

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK FREKANSLI GÜÇ ÇEVİRİCİLERİNDE TRANSFORMATÖR VE
İNDÜKTÖR TASARIMI**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

101468

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Ali Alper YARIŞ

504981005

101468

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1 Haziran 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Haziran 2001

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Emin TACER

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. R. Nejat TUNÇAY

Doç. Dr. M. Sait TÜRKÖZ

17/07/2001
[Handwritten signatures]

Haziran 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde bana öncülük eden hocam Prof. Dr. M. Emin Tacer' e ve tezin hazırlanması sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyen tüm öğretim görevlilerine teşekkürü borç bilirim.

Ali Alper Yarış

Haziran 2001



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1 GİRİŞ	1
2 ÇEKİRDEK MALZEMELERİ	3
2.1 Yaygın Manyetik Malzemeler	3
3.1.1 Çok Kristalli Metalik Alaşımlar	3
3.1.2 Ferritler	6
3.1.3 Amorf Metalik Alaşımlar	8
2.2 Manyetik Teknolojilerin Karşılaştırılması	10
3.2.1 Sıcaklığın Fonksiyonu Olarak Doyma Akı Yoğunluğu	10
3.2.2 Frekansın Fonksiyonu Olarak Çekirdek Kaybı	11
2.3 Çekirdek Malzemelerinin Manyetik Özellikleri	12
2.3.1 Manyetik Malzeme Karakteristikleri	12
2.3.2 Hava Aralığı	14
3 FLYBACK VE FORWARD ÇEVİRİCİLER	23
3.1 Anahtarlama Çeviricilerde Transformatörler	23
3.2 AGKlarda Transformatörün RFI & EMI Üzerine Etkisi	23
3.3 Forward ve Flyback Devreler	24
3.3.1 Flyback Çeviricinin İncelenmesi	24
3.3.2 Forward Çeviricinin İncelenmesi	28
3.3.3 Flyback Çevirici - Forward Çevirici Karşılaştırılması	32
3.3.4 Çalışma Modu - Manyetik Eleman İlişkisi	33

4 AGK TRANSFORMATÖR TASARIMINA İLİŞKİN BİLGİLER	37
4.1 Transformatör Tasarımı	37
4.1.1 Akı Yoğunluğu Kayması	38
4.1.2 Transformatör Boyutu	38
4.1.1.1 Akı Yoğunluğu Kaymasının Boyut Üzerine Etkisi	39
4.1.1.2 Frekansın Boyut Üzerine Etkisi	41
4.1.1.3 Standartların Boyut Üzerindeki Etkisi	42
4.1.3 Sarım Sayıları	43
4.1.3.1 Birincil Sarım Sayısının Hesaplanması	43
4.1.3.2 İkincil Sarım Sayısının Hesaplanması	46
4.1.4 Çekirdek Ve Bakır Kayıpları	47
4.1.4.1 Optimum Verim	47
4.1.4.2 Sıcaklık Yükselmesi	49
4.1.4.3 Çekirdek Kaybı	49
4.1.4.4 Bakır Kaybı	51
4.1.4.5 Sıcaklık Yükselmesi Çiziti	55
4.1.5 Deri ve Yakınlık Etkisi	56
4.1.5.1 Deri Etkisi	57
4.1.5.2 Yakınlık Etkisi	59
4.1.5.3 Deri ve Yakınlık Etkisi İle Optimum İletken Kalınlığı İlişkisi	60
4.1.5.4 Optimum Kablo Kalınlığının veya İletken Çapının Bulunması	63
4.1.6 Sargı Topolojisi	68
4.1.6.1 İletken boyutları ve Sargı Topolojisi	68
4.1.6.2 Etkin Tabakalar	70
4.1.6.3 Bifilar Sargılardaki Ters Baskının Yok Edilmesi	73
4.1.6.4 RFI ve Güvenlik Ekranları	74
4.1.6.5 Transformatör Yarım Sargı Teknikleri	75
4.1.7 Transformatörün Bitirilmesi ve Vakumlanması	78
4.2 Forward Çeviricide İndüktör Tasarımı	79
4.3 Alan Çarpımı	83
4.3.1 Çıkış Gücü ve Güç Kapasitesi	83
4.3.2 Transformatör Hacmi ve AP	84
4.3.3 Transformatör Ağırlığı ve AP	92
4.3.4 Transformatör Yüzey Alanı ve AP	95
4.3.5 Transformatör Akım Yoğunluğu Ve AP	98
4.3.6 AP ile İndüktör Enerji Tutma Kapasitesi Arasındaki İlişki	104
5 TASARIM ALGORİTMASI VE TASARIM PROGRAMI	108
5.1 Transformatörün Tasarım Algoritması	108
5.1.1 Verilerin Girilmesi	109

5.1.2 Hesaplamalar	110
5.2 İndüktörün Tasarım Algoritması	118
5.3 Programa İlişkin Ön Bilgi	122
6 SONUÇLAR	144
KAYNAKLAR	145
ÖZGEÇMİŞ	146



TABLO LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 2.1	Haddelenmiş veya Bant Sargılı Çekirdeklerde Kullanılan Çok Kristalli Alaşımların Manyetik Özellikleri.....	4
Tablo 2.2	Tozlu Çekirdeklerde Kullanılan Çok Kristalli Alaşımların Manyetik Özellikleri.....	6
Tablo 2.3	Ferritlerin Manyetik Özellikleri.....	7
Tablo 2.4	Amorf Alaşımların Manyetik Özellikleri.....	9
Tablo 4.1	Çekirdek malzemesi kayıp sabitleri	50
Tablo 4.2	C tipi.....	89
Tablo 4.3	Band sargı toroidal.....	91
Tablo 4.4	Çekirdeğin yapısına göre K_v sabiti.....	93
Tablo 4.5	K_w sabiti.....	96
Tablo 4.6	K_s sabiti.....	98
Tablo 4.7	K_j sabiti.....	102
Tablo 5.1	İletken tel kablosu.....	116

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No.</u>
Şekil 2.1 : Sıcaklık - Doyma akı yoğunluğu.....	11
Şekil 2.2 : Frekans - Çekirdek kaybı.....	12
Şekil 2.3 : İdeal kare B/H eğrisi.....	13
Şekil 2.4 : Malzemelerin $DA/B/H$ eğrileri.....	13
Şekil 2.5 : Hava aralığının manyetik yol uzunluğunu arttırması.....	14
Şekil 2.6 : Aralıksız Magnesil 52029 (2K) çekirdeğin B/H eğrisi.....	16
Şekil 2.7 : Aralıklı Magnesil 52029 (2K) çekirdeğin B/H eğrisi.....	16
Şekil 2.8 : Aralıksız Orthonol 52029 (2A) çekirdeğin B/H eğrisi.....	17
Şekil 2.9 : Aralıklı Orthonol 52029 (2A) çekirdeğin B/H eğrisi.....	17
Şekil 2.10 : Aralıksız 48 Alloy 52029 (2H) çekirdeğin B/H eğrisi.....	18
Şekil 2.11 : Aralıklı 48 Alloy 52029 (2H) çekirdeğin B/H eğrisi.....	18
Şekil 2.12 : Aralıksız Sq. Permalloy 52029 (2D) çekirdeğin B/H eğrisi.....	19
Şekil 2.13 : Aralıklı Sq. Permalloy 52029 (2D) çekirdeğin B/H eğrisi.....	19
Şekil 2.14 : Aralıksız Supermalloy 52029 (2F) çekirdeğin B/H eğrisi.....	20
Şekil 2.15 : Aralıklı Supermalloy 52029 (2F) çekirdeğin B/H eğrisi.....	20
Şekil 2.16 : Enpay C, toroidal ve E tipi kesimli çekirdekleri.....	21
Şekil 3.1 : Flyback çevirici.....	24
Şekil 3.2 : Flyback çeviricinin idealize edilmiş dalga şekilleri.....	26
Şekil 3.3 : Forward çevirici.....	28
Şekil 3.4 : Üçüncü sargı eklenmiş forward çevirici.....	30
Şekil 3.5 : İki transistorlu Forward Çevirici.....	31
Şekil 3.6 : Süreksiz mod flyback çevirici.....	35
Şekil 4.1 : Ferrit çekirdeklerin nominal gücünü çekirdek hacminin bir fonksiyonu olarak veren çizit, parametre olarak çekirdek boyutu ve frekansı.....	39
Şekil 4.2 : Alan çarpımını (ve dolayısıyla çekirdek boyutunu) ve optimum akı yoğunluğu kaymasını çıkış gücünün ve frekansının bir fonksiyonu olarak veren ferrit çekirdek çiziti.....	40
Şekil 4.3 : EC41 ferrit çekirdek kullanan AGK transformatörlerindeki minimum toplam kayba ilişkin şartları gösteren akı yoğunluğu kaymasının fonksiyonu olan bakır ve çekirdek kayıpları, parametre olarak frekans.....	48
Şekil 4.4 : Etkin iletken kalınlığının bir fonksiyonu olarak F_r oranı (deri etkisinin bir sonucu olarak AA/DA direnç oranı), parametre olarak tabaka sayısı P	52
Şekil 4.5 : T sıcaklığındaki direncin $20^\circ C$ ' deki oranını gösteren, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bakır direnç faktörü.....	53

Şekil 4.6	: Etkin akım ve DA değerlerini gösteren genel anahtarlamalı güç çevirici dalga şekilleri.....	54
Şekil 4.7	: Alan çarpımının ve güç kaybının bir fonksiyonu olarak sıcaklık yükselmesi, parametre olarak yüzey alanı.....	55
Şekil 4.8	: Deri Etkisi.....	57
Şekil 4.9	: Frekansın bir fonksiyonu olarak etkin deri kalınlığı, parametre olarak sıcaklık.....	58
Şekil 4.10	: Yakınlık Etkisi.....	59
Şekil 4.11	: Sargıdaki etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak optimum tel kalibresi (AWG) ve çapı, parametre olarak frekans.....	61
Şekil 4.12	: Sargıdaki tam kalınlıklı etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak optimum bakır kablo kalınlığı (mm) ve çapı, parametre olarak frekans.....	62
Şekil 4.13	: İletken tel veya optimum kalınlıktan daha az olan kablo boyutları için, 1.5 oranındaki bir F_r ' lik optimum kalınlığın bir yüzdesinin bir fonksiyonu olarak F_r oranı. (AA/DA direnç oranı).....	63
Şekil 4.14	: $R_{ac} - h/\Delta$ ' nın çizimi, parametre olarak tabaka sayısı.....	66
Şekil 4.15	: Sargıdaki etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak 1.5' lik F_r oranına ilişkin optimum tel çapı, parametre olarak frekans.....	67
Şekil 4.16	: Etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak 1.5' lik F_r oranına ilişkin optimum tel çapı, parametre olarak frekans.....	67
Şekil 4.17	: (a) ve (b) Basit ve sandviç transformatör sargı topolojilerindeki manyetik kuvvetin dağılımı. (c) sargıların konumunu, güvenlik ekranlarını ve RFI ekranlarını gösteren bir sandviç (bölmeli) sargı topolojisinin kurulumu.....	69
Şekil 4.18	: (a), (b) ve (c) güvenli sürtünme mesafesi ihtiyacını karşılayan, yalıtım ve sargı düzenlemesinin bazı yöntemleri.....	72
Şekil 4.19	: (a) ve (b) E çekirdekli transformatördeki sargı yarım sarımları için sıklıkla kullanılan bir metot nedeniyle oluşan halkalanan akıdaki kaybı ve akı dengesizliğini gösteren diyagram.....	76
Şekil 4.19	: (c) ve (d) Dengeli bir çekirdek akı yoğunluğu çalışma ve iyi bir akı halkalanması veren özel bir E çekirdekli yarım sarımlı sargı düzenlemesi.....	77
Şekil 4.20	: Akı yoğunluğu - $I_{dc} + \Delta I$ ilişkisi.....	80
Şekil 4.21	: Arahıktaki akımın saçılmasıyla indüktansın düşüşü.....	82
Şekil 4.22	: Çekirdeğin etkin geçirgenliği-Malzemenin geçirgenliği.....	83
Şekil 4.23	: C tipi çekirdek.....	87
Şekil 4.24	: EI laminasyon.....	87
Şekil 4.25	: Band sargı toroidal çekirdek.....	87
Şekil 4.26	: Band sargı toroidal çekirdek hacmi.....	94
Şekil 4.27	: Band sargı toroidal çekirdekte hacim ve alan çarpımı.....	94
Şekil 4.28	: C tipi çekirdeğin hacmi.....	95
Şekil 4.29	: C tipi çekirdekte hacim ve alan çarpımı.....	95
Şekil 4.30	: Band sargı toroidal çekirdekte toplam ağırlık ve alan çarpımı.....	97
Şekil 4.31	: C tipi çekirdekte toplam ağırlık ve alan çarpımı.....	97
Şekil 4.32	: Band sargı toroidal çekirdekte yüzey alanı ve alan çarpımı.....	99

Şekil 4.33	: C tipi çekirdekte yüzey alanı ve alan çarpımı.....	99
Şekil 4.34	: Band sargı toroidal çekirdekte yüzey alanı hesabı.....	100
Şekil 4.35	: C tipi çekirdekte yüzey alanı hesabı.....	100
Şekil 4.36	: Band sargı toroidal çekirdekte 25 ⁰ C ve 50 ⁰ C sıcaklıkta akım yoğunluğu ve alan çarpımı.....	103
Şekil 4.37	: C tipi çekirdekte 25 ⁰ C ve 50 ⁰ C sıcaklıkta akım yoğunluğu ve alan çarpımı.....	103
Şekil 5.1	: Tasarımda ele alınacak çok çıkışlı flyback çevirici.....	108
Şekil 5.2	: Tasarımda ele alınacak çok çıkışlı forward çevirici.....	109
Şekil 5.3	: Flyback çeviricilerdeki birincil akım dalga şekilleri. (a) Tam enerji transferi modu. (b) Eksik enerji transferi modu. (c) Eksik enerji transferi modu (optimum birincil endüktans).....	113



SEMBOL LİSTESİ

A_e	: Çekirdek kesiti
A_p	: Alan Çarpımı
A_l	: İletken kesiti
A_{lp}	: Birincil iletken kesiti
A_{ls}	: İkincil iletken kesiti
A_w	: Çerçeve alanı
AWG	: Toplam sarım uzunluğu ve tel boyutu
B	: Akı yoğunluğu
B_{ac}	: AA mıknatıslanma akı yoğunluğu
B_{dc}	: AA mıknatıslanma akı yoğunluğu
B_r	: Artık akı yoğunluğu
B_{sat}	: Doyma akı yoğunluğu
b_w	: Faydalı sargı genişliği
D, E, F, G	: C tipi çekirdeğin boyutları
f	: Frekans
F_l	: Bakır tabaka faktörü
F_r	: AA/DA direnç oranı
H	: Akım şiddeti
i_d	: Diyot akımı
i_{dc}, I_{dc}	: Doğru akımı
i_i, I_i	: Giriş akımı
i_l	: Endüktans akımı
i_m, I_m	: Mıknatıslanma akımı
i_o, I_o	: Çıkış akımı
I_{ort}	: Ortalama akım
i_p, I_p	: Birincil akım
i_s, I_s	: İkincil akım
J	: Akım yoğunluğu
$K_{1,...,9}$	: Çekirdek sabitleri
K_s	: Çekirdek yüzey alanı sabiti
K_f	: Dalga şekli sabiti
K_j	: Akım yoğunluğu sabiti
K_m	: Deri etkisi sabiti
K_u	: Çerçeve faydalanma faktörü
K_v	: Çekirdek hacmi sabiti
K_w	: Çekirdek ağırlığı sabiti
l	: İletken uzunluğu
l_g	: Hava aralığı uzunluğu
l_m	: Akı yolu uzunluğu
L_p	: Birincil endüktans

MLT	: Ortalama sarım uzunluğu
mmf	: Magnetomotor kuvvet
MPL	:Manyetik yol uzunluğu
m, n	: Watt kaybı sabitleri
N	: Sarım sayısı
N _p	: Birincil sarım sayısı
N _s , N ₁ , N ₂ , N ₃	: İkincil sarım sayısı
P _{Fe}	: Çekirdek kaybı
P _{fe} /	: Birim ağırlıkta kaybı
P _{Cu}	: Bakır kaybı
P _i	: Giriş gücü
P _{out}	: Çıkış gücü
P _t	: Güç toplamı
P _Σ	: Toplam Watt kaybı
P _{ΣCu}	: Toplam bakır kaybı
R	: Direnç
R _{ac}	: AA Direnç
R _{dc}	: DA Direnç
t _{on}	: İletim süresi
t _{onmax}	: Maksimum iletim süresi
T	: Periyot
T _s	: Sıcaklık katsayısı
WTH	: Çekirdek genişliği
WTFE	: Çekirdek ağırlığı
WTCU	: Bakır ağırlığı
V _{cc}	: Yaklaşık DA gerilim
V _i	: Giriş gerilimi
V _o	: Çıkış gerilimi
V _p	: Birincil gerilim
V _s	: İkincil gerilim
α	: Çekirdek hava aralığı
Δ	: Delme derinliği
ΔB	: Faydalı akı yoğunluğu, akı yoğunluğu kayması
ΔH	: akım şiddeti aralığı
φ	: Akı
η	: Verim
μ	: Manyetik geçirgenlik
μ _i	: Başlangıç manyetik geçirgenliği
μ _e	: Etkin manyetik geçirgenlik
μ _o	: Mutlak manyetik geçirgenlik
μ _r	: Bağıl manyetik geçirgenlik
φ	: Ortalama iletken uzunluğu
ρ	: Özgül direnç

ÖZET

YÜKSEK FREKANSLI GÜÇ ÇEVİRİCİLERİNDE TRANSFORMATÖR VE İNDÜKTÖR TASARIMI

Bu çalışmada, yüksek frekanslı manyetik elemanların tasarımı hedeflenmiştir. Bilindiği gibi yüksek frekanslı manyetik elemanlar günümüzde bir çok alanda kullanılmaktadır. Uygulama alanlarının bazıları: güç kaynakları (kesintisiz güç kaynakları, anahtarlama güç kaynakları vb.), haberleşme, tıbbi cihazlar, otomobil ve elektrikli ulaşım sistemleri vb.

İşte, bu uygulamalarda kullanılan elektromanyetik veya elektromekanik sistemlerin maliyet, ağırlık, boyut ve davranışlarına etki eden en önemli elemanlar da manyetik elemanlardır. Manyetik elemanların ağırlık, boyut ve verimine etki eden önemli etkende bunlara ilişkin manyetik özellikler, başka bir deyişle, manyetik akı yoğunluğudur.

Manyetik malzemeler arasında inceleme yapıldığında son beş yıl öncesine kadar ferritlerin kullanıldığını görülmektedir. Buna karşılık son yıllarda yeni nesil bir malzeme olan amorf metalik alaşımlar üzerinde yoğun çalışmalar olduğu ve kullanımlarının arttığı gözlenmektedir.

Tasarımda değişik malzemelerin kullanılması durumunda birbirlerine göre üstünlük ve sakıncalarının neler olduğunu, hangi uygulamalarda hangi malzemenin kullanılması gerektiğinin belirlenmesi ve buna göre kullanıcıya hangi tip malzemenin seçilmesinin uygun olacağını bildirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç kapsamında yukarıda anılan uygulama alanlarının bir çoğunda ortaya çıkan flyback ve forward çeviricilerde kullanılmak üzere Excel ortamında bir tasarım programı geliştirilmiştir. Böylece, yukarıda anılan değişik malzemelerin kullanılması durumunda ağırlık, boyut, kayıp, verim açısından en uygun olanının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Son olarak, bu amaca uygun olarak, örnek olarak seçilen bir çevirici devresinin davranışı PSpice programıyla simüle edilmiştir.

SUMMARY

TRANSFORMER AND INDUCTOR DESIGN IN HIGH FREQUENCY POWER CONVERTER

In this study, it is aimed at the design of high frequency magnetic components. As known, the high frequency magnetic components are used in a lot of areas. Some of the application areas: power supplies (uninterrupted power supplies, switch mode power supplies etc.), telecommunication, medical devices, automobile and electrical transportation systems etc.

Thus, the most important elements that effect on the cost, weight, size and behaviour of the electromagnetic or electromechanical systems used in this applications are the magnetic components. The most important effect that influences on the weight, size, and efficiency of the magnetic components are their magnetic properties, in other words, their magnetic flux density.

When an examination between magnetic materials is made, it is seen that ferrits were used till last five years. However, it is observed that it has been working hard on amorphous metalic alloys as new generation materials and their usage are risen in last years.

In case of different materials are used in the designation, it is aimed at determining what the advantage and the disadvantage in respect of each other and which mateial should use in which application and informing the user about which material is suitable to choose according to this.

Comprising this aim, an design program in Excel environment is developed to use flyback and forward converter that seen in the most of application area mentioned above. So, in case of the different materials mentioned above are used, it is aimed at determining the most suitable one for weight, size, loss and efficiency.

Finally, according to this aim, the behaviour of a circuit that is chosen as a sample is simulated in PSpice programme.

1. GİRİŞ

Bu tezde yüksek frekanslı güç çeviricilerinde kullanılan transformatör ve indüktör tasarımı amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yüksek frekanslı manyetik elemanların tasarımında kullanılmak üzere bir algoritma ve bu algoritmanın koşturulması için Excel ortamında hazırlanmış bir program geliştirilmiştir.

Günümüz teknolojisi gereği manyetik elemanlar haberleşme, tıbbi cihazlar, otomotiv endüstrisi gibi bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır ve gelecekte de daha yoğun bir şekilde kullanılacağı anlaşılmaktadır. Bu tür kullanılan cihazların en önemli özellikleri boyut, hacim, sistem davranışı ve maliyettir. Bu anlamda inceleme yapıldığında bunlara etki eden en önemli faktörlerin manyetik elemanlar olduğu görülmektedir. Bu tür uygulamalarda manyetik eleman olarak transformatör ve indüktör kullanılmaktadır.

Bu tür uygulamalarda söz konusu olan frekans kHz' ler mertebesindeki yüksek frekanslardır. Bu nedenle, bilinen silisli malzemeler boyut ve hacim açısından büyük olmaktadır. Bu da, maliyetin yükselmesine ve cihazların ağırlığına etki etmektedir. Genel olarak son beş yıla kadar ferritlerin kullanıldığı görülmektedir. Ferritlerin manyetik özellikleri göz önüne alındığında her en kadar silisli malzemelere göre üstün yanları olmasına karşın frekans yükselmesi nedeniyle gene yüksek hacim ve ağırlık oluşmaktadır. Bundan dolayı, son on yıl içinde geliştirilen amorf ve nano kristal malzemeler üzerine çalışmaların yoğunlaştığı ve uygulamada kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Diğer taraftan belli frekanslara kadar nikel alaşımlı malzemelerde kullanılmaktadır.

Yukarıda vurgulanan nedenlerle tezin ikinci bölümünde manyetik malzemeler verilerek, bunların manyetik akı yoğunluğu gibi manyetik özellikleri, direnç gibi ısı özellikleri açısından karşılaştırmaları yapılmaktadır. Tezin üçüncü

bölümünde yüksek frekanslı uygulamalarda kullanılan manyetik malzemelerden beklentiler verilerek davranış açısından gerekli açıklamalar yapılmaktadır. Bu kapsamda olmak üzere, bir çok uygulamada kullanılan flyback ve forward çeviricilerin davranışları açıklanmaktadır. Tezin dördüncü bölümünde manyetik elemanların tasarımında etkin olan kriterler ve tanımlar açıklanarak geliştirilecek tasarım algoritmasında göz önüne alınacak parametrelerin belirlenmektedir. Ayrıca, bu bölümde geliştirilen algoritmaya uyumlu Excel ortamında hazırlanacak programın koşturulmasında kullanılacak matematiksel bağıntılar verilmektedir. Tezin beşinci bölümünde üçüncü bölümde verilen flyback ve forward çeviricilerin tasarımında etkin olan transformatör ve indüktörlerin tasarımı gerçekleştirilmektedir. Kullanıcıya geniş bir bakış açısı vermek amacıyla değişik malzemeler kullanılması durumunda bunlardan oluşan manyetik elemanların kayıp, verim, hacim, ağırlık gibi kriterler karşılaştırılarak kullanıcının uygulama alanına en uygun malzemenin seçilmesi sağlanmıştır. Transformatör ve indüktörün sistem davranışına olan etkileri PSpice programı koşturularak incelenmektedir.

Tezin son bölümünde elde edilen sonuçların irdelemesi yapılmaktadır.

2. ÇEKİRDEK MALZEMELERİ

2.1 Yaygın Manyetik Malzemeler

Manyetik malzemeler üç kategoride incelenebilir:

- * Çok Kristalli Metalik Alaşımlar
- * Ferritler
- * Amorf Metalik Alaşımlar

2.1.1 Çok Kristalli Metalik Alaşımlar

Çok kristalli alaşımlar, çeşitli oranlardaki demir (Fe), Nikel (Ni) ve kobalt (Co) başta olmak üzere silikon (Si), vanadyum (V) ve molibden (Mo) karışımlarıdır.

Çok kristalli alaşımların manyetik özellikleri Tablo 2.1' de verilmiştir.

Çok kristalli alaşımlar dört kategoride incelenebilir:

- * %3 Si-%97 Fe Alaşımlar (Magnesil, vb.)
- * %50 Ni-%50 Fe Alaşımlar (Orthonol, 48 Alloy, vb.)
- * %80 Ni-%20 Fe Alaşımlar (Square Permalloy, Supermalloy, vb.)
- * %50 Co-%50 Fe Alaşımlar (Supermendur, vb.)

Tablo 2.1 Haddelenmiş veya Bant Sargılı Çekirdeklerde Kullanılan Çok Kristalli Alaşımların Manyetik Özellikleri.

Malzeme ve Bileşim	μ_i	μ_m	H_c (A/m)	T_c (C°)	B_s (T)
Sıcak Çekilmiş Silikon Çelik 4Si, 96Fe	500	7.000	39,8	690	1,97
Parçacık Yönlendirmeli Silikon Çelik 3Si, 97Fe	1.500	40.000	11,9	700	2
45 Permalloy 45Ni, 55Fe	3.500	50.000	5,57	440	1,6
4-79 Permalloy 4Mo, 79Ni, 17Fe	20.000	100.000	4	420	0,87
Supermalloy 79Ni, 16Fe, 5Mo	100.000	1.000.000	0,16	400	0,8
Permendur 50Co, 50Fe	800	5.000	160	980	2,45

μ_i :Başlangıç Manyetik Geçirgenliği

μ_m : Maksimum Manyetik Geçirgenliği

H_c :Zorlayıcı Kuvvet

T_c :Curie Sıcaklığı

B_s : Doyma Akı Yoğunluğu

Çok kristalli alaşımların maliyetini etkileyen alaşım elementlerinin maliyetidir. Nikel bazlı alaşımlar demir bazlı alaşımlara nazaran daha pahalıdır. Kobalt bazlı alaşımlar ise en pahalılarıdır ve sadece özel amaçlı kullanılırlar. Bu malzemeler, çok kristalli parçacık yapıya izin veren yavaş soğutmalı geleneksel metalurjik teknikler kullanılarak

işlenirler. Çok kristalli manyetik malzemeler genellikle yüksek doyma akı yoğunluğuna, yüksek manyetik geçirgenliğe ve yüksek elektriksel geçirgenliğe sahiptirler. Yüksek doyma akı yoğunluğu, özellikle düşük gerilimde, istenen gerilimi vermek için gerekli sarım sayısını düşürür. Ne yazık ki, yüksek elektriksel geçirgenlik nedeniyle, manyetik akı tarafından eddy akımları indüklenir. Eddy kayıplarını azaltmak için, manyetik çekirdekler 0.0005-0.016 inçlik ince tabakalar halinde üretilir. Eddy akımlarını sınırlama ve manyetik akı yolunun tabaka düzlemi içinde olması gerekliliği çekirdek konstrüksiyonunu sınırlar. Çekirdek üretilmeden evvel, tabakalar aralarındaki eddy akımlarını engellemek için yalıtılırlar. Sonuç olarak, eddy akımları malzeme düşük frekanslarla sınırlanır. Bu malzemelerin klasik kullanımı 50Hz-400Hz frekans aralığındaki transformatör ve indüktörlerdir.

İnce tabakalar çeşitli çekirdek teknolojilerinde kullanılırlar. Bu ince tabakalar genellikle çekirdeği oluşturmak üzere istiflenen laminasyonların üzerine basılır. Pek çok laminasyon şekli mevcuttur. Ama, en geneli E-I laminasyonudur. E-I laminasyonunda, çekirdek "E" nin orta ayağına yerleştirilir. Maliyet sebebiyle "E" laminasyonların bir istifi "I" laminasyonların bir istifi üzerine doğrudan geçirilir. Bu da, manyetik devrede genellikle istenmeyen bir "hava aralığına" sebep olur. Bunun beraber, hava aralığı, enerji depolayıcı bir indüktör yapmak için, bilerek artırılır. Hava aralığı uzunluğu endüktans değerinden saptanır. Bu yöntemle indüktörün üretimde hassasiyetini sağlamak zordur. Eğer hava aralığı istenmiyorsa, laminasyonlar E ve I taraflarından ayrılırlar. Bu da, daha iyi prototiplerin yapılması için ek maliyet getirir.

Bu ince manyetik malzeme tabakaları önce bantlara ayrılırlar daha sonra da bir mile sarılarak "bant sargılı" çekirdek halini alırlar. Eğer mil silindirikse çıkan çekirdek "bant sargılı toroid" olur. Çekirdek yekpare olduğundan, sargı çekirdek üzerinde ya elle sarılmalı ya da en iyisi başında bir operatör bulunan bir makine tarafından ayrı olarak sarılmalıdır. Çünkü, manyetik malzeme mekanik zorlanmaya karşı hassastır. Bant sargılı toroidler genellikle içi silikonla doldurulmuş bir alüminyum kutunun içinde korunurlar. Eğer dörtgen bir mil kullanılırsa, bant sargılı çekirdek iki parçaya ayrılır. Bu forma da "bant sargılı kesik C çekirdek" denir. Düzgünlük ve pürüzsüzlüğün sağlanması için karşılıklı yüzeyler üst üste bindirilmelidir. Ayrık iki parçalı çekirdek

ayrık sarımlı bir sargının etrafında birleştirilir. Eğer enerji depolayıcı bir indüktör gerekiyorsa iki çekirdek yarısı bir hava boşluğuyla ayrılır.

Çok kristalli alaşımlar toz formunda da üretilirler. Tablo 2.2 bazı toz çekirdek malzemelerini tarif etmektedir.

Tozlu malzemeler mekanik öğütme ve kimyasal tortulaşma yöntemleriyle elde edilebilirler. Çekirdeğe şekil vermek için gerekli basınç değişkendir. Tozlu demir çekirdeğe gereken basınç en düşük olanıdır. Bu sebeple tozlu demir çekirdek pek çok şekilde elde edilebilir. Örneğin; yekpare toroidal çekirdek, iki parçalı E-I çekirdek, vb. MPP' ye gereken basınç biraz daha fazladır ve KoolMu' ya gereken daha fazladır. Bu yüzden bu malzemeler sadece toroidal çekirdeklerde bulunurlar. Toz parçacıklarının arasındaki yalıtım eddy akımlarının önler ve aynı zamanda "dağıtılmış bir hava aralığı" sağlar. Tozlu çekirdekler indüktör uygulamalarında kullanılmazlar. Çünkü, yapısı itibarıyla, her ne kadar hava aralığı çekirdeğin bir parçası olsa da endüktans değeri laminasyonlu "ayrık hava aralıklı" indüktörlerinkinden daha stabildir.

Tablo 2.2 Tozlu Çekirdeklerde Kullanılan Çok Kristalli Alaşımların Manyetik Özellikleri

Alaşım Elementleri ve Ticari İsimleri	Bağıl Manyetik Geçirgenlik Değerleri	Doyma Akı Yoğunluğu B_s (T)
Fe - tozlu demir çekirdekler	10, 22, 33, 35, 55, 60, 75	1.2
Fe, Al ve Si - "KoolMu" çekirdekler	60, 75, 90, 125	1.1
Ni, Fe ve Mo - Molibden Permalloy tozlu (MPP) çekirdekler	14, 26, 60, 125, 147, 160, 173, 200, 300, 550	0.8

2.1.2 Ferritler

Ferritler demir oksit, metal oksit karışımından oluşmuş ferromanyetik bir çok kristalli seramiktir. $Me-Fe_2O_4$ formunda olup, burada Me; çinko (Zn), manganez (Mn), nikel (Ni) ve magnezyum (Mg) metallerinden biri ya da birden fazlası olabilir. En yaygın ferrit sınıfları:

* Mn-Zn Ferritleri

* Ni-Zn Ferritleri

Tablo 2.3 Mn-Zn ve Ni-Zn ferritlerine ilişkin manyetik özellikleri sıralamaktadır. Ferritlerin hepsi güç elektroniğinde kullanılmaz. Alternatif bir kullanım alanı da radyo-frekans (rf) uygulamaları ve lazer yazıcılarıdaki tonerlerdir.

Tablo 2.3 Ferritlerin Manyetik Özellikleri

Özellikler	Mn-Zn Ferritler (Manganez-Çinko)	Ni-Zn Ferritler (Nikel- Çinko)
Bileşim (% mol.)	MnO %27 - ZnO %20 - Fe ₂ O ₃ %53	NiO %32 - ZnO %18 - Fe ₂ O ₃ %50
Başlangıç Manyetik Geçirgenliği μ_i	500 - 15.000	10 - 2.000
Doyma Akı Yoğunluğu B_s (T)	0,35 - 0,50	0,25 - 0,40
Kalıcı Akı Yoğunluğu B_R (T)	0,07 - 0,29	0,07 - 0,27
Curie Sıcaklığı T_C (°C)	120 - 280	110 - 550
Yoğunluk δ (kg/m ³)	4.500 - 4.950	4.300 - 4.800
Dc Hacim Direnci ρ (Wm)	0,02 - 25	$10^4 - 10^8$
Frekans Aralığı f (MHz)	0,02 - 1	1 - 120
Çekirdek Kaybı P_{loss} (W/m ³)	50 - 200	Çok düşük

Genel süreç: Temel oksitler bir bulamaç olarak karıştırılır ve kabarcıklı halde kurutulur. Karışım bir ocakta yakılır. Daha sonra, özel bir şekil verilmez üzere sıvı içinde ezilir. Organik yapışkan ve yağ eklendikten sonra karışım preslenir ya da kalıptan çekilir. Malzeme, doğasından ötürü, sadece basit çekirdek şekilleri alabilir. Yapışkan bünyesinden atmak ve tam homojen izotropik çok kristalli bir çekirdek malzemesi elde etmek için, çekirdekler pürüzden arındırılır. Pürüzden arıtma ve soğutma sürecinde, ferritler büzüldüğü ve deforme olduğu için boyutsal toleranslar verilirken azami dikkat gösterilmelidir. Sonuç olarak, büyük ferrit çekirdekleri üretmek zordur. Ferritler taşıma, vb. karşın dayanıklı olsa da sargı tarafından sağlanan

veya montaj esnasında oluşan mekanik gerilime karşı dikkatli olunmalıdır. Ferritler kırılgandır ve eğer mekanik bir şoka maruz kalırlarsa kolayca kırılırlar.

Ferrit yüksek frekans uygulamalarında tercih edilen bir çekirdek malzemesidir. Çünkü, yüksek bir elektriksel dirence sahiptir. Dolayısıyla, eddy akımı kayıpları minimize etmek için laminasyona ihtiyaç duymaz. Çünkü, ferrit izotropiktir. Akı her yönde yol alabilir ve çekirdek şekillerinin aralığı laminasyonlu ve bant sargılı çekirdeklere nazaran çok daha geniştir. Güç elektroniğinde, ferritler yekpare toroidal, E-I, U-I, “pot” ve temel çekirdek şekillerinden türetilen diğer çekirdek şekilleri olarak bulunabilir. Zayıf boyut toleransları, bitmiş çekirdeğin kabalığı, iki parçalı çekirdeklerdeki karşılıklı yüzeylerin tam düzgünlük ve pürüzsüzlük sağlayamaması nedeniyle International Electrotechnical Commission (IEC) tarafından tarif edilen standart çekirdek şekillerinin çoğu güç elektroniği uygulamaları için pek uygun değildir. Ferrit teknolojisindeki son gelişmeler temel başarılarından ziyade proses kontrolü sayesinde sağlanmaktadır.

Ferritler kendi sıcaklık hassasiyetleri, düşük Curie sıcaklıkları ve düşük doyma akı yoğunlukları ile sınırlıdır. Mn-Zn ferritler daha yüksek manyetik geçirgenliğe ve doyma akı yoğunluğuna sahiptirler. Çalışma frekansları yaklaşık 20kHz’ den itibaren başlar ve çok kristalli metalik alaşımların çekirdek kayıplarının tolerans haricinde olduğu 1MHz’ e kadar gider. Her ne kadar, daha yüksek kayıplı ve daha düşük manyetik geçirgenlikli olmasına rağmen bazen tozlu demir kullanılsa da 1MHz’ nin üzeri için tek alternatif düşük doyma akı yoğunluklarına ve düşük manyetik geçirgenliklerine rağmen Ni-Zn ferritlerdir.

2.1.3 Amorf Metalik Alaşımlar

Amorf alaşımlar manyetik malzeme teknolojisinin son ürünleridir. Amorf alaşımlar çok kristalli alaşımlar gibi temel alaşım elementlerinden bazılarını kullanırlar. Ancak, kaynar haldeyken derhal soğutularak kristalli bir yapıya dönüşmeleri engellenir. Amorf alaşımlar genel olarak üç alt bölümde incelenebilirler.

*** Demir Bazlı Alaşımlar**

• Nikel Bazlı Alaşımlar

• Kobalt Bazlı Alaşımlar

Tablo 2.4 bazı amorf alaşımlara ilişkin manyetik özellikleri göstermektedir. Amorf manyetik malzemeler genellikle demir (Fe), nikel (Ni), kobalt (Co), molibden (Mo), manganez (Mn), vb.'nin silikon (Si), bor (B), karbon (C), vb. gibi cam formu elementlerden biri ya da bir kaç ile oluşturdukları alaşımlardır. Her ne kadar, amorf alaşımların üretim süreci eşdeğer çok kristalli alaşımlara nazaran daha pahalı olsa da, maliyet genel olarak ham maddelerinin maliyetine bağlıdır.

Tablo 2.4 Amorf Alaşımların Manyetik Özellikleri

Malzeme ve Bileşim	μ_m	H_c (A/m)	T_c (C°)	B_s (T)
Metglas 2605 $Fe_{80}B_{20}$	300.000	8	375	1,6
Metglas 2826 $Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$	275.000	5	250	0,78
Metglas 2605SC $Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}B_2$	300.000	6	370	1,61
Vitvac 6025 $(Co, Fe)_{70}(Mo, Si, B)_{30}$	600.000	0,4	250	0,55
Vitvac 6030 $(Co, Mo, Fe, Mn)_{77}(Si, B)_{30}$	300.000	1	350	0,8
Metglas 2605SC $Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}B_2$	1.000.000	0,64	205	0,55

Kristal yapılarındaki eksikliği camdakine benzemesi nedeniyle amorf alaşımlar “camsı metaller” olarak da bilinir. Erimiş alaşımın soğutmalı bir sarıcı üzerinde ince bir

tabaka halinde çökelmesini sağlayan 10^6 °C /s değeri soğutma nominali olarak kabul edilir. genel olarak tabaka kalınlığı 0.001 inçtir. Ne yazık ki, malzeme oldukça sert ve gevrektrir. Malzeme kolayca kırıldığından ya da işleme takımları çabucak tahrip ettiğinden laminasyonlara yapıştırılması imkansızdır. Bant sargılı kesik C çekirdekler de olası olsa da, amorf alaşımlar başlangıçta sadece bant sargılı toroidler olarak üretiliyorlardı.

Ferrit kadar olmasa bile, camsı yapılarından ötürü eşdeğer çok kristalli alaşımlara göre çok daha büyük bir elektriksel dirence sahiptirler. Dolayısıyla, amorf alaşımlardaki eddy akımı kayıpları eşdeğer çok kristalli alaşımlarla karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Amorf alaşımlar, düşük frekanslarda çok kristalli alaşımlar karşısında yüksek maliyetine karşılık eşdeğer doyma akı yoğunluğuyla ve düşük eddy akım kaybıyla, yüksek frekanslarda ise ferritlere karşısında yüksek kayıplarına karşın yüksek doyma akı yoğunluğu ve Curie sıcaklığıyla bir rakip olarak durmaktadır. Bazı üretim zorlukları nedeniyle özel uygulamalar haricinde üstünlük kazanmış bir malzeme değildir.

2.2 Manyetik Teknolojilerin Karşılaştırılması

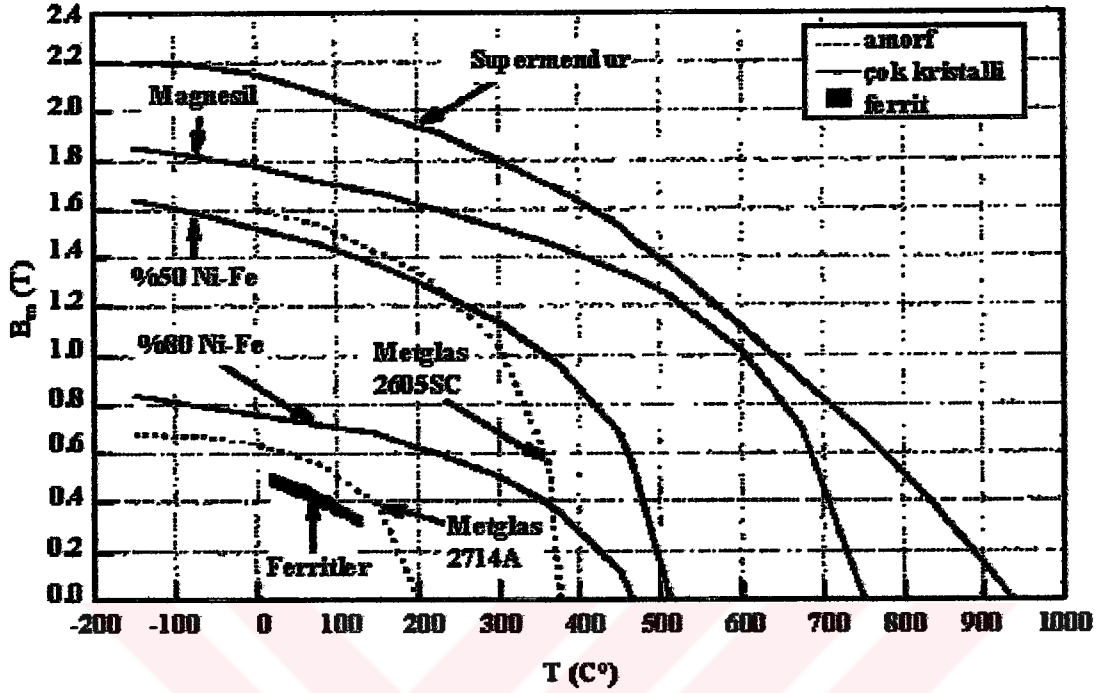
Uygulama aralıklarının farklılığından dolayı manyetik malzemelerin tam bir karşılaştırılmasını yapmak çok kolay değildir. Manyetik teknolojileri aşağıdaki karakteristikler karşılaştırılacaktır.

- * Sıcaklığın fonksiyonu olarak doyma akı yoğunluğu
- * Frekansın fonksiyonu olarak çekirdek kaybı

2.2.1 Sıcaklığın Fonksiyonu Olarak Doyma Akı Yoğunluğu

Şekil 2.1 sıcaklığın fonksiyonu olarak doyma akı yoğunluğunun çizimini göstermektedir. Bu çizim manyetik malzemeye uygulanabilecek yaklaşık sıcaklık aralığında çizilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda çok kristalli alaşımlar yüksek doyma akı yoğunluğunu muhafaza ederler. Ferritler ile çok kristalli alaşımlar arasındaki fark sabit olarak kalmaktadır. Çok kristalli alaşımlarla karşılaştırıldığında ferritler çok dar bir

banda sahiptirler. Ferritler yaklaşık 200°C üzerinde faydalı değildirler. Amorf alaşımlar ferritler ile çok kristalli alaşımlar arasında bulunur.



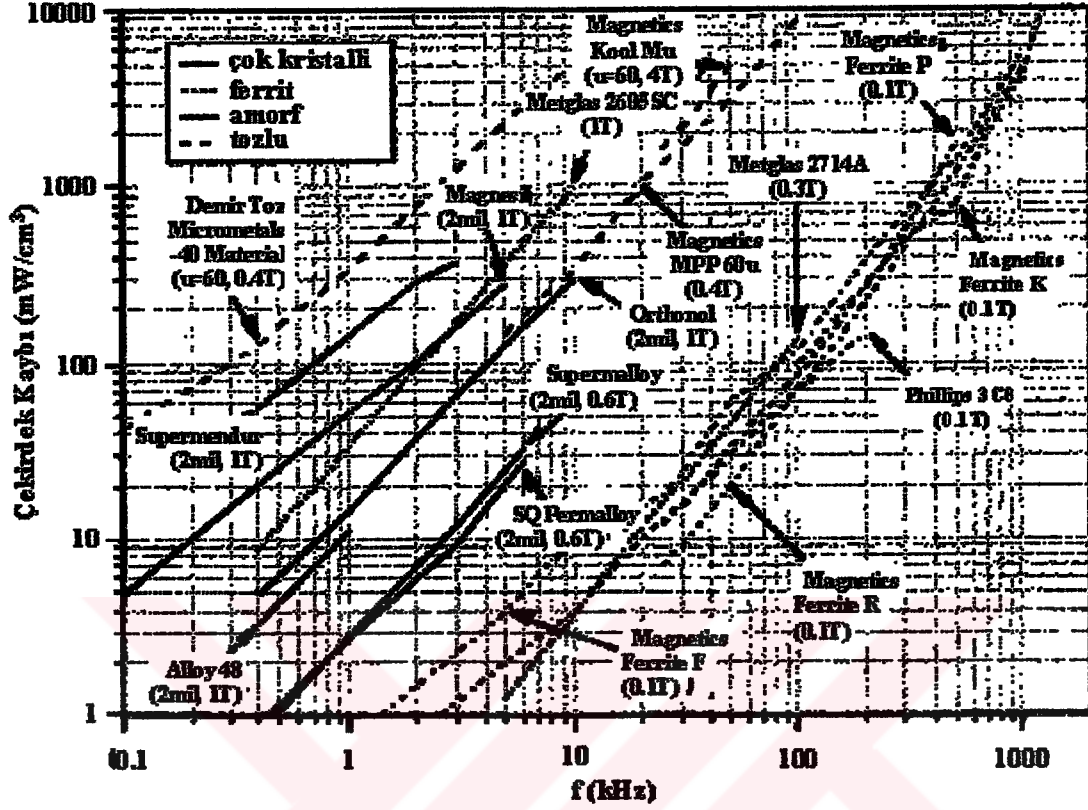
Şekil 2.1 Sıcaklık - Doyma akı yoğunluğu.

2.2.2 Frekansın Fonksiyonu Olarak Çekirdek Kaybı

Şekil 2.2 verilmiş bir tepe akı yoğunluğu için frekansın fonksiyonu olarak çekirdek kaybının mW/cm^3 cinsinden ifade etmektedir. Eğer tepe akı yoğunluğu düşerse kayıp da azalacaktır. Üreticiler tarafından laminasyonlu malzemeler için kayıp genellikle W/lb veya W/kg cinsindedir. Bu karşılaştırmayı yapmak için kayıp, malzeme yoğunluğu kullanılarak, mW/cm^3 dönüştürülmüştür. Bilindiği gibi, çekirdek kaybını ölçmek zordur ve Şekil 2.1 sadece göreceli karşılaştırma yapmak için kullanılabilir.

10kHz' nin üzerindeki frekanslara dikkat edilirse, ferritlerin en düşük kayba sahip olduğu görülür. Ancak, unutulmamalıdır ki, ferritler amorf veya çok kristalli alaşımlara göre çok daha düşük doyma akı yoğunluğuna sahiptirler. Bunun anlamı, ferrit daha yüksek bir frekansta kullanılacaksa, doymayı önlemek için çok düşük akı yoğunluğunda çalıştırılmalıdırlar. Çok kristalli alaşımların düşük frekanslı uygulamaların malzemesi olduğu açıkça görülmektedir. Çünkü, burada kayıpları düşüktür ve yüksek doyma akı yoğunluğu avantajıdır. Dikkat edilirse ne çok kristalli

alaşımlar ne de ferrit yüksek sıcaklıktaki yüksek frekans uygulamaları için kullanılamaz. Bu durumda amorf alaşım iyi bir çözümdür.



Şekil 2.2 Frekans - Çekirdek kaybı. [8].

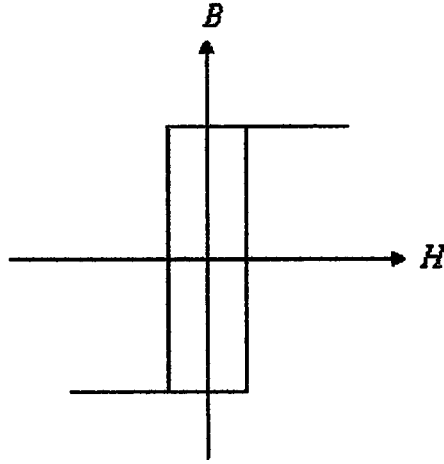
2.3 Çekirdek Malzemelerinin Manyetik Özellikleri

2.3.1 Manyetik Malzeme Karakteristikleri

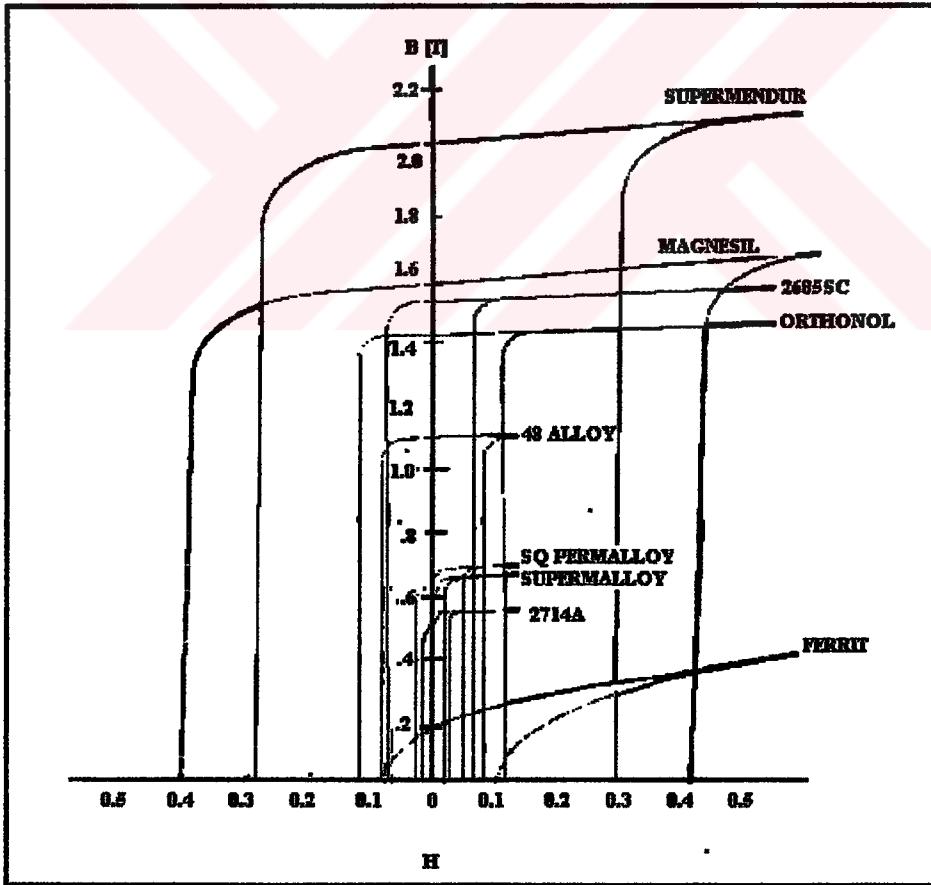
İdeal B/H eğrisi Şekil 2.3' de gösterilmektedir. Malzemelerin pratikteki eğrileri Şekil 2.4' de gösterilmiştir.

En yüksek akı yoğunluğunu sağlayan malzeme en küçük boyuta sahip olacaktır. Boyutun en önemli kriter olduğu durumlarda akı yoğunluğu çekirdek malzemesinin seçiminde önem kazanır. Transformatör tasarımında amaç en küçük boyut, en yüksek verim ve farklı çalışma koşullarında yeterli performanstır. Ne yazık ki, malzemenin

boyutu küçüldükçe verimi de düşer. Bu nedenle, transformatör tasarlanırken çekirdek boyutuyla verim arasında bir optimum nokta bulunmalıdır.



Şekil 2.3 İdeal kare B/H eğrisi.

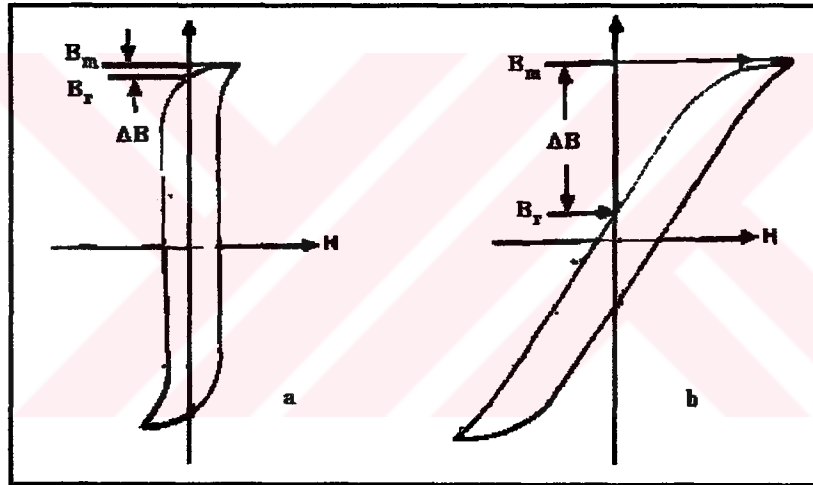


Şekil 2.4 Malzemelerin DA B/H eğrileri.

2.3.2 Hava Aralığı

Çekirdek içindeki hava aralığının güçlü bir mıknatısiyet giderici özelliği vardır ve hysteresis eğrisinin üstünün kesilmesine neden olur. Yüksek geçirgenlikli malzemelerde, geçirgenliğin ciddi şekilde düştüğü görülür. Hava aralığının etkisinin büyüklüğü, ortalama manyetik yolun uzunluğu ve kesimsiz çekirdeğin karakteristiğine bağlıdır. Aynı hava aralığı için, geçirgenlikteki düşüş, daha büyük bir manyetik akı yolu ile, daha küçük olacaktır. Fakat küçük zorlayıcı kuvvetli, yüksek geçirgenlikli çekirdek içinde daha etkin olarak görülecektir.

Şekil 2.5' da hava aralıklı ve hava aralıksız tipik bir toroidal çekirdeğin B/H eğrileri gösterilmektedir. Aralık manyetik yolun etkin uzunluğunu arttırır.



Şekil 2.5 Hava aralığının manyetik yol uzunluğunu arttırması.(a) Hava aralığı yok. (b) Hava aralığı var.

Transformatörün birincil sarıma E gerilimi uygulandığında oluşan i_m akımı, devrede meydana gelen yüksek endüktanstan dolayı, küçük olacaktır. Belli bir çekirdek ölçüsü için hava aralığı minimum olduğunda endüktans en büyük değerini alır. S1 anahtarı kapatıldığında ikincil sargıda dengesiz bir doğru akım akar. Çekirdek DA mıknatıslanma kuvvetine maruz kalır. Oluşan akı yoğunluğu aşağıdaki gibi ifade edilir.

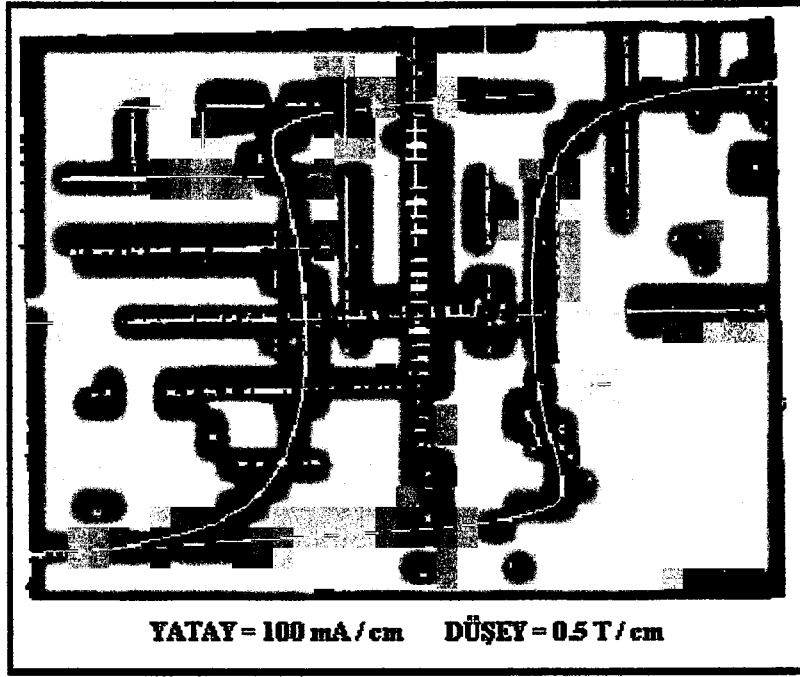
$$B_{dc} = \frac{0.4\pi NI_{dc} 10^{-4}}{I_g + I_m/\mu_r} \quad (2.2)$$

Bu, AA akısıyla arttırılır. Eğer B_{dc} ve B_{ac} 'nin toplamı çekirdek malzemesinin maksimum çalışma akı yoğunluğunu aşarsa, geçirgenlik μ_{ac} düşer. Dolayısıyla empedans düşer ve i_m mıknatıslanma akımını arttırır. Bu sorun çekirdeğin montajına bir hava aralığı yerleştirilmek suretiyle giderilir.

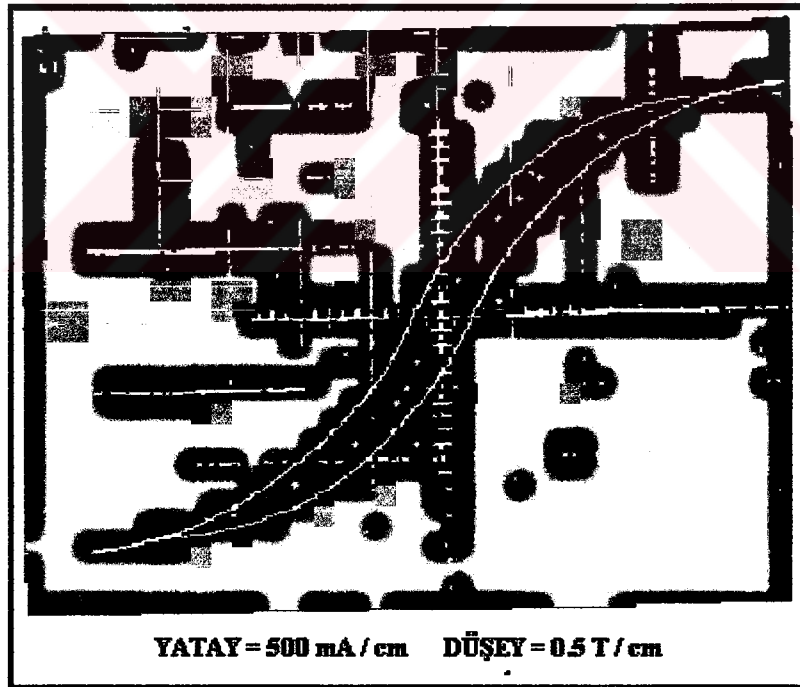
Bu aralık, çekirdekteki DA mıknatıslanmada azalma sağlar. Bununla beraber, hava aralığının büyüklüğünün bir sınırı vardır, çünkü hava aralığı empedansı azaltır, endüktif i_m mıknatıslanma akımını yükseltir. Bu tip akımlardan oluşan sivri gerilim uçları anahtarlama yapan transistörler üzerinde yüksek gerilimler oluşturur. Bu zorlanma hava aralığını minimuma indirmekle çözülür.

Şekil 2.5' da gösterildiği üzere B_m maksimum akı yoğunluğu, B_r artık akı yoğunluğu, ΔB ise faydalı akı yoğunluğudur ve B_m ile B_r arasındaki farka eşittir. Şekil 2.5a' da B_m ile B_r birbirine yakındır, b' de ise aralarındaki ΔB farkı artmıştır. Her iki durumda da uyarma gerilimi B/H eğsinin tepesinde kesildiği anda, akı B_r noktasma düşer. Hava aralıklı çekirdekte B_r azalır, yararlı akı yoğunluğu artar. Bu sebeple çekirdek içine hava aralığı yerleştirildiği zaman, kaçak endüktanstan dolayı oluşan gerilim uçları önemli ölçüde azalır.

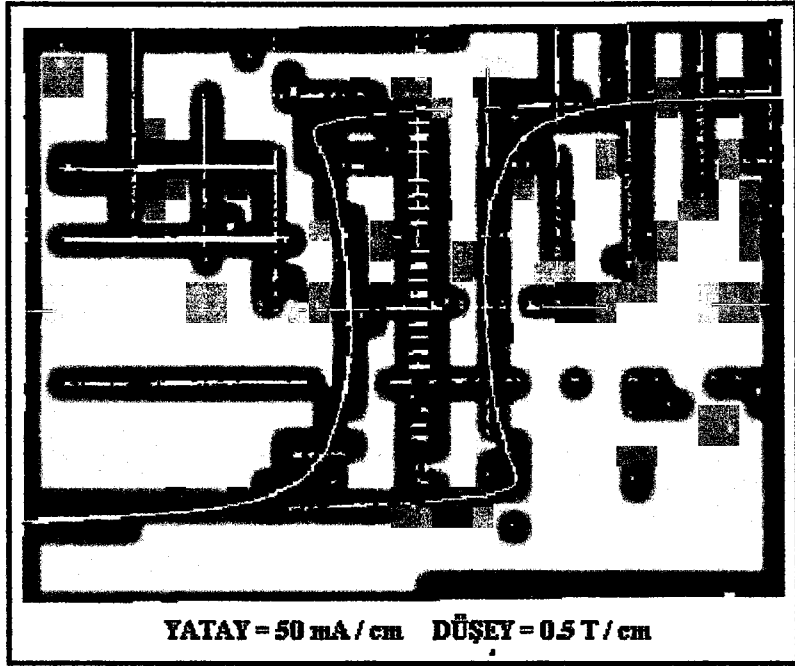
Hava aralıksız ve hava aralıklı durumlar için iki tip çekirdek üzerinde durulmuştur. Şekil 2.6 ila Şekil 2.15' de aralıklı ve aralıksız çekirdeklere ilişkin B/H eğrilerinde toroidal ve C tipinde aynı olmak üzere hava aralığının etkisi ortaya konmuştur. Şekil 2.16' de Enpay firmasının aralıklı çekirdekleri gösterilmektedir.



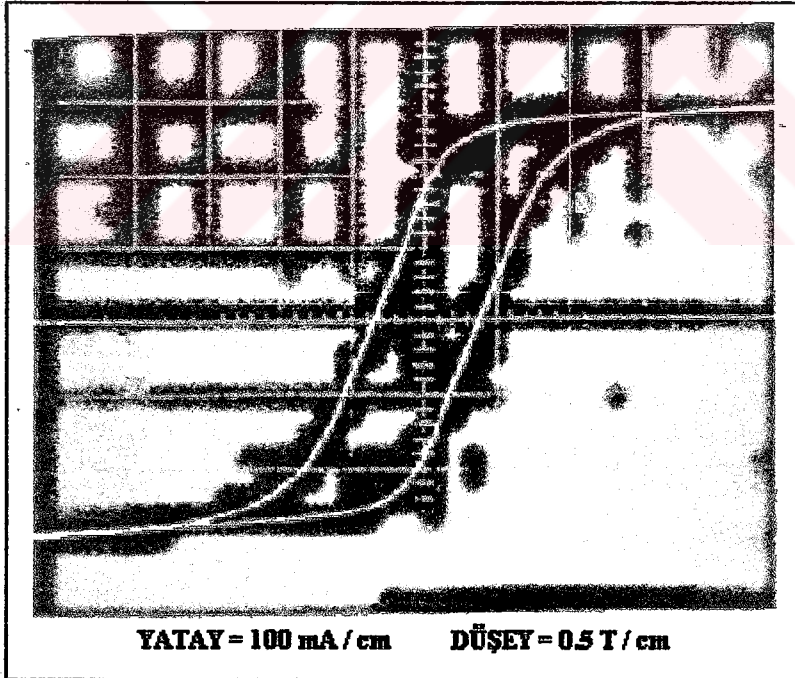
Şekil 2.6 Aralıksız Magnesil 52029 (2K) çekirdeğin B/H eğrisi.



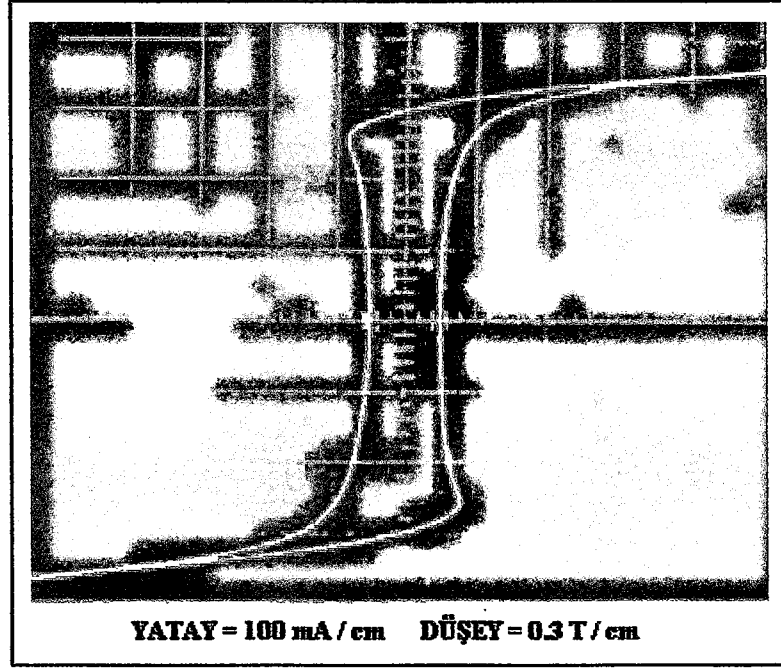
Şekil 2.7 Aralıklı Magnesil 52029 (2K) çekirdeğin B/H eğrisi.



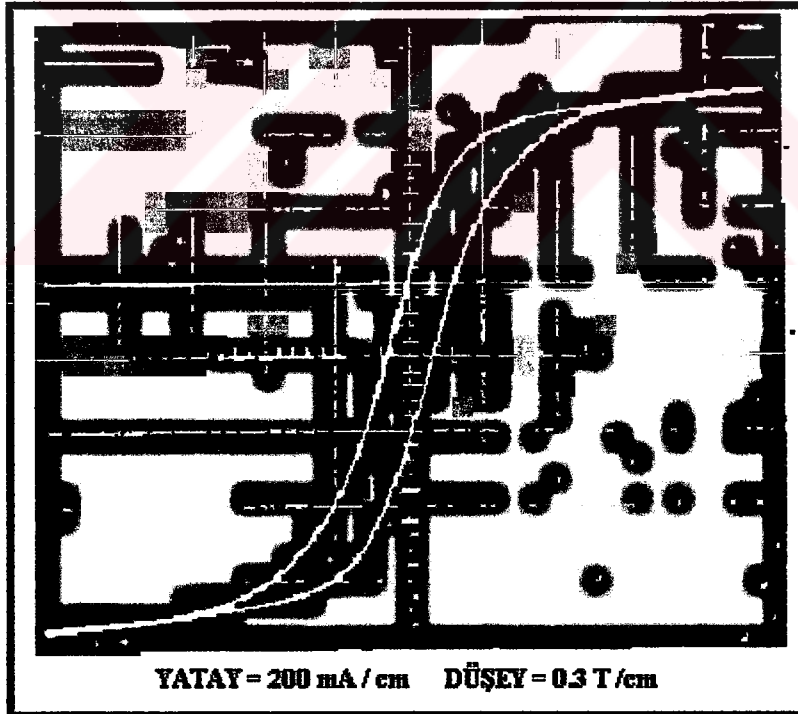
Şekil 2.8 Aralıksız Orthonol 52029 (2A) çekirdeğin B/H eğrisi.



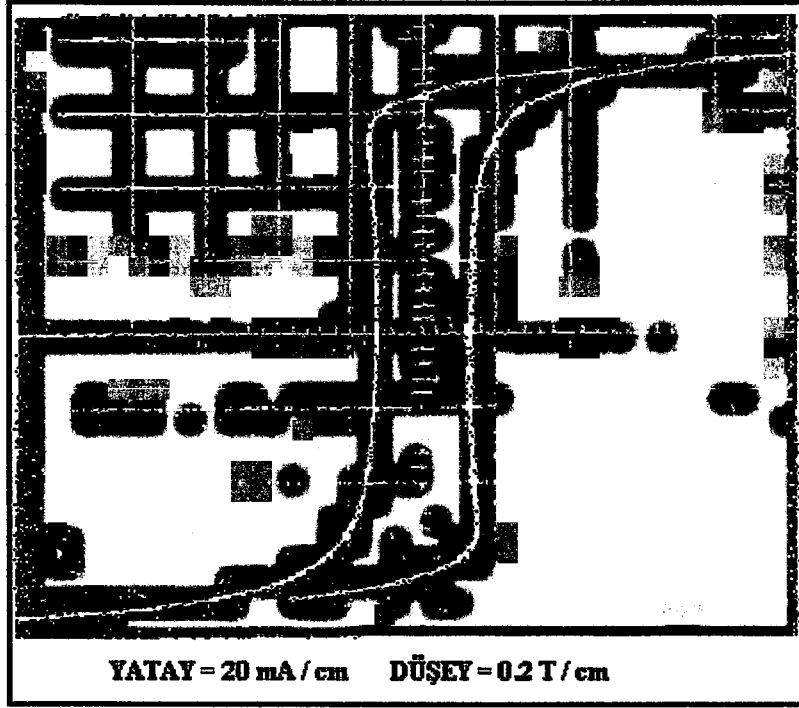
Şekil 2.9 Aralıklı Orthonol 52029 (2A) çekirdeğin B/H eğrisi.



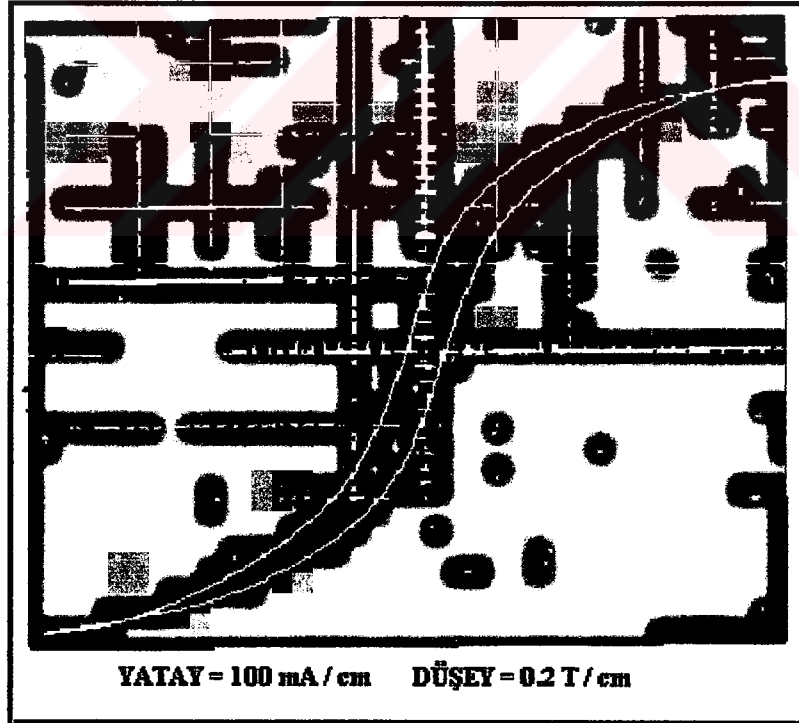
Şekil 2.10 Aralıksız 48 Alloy 52029 (2H) çekirdeğin B/H eğrisi.



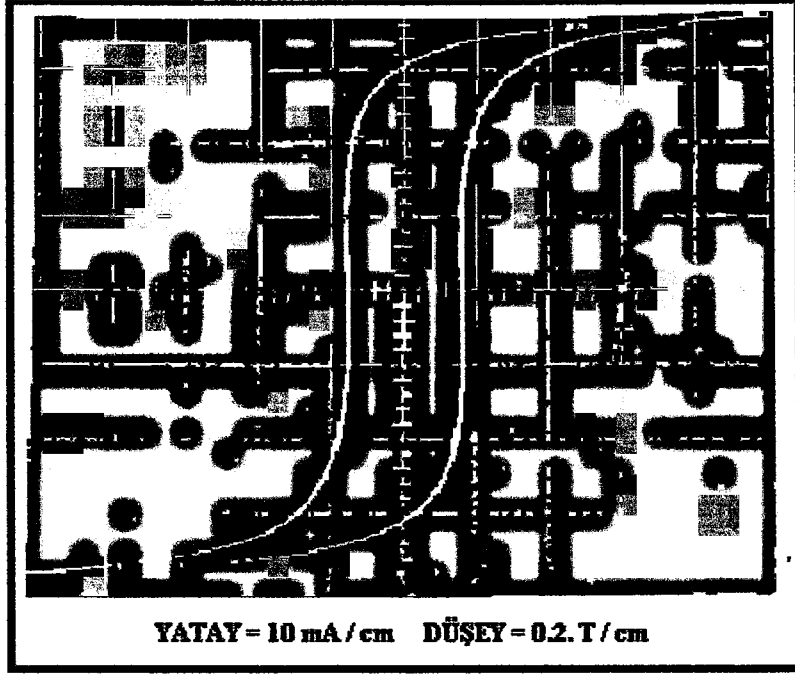
Şekil 2.11 Aralıklı 48 Alloy 52029 (2H) çekirdeğin B/H eğrisi.



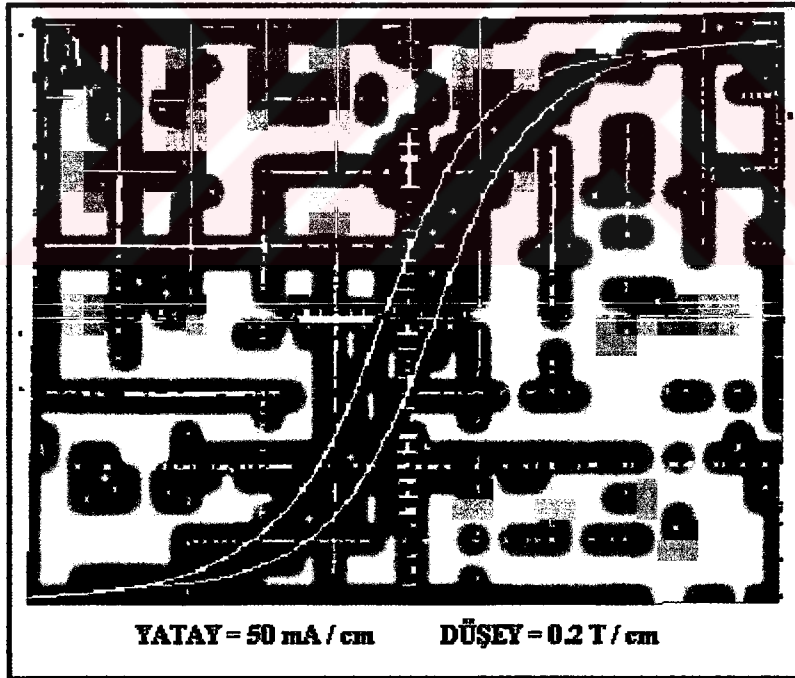
Şekil 2.12 Aralıksız Sq. Permalloy 52029 (2D) çekirdeğin B/H eğrisi.



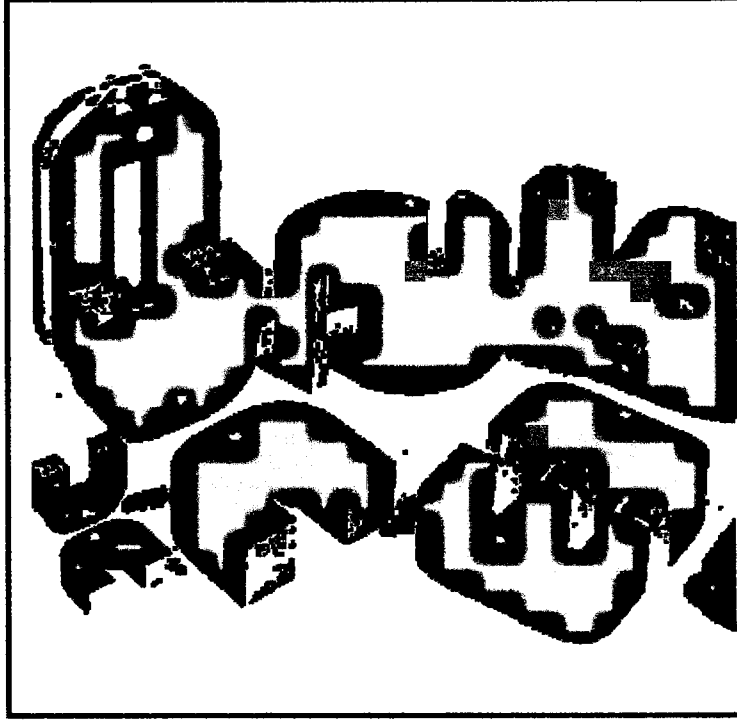
Şekil 2.13 Aralıklı Sq. Permalloy 52029 (2D) çekirdeğin B/H eğrisi.



Şekil 2.14 Aralıksız Supermalloy 52029 (2F) çekirdeğin B/H eğrisi.



Şekil 2.15 Aralıklı Supermalloy 52029 (2F) çekirdeğin B/H eğrisi.



Şekil 2.16 Enpay C, toroidal ve E tipi kesimli çekirdekleri.

Düşük kayıplı band sargı toroidal çekirdek malzemeleri kareye çok yakın hysteresis karakteristiğine sahiptir. Bunlar çoğunlukla uzay aracı transformatörlerinin tasarımında kullanılır. Malzemelerin B/H eğrisinin kareselliğinden dolayı, bu malzemelerle tasarlanan transformatörler daha kolay doyar. Bunun sonucunda, elektronik devrelerde zorlanmalar yaratacak büyük gerilim ve akım değerleri meydana gelebilir. Doyma, transformatörün AA sürücüsünde herhangi bir dengesizlik olduğu zaman veya herhangi bir DA uyarısında ortaya çıkar. Ayrıca karesel karakteristikten dolayı, uyarma kesildiği zaman yüksek bir artık akı B_r kalabilir. Uyarmanın aynı yönde tekrarlanması halinde, doyma ve çok yüksek sivri akım tepeleri oluşur. Bu, ancak kaynak empedansı ve transformatör sargı direnciyle sınırlandırılır.

Çekirdekte küçük bir hava aralığının ($25 \mu m$ ' den az) oluşturulmasıyla, malzemenin düşük kayıp özelliklerini kaybetmeden yukarıda anlatılan problemlerden kurtulmak mümkündür. Hava aralığı oluşturulduğunda artık mıknatısiyet azalır, işletme akı yoğunluğu ile doyma akı yoğunluğu arasındaki sınır yükselir. Bu sebeple, hava aralığının karesel eğrili malzemeler üzerinde güçlü bir mıknatısiyet özelliği vardır.

Uygun şekilde tasarımı yapılmış karesel eğrili aralıklı toroid veya C tipi çekirdek malzemeli transformatörler açma sırasında doymayacaktır ve belirli bir yere kadar dengesiz sürümelerde veya DA uyarmalarda toleransa sahip olacaktır. Çekirdekler çok dikkatli kesilmeli, taşlanmalı, düz bir yüzey oluşturulmalı ve montaj dikkatlice yapılmalıdır. [1,7].



3. FLYBACK VE FORWARD ÇEVİRİCİLER

3.1 Anahtarlama Çeviricilerde Transformatörler

Şebekeden sürülen lineer bir güç kaynağında, yalıtım için şebeke frekanslı güç transformatörleri kullanılır, ve daha sonra, çıkış gerilimini elde etmek için bir doğrultucu ve bir lineer regülatör kullanılır.

Şebekeden sürülen bir AGK' da yalıtım, regülasyon ve yüksek verim tek bir yerde toplanmıştır. AGKlar genellikle 25 kHz ila 250 kHz arasında çalışan, daha az büyüklükteki yüksek frekans transformatörlerini kullanır.

Düşük frekanslı haddelenmiş demir çekirdekli olanların tersine AGKlar için kullanılan transformatör ve indüktörlerin ferrit tozlu çekirdekleri vardır. AGK transformatörlerin sargıları genellikle şebeke frekansındaki transformatörlerin aksine daha az sarmalıdır. Frekans arttıkça, çekirdek seçiminde ferrit tozlu malzemelerinden amorf malzemelere geçiş olmuştur.

3.2 AGKlarda Transformatörün RFI & EMI Üzerine Etkisi

RFI ve EMI yaratmada anahtarlama güç kaynaklarının adı çıkmıştır. Şebeke uçlarındaki alçak geçiş filtreleri, iletilen paraziti düşürmede hayati öneme sahiptir. EMI ve RFI' yı düşürmek için devre tablosu üzerindeki donanımları engelleyecek doğru alanla birlikte, transformatör sargılarıyla ortamdaki algılayıcı elemanlar arasındaki Faraday elektrostatik ekranlara ihtiyaç duyulur.

Transformatörün yanı sıra, testere dişli dalga şekillerinin düzeltilmesi problemi kondansatör tasarımına da zorluk getirmektedir. Standart elektrolitik

kondansatörlerin seri endüktansı ve direnci, artık dalgalanmalar ve çıkıştaki gürültü gerilimleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler.

3.4 Forward ve Flyback Devreler

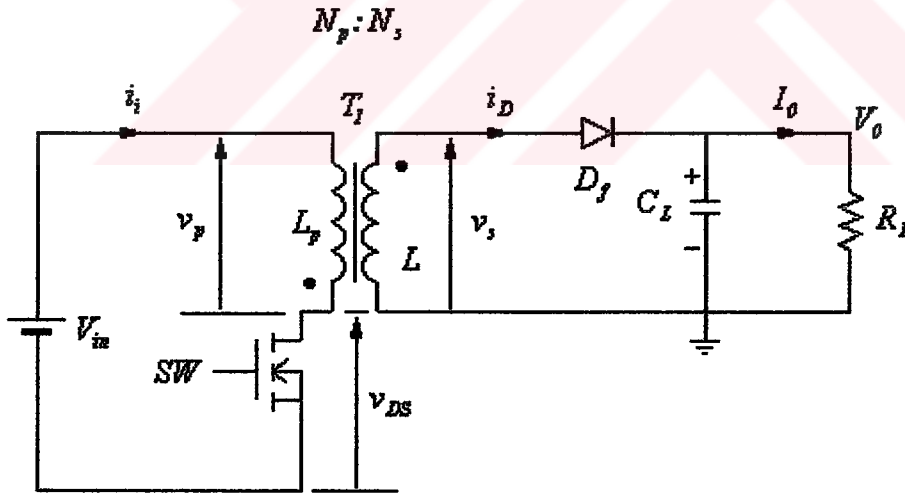
AGK devrelerinden bahsedildiğinde farklı topolojiler genellikle 'Forward' veya 'Flyback' olarak düşünülür.

Bir Forward Beslemeli AGK devresi anahtarlama elemanı (transistor) iletime geçtiğinde çıkış kondansatörüne enerji sağlar.

Bir Flyback AGK devresi anahtarlama elemanı (transistor) kesime geçtiğinde enerjiyi çıkış kondansatörüne aktarır.

3.4.1 Flyback Çeviricinin İncelenmesi

Şekil 3.1 bir flyback çeviricinin basit devresini göstermektedir.



Şekil 3.1 Flyback çevirici.

Flyback çevirici bir yalıtım transformatörünün, bir çıkış indüktörünün, ve tek fazlı bir transformatördeki bir serbest geçiş diyodunun toplamıdır. Bu manyetik

birleşmenin sonucu olarak, devre maliyet açısından iyi verim ve kararlı DA çıkışları sağlar.

Bu devre buck-boost regülatöre çok benzer biçimde çalışır ama burada indüktörün bir ikincil sargısı (ya da sargıları) vardır. Burada dikkat edilecek nokta sargılı elemanın, hem bir indüktörün hem de bir transformatörün işlevlerini birleştiren, ikincil sargılı bir indüktör olduğudur. İndüktör bir enerji depolama cihazı olduğundan manyetik devrede bir hava aralığına ihtiyaç duyar (önemli miktarda enerjinin çekirdeğin ferromanyetik parçasında depolanması mümkün değildir). Bir ideal transformatör birincil ve ikincil devrelerin arasındaki enerjiyi doğrudan birleştirir ve enerji depolamaz. Akuple indüktörün eşdeğer devresi bir transformatörünki arasındaki fark: mıknatıslanma endüktansı L_μ 'nın değerindedir. L_μ 'yı olabildiğince küçük tutmak ve kayıpları en aza indirmek için L_μ olabildiğince büyük tasarlanır (hava aralığı yok ve birincil sarım büyük sayıda). Akuple indüktörde, L_μ indüktörün birincil endüktansıdır, ve bu yüzden çok daha küçük olarak tasarlanacaktır.

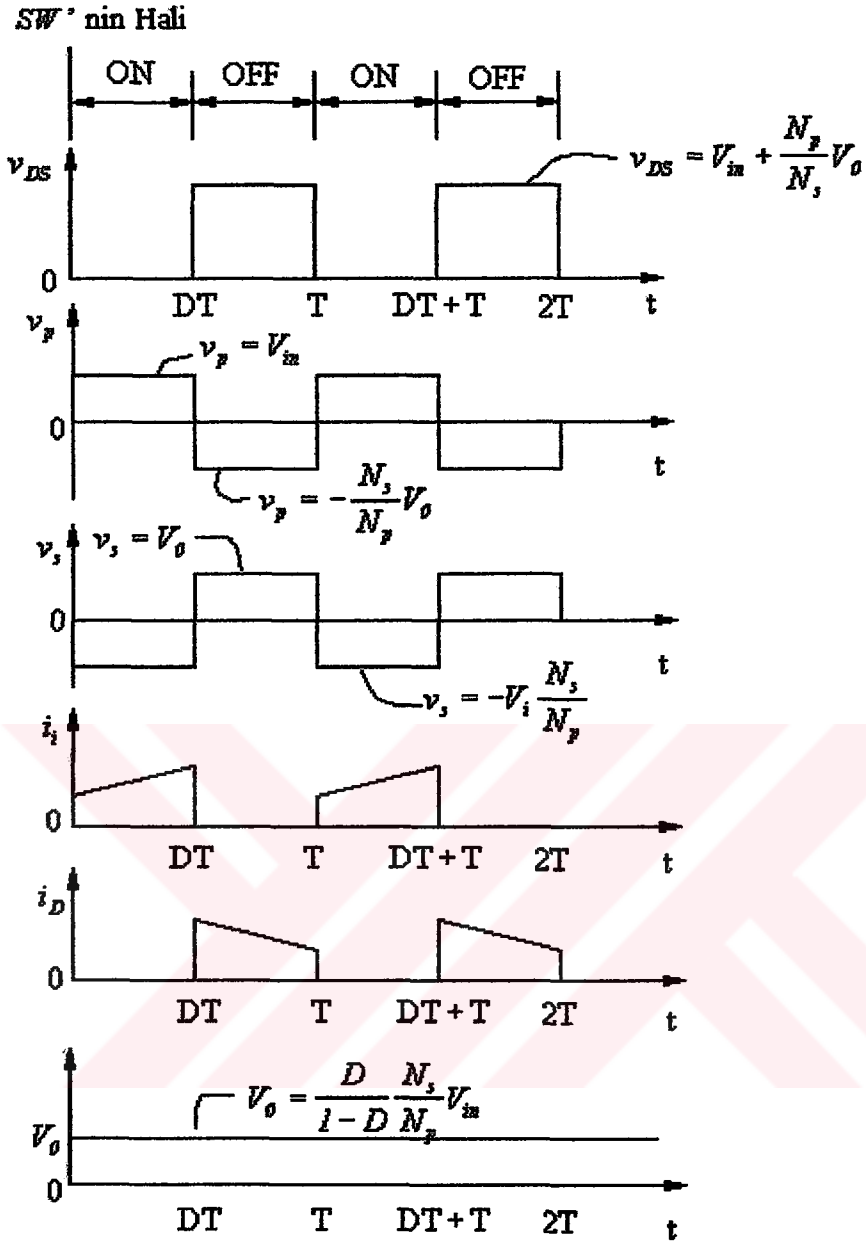
Şekil 3.1' deki devrenin idealize edilmiş akım ve gerilim dalga şekillerini gösteren Şekil 3.2 temel alınarak flyback çeviricinin çalışması şöyle açıklanabilir:

1. Çeviricinin anahtarlama hareketinin kararlı hale ulaştığı ve devrenin sürekli mod çalışmasında olduğu varsayılabilir.
2. $0 < t < DT$ için SW açık durumdadır. Yük akımı bir çıkış filtreleme kondansatöründen beslenirken güç transformatöründe enerji depolanır.

$$v_{DS} = 0 \quad (3.1)$$

$$v_p = V_{in} \quad (3.1)$$

$$v_s = -v_p \frac{N_s}{N_p} = -V_{in} \frac{N_s}{N_p} \quad (3.3)$$



Şekil 3.2 Flyback çeviricinin idealize edilmiş dalga şekilleri.

$$i_D = 0 \text{ (Çünkü } D_f \text{ negatif } v_s \text{ ile ters bağlı)} \quad (3.4)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in}}{L_p} \quad (3.5)$$

SW açık olduğu sürece birincil endüktansta depolanmakta olan manyetik enerji

$$\text{Depolanan enerji} = \frac{1}{2} L_p i_t^2 \quad (3.7)$$

3. $t = DT$ anında, SW kapalıdır. Bu durumda i_t artık mevcut olamayacağından, manyetik çekirdekteki manyetik alanın akının çökmesi (aslında manyetik akıda sadece bir düşme olur) i_D akımını ikincil sargıya akmaya ve çıkış filtreleme kondansatörü C_L 'yi şarj etmeye zorlayan bir emk indükler.

4. $DT < t < T$ için, SW hala kapalıdır. Endüktif i_D akımı çıkış filtreleme kondansatörü C_L 'yi şarj etmek için D_f üzerinden akmaya devam eder. i_D 'nin akışı çıkış gerilimi V_o tarafından engellendiğinden, i_D lineer olarak düşer.

$$\frac{di_D}{dt} = -\frac{V_o}{L} \quad (3.8)$$

Birincil sargı açık devre iken L ikincil sargının endüktansıdır. Aynı zamanda

$$v_s = V_o \quad (3.8)$$

$$v_p = -v_s \frac{N_p}{N_s} = -V_o \frac{N_p}{N_s} \quad (3.9)$$

$$v_{DS} = V_{in} - v_p \quad (3.10)$$

$$= V_{in} + \frac{N_p}{N_s} V_o \quad (3.11)$$

5. $t = T$ iken, SW bir kez daha açılır, böylece

$$v_{DS} = 0 \quad (3.12)$$

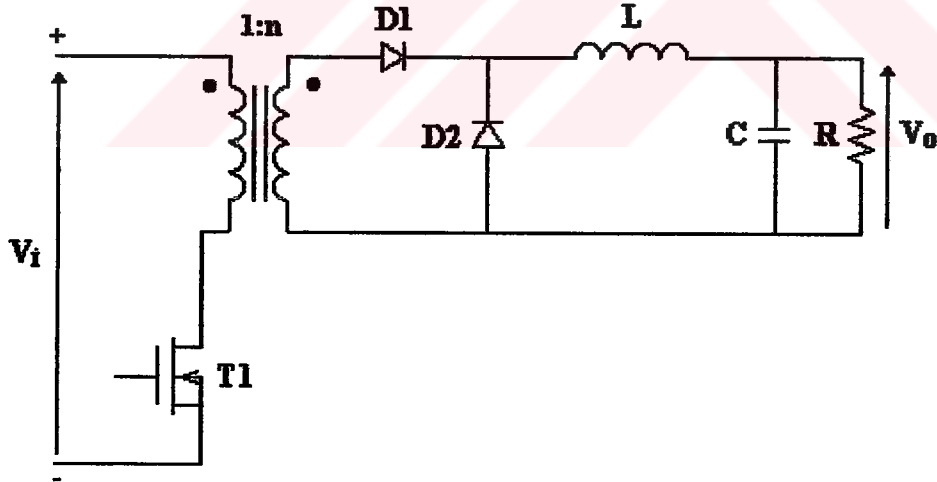
$$v_p = V_{in} \quad (3.13)$$

$$v_s = -v_p \frac{N_s}{N_p} = -V_{in} \frac{N_s}{N_p} \quad (3.14)$$

v_s negatif olduğundan ve i_D sıfıra düştüğünden, T_1 transformatörünün manyetik çekirdeğinin manyetik akısını sabit tutmak için birincil akım i_1 ikincil akım i_D ile yer değiştirir. Daha sonra 2-4 adımlarında tarif edilen hareketler tekrar edilir.

3.4.2 Forward Çeviricinin İncelenmesi

Şekil 3.3' te bir forward çeviricinin basit devresi gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Forward çevirici.

Burada kullanılan transformatör, yalıtımın yanı sıra forward çeviricinin çok geniş bir gerilim bölgesinde çalışmasını da sağlar.

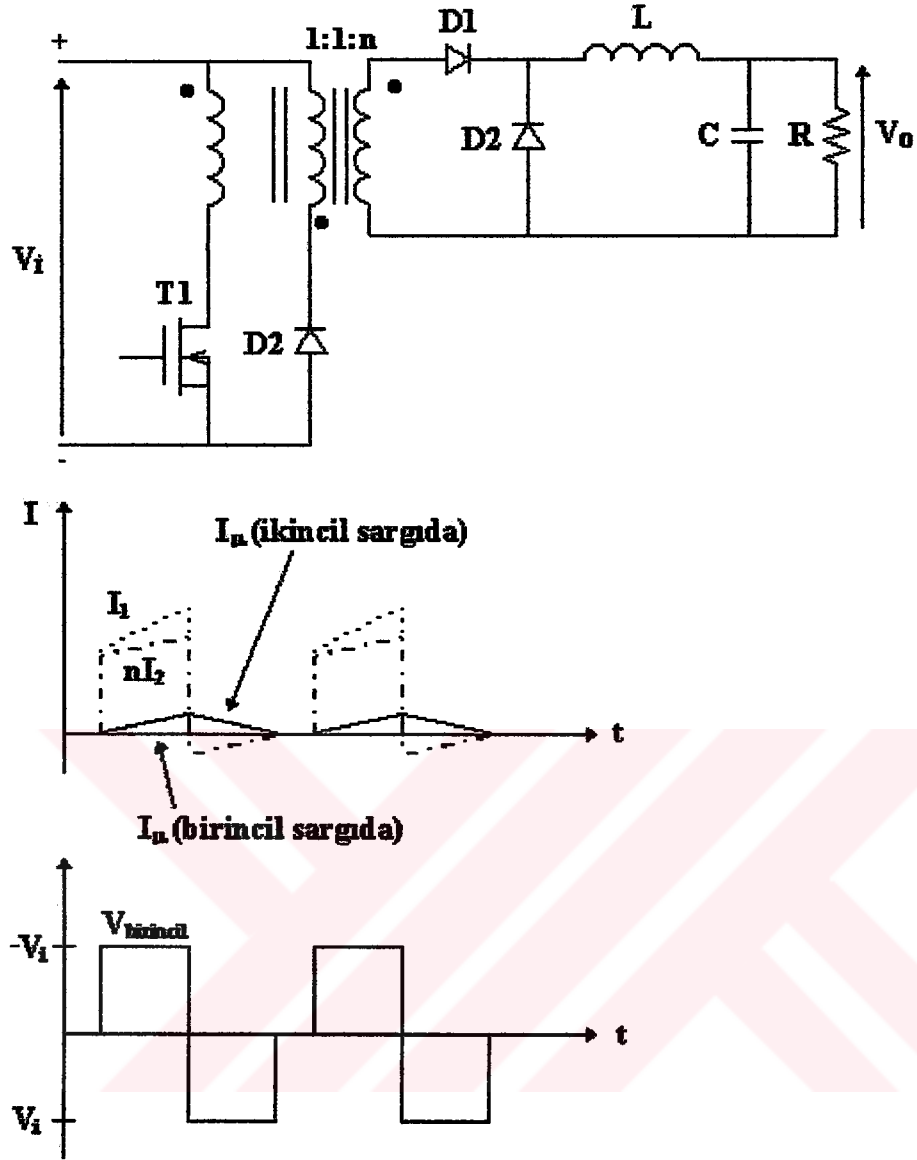
T1 transistörü iletimdeyken D1 diyodu girişteki enerjiyi yüke aktarır. T1 transistörü kesime geçirildiğinde, D1 diyodu ters yönde, D2 diyodu ileri yönde kutuplanır. Çıkış devresindeki akımın D2 diyodu üzerinden akması sağlanır.

Şekil 3.3' te forward çeviricide T1 kesimdeyken önemli bir sorun ortaya çıkar. Transistor iletimdeyken I_{μ} mıknatıslanma akımı artar ve transformatör çekirdeğinde $\frac{1}{2} Li^2$ değerinde enerji depolanır. Transistor kesime gittiğinde I_{μ} mıknatıslanma akımının akması için bir yol bulunmalıdır. Aksi takdirde, akımın ani olarak değişmesinden dolayı transistörü yakacak çok büyük gerilimler oluşur $\left(V = L \frac{di}{dt} \right)$.

Bu sorunu çözmek için ilave bir anahtarlama elemanları içeren birkaç devre vardır. En yaygın olanlarından biri Şekil 3.4' te gösterilmiştir. Burada transformatör çekirdeğine üçüncü bir sargı yerleştirilmiştir. Böylece transistor kesimdeyken mıknatıslanma akımına bir yol bulunmuş olur.

Transistor iletimdeyken birincil ve ikincil sargılardan akım akara, D1 ileri yönde D3 ise ters yönde kutuplanır. Mıknatıslanma akımı transistörün iletime girmesiyle yükselir.

Transistor kesimdeyken birincil akımdan akım akmaz. Yukarıda bahsedilen sorunun ortaya çıkmaması için mıknatıslanma akımın ferrit çekirdekte akması gerekir. İletim süresince akımın birincil sargıda ve de D1 yüzünden ikincil sargıda akamaz. Fakat üçüncül sargıda D3 üzerinden kaynağa doğru akan bir akım vardır. Üçüncül sargıya uygulanan V_i geriliminin ters yönde olması nedeniyle I_{μ} mıknatıslanma akımı azalmaya başlayacaktır.



Şekil 3.4 Üçüncü sargı eklenmiş forward çevirici.

$$I_1 = I_\mu + nI_2 \quad (3.15)$$

$$n = \frac{N_1}{N_2} \quad (3.16)$$

I_1 : toplam birincil akım

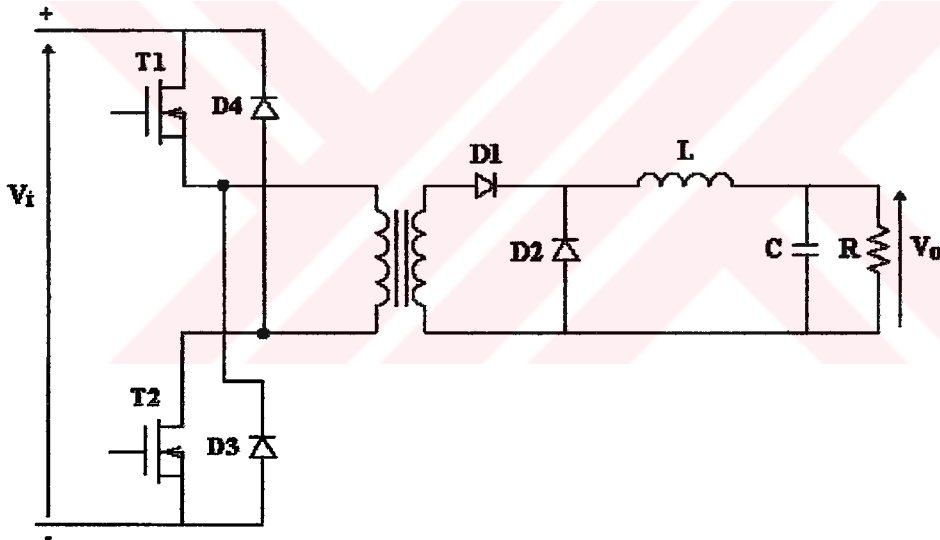
I_2 : ikincil akım

Birincil ve üçüncül sargıların sarım sayıları eşit olursa I_μ mıknatıslanma akımının yükselme azalma oranları eşit olur. Böylece I_μ mıknatıslanma akımı sıfıra düşer.

Transistor kesimdeyken, üçüncül sargı üzerinde akan akım (birincil ve üçüncül sarım sayıları eşit ise) birincil sargıda $-V_i$ gerilimi indükler. Bu gerilim giriş gerilimine eklendiği zaman transistor üzerine gelen gerilim $2V_i$ olarak bulunur.

Eğer, birincil sarım sayısı üçüncül sarım sayısından büyük seçilirse transistor kesimdeyken üzerine gelen gerilim $2V_i$ ' den daha büyük olur.

Diğer bir alternatif devre ise Şekil 3.5' te gösterilen, üçüncül sargı yerine, 2 transistor ve 2 diyotun kullanıldığı devredir.



Şekil 3.5 İki transistorlu Forward Çevirici.

T1 ve T2 transistorları beraber iletimde olduğu zaman, mıknatıslanma akımı birincil sargıda akmaya devam eder, fakat şimdi D3 ve D4 diyotları üzerinden kaynağa geri gider. Devrede iki transistor gerilimi $2V_i$ yerine şimdi V_i ile sınırlıdır.[2]

3.4.3 Flyback Çevirici - Forward Çevirici Karşılaştırılması

Flyback ve forward çeviricilerin ikisi de çok çıkış sağlamak için tasarlanabilir.

Forward çeviricinin flyback çeviriciye göre avantajları:

1. Forward çeviricide transformatörün bakır kayıpları flyback çeviricidekine göre biraz daha düşüktür. Çünkü birincil ve ikincil tepe akım değerleri flyback uygulamasına göre daha düşüktür. Flyback çeviricilerde transformatörün boyutu büyüktür. İki işlevi vardır, biri yalıtım, diğeri endüktans. Ayrıca, Transformatörün kaçak endüktansı küçük olmalıdır. Aksi takdirde, transistor geriliminin tehlikeli biçimde artmasına sebep olabilir.
2. Forward tip çeviricide, kondansatör dalgalanma akımı kendisiyle seri olan çıkış indüktörü sayesinde büyük ölçüde sınırlandırılmıştır. Çıkış indüktörünün ve serbest geçiş diyodunun hareketi çıkış yükündeki ve depolama kondansatöründeki akımı yeterince sabit tutar. Yük için gerekli enerji çıkış indüktöründe depolandığından depolama kondansatörü yeterince küçük yapılabilir. Ama bir flyback tipinde, transistor iletimde olduğu sürece DA akımının tamamı kondansatör üzerinden toprağa akacaktır. Transistor kesimde iken, iletimdeyken kaybedilen şarjı yeniden doldurmak için eşit miktarda akım kondansatöre akmalıdır. Transistor iletimdeyken yüke giden akımı besleyen enerjiyi tek başına depolayacağı için kondansatörün büyük olması gerekmektedir.
3. Birincil anahtarlama elemanlarında tepe akımı daha düşüktür.
4. Akım dalgasındaki azalma yüzünden çıkış gerilimindeki dalgalılıkta daha az olmaya yönelecektir.
5. Flyback çeviricinin en büyük dezavantaj; transformatöre ve diğer elemanlara akan yüksek dalgalı akımların verimlerini düşürmesidir.

Bu sınırlamanın bir sonucu olarak, flyback çevirici genellikle 150 W' ın altındaki güç seviyeleriyle sınırlandırılmıştır.

Forward çeviricinin flyback çeviriciye göre dezavantajları:

1. Flyback çevirici basittir. Çıkış filtre indüktörü kullanılmadığından düşük maliyetlidir. Çok çıkışlı güç kaynağı yapmak daha kolaydır. Bu, çoklu ikincil sargıların, çıkış doğrultucularının ve filtreleme kondansatörlerinin Şekil 3.1' deki devreye basitçe eklenmesiyle sağlanabilir. Forward çevirici ise, ilave çıkış indüktörü ve serbest geçiş diyodu sebebiyle maliyette artışa maruz kalır.
2. Flyback çeviricide süreksiz modda anahtarlama kaybı yoktur. Çünkü, iletimdeyken transistor akımı sıfırdır. Forward çevirici ise, az yük durumlarında, L_s üzerindeki akım süreksiz moda dönüştüğü zaman özellikle yardımcı çıkışlarda aşırı çıkış gerilimleri üretilir.
3. Giriş gerilimini, düşük güçlü bir EHT kaynağı (yani televizyon setlerinde, bilgisayar monitörlerinde) kadar çok çekici yapmak için, (transformatörün sarım oranından bağımsız olarak) arttırmak mümkündür.
4. Sargılı eleman enerji depolama indüktörü olduğundan, ikincil eleman bağımsız bir DA kaynağı oluşturmak için sadece bir diyoda ve bir kondansatöre ihtiyaç duyar. Ek olarak, geri besleme işareti için, çıkış indüktörü üzerindeki gerilim düşümüne bağlı olan hatalara sebep olmaksızın, geri besleme devresinde yalıtımı sağlayacak ekstra bir sargı yerleştirmek mümkündür.

3.4.4 Çalışma Modu - Manyetik Eleman İlişkisi

İki ayrı çalışma modu vardır (sürekli ve süreksiz). İki modun devre şekilleri tamamen aynıdır. Çalışma modu sadece transformatörün mıknatıslanma endüktansı ve çıkış yük akımı tarafından belirlenir. Verilen mıknatıslanma

endüktansı ile süreksiz mod için tasarlanmış bir devre, çıkış yük akımı tek bir sınır boyunca arttırıldığında, sürekli modda kullanılabilir.

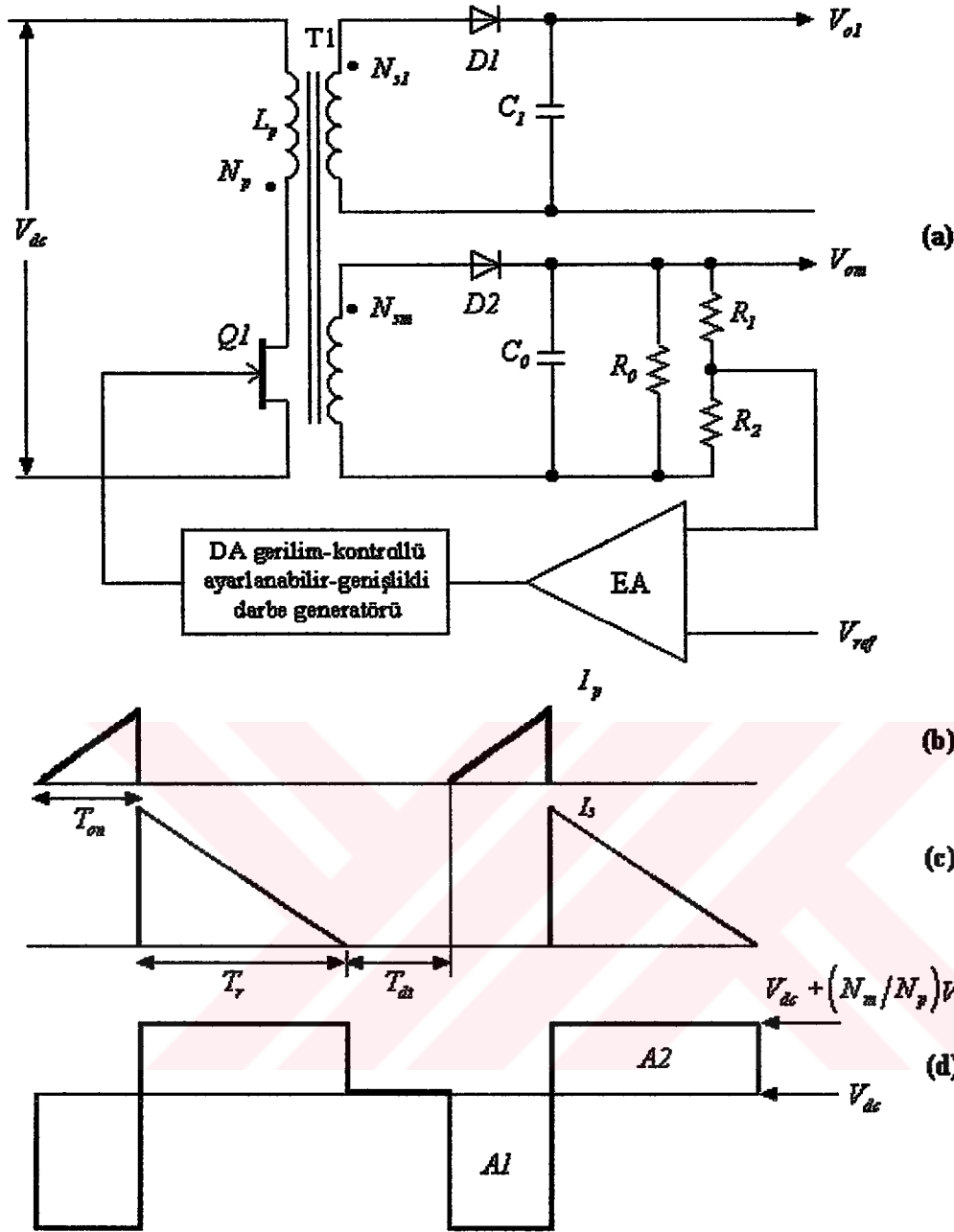
Süreksiz modda, ikincil akım sıradaki iletimden evvel sıfıra doğru eğilimli dejenere bir üçgendir. İletim süresinde birincil tarafta depo edilen bütün enerji sıradaki iletimden evvel tamamen ikincil tarafa ve yüke aktarılır.

Sürekli modda, ikincil akım bir adım üzerine oturtulmuş dejenere bir üçgen şekline sahiptir ve sıradaki iletim anında ikincil tarafta hala akım kalmıştır. Bu yüzden, sıradaki iletim sırasında ikincil tarafta hala biraz enerji kalmıştır.

Q1 iletimdeyken, bütün doğrultucu diyotlar ters bağlıdır ve bütün çıkış kondansatörleri yük akımlarını besler. N_p saf bir indüktör gibi davranır ve yük akımı tepe değeri I_p ’ ye kadar lineer olarak yükselir. Q1 kesimdeyken, birincil tarafta depolanan enerji $\frac{1}{2} L I_p^2$ yük akımını beslemek ve Q1 iletimdeyken yüklerini boşaltan çıkış kondansatörlerini tekrar doldurulmak üzere ikincil tarafa nakledilir. sıradaki iletimden evvel ikincil akım sıfıra düşerse devre süreksizdir.

Şekil 3.6a temel alınrsa, sargı noktalarından bakıldığında, transistör iletimdeyken ve birincil tarafta akım akarken hiçbir ikincil akımın akmadığı görülür. Bu, birincil tarafta akım akarken ikincil tarafında da akım akan forward tipi çeviriciden tamamen farklıdır. Bu yüzden, bir forward çeviricide, birincil akım bir noktalı uçtan içeri doğru ve ikincil noktalı uçtan dışarı doğru akar.

Şu halde, birincil ve ikincil yük amper sınımları birbirinin engeller ve hysteresis eğrisi boyunca çekirdeği işletemez. Forward tip çeviricilerde, hysteresis eğrisini boyunca çekirdeği işleten ve muhtemelen doymaya götüren sadece mıknatıslanma akımıdır. Ama, bu mıknatıslanma akımı toplam birincil akımın küçük bir parçasıdır (%10’ dan az).



Şekil 3.6 Süreksiz mod flyback çevirici.

Bununla birlikte, bir flyback çeviricide Şekil 3.6b' de gösterilen tam üçgen birincili akım, bir ikincil amper sarım tarafından engellenmediğinden, hysteresis eğrisini boyunca çekirdeği işletir. Bu sayede, çok düşük çıkış güçlerinde bile, çekirdek derhal doyar ve, eğer bunu önleyecek bir şey yoksa, transistörü tahrip eder.

Flyback transformatörde çekirdek doymasını engellemek için, çekirdek delinir. Aralıklı çekirdek iki tipte olabilir: EE' deki orta ayağın sürtünmesi sayesinde belirlenmiş hava aralıklı katı ferrit çekirdek veya kova çekirdek. Belli aralık uzunluğu bir EE' nin, kovanın, veya UU çekirdeğin iki yarısı arasına plastik bir ayar saçı sokulmasıyla da saptanabilir.

Flyback çeviriciler için daha genel olan aralıklı çekirdek MMP veya molypermalloy tozlu çekirdektir. Böylesi çekirdekler, öğütülmüş manyetik parçacıkların fırınlanmış ve sertleştirilmiş karışımlarından yapılır. Bu öğütülmüş parçacıklar bir bulamacın içinde plastik bir reçine yapıştırıcıyla karıştırılır ve toroid şeklinde kalıba dökülür. Böylece, toroid içindeki her bir manyetik parçacık“uyarılmış bir hava aralığı” gibi davranan reçine bir kılıfla kapsülendir ve çekirdeği doymadan koruyacak şekilde davranır. Toz olarak öğütülmüş temel manyetik malzeme, Magnetics Inc. veya Arnold Magnetics tarafından üretilen, %79 nikel, %17 demir ve %4 molibdenden elde edilen “Square Permalloy 80” dir.

Elde edilen toroidin manyetik geçirgenliği bulamaç içindeki manyetik parçacıkların yoğunluğunun kontrolüyle sağlanır. Yüksek sıcaklıklarda manyetik geçirgenlik $\pm 5\%$ arasında kontrol edilir. Düşük manyetik geçirgenlikli toroidler büyük hava aralıklı çekirdekler gibi davranırlar. Bunlar istenen endüktansı sağlamak için az sayıda sarıma ihtiyaç duyarlar ama, doymadan önce çok sayıda amper sarımı hoş görebilirler. Yüksek manyetik geçirgenlikli çekirdekler daha az sayıda sarıma gerek duyarlar, ama, daha az sayıda amper sarımda doyarlar.

Böyle MMP çekirdekler sadece, birincil akımı tamamen DA polarizasyon akımı olan, flyback transformatörler için kullanılmaz. Aynı zamanda, büyük değerli DA çıkış polarizasyon akımında gereken forward çevirici tekil çıkış endüktansı için de kullanılır. [2-5].

4. AGK TRANSFORMATÖR TASARIMINA İLİŞKİN BİLGİLER

4.1 Transformatör Tasarımı

Anahtarlama transformatör tasarımı, diğer faktörlerden daha çok genel verim ve modern bir anahtarlama kaynağın maliyetine bağlıdır. Ne yazık ki, transformatör tasarım süreci anahtarlama cihaz tasarımının en zayıf anlaşılan alanıdır.

Transformatör tasarımında izlenecek adımlar:

1. Akı yoğunluğu kayması
2. Transformatör boyutu
3. Sarım sayıları
4. Çekirdek ve bakır kayıpları
5. Deri - yakınlık etkisi
6. Sargı topolojisi
7. Transformatörün bitirilmesi ve vakum doldurulması

Tasarım prosedürü 20 kHz ila 100 kHz frekans aralığına uygulanır ve düşük kayıplı transformatör malzemeleri ve bobin sargıları kullanıldığı varsayılır. Ayrıca ticari sınıfı, devridaim soğutmalı transformatörler üretilmek üzeredir. Genel olarak bu transformatörler AIEE A sınıfı veya B sınıfı yalıtım kullanırlar (en yüksek çalışma sıcaklığı 105 veya 130 °C). Ayrıca, UL, CSA ve bazı durumlarda da IEC ve VDE transformatör güvenlik karakteristiklerine rastlanır.

4.1.1 Akı Yoğunluğu Kayması

Tasarımda ilk adım normal sürekli hal işletmesinde meydana gelecek ΔB akı yoğunluğu aralığını belirlemektir. Transformatör mümkün olduğunca büyük ΔB ' de çalışacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu daha düşük sarım sayısına, daha yüksek nominal güce ve daha düşük kaçak endüktansa imkan sağlar. Pratikte ΔB ' ye çekirdek doyması B_{sat} ya da çekirdek kayıplarıyla sınırlandırılır. Transformatör tasarlanırken karşılaşılan sınırlamalardan biri, çıkış gücü P_o (işletme gerilimi $\times$ maksimum akım ihtiyacı)' dır. İkincil sargı belli bir tolerans dahilinde bu gücü iletebilmelidir. Transformatörde kabul edilebilir maksimum güç kaybı da çalışmanın verimi etkiler. Bir diğer sınırlama ise transformatör belirlenmemiş bir ortam sıcaklığında çalışırken kabul edilebilecek en yüksek sıcaklık sınırıdır.

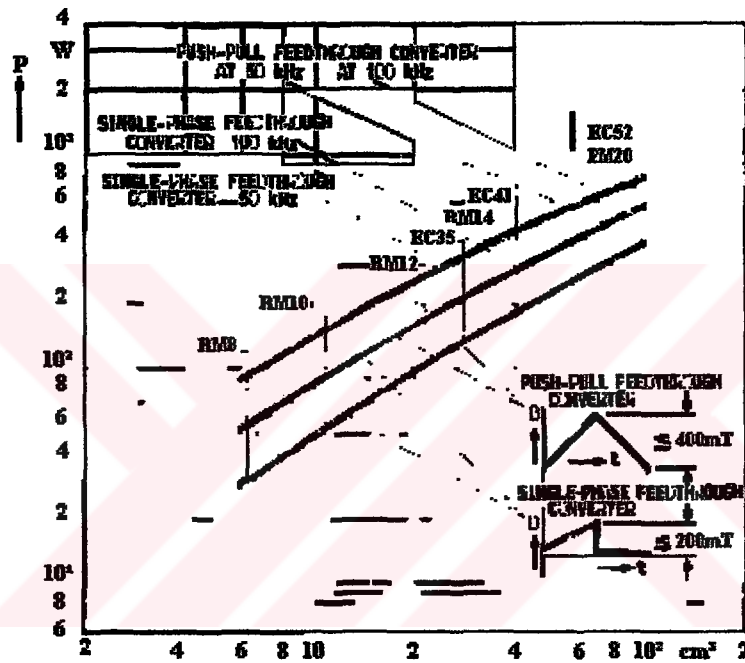
4.1.2 Transformatör Boyutu

Her ne kadar transformatör boyutu genel olarak çıkış gücüyle alakalı olsa da transformatörün boyutuyla elektriksel parametreleri arasında bağ kuracak formüller yoktur. Çekirdek kaybı, bakır kaybı, deri ve yakınlık etkileri, soğutma etkisi (hava akımı), yalıtım, çekirdek geometrisi, işletme, sıcaklık yükselmesini belirleyecek araçların konumu da transformatör boyutunu etkiler. Gerçek çalışma şartları altındaki sıcaklık yükselmesini kabul edilebilir bir değerin altına sınırlama ihtiyacı gerekli yüzeyi ve dolayısıyla boyutu belirler.

Eğer kayıplar çok küçükse ortaya çıkan ısının etkisi karşılanabilir, transformatör çok küçük olabilir ve hala elektriksel ihtiyaçları sağlayabilir. Örneğin, çok düşük dirençli manyetik tel (süper iletken), düşük kayıplı çekirdek malzemeleri (amorflaştırılmış) ve etkin buhar safhalı sıvı soğutma teknikleri (ısı boruları) kullanılarak üstün elektriksel parametrelili, yüksek verimli minyatür transformatörler üretilmektedir. Bu da, transformatör boyutunun elektriksel parametreler kadar sıcaklık yükselmesini de kontrol eden pek çok pratik faktörün bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir.

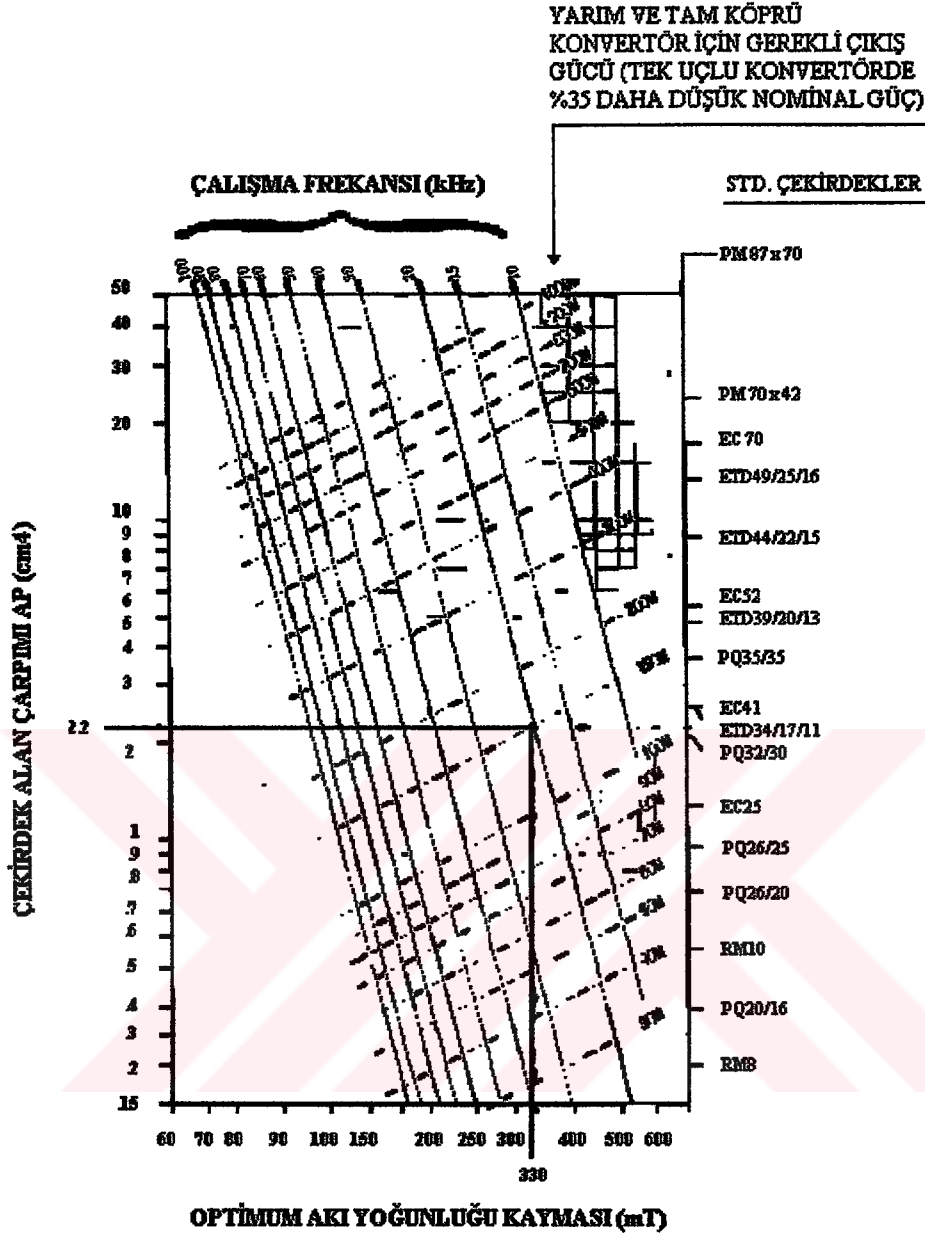
Anahtarlama uygulamalarında, çoğunlukla, A veya B sınıfı yalıtım malzemeleri ve ferrit çekirdek ile birlikte bakır manyetik tel kullanılır. Pek çok uygulamada

Pek çok üretici çekirdeklerine ilişkin çizitler sağlarlar. Bu push-pull ve tek çıkışlı yüksek frekans uygulamalarında, her çekirdek tipine ilişkin tipik çıkış gücünü gösterir. Bu çizitler transformatör boyutunun seçimi için iyi bir başlangıç noktası sağlarlar. Bir güç çizitinin tipik bir örneği Şekil 4.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Ferrit çekirdeklerin nominal gücünü çekirdek hacminin bir fonksiyonu olarak veren çizit, parametre olarak çekirdek boyutu ve frekansı. (Siemens AG' ye ait)

Bu kadar ara-bağımlı değişkenle optimum çekirdek boyutu ve akı yoğunluğu seçimi yapmak zordur. Şekil 4.2’ de gösterilen çizit yarım ve tam köprü yapılarına ilişkin çekirdek boyutuna ve akı yoğunluğu seçimine daha geniş kapsamlı bir yaklaşım sağlamak için çıkarılmıştır.



Şekil 4.2 Alan çarpımını (ve dolayısıyla çekirdek boyutunu) ve optimum akı yoğunluğu kaymasını çıkış gücünün ve frekansının bir fonksiyonu olarak veren ferrit çekirdek çiziti.

Bu çizit Siemens N27 ferriti (tipik bir güç ferriti) için sağlanan bilgilerden elde edilmiştir ve bilinen bir güç ihtiyacına ve çalışma frekansına ilişkin optimum akı yoğunluğu kaymasını ve çekirdek boyutunu verir. Bu yaklaşımı kullanırken serbest havadaki sıcaklık artışı yaklaşık 30 °C olmalıdır.

Her ne kadar nominal güç %35 düşse de bu çizit tek çıkışlı topolojilerde de çekirdek boyutu için bir kılavuz olarak kullanılabilir. (gerçek düşüş çalışma oranına bağlıdır.) Tek çıkışlı tasarımlarda, çizitin temelinde gösterilen optimum akı yoğunluğu kayması sadece yüksek frekanslı “çekirdek kaybı sınırlamalı” tasarımlara uygulanır.

Bu çizit her ne kadar iyi bir başlangıç noktası sunsa da, optimum tasarım için hala bazı iterasyona gerek duyulabilir.

Şekil 4.2’ de gösterildiği üzere alan çarpımı hesabı, iki parçalı birincil taraf kullanan sandviç bir yapıya, sargılar arası güvenliğe veya Faraday ekranlarına ve 6 mm’ lik sürtünme mesafelerine izin verir. Dolayısıyla, çekirdeklere ilişkin nominal güçler üreticinin çizitlerinden biraz daha düşüktür.

Daha karmaşık çekirdek geometrisi tasarım metotlarından bazıları veya bilgisayar destekli tasarım programları çoklu iterasyonlara ihtiyaç duymaksızın optimum boyutu sağlamayı amaçlamaktadırlar. Bununla birlikte, böylesi programlara rağmen, pek çok pratik uygulamada bazı iterasyonlar hala gerekmektedir. [2].

4.1.2.2 Frekansın Boyut Üzerine Etkisi

Klasik transformatör denklemi genellikle şöyle verilir:

$$N = \frac{10^8 V}{4.44 f B A_e} \text{ (sinüs dalga çalışma için)} \quad (4.1)$$

Burada

N = minimum sarım sayısı

V = sargı gerilimi, V rms

f = minimum frekans, Hz

B = tepe akı yoğunluğu, G (10000 G=1 T)

A_e = etkin çekirdek alanı, cm²

Bu formül sarım sayısının ve frekansın ters orantılı olduğunu gösterir. Frekans iki katına çıkarsa sarım sayısı yarıya düşer, yani transformatör küçülür. Ancak, bu pratikte gerçekleşmez. Çünkü çekirdek malzemelerinin çoğunda frekansın artmasıyla çekirdek kayıpları da artar. Maksimum verim için çekirdek ve bakır kayıplarının yaklaşık eşit olması gerektiğinden, daha yüksek frekanslarda çok daha küçük bir akı yoğunluğu hareketi kullanılır ve B düşürülür.

Sarım sayısı düşürülemeyeceğinden, çekirdek boyutundaki düşüş beklenildiği kadar gerçekleşmez. Tabi ki, düşük kayıplı yüksek frekanslı özel malzemelerin kullanıldığı daha yüksek frekans uygulamaları bunun dışındadır. Üreticiler manyetik malzemelerinin performanslarını sürekli geliştirmektedirler. Tasarımcı da malzemedeki gelişmeyi takip etmelidir.

Çekirdek boyutunu etkileyen diğer faktörler çalışma frekansı, çekirdek malzemesi, sargı sayısı, Faraday ekranlarının yeri ve sayısı, özel yalıtım gereksinimleridir.

4.1.2.3 Standartların Boyutu Üzerindeki Etkisi

UL ve VDE karakteristiklerinin sağlanacağı yerlerde yalıtım ve sürtünme mesafesi gereksinimleri yüksek frekanslarda daha küçük boyutlu transformatörün gerçekleşmesini engelleyebilir. 4 ila 8 mm sürtünme mesafesi (doğrudan hatta bağlı uygulamalarda birincil ve ikincil sargılar arasındaki minimum mesafe) yüksek frekans transformatörlerinde bile sağlanmalıdır. Bu, özellikle daha küçük çekirdek kullanılması halinde, çerçeve alanından çok az yararlanılması ve kaçak endüktansta bir yükselme ile sonuçlanır. Bu etki, salt elektriksel ve sıcaklık yükselmesi gereksinimlerinin normalde talep ettiğinden daha büyük çekirdek seçmeye zorlar.

4.1.3 Sarım Sayıları

4.1.3.1 Birincil Sarım Sayısının Hesaplanması

Çekirdek seçildikten sonra sıra optimum verim için birincil sarım sayısının seçilmesine gelir. Genel eğilim bakır kayıplarını en aza indirmek için mümkün olan en küçük sarım sayısının kullanılmasıdır. Ancak, frekans ve gerilimi sabit tutulursa, birincil sarım sayısı düştükçe çekirdek malzemesinden talep edilen akı yoğunluğu kayması artar. Sınırdaki çekirdek doymaya gider. Sarım sayısını düşürmenin ve akı yoğunluğu kaymasını arttırmanın ikinci bir etkisi çekirdek kayıplarını, onları baskın kayıp yapacak noktaya kadar, arttırmaktır.

Optimum verim için çekirdek ve bakır kayıpları yaklaşık eşit olmalıdır. Yüksek frekanslı push-pull transformatörlerdeki optimum verim ihtiyacı maksimum akı yoğunluğu kaymasını, ve dolayısıyla, minimum birincil sarım sayısını belirler. Böyle tasarımlara “çekirdek kaybı sınırlamalı” denir.

Düşük frekanslarda, özellikle tek çıkışlı uygulamalarda, çekirdek kaybı bakır kayıplarının çok altında olur ve minimum birincil sarım sayısını sınırlayan faktör çekirdek doymasını önlemeye duyulan ihtiyaçtır. Böyle tasarımlara “doyma sınırlamalı” denir.

Çekirdek doymasından kesinlikle kaçınılmalıdır. Aksi halde, doyma bölgesindeki birincil sargının empedansı DA sargı direncine yakın bir değere düşer. Bu düşük direnç transformatörün birincil tarafında yüksek akımların akmasına izin verir. Bu da, birincil taraftaki anahtarlama elemanlarını kesinlikle tahrip eder.

Anahtarlama çeviricilerdeki birincil dalga şeklinin kare ya da karemsi dalga olmasından dolayı, birincil ya da ikincil sarım sayısını çekirdek parametrelerine ve transformatör çalışma parametrelerine bağlayan klasik transformatör denkleminin düzeltilmiş bir formu kullanılabilir. Bu denklemde sarım sayısı uygulanan volt-saniyeye aşağıdaki gibi bağlanır:

$$N = \frac{V \times t}{\Delta B \times A_c} \quad (4.2)$$

Burada

N = birincil sarım sayısı

V = anahtarlama cihazı “iletimdeyken” sargılara uygulanan DA

gerilim

t = yarı periyodun “iletim” süresi, μs

ΔB = maksimum akı yoğunluğu kayması, T

A_c = çekirdek kesit alanı, mm^2

Not: Doyma sınırlamalı tasarımlarda, minimum çekirdek kesit alanı A_c çekirdeğin herhangi bir kısmının doymaya gitmesini önlemek için kullanılmalıdır. Çekirdek kaybı sınırlamalı tasarımlarda, etkin çekirdek alanı A_e çekirdek kaybını daha doğru biçimde yansıtmak için kullanılmalıdır.

Kararlı hal koşulları altında, her bir periyot bellidir ve çalışma parametrelerini tanımlamak için tek bir periyot yeterlidir. Yukarıdaki denklemden, birincil sarım sayısı N ’ nin birincil gerilim V ve gerilimin birincil sargıya uygulandığı süre t ile doğru orantılı olduğu görülür. Akı yoğunluğu kayması ΔB ve çekirdek kesit alanı A_c ile ters orantılıdır.

Uygun sabitlerin bu denklemde yerine konmasıyla birincil sarım sayısının basitçe bulunacağı düşünülebilir. Ancak, sabitlerin seçiminde bazı güçlükler ortaya çıkar.

Bazı gerilim kontrollü çevirici devrelerinde, Başlangıç veya geçici koşullar altında, maksimum birincil gerilim ve maksimum “iletim” periyodu uyuşması olasıdır. Bu tip bir çevirici topolojisi kullanılırsa, çekirdeğin doymasını önlemek için, birincil sarım

sayısını hesaplanırken bu denklemde maksimum birincil gerilim ve maksimum “iletim” periyodu kullanılmalıdır.

Akım modu kontrolü kullanılırsa, çekirdek doymasının sınırı kontrol edilir ve maksimum “iletim” süresi sadece minimum birincil gerilimle uyusacaktır; dolayısıyla birincil sarım sayısını hesaplarken denklemde bu değerler kullanılacaktır.

Bazı çalışma oranı kontrollü sistemlere birincil giriş gerilim ileri besleme kompanzasyonu, hızlı birincil akım sınırlama ve ayarlanabilir oranlı kontrol uygulanır. Böylesi durumlarda, akım modu kontrolündeki aynı koşullar transformatör tasarımına uygulanır.

Push-pull uygulamalarda, başlangıç aşamasında bir doyma problemi oluşabilir. İlk yarı periyot için akı hareketi B/H eğrisinin birinci ya da üçüncü çeyreğinde olur. İlk bir kaç çalışma periyoduna (yumuşak başlangıç) ilişkin akı hareketini sınırlayacak bir önlem alınmazsa veya akım modu kontrolü kullanılmazsa, push-pull transformatör ilk yarı periyotta doymaya gidebilir (buna “akı katlama etkisi” denir.). Eğer yumuşak başlangıç veya akım modu kontrolü kullanılmayacaksa, transformatör daha küçük bir akı yoğunluğu kayması için tasarlanmalıdır. Bu birincil sarım sayısını arttırır. Dolayısıyla, push-pull transformatörlerde verimin arttırılması mümkündür. Çünkü, başlangıç aşaması süresince daha büyük akı yoğunluğu kayması, yumuşak başlangıç yöntemleri, ayarlanabilir oranlı kontrolleri veya akım modu kontrol teknikleri kullanılmaktadır.

Kararlı hal koşulları altında, push-pull transformatörde, akı hareketinin tek çıkışlı transformatördekinin iki katına çıkarılmasıyla, akı yoğunluğu pozitif ilk çeyrekte negatif üçüncü çeyreğe kaydırılabilir. İdeal durumda, bu birincil sarım sayısını yarıya indirir ve transformatörün verimini arttırır. Pratikte, bu akı yoğunluğu kaymasından tamamen yararlanmak mümkün değildir. Çünkü, başlangıç aşaması ve geçici çalışma için bir miktar tolerans sağlanmalıdır ve yüksek frekanslarda, akı hareketi çekirdek kaybı tarafından sınırlanabilir.

Çekirdek kaybı sınırlamalı uygulamalar için, N27 veya benzeri bir transformatör malzemesi kullanılarak, başlangıçtaki tasarım hedefleri için Şekil 4.2’ de önerildiği

üzere bir akı yoğunluğu kayması değeri seçilir. Diğer malzemeler için, gerekli sıcaklık yükselmesi için izin verilen kayıp hesaplanır. Bunun yarısı değerinde bir çekirdek kaybı verecek bir akı yoğunluğu kayması seçilir (optimum bir tasarımda diğer yarısı bakır kayıpları için kullanılır). Üreticinin çekirdek malzemesi kayıp eğrileri çekirdek kaybı ve akı yoğunluğu kayması bilgilerini sağlar ve optimum akı yoğunluğu kayması gerçekleştirilebilir.

Bütün bunlardan sonra uygun sabitler yerine konarak birincil sarım sayısı hesaplanır.

4.1.3.2 İkincil Sarım Sayısının Hesaplanması

Birincil sarım sayısı hesaplandığında, ikincil sarım sayısı birincil/ikincil gerilim oranından bulunabilir. Buck türevli çeviricilerde, ikincil gerilim çalışma oranıyla elde edilen çıkış gerilimini aşar. Diyottaki gerilim düşümü ve bobindeki gerilim düşümü için başka toleranslar da yapılmalıdır. Bu hesaplamalar genellikle minimum giriş gerilimi ve maksimum darbe genişliği için yapılır. Birincil sarımların bazı düzenlemeleri, tam olmayan ikincil sargıların yok edilmesini gerektirebilir. Doyma sınırlamalı tasarımda tam olmayan sarım sayısı en yakındaki bir üst tam sayıya yuvarlanır.

Akım modu kontrolü kullanan kapalı çevrimli çevirici topolojilerinde veya birincil gerilim darbe genişlik kompanzasyonlu çalışma oranlı sistemlerde, kontrol devresinin çalışmasının bir sonucu olarak birincil gerilim ile “iletim” süresi çarpımı, $V_{dc} \times t_{on}$, sabit tutulur. Bu durumda ikincil sarım sayısını tam olmayan sarımlar önlendikten sonra hesaplamak genellikle daha uygundur. Çünkü, çıkış gerilimi kontrol devresi tarafından tanımlanan bir değerde sabit tutulur. Bu çıkış gerilimi ve maksimum “iletim” periyodu minimum giriş geriliminde oluşur ve minimum ikincil sarım sayısı hesaplanırken denkleme bu değerler girilir. Doyma sınırlamalı tasarımlarda, denklemden bulunan sarım sayısı minimum sarım sayısı olarak kullanılabilir ve tam olmayan sarım sayısındaki yuvarlama daima bir artışla yapılmalıdır. Çekirdek kaybı sınırlamalı tasarımlarda, yuvarlama artma yönünde de azalma yönünde de olabilir. Bu çekirdek kaybının artmasının veya azalmasının istenmesine bağlıdır.

Çok çıkışlı uygulamalarda, öncelikle minimum çıkış gerilimine ilişkin ikincil sarım sayısı normal olarak hesaplanır. Daha sonra tam olmayan sarım sayıları önlenir ve bu sargı en yakın tam sayıya yuvarlanır. Birincil sarım ve artan ikincil sarımlar uygun şekilde ölçeklenir. [2-5].

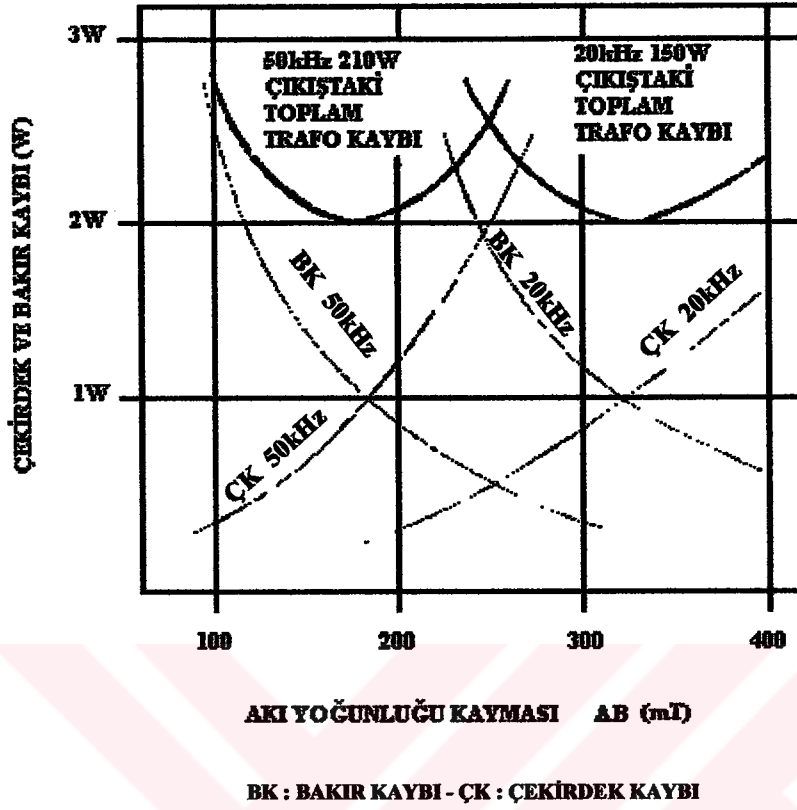
4.1.4 Kayıplar

4.1.4.1 Optimum Verim

Çekirdek ve bakır kayıpları en az olduğunda optimum verim oluşur. Genel olarak verilen bir güç için, çekirdek boyutu ve akı yoğunluğu kayması arttıkça çekirdek kayıpları artar, bakır kayıpları azalır. Bu nedenle maksimum verimi elde etmek için, akı yoğunluğu kayması ΔB , çekirdek kayıplarını bakır kayıplarına eşit kılacak şekilde seçilmelidir. Ne yazık ki, bu daima mümkün değildir. Çünkü çekirdek doyması akı yoğunluğu kaymasını, optimum seçimi önleyecek şekilde, daha düşük bir değerde sınırlar.

Normalde, çekirdek ve bakır kayıpları eşitken optimum verimin sağlandığı varsayılır. Şekil 4.3 N27 ferrit EC41 çekirdeğine ilişkin bakır, çekirdek ve toplam kaybını akı yoğunluğu kaymasının bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Burada çalışma koşulları 20 kHz ve 50 kHz' lik frekans, 150 ve 210 W' lik çıkış gücüdür.

20 kHz' de maksimum verim çekirdek ve bakır kayıpları yaklaşık eşitken elde edilir. Bu boyuttaki çekirdek için 2 W toplam kayıp ve 30 °C sıcaklık yükselmesi oluşur. Optimum verim için akı yoğunluğu kayması tepe-tepe 320 mT' dir. 50 kHz' de aynı bakır kaybını (ve dolayısıyla sıcaklık yükselmesini) sağlamak için akı yoğunluğu 180 mT' ye indirilmelidir. Bununla birlikte, frekans, akı yoğunluğundaki düşüşe nazaran, daha çok artar. Böylece sarım sayısı düşer. Sarım sayısındaki düşüş ve tel boyutundaki artış bakır sargı direncini düşürür. Böylece, aynı bakır kaybı için daha büyük sargı akımına izin verilir. 20 kHz' deki bakır kaybını ve sıcaklık yükselmesini vermek için aktarılan güç 210 W' a kadar arttırılabilir. Dolayısıyla, frekanstaki yükselme transformatörün nominal gücündeki net bir yükselmeyle sonuçlanır, ama optimum akı yoğunluğu kayması düşer.



Şekil 4.3 EC41 ferrit çekirdek kullanan AGK transformatörlerindeki minimum toplam kayba ilişkin şartları gösteren akı yoğunluğu kaymasının fonksiyonu olan bakır ve çekirdek kayıpları, parametre olarak frekans.

Genelleme yapılırsa, minimum kayıp eğrisi oldukça yayıktır ve her iki frekansa ilişkin optimum tasarımlar çekirdek ve bakır kayıpları yaklaşık eşit tutularak yapılır.

Tek çıkışlı forward çeviricilerde, B/H eğrisinin sadece ilk çeyreği kullanılır. Düşük frekanstaki manyetik malzemelerle (40 kHz ve 100 W' ın altında), mevcut akının tamamından faydalanılsa bile, normal çekirdek geometrisinde çekirdek kayıplarını bakır kayıplarına eşit kılmak imkansızdır. Bu tipteki tasarıma “doyma sınırlamalı” denir. Buna ek olarak, akım modu kontrolü (ya da özel giriş gerilimi kompanzasyonlu kontrol chipi) kullanılmazsa, forward çeviricideki başlangıçtaki veya geçici çalışma süresindeki doymayı engellemek için çalışma akı yoğunluğunun daha çok düşürülmesi

gerekebilir. (Başlangıç süresince çekirdeğe maksimum volt-saniye koşulları uygulanabilir.)

Düşük frekanslardaki push-pull uygulamalarda (tam köprü ve yarım köprü), B/H karakteristiği teorik olarak tamamen kullanılır. Ancak, başlangıçtaki veya geçici çalışma süresindeki doymayı engellemek için çalışma akı yoğunluğunun daha çok düşürülmesi gerekebilir. Akım modu kontrolü, daha fazla akı yoğunluğu kaymasından faydalanmaya izin vererek bu başlangıç ve geçici hal sınırlamalarının üstesinden gelir.

Yüksek frekans uygulamalarında, akı yoğunluğu kayması optimum verim gereksinimleri tarafından çok fazla sınırlanır ve özel yumuşak başlangıç devreleri gerekmebilir. Çalışma akı yoğunluğu kaymasını seçmeden evvel çevirici topolojisi, çalışma yöntemi, çıkış gücü ve frekans göz önünde tutulmalıdır.

Normal olarak, üreticinin güç çizitleri minimum yalıtım gereksinimli, tek birincil taraf ve tek ikincil taraf olduğu varsayılarak çıkarılır. Dahası, çizit belli bir çalışma frekansı ve sıcaklık yükselmesi için elde edilir. Bununla beraber, gerçek uygulamalarda optimum bir tasarım elde etmek için çekirdek boyutu seçilirken bütün ana tasarım faktörleri için tolerans sağlanmalıdır.

4.1.4.2 Sıcaklık Yükselmesi

Devridaim soğutma şartlarında, sıcaklık yükselmesi toplam iç kayba ve yüzey alanına bağlıdır. Orijinal tasarım hedefi 30 °C' lik bir sıcaklık yükselmesidir ve kayıpların hesabından bulunabilir.

4.1.4.3 Çekirdek Kaybı

Malzemedeki çekirdek kaybı akı yoğunluğu kaymasına, frekansa ve çekirdek boyutuna bağlıdır. Şekil 4.4 tipik bir transformatör ferritine (Siemens N27) ilişkin çekirdek kaybını göstermektedir. Bu örnekteki kayıp gram başına miliwatt cinsinden verilmiştir, parametre olarak çalışma frekansındaki ΔB akı yoğunluğu kayması temele alınmıştır.

Pek çok kayıp diyagramı push-pull çalışma varsayılarak zayıf akı yoğunluğu için çizilir. Simetrik bir akı yoğunluğu kayması olduğu varsayılır ve kayıplar akı yoğunluğu kaymasının tepe değerinin $\hat{B}$ iki katı için çizilir. Böyle bir diyagram kullanarak, tek çıkışlı bir çeviriciye ilişkin çekirdek kaybını hesaplarken transformatör akı yoğunluğu kayması ikiye bölünür. Daha sonra, tek çıkışlı uygulamalara ilişkin çekirdek kaybını bulmak için bu grafikte tepe değer olarak söz konusu yarı değer kullanılır.

Çekirdek malzemesinin seçimi transformatör tasarımının en önemli adımıdır. Önceleri eğri üzerinden bulunan kayıp değeri kullanılırken, sonra eğrilerin formüle edilmesiyle bulunan kayıp denklemleri kullanılmaya başlanmıştır.

$$W = kf^m B^n \quad (4.3)$$

Bu denklemde W W/kg biriminde çekirdek kayıp yoğunluğudur, f Hertz biriminde frekanstır, B Tesla biriminde akı yoğunluğudur. Çeşitli malzemeler için k , m , n çekirdek kayıp sabitleri Tablo 4.1' de verilmiştir. [2]

Tablo 4.1 Çekirdek malzemesi kayıp sabitleri.

Çekirdek Malzemesi	k	m	n
Silicon 26G M19	1.5349	0	2.066
Silicon 26G M50	2.4127	0	2.344
Silicon Steel 1 mil	5.93×10^{-2}	0.993	1.74
Silicon Steel 2 mil	5.97×10^{-3}	1.26	1.73
Silicon Steel 4 mil	3.57×10^{-3}	1.32	1.71
Silicon Steel 12 mil	1.49×10^{-3}	1.55	1.71
Supermendur 2 mil	2.36×10^{-2}	1.05	1.3
Supermendur 4 mil	0.564×10^{-2}	1.27	1.36
50-50 Ni-Fe 1 mil	0.971×10^{-3}	1.32	1.69
50-50 Ni-Fe 2 mil	1.21×10^{-3}	1.34	1.63
50-50 Ni-Fe 4 mil	0.618×10^{-3}	1.48	1.44
48 Alloy 6 mil	0.719×10^{-3}	1.47	1.92
48 Alloy 14 mil	1.02×10^{-3}	1.50	1.85
Permalloy 80 0.5 mil	0.273×10^{-3}	1.37	1.96
Permalloy 80 1 mil	0.0774×10^{-3}	1.50	1.80
Permalloy 80 2 mil	0.165×10^{-3}	1.41	1.77
Permalloy 80 4 mil	0.241×10^{-3}	1.54	1.99
Permalloy 80 6 mil	0.0979×10^{-3}	1.73	2.01
Supermalloy 1 mil	0.246×10^{-3}	1.35	1.91
Supermalloy 2 mil	0.179×10^{-3}	1.48	2.15

Supermalloy 4 mil	0.0936×10^{-3}	1.66	2.06
Supermalloy 4 mil	0.0936×10^{-3}	1.66	2.06
Metglas® Alloy 2605SA1	1.5349	0	2.066
Metglas® Alloy 2714AF	0.182	1.75	1.99
Metglas® Alloy 2714AS	0.51	1.57	1.70
Metglas® Alloy SA1	6.5	1.51	1.74
Magnetics Ferrite K 1500 μ	1.56×10^{-4}	1.565	2.759
Magnetics Ferrite R 2300 μ	8.097×10^{-7}	1.979	2.628
Magnetics Ferrite P 2500 μ	6.21×10^{-7}	2.06	2.705
Magnetics Ferrite F 3000 μ	0.0943×10^{-3}	1.621	2.569
Magnetics Ferrite J 5000 μ	0.1097×10^{-3}	1.67	2.532
Magnetics Ferrite W 10,000 μ	2.9×10^{-3}	1.343	2.367
Micrometals iron powder-08 35 μ	0.287	1.13	2.41
Micrometals iron powder-18 55 μ	0.117	1.18	2.27
Micrometals iron powder-26 75 μ	0.0131	1.36	2.03
Micrometals iron powder-52 75 μ	0.0357	1.26	2.11
Powder high-flux 14 μ	0.2817	1.26	2.52
Powder high-flux 26 μ	0.1793	1.26	2.55
Powder high-flux 60 μ	0.0928	1.23	2.56
Powder high-flux 125 μ	0.0416	1.33	2.59
Powder high-flux 147-160 μ	0.02856	1.41	2.55
Powder Kool Mu® 60-125 μ	7.36×10^{-4}	1.486	2.062
Powder MPP 14 μ	0.688×10^{-2}	1.32	2.25
Powder MPP 26 μ	1.51×10^{-2}	1.16	2.07
Powder MPP 60 μ	0.551×10^{-2}	1.23	2.12
Powder MPP 125 μ	0.391×10^{-2}	1.28	2.14
Powder MPP 147-173 μ	0.648×10^{-2}	1.23	2.21
Powder MPP 200 μ	0.275×10^{-2}	1.35	2.05
Powder MPP 300 μ	0.54×10^{-2}	1.26	2.11
Powder MPP 550 μ	4.53×10^{-2}	0.965	2.02

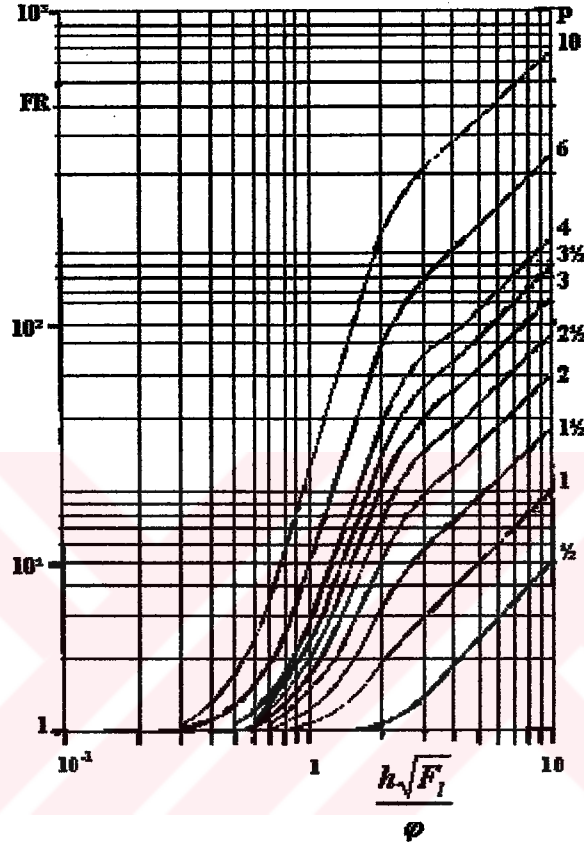
[6].

4.1.4.4 Bakır Kaybı

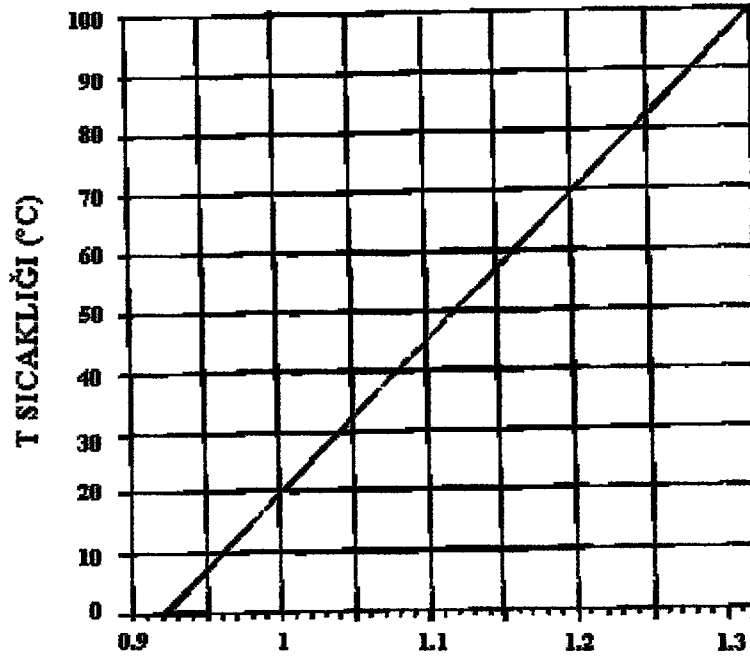
Bakır kaybı sargı direncine, F_r oranına (AA direncin DA dirence oranı) ve etkin akıma bağlıdır.

DA sargı direnci, her bir sargı kısmına ait ortalama sarım uzunluğu, sarımlar ve tel kalibresinin kullanılması sayesinde, toplam sargı uzunluğundan hesaplanır. Bu DA

direnç Şekil 4.4' ten elde edilen F_r oranıyla ve Şekil 4.5' ten elde edilen bakır sıcaklık direnç faktörü çarpılır. Böylece çalışma frekansındaki ve varsayılan çalışma sıcaklığındaki etkin AA direnci R_e elde edilir. Uygulanan dalga şekline ilişkin etkin akım değeri Şekil 4.6' dan elde edilir.



Şekil 4.4 Etkin iletken kalınlığının bir fonksiyonu olarak F_r oranı (deri etkisinin bir sonucu olarak AA/DA direnç oranı), parametre olarak tabaka sayısı P .



T°C BAKIR DİRENCİNİN 20°C' DEKİ DİRENCE ORANI

Şekil 4.5 T sıcaklığındaki direncin 20 °C' deki oranın bir fonksiyonu olarak bakır direnç faktörü.

$$R = MLT \times N \times (\mu\Omega/cm) \times \xi \times 10^{-6} \quad (4.4)$$

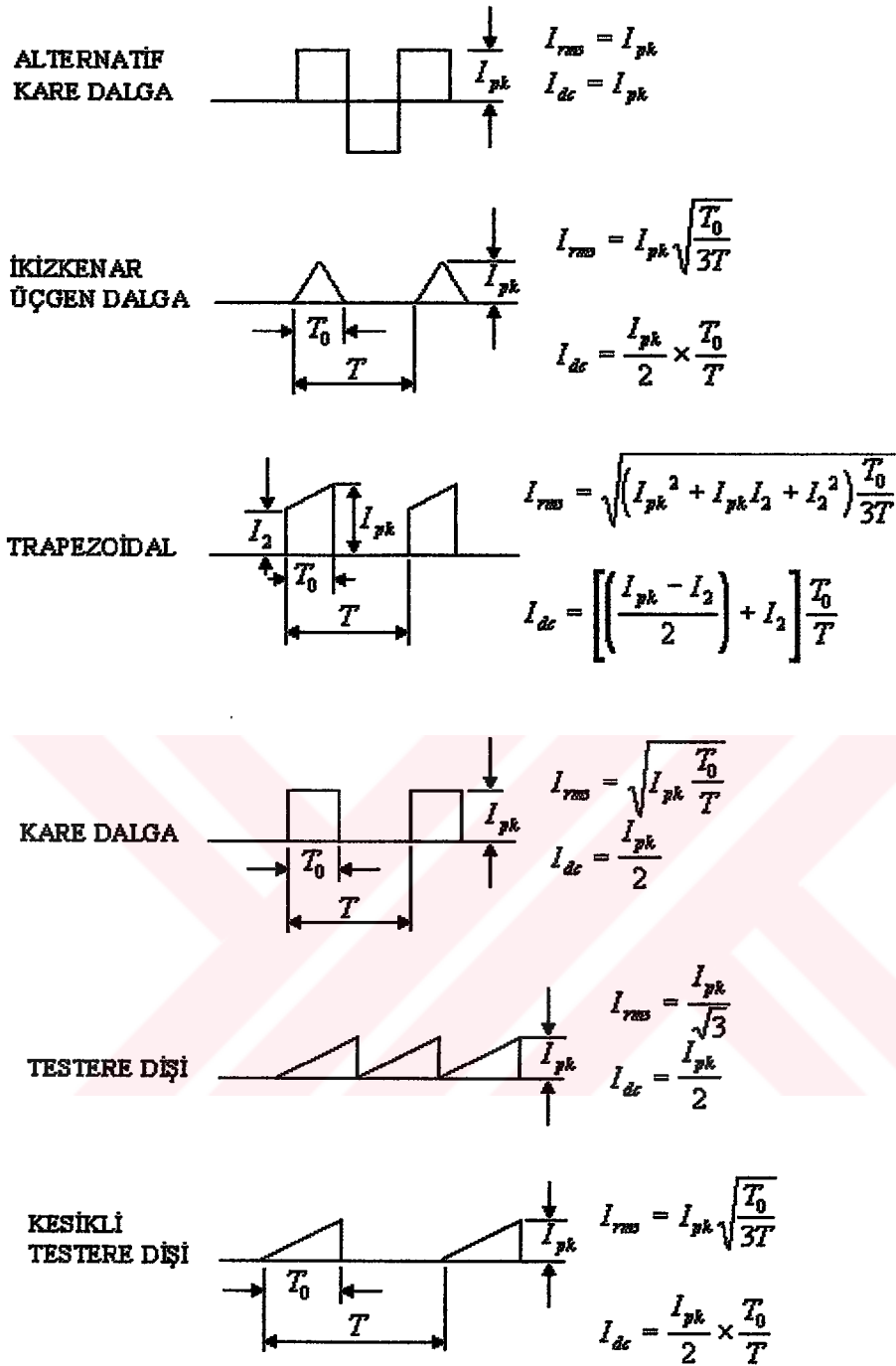
$$P_w = I_{rms}^2 \times R_e \quad W \quad (4.5)$$

Burada

P_w = sargı bakır kaybı, W

I_{rms} = etkin sargı akımı, A

R_e = Şekil 4.4 ve 4.6 sonucu elde edilen sargının etkin AA direnci, Ω



Şekil 4.6 Etkin akım ve DA değerlerini gösteren genel anahtarlama güç çevirici dalga şekilleri.

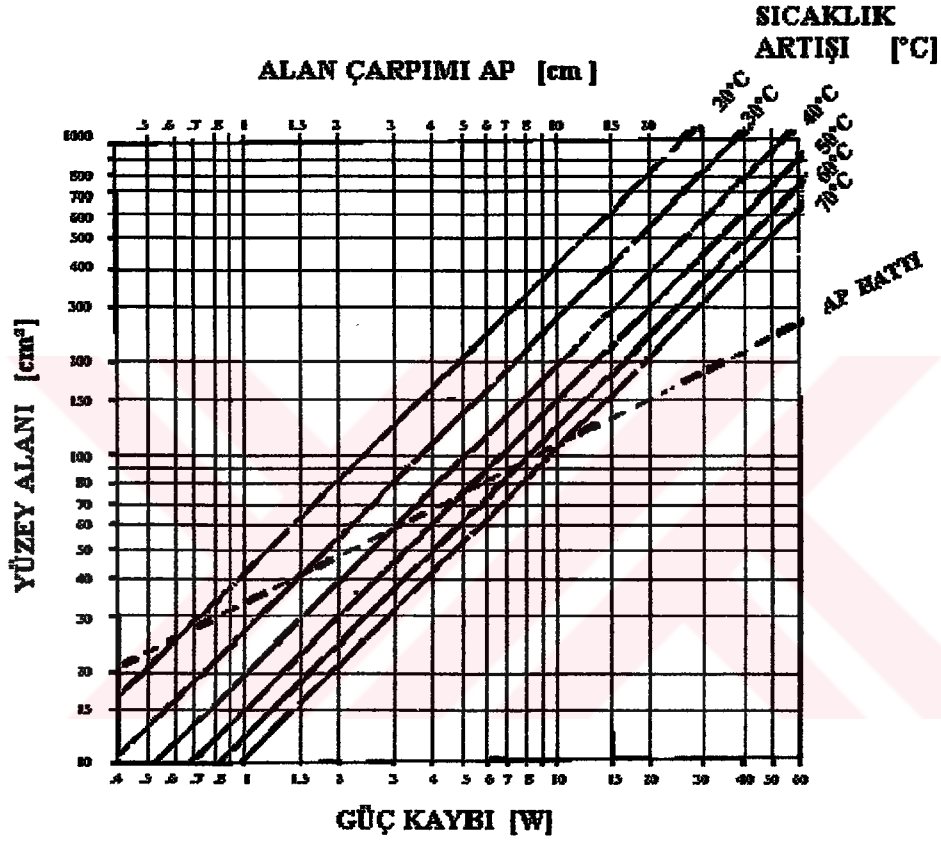
Hassas kayıp dağılımını ölçmek için bakır kayıpları her bir sargı için hesaplanmalıdır.

Bakır ve çekirdek kayıplarının toplamı toplam transformatör kaybını verir.

4.1.4.5 Sıcaklık Yükselmesi Çiziti

Sıcaklık yükselmesi Şekil 4.7' de gösterilen alan çarpımı-yüzey alanı çizitinden kontrol edilebilir.

Kesikli *AP* hattıyla kesişen yatay hat yüzey alanını verir. *AP* hattıyla kesişen dikey hat sıcaklık yükselmesini verir.



Şekil 4.7 Alan çarpımının ve güç kaybının bir fonksiyonu olarak sıcaklık yükselmesi, parametre olarak yüzey alanı.

Sıcaklık yükselmesi alternatif olarak aşağıdaki denklemden de hesaplanabilir:

$$\Delta T = \frac{800 \cdot P_t}{A_s} \quad ^\circ\text{C} \quad (4.6)$$

veya

$$\Delta T = \frac{23.5 \cdot P_t}{\sqrt{AP}} \quad ^\circ\text{C} \quad (4.7)$$

Burada

ΔT = sıcaklık yükselmesi, $^\circ\text{C}$

P_t = toplam giriş gücü, W

A_s = yüzey alanı, cm^2

AP = alan çarpımı, cm^4

Bu yaklaşık formül 20 ila 50 $^\circ\text{C}$ arasındaki sıcaklıklar için çok rahat kullanılabilir.

4.1.5 Deri ve Yakınlık Etkisi

Yüksek frekanslı anahtarlama transformatörlerinin verimini optimize etmek için, uygun tel açıklıkları, kablo boyutları ve sargı geometrileri kullanılmalıdır. Eğer optimum verim elde edilecekse, mevcut çerçeve alanının tel açıklığıyla doldurulması basit olmasına rağmen yapılmaz. Hat frekansındaki transformatörlere ilişkin basit tasarım kuralları yüksek frekanslı transformatörlerin optimum tasarımı için yetersizdir.

Günümüzde DA-DA çeviricilerde 300 kHz' ye kadar işlem görülmektedir. Daha yüksek frekanslarda öngörülen verim değişmektedir. Bunun sebebi de iletkende akan akımın sadece düşük frekanslarda ve DA durumunda üniform olarak ilerlemesidir.

Yüksek frekanslarda, bir sargıda iki veya üç tabaka kullanıldığında, zayıf bir tasarımda F_r oranı (sargının etkin AA direncinin DA direncine oranı) 10 veya daha fazla olmalıdır. Bunun anlamı, çalışma frekansında sargının etkin direnci DA direncinden 10 kat daha büyüktür. Bunun sonucunda aşırı güç kaybı ve sıcaklık yükselmesi olur.

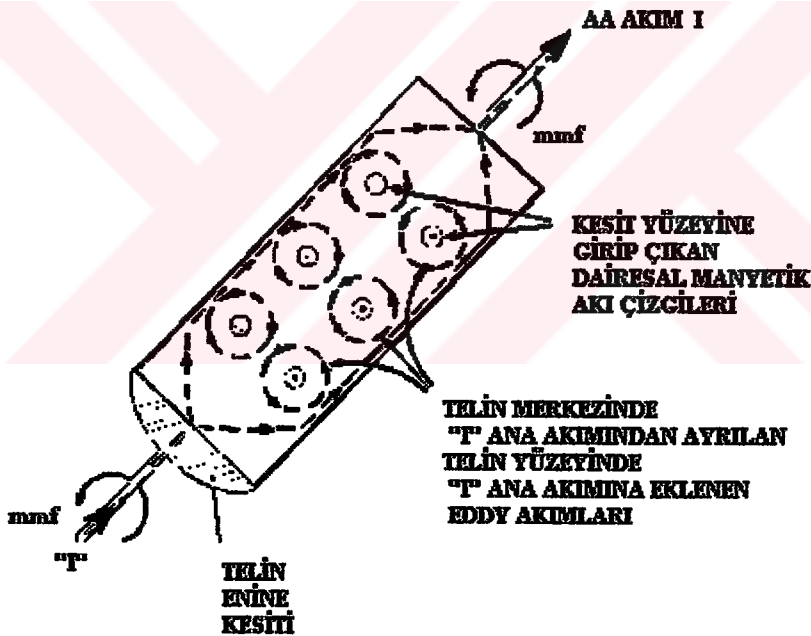
Çok büyük bir tel kullanmak, deri ve yakınlık etkilerinin bir sonucu olarak, aşırı bir kaybı beraberinde getirir. Dolayısıyla, çok fazla tabaka ve aşırı zahmet gerektiren çok büyük bir tel açıklığı da çok küçük açıklık kadar verimsizdir. Deri ve yakınlık etkileri

nedeniyle, optimum verimi elde etmek için, ideal bir tel boyutu veya kablo genişliği bulunup kullanılmalıdır.

4.1.5.1 Deri Etkisi

Yüksek frekanslarda telin çevresinde bir akım yığılı oluşmaktadır, buna deri etkisi denir.

Şekil 4.8 akım taşıyan yalıtımlı bir iletkenin konsantrik bir manyetik alanı nasıl ürettiğini göstermektedir. Alternatif akımların sonucunda iletkende eddy akımları üreten bir magnetomotor kuvveti (mmk) oluşur. Bu eddy akımları telin yüzeyindeki akıma eklenecek yöndedir ve merkezde akımdan ayrılırlar. İletkenin yüzeyine yakın yerde akan akımı arttıracak bu etkiye deri etkisi denir.



Şekil 4.8 Deri Etkisi. Akımın akışı nedeniyle iletkenin bünyesinde oluşan konsantrik manyetik alanın bir sonucu olarak akım iletkenin yüzey tabakasında akmaya zorlanır.

Akımın çoğunluğu bir eşdeğer yüzey deri kalınlığında veya akar. Buna “delme derinliği” denir ve aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$\text{Delme Derinliği: } \Delta = \frac{K_m}{\sqrt{f}} \quad (4.8)$$

Burada

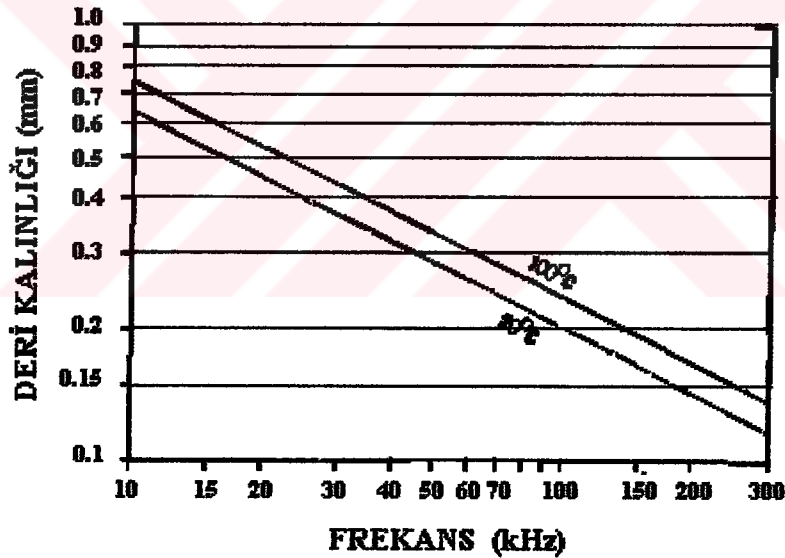
Δ = delme derinliği, mm

f = frekans, Hz

K_m = malzeme sabiti, (K_m ' nin aralığı 100 °C' de 75' ten 20 °C' de

65.5' e kadardır), hesaplamalarda bakır için 66 alınacaktır.

Şekil 4.9, 10 ila 300 kHz frekans aralığında, 20 ila 100°C' deki bakıra ilişkin deri kalınlığını veya delme derinliğini göstermektedir.



Şekil 4.9 Frekansın bir fonksiyonu olarak etkin deri kalınlığı, parametre olarak sıcaklık.

Transformatöre giden ve ondan gelen bağlantılar için deri kalınlığının 2 veya 3 katını aşan tel çaplarından kaçınılmalıdır. Yüksek akım uygulamaları için, multifilar sargılar tercih edilmelidir. Aynı sargıya giden ve dönen teller sıkıca bağlanmalı, paralel veya

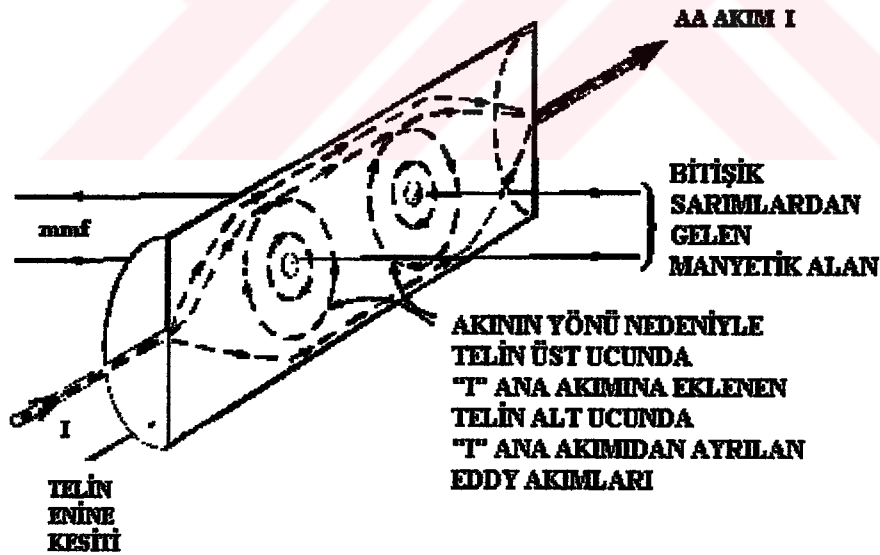
burgulu çift olarak işletilmelidir. Bu sayede zamanda dış kaçak endüktansı düşürmek içinde istenir.

Bakır kayıpları akım yoğunluğunun karesiyle orantılı olarak artar. Dolayısıyla, yüzeydeki akım yoğunluğundaki küçük bir artış etkin AA direnç oranında (F_r oranı) önemli bir etkiye sahiptir.

4.1.5.2 Yakınlık Etkisi

Bir transformatörde, deri etkisi sonucunda oluşan basit akım dağılımı komşu iletkenlerden gelen yakınlık etkisiyle daha da değişir.

Şekil 4.10' da gösterildiği üzere, bir veya daha fazla tabakaya birkaç sarım sarıldığında sargı düzlemindeki hatta bir magnetomotor kuvveti (mmk) oluşur. Bu mmk etkisi birincil-ikincil sargı ara yüzleri arasında akan akımı arttıracak yönde, ara yüzün uzağındaki sargı yanında akan akımı azaltacak yönde bir eddy akımı oluşturur. Bu yakınlık etkisinin bir sonucu olarak, iletkenin kullanma alanı azalır.



Şekil 4.10 Yakınlık Etkisi. Yakındaki sarımlardan gelen manyetik alanın sonucunda akım sargının ara yüzü boyunca akmaya zorlanıyor.

Yakınlık etkisi en çok mmk maksimum iken birincil-ikincil arayüzünde hissedilir. Şekil 4.17a ve b basit bir sargı konfigürasyonundaki ve sandviç yapıdaki mmk' nın

dağılımını göstermektedir. Sandviç yapıda, maksimum mmk ikiye ayrılır ve orta sargının merkezindeki yakınlık etkisi sıfırdır. Dolayısıyla, F_r bulunurken sadece yarım tabakalar ve merkez sargının sarımları göz önüne alınmalıdır.

4.1.5.3 Deri Ve Yakınlık Etkisi İle Optimum İletken Kalınlığı İlişkisi

Son tel kalibresi seçilmeden evvel, deri ve yakınlık etkileri göz önüne alınmalıdır.

Delme derinliği frekansa bağlıdır ve akım yoğunluğu aşağıda tanımlanan derinlikte yaklaşık %37' ye düşer.

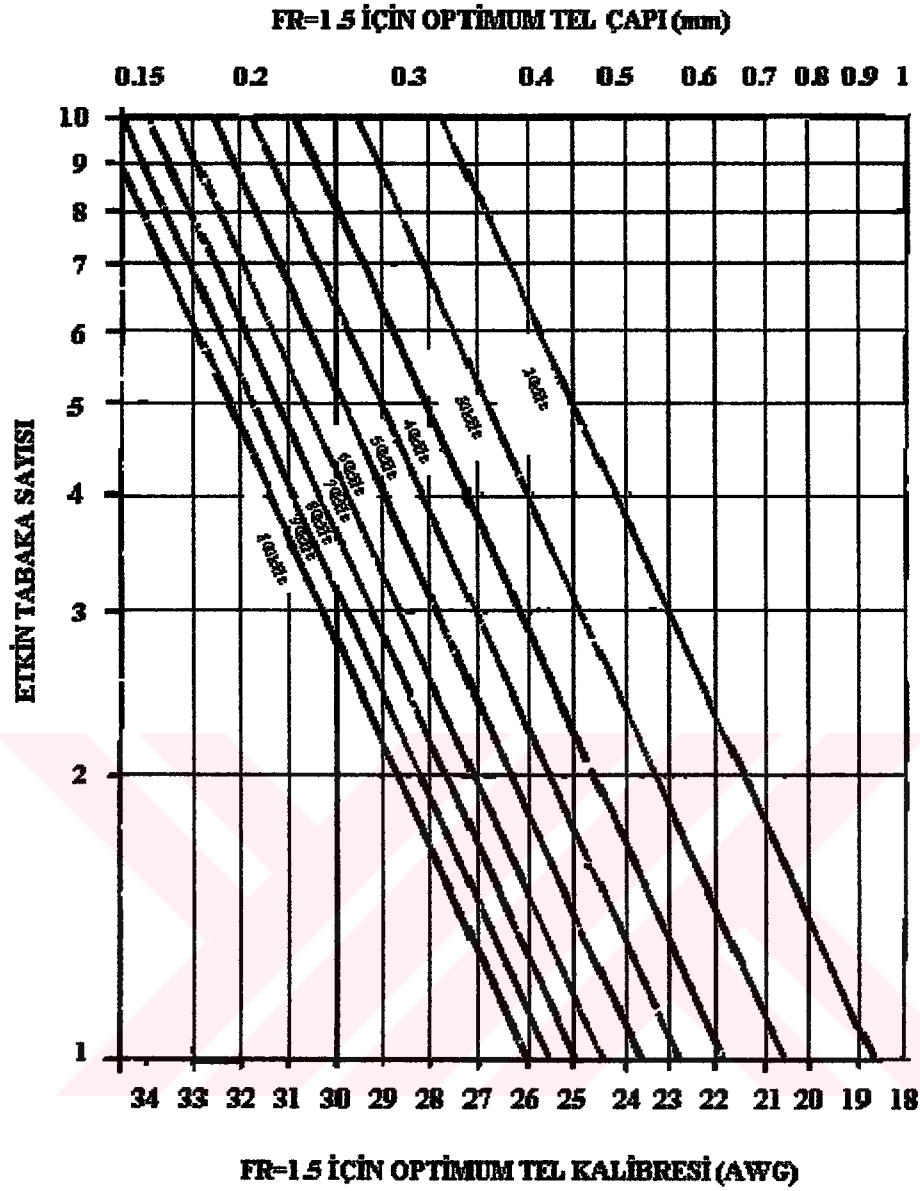
$$\Delta = \frac{66}{\sqrt{f}} \quad (4.9)$$

Dolayısıyla, basit bir açık tel halinde, telin yarı çapı delme derinliğini aşarsa, aşırı bir bakır kaybı veren, zayıf bir bakır faydalanma faktörü oluşacaktır.

Komşu sarımların alanları nedeniyle, transformatörde bu durum çok daha karmaşıktır. Dolayısıyla, tel boyutunun seçiminde sargı topolojisi önemli bir rol oynar. Komşu tellerin yakınlığı ve tabakalar nedeniyle akımı telin iç veya dış ucundaki daha küçük bir sınırdaki akmaya zorlanır. Bu yüzden etkin iletim alanı daha da düşer. Dolayısıyla birden fazla tabaka kullanıldığında tel boyutu daha da azalır.

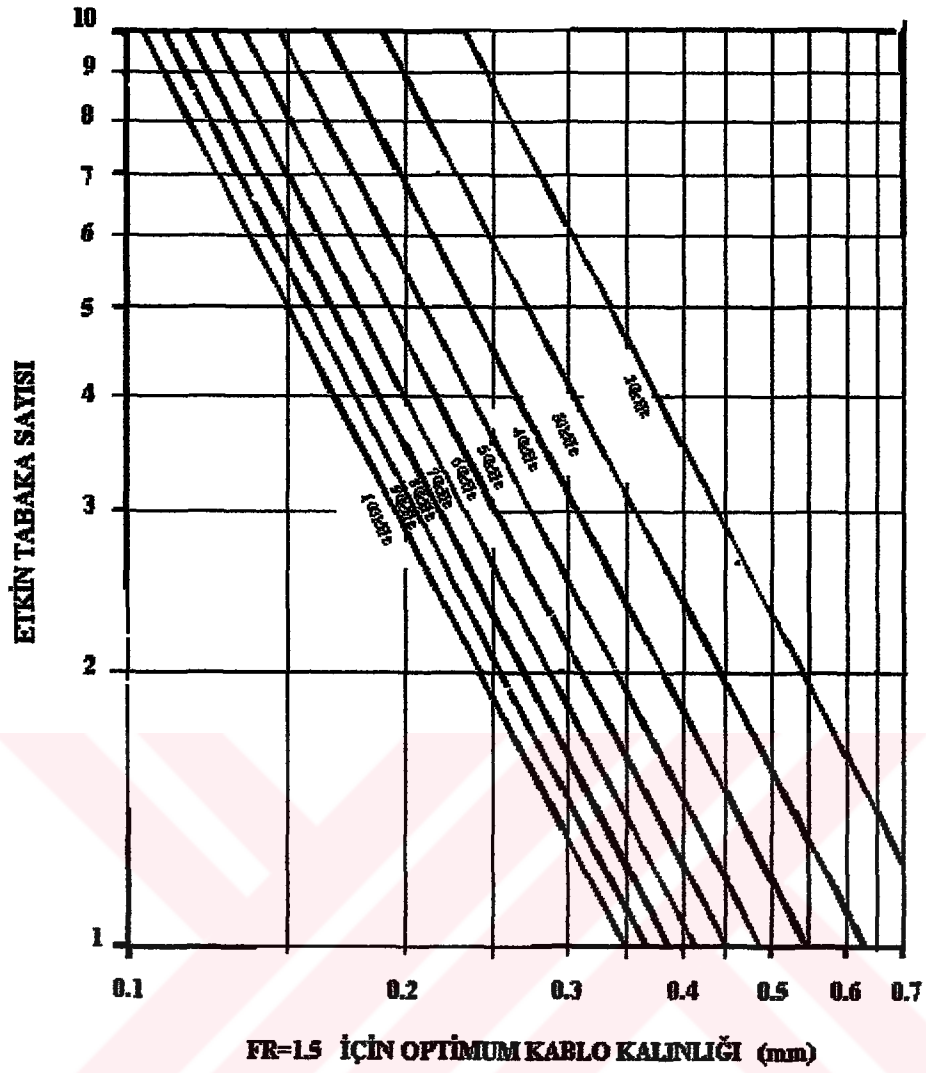
Pratikte, iyi tasarlanmış bir sargıda minimum F_r oranı yaklaşık 1.5' tir. Bunu sağlamak için, tel çapı veya kablo kalınlığı çalışma frekansı ve tabaka sayısı için optimize edilmelidir. Şekil 4.11 ve 4.13 transformatör sargısında kullanılması gereken maksimum tel çapını (tek demet) veya maksimum kablo kalınlığını, frekansı parametre olarak, 1.5' lik F_r oranı için, etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak göstermektedir.

Sadece mevcut çerçeve boşluğunu veya akım yoğunluğunca belirlenen boyutu dolduran telin kesit alanı Şekil 4.11 veya 4.13' teki boyutu aşarsa, uygun kesit alanlı bir kablo yapmak için iki veya daha fazla tel kullanılmalıdır.



Şekil 4.11 Sargıdaki etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak optimum tel kalibresi (AWG) ve çapı, parametre olarak frekans.

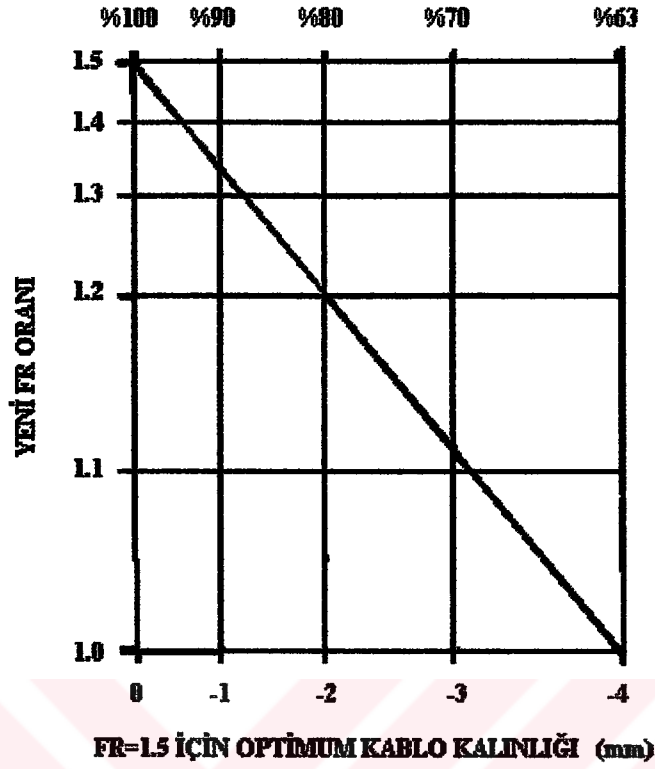
Çok telli sargılar tek bir çok telli tabaka veya bükümlü bir tel gibi uygulanabilir. Çok yüksek frekans uygulamalarında, özellikle örülmüş Litz teli tavsiye edilir.



Şekil 4.12 Sargıdaki tam kalınlıklı etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak optimum bakır kablo kalınlığı (mm) ve çapı, parametre olarak frekans.

Sonuç olarak, kablo boyutu sargı başına tam sayıda tabaka verecek şekilde düzenlenir. Seçim minimum sayıda tabakadan yana olmalıdır. Çünkü, tabaka sayısındaki düşüş, F_r oranını iyileştirir ve kaçak endüktansı düşürür. 1.5' lik F_r oranı için kullanılandan daha düşük çaplı tellere ilişkin etkin F_r oranları Şekil 4.13' te gösterilmiştir.

FR = 1.5 İÇİN OPTİMUMUN ALTINDAKİ % KABLO KALINLIĞI



Şekil 4.13 İletken tel veya optimum kalınlıktan daha az olan kablo boyutları için, 1.5 oranındaki bir F_r ' lik optimum kalınlığın bir yüzdesinin bir fonksiyonu olarak F_r oranı (AA/DA direnç oranı).

4.1.5.4 Optimum Kablo Kalınlığının veya İletken Çapının Bulunması

Şekil 4.4 ϕ eşdeğer iletken uzunluğuna ve tabaka sayısına göre çizilen F_r oranını göstermektedir.

Genel olarak,

$$\phi = \frac{h}{\Delta \sqrt{F_l}} \quad (4.10)$$

Burada

ϕ = etkin iletken uzunluğu, mm

h = kablunun kalınlığı (veya yuvarlak telin etkin çapı)

F_l = bakır tabaka faktörü

Not: Matematiksel davranışı basitleştirmek için d çaplı yuvarlak bir iletken yerine etkin kalınlığı h olan aynı alanlı kare iletken kullanılır.

$$\text{Yuvarlak telin alanı} = \pi r^2 \text{ veya } \pi (d/2)^2$$

$$\text{Kare telin alanı} = h^2$$

Dolayısıyla

$$\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = h^2 \quad (4.11)$$

Buradan

$$h = d \sqrt{\frac{\pi}{4}} \quad (4.12)$$

Bakır tabaka faktörü F_l etkin tel çapının, teller arası boşluğun, sarım sayısının ve faydalı sargı genişliğinin bir fonksiyonudur.

$$F_l = \frac{N \cdot h}{b_w} \quad (4.13)$$

Burada, N = tabaka başına sarım sayısı

b_w = faydalı sargı genişliği

Optimum Kablo Kalınlığı

Tam genişlikli bir bakır kablo sargılı basit bir durumda, uygun frekansta, ϕ ' nun değeri h/Δ ' ya gider. Çünkü $F_l = 1$ dir; aynı zamanda, tabaka sayısı sarım sayısına eşittir.

İdeal kablo kalınlığı Şekil 4.4' ten aşağıdaki gibi öngörülebilir:

$$R_{ac} = F_r \cdot R_{dc} \quad (4.14)$$

ama (belli bir bobin boyutu ve sarım sayısı için)

$$R_{dc} = \frac{N \cdot \rho \cdot l}{A_l} \propto \frac{\rho}{b_w \cdot h} \quad (4.15)$$

Burada

ρ = bakırın özgül direnci, Ω/cm

A_l = telin alanı, cm^2

l = iletkenin uzunluğu, cm

N = sarım sayısı

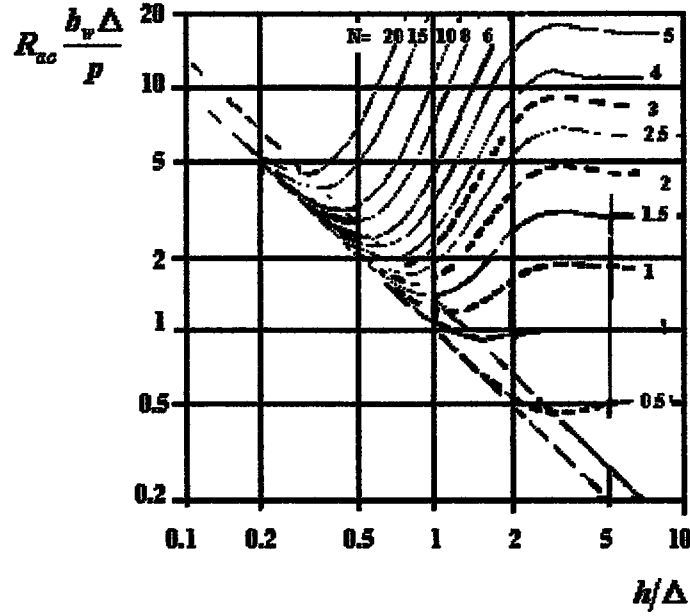
Dolayısıyla

$$R_{ac} \propto F_r \cdot \frac{\rho}{b_w \cdot h} \propto \frac{\rho}{b_w \cdot \Delta} \times \frac{F_l}{\phi} \quad (\text{Çünkü } \phi = h/\Delta) \quad (4.16)$$

ve

$$\frac{R_{ac} \cdot b_w \cdot \Delta}{\rho} \propto \frac{F_l}{\phi} \quad (4.17)$$

Şekil 4.14' te gösterildiği üzere, ϕ ' ya ve sarım sayısına karşılık olarak F_r/ϕ ' nin çizilmesiyle, her bir sarım sayısı için minimum AA direnç noktası görülebilir. Minimum düşüş $F_r = 4/3$ kesikli çizgisinin yakınındadır.

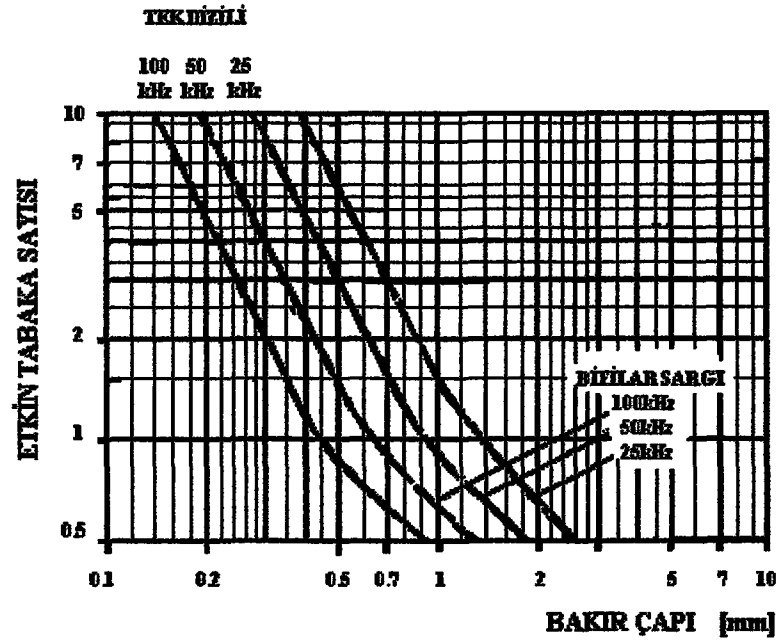


Şekil 4.14 $R_{ac} - h/\Delta$ 'nın çizimi, parametre olarak tabaka sayısı. Optimum F_r oranı ve optimum iletken kalınlığı için şartların gelişimi. (Mullard Ltd.'ye ait.)

Optimum İletken Çapı

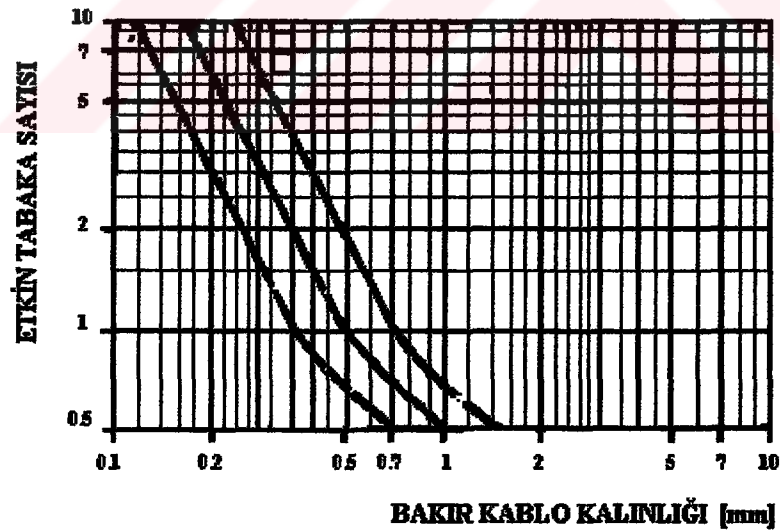
Yuvarlak telli sargılarda, optimum tel çapının bulunması yukarda bahsi geçen kablo sargıya göre daha karışıktır.

Şekil 4.15 ve 4.17 ideal F_r oranını elde etmek için kullanılması gereken optimum bakır kablo kalınlığını veya tel çapını göstermektedirler. Bunlar, frekansı parametre olarak, etkin tabaka sayısına karşı çizilirler.



FR = 1.5 İÇİN OPTİMUM BAKIR TEL ÇAPI

Şekil 4.15 Sargıdaki etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak 1.5' lik F_r oranına ilişkin optimum tel çapı, parametre olarak frekans. (Mullard Ltd.' ye ait.)



FR = 1.4 İÇİN OPTİMUM BAKIR KABLO KALINLIĞI

Şekil 4.16 Etkin tabaka sayısının bir fonksiyonu olarak 1.5' lik F_r oranına ilişkin optimum tel çapı, parametre olarak frekans. (Mullard Ltd.' ye ait.)

4.1.6 Sargı Topolojisi

4.1.6.1 İletken Tel Boyutları ve Sargı Topolojisi

Transformatör tasarımının en önemli ve en zor kısımlarından biri de birincil ve ikincil tel kalibresinin ve genel sargı topolojisinin seçimidir. Sargı topolojisinin ve tel boyutunun seçimini çok sayıda pratik ve elektriksel parametre kontrol eder.

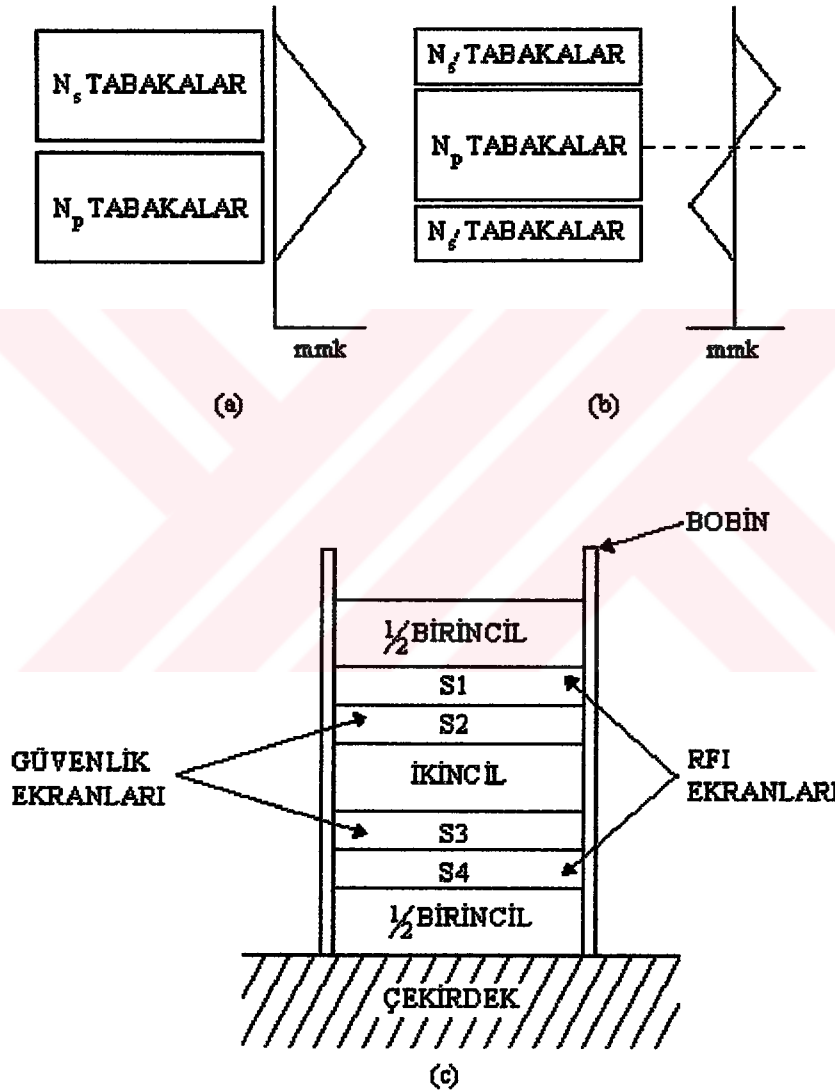
Çekirdek boyutunun başlangıçtaki seçimi 30°C ' lik sıcaklık yükselmesi verecek olan bir teldeki akım yoğunluğuna bağlıdır. Tel boyutunun seçimindeki yaklaşımlardan biri bu kriteri sağlamak için gerekli akım yoğunluğunun, dolayısıyla, gerekli tel kesit alanının hesaplanmasıdır. Ancak, burada bir sorun vardır; Çekirdek boyutu çoktan seçilmiştir. Dolayısıyla, sargı çerçeve alanı bobin tarafından tanımlanmıştır.

Birincil ve ikincil kayıpları eşit tutmak için, birincil tarafça işgal edilen sargı alanı ikincil tarafça işgal edilene eşit olmalıdır. Başlangıçta, mevcut bobin çerçeve alanının %50' si bakır tarafına işgal edilir (birincil ve ikincil taraflarca %25' er). Kalan çerçeve boşluğu sargılar arasındaki aralık, yalıtım, birincil ile ikincil taraflar arasındaki ekranlar tarafından işgal edilir. Birincil ve ikincil sarım sayıları bilindiğinden, sargı boyutunu bu aşamada seçmek daha iyidir. Bu sayede mevcut çerçeve alanının en iyi kullanımı sağlanır. Ancak, bu yapılmadan evvel, sargı topolojisinin bir değerlendirilmesi yapılmalı, deri ve yakınlık etkilerinin gerektirdikleri göz önüne alınmalıdır. Düşük frekansta, tüm çerçeve kullanılır, ama push-pull çalışmalı yüksek frekanslarda, F_r oranı iyileştiğinden kaybı azaltmak için daha ince tel ve daha az tabaka kullanılabilir. Bu durumda tüm çerçeve alanı kullanılmaz. (F_r oranı telin etkin AA direncinin DA direncine oranıdır.)

Sargı topolojisi transformatörün performans ve güvenilirliğinde önemli bir etkiye sahiptir.

Yüksek frekanslı transformatörlerde kaçak endüktansı, yakınlık ve deri etkilerini kabul edilebilir bir limite düşürmek için, sandviç sargı yapının kullanımı kaçınılmazdır.

Şekil 4.17a basit sargılı bir transformatördeki, Şekil 4.17b sandviç sargılı bir transformatördeki magnetomotor kuvvetinin (mmk) dağılımını göstermektedir. Basit sarımlıda, amper-sarımın maksimuma yükselmesiyle birincil mıknatıslama mmk' sı artar. İkincil amper sarım yaklaşık eşit ve ters yönlüdür. Dolayısıyla, sargının dış limitlerinde mmk sıfıra düşer. MMK' nın daha büyük değerleri yakınlık etkilerini ve kaçak endüktansı artırır. Sandviç sargıda, maksimum mmk düşer, ikincil sargının ortasında sıfırdır.



Şekil 4.17 (a) ve (b) Basit ve sandviç transformatör sargı topolojilerindeki manyetik kuvvetin dağılımı. (c) sargıların konumunu, güvenlik ekranlarını ve RFI ekranlarını gösteren bir sandviç (bölme) sargı topolojisinin kurulumu.

4.1.6.2 Etkin Tabakalar

Etkin tabaka sayısı sargı topolojisine bağlıdır. Sandviç yapıda (Şekil 4.17c), birincil tarafın ikiye ayrılması ve ikincil sargının merkezindeki mmk'ın sıfır olması nedeniyle toplam tabakanın sadece yarısının göz önüne alınır. Bu ayırık sargı, toplam direnci düşürerek, daha büyük çaplı tellerin veya daha kalın kabloların kullanımına izin verir.

Böylece, kablounun optimum kalınlığı veya telin maksimum çapı bulunur. Geriye kalan, kablo genişliğinin veya paralel iletkenlerin ya da filaman sayısının seçimidir. Bu seçim her bir sargının taşıyacağı akıma bağlıdır.

Şekil 4.11 ve 4.13' e ilişkin etkin tabakalar sıfır mmk ile maksimum mmk düzlemleri arasındaki tabaka sayısıdır. Dolayısıyla, ikincil sargının Şekil 4.17b' deki gibi sandviç yapılı olması durumunda, etkin tabakalar ikincil tabakaların toplam sayısının sadece yarısıdır. Çünkü sargının ortasında bir sıfır mmk ortaya çıkar.

Sandviç yapıdaki maksimum mmk ve yakınlık etkileri daha azdır. Ayrıca, bakır kayıpları ve kaçak endüktans düşüktür. Eğer ikincil taraf tek tabakalıysa, etkin olarak bir yarım tabaka vardır. Şekil 4.11 veya 4.13' teki tek bir tabakaya ilişkin verilen optimum kadar kalın olması için, tel ya da kablo çift katlı yapılabilir.

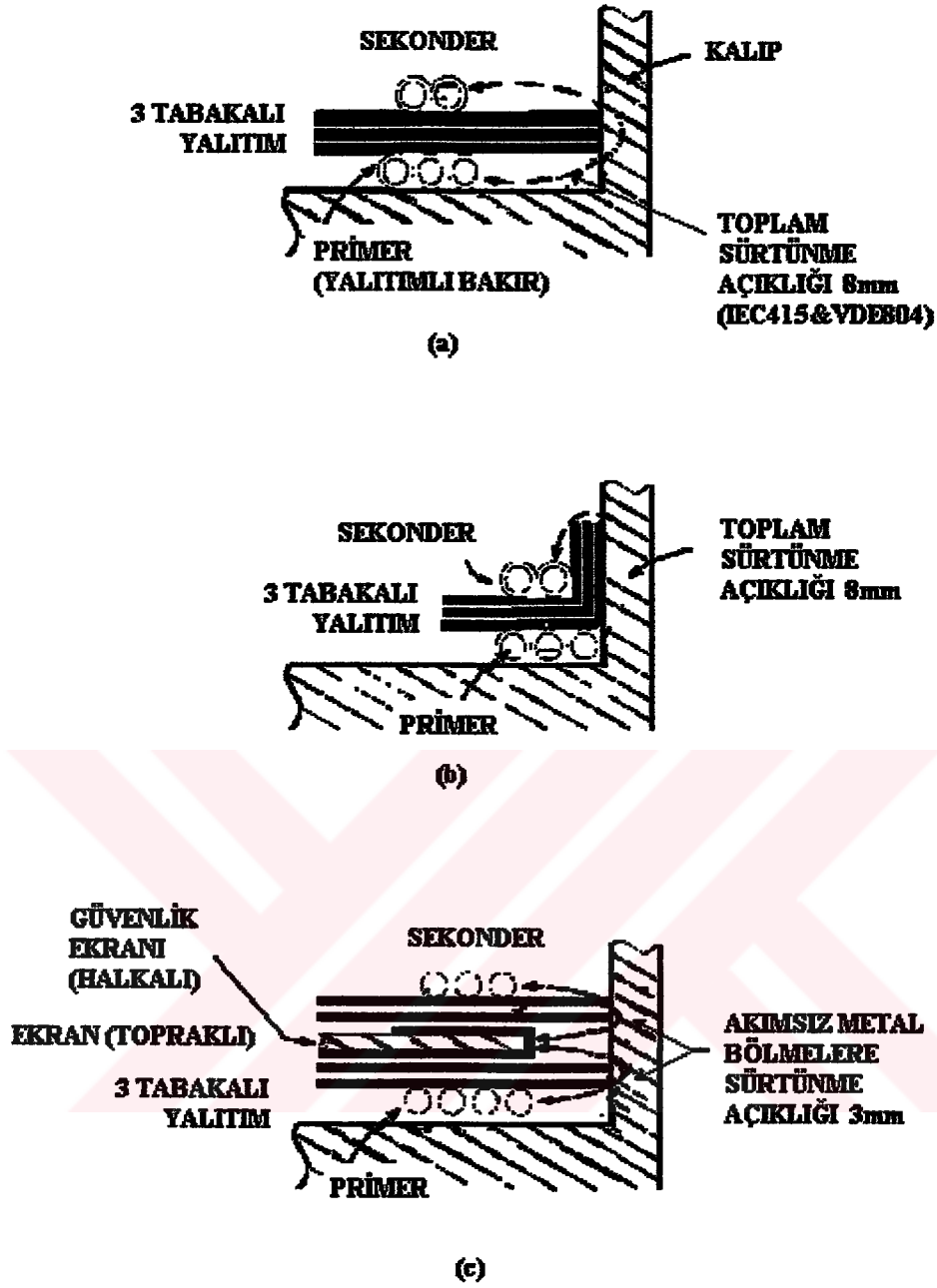
Sandviç yapıda, normal tasarım yaklaşımı birincil tarafı ikiye ayırmaktır ve ikincil sargıyı sandviç halinde araya sokmaktır (Bkz. Şekil 4.17c). Bazı çok çıkışlı uygulamalarda, özellikle ikincil sargıların düşük gerilimli, yüksek akımlı, sabit sayılabilecek yüklü olduğu durumlarda, ikincil sargıları birincili kullanarak ortadan ikiye ayırmanın bazı avantajları vardır. Bu ikinci düzenlemede, yüksek ikincil akım taşıyan sargı çekirdeğe yakın yerleştirilir. Böylece, ortalama sarım uzunluğu daha azalır ve bakır kayıpları daha da düşer. Bu topolojinin ikinci bir avantajı çekirdeğe yakın olan sargıların daha düşük AA gerilimli olmasıdır. Böylece, birincil taraftan çekirdeğe, ikincile ve muhafazaya olan RFI kuplajı azalır. Bununla birlikte, bu yaklaşım dikkatli uygulanmalıdır. Çünkü, ikincil sargıların eşit amper-sarım seçilmemesi halinde, büyük kaçak endüktanslar oluşur.

Bu örnekte, birincil taraf, biri ikincil sargının üstünde diğeri altında olmak üzere, iki eşit parçaya ayrılır. Birincil ve ikincil sargılar arasında dört ekran bulunmaktadır. Birincil tarafa komşu olan ekranlar (S1 ve S4), yüksek gerilimli birincil sargılar ile güvenlik ekranları (S2 ve S3) arasındaki RFI kuplajını düşürmek için kullanılan Faraday ekranlarıdır. Faraday ekranları birincil tarafa ortak hatla bağlıdır. Böylece birincil devreye giden kapasitif kuplajlı RFI akımlarını döndürürler. Güvenlik ekranları (S2 ve S3), bir izolasyon arızası halinde ikincil çıkışları birincil devreden yalıtım için, şaseye veya toprak hattına bağlıdır. Bu ekranlar, her ne kadar güvenlik ve emisyon için gerekli olsa da, önemli bir büyüklükte bir alanı işgal ederler ve birincil ile ikincil taraf arasındaki kaçak endüktansı artırırlar.

Sargı topolojisi kararlaştırıldıktan sonra, ekranlar ve yalıtım tarafınca işgal edilen alan hesaplanır. Kalan boşluk birincil ve ikincil sargılar içindir.

Sargıların ayrı tabakalı halde işgal etmesi tercih edilir. Bölmelenmiş birincil sargı durumunda, yarım birincillerin eşit bölmelenmesine izin vermek için tabakalar çift sayıda olmalıdır. Kısmen sarılmış tabakalar hem sargı boşluğunun kullanımında yetersizdir ve hem de yalıtımın tahribini kolaylaştırır. Yüksek frekanslı transformatörlerde volt/sarım çok büyük olabileceğinden, uç teli büyük bir delme gerilimi baskısına uğrar. Buna ek olarak, uç teli büyük bir mekanik baskıya uğrar. Çünkü, sargı içindeki tel devamsız veya sapmış bir şekil gösterir ve artık tabakalar bu sapmaya büyük bir baskı uygularlar. Anahtarlamalı transformatörlerdeki pek çok yalıtım arızası bu çeşit sargı devamsızlığı veya birbirine geçmiş tellerdeki kötü uçlandırma uygulamaları sebebiyle olur. İyi sargı uygulamalarında tabakalar tam olmalıdır. Böylece uç telleri diğer sargılardan ya da uç tellerinden geçmez.

VDE, UL, IEC ve CSA karakteristiklerine uygun olarak sürtünme mesafesi ve boşluk ihtiyacını karşılamak için, birincil ve ikincil sargılar arasında 8 mm' ye varan sürtünme mesafesi bırakmak gereklidir (Bkz. Şekil 4.18a, b ve c).



Şekil 4.18 (a), (b) ve (c) güvenli sürtünme mesafesi ihtiyacını karşılayan, yalıtım ve sargı düzenlemesinin bazı yöntemleri.

Sürtünme mesafesi ihtiyacını daha kolay karşılamak için, bobinin bir tarafındaki birincil ve diğer tarafındaki sargıları birleştirmek iyi bir uygulamadır. Birincil ve ikincil uç tellerini iyice ayırmanın da avantajları vardır. Yüksek frekanslarda, çerçeve boşluğu sınırlıdır, Şekil 4.18b' de gösterilen yöntem işe yarayabilir. Eğer topraklı güvenlik ekranı uygunsa, sürtünme mesafesi 3 mm' ye düşürülebilir (Bkz. Şekil 4.18c). Ekran

kesinlikle toprağa (şaseye) bağlanmalıdır ve sigortaya veya diğer koruma cihazlarına gidebilmesi için maksimum hata akımını taşıyacak nominalde olmalıdır.

Her ne kadar tasarımın amacı birincil ve ikincil sargıların eşit miktarda boşluğu işgal etmeleri olsa da, bu eşitlikten biraz sapma kabul edilebilir. Çünkü, birincil taraftaki kayıptaki artış ikincil taraftaki düşüş ile kısmen kompanze edilir. Her ne kadar büyük kayıplı sargıdaki fazla ısınan noktalar dengesiz bir durumda biraz daha büyük olsa da, transformatörün toplam verimi idealdeki küçük sapmalardan fazla etkilenmez.

Son analizde, tasarımın optimal olup olmadığını kontrol etmek için çekirdek ve bakır kayıpları hesaplanmalıdır. Optimum performans elde etmek için pek çok iterasyon gerekli olabilir.

4.1.6.3 Bifilar Sargılardaki Ters Baskının Yok Edilmesi

Bifilar sargıda, iki veya daha fazla manyetik tel paralel olarak beraber sarılmıştır. Bu sargılar, her ne kadar yalıtılmış olsalar da, manyetik kuplajlıdır.

Yüksek gerilim çeviricilerindeki bifilar sargılar potansiyel bir arıza kaynağıdır. Bu yüzden, bu teknik düşük gerilim uygulamalarıyla sınırlanmıştır. Tellerin multifilar bir şekilde paralel bağlandığı yerlerde ya da yalıtımlı sargılar arasındaki zorlanma geriliminin düşük olduğu yerlerde hiçbir sorun oluşmaz.

Bifilar sargının tipik bir uygulaması, tek çıkışlı bir forward çeviricideki enerji döndürme sargısıdır. Ana sargı ve flyback sargı arasındaki herhangi bir kaçak endüktans, anahtarlama cihazının kolektörü üzerinde aşırı bir gerilim overshootuna sebep olacağı için genellikle bir bifilar sargı tercih edilir.

Doğrudan hatta bağlama uygulamalarında, transformatörün birincil tarafında bir bifilar sarımlı enerji döndürme sargısının bulundurulması genel bir işlemdir. Bununla beraber, bu sargı olası bir arıza sebebidir. Çünkü, iki sargının komşu sarımları arasında büyük bir zorlanma gerilimi oluşur. Yalıtımın herhangi bir yerinde zayıf bir nokta varsa, bu bir arızaya sebebiyet verebilir. Her ne kadar, manyetik telin üzerindeki yalıtımın nominal değeri birkaç bin volt civarındaysa da, kablo üzerindeki tek bir çatlak arızayla

sonuçlanabilir. Çünkü tüm noktalardaki zorlanma gerilimi önemlidir. Bunlara ek olarak, iki bifilar sargının birbiri üzerinden geçmesine izin veren dikkatsiz sargı teknikleri yüzünden, tam kesişme noktasında büyük bir mekanik zorlanma oluşabilir. Bu, yüksek sıcaklık şartları altında, arızaya sebep olabilir.

Dolayısıyla, bifilar sargıların gerekli olduğu düşünülüyorsa, sadece en iyi kaliteli yüksek sıcaklığa karşı yalıtımlı malzemeler kullanılmalıdır. Ayrıca, sargıya, yalıtıma ve malzemenin yerleştirilmesine özen gösterilmelidir.

Yukarıdaki örnekte, kaçak endüktanstaki artış nedeniyle, sargıların yalıtılmış tabakalara ikişer ikişer ayrılması kabul edilemez. Bununla beraber, bifilar sarımlı enerji döndürme sargısına ihtiyaç duymaksızın iyi bir performans elde etmek için, uygun devre teknikleriyle bu başarılabilir.

4.1.6.4 RFI ve Güvenlik Ekranları

Birincil taraftan ikincil tarafa ya da sargılar arasındaki kapasite üzerinden toprağa akan RF akımlarını önlemek için, birincil sargının karşısına bir ekran yerleştirmek gereklidir. Bu, kapasitif kuplajlı akımları birincil tarafa geri döndürmek için, ortak bir giriş noktasına bağlanmalıdır. Bu ortak nokta, pozitif yüksek gerilim giriş hattı da olabilir negatif de.

Bu bir güvenlik ekranı olmadığından, çok ince bakır ekran malzemesi kullanılmamalıdır. Düşük direnci nedeniyle büyük eddy akımı kaybına yol açtığından, kalın bakır en iyi seçim değildir. Bu uygulama için, daha büyük dirençli manyetik olmayan bir malzeme, örneğin fosforlu bronz veya manganin, kullanılmalıdır. Ayrıca, minimum kalınlıkta yalıtım da kullanılmalıdır.

Yüksek gerilim ya da doğrudan hatta bağlama uygulamalarında, RFI ekranı ve ikincil taraf arasına ilave bir güvenlik ekranı konmalıdır. Uç teliyle birlikte bu ekran, kaynağın sigorta akımını taşımak için yeterli kalınlıkta olmalıdır. Karakteristik güvenlik gereksinimlerini karşılamak için yalıtım tipi ve kalınlığı seçilmelidir. İki ekranın da yerleştirilmesi halinde toplam yalıtım ihtiyacında biraz düşüş görülebilir. Çünkü, RFI ekranı, yüksek gerilimli seri kondansatör kullanılarak, giriş ortak besleme noktasından

yalıtılmıştır. $0.01 \mu F$ 'lık bir değer yeterlidir ve nominal gerilim değeri karakteristik güvenlik düzenlemelerinin gerektirdiği kadar olmalıdır. Tüm ekranlara ilişkin toplam yalıtım kalınlığı güvenlik gereksinimleri için önemli bir hale gelmiştir.

Sarımların kısa devre olmasını engellemek için, ekranların uçları uygun yalıtımlı olmalıdır. Ayrıca, overlap kapasitesini en aza indirmek için minimum overlap kullanılmalıdır. (Not: Yüksek frekanslarda büyük bir overlap kapasitesinin, ekranları kısa devre olmuş sarım gibi gösterdiğine dikkat edilmelidir.)

Ekranın uç teli, ekranın dönüş akımlarının endüktif etkisini en aza indirmek için, ekranın ortasından alınmalıdır. (Ekran sargısının her bir yarısında ters yönlerde aktıklarından kapasitif olarak indüklenmiş ancak endüktif olarak kuplajlı ekran akımları iptal olur.) Bu ikinci derece etkiler yüksek frekanslarda daha önemlidir.

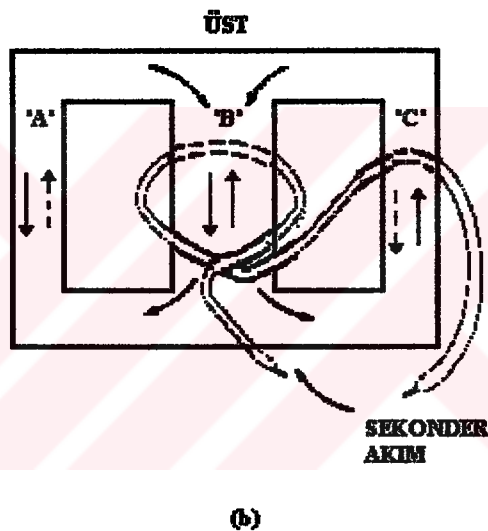
4.1.6.5 Transformatör Yarım Sargı Teknikleri

E çekirdekler kullanıldığında, ana çıkışlardaki yarım sargı gereksinimleri için özel teknikler kullanılabilir. Düşük güçlü yardımcı çıkışlara ilişkin yarım sarımlar orta kutup veya çekirdek ayaklarında kullanılabilir. Bu durumda, yarım sargıların iyi birleştiklerinden emin olmak ve dış ayaklardaki akı dengesizliğini düşürmek için transformatörün her bir ayağına küçük bir hava aralığı yerleştirilir. 0.1 mm 'lık tipik bir hava aralığı yeterli olur. Alternatif olarak, yardımcı gerilimlerdeki düzenleme için çıkış indüktörleri de kullanılabilir.

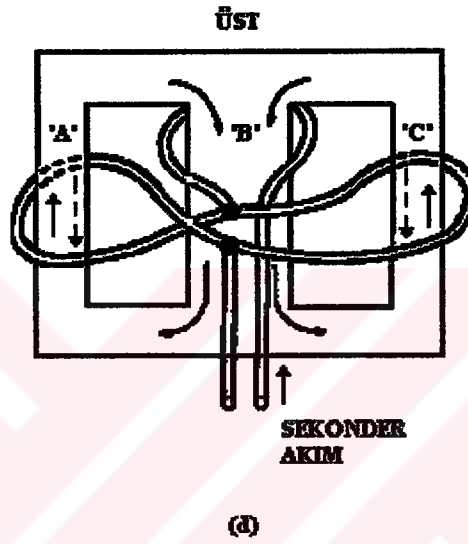
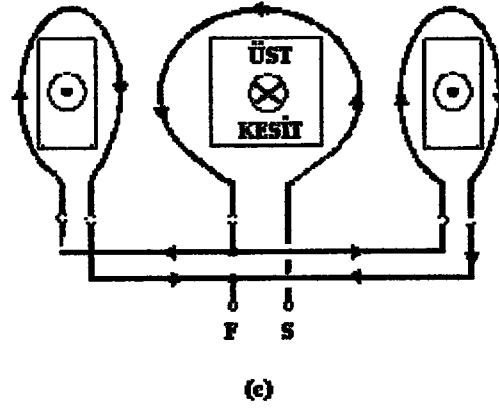
Ancak, yarım sarımlı sargı durumu bir E çekirdeğin ortadaki kutbundaki yarım sarıma zayıf kuplajı ve kötü transformatör regülasyonu nedeniyle transformatörün bir ayağının doymaya gitmesiyle sonuçlanabilir.

Basit yarım sarım düzenlemesinin bir analizi yapıldığında (Bkz. Şekil 4.19a ve b) bir transformatör çekirdeğinin bir ayağındaki sarıma benzediği görülür. Çünkü, çıkış akım çevrimi ana sargının başlangıcına dönmek zorundadır. Şartlar dengesiz olduğundan, orta kutuptaki yarım akının normalde her bir ayağa akacağı düşünülür. Yarım sarımlı ayağın, istenen yarım akı halkalanmasını dolayısıyla yarım gerilim kuplajını vereceği ilk denemede görülür. Bununla beraber, bu sargıya bir yük uygulanır uygulanmaz, bir ters

Şekil 4.19 (a) ve (b) E çekirdekli transformatördeki sargı yarım sarımları için sıklıkla kullanılan bir metot nedeniyle oluşan halkalanan akıdaki kaybı ve akı dengesizliğini gösteren diyagram.



76



→ ANA AKI ÇİZGİSİ
 --- TERS mmk

TERS mmk

DENGELİ 1½ SARIMLI SEKONDER

Şekil 4.19 Devam (c) ve (d) Dengeli bir çekirdek akı yoğunluğu çalışma ve iyi bir akı halkalanması veren özel bir E çekirdekli yarım sarımlı sargı düzenlemesi.

Akı için düşük relüktanslı alternatif bir yol E çekirdeğin diğer ayağında görüldüğünden (A yolu), orta kutuptan gelen manyetik akı bu yanda devam eder ve görünen etkin yarım sarım kuplajı kaybolur. Sonuç olarak, sargı yüklendikçe yarım sargı tarafından üretilen gerilim hızla düşer ve zayıf regülasyon verir.

Çekirdeğin aralıklı yapılmasıyla bu durum iyileştirilebilir. Böylece, dengesiz mmk' nın neden olduğu relüktans farkı hava aralığı sayesinde oluşan büyük relüktans yanında

kaybolur. Flyback çeviricilerde bu hava aralığı normal durumda da bulunabilir. Yarım sarım tarafından üretilen mmk' nın hava aralığı tarafından üretilen relüktansa nazaran küçük olması sağlanarak yarım sarıma yeterli kuplaj sağlanır. Ayrıca, düşük güçlü yardımcı çıkışlar için, bu hava aralığı kompanzasyonlu basit yarım sarımlı sargı oldukça tatminkardır.

Bununla birlikte, yüksek güçlü uygulamalar için, Şekil 4.19c ve d' de gösterilen teknik seçilmelidir. Burada, bu düzenlemenin bir analizi iki yarım sarımın transformatörün her bir ayağına etkin olarak uygulanması gösterilmektedir. Bu yarım sarımlar paralel çalışır ve fazlanırlar. Böylece, ters mmk her bir ayaktaki ana akıya eşit ve zıt yönlü olur. Dolayısıyla, akı dengesi, yüke bakmaksızın, sağlanmış olur. Bu durumda, regülasyon çok iyidir ve hava aralığı şart değildir.

Akım transformatörleri için, özel yarım sarım düzenlemeleri özellikle yüksek akım uygulamalarında faydalıdır. İkincil sarımlar ikiye ayrılır. Bu durumda, yarım sarım birincil tarafta olacaktır ve orta ayakta gösterilen tam sarımlar gerekli olmayacaktır.

Benzer bir süreçle, dengeli çeyrek sarımlar için X çekirdekleri ve bazı dört kısımlı kova çekirdekleri kullanılabilir.

4.1.7 Transformatörün Bitirilmesi ve Vakumlanması

Sarımlı elemanlar üç ana sebepten dolayı reçine doldurmalı yapılırlar.

1. Sargılardan gelen nemi içeri almamak ve mantar saldırılarına karşı yalıtımın tahribatının engellenmek.
2. Sargıların konumunu kararlı hale getirmek, mekanik sürtünmeyi ve gürültüyü engellemek.
3. Hava boşluğunu içeriye almamak ve en iyi termal özellikler için homojen bir kütle sağlamak, fazla ısınmış noktaların kaldırılmak ve korona sebepli arızaların yok edilmesi sayesinde sargılar arasındaki kapasitenin süreksizliğini engellemek.

Çok sayıda markalı vernik ve reçine malzemesi vardır. Son karakteristiklerle ve transformatörün çalışma sıcaklığıyla uyumlu malzemeler seçilmelidir. Küçük sarımlı elemanlarda doldurmanın doğru yapıldığından emin olmak için, mümkünse düşük viskoziteli bir reçine seçilmelidir.

Kapsüllemeden evvel sargılı bobinin kuru olmasına dikkat edilmelidir. En az 4 saat boyunca 110 °C' lik bir fırın kurutma süreci tavsiye edilir. [1,2].

4.2 Forward Çeviricide İndüktör Tasarımı

İndüktör tasarımı birbiriyle ilişkili dört faktöre bağlıdır.

1. İstenen indüktans
2. Doğru akım
3. Alternatif akım, ΔI
4. Güç kaybı ve sıcaklık artışı

Tasarım B_{dc} ve B_{ac} (manyetik doyma oluşturmaz ve verilen bir hacim için en yüksek indüktansı sağlayacak şekilde olmalıdır)' ye ilişkin maksimum değerlerin bulunmasıyla başlar.

Şekil 4.20' ten görüldüğü üzere

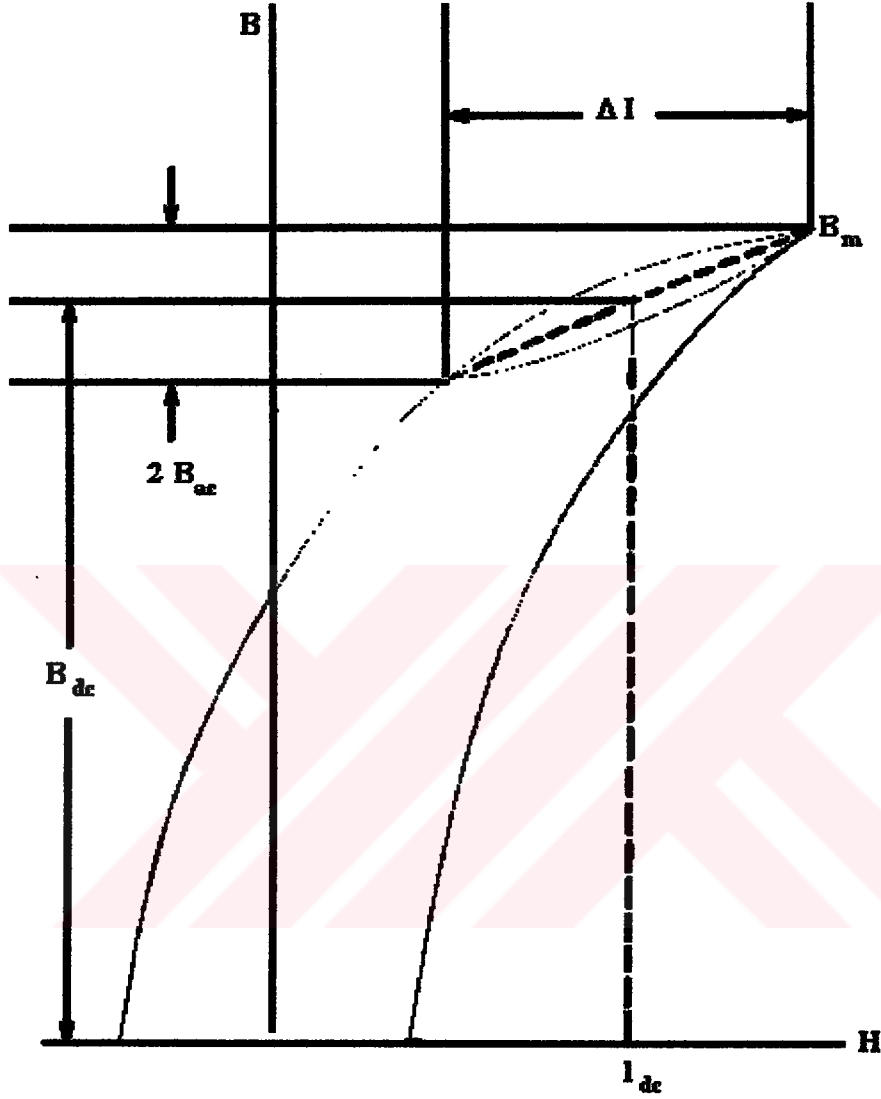
$$B_{\max} = B_{dc} + B_{ac} \quad [T] \quad (4.18)$$

$$B_{dc} = \frac{0.4\pi N I_{dc} \times 10^{-4}}{l_g + l_m/\mu_r} \quad [T] \quad (4.19)$$

$$B_{ac} = \frac{0.4\pi N (\Delta I/2) \times 10^{-4}}{l_g + l_m/\mu_r} \quad [T] \quad (4.20)$$

Denklem 4.19 ve 4.20' nin 5.18' de yerine konmasıyla,

$$B_{\max} = \frac{0.4\pi N I_{dc} \times 10^{-4}}{l_g + l_m/\mu_r} + \frac{0.4\pi N (\Delta I/2) \times 10^{-4}}{l_g + l_m/\mu_r} \quad [T] \quad (4.21)$$



Şekil 4.20 Akı yoğunluğu - $I_{dc} + \Delta I$ ilişkisi.

Denklem 4.21 göz önüne alınırsa, gerekli düzenlemeler yapıldığında, hava aralıklı, doğru akım taşıyan demir çekirdekli bir indüktörün indüktansı aşağıda olduğu gibi ifade edilebilir,

$$L = \frac{0.4\pi N^2 A_c \times 10^{-8}}{l_g + l_m/\mu_r} \quad [H] \quad (4.22)$$

Yukarıdaki denklem indüktansın manyetik yolun etkin uzunluğuna bağlı olduğunu göstermektedir. Bu da, hava aralığı, l_g , ile ortalama uzunluğun bağlı geçirgenliğe olan oranının, l_m / μ_r , toplamıdır.

μ_r ’deki sapmaların toplam etkin manyetik yol veya indüktans üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Buna ek olarak yüksek bağlı geçirgenlik, μ_r , nedeniyle l_g , l_m / μ_r oranına nazaran çok büyüktür. Bu kabuller nedeniyle indüktans denklemi aşağıdaki şekle gelir,

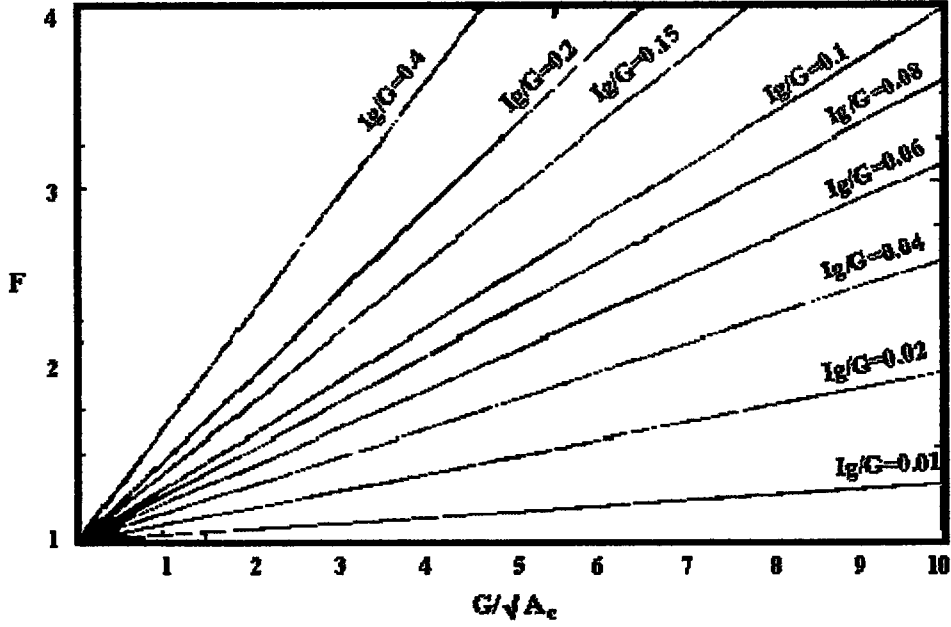
$$L = \frac{0.4\pi N^2 A_c \times 10^{-8}}{l_g} \quad [\text{H}] \quad (4.23)$$

Hava aralığı boyutunun kesin hesabı için saçılan akının etkisi - ki kendisi de aralık boyutunun, kutup yüzlerinin, şeklin, boyutun ve sargıların konumunun bir fonksiyonudur- göz önüne alınmalıdır. Bunun net etkisi hava aralığını kısaltır.

Akının saçılması manyetik yolun toplam relüktansını düşürür, dolayısıyla indüktansını F faktörü kadar artırır. Aralığın toplam uzunluğu arttıkça saçılan akının yüzdesi de artar. Saçılan akı faktörü,

$$F = 1 + \frac{l_g}{\sqrt{A_c}} \ln \left(\frac{2G}{l_g} \right) \quad (4.24)$$

G çekirdeğin boş bölgesinin yüksekliği olarak tanımlanabilecek bir boyut. Denklem 4.24 Şekil 4.21’de gösterilmektedir.



Şekil 4.21 Aralıktaki akının saçılmasıyla indüktansın düşüşü.

Denklem 4.23' te hesaplanan L indüktansı akı saçılmasını barındırmamaktadır. Akı saçılması için düzeltilen L' indüktansının değeri,

$$L = \frac{0.4\pi N^2 A_c F \times 10^{-8}}{l_g} \quad [\text{H}] \quad (4.25)$$

Etkin geçirgenlik aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir,

$$\mu_\Delta = \frac{\mu_m}{1 + \left(l_g/l_m\right)\mu_m} \quad (4.26)$$

Denklem 4.26' daki ifadeye ait eğriler Şekil 4.22' de gösterilmiştir.

Gerekli indüktansın bulunmasından sonra boyutlar bulunabilir. Bu, AP alan çarpımınca belirlenen, enerji tutma kapasitesinin göz önüne alınmasını gerektirir. Bir çekirdeğin enerji tutma kapasitesi,

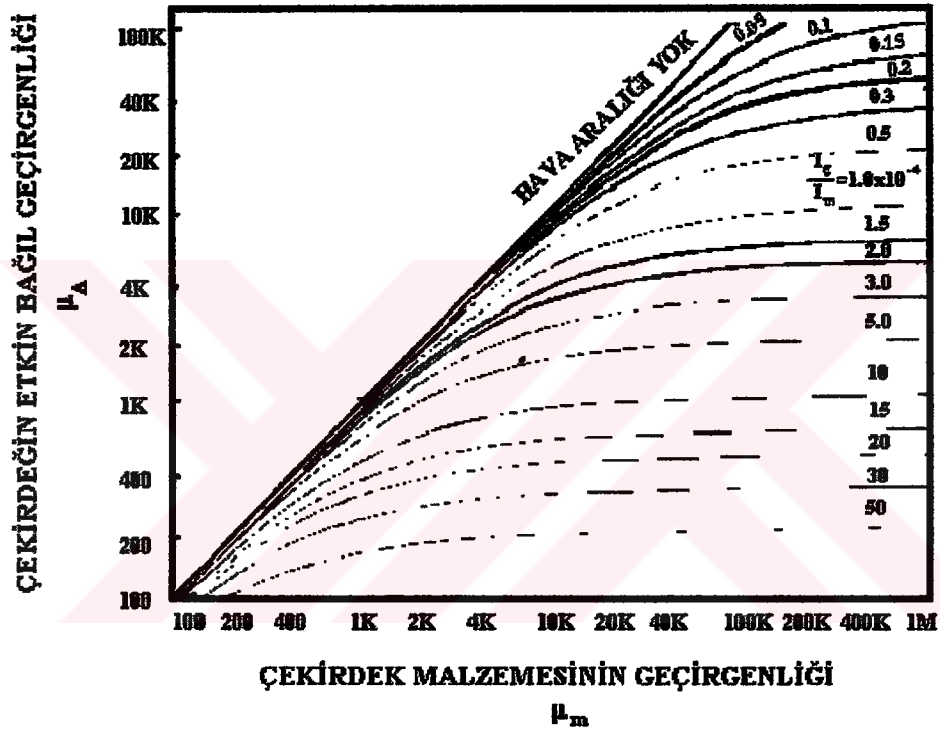
$$\frac{1}{2} LI^2 = \text{Enerji} \quad [\text{Wattt-saniye}] \quad (4.27)$$

ve

$$A_p = \left(\frac{2(Enerji) \times 10^4}{K_u B_m K_j} \right)^{1.16} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.28)$$

Burada

B_m : Maksimum akı yoğunluğu, [T], $B_{dc} + B_{ac}$



Şekil 4.22 Çekirdeğin etkin geçirgenliği-Malzemenin geçirgenliği (Arnold Engineering Co.' ya ait). [6]

4.3 Alan Çarpımı

İmalatçıların çekirdeklerine verdikleri sayısal kodlar güç kapasitesi temsil eder. Bu metotta AP alan çarpımı, A_w çerçeve alanı ve A_e çekirdek kesit alanının çarpımı ile verilir. Bu değerler boyutsal ve elektriksel özellik olarak çekirdekler hakkında pratik bilgi sağlar. C tipi çekirdeklere, toroidal band sargı çekirdeklere, laminasyonlara, ferrit

toroidlere vb.' ye ilişkin bu veriler mevcuttur. AP alan çarpımı uzunluk boyutunun 4. Kuvveti (l^4)' dir.

Alan çarpımı çekirdeğin nominal gücüyle alakalıdır. Değişken sayısının sınırlanmasıyla çekirdek alan çarpımı ile çıkış gücü arasında bir denklem elde edilebilir. Bu başlangıç çekirdek büyüklüğünün alan çarpımı cinsinden hesaplanmasına izin verir.

4.3.1 Çıkış Gücü Ve Güç Kapasitesi

Bir kullanıcının en çok ilgilendiği kısım transformatörün çıkış gücü P_o ' dur. Bir tasarımcı ise, transformatörün geometrisi ile ilgili olan güç toplamı (P_t) ile daha ilgilidir.

$$P_t = P_m + P_o \quad (4.29)$$

$$P_m = \frac{P_o}{\tau} \quad (4.30)$$

Faraday yasası kullanılarak sarım sayısı aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$N_p = \frac{V_p \times 10^4}{K_f B_m A_e f} \quad (4.31)$$

$$K_u A_w = N_p A_{lp} + N_s A_{ls} \quad (4.32)$$

K_u : çerçeve yararlanma faktörü

A_w :çerçeve alanı, cm^2

N :sarım sayısı

A_l :iletken kesiti, cm^2

Tanıma göre

$$A_l = \frac{I}{J} \quad (4.33)$$

I , etkin akım değeri

J , akım yoğunluğu, A/cm²

Denklem 4.4 yeniden düzenlenirse,

$$K_u A_w = N_p \frac{I_p}{J} + N_s \frac{I_s}{J} \quad (4.34)$$

Faraday denkleminde yerine konursa,

$$K_u A_w = \left(\frac{V_p \times 10^4}{K_f B_m A_e f} \right) \left(\frac{I_p}{J} \right) + \left(\frac{V_s \times 10^4}{K_f B_m A_e f} \right) \left(\frac{I_s}{J} \right) \quad (4.35)$$

Denklem yeniden düzenlenirse,

$$A_w A_e = \frac{(V_p I_p + V_s I_s) \times 10^4}{K_u K_f B_m A_e f} \quad (4.36)$$

Çıkış gücü P_o ,

$$P_o = V_s I_s \quad (4.37)$$

Giriş gücü P_m ,

$$P_m = V_p I_p \quad (4.38)$$

Güç kapasitesi P_t ,

$$P_t = P_m + P_o \quad (4.39)$$

$$A_w A_e = \frac{P_t \times 10^4}{K_u K_f B_m A_e f} \quad (4.40)$$

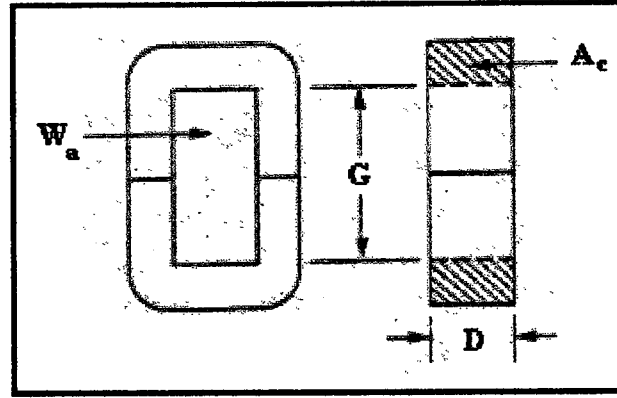
$$AP = A_w A_e \quad (4.41)$$

Böylece AP aşağıdaki gibi bulunur.

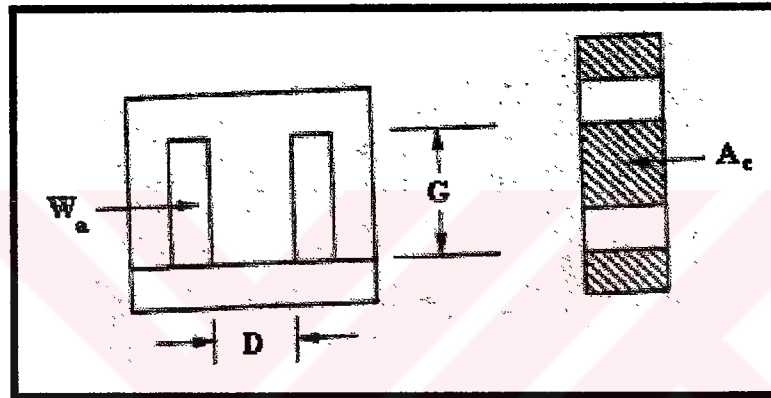
$$AP = \frac{P_t \times 10^4}{K_u K_f B_m A_e f} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.42)$$

- * K_f : Dalga şekli sabitidir. Kare dalga için değeri 4, sinüs için değeri 4.44' tür.
- * K_u : Çerçeve faydalanma faktörüdür. Çerçeve içinde bakırın kaplayabileceği maksimum alanı belirler. Değeri yaklaşık 0.4' tür.
- * J : Akım yoğunluğudur. Sıcaklık artışına bağlıdır, transformatör alan çarpımına etkisi vardır.
- * P_t : Güç kapasitesidir. Transformatörün kullanılacağı devreye göre, giriş gücü P_m ' in 2 ile 2.2.828 katıdır. Doğrultucu transformatörlerindeki akıma müdahale edilirse akımın etki değeri azalır. Bu nedenle transformatörün boyutu sadece yüke değil uygulama yöntemine de bağlıdır.

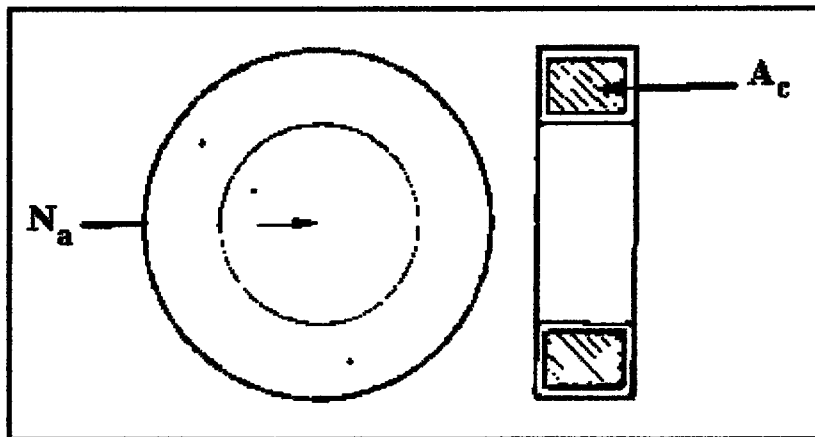
Şekil 4.23 ile Şekil 4.25' de çeşitli çekirdekler ilişkin çerçeve ve kesit alanları görülmektedir.



Şekil 4.23 C tipi çekirdek.



Şekil 4.24 EI laminasyon.



Şekil 4.25 Band sargı toroidal çekirdek.

Alan çarpımı ile çekirdek büyüklükleri arasındaki geçiş katsayılarının elde edileceği Tablo 4.2 ve 4.3' teki sütunların karşılıkları aşağıda verilmiştir.

- 1) İmalatçı kısım numarası
- 2) Yüzey alanı
- 3) Alan çarpımı
- 4) Bir bobinin ortalama sarım uzunluğu
- 5) $K_u = 0.4$ pencere faydalanma faktörü kullanılarak elde edilmiş toplam sarım sayısı ve iki bobin için tel ölçüsü
- 6) Telin $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ ' deki direnci
- 7) $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ için 25°C ortam sıcaklığındaki Watt kaybı
- 8) 6 ve 7 sütunlarından hesaplanan akım yoğunluğu
- 9) 5 ve 8 sütunlarından hesaplanan akım yoğunluğu
- 10) Telin $\Delta T = 75^\circ\text{C}$ ' deki direnci
- 11) $\Delta T = 75^\circ\text{C}$ için 75°C ortam sıcaklığındaki Watt kaybı
- 12) 10 ve 11 sütunlarından hesaplanan akım yoğunluğu
- 13) 5 ve 12 sütunlarından hesaplanan akım yoğunluğu
- 14) Çekirdek ağırlığı
- 15) Transformatör hacmi
- 16) Çekirdeğin etkin kesit alanı

Tablo 4.2 C tipi

<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>		<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>
çekirdek	A_v cm ²	AP cm ⁴	MLT cm	N	AWG	Ω (50°C)	P_z	$I = \sqrt{\frac{W}{\Omega}}$
1 AL-2	20.9	0.265	3.55	662	30	8.93	0.927	0.187
2 AL-3	23.9	0.410	4.18	662	30	10.5	0.717	0.185
3 AL-5	33.6	0.767	4.59	946	30	16.5	1.01	0.174
4 AL-6	37.5	1.011	5.23	946	30	18.8	1.13	0.172
5 AL-124	45.3	1.44	5.50	1317	30	27.5	1.36	0.157
6 AL-8	63.4	2.31	5.74	221	20	0.482	1.90	1.404
7 AL-9	69.0	3.09	6.38	221	20	0.535	2.07	1.39
8 AL-10	74.5	3.85	7.01	221	20	0.588	2.24	1.38
9 AL-12	87.0	4.57	7.09	278	20	0.748	2.61	1.32
10 AL-135	93.7	5.14	7.36	325	20	0.908	2.81	1.24
11 AL-78	98.1	6.07	7.01	312	20	0.831	2.94	1.33
12 AL-18	118	7.92	7.61	510	20	1.47	3.55	1.10
13 AL-15	120	9.07	8.05	386	20	1.18	3.58	1.23
14 AL-16	127	10.8	8.89	386	20	1.30	3.80	1.20
15 AL-17	142	14.4	10.3	386	20	1.51	4.25	1.185
16 AL-19	159	18.0	10.8	511	20	2.10	4.77	1.065
17 AL-20	182	22.6	11.5	511	20	2.23	5.46	1.106
18 AL-22	202	28.0	11.5	637	20	2.78	6.05	1.043
19 AL-23	220	34.9	12.7	637	20	3.07	6.60	1.036
20 AL-24	245	40.0	12.0	948	20	4.32	7.35	0.922

<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>		<u>15</u>	<u>16</u>
$\frac{\Delta T}{J=I/cm^2}$ (25°C)	Ω (75°C)	P_z	$I = \sqrt{\frac{W}{\Omega}}$	$\frac{\Delta T}{J=I/cm^2}$ (25°C)	<u>AĞIRLIK</u>		<u>HACİM</u>	A_c cm ²
					Fe	Cu	cm ³	
370	9.81	1.46	0.273	538	12.2	11.1	7.14	0.265
365	11.5	1.67	0.269	531	18.1	13.1	8.92	0.410
345	18.1	2.35	0.255	503	31.3	20.5	14.06	0.539
341	20.6	2.63	0.253	490	41.7	23.4	16.88	0.716
310	30.2	3.17	0.229	452	46.6	34.2	22.50	0.716
271	0.529	4.44	2.05	395	67.9	60.0	35.66	0.806
268	0.587	4.83	2.03	391	89.2	66.6	41.62	1.077
266	0.646	5.22	2.01	387	110.0	73.2	47.55	1.342
255	0.821	6.09	1.93	371	111.0	93.2	61.38	1.26
240	0.997	6.56	1.81	345	114.0	113.0	69.63	1.26
256	0.912	6.87	1.94	374	155.0	103.0	62.83	1.34
211	1.61	8.26	1.60	308	138.0	183.0	94.79	1.25
237	1.30	8.40	1.79	346	205.0	147.0	94.43	1.80
233	1.43	8.89	1.76	340	235.0	162.0	104.95	2.15
228	1.66	9.94	1.73	333	314.0	188.0	124.94	2.87
205	2.31	11.1	1.55	299	328.0	261.0	155.44	2.87
213	2.45	12.7	1.61	310	437.0	278.0	187.08	3.58
201	3.05	14.1	1.52	293	489.0	346.0	212.04	3.58
200	3.37	15.4	1.51	291	612.0	382.0	244.67	4.48
178	4.74	17.1	1.35	259	552.0	538.0	280.91	3.58

Tablo 4.3 Band sargı toroidal

<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>		<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>
çekirdek	A_v cm ²	AP cm ⁴	MLT cm	N	AWG	Ω (50 ⁰ C)	P_z	$I = \sqrt{\frac{W}{\Omega}}$
1 52402	7.26	0.0100	2.05	302	30	2.35	0.218	0.215
2 52153	8.29	0.0196	2.22	302	30	2.54	0.249	0.221
3 52107	11.1	0.0201	2.21	606	30	5.09	0.333	0.180
4 52403	13.5	0.0267	2.30	621	30	5.43	0.405	0.193
5 52027	17.4	0.0659	2.53	1017	30	9.78	0.522	0.163
6 52000	15.2	0.0787	2.70	606	30	6.22	0.456	0.191
7 52063	20.7	0.132	2.85	1017	30	11.0	0.621	0.167
8 52002	21.8	0.144	2.88	1114	30	12.2	0.654	0.163
9 52007	27.6	0.380	3.87	982	30	14.4	0.828	0.169
10 52167	31.5	0.516	4.23	1000	30	16.1	0.945	0.171
11 52094	30.4	0.592	4.47	1017	30	17.3	0.912	0.162
12 52004	46.1	0.725	4.02	315	20	0.469	1.38	1.20
13 52032	56.5	1.46	4.65	315	20	0.543	1.69	1.25
14 52026	61.0	2.18	5.28	315	20	0.616	1.83	1.22
15 52038	65.9	2.91	5.97	315	20	0.697	1.98	1.19
16 52035	88.9	4.68	6.33	505	20	1.19	2.67	1.06

9	10	11	12	13	14		15	16
$\frac{\Delta T}{J=I/cm^2}$ (25°C)	Ω (75°C)	P_z	$I = \sqrt{\frac{W}{\Omega}}$	$\frac{\Delta T}{J=I/cm^2}$ (25°C)	AĞIRLIK		HACİM	A_c cm ²
					Fe	Cu	cm ³	
425	2.58	0.508	0.313	619	0.63	3.12	1.42	0.022
436	2.80	0.580	0.322	636	1.31	3.29	1.71	0.043
357	5.59	0.777	0.263	520	0.80	6.84	2.63	0.022
381	5.96	0.945	0.281	556	0.88	9.52	3.48	0.022
322	10.7	1.22	0.238	471	2.05	13.1	4.98	0.043
378	6.82	1.06	0.278	550	3.73	7.97	3.99	0.086
331	12.1	1.45	0.244	483	4.47	14.4	6.20	0.086
323	13.4	1.53	0.239	472	4.62	16.0	6.72	0.086
334	15.8	1.93	0.246	487	14.5	17.7	9.84	0.257
338	17.6	2.21	0.250	494	20.9	19.0	11.9	0.343
321	19.0	2.13	0.237	468	21.8	21.0	12.2	0.386
234	0.515	3.23	1.77	341	13.4	56.8	21.3	0.171
240	0.596	3.95	1.82	351	29.8	63.7	27.8	0.343
235	0.676	4.27	1.77	342	44.7	71.3	32.8	0.514
230	0.765	4.61	1.74	334	59.6	79.4	38.3	0.686
204	1.3	6.22	1.55	298	71.5	138.0	59.0	0.686

4.3.2 Transformatör Hacmi ve AP

Bir transformatörün hacmi, transformatörün AP değeri ile ilişkilidir. Şekil 4.26' de toroidal bir çekirdeğin, Şekil 4.27' de da C tipi bir çekirdeğin hacmi gösterilmektedir. Hacim herhangi bir doğrusal boyutu simgeleyen l nin küpü ile değişir. AP ise l nin 4. kuvvetiyle değişir.

$$Hacim = K_1 l^3 \quad (4.43)$$

$$AP = K_2 l^4 \quad (4.44)$$

$$l^4 = \frac{AP}{K_2} \quad (4.45)$$

$$l = \left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.25} \quad (4.46)$$

$$Hacim = K_1 \left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.75} \quad (4.47)$$

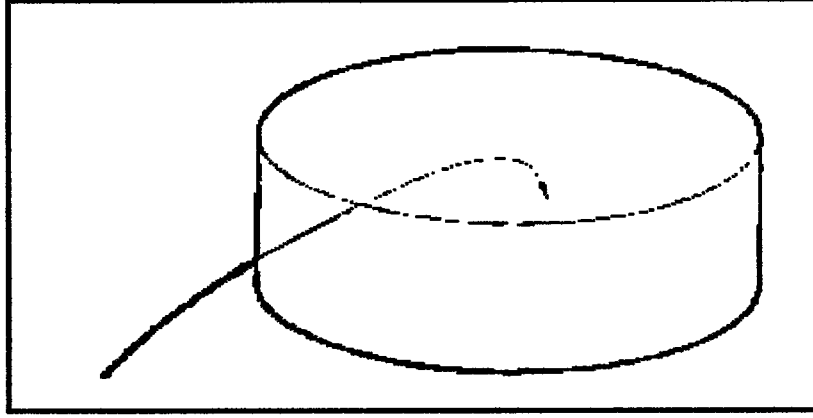
$$K_v = \frac{K_1}{K_2^{0.75}} \quad (4.48)$$

$$Hacim = K_v (AP)^{0.75} \quad (4.49)$$

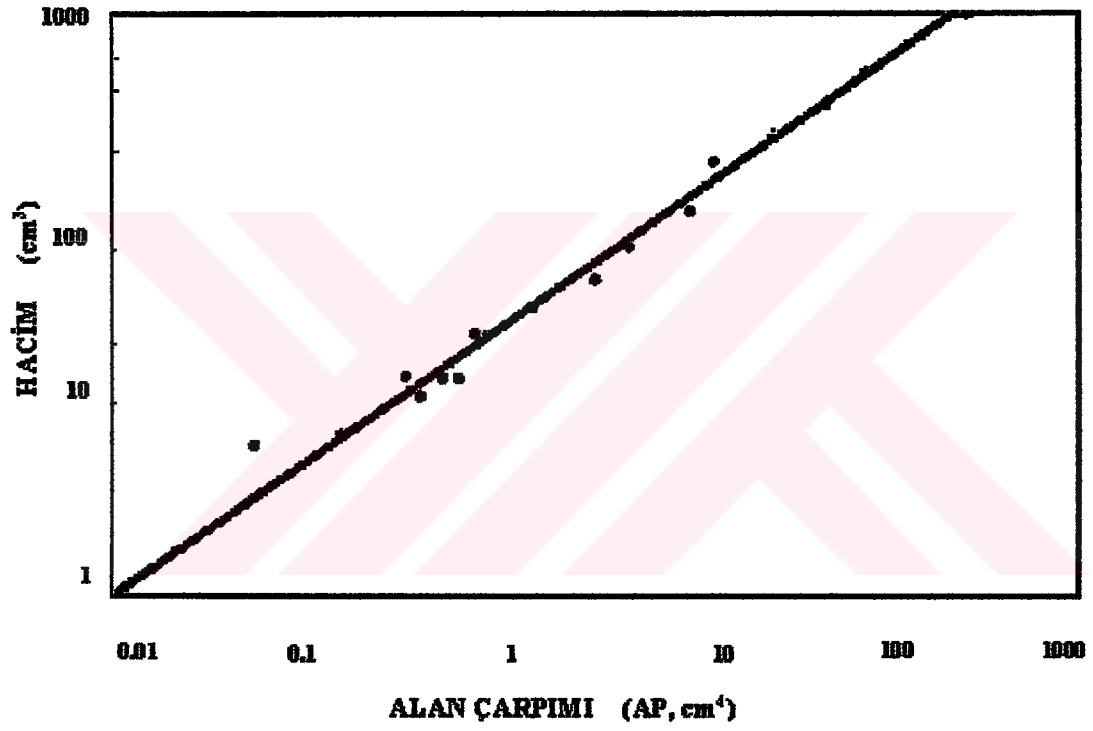
K_v çekirdeğin yapısına bağlı olarak Tablo 4.4' te görüldüğü üzere sabittir. Bu sabit değerler Tablo 4.2 ve 4.3' teki değerlerin ortalaması alınarak bulunur.

Tablo 4.4 Çekirdeğin yapısına göre K_v sabiti

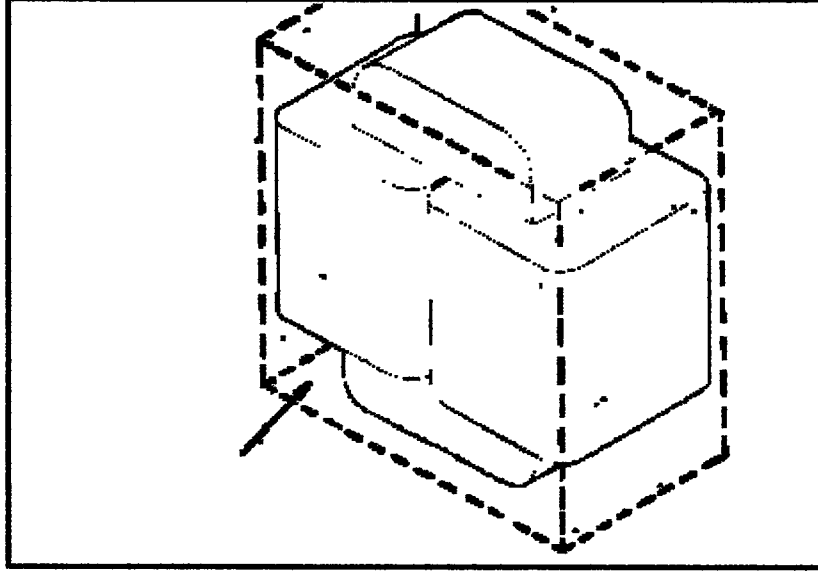
Çekirdek tipi	K_v
Band sargı toroidal çekirdek	25
C tipi çekirdek	17.6



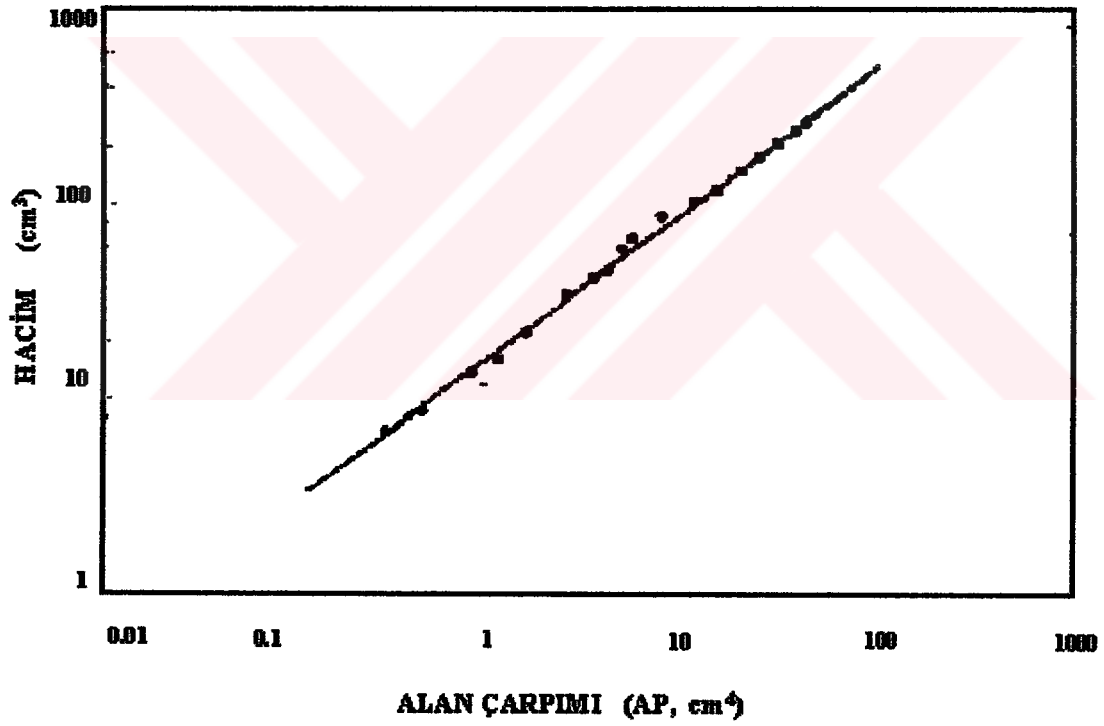
Şekil 4.26 Band sargı toroidal çekirdek hacmi.



Şekil 4.27 Band sargı toroidal çekirdekte hacim ve alan çarpımı.



Şekil 4.28 C tipi çekirdeğin hacmi.



Şekil 4.29 C tipi çekirdekte hacim ve alan çarpımı.

4.3.3 Transformatör Ağırlığı ve AP

Transformatörün toplam ağırlığı W_t , AP ' ye bağlı olarak yazılabilir. Ağırlık W_t herhangi bir doğrusal boyutun, l , küpüyle orantılı değişir. AP alan çarpımı ise 4. dereceden kuvvet ile değişir.

$$W_t = K_3 l^3 \quad (4.50)$$

$$AP = K_2 l^4 \quad (4.51)$$

$$l^4 = \frac{AP}{K_2} \quad (4.52)$$

$$l = \left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.25} \quad (4.53)$$

$$l^3 = \left[\left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.25} \right]^3 = \left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.75} \quad (4.54)$$

$$W_t = K_3 \left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.75} \quad (4.55)$$

$$K_w = \frac{K_3}{K_2^{0.75}} \quad (4.56)$$

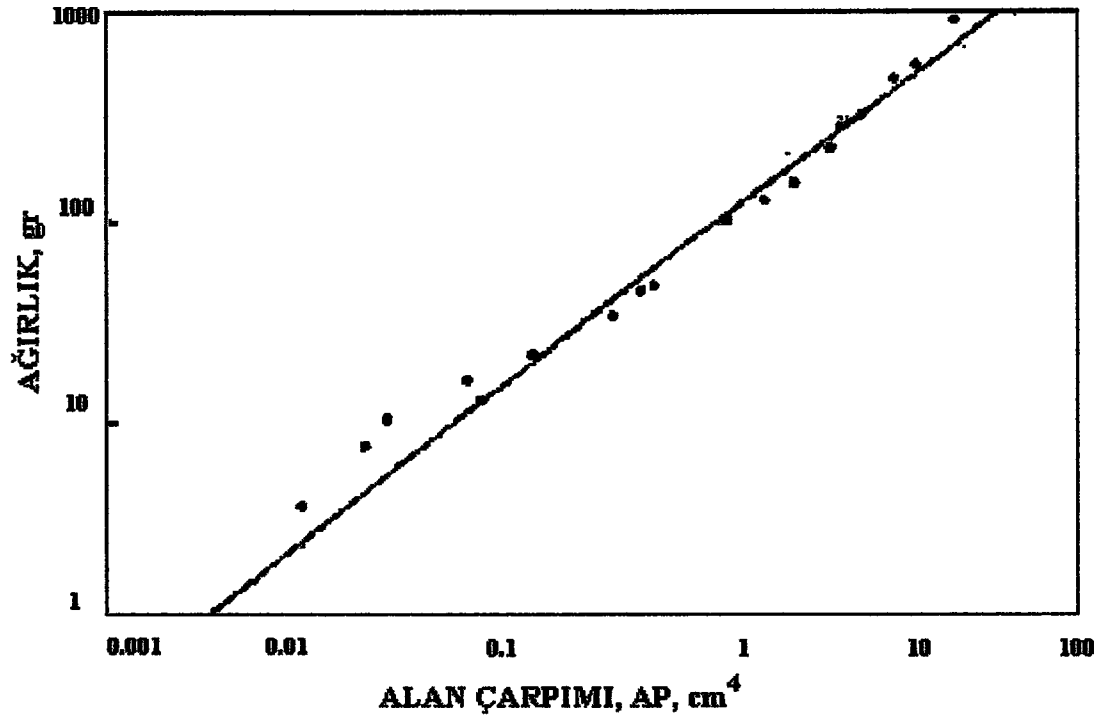
Buradan ağırlık ve alan çarpımı arasındaki ilişki:

$$W_t = K_w (AP)^{0.75} \quad (4.57)$$

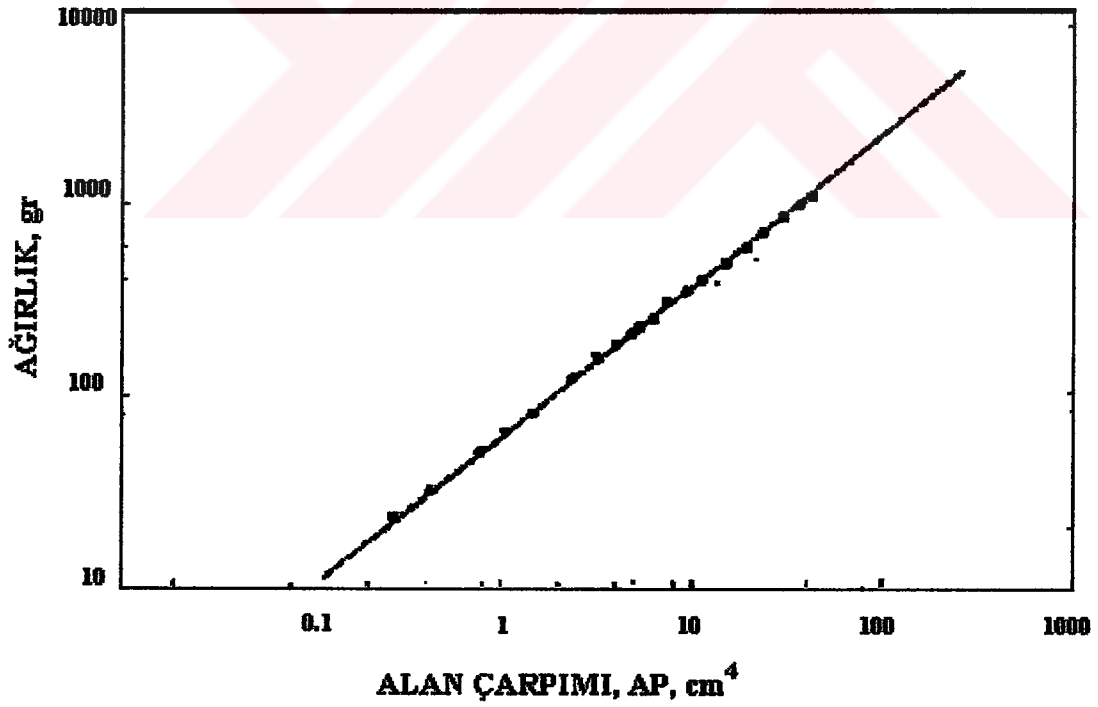
Tablo 4.5 K_w sabiti

Çekirdek tipi	K_w
Band sargı toroidal çekirdek	82.3
C tipi çekirdek	66.6

Şekil 4.30 ve 4.31' de alan çarpımıyla ile ağırlık değişimi için iki tip gösterilmektedir.



Şekil 4.30 Band sargı toroidal çekirdekte toplam ağırlık ve alan çarpımı.



Şekil 4.31 C tipi çekirdekte toplam ağırlık ve alan çarpımı.

4.3.4 Transformatör Yüzey Alanı ve AP

Transformatörün yüzey alanı, A_t , ve alan çarpımı arasındaki ilişkiyi elde etmek için Şekil 4.32 ve 4.15 kullanılır. Yüzey alanı l doğrusal boyutunun karesiyle, alan çarpımı l doğrusal boyutunun 5. kuvvetiyle değişir.

$$A_t = K_4 l^2 \quad (4.58)$$

$$AP = K_2 l^4 \quad (4.59)$$

$$l^4 = \frac{AP}{K_2} \quad (4.32)$$

$$l = \left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.25} \quad (4.33)$$

$$l^2 = \left[\left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.25} \right]^2 = \left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.5} \quad (4.34)$$

$$A_t = K_4 \left(\frac{AP}{K_2} \right)^{0.5} \quad (4.35)$$

$$K_s = \frac{K_4}{K_2^{0.5}} \quad (4.36)$$

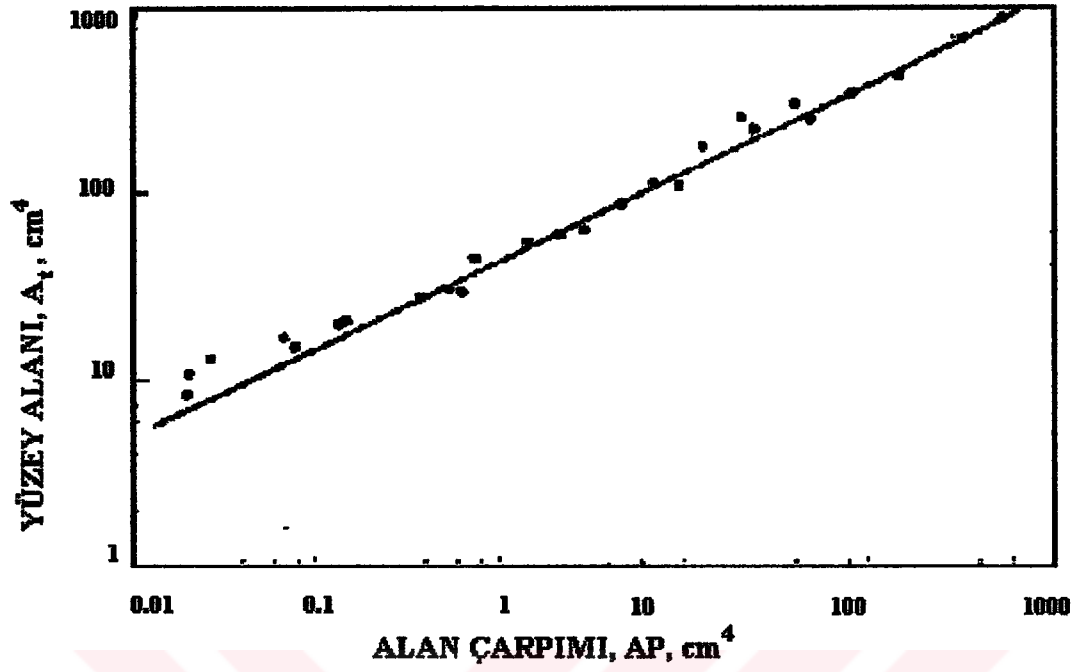
Buradan yüzey alanı ve alan çarpımı arasındaki ilişki:

$$A_t = K_s (AP)^{0.5} \quad (4.37)$$

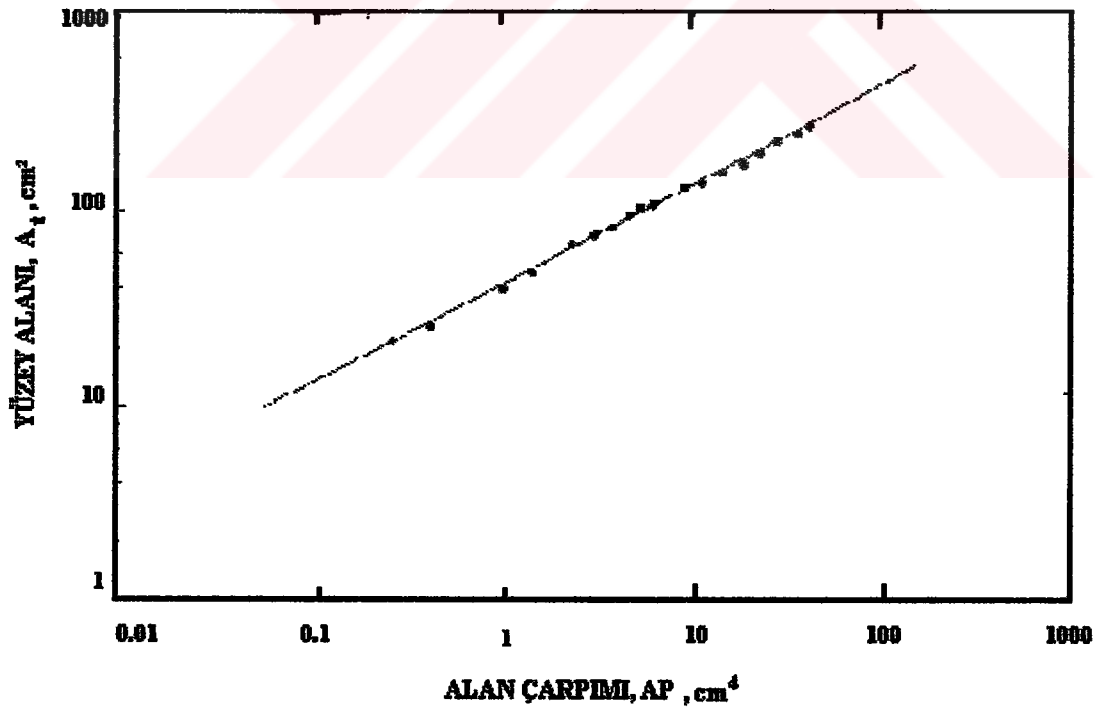
Tablo 4.6 K_s sabiti

Çekirdek tipi	K_s
Band sargı toroidal çekirdek	50.9
C tipi çekirdek	39.2

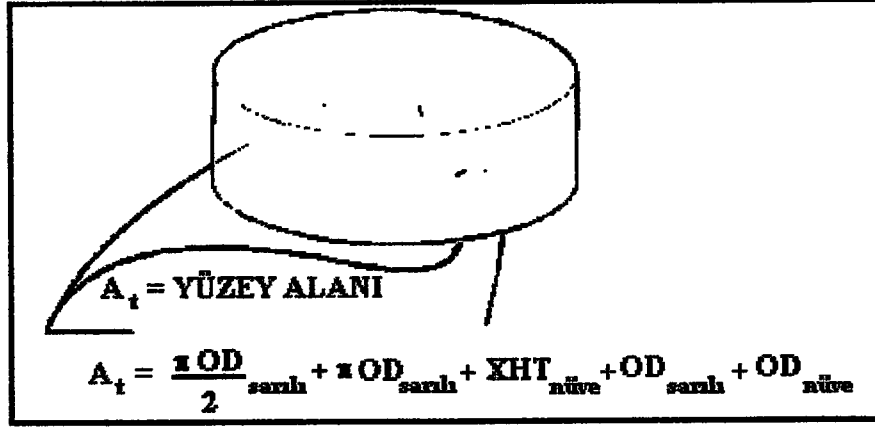
Şekil 4.32 ve 4.15, Tablo 4.2 ve 4.3 kullanılarak elde edilir.



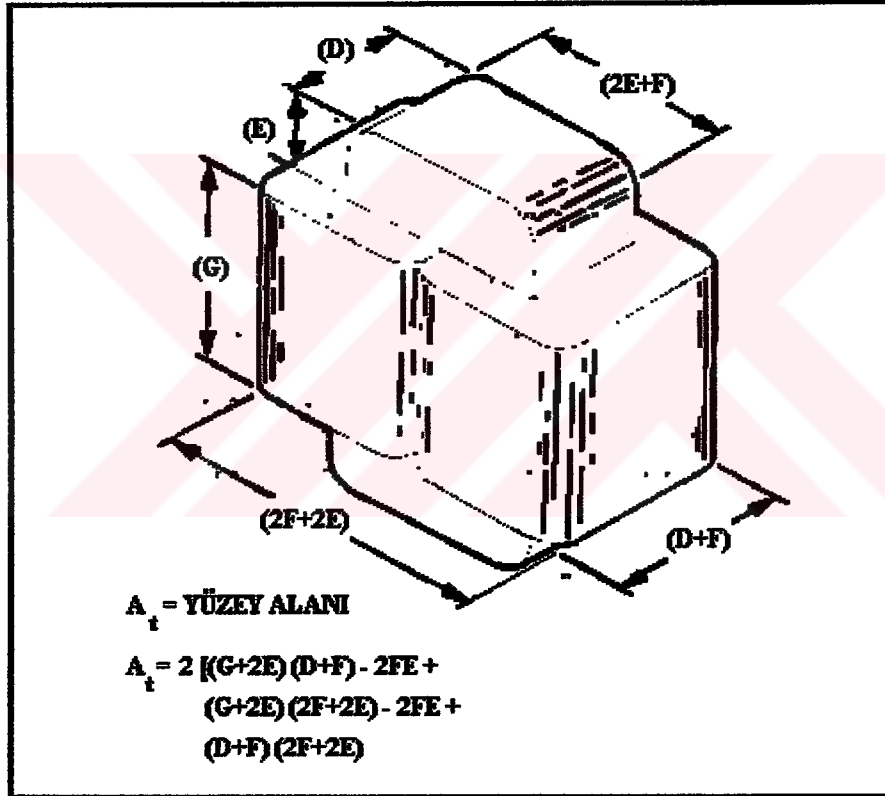
Şekil 4.32 Band sargı toroidal çekirdekte yüzey alanı ve alan çarpımı.



Şekil 4.33 C tipi çekirdekte yüzey alanı ve alan çarpımı.



Şekil 4.34 Band sargı toroidal çekirdekte yüzey alanı hesabı.



Şekil 4.35 C tipi çekirdekte yüzey alanı hesabı.

4.3.5 Transformatör Akım Yoğunluğu Ve AP

Alan çarpımını bulmak için akım yoğunluğu bir şekilde saptanması gerektiğinden ve AP de transformatör boyutunu belirlediğinden akım yoğunluğu-alan çarpımı ilişkisi bu

kısımda incelenecektir. Bir transformatörün akım yoğunluğu J , AP alan çarpımıyla verilen bir sıcaklık için ilişkilendirilebilir.

$$P_{cu} = I^2 R \quad (4.38)$$

$$I = A_l J \quad (4.39)$$

$$P_{cu} = A_l^2 J^2 R \quad (4.40)$$

$$R = \frac{MLT}{A_l} N \rho \quad (4.41)$$

$$R = A_l^2 J^2 \frac{MLT}{A_l} N \rho \quad (4.42)$$

MLT uzunluk boyutunda olduğundan

$$MLT = K_5 A_p^{0.25} \quad (4.43)$$

$$P_{cu} = A_l J^2 K_5 A_p^{0.25} N \rho \quad (4.44)$$

$$A_l N = K_3 A_w = K_6 A_p^{0.5} \quad (4.45)$$

$$P_{cu} = K_6 A_p^{0.5} K_5 A_p^{0.25} J^2 \rho \quad (4.46)$$

$$K_7 = K_6 K_5 \rho \quad (4.47)$$

Çekirdek kaybının ve bakır kaybının aynı olduğu varsayımıyla;

$$P_{cu} = K_7 (AP)^{0.75} J^2 = P_{fe} \quad (4.48)$$

$$P_{loss} = P_{cu} + P_{fe} \quad (4.49)$$

$$\Delta T = K_8 \frac{P_{loss}}{A_t} \quad (4.50)$$

$$\Delta T = \frac{2K_8 K_7 J^2 (AP)^{0.75}}{K_s A_p^{0.5}} \quad (4.51)$$

İfadeyi sadeleştirmek için

$$K_9 = \frac{2K_8 K_7}{K_s} \quad (4.52)$$

$$\Delta T = K_9 J^2 (AP)^{0.25} \quad (4.53)$$

$$J^2 = \frac{\Delta T}{K_9 (AP)^{0.25}} \quad (4.54)$$

$$K_{10} = \frac{\Delta T}{K_9} \quad (4.55)$$

$$J^2 = K_{10} (AP)^{-0.25} \quad (4.56)$$

Burada akım yoğunluğu alan çarpımı arasındaki ilişki

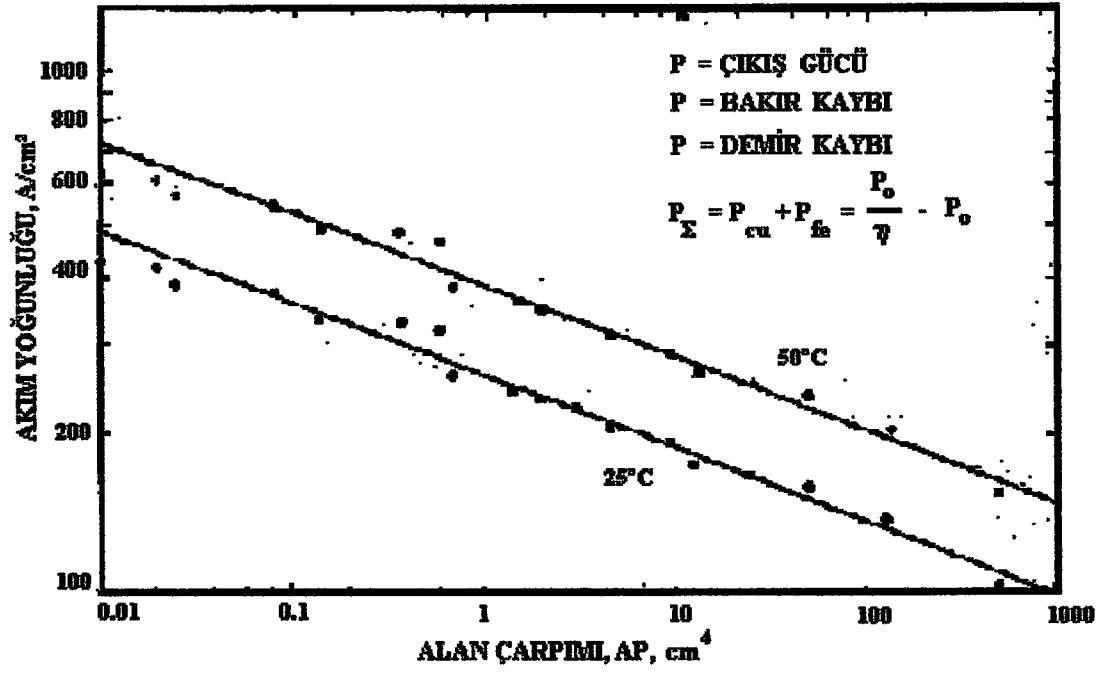
$$J = K_j (AP)^{-0.125} \quad (4.57)$$

K_j çekirdek yapısına bağlı bir sabittir.

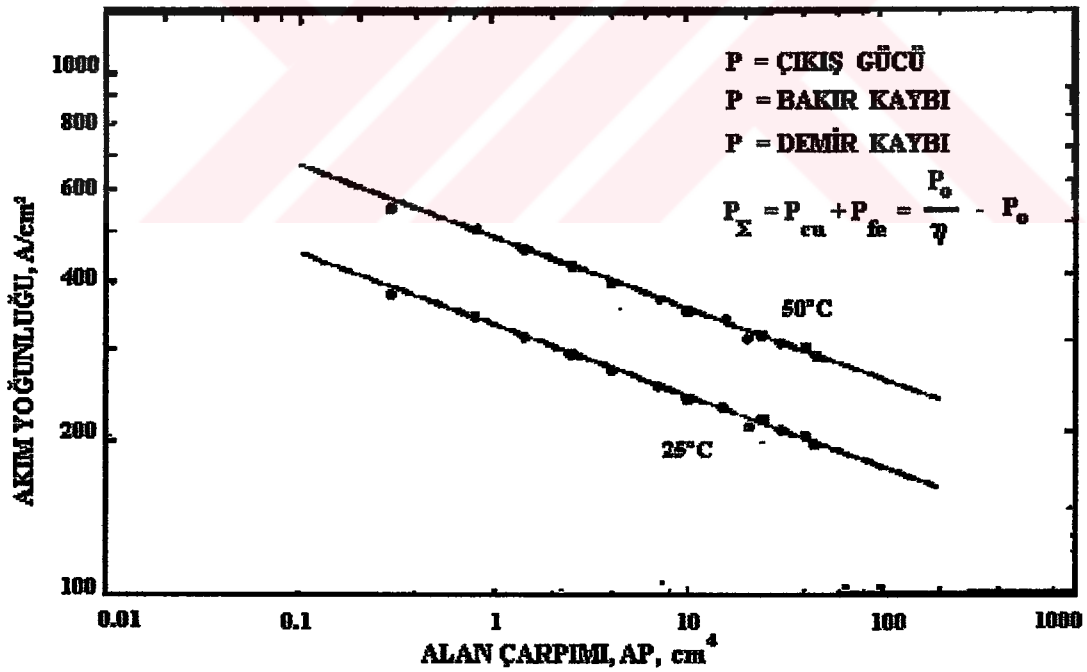
Tablo 4.7 K_j sabiti

Çekirdek tipi	$K_j (\Delta 25^\circ C)$	$K_j (\Delta 25^\circ C)$
Band sargı toroidal çekirdek	250	365
C tipi çekirdek	322	468

Akım yoğunluğuyla alan çarpımı arasındaki ilişki Şekil 4.36 ve 4.19' da gösterilmiştir.



Şekil 4.36 Band sargı toroidal çekirdekte 25°C ve 50°C sıcaklıkta akım yoğunluğu ve alan çarpımı.



Şekil 4.37 C tipi çekirdekte 25°C ve 50°C sıcaklıkta akım yoğunluğu ve alan çarpımı.

[1].

4.3.6 AP ile İndüktör Enerji Tutma Kapasitesi Arasındaki İlişki

İndüktörün tasarımında alan çarpımı AP, transformatörün aksine güçten değil enerjiden hesaplanmaktadır. İnduktans ve DA akım hesaplandıktan sonra verilen $LI^2/2$ için uygun büyüklükte bir çekirdek seçilir. Bir indüktörün enerji tutma kapasitesi onun alan çarpımından bulunabilir, $A_p=A_wA_c$. Burada

A_w : mevcut çekirdeğin çerçeve alanı, cm^2

A_c : çekirdeğin etkin kesit çerçeve alanı, cm^2

$A_p=A_wA_c$ alan çarpımı $E=L \, dI/dt$ nin çözülmesiyle elde edilebilir.

$$E = L \frac{dI}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} \quad (4.58)$$

$$L = N \frac{d\phi}{dI} \quad (4.59)$$

$$\phi = B_m A_c' \quad (4.60)$$

$$B_m = \frac{\mu_o NI}{l_g' + l_m' / \mu_r} \quad (4.61)$$

$$\phi = \frac{\mu_o N I A_c'}{l_g' + l_m' / \mu_r} \quad (4.62)$$

$$\frac{d\phi}{dI} = \frac{\mu_o N A_c'}{l_g' + l_m' / \mu_r} \quad (4.63)$$

$$L = N \frac{d\phi}{dI} = \frac{\mu_o N^2 A_c'}{l_g' + l_m' / \mu_r} \quad (4.64)$$

$$Enerji = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{\mu_o N^2 A_c' I^2}{2(l_g' + l_m' / \mu_r)} \quad (4.65)$$

Denklem 4.61' den

$$I = \frac{B_m(l_g' + l_m' / \mu_r)}{\mu_o N} \quad (4.66)$$

$$Enerji = \frac{\mu_o N^2 A_c'}{2(l_g' + l_m' / \mu_r)} \left(\frac{B_m(l_g' + l_m' / \mu_r)}{\mu_o N} \right)^2 \quad (4.67)$$

$$Enerji = \frac{B_m^2(l_g' + l_m' / \mu_r) A_c'}{2\mu_o} \quad (4.68)$$

$$I = \frac{K_u A_w' J'}{N} = \frac{B_m(l_g' + l_m' / \mu_r)}{\mu_o N} \quad (4.69)$$

Buradan

$$l_g' + \frac{l_m'}{\mu_r} = \frac{\mu_o K_u A_w' J'}{B_m} \quad (4.70)$$

$$Enerji = \frac{B_m^2(\mu_o K_u A_w' J' / B_m) A_c'}{2\mu_o} \quad (4.71)$$

$$Enerji = \frac{B_m K_u A_w' A_c' J'}{2} \quad (4.72)$$

Burada

A_w : Çerçeve alanı, cm² $A_w' = A_w \times 10^{-4}$

A_c : Çekirdek alanı, cm^2 $A_c' = A_c \times 10^{-4}$

J : Akım Yoğunluğu, A/cm^2 $J' = J \times 10^4$

H : Manyetikleme kuvveti, A-sarım/cm $H' = H \times 10^4$

l_g : Hava aralığı, cm $l_g' = l_g \times 10^{-2}$

l_m : Manyetik yol uzunluğu, cm $l_m' = l_m \times 10^{-2}$

Bu durumda Denklem 4.72 yeniden düzenlenirse

$$\text{Enerji} = \frac{B_m K_u A_w A_c J}{2} \times 10^{-4} \quad (4.73)$$

$A_p = A_w A_c$ olduğuna göre

$$A_p = \frac{2(\text{Enerji})}{B_m J K_u} \times 10^4 \quad (4.74)$$

$$J = K_j A_p^{-0.14} \quad (4.75)$$

Yukarıdaki bağıntı kullanılırsa,

$$A_p = \frac{2(\text{Enerji}) \times 10^4}{B_m K_u (K_j A_p^{-0.14})} \quad (4.76)$$

$$A_p^{0.86} = \frac{2(\text{Enerji}) \times 10^4}{B_m K_u K_j} \quad (4.77)$$

$$A_p = \left(\frac{2(\text{Enerji}) \times 10^4}{K_u B_m K_j} \right)^{1.16} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.78)$$

Burada

K_j : Akım yoğunluk katsayısı

K_u : Çerçeve faydalanma faktörü

B_m : Akı yoğunluğu, [T]

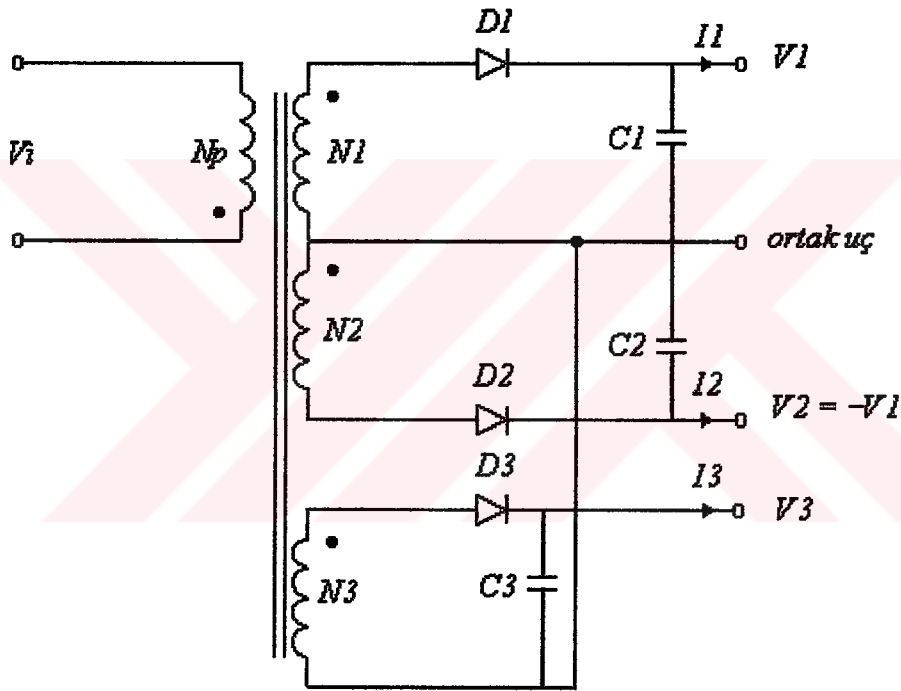
***Enerji*: [Watt-saniye]. [6].**



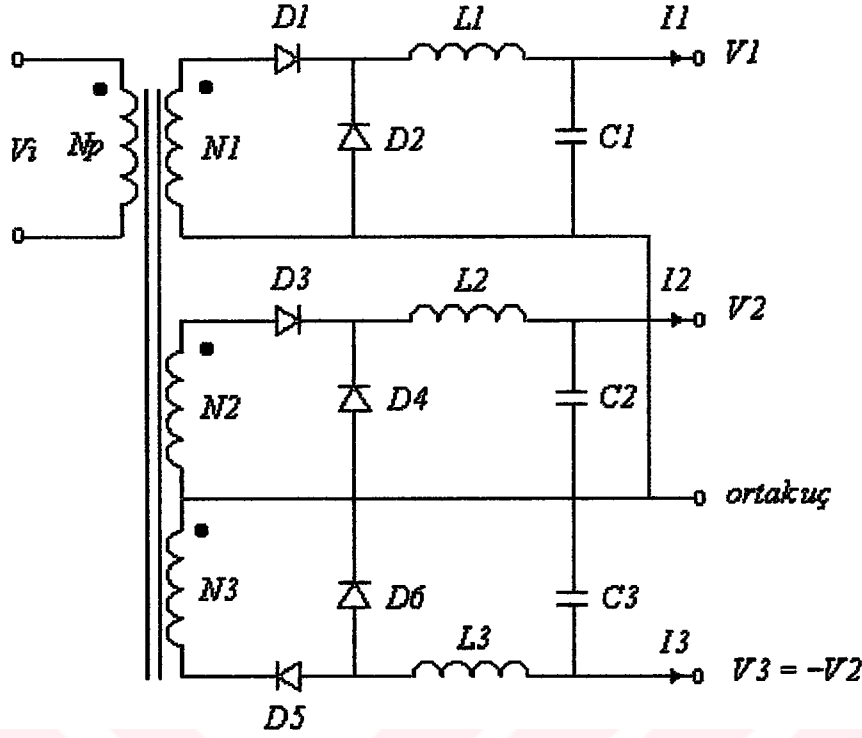
5. TASARIM ALGORİTMASI VE TASARIM PROGRAMI

5.1 Transformatör Tasarım Algoritması

Bu çalışmada tasarlanacak flyback ve forward çeviricilere ilişkin endüktif elemanlar aşağıdaki devreleri temel almaktadır.



Şekil 5.1 Tasarımda ele alınacak çok çıkışlı flyback çevirici.



Şekil 5.2 Tasarımda ele alınacak çok çıkışlı forward çevirici.

Tasarım aşamaları iki devre için ortak olarak verilmektedir. Prosedürdeki farklılıklar sırası ile verilmektedir.

5.1.1 Verilerin Girilmesi

Öncelikle, söz konusu devreye ilişkin istenen büyüklükler alınır. Frekans [kHz], %Bm/Bsat oranı, çıkış gerilimleri V_1 , V_2 , V_3 [V], çıkış akımları I_1 , I_2 , I_3 [A],

Flyback çevirici özel olarak: Giriş gerilimi V_i [V]

Forward çevirici özel olarak: Etkin giriş gerilimi V_{rms} , minimum giriş gerilimi V_{min} , maksimum giriş gerilimi V_{max} [V] değerleri girilir.

Bu aşamada hesaplamalar başlar.

5.1.2 Hesaplamalar

Adım 1: Çekirdek boyutunun belirlenmesi

Çekirdek boyutunun belirlenmesinde ilk adım AP alan çarpımı teriminin elde edilmesidir.

$$AP = \left[\frac{P_t \times 10^4}{K_f K_u B_m T_s f} \right]^{1/0.875} [\text{cm}^4] \quad (5.1)$$

Burada

$$P_t = \text{giriş gücü} + \text{çıkış gücü} [\text{W}] = P_{out} \times (1 + 1/\eta)$$

$$P_{out} \text{ çıkış gücü} [\text{W}] = |V_1 I_1| + |V_2 I_2| + |V_3 I_3|$$

η varsayılan verim (hesaplamalarda 0.85 olarak alınacaktır)

$$K_f = 0.193768$$

$$K_u = 4$$

B_m çalışma indüksiyonu

T_s sıcaklığa bağlı katsayı (25°C için 322, 50°C için 468)

Tablo 4.2' den hesaplanan AP değerine en yakının karşılıklarından çekirdeğin boyutları bulunur.

Bölüm 4.3.2 ve 4.3.3' te belirtilen AP ilişkileriyle çekirdeğe ilişkin hacim, ağırlık bulunur.

Adım 2: Maksimum İletim Süresinin Bulunması

$T = 1/f$ [μs] (T : periyot). Hesaplamalarda çalışma oranı $k=0.5$ alınır. Dolayısıyla, maksimum iletim süresi $t_{onmax}=t_{on}=T/2$ [μs] bulunur. Flyback çevirici halinde $0.5 \mu s$ 'lik bir tolerans verilir ($t_{onmax}=t_{on}-0.5$).

Adım 3: Yaklaşık DA Geriliminin (V_{cc}) Bulunması

$$V_{cc} = V_i \times 1.3 \times 1.9 \quad [V] \quad (5.2)$$

Forward çeviricide V_i yerine V_{rms} hat giriş gerilimi kullanılır.

Adım 4: Çekirdeğin Minimum Kesit Alanı

A_e [cm^2] Tablo 4.2' den elde edilir. Bu aşamadan sonra sarım sayılarının hesabına geçilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta sarım sayılarının tam sayıya yuvarlanmasıdır.

Adım 5: Minimum Birincil Sarım Sayısı

Minimum birincil sarım sayısı

$$N_p = \frac{V_{cc} \times t_{onmax}}{B_m \times A_e} \quad [\text{sarım}] \quad (5.3)$$

bağıntısıyla bulunur. Forward çeviricide yukarıdaki işlemten sonra

$$N_p' = \frac{V_{cc} \times N_1}{V_{s1}} \quad [\text{sarım}] \quad (5.4)$$

şeklinde bir düzeltme yapılır (Bkz. Adım 6).

Bu aşamada flyback ve forward çeviricilerin tasarımını ayırmak zorundayız.

Adım 6: İkincil Sarım Sayıları

i. Flyback çevirici için

1. Çıkış

Transformatörün ikincil tarafındaki gerilim

$$V_{s1} = V_1 + 12 \quad [\text{V}] \quad (5.5a)$$

ii. Forward çevirici için

1. Çıkış

Transformatörün ikincil tarafındaki gerilim

$$V_{s1} = 2 \times V_1 + 1 \quad [\text{V}] \quad (5.5b)$$

V_1 : 1. Çıkış gerilimi [V]

0.7V diyoddaki gerilim düşümü + 0.5V
diğer ara gerilim düşümleri = 1.2V

Devre topolojisi nedeniyle $V_1 = \frac{V_{s1} \times t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$
($t_{on} = t_{off} = T/2$) ve 1V diyod ve
indüktördeki gerilim düşümü

$$N_1 = \frac{V_{s1}}{V_{cc}/N_p} \quad [\text{sarım}] \quad (5.6)$$

2. ve 3. Çıkışlar

$$V_{s2} = V_2(-V_3) + 1 \quad [\text{V}] \quad (5.7a)$$

$$V_{s2} = 2 \times V_2(-V_3) + 1 \quad [\text{V}] \quad (5.7b)$$

V_2, V_3 : 2.,3. Çıkış gerilimleri [V]

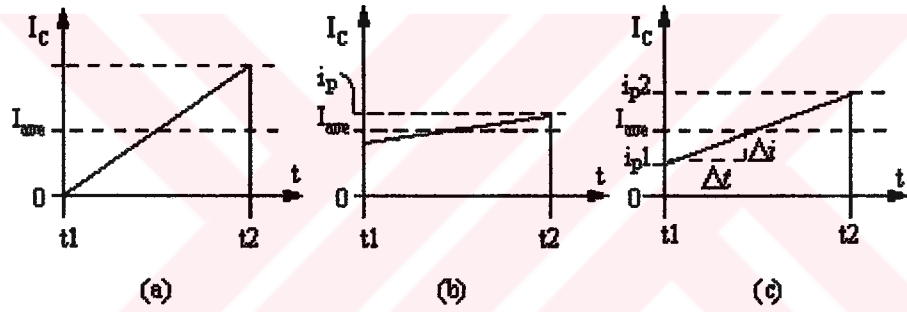
1V diyoddaki gerilim düşümü

$$N_2 = N_3 = \frac{V_{s2}}{V_{s1}/N_1} \quad [\text{sarım}] \quad (5.8)$$

Adım 7: Hava Aralığının Hesabı

i. Flyback çevirici için

Şekil 5.3a tam enerji transferidir. Bu kullanılabilir, bununla beraber, aktarılan aynı enerji değeri için tepe akımları çok yüksektir. Bu çalışma modu anahtarlama transistörlerinde, çıkış diyotlarında, kondansatörlerinde en büyük kayıplara ve transformatörün kendisinde en büyük I^2R kaybına (bakır kaybına) neden olur. Şekil 5.3b eksik transfer modunda düşük akım eğimli yüksek bir endüktansa sahip olmanın sonuçlarını göstermektedir. Her ne kadar, bu kesinlikle en küçük kaybı verse de, büyük DA mıknatıslanma bileşeni ve yüksek çekirdek manyetik geçirgenliği pek çok ferrit malzemede çekirdek doymasıyla sonuçlanır. Şekil 5.3c kabul edilebilir tepe akımlı ve tepe değerin üçte birine değerindeki efektif DA bileşenli iyi bir orta yolu göstermektedir. Akım darbesinin başlangıcında iyi gürültü toleransı verdiği (akım modu kontrolünde önemlidir), yeterli aralık boyutlu çekirdekten iyi faydalandığı ve yeterli genel verimi için bunun pratikte de iyi bir seçim olduğu görülmüştür.



Şekil 5.3 Flyback çeviricilerdeki birincil akım dalga şekilleri. (a) Tam enerji transferi modu. (b) Eksik enerji transferi modu. (c) Eksik enerji transferi modu (optimum birincil endüktans).

Şekil 5.3' i kullanarak, dalga şeklinin eğiminden birincil endüktans bulunabilir.

$$V_{cc} = L_p \cdot \frac{\Delta i_c}{\Delta t} \quad (5.9)$$

$$i_{p2} = 3i_{p1}$$

Dolayısıyla,

I_m (“iletim” periyoduna ilişkin ortalama akım) = $2 \cdot i_{p1}$

$$I_a = \frac{\text{aktarılan güç}}{V_{cc}} \quad (5.10)$$

$$I_m = \frac{I_a \times t_{on}'}{T} \quad (5.11)$$

$$t_{on}' = \frac{T \times \frac{V_{s1}}{N_1}}{\frac{V_{s1}}{N_1} + \frac{V_{cc}}{N_p}} \quad (5.12)$$

$$L_{p1} = \frac{V_{cc} \times t_{on}'}{I_m} \cdot 10^{-3} \quad (5.13)$$

$$\alpha = \frac{\mu_r \times N_p^2 \times A_e}{L_p} \quad (5.14)$$

ii. Forward çevirici için

Yaklaşık 2.5×10^{-3} inç alınır.

Bu da

$$\alpha = 25.4 \times 2.5 \cdot 10^{-3} = 63.5 \cdot 10^{-3} \text{ [mm]}$$

Adım 8: Birincil Taraftaki Kabloların Seçimi Ve Bakır Kaybının Hesabı

Kablo Kesiti

$$A_t = I / J \text{ [cm}^2\text{]} \quad (5.15)$$

J : akım yoğunluğu [A/cm²] $J = K_j (AP)^{-0.125}$

Flyback çeviricide: $I=I_m$

Forward çeviricide: $I=I_{ort}$

“İletim” periyodu %50; bu durumda “iletim” periyodu süresince ortalama akım

$$I_{ort} = \frac{P_m \times 2}{V_{ce}} \quad [A] \quad (5.16)$$

$$P_m = \frac{P_{out}}{\mu}$$

μ : varsayılan verim (hesaplamalarda %75 alınacaktır)

Tablo 5.1’den, hesaplanan A_l' ye en yakın değer bulunarak, A_l' kesiti saptanır.

Buradan, birincil sargı direnci

$$R_p = \frac{MLT \times N_p \times 1.7 \cdot 10^{-6}}{A_l'} \quad [\Omega] \quad (5.17)$$

MLT [cm]: bir sarımın çevresi

Birincil taraftaki bakır kaybı

$$P_p = R_p \times (A_l' \cdot J)^2 \quad [W] \quad (5.18)$$

Adım 9: İkincil Taraftaki Kabloların Seçimi Ve Bakır Kaybının Hesabı

1. Çıkış için kablo kesiti

$$A_n = I_1 / J \quad [cm^2] \quad (5.19)$$

Tablo 5.1’den, pratikteki A_l' kesiti saptanır. Buradan, ikincil sargı direnci ve bakır kaybı yukarıdaki gibi bulunur. Diğer çıkışlar için işlem tekrarlanır.

Tablo 5.1 İletken tel kablosu.

AWG Tel boyutu	ÇIPLAK KESİT		DİRENÇ		KESİT	
	cm10 (footmoteb)	CIR-MH	10 Ω 20°C' de cm	cm10	CIR-MH	
10	52.61	10384	32.70	55.9	11046	
11	41.68	8226	41.32	44.5	8298	
12	33.08	6529	52.09	35.64	7022	
13	26.26	5184	65.64	28.36	5640	
14	20.82	4109	82.80	22.95	4556	
15	16.51	3260	104.3	18.37	3624	
16	13.07	2581	134.8	14.73	2905	
17	10.39	2052	165.8	14.68	2323	
18	8.228	1624	209.5	9.326	1852	
19	6.531	1289	263.9	7.539	1490	
20	5.188	1024	332.3	6.065	1197	
21	4.116	812.3	418.9	4.837	954.8	
22	3.243	640.1	531.4	3.857	761.7	
23	3.588	510.8	666.0	3.135	620.0	
24	2.047	404.0	842.1	2.514	497.3	
25	1.623	320.4	1062.0	2.002	396.0	
26	1.280	252.8	1345.0	1.603	316.8	
27	1.024	204.6	1687.6	1.313	359.2	
28	0.8046	158.8	2142.7	1.0515	202.3	
29	0.6470	127.7	2664.3	0.8548	169.0	
30	0.5067	100.0	3402.2	0.6785	134.5	
31	0.4043	79.24	4294.6	0.5596	110.2	
32	0.3242	64.00	5344.9	0.4559	90.25	
33	0.2554	50.41	6748.6	0.3662	72.25	
34	0.2011	39.69	8572.8	0.2863	56.25	
35	0.1589	34.36	10849	0.2268	44.89	
36	0.1266	25.00	13608	0.1813	36.00	
37	0.1026	20.25	16801	0.1538	30.25	
38	0.08107	16.00	21266	0.1207	24.01	
39	0.06207	12.25	27775	0.0932	18.49	
40	0.04869	9.64	35400	0.0723	14.44	
41	0.03972	7.84	43405	0.0584	14.56	
42	0.03166	6.25	55428	0.04558	9.00	
43	0.02452	4.84	70308	0.03683	7.29	
44	0.0202	4.00	85072	0.03465	6.25	
	A	B	C	D	E	

ÇAP		SARIM		SARIM		AĞIRLIK
cm	inç	cm	inç	cm	inç	g/cm
0.267	0.1054	3.87	9.5	10.73	69.20	0.468
0.238	0.0938	4.36	10.7	13.48	89.95	0.3750
0.218	0.0838	4.85	11.9	16.81	108.4	0.2977
0.190	0.0749	5.47	13.4	21.15	136.4	0.2367
0.171	0.0675	6.04	14.8	24.15	168.6	0.1879
0.153	0.0602	6.77	16.6	26.14	240.6	0.1492
0.137	0.0539	7.32	18.6	32.66	262.7	0.1184
0.122	0.0482	8.18	20.8	40.73	331.2	0.0943
0.109	0.0431	9.13	23.2	54.36	414.9	0.07474
0.0980	0.0386	10.19	25.9	64.33	515.0	0.05940
0.0879	0.0346	11.37	28.9	79.85	638.1	0.04726
0.0785	0.0309	12.75	32.4	98.85	799.8	0.03757
0.0701	0.0276	14.25	36.2	124.0	1003	0.02965
0.0632	0.0249	15.82	40.2	155.5	1234	0.02372
0.0566	0.0223	17.63	44.8	191.3	1539	0.01884
0.0505	0.0199	19.80	50.3	238.6	1933	0.01498
0.0452	0.0178	22.12	56.2	299.7	2414	0.01185
0.0409	0.0161	24.44	62.4	374.2	2947	0.00945
0.0366	0.0144	27.32	69.4	456.9	3680	0.00747
0.0330	0.0130	30.27	76.9	570.6	4527	0.00602
0.0294	0.0116	33.93	86.2	701.9	5703	0.00472
0.0262	0.0105	37.48	95.2	884.3	6914	0.00372
0.0241	0.0095	41.45	105.3	1072	8488	0.00305
0.0216	0.0085	46.33	117.7	1346	10565	0.00241
0.0191	0.0075	52.48	133.3	1638	13512	0.00189
0.0170	0.0067	58.77	149.3	2095	17060	0.00150
0.0152	0.0060	65.62	166.7	3309	21343	0.00119
0.0140	0.0055	71.52	181.8	3901	25161	0.000977
0.0124	0.0049	80.35	204.4	4971	32062	0.000773
0.0109	0.0043	91.57	232.6	6437	41518	0.000593
0.0096	0.0038	103.6	263.2	8298	53522	0.000464
0.00863	0.0034	115.7	294.4	10273	66260	0.000379
0.00762	0.0030	134.2	333.3	13463	84901	0.000299
0.00685	0.0027	145.8	370.4	16291	105076	0.000233
0.00635	0.0025	152.4	400.0	18952	122272	0.000195
F	G	H	I	J	K	L

Adım 10: Toplam Bakır Kaybı

$$P_{\Sigma Cu} = P_p + P_1 + P_2 + P_3 \quad [W] \quad (5.20)$$

Adım 11: Demir Kaybı

Birim ağırlık başına demir kaybı

$$P_{Fe}' = k \times f^m \times B_{ac}^n \quad [mW/g] \quad (5.21)$$

a,c,d: malzemeye bağlı katsayılar (Bkz. Tablo 4.1)

f : frekans [Hz]

Ağırlık, Adım 1' de hesaplandığından P_{Fe} [W] kolayca bulunur.

Adım 12: Toplam Kayıp

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma Cu} + P_{Fe} \quad [W] \quad (5.22)$$

Adım 13: Verim

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{\Sigma}} \cdot 100 \quad (5.23)$$

[2].

5.2 İndüktörün Tasarım Algoritması

25°C sıcaklık için

L : İndüktans

I_o : DA akım

ΔI : AA akım

B_m : Akı yoğunluğu

A_p : Alan Çarpımı

Olmak üzere

Adım 1: Enerji tutma kapasitesi hesaplanır:

$$I = I_0 + \frac{\Delta I}{2} \quad [\text{A}] \quad (5.24)$$

$$\text{Enerji} = \frac{LI^2}{2} \quad [\text{Ws}] \quad (5.25)$$

Adım 2: Alan çarpımı bulunur:

$$A_p = \left(\frac{2(\text{Enerji}) \times 10^4}{B_m K_u K_j} \right)^{(x)} \quad [\text{cm}^4] \quad (5.26)$$

C tipi çekirdek için

C tipi çekirdek için (x): 1.16

Adım 3: Uygun alan çarpımını seçimi

Tablo 4.2' de, hesaplanan A_p değerine en yakın değer sayesinde pratikteki A_p değeri ve diğer çekirdek değerleri seçilir.

Adım 4: Akım yoğunluğunun hesabı

$$J = K_j A_p^{(y)} \quad [\text{A/cm}^2] \quad (5.27)$$

C tipi çekirdek için (y): -0.14

Adım 5: Çıplak tel kesitinin hesabı

$$A_{w(B)} = \frac{I_0 + \Delta I/2}{J} \quad [\text{cm}^2] \quad (5.28)$$

Adım 6: Uygun tel kesitinin seçilmesi

Tablo 5.1' da, hesaplanan $A_{w(B)}$ değerine en yakın değer sayesinde pratikteki $A_{w(B)}$ değeri ve diğer tel değerleri seçilir.

Adım 7: Etkin çerçeve alanının hesabı

$$W_{a(eff)} = A_p S_3 \quad [\text{cm}^2] \quad (5.29)$$

A_p : Adım 3' te bulunur

Tipik bir değer S_3 : 0.75

pratikteki $A_{w(B)}$ değeri ve diğer tel değerleri seçilir.

Adım 8: Sarım sayısının hesabı

$$N = \frac{W_{a(eff)} S_2}{A_w} \quad [\text{sarım}] \quad (5.30)$$

A_w : Adım 6' da bulunur

Tipik bir değer S_2 : 0.6

Adım 9: Hava aralığının hesabı

$$l_g = \frac{0.4\pi N^2 A_c \times 10^{-8}}{L} \quad [\text{cm}] \quad (5.31)$$

Demir alan A_c : Adım 3' te bulunur

Adım 10: Saçılan akının hesabı

$$F = 1 + \frac{l_g}{\sqrt{A_c}} \ln \left(\frac{2G}{l_g} \right) \quad (5.32)$$

G: Çekirdeğe ilişkin bir boyut.

Adım 11: Saçılan akının da göz önüne alınmasıyla sarım sayısının yeniden hesabı

$$N = \left(\frac{l_g L}{0.4\pi A_c F \times 10^{-8}} \right) \quad [\text{sarım}] \quad (5.33)$$

G: Çekirdeğe ilişkin bir boyut.

Adım 12: Sargı direncinin hesabı

$$R = MLT \times N \frac{\mu\Omega}{cm} \times 10^{-6} \quad [\Omega] \quad (5.34)$$

MLT: Adım 4' te bulunur

$\mu\Omega/cm$: Adım 6' da bulunur

Adım 13: Bakır kaybının hesabı

$$P_{cu} = I^2 R \quad [W] \quad (5.35)$$

Adım 14: Toplam (AA+DA) akı yoğunluğunun hesabı

$$B_m = \frac{0.4\pi NI \times 10^{-4}}{l_g} \quad [T] \quad (5.36)$$

Adım 15: AA akı yoğunluğunun hesabı

$$B_m = \frac{0.4\pi N \frac{\Delta I}{2} \times 10^{-4}}{l_g} \quad [\text{T}] \quad (5.37)$$

Adım 16: Çekirdek malzemesinde kg başına Wattın hesabı ve demir kaybının bulunması

$$W/\text{kg} = Kf^{1.26} B_m^{1.73} \quad (5.38)$$

$$P_{fe} = (W/\text{kg}) W_{rfe} \quad [\text{W}] \quad (5.39)$$

Çekirdek ağırlığı W_{rfe} : Adım 3' te bulunur

Adım 17: Toplam kaybının hesabı

$$P_\Sigma = P_{cu} + P_{fe} \quad [\text{W}] \quad (5.40)$$

Adım 18: Birim alan başına Watt hesabı

$$\psi = \frac{P_\Sigma}{A_t} \quad [\text{W}] \quad (5.41)$$

Yüzey alanı A_t : Adım 3' te bulunur. [6]

5.3 Programa İlişkin Ön Bilgi

Excel 95 ortamında tasarlanan ve yukarda akışı verilen program aşağıda koşturulmuş olarak verilmektedir. Programda aşağıdaki kriterlere uygun olarak tasarım yapabilmektedir:

* Maksimum verim kriteri

- * Minimum hacim kriteri
- * Minimum bakır kaybı - demir kaybı yüzdesi kriteri
- * Optimum kriteri: Kullanıcı isterse verime ve bakır kaybı - demir kaybı yüzdesine istediği toleransı vererek de transformatör tasarımını gerçekleştirebilir.

Giriş büyüklüklerinin girilmesi, çalışma sıcaklığının (25°C veya 50°C) ve yukarıda bahsedilen tasarım kriterinin seçilmesinden sonra tasarım sonuçlarını görebilmektedir. Ayrıca malzemelerin karşılaştırmalı grafiği de görülebilmektedir. Bu sayede kullanıcı aşağıdaki son kriteri kullanabilir:

- * Kullanıcı “tasarım programı” nın seçimi dışında, kendi seçtiği malzemeyi kullanması halindeki sonucu da görebilmektedir.

İndüktör tasarımında ise malzeme doğrudan kullanıcı tarafından seçilecektir.

Sargı iletkenlerinin kesiti hesaplanırken telin yarıçapı deri kalınlığını geçerse Litz iletkeninin kullanılması önermek için kesit bilgisinin altına “LITZ” uyarısı gelecektir.

Tasarımı takiben, örnek bir devrenin PSpice ortamında koşturulması gösterilecektir. Devre 100VDC kaynaktan besleniyor olup anahtar 20kHz frekans, 0.5 çalışma oranıyla tetiklenmektedir. Çıkış diyodu ideal kabul edilmiştir. Transformatörün çevirme oranı $n=5$ ’ tir.

Farklı malzemeler kullanıldığında devrenin davranışını gözlemlemek amacıyla ikincil tarafın endüktansı 25 μ H’ den 250 μ H’ ye kadar (dolayısıyla birincil tarafın endüktansı 0.625mH’ den 6.25mH’ ye kadar) değişirken transformatör üzerindeki kayıp gösterilmektedir. Görüldüğü üzere endüktans, yani bir anlamda doyma akı yoğunluğu arttıkça kayıp artmaktadır.

HOŞ GELDİNİZ

Bu programda Şekil 5.1 ve 5.2' de devre şekilleri verilen flyback ve forward çeviricilerde kullanılan manyetik elemanların tasarımı yapılacaktır.

Programı başlatmak için "Başlat" tuşuna

Programdan çıkmak için "Çık" tuşuna basınız.

Başlat

Çık

ANA MENÜ

Şekil 5.1' de Gösterilen FLYBACK ÇEVİRİCİ

İÇİN

AŞAĞIDAKİ BUTONA BASINIZ

FLYBACK

Şekil 5.2' de Gösterilen FORWARD ÇEVİRİCİ

İÇİN

AŞAĞIDAKİ BUTONA BASINIZ

FORWARD

Not1: Kriterler seçeneklerinden hiçbirini işaretlenmezse opsiyon kriterine göre seçim yapılacaktır.

Not2: Litz iletkenin kullanılması önerilecekse kesit bilgisinin altında "LITZ" yazacaktır.

PROGRAMDAN ÇIK

FLYBACK ÇEVİRİCİ GİRİŞ BÜYÜKLÜKLERİ

Frekans [kHz]	Giriş Gerilimi [V]	Çıkış Gerilimi [V]	Çıkış Akımı [A]	1. Yardımcı Gerilim [V]	1. Yardımcı Akım [A]	2. Yardımcı Gerilim [V]	2. Yardımcı Akım [A]	$\Delta B/B_{sat}$ [%]
20	100	5	10	12	3	-12	2	92,5

Her kısımda sadece tek seçeneği işaretleyiniz

Çalışma Sıcaklığı	Kriterler	Opsiyon Aralıkları
☒ 25 °C ☐ 50 °C	☒ Maksimum Verim ☐ Minimum Hacim ☐ Minimum Pcu-Pfe Farkı	Minimum Verim [%]: 85 Maksimum Pcu-Pfe Farkı [%]: 20
Ana Menü	Sonuç	Yazdır

FLYBACK ÇEVİRİCİDEKİ TRAFOYA İLİŞKİN SONUÇLAR

Hata Görülüyorsa Atırmın $\frac{\Delta}{\Delta}$ 3

Malzeme Adı: Magnetics Ferrit R 2300m

Çekirdek Boyutları

D	E	F	G	WTFF	MLT	Ae	Aw	At
0,952	0,635	0,635	2,222	0,03	4,6	0,54	1,41	33,7

Kayıplar

Hacim [cm ³]	Ağırlık [gr]	Hava Aralığı [mm]	Verim [%]	Bakır Kaybı / Toplam Kayıp	Çekirdek Kaybı / Toplam Kayıp
15,8885154	59,1159287	0,83592943	97,4210853	58,2163124	41,7836876

Sargı Bilgileri

Primer Sarım Sayısı	Primer İletken Kesiti [cm ²]	Sekonder Sarım Sayısı	Sekonder İletken Kesiti [cm ²]	1. Yardımcı Sarım Sayısı	1. Yardımcı İletken Kesiti [cm ²]	2. Yardımcı Sarım Sayısı	2. Yardımcı İletken Kesiti [cm ²]
289	0,002047	7	0,02626	15	0,006531	15	0,005188
			LITZ				

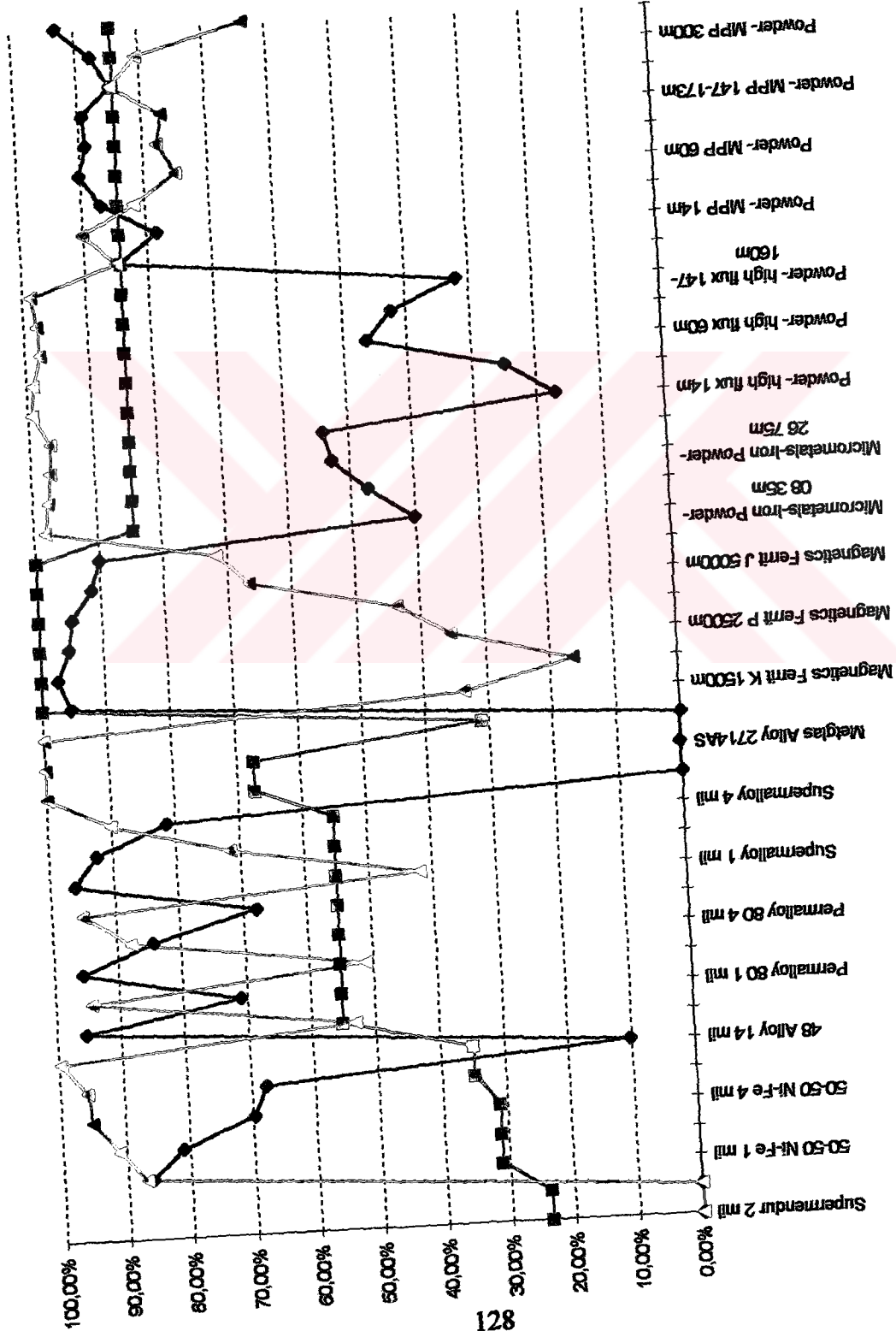
Ana Menü

Malzeme
| Seç

Grafik

Yazdır

Flyback Çeviricide Manyetik Malzeme Karşılaştırması



Ana Menü

Malzemeyi Seç

Yazdır

**FLYBACK ÇEVİRİCİDE TRANSFORMATÖR TASARIMI
MALZEME KULLANICIYA BAĞLI**

Malzemeyi Seçiniz

Supermendur 2 mil ▼

Çekirdek Boyutları

D	E	F	G	WTFE	MLT	Ae	Aw	At
0,635	0,317	0,635	1,27	0,006	3,3	0,18	0,81	17,7

Kayıplar

Hacim [cm ³]	Ağırlık [gr]	Hava Aralığı [mm]	Verim [%]	Bakır Kaybı / Toplam Kayıp	Çekirdek Kaybı / Toplam Kayıp
5,18644796	19,2970633	0,0635	57,5322463	1,122172	98,877828

Sargı Bilgileri

Primer Sarım Sayısı	Primer İletken Kesiti [cm ²]	Sekonder Sarım Sayısı	Sekonder İletken Kesiti [cm ²]	1.Yardımcı Sarım Sayısı	1.Yardımcı İletken Kesiti [cm ²]	2.Yardımcı Sarım Sayısı	2.Yardımcı İletken Kesiti [cm ²]
219	0,003588	5	0,02626	18	0,008228	18	0,005188
			LITZ		LITZ		

Ana Menü

Yazdır

FORWARD ÇEVİRİCİ GİRİŞ BÜYÜKLÜKLERİ

Frekans [kHz]	Har Giriş Gerilimi [V]	Minimum Giriş Gerilimi [V]	Maksimum Giriş Gerilimi [V]	1. Çıkış Gerilimi [V]	1. Çıkış Akımı [A]	2. Çıkış Gerilimi [V]	2. Çıkış Akımı [A]	3. Çıkış Gerilimi [V]	3. Çıkış Akımı [A]	Akım Dalgahlığı [%]	$\Delta B/B_{sat}$ [%]
20	110	90	130	5	10	12	3	-12	2	10	92,5

Her kısımda sadece tek seçeneği işaretleyiniz

Çalışma Sıcaklığı	Kritikler	Opsiyon Aralıkları
☒ 25 °C	☒ Maksimum Verim ☐ Minimum Hedin ☐ Minimum Pcu-Pfe Farkı	Minimum Verim [%]: 85 Maksimum Pcu-Pfe Farkı [%]: 20
☐ 50 °C		
Ana Menü	Sonuç	Yazdır

FORWARD ÇEVİRİCİDEKİ TRAFOYA İLİŞKİN SONUÇLAR

Hata Görülüyorsa Atırmın $\frac{\Delta}{\Delta}$ 2

Malzeme Adı:

Magnetics Ferrit R 2300m

Çekirdek Boyutları

D	E	F	G	WTFE	MLT	Ac	Aw	At
1,27	0,635	0,794	2,54	0,046	5,7	0,72	2,02	47,1

Kayıplar

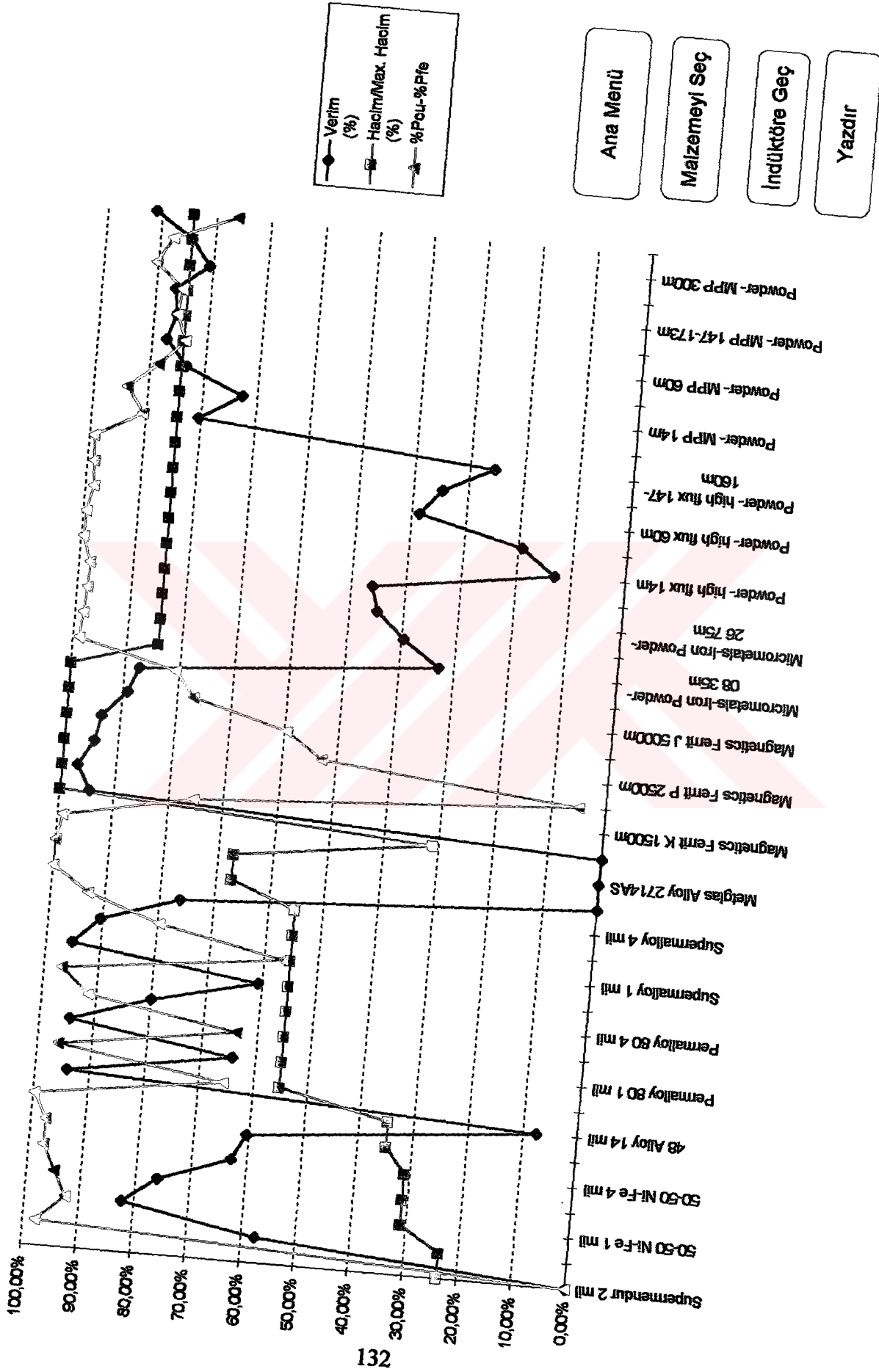
Hacim [cm ³]	Ağırlık [gr]	Hava Aralığı [mm]	Verim [%]	Bakır Kaybı / Toplam Kayıp	Çekirdek Kaybı / Toplam Kayıp
21,8914602	81,4509078	0,0635	97,1805529	47,4711843	52,5288157

Sargı Bilgileri

Primer Sarım Sayısı	Primer İletken Kesiti [cm ²]	1. Sekonder Sarım Sayısı	1. Sekonder İletken Kesiti [cm ²]	2. Sekonder Sarım Sayısı	2. Sekonder İletken Kesiti [cm ²]	3. Sekonder Sarım Sayısı	3. Sekonder İletken Kesiti [cm ²]
263	0,004116	6	0,03308	23	0,01039	23	0,006531
			LITZ		LITZ		

Ana Menü	Malzemeyi Seç	İndüktöre Geç	Grafik	Yazdır
----------	---------------	---------------	--------	--------

Forward Çeviricide Manyetik Malzeme Karşılaştırılması



FORWARD ÇEVİRİCİDE TRANSFORMATÖR TASARIMI
MALZEME KULLANICIYA BAĞLI

Malzemeyi Seçiniz

Supermendur 4 mil

Çekirdek Boyutları

D	E	F	G	WTFE	MLT	Ae	Aw	At
0,635	0,317	0,635	1,27	0,006	3,3	0,18	0,81	17,7

Kayıplar

Hacim [cm ³]	Ağırlık [gr]	Hava Aralığı [mm]	Verim [%]	Bakır Kaybı / Toplam Kayıp	Çekirdek Kaybı / Toplam Kayıp
5,18644796	19,2970633	0,0635	57,5322463	1,122172	98,877828

Sargı Bilgileri

Primer Sarım Sayısı	Primer İletken Kesiti [cm ²]	1. Sekonder Sarım Sayısı	1. Sekonder İletken Kesiti [cm ²]	2. Sekonder Sarım Sayısı	2. Sekonder İletken Kesiti [cm ²]	3. Sekonder Sarım Sayısı	3. Sekonder İletken Kesiti [cm ²]
219	0,003588	5	0,02626	18	0,008228	18	0,005188
			LITZ		LITZ		

Ana Menü

İndüktöre Geç

Yazdır

FORWARD ÇEVİRİCİDE İNDÜKTÖR TASARIMI

Malzemeyi Seçiniz

Supermendur 2 mil ▼

%ΔB/Bsat
oranı

92,5

İstenen İndüktans Değerini Giriniz
(Önerilen 1800-2000mH)

2000

ÇEKİRDEK TİPİ AL-16

Çekirdek Boyutları

Ap	MLT	Ac	Wa	At	WTFE	G	Hava Aralığı
10,8	8,89	2,15	5,02	127	235	3,969	0,0355

Kayıplar

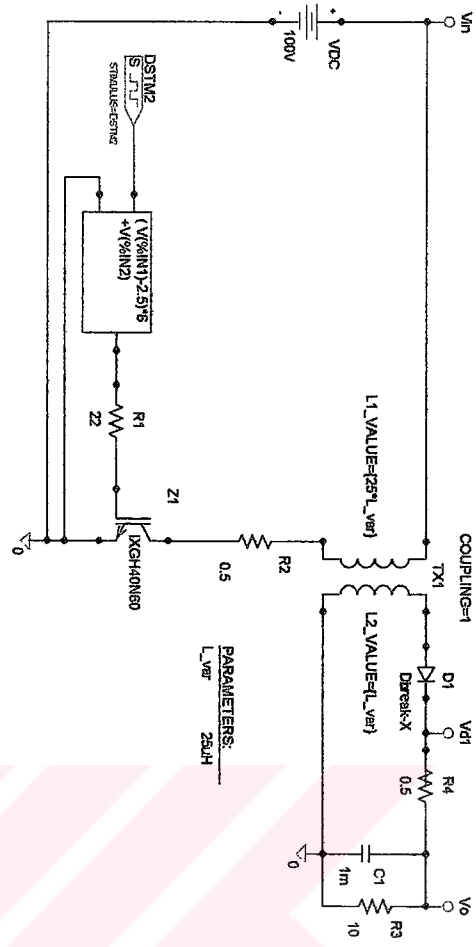
Toplam Kayıp [W]	Ψ [W/cm ²]	Bakır Kaybı / Toplam Kayıp	Çekirdek Kaybı / Toplam Kayıp
7,64	0,0601	0,27418194	0,72591623

Sargı Bilgileri

Sarım Sayısı	Çıplak İletken Kesiti [cm ²]	Yalıtımlı İletken Kesiti [cm ²]
51	0,0417	0,0445

Ana Menü

Yazdır



ITU Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ara Bilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programı
Hazretayır A. ALPER YARIS
Enstitü No: 504981005
ÖRNEK DEVRE SİMÜLASYONU

Haziran 2001

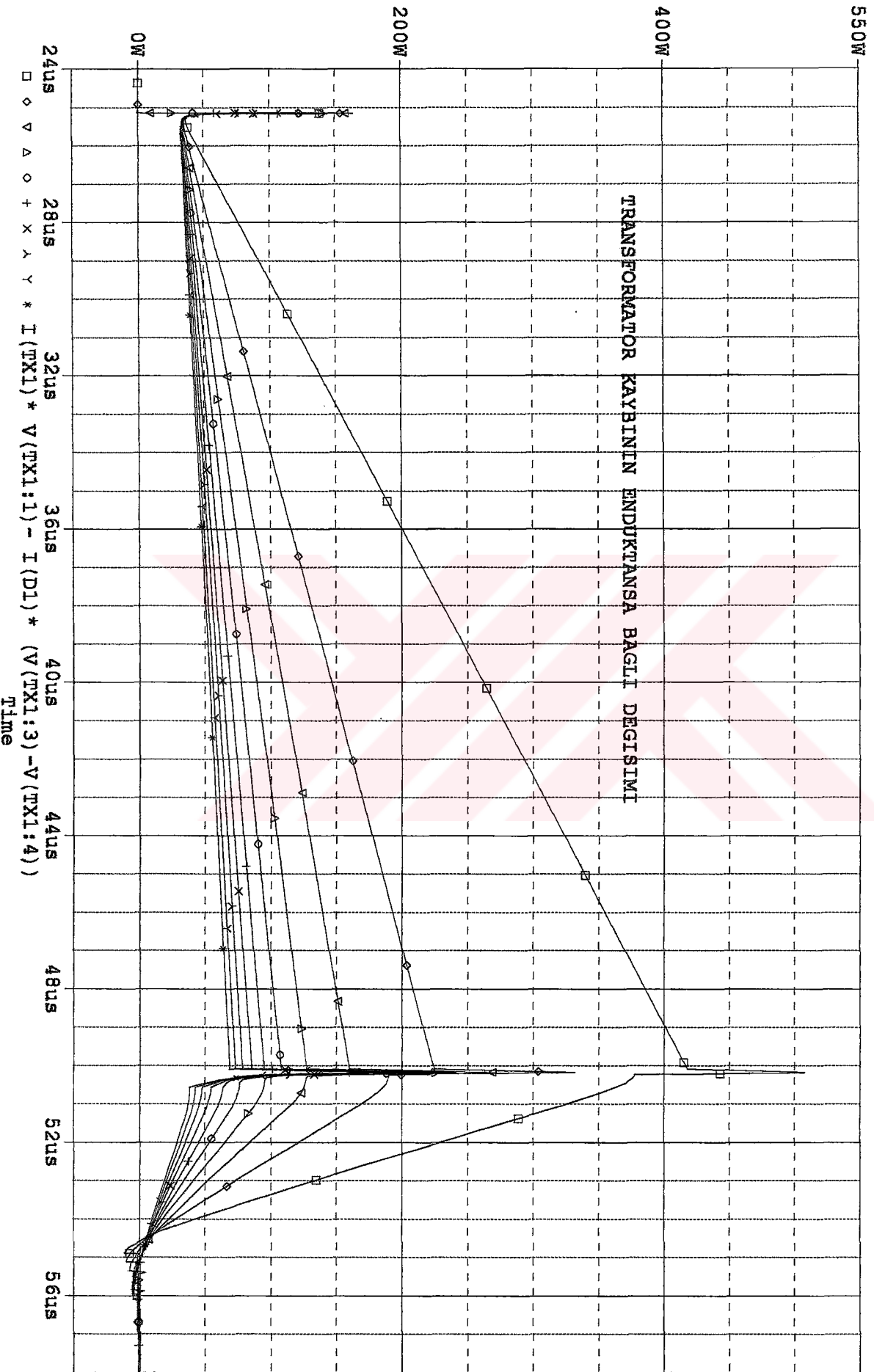
Date/Time run: 07/14/01 08:09:37

* C:\YLT\Simulasyon\Ornek.sch

Temperature: 27.0

(A) Ornek (active)

TRANSFORMATOR KAYBININ ENDUKTANSA BAGLI DEGISIMI



Date: July 14, 2001

Page 1

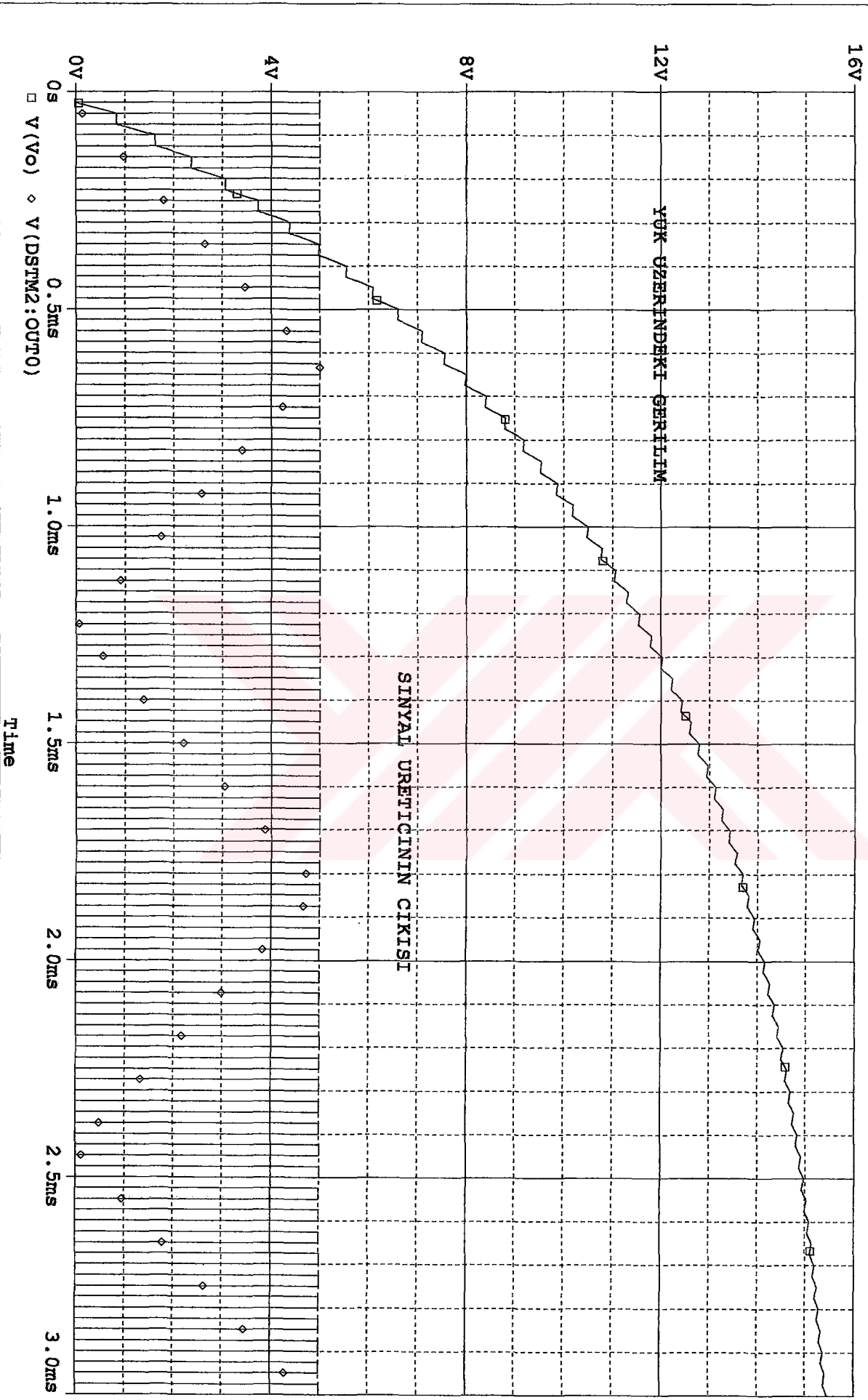
Time: 08:21:10

Date/Time run: 07/14/01 08:22:58

* C:\YLT\Simulasyon\Ornek.sch

Temperature: 27.0

(A) Ornek (active)



Date: July 14, 2001

Page 1

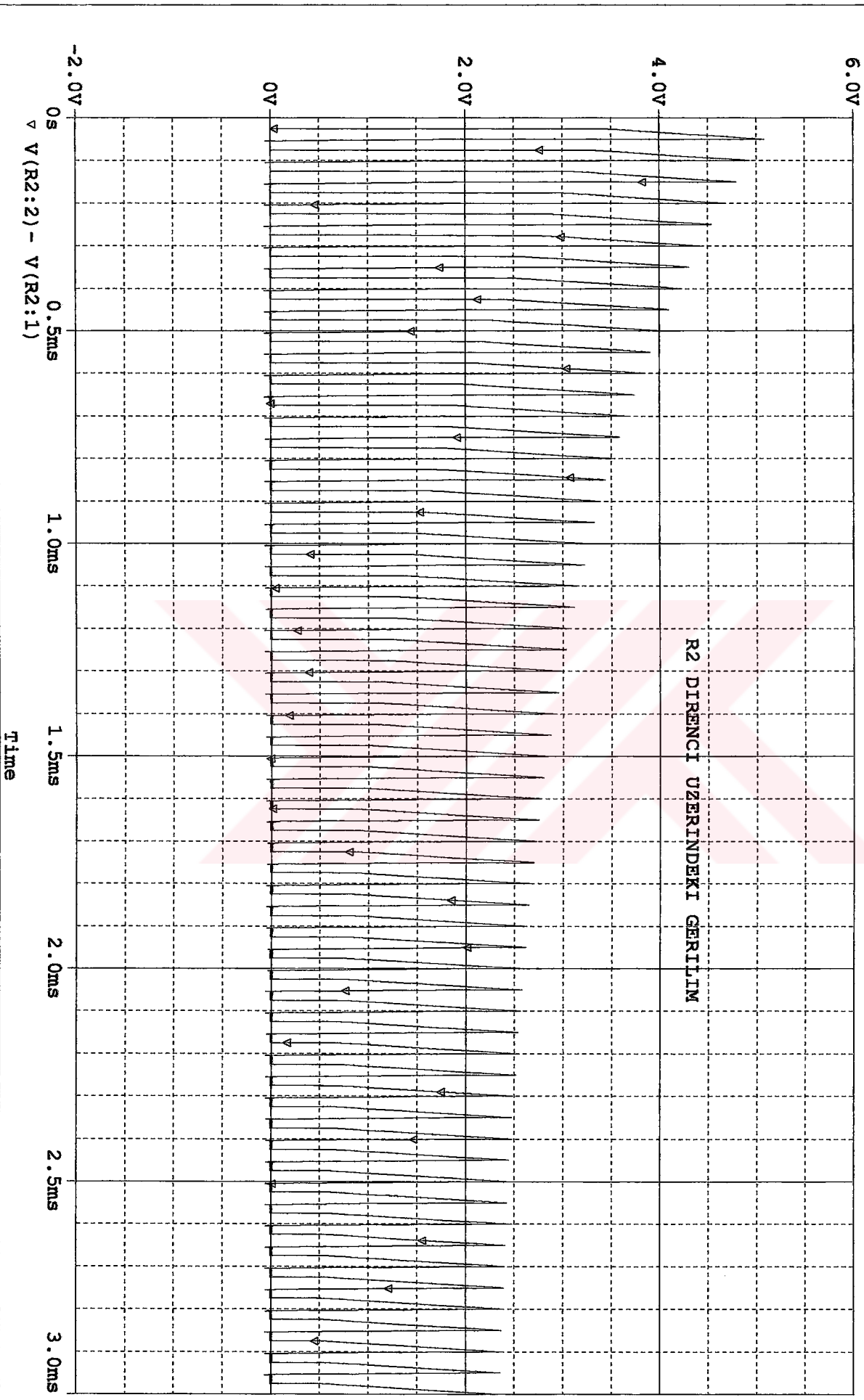
Time: 08:29:13

Date/Time run: 07/14/01 08:22:58

* C:\YLT\Simulasyon\Ornek.sch

Temperature: 27.0

(A) Ornek (active)



Date: July 14, 2001

Page 1

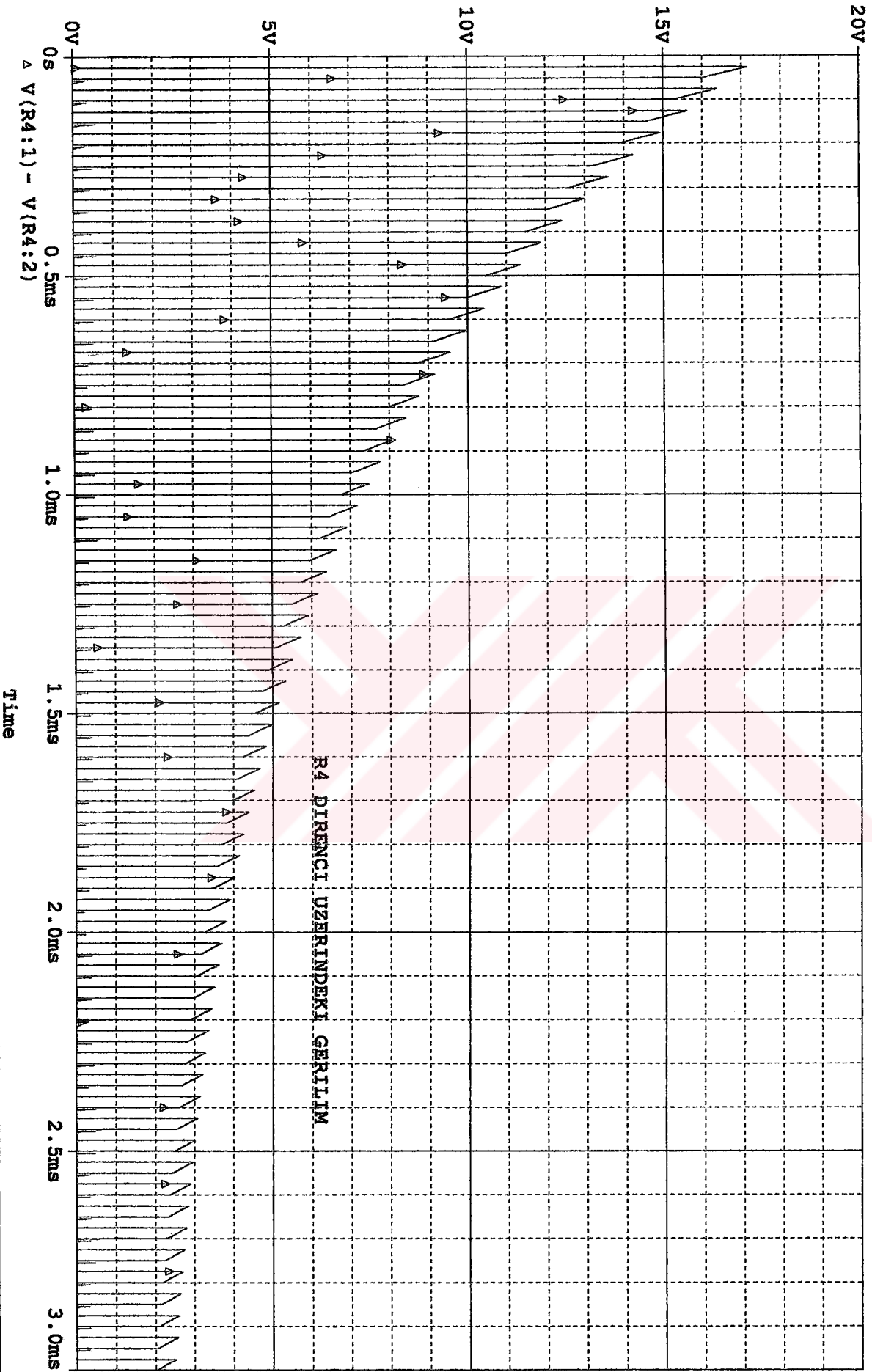
Time: 08:33:48

Date/Time run: 07/14/01 08:22:58

* C:\YLT\Simulasyon\Ornek.sch

Temperature: 27.0

(A) Ornek (active)



Date: July 14, 2001

Page 1

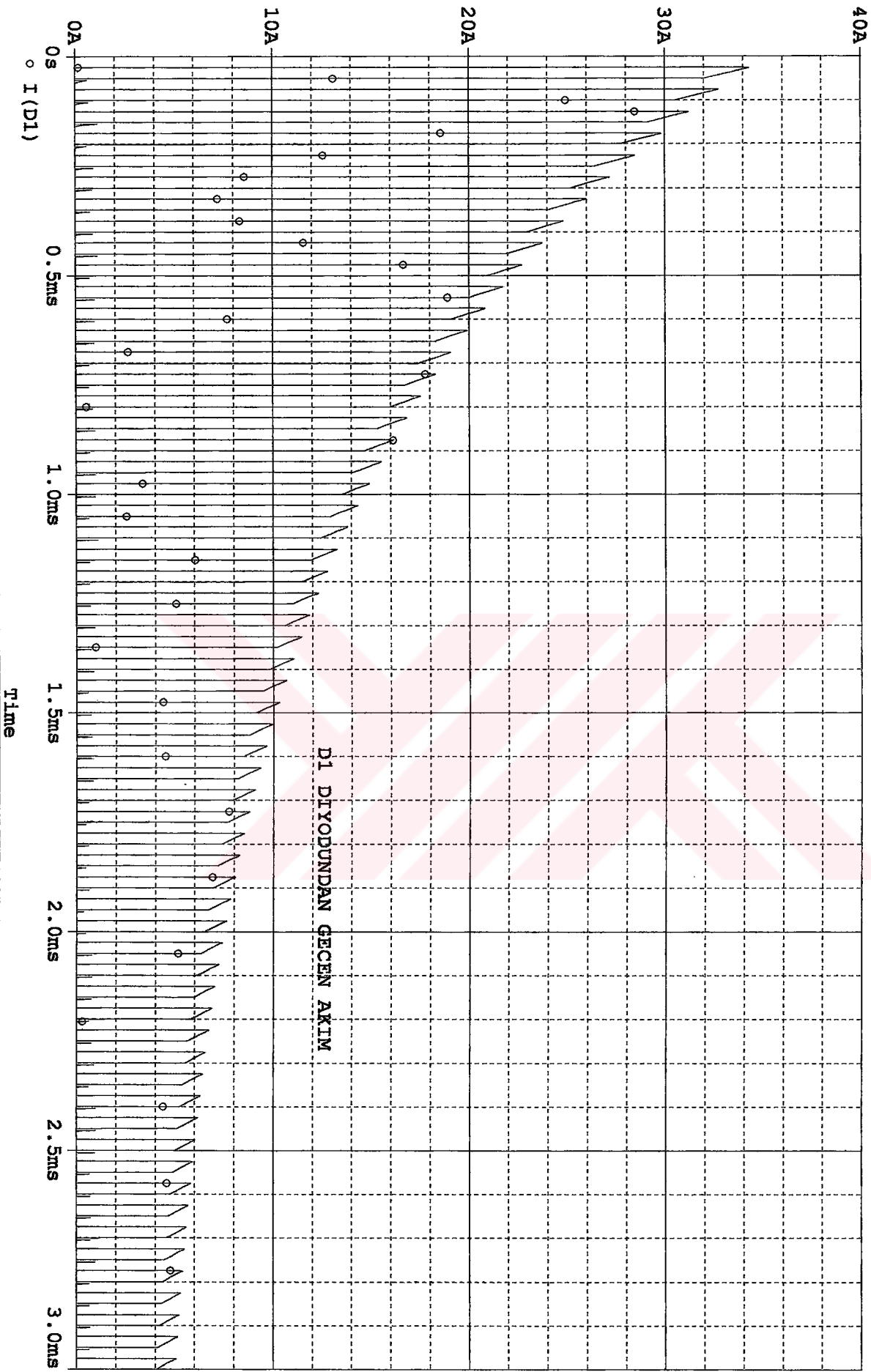
Time: 08:39:06

Date/Time run: 07/14/01 08:22:58

* C:\YLT\Simulasyon\Ornek.sch

Temperature: 27.0

(A) Ornek (active)

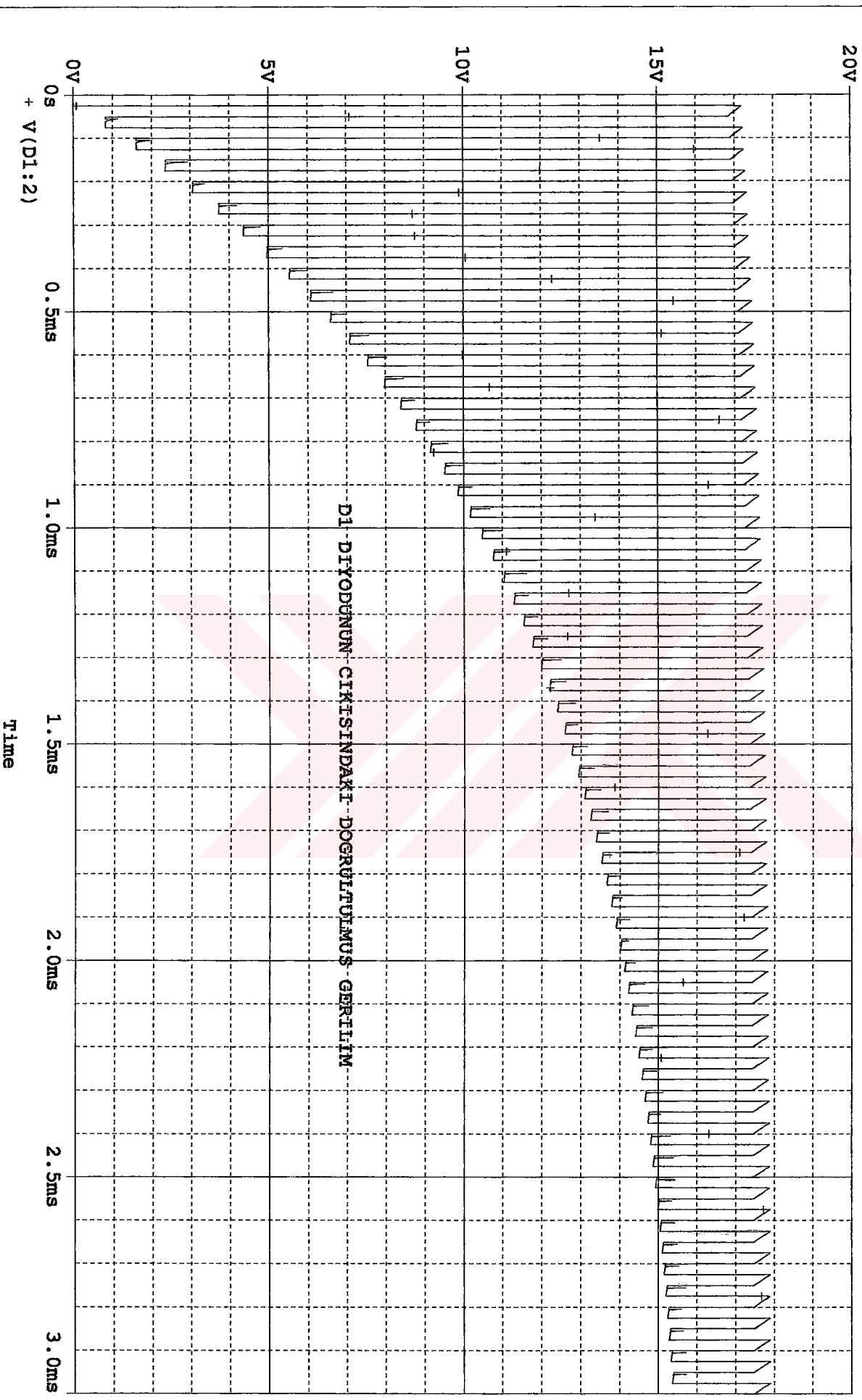


Date/Time run: 07/14/01 08:22:58

* C:\YLT\Simulasyon\Ornek.sch

Temperature: 27.0

(A) Ornek (active)

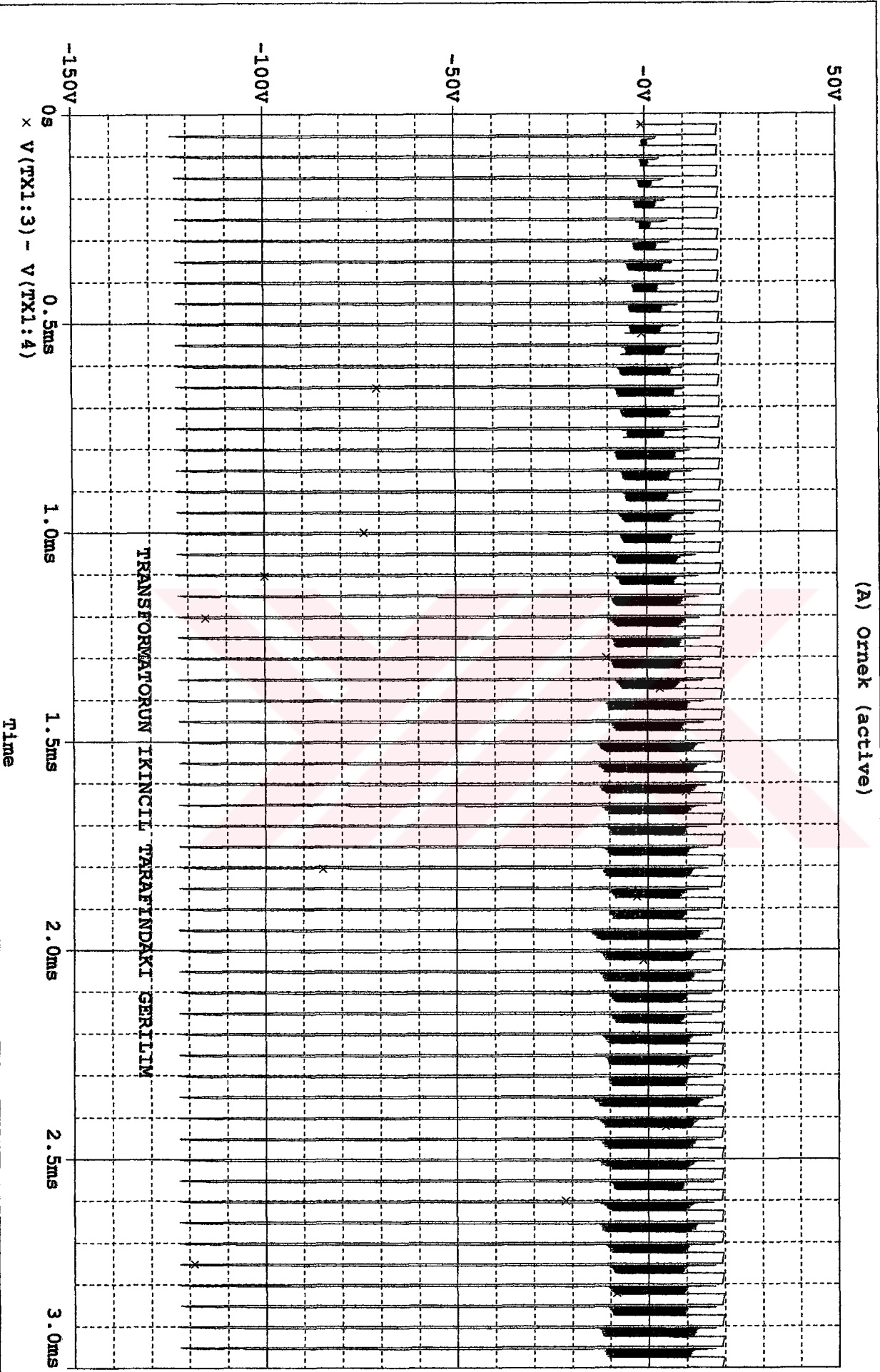


Date/Time run: 07/14/01 08:22:58

* C:\YLT\Simulasyon\Ornek.sch

Temperature: 27.0

(A) Ornek (active)



Date: July 14, 2001

Page 1

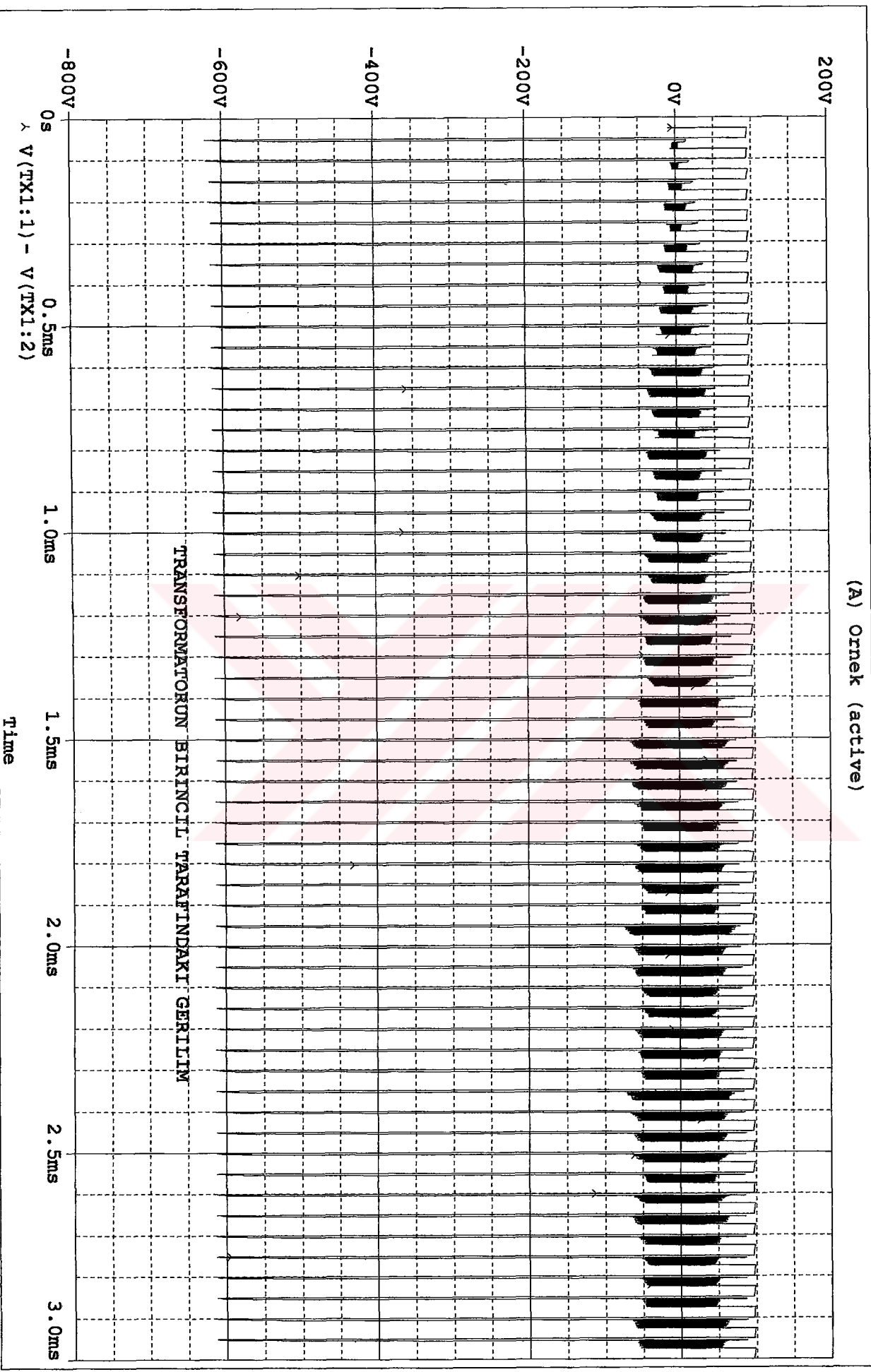
Time: 08:50:54

Date/Time run: 07/14/01 08:22:58

* C:\YIT\Simulasyon\Ornek.sch

Temperature: 27.0

(A) Ornek (active)



Date: July 14, 2001

Page 1

Time: 08:54:24

6. SONUÇLAR

Mühendislik bir anlamda nitelik ile maliyet arasında denge kurma bilimidir. İstenilen minimum boyut ve maksimum verim ise örneğin, çok düşük dirençli manyetik tel (süper iletken), düşük kayıplı çekirdek malzemeleri (amorf alaşım) ve etkin buhar safhalı sıvı soğutma teknikleri (ısı boruları) kullanılarak küçük hacimli, üstün elektriksel parametrelili, yüksek verimli minyatür transformatörler üretilmektedir. Ancak bunun ekonomisini iyi yapmak gerekir.

Frekans arttıkça amorf malzemelerin daha iyi sonuç verdiği doğrudur. Ancak, uygulama araklıklarının farklılığından dolayı manyetik malzemelerin tam bir karşılaştırılmasını yapmak çok kolay değildir. Farklı frekanslarda, farklı çalışma sıcaklıklarında, farklı uygulamalarda optimum sonuç farklı malzemelerle sağlanır.

Transformatör tasarımında seçim kriterlerinden hangilerinin ön plana çıkacağına karar vermek çok önemlidir. Hacim ve ağırlığın her ikisinin birden önemli olduğu bir uygulamada, ikisi birden ancak daha yüksek bir frekansta çalışarak azaltılabilir. Frekans yükseltilmezse, ağırlık ve hacimde azalma ancak daha özel bir çekirdek seçimiyle sağlanabilir. Bu da maliyette artış anlamına gelir.

Verilen tasarım algoritması genel amaçlı olup temel flyback ve forward çeviriciler üzerinde kullanılmak amacıyla detaylarda bazı uyarlamalar yapılmıştır.

Burada esas olan malzemedir. Malzeme bilminde gelecekte olacak gelişmelerle manyetik elemanlarda çok daha iyi sonuçlar elde edilecektir.

KAYNAKLAR

A) Kitap Bölümleri için gösterim

- [1] McLyman, Colonel William T., 1988. Transformer and Inductor Design Handbook, 2nd ed., Dekker, New York.**
- [2] Billings, Keith H, 1989. Handbook of Switchmode Power Supplies, McGraw-Hill, New York.**
- [3] Whittington, H.W., Flynn, B.W., Macpherson, D.E., 1997. Switched Mode Power Supplies : Design and Construction, 2nd ed. Taunton, Somerset, Research Studies Press, England; Wiley, New York.**
- [4] Pressman, Abraham I., 1992. Switching Power Supply Design, McGraw-Hill, New York.**
- [5] Kilgenstein, Otmar, 1989. Switched-Mode Power Supplies in Practice, J. Wiley, Chichester.**
- [6] McLyman, Colonel William T., 1997. Magnetic Core Selection for Transformers and Inductors : A User' s Guide to Practice and Specification, M. Dekker, New York.**
- [7] Gürbüz, A., 1998. Anahtarlmalı güç kaynağı transformatörü tasarımı ve magnetik malzeme seçimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.**

B) Raporlar

- [8] Kelley, A.W., Jungreis A., Stansell B., 1996. Passive Components for the PEBB-Final Report, Power Electronic Building Block at NC State University, North Carolina.**

ÖZGEÇMİŞ

25.10.1976 tarihinde Ankara’ da doğdum. İstanbul’ da Haznedar Abdi İpekçi İlkokulunda, Haznedar Ortaokulunda, Kemal Hasoğlu Lisesinde eğitim gördüm. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü’ nünden mezun oldum. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilimdalı Elektrik Mühendisliği Bölümünde eğitimine başladım.

