

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE
AÇMA-KAPAMA OLAYLARININ GEÇİCİ REJİM
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Elnk. Müh. Mehmet Emin ŞENEL

Enstitü Anabilim Dalı : ELK. ELNK. MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK MÜH.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU

Aralık 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE
AÇMA-KAPAMA OLAYLARININ GEÇİCİ REJİM
ANALİZİ**

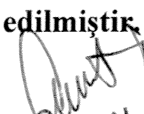
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Elk. Elnk. Müh. Mehmet Emin ŞENEL

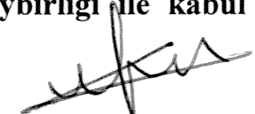
Enstitü Anabilim Dalı : ELK. ELNK. MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK. MÜH.

Bu tez 21 / 12 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Cemil ÖZ
Jüri Başkanı


Y. Doç. Dr. Yılmaz UYARÖZLÜ
Üye


Y. Doç. Dr. Törker Fedai ÇALUŞ
Üye

ÖNSÖZ

Günümüzde Elektrik enerji sistemlerinde meydana gelen pek çok izolasyon probleminin temelinde aşırı gerilim ve akımların bulunduğu bilinmektedir. Çoğu izolasyon problemine çözüm ise geçici rejim analizi ile aranmaktadır. İzolasyon delinmelerinde daha çok aşırı gerilimlere maruz kalmanın neden olduğu anlaşılmıştır. Doğal olarak sistemin izolasyon seviyesinin belirlenmesinde geçici rejim analizinin önemi giderek artmıştır. Özellikle açma-kapama aşırı gerilimleri anahtarlamanın olduğu sistemlerin hemen hepsinde görülen bir aşırı gerilim nedenidir. Beslemenin olduğu her yerde bir anahtarlamanın yani açma-kapama işlevinin olacağı düşünülürse bu söylediğimiz şey daha iyi anlaşılacaktır. Bizde bu bilgilerin farkında olarak elektrik sistemlerinde önemli bir konu olan anahtar açma-kapama aşırı gerilimlerini incelemeye çalıştık. Umarım bu çalışmalarımız hem sektörel hem de bilimsel alanda ülke menfaatlerimize katkı sağlar.

Bu güne kadar üzerimde büyük emekleri olan başta ailem olmak üzere bana katkıda bulunan bütün yakınlarıma ve tez danışmanım olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU'na en içten dileklerle teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE GEÇİCİ OLAYLAR.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Alternatif Akım Kaynağından Beslenen Bir RL Devresinin Geçici Rejim Analizi.....	5
2.2.1. Akımın θ 'nın değişik değerleri için zamana göre değişim eğrileri.....	7
2.2.2. Matlab simulink kullanarak alternatif akım kaynağından beslenen bir RL devresinin geçici rejim analizi.....	12
2.3. Seri RLC Devresinin Geçici Hal Analizi.....	15
2.3.1. Bir seri RLC devresindeki akımın zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi.....	18
2.3.2. Seri RLC devresinde değişik λ değerleri için akımın zamana göre değişim eğrileri.....	20

2.4. Paralel RLC Devresinin Geçici Hal Analizi.....	23
2.4.1. Bobin akımının geçici hal analizi.....	23
2.4.1.1. Bobin akımın zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi.....	28
2.4.1.2. Akımın MATLAB simulink kullanılarak geçici hal analizi.....	31
2.4.1.3. Paralel RLC devresindeki bobin akımının η sönümlenme katsayısının muhtelif değerlerine göre değişim eğrileri.....	33
2.4.1.4. Paralel RLC devresindeki normalize edilmiş akım eğrileri.....	34
2.4.2. Kondansatör geriliminin geçici hal analizi.....	34
2.4.2.1. Bir paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi.....	37
2.4.2.2. Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin MATLAB simulink kullanılarak geçici hal analizi.....	40
2.4.2.3. Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin η sönümlenme katsayısının muhtelif değerlerine göre değişim eğrileri.....	42
2.4.2.4. Paralel RLC devresindeki normalize edilmiş gerilim eğrileri.....	43

BÖLÜM 3.

ENERJİ SİSTEMLERİNDE AŞIRI GERİLİMLERİN SINIFLANDIRILMASI	44
3.1. Dış Aşırı Gerilimler.....	44
3.2. İç Aşırı Gerilimler.....	45
3.2.1. Sürekli rejimde meydana gelen iç aşırı gerilimler.....	45
3.2.2. Geçici rejimde meydana gelen iç aşırı gerilimler.....	46
3.3. Geçici İç Aşırı Gerilim Şiddetinin Boyutlandırılması.....	47

BÖLÜM 4.

ENERJİ SİTEMLERİNDE GEÇİCİ OLAYLAR	48
4.1. Giriş	48
4.2. Boşta Çalışan Bir Generatörün Uçlarında Meydana Gelen Kısa Devre Durumunda Kesicinin Açılması Sırasında Kesici Üzerinde Görülen Gerilimin Geçici Hal Analizi	48
4.2.1. Kesici anahtarının açılmasının temsil edilmesi	49
4.2.2. Boşta çalışan bir generatörün uçlarında meydana gelen kısa devre durumunda kesicinin açılması sırasında kesici üzerinde görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi	53
4.2.3. Boşta çalışan bir generatörün uçlarında meydana gelen kısa devre durumunda kesicinin açılması sırasında kesici üzerinde görülen gerilimin MATLAB simulink kullanılarak geçici hal analizi	55
4.3. Boşta Çalışan Bir Transformatörün Kesici İle Açılması Sırasında Transformatör Üzerinde Meydana Gelen Geçici Hal Geriliminin Analizi	56
4.3.1. Transformatör devresinde kesicinin açılması sırasında kesici üzerinde görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisinin Elde edilmesi	59
4.3.2. Transformatör devresinde kesicinin açılması sırasında kesici üzerinde görülen gerilimin MATLAB simulink kullanılarak geçici hal analizi	62
4.3.3. Kesici açma olayının temsil edilmesi	62

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	70

SİMGELER LİSTESİ

C	: Kapasitans (F)
L	: Endüktans (H)
E	: Generatör Uç gerilimi
F	: Frekans (Hz)
f(t)	: Zaman domeni fonksiyonu
F(w)	: Frekans domeni fonksiyonu
Q	: Elektrik yükü (C)
R	: Direnç(Ω)
S	: Kısa devre gücü
t	: Zaman(sn)
τ	: Zaman sabiti
T_0	: Gözlem zamanı
w	: Açısal frekans
W_C	: Elektrik enerjisi
W_L	: Magnetik enerjisi
α	: Öteleme değeri
ϵ	: Dielektrik sabiti
μ	: Magnetik geçirgenlik
λ	: Seri RLC devresinde Sönümleme katsayısı
η	: Paralel RLC Devresinde Sönümleme katsayısı
X_d''	: Boyuna eksen subtransient senkron reaktans
Y	: Şönt admitans matrisi
Y_s	: Üreteç admitans
Z	: Seri empedans matrisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Alternatif akım kaynağından beslenen seri RL devresi.....	5
Şekil 2.2.	$\theta = \Phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right) = 84,28^\circ$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi.....	8
Şekil 2.3.	$\theta = \phi + \frac{\pi}{2}$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi.....	9
Şekil 2.4.	$\theta = 0^\circ$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi.....	10
Şekil 2.5.	$\theta = \frac{\pi}{3}$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi.....	11
Şekil 2.6.	$\theta = \frac{\pi}{2}$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi	12
Şekil 2.7.	Alternatif akım kaynağından beslenen bir RL devresinin matlab simulink devresi.....	13
Şekil 2.8.	Alternatif akım kaynağıyla beslenen seri RL devresindeki akımın $\theta = 0^\circ$ için matlab simulink ile elde edilen zamana göre değişim eğrisi.....	14
Şekil 2.9.	Alternatif akım kaynağıyla beslenen seri RL devresindeki akımın $\theta = 60^\circ$ için matlab simulink ile elde edilen zamana göre değişim eğrisi.....	15
.	Seri RLC devresi.....	16
Şekil 2.11.	Örnek bir seri RLC devresi	18
Şekil 2.12.	$\lambda = 0,6578$ değeri için seri RLC devresindeki akım ifadesinin zamana göre değişim eğrisi.....	21
Şekil 2.13.	Değişik λ değerleri için seri RLC devresindeki akımın zamana göre değişim eğrileri.....	22
Şekil 2.14.	RLC devresinin MATLAB simulink devresi.....	23

Şekil 2.15.	$\lambda = 0.6578$ değeri için MATLAB simulink ile elde edilen seri RLC devresinden geçen akımın zamana göre değişim eğrisi.....	24
Şekil 2.16.	İncelenen paralel RLC devresi.....	25
Şekil 2.17.	Örnek bir paralel RLC devresi.....	29
Şekil 2.18.	Paralel RLC devresindeki bobin akımının zamana göre değişim eğrisi.....	31
Şekil 2.19.	Paralel RLC devresindeki bobin akımının normalize edilmiş hali.....	32
Şekil 2.20.	Paralel RLC devresinin MATLAB simülasyon devresi.....	33
Şekil 2.21.	Paralel RLC devresindeki bobin akımının zamana göre değişim eğrisi.....	33
Şekil 2.22.	Paralel RLC devresindeki bobin akımının η 'nün muhtelif değerleri için değişim eğrileri.....	34
Şekil 2.23.	Paralel RLC devresindeki bobin akımının normalize edilmiş halinin η 'nün muhtelif değerleri için değişim eğrileri.....	35
Şekil 2.24.	Örnek bir Paralel RLC devresi.....	38
Şekil 2.25.	Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisi.....	40
Şekil 2.26.	Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin normalize edilmiş hali.....	41
Şekil 2.27.	Paralel RLC devresinin MATLAB simülasyon devresi.....	42
Şekil 2.28.	Paralel RLC devresindeki kondansatör uçlarında görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisi.....	42
Şekil 2.29.	Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin η sönümleme katsayısının muhtelif değerlerine göre değişim eğrileri.....	43
Şekil 2.30.	Paralel RLC devresindeki normalize edilmiş kondansatör geriliminin η 'nün muhtelif değerleri için değişim eğrileri.....	44
Şekil 4.1.a	Tek hat diyagramı	49
Şekil 4.1.b	Bir faz eşdeğer devre.....	49

Şekil 4.2.	Kesicinin açmasını temsil eden devre.....	50
Şekil 4.3.	Örnek bir RLC devresi.....	54
Şekil 4.4.	Kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisi.....	55
Şekil 4.5.	RLC devresinin MATLAB simülasyon devresi.....	56
Şekil 4.6.	Paralel RLC devresindeki kondansatör uçlarında görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisi.....	56
Şekil 4.7.	Tek hat Transformatör diyagramı	57
Şekil 4.8.	Kesicinin açması devresi.....	58
Şekil 4.9.	Transformatör eşdeğer devresi.....	60
Şekil 4.10.	Mıknatıslanma akımının zaman göre değişim eğrisi.....	61
Şekil 4.11.	RLC devresindeki kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisi.....	62
Şekil 4.12.	Transformatör devresinin MATLAB simülasyon eşdeğeri.....	63
Şekil 4.13.	Kesicinin en kötü durumda açılması sonucu devreden akan akımın zamana göre değişim eğrisi.....	64
Şekil 4.14.	Paralel RLC devresindeki kondansatör uçlarında görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisi.....	65

ÖZET

Anahtar kelimeler: Açma-Kapama aşırı gerilimleri, Laplace Dönüşümü, MATLAB Simulink.

Elektrik enerji sistemlerinde açma-kapama olayları sonucunda çok kısa süreli fakat normalden çok daha aşırı şiddetli meydana gelen gerilim ve akımlar sistemi oluşturan elemanları oldukça zorlar. Özellikle çok yüksek gerilim sistemlerinde boyutlandırma bu tür akım ve gerilimlere göre yapılır. Bu çalışmada amaç, hem enerji sistemlerinde meydana gelen geçici olayları gözden geçirmek, hem de genel amaçlı bir bilgisayar paket programı olan MATLAB Simulink paket programının bu iş için kullanılabilirliğini tartışmak olacaktır.

Sistem enerjisiz iken enerjinin verilmeye başlandığı ilk anda devreyi kapatan kesicinin uçlarında anormal düzeylerde aşırı gerilimler oluşur. Benzer şekilde enerjili bir sistemin enerjisinin kesilmesi sırasında kesintinin oluştuğu ilk anda kesme işlevini gerçekleştiren kesici anahtarının uçlarında anormal düzeyde aşırı gerilimler oluşur.

Güç sistemlerinde meydana gelen aşırı gerilim ve akımların hesaplanmasında değişik analitik metodlar kullanılmaktadır. Bu sırada çözüm metodu olarak önce sisteme ait diferansiyel denklemlerin oluşturulması daha sonra Laplace dönüşümü yardımıyla gerilim ifadesinin frekans bölgesindeki (S domeni) eşitliğinin elde edilmesi, elde edilen ifadenin ters Laplace dönüşümü ile zaman bölgesindeki (t domeni) ifadesinin elde edilmesi şeklinde bir çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bununla beraber MATLAB Simulink simülasyon programı ile de geçici aşırı gerilimler simüle edilerek zamana göre değişim eğrileri elde edilmiştir.

ELECTRICAL POWER SYSTEM TRANSIENT ANALYSIS OF THE ON-OFF EVENTS

SUMMARY

Keywords: Opening-Closing overvoltages, Laplace Transform, MATLAB Simulink

Electrical energy systems as a result of very short duration power events, but much more extreme than normal voltages and currents caused severe system forming elements are very difficult. Especially in high voltage systems, this type of sizing is done according to current and voltage. This study, transient events occurring in the energy system to review, as well as a general purpose computer, the MATLAB Simulink package program for this work will be to discuss the availability.

Started to provide free energy of the system while the energy at first turn off the circuit breakers at the ends of the levels of abnormal overvoltages occur. Similarly, the energy of a system interruption during a power failure occurs the first time, perform the cutting function of the breaker switch at the level of abnormal overvoltages occur at the ends.

Excessive voltages and currents occurring in power systems in the calculation of different analytical methods are used. During this solution as the method before the system belong to the differential equations forming later Laplace transform with the help of voltage to the expression frequency region (S domeni) equality to obtain the resulting expression of the inverse Laplace transform with the time region (t domeni) expression to obtain as a solution method is used. However, with MATLAB Simulink simulation program for simulating the transient over-voltage curves were obtained with respect to time changes.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji sistemlerinde açma kapama işlemleri yüksek frekanslı ve kısa süreli elektriksel salınımlara neden olur. Bu salınımlar sırasında, sistemin çeşitli noktalarında ve transformatör sargılarında aşırı gerilimler meydana gelir.

Özellikle büyük güçlü ve yüksek gerilimli transformatörlerin tasarımında, sargıların geçici rejimde karşılaştıkları gerilim zorlamaları göz önünde tutularak, yalıtımın uygun boyutlandırılması gerekmektedir. Öte yandan güç sistemlerinde de, uygun bir izolasyon koordinasyonunun sağlanması ve transformatörlerin, sistemde oluşabilecek aşırı gerilimlerden korunması büyük önem taşır.

Önemi bu yüzyılın başında anlaşılan elektriksel geçici olaylar hakkında o günden bu yana pek çok araştırmalar yapılmıştır. Problemin matematiksel temellerini kuran Steinmetz ve Heaviside gibi bilim adamları sayesinde, o güne kadar bilinmeyen pek çok nokta daha net anlaşılır duruma gelmiştir. Yalnızca doğrusal devre elemanlarının bulunduğu sistemlere uygulanabilen bu matematiksel çözüm yöntemleri, sistem karmaşıklıkça veya sistem içinde meydana gelen anahtarlama olayları artıkça zorlaşmakta, emek ve zaman kaybı artarken hata yapma olasılığı da yükselmektedir.

Bu amaçla 1930'lu yıllarda geçici olayların incelenmesine yönelik yeni yöntemler geliştirilmeye başlanılmıştır. Diferansiyel analizör ve geçici rejim analizörü bu elemanların başında gelmektedir. Özellikle basitliği ve sorunun karakterini doğrudan yansıtması nedeniyle geçici rejim analizörü son derece kullanışlı olmuştur. Geçici rejim analizörü yardımıyla o günlerin teknolojik şartları altında bile, doğrusal ve doğrusal olmayan son derece karmaşık sistemler analiz edilme olanağı bulunmuştur.

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde geçici olaylar problemleri için yeni analiz yöntemleri bulunmuştur. Bilgisayarlar geçici rejim analizörü içinde yardımcı bir eleman olarak kullanıldığı gibi yalnız başına analiz amacıyla da kullanılmaktadır. Sadece bilgisayar kullanılarak yapılan geçici rejim analizinde temel ilke, sistemi oluşturan elemanların iyi bir şekilde matematiksel modelinin kurulmasıdır. Daha sonra bu model kullanılarak kurulan diferansiyel denklem takımı, uygun sayısal analiz yöntemi yardımıyla çözülür. Günümüzde sadece geçici rejim analizi amacıyla yapılmış paket programlar olduğu gibi, genel amaçlı devre analizi programları da bulunmaktadır. Bu çalışmada da böyle bir genel amaçlı program olan MATLAB simulink paket programı geçici olay analizi amacıyla kullanılarak enerji sisteminde meydana gelen geçici olayların analizi yapılmıştır.

Geçici olayların vuku bulduğu süre genellikle çok kısa olmasına rağmen son derece önemlidir. Bu zaman aralığında devreyi oluşturan elemanlar dayanabileceklerinden çok daha fazla zorlanmalara maruz kalabilirler. İşletme araçları bu zorlanmalara dayanamazlarsa hasara uğrarlar. Geçici olay sonucunda sisteme bağlı olarak belki de bir makine bozularak devre dışı kalır, bir fabrika tamamen durur veya bir şehir tamamen elektriksiz kalabilir.

Bu yüzden geçici olay süresince meydana gelen aşırı gerilimler hakkında açık bir değerlendirme yapmak gerekir ki bu da ancak elektrik devresinin davranışını tam olarak anlamakla olur.

Bir elektrik devresi direnç, endüktans ve kapasitans olmak üzere üç temel pasif devre elemanından oluşmaktadır. Sürekli hal koşullarında genellikle bunlardan biri diğerlerine göre daha ağır basar; mesela bir reaktans bobininde endüktans. Bununla beraber geçici şartlar altında bir reaktör sargısının dağılmış kapasitansı en önemli devre elemanı olarak olaylara ağırlığını koyar.

Sürekli hal koşulları altında doğru gerilim devreleri için, endüktans ve kapasitede depo edilen enerji sabittir. Alternatif gerilim devrelerinde ise devredeki enerji endüktans ve kapasitans arasında, gerilim kaynağının frekansına bağlı olarak sürekli

alış veriş halindedir. Bu durumda devrede bulunan dirence bağılı olarak bazı kayıplar ortaya çıkar ki, bu kayıplar devreyi besleyen kaynak tarafından karşılanır.

Bir devrede ani değişiklik meydana geldiğinde, devredeki yeni koşulları sağlamak amacıyla mevcut bulunan enerji dengeleri bozulup, yenileri kurulur. Bu yeni enerji dengesinin kurulması aşağıdaki iki nedenden dolayı ani olarak gerçekleşemez:

1-Manyetik enerjinin değişmesi için akımın değişmesi gerekir. Fakat bir endüktansta akımın değişimi $\frac{L \cdot di}{dt}$ gerilimi tarafından engellenir. Akım aniden kesilse idi bu gerilimin değeri sonsuz olurdu. Pratikte sonsuz büyüklükteki gerilime dayanacak yalıtım malzemesi henüz bilinmediğinden mutlaka bir elektriksel boşalma olacak ve akım kesilemeyecek demektir.

2-Elektrik enerjisinin değişmesi için gerilimin değişmesi gerekir. Bir kapasitenin uçları arasındaki gerilim $V = \frac{Q}{C}$ dir. Her iki tarafın türevi alınır;

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt} = \frac{I}{C} \quad (1.1)$$

Gerilimin ani olarak değişmesi demek, bunun türevinin sonsuz olması anlamına geldiğinden bu durumda kapasiteden sonsuz değerde bir akım geçmesi gerekirdi. Bu da gerçekleştirilemeyeceği için kapasitenin uçları arasındaki gerilim aniden değistirilemez.

Devre koşullarının ani olarak değişmesiyle ortaya çıkan yeni enerji dağılımının kurulması belirli bir süre sonunda tamamlanır. Bu zaman aralığındaki işlemler diğer zaman aralıklarında olduğu gibi, enerjinin sakınımı prensipleri ile belirlenir.

BÖLÜM. 2 ELEKTRİK DEVRELERİNDE GEÇİCİ OLAYLAR

2.1 Giriş

Elektriksel geçici olay bir devrede anahtarın açılması, kapanması veya bir arıza oluşması gibi nedenlerle devre koşullarındaki ani değişikliğin dışı vuran belirtisidir. Geçici olaylar periyodu genellikle çok kısa olmasına rağmen son derece önemlidir, bu zaman diliminde devreyi oluşturan elemanlar, dayanabileceklerinden çok daha fazla zorlanmalara maruz kalabilirler. Geçici olaylar sonucunda ilgili devreye bağlı olarak belki de, bir makine bozularak devre dışı kalır, bir fabrika tamamen durur veya bir şehir tamamen elektriksiz kalabilir. Bu yüzden, geçici olaylar süresince meydana gelen olaylar hakkında açık bir değerlendirme yapmak gerekir ki bu da ancak elektrik devresinin davranışını tam olarak anlamakla olur.

Bir elektrik devresi üç temel elemandan meydana gelir. Bunlar direnç (R), endüktans (L), ve kapasitedir (C). Sürekli hal koşullarında bu elemanlardan bir tanesi, örneğin bir reaktörün endüktansı ağırlıktadır. Bununla beraber geçici şartlar altında, durum daha farklı olabilir. Örneğin bir reaktör sargısının dağılmış kapasitansı da burada göz önüne alınmalıdır.

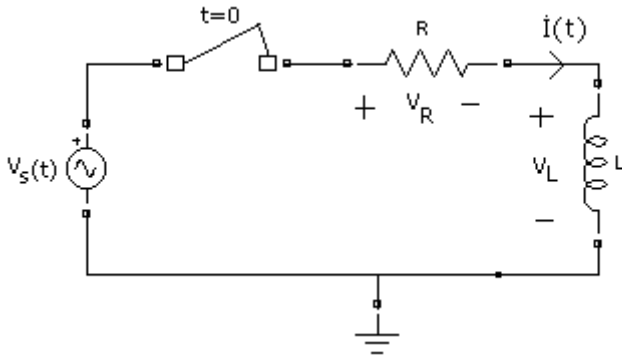
Bir devrenin direnç, endüktans ve kapasitansı dağılmış parametrelili büyüklüklerdir. Fakat çoğunlukla hesapların duyarlılığını bozmadan toplu parametrelili büyüklükler olarak göz önüne alınabilir. Uzun iletim hatları için bu varsayım uygun olmadığından, genellikle dağılmış parametrelili modeller kullanılır.

Endüktans ve kapasiteden oluşan devrelerde açma kapama olayları meydana geldiğinde, açma kapama olayından önce devrede hakim olan i akımı, Φ magnetik akısı, e gerilimi ve Q elektrik yükü, açma kapama olayından sonra yeni i' , Φ' ve e' , Q' değerlerine ani olarak gelmezler. Eski durumlarından yeni duruma geçişte üstel olarak değişen i'' Φ'' e'' Q'' fonksiyonları geçerlidir.

Yalnız direnç ve endüktans veya yalnız direnç ve kapasiteden oluşan devrelerde geçici akım üstel olarak azalan bir doğru akımdır. Direnç, endüktans ve kapasiteden oluşan devrelerde ise geçici akım, şiddeti üstel olarak azalan bir alternatif akımdır. R-L ve R-C devrelerinde, geçici(transiyent) enerjinin tamamı direnç üzerinden harcanır. RLC devrelerinde ise geçici enerji direnç üzerinde tamamen harcanmadan önce endüktans ve kapasite arasında enerji alış verişi olur. Her iki durumda da aşırı gerilimler ve akımlar meydana gelebilir[3].

2.2. Alternatif Akım Kaynağından Beslenen Bir RL Devresinin Geçici Rejim Analizi

RL devresinde kısa devre olmasında devreden geçen akımın geçici rejim (hal) analizi yapılacaktır. Şekil 2.1’de ilgili devre gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Alternatif akım kaynağından beslenen seri RL devresi

Kaynak geriliminin değeri:

$$V_s = V_m \sin(\omega t + \theta)$$

Anahtar kapatıldığında kirchoff gerilimler yasasından:

$$V_R + V_L = V_s$$

$$Ri + L \frac{di}{dt} = V_m \sin(\omega t + \theta)$$

$$i = i_g + i_s \tag{2.1}$$

Akımın geçici hal bileşeni:

$$Ri_g + L \frac{di_g}{dt} = 0$$

$$i_g = A e^{\frac{-t}{\tau}} \quad (2.2)$$

Olur. Akımın sürekli hal bileşeni:

$$i_s = B \sin(\omega t + \theta - \Phi) \quad (2.3)$$

$$\Phi = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L}{R} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{X_L}{R} \right)$$

$$B = \frac{V_m}{Z} = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Olur. B değeri (2.3) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$i_s = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \sin(\omega t + \theta - \Phi) \quad (2.4)$$

Olur. (2.1) Eşitliğinde (2.2) ve (2.4) eşitlikleri yerine yazılırsa;

$$i = A e^{\frac{-t}{\tau}} + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \sin(\omega t + \theta - \Phi) \quad (2.5)$$

Olur. Başlangıç şartından $t=0$ bobin açık devre olduğu için $i=0$ olur. Buradan:

$$A + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \sin(\theta - \Phi) = 0$$

$$A = -\frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \sin(\theta - \Phi)$$

Olur. A değerini (2.5) eşitliğinde yerine yazarsak:

$$i = -\frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \sin(\theta - \Phi) e^{\frac{-t}{\tau}} + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \sin(\omega t + \theta - \Phi)$$

İfadeyi düzenleyecek olursak:

$$i = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \left[\sin(\omega t + \theta - \Phi) - \sin(\theta - \Phi) e^{-\frac{t}{\tau}} \right] \quad (2.6)$$

Olarak bulunur. Burada:

θ kesici anahtarının kapatılma açısıdır.

Φ akımın gerilime göre faz farkıdır ve $\Phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L}{R} \right)$ dir.

τ zaman sabitidir ve $\tau = \frac{L}{R}$ dir.

2.2.1. Akımın θ 'nın değişik değerleri için zamana göre değişim eğrileri

Kesicinin kapatılma açısını gösteren θ 'nın değişik değerlerine göre akımın geçici rejim davranışı farklılık göstermektedir. Kesicinin $t=0$ anında kapatıldığı kabul edilmektedir.

Şebeke gerilimi $v(t)=300\sin(2\pi.50.t+\theta)$, $R=0,1\text{ohm}$, $L=0,00318\text{H}$ gözlem süresi $0,2\text{sn}$ alınarak akım ifadesi aşağıda değişik θ değerleri için zamana göre değişim eğrileri çizdirilmiştir. Yukarıda verilen devre parametrelerinden:

$$V_m = 300 \text{ V}$$

$$X_L = \omega l = 2\pi * 50 * 0,00318 = 0,999 \Omega$$

$$\Phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L}{R} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,999}{0,1} \right) = 84,28^\circ$$

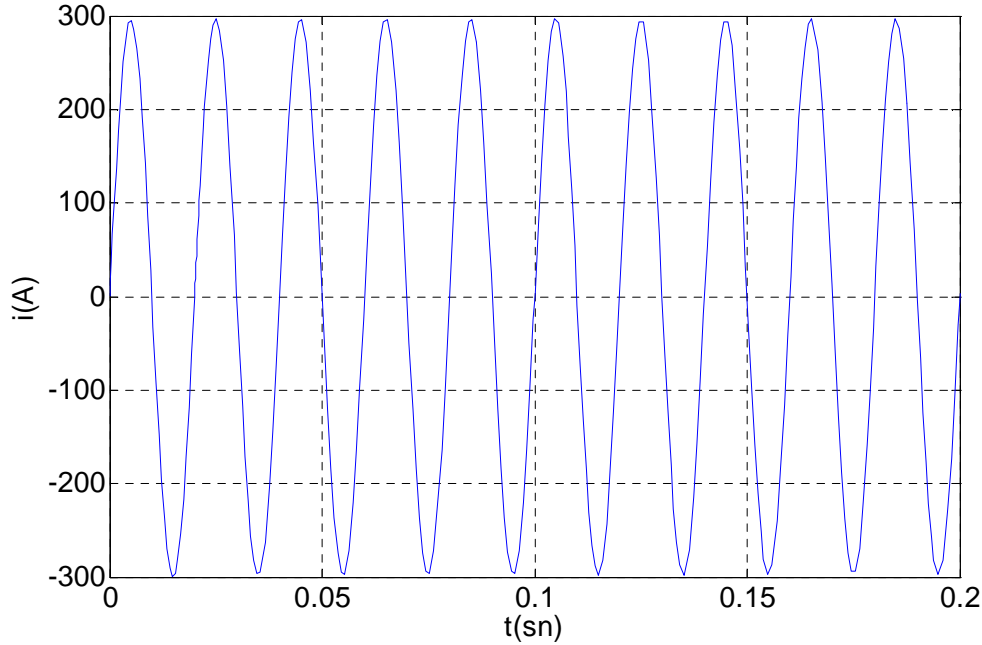
$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0,00318}{0,1} = 0,0318 \text{ sn}$$

Elde edilir. Bu değerler (1.6) eşirliğinde yerlerine yazılırsa:

$$i = \frac{300}{\sqrt{0,1^2 + 0,999^2}} \left[\sin(100\pi t + \theta - 84,28^\circ) - \sin(\theta - 84,28^\circ) e^{-\frac{t}{0,0318}} \right]$$

$$i = 298,8 [\sin(100\pi t + \theta - 84,28^\circ) + \sin(\theta - 84,28^\circ) e^{-31,44t}] \quad (2.7)$$

Olur. (2.7) İfadesi MATLAB programının çizim komutları yardımıyla θ 'nın farklı açılı değerleri için zamana göre çizdirilirse aşağıdaki grafikler elde edilir.



Şekil 2.2. $\theta = \phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right) = 84,28^\circ$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi

Grafikte görüldüğü üzere $t=0$ anında yani anahtar ilk kapatıldığında ilk anda bobin açık devre olacağı için devreden akım akmamaaktadır. Zamanla bobinden akım akmaya başlayacaktır. Eğride görüldüğü gibi akımın maksimum değeri 297,2817 A'dir. Bu akıma karşılık gelen zaman değeri ise MATLAB yardımıyla 0,1651 sn olarak bulunmuştur.

Sürekli halde devreden geçen akımın tepe değeri:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{300}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad (A)$$

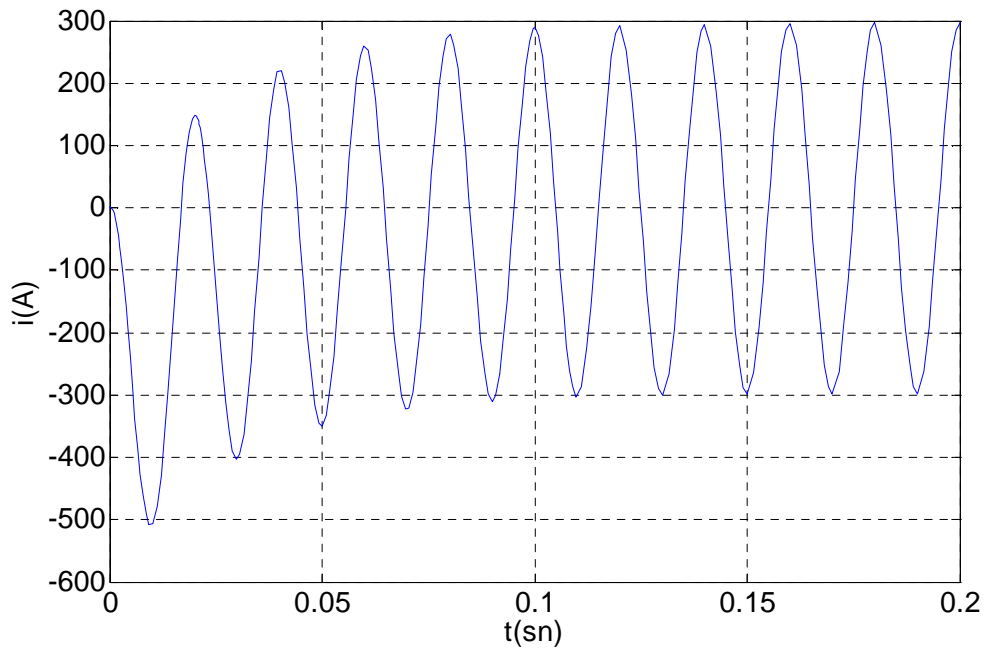
Veya

$$I = \frac{300}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{300}{\sqrt{0,1^2 + (2 * \pi * 50 * 0,00318)^2}} = 298,8 \text{ A}$$

Şekil 2.2'de elde edilen akımın maksimum değeri sürekli hal akımının tepe değerine oranlanırsa:

$$\frac{297,6152}{298,8} = 0,96$$

Olur. (1.7) Eşitliğinde Θ yerine farklı açı değerleri yazılması sonucu akımın zamana göre değişim eğrileri şu şekilde olmaktadır.



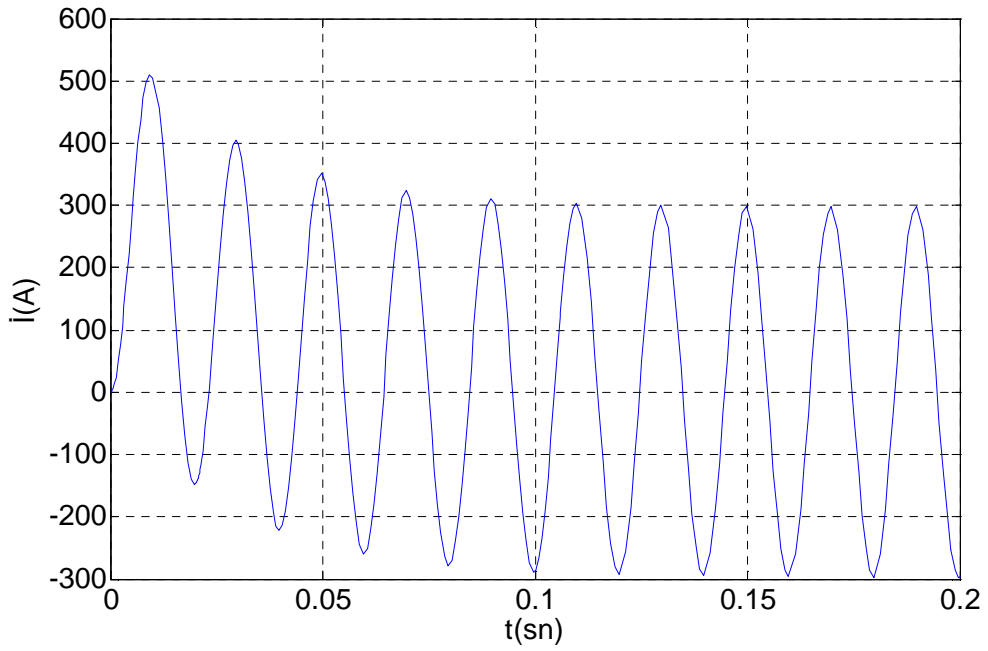
Şekil 2.3. $\theta = \phi + \frac{\pi}{2}$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi

Eğride görüldüğü gibi akımın maksimum değeri -507,721 A'dir. Bu akıma karşılık gelen zaman değeri ise MATLAB yardımıyla 0,0093 sn olarak bulunmuştur.

Şekil 2.3'de elde edilen akımın maksimum değeri sürekli hal akımının tepe değerine oranlanırsa:

$$\frac{-507,721}{298,8} = -1,699$$

Olur.



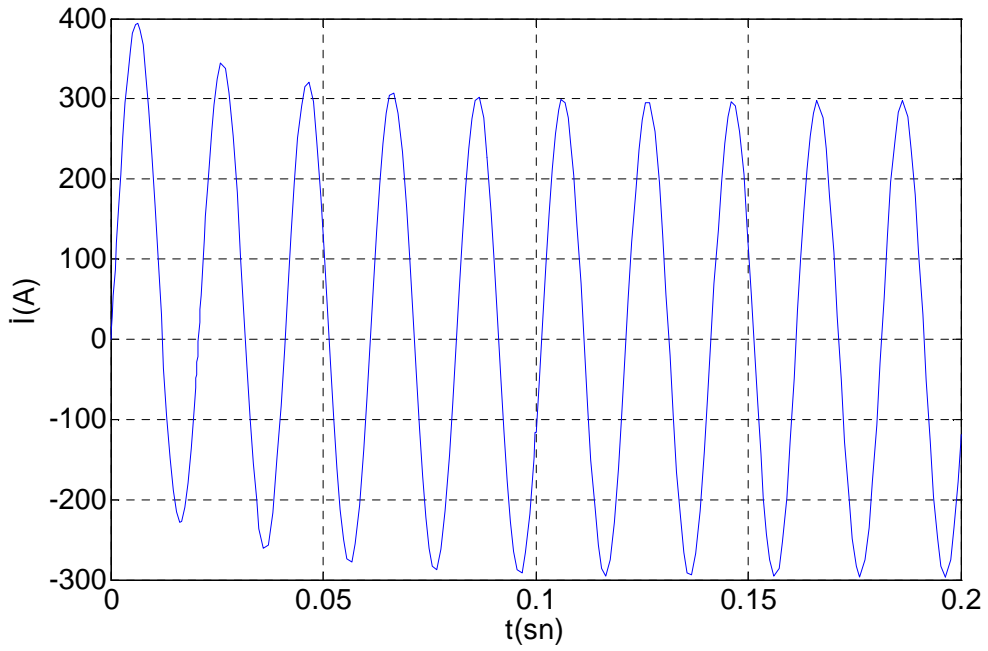
Şekil 2.4. $\theta = 0^\circ$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi

Eğride görüldüğü gibi akımın maksimum değeri 510,2817 A'dir. Bu akıma karşılık gelen zaman değeri ise MATLAB yardımıyla 0,0091 sn olarak bulunmuştur.

Şekil 2.4'de elde edilen akımın maksimum değeri sürekli hal akımının tepe değerine oranlanırsa:

$$\frac{510,2817}{298,8} = 1,707$$

olur.



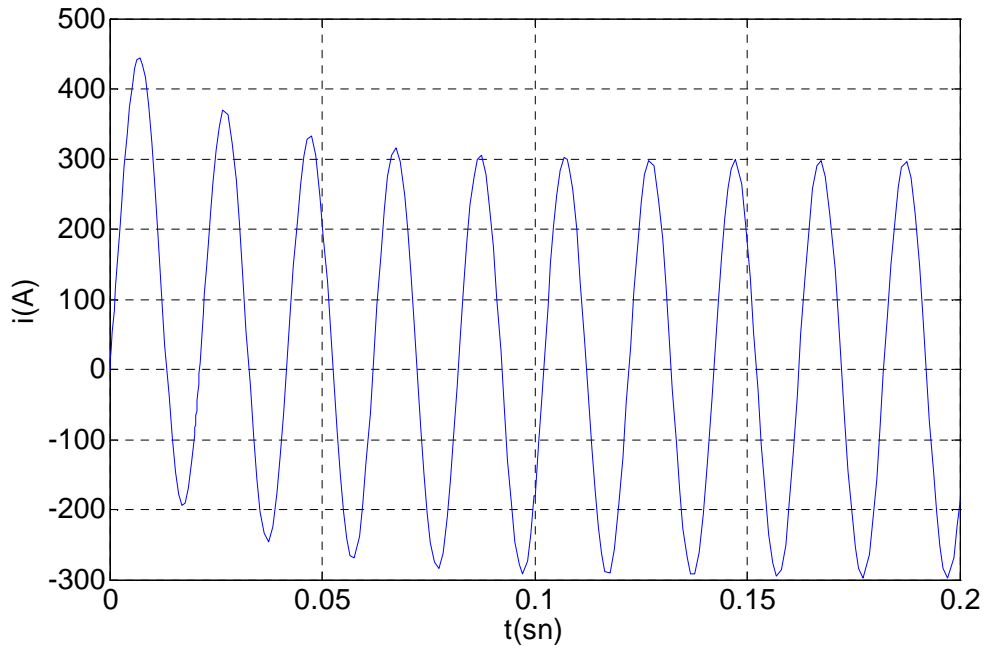
Şekil 2.5. $\theta = \frac{\pi}{2}$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi

Eğride görüldüğü gibi akımın maksimum değeri 394,2041 A'dir. Bu akıma karşılık gelen zaman değeri ise MATLAB yardımıyla 0,0064 sn olarak bulunmuştur.

Şekil 2.5'de elde edilen akımın maksimum değeri sürekli hal akımının tepe değerine oranlanırsa:

$$\frac{394,2041}{298,8} = 1,319$$

olur.



Şekil 2.6. $\theta = \frac{\pi}{2}$ için devre akımının zamana göre değişim eğrisi

Eğride görüldüğü gibi akımın maksimum değeri 443,7223 A'dir. Bu akıma karşılık gelen zaman değeri ise MATLAB yardımıyla 0,0072 sn olarak bulunmuştur.

Şekil 2.6'de elde edilen akımın maksimum değeri sürekli hal akımının tepe değerine oranlanırsa:

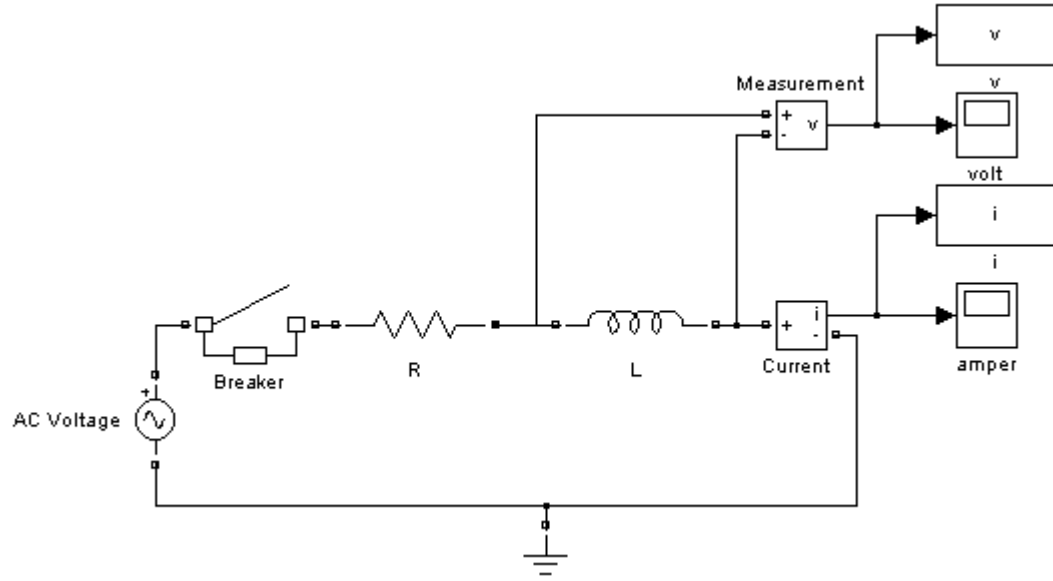
$$\frac{443,7223}{298,8} = 1,485$$

Olur.

2.2.2. Matlab simulink kullanarak alternatif akım kaynağından beslenen bir RL devresinin geçici rejim analizi

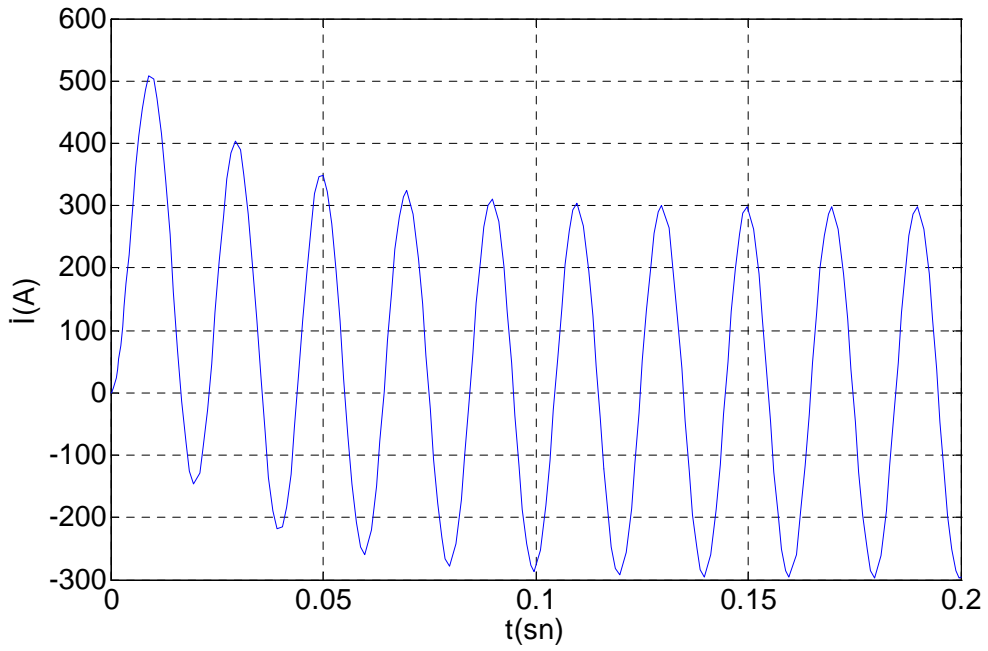
MATLAB simulink simülasyon programı bize elektrik devrelerinin simülasyonunu yapma imkânı verir. Verilen RL devresi aşağıda gösterildiği gibi matlab simulinkte kurulabilir. Analiz işleminin matlab simulink ile yapılabileceğini göstermek için sadece iki θ değeri için uygulama yapıldı. Bu uygulamalarda anahtarın $t = 0$ anında

kapatıldığı varsayılmıştır. Bununla beraber $v(t)=300\sin(2\pi.50.t+\Theta)$, $R=0.1\Omega$, $L=0.00318H$, gözlem süresi 0.2 sn alınmıştır.



Şekil 2.7. Alternatif akım kaynağından beslenen bir RL devresinin matlab simulink devresi

Devre kaynak geriliminin Θ açısı her defasında farklı değer alınıp çalıştırılıp ampermetredeki eğri gözlemlendiğinde aşağıdaki değişim grafikleri elde edilir.



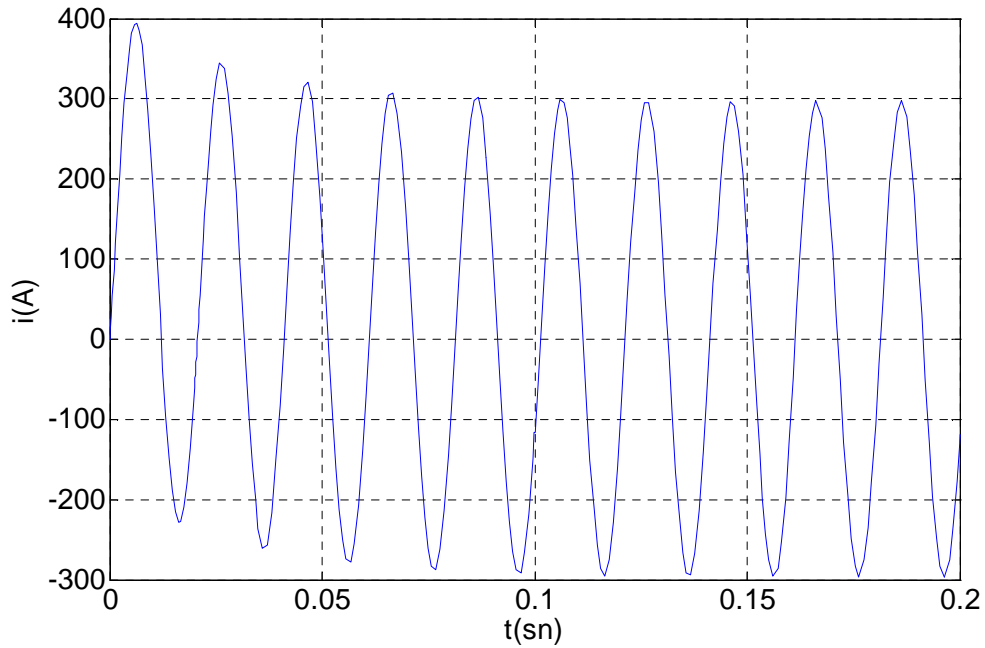
Şekil 2.8. Alternatif akım kaynağıyla beslenen seri RL devresindeki akımın $\Theta = 0^\circ$ için matlab simulink ile elde edilen zamana göre değişim eğrisi

Burada şekil 2.8'deki akım grafiğinin şekil 1.4'deki akım grafiğiyle aynı olduğu belirtilmelidir. Bu sonuç bize yapılan işlemin doğru olduğunu göstermektedir.

Şekil 2.8'deki akımın tepe değeri 510,28 A'dır.

Bu değerin sürekli haldeki devre akımına oranı ise:

$$\frac{510,28}{298,8} = 1,707 \text{ olur.}$$



Şekil 2.9. Alternatif akım kaynağıyla beslenen seri RL devresindeki akımın $\Theta = 60^\circ$ için matlab simulink ile elde edilen zamana göre değişim eğrisi

Burada şekil 2.9'deki akım grafiğinin şekil 2.5'deki akım grafiğiyle aynı olduğu belirtilmelidir. Bu sonuç bize yapılan işlemin doğru olduğunu göstermektedir.

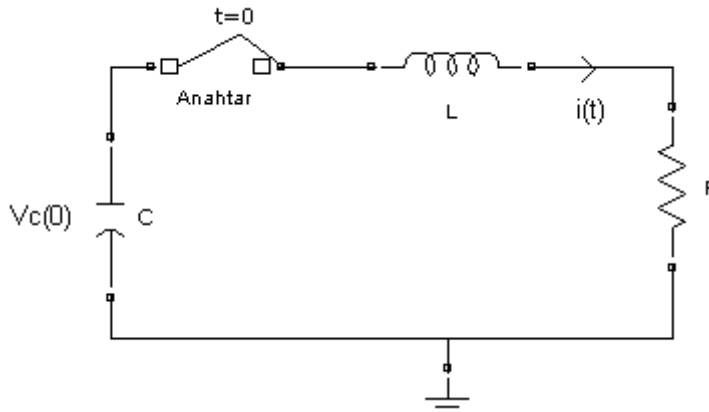
Şekil 2.9'deki akımın tepe değeri 394,2041 A'dir.

Bu değer sürekli haldeki devre akımına oranı ise:

$$\frac{394,2041}{298,8} = 1,319 \text{ olur.}$$

2.3. Seri RLC Devresinin Geçici Hal Analizi

Devresindeki kondansatör üzerinde statik bir yük bulunan seri RLC devreleri de aşırı akım gözlenen devrelerdendir. Şekil 2.1'de verilen devredeki anahtarı kapattığımız anda devreden geçen akımın analizi yapılacaktır.



Şekil 2.10. Seri RLC devresi

Kirchoff gerilimler yasasından:

$$V_C + V_R + V_L = 0$$

$$\frac{1}{C} \int i \cdot dt - V_0 + Ri + L \frac{di}{dt} = 0$$

$$\frac{1}{C} \int i \cdot dt + Ri + L \frac{di}{dt} = V_0 \quad (2.8)$$

(2.8) eşitliğinin türevi alınır

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{CL} = 0 \quad (2.9)$$

(2.9) eşitliğine laplace dönüşümü uygulanır

$$s^2 i(s) - si(0) - i(0)' + \frac{si(s)}{T_s} - \frac{i(0)}{T_s} + \frac{i(s)}{T^2} = 0$$

$$\left[\frac{1}{s^2 + \left(\frac{s}{T_s}\right) + \left(\frac{1}{T^2}\right)} \right] i(s) = \left(s + \frac{1}{T_s} \right) \cdot i(0) + i(0)' \quad (2.10)$$

$i(0) = 0$ ve $i(0)' = \frac{V(0)}{L}$ değerleri (2.10) eşitliğinde yerine yazılırsa

$$i(s) = \frac{V_0}{L} \left[\frac{1}{s^2 + \left(\frac{s}{T_s}\right) + \left(\frac{1}{T^2}\right)} \right] \quad (2.11)$$

Eşitliği elde edilir. Burada:

$$Ts = \frac{L}{R} \text{ ve } T = \sqrt{LC}$$

Olduğu tekrar hatırlanmalıdır. (2.11) Eşitliğinde elde edilen karakteristik denklemin kökleri:

$$s_{1,2} = \frac{-R}{2L} \mp \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} = -\alpha \mp \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (2.12)$$

Olur. Burada:

$$\alpha = \frac{R}{2L} \text{ zayıflama katsayısı;}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ devrenin karakteristik empedansı;}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ doğal açısal frekans; } f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \text{ akımın frekansıdır.}$$

$$\lambda = \frac{Z_0}{R} \text{ sönümlenme katsayısı olarak tanımlanır.}$$

$\lambda > \frac{1}{2}$ ise kökler sanaldır. Bu durumda akım ifadesi:

$$i = \frac{V}{L} \frac{2\tau_s}{\sqrt{(4\lambda^2 - 1)}} e^{-\frac{t}{2\tau_s}} \sin \left[\frac{\sqrt{(4\lambda^2 - 1)}}{2\tau_s} t \right] \quad (2.13)$$

Olur.

$\lambda = \frac{1}{2}$ ise kökler eşittir. Bu durumda akım ifadesi:

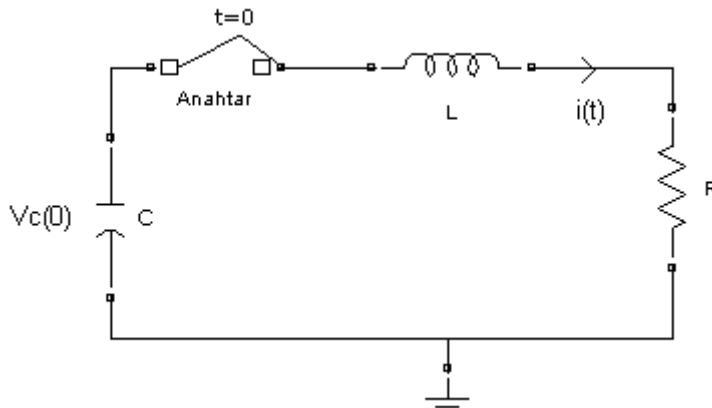
$$i = \frac{V}{L} t e^{-\frac{t}{2\tau_s}} \quad (2.14)$$

Olur.

$\lambda < \frac{1}{2}$ ise kökler reeldir. Bu durumda akım ifadesi:

$$i = \frac{V}{L} \frac{2T_s}{\sqrt{(1-4\lambda^2)}} e^{-\frac{t}{2T_s}} \sinh \left[\frac{\sqrt{(1-4\lambda^2)}}{2T_s} t \right] \quad (2.15)$$

2.3.1. Bir seri RLC devresindeki akımın zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi



Şekil 2.11. Örnek bir seri RLC devresi

Seri RLC devresindeki devre parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$V_c(0) = 20 \text{ kv}, \quad C = 0,1 \mu\text{F}, \quad L = 8 \text{ mH}, \quad R = 430 \Omega$$

Anahtarın $t = 0$ anında kapatıldığı varsayılacaktır. Anahtarın kapatılması sonucu devreden akan akımın zamana göre değişim eğrisi elde edilmeye çalışılacaktır.

$$T_s = \frac{L}{R} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{430} = 18,6 \mu\text{s}$$

$$T = \sqrt{LC} = \sqrt{8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = 28,2 \mu\text{s}$$

(2.11) eşitliğinde verilen değerler yerine yazılırsa

$$i(s) = \frac{V_0}{L} \left[\frac{1}{s^2 + \left(\frac{s}{T_s}\right) + \left(\frac{1}{T^2}\right)} \right]$$

$$i(s) = \frac{20 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-3}} \left[\frac{1}{s^2 + \left(\frac{s}{18,6 \cdot 10^{-6}}\right) + \left(\frac{1}{28,2 \cdot 10^{-6}}\right)} \right]$$

$$i(s) = 2500000 \left[\frac{1}{s^2 + (53763s) + (35461)} \right]$$

Karakteristik denklemin kökleri:

$$s_{1,2} = \frac{-R}{2L} \mp \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

$$s_{1,2} = \frac{-430}{2 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} \mp \sqrt{\left(\frac{430}{2 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}\right)^2 - \frac{1}{8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}}$$

$$s_{1,2} = -26875 \mp \sqrt{722265625 - 1,25 \cdot 10^9}$$

$$s_{1,2} = -26875 \mp \sqrt{-527734375}$$

$$s_{1,2} = -26875 \mp 22972i$$

Olarak elde edilir.

$$\alpha = \frac{R}{2L} = 26875$$

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 35355 \text{ rad/s}; \quad W_n = \sqrt{w_0^2 - \alpha^2} = 22972 \text{ rad/s}$$

$$f_0 = \frac{w_0}{2\pi} = 5627 \text{ Hz}; \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = 282,8427 \Omega$$

$$\lambda = \frac{Z_0}{R} = 0,6578$$

olarak elde edilir.

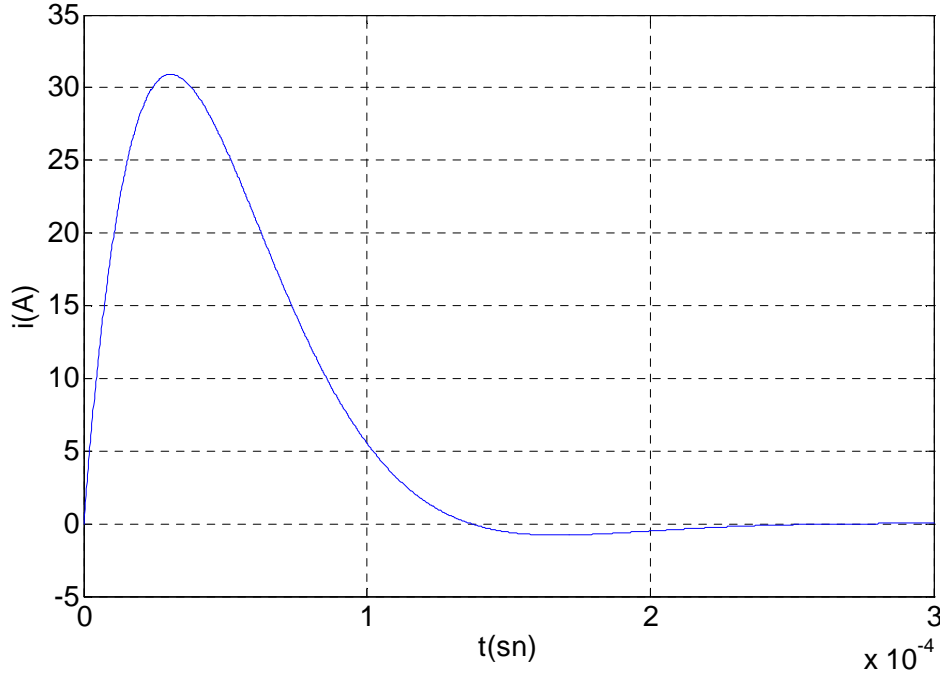
$\lambda > \frac{1}{2}$ olduğu görülmektedir. Bu durumda kökler sanaldır.

O halde akım (2.13) denklemiyle ifade edilebilir. Verilen değerler yerine yazılırsa

$$i(t) = 108,8259e^{-26875t} \sin(22972t) \quad (2.16)$$

olarak elde edilir.

(2.16) Eşitliği $t=300 \mu\text{s}$ için çizdirilecek olursa aşağıdaki grafik elde edilir.

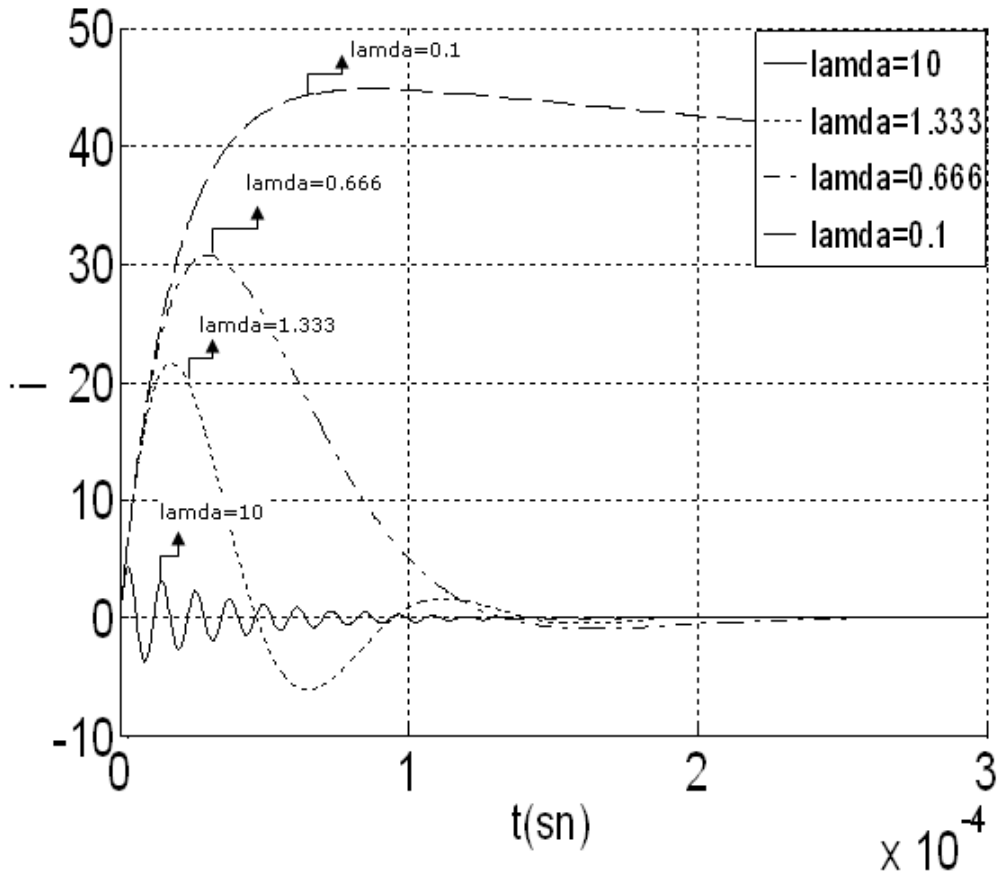


Şekil 2.12. $\lambda = 0,65578$ değeri için seri RLC devresindeki akım ifadesinin zamana göre değişim eğrisi

Şekil 2.12 görüldüğü gibi akımın maksimum değeri 30,91 A bu değere karşılık gelen zaman değeri ise MATLAB kullanılarak 32,1 μs olarak hesaplanır.

2.3.2. Seri RLC devresinde değişik λ değerleri için akımın zamana göre değişim eğrileri

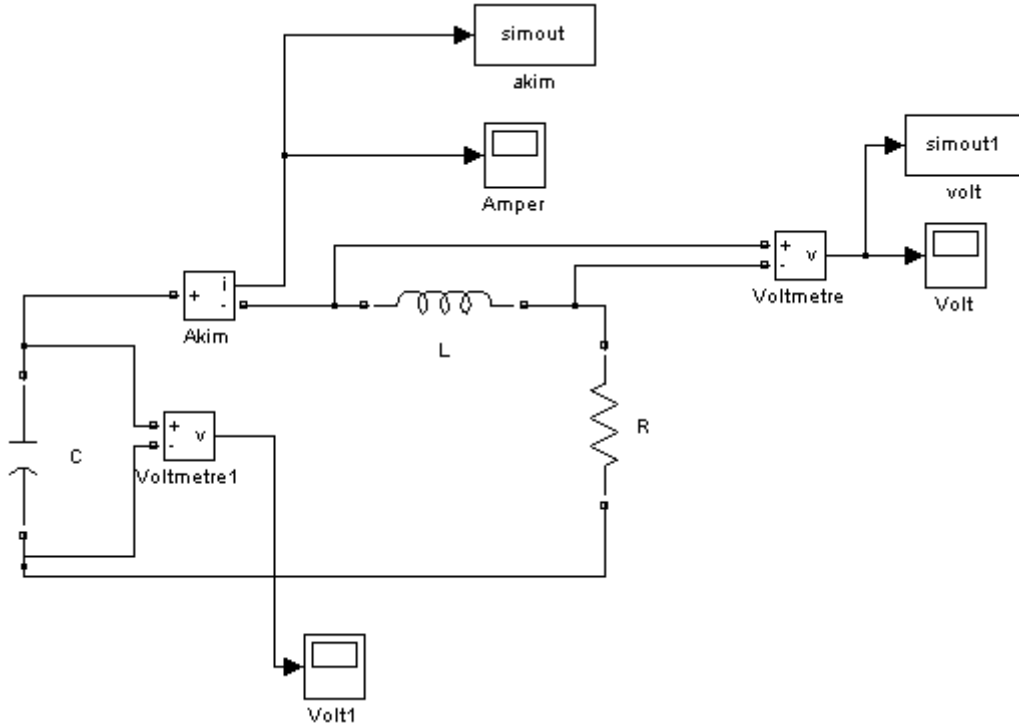
Sönümlenme katsayısı $\lambda = \frac{Z_0}{R}$ R direncine bağlı olarak değişiklik gösterir. R direnci λ değerine bağlı olarak hesaplanır. Şekil 2.4'te değişik λ değerlerine karşılık gelen R için devredeki akımın zamana göre değişim eğrileri MATLAB çizim komutları kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 2.13. Değişik λ değerleri için seri RLC devresindeki akımın zamana göre değişim eğrileri

2.3.3. MATLAB simulink kullanılarak seri RLC devresinin geçici hal analizi

RLC devresi Şekil 2.5. gösterildiği gibi MATLAB simulinkte kurulabilir. Analiz işleminin MATLAB simulink ile yapılabileceğini göstermek için bir uygulama yapıldı. Bu uygulamada anahtarın $t = 0$ anında kapatıldığı varsayılmıştır. Ayrıca $V=20\text{kV}$, $C=0,1\mu\text{F}$, $L=8\text{mH}$, $R=430\Omega$ ve gözlem süresi 0,2 sn alınmıştır.



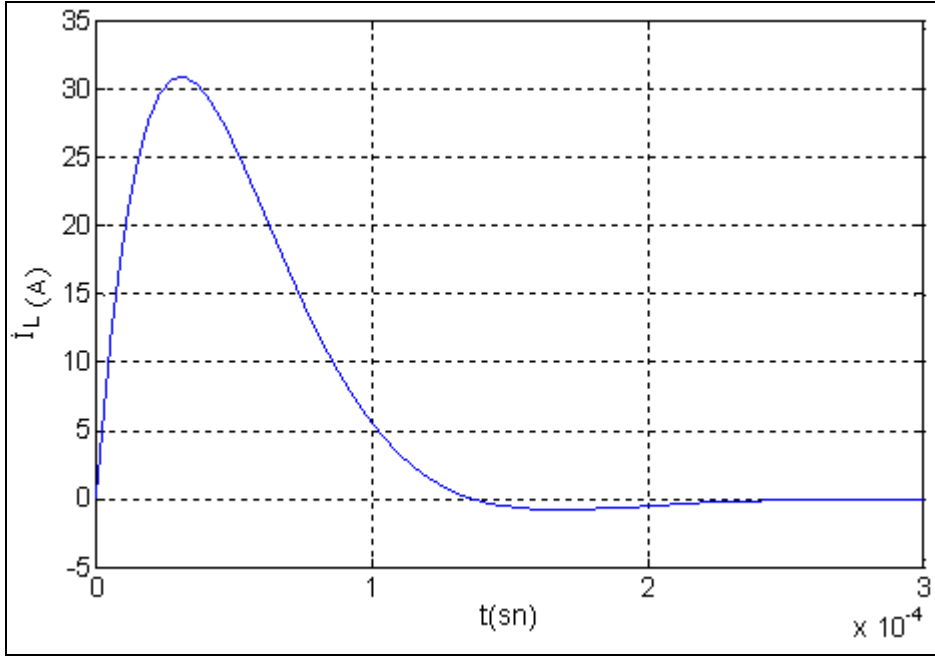
Şekil 2.14. RLC devresinin MATLAB simulink devresi

Burada:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = 282.8427 \Omega \text{ ve } \lambda = \frac{Z_0}{R} = 0.6578$$

Olarak bulunur.

Devre çalıştırılıp ampermetredeki eğri gözlemlendiğinde Şekil 2.15'deki değişim grafiği elde edilir.



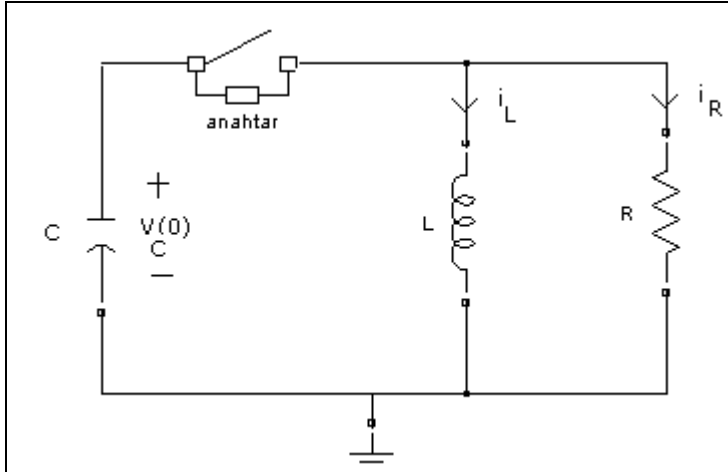
Şekil 2.15. $\lambda = 0.6578$ değeri için MATLAB simulink ile elde edilen seri RLC devresinden geçen akımın zamana göre değişim eğrisi

Şekil 2.15'daki grafikte akımın tepe değeri 30,91 A olarak bulunur. Bu değere karşılık gelen zaman değeri ise MATLAB kullanılarak 32,1 μ s olarak bulunmuştur.

2.4. Paralel RLC devresinin Geçici Hal Analizi

2.4.1. Bobin akımının geçici hal analizi

Ele alınan paralel RLC devresi şekil 2.16 verilmiştir. Devredeki kondansatör üzerinde bir elektrik yükü olduğu varsayılmıştır. Bu kondansatörün bir anahtarla paralel bir RL devresine bağlanılmaktadır. Verilen paralel RLC devresinden geçen bobin akımının değişimi incelenecektir.



Şekil 2.16. İncelenen paralel RLC devresi

Kirchoff düğüm gerilimleri yasasından:

$$I_C + I_R + I_L = 0$$

$$-I_C = I_R + I_L$$

$$-C \frac{dV_C}{dt} = \frac{V_C}{R} + I_L \quad (2.17)$$

$$V_C = L \frac{dI_L}{dt} \quad (2.18)$$

(2.18) eşitliğindeki V_C ifadesi (2.17) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$-CL \frac{d^2 I_L}{dt^2} = I_L + \frac{L}{R} \frac{dI_L}{dt}$$

Veya

$$\frac{d^2 I_L}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dI_L}{dt} + \frac{I_L}{LC} = 0$$

Veya

$$\frac{d^2 I_L}{dt^2} + \frac{1}{T_p} \frac{dI_L}{dt} + \frac{I_L}{T^2} = 0 \quad (2.19)$$

(2.19) eşitliğine laplace dönüşümü uygulanırsa:

$$\left[\frac{1}{s^2 + \left(\frac{s}{T_P}\right) + \left(\frac{1}{T^2}\right)} \right] i_L(s) = \left(s + \frac{1}{T_I} \right) \cdot I_L(0) + I_L(0)' \quad (2.20)$$

$I_L(0) = 0$ ve $I_L(0)' = \frac{V(0)C}{L}$ değerleri (2.20) eşitliğinde yerine yazılırsa

$$i_L(s) = \frac{V(0)C}{L} \left[\frac{1}{s^2 + \left(\frac{s}{T_P}\right) + \left(\frac{1}{T^2}\right)} \right] \quad (2.21)$$

(2.21) eşitliği elde edilir. Burada:

$$T_P = RC \text{ ve } T = \sqrt{LC}$$

Olduğu tekrar hatırlanmalıdır.

$$\frac{1}{s^2 + \left(\frac{s}{T_P}\right) + \left(\frac{1}{T^2}\right)} = \frac{1}{(s_1 - s_2)} \left[\frac{1}{(s - s_2)} - \frac{1}{(s - s_1)} \right] \quad (2.22)$$

(2.22) eşitliği (2.21) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$i_L(s) = \frac{V(0)C}{L} \frac{1}{(s_1 - s_2)} \left[\frac{1}{(s - s_2)} - \frac{1}{(s - s_1)} \right] \quad (2.23)$$

Olur. s_1 ve s_2 (2.21) eşitliğindeki $s^2 + \left(\frac{s}{T_P}\right) + \left(\frac{1}{T^2}\right) = 0$ karakteristik denkleminin kökleridir.

$$s_{1,2} = \frac{-1}{2T_P} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{T_P^2} - \frac{4}{T^2}} \quad (2.24)$$

Olarak hesaplanır. Böylece

$$i_L(s) = \frac{V(0)C}{L \sqrt{\frac{1}{T_P^2} - \frac{4}{T^2}}} \left[\frac{1}{(s - s_2)} - \frac{1}{(s - s_1)} \right] \quad (2.25)$$

(2.25) eşitliğine ters laplace dönüşümü uygulanırsa;

$$i_L(t) = \frac{V(0)C}{L \sqrt{\frac{1}{T_P^2} - \frac{4}{T^2}}} [e^{s_1 t} - e^{s_2 t}] \quad (2.26)$$

Eğitliği elde edilir. (2.26) eşitliği s_1 ve s_2 değerlerine bağlı olarak değişir. η sönümlenme katsayısı şu şekilde tanımlanır.

$$\eta = \frac{R}{Z_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\frac{1}{T_p^2} > \frac{4}{T^2} \text{ ise } \eta > \frac{1}{2} \text{ dir ve kökler kompleksdir.}$$

Bu durumda

$$s_{1,2} = \frac{-1}{2T_p} \left[1 \mp \sqrt{(4\eta^2 - 1)} \right] \quad (2.27)$$

Olur. (2.27) eşitliğindeki kökler (2.26) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$I_L(t) = \frac{V(0)_C}{L} \frac{2T_p e^{-\frac{t}{2T_p}}}{\sqrt{(4\eta^2 - 1)}} \sin \left[\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t}{2T_p} \right] \quad (2.28)$$

(2.28) eşitliği elde edilir.

$$\frac{1}{T_p^2} < \frac{4}{T^2} \text{ ise } \eta < \frac{1}{2} \text{ dir ve kökler reelidir.}$$

Bu durumda

$$s_{1,2} = \frac{-1}{2T_p} \left[1 \mp \sqrt{(4\eta^2 - 1)} \right] \quad (2.29)$$

Olur. (2.29) eşitliğindeki kökler (2.26) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$I_L(t) = \frac{V(0)_C}{L} \frac{2T_p e^{-\frac{t}{2T_p}}}{\sqrt{(1-4\eta^2)}} \sinh \left[(1 - 4\eta^2) \frac{t}{2T_p} \right] \quad (2.30)$$

(2.30) eşitliği elde edilir.

$$\frac{1}{T_p^2} = \frac{4}{T^2} \text{ ise } \eta = \frac{1}{2} \text{ dir ve kökler eşittir.}$$

Bu durumda

$$s_1 = s_2 = \frac{-1}{2T_p} \quad (2.31)$$

Olur. (2.31) eşitliğindeki kökler (2.26) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$I_L(t) = \frac{V(0)_C}{L} t e^{\frac{-t}{2T_p}} \quad (2.32)$$

(2.32) eşitliği elde edilir.

Bobin akımı normalize edilmek istenirse:

$\eta > \frac{1}{2}$ için bobin akımı (2.28) eşitliği ile verilir.

Bu eşitlikte:

$$\frac{t'}{2\eta} = \frac{t}{2T_p}$$

$$t' = \frac{2\eta}{T_p} t = \frac{t}{T} \quad (2.33)$$

$$T = \frac{1}{\omega_0} \text{ ve } T_p = \frac{\eta}{Z_0}$$

Dönüşümleri yapılır ve (2.28) eşitliğinde (2.33) eşitliği yazılırsa;

$$I_L(t') = \frac{V(0)_C}{Z_0} \frac{2\eta e^{\frac{-t'}{2\eta}}}{\sqrt{(4\eta^2 - 1)}} \sin \left[\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t'}{2\eta} \right] \quad (2.34)$$

Akımın normalize edilmiş eşitliği:

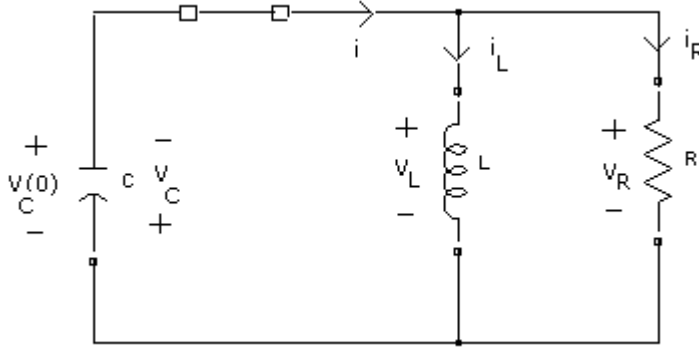
$$I_L(t')_n = \frac{2\eta e^{\frac{-t'}{2\eta}}}{\sqrt{(4\eta^2 - 1)}} \sin \left[\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t'}{2\eta} \right] \quad (2.35)$$

$\eta > \frac{1}{2}$ için bobin akımı (2.30) eşitliği ile verilir.

Bu ifadenin normalize edilmiş hali:

$$I_L(t')_n = \frac{2\eta e^{\frac{-t'}{2\eta}}}{\sqrt{(1 - 4\eta^2)}} \sinh \left[\sqrt{(1 - 4\eta^2)} \frac{t'}{2\eta} \right] \quad (2.36)$$

2.4.1.1. Bobin akımın zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi



Şekil 2.17. Örnek bir Paralel RLC devresi

Paralel RLC devresindeki devre parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$V_C(0) = 20kV, \quad C = 0,1\mu F, \quad L = 8mH, \quad R = 430\Omega$$

Anahtarın $t = 0$ anında kapatıldığı varsayılacaktır. Anahtarın kapatılması sonucu bobinden akan akımın zamana göre değişim eğrisi elde edilmeye çalışılacaktır.

$$T_p = RC = 430 * 0,1 * 10^{-6} = 43 \mu s$$

$$T = \sqrt{LC} = \sqrt{8 * 10^{-3} * 0,1 * 10^{-6}} = 28,2 \mu s$$

$$\eta = \frac{R}{Z_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}} = 430 * \sqrt{\frac{0,1 * 10^{-6}}{8 * 10^{-3}}} = 1,52$$

$$\eta = 1,52 > \frac{1}{2} \text{ olduğu için kökler sanaldır.}$$

Bu durumda akım için (2.28) eşitliği kullanılır.

$$I_L(t) = \frac{V(0)_C}{L} \frac{2T_p e^{\frac{-t}{2T_p}}}{\sqrt{(4\eta^2 - 1)}} \sin \left[\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t}{2T_p} \right]$$

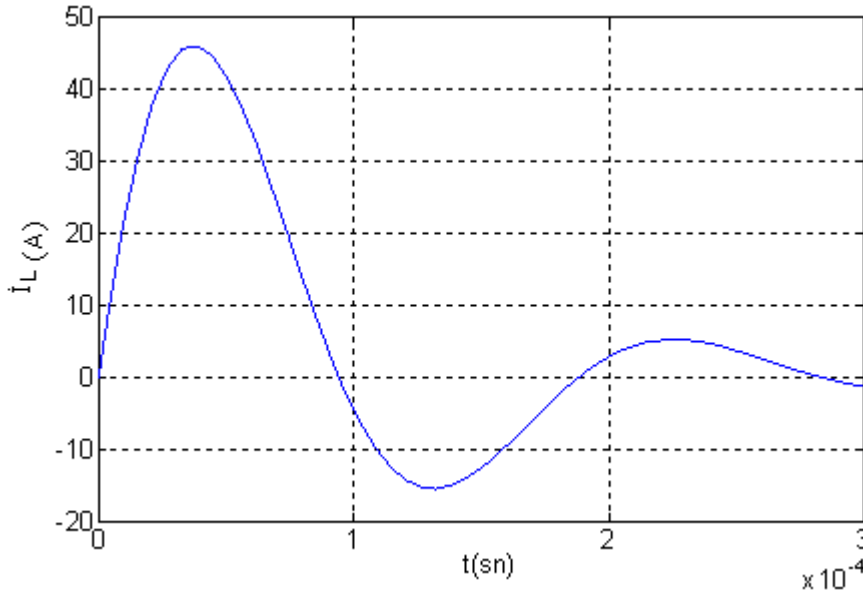
Verilen değerler yerine yazılırsa:

$$I_L(t) = \frac{V(0)_c}{L} \frac{2T_p e^{\frac{-t}{2T_p}}}{\sqrt{(4\eta^2 - 1)}} \sin \left[\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t}{2T_p} \right]$$

$$I_L(t) = 74,8 e^{-11627,9t} \sin [33,38 * 10^3 t] \quad (2.37)$$

Olarak belirlenir.

(2.37) eşitliğinde elde edilen bobin akımını zamana göre değişim eğrisi MALAB izim komutlarıyla $t=300 \mu\text{s}$ için çizdirilirse Şekil 2.18'deki grafik elde edilir.



Şekil 2.18 Paralel RLC devresindeki bobin akımının zamana göre değişim eğrisi

Bobin akımın normalize edilmiş hali olan (2.35) eşitliği:

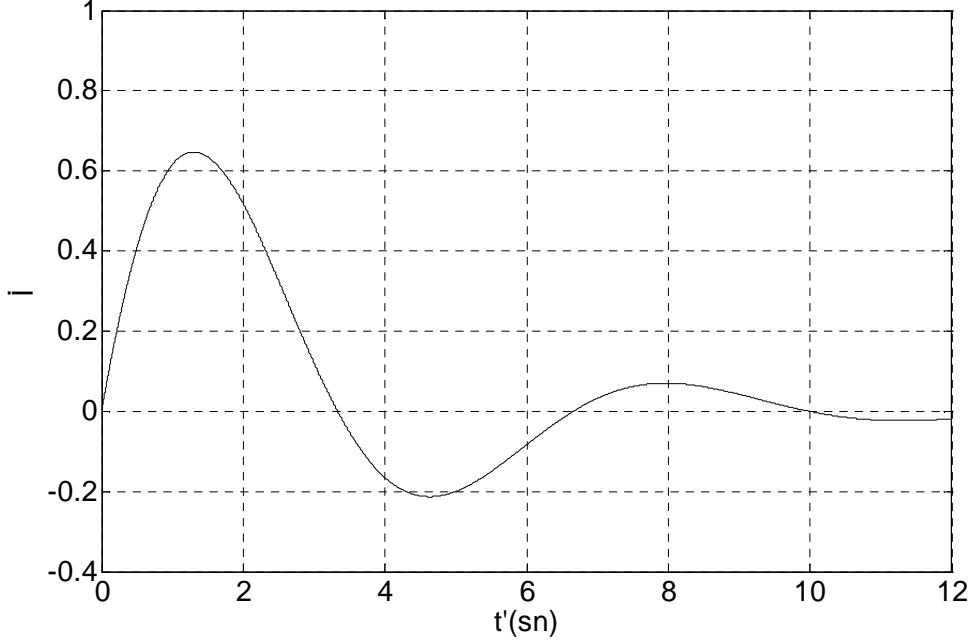
$$I_L(t') = \frac{2\eta e^{\frac{-t'}{2\eta}}}{\sqrt{(4\eta^2 - 1)}} \sin \left[\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t'}{2\eta} \right]$$

Őeklinedir. Verilen değerleri yerine yazarsak:

$$I_L(t') = e^{-0,32t'} \sin [0,944t'] \quad (2.38)$$

Olarak belirlenir.

(2.38) eşitliğinde elde edilen bobin akımını zamana göre değişim eğrisi MATLAB çizim komutlarıyla $t=300 \mu\text{s}$ için çizdirilirse şekil 2.19'deki grafik elde edilir.



Şekil 2.19 Paralel RLC devresindeki bobin akımının normalize edilmiş hali

Bobin akımının genliği:

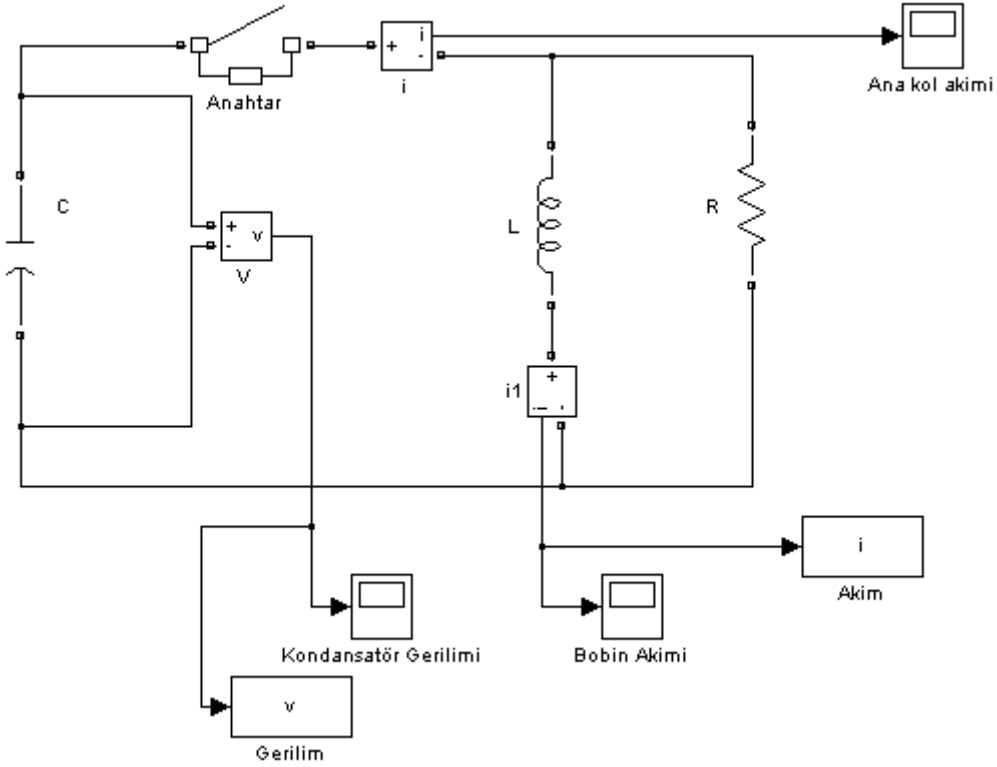
$$\frac{V(0)_c}{Z_0} = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{\frac{8 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-6}}}} = 70,7$$

Bu değer şekil 2.19'daki akımın maksimum değeri olan ve MATLAB yardımıyla bulunan 0,65 değeri ile çarpılırsa $70,7 \times 0,65 = 46 \text{ A}$ olur.

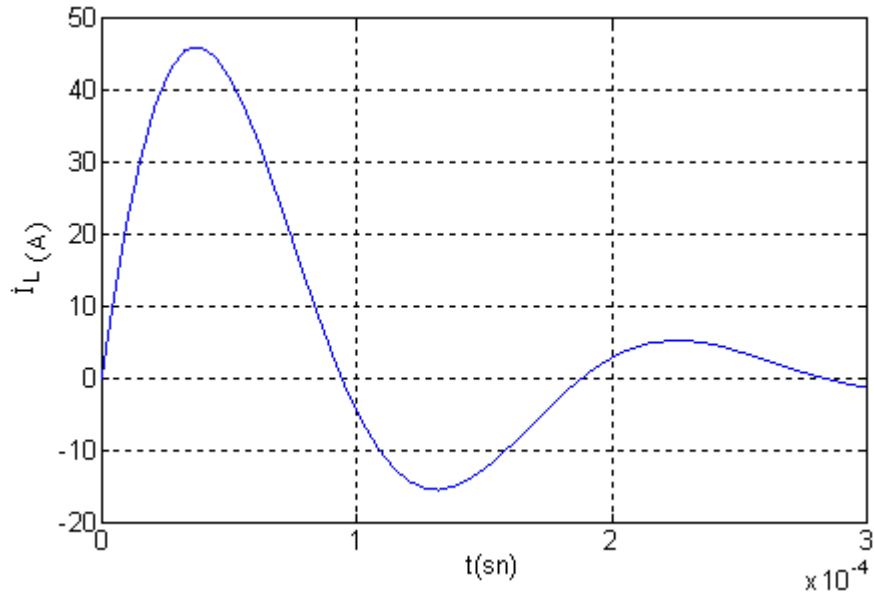
Bu değer şekil 2.18'deki paralel RLC devresindeki bobin akımının tepe değerine eşittir.

2.4.1.2. Akımın MATLAB simulink kullanılarak geçici hal analizi

Devrenin MATLAB simülasyon eşdeğeri şekil 2.20 'de verilmiştir. Devredeki anahtar $t=0$ anında kapatılmıştır. Gözlem süresi $300 \mu s$ alınarak devre çalıştırıldığında devredeki bobinden akan akımın zamana göre değişim eğrisi şekil 2.21'de verilmiştir.



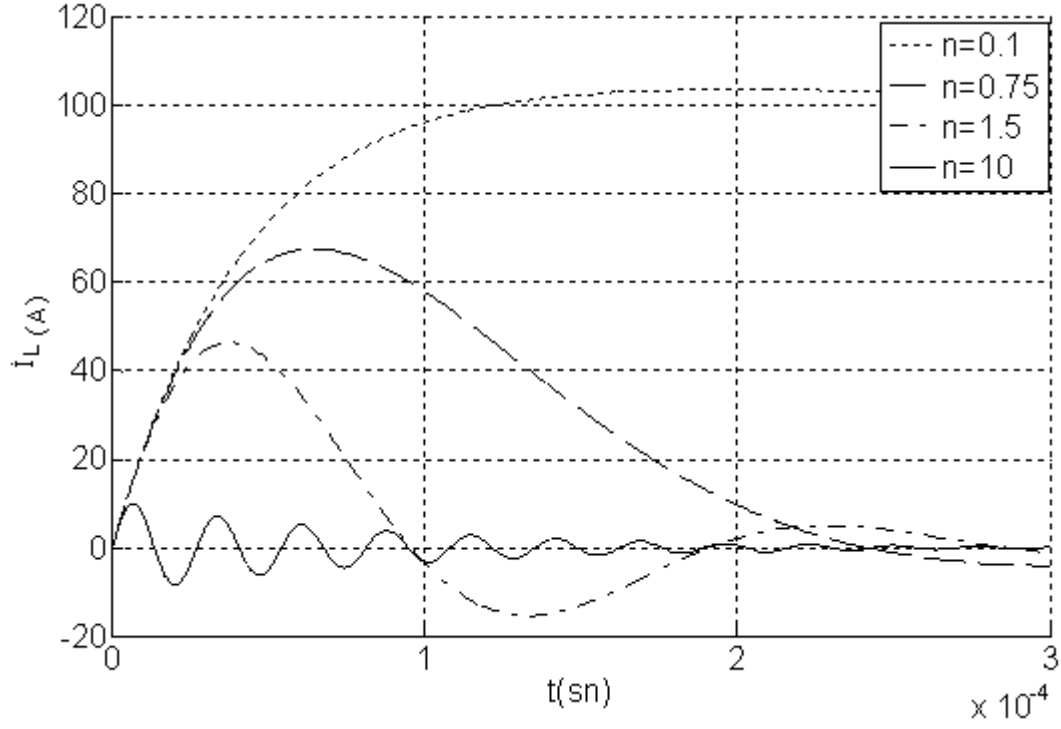
Şekil 2.20. Paralel RLC devresinin MATLAB simülasyon devresi



Şekil 2.21 Paralel RLC devresindeki bobin akımının zamana göre değişim eğrisi

Şekil 2.21'deki akımın zamana göre değişim grafiğinin şekil 2.18'deki akımın zamana göre değişim grafiğiyle aynı olduğu hatırlanmalıdır. Bu sonuç bize teorik çalışmayla simülasyon çalışmasının aynı olduğunu gösterir.

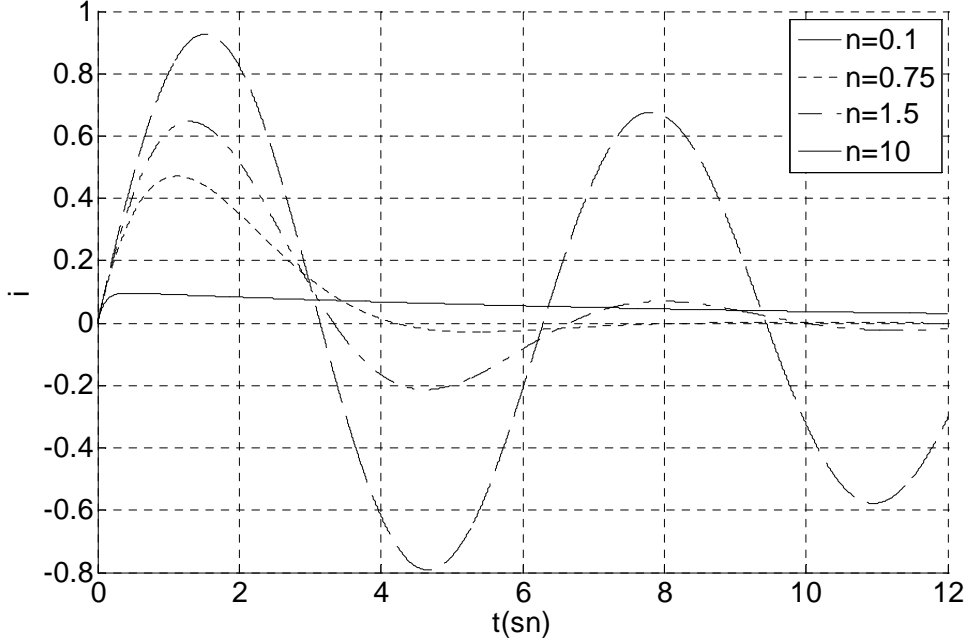
2.4.1.3 Paralel RLC devresindeki bobin akımının η sönümleme katsayısının muhtelif değerlerine göre değişim eğrileri



Şekil 2.22 Paralel RLC devresindeki bobin akımının η 'nin muhtelif değerleri için değişim eğrileri

Şekil 2.22'de verilen grafikler MATLAB çizim komutları kullanılarak çizilmiştir.

2.4.1.4. Paralel RLC devresindeki normalize edilmiş akım eğrileri



Şekil 2.23 Paralel RLC devresindeki bobin akımının normalize edilmiş halinin η 'nin muhtelif değerleri için değişim eğrileri

Şekil 2.23'te verilen grafikler MATLAB çizim komutları kullanılarak çizilmiştir.

2.4.2. Kondansatör geriliminin geçici hal analizi

Ele alınan paralel RLC devresi şekil 2.16'da verilmiştir. Devredeki kondansatör üzerinde bir elektrik yükü olduğu varsayılmıştır. Bu kondansatörün bir anahtarla paralel bir RL devresine bağlanılmaktadır. Verilen paralel RLC devresinde kondansatör uçlarındaki gerilimin geçici hal analizi yapılacaktır.

Kirchoff düğüm gerilimleri yasasından:

$$I_C + I_R + I_L = 0$$

$$-I_C = I_R + I_L$$

$$-I_C = I_L + \frac{V_C}{R}$$

$$-C \cdot \frac{dV_C}{dt} = \frac{V_C}{R} + I_L \quad (2.39)$$

$$V_C = L \frac{dI_L}{dt}$$

Veya

$$I_L = \frac{1}{L} \int V_C \cdot dt \quad (2.40)$$

(2.40) eşitliğindeki I_L ifadesi (2.39) eşitliğinde yerine yazılırsa;

$$\frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{LC} = 0$$

Veya

$$\frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{1}{T_P} \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{T^2} = 0 \quad (2.41)$$

(2.41) eşitliğine laplace dönüşümü uygulanırsa;

$$\left[s^2 + \left(\frac{s}{T_P} \right) + \left(\frac{1}{T^2} \right) \right] v_C(s) = \left(s + \frac{1}{T_P} \right) V_C(0) + V_C(0)' \quad (2.42)$$

(2.42) eşitliğinde:

$$V_C'(t) = -\frac{I_L(t)}{C} - \frac{V_C(t)}{RC}$$

Bu durumda;

$$V_C'(0) = -\frac{I_L(0)}{C} - \frac{V_C(0)}{RC}$$

Olur. Burada $I_L(0) = 0$ yazıldığında:

$$V_C'(0) = -\frac{V_C(0)}{RC} = -\frac{V_C(0)}{T_P} \quad (2.43)$$

(2.43) eşitliği (2.42) eşitliğinde yerine yazılırsa:

$$V_C(s) = V_C(0) \left[\frac{s}{s^2 + \left(\frac{s}{T_P}\right) + \left(\frac{1}{T_P^2}\right)} \right] \quad (2.44)$$

(2.44) eşitliğine ters laplace dönüşümü uygulanırsa:

$$\eta = \frac{R}{Z_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}} \text{ olmak üzere}$$

$\eta > \frac{1}{2}$ ise kökler kompleksdir.

Bu durumda

$$V_C(t) = V(0) e^{-\frac{t}{2T_P}} \left[\cos\left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t}{2T_P}\right) - \frac{\sin\left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t}{2T_P}\right)}{\sqrt{4\eta^2 - 1}} \right] \quad (2.45)$$

(2.45) eşitliği elde edilir.

$\eta < \frac{1}{2}$ ise kökler reeldir.

Bu durumda

$$V_C(t) = V(0) e^{-\frac{t}{2T_P}} \left[\cosh\left(\sqrt{1 - 4\eta^2} \frac{t}{2T_P}\right) - \sinh\left(\sqrt{1 - 4\eta^2} \frac{t}{2T_P}\right) \right] \quad (2.46)$$

(2.46) eşitliği elde edilir.

$\eta = \frac{1}{2}$ ise kökler eşittir.

Bu durumda

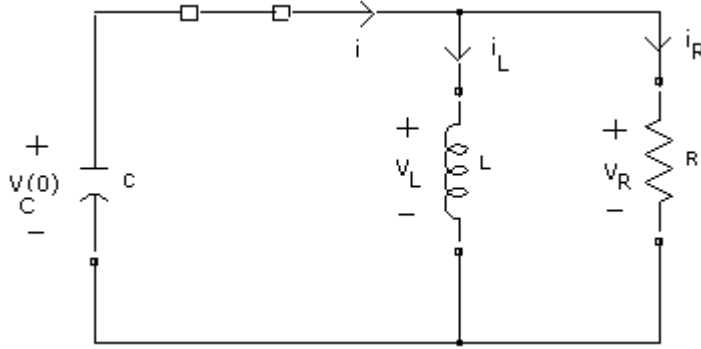
$$V_C(t) = V(0) e^{-\frac{t}{2T_P}} \left(1 - \frac{t}{2T_P} \right) \quad (2.47)$$

(2.47) eşitliği elde edilir.

Kondansatör gerilimi normalize edilmek istenirse:

$$V_C(t)_n = e^{-\frac{t'}{2\eta}} \left[\cos\left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t'}{2\eta}\right) - \frac{\sin\left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t'}{2\eta}\right)}{\sqrt{4\eta^2 - 1}} \right] \quad (2.48)$$

2.4.2.1. Bir paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi



Şekil 2.24 Örnek bir Paralel RLC devresi

Paralel RLC devresindeki devre parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$V_C(0) = 20\text{kv}, \quad C = 0,1\mu\text{F}, \quad L = 8\text{mH}, \quad R = 430\Omega$$

Anahtarın $t = 0$ anında kapatıldığı varsayılacaktır. Anahtarın kapatılması sonucu bobinden akan akımın zamana göre değişim eğrisi elde edilmeye çalışılacaktır.

$$T_p = RC = 430 * 0,1 * 10^{-6} = 43 \mu\text{s}$$

$$T = \sqrt{LC} = \sqrt{8 * 10^{-3} * 0,1 * 10^{-6}} = 28,2 \mu\text{s}$$

$$\eta = \frac{R}{Z_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}} = 430 * \sqrt{\frac{0,1 * 10^{-6}}{8 * 10^{-3}}} = 1,52$$

$$\eta = 1,52 > \frac{1}{2}$$

olduğu için kökler sanaldır. Gerilim için kullanılacak eşitlik (2.45) eşitliğidir.

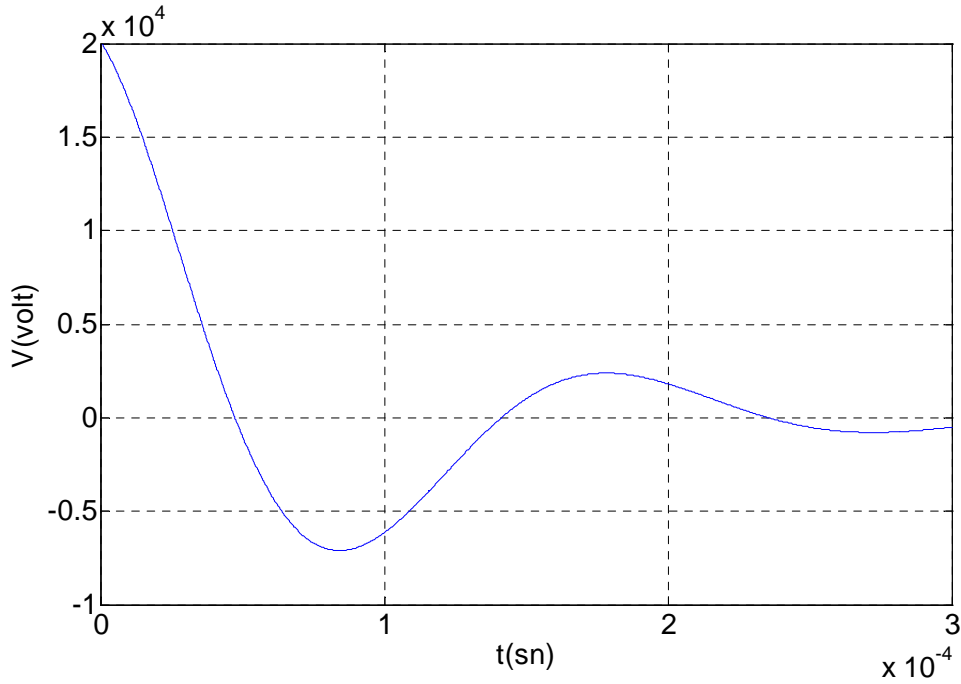
$$V_C(t) = V(0)e^{\frac{-t}{2T_p}} \left[\cos\left(\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t}{2T_p}\right) - \frac{\sin\left(\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t}{2T_p}\right)}{\sqrt{(4\eta^2 - 1)}} \right]$$

verilenler yerine yazıldığında:

$$V_C(t) = 20 * 10^3 * e^{-11627,9t} \left[\cos(33,38 * 10^3 t) - \frac{\sin(33,38 * 10^3 t)}{33,38 * 10^3} \right] \quad (2.49)$$

Olarak bulunur.

(2.49) eşitliğinde elde edilen bobin akımını zamana göre değişim eğrisi MATLAB çizim komutlarıyla $t=300 \mu\text{s}$ için çizdirilirse şekil 2.25'teki grafik elde edilir.



Şekil 2.25 Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisi

Kondansatör geriliminin normalize edilmiş hali olan (2.48) eşitliği:

$$V_C(t')_n = e^{-\frac{t'}{2\eta}} \left[\cos\left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t'}{2\eta}\right) - \frac{\sin\left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t'}{2\eta}\right)}{\sqrt{4\eta^2 - 1}} \right]$$

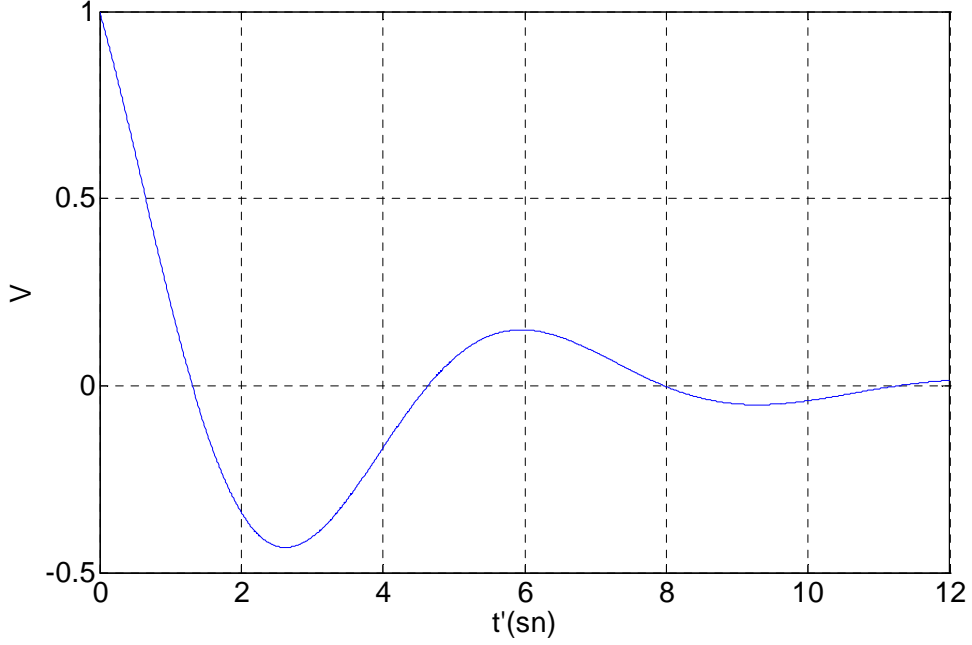
Şeklinde dir.

Verilen değerleri yerine yazarsak:

$$V_C(t')_n = e^{-0,32t'} \left[\cos(0,944t') - \frac{\sin(0,944t')}{2,87} \right] \quad (2.50)$$

Olarak belirlenir.

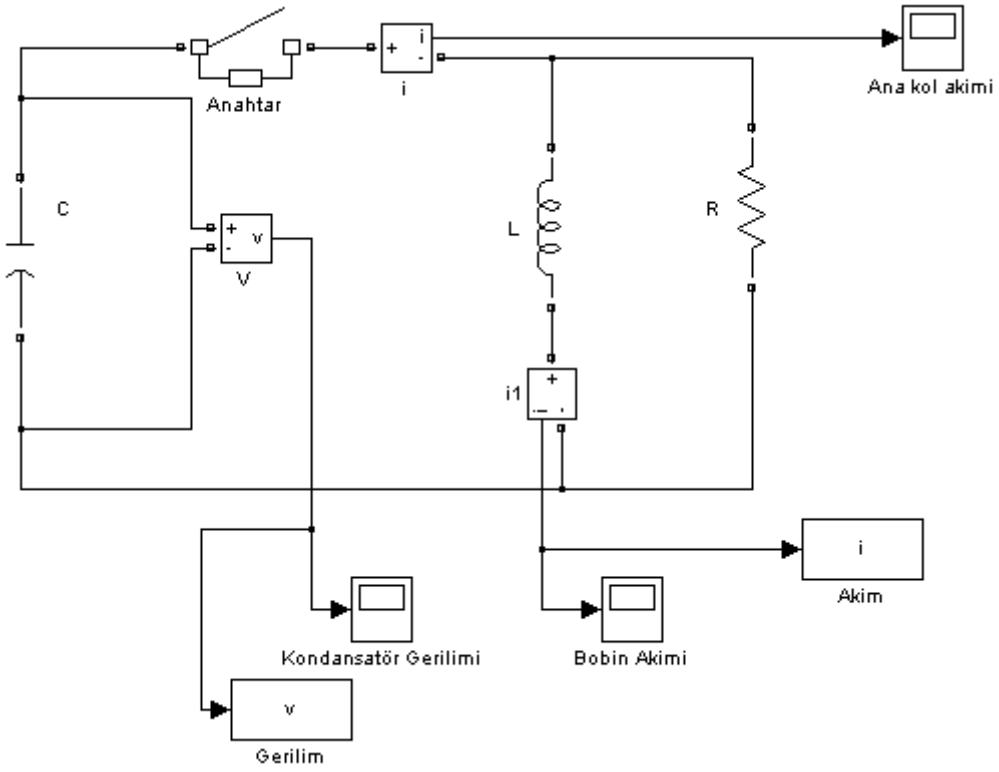
(2.50) eşitliğinde elde edilen bobin akımını zamana göre değişim eğrisi MATLAB çizim komutlarıyla $t=300 \mu\text{s}$ için çizdirilirse şekil 2.26'daki grafik elde edilir.



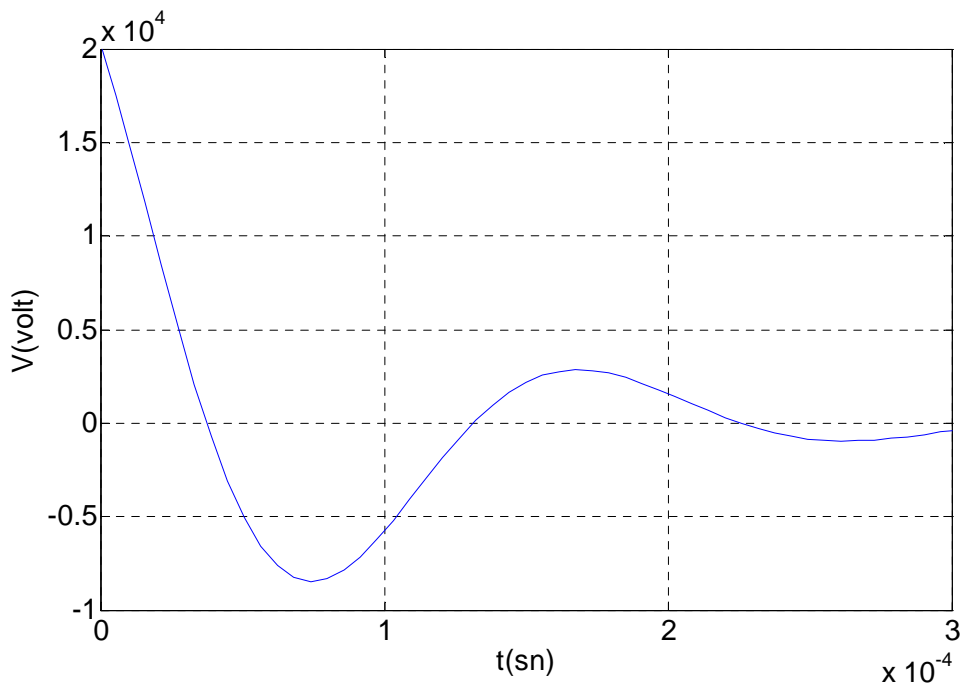
Şekil 2.26 Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin normalize edilmiş hali

2.4.2.2 Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin MATLAB simulink kullanılarak geçici hal analizi

Devrenin MATLAB simülasyon eşdeğeri şekil 2.27 'de verilmiştir. Devredeki anahtar $t=0$ anında kapatılmıştır. Gözlem süresi $300 \mu\text{s}$ alınarak devre çalıştırıldığında devredeki kondansatör uçlarında gözükten gerilimin zamana göre değişim eğrisi şekil 2.28'de verilmiştir.



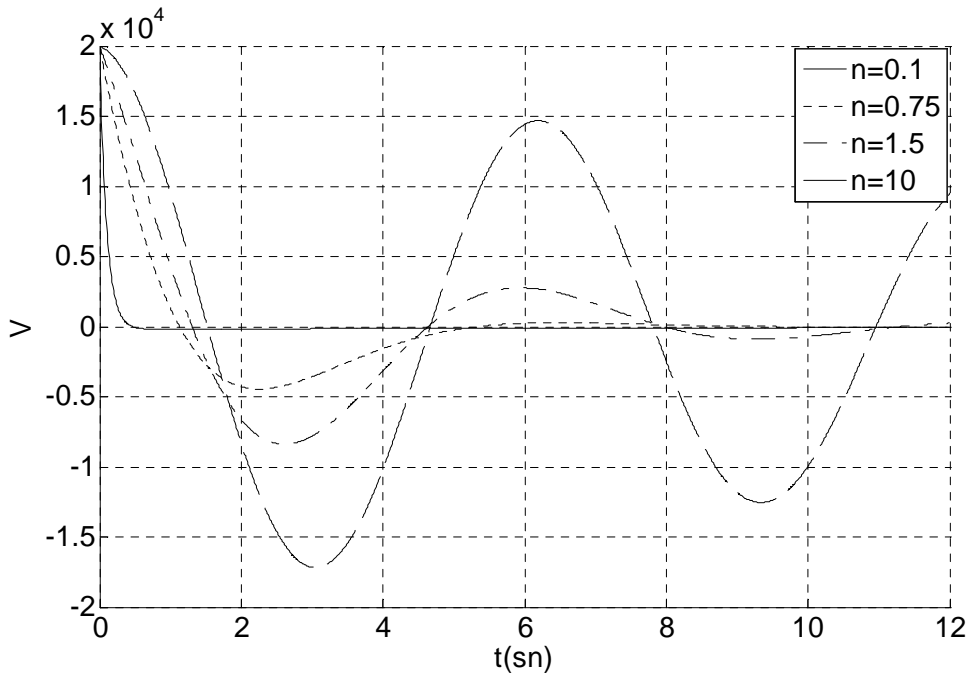
Şekil 2.27 Paralel RLC devresinin MATLAB simülasyon devresi



Şekil 2.28 Paralel RLC devresindeki kondansatör uçlarında görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisi

Şekil 2.28’de elde edilen gerilimin zamana göre değişim grafiği daha önce elde edilen şekil 2.25’teki kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisine eşit olduğu hatırlanmalıdır. Bu sonuç teorik çalışmayla simülasyonun aynı sonucu verdiğini gösterir.

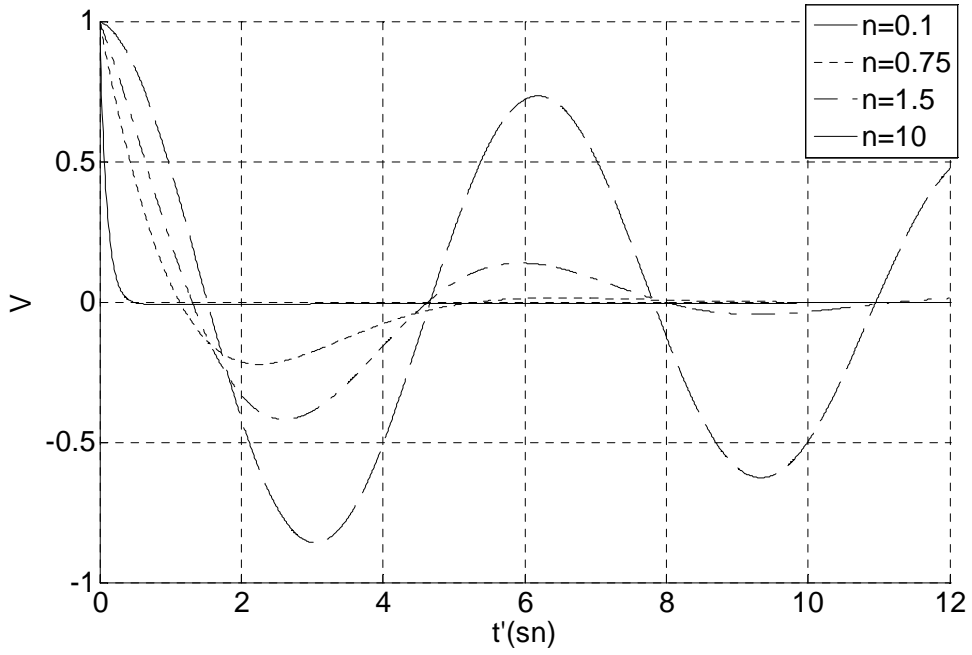
2.4.2.3. Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin η sönümlenme katsayısının muhtelif değerlerine göre değişim eğrileri



Şekil 2.29 Paralel RLC devresindeki kondansatör geriliminin η sönümlenme katsayısının muhtelif değerlerine göre değişim eğrileri

Şekil 2.29’daki gerilimin değişik η değerleri için zamana göre değişim eğrileri MATLAB çizim komutları kullanılarak elde edilmiştir.

2.4.2.4. Paralel RLC devresindeki normalize edilmiş gerilim eğrileri



Şekil 2.30 Paralel RLC devresindeki normalize edilmiş kondansatör geriliminin η 'nin muhtelif değerleri için değişim eğrileri

Şekil 2.30'da verilen grafikler MATLAB çizim komutları kullanılarak çizilmiştir.

BÖLÜM 3. ENERJİ SİSTEMLERİNDE AŞIRI GERİLİMLERİN SINIFLANDIRILMASI

Enerji sistemlerinde meydana gelen aşırı gerilimler oluşum şekline göre iki ana guruba ayrılırlar.

3.1 Dış Aşırı Gerilimler

Genellikle atmosferik boşalmalar sonucunda(yıldırım düşmesi) veya yalıtkanlık seviyesi yüksek olan hatların elektrik alanı içinde yavaş yavaş dolmaları sonucunda meydana gelirler.

Elektrik tesisleri, özellikle açık hava tesisleri, hava hatları için yıldırım düşmesi özel bir tehlike kaynağıdır. Atmosferik bir boşalma olan yıldırım düşmesi esnasında gerilim, darbe şeklinde birkaç bin kV'ta kadar yükselir. Koruma iletkenleri direk üzerine düşen yıldırımın akım şiddeti çok büyük değerlere ulaşırsa, toprak yayılma direncinin çok küçük olmaması halinde, bunlarda meydana gelen gerilim düşümü o kadar büyük olur ki, faz iletkenlerine doğru bir geri atlama meydana gelir. Bu tür aşırı gerilimler dik cepheli bir yürüyen dalga şeklinde hat boyunca yayılırlar. Bir hattın açık ucundan yansıyan yürüyen dalga iki katına çıkarak tesis izolasyonunu aşırı derecede zorlar.

Dış aşırı gerilimler parafudurlar ile sınırlandırılırlar. Hava hatlarında direk yıldırım düşmelerine karşı önlem olarak koruma iletkenleri kullanılır. Bunlar faz iletkenlerinin üzerine çekilir ve her direkte topraklanır. Faz iletkenlerine geri atlamayı önleyebilmek için direk topraklamalarının yayılma direnci mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır.

3.2 İç Aşırı Gerilimler

İç aşırı gerilimler, enerji istemi içinde yapılan manevralar, ani yük değişimleri, kısa devre arızaları gibi nedenlerle meydana gelirle. Sürekli rejimde meydana gelen iç aşırı gerilimler ve geçici rejimde meydana gelen iç aşırı gerilimler olmak üzere iki guruba ayrılırlar.

3.2.1. Sürekli rejimde meydana gelen iç aşırı gerilimler

Gerilim yükselmesi olarak bilinene bu tür aşırı gerilimler sistem frekansındadır. Genellikle aşağıdaki olaylar sonucunda ortaya çıkarlar.

1. Generatör yükünün kalkması

Normal yüklü bir generatörün yükünün herhangi bir sebeple ani olarak kalkması ile generatörün gerek omik direncinden gerekse endüvi reaksiyonundan dolayı meydana gelen iç gerilim düşümü ortadan kalkar. Bu durumda uyarma regülatörü harekete geçek gerilimi ayarlasa da regülatör faaliyete geçinceye kadar ani bir gerilim yükselmesi olacaktır.

2. Ferranti olayı

Kısa ve orta uzunluktaki hava hatlarında boşa çalışma durumunda hat kapasitesinden dolayı hat sonu gerilimi hat başı gerilimine göre oldukça yükselecektir. Ferranti olayı adı verilen bu olayda gerilim yükselmesinin nedeni, hat başından hat sonuna doğru hat boyunca akan kapasitif akımdır. Bu akımın hattın endüktif reaktansı üzerinde meydana getirdiği gerilim düşümü, hat başı gerilimi doğrultusunda olduğundan bununla toplanır.

3. Kısa devre arızaları

Yüksek gerilim sistemlerinde toprağa karşı izolasyon hataları veya fazlar arasında kısa devre baş gösterdiğinde, sağlam fazlarda işletme frekansında gerilim yükselmesi meydana gelebilir. Bu gerilim yükselmesi bakımından, şebeke yıldız noktasının durumu çok önemlidir. Yıldız noktası yalıtılmış veya söndürme bobini üzerinden topraklanmış şebekelerde bir toprak teması olması halinde, hata yerinde sağlam fazların toprağa karşı gerilimleri, hatadan evvelki sağlam fazların faz arası gerilimine kadar yükselir. Bu durum şebekede birkaç saat sürebilir.

Yıldız noktası düşük değerli bir direnç üzerinden topraklanan şebekelerde bir toprak kısa devresi halinde sağlam fazların toprağa karşı gerilimleri faz gerilimi cinsinden %30 ile %70 oranında bir artış olur. Bu hatanın ancak birkaç saniye sürmesine izin verilir.

3.2.2. Geçici rejimde meydana gelen iç aşırı gerilimler

Enerji sistemlerinde meydana gelen her tür iç aşırı gerilim üstel olarak sönen bir bileşene sahiptir. Bu geçici bileşenin titreşim frekansı yaklaşık olarak işletme frekansı olduğundan bu tür aşırı gerilimler geçici iç aşırı gerilim sınıfına dahil edilmemiştir.

Gerçek anlamda geçici iç aşırı gerilimler açma kapama olayları sonucunda meydana gelir ve titreşim frekansı endüktans ve kapasite elemanlarının belirlediği, doğal frekans olarak adlandırılan frekanstır. Bu tür iç aşırı gerilimler işletme frekansının birkaç yarı periyodu içinde sönerler.

İşletme gerilimi 380 kV'a kadar olan sistemlerde, boyutlandırma dış aşırı gerilimlere göre, 380 kV ve daha yukarısı için ise iç aşırı gerilimlere göre yapılır.

3.3. Geçici İç Aşırı Gerilim Şiddetinin Boyutlandırılması

Geçici iç aşırı gerilimler açma kapama olayları sonucunda meydana geldiği için, daha ziyade devre kesicilerinin yalıtım koordinasyonunda ön plana çıkmakta ve kesiciyi gerilim yönünde zorlayan en önemli faktör olmaktadır.

İdeal bir devre kesicisinde; kapalı olması hali için bir kutbunun iki ucu arasındaki gerilim sıfırdır. Açma olayından sonra yeterince uzun süre geçtiğinde, bu iki uç arasındaki kararlı hale ulaşır. İki uç arasındaki gerilim farkı, kararlı hale ulaşmaya kadar sistemdeki L ve C elemanlarının belirlediği doğal frekansta titreşimler meydana gelir ki, bu esnada kesici uçlarındaki gerilim işletme geriliminin üstüne çıkar. Kesicideki bu geçici gerilim yükselmesine Toparlanma Gerilimi denir. Toparlanma geriliminin şiddeti iki şekilde tanımlanır.

1. Titreşim esnasında ulaştığı en büyük tepe değer
2. Sıfırdan maksimum değere ulaşma şekli

En büyük tepe değer kolayca belirlenebilir, fakat maksimum değere ulaşma şekli hassas olarak belirlemek biraz zordur. Toparlanma gerilimi ilk tepe değerini aldıktan sonra, ikinci tepe değerini alması için geçen süre ise 300 kV'luk bir sistem için 300-1200 μ s arasındadır.

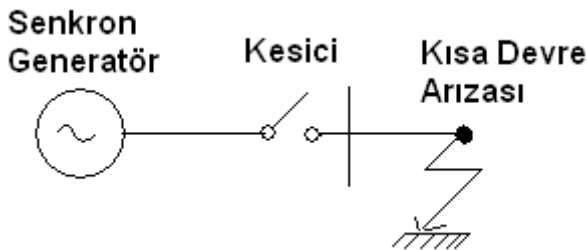
BÖLÜM.4 ENERJİ SİTEMLERİNDE GEÇİCİ OLAYLAR

4.1. Giriş

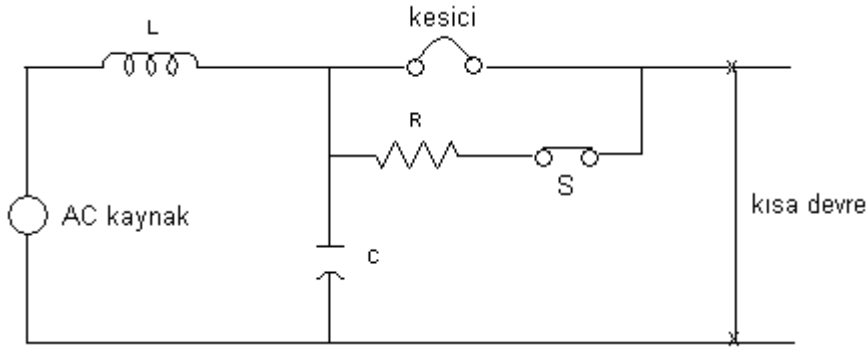
Enerji sistemlerinde meydana gelen kısa devre olayları, oluşan aşırı akımlar sebebiyle sistemdeki elemanları oldukça zorlar. Burada kısa devre akımlarının kesici tarafından açılması esnasında meydana gelen geçici olaylar incelenecektir.

4.2. Boşta Çalışan Bir Generatörün Uçlarında Meydana Gelen Kısa Devre Durumunda Kesicinin Açılması Sırasında Kesici Üzerinde Görülen Gerilimin Geçici Hal Analizi

Şekil 4.1.(a)'da boşta çalışan bir generatör uçlarında meydana gelen kısa devre olayı tek hat diyagramı, Şekil 4.1.(b)'de ise R, L, C elemanlarından oluşan eşdeğer diyagramı gösterilmiştir. Bu şekilde R kesici ark söndürme direnci, L generatör bir faz endüktansını, C generatör bir faz sargısı kaçak kapasitesini gösterir. Devrede kısa devre kesicinin sağ tarafındaki hatta meydana gelmektedir ve kesici devreyi açmıştır. Kesici açıldıktan sonra üzerinde görülen gerilimin geçici hal analizi yapılacaktır.



Şekil 4.1.a Tek hat diyagramı

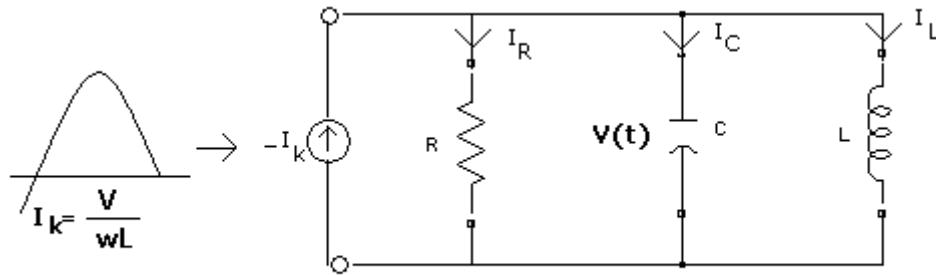


Şekil 4.1.b Bir faz eşdeğer devre

4.2.1. Kesici anahtarının açılmasının temsil edilmesi:

Devredeki kesicinin açılması olayı şu şekilde temsil edilebilir. Devrede kesici açılmadan önce kesici üzerinden akan akımın genlik olarak aynısı fakat ters polariteli kesici açıldıktan sonra oluşan şekil 4.2'deki paralel RLC devresinin uçlarına enjekte edilir. Böylelikle kesicinin açılması olayı temsil edilmiş olunur.

Kesici uçları arasında şekil 4.2'de gösterildiği gibi rampa şeklinde bir akım kaynağını enjekte ettiğimizi düşünüyoruz.



Şekil 4.2. Kesicinin açılmasını temsil eden devre

Kirchoff düğüm gerilimleri yasasından:

$$I_C + I_R + I_L = -I_k$$

$$\frac{1}{L} \int V_C \cdot dt + C \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{R} = -I_k \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinin türevi alınırsa;

$$\frac{V_C}{L} + C \frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{dV_C}{dt} = 0$$

Veya

$$\frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{LC} = 0$$

Veya

$$\frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{1}{T_P} \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{T^2} = 0 \quad (4.2)$$

(4.2) eşitliğine laplace dönüşümü uygulanırsa;

$$\left[s^2 + \left(\frac{s}{T_P} \right) + \left(\frac{1}{T^2} \right) \right] v_C(s) = \left(s + \frac{1}{T_P} \right) V_C(0) + V_C'(0) \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliğinde:

$$V_C'(t) = -\frac{I_L(t)}{C} - \frac{V_C(t)}{RC}$$

Bu durumda;

$$V_C'(0) = -\frac{I_L(0)}{C} - \frac{V_C(0)}{RC}$$

Olur. Burada $I_L(0) = 0$ yazıldığında:

$$V_C'(0) = -\frac{V_C(0)}{RC} = -\frac{V_C(0)}{T_P} \quad (4.4)$$

(4.4) eşitliği (4.3) eşitliğinde yerine yazılırsa:

$$v_C(s) = V_C(0) \left[\frac{s}{s^2 + \left(\frac{s}{T_P} \right) + \left(\frac{1}{T^2} \right)} \right] \quad (4.5)$$

Kaynak akımının (kısa devre akımının) etkisi:

$$I_k = \frac{V}{wL} \quad (4.6)$$

(4.6) eşitliğinde w şebeke frekansının açısal frekansıdır.

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4.7)$$

(4.7) eşitliğindeki w_0 devrenin doğal frekansına bağlı olan açısal frekanstır.

Devrenin doğal frekansı(f_0), şebeke frekansına(f) göre oldukça büyük olduğundan kaynak akımı rampa fonksiyonu olarak düşünülebilir.

$$I_k = \frac{V}{L}t \quad (4.8)$$

(4.1) eşitliğinde (4.8) eşitliği yerine yazılırsa:

$$\frac{1}{L} \int V_c \cdot dt + C \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_c}{R} = -\frac{V}{L}t \quad (4.9)$$

(4.9) eşitliğinin türevi alınırsa:

$$\frac{V_c}{L} + C \frac{d^2V_c}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{dV_c}{dt} = -\frac{V}{L}$$

Veya

$$\frac{d^2V_c}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_c}{LC} = \frac{V}{L} = \frac{I'}{C}$$

Veya

$$\frac{d^2V_c}{dt^2} + \frac{1}{T_r} \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_c}{T^2} = \frac{I'}{C} \quad (4.10)$$

(4.10) eşitliğine laplace dönüşümü uygulanırsa;

$$\left[s^2 + \left(\frac{s}{T_r} \right) + \left(\frac{1}{T^2} \right) \right] v_c(s) = \frac{I'}{sC} + \left(s + \frac{1}{T_r} \right) V_c(0) + V_c(0)' \quad (4.11)$$

Başlangıç şartlarından:

$$V'(0)_C = \frac{I(0)_C}{C} = 0 \quad \text{ve} \quad V(0)_C = 0 \quad (4.12)$$

(4.12) eşitliğindeki değerler (4.11) eşitliğinde yerine yazılırsa:

$$v_C(s) = \frac{1}{s \left[s^2 + \left(\frac{s}{T_P} \right) + \left(\frac{1}{T^2} \right) \right]} \frac{I'}{C} \quad (4.13)$$

(4.13) eşitliğinde:

$$I' = \frac{V}{L} \quad (4.14)$$

Olduğu hatırlanmalıdır.

(4.13) eşitliğine ters laplace dönüşümü uygulanırsa:

$$\eta > \frac{1}{2} \text{ ise}$$

$$V(t)_C = I' \cdot T^2 \left\{ 1 - e^{\frac{-t}{2T_P}} \left[\frac{\sin \left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t}{2T_P} \right)}{\sqrt{4\eta^2 - 1}} + \cos \left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t}{2T_P} \right) \right] \right\} \quad (4.15)$$

Olur.

$$\eta = \frac{1}{2} \text{ ise}$$

$$V(t)_C = -I' \cdot 2T_P e^{\frac{-t}{2T_P}} (t + 2T_P) \quad (4.16)$$

Olur.

$$\eta < \frac{1}{2} \text{ ise}$$

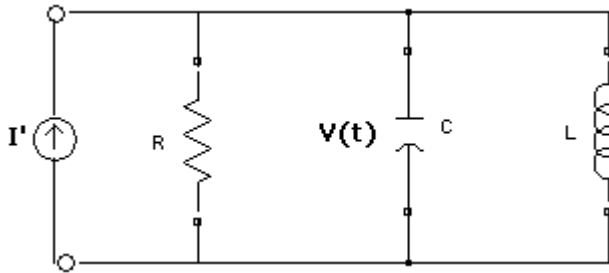
$$V(t)_C = I' \cdot T^2 \left\{ 1 - e^{\frac{-t}{2T_P}} \left[\frac{\sinh\left(\sqrt{1-4\eta^2} \frac{t}{2T_P}\right)}{\sqrt{1-4\eta^2}} + \cosh\left(\sqrt{1-4\eta^2} \frac{t}{2T_P}\right) \right] \right\} \quad (4.17)$$

Olur. Bu eşitliklerde:

$$\eta = \frac{R}{Z_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Olduğu hatırlanmalıdır.

4.2.2. Boşta çalışan bir generatörün uçlarında meydana gelen kısa devre durumunda kesicinin açılması sırasında kesici üzerinde görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi



Şekil 4.3 Örnek bir RLC devresi

Paralel RLC devresindeki devre parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$V_C(0) = 20 \text{ kV}, \quad C = 0,1 \mu\text{F}, \quad L = 8 \text{ mH}, \quad R = 430 \Omega$$

Anahtarın $t = 0$ anında kapatıldığı varsayılacaktır. Anahtarın kapatılması sonucu bobinden akan akımın zamana göre değişim eğrisi elde edilmeye çalışılacaktır.

$$T_p = RC = 430 * 0,1 * 10^{-6} = 43 \mu\text{s}$$

$$T = \sqrt{LC} = \sqrt{8 * 10^{-3} * 0,1 * 10^{-6}} = 28,2 \mu\text{s}$$

$$\eta = \frac{R}{Z_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}} = 430 * \sqrt{\frac{0,1 * 10^{-6}}{8 * 10^{-3}}} = 1,52$$

$$I' = \frac{V}{L} = \frac{20 * 10^3}{8 * 10^{-3}} = 2,5 * 10^6 \text{ A/s}$$

$$\eta = 1,52 > \frac{1}{2}$$

olduğu için kökler sanaldır. Gerilim için kullanılacak eşitlik (4.15) eşitliğidir.

$$V(t)_C = I' \cdot T^2 \left\{ 1 - e^{\frac{-t}{2T_P}} \left[\frac{\sin \left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t}{2T_P} \right)}{\sqrt{4\eta^2 - 1}} + \cos \left(\sqrt{4\eta^2 - 1} \frac{t}{2T_P} \right) \right] \right\}$$

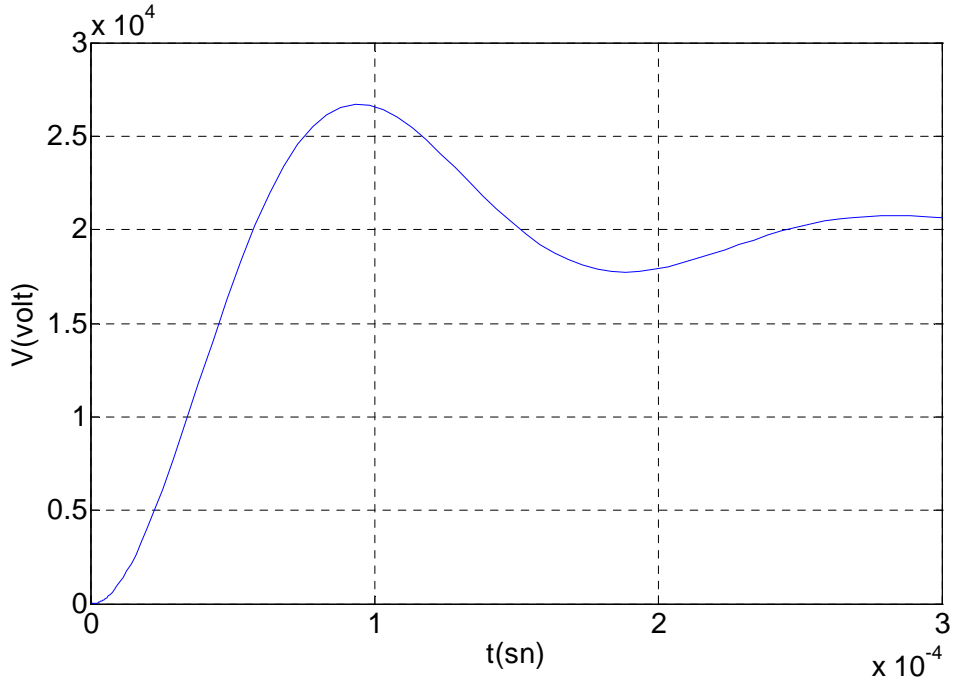
Verilenler (4.15) eşitliğinde yerine yazıldığında:

$$v = 0,0019 \{ 1 - \exp(-11627,9t) [0,348 \sin(33381,6t) + \cos(33381,6t)] \}$$

(4.16)

Olarak bulunur.

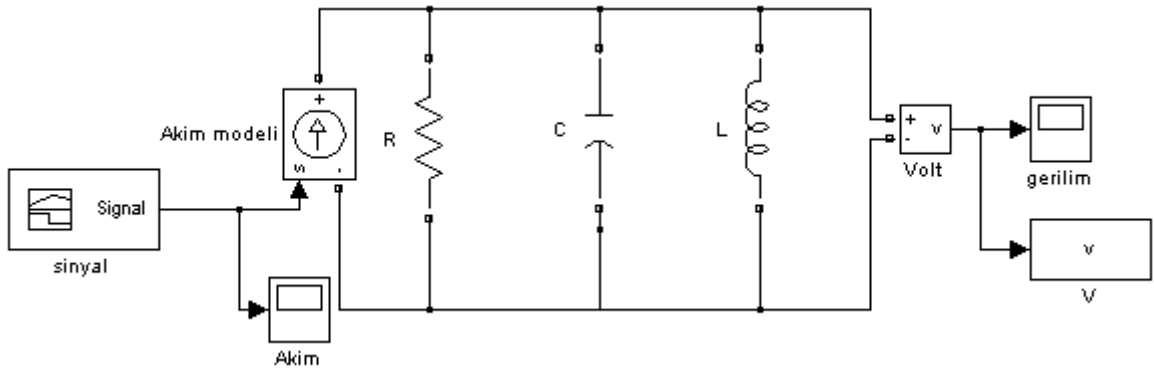
(4.16) eşitliğinde elde edilen gerilimin zamana göre değişim eğrisi MATLAB çizim komutlarıyla $t=300 \mu\text{s}$ için çizdirilirse şekil 4.4'deki grafik elde edilir.



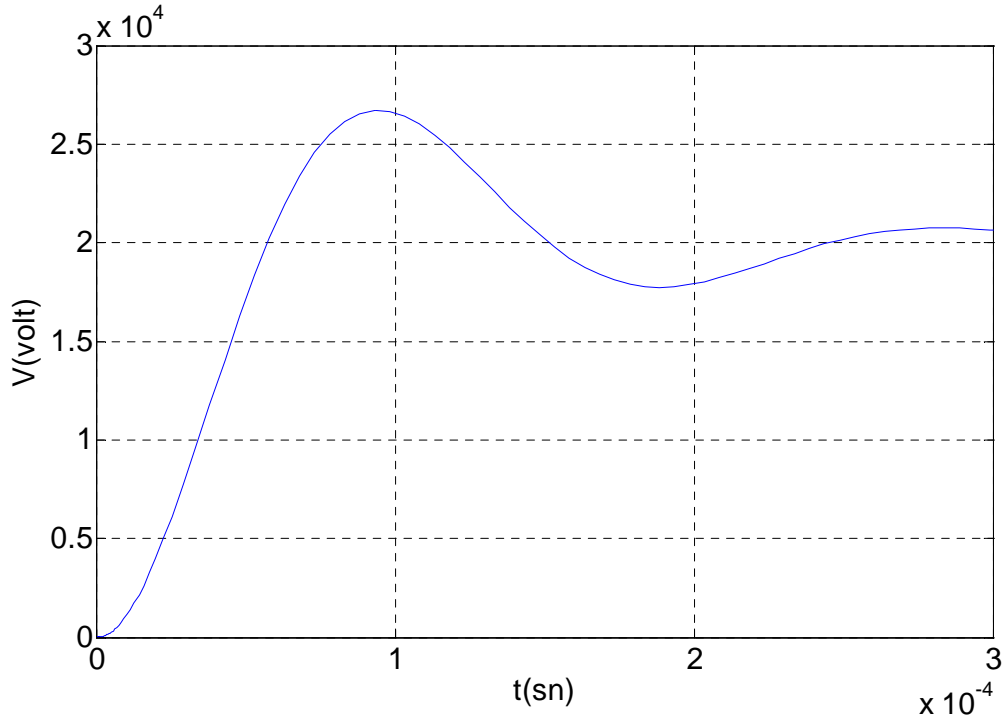
Şekil 4.4 Kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisi

4.2.3. Boşta çalışan bir generatörün uçlarında meydana gelen kısa devre durumunda kesicinin açılması sırasında kesici üzerinde görülen gerilimin MATLAB simulink kullanılarak geçici hal analizi

Devrenin MATLAB simülasyon eşdeğeri şekil 4.5 'de verilmiştir. Gözlem süresi 300 μ s alınarak devre çalıştırıldığında devredeki kondansatör uçlarında gözükten gerilimin zamana göre değişim eğrisi şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. RLC devresinin MATLAB simülasyon devresi



Şekil 4.6. Paralel RLC devresindeki kondansatör uçlarında görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisi

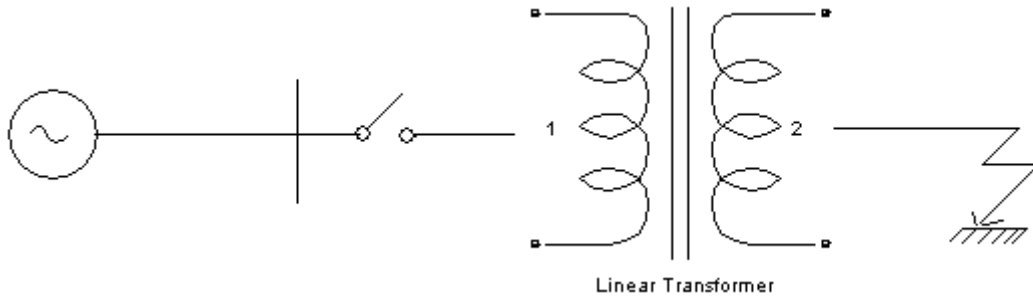
Şekil 4.6’da elde edilen gerilimin zamana göre değişim grafiği daha önce elde edilen şekil 4.4’deki kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisine eşit olduğu hatırlanmalıdır. Bu sonuç teorik çalışmayla simülasyonun aynı sonucu verdiğini gösterir.

4.3. Boşta Çalışan Bir Transformatörün Kesici İle Açılması Sırasında Transformatör Üzerinde Meydana Gelen Geçici Hal Geriliminin Analizi

Bir kesici kontakları açıldığı zaman kesici üzerinden geçen akım birden bire kesilmeyebilir ve hatta bir ark üzerinden şebeke akımının bir periyodu boyunca akmaya devam eder. Bazen kesici içinde bulunan ark kesme düzeneği sayesinde kesici üzerinden geçen akım bir periyottan önce sıfırlanabilir. Bu olaya akımın kesilmesi (current copping) denir. Bu durum kesici açılmadan önce üzerinden geçen akımın enerji sisteminde bulunan endüktans üzerinde meydana getirdiği manyetik enerjinin serbest kalması sonucu anormal mertebede aşırı gerilimlerin oluşmasına neden olur. Bu durum boşta çalışan bir transformatörün çektiği mıknatıslanma

akımının kesilmesi veya bir şönt reaktörünün devre dışı bırakılması sırasında vuku bulur.

Bu olay senelerce gözlemlenmiş ve hala dikkat çekmeye devam etmektedir. Burada kesicinin açılması sırasında transformatör üzerinde aşırı gerilimlerin nasıl oluştuğu incelenmiştir. Şekil 4.7’de transformatörün tek hat diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.7 Tek hat Transformatör diyagramı

Kesicinin açılması sırasında mıknatıslanma akımının ani değerinin $I(0)$ olduğunu varsayalım. Bu akım büyük bir kısmı transformatör nüvesinde kalacak şekilde belli bir miktarda bir manyetik enerjinin depolanmasını sağlar.

Depolanan enerji:

$$\frac{1}{2} L_m I_0^2 \quad (4.17)$$

(4.17) eşitliğinde L_m mıknatıslanma endüktansı çok yüksek bir değerdedir. Kesici açıldığı zaman böyle bir endüktif devrede akımın hemen sıfırlanması mümkün değildir. Dolayısıyla akım kesicinin trafo tarafındaki sistem kapasitansı üzerinden akacaktır. Sistem kapasitansı büyük ölçüde trafo sargı kapasitansından oluşur. Bununla beraber trafo kapasitansından ve kesici ile trafo arasındaki bağlantı iletkenlerinin kapasitansından oluşur.

Akım kapasitans üzerinden akmaya yöneldiği zaman trafonun manyetik alanında depolanan enerji kapasitansın elektrik alanına transfer edilir. C kapasitansının yüklendiği gerilim aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

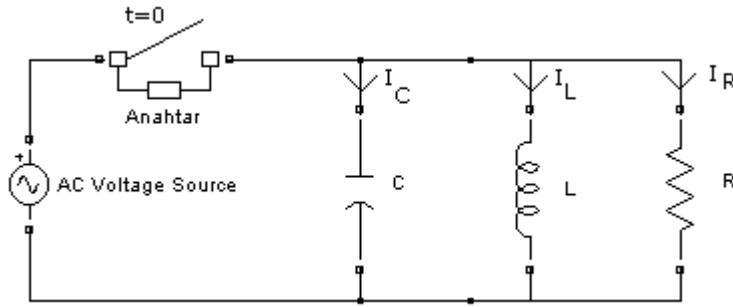
$$\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} L_m I_0^2$$

veya

$$V = I_0 \cdot \sqrt{\frac{L_m}{C}} = I_0 \cdot Z_0 \quad (4.18)$$

(4.18) eşitliğine göre kondansatör üzerinde, yani trafo üzerinde görülen gerilimin tepe değeri kesilen akımın ani değeri ile trafonun karakteristik empedansının çarpımına eşittir. Bu gerilimin şebeke geriliminden bağımsız olduğu görülmektedir.

Anahtar açıldığı zaman şekil 4.8'deki devre elde edilir.



Şekil 4.8 Kesicinin açması devresi

Kirchoff düğüm gerilimleri yasasından:

$$I_C + I_R + I_L = 0$$

$$C \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{R} + \frac{1}{L_m} \int V_C dt = 0 \quad (4.19)$$

$$\frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{L_m C} = 0$$

Veya

$$\frac{d^2 V_C}{dt^2} + \frac{1}{T_p} \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C}{T^2} = 0 \quad (4.20)$$

(4.20) eşitliğine laplace dönüşümü uygulanırsa;

$$\left[s^2 + \left(\frac{s}{T_p} \right) + \left(\frac{1}{T^2} \right) \right] v_C(s) = \left(s + \frac{1}{T_p} \right) V_C(0) + V_C'(0) \quad (4.21)$$

$$V_C'(t) = -\frac{I_L(t)}{C} - \frac{V_C(t)}{RC}$$

Bu durumda;

$$V_C'(0) = -\frac{I_L(0)}{C} - \frac{V_C(0)}{RC} \quad (4.22)$$

Olur. Başlangıç şartlarından:

$$V_C(0) = 0 \quad (4.23)$$

(4.23) eşitliği (4.22) eşitliğinde yerine yazılırsa; (4.24) eşitliği elde edilir.

$$V_C'(0) = -\frac{I_L(0)}{C} \quad (4.24)$$

(4.24) eşitliği ve (4.23) eşitliği (4.21) eşitliğinde yerine yazılırsa; (4.25) eşitliği elde edilir.

$$v_C(s) = -\frac{I_L(0)}{C} \left[\frac{1}{s^2 + \left(\frac{2}{T}\right)s + \left(\frac{1}{T^2}\right)} \right] \quad (4.25)$$

(4.25) eşitliğine ters laplace dönüşümü uygulanırsa; (4.26) eşitliği elde edilir.

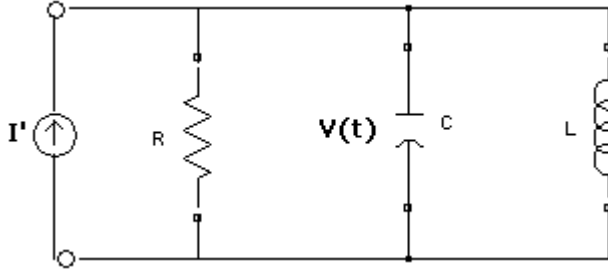
$$V_C(t) = -T \frac{I_L}{C} \frac{2\eta}{\sqrt{(4\eta^2 - 1)}} e^{-\frac{t}{2\eta T}} \sin\left(\sqrt{(4\eta^2 - 1)} \frac{t}{2\eta T}\right) \quad (4.26)$$

(4.26) eşitliğinde:

$$T = \sqrt{L_0 C} \quad \text{ve} \quad \eta = \frac{R}{Z_0} = R \sqrt{\frac{C}{L_m}}$$

Şeklinde tanımlanır.

4.3.1. Transformatör devresinde kesicinin açılması sırasında kesici üzerinde görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisinin elde edilmesi



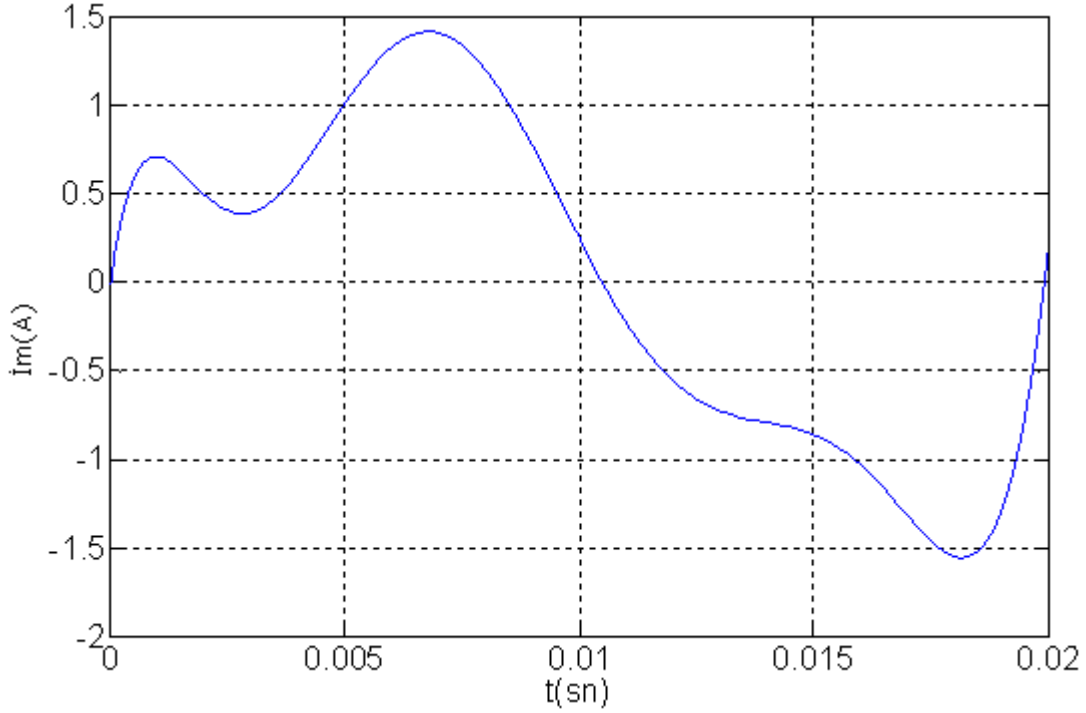
Şekil 4.9 Transformatör eşdeğer devresi

Şekil 4.9'daki transformatör eşdeğer devresindeki devre parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$S = 1000 \text{ KVA}, \quad U_m = 13,8 \text{ Kv}, \quad f = 50 \text{ Hz},$$

$$C = 5000 \text{ pF}, \quad L_m = 34 \text{ H}, \quad R = 52910 \Omega.$$

Transformatör nüvesinden akan akımın zamana göre değişim grafiği şekil 4.10'daki gibi verilmiştir.



Şekil 4.10 Mıknatıslanma akımının zaman göre değişim eğrisi

Besleme tarafındaki kesicinin açması sonucu kondansatör uçlarındaki görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisi elde edilmeye çalışılacaktır.

Şekil 4.10'daki verilen mıknatıslanma akımının etkin değeri harmonik bozunumlardan dolayı 2,5 A olur. Bu nedenle;

$$I_0 = 2,5 \text{ A}$$

Olur. Verilen değerleri kullanarak

$$T_p = RC = 52910 * 5000 * 10^{-12} = 264,5 \mu s$$

$$T = \sqrt{LC} = \sqrt{14 * 5000 * 10^{-12}} = 264,5 \mu s$$

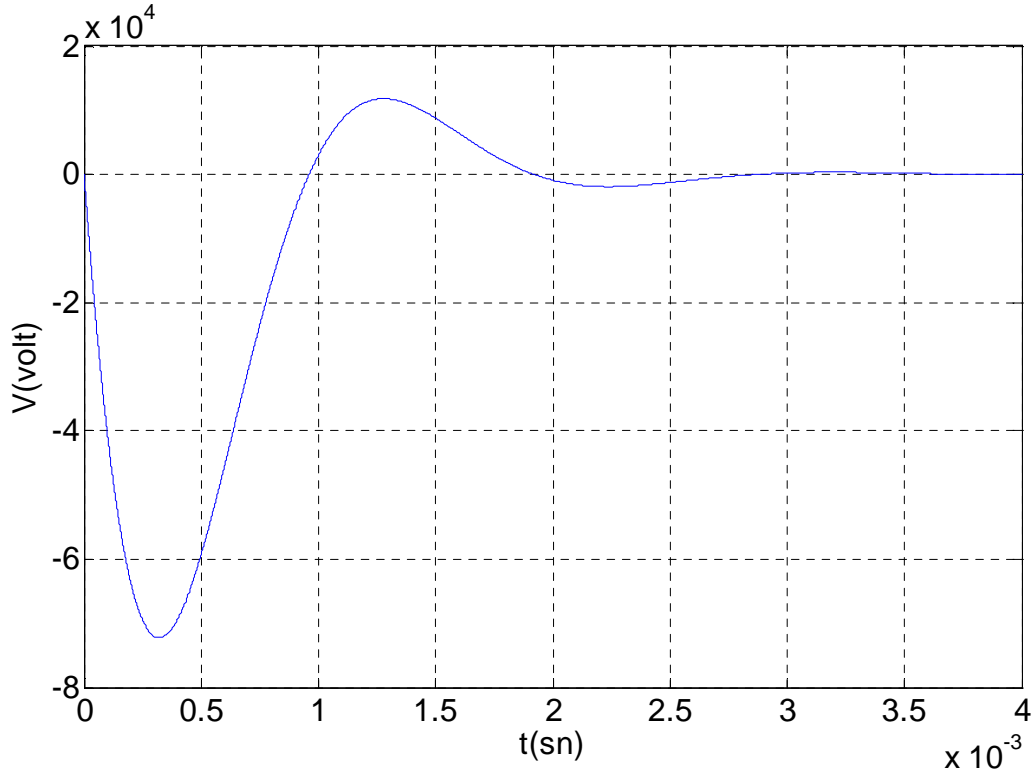
$$\eta = \frac{R}{Z_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}} = 52910 * \sqrt{\frac{5000 * 10^{-12}}{14}} = 0,99$$

Olarak hesaplanır. Burada ayrıca $\eta = 0,99 > \frac{1}{2}$ olduğu için kökler sanaldır.

Hesaplanan değerler (4.26) eşitliğinde yerine yazıldığında (4.27) denkleminde kondansatör geriliminin zamana bağlı ifadesi elde edilir.

$$V_C(t) = -152760e^{-1890t} \sin(3273,2t) \quad (4.28)$$

Olarak bulunur. (4.28) denkleminde elde edilen gerilimin zamana göre değişim eğrisi MATLAB çizim komutlarıyla $t=4\text{ms}$ için çizdirilirse şekil 4.11'deki gerilimin zamana göre değişim grafiği elde edilir.

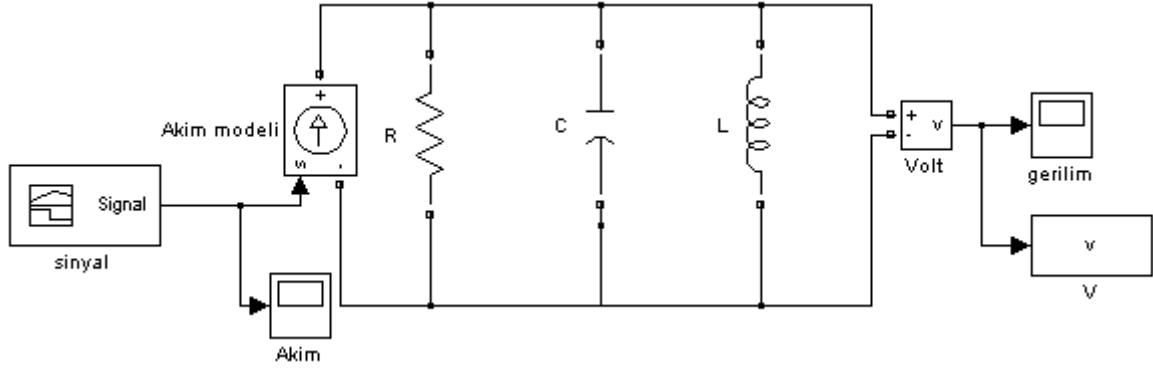


Şekil 4.11 RLC devresindeki kondansatör geriliminin zamana göre değişim eğrisi

Şekil 4.11'deki kondansatör geriliminin maksimum değeri grafikte görüldüğü gibi -72,259 kV'tur. Bu değere karşılık gelen t' değeri MATLAB yardımıyla 0,3236 ms olarak belirlenmiştir.

4.3.2. Transformatör devresinde kesicinin açılması sırasında kesici üzerinde görülen gerilimin MATLAB simulink kullanılarak geçici hal analizi

Devrenin MATLAB simülasyon eşdeğeri şekil 4.12 'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Transformatör devresinin MATLAB simülasyon eşdeğeri

4.3.3. Kesici açma olayının temsil edilmesi:

Şekil 4.10'da verilen transformatör reaktöründen akan mıknatıslanma akımını zamana bağlı olarak ifade edecek olursak, akımı birinci ve üçüncü harmoniklerin toplamı şeklinde yazabiliriz. Akım bu şekilde ifade edilecek olunursa (4.29) eşitliği elde edilir.

$$i(t) = 1,5 \sin(2 * \pi t * 50 * t + \theta) + 0,5 \sin(2 * \pi t * 150 * t + \theta) \quad (4.29)$$

(4.29) eşitliğindeki θ anahtarın açma anını ifade eden açı değeridir.

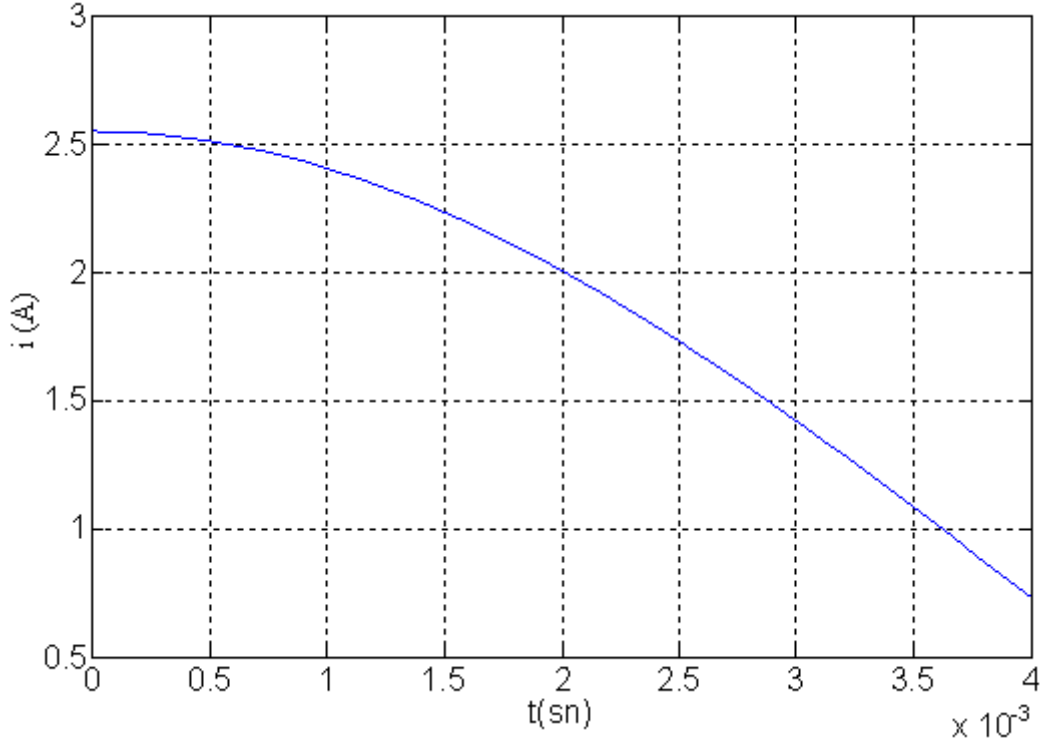
Besleme kesicisinin en kötü durum olan mıknatıslanma akımının tepe noktasında açılması durumunda $\theta = 90^\circ$ olur. Bu durumda devreden akacak olan akımın zamana bağlı ifadesi (4.29) eşitliğinde verildiği gibi olur.

$$i(t) = 1,5 \sin(2 * \pi t * 50 * t + 90^\circ) + 0,5 \sin(2 * \pi t * 150 * t + 90^\circ) \quad (4.30)$$

Veya

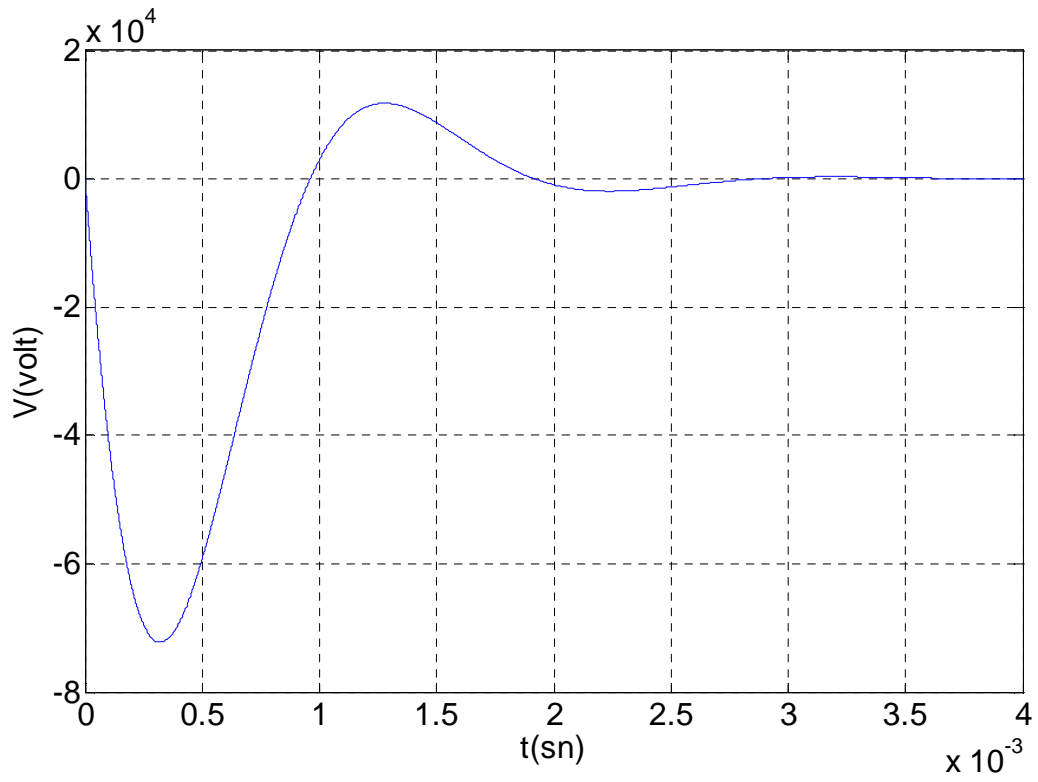
$$i(t) = 1,5 \cos(2 * \pi t * 50 * t) + 0,5 \cos(2 * \pi t * 150 * t) \quad (4.31)$$

(4.31) eşitliğindeki akım ifadesi $t=4\text{ms}$ için çizdirilecek olunursa şekil 4.13'teki akımın zamana göre değişim eğrisi elde edilir.



Şekil 4.13 Kesicinin en kötü durumda açılması sonucu devreden akan akımın zamana göre değişim eğrisi

Şekil 4.13'deki akımın şekil 4.12'deki simülasyon devresine enjekte edilmesi sonucu kondansatör uçlarındaki voltmetrenin gözlemlenmesi sonucunda şekil 4.14'te verilen kondansatör geriliminin zamana göre değişim grafiği elde edilir.



Şekil 4.14. Paralel RLC devresindeki kondansatör uçlarında görülen gerilimin zamana göre değişim eğrisi

Şekil 4.14'teki kondansatör geriliminin maksimum değeri grafikte görüldüğü gibi -72,259 kV'tur. Bu değere karşılık gelen t' değeri MATLAB yardımıyla 0,3236 ms olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Enerji sistemlerinde açma-kapama olayları sonucunda meydana gelen geçici olaylar teorik olarak gözden geçirildikten sonra, klasik yoldan analizi oldukça güç olan bu olayların analizi için bir sayısal bilgisayar simülasyonu olan MATLAB Simulink programı ile geçici olay analizi üzerinde durulmuştur.

Enerji sistemlerinin matematiksel modelleri olan RLC devrelerinin anahtar açma-kapama geçici rejim analizi yapılmıştır. Analizde önce teorik çalışmalar yapılmış devreye ait akım ve gerilimlerin frekans ve zaman domeni ifadeleri elde edilmiş ve zamana göre değişim eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra devrenin Simulink eşdeğer devresi MATLAB Simulinkte tasarlanarak devreye ait akım ve gerilimlerin zamana göre değişim eğrileri direk olarak gözlemlenmiştir.

Böylelikle herhangi bir enerji sisteminin matematiksel bir modeli olan RLC devrelerine ait anahtar açma-kapama geçici rejim analizi hem teorik hem de sayısal olarak gerçekleştirilmiştir.

RLC devreleri enerji sistemlerinin modellenmesiyle oluşan devrelerdir. Paralel RLC devresi bir güç transformatörünün besleme kesicisinin açması işleminin matematiksel modeli iken, seri RL devresi bir besleme kaynağının örneğin senkron bir generatörün faz toprak kısa devresinin matematiksel modelidir.

Bu çalışmada önce daha sonraki çalışmalara temel oluşturacak temel elektrik devrelerinin(RLC devreleri) açma-kapama geçici rejim analizi yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucu bu devrelerde ani bir şekilde anahtarın açması veya kapaması durumunda kesici kontaklarında işletme geriliminin çok üstünde aşırı gerilimler olduğu hem teorik hem de sayısal olarak gözlemlenmiştir. Bu gerilimlerin sönmüleme süreleri kısa olsa da gerilimin seviyesinin yüksek olması yüzünden bu gerilimlerden dolayı oluşan tahribat çok fazladır.

Bu yüzden analizde sönmleme süresinden ziyade gerilim seviyesine bakılmalıdır.

Enerji sistemlerinde yalıtım seviyesinin belirlenmesin de göz önünde ulundurulan aşırı gerilimler iç aşırı ve dış aşırı gerilimlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan bir tanesi de dış aşırı gerilimlerden daha ziyade iç aşırı gerilimlerin göz önünde bulundurulmasının gerektiğidir.

Bu çalışmada enerji sistemlerinde meydana gelen olaylar sonucu kesici anahtarının açılması ile kontakları arasında meydana gelen aşırı gerilimler incelenmiştir. Boşta çalışan bir generatörün uçlarında meydana gelen kısa devre durumunda kesici kontakları arasında meydana gelen aşırı gerilimin zaman domeni ifadesinin elde edilmesi, teorik değerinin hesaplanması, zamana göre değişim grafiğinin elde edilmesi ve sayısal simülasyonunun elde edilmesi çalışmaları yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara bakılacak olunursa kesicinin aşırı bir gerilime maruz kaldığı şayet kesicinin izolasyon seviyesi bu gerilime göre belirlenmemiş ise sistemde çok büyük hasarların oluşacağı görülür.

Yapılan diğer bir çalışmada boşta çalışan bir güç transformatörünün besleme kesicisinin açması sonucunda besleme tarafındaki kesici kontaklarının üzerinde oluşan aşırı gerilimin geçici rejim analizidir.

Yine burada kontalar üzerine düşen gerilimin zaman domeni ifadesinin elde edilmesi, teorik değerinin hesaplanması, zamana göre değişim grafiğinin elde edilmesi ve sayısal simülasyonunun elde edilmesi çalışmaları yapılmıştır.

Çalışmaların sonucunda elde edilen sonuçlara bakılacak olunursa; kondansatör gerilimi yani kesici uçlarında görülen gerilimin zamana göre değişimi incelendiğinde çok önemli sonuçların çıktığı anlaşılacaktır.

Zira işletme gerilimi 13.8 KV olan bir sistemde kesici uçlarında görülen gerilim 32,68 KV mertebesine çıkmaktadır. Bu da şayet kesici bu gerilime dayanacak seviyede bir izolasyona sahip değilse başta kesicinin daha sonra trafonun ve nihayetinde besleme tarafında bulunan sistem elemanlarının yanmasına sebep olacaktır.

Elektrik enerji sistemlerinde geçici aşırı gerilim analizi yapılmadan gerek devre elemanları gerekse de sistemin izolasyonunu belirlemek, çok önemli ve bir o kadar hayati olan bir etkeni göz ardı etmek olur. Bu ihmalin sonucunda ise çok ciddi tehlikeler oluşur. Elektrik enerji sistemlerinde elemanların özelliklerinin belirlenmesinde geçici aşırı gerilim analizinin hesaba katılması gerekir.

Enerji sistemlerinde gerilim seviyeleri yükseldikçe geçici olaylar sonucunda meydana gelen aşırı gerilimlerde yükselir. 380 kV ve daha yüksek gerilim seviyesine sahip sistemler de, enerji sistemini oluşturan elemanların yalıtım koordinasyonu yıldırım darbe gerilimleri gibi dış aşırı gerilimlere göre değil, anahtarlama olayları sonucunda oluşan iç aşırı gerilimlere göre yapılmalıdır. Dolayısıyla anahtarlama olayları sonucunda meydana gelen iç aşırı gerilimler iyi bir şekilde hesaplanarak optimum yalıtım seviyesi seçilmelidir.

Bugüne kadar geçici olay hesaplarının yapılışına ilişkin pek çok yöntem önerilip kullanılmasının yanı sıra, bazı yardımcı elemanlar da kullanılmıştır. Genel olarak sayısal bilgisayar simülasyon programları olarak adlandırılan ve bilgisayar destekli analiz yapan bu programlardan bitanesi de MATLAB Simulink programıdır.

Sayısal bilgisayar programları doğrusal pasif R,L,C elemanlarından oluşan matematiksel modelleri kullanır. Ancak son birkaç yıl içinde enerji sistemi elemanlarının bilgisayar modelleri hakkında yeni gelişmeler olmuştur.

Burada şunu belirtmek gerekir ki bilgisayar programı için daha gerçekçi model kullanılması halinde deneysel yöntemle elde edilen analiz sonuçlarına daha yakın ve daha ekonomik sonuçların elde edileceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] S.Goldman. Laplace Transform Theory and Electrical Transients, Dover Publications, Newyork (1966)
- [2] G.W. Carter, Thesimple Calculation of Electrical Transients, Cambridge University Press, Newyork (1944)
- [3] R.H Park and W.F. skeats, "Circuit Breaker Recovery Voltages, Magnitudes and Rates of Rise," Trans. AIEEE. Vol.50 (1931).P.204
- [4] A.N.Greenwood and T.H Lee, "Generalized Damping Curves and Their Use in Solving Power Switching Transients, " Trans, IEEE. Vol. 82, Part iii (1963). P. 527
- [5] H.E. Cox and T.W.Wilcox, " The Performance of High Voltage Oil Circuit Breakers Incorporation Resistance Switching " JIEE. Yol.94, Parti i (1947) P.351
- [6] A.F.B Young, "Some Researches in Chopping in High Voltage Circuit Breakers," Proc.IEEE London,Vol.100,No.76(1953),PP.337
- [7] E.J.Tuoh and J.Ponek, "Chopping of Transformer Magnetizing Current Part I: Single Phase Transformers," Trans.IEEE, Vol.PAS-97(1978), PP.1317-1325
- [8] CIGRE Working Group 13.02, "Interruption of Small Inductive Currents,"Chapters 1,2,Electre,No.72(1980).PP.73-103
- [9] Greenwood, "Power System Transients", Westwiew press,2000

- [10] ÖZKAN. F. Y. “Yüksek Gerilim Yük Kesicileri .” İ.T.Ü İstanbul. 1994.
- [11] MEŞE, E. “ Enerji Sistemlerinde Geçici Olayların Analizinde Bilgisayar Desteğinin Etkisi” , Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Temmuz,1993, İstanbul.
- [12] DENİZ, T. “ EMTP ile Enerji iletim Sistemlerinde Açma Kapama Olayları Analiz”,Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Haziran,1995. İstanbul.
- [13] ÜNVER, U. “EEM 571,Enerji Sistemlerinde Geçici Olaylar Ders Notları”, SAÜ, Fen Bilimler Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 2009.
- [14] ÜNVER, U. “EEM 570, Enerji Sistemlerinde İzolasyon Koordinasyonu Ders Notları”, SAÜ, Fen Bilimler Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 2009.
- [15] WEDEPOHL, L.M. WILCOX, D.J. “ Transient Analysis of Underground Power transmission Systems Modal and Wave Propagation Characteristics.” Proc. IEE, Vol.120,No 2, February, 1973.
- [16] WEDEPOHL, L.M. MOHAMED, S.E.T. “ Multiconductor Transmission Lines, Theory of Natural Modes and Fourier Integral Applied to Transient Analysis.” Proc. IEE, Vol. 116. No 9. September 1969.
- [17] ÜNVER, U. ERÇELEBİ E. “Enerji Sistemlerinde Meydana Gelen Yıldırım Aşırı Gerilimlerinin Bilgisayar Destekli Analizi.” Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Sh.1294. 1993
- [18] SYLVIA J.DAY. N. MULLINEUX. J.R.REED. “Developments in Obtaining Transient Response using Fourier Transform” vol.4, pp.31.-40.pergamon Press,1966.Int.7.Elect.Engg.Educ.
- [19] ALPARSLAN. Y. “Yüksek Gerilim Tekniği.” (T.E.K) Ankara. 1981.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Emin ŞENEL 24-Mart-1986'da Şanlıurfa'nın Halfeti ilçesinde doğdu. Orta Öğrenimini Nizip Bilal Saide ilköğretim okulunda ve lise Öğrenimini Nizip Türkan Ömer Okan Lisesinde bitirdi. Yüksek öğrenimini 2008 yılında, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde tamamladı.

2007–2008 eğitim ve öğretim yılında Sakarya üniversitesinde Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Bölüm İKinciliği Derecesiyle Mezun oldu.

2008–2009 eğitim ve öğretim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği programında Yüksek Lisansa başladı.

Halen Türkiye Elektrik İletim A.Ş kamu kurumunda 17. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğünde Elektrik Elektronik mühendisi olarak çalışmaktadır.