PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO) KULLANILARAK ELEKTRİK SOLİTON ÜRETEÇ TASARIMI, ANALİZİ VE GERÇEKLEMESİ

Abdullah AKSOY

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO) KULLANILARAK ELEKTRİK SOLİTON ÜRETEÇ TASARIMI, ANALİZİ VE GERÇEKLEMESİ

Abdullah AKSOY
0000-0002-2400-989X

Dr. Öğr. Üyesi Sibel YENİKAYA
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO) KULLANILARAK ELEKTRİK SOLİTON ÜRETEÇ TASARIMI, ANALİZİ VE GERÇEKLEMESİ

Abdullah AKSOY

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sibel YENİKAYA

Solitonlar, genliğe bağlı olarak hızın doğru orantılı olarak değiştiği, çarpıştıklarında birbirlerini etkilemeyen, doğrusal olmayan dalga sınıflarıdır. Hızlarının genliğe bağlı olarak değişmesi ve birbirini etkilememesi bu tip dalgaların farklı çalışmalar için kullanımını cazip hale getirmiştir. Askeri radar sistemlerinde, yapay zeka robot çalışmalarında, sinyali uzun mesafelere taşımada, mikrodalga frekanslarında sinyal üretiminde kullanılabilmektedir.
Bu tezde soliton dalgası üretimi için doğrusal olmayan iletim hatları (NLTLs) kullanılmıştır. NLTL devrelerinin teorik denklemleri oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Analiz işlemleri sonunda soliton modellemesi gerçekleştirilmiş ve NLTL devrelerini tasarlamak için literatürdeki deneme yanılma yöntemleri kullanmak yerine parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılmıştır. Kullanılan bu algoritma ile 4 farklı merkezi frekans değer paremetresi için optimum sonuçlar oluşturulmuştur. Optimizasyon aşamasından belirlenen devre eleman sayıları ve değerleri için NLTL'ler modellenmiştir. Bu modellerin simülasyonları, 10MHz ile 100MHz arasındaki 10 farklı merkezi frekans değeri için tekrarlanmıştır. Alınan simülasyon sonuçlarından sonra, deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler 3 farklı merkezi frekans değeri için tekrarlanmıştır. Soliton dalga üretiminde; simülasyonu modellenen ve deneyleri gerçekleştirilen tasarımların uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Soliton, elektrik soliton osilatör, mikrodalga soliton, soliton üreteç, doğrusal olmayan iletim hattı (NLTL), parçacık sürü optimizasyonu(PSO)
2022, xv+ 65 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN, ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF ELECTRIC SOLITON GENERATOR USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Abdullah AKSOY

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Sibel YENİKAYA

Solitons are nonlinear wave classes in which the velocity changes proportionally depending on the amplitude, and they do not affect each other when they collide. The fact that their velocity changes depending on the amplitude and does not affect each other has made the use of this type of waves for different studies attractive. It can be used in military radar systems, artificial intelligence robot studies, transmitting the signal over long distances, and generating signals at microwave frequencies.
In this thesis, nonlinear transmission lines (NLTLs) are used for soliton wave generation. Theoretical equations of NLTL circuits are created and analyzed. At the end of the analysis, soliton modeling was performed and particle swarm optimization (PSO) algorithm was used to design NLTL circuits instead of using trial and error methods in the literature. With this algorithm used, optimum results were created for 4 different central frequency value parameters. NLTLs were modeled for the circuit element numbers and values determined from the optimization stage. The simulations of these models were repeated for 10 different central frequency values between 10MHz and 100MHz. After the simulation results obtained, the experiments were carried out. Experiments were repeated for 3 different central frequency values. Soliton wave production; it has been seen that the designs that are simulated and tested are compatible.

Key words: Soliton, electric soliton oscillator, microwave soliton, soliton generator, nonlinear transmission line (NLTL), particle swarm optimization (PSO)
2022, xv+ 65 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimi hazırlama sürecinde, bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sibel YENİKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi destekleri esirgemeyen annem Ayşe AKSOY ve babam Ömer AKSOY başta olmak üzere bütün aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde emeği olan tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Abdullah AKSOY
01/06/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ…...	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kaynak Araştırması	3
2.2. Soliton	8
2.3. Soliton Denklemleri	8
2.3.1 Korteweg-de Vries (KDV) Denklemi	9
2.3.2 Doğrusal Olmayan Schrodinger (NLS) Denklemi	9
2.3.3. Sine-Gordon (SG) Denklemi	9
2.4. Optik Solitonlar	10
2.5. Elektrik Solitonlar	10
2.5.1. Doğrusal Olmayan İletim Hatları (NLTL)	10
2.5.2. Doğrusal Olmayan İletim Hatları için Devre Teorisi	13
2.5.3. Kesim Frekansı	24
2.5.4 Darbe Genişliği	24
2.5.5. Dalga Hızı	25
2.5.6. Merkez Frekansı	26
2.5.7. Kayıplı NLTL Teorisi	27
2.5.8. Kayıpsız NLTL Teorisi	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1. Optimizasyon	30
3.1.1. Genetik Algoritma	31
3.1.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)	32
3.1.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)	33
3.1.3.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritmasının NLTL için Kullanımı	35
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	44
5. SONUÇ……..	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
u(x,t)	Tek bir soliton dalgası denklemi
x	Dalganın pozisyonu
t	Zaman
A	Dalganın genliği
V_j	Diyot gerilimi
M	Doğrusal olmayan faktör
C_{jo}	Öngerilimsiz diyot bağlantı kapasitansı
V	Giriş gerilim değeri
R_s	Kaynak direnci
R_L	Yük direnci
n	Düğüm sayısı
L	İndüktör değeri
ΔT	Darbe yükselme süresindeki azalma
t_{ri}	Giriş darbe yükselme süresi
t_{ro}	Çıkış darbe yükselme süresi
δ_1	Giriş darbesinin yükselen kenarının yayılma gecikme süresi
δ_2	Giriş darbesinin tepe noktasının yayılma gecikme süresi
f_c	Kesim frekansı (bragg frekansı)
w_g	Dalga genişliği
v	Dalga hızı
f	Merkez frekansı
i	Akım
R_{par}	Frekans bağımlı direnç çekirdek kayıpları
R_{seri}	İndüktördeki seri direnç kayıpları
$R_{kapasitör}$	Kapasitörün paralel direnç kayıpları
Γ	Yansıma katsayısı
Z_{NLTL}	Doğrusal olmayan iletim hattının karekteristik empedansı
A_i	NLTL devresi giriş gerilimi değeri
A_{ss}	Gerilimin denge durumundaki değeri
p_{jd}	En iyi komşuluğun konumu
p_{gd}	Küresel en iyinin konumu
c1	Birinci ivme sabiti
c2	İkinci ivme sabiti
d	Boyut sayısı
w	Atalet ağırlığı
T	Dalga Periyodu
f_b	İstenilen merkezi frekans

Kısaltmalar	Açıklama
DC	Direct Current (Doğru Akım)
DE	Differential Evoluation
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
F	Farad
f	frequency (frekans)
FFT	Fast Fourier Transform
GA	Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)
GHz	Giga Hertz
H	Henry
J	Joule
KDV	Korteweg-de Vries
kW	Kilo Watt
MHz	Mega Hertz
NLETL	Nonlinear Lumped Element Transmission Line (Doğrusal Olmayan Parçalı Element İletim Hattı
NLS	Nonlinear Schrodinger
NLTL	Nonlinear Transmission Line (Doğrusal Olmayan İletim Hattı)
ns	nanosaniye
PA	Power Amplifier (Güç Yükselteci)
PDE	Partial Differential Equation (Kısmı Diferansiyel Denklem)
PSO	Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu)
RF	Radio Frequency (Radyo Frekansı)
s	saniye
SG	Sine Gordon
t	time (zaman)
VMD	Voltage Modulation Depth (Gerilim Modülasyon Derinliği)

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Doğrusal olmayan iletim hattı devresinin bir bölümü……..	11
Şekil 2.2.	Soliton dalgası üretmek için kullanılan NLTL devre şeması……..	12
Şekil 2.3.	Şekil 2.2'deki devrenin hat boyunca ilerlemesi a) girişte verilen kare dalga b) devre sonundaki oluşan soliton dalga şekli…….	12
Şekil 2.4.	NLTL'nin üç elemanlı devre eşdeğeri……	13
Şekil 2.5.	Normalize edilmiş durumda $sech^2$ dalgası sonucu……..	17
Şekil 2.6.	N=25 ve a_i=1000 alındığındaki normalize edilmiş optimum dalga sonucu…….	21
Şekil 2.7.	NLTL devrelerinde a) darbe yükselme süresinin düşürülmesi b) soliton dalgası oluşumu…….	23
Şekil 2.8.	Tek bir soliton dalgası gösterimi……	25
Şekil 2.9.	NLTL'deki yük dirençli devrenin bir bölümü……	26
Şekil 2.10.	NLTL'de oluşan soliton dalgasının merkezi frekans gösterimi….	27
Şekil 2.11.	Kayıplı NLTL için kullanılan devrenin bir bölümü……	27
Şekil 3.1.	Optimizasyon tasarım yöntemleri için blok diyagramı……	31
Şekil 3.2.	Soliton dalgası modellemesi için kullanılan PSO akış diyagramı	36
Şekil 4.1.	Kapasitif diyot elemanları için gerilime bağlı kapasitans değeri değişim grafikleri a) 1N5819 schottky diyot eğrisi b) MV2201 varaktör diyot eğrisi c) BB910 varaktör diyot eğrisi d) ZHCS1000 schottky diyot eğrisi……	45
Şekil 4.2.	Çizelge 4.1'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 10MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……	46
Şekil 4.3.	Çizelge 4.2'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 20MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……..	47
Şekil 4.4.	Çizelge 4.3'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 30MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……	48
Şekil 4.5.	Çizelge 3.5'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……	49
Şekil 4.6.	Çizelge 4.5'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 50MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……	50
Şekil 4.7.	Çizelge 4.6'daki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 60MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……..	51
Şekil 4.8.	Çizelge 4.7'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 70MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……..	53
Şekil 4.9.	Çizelge 4.8'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 80MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……	54
Şekil 4.10.	Çizelge 4.9'daki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 90MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……	55
Şekil 4.11.	Çizelge 4.10'daki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 100MHz frekans değeri için simülasyon sonucu……	56
Şekil 4.12.	Soliton üretimi için kullanılan deney ortamı…….	57
Şekil 4.13.	Çizelge 4.2'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 10MHz merkezi frekans değerindeki Tasarım 1 için deney sonucu……	58
Şekil 4.14.	Çizelge 4.3'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 20MHz merkezi frekans değerindeki Tasarım 1 için deney sonucu…….	58

Şekil 4.15. Çizelge 4.5'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 50MHz merkezi frekans değerindeki Tasarım 1 için deney sonucu……. 59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 10MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 38

Çizelge 3.2. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 20MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 39

Çizelge 3.3. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 30MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 39

Çizelge 3.4. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 40MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 40

Çizelge 3.5. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 50MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 40

Çizelge 3.6. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 60MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 41

Çizelge 3.7. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 70MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 41

Çizelge 3.8. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 80MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 42

Çizelge 3.9. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 90MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 42

Çizelge 3.10. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 100MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği……. 43

Çizelge 4.1. Çizelge 3.1'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 46

Çizelge 4.2. Çizelge 3.2'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 47

Çizelge 4.3. Çizelge 3.3'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 48

Çizelge 4.4. Çizelge 3.4'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 49

Çizelge 4.5. Çizelge 3.5'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 50

Çizelge 4.6. Çizelge 3.6'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 51

Çizelge 4.7. Çizelge 3.7'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 52

Çizelge 4.8. Çizelge 3.8'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 53
Çizelge 4.9. Çizelge 3.9'daki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 54
Çizelge 4.10. Çizelge 3.10'daki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları……... 55
Çizelge 4.11. Gerçekleştirilen deney ve simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu…… 59

1. GİRİŞ

Dalgalar, uzayda veya belirli bir maddesel olguda yayılan ve enerji taşınmasına imkan sağlayan yapılar olarak tanımlanabilir. Dalgaların bilgi taşıması sırasında, bilginin en az kayıpla en hızlı şekilde iletilmesi önemlidir. Bilgi taşınmasında, dalgaların dış gürültülerden ve birbirlerinden etkilenmesi bilgide kayıplara neden olabilir. Dalgalar hareket halindeyden , başka bir dalgayla karşılaştıklarında birbirlerine etkilerler ki bu etkilenme dalganın ya sönümlenme ya da kuvvetlenmesi şeklinde bir değişim gösterir. Dalgalar oluşturulduğunda ve oluşturulduktan sonra şekillerinde bir değişim gerçekleşmiyorsa bu tip dalgalara soliton denir (Russell, 1844). Dalgalardaki sönümleme ve kuvvetlenme şeklinde görülen özellik, soliton tipi dalgalarda herhangi iki dalganın birbirini etkilemediği şekilde tezahür eder. Devam eden iki soliton dalgası birbiriyle etkileşime girdiğinde herhangi bir değişime uğramamaktadır. Solitonların bir diğer ayırıcı özelliği ise hızlarının genliklerine bağlı olmasıdır. Genliği büyük olması soliton dalgasının hızının büyük olması anlamına gelmektedir.

Günümüzde soliton teknolojisi, iletişim sistemlerinde, askeri radar sistemlerinde, ilerleyen insansı robot çalışmalarındaki veri aktarımında, uzaktan algılama sistemlerinde, savaş alanı iletişim kesintilerinde ve medikal uygulamalarda kullanılabilir. Haberleşmede, sinyali modüle etmede ve bu modüle edilmiş sinyali uzun mesafelere taşımada kullanılabilmesi öngörülmektedir.

Bu çalışmada; soliton dalgasının üretimi için doğrusal olmayan iletim hatları kullanımıyla, frekansın önceden belirlenmesinin soliton dalgası üretimindeki ana etkisi vurgulanmıştır. Dalga üretimi için önceden merkezi frekans belirleme, optimizasyon kullanımı ile mümkün hale getirilmiştir. NLTL devre elemanlarının değişiminin ve sayısının, dalganın frekansıyla ilişkilendirildiği teorik denklemler açıklanmıştır. Denklemlerdeki parametrelerden seçim yapılması işlemi PSO algoritması ile yapılmıştır. Seçim işlemi sonucu oluşturulan tasarımlar farklı örneklerle desteklenmiştir. Tasarımlar, farklı kapasitif diyot eleman çeşitlerine dayandırılmıştır. Oluşturulan simülasyon modellerinin arasından seçilen 3 farklı örnek tasarım için deneysel çalışmalar

gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Gerçekleştirilen tez beş temel bölümden oluşmaktadır. İkinci bölüm kuramsal temeller ve kaynak araştırması bölümüdür. Bu bölümde ilk olarak yapılan literatür çalışmalarına değinilmiştir. Sonrasında kuramsal temeller kısmında, soliton dalgasından ve bu dalganın üretimi için gerekli terimlerden bahsedilmiştir. NLTL devresi temel formülleri açıklanmış ve devre analizi yapılmıştır. Kayıplı ve kayıpsız durumlar için gerçekleştirilen devre analizlerinde merkezi frekans formülleri oluşturulmuştur.

Üçüncü bölüm materyal ve yöntem bölümüdür. Bu bölümde soliton dalgasının üretimi için kullanılan optimizasyon algoritmalarından bahsedilmiştir. Bahsedilen optimizasyonlar arasından seçilen PSO algoritması kullanımı gösterilmiş ve optimizasyon sonuçları verilmiştir.

Dördüncü bölüm bulgular ve tartışma bölümüdür. Bu bölümde, üçüncü bölümde optimize edilen NLTL parametreleri için devreler kurulmuştur. Her bir parametre sonucu için kurulan devreler simüle edilmiş ve sonuçları gösterilmiştir. Farklı frekans değerleri için deneyler gerçekleştirilmiştir.

Beşinci bölüm sonuçlar bölümüdür. Bu bölümde, tezde gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları detaylıca verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kaynak Araştırması

Doğrusal olmayan iletim hatları kullanımı ile farklı frekans ve genlikte soliton dalgalarının üretiminin gerçekleştirildiği çalışmalar mevcuttur. Araştırmacılar tarafından literatüre kazandırılan bazı örnek çalışmalar şunlardır;

Ricketts ve diğerleri, kendi kendini besleyen elektrikli soliton osilatörünü tanıtmışlardır. Periyodik elektrik soliton darbelerinden oluşan kararlı bir dizi üretebilmek için arka plan gürültüsünün yükseltilmesini sağlamışlardır. Doğrusal olmayan bir iletim hattının ve kararsızlığa eğilimli soliton dinamiklerinin, bir kuvvetlendirici ile birleştirilmesini sağlayarak, soliton osilatörünü tanıtmışlar ve kullanılımını mümkün hale getirmişlerdir. Ayrık seviyede inşa ettikleri iki deneysel prototip ile devrenin ayrıntılı çalışmasını göstermişlerdir (Ricketts ve diğerleri, 2006).

Yıldırım ve diğerleri, periyodik kısa süreli darbeler dizisini kendi kendine üreten, bir elektrik soliton osilatörünü tasarlamak için, bir ucu tek portlu bir amplifikatöre bağlı ,diğer ucu açık olan, doğrusal olmayan bir iletim hat (NLTL) üzerinde, bir model gerçekleştirmişlerdir. Sabit durumda, kendi kendine üretilen kısa süreli bir darbe oluşumunda meydana gelen empedans uyumsuzlukları çözmeye çalışmışlardır. Bu durumda, tek portlu amplifikatör, belirli bir eşiğin üzerindeki bir gerilim için negatif bir çıkış direnci ve bu eşiğin altındaki bir gerilim için pozitif bir çıkış direnci ürettiğini belirtmişlerdir. Böylece, amplifikatördeki yansıma ile, darbenin ana üst kısmının kaybını telafi etmede kazanç sağlayabildiklerini açıklamışlardır (Yildirim ve diğerleri, 2009).

Li ve diğerleri, dağıtılmış osilatörlerde, görünüşte karmaşık olan faz-gürültü sürecinin sezgisel bir analizini sunmuşlardır. Deneylerle doğruladıkları bu çalışma, faz gürültüsünde, salınan bir elektromanyetik dalganın şeklinin ve fiziksel doğasının nasıl

değiştiğini göstererek, tasarım ve fiziksel anlayışlarını gözlemlemişlerdir. Yaptıkları bu analizsel çalışma, birkaç bulguyu sağlayabilmiştir. Lineer darbe osilatörü, yalnızca darbe şekillendirmeden sorumlu olan, aktif devresi çok dar bir darbe üretmek üzere tasarlanmışsa, üstün faz gürültüsü olabileceğini gözlemlemişlerdir (Li ve diğerleri, 2010).

Kuek ve diğerleri, bir doğrusal olmayan parçalı element iletim hattı (NLETL) için bir devre modeli tasarlamışlardır. Bu NLETL modelini, NLETL'nin çeşitli parametre değişikliklerinin etkilerini kapsamlı bir şekilde araştırmak için kullanmışlardır. Belirli parametre kombinasyonları için, tepe yük gücündeki optimum bir noktanın olduğu gözlemlemişlerdir. Maksimum tepe yük gücü için en iyi eşleşmeyi veren yük değerini bulabilmek için, NLETL modeli kullanımı ile bir parametre taraması simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Doğrusal olmayan endüktif ve kapasitif elemanlar içeren bir hibrit hattın yük ile oluşturdukları eşleşmeleri ve uyumları göstermişlerdir. Hibrit hattın daha büyük salınım genliği ve daha yüksek frekans ile darbe üretme potansiyeline sahip olduğunu bulmuşlardır (Kuek ve diğerleri, 2012).

Yu ve diğerleri, konik doğrusal olmayan iletim hattı (NLTL) tasarımlarını kullandıkları ultra geniş bant darbeli radyo dalgaları için düşük güçlü bir verici tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Tasarladıkları vericide, 32MHz'lik bir darbe frekansı, 15 pJ/darbe için, en iyi enerji performansını gösterdiğini bulmuşlardır. Bu vericinin, 10 GHz veya üzerindeki düşük güçlü vericiler için potansiyel bir çözüm sunabildiğini gözlemlemişlerdir (Yu ve diğerleri, 2012).

Yamasaki ve diğerleri, doğrusal olmayan bileşenlerden biri olarak, varaktör diyotların kullanımını veya doğrusal olmayan şekilde modellenmiş kapasitörlerin kullanımını, kayıplar olmadan ideal devreler olarak uygulanabilmesini incelemişlerdir. Uygulanan giriş darbesinin yükselme süresine bağlı olarak NLTL'lerin darbe keskinleştirme veya RF üretimi için kullanılabileceği göstermişlerdir. Ayrıca yüksek gerilimlerin NLTL'lerde varaktör diyot kullanımını engellediğini de doğrulamışlardır (Yamasaki ve diğerleri, 2013).

Yamasaki ve diğerleri, SPICE devre simülasyonu yoluyla ve deneyler temelinde, RF üretimi için NLTL hatlarının ölçülebilir özelliklerini incelemişlerdir. RF soliton dalga üretimini, yükte oluşan RF sinyalinin hızlı fourier dönüşümü ile ölçümü ve karşılık gelen simüle edilmiş spektrum karşılaştırması yoluyla göstermişlerdir. Uygulanan giriş darbesinin yükselme süresine bağlı olarak NLTL'lerin darbe keskinleştirme veya RF üretimi için kullanılabileceğini göstermişlerdir. Çıkış sinyallerinin FFT spektrumunu kullanarak, RF verimliliğini hesaplamasını göstermişlerdir (Yamasaki ve diğerleri, 2014).

Neto ve diğerleri, iki tip seramik kapasitör kullanarak, iki yüksek güçlü NLTL'nin tasarımı için bir SPICE programı kullanmışlar ve uygulanan giriş geriliminin bir fonksiyonu olarak seramik kapasitörlerin davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. COTS seramik kapasitörleri kullanarak, frekansı yaklaşık 4 MHz ve tepe gücü 8 kW olan RF soliton sinyalleri üretmişlerdir. Özellikle, yaptıkları deney için, hat giriş darbesini, yüksek gerilimli bir DC kaynağı ve yüksek gerilim anahtarı olarak kullanılan bir katı hal cihazı (IGBT) tarafından beslenen bir depolama kondansatörünün deşarjı ile üretmişlerdir. Uyumsuz yükler için, hattın sonunda darbe yansıması gerçekleşeceğini ve bu yansımanın çıkış gerilimini yükselteceğini açıklamışlardır (Neto ve diğerleri, 2016).

Rangel ve diğerleri, kapasitif bir NLTL'nin performansını; yükselme süresi, darbe genişliği ve genlik gibi giriş sinyalinin özelliklerinin yanı sıra hat bölümlerinin sayısının ve sondaki direnç yükünün nasıl etkilediğini ele almışlardır. Dikdörtgen, yarım sinüs ve üçgen gibi üç farklı darbe şekli tarafından çalıştırıldığında kapasitif bir NLTL'nin tepkisini deneysel olarak gözlemlemişlerdir. Deneylerde, NLTL'nin geniş bir darbeyi, dar soliton patlamasına dönüştürürken enerji içeriğini daha yüksek frekanslara kaydırma kabiliyetini göstermişlerdir (Rangel ve diğerleri, 2016).

Nikoo ve Hashemi, NLTL devresinin çözümü için uygun bir değişiklik gerçekleştirmişler ve bu devrenin soliton çözümünü çıkarmışlardır. Önerdikleri yeni çözüm olan kısmi diferansiyel denklem (PDE) ile, varaktör yüklü NLTL'leri açıklamışlar ve yeni soliton çözümleri için tüm gerekli özellikleri belirtmişlerdir. Ayrıca yeni PDE'nin, Korteweg-de Vries (KDV) ve genelleştirilmiş Korteweg-de Vries (gKDV) denklemleri tarafından hiç

desteklenmeyen başka çözümlere sahip olduğunu açıklamışlardır. Yeni denklemle KDV'yi karşılaştırmışlar ve KDV'nin varaktör yüklü NLTL'lerle yakın yaklaşımlar sağlamadığını göstermişlerdir (Nikoo ve Hashemi, 2017b).

Nikoo ve diğerleri, NLTL'lerin eşleştirme verimliliği için kapalı form formülü veren bir analiz sunmuşlardır. Analizlerin kullanılması ile, NLTL'ler için optimal dirençli sonlandırma yükü çıkarmışlardır. Yaptıkları bu analiz aynı zamanda NLTL yükünden yansıyan dalgalar için yansıma katsayısını belirlemiştir. Eşleştirme verimliliği ve yansıma katsayısının her iki durumunda da NLTL'lerin doğrusal iletim hatlarından çok farklı olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca tanıttıkları bu analizin sonuçlarının, herhangi bir deneme yanılma çabası olmadan NLTL tabanlı sistemleri tasarlamayı mümkün kıldığını da göstermişlerdir (Nikoo ve diğerleri, 2018a).

Raimundi ve diğerleri, silisyum karbür schottky diyotlarına dayalı RF üretimi için NLTL çalışması sunmuşlardır. Diyot kapasitansının gerilim bağımlılığını, ayar kapasitansı dahil olmak üzere modellemişlerdir. Zaman ve frekans alanlarındaki tepkileri analiz etmişler ve 200 MHz civarındaki frekans salınımlarının üretildiği simülasyon ve deneysel sonuçları göstermişlerdir. NLTL'yi daha iyi ölçmek için gerilim modülasyon derinliği (VMD) ve ortalama tepe yük gücü parametrelerini incelemişlerdir. Çıkış RF sinyalini üretmişler ve bu elektromanyetik dalganın ışımasını çift sırtlı horn antenler kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yüksek gerilimli RF üretimi için silisyum karbür schottky diyot kullanılmasının iyi bir seçim olduğunu gözlemlemişlerdir (Raimundi ve diğerleri, 2019).

Neto ve diğerleri, varaktör diyotlarla oluşturulmuş kapasitif NLTL tarafından üretilen soliton salınımlarının, (VMD)'nin nasıl artırılabileceğini göstermişlerdir. NLTL'ler ile üretilen sinyalin VMD'sini artırmaya yönelik yaptıkları bu çalışmada, uygun MOSFET kullanımı ile RF yükselticisi geliştirmişlerdir. Daha yüksek VMD ile, üretilen soliton dalgalarının, ışınlanırsa daha uzun mesafelerde yayılabileceğini açıklamışlardır (Neto ve diğerleri, 2020).

Azad ve diğerleri, bir giriş darbe akışı kullanarak sürekli solitonlar üretmeye yönelik geleneksel yöntemin aksine, tek bir giriş darbesinden sürekli yüksek güçlü solitonlar

üretmek için bir anahtarlama yaklaşımı önermişlerdir. Tek bir giriş darbesinden kendi kendine yeten solitonlar üretmek için, schottky diyot tabanlı 16 aşamalı NLTL'yi, yanal olarak yayılan metal oksit yarı iletken (LDMOS) tabanlı güç amplifikatörünü (PA), eşleşen ağlarla ve özel bir GaNFET tabanlı yüksek gerilimli darbe üreteci ile birleştirmişlerdir. Darbe üreteci ve PA, NLTL'nin farklı konumlarına bağlanmasıyla çoklu sinyal arayüzleri oluşturmuşlardır. Bu özellik ile, RF sinyallerinin tepe genliğini, VMD'sini ve merkez frekansını kontrol etmek için gerekli ayarlama kapasitesinin kolaylaştığını belirtmişlerdir. Çift diyot tabanlı bir NLTL tasarlamışlar ve oluşturulan RF sinyalinin merkez frekansında tek diyot tabanlı NLTL'ye kıyasla bir artış olduğunu göstermişlerdir (Azad ve diğerleri, 2021).

Aksoy ve Yenikaya, doğrusal olmayan iletim hatları kullanımı ile farklı kapasitif diyot elemanları kullanarak, 100MHz'de farklı soliton dalgalarının modellemesini yapmışlardır (Aksoy ve Yenikaya, 2021).

Aksoy ve Yenikaya, NLTL devrelerinin kullanımı ile merkezi frekans değeri tahmini yapmışlardır. İstenilen merkezi frekans değeri ile teorik olarak hesaplanan merkezi frekans değerleri arasında uyum sağlamışlardır. Uyumun sağlanabilmesi için PSO algoritması kullanarak devre elemanı tahmini yapmışlardır. PSO kullanarak aldıkları sonuçları, deney ve simülasyonlar oluşturarak doğrulamışlardır. (Aksoy ve Yenikaya, 2022).

Bu tezde, literatür taramasındaki örnekler dikkate alınarak, soliton dalgasının üretimi için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, soliton dalgasının üretimi için doğrusal olmayan iletim hatlarının kullanımına odaklanılmıştır. Farklı merkezi frekans ve genlik değerlerinde üretilebilen bu dalga tipleri için parametreler belirlenmiş ve bu parametrelerin uygun biçimde kullanımı için optimizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Soliton dalgasının merkezi frekans ve genlik değerleri için matematiksel denklemler açıklanmıştır. Denklemlerden yola çıkarak formülize edilen frekans ve genlik değerleri için gerekli olan elemanların optimizasyonuna değinilmiştir. Oluşturulan soliton dalgasının empedans uyumuna dikkat edilmiştir. İstenilen merkezi frekans değerinde dalga üretimi gerçekleştirilebilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Kayıplı ve kayıpsız

doğrusal olmayan devrelerde, devre elemanı değerleri önceden belirlenebilmiş ve soliton dalgasının üretimi için gerekli zaman ve maliyet kaybı azaltılabilmiştir.

2.2. Soliton

Soliton, doğada geniş çapta gözlemlenen bir olgudur ve sığ su yüzeyindeki hidrodinamik dalgaların öne çıkan bir örneğidir. İlk bildirilen soliton, sığ suyun hem doğrusal olmayan hem de dağılıma sahip olduğu dar bir kanalda tek darbeli bir su dalgası olarak raporlanmıştır. (Russell, 1844). Russell bu raporda, solitonu, bozulma olmadan uzun bir mesafe boyunca yayılabilen özel bir dalga türü olarak tanımlamıştır.

Suyun doğrusal olmayan bir dağıtıcı ortam olabileceğini görmek kolaydır. Bir yandan, suya atılan bir taş başlangıçta bir darbe oluşturabilir, bu daha sonra yayılabilir çünkü ilk darbenin farklı frekans bileşenleri farklı hızlarda hareket eder. Öte yandan, uzaktan yavaşça gelen bir okyanus dalgası kıyıya çarpabilir; kıyıdaki bu kırılma, dalganın daha hızlı üst ve daha yavaş alt kısımları arasındaki hız farkının, kıyıdaki su derinliği azaldıkça giderek daha belirgin hale gelmesi nedeniyle oluşur. Bu nedenle, sığ su, doğrusal olmama ve dağılmanın birlikte tezahür ettiği ve hidrodinamik soliton yayılımını destekleyebildiği bir ortamdır. Benzer şekilde NLTL'nin elektriksel gerilimin soliton yayılımını destekleyen doğrusal olmayan bir dağıtıcı ortam olması örnek verilebilir. Bu tez çalışmasında, NLTL üzerine tanımlanan bu doğrusal olmayan dağıtıcı ortam kullanılmıştır.

Farklı alanlarda da soliton dalgalarının kullanımı mevcuttur. Fizikte soliton, sabit bir hızla yayılırken şeklini koruyan, kendi kendini güçlendiren lokalize bir dalga paketidir. Akışkanlar dinamiği, plazma fiziği, optik, biyolojik ve atmosferik sistemler, doğrusal olmayan fiber optik vb. dahil olmak üzere geniş bir doğrusal olmayan fizik senaryoları alanını kapsar.

2.3. Soliton Denklemleri

Soliton fenomeni doğadaki diğer birçok sistemde bulunmuştur. Bu soliton sistemlerinin çoğu, üç klasik soliton denkleminden birinin dinamiklerine dayanmaktadır (Korteweg ve de Vries, 1895).

2.3.1 Korteweg-de Vries (KDV) Denklemi

Bu denklem sığ su dalgalarının, doğrusal olmayan yay-kütle kafeslerinin, plazmanın ve elektriksel solitonların dinamiklerini modeller. KDV denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + 6u\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0 \tag{2.1}$$

olarak verilmektedir. Burada u dalga denklemi, t; zaman, x ise dalganın pozisyonudur. Devam eden tek bir soliton dalgası eşitliği

$$u(x,t) = Asech^2\left[\sqrt{\frac{A}{2}}(x - 2At)\right] \tag{2.2}$$

olarak verilmektedir. Burada A dalga genliği, t; zaman, x; dalganın pozisyonu, $(2/A)^{0.5}$ dalga genişliği, 2A değeri ise dalganın hızıdır. Dolayısıyla A; değeri belirli bir darbeyi tanımlayan dalganın; genliğini, genişliğini ve hızını belirleyen parametredir. Genliği daha büyük olan bir darbenin daha dar olduğu ve daha hızlı hareket ettiği de açıkca görülebilir. Ayrıca, 2.2'deki denklemin kullanılması ile , Russell'ın deneysel gözlemleriyle eşleşen 2.1'deki denklem için , soliton dalga çözümü sağlanır.

2.3.2 Doğrusal Olmayan Schrodinger (NLS) Denklemi

Bu denklem, manyetik malzemelerdeki spin dalgalarının ve fiber optik kablolardaki ışığın dinamiklerini modellemektedir (Ricketts ve Ham, 2018).

2.3.3. Sine-Gordon (SG) Denklemi

Bu denklem ise Josephson eklemlerinin ve doğrusal olmayan sarkaç kafeslerinin dinamiklerini modellemektedir (Ricketts ve Ham, 2018).

2.4. Optik Solitonlar

Optik fiber, optik solitonların gözlemlendiği lineer olmayan dağıtıcı ortamın bir başka örneğidir (Hasegawa ve Tappert, 1973). Optik solitonların üretimi için doğrusal olmayan optik elemanlar kullanılır ve iletiminde ise fiber optik kablolar kullanılır. Optik solitonlar, bilgi taşıyıcı olarak görev yapabilen, ve bilgiyi kıta ötesi ve okyanus aşırı mesafelere kadar iletebilen dalgalardır. Bu soliton dalga şekilleri, herhangi bir değişiklik olmadan fiber optik vasıtasıyla yol alırlar.

2.5. Elektrik Solitonlar

Elektrikte solitonlar, doğrusal olmayan iletim hattı (NLTL) devrelerinin kullanıldığı, ve bu NLTL devrelerinin, gerilim solitonlarını yayan doğrusal olmayan bir dağıtıcı ortam olarak hizmet ettiği olgulardır. Bu başlık altında belirtilen soliton çeşitleri, gerçekleştirilen bu tezde kullanılmaktadır.

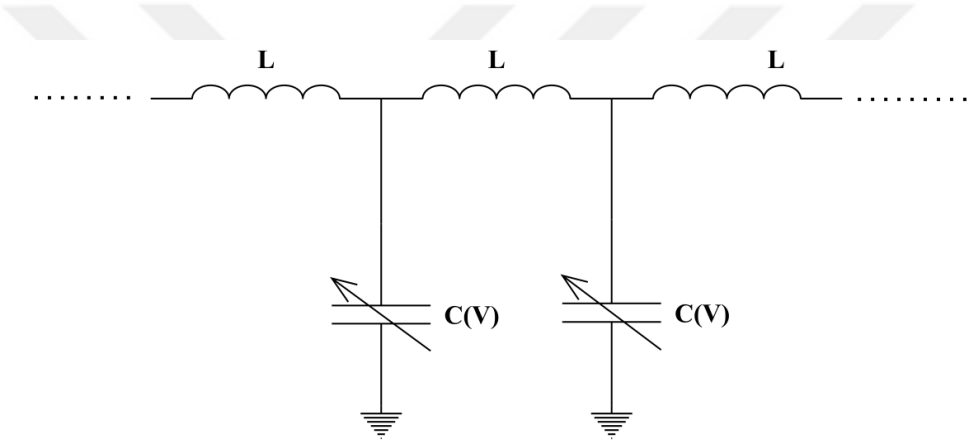
2.5.1. Doğrusal Olmayan İletim Hatları (NLTL)

NLTL, doğrusal olmayan bir iletim ortamıdır. Basit anlamda, kapasitif diyot ve indüktörlerden oluşurlar. İndüktör ve kapasitör değerlerinden en az birinin doğrusal olmaması gereklidir. Gerçekleştirilen çoğu çalışmada daha verimli olduğundan dolayı kapasitif diyot'un doğrusal olmaması tercih edilmiştir. Kullanılan kapasitif diyot çeşitleri; tipik olarak ters taraflı pn bağlantıları, schottky diyotları, ve varaktörlerdir. Bu doğrusal olmayan diyotların, gerilime bağlı kapasitansları doğrusal olmamalarından sorumludur.

NLTL'ye başlatılan rastgele bir soliton olmayan girdi dalgası, monoton olarak azalan genlik ve hızların bir dizi bileşen solitonuna ayrılır ve bu genel dalga biçimi değiştirme işlemi sırasında herhangi bir zamanda, her bir bireysel bileşen solitonu, kendi etiketiyle

etiketlenmiş şeklini ve kimliğini korur. Öte yandan, NLTL yapısal periyodikliği nedeniyle dağınıktır. Bir periyodik soliton dizisi olan sonsuz uzunlukta bir NLTL, üzerinde oluşturulmuş genel bir soliton dalgasını göstermektedir. Bu periyodiklik, NLTL'yi, yakınında NLTL'nin giderek daha dağınık hale geldiği bir kesme frekansına sahip bir alçak geçiren filtre yapar.

Soliton olmayan dalgalar da NLTL üzerinde hareket edebilir, ancak yayılma sırasında şekillerini soliton dalgalarına dönüştürürler. Soliton şekline yakın bir darbe, dağılan bir darbe şeklinde fazladan enerji saçarken tek bir soliton halinde keskinleştirilecektir.



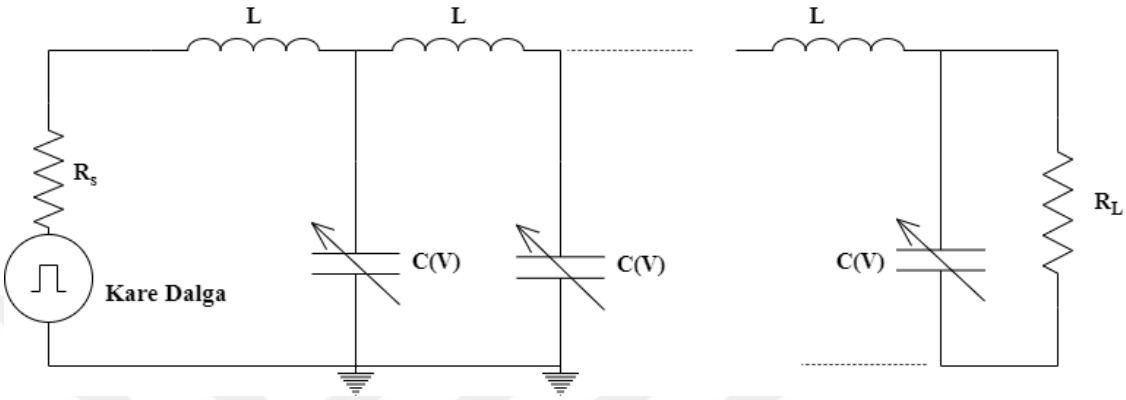
Şekil 2.1. Doğrusal olmayan iletim hattı devresinin bir bölümü

Şekil 2.1'de NLTL devresinin en basit formu gösterilmiştir. Burada temel anlamda 2 farklı elektrik devre elemanı kullanılmaktadır. Bu devre elemanları doğrusal devre elemanı olan indüktörler ve doğrusal olmayan eleman olan kapasitif diyotlardır. NLTL devresinin oluşturulabilmesi için devre elemanlarından en az birinin doğrusal olmayan eleman olma zorunluluğu vardır. Doğrusal olmayan eleman olarak en çok kullanılan kapasitif diyotlar; varaktörler ya da shottky diyotlardır. Bu diyot tiplerinin kapasiteleri değişkendir ve gerilim değerlerine göre değişebilen bu kapasitelerin değeri:

$$C(V) = \frac{C_{jo}}{\left(1 + \frac{V}{V_j}\right)^M} \tag{2.3}$$

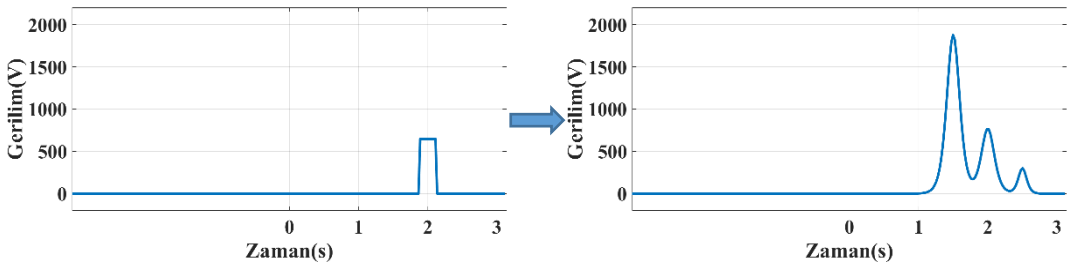
olarak tanımlanmaktadır (Kozyrev ve Van Der Weide, 2005).

Burada her bir kapasitif diyot için ayrı olan ve kendi içinde değişmeyen değerler, V_j; diyot gerilimi, M; doğrusal olmayan faktör, C_{jo}; öngerilimsiz diyot bağlantı kapasitansıdır. Kapasiteyi değiştiren asıl devre faktörü ise V; giriş gerilimi değeridir.



Şekil 2.2. Soliton dalgası üretmek için kullanılan NLTL devre şeması

Şekil 2.2'deki NLTL devresinde girişte verilen bir kare dalganın indüktör ve kapasitörlerden oluşan devre üzerinde ilerler. İlerleme sonundaki yük direnci üzerinde oluşan dalga şekli solitondur.



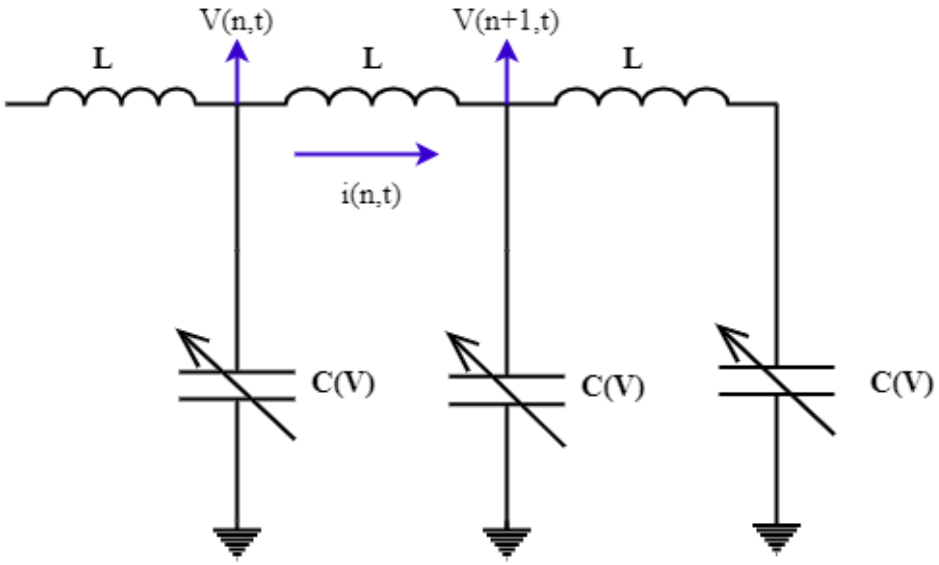
(a) (b)

Şekil 2.3. Şekil 2.2'deki devrenin hat boyunca ilerlemesi a) girişte verilen kare dalga b) devre sonundaki oluşan soliton dalga şekli

NLTL üzerindeki bir kare dalga girişinin çoklu soliton darbelerine bölündüğü simüle edilmiş bir örneği gösterir. Burada kare dalganın, NLTL boyunca ilerlemesi soliton dalgalarının oluşmasına zemin hazırlamıştır.

2.5.2. Doğrusal Olmayan İletim Hatları için Devre Teorisi

NLTL devrelerinde kullanılan matematiksel denklemler için devre teorisi yaklaşımları kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar sayesinde soliton dalga üretimi için gerekli denklemler elde edilmektedir.



Şekil 2.4. NLTL'nin üç elemanlı devre eşdeğeri

Soliton dalgası

$$V(n,t) = Vsech^2(\frac{1.763(t - nT_D}{w_g}) \quad (2.4)$$

olarak ifade edilmektedir(Nikoo ve Hashemi, 2017b). Burada T_D yayılma zaman gecikmesi ve w_g soliton darbe genişliği paremetresidir.

Soliton darbe genişliği

$$w_g = \frac{1.763}{\pi f_c \sqrt{\ln(1 + V/V_{jo}}} \tag{2.5}$$

olarak verilmektedir(Nikoo ve Hashemi, 2017b). Burada f_c değeri kesim frekansı sonucudur. Literatürde verilen soliton denklemlerini geliştirmek için yaklaşımlar kullanılmaktadır. Denklem 2.3'ün açılımı

$$C(V) = C_{jo} g(V) \tag{2.6}$$

$$g(V) = \frac{1}{\left(1 + \frac{V}{V_j}\right)^M} \tag{2.7}$$

olarak verilmiştir.

NLTL eşdeğer devresinde, (n-1). düğüm için Kirchoff gerilim yasası (KVL) ve Kirchoff akım yasası (KCL) kullandığında anlık akım değerleri

$$i(n-1,t) = i(n,t) + \frac{C_{jo}}{\sqrt{1 + V(n,t)/V_j}} \frac{d}{dt} V(n,t) \tag{2.8}$$

$$i(n-1,t) = \frac{1}{L} \int (V(n-1,t) - V(n,t)) dt \tag{2.9}$$

$$i(n,t) = \frac{1}{L} \int (V(n,t) - V(n+1,t)) dt \tag{2.10}$$

olarak elde edilir. Anlık akım değerleri ile denklem 2.3'deki denklemin açılımları ilişkilendirildiğinde

$$LC_{jo} \frac{d}{dt} \left\{ g(V(n,t) \frac{d}{dt} V(n,t) \right\} = V(n-1,t) - 2V(n,t) + V(n+1,t) \tag{2.11}$$

olarak bulunur. Burada L indüktör değeridir. Denklemde düzenlemeler yapıldığında

$$\tau = t/\sqrt{LC_{jo}} \tag{2.12}$$

olarak alınmıştır ve

$$\frac{d^2}{d\tau^2}\{G(V(n,\tau)\} = V(n+1,\tau) - 2V(n,\tau) + V(n-1,\tau) \tag{2.13}$$

elde edilmiştir. Burada g fonksiyonunun türevinin tersi G ile gösterilir, ve t zamanın normalizesi τ'dur.

Eşitlik linear operatöre göre düzenlendiğinde

$$\frac{d^2}{d\tau^2}\{G(V(n,\tau)\} = \mathcal{L}(V(n,\tau)) \tag{2.14}$$

$$\mathcal{L}\big(V(n,\tau)\big) = V(n+1,\tau) - 2V(n,\tau) + V(n-1,\tau) \tag{2.15}$$

olarak ifade edilir. Bulunan denklemler, sırasıyla sürekli ve ayrık değişkenler t ve n ile doğrusal olmayan bir kısmi diferansiyel denklemi (PDE) tanımlar.

Denklem 2.11, Δτ zamanında n. düğümden (n+1). düğüme hareket ederse

$$\frac{d^2}{d\tau^2}\{G(V(n,\tau)\} = V(n,\tau+\Delta\tau) - 2V(n,\tau) + V(n,\tau-\Delta\tau) \tag{2.16}$$

olduğu görülür.

n=0 alınır ve Taylor serisi açılımı kullanıldığında

$$\frac{d^2}{d\tau^2}\{G(V(\tau)\} = \frac{2(\Delta\tau)^2}{2!}\frac{d^2}{d\tau^2}V(\tau) + \frac{2(\Delta\tau)^4}{4!}\frac{d^4}{d\tau^4}V(\tau) + \cdots \quad (2.17)$$

elde edilir.

n. düğümdeki gerilim için t değerini sonsuza götürdüğümüzde ise Taylor serisi açılımı

$$\{G(V(\tau)\} = \frac{2(\Delta\tau)^2}{2!}V(\tau) + \frac{2(\Delta\tau)^4}{4!}V(\tau) + \cdots \quad (2.18)$$

olarak bulunur. Denklem (2.18)'de $\Delta\tau$ sabit değeri için

$$V(\tau) = \Delta\tau^{-4}(V\left(\frac{\tau}{\Delta\tau}\right)) \quad (2.19)$$

olarak ifade edilir.

n değerinin negatif olmadığı ve zamanın sonsuza yakınsadığı durum için sonuç 2.22'de verilmiştir.

$$\{G(V(\tau)\} = \mathcal{D}V(\tau) \quad (2.20)$$

$$\mathcal{D} = \frac{2(\Delta\tau)^2}{2!} + \frac{2(\Delta\tau)^4}{4!} + \cdots \quad (2.21)$$

$$\lim_{\tau\to\infty}\frac{d^n}{d\tau^n}V(\tau) = 0 \quad (2.22)$$

Burada n!'deki n değerlerini artırdığımızda ve derecesi 4'ten büyük türevleri olan terimler göz ardı edildiğinde, diferansiyel denklemin yaklaşık çözümü

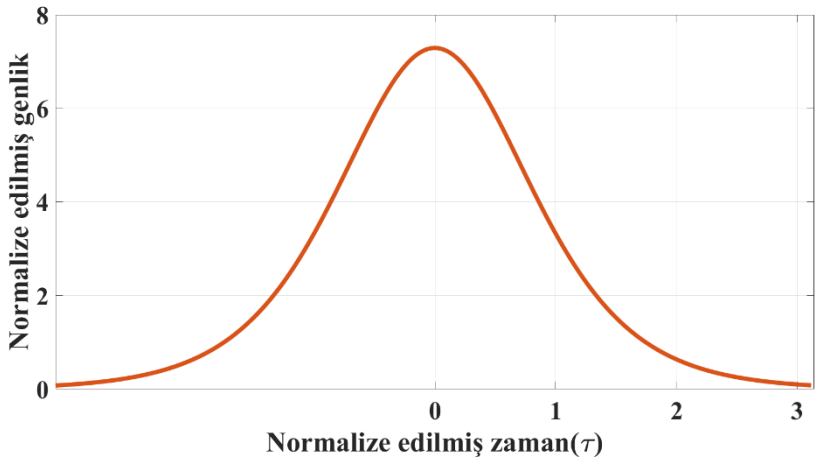
$$\sqrt{V(\tau)} = \frac{1}{2!}V(\tau) + \frac{1}{4!}\frac{d^2}{d\tau^2}V(\tau) \quad (2.23)$$

olarak elde edilir. Diferansiyel denklemin başlangıç koşulları

$$V(0) = V_0 \tag{2.24}$$

$$V'(0) = 0 \tag{2.25}$$

olarak ifade edilir. Denklem (2.23) sonsuza gittiğinde V_0 değerinin sıfır olarak bulunabileceği sonuç dikkate alındığında, denklem (2.23) için deneme yanılma yöntemleri kullanılmasıyla, Şekil 2.5'deki gibi normalize edilmiş dalganın V_0 değeri yaklaşık olarak 7.11 olarak bulunmuştur(Nikoo ve Hashemi, 2017b).



Şekil 2.5. Normalize edilmiş durumda $sech^2$ dalgası sonucu

Şekil 2.5'deki eğrinin denklemi $7.11sech^2(3.2t)$ olduğu görülmektedir. Bu çözüm denklem (2.18)'in sadece bir çözümü olan denklem (2.23)'ün bir sonucudur. Soliton dalgası yaklaşık çözümü için genel denklem

$$V(\tau) = Vsech^2(a\tau) \tag{2.26}$$

olarak ifade edilir(Nikoo ve Hashemi, 2017b). Bu denklemde a değeri zamanın optimum değeridir. Örneğin, Şekil 2.5'de optimum zaman değeri 3.2'dir.

Denklem (2.21) ve (2.23) denklemleri kullanımı ve genel soliton dalga denklemi (2.26)' nın kullanılmasıyla, soliton dalgası çözümü için doğrulama kriteri olarak kullanılan, karesel hata oranı:

$$e(V,a)=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}|\sqrt{V(\tau)}-\mathcal{D}V(\tau)|^2d\tau}{\int_{-\infty}^{\infty}|\sqrt{V(\tau)}+\mathcal{D}V(\tau)|^2d\tau} \tag{2.27}$$

olarak verilmiştir (Nikoo ve Hashemi, 2017b). Soliton dalgası genel formülü için gerekli olan zaman ve genlik değerlerinin optimum sonuçlarının bulunabilmesi için minimize edilen denklem çözümü

$$\frac{d}{da}e(V,a)=0,\quad \frac{d}{dV}e(V,a)=0 \tag{2.28}$$

olarak ifade edilmektedir. Denklemlerin çözümünden V=7,75 a=1,605 bulunur. Böylece denklem (2.19)'un denklem (2.26) için düzenlenmesiyle,

$$V(\tau)=7.75(\Delta\tau)^{-4}sech^2(\frac{1.605\tau}{\Delta\tau}) \tag{2.29}$$

olarak ifade edilmiştir (Nikoo ve Hashemi, 2017b).

n düğüm sayısının da eklenmesiyle en başta verilen denklem (2.4)'ün genel formdaki soliton denklemi

$$V(n,\tau)=7.75(\Delta\tau)^{-4}sech^2(\frac{1.605(\tau-n\Delta\tau)}{\Delta\tau}) \tag{2.30}$$

olarak elde edilir. Böylece denklem 2.4'ün Taylor serisi yaklaşımlarının kullanımı ve karesel hata oranı sayesinde hataların minimize edilmesiyle soliton denklemi

$$V(n,\tau) = asech^2(0.96\sqrt[4]{a}\tau - 1.605n) \tag{2.31}$$

olarak elde edilir. Başlangıç koşullarına dönüldüğünde, t zamanındaki ve NLTL'nin n. düğümündeki gerilim fonksiyonu

$$V(n,t) = Vsech^2\left[\frac{0.96t}{\sqrt{LC(V)}} - 1.605n\right] \tag{2.32}$$

olarak elde edilir (Nikoo ve Hashemi, 2017b). Bu denklem yayılan tek bir soliton dalgası için çözüm denklemidir. V(n,t); n'inci düğümdeki t zamanındaki gerilimi ifade eder. V değeri giriş gerilimi değeridir.

Şekil 2.2'de verilen soliton dalgası üretmek için kullanılan NLTL devresinde, devre yasalarından KCL ve KVL kullanılmıştır ve bu açılımlarda n = (0,1,2,3,…..) olarak alınmıştır. Bu denklemler vasıtasıyla hat üzerindeki herhangi bir düğüm noktasındaki anlık gerilim ve akım ifadeleri

$$V(n+1,t) = V(n,t) - L\frac{d}{dt}i(n,t) \tag{2.33}$$

$$i(n+1,t) = i(n,t) - \frac{C_{jo}}{\sqrt{1+V(n+1,t)/V_j}}\frac{d}{dt}V(n+1,t) \tag{2.34}$$

olarak ifade edilir.

Denklem 2.12'de zamanın normalize ifadesi verilmişti. Hat üzerindeki gerilim ve akım değerleri

$$y(n,\tau) = V(n,\tau)/V_j \tag{2.35}$$

$$i(n,\tau) = Z_0 I(n,\tau)/V_j \tag{2.36}$$

kullanılarak normalize edilmiştir. Burada y(n,τ) gerilim, i(n,τ) ise akım değerinin normalizesi olarak ifade edilmektedir. Burada,

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C_{jo}}} \tag{2.37}$$

olarak ifade edilen hat üzerinde başlangıçtaki empedans değeridir. Normalize formülere göre denklem (2.35), (2.36) yeniden düzenlendiğinde

$$y(n+1,\tau) = y(n,\tau) - \frac{d}{dt} i(n,\tau) \tag{2.38}$$

$$i(n+1,\tau) = i(n,\tau) - \frac{1}{\sqrt{1+y(n+1,\tau)}} \frac{d}{d\tau} y(n+1,\tau) \tag{2.39}$$

olarak elde edilir.

Sonlu farklar metodunun kullanılmasıyla iki farklı bilinmeyen için sınır koşulları

$$y(\tau) = a_i u(\tau) \tag{2.40}$$

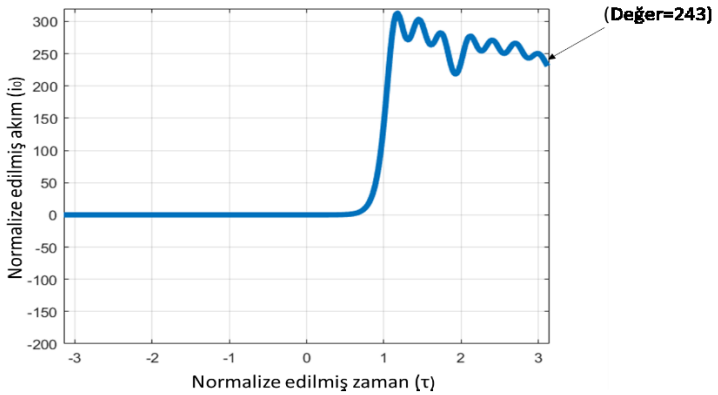
$$\lim_{N\to\infty} y(N,\tau) = 0 \tag{2.41}$$

olarak verilmiştir. Burada

$$a_i = V/V_j \tag{2.42}$$

olarak tanımlanmıştır. Denklem (2.42), denklem (2.35)'de de formülü verilen, gerilim kaynağı için normalize değerdir. Denklem (2.39)'a sonlu farklar metodunun uygulanmasıyla, N değerinin 25, ve a_i değerinin 1000 olarak alındığında çözüm için

optimum değerin bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu optimum değerlerin oluşturulduğu soliton dalgası Şekil 2.6'daki gibidir (Nikoo ve diğerleri, 2017a).



Şekil 2.6. N=25 ve a_i=1000 alındığındaki normalize edilmiş optimum dalga sonucu

Optimum değerlerin bulunduğu Şekil 2.6'daki dalganın formülü

$$i(0,\tau) = 243[1 - sinc(11.2\tau)] \tag{2.43}$$

olarak elde edilmiştir (Nikoo ve diğerleri, 2017a). Burada normalize zamanın 11.2 olduğu durumda normalize akımın 243 değerinde sabitlendiği gözlemlenmiştir.

Denklem (2.43)'deki normalize edilmiş akım sonuçları başlangıç durumuna döndürüldüğünde giriş akım değerinin formülü;

$$I(0,t) = \frac{1.37V}{\sqrt{L/C(V)}}\left[1 - sinc\left(\frac{2t}{LC(V)}\right)\right] \tag{2.44}$$

olarak elde edilir. Zaman ifadesi olan t sonsuza götürüldüğünde akımın kararlı hal cevabı

$$Iss = \frac{1.37V}{\sqrt{L/C(V)}} \tag{2.45}$$

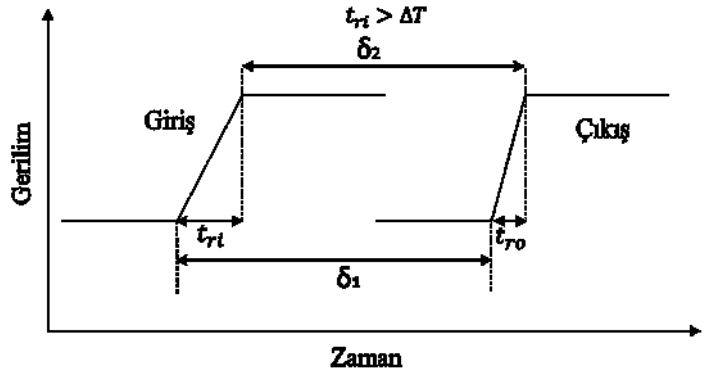
olarak verilmiştir. Gerilim ve akım değerleri arasındaki oran

$$Z_{NLTL}(V) = \frac{V}{Iss} \tag{2.46}$$

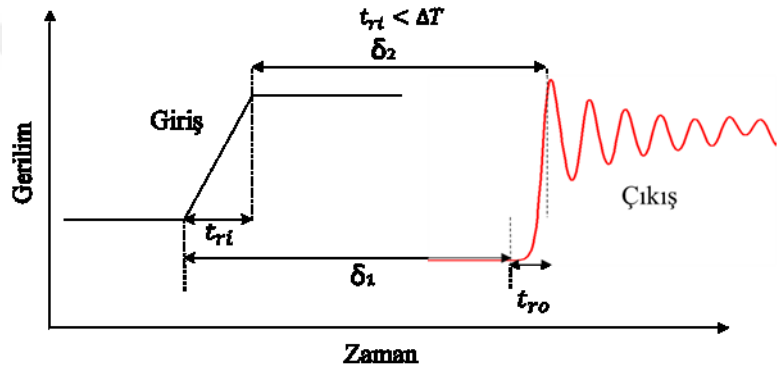
olarak ifade edilir. Denklem (2.46) yerine konulduğunda karekteristik empedans

$$Z_{NLTL}(V) = 0.73 \sqrt{\frac{L}{C(V)}} \tag{2.47}$$

olarak verilmiştir (Nikoo ve diğerleri, 2017a). Şekil 2.2'deki NLTL devresinin girişine bir kare dalga verilmesi durumunda, dalganın hat boyunca ilerleyerek farklı dalgalara evrilmesi şekil 2.7'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.7. NLTL devrelerinde a) darbe yükselme süresinin düşürülmesi b) soliton dalgası oluşumu

Darbe tepe noktası yükselen kenarı yakalar ve Şekil 2.7'de gösterildiği gibi darbe çok hızlı bir yükselme süresi ile keskinleştirilir. Bununla birlikte, çıkış darbesinin yükselme süresinin düşmesi, dielektrik malzemenin gevşeme özellikleri veya parçalı eleman iletim hattının dağılma özellikleri ile sınırlıdır (Yamasaki ve diğerleri, 2014). Eğer çıkış darbesi minimum yükselme süresine ulaşırsa, bölüm sayısından bağımsız olarak sabit bir yükselme süresi ile yayılır. Darbe yükselme süresindeki azalma

$$\Delta T = t_{ri} - t_{ro} = \delta_1 - \delta_2 = n(\sqrt{LC_{jo}} - \sqrt{LC(V)}) \qquad (2.48)$$

olarak verilmiştir(Yamasaki ve diğerleri, 2014). Burada t_{ri} ,giriş darbe yükselme süresini t_{ro} , çıkış darbe yükselme süresini n, NLTL'deki LC bölüm sayısı, δ_1 ve δ_2 sırasıyla giriş darbesinin yükselen kenarının ve tepe noktasının yayılma gecikme süreleridir.

Eğer $t_{ri}>\Delta T$ ise, darbe yükselme süresi (ΔT) giriş darbesinin yükselme süresine eşit veya daha büyük olamaz çünkü böyle bir durumda çıkış darbesinin eğiminin sonsuz bir diklikte olması durumu oluşur. Bu durumda giriş darbesindeki yükselme süresi çıkış darbesindeki yükselme süresindeki azalmayı sınırlar. Giriş darbesinin minimum yükselme süresi ise bize NLTL devresinin kesim frekansını vermektedir.

Eğer $t_{ri}<\Delta T$ ise, yayılan darbe, NLTL'nin LC bölümleri tarafından daha fazla keskinleştirilemediğinden, solitonlar olarak bilinen dar genişlikte yüksek frekanslı salınımlara bölünür.

2.5.3. Kesim Frekansı

NLTL devreleri, alçak geçiren filtre davranışı gösterirler ve bu devreler için kesim frekansı (bragg frekansı)

$$fc = \frac{1}{\pi\sqrt{LC(V)}} \tag{2.49}$$

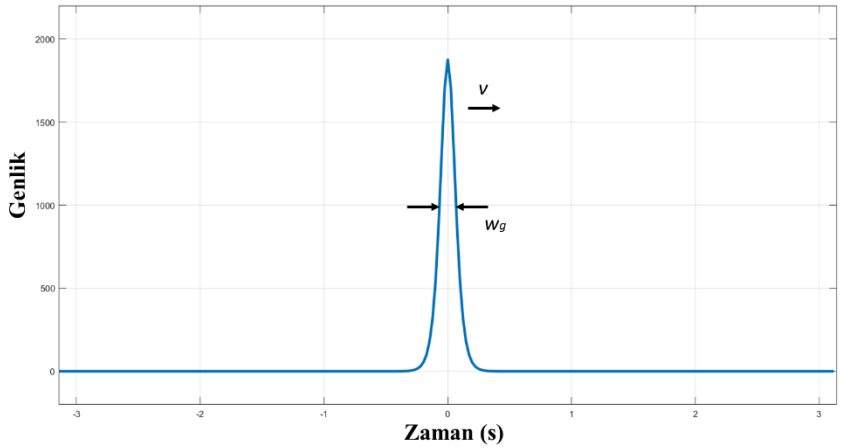
olarak ifade edilir.

2.5.4 Darbe Genişliği

NLTL ile üretilen soliton dalgasının darbe genişliği Şekil 2.8'de w_g ile gösterilmiştir. Soliton dalganın daha hızlı hareket etmesi için küçük olması istenmektedir. (2.4) ve (2.32) denklemlerinin birbirine eşitlenmesiyle soliton dalgasının darbe genişliği denklemi

$$w_g = 1.83\sqrt{LC(V)} \tag{2.50}$$

olarak elde edilir (Nikoo ve Hashemi, 2017b).



Şekil 2.8. Tek bir soliton dalgası gösterimi

2.5.5. Dalga Hızı

NLTL hattında oluşan dalga hızı

$$v = \sqrt{\frac{1}{LC(V)}} \tag{2.51}$$

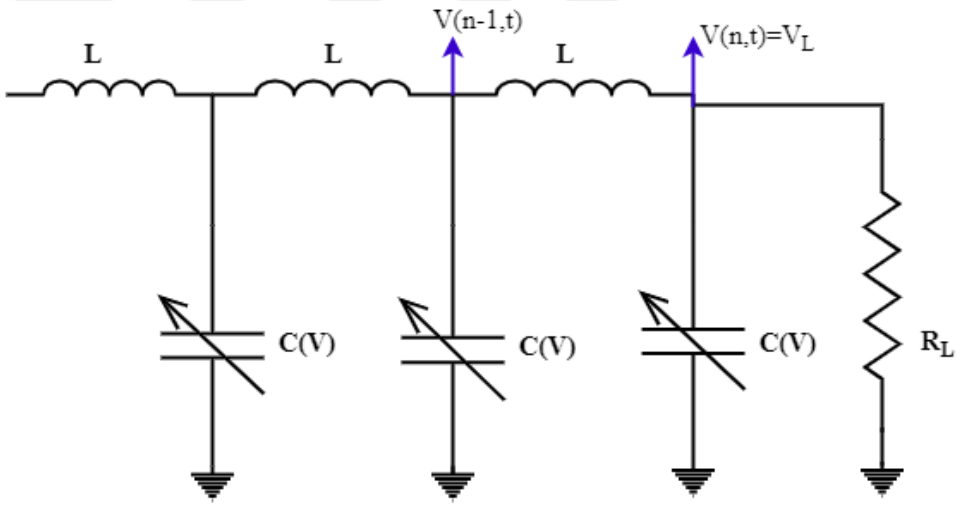
olarak tanımlanmaktadır. Burada L; indüktör, C(V) ise değişken kapasitör değeridir. C(V) değerini belirleyen faktör, denklem 2.3'den de görüldüğü gibi genlik değeridir. (2.3) ve (2.51) eşitlikleri analiz edildiğinde genlik değerinin artması soliton dalgasının hızını artırmaktadır. Sonuç olarak, ilerleyen, aynı özellikteki, farklı genlikli soliton dalgaları için, genliği büyük olan dalga daha hızlı hareket edecektir.

Soliton dalgaları için önemli özelliklerden biri ise; çarpıştıkları zaman herhangi bir değişime uğramamalarıdır. Dalganın hızları açısından düşündüğümüzde, farklı genlikli iki dalga için, genliği büyük olan dalga geriden gelse bile, belirli bir süre sonra genliği yani hızı küçük olan dalgaya yetişebilecek, sonrasında dalgaların çarpışması

gerçekleşecektir. Çarpışmaları sonucunda dalgalarda herhangi bir farklılık oluşmamaktadır. Bu durum soliton dalgalarını diğer dalga tiplerinden ayırır.

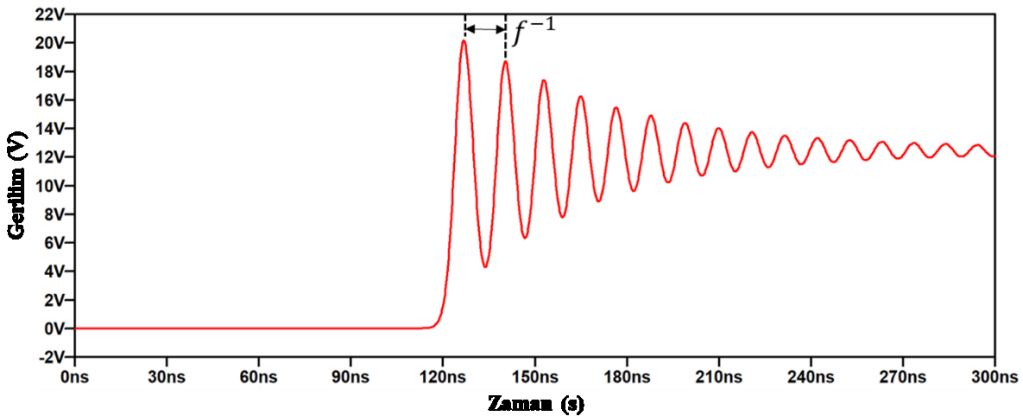
2.5.6. Merkez Frekansı

NLTL devreleri kullanımı ile soliton üretimi gerçekleştirmek için merkezi frekans değerinin bilinmesi analiz işlemlerinin verimliliği açısından faydalı olmaktadır. Merkezi frekans, oluşan çıkış soliton dalgalarının, ilk iki darbesi arasında oluşan zaman farkının tersi olarak ifade edilebilir (Nikoo ve diğerleri, 2018a). NLTL hattındaki her bir düğümdeki merkezi frekansın bulunabilmesi için sonlu farklar metodu kullanılmıştır. Bu metodların kullanımı ile, NLTL devrelerindeki merkezi frekansın, hem kayıplı ve hem de kayıpsız analizleri için denklemler oluşturulmuştur. Bu denklemler uluşturulurken kullanılan devre Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. NLTL'deki yük dirençli devrenin bir bölümü

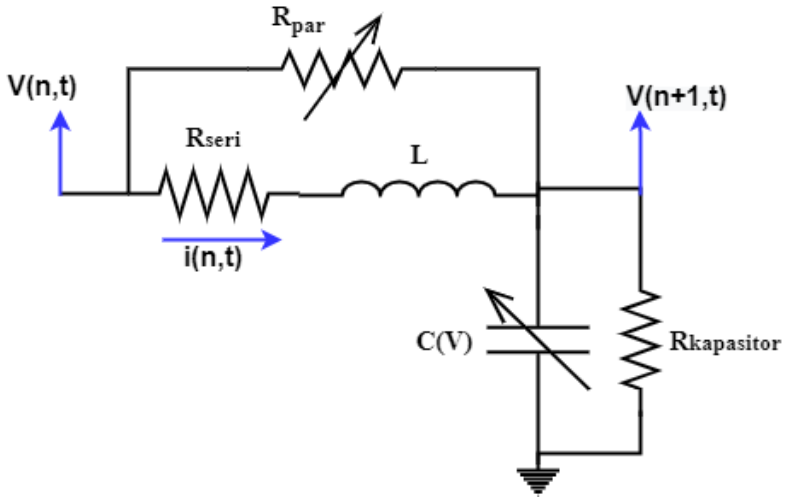
Sonlu farklar yöntemi kullanılarak elde edilen merkezi frekansın soliton dalgası üzerindeki gösterimi Şekil 2.10'daki gibidir.



Şekil 2.10. NLTL'de oluşan soliton dalgasının merkezi frekans gösterimi

2.5.7. Kayıplı NLTL Teorisi

Soliton dalgası üretmek için kullanılan kayıplı iletim hatlarının eşdeğer devresi Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Kayıplı NLTL için kullanılan devrenin bir bölümü

Burada, indüktördeki seri direnç kayıpları; R_{seri}, kapasitördeki paralel direnç kayıpları; $R_{kapasitör}$, indüktöre paralel olarak frekans bağımlı direnç çekirdek kayıpları; R_{par} , olarak gösterilmiştir.

Yansımalar da göz önüne alındığında yük direnci için bulunan optimum değer formülü sonlu farklar metodundan yararlanıldığında

$$R_L = 0.68 Z_{NLTL}(V) \tag{2.52}$$

olarak verilmektedir (Nikoo ve diğerleri, 2018a). Denklem 2.52'deki bulunan sonuç, yansımaları minimuma indirecek optimum yük direnci değerini göstermektedir. Şekil 2.2'de verilen NLTL devresine uygulanacak giriş işareti için

$$V(t) = Vu(t) \tag{2.53}$$

$$u(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \tag{2.54}$$

olarak alınmıştır. NLTL devresi için ilk düğümdeki gerilim değeri

$$A_i = \frac{Z_{NLTL}(V)}{Z_{NLTL}(V) + R_s} V \tag{2.55}$$

olarak verilmiştir. Kayıplı hatlar için oluşturulan devrede, kararlı hal denge durumundaki belirtilen düğümdeki gerilim ifadesi

$$A_{SS} = \frac{Z_{NLTL}(A_i) || (\frac{1}{nR_{kapasitör}})}{Z_{NLTL}(A_i) || (\frac{1}{nR_{kapasitör}}) + nR_{seri}} A_i \tag{2.56}$$

olarak düzenlenmiştir. Bu denklemde n değeri düğüm sayısını ifade etmektedir. Denklem (2.57)'deki merkezi frekansın bulunması için, devre yaklaşımları formüllerinden yararlanılmıştır. Kullanılan bu formüllerin analiz edilmesi ile kayıplı devreler için merkezi frekans formülü çıkarımı yapılmıştır. Şekil 2.2'deki soliton dalgası üretimi için kullanılan hatta, kayıplı NLTL için, yükte oluşturulan dalgada, merkezi frekans

$$f = \frac{R_L + 0.33 Z_{NLTL}(A_{SS})}{0.89 R_L + 0.49 Z_{NLTL}(A_{SS})} \left[\left(0.263 + \frac{R_{par}}{2150 Z_{NLTL}(A_i)} \right) \frac{1}{\sqrt{LC(A_i)}} \right] \tag{2.57}$$

olarak elde edilmiştir(Nikoo ve diğerleri, 2018a).

2.5.8. Kayıpsız NLTL Teorisi

Kayıpsız NLTL hattı için Şekil 2.7'deki devre ele alınmıştır ve yük direnci üzerindeki soliton dalgası analiz edilirken, kapasitör ve indüktörden gelen direnç kayıpları ihmal edilmektedir. Kayıplı devre hattı için kullanılan; (2.53), (2.54), (2.55), (2.56) formülleri kayıpsız olan devreler için de kullanılmıştır. (2.56)'daki denklemde kayıplar dikkate alınmıştı. Eğer kayıplar dikkate ihmal edildiğinde (2.56) denklemi

$$A_{ss} = A_i \tag{2.58}$$

olarak elde edilir. Kayıpsız durumda; sonlu farklar metodunun kullanımı ile Şekil 2.7'deki yük direnci üzerinde oluşan soliton dalgası için merkezi frekans,

$$f = \frac{R_L + 0.33Z_{NLTL}(A_i)}{0.89R_L + 0.49Z_{NLTL}(A_i)}\left[\left(\frac{0.34}{1+\sqrt{n/220}}\right)\frac{1}{\sqrt{LC(A_i)}}\right] \tag{2.59}$$

olarak elde edilmiştir (Nikoo ve diğerleri, 2018a).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Optimizasyon

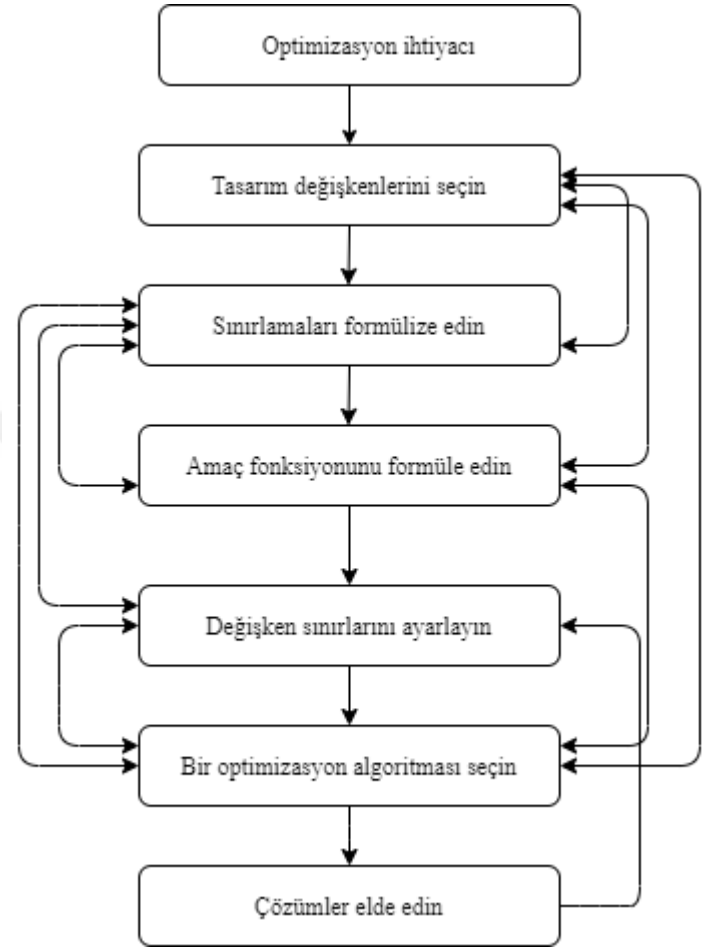
Mühendislikte, oluşturulan modelin tasarımında veya endüstriyel bir tesisin işletimindeki tipik problemlerin çözümünün birçok yöntemi vardır. Örneğin; verimli nicel yöntemlerde kullanılabilen bir durumdur ki bu durum tüm veri havuzu arasından en iyisini seçmekle ilgilenen optimizasyon çözümüdür. Tipik bir mühendislik problemi şu şekilde ortaya konabilir; bir süreç içinde gelişen, bazı matematiksel denklemlerle veya deneysel verilerle temsil edilebilir.

Optimizasyon, latince optimus teriminden türetilmiştir, ve en iyi anlamına gelir. Optimizasyonun amacı, süreçteki en iyi performans değerini veren değişkenlerin değerlerini bulmaktır. Optimizasyon, kısıtlamalar oluşturarak, fonksiyonların minimum ve maksimum değerlerinin bulunmasıyla ilgilenen matematiksel bir disiplindir.

Optimizasyon modelleri, bir problemi çözmedeki amacını matematiksel terimlerle ifade etmeye çalışır ve bu durum için en verimli yöntemi bulabilir. Bu, kârı en üst düzeye çıkarmak, zararı en aza indirmek, verimliliği en üst düzeye çıkarmak veya riski en aza indirmek için bir iş yürütmek anlamına gelebilir. Örnek olarak; ağırlığı en aza indirmek veya gücü en üst düzeye çıkarmak için bir robot tasarlamak anlamına gelebilir. Zamanı veya yakıt kullanımını en aza indirmek için bir otonom araçdaki yol planı seçmek anlamına gelebilir. Bir denklemdeki parametreleri, denklemin istenen sonucunun minimum veya maksimum olmasını öngörerek, en uygun değerleri seçmek anlamına gelebilir.

Bu tezde üretilecek soliton dalgasının merkezi frekansını önceden belirlemek önemlidir. Optimizasyon kullanılması ile istenilen merkezi frekans değeri ve bu değerin oluşturulmasında kullanılan eleman değerleri belirlenebilmiş. Böylece bu durum maliyet ve zaman açısından avantaj sağlayabilmiştir.

Gerçekleştirilen optimizasyon algoritması ile ilgili genel akış diyagramı Şekil 3.1'deki gibi açıklanmıştır (Deb, 2012).



Şekil 3.1. Optimizasyon tasarım yöntemleri için blok diyagramı

Araştırmacılar tarafından kullanılan birçok optimizasyon modeli mevcuttur. En çok kullanılan üç optimizasyon modeli aşağıdaki başlıklar altında açıklanacaktır.

3.1.1. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar (GA)'lar, bireylerin genlerini bir sonraki nesle aktarma olasılıklarının daha yüksek olduğu biyolojik evrimden ilham alır (Kochenderfer ve Wheeler, 2019). Bir bireyin üremeye uygunluğu, o noktadaki amaç fonksiyonunun değeri

ile ters orantılıdır. Bir bireyle ilişkili tasarım noktası, bir kromozom olarak temsil edilir. Her nesilde, uygun bireylerin kromozomları, genetik çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden geçtikten sonra bir sonraki nesle aktarılır.

GA'lar, doğal genetik ve doğal seçilim mekaniğine dayalı bilgisayar tabanlı arama ve optimizasyon algoritmalarıdır (Deb, 2012). GA, en uygun olanın hayatta kalmasına dayanır. Maksimizasyon problemlerini çözmek için doğal olarak uygundur. Minimizasyon, uygun maksimizasyona dönüştürülür. Uygunluk işlevi, dizenin iyiliğinin bir ölçüsüdür. Hedef, tüm dizilerin genel uygunluk fonksiyonlarını artırmaya devam etmektir. Genetik operatörler, ardışık yinelemelerde uygunluk fonksiyonunun artmaya devam etmesi için ikili dizileri manipüle etme görevini yerine getirir. Bir popülasyonun iyi dizilerini seçer. Çiftleşme havuzu oluşturur. Mevcut popülasyondan ortalama alınır. Seçilmiş dizilerin birden çok kopyası olasılıklı bir şekilde eşleşme havuzuna yerleştirilir. Bu aşamada yeni diziler oluşturulmaz. Rulet - Çark veya Stokastik kalan seçim yöntemleri kullanır.

GA'ların dezavantajı, stokastik yani rastlantısal optimizasyon algoritmaları oldukları için sağladıkları çözümün optimalliğinin garanti edilememesidir. Diğer önemli dezavantajı ise çalışma sürelerinin uzun olmasıdır(Kazarlis ve diğerleri,1996).

3.1.2. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)

DG algoritması; Storn ve Price tarafından 1996 yılında bulunmuştur (Storn ve Price, 1997). Bu algoritma genetik algoritmalardaki gibi mutasyon, popülasyon, ve seçim bölümlerini kullanır (Karaboğa ve Ökdem, 2004). Bu iki algoritma arasındaki temel fark; genetik algoritmanın çaprazlama işlemine başvururken, DGA'nın mutasyon işlemine başvurmasıdır. Mutasyon işlemini arama yöntemi olarak kullanan bu algoritma, seçim işlemini, arama uzayındaki ilişkili bölümlere aramayı yönlendirmek için kullanır.

Çaprazlama operatörünün kullanımı ile deneme havuzunun oluşturulması sağlanır ki bunun için popülasyon elemanları kullanılır. Bu çaprazlama işlemi verimli bir şekilde kombine edilir ve en iyi çözüm sonucu araması gerçekleştirilmiş olur.

Algoritma, N büyüklüğünde bir popülasyonla çalışır. Algoritmanın yineleme aşamaları şu şekildedir. İki vektörün ağırlıklı farkını üçüncüye ekleyerek yeni vektör oluşturulur. Deneme vektörü elde etmek için ; yeni vektör, hedef vektörle birleştirilir. Eğer deneme vektörü daha üstünse, hedef vektörü deneme vektörü ile değiştirilir. Algoritmanın genel mantığı bu kombinasyon üzerine kurulmuş ve sonuçlandırılmıştır.

DGA'ların dezavantajları, çözüme kararsız olarak yakınsamaları ve yerel optimum noktalarına takılmalarıdır (Storn ve Price, 1997).

3.1.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiştir (Kennedy ve Eberhart, 1995). Parçacık sürüsü kavramı, basitleştirilmiş bir sosyal sistemin simülasyonu olarak ortaya çıkmıştır. Orijinal amaç, bir kuş sürüsünün önceden tahmin edilemeyen toplanma mantığını grafiksel olarak simüle etmektir. Algoritmanın ilerlemesinin bir noktasında, kavramsal modelin aslında bir optimize edici olduğu anlaşılmıştır. Bir deneme yanılma yöntemi boyunca, optimizasyona farklı bir dizi parametre algoritmadan elenmiş ve bu sayede çok basit orijinal uygulama sonuçları alınmıştır.

PSO algoritmasında; her parçacık, o zamana kadar elde ettiği en iyi çözüm ile ilişkili olan problem uzayındaki koordinatlarını oluşturur. Bu değere pbest denir. Parçacık sürüsü optimize edilmesinde, global versiyonu tarafından izlenen bir başka en iyi değer ise, popülasyondaki herhangi bir parçacık tarafından o zamana kadar elde edilen genel en iyi değer ve konumudur. Bu konuma gbest denir . Parçacık sürüsü optimizasyonu kavramı, her bir zaman adımında, her parçacığın pbest ve gbest konumlarının hız değişimi gözlemlenir. Hız değişimi, pbest ve gbest konumlarına doğru hızlanma için ayrı rastgele sayılar oluşturularak rastgele bir terimle ağırlıklandırılır.

PSO'nun hız değerlerindeki global sürümünün uygulanması için orijinal süreç aşağıdaki adımlardan gerçekleşir:

- Problem uzayında d boyutlarında rastgele konumlara ve hızlara sahip bir parçacık popülasyonu başlatılır.
- Her parçacık için, d değişkeninde, istenen optimizasyon uygunluk fonksiyonu test edilir.
- Parçacığın istenen uygunluk değerlendirmesi sonucunu parçacığın pbest değeriyle karşılaştırılır. Karşılaştırılan bu değer pbest'ten daha iyiyse, pbest değerini mevcut değer olarak ayarlanır ve pbest konumu ise, d boyutlu veri havuzundaki mevcut konuma eşit olarak ayarlanır.
- Uyumlu test edilen değerleri, popülasyonun genel olarak önceki en iyileriyle karşılaştırılır. Mevcut olan bu değer, gbest'e göre daha iyiyse, gbest, mevcut olan bu parçacığın dizi indeksine ve değerine eşit duruma getirilir.
- Parçacığın hızı ve konumu aşağıdaki denklemlerine göre değiştirilir (Eberhart ve Shi, 2001).

$$v_{jd} = v_{jd} + c1 * rand()(p_{jd} - x_{jd}) + c2 * rand()(p_{gd} - x_{jd}) \quad (3.1)$$

$$x_{jd} = x_{jd} + v_{jd} \quad (3.2)$$

Parçacıkların her boyuttaki hızları (v_{jd}), maksimum hız olarak belirlenen Vmax'la ilişkilendirilir. Bu v_{jd} ve x_{jd} değerleri sırasıyla , d'ninci boyuttaki j'ninci tasarımın hızını ve konumunu göstermektedir. Eğer hızlanmaların toplamı, o boyuttaki bir hızın kullanıcı tarafından belirlenen bir parametre olan Vmax'ı aşmasına neden olacaksa, o boyuttaki hız Vmax ile sınırlandırılır. Burada p_{jd}, d'ninci boyuttaki j. tasarım değerini, p_{gd}, d'ninci boyuttaki küresel değeri, c1 ve c2 değerleri ise ivme sabitlerini göstermektedir.

Parçacıklar iyi çözümlerin yanından geçebilir ki bu Vmax'ın çok yüksek olmasına bağlanır. Dahası, Vmax çok küçükse, parçacıklar yerel olarak iyi bölgelere yaklaşmayabilir. Bu durumda, problem alanında daha iyi bir konuma ulaşmak için yeterince hareket edemeyerek optimum bir noktada sıkışabilir.

Denklem 3.1'deki ivme sabitleri c1 ve c2, her parçacığı pbest ve gbest konumlarına çeken ivme terimlerinin ağırlığını anlamına gelir. Parçacık sürüsü optimizasyonuyla ilgili ilk

çalışmalarda çoğunlukla deneme yanılma yöntemi kullanılmış, neredeyse tüm uygulamalar için c1 ve c2 ivme sabitlerini her biri 2.0'a eşit olarak ayarlamamız öngörülmüştür.

Yakın olan iki komşuluk boyutu için, örneğin; parçacık(j) uygunluk değerini parçacık (j-1) ve parçacık (j+1) ile karşılaştırır. Komşuluk versiyonu için, oluşturulan 5 adımda tanımlanan süreçteki tek değişiklik, denklem 3.1'de en iyi komşuluğun konumu olan p_{jd}'nin, p_{gd}'nin yani küresel en iyinin yerini almasıdır.

$$v_{jd} = w * v_{jd} + c1 * rand()(p_{jd} - x_{jd}) + c2 * rand()(p_{gd} - x_{jd}) \quad (3.3)$$

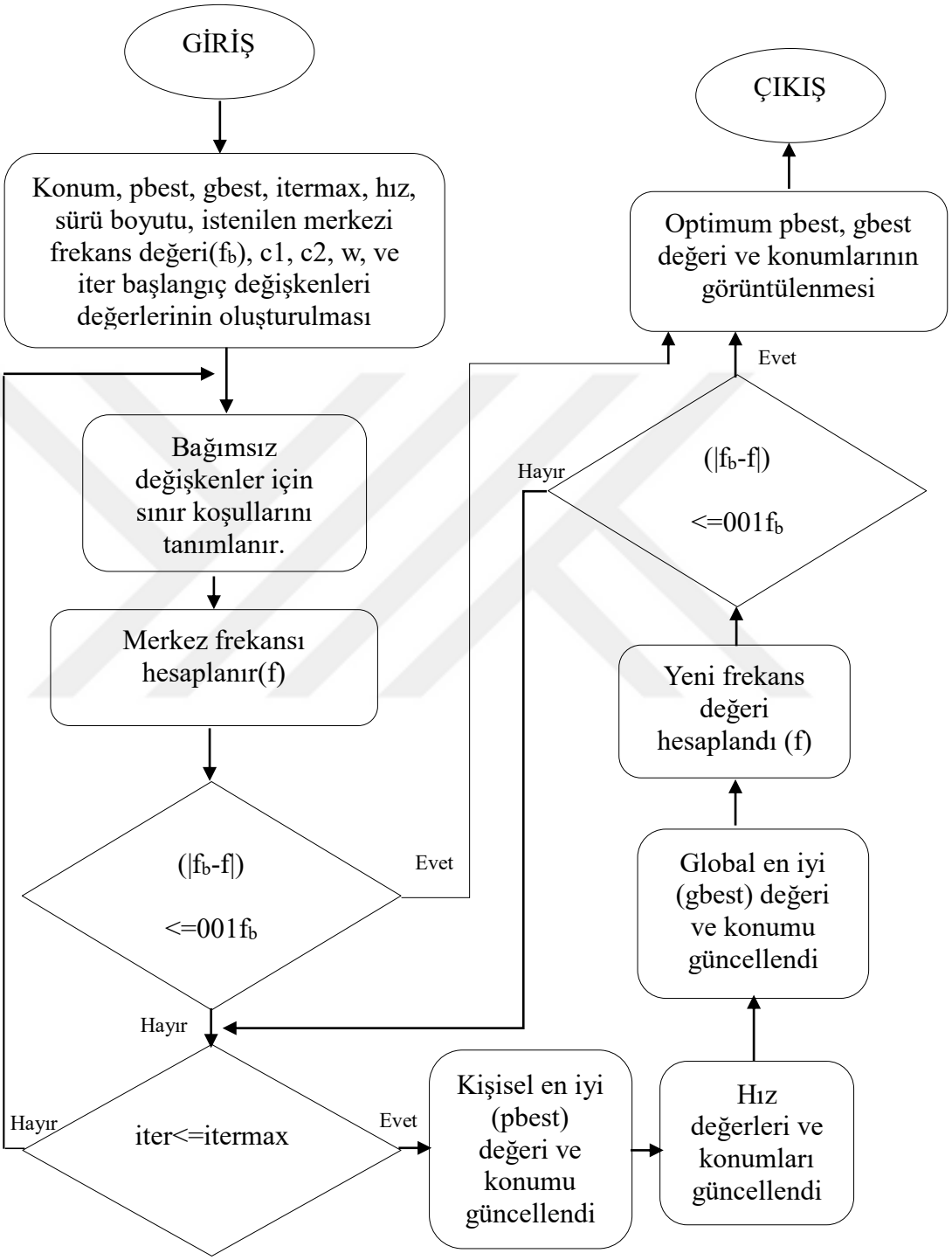
Denklem (3.2) ve (3.3), dahil edilen bir atalet ağırlığı ile hız ve konum güncelleme denklemlerini tanımlar. Denklem (3.3)'ün (3.1) numaralı denklemle benzer olduğu, farklı olan durumun ise atalet ağırlığı w'nin denklem (3.3)'teki v_{jd} değerine çarpan olarak eklenmesidir. Atalet ağırlığı w'nin kullanılması, bir dizi uygulamada geliştirilmiş performans sağlamıştır. Atalet ağırlığının uygun seçimi, küresel ve yerel kullanımlar arasında bir denge sağlar. Bu durumda optimal bir çözüm bulmada daha az yineleme anlamına gelmektedir.

Yukarıda belirtilen 3 farklı denklem olan; (3.1), (3.2), (3.3)'ün kullanımı ile değerler ve bu değerlerin sonucu olarak bulunan konumların, hızı ve yeri ile ilgili gerçekleştirilen durumlar açıklanmıştır.

3.1.3.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritmasının NLTL için Kullanımı

Bu çalışmada kullandığımız PSO algoritması, problem çözmedeki başarısı ve uygulama kolaylığı açısından tercih edilmiştir. NLTL devresinin teorik denklemleri 2. bölümde tanıtılmıştır. Merkezi frekans denklemi PSO algoritmasının uygulanacağı tanım denklemidir. Bu denklemdeki, indüktör değeri, NLTL düğüm sayısı, gerilim değeri, yük direnci değerleri optimize edilmiştir. Optimize edilen değerler uygun frekans değerinin bulunmasını sağlamaktadır. Her bir parametre için aralıklar belirlenmiş ve bu aralıklar

arasından rasgele seçilen değerler optimize edilmiştir. Bu sayede merkezi frekans değerini ve parametre değerlerini önceden belirlemek mümkün olmuştur.



Şekil 3.2. Soliton dalgası modellemesi için kullanılan PSO akış diyagramı

Bu tezde kayıpsız NLTL için oluşturulan PSO algoritmasının akış şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Aksoy ve Yenikaya, 2022). İlk olarak, Şekil 3.2'de; diyagramı gösterilen PSO algoritmasında doğrusal olmayan kapasitif diyot parametreleri, istenilen merkezi frekans değeri (f_b), kişisel en iyi (pbest), global en iyi (gbest), hız değeri, maksimum yineleme (itermax) değeri, optimizasyon için gerekli olan başlangıç değerlerleri olarak açıklanmıştır. PSO algoritmasında hız değerlerinin değişimi ve bu değerlerin konumu için kullanılan sabitler c1, c2, w değerleridir. Bu değerler optimizasyon için alınabilecek sonuçların verimli ve daha hızlı oluşturulabilmesi için algoritmayı katalize edebilir. İvme değerleri c1 ve c2 ikiye eşit olarak elde edilmiştir. Atalet sabiti w ise 0,6 olarak alınmıştır. Başlangıç hız değeri sıfır olarak belirlenmiştir. Döngüdeki maksimum iterasyon değeri (itermax) 1000 olarak belirlenmiştir. Başlangıçta çalışmak istenilen her bir merkezi frekans değeri (f_b) oluşturulmuştur. 10MHz ile 100MHz arasında sabit aralıklarda 10 farklı örnek alınmıştır. Bu farklı örneklerin her biri başlangıçta tanımlanan istenilen merkezi frekans değeri olarak ayrı ayrı belirtilmiştir.

Daha sonra; indüktör, giriş gerilimi, toplam devre elemanlarını ve çıkış yük direnci için değer aralıklarını ayrı ayrı ve rastgele belirleyerek ilk versiyon oluşturuldu. İndüktör değer (L) aralığı 0.1µH ve 100µH olarak belirlenmiştir. Başlangıç giriş gerilimi değer aralığı (V) belirlenmiş ve bu giriş gerilimi ve karakteristik empedans değerlerinden türetilen denklem 2.55'te de açıklanmış olan A_i gerilimi, 0.5V ile 25V değeri arasındadır. Hattın düğüm sayısı (n), 4 ile 40 arasında bir değer olacak şekilde kullanılmıştır. NLTL devresi sonundaki yük direnci (R_{Load}), 50Ω ile 1000Ω arasında seçilmiştir.

Bir sonraki aşamada denklem (2.59)'da gösterilen merkezi frekans için ilk değer hesaplanmıştır. Başlangıçta oluşturulan istenen merkezi frekans değeri ile hesaplanan merkezi frekans değeri arasındaki farkın minimum olması dikkate alınmıştır. Eğer minimum değeri sıfıra çok yakın bir değer olursa uygun parametre değerleri bulunmuş olacaktır ve bu değerlerin sonuçları gösterilecektir. Eğer bu değer sıfırdan farklı bir değer olursa, maksimum iterasyon değeri ile başlangıç iterasyon değeri karşılaştırılır. Eğer başlangıç iterasyon değeri maksimum iterasyon değerinden büyükse döngü tekrarlanır. Eğer küçükse, hesaplanan merkezi frekans değerlerinin güncellemelerini gerçekleştirmek için ilk önce pbest değeri daha sonra da gbest değeri bulunmuş ve sonrasında bu

değerlerin güncellemeleri gerçekleştirilmiştir. Hız değerlerinin değişimi sonrasında gbest değerlerinin güncellemesi ile merkezi frekans değeri hesaplaması tekrar gerçekleştiriliyor. Eğer gerçekleştirilen hesaplama sonucu ile istenilen merkezi frekans değeri arasındaki farkın minimumu, bu değer sıfıra yakın bir değer alırsa, hesaplanan frekans değerimiz, istenilen frekans değerimize yakın olacağı varsayıldığından, en uygun merkezi frekans değeri ve bu değer uygun parametre değeri bulunmuş olacaktır. Eğer farklıysa; iterasyon en son kaldığı noktaya geri döner ve aynı işlemleri tekrar devreye alır.

Şekil 3.2'de akış diyagramı verilen PSO algoritması için (10-100MHz) arasında 10 farklı istenilen frekans değerlerine en yakın sonuç verileri oluşturulmuş ve bu veriler çizelgelere kaydedilmiştir. Bu çizelgeler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.1. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 10MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	12,625	14,104	10,921	12,410
	13,342	29,976	13,065	5,9800
	9,345	25,661	17,093	6,7390
	10,739	23,995	09,191	5,6343
	10,871	15,068	21,163	10,914
	9,226	→ **10,008**	08,500	6,0395
	11,171	12,700	13,281	15,628
	10,326	15,456	13,494	8,0135
	8,442	17,353	07,304	6,0617
	1,214	16,440	29,752	5,9640
	8,205	21,163	11,496	6,2973
	10,360	15,997	16,352	9,2857
	→ **10,012**	21,994	12,843	11,252
	11,592	18,694	→ **10,005**	3,3152
	12,972	11,142	10,841	→ **10.003**

Çizelge 3.2. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 20MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	13,242	15,564	31,199	41,839
	9,2590	20,867	34,003	→ **20,004**
	9,6470	16,720	6,8272	16,084
	10,817	11,157	50,375	25,160
	12,972	10,829	6,6782	17,403
	11,556	14,150	3,8066	28,537
	10,338	21,762	→ **19,989**	24,317
	17,287	20,555	44,639	27,141
	→ **20,021**	25,570	49,743	39,338
	18,506	18,646	33,759	17,876
	19,446	→ **20,010**	68,631	13,978
	11,080	13,487	33,211	14,505
	15,278	13,184	37,983	21,108
	13,605	14,207	42,635	12,616
	21,103	10,780	34,883	32,613

Çizelge 3.3. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 30MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	65,173	45,343	37,295	37,197
	68,511	41,192	44,411	71,500
	44,947	48,039	48,266	44,511
	38,286	36,667	37,878	49,926
	48,533	53,008	32,829	42,922
	→ **29,967**	59,366	63,606	31,488
	49,875	62,502	58,527	67,767
	40,435	41,178	43,275	32,242
	85,046	40,472	31,829	53,091
	73,098	→ **30,009**	37,876	32,101
	31,235	60,126	31,235	66,476
	39,065	40,339	39,558	→ **30,031**
	51,853	40,786	30,332	40,876
	44,953	47,828	37,604	49,863
	48,360	36,661	→ **30,017**	48,251

Çizelge 3.4. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 40MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	59,927	41,548	41,906	52,088
	59,805	51,992	48,177	51,728
	35,474	58,099	23,581	→ **40,041**
	53,674	26,697	16,182	66,396
	61,669	43,006	→ **40,019**	55,937
	42,378	69,366	44,381	76,503
	→ **40,031**	62,606	22,047	72,306
	37,220	31,578	27,607	73,208
	41,126	→ **40,042**	38,213	37,100
	43,787	20,753	53,541	43,043
	34,388	70,526	32,522	65,186
	37,048	30,349	43,314	59,157
	35,660	60,746	25,813	39,377
	43,131	57,728	33,688	42,201
	41,142	26,461	41,311	59,132

Çizelge 3.5. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 50MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	49,535	69,425	39,611	44,828
	→ **50,045**	60,528	24,541	54,023
	47,992	87,784	52,748	34,558
	48,514	18,741	43,080	43,288
	35,397	35,745	29,231	41,543
	35,232	65,896	21,009	→ **50,010**
	42,226	72,452	62,312	54,923
	51,853	61,878	45,145	72,666
	36,039	26,078	69,547	61,236
	34,215	44,450	51,617	47,955
	36,660	56,250	33,593	65,344
	47,595	27,063	40,596	45,890
	37,919	17,925	→ **50,0491**	28,506
	53,534	→ **50,018**	44,012	41,688
	41,225	51,578	41,529	82,639

Çizelge 3.6. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 60MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	57,745	43,558	41,598	39,785
	81,157	→ **60,027**	42,781	35,758
	37,175	32,437	→ **60,040**	32,380
	79,191	44,409	33,105	36,845
	43,294	38,131	51,941	35,565
	57,028	35,459	38,549	46,378
	33,266	49,911	91,652	67,761
	→ **59,844**	69,057	34,035	→ **60,012**
	54,208	43,915	37,672	41,455
	55,073	29,959	38,753	36,407
	54,107	33,396	43,707	32,498
	36,466	53,991	37,164	34,579
	63,675	39,257	48,090	47,630
	50,953	29,439	73,571	34,935
	39,315	40,090	55,494	44,469

Çizelge 3.7. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 70MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	76,107	43,903	48,230	49,174
	68,691	→ **70,030**	41,565	59,171
	37,193	43,270	68,888	36,462
	38,091	63,968	43,547	32,699
	61,875	47,293	57,473	→ **70,035**
	38,449	28,008	56,990	27,636
	78,273	48,497	38,792	61,412
	→ **70,028**	62,576	39,787	47,143
	56,035	30,251	41,280	35,734
	56,033	47,565	42,347	47,157
	37,079	41,911	48,741	36,452
	72,750	35,443	62,881	79,377
	35,749	39,062	→ **70,019**	61,906
	46,667	54,943	47,716	51,417
	63,353	52,601	86,754	38,851

Çizelge 3.8. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 80MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	95,86	54,44	57,56	64,49
	48,55	→ **80,36**	75,61	48,24
	56,70	47,09	42,83	39,92
	→ **79,69**	56,58	→ **80,04**	71,29
	77,81	77,63	57,95	83,75
	54,70	53,12	101,97	84,48
	80,98	71,86	54,11	→ **80,01**
	50,50	39,52	62,08	102,72
	71,75	61,22	110,80	96,33
	65,42	49,59	57,39	89,75
	78,83	61,24	51,78	62,32
	51,76	49,82	61,79	88,21
	89,32	74,22	90,96	86,02
	66,52	91,77	92,81	71,50
	78,06	78,91	56,78	49,19

Çizelge 3.9. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 90MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	121,89	93,80	94,09	58,46
	100,36	102,15	113,63	47,44
	117,24	62,61	76,71	98,53
	73,78	106,94	77,66	84,90
	101,98	91,51	110,03	53,79
	→ **90,040**	→ **90,017**	76,80	101,32
	81,02	84,44	99,04	81,57
	101,53	84,00	98,09	97,15
	92,59	113,18	104,50	69,94
	108,26	85,50	→ **90,047**	85,97
	103,36	70,79	82,77	71,47
	80,99	84,43	90,43	77,72
	63,27	84,25	91,36	→ **90,048**
	75,09	100,13	78,48	93,81
	121,89	117,43	85,698	109,80

Çizelge 3.10. Şekil 3.2'deki akış diyagramı kullanılarak; 100MHz merkezi frekans değerindeki farklı tasarımlar için 15 farklı veri havuzu örneği

	Tasarım1	**Tasarım2**	**Tasarım3**	**Tasarım4**
Algoritma Sonucu oluşan merkezi frekans değeri (MHz)	80,55	86,52	125,62	118,24
	91,15	88,39	93,02	85,31
	81,36	84,54	83,80	128,24
	80,46	83,81	119,88	96,91
	86,41	69,83	67,99	124,27
	89,13	66,55	111,55	78,76
	102,06	83,83	90,46	125,33
	→ **100,07**	93,39	50,49	106,04
	93,32	119,35	86,18	70,04
	116,10	111,55	94,33	→ **100,067**
	71,55	95,97	91,99	111,64
	92,15	79,47	60,93	102,53
	93,03	83,63	→**100,045**	78,14
	109,89	→ **99,98**	79,39	93,40
	90,25	128,11	96,87	86,17

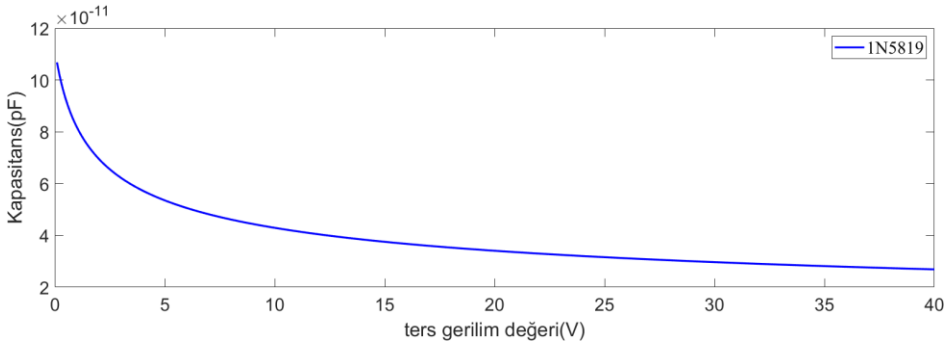
Çizelge (3.1) ile (3.10) arasında gösterilen tablolarda, 10MHz - 100MHz istenilen merkezi frekans değer aralığı için hesaplanan merkezi frekans değer havuzu gösterilmiştir. Çizelgelerdeki sonuçlar farklı 4 tasarım örneği için tekrarlanmıştır. Tasarım sonuçları arasından en uygun frekans değerleri işaretlenmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

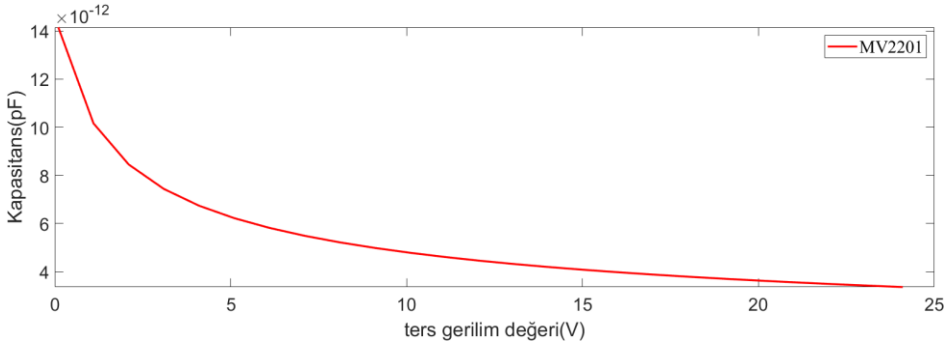
Bu tez çalışmasında soliton dalgası üretmek için teorik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu teorik çalışmalar için formüller tezin 2. bölümünde açıklanmıştır. Daha sonra 2. bölümde oluşturulan bu matematiksel formüller için parametre analizi yapılmış ve bu parametre analizlerinin istenen merkezi frekans değerinin optimize edilmesi ile sonuçlar alınmıştır. Optimizasyon için PSO kullanılmıştır. Optimizasyon sonucu alınan bu parametre sonuçları ve merkezi frekans değeri verileri 3. bölümdeki tablolarda gösterilmiştir.

Tablolarda belirtilen kapasitif diyot çeşitleri için denklem (2.3) kullanılarak, datasheet verileri ve SPICE programı üzerinden alınan sabit değer verilerinin yardımıyla MATLAB programı üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

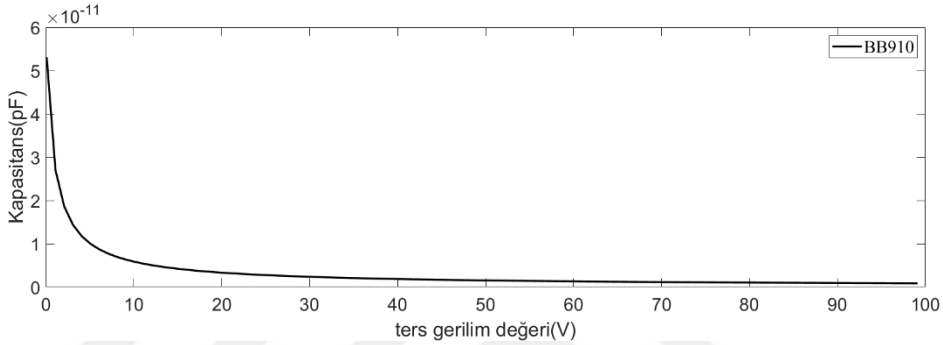
Gerçekleştirilen analizler sonucunda; denklem 2.3 yardımıyla, farklı kapasitif diyotlar için gerilime bağlı kapasitans eğrileri Şekil 4.1'deki gibi gösterilmiştir.



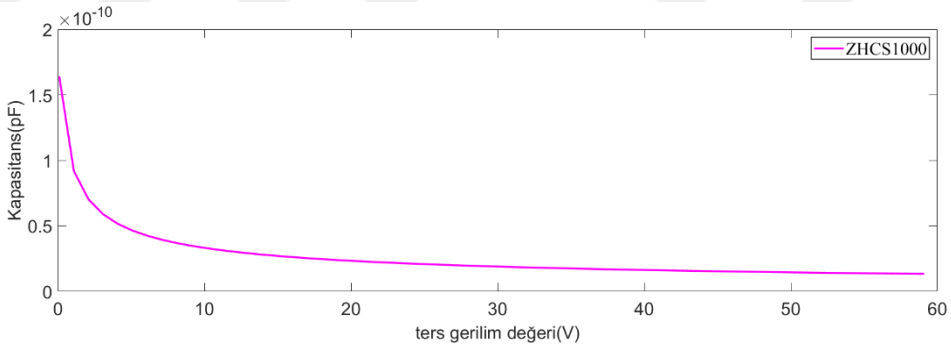
a)



b)



c)



d)

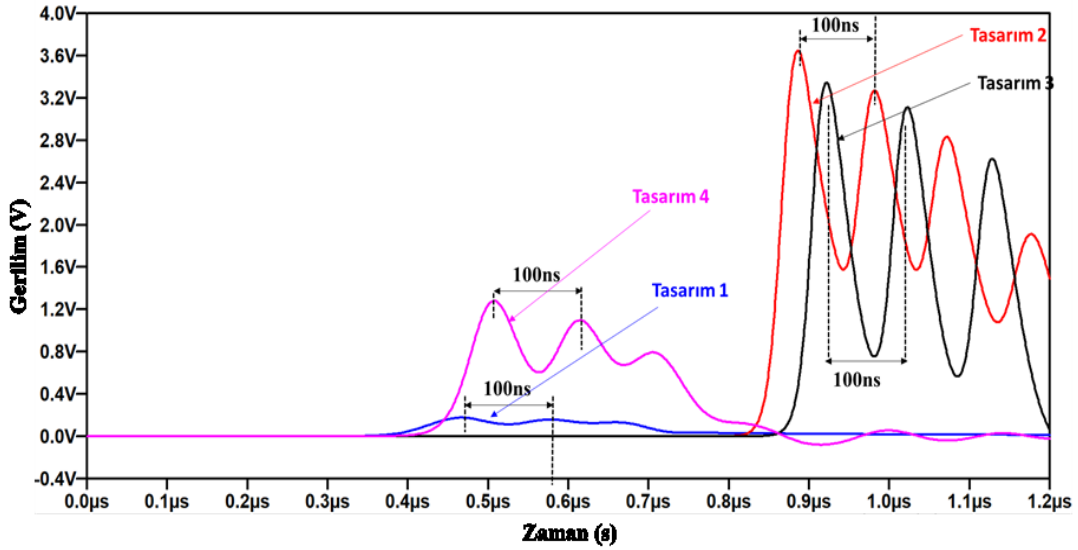
Şekil 4.1. Kapasitif diyot elemanları için gerilime bağlı kapasitans değeri değişim grafikleri a) 1N5819 schottky diyot eğrisi b) MV2201 varaktör diyot eğrisi c) BB910 varaktör diyot eğrisi d) ZHCS1000 schottky diyot eğrisi

Şekil 4.1'deki 4 farklı gerilime bağlı kapasitans değişim eğrileri NLTL devrelerinin 4 farklı tasarımı için kullanılmıştır. Bu 4 farklı NLTL tasarımı, bölüm 3'te de çizelgeleri verilmiş olan 10 farklı merkezi frekans değeri için simülasyon modellemesinin

oluşturulmasını sağlamıştır. 10-100MHz merkezi frekans değeri için oluşturulan parametre sonuçları tablolarda sırasıyla verilmiştir. Tablolardaki sonuçlara göre oluşturulan simülasyon modellemeleri sırasıyla şekillerde gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Çizelge 3.1'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	0.31	5,6	16	120	1N5819
Tasarım 2	**4,85**	**58,2**	**38**	**886**	**MV2201**
Tasarım 3	2,41	29,4	31	905	BB910
Tasarım 4	0,85	6,45	15	395	ZHCS1000



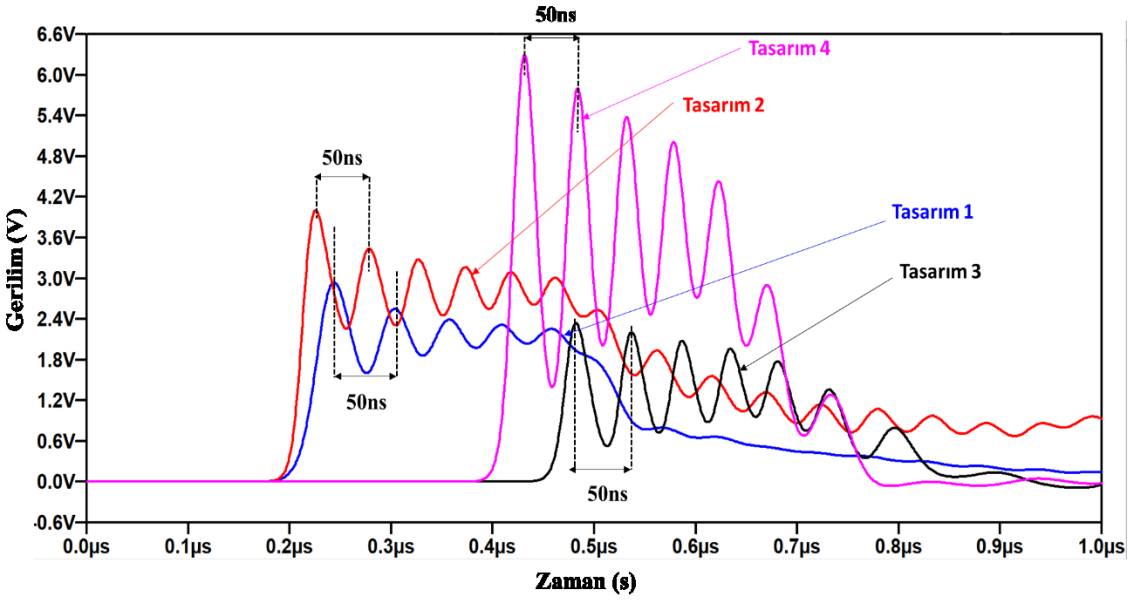
Şekil 4.2. Çizelge 4.1'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 10MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge (3.1)'deki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.2'deki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda 10MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 2***

seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.2. Çizelge 3.2'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	4	2,8	10	100	1N5819
Tasarım 2	6,64	22,9	15	496	MV2201
Tasarım 3	1,5	6,72	30	515	BB910
Tasarım 4	**2,95**	**2,7**	**25**	**650**	**ZHCS1000**



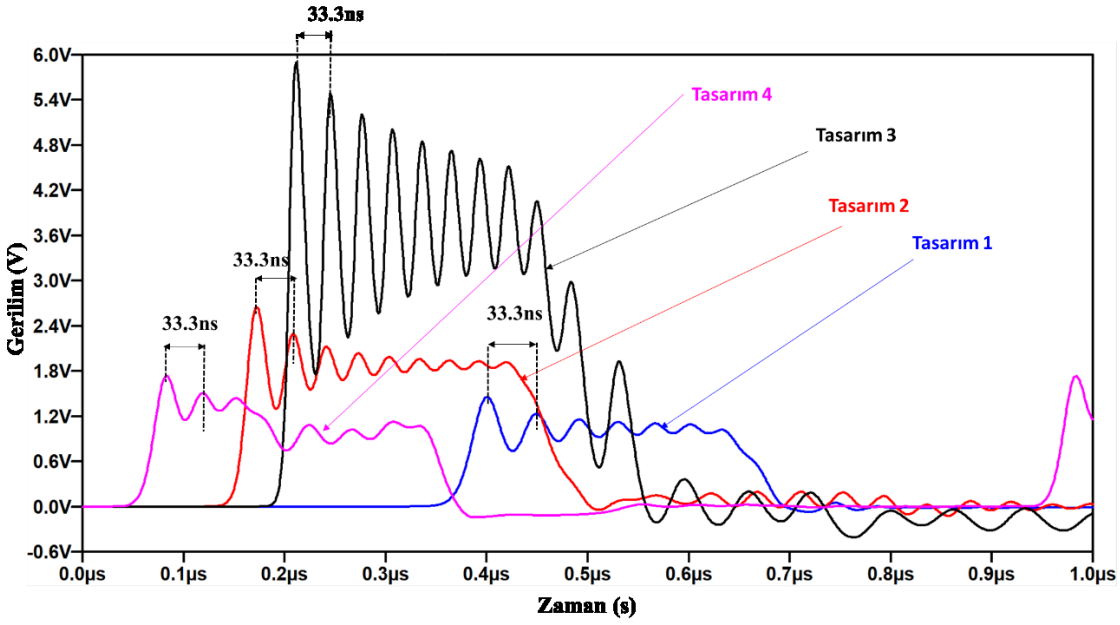
Şekil 4.3. Çizelge 4.2'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 20MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.2'deki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.3'deki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda 20MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı

tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 4*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.3. Çizelge 3.3'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	0,942	0,884	39	859	1N5819
Tasarım 2	2,13	8,4	16	776	MV2201
Tasarım 3	**3,81**	**5,75**	**17**	**605**	**BB910**
Tasarım 4	1,09	1,05	5	924	ZHCS1000



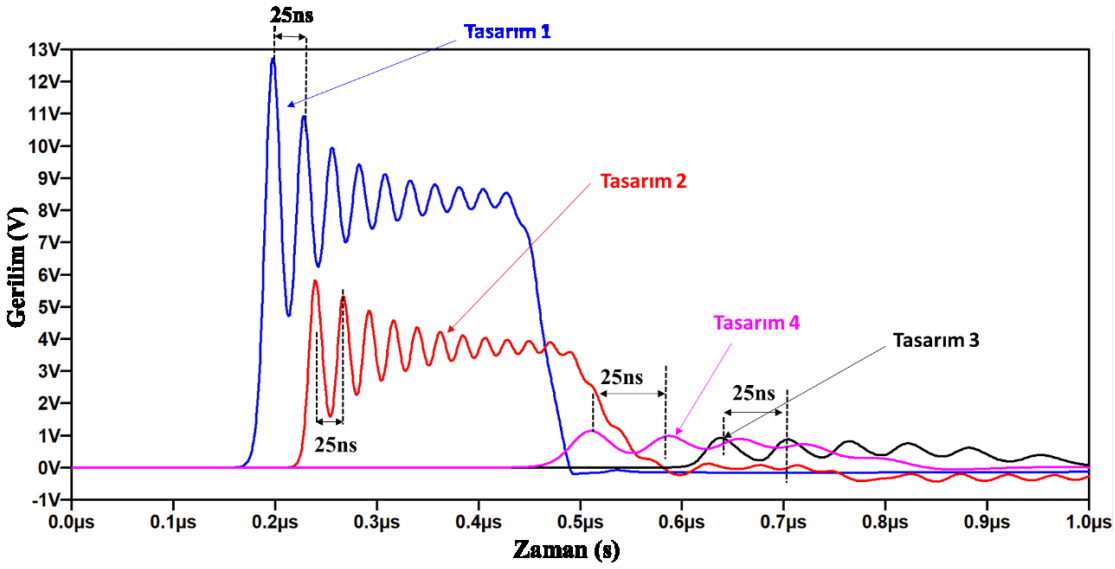
Şekil 4.4. Çizelge 4.3'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 30MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.3'deki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.3'de gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.4'deki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon

sonucunda 30MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 3*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.4. Çizelge 3.4'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	**6,87**	**0,893**	**22**	**588**	**1N5819**
Tasarım 2	3,47	5,2	32	975	MV2201
Tasarım 3	1,02	6,2	39	200	BB910
Tasarım 4	0,80	0,39	24	255	ZHCS1000



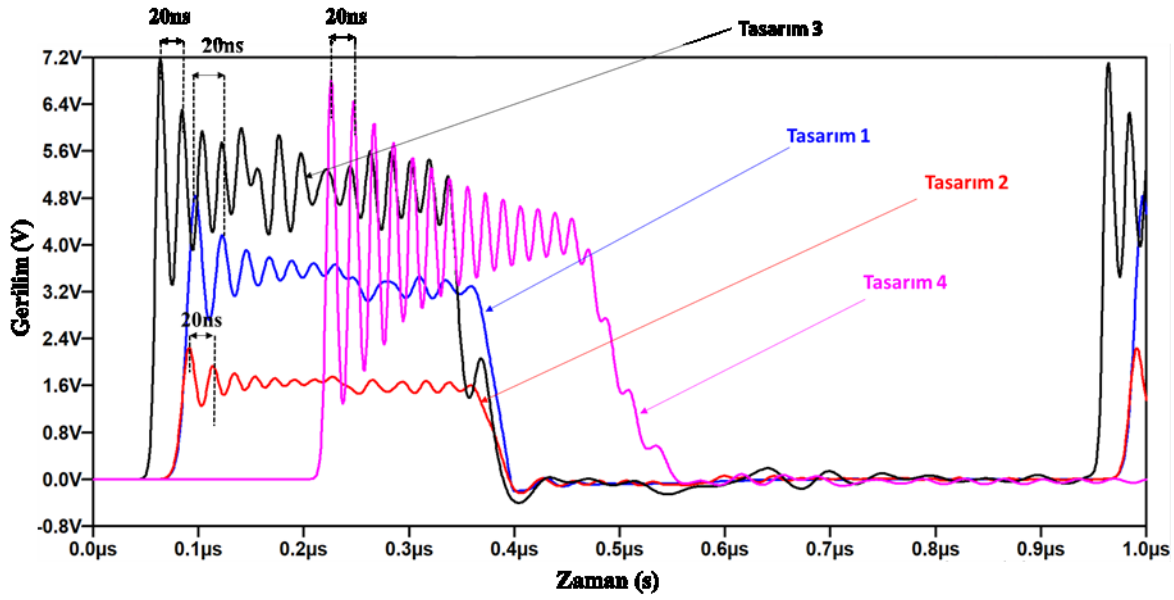
Şekil 4.5. Çizelge 4.4'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 40MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.4'deki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.4'de gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.5'deki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon

sonucunda 40MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 1*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.5. Çizelge 3.5'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	4,4	0,56	12	150	1N5819
Tasarım 2	1,71	3,15	13	589	MV2201
Tasarım 3	**5,58**	**3,0**	**7**	**402**	**BB910**
Tasarım 4	4,89	0,43	35	167	ZHCS1000



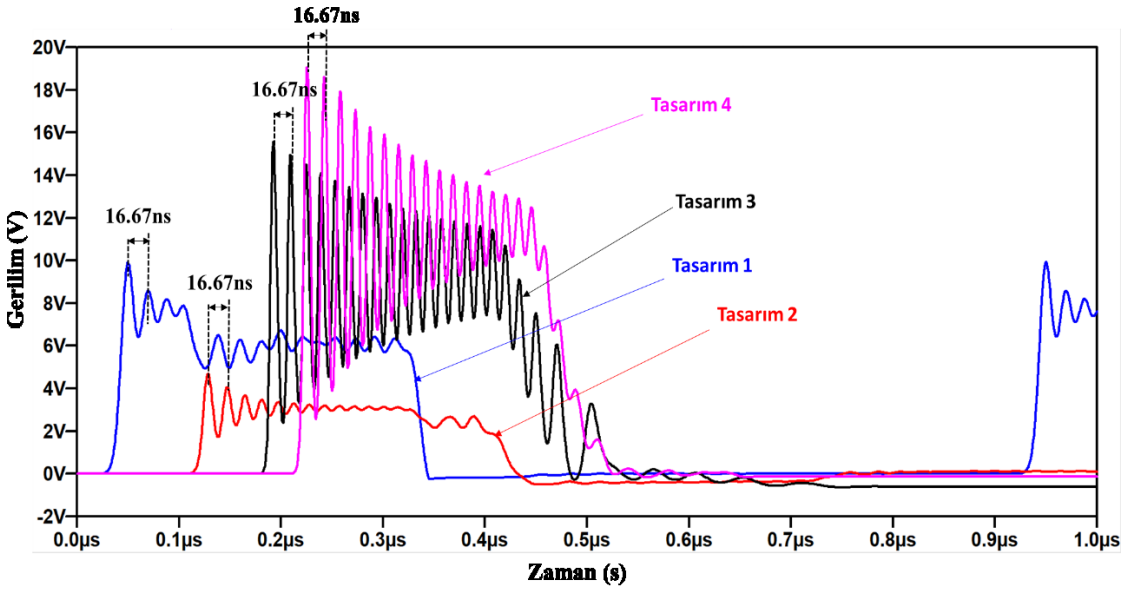
Şekil 4.6. Çizelge 4.5'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 50MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.5'deki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.5'de gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre

sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.6'deki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda 50MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 3*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.6. Çizelge 3.6'daki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	6,49	0,5	6	775	1N5819
Tasarım 2	2,67	2,35	24	795	MV2201
Tasarım 3	7,09	2,2	31	837	BB910
Tasarım 4	**9,07**	**0,432**	**40**	**800**	**ZHCS1000**



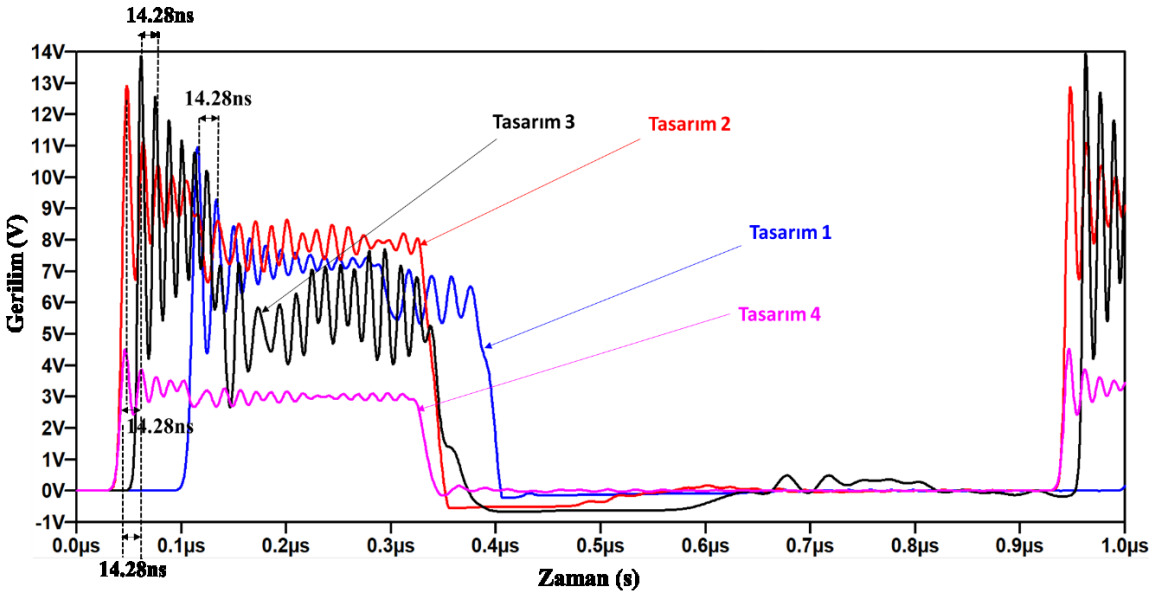
Şekil 4.7. Çizelge 4.6'daki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 60MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.6'daki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.6'da gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre

sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.7'deki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda 60MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 4*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.7. Çizelge 3.7'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	6,69	0,288	22	803	1N5819
Tasarım 2	8,32	3,2	8	942	MV2201
Tasarım 3	**6,07**	**1,9**	**9**	**972**	**BB910**
Tasarım 4	3,52	0,27	7	288	ZHCS1000

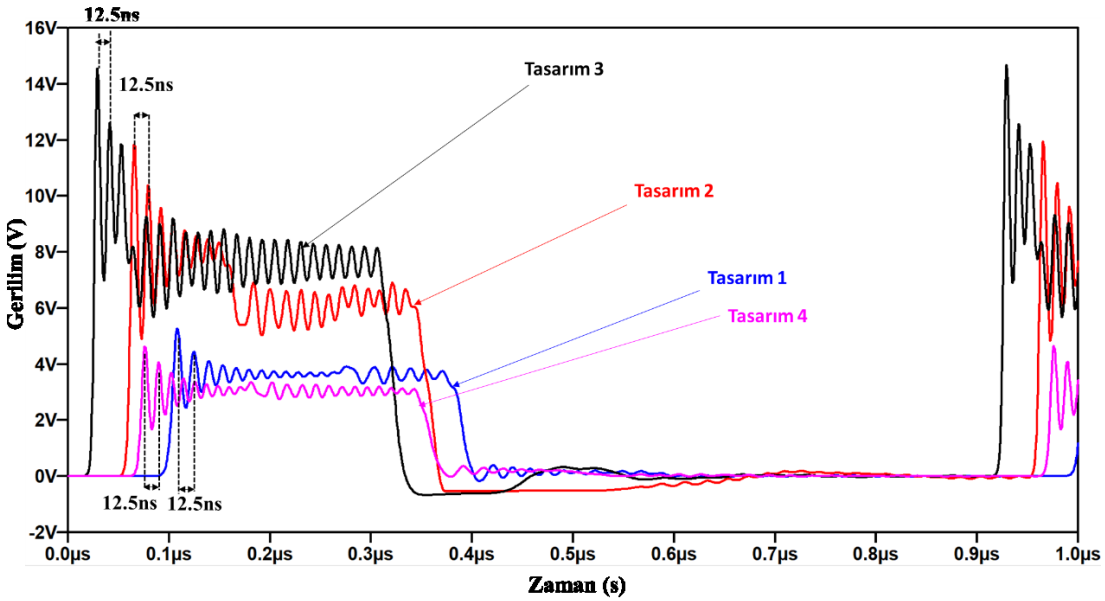


Şekil 4.8. Çizelge 4.7'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 70MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.7'deki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.7'de gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.8'deki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda 70MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 3*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.8. Çizelge 3.8'deki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	4,03	0,175	25	500	1N5819
Tasarım 2	6,57	2.1	14	959	MV2201
Tasarım 3	**8,22**	**1,9**	**4**	**676**	**BB910**
Tasarım 4	3,8	0,172	16	203	ZHCS1000

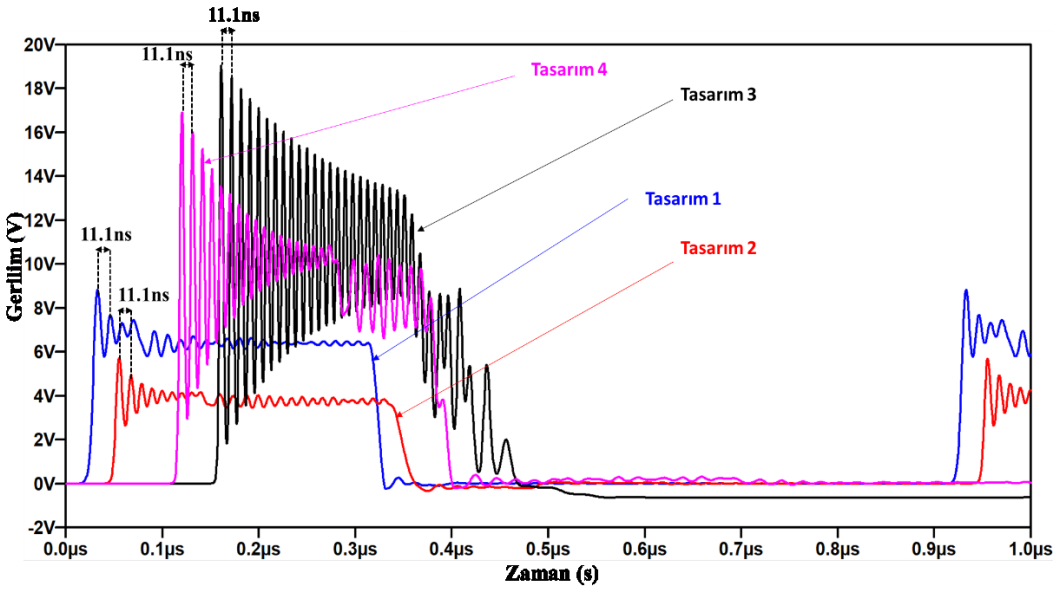


Şekil 4.9. Çizelge 4.8'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 80MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.8'deki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.8'de gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.9'daki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda 80MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 3*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.9. Çizelge 3.9'daki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	7,14	0,216	6	433	1N5819
Tasarım 2	4,18	1,29	14	432	MV2201
Tasarım 3	**7,2**	**0,92**	**40**	**963**	**BB910**
Tasarım 4	8,79	0,18	31	440	ZHCS1000

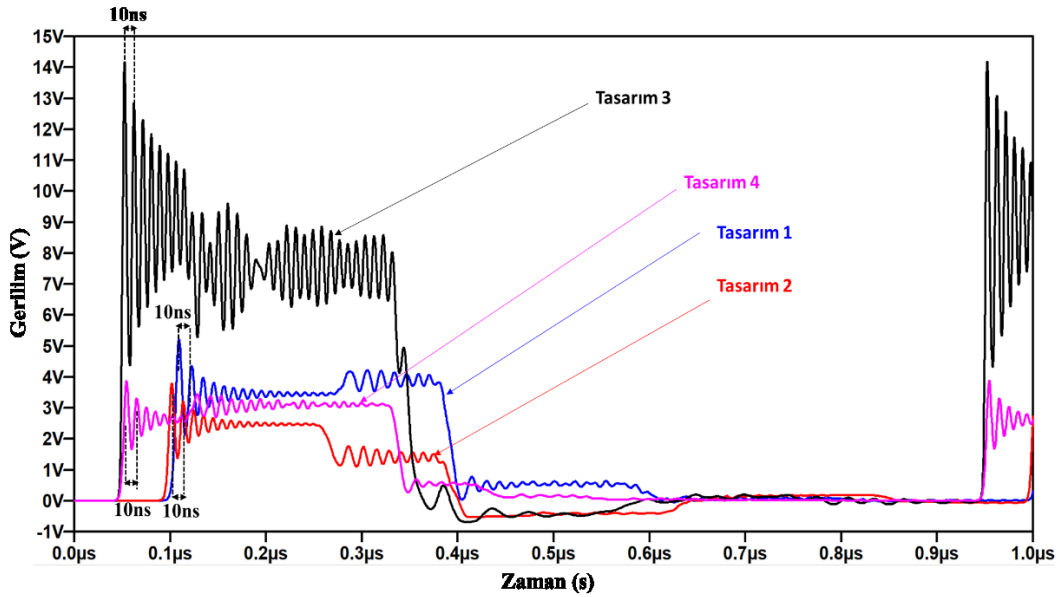


Şekil 4.10. Çizelge 4.9'daki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 90MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.9'daki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.9'da gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.10'daki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda 90MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 3*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Çizelge 4.10. Çizelge 3.10'daki PSO algoritmasına uygun olarak seçilen değerlerin parametre sonuçları

	Giriş Gerilim Değeri (V)	**İndüktör Değeri (µH)**	**NLTL Toplam Düğüm Sayısı**	**Yük Direnci Değeri (Ω)**	**Kapasitif diyot Türü**
Tasarım 1	4,4	0,10	34	505	1N5819
Tasarım 2	1,78	0,728	33	988	MV2201
Tasarım 3	**8,49**	**1,0**	**12**	**411**	**BB910**
Tasarım 4	3,3	0,1	14	840	ZHCS1000

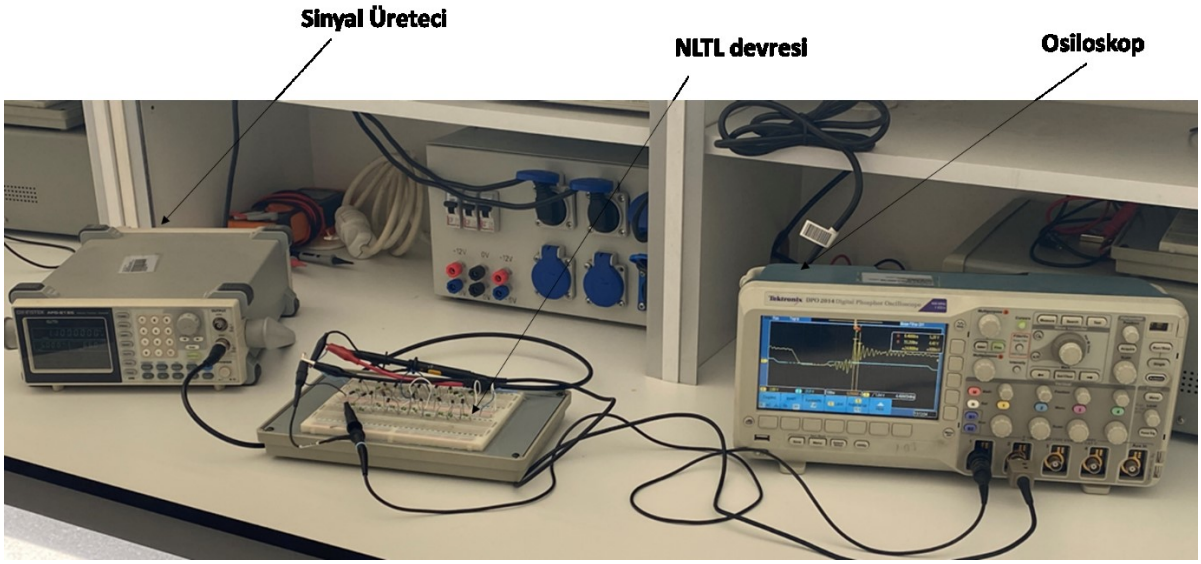


Şekil 4.11. Çizelge 4.10'daki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 100MHz frekans değeri için simülasyon sonucu

Çizelge 3.10'daki merkezi frekans sonuçları kullanılarak oluşturulan parametre sonuçları Çizelge 4.10'da gösterilmektedir. 4 farklı tasarım için ayrı ayrı oluşturulan parametre sonuçlarının kullanımı ile Şekil 4.11'deki simülasyon sonucu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda 100MHz merkezi frekans değerinde soliton dalgaları elde edilmiştir. 4 farklı tasarım için elde edilen merkezi frekans soliton dalgası sonuçları arasından ***tasarım 3*** seçilmiştir. Çalışmamız için bu tasarımın seçilmesinin sebebi tasarımdaki soliton dalgasının genliğinin büyük olmasıdır. Çünkü soliton dalgasının hızının genliğine bağlı olarak arttığını bildiğimiz için belirtilen tasarım seçilmiştir.

Farklı merkezi frekans değerleri için oluşturulan bu soliton dalgaları NLTL devrelerinin sonundaki yük direncinde gözlemlenir. Simülasyondaki yatay eksenler soliton dalgasının merkezi frekansının belirlenmesi için kullanılan zaman eksenidir ki bu merkezi frekans oluşumu dalganın ilk iki darbesi arasındaki zaman farkının tersi olarak tanımlanır. Dikey eksen ise modellenen soliton dalgasının gerilim büyüklüğüdür yani genliğidir.

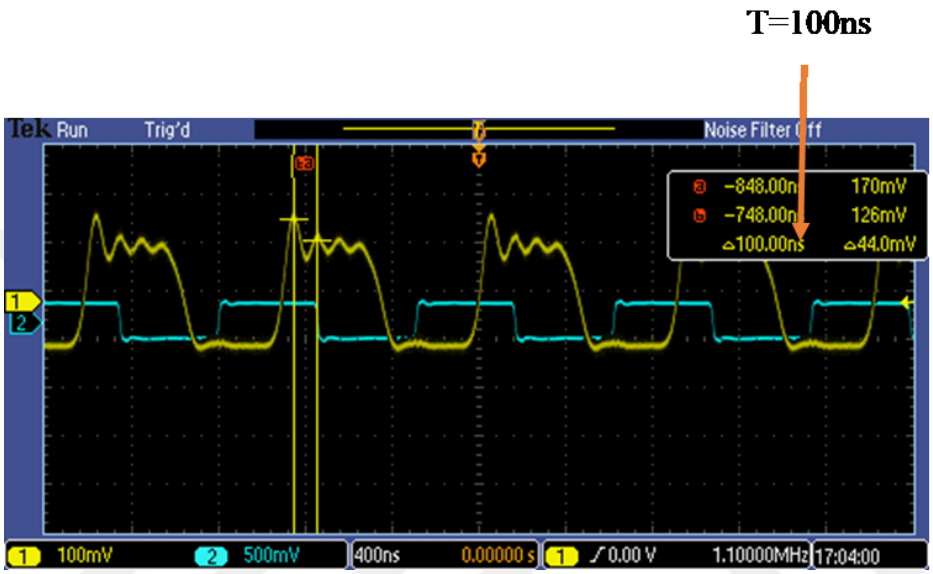
Simülasyon sonuçlarından 3 farklı örnek alınarak bunların deneyleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen deney düzeneği Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Soliton üretimi için kullanılan deney ortamı

Tez çalışması için yapılan deneylerde kullanılan elemanlar; Gw Instek AFG-2125 marka sinyal üreteci, Tektronix DPO2014 marka osiloskop ve NLTL devresidir.

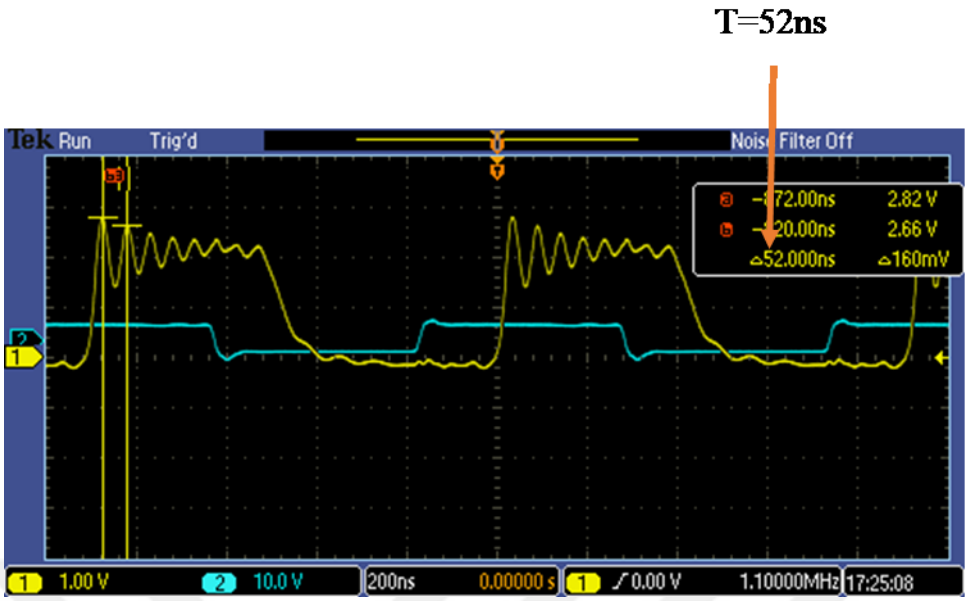
Farklı merkezi frekans değerleri için üretilen soliton dalgalarının ilk örneği Şekil (4.13)'de 10MHz için elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Çizelge 4.2'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 10MHz merkezi frekans değerindeki Tasarım 1 için deney sonucu

Tasarım 1 değeri için oluşturulan deney sonucuna göre, 1N5819 kapasitif diyot, girişte verilen 0,31V gerilim değeri(mavi sinyal), 5,6µH indüktör, 120Ω yük direnci değeri ve 16 düğüm sayısındaki çıkış soliton dalgası(sarı sinyal) Şekil 4.13'de verilmiştir.

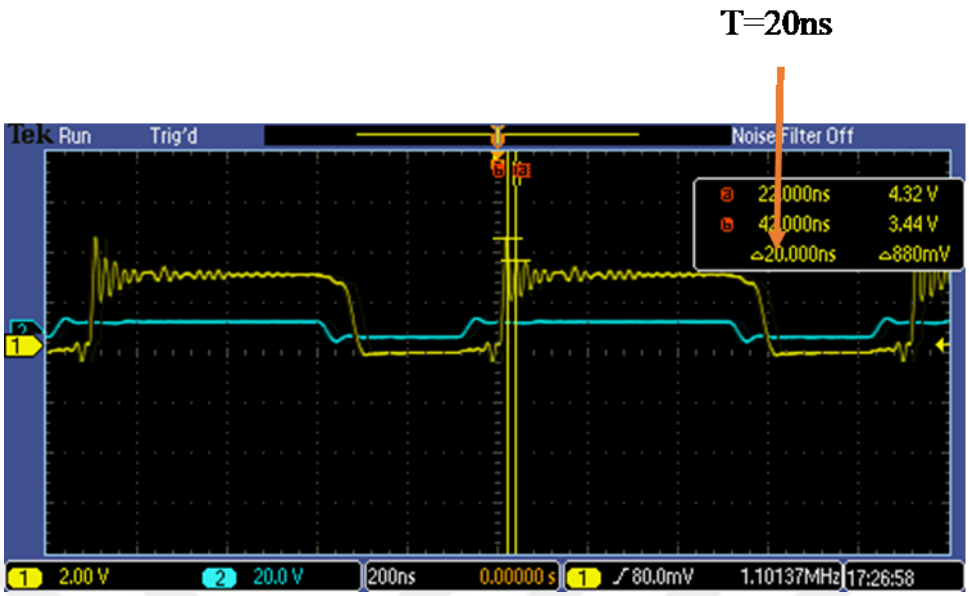
Farklı merkezi frekans değerleri için üretilen soliton dalgalarının ikinci örneği Şekil (4.14)'de 20MHz için elde edilmiştir



Şekil 4.14. Çizelge 4.3'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 20MHz merkezi frekans değerindeki Tasarım 1 için deney sonucu

Tasarım 1 değeri için oluşturulan deney sonucuna göre, 1N5819 kapasitif diyot, girişte verilen 4V gerilim değeri(mavi sinyal), 2,8µH indüktör, 100Ω yük direnci değeri ve 10 düğüm sayısındaki çıkış soliton dalgası(sarı sinyal) Şekil 4.14'de verilmiştir.

Farklı merkezi frekans değerleri için üretilen soliton dalgalarının üçüncü örneği Şekil (4.14)'de 50MHz için elde edilmiştir



Şekil 4.15. Çizelge 4.5'deki optimizasyon verilerinin kullanımı ile 50MHz merkezi frekans değerindeki Tasarım 1 için deney sonucu

Tasarım 1 değeri için oluşturulan deney sonucuna göre, 1N5819 kapasitif diyot, girişte verilen 4,4V gerilim değeri(mavi sinyal), 0,56µH indüktör, 150Ω yük direnci değeri ve 12 düğüm sayısındaki çıkış soliton dalgası(sarı sinyal) Şekil 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Gerçekleştirilen deney ve simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu

	T (ns)		
	T1	**T2**	**T3**
Simülasyon sonuçları	100	50	20
Deney sonuçları	100	52	20

Çizelge 4.11'de gerçekleştirilen deneyler ve simülasyonlar için örnek karşılaştırma tablosu gösterilmektedir. Bu gösterimde soliton dalgalası arasındaki zaman farkları için sonuçlar görülmektedir. Karşılaştırma tablosunda; T1 tasarımı 10MHz'i, T2 tasarımı 20MHz'i, ve T3 tasarımı 50MHz merkezi frekans değeri için zaman farkı sonucunu göstermektedir. T1 tasarımı Şekil 4.2'deki simülasyon sonuçları arasından tasarım1'deki dalgayı göstermektedir. Deney sonuçlarında ise Şekil 4.13 aynı tasarım sonucunu göstermektedir. T2 tasarımı Şekil 4.3'deki simülasyon sonuçları içinden tasarım1 için

belirtilen sonuçtur ki aynı tasarımın deney sonucu ise Şekil 4.14'te verilmiştir. T2 tasarımındaki deney sonucunun farklı olmasının sebebi deneylerde kullanılan 2.8µH indüktör değerinin, 2 adet 5.6µH indüktör değerinin paralel olarak bağlanması sonucu oluşturulmasıdır. Bu durum indüktördeki kayıpları artırmıştır. T3 tasarım sonucu, Şekil 4.6'da belirtilen tasarımlar arasından tasarım 1'deki sonuçtur ki aynı T3 tasarımının deney sonucu Şekil 4.15'deki gibidir.

5. SONUÇ

Bu tezde; istenilen frekans değerinde soliton dalgasının üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda belirtilen dalganın 10MHz-100MHz eşit merkezi frekans aralığında 10 farklı örneği için simülasyon gerçekleştirilmiştir. İstenilen merkezi frekans değerlerinin alınması için teorik, simülasyon sonuçları oluşturulmuştur. Seçilen 3 farklı merkezi frekans değeri için deneyler gerçekleştirilmiştir. Tezdeki beklenen çıkarımların gerçekleştirilebilmesi için adımlar aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- Soliton dalgasının teorik denklemleri incelenmiştir. İncelenen bu teorik denklemler için matematiksel analizler oluşturulmuştur.

- NLTL hattı teorik denklemleri çıkarılmıştır. Bu teorik denklemlerin oluşturulabilmesi için Kirchoff yasasından yararlanılmıştır. Hattın ve devrenin belirtilen yasa ile çözülmesi ile NLTL denklemleri oluşturulmuştur. Oluşturulan denklemlerden biri olan kayıpsız durumlar için merkezi frekans denklemi referans alınmıştır.

- Kayıpsız durumlar için merkezi frekans formülündeki devre elemanları belirlenmiştir. Bu devre elemanları için optimizasyon algoritması incelemesi yapılmıştır. İncelenen optimizasyon algoritmaları arasından işlem kolaylığı ve çalışmaya uygunluğu baz alındığında en uygun algoritmanın PSO olduğu çıkarımı yapılmıştır.

- PSO algoritması kullanılarak istenen bir frekans değeri için optimizasyon işlemi başlatılmıştır. PSO'da NLTL hattı için belirlenen parametreler için değer aralıkları tanımı yapılmıştır. Bu değer aralıklarının kullanımı ile merkezi frekans değeri veri havuzu oluşturulmuştur. Daha sonra bu veri havuzu içinden en başta belirtilen istenilen merkezi frekans değerine en yakın olan frekans değeri bulunmuştur. Veri havuzu değerleri ve sonucundaki frekans değeri için çizelgeler oluşturulmuştur. Veri havuzu içinden bulunan bu merkezi frekans değeri için optimizasyon parametre değerleri oluşturulmuştur.

- PSO sonucunda oluşturulan parametre sonuçları için NLTL devre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu devre tasarımı için kullanılan devre elemanları; indüktörler, kapasitif diyotlar, ve dirençlerdir. Bu devre elemanlarının sayısı ve değeri optimizasyonla belirlenmiştir. 4 farklı kapasitif diyot örneği için sonuçlar alınmıştır. Bu örnekler, tasarım 1; 1N5819 schottky diyot, tasarım 2; MV2201 varaktör diyot, tasarım 3; BB910 varaktör diyot, tasarım 4; ZHCS1000 schottky diyot'tur. Kapasitif diyotlar için datasheet verileri incelenmiştir. İncelenen verilere uygun olarak diyotlar için kapasite gerilim grafik eğrileri çizilmiştir.

- Oluşturulan NLTL devre tasarımları için simülasyonlar yapılmıştır. Her bir merkezi frekans değeri ve devre tasarımı için simülasyonlar modellenmiştir. Modellenen simülasyonlar, 4 tasarım modeli ve 10 farklı simülasyon sonucundan oluşmaktadır. Devrelerde, girişte verilen bir kare dalganın hat üzerinden ilerlemesi ile hat sonunda oluşan soliton dalgası simüle edilmiştir. Simülasyon sonucundaki şekillerde, zaman ve gerilim değerleri görülmektedir. Zaman değeri kullanılarak oluşturulan soliton dalgasının merkezi frekans değeri gösterilmiştir.

- Simülasyon modellemeleri için sonuçlar alındıktan sonra NLTL devrelerinin deneylerinin gerçekleştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada 10 farklı simülasyon ve 4 farklı devre tasarımı arasından 3 farklı devre tasarımı seçilmiştir. Bu seçilen devreler için labaratuvar ortamında tasarımların deneyleri gerçeklenmiştir.

Soliton dalga üretiminde etkili olan paremetreler, giriş gerilim değeri, indüktör, yük direnci değeri, ve NLTL düğüm sayısıdır. Bu değerlerin optimizasyonu sağlanarak, uygun değerde, soliton dalgası üretimi gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak; elektrik soliton üretimi için yukarıdaki adımlar sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu adımlarda da tanımlandığı gibi soliton dalgasının üretiminde; optimizasyon, simülasyon ve deney sonuçları arasındaki uyum açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

Aksoy, A., Yenikaya, S. (2021). Doğrusal Olmayan İletim Hatlarındaki RF Soliton Dalga Tasarımı. *X. URSI-Turkish Scientific Congress National General Council Meeting*.

Aksoy, A., Yenikaya, S. (2022). Soliton Wave Generation On Nonlinear Transmission Lines Using A Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, *27*(1), 389–402. https://doi.org/10.17482/UUMFD.1066491

Deb, K. (2012). Optimization for engineering design: Algorithms and examples. In *Design Optimization*. PHI Learning Pvt. Ltd.

Eberhart, R. C., Shi, Y. (2001). Particle swarm optimization: Developments, applications and resources. *Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, ICEC*, *1*, 81–86. https://doi.org/10.1109/cec.2001.934374

Hasegawa, A., Tappert, F. (1973). Transmission of stationary nonlinear optical pulses in dispersive dielectric fibers. I. Anomalous dispersion. *Applied Physics Letters*, *23*(3), 142–144. https://doi.org/10.1063/1.1654836

J. Kennedy and R. Eberhart. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 1942–1948 vol.4. https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968.

Karaboğa, D., Ökdem, S. (2004). A simple and global optimization algorithm for engineering problems: Differential evolution algorithm. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, *12*(1), 53–60.

Kazarlis, S. A., Bakirtzis, A. G., Petridis, V. (1996). A genetic algorithm solution to the unit commitment problem. *IEEE Transactions on Power Systems*, *11*, 83–92.

Kochenderfer, M., Wheeler, T. (2019). *Algorithms for optimization*. Mit Press.

Korteweg, D. J., de Vries, G. (1895). XLI. On the change of form of long waves advancing in a rectangular canal, and on a new type of long stationary waves. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, *39*(240), 422–443. https://doi.org/10.1080/14786449508620739

Kozyrev, A. B., Van Der Weide, D. W. (2005). Nonlinear wave propagation phenomena in left-handed transmission-line media. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *53*(1). https://doi.org/10.1109/TMTT.2004.839305

Kuek, N. S., Liew, A. C., Schamiloglu, E., Rossi, J. O. (2012). Circuit modeling of nonlinear lumped element transmission lines including hybrid lines. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *40*(10 PART 1), 2523–2534. https://doi.org/10.1109/TPS.2012.2183895

Li, X., Yildirim, O. O., Zhu, W., Ham, D. (2010). Phase noise of distributed oscillators. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *58*(8), 2105–2117. https://doi.org/10.1109/TMTT.2010.2053062

Nikoo, M. S., Hashemi, S. M. A., Farzaneh, F. (2018a). Theoretical Analysis of RF Pulse Termination in Nonlinear Transmission Lines. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *66*(11), 4757–4764. https://doi.org/10.1109/TMTT.2018.2865952

Nikoo, M. S., Hashemi, S. M. A., Farzaneh, F. (2018b). Theory of Terminated Nonlinear Transmission Lines. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *66*(1), 91–99. https://doi.org/10.1109/TMTT.2017.2731958

Nikoo, M. S., Hashemi, S. M. A. (2017a). Analysis of the Power Transfer to a Nonlinear Transmission Line. *IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques*, *65*(11), 4073. https://doi.org/10.1109/TMTT.2017.2701366

Nikoo, M. S. , Hashemi, S. M. A. (2017b). New Soliton Solution of a Varactor-Loaded Nonlinear Transmission Line. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *65*(11), 4084–4092. https://doi.org/10.1109/TMTT.2017.2700306

Raimundi, L. R., Rossi, J. O., Rangel, E. G. L., Silva, L. C., Schamiloglu, E. (2019). High-voltage capacitive nonlinear transmission lines for RF generation based on silicon carbide schottky diodes. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *47*(1), 566–573. https://doi.org/10.1109/TPS.2018.2873491

Rangel, E. G. L., Barroso, J. J., Rossi, J. O., Yamasaki, F. S., Silva Neto, L. P., Schamiloglu, E. (2016). Influence of Input Pulse Shape on RF Generation in Nonlinear Transmission Lines. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *44*(10), 2258–2267. https://doi.org/10.1109/TPS.2016.2593606

Ricketts, D., Ham, D. (2018). *Electrical solitons: theory, design, and applications*.

Ricketts, D. S., Li, X., Ham, D. (2006). Electrical soliton oscillator. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *54*(1), 373–382. https://doi.org/10.1109/TMTT.2005.861652

Silva Neto, L. P., Moraes, H. M., Rossi, J. O., Barroso, J. J., Rangel, E. G. L. (2020). Increasing the Voltage Modulation Depth of the RF Produced by NLTL. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *48*(10), 3367–3372. https://doi.org/10.1109/TPS.2020.3000216

Silva Neto, L. P., Rossi, J. O., Barroso, J. J., Schamiloglu, E. (2016). High-Power RF Generation from Nonlinear Transmission Lines with Barium Titanate Ceramic Capacitors. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *44*(12), 3424–3431. https://doi.org/10.1109/TPS.2016.2628324

Storn, R., Price, K. (1997). Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, *11*(4), 341–359. https://doi.org/10.1023/A:1008202821328

Wasekul Azad, A. N. M., Khan, F., Caruso, A. N. (2021). A Medium Power, Self-Sustaining, and Configurable RF Pulse Generation Circuit Using a Nonlinear Transmission Line and Power Amplifier in Open and Closed-Loop Configurations. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *49*(7), 2183–2194. https://doi.org/10.1109/TPS.2021.3089509

Yamasaki, Fernanda S., Rossi, J. O., Barroso, J. J. (2013). RF generation using nonlinear transmission lines for aerospace applications. *SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference Proceedings*. https://doi.org/10.1109/IMOC.2013.6646552

Yamasaki, Fernanda Sayuri, Neto, L. P. S., Rossi, J. O., Barroso, J. J. (2014). Soliton generation using nonlinear transmission lines. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *42*(11), 3471–3477. https://doi.org/10.1109/TPS.2014.2361487

Yildirim, O. O., Ricketts, D. S., Ham, D. (2009). Reflection soliton oscillator. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *57*(10), 2344–2353. https://doi.org/10.1109/TMTT.2009.2029025

Yu, F., Lyon, K. G., Kan, E. C. (2012). A low-power UWB-IR transmitter by tapered nonlinear transmission lines. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, *22*(12), 618–620. https://doi.org/10.1109/LMWC.2012.2226020