

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

**MANYETİK DEVRELERİN BAĞLAÇ DİYAGRAMI YARDIMIYLA
ANALİZİ VE ENPORT SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma AYHAN

**Ana Bilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği
Programı: Devreler ve Sistemler**

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Arif GÜLTEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 28 Aralık 2009

ARALIK 2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MANYETİK DEVRELERİN BAĞLAÇ DİYAGRAMI YARDIMIYLA ANALİZİ VE
ENPORT SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma AYHAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27 Kasım 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 28 Aralık 2009

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Arif GÜLTEN (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mustafa POYRAZ (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Bedri ÖZER (F.Ü.)

ARALIK-2009

ÖNSÖZ

Çalışmada bir çok karmaşık sistemin analizinde kullanılan yöntemlerden biri olan bağlaç diyagramı modelinin manyetik devrelerin analizinde kullanılabilirliği ve sağladığı kolaylıkları kanıtlanmak amaçlanmıştır.

Teknoloji geliştikçe sistemler karmaşıklaşmış ve bu karmaşık durumu analiz etmek için de yeni yöntemler geliştirme ihtiyacı duyulmuştur. Bağlaç diyagramı, diğer bir adıyla bond graf analizi de geliştirilen bu yöntemlerden biridir.

Tez için yaptığım taramalarda gördüğüm üzere bağlaç diyagramı yöntemi, yoğunlukla mekanik sistem modellemelerinde kullanılan bir yöntem olup elektriksel sistemlerde de benzer çalışmalar söz konusudur. Kaynak ulaşımı konusunda yaşadığım sıkıntılara rağmen bu yöntemin manyetik devrelerde de diğer yöntemlerle yapılan analizdeki zaman kayıplarını azalttığını söyleyebilirim.

Çalışmamda yardımlarını, tecrübelerini paylaşan, uzak mesafelere rağmen bilgilerini benden esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Arif GÜLTEN'e, kaynak ve bilgi desteğiyle değerli hocam Prof. Dr. Mustafa POYRAZ'a, sabrıyla her zaman en büyük destekçim olan anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Sistemler ve Modellemeler	1
2. MATERYAL VE METOD	2
2.1. Bağlaç Diyagramı Modeli.....	2
2.2. Bağlaç Diyagramı Modelleme Tekniği.....	3
2.2.1. Kozalite(Nedensellik).....	6
2.3. Elektriksel Sistemlerin Bağlaç Diyagram Modelinin Oluşturulması.....	9
2.3.1. Gözlem Metodu.....	9
2.3.2. İnşa Metodu.....	11
2.4. Mekanik Sistemlerin Bağlaç DiyagramıModelinin Oluşturulması	15
2.5. Manyetik Sistemlerin Bağlaç DiyagramıModelinin Oluşturulması.....	18
2.6. Karmaşık Sistemlerin Bğlaç Diyagramı Modelinin Oluşturulması	20
3. BULGULAR.....	23
3.1. Enport Simülasyonu	23
3.1.1. Programa Bakış	23
3.1.2. Programın Çalıştırılması.....	23
3.2. Simülasyon Örnekleri.....	26
3.2.1. Örnek7 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu.....	26
3.2.2. Örnek8 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu.....	28
3.2.3. Örnek9 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu.....	30
3.2.4. Örnek10 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu.....	32
3.2.5. Örnek11 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu.....	35
3.2.6. Örnek12 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu.....	37
3.2.7. Örnek13 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu.....	39
3.2.8. Örnek14 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu.....	42
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	45
5. ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR.....	47

ÖZET

Bu çalışmada elektrik ve mekanik sistemlerde olduğu gibi manyetik sistemlerde de bağlaç diyagramı yöntemiyle analizin nasıl yapıldığı ve ENPORT simülasyon programı yardımıyla analiz sonuçlarının kolayca elde edildiği anlatılmıştır. Böylece manyetik devrelerin analizi yapılırken bağlaç diyagramı modelini kullanmanın rahatlığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağlaç Diyagramı, Manyetik Devre Analizi, Karmaşık Devre Analizi ENPORT, Simülasyon

SUMMARY

Analysis of Magnetic Circuit With Bond Graph and Simulation With Enport

In this study, bond graph models and simulation with ENPORT simulation program of magnetic circuit were explain easily like to elektric and mechanic systems. In this way, while being analysis of magnetic circuit to use bond graf modelling were convenience.

Key Words: Bond Graph, Magnetic Circuit Analysis, Complex Circuit Analysis, ENPORT, Simulation.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Bağlaçların gösterimi	2
Şekil 2.2.(a) Paralel çok kapılı fiziksel bağlantı	3
Şekil 2.2.(b) Paralel çok kapılı bağlaç modeli.....	3
Şekil 2.3.(a) Seri çok kapılı fiziksel bağlantı	4
Şekil 2.3.(b) Seri çok kapılı bağlaç modeli	4
Şekil 2.4. Elektriksel transformatör ve güç diyagramı	5
Şekil 2.5. Elektriksel jirator ve güç diyagramı	6
Şekil 2.6. Kozalitenin gösterimi	6
Şekil 2.7. 0 ve 1 kapıları için kozalite şartları	7
Şekil 2.8. Transformatör ve jirator için kozalite şartları.....	7
Şekil 2.9. Örnek1 elektrik devresi	9
Şekil 2.10. Örnek1 devresine ait 0 ve 1 kapılarının diyagramdaki yerleşimi	10
Şekil 2.11. Örnek1 Devresine Ait Kapılar ve Bağlı Buldukları Elemanlar	11
Şekil 2.12. Örnek1 devresinin gözlem metoduyla oluşturulmuş bağlaç diyagramı modeli ...	11
Şekil 2.13. Örnek2 devresi	12
Şekil 2.14.(a) Örnek2 devresinin 0 kapılarının yerleşimi	12
Şekil 2.14.(a) Örnek2 devresinin 0 ve 1 kapılarının yerleşimi.....	13
Şekil 2.15. Örnek2 devresine ait temel bağlaç diyagramı modeli	13
Şekil 2.16. Örnek2 devresi sadeleştirilmiş bağlaç diyagramı modeli.....	14
Şekil 2.17. Örnek2 devresi bağlaç diyagramı modeli	14
Şekil 2.18. Örnek3 Mekanik sistemi.....	15
Şekil 2.19. Örnek3 Sistemi 0 ve 1 kapıları ile sistem bileşenleri yerleşimi	16
Şekil 2.20. Örnek3 Basit bağlaç diyagramı modeli	17
Şekil 2.21. Örnek3 Mekanik sisteminin bağlaç diyagramı modeli.....	17
Şekil 2.22.(a) Manyetik bobin ve bağlaç diyagramı modeli	18
Şekil 2.22.(b) Bağlaç diyagramı modeli.....	18
Şekil 2.23. Örnek4 Manyetik devresi	19
Şekil 2.24. Örnek4 Manyetik devresinin temel bağlaç diyagramı modeli	19
Şekil 2.25. Örnek4 Manyetik devresi basitleştirilmiş bağlaç diyagramı modeli	19
Şekil 2.26. Örnek5 Karmaşık sistemi	20
Şekil 2.27. Örnek5 Karmaşık sisteminin bağlaç diyagramı modeli	21
Şekil 2.28. Örnek6 karmaşık devresi.....	21
Şekil 2.29. Örnek6 karmaşık sisteminin temel bağlaç diyagramı modeli.....	22
Şekil 2.30. Örnek6 karmaşık sisteminin basitleştirilmiş bağlaç diyagramı modeli.....	22

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Örnek7 manyetik devresi.....	26
Şekil 3.2. Örnek7 manyetik devresi elektrik eşdeğeri	26
Şekil 3.3. Örnek7 devresi bağlaç diyagramı modeli	27
Şekil 3.4. Örnek7 devresi bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği.....	27
Şekil 3.5. Örnek8 manyetik devresi	28
Şekil 3.6. Örnek8 manyetik devresi elektrik eşdeğeri	28
Şekil 3.7. Örnek8 devresi bağlaç diyagramı modeli	29
Şekil 3.8. Örnek8 devresi bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği.....	30
Şekil 3.9. Örnek9 manyetik devresi	30
Şekil 3.10. Örnek9 manyetik devresi elektrik eşdeğeri	31
Şekil 3.11. Örnek9 devresi bağlaç diyagramı modeli	31
Şekil 3.12. Örnek9 devresi bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği.....	32
Şekil 3.13. Örnek10 manyetik devresi	33
Şekil 3.14. Örnek10 manyetik devresi elektrik eşdeğeri	33
Şekil 3.15. Örnek10 devresi bağlaç diyagramı modeli.....	34
Şekil 3.16. Örnek10 devresi bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği.....	35
Şekil 3.17. Örnek11 manyetik devresi	35
Şekil 3.18. Örnek11 manyetik devresi elektrik eşdeğeri	36
Şekil 3.19. Örnek11 devresi bağlaç diyagramı modeli.....	36
Şekil 3.20. Örnek11 devresi bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği.....	37
Şekil 3.21. Örnek12 manyetik devresi	37
Şekil 3.22. Örnek12 manyetik devresi elektrik eşdeğeri	38
Şekil 3.23. Örnek12 manyetik devresi basitleştirilmiş elektrik eşdeğeri.....	38
Şekil 3.24. Örnek12 devresi bağlaç diyagramı modeli.....	38
Şekil 3.25. Örnek12 devresi bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği.....	39
Şekil 3.26. Örnek13 manyetik devresi	40
Şekil 3.27. Örnek13 manyetik devresi elektrik eşdeğeri	40
Şekil 3.28. Örnek13 manyetik devresi basitleştirilmiş elektrik eşdeğeri.....	41
Şekil 3.29. Örnek13 devresi bağlaç diyagramı modeli.....	41
Şekil 3.30. Örnek8 devresi bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği.....	42
Şekil 3.31. Örnek14 manyetik devresi	42
Şekil 3.32. Örnek14 manyetik devresi elektrik eşdeğeri	43
Şekil 3.33. Örnek14 devresi bağlaç diyagramı modeli.....	43
Şekil 3.34. Örnek14 devresi bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği.....	44

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Karmaşık Dinamik Sistemlerin Sistem Analojisi	8
Tablo 2.2 Sistem Diyagram Elemanları Dönüşümleri	16
Tablo 2.3 Elektrik ile Manyetik Parametreler ve Dönüşümleri	18

1. GİRİŞ

1.1. Sistemler ve Modellemeler

Sistem, bir fonksiyonu yerine getiren sonlu sayıda fiziksel öğelerin birlikte bağlı oldukları sınırlı ortamlardır. Başka bir deyişle de etken bir büyüklüğe tepken fiziksel büyüklük oluşturan ortamlara denir. Sistemler tek bir enerji ortamında oluşabildiği gibi, birden çok fiziksel ortamın enerji alış verişi yapmak üzere bir fonksiyonu yerine getirildiği karmaşık bir enerji ortamı da olabilir(elektromekanik, elektro hidrolik, elektro hidro mekanik gibi). Aynı enerji ortamında bulunan fiziksel sistemlerin çözümleri, sistem elemanlarına fiziksel yasaların uygulanmasıyla kolay bir şekilde elde edilebilmektedir. Ancak karmaşık sistemlerde aynı yöntemi uygulamak mümkün olamamaktadır. Bu durumda öncelikle karmaşık sistemdeki enerji dönüşümlerinin yapılması gerekmektedir. Farklı fiziksel elemanlar için birbirine benzer bağıntılar(matematiksel model) kurulur ve daha sonra bu ortak analogi doğrultusunda ortak fiziksel yasalar kullanılarak karmaşık sistemler çözülmüş olur [1].

Elektrik devrelerinin gelişmiş bir topolojisi vardır. Bu nedenle karmaşık sistemlerin elektrik analogları bulunarak elektrik devreleri çözüm yöntemlerinden faydalanılarak tek bir sistem haline dönüştürülebilir. Bu sayede elektrik devre elemanlarının davranışları bilgisayar programları ile çözülebildiğinden, karmaşık sistemler de aynı yöntemle çözümlenip simüle edilebilir [2].

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Bağlaç Diyagramı Modeli

Sistemdeki düğümleri, enerji kapılarını ve öğeleri(bağlantı elemanlarını) içine alan ve sistemdeki enerji kapıları ile fiziksel bileşenler arasındaki enerji(güç) alışverişini de gösteren diyagramlardır.

Prof.Dr. Necdet Şen'in çevirisiyle "bağlaç diyagramı" esasında C.E.Shannon(1942) ve S.J.Mason(1953) tarafından bulunmuş olan işaret akış diyagramları tekniğinden esinlenerek oluşturulmuş bir lineer diyagram tekniğidir. Bağlaç diyagramı konusunda ilk resmi çalışma 1961 yılında Prof.H. M.Paynter tarafından yapılmış ve "Bond Graph" olarak adlandırılmıştır [3]. Daha sonra farklı bilim adamları bu tekniği geliştirerek sistemlerdeki güç aktarımlarının diyagramlar şeklinde modellenmesini sağlamışlardır [3,4].

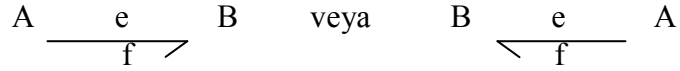
Bağlaç diyagramı yöntemi, karmaşık dinamik sistemlerin modellenmesinde kullanılan güncel metotlardandır. Bu yöntemin en önemli özelliği geometrik ve gözleme dayanan bir yolla doğrudan sisteme bakılarak modelin oluşturulması ve sisteme ait enerji akış yönünün görülebilmesidir. [5]

Bu yöntemde karmaşık bir sistemde bileşenler arasındaki güç alışverişini gösteren enerji kapılarının kurdukları operasyonel diyagrama bakarak sistemin iç ve uç değişkenleri cinsinden bir takım matris vektör bağıntıları kurulabilir [6]. Bu bağıntılar istenilen matematiksel modeli verecek biçimde bağlaç diyagramı modelini oluşturabileceği gibi bazı sistem fonksiyonlarının elde edilmesinde de kullanılabilir.

Bağlaç diyagramı modeli son yıllarda geniş bir alanda kullanılmaya başlanmıştır. Son çalışmalarda, bağlaç diyagramıyla modellenmiş sistemler doğrudan ACSL ve MATLAB gibi simülasyon programlarıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi güncel konularla da bağlantılı çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde anahtarlar içeren sistemlerin de bağlaç diyagramı metoduyla modellenerek çözümlendiği görülmektedir. [7]

2.2. Bağlaç Diyagramı Modelleme Tekniği

Bu teknikte bağlaç, sistemde bir enerji kapısını diğerine bağlayan elemandır ve çizgi şeklinde gösterilmektedir.[8] Şekil 2.1’de A ve B gibi iki kapıyı birbirine bağlayan, A’dan B’ye veya B’den A’ya $P=exf$ gücünün aktarıldığı ilkel bir gösterim görülebilmektedir.

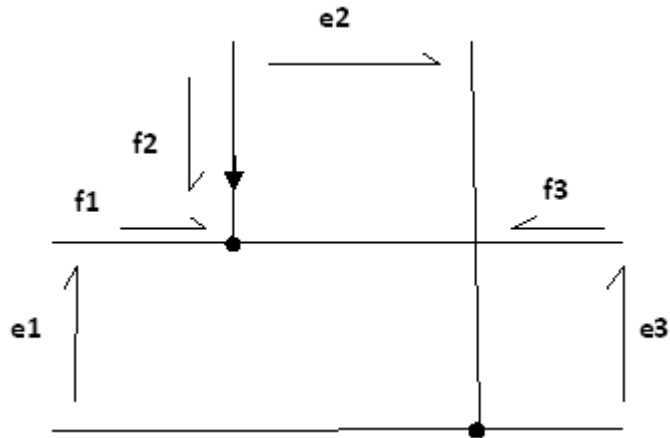


Şekil 2.1. Bağlaçların gösterimi

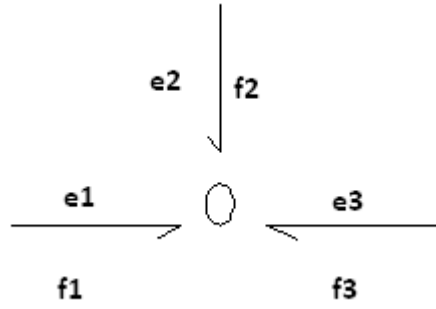
Burada ‘e’ çaba değişkeni, ‘f’ akış değişkenidir. Okun yönü gücün yönünü gösterir ve bu yön e ve f’den bağımsızdır. Bu gösterime “Paynter Gösterimi” denmektedir. Bu ilkel bir gösterimdir ve kovalitelendirilmesi gerekmektedir.

Verilen bir sistemin bağlaç diyagramı modelini oluşturabilmek için öncelikle o sistemin tüm enerji kapılarının belirlenmesi gerekir. Bu kapılar genellikle üç şekilde gruplandırılabilir. İlki, ‘iki kapılılar’ yani enerji tüketen veya biriktiren bileşenlerden oluşur. İkincisi, ‘seri çok kapılılar’dır. Seri çok kapılılar ‘1’ ile gösterilmektedir. Üçüncüsü ise ‘paralel çok kapılılar’dır. Bu kapılar da ‘0’ ile sembolize edilmektedir. [9,10]

0 kapılarında ortak değişken ‘e’ çaba değişkenidir. Bu kapılarda bağlaçlardaki akış değişkenleri toplamı sıfıra eşittir. Yani diğer bir deyişle eş potansiyel noktaların diyagramdaki karşılığıdır. 0 kapılarının elektriksel ve matematiksel gösterimleri Şekil 2.2’de görülebilmektedir.



Şekil 2.2. (a) Paralel çok kapılı fiziksel bağlantı



Şekil 2.2. (b) Paralel Çok Kapılı Bağlaç Modeli

$$e_1(t)=e_2(t)=e_3(t) \quad (2.1)$$

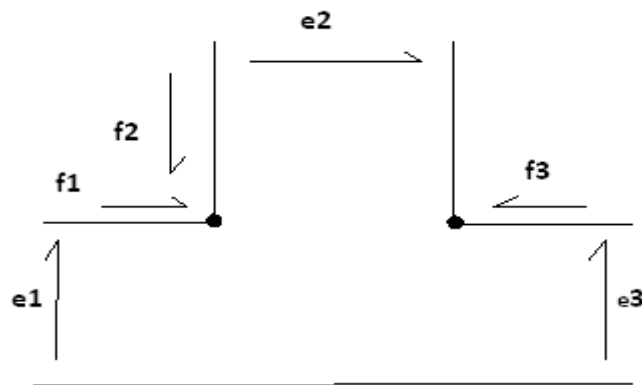
$$f_1(t) + f_2(t) + f_3(t)=0 \quad (2.2)$$

Bu matematiksel tanımlamayı n tane bağlaç için yaparsak;

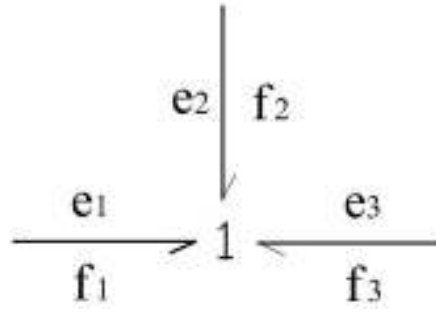
$$\sum_{i=0}^n f_i(t) = 0 \quad (2.3)$$

$$e_1(t)=e_2(t)=e_3(t)=\dots\dots=en(t) \quad (2.4)$$

1 kapılarında ise ortak değişken 'f' akış değişkenidir. Bu kapılarda bağlaçlardaki çaba değişkenleri toplamı sıfıra eşittir. Başka bir deyişle eş akım değerlerine sahip noktaların diyagramdaki karşılığıdır. 1 kapılarının elektriksel ve matematiksel gösterimleri Şekil 2.3'de görülebilmektedir.



Şekil 2.3. (a) Seri çok kapılı fiziksel bağlantı



Şekil 2.3. (b) Seri çok kapılı bağlaç modeli

$$f_1(t)=f_2(t)=f_3(t) \quad (2.5)$$

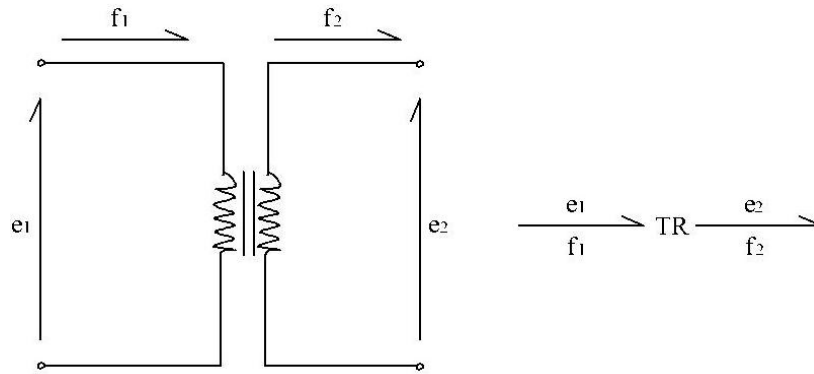
$$e_1(t) + e_2(t) + e_3(t)=0 \quad (2.6)$$

Bu matematiksel tanımlamayı n tane bağlaç için yaparsak;

$$\sum_{i=0}^n e_i(t) = 0 \quad (2.7)$$

$$f_1(t)=f_2(t)=f_3(t)=\dots\dots=f_n(t) \quad (2.8)$$

Farklı sistemlerin birleşmesinden oluşan kompleks modellemelerde birden fazla enerji modu olduğundan bu enerji modları arasında aktarımlar yapılabilmektedir.[11] Enerji aktarımında sistem değişkenleri belli bir oranda aynı değişkenlere dönüşüyorsa bu fiziksel bileşene “fiziksel transformatör” denilir ve ‘TR’ ile gösterilir. Elektriksel transformatörün sembolü ve güç diyagramı Şekil 2.4’de görülebilmektedir.



Şekil 2.4. Elektriksel transformatör ve güç diyagramı

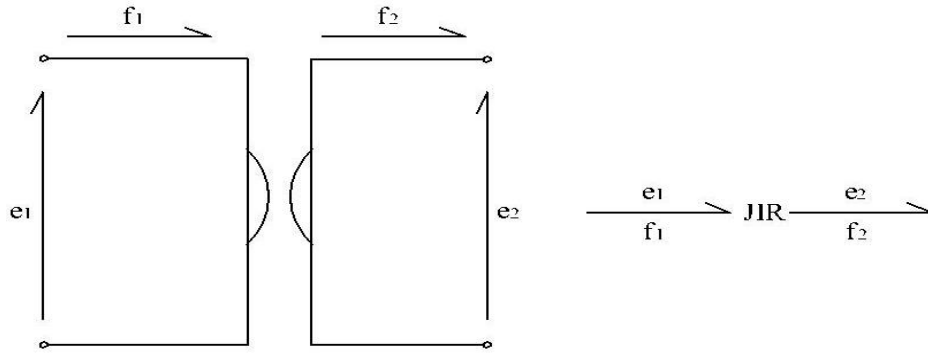
Transformatörün matematiksel tanımlaması;

$$e_1(t)=m \cdot e_2(t) \quad (2.9)$$

$$m \cdot f_1(t)=f_2(t) \quad (2.10)$$

Burada 'm' dönüştürme oranıdır.

Sistem değişkenlerinin bir enerji modundan diğer bir enerji moduna aktarılışında çaba ve akış değişkenleri arasında çaprazlama bir değişim oluyorsa, bu tip sistem elemanlarına da "Fiziksel Jirator" denilir ve 'JR' ile gösterilir. Şekil 1.5' de jiratorün elektriksel gösterimi ve güç diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.5. Elektriksel jirator ve güç diyagramı

Jiratorün matematiksel tanımlaması;

$$e_1(t) = r \cdot f_2(t) \quad (2.11)$$

$$e_2(t) = r \cdot f_1(t) \quad (2.12)$$

2.2.1 Kozalite(Nedensellik)

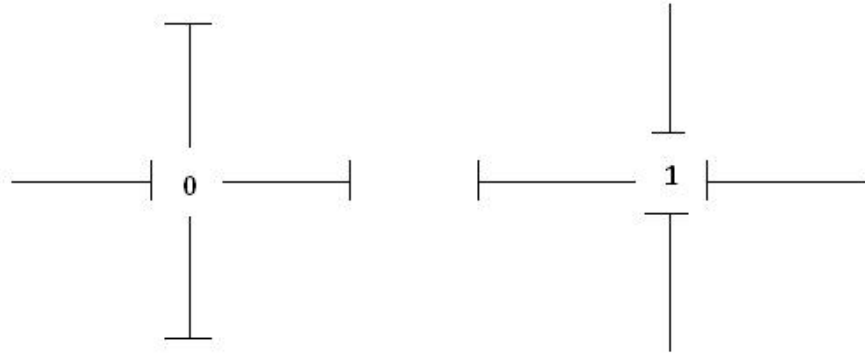
Diyagram üzerinde sebep sonuç ilişkisini belirtmek istediğimizde, diyagramın bir yerindeki herhangi bir niceliğin, diyagramın başka bir yerindeki diğer bir nicelik üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmamız gerekir. Böylece sebepten sonuca doğru bir nedensellik yolu izlenebilmektedir. Sistemin özelliklerini yansıtan ve güç diyagramını analize yönelten bu özelliğe kozalite(nedensellik) denmektedir. [3]

Diyagram üzerinde kozalitenin gösterimi, bağlacın sonuna kısa bir bar(çizgi) şeklindedir. Gerilim kozalitesi bara doğru, akım kozalitesi bardan dışarıya doğrudur. Bu durumda denilebilir ki çaba ve akış değişkenlerinin kozaliteleri, bağlaç üzerinde daima birbirine ters yöndedir. Kozalitenin bağlaç üzerindeki gösterimi Şekil 2.6'daki gibidir.



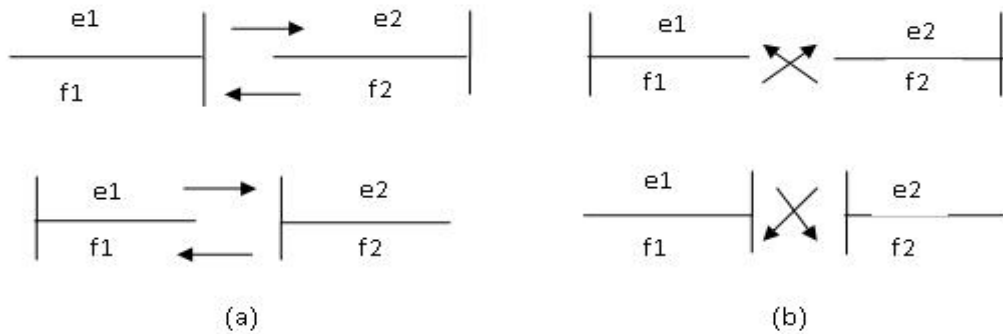
Şekil 2.6. Kozalitenin gösterimi

Bağlaçlardaki kovalite şartlarına göre bağlantılar sadece bir bağlaç tarafından tespit edilen değişkene sahip olmalıdır. Bu doğrultuda bir gerilim bağlantısı (0 kapısı), sadece bir bara (değişkeni belirleyen bağlacın barına) sahip olmalıdır. Bir akım bağlantısı (1 kapısı) ise, tek bir bağlaç (değişkeni belirleyen bağlaç) hariç diğer bağlaçların barlarıyla çevrelenmelidir. Bu koşullar Şekil 2.7’ de görülebilmektedir.



Şekil 2.7. (a) 0 Kapısı (b) 1 kapısı için kovalite şartları

Benzer şartlar transformatör ve jirator için de geçerlidir. Transformatör, kovaliteyi yönünde hiçbir değişiklik yapmadan iletir. Jirator ise kovalitenin yönünü değiştirir. Yani jirator giren bir gerilim kovalitesi, akım kovalitesi olarak çıkar. Aynı şekilde akım kovalitesi de gerilim kovalitesi olarak çıkmaktadır. Şekil 2.8’de transformatör ve jirator için kovalite şartları görülebilmektedir.



Şekil 2.8. (a) Transformatör (b) Jirator için kovalite şartları

Yukarıdaki tanımlamalardan da anlaşılacağı üzere bir sistemin bağlaç diyagramı modeli kovalitelendirilirken öncelikle çaba ve akış değişkenleri göz önüne alınır. Yani sisteme

enerji depolayan ya da enerji yayan elemanları belirlemek gerekmektedir [9]. Elektrik devrelerinde dirençlerin kotalite seçimleri yapılırken ise bağlı oldukları diğer elemanlara göre yapılır.

Bir elektriksel sistemin bağlaç diyagramı elemanlarının tanımları, kotaliteleri ve matematiksel gösterimleri aşağıdaki Tablo2.1’de görülebilmektedir. [12]

Tablo 2.1. Bağlaç diyagramı elemanlarının tanımları, kotaliteleri ve bağıntıları

BİLEŞEN	BOND GRAF GÖSTERİMİ	KOTALİTELE NDİRİLMİŞ GÖSTERİM	MATEMATİKSEL GÖSTERİM
ÇABA DEĞİŞKENİ			$e(t)=E(t)$
AKIŞ DEĞİŞKENİ			$f(t)=F(t)$
DİRENÇ			$e=\phi_r(f)$
KAPASİTE			$e=\phi_c^{-1}(\int e dt)$ $f=d/dt[\phi_c(e)]$
İNDÜKTANS			$f=\phi_L^{-1}(\int c dt)$ $c=d/dt[\phi_L(f)]$
TRANSFORMATÖR			$e_1=m \cdot e_2$ $f_2=m \cdot f_1$ $f_1=f_2/m$ $e_2=e_1/m$
JİRATÖR			$e_1=f_2 \cdot r$ $e_2=r \cdot f_1$ $f_1=e_2/r$ $f_2=e_1/r$
0 KAPISI			$e_1=e_2=e_3$ $f_1=-(f_2+f_3)$
1 KAPISI			$f_1=f_2=f_3$ $e_1=-(e_2+e_3)$

2.3. Elektriksel Sistemlerin Bağlaç Diyagramı Modelinin Oluşturulması

Elektriksel sistemlerin bağlaç diyagramı modeli oluşturulurken kullanılan iki yöntem mevcuttur.

2.3.1. Gözlem Metodu

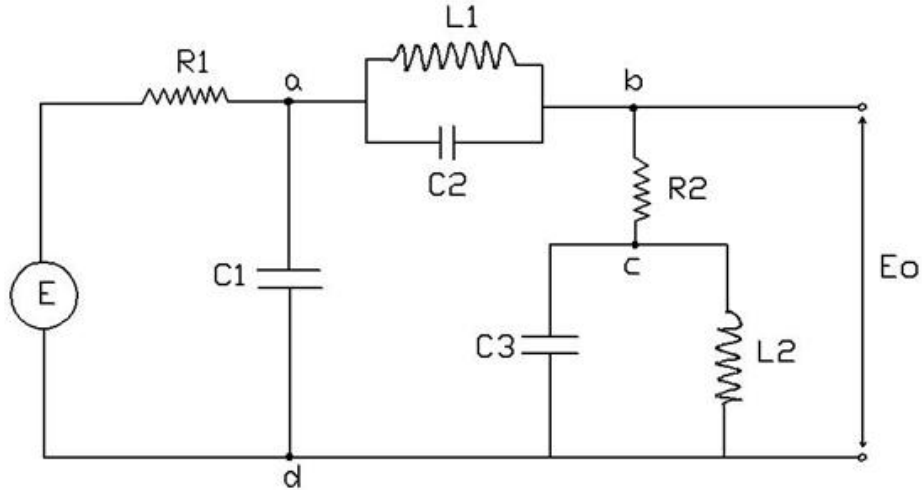
Bu yöntemde temel olarak adından da anlaşılacağı gibi devre gözlemlenerek pratik bir şekilde bağlaç diyagramı modeli oluşturulmaya çalışılır[13]. Takip edilen adımları şöyle sıralayabilmek mümkündür;

1.Adım: Devredeki 0 ve 1 kapıları ile enerji modları arasındaki transformatör ve jiratorler belirlenir.

2.Adım: Devredeki aktif ve pasif elemanlar, eş potansiyel veya eş akım durumlarına göre bağlı oldukları kapılara yerleştirilir.

3.Adım: Oluşturulan bu basit diyagramda devre elemanlarının özelliklerine göre bağlaçların yönleri belirlenir. Bu işlem, kaynak elemanlarının bağlaç yönü 0 ve 1 kapılarına doğru, pasif elemanların bağlaç yönü ise 0 ve 1 kapılarından bu elemanlara doğru olacak şekilde gerçekleştirilir[4].

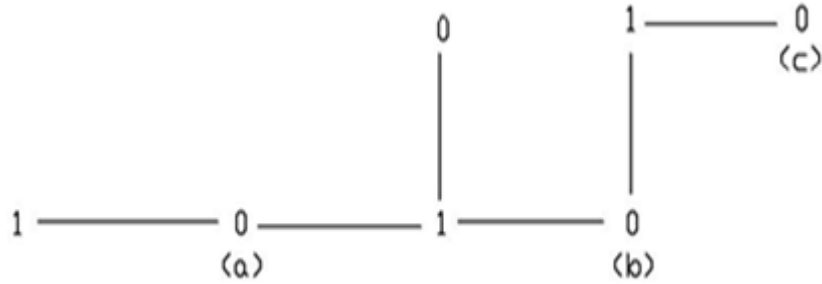
Şekil 2.9'daki elektrik devresinin, gözlem metoduyla bağlaç diyagramı modelini adım adım oluşturmaya çalışalım.



Şekil 2.9. Örnek1 elektrik devresi

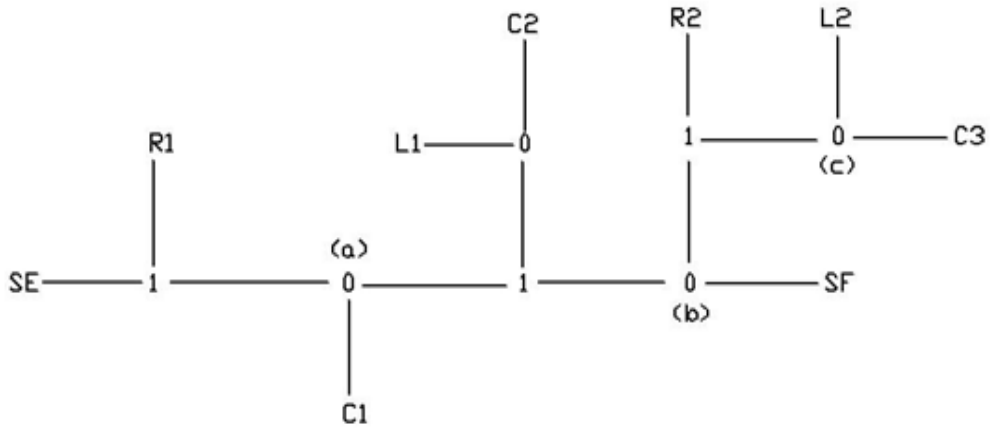
İlk adımda devrenin 0 ve 1 kapılarını bulalım. Şekilde görüldüğü üzere eş potansiyele sahip 'a,b, c,d' düğüm noktaları, 0 kapılarının buldukları noktalardır. Bu 3 noktadan 'd'

noktası, referans düğüm noktası olarak seçilebilir. Ayrıca aynı akımların geçtiği kollar da 1 kapısı olarak belirlenmektedir. Bu durumda ilk adımda devremizin bağlaç diyagramı Şekil 2.10'daki gibi oluşmaktadır.



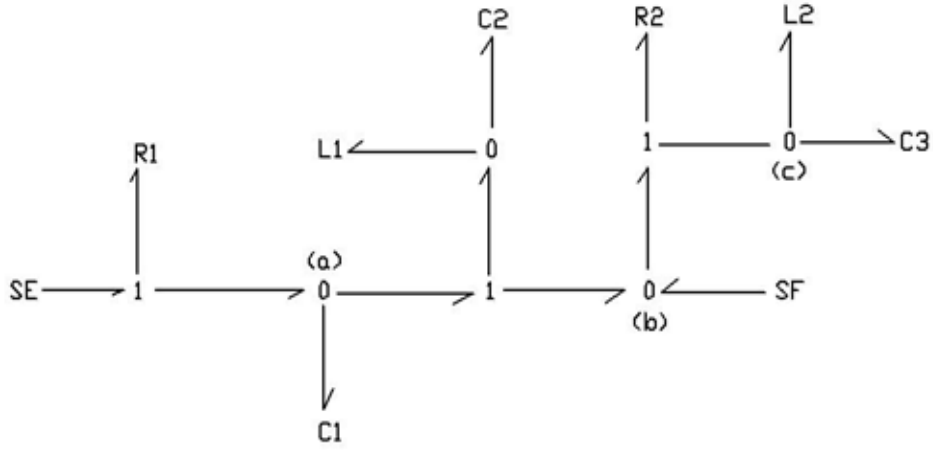
Şekil 2.10. Örnek1 devresine ait 0 ve 1 kapılarının diyagramdaki yerleşimi

2.adımda devre elemanlarını bağlı buldukları kapılar üzerine yerleştirilirse bu yeni durumda bağlaç diyagramı Şekil 2.11'deki gibi olmaktadır.



Şekil 2.11. Örnek1 elektrik devresine ait kapılar ve bağlı buldukları elemanlar

Son olarak devre elemanlarının yukarıda açıklandığı gibi enerji durumlarına göre bağlaçların yönleri belirlenir ve böylece Örnek1 elektrik devremizin bağlaç diyagramı modeli Şekil 2.12'deki gibi olur.



Şekil 2.12. Örnek1 devresinin gözlem metoduyla oluşturulmuş bağlaç diyagramı modeli

2.3.2. İnşa Metodu

İnşa metodu ile elektriksel sistemlerin bağlaç diyagramı modeli oluşturulurken temel olarak devre topolojisinden faydalanılır. Diğer yöntem genellikle basit devrelerde kullanılır. Ancak karmaşık elektrik devrelerinde inşa metodu tercih edilmektedir[14]. Çünkü elemanların ve kapıların çokluğu ile bunların inşa metodunda sadeleştirilebilmesi bu tür devrelerin modellenmesinde bir avantajdır. İnşa metodu ile elektrik devresinin modellenmesi yöntemi şu şekilde adım adım uygulanabilmektedir;

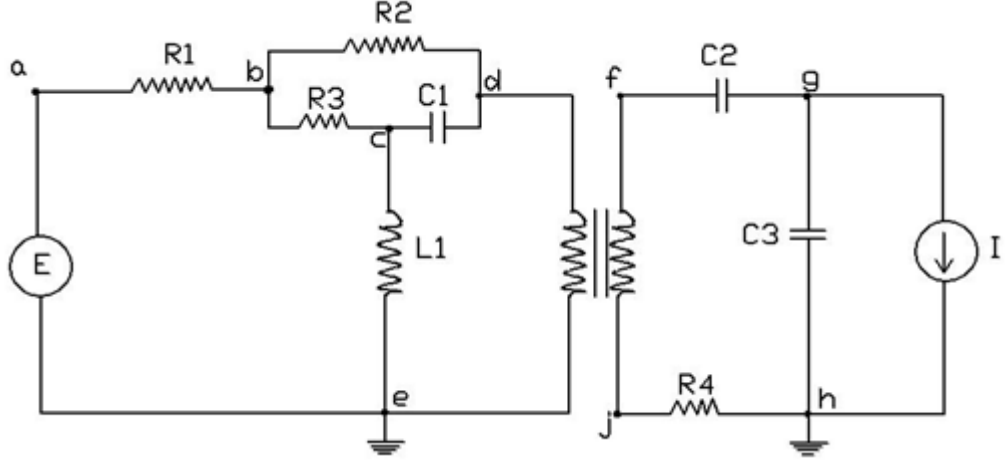
1.Adım: İlk olarak devredeki farklı potansiyeldeki düğümler için birer 0 kapısı ve bu 0 kapılarının arasına birer 1 kapısı konulur. Unutulmamalıdır ki, bağlaç diyagramı modelinde asla aynı tür kapılar birbirini takip etmez. Yani iki 0 kapısı veya iki 1 kapısı ard arda gelmez.

2.Adım: Belirlenen bu kapılara devre elemanları ve düğümler arasında bulunan elemanlara karşılık gelen bağlaçlar bağlanarak, elemanların enerji durumlarına göre bağlaçların yönleri tayin edilir. Yön tayini yapılırken diğer yöntemde olduğu gibi, kaynak elemanlarının bağlaç yönü 0 ve 1 kapılarına doğru, pasif elemanların bağlaç yönü ise 0 ve 1 kapılarından bu elemanlara doğru olacak şekilde gerçekleştirilir.

3.Adım: Eğer devre görülebilen bir sıfır potansiyeline sahipse, bunu temsil eden 0 kapısı ve bağlı bağlaçlar diyagramdan çıkarılmak üzere sadeleştirme yapılır. Eğer bir sıfır potansiyel mevcut değilse herhangi bir 0 kapısı için bu işlem uygulanır.

4.Adım: Bağlı buldukları diğer kapılar haricinde başka elemanların bağlı olmadığı 0 ve 1 kapıları aynı şekilde kaldırılarak sadeleştirilir. Böylece elektriksel sistemin bağlaç diyagramı modeli inşa metoduyla çıkarılmış olur.

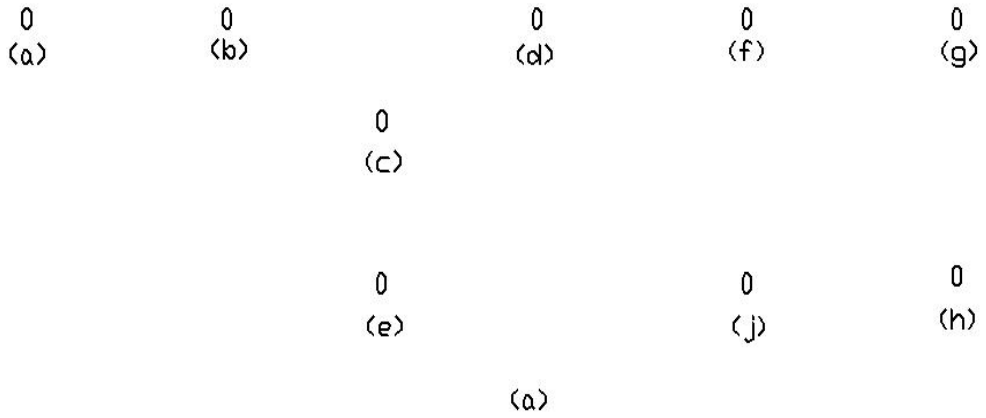
Şekil 2.13'deki Örnek2 devresi üzerinde inşa metodunun kullanılarak devrenin bağlaç diyagramı modelinin oluşturulmasını görebiliriz.

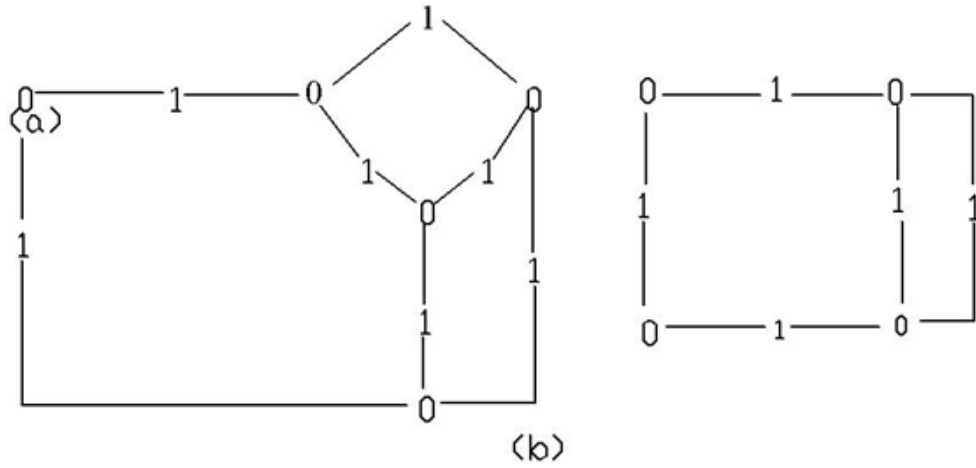


Şekil 2.13. Örnek2 devresi

Örnek2 devresinin bağlaç diyagramı modelini inşa metoduna göre adım adım oluşturalım.

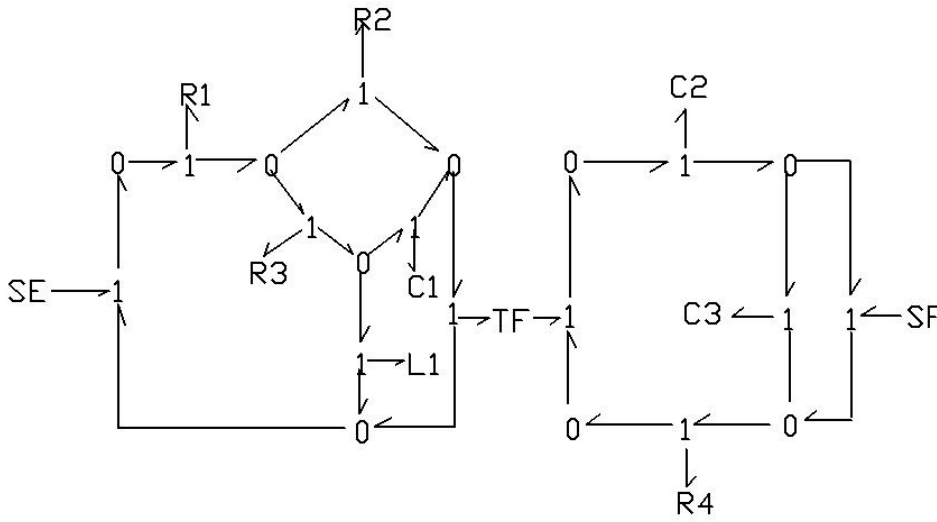
1.Adım: Devredeki düğüm noktalarına göre 0 kapıları belirlenir ve bu 0 kapılarının arasına 1 kapıları yerleştirilerek diyagramın temeli Şekil 2.14'deki gibi olur.





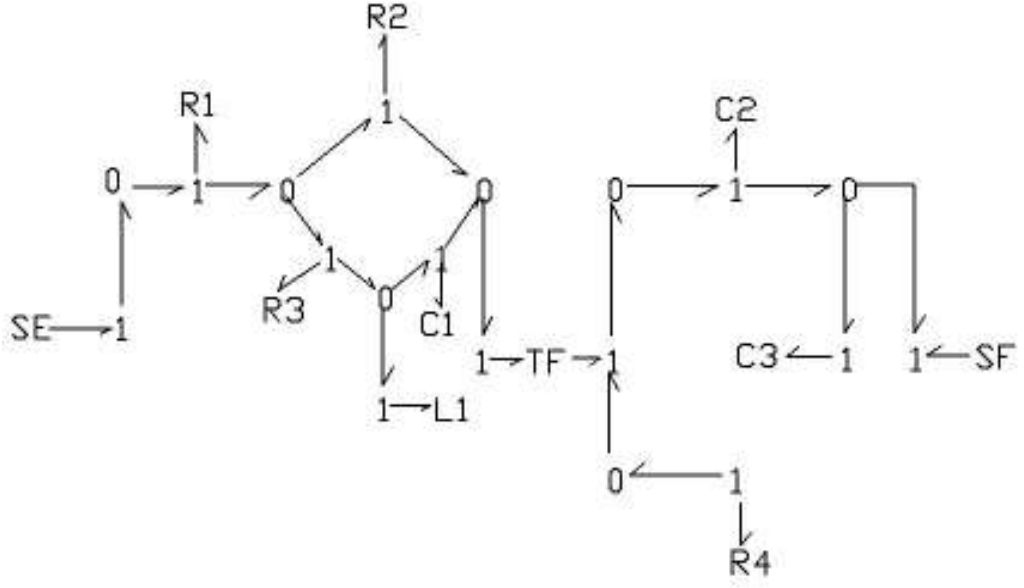
Şekil 2.14. Örnek2 devresinin (a) 0 kapılarının yerleşimi (b) 0 ve 1 kapılarının yerleşimi

2.Adım: Devre elemanlarının özellikleri dikkate alınarak bağlaçların yönleri tayin edilir. Bu durumda diyagram, Şekil 2.15'deki gibi oluşturulur.



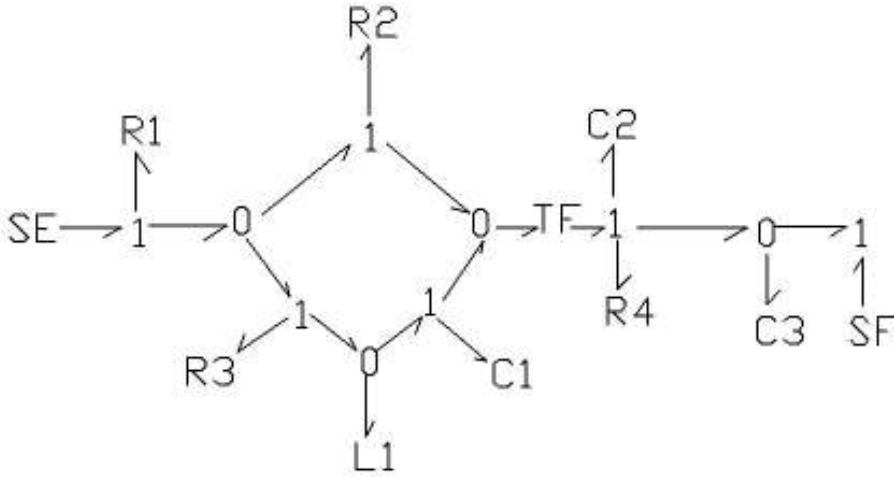
Şekil 2.15. Örnek2 devresine ait temel bağlaç diyagramı modeli

3.Adım: Devrede 'e' ve 'h' noktalarının bulunduğu düğümdeki 0 kapısı referans düğüm noktasıdır. Oluşturulan temel diyagramda sıfır potansiyeline sahip bu iki 0 kapısı diyagramdan çıkarılarak model Şekil 2.16'daki halini alır.



Şekil 2.16. Örnek2 devresi sadeleştirilmiş bağlaç diyagramı modeli

4.Adım: Son olarak diyagramdaki C3 elemanının bağlı bulunduğu 1 kapısı gibi başka elemanlara bağlı olmayan kapılar da diyagramdan kaldırılarak Örnek2 devresine ait bağlaç diyagramı modeli Şekil 2.17'deki gibi oluşturulmuş olur.

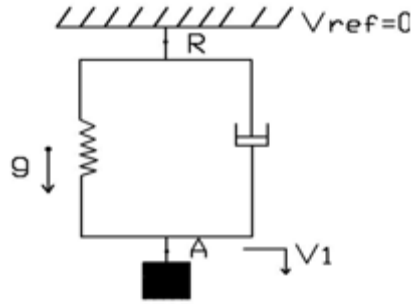


Şekil 2.17. Örnek2 devresi bağlaç diyagramı modeli

2.4. Mekanik Sistemlerin Bağlaç Diyagramı Modelinin Oluşturulması

Mekanik sistemlerin bağlaç diyagramı modeli oluşturulurken de elektriksel sistemlerde olduğu gibi 'gözlem metodu' ve 'inşa metodu' olmak üzere iki ayrı yöntem kullanılır. Yalnız burada farklı olan sistem bileşenleridir. Mekanik sistemlerdeki bileşenlerde de temel olan akış ve çaba değişkenleridir. Sistem elemanları bu temele dayanarak gereken dönüşümleri yapılarak bağlaç diyagramı modeli oluşturulur [15].

Şekil 2.18'deki Örnek3 mekanik sistemi üzerinde adım adım bağlaç diyagramı modelinin oluşturulmasını görelim.



Şekil 2.18. Örnek3 mekanik sistemi

Farklı sistemlerin bağlaç diyagramı değişkenlerindeki karşılıkları Tablo2.2'de görülebilmektedir.

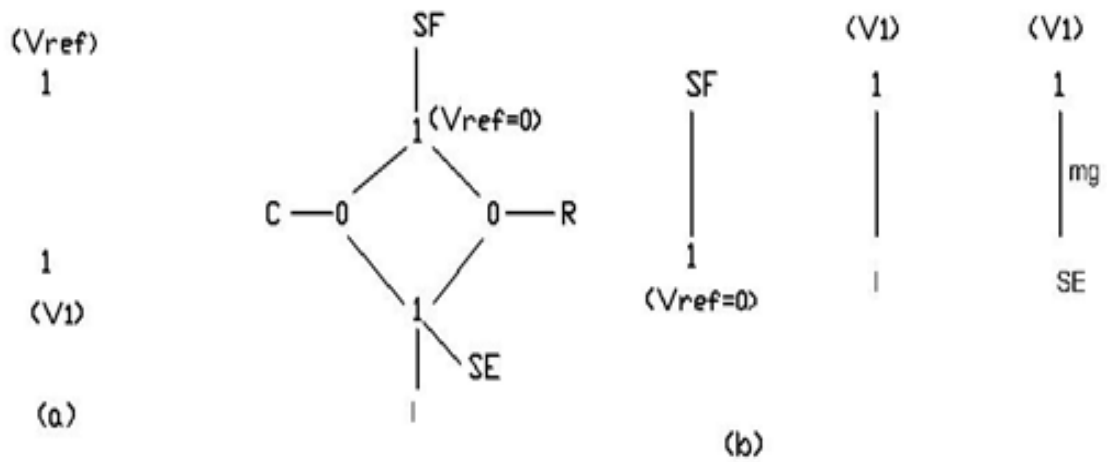
Tablo 2.2. Sistem diyagram elemanları dönüşümleri

GENEL	ÖTELEMELİ MEKANİK	DÖNMELİ MEKANİK	ELEKTRİK	HİDRO DİNAMİK	ISIL	KONVANSİYONEL
ÇABA DEĞİŞKENİ	HIZ (V)	AÇISAL HIZ (W)	AKIM(I)	BASINÇ	TEMPERATÜR	KONSANTRASYON
AKIŞ DEĞİŞKENİ	KUVVET(F)	DÖNME MOMENTİ (M)	GERİLİM(V)	DEBİ	ISIL DEBİ	ÇÖZÜNTÜ DEBİSİ
KAYIP ELEMANLARI	SÖNÜM KATSAYISI (R)	SÖNÜM KATSAYISI (R)	DİRENÇ(R)	AKIŞKAN DİRENÇİ	ISIL DİRENÇ	ÇÖZÜNTÜ KONDÜKTANSI
ATALET ELEMANLARI	YAY KATILIĞI (1/K)	DÖNEL YAY KATILIĞI(1/K)	KAPASİTANS (C)	AKIŞKAN KAPASİTESİ	ISIL KAPASİTANS	DAĞILIM HACMİ
KATILIK ELEMANLARI	KÜTLE(M)	EYLEMSİZLİK MOMENTİ (I)	İNDÜKTANS (L)	İNTERANS		

Bu tanımlamalar doğrultusunda Örnek3 mekanik sisteminin bağlaç diyagramı modelini oluşturalım.

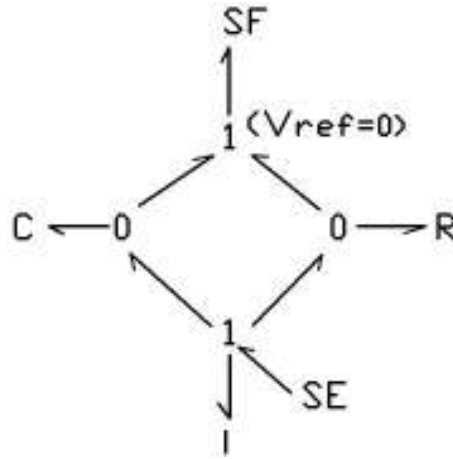
1.Adım: Öncelikle farklı bağıl ve sürekli hızlar için 1 kapıları yerleştirilir.(Şekil 2.19(a))

2.Adım: Diğer sistem bileşenleri ne(C,I,R,Se,Sf) karşılık gelen her bağlaç için 1 kapıları arasına birer 0 kapısı yerleştirilerek bileşenler bu 0 kapılarına bağlaçlarla bağlanır.(Şekil 2.19(b))



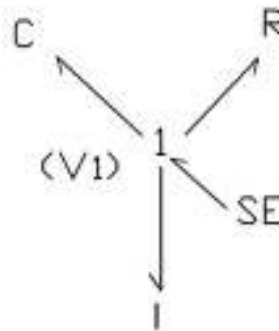
Şekil 2.19. Örnek3 sistemi 0 ve 1 kapıları ile sistem bileşenleri yerleşimi

3.Adım: Elde edilen diyagramda bir referans düğüm belirlenir. Elektriksel sistemden farklı olarak bu referans düğüm 0 kapısı değil de 1 kapısıdır. Örnek3 devresinde referans düğüm V_{ref} hızının bağlı bulunduğu 1 kapısıdır. Bu belirlemeden sonra diyagramdaki bağlaçların yönleri belirlenir. Yön tayini yapılırken kaynakların yönü kapılara doğru, pasif bileşenlerin yönleri ise kapılardan bu bileşenlere doğru prensibine uygun olmalıdır. Bu durumda Örnek3 sisteminin basit bağlaç diyagramı Şekil 2.20'deki gibi olmaktadır.



Şekil 2.20. Örnek3 basit bağlaç diyagramı modeli

4.Adım: Son olarak oluşturulan bu basit diyagramda referans düğüm olarak kabul edilen V_{ref} bileşeninin bağlı bulunduğu 1 kapısı ile üzerinde başka bileşen bulundurmayan 1 ve 0 kapıları sadeleştirilirse Örnek3 mekanik sisteminin bağlaç diyagramı modeli Şekil 2.21'deki gibi oluşur.



Şekil 2.21. Örnek3 mekanik sisteminin bağlaç diyagramı modeli

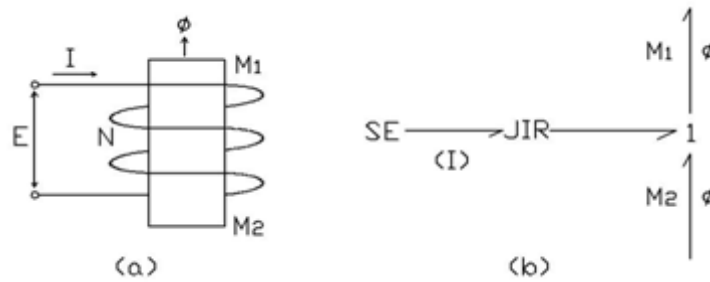
2.5. Manyetik Sistemlerin Bağlaç Diyagramı Modelinin Oluşturulması

Manyetik sistemlerin bağlaç diyagramı modeli oluşturulurken mekanik sistemde olduğu gibi elektriksel dönüşümü yapılarak bu doğrultuda elektriksel sistemle aynı aşamalar izlenir. Dönüşüm yapılırken kullanılan manyetik devre elemanlarına karşılık gelen elektriksel elemanlar Tablo 2.3'deki gibidir.

Tablo 2.3. Elektrik ile manyetik parametreler ve dönüşümleri

Genel	Elektrik	Manyetik
Çaba Değişkeni	Elektromotor Kuvveti (E)	Manyetomotor Kuvveti (M)
Akış Değişkeni	Akım (I)	Akış Oranı
Yer Değiştirme	Yük (q)	Akış (ϕ)
Kapasitör Parametreleri	Capasitör (C)	Manyetik İletkenlik (P)
Zorlama Parametreleri	1/C	Manyetik Direnç ($R=1/P$)

Şekil 2.22'de basit bir manyetik bobin ve buna ait bağlaç diyagramı görülebilmektedir.



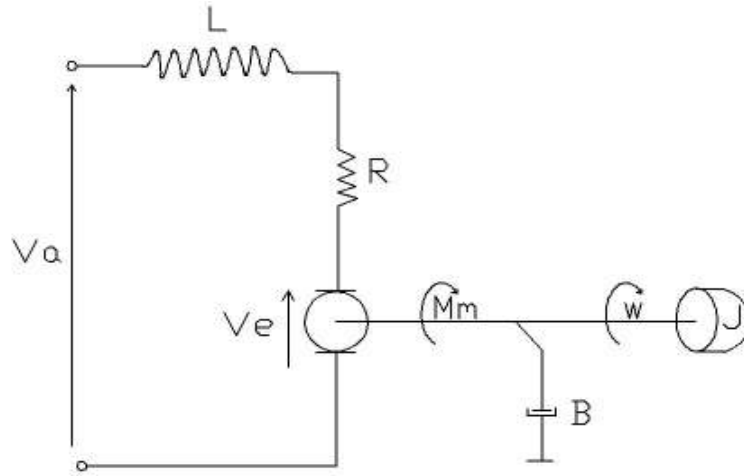
Şekil 2.22. (a)Manyetik bobin (b)Bağlaç diyagramı modeli

Bu basit manyetik devreden yola çıkarak Şekil 2.23'deki Örnek 4 manyetik devresinin bağlaç diyagramı modelini oluşturmaya çalışalım.

2.6. Karmaşık Sistemlerin Bağlaç Diyagramı Modelinin Oluşturulması

İkiden fazla yapının bir arada olduğu karmaşık sistemler modellenirken de elektromekanik sistemlerde kullanılan teknik uygulanabilir. Yani dönüşüm tablolarından gerekli dönüşümler yapılarak sistem tek bir enerji modundaymış gibi modellenir ve sonrasında gerekli sadeleştirmeler yapılarak karmaşık sistemin basitleştirilmiş bağlaç diyagramı modeli oluşturulur.

Örnek5 sistemi, elektrik, manyetik ve mekanik sistemlerin bir arada olduğu serbest uyarımlı bir doğru akım motorunun eşdeğer devresidir. Bu tür sistemlerin bağlaç diyagramı modelinde daha önceki örneklerde görüldüğü üzere sistemin mekanik ve manyetik aksamının da modellenmesi gerekmektedir. Bunun içinde Tablo2.2 ve Tablo2.3’de verilen dönüşümlerden faydalanılarak mekanik ve manyetik sistemin elektriksel karşılıkları bulunur ve komple elektriksel bir sistemmiş gibi bağlaç diyagramı modeli oluşturulur. Bu yöntemi Şekil 2.26’daki Örnek5 sisteminin üzerinde uygulayalım.



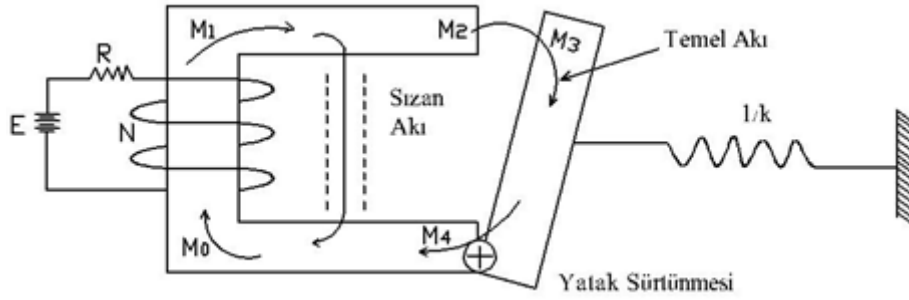
Şekil 2.26. Örnek5 karmaşık sistemi

Mekanik devrenin dönüşümünü yaparsak; motor yükü(M) gerilime(V), sürtünme(B) dirence(R), döner kütle(J) endüktansa(L), hız(W) akıma(I) karşılık gelir. Motor nüvesindeki manyetik devrenin dönüşümü ise jirator olarak diyagramda yer almaktadır. Bu durumda sistemin bağlaç diyagramı modeli Şekil 2.27’deki gibi olur.



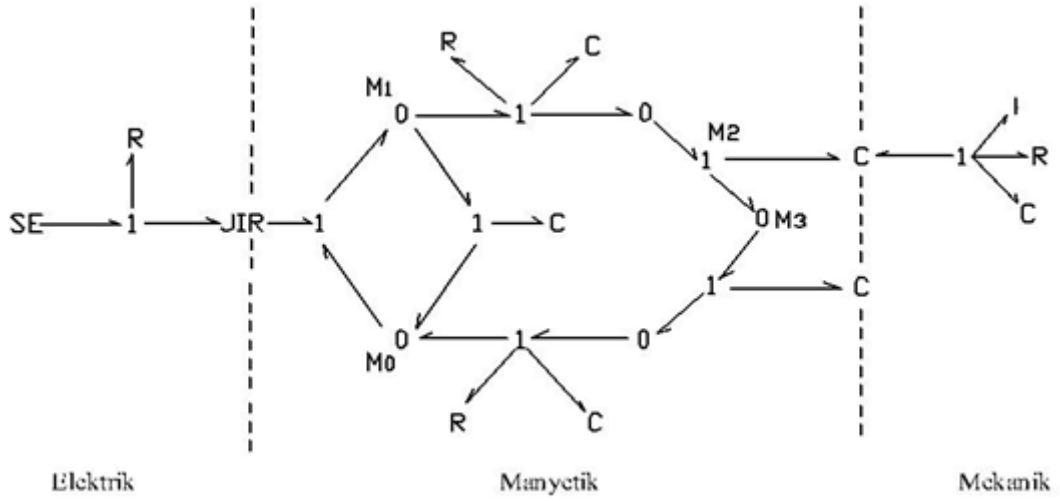
Şekil 2.27. Örnek5 karmaşık sisteminin bağlaç diyagramı modeli

Aynı yöntemi kullanarak Şekil 2.28’de görülen Örnek6 karmaşık sisteminin bağlaç diyagramı modelini oluşturmaya çalışalım.



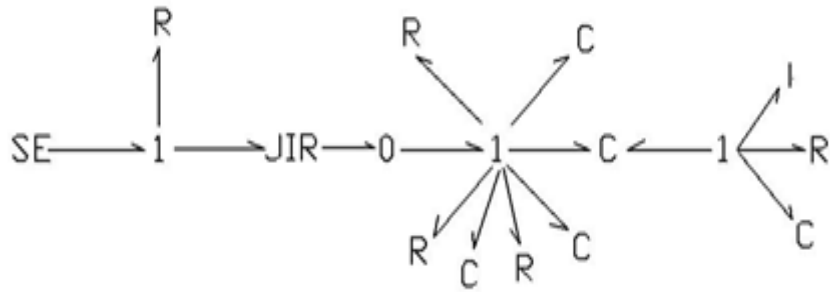
Şekil 2.28. Örnek6 karmaşık devresi

Görüldüğü üzere sistem elektrik-manyetik-mekanik yapıların bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Düzeneğin çalışması ise DC kaynaktan verilen voltaj ile nüve etrafındaki bobin yardımıyla bir manyetik alan oluşturulması ve bu manyetik akının etkisiyle oluşan kutuplaşma sonucu bir ucu sabitlenmiş yayın gerilmesi esasına dayanmaktadır. Bu karmaşık sistemin gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra elde edilen bağlaç diyagramı modeli Şekil 2.29’de görülebilmektedir.



Şekil 2.29 Örnek6 karmaşık sisteminin temel bağlaç diyagramı modeli

Temel bağlaç diyagramı modelinde başka elemanların bağlı olmadığı 0 ve 1 kapıları kaldırılarak diyagram sadeleştirilirse bu yeni durumda karmaşık Örnek6 sisteminin basitleştirilmiş bağlaç diyagramı modeli Şekil 2.30'daki gibi olmaktadır.



Şekil 2.30. Örnek6 karmaşık sisteminin basitleştirilmiş bağlaç diyagramı modeli

3.BULGULAR

3.1. Enport Simülasyonu

3.1.1. Programa Bakış

Bağlaç diyagramı yöntemi kullanılarak modellenen sistemlerin simülasyonları farklı hazır programlarla yapılabilmektedir. Bu paket programlardan biri de ENPORT programıdır.

İlk bağlaç diyagramı simülasyonu Karnopp ve Rosenberg tarafından 1968 yılında IBM bilgisayarları üzerinde yapılmıştır. Bu ilk uygulamadan sonra program geliştirilerek daha kullanışlı hale getirilmiştir.

3.1.2. Programın Çalıştırılması

Program menüsü, farklı sistemlerin modellenip simüle edilebilmesine uygun şekilde dizayn edilmiştir. Menüler adım adım takip edildiğinde sistem girdileri yapılarak analiz edilen sistem sonunda grafiklerle ve çıktılarla yorumlanabilmektedir.

ENPORT program menüleri şu şekilde açıklanabilmektedir;

File Menüsü: Bu menü altında yer alan “New Model” opsiyonu seçilerek yeni model modeller açılarak üzerinde işlem yapılabilir.

Yine bu menü altında yer alan “Edit discription” opsiyonuyla da modelle ilgili farklı bilgiler girilebilir.

Model dosyaları .ENP uzantılı metin dosyalarıdır ve \ENPORTPC\MODEL dizini içinde saklanır. Dışarıdan .ENP uzantılı yeni bir model eklendiğinde “Add new file name” seçeneği işaretlenerek bu modelin programa tanıtılması gerekir. Aksi halde model, program tarafından yüklenmez.

Bu menü altında yer alan “Delete file” seçeneği ile de herhangi bir model dosyası silinebilir.

Diyagram Menüsü: Sistem diyagramı bu menü altında oluşturulur. “Add” opsiyonu kullanılarak diyagram elemanları ve bağlaçlar yerleştirilerek bağlantıları yapılır.

Yerleştirilen elemanların veya bağlaçların yerleri değiştirilmek istenirse “Modify”, bu bağlaçlar ve elemanlar silinmek istenirse “Delete” opsiyonu kullanılır.

Dokuz farklı diyagram elemanı mevcuttur. Bunlar; Se,C,I,R,TF,GY,0,1'dir. Ayrıca 8 standart blok mevcuttur. Bunlar ise Source, Sink, Distributor, Summer, Gain, İntegrator, Function, Transfer Function'dır. Blok elemanlarını diğer elemanlardan ayırmak için dikdörtgen çerçeve içinde gösterilir.

Diyagram elemanlarına, bağlaçlara ve sinyallere çeşitli isimler verilir. Bu isimler verilirken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Diyagram elemanlarının isimleri bir harfle başlamalı ve en fazla 8 karakter olmak üzere alfanümerik karakterlerden oluşmalıdır. Bağlaçlar numaralandırılmalı, sinyaller ise bir harfle başlamalı ve en fazla 5 alfanümerik karakterden oluşmalıdır.

Equation Menüsü: Sistemin diyagramı, “graph” menüsü altında oluşturulduktan sonra diyagramın bir veya birden fazla denkleme sahip olabilen her elemanı, kısmi olarak veya tamamen tanımlanmalıdır. Belirli elemanlar(0 veya 1 kapıları gibi)önceden tanımlı denklemlere sahiptir. Diğerlerini ise kullanıcı tarafından tanımlanır. Denklemleri tanımlamak için “Edit Equations” opsiyonu seçilir ve elemanlar burada isteğe göre tanımlanır. Denklemlerin tanımında kolaylık sağlaması için isimli parametreler kullanılabilir. Bu parametreler sabit olarak girilir. Sistem, farklı parametreler için çözdürüleceği zaman denklemlerin yeniden tanımlanması yerine kullanılan isimli parametrelerin değerleri değiştirilir ve bu da kullanıcıya büyük kolaylık sağlar. Sistem denklemleri “.SEQ” uzantılı bir dosyaya yazılabilir ve bu dosyalar “\ENPORTPC\SEQ” dizini içinde saklanır.

“0, 1, Dist, Sink, İntegrator” elemanları, diyagram tarafından tanımlanan denklemlere sahiptir. “C,I,R,Se,Sf,SR” elemanlarını ise tanımlamak gerekir. “TF,GY” elemanları için ise sadece modül değerlerin girilmesi yeterli olur.

Analyse Menüsü: Bu menü altında lineer olmayan bir modeli lineerleştirmek ve özdeğerlerle özvektörlerini hesaplatmak için gerekli opsiyonlar mevcuttur. Modelin lineer olması durumunda bile durum uzay modeli matrisleri A,B,C,D'yi oluşturmak için model lineerleştirilmelidir. Lineerleştirilmiş bir modelin A,B,C,D matrisleri ile özdeğerleri ve özvektörleri menüden seçilerek görülebilir. Ayrıca istendiğinde “.ABC” uzantılı bir dosyaya yazılarak “\ENPORTPC\ABC” dizini içinde saklanabilir.

Solve Menüsü: Bir modelin çözümü için değişik aşamalardan geçirilmesi gerekir. İlk aşama, diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılacak sayısal analiz metodunun

belirlenmesidir. Bu amaçla programda var olan dört adımlı “Runge-Kutta, Euler, Stiff, Nonstiff” sayısal analiz metotlarından biri seçilir. Başlangıç ve bitiş zamanları ile sonuçların saklanacağı aralık girilir. Son aşama olarak da çözüm yapılır. Ayrıca durum değişkenlerinin başlangıç şartları da bu menü altında verilir.

Display Menüsü: çözdürülen sistemdeki bir ya da birden fazla değişken(en fazla 6), grafik olarak çizdirilebilir veya tablo formunda görüntülenebilir. Tablo halinde görüntülenen veriler aynı şekilde bir dosyaya yazılabilir ve “\ENPORTPC\SEQ\” dizini içinde saklanabilir. Bu dosyalar kullanılarak “GRAPHER,ASEASY” gibi programlar yardımıyla çizimler istendiği gibi şekillendirilebilir.

Utils Menüsü: ENPORT’un çeşitli özellikleri ve sınırları hakkında bilgilerin bulunduğu menüdür. Çözdürülen sistemde hata meydana geldiğinde bu hatayı ayıklamak için “Debugging” opsiyonu da mevcuttur. Ayrıca grafik renk adaptörlerinin seçimi de bu menüde yapılır.

Leave Menüsü: programdan ayrılıp DOS ortamına dönmeyi sağlar.

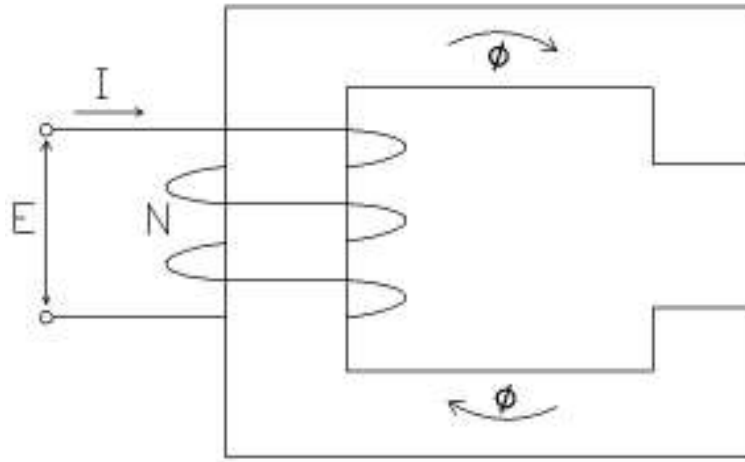
Programda girilen modellerin üst sınırları ise şu şekilde sıralanır; en fazla 100 diyagram elemanına, 100 bağlantıya, 60 isimli parametreye, 220 denkleme, 440 toplam denklem girişine, 440 toplam denklem parametresine, 15 durum değişkenine, 15 kaynak girişine, 20 çıkışa sahip bir sistem modellenilebilir ve çözümü yapılır.

Bağlaç diyagramı modeli oluşturulmuş herhangi bir sistemi ENPORT programı ile simüle etmek için izlenecek yol ise şöyledir: Bağlaç diyagramı modeli, Graph menüsü altındaki çizim özellikleri kullanılarak elde edilir. Daha sonra Equation menüsü ile denklemlerin tanımlamaları yapılır. Sistemin durum uzay gösterimi elde edilmek isteniyorsa Analyse menüsü altında lineerleştirme seçeneği kullanılır. Çözüm kısmında Solve menüsü kullanılarak çözdürülmek istenen aralık ve başlangıç şartları girilir. Son olarak çözümden sonra da değişkenlerin diyagramikleri veya çıktı tabloları Display menüsü kullanılarak elde edilir. Kozaliteleri program kendi belirlediği için ayrıca girmeye gerek yoktur.

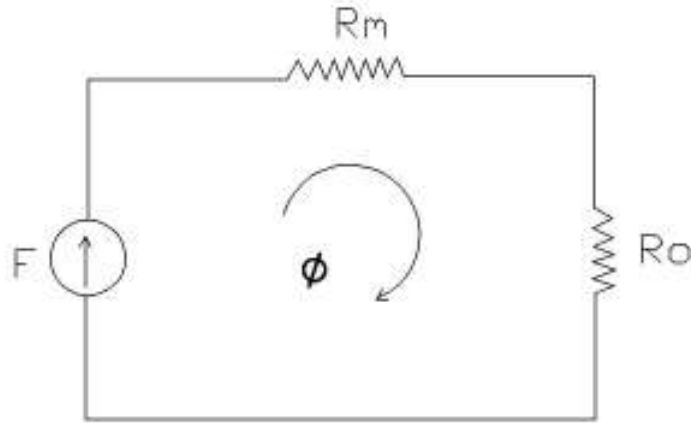
3.2. Simülasyon Örnekleri

3.2.1. Örnek7 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu

Örnek7 sistemi manyetik bir devreden oluşmaktadır. Tek sargılı, hava aralıklı bir manyetik nüveden ibaret olan bu devrenin bağlaç diyagramı oluşturulurken öncelikle sistemin elektrik eşdeğeri oluşturulur. Şekil 3,1'deki manyetik devrenin elektrik eşdeğeri Şekil 3.2'deki gibi olmaktadır.



Şekil 3.1. Örnek7 manyetik devresi



Şekil 3.2. Örnek7 manyetik devresinin elektrik eşdeğeri

Şekil 3.2'deki devrede görülen elemanlardan F, manyetomotor kuvvetini; R_m , manyetik nüve relüktansını; R_o , manyetik hava aralığı relüktansını simgeler. Relüktans, diyagramda

C olarak yer alır($C=1/R$). Φ ise devrede dolaşan manyetik akıyı gösterir. Bu eşdeğer devreden gidilerek sistemin bağlaç diyagramı modeli Şekil 3.3'deki gibi oluşturulur.



Şekil 3.3. Örnek7 devresi bağlaç diyagramı modeli

Oluşturulan modelde devreye ait veriler şöyledir; $N=400$ (Sarım sayısı), $I=\cos(10t)$ (Akım), $L_1=12\text{cm}$ (nüvenin uzunluğu), $L_0=0,5\text{cm}$ (hava aralığının uzunluğu), $\mu_r=1000$ (demirin geçirgenliği), $A=4\text{cm}^2$ (nüvenin kesit alanı).

Aşağıda yer alan bağıntılar kullanılarak manyetik devrenin relüktans(R), manyetomotor kuvveti(F) ve akı(Φ) değerleri bulunabilmektedir.

$$F = NI \quad (3.1)$$

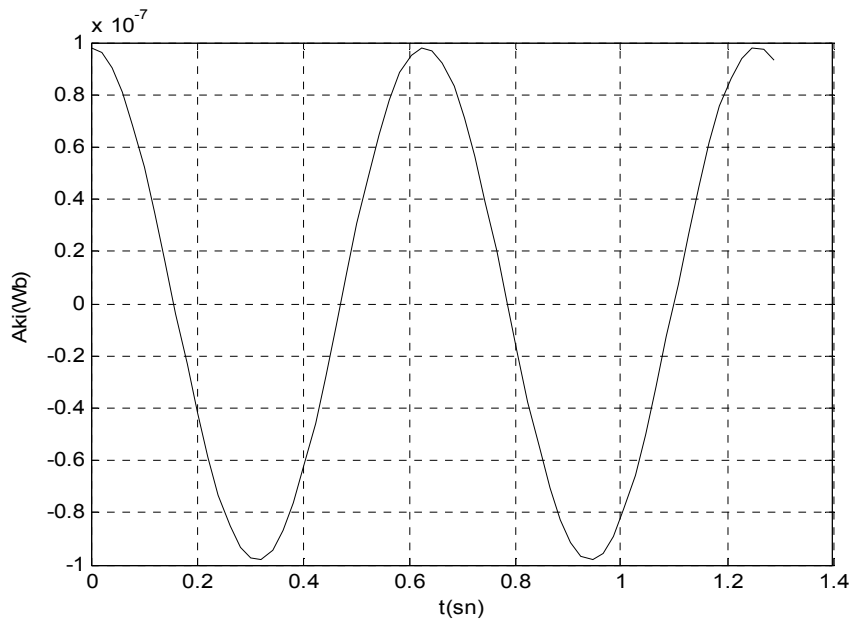
$$R_1 = \frac{L_1}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.2)$$

$$R_0 = \frac{L_0}{\mu_0 A} \quad (3.3)$$

$$F = \Phi(R_1 + R_0) \quad (3.4)$$

$$\Phi = \frac{F}{R_1 + R_0} \quad (3.5)$$

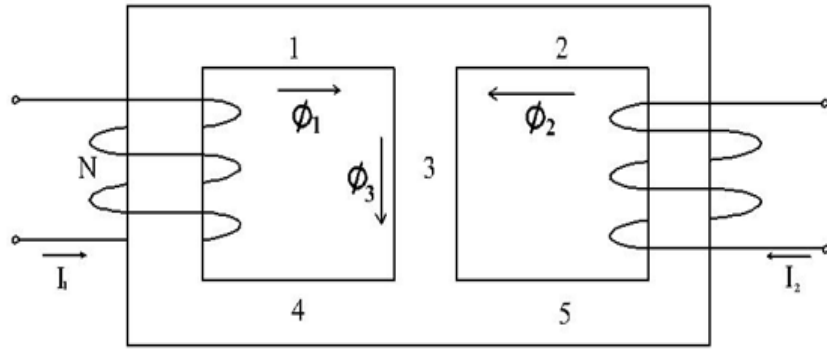
Bağlaç diyagramı analiziyle de bu değerleri bulmak mümkündür. Bağlaç diyagramına göre bulunan manyetik akının zamana göre değişim grafiği Şekil3.4'de görülmektedir.



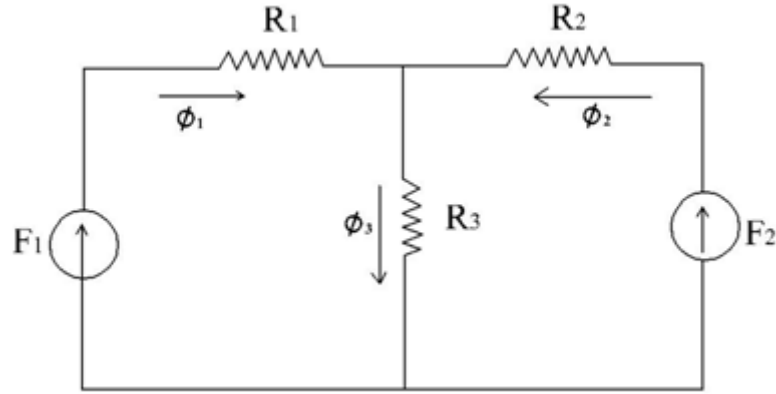
Şekil 3.4. Örnek7 bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği

3.2.2.Örnek8 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu

Örnek8 sistemi, çift bacaklı, çift sargılı bir manyetik devreden oluşmaktadır. Önceki örnekte olduğu gibi bu devrenin de öncelikle elektrik eşdeğeri oluşturulur ve bu doğrultuda bağlaç diyagramı elde edilir. Şekil 3.5'deki manyetik devrenin elektrik eşdeğeri Şekil 3.6'deki gibi olmaktadır.

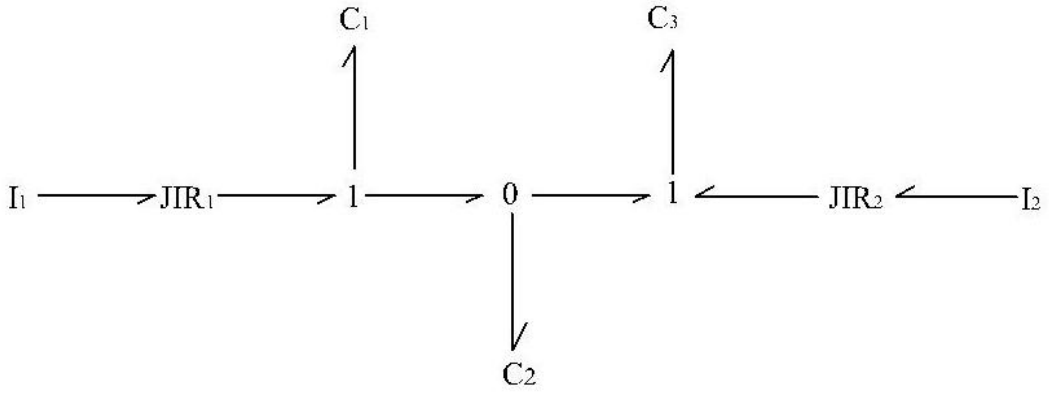


Şekil 3.5. Örnek8 manyetik devresi



Şekil 3.6. Örnek8 manyetik devresi elektrik eşdeğeri

Elektrik eşdeğeri oluşturulan devrenin bağlaç diyagramı artık bilinen yöntemler yardımıyla bulunabilir. Örnek8 devresinin bağlaç diyagramı Şekil 3.7'deki gibi olmaktadır.



Şekil 3.7. Örnek8 devresi bağlaç diyagramı modeli

Bu manyetik devreye ait bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$F_1 = N_1 I_1 \quad (3.6)$$

$$F_2 = N_2 I_2 \quad (3.7)$$

$$R_1 = \frac{L_1}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.8)$$

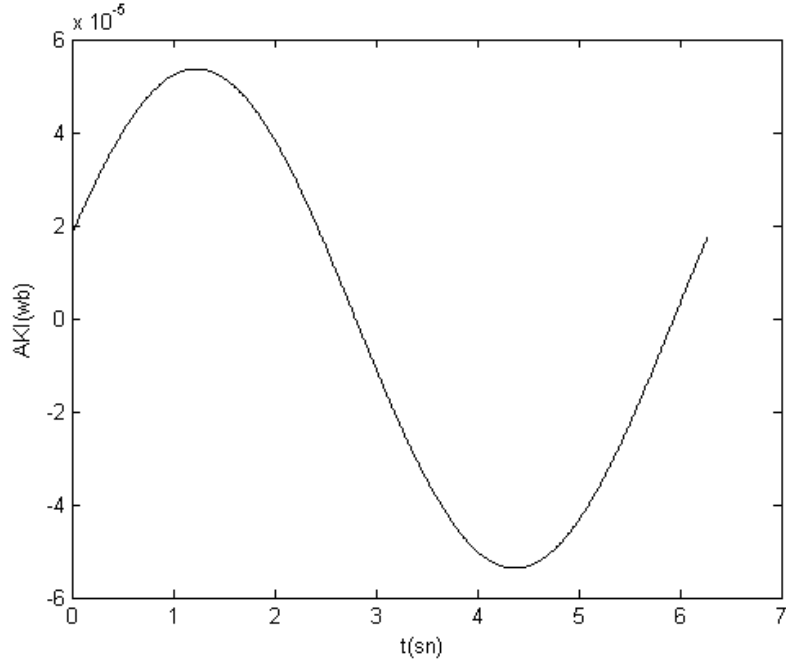
$$R_2 = \frac{L_2}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.9)$$

$$R_3 = \frac{L_3}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.10)$$

$$F_1 = \Phi_1 (R_1 + R_3) + \Phi_2 R_3 \quad (3.11)$$

$$F_2 = \Phi_1 R_2 + \Phi_3 (R_2 + R_3) \quad (3.12)$$

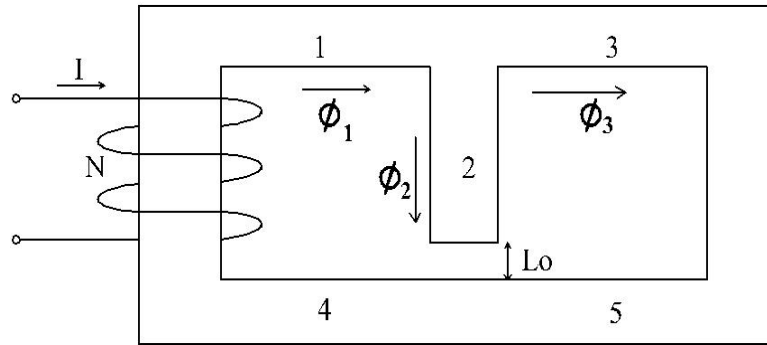
Bu bağıntılarda kullanılacak kavramların değerleri şöyledir; $N_1=193$, $N_2=375$, $I=\sin(10t)$, $R_1=2,43 \times 10^5 \text{ H}^{-1}$, $R_2=8,20 \times 10^4 \text{ H}^{-1}$, $R_3=2,93 \times 10^5 \text{ H}^{-1}$. Bu değerler kullanılarak devrenin bağlaç diyagramı simülasyonu yapılır ve çıkış(akı) değerleri elde edilir. Devrenin akı-zaman grafiği Şekil 3.8'deki gibi elde edilir.



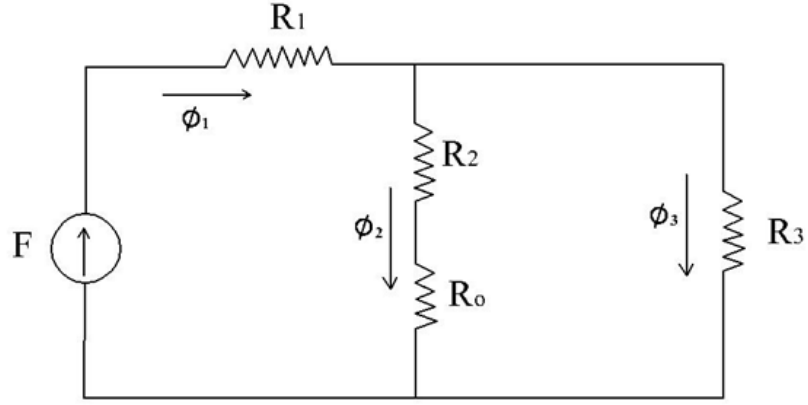
Şekil 3.8. Örnek8 bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği

3.2.3. Örnek9 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu

Örnek9 sistemi, çift bacaklı, tek sargılı ve hava aralıklı(air gap) bir manyetik devreden oluşmaktadır. Şekil 3.9’da manyetik devresi görülen sistemin elektrik eşdeğeri Şekil 3.10’daki gibi oluşturulur.

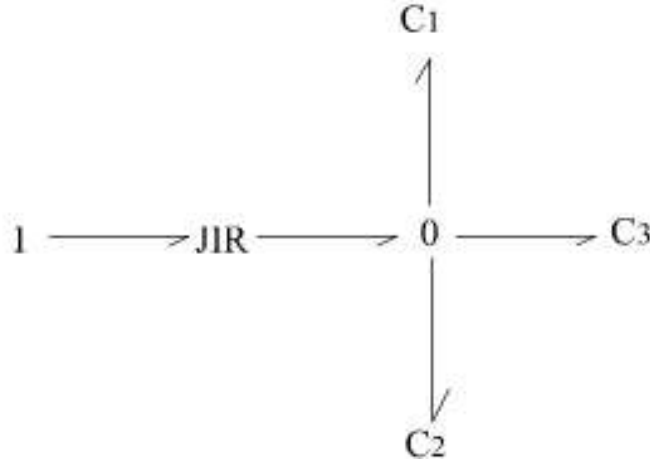


Şekil 3.9. Örnek9 manyetik devresi



Şekil 3.10. Örnek9 manyetik devresi elektrik eşdeğeri

Elektrik eşdeğer devresinden yola çıkılarak sistemin bağlaç diyagramı modeli rahatlıkla oluşturulabilir. Burada dikkat edilmesi gereken hava aralığının farklı bir relüktans olarak değerlendirilmesidir. Bu durumda Örnek9 sisteminin bağlaç diyagramı modeli Şekil 3.11’de görüldüğü gibi olur.



Şekil 3.11. Örnek9 manyetik devresi bağlaç diyagramı modeli

Örnek9 manyetik devresine ait bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$F = NI \quad (3.13)$$

$$R_1 = \frac{L_1}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.14)$$

$$R_2 = \frac{L_2}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.15)$$

$$R_3 = \frac{L_3}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.16)$$

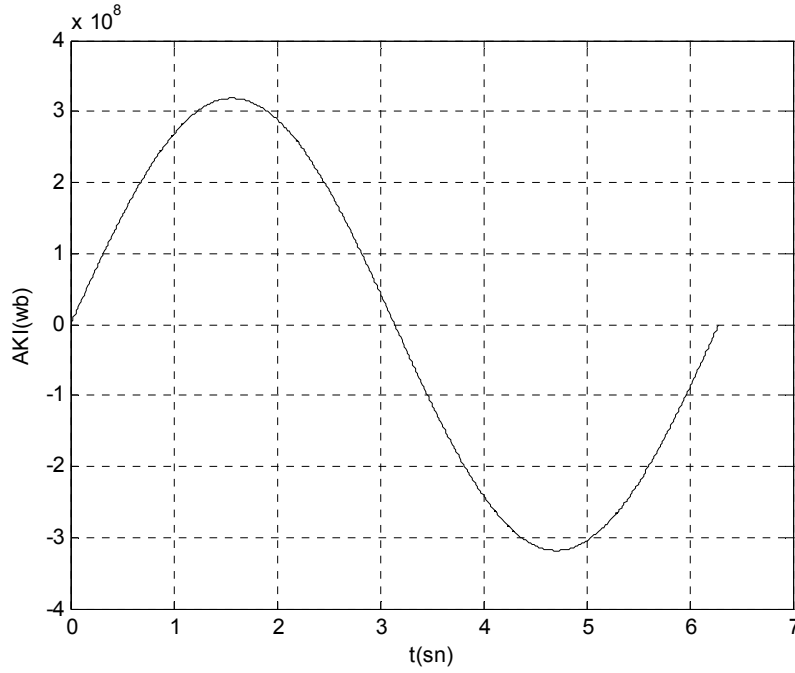
$$R_0 = \frac{L_0}{\mu_0 A} \quad (3.17)$$

$$\Phi_1 = \frac{F}{R_1 + (R_2 + R_0)/R_3} \quad (3.18)$$

$$\Phi_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_2 + R_0} \Phi_1 \quad (3.19)$$

$$\Phi_3 = \Phi_1 - \Phi_2 \quad (3.20)$$

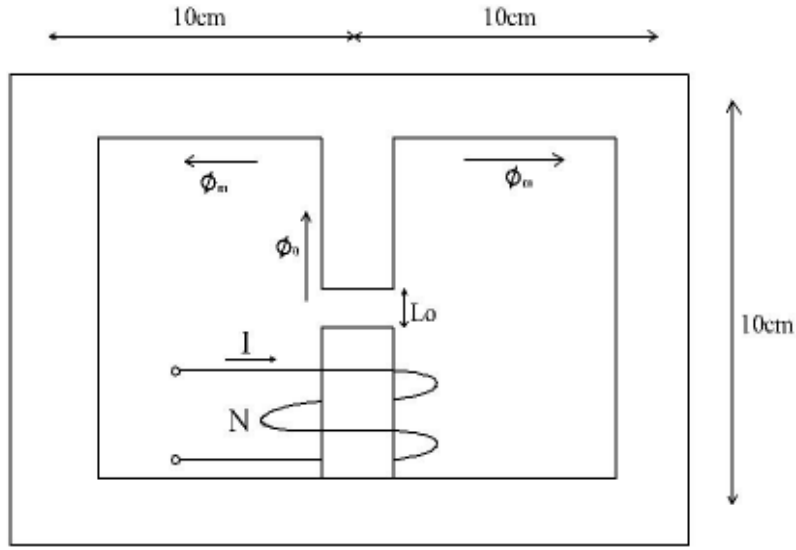
Giriş değerleri; $I=10\sin(t+\pi/4)$ A, $N=2000$, $R_1=31,83 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$, $R_2=15,44 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$, $R_3=63,66 \times 10^5 \text{ H}^{-1}$, $R_0=79,58 \times 10^5 \text{ H}^{-1}$ verilerek bağlaç diyagramı analizi ile çıkışları bulmak mümkündür. Bağlaç diyagramı analizi yapıldığında elde edilen çıkış(akı) değerleri Şekil 3.12'deki gibi olur.



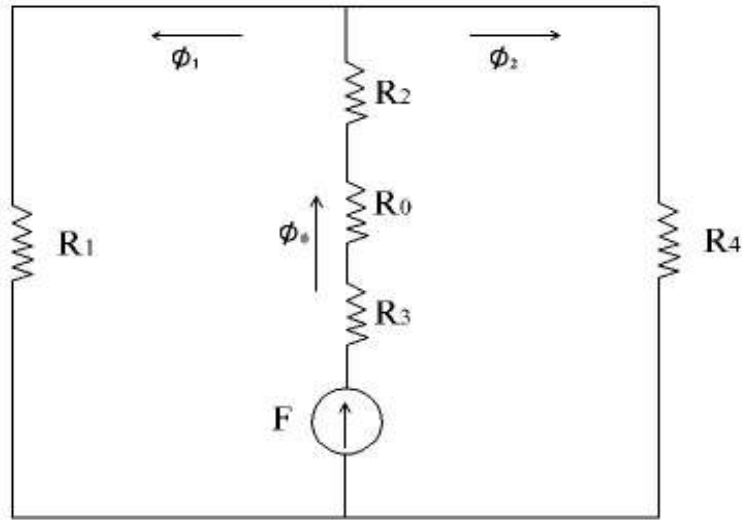
Şekil 3.12. Örnek9 bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği

3.2.4. Örnek10 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu

Örnek 10 devresi, çift bacaklı, orta bacak sarımlı ve hava aralıklı(air gap) bir manyetik devreden ibarettir. Bu manyetik devre ve oluşturulan elektrik eşdeğeri Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.13. Örnek10 manyetik devresi



Şekil 3.14. Örnek10 manyetik devresi elektrik eşdeğeri

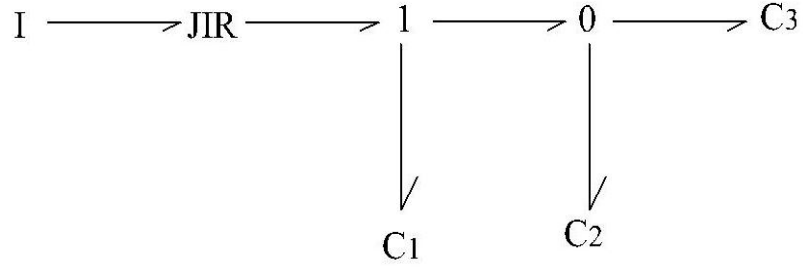
Yukarıdaki manyetik devrede nüvedeki uzunlukların eşitliği ve nüvenin homojenliği dikkate alındığında relüktans ve akı değerlerinde aşağıdaki gibi bir eşitlik söz konusu olduğu görülmektedir.

$$R_1 = R_4 = R_m \quad (3.21)$$

$$R_2 = R_3 = R_p \quad (3.22)$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_m \quad (3.23)$$

Bu durumda elektrik eşdeğer devresi yardımıyla oluşturduğumuz bağlaç diyagramı modeli Şekil 3.15'deki gibi olur.



Şekil 3.15. Örnek10 manyetik devresi bağlaç diyagramı modeli

Örnek10 manyetik devresine ait bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$F = NI \quad (3.24)$$

$$R_m = \frac{L_m}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.25)$$

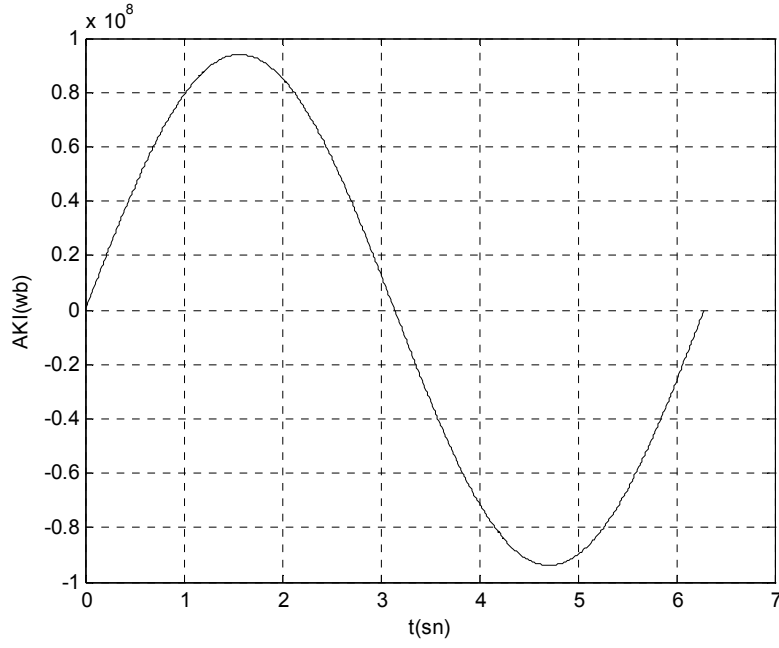
$$R_p = \frac{L_p}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.26)$$

$$R_0 = \frac{L_0}{\mu_0 A} \quad (3.27)$$

$$F = \Phi_m (R_m + R_0 + 2R_p) + \Phi_0 (R_0 + 2R_p) \quad (3.28)$$

$$\Phi_0 = 2\Phi_m \quad (3.29)$$

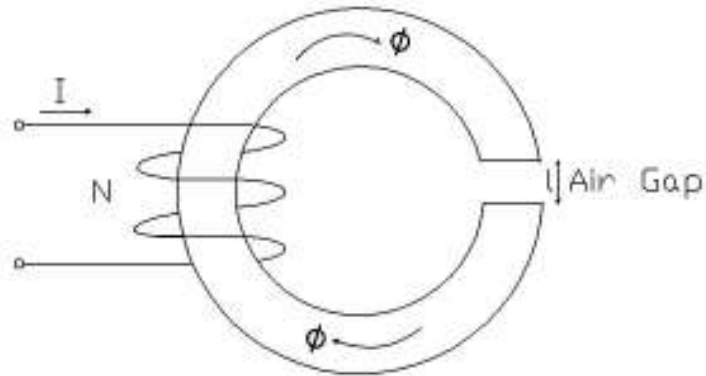
Manyetik devrenin giriş değerleri; $I=10\sin(t+\pi/4)A$, $N=400$, $R_m=4,77 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$, $R_p=7,16 \times 10^5 \text{ H}^{-1}$, $R_0=7,96 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$ verilerek bağlaç diyagramı analizi ile çıkış değerlerini(Φ_m, Φ_0) bulmak mümkündür. Bağlaç diyagramıyla bulunan akı-zaman grafiği Şekil 3.16'daki gibidir



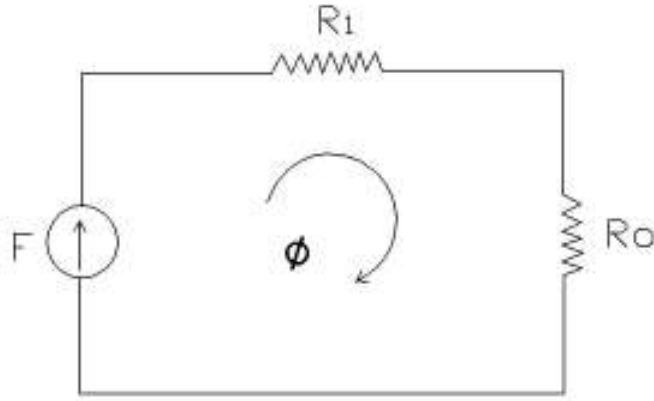
Şekil 3.16. Örnek10 bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği

3.2.5. Örnek11 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu

Örnek11 sistemi dairesel bir manyetik bir devreden oluşmaktadır. Tek sargılı, hava aralıklı bir manyetik nüveden ibaret olan bu devrenin bağlaç diyagramı oluşturulurken öncelikle sistemin elektrik eşdeğeri oluşturulur. Şekil 3.17'deki manyetik devrenin elektrik eşdeğeri Şekil3.18'deki gibi olmaktadır.

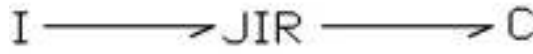


Şekil 3.17. Örnek11 manyetik devresi



Şekil 3.18. Örnek11 manyetik devresinin elektrik eşdeğeri

Şekil 3.14'deki devrede görülen elemanlardan F, manyetomotor kuvvetini; R_1 , manyetik nüve relüktansını; R_0 , manyetik hava aralığı relüktansını simgeler. Φ ise devrede dolaşan manyetik akıyı gösterir. Bu eşdeğer devreden gidilerek sistemin bağlaç diyagramı modeli Şekil 3.19'daki gibi oluşturulur.



Şekil 3.19. Örnek11 devresi bağlaç diyagramı modeli

Oluşturulan modelde devreye ait veriler şöyledir; $N=10$ (Sarım sayısı), $I=\sin(10t)$ (Akım), $L_1=0.99\text{m}$ (nüvenin uzunluğu), $L_0=0,001\text{m}$ (hava aralığının uzunluğu), $\mu_r=15000$ (demirin geçirgenliği), $A=0.001\text{m}^2$ (nüvenin kesit alanı).

Aşağıda yer alan bağıntılar kullanılarak manyetik devrenin relüktans(R), manyetomotor kuvveti(F) ve akı(Φ) değerleri bulunabilmektedir.

$$F = NI \quad (3.30)$$

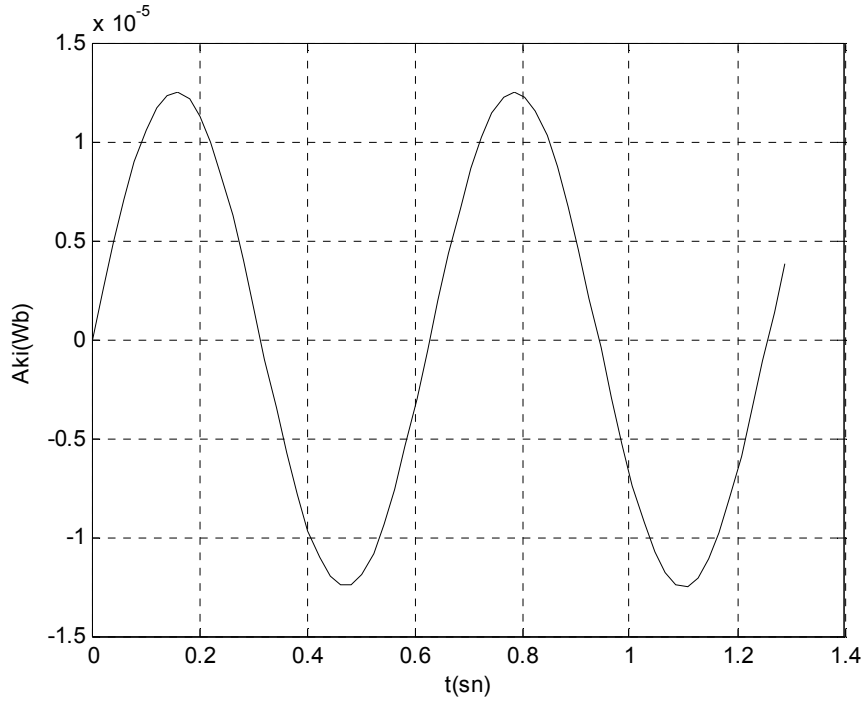
$$R_1 = \frac{L_1}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.31)$$

$$R_0 = \frac{L_0}{\mu_0 A} \quad (3.32)$$

$$F = \Phi(R_1 + R_0) \quad (3.33)$$

$$\Phi = \frac{F}{R_1 + R_0} \quad (3.34)$$

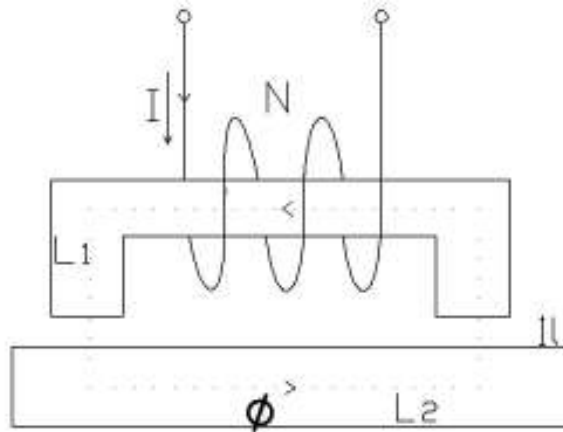
Aynı değerlerle yapılan bağlaç diyagramı analizi sonucu Şekil 3.20'de görülmektedir.



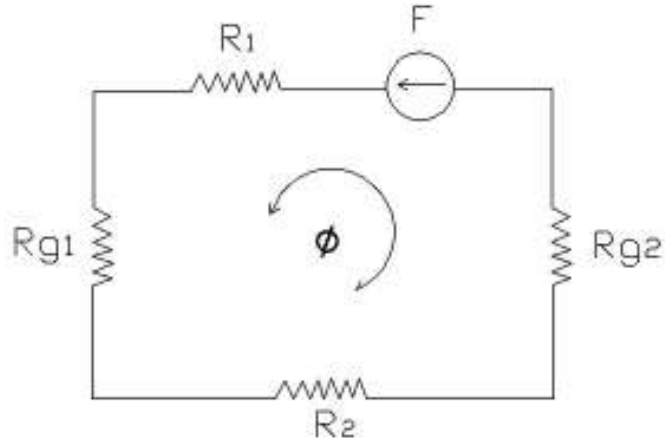
Şekil 3.20. Örnek11 bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği

3.2.6. Örnek12 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu

Örnek12 sistemi dairesel bir manyetik bir devreden oluşmaktadır. Tek sargılı, hava aralıklı bir manyetik nüveden ibaret olan bu devrenin bağlaç diyagramı oluşturulurken öncelikle sistemin elektrik eşdeğeri oluşturulur. Şekil 3.21'deki manyetik devrenin elektrik eşdeğeri Şekil3.22'deki gibi olmaktadır.

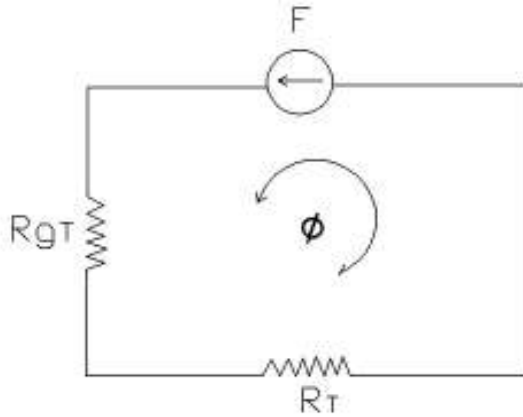


Şekil 3.21. Örnek12 manyetik devresi



Şekil 3.22 Örnek12 manyetik devresinin elektrik eşdeğeri

Şekil 3.22'deki devrede görülen elemanlardan F, manyetomotor kuvvetini; R_1 , R_2 manyetik nüve relüktanslarını; R_{g1} , R_{g2} manyetik hava aralığı relüktanslarını simgeler. Φ ise devrede dolaşan manyetik akıyı gösterir. Bu elektrik devresinin eşdeğeri ve sistemin bağlaç diyagramı modeli Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'deki gibi oluşturulur.



Şekil 3.23. Örnek12 manyetik devresinin basitleştirilmiş eşdeğer elektrik devresi



Şekil 3.24. Örnek12 devresi bağlaç diyagramı modeli

Oluşturulan modelde devreye ait veriler şöyledir; $N=100$ (Sarım sayısı), $I=\sin(10t)$ (Akım), $L_1=20\text{cm}$ (nüvenin uzunluğu), $L_2=15\text{cm}$ (nüvenin uzunluğu), $L_0=1\text{cm}$ (hava aralıklarının uzunluğu), $\mu_r=3000$ (demirin geçirgenliği), $A=10\text{cm}^2$ (nüvenin kesit alanı).

Aşağıda yer alan bağıntılar kullanılarak manyetik devrenin relüktans(R), manyetomotor kuvveti(F) ve akı(\emptyset) değerleri bulunabilmektedir.

$$F = NI \quad (3.35)$$

$$R_1 = \frac{L_1}{\mu_r \mu_0 A} \quad R_2 = \frac{L_2}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.36)$$

$$R_{g1} = R_{g2} = \frac{L_0}{\mu_0 A} \quad (3.37)$$

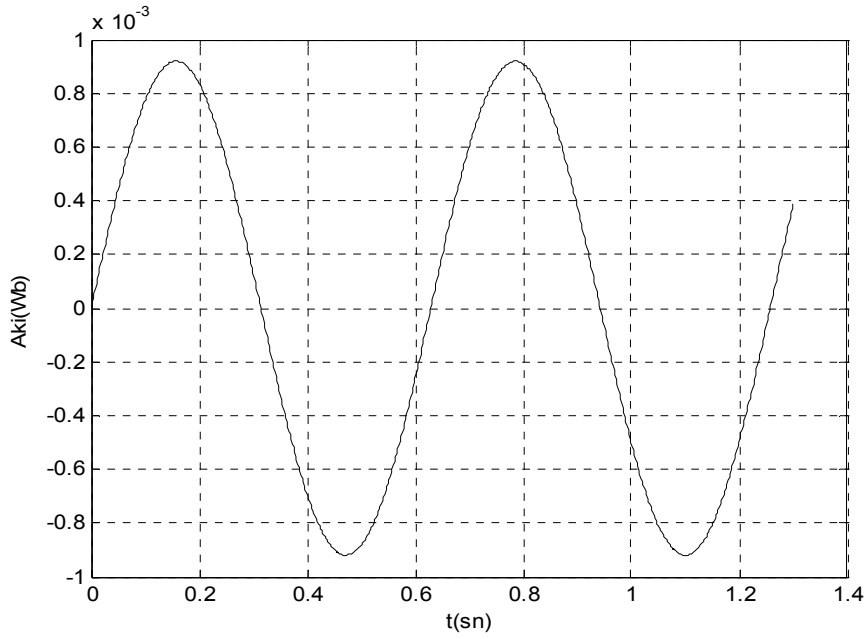
$$R_t = R_1 + R_2 \quad (3.38)$$

$$R_{gt} = R_{g1} + R_{g2} \quad (3.39)$$

$$F = \emptyset \cdot R_t \quad (3.40)$$

$$\emptyset = \frac{F}{R_t} \quad (3.41)$$

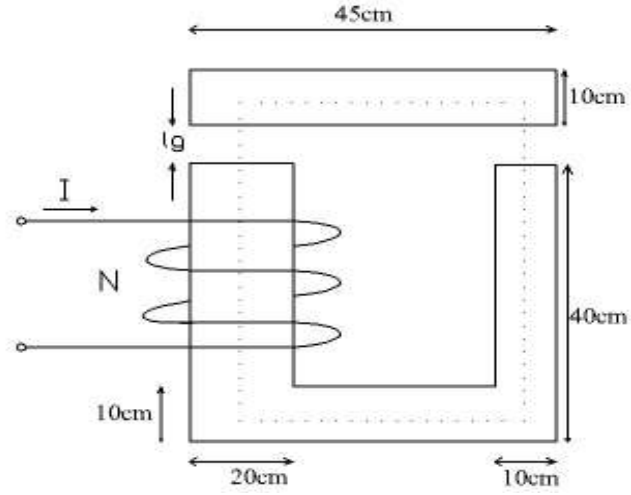
Bağlaç diyagramı ile analiz edilen devrenin çıkış grafiği Şekil 3.25'de görülmektedir.



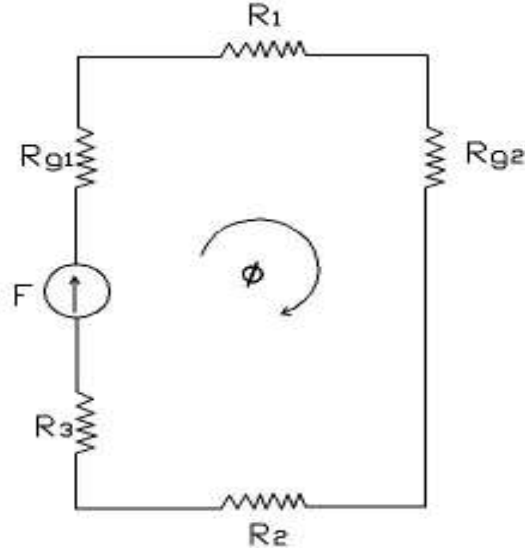
Şekil 3.25. Örnek12 bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği

3.2.7. Örnek13 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu

Örnek13 sistemi, tek bacaklı, tek sargılı ve çift hava aralıklı(air gap) bir manyetik devreden oluşmaktadır. Şekil 3.26'da manyetik devresi görülen sistemin elektrik eşdeğeri Şekil 3.27'deki gibi oluşturulur.



Şekil 3.26. Örnek13 manyetik devresi



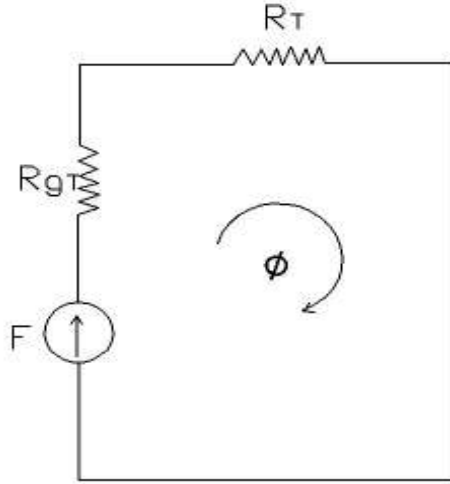
Şekil 3.27. Örnek13 manyetik devresi elektrik eşdeğeri

Elektrik eşdeğerinde görüldüğü gibi devrenin relüktansları seri bağlantılı olup aralarında aşağıdaki eşitlikler mevcuttur.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3.42)$$

$$R_{gt} = R_{g1} + R_{g2} \quad (3.43)$$

Bu bağıntılar doğrultusunda Örnek13 devresinin sadeleştirilmiş elektrik eşdeğeri Şekil 3.28'de görüldüğü gibi oluşturulur.



Şekil 3.28. Örnek13 manyetik devresi sadeleştirilmiş elektrik eşdeğeri

Son durumda Örnek13 devresinin bağlaç diyagramı modeli Şekil 3.29'daki gibi olmaktadır.



Şekil 3.29. Örnek13 manyetik devresi bağlaç diyagramı modeli

Bağlaç diyagramı modeli görülen manyetik devreye ait veriler şunlardır; $N=1000$, $I=0.5A$, $l_g=1mm$ (hava aralığı), $\mu_r=100$. Homojen olmayan nüvenin kesit alanı ise şekil üzerindeki uzunluklardan hesaplanabilmektedir. Bu değerler doğrultusunda aşağıdaki bağıntılar kullanılarak devre analiz edilebilmektedir.

$$F = NI \quad (3.44)$$

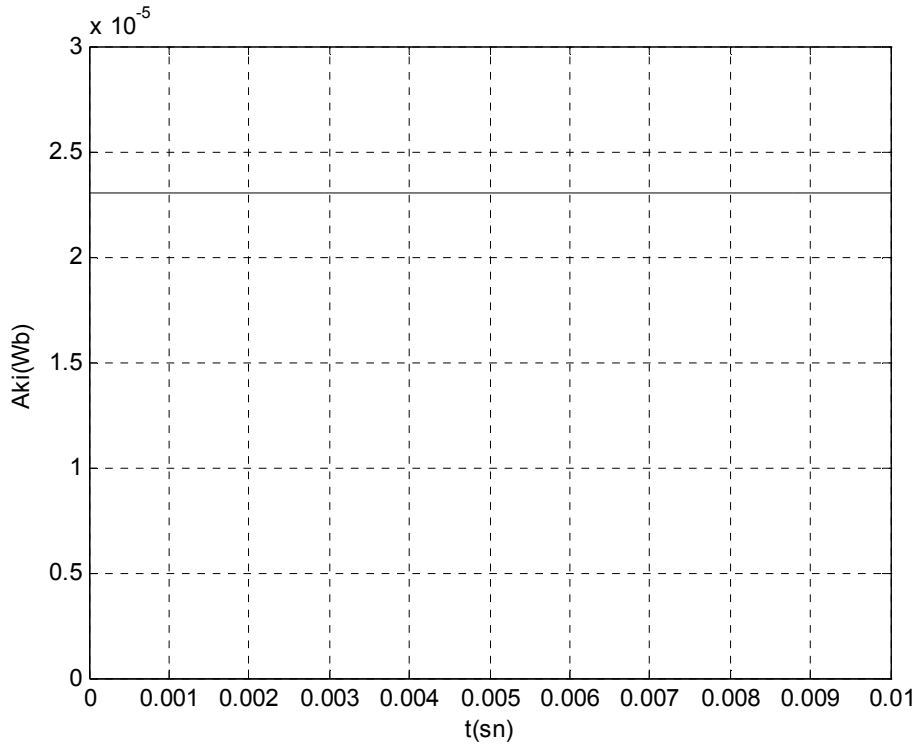
$$R_{gT} = R_{g1} + R_{g2} = 2x \frac{L_0}{\mu_0 A} \quad (3.45)$$

$$R_t = R_1 + R_2 = \frac{L_1}{\mu_r \mu_0 A} + \frac{L_2}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.46)$$

$$F = \Phi \cdot R_t \quad (3.47)$$

$$\Phi = \frac{F}{R_t} \quad (3.48)$$

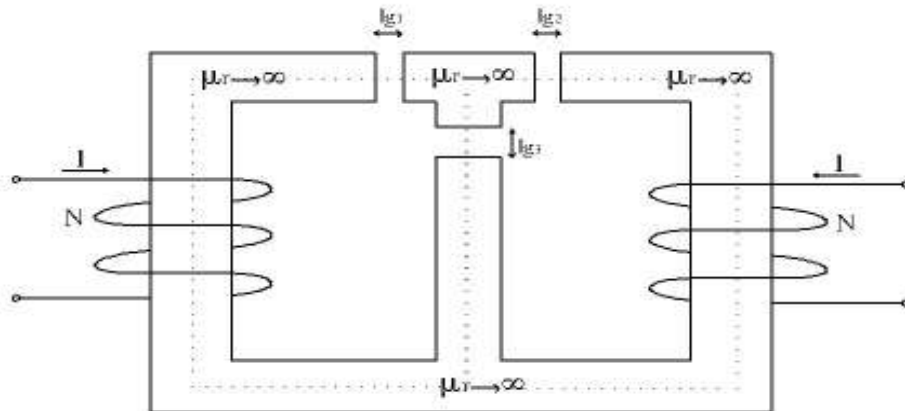
Bu analiz bağlaç diyagramı modelinden faydalanılarak da yapılabilmektedir. Bu yöntemle elde edilen akı-zaman grafiği Şekil 3.30'daki gibi elde edilir.



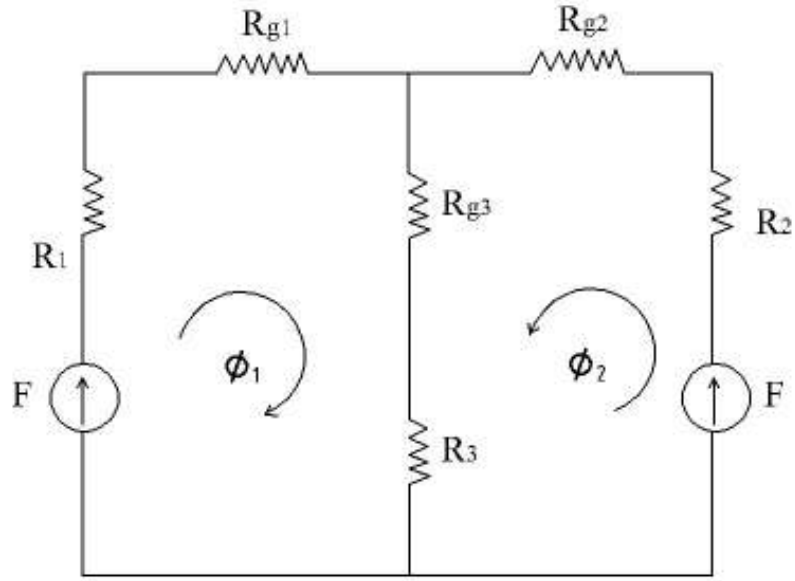
Şekil 3.30. Örnek13 bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği

3.2.8. Örnek14 Devresi Bağlaç Diyagramı Simülasyonu

Örnek14 sistemi, çift bacaklı, tek sargılı ve çift hava aralıklı(air gap) bir manyetik devreden oluşmaktadır. Şekil 3.31’de manyetik devresi görülen sistemin elektrik eşdeğeri Şekil 3.32’deki gibi oluşturulur.



Şekil 3.31. Örnek14 manyetik devresi



Şekil 3.32. Örnek14 manyetik devresi elektrik eşdeğeri

Elektrik eşdeğerinde görüldüğü gibi devrenin paralel kollarında nüenin ve hava aralıklarının relüktansları mevcut olup devrede dolaşan iki ayrı akı bulunmaktadır.

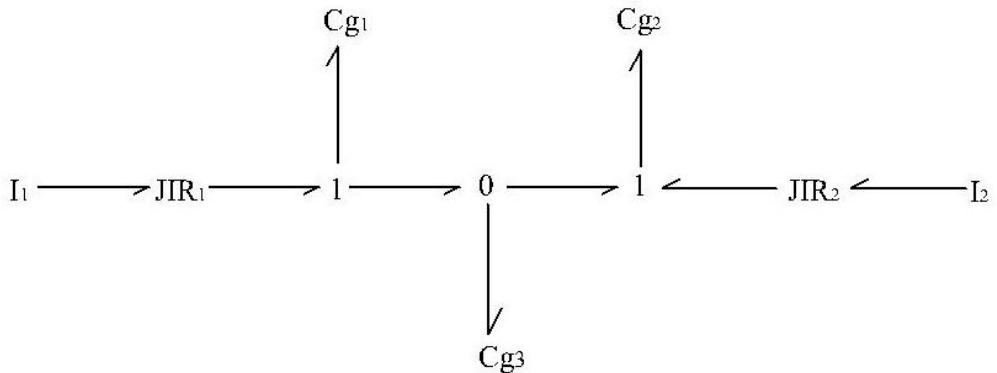
Devrede nüenin relüktansları aşağıda görülen bağıntılarla hesaplanabilir.

$$R_1 = \frac{L_1}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.49)$$

$$R_2 = \frac{L_2}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.50)$$

$$R_3 = \frac{L_3}{\mu_r \mu_0 A} \quad (3.51)$$

Nüenin manyetik geçirgenliği $\mu_r = \infty$ olduğuna göre, yukarıdaki bağıntılarda R_1 , R_2 , R_3 relüktanslarının değeri '0' olur. Bu durumda manyetik devrede R_{g1} , R_{g2} , R_{g3} relüktansları kalır. Yeni durumda devrenin bond graf modeli Şekil 3.33'deki gibi olur.



Şekil 3.33. Örnek14 manyetik devresi bağlaç diyagramı modeli

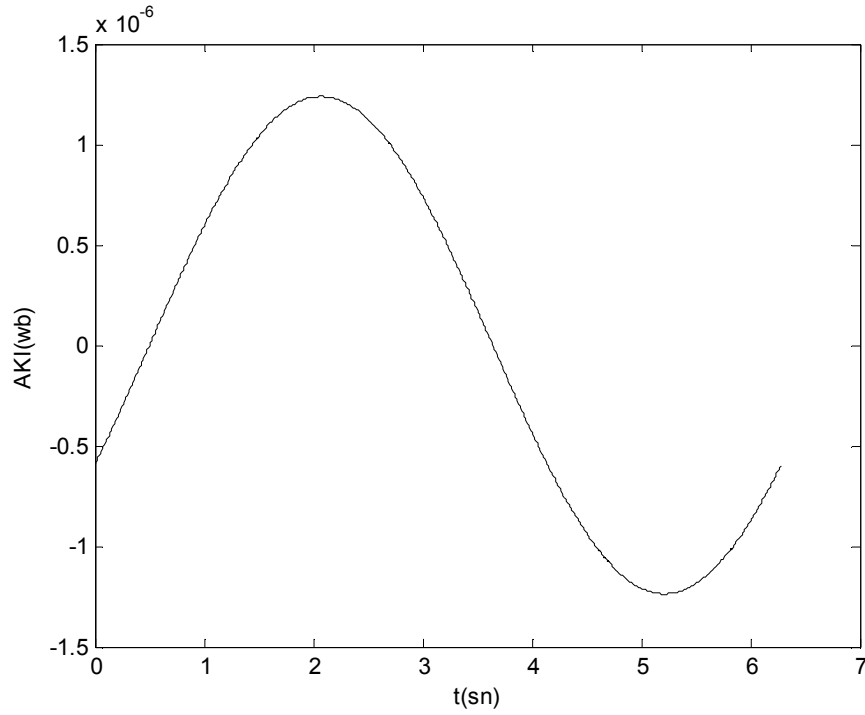
$$Rg_1 = Rg_2 = \frac{L_0}{\mu_0 A} \quad (3.52)$$

$$F_1 = \varphi_1(Rg_1 + Rg_3) + \varphi_2(Rg_3) \quad (3.53)$$

$$F_2 = \varphi_1(Rg_3) + \varphi_2(Rg_2 + Rg_3) \quad (3.54)$$

$$\varphi_3 = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (3.55)$$

Bağıntıları kullanarak elde edeceğimiz değerleri, bağlaç diyagramı analizi ile de bulabiliriz. $I=10\sin(t)$ değişken akımına göre bulunan akı değerinin zamana göre değişimi Şekil 3.34'te görülmektedir.



Şekil 3.34. Örnek14 bağlaç diyagramı modeli akı-zaman grafiği

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada bağlaç diyagramı teknikleri anlatılarak elektrik ve mekanik sistemlere benzer şekilde manyetik sistemlerin de bağlaç diyagramı yöntemiyle modellenebildiği gösterilmiştir.

Ayrıca ENPORT simülasyon programı ile bağlaç diyagram tekniğiyle modellenen manyetik sistemlerin kolayca analiz edilebileceği anlatılmıştır.

Manyetik devrelerde diğer basit sistemlerden farklı olarak enerji dönüşümünden dolayı karmaşık bir yapı mevcuttur. Bağlaç diyagramıyla modellenen manyetik sistemler, temelde elektriksel eşdeğerlerine dönüştürülerek modellenmiştir. Dolayısıyla elektriksel dönüşümü yapılabilen tüm manyetik sistemler ne kadar karmaşık görünseler bile bağlaç diyagramı yöntemiyle modellenebilmektedir. Bu da bize bağlaç diyagramı yönteminin modellemede ne kadar avantaj sağladığını kanıtlamaktadır. Bunun içindir ki bağlaç diyagramı, günümüzde de kullanılan bir modelleme tekniğidir.

Simülasyon için seçilen manyetik devreler bu modelleme yöntemine uygun olmakla beraber ENPORT simülasyonunun da kolayca uygulanabileceği ve rahat anlaşılabilir devrelerdir.

Sonuç olarak bağlaç diyagramı modelleme yönteminin ve ENPORT simülasyon programının, manyetik sistemler gibi karmaşık sistemlerin analizinde büyük kolaylık sağladığı bu çalışmada da görülmektedir.

5.ÖNERİLER

Manyetik devre analizi yapılırken uygulanabilir yöntemlerden biri olan bağlaç diyagramı metodu, analizi kolaylaştırmaktadır. Analiz yaparken özellikle zamandan sağladığı kazançtan ötürü bağlaç diyagramı metodu önerilebilecek bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

- [1] Paynter, H.M., 1961. "Analysis and Design of Engineering Systems", MIT Press, Cambridge.
- [2] Karnopp, D. –Rossenberg, R.C., 1968. "Analysis and Simulation of Multiport Systems"
- [3] Blundell, A.J., 1982. "Bond Graphs for Modelling Engineering Systems", Newyork.
- [4] Poyraz, M., 1981. "Enzim Reaksiyon Sistemlerinin Otomatik Kontrol Sistem ve Analiz Yöntemleri ile Model ve Simülasyonu", DMMA Akademisi, Elazığ.
- [5] Poyraz, M., Demir, Y., Gülten, A., Köksal, M., 1997. "Analysis of Switched Systems Using the Bond Graph Methods", Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [6] Poyraz, M., Demir, Y., 2002. "Bağlaç Diyagramı Metodundan Yararlanarak DC Motorun Frenleme Davranışının Simülasyonu", Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [7] Şen, N., 1973. "Dinamik Sistem Modellerinde Enerji Bondları", KTÜ, Trabzon.
- [8] Şen, N., 1977. "Bond Graph Technique in Engineering and Biomedical Systems", Northwestern University, Evanston, İllinois.
- [9] Yıldız, A.N., 2001. "Serbest Uyarmalı Doğru Akım Motorunun Bağlaç diyagramı Modeli ve Simülasyonu", Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [10] Gülten, A., 1996. "Dinamik Sistemlerin Bağlaç Diyagramı Modeli ve ENPORT Simülasyonu", Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [11] Ngwompo, R.F., Scavarda, S., Thomasset, D., 1996. "Inversion of Linear Time-Invariant SISO Systems Modelled by Bağlaç Graph", Laboratoire d'Automatique Industrielle de Lyon, France
- [12] Sağırılı, A., Boğaçoğlu.M.B., Ömürlü,V.E., 2003. "Modeling The Dynamics and Kinematics of a Telescopic Rotary Crane by The Bond Graph Method", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [13] Araujo,R.E., Leite,A.V., Freitas,D.S., 2002. "Modelling and Simulation of Power Electronic Systems Using a Bond Graph Formalism", Lisbon, Portugal.

- [14] Sarıkan,A., Aydemir,M.T., 2009. “Gerçek Zamanlı Benzetim ve Kapalı Döngü İçerisinde Donanım Desteği:Uygulamalar ve Sınırlamalar”, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [15] İstif,İ., Kutlu,K., 2004. “Oransal Valf Kontrollü Hidrolik Silindir Sisteminin Konum Kontrolü”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.