

SF6 YALITKANLI SİSTEMLERDE ARK ANALİZİ

Mustafa KILIÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2010

ANKARA

Mustafa KILIÇ tarafından hazırlanan SF6 YALITKANLI SİSTEMLERDE ARK ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Üye: Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 05/07/2010

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Mustafa KILIÇ

SF6 YALITKANLI SİSTEMLERDE ARK ANALİZİ**(Yüksek Lisans Tezi)****Mustafa KILIÇ****GAZİ ÜNİVERSİTESİ****FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****Temmuz 2010****ÖZET**

Yüksek gerilim enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde devrenin açılıp kapanmasında SF6 gazlı devre kesiciler kullanılmaktadır. SF6 gazlı devre kesicilerde ark olgusu temel procestir. Bu çalışmada SF6 gazlı devre kesici nozzle'ındaki ark davranışının incelenmesi için, basitleştirilmiş bir ark modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada ark modeli için Mayr denklemi geliştirilmiştir. Bu model devre kesicilerin kesme kabiliyetlerini belirlemek için kullanılmış ve Matlab Simulink yardımıyla simülasyonları yapılmıştır. Bu çalışmada Mayr model parametre değerlerine göre gerilim ve akım değişimleri elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar literatürde geçerli olan veriler ile karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 905**Anahtar Kelimeler : SF6 gazlı kesici, ark analizi, ark model, Mayr denklemi****Sayfa Adedi : 99****Tez Yöneticisi : Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER**

ARC ANALYSIS AT SF6 INSULATED SYSTEMS**(M.Sc. Thesis)****Mustafa KILIÇ****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****July 2010****ABSTRACT**

SF6 circuit breakers are used to open and close the power circuit at high voltage levels in transmission and distribution systems. Arcing phenomena is the fundamental process in SF6 circuit breakers. In this study, a simplified arc model is developed to analyse at SF6 circuit breaker nozzle arc behaviour. Mayr equation is developed for arc model in this study. This model is used to determine circuit breakers breaking ability and is simulated by means of Matlab Simulink. In this study voltage and current variations are obtained according to Mayr model parameters values and the results obtained are compared with the available data in literature.

Science Code : 905**Key Words : SF6 circuit breaker, arc analysis, arc model, Mayr equation****Page Number: 99****Adviser : Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER'e, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan annem Fatma KILIÇ'a ve babam Rafet KILIÇ'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ARK DAVRANIŞI VE SF6 GAZLI KESİCİ ARKININ İNCELENMESİ	3
2.1. Genel Ark Davranışı	3
2.2. SF6 Gazı.....	3
2.3. SF6 Gazlı Kesici Arkının Fiziksel Davranışı.....	4
2.3.1. Nozzle	4
2.3.1. Nozzle’da ark gelişimi	4
3. ARKIN ELEKTRİKSEL ANALİZİ	6
3.1. Ark Gerilim Eşitliği	7
3.2. Elektrik Alan Eşitliği	17
3.3. Ark Kesit Alanı Eşitliği.....	17
4. DİNAMİK ARK MODELİ	19
4.1. Mayr Ark Modeli	19
4.2. Model Parametrelerinin Karşılaştırılması	78

Sayfa

4.3. Simülasyon Sonuçlarının Analizi.....	84
4.3.1 Geçici toparlanma gerilimi(TRV).....	87
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	91
EKLER.....	84
EK-1 Mayr ark modeli simülasyonunda kullanılan devre şeması	94
EK-2 1, 2, 4, 8, 16 atm basınç değerleri için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik değişiminin grafiğini veren Matlab programı	95
EK-3 1000-40000 °K sıcaklık aralığında seçilen sıcaklık değerlerinde 3, 5, 6, 7, 9, 10 atm basınç değerleri için elektriksel iletkenlik değerlerini veren Matlab programı.....	96
EK-4 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16 atm basınç değerleri için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik değerlerine karşılık gelen ark zaman sabitini veren Matlab programı.....	97
EK-5 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16 atm basınç değerleri için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik değerlerine karşılık gelen soğutma gücünü veren Matlab programı.....	98
ÖZGEÇMİŞ	99

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. 1 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri	12
Çizelge 3.2. 2 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri	13
Çizelge 3.3. 4 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri	14
Çizelge 3.4. 8 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri	15
Çizelge 3.5. 16 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri	16
Çizelge 4.1. 1 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	22
Çizelge 4.2. 2 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	23
Çizelge 4.3. 3 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	24
Çizelge 4.4. 4 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	25
Çizelge 4.5. 5 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	26
Çizelge 4.6. 6 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	27

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.7. 7 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	28
Çizelge 4.8. 8 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	29
Çizelge 4.9. 9 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	30
Çizelge 4.10. 10 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	31
Çizelge 4.11. 16 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri	32

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Nozzle	4
Şekil 3.1. Nozzle'ın fiziksel parametreleri.....	7
Şekil 4.1. Mayr ark modelinin oluşumu.....	20
Şekil 4.2. Mayr ark modeli diyalog kutusu	20
Şekil 4.3. 1 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,032 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,8944 µs ark zaman sabiti, 0,0956 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	34
Şekil 4.4. 1 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,032 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,8944 µs ark zaman sabiti, 0,0956 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	34
Şekil 4.5. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,6325 µs ark zaman sabiti, 0,0549 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	35
Şekil 4.6. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,6325 µs ark zaman sabiti, 0,0549 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	35
Şekil 4.7. 3 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0117 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,5408 µs ark zaman sabiti, 0,0427 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	36
Şekil 4.8. 3 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0117 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,5408 µs ark zaman sabiti, 0,0427 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	36
Şekil 4.9. 4 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0075 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,4330 µs ark zaman sabiti, 0,0299 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	37
Şekil 4.10. 4 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0075 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,4330 µs ark zaman sabiti, 0,0299 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	37

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. 5 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0065 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,4031 µs ark zaman sabiti, 0,0267 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	38
Şekil 4.12. 5 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0065 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,4031 µs ark zaman sabiti, 0,0267 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	38
Şekil 4.13. 6 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0054 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,3674 µs ark zaman sabiti, 0,0230 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	39
Şekil 4.14. 6 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0054 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,3674 µs ark zaman sabiti, 0,0230 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	39
Şekil 4.15. 7 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0044 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,3317 µs ark zaman sabiti, 0,0195 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	40
Şekil 4.16. 7 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0044 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,3317 µs ark zaman sabiti, 0,0195 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	40
Şekil 4.17. 8 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0033 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2872 µs ark zaman sabiti, 0,0155 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	41
Şekil 4.18. 8 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0033 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2872 µs ark zaman sabiti, 0,0155 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	41
Şekil 4.19. 9 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0031 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2784 µs ark zaman sabiti, 0,0148 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	42
Şekil 4.20. 9 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0031 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2784 µs ark zaman sabiti, 0,0148 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	42
Şekil 4.21. 10 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0028 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2646 µs ark zaman sabiti, 0,0136 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	43

Şekil	Sayfa
Şekil 4.22. 10 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0028 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2646 µs ark zaman sabiti, 0,0136 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	43
Şekil 4.23. 16 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0014 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,1871 µs ark zaman sabiti, 0,0078 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	44
Şekil 4.24. 16 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0014 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,1871 µs ark zaman sabiti, 0,0078 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	44
Şekil 4.25. 1 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 28,16 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,5330 µs ark zaman sabiti, 21,6669 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	45
Şekil 4.26. 1 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 28,16 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,5330 µs ark zaman sabiti, 21,6669 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	45
Şekil 4.27. 2 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 27,58 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,2583 µs ark zaman sabiti, 21,3092 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	46
Şekil 4.28. 2 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 27,58 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,2583 µs ark zaman sabiti, 21,3092 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	46
Şekil 4.29. 3 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 27,07 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,0144 µs ark zaman sabiti, 20,9934 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	47
Şekil 4.30. 3 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 27,07 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,0144 µs ark zaman sabiti, 20,9934 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	47
Şekil 4.31. 4 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 26,56 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,7682 µs ark zaman sabiti, 20,6763 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	48
Şekil 4.32. 4 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 26,56 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,7682 µs ark zaman sabiti, 20,6763 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.33. 5 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 26,20 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,5930 µs ark zaman sabiti, 20,4518 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	49
Şekil 4.34. 5 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 26,20 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,5930 µs ark zaman sabiti, 20,4518 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	49
Şekil 4.35. 6 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,84 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,4165 µs ark zaman sabiti, 20,2267 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	50
Şekil 4.36. 6 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,84 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,4165 µs ark zaman sabiti, 20,2267 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	50
Şekil 4.37. 7 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,47 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,2339 µs ark zaman sabiti, 19,9947 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	51
Şekil 4.38. 7 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,47 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,2339 µs ark zaman sabiti, 19,9947 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	51
Şekil 4.39. 8 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,11 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,0549 µs ark zaman sabiti, 19,7683 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	52
Şekil 4.40. 8 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,11 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,0549 µs ark zaman sabiti, 19,7683 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	52
Şekil 4.41. 9 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 24,88 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,9399 µs ark zaman sabiti, 19,6233 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	53
Şekil 4.42. 9 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 24,88 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,9399 µs ark zaman sabiti, 19,6233 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	53
Şekil 4.43. 10 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 24,65 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,8244 µs ark zaman sabiti, 19,4780 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	54

Şekil	Sayfa
Şekil 4.44. 10 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 24,65 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,8244 µs ark zaman sabiti, 19,4780 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	54
Şekil 4.45. 16 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 23,26 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,1143 µs ark zaman sabiti, 18,5943 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	55
Şekil 4.46. 16 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 23,26 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,1143 µs ark zaman sabiti, 18,5943 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	55
Şekil 4.47. 1 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 111,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 52,8914 µs ark zaman sabiti, 65,3364 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	56
Şekil 4.48. 1 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 111,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 52,8914 µs ark zaman sabiti, 65,3364 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	56
Şekil 4.49. 2 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 125,6 mho/cm elektriksel iletkenlik, 56,0357 µs ark zaman sabiti, 71,6610 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	57
Şekil 4.50. 2 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 125,6 mho/cm elektriksel iletkenlik, 56,0357 µs ark zaman sabiti, 71,6610 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	57
Şekil 4.51. 3 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 132,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 57,5109 µs ark zaman sabiti, 74,7032 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	58
Şekil 4.52. 3 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 132,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 57,5109 µs ark zaman sabiti, 74,7032 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	58
Şekil 4.53. 4 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 139,0 mho/cm elektriksel iletkenlik, 58,9491 µs ark zaman sabiti, 77,7147 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	59
Şekil 4.54. 4 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 139,0 mho/cm elektriksel iletkenlik, 58,9491 µs ark zaman sabiti, 77,7147 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	59

Şekil	Sayfa
Şekil 4.55. 5 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 142,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 59,6657 µs ark zaman sabiti, 79,2318 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	60
Şekil 4.56. 5 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 142,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 59,6657 µs ark zaman sabiti, 79,2318 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	60
Şekil 4.57. 6 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 145,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 60,3945 µs ark zaman sabiti, 80,7859 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	61
Şekil 4.58. 6 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 145,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 60,3945 µs ark zaman sabiti, 80,7859 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	61
Şekil 4.59. 7 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 149,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,0942 µs ark zaman sabiti, 82,2885 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	62
Şekil 4.60. 7 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 149,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,0942 µs ark zaman sabiti, 82,2885 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	62
Şekil 4.61. 8 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 152,7 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,7859 µs ark zaman sabiti, 83,7843 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	63
Şekil 4.62. 8 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 152,7 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,7859 µs ark zaman sabiti, 83,7843 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	63
Şekil 4.63. 9 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 154,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 62,1490 µs ark zaman sabiti, 84,5734 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	64
Şekil 4.64. 9 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 154,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 62,1490 µs ark zaman sabiti, 84,5734 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	64
Şekil 4.65. 10 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 156,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 62,5100 µs ark zaman sabiti, 85,3608 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	65

Şekil	Sayfa
Şekil 4.66. 10 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 156,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 62,5100 µs ark zaman sabiti, 85,3608 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	65
Şekil 4.67. 16 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 167,2 mho/cm elektriksel iletkenlik, 64,6529 µs ark zaman sabiti, 90,0908 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	66
Şekil 4.68. 16 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 167,2 mho/cm elektriksel iletkenlik, 64,6529 µs ark zaman sabiti, 90,0908 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	66
Şekil 4.69. 1 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 105,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 51,3566 µs ark zaman sabiti, 62,3294 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	67
Şekil 4.70. 1 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 105,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 51,3566 µs ark zaman sabiti, 62,3294 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	67
Şekil 4.71. 2 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 116,2 mho/cm elektriksel iletkenlik, 53,8981 µs ark zaman sabiti, 67,3374 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	68
Şekil 4.72. 2 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 116,2 mho/cm elektriksel iletkenlik, 53,8981 µs ark zaman sabiti, 67,3374 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	68
Şekil 4.73. 3 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 123,1 mho/cm elektriksel iletkenlik, 55,4752 µs ark zaman sabiti, 70,5176 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	69
Şekil 4.74. 3 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 123,1 mho/cm elektriksel iletkenlik, 55,4752 µs ark zaman sabiti, 70,5176 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	69
Şekil 4.75. 4 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 129,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 56,9868 µs ark zaman sabiti, 73,6171 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	70
Şekil 4.76. 4 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 129,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 56,9868 µs ark zaman sabiti, 73,6171 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	70

Şekil	Sayfa
Şekil 4.77. 5 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 134,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 57,9655 µs ark zaman sabiti, 75,6503 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	71
Şekil 4.78. 5 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 134,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 57,9655 µs ark zaman sabiti, 75,6503 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	71
Şekil 4.79. 6 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 138,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 58,9279 µs ark zaman sabiti, 77,6700 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	72
Şekil 4.80. 6 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 138,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 58,9279 µs ark zaman sabiti, 77,6700 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	72
Şekil 4.81. 7 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 143,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 59,8749 µs ark zaman sabiti, 79,6766 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	73
Şekil 4.82. 7 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 143,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 59,8749 µs ark zaman sabiti, 79,6766 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	73
Şekil 4.83. 8 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 147,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 60,8071 µs ark zaman sabiti, 81,6706 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	74
Şekil 4.84. 8 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 147,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 60,8071 µs ark zaman sabiti, 81,6706 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	74
Şekil 4.85. 9 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 150,7 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,3800 µs ark zaman sabiti, 82,9052 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	75
Şekil 4.86. 9 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 150,7 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,3800 µs ark zaman sabiti, 82,9052 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	75
Şekil 4.87. 10 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 153,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,9476 µs ark zaman sabiti, 84,1352 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	76

Şekil	Sayfa
Şekil 4.88. 10 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 153,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,9476 µs ark zaman sabiti, 84,1352 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	76
Şekil 4.89. 16 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 170,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 65,2687 µs ark zaman sabiti, 91,4675 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi.....	77
Şekil 4.90. 16 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 170,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 65,2687 µs ark zaman sabiti, 91,4675 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	77
Şekil 4.91. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 1,2575 µs ark zaman sabiti, 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	79
Şekil 4.92. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 1,2575 µs ark zaman sabiti, 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi	79
Şekil 4.93. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark geriliminin zamanla değişiminin karşılaştırılması	80
Şekil 4.94. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark akımının zamanla değişiminin karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.95. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark geriliminin sönen tepesinin zamanla değişiminin karşılaştırılması	82
Şekil 4.96. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark akımının zamanla değişiminin karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.97. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark geriliminin sönen tepesinin zamanla değişiminin karşılaştırılması	83
Şekil 4.98. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark akımının zamanla değişiminin karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.99. Farklı Mayr ark model parametreleri ile elde edilen ark gerilimi dalga şekilleri	85

Şekil**Sayfa**

Şekil 4.100. 2 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 116,2 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark geriliminin sönen tepesinin zamanla değişiminin karşılaştırılması	86
Şekil 4.101. Devre kesicide akımın kesilmesi esnasında TRV dalga şekli.....	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
K	Kelvin
T	Sıcaklık
σ	Elektriksel iletkenlik
c	Sonik hız
ρ	Yoğunluk
u	Gaz hızı
h	Entalpi
V	Gerilim
p	Basınç
A	Ark kesit alanı
z	Aksiyal yer değiştirme
l	Aksiyal ark uzunluğu
α	Basınç oranı
E	Elektrik alan
I	Akım
u_a	Ark gerilimi(Mayr)
i_a	Ark akımı(Mayr)
τ	Ark zaman sabiti
P	Soğutma gücü
Kısaltmalar	Açıklama
SF6	Kükürt hegza florür gazı
TRV	Geçici toparlanma gerilimi

1.GİRİŞ

Güç kesicisi elektrik güç şebekelerinde kapalı devrenin oluşmasını sağlayan ve devreyi boшта, yükte ve özellikle kısa devre halinde açabilen ve kapayabilen denetleme elemanıdır. Bir güç kesicisinin görevi kapalı konumda devreden güç akışını sağlamak, açık konumda ise güç akışını engellemektir.

Kesici kapalı konumda devreden güç akışı sağlama görevini kontak elemanları arasında iyi bir temas oluşturarak yerine getirir. Açık konumda güç akışını engelleme görevini ise kontak elemanlarını birbirinden elektriksel olarak yalıtarak yerine getirir. Yüksek gerilim şebekelerinde kesme esnasında kesicinin devre izolasyonunu tahrip etmemesi ve güvenilir bir kesme sağlamasının oldukça güç olduğu bilinmektedir.

Bir güç kesicisinde kapalı konumdaki empedans oldukça küçük, açık konumda ise oldukça büyüktür. Güvenli bir kesme için güç kesicisinin bu empedans değişimine her iki yönde en kısa sürede adapte olması istenir. Teorik olarak empedans değeri, herhangi bir aşırı gerilim meydana gelmeden, bu akım sıfırlarından birinde sonsuza geçebilir. Ancak empedandaki hızlı değişim akım sıfırdan birkaç mikro saniye önce veya sonra meydana gelirse, çok büyük gerilimler oluşacaktır. SF₆ gazlı kesiciler empedansı hızla değiştirebilmek ve 40 kA'e kadar kesme akımını güvenle kesme özelliğine sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, yüksek gerilim enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde devrenin açılıp kapanmasında kullanılan SF₆ gazlı devre kesicilerde temel eleman olan ark olayı ile arkın elektriksel analizinin yapılarak, örnek bir ark modeli geliştirilmesidir.

İkinci bölümde genel olarak gaz deşarjı ve genel ark davranışı, tercih edilme sebepleri, SF₆ gazlı devre kesicilerde nozzle'da ark gelişimi incelenmiştir.

Üçüncü bölümde arkın elektriksel analizi yapılmış, güç denge ve momentum korunumu eşitliklerinden faydalanılarak ark gerilimi, elektrik alan ve ark kesit alanı eşitlikleri elde edilmiştir.

Dördüncü bölümde dinamik ark modeli geliştirilerek, bu model üzerinde simülasyonlar yapılarak ark gerilimi ve ark akımının değişimleri analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler Lionel R. Orama-Exclusa ve Bienvenido Rodriguez-Medina tarafından yapılan çalışmada elde edilen değerler ile karşılaştırılarak değişimlerin analizi yapılmıştır.

2. ARK DAVRANIŞI VE SF₆ GAZLI KESİCİ ARKININ İNCELENMESİ

Kesme olayında ark temel elemandır. Bir kesicinin akım taşıma kapasitesi ark plazmasında meydana gelen fiziksel etkileşimlerle doğrudan ilgili olduğundan ark oluşum ve gelişiminin genel görünümünün açıklanmasında fayda görülmüştür.

2.1. Genel Ark Davranışı

Genel olarak dış etkilerden korunmuş nötr bir gaz, serbest ortamda elektriği olduğu gibi iletmez. Fakat böyle bir ortamdaki iki elektrot arasına bir gerilim uygulanır ve bu gerilim gittikçe arttırılırsa, gerilim belirli bir değerden sonra ani bir akım geçişine neden olur ve böylece ortam yalıtkanlık değerini kaybeder. Bir gaz veya hava içerisinde meydana gelen bu olaya “deşarj” denir. Gazdeşarjları genel olarak ışıklıdeşarj, kıvılcımdeşarjı, arkdeşarjı, koronadeşarjı ve yüzeyseldeşarj olarak sınıflandırılmakta olup,deşarj basıncının yüksek, akımın büyük olduğu arkdeşarjı, kesicilerde meydana gelendeşarj türüdür [12].

2.2. SF₆ Gazı

Gazdeşarjı olayında güvenilirliğin arttırılması amacıyla delinme dayanımı yüksek gazlar tercih edilir. Yüksek gerilim tekniğinde bu amaçla CCl₄, SeF₄, CCl₂F₂ ve SF₆ gazları kullanılmaktadır. Yüksek gerilimin iletimi ve dağıtımı sırasında yalıtım ve ark söndürme amacıyla en çok SF₆ gazından faydalanmasının başlıca nedenleri aşağıda belirlenmiştir [22].

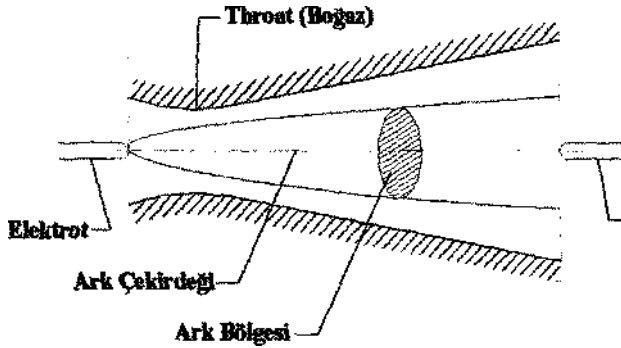
- Güvenilirliği,
- İşletmeye uygunluğu,
- Kimyasal yapısının kararlı olması nedeniyle başka gazlarla ve metallerle teması halinde kararlı davranması,
- Zehirli özelliğinin olmaması,
- Dielektrik katsayısının yüksek olması,
- Delinme dayanımının yüksek olması,

- Yanma ve patlama özelliklerinin olmaması,
- Ark söndürme özelliğine sahip olması (elektronegatif),
- Yağ ve diğer yalıtkanlara göre kayıp faktörünün düşük olması,
- Isı iletim katsayısının yüksek olması ve ısıyı soğuk yüzeylere en kısa sürede iletmesi.

2.3. SF₆ Gazlı Kesici Arkının Fiziksel Davranışı

2.3.1. Nozzle

Kesme esnasında SF₆ gazlı kesicide ark olayının meydana geldiği bölüm “nozzle” olarak adlandırılır. Nozzle dizaynı, ark oluşumu sırasında kesme akımının büyüklüğüne göre oluşacak sıcaklık ve basınç değerlerine uygun bir şekil ve uzunluk gerektirir. Genel bir nozzle şekil ve kısımları Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Nozzle

2.3.2. Nozzle’da ark gelişimi

Kesme işlemi sonucunda başlayan ark, nozzle içerisinde Şekil 2.1’de gösterilen ark bölgesinde bir ark plazması oluşturur. Ark plazması, içerisinde kesilen akımın büyüklüğü ile doğru orantılı yüksek bir güç bulundurur. Bundan dolayı ark bölgesi yüksek sıcaklık ve düşük yoğunluğa sahipken, çevrede bulunan gaz ise düşük sıcaklık ve yüksek yoğunluktadır. Bu sırada ark bölgesinden soğuk gaza doğru radyal doğrultuda ve ark bölgesi içerisinde akım geçiş yönünde aksiyal doğrultuda bir güç transferi olur. Radyal güç

transferi ısınan gazın türbülansından dolayı radyasyon ile yayılmasından, aksiyal güç transferi ise ısınan gazın entalpi akışından kaynaklanmaktadır [1]. Güç transferi neticesinde de ark bölgesi kesit alanı zamanla hızla küçülür ve ark gerilimi zamanla yükselir. Ark kesit alanının hızla küçülmesi, akım sıfırlanma süresinin de kısalması anlamına gelmektedir.

Nozzle içerisindeki ısı transferinin davranışı kanal iletkenliği ile doğrudan ilgilidir. Nozzle şekli, kanal iletkenliğinin artmasında oldukça etkilidir [11]. Şekil 2.1’de verilen silindirik olmayan bir nozzle içerisinde ark bölgesinde ısınan gaz, throat(boğaz) bölgesinden sonra genişleyen nozzle içerisinde yükselen downstream (birincil akış) ile birlikte daha kolay bir yayılma ortamı bulur ve daha hızlı yayılır. Bu durum kanal iletkenliğinin artmış olmasıdır. Kanal iletkenliğinin artmasındaki ikinci etken ise türbülans nedeniyle elektron kayıp oranının artması ve hızlı parçacıklar vasıtasıyla SF_6 gazının genişlemesidir. Bir diğer etken ise ipliksel ark uzunluğunun artmasıdır ki bu etki dolaşma (kinking) nedeniyle akım sıfır anında kaybolur.

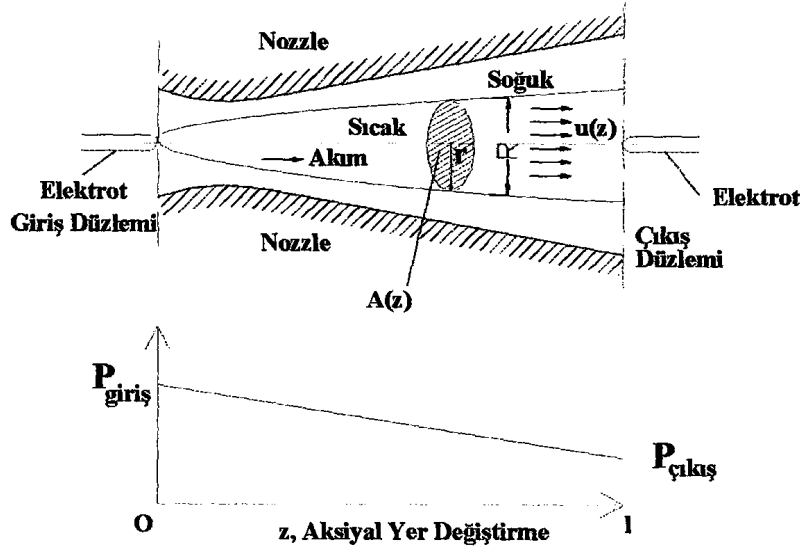
Ark oluşumu neticesinde meydana gelen molekül, atom ve iyonların(SF_6 , SF_5 , SF_4 , SF_3 , SF_2 , S_2F_2 , SF , S_8 , S_3 , S_2 , F_2 , S , F , F^- , S^+ , F^+ , S^{2+} , F^{2+} , S^{3+} , F^{3+} , S^{4+} , F^{4+} , S^{5+} ve F^{5+}) hareketleri, ark gerilimini, dolayısıyla iletkenliği ve akım sıfır süresini belirler. Bu parçacıkların ark bölgesindeki hızı yaklaşık olarak sonik(ses) hızdır ve yüksek iyonizasyonda elektron-iyon çarpışma kesit alanı iletkenliği etkiler.

3. ARKIN ELEKTRİKSEL ANALİZİ

Kesicide kesme akımının büyüklüğü, kesilen gücün, dolayısıyla ark gücünün yükselmesine neden olmaktadır. Ark gücünün büyüklüğü, nozzle içerisindeki ısının radyal ve aksiyal yayılım esnasındaki fiziksel olayları, dolayısıyla da yayılımın hızını ve şeklini etkiler. Bu fiziksel olaylar, kesme esnasında oluşan ark geriliminin değerini belirler. Ark gerilimi gaz hızı ve entalpisi yanında, ark uzunluğu, elektriksel iletkenliği ve çıkış basıncı, dolayısıyla da çıkış-giriş basınç oranı değerlerine bağlıdır. Bu değerler ise sıcaklık ve basınçla değişmektedir. Bu çalışmada, daha önce hesaplanmış yoğunluk, hız, entalpi ve elektriksel iletkenlik değerleri incelenmiş ve ark gerilim eşitliği elde edilmiştir. Bu eşitlik yardımı ile ark geriliminin aksiyal yer değiştirme, sıcaklık ve basınçla değişimleri hesaplanabilecektir [1].

Kesme akımının büyüklüğü, ark gerilimini etkilememekle birlikte, ark kesit alanının değişmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, ark geriliminde olduğu gibi sıcaklık ve basınçla değişen termodinamik ve elektriksel parametrelerin yanında akım değerinin değişimine de bağlı olarak değişen ark kesit alanı eşitliği elde edilmiştir. Ark kesit alanının ark uzunluğu boyunca herhangi bir noktadaki değeri bu eşitlik yardımı ile hesaplanabilir. Ayrıca yine nozzle boyunca herhangi bir noktada normalize elektrik alan değerinin hesaplanabilmesi için elektrik alan eşitliği elde edilmiştir.

Ark kesit alanı, kesme güvenliğine sahip bir nozzle dizaynı için önemli bir parametredir. Belli bir kesme akımında ark gerilimi ile ark kesit alanının kontrol altında tutulması, kesmenin güvenliği açısından önemlidir. Genel olarak ısının radyasyon ve türbülansla radyal yayılımı nozzle kesit alanına ve aksiyal yayılımı da nozzle uzunluğuna bağlıdır. Radyal olarak yayılan ısının çevreleyici soğuk gaz ortamında yayılımı esnasında gaz basıncının nozzle çeperinin dayanımını aşmaması gereklidir. Bu dengeleme ark kesit alanının da belli değerler arasında olmasını gerektirir. Bu çalışmada ark gerilimi ve ark kesit alanı için sınır değerleri ile, nozzle açısı ve kesit alanları belirlenmemekle birlikte, dizayn çalışmalarında referans alınabilecek değişimler belirlenmiştir. Analizler, nozzle içerisinde yayılan ısının radyal yayılımı ve radyasyon ihmal edilerek, aksiyal eksen boyunca ilerleyen entalpi akışına etkisi temel alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.1. Nozzle'ın fiziksel parametreleri

Şekil 3.1'de bir nozzle'ın fiziksel parametreleri gösterilmektedir. Burada basıncın p_{in} değerinden p_{out} değerine lineer olarak düştüğü ve aksiyal yer değiştirmenin giriş noktasında $z=0$, çıkış noktasında ise $z=l$ olduğu kabul edilerek, ark gerilimi, V , elektrik alan, E ve ark kesit alanı, A , eşitlikleri elde edilmiştir.

Analiz için aşağıdaki 4 kabullenme yapılmıştır [1].

- Ark gücünün tamamı aksiyal akışa katılmaktadır.
- Ark bölgesi sıcaklığı aksiyal ve radyal eksen boyunca sabittir.
- Ark bölgesindeki basınç gradyanı sabit ve gaz hızı sonik hıza eşittir.
- Hesaplamalar güç denge ve momentum korunumu eşitlikleri temel alınarak yapılmıştır.

3.1. Ark Gerilim Eşitliği

Ark geriliminin hesaplanmasında güç denge ve momentum korunumu eşitliklerinden faydalanılmıştır.

Güç denge ifadesi Eş.3.1'de verilmiştir.

$$IV(z)=h\rho uA(z) \quad (3.1)$$

Burada $V(z)$, z noktasındaki ark gerilimi, h entalpi, ρ gaz yoğunluğu, I ark akımı, $A(z)$, z noktasında ark kesit alanı ve u gaz hızıdır.

Momentum korunum eşitliği Eş.3.2’de verilmiştir.

$$dp+\rho u du=0 \quad (3.2)$$

Aynı eşitliğin integral formu Eş.3.3’de verilmiştir.

$$u^2 = -2 \int_{p_{in}}^{p(z)} \frac{dp}{\rho} \quad (3.3)$$

p ark bölgesi basıncı olup, p , $\rho(z)$, $u(z)$, ve $A(z)$, sıcak gaza ait parametrelerdir.

Ark sıcaklığı sabit kabul edildiğinden yoğunlukla basıncın doğru orantılı olduğu düşünülebilir. Güç denge bağıntısında yer alan ρu ifadesine ulaşabilmek için bu kabullenmeden faydalanılmıştır.

Eş. 3.3’ten eşitlik Eş. 3.4 elde edilir.

$$\rho u^2 = 2[p_{in} - p(z)] \quad (3.4)$$

Normalize aksiyal yer değiştirme Eş.3.5’te verilmiştir.

$$\eta=z/l \quad (3.5)$$

Eş. 3.6 kritik basınç oranını verir.

$$\alpha=p_{out}/p_{in} \quad (3.6)$$

Basıncın lineer olduğu kabul edildiğinden Eş. 3.7'deki ifade kullanılabilir.

Burada $\alpha' = 1 - \alpha$ dır.

$$p(\eta) = p_{in} [1 - (1 - \alpha)\eta] = p_{in} (1 - \alpha'\eta) \quad (3.7)$$

Eş. 3.7'den Eş. 3.8 edilir.

$$\rho(\eta) = \rho_{in} (1 - \alpha'\eta) = (\rho_{out} / \alpha)(1 - \alpha'\eta) \quad (3.8)$$

Eş. 3.8'den

$$\rho u^2 = \rho_{out} c^2 \eta \quad (3.9)$$

ve

$$u^2 = \alpha c^2 \eta / (1 - \alpha'\eta) \quad (3.10)$$

yazılabilir.

Eş. 3.8 ve Eş. 3.10'dan Eş. 3.11'deki ifade elde edilir.

$$\rho u = \rho_{out} c [\eta(1 - \alpha'\eta) / \alpha]^{1/2} \quad (3.11)$$

Eş. 3.11, Eş. 3.1'de yerine konularak Eş. 3.12 elde edilir.

$$IV(z) = \rho_{out} c h A(z) [\eta(1 - \alpha'\eta) / \alpha]^{1/2} \quad (3.12)$$

V(z) bağıntısının elde edilebilmesi için A(z) ifadesi yok edilecektir.

Eş. 3.13'te Ohm kanunu ifadesi yer almaktadır.

$$I = \sigma A E \quad (3.13)$$

Eş. 3.13 ile Eş. 3.14 aynı ifadelerdir.

$$I = \sigma A(z) \frac{dV}{dz} \quad (3.14)$$

$$V \frac{dV}{dz} = 1/2 \frac{dV^2}{dz} = (\rho_{out} ch / \sigma) [\eta(1 - \alpha' \eta) / \alpha]^{1/2} \quad (3.15)$$

Eş. 3.15'ten direkt integral çözümü ile Eş. 3.16 elde edilir.

$$V^2(\eta) = (\rho_{out} chl / \sigma) (\alpha \alpha'^3)^{1/2} [(\alpha' \eta - 1/2)(\alpha' \eta)^{1/2} (1 - \alpha' \eta)^{1/2} + 1/4 \sin^{-1}(2\alpha' \eta - 1) + \pi/8] \quad (3.16)$$

Eş. 3.17 genel bir ifadedir.

$$V(\eta) = V^* \bar{V}(\eta) \quad (3.17)$$

Eş. 3.17 ve $F = \rho ch / p$ ifadesi kullanılarak elde edilen karakteristik ark gerilimi ifadesi Eş. 3.18'de verilmiştir.

$$V^* = (\rho_{out} chl / \sigma)^{1/2} = (p_{out} l F / \sigma)^{1/2} \quad (3.18)$$

Ark geriliminin normalize kısmını Eş. 3.16'dan elde edilen Eş. 3.19 verir.

$$\bar{V}(\eta) = (\alpha \alpha'^3)^{1/4} [(\alpha' \eta - 1/2)(\alpha' \eta)^{1/2} (1 - \alpha' \eta)^{1/2} + 1/4 \sin^{-1}(2\alpha' \eta - 1) + \pi/8]^{1/2} \quad (3.19)$$

Gerçek ark gerilimi için Eş. 3.17 ifadesi kullanılarak elde edilen ifade Eş. 3.20'de verilmiştir.

$$V(\eta) = (\rho_{out}chl / \sigma)^{1/2} (\alpha\alpha'^3)^{1/4} \left[(\alpha'\eta - 1/2)(\alpha'\eta)^{1/2} (1 - \alpha'\eta)^{1/2} + 1/4 \sin^{-1}(2\alpha'\eta - 1) + \pi/8 \right]^{1/2} \quad (3.20)$$

Eş. 3.19'dan anlaşılacağı gibi normalize ark gerilimi η ve α ile değişmektedir. Eş. 3.20 ifadesinde yer alan gerçek ark gerilimi de normalize aksiyal yer değiştirme yanında, verilen bir ark uzunluğu , l, için Çizelge 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'te verilen yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerlerine bağlı olarak sıcaklık ve basınçla değişmektedir.

Çizelge 3.1. 1 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri

Sıcaklık	Yoğunluk	Entalpi	Sonik Hız	Elektriksel İletkenlik
1000 °K	10^{-4} g/cm ³	10^3 J/g	10^4 cm/s	mho/cm
1,0	17,80	0,648	2,456	0
1,4	12,33	1,125	2,947	0
1,7	6,275	2,745	4,17	0
2,0	2,962	5,77	6,22	0
2,3	2,110	7,57	7,34	0
2,6	1,248	12,06	9,66	0
3,0	0,9155	14,78	11,72	0
3,5	0,745	16,20	13,40	0,0015
4,0	0,640	17,07	15,37	0,032
5,0	0,509	18,20	18,04	0,836
6,0	0,424	19,25	19,63	3,741
7,0	0,3623	20,39	20,62	8,62
8,0	0,3150	21,77	21,30	14,86
9,0	0,2761	23,63	22,08	21,52
10,0	0,2427	26,16	23,18	28,16
11,0	0,2142	29,21	24,57	34,44
12,0	0,1907	32,51	25,92	40,2
13,0	0,1707	36,41	26,92	45,7
14,0	0,1518	42,26	28,13	51,7
15,0	0,1327	51,3	29,92	58,4
16,0	0,1141	64,0	32,25	65,5
18,0	0,0844	95,1	37,76	78,6
20,0	0,0677	119,9	42,86	89,0
22,0	0,0580	136,3	46,96	96,0
26,0	0,0463	159,9	53,2	107,3
30,0	0,0376	195,4	56,5	111,9
35,0	0,02675	301,3	67,0	102,5
40,0	0,02096	383,2	77,6	105,5

Çizelge 3.2. 2 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri

Sıcaklık	Yoğunluk	Entalpi	Sonik Hız	Elektriksel İletkenlik
1000 °K	10^{-4} g/cm ³	10^3 J/g	10^4 cm/s	mho/cm
1,0	35,60	0,648	2,456	0
1,4	24,92	1,103	2,932	0
1,7	14,89	2,212	3,817	0
2,0	6,13	5,565	6,09	0
2,3	4,64	6,81	7,00	0
2,6	2,845	10,51	9,02	0
3,0	1,885	14,34	11,44	0
3,5	1,410	15,95	13,20	0,0006
4,0	1,286	16,98	15,02	0,0160
5,0	1,018	18,19	17,97	0,569
6,0	0,8475	19,24	19,69	3,046
7,0	0,725	20,34	20,81	7,59
8,0	0,632	21,62	21,58	13,65
9,0	0,556	23,26	22,30	20,58
10,0	0,491	25,44	23,25	27,58
11,0	0,435	28,17	24,49	34,48
12,0	0,388	31,27	25,84	40,9
13,0	0,3481	34,73	26,97	47,0
14,0	0,3124	39,28	28,00	53,2
15,0	0,2775	46,06	29,42	60,0
16,0	0,2430	55,8	31,34	67,4
18,0	0,1821	83,15	36,33	82,2
20,0	0,1424	110,6	41,6	94,8
22,0	0,1198	129,8	46,1	104,1
26,0	0,0942	155,6	53,0	116,7
30,0	0,0776	182,8	56,3	125,6
35,0	0,0569	268,7	64,9	117,8
40,0	0,0433	363,0	75,9	116,2

Çizelge 3.3. 4 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri

Sıcaklık	Yoğunluk	Entalpi	Sonik Hız	Elektriksel İletkenlik
1000 °K	10^{-4} g/cm ³	10^3 J/g	10^4 cm/s	mho/cm
1,0	71,2	0,648	2,45	0
1,4	50,2	1,088	2,922	0
1,7	33,53	1,890	3,590	0
2,0	13,23	5,14	5,83	0
2,3	9,83	6,39	6,83	0
2,6	6,60	8,98	8,35	0
3,0	3,964	13,62	11,04	0
3,5	3,072	15,65	13,03	0
4,0	2,593	16,81	14,69	0,0075
5,0	2,039	18,17	17,85	0,3556
6,0	1,696	19,23	19,71	2,363
7,0	1,451	20,31	20,97	6,50
8,0	1,266	21,52	21,84	12,32
9,0	1,117	22,99	22,56	19,20
10,0	0,991	24,88	23,40	26,56
11,0	0,883	27,27	24,49	33,97
12,0	0,789	30,10	25,75	41,1
13,0	0,709	33,27	26,96	47,8
14,0	0,640	37,05	27,98	54,4
15,0	0,575	42,2	29,14	61,4
16,0	0,5115	49,6	30,69	69,0
18,0	0,3929	72,0	35,00	85,15
20,0	0,304	99,35	40,1	100,0
22,0	0,2499	121,7	44,9	111,9
26,0	0,1926	150,6	52,3	127,3
30,0	0,1589	174,4	56,5	139,0
35,0	0,1211	238,7	63,1	136,2
40,0	0,0905	337,7	73,7	129,9

Çizelge 3.4. 8 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h, sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri

Sıcaklık	Yoğunluk	Entalpi	Sonik Hız	Elektriksel İletkenlik
1000 °K	10^{-4} g/cm ³	10^3 J/g	10^4 cm/s	mho/cm
1,0	142,4	0,648	2,456	0
1,4	100,8	1,079	2,915	0
1,7	72,5	1,698	3,446	0
2,0	30,90	4,36	5,36	0
2,3	20,36	6,16	6,74	0
2,6	15,10	7,785	7,81	0
3,0	8,66	12,46	10,48	0
3,5	6,29	15,28	12,80	0
4,0	5,25	16,58	14,42	0,0033
5,0	4,086	18,13	17,64	0,2046
6,0	3,393	19,22	19,70	1,707
7,0	2,904	20,29	21,08	5,35
8,0	2,535	21,44	22,08	10,85
9,0	2,241	22,78	22,84	17,61
10,0	1,996	24,45	23,62	25,11
11,0	1,786	26,53	24,57	32,90
12,0	1,603	29,05	25,71	40,6
13,0	1,444	31,94	26,91	48,0
14,0	1,307	35,26	27,98	55,2
15,0	1,183	39,41	29,02	62,6
16,0	1,066	45,06	30,28	70,35
18,0	0,842	62,6	33,89	87,5
20,0	0,6555	87,3	38,57	104,4
22,0	0,529	111,5	43,42	119,0
26,0	0,3963	144,4	51,4	138,9
30,0	0,3248	167,8	56,7	152,7
35,0	0,2551	215,2	61,8	156,7
40,0	0,1919	305,8	71,4	147,9

Çizelge 3.5. 16 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında yoğunluk, ρ , entalpi, h , sonik hız, c ve elektriksel iletkenlik, σ değerleri

Sıcaklık	Yoğunluk	Entalpi	Sonik Hız	Elektriksel İletkenlik
1000 °K	10^{-4} g/cm ³	10^3 J/g	10^4 cm/s	mho/cm
1,0	284,8	0,648	2,456	0
1,4	202,3	1,073	2,911	0
1,7	152,6	1,580	3,356	0
2,0	76,3	3,477	4,805	0
2,3	42,1	5,96	6,62	0
2,6	33,19	7,05	7,46	0
3,0	19,72	10,92	9,78	0
3,5	13,01	14,76	12,46	0
4,0	10,68	16,28	14,18	0,0014
5,0	8,20	18,05	17,36	0,1094
6,0	6,79	19,20	19,65	1,140
7,0	5,81	20,27	21,15	4,19
8,0	5,075	21,38	22,27	9,24
9,0	4,493	22,64	23,11	15,77
10,0	4,014	24,13	23,87	23,26
11,0	3,605	25,96	24,73	31,28
12,0	3,249	28,17	25,75	39,45
13,0	2,937	30,76	26,87	47,5
14,0	2,665	33,72	27,97	55,35
15,0	2,424	37,23	28,98	63,1
16,0	2,202	41,7	30,06	71,3
18,0	1,785	55,3	33,04	89,1
20,0	1,415	75,93	37,14	107,8
22,0	1,134	99,7	41,8	125,1
26,0	0,823	136,8	50,3	150,6
30,0	0,666	161,6	56,5	167,2
35,0	0,532	198,4	61,1	177,9
40,0	0,409	272,7	69,1	170,4

3.2. Elektrik Alan Eşitliği

$$E(\eta) = \frac{dV(\eta)}{d\eta} \quad (3.21)$$

Eş. 3.15, 3.18 ve 3.21 ifadelerinden

$$V(\eta)E(\eta) = \frac{(V^*)}{l} \left[\frac{\eta(1-\alpha'\eta)}{\alpha} \right]^{1/2} \quad (3.22)$$

$$E(\eta) = \left(\frac{V^*}{l} \right) \left[\frac{\eta(1-\alpha'\eta)}{\alpha} \right]^{1/2} \frac{1}{\bar{V}(\eta)} \quad (3.23)$$

elde edilir.

Bu durumda normalize elektrik alan için $\frac{lE(\eta)}{V^*}$ ifadesinin kullanımı kolaylık sağlar.

Görüldüğü gibi bu ifade $\bar{V}(\eta)$ ile ters orantılıdır.

$$\frac{lE(\eta)}{V^*} = \left[\frac{\eta(1-\alpha'\eta)}{\alpha} \right]^{1/2} \frac{1}{\bar{V}(\eta)} \quad (3.24)$$

3.3. Ark Kesit Alanı Eşitliği

Eş. 3.13'ten

$$A(\eta) = \frac{I}{\sigma E(\eta)} \quad (3.25)$$

elde edilir. Eş. 3.25'den de Eş. 3.26, 3.27, 3.28'e ulaşılır.

$$A(\eta) = \frac{I}{\sigma E(\eta)} \quad (3.26)$$

$$A(\eta) = \frac{Il\bar{V}(\eta)}{\sigma V^* [\eta(1-\alpha'\eta)/\alpha]^{1/2}} = A^* \bar{A}(\eta) \quad (3.27)$$

$$A^* = \left(\frac{l}{p_{out}}\right)^{1/2} \frac{I}{(F\sigma)^{1/2}} \quad (3.28)$$

$$\bar{A}(\eta) = \bar{V}(\eta) \left[\frac{\eta(1-\alpha'\eta)}{\alpha} \right]^{-1/2}$$

O halde

$$A(\eta) = I \left(\frac{l}{p_{out} ch}\right)^{1/2} \bar{V}(\eta) \left[\frac{\eta(1-\alpha'\eta)}{\alpha} \right]^{-1/2} \quad (3.29)$$

ifadesi gerçek ark kesit alanını verir.

4. DİNAMİK ARK MODELİ

Devre kesicileri bölgesel veya uluslararası standartları sağlamak amacı ile üretilir ve test edilirler. Bu standartlar kesicilerin çok amaçlı kullanımlara uygun olmalarını sağlar. Fakat bazı durumlarda özel uygulamalara ihtiyaç duyulur [9]. Orta gerilimde standartlar göz önüne alınarak tipik uygulamaların haricinde özel durumlarda da imalatlar yapma lüzumuna ihtiyaç vardır. Bunun içindir ki kesicileri modelleyerek testler yapıp istenen koşullara uygun imalatlarda bulunmak hem zaman yönünden hem de maliyet açısından tasarruf sağlar [17].

Alternatif akım devre kesicilerinde elektrik arkının kesilmesi akım değeri sıfıra ulaşınca kadar devam eder. Devre kesicileri böyle sistemlerde ideal bir anahtar olarak tanımlanırlar. Voltaj ve akım gibi parametreler bu modellerde yeteri derecede geçici durumlara maruz kalırlar. Bu devre kesicisi ve sistem arasında bir etkileşim olduğunu gösterir.

Burada amaç devre kesici ark modellerinin kesinti anında belirli bir şekilde sistem ve devre kesicisi arasındaki etkileşimi tarif ederek kara kutuyu tarif edip diğer çalışmalarda kullanmaktır [9].

4.1. Mayr Ark Modeli

Mayr ark modelinde dinamik ark iletkenliği Eş. 4.1 ile ifade edilmektedir [15]. Bu model sıfıra yakın akımlarda iyi sonuç verir [16].

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{d \ln \sigma}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(\frac{u_a i_a}{P} - 1 \right) \quad (4.1)$$

Bu denklemde;

σ = Ark iletkenliği

u_a = Ark gerilimi(Mayr)

i_a = Ark akımı(Mayr)

$\tau = \tau_o \cdot \sigma^\alpha$: Ark zaman sabiti

$P = P_o \cdot \sigma^\beta$: Soğutma gücü

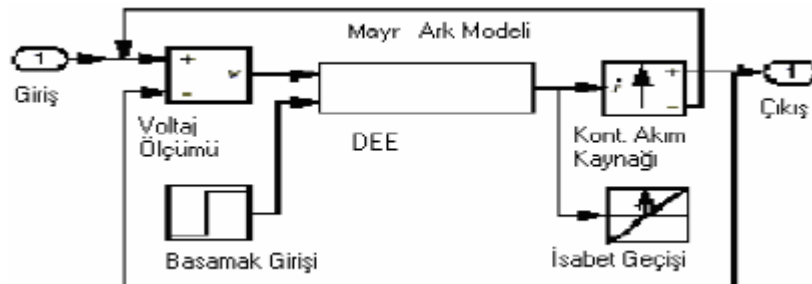
$\tau_o = 5 \times 10^{-6}$

$\alpha = 0,5$

$P_o = 1,5 \times 10^{-6}$

$\beta = 0,8$

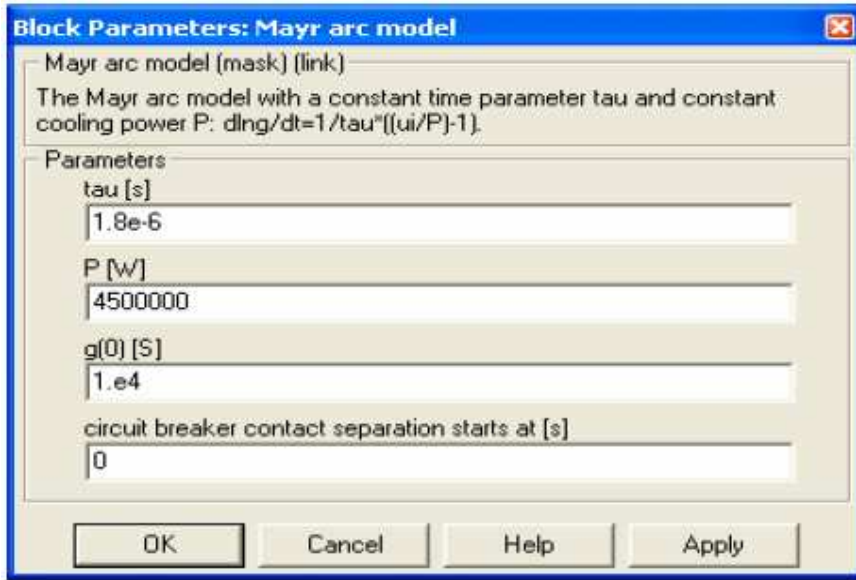
olarak tanımlanır. Şekil 4.1’de Mayr ark modelinin oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Mayr ark modelinin oluşumu

Ark modeline ait denklemler Şekil 4.1’de görüldüğü gibi Simulink DEE devre bloğu yardımı ile sisteme dâhil edilirler. Basamak girişi devre kesicisinin kontak ayrışmasını kontrol etmek için kullanılır. Bir basamak işlemi, tayin edilen kontak ayrışma süresinde sıfır değerinden bir değerine geçme şeklinde yapılır. Kontak ayrılma süresinden başlayarak Mayr denklemi çözülür. İsabet geçiş bloğu, girişindeki akımın sıfır değerinin geçme anını tespit eder. Böylece adım sayısı ayarlanarak sıfır geçiş noktasının bulunması sağlanır. Kontrolör akım kaynağı ise Simulink giriş sinyalini eşdeğer bir akım kaynağına çevirir.

Yukarıda verilen serbest parametrelere ait değerler Şekil 4.2'deki diyalog kutusu yardımı ile belirlenir. Belirlenen bu değerler MATLAB Simulink'te yerine yazılır [19].



Şekil 4.2. Mayr ark modeli diyalog kutusu

Mayr ark modeli diyalog kutusunda arkın başlangıç iletkeni $g(0)$ değiştirilebileceği gibi devre kesicinin kontaklarının ayrışma zamanı da tayin edilebilir. Tayin edilen bu zaman değerine göre ark modeli $g(0)$ değerli bir iletken gibi davranır [18].

Çizelge 3.1 - Çizelge 3.5'te 1, 2, 4, 8, 16 atm basınç değerleri için 1000 °K - 40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerleri verilmiştir. Bu değerler kullanılarak elektriksel iletkenliğin basınç ve sıcaklık ile değişimi Matlab 6.5 ortamında grafiğe dönüştürülmüştür. Bu grafikten faydalanılarak 3, 5, 6, 7, 9, 10 atm basınç değerleri için 1000 °K - 40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerleri elde edilmiştir. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16 atm basınç değerleri için 1000 °K - 40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerleri kullanılarak Matlab 6.5 ortamında ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri hesaplanmıştır. Hesaplan bu değerler Çizelge 4.1 – Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 1 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0,0015	0,1936	0,0083
4,0	0,032	0,8944	0,0956
5,0	0,836	4,5717	1,2997
6,0	3,741	9,6708	4,3100
7,0	8,62	14,6799	8,4042
8,0	14,86	19,2743	12,9929
9,0	21,52	23,1948	17,4729
10,0	28,16	26,5330	21,6669
11,0	34,44	29,3428	25,4532
12,0	40,2	31,7017	28,8053
13,0	45,7	33,8009	31,9172
14,0	51,7	35,9514	35,2277
15,0	58,4	38,2099	38,8348
16,0	65,5	40,4660	42,5681
18,0	78,6	44,3283	49,2526
20,0	89,0	47,1699	54,4005
22,0	96,0	48,9898	57,7974
26,0	107,3	51,7929	63,1788
30,0	111,9	52,8914	65,3364
35,0	102,5	50,6211	60,9074
40,0	105,5	51,3566	62,3294

Çizelge 4.2. 2 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0,0006	0,1225	0,0040
4,0	0,0160	0,6325	0,0549
5,0	0,569	3,7716	0,9554
6,0	3,046	8,7264	3,6566
7,0	7,59	13,7750	7,5907
8,0	13,65	18,4730	12,1394
9,0	20,58	22,6830	16,8596
10,0	27,58	26,2583	21,3092
11,0	34,48	29,3598	25,4768
12,0	40,9	31,9766	29,2059
13,0	47,0	34,2783	32,6415
14,0	53,2	36,4692	36,0430
15,0	60,0	38,7298	39,6837
16,0	67,4	41,0488	43,5531
18,0	82,2	45,3321	51,0492
20,0	94,8	48,6826	57,2187
22,0	104,1	51,0147	61,6669
26,0	116,7	54,0139	67,5691
30,0	125,6	56,0357	71,6610
35,0	117,8	54,2679	68,0781
40,0	116,2	53,8981	67,3374

Çizelge 4.3. 3 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0,0003	0,0866	0,0023
4,0	0,0117	0,5408	0,0427
5,0	0,462	3,3985	0,8087
6,0	2,705	8,2234	3,3253
7,0	7,05	13,2759	7,1555
8,0	12,99	18,0208	11,6675
9,0	19,89	22,2991	16,4059
10,0	27,07	26,0144	20,9934
11,0	34,23	29,2532	25,3289
12,0	41,0	32,0156	29,2630
13,0	47,4	34,4238	32,8635
14,0	53,8	36,6742	36,3678
15,0	60,7	38,9551	40,0537
16,0	68,2	41,2916	43,9662
18,0	83,7	45,7439	51,7931
20,0	97,4	49,3457	58,4707
22,0	108,0	51,9615	63,5083
26,0	122,0	55,2268	70,0131
30,0	132,3	57,5109	74,7032
35,0	127,0	56,3471	72,2993
40,0	123,1	55,4752	70,5176

Çizelge 4.4. 4 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0	0	0
4,0	0,0075	0,4330	0,0299
5,0	0,3556	2,9816	0,6559
6,0	2,363	7,6860	2,9844
7,0	6,50	12,7475	6,7054
8,0	12,32	17,5499	11,1836
9,0	19,20	21,9089	15,9490
10,0	26,56	25,7682	20,6763
11,0	33,97	29,1419	25,1749
12,0	41,1	32,0546	29,3201
13,0	47,8	34,5688	33,0852
14,0	54,4	36,8782	36,6919
15,0	61,4	39,1791	40,4228
16,0	69,0	41,5331	44,3783
18,0	85,15	46,1384	52,5096
20,0	100,0	50,0000	59,7161
22,0	111,9	52,8914	65,3364
26,0	127,3	56,4137	72,4359
30,0	139,0	58,9491	77,7147
35,0	136,2	58,3524	76,4598
40,0	129,9	56,9868	73,6171

Çizelge 4.5. 5 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0	0	0
4,0	0,0065	0,4031	0,0267
5,0	0,318	2,8196	0,5998
6,0	2,199	7,4145	2,8175
7,0	6,21	12,4599	6,4649
8,0	11,95	17,2844	10,9140
9,0	18,80	21,6795	15,6826
10,0	26,20	25,5930	20,4518
11,0	33,70	29,0259	25,0147
12,0	41,0	32,0156	29,2630
13,0	47,9	34,6049	33,1405
14,0	54,6	36,9459	36,7998
15,0	61,7	39,2747	40,5807
16,0	69,3	41,6233	44,5326
18,0	85,7	46,2871	52,7808
20,0	101,1	50,2742	60,2410
22,0	113,7	53,3151	66,1759
26,0	130,2	57,0526	73,7531
30,0	142,4	59,6657	79,2318
35,0	141,3	59,4348	78,7417
40,0	134,4	57,9655	75,6503

Çizelge 4.6. 6 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0	0	0
4,0	0,0054	0,3674	0,0230
5,0	0,280	2,6458	0,5418
6,0	2,035	7,1327	2,6482
7,0	5,93	12,1758	6,2307
8,0	11,59	17,0220	10,6502
9,0	18,41	21,4534	15,4218
10,0	25,84	25,4165	20,2267
11,0	33,44	28,9137	24,8602
12,0	40,9	31,9766	29,2059
13,0	47,9	34,6049	33,1405
14,0	54,8	37,0135	36,9076
15,0	62,0	39,3700	40,7385
16,0	69,7	41,7433	44,7381
18,0	86,3	46,4489	53,0762
20,0	102,2	50,5470	60,7648
22,0	115,5	53,7355	67,0127
26,0	133,1	57,6845	75,0643
30,0	145,9	60,3945	80,7859
35,0	146,5	60,5186	81,0516
40,0	138,9	58,9279	77,6700

Çizelge 4.7. 7 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0	0	0
4,0	0,0044	0,3317	0,0195
5,0	0,242	2,4597	0,4821
6,0	1,871	6,8392	2,4760
7,0	5,64	11,8743	5,9857
8,0	11,22	16,7481	10,3773
9,0	18,01	21,2191	15,1531
10,0	25,47	25,2339	19,9947
11,0	33,17	28,7967	24,6995
12,0	40,7	31,8983	29,0915
13,0	48,0	34,6410	33,1959
14,0	55,0	37,0810	37,0153
15,0	62,3	39,4652	40,8961
16,0	70,0	41,8330	44,8921
18,0	86,9	46,6101	53,3712
20,0	103,3	50,8183	61,2874
22,0	117,2	54,1295	67,8006
26,0	136,0	58,3095	76,3699
30,0	149,3	61,0942	82,2885
35,0	151,6	61,5630	83,3011
40,0	143,4	59,8749	79,6766

Çizelge 4.8. 8 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0	0	0
4,0	0,0033	0,2872	0,0155
5,0	0,2046	2,2616	0,4215
6,0	1,707	6,5326	2,3008
7,0	5,35	11,5650	5,7382
8,0	10,85	16,4697	10,1026
9,0	17,61	20,9821	14,8833
10,0	25,11	25,0549	19,7683
11,0	32,90	28,6793	24,5385
12,0	40,6	31,8591	29,0343
13,0	48,0	34,6410	33,1959
14,0	55,2	37,1484	37,1230
15,0	62,6	39,5601	41,0536
16,0	70,35	41,9375	45,0716
18,0	87,5	46,7707	53,6658
20,0	104,4	51,0882	61,8090
22,0	119,0	54,5436	68,6323
26,0	138,9	58,9279	77,6670
30,0	152,7	61,7859	83,7843
35,0	156,7	62,5899	85,5355
40,0	147,9	60,8071	81,6706

Çizelge 4.9. 9 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0	0	0
4,0	0,0031	0,2784	0,0148
5,0	0,193	2,1966	0,4023
6,0	1,636	6,3953	2,2239
7,0	5,21	11,4127	5,6177
8,0	10,65	16,3172	9,9534
9,0	17,38	20,8447	14,7276
10,0	24,88	24,9399	19,6233
11,0	32,70	28,5920	24,4191
12,0	40,5	31,8198	28,9771
13,0	47,9	34,6049	33,1405
14,0	55,2	37,1484	37,1230
15,0	62,7	39,5917	41,1060
16,0	70,5	41,9821	45,1484
18,0	87,7	46,8241	53,7639
20,0	104,8	51,1859	61,9984
22,0	119,8	54,7266	69,0012
26,0	140,4	59,2453	78,3402
30,0	154,5	62,1490	84,5734
35,0	159,4	63,1269	86,7125
40,0	150,7	61,3800	82,9052

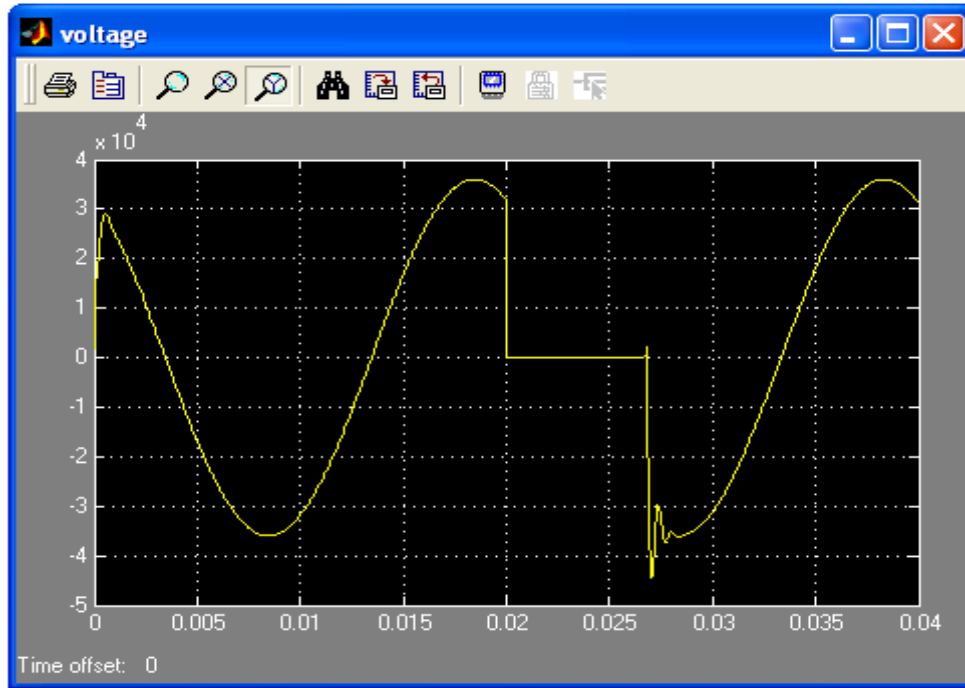
Çizelge 4.10. 10 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0	0	0
4,0	0.0028	0.2646	0.0136
5,0	0.181	2.1272	0.3822
6,0	1.565	6.2550	2.1464
7,0	5.06	11.2472	5.4880
8,0	10.45	16.1632	9.8036
9,0	17.15	20.7063	14.5714
10,0	24.65	24.8244	19.4780
11,0	32.50	28.5044	24.2995
12,0	40.3	31.7411	28.8626
13,0	47.9	34.6049	33.1405
14,0	55.2	37.1484	37.1230
15,0	62.7	39.5917	41.1060
16,0	70.6	42.0119	45.1996
18,0	87.9	46.8775	53.8620
20,0	105.3	51.3079	62.2349
22,0	120.5	54.8862	69.3236
26,0	141.8	59.5399	78.9646
30,0	156.3	62.5100	85.3608
35,0	162.0	63.6396	87.8422
40,0	153.5	61.9476	84.1352

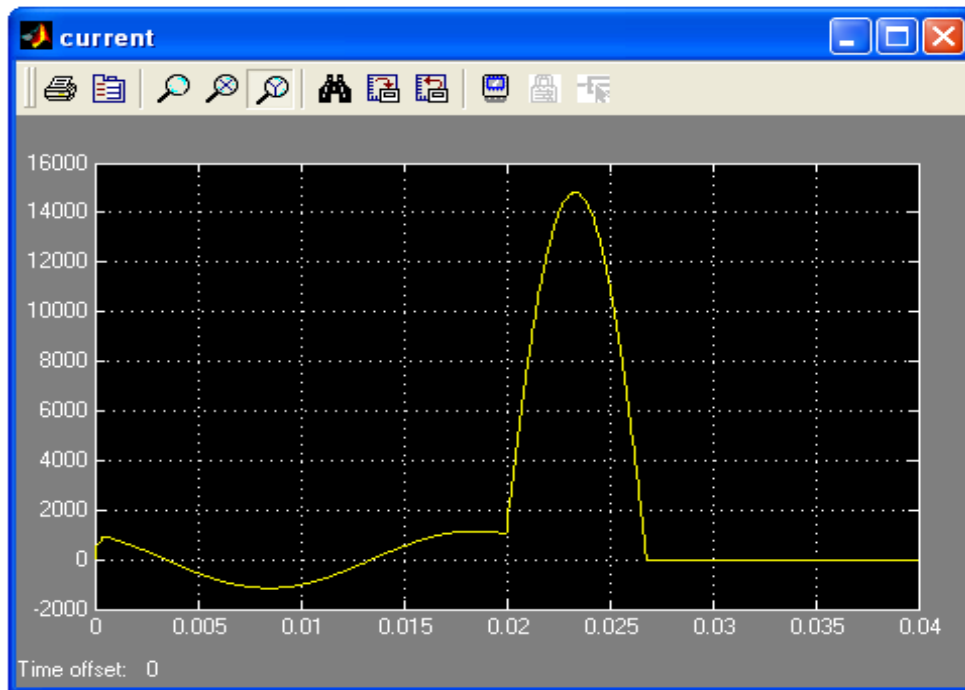
Çizelge 4.11. 16 atm basınç için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik, σ değerlerine karşılık gelen ark zaman sabiti, τ ve soğutma gücü, P değerleri

Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ark Zaman Sabiti	Soğutma Gücü
1000 °K	mho/cm	μs	MW
1,0	0	0	0
1,4	0	0	0
1,7	0	0	0
2,0	0	0	0
2,3	0	0	0
2,6	0	0	0
3,0	0	0	0
3,5	0	0	0
4,0	0,0014	0,1871	0,0078
5,0	0,1094	1,6538	0,2554
6,0	1,140	5,3385	1,6658
7,0	4,19	10,2347	4,7191
8,0	9,24	15,1987	8,8844
9,0	15,77	19,8557	13,6256
10,0	23,26	24,1143	18,5943
11,0	31,28	27,9643	23,5670
12,0	39,45	31,4046	28,3745
13,0	47,5	34,4601	32,9190
14,0	55,35	37,1988	37,2036
15,0	63,1	39,7178	41,3157
16,0	71,3	42,2197	45,5578
18,0	89,1	47,1964	54,4494
20,0	107,8	51,9134	63,4142
22,0	125,1	55,9241	71,4327
26,0	150,6	61,3596	82,8612
30,0	167,2	64,6529	90,0908
35,0	177,9	66,6896	94,6743
40,0	170,4	65,2687	91,4675

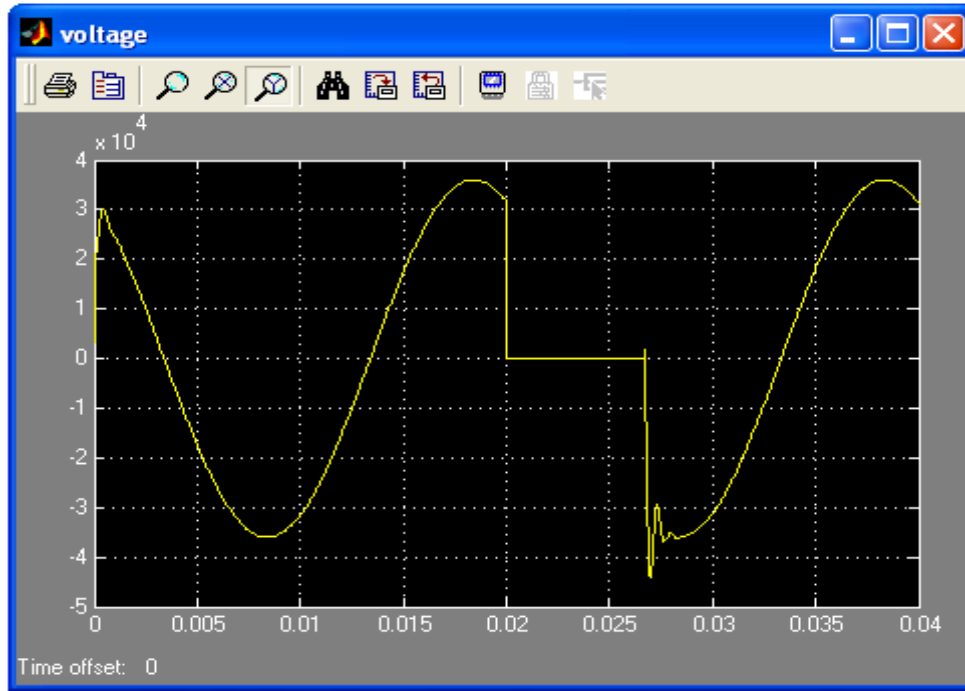
Çizelge 4.1 – Çizelge 4.11’de verilen basınç, p , sıcaklık, T , elektriksel iletkenlik, σ , ark zaman sabiti, τ , ve soğutma gücü, P değerleri kullanılarak ark gerilimi ve ark akımının zamanla değişimlerinin simülasyonları Matlab 6.5 ortamında yapılmıştır. Simülasyonlar 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16 atm basınç ve 4000, 10000, 30000, 40000 °K sıcaklık değerleri için yapılarak Şekil 4.3 - Şekil 4.92’de verilmiştir.



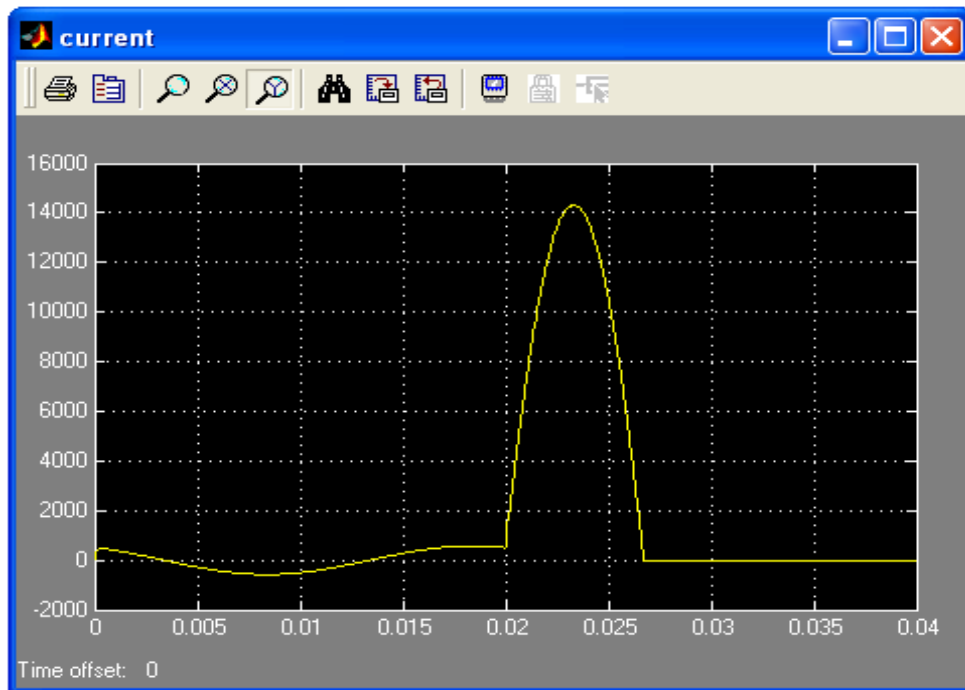
Şekil 4.3. 1 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,032 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,8944 μ s ark zaman sabiti, 0,0956 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



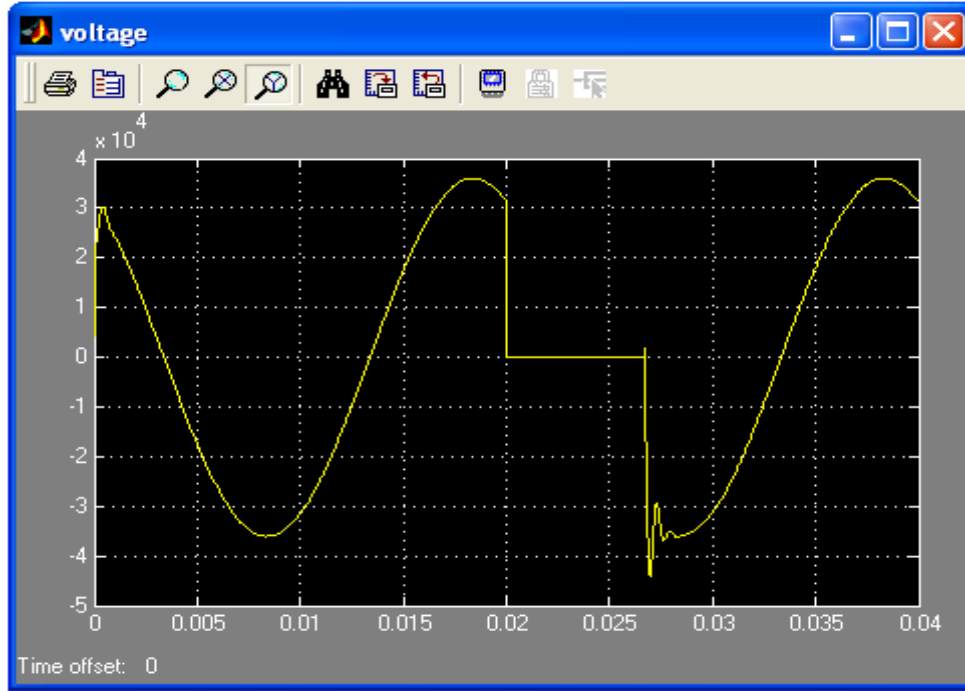
Şekil 4.4. 1 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,032 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,8944 μ s ark zaman sabiti, 0,0956 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



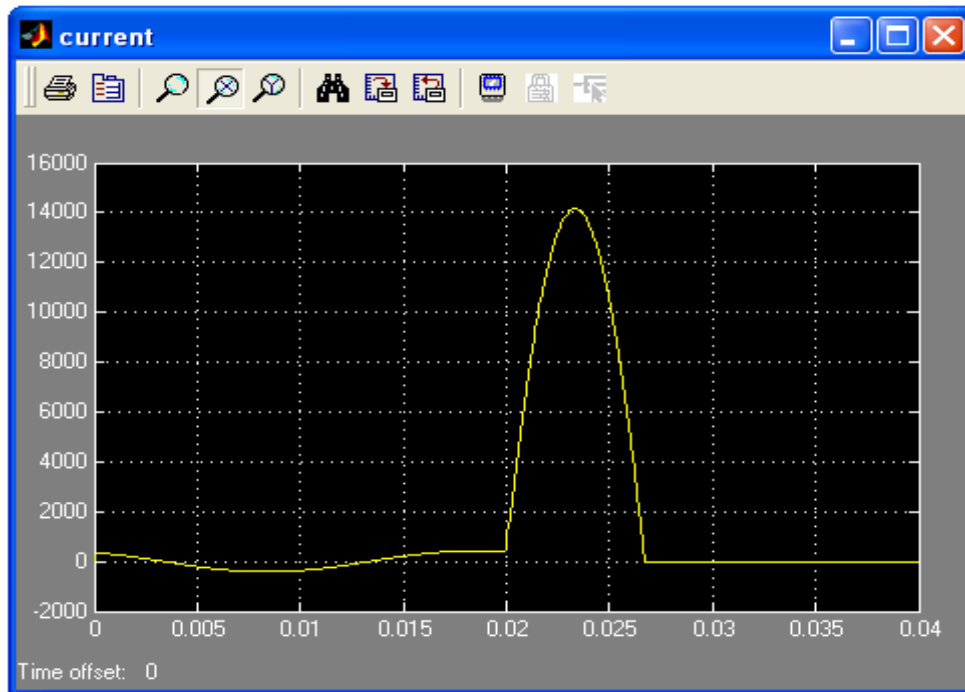
Şekil 4.5. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,6325 μ s ark zaman sabiti, 0,0549 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



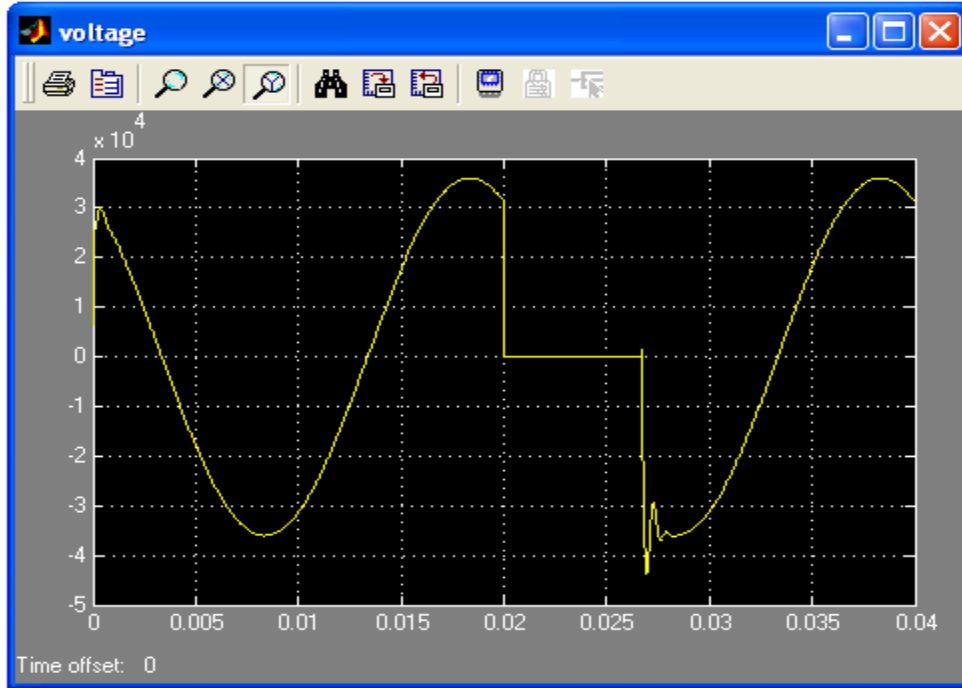
Şekil 4.6. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,6325 μ s ark zaman sabiti, 0,0549 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



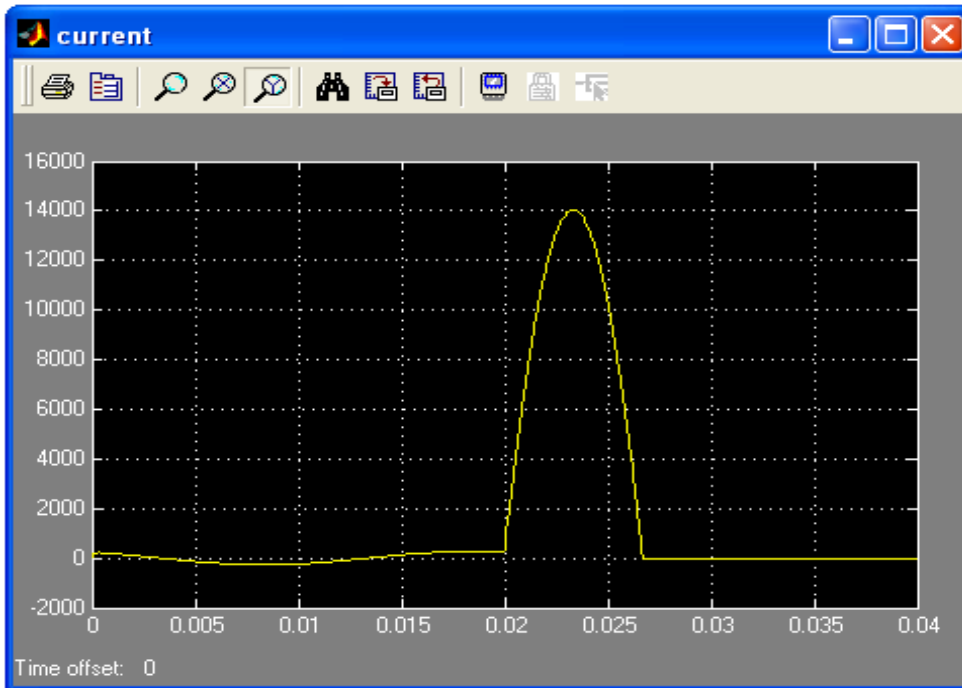
Şekil 4.7. 3 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0117 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,5408 μ s ark zaman sabiti, 0,0427 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



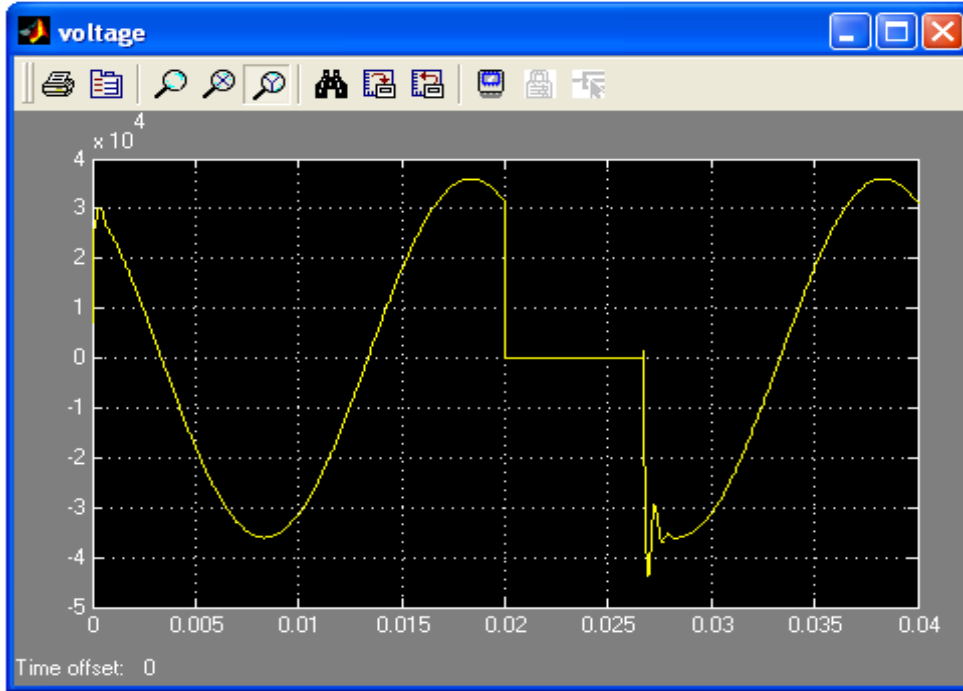
Şekil 4.8. 3 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0117 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,5408 μ s ark zaman sabiti, 0,0427 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



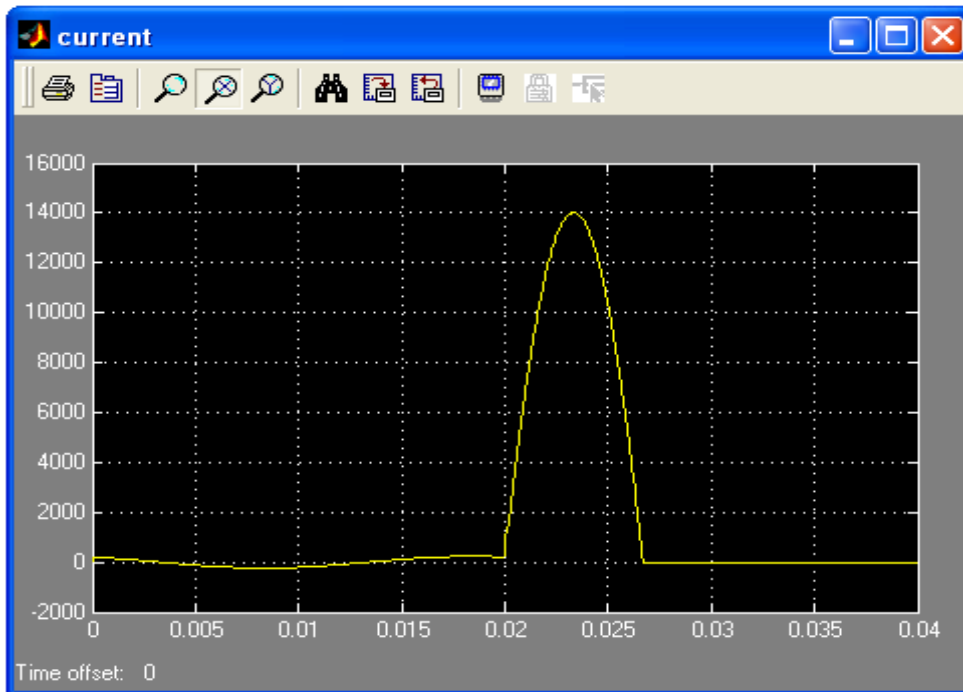
Şekil 4.9. 4 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0075 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,4330 μ s ark zaman sabiti, 0,0299 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



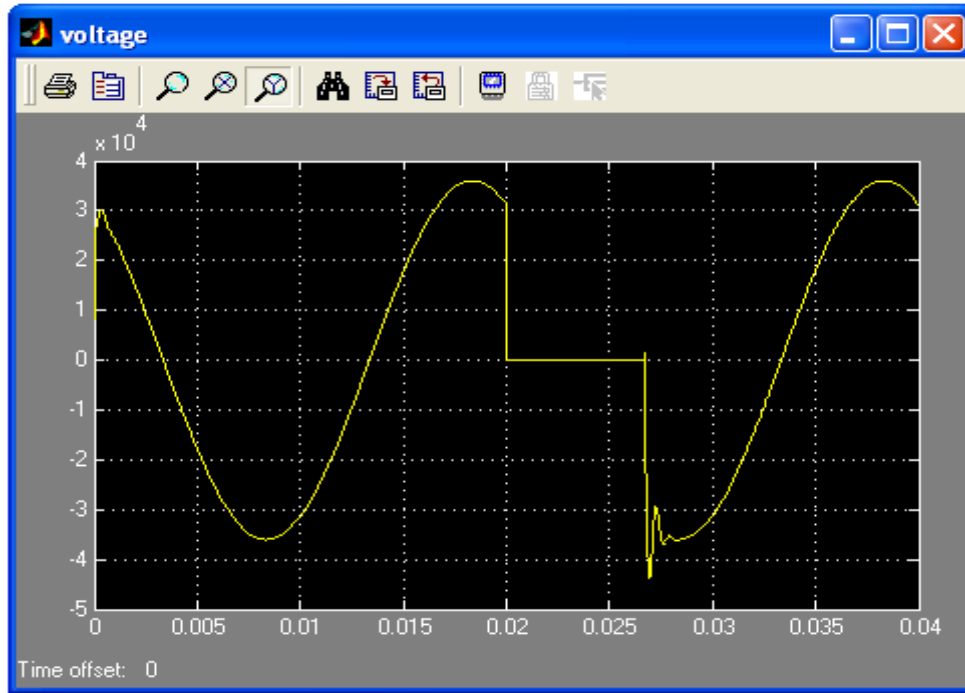
Şekil 4.10. 4 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0075 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,4330 μ s ark zaman sabiti, 0,0299 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



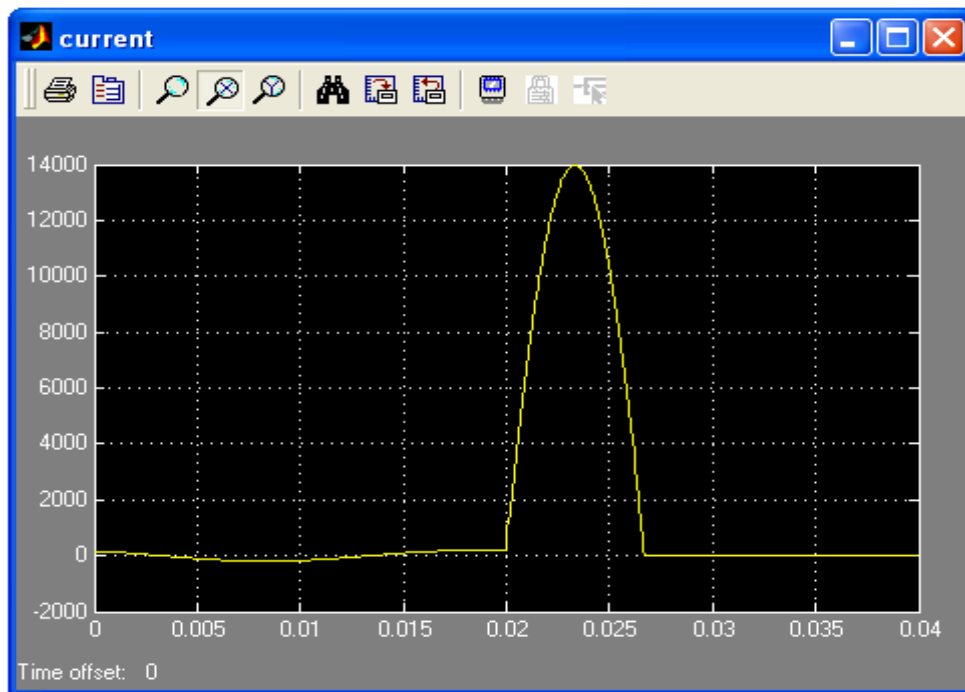
Şekil 4.11. 5 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0065 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,4031 μ s ark zaman sabiti, 0,0267 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



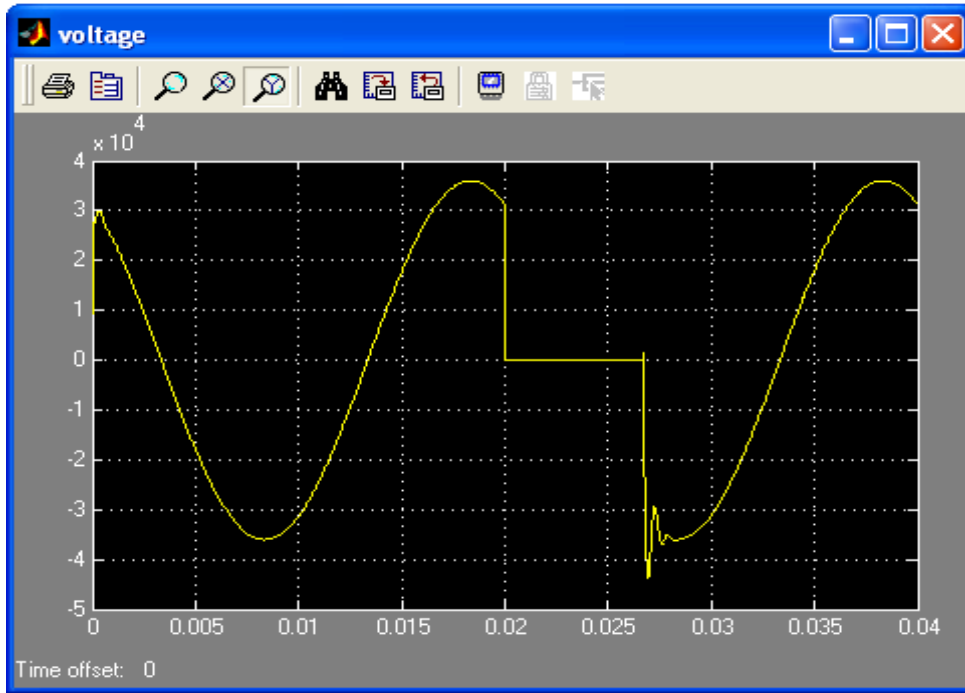
Şekil 4.12. 5 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0065 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,4031 μ s ark zaman sabiti, 0,0267 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



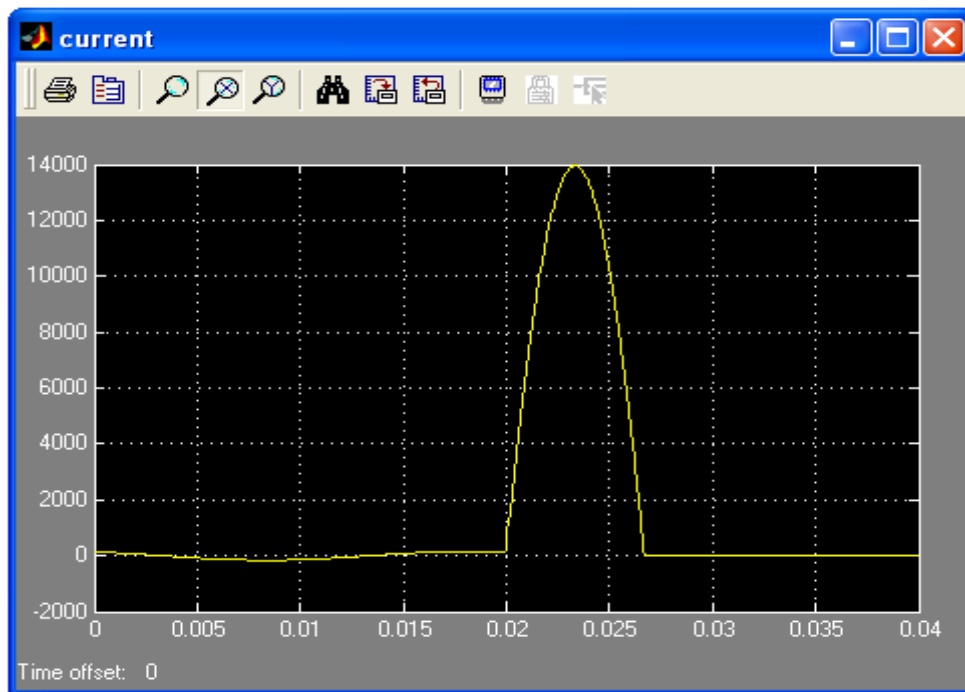
Şekil 4.13. 6 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0054 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,3674 μ s ark zaman sabiti, 0,0230 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



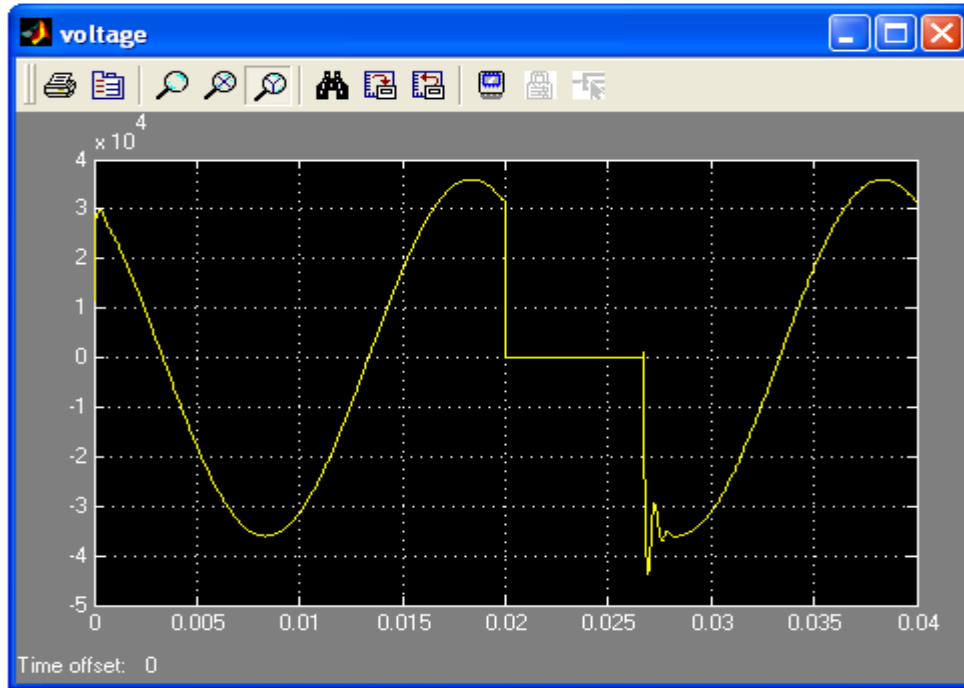
Şekil 4.14. 6 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0054 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,3674 μ s ark zaman sabiti, 0,0230 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



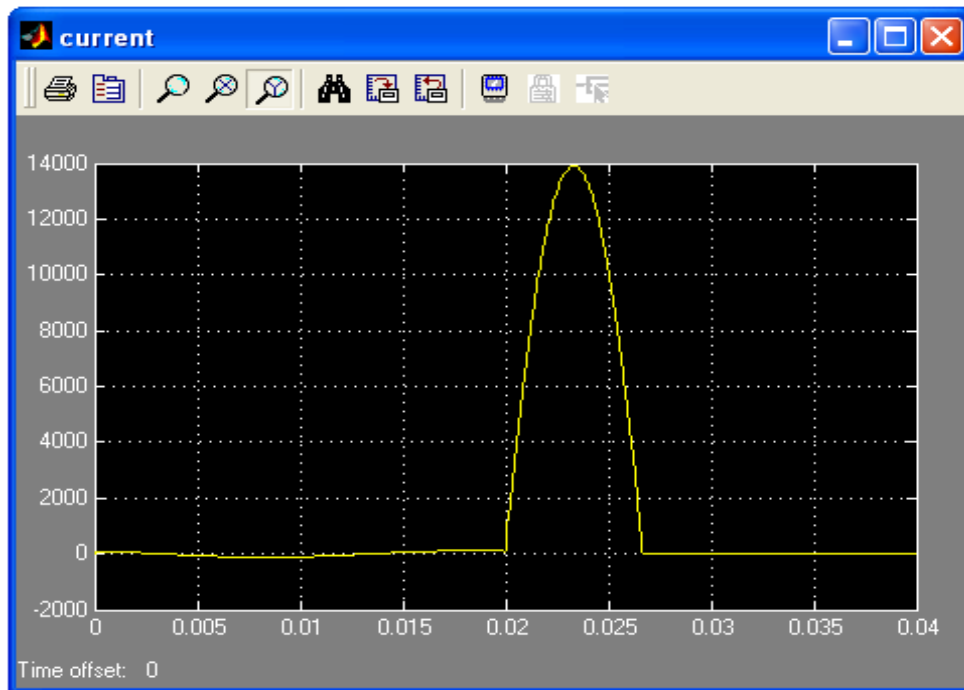
Şekil 4.15. 7 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0044 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,3317 μ s ark zaman sabiti, 0,0195 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



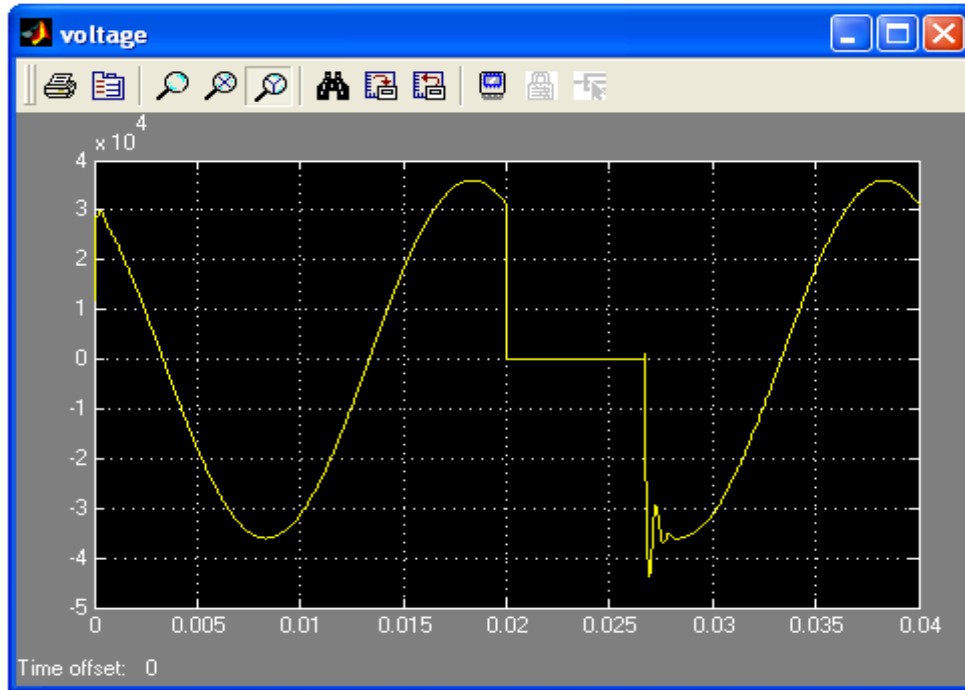
Şekil 4.16. 7 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0044 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,3317 μ s ark zaman sabiti, 0,0195 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



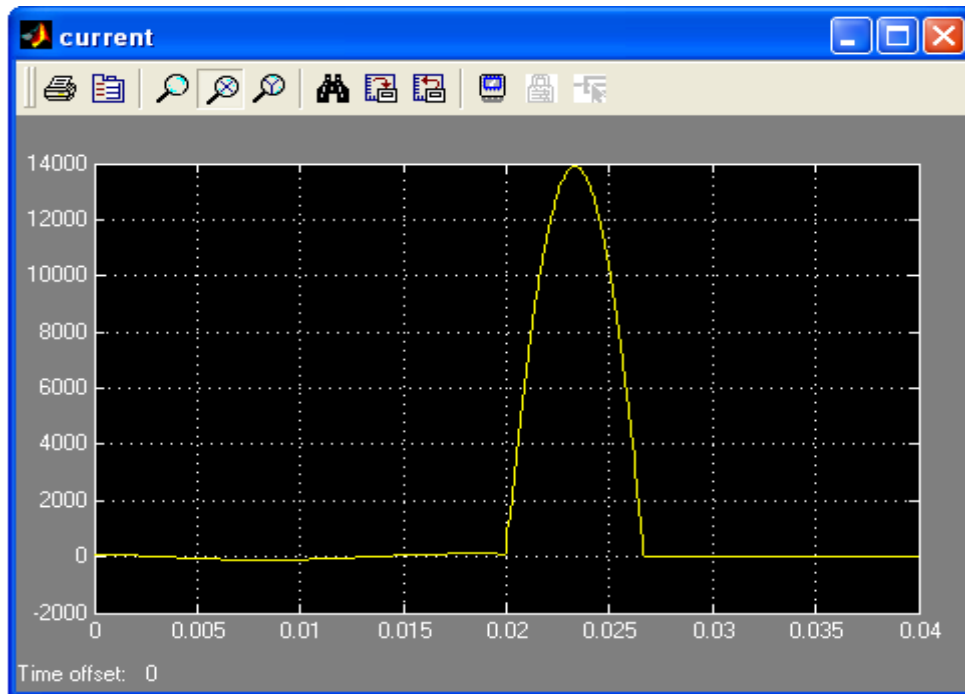
Şekil 4.17. 8 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0033 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2872 μ s ark zaman sabiti, 0,0155 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



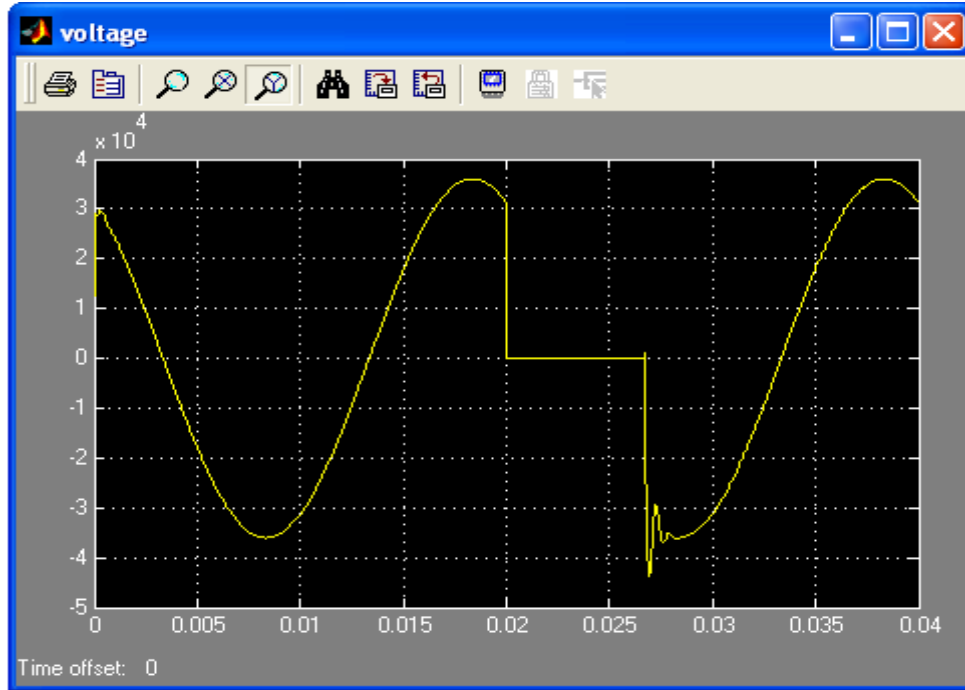
Şekil 4.18. 8 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0033 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2872 μ s ark zaman sabiti, 0,0155 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



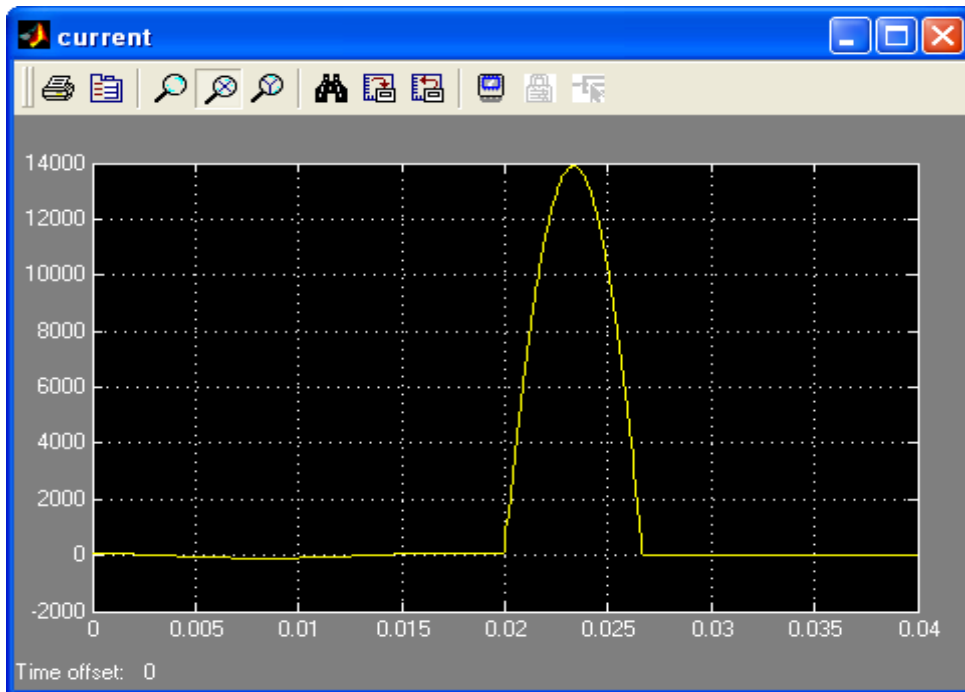
Şekil 4.19. 9 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0031 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2784 μ s ark zaman sabiti, 0,0148 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



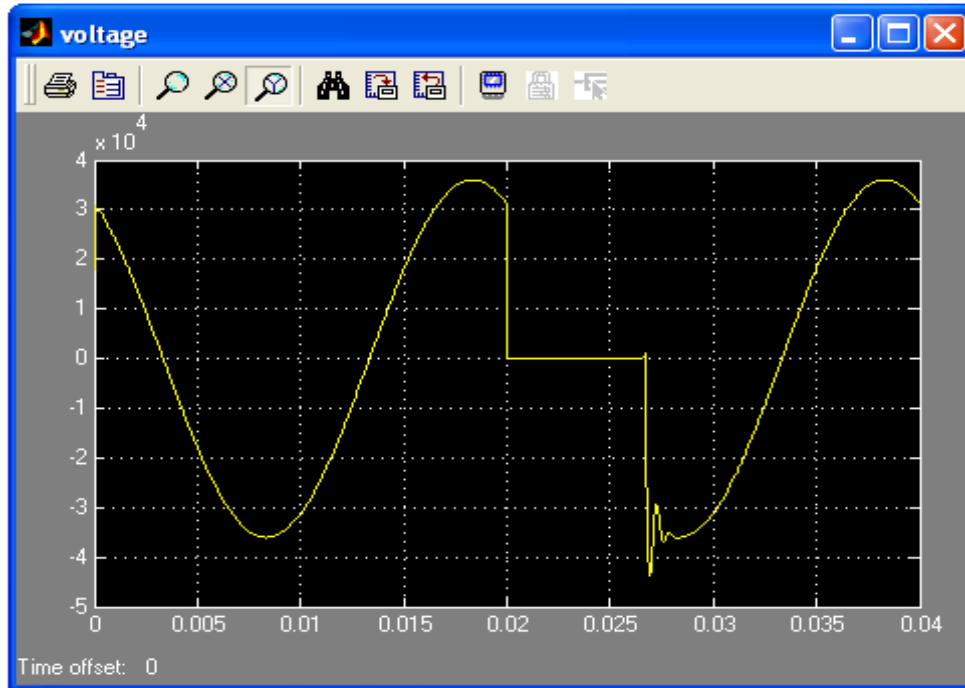
Şekil 4.20. 9 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0031 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2784 μ s ark zaman sabiti, 0,0148 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



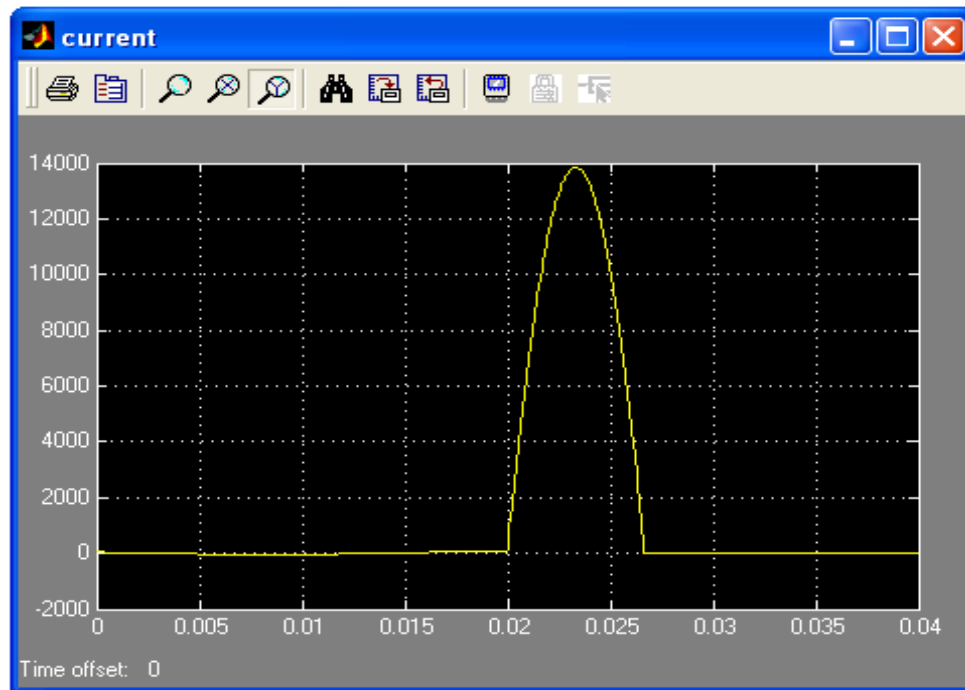
Şekil 4.21. 10 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0028 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2646 μ s ark zaman sabiti, 0,0136 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



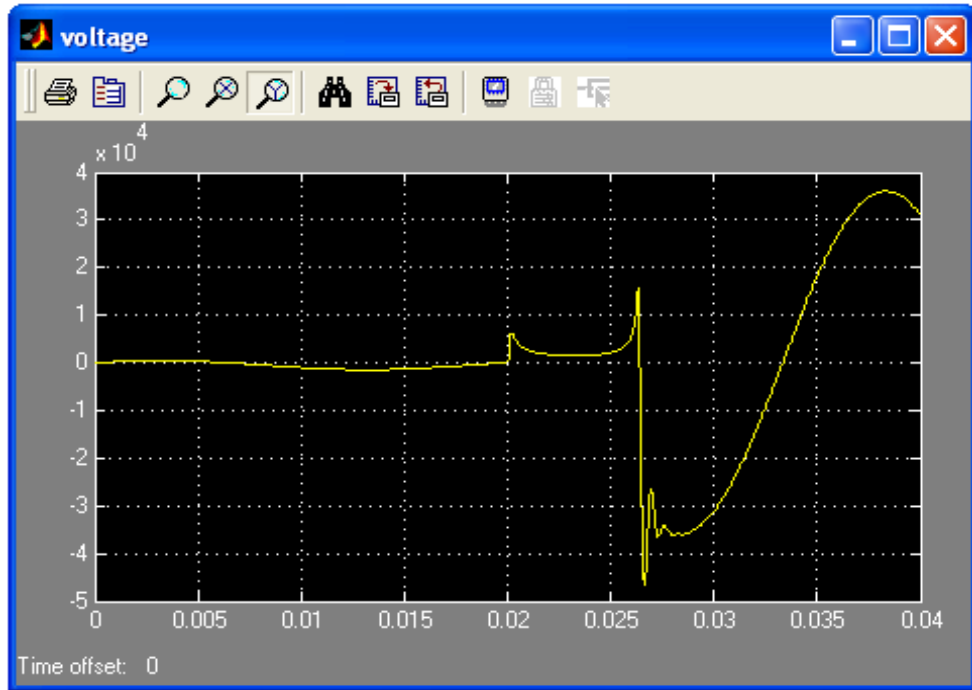
Şekil 4.22. 10 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0028 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,2646 μ s ark zaman sabiti, 0,0136 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



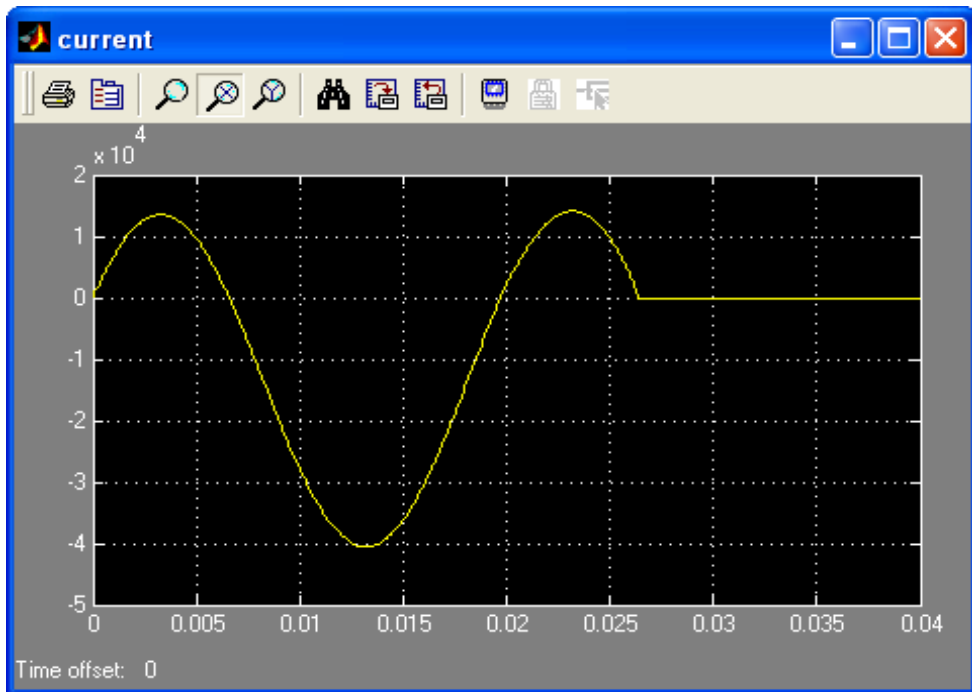
Şekil 4.23. 16 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0014 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,1871 μ s ark zaman sabiti, 0,0078 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



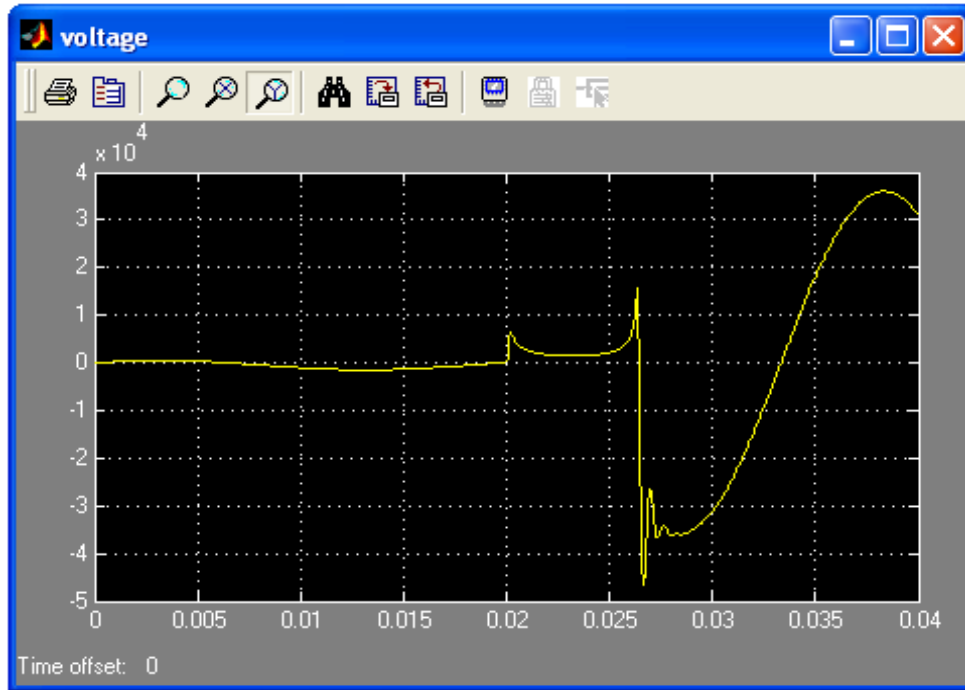
Şekil 4.24. 16 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0014 mho/cm elektriksel iletkenlik, 0,1871 μ s ark zaman sabiti, 0,0078 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



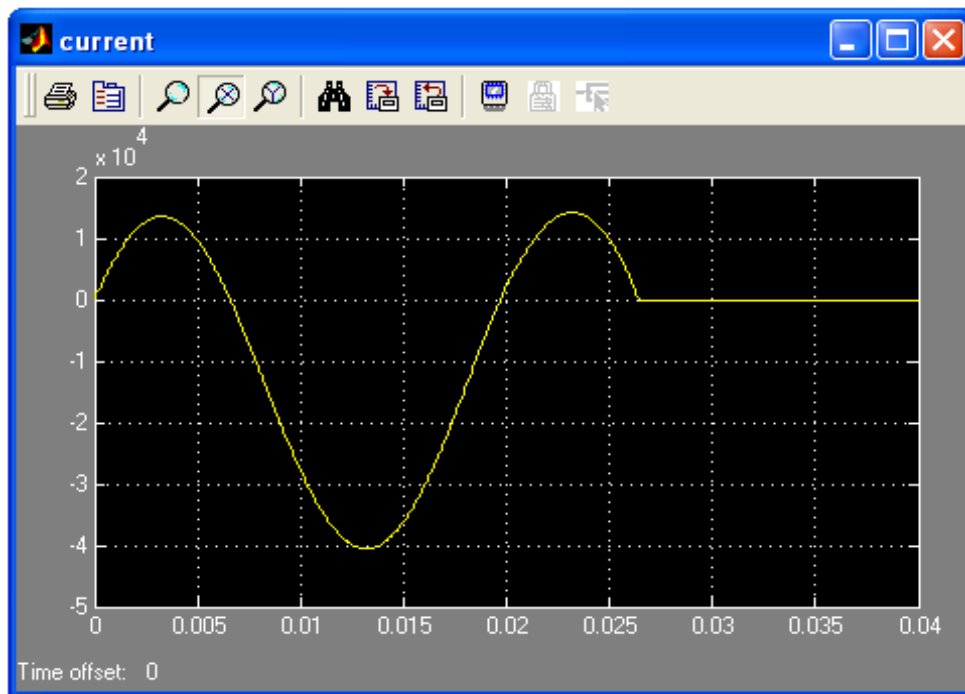
Şekil 4.25. 1 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 28,16 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,5330 μ s ark zaman sabiti, 21,6669 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



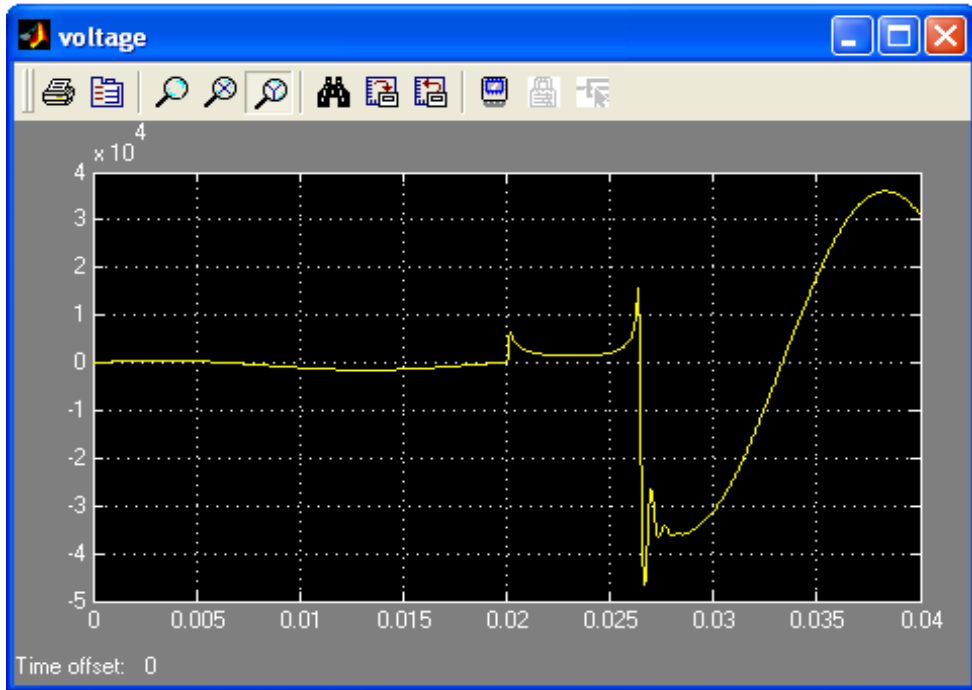
Şekil 4.26. 1 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 28,16 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,5330 μ s ark zaman sabiti, 21,6669 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



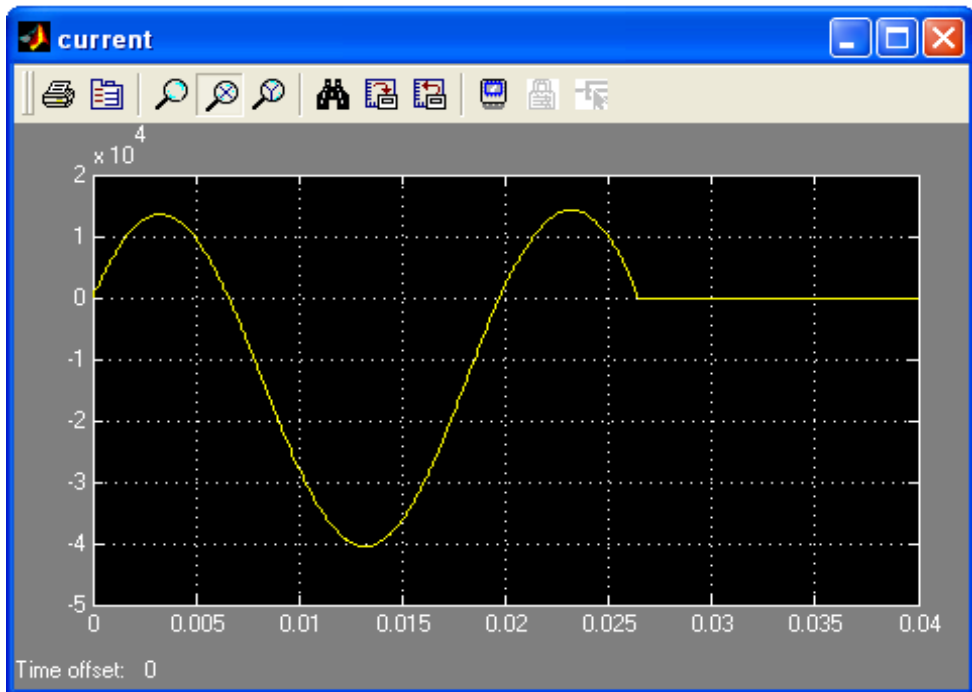
Şekil 4.27. 2 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 27,58 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,2583 μ s ark zaman sabiti, 21,3092 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



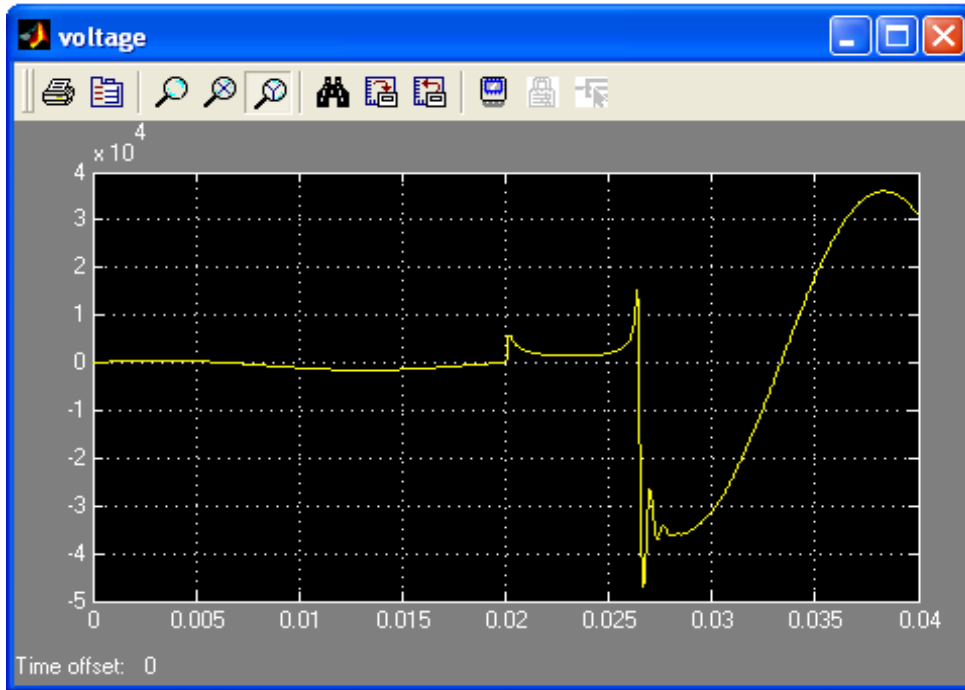
Şekil 4.28. 2 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 27,58 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,2583 μ s ark zaman sabiti, 21,3092 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



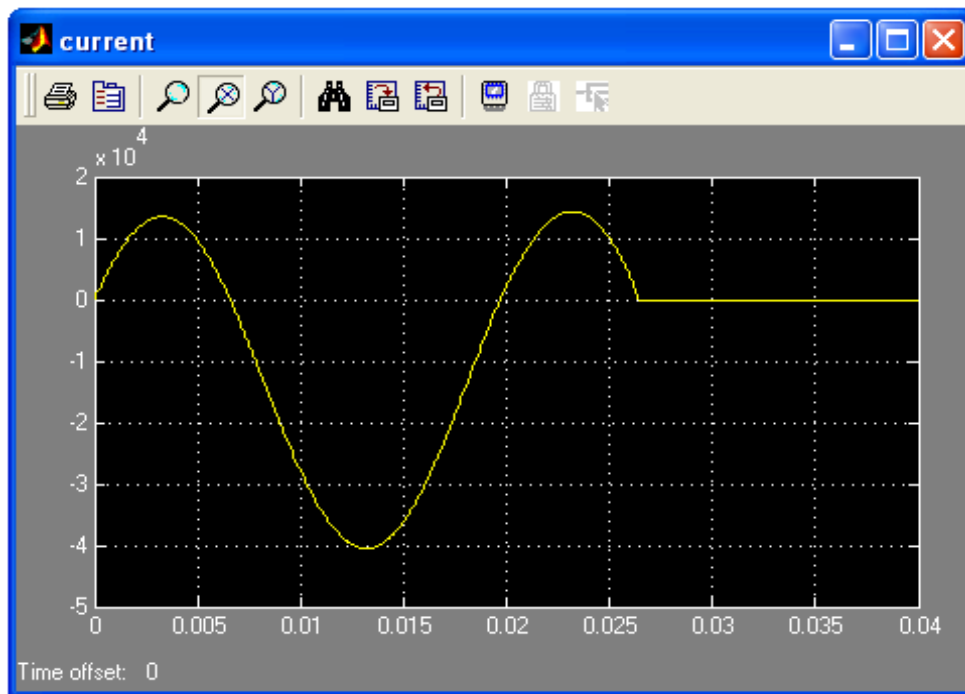
Şekil 4.29. 3 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 27,07 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,0144 μ s ark zaman sabiti, 20,9934 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



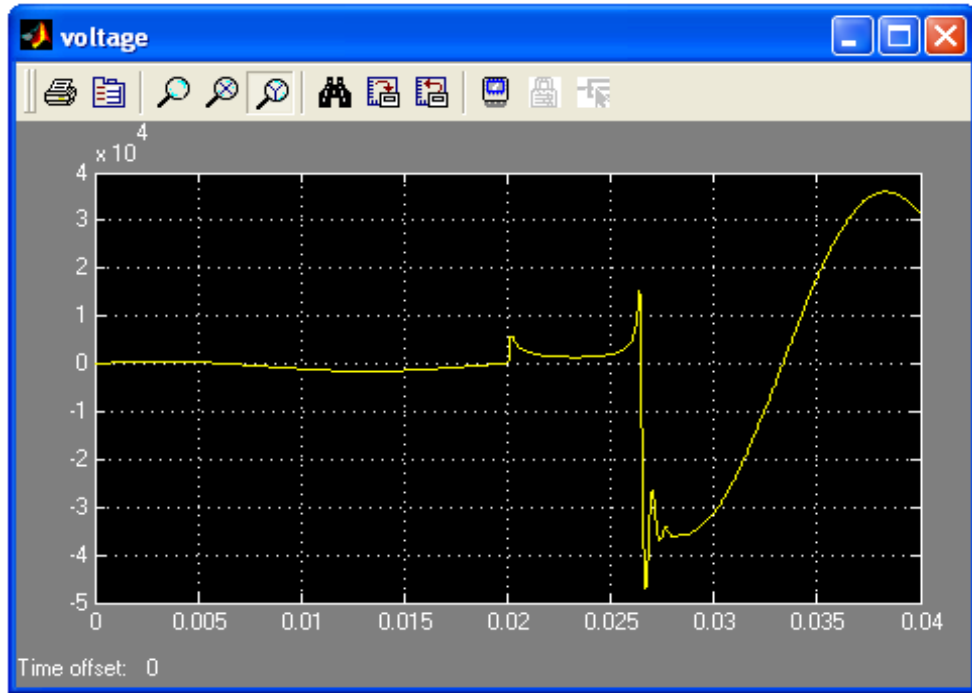
Şekil 4.30. 3 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 27,07 mho/cm elektriksel iletkenlik, 26,0144 μ s ark zaman sabiti, 20,9934 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



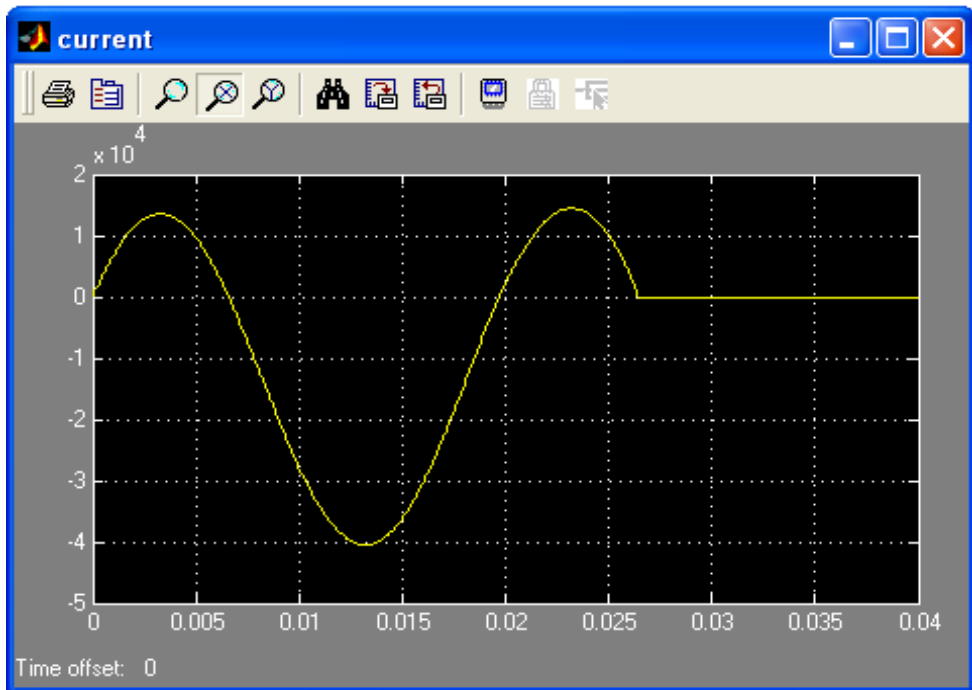
Şekil 4.31. 4 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 26,56 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,7682 μ s ark zaman sabiti, 20,6763 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



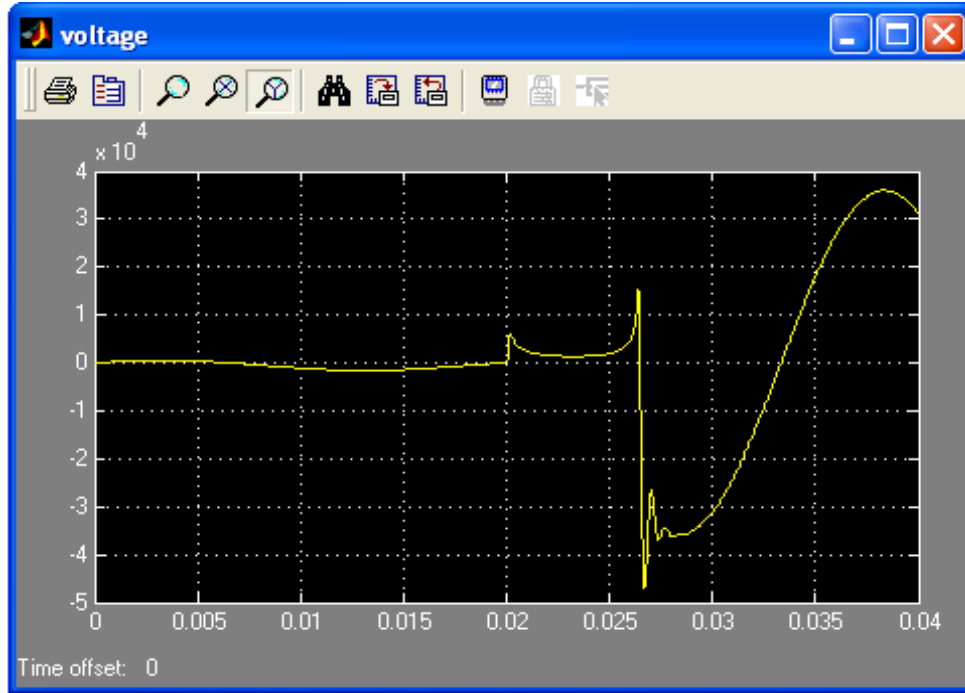
Şekil 4.32. 4 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 26,56 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,7682 μ s ark zaman sabiti, 20,6763 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



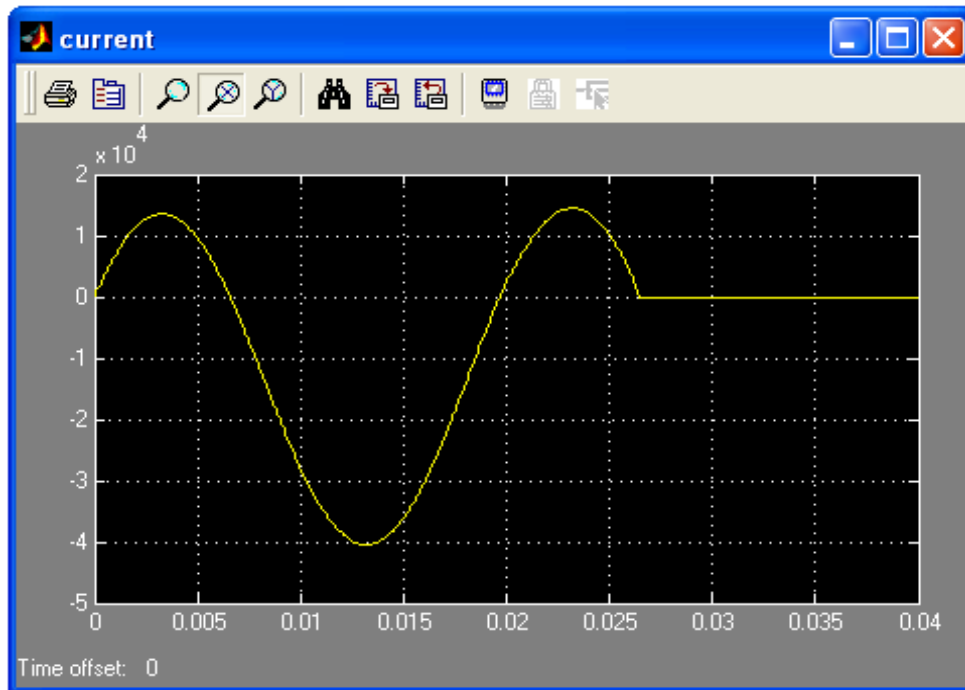
Şekil 4.33. 5 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 26,20 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,5930 μ s ark zaman sabiti, 20,4518 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



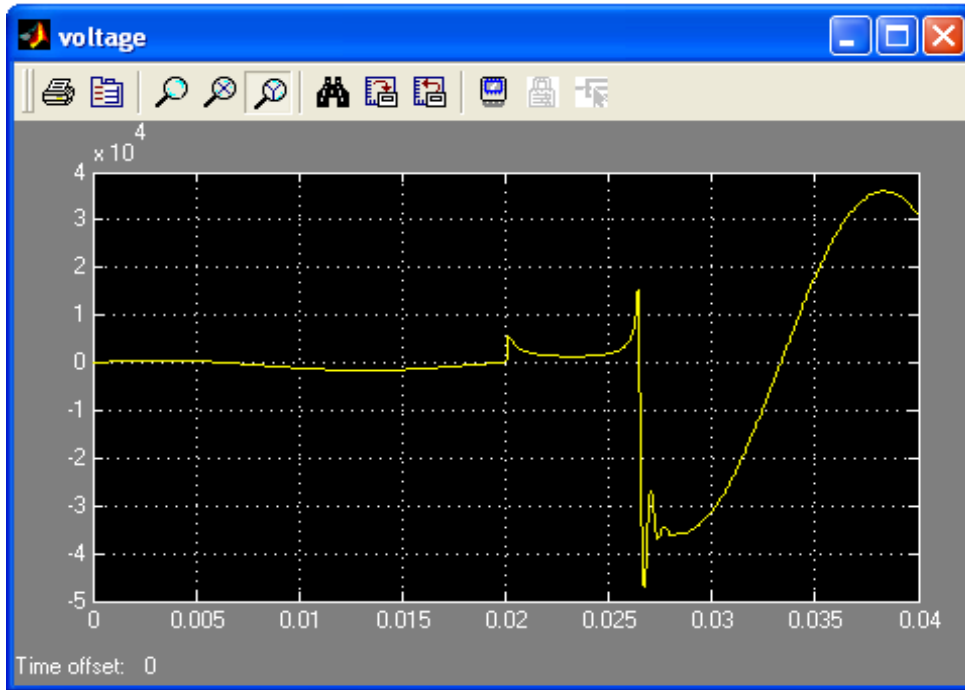
Şekil 4.34. 5 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 26,20 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,5930 μ s ark zaman sabiti, 20,4518 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



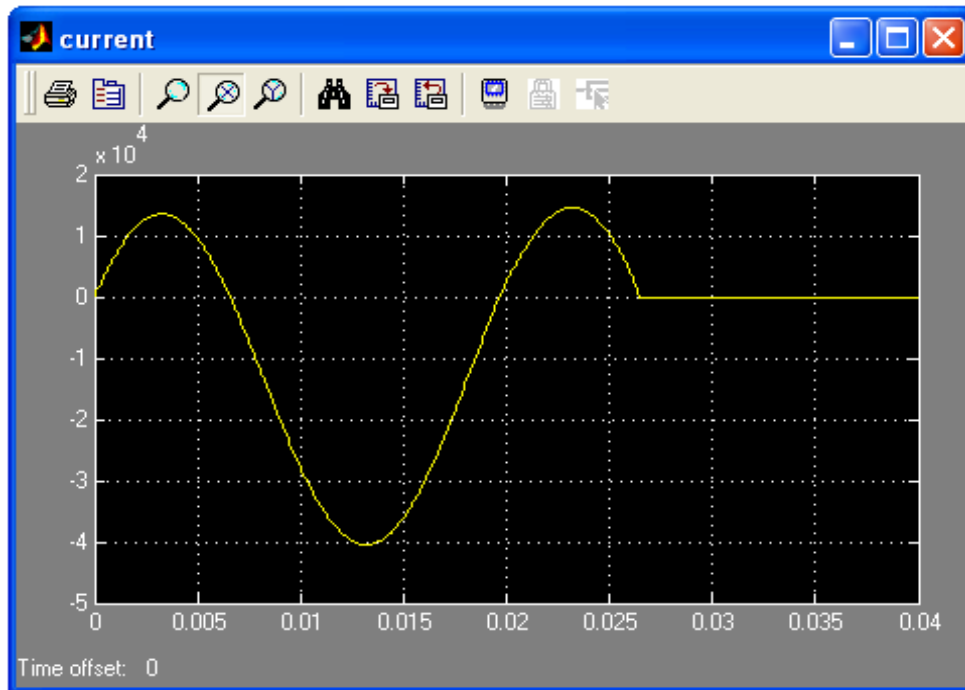
Şekil 4.35. 6 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,84 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,4165 μ s ark zaman sabiti, 20,2267 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



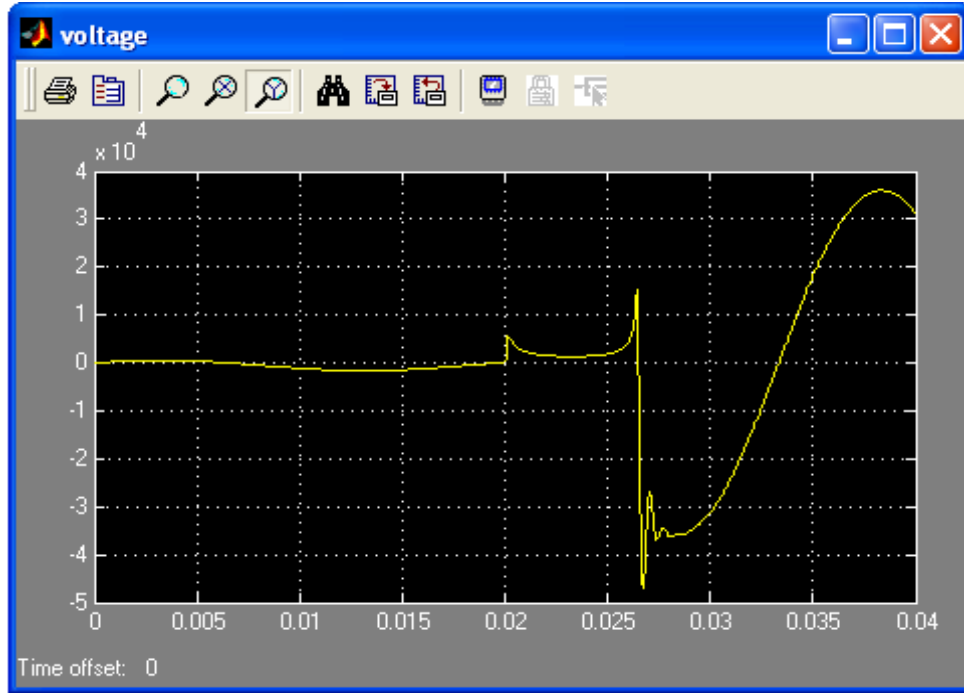
Şekil 4.36. 6 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,84 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,4165 μ s ark zaman sabiti, 20,2267 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



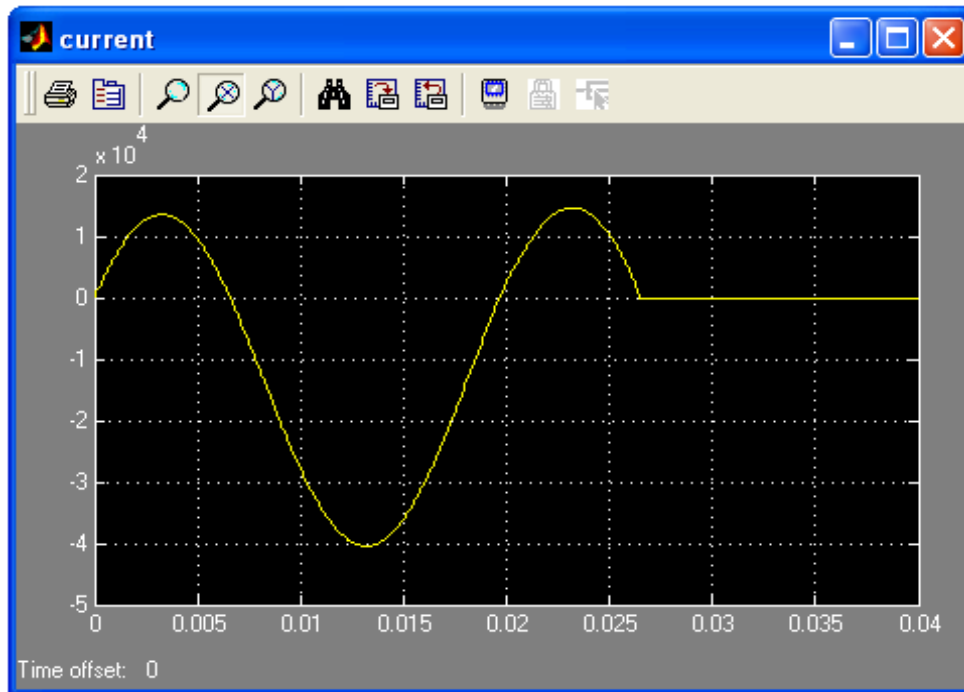
Şekil 4.37. 7 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,47 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,2339 μ s ark zaman sabiti, 19,9947 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



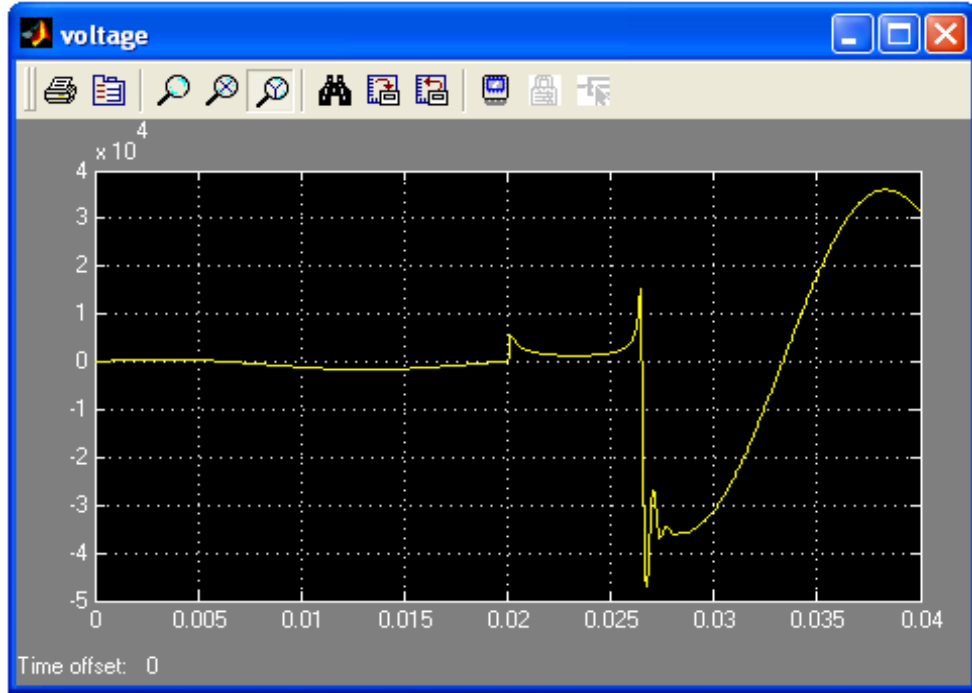
Şekil 4.38. 7 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,47 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,2339 μ s ark zaman sabiti, 19,9947 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



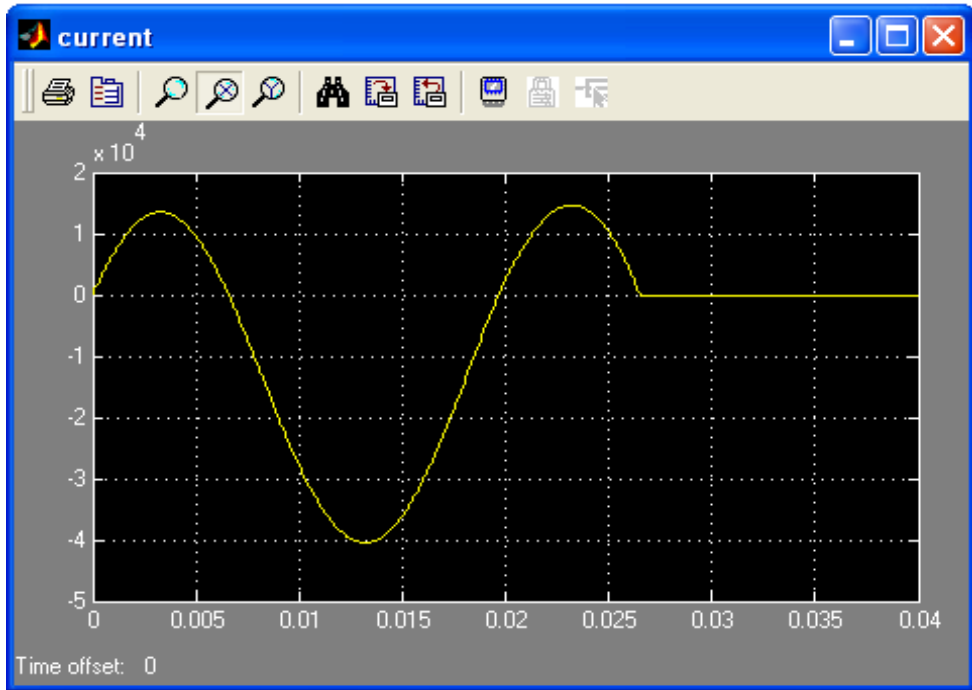
Şekil 4.39. 8 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,11 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,0549 μ s ark zaman sabiti, 19,7683 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



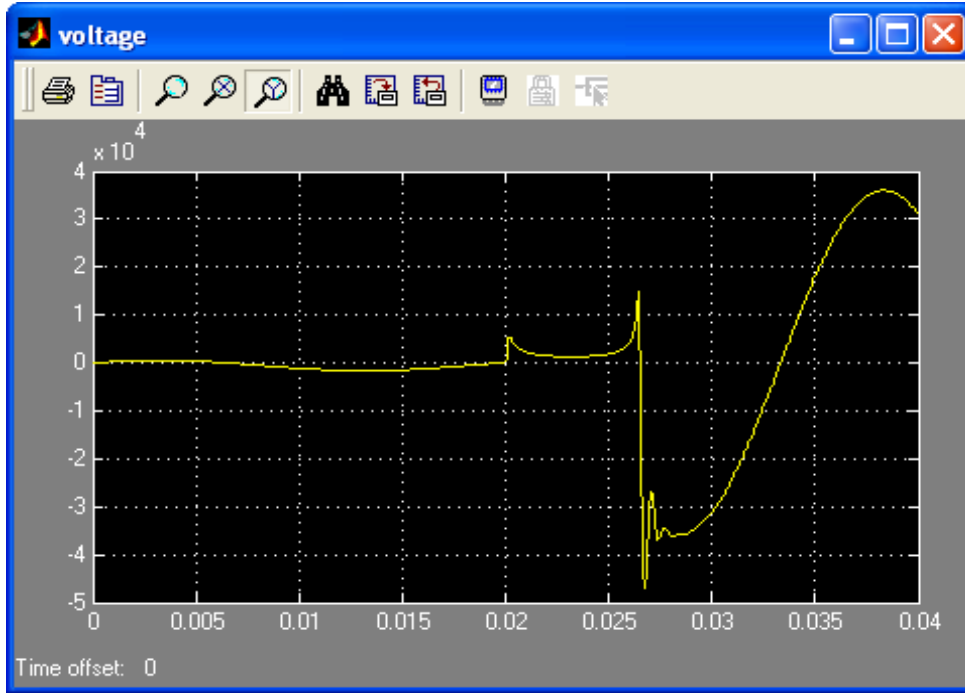
Şekil 4.40. 8 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 25,11 mho/cm elektriksel iletkenlik, 25,0549 μ s ark zaman sabiti, 19,7683 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



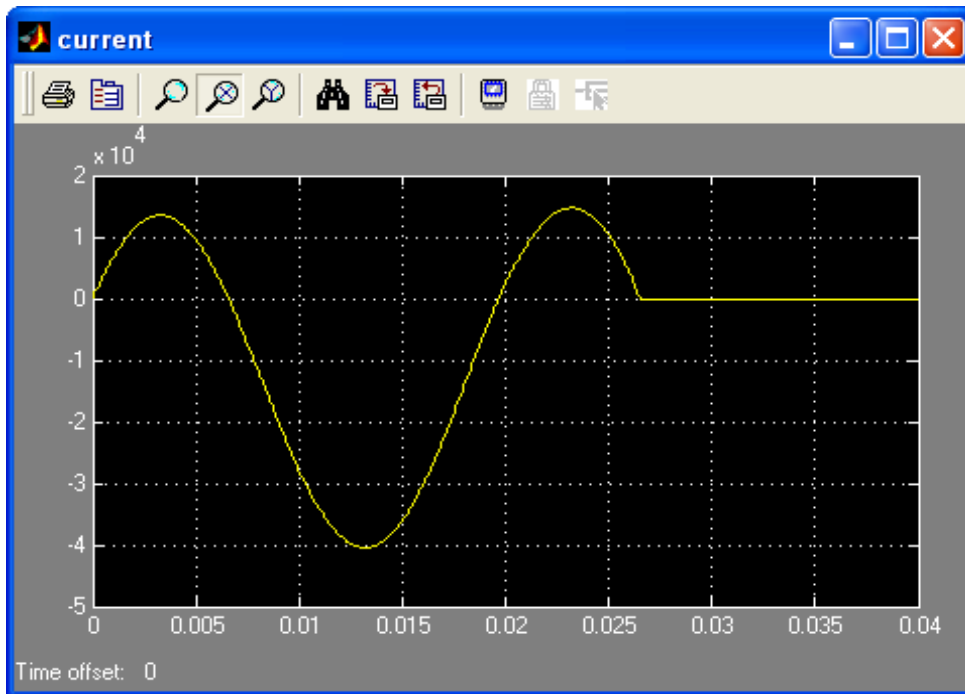
Şekil 4.41. 9 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 24,88 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,9399 μ s ark zaman sabiti, 19,6233 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



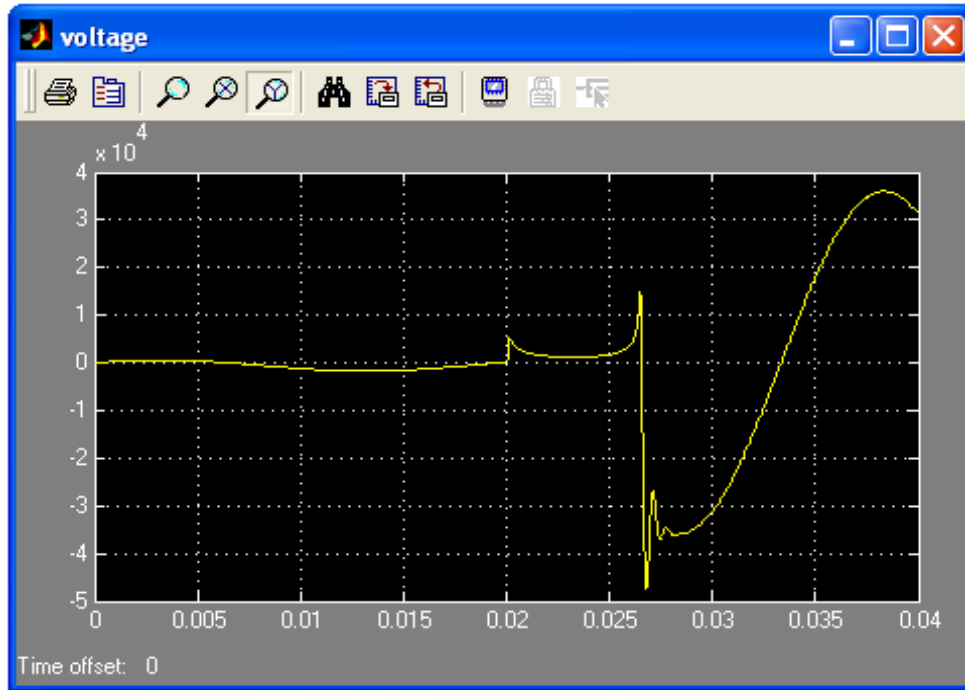
Şekil 4.42. 9 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 24,88 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,9399 μ s ark zaman sabiti, 19,6233 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



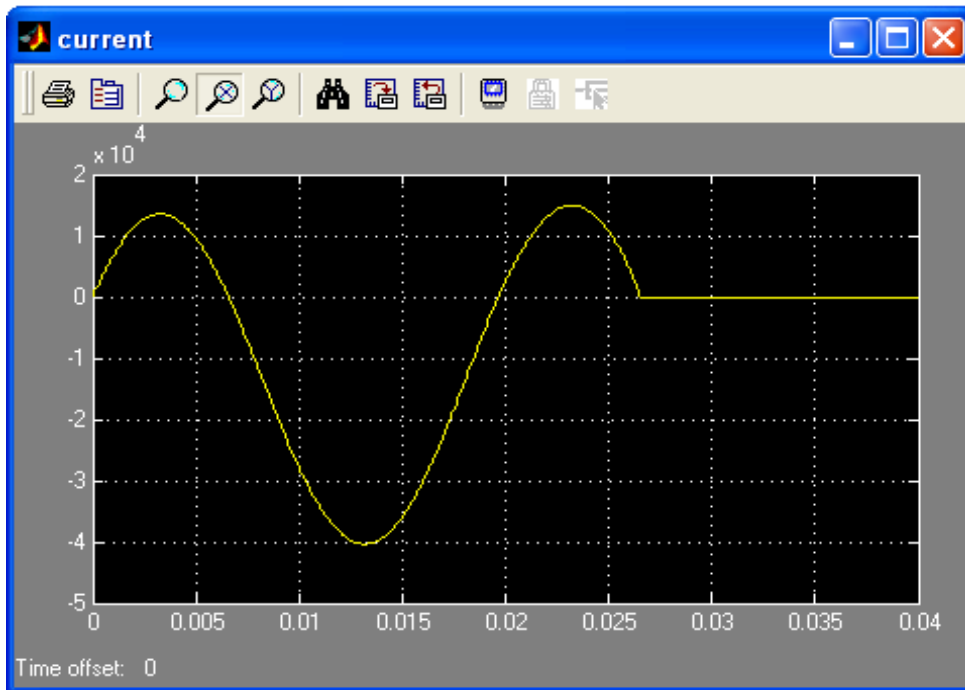
Şekil 4.43. 10 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 24,65 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,8244 μ s ark zaman sabiti, 19,4780 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



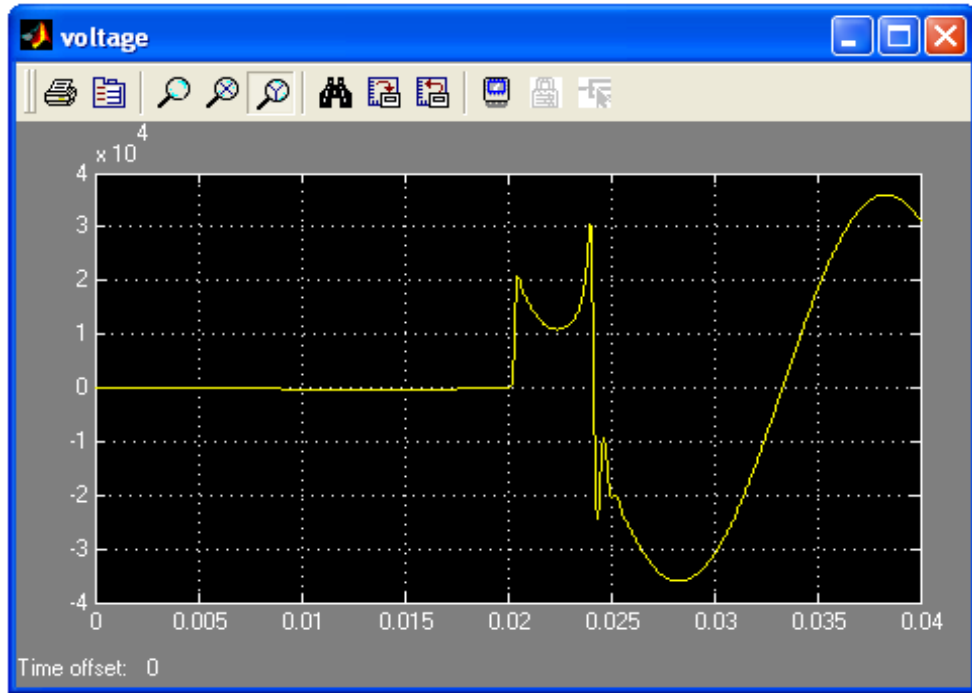
Şekil 4.44. 10 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 24,65 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,8244 μ s ark zaman sabiti, 19,4780 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



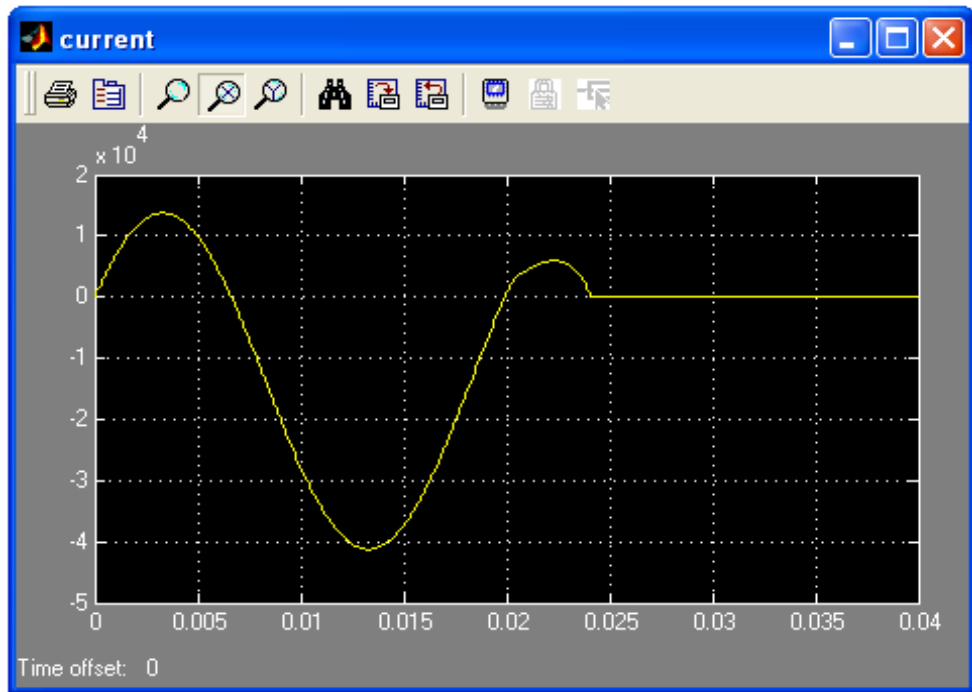
Şekil 4.45. 16 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 23,26 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,1143 μ s ark zaman sabiti, 18,5943 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



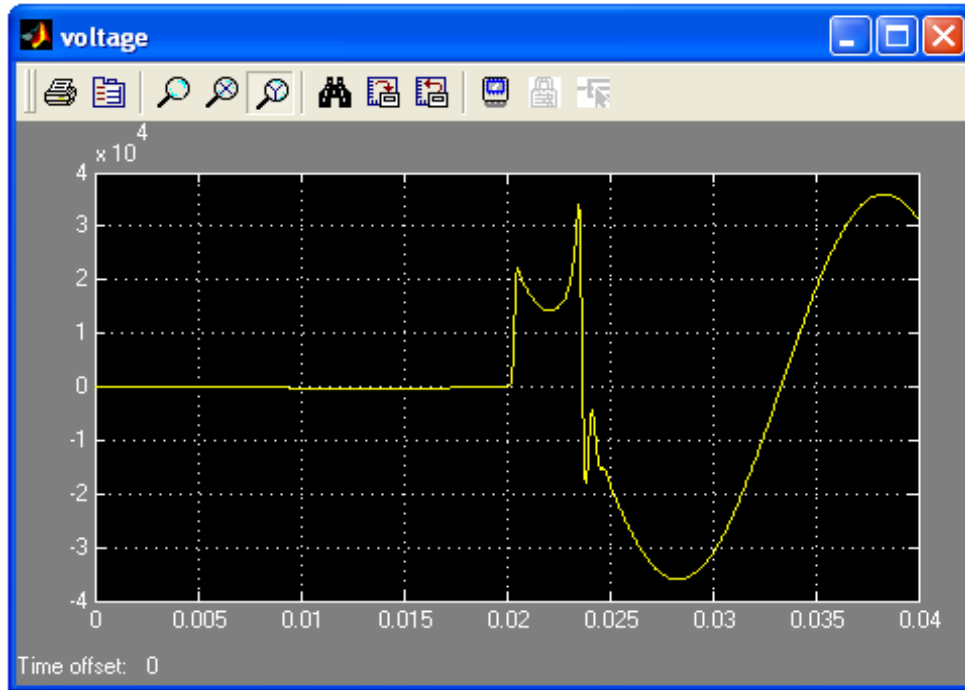
Şekil 4.46. 16 atm basınç, 10000 °K sıcaklık, 23,26 mho/cm elektriksel iletkenlik, 24,1143 μ s ark zaman sabiti, 18,5943 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



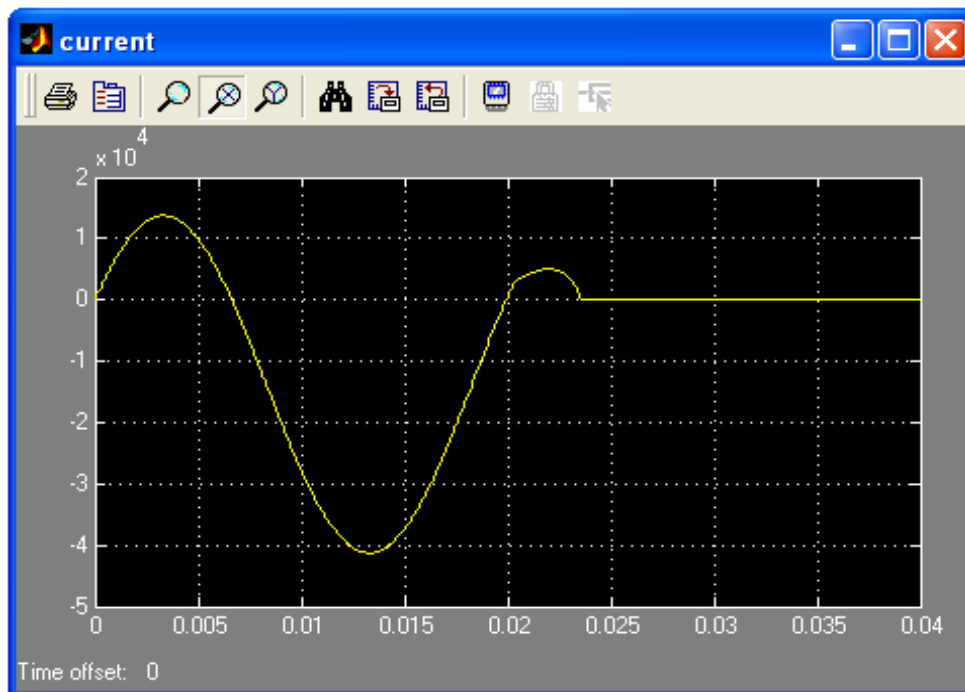
Şekil 4.47. 1 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 111,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 52,8914 μ s ark zaman sabiti, 65,3364 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



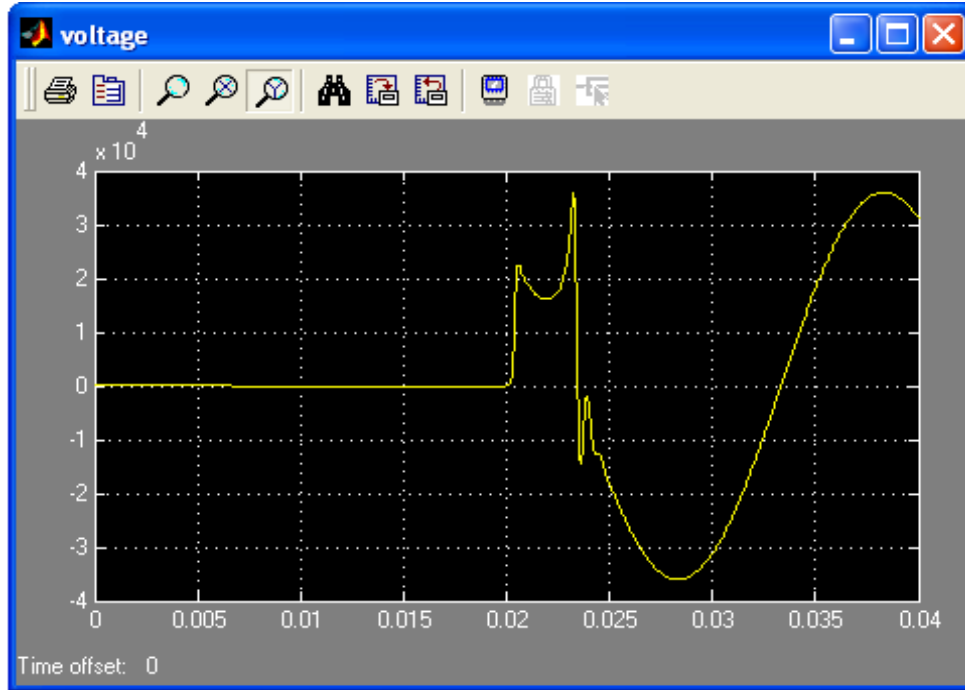
Şekil 4.48. 1 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 111,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 52,8914 μ s ark zaman sabiti, 65.3364 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



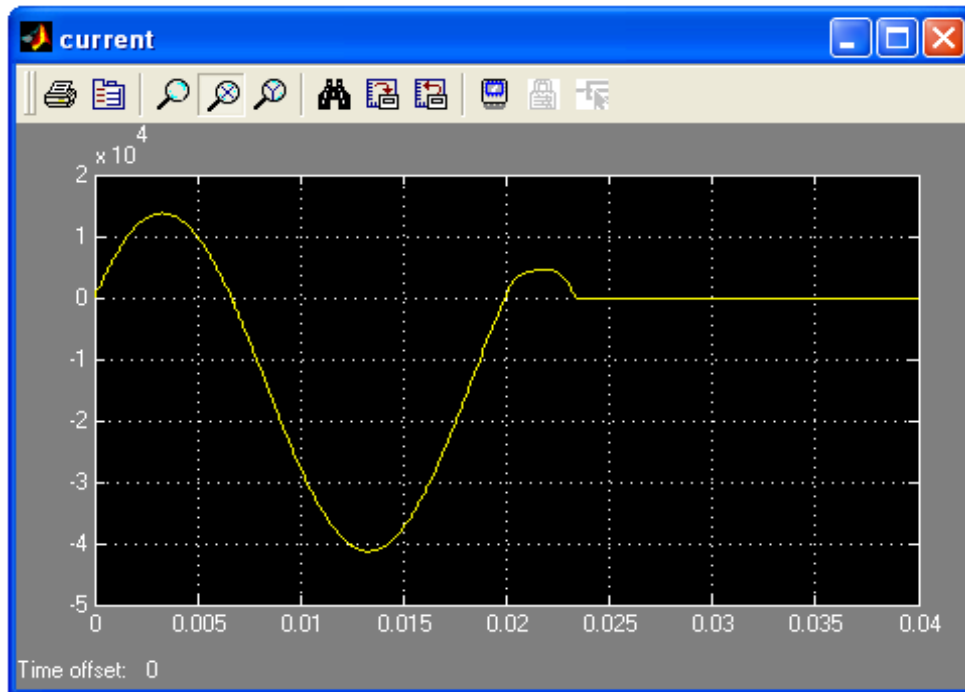
Şekil 4.49. 2 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 125,6 mho/cm elektriksel iletkenlik, 56,0357 μ s ark zaman sabiti, 71,6610 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



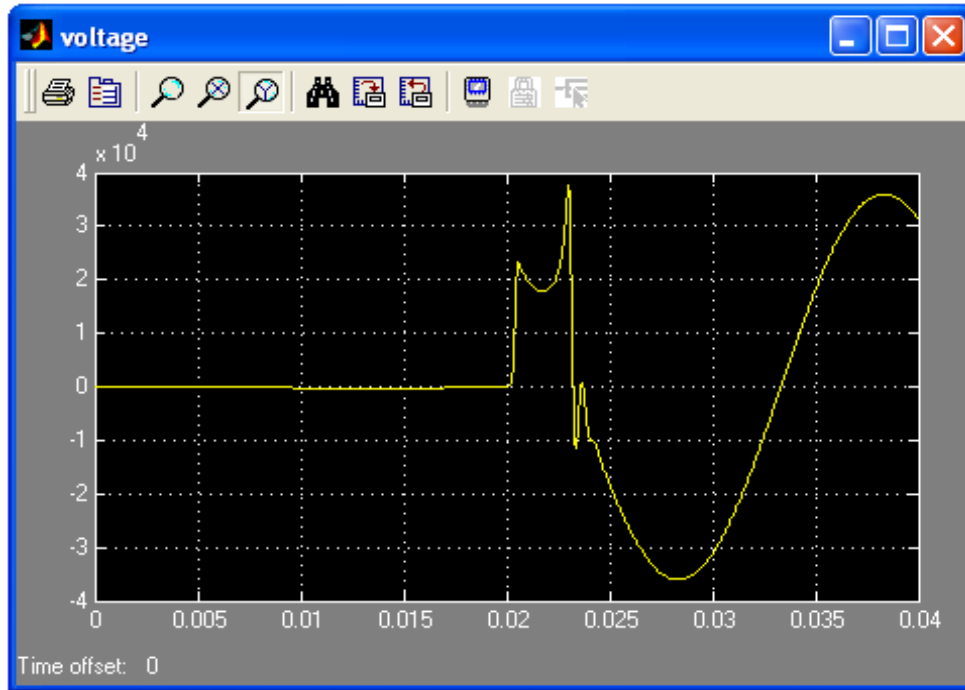
Şekil 4.50. 2 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 125,6 mho/cm elektriksel iletkenlik, 56,0357 μ s ark zaman sabiti, 71,6610 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



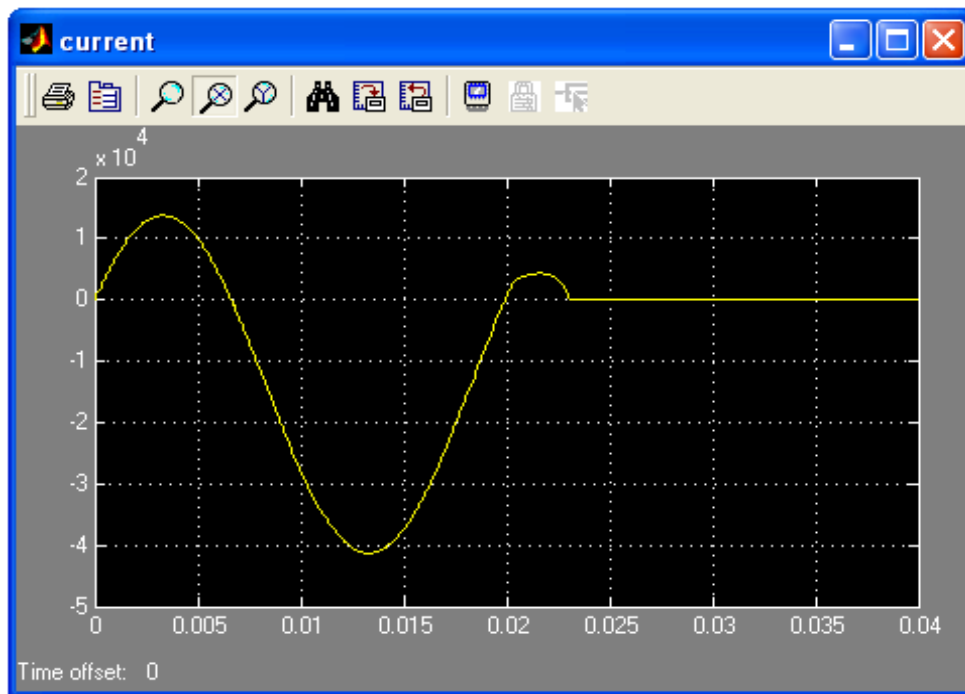
Şekil 4.51. 3 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 132,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 57,5109 μ s ark zaman sabiti, 74,7032 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



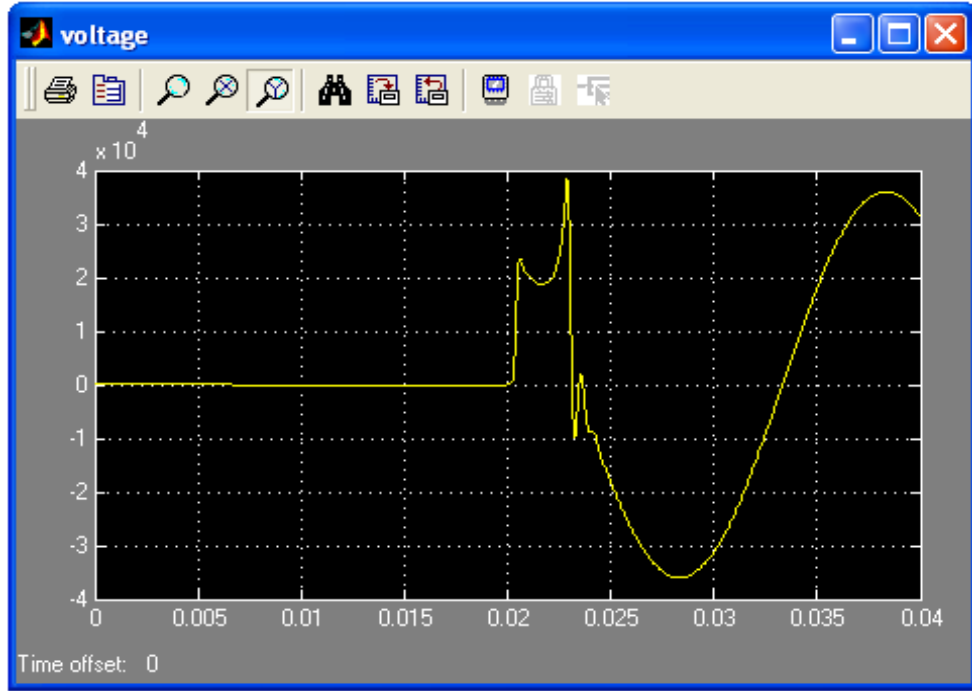
Şekil 4.52. 3 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 132,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 57,5109 μ s ark zaman sabiti, 74,7032 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



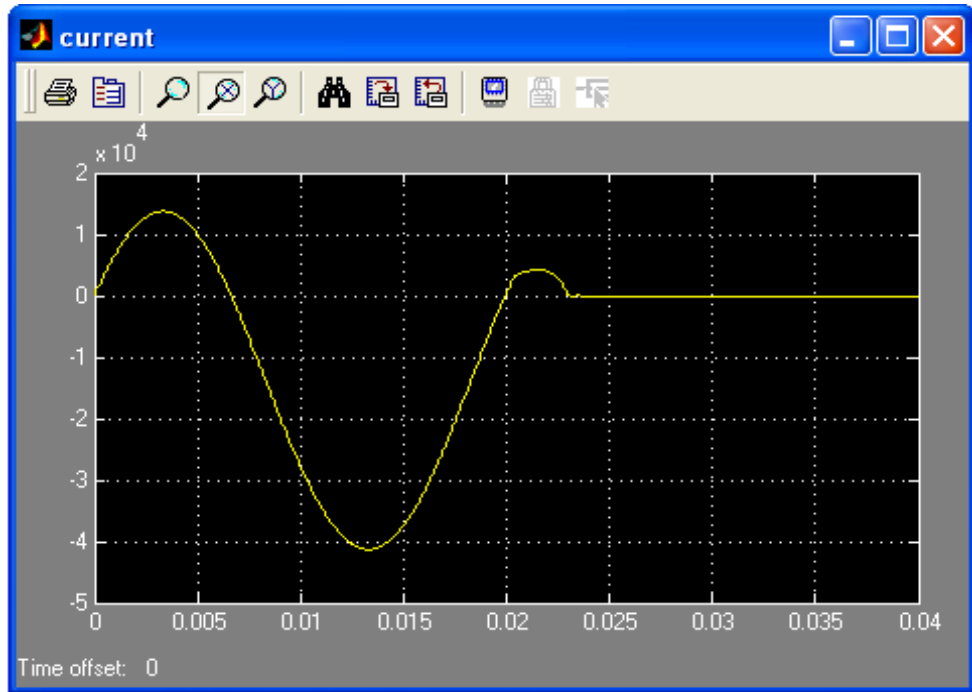
Şekil 4.53. 4 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 139,0 mho/cm elektriksel iletkenlik, 58,9491 μ s ark zaman sabiti, 77,7147 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



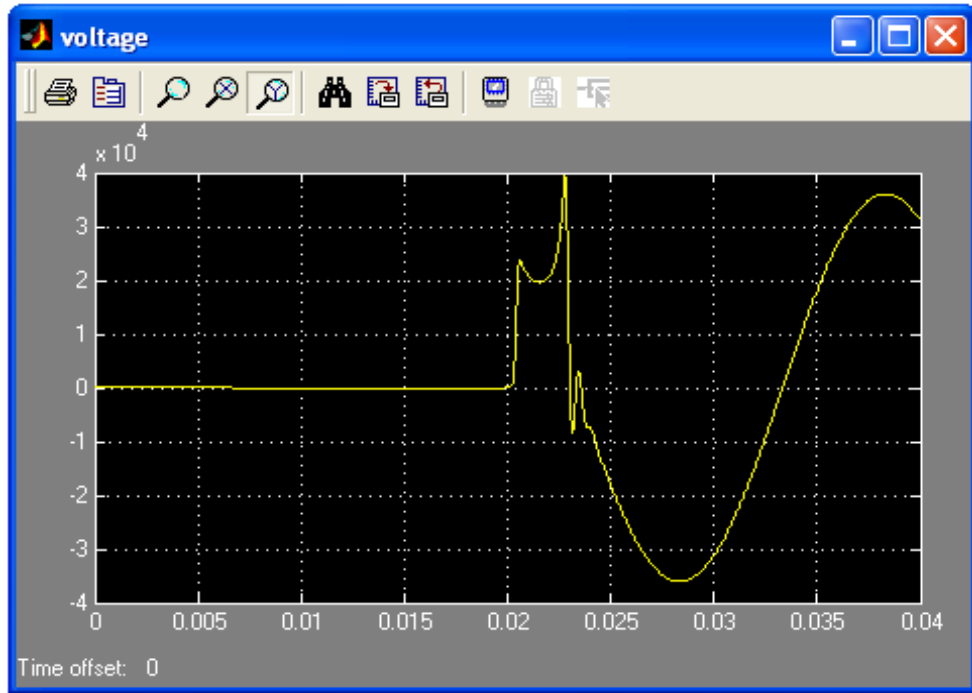
Şekil 4.54. 4 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 139,0 mho/cm elektriksel iletkenlik, 58,9491 μ s ark zaman sabiti, 77,7147 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



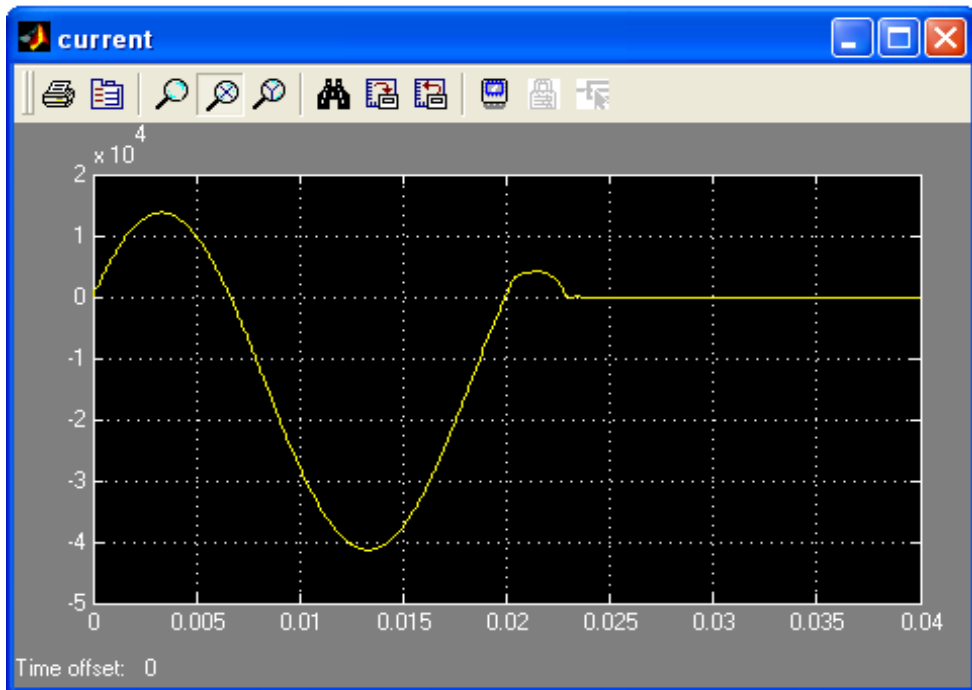
Şekil 4.55. 5 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 142,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 59,6657 μ s ark zaman sabiti, 79,2318 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



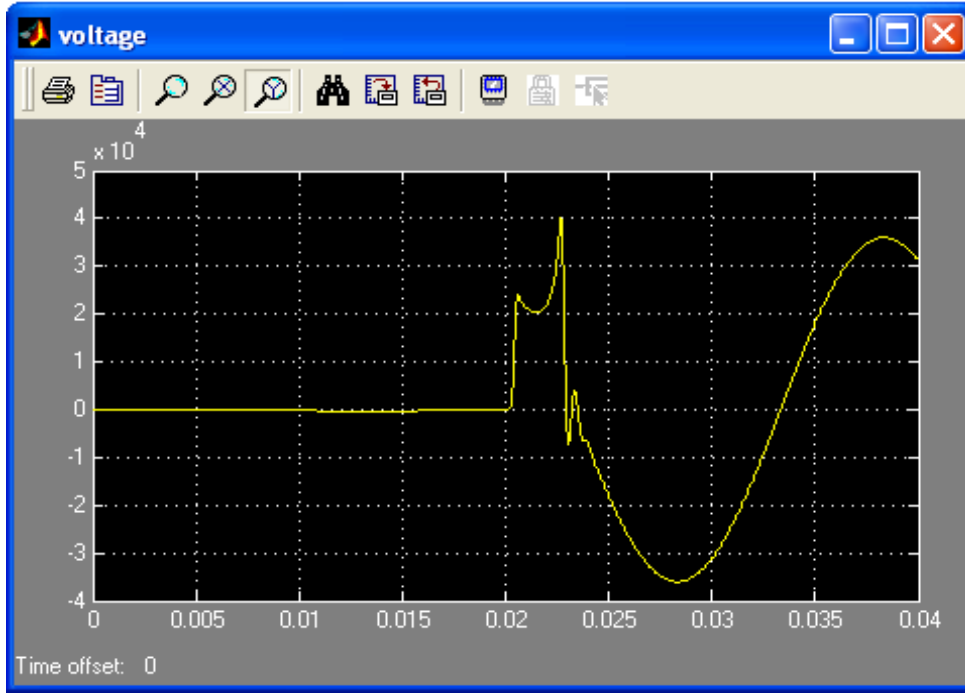
Şekil 4.56. 5 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 142,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 59,6657 μ s ark zaman sabiti, 79,2318 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



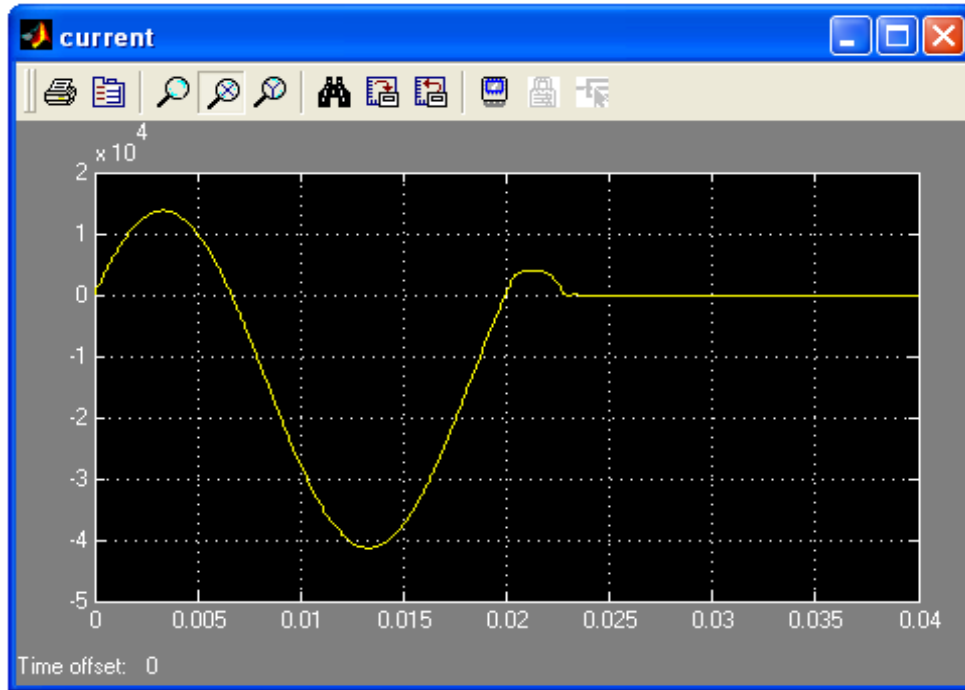
Şekil 4.57. 6 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 145,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 60,3945 μ s ark zaman sabiti, 80,7859 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



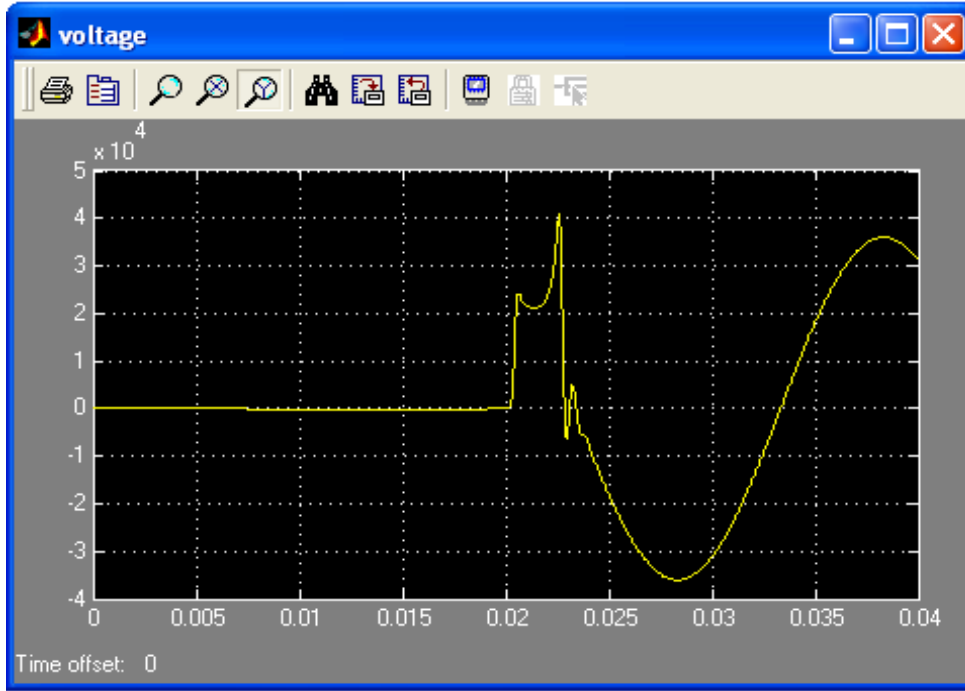
Şekil 4.58. 6 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 145,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 60,3945 μ s ark zaman sabiti, 80,7859 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



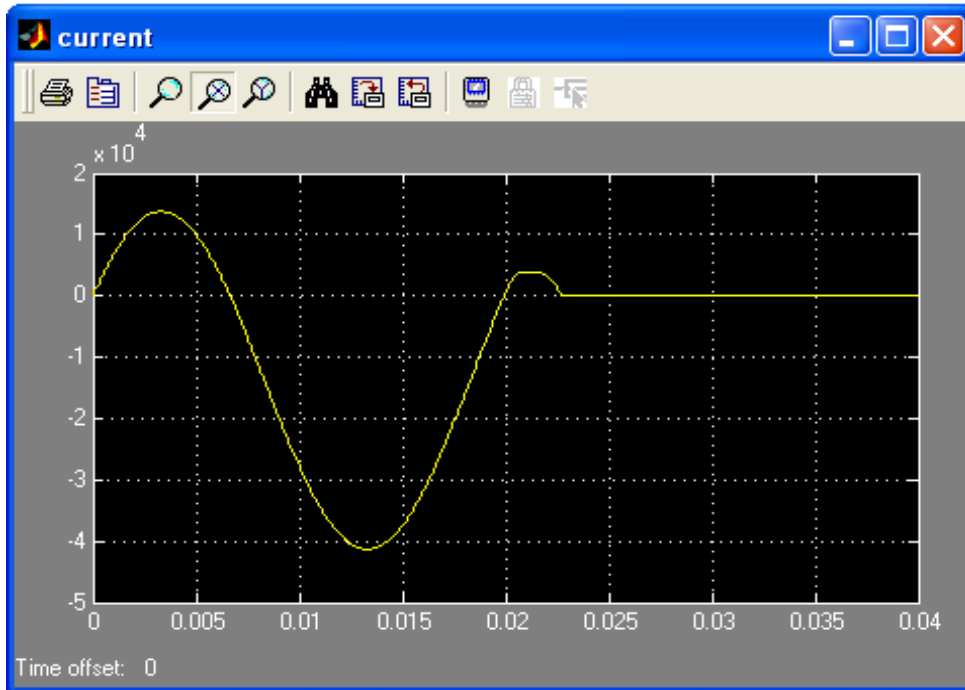
Şekil 4.59. 7 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 149,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,0942 μ s ark zaman sabiti, 82,2885 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



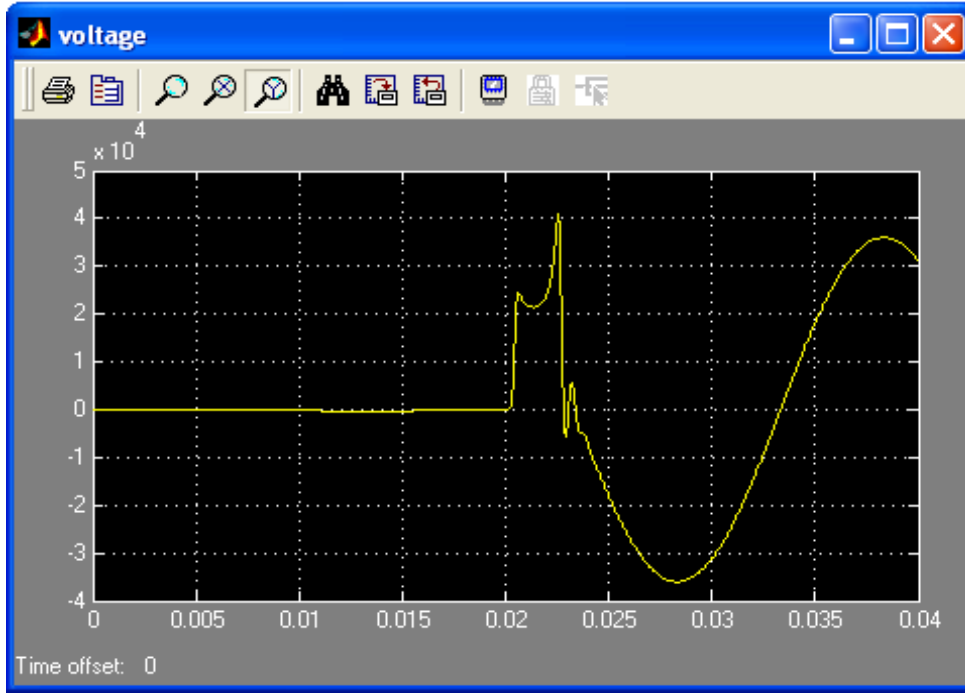
Şekil 4.60. 7 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 149,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,0942 μ s ark zaman sabiti, 82,2885 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



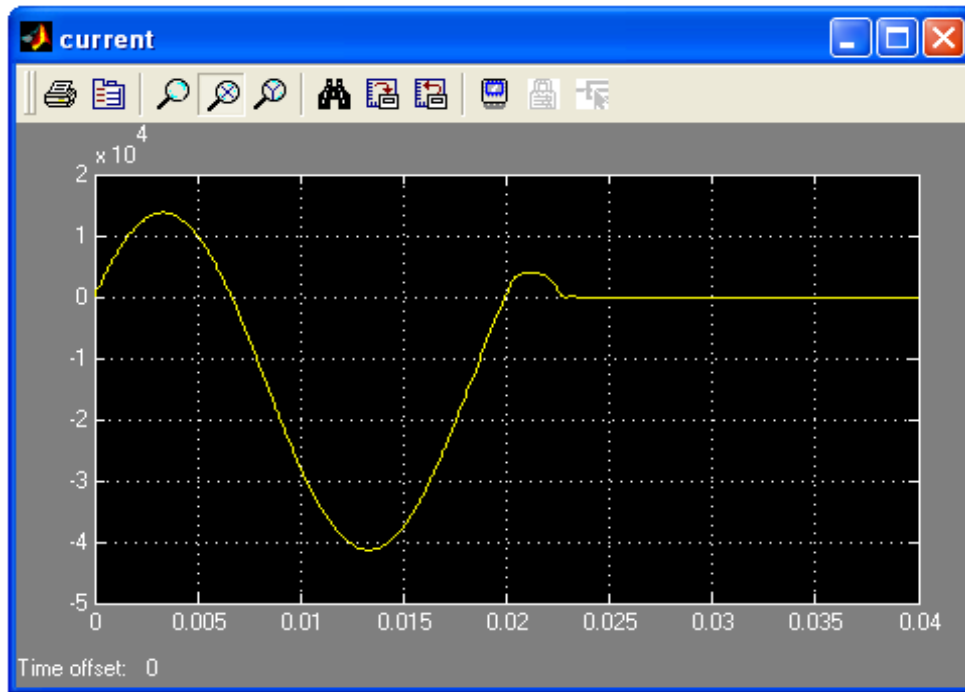
Şekil 4.61. 8 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 152,7 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,7859 μ s ark zaman sabiti, 83,7843 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



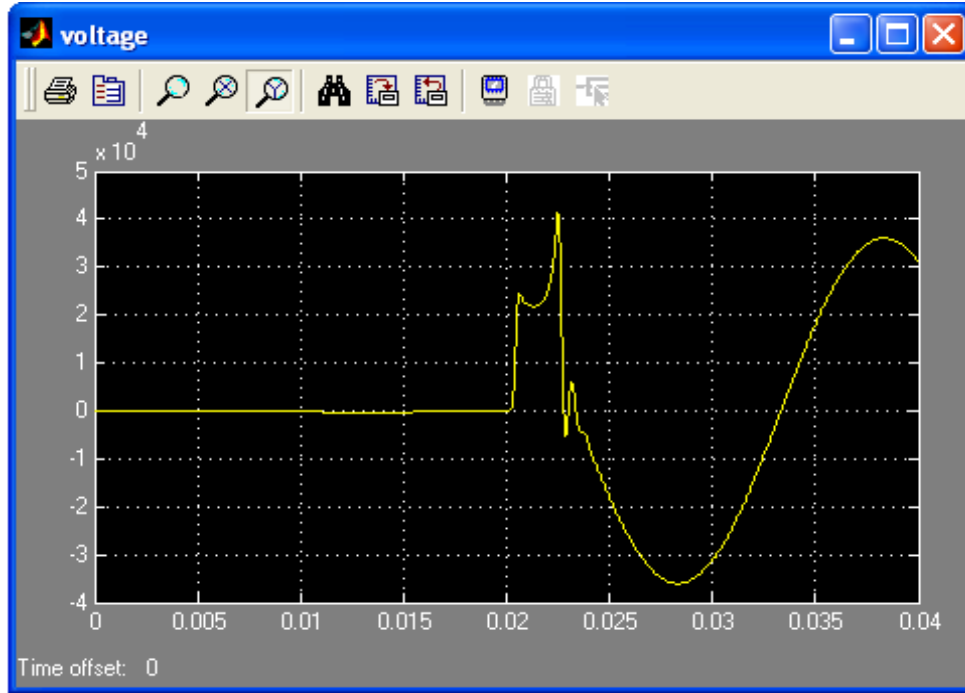
Şekil 4.62. 8 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 152,7 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,7859 μ s ark zaman sabiti, 83,7843 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



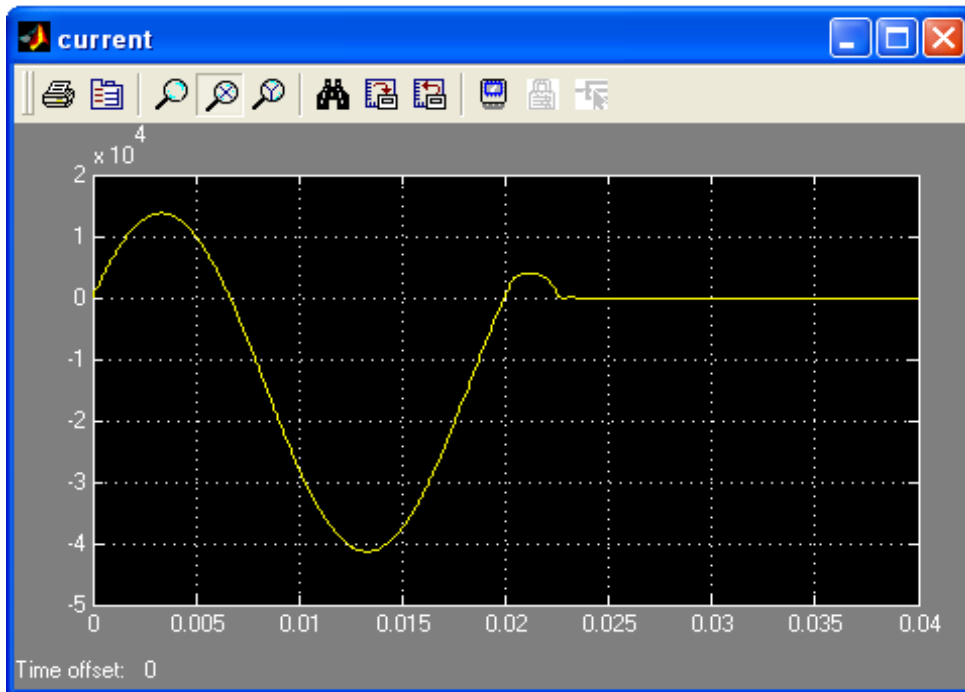
Şekil 4.63. 9 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 154,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 62,1490 μ s ark zaman sabiti, 84,5734 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



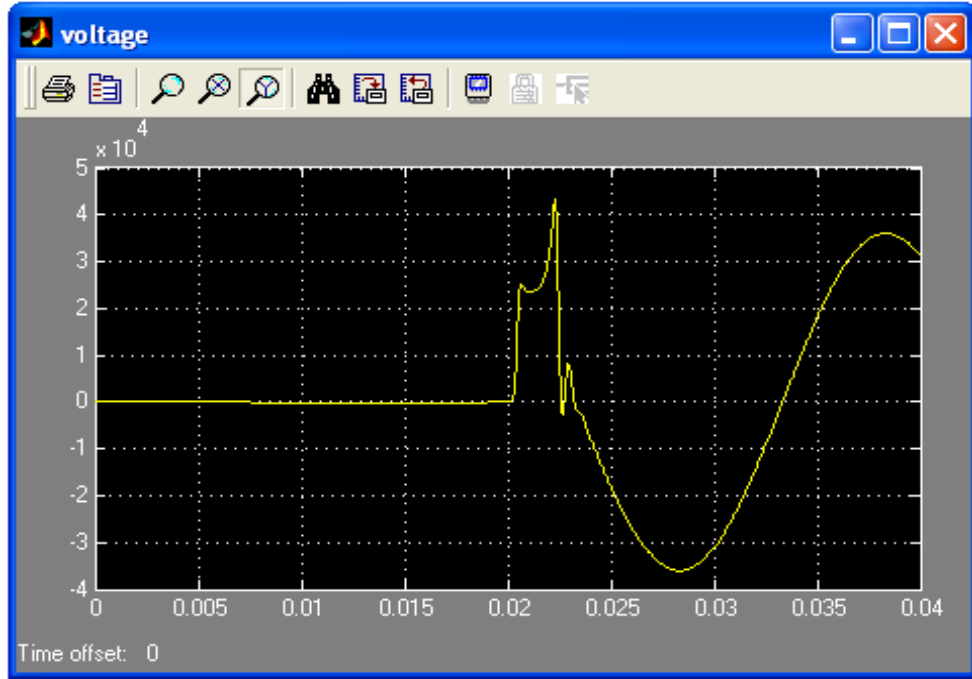
Şekil 4.64. 9 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 154,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 62,1490 μ s ark zaman sabiti, 84,5734 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



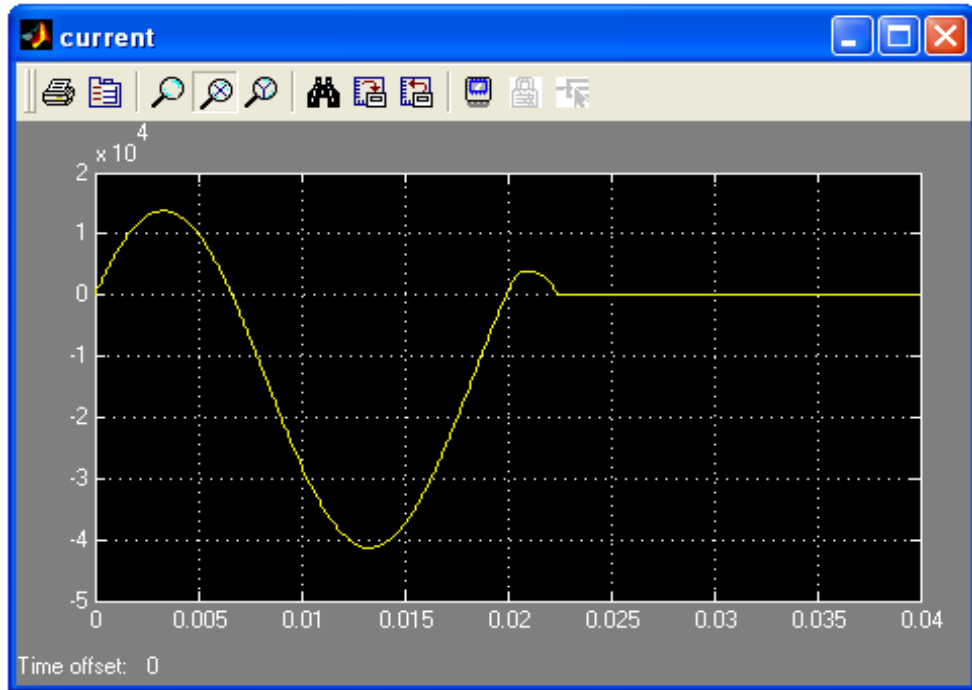
Şekil 4.65. 10 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 156,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 62,5100 μ s ark zaman sabiti, 85,3608 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



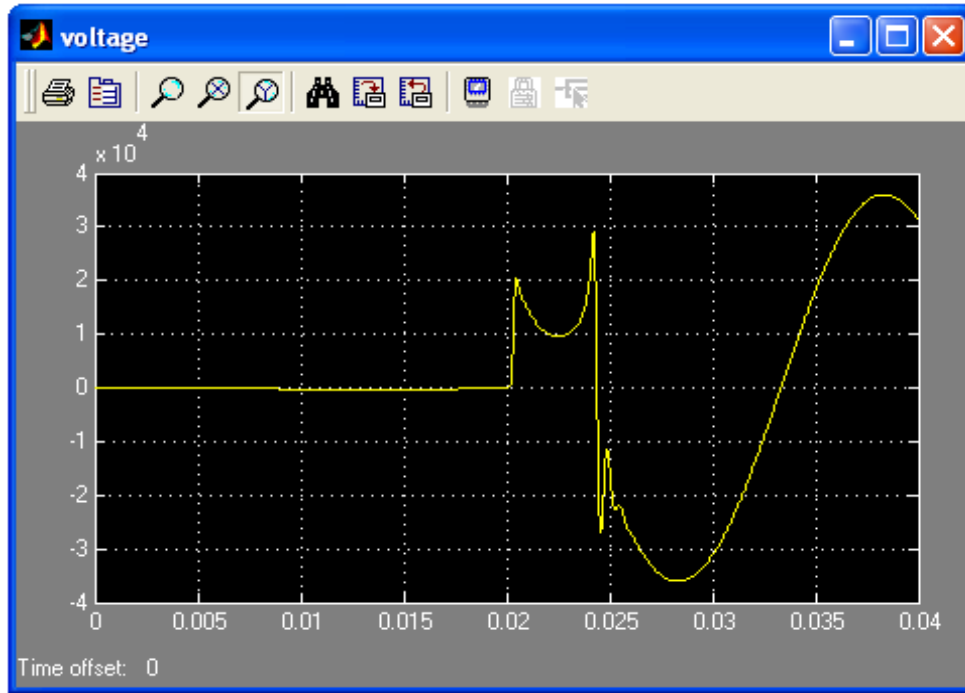
Şekil 4.66. 10 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 156,3 mho/cm elektriksel iletkenlik, 62,5100 μ s ark zaman sabiti, 85,3608 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



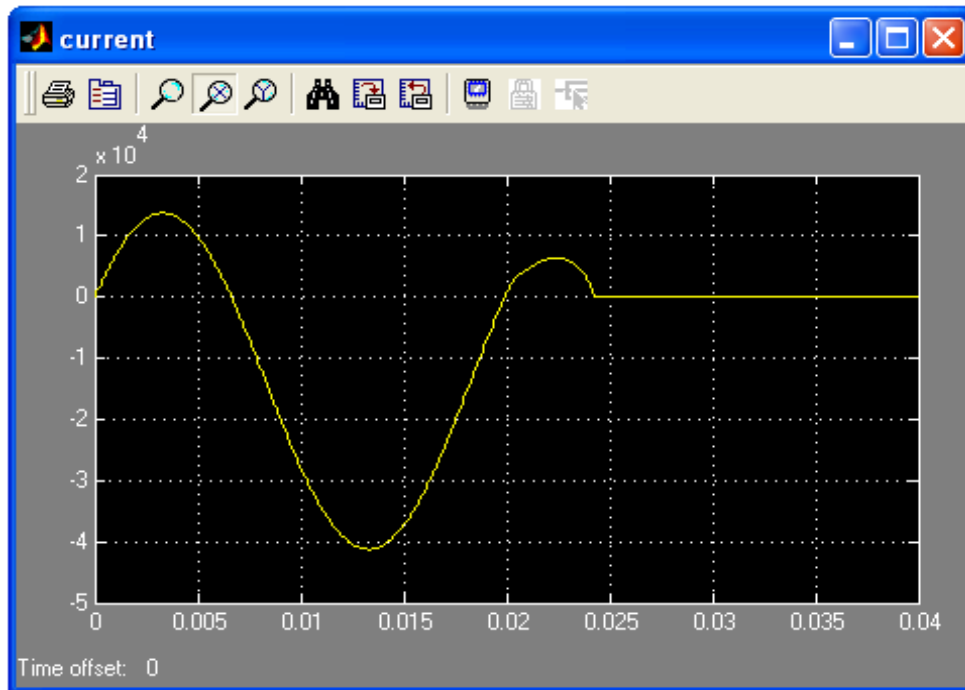
Şekil 4.67. 16 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 167,2 mho/cm elektriksel iletkenlik, 64,6529 μ s ark zaman sabiti, 90,0908 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



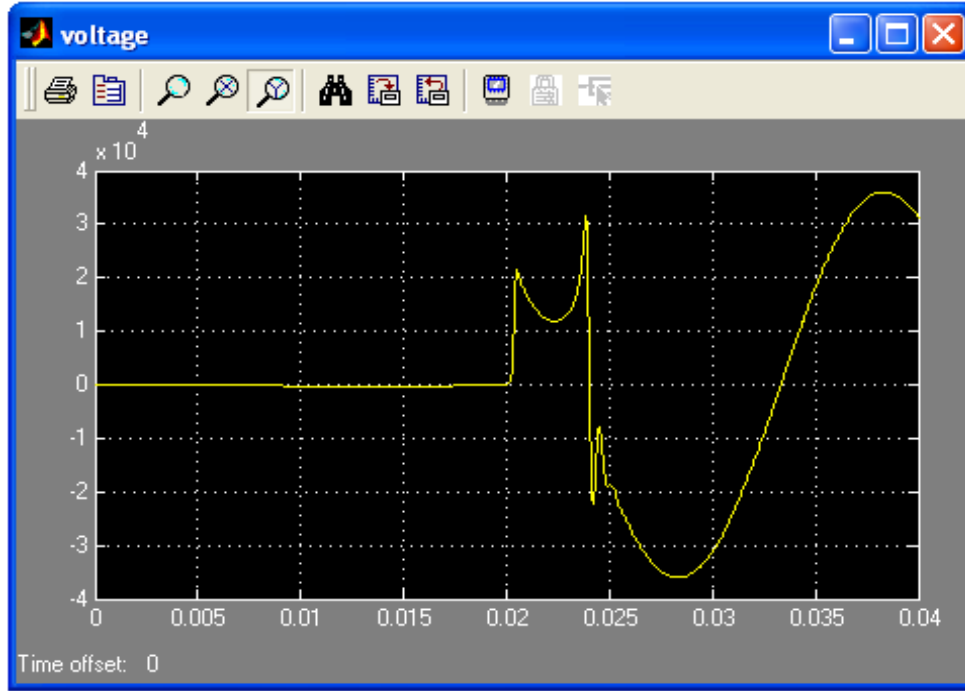
Şekil 4.68. 16 atm basınç, 30000 °K sıcaklık, 167,2 mho/cm elektriksel iletkenlik, 64,6529 μ s ark zaman sabiti, 90,0908 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



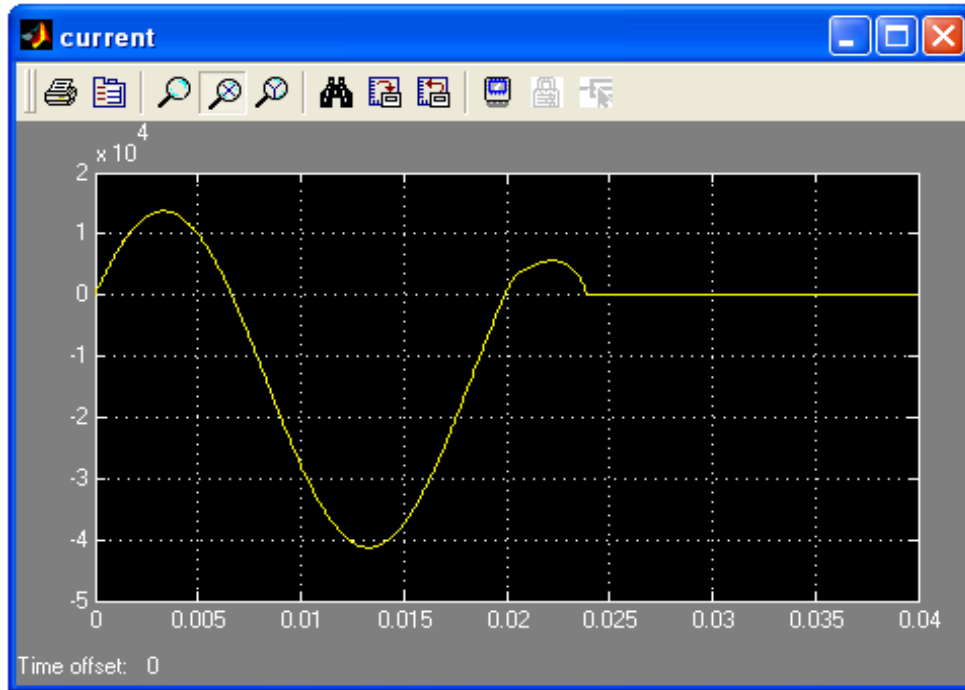
Şekil 4.69. 1 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 105,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 51,3566 μ s ark zaman sabiti, 62,3294 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



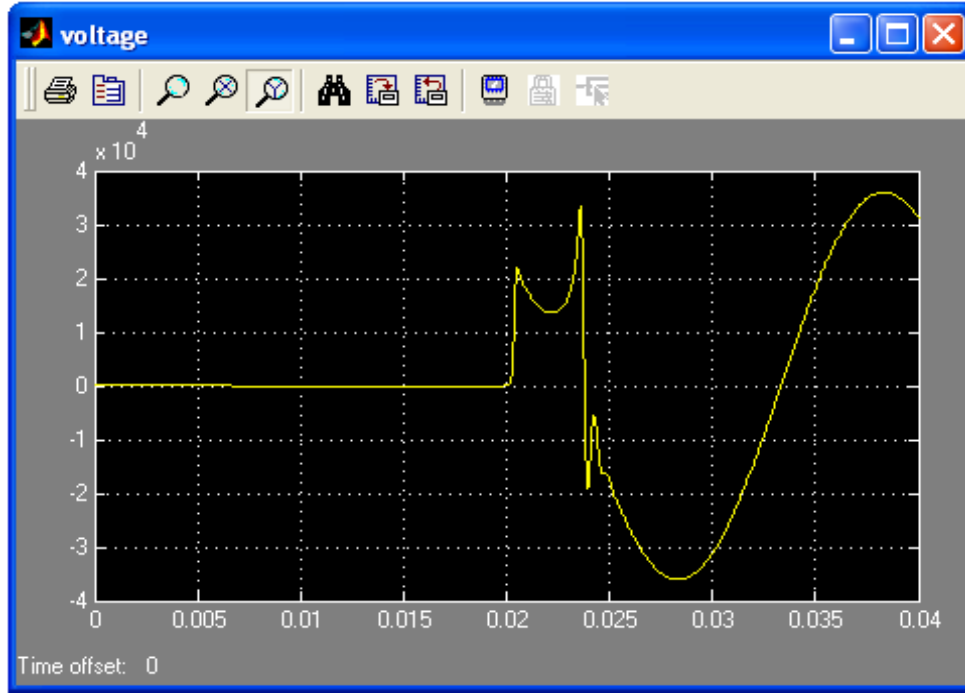
Şekil 4.70. 1 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 105,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 51,3566 μ s ark zaman sabiti, 62,3294 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



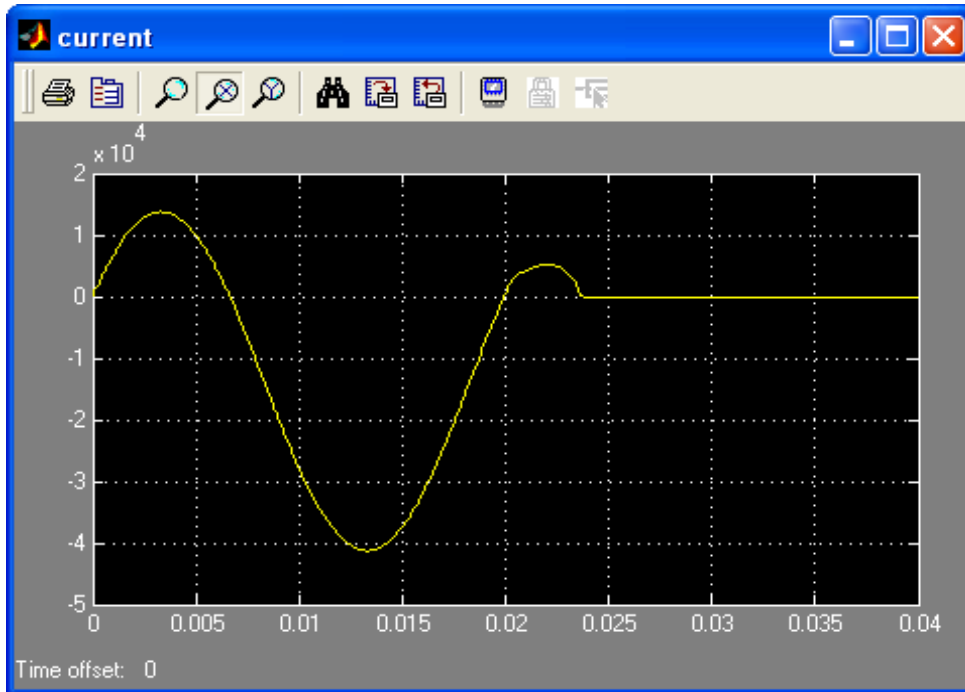
Şekil 4.71. 2 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 116,2 mho/cm elektriksel iletkenlik, 53,8981 μ s ark zaman sabiti, 67,3374 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



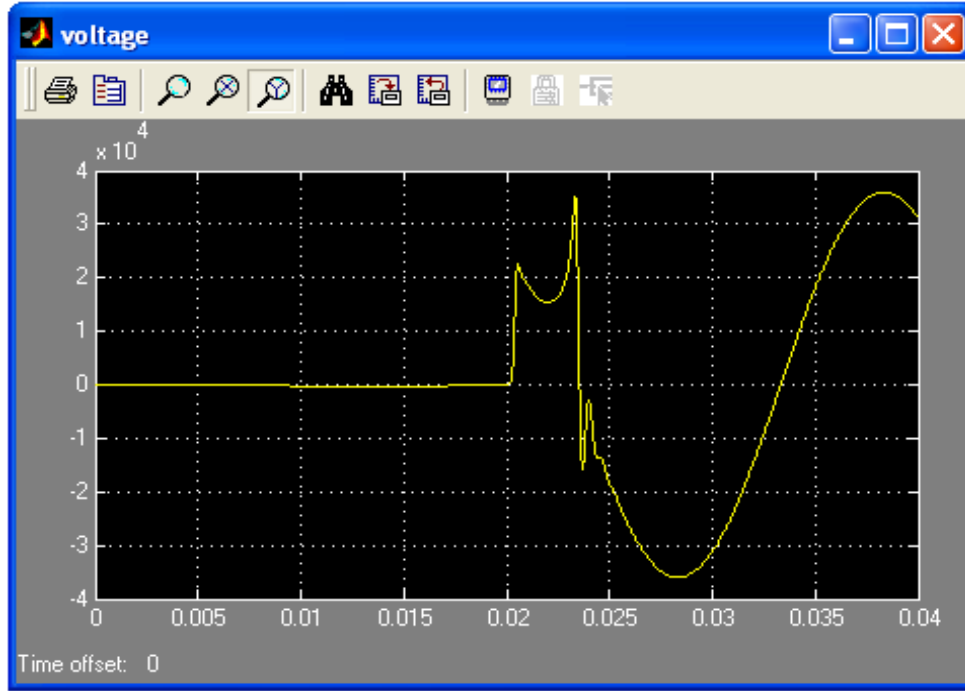
Şekil 4.72. 2 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 116,2 mho/cm elektriksel iletkenlik, 53,8981 μ s ark zaman sabiti, 67,3374 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



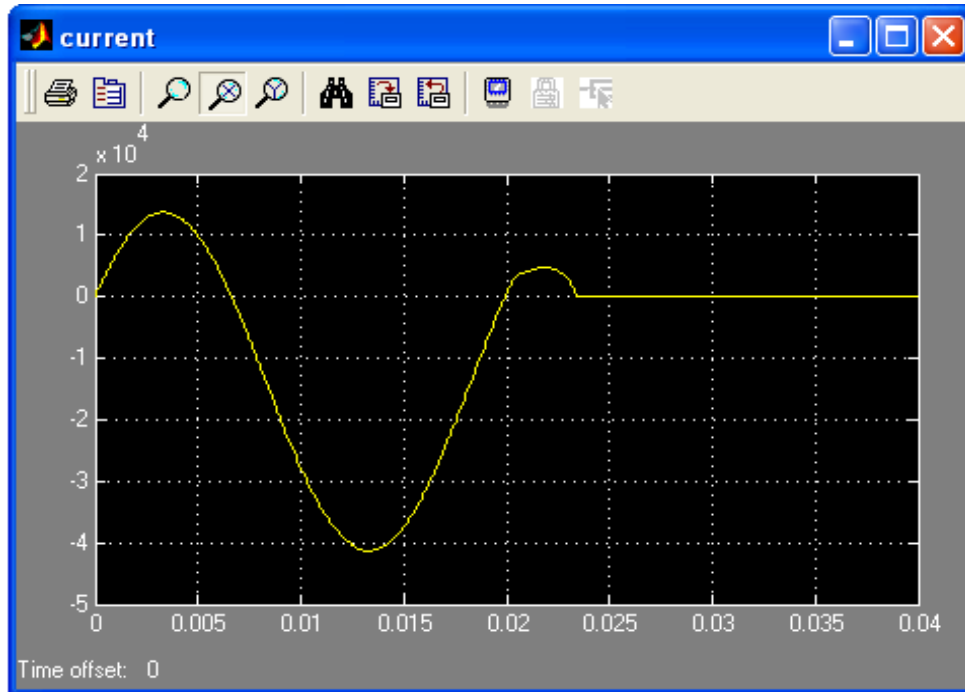
Şekil 4.73. 3 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 123,1 mho/cm elektriksel iletkenlik, 55,4752 μ s ark zaman sabiti, 70,5176 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



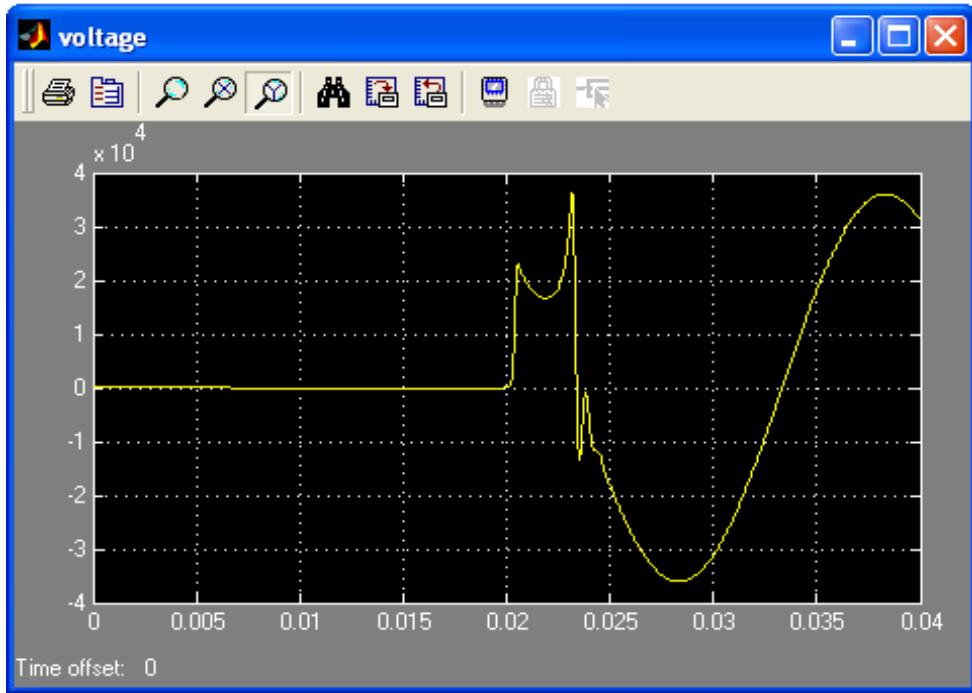
Şekil 4.74. 3 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 123,1 mho/cm elektriksel iletkenlik, 55,4752 μ s ark zaman sabiti, 70,5176 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



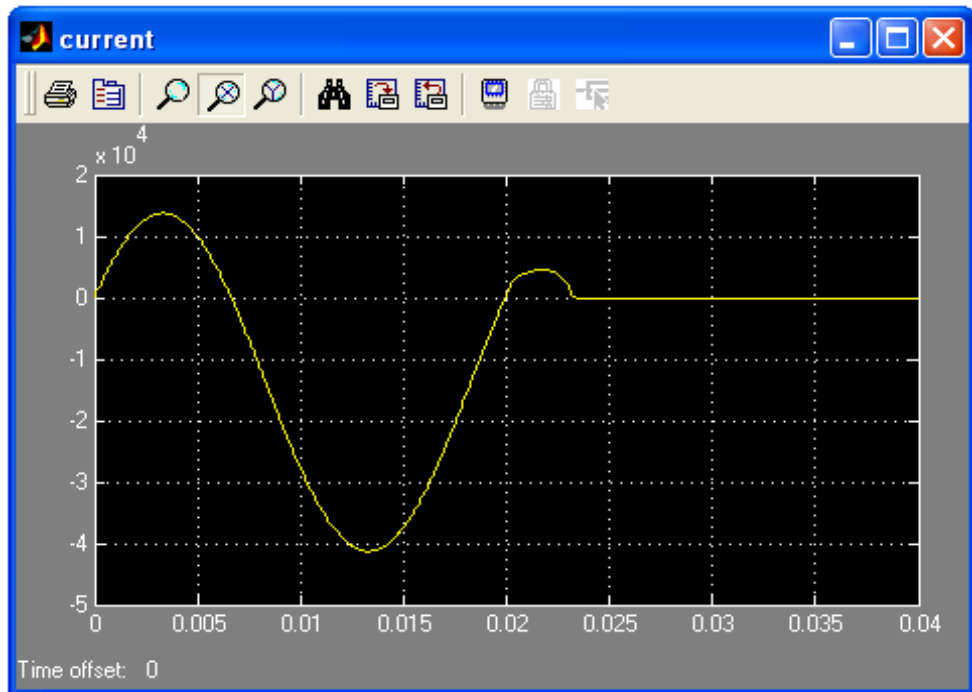
Şekil 4.75. 4 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 129,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 56,9868 μ s ark zaman sabiti, 73,6171 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



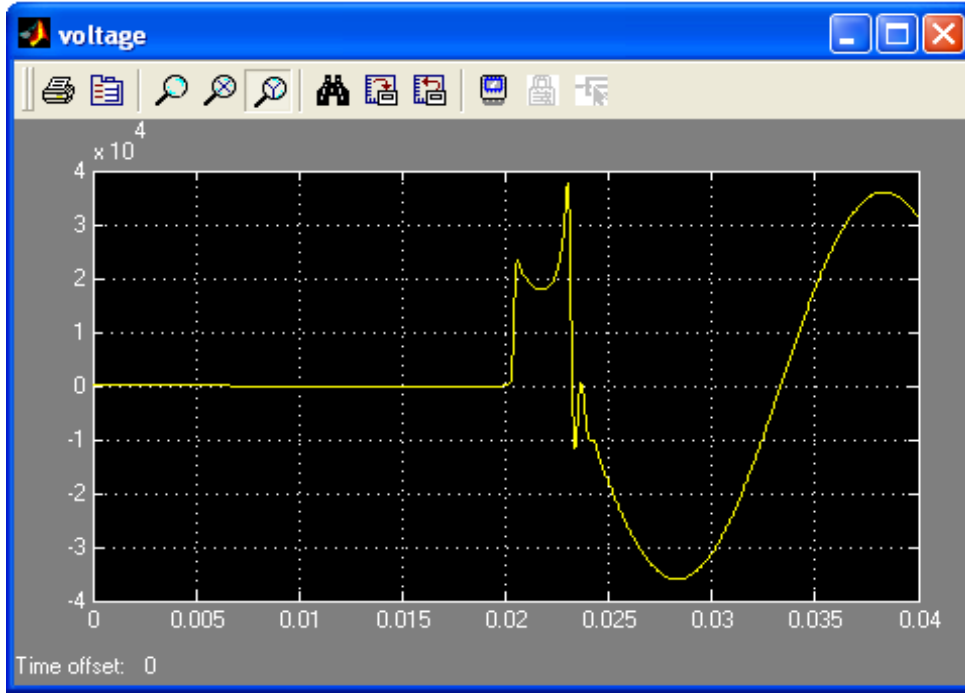
Şekil 4.76. 4 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 129,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 56,9868 μ s ark zaman sabiti, 73,6171 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



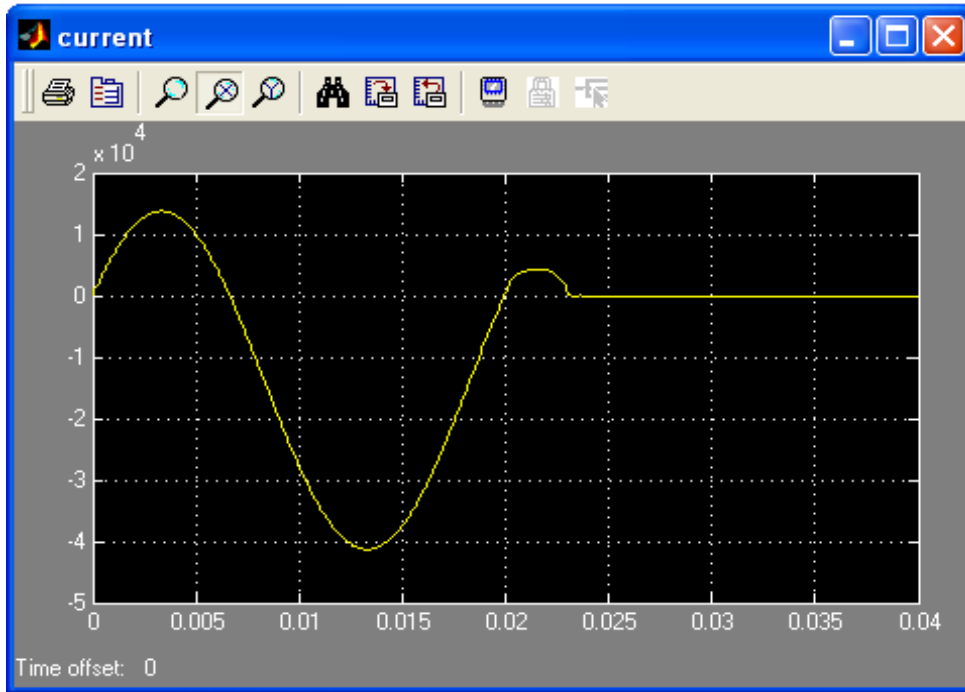
Şekil 4.77. 5 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 134,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 57,9655 μ s ark zaman sabiti, 75,6503 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



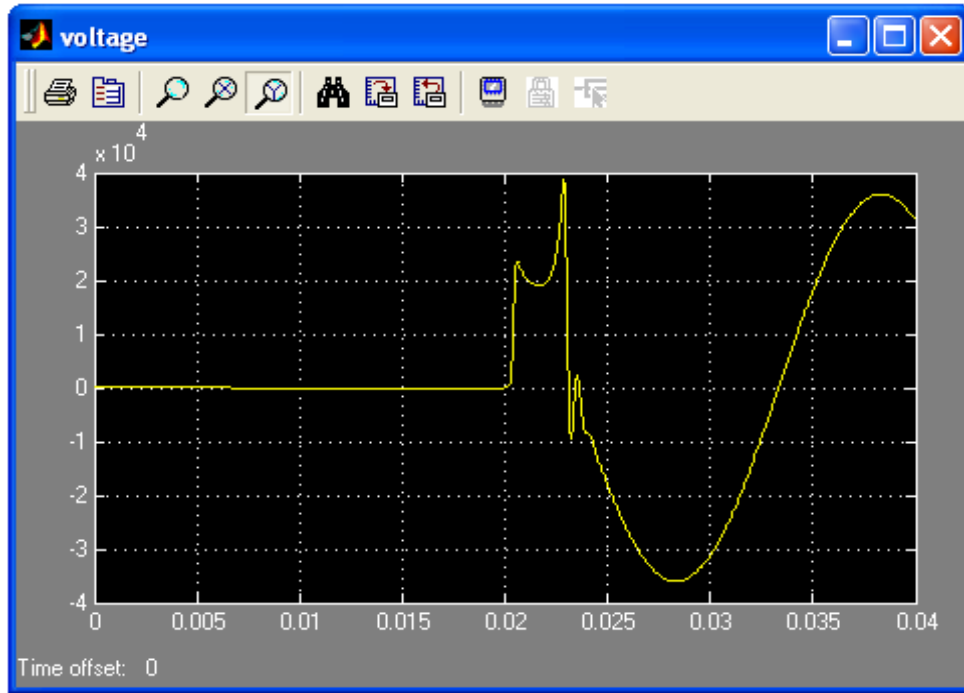
Şekil 4.78. 5 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 134,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 57,9655 μ s ark zaman sabiti, 75,6503 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



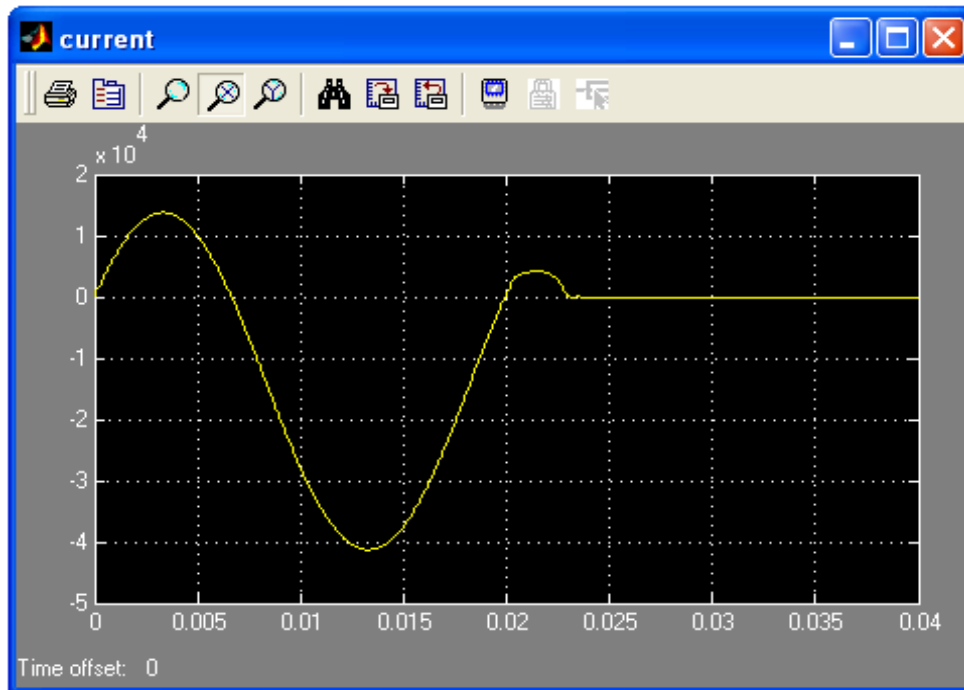
Şekil 4.79. 6 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 138,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 58,9279 μ s ark zaman sabiti, 77,6700 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



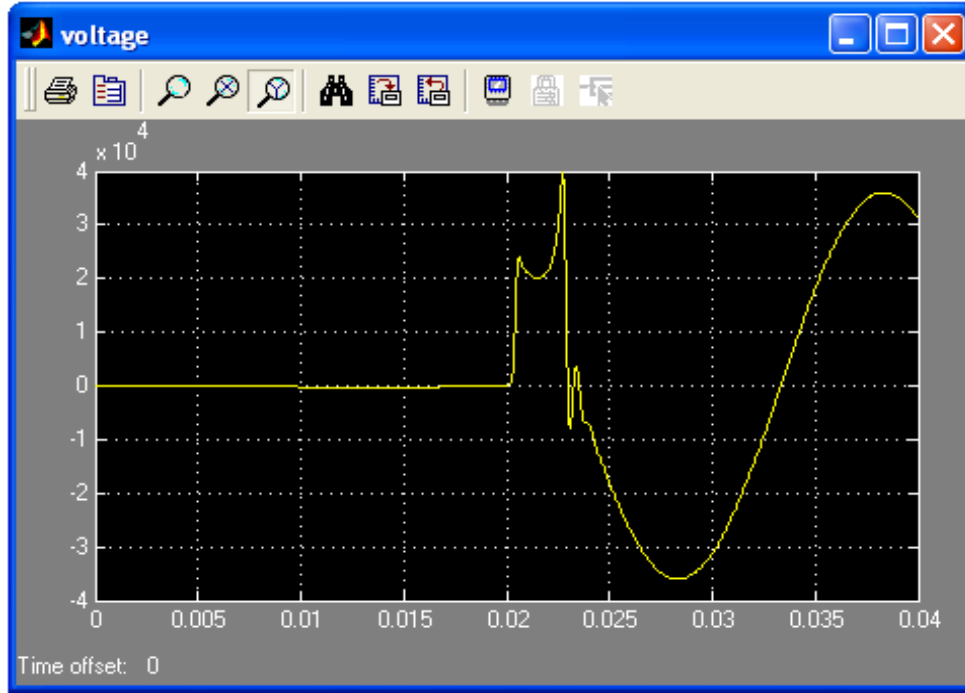
Şekil 4.80. 6 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 138,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 58,9279 μ s ark zaman sabiti, 77,6700 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



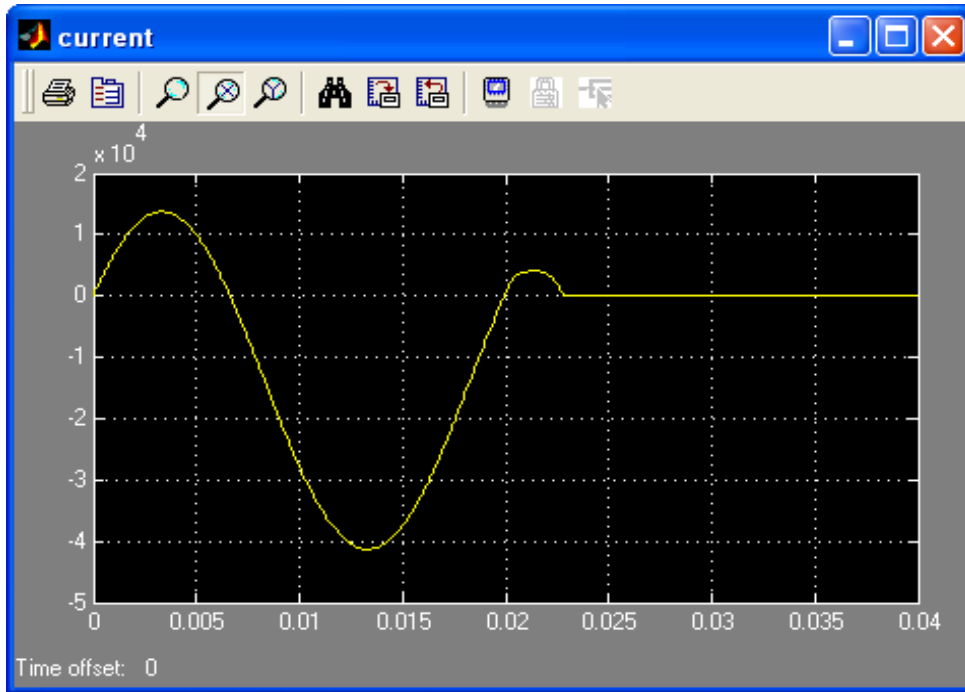
Şekil 4.81. 7 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 143,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 59,8749 μ s ark zaman sabiti, 79,6766 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



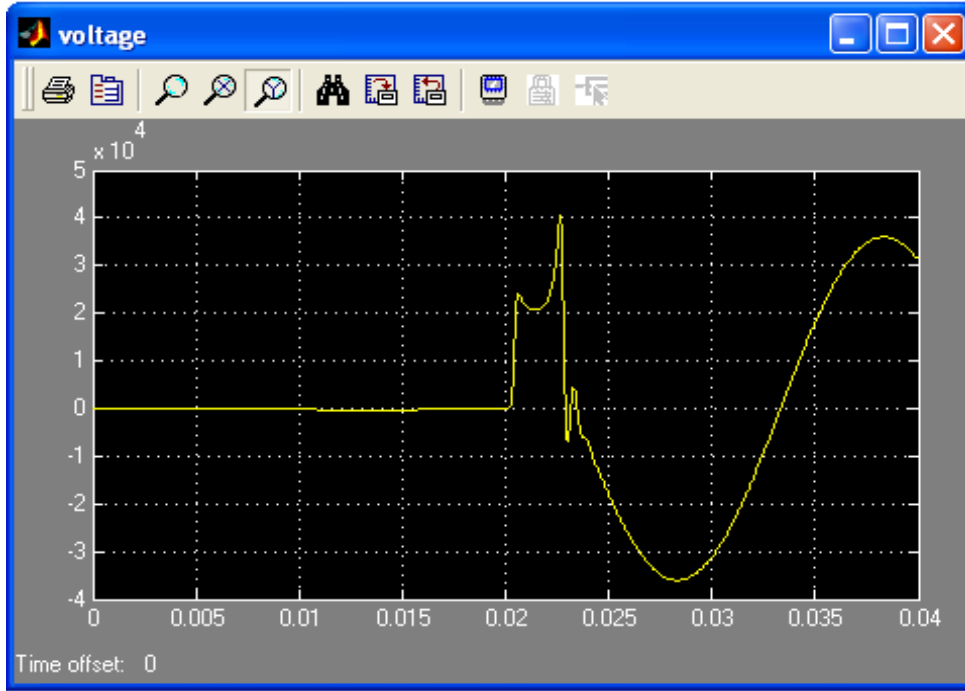
Şekil 4.82. 7 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 143,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 59,8749 μ s ark zaman sabiti, 79,6766 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



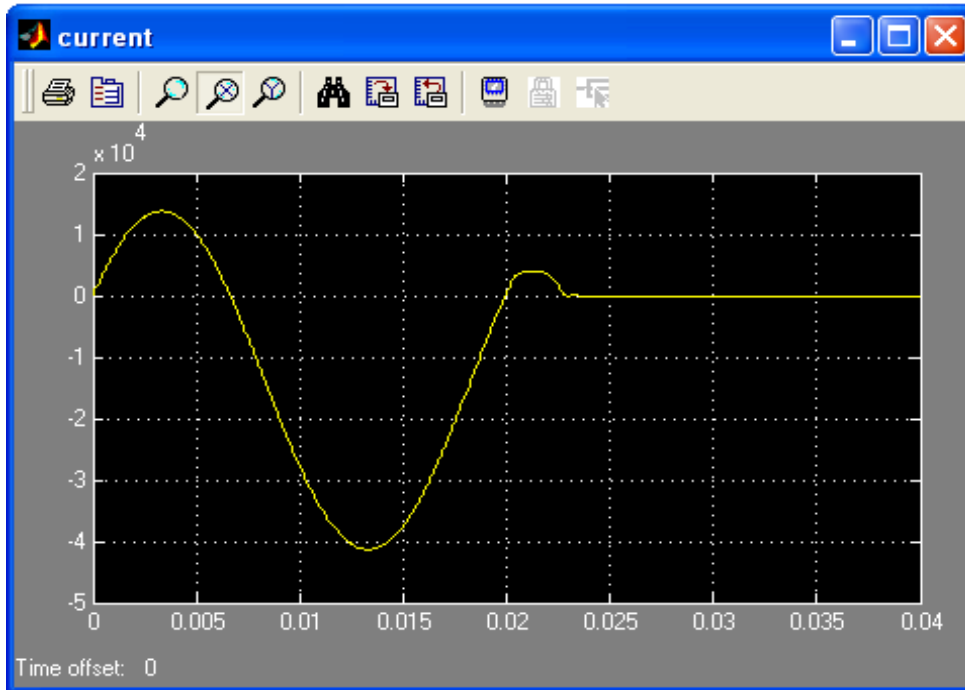
Şekil 4.83. 8 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 147,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 60,8071 μ s ark zaman sabiti, 81,6706 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



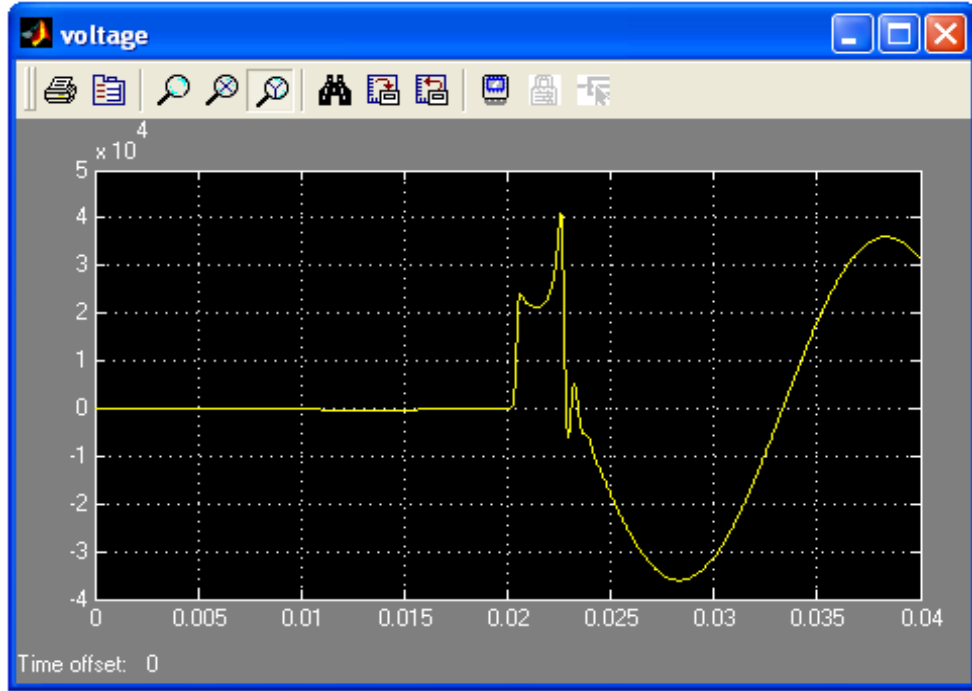
Şekil 4.84. 8 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 147,9 mho/cm elektriksel iletkenlik, 60,8071 μ s ark zaman sabiti, 81,6706 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



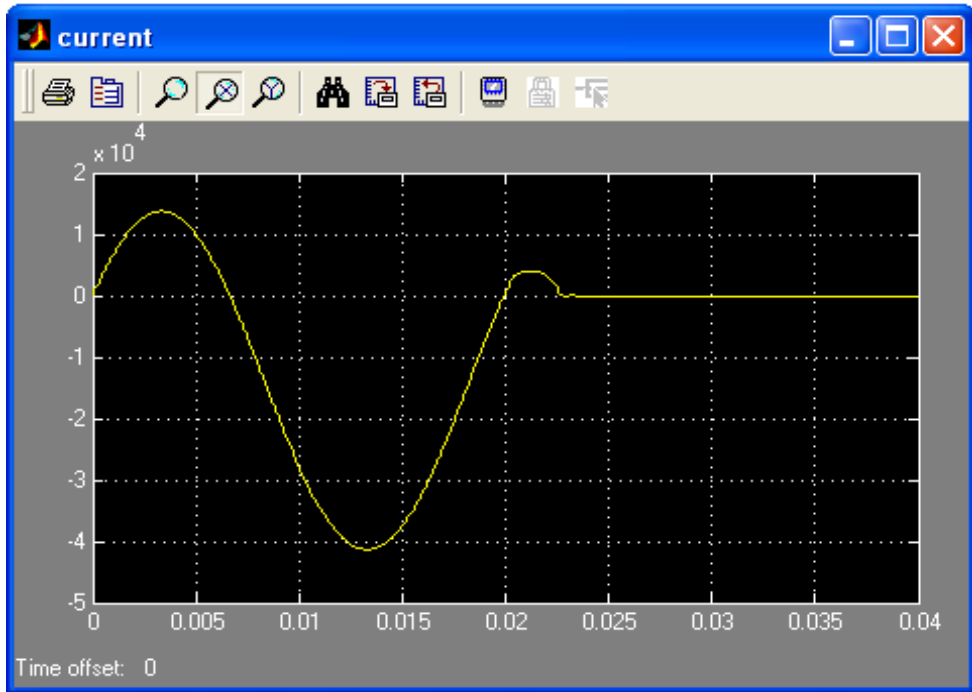
Şekil 4.85. 9 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 150,7 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,3800 μ s ark zaman sabiti, 82,9052 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



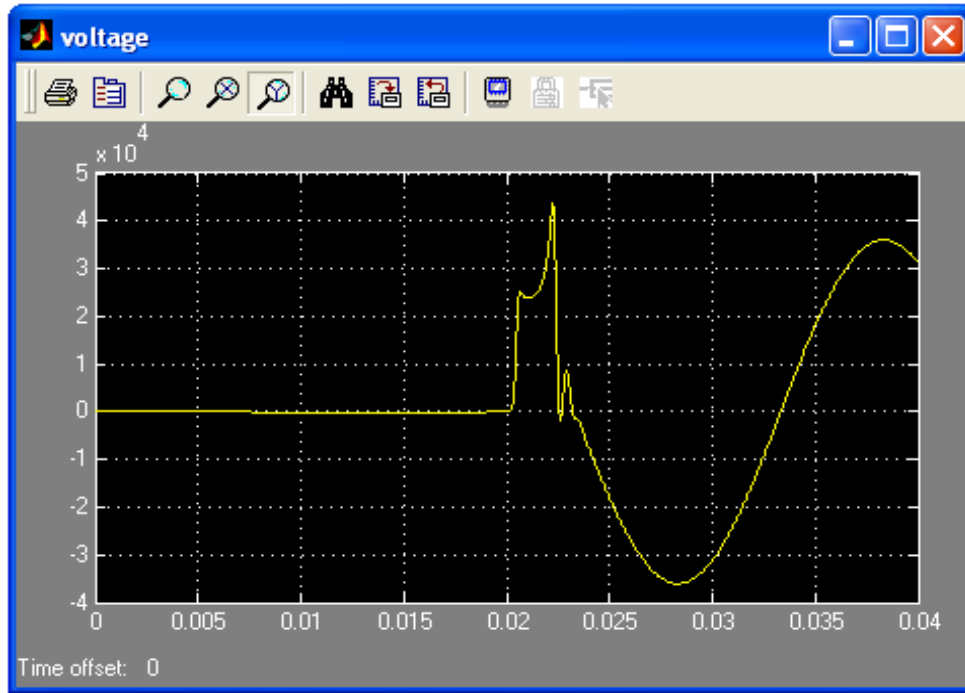
Şekil 4.86. 9 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 150,7 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,3800 μ s ark zaman sabiti, 82,9052 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



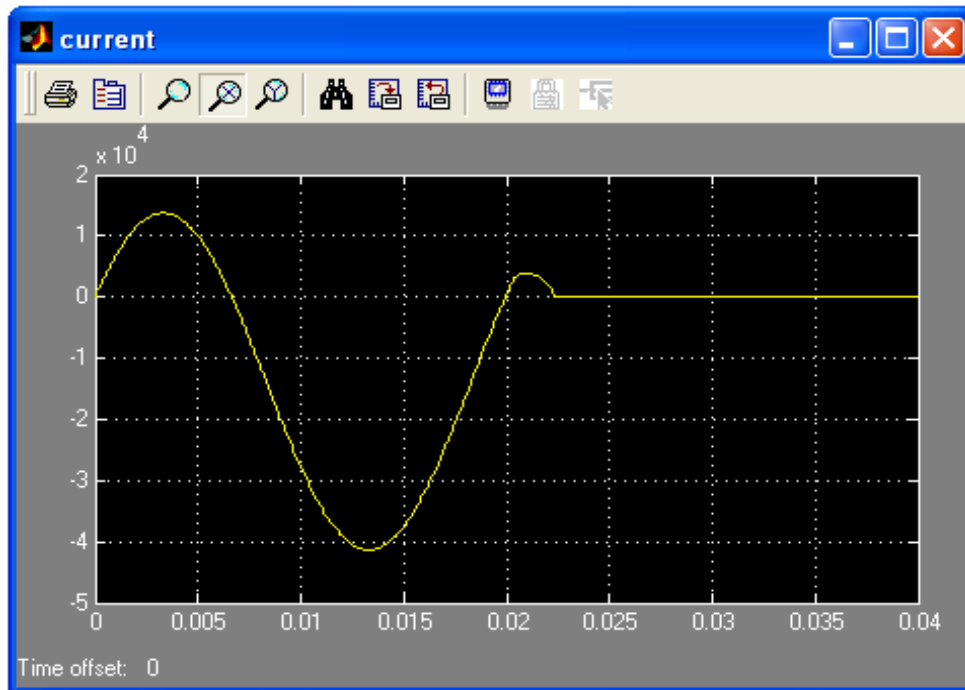
Şekil 4.87. 10 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 153,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,9476 μ s ark zaman sabiti, 84,1352 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



Şekil 4.88. 10 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 153,5 mho/cm elektriksel iletkenlik, 61,9476 μ s ark zaman sabiti, 84,1352 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi



Şekil 4.89. 16 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 170,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 65,2687 μ s ark zaman sabiti, 91,4675 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



Şekil 4.90. 16 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 170,4 mho/cm elektriksel iletkenlik, 65,2687 μ s ark zaman sabiti, 91,4675 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi

4.2. Model Parametrelerinin Karşılaştırılması

Mayr ark modelinde elde ettiğimiz simülasyon sonuçlarını daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırmak, devre kesici tasarımı açısından faydalı olacaktır. Bu karşılaştırma için örnek olarak Lionel R. Orama-Exclusa ve Bienvenido Rodriguez-Medina tarafından geliştirilen Mayr ark modeli parametrelerini kullanmak uygun olacaktır [23].

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{d \ln \sigma}{dt} = \frac{1}{\tau} \left(\frac{u_a i_a}{P} - 1 \right) \quad (4.2)$$

Bu denklemde;

σ = Ark iletkenliği

u_a = Ark gerilimi(Mayr)

i_a = Ark akımı(Mayr)

$\tau = \tau_o \cdot \sigma^\alpha$: Ark zaman sabiti

$P = P_o \cdot \sigma^\beta$: Soğutma gücü

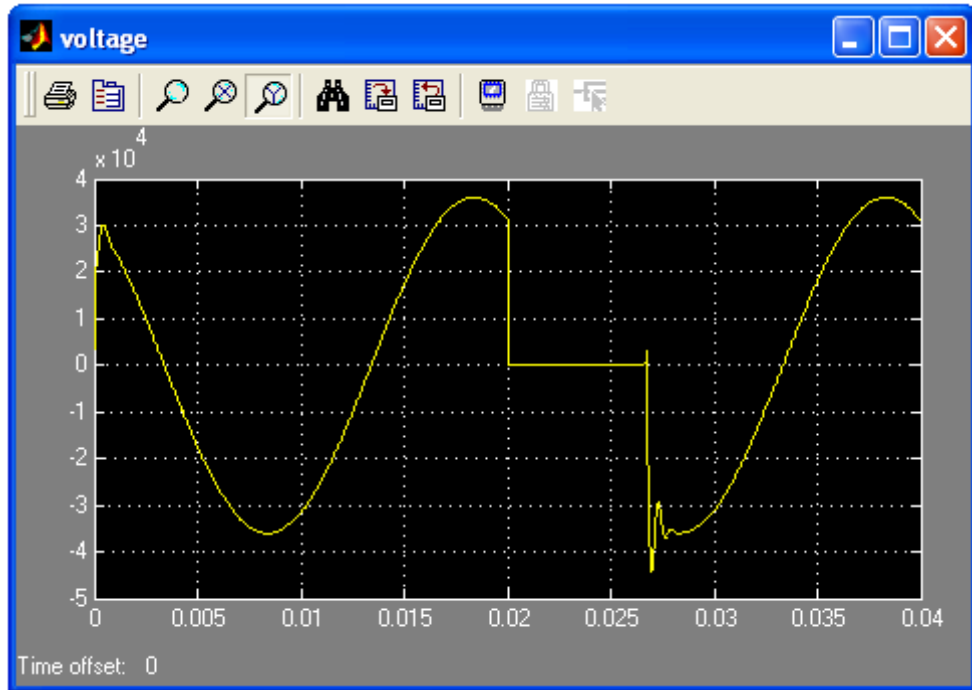
$\tau_o = 10,933 \times 10^{-6}$

$\alpha = 0,523$

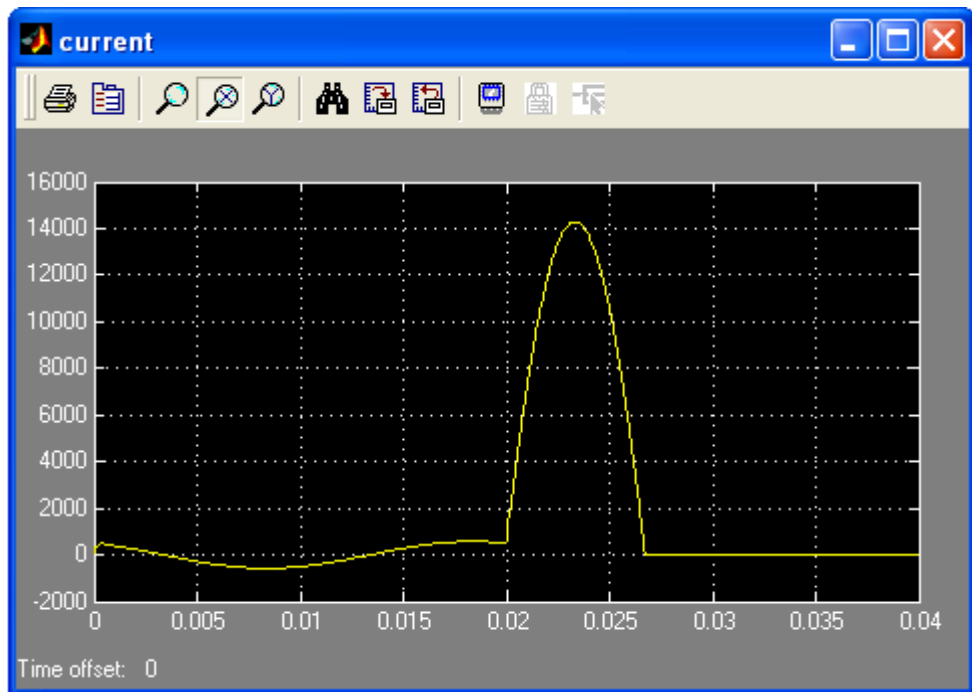
$P_o = 2 \times 10^{-6}$

$\beta = 0,59$

olarak tanımlanmıştır. Mayr ark modeli parametre değerlerine göre gerilimin ve akımın zamanla değişimini karşılaştırmak için 2 atm basınç ve 4000 °K sıcaklık değerini seçebiliriz. 2 atm basınç ve 4000 °K sıcaklık değerinde elektriksel iletkenlik 0,0160 mho/cm'dir. Lionel R. Orama-Exclusa ve Bienvenido Rodriguez-Medina tarafından belirlenen parametre değerlerine ve 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik değerine karşılık gelen ark zaman sabiti 1,2575 µs, soğutma gücü ise 0,1743 MW'tır. Bu değerler kullanılarak yapılan simülasyon sonucu elde edilen gerilim ve akımın zamanla değişimleri Şekil 4.91 ve Şekil 4.92'de verilmiştir.

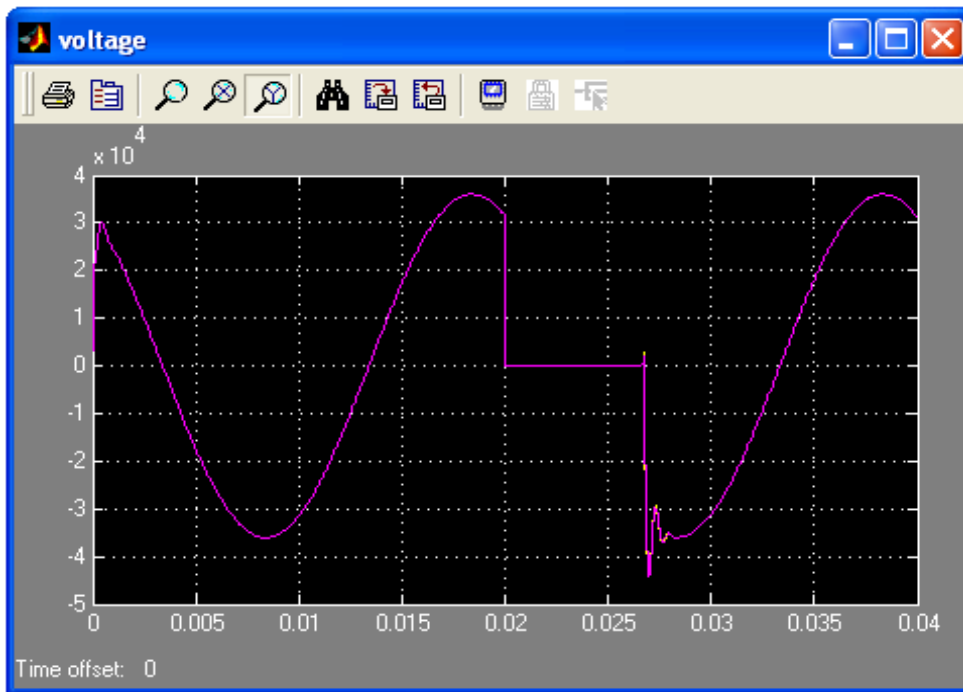


Şekil 4.91. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 1,2575 μ s ark zaman sabiti, 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin zamanla değişimi



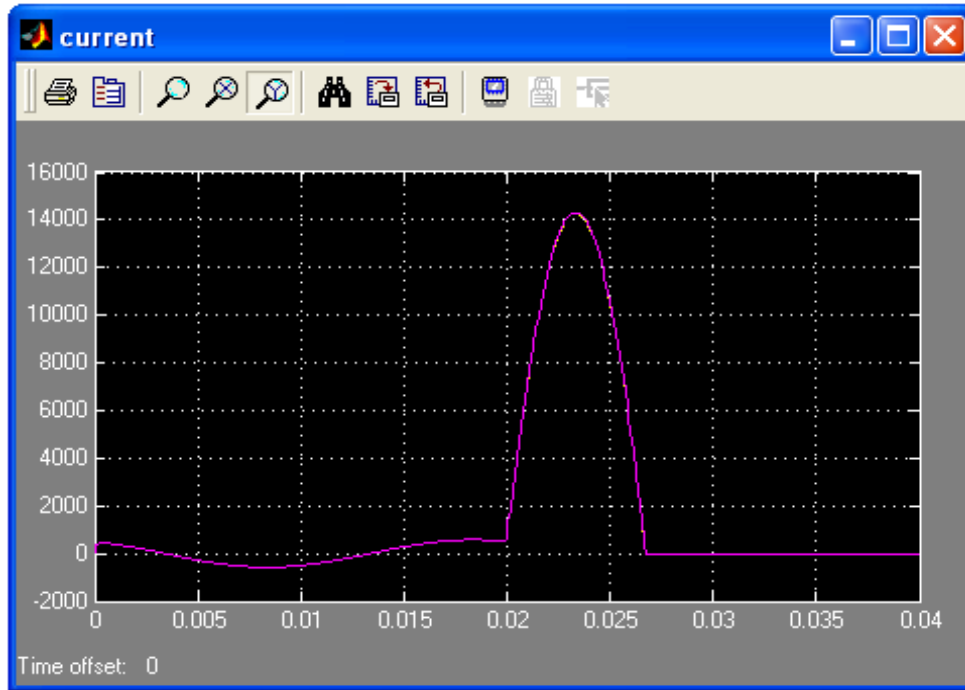
Şekil 4.92. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 1,2575 μ s ark zaman sabiti, 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimi

2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik, 1,2575 μ s ark zaman sabiti, 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark gerilimi ve ark akımının zamanla değişimleri karşılaştırıldığında benzer bir değişim olduğu gözlenmektedir. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik değerlerine karşılık gelen 1,2575 μ s ark zaman sabiti, 0,1743 MW ark soğutma gücü ve 0,6325 μ s ark zaman sabiti, 0,0549 MW ark soğutma gücü değerleri kullanılarak elde edilen gerilim ve akım değişimlerinin karşılaştırmalı simülasyon sonuçları Şekil 4.93 ve Şekil 4.94'te verilmiştir.



Şekil 4.93. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark geriliminin zamanla değişiminin karşılaştırılması

Şekil 4.93'teki mor renkli sinyal Lionel R. Orama-Exclusa ve Bienvenido Rodriguez-Medina tarafından belirlenen parametre değerlerini kullanılıncı elde edilen gerilim dalga şeklini, sarı renkli sinyal ise oluşturduğumuz modelde kullandığımız parametre değerlerini kullanınca elde edilen gerilim dalga şeklini göstermektedir. Burada simülasyon sonucu elde edilen gerilim dalga şekli yaklaşık aynı olduğundan sinyaller bu üst üste gelmiştir. Bu nedenle sarı renkli sinyal belirgin değildir.

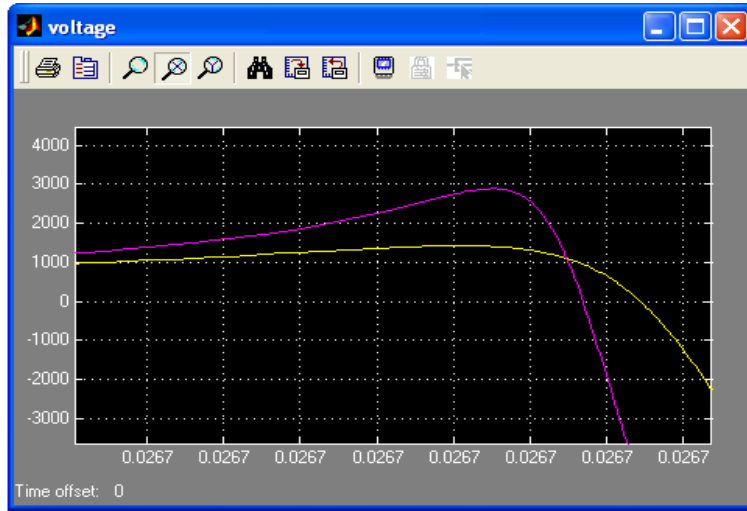


Şekil 4.94. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark akımının zamanla değişiminin karşılaştırılması

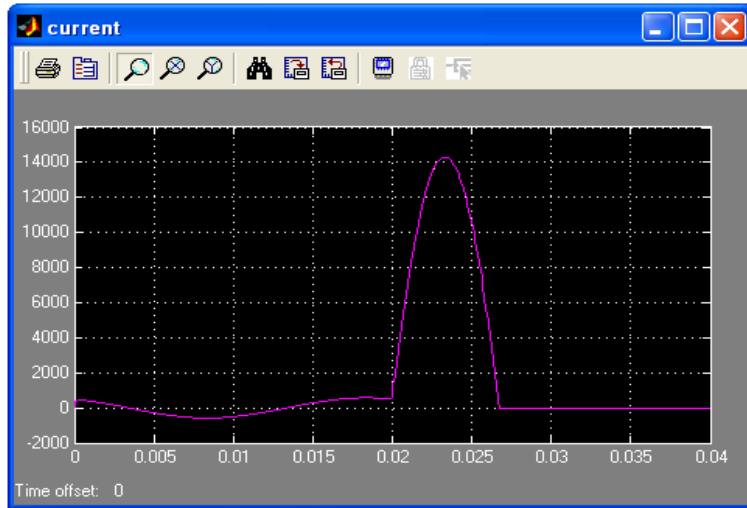
Şekil 4.94'teki mor renkli sinyal Lionel R. Orama-Exclusa ve Bienvenido Rodriguez-Medina tarafından belirlenen parametre değerlerini kullanılıncı elde edilen akım dalga şeklini, sarı renkli sinyal ise oluşturduğumuz modelde kullandığımız parametre değerlerini kullanınca elde edilen akım dalga şeklini göstermektedir. Burada simülasyon sonucu elde edilen akım dalga şekli yaklaşık aynı olduğundan sinyaller üst üste gelmiştir. Bu nedenle sarı renkli sinyal belirgin değildir.

Şekillerden anlaşılacağı gibi eşit basınç, sıcaklık, elektriksel iletkenlik değerlerinde kullanılan farklı ark zaman sabiti ve soğutma gücü değerleri için gerilim ve akımın zamanla değişim grafikleri yaklaşık olarak aynıdır. Bu çalışmada kullandığımız ark zaman sabiti değeri Lionel R. Orama-Exclusa ve Bienvenido Rodriguez-Medina tarafından belirlenen ark zaman sabiti değerinin yaklaşık yarısı, ark soğutma gücü değeri ise yaklaşık üçte biridir. Bu nedenle ark soğutma gücü ve ark zaman sabitini sırayla artırarak ark gerilimi ve ark akımı değişimlerine olan etkilerini incelemek gerekmektedir. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik

için sırasıyla ark soğutma gücü sabit tutularak ark zaman sabiti artırılırsa Şekil 4.95 ve Şekil 4.96, ark zaman sabiti sabit tutularak ark soğutma gücü artırılırsa Şekil 4.97 ve Şekil 4.98 elde edilmektedir.



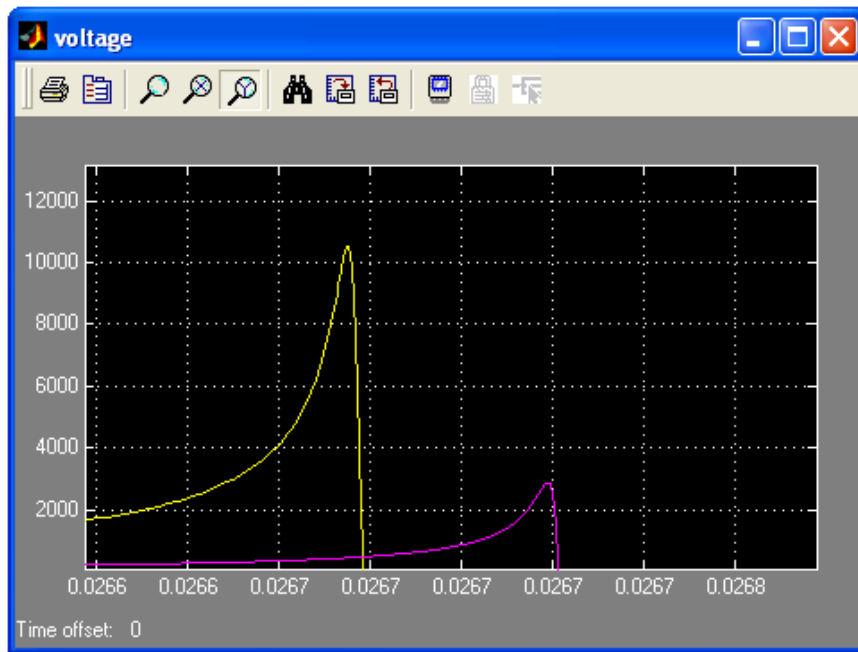
Şekil 4.95. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark geriliminin sönen tepesinin zamanla değişiminin karşılaştırılması



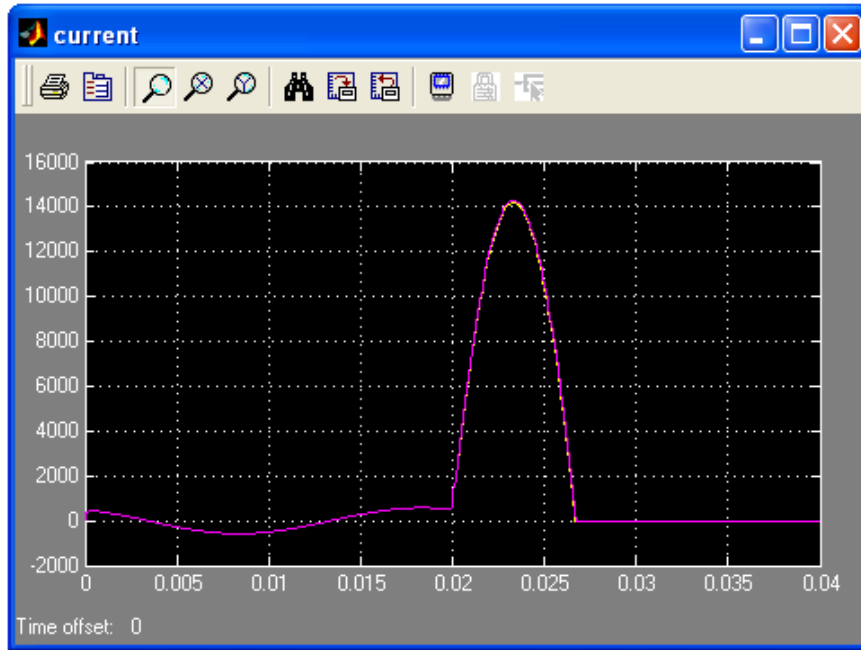
Şekil 4.96. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark akımının zamanla değişiminin karşılaştırılması

Şekil 4.95'te sarı renkli sinyal 3 μ s ark zaman sabiti ve 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin sönen tepesinin zamanla değişimini, mor renkli sinyal ise 1,2575 μ s ark zaman sabiti ve 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin

sönen tepesinin zamanla değişimini göstermektedir. Burada ark gerilim değişimleri sadece sönen tepelerde farklılık gösterdiğinden ark gerilim değişimin sadece sönen tepeleri gösterilmiştir. Şekil 4.96'da ise sarı renkli sinyal 3 μ s ark zaman sabiti ve 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimini, mor renkli sinyal ise 1,2575 μ s ark zaman sabiti ve 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimini göstermektedir. Şekil 4.96'da edilen akım dalga şekli yaklaşık aynı olduğundan sinyaller bu boyutta üst üste gelmiştir. Bu nedenle sarı renkli sinyal belirgin değildir.



Şekil 4.97. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark gerilimin sönen tepesinin zamanla değişiminin karşılaştırılması



Şekil 4.98. 2 atm basınç, 4000 °K sıcaklık, 0,0160 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark akımının zamanla değişiminin karşılaştırılması

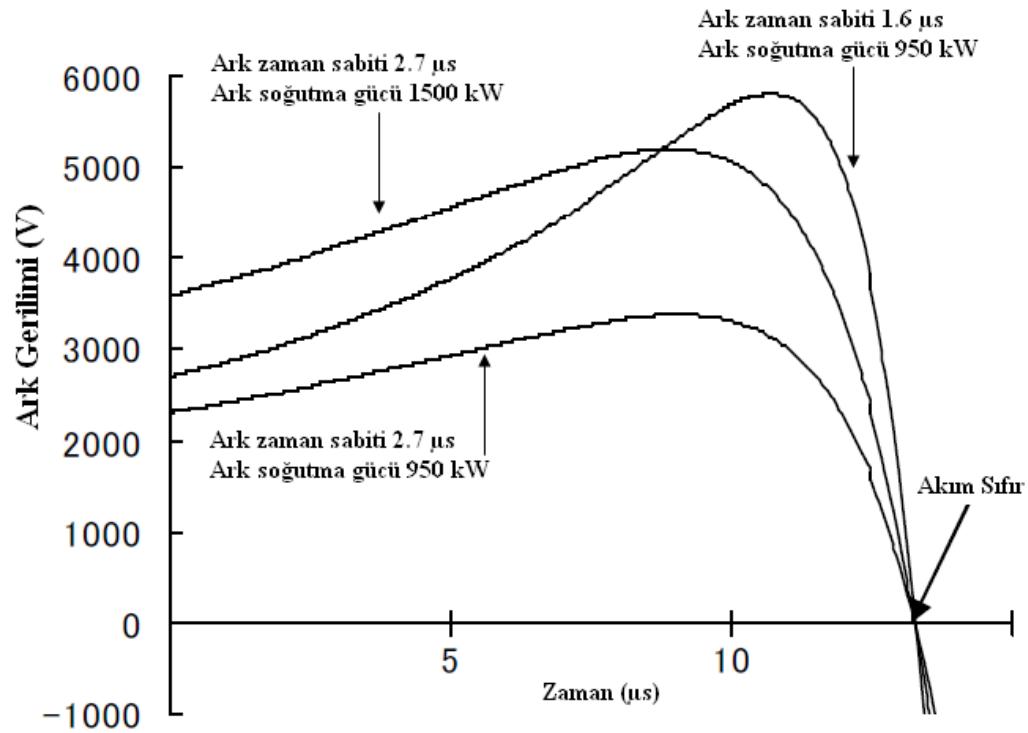
Şekil 4.97’de sarı renkli sinyal 1,2575 μ s ark zaman sabiti ve 1,0 MW ark soğutma gücü için ark gerilimin sönen tepesinin zamanla değişimini, mor renkli sinyal ise 1,2575 μ s ark zaman sabiti ve 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin sönen tepesinin zamanla değişimini göstermektedir. Burada ark gerilim değişimleri sadece sönen tepelerde farklılık gösterdiğinden ark gerilim değişimin sadece sönen tepeleri gösterilmiştir. Şekil 4.98’de ise sarı renkli sinyal 1,2575 μ s ark zaman sabiti ve 1,0 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimini, mor renkli sinyal ise 1,2575 μ s ark zaman sabiti ve 0,1743 MW ark soğutma gücü için ark akımının zamanla değişimini göstermektedir. Şekil 4.98’de edilen akım dalga şekli yaklaşık aynı olduğundan sinyaller bu boyutta üst üste gelmiştir. Bu nedenle sarı renkli sinyal belirgin değildir.

4.3. Simülasyon Sonuçlarının Analizi

Simülasyon sonuçlarına baktığımızda özellikle yüksek sıcaklıklarda gerilimde kesme esnasında bir tepe değer oluşmaktadır. Bu tepe değerden sonra ise gerilimde ani bir

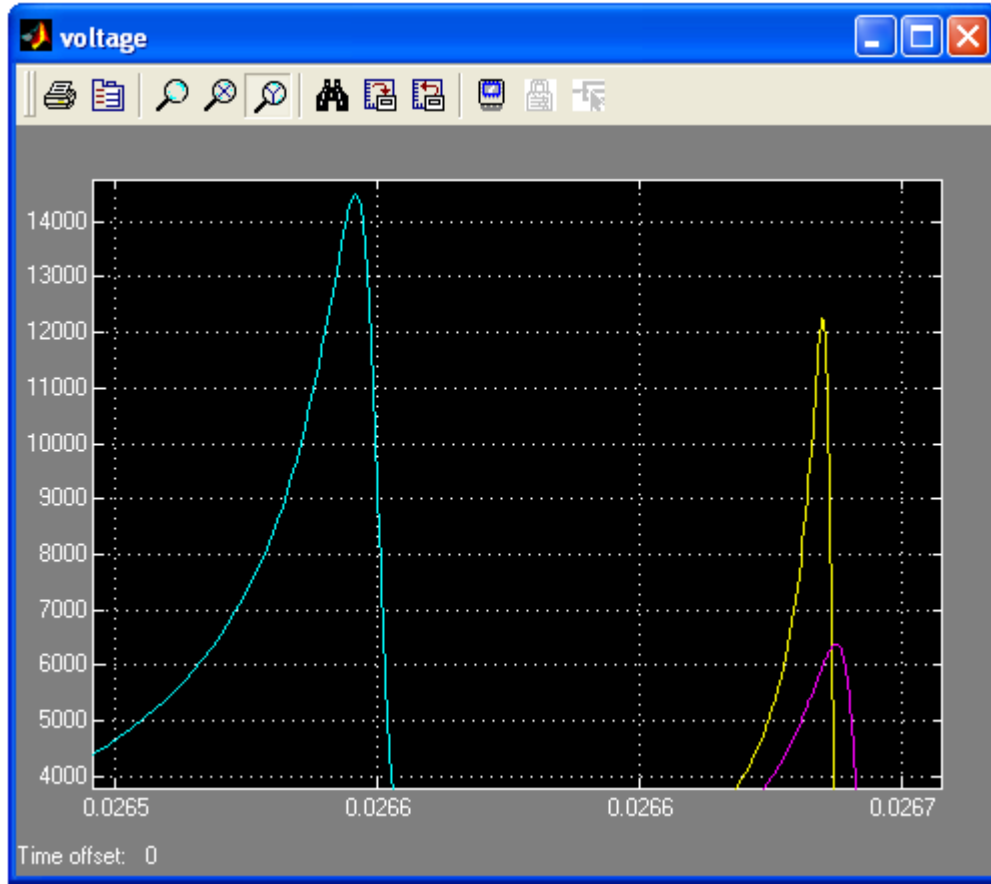
dalgalanma meydana gelmekte ve ardından gerilim normale dönmektedir. Akım dalga şekillerinde ise böyle bir durum söz konusu değildir.

T. Kozhizuka, T. Shinkai, K. Udagawa ve H. Kawano tarafından yapılan çalışmada ark zaman sabiti ve ark soğutma gücünün farklı değerlerine göre ark geriliminin değişim şekilleri elde edilmiş ve bu değişimler Şekil 4.99’da verilmiştir [24].



Şekil 4.99. Farklı Mayr ark model parametreleri ile elde edilen ark gerilimi dalga şekilleri

Şekil 4.99’den anlaşılabacağı gibi ark zaman sabiti eşit iken, ark soğutma gücünü artırdığımızda ark geriliminde oluşan tepe değerin genliği artmaktadır. Ayrıca ark soğutma gücü eşit iken, ark zaman sabitini azalttığımızda ark geriliminde oluşan tepe değerin genliği artmakta ve bu artış daha hızlı olmaktadır. Çalışmamızda kullandığımız modele 2 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 116,2 mho/cm elektriksel iletkenlik değerleri için üç farklı parametre değerlerini uyguladığımızda Şekil 4.100 elde edilmektedir.



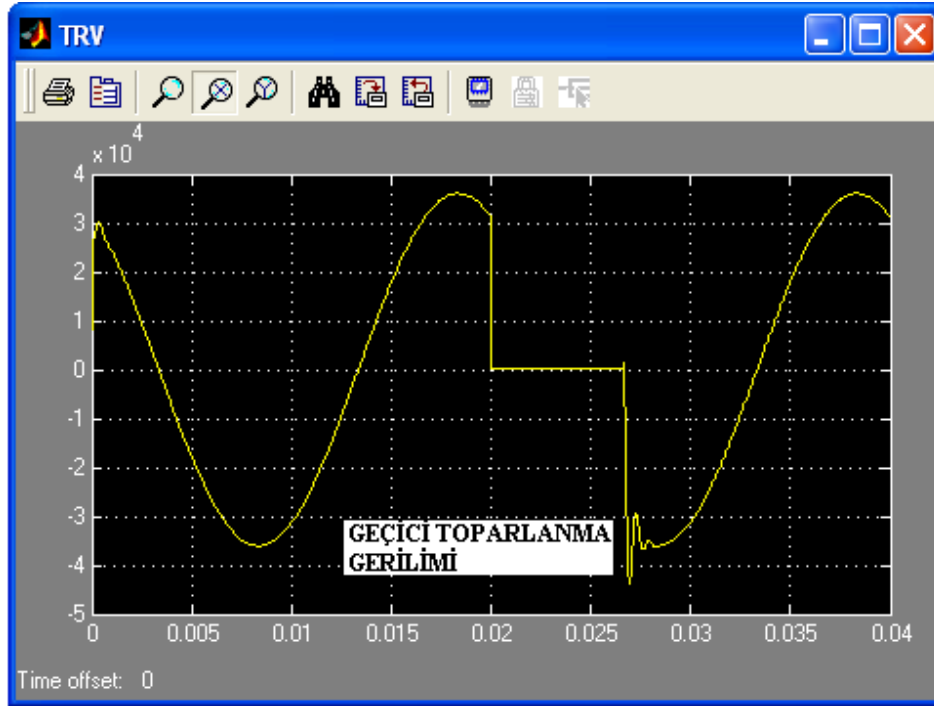
Şekil 4.100. 2 atm basınç, 40000 °K sıcaklık, 116,2 mho/cm elektriksel iletkenlik için ark geriliminin sönen tepesinin zamanla değişiminin karşılaştırılması

Şekil 4.100’de mavi renkli sinyal 2,7 μ s ark zaman sabiti ve 3,0 MW ark soğutma gücü için, mor renkli sinyal 2,7 μ s ark zaman sabiti ve 0,950 MW ark soğutma gücü için, sarı renkli sinyal ise 0,9 μ s ark zaman sabiti ve 0,950 MW ark soğutma gücü için ark geriliminin sönen tepesinin zamanla değişimini göstermektedir.

Şekil 4.100’den anlaşılacağı gibi ark zaman sabiti ve ark soğutma gücü değerleri benzer etkileri çalışmamızda kullandığımız modelde de göstermektedir. Gerilimde oluşan tepe değerlerin genlikleri ve gerçekleşme süreleri ark soğutma gücü ve ark zaman sabiti parametre değerlerine göre değişmektedir.

4.3.1. Geçici toparlanma gerilimi(TRV)

Geçici toparlanma gerilimi(TRV), devre kesicide akımın kesilmesi sonrasında bir kutbunun terminalleri etrafında meydana gelen gerilimdir. Bu gerilim arka arkaya iki zaman aralığında dikkate alınmalıdır. Bu zaman aralıkları, ilk olarak toparlanma geriliminin oluşum süresi ve bunu izleyen yalnız güç frekans geriliminin oluşum süresidir. Kesme süresi boyunca, akımın sıfıra yaklaştığı gibi ark iletkenliği hızla düşer. Akım sıfırdan birkaç mikro saniye sonra, devrede akım akışı durur. Güç sistemi akım kesilmelerine karşı tepki olarak geçici toparlanma gerilimini oluşturur. TRV, devre kesicinin kaynak tarafındaki gerilimi ile yük tarafındaki gerilimi arasındaki farktır. Eğer devre kesici geçici toparlanma gerilimine dayanabilirse kesme işlemi mükemmel olarak gerçekleşmiş olur. TRV kesme işlemi esnasında devrenin ohmik, indüktif veya kapasitif olmasına bağlıdır. Ayrıca, dağıtılmış ve kümeleştirilmiş devre elemanları farklı TRV dalga şekilleri oluşturur. İndüktif bir devrede kesme meydana geldiği zaman, akım sıfırdaki kaynak gerilimi maksimum olur. Geçici bir süreçte, giriş gücünün minimum olduğu ve kaynak tarafındaki terminal gerilimi kaynak gerilimine ulaştığı zaman devre kesici akım sıfırda kesilirse bu durumda TRV oluşur. Bu durum Şekil 4.101’de gösterilmiştir.



Şekil 4.101. Devre kesicide akımın kesilmesi esnasında TRV dalga şekli

TRV frekansı Eş. 4.2 ile hesaplanır.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.3)$$

Burada;

L: Kısa devre indüktansı

C: Kaynak kapasitansı

olarak tanımlanır. Saf bir direnç yükü kesildiği zaman, kesme anında gerilim sıfırdır.

Bu nedenle toparlanma geriliminde geçici bir durum oluşmaz.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek gerilim enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde devrenin açılıp kapanmasında SF₆ gazlı devre kesiciler kullanılmaktadır. Kesicilerin hızlı bir şekilde açma ve kesme işlemi gerçekleştirebilmesi gerekmektedir. Bunun için devre kesicilerde ark davranışının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada SF₆ gazlı devre kesici nozzle'ındaki ark davranışının incelenmesi için, basitleştirilmiş bir ark modeli geliştirilmiştir. Matematiksel modellemeler, SF₆ gazlı devre kesicilerin kesme performanslarının tahmin edilebilmesi için geliştirilmektedir.

Çalışmamızda yaptığımız simülasyon sonuçlarında görüldüğü gibi SF₆ gazlı devre kesicilerde eşit ark sıcaklığında basınç arttıkça gerilim ve akım dalgalarının şekilleri bozulmaktadır. Benzer şekilde eşit basınçta ark sıcaklığı arttıkça da gerilim ve akım dalgalarının şekilleri bozulmaktadır. Dalga şekillerinin bozulmasının temel nedeni elektriksel iletkenliğin eşit ark sıcaklığında basınç arttıkça artmasıdır. Benzer şekilde eşit basınçta ark sıcaklığı arttıkça elektriksel iletkenlik artmaktadır. İletkenlik arttıkça direnç azaldığından gerilim ve akım dalga şekilleri bozulmaktadır. Ayrıca özellikle yüksek ark sıcaklıklarında ark zaman sabiti eşit iken, ark soğutma gücünü artırdığımızda ark geriliminde oluşan tepe değerin genliği artmaktadır. Bununla birlikte ark soğutma gücü eşit iken, ark zaman sabitini azalttığımızda ark geriliminde oluşan tepe değerin genliği artmakta ve bu artış daha hızlı olmaktadır.

Simülasyon sonuçlarına bakıldığı zaman ark geriliminde oluşan tepe değerden hemen sonra geçici toparlanma gerilimi (TRV) oluştuğu görülmektedir. Devre kesici geçici toparlanma gerilimine dayanabilirse kesme işlemi mükemmel olarak gerçekleşmiş olacaktır. Geçici toparlanma gerilimi kesme işlemi esnasında devrenin ohmik, indüktif veya kapasitif olmasına bağlıdır. Bu nedenle devre kesici tasarımında geçici toparlanma gerilimi dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada matematiksel modelleme için Mayr denklemi geliştirilmiştir. Bu model devre kesiciler için kesme yeteneğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Basınç, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, ark soğutma gücü ve ark zaman sabiti değerlerine göre

ark gerilimi ve ark akımının değişimleri incelenmiştir. Lionel R. Orama-Exclusa ve Bienvenido Rodriguez-Medina tarafından yapılan çalışmada belirlenen parametre değerleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ile bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar benzerlik gösterdiği görölmektedir. Daha güvenli ve daha dayanımlı SF₆ gazlı kesici tasarımında bu çalışmada elde edilen verilerden yararlanılabilecektir.

KAYNAKLAR

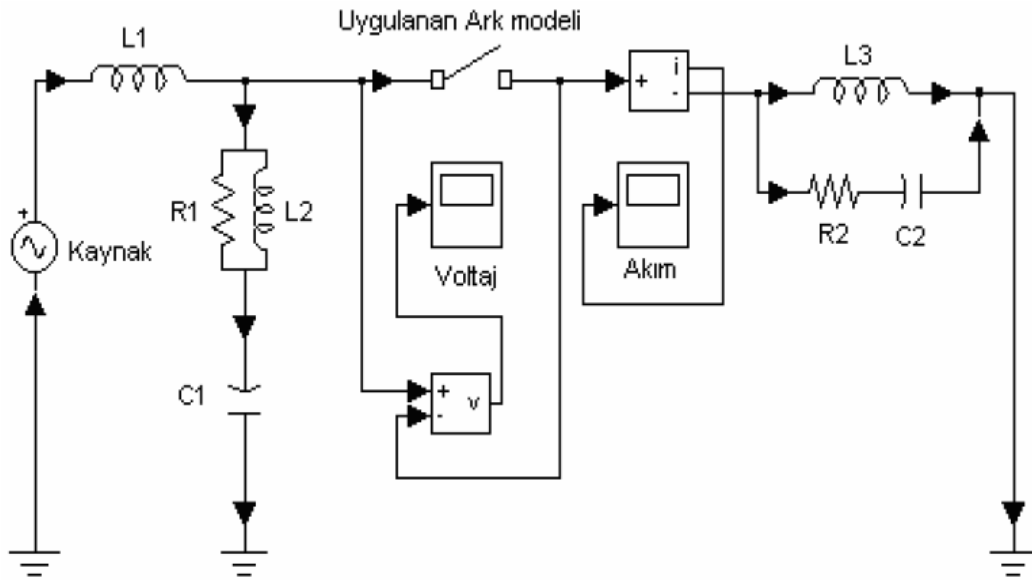
1. Frost, L. S., And Liebermann, R. W., "Composition and transport properties of SF₆ and their use in a simplified enthalpy flow arc model" , ***Proceedings Of The IEEE***, 59(4): 474-485 (1971)
2. Blez, B., And Guilloux, C., "Post-arc current in high voltage SF₆ circuit-breakers when breaking at up to 63 kA" , ***IEEE Transactions on Power Delivery***, 4 (2): 1056-1062 (1989)
3. Swanson, B. W., And Roidt, R. M., "Thermal analysis of an SF₆ circuit breaker arc" , ***IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems***, 91 (5): 381-389 (1972)
4. Swanson, B. W., "Nozzle arc interruption in supersonic flow" , ***IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems***, 96 (5): 1697-1706 (1977)
5. Swanson, B. W., Roidt, R. M., And Browne, T. E., "The effect of gas dynamics and properties of SF₆ and air on short line fault interruption" , ***IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems***, 89 (8): 2033-2042 (1970)
6. Pinto, L. C, Zanetta L. C., " Medium voltage SF₆ circuit breaker arc model application" , ***Electric Power Systems Research***, 53: 67-71 (2000)
7. Schavemaker, P. H., And Sluis, L., "An improved Mayr-type arc model based on current-zero measurement" , ***IEEE Transactions on Power Delivery***, 10(1): 280-285 (1995)
8. Swanson, B. W., And Roidt, R. M., "Some numerical solutions of the boundary layer equations for an SF₆ arc" , ***Proceedings Of The IEEE***, 59 (4): 493-501 (1971)
9. Schavemaker, P. H., And Van Der Sluis, L., "The arc model blockset" , ***Proceedings Of The Second IASTED International Conference***, Crete, 644-648 (2002)
10. Cowley, M. D., "Integral methods of analysing electric arcs: I. Formulation" , ***Journal Of Physics D: Applied Physics***, 7 (16): 2218 (1974)
11. Fang, M. T. C., And Brannen, D., "A current-zero arc model based on forced convection" , ***IEEE Transactions on Plasma Science***, 7: 217-229 (1979)
12. Wilkins, R. L., "Thermodynamics of SF₆ and its decomposition and oxidation products" , ***Journal of Chemical Physics***, 51: 853-854 (1969)

13. Sou, S., Mizumoto, K., And Arai, S., “Examination of arc parameters of Mayr equation in the interception model” , ***Papers of Technical Meeting on Electrical Discharges IEE***, Japan, 3 (12-18.20-38): 1-5 (2003)
14. Butler, J. N., And Brokaw, R. S., “Thermal conductivity of gas mixtures in chemical equilibrium” , ***Journal of Chemical Physics***, 26: 1636-1643 (1956)
15. Habedank, U., “On the mathematical description of arc behaviour in the vicinity of current zero” ***ETZ Archiv***, 10 (11): 339-343 (1988)
16. Smeets, R. P. P., And Kertesz, V., “Evaluation of high voltage circuit breaker performance with a new validated arc model” , ***Proceedings Of The IEEE***, 147 (2): (2000)
17. Kürün, E., “Dinamik ark modelleri ve devre kesicilerin bilgisayar simülasyonu” , Yüksek Lisans Tezi, ***İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Malatya, 24 (2006).
18. Guardado, J. L., Maximov, S. G., Melgoza, E., Naredo, L., And Moreno, P., “An improved arc model before current zero based on the combined Mayr and Cassie arc models” , ***IEEE Transactions on Power Delivery***, 20 (1): (2005)
19. Schavemaker, P. H., “Arc model blockset for use with Matlab Simulink and Power System Blockset” , ***Delf University of Technology***, User’s Guide 2: 6-14 (2001)
20. Özkan, F., “Yüksek gerilim yük kesicileri, teori, tasarım ve deneyler” , ***İTÜ Yayınları***, İstanbul, 169-170 (1994)
21. Mahseredjian, M., “Arc modeling for circuit breakers” , ***IEEE Transactions on Power Delivery***, 2 (2): 731-733 (2001)
22. Sezgin, A., “SF₆ gazlı kesici arkının termodinamik ve elektriksel analizi” , Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 3-4 (2001).
23. Exclusa, L. R. O., And Medina, B. R., “Numerical arc model parameter extraction for SF₆ circuit breaker simulations” , ***International Conference on Power Systems Transients***, New Orleans, 1-5 (2003)
24. Kozhizuka, T., Shinkai, T., Udagawa, K., And Kawano, H., “Circuit breaker model using serially connected 3 arc models for EMTP simulation” , ***International Conference on Power Systems Transients***, Kyoto, 1-5 (2009)

EKLER

EK-1. Mayr ark modeli simülasyonunda kullanılan devre şeması

Simülasyonu modellenerek kullanılan örnek devre Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Simülasyonda modellenerek kullanılan örnek devre

Bu çalışmada dinamik ark modeli olarak Mayr ark modeli kullanılmıştır. Devreyi oluşturan elemanların değerleri aşağıdaki gibidir.

Kaynak: 36 kV

L1 : 3.52 mH

L2 : 5.28 mH

L3 : 0.6256 mH

R1 : 29.8 Ω

R2 : 450 Ω

C1 : 1.98 μ F

C2 : 1.93 nF

EK-2. 1, 2, 4, 8, 16 atm basınç değerleri için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik değişiminin grafiğini veren Matlab programı

```
[T]=[1,1.4,1.7,2,2.3,2.6,3,3.5,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,18,20,22,26,30,35,40;
[s1]=[0,0,0,0,0,0,0,0,0.0015,0.032,0.836,3.741,8.62,14.86,21.52,28.16,34.44,40.2,45.7,
51.7,58.4,65.5,78.6,89.0,96.0,107.3,111.9, 102.5,105.5];
[s2]=[0,0,0,0,0,0,0,0,0.0006,0.0160,0.569,3.046,7.59,13.65,20.58,27.58,34.48,40.9,47.
0,53.2,60.0,67.4,82.2,94.8,104.1,116.7,125.6,117.8,116.2];
[s4]=[0,0,0,0,0,0,0,0,0.0075,0.3556,2.363,6.50,12.32,19.20,26.56,33.97,41.1,47.8,54.
4,61.4,69.0,85.15,100.0,111.9,127.3,139.0,136.2,129.9];
[s8]=[0,0,0,0,0,0,0,0,0.0033,0.2046,1.707,5.35,10.85,17.61,25.11,32.90,40.6,48.0,55.
2,62.6,70.35,87.5,104.4,119.0,138.9,152.7,156.7,147.9];
[s16]=[0,0,0,0,0,0,0,0,0.0014,0.1094,1.140,4.19,9.24,15.77,23.26,31.28,39.45,47.5,5
5.35,63.1,71.3,89.1,107.8,125.1,150.6,167.2,177.9,170.4];
x1=[T s1 s2 s4 s8 s16]
plot(T,s1),hold on
plot(T,s2),hold on
plot(T,s4),hold on
plot(T,s8),hold on
plot(T,s16)
gtext('1 atm')
gtext('2 atm')
gtext('4 atm')
gtext('8 atm')
gtext('16 atm')
xlabel ('Sicaklik, 1000K')
ylabel('Iletkenlik,mho/cm')
```

EK-3. 1000-40000 °K sıcaklık aralığında seçilen sıcaklık değerlerinde, 3, 5, 6, 7, 9, 10 atm basınç değerleri için elektriksel iletkenlik değerlerini veren Matlab programı

```
[p]=[1,2,4,8,16];  
[s]=[3.741,3.046,2.363,1.707,1.140];  
plot(p,s)  
xlabel ('Basinc,atm')  
ylabel('Iletkenlik,mho/cm')
```

EK-4. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16 atm basınç değerleri için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik değerlerine karşılık gelen ark zaman sabitini veren Matlab programı

```
[s]=[0.0028,0.181,1.565,5.06,10.45,17.15,24.65,32.50,40.3,47.9,55.2,62.7,70.6,87.9,  
105.3,120.5,141.8,156.3,162.0,153.5];  
[s1]=s.^0.5;  
[t]=s1*(5);  
plot(s1,t)  
xlabel ('Iletkenlik,mho/cm')  
ylabel('Zaman sabiti,mikrosn');
```

EK-5. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16 atm basınç değerleri için 1000-40000 °K sıcaklık aralığında elektriksel iletkenlik değerlerine karşılık gelen soğutma gücünü veren Matlab programı

```
[s]=[0.0028,0.181,1.565,5.06,10.45,17.15,24.65,32.50,40.3,47.9,55.2,62.7,70.6,87.9,  
105.3,120.5,141.8,156.3,162.0,153.5];  
[s1]=s.^0.8;  
[P]=s1*(1.5);  
plot(s1,P)  
xlabel ('Iletkenlik,mho/cm')  
ylabel('Sogutma gücü,MW');
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KILIÇ, Mustafa
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 02.09.1983 Gerede
 Medeni hali : Bekar
 e-mail : mustafakilic@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	İzzet Baysal Anadolu Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-.....	Sakarya E.D.A.Ş.	Veri Yönetimi Başmüh.
2007-2009	Teknotes A.Ş.	Elektrik Bakım Müh.
2006-2007	Gentaş A.Ş.	Elektrik Bakım Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Seyahat, Bilgisayar teknolojileri, Spor