

T. C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ELEKTRİK ENERJİ DAĞITIMI
FREKANS BAĞLI İLETİM HATTI

AD-SOYAD
ÖMER FARUK ORUÇ

Giriş

Elektrik iletim sistemleri, enerji üretim noktaları ile tüketim bölgeleri arasındaki bağlantıyı sağlamakta ve enerji dağıtımının omurgasını oluşturmaktadır. Bu sistemlerin tasarımı, yapılandırılması ve işletilmesi, elektrik enerjisinin verimli, güvenilir ve ekonomik bir şekilde tüketicilere ulaştırılması açısından büyük önem taşır. Geleneksel iletim hatları modelleri, genellikle sabit parametreler üzerine kurulu olup belirli frekans değerleri için optimizasyon gösterirler. Ancak, modern enerji sistemlerinin karşılaştığı dinamik değişimler ve artan enerji ihtiyaçları, iletim hatlarının daha geniş frekans aralıklarında doğru davranışları modelleyebilmesini gerektirmektedir.

Günümüzde, enerji sistemlerinin karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan biri, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve enerji iletiminde yaşanan hızlı değişimlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik, üretim zamanlaması ve miktarı itibarıyla öngörülemez özellikler gösterebilir. Bu durum, iletim hatlarının frekans tepkisini önemli ölçüde etkileyebilir ve sistemin genel stabilitesi üzerinde beklenmedik sonuçlar doğurabilir. Ayrıca, enerji iletim hatlarındaki yük değişiklikleri ve farklı enerji kaynaklarının devreye girmesi, iletim hattı parametrelerinin frekans bağımlılığının doğru bir şekilde modellenmesini zorunlu kılar.

Frekans bağımlı iletim hattı modelleri, bu yeni ihtiyaçları karşılamak üzere geliştirilmiştir. Bu modeller, iletim hatlarının direnç, reaktans ve kapasitans gibi temel elektriksel özelliklerinin frekansın bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini detaylı bir şekilde ele alır. Elektromanyetik geçici olaylar ve yüksek frekanslı dinamikler sırasında, bu frekans bağımlı özellikler, iletim hatlarının davranışlarını etkili bir şekilde tahmin etmek ve modellemek için kritik önem taşır. Böylece, sistem operatörleri daha güvenilir ve doğru kontrol mekanizmaları geliştirebilir, enerji verimliliğini artırabilir ve potansiyel arızaları önceden tespit edebilir.

Bu raporda, özel bir frekans bağımlı iletim hattı modelinin geliştirilme süreci, matematiksel modelleme teknikleri ve simülasyon senaryoları üzerinden bu modellerin uygulamadaki etkinlikleri ele alınacaktır. Simscape ve RF Toolbox kullanılarak gerçekleştirilen modellemeler, bu tekniklerin pratikte nasıl uygulanabileceğine dair değerli bilgiler sunarken, klasik pi-bölüm iletim hattı modeli ile yapılan karşılaştırmalar, frekans bağımlı modellerin sağladığı avantajları ve potansiyel sınırlılıkları ortaya koyacaktır.

Model Tanımı ve Parametreler

Bu raporda incelenen frekans bağımlı iletim hattı modeli, iletim hatlarının elektriksel özelliklerinin frekansa bağlı değişimlerini dikkate alan ve bu değişimleri matematiksel olarak modelleyen bir yapı sunar. Özellikle, enerji sistemlerinde karşılaşılan yüksek frekanslı geçici olaylar ve değişken yük durumlarına yönelik doğru tahminler yapabilme kapasitesiyle ön plana çıkar. Model, Simscape ortamında geliştirilmiş ve RF Toolbox ile desteklenmiştir, bu sayede kullanıcılar daha gerçekçi simülasyonlar ve analizler gerçekleştirebilmektedir.

Temel Parametreler

Frekans bağımlı iletim hattı modelinde kullanılan ana parametreler şunlardır:

Frekans Bağımlı Seri Direnç (R): İletim hattının birim uzunluğu başına düşen direnç değeri, frekansın fonksiyonu olarak hesaplanır. Yüksek frekanslarda, iletkenin iç direnci ve etrafındaki manyetik alanlar nedeniyle artış gösterebilir.

Frekans Bağımlı Seri Reaktans (X): İletim hattının birim uzunluğu başına düşen reaktans değeri, frekansın fonksiyonu olarak değişir. Bu parametre, hat üzerindeki endüktansın frekansa göre nasıl varyasyon gösterdiğini yansıtır.

Frekans Bağımlı Şönt Süseptans (B): İletim hattının birim uzunluğu başına düşen süseptans değeri, frekansın fonksiyonu olarak modellenir. Kapasitansın frekansla nasıl değiştiğini ifade eder ve bu, özellikle yüksek frekanslarda iletim hattının davranışını etkiler.

İlgili Frekans (freq): Parametrelerin hesaplandığı frekans değerleri. Bu frekanslar, modelin uygulanabilirliğini belirleyen temel faktördür.

İletim Hattının Uzunluğu (len): İletim hattının toplam uzunluğu, modelin ölçeklenmesi ve simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi için kritik bir parametredir.

Bu parametreler, modelin temelini oluşturur ve Simscape ortamında kullanılan farklı fonksiyonlarla işlenerek frekans bağımlı özelliklerin simülasyonu sağlanır. Model, bu parametreleri kullanarak iletim hattının elektriksel davranışını frekansa bağlı olarak analiz eder ve çeşitli simülasyon senaryolarında kullanılır.

Parametrelerin İşlenmesi

Modelin uygulanmasında ilk adım, mevcut parametrelerin frekans bağımlı direnç, reaktans ve süseptans değerlerini elde etmektir. Bu değerler, öncelikle belirli frekanslarda hesaplanır ve daha sonra RF Toolbox'taki `rationalfit` fonksiyonu kullanılarak rasyonel bir forma dönüştürülür. Bu işlem, modelin matematiksel işlemler sırasında daha hızlı ve verimli çalışmasını sağlar.

Frekans bağımlı modelleme, elektrik iletim sistemlerinin daha doğru ve etkin bir şekilde tasarlanmasına, işletilmesine ve bakımının yapılmasına olanak tanır. Ayrıca, modelin sunduğu bu ayrıntılı parametre tanımı ve işleme süreci, enerji iletiminde karşılaşılan pratik sorunlara çözümler sunar ve sistem mühendisleri için değerli bir kaynak oluşturur.

Karakteristik Kabuliyet ve İletim Fonksiyonu

Karakteristik Kabuliyet (Y)

Karakteristik kabuliyet, iletim hattının belli bir frekansta nasıl davrandığını gösteren kritik bir parametredir ve genelde iletim hattının seri empedansı (Z) ve şönt admittansı (Y) kullanılarak hesaplanır. Bu değer, hattın sinyal iletim kabiliyetini ve enerji kayıplarını etkileyen önemli bir faktördür. Matematiksel olarak Y şu şekilde ifade edilir:

$$Y = \sqrt{Y/Z}$$

Burada Z seri empedans, Y ise şönt admittansı ifade eder ve her ikisi de frekans bağımlıdır. Bu formülasyon, hattın herhangi bir noktasında giriş ve çıkış arasındaki ilişkiyi temsil eder ve hattın iletim verimliliğini ve geçirgenliğini belirlemek için kullanılır.

İletim Fonksiyonu (H)

İletim fonksiyonu, iletim hattı boyunca sinyalin nasıl azaldığını veya değiştiğini gösterir. Elektrik mühendisliğinde, bu fonksiyon genellikle bir sinyalin başlangıç noktasından son noktasına kadar olan zayıflamasını ve faz değişimini tanımlamak için kullanılır. İletim fonksiyonu, iletim hattının karakteristik kabuliyeti ve uzunluğu dikkate alınarak hesaplanır:

$$H = e^{(-\Gamma \cdot len)}$$

Burada Γ iletim sabiti (propagation constant) ve len iletim hattının fiziksel uzunluğudur. Γ , hem zayıflama (attenuation) hem de faz değişimi bileşenlerini içerir.

Karakteristik Admittance ve İletim Fonksiyonunun Rasyonel Uygunlaştırılması

Modern iletim hatları analizlerinde, karakteristik kabuliyet ve iletim fonksiyonunun rasyonel formda ifade edilmesi, hesaplamaların daha verimli ve hızlı yapılmasını sağlar. RF Toolbox içerisinde yer alan rationalfit fonksiyonu, bu iki parametreyi sinyalin s-polynomial formunda uygunlaştırmak için kullanılır. Bu yöntem, özellikle geniş bant genişliklerini ve yüksek frekansları içeren sinyaller için yüksek doğruluk sağlar.

Karakteristik Kabuliyet için Yapılan Rasyonel Uygunlaştırma

$$Y = \sum (YcResidues / (s - YcPoles))$$

İletim Fonksiyonu için Yapılan Rasyonel Uygunlaştırma

$$H = \sum (HkResidues / (s - HkPoles))$$

şeklinde ifade edilir. Burada n, uygunlaştırma işleminin derecesini (pole sayısını), YcResiduesi ve HkResidues, i. terim için kalıntıları, YcPoles ve HkPoles ise i. terim için kutupları (poles) temsil eder.

Universal Line Model (ULM) ve Simscape Uygulaması

Universal Line Model (ULM) Tanıtımı

Universal Line Model (ULM), yüksek frekanslarda iletim hatlarının davranışlarını modellemek için geliştirilmiş kapsamlı bir matematiksel modeldir. ULM, hem overhead (hava hattı) hem de yeraltı kablolarının elektromanyetik geçiş karakteristiklerini simüle etmek için kullanılır. Model, frekans bağımlı parametreleri hesaba katarak, geniş bir frekans aralığında hatların doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlar. ULM'nin temel avantajı, farklı iletim hatları tipleri ve yapılandırmaları için genel bir çözüm sunmasıdır, bu da mühendislerin ve sistem tasarımcılarının çeşitli senaryolar altında hatları etkili bir şekilde analiz etmelerine olanak tanır.

Simscape'de ULM Uygulaması

Simscape, MATLAB ve Simulink ortamında fiziksel sistemlerin modellenmesi için kullanılan bir platformdur. Simscape'in esnek yapısı, Universal Line Model gibi karmaşık modellerin etkin bir şekilde uygulanmasını ve simüle edilmesini sağlar. Simscape'deki ULM uygulaması, modelin dinamiklerini daha iyi anlamak ve çeşitli test senaryoları altında sistem tepkilerini değerlendirmek için mükemmel bir araçtır.

Modelin Kurulumu

ULM'nin Simscape ortamında kurulumu, iletim hattının fiziksel ve elektriksel özelliklerini tanımlayarak başlar. Bu, hat uzunluğu, direnç, reaktans, ve süseptans gibi temel parametrelerin girilmesini içerir. Bu parametreler, Simscape'in devre elemanları kullanılarak model içerisinde yerleştirilir. Modelin frekans bağımlı özellikleri, Simscape'in özel fonksiyonları ile işlenir, bu sayede gerçek zamanlı simülasyonlar ve analizler yapılabilir.

Dinamik Simülasyonlar

Simscape'deki ULM, çeşitli giriş sinyalleri ve operasyonel koşullar altında iletim hattının nasıl tepki vereceğini analiz etmek için kullanılır. Model, gerçek zamanlı verilerle beslenebilir veya teorik senaryolar altında test edilebilir. Simülasyon sonuçları, hattın frekans tepkisini, enerji kayıplarını ve potansiyel performans sorunlarını ortaya koyar.

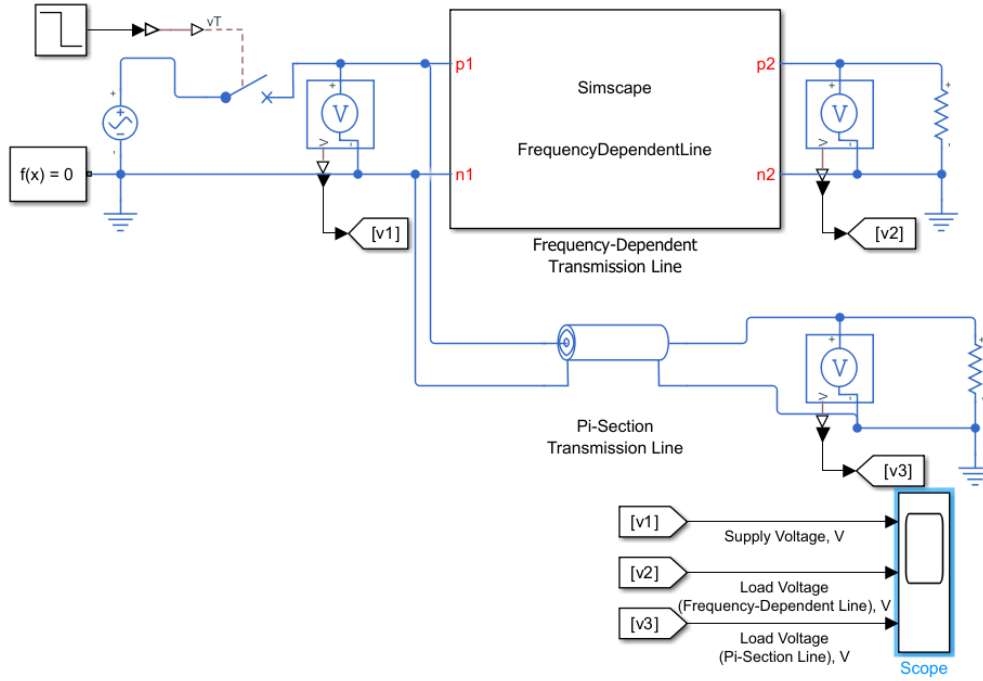
Simscape Modelleme Avantajları

Simscape'deki ULM uygulamasının başlıca avantajları şunlardır:

- Çoklu Domain Simülasyonları: Elektrik, mekanik ve hidrolik sistemler arasındaki etkileşimleri aynı model içinde simüle edilebilir.
- Grafik Tabanlı Modelleme: Karmaşık matematiksel denklemleri kodlamadan, grafik arayüz üzerinden modellerin hızlıca kurulması.
- Geniş Kütüphane ve Araçlar: Çeşitli elektriksel ve fiziksel komponentler için geniş bir kütüphane sunar, bu da modelin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini artırır.

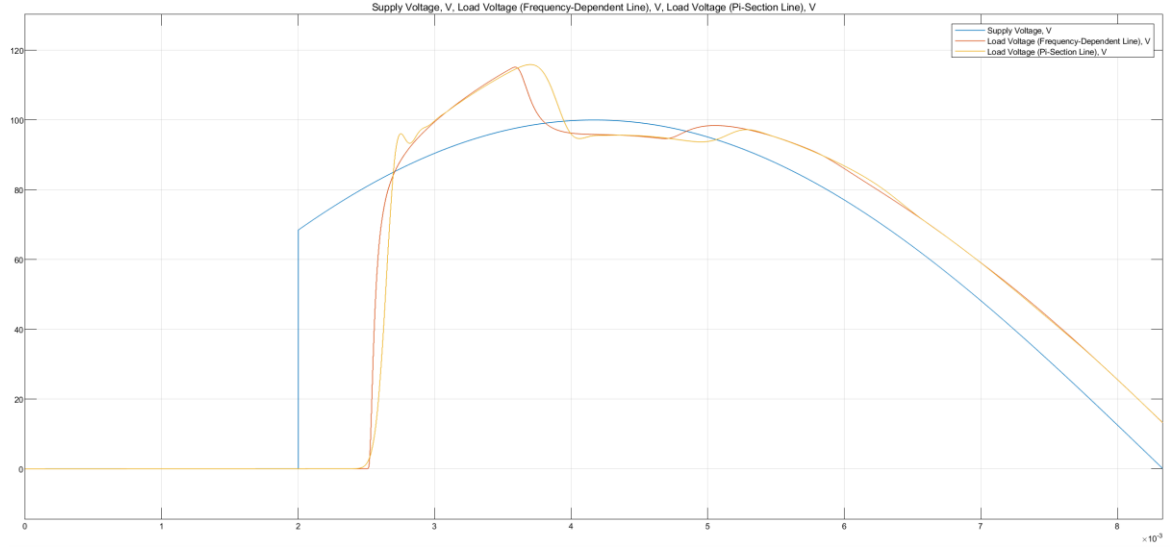
- ULM'nin Simscape'de uygulanması, iletim hatları üzerinde yapılan çalışmaların doğruluğunu ve verimliliğini önemli ölçüde artırır. Bu entegrasyon sayesinde mühendisler, daha güvenli ve optimize edilmiş enerji iletim sistemleri tasarlamak için gerekli araçlara sahip olurlar.

Simülasyon



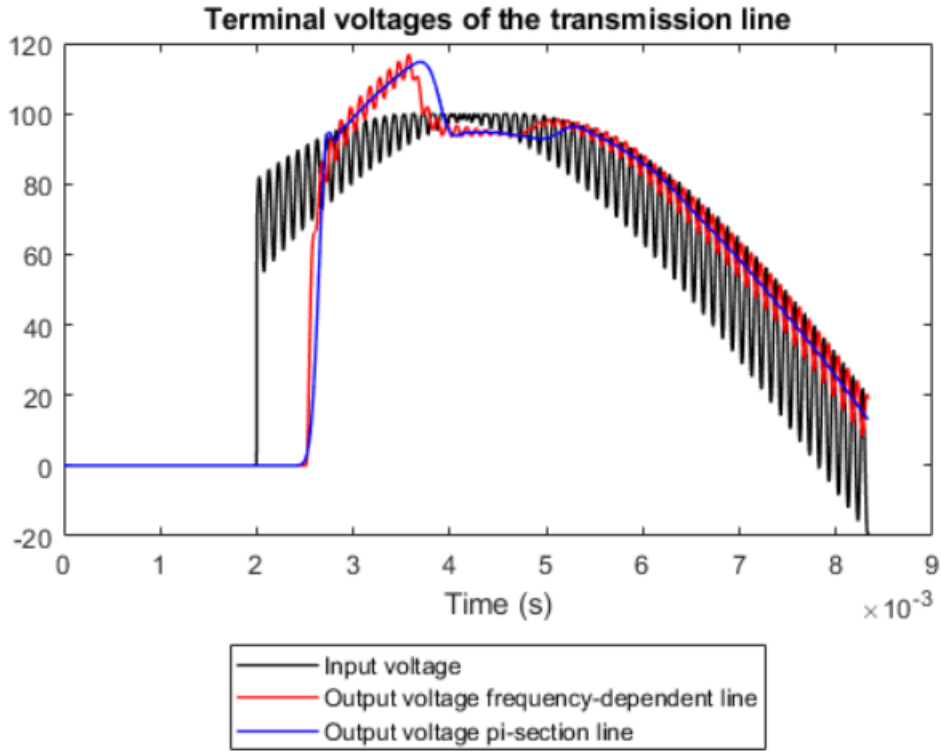
Şekil 1: Devre Modeli

İlk simülasyon durumunda, gerilim kaynağı 60 Hz'lik bir sinüs dalgası üretiyor. Pi Bölümü İletim Hattı, voltaj kaynağının frekansı ile eşleşen, 60 Hz'lik bir giriş varsayarak parametrelendirilmiş bir RLC kullanır. Çizim, iletim hattının giriş ve çıkış terminal voltajlarını gösterir. İki model kararlı durumda iyi bir uyum göstermektedir.



Şekil 2: 60 Hz'lik Sinüs Dalgası

İkinci simülasyon durumunda, gerilim kaynağın 10 KHz olarak sinüs dalgası oluşturulmuştur. İlk simülasyona göre frekans ölçümünü gözlemlemek ve daha kaotik bir hale geldiğini gözlemlemek mümkündür.



Şekil 3: 10 kHz'lik Sinüs Dalgası

Sonuç

Bu rapor, frekans bağımlı iletim hattı modellerinin ve klasik iletim hattı modellerinin karşılaştırmalı analizini sunmuştur. Simülasyon sonuçları, frekans bağımlı modellerin, özellikle Universal Line Model (ULM) kullanılarak Simscape ortamında gerçekleştirilen testlerde, geniş frekans aralıklarında ve çeşitli sinyal modülasyonlarında klasik modellere göre daha üstün performans sergilediğini göstermiştir. ULM, yüksek frekanslı ve geniş bantlı sinyalleri daha etkin bir şekilde işleyebilmekte, bu da modern enerji sistemlerinin karşılaştığı değişken yük ve üretim senaryolarına daha iyi uyum sağlamasını sağlamaktadır.

Öneriler

Frekans Bağımlı Modellerin Entegrasyonu

Enerji sistemleri mühendisleri, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve elektrik şebekesinin dinamiklerinin artan karmaşıklığı göz önüne alındığında, sistem tasarımlarında frekans bağımlı modelleri daha yaygın bir şekilde kullanmayı düşünmelidir.

Yazılım ve Araçların Geliştirilmesi

Simscape gibi platformlarda ULM'nin kullanımı, modelleme ve simülasyon süreçlerinin verimliliğini artırmaktadır. Benzer araçların geliştirilmesi ve mevcut araçların iyileştirilmesi, mühendislerin daha kapsamlı analizler yapmalarına ve daha doğru sonuçlar elde etmelerine olanak tanır.

Eğitim ve Bilinçlendirme

Kurumlar, mühendislik ekiplerini frekans bağımlı modeller ve bu modellerin enerji sistemlerine entegrasyonu konusunda eğitmeli ve bilinçlendirmelidir. Bu, sektördeki teknolojik yeniliklerin daha hızlı benimsenmesini ve etkin kullanımını teşvik edecektir.

Devam Eden Araştırma ve Geliştirme

Frekans bağımlı iletim hattı modelleri üzerine yapılan araştırmalar, bu alanda mevcut bilgi ve teknolojilerin sürekli olarak güncellenmesini gerektirmektedir. Bu tür araştırmalara yatırım yapılması, gelecekteki enerji iletim sistemlerinin daha da optimize edilmesini sağlayacaktır.

Genel Değerlendirme

Frekans bağımlı iletim hattı modelleri, modern enerji sistemlerinin karşılaştığı zorluklara etkin çözümler sunmaktadır. Bu modellerin kullanımı, sistem verimliliğini artırmakta ve enerji iletiminde karşılaşılan zorluklara dinamik çözümler sunmaktadır. Bu rapor, söz konusu teknolojilerin enerji sektöründe nasıl daha iyi kullanılabileceğine dair kapsamlı bir bakış açısı ve yol haritası sunmaktadır.