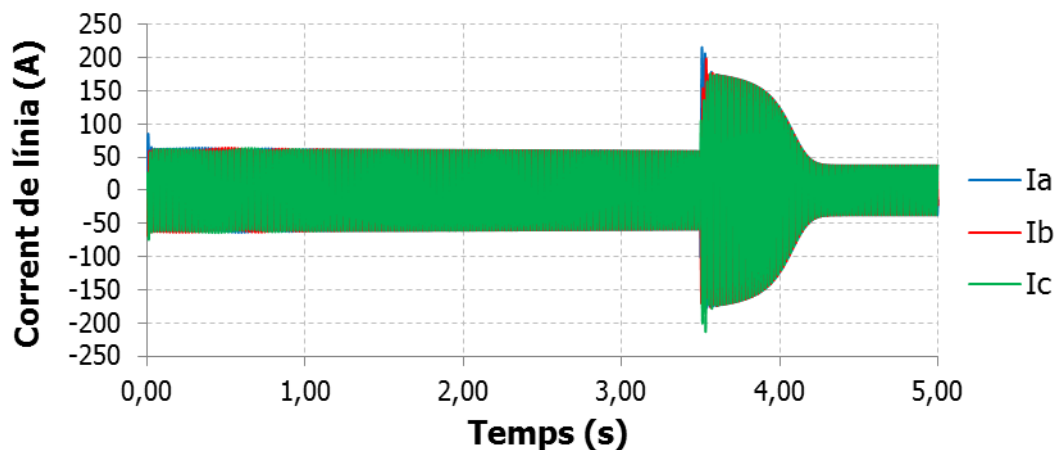


Figura 136. Corrent en la simulació 19 (cas ideal)

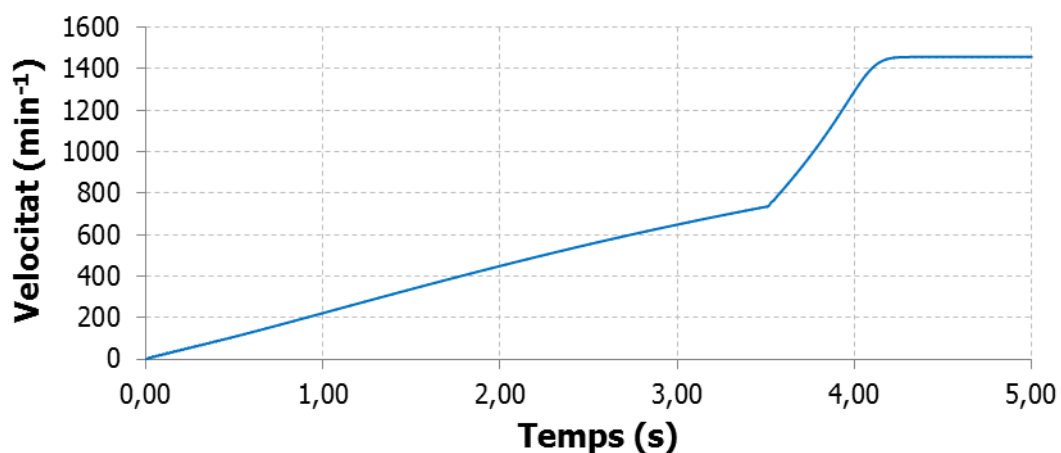


Figura 137. Velocitat en la simulació 19 (cas ideal)

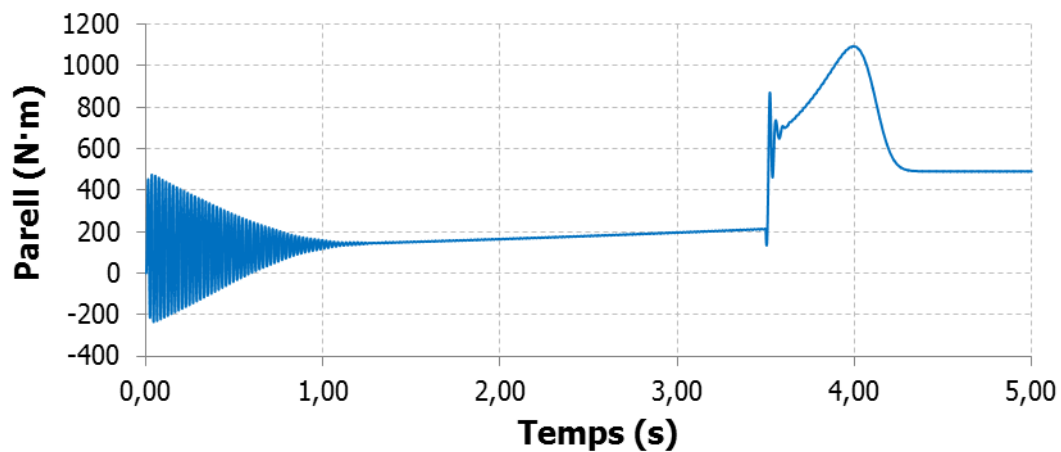


Figura 138. Parell en la simulació 19 (cas ideal)

3.4.1.21 **Simulació 20**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.50200

Taula 98. Temps d'actuació en la simulació 20

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
251.7	224.3	-252.1	252.1	6.72

Taula 99. Estudi del corrent en la simulació 20

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	728.4	6.38	0.0044

Taula 100. Estudi de la velocitat en la simulació 20

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1127	2.29

Taula 101. Estudi del parell en la simulació 20

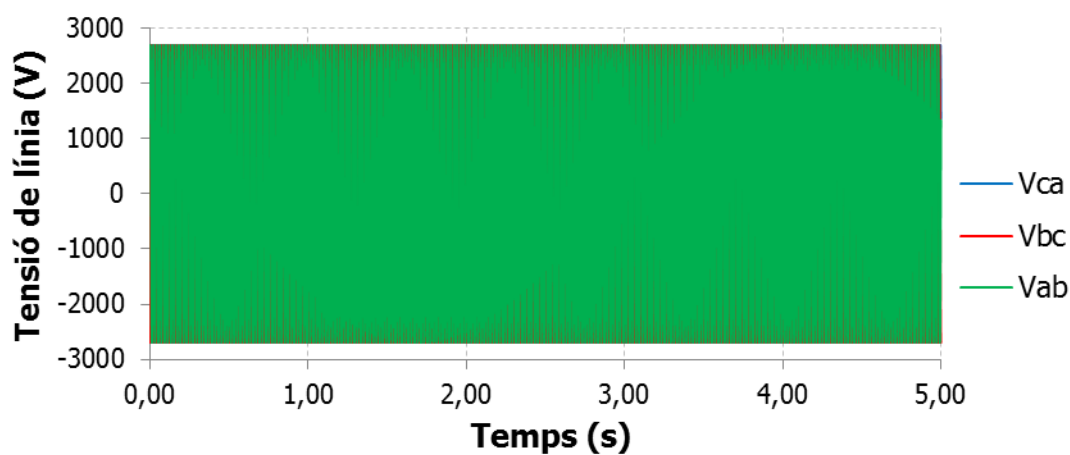


Figura 139. Tensió en la simulació 20

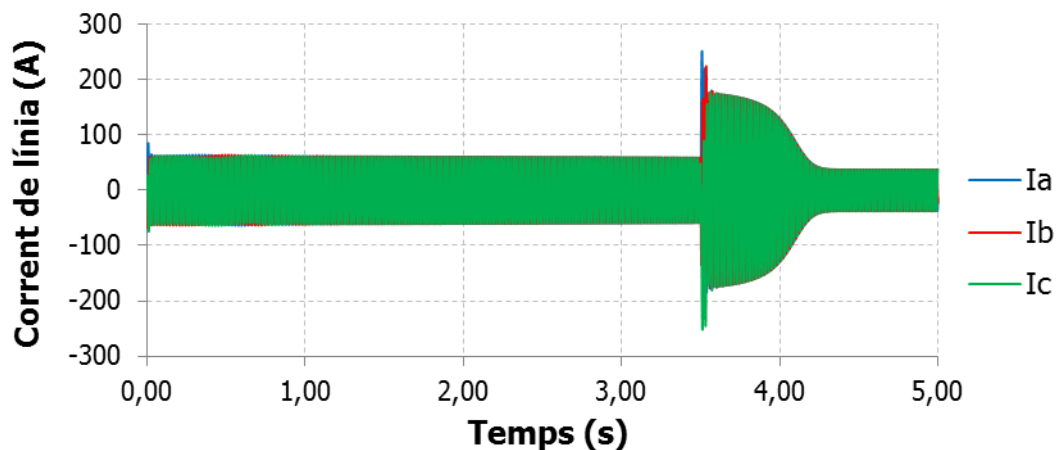


Figura 140. Corrent en la simulació 20

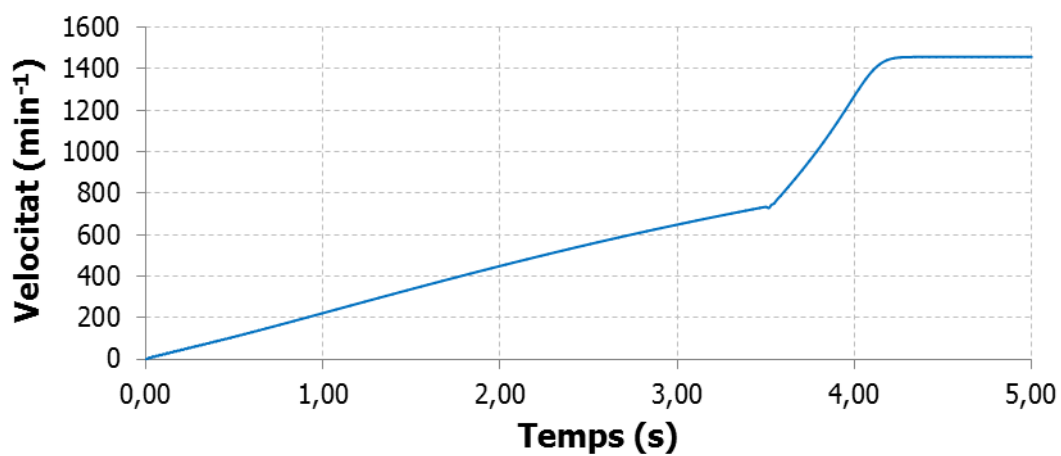


Figura 141. Velocitat en la simulació 20

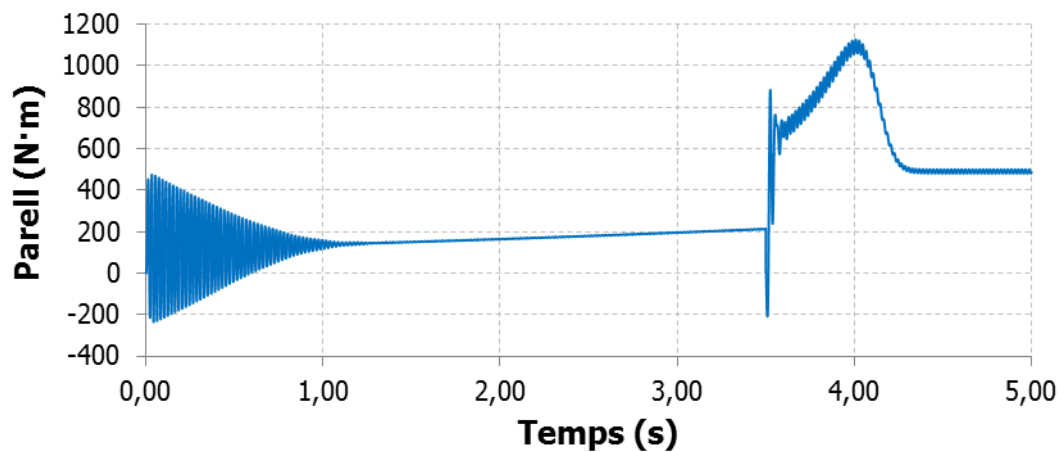


Figura 142. Parell en la simulació 20

3.4.1.22 *Simulació 21*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.50400

Taula 102. Temps d'actuació en la simulació 21

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-210.8	246.4	-269.2	269.2	7.17

Taula 103. Estudi del corrent en la simulació 21

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	724.9	9.90	0.0068

Taula 104. Estudi de la velocitat en la simulació 21

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1126	2.29

Taula 105. Estudi del parell en la simulació 21

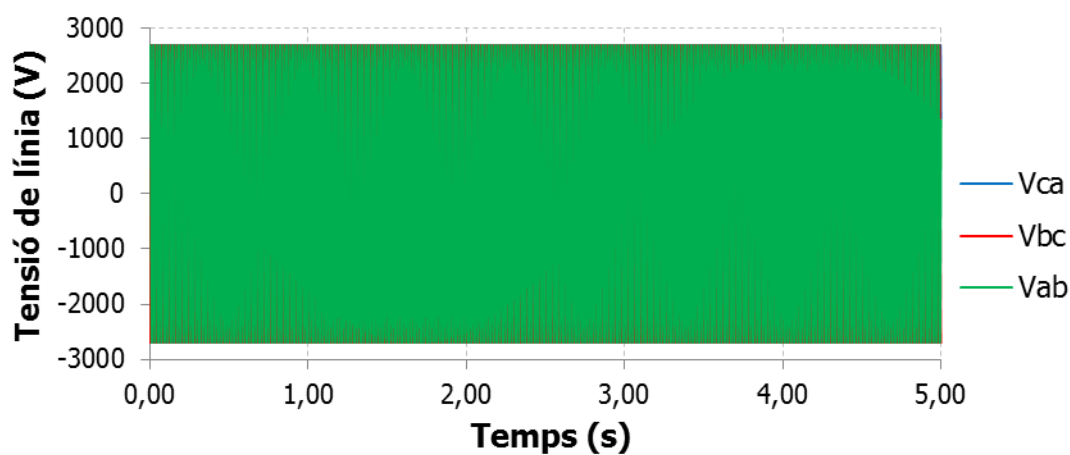


Figura 143. Tensió en la simulació 21

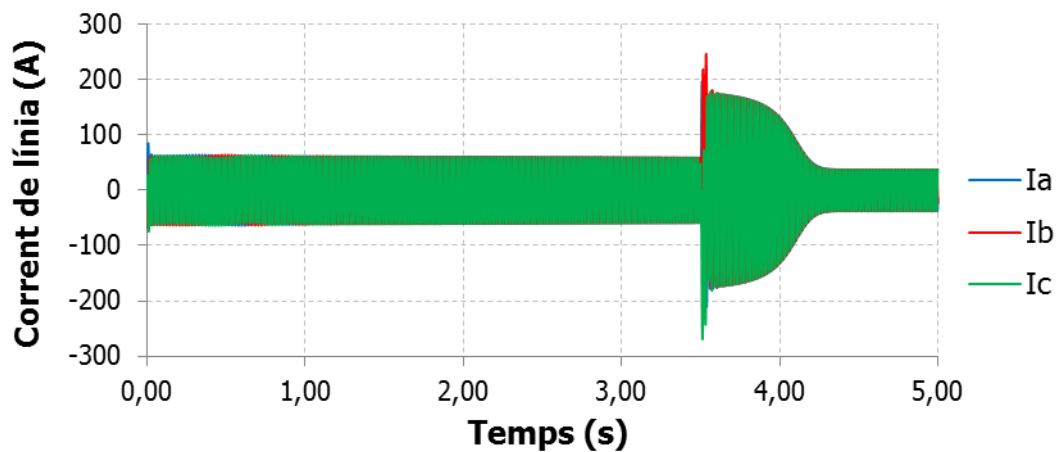


Figura 144. Corrent en la simulació 21

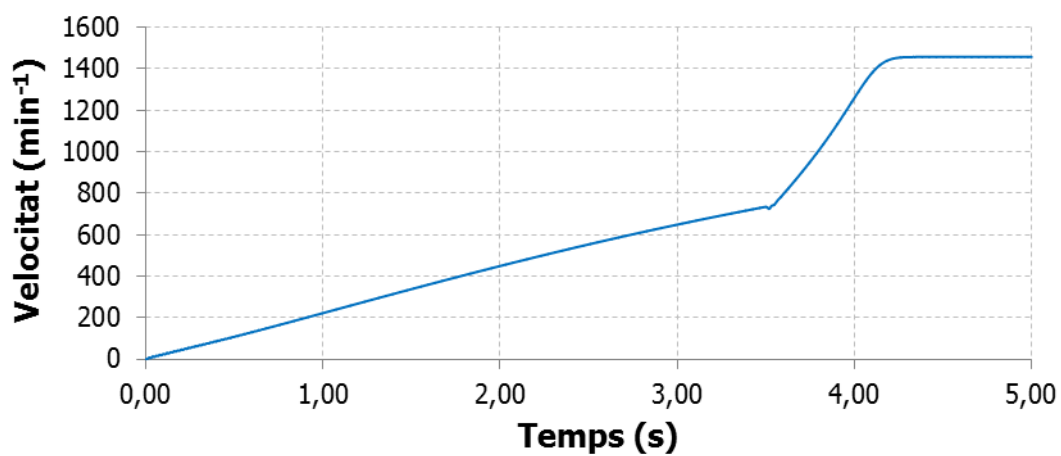


Figura 145. Velocitat en la simulació 21

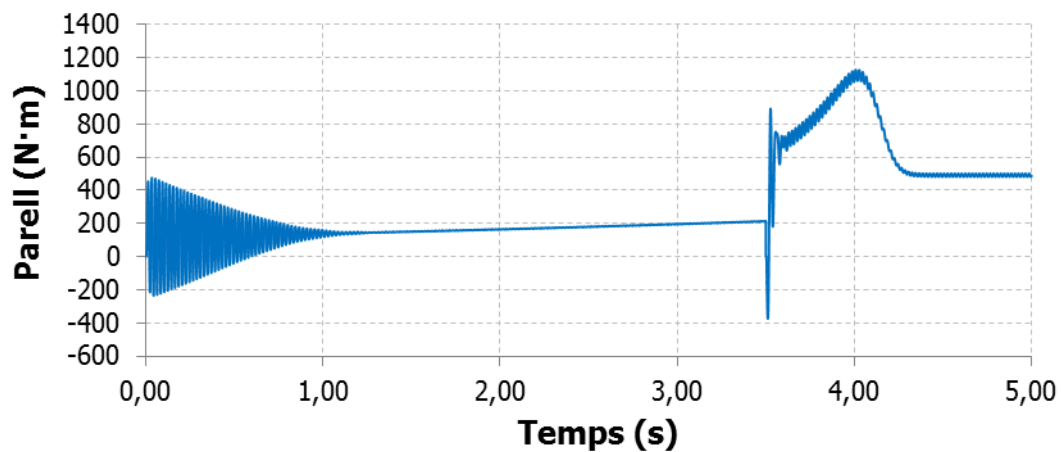


Figura 146. Parell en la simulació 21

3.4.1.23 **Simulació 22**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.50600

Taula 106. Temps d'actuació en la simulació 22

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-237.9	258.6	-243.5	258.6	6.89

Taula 107. Estudi del corrent en la simulació 22

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	722.1	12.74	0.0088

Taula 108. Estudi de la velocitat en la simulació 22

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1126	2.29

Taula 109. Estudi del parell en la simulació 22

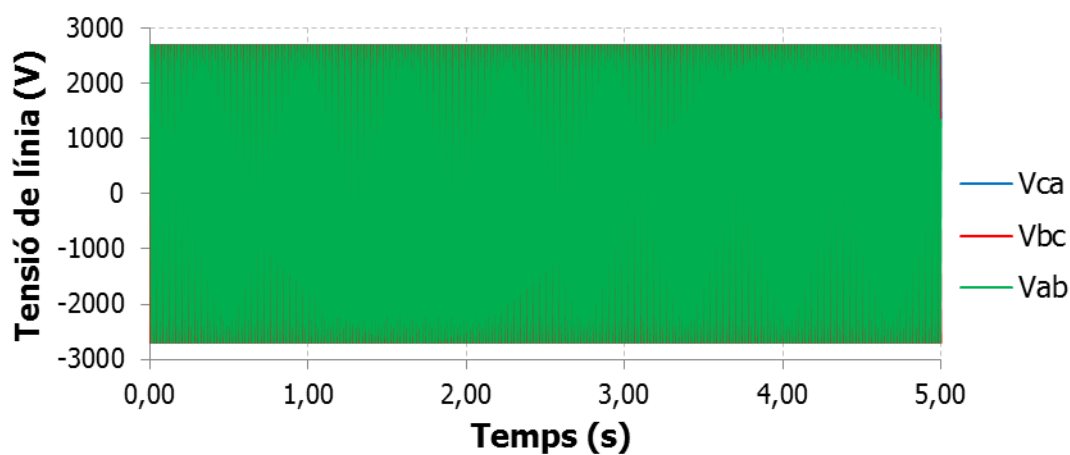


Figura 147. Tensió en la simulació 22

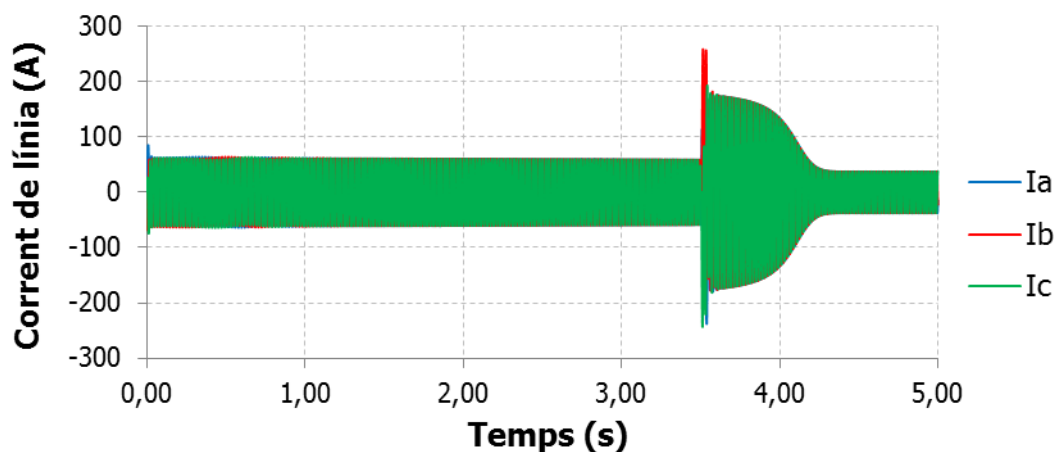


Figura 148. Corrent en la simulació 22

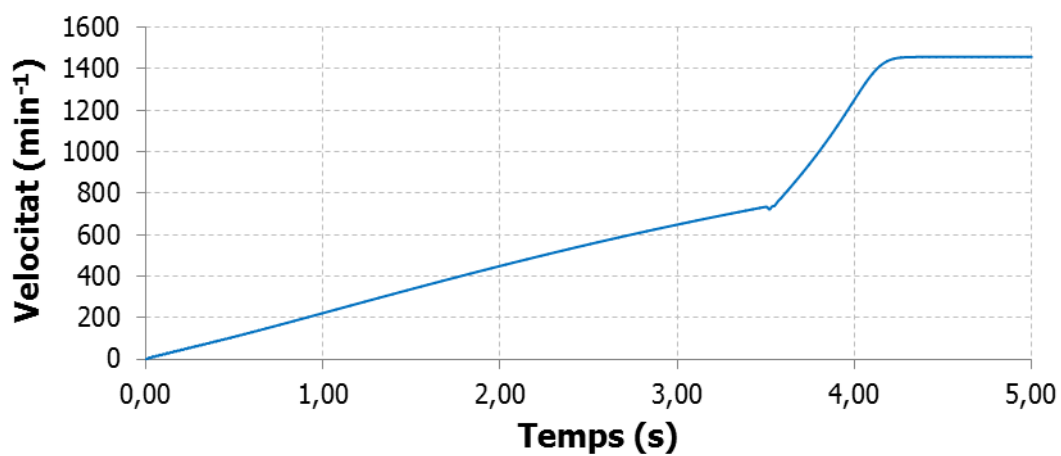


Figura 149. Velocitat en la simulació 22

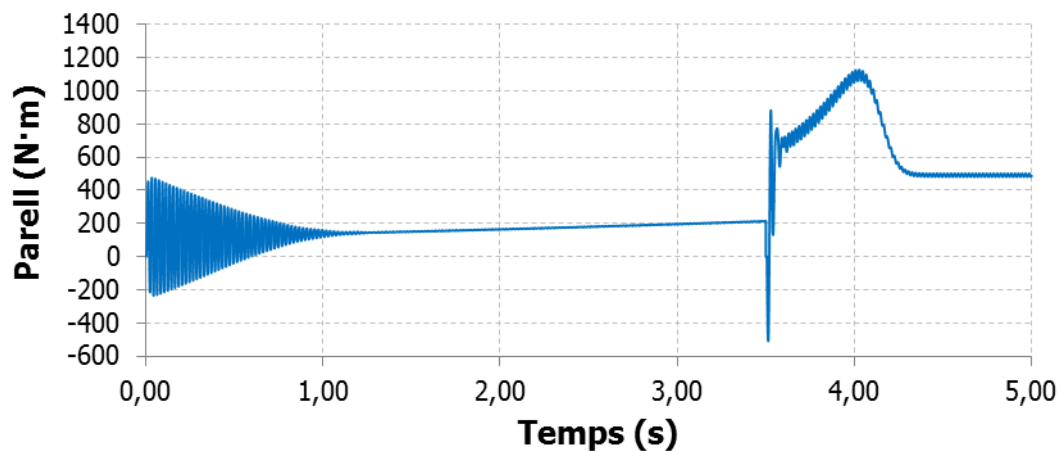


Figura 150. Parell en la simulació 22

3.4.1.24 **Simulació 23**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.50800

Taula 110. Temps d'actuació en la simulació 23

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-258.4	264.6	221.0	264.6	7.05

Taula 111. Estudi del corrent en la simulació 23

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	720.4	14.41	0.0099

Taula 112. Estudi de la velocitat en la simulació 23

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1127	2.29

Taula 113. Estudi del parell en la simulació 23

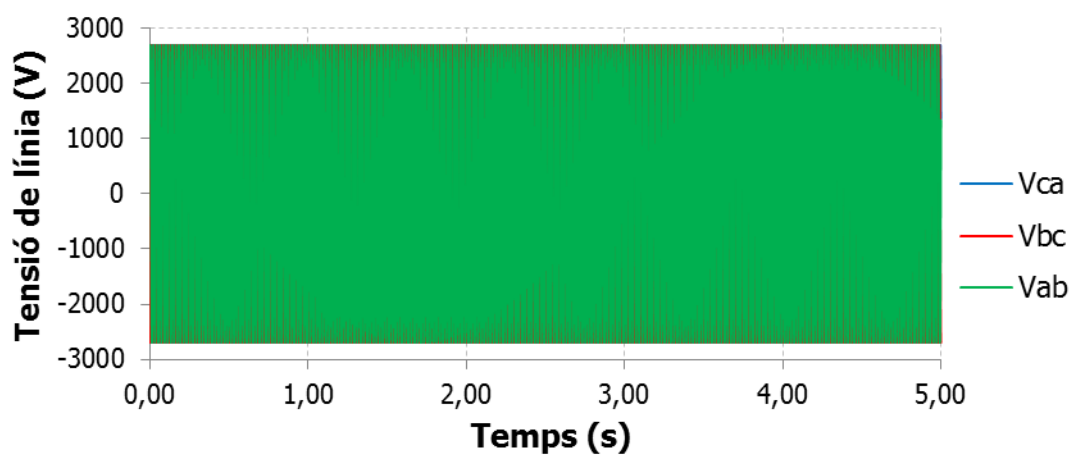


Figura 151. Tensió en la simulació 23

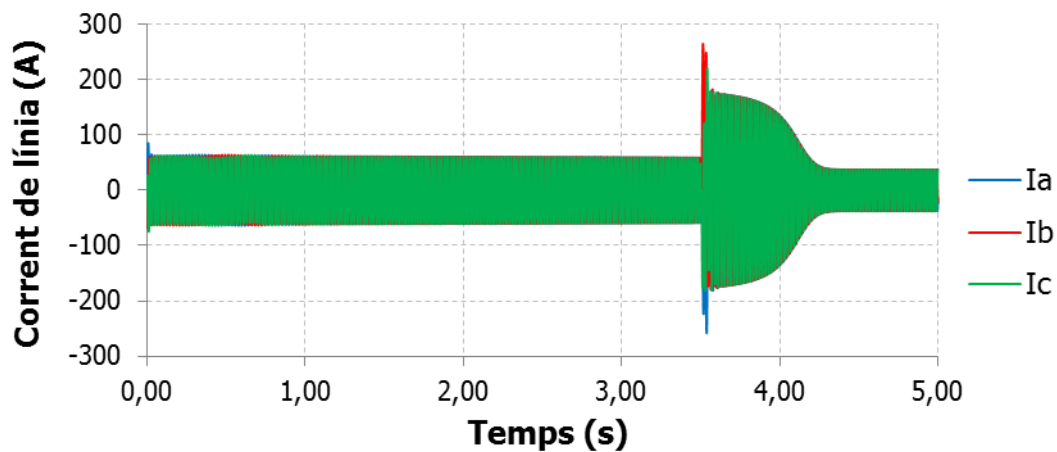


Figura 152. Corrent en la simulació 23

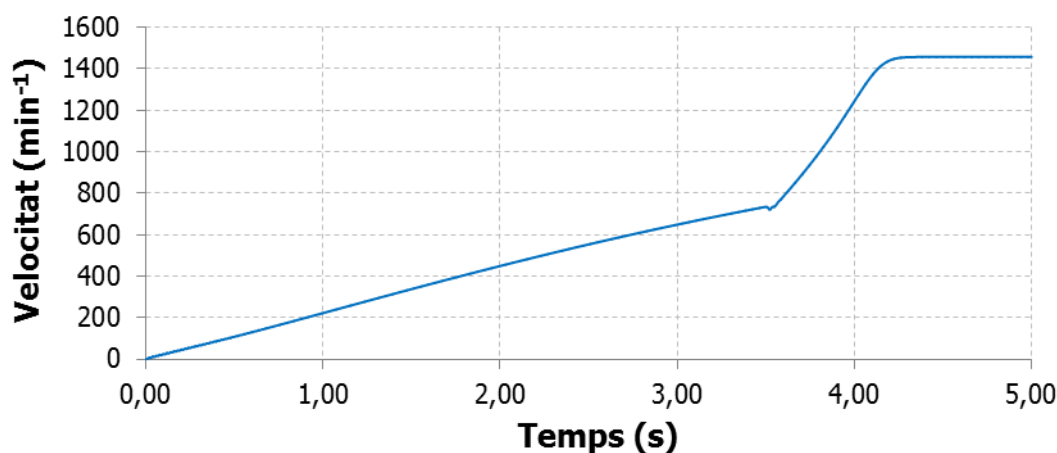


Figura 153. Velocitat en la simulació 23

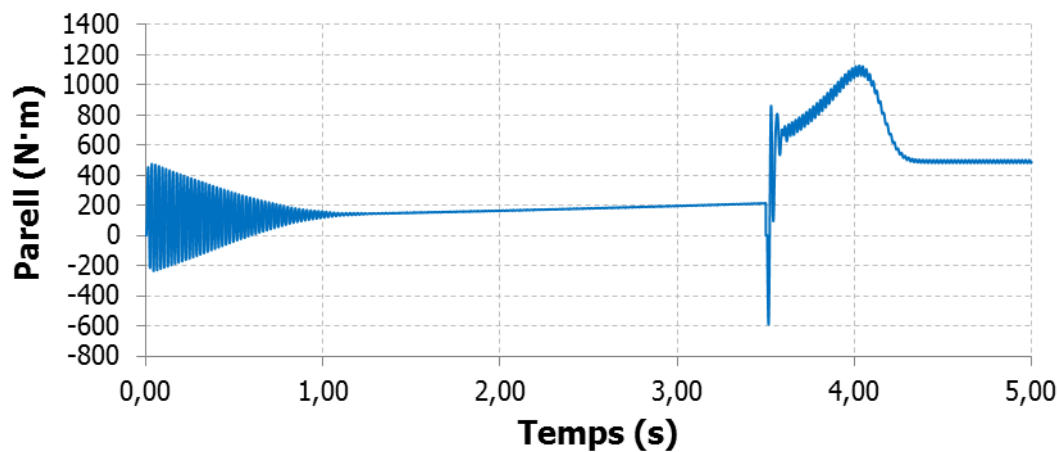


Figura 154. Parell en la simulació 23

3.4.1.25 **Simulació 24**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.51000

Taula 114. Temps d'actuació en la simulació 24

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-264.4	225.9	247.9	264.4	7.05

Taula 115. Estudi del corrent en la simulació 24

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	720.1	14.69	0.0101

Taula 116. Estudi de la velocitat en la simulació 24

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1126	2.29

Taula 117. Estudi del parell en la simulació 24

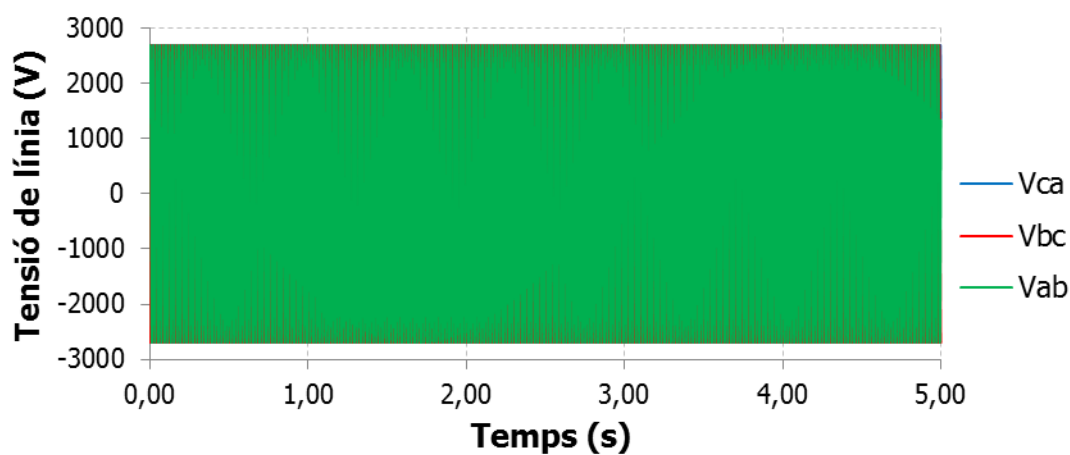


Figura 155. Tensió en la simulació 24

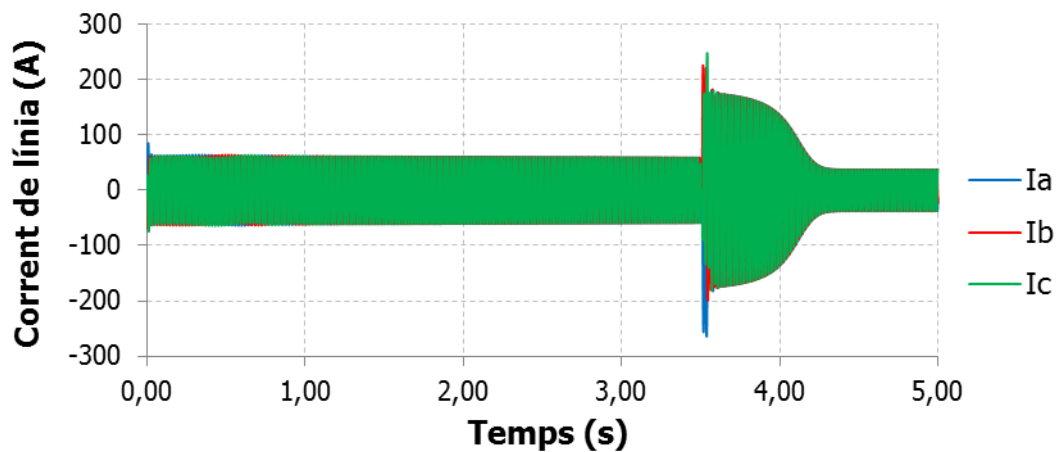


Figura 156. Corrent en la simulació 24

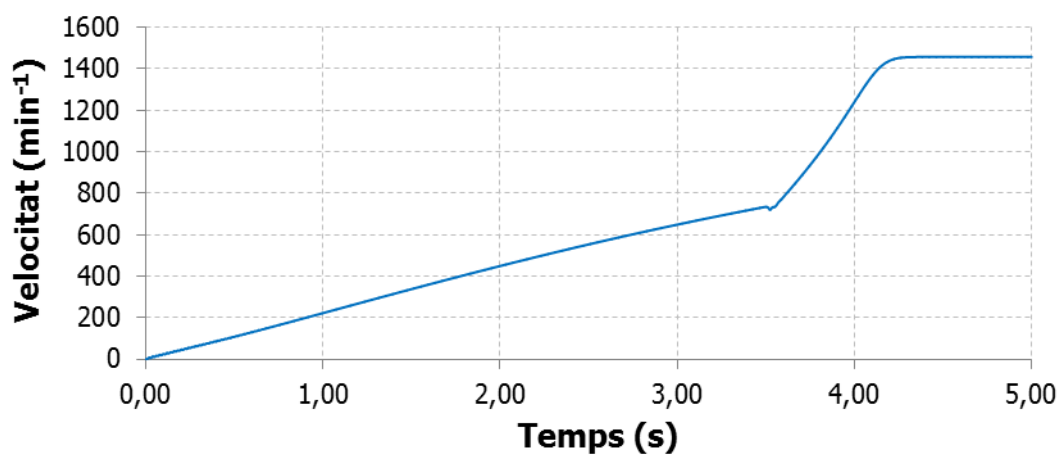


Figura 157. Velocitat en la simulació 24

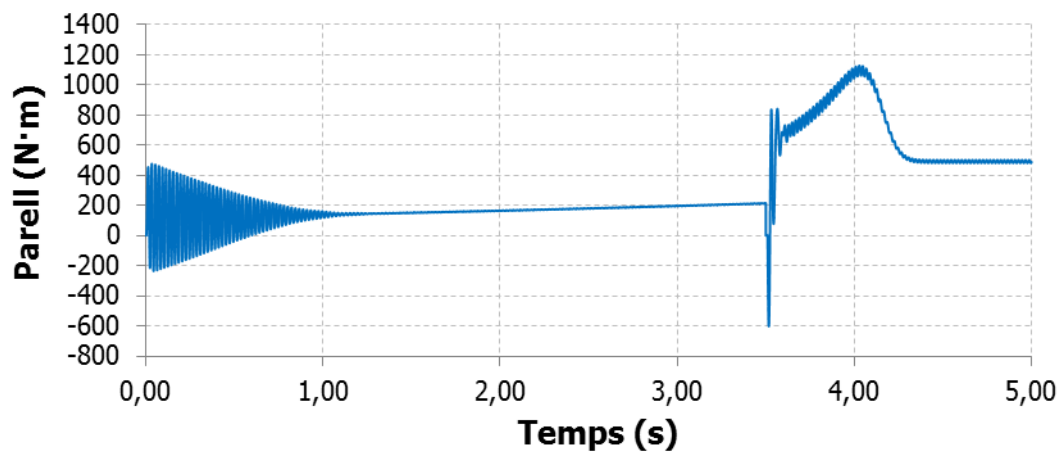


Figura 158. Parell en la simulació 24

3.4.1.26 **Simulació 25**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.51200

Taula 118. Temps d'actuació en la simulació 25

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-250.9	-228.1	265.3	265.3	7.07

Taula 119. Estudi del corrent en la simulació 25

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	721.2	13.63	0.0094

Taula 120. Estudi de la velocitat en la simulació 25

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1126	2.29

Taula 121. Estudi del parell en la simulació 25

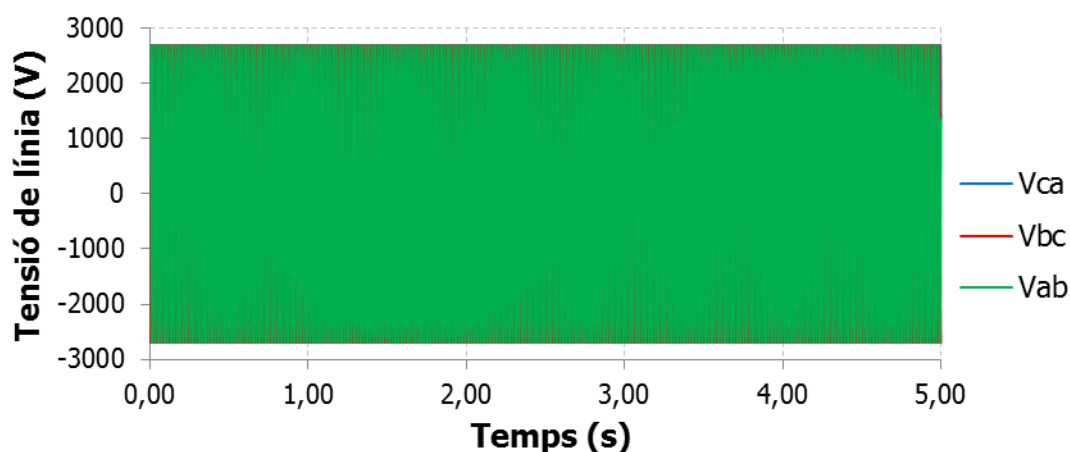


Figura 159. Tensió en la simulació 25

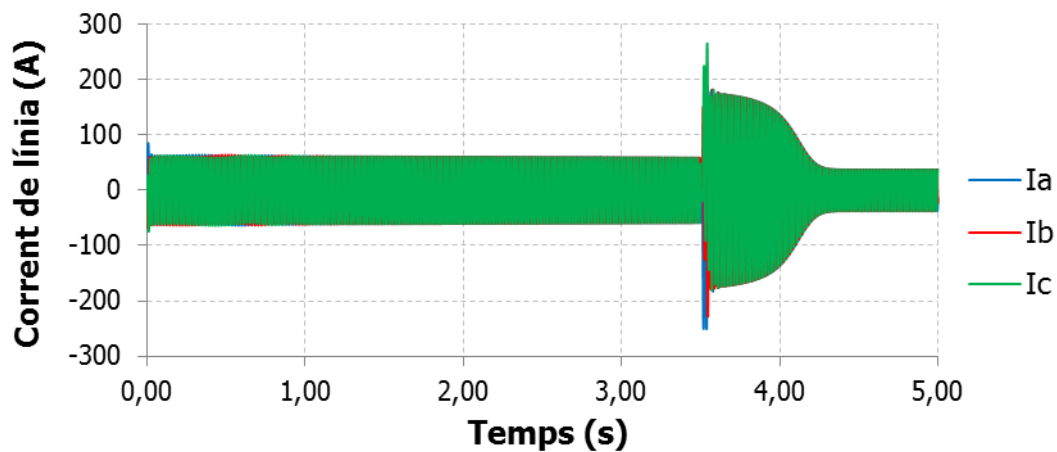


Figura 160. Corrent en la simulació 25

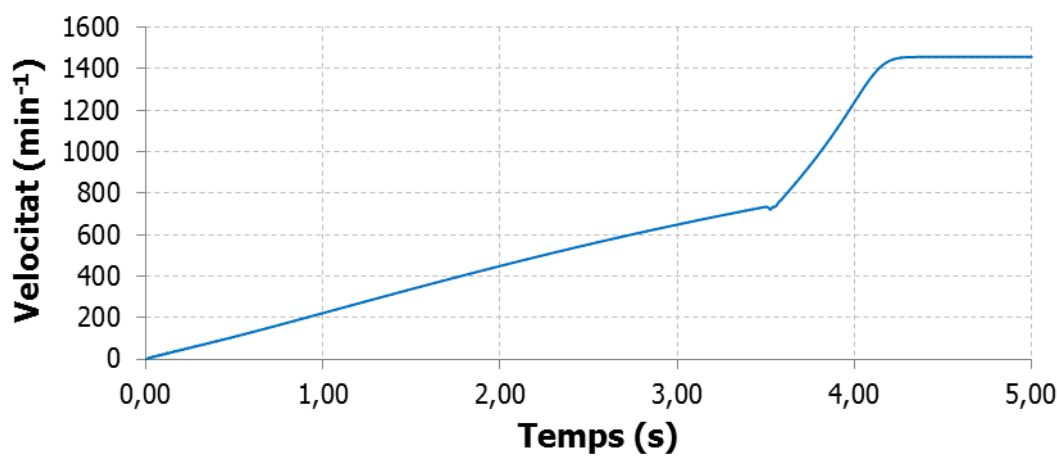


Figura 161. Velocitat en la simulació 25

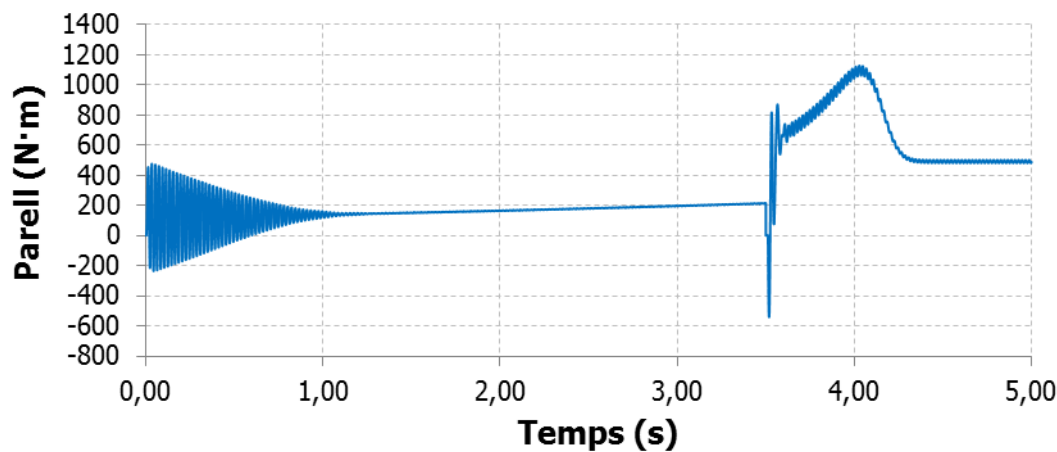


Figura 162. Parell en la simulació 25

3.4.1.27 **Simulació 26**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.51400

Taula 122. Temps d'actuació en la simulació 26

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-218.0	-253.1	266.3	266.3	7.10

Taula 123. Estudi del corrent en la simulació 26

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	723.3	11.53	0.0079

Taula 124. Estudi de la velocitat en la simulació 26

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1126	2.29

Taula 125. Estudi del parell en la simulació 26

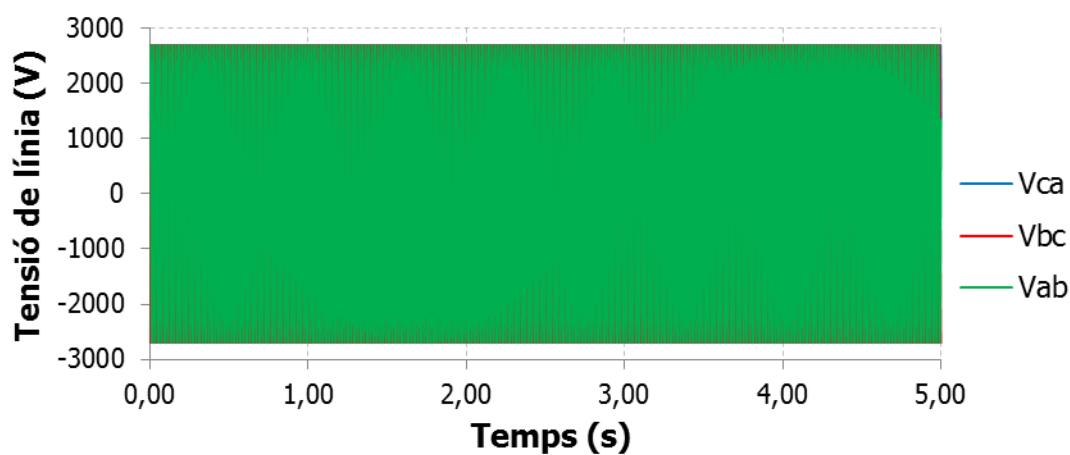


Figura 163. Tensió en la simulació 26

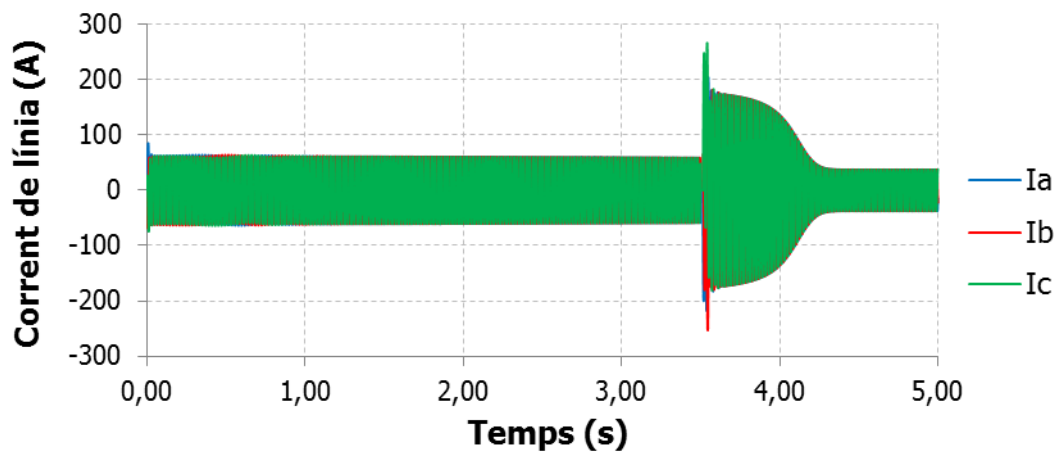


Figura 164. Corrent en la simulació 26

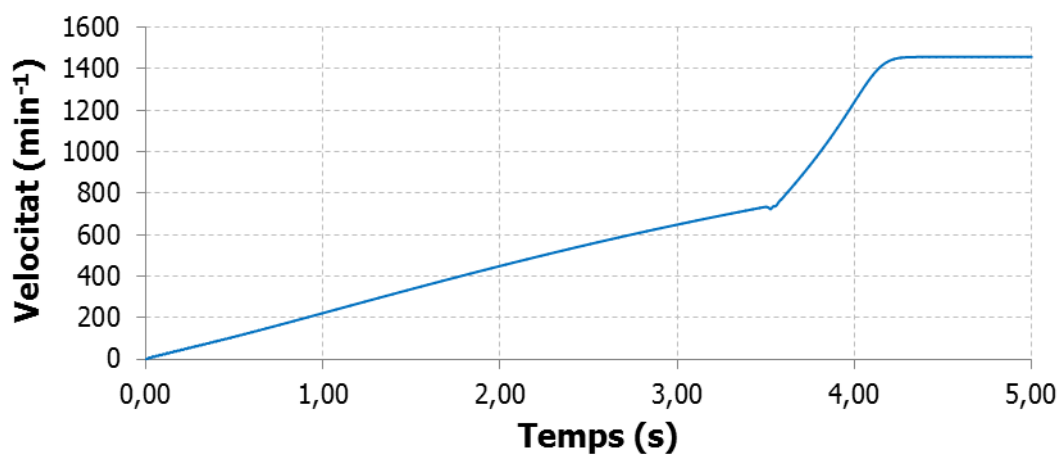


Figura 165. Velocitat en la simulació 26

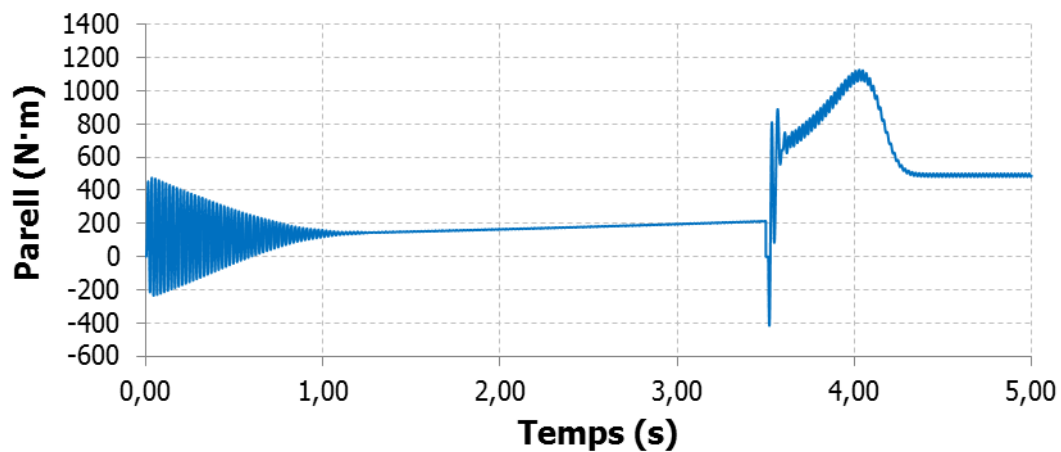


Figura 166. Parell en la simulació 26

3.4.1.28 **Simulació 27**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.51600

Taula 126. Temps d'actuació en la simulació 27

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
232.0	-266.1	247.1	266.1	7.09

Taula 127. Estudi del corrent en la simulació 27

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	725.9	8.95	0.0062

Taula 128. Estudi de la velocitat en la simulació 27

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1126	2.29

Taula 129. Estudi del parell en la simulació 27

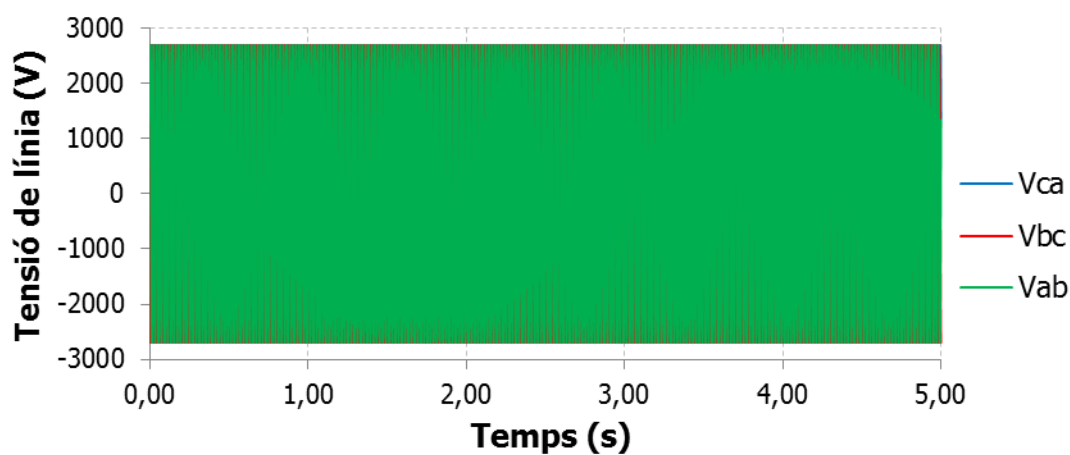


Figura 167. Tensió en la simulació 27

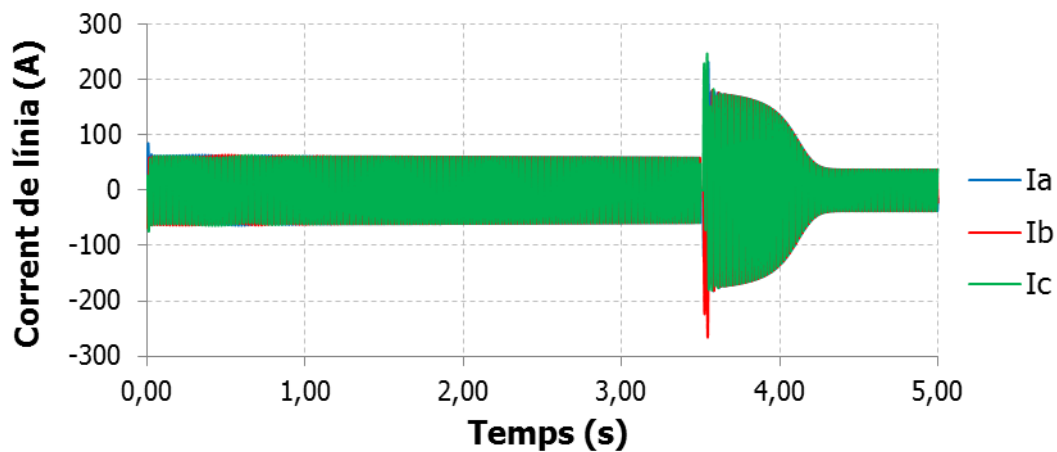


Figura 168. Corrent en la simulació 27

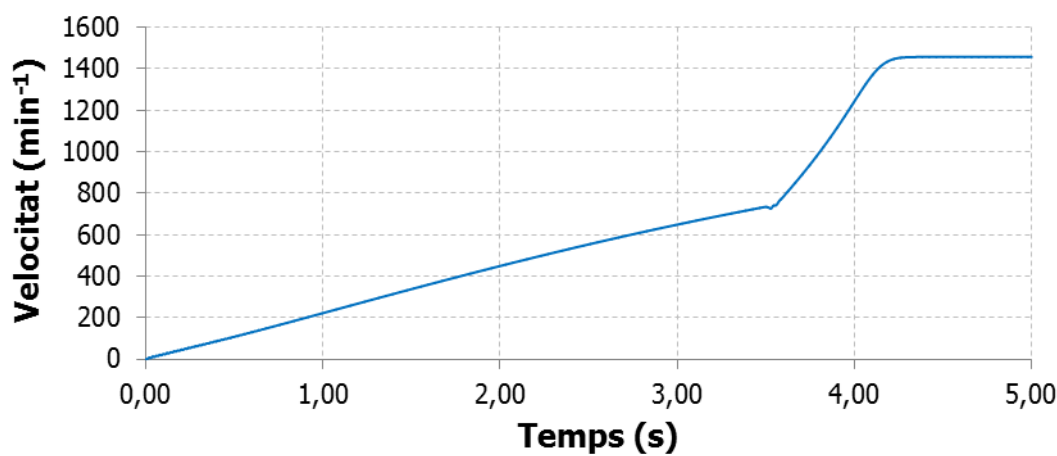


Figura 169. Velocitat en la simulació 27

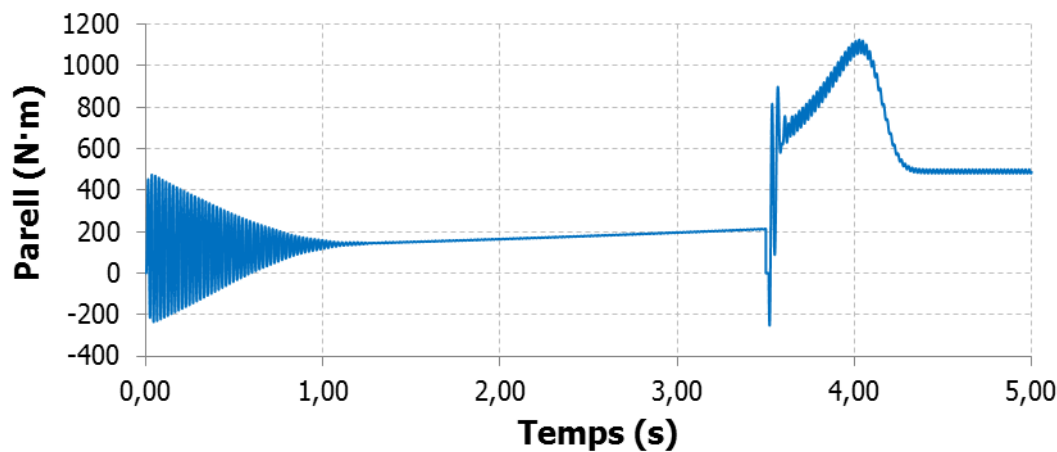


Figura 170. Parell en la simulació 27

3.4.1.29 **Simulació 28**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.51800

Taula 130. Temps d'actuació en la simulació 28

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
253.7	-261.2	210.4	261.2	6.96

Taula 131. Estudi del corrent en la simulació 28

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	728.2	6.60	0.0045

Taula 132. Estudi de la velocitat en la simulació 28

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1126	2.29

Taula 133. Estudi del parell en la simulació 28

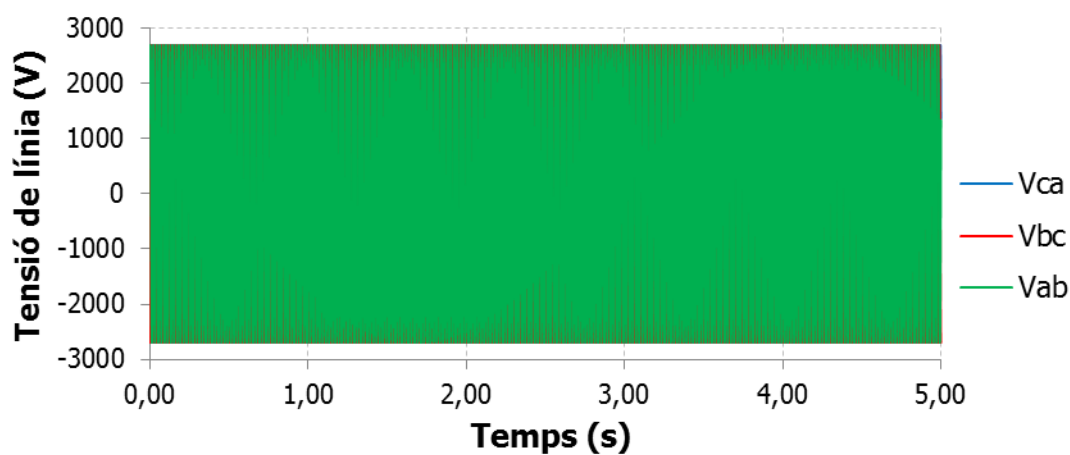


Figura 171. Tensió en la simulació 28

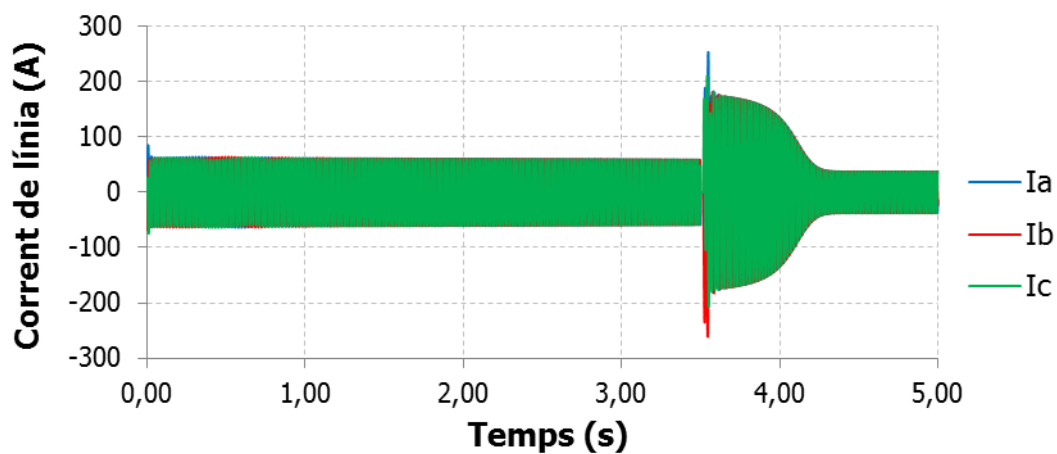


Figura 172. Corrent en la simulació 28

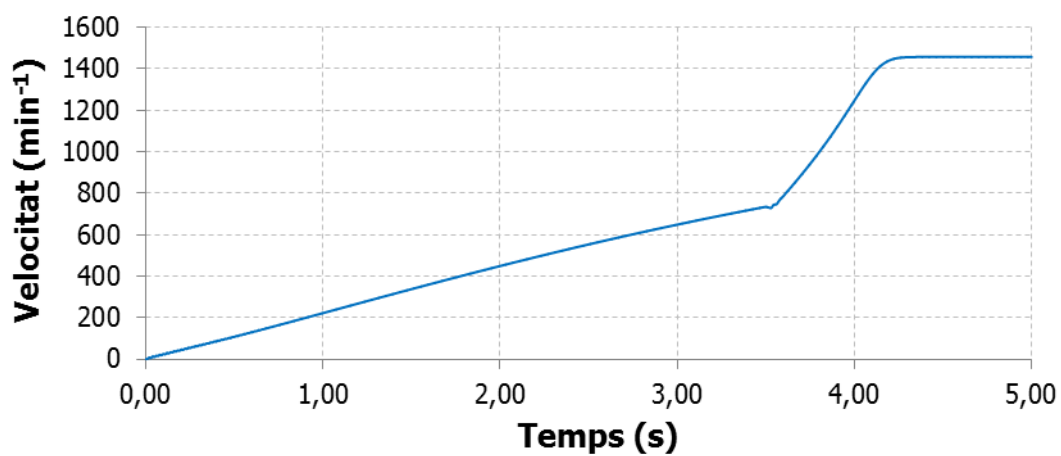


Figura 173. Velocitat en la simulació 28

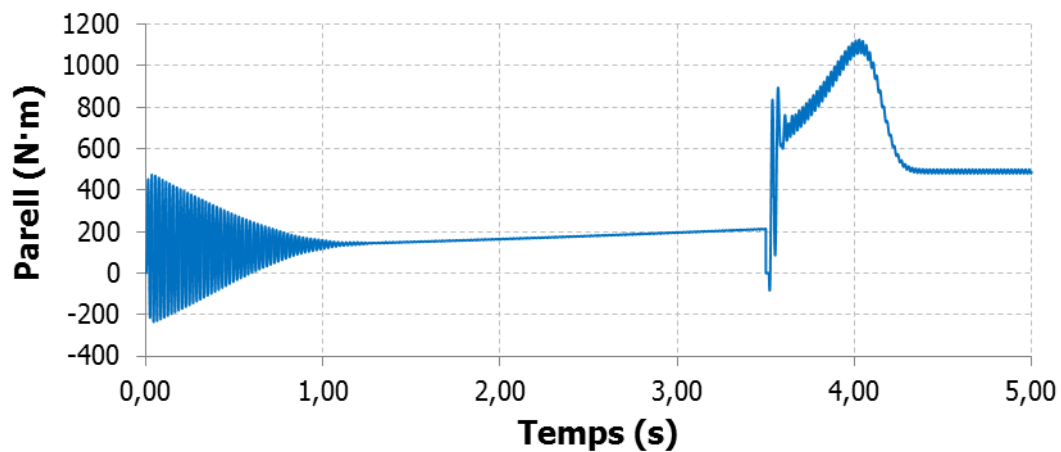


Figura 174. Parell en la simulació 28

3.4.1.30 **Simulació 29**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
3.50000	3.50000	3.50000	3.52000

Taula 134. Temps d'actuació en la simulació 29

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
260.7	-236.7	-233.0	260.7	6.95

Taula 135. Estudi del corrent en la simulació 29

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	729.5	5.26	0.0036

Taula 136. Estudi de la velocitat en la simulació 29

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1126	2.29

Taula 137. Estudi del parell en la simulació 29

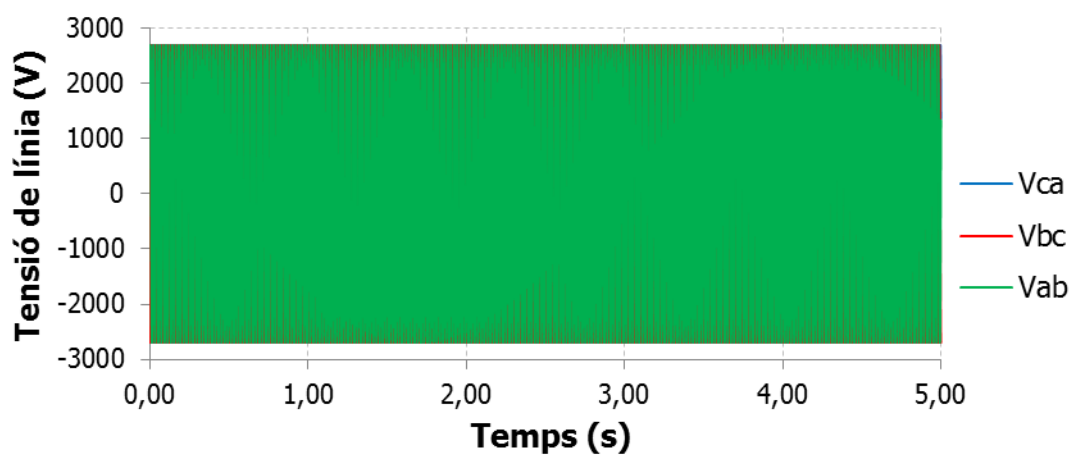


Figura 175. Tensió en la simulació 29

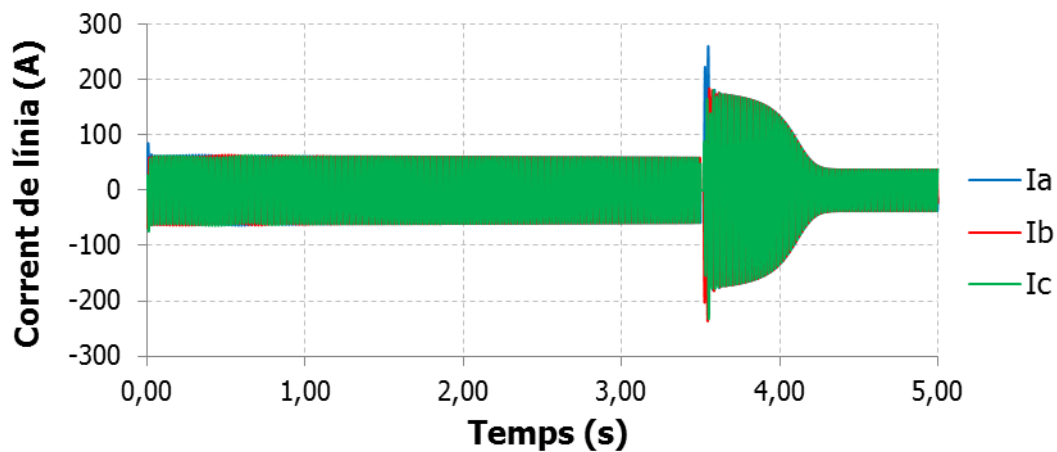


Figura 176. Corrent en la simulació 29

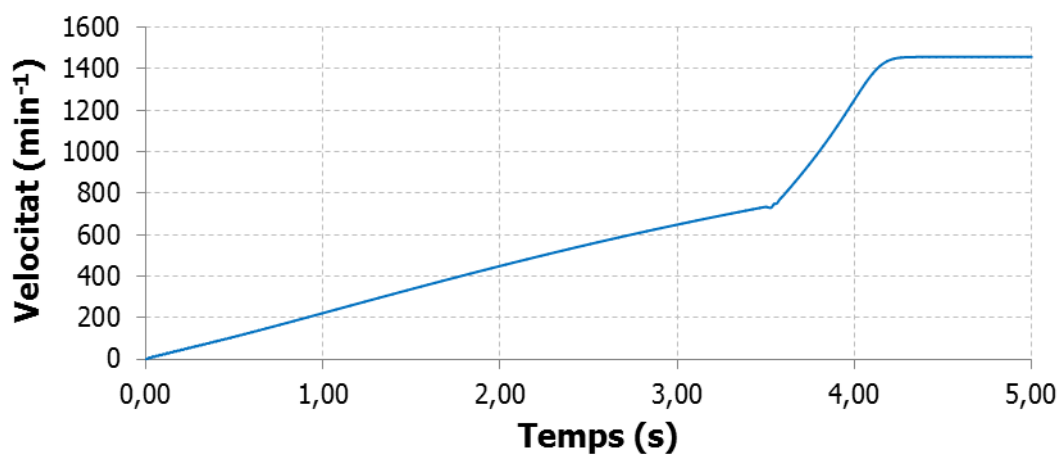


Figura 177. Velocitat en la simulació 29

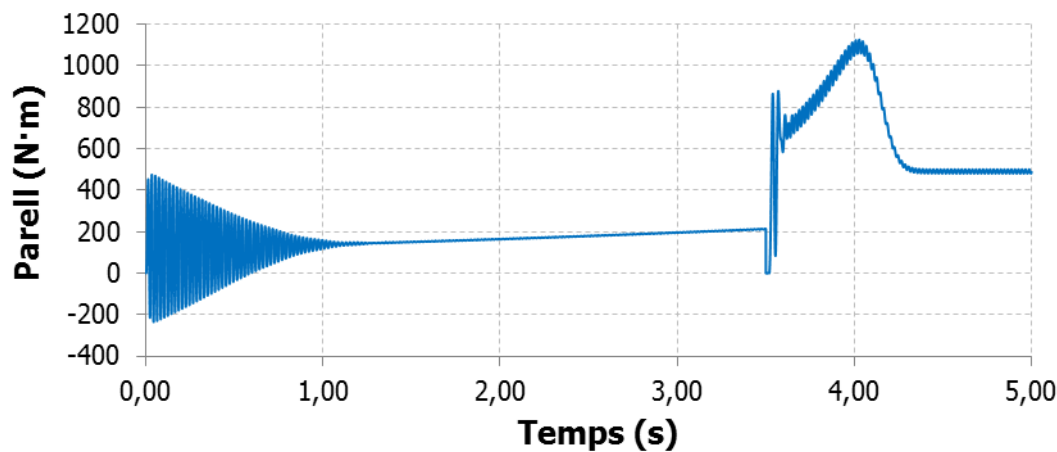


Figura 178. Parell en la simulació 29

3.4.1.31 **Simulació 30**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.50990

Taula 138. Temps d'actuació en la simulació 30

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-220.1	219.9	195.4	220.1	5.87

Taula 139. Estudi del corrent en la simulació 30

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.3	736.3	0.00	0.0000

Taula 140. Estudi de la velocitat en la simulació 30

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1095	2.22

Taula 141. Estudi del parell en la simulació 30

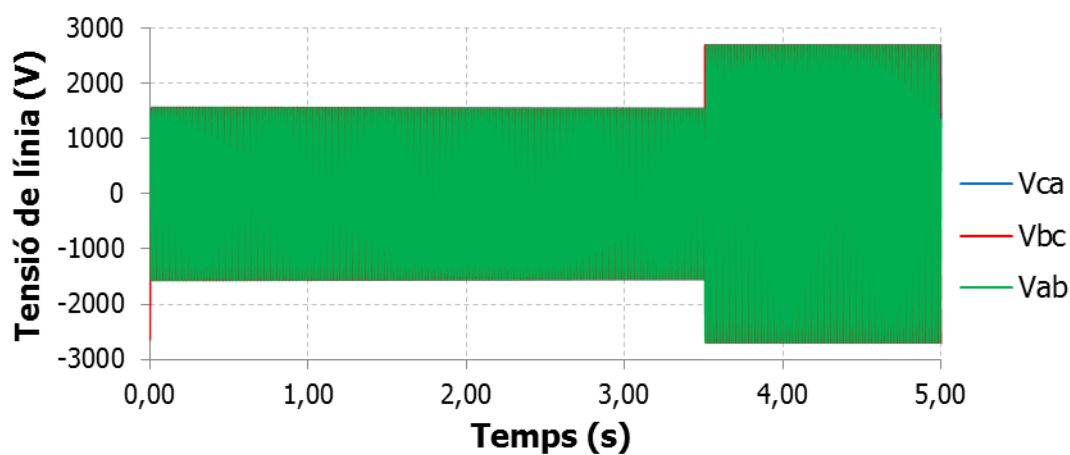


Figura 179. Tensió en la simulació 30

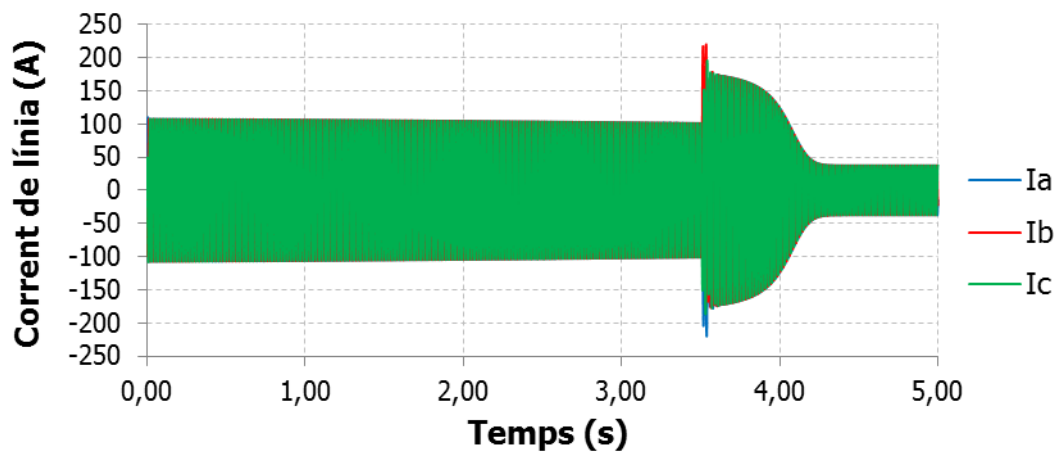


Figura 180. Corrent en la simulació 30

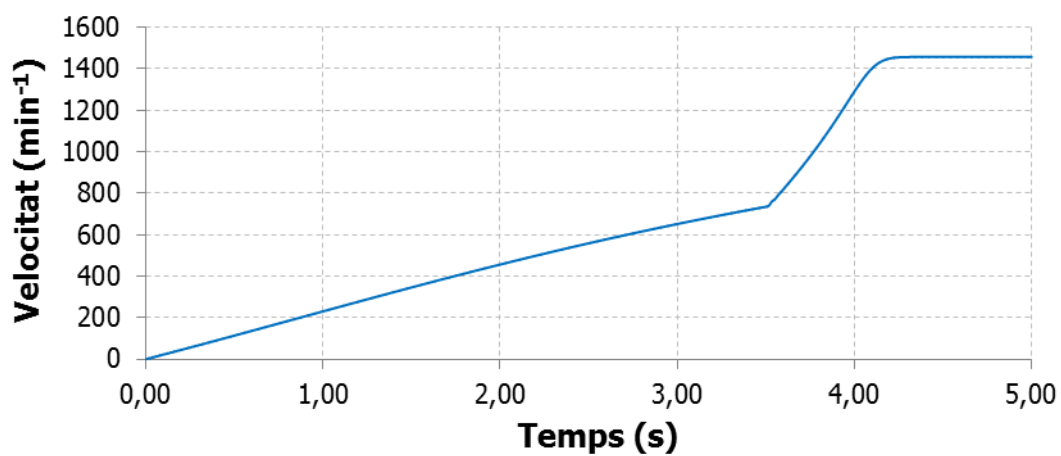


Figura 181. Velocitat en la simulació 30

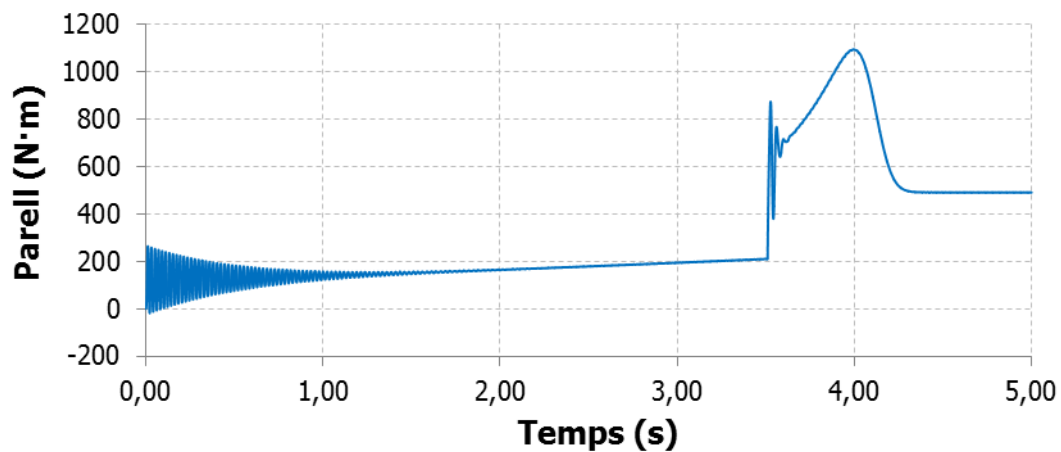


Figura 182. Parell en la simulació 30

3.4.1.32 *Simulació 31*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.51050

Taula 142. Temps d'actuació en la simulació 31

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-222.5	216.2	200.7	222.5	5.93

Taula 143. Estudi del corrent en la simulació 31

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.4	736.4	0.00	0.0000

Taula 144. Estudi de la velocitat en la simulació 31

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1095	2.22

Taula 145. Estudi del parell en la simulació 31

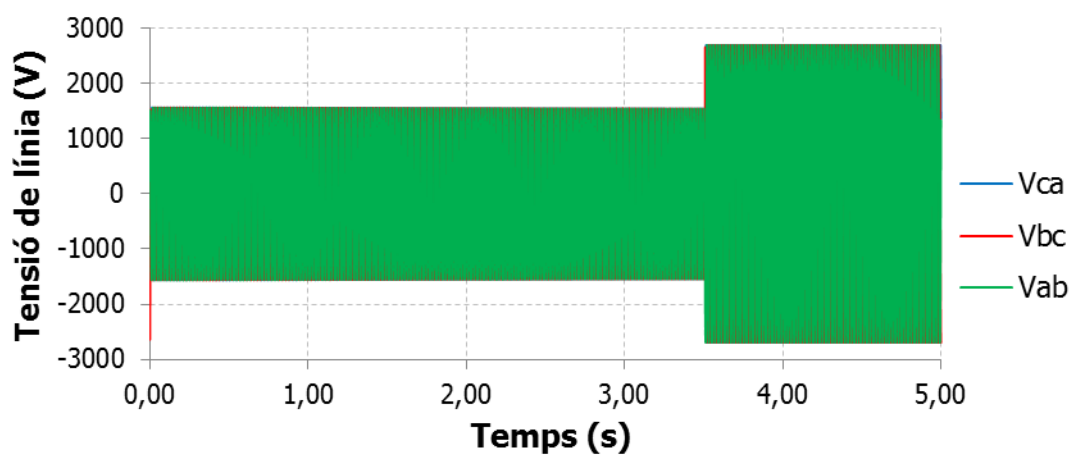


Figura 183. Tensió en la simulació 31

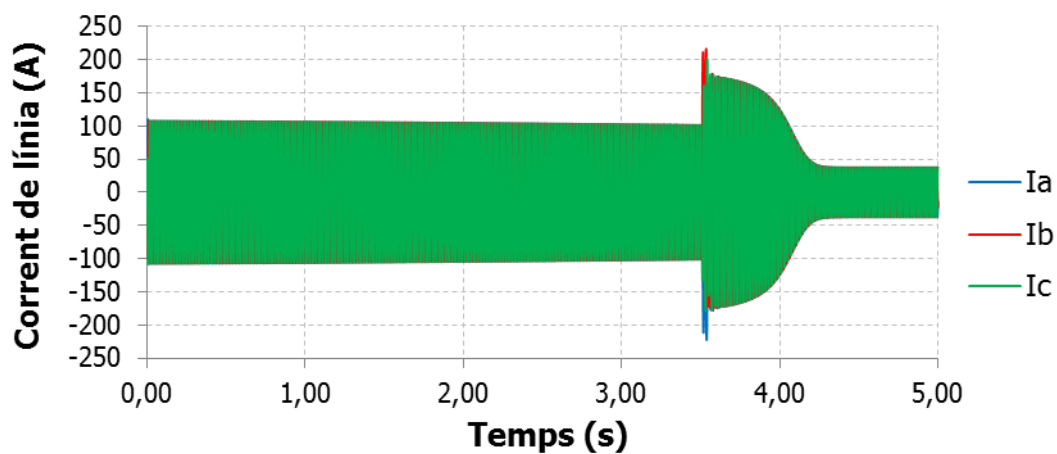


Figura 184. Corrent en la simulació 31

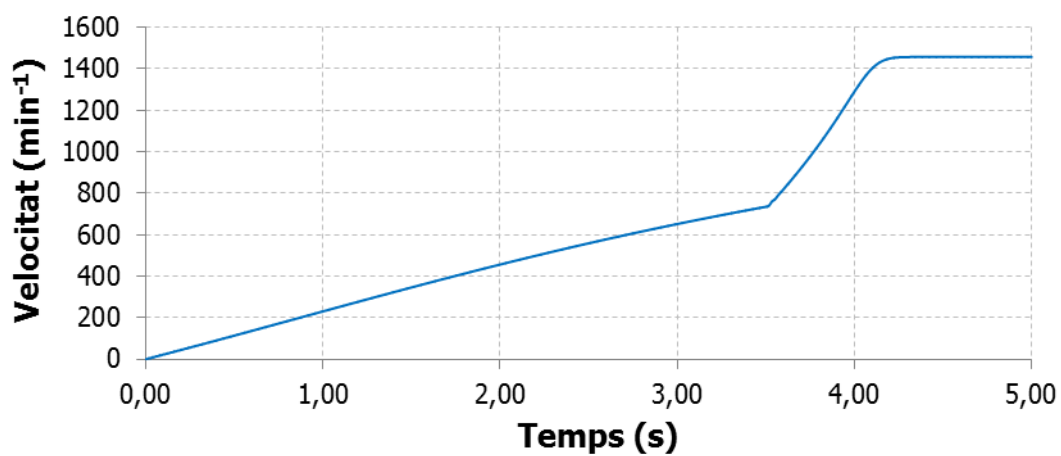


Figura 185. Velocitat en la simulació 31

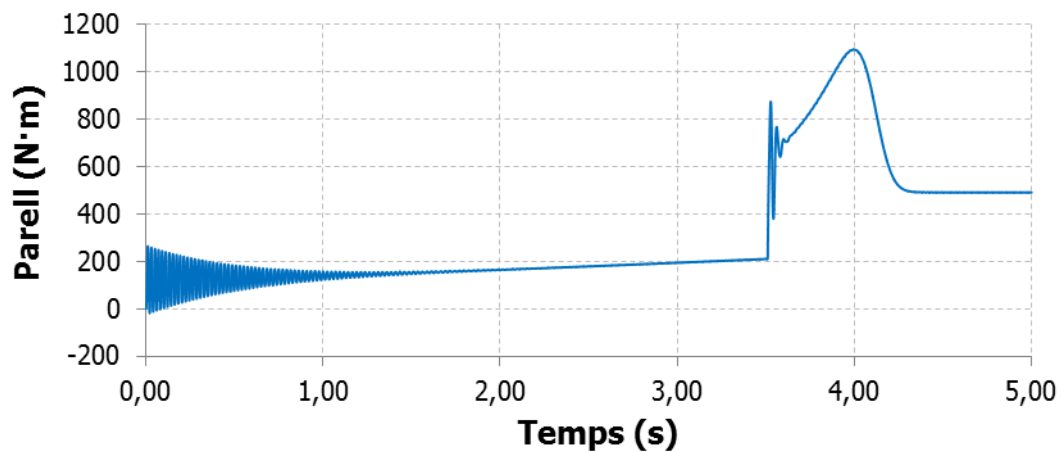


Figura 186. Parell en la simulació 31

3.4.1.33 *Simulació 32*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.51100

Taula 146. Temps d'actuació en la simulació 32

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-223.7	213.0	205.0	223.7	5.96

Taula 147. Estudi del corrent en la simulació 32

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.5	736.5	0.00	0.0000

Taula 148. Estudi de la velocitat en la simulació 32

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1095	2.22

Taula 149. Estudi del parell en la simulació 32

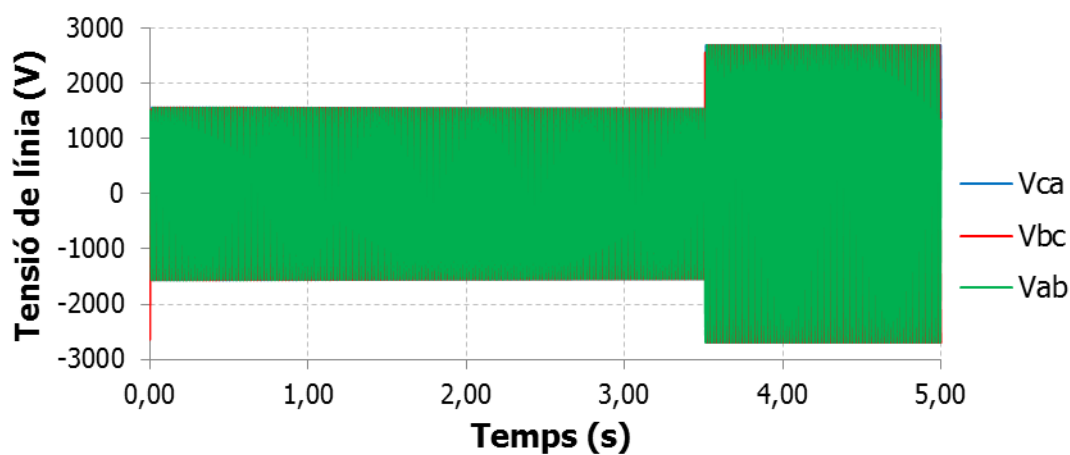


Figura 187. Tensió en la simulació 32

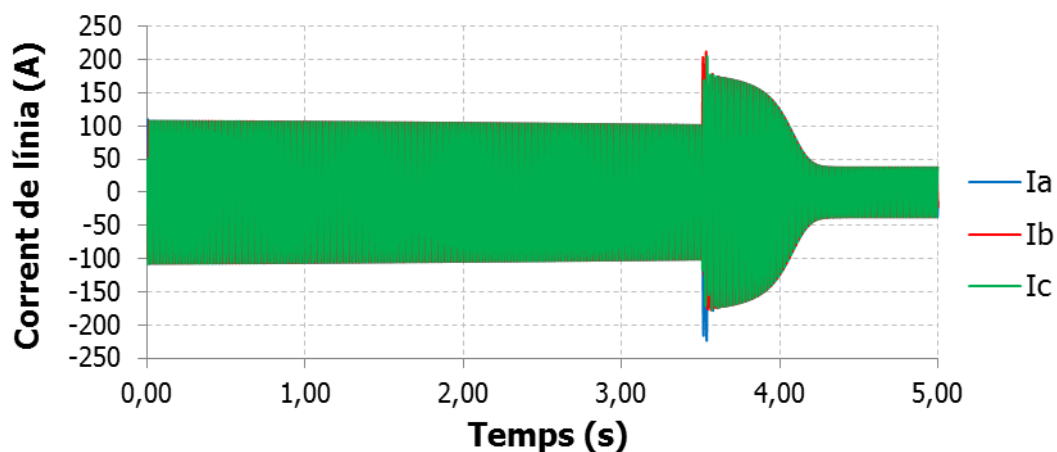


Figura 188. Corrent en la simulació 32

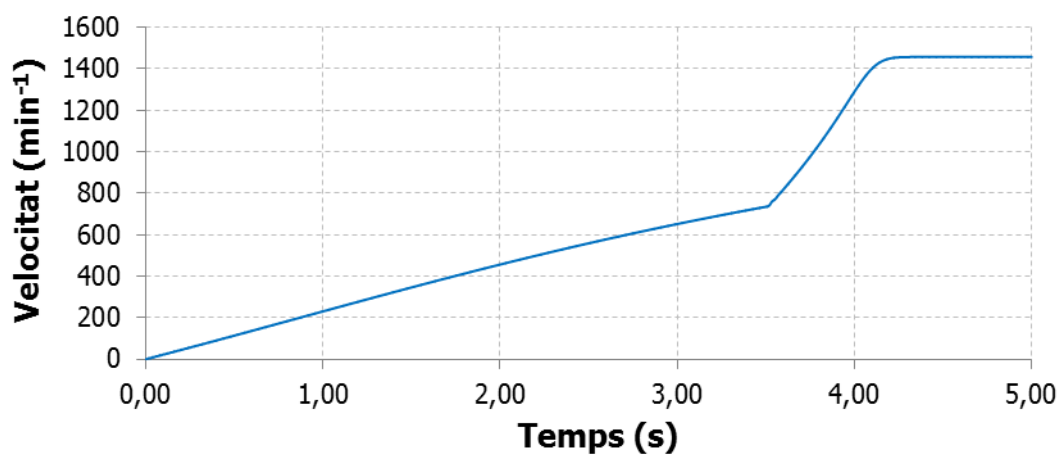


Figura 189. Velocitat en la simulació 32

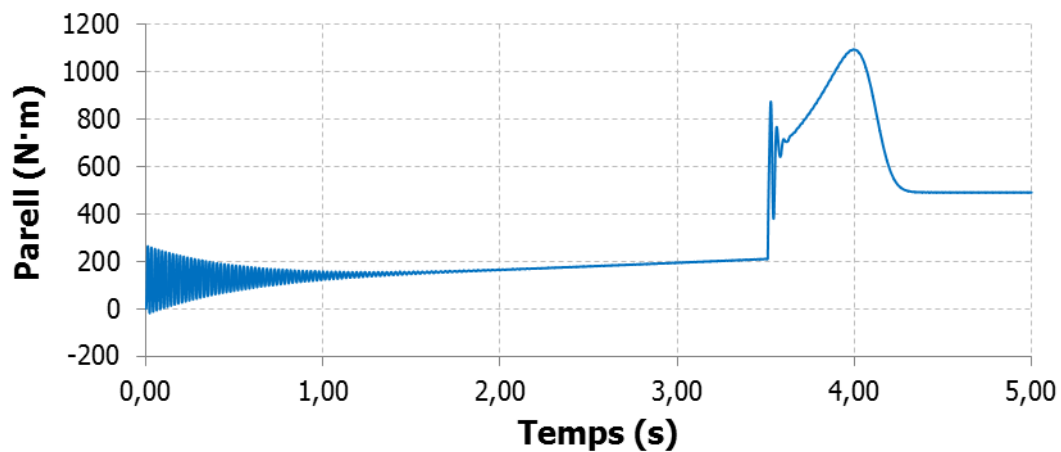


Figura 190. Parell en la simulació 32

3.4.1.34 **Simulació 33**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
***	***	***	3.51150

Taula 150. Temps d'actuació en la simulació 33

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
-224.2	207.5	209.0	224.2	5.97

Taula 151. Estudi del corrent en la simulació 33

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
736.6	736.6	0.00	0.0000

Taula 152. Estudi de la velocitat en la simulació 33

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1094	2.22

Taula 153. Estudi del parell en la simulació 33

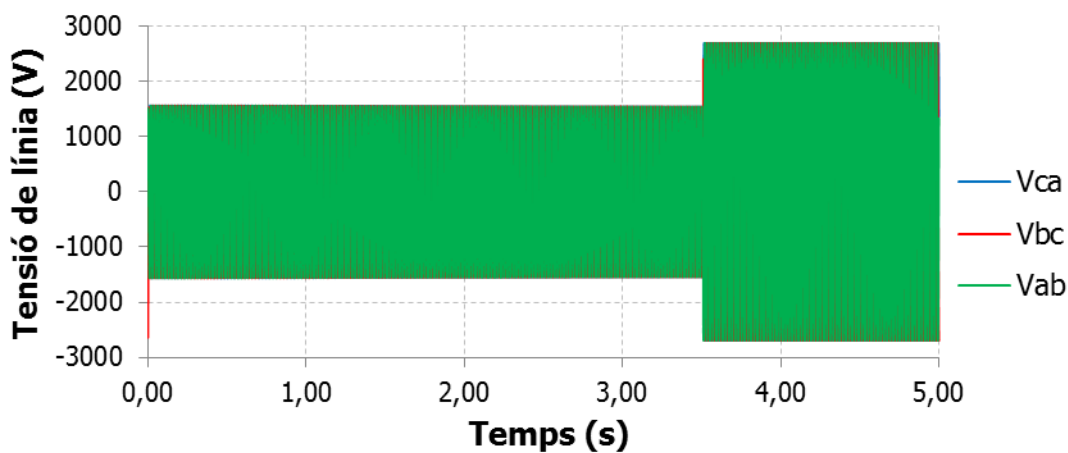


Figura 191. Tensió en la simulació 33

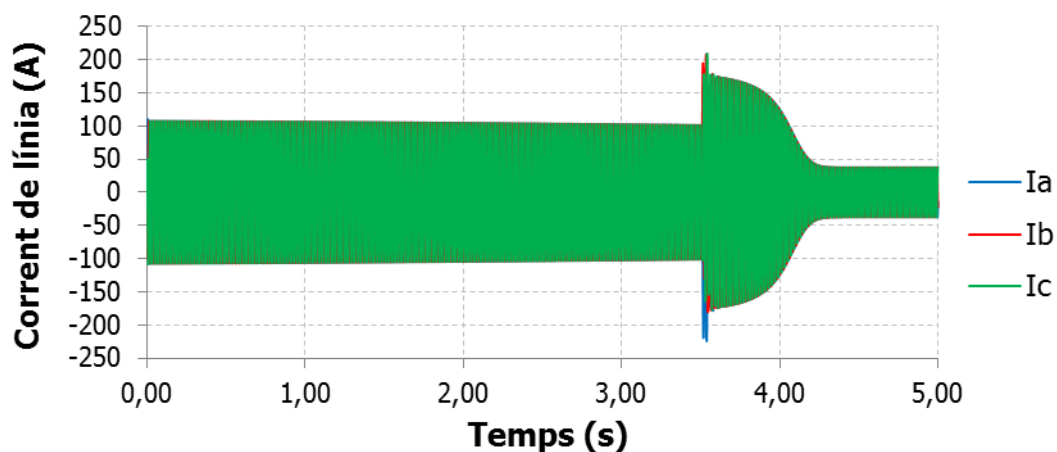


Figura 192. Corrent en la simulació 33

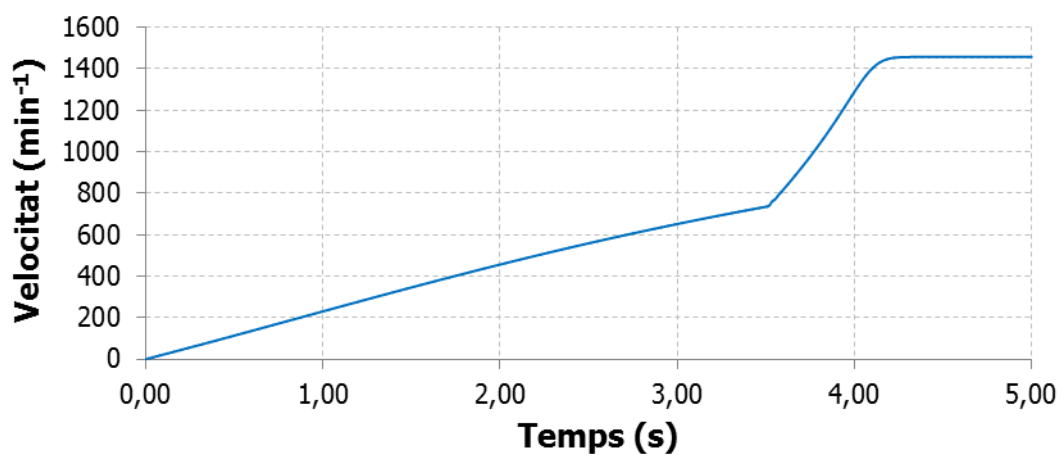


Figura 193. Velocitat en la simulació 33

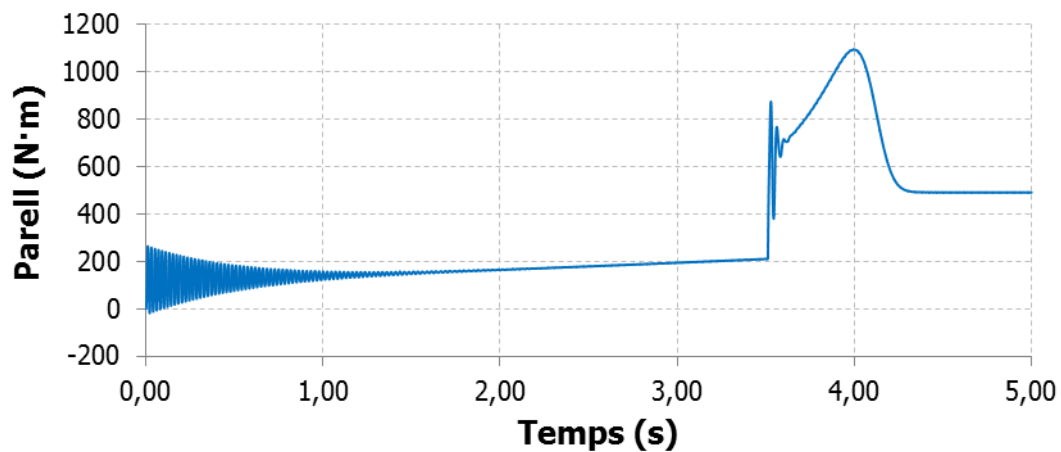


Figura 194. Parell en la simulació 33

3.4.1.35 **Simulació 34**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
***	***	***	3.51200

Taula 154. Temps d'actuació en la simulació 34

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
-223.9	202.1	212.8	223.9	5.97

Taula 155. Estudi del corrent en la simulació 34

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
736.7	736.7	0.00	0.0000

Taula 156. Estudi de la velocitat en la simulació 34

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1095	2.22

Taula 157. Estudi del parell en la simulació 34

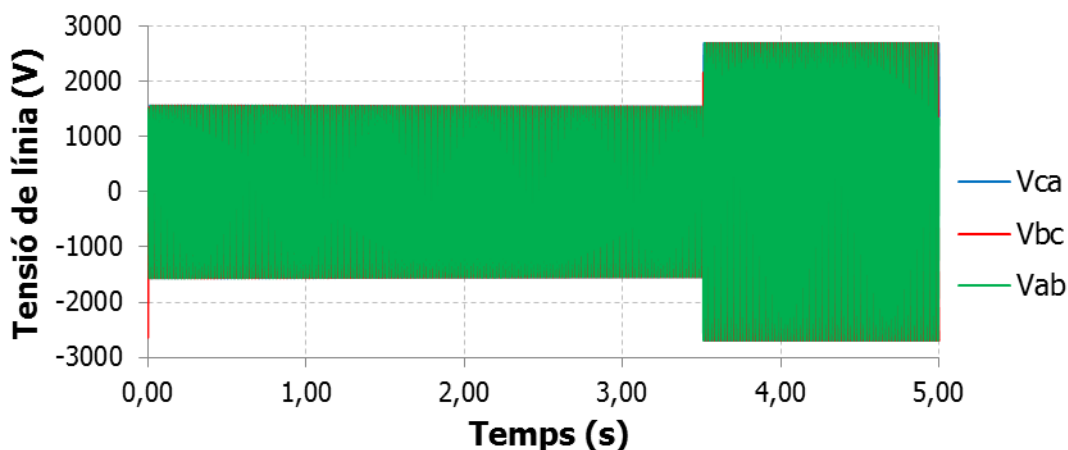


Figura 195. Tensió en la simulació 34

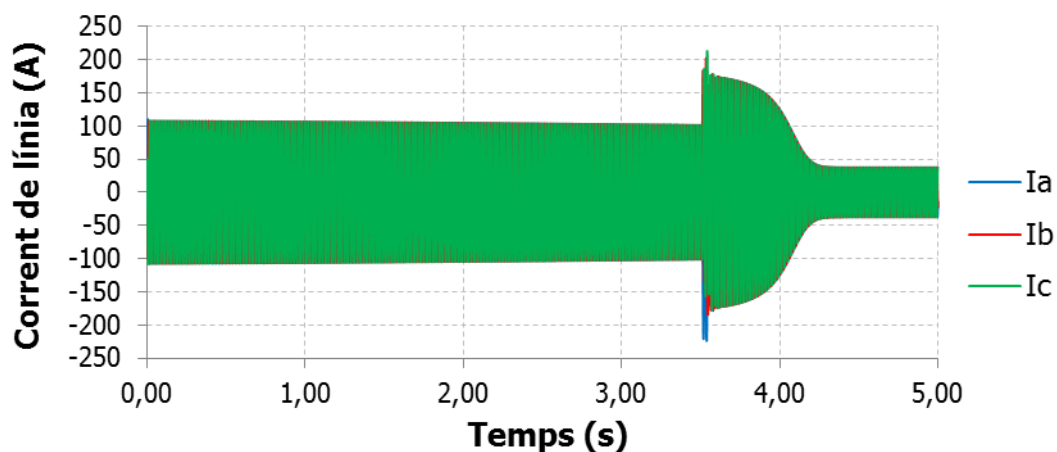


Figura 196. Corrent en la simulació 34

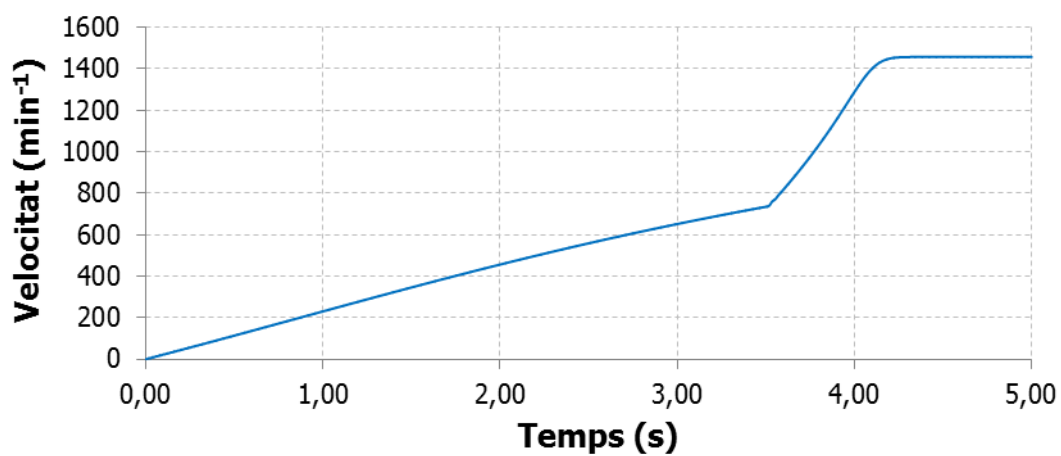


Figura 197. Velocitat en la simulació 34

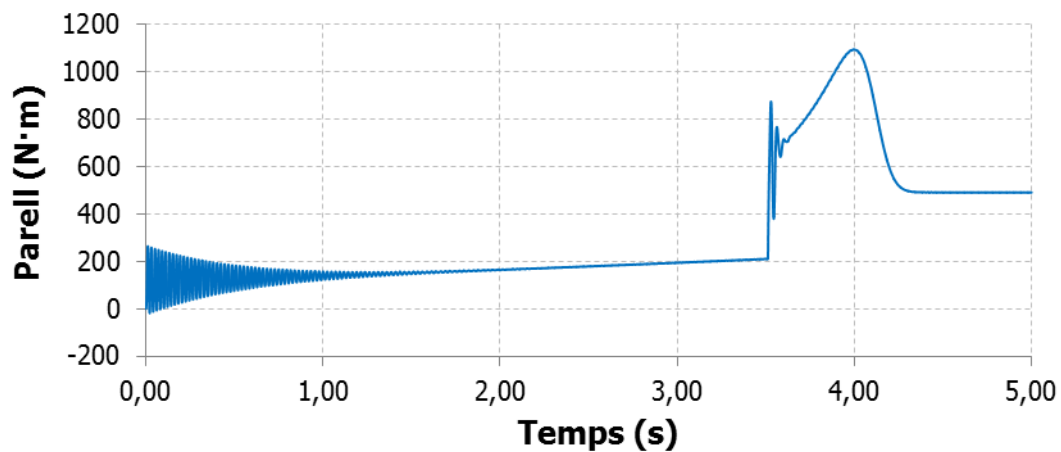


Figura 198. Parell en la simulació 34

3.4.1.36 *Simulació 35*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.51250

Taula 158. Temps d'actuació en la simulació 35

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-222.9	196.2	216.1	222.9	5.94

Taula 159. Estudi del corrent en la simulació 35

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.8	736.8	0.00	0.0000

Taula 160. Estudi de la velocitat en la simulació 35

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1095	2.22

Taula 161. Estudi del parell en la simulació 35

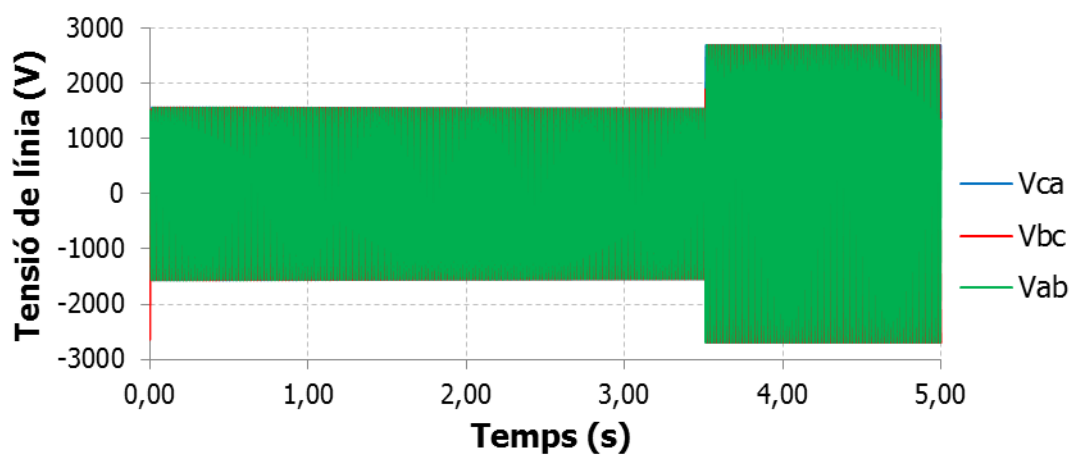


Figura 199. Tensió en la simulació 35

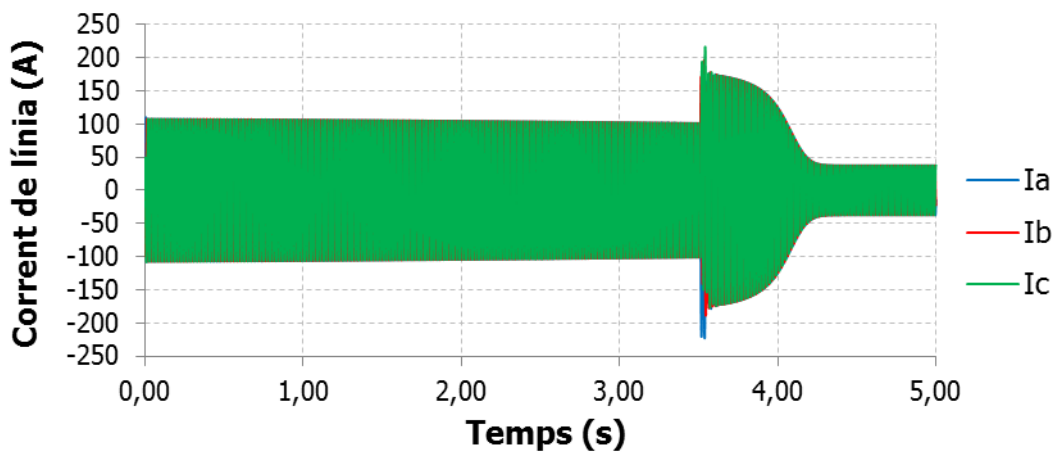


Figura 200. Corrent en la simulació 35

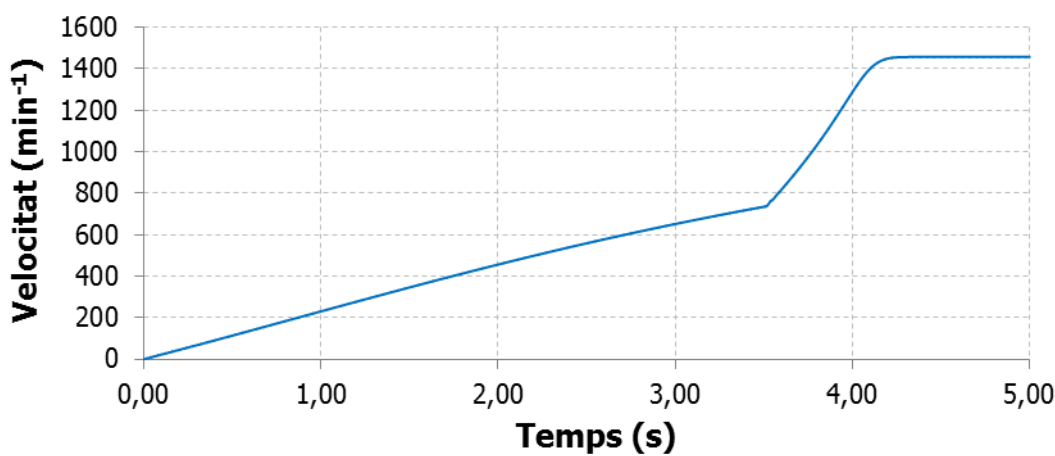


Figura 201. Velocitat en la simulació 35

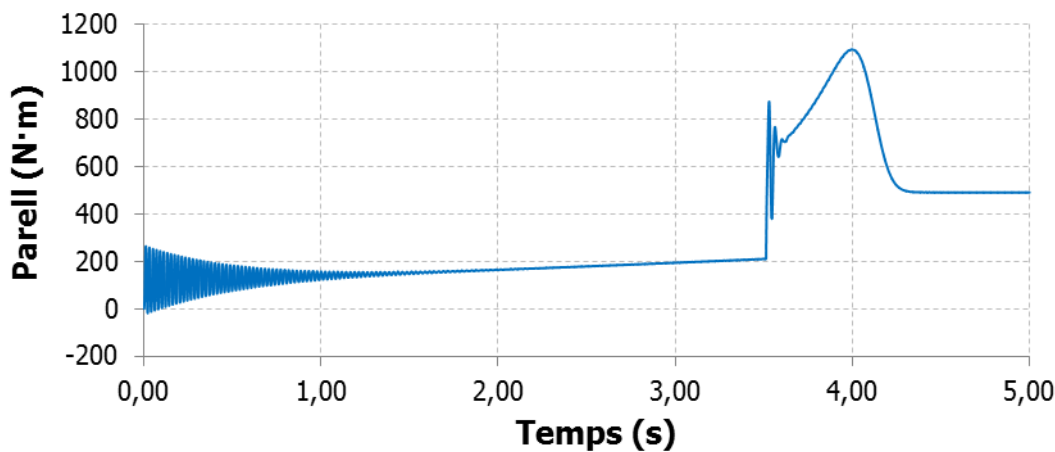


Figura 202. Parell en la simulació 35

3.4.1.37 **Simulació 36**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.51300

Taula 162. Temps d'actuació en la simulació 36

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-221.0	-193.3	219.0	221.0	5.89

Taula 163. Estudi del corrent en la simulació 36

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.8	736.8	0.00	0.0000

Taula 164. Estudi de la velocitat en la simulació 36

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1094	2.22

Taula 165. Estudi del parell en la simulació 36

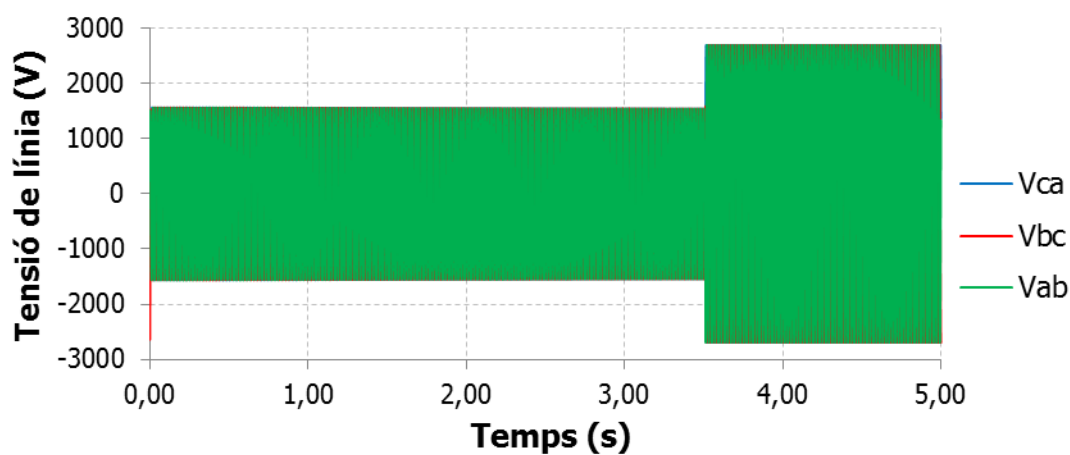


Figura 203. Tensió en la simulació 36

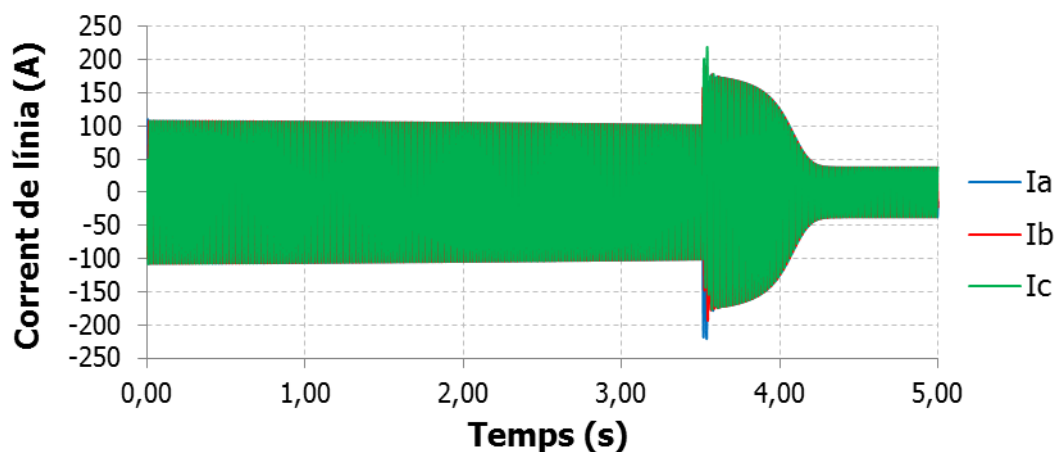


Figura 204. Corrent en la simulació 36

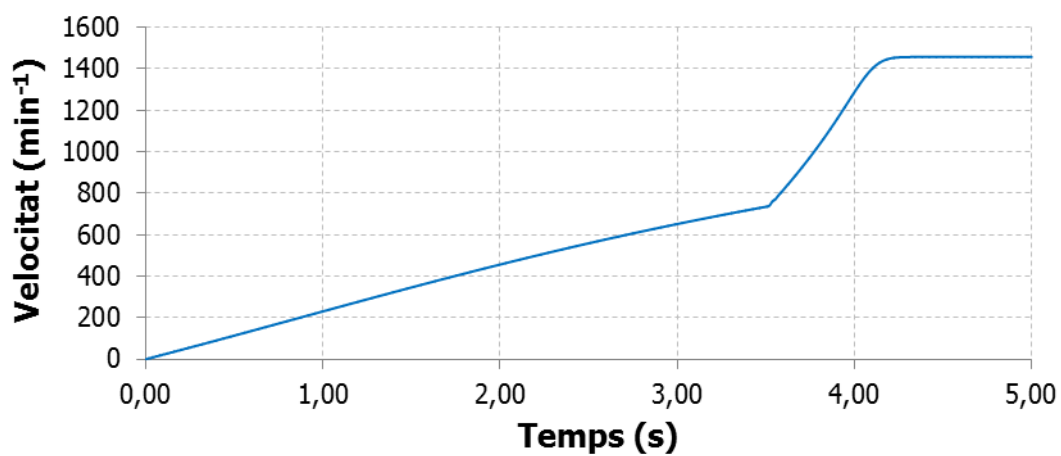


Figura 205. Velocitat en la simulació 36

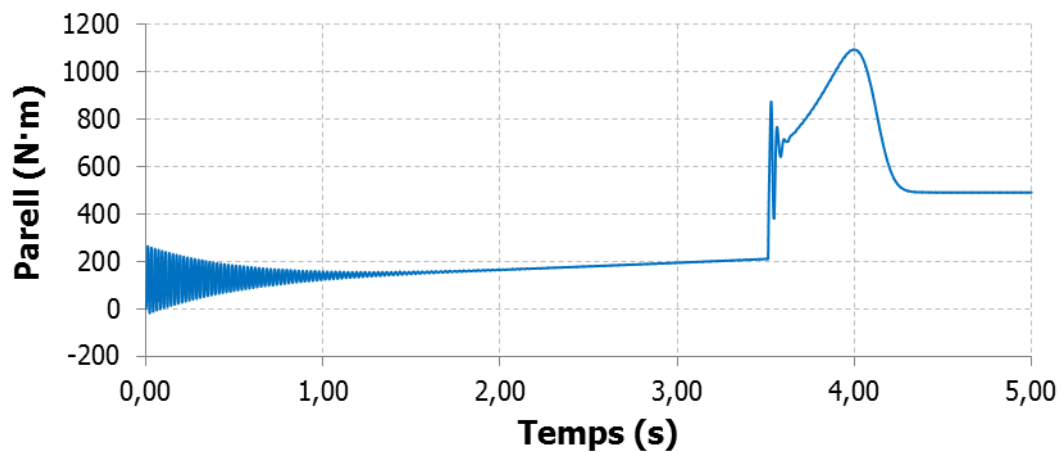


Figura 206. Parell en la simulació 36

3.4.1.38 **Simulació 37**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.51350

Taula 166. Temps d'actuació en la simulació 37

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-218.4	-197.8	221.3	221.3	5.90

Taula 167. Estudi del corrent en la simulació 37

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
736.9	736.9	0.00	0.0000

Taula 168. Estudi de la velocitat en la simulació 37

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1094	2.22

Taula 169. Estudi del parell en la simulació 37

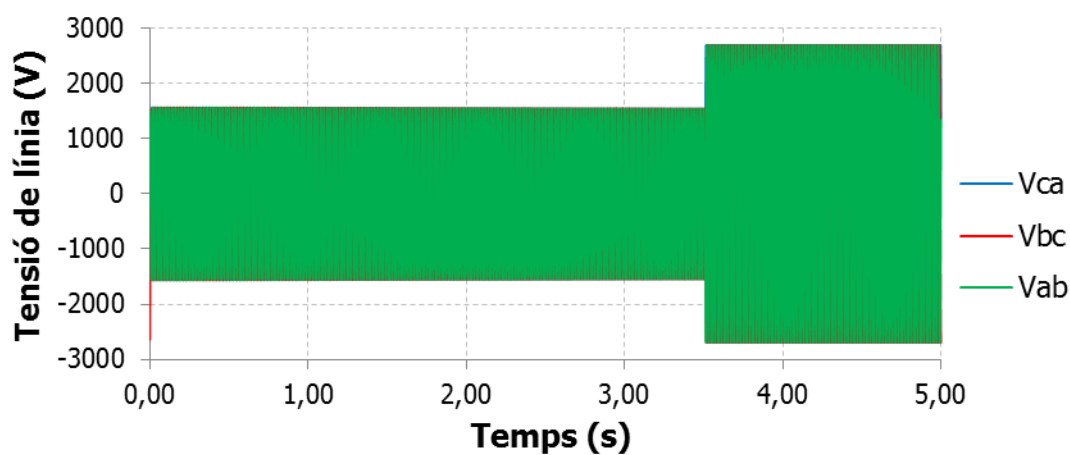


Figura 207. Tensió en la simulació 37

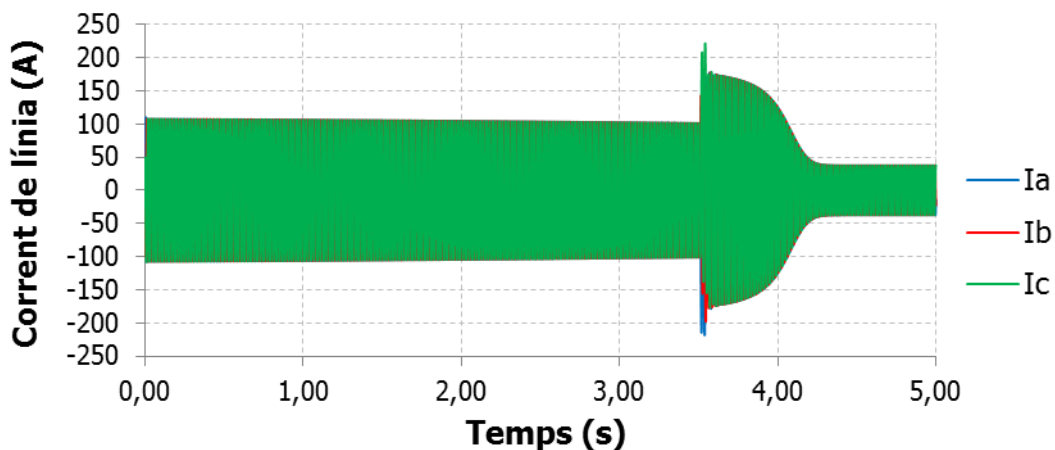


Figura 208. Corrent en la simulació 37

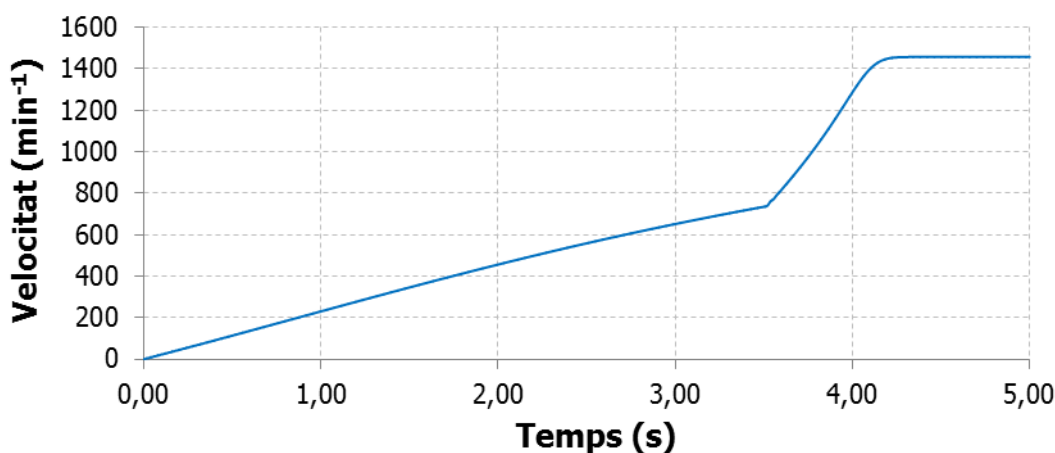


Figura 209. Velocitat en la simulació 37

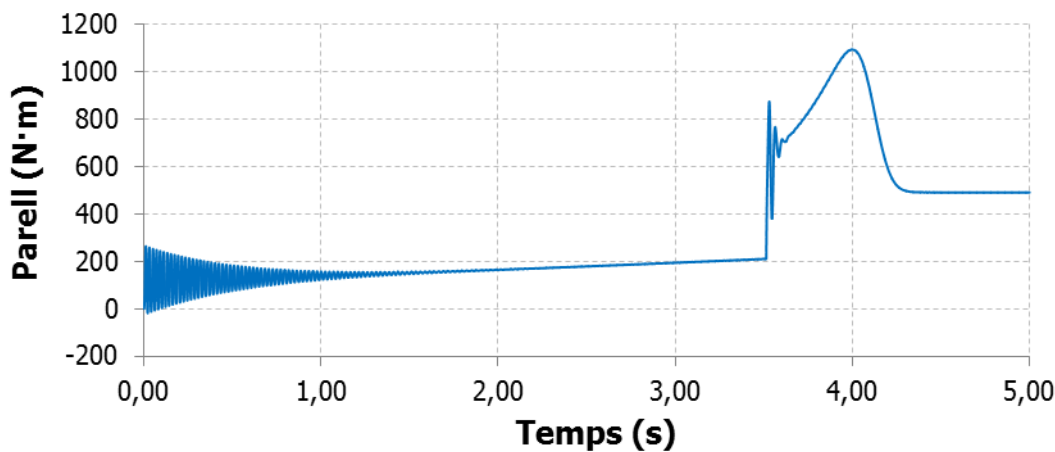


Figura 210. Parell en la simulació 37

3.4.1.39 **Simulació 38**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
***	***	***	3.51400

Taula 170. Temps d'actuació en la simulació 38

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
-214.9	-202.2	222.9	222.9	5.94

Taula 171. Estudi del corrent en la simulació 38

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
737.0	737.0	0.00	0.0000

Taula 172. Estudi de la velocitat en la simulació 38

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1094	2.22

Taula 173. Estudi del parell en la simulació 38

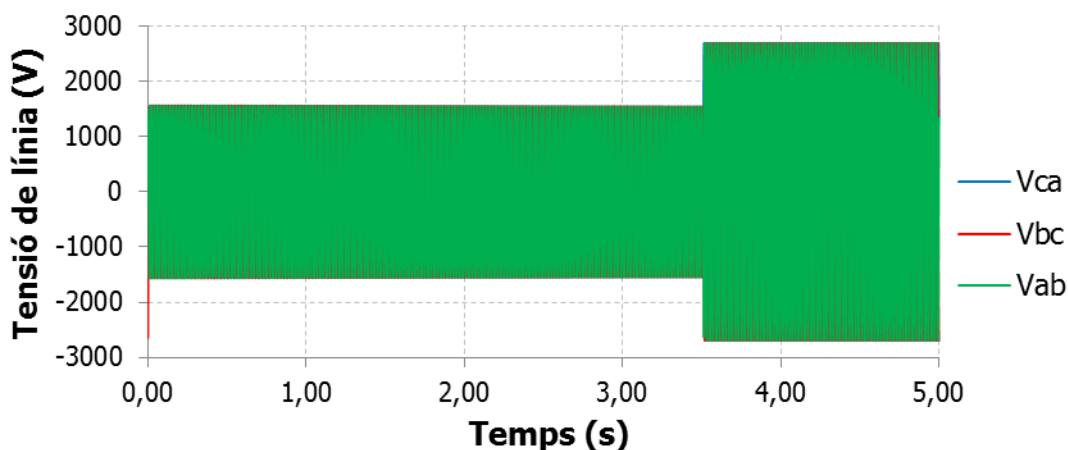


Figura 211. Tensió en la simulació 38

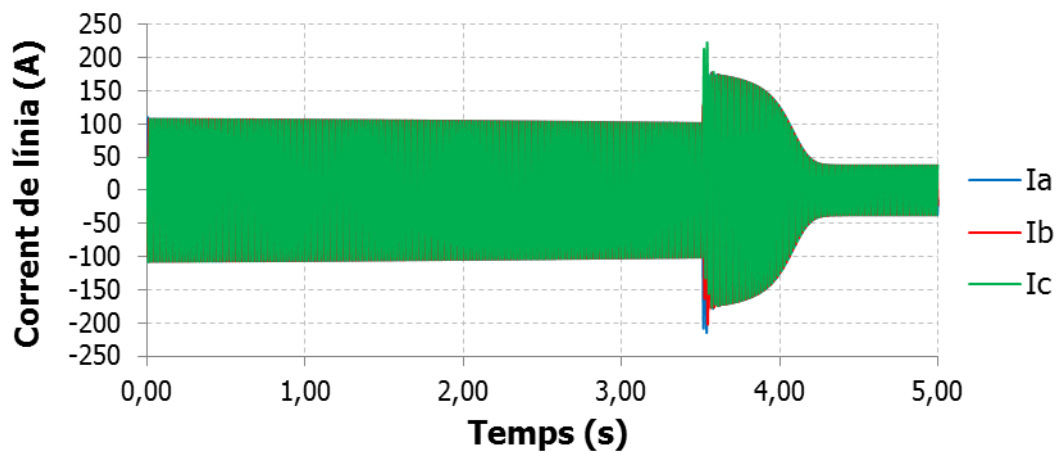


Figura 212. Corrent en la simulació 38

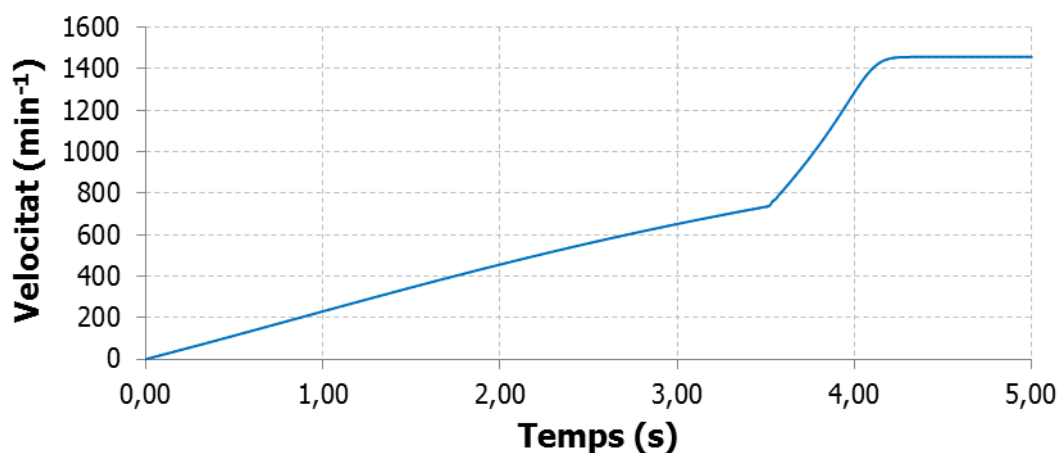


Figura 213. Velocitat en la simulació 38

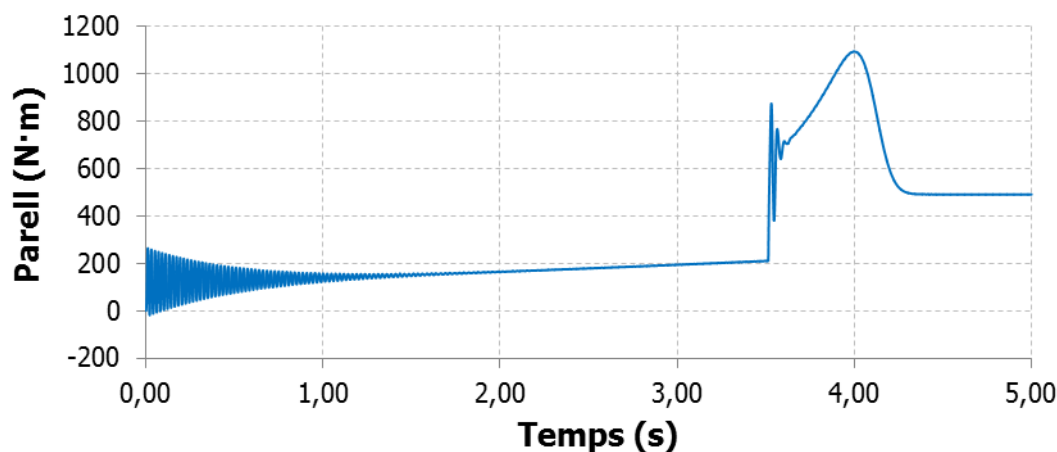


Figura 214. Parell en la simulació 38

3.4.1.40 **Simulació 39**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.51450

Taula 174. Temps d'actuació en la simulació 39

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-210.7	-206.4	223.9	223.9	5.97

Taula 175. Estudi del corrent en la simulació 39

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
737.1	737.1	0.00	0.0000

Taula 176. Estudi de la velocitat en la simulació 39

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1094	2.22

Taula 177. Estudi del parell en la simulació 39

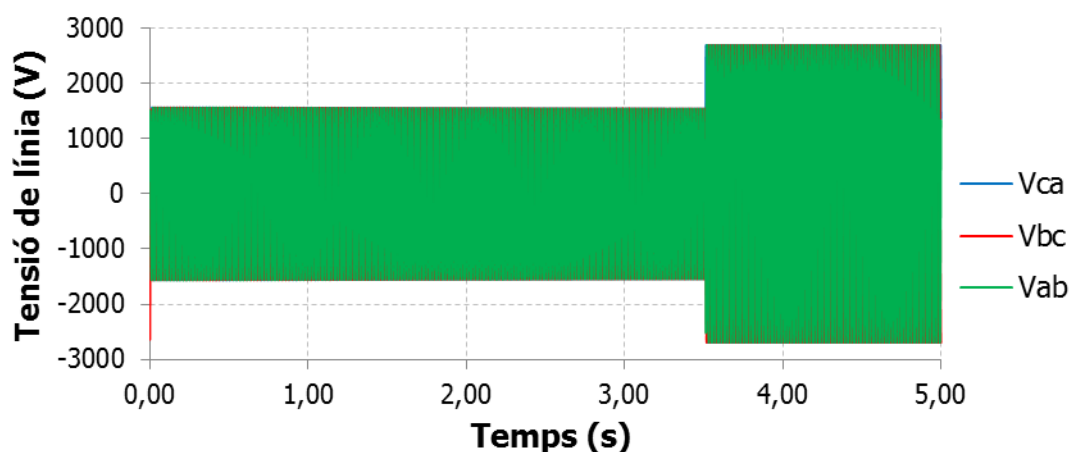


Figura 215. Tensió en la simulació 39

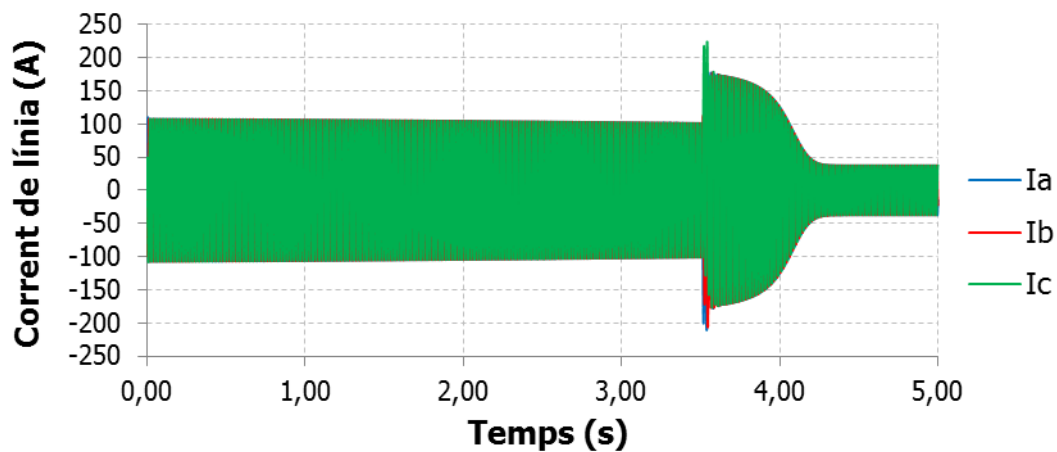


Figura 216. Corrent en la simulació 39

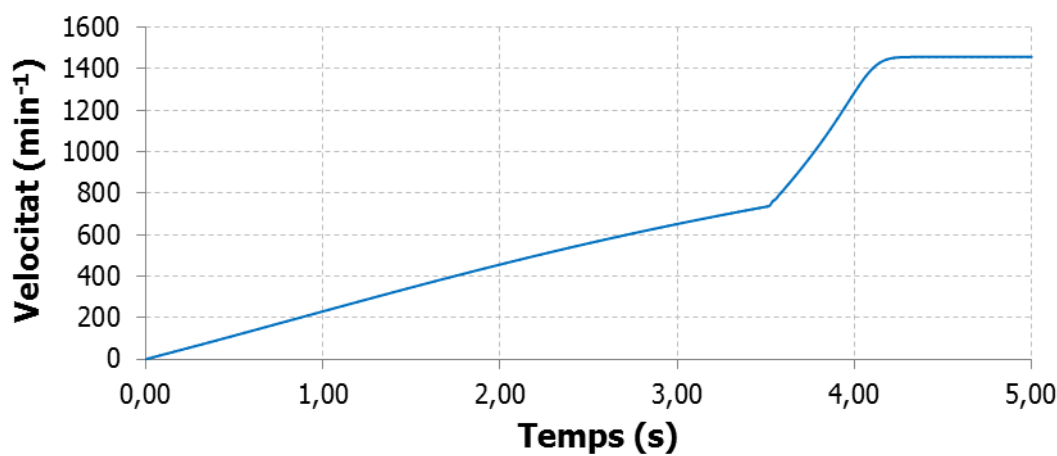


Figura 217. Velocitat en la simulació 39

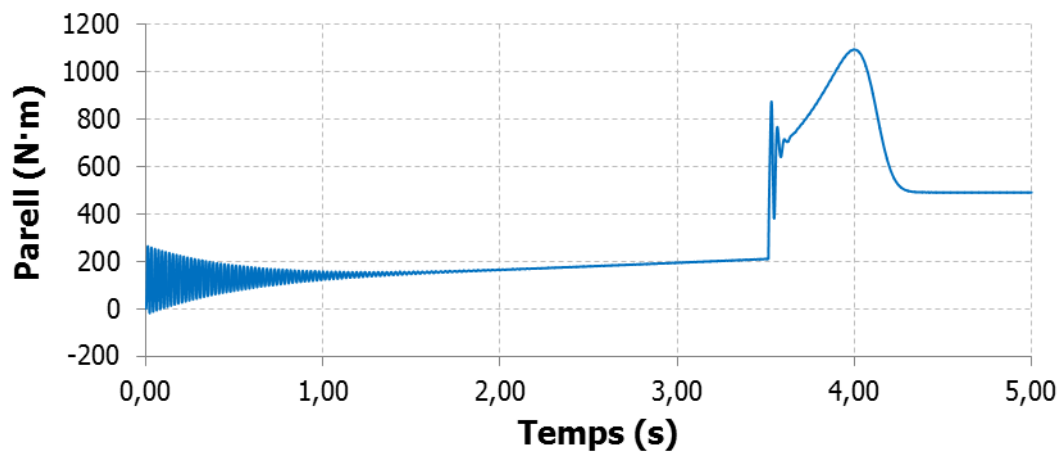


Figura 218. Parell en la simulació 39

3.4.1.41 **Simulació 40**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
***	***	***	3.51500

Taula 178. Temps d'actuació en la simulació 40

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
-205.7	-210.3	224.2	224.2	5.97

Taula 179. Estudi del corrent en la simulació 40

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
737.1	737.1	0.00	0.0000

Taula 180. Estudi de la velocitat en la simulació 40

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
1094	2.22

Taula 181. Estudi del parell en la simulació 40

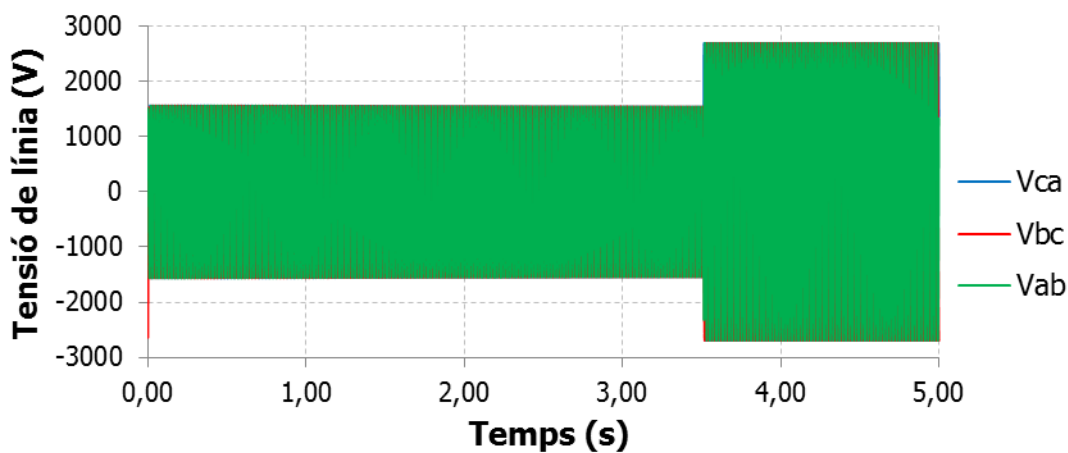


Figura 219. Tensió en la simulació 40

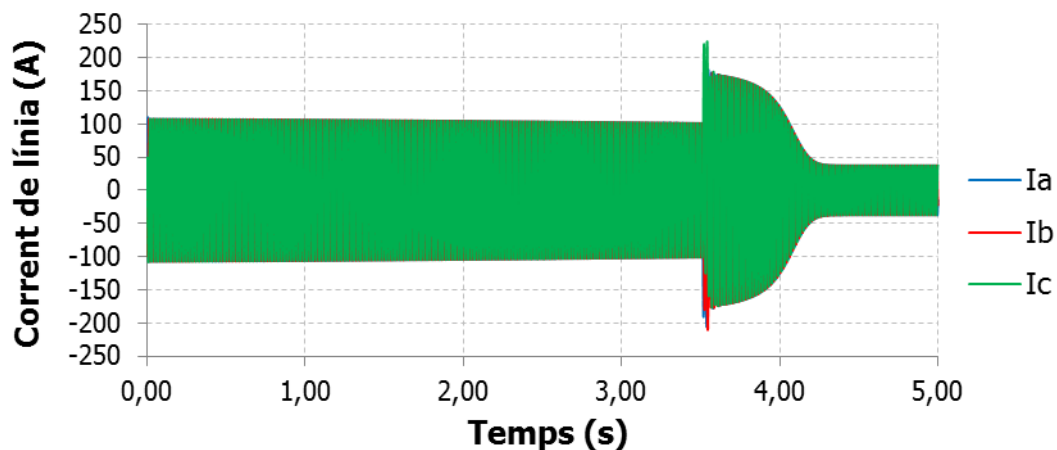


Figura 220. Corrent en la simulació 40

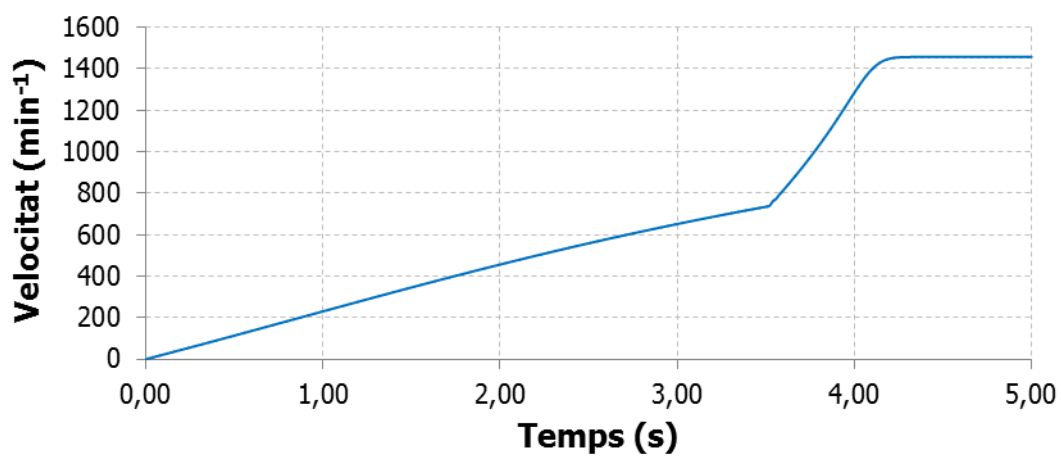


Figura 221. Velocitat en la simulació 40

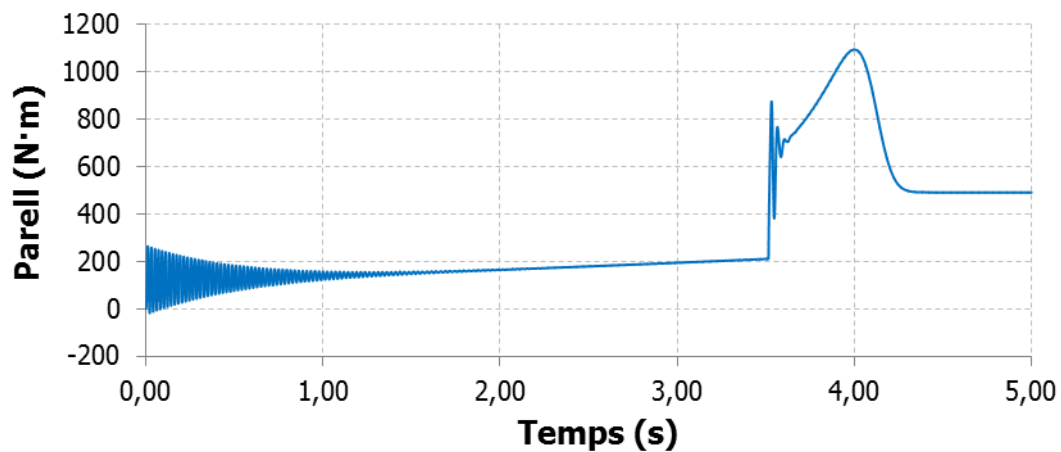


Figura 222. Parell en la simulació 40

3.4.1.42 **Simulació 41**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.51570

Taula 182. Temps d'actuació en la simulació 41

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-197.8	-215.3	223.2	223.2	5.95

Taula 183. Estudi del corrent en la simulació 41

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
737.3	737.3	0.00	0.0000

Taula 184. Estudi de la velocitat en la simulació 41

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1094	2.22

Taula 185. Estudi del parell en la simulació 41

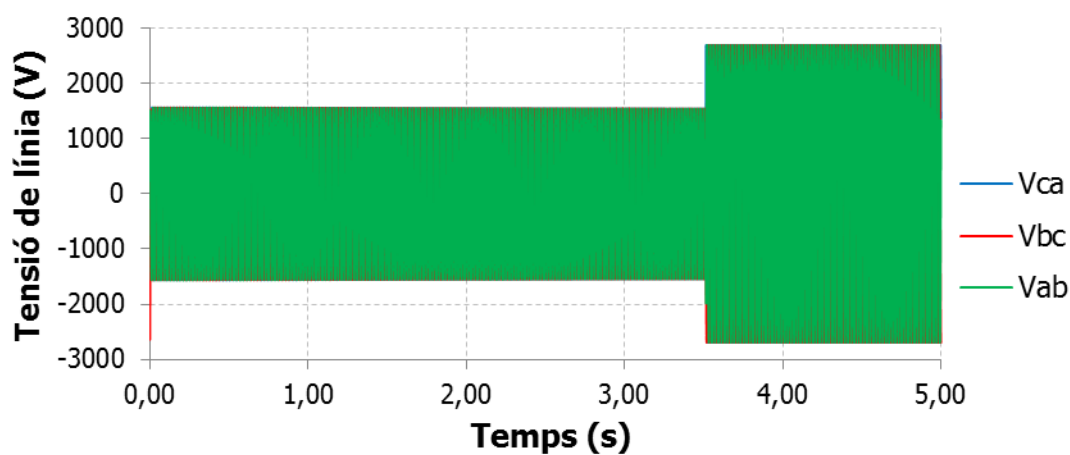


Figura 223. Tensió en la simulació 41

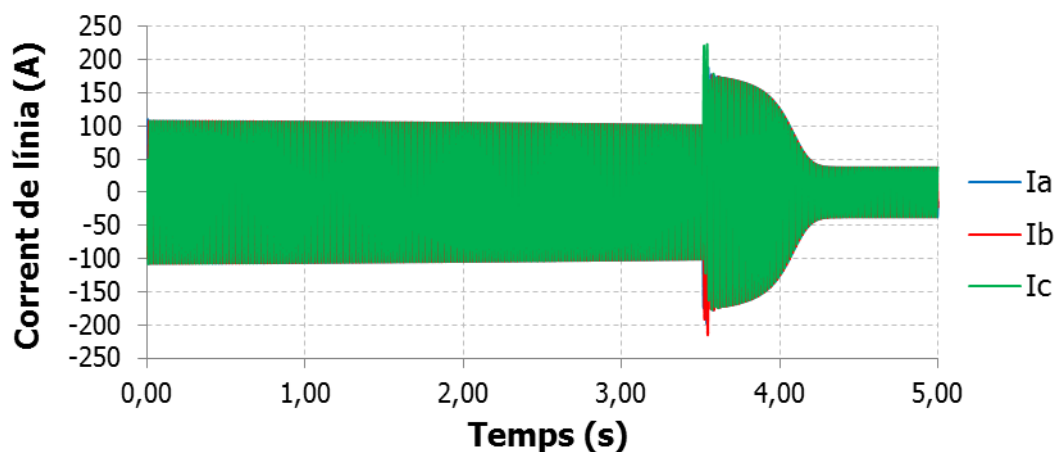


Figura 224. Corrent en la simulació 41

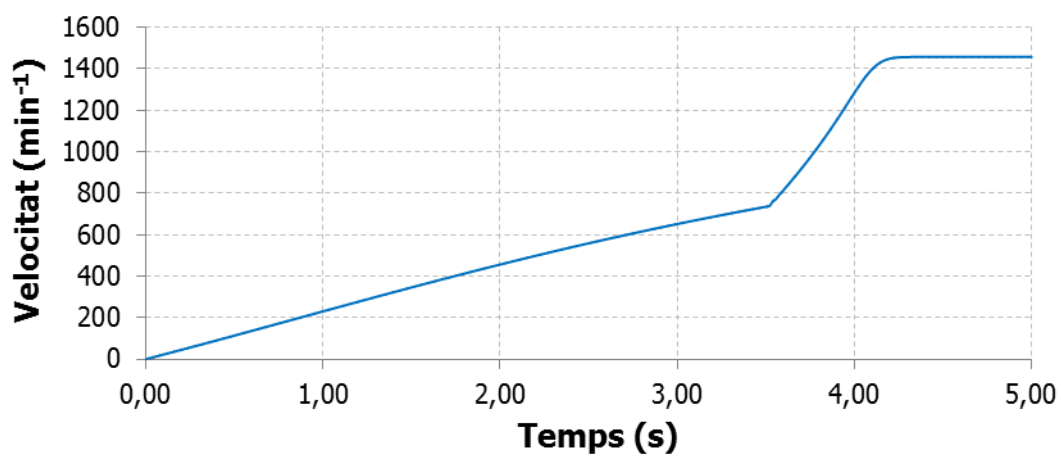


Figura 225. Velocitat en la simulació 41

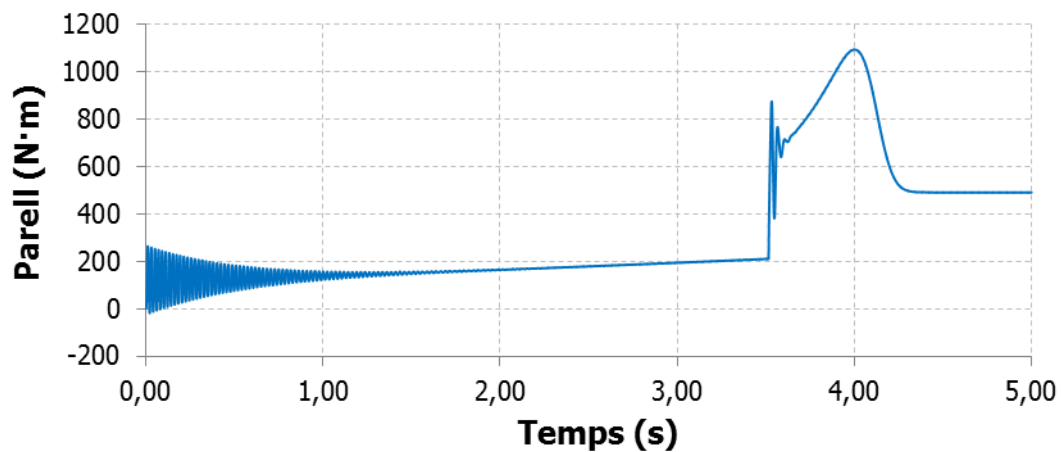


Figura 226. Parell en la simulació 41

3.4.1.43 *Simulació 42 (cas ideal)*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
***	***	***	3.50000

Taula 186. Temps d'actuació en la simulació 42 (cas ideal)

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
220.6	-219.5	-196.2	220.6	5.88

Taula 187. Estudi del corrent en la simulació 42 (cas ideal)

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
734.8	734.8	0.00	0.0000

Taula 188. Estudi de la velocitat en la simulació 42 (cas ideal)

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
1094	2.22

Taula 189. Estudi del parell en la simulació 42 (cas ideal)

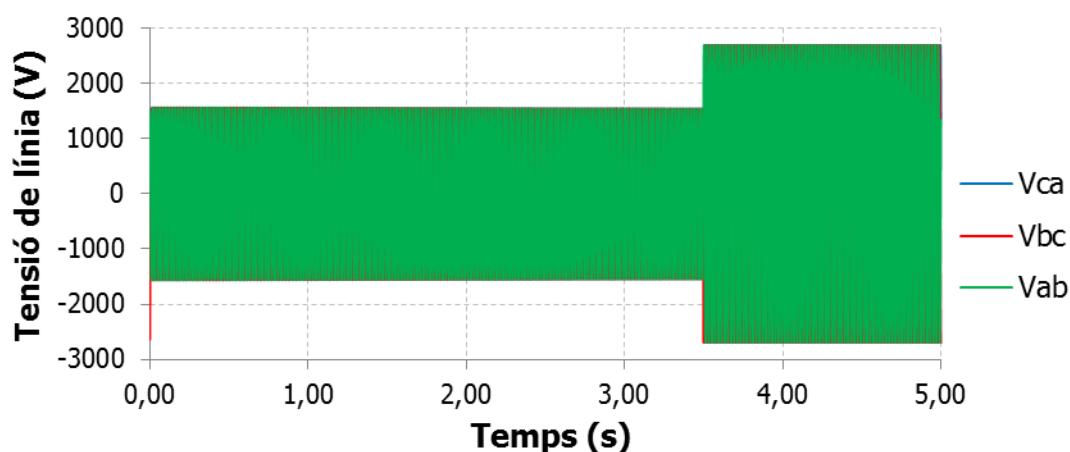


Figura 227. Tensió en la simulació 42 (cas ideal)

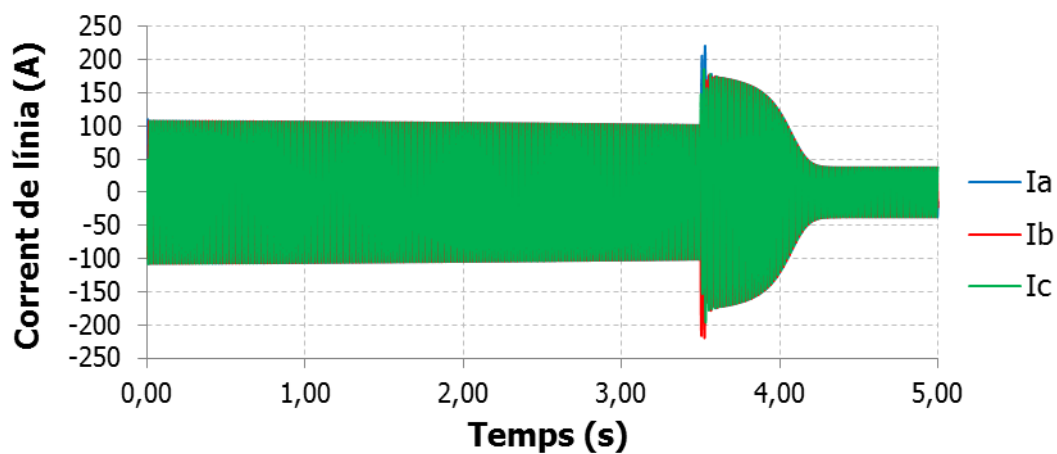


Figura 228. Corrent en la simulació 42 (cas ideal)

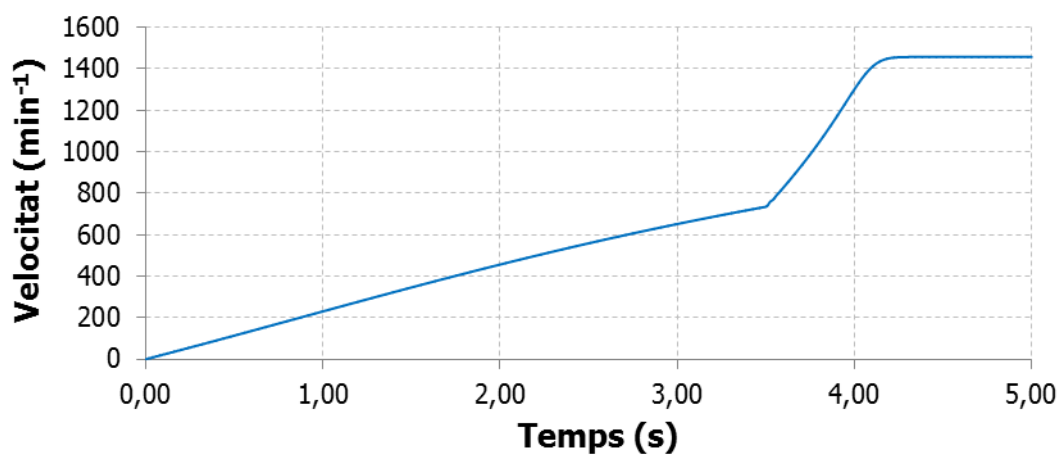


Figura 229. Velocitat en la simulació 42 (cas ideal)

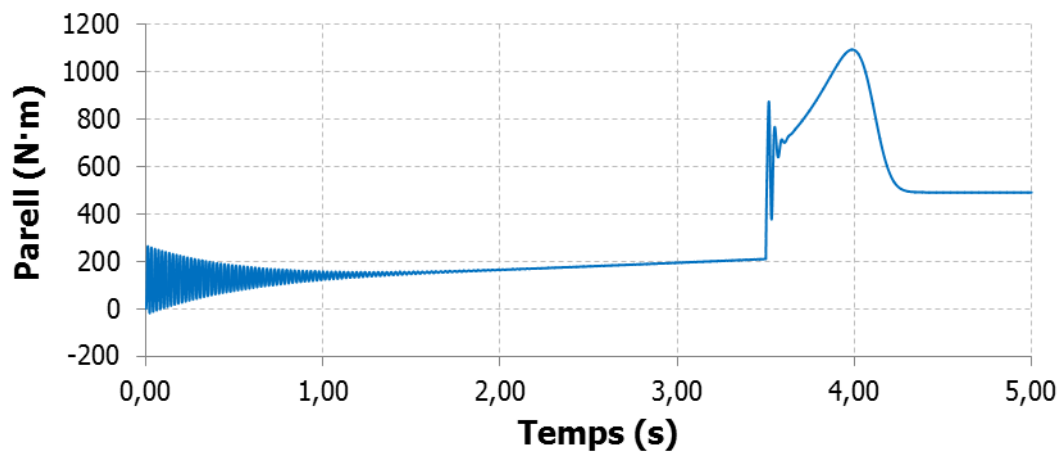


Figura 230. Parell en la simulació 42 (cas ideal)

3.4.1.44 **Simulació 43**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00463	2.00796	2.01129	2.02119

Taula 190. Temps d'actuació en la simulació 43

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-489.5	-206.7	344.8	489.5	13.04

Taula 191. Estudi del corrent en la simulació 43

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1439.8	17.47	0.0120

Taula 192. Estudi de la velocitat en la simulació 43

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-5651	11.48

Taula 193. Estudi del parell en la simulació 43

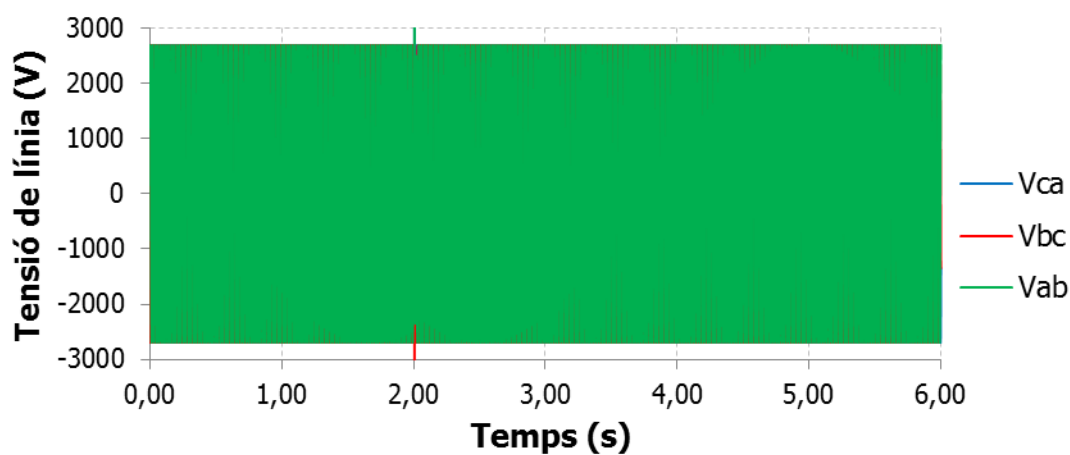


Figura 231. Tensió en la simulació 43

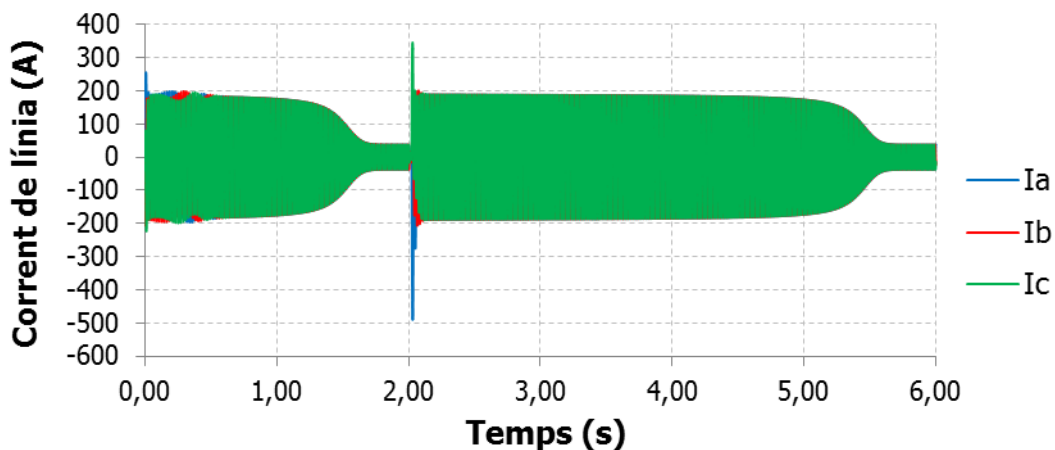


Figura 232. Corrent en la simulació 43

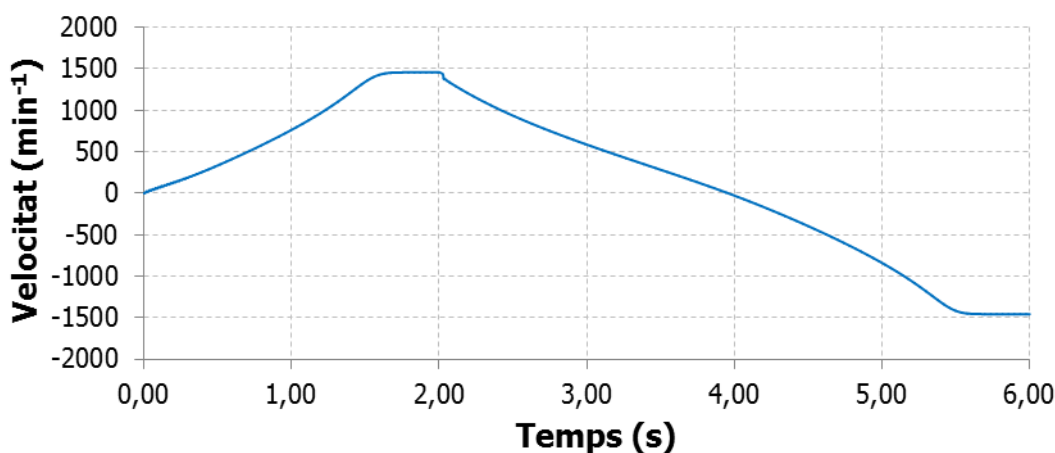


Figura 233. Velocitat en la simulació 43

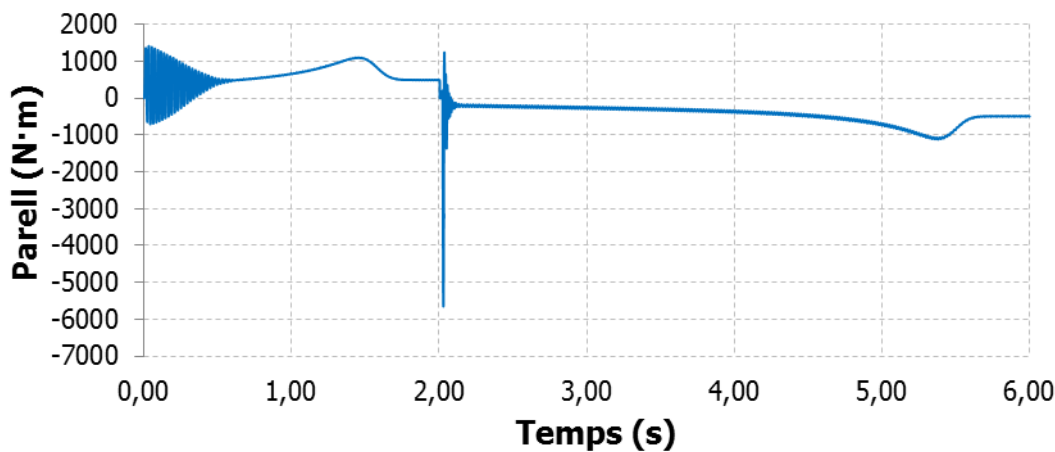


Figura 234. Parell en la simulació 43

3.4.1.45 **Simulació 44**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00463	2.00796	2.01129	2.02699

Taula 194. Temps d'actuació en la simulació 44

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
289.8	199.3	200.7	289.8	7.72

Taula 195. Estudi del corrent en la simulació 44

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1438.0	19.31	2347

Taula 196. Estudi de la velocitat en la simulació 44

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-2347	4.77

Taula 197. Estudi del parell en la simulació 44

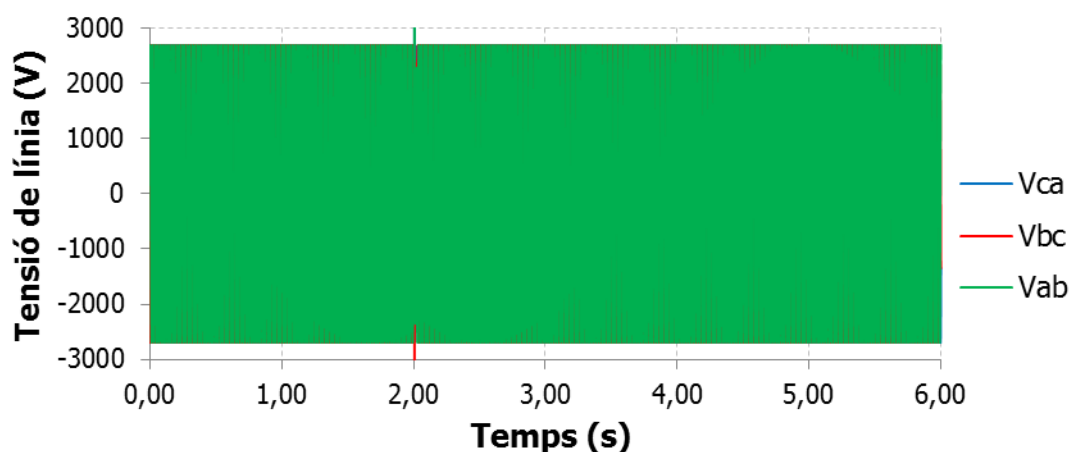


Figura 235. Tensió en la simulació 44

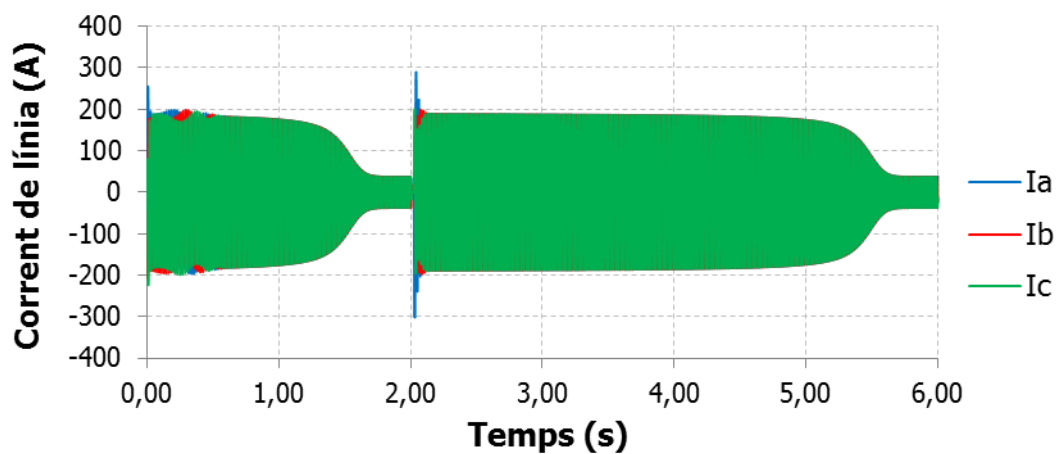


Figura 236. Corrent en la simulació 44

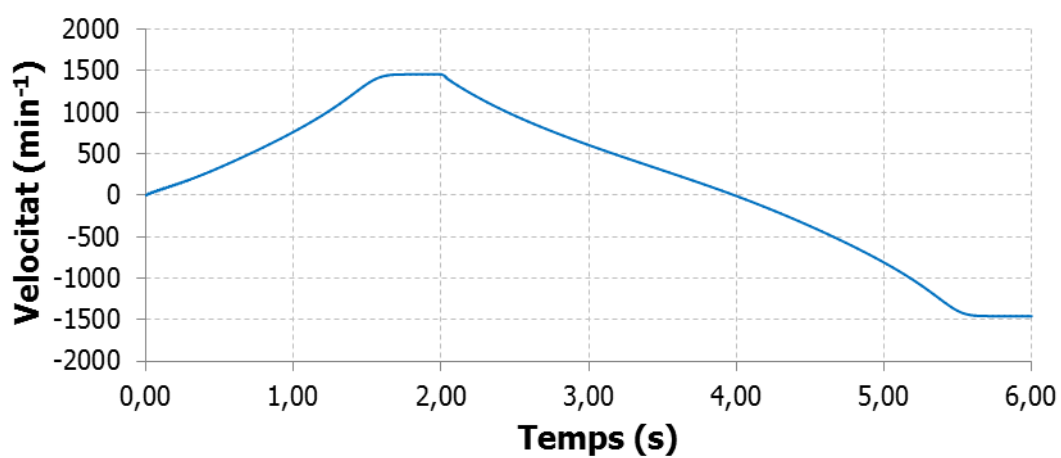


Figura 237. Velocitat en la simulació 44

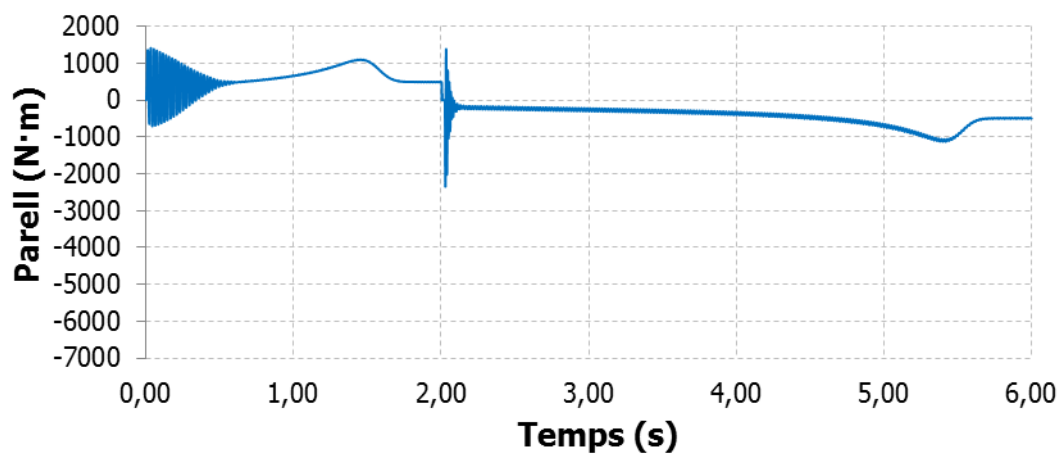


Figura 238. Parell en la simulació 44

3.4.1.46 *Simulació 45*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00523	2.00856	2.01189	2.02179

Taula 198. Temps d'actuació en la simulació 45

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-498.4	-207.0	349.2	498.4	13.28

Taula 199. Estudi del corrent en la simulació 45

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1439.9	17.33	0.0119

Taula 200. Estudi de la velocitat en la simulació 45

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-5813	11.81

Taula 201. Estudi del parell en la simulació 45

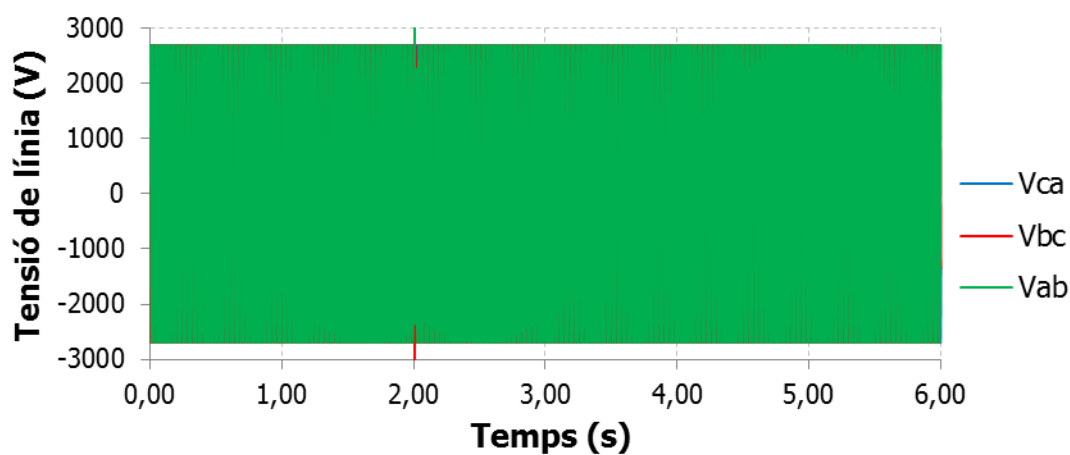


Figura 239. Tensió en la simulació 45

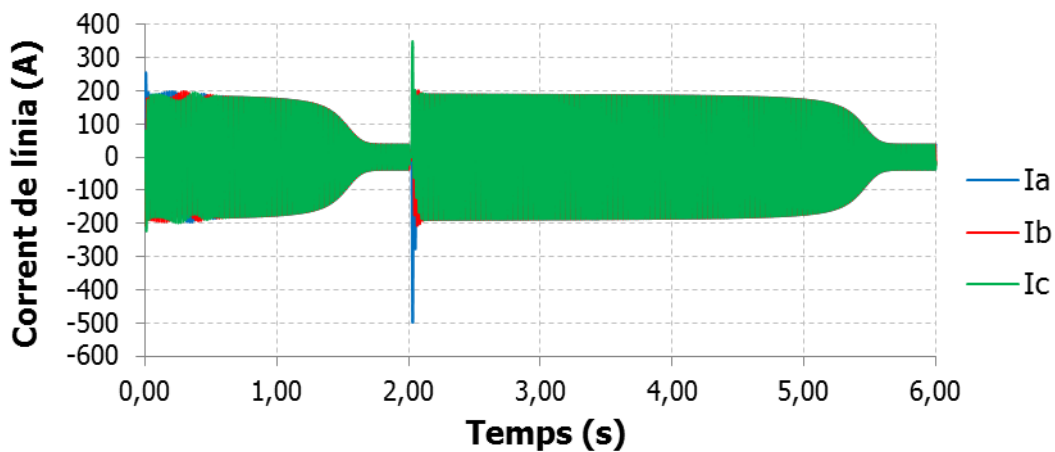


Figura 240. Corrent en la simulació 45

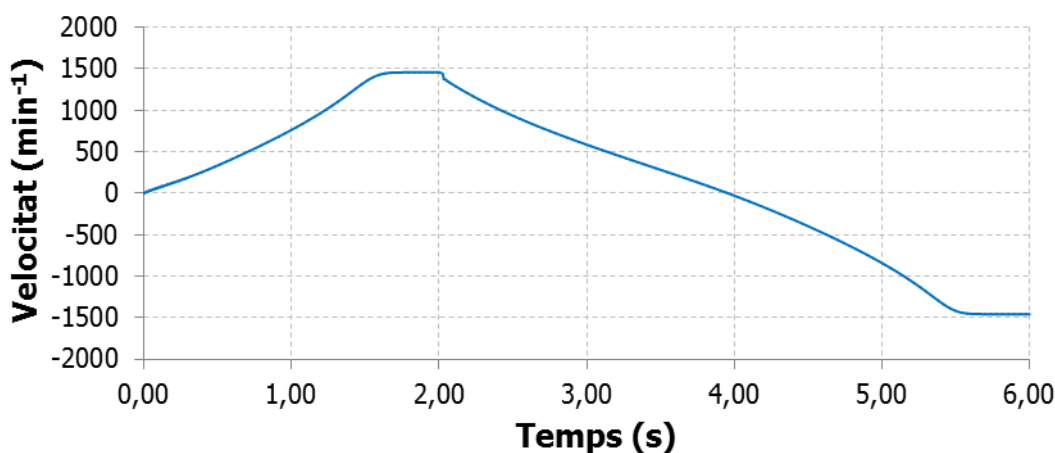


Figura 241. Velocitat en la simulació 45

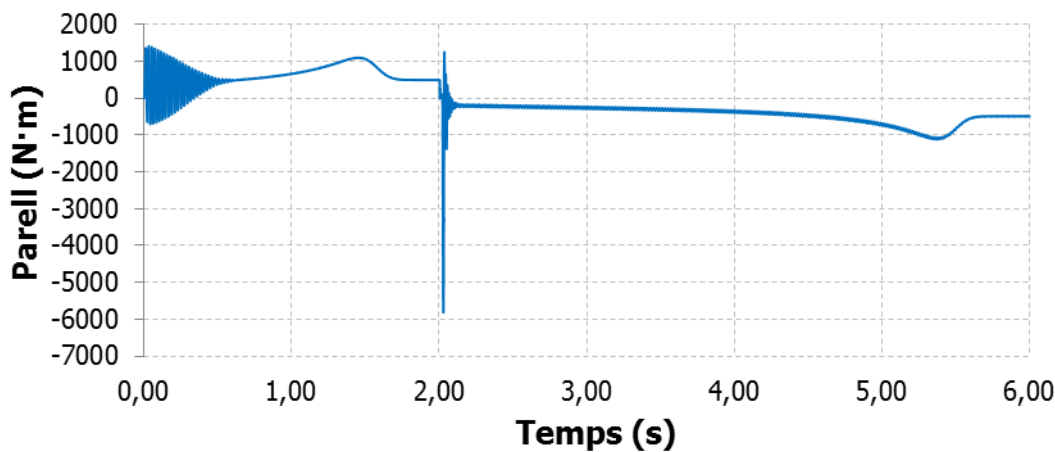


Figura 242. Parell en la simulació 45

3.4.1.47 **Simulació 46**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00523	2.00856	2.01189	2.02759

Taula 202. Temps d'actuació en la simulació 46

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
322.4	199.7	-222.4	322.4	8.59

Taula 203. Estudi del corrent en la simulació 46

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1436.9	20.36	0.0140

Taula 204. Estudi de la velocitat en la simulació 46

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-2530	5.14

Taula 205. Estudi del parell en la simulació 46

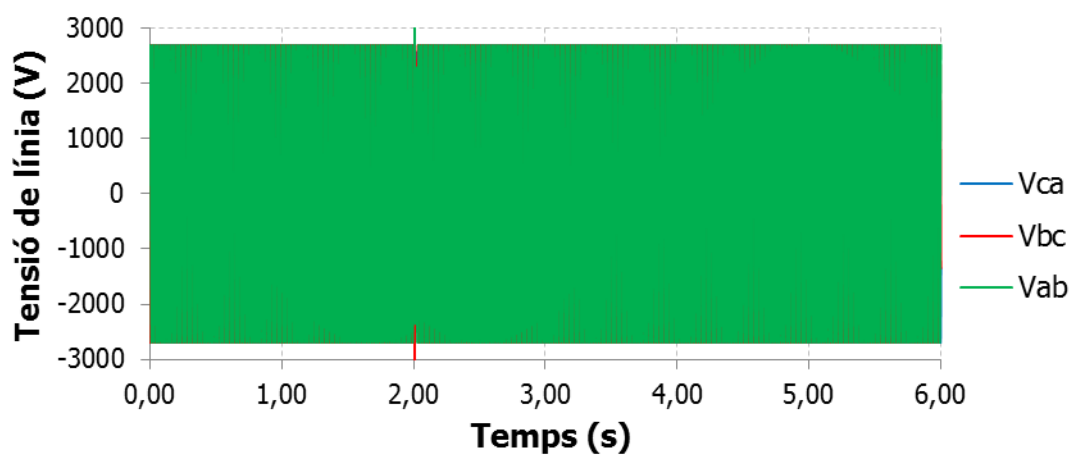


Figura 243. Tensió en la simulació 46

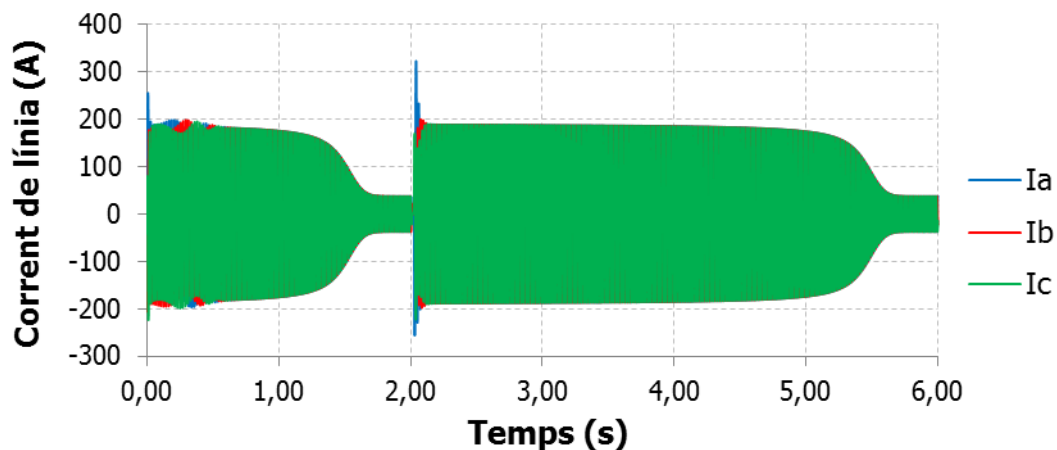


Figura 244. Corrent en la simulació 46

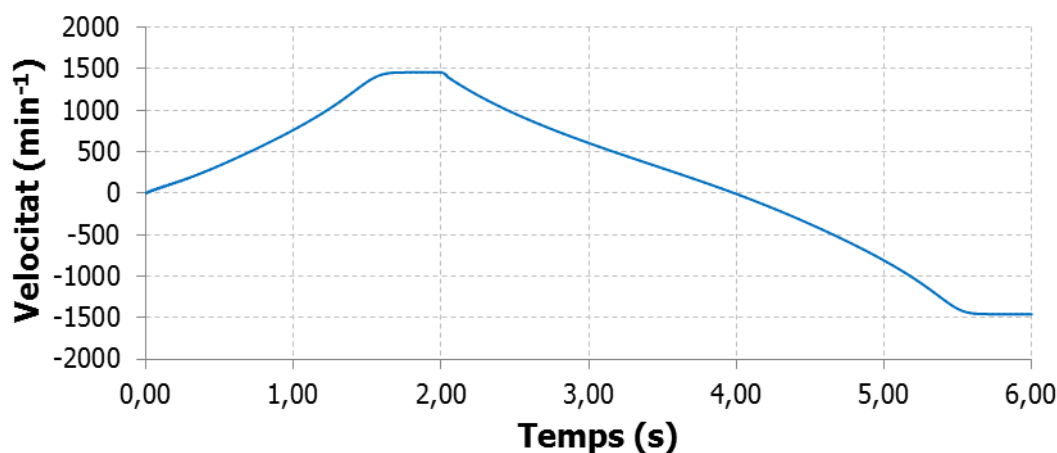


Figura 245. Velocitat en la simulació 46

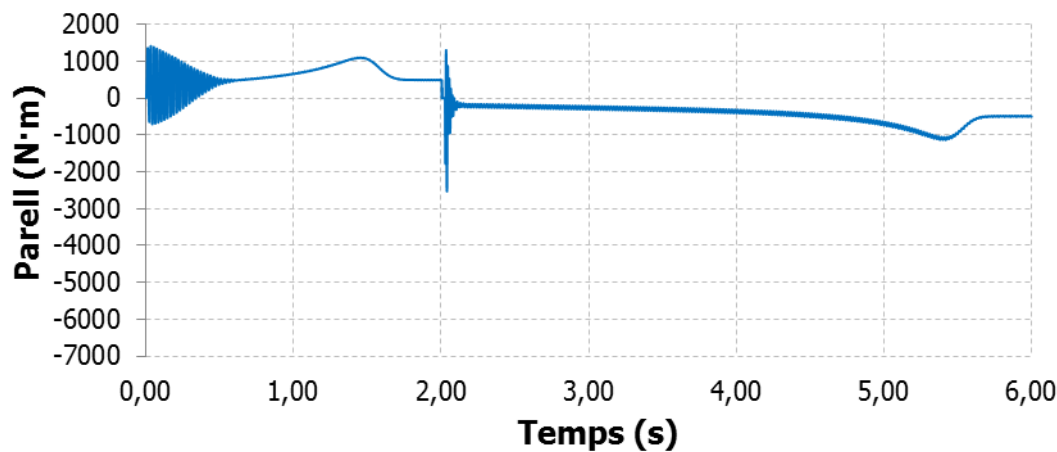


Figura 246. Parell en la simulació 46

3.4.1.48 **Simulació 47**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00573	2.0906	2.01239	2.02229

Taula 206. Temps d'actuació en la simulació 47

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-500.2	-206.6	349.5	500.2	13.33

Taula 207. Estudi del corrent en la simulació 47

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1441.0	16.30	0.0112

Taula 208. Estudi de la velocitat en la simulació 47

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-5821	11.83

Taula 209. Estudi del parell en la simulació 47

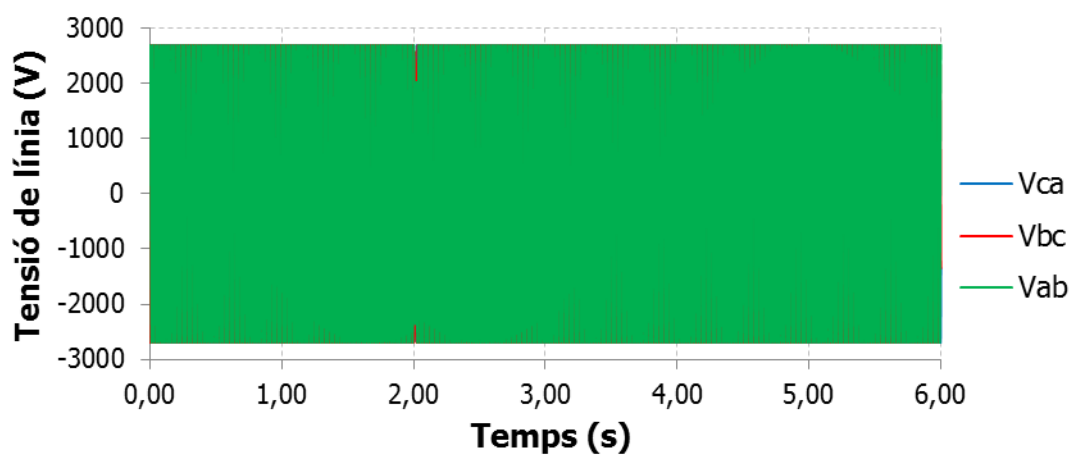


Figura 247. Tensió en la simulació 47

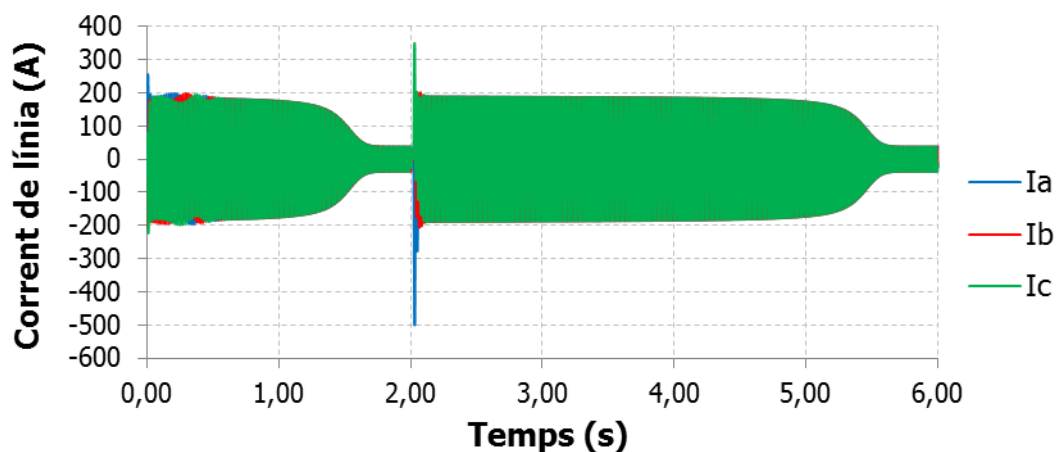


Figura 248. Corrent en la simulació 47

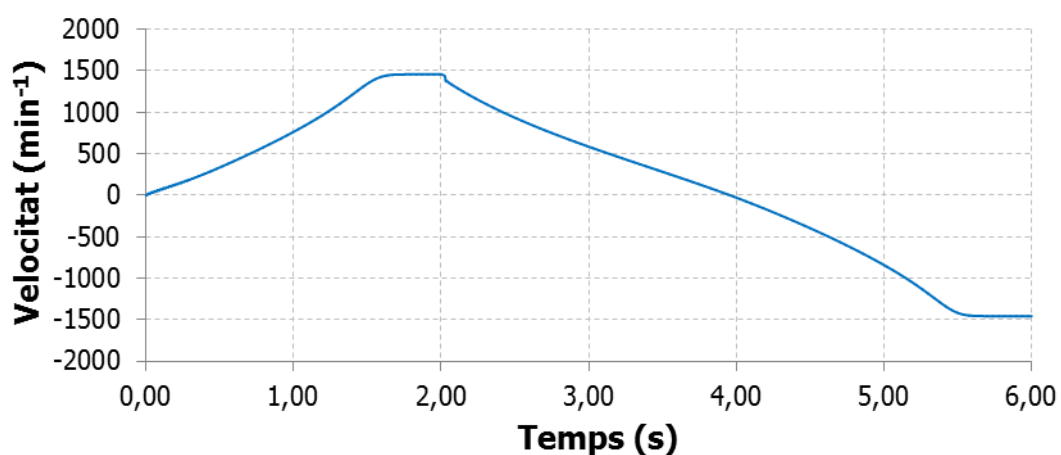


Figura 249. Velocitat en la simulació 47

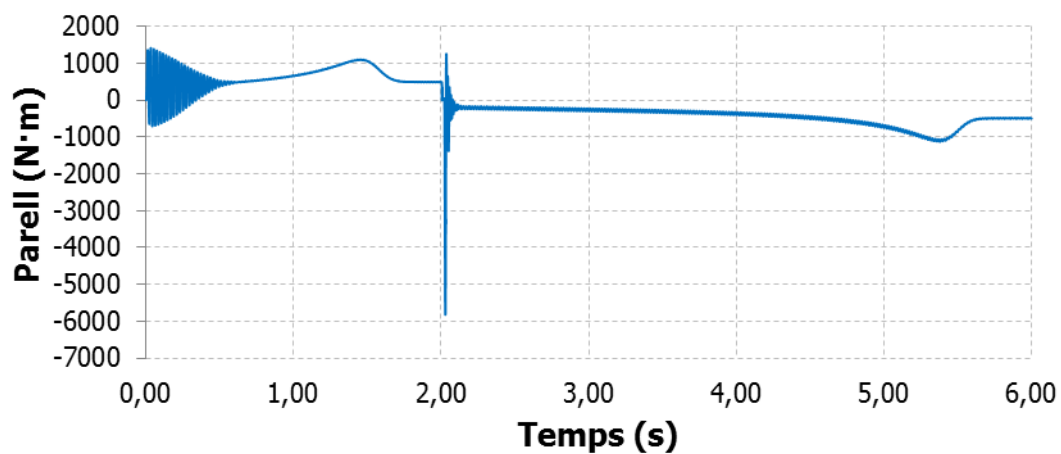


Figura 250. Parell en la simulació 47

3.4.1.49 **Simulació 48**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
2.00573	2.0906	2.01239	2.02809

Taula 210. Temps d'actuació en la simulació 48

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
350.4	200.4	-243.8	350.4	9.34

Taula 211. Estudi del corrent en la simulació 48

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
1457.3	1438.1	19.16	0.0132

Taula 212. Estudi de la velocitat en la simulació 48

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
-3002	6.10

Taula 213. Estudi del parell en la simulació 48

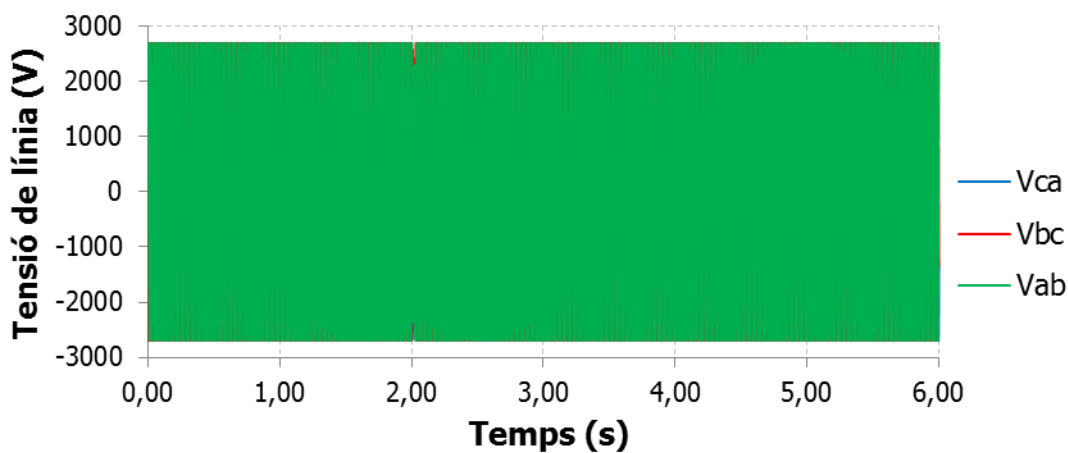


Figura 251. Tensió en la simulació 48

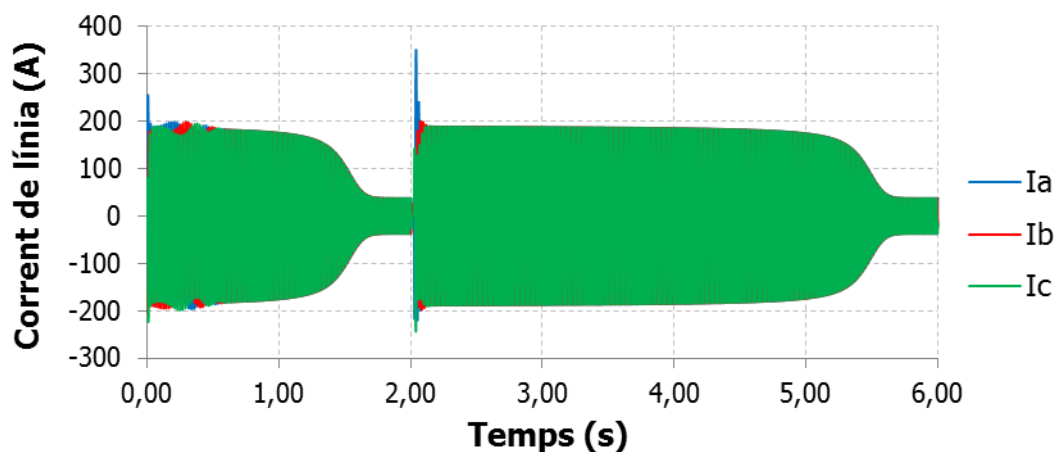


Figura 252. Corrent en la simulació 48

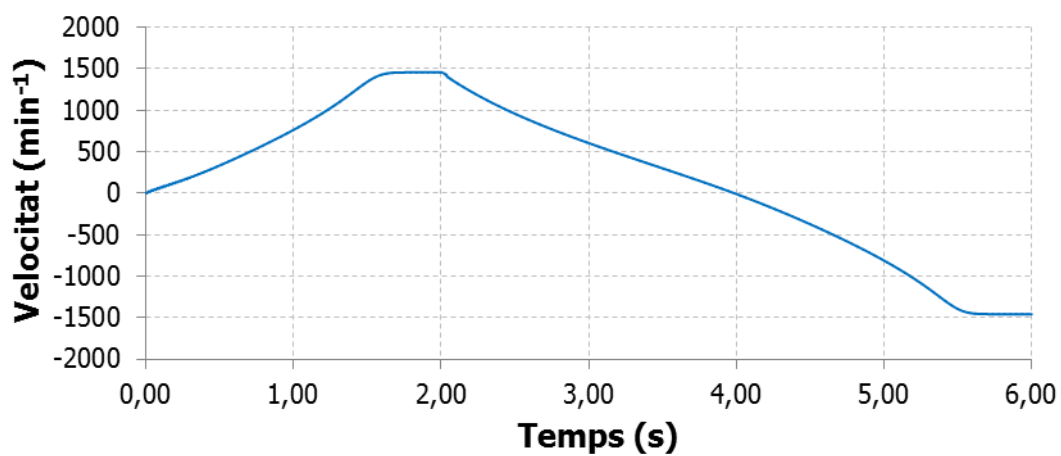


Figura 253. Velocitat en la simulació 48

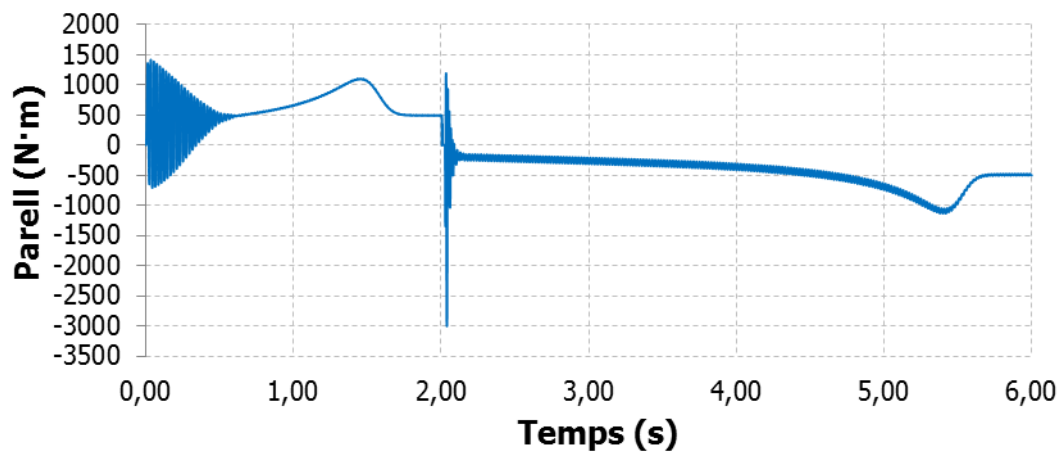


Figura 254. Parell en la simulació 48

3.4.1.50 **Simulació 49**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00623	2.00956	2.01289	2.02279

Taula 214. Temps d'actuació en la simulació 49

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-496.7	-205.7	346.8	496.7	13.24

Taula 215. Estudi del corrent en la simulació 49

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1442.2	15.11	0.0104

Taula 216. Estudi de la velocitat en la simulació 49

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-5714	11.61

Taula 217. Estudi del parell en la simulació 49

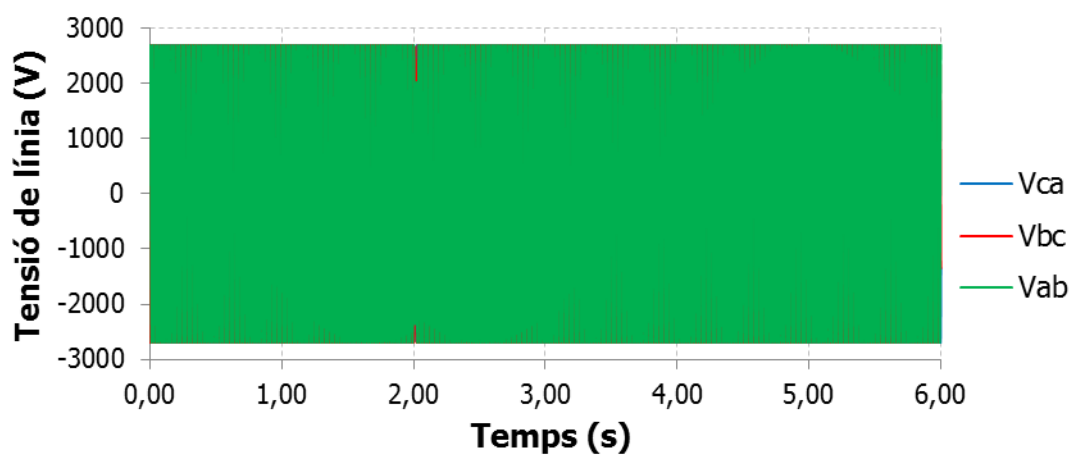


Figura 255. Tensió en la simulació 49

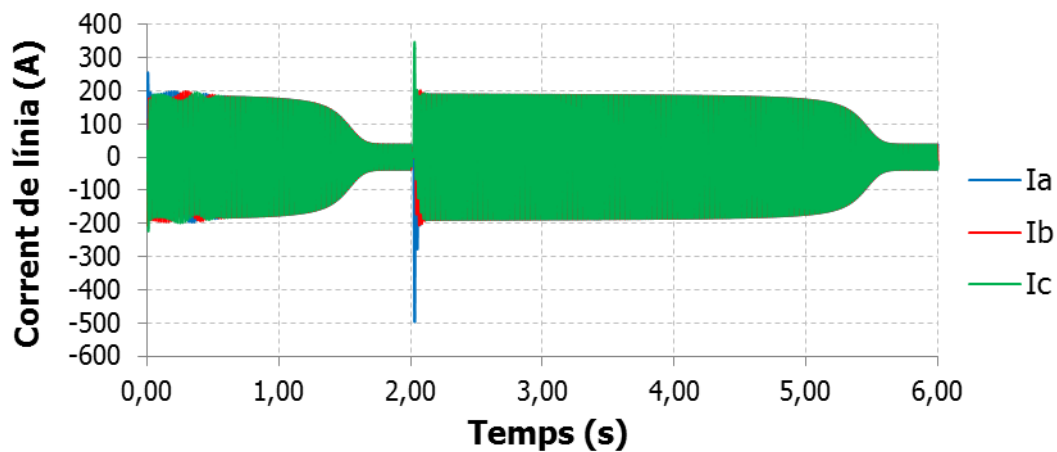


Figura 256. Corrent en la simulació 49

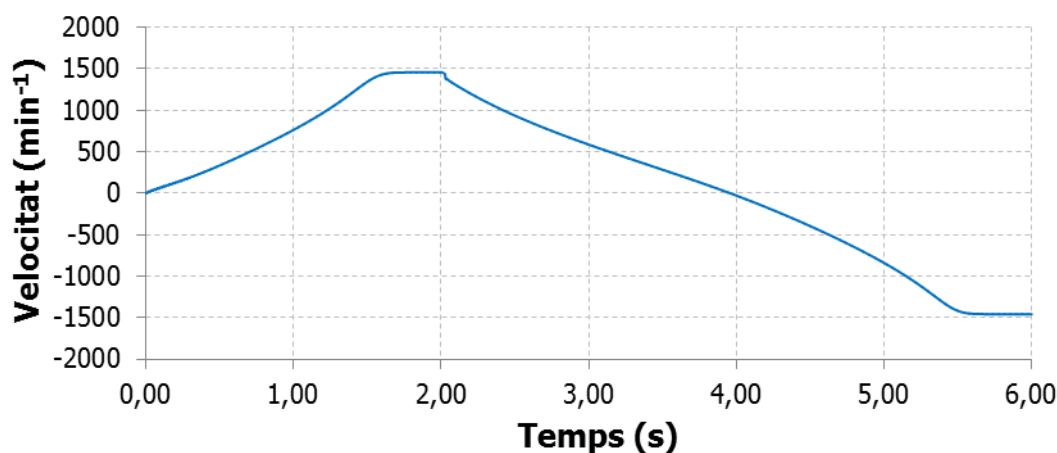


Figura 257. Velocitat en la simulació 49

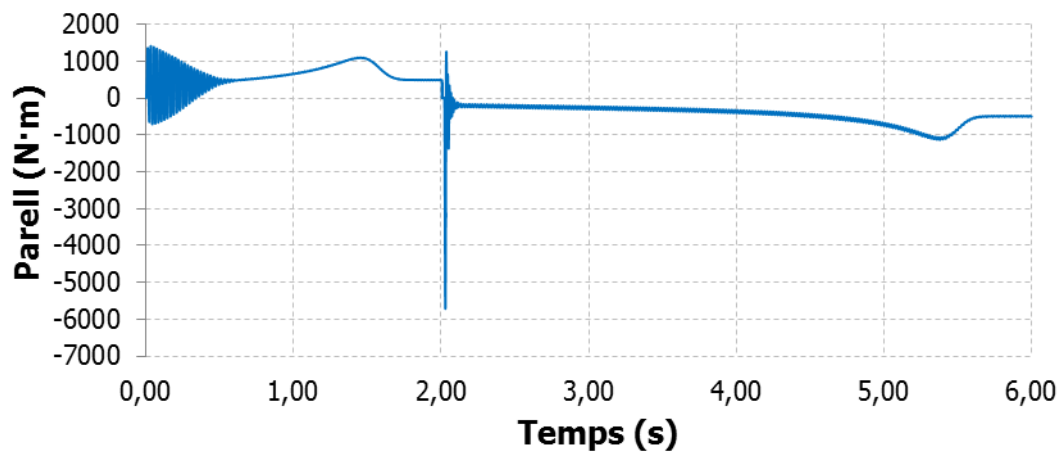


Figura 258. Parell en la simulació 49

3.4.1.51 **Simulació 50**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00623	2.00956	2.01289	2.02859

Taula 218. Temps d'actuació en la simulació 50

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
378.4	201.4	-263.9	378.4	10.08

Taula 219. Estudi del corrent en la simulació 50

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1437.9	19.38	0.0133

Taula 220. Estudi de la velocitat en la simulació 50

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-3504	7.12

Taula 221. Estudi del parell en la simulació 50

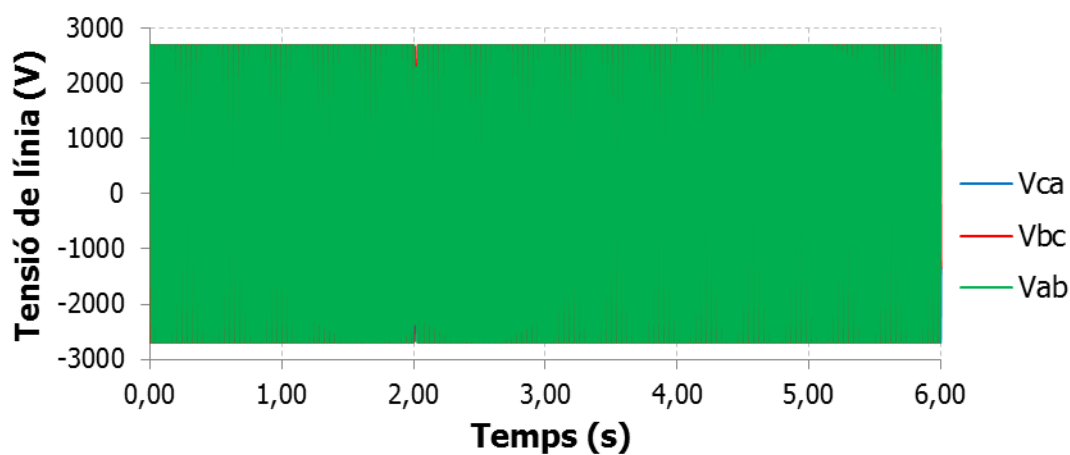


Figura 259. Tensió en la simulació 50

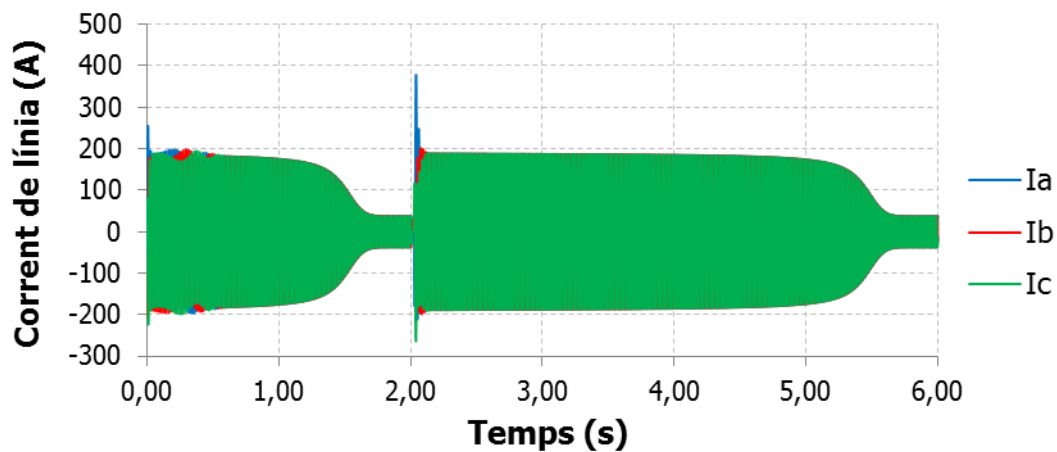


Figura 260. Corrent en la simulació 50

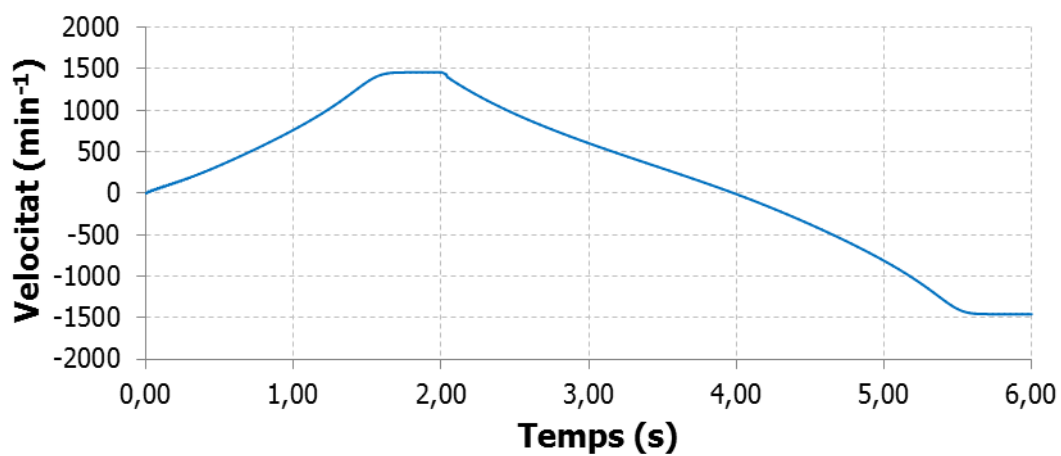


Figura 261. Velocitat en la simulació 50

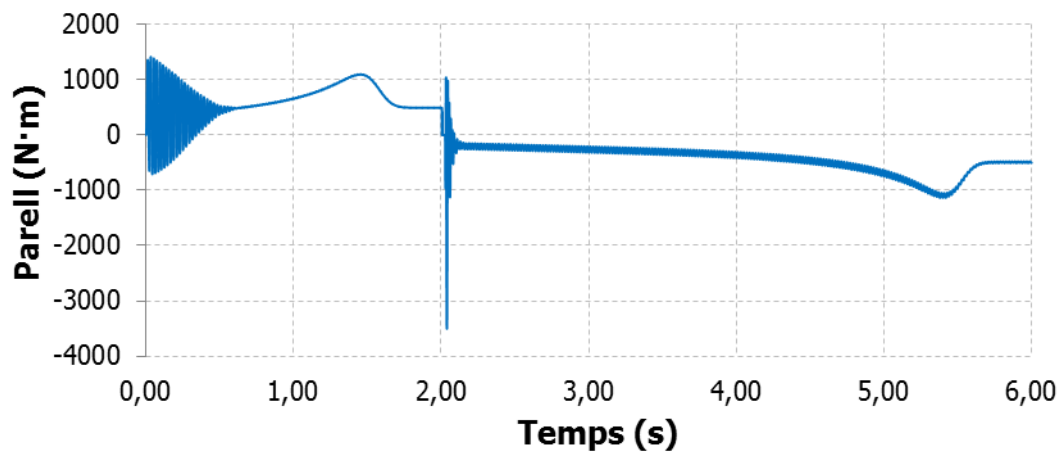


Figura 262. Parell en la simulació 50

3.4.1.52 *Simulació 51*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00673	2.01006	2.01339	2.02329

Taula 222. Temps d'actuació en la simulació 51

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-488.0	-204.2	341.0	488.0	13.00

Taula 223. Estudi del corrent en la simulació 51

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1442.4	14.84	0.0102

Taula 224. Estudi de la velocitat en la simulació 51

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-5501	11.18

Taula 225. Estudi del parell en la simulació 51

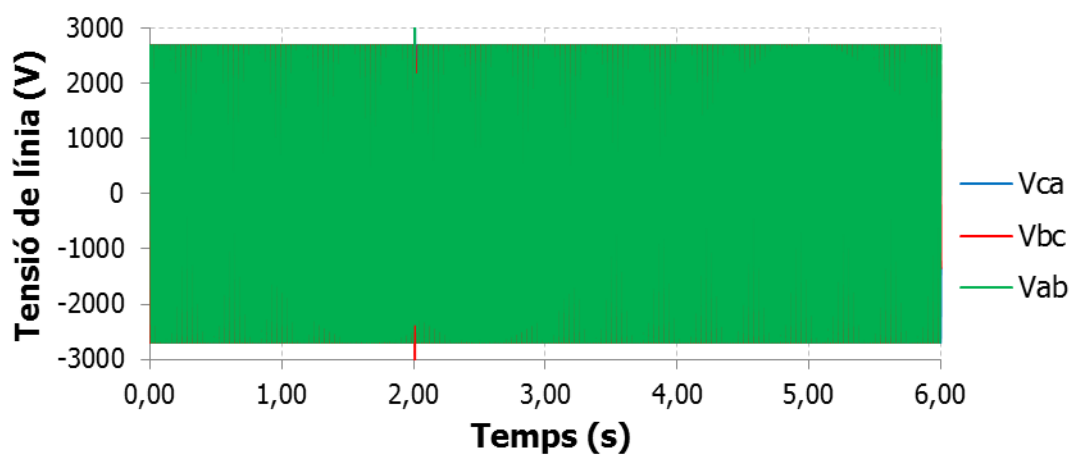


Figura 263. Tensió en la simulació 51

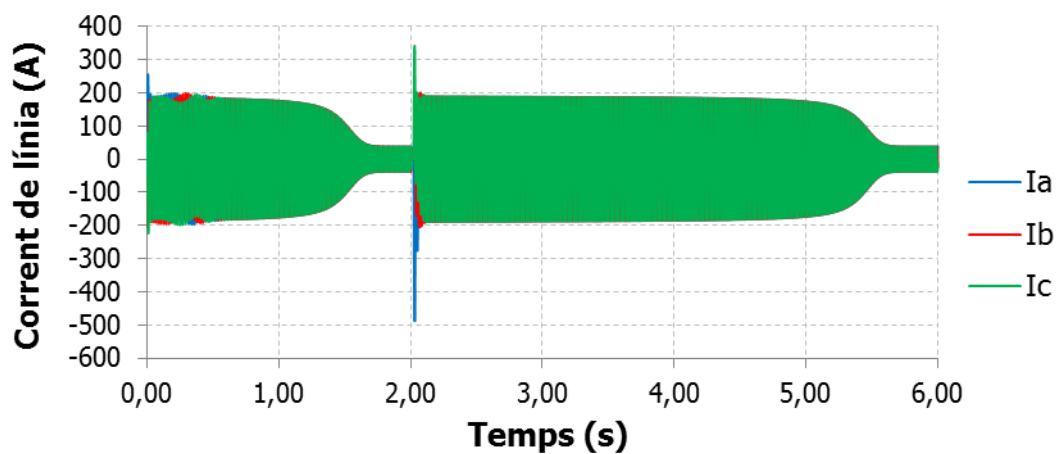


Figura 264. Corrent en la simulació 51

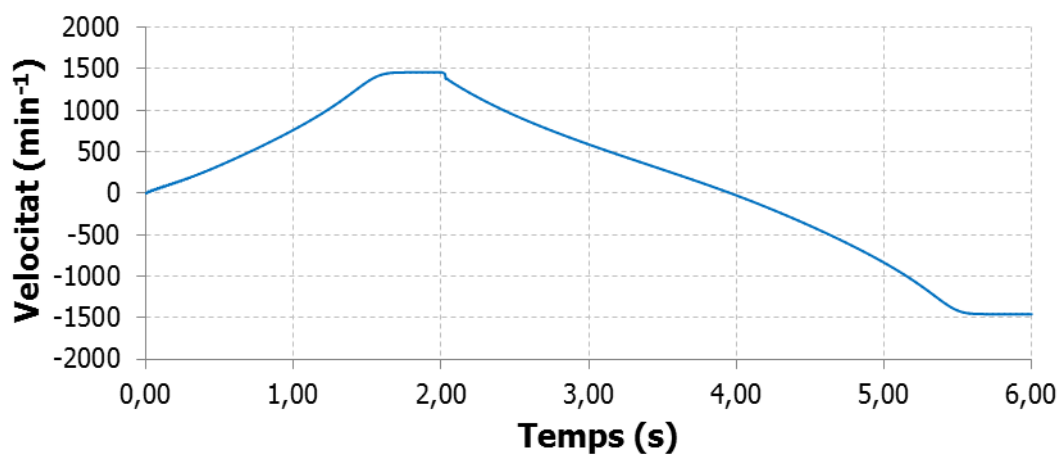


Figura 265. Velocitat en la simulació 51

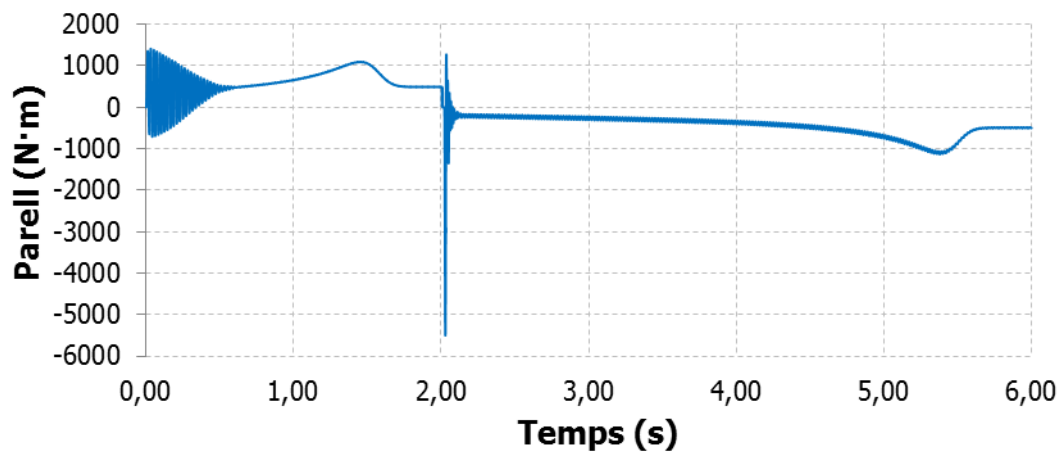


Figura 266. Parell en la simulació 51

3.4.1.53 **Simulació 52**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
2.00673	2.01006	2.01339	2.02909

Taula 226. Temps d'actuació en la simulació 52

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
405.3	202.7	-282.2	405.3	10.80

Taula 227. Estudi del corrent en la simulació 52

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
1457.3	1437.9	19.41	0.0133

Taula 228. Estudi de la velocitat en la simulació 52

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
-4017	8.16

Taula 229. Estudi del parell en la simulació 52

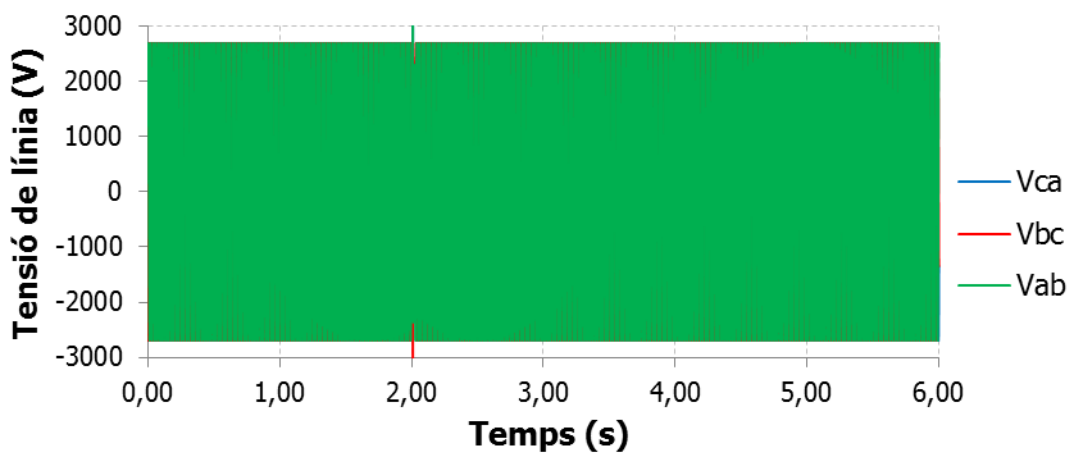


Figura 267. Tensió en la simulació 52

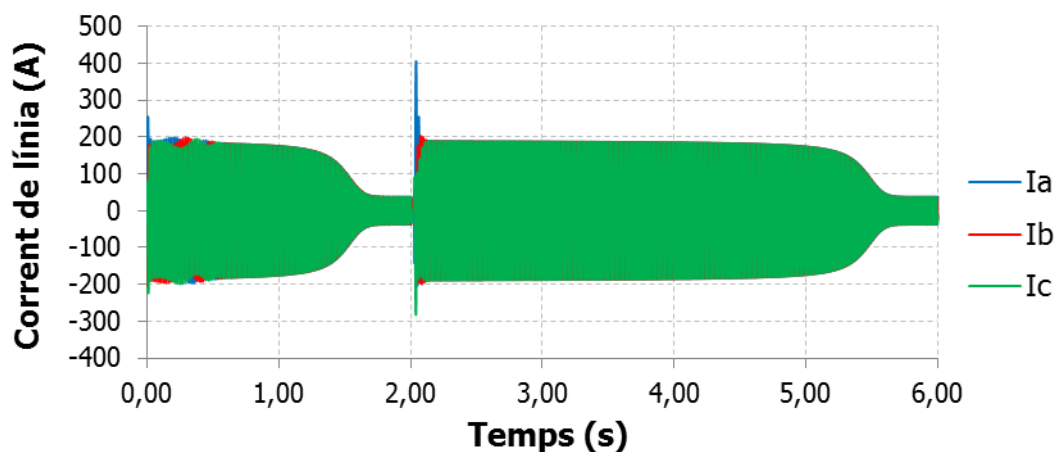


Figura 268. Corrent en la simulació 52

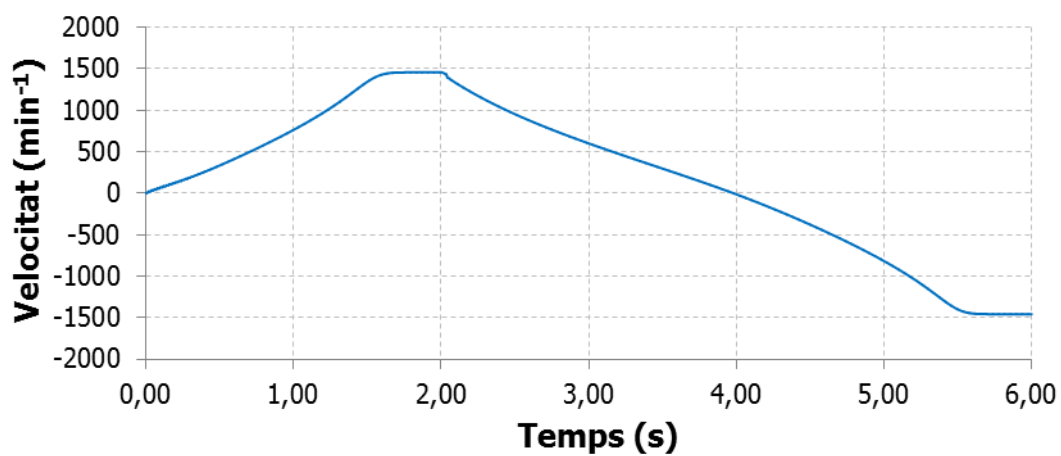


Figura 269. Velocitat en la simulació 52

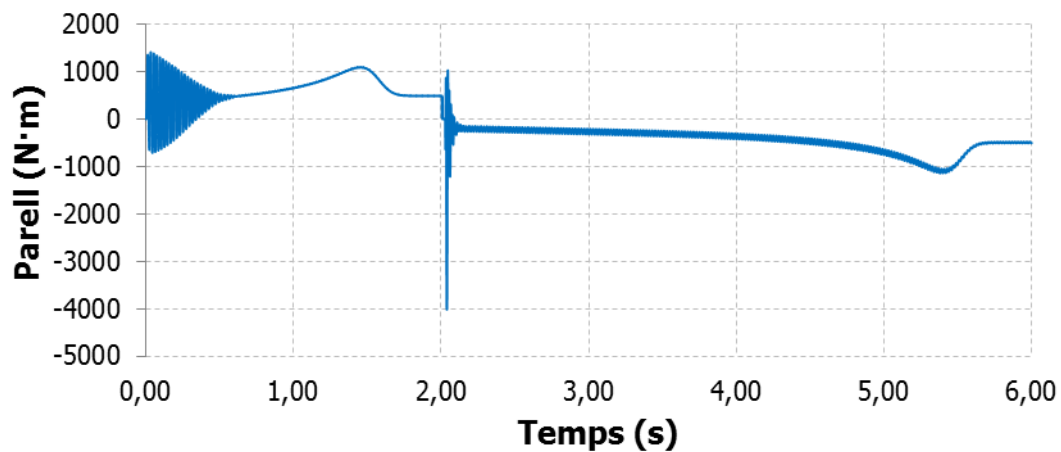


Figura 270. Parell en la simulació 52

3.4.1.54 **Simulació 53**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00723	2.01056	2.01389	2.02379

Taula 230. Temps d'actuació en la simulació 53

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-474.1	-202.3	332.0	474.1	12.63

Taula 231. Estudi del corrent en la simulació 53

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1443.2	14.07	0.0097

Taula 232. Estudi de la velocitat en la simulació 53

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-5199	10.56

Taula 233. Estudi del parell en la simulació 53

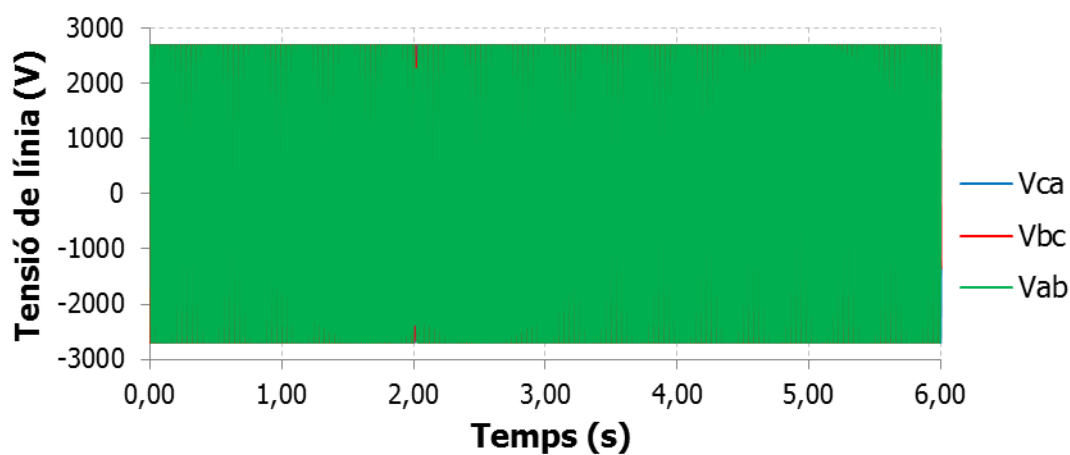


Figura 271. Tensió en la simulació 53

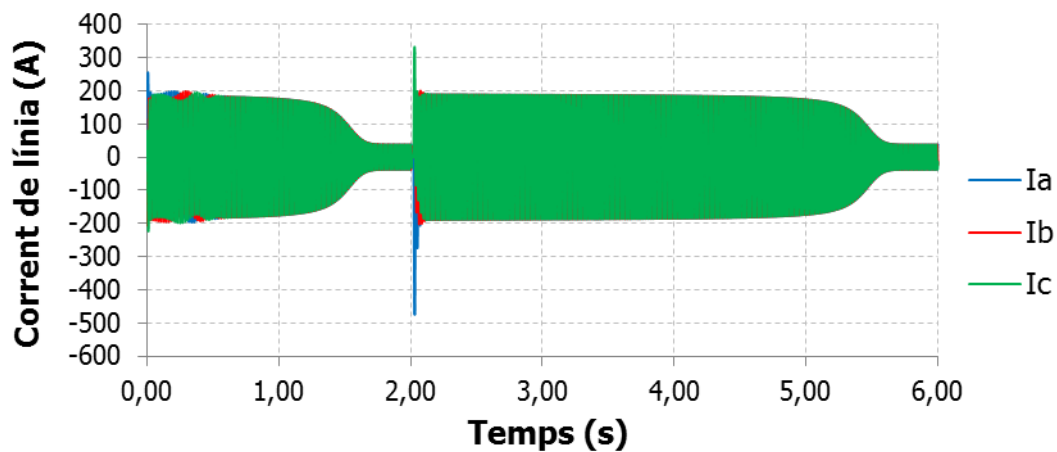


Figura 272. Corrent en la simulació 53

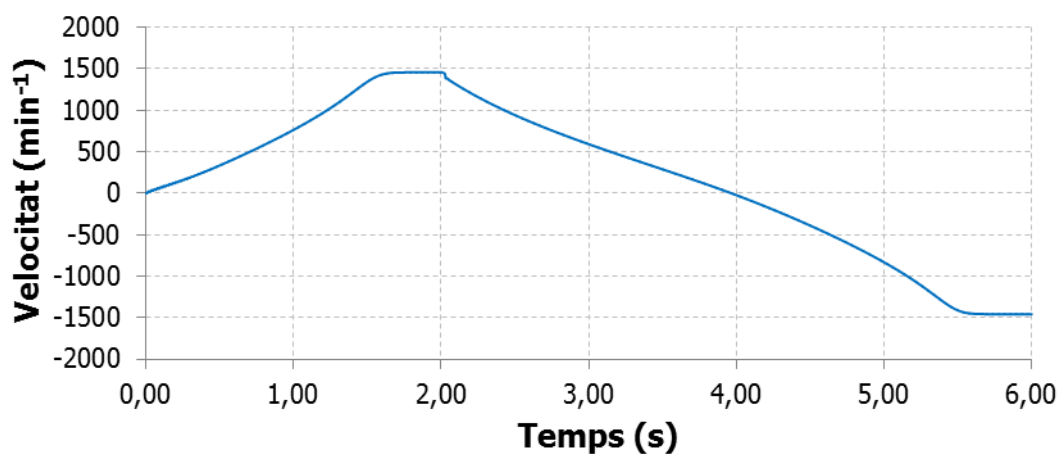


Figura 273. Velocitat en la simulació 53

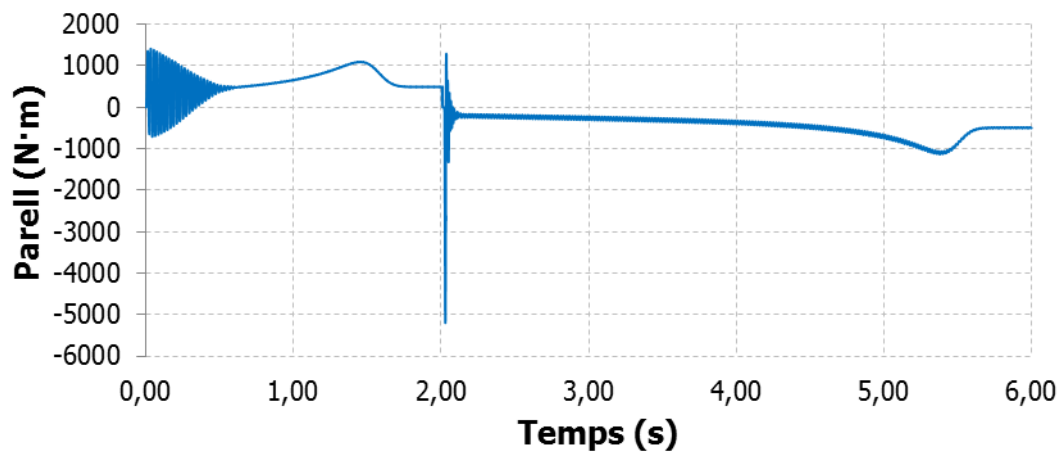


Figura 274. Parell en la simulació 53

3.4.1.55 *Simulació 54*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00723	2.01056	2.01389	2.02959

Taula 234. Temps d'actuació en la simulació 54

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
430.2	204.1	-298.3	430.2	11.46

Taula 235. Estudi del corrent en la simulació 54

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1438.4	18.86	0.0130

Taula 236. Estudi de la velocitat en la simulació 54

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-4515	9.17

Taula 237. Estudi del parell en la simulació 54

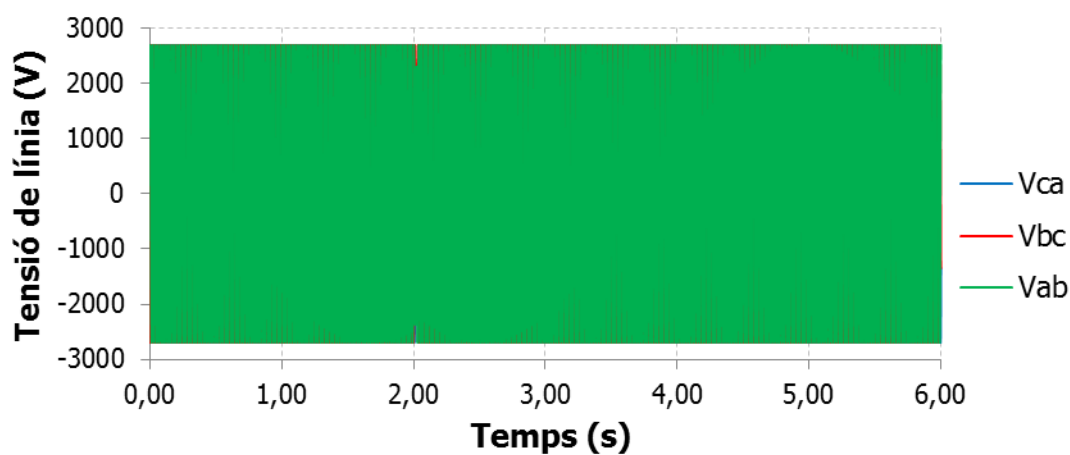


Figura 275. Tensió en la simulació 54

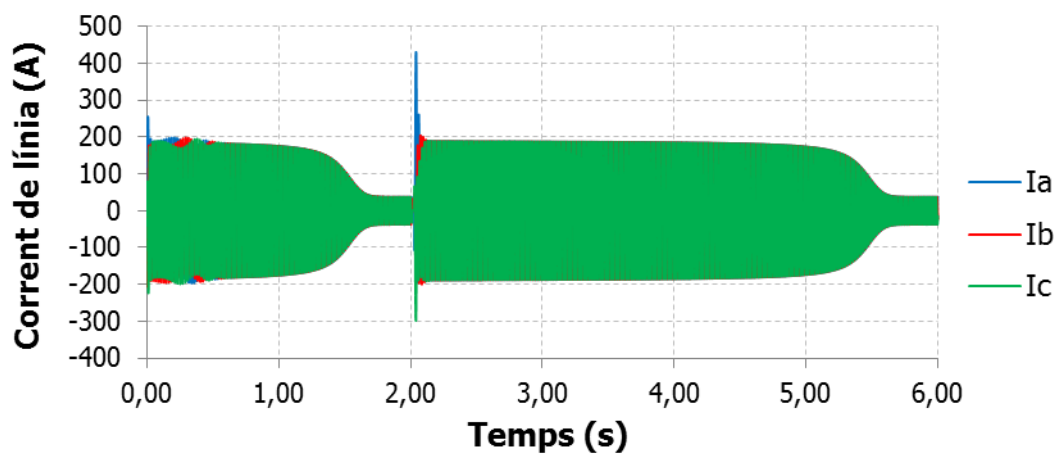


Figura 276. Corrent en la simulació 54

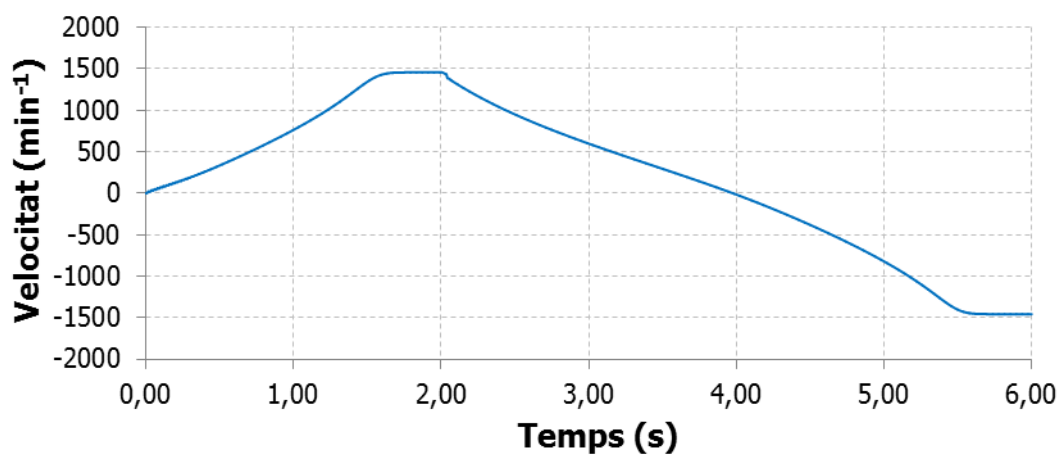


Figura 277. Velocitat en la simulació 54

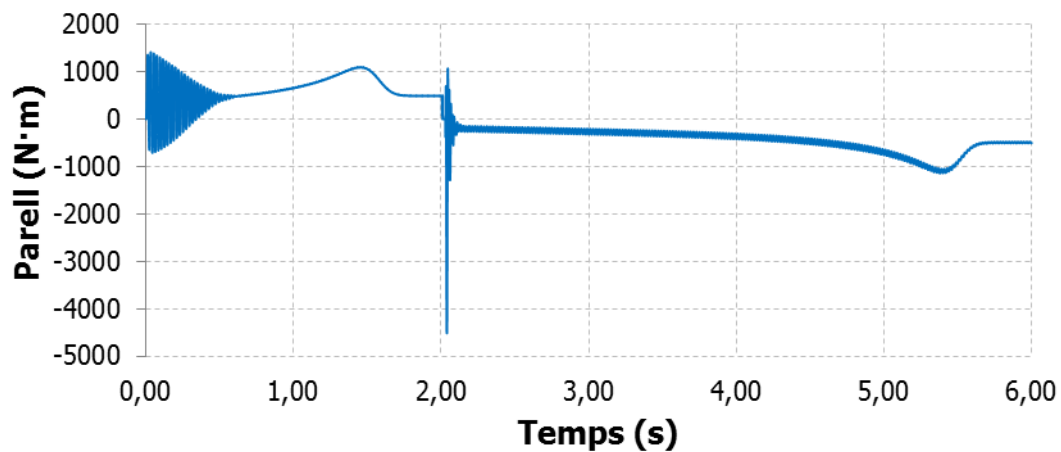


Figura 278. Parell en la simulació 54

3.4.1.56 *Simulació 55*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00773	2.01106	2.01439	2.02429

Taula 238. Temps d'actuació en la simulació 55

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-455.4	-200.1	319.8	455.4	12.14

Taula 239. Estudi del corrent en la simulació 55

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1443.1	14.17	0.0097

Taula 240. Estudi de la velocitat en la simulació 55

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-4826	9.80

Taula 241. Estudi del parell en la simulació 55

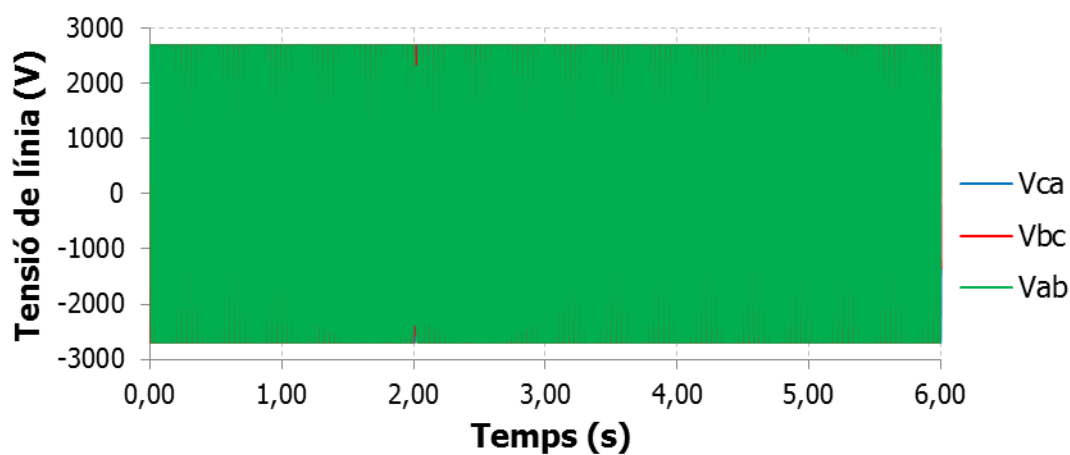


Figura 279. Tensió en la simulació 55

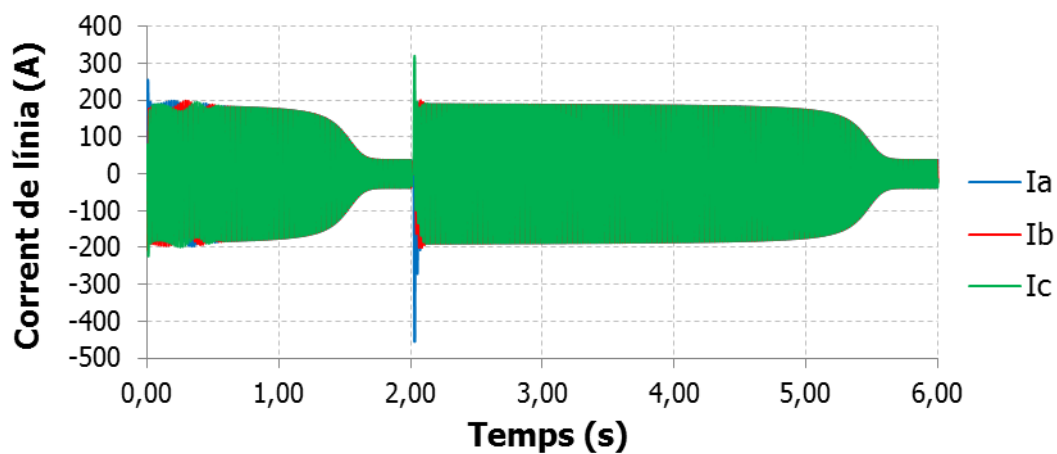


Figura 280. Corrent en la simulació 55

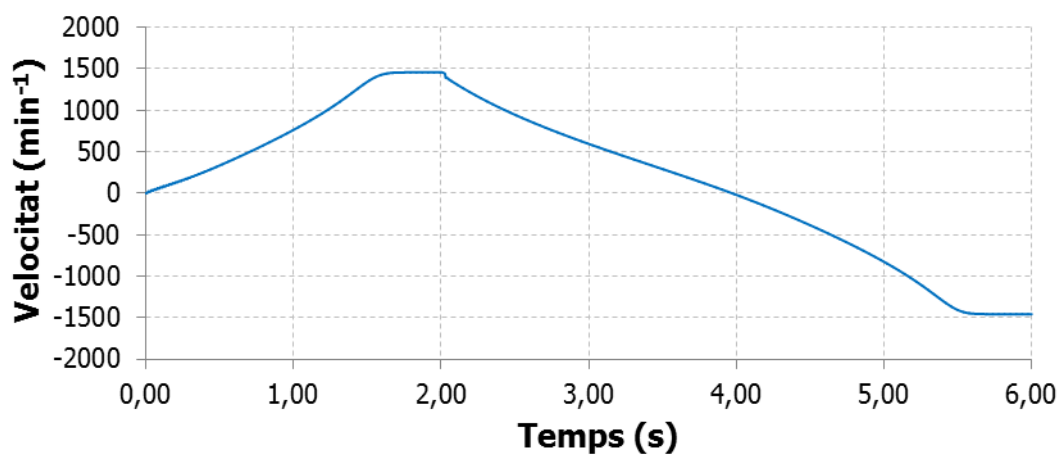


Figura 281. Velocitat en la simulació 55

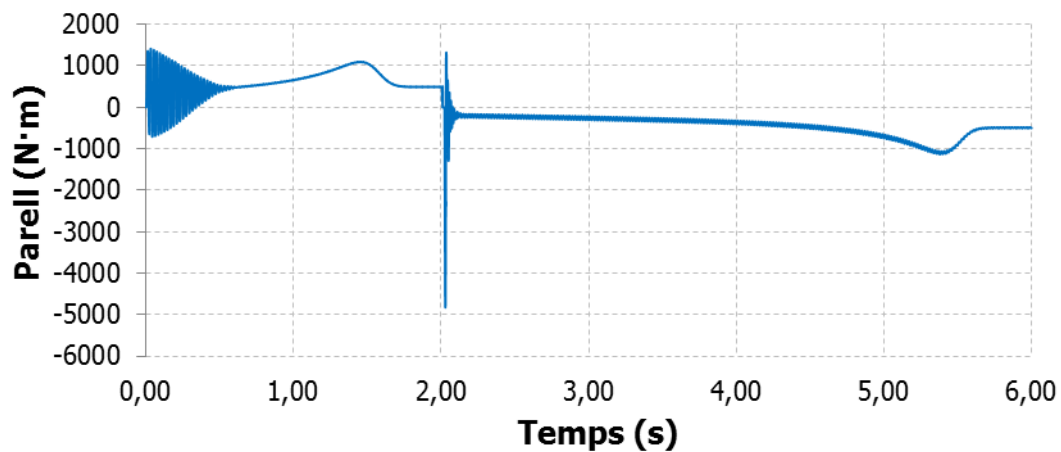


Figura 282. Parell en la simulació 55

3.4.1.57 **Simulació 56**

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00773	2.01106	2.01439	2.03009

Taula 242. Temps d'actuació en la simulació 56

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
452.4	205.5	-311.7	452.4	12.05

Taula 243. Estudi del corrent en la simulació 56

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1437.6	19.69	0.0135

Taula 244. Estudi de la velocitat en la simulació 56

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-4973	10.10

Taula 245. Estudi del parell en la simulació 56

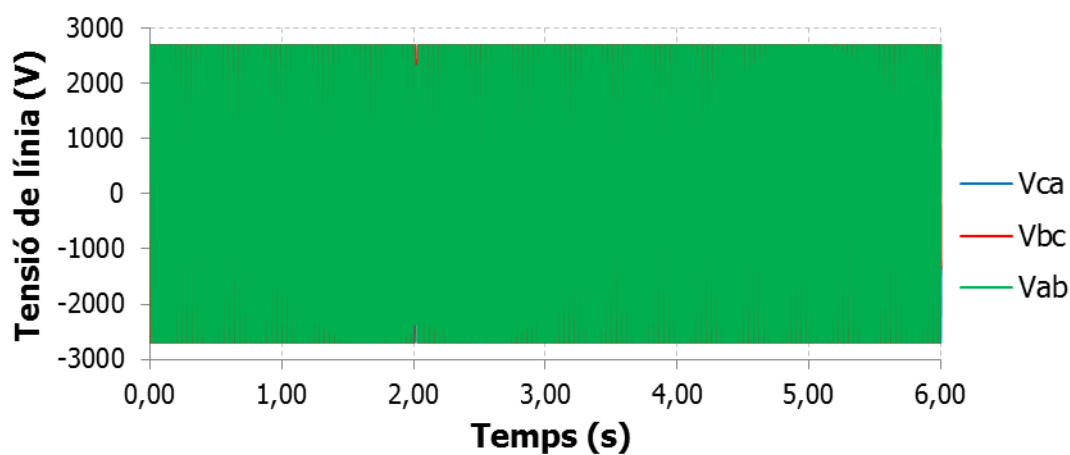


Figura 283. Tensió en la simulació 56

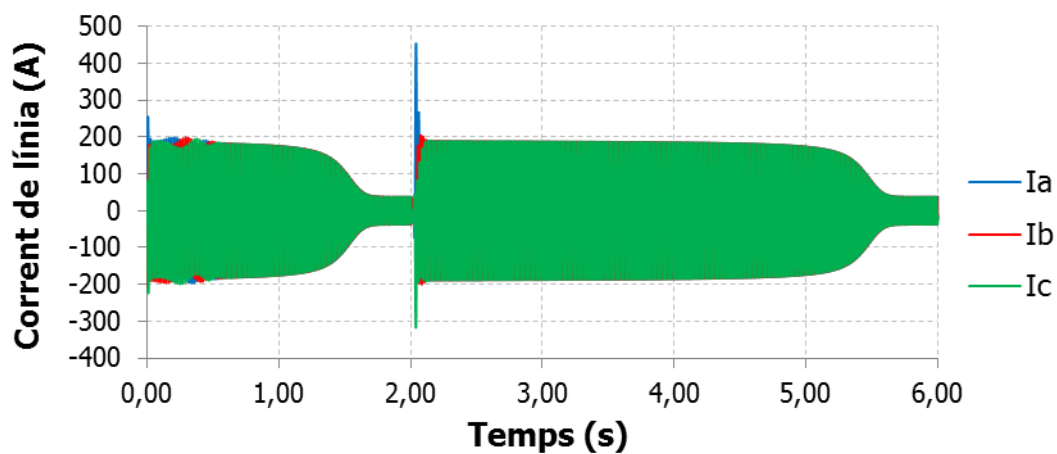


Figura 284. Corrent en la simulació 56

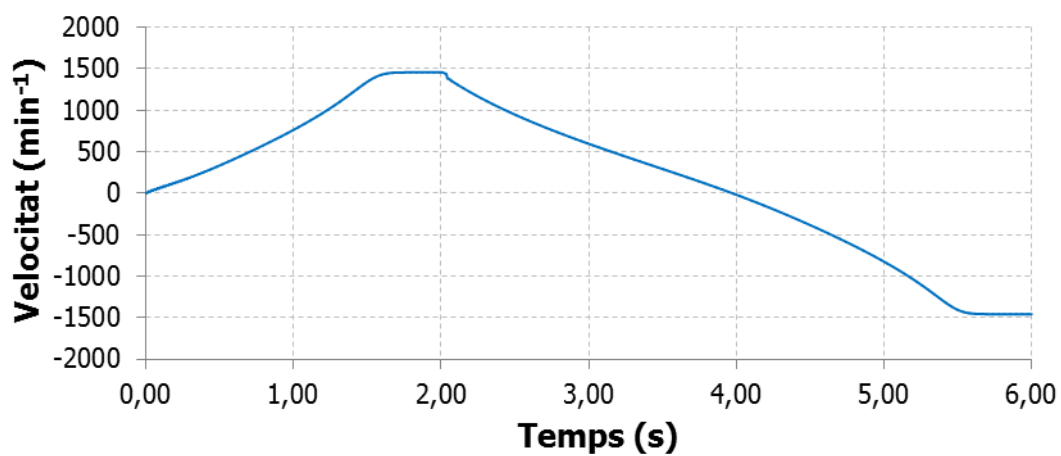


Figura 285. Velocitat en la simulació 56

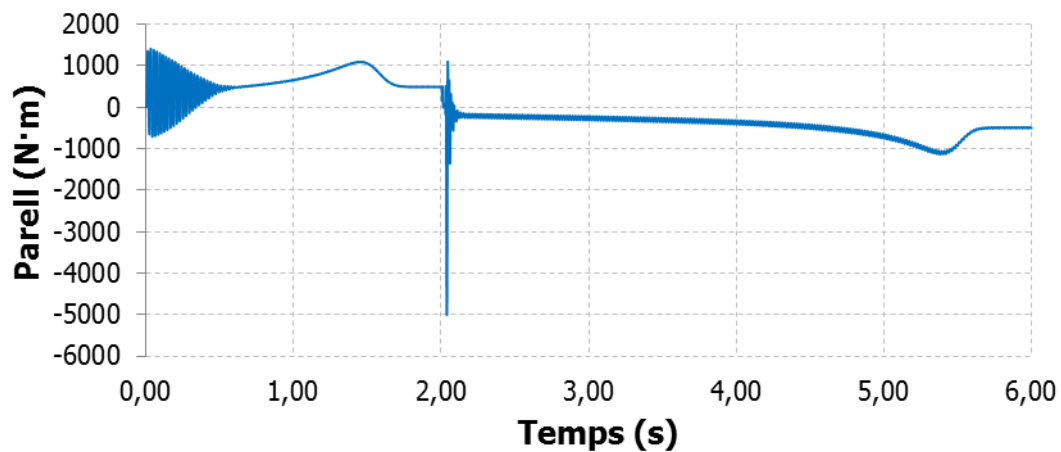


Figura 286. Parell en la simulació 56

3.4.1.58 *Simulació 57*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00823	2.001156	2.01489	2.02479

Taula 246. Temps d'actuació en la simulació 57

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-432.2	-199.4	304.5	432.2	11.52

Taula 247. Estudi del corrent en la simulació 57

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1444.5	12.74	0.0088

Taula 248. Estudi de la velocitat en la simulació 57

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-4401	8.94

Taula 249. Estudi del parell en la simulació 57

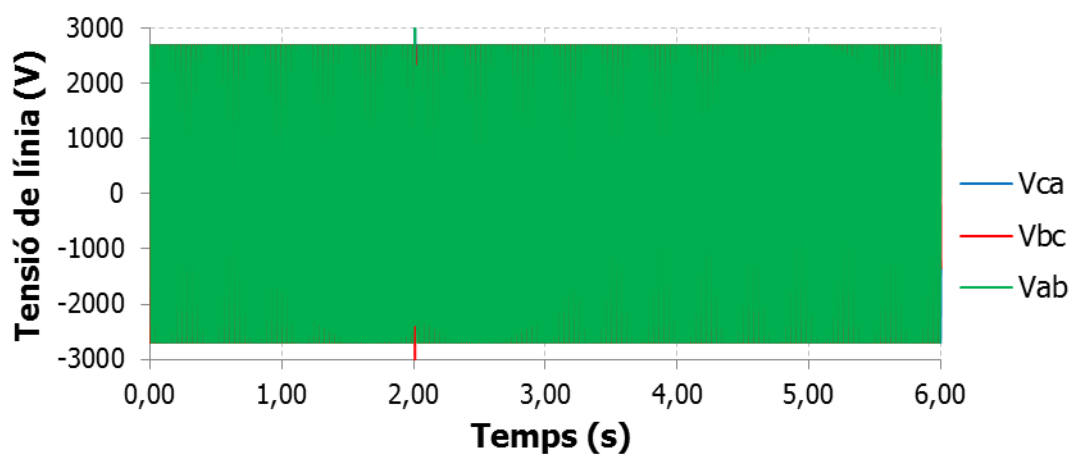


Figura 287. Tensió en la simulació 57

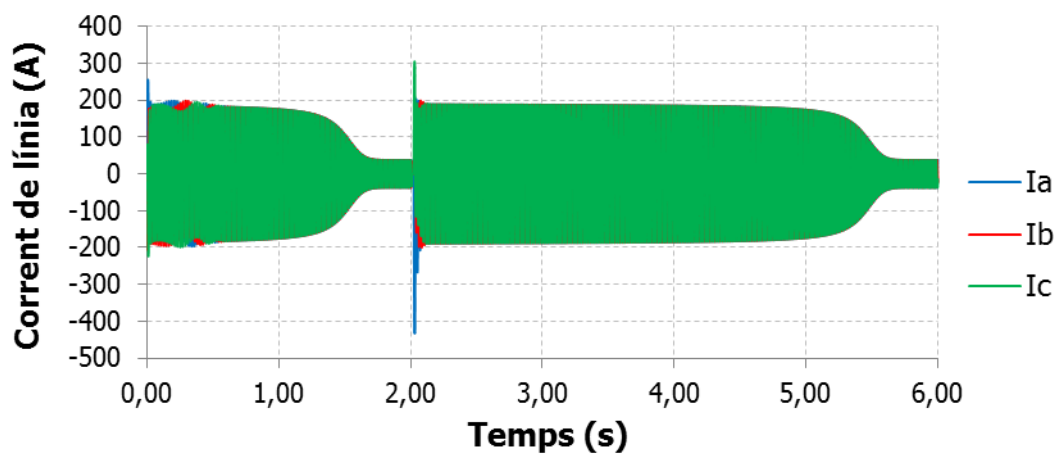


Figura 288. Corrent en la simulació 57

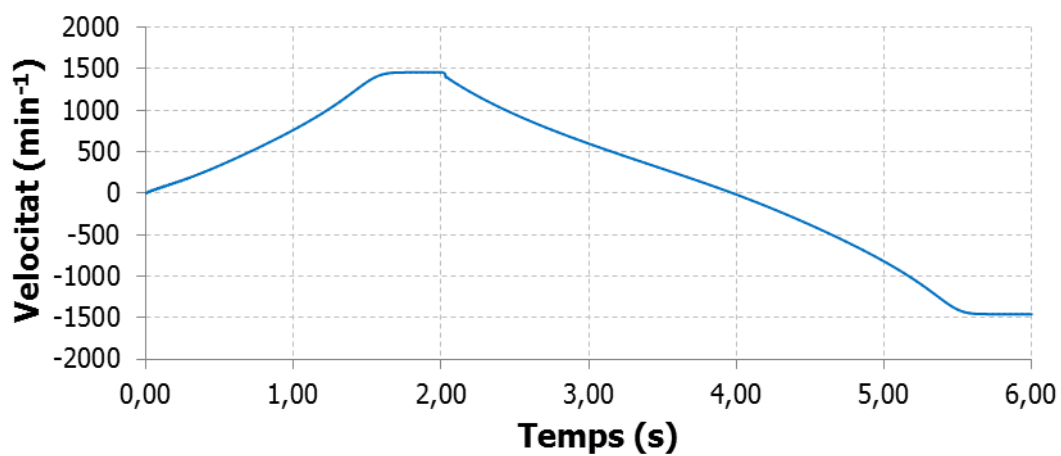


Figura 289. Velocitat en la simulació 57

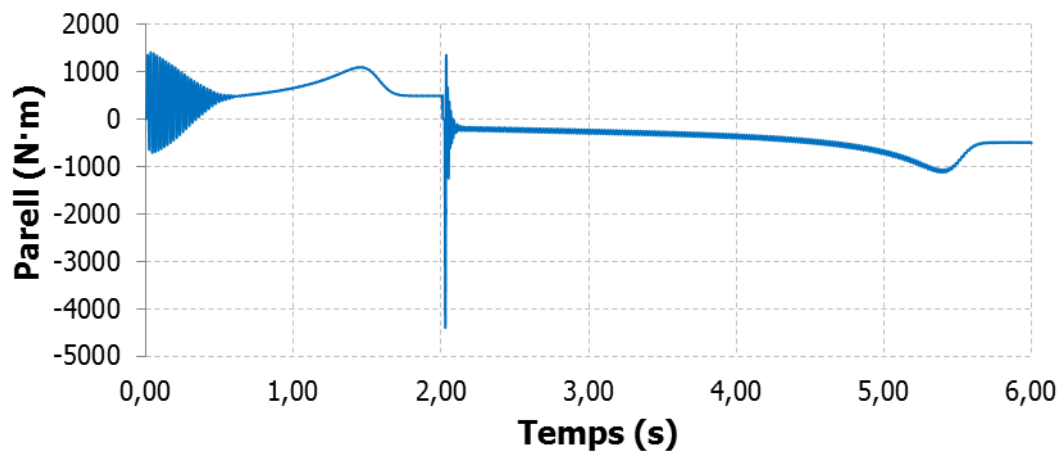


Figura 290. Parell en la simulació 57

3.4.1.59 **Simulació 58**

Temps d'actuació			
t ₁ KM2 [s]	t ₂ KM2 [s]	t ₃ KM2 [s]	t ₁₂₃ KM3 [s]
2.00823	2.01156	2.01489	2.03059

Taula 250. Temps d'actuació en la simulació 58

Estudi del corrent				
I _{p1} [A]	I _{p2} [A]	I _{p3} [A]	I _p [A]	I _{p1} [pu]
471.0	206.7	-322.4	471.0	12.55

Taula 251. Estudi del corrent en la simulació 58

Estudi de la velocitat			
N _{A.C.} [min ⁻¹]	N _{D.C.} [min ⁻¹]	ΔN [min ⁻¹]	ΔN [pu]
1457.3	1438.3	18.96	0.0130

Taula 252. Estudi de la velocitat en la simulació 58

Estudi del parell	
T _P [N·m]	T _P [pu]
-5363	10.90

Taula 253. Estudi del parell en la simulació 58

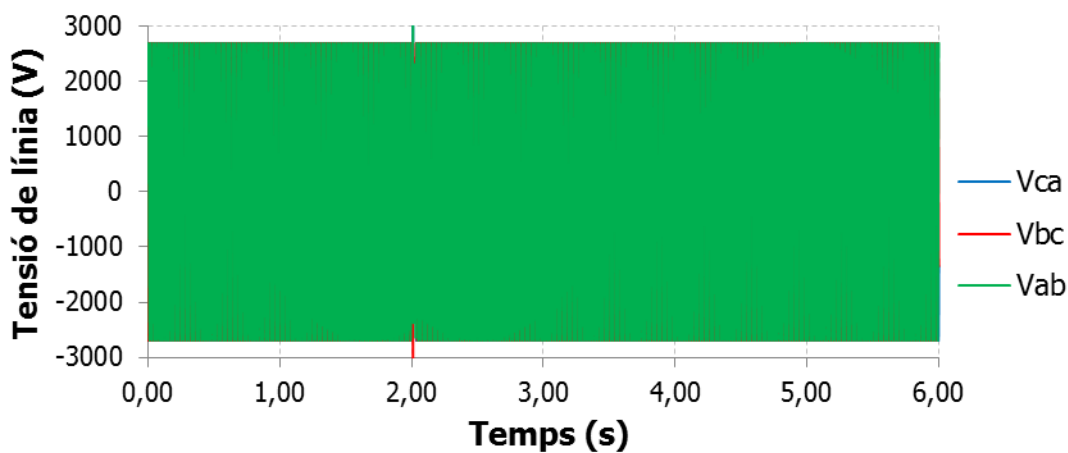


Figura 291. Tensió en la simulació 58

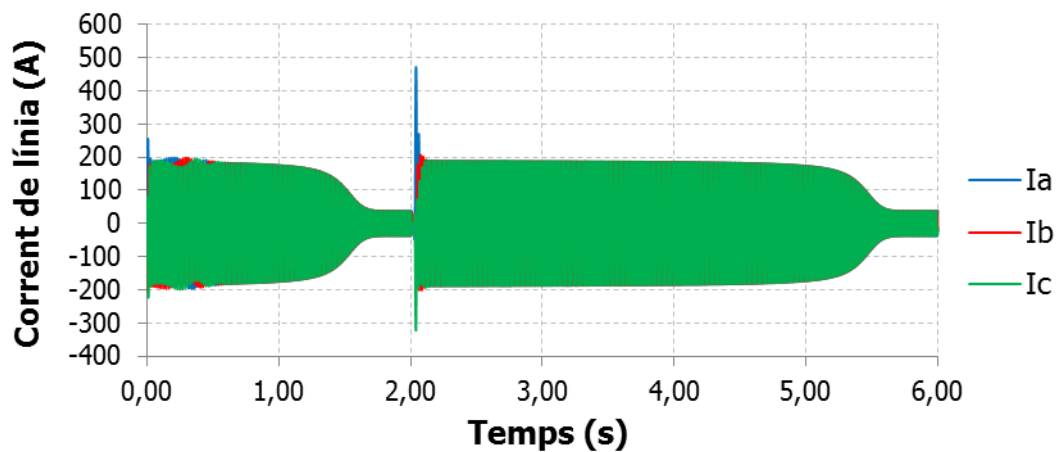


Figura 292. Corrent en la simulació 58

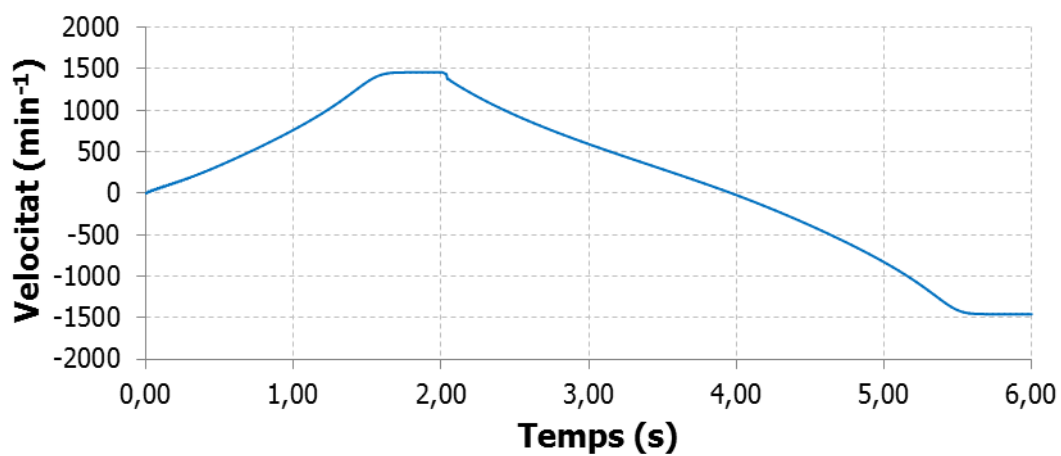


Figura 293. Velocitat en la simulació 58

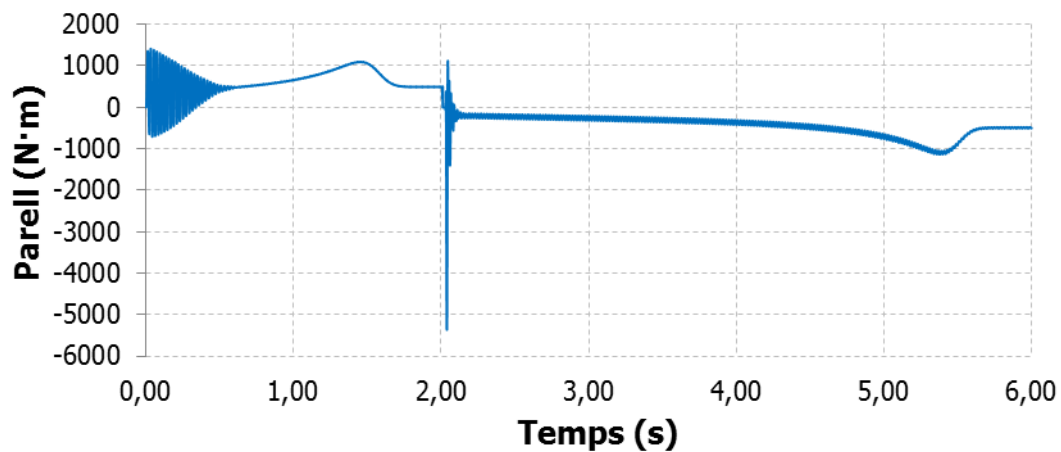


Figura 294. Parell en la simulació 58

3.4.1.60 *Simulació 59*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00883	2.01216	2.01549	2.02539

Taula 254. Temps d'actuació en la simulació 59

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-399.1	-198.5	282.2	399.1	10.64

Taula 255. Estudi del corrent en la simulació 59

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1444.7	12.60	0.0087

Taula 256. Estudi de la velocitat en la simulació 59

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-3846	7.81

Taula 257. Estudi del parell en la simulació 59

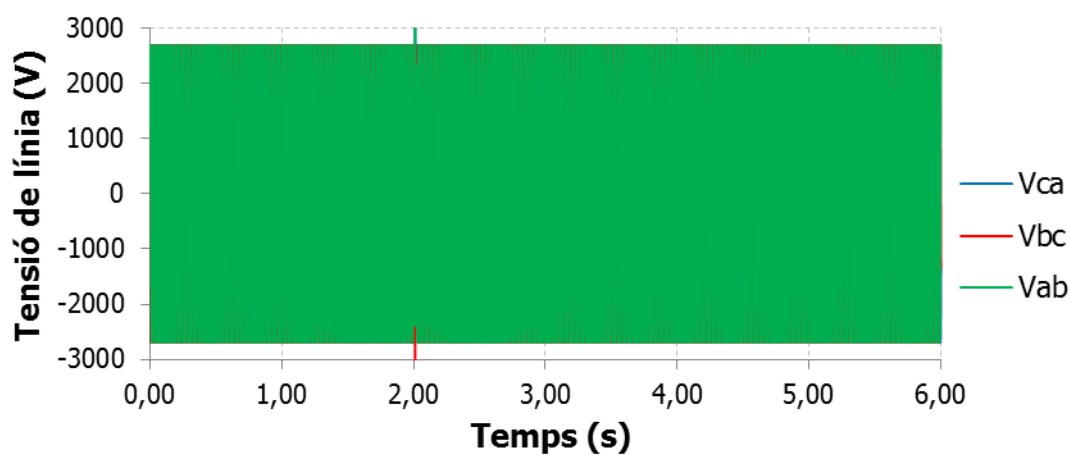


Figura 295. Tensió en la simulació 59

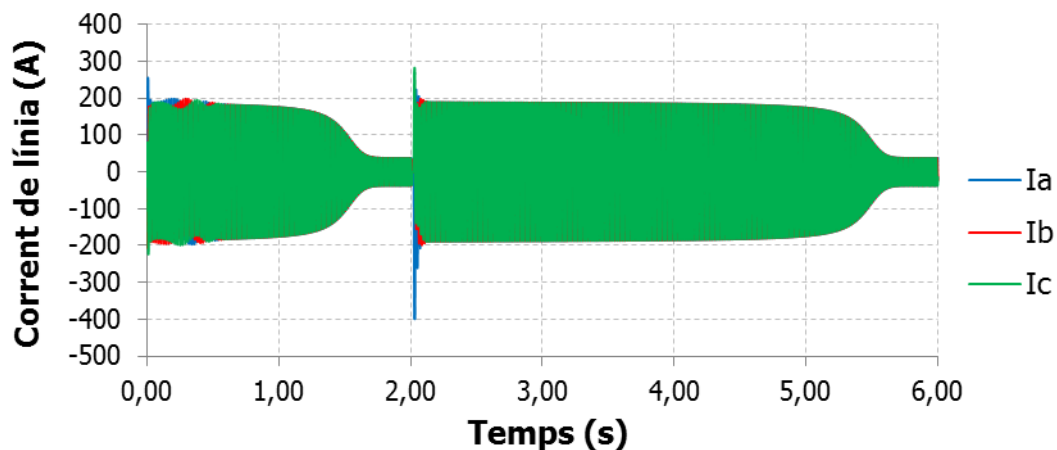


Figura 296. Corrent en la simulació 59

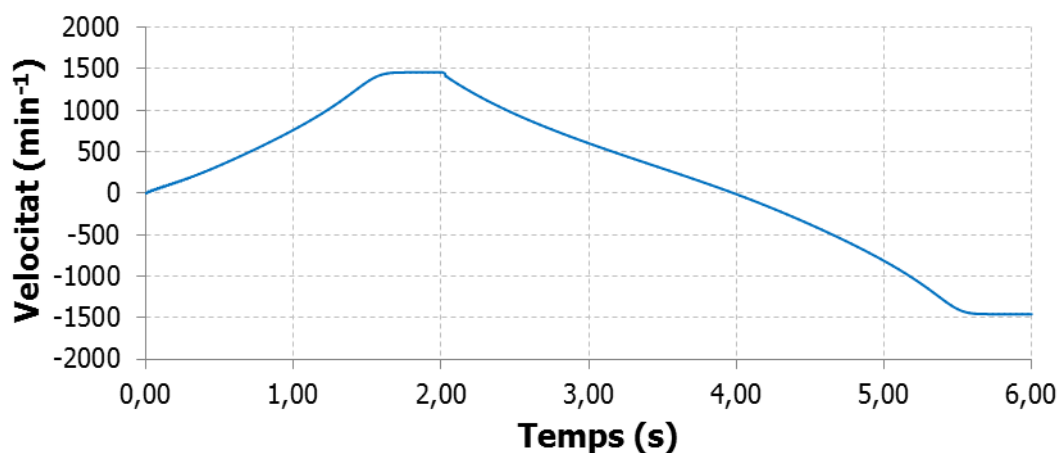


Figura 297. Velocitat en la simulació 59

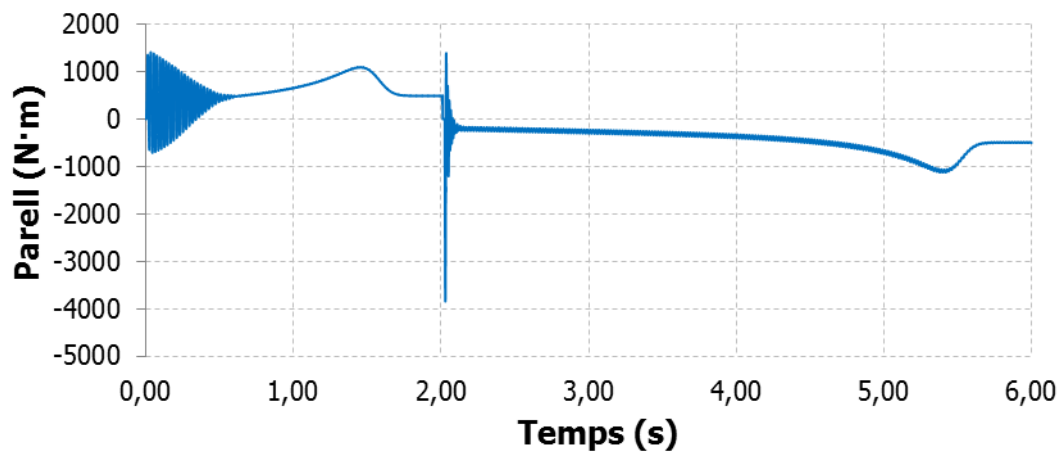


Figura 298. Parell en la simulació 59

3.4.1.61 *Simulació 60*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.008833	2.01216	2.01549	2.03119

Taula 258. Temps d'actuació en la simulació 60

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
487.8	207.8	-331.3	487.8	13.00

Taula 259. Estudi del corrent en la simulació 60

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
145703	1438.6	18.71	0.0129

Taula 260. Estudi de la velocitat en la simulació 60

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-5710	11.60

Taula 261. Estudi del parell en la simulació 60

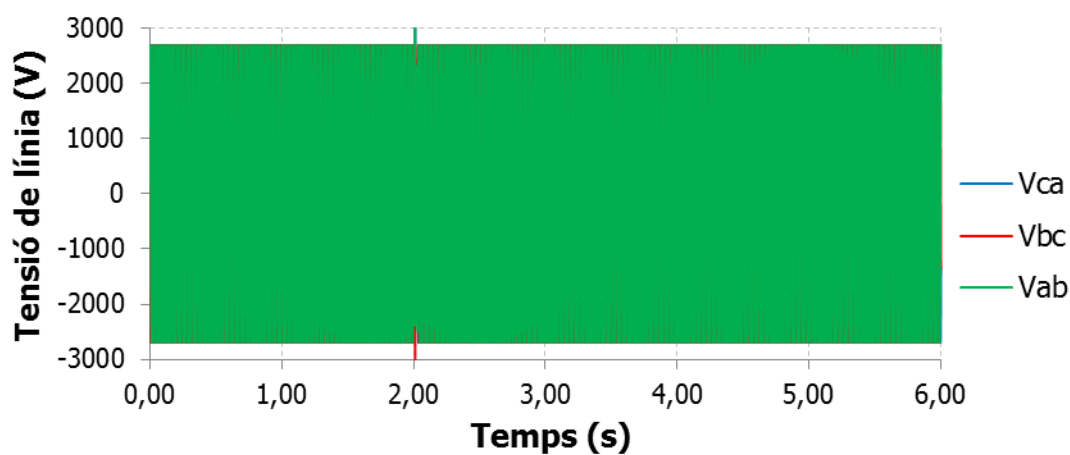


Figura 299. Tensió en la simulació 60

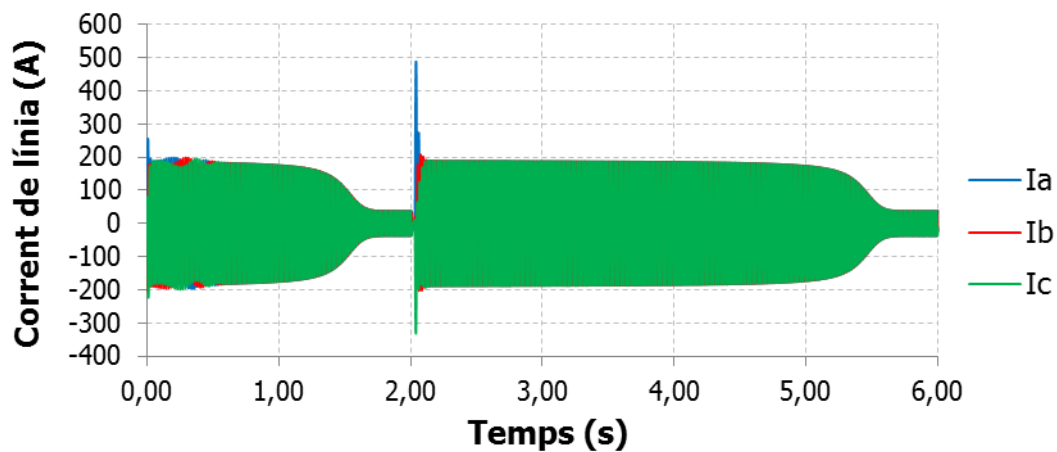


Figura 300. Corrent en la simulació 60

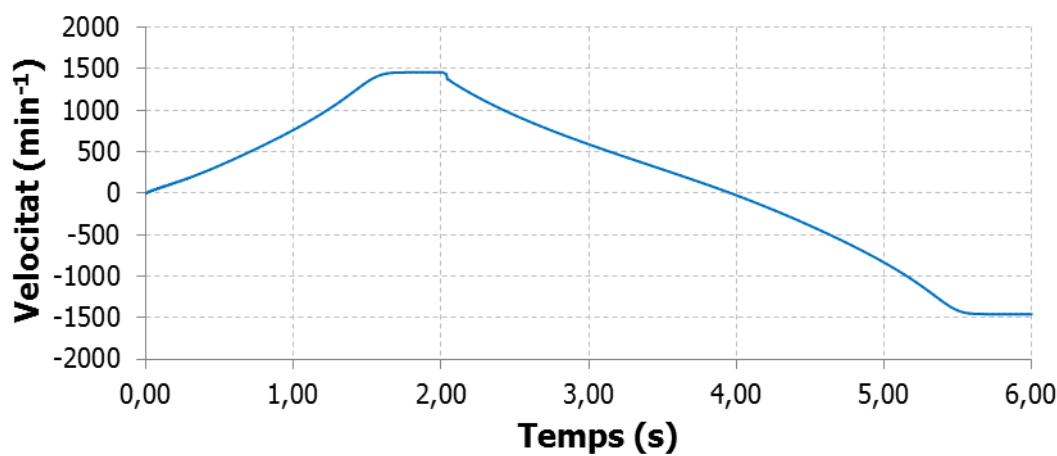


Figura 301. Velocitat en la simulació 60

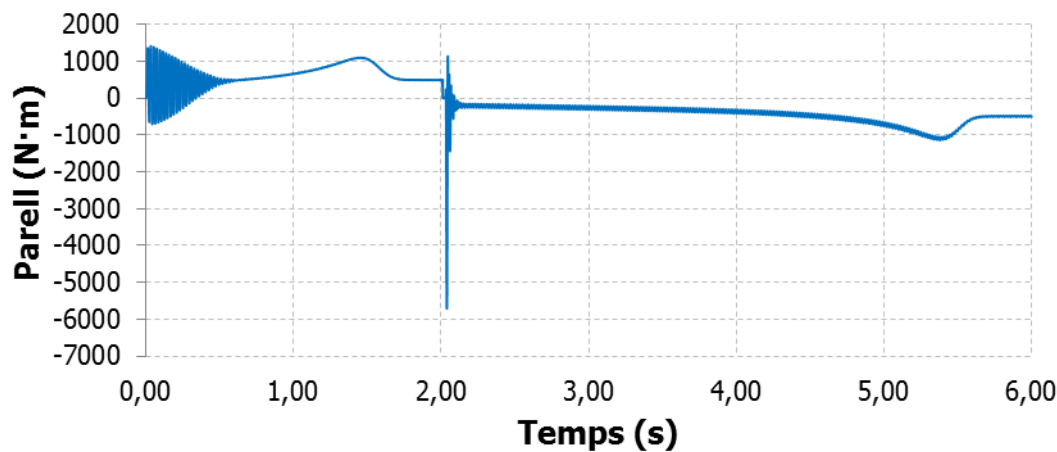


Figura 302. Parell en la simulació 60

3.4.1.62 *Simulació 61 (cas ideal)*

Temps d'actuació			
t_1 KM2 [s]	t_2 KM2 [s]	t_3 KM2 [s]	t_{123} KM3 [s]
2.00000	2.00000	2.00000	2.00000

Taula 262. Temps d'actuació en la simulació 61 (cas ideal)

Estudi del corrent				
I_{p1} [A]	I_{p2} [A]	I_{p3} [A]	I_p [A]	I_{p1} [pu]
-466.8	-202.5	381.2	466.8	12.44

Taula 263. Estudi del corrent en la simulació 61 (cas ideal)

Estudi de la velocitat			
$N_{A.C.}$ [min^{-1}]	$N_{D.C.}$ [min^{-1}]	ΔN [min^{-1}]	ΔN [pu]
1457.3	1457.3	0.00	0.0000

Taula 264. Estudi de la velocitat en la simulació 61 (cas ideal)

Estudi del parell	
T_P [N·m]	T_P [pu]
-5699	11.58

Taula 265. Estudi del parell en la simulació 61 (cas ideal)

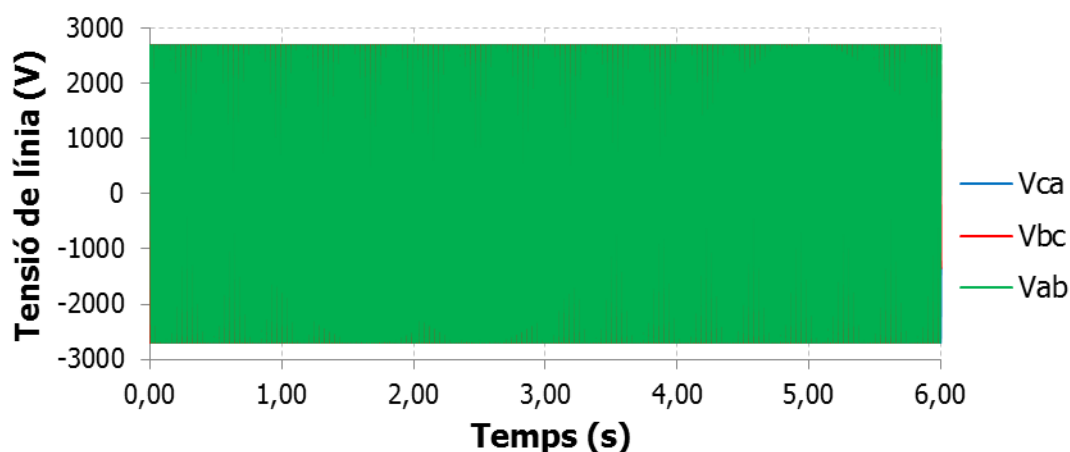


Figura 303. Tensió en la simulació 61 (cas ideal)

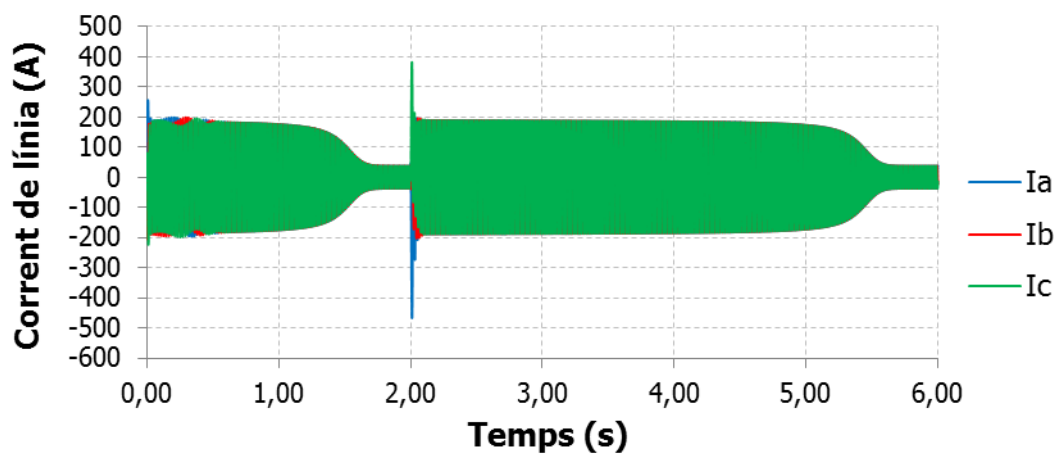


Figura 304. Corrent en la simulació 61 (cas ideal)

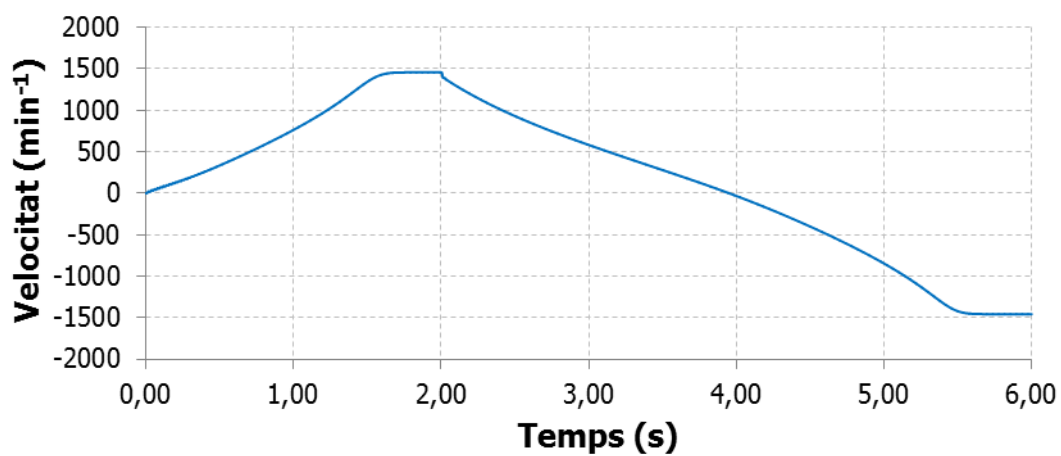


Figura 305. Velocitat en la simulació 61 (cas ideal)

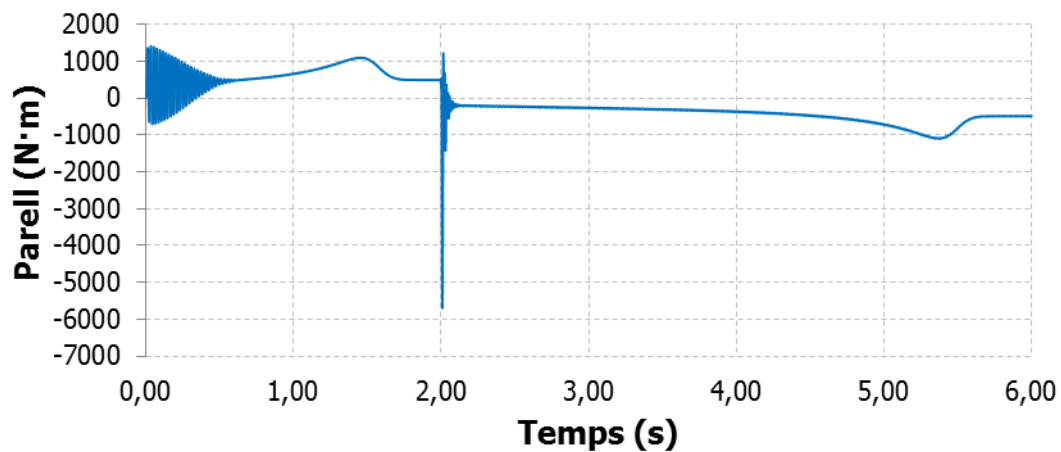


Figura 306. Parell en la simulació 61 (cas ideal)